



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ
ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΘΩΡΟΦΟΥ ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΥ
ΚΤΗΡΙΟΥ ΑΠΟ Ω.Σ.

ΚΑΣΑΜΠΑΛΗ ΑΜΑΛΙΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΨΥΧΑΡΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ
ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΘΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΥ
ΚΤΗΡΙΟΥ ΑΠΟ Ω.Σ.

ΚΑΣΑΜΠΑΛΗ ΑΜΑΛΙΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΨΥΧΑΡΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας αυτή την εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Ψυχάρη για την καθοδήγηση του και το ενδιαφέρον που έδειξε όλο αυτό τον καιρό.

Επίσης ευχαριστώ τον επιστημονικό συνεργάτη του εργαστηρίου αντισεισμικής κ. Ιωάννη Ταφλαμπά για το ουσιαστικό ενδιαφέρον του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους υποψήφιους διδάκτορες Γιάννη Καλυβιώτη, Βασιλική Καρδούτσου, Βαγγέλη Αυγενάκη, Χάρη Μανιατάκη για την βοήθεια τους σε ότι προβλήματα ή απορίες είχα κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Να ευχαριστήσω ακόμα την οικογένεια μου, τους γονείς και τα αδέρφια μου, Θοδωρή και Βασίλη, που χωρίς την στήριξη τους, ιδιαίτερα τα τελευταία 6 χρόνια, δεν θα είχα φτάσει ως εδώ.

Τέλος ένα τεράστιο ευχαριστώ στους συμφοιτητές και πολύ καλούς μου φίλους, Πολυξένη, Φένια, Έρνα, Βαγγέλη, Εύα, Μαρία, Πολυτίμη, Αγγελίνα για τα 6 υπέροχα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε, καθώς και σε όλους τους υπόλοιπους εντός και εκτός σχολής φίλους μου.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Περίληψη..... | 9 |
| Abstract..... | 11 |
| Κεφάλαιο 1 - Εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου | |
| 1.1 Χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου..... | 13 |
| 1.2 Παράμετροι περιγραφής εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου..... | 18 |
| 1.3 Κανονισμοί που σχετίζονται με σεισμούς κοντινού πεδίου..... | 24 |
| Κεφάλαιο 2 - Περιγραφή και προσομοίωση του προς ανάλυση φορέα, ανελαστική ανάλυση | |
| 2.1 Περιγραφή του φορέα..... | 29 |
| 2.2 Προσομοίωση του φορέα..... | 31 |
| 2.3 Ανελαστική στατική ανάλυση του εξεταζόμενου φορέα | |
| 2.3.1 Ανάλυση Pushover, γενικά..... | 33 |
| 2.3.2 Εφαρμογή στον εξεταζόμενο φορέα..... | 34 |
| Κεφάλαιο 3 - Σεισμικοί παλμοί βάσης NGA | |
| 3.1 NGA βάση δεδομένων..... | 39 |
| 3.2 Καθορισμός σημαντικού παλμού για την προσέγγιση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου | |
| 3.2.1 Περιγραφή της χρησιμοποιούμενης μεθόδου..... | 42 |
| 3.2.2 Προσδιορισμός περιόδου T_p | 43 |
| 3.2.3 Προσδιορισμός λοιπών παραμέτρων..... | 48 |
| Κεφάλαιο 4 - Απόκριση κατασκευής για διέγερση με τις καταγραφές NGA | |
| 4.1 Επεξεργασία και ανάλυση χρονοϊστοριών..... | 51 |
| 4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων..... | 55 |
| Κεφάλαιο 5 - Σχολιασμός αποτελεσμάτων..... | 70 |
| Βιβλιογραφία..... | 71 |
| Παράρτημα..... | 73 |

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής του παλμού κατευθυντικότητας σεισμών κοντινού πεδίου, στην ανελαστική απόκριση ενός υφιστάμενου οκταώροφου πλαισιακού κτηρίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα μελετάται η απόκριση του φορέα στις 91 σεισμικές καταγραφές της βάσης δεδομένων NGA. Χρησιμοποιούνται οι αρχικές καταγραφές αλλά και τα παλμικά προσομοιώματα που παράγονται από αυτές για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια και συμπληρώνεται από ένα παράρτημα στο τέλος.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια θεωρητική εισαγωγή για τις σεισμικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους, καθώς και συνοπτικά οι κανονισμοί που σχετίζονται με αυτές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο προς ανάλυση φορέας. Γίνεται συνοπτική παρουσίαση του υπάρχοντος κτηρίου και ακολουθεί περιγραφή της προσομοίωσης του φορέα στο στατικό πρόγραμμα SAP2000. Κατόπιν περιγράφεται ο πιο συνήθης τρόπος ανελαστικής ανάλυσης, με τη μέθοδο Pushover, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανελαστικής αυτής ανάλυσης στο φορέα, με σημαντικότερη την εξαγωγή της καμπύλης ικανότητας, από όπου προσδιορίζονται τα όρια διαρροής.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθεται η λίστα με τις 91 καταγραφές της βάσης NGA που θα χρησιμοποιηθούν. Ακόμα γίνεται περιγραφή της διαδικασίας με την οποία έγινε η απομόνωση του παλμού από την αρχική καταγραφή, με τη νέα μεθοδολογία που παρουσιάσανε στη δημοσίευση "Explicit determination of the pulse inherent in pulse-like ground motions" οι Πέτρος Μίμογλου, Ιωάννης Ψυχάρης και Ιωάννης Ταφλαμπάς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα τις απόκρισης της κατασκευής στις 91 αρχικές καταγραφές καθώς και στους 91 εξαγόμενους παλμούς σε πίνακες. Ακολουθεί σχηματική παρουσίαση των παραπάνω αποτελεσμάτων σε διαγράμματα, για την ευκολότερη αξιοποίηση τους.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται ένας σύντομος σχολιασμός των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο παράρτημα που ακολουθεί, στο τέλος της εργασίας, παρουσιάζεται για κάθε σεισμική καταγραφή η σύγκριση των χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης καθώς και των φασμάτων ταχύτητας και μετατόπισης της αρχικής καταγραφής και του παλμού.

Abstract

The objective of the present thesis is to examine the influence of the near-fault ground motion directivity pulse in the inelastic behavior of an existing 8-storey reinforced concrete building. Specifically, the response of the structure is examined in 91 NGA database ground motions. For the calculation of the final results, both the original motions and the pulse models exported from the original are used.

The thesis is separated into five chapters and an appendix.

More specifically, the first chapter is a theoretical introduction in the near-fault ground motions. There is a reference to their main characteristics and to the related codes.

In the second chapter, the structural model is presented. Firstly, there is a concise presentation of the examined existing building and a description of its simulation in the static program SAP2000. Afterwards, the most common inelastic analysis, Pushover analysis, is described, pointing out the capacity curve, through which the yield limits are determined.

In the third chapter, the list of the 91 ground motion of the NGA database is presented. Furthermore, there is a description of the process through which the pulse is exported from the original record, based on the paper "Explicit determination of the pulse inherent in pulse-like ground motions", presented by P. Mimoglou, I. Psycharis and I. Taflampas.

In the fourth chapter, the results of the inelastic response of the structure to the 91 original records, as well as the 91 exported pulses, are presented in table format. In addition, diagrams of all the results are presented for facilitating their use.

In the fifth and last chapter, a brief commentary of the results presented in the former chapter is summarized.

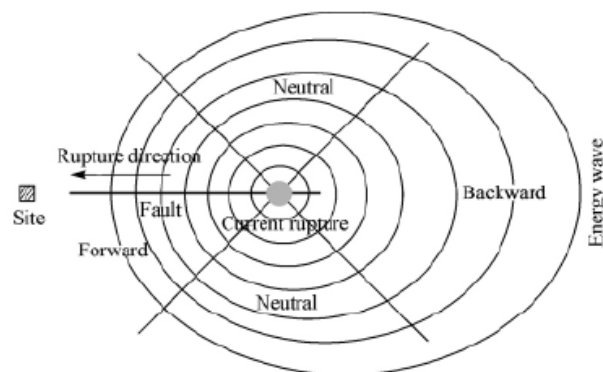
In the following appendix, a comparison of the ground acceleration, velocity and displacement time histories for every ground motion, as well as the velocity and displacement response spectra of the original record and the pulse are presented.

Κεφάλαιο 1 - Εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου

1.1 Χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

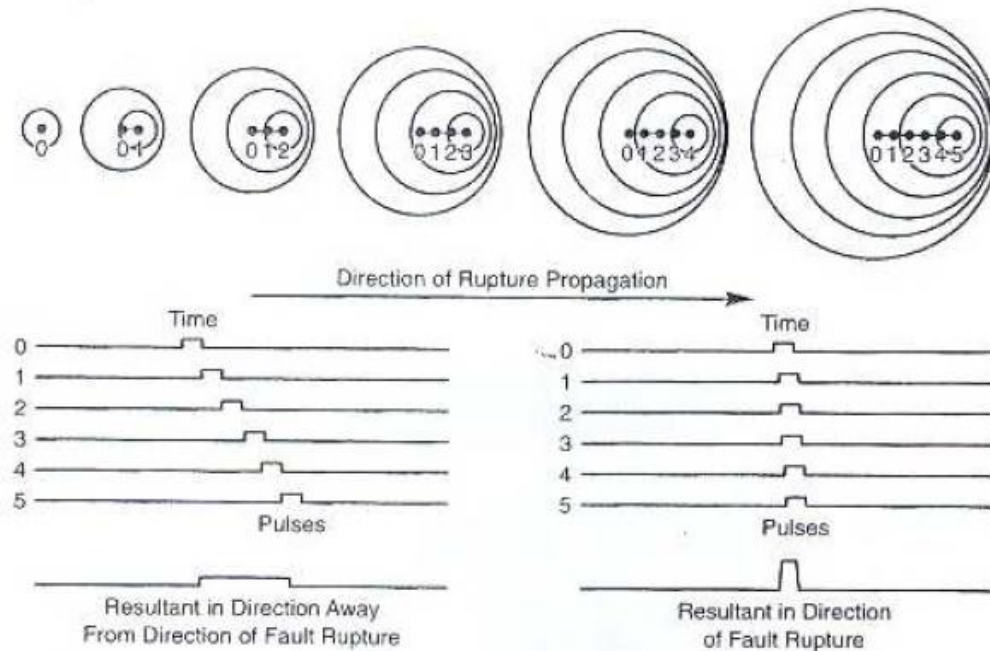
Αιτία ενός σεισμικού γεγονότος είναι η διάρρηξη στο επίπεδο του ρήγματος, η οποία επέρχεται όταν οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις ξεπεράσουν την φαινόμενη αντοχή του πετρώματος στην περιοχή της σεισμικής εστίας. Συχνά οι εδαφικές κινήσεις κοντά σε ένα ρήγμα είναι σε μεγάλο βαθμό διαφορετικές από εκείνες που βρίσκονται μακριά από τη σεισμική πηγή. Συγκεκριμένα η περιοχή γύρω από το ρήγμα που βρίσκεται σε απόσταση 20-60 χιλιόμετρα από αυτό, όπου και επικεντρώνονται οι σημαντικότερες βλάβες κατά τη διάρκεια του σεισμού, ονομάζεται *κοντινό πεδίο*. Τα χαρακτηριστικά των σεισμικών κινήσεων στο κοντινό πεδίο σχετίζονται με το μηχανισμό διάρρηξης, τη διεύθυνση διάρρηξης του ρήγματος σε σχέση με την εξεταζόμενη θέση, και τις πιθανές μόνιμες εδαφικές μετατοπίσεις ως αποτέλεσμα της ολίσθησης του ρήγματος. Το κύριο γνώρισμα αυτών των σεισμικών κινήσεων είναι η εμφάνιση ενός ή περισσοτέρων παλμών στις καταγραφές των επιταχύνσεων, των ταχυτήτων και των μετακινήσεων. Οι παλμοί αυτοί έχουν μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο και θεωρούνται υπεύθυνοι για τις καταστροφικές επιπτώσεις των σεισμών κοντινού πεδίου. Τα χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται κυρίως στα φαινόμενα της κατευθυντικότητας (*directivity effect*) και της μόνιμης μετατόπισης (*fling-step effect*).

Η κατευθυντικότητα ενός σεισμικού κύματος μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρώσο, οπίσω ή ουδέτερη κατευθυντικότητα ανάλογα με την κατεύθυνση της διάρρηξης του ρήγματος και την εξεταζόμενη θέση. Πρώσο κατευθυντικότητα (*forward directivity*) έχουμε όταν η διάρρηξη κατευθύνεται προς την εξεταζόμενη θέση. Εδώ εμφανίζονται ισχυροί παλμοί στην αρχή των σεισμικών κινήσεων, συνήθως κάθετα στο ρήγμα. Οι παλμοί αυτοί είναι μικρής διάρκειας και μεγάλου εύρους. Αντίστοιχα οπίσω κατευθυντικότητα (*backward directivity*) έχουμε όταν η διάρρηξη απομακρύνεται από την εξεταζόμενη θέση, όπου οι παλμοί είναι μεγάλης διάρκειας και μικρού εύρους. Ουδέτερη κατευθυντικότητα έχουμε όταν η εξεταζόμενη θέση βρίσκεται στο πλάι σε σχέση με τη διεύθυνση διάρρηξης του ρήγματος. Στο σχήμα 1.1 φαίνονται και σχηματικά οι περιοχές που επηρεάζονται από τους τρεις τύπους κατευθυντικότητας. Η θέση που σημειώνεται επηρεάζεται από πρόσω κατευθυντικότητα.



Σχήμα 1.1 - Φαινόμενο κατευθυντικότητας [12]

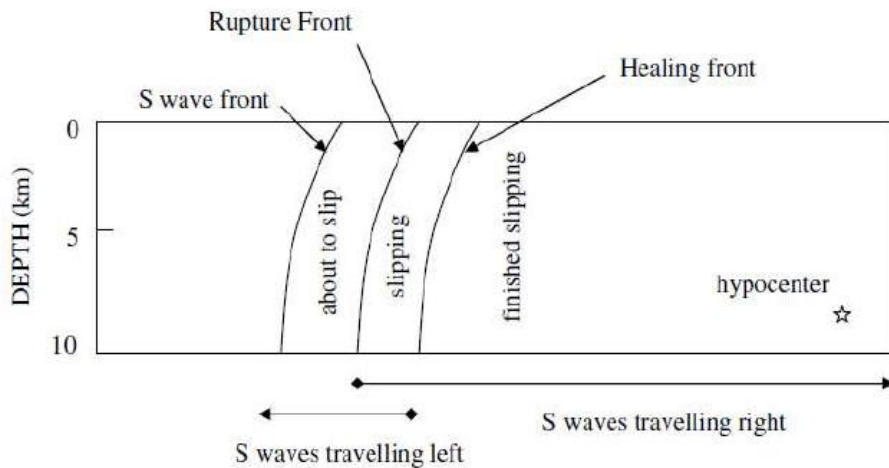
Η πρόσω κατευθυντικότητα, που είναι και η πλέον σημαντική, παρουσιάζει ένα φαινόμενο αντίστοιχο του φαινομένου Doppler καθώς η ρηγμάτωση κατευθύνεται από την πηγή προς την εξεταζόμενη θέση (σχήμα 1.2).



σχήμα 1.2 - επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης με βάση το φαινόμενο Doppler [13]

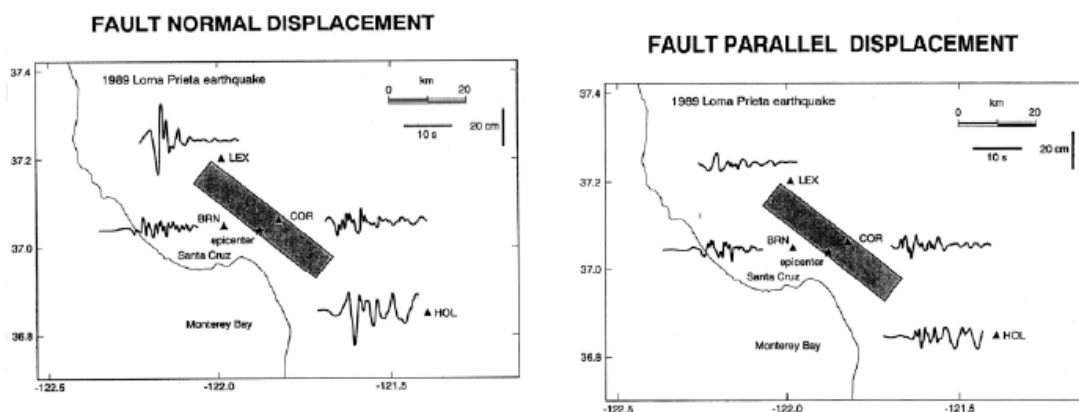
Συγκεκριμένα κατά τη διάδοση της διάρρηξης παράγονται παλμοί που διαδίδονται ως κύματα S, με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας της διάρρηξης. Όταν η ταχύτητα της διάρρηξης στο ρήγμα είναι κοντά (λίγο μικρότερη) στην ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων του βράχου (κύματα S) κοντά στην πηγή, η διάρρηξη διαδίδεται με κατεύθυνση προς την εξεταζόμενη θέση και η κατεύθυνση της ολίσθησης στο ρήγμα είναι επίσης προς την εξεταζόμενη περιοχή, τότε και εμφανίζεται το φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας.

Για έναν μηχανισμό οριζόντιας ολίσθησης (σχήμα 1.3), όπου το μέτωπο της διάρρηξης διαδίδεται μακριά από το υπόκεντρο και προς μία περιοχή, η ενέργεια συσσωρεύεται κοντά στο μέτωπο της διάρρηξης από κάθε διαδοχική ζώνη της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος. Το μέτωπο των κυμάτων φθάνει ως ένας μεγάλος παλμός της κίνησης (ο παλμός παρατηρείται στην αρχή της σεισμικής καταγραφής), ο οποίος χαρακτηρίζεται από μεγάλο πλάτος σε ενδιάμεσες μέχρι μεγάλες περιόδους και μικρή διάρκεια.



σχήμα 1.3 - επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για ρήγμα οριζόντιας ολισθήσεως. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με μια ταχύτητα που είναι περίπου το 80% της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων. Η εικόνα παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο του μετώπου της διάρρηξης σε μια δεδομένη στιγμή (Somerville et al. 1997a)

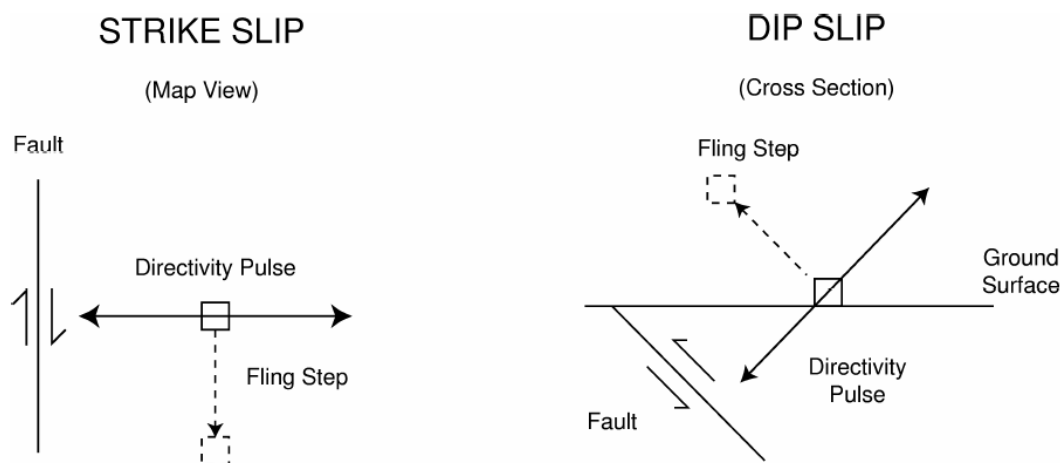
Τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις εδαφικές μετακινήσεις, κάθετα και παράλληλα στο ρήγμα, που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του σεισμού στο Loma Prieta το 1989 φαίνονται στο σχήμα 1.4. Το επίκεντρο του σεισμού είναι κοντά στο "Corralitos and Branciforte Drive", όπου οι οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις είναι μέτριες και στις κάθετες και στις παράλληλες με το ρήγμα συνιστώσες. Αυτό αποδίδεται στην οπίσω κατευθυντικότητα. Αντίθετα στα άκρα του ρήματος "Lexington Dam" και "Hollister", όπου έχουμε πρόσω κατευθυντικότητα, οι οριζόντιες εδαφικές κινήσεις στην κάθετη διεύθυνση του ρήματος είναι παλμικές και πολύ μεγαλύτερες από τις παράλληλες στο ρήγμα κινήσεις, οι οποίες είναι παρόμοιες με εκείνες στο επίκεντρο. Γενικά μεγάλες παλμικές κινήσεις εμφανίζονται μόνο στην κάθετη στο ρήγμα διεύθυνση και μόνο μακριά από το επίκεντρο.



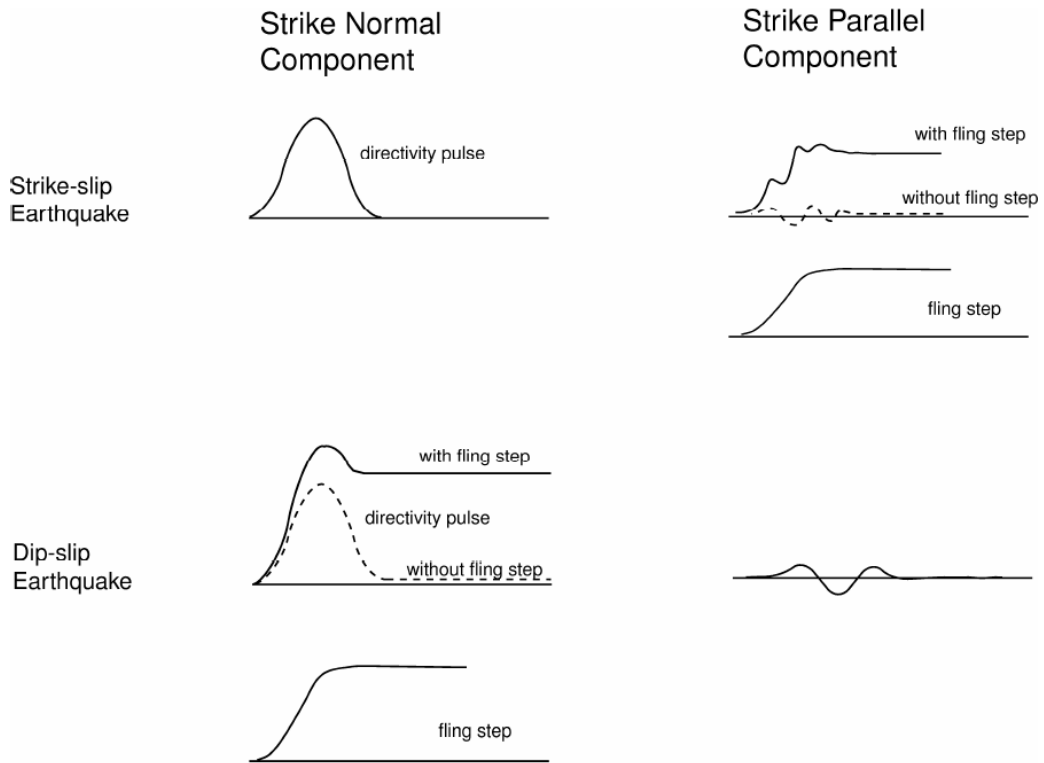
σχήμα 1.4 σύγκριση ιστοριών μετακινήσεων σεισμού κάθετα και παράλληλα στο ρήγμα για το σεισμό του Loma Prieta 1989 (EERI 1995)

Σε κάποιες περιοχές η εκδήλωση σεισμικών γεγονότων κοντινού πεδίου συνοδεύεται από το φαινόμενο της μόνιμης (παραμένουσας) μετατόπισης, δηλαδή από μόνιμες παραμορφώσεις του εδάφους στη διεύθυνση κατά την οποία μετακινείται το τέμαχος του ρήγματος, οι οποίες εμφανίζονται μετά από ένα χρονικό διάστημα αρκετών δευτερολέπτων καθώς η ολίσθηση του ρήγματος προχωρά. Σημαντικές παρατηρήσεις τέτοιων φαινομένων υπήρξαν στους σεισμούς του Izmit και του Chi-Chi το 1999. Συγκεκριμένα σε ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης (strike slip), όπου ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζεται στην κάθετη συνιστώσα, η παραμένουσα μετακίνηση εμφανίζεται στην παράλληλη συνιστώσα. Αντίθετα σε ρήγμα κατακόρυφης βύθισης (dip slip) τόσο η παραμένουσα μετακίνηση, όσο και ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζονται στην κάθετη συνιστώσα.

Οι προσανατολισμοί της παραμένουσας μετατόπισης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης παρουσιάζονται στο σχήμα 1.5, και οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων στις διευθύνσεις αυτές που οφείλονται στα δύο φαινόμενα φαίνονται στο σχήμα 1.6.



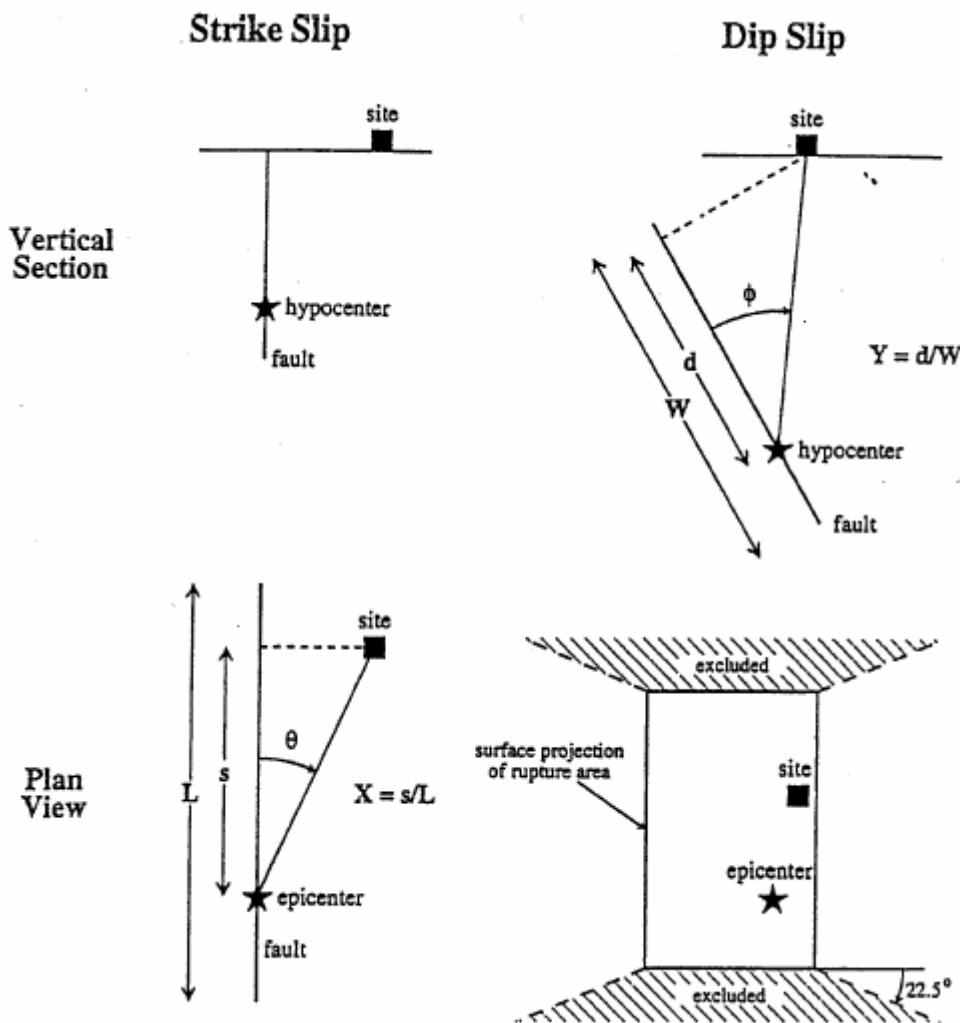
σχήμα 1.5 - σχηματική απεικόνιση που δείχνει τους προσανατολισμούς τη παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης [14]



σχήμα 1.6 - σχηματικά διαγράμματα των χρονοϊστοριών για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης. Η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας φαίνονται μαζί και χωριστά [14]

1.2 Παράμετροι περιγραφής εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

Οι Someverville et al 1997 εισήγαγαν τη χρήση ορισμένων παραμέτρων για την εξέταση του φαινομένου της κατευθυντικότητας ανάλογα με τη σχετική θέση της εξεταζόμενης θέσης και του ρήγματος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.7, η ισχύς του φαινομένου της κατευθυντικότητας εξαρτάται πρώτον από τη γωνία μεταξύ της διεύθυνσης διάρρηξης του ρήγματος και της διεύθυνσης διάδοσης των σεισμικών κυμάτων προς την εξεταζόμενη θέση (γωνία θ σε κάτοψη για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης-strike slip και γωνία ϕ σε τομή για ρήγματα κατακόρυφης βύθισης-dip slip) και δεύτερον από το λόγο της επιφάνειας διάρρηξης που βρίσκεται μεταξύ της εστίας και της εξεταζόμενης θέσης προς τη συνολική επιφάνεια του ρήγματος.

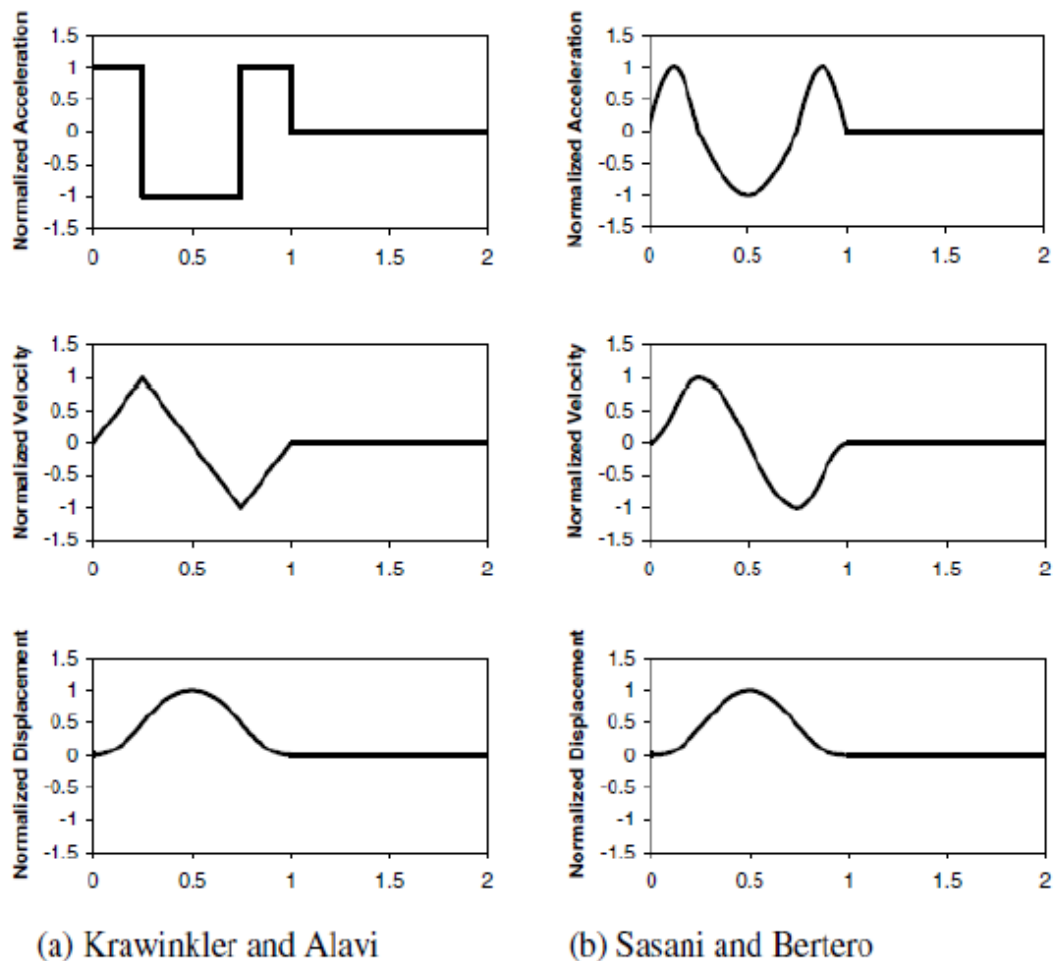


σχήμα 1.7 - παράμετροι που ορίζουν τις συνθήκες της κατευθυντικότητας της διάρρηξης όπως ορίστηκαν από τους Someverville et al 1997

Για μικρότερες γωνίες θ και ϕ , καθώς και για μεγαλύτερο λόγο εξεταζόμενης θέσης προς συνολικής επιφάνειας ρήγματος εμφανίζονται σημαντικότερα αποτελέσματα πρόσω κατευθυντικότητας.

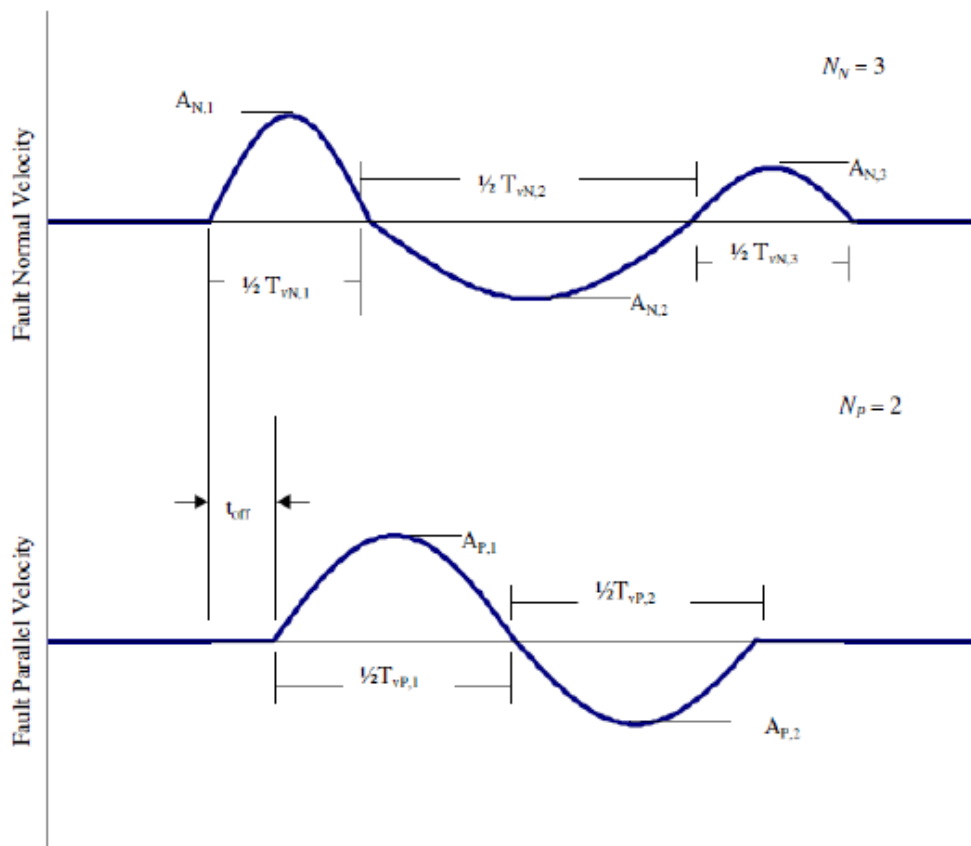
Ερευνητές όπως οι Somerville 1998 [8], Alavi and Krawinkler 2000 [9], Sasani and Bertero 2000 [20], Rodriguez-Marek 2000 [15], έχουν καταλήξει μετά από μελέτες πάνω στην απόκριση των κατασκευών σε σεισμούς κοντινού πεδίου, ότι η απεικόνιση των κινήσεων βάση χρονοϊστορίας είναι προτιμότερη από μία απεικόνιση βάση του φάσματος απόκρισης. Αυτό γιατί ένα φάσμα απόκρισης δεν μπορεί να περιγράψει σωστά την κατανομή έκλυσης ενέργειας που εμφανίζεται στην αρχή των σεισμικών κινήσεων σε σεισμούς κοντινού πεδίου.

Στη βιβλιογραφία, για τις κινήσεις κοντινού πεδίου, έχουν προταθεί διάφορες μορφές προσέγγισης των παλμών με σημαντικότερη αυτή των χρονοϊστοριών ταχύτητας. Μάλιστα μελέτες έχουν δείξει ότι απλουστευμένες απεικονίσεις του παλμού ταχύτητας μπορούν να "συλλάβουν" τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της απόκρισης κατασκευών σε κινήσεις κοντινού πεδίου. Μερικά παραδείγματα τέτοιων απλουστευμένων παλμών φαίνονται στο σχήμα 1.8.



σχήμα 1.8 - Απλουστευμένες κινήσεις παλμών από διάφορους ερευνητές [14]

Η πλέον απλή μορφή παλμού, η οποία μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τις παλμικές κινήσεις που εμφανίζονται στις σεισμικές κινήσεις κοντινού πεδίου, είναι ο ημιτονοειδής παλμός ταχύτητας. Για να οριστούν αυτές οι απλοποιημένες εδαφικές κινήσεις ημιτονικού παλμού εισάγονται κάποιες παράμετροι, οι οποίες έχουν φυσική σημασία και είναι οι εξής: ο αριθμός των παλμών μισού ημιτόνου (N_N), η περίοδος κάθε παλμού (T_N), το μέγιστο πλάτος ταλάντωσης σε κάθε παλμό (A) και η μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα (PHV ή PGV). Σε περίπτωση εξέτασης διαξονικής διέγερσης με τους παραπάνω παλμούς, απαιτείται και η χρονική διαφορά μεταξύ των δύο παλμικών διεγέρσεων. Στο σχήμα 1.9 παρουσιάζονται σχηματικά οι παραπάνω παράμετροι, και στον πίνακα 1.1 δίνονται συνοπτικά οι ορισμοί τους.



σχήμα 1.9 - Παράμετροι περιγραφής ημιτονοειδών παλμών στις διευθύνσεις κάθετα και παράλληλα στο ρήγμα [15]

| Parameter | Abbreviation | Methodology to obtain parameter |
|---|--------------|--|
| Number of significant pulses. | N | Number of half-cycle pulses in the velocity-time history with amplitudes at least 50% of the peak ground velocity of the record. |
| Pulse period. | $T_{v,i}$ | For each half sine pulse, $T_{v,i} = 2(t_2 - t_1)$, where t_1 and t_2 are either the zero-crossing time, or the time at which velocity is equal to 10% of the peak velocity for the pulse if this time is significantly different than the zero crossing time. T_v corresponding to the pulse with maximum amplitude is the overall representative velocity pulse period. |
| Predominant period from pseudo-velocity response spectra. | $T_{p,v}$ | Period corresponding to a clear and global peak in the pseudo-velocity response spectra at 5% damping. |
| Pulse amplitude. | A_i | For each half sine pulse, the peak ground velocity in the time interval $[t_1, t_2]$. |
| Peak ground velocity | PHV | Maximum velocity, defined by the maximum value of A_i . Note, however, that in very few exceptions, the maximum value of A_i in the fault parallel direction does not occur concurrently with the fault normal pulse. |
| Ratio of fault parallel to fault normal amplitude | PHV_{PN} | Defined by the ratio of maximum A_P divided by maximum A_N , where the subscripts P and N denote fault-parallel and fault-normal motions respectively. |
| Time delay between fault normal and fault parallel pulse | t_{DT} | Time of initiation of fault parallel pulse minus the time of initiation of fault normal pulse. |

πίνακας 1.1 - Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις απλοποιημένες εδαφικές κινήσεις του ημιτονικού παλμού [15]

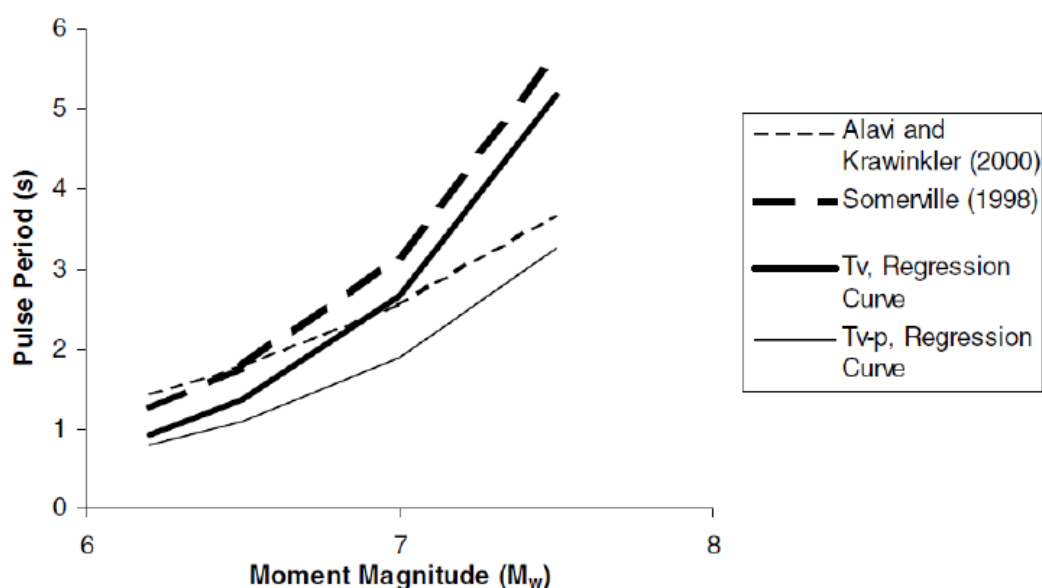
Ο αριθμός των παλμών μισού ημιτόνου (αριθμός σημαντικών παλμών N) που περιέχει μια σεισμική κίνηση ορίζεται ως ο αριθμός παλμών μισού ημιτόνου που έχουν μέγιστο πλάτος τουλάχιστον ίσο με το μισό της τιμής της μέγιστης ταχύτητας της σεισμικής καταγραφής. Ο Somerville [8] πρότεινε ότι ο αριθμός των παλμών μισού ημιτόνου στη χρονοϊστορία της ταχύτητας θα μπορούσε να συνδεθεί με τον αριθμό των ασυνεχειών σε ένα ρήγμα, ο οποίος διαδοχικά συνδέεται με τη διανομή της ολίσθησης ρήγματος. Αυτό το φαινόμενο είναι δύσκολο να εκτιμηθεί εκ των προτέρων. Προς το παρόν δεν υπάρχει κανένα διαθέσιμο μοντέλο για την πρόβλεψη του αριθμού των σημαντικών παλμών στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Συνήθως ο αριθμός των σημαντικών παλμών κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1 και 3, με την τιμή 2 να είναι η πιο συνηθισμένη, δηλαδή να εμφανίζεται ένας μόνο κύκλος παλμικής κίνησης.

Η περίοδος παλμού μισού ημιτόνου T_v ορίζεται ως το διπλάσιο του χρονικού διαστήματος στα άκρα του οποίου οι ταχύτητες μηδενίζονται ή έχουν τιμή ίση με το 10% της μέγιστης ταχύτητας του παλμού αυτού. Κάποιοι ερευνητές χρησιμοποιούν ως προσέγγιση της παραπάνω περιόδου την περίοδο T_{v-p} , που αντιστοιχεί στο μέγιστο του φάσματος απόκρισης ταχυτήτων για απόσβεση 5%, κάτι που μπορεί να υπολογιστεί με μεγαλύτερη σαφήνεια. Οι δύο αυτές περιόδους δεν ταυτίζονται

συνήθως και οι Rodriguez-Marek [15] υπολόγισαν ότι ο λόγος $\frac{T_v}{T_{v-p}}$ έχει μέση τιμή 0.84 και τυπική απόκλιση 0.28.

Στη βιβλιογραφία έχουν διατυπωθεί άλλες πιο σύνθετες μέθοδοι εντοπισμού παλμών που ίσως προσφέρουν καλύτερα αποτελέσματα στις περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των παλμών δεν είναι ευδιάκριτα. Για παράδειγμα μια μέθοδος που προτείνεται από τους Krawinkler et all [18] βασίζεται στα αποτελέσματα των καταγραφών σε πολυβάθμια συστήματα και συγκεκριμένα υπολογίζεται η περίοδος του παλμού που ελαχιστοποιεί τις διαφορές στα drifts των ορόφων σε σχέση με τις πραγματικές καταγραφές. Άλλες μέθοδοι απαιτούν την ανάλυση της σεισμικής κίνησης σε κυματομορφές, οπότε προκύπτουν οι σημαντικοί παλμοί (Baker [5]).

Προσεγγίσεις για την περίοδο του παλμού χρησιμοποιώντας σεισμολογικές μεταβλητές έχουν διατυπώσει αρκετοί ερευνητές όπως οι Somerville (1998) [8], Somerville et all (1999) [16], Alavi and Krawinkler (2000) [9], Rodriguez-Marek (2000) [15], Baker(2007) [5]. Η σεισμολογική μεταβλητή που χρησιμοποιείται κυρίως είναι το μέγεθος M_w του σεισμικού γεγονότος, καθώς από αυτό εξαρτάται η διάρκεια των επιμέρους διαρρήξεων του ρήγματος, η οποία με τη σειρά της καθορίζει την περίοδο των παλμών, σύμφωνα με τους Somerville 1998 [8] και Somerville et all 2003 [17]. Στο σχήμα 1.10 παρουσιάζονται κάποιες από τις σχέσεις που έχουν διατυπωθεί.



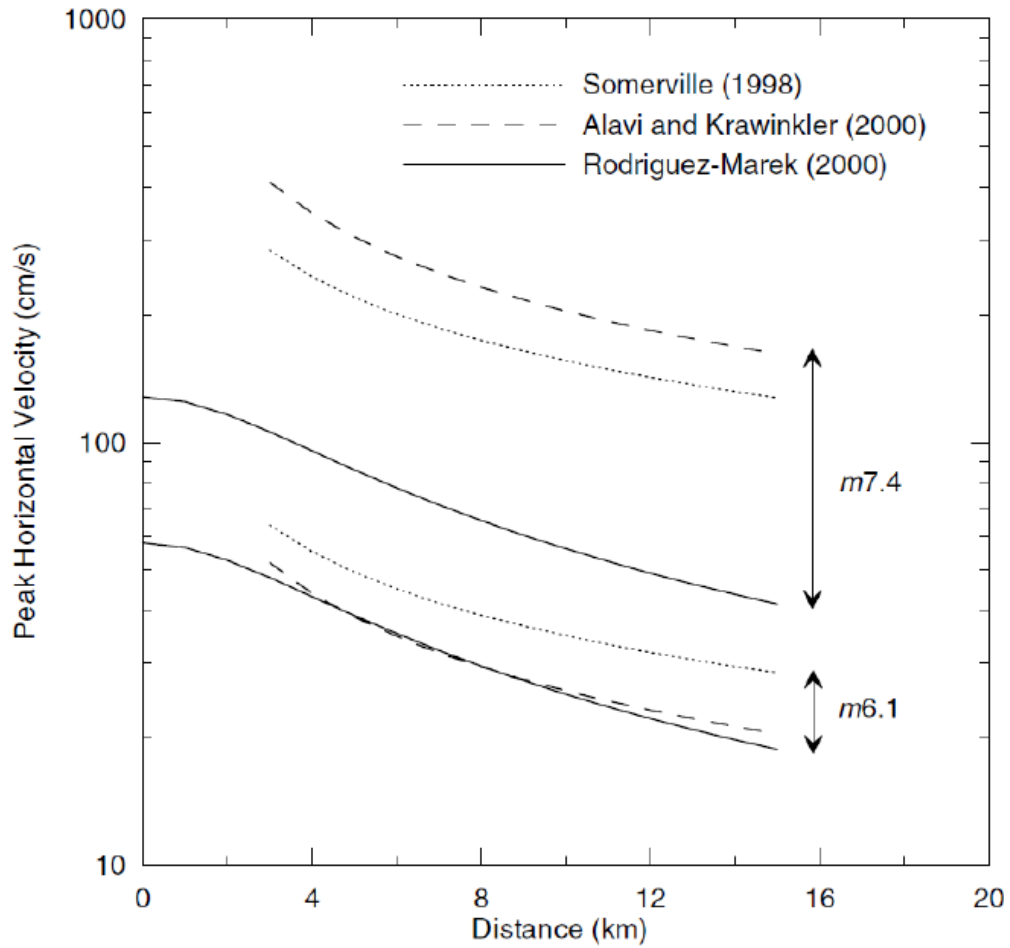
σχήμα 1.10 – σύγκριση διάφορων μοντέλων για την περίοδο του παλμού

Η τιμή της ταχύτητα PHV εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του σεισμού, την απόσταση και τις εδαφικές συνθήκες στην εξεταζόμενη θέση και είναι μια καλή προσέγγιση για τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα των παλμών (Krawinkler et all 2005 [18]). Ο Somerville (1998) καθώς και οι Alavi and Krawinkler (2000) πρότειναν τη χρήση γραμμικών σχέσεων μεταξύ του λογάριθμου της PHV, του μεγέθους του σεισμού m και του λογάριθμου της απόστασης r της εξεταζόμενης θέσης από την πηγή:

$$\ln(\text{PHV}) = -2.31 + 1.15m - 0.5\ln(r) \quad , \text{ για } r > 3\text{km} \quad (\text{Somerville [8]})$$

$$\ln(\text{PHV}) = -5.11 + 1.59m - 0.58\ln(r) \quad (\text{Alavi and Krawinkler [9]})$$

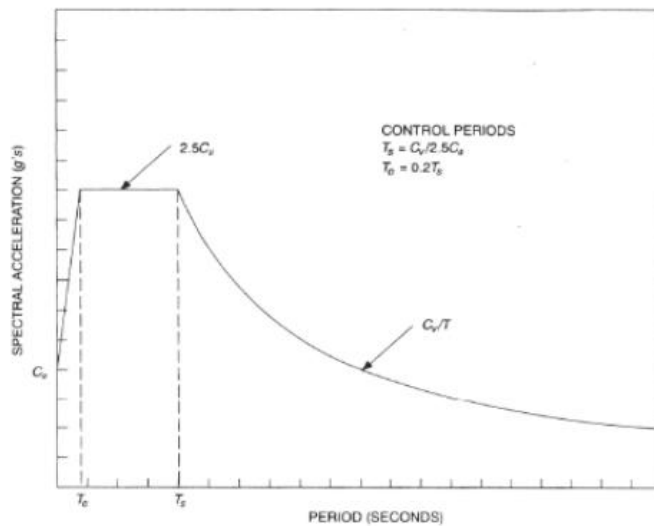
Οι παραπάνω σχέσεις παρουσιάζονται σχηματικά παρακάτω (σχήμα 1.11).



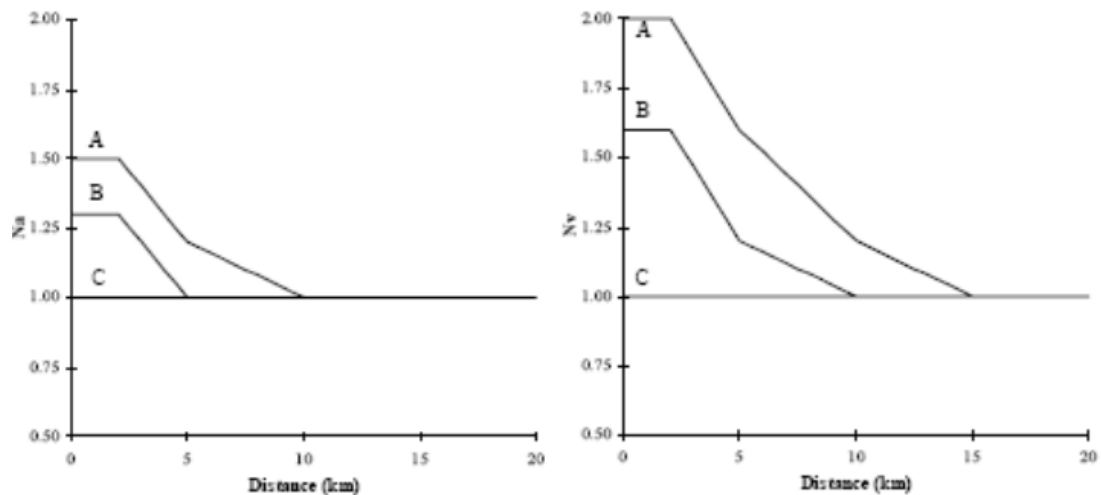
σχήμα 1.11 σύγκριση μοντέλων προσδιορισμού μέγιστης εδαφικής ταχύτητας

1.3 Κανονισμοί που σχετίζονται με σεισμούς κοντινού πεδίου

Τα τελευταία χρόνια οι διάφοροι αντισεισμικοί κανονισμοί άρχισαν να λαμβάνουν υπόψη τους τα φαινόμενα που σχετίζονται με τους σεισμούς κοντινού πεδίου. Συγκεκριμένα πρώτος ο αμερικάνικος κανονισμός Uniform Building Code UBC 1997 έλαβε υπόψη τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης στο κοντινό πεδίο. Αρχικά το ελαστικό φάσμα των επιταχύνσεων (σχήμα 1.10) στον UBC 1997 καθοριζόταν από τις παραμέτρους C_a και C_v στην περιοχή μικρών και μεγάλων περιόδων. Για να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα κοντινού πεδίου οι παράμετροι αυτοί αντικαταστάθηκαν από τις $N_a * C_a$ και $N_v * C_v$, για τοποθεσίες σε απόσταση μικρότερη από 15km από ενεργό ρήγμα, ικανό να προκαλέσει σεισμό μεγέθους μεγαλύτερο από 6.5, σε σεισμική ζώνη 4. Οι συντελεστές N_a και N_v εξαρτώνται από την απόσταση από το ρήγμα (σχήμα 1.11) και από τον τύπο του ρήγματος (πίνακας 1.2).



σχήμα 1.10 - Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων UBC 1997



σχήμα 1.11 - διορθωτικοί συντελεστές N_a , N_v για τους τρεις τύπους ρήγματος σύμφωνα με τον UBC 1997

| Seismic Source Type | Seismic Source Description | Seismic Source Definition | |
|---------------------|--|---------------------------|-------------------------|
| | | Max. Moment Magnitude, M | Slip Rate, SR (mm/year) |
| A | Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity | $M \geq 7.0$ | $SR \geq 5$ |
| B | All Faults other than Types A and C | $M \geq 7.0$ | $SR < 5$ |
| | | $M < 7.0$ | $SR > 2$ |
| C | Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity | $M \geq 6.5$ | $SR < 2$ |
| | | $M < 6.5$ | $SR \leq 2$ |

πίνακας 1.2 - τύπου ρήγματος σύμφωνα με τον UBC 1997

Αντίστοιχα με τον Αμερικάνικο Κανονισμό, η Ιαπωνία και η Ταϊβάν αναθεώρησαν τους εθνικούς τους κανονισμούς σχεδιασμού ώστε να αυξάνουν τη θωράκιση των δομημάτων στην περιοχή κοντινού πεδίου, μετά από τα καταστροφικά αποτελέσματα των σεισμών στο Kobe το 1995 και στο Chi-Chi το 1999 αντίστοιχα. Ακόμα στην Κίνα ορίστηκε απόσταση ασφαλείας από ρήγμα για την προστασία των κατασκευών στα πλαίσια του κανονισμού "Code for Seismic Design of Buildings GB50011-2001"

Στο ευρωπαϊκό κανονισμό (Ευρωκώδικας 8), σε αναλογία και με τον παλαιότερο ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό ΕΑΚ2000, ορίζεται ότι κτήρια σπουδαιότητας II, III, IV (πίνακας 1.3) δεν θα πρέπει να κατασκευάζονται σε περιοχές άμεσα γειτνιάζουσες με επισήμως χαρακτηρισμένα ενεργά τεκτονικά ρήγματα. Για σημαντικούς φορείς κατασκευαζόμενους κοντά σε ενδεχομένως ενεργά ρήγματα σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας θα πρέπει να διεξάγονται ειδικές γεωλογικές έρευνες. Ορίζεται, ακόμα, ότι στην περίπτωση κτηρίου σπουδαιότητας IV, σε απόσταση μικρότερη από 15km από το πλησιέστερο πιθανό ενεργό ρήγμα, ικανό να δώσει μέγεθος σεισμού μεγαλύτερο από $M_s = 6.5$ θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά τοπικά φάσματα που λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες της σεισμικής διέγερσης. τα φάσματα αυτά δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερα από τα κανονιστικά φάσματα στην εν λόγω θέση ενδιαφέροντος.

| Importance class | Buildings |
|------------------|--|
| I | Buildings of minor importance for public safety, e.g. agricultural buildings, etc |
| II | Ordinary buildings, not belonging in the other categories |
| III | Buildings whose seismic resistance is of importance in the view of the consequences associated with the collapse, e.g. schools, assembly halls, cultural institutions etc. |
| IV | Buildings whose integrity during earthquakes is of vital importance for civil protection, e.g. hospitals, fire station, power plants, etc. |

πίνακας 1.3 κατηγορίες σπουδαιότητας κατά τον Ευρωκώδικα 8

Σε συστήματα μόνωσης με ισοδύναμη γραμμική αποσβενόμενη συμπεριφορά ορίζεται ως προϋπόθεση εφαρμογής της απλοποιημένης μεθόδου, η απόσταση από το πλησιέστερο πιθανό ενεργό ρήγμα μεγέθους μεγαλύτερου του 6.5 να είναι μεγαλύτερη από 15km.

Τέλος στην περίπτωση των γεφυρών δίνεται μεγαλύτερη έμφαση, καθώς μπορεί να διασχίζουν πιθανά ενεργά τεκτονικά ρήγματα με ασυνέχειες μετακινήσεων εδάφους, οπότε ορίζεται ότι πρέπει να πραγματοποιούνται ειδικές μελέτες με ειδικά τοπικά φάσματα, όπου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η κατακόρυφη συνιστώσα της εδαφικής κίνησης, αλλά και η πιθανή χωρική μεταβολή της σεισμικής μετακίνησης εδάφους.

Ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός ΕΑΚ 2000 χωρίζει τα εδάφη σε 4 κατηγορίες οι οποίες φαίνονται παρακάτω στον πίνακα 1.4. Χαρακτηρίζει ως εδάφη Χ τα εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. Αναφέρει (παράγραφος 2.3.6) ότι η δόμηση μόνιμων έργων σε έδαφος κατηγορίας Χ επιτρέπεται μόνο ύστερα από "λεπτομερές έρευνες και μελέτες, εφόσον ληφθούν κατάλληλα μέτρα βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους, και αντιμετωπιστούν με ειδικό τρόπο τα προβλήματα που υπάρχουν". Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο δεν ορίζεται φάσμα σχεδιασμού σε έδαφος κατηγορίας Χ.

Ακόμα στον ΕΑΚ αναφέρεται ότι εν γένει δεν επιτρέπεται η δόμηση κτισμάτων σπουδαιότητας Σ2, Σ3 και Σ4 στην άμεση γειτονιά ενεργών σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων. Ο χαρακτηρισμός των ρηγμάτων ως σεισμικά ενεργών γίνεται με βάση σειсмоϊστορικά και σεισμοτεκτονικά δεδομένα και πρέπει να γίνεται μια ειδική μελέτη πάνω σε αυτό το θέμα. Όσον αφορά τη σπουδαιότητα των κτηρίων κατά τον ΕΑΚ ο διαχωρισμός φαίνεται στον πίνακα 1.5, και είναι αντίστοιχος του διαχωρισμού που κάνει ο Ευρωκώδικας (πίνακας 1.3).

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες συντρέχουν ειδικοί λόγοι δόμησης στην άμεση γειτονιά σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων ου θεωρούνται ενεργά, ο ΕΑΚ ορίζει ότι η δόμηση θα γίνεται μόνο ύστερα από ειδική σεισμική-γεωλογική-στατική μελέτη και η σεισμική δράση σχεδιασμού θα λαμβάνεται αυξημένη τουλάχιστον κατά 25%.

| Κατηγορία | Περιγραφή |
|-----------|--|
| A | <p>Βραχώδης ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση</p> <p>Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ</p> <p>Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.</p> |
| B | <p>Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη.</p> <p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ, ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.</p> <p>Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.</p> |
| Γ | <p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικά πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ, ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.</p> <p>Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ</p> |
| Δ | <p>Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότητας συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.</p> |
| Χ | <p>Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων)</p> <p>Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα</p> <p>Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων</p> <p>Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής</p> <p>Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη</p> <p>Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση</p> |

πίνακας 1.4 - κατηγορίες εδάφους ΕΑΚ200

| Κατηγορία σπουδαιότητας | Κτήρια |
|-------------------------|---|
| Σ1 | Κτήρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, πχ αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι κτλ |
| Σ2 | Συνήθη κτήρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτήρια, ξενοδοχεία κτλ. |
| Σ3 | Εκπαιδευτικά κτήρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία βρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτήρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (πχ κτήρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κτλ |
| Σ4 | Κτήρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά τη διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτήρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτήρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών Κτήρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (πχ. μουσεία κτλ) |

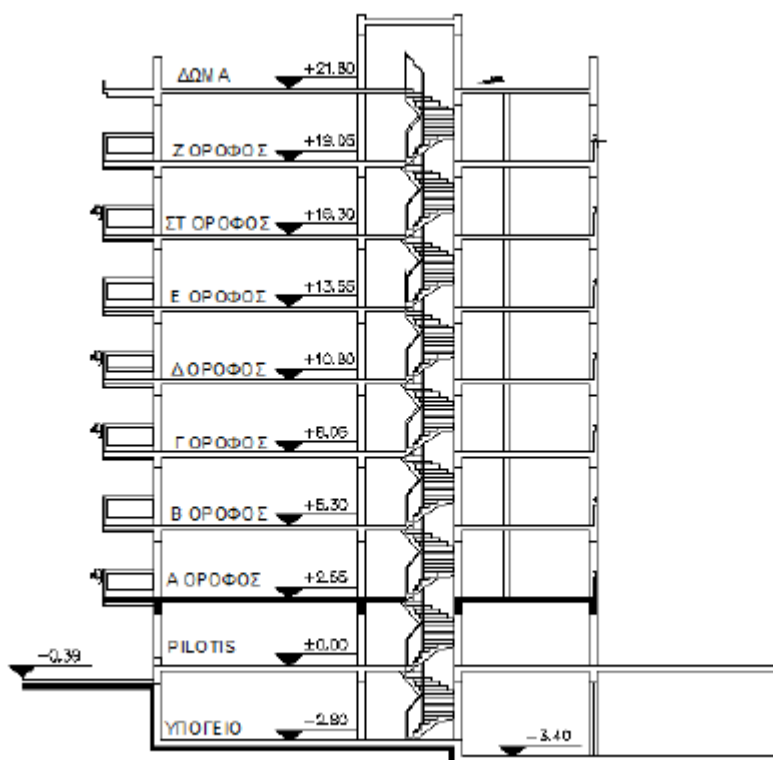
πίνακας 1.5 κατηγορίες σπουδαιότητας κτηρίων ΕΑΚ2000

Κεφάλαιο 2 - Περιγραφή και προσομοίωση του προς ανάλυση φορέα, ανελαστική ανάλυση

2.1 Περιγραφή του φορέα

Ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα πραγματικό κτήριο που κατασκευάστηκε το 2007 στη Νέα Σμύρνη Αττικής και αποτέλεσε αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας 'Διερεύνηση της ανελαστικής συμπεριφοράς οκτώροφου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα με τη μέθοδο της προσομοιωτικής δυναμικής ανάλυσης σε σεισμούς κοντινού πεδίου', του πολιτικού μηχανικού Απόστολου Αγγελάτου.

Το κτήριο αυτό αποτελείται από οκτώ (8) ορόφους, δηλαδή οκτώ πλάκες οροφής, υπόγειο και δώμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1. το θεωρητικό ύψος ορόφου είναι 2.75m, ενώ στη στάθμη της pilotis είναι 2.55m, με ενιαίο πάχος πλάκας για όλους τους ορόφους ίσο με 20cm. Η κάτοψη του κτιρίου έχει ορθογωνικό σχήμα διαστάσεων 16.02x16.70m, ενώ του δώματος είναι 3.90x5.80m. Τέλος υπάρχουν στην μπροστινή και στην πίσω όψη συνολικά 5 εξώστες ανά όροφο μήκους 1.40 με 2.30m.



σχήμα 2.1 - τομή του εξεταζόμενου κτιρίου

Ο φέρων οργανισμός κατασκευάστηκε από οπλισμένο σκυρόδεμα και ο οργανισμός πλήρωσης από οπτοπλινθοδομές. Η στατική συμπεριφορά του κτιρίου είναι αυτή του πλαισιωτού φορέα (διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά πολλών ανοιγμάτων), αποτελούμενου από οριζόντιες πλάκες μονολιθικώς συνδεδεμένες με δοκούς (πλακοδοκοί) και υποστυλώματα (δεν

υπάρχουν τοιχώματα). Η θεμελίωση του κτιρίου έγινε με το σύστημα των πεδιλοδοκών μορφής ανεστραμμένου "ταυ".

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι σκυρόδεμα ποιότητας C20/25, και για τα σίδερα (τόσο του κατακόρυφου σπλισμού όσο και στους συνδετήρες) χάλυβας ποιότητας S500.

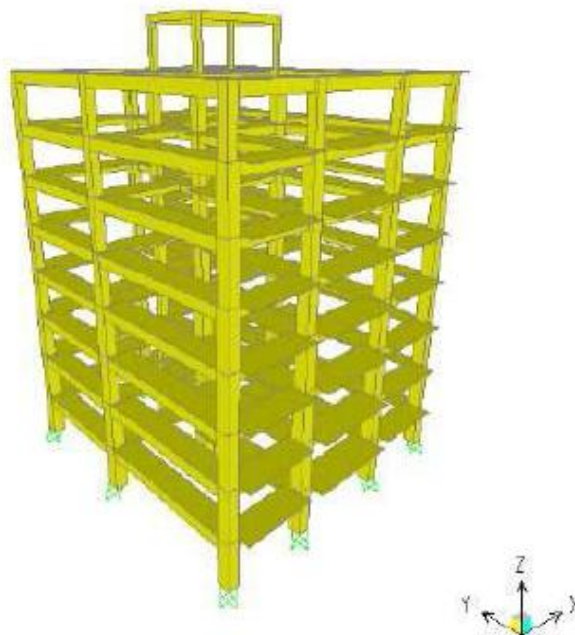
Τέλος, ακολουθεί πίνακας με τα φορτία κάθε στοιχείου της οικοδομής.

| Στοιχείο | Φορτίο |
|--------------------------|-----------------------|
| Ίδιον βάρος σκυροδέματος | 25 kN/m ³ |
| Τοίχοι μπατικοί | 9 kN/m |
| Τοίχοι δρομικοί | 5 kN/m |
| Επιστρώσεις γενικώς | 2 kN/m ² |
| Κινητά φορτία πλακών | 2 kN/m ² |
| Κινητά φορτία εξωστών | 5 kN/m ² |
| Κινητά φορτία κλιμάκων | 3.5 kN/m ² |
| Κινητά φορτία ισογείου | 5 kN/m ² |

πίνακας 2.1 - φορτία σχεδιασμού

2.2 Προσομοίωση του φορέα

Η προσομοίωση του εξεταζόμενου κτιρίου έγινε με τη χρήση του προγράμματος SAP200 v15.2.1 Ultimate και χρησιμοποιήθηκε ο πλαισιωτός φορέας (frame building) που φαίνεται στο σχήμα 2.2, ο οποίος αποτελείται μόνο από πλαίσια και στις δύο διευθύνσεις.



σχήμα 2.2 - τρισδιάστατο προσομοίωμα του πλαισιωτού φορέα (από SAP)

Ο φορέας προσομοιώθηκε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Το προσομοίωμα είναι χωρικό και περιλαμβάνει το σύνολο των γραμμικών δομικών στοιχείων, τα οποία θεωρούνται όλα πρωτεύοντα (στοιχεία που συμβάλουν στην αντοχή και την ευστάθεια της κατασκευής).

Η προσομοίωση έγινε με τη χρήση ραβδωτών πεπερασμένων στοιχείων και οι κόμβοι των πλαισίων θεωρήθηκαν ως απολύτως στερεά τμήματα (άκαμπτες απολήξεις).

Η πλάκα σε κάθε στάθμη ορόφου θεωρείται απαραμόρφωτη στο επίπεδο της και γίνεται η παραδοχή της διαφραγματικής λειτουργίας της πλάκας, οπότε και η μάζα και η ροπή αδράνειας κάθε ορόφου μπορούν να θεωρηθούν συγκεντρωμένες περί τον κατακόρυφο άξονα στο κέντρο βάρους του ορόφου.

Όσον αφορά τη στήριξη του φορέα, θεωρείται πακτωμένος στο έδαφος στη στάθμη του ισογείου, ενώ το υπόγειο και η θεμελίωση αγνοούνται, χωρίς να υπάρχει αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής.

Τέλος, ο φορέας εξετάστηκε σε οριζόντιες δράσεις μόνο κατά τη μία διεύθυνση και συγκεκριμένα κατά τη διεύθυνση y , που είναι και η διεύθυνση συμμετρίας του φορέα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2. Οπότε δεχόμαστε τρεις ελευθερίες κίνησης, δύο μεταφορικές και τις διευθύνσεις y και z και μια στροφική περί τον άξονα x .

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα (EC8-3) η τιμές των αντοχών που χρησιμοποιήθηκαν για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα προέρχονται από τους εξής γνωστούς τύπους:

$$\begin{aligned} \text{μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος} & f_{cm}=f_{ck}+8 & (\text{MPa}) \\ \text{μέση θλιπτική αντοχή χάλυβα} & f_{ym}=1.15*f_{yk} \end{aligned}$$

όπου f_{ck} και f_{yk} η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και του χάλυβα αντίστοιχα. Στην περίπτωση του εξεταζόμενου κτιρίου είναι $f_{cm}=28$ MPa και $f_{ym}=575$ MPa.

Στις πλάκες του φορέα εφαρμόζονται τα μόνιμα και κινητά φορτία του πίνακα 2.1. Αυτά συνδυάζονται με βάση το συνδυασμό G+0.3Q.

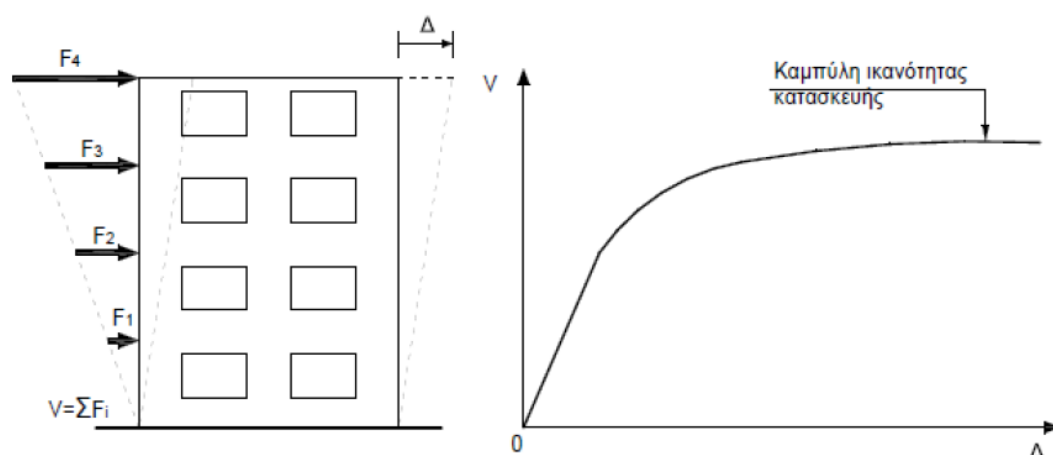
Οι δοκοί φορτίζονται με το ίδιο βάρος τους, καθώς και με τα φορτία των πλακών που μεταφέρονται σε αυτές. Πιο συγκεκριμένα, οι δοκοί ως μονολιθικώς συνδεδεμένες με τις πλάκες λειτουργούν ως ένα σύνθετο μέλος (πλακοδοκός) στο οποίο η πλάκα συνεργάζεται και συμμετέχει στην κάμψη της δοκού. Το συνεργαζόμενο πλάτος των πλακοδοκών του εξεταζόμενου φορέα καθώς και οι πρόσθετοι οπλισμοί στηρίξεων των δοκών λόγω των πλακών έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με τους ευρωκώδικες EC2 και EC8.

2.3 Ανελαστική στατική ανάλυση του εξεταζόμενου φορέα

2.3.1 Ανάλυση Pushover, γενικά

Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή της ανελαστικής ανάλυσης των κατασκευών, και η οποία προτείνεται από πολλούς σύγχρονους κανονισμούς (Ευρωκώδικας 8, ΚΑΝ.ΕΠΕ., FEMA 356, ATC-40) είναι η ανελαστική, μη-γραμμική στατική ανάλυση, πιο γνωστή ως ανάλυση *Pushover*.

Μέσω αυτής της ανάλυσης προκύπτει η καμπύλη ικανότητας (*capacity curve*) της κατασκευής, η οποία, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3, απεικονίζει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης κορυφής. Συγκεκριμένα η ανάλυση *Pushover* χρησιμοποιεί μια σειρά από διαδοχικές ελαστικές αναλύσεις με σταδιακή αύξηση της οριζόντιας φόρτισης (η οποία σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι η τέμνουσα βάσης του κτιρίου) κατά τη φορά μιας διεύθυνσης, καθεμιά από τις οποίες αποτελεί ένα ξεχωριστό υπολογιστικό βήμα. Σε κάθε βήμα υπολογίζεται η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του κτιρίου (το δώμα ορόφου σε εσοχή δεν αποτελεί την κορυφή του κτιρίου). Τα αποτελέσματα κάθε ανάλυσης προστίθενται στα αποτελέσματα της προηγούμενης, με συνέπεια τη σταδιακή διαρροή των μελών της κατασκευής (δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων) έως ότου τελικά προκύψει ο μηχανισμός κατάρρευσης, τότε δηλαδή που η κατασκευή δεν θα έχει πια την ικανότητα να φέρει κατακόρυφα φορτία. Μέσω αυτής της διαδικασίας μπορεί και να προσεγγιστεί το συνολικό διάγραμμα τέμνουσας βάσης V και μετακίνησης της κορυφής της κατασκευής Δ , δηλαδή η τελική μορφή της καμπύλης ικανότητας. Η μέγιστη μετακίνηση της οροφής, όπως προκύπτει από την καμπύλη ικανότητας, είναι ενδεικτική για μια συγκεκριμένη παραμορφωσιακή κατάσταση της εξεταζόμενης κατασκευής. Τα φέροντα στοιχεία της κατασκευής θα πρέπει στη δεδομένη αυτή παραμορφωσιακή κατάσταση να παρουσιάζουν ανεκτά επίπεδα βλαβών.



σχήμα 2.3 - κατασκευή καμπύλης ικανότητας του κτιρίου

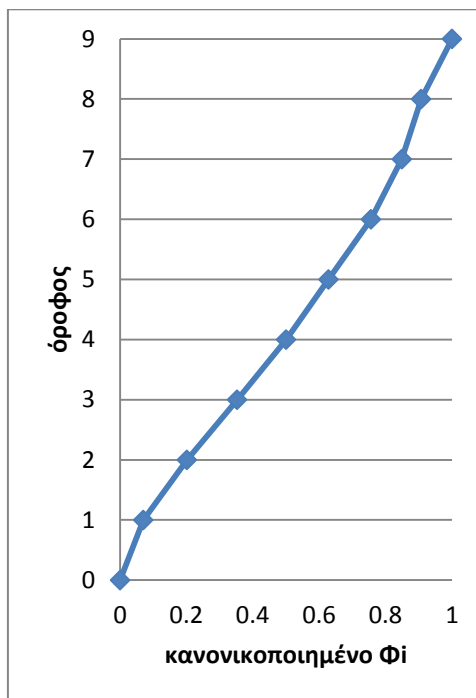
Με τη βοήθεια της καμπύλης αυτής γίνεται και η εξαγωγή του συντελεστή πλαστιμότητας του κτιρίου. Ακόμα από την ανάλυση *pushover* γίνεται εκτίμηση των αναμενόμενων πλαστικών μηχανισμών κατάρρευσης καθώς και προσδιορισμός των σημείων εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων.

2.3.2 Εφαρμογή στον εξεταζόμενο φορέα

Με τη χρήση του προγράμματος SSP2000 έγινε η ανάλυση Pushover στο εξεταζόμενο κτήριο με σκοπό τον υπολογισμό της δύναμης και της μετακίνησης διαρροής της κατασκευής. Ως κόμβος ελέγχου χρησιμοποιήθηκε ο κόμβος 102, που βρίσκεται στην κορυφή του κτιρίου (όχι στο δώμα) και όσο πιο κοντά γίνεται στον άξονα συμμετρίας του ορόφου. Ο υπολογισμός αυτός θα γίνει μέσω του φάσματος ικανότητας, μορφής ADRS (acceleration-displacement response spectrum), του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

Η ανάλυση του φορέα γίνεται κατά τη διεύθυνση συμμετρίας γ , όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οπότε και τα αποτελέσματα θα αφορούν στους βαθμούς ελευθερίας που είναι ενεργοί κατά τη διεύθυνση γ . Ακόμα για όλες τις ιδιομορφές το ποσοστό απόσβεσης είναι $\xi=5\%$.

Οι δύο πρώτες σημαντικές ιδιομορφές, μεταφορικές κατά γ , έχουν ιδιοπερίοδο $T_1=1.31\text{sec}$ και $T_2=0.44\text{sec}$ με ποσοστό συμμετοχής της δρώσας ιδιομορφικής μάζας 76% και 11% αντίστοιχα. Το άθροισμα των δύο αυτών δρωσών ιδιομορφικών μαζών φθάνει στο 87% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας του συστήματος. Το ιδιοδιάνυσμα της 1ης ιδιομορφής, κανονικοποιημένο ως προς την κορυφή με $\phi_{\text{top}}=1$ φαίνεται στο σχήμα 2.4.



σχήμα 2.4 - ιδιοδιάνυσμα πρώτης ιδιομορφής

Η μετατροπή της καμπύλης ικανότητας σε φάσμα θα γίνει μέσω των παρακάτω δύο σχέσεων:

$$S_{\alpha} = \frac{V}{\alpha * m_{ολ}}$$

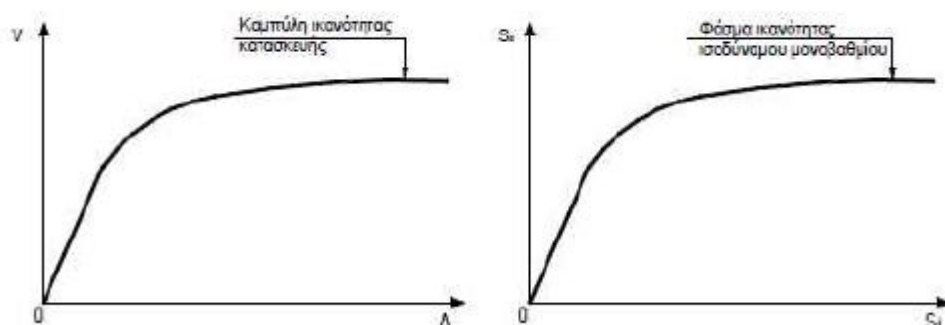
$$S_d = \frac{\Delta}{\Gamma}$$

όπου τα V και Δ είναι η τέμνουσα βάσης και η μετακίνηση κορυφής του πολυβαθμίου αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από την pushover ανάλυση, το $m_{ολ}$ είναι

η συνολική μάζα του πολυβαθμίου και το α το ποσοστό της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής για την αναμενόμενη μορφή παραμόρφωσης, το οποίο δίνεται από την σχέση:

$$\alpha = \Gamma * \frac{m^*}{m_{ολ}}$$

όπου $m^* = \sum m_i * \Phi_i$, το άθροισμα του γινομένου της μάζας κάθε ορόφου (i) επί τον αντίστοιχο συντελεστή Φ του ορόφου.



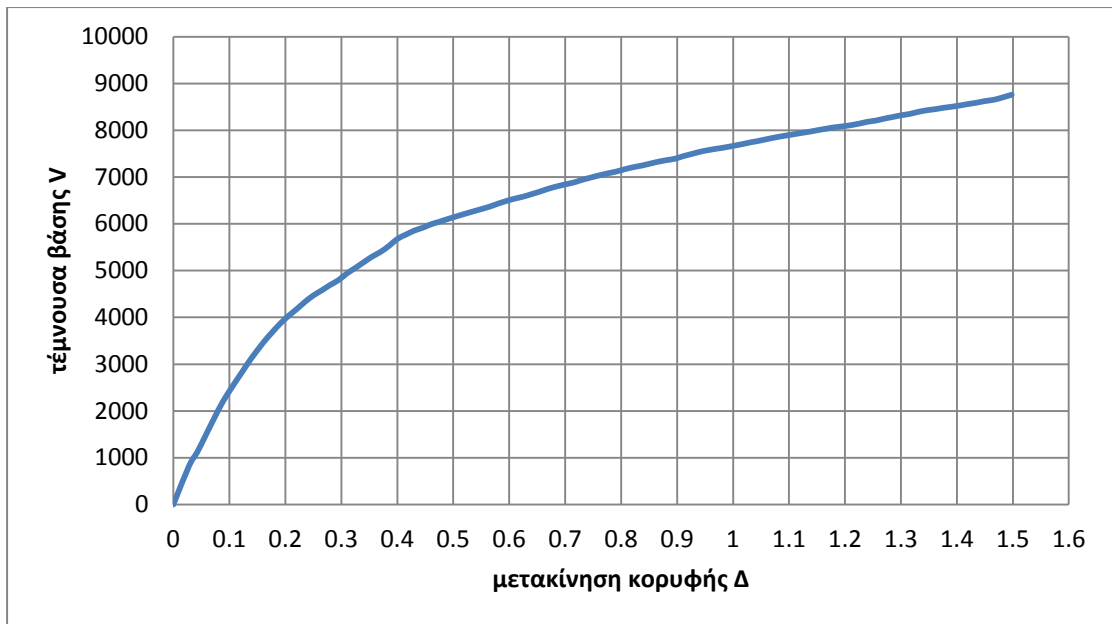
σχήμα 2.5 - αντιστοιχία φάσματος ικανότητας με καμπύλη ικανότητας

Οι τιμές όλων των παραπάνω συντελεστών για τη συγκεκριμένη κατασκευή φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

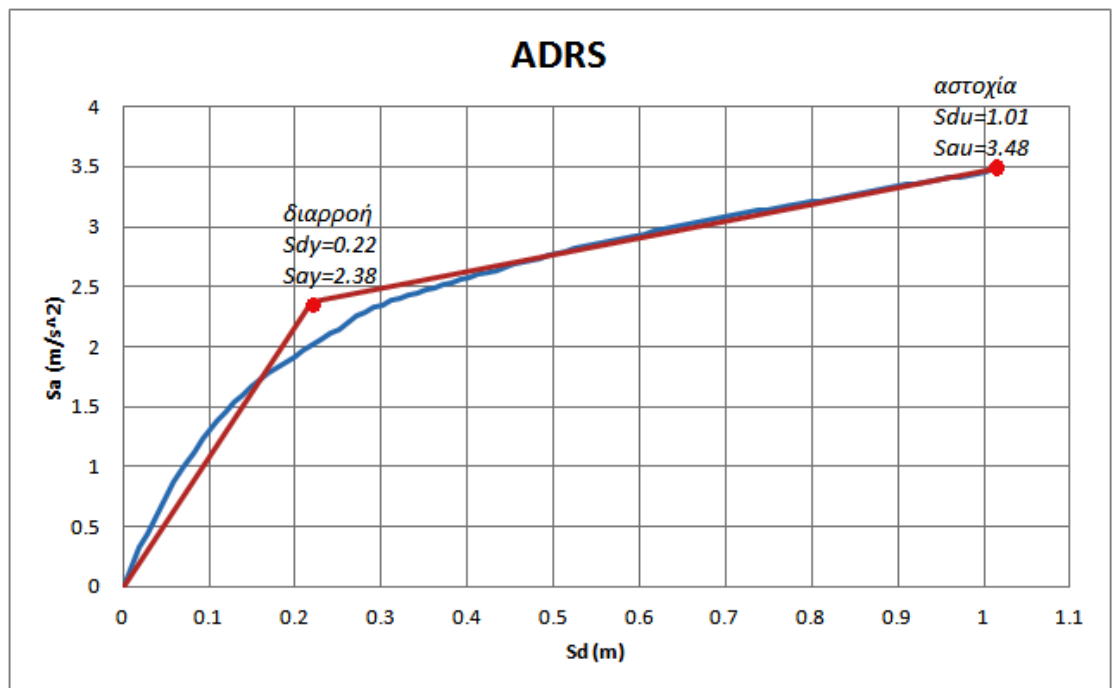
| | |
|----------|----------|
| $m_{ολ}$ | 3274 ton |
| m^* | 1700.121 |
| Γ | 1.480 |
| α | 0.768 |

πίνακας 2.1 - συντελεστές για τη μετατροπή σε ισοδύναμο μονοβάθμιο

Με δεδομένη λοιπόν την καμπύλη ικανότητας (σχήμα 2.6) προέκυψε το φάσμα ικανότητας σε μορφή ADRS (σχήμα 2.7) το οποίο και διγραμμοποιήθηκε ώστε να προσδιοριστούν οι τιμές φασματικής μετατόπισης και επιτάχυνσης διαρροής $S_{dγ}$ και $S_{aγ}$ αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στο σημείο αλλαγής της κλίσης στο διγραμμικό διάγραμμα. Ακόμα από την κορυφή του διαγράμματος παίρνουμε τις τιμές φασματικής μετατόπισης και επιτάχυνσης αστοχίας $S_{dυ}$ και $S_{aυ}$.



σχήμα 2.6 - καμπύλη ικανότητας κατασκευής



σχήμα 2.7 - φάσμα ικανότητας ADRS κατασκευής και διγραμμικοποίηση του

Συγκεντρωτικά λοιπόν έχω τις παρακάτω τιμές για διαρροή (γ) και αστοχία (u) της κατασκευής:

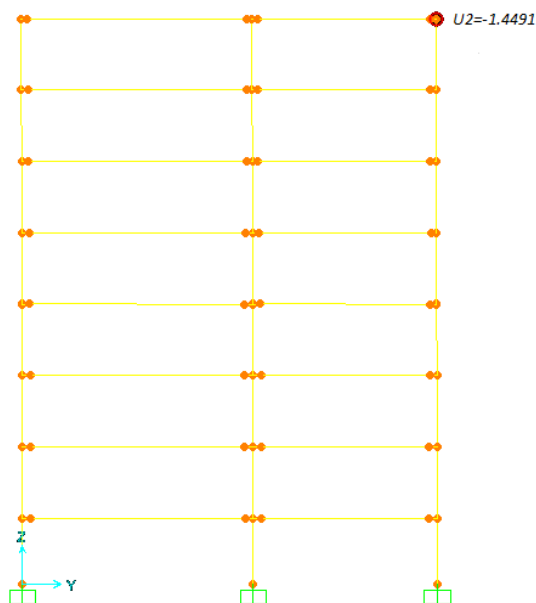
- φασματική μετατόπιση διαρροής $Sd_\gamma=0.22$ m
- φασματική επιτάχυνση διαρροής $Sa_\gamma=2.38$ m/sec²
- μετατόπιση κορυφής διαρροής $\Delta_\gamma=0.33$ m
- τέμνουσα βάσης διαρροής $V_\gamma=5984$ kN

- φασματική μετατόπιση αστοχίας $Sd_u=1.01$ m
- φασματική επιτάχυνση αστοχίας $Sa_u=3.48$ m/sec²
- μετατόπιση κορυφής αστοχίας $\Delta_u=1.50$ m
- τέμνουσα βάσης αστοχίας $V_u=8756$ kN

Με βάση τις παραπάνω τιμές μπορούμε να υπολογίσουμε την ιδιοπερίοδο του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος $T^* = 2 * \pi * \sqrt{Sd_\gamma/Sa_\gamma}$ καθώς και τον διαθέσιμο δείκτη πλαστιμότητας της κατασκευής $\mu = Sd_u/Sd_\gamma$:

- δείκτης πλαστιμότητας κατασκευής $\mu=4.6$
- ιδιοπερίοδος ισοδύναμου μονοβάθμιου $T^*=1.91$ sec

Στο σχήμα 2.8 βλέπουμε τις θέσεις που δημιουργούνται οι πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα μετά το πέρας της ανάλυσης.



σχήμα 2.8 - πλαστικός μηχανισμός κατάρρευσης

Κεφάλαιο 3 - Σεισμικοί παλμοί βάσης NGA

3.1 NGA βάση δεδομένων

Για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου μελετήθηκαν οι σεισμικές καταγραφές της NGA (Next generation Attenuation) βάσης δεδομένων, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως κινήσεις που αναλύονται με παλμούς (pulse-like ground motions).

| No # | Όνομα σεισμού | Έτος | Όνομα σταθμού | Δεσπόζουσα περίοδος T_p κατά Baker (sec) | Δεσπόζουσα περίοδος T_p νέας μεθόδου (sec) |
|------|---------------------|------|---------------------------------------|--|--|
| 1 | San Fernando | 1971 | Pacoima Dam | 1.60 | 1.41 |
| 2 | Coyote lake | 1979 | Gilroy Array #6 | 1.20 | 0.94 |
| 3 | Imperial Valley-06 | 1979 | Aeropuerto mexicali | 2.40 | 1.64 |
| 4 | Imperial Valley-06 | 1979 | Agrarias | 2.30 | 1.90 |
| 5 | Imperial Valley-06 | 1979 | Brawley Airport | 4.00 | 4.78 |
| 6 | Imperial Valley-06 | 1979 | EC Country Center FF | 4.50 | 4.17 |
| 7 | Imperial Valley-06 | 1979 | EC Meloland Overpass FF | 3.30 | 3.01 |
| 8 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #10 | 4.50 | 6.08 |
| 9 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #11 | 7.40 | 6.39 |
| 10 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #3 | 5.20 | 5.55 |
| 11 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #4 | 4.60 | 4.32 |
| 12 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #5 | 4.00 | 3.79 |
| 13 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #6 | 3.80 | 3.94 |
| 14 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #7 | 4.20 | 3.44 |
| 15 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Array #8 | 5.40 | 5.08 |
| 16 | Imperial Valley-06 | 1979 | El Centro Differential Array | 5.90 | 5.86 |
| 17 | Imperial Valley-06 | 1979 | Holtville Post Office | 4.80 | 4.24 |
| 18 | Mammoth Lakes-06 | 1980 | Long Valley Dam | 1.10 | 1.14 |
| 19 | Irpinia, Italy-01 | 1980 | Sturno | 3.10 | 2.64 |
| 20 | Westmorland | 1981 | Parachute test Site | 3.60 | 3.00 |
| 21 | Coalinga-05 | 1983 | Oil City | 0.70 | 0.56 |
| 22 | Coalinga-05 | 1983 | Transmitter Hill | 0.90 | 0.75 |
| 23 | Coalinga-07 | 1983 | Coalinga - 14th & Elm | 0.40 | 0.38 |
| 24 | Morgan Hill | 1984 | Coyote Lake Dam | 1.00 | 0.77 |
| 25 | Morgan Hill | 1984 | Gilroy Array #6 | 1.20 | 1.17 |
| 26 | Taiwan SMART1(40) | 1986 | SMART1 C00 | 1.60 | 1.49 |
| 27 | Taiwan SMART1(40) | 1986 | SMART1 M07 | 1.60 | 1.39 |
| 28 | N. Palm Springs | 1986 | North Palm Springs | 1.40 | 1.44 |
| 29 | San Salvador | 1986 | Geotech Investigation Center | 0.90 | 0.70 |
| 30 | Whittier Narrows-01 | 1987 | Downey - company maintenance building | 0.80 | 0.81 |

| No # | Όνομα σεισμού | Έτος | Όνομα σταθμού | Δεσπόζουσα περίοδος Τ _p κατά Baker (sec) | Δεσπόζουσα περίοδος Τ _p νέας μεθόδου (sec) |
|------|-----------------------|------|----------------------------------|---|---|
| 31 | Whittier Narrows-02 | 1987 | LB - Orange Ave. | 1.00 | 0.78 |
| 32 | Superstition Hills-02 | 1987 | Parachute test Site | 2.30 | 2.41 |
| 33 | Loma Prieta | 1989 | Alameda Naval Air Station Hanger | 2.00 | 2.31 |
| 34 | Loma Prieta | 1989 | Gilroy Array #2 | 1.70 | 1.54 |
| 35 | Loma Prieta | 1989 | Oakland - Outer Harbor Wharf | 1.80 | 1.51 |
| 36 | Loma Prieta | 1989 | Saratoga - Aloha Ave. | 4.50 | 6.48 |
| 37 | Erzican, Turkey | 1992 | Erzincan | 2.70 | 2.42 |
| 38 | Cape Mendocino | 1992 | Petrolia | 3.00 | 2.74 |
| 39 | Landers | 1992 | Barstow | 8.90 | 7.57 |
| 40 | Landers | 1992 | Lucerne | 5.10 | 4.57 |
| 41 | Landers | 1992 | Yermo Fire Station | 7.50 | 8.73 |
| 42 | Northridge-01 | 1994 | Jensen Filter Plan | 3.50 | 2.94 |
| 43 | Northridge-01 | 1994 | Jensen Filter Plan Generator | 3.50 | 2.94 |
| 44 | Northridge-01 | 1994 | LA - Wadsworth VA Hospital North | 2.40 | 2.35 |
| 45 | Northridge-01 | 1994 | LA Dam | 1.70 | 2.17 |
| 46 | Northridge-01 | 1994 | Newhall - West Pico Canyon Rd. | 2.40 | 2.39 |
| 47 | Northridge-01 | 1994 | Pacoima Dam | 0.50 | 3.37 |
| 48 | Northridge-01 | 1994 | Pacoima Dam | 0.90 | 0.90 |
| 49 | Northridge-01 | 1994 | Rinaldi Receiving Station | 1.20 | 1.11 |
| 50 | Northridge-01 | 1994 | Sylmar - Converter Station | 3.50 | 2.95 |
| 51 | Northridge-01 | 1994 | Sylmar - Converter Station | 3.50 | 3.06 |
| 52 | Northridge-01 | 1994 | Sylmar - Olive View Med FF | 3.10 | 2.56 |
| 53 | Kobe, Jaban | 1995 | Takarazuka | 1.40 | 1.23 |
| 54 | Kobe, Jaban | 1995 | Takatori | 1.60 | 2.08 |
| 55 | Koceali, Turkey | 1999 | Gebze | 5.90 | 4.88 |
| 56 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | CHY006 | 2.60 | 1.83 |
| 57 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | CHY035 | 1.40 | 1.51 |
| 58 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | CHY101 | 4.80 | 5.59 |
| 59 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TAP003 | 3.40 | 2.80 |
| 60 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU029 | 6.40 | 5.72 |
| 61 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU031 | 6.20 | 5.33 |
| 62 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU034 | 8.60 | 7.11 |
| 63 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU036 | 5.40 | 5.26 |
| 64 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU038 | 7.00 | 5.91 |
| 65 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU040 | 6.30 | 5.68 |
| 66 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU042 | 9.10 | 7.17 |
| 67 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU046 | 8.60 | 7.57 |

| No # | Όνομα σεισμού | Έτος | Όνομα σταθμού | Δεσπόζουσα περίοδος T_p κατά Baker (sec) | Δεσπόζουσα περίοδος T_p νέας μεθόδου (sec) |
|------|--------------------|------|----------------------|--|--|
| 68 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU049 | 11.80 | 11.49 |
| 69 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU053 | 12.90 | 9.80 |
| 70 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU054 | 10.50 | 9.52 |
| 71 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU056 | 12.90 | 11.74 |
| 72 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU060 | 12.00 | 11.47 |
| 73 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU065 | 5.70 | 4.73 |
| 74 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU068 | 12.20 | 12.04 |
| 75 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU075 | 5.10 | 5.52 |
| 76 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU076 | 4.00 | 5.38 |
| 77 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU082 | 9.20 | 7.88 |
| 78 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU087 | 9.00 | 9.15 |
| 79 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU098 | 7.50 | 5.51 |
| 80 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU101 | 10.00 | 9.86 |
| 81 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU102 | 9.70 | 9.30 |
| 82 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU103 | 8.30 | 8.17 |
| 83 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU104 | 12.00 | 11.01 |
| 84 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU128 | 9.00 | 7.45 |
| 85 | Chi-Chi, Taiwan | 1999 | TCU136 | 10.30 | 10.56 |
| 86 | Northwest China-03 | 1997 | Jiashi | 1.30 | 1.34 |
| 87 | Chi-Chi, Taiwan-03 | 1999 | CHY024 | 3.20 | 2.42 |
| 88 | Chi-Chi, Taiwan-03 | 1999 | CHY080 | 1.40 | 0.70 |
| 89 | Chi-Chi, Taiwan-03 | 1999 | CHY076 | 0.90 | 2.96 |
| 90 | Chi-Chi, Taiwan-06 | 1999 | CHY101 | 2.80 | 1.14 |
| 91 | Yountville | 2000 | Napa Fire Station #3 | 0.70 | 0.88 |

πίνακας 3.1 - καταγραφές NGA

3.2 Καθορισμός σημαντικού παλμού για την προσέγγιση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

3.2.1 Περιγραφή της χρησιμοποιούμενης μεθόδου

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μαθηματική αποτύπωση παλμών συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου, πράγμα που οδήγησε στη δημιουργία διάφορων μοντέλων, για παράδειγμα για τον προσδιορισμό της δεσπόμενου περιόδου της εδαφικής κίνησης. Σε πολλά από αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιείται η δεσπόμενου περιόδου του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5% ως αντιπροσωπευτική τιμή της περιόδου του παλμού της εξεταζόμενης ιστορίας ([8], [9], [10]). Ωστόσο όμως άλλες μελέτες, όπως αυτή του Baker [5], έδειξαν ότι με αυτόν τον ορισμό είναι πιθανό να υποεκτιμάτε η περίοδος του παλμού, ιδιαίτερα σε γεγονότα μεγάλου σεισμικού μεγέθους.

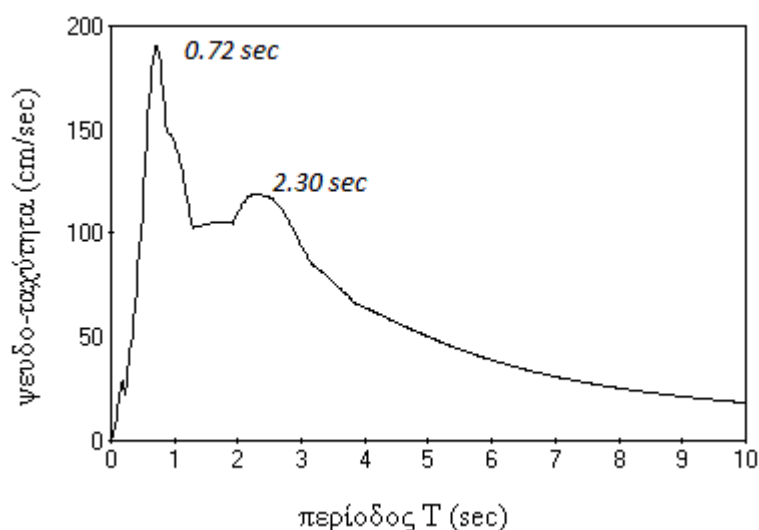
Στην παρούσα εργασία ο καθορισμός των παλμών που χρησιμοποιήθηκαν για την προσέγγιση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου έγινε με τη νέα μέθοδο που προτάθηκε από τους Mimosoglou et al. [4] και η οποία βασίζεται στην μαθηματική περιγραφή παλμών που αναπτύχθηκε από τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου [6] και σε μια απλοποιημένη διαδικασία για την εκτίμηση των παραμέτρων των παλμών. Συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή προσδιορίζει, για όλες τις σημαντικές περιόδους της εδαφικής κίνησης, τους αντίστοιχους παλμούς του μοντέλου των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (που στη συνέχεια θα αναφέρονται ως παλμοί M&Π) που προσεγγίζουν καλύτερα τα μέγιστα των φασμάτων της πραγματικής καταγραφής.

Για την περιγραφή ενός M&Π παλμού χρησιμοποιούνται τέσσερις παράμετροι: η περίοδος του παλμού T_p , το πλάτος A , η παράμετρος γ του κυματιδίου που εκφράζει τον αριθμό των κύκλων του παλμού και υπολογίζεται από τον τύπο $\gamma = t_p/T_p$ με $\gamma > 1$ και t_p η χρονική διάρκεια του παλμού, και τέλος η γωνία φάσης ν .

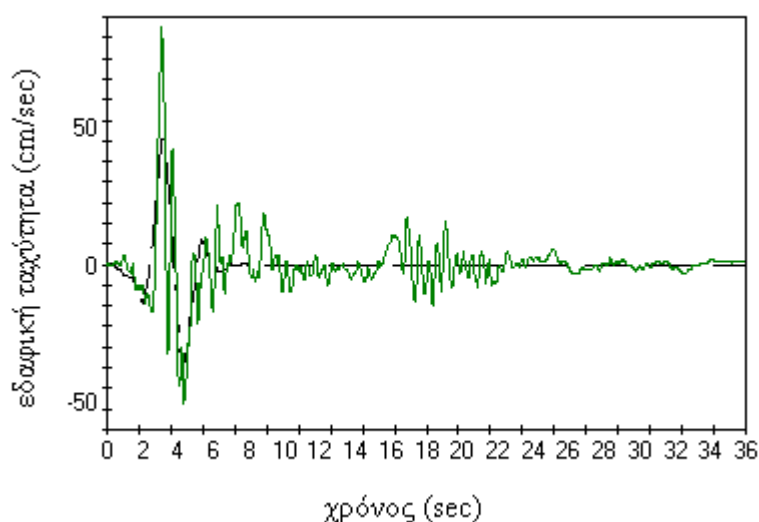
Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω παραμέτρους κατασκευάζουμε ένα παλμό που προσεγγίζει αρκετά καλά τον παλμό της εδαφικής κίνησης, ικανό να αναπαραστήσει σωστά την απόκριση του κτηρίου. Συγκεκριμένα, η παράμετρος γ παίζει σημαντικό ρόλο στη ακριβή ενίσχυση του αρχικού φάσματος απόκρισης, η γωνία φάσης ν προσδιορίζει το σχήμα του κυματιδίου ώστε να προσομοιώνει όσο το δυνατόν καλύτερα την ιστορία ταχύτητας και το πλάτος A υπολογίζεται έτσι ώστε το φάσμα απόκρισης της μετατόπισης του παλμού να προσομοιώνει όσο το δυνατόν καλύτερα το αντίστοιχο φάσμα της καταγραφής.

3.2.2 Προσδιορισμός περιόδου παλμού T_p

Όπως έχει προαναφερθεί, η περίοδος T_p του παλμού συχνά προσδιορίζεται από την κορυφή του φάσματος απόκρισης της ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5%, κάτι το οποίο έχει αμφισβητηθεί ως προς την ακρίβεια του αποτελέσματος που δίνει για την περίοδο. Ένα παράδειγμα της ανακρίβειας αυτής της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 3.1, με δεδομένα της καταγραφής #38 του πίνακα 3.1 (Petrolia, σεισμός Cape Mendocino 1992). Στην περίπτωση αυτή η τιμή της περιόδου που αντιστοιχεί στην κορυφή του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας για 5% απόσβεση είναι 0.72sec, ενώ η αντίστοιχη περίοδος που έχει υπολογίσει ο Baker [5] είναι 3.00sec και η υπολογισθείσα περίοδος με τη νέα μέθοδο είναι ίση με 2.74sec, πολύ κοντά σε αυτή του Baker. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1α η περίοδος αυτή είναι πιο κοντά στην δεύτερη κορυφή του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας. Στο σχήμα 3.1β φαίνεται η χρονοϊστορία του παλμού όπως προσδιορίστηκε με τη νέα μέθοδο συγκρινόμενη με τη χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας. Είναι φανερό ότι ο παλμός Μ&Π με περίοδο 2.74sec αναπαριστά πολύ καλά τον αρχικό παλμό.



(α)



(β)

σχήμα 3.1 - Καταγραφή #38 πίνακα 3.1 (α) φάσμα απόκρισης ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5% (β) σύγκριση παλμού Μ&Π όπως ορίζεται από τη προτεινόμενη μεθοδολογία (διακεκομμένη γραμμή) με τον αρχική χρονοϊστορία ταχύτητας (πράσινη συνεχής γραμμή)

Μια εναλλακτική για τον υπολογισμό της περιόδου T_p θα μπορούσε να είναι η χρήση του φάσματος απόκρισης της μετακίνησης, αντί της ψευδο-ταχύτητας, λόγω του γεγονότος ότι το φάσμα της μετακίνησης αποτελεί μια καλή προσέγγιση του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας με τον ίδιο τρόπο που το φάσμα ταχύτητας μηδενικής απόσβεσης αποτελεί καλή προσέγγιση του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης. Το παραπάνω συμπέρασμα για το φάσμα μετακίνησης μπορεί να αποδειχθεί ξεκινώντας από τη σχέση:

$$a_g(\omega) \leq S_{v,0}(\omega) \quad (1)$$

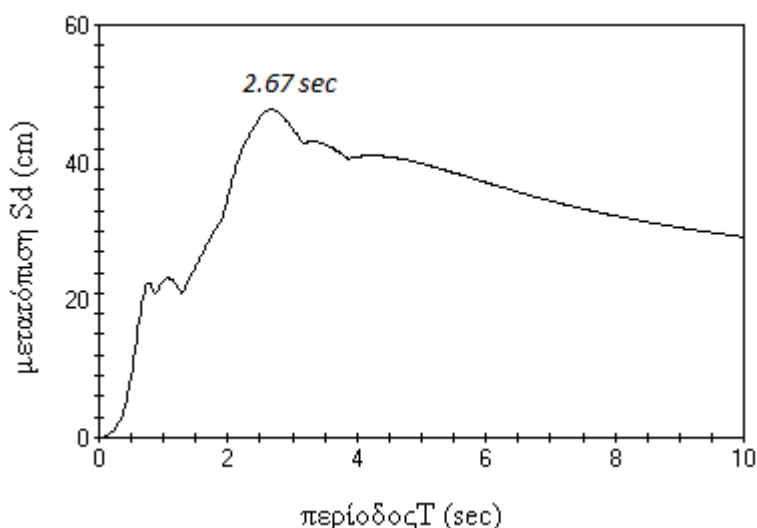
όπου $a_g(\omega)$ οι τιμές του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης και $S_{v,0}(\omega)$ το φάσμα ταχύτητας για μηδενική απόσβεση.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για μηδενική απόσβεση ισχύει $S_{v,0}(\omega) \approx \omega \cdot S_{d,0}(\omega)$, όπου $S_{d,0}(\omega)$ το φάσμα μετακίνησης μηδενικής απόσβεσης και $a_g(\omega)/\omega = v_g(\omega)$, όπου $v_g(\omega)$ οι τιμές του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας, διαιρώντας και τα δύο μέλη της (1) με ω οδηγούμε στην παρακάτω σχέση:

$$v_g(\omega) \leq S_{d,0}(\omega)$$

η οποία δείχνει ότι το φάσμα των μετακινήσεων προσεγγίζει το φάσμα Fourier της εδαφικής ταχύτητας.

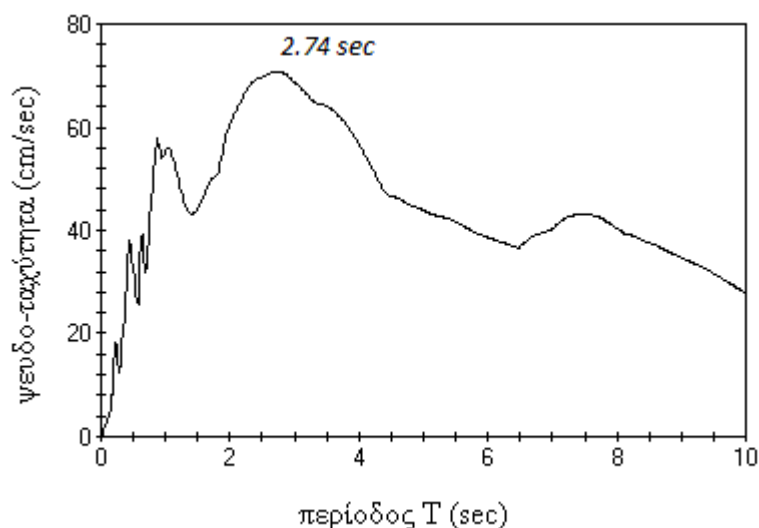
Με βάση την παραπάνω παρατήρηση και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο παλμός της κατευθυντικότητας καθορίζεται από την χρονοϊστορία της ταχύτητας, η δεσπόζουσα περίοδος T_p θα μπορούσε να υπολογιστεί από την κορυφή του φάσματος μετακινήσεων. Με αυτό τον τρόπο για την καταγραφή #38 θα καταλήγαμε σε περίοδο $T_p=2.67\text{sec}$ (σχήμα 3.2), η οποία είναι κοντά στις περιόδους 3.00sec και 2.74sec που υπολογίστηκαν παραπάνω.



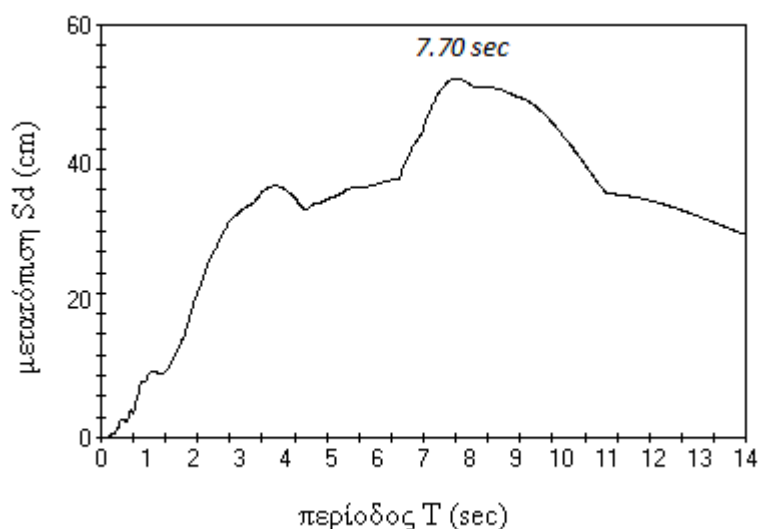
σχήμα 3.2 - Καταγραφή #38 πίνακα 3.1, φάσμα απόκρισης μετατόπισης για απόσβεση 5%

Ωστόσο αυτός ο εναλλακτικός προσδιορισμός της περιόδου T_p μέσω του φάσματος μετακινήσεων, δεν μπορεί να γενικευτεί καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που δεν είναι έγκυρος. Μία τέτοια περίπτωση είναι η καταγραφή #20 του πίνακα 3.1 για το

σεισμό στο Westmorland το 1981 (Parachute test Side). Για τη συγκεκριμένη καταγραφή ο Baker [5] δίνει περίοδο 3.60sec και η προτεινόμενη μέθοδος 3.00sec, οι οποίες είναι κοντά στην τιμή που παίρνουμε από το φάσμα της ψευδο-ταχύτητας (σχήμα 3.3α) 2.74sec. Από την κορυφή του φάσματος όμως των μετακινήσεων (σχήμα 3.3β) παίρνουμε μια περίοδο ίση με 7.70sec, πολύ μεγαλύτερη από τις προηγούμενες.



(α)



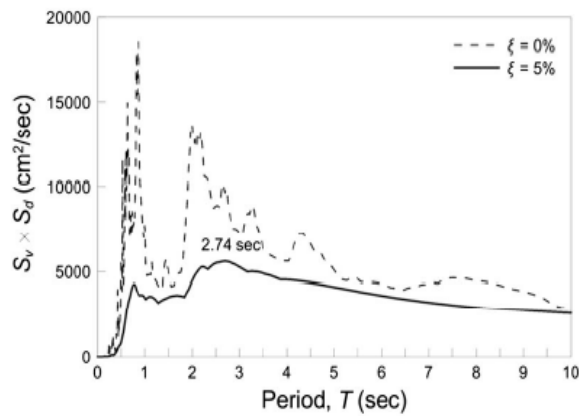
(β)

σχήμα 3.3 - Καταγραφή #20 πίνακα 3.1 (α) φάσμα ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5% (β) φασματική απόκριση μετατόπισης για απόσβεση 5%

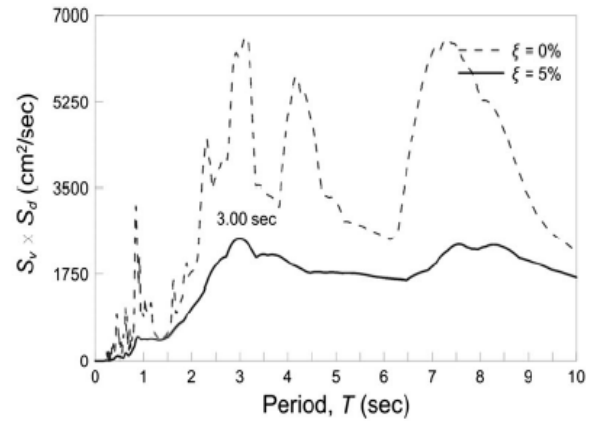
Από τα παραπάνω, λοιπόν, γίνεται φανερό πως κανένα από τα δύο φάσματα μετατόπισης και ταχύτητας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας. Με την υπόθεση ότι ο παλμός της εδαφικής κίνησης επηρεάζει τόσο την εδαφική επιτάχυνση όσο και την εδαφική ταχύτητα, η περίοδος T_p θα έπρεπε να δεσπόζει στην συνέλιξη των δύο αυτών χρονοϊστοριών. Έτσι στη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία η δεσπόζουσα περίοδος καθορίζεται από την κυρίαρχη κορυφή του φάσματος Fourier της συνέλιξης της επιτάχυνσης και της ταχύτητας.

Είναι γνωστό ότι το φάσμα Fourier της συνέλιξης δυο σημάτων είναι ίσο με το γινόμενο των φασμάτων Fourier των συνελιχθέντων σημάτων. Ακόμα το φάσμα ταχύτητας μηδενικής απόσβεσης $S_{v,0}$ προσεγγίζει το φάσμα Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης και το φάσμα μετατόπισης μηδενικής απόσβεσης $S_{d,0}$ προσεγγίζει το φάσμα Fourier της εδαφικής ταχύτητας. Χρησιμοποιώντας αυτές τις ιδιότητες το φάσμα Fourier της συνέλιξης μπορεί να προσεγγιστεί από το γινόμενο $S_{v,0} \cdot S_{d,0}$ και αναλόγως η περίοδος του παλμού από την κορυφή του φάσματος της συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$. Βέβαια στην νέα μέθοδο που χρησιμοποιείται εδώ προτείνεται η περίοδος του παλμού να προσδιορίζεται από το φάσμα συνέλιξης $S_d \times S_v$ για απόσβεση 5% (και όχι μηδενική), το οποίο ορίζεται σαν το γινόμενο $S_{d,5} \times S_{v,5}$, όπου $S_{d,5}$ και $S_{v,5}$ είναι η φασματική μετατόπιση και ταχύτητα για απόσβεση 5% αντίστοιχα. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι περίοδοι κορυφής του φάσματος μηδενικής απόσβεσης δεν συμπίπτουν αναγκαστικά με αυτές του φάσματος για απόσβεση 5%, ωστόσο γίνεται χρήση του φάσματος για απόσβεση 5% γιατί οι περίοδοι ταιριάζουν καλύτερα με αυτές που προέρχονται από τον Baker [5] και οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Επιπλέον τα φάσματα απόκρισης της εδαφικής κίνησης για απόσβεση 5%, τα οποία και είναι πιο σημαντικά από τα μηδενικής απόσβεσης για τις κλασικές εφαρμογές της σεισμικής μηχανικής, προσεγγίζουν καλύτερα τα αντίστοιχα φάσματα του εξαγόμενου παλμού.

Το αποτέλεσμα της προσέγγισης του σημαντικού παλμού με την παραπάνω μέθοδο φαίνεται στο σχήμα 3.4 όπου το φάσμα συνέλιξης $S_{d,5} \times S_{v,5}$ χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιόδου του παλμού των προαναφερθέντων καταγραφών #38 και #20. Στην πρώτη περίπτωση (#38 - σχήμα 3.4α) παίρνουμε περίοδο ίση με 3.00sec από Baker [5], η οποία σχετίζεται με την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος μετατόπισης, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ενώ χρησιμοποιώντας την κορυφή του φάσματος συνέλιξης $S_{d,5} \times S_{v,5}$ η περίοδος παλμού υπολογίζεται $T_p=2.74sec$. Στην δεύτερη περίπτωση (#20 - σχήμα 3.4β) παίρνουμε περίοδο ίση με 3.60sec από Baker [5], η οποία σχετίζεται με την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ψευδο-ταχύτητας, ενώ χρησιμοποιώντας την κορυφή του φάσματος συνέλιξης $S_{d,5} \times S_{v,5}$ η περίοδος παλμού υπολογίζεται $T_p=3.00sec$. Βλέπουμε λοιπόν ότι η χρήση του φάσματος συνέλιξης $S_{d,5} \times S_{v,5}$ οδηγεί σε περίοδο παλμού που συμφωνεί με τα αποτελέσματα του Baker [5]. Ακόμα οι παλμοί M&P με τις υπολογισθείσες περιόδους προσεγγίζουν πολύ καλά τις αρχικές χρονοϊστορίες, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5 παρακάτω.

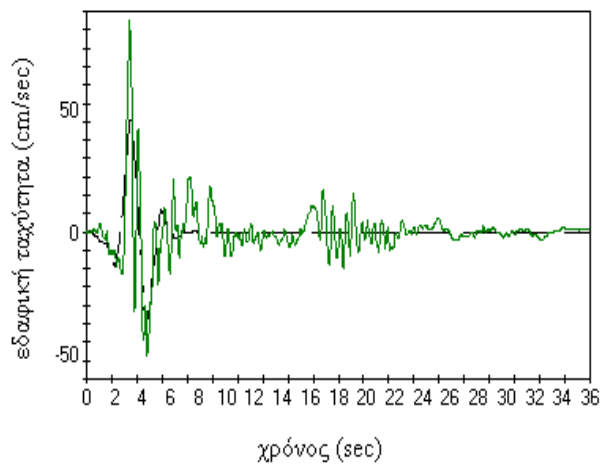


(α)

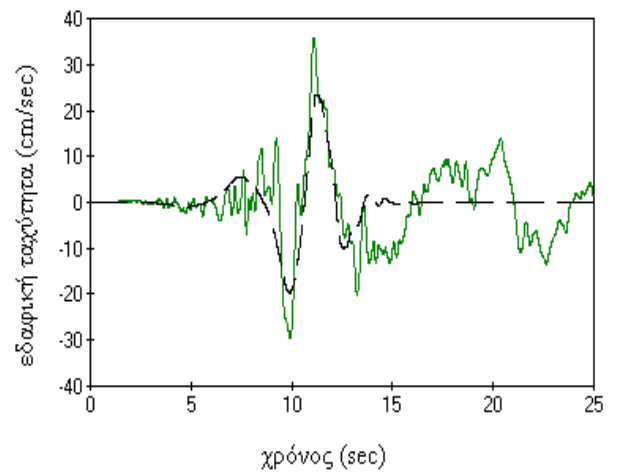


(β)

σχήμα 3.4 - προσδιορισμός δεσπόζουσας περιόδου παλμού από φάσμα συνέλιξης $S_{d,5} \times S_{v,5}$ για (α)καταγραφή #38 πίνακα 3.1 (β)καταγραφή #20 πίνακα 3.1 (η αντίστοιχη καμπύλη για μηδενική απόσβεση απεικονίζεται για σύγκριση)



(α)



(β)

σχήμα 3.5 - σύγκριση παλμού Μ&Π όπως ορίζεται από τη προτεινόμενη μεθοδολογία (διακεκομμένη γραμμή) με τον αρχική χρονοϊστορία ταχύτητας (πράσινη συνεχής γραμμή) για (α)καταγραφή #38 πίνακα 3.1 (β)καταγραφή #20 πίνακα 3.1

3.2.3 Προσδιορισμός λοιπών παραμέτρων

Μετά τον προσδιορισμό της περιόδου του παλμού T_p από την κορυφή του φάσματος συνέλιξης $S_{d,5} \times S_{v,5}$, πρέπει να υπολογιστούν και οι υπόλοιπες παράμετροι του κύματος Μ&Π ώστε τελικά το φάσμα απόκρισης μετατόπισης του παραγόμενου παλμού για απόσβεση 5% να προσεγγίζει σωστά το αντίστοιχο φάσμα της καταγραφής. Οι παράμετροι αυτοί είναι, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το πλάτος A , η παράμετρος γ και η γωνία φάσης ν .

Για τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων γίνεται χρήση της παραμέτρου εδαφικής κίνησης CAD (cumulative absolute displacement) η οποία εισήχθη από τον Taflanpas et al. [7] και ορίζεται ως το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας:

$$CAD = \int_0^{t_{tot}} |v_g| dt \quad (2)$$

Ας θεωρήσουμε μία αρμονική εδαφική κίνηση πλάτους $d_{g,max}$, η οποία εφαρμόζεται ως διέγερση βάσης σε ένα μηδενικής απόσβεσης μονοβάθμιο σύστημα. Το πλάτος απόκρισης του συστήματος αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με τον αριθμό των κύκλων και για μια διέγερση γ κύκλων, η μέγιστη φασματική μετατόπιση, σύμφωνα με τους Clough and Penzien [11] υπολογίζεται ως εξής:

$$S_{d,0}(T_{res}) = \pi \cdot \gamma \cdot d_{g,max} \quad (3)$$

Ακόμα, η τιμή της παραμέτρου CAD στο τέλος του γ κύκλου της αρμονικής κίνησης υπολογίζεται ως εξής:

$$CAD = 4 \cdot \gamma \cdot d_{g,max} \quad (4)$$

Έτσι, για μία αρμονική κίνηση γ κύκλων υπάρχει μία σταθερή σχέση μεταξύ της φασματικής μετακίνησης για μηδενική απόσβεση και της παραμέτρου CAD, η οποία διαιρώντας τις εξισώσεις (3) και (4) εκφράζεται ως:

$$\frac{S_{d,0}(T_{res})}{CAD} = \frac{\pi}{4} \quad (5)$$

Αν ένα κύμα Μ&Π χρησιμοποιηθεί αντί για την καθαρά αρμονική διέγερση, η εξίσωση (5) συνεχίζει να ισχύει προσεγγιστικά με ικανοποιητική ακρίβεια. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.6α, στο οποίο παρουσιάζεται ο λόγος του μέγιστου του φάσματος μετακινήσεων μηδενικής απόσβεσης προς την παράμετρο CAD σε σχέση με τη γωνία φάσης ν , για διάφορες τιμές του γ . Τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα από την περίοδο T_p και το πλάτος A . Είναι φανερό ότι ο λόγος $S_{d,0,max}/CAD$ είναι κοντά στην τιμή $\pi/4$, ειδικά για παλμούς μεγάλης διάρκειας (μεγάλες τιμές του γ). Η μεγαλύτερη ανακρίβεια εμφανίζεται για $\gamma=1.5$ και $\nu=30$, αλλά ακόμα και σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα είναι μικρότερο του 6%.

Μια παρόμοια σχέση μεταξύ της κορυφής του φάσματος μετακινήσεων και της παραμέτρου CAD μπορεί επίσης να προσδιοριστεί και για άλλες τιμές της απόσβεσης, πέρα της μηδενικής. Για ένα μονοβάθμιο σύστημα απόσβεσης ξ και για καθαρά αρμονική διέγερση, η μετακίνηση σύμφωνα με τους Clough and Penzien [11] υπολογίζεται ως εξής:

$$S_{d,\xi}(T_{res}) = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{2\xi} \cdot d_{g,max} \quad (6)$$

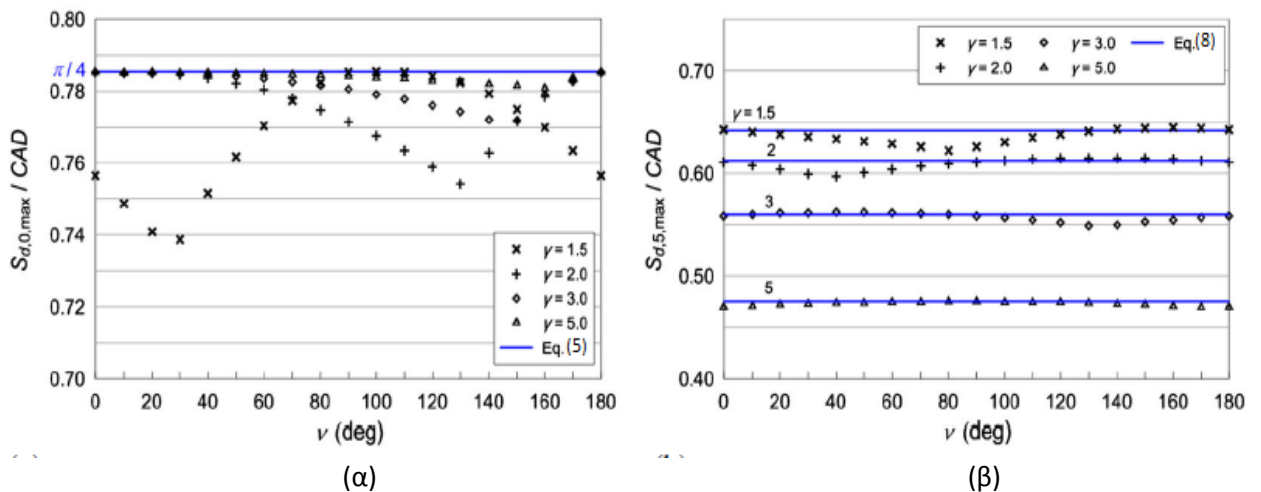
και αντικαθιστώντας με την εξίσωση (4), καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση:

$$\frac{S_{d,\xi}(T_{res})}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} \quad (7)$$

Αν η διεγερση δεν είναι καθαρά αρμονική αλλά ένα κύμα Μ&Π, η εξίσωση (7) δίνει ένα σφάλμα για μεγάλες τιμές του γ . Μια παραμετρική έρευνα έδειξε ότι σε αυτή την περίπτωση μπορεί να εφαρμοστεί ένας διορθωτικός παράγοντας ίσος με $1+(\gamma-1)\xi$. Έτσι για τα κύματα Μ&Π, εφαρμόζεται η παρακάτω σχέση:

$$\frac{S_{d,\xi,max}}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} \cdot [1 + (\gamma - 1)\xi] \quad (8)$$

Συγκρίσεις των αποτελεσμάτων της εξίσωσης (8) με τις πραγματικές τιμές του λόγου $S_{d,0,max}/CAD$, που έγιναν για διάφορες τιμές των παραμέτρων ν και γ , παρουσιάζονται στο σχήμα 3.6β για απόσβεση $\xi=5\%$. Είναι φανερό ότι η ακρίβεια της εξίσωσης (8) είναι πολύ καλή σε όλες τις περιπτώσεις.



σχήμα 3.6 - σχέση μεταξύ της κορυφής του φάσματος μετακινήσεων $S_{d,0,max}$ και της παραμέτρου CAD, για Μ&Π κύματα και για διάφορες τιμές των παραμέτρων γ , ν (α) για μηδενική απόσβεση (β) για απόσβεση $\xi=5\%$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (5) ή (8) σε συνδυασμό με τη γνωστή σχέση μεταξύ φασματικής μετατόπισης και ψευδο-ταχύτητας $PS_v = (2\pi/T) \cdot S_d$ καταλήγουμε στις παρακάτω σχέσεις μεταξύ της παραμέτρου CAD και της ψευδο-ταχύτητας για κύματα Μ&Π:

$$\frac{PS_{v,0,max}}{CAD} = \frac{\pi^2}{2T_p} \text{ για μηδενική απόσβεση} \quad (9)$$

$$\frac{PS_{v,\xi,max}}{CAD} = \frac{\pi(1 - e^{-2\pi\gamma\xi})[1 + (\gamma - 1)\xi]}{4\gamma\xi T_p} \text{ για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad (10)$$

Για τα κύματα Μ&Π η τιμή της παραμέτρου CAD σχετίζεται άμεσα με το πλάτος A και την παράμετρο γ, καθώς ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$CAD = \gamma \cdot A \cdot T_p / \pi \quad (11)$$

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση (11) την παράμετρο CAD από την εξίσωση (10) καθώς και την ταχύτητα $PS_{v,0,max}$ με $PS_{v,\xi}(T_p)$, η οποία είναι η τιμή του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας της εδαφικής κίνησης για περίοδο T_p και απόσβεση ξ καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση:

$$A = \frac{4\xi \cdot PS_{v,\xi}(T_p)}{(1 - e^{-2\pi\gamma\xi}) \cdot [1 + (\gamma - 1)\xi]} \quad (12)$$

Συνήθως χρησιμοποιείται το φάσμα ψευδο-ταχύτητας για 5% απόσβεση, οπότε θέτουμε στην εξίσωση (12) $\xi=0.05$. Μπορεί προφανώς να χρησιμοποιηθεί και το φάσμα μετατόπισης καθώς ισχύει η σχέση $PS_v(T_p)=(2\pi/T_p) \cdot S_d(T_p)$.

Για τον υπολογισμό του πλάτους A από την εξίσωση 12 πρέπει να είναι γνωστή η τιμή της παραμέτρου γ. Επειδή όμως δεν είναι γνωστή, εξετάζονται όλες οι τιμές για ένα επιλεγόμενο εύρος διακύμανσης του γ, οπότε καταλήγουμε σε ένα σύνολο ζευγαριών (A,γ). Τα ζευγάρια αυτά που οδηγούν σε πλάτη της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης του παλμού μεγαλύτερα από τις αντίστοιχες μέγιστες τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης rg_a , ταχύτητας rg_v και μετατόπισης rg_d , απορρίπτονται.

Για τα εναπομείναντα ζεύγη (A,γ) και όλες τις τιμές της γωνίας φάσης από 0° έως 360°, υπολογίζονται τα αντίστοιχα κύματα. Για κάθε ένα από αυτά τα κύματα εξετάζονται διάφορες τιμές χρονικής καθυστέρησης t_d από την έναρξη του παλμού. Έτσι καταλήγω σε ένα σύνολο υποψήφιων κυμάτων, κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από ένα διαφορετικό σύνολο των παραμέτρων A, γ, ν και t_d . Τα κύματα που επιλέγονται είναι αυτά των οποίων η χρονοϊστορία του παλμού $v_p(A,\gamma,\nu,t_d,t)$ προσεγγίζει καλύτερα την χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας $v_g(t)$. Τέλος υπολογίζεται για κάθε ζευγάρι χρονοϊστοριών (v_p, v_g) ο συντελεστής συσχέτισης (cross-correlation factor) r, και επιλέγεται ο παλμός που δίνει τη μεγαλύτερη τιμή r. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται όχι μόνο ο παλμός που προσεγγίζει καλύτερα την χρονοϊστορία ταχύτητας της εδαφικής κίνησης, αλλά και ο χρόνος έναρξής του t_d .

Κεφάλαιο 4 - Απόκριση κατασκευής για διέγερση με τις καταγραφές NGA

4.1 Επεξεργασία και ανάλυση χρονοϊστοριών

Η ανάλυση της χρονοϊστορίας των παραπάνω καταγραφών της βάσης NGA έγινε με τη χρήση του προγράμματος SAP2000. Συγκεκριμένα έγινε μη-γραμμική ανάλυση της κάθε χρονοϊστορίας με απ' ευθείας ολοκλήρωση στο χρόνο της εξίσωσης $\tilde{M} \cdot \ddot{u}(t) + \tilde{C} \cdot \dot{u}(t) + \tilde{K} \cdot u(t) = -\tilde{M} \cdot \ddot{x}_g(t)$, με την επιλογή "Nonlinear Direct-Integration Time-History Analysis" στο μενού της εισαγωγής της φόρτισης στο πρόγραμμα. Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιείται απόσβεση Rayleigh, η οποία προκύπτει από τον τύπο $C = n \cdot M + \delta \cdot K$, όπου n και δ οι συντελεστές μάζας (mass proportional coefficient) και δυσκαμψίας (stiffness proportional coefficient) αντίστοιχα. Στην κατασκευή που μελετάμε με $\xi=5\%$ και τις πρώτες δύο σημαντικές ιδιοπεριόδους $T_1=1.31\text{sec}$ και $T_2=0.44\text{sec}$ (οπότε και $\omega_1=4.796\text{sec}^{-1}$, $\omega_2=14.28\text{sec}^{-1}$) υπολογίζω τους παραπάνω συντελεστές ως εξής:

$$\delta = \frac{2 \cdot \xi}{\omega_1 + \omega_2} = 0.0052$$

$$n = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \delta = 0.3561$$

Επίσης τα αποτελέσματα της μη-γραμμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας προέκυψαν χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα 2^{ος} τάξεως P-Δ.

Για κάθε επιταχυνσιογράφημα παίρνουμε σαν αποτελέσματα της ανάλυσης της χρονοϊστορίας δύο βασικά μεγέθη, την μετατόπιση κάθε ορόφου (με μεγαλύτερη προσοχή να δίνεται στη μέγιστη μετατόπιση της κορυφής, δηλαδή του 8^{ου} ορόφου) και την τέμνουσα βάσης που αναπτύσσεται στο κτήριο.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιορίζουμε την πλαστιμότητα μ που αναπτύσσεται στο κτήριο κατά τη διάρκεια του σεισμού με τον παρακάτω γνωστό τύπο:

$$\mu = \frac{\max S_d}{S_{d,y}}$$

όπου $\max S_d = \max \Delta / \Gamma$, με $\max \Delta$ να είναι η μέγιστη μετατόπιση της κορυφής.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q του κτηρίου ορίζεται από τον παρακάτω τύπο

$$q = \frac{S_{\alpha_{el}}}{S_{\alpha_y}}$$

όπου $S_{\alpha_{el}}$ η ελαστική επιτάχυνση για το ισοδύναμο μονοβάθμιο. Στην παρούσα εργασία οι αρχικές (original) χρονοϊστορίες των 91 καταγραφών, πολλαπλασιάστηκαν με τον κατάλληλο συντελεστή α ώστε να δίνουν όλες συντελεστή συμπεριφοράς $q=3$. Στην ουσία, λοιπόν, υπολογίστηκε για κάθε καταγραφή μία καινούργια ελαστική επιτάχυνση $S'_{\alpha_{el}} = \alpha \cdot S_{\alpha_{el}}$, η οποία για $q=3$ πρέπει να είναι ίση με $S'_{\alpha_{el}} = q \cdot S_{\alpha_y} = 3 \cdot 2,38 \text{ m/s}^2 = 7.14 \text{ m/s}^2$. Με τη χρήση

αυτής της νέας ελαστικής επιτάχυνσης και διαιρώντας την κάθε φορά με την ελαστική επιτάχυνση, όπως προκύπτει από το ισοδύναμο μονοβάθμιο, της εκάστοτε αρχικής καταγραφής, υπολογίζω τον συντελεστή α . Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ελαστικές επιταχύνσεις κάθε σεισμού καθώς και ο συντελεστής α που προκύπτει.

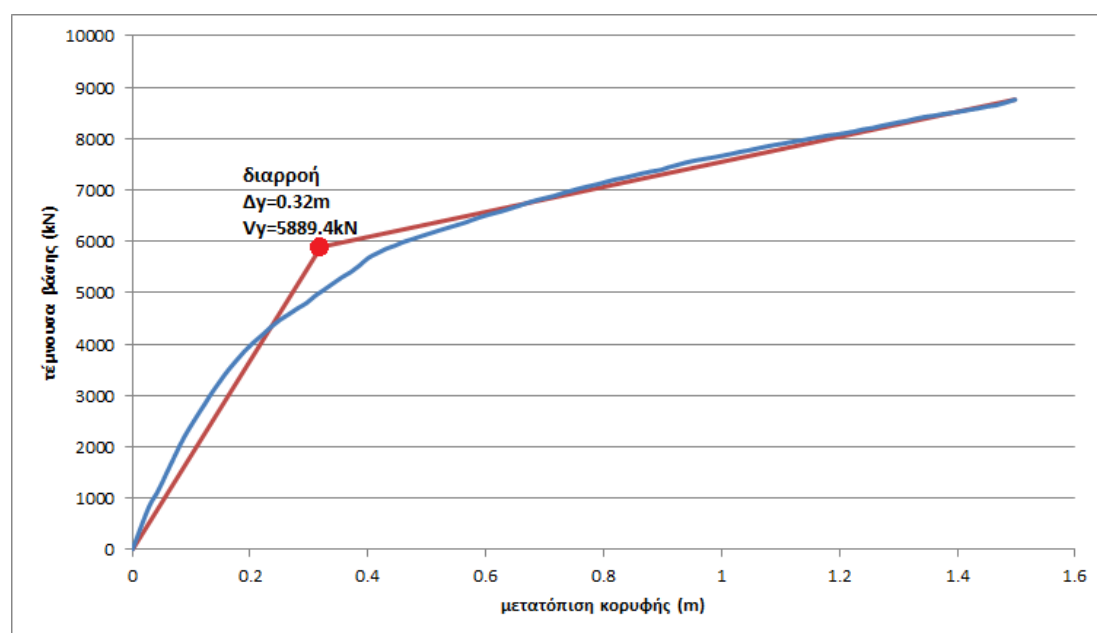
| No # | $S_{a_{el}}$ | α |
|------|--------------|----------|
| 1 | 5.00 | 1.4280 |
| 2 | 1.50 | 4.7600 |
| 3 | 2.50 | 2.8560 |
| 4 | 3.60 | 1.9833 |
| 5 | 1.80 | 3.9667 |
| 6 | 1.80 | 3.9667 |
| 7 | 6.00 | 1.1900 |
| 8 | 2.10 | 3.4000 |
| 9 | 1.00 | 7.1400 |
| 10 | 0.80 | 8.9250 |
| 11 | 3.50 | 2.0400 |
| 12 | 3.20 | 2.2313 |
| 13 | 4.20 | 1.7000 |
| 14 | 4.50 | 1.5867 |
| 15 | 1.50 | 4.7600 |
| 16 | 2.80 | 2.5500 |
| 17 | 1.30 | 5.4923 |
| 18 | 1.00 | 7.1400 |
| 19 | 2.80 | 2.5500 |
| 20 | 1.90 | 3.7579 |
| 21 | 1.27 | 5.6220 |
| 22 | 1.00 | 7.1400 |
| 23 | 0.57 | 12.5263 |
| 24 | 1.45 | 4.9200 |
| 25 | 1.00 | 7.1400 |
| 26 | 1.70 | 4.2000 |
| 27 | 2.00 | 3.5700 |
| 28 | 2.73 | 2.6154 |
| 29 | 3.13 | 2.2812 |
| 30 | 0.60 | 11.9000 |
| 31 | 0.58 | 12.3103 |
| 32 | 9.31 | 0.7669 |
| 33 | 1.90 | 3.7579 |
| 34 | 3.00 | 2.3800 |
| 35 | 2.86 | 2.4965 |
| 36 | 3.23 | 2.2105 |
| 37 | 6.36 | 1.1226 |
| 38 | 3.58 | 2.2453 |

| No # | $S\alpha_{el}$ | α |
|------|----------------|----------|
| 39 | 0.95 | 7.5158 |
| 40 | 3.06 | 2.3330 |
| 41 | 1.82 | 3.9231 |
| 42 | 4.00 | 1.7850 |
| 43 | 4.19 | 1.7041 |
| 44 | 1.56 | 4.5769 |
| 45 | 3.75 | 1.9040 |
| 46 | 6.73 | 1.0609 |
| 47 | 0.91 | 7.8462 |
| 48 | 2.76 | 2.5870 |
| 49 | 6.66 | 1.0721 |
| 50 | 5.12 | 1.3945 |
| 51 | 4.28 | 1.6682 |
| 52 | 6.65 | 1.0737 |
| 53 | 4.51 | 1.5831 |
| 54 | 14.50 | 0.4924 |
| 55 | 1.10 | 6.4909 |
| 56 | 4.87 | 1.4661 |
| 57 | 2.45 | 2.9143 |
| 58 | 3.22 | 2.2174 |
| 59 | 1.34 | 5.3284 |
| 60 | 1.30 | 5.4923 |
| 61 | 1.57 | 4.5478 |
| 62 | 1.91 | 3.7382 |
| 63 | 1.70 | 4.2000 |
| 64 | 1.50 | 4.7600 |
| 65 | 1.53 | 4.6667 |
| 66 | 1.28 | 5.5781 |
| 67 | 1.29 | 5.5349 |
| 68 | 1.87 | 3.8182 |
| 69 | 1.56 | 4.5769 |
| 70 | 1.62 | 4.4074 |
| 71 | 1.44 | 4.9583 |
| 72 | 1.16 | 6.1552 |
| 73 | 8.00 | 0.8925 |
| 74 | 6.00 | 1.1900 |
| 75 | 3.64 | 1.9615 |
| 76 | 2.14 | 3.3364 |
| 77 | 1.94 | 3.6804 |
| 78 | 1.17 | 6.1026 |
| 79 | 1.36 | 5.2500 |
| 80 | 1.69 | 4.2249 |
| 81 | 4.80 | 1.4875 |

| No # | S _{a_{el}} | α |
|------|-----------------------------|--------|
| 82 | 1.61 | 4.4348 |
| 83 | 1.12 | 6.3750 |
| 84 | 2.46 | 2.9024 |
| 85 | 1.93 | 3.6995 |
| 86 | 1.40 | 5.1000 |
| 87 | 0.89 | 8.0225 |
| 88 | 1.93 | 3.6995 |
| 89 | 2.67 | 2.6742 |
| 90 | 1.73 | 4.1272 |
| 91 | 3.23 | 2.2105 |

πίνακας 4.1 - ελαστικές επιταχύνσεις και συντελεστής α για κάθε καταγραφή της βάσης NGA

Από τις 91 καταγραφές της βάσης NGA σε 23 έγινε γραμμική ανάλυση της χρονοϊστορίας με απ' ευθείας ολοκλήρωση (Linear Direct-Integration Time-History Analysis). Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς του κτηρίου, απαλλαγμένη από την επιρροή του ισοδύναμου μονοβάθμιου. Ο υπολογισμός της μετατόπισης και της δύναμης διαρροής, ώστε να είναι απαλλαγμένες από την επιρροή του μονοβάθμιου, γίνεται μέσω διγραμμικοποίησης της καμπύλης ικανότητας (pushover) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.



σχήμα 4.1 – διγραμμικοποίηση καμπύλης ικανότητας (pushover)

Προκύπτει για την μετατόπιση και την τέμνουσα βάσης διαρροής:

$$\Delta y = 0.32 \text{ m}$$

$$V_y = 5889 \text{ kN}$$

Για κάθε καταγραφή υπολογίζεται ο συντελεστής συμπεριφοράς q , απαλλαγμένος πλέον από την επιρροή του μονοβάθμιου σύμφωνα με τον τύπο: $q = \frac{V}{V_y}$

4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

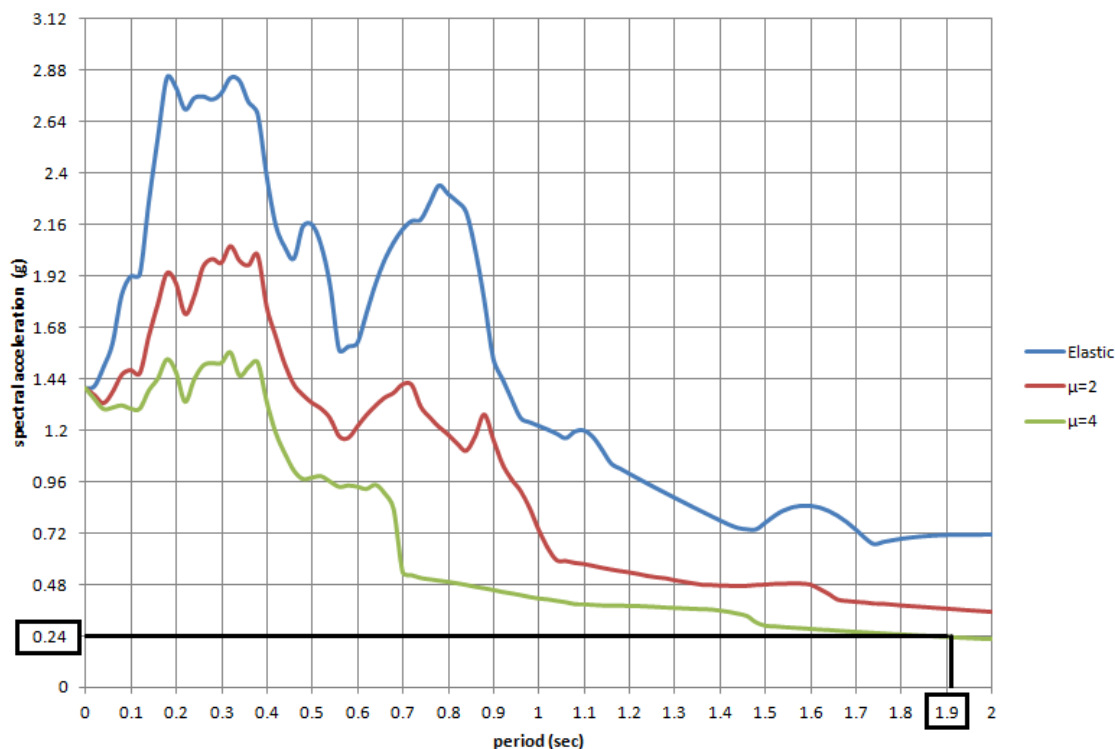
Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης των χρονοϊστοριών των 91 καταγραφών που παίρνουμε από το Sap, ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα εξής, τα οποία και παρουσιάζονται στους πίνακες 4.2 και 4.3 που ακολουθούν:

- Η μέγιστη τιμή μετατόπισης της κορυφής (maxΔ) κάθε καταγραφής για κάθε σεισμό, καθώς και η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης (αντ. V) που αναπτύσσεται (πίνακας 4.2).
- Η πλαστιμότητα μ που αναπτύσσεται στο κτήριο για κάθε σεισμό (πίνακας 4.3).
- Η τιμή του μέγιστου drift που αναπτύσσετε στο κτήριο, για κάθε σεισμό (πίνακας 4.3). Το drift αποτελεί την κλίση κάθε ορόφου σε σχέση με τον προηγούμενο και εκφράζεται ως ποσοστό επί τις εκατό. Για τον όροφο i , με ύψος ορόφου h_i υπολογίζεται από τον τύπο:

$$d_i(\%) = \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_i} \cdot 100$$

όπου δ η μετατόπιση του αντίστοιχου ορόφου. Στο συγκεκριμένο κτήριο παρατηρείται μέγιστο drift στον 3ο όροφο.

Ακόμα υπολογίστηκε η πλαστιμότητα μ του ισοδύναμου μονοβάθμιου (πίνακας 4.3) για κάθε καταγραφή (την αρχική και τον παλμό) από το φάσμα επιτάχυνσης της καταγραφής για $T=T^*=1.91\text{sec}$ και $a=S_{a\gamma}=0.24g$, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.

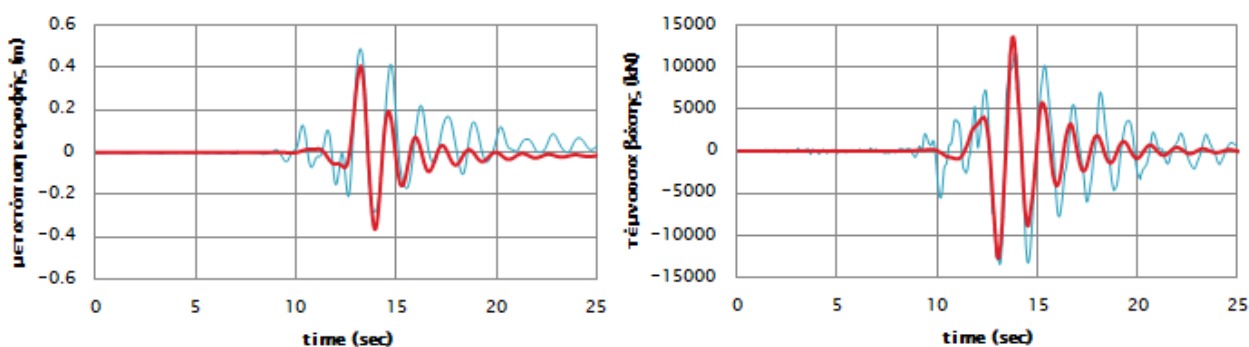


σχήμα 4.2 - φάσμα επιτάχυνσης καταγραφής #51 (πίνακας 3.1) και προσδιορισμός πλαστιμότητας $\mu=4$

Δύο παραδείγματα ανάλυσης καταγραφών παρουσιάζονται παρακάτω, για τις καταγραφές 35 και 36 του πίνακα 3.1.

#35 Loma Prieta (1989), Gilroy Array #2

Οι πλαστιμότητες που αναπτύχθηκαν είναι μεγαλύτερες της μονάδας, $\mu_{original}=1.50$, $\mu_{pulse}=1.30$, και ο φορέας συμπεριφέρθηκε ανελαστικά. Στο σχήμα 4.3 γίνεται σύγκριση της χρονοϊστορίας της μετακίνησης κορυφής (4.2α) και της τέμνουσας βάσης (4.2β) για την αρχική καταγραφή και τον εξαγόμενο παλμό. Παρατηρούμε μέγιστη μετατόπιση για την αρχική καταγραφή (μπλε γραμμή) στο χρόνο $t=13.24\text{sec}$ με τιμή $\max\Delta_{original}=0.49\text{m}$, και αντίστοιχη τέμνουσα βάσης $V_{original}=11582\text{kN}$. Η μέγιστη τέμνουσα βάσης που αναπτύσσεται είναι $\max V_{original}=11666\text{kN}$ για $t=13.92\text{sec}$. Αντίστοιχα για τον παλμό (κόκκινη γραμμή) έχουμε $\max\Delta_{pulse}=0.40\text{m}$ για $t=13.22\text{sec}$ και $V_{pulse}=7522\text{kN}$. Η μέγιστη τέμνουσα βάσης που αναπτύσσεται είναι $\max V_{pulse}=13561\text{kN}$ για $t=13.76\text{sec}$.



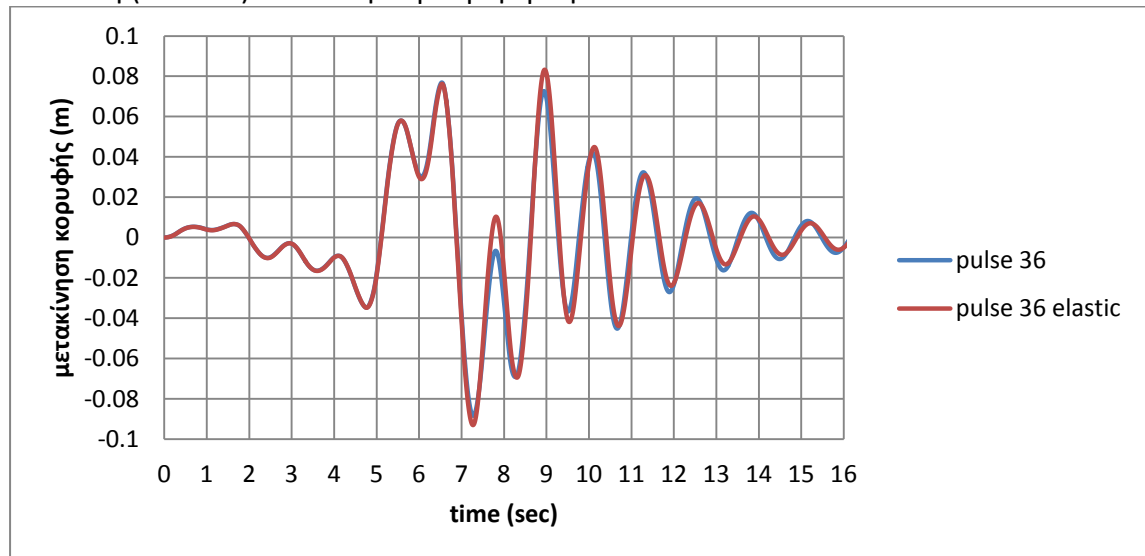
(α)

(β)

σχήμα 4.3 - σύγκριση χρονοϊστορίας original (μπλε) και pulse (κόκκινο) (α)μετατόπισης κορυφής και (β) τέμνουσας βάσης για #35 του πίνακα 3.1

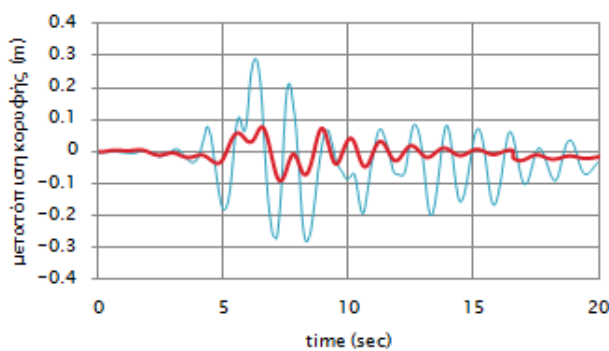
#36 Loma Prieta (1989), Saratoga Aloha Ave.

Οι πλαστιμότητες που αναπτύχθηκαν είναι μικρότερες της μονάδας, $\mu_{\text{original}}=0.89$, $\mu_{\text{pulse}}=0.27$, και ο φορέας όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4 όπου γίνεται σύγκριση της ιστορίας της μετακίνησης κορυφής του παλμού με ανελαστική (μπλε) και ελαστική (κόκκινο) ανάλυση συμπεριφέρθηκε ελαστικά.

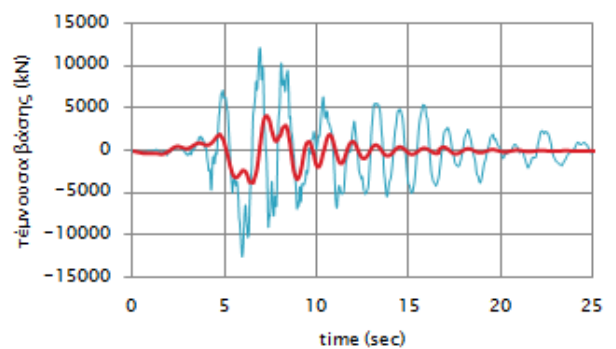


σχήμα 4.4 - σύγκριση ιστορίας μετατόπισης κορυφής για ελαστική και ανελαστική ανάλυση για τον παλμό της καταγραφής 36

Στο σχήμα 4.5 γίνεται σύγκριση της ιστορίας της μετακίνησης κορυφής (4.4α) και της τέμνουσας βάσης (4.4β) για την αρχική καταγραφή και τον εξαγόμενο παλμό. Παρατηρούμε μέγιστη μετατόπιση για την αρχική καταγραφή (μπλε γραμμή) στο χρόνο $t=6.305\text{sec}$ με τιμή $\max\Delta_{\text{original}}=0.29\text{m}$, και αντίστοιχη τέμνουσα βάσης $V_{\text{original}}=10184\text{kN}$. Η μέγιστη τέμνουσα βάσης που αναπτύσσεται είναι $\max V_{\text{original}}=12225\text{N}$ για $t=6.94\text{sec}$. Αντίστοιχα για τον παλμό (κόκκινη γραμμή) έχουμε $\max\Delta_{\text{pulse}}=0.09\text{m}$ για $t=7.275\text{sec}$ και $V_{\text{pulse}}=4146\text{kN}$. Η μέγιστη τέμνουσα βάσης που αναπτύσσεται είναι $\max V_{\text{pulse}}=4159\text{kN}$ για $t=7.255\text{sec}$.



(α)



(β)

σχήμα 4.5 - σύγκριση ιστορίας original (μπλε) και pulse (κόκκινο) (α) μετατόπισης κορυφής και (β) τέμνουσας βάσης για #36 του πίνακα 3.1

| No # | original | | pulse | |
|------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| | max Δ (m) | αντ. V (kN) | max Δ (m) | αντ. V (kN) |
| 1 | 0.56 | 7655 | 0.54 | 8604 |
| 2 | 0.70 | 5925 | 0.68 | 8168 |
| 3 | 0.47 | 8876 | 0.34 | 8470 |
| 4 | 0.34 | 9986 | 0.32 | 8816 |
| 5 | 0.47 | 10876 | 0.15 | 6462 |
| 6 | 0.51 | 9867 | 0.27 | 7497 |
| 7 | 0.33 | 10431 | 0.23 | 7148 |
| 8 | 0.43 | 10306 | 0.14 | 5505 |
| 9 | 0.60 | 9980 | 0.11 | 5286 |
| 10 | 0.69 | 10815 | 0.43 | 9613 |
| 11 | 0.57 | 11055 | 0.23 | 7199 |
| 12 | 0.61 | 11258 | 0.42 | 9442 |
| 13 | 0.46 | 11329 | 0.40 | 9001 |
| 14 | 0.48 | 9690 | 0.18 | 7059 |
| 15 | 0.57 | 14288 | 0.25 | 7288 |
| 16 | 0.43 | 10014 | 0.09 | 4341 |
| 17 | 0.76 | 12613 | 0.49 | 10572 |
| 18 | 0.60 | 14805 | 0.67 | 7817 |
| 19 | 0.24 | 7884 | 0.28 | 7957 |
| 20 | 0.33 | 11262 | 0.16 | 6218 |
| 21 | 0.59 | 11591 | 0.42 | 6204 |
| 22 | 0.90 | 11053 | 0.76 | 5421 |
| 23 | 0.64 | 14943 | 0.07 | 2832 |
| 24 | 0.72 | 4205 | 0.81 | 4384 |
| 25 | 0.92 | 6357 | 0.95 | 8292 |
| 26 | 0.51 | 12327 | 0.52 | 8139 |
| 27 | 0.49 | 8257 | 0.49 | 7950 |
| 28 | 0.61 | 7498 | 0.58 | 8573 |
| 29 | 0.48 | 5814 | 0.41 | 3474 |
| 30 | 0.75 | 4805 | 0.74 | 5153 |
| 31 | 0.99 | 7438 | 0.83 | 6508 |
| 32 | 0.36 | 8681 | 0.27 | 7323 |
| 33 | 0.48 | 7742 | 0.32 | 6966 |
| 34 | 0.44 | 12202 | 0.43 | 8367 |
| 35 | 0.49 | 11582 | 0.40 | 7522 |
| 36 | 0.29 | 10184 | 0.09 | 4146 |
| 37 | 0.49 | 8785 | 0.28 | 7186 |
| 38 | 0.75 | 8369 | 0.29 | 7130 |
| 39 | 0.52 | 7640 | 0.10 | 4599 |
| 40 | 0.75 | 14731 | 0.78 | 13810 |
| 41 | 0.66 | 11618 | 0.11 | 5052 |
| 42 | 0.47 | 9857 | 0.29 | 8269 |

| No # | original | | pulse | |
|------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| | max Δ (m) | αντ. V (kN) | max Δ (m) | αντ. V (kN) |
| 43 | 0.47 | 9857 | 0.29 | 8269 |
| 44 | 0.59 | 8130 | 0.36 | 8266 |
| 45 | 0.46 | 12490 | 0.41 | 9010 |
| 46 | 0.40 | 9294 | 0.35 | 8105 |
| 47 | 0.74 | 14479 | 0.39 | 10213 |
| 48 | 0.64 | 9088 | 0.61 | 4893 |
| 49 | 0.54 | 11101 | 0.58 | 9538 |
| 50 | 0.59 | 8647 | 0.30 | 8170 |
| 51 | 0.52 | 4527 | 0.18 | 6469 |
| 52 | 0.43 | 9138 | 0.20 | 7329 |
| 53 | 0.39 | 5876 | 0.41 | 7973 |
| 54 | 0.37 | 8550 | 0.34 | 7703 |
| 55 | 0.62 | 6931 | 0.35 | 8852 |
| 56 | 0.26 | 5785 | 0.22 | 7099 |
| 57 | 0.59 | 8761 | 0.56 | 8799 |
| 58 | 0.32 | 6441 | 0.17 | 6171 |
| 59 | 0.48 | 10428 | 0.41 | 8770 |
| 60 | 0.60 | 13546 | 0.50 | 10593 |
| 61 | 0.67 | 12390 | 0.44 | 9998 |
| 62 | 0.34 | 7309 | 0.07 | 3510 |
| 63 | 0.38 | 8761 | 0.38 | 8428 |
| 64 | 0.44 | 10509 | 0.21 | 6442 |
| 65 | 0.44 | 9713 | 0.26 | 7071 |
| 66 | 0.49 | 6461 | 0.12 | 5448 |
| 67 | 0.34 | 7974 | 0.14 | 5642 |
| 68 | 0.44 | 8847 | 0.05 | 2952 |
| 69 | 0.40 | 4600 | 0.04 | 2240 |
| 70 | 0.40 | 5199 | 0.10 | 5024 |
| 71 | 0.44 | 11018 | 0.05 | 2755 |
| 72 | 0.48 | 7582 | 0.05 | 3037 |
| 73 | 0.26 | 6257 | 0.11 | 5090 |
| 74 | 0.46 | 11588 | 0.07 | 3943 |
| 75 | 0.50 | 10937 | 0.17 | 6222 |
| 76 | 0.34 | 12059 | 0.18 | 6285 |
| 77 | 0.42 | 10224 | 0.11 | 5212 |
| 78 | 0.50 | 11401 | 0.13 | 5764 |
| 79 | 0.41 | 8545 | 0.08 | 4148 |
| 80 | 0.63 | 13320 | 0.09 | 4369 |
| 81 | 0.49 | 10313 | 0.05 | 2594 |
| 82 | 0.47 | 9410 | 0.18 | 6169 |
| 83 | 0.59 | 10802 | 0.08 | 4161 |
| 84 | 0.51 | 9170 | 0.10 | 4818 |

| No # | original | | pulse | |
|------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| | max Δ (m) | αντ. V (kN) | max Δ (m) | αντ. V (kN) |
| 85 | 0.42 | 5681 | 0.09 | 4507 |
| 86 | 0.49 | 4473 | 0.53 | 7787 |
| 87 | 0.75 | 15731 | 0.55 | 5161 |
| 88 | 0.30 | 7041 | 0.27 | 8176 |
| 89 | 0.69 | 6869 | 0.70 | 8515 |
| 90 | 0.80 | 5098 | 0.56 | 4304 |
| 91 | 0.23 | 7413 | 0.25 | 7290 |

πίνακας 4.2 - μέγιστη μετατόπιση κορυφής maxΔ και αντίστοιχη τέμνουσα βάσης V, για όλες τις καταγραφές της βάσης NGA

| No # | original | | | pulse | | |
|------|----------|--------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| | μ | max drift(%) | μ μονοβάθμιου | μ | max drift(%) | μ μονοβάθμιου |
| 1 | 1.72 | 3.83 | 3.00 | 1.66 | 3.59 | 3.00 |
| 2 | 2.15 | 5.00 | 5.00 | 2.09 | 4.16 | 3.50 |
| 3 | 1.44 | 3.13 | 2.00 | 1.04 | 2.32 | 2.40 |
| 4 | 1.04 | 3.27 | 2.30 | 0.98 | 2.32 | 2.40 |
| 5 | 1.44 | 3.23 | 6.60 | 0.46 | 1.13 | 2.50 |
| 6 | 1.57 | 3.54 | 11.30 | 0.83 | 1.04 | 6.00 |
| 7 | 1.01 | 2.20 | 3.20 | 0.71 | 1.71 | 4.80 |
| 8 | 1.32 | 2.93 | 5.80 | 0.42 | 1.00 | 1.80 |
| 9 | 1.84 | 3.86 | 5.00 | 0.34 | 0.74 | 1.30 |
| 10 | 2.12 | 4.72 | 20.00 | 1.31 | 3.00 | 12.00 |
| 11 | 1.75 | 5.65 | 9.00 | 0.70 | 1.62 | 2.20 |
| 12 | 1.87 | 4.07 | 11.40 | 1.29 | 2.97 | 9.30 |
| 13 | 1.41 | 3.31 | 8.90 | 1.23 | 2.86 | 8.90 |
| 14 | 1.47 | 2.96 | 4.60 | 0.56 | 1.35 | 3.00 |
| 15 | 1.75 | 3.70 | 10.00 | 0.77 | 1.85 | 3.00 |
| 16 | 1.32 | 2.90 | 6.20 | 0.28 | 0.60 | 0.28 |
| 17 | 2.33 | 5.12 | 14.00 | 1.50 | 3.31 | 9.00 |
| 18 | 1.84 | 4.00 | 4.20 | 2.06 | 3.84 | 3.80 |
| 19 | 0.74 | 1.80 | 4.40 | 0.86 | 1.99 | 3.60 |
| 20 | 1.01 | 2.04 | 2.50 | 0.49 | 1.17 | 3.40 |
| 21 | 1.81 | 4.24 | 5.60 | 1.28 | 2.84 | 1.80 |
| 22 | 2.76 | 6.30 | 9.00 | 2.33 | 5.23 | 5.30 |
| 23 | 0.19 | 0.78 | 4.80 | 0.21 | 0.59 | 4.30 |
| 24 | 2.21 | 5.00 | 8.30 | 2.49 | 5.30 | 4.40 |
| 25 | 2.83 | 5.88 | 4.00 | 2.92 | 4.56 | 2.90 |
| 26 | 1.57 | 3.17 | 3.80 | 1.59 | 3.40 | 4.30 |
| 27 | 1.50 | 3.30 | 3.60 | 1.50 | 3.24 | 4.20 |
| 28 | 1.87 | 4.08 | 4.00 | 1.78 | 3.76 | 2.90 |
| 29 | 1.47 | 2.80 | 3.00 | 1.27 | 2.12 | 1.30 |

| No # | original | | | pulse | | |
|------|----------|--------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| | μ | max drift(%) | μ μονοβάθμιου | μ | max drift(%) | μ μονοβάθμιου |
| 30 | 2.30 | 5.30 | 5.30 | 2.27 | 5.00 | 4.60 |
| 31 | 3.04 | 6.40 | 11.00 | 2.55 | 5.48 | 3.80 |
| 32 | 1.11 | 2.45 | 2.40 | 0.83 | 1.92 | 2.30 |
| 33 | 1.47 | 3.00 | 3.30 | 0.98 | 2.18 | 4.00 |
| 34 | 1.35 | 3.08 | 2.00 | 1.32 | 2.94 | 4.00 |
| 35 | 1.50 | 3.39 | 3.80 | 1.23 | 2.74 | 3.80 |
| 36 | 0.89 | 2.06 | 4.00 | 0.27 | 4.94 | 0.77 |
| 37 | 1.50 | 3.22 | 3.50 | 0.86 | 1.92 | 2.50 |
| 38 | 2.30 | 4.91 | 8.00 | 0.89 | 2.09 | 3.00 |
| 39 | 1.60 | 3.30 | 2.90 | 0.30 | 0.65 | 0.89 |
| 40 | 2.30 | 5.03 | 19.00 | 2.40 | 5.35 | 30.00 |
| 41 | 2.03 | 4.32 | 6.00 | 0.33 | 0.68 | 1.40 |
| 42 | 1.44 | 3.00 | 4.00 | 0.89 | 2.01 | 5.30 |
| 43 | 1.44 | 3.00 | 4.00 | 0.89 | 2.01 | 5.30 |
| 44 | 1.81 | 4.10 | 7.00 | 1.11 | 2.52 | 3.50 |
| 45 | 1.41 | 3.10 | 2.60 | 1.26 | 2.64 | 3.50 |
| 46 | 1.23 | 2.70 | 4.00 | 1.07 | 2.43 | 3.60 |
| 47 | 2.27 | 5.52 | 15.00 | 1.18 | 2.85 | 2.00 |
| 48 | 1.97 | 4.00 | 3.80 | 1.87 | 4.17 | 4.00 |
| 49 | 1.66 | 3.29 | 3.00 | 1.78 | 3.60 | 3.70 |
| 50 | 1.81 | 3.92 | 5.40 | 0.92 | 2.07 | 3.60 |
| 51 | 1.60 | 3.70 | 4.00 | 0.56 | 1.28 | 3.60 |
| 52 | 1.32 | 2.80 | 3.70 | 0.60 | 1.41 | 2.50 |
| 53 | 1.20 | 2.70 | 2.00 | 1.27 | 2.70 | 2.50 |
| 54 | 1.14 | 2.56 | 3.20 | 1.06 | 2.35 | 2.30 |
| 55 | 1.90 | 4.02 | 15.00 | 1.09 | 2.49 | 7.50 |
| 56 | 0.80 | 1.75 | 2.60 | 0.69 | 1.56 | 3.10 |
| 57 | 1.81 | 3.77 | 3.00 | 1.72 | 3.65 | 2.80 |
| 58 | 0.98 | 2.10 | 5.30 | 0.51 | 1.16 | 2.00 |
| 59 | 1.47 | 3.18 | 7.00 | 1.26 | 2.82 | 6.50 |
| 60 | 1.84 | 4.19 | 20.00 | 1.52 | 3.36 | 15.00 |
| 61 | 2.06 | 4.36 | 17.40 | 1.35 | 3.01 | 12.00 |
| 62 | 1.04 | 2.28 | 4.00 | 0.21 | 0.45 | 0.62 |
| 63 | 1.17 | 2.66 | 8.00 | 1.18 | 0.87 | 5.80 |
| 64 | 1.35 | 2.90 | 6.80 | 0.64 | 1.52 | 1.60 |
| 65 | 1.35 | 2.87 | 10.00 | 0.80 | 1.89 | 1.80 |
| 66 | 1.50 | 3.68 | 4.00 | 0.37 | 0.86 | 1.40 |
| 67 | 1.04 | 2.19 | 3.40 | 0.41 | 0.97 | 1.80 |
| 68 | 1.35 | 2.86 | 6.00 | 0.16 | 0.34 | 0.50 |
| 69 | 1.23 | 7.31 | 5.00 | 0.13 | 0.27 | 0.41 |
| 70 | 1.23 | 2.97 | 4.40 | 0.29 | 0.65 | 0.96 |
| 71 | 1.35 | 2.69 | 6.00 | 0.14 | 0.30 | 0.47 |

| No # | original | | | pulse | | |
|------|----------|--------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| | μ | max drift(%) | μ μονοβάθμιου | μ | max drift(%) | μ μονοβάθμιου |
| 72 | 1.47 | 3.00 | 3.80 | 0.16 | 0.34 | 0.53 |
| 73 | 0.80 | 1.92 | 3.00 | 0.35 | 0.75 | 1.04 |
| 74 | 1.42 | 3.30 | 13.00 | 0.22 | 0.49 | 0.68 |
| 75 | 1.54 | 3.44 | 10.00 | 0.53 | 1.23 | 1.50 |
| 76 | 1.04 | 2.87 | 5.40 | 0.56 | 1.32 | 4.50 |
| 77 | 1.29 | 2.90 | 5.20 | 0.34 | 0.76 | 0.50 |
| 78 | 1.53 | 3.44 | 15.00 | 0.41 | 0.93 | 1.50 |
| 79 | 1.26 | 2.68 | 7.00 | 0.25 | 0.54 | 0.73 |
| 80 | 1.93 | 4.16 | 11.00 | 0.26 | 0.56 | 0.82 |
| 81 | 1.50 | 3.35 | 3.00 | 0.15 | 0.31 | 0.44 |
| 82 | 1.44 | 3.30 | 12.60 | 0.56 | 1.33 | 1.80 |
| 83 | 1.80 | 3.75 | 5.00 | 0.23 | 0.52 | 0.73 |
| 84 | 1.56 | 3.43 | 15.00 | 0.30 | 0.69 | 0.96 |
| 85 | 1.29 | 2.70 | 3.00 | 0.26 | 0.58 | 0.84 |
| 86 | 1.50 | 3.30 | 3.40 | 1.62 | 3.40 | 3.20 |
| 87 | 2.30 | 5.24 | 6.00 | 1.70 | 3.75 | 3.30 |
| 88 | 0.92 | 1.96 | 4.00 | 0.82 | 1.88 | 5.00 |
| 89 | 2.13 | 4.40 | 5.00 | 2.15 | 4.44 | 4.20 |
| 90 | 2.46 | 5.00 | 4.00 | 1.73 | 3.35 | 2.80 |
| 91 | 0.69 | 1.57 | 3.40 | 0.77 | 1.80 | 3.60 |

πίνακας 4.3 - πλαστιμότητα μ, μέγιστο drift, μ μονοβάθμιου για της καταγραφές της βάσης NGA

Στον παρακάτω πίνακα 4.4 φαίνονται τα αποτελέσματα των γραμμικών αναλύσεων που έγιναν για τις καταγραφές #11, 12, 19, 36, 39, 51, 62, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89 (του πίνακα 3.1) τόσο στο αρχικό επιταχυνσιογράφημα (original) όσο και στον παλμό (pulse).

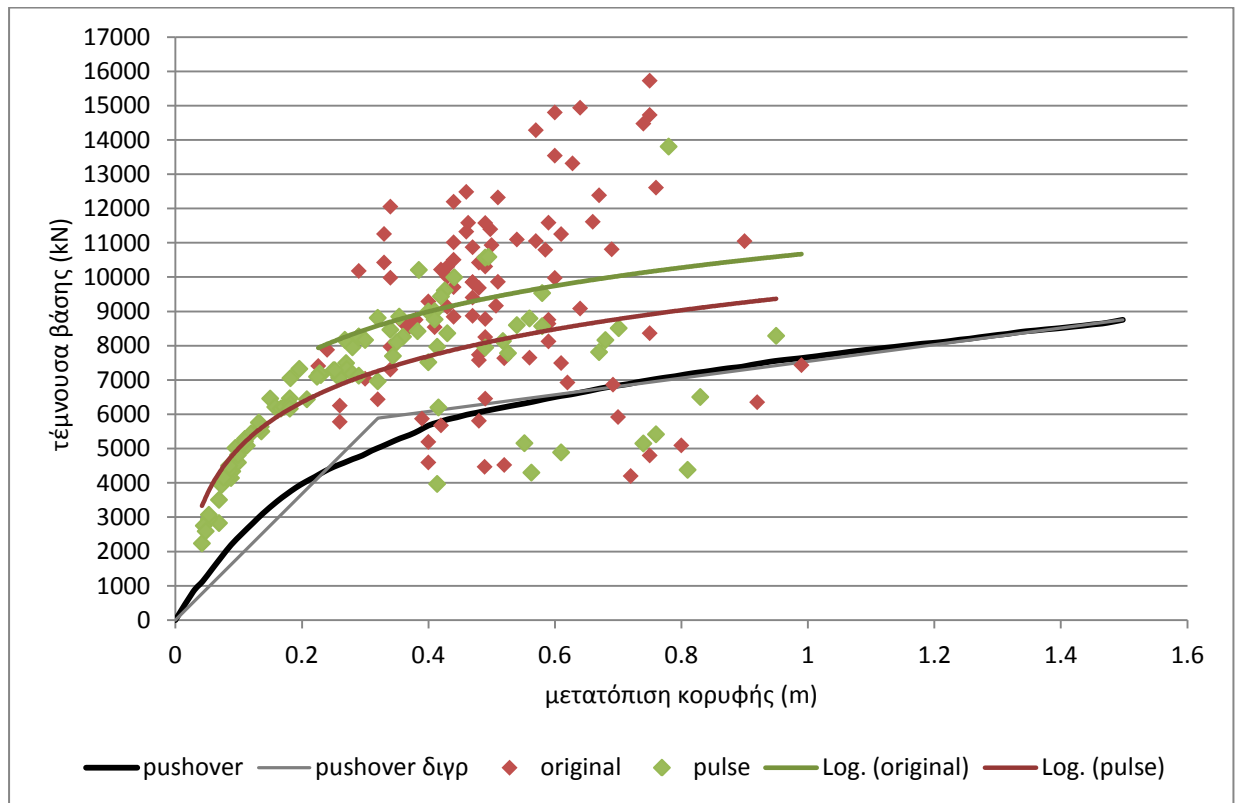
| No # | original | | | pulse | | |
|------|----------|--------|------|-------|--------|------|
| | maxΔ | αντ. V | q | maxΔ | αντ. V | q |
| 11 | 0.44 | 23597 | 4.01 | 0.15 | 8091 | 1.37 |
| 12 | 0.39 | 17293 | 2.94 | 0.25 | 12663 | 2.15 |
| 19 | 0.25 | 11221 | 1.91 | 0.24 | 12052 | 2.05 |
| 36 | 0.56 | 22144 | 3.76 | 0.09 | 4549 | 0.77 |
| 39 | 0.64 | 23639 | 4.01 | 0.10 | 5213 | 0.89 |
| 51 | 0.48 | 21956 | 3.73 | 0.15 | 7738 | 1.31 |
| 62 | 0.42 | 17709 | 3.01 | 0.07 | 3657 | 0.62 |
| 68 | 0.59 | 24040 | 4.08 | 0.05 | 2968 | 0.50 |
| 69 | 0.54 | 21865 | 3.71 | 0.04 | 2440 | 0.41 |
| 70 | 0.66 | 26548 | 4.51 | 0.09 | 5631 | 0.96 |
| 71 | 0.62 | 23505 | 3.99 | 0.05 | 2775 | 0.47 |
| 72 | 0.60 | 22703 | 3.85 | 0.05 | 3098 | 0.53 |

| No # | original | | | pulse | | |
|------|----------|--------|------|-------|--------|------|
| | maxΔ | αντ. V | q | maxΔ | αντ. V | q |
| 73 | 0.43 | 20366 | 3.46 | 0.12 | 6124 | 1.04 |
| 74 | 0.53 | 28071 | 4.77 | 0.07 | 3995 | 0.68 |
| 79 | 0.52 | 23761 | 4.03 | 0.08 | 4271 | 0.73 |
| 80 | 0.77 | 30305 | 5.15 | 0.05 | 4804 | 0.82 |
| 81 | 0.64 | 26942 | 4.57 | 0.15 | 2604 | 0.44 |
| 82 | 0.51 | 25203 | 4.28 | 0.15 | 6981 | 1.19 |
| 83 | 0.73 | 34986 | 5.94 | 0.08 | 4274 | 0.73 |
| 84 | 0.34 | 17459 | 2.96 | 0.10 | 5680 | 0.96 |
| 85 | 0.57 | 27034 | 4.59 | 0.08 | 4956 | 0.84 |
| 88 | 0.32 | 14609 | 2.48 | 0.22 | 11337 | 1.92 |
| 91 | 0.20 | 10102 | 1.72 | 0.26 | 13368 | 2.27 |

πίνακας 4.4 - μέγιστη μετατόπιση κορυφής maxΔ, αντίστοιχη τέμνουσα βάσης V και συντελεστής συμπεριφοράς q για ελαστική ανάλυση χρονοϊστοριών

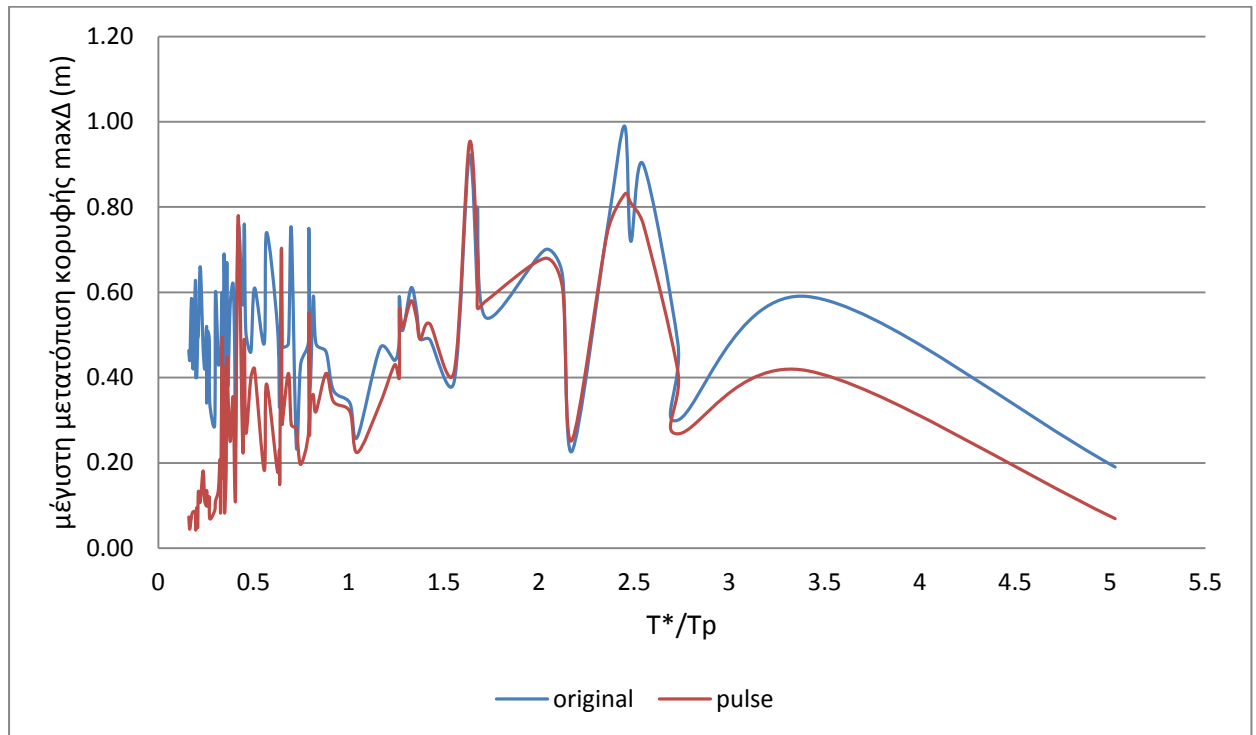
Για την ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων, τα αποτελέσματα των αναλύσεων που περιέχονται στους παραπάνω πίνακες, παρουσιάζονται σχηματικά και συγκρίνονται σε διαγράμματα που ακολουθούν.

Στο σχήμα 4.6 στο διάγραμμα μετατόπισης κορυφής-τέμνουσας βάσης προβάλλονται τα ζεύγη (maxΔ, αντ.V) του πίνακα 4.2 τόσο για τις αρχικές χρονοϊστορίες (original) όσο και για τους εξαγόμενους παλμούς (pulse), καθώς και η σχέση τους με την καμπύλη ικανότητας (pushover). Επίσης φαίνεται και η λογαριθμική συσχέτιση των σημείων αυτών.



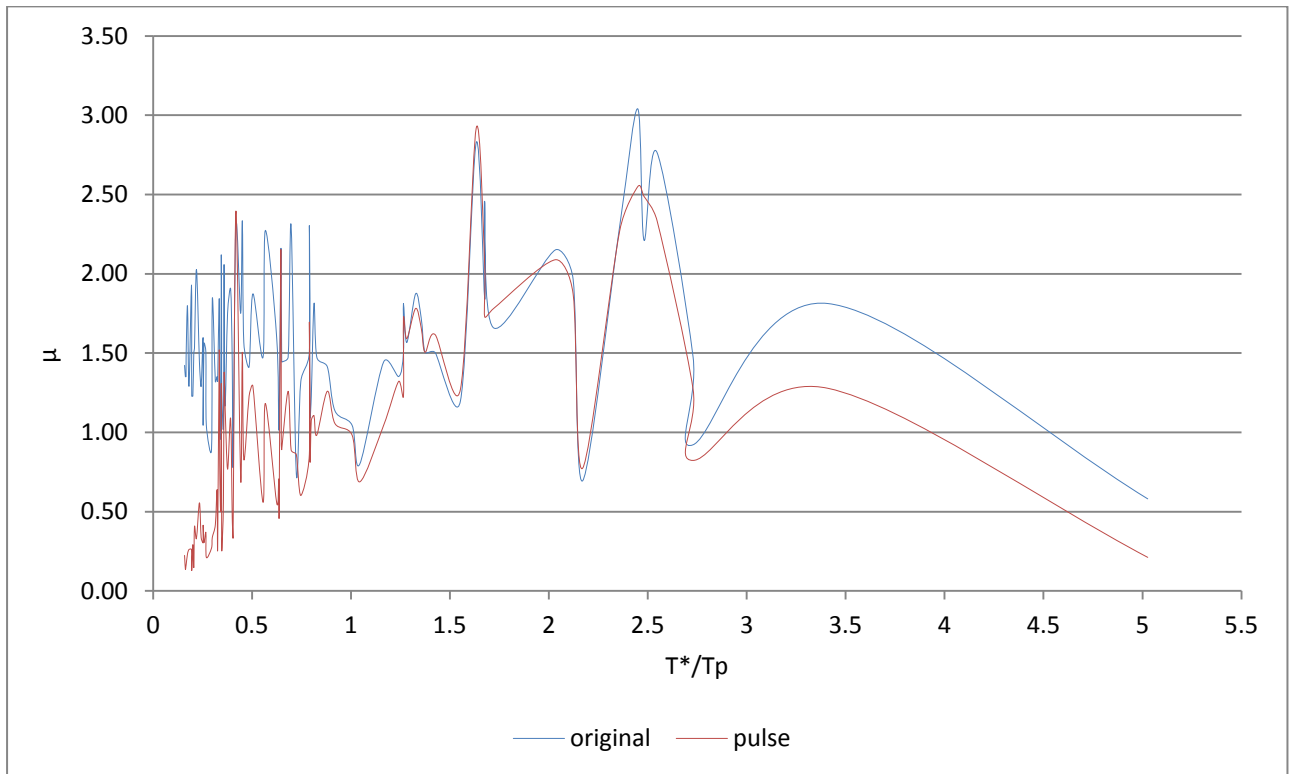
σχήμα 4.6 – καμπύλη ικανότητας pushover και ζεύγη (maxΔ, αντ. V)

Στα σχήματα που ακολουθούν τα αποτελέσματα των καταγραφών παρουσιάζονται σε συνάρτηση με το λόγο T^*/T_p (άξονας x). Η T^* είναι η ιδιοπερίοδος του ισοδύναμου μονοβάθμιου ίση με $T^*=1.91\text{sec}$, ενώ η T_p η δεσπόζουσα ιδιοπερίοδος κάθε καταγραφής σύμφωνα με την νέα μέθοδο που εφαρμόστηκε από τους Mimoglou et al. (πίνακας 3.1). Οι διάφορες τιμές των καταγραφών στα διαγράμματα που ακολουθούν έχουν ταξινομηθεί σε αύξουσα σειρά του λόγου T^*/T_p .

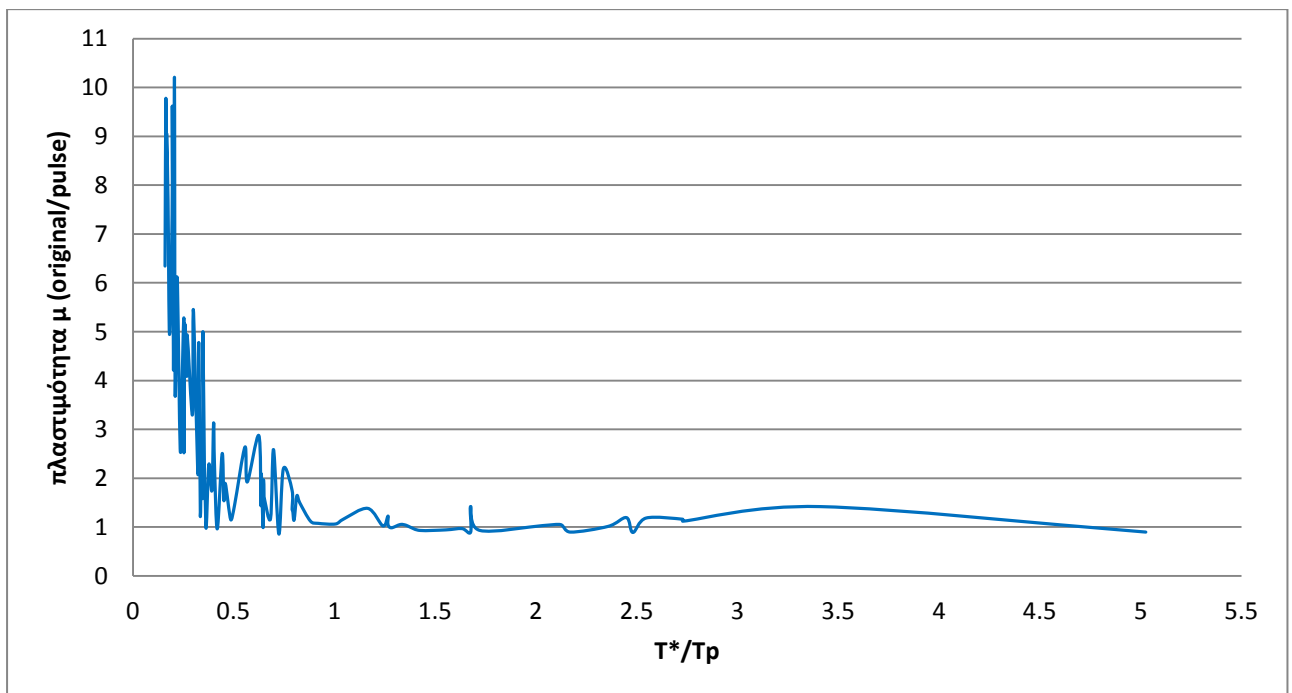


σχήμα 4.7 - σύγκριση μέγιστης μετατόπισης κορυφής $\max\Delta$ αρχικής καταγραφής και παλμού

Προφανώς ίδια μορφή έχει και το αντίστοιχο διάγραμμα σύγκρισης των πλαστιμοτήτων μ (σχήμα 4.8) καθώς $\mu = \max \Delta / (\Gamma \cdot Sd_{\gamma})$, όπου το γινόμενο $\Gamma \cdot Sd_{\gamma}$ είναι σταθερό.



σχήμα 4.8 - σύγκριση πλαστιμοτήτων αρχικής καταγραφής και παλμού

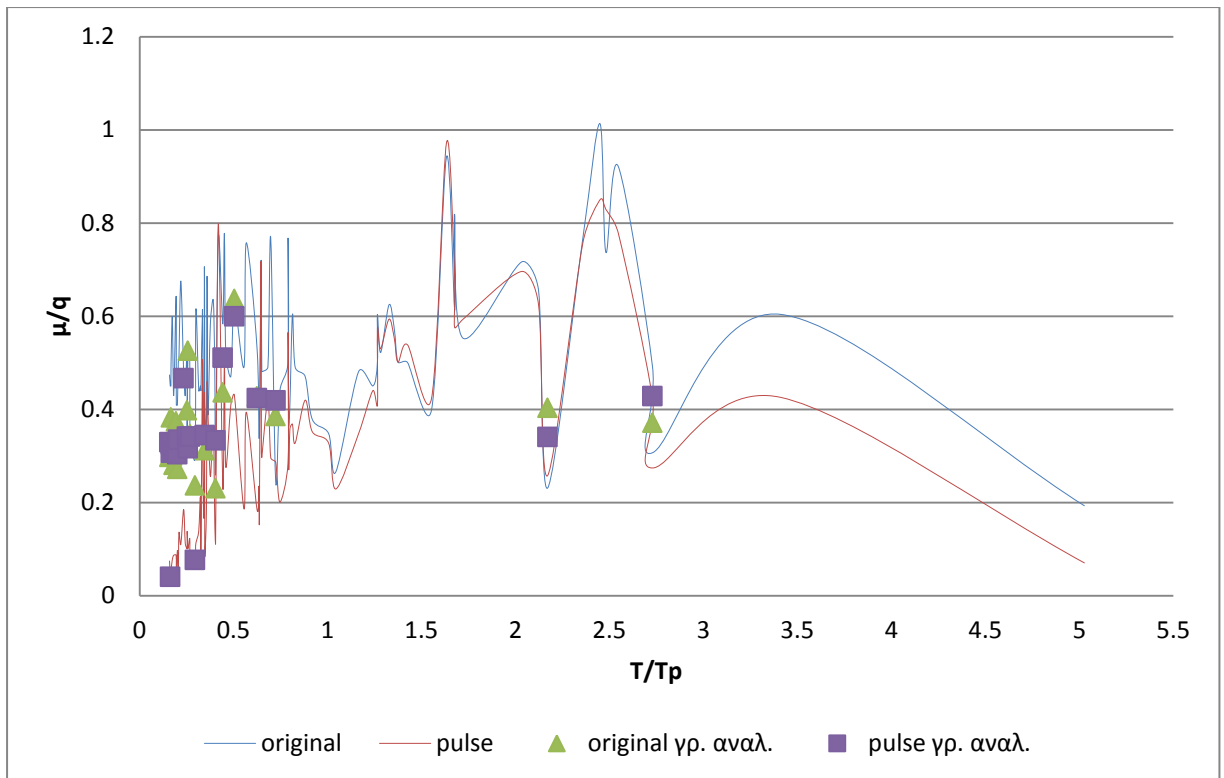


σχήμα 4.9 - μεταβολή λόγου πλαστιμότητας αρχικής καταγραφής προς πλαστιμότητα παλμού ($\mu_{\text{original}}/\mu_{\text{pulse}}$)

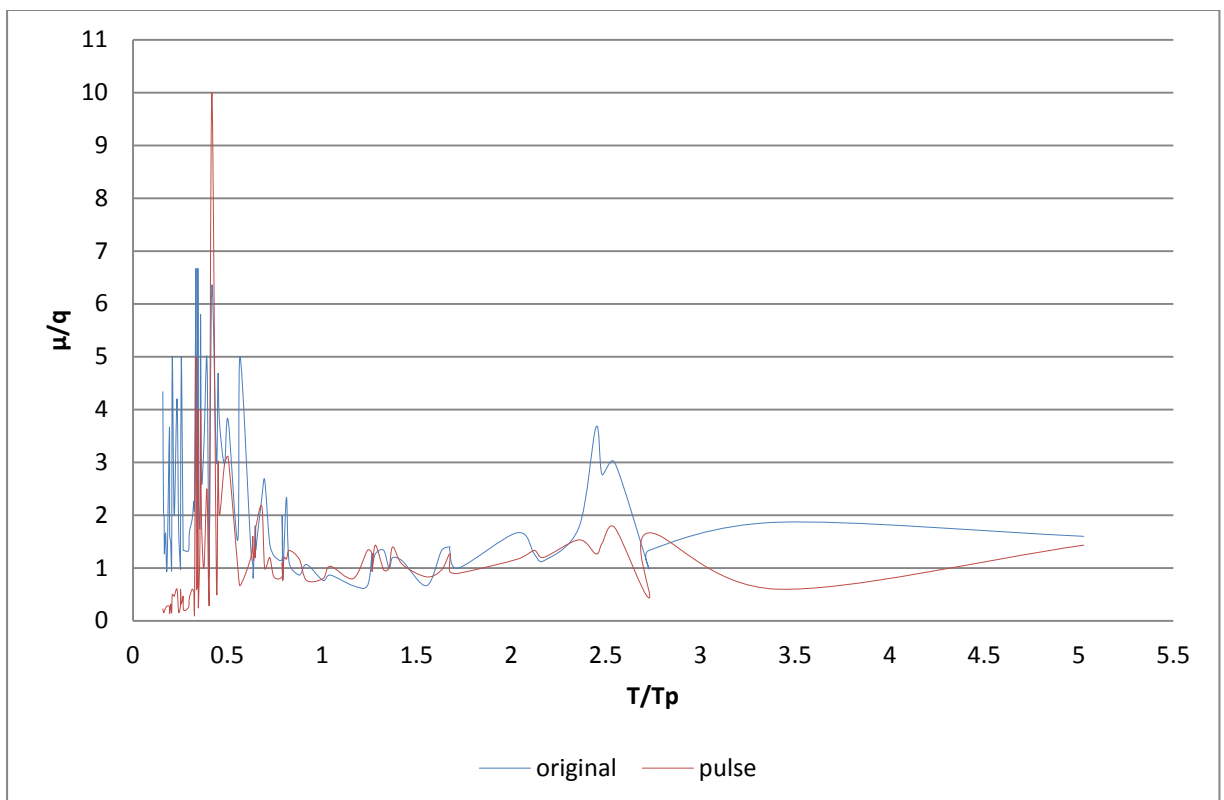
Στα σχήματα 4.10 και 4.11, με σκοπό την διερεύνηση της σχέσης της πλαστιμότητας μ με το συντελεστή συμπεριφοράς q , στον άξονα γ τοποθετείτε ο λόγος μ/q . Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, οι καταγραφές προσαρμόστηκαν ώστε να δίνουν συντελεστή συμπεριφοράς $q=3$, οπότε στην ουσία έχουν διαιρεθεί όλες οι τιμές του μ με 3.

Στο σχήμα 4.10 προβάλλονται τα 46 σημεία για τις καταγραφές που έγινε η γραμμική ανάλυση (23 για τις αρχικές καταγραφές και 23 για τους παλμούς) όπου το q πλέον δεν είναι ίσο με 3 αλλά παίρνει τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 4.4.

Στο σχήμα 4.11 με το $q=3$ διαιρούνται οι τιμές της πλαστιμότητας του ισοδύναμου μονοβάθμιου όπως φαίνονται στον πίνακα 4.3.

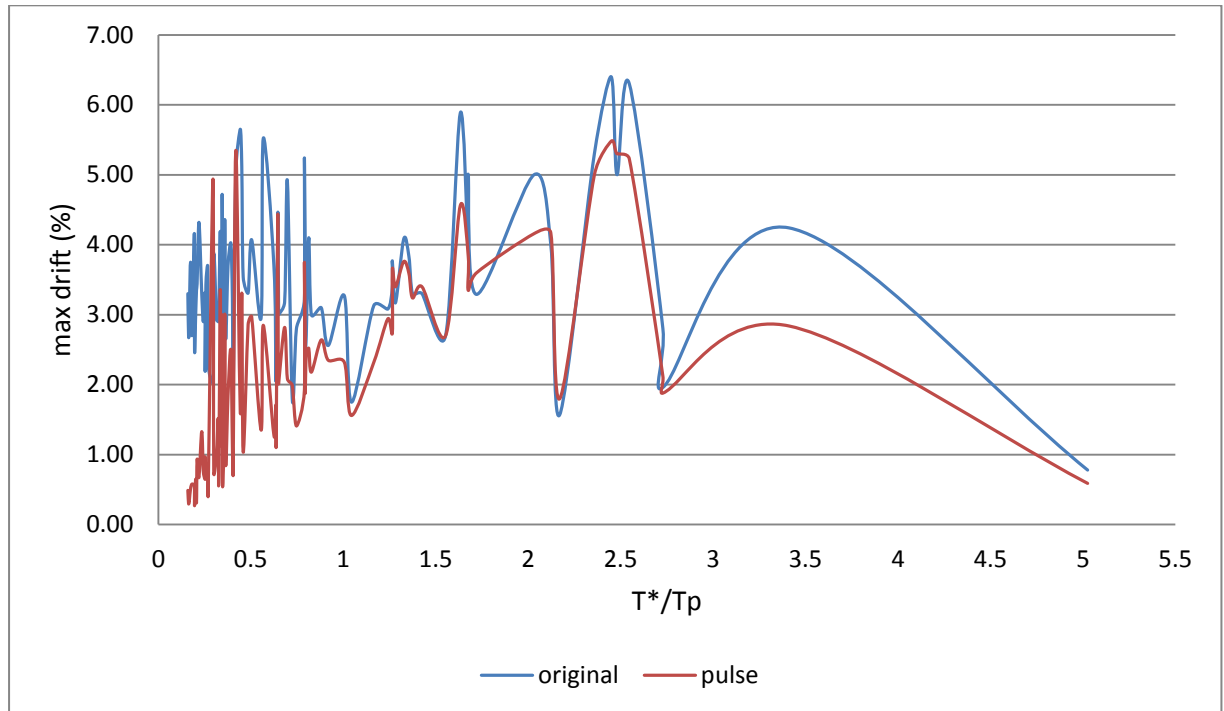


σχήμα 4.10 - σχέση μ - q

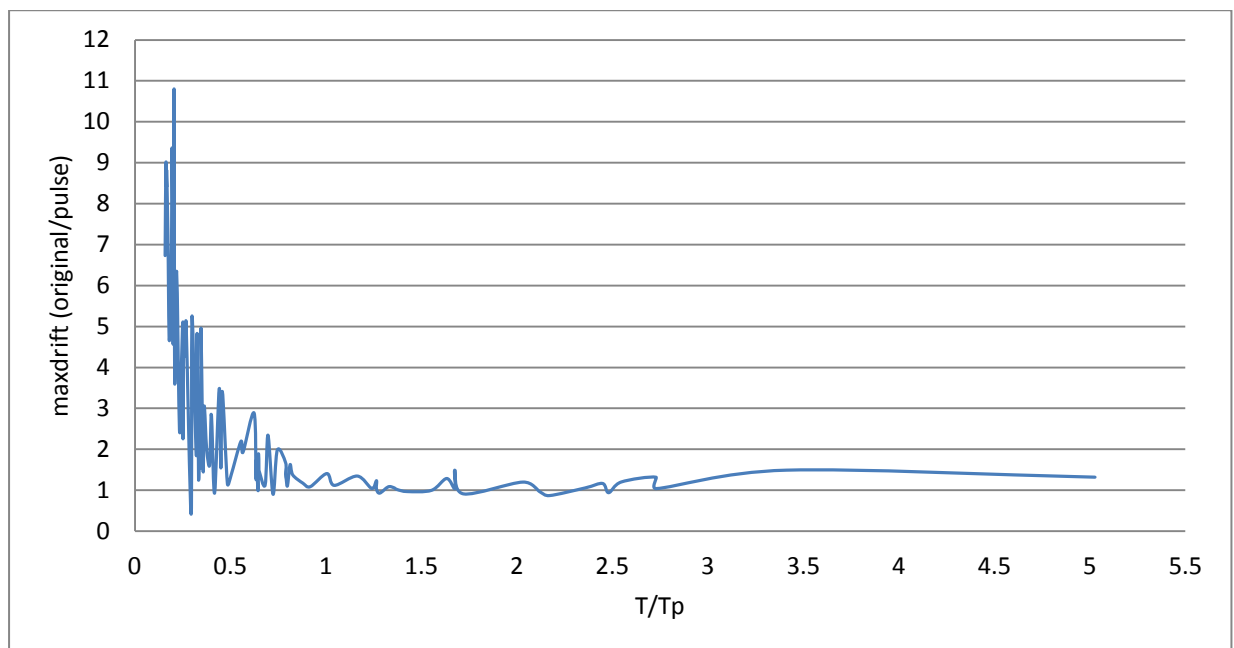


σχήμα 4.11 - σχέση $\mu_{\text{μονοβ}}$ - q

Τέλος στα σχήματα 4.12 και 4.13 γίνεται η σύγκριση του μέγιστου drift της αρχικής καταγραφής και του παλμού.



σχήμα 4.12 - σύγκριση μέγιστου drift ($3^{ου}$ ορόφου) αρχικής καταγραφής και παλμού



σχήμα 4.13 - μεταβολή λόγου μέγιστου drift αρχικής καταγραφής προς παλμού ($drift_{original}/drift_{pulse}$)

Κεφάλαιο 5 - Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης των χρονοϊστοριών, τόσο της αρχικής καταγραφής όσο και του παλμού, για τον εξεταζόμενο φορέα. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια προσπάθεια σχολιασμού των διαγραμμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις αυτές.

Κατ' αρχάς παρατηρώντας το σχήμα 4.6, όπου παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας rushover με τα ζεύγη "μετατόπιση κορυφής- αντίστοιχη τέμνουσα βάσης", φαίνεται ότι η διάταξη των ζευγών αυτών ακολουθεί σε μεγάλο ποσοστό την καμπύλη ικανότητας. Μάλιστα η καμπύλη που προκύπτει από τη λογαριθμική συσχέτιση των σημείων αυτών μπορούμε να πούμε ότι λειτουργεί σαν μια άλλη, νέα καμπύλη ικανότητας του κτηρίου, με την καμπύλη που προκύπτει από τους παλμούς να προσομοιάζει καλύτερα την rushover από την αντίστοιχη των αρχικών καταγραφών. Είναι εμφανές ακόμα ότι η καμπύλη ικανότητας λειτουργεί σαν κάτω όριο της παραμορφωσιακής ικανότητας του φορέα, μας δίνει δηλαδή για μία συγκεκριμένη τιμή της τέμνουσας βάσης μεγαλύτερη μετατόπιση κορυφής.

Όσον αφορά τη σχέση των αποτελεσμάτων της αρχικής καταγραφής και του αντίστοιχου παλμού, είναι φανερό ότι για τις καταγραφές με μεγάλες περιόδους (αριστερά στον άξονα x, $T_p > 2T^*$) έχω και τη μεγάλη απόκλιση. Σε αυτές τις καταγραφές δηλαδή ο παλμός δεν αποτελεί και πολύ καλή προσέγγιση της αρχικής χρονοϊστορίας. Αντίθετα, ιδιαίτερα για $\frac{T^*}{T_p} \geq 1$, για καταγραφές δηλαδή με περίοδο μικρότερη της ιδιοπερίόδου του ισοδύναμου μονοβάθμιου, παρατηρώ σχεδόν πλήρη ταύτιση των αποτελεσμάτων για την αρχική καταγραφή και τον παλμό. Αυτό φαίνεται αρκετά καλά στα σχήματα 4.9 και 4.13 για την πλαστιμότητα και τα drifts αντίστοιχα, όπου ο λόγος $\frac{\text{original}}{\text{pulse}}$ για $\frac{T^*}{T_p} \geq 1$ είναι σταθερά περίπου ίσος με τη μονάδα. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι σεισμικές καταγραφές κοντινού πεδίου προσομοιάζονται καλύτερα με παλμό όταν είναι μικρής διάρκειας, δηλαδή μικρή περίοδος T_p .

Τέλος, αξίζει σχολιασμό η σχέση της πλαστιμότητας με το συντελεστή συμπεριφοράς q. Στο σχήμα 4.10 φαίνεται ότι η πλαστιμότητα προκύπτει σταθερά μικρότερη του συντελεστή συμπεριφοράς ($\mu/q < 1$). Αντίθετα στο σχήμα 4.11, όπου πλέον η πλαστιμότητα προέρχεται από το ισοδύναμο μονοβάθμιο, βλέπουμε ότι για λόγους $\frac{T^*}{T_p} \geq 1$ ο λόγος μ/q είναι περίπου σταθερά ίσος με 1, ενώ για μεγάλες περιόδους ($T_p > 2T^*$) η πλαστιμότητα φτάνει αρκετά μεγάλες τιμές, πολύ μεγαλύτερες του q. Να θυμίσουμε ότι η τιμή $q=3$, που χρησιμοποιήθηκε στη σύγκριση με το μ , υπολογίστηκε με χρήση της S_{ay} όπως προέκυψε από τη διγραμμικοποίηση της καμπύλης ικανότητας ADRS, δηλαδή από το ισοδύναμο μονοβάθμιο. Παρατηρούμε στο σχήμα 4.6 ότι οι πραγματικές τιμές επιτάχυνσης είναι αρκετά πιο πάνω από την rushover, έχω δηλαδή διαρροή του φορέα σε πολύ μεγαλύτερες τιμές επιτάχυνσης για την ίδια μετατόπιση, οπότε και ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς θα προέκυπτε διαιρώντας με μια μεγαλύτερη τιμή S_{ay} , άρα πολύ μικρότερος. Στην περίπτωση αυτή θα προέκυπτε και μια σχέση $\mu-q$ με τιμές μεγαλύτερες ή ίσες της μονάδας.

Βιβλιογραφία

1. "Τεχνική Σεισμολογία, παραδόσεις 2006-2007" (Π.Γ. Καρύδης, Ι.Μ. Ταφλαμπάς)
2. "Φαινόμενα Κατευθυντικότητας- Σύγχρονες Αντιλήψεις" διαφάνειες από την παρουσίαση στο μάθημα Τεχνική Σεισμολογία 9ου εξαμήνου πολ. μηχ. ΕΜΠ (Κ. Σπυράκος)
3. "Διερεύνηση της ανελαστικής συμπεριφοράς οκταώροφου κτηρίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα με τη μέθοδο της προσαυξητικές δυναμικής ανάλυσης σε σεισμούς κοντινού πεδίου" (Απόστολος Γερ. Αγγελάτος)
4. "Explicit determination of the pulse inherent in pulse-like ground motions" (Petros Mimoglou, Ioannis N. Psycharis and Ioannis M. Taflampas)
5. Baker J.W. Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 2007; 97:1486-1501
6. Mavroeidis G.P. and Papageorgiou A.S. A mathematical representation of near-fault ground motions, Bulletin of the Seismological Society of America, 2003; 93(3): 1099-1131
7. Taflampas I.M., Spyarakos C.C., Koutromanos L.A. A new definition of strong motion duration and related parameters affecting the response of medium-long period structures. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2009; 29(4):752-763
8. Somerville P.G. Development of an improved representation of near-fault ground motions Proc. SMI98 Seminar on Utilization of strong motion data, California Strong Motion Data Instrumentation Program, Sacramento, CA, 1998; 1-20
9. Alavi B., Krawinkler H. Consideration of near-fault ground motions effects in seismic design. Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 2000
10. Rupakhety R., Sigurdsson S.U., Papageorgiou S.A., Sigbjornsson R. Quantification of ground motion parameters and response spectra in the near field region. Bulletin of Earthquake Engineering 2011; 9:893-930
11. Clough R.W., Penzien J. Dynamic of Structures. 2nd ed., McGraw-Hill: New York, 1993
12. Li, Shuang and Xie, Li-Li. Progress and trend on near-field problems in civil engineering, Acta Seismologica Sinica 2007; 20.1:105-114
13. Singh, Jogeshwar P. Earthquake ground motions: implications for designing structures and reconciling structural damage, Earthquake Spectra 1985; 1.2:239-270
14. Stewart J.P., Chiou S.J., Graves R.W., Somerville P.G. and Abrahamson N.A. Ground motion evaluation procedures for performance based design, Rpt. No. PEER-2001/09. PEER Center, 2001
15. Rodriguez-Marek, Adrian. Near-fault seismic site response. PhD thesis, university of California, 2000
16. Somerville, Paul, Irikura, Kojiro, Graves, Robert, Sawada, Sumio, Wald, David, Abrahamson, Norman, Iwasaki, Yoshinori, Kagawa, Takao, Smith, Nancy and Kowada, Akira. Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion. Seismological Research Letters 1999; 70.1:59-80
17. Somerville, Paul G. Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse. Physics of the earth and planetary interiors 2003; 137.1:201-212
18. Krawinkler, Helmut, Alavi, Babak and Zareian, Farzin. Impact of near-fault pulses on engineering design, Directions in Strong Motion Instrumentation 2005; 83-106
19. Somerville, Paul G., Smith, Nancy F., Graves, Robert W. and Abrahamson, Norman A. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. Seismological Research Letters 1997; 68.1:199-222
20. Sasani, Mehrdad and Bartero, Vitel V. Importance of severe pulse type ground motions in performance-based engineering: historical and critical review. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering 2000

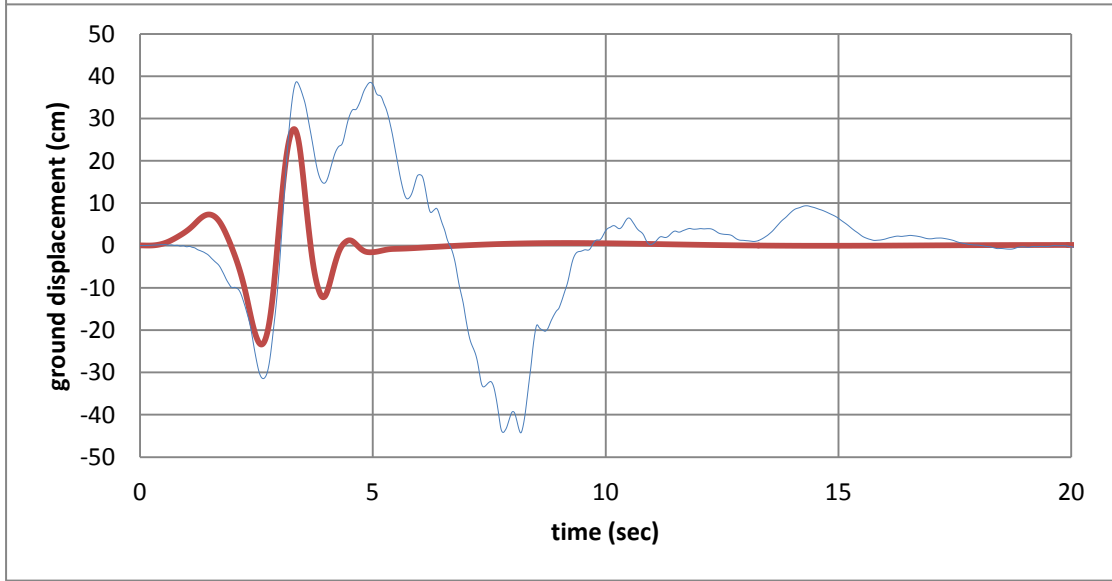
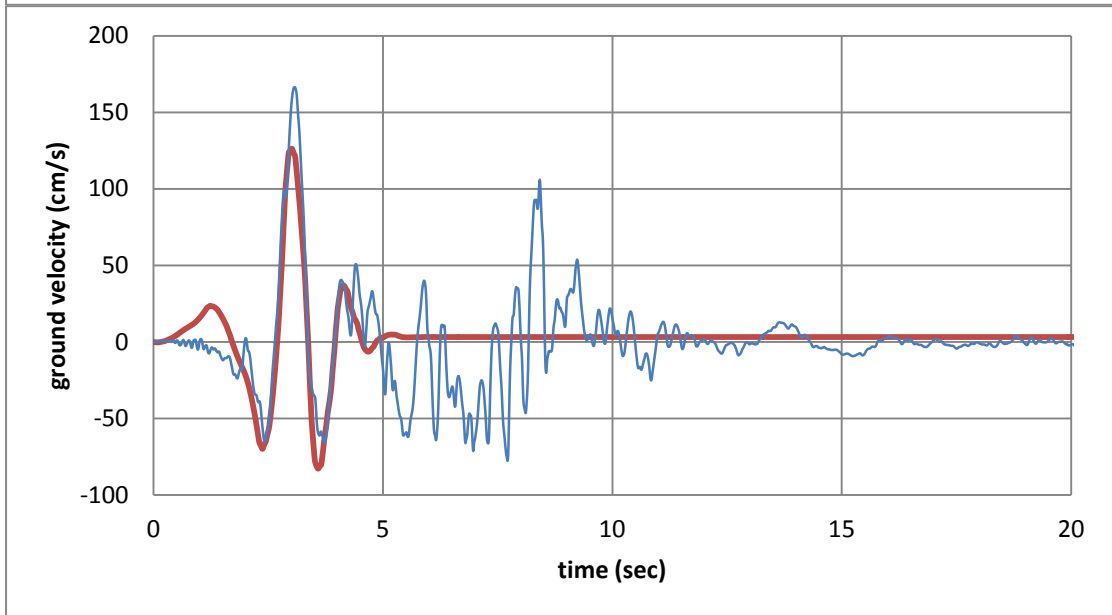
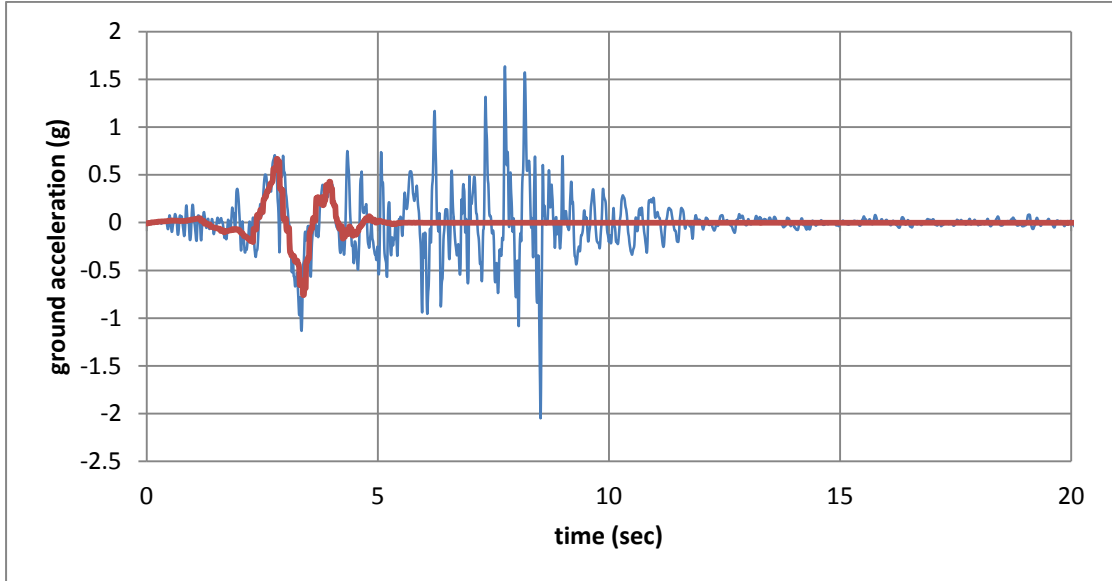
21. European Standard EN 1998-1:2004, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN). 2004

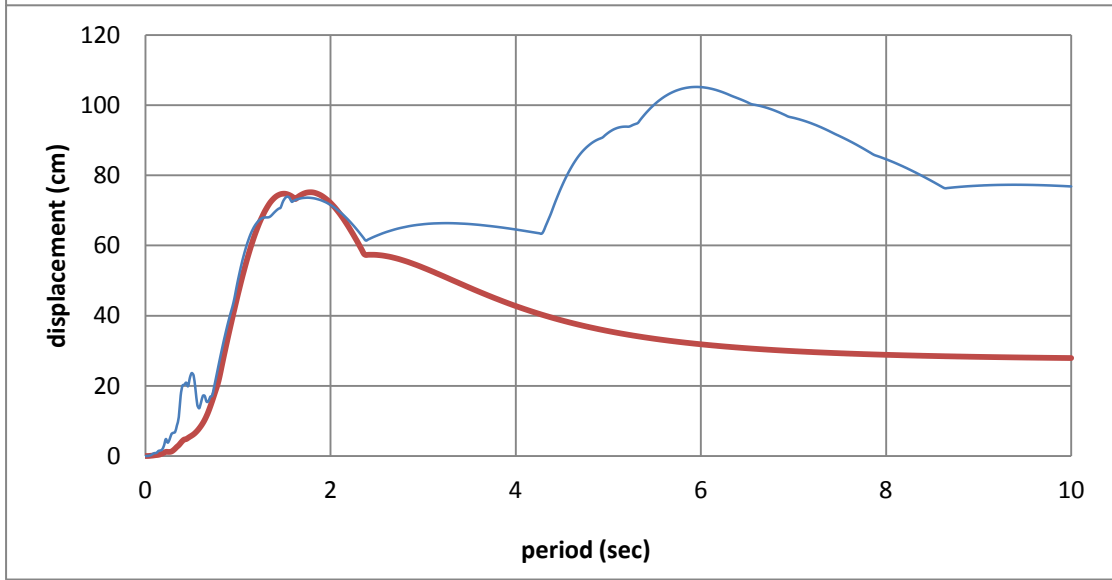
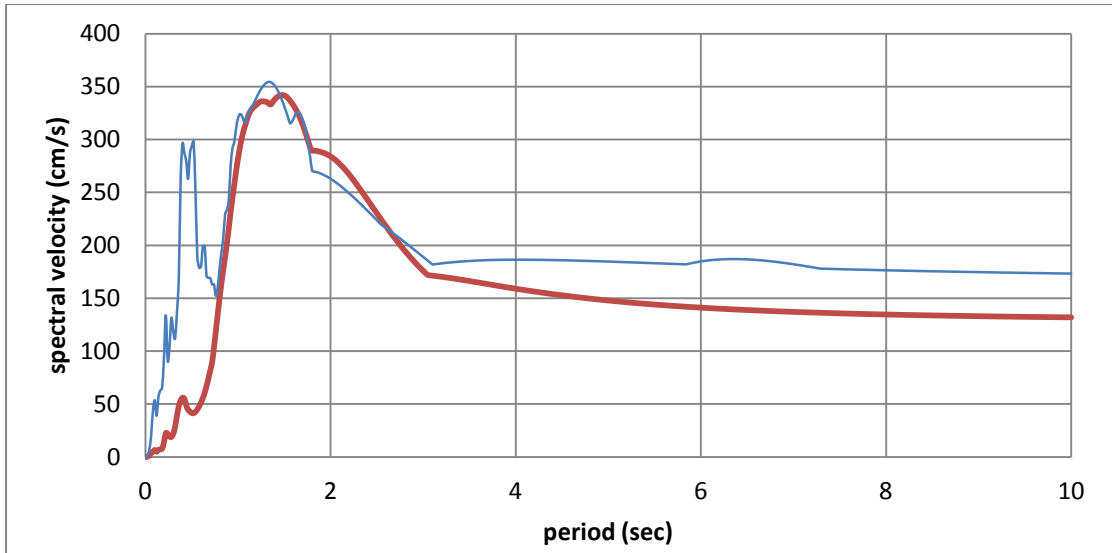
22. Οργανισμός Αντισεισμικοί Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ) 2000, Αθήνα 2001

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

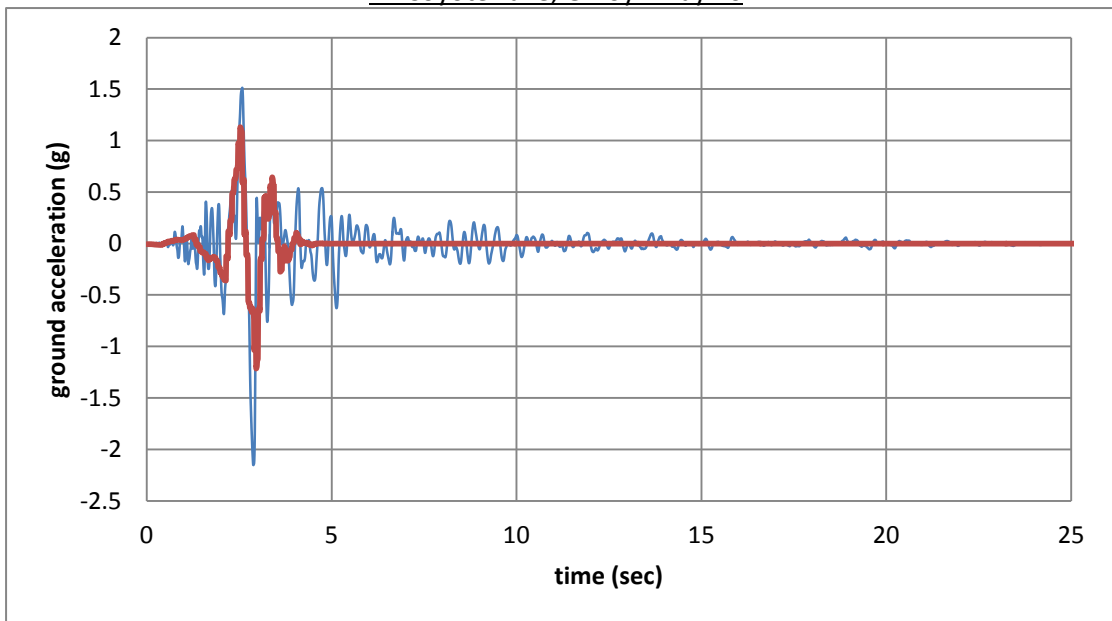
Παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετατόπισης καθώς και τα ελαστικά φάσματα ταχύτητας, μετατόπισης (για $\zeta=5\%$) για κάθε καταγραφή, για την αρχική χρονοϊστορία (original, μπλε γραμμή) και τον παλμό (pulse, κόκκινη γραμμή).

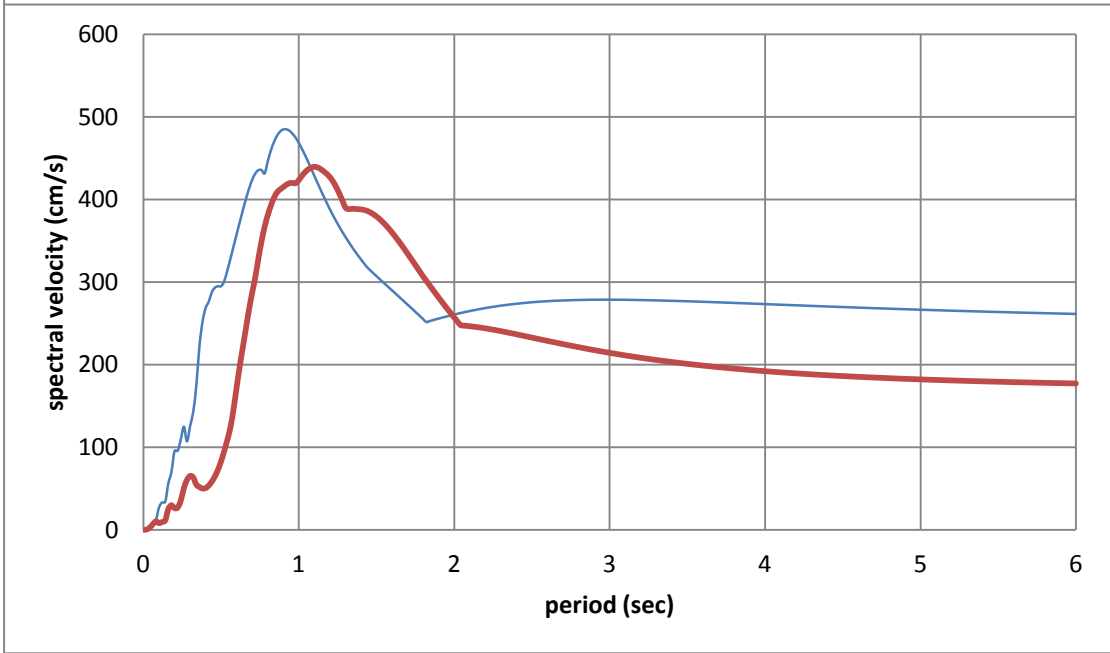
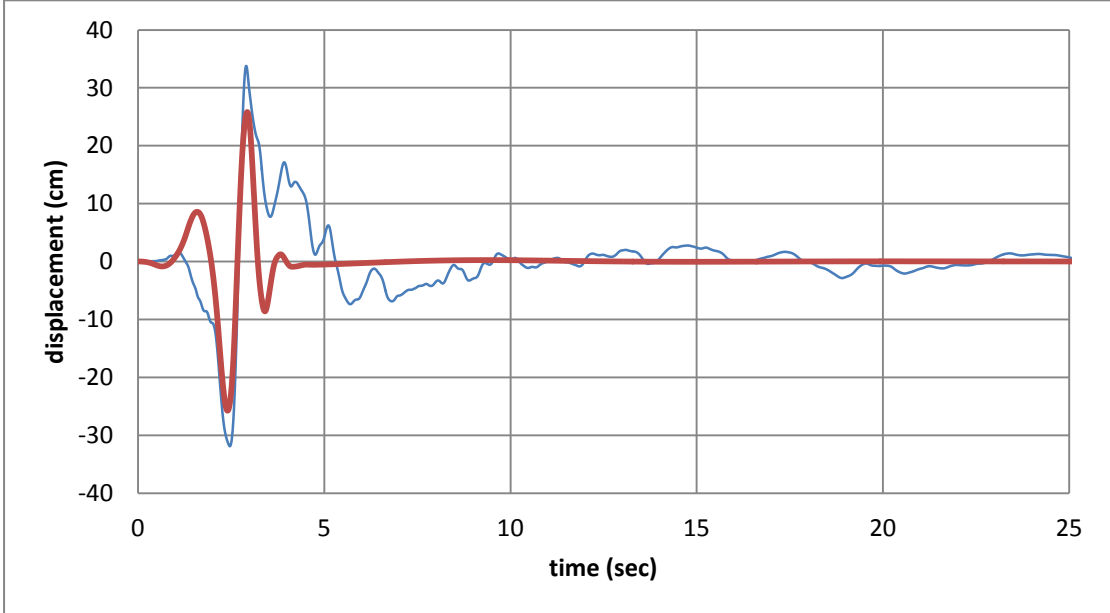
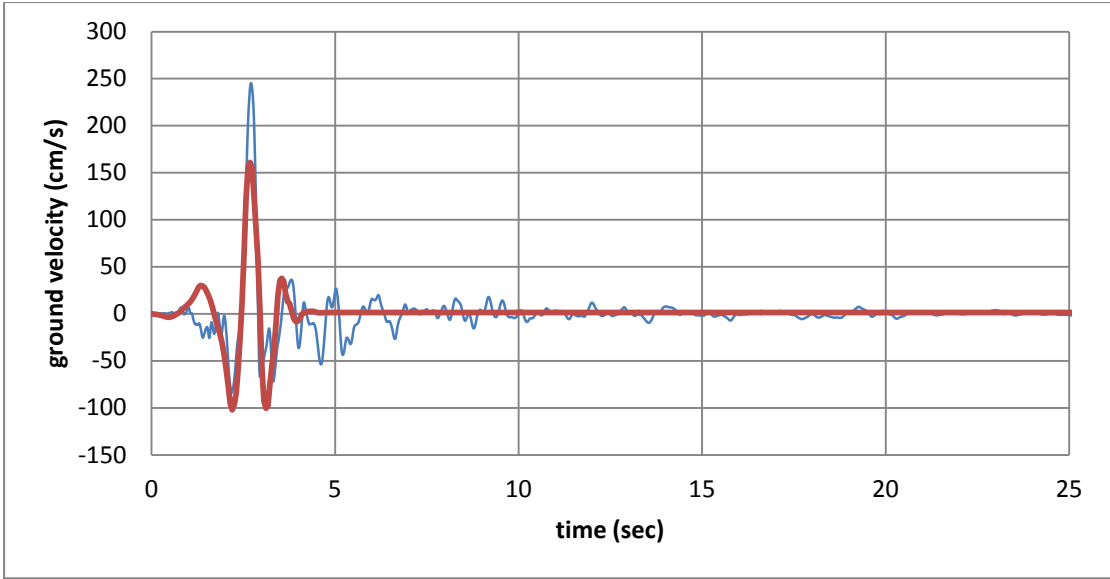
#1 San Fernand0, Pacoima Dam

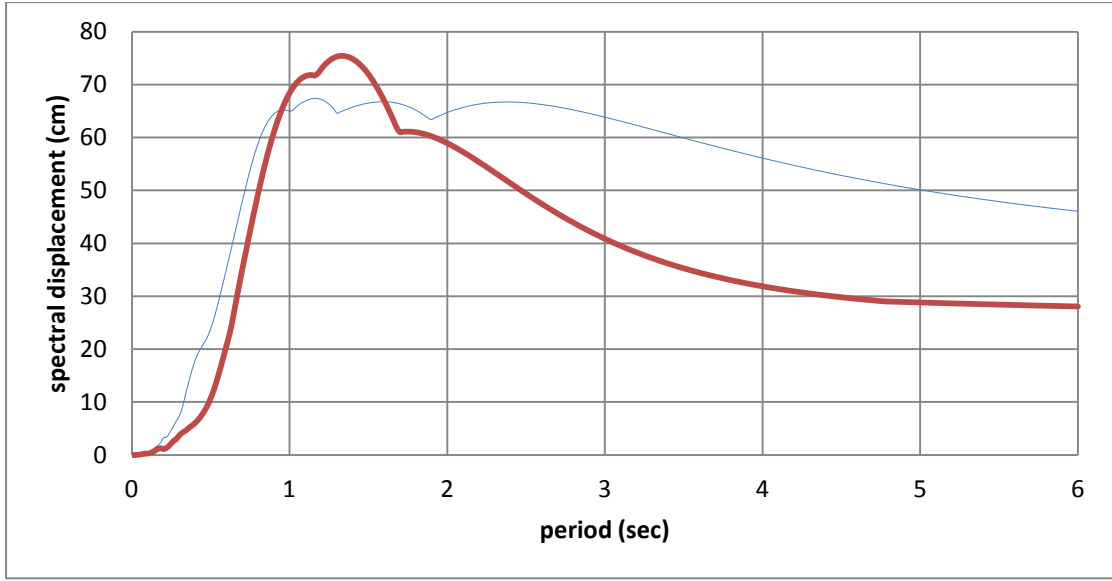




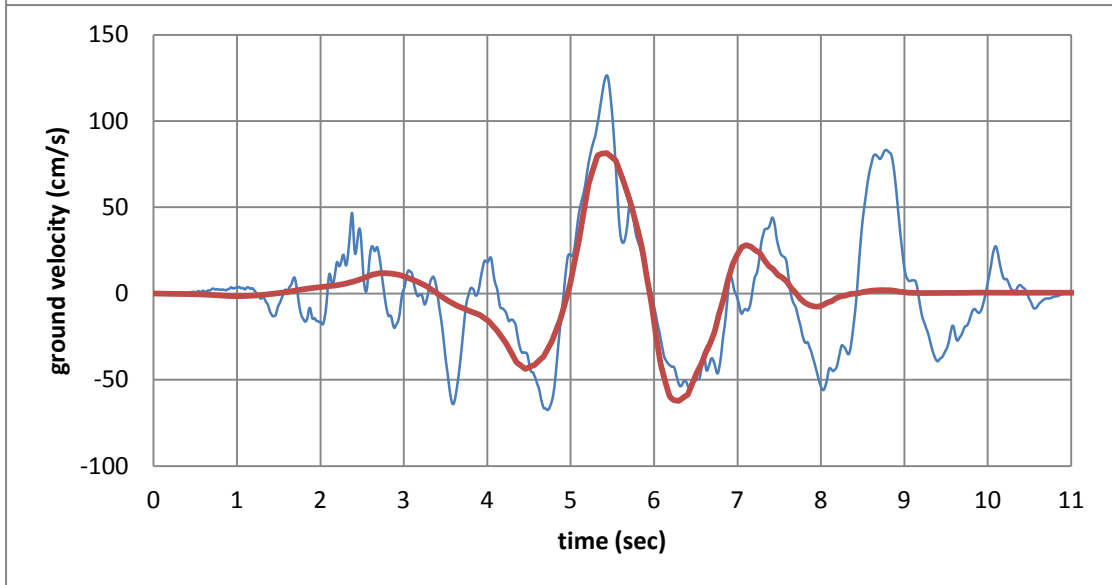
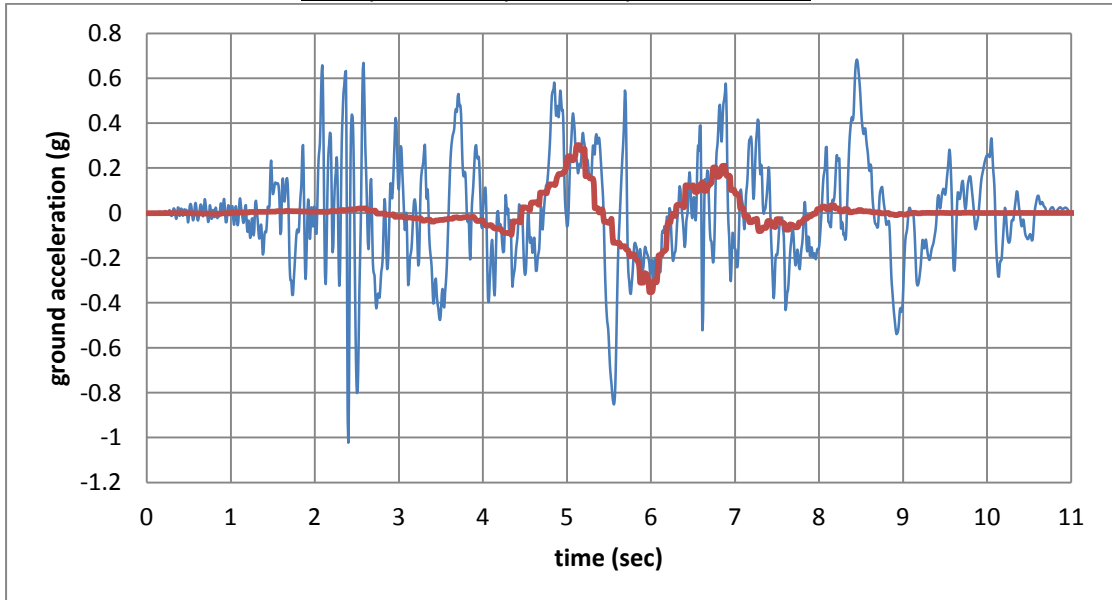
#2 Coyote Lake, Gilroy Array #6

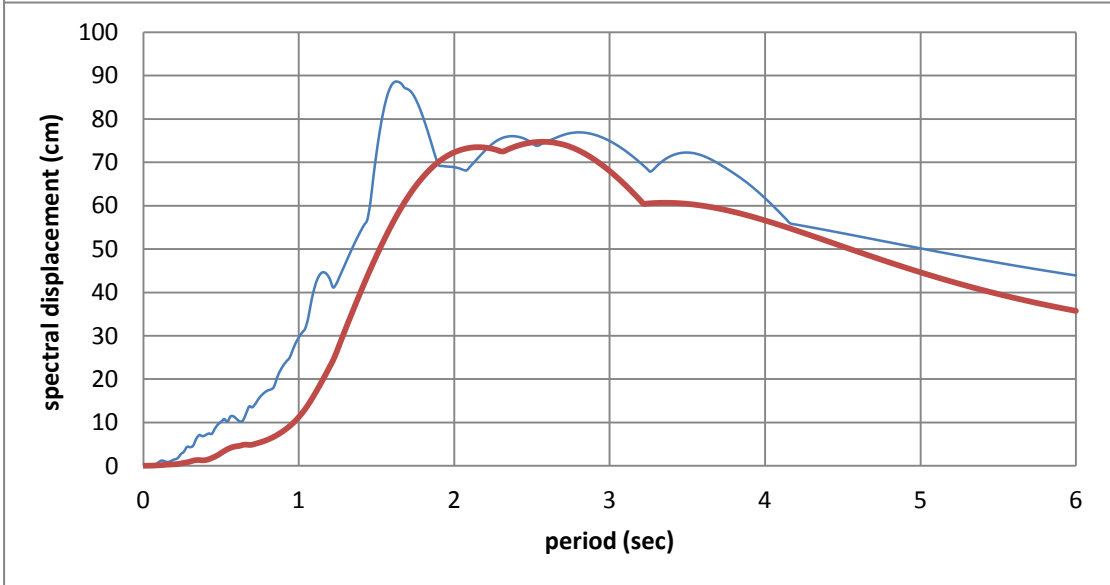
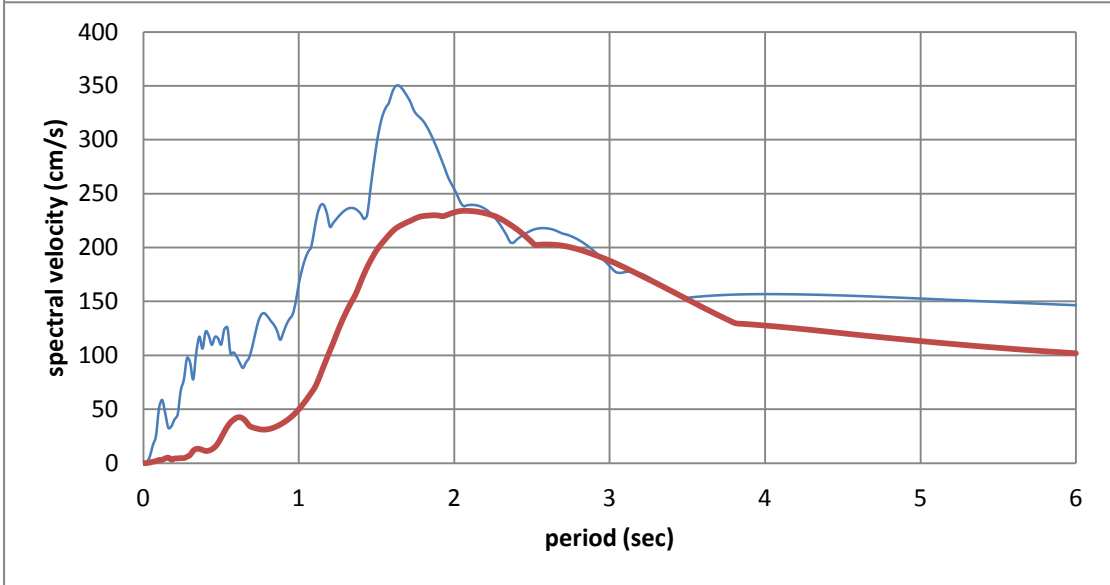
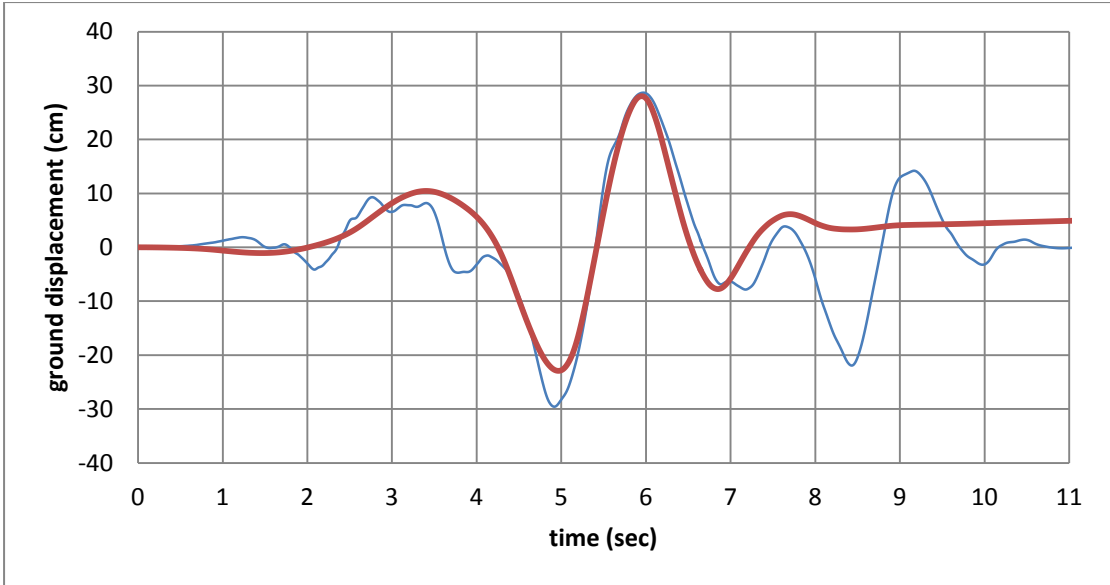




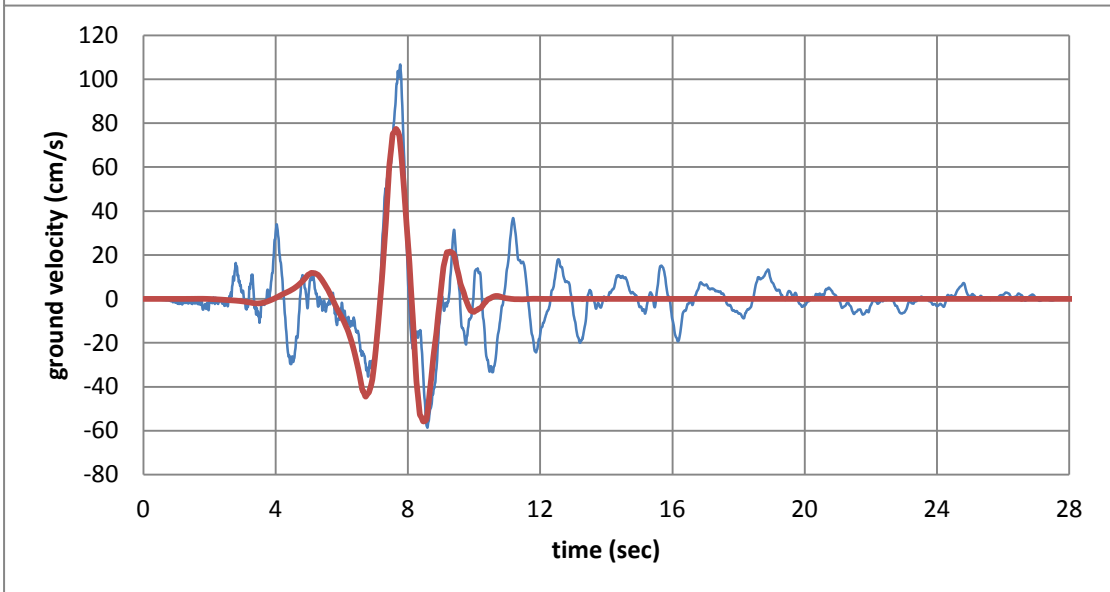
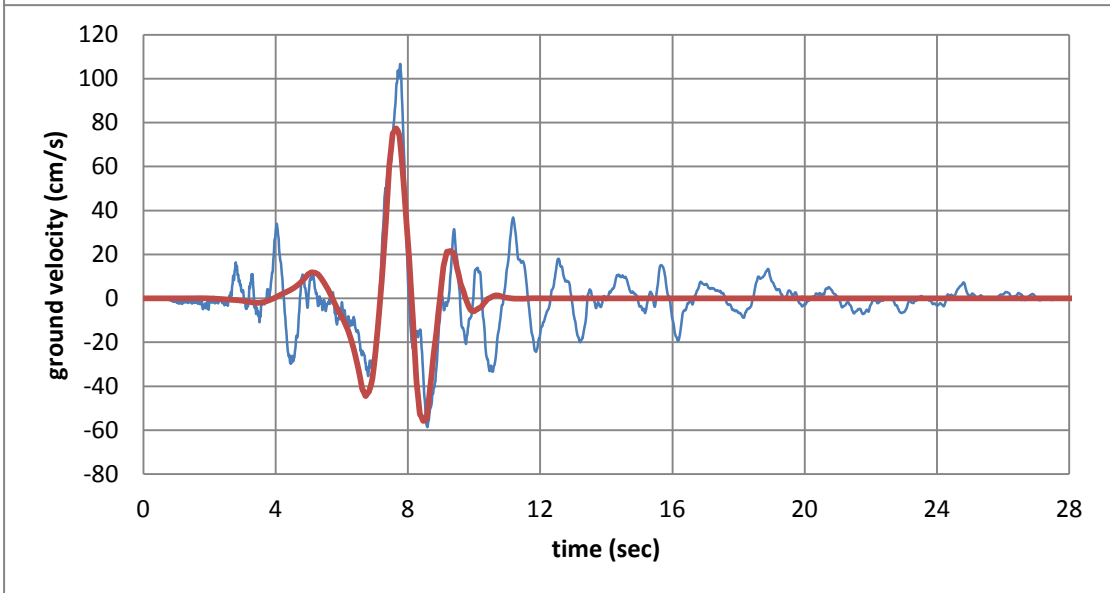
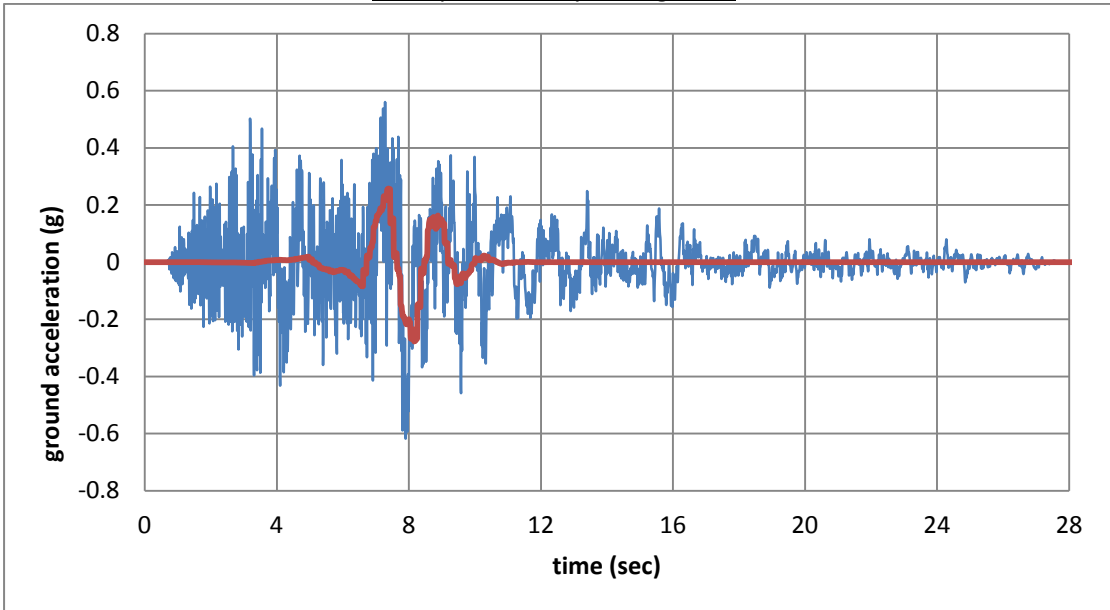


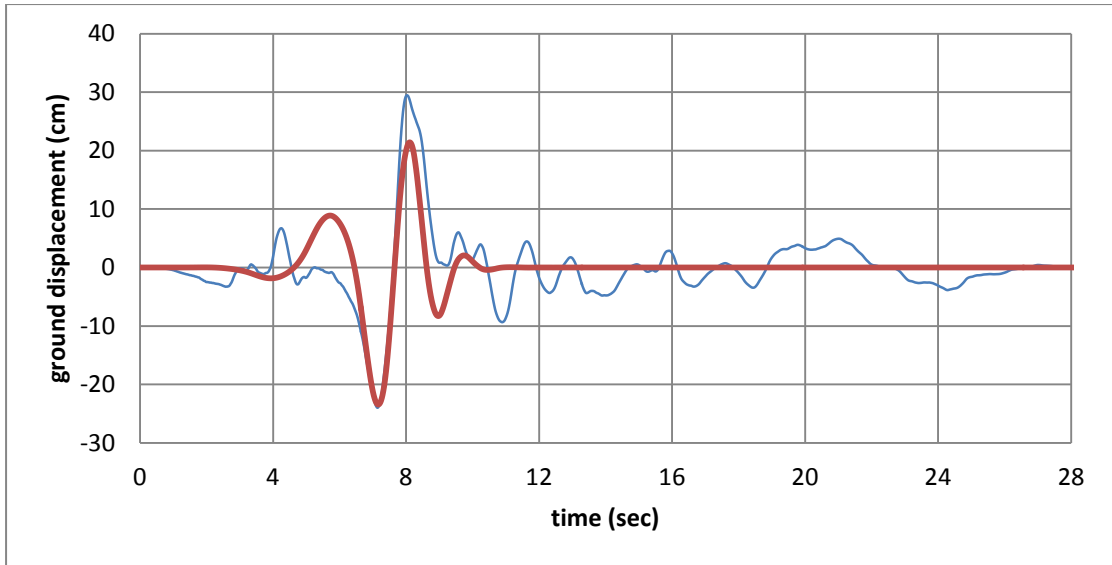
#3 Imperial Valley-06, Aeropuerto Mexicali



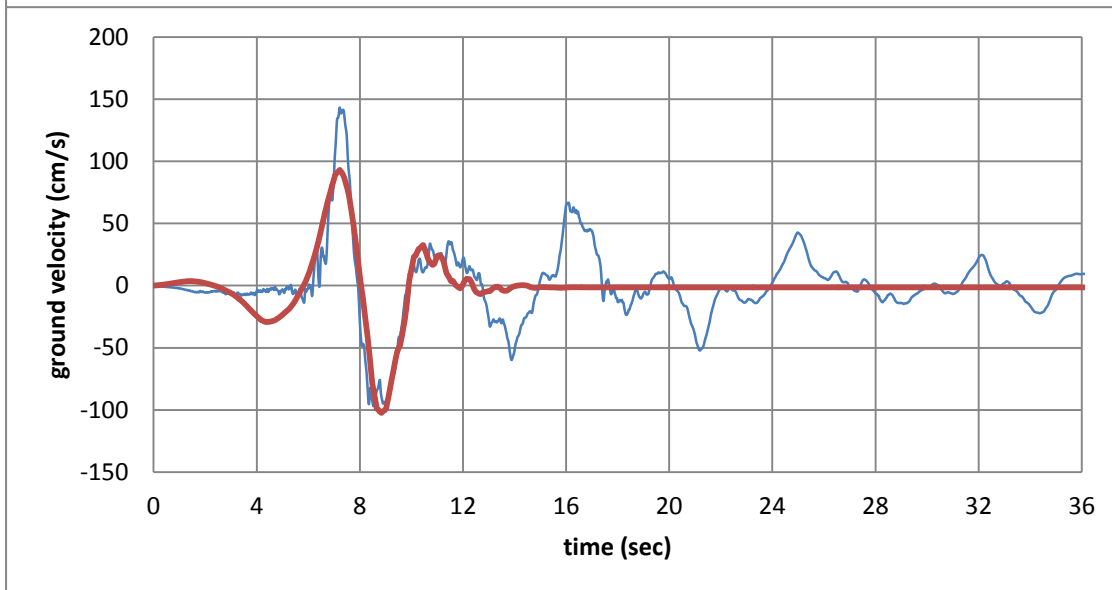
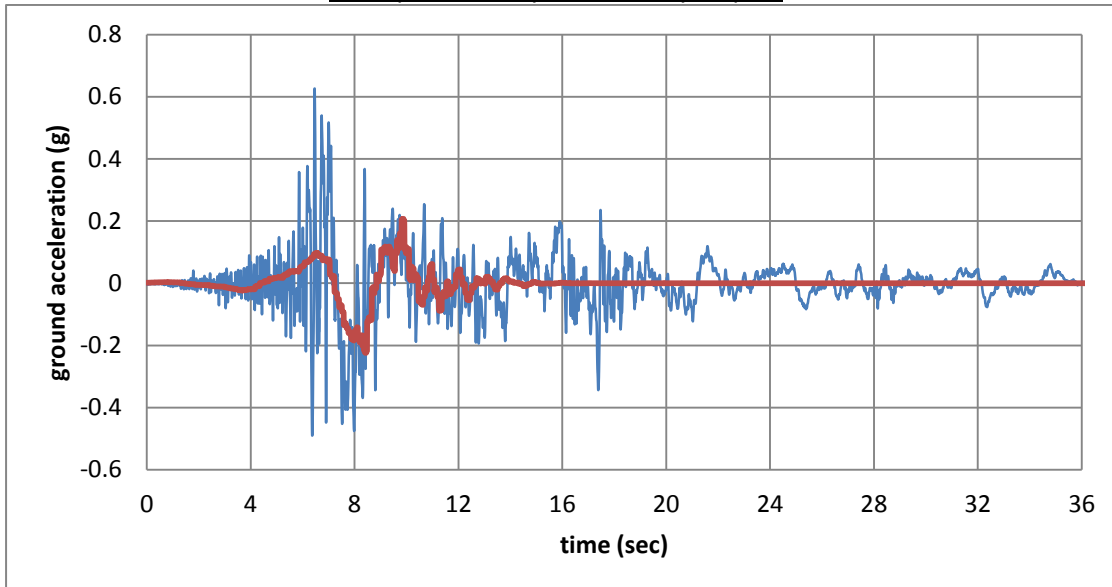


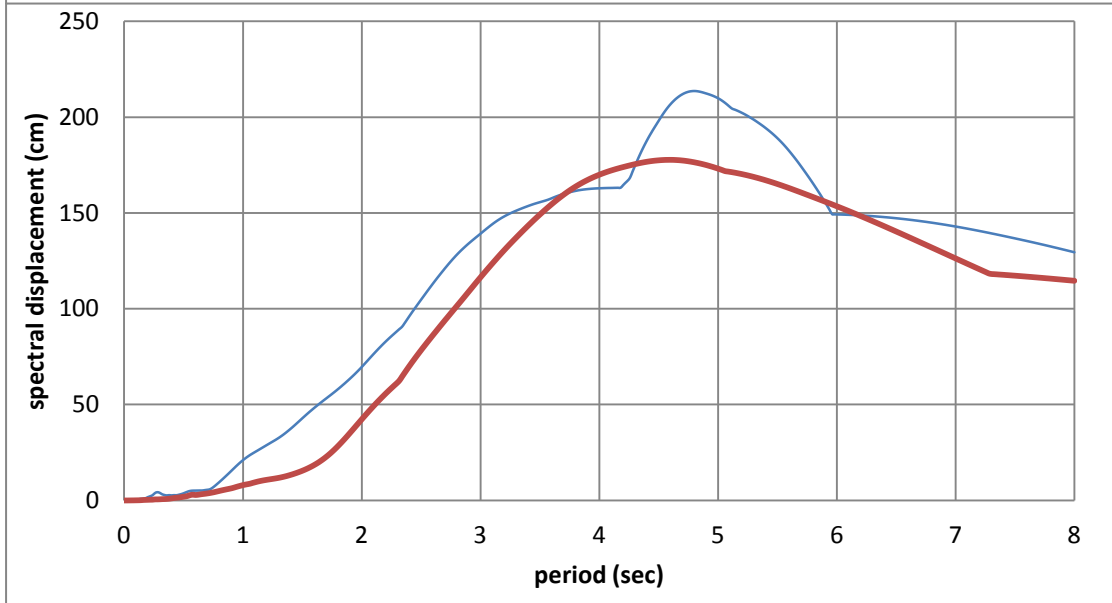
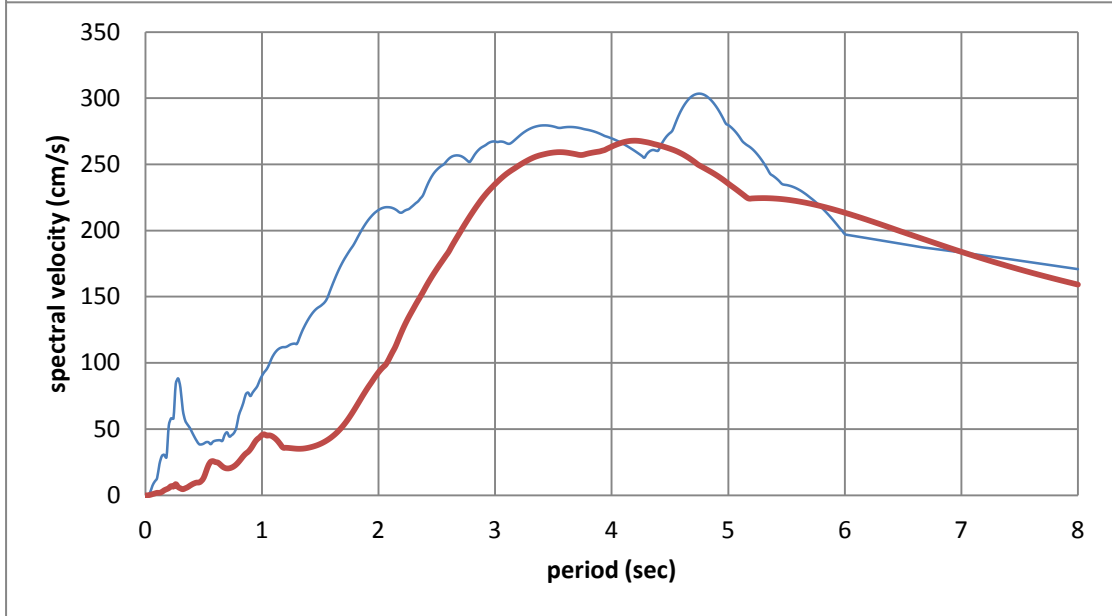
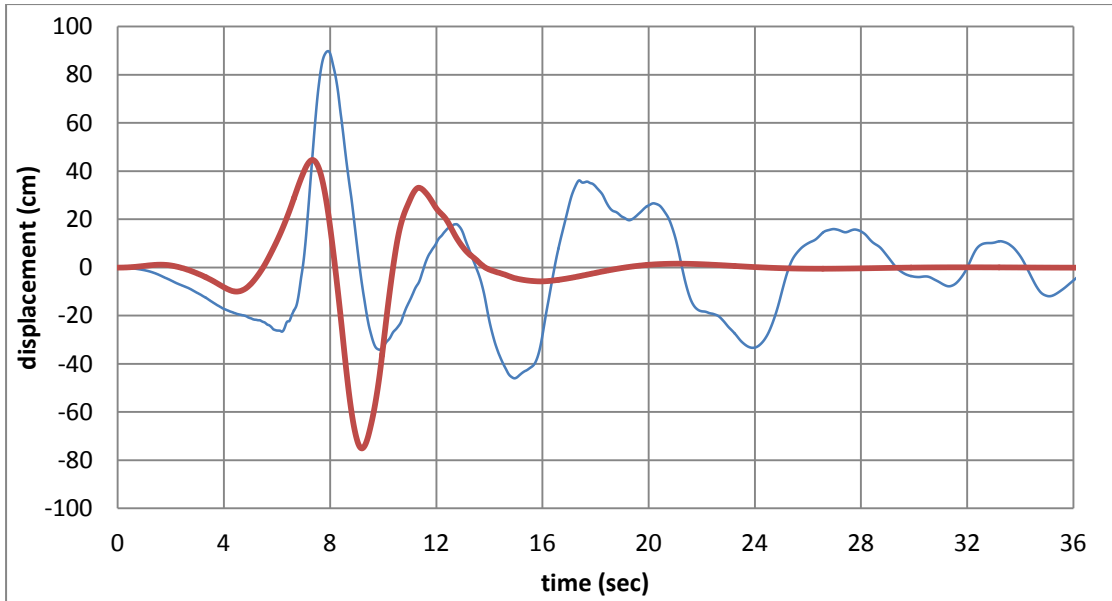
#4 Imperial Valley-06, Agrarias



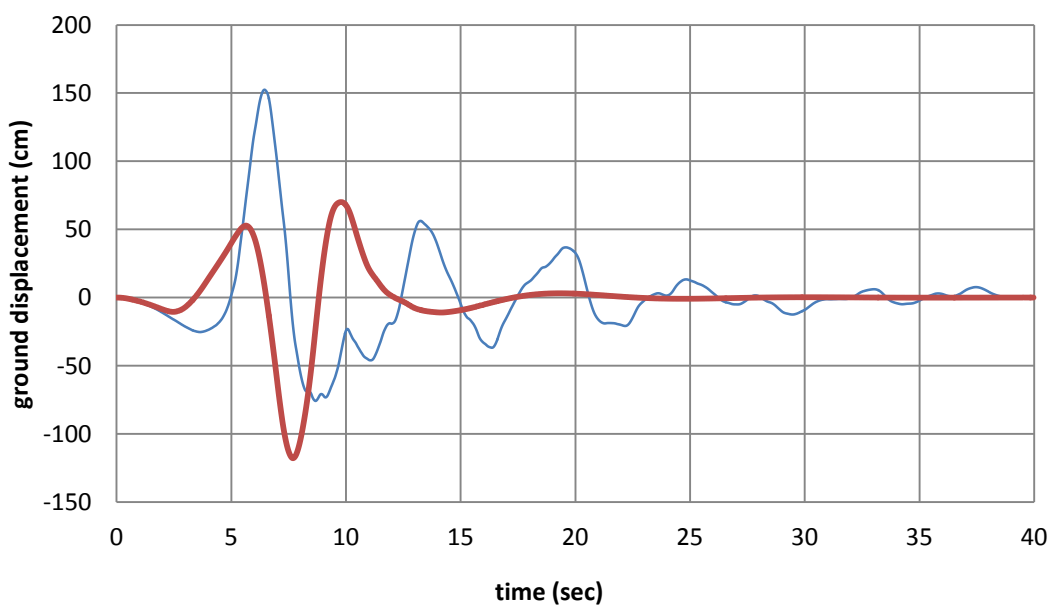
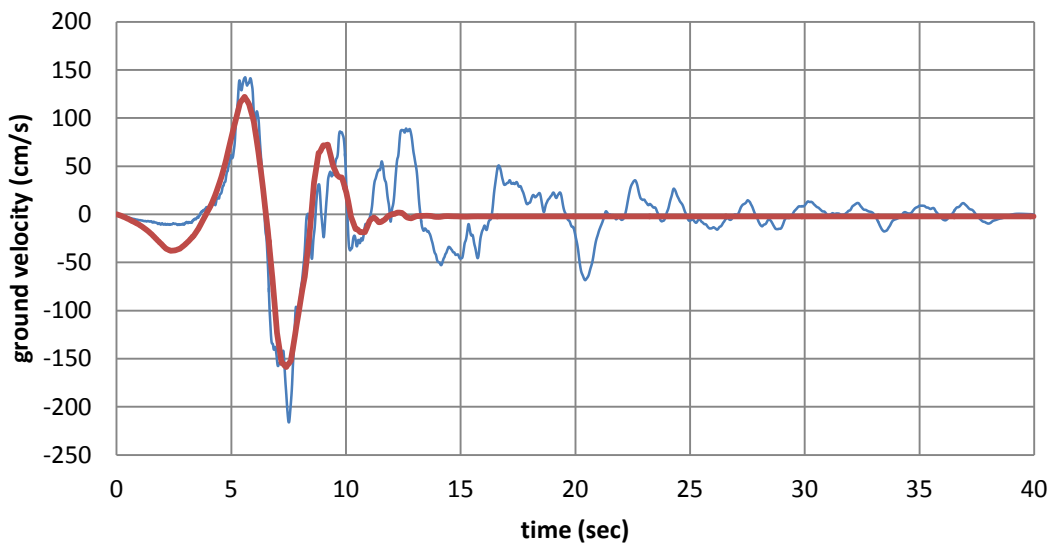
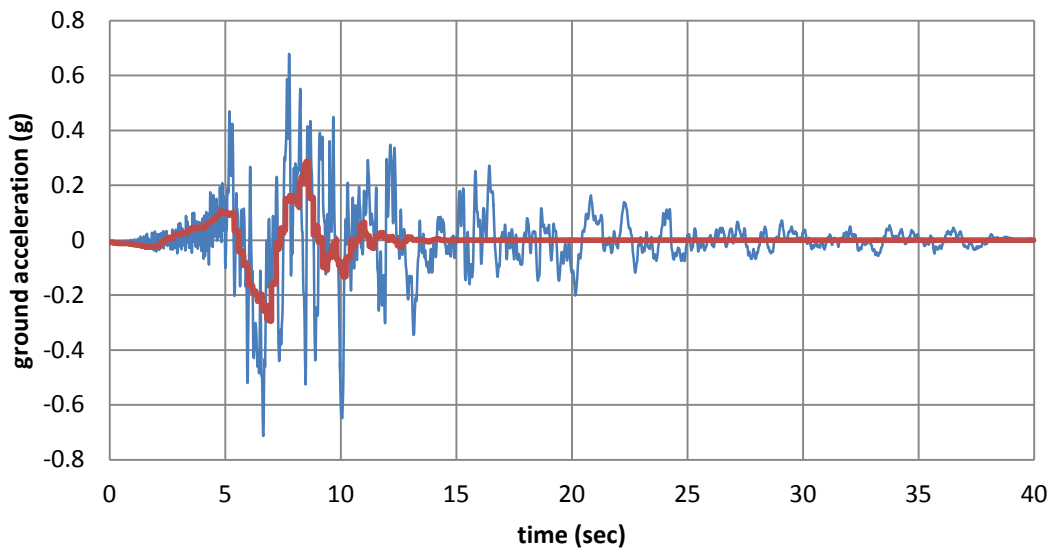


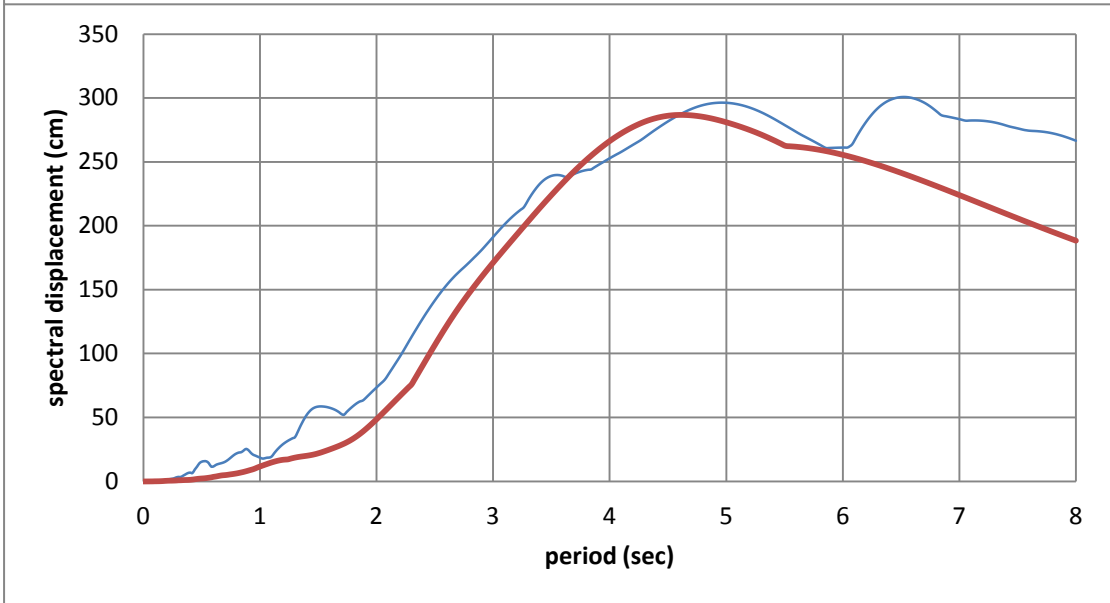
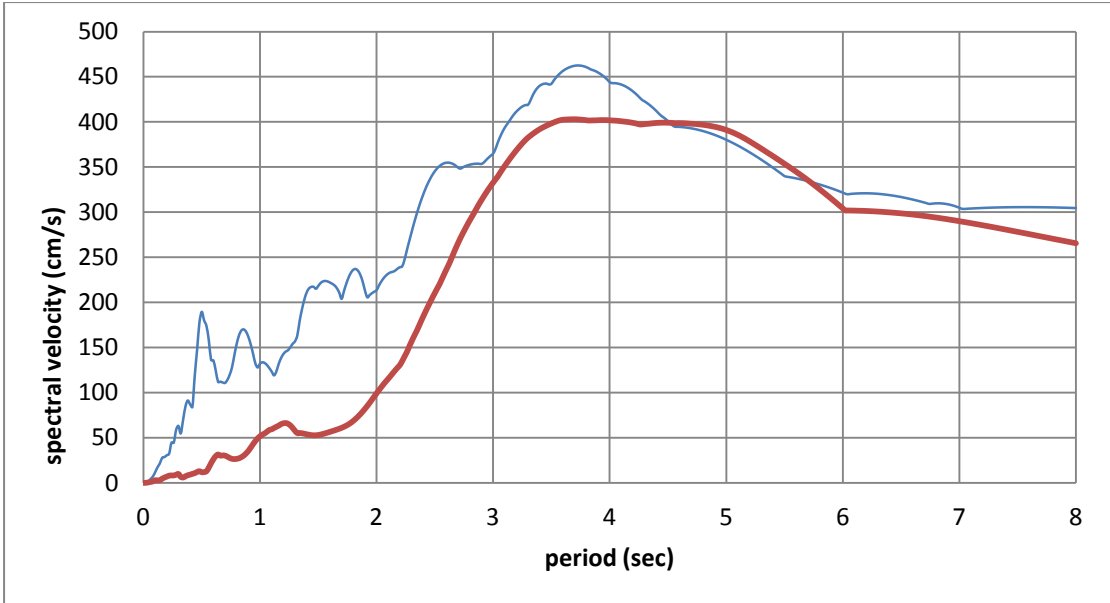
#5 Imperial Valley-06, Brawley Airport



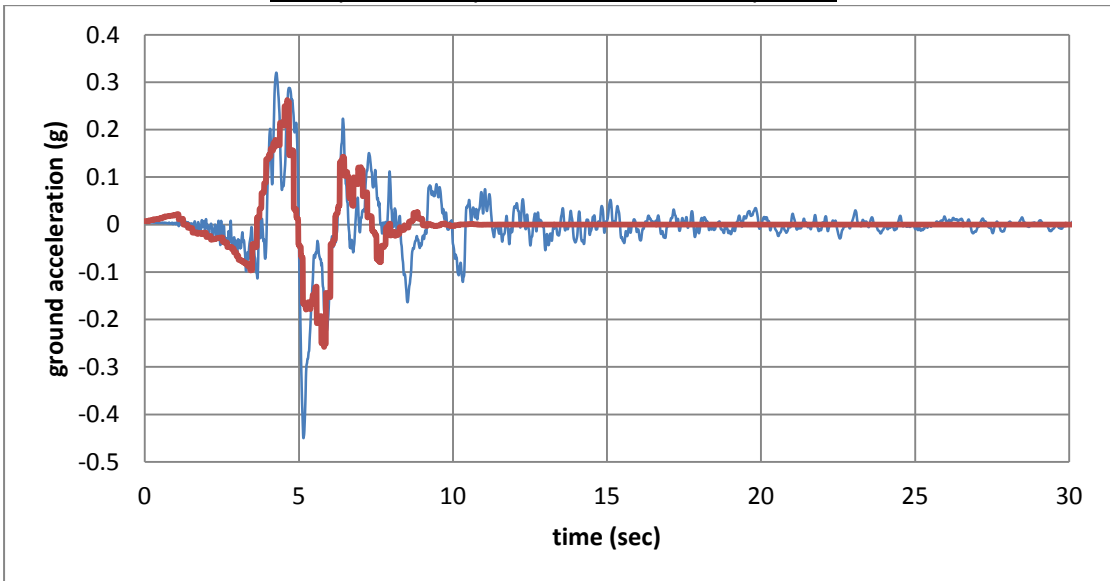


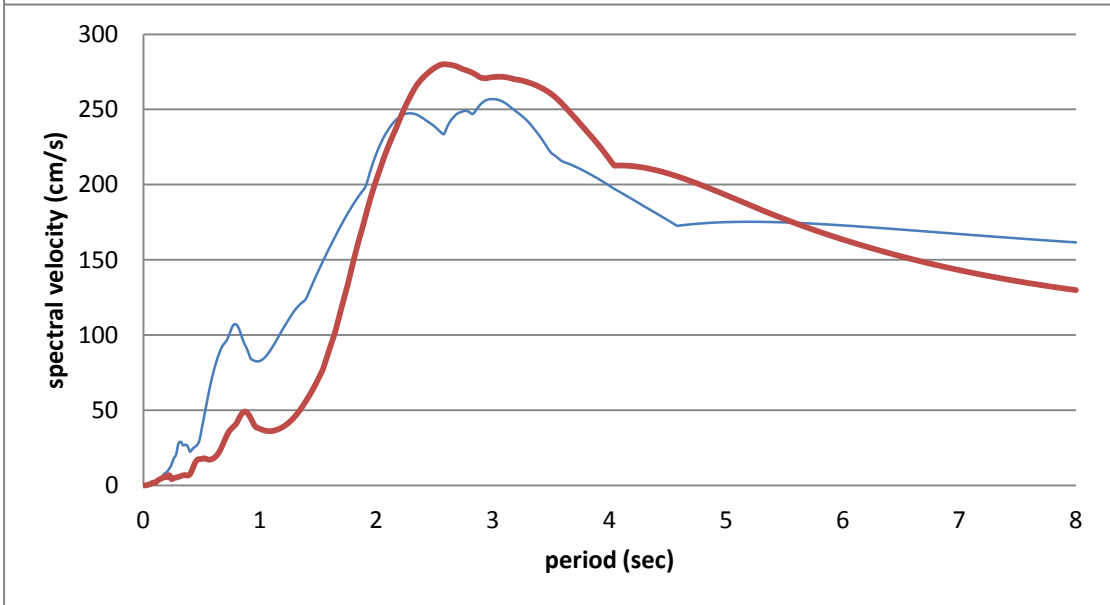
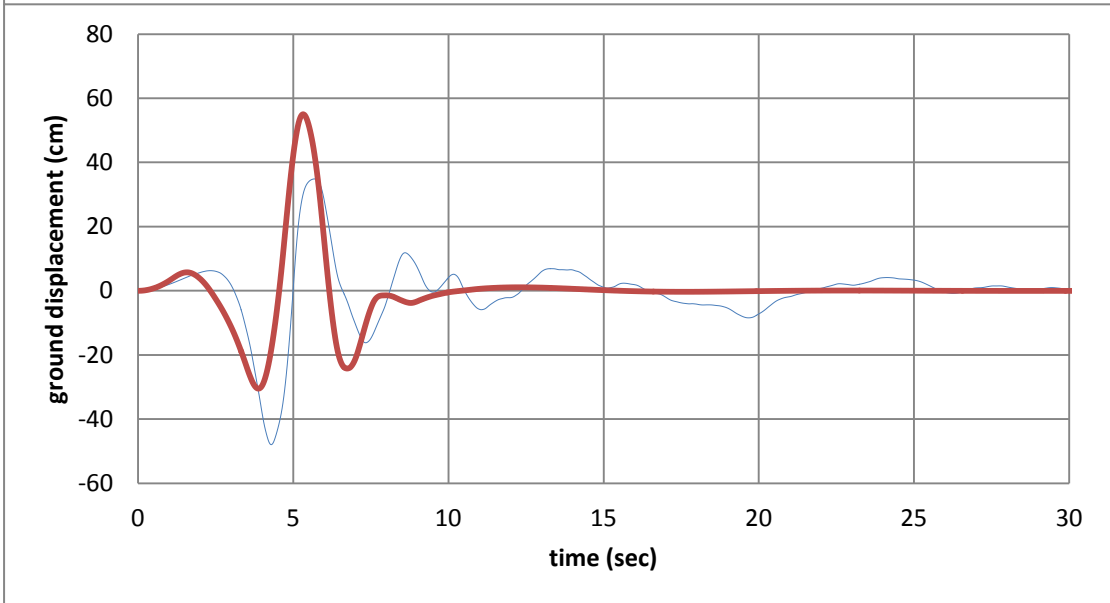
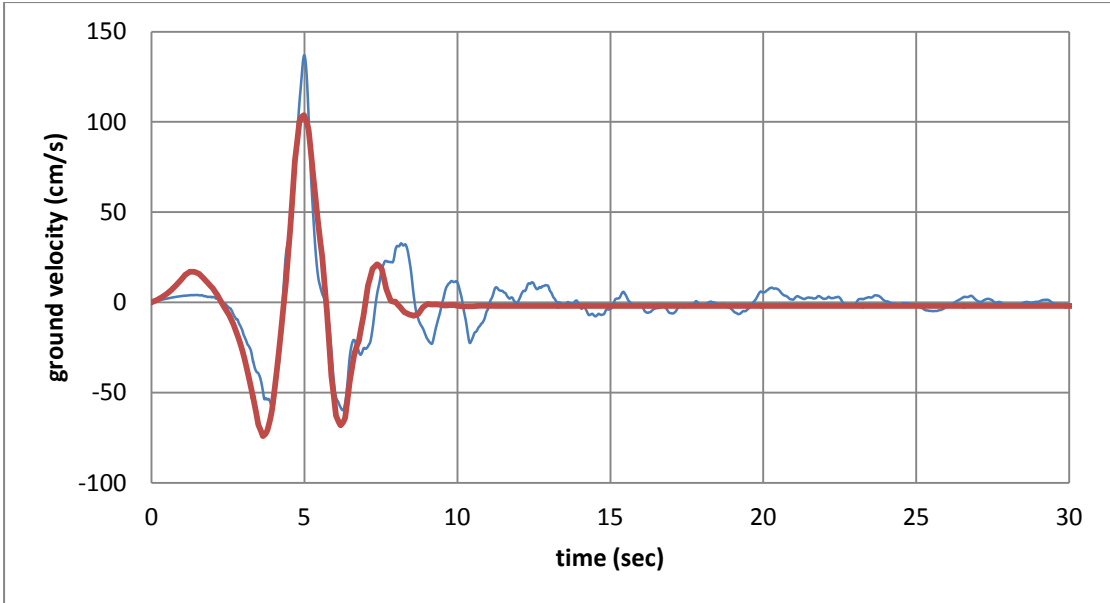
#6 Imperial Valley-06, EC Country Center FF

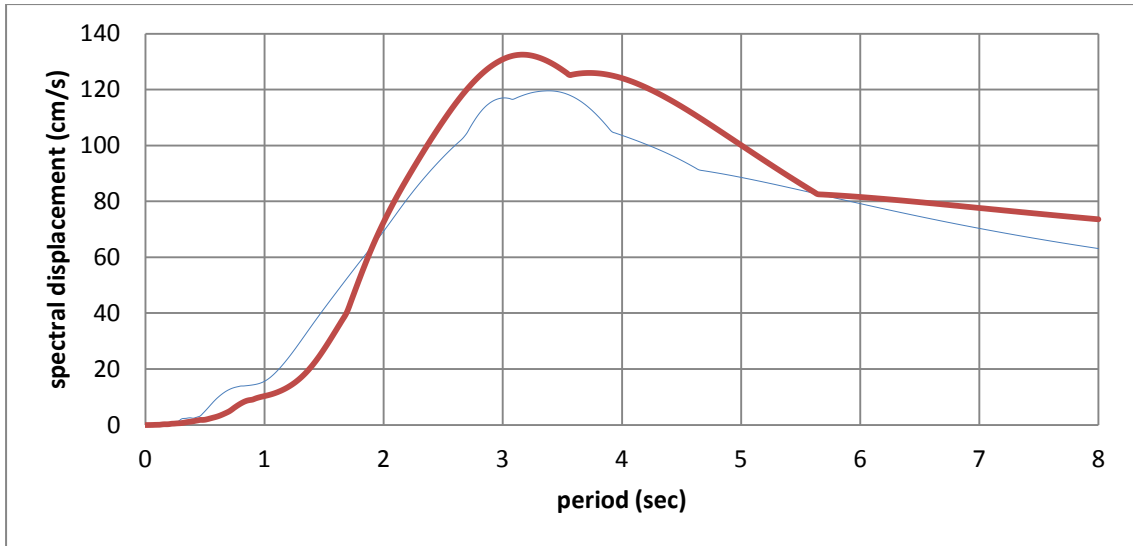




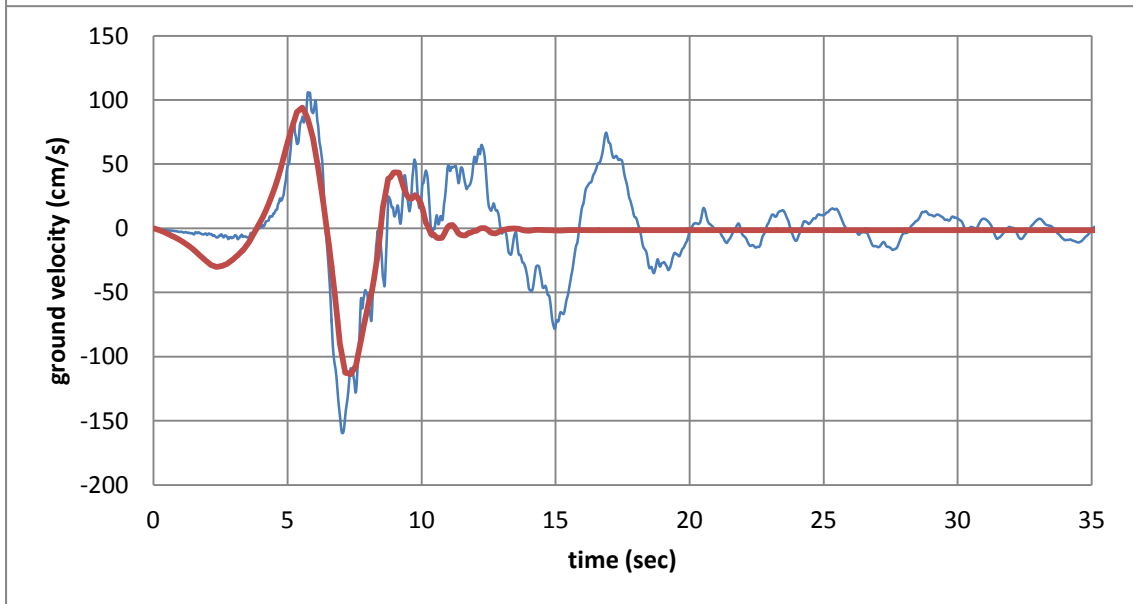
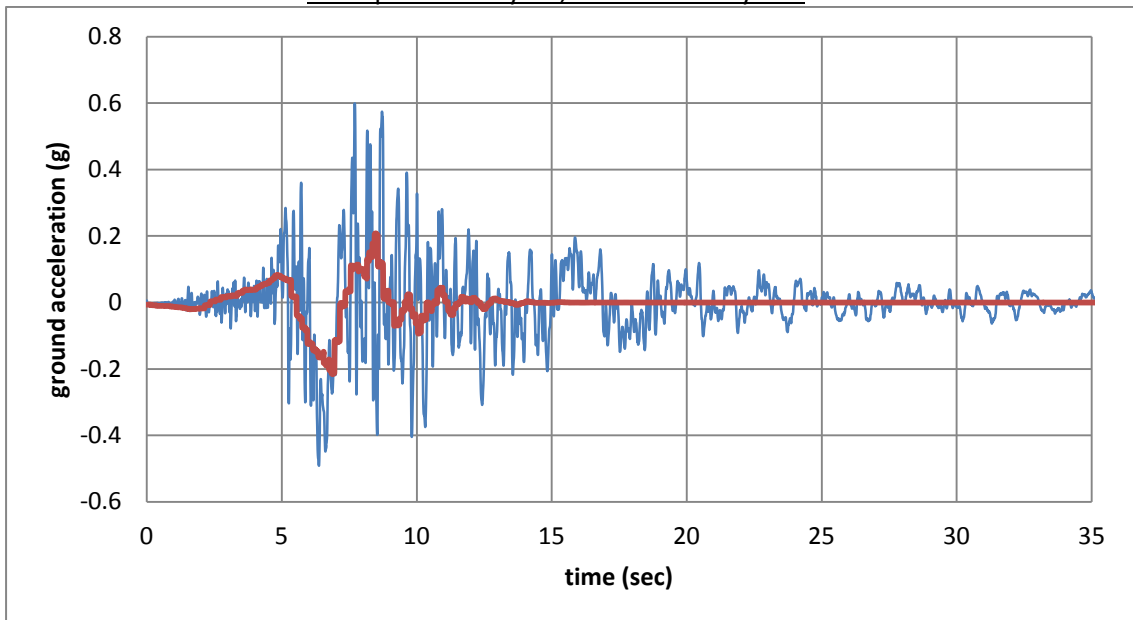
#7 Imperial Valley-06, EC Meloland Overpass FF

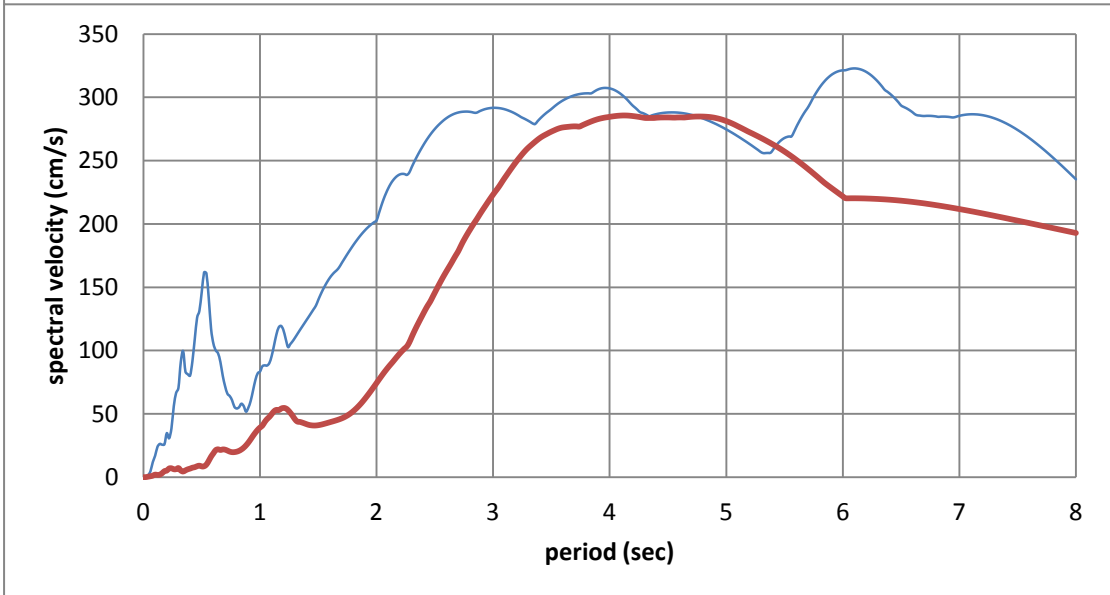
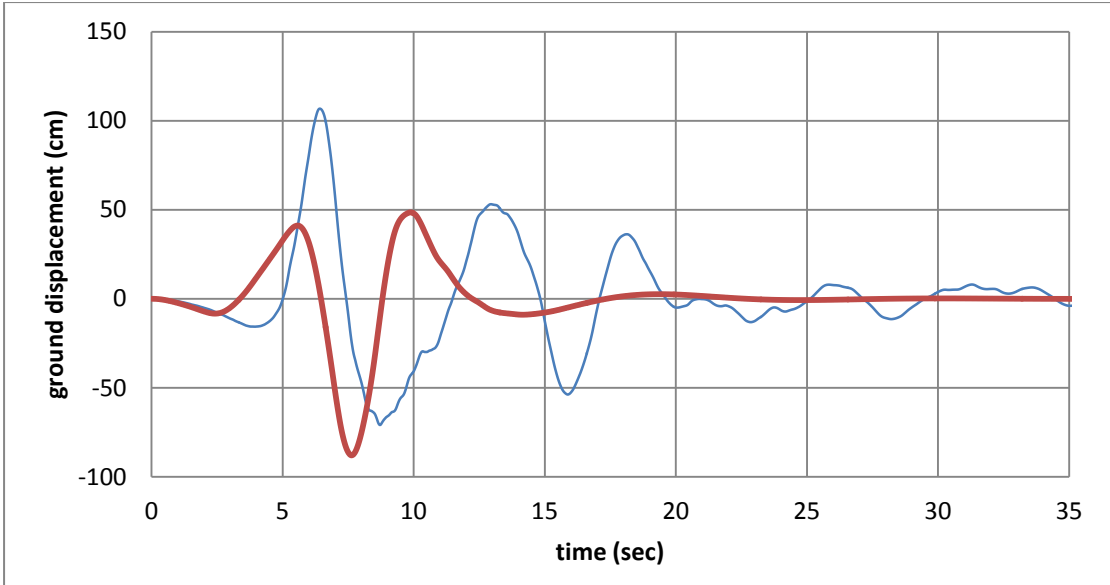




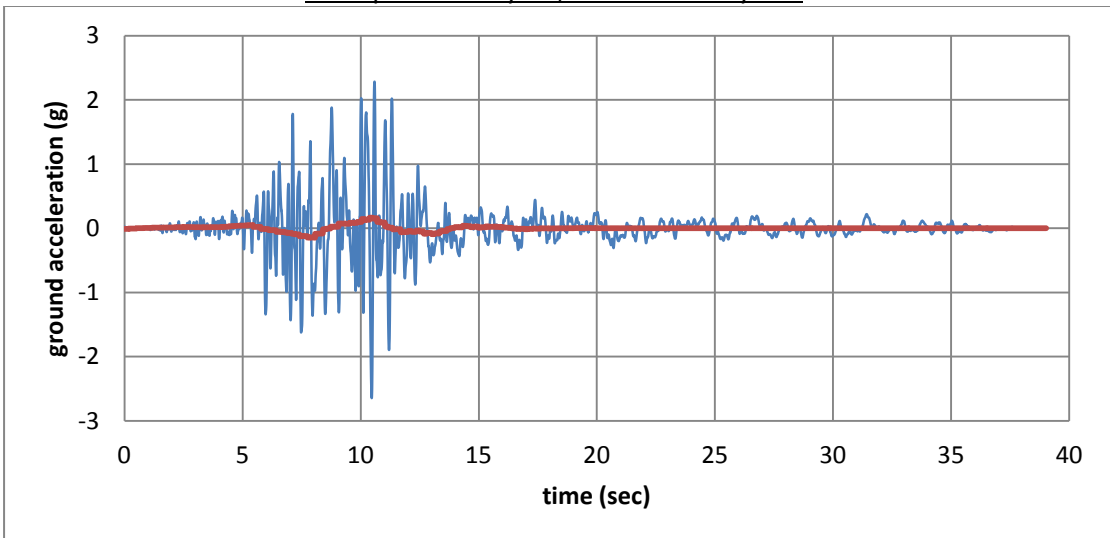


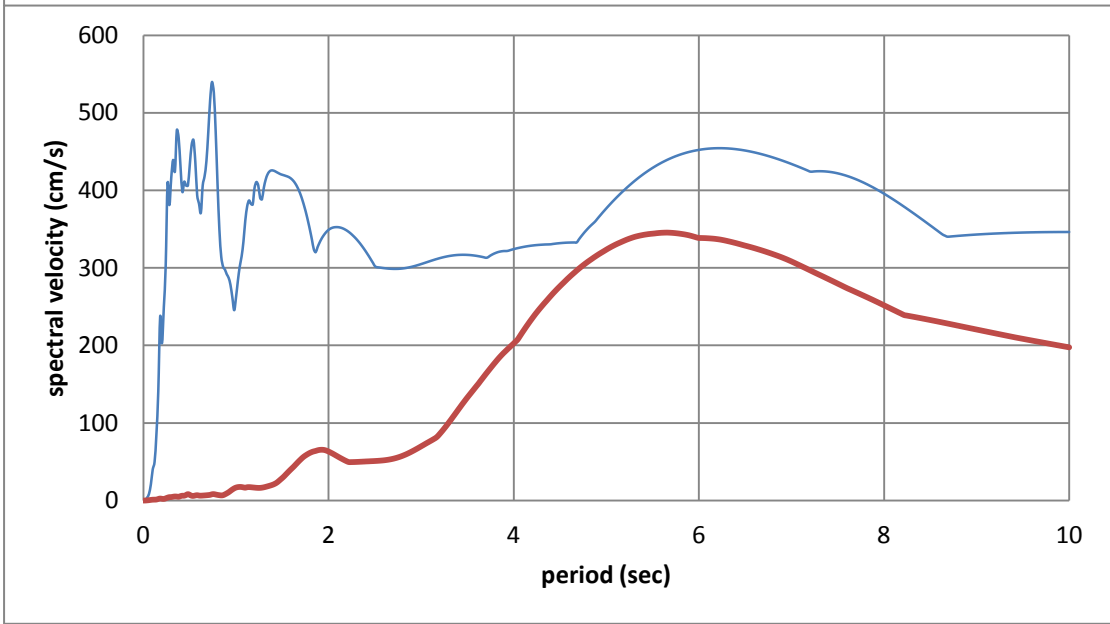
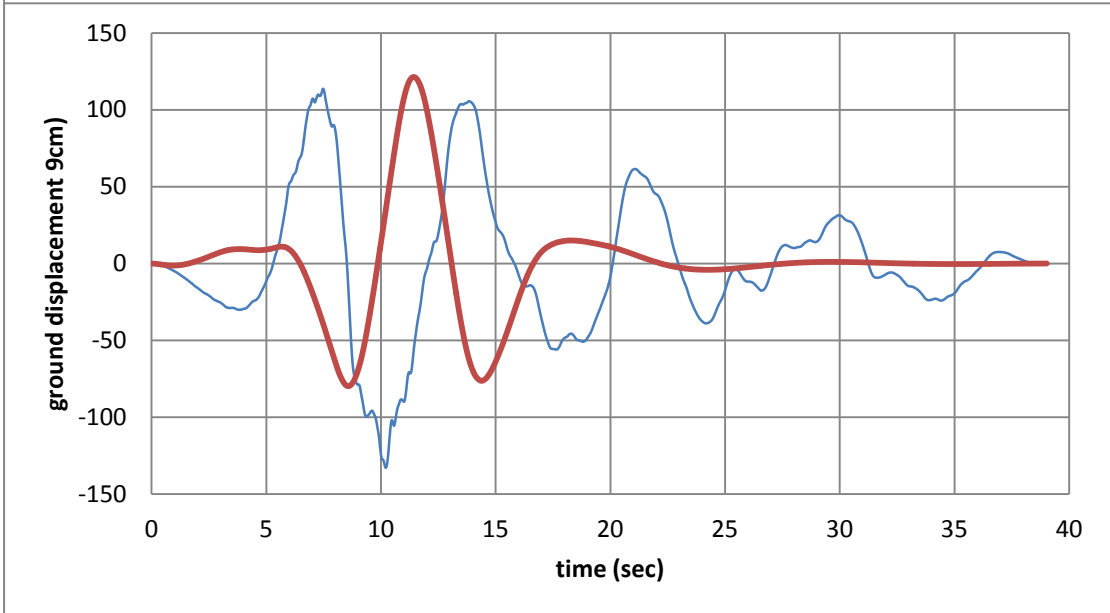
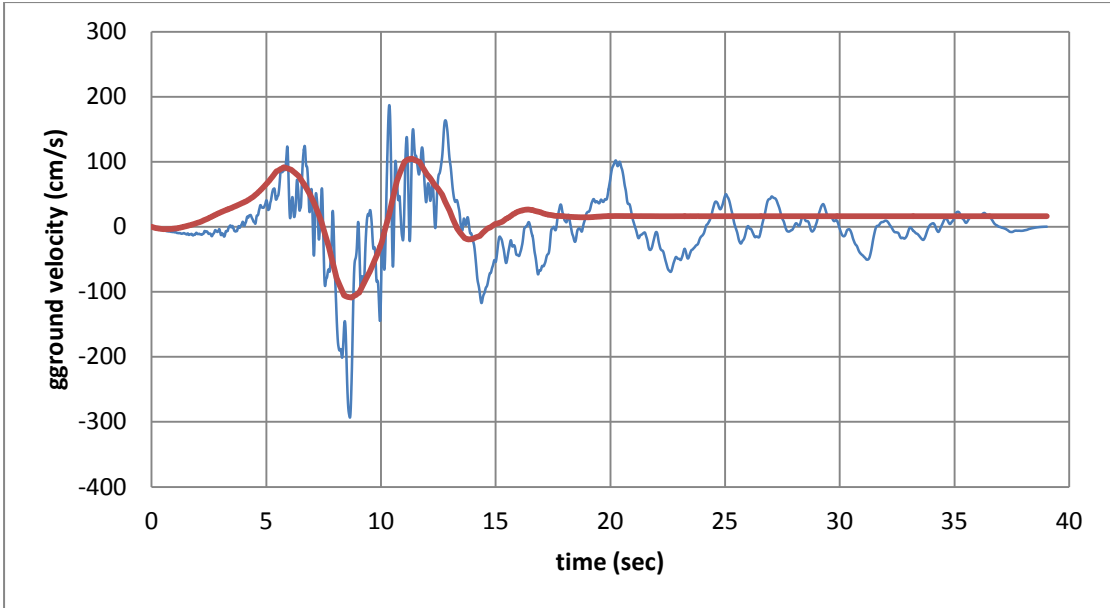
#8 Imperial Valley-06, El Centro Array #10

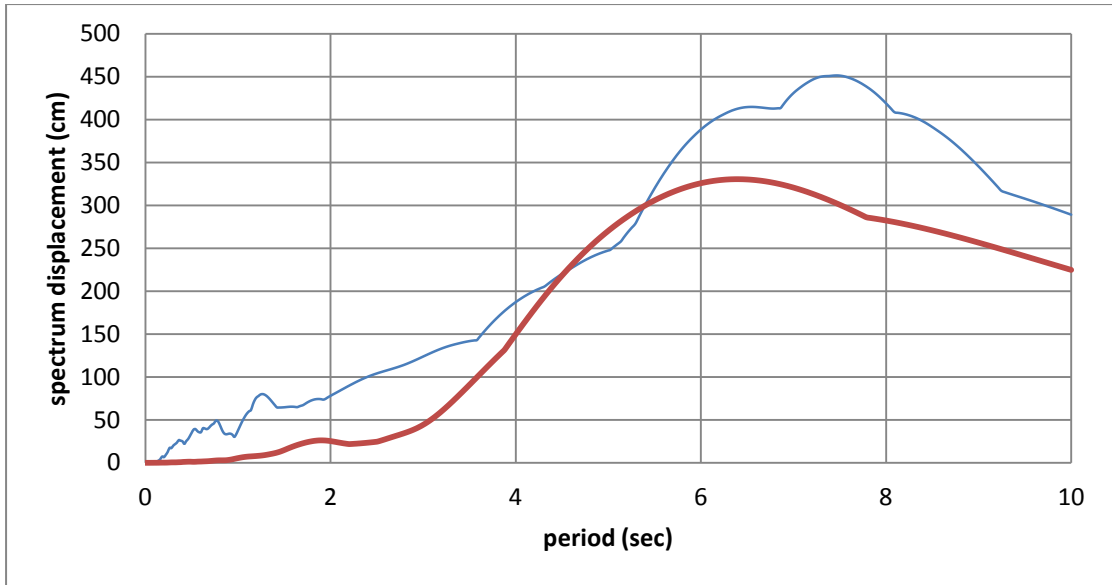




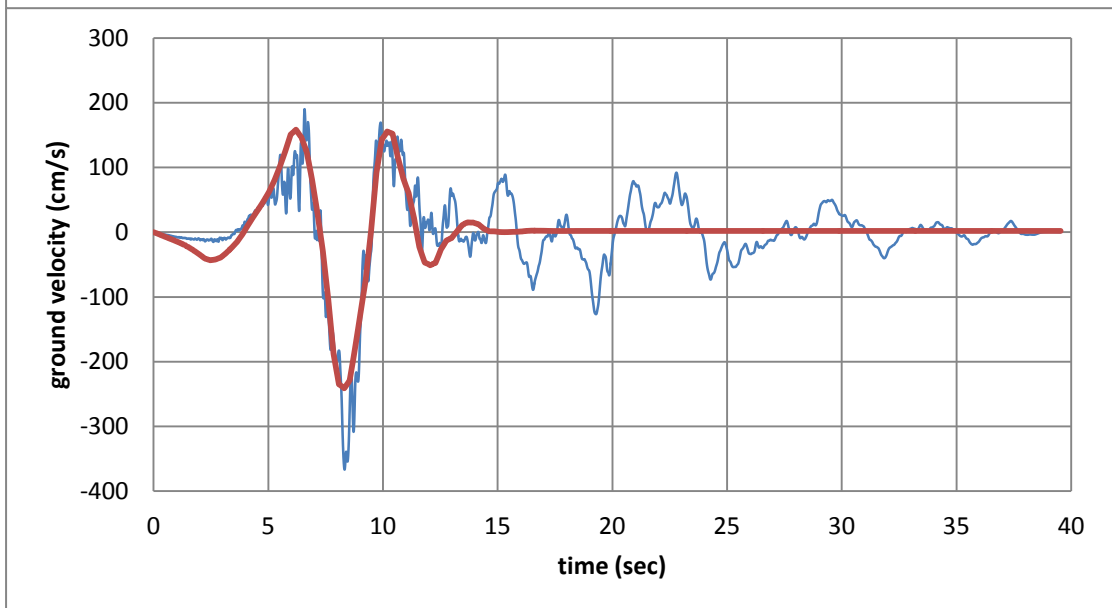
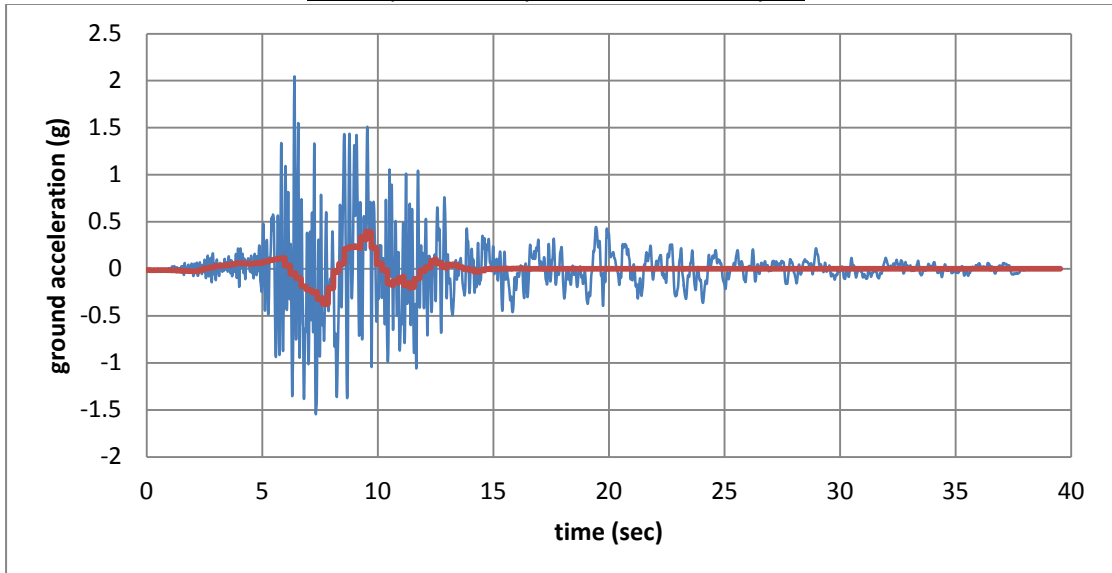
#9 Imperial Valley-06, El Centro Array #11

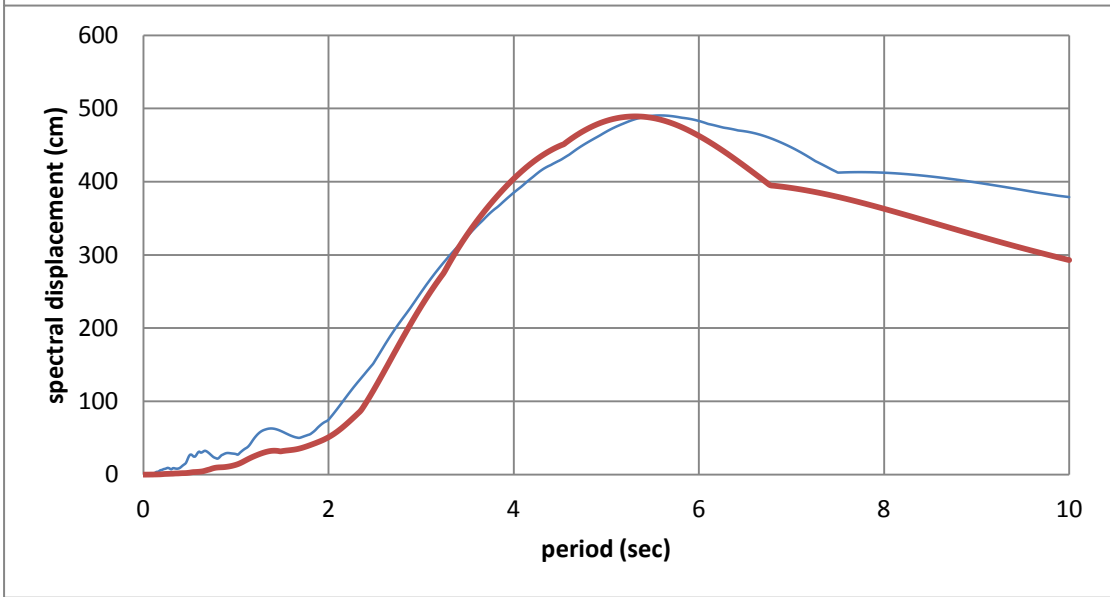
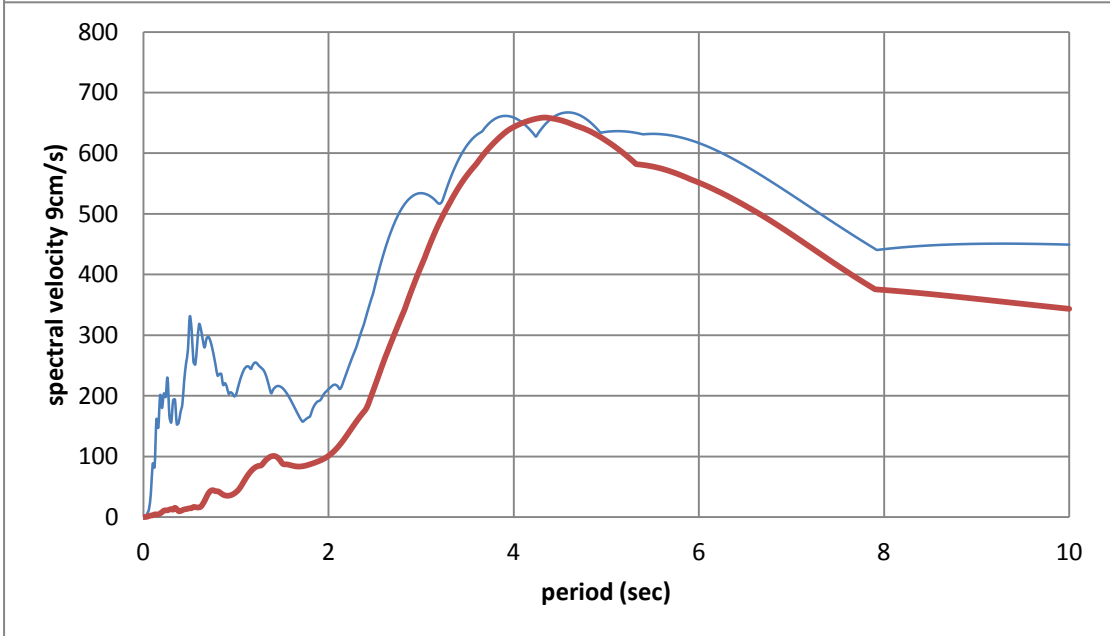
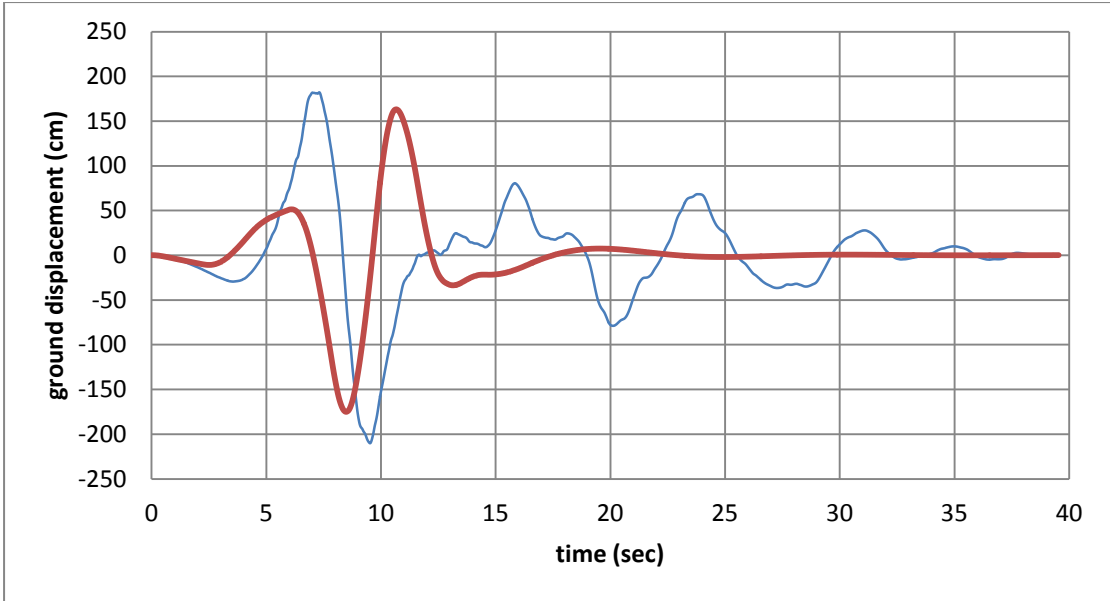




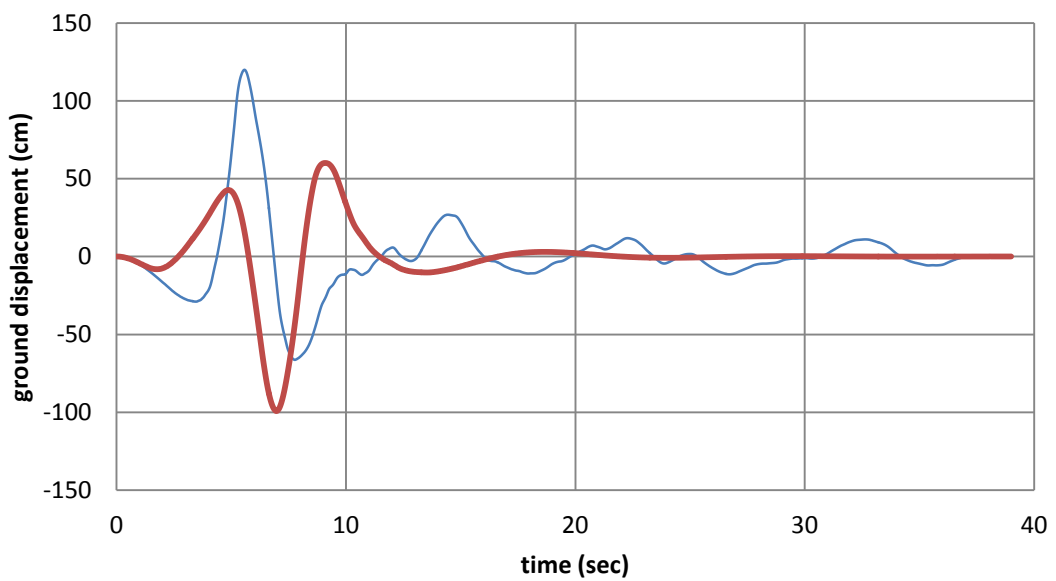
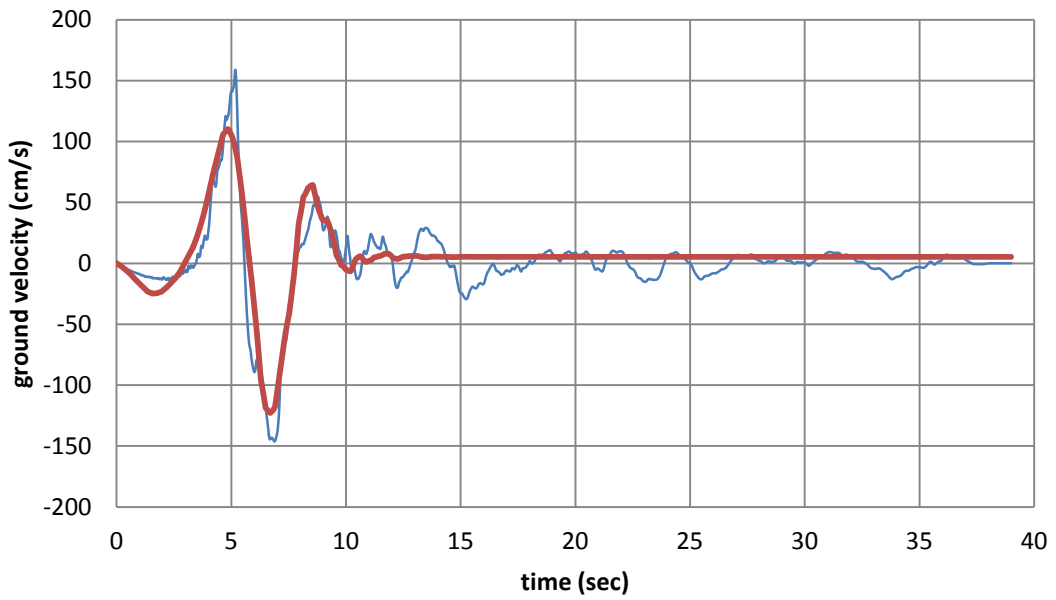
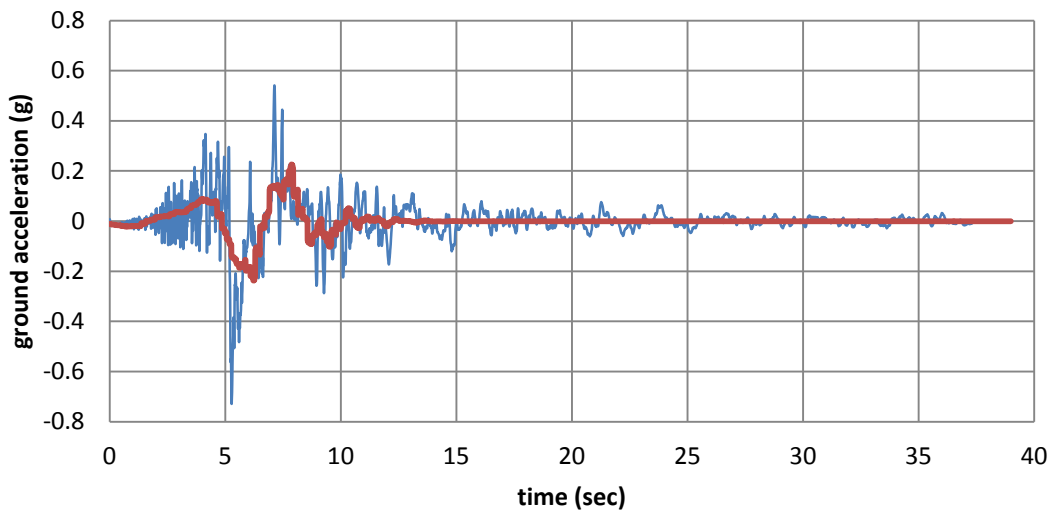


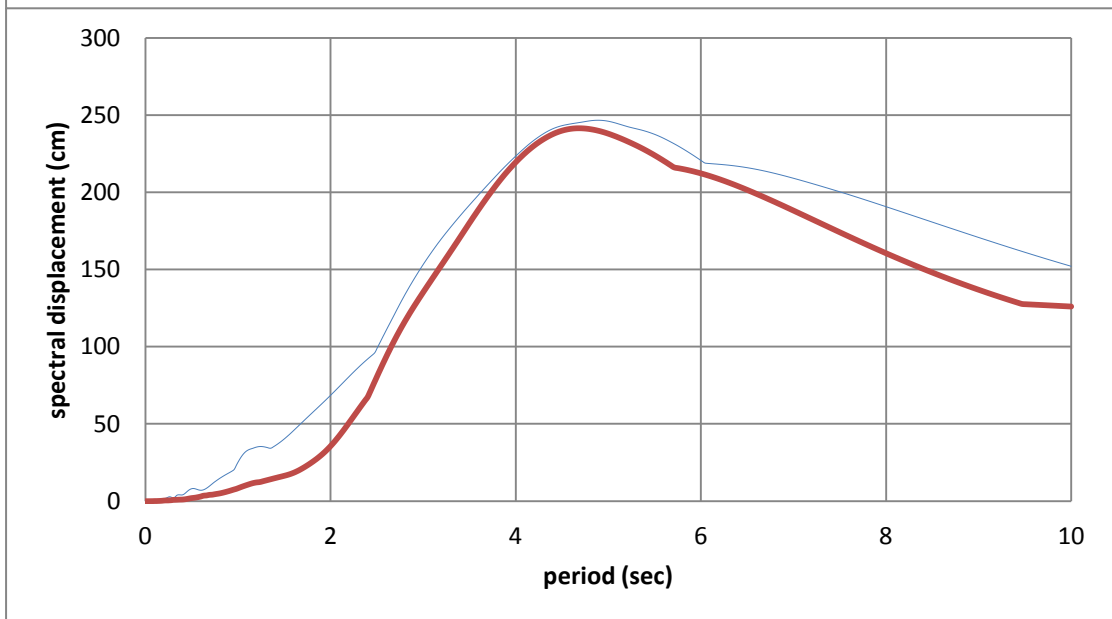
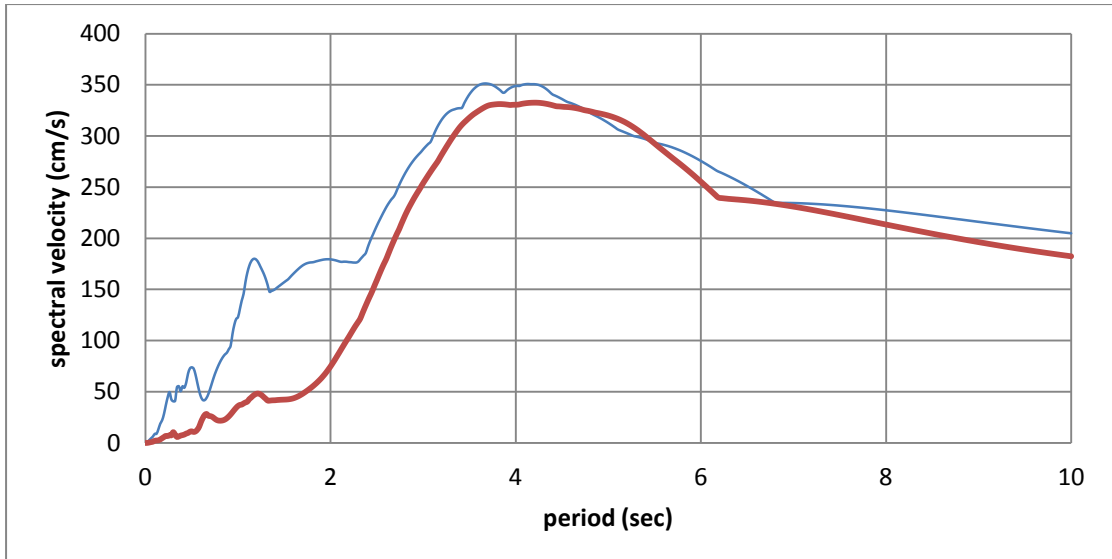
#10 Imperial Valley-06, El Centro Array #3



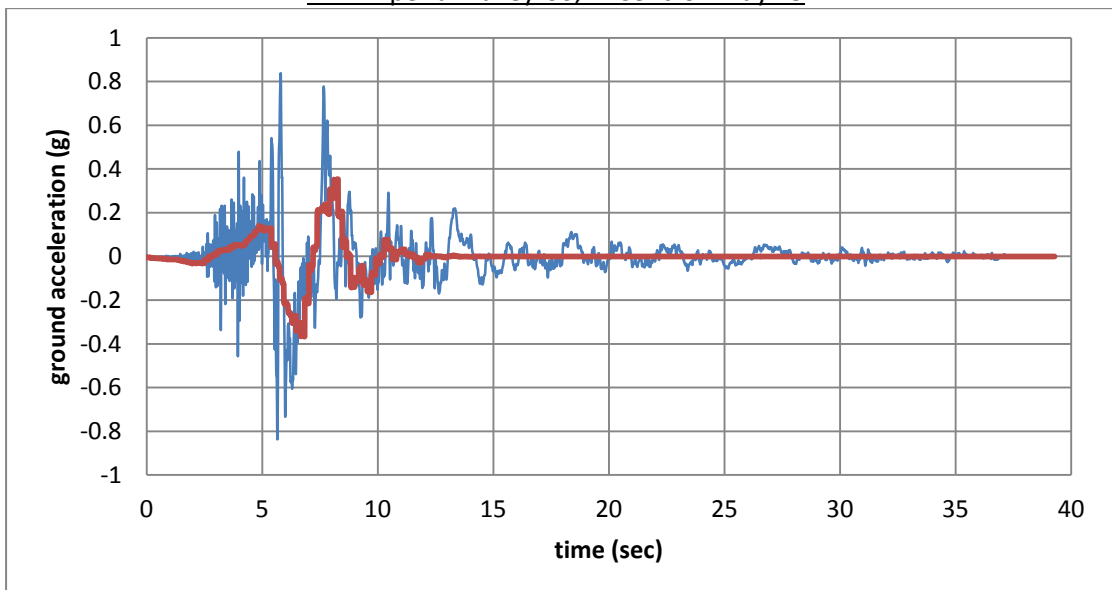


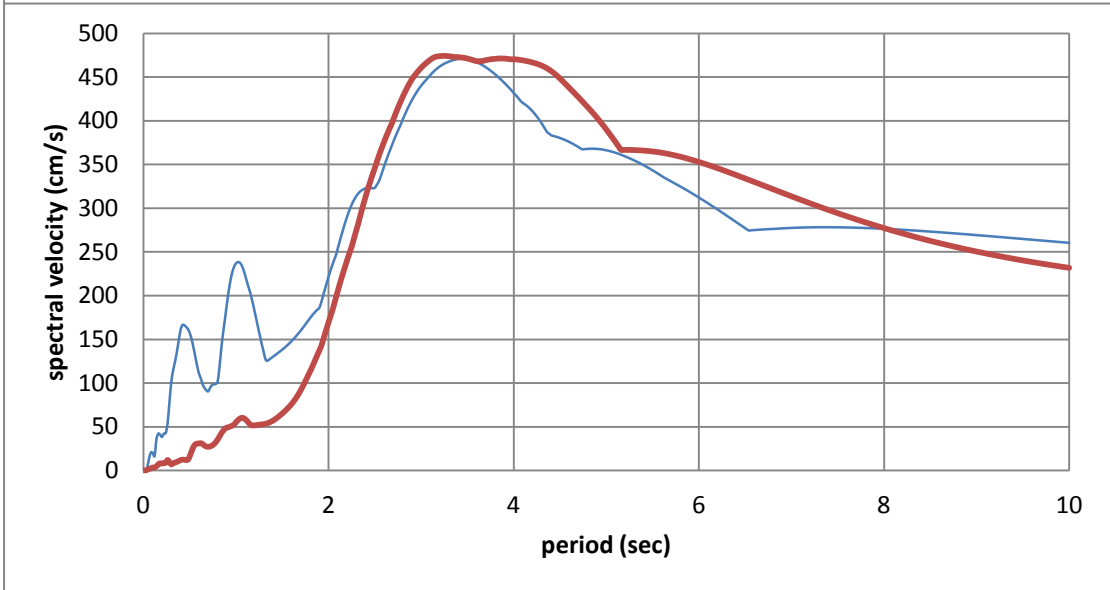
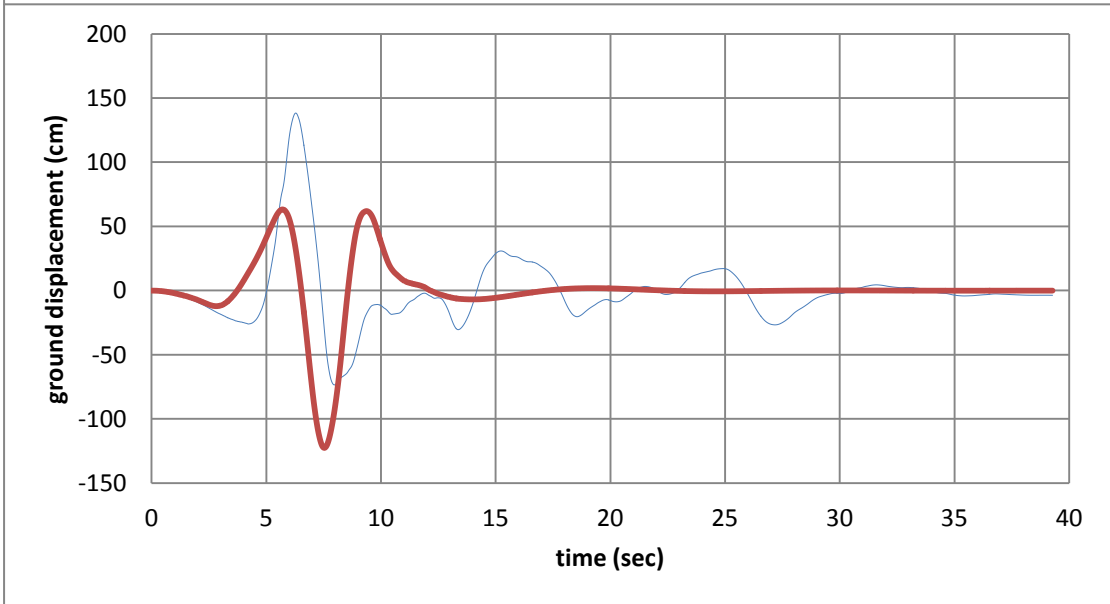
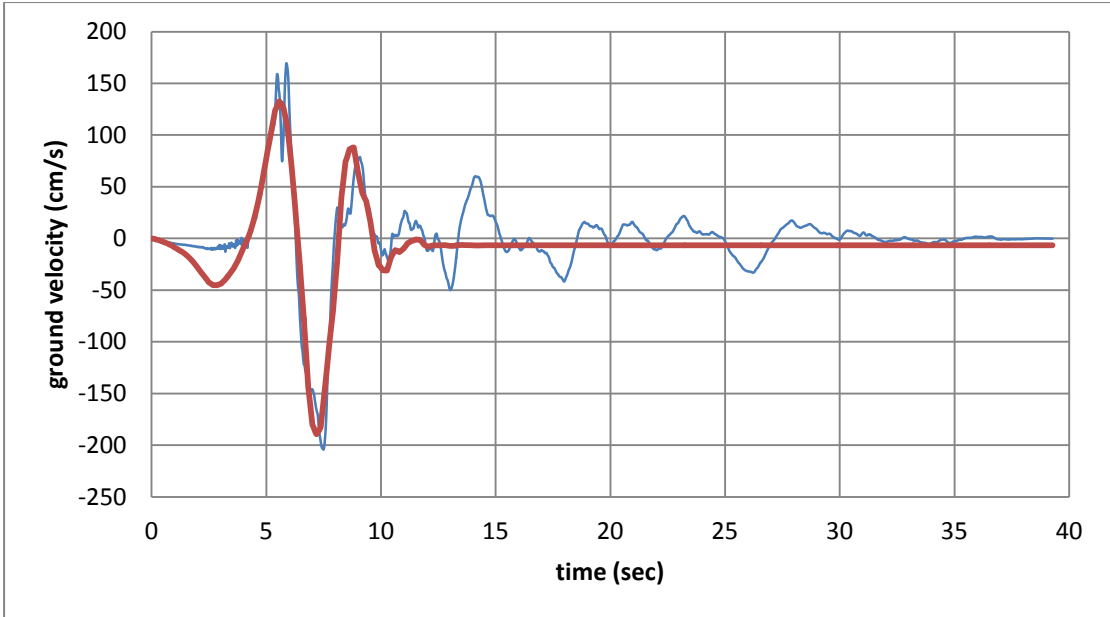
#11 Imperial Valley-06, El Centro Array #4

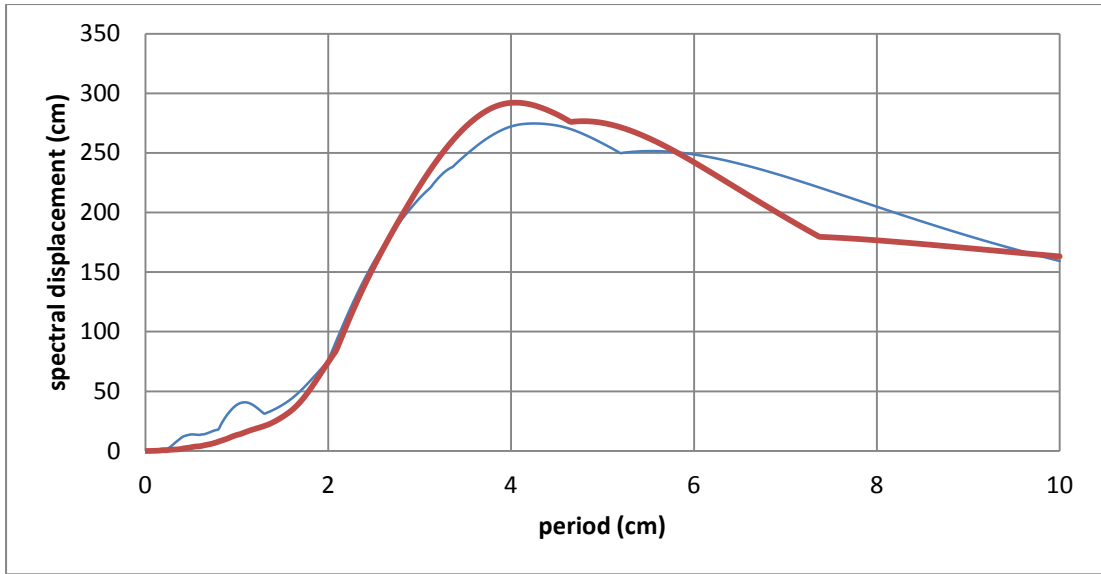




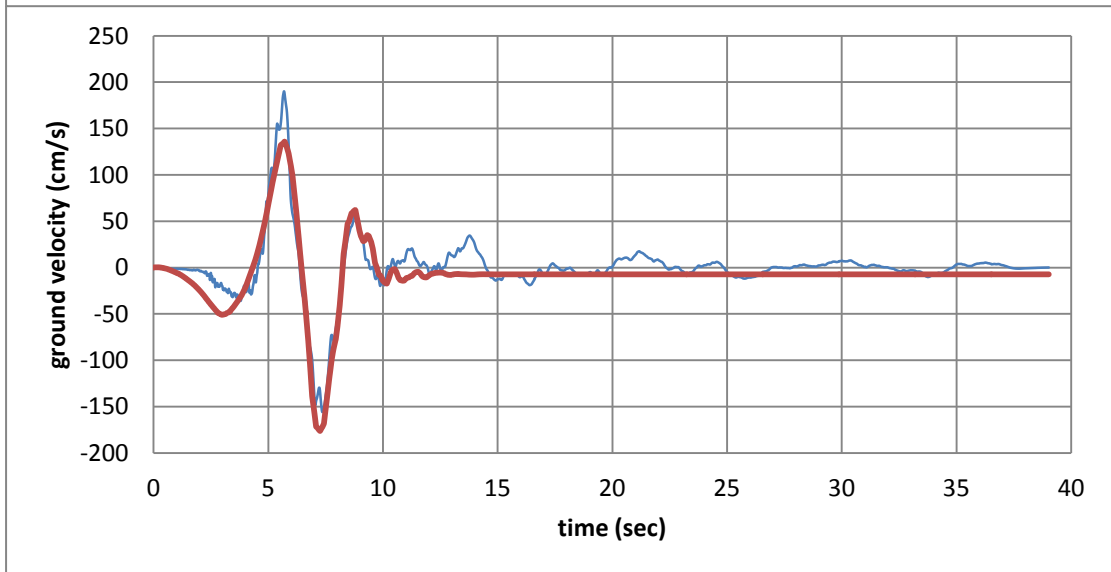
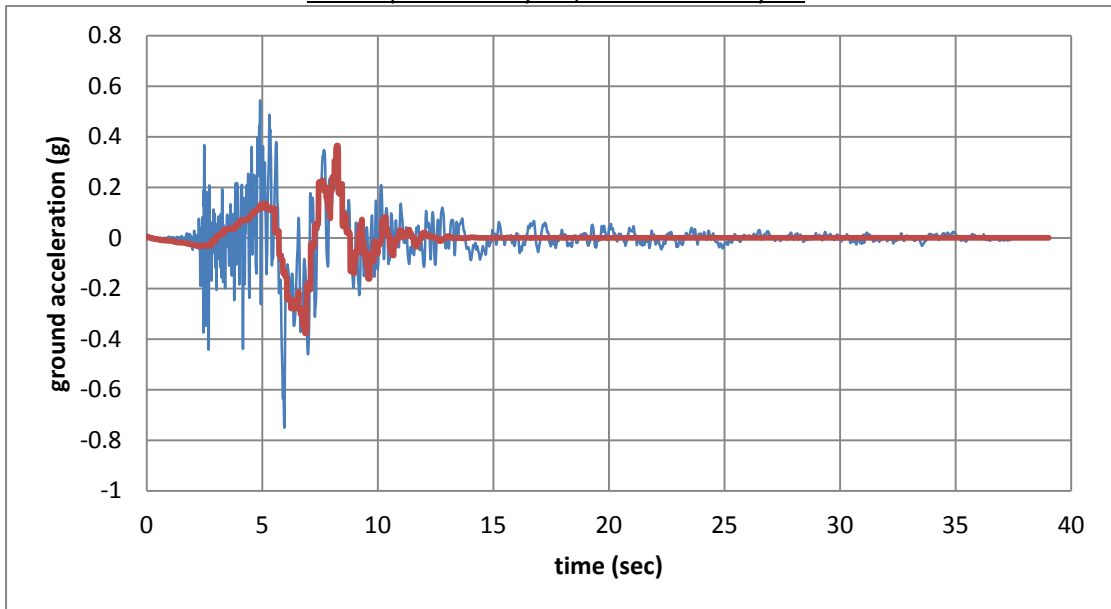
#12 Imperial Valley-06, El Centro Array #5

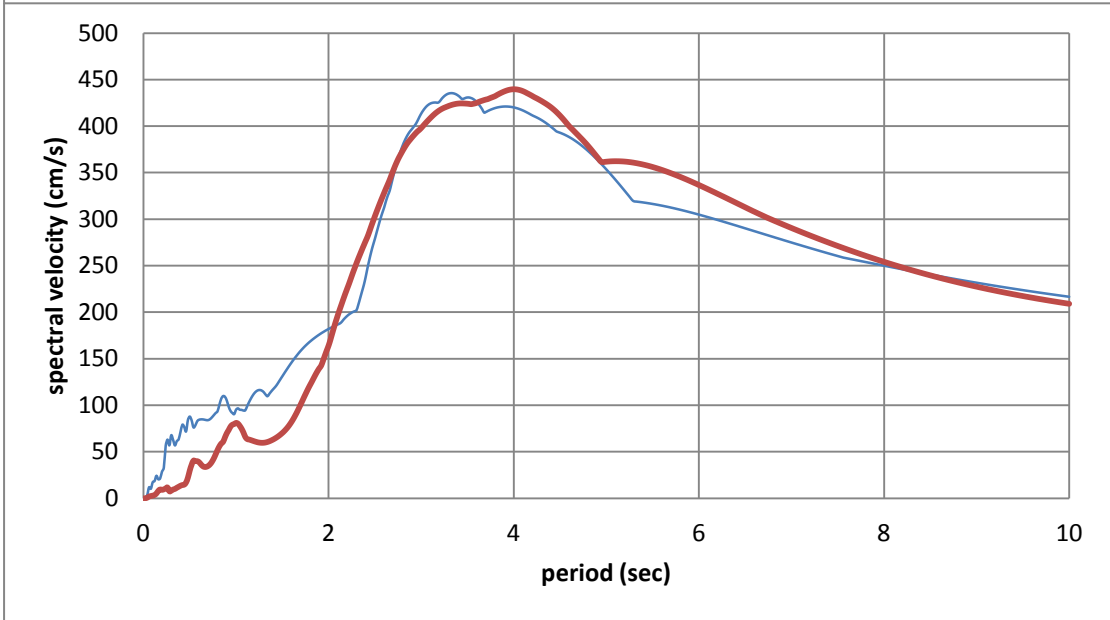
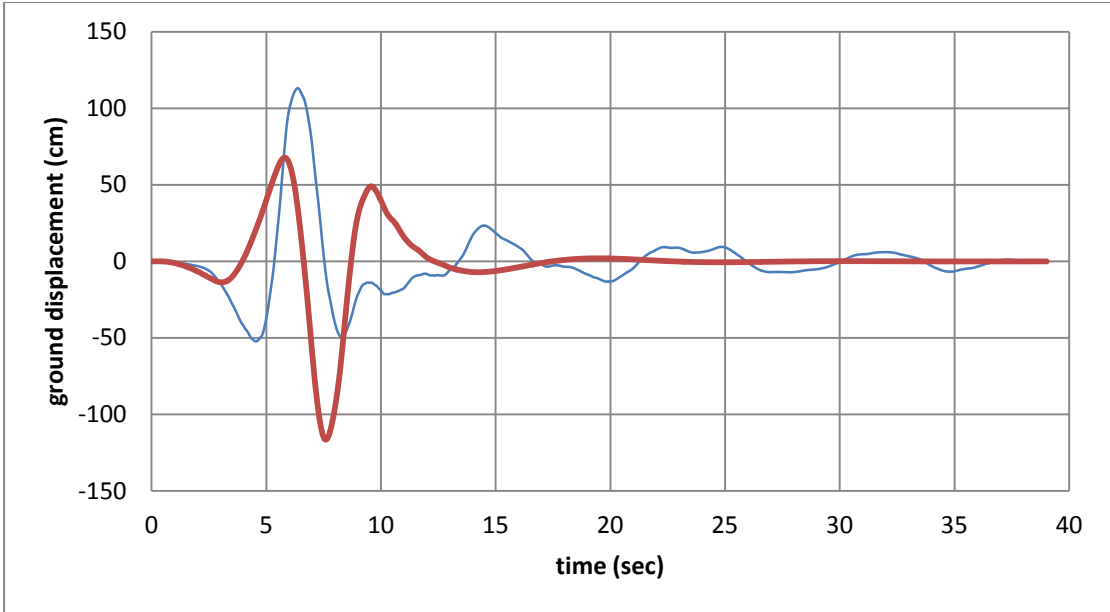




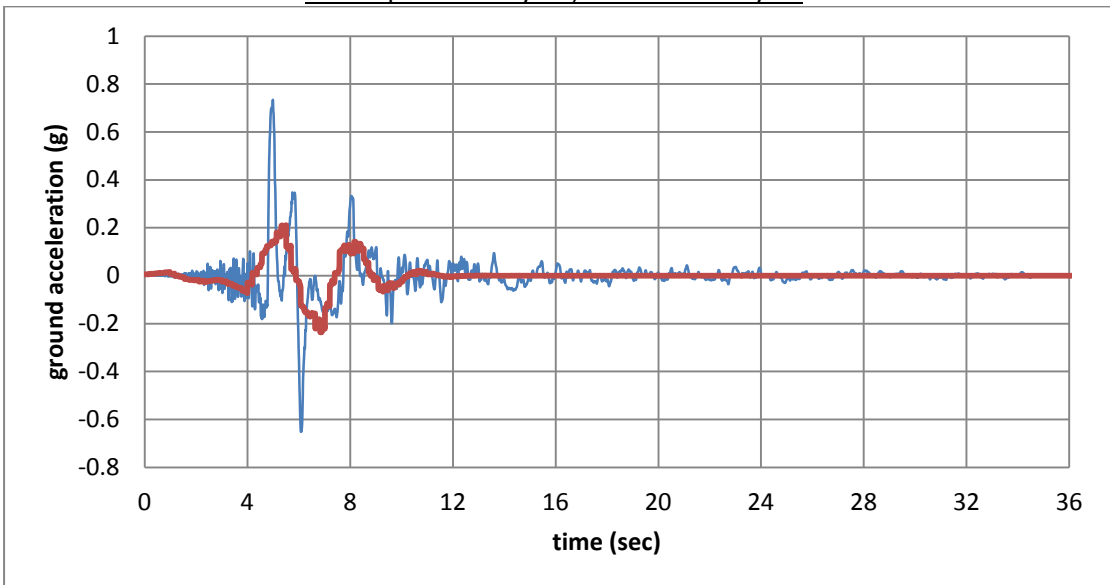


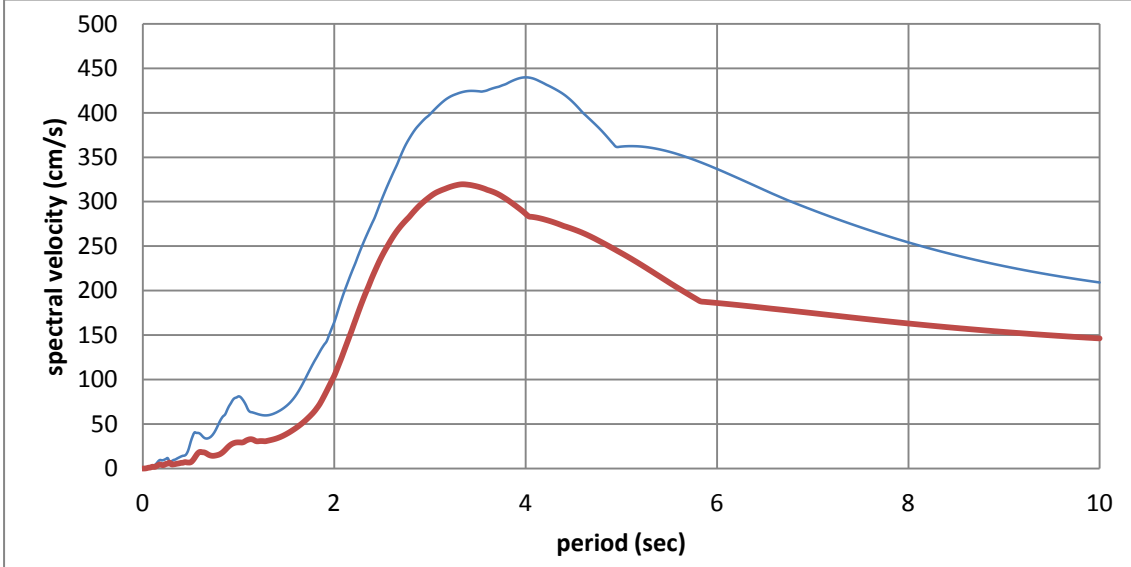
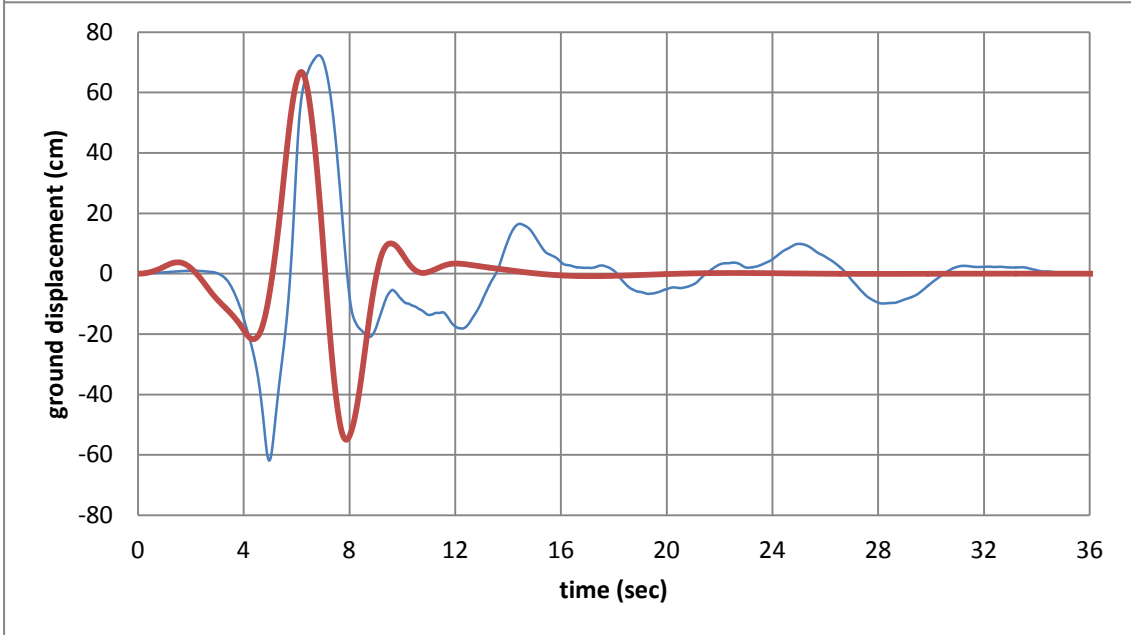
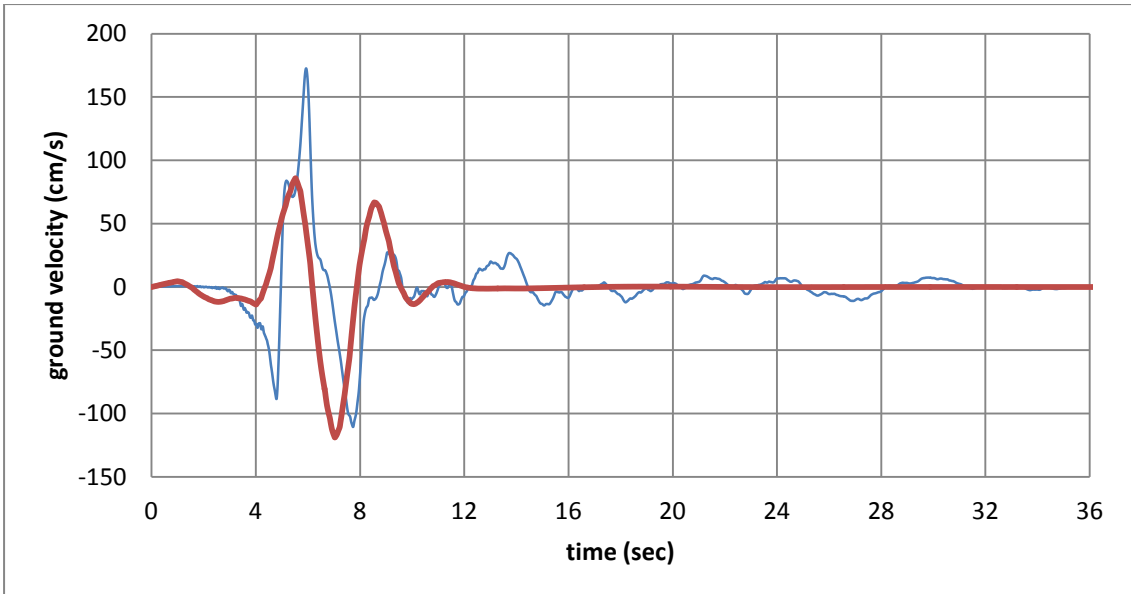
#13 Imperial Valley-06, El Centro Array #6

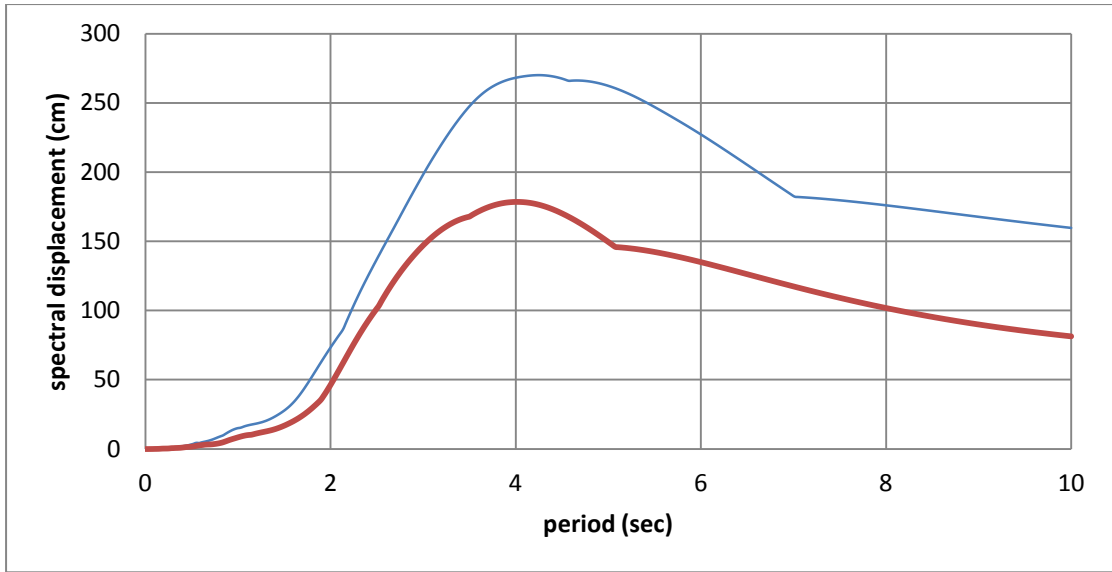




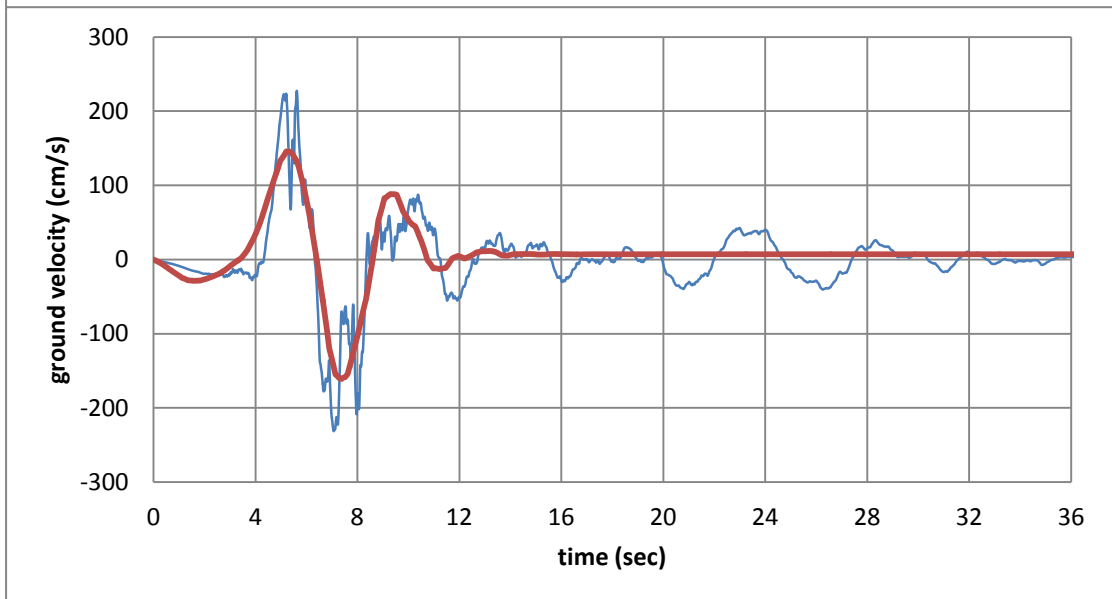
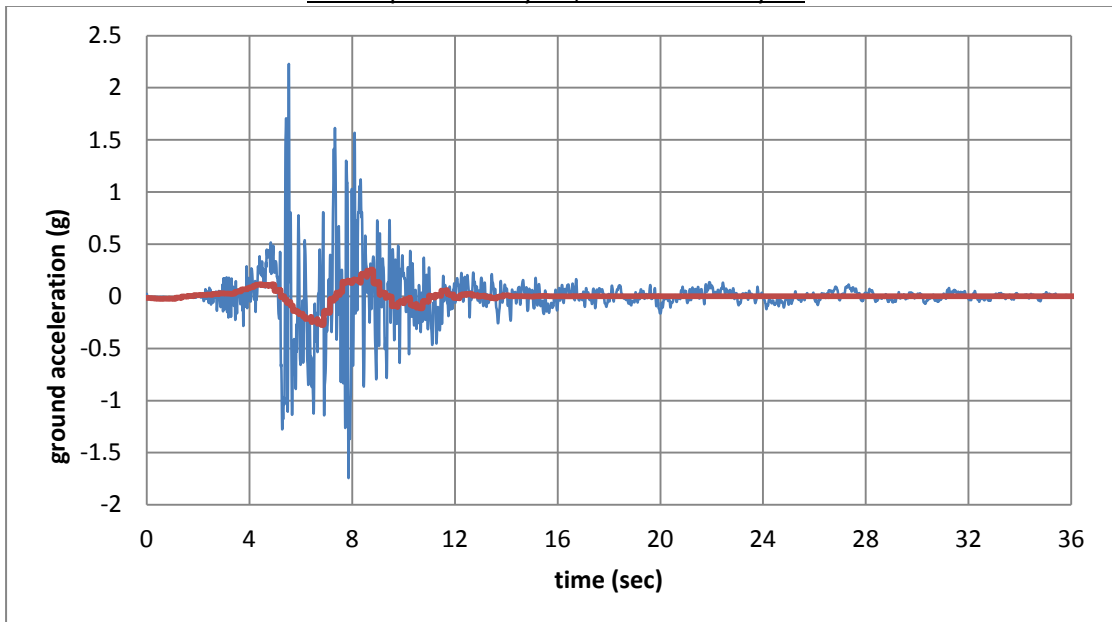
#14 Imperial Valley-06, El Centro Array #7

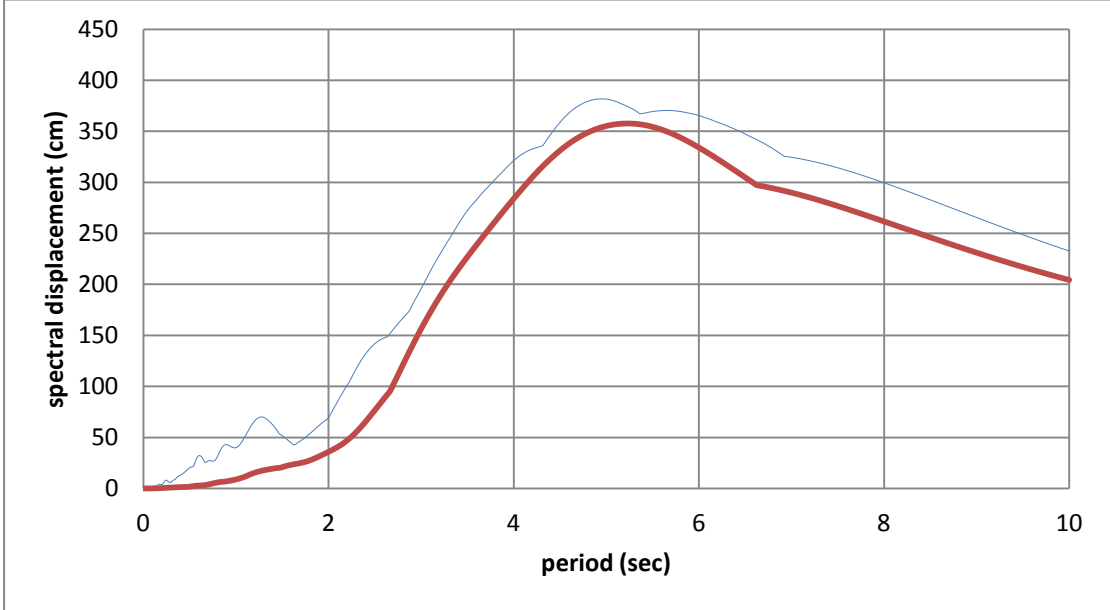
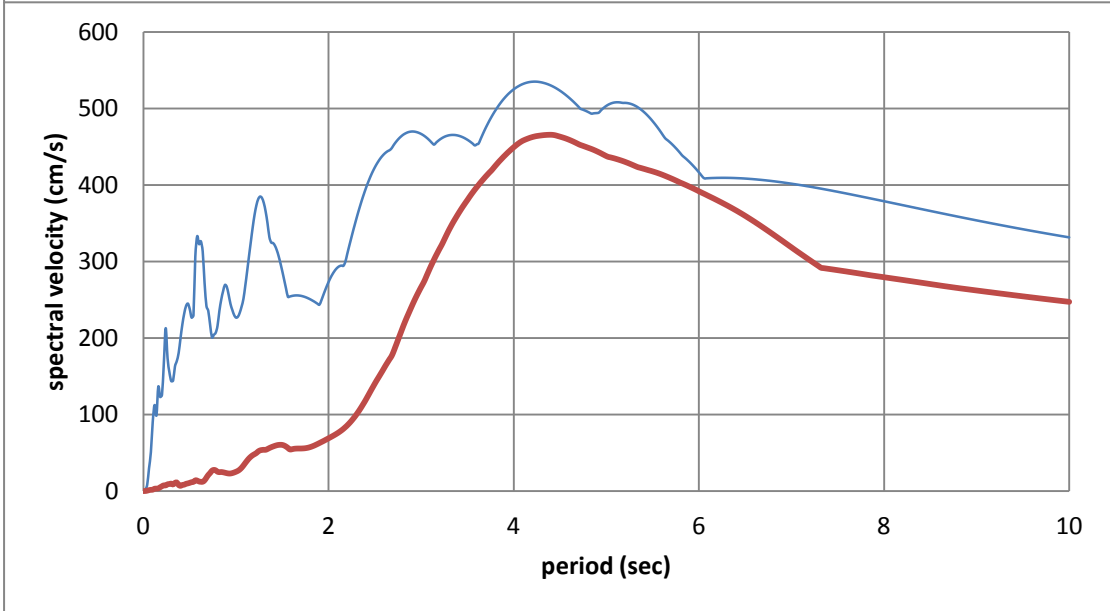
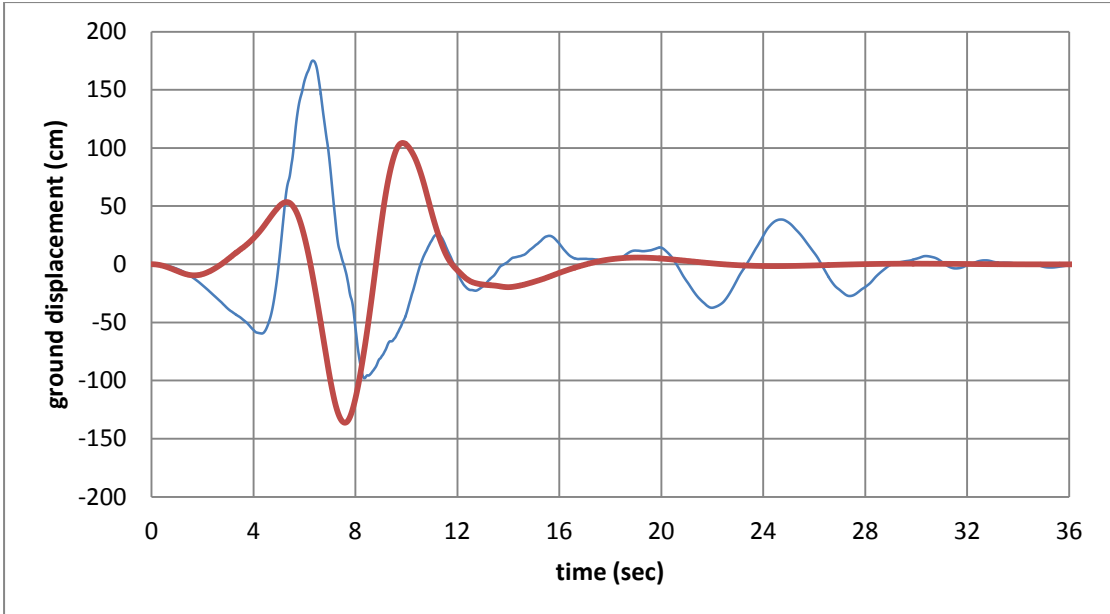




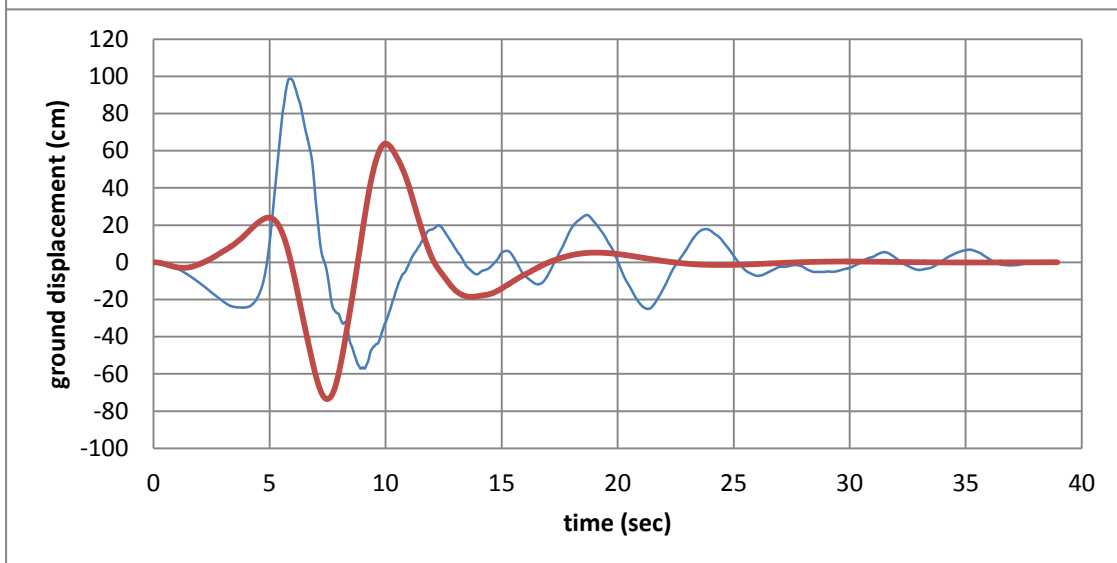
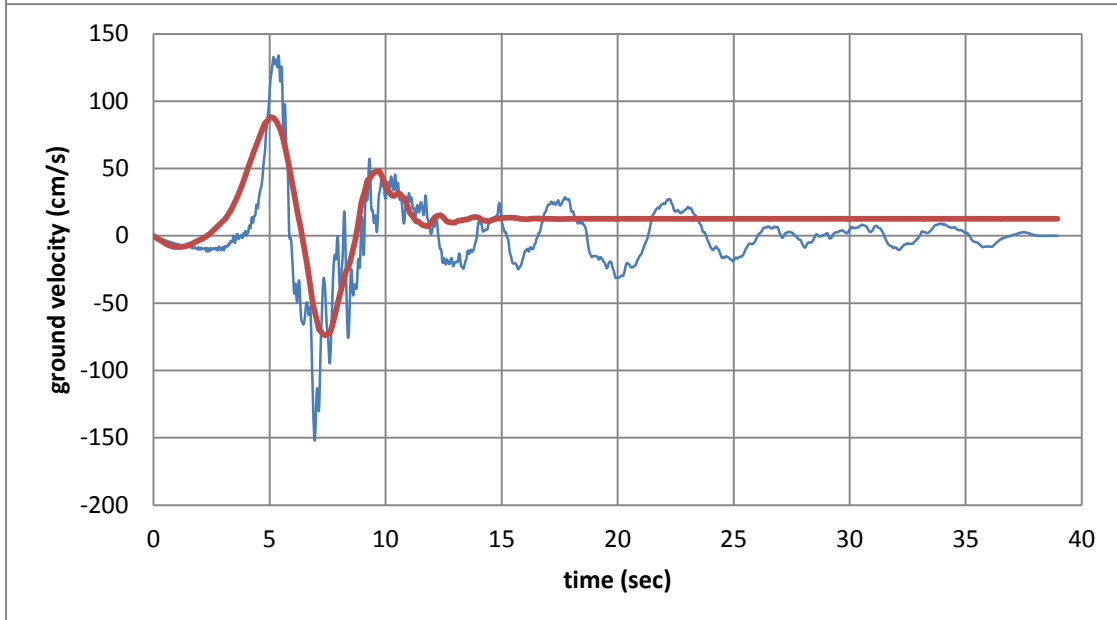
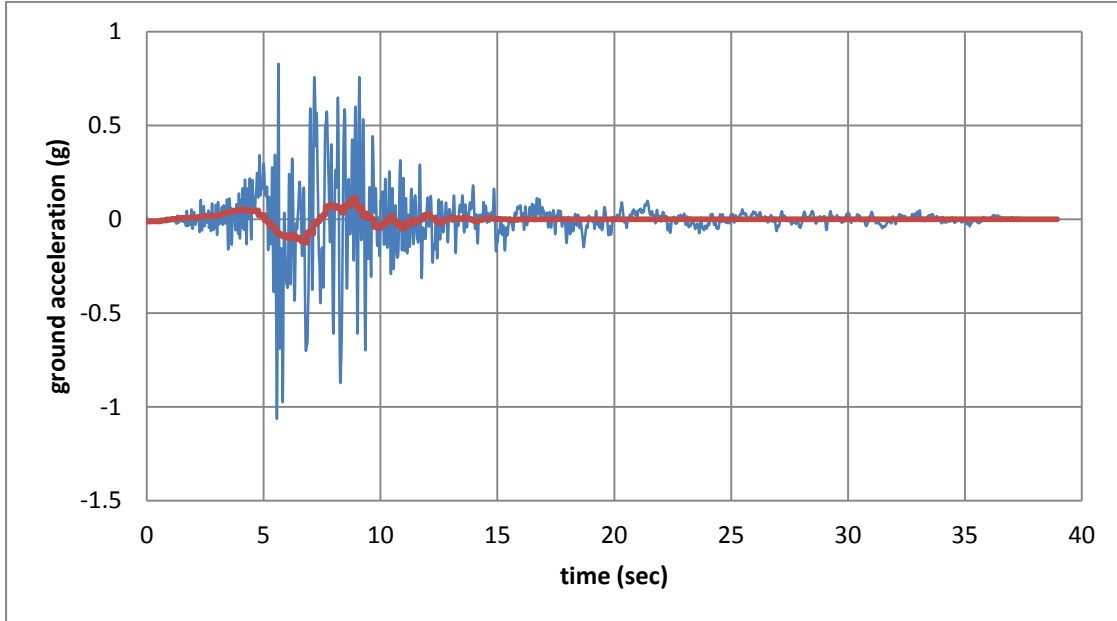


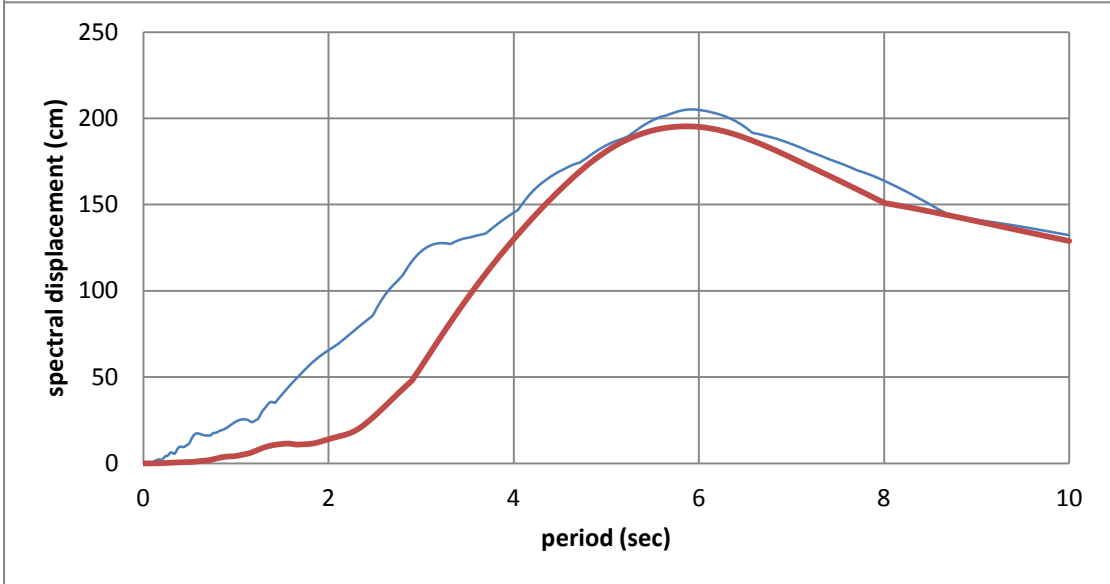
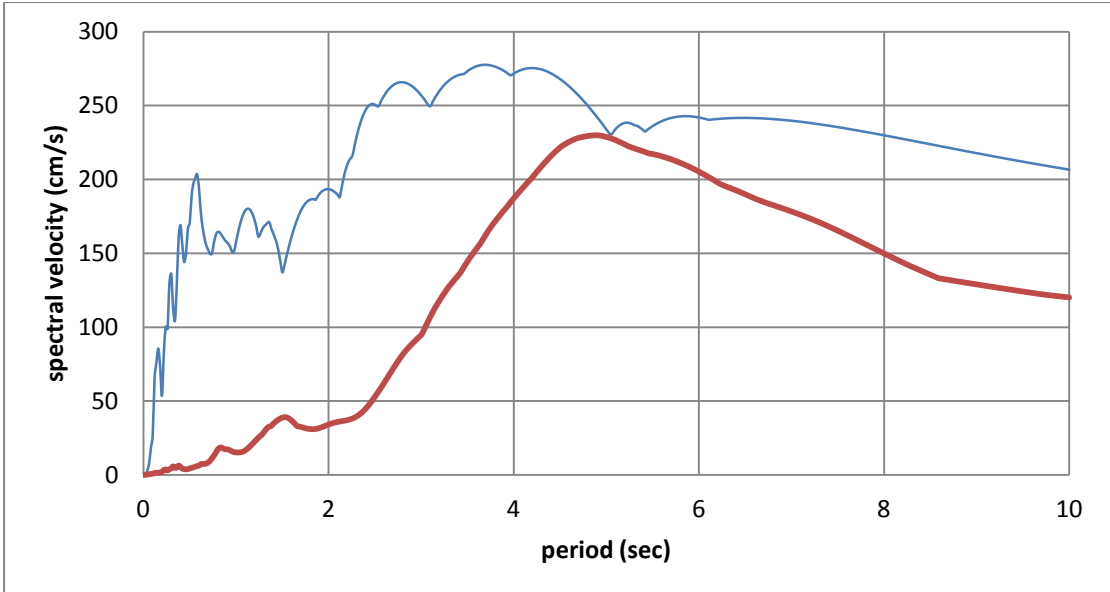
#15 Imperial Valley-06, El Centro Array #8



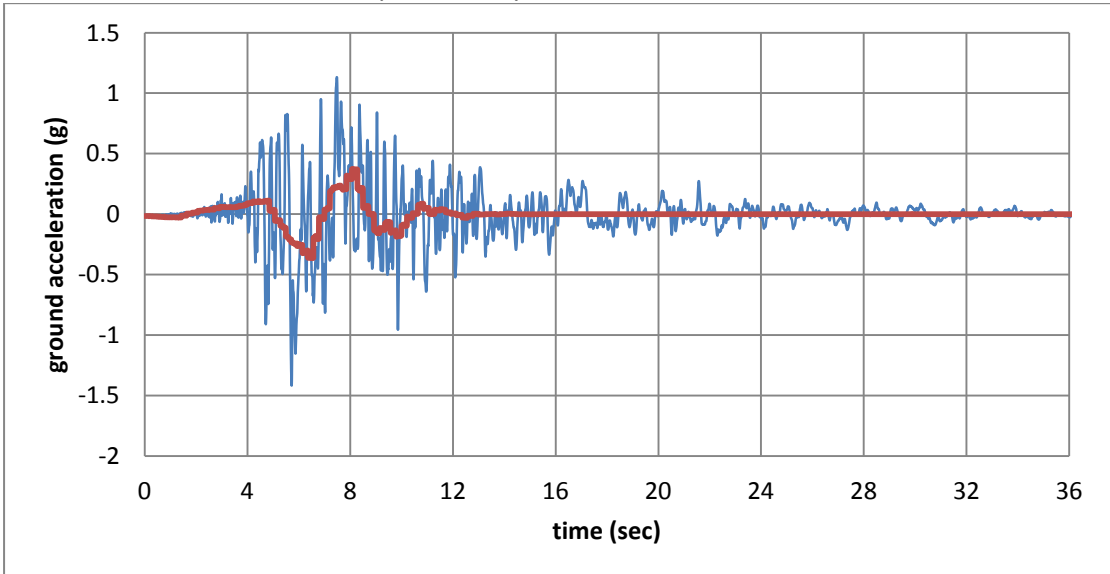


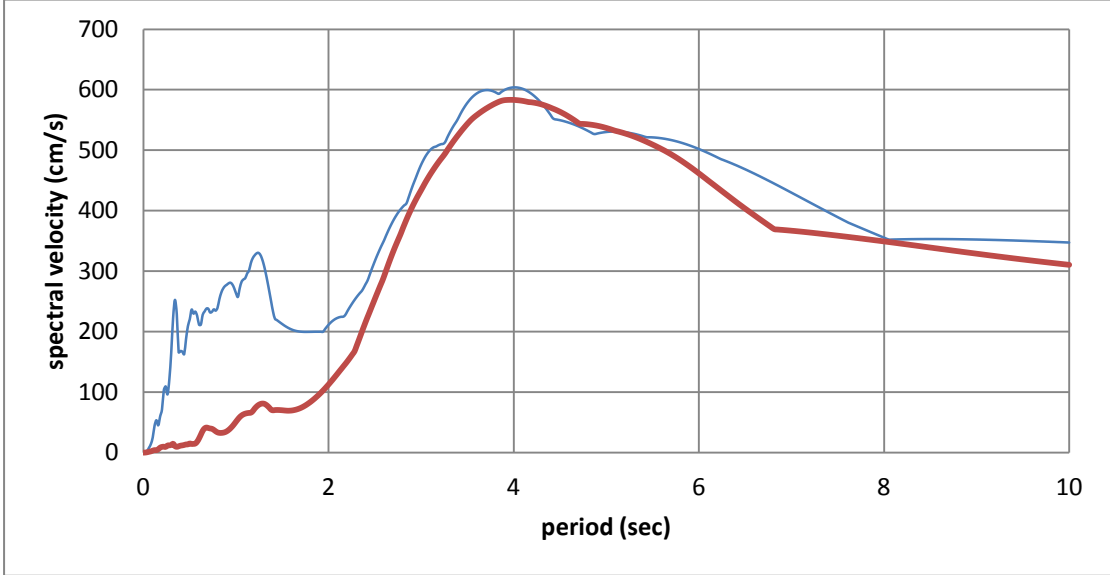
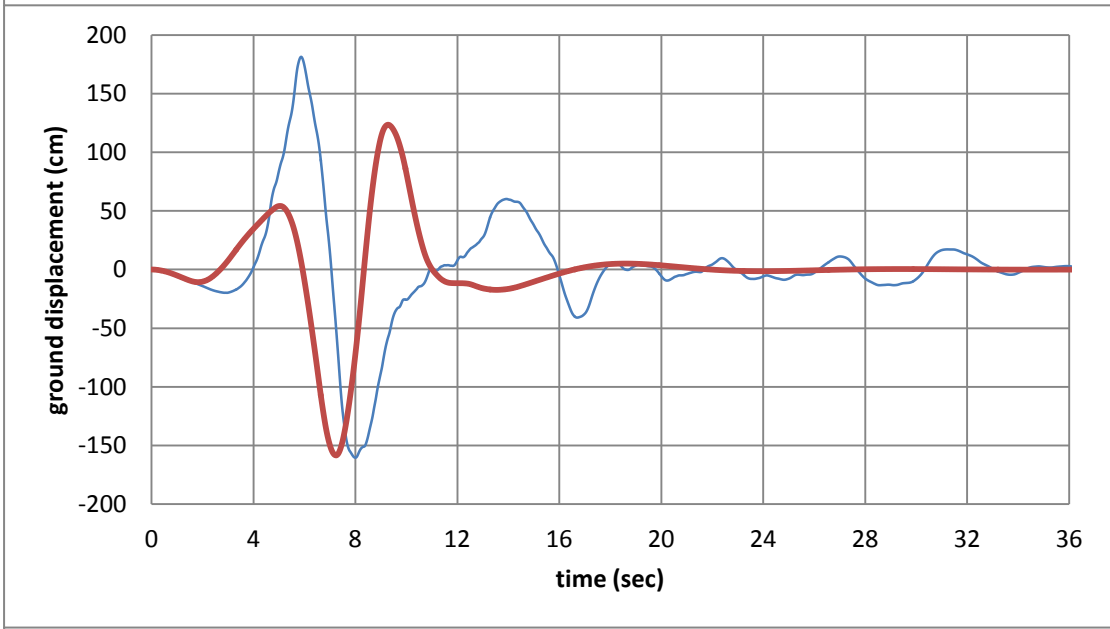
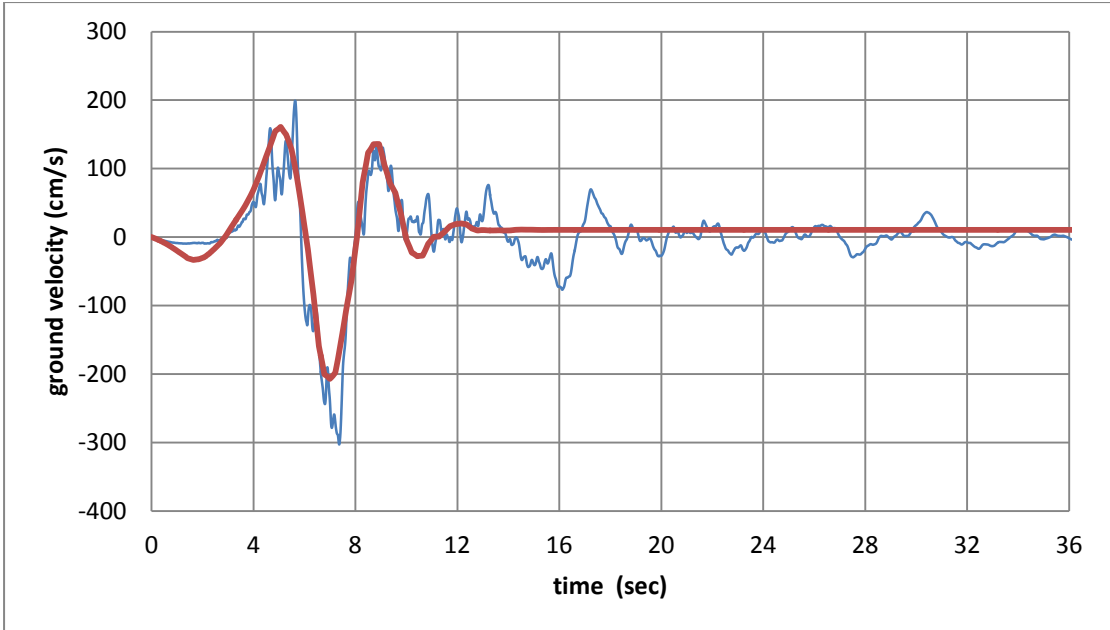
#16 Imperial Valley-06, El Centro Differential Array

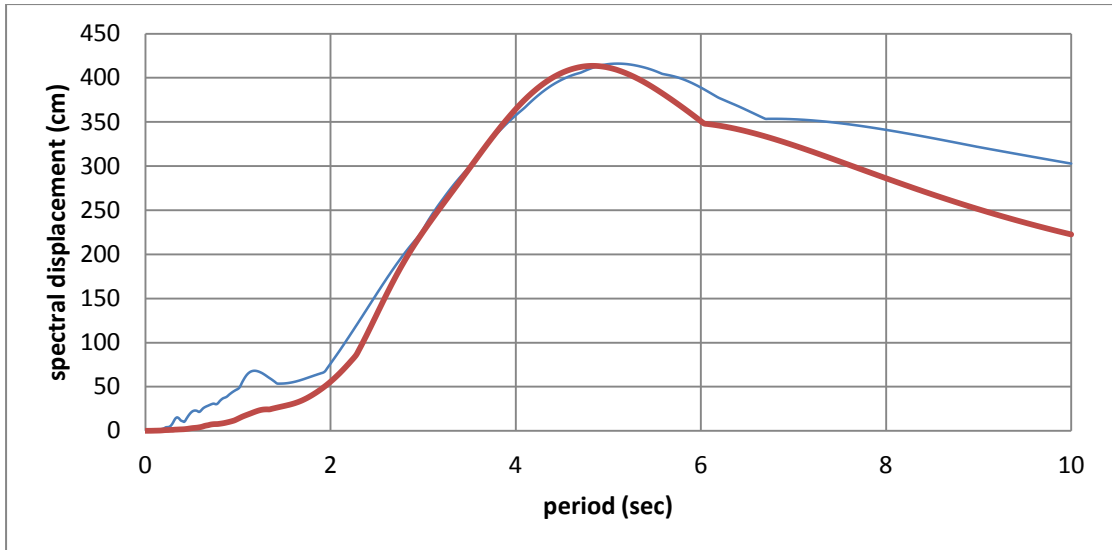




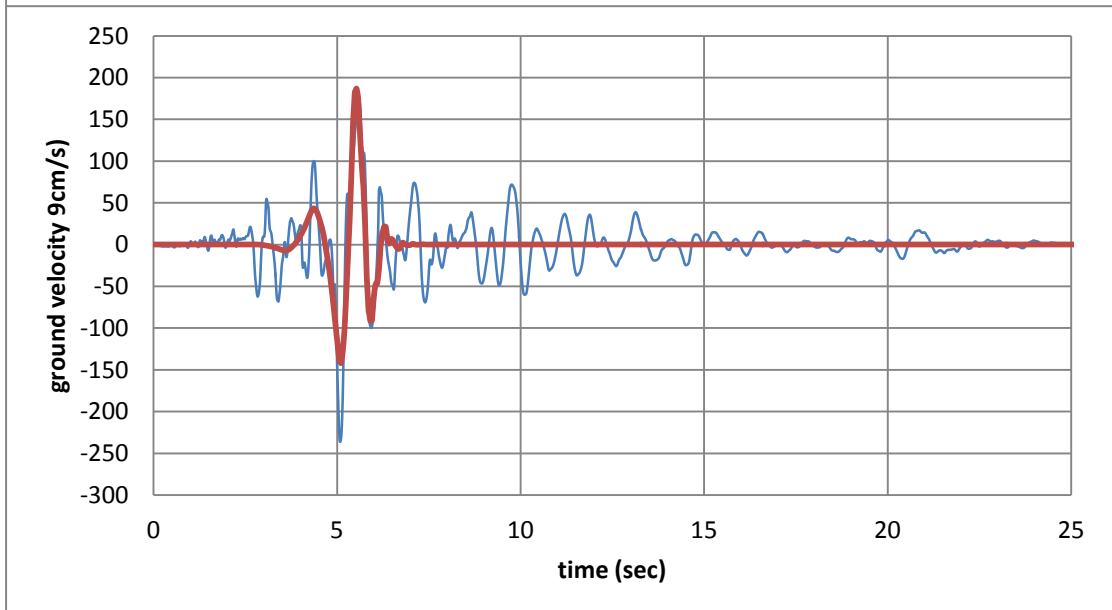
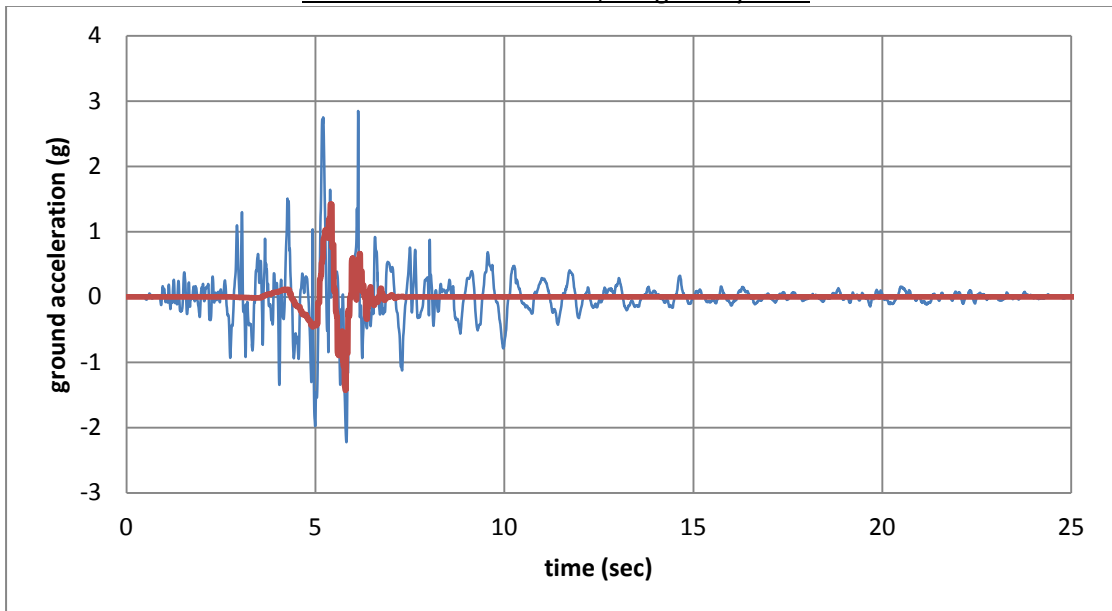
#17 Imperial Valley-06, Holtville Post Office

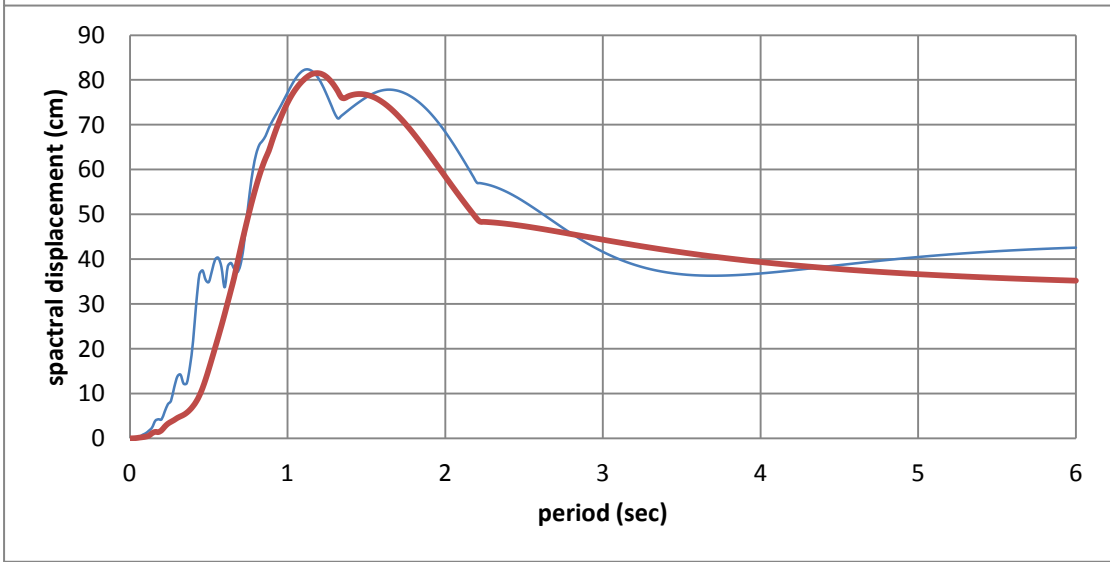
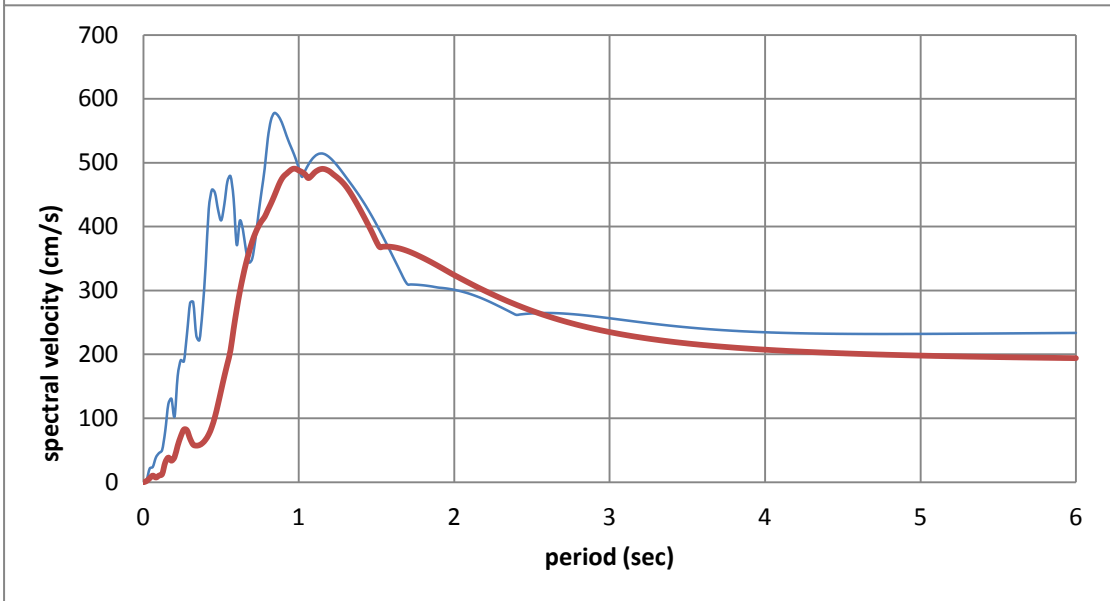
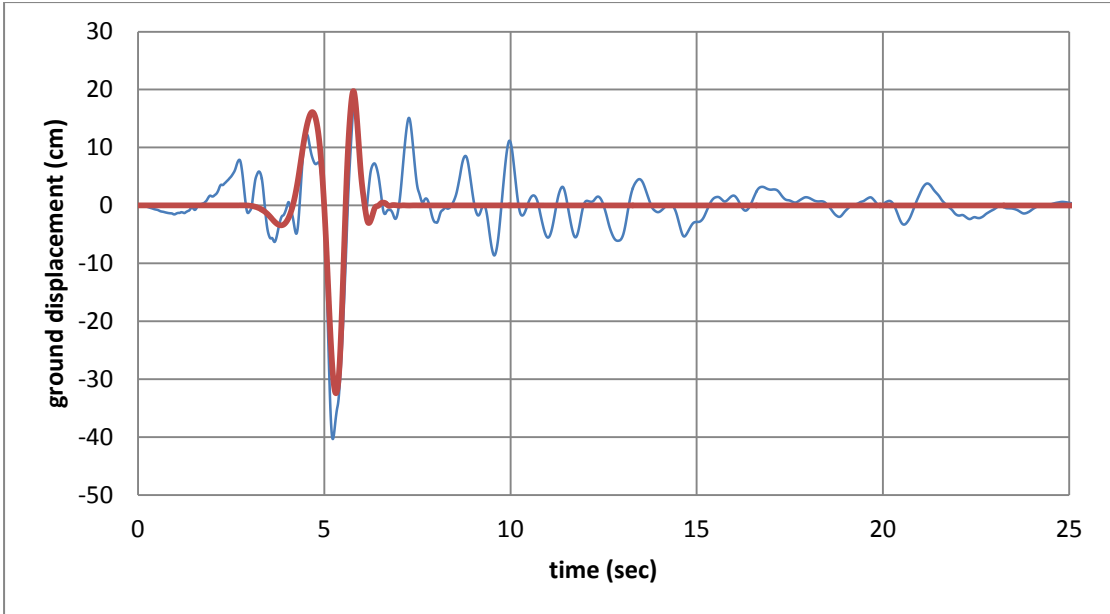




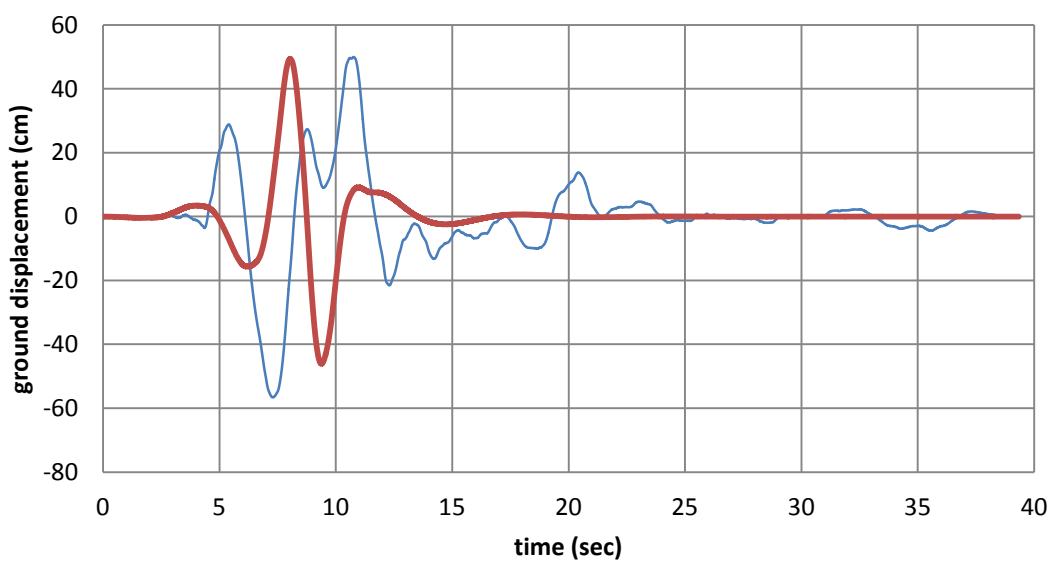
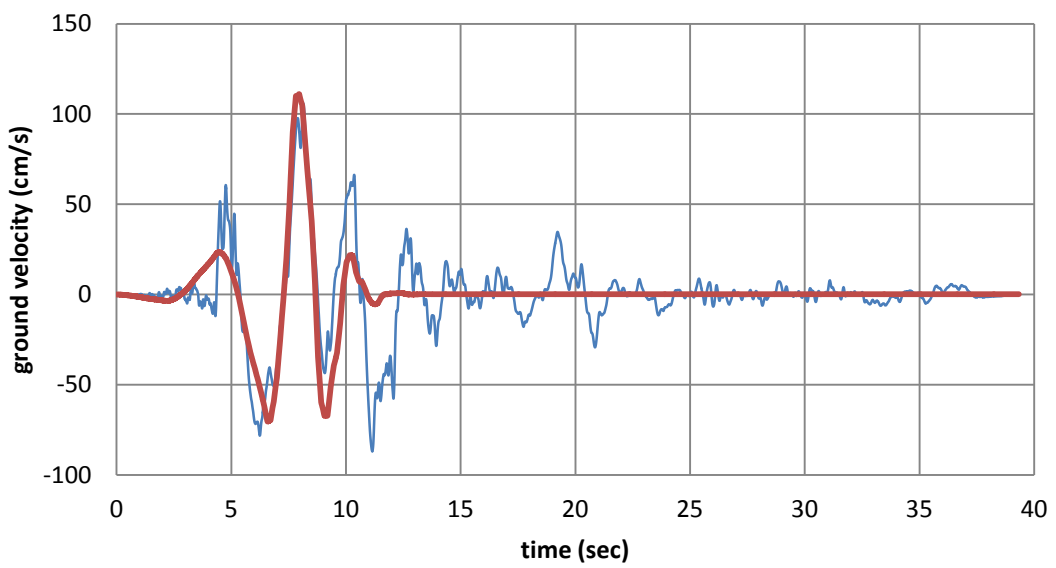
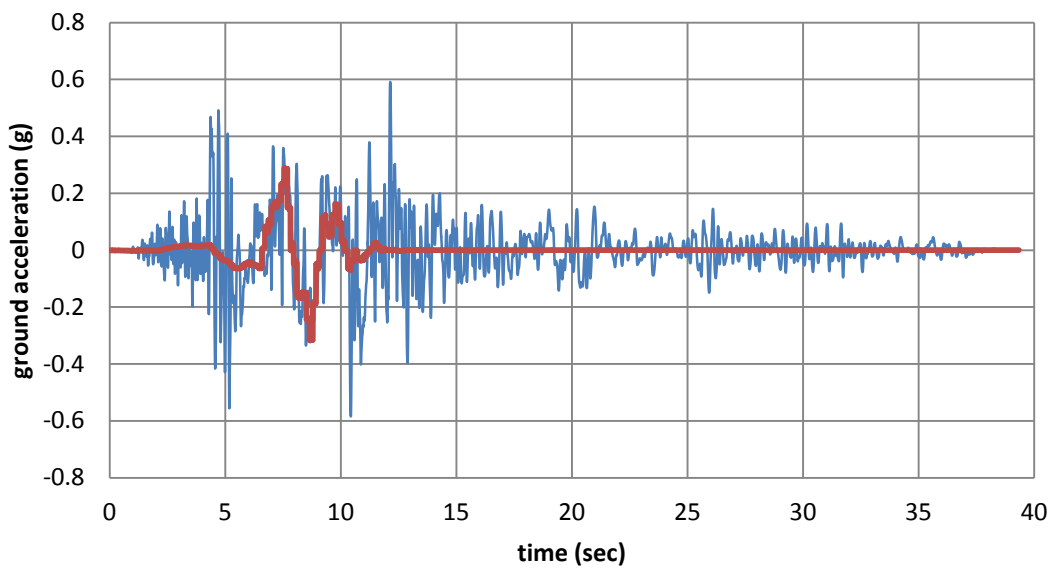


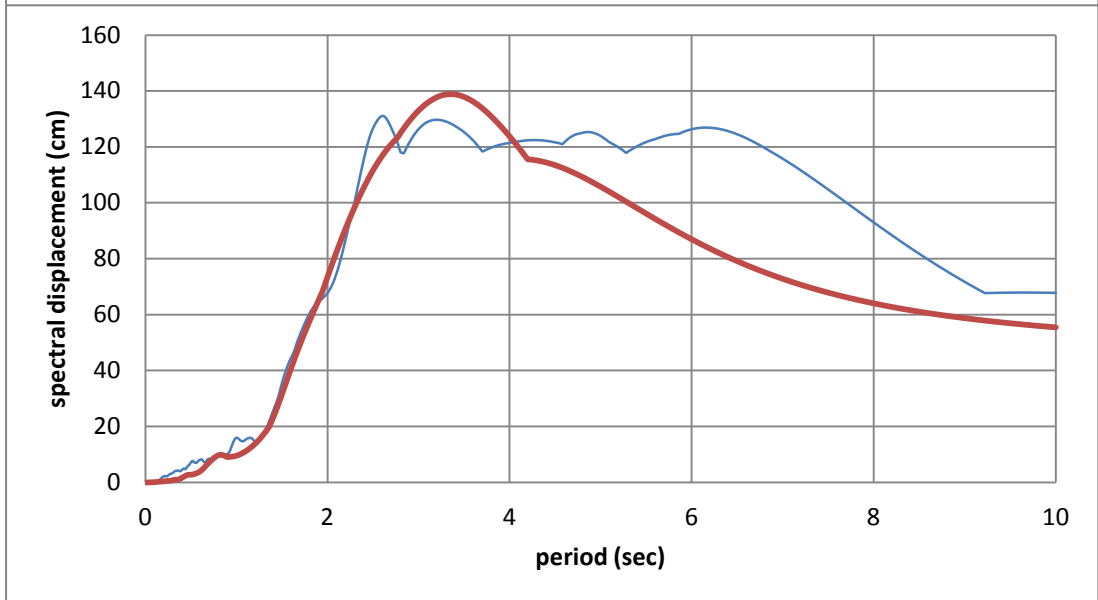
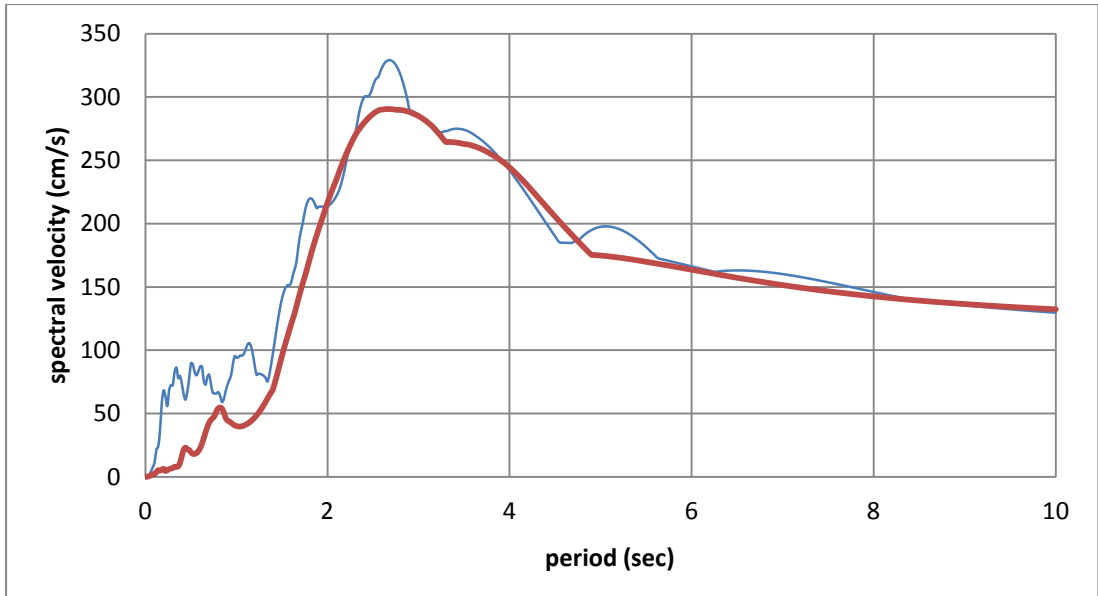
#18 Mammoth Lakes -06, Long Valley Dam



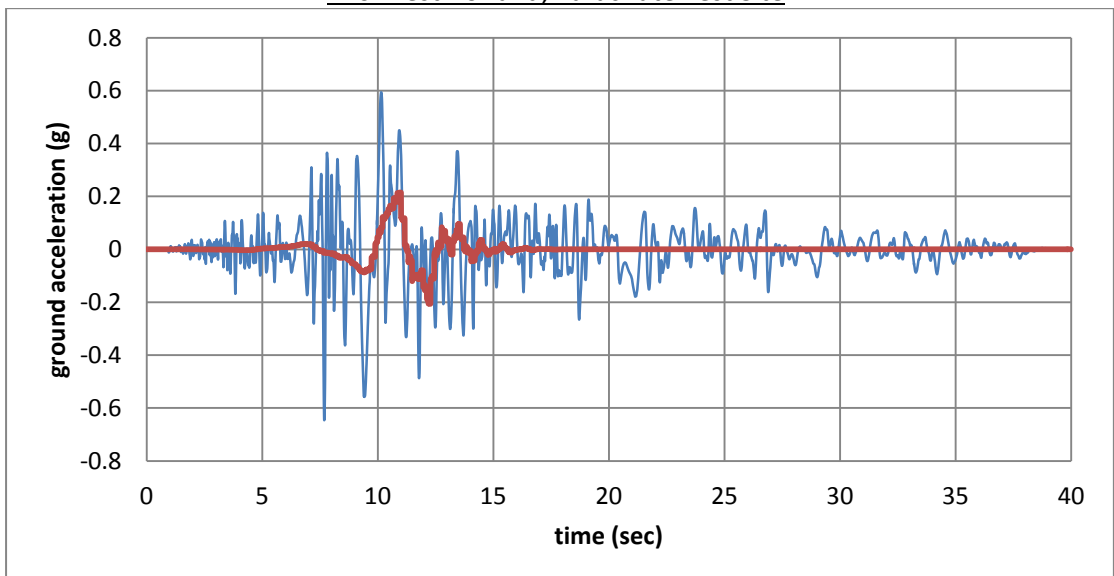


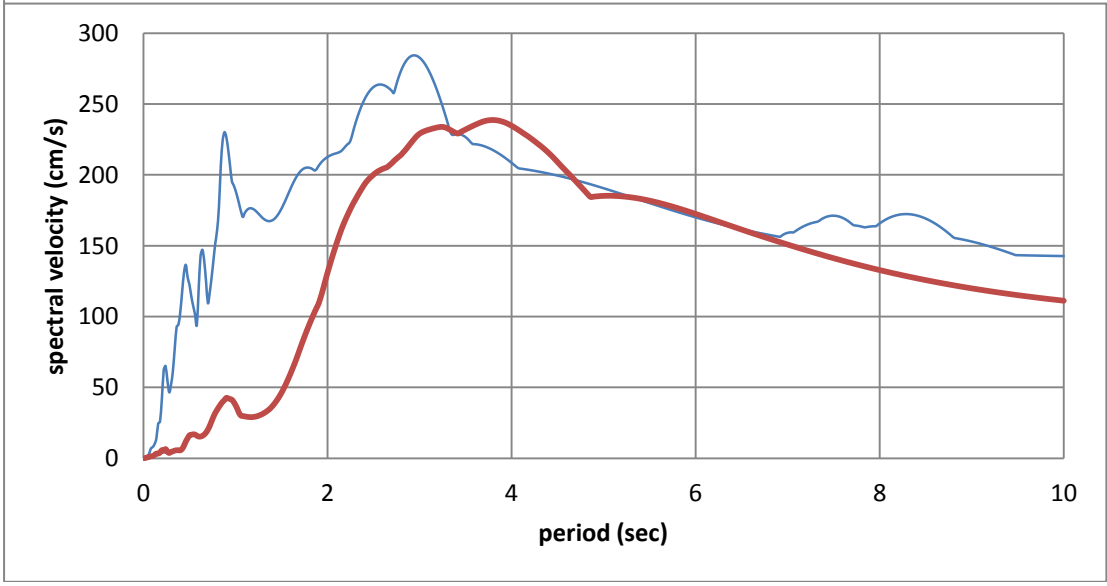
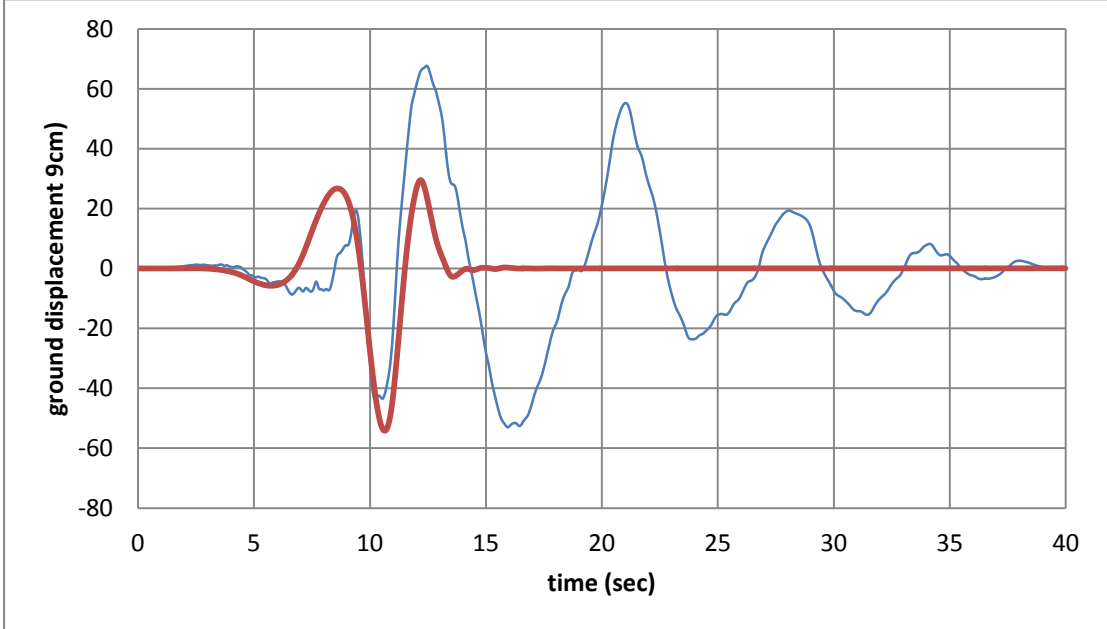
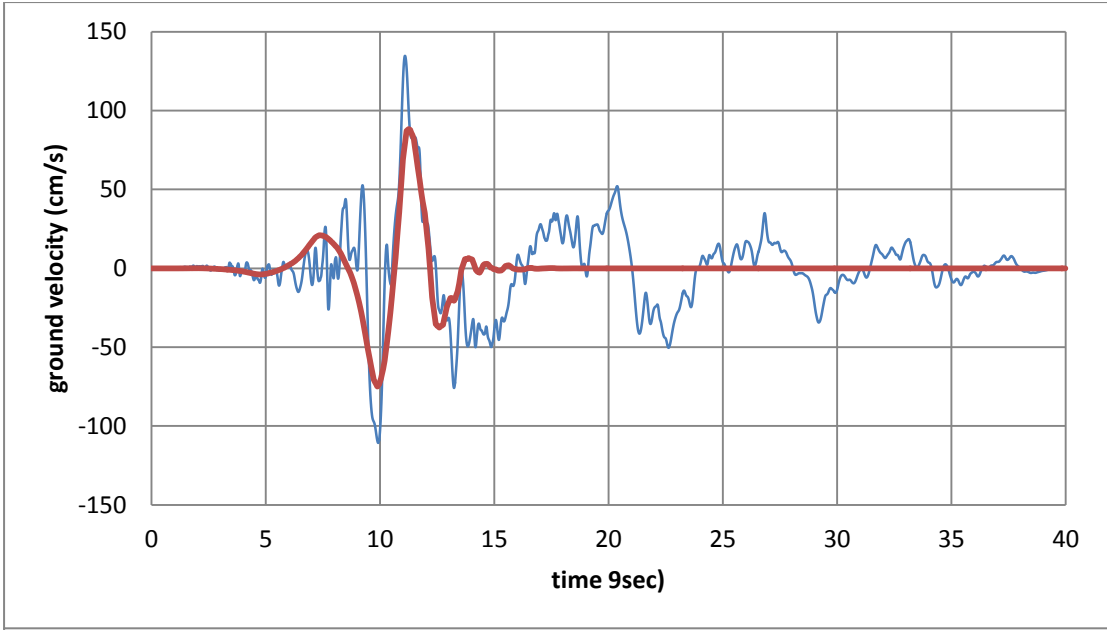
#19 Irpinia, Italy -01, Sturno

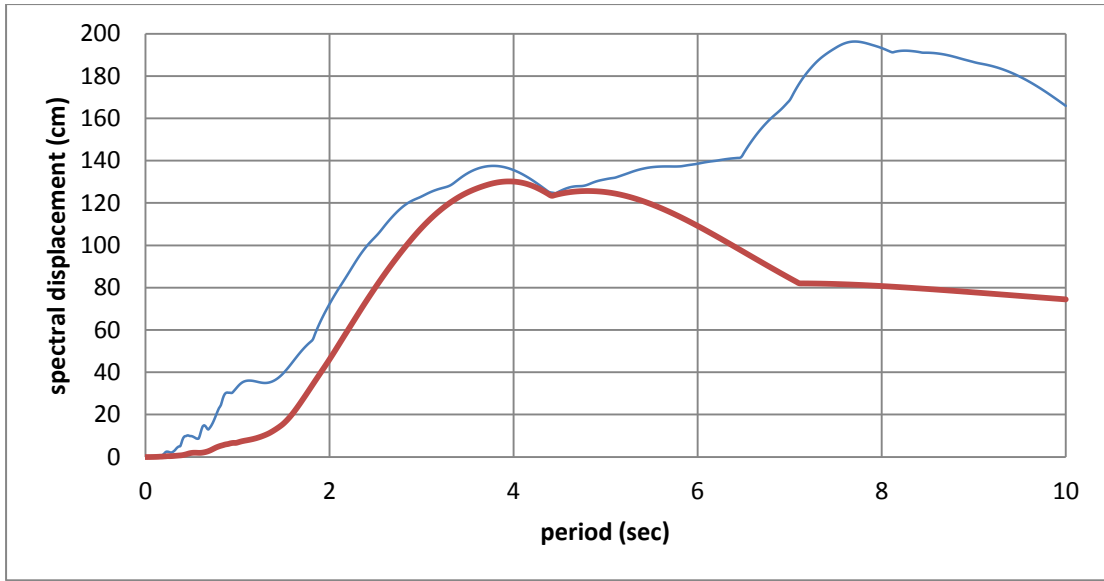




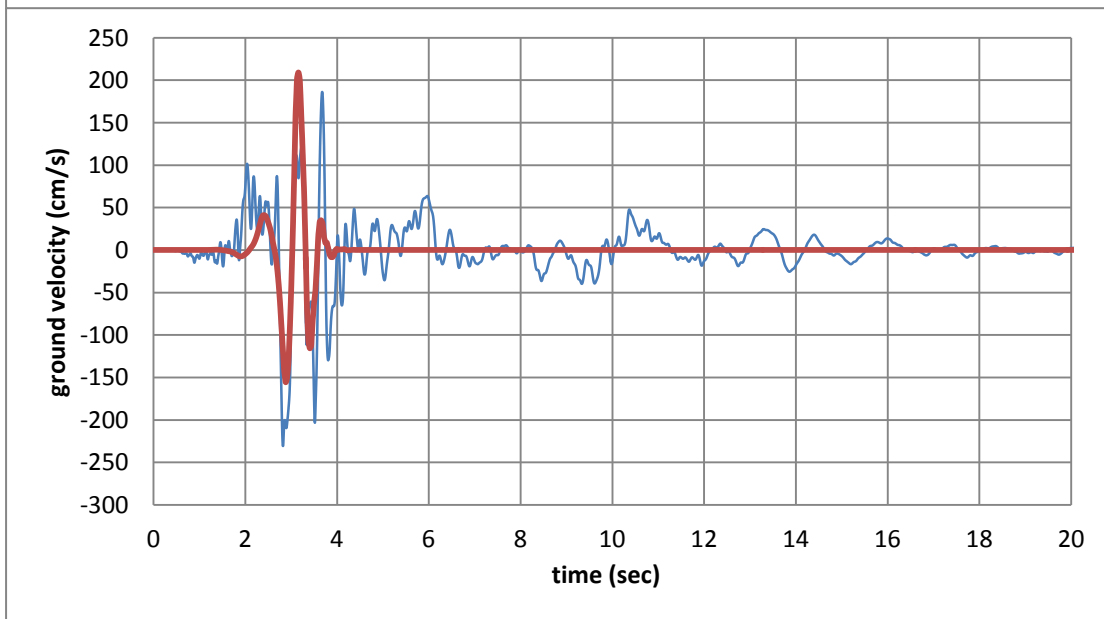
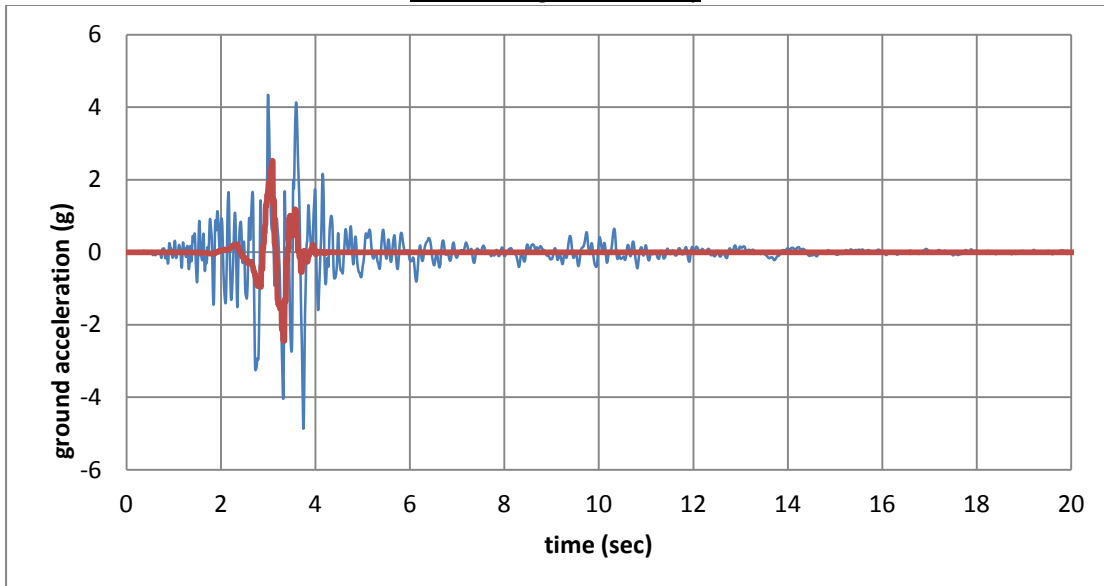
#20 Westmorland, Parachute Test Site

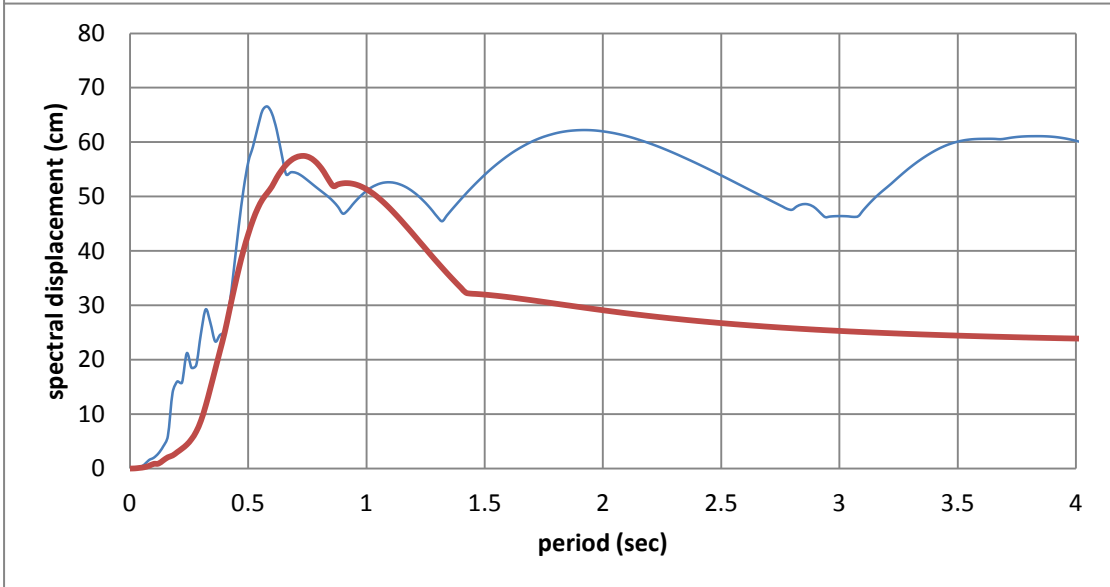
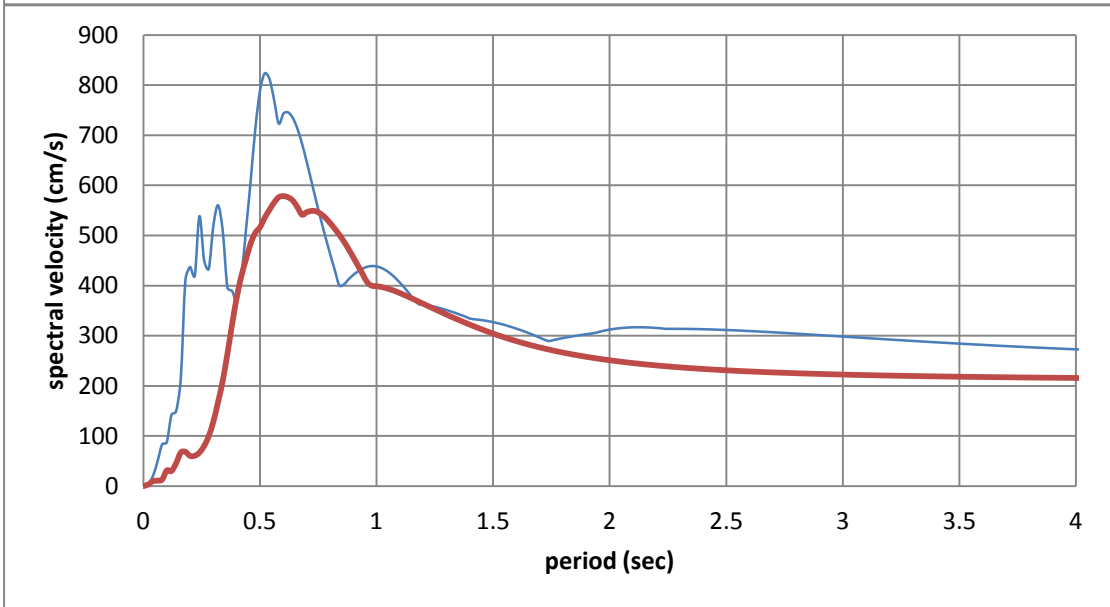
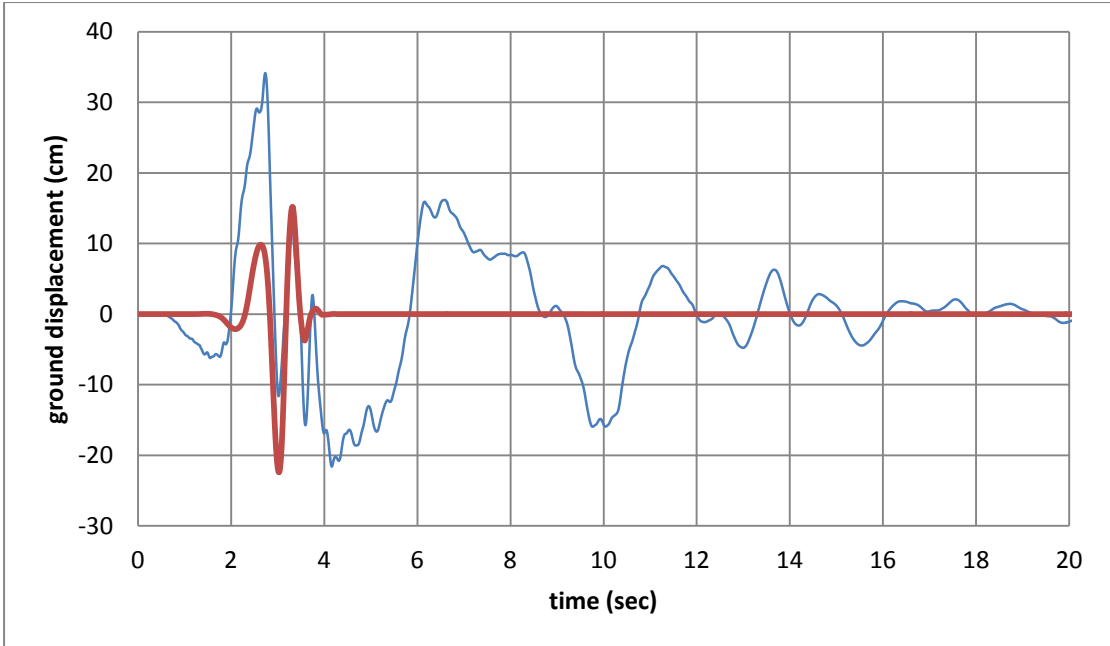




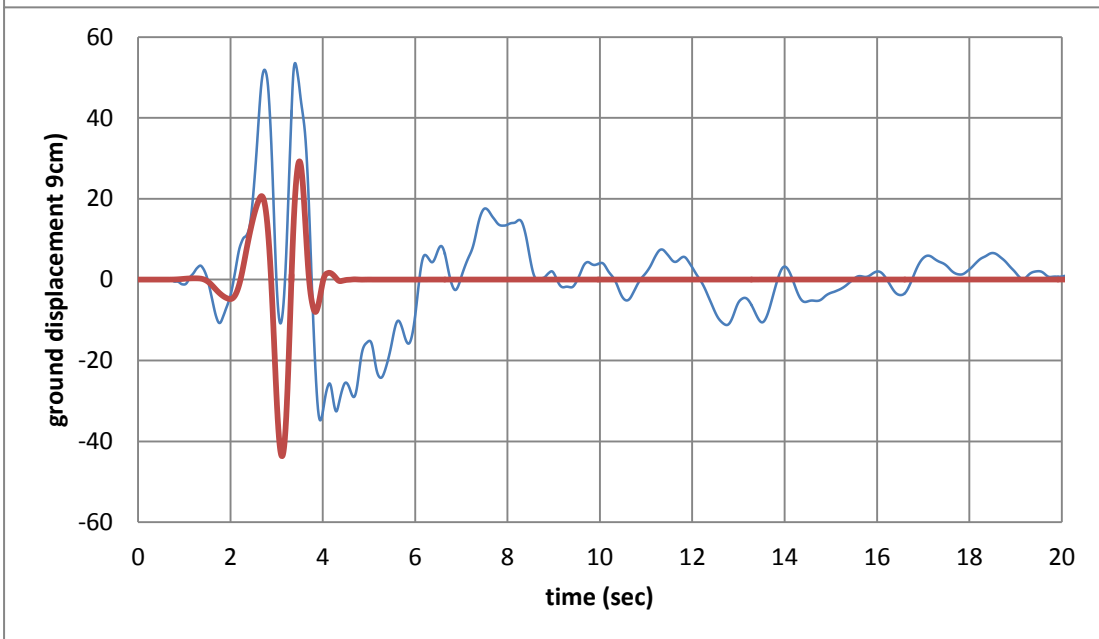
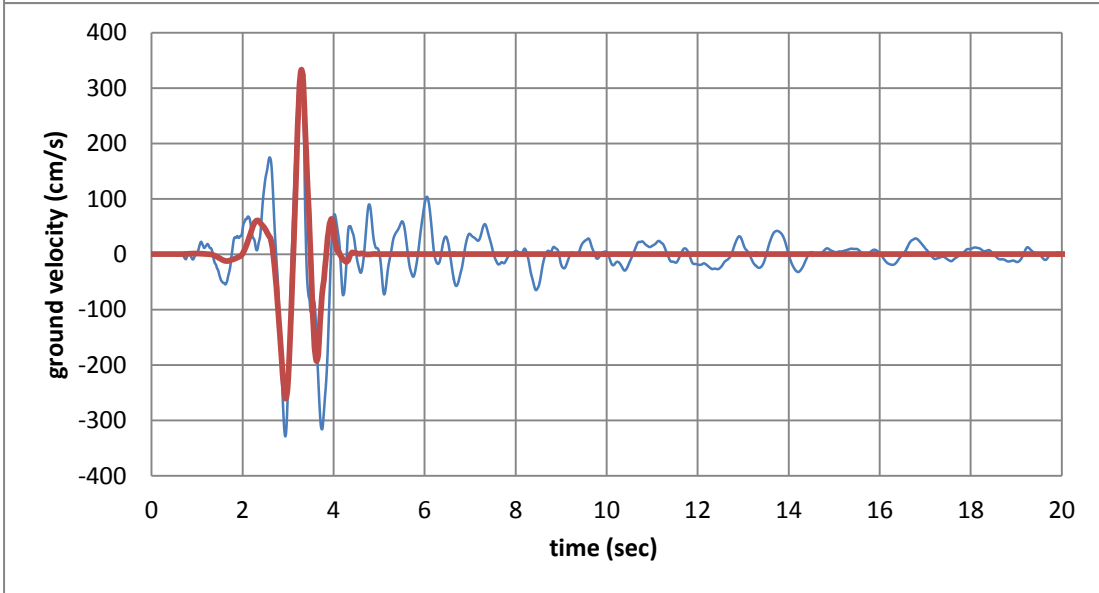
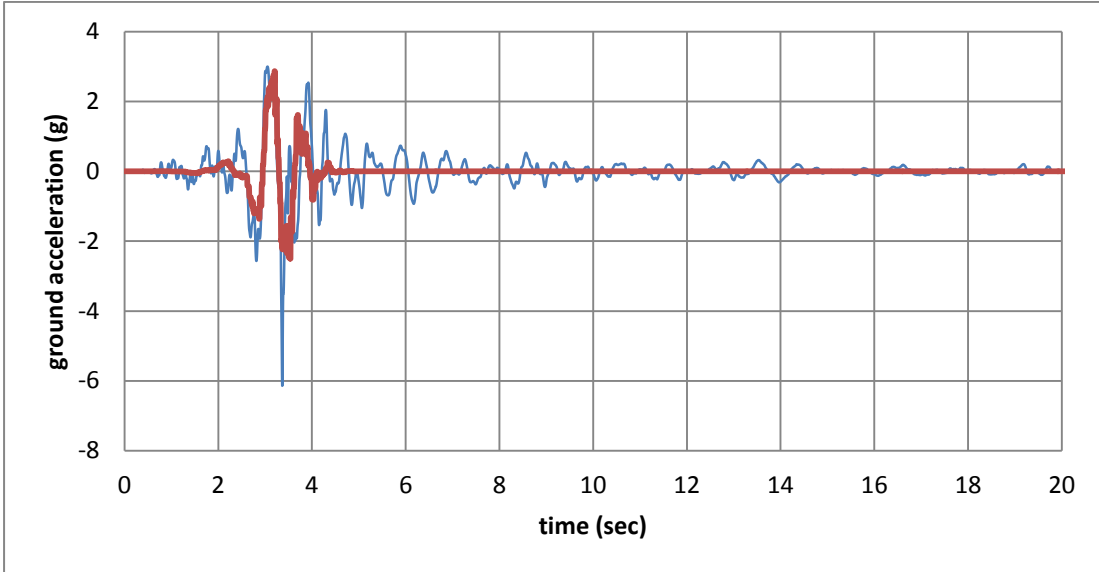


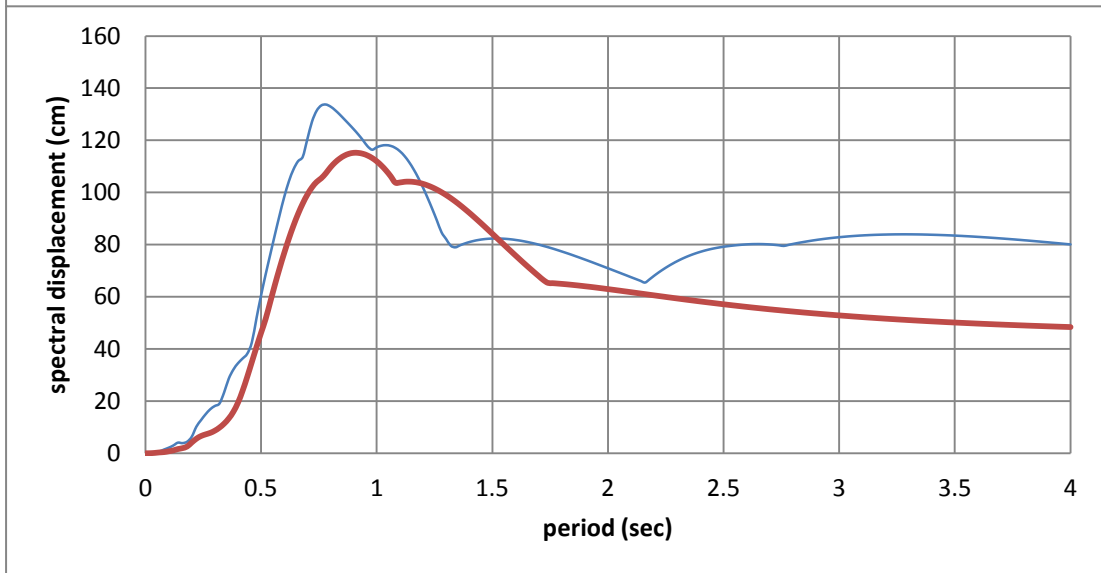
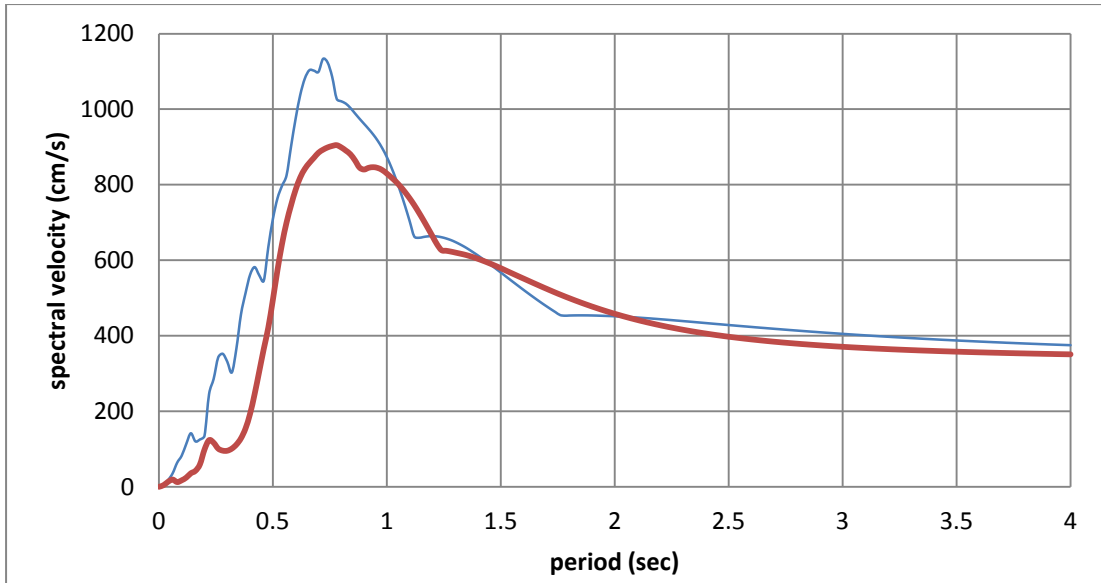
#21 Coalinga-05, Oil City



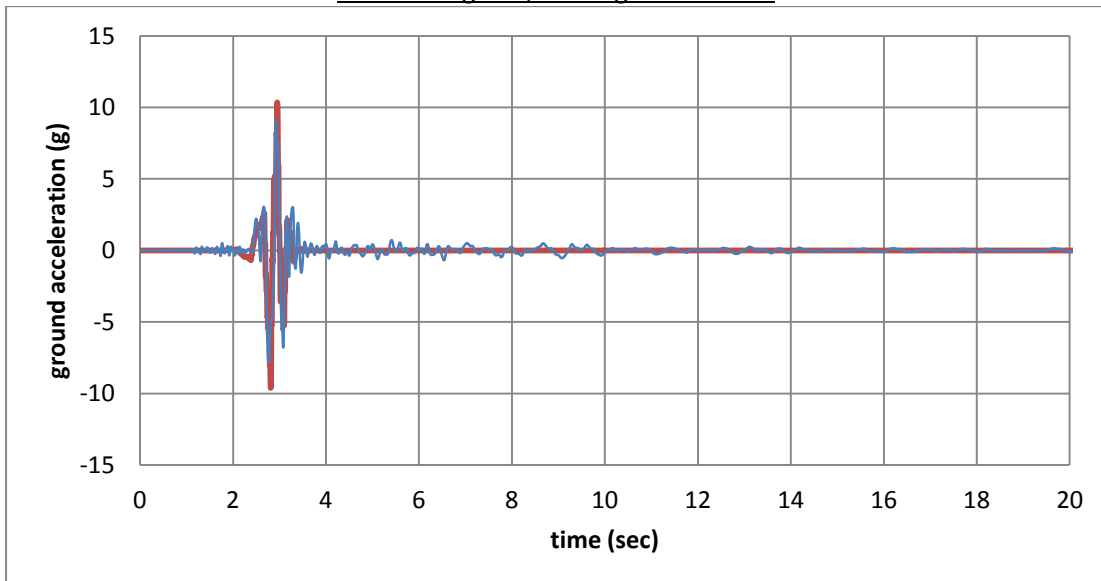


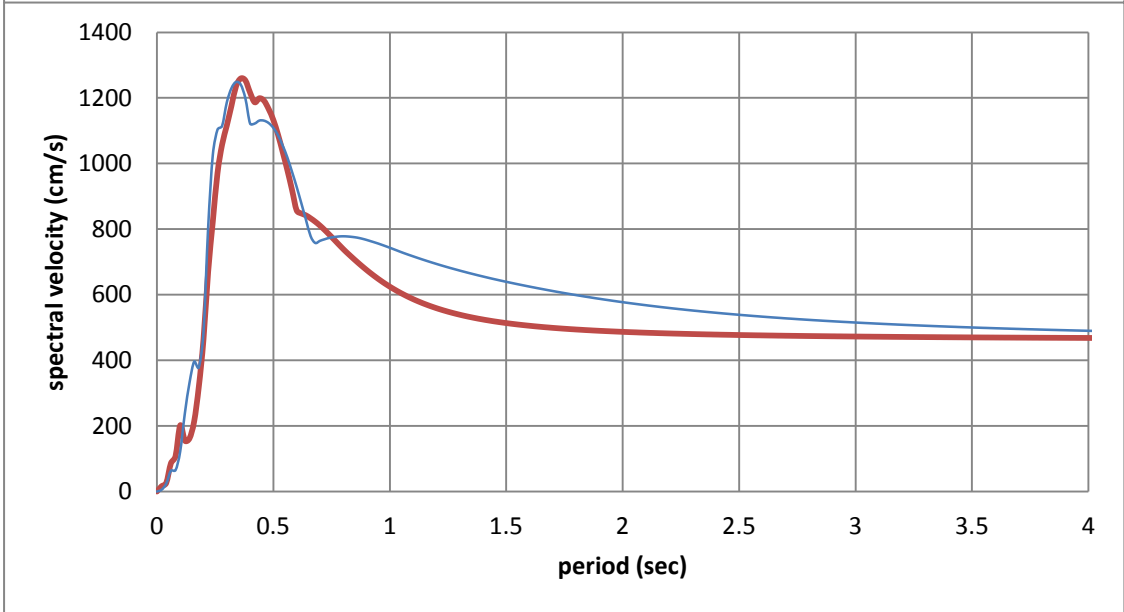
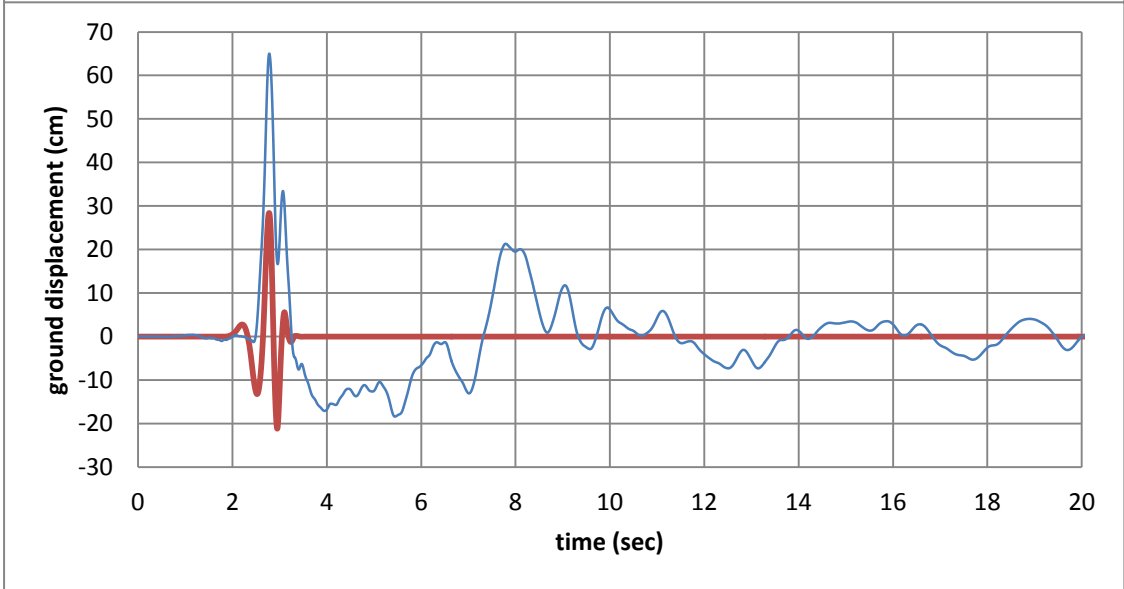
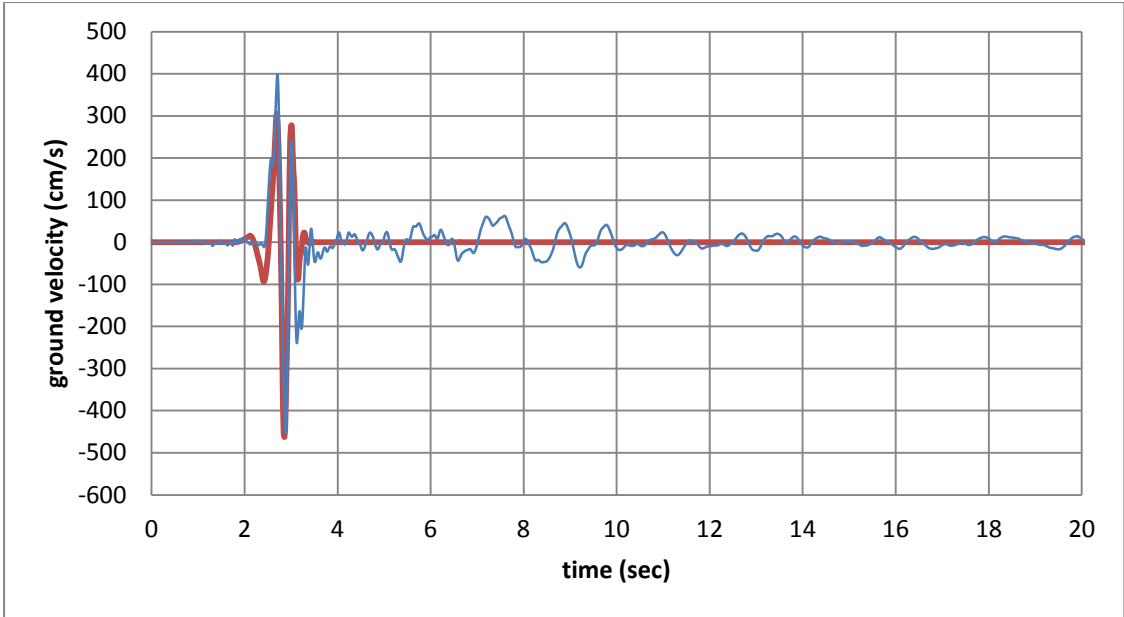
#22 Coalinga-05, Transmitter Hill



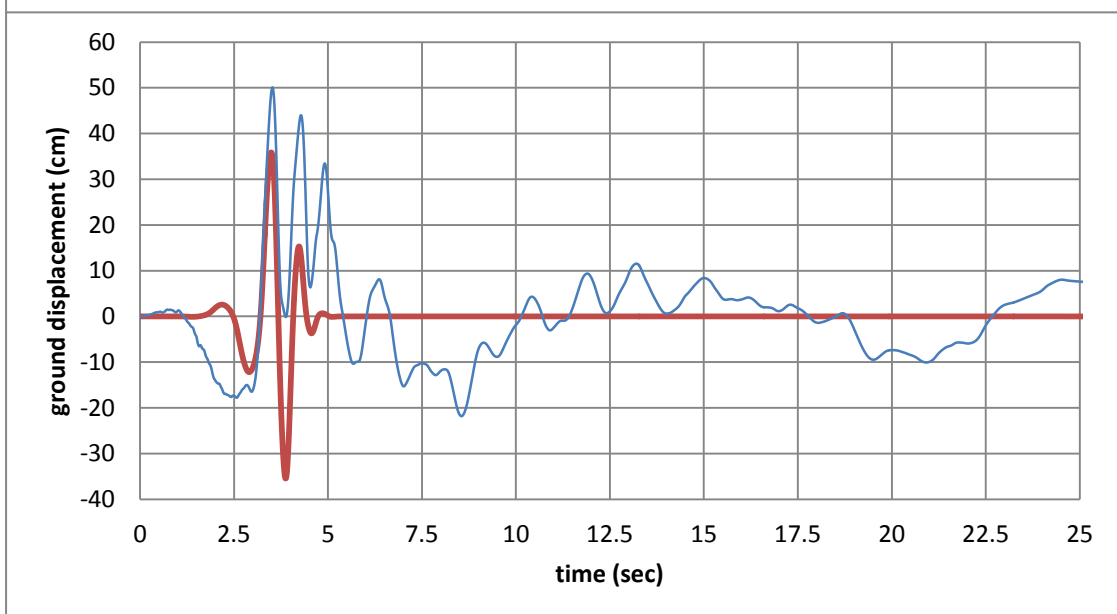
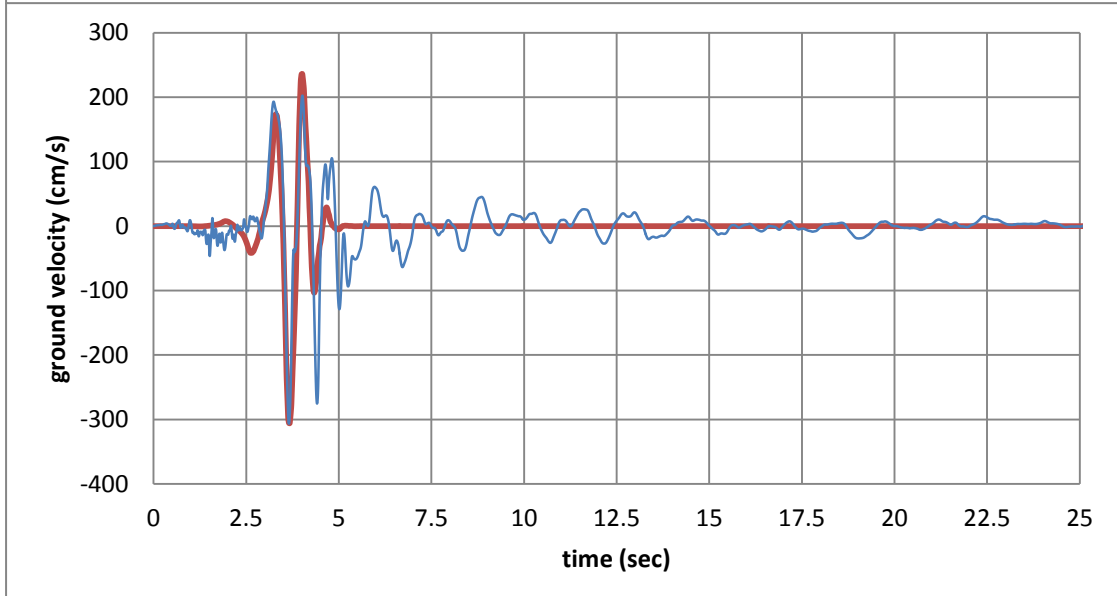
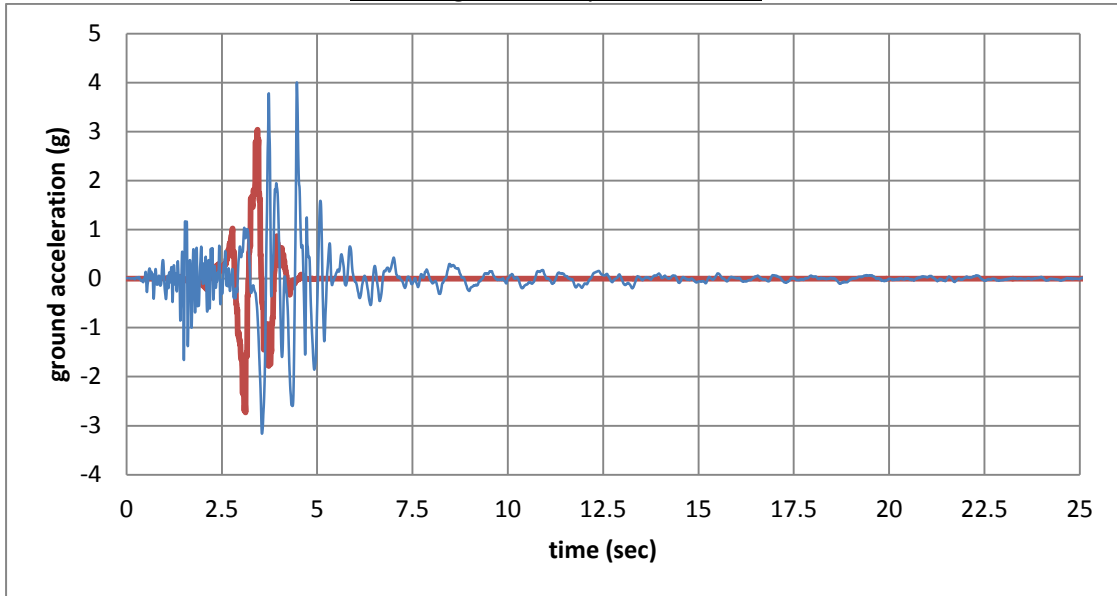


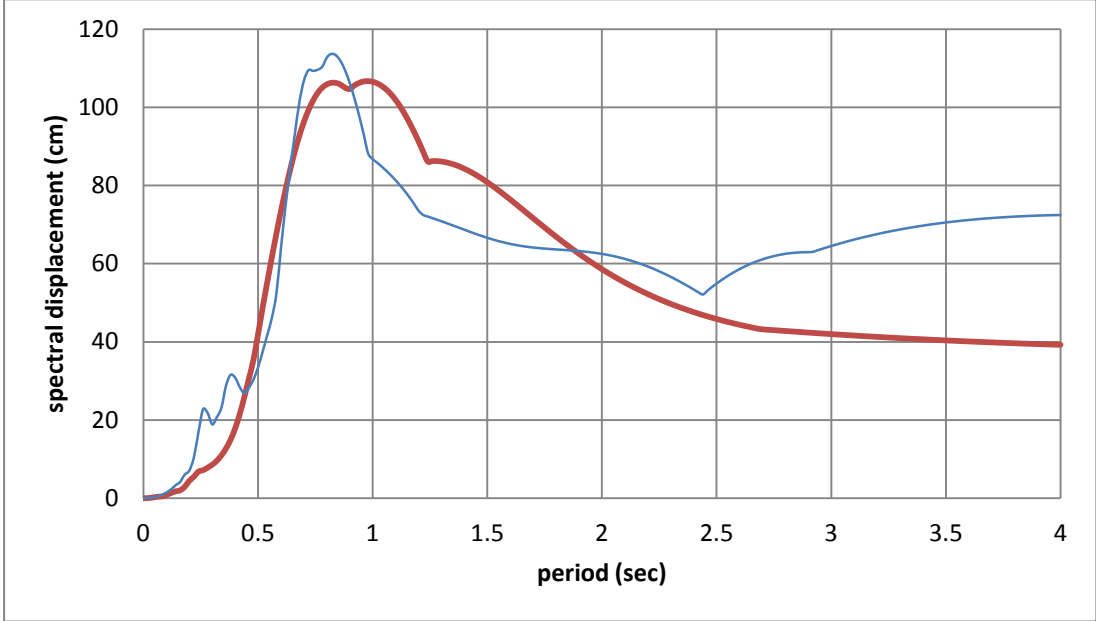
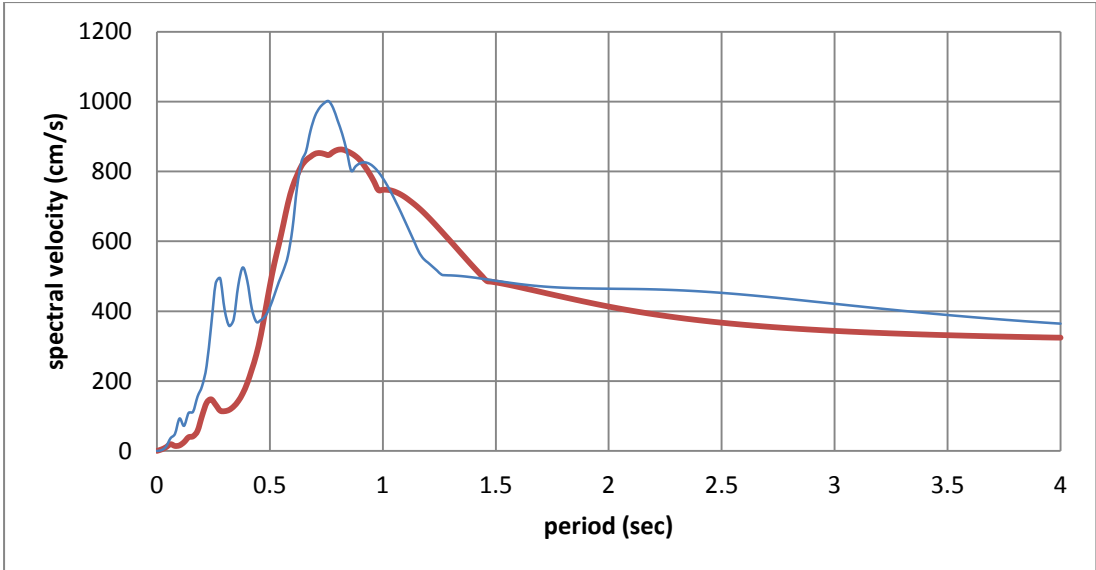
#23 Coalinga 07, Coalinga-14th & Elm



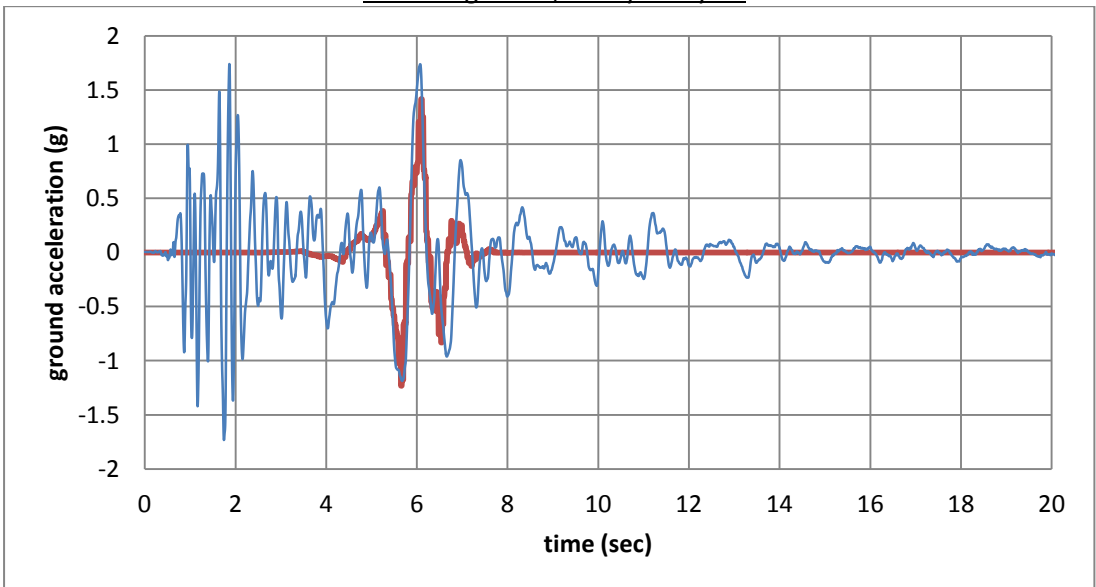


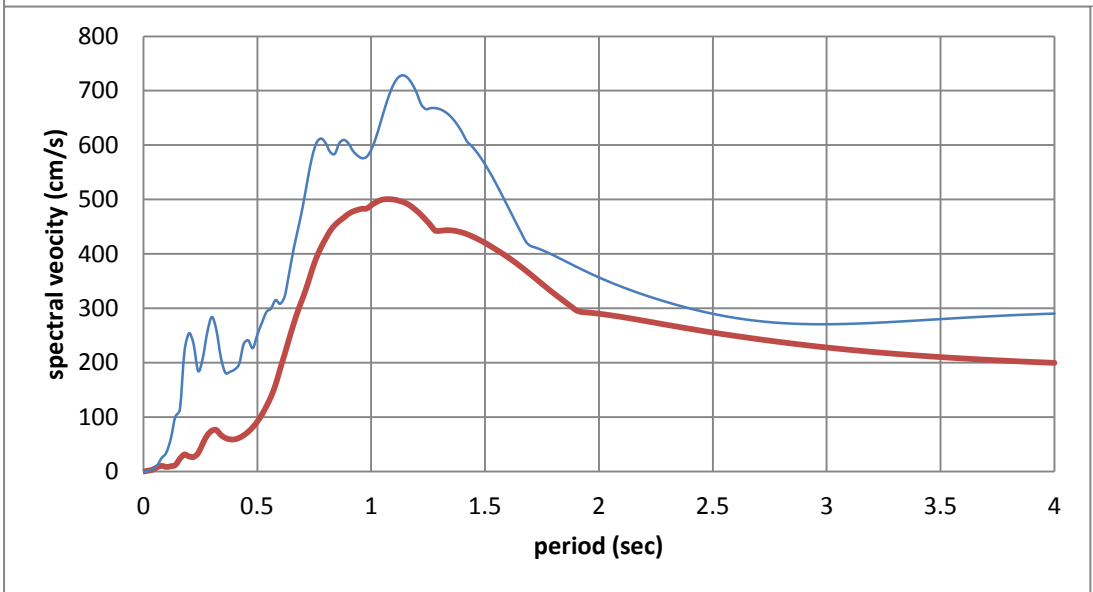
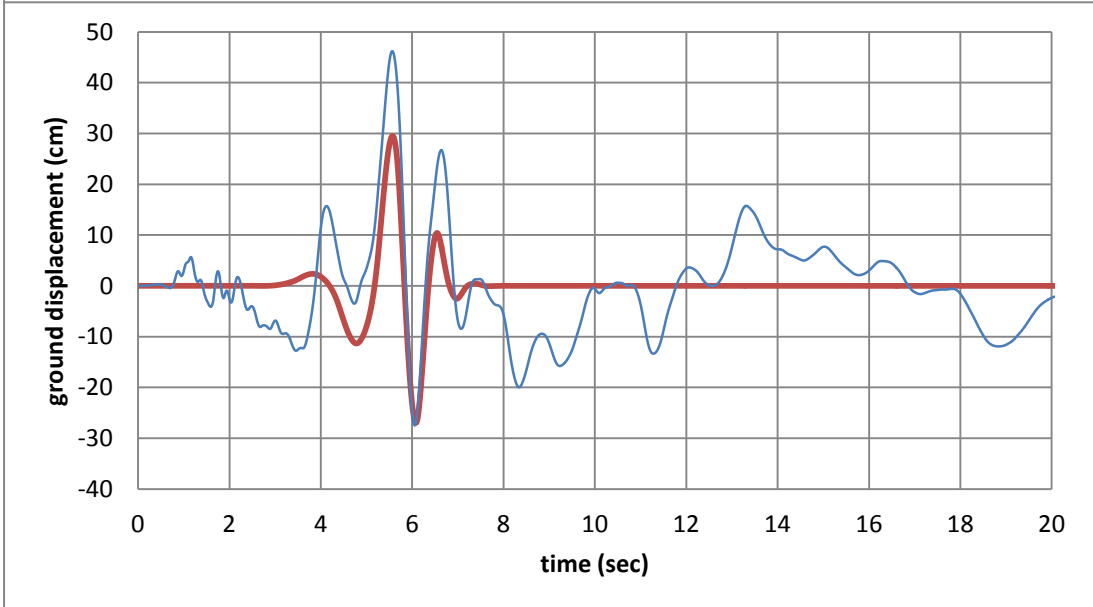
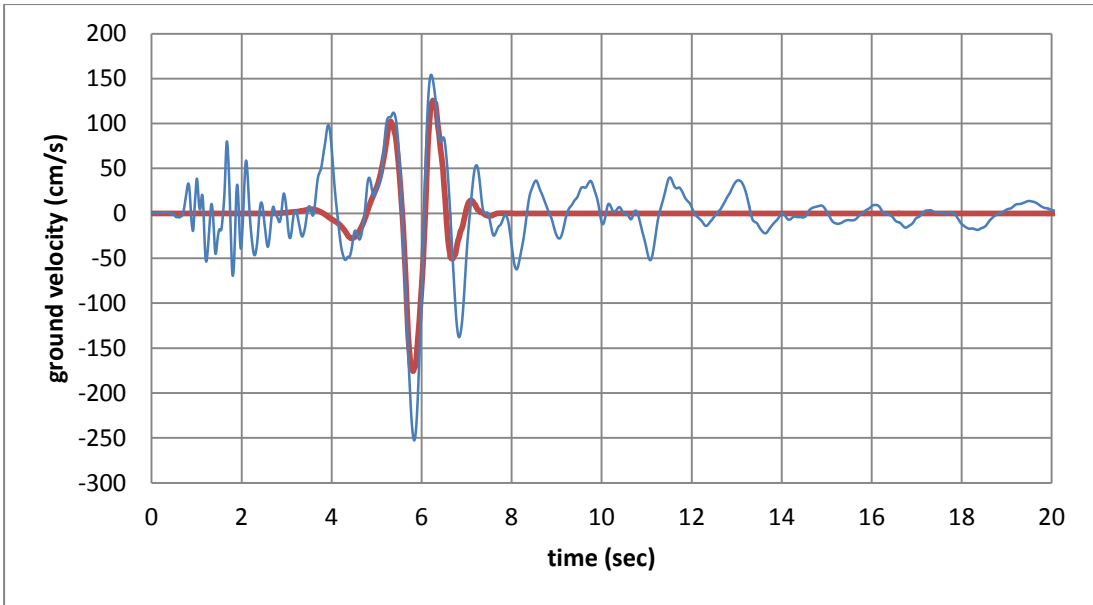
#24 Morgan Hill, Coyote Lake Dam

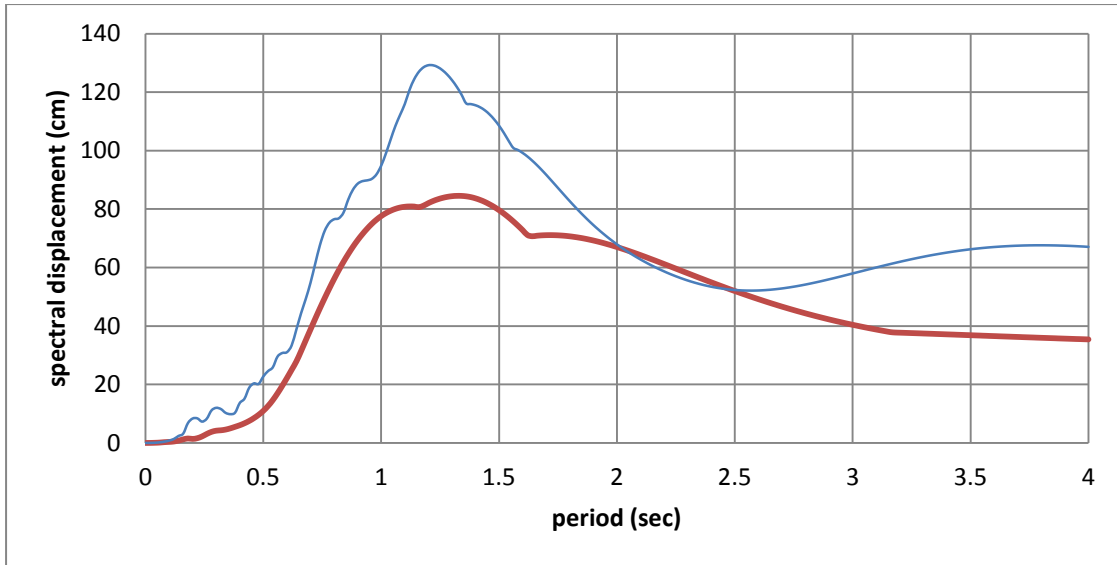




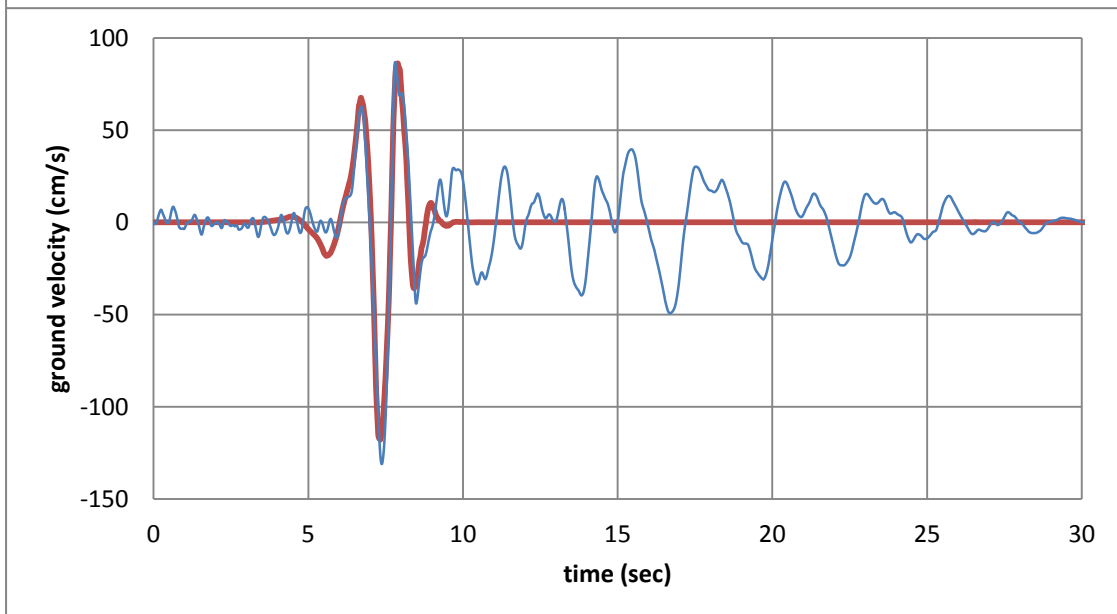
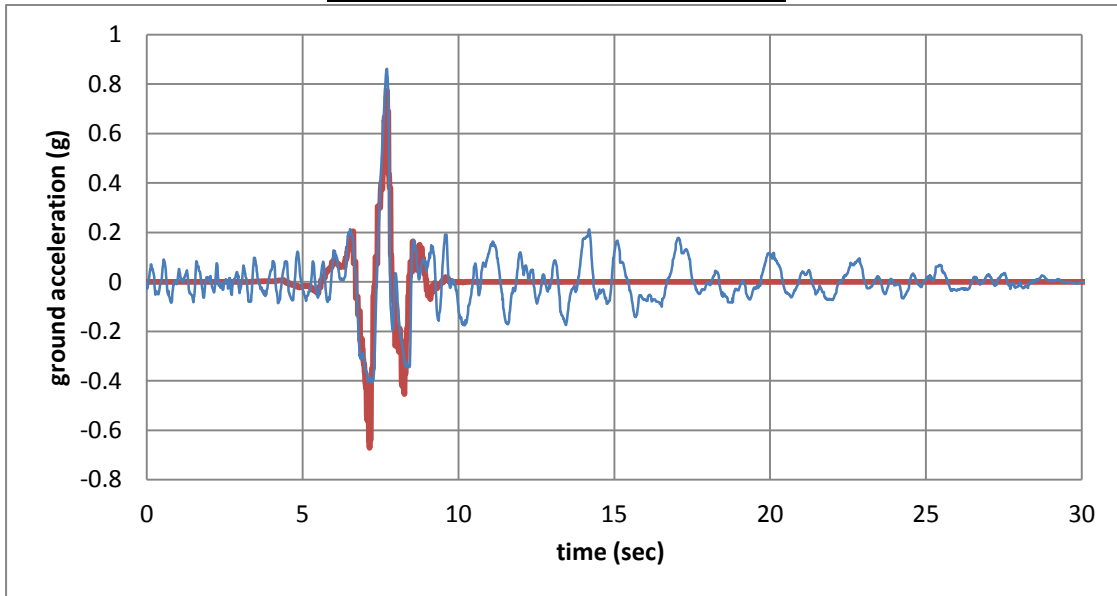
#25 Morgan Hill, Gilroy Array #6

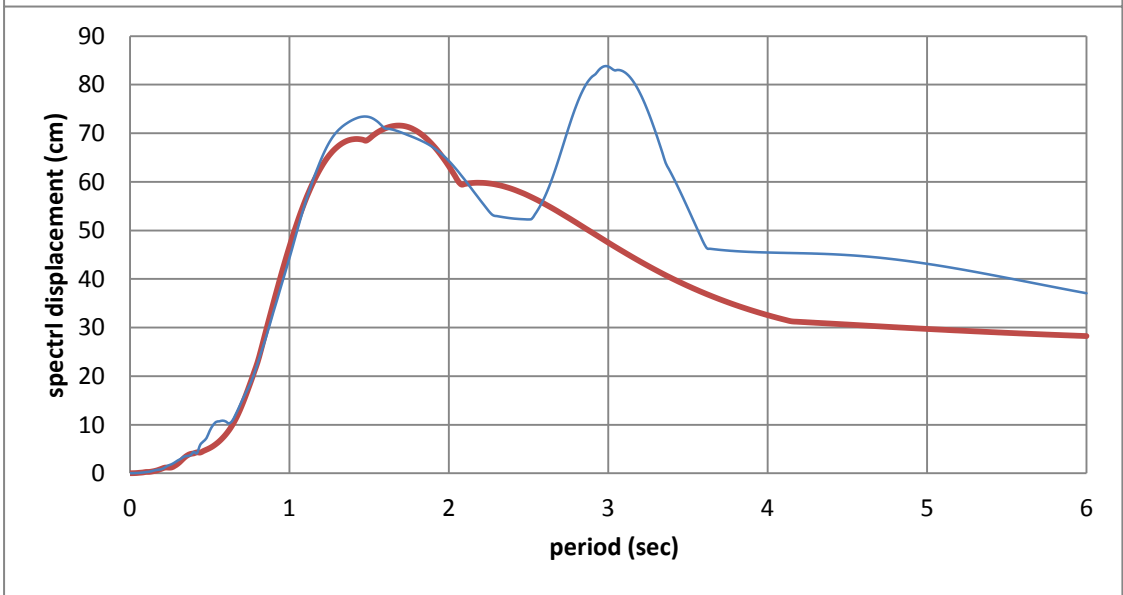
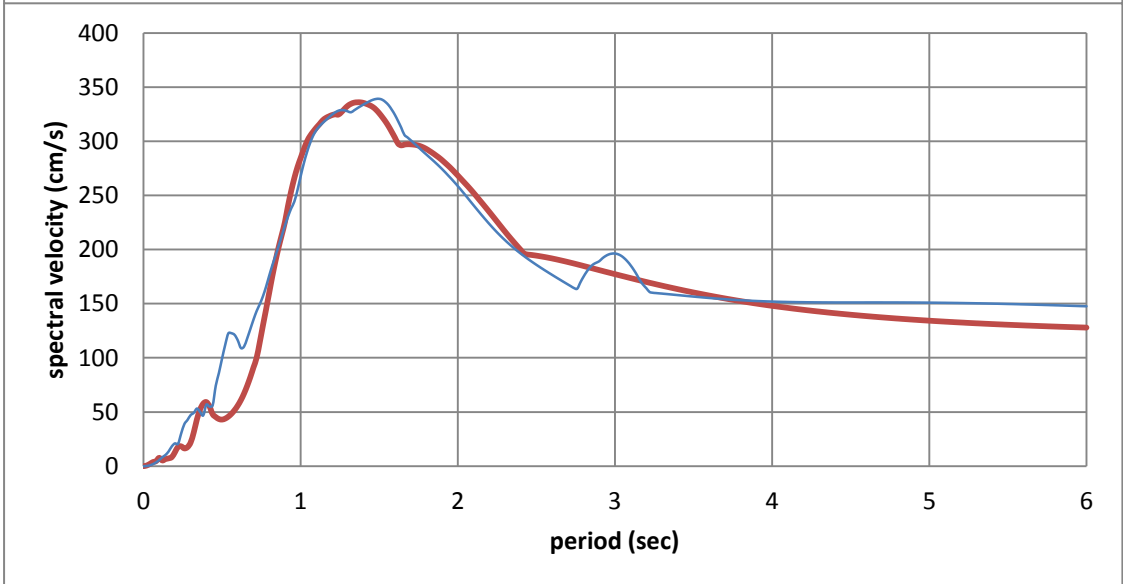
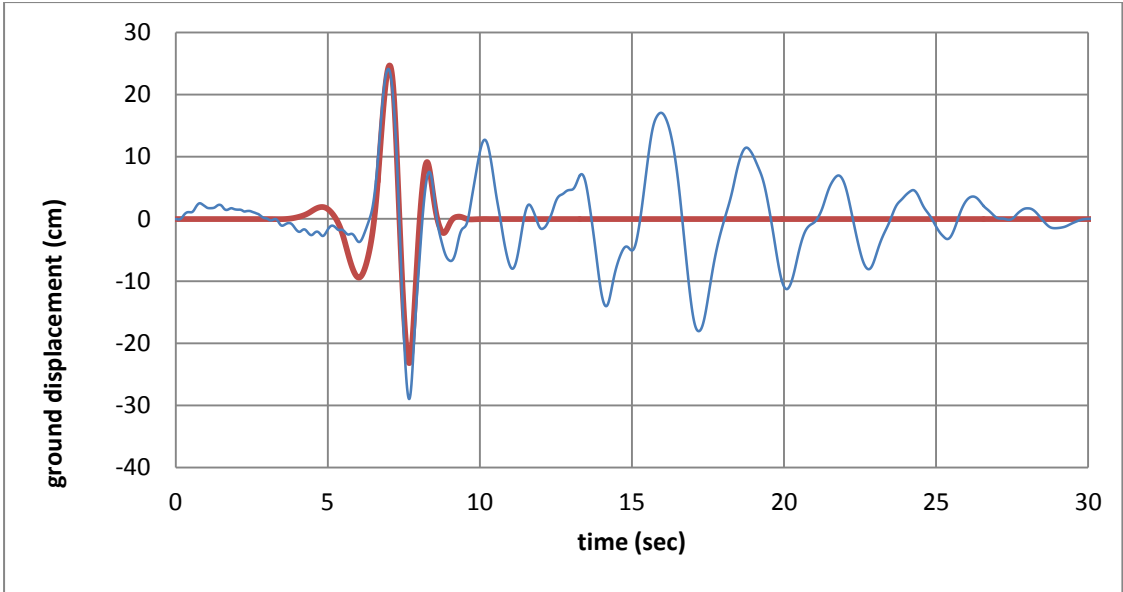




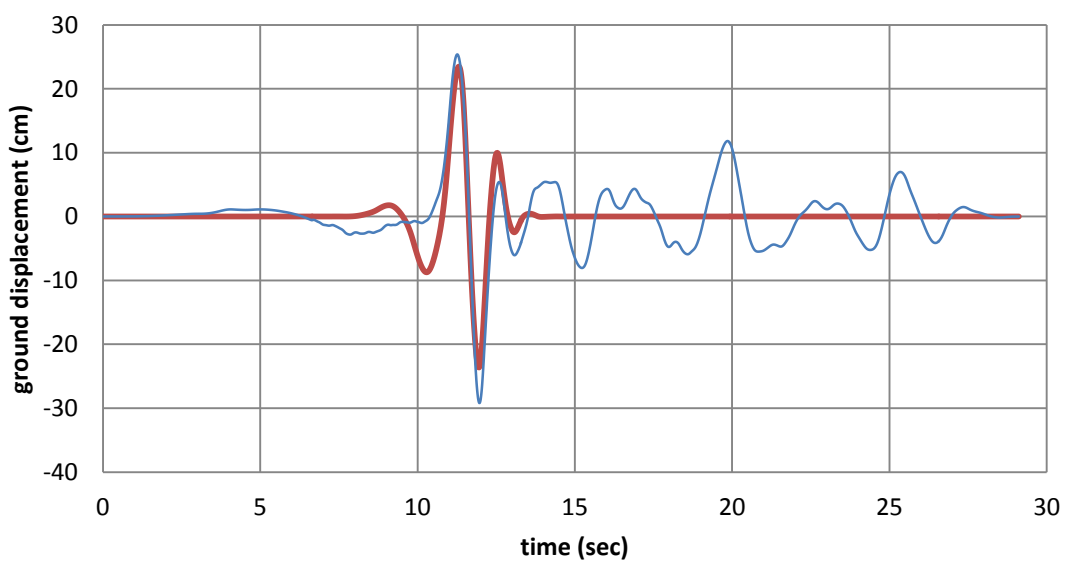
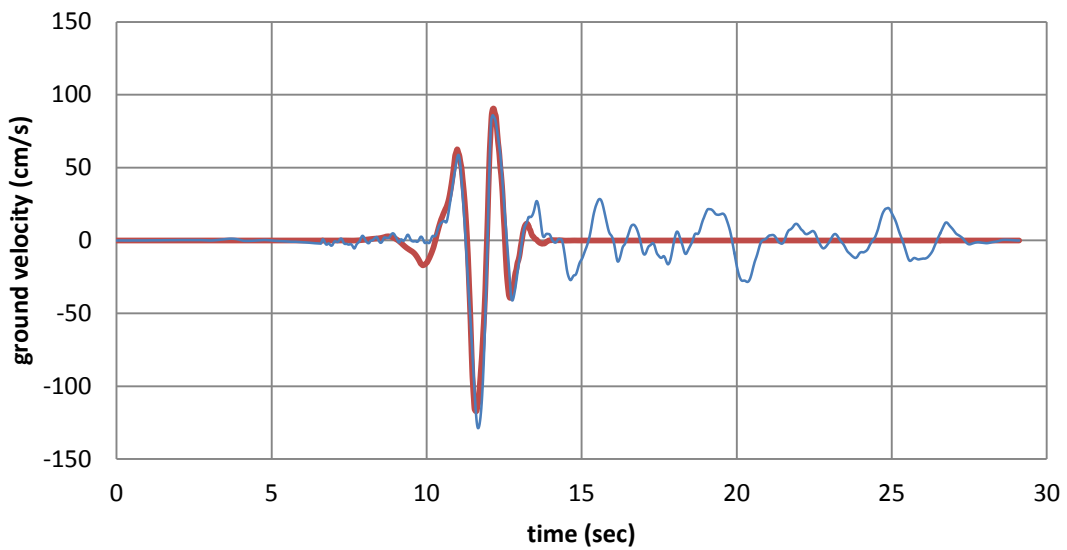
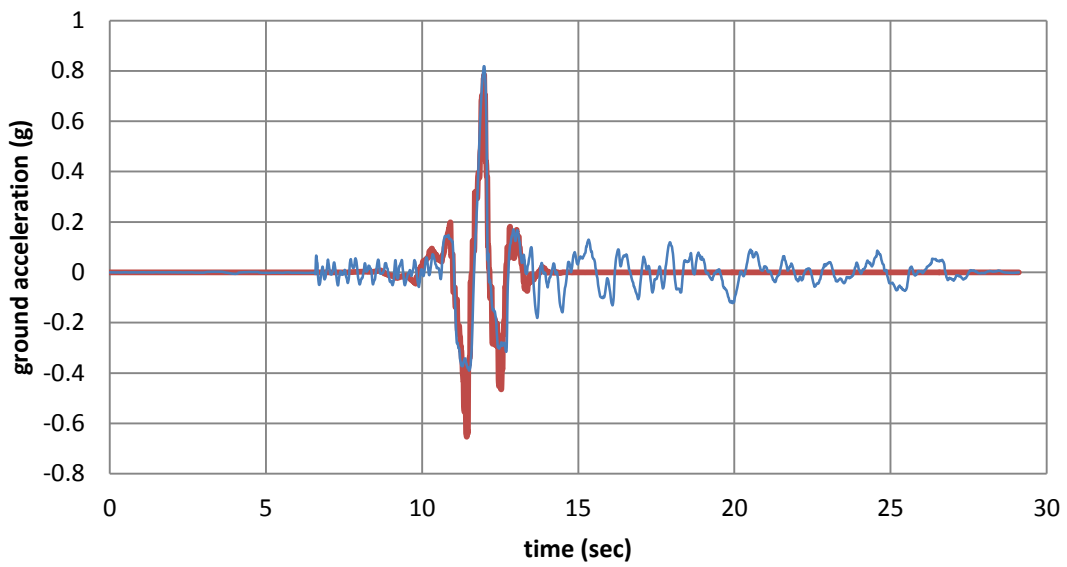


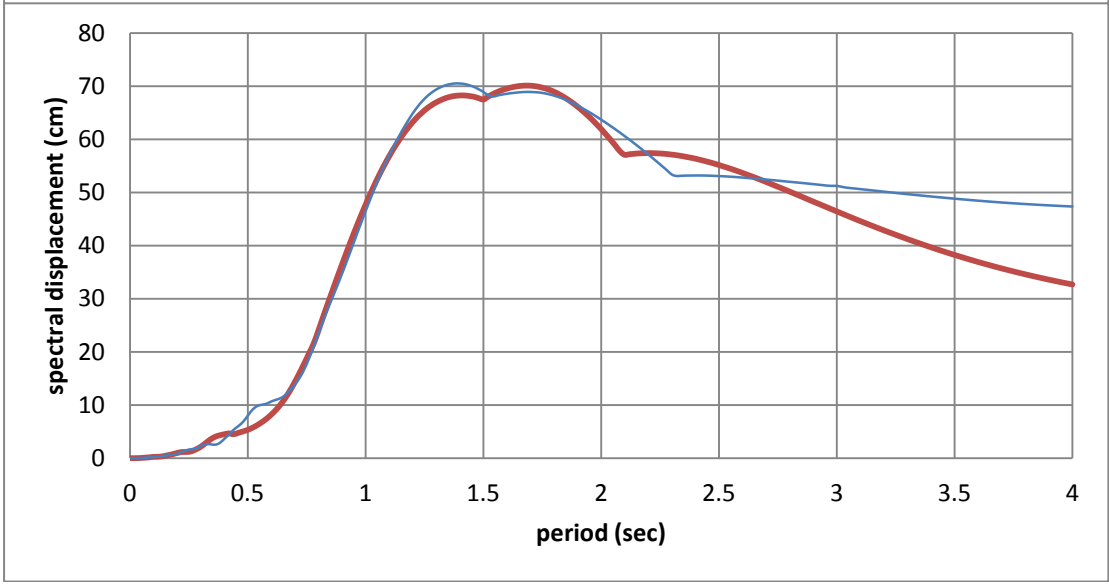
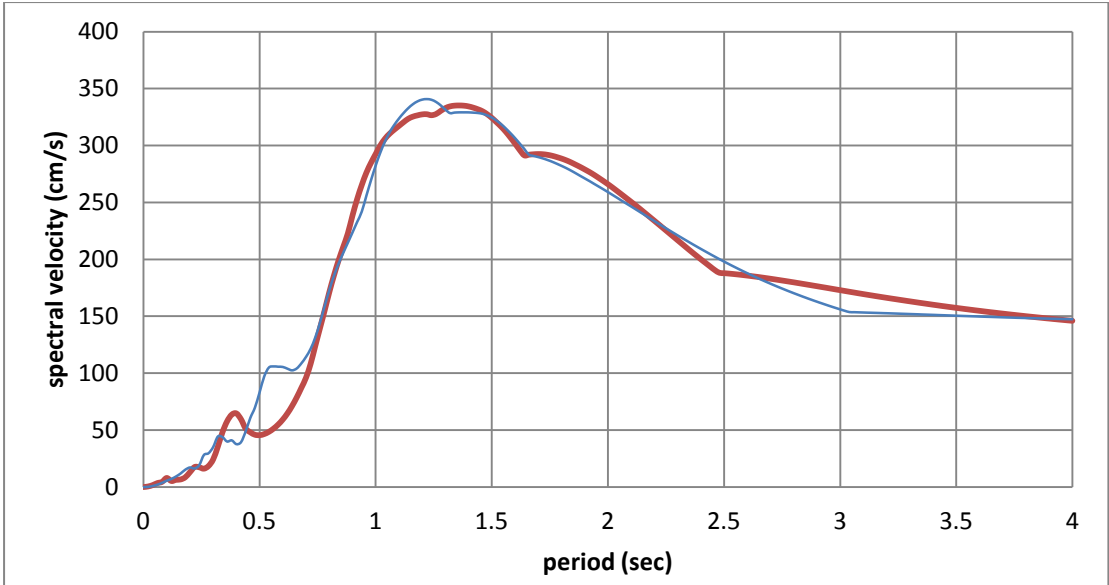
#26 Taiwan SMART1(40), SMART1 C00



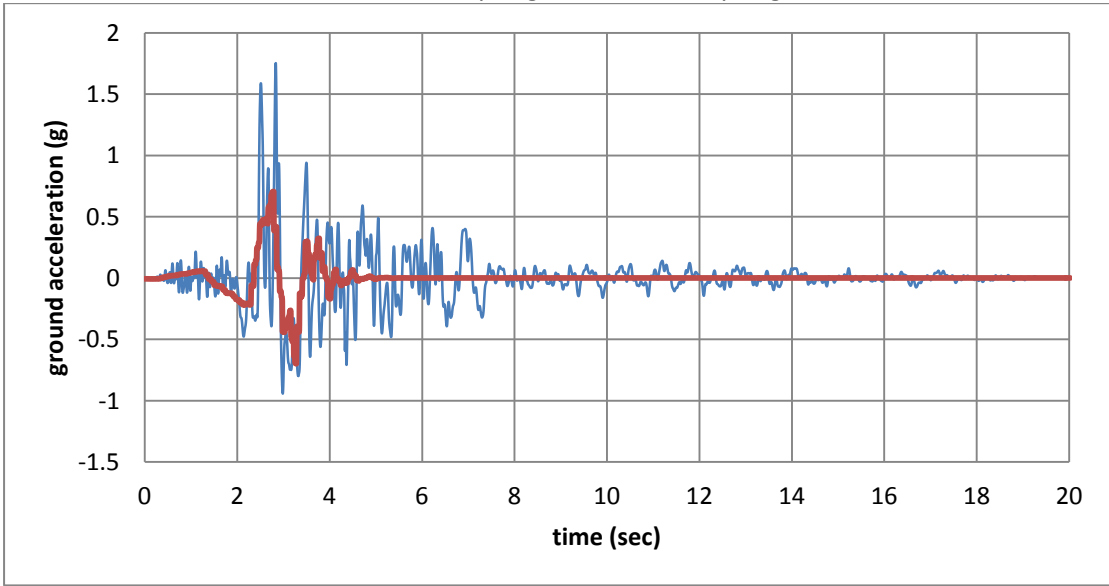


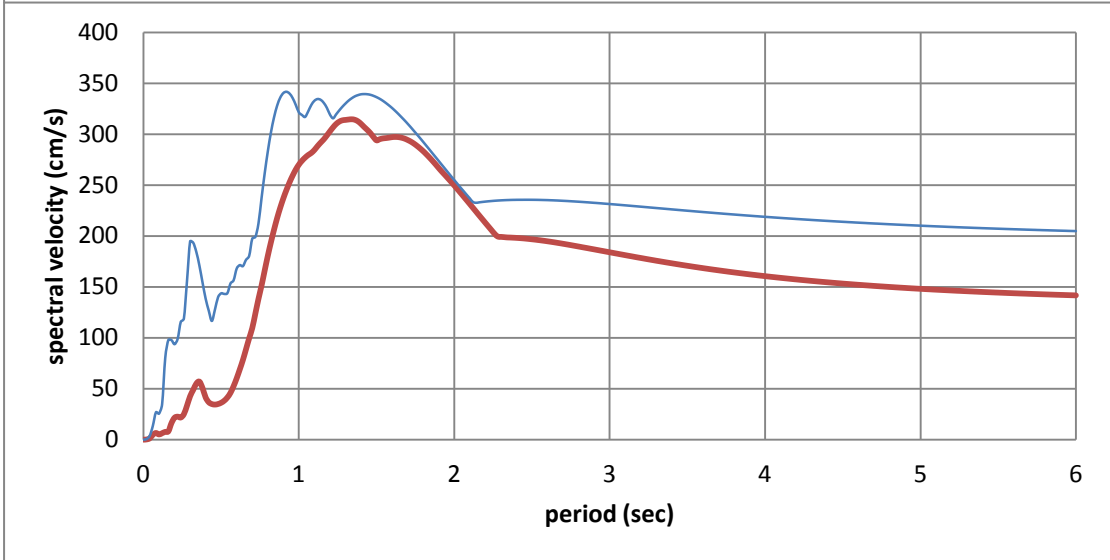
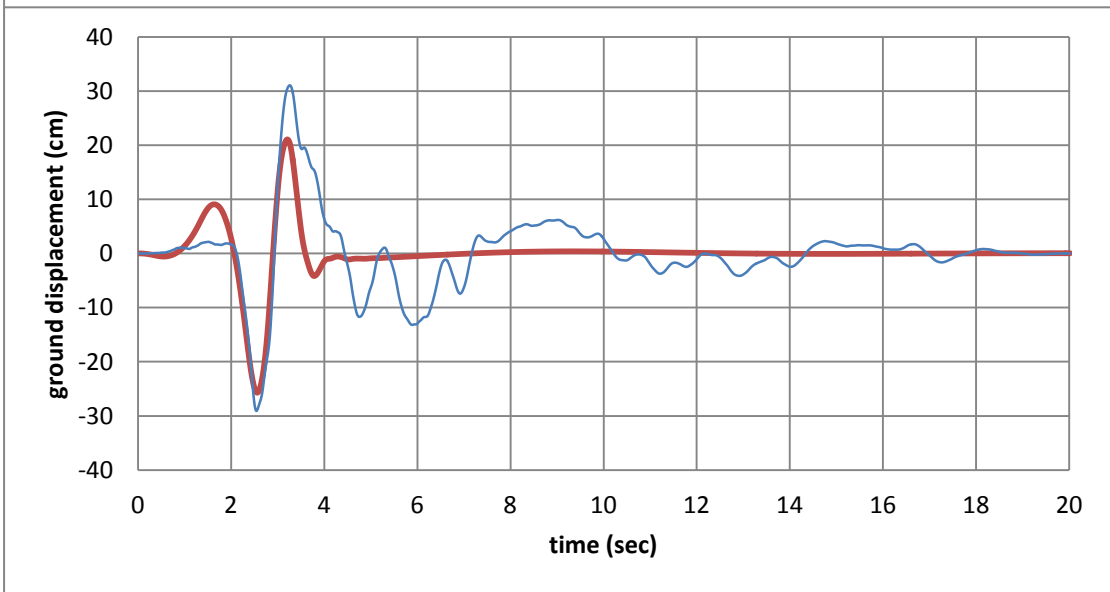
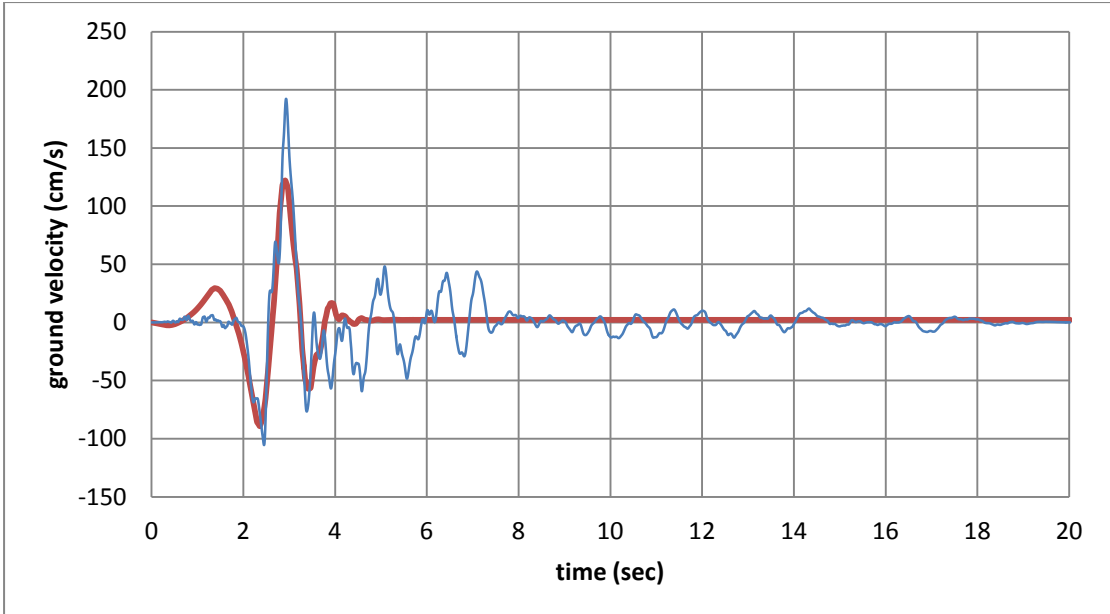
#27 Taiwan SMART1(40), SMART1 M07

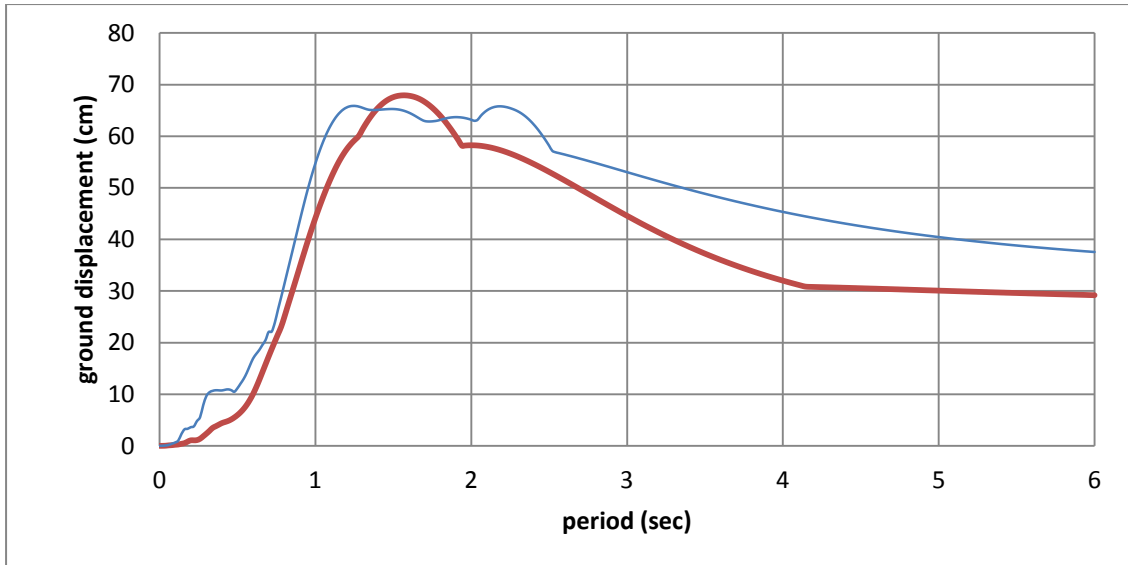




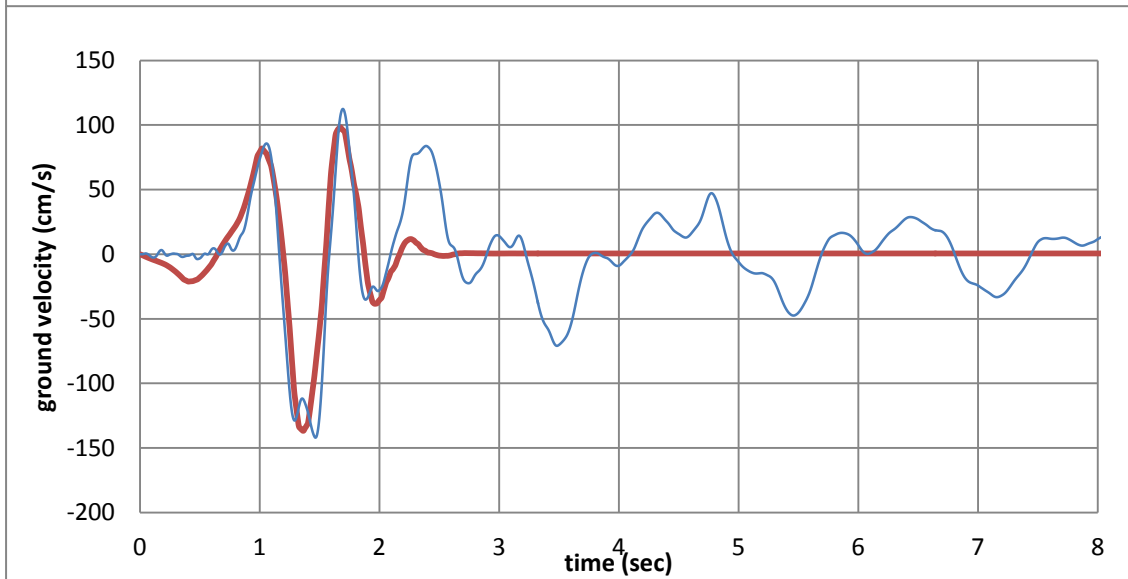
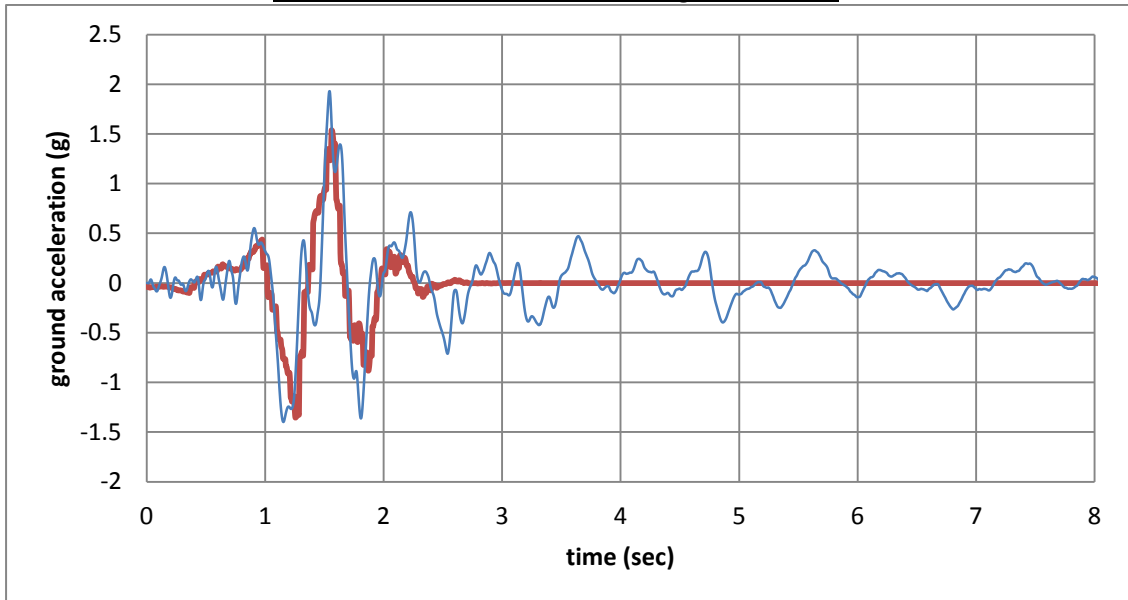
#28 N. Palm Springs, North Palm Springs

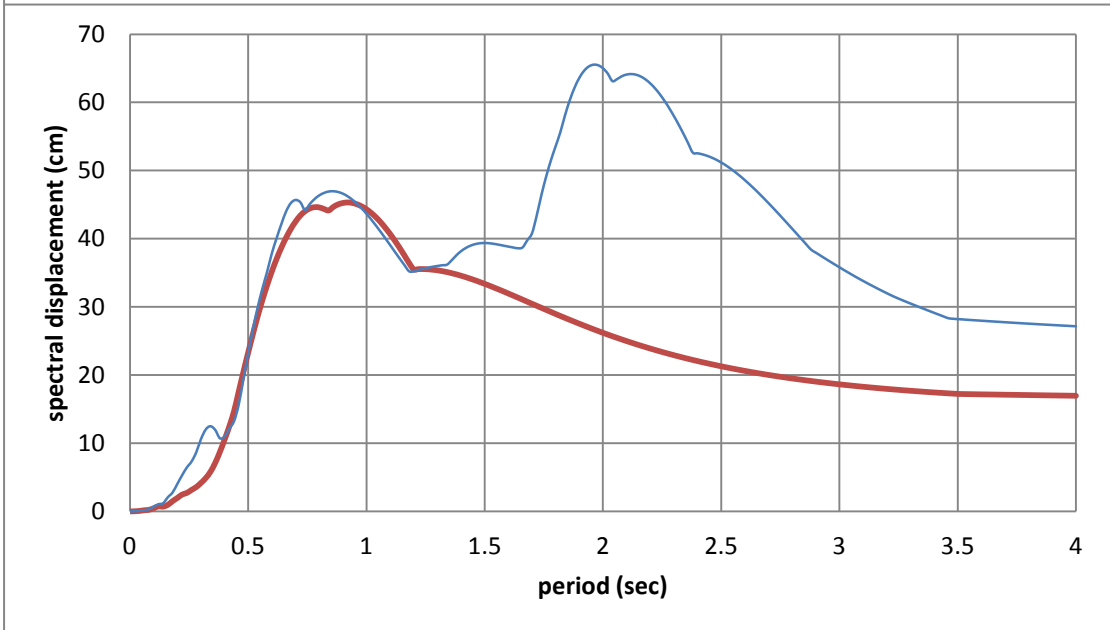
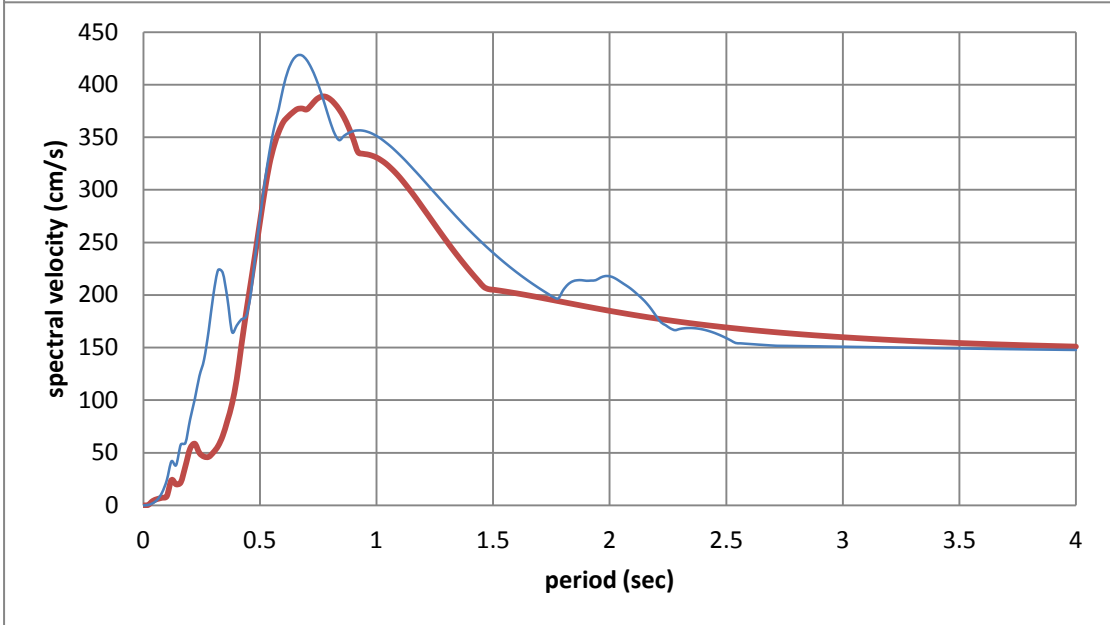
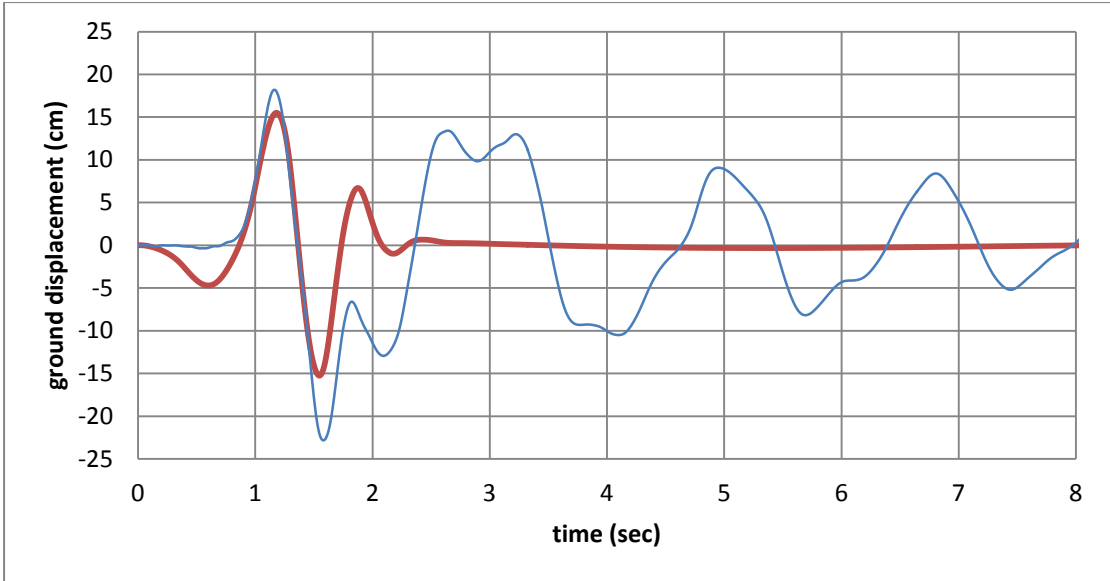




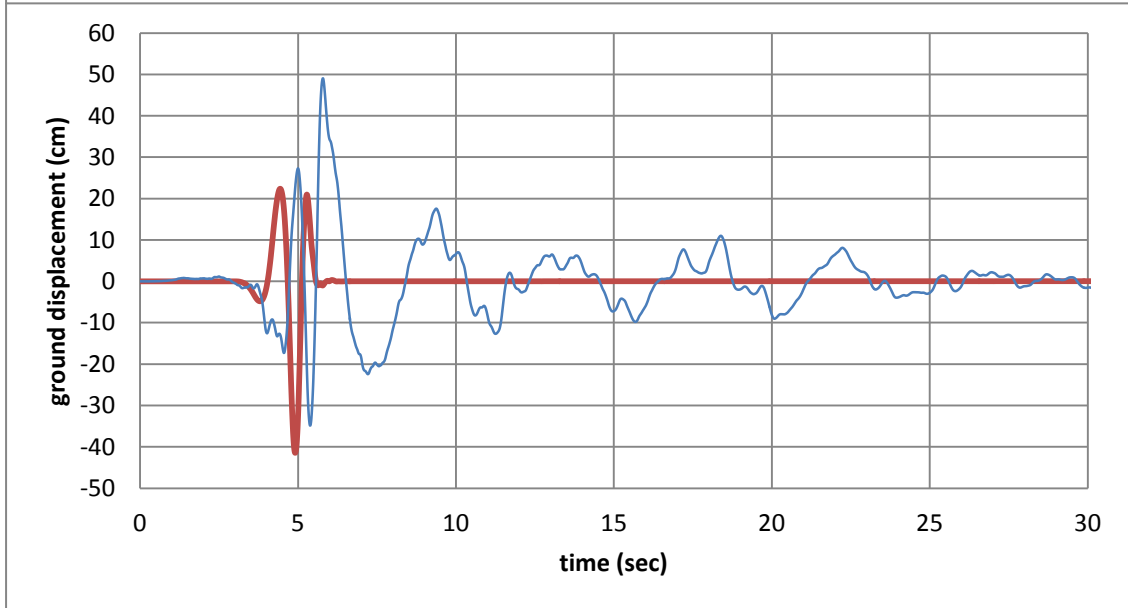
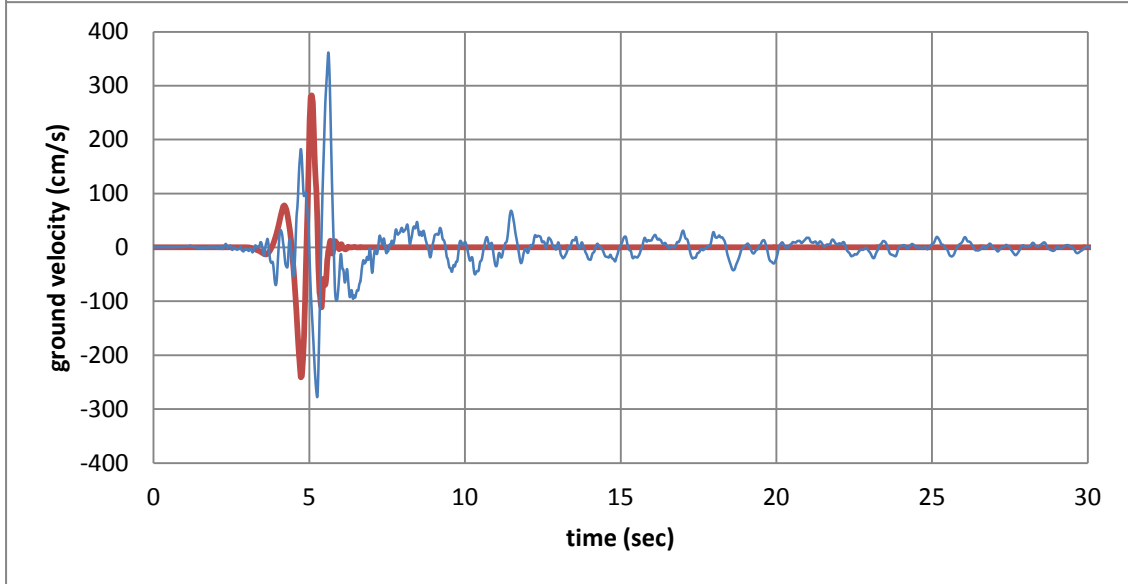
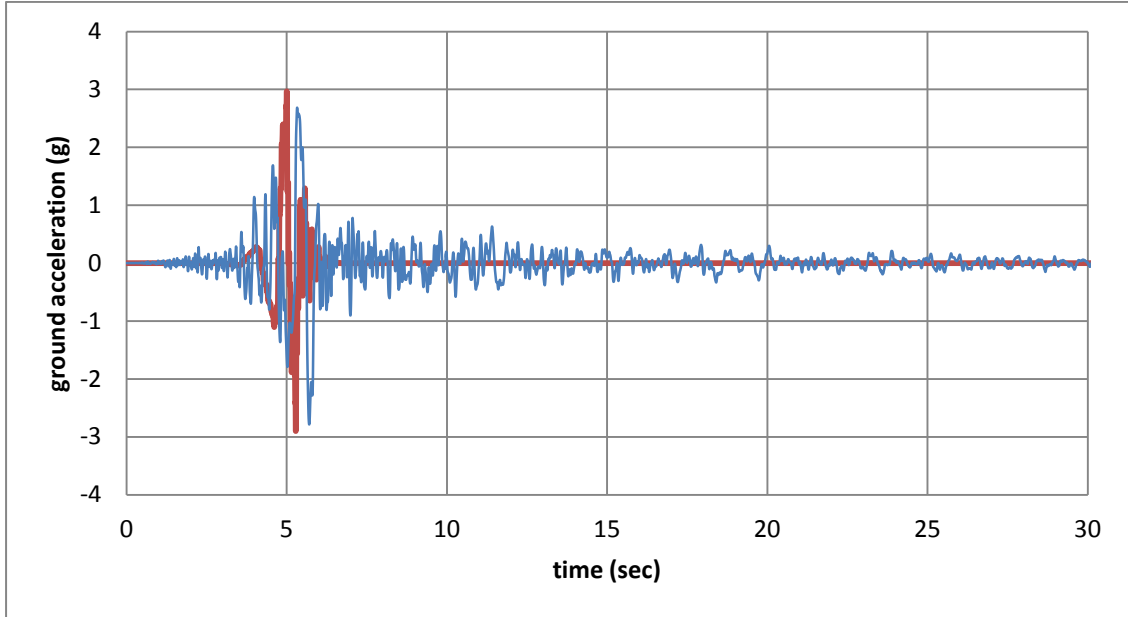


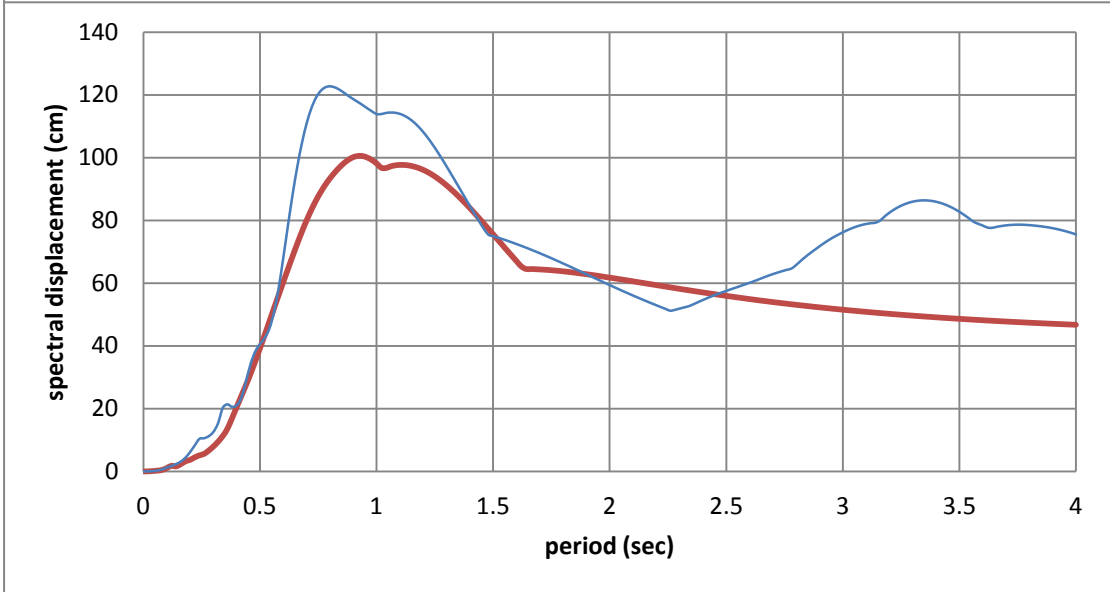
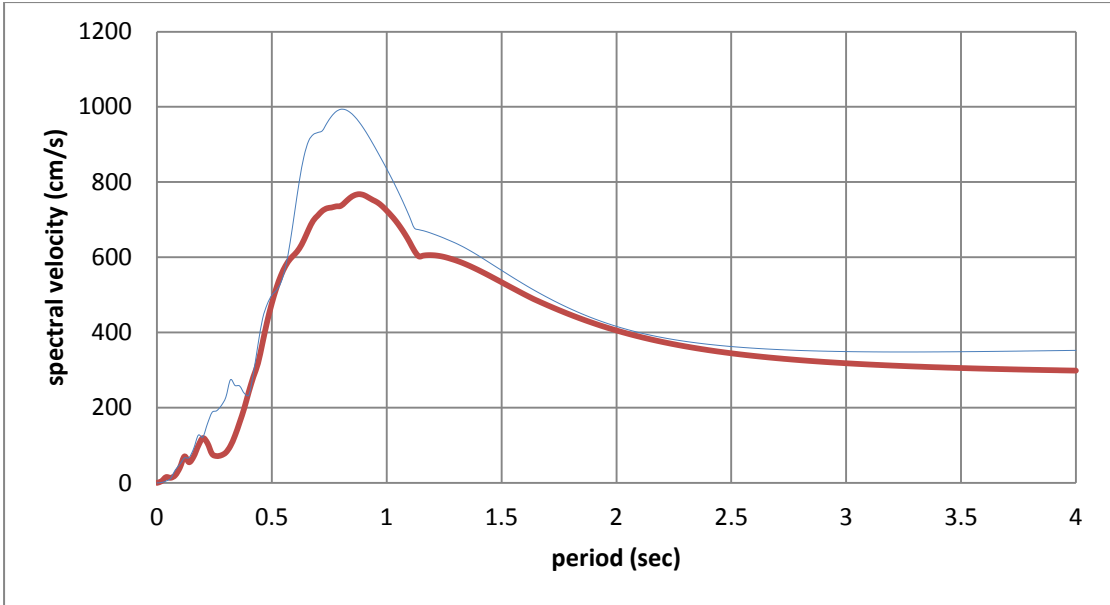
#29 San Salvador, Geotech Investigation Center



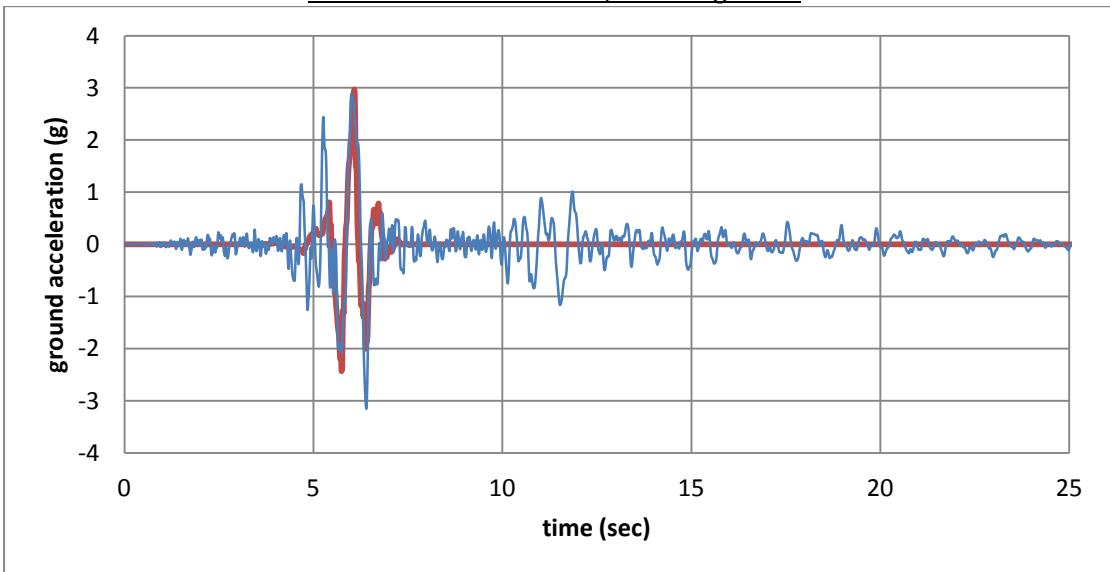


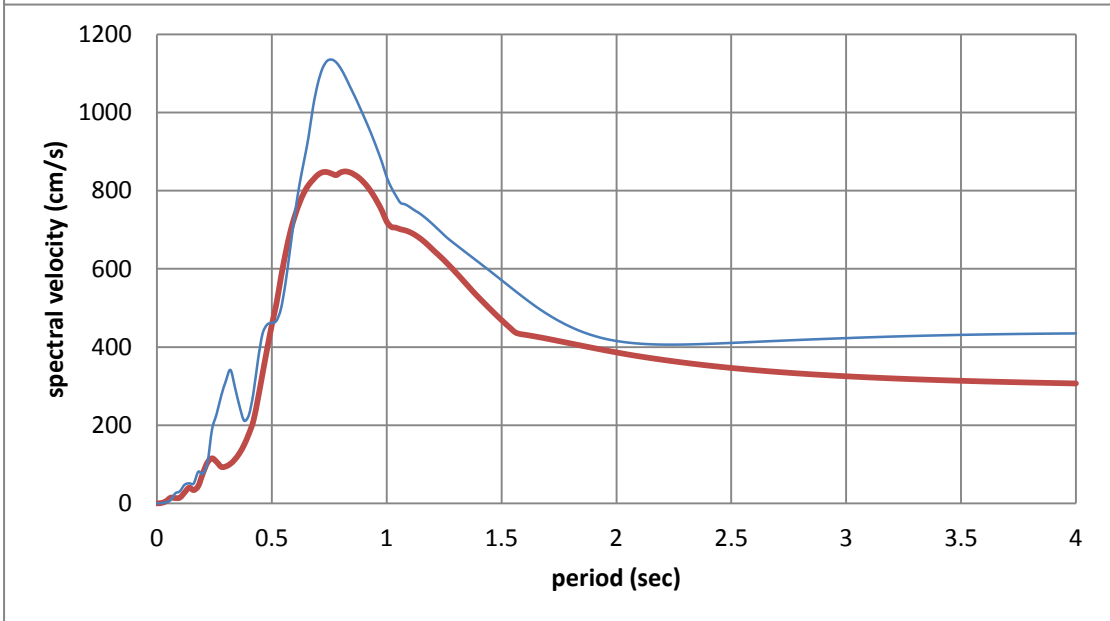
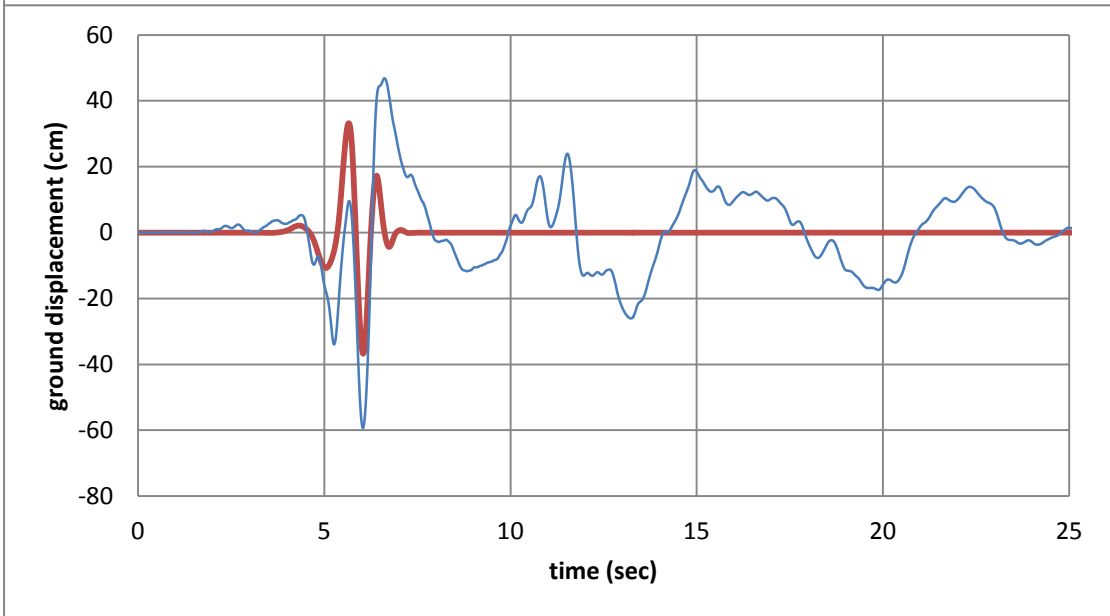
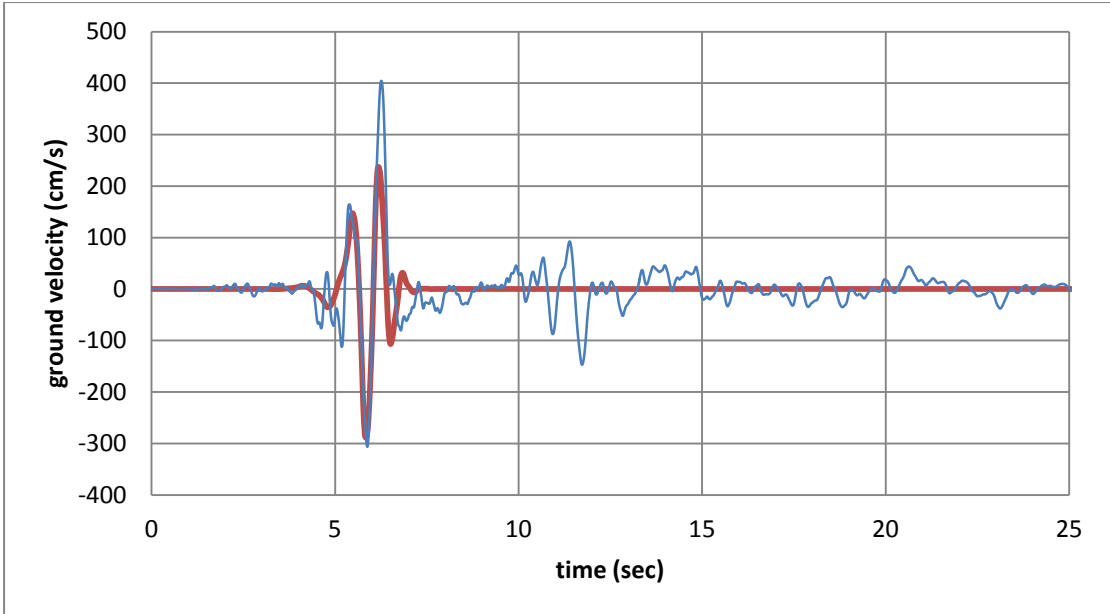
#30 Whittier Narrows-01, Downey – company maintenance building

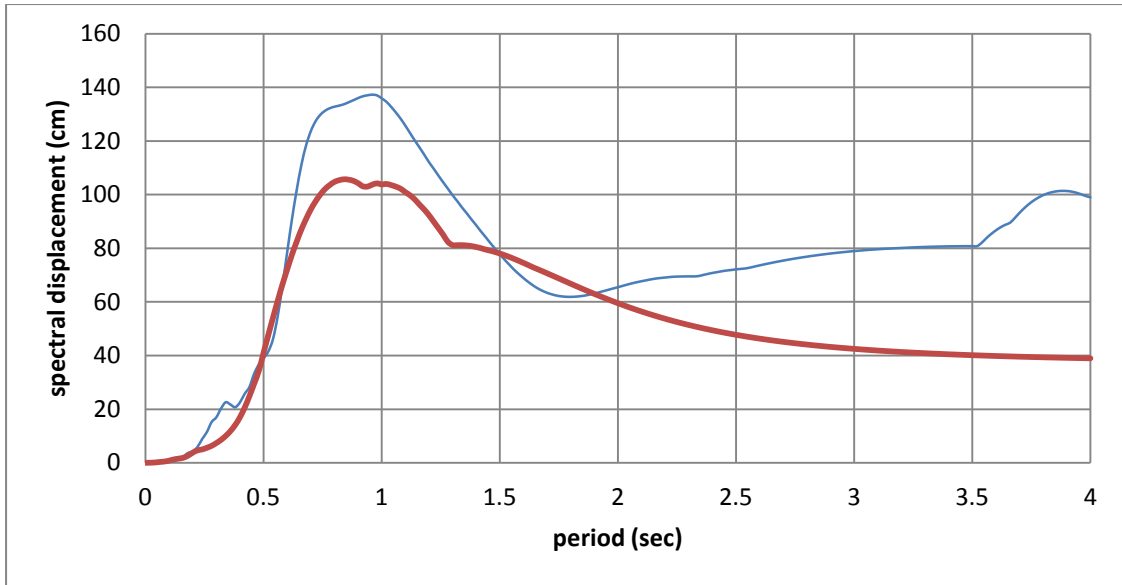




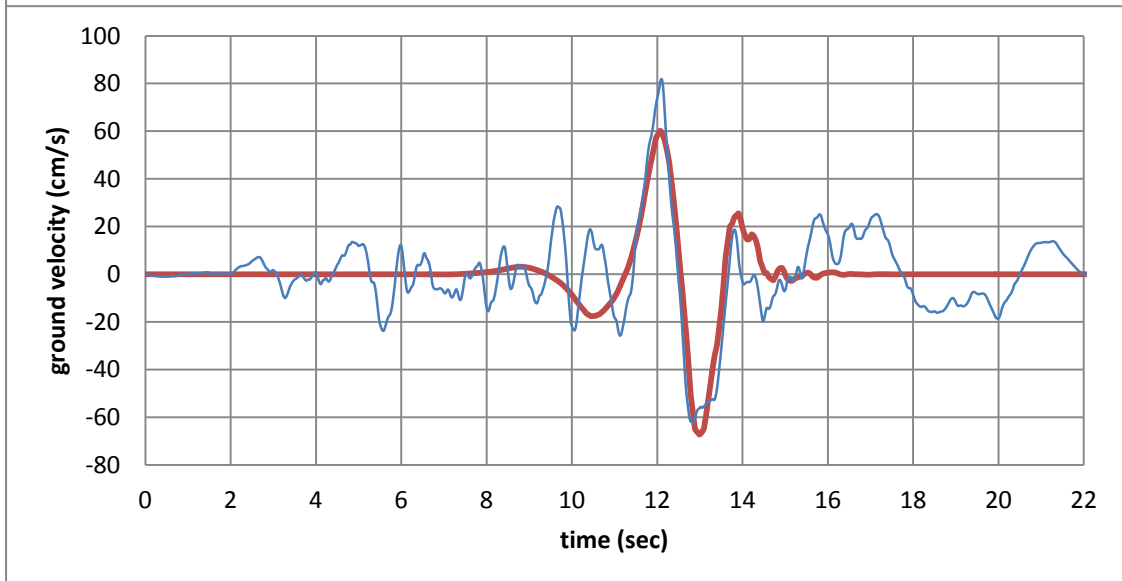
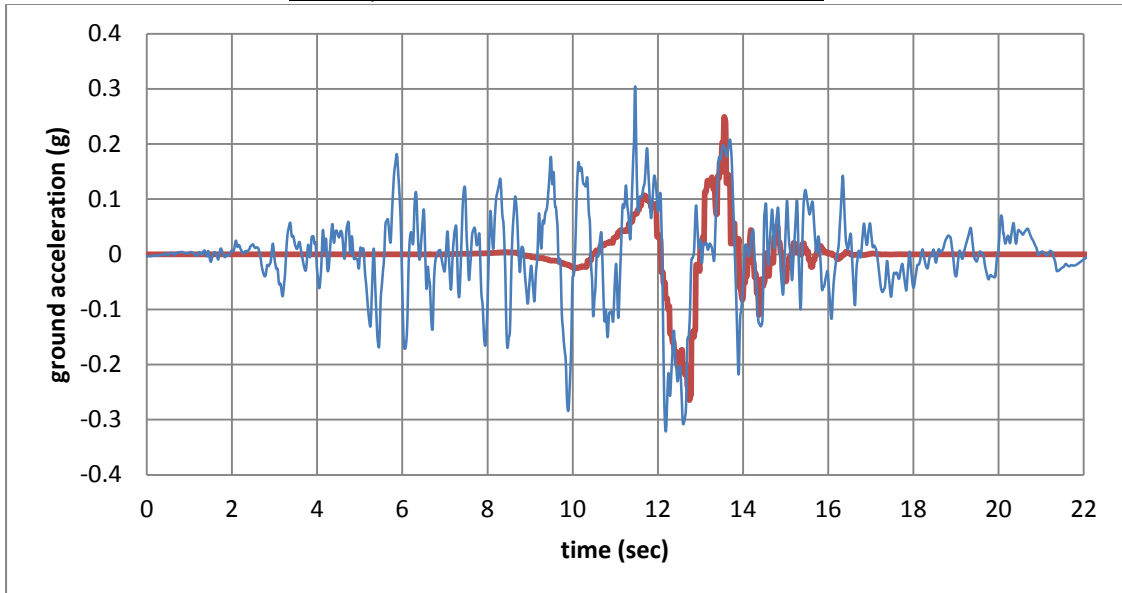
#31 Whittier Narrows-01, LB Orange Ave.

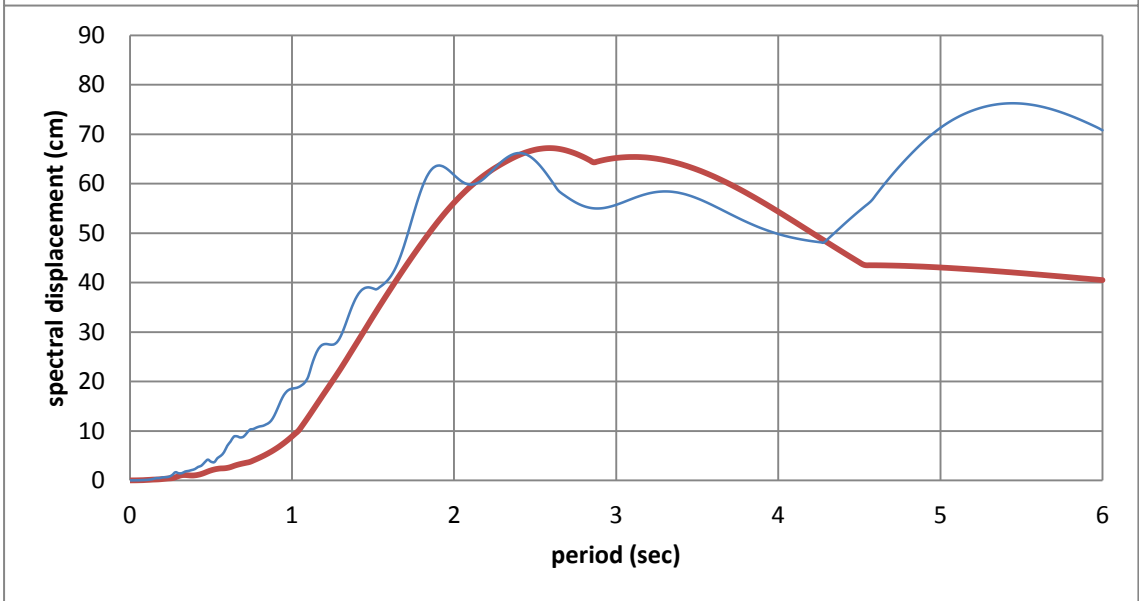
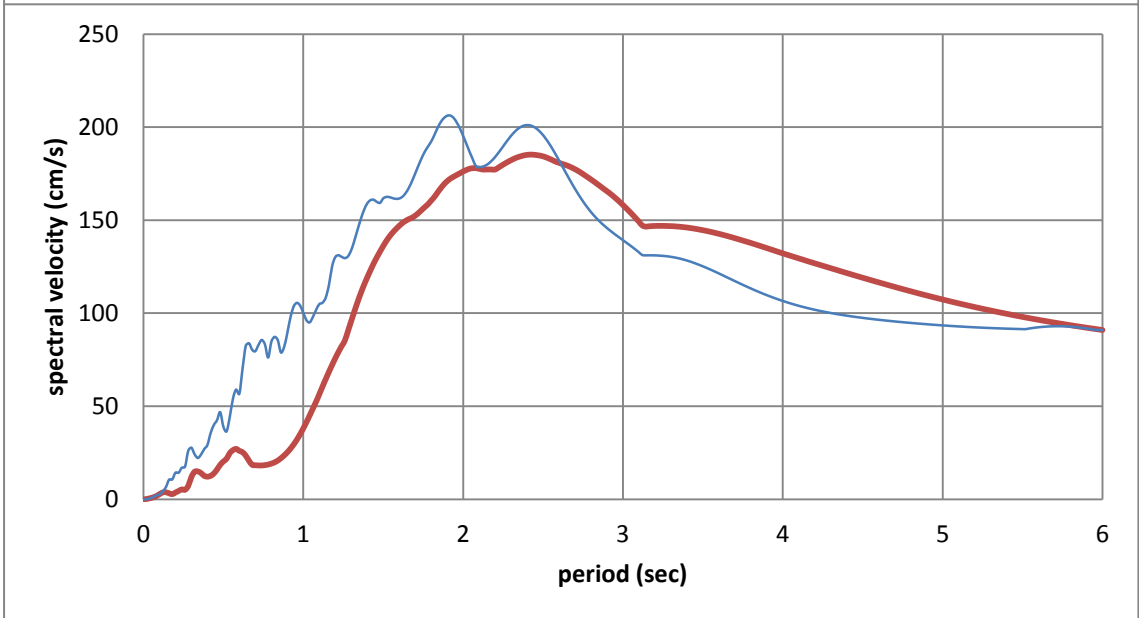
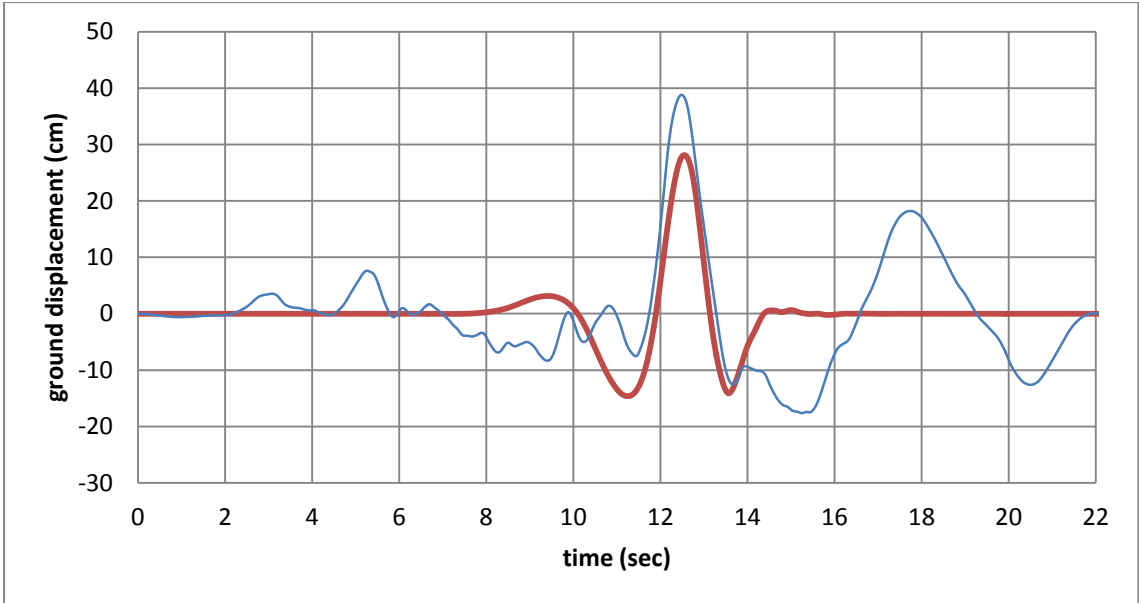




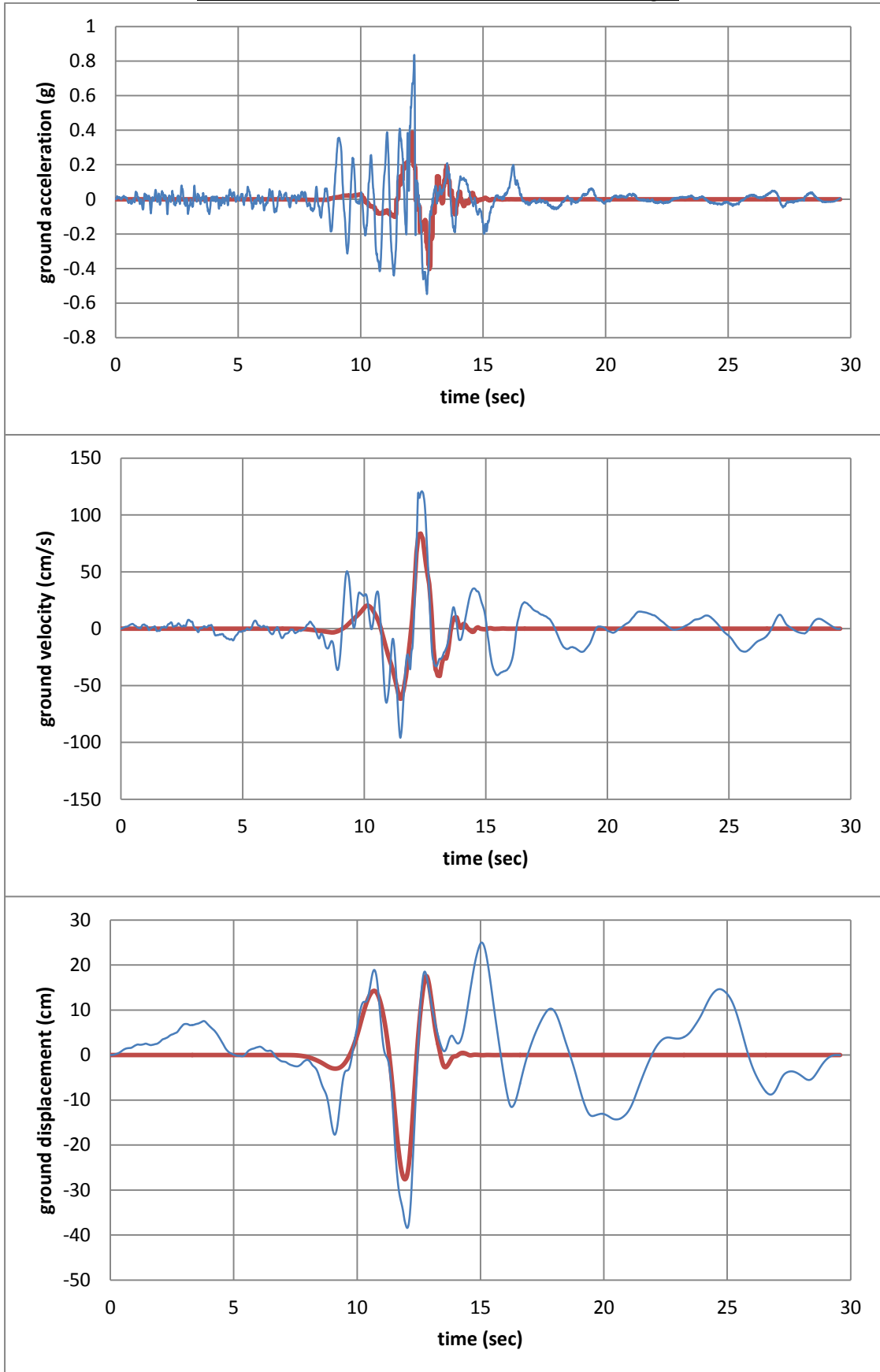


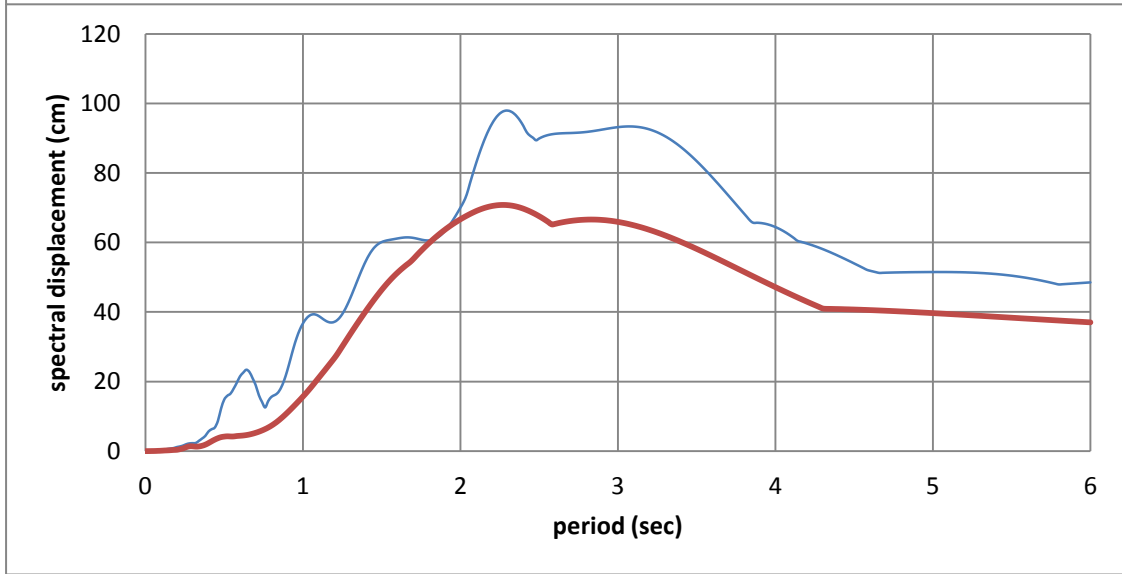
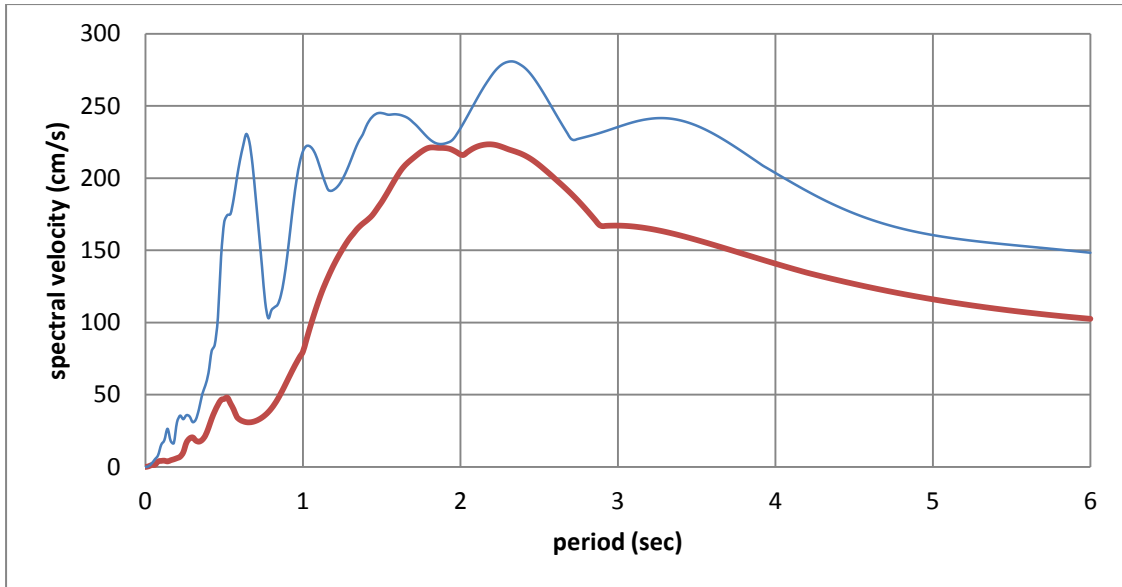
#32 Superstition Hills-02, Parachute Test Site



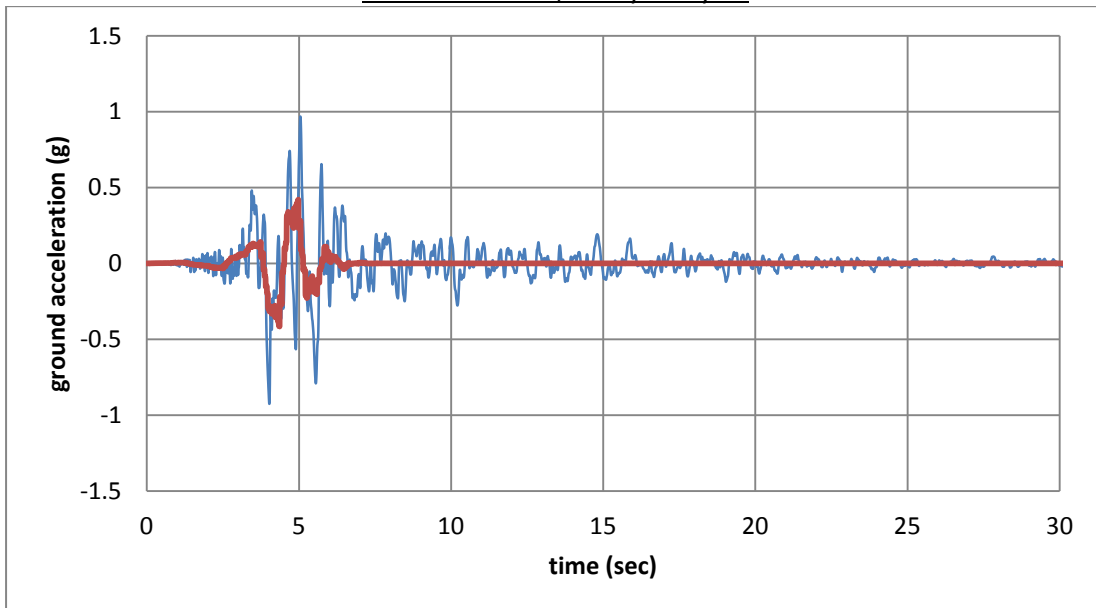


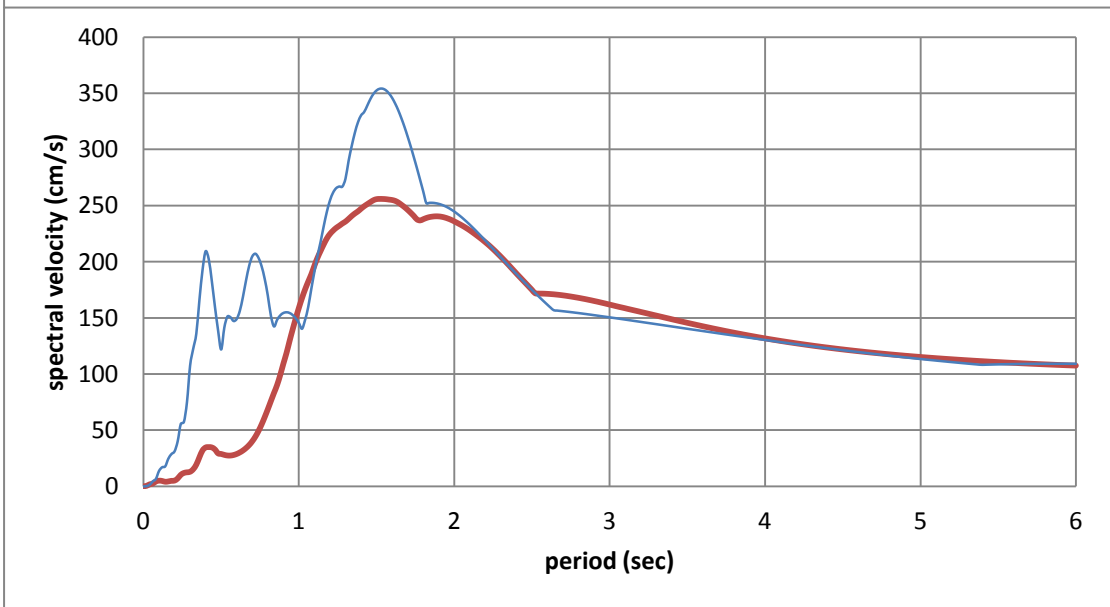
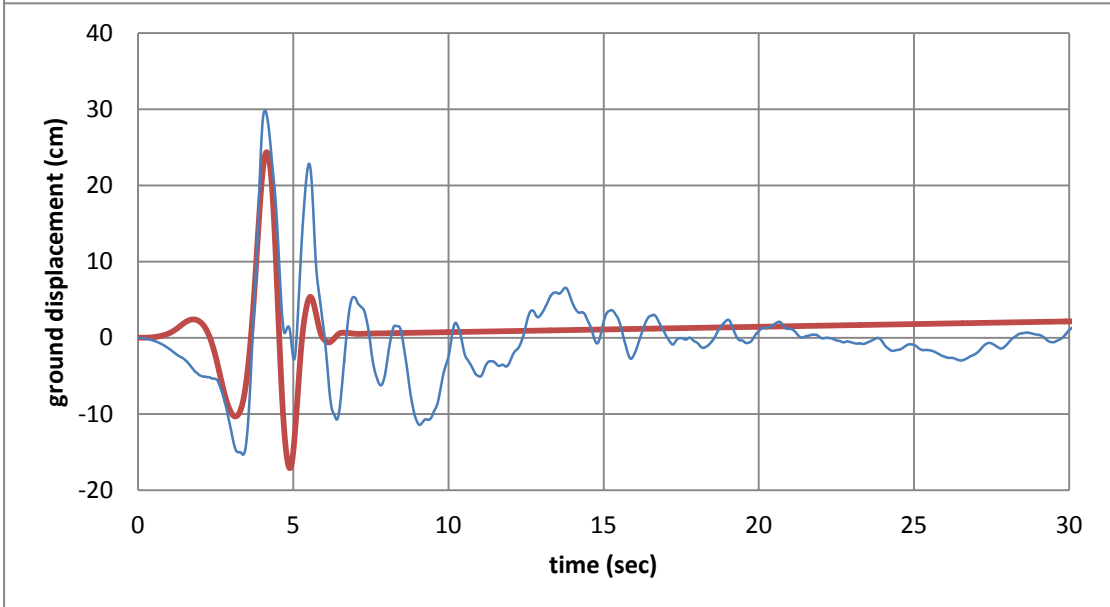
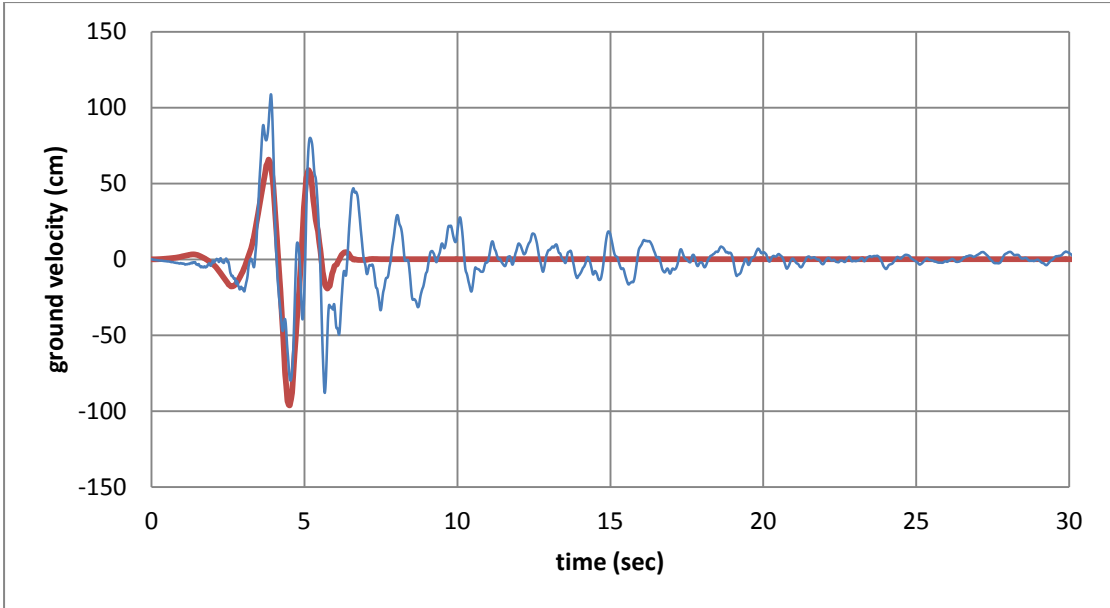
#33 Loma Prieta, Alameda Naval Air Station Hanger

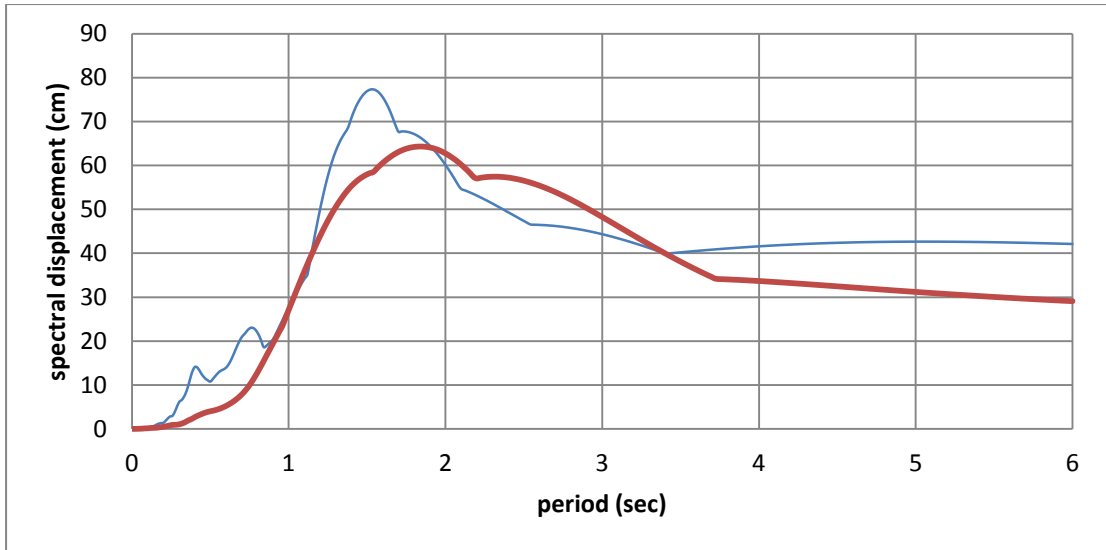




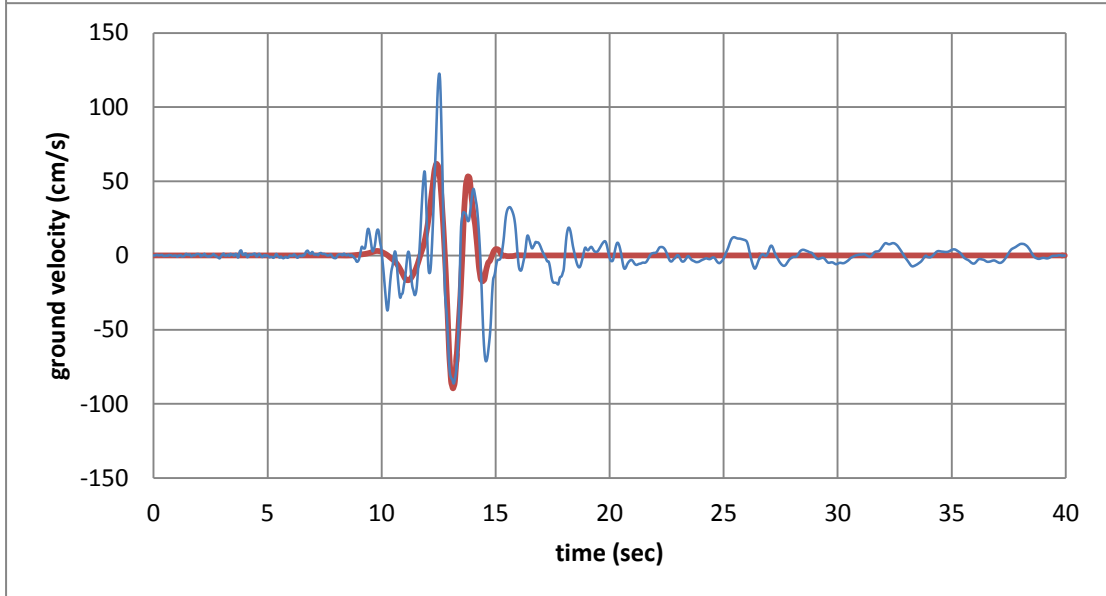
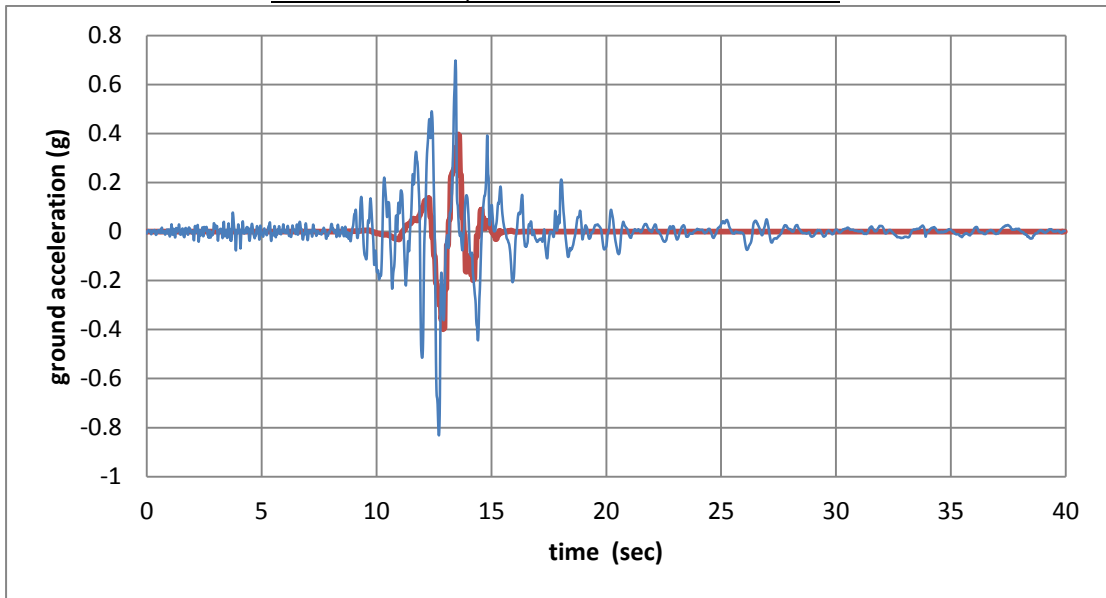
#34 Loma Prieta, Gilroy Array #2

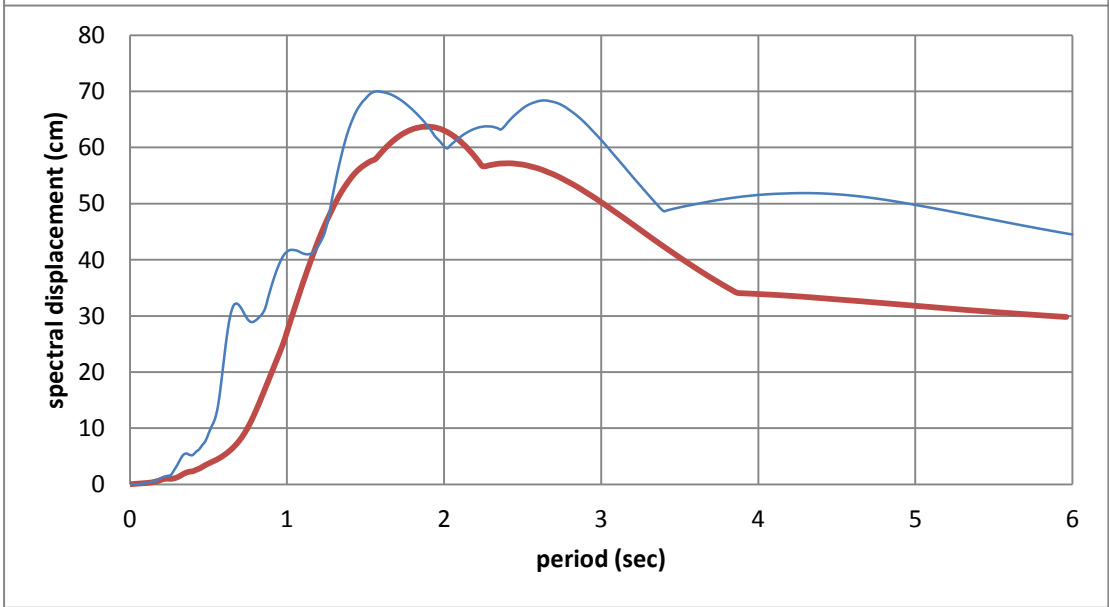
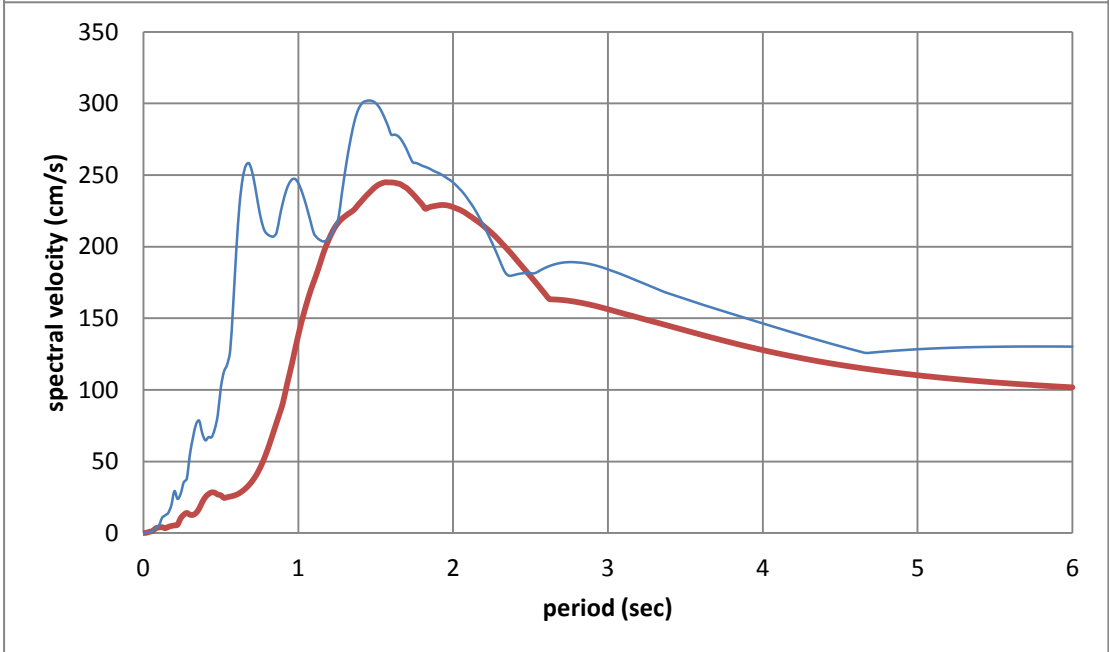
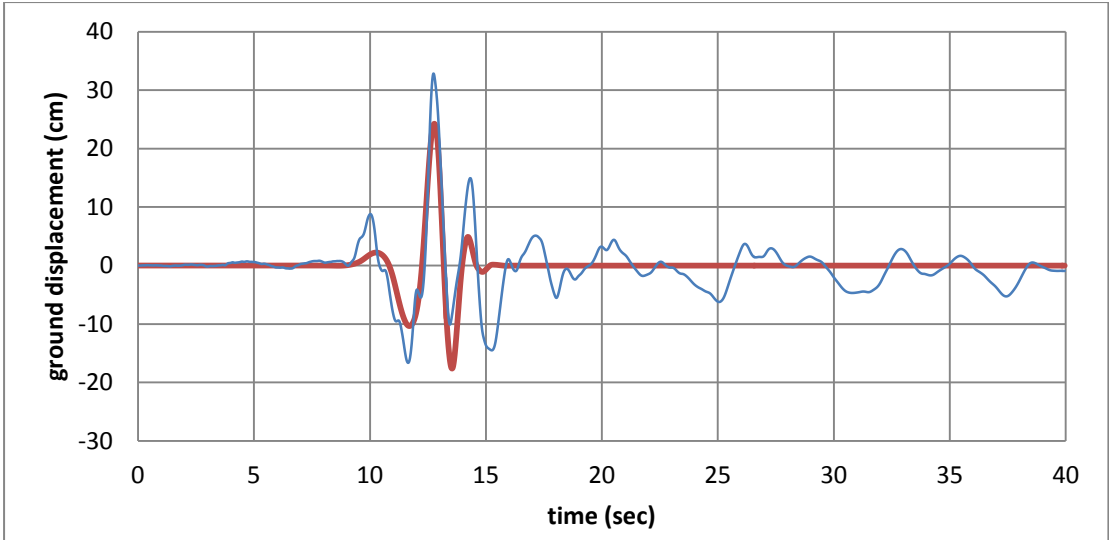




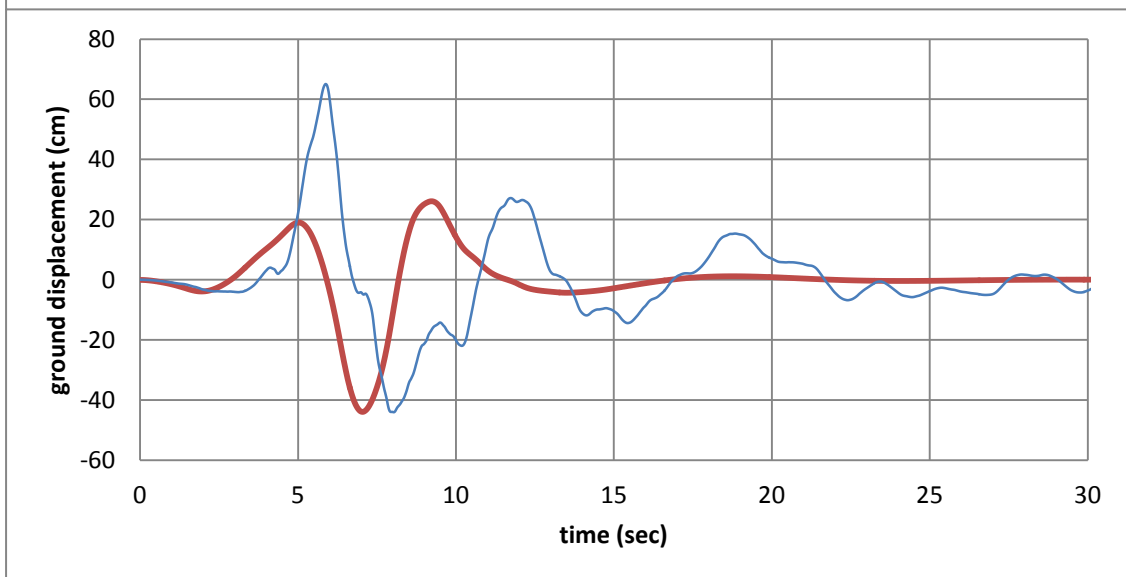
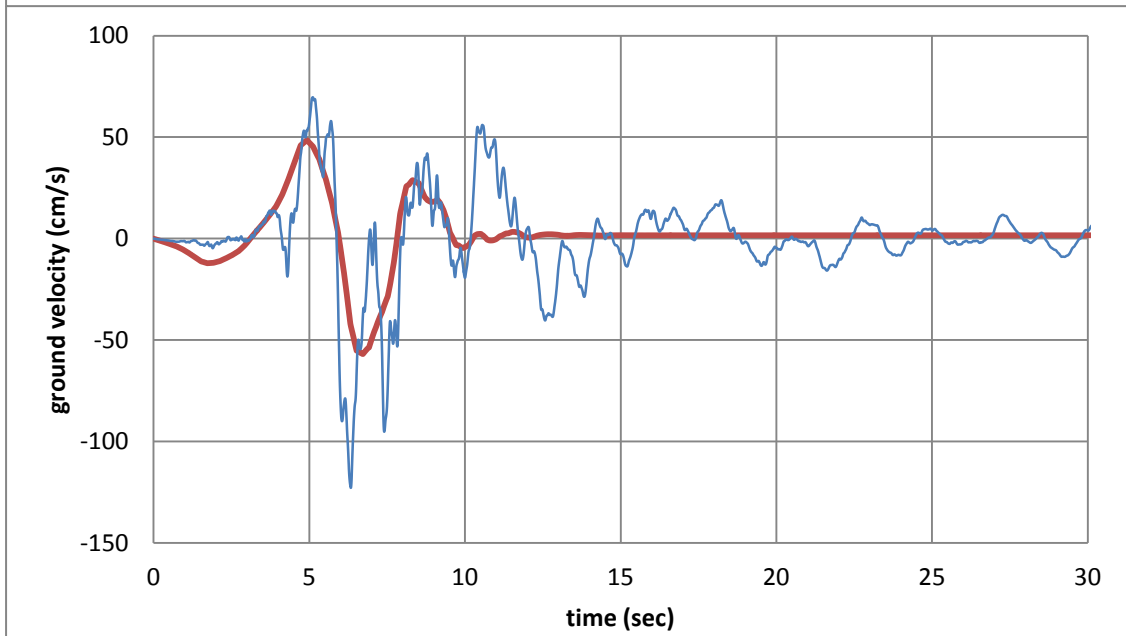
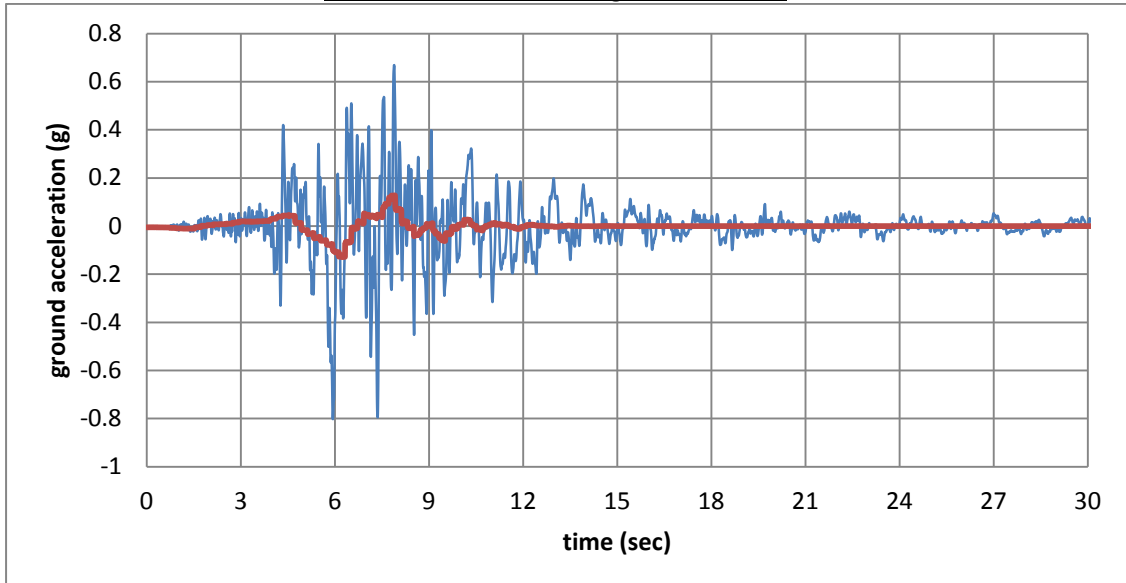


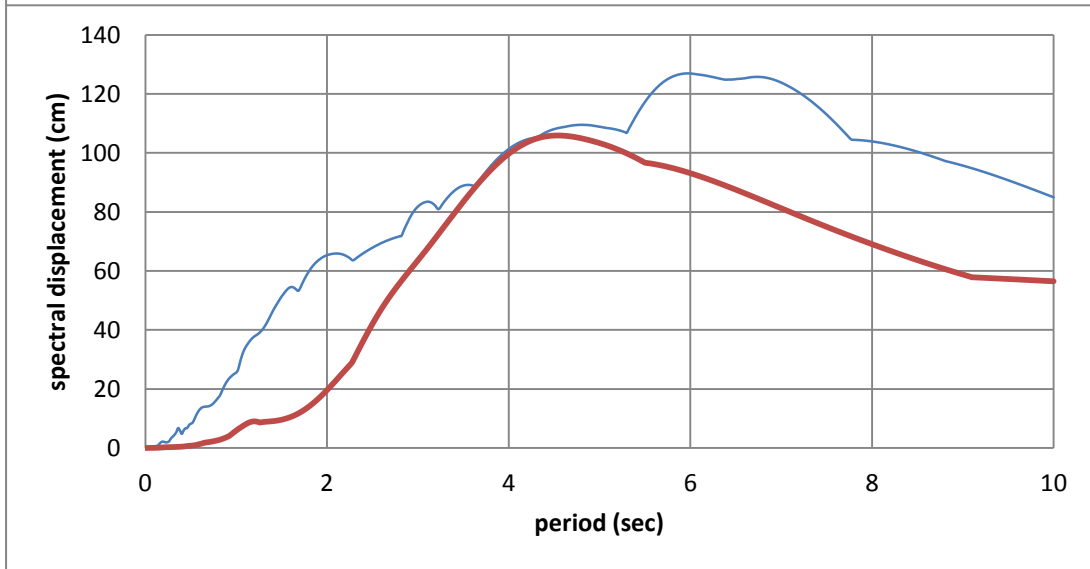
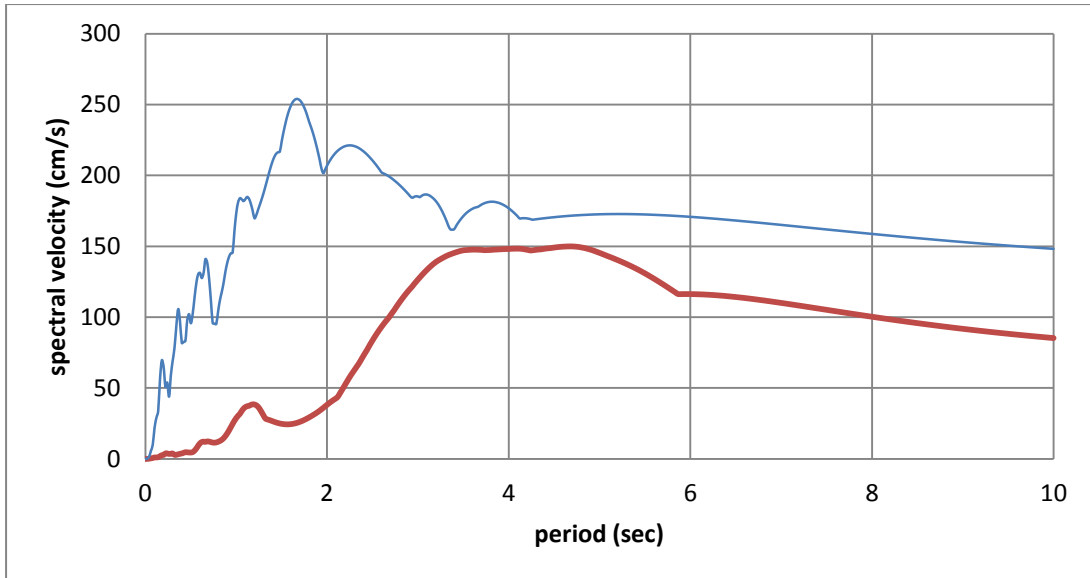
#35 Loma Prieta, Oakland –Outer Harbor Wharf



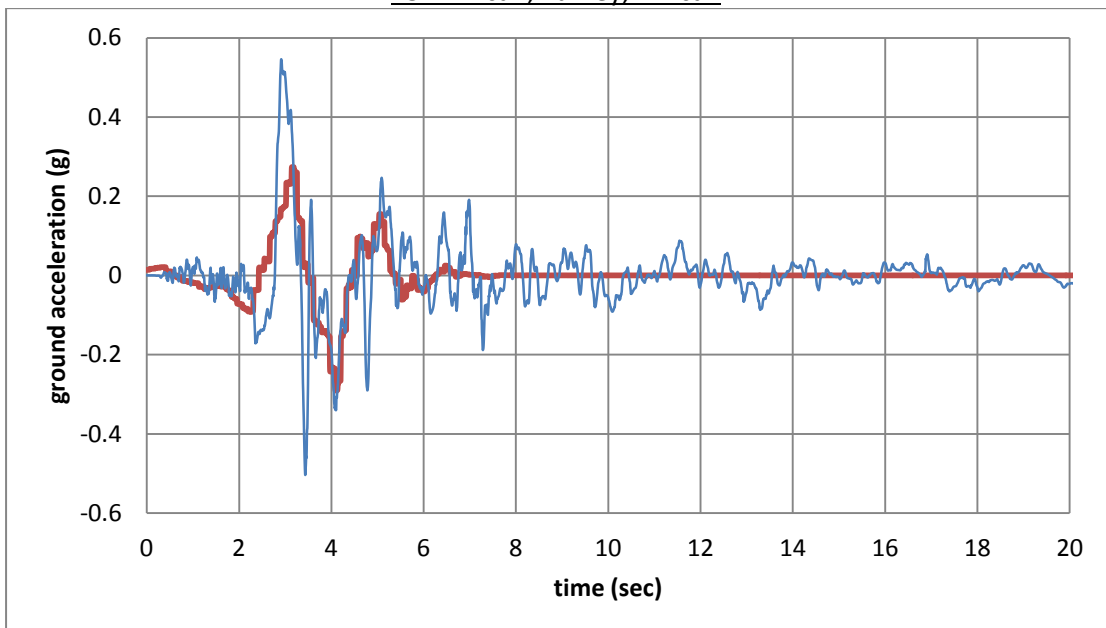


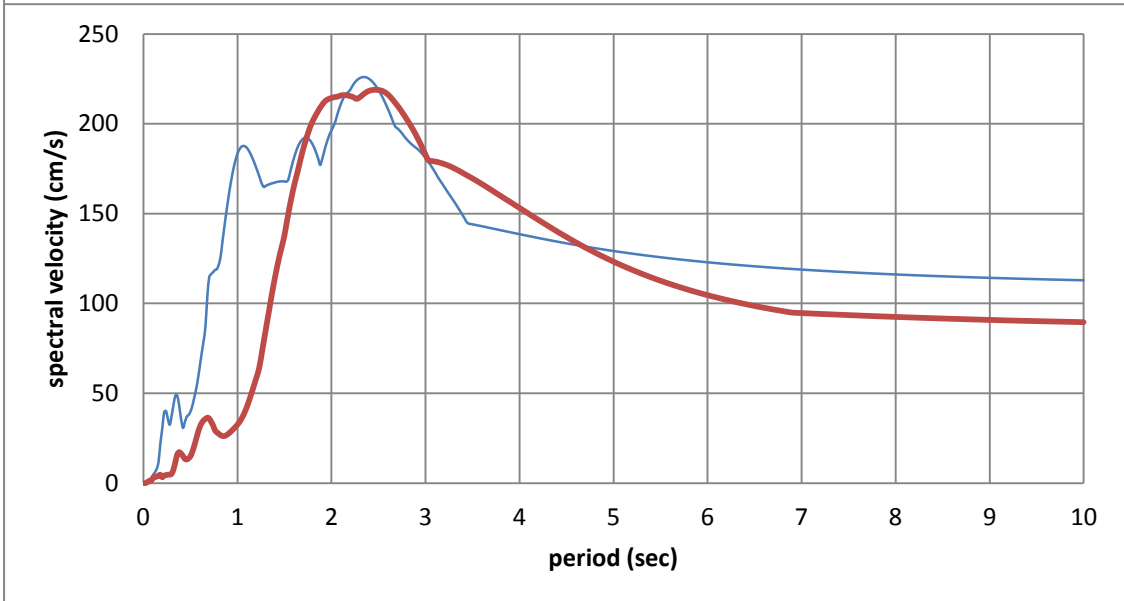
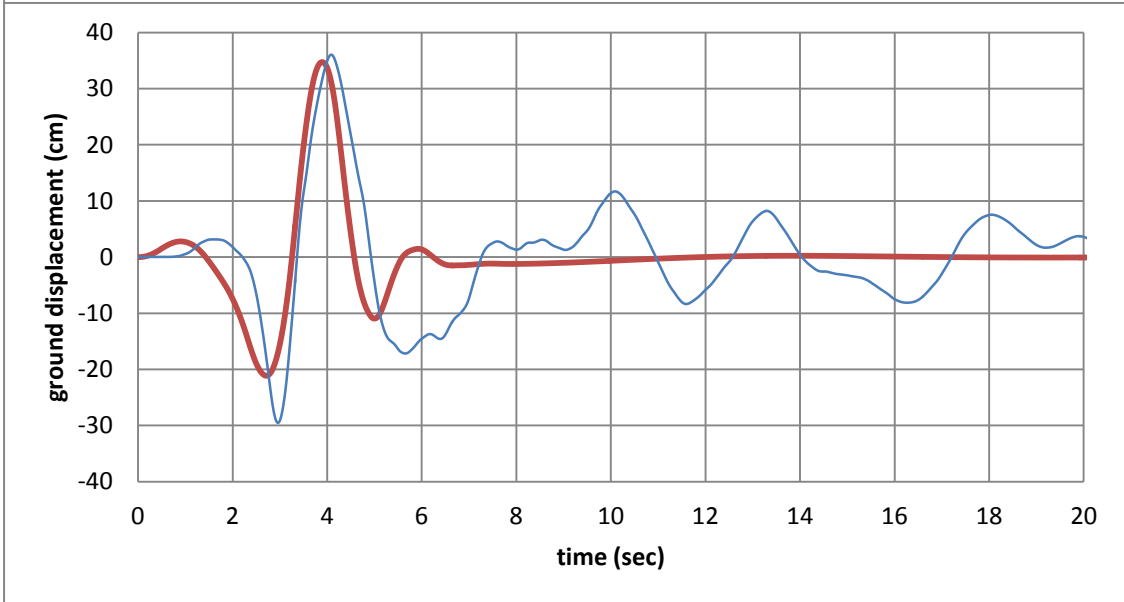
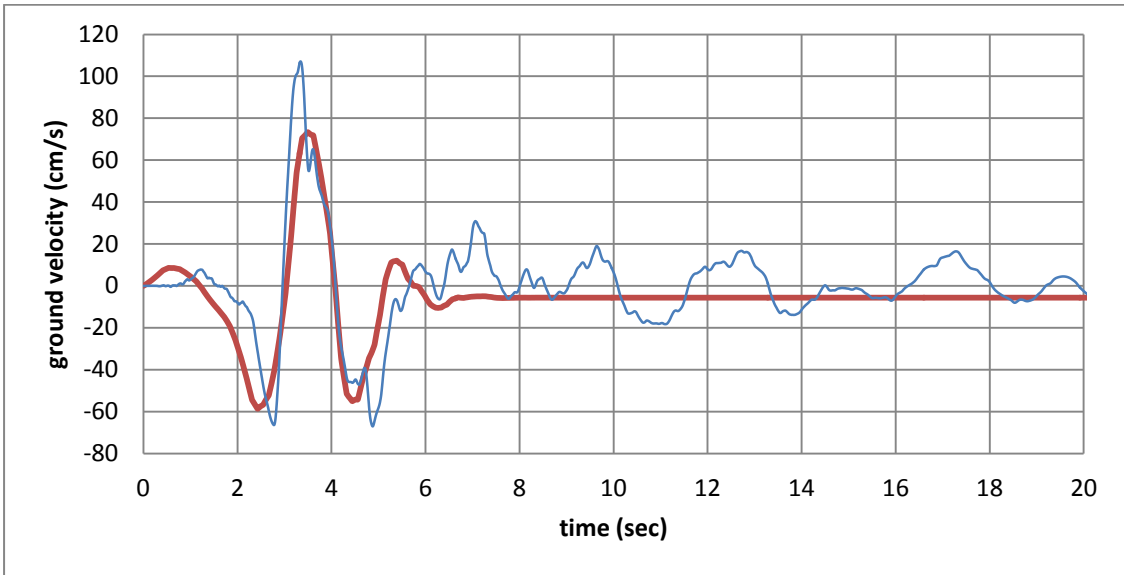
#36 Loma Prieta, Saratoga - Aloha Ave.

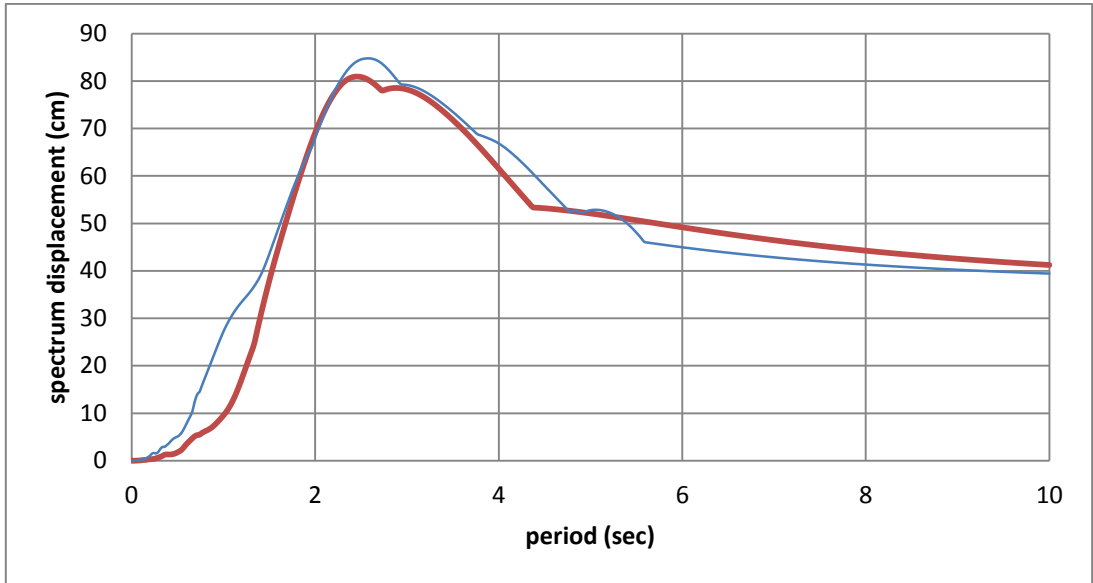




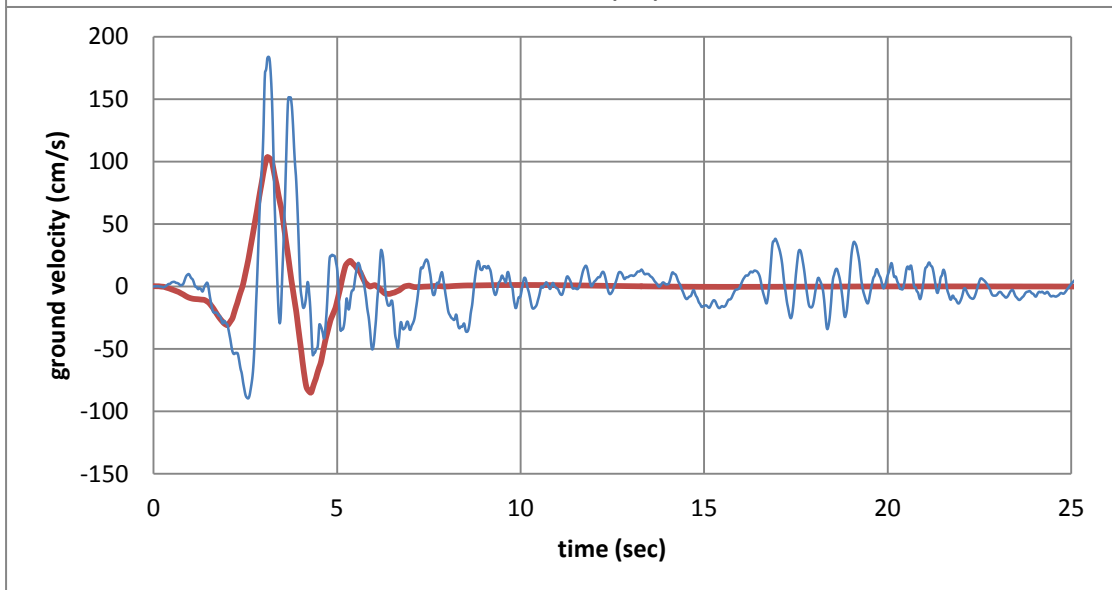
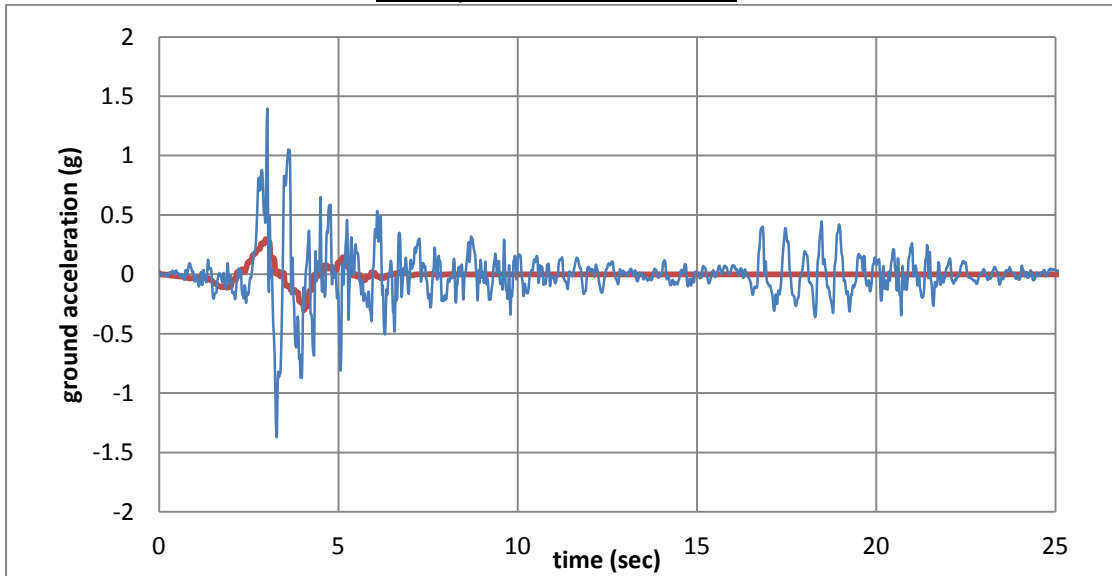
#37 Erzican, Turkey, Erzican

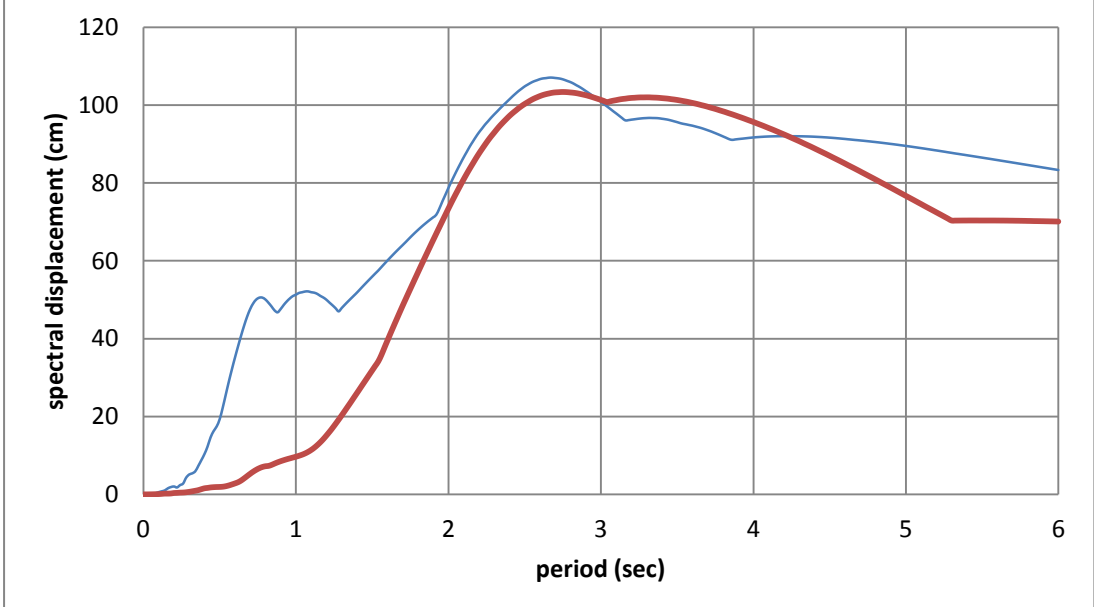
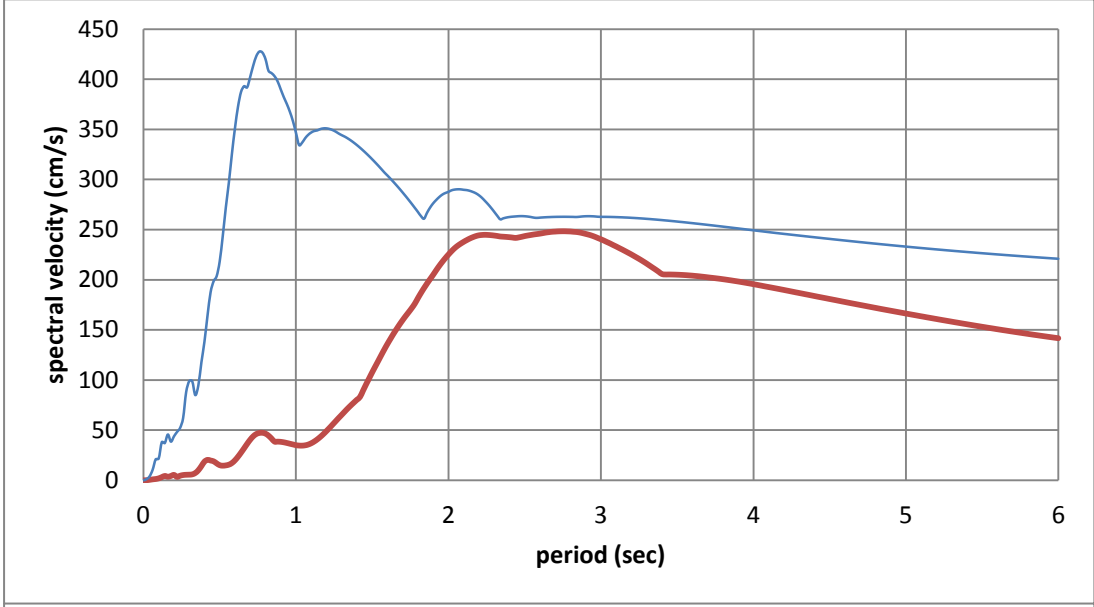
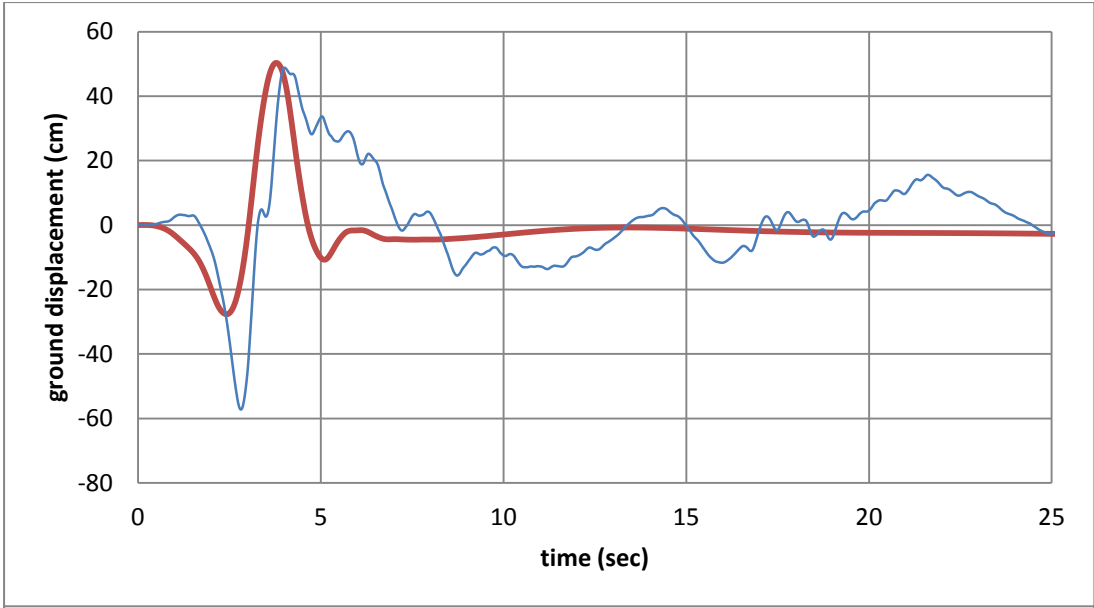




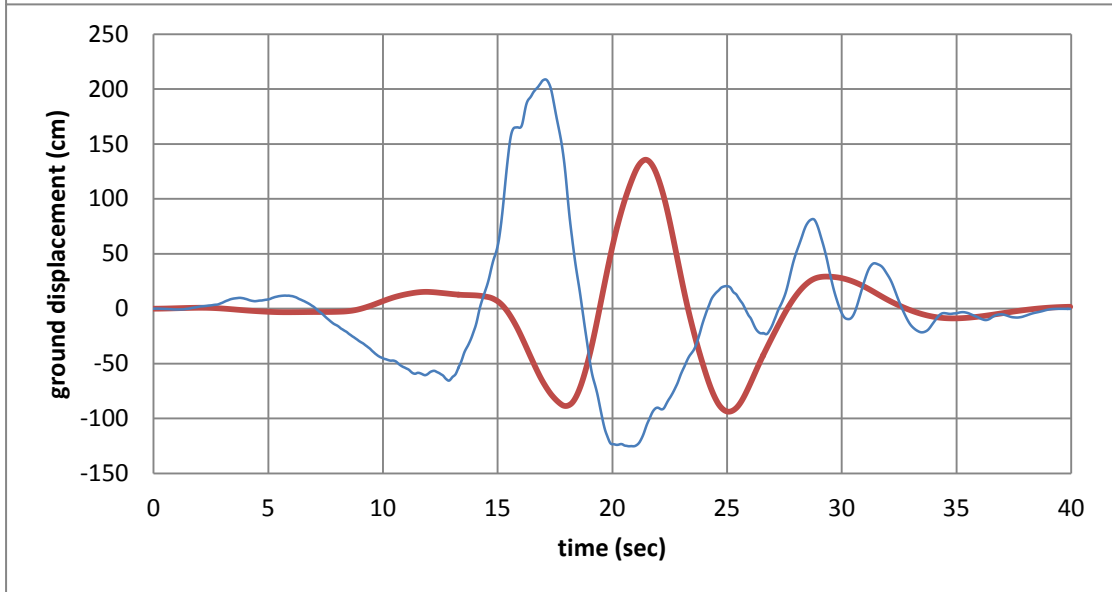
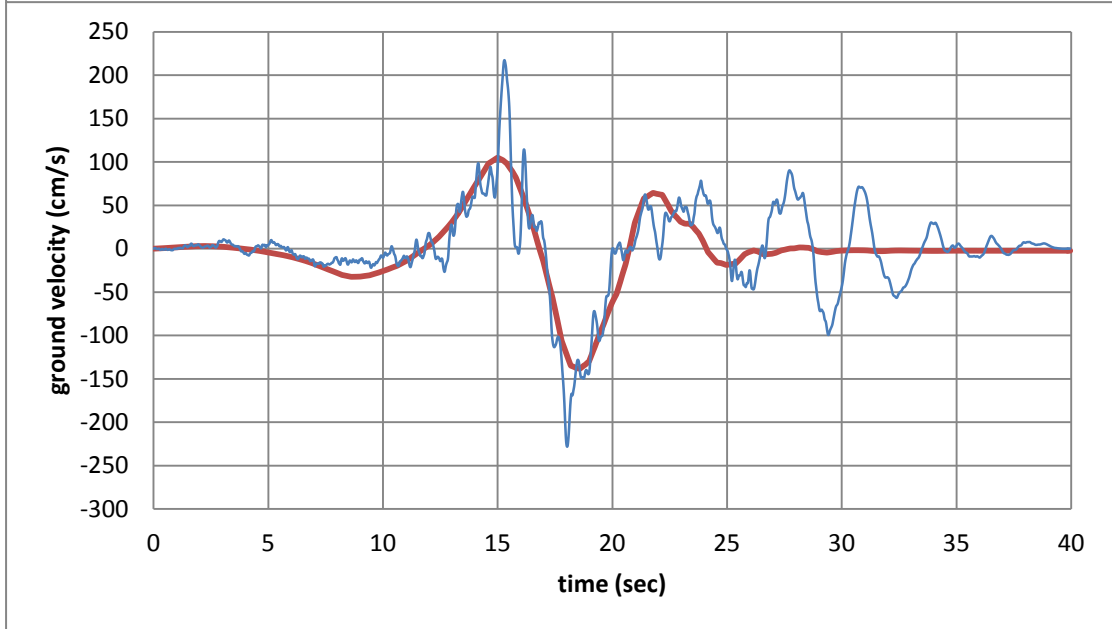
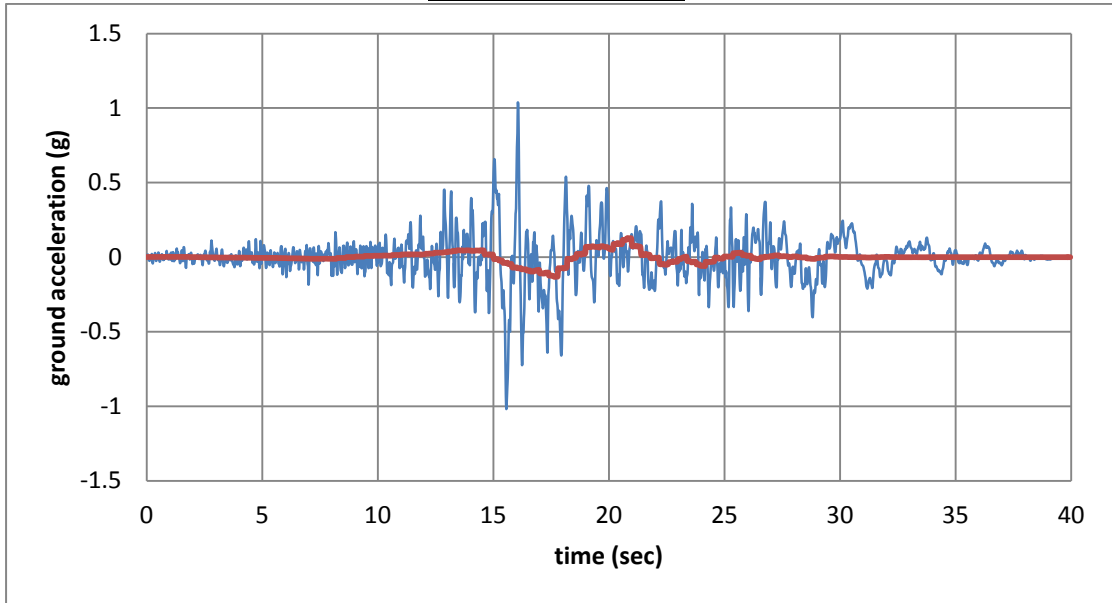


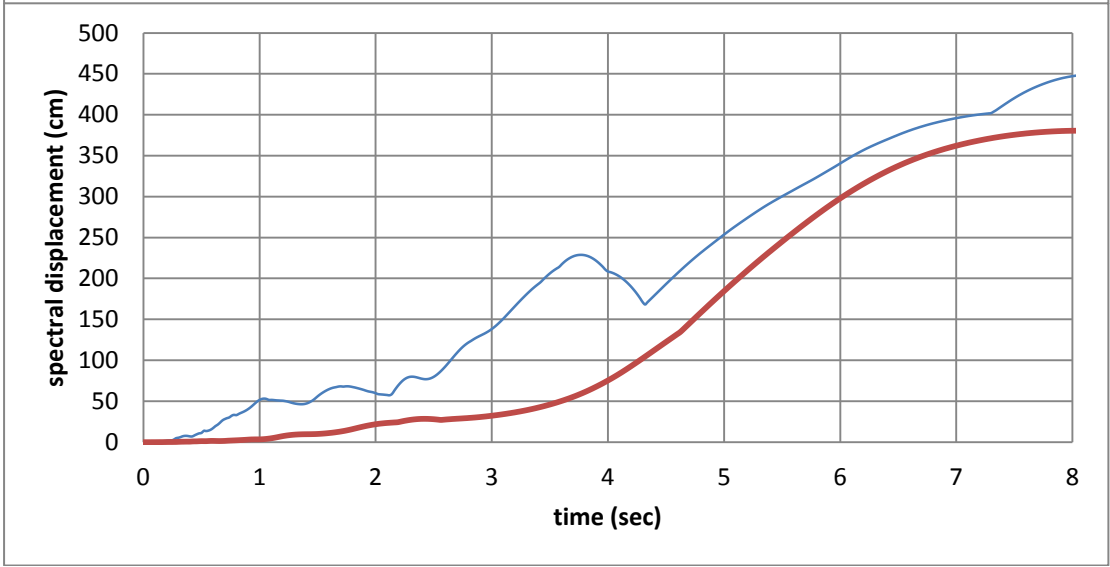
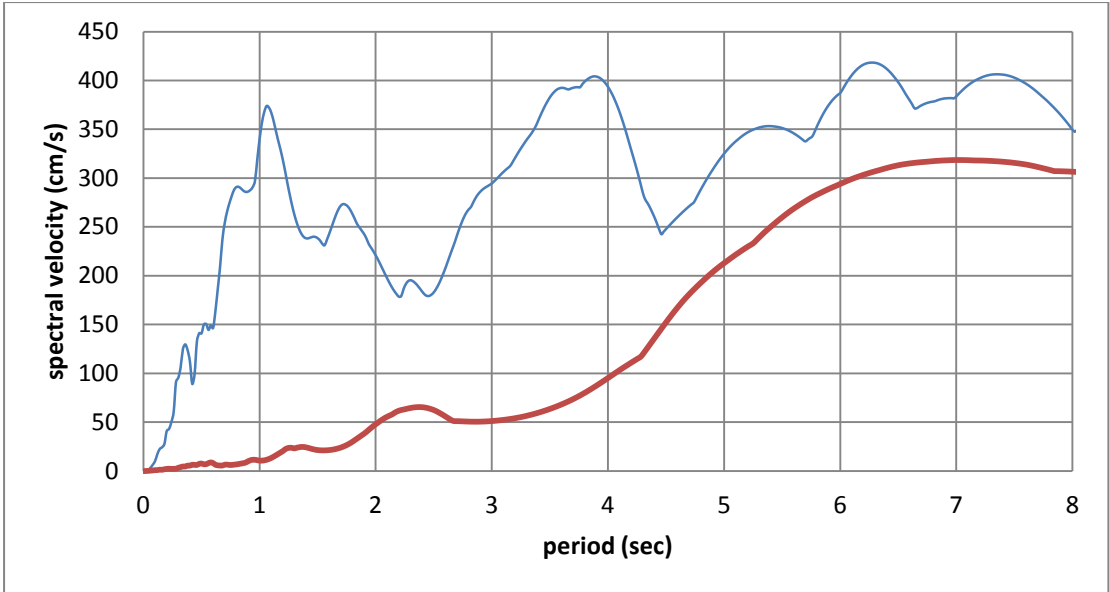
#38 Cape Mendocino, Petrolia



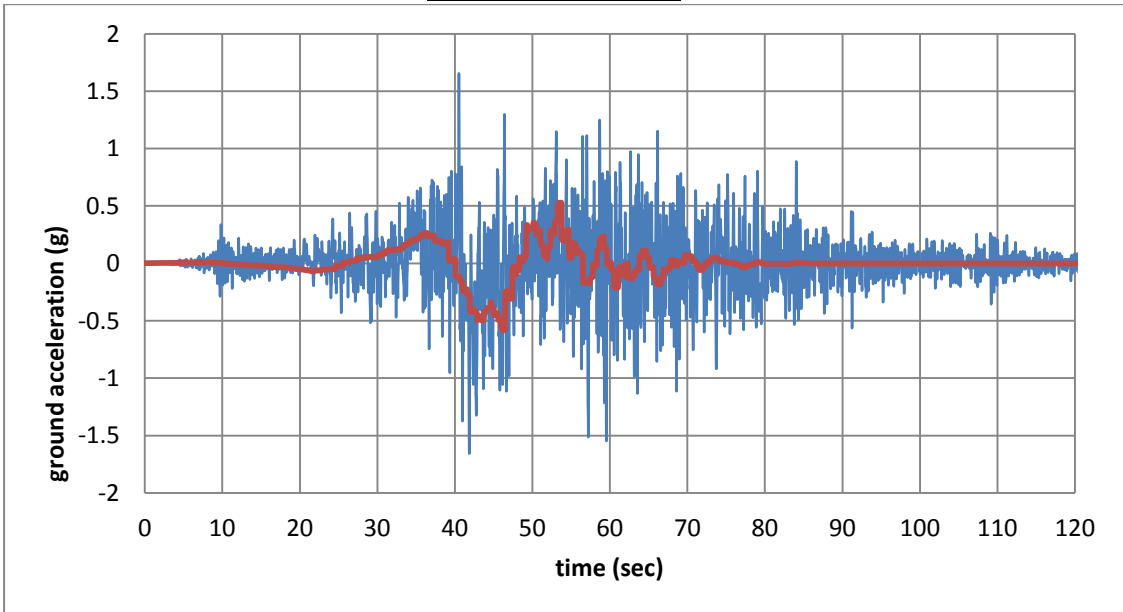


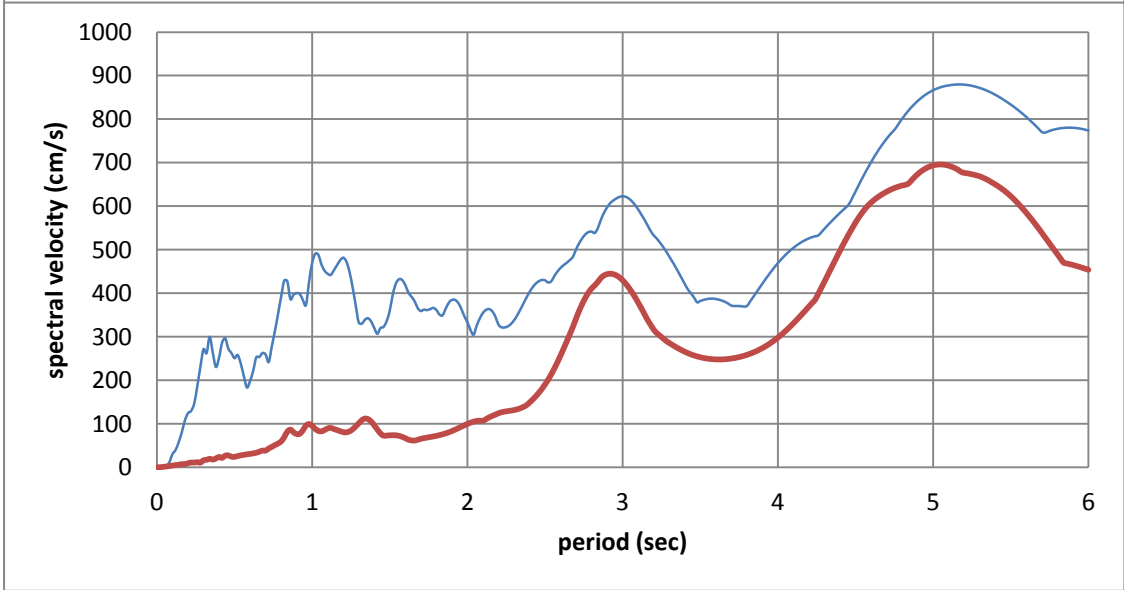
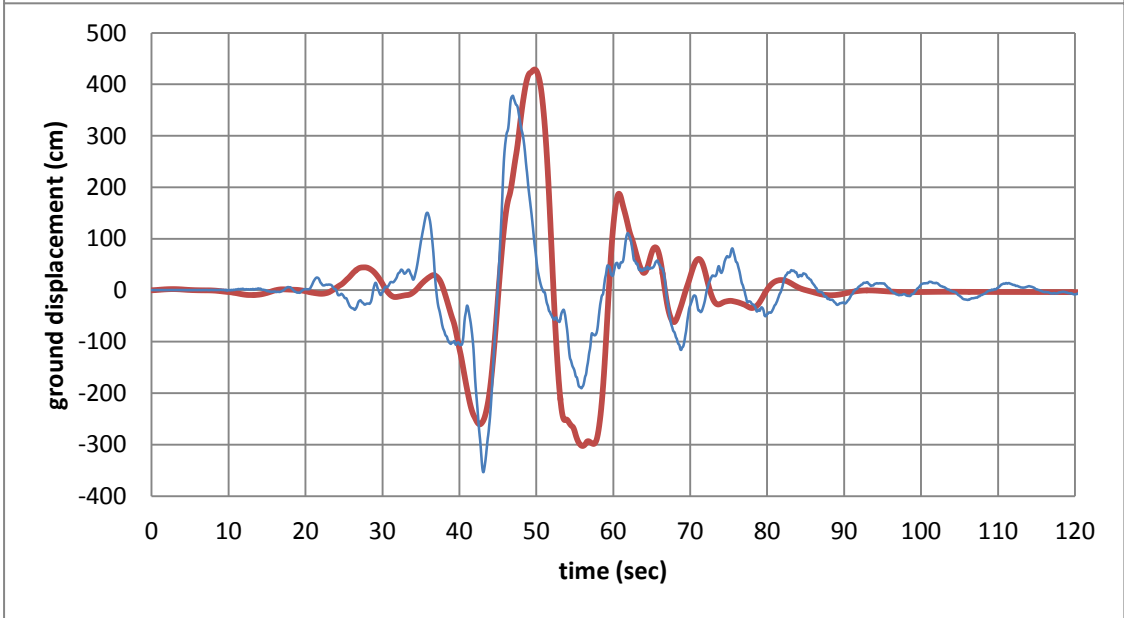
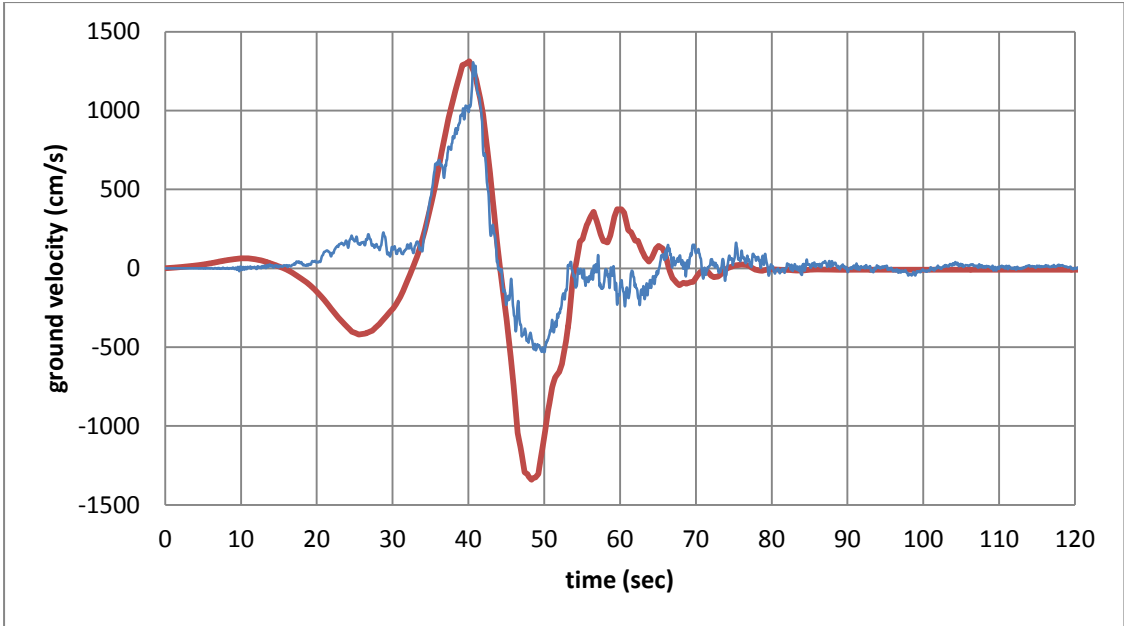
#39 Landers, Barstow

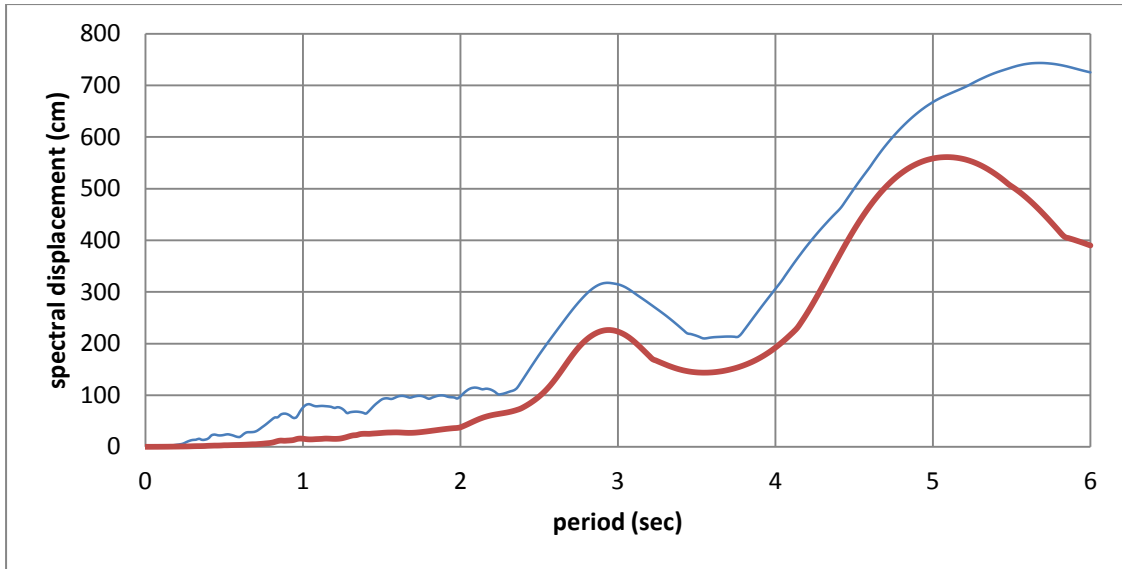




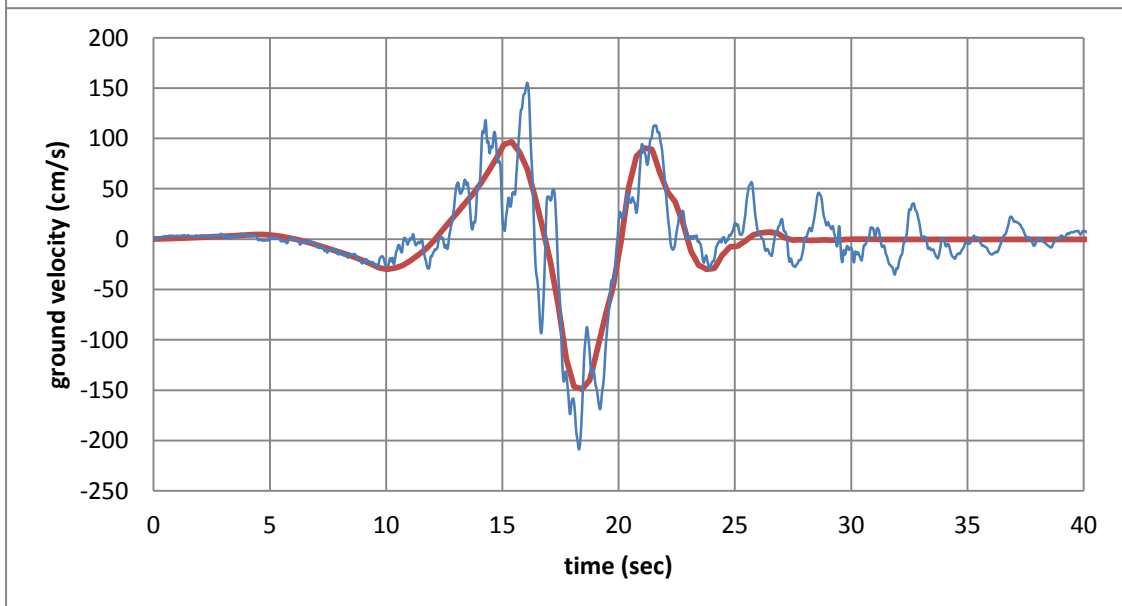
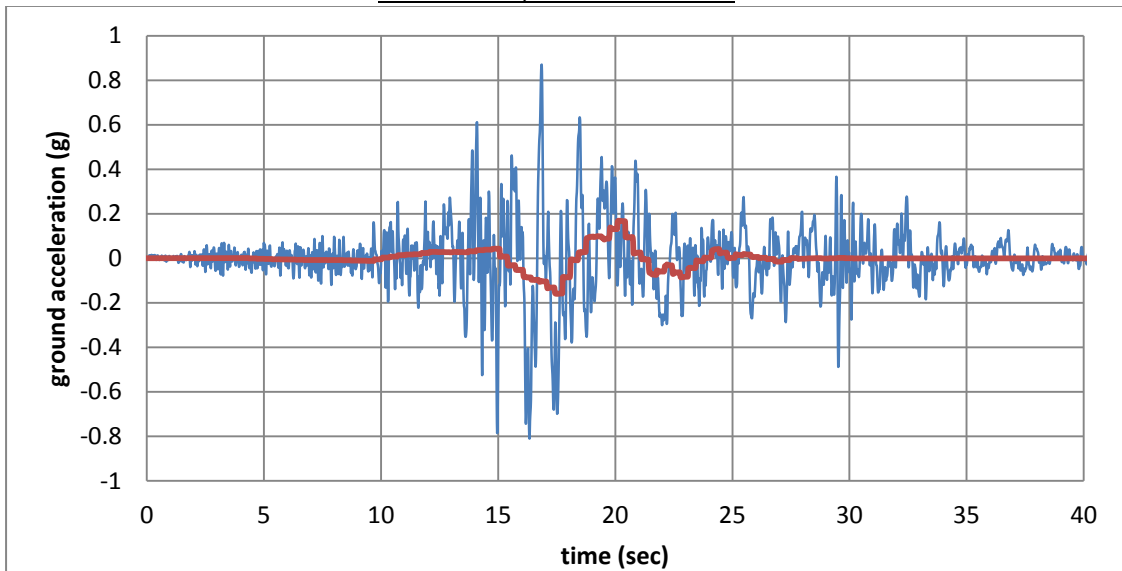
#40 Landers, Lucerne

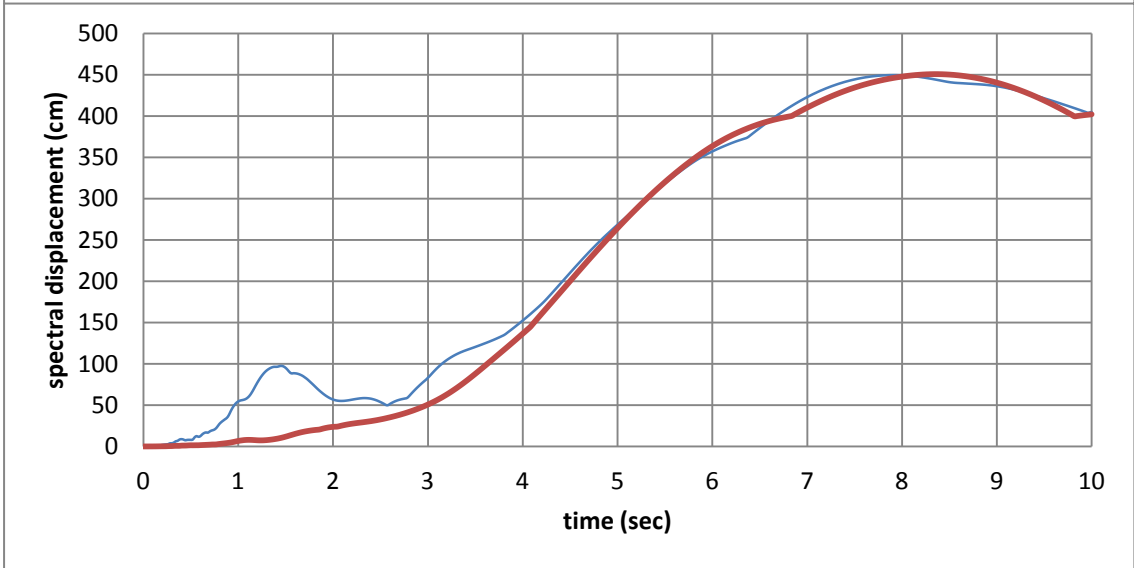
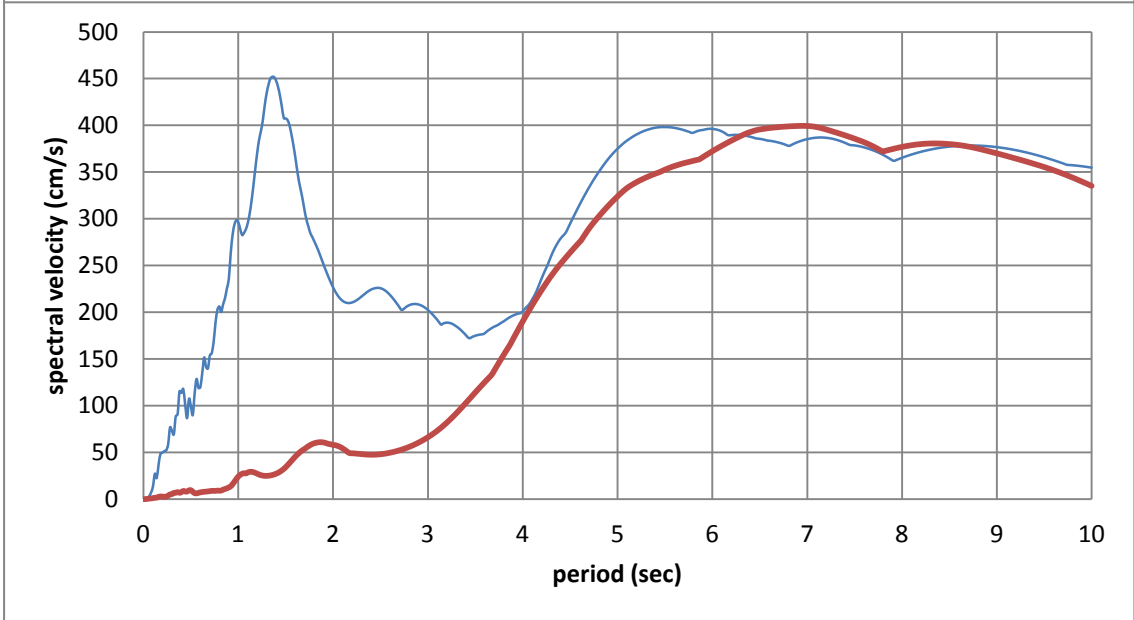
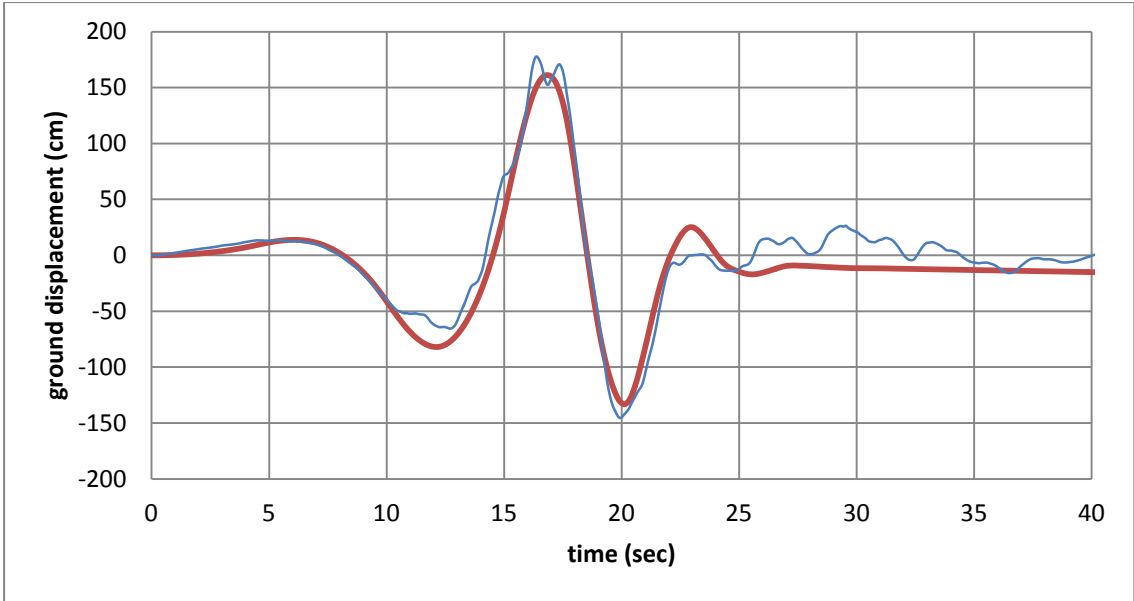




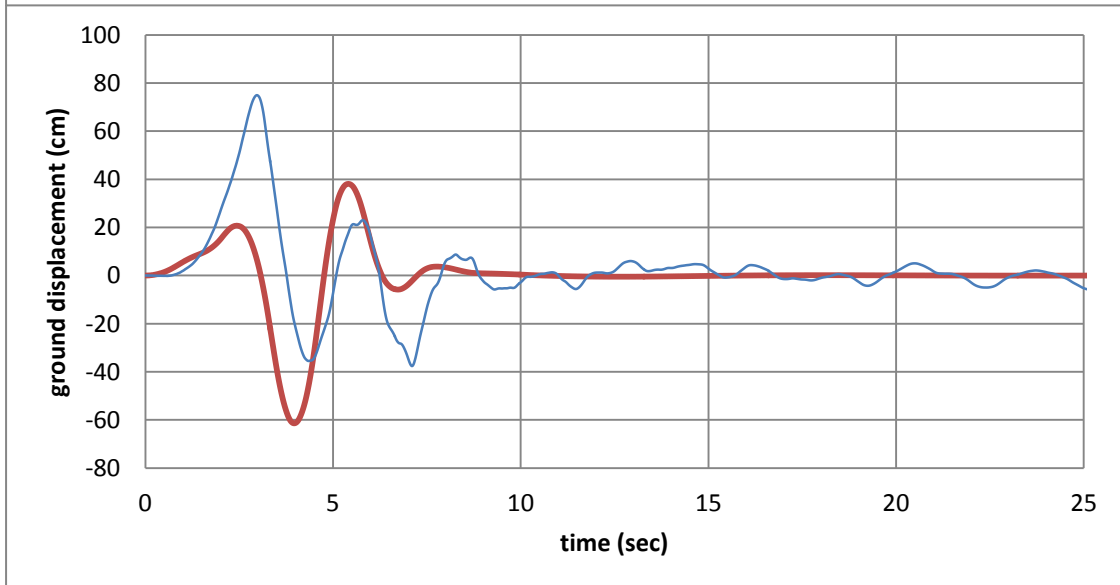
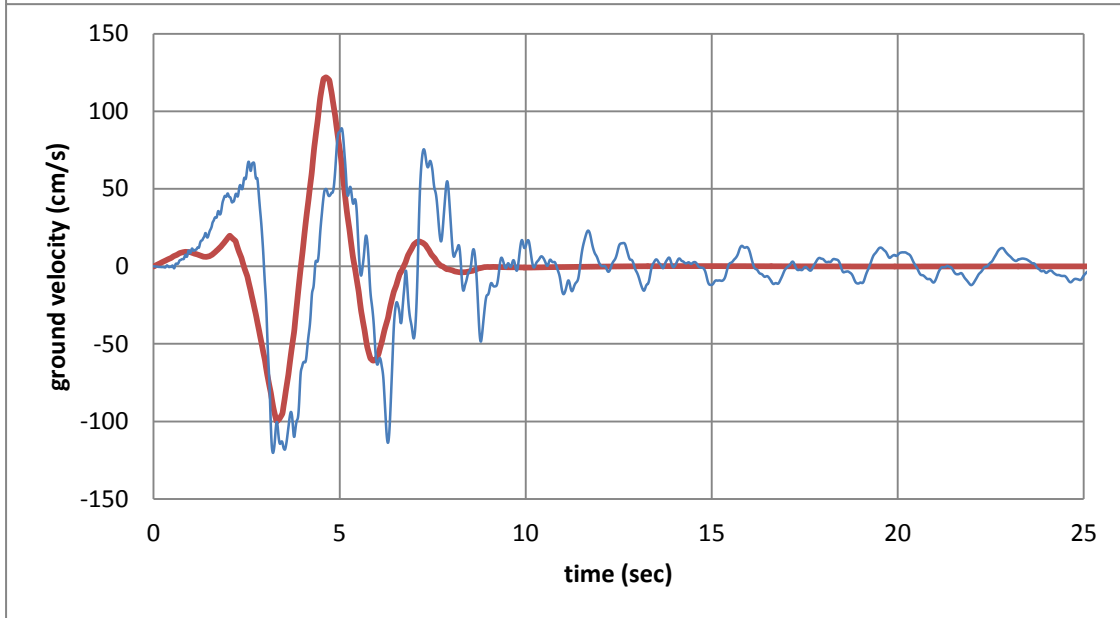
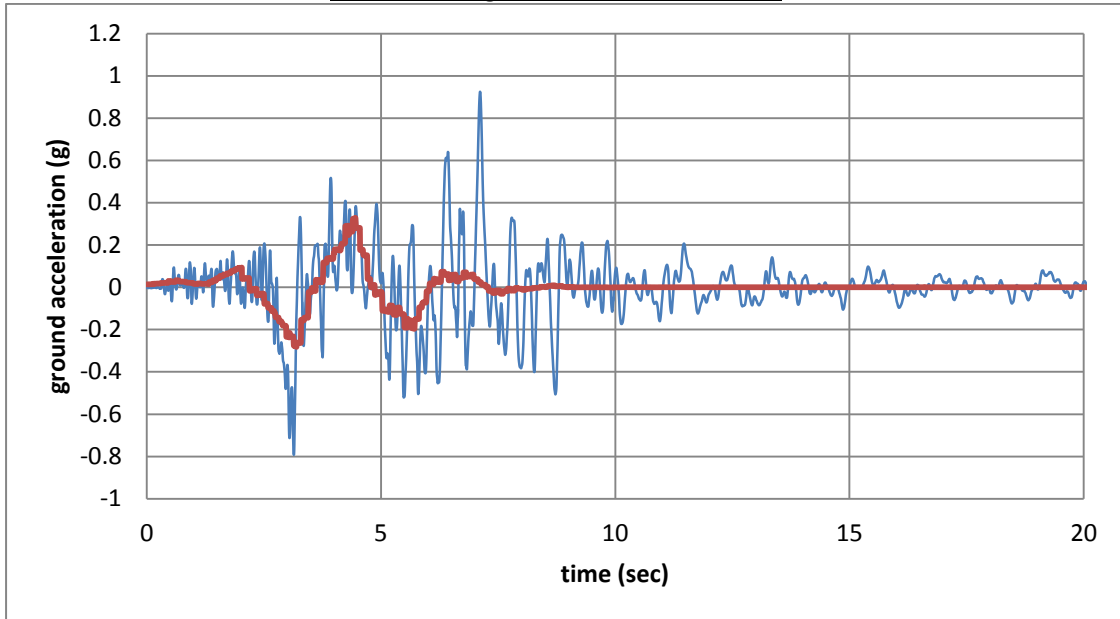


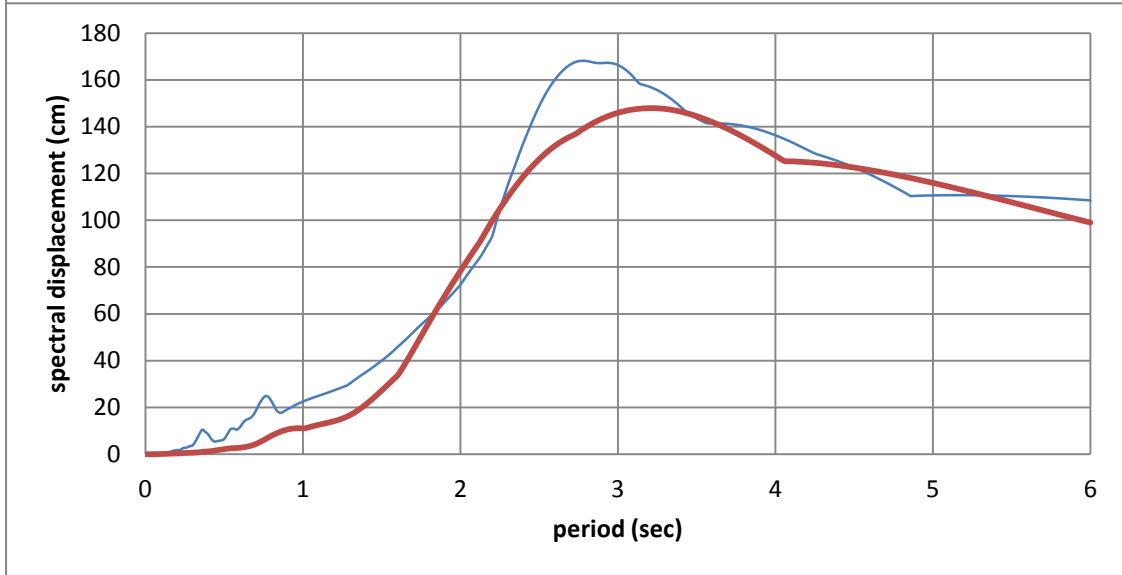
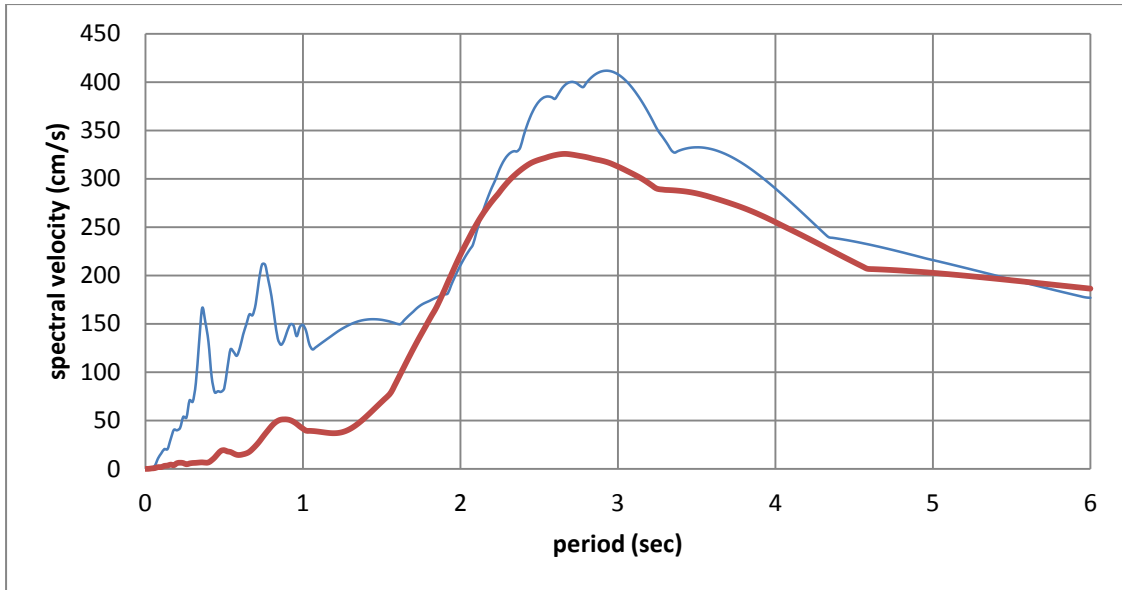
#41 Landers, Yermo Fire Plant



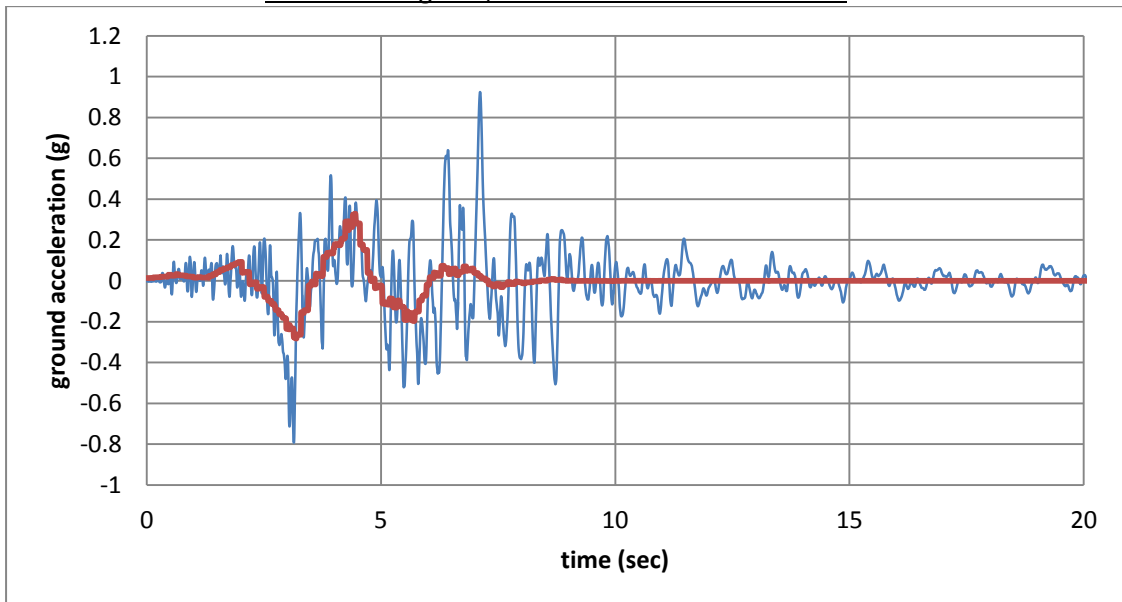


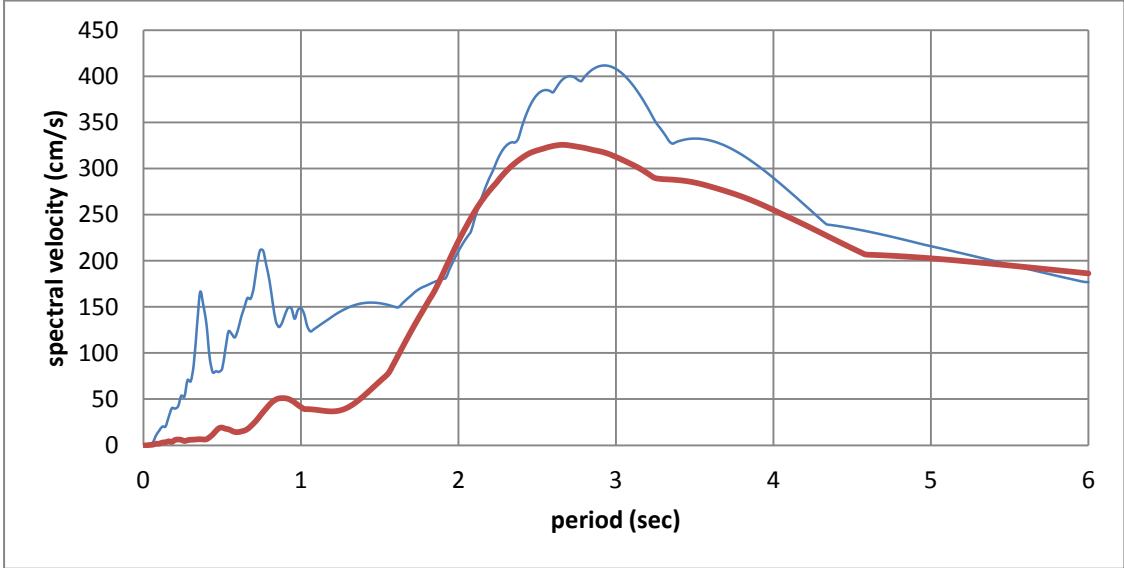
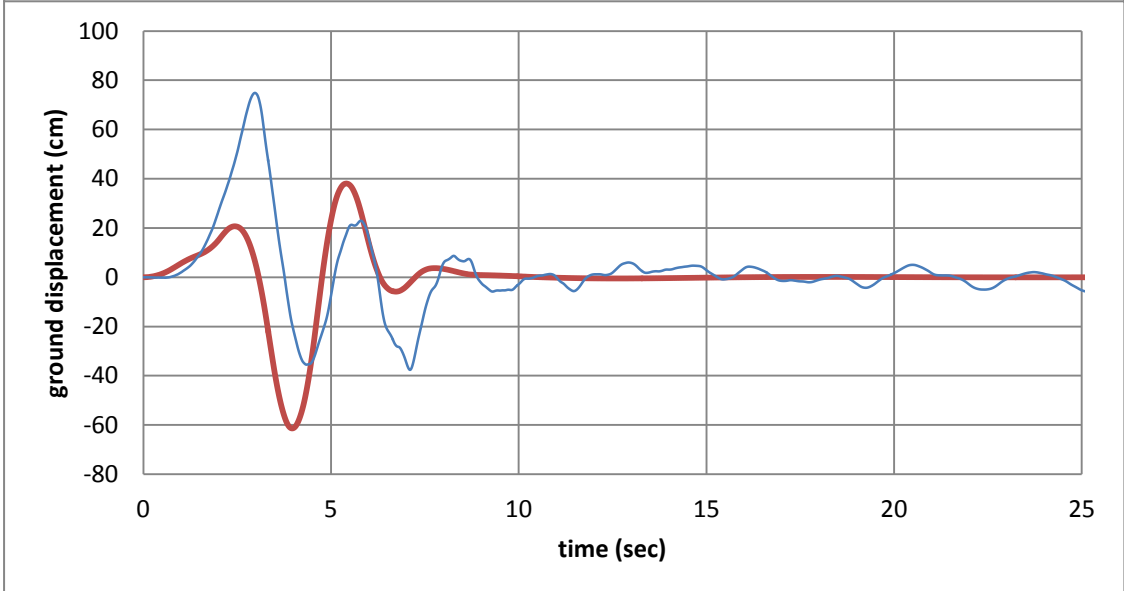
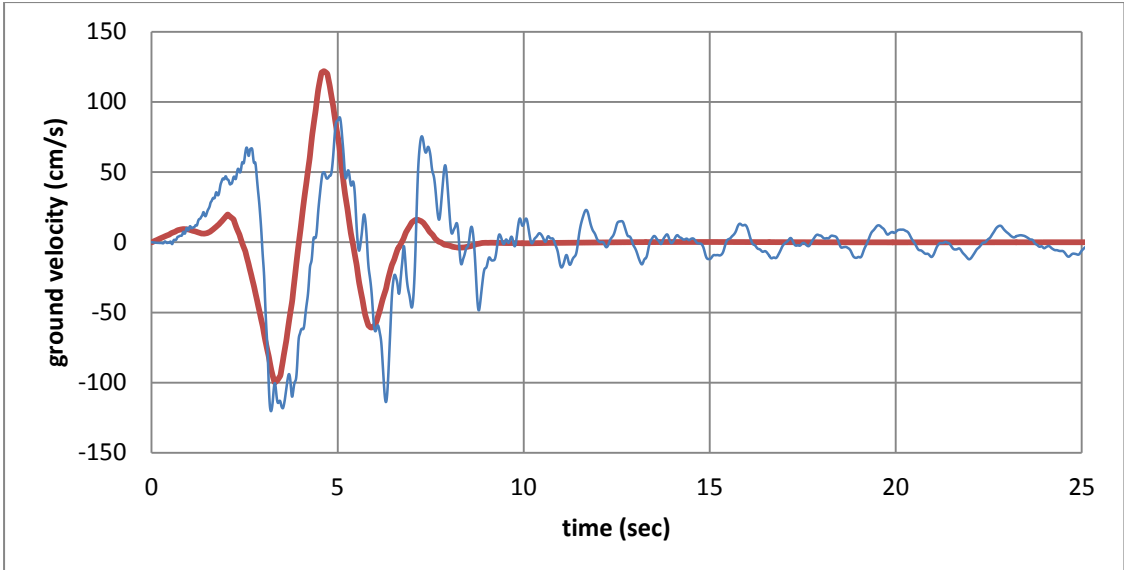
#42 Northridge-01, Jensen Filter Plant

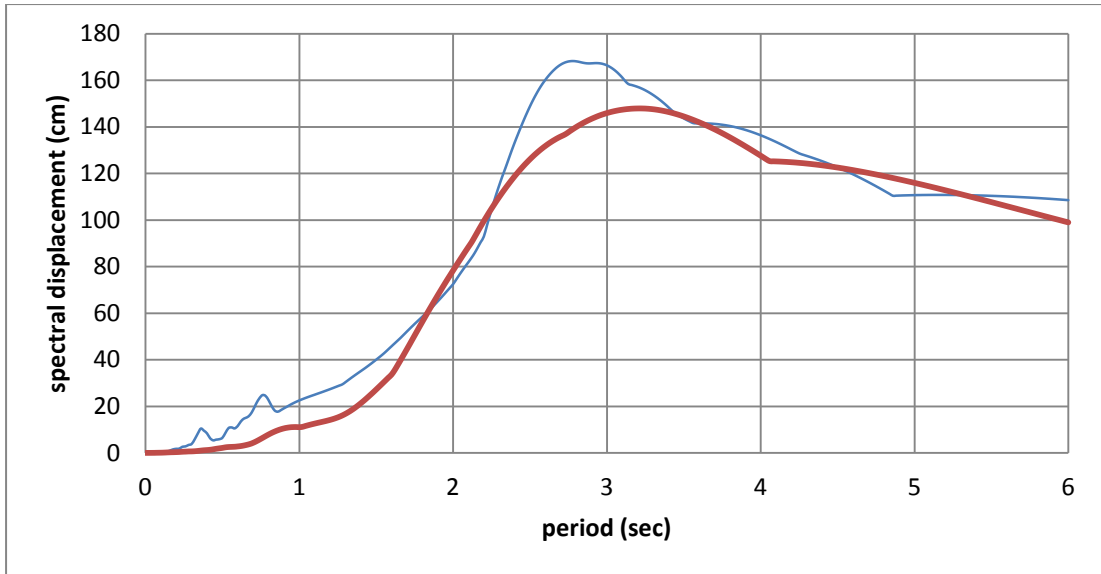




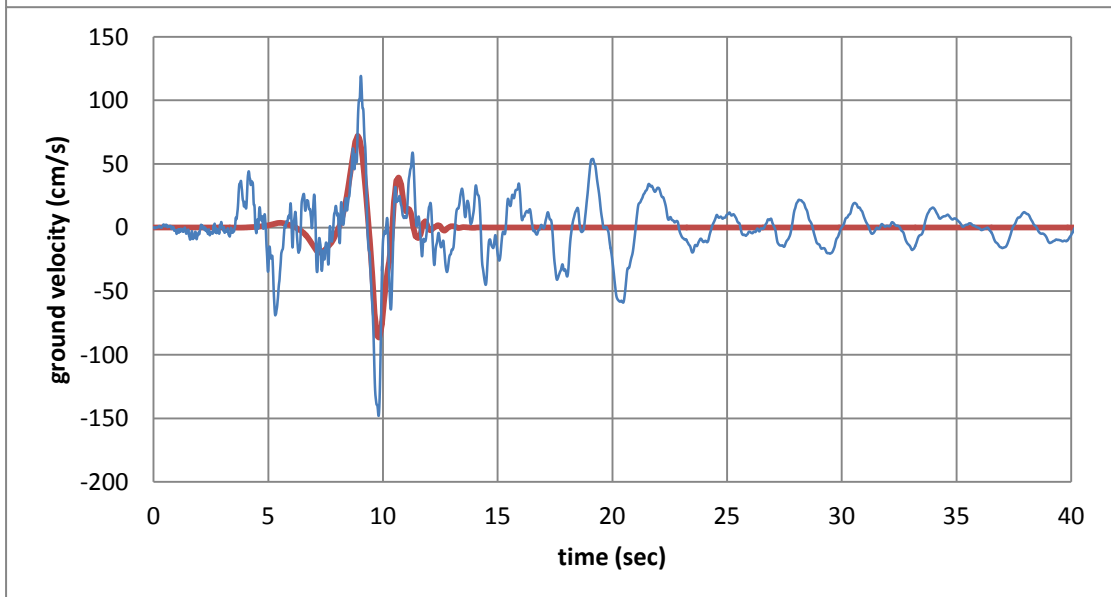
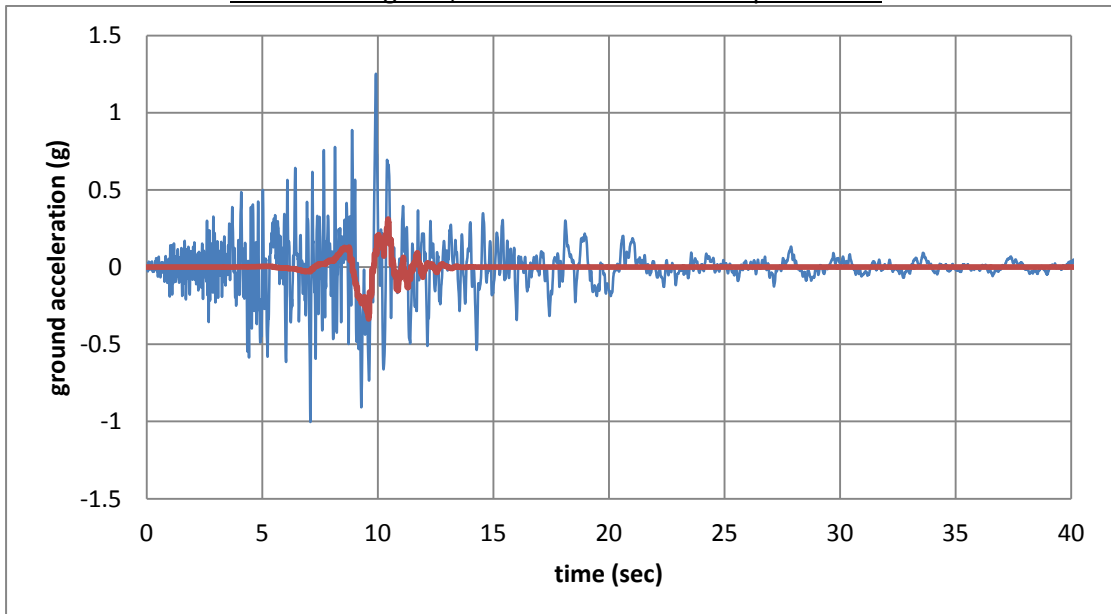
#43 Northridge-01, Jensen Filter Plant Generator

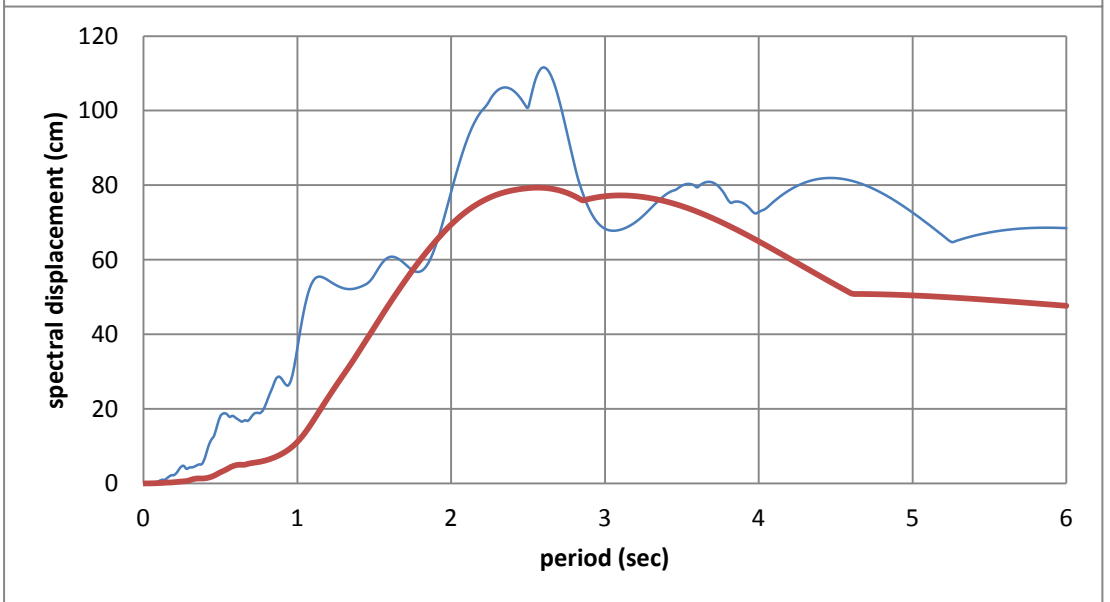
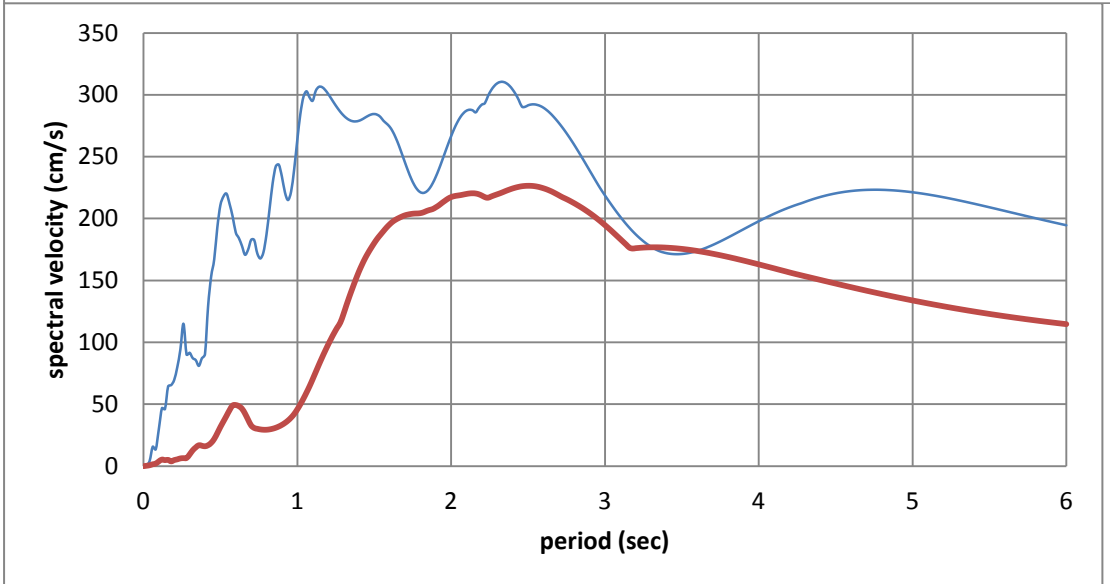
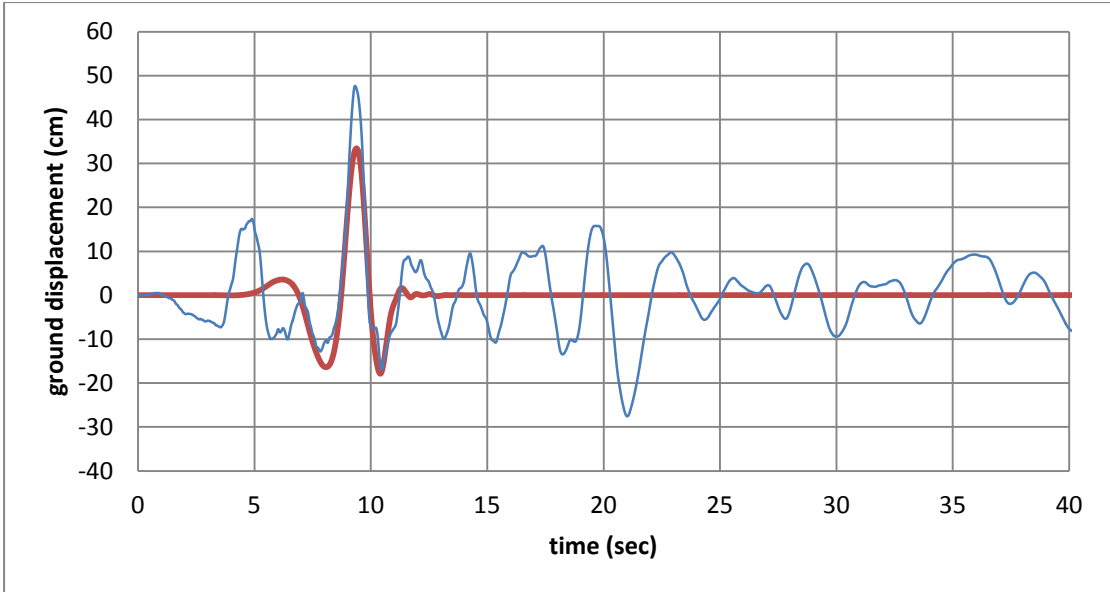




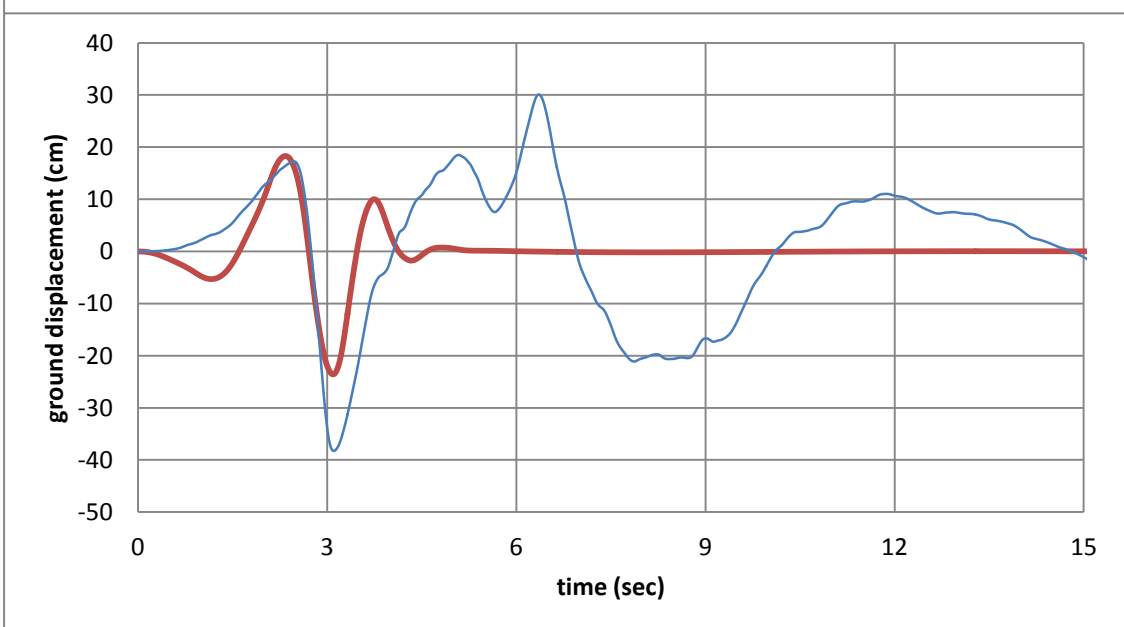
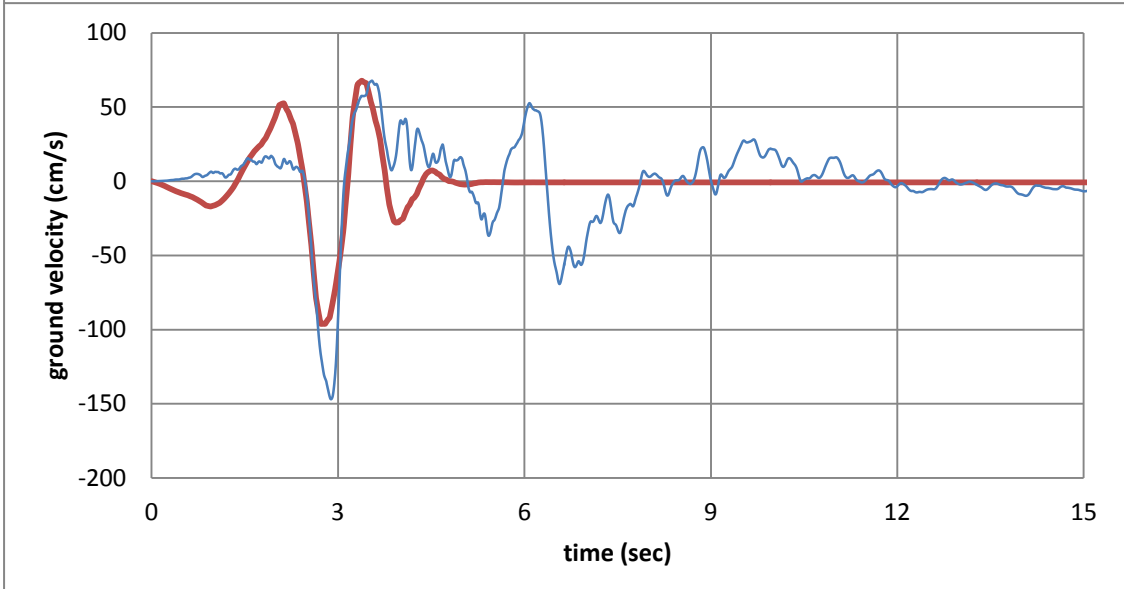
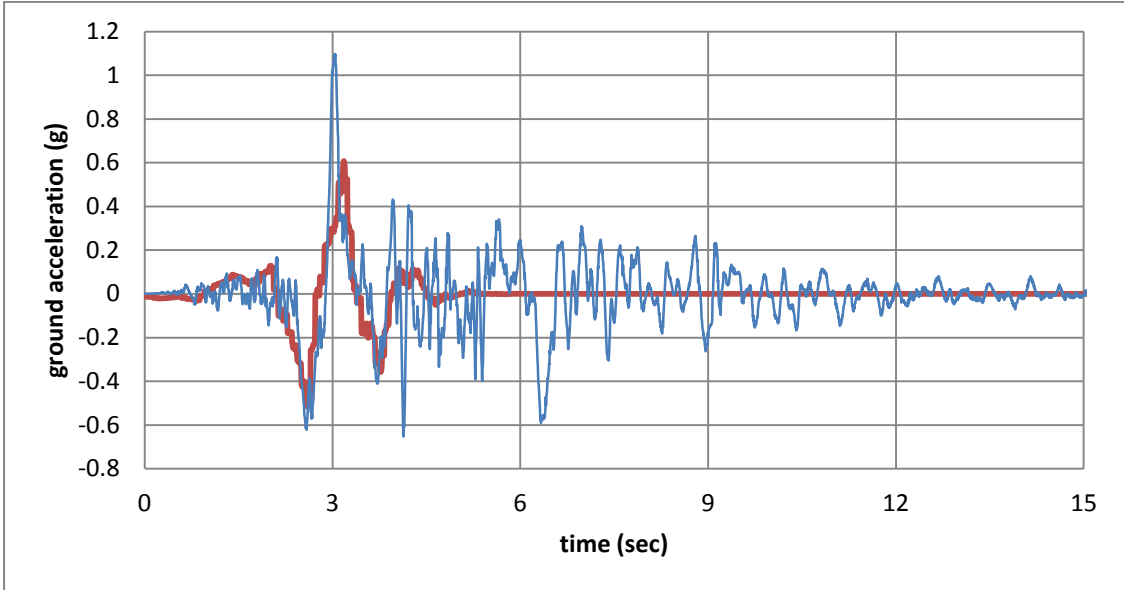


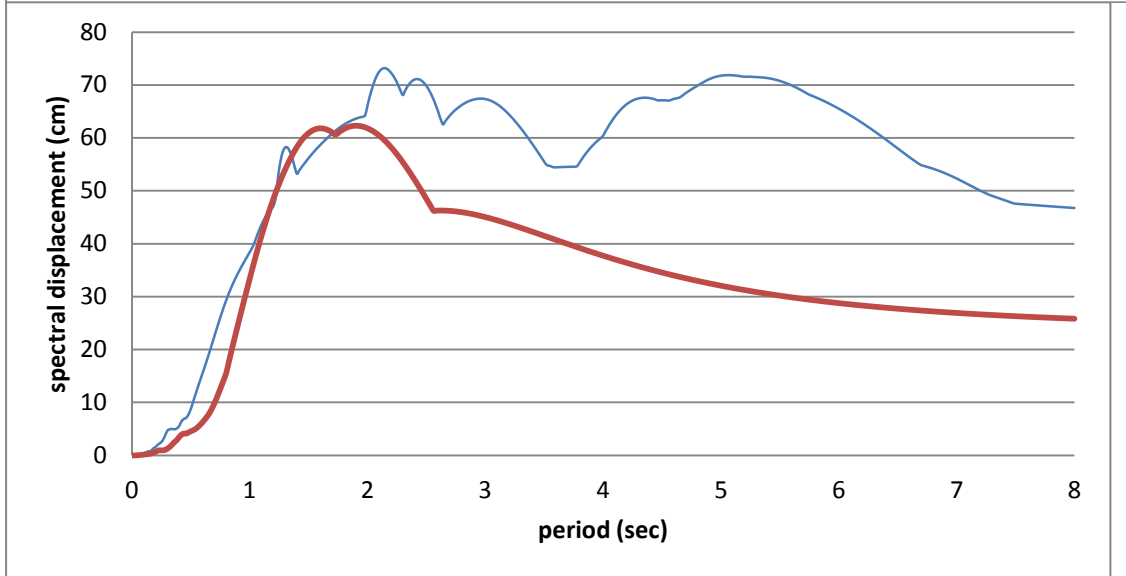
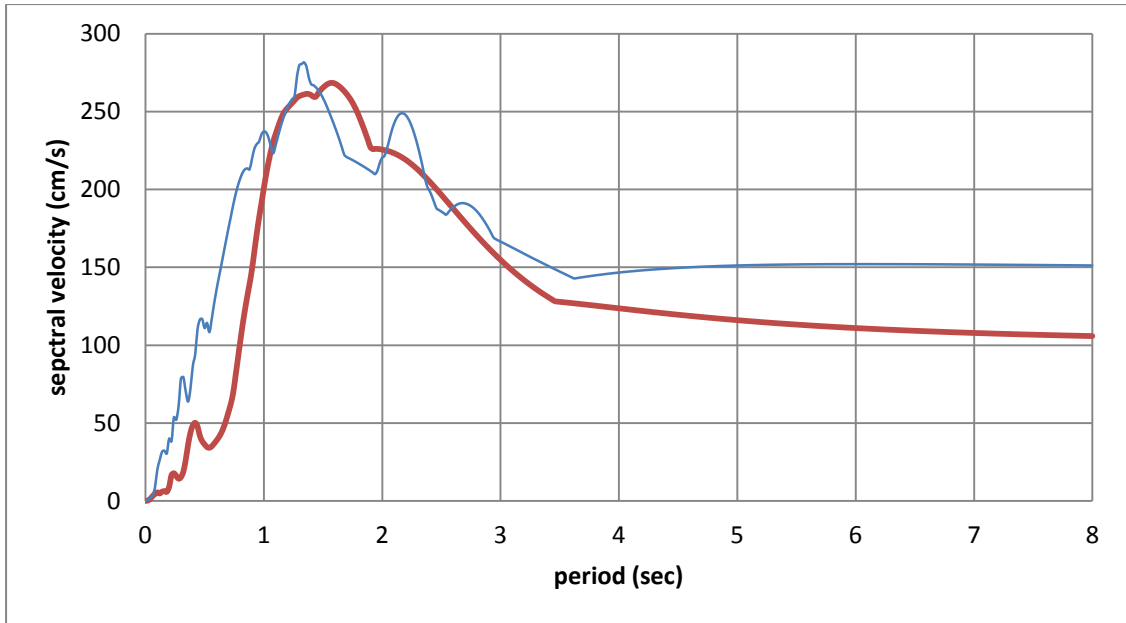
#44 Northridge-01, LA – Wadsworth VA Hospital North



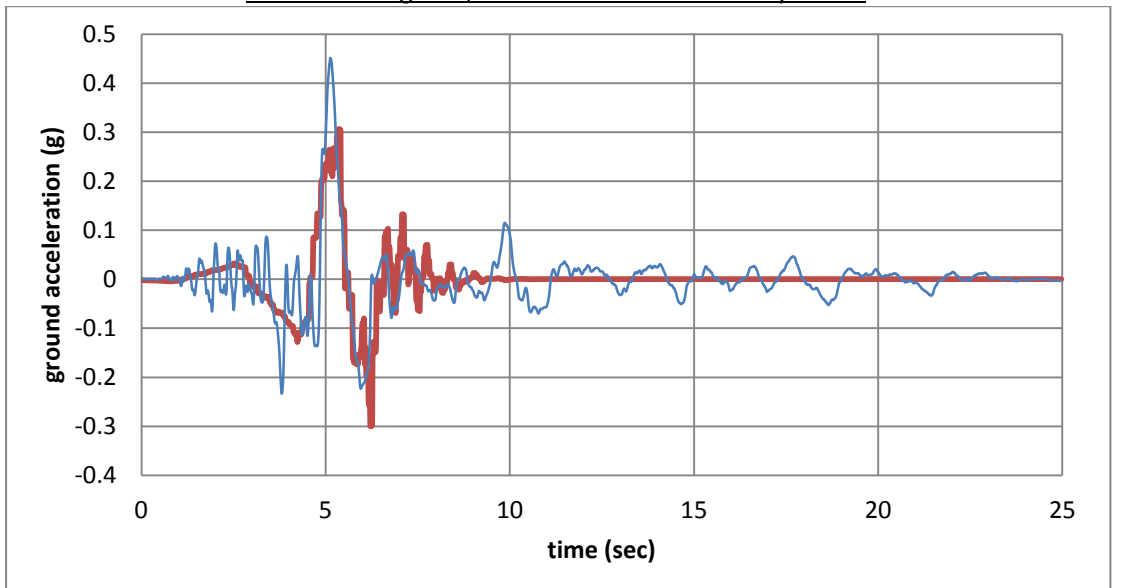


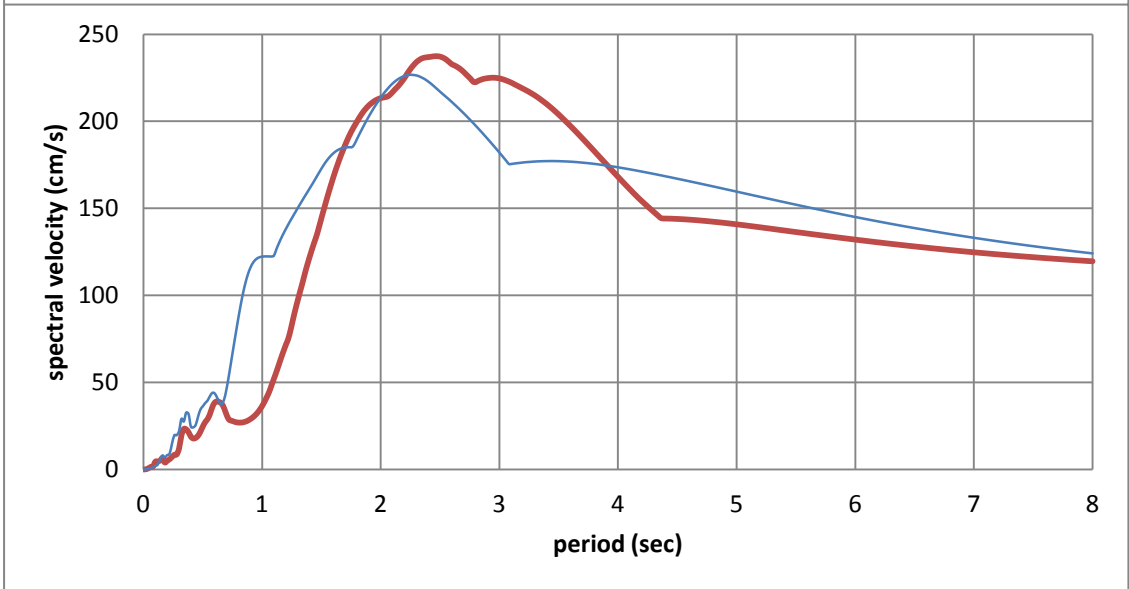
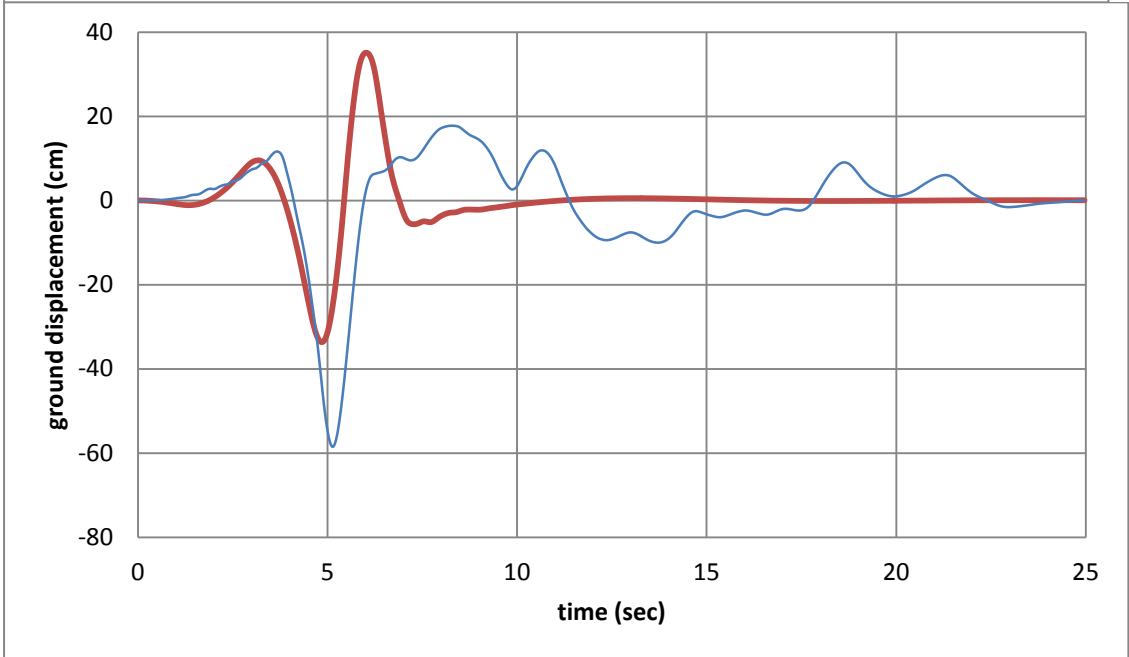
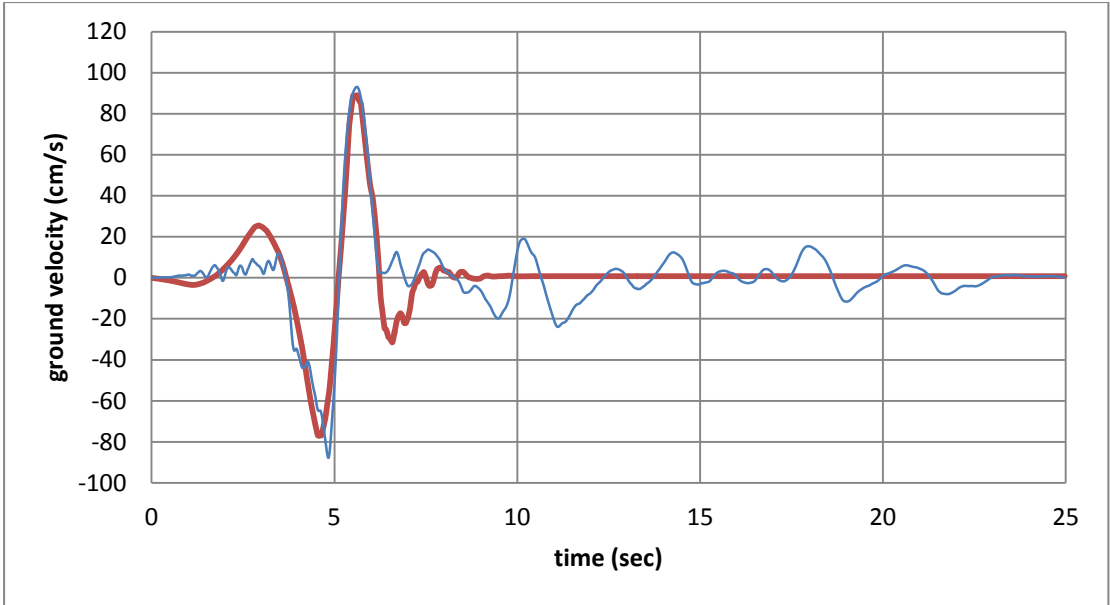
#45 Northridge-01, LA Dam

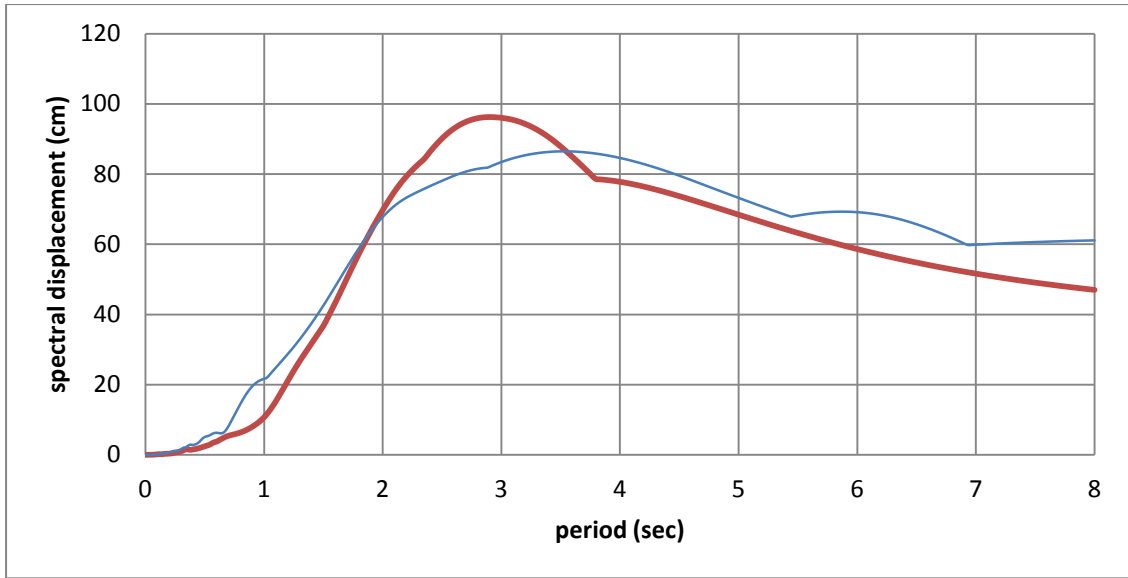




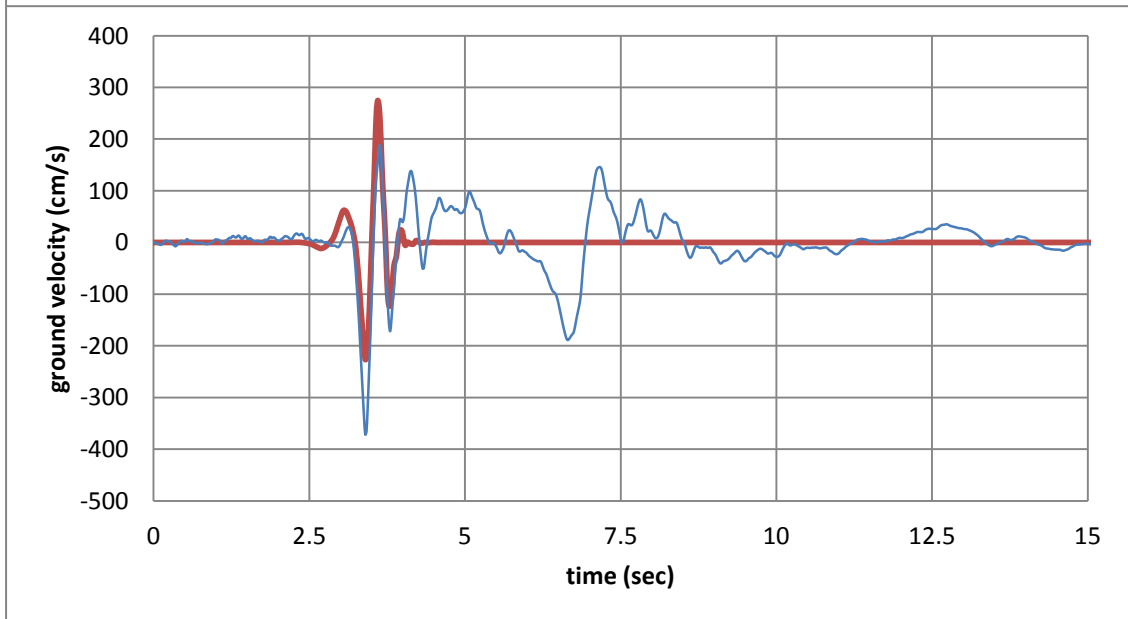
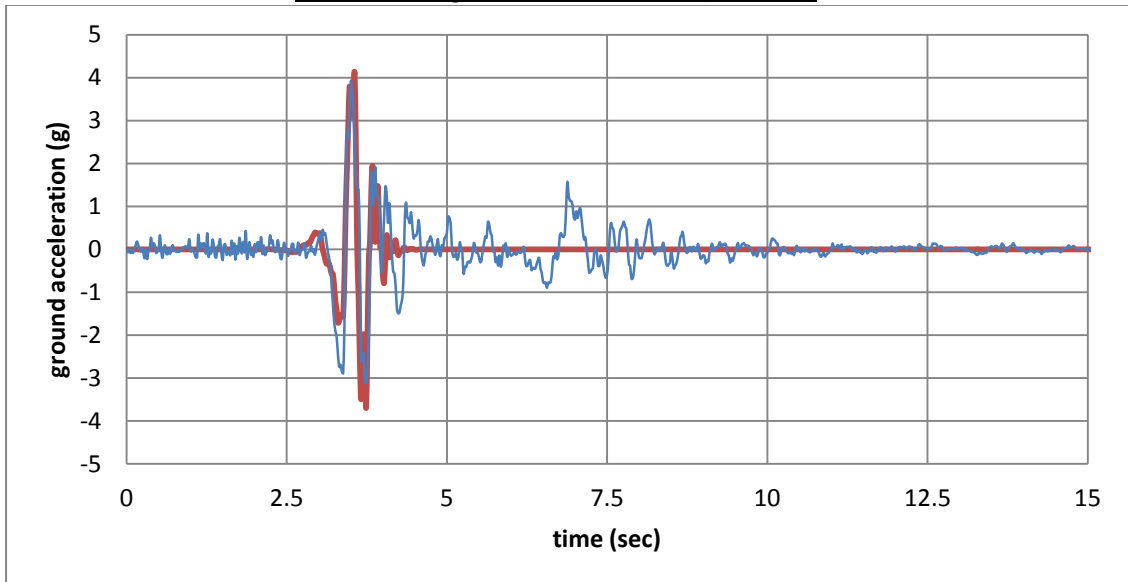
#46 Northridge-01, Newhall – West Pico Canyon Rd.

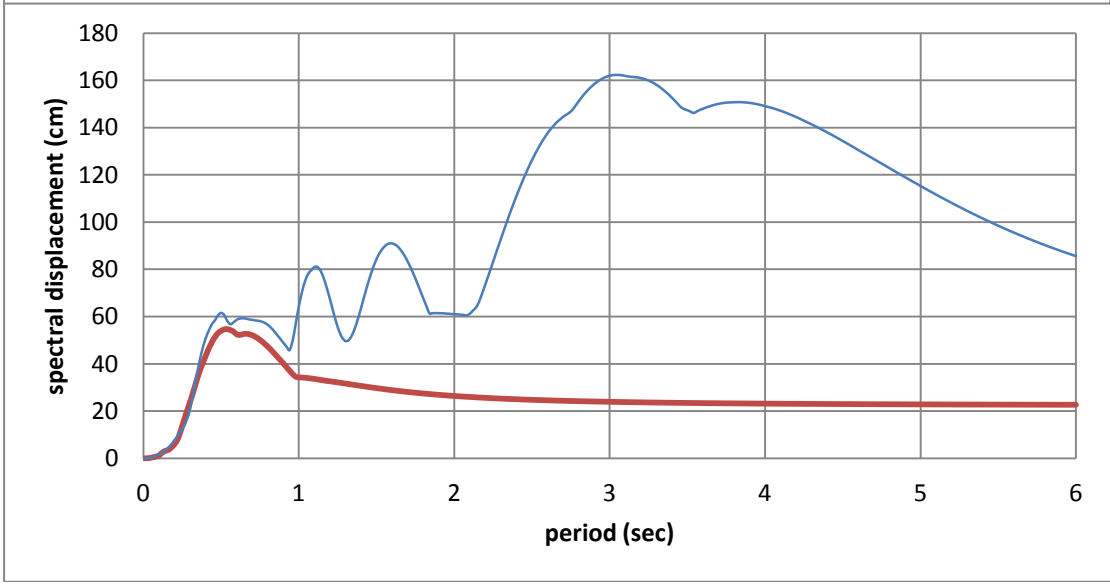
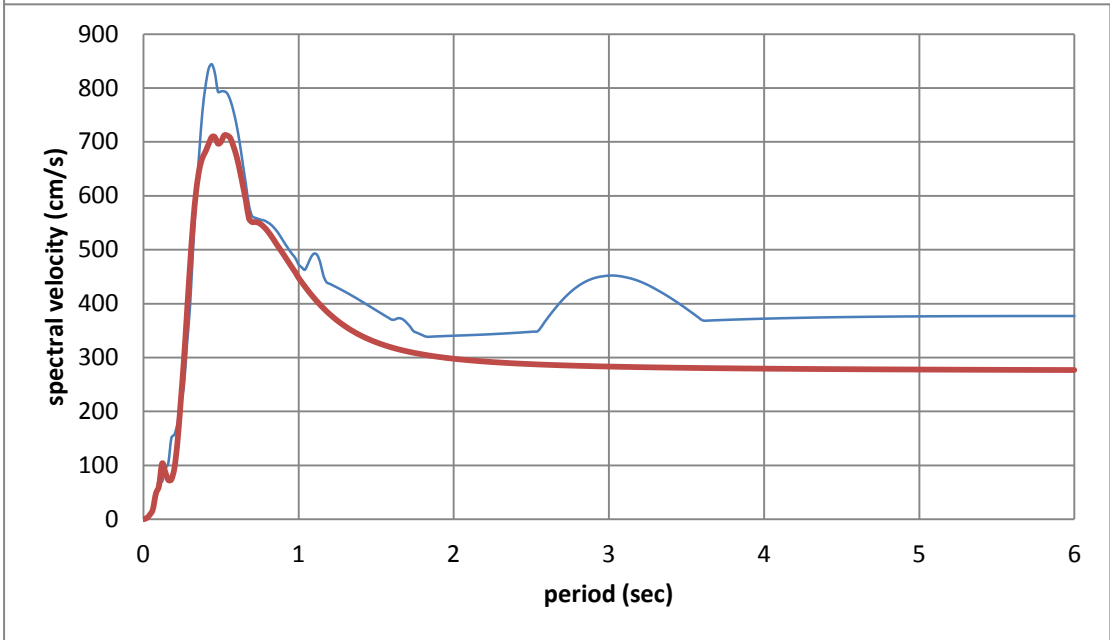
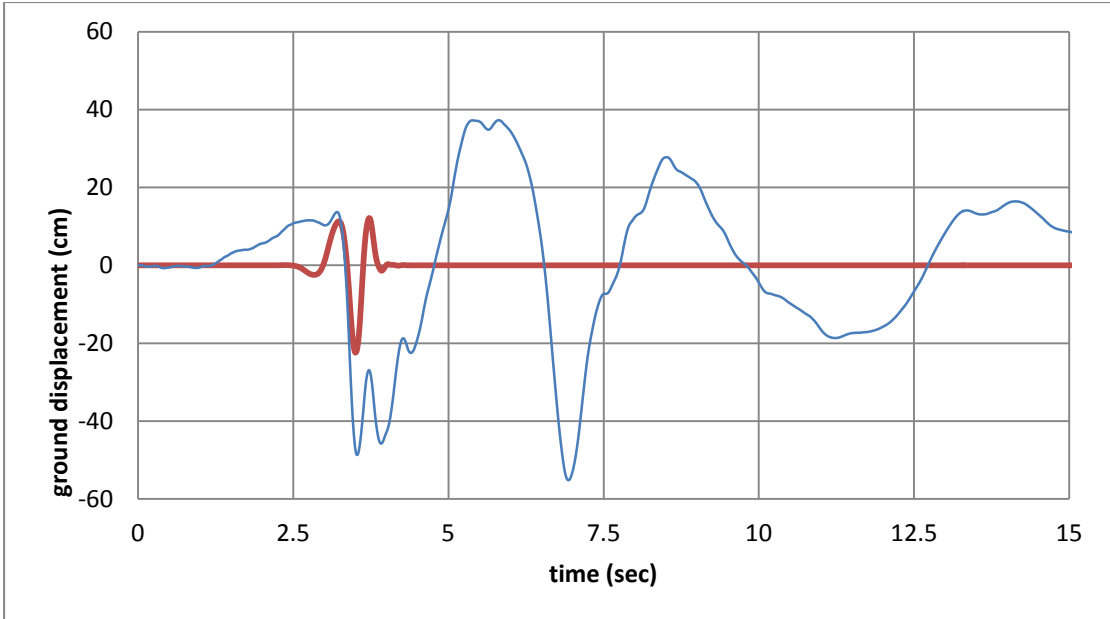




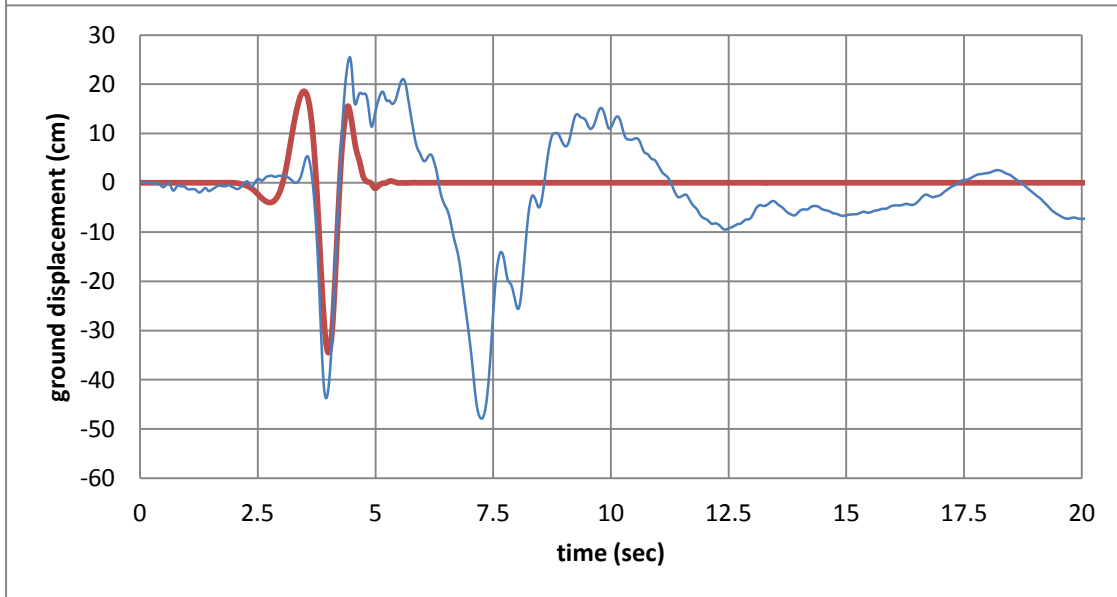
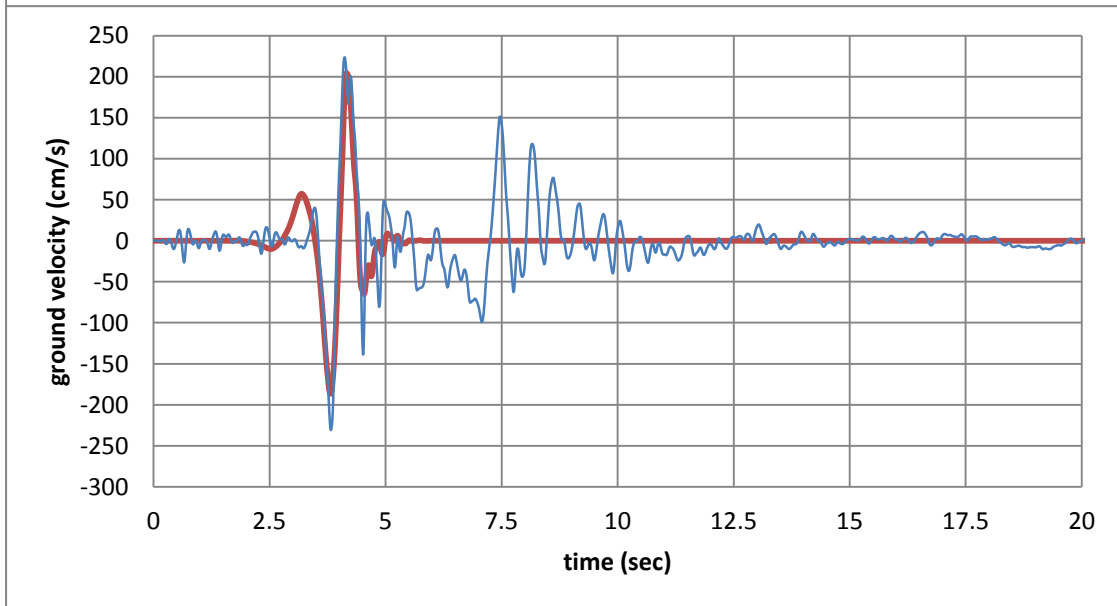
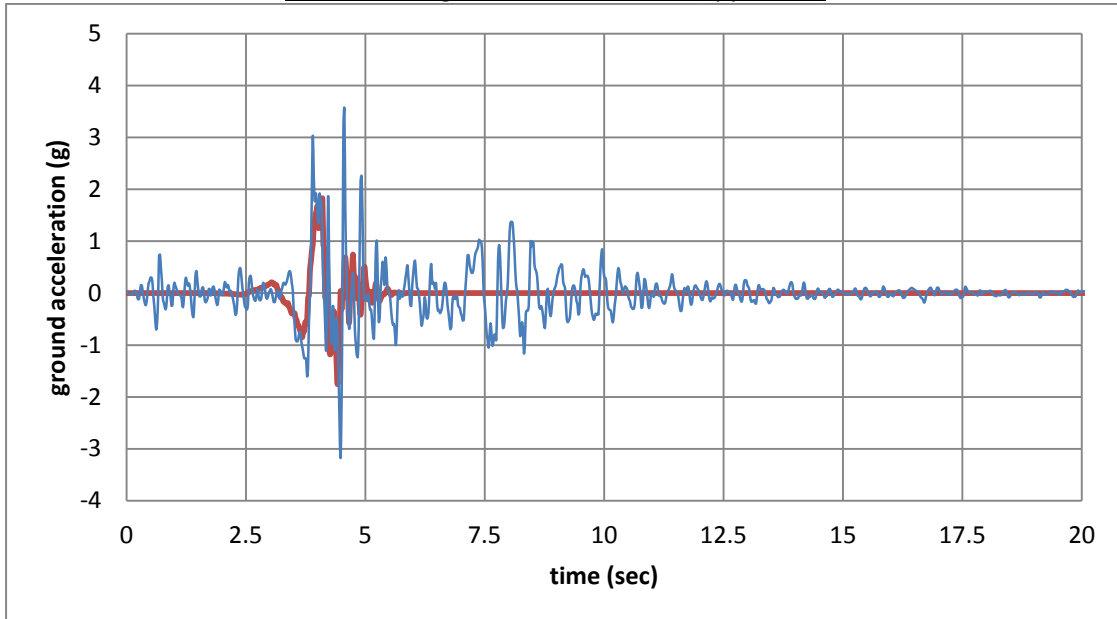


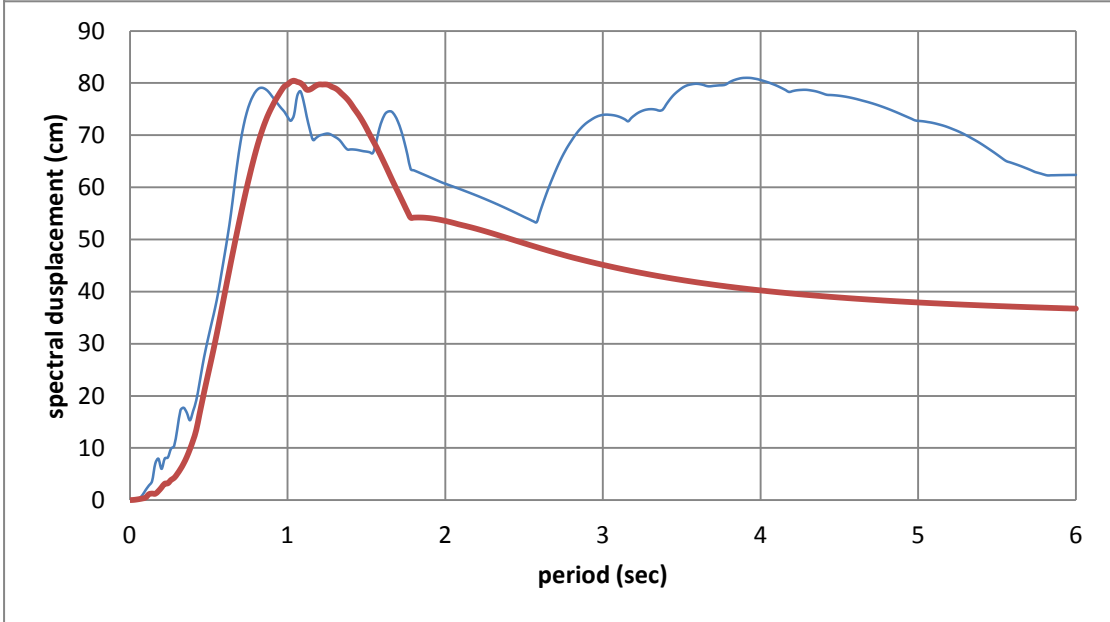
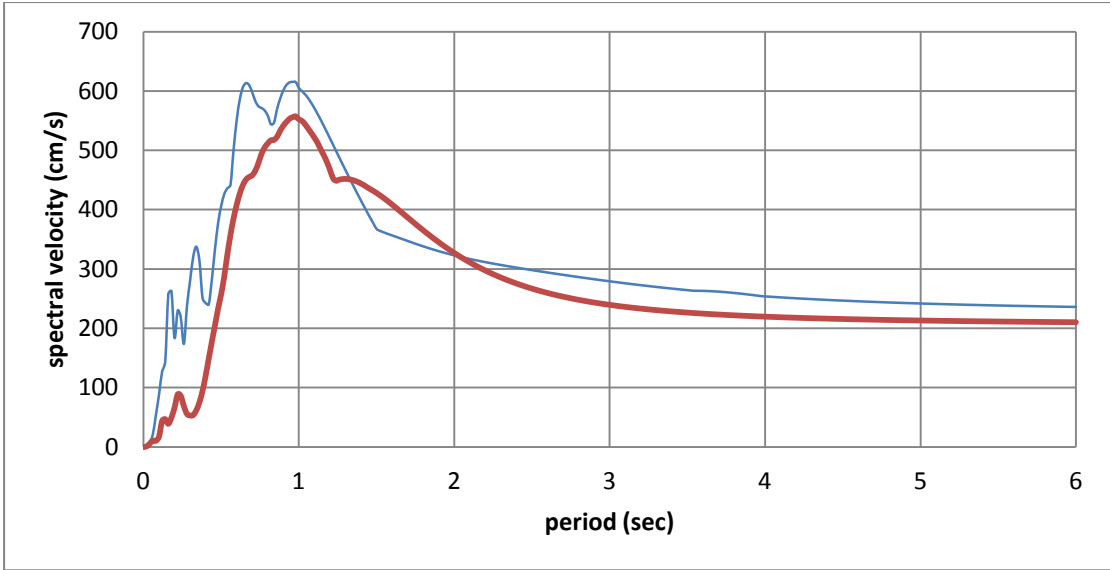
#47 Northridge-01, Pacoima Dam (downstr)



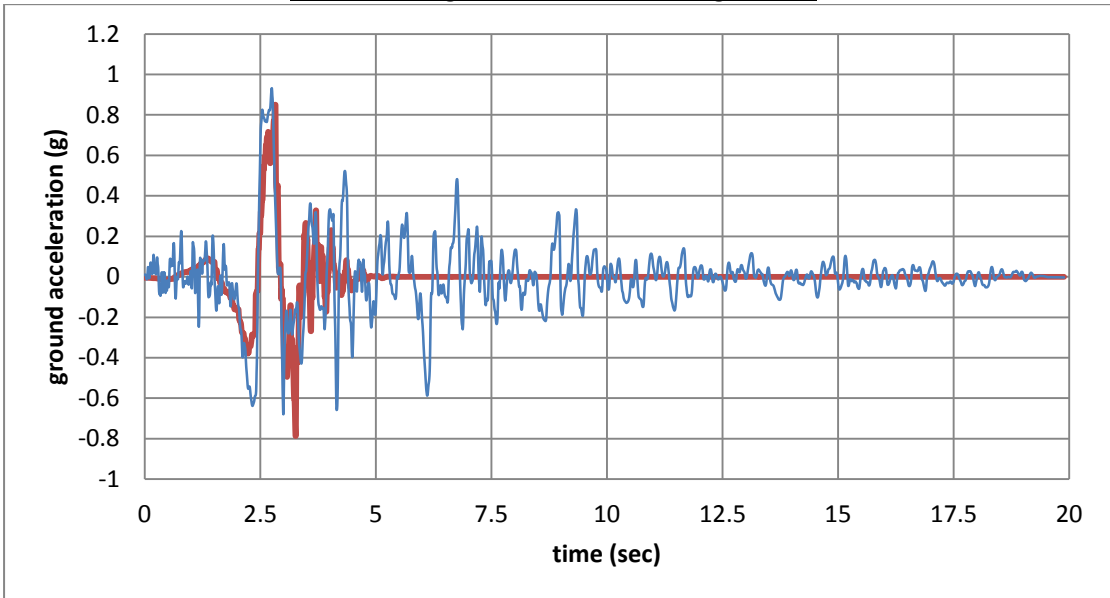


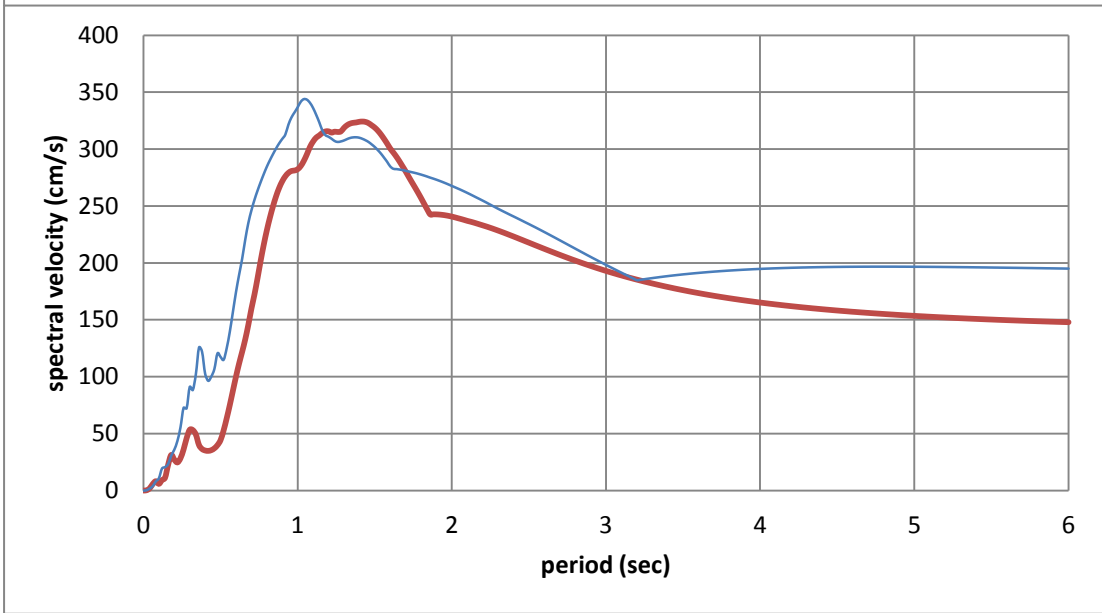
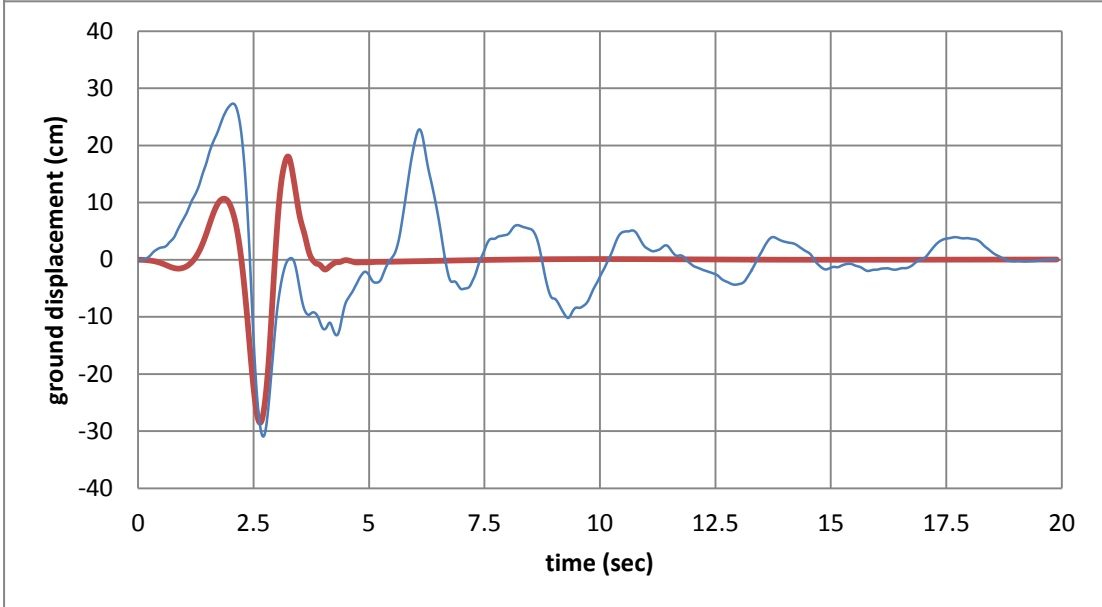
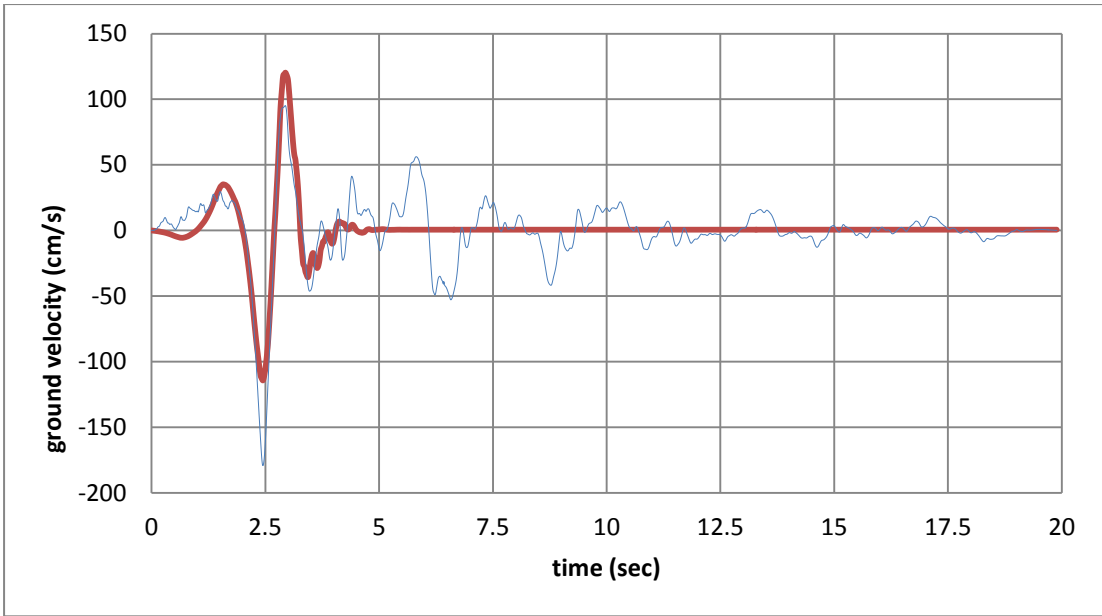
#48 Northridge-01, Pacoima Dam (upper left)



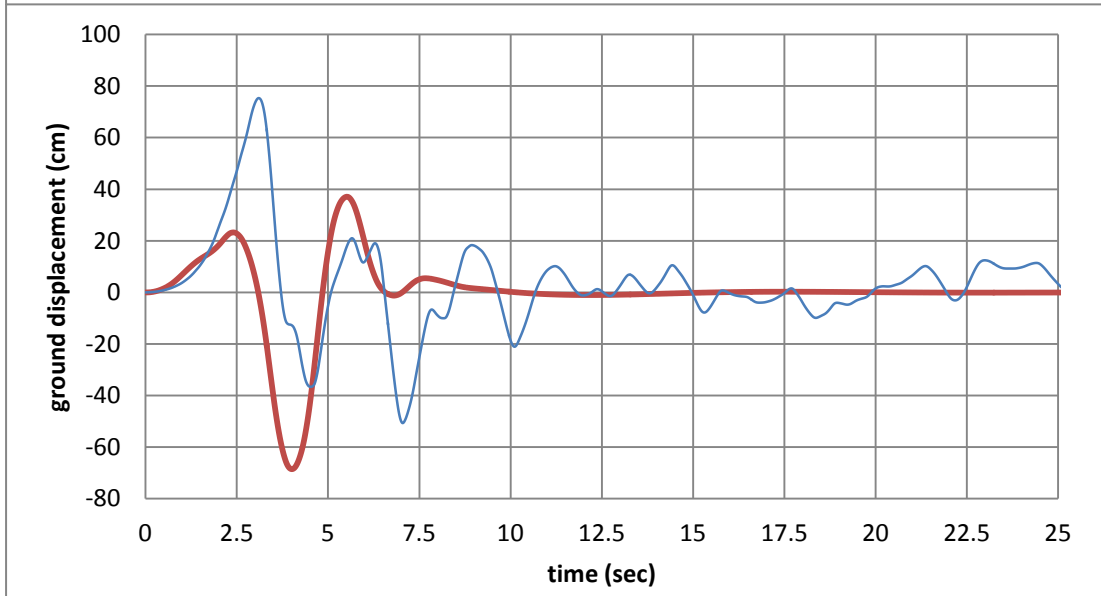
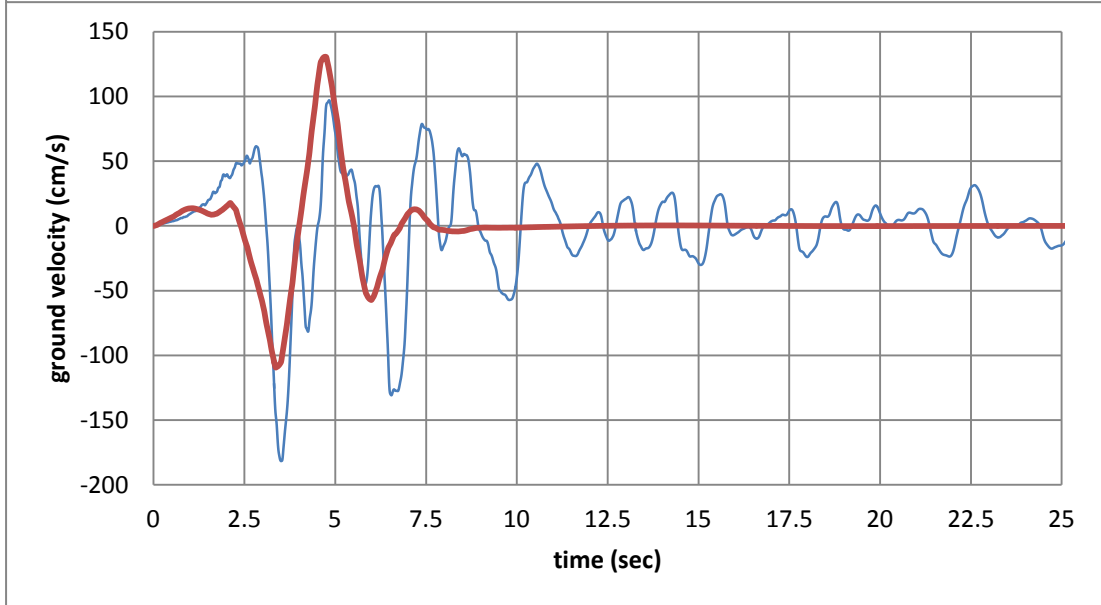
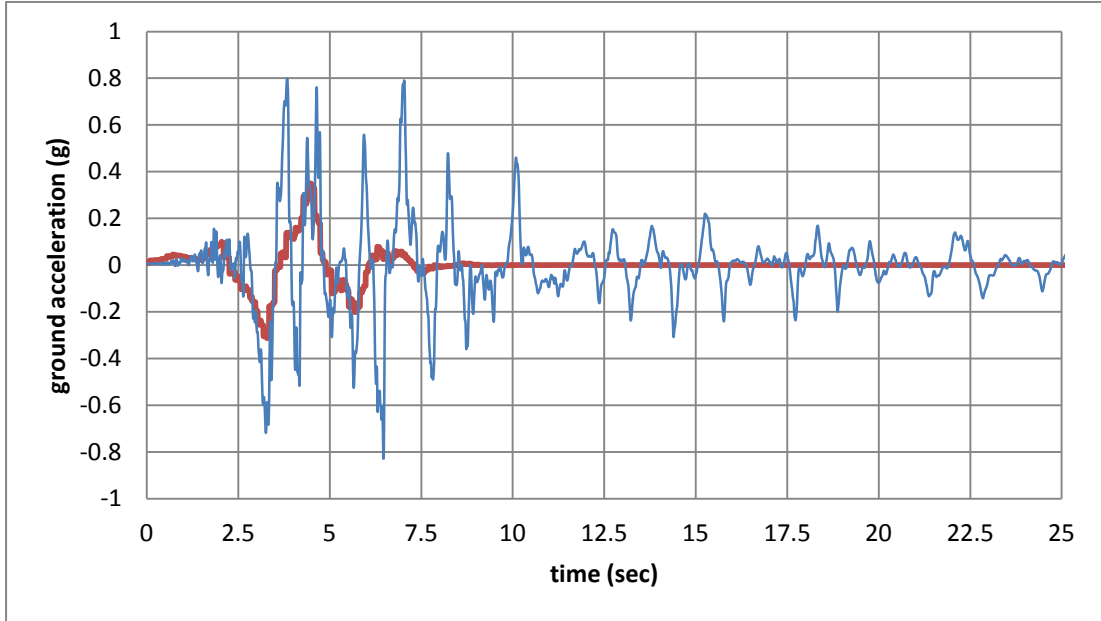


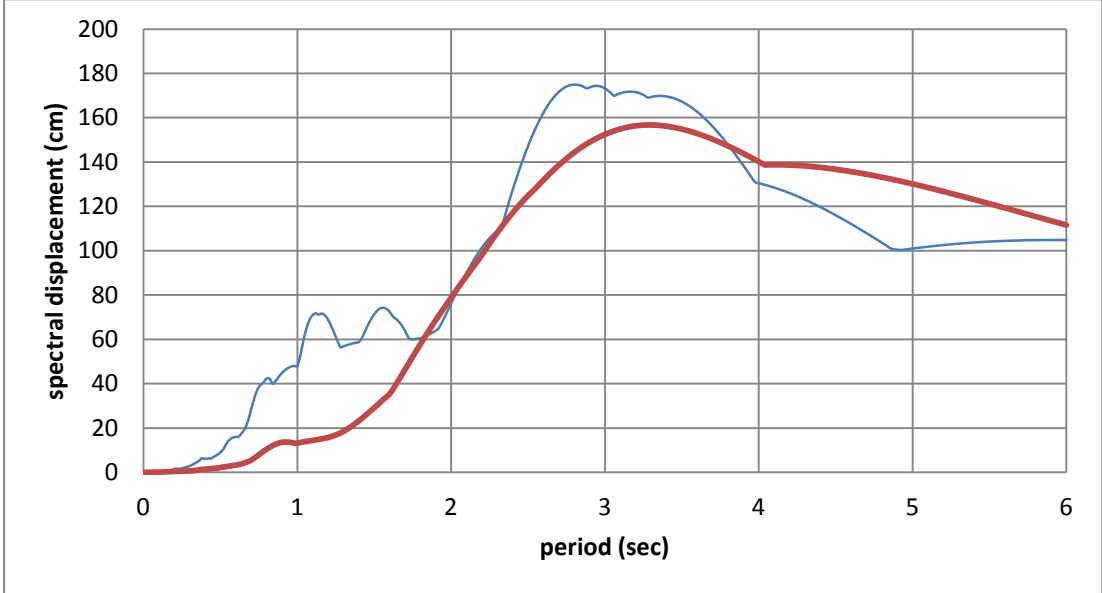
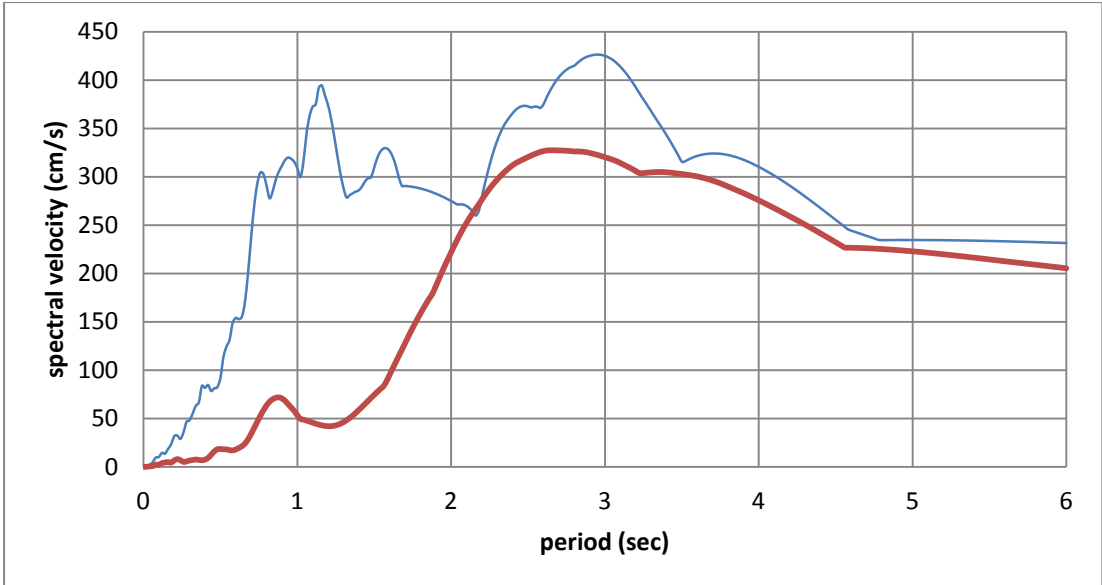
#49 Northridge-01, Rinaldi Receiving Station



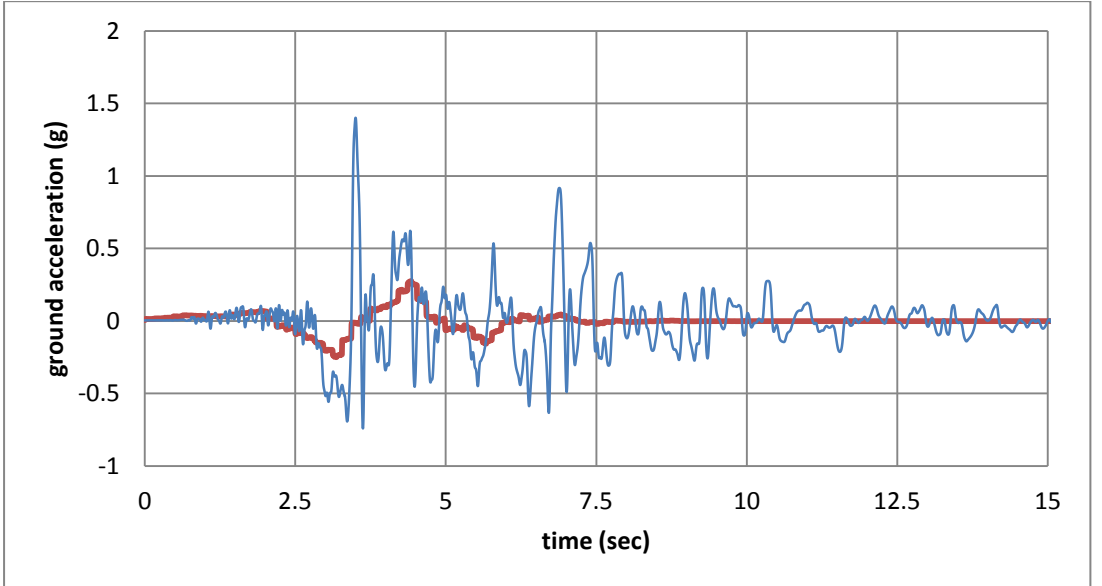


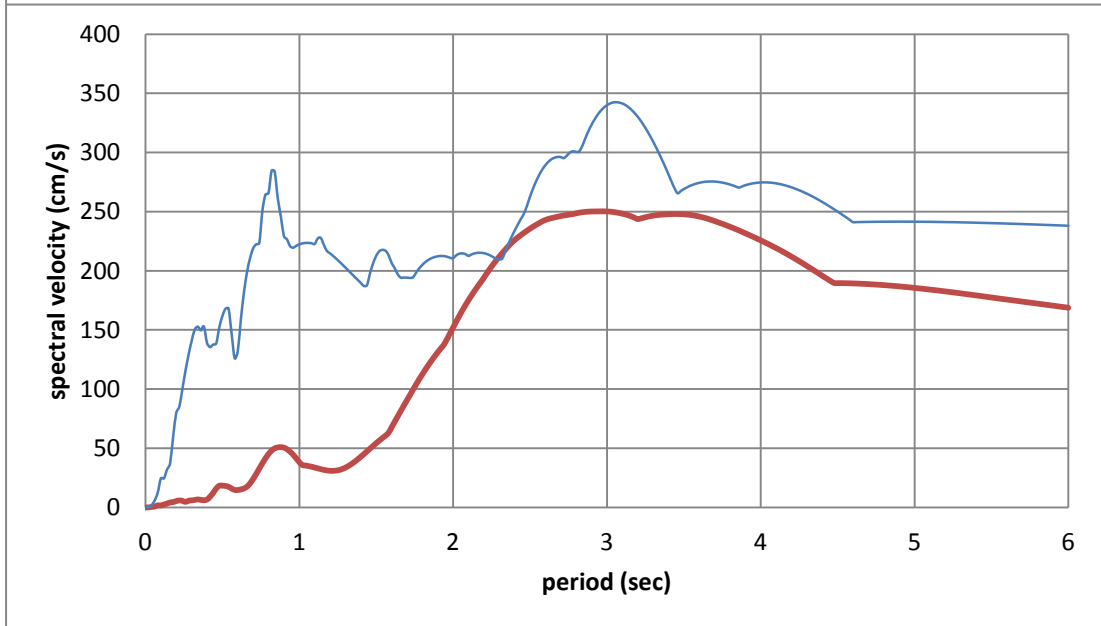
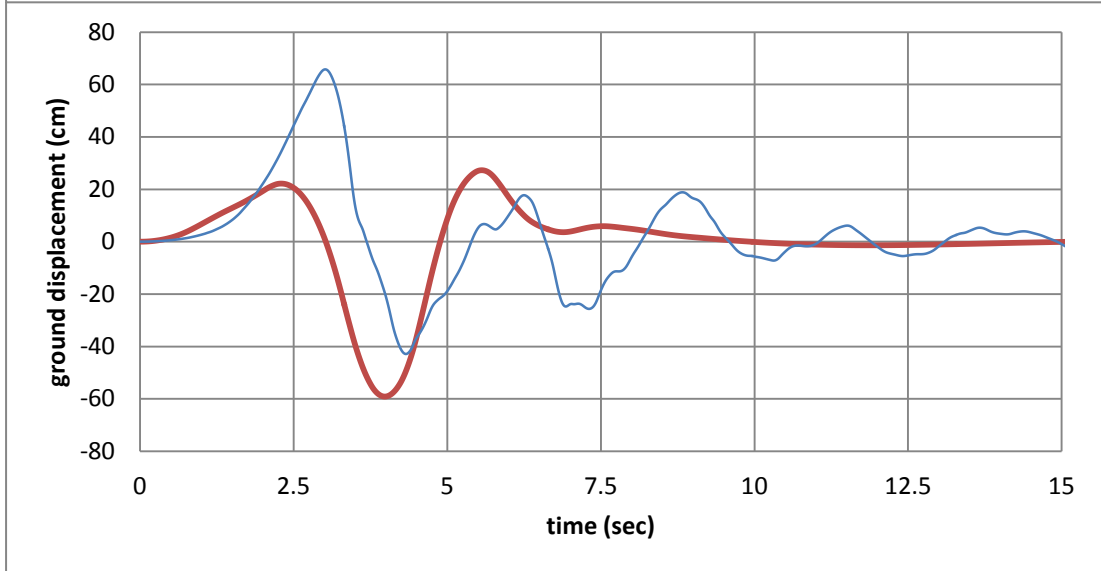
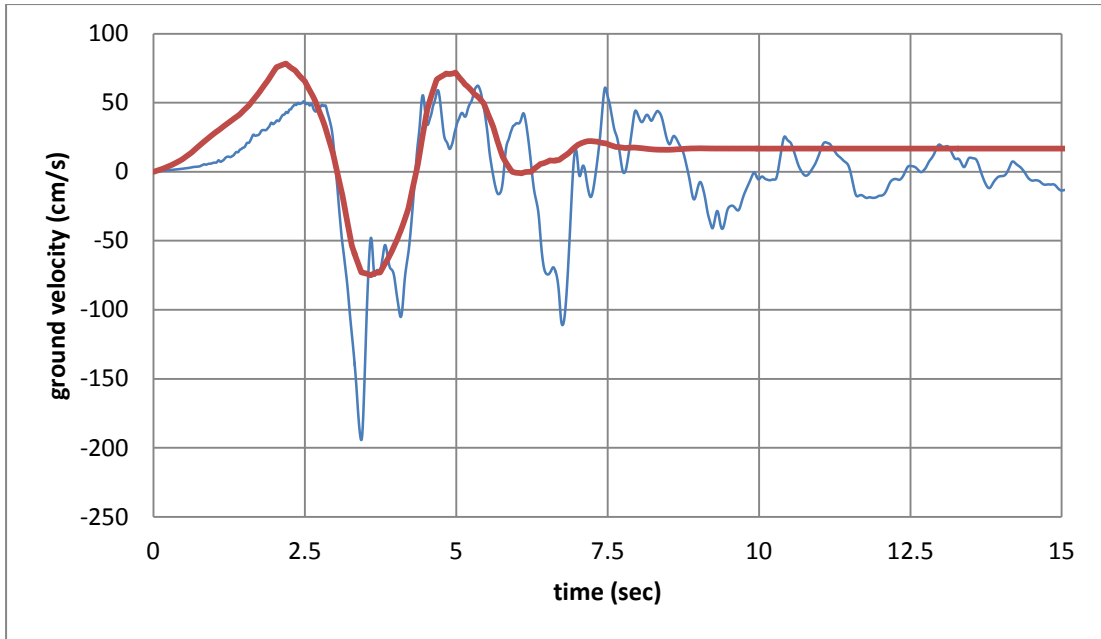
#50 Northridge-01, Sylmar – Converter Station

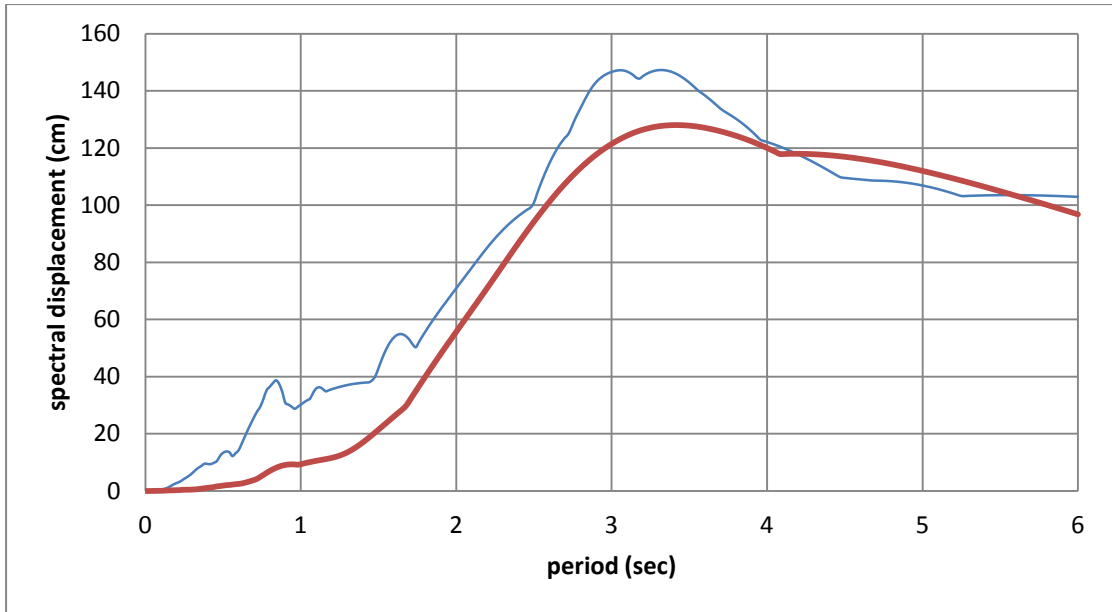




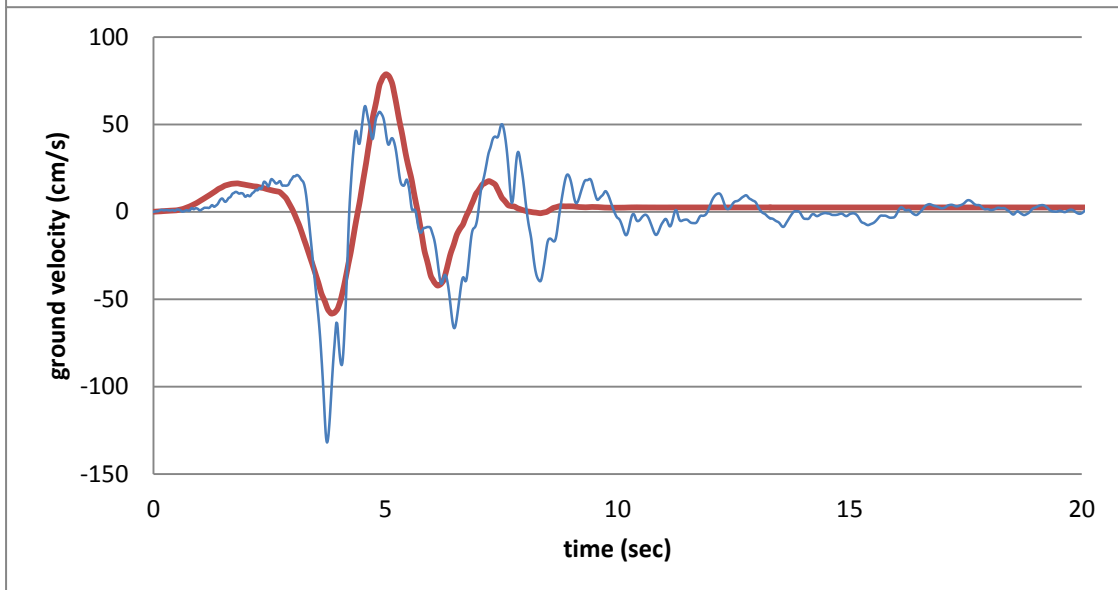
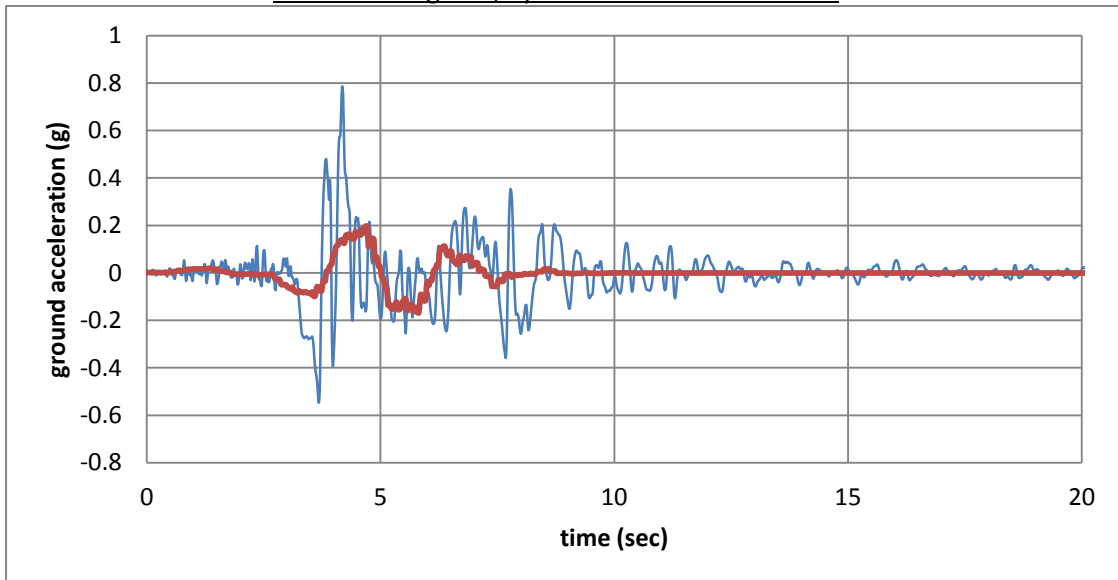
#51 Northridge-01, Sylmar – Converter Station East

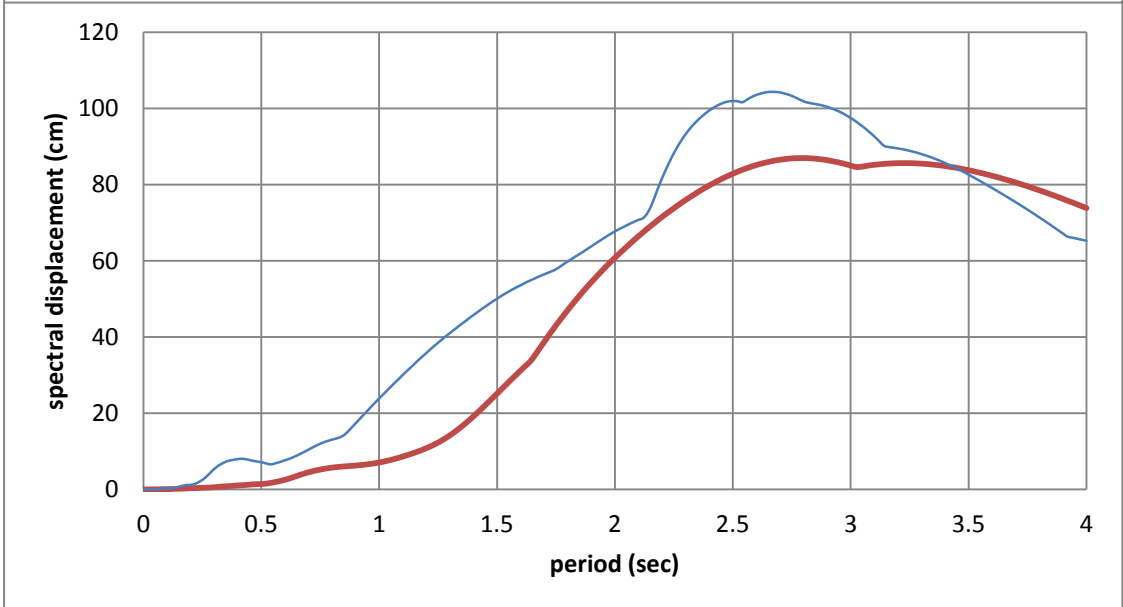
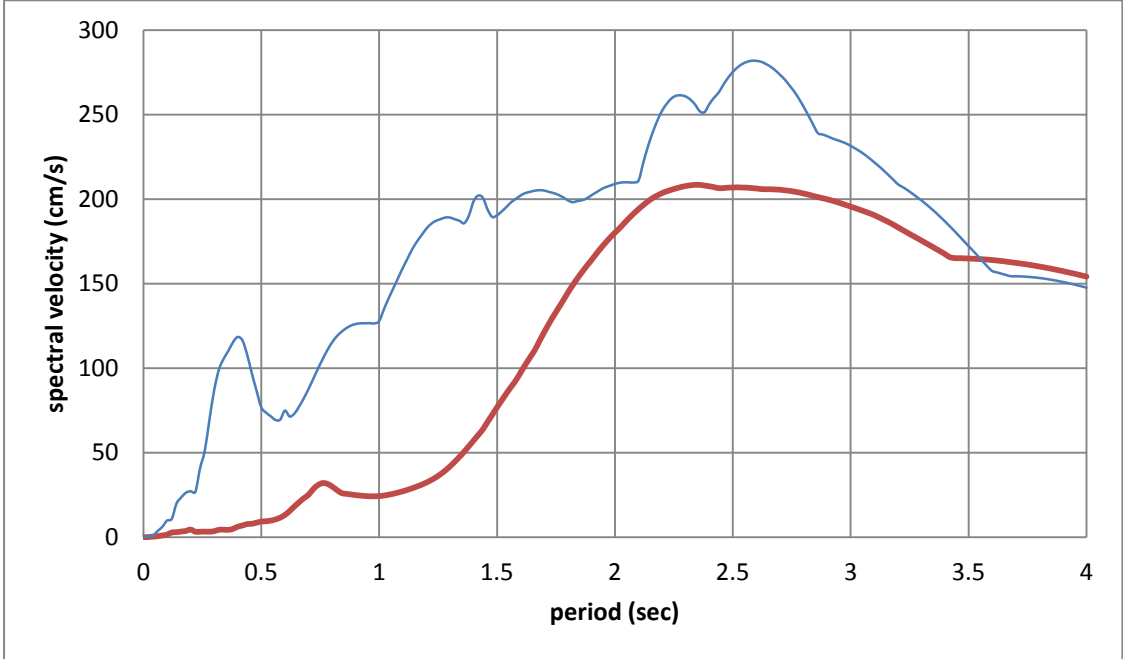
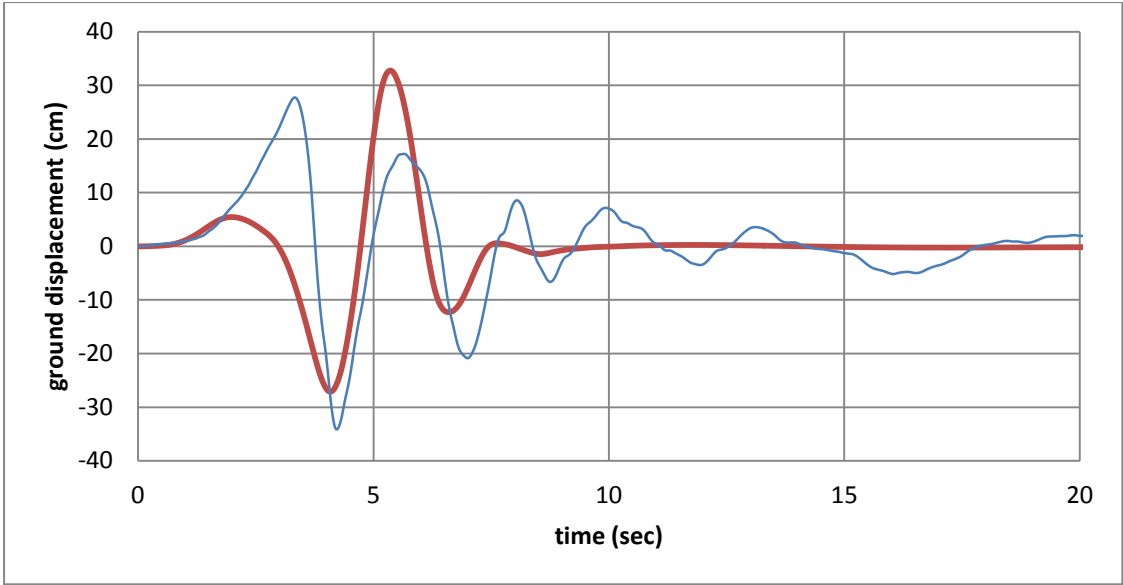




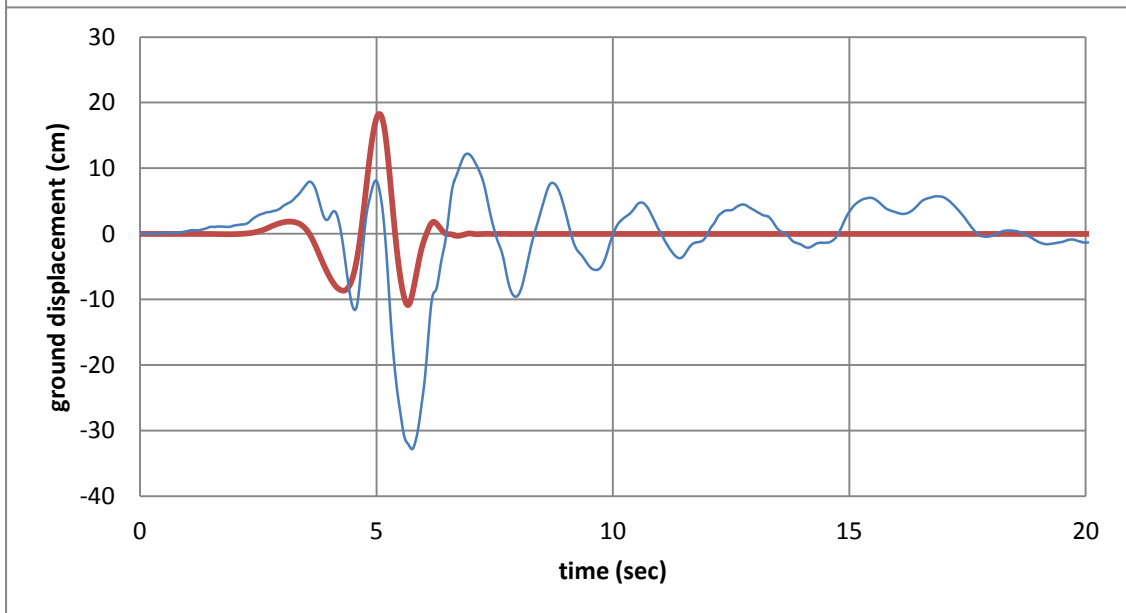
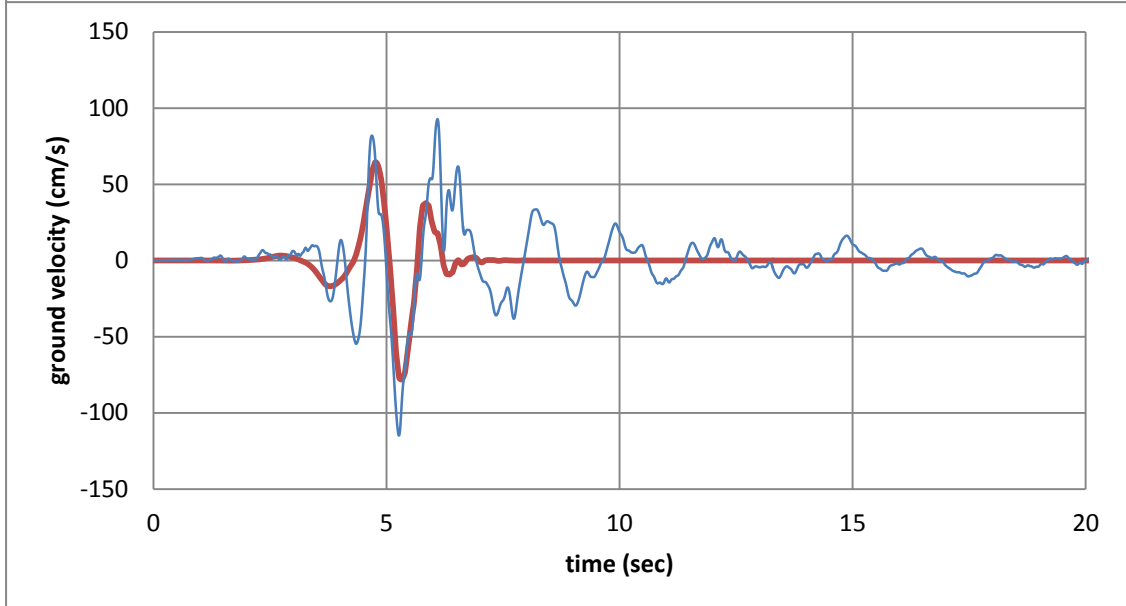
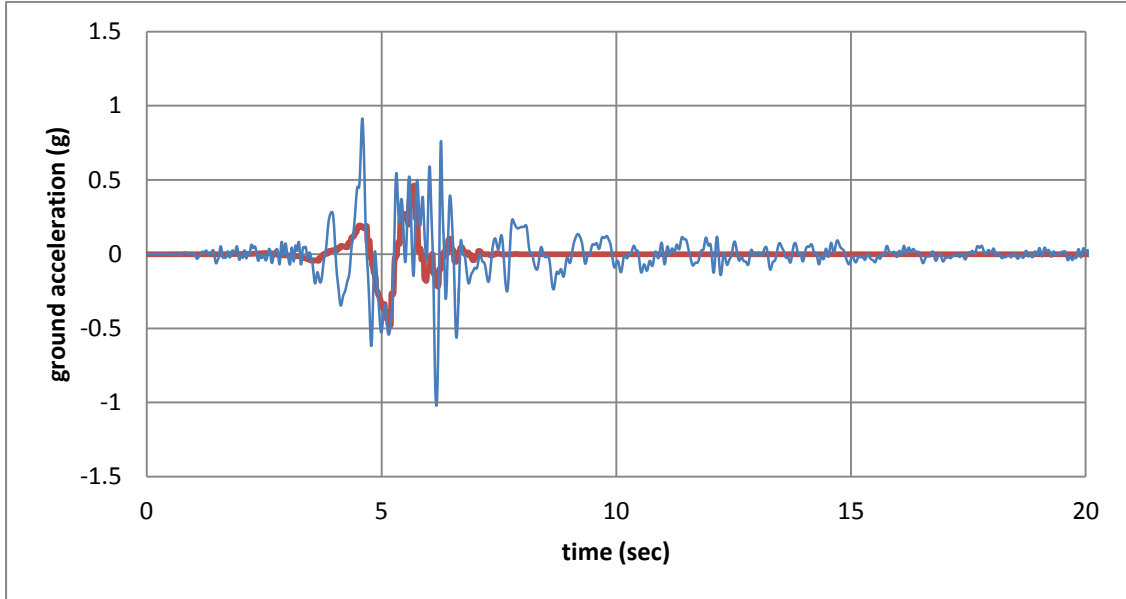


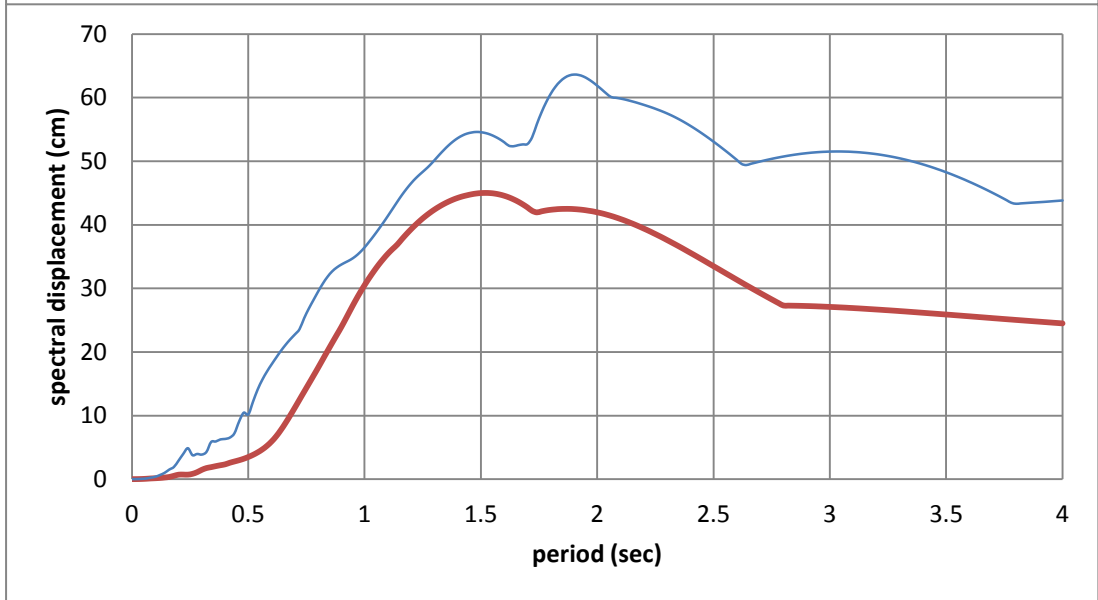
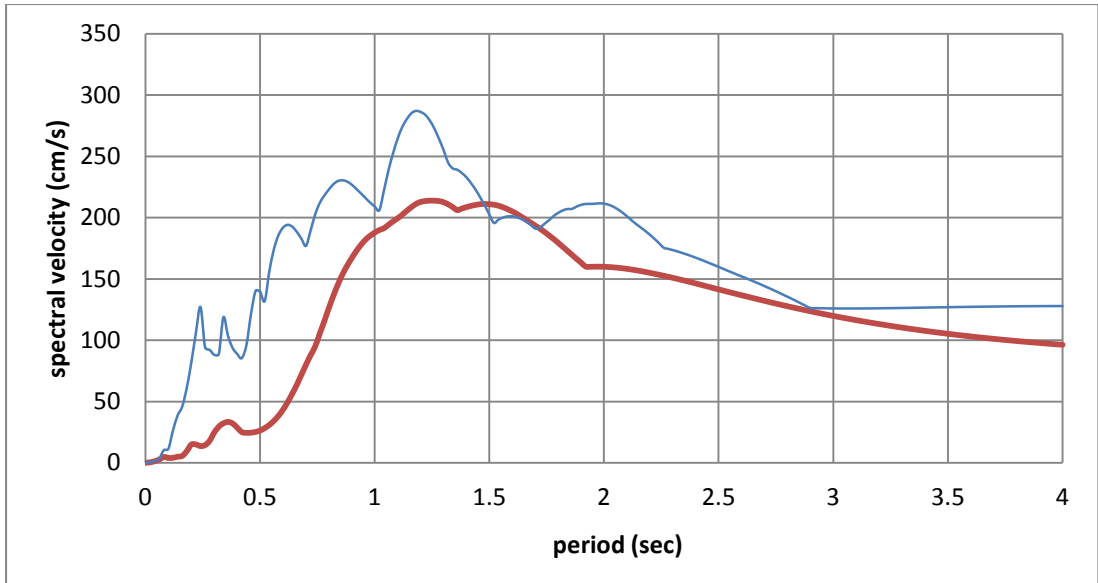
#52 Northridge-01, Sylmar – Olive View Med FF



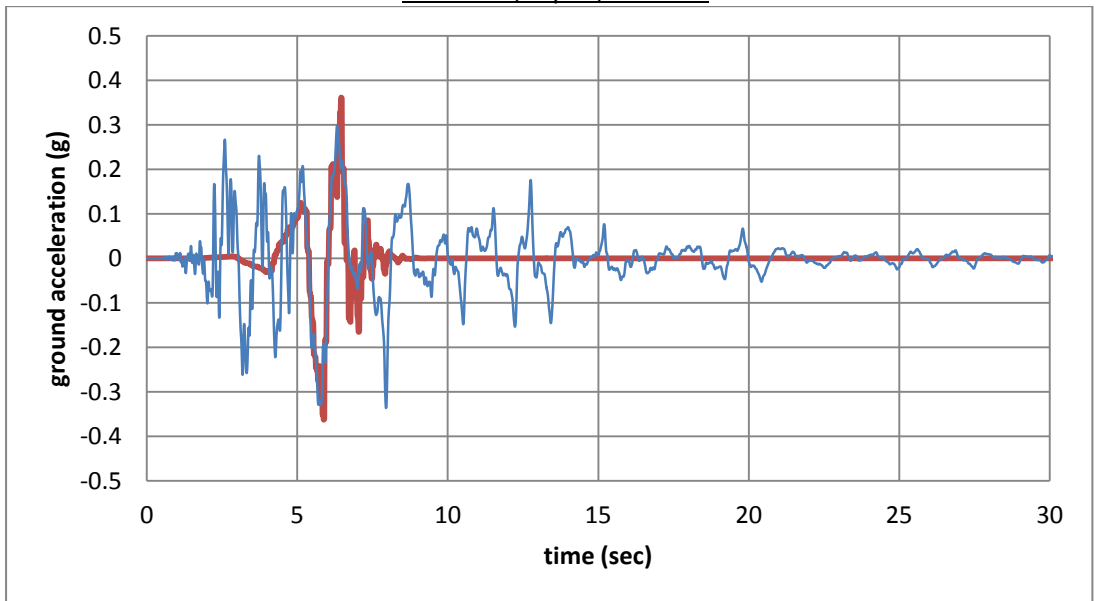


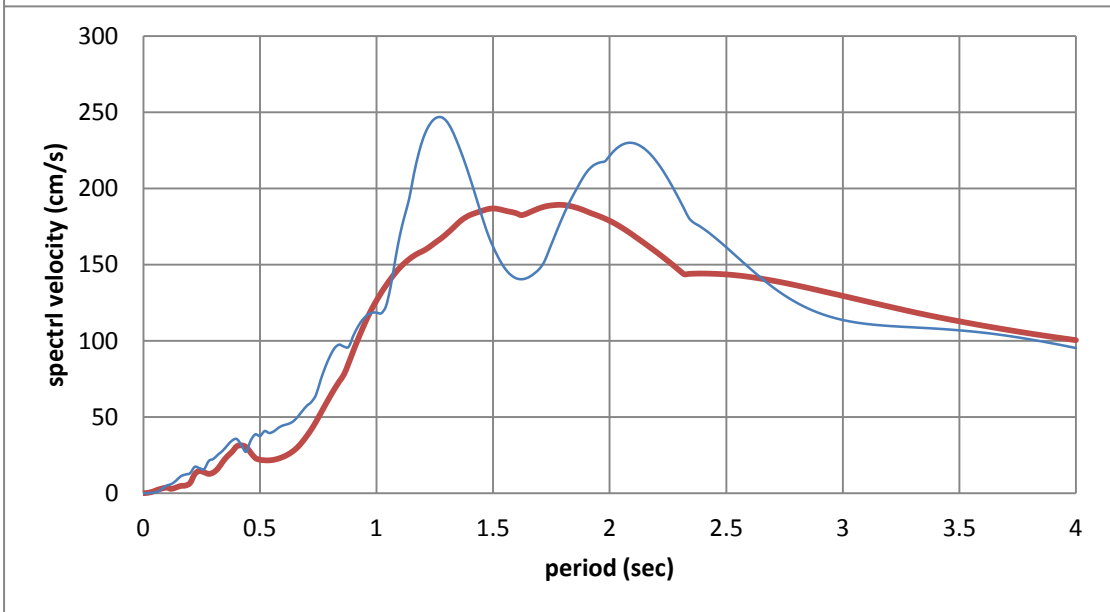
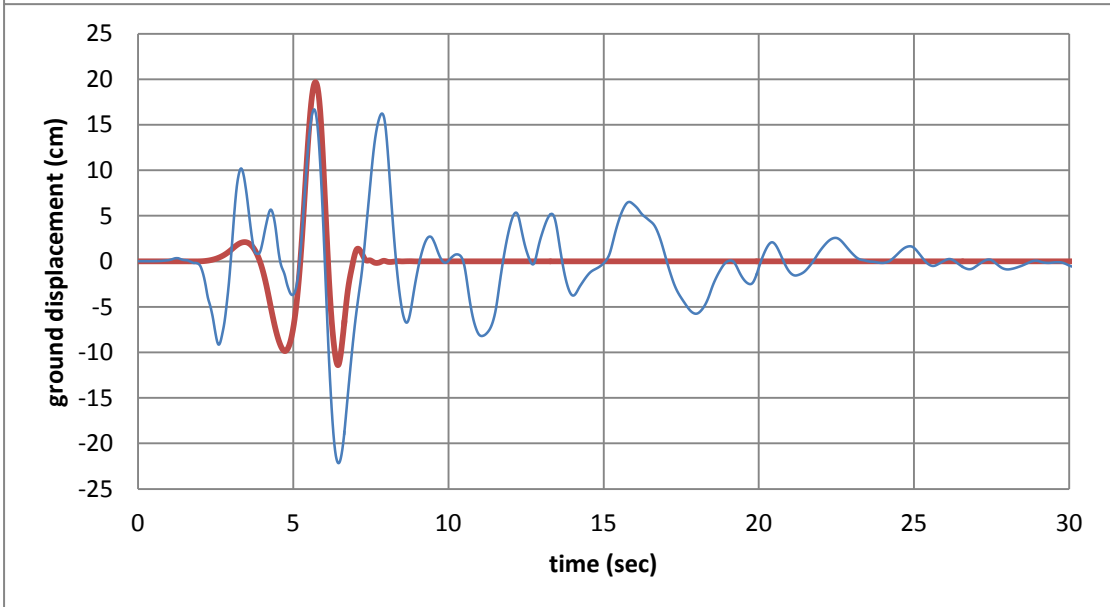
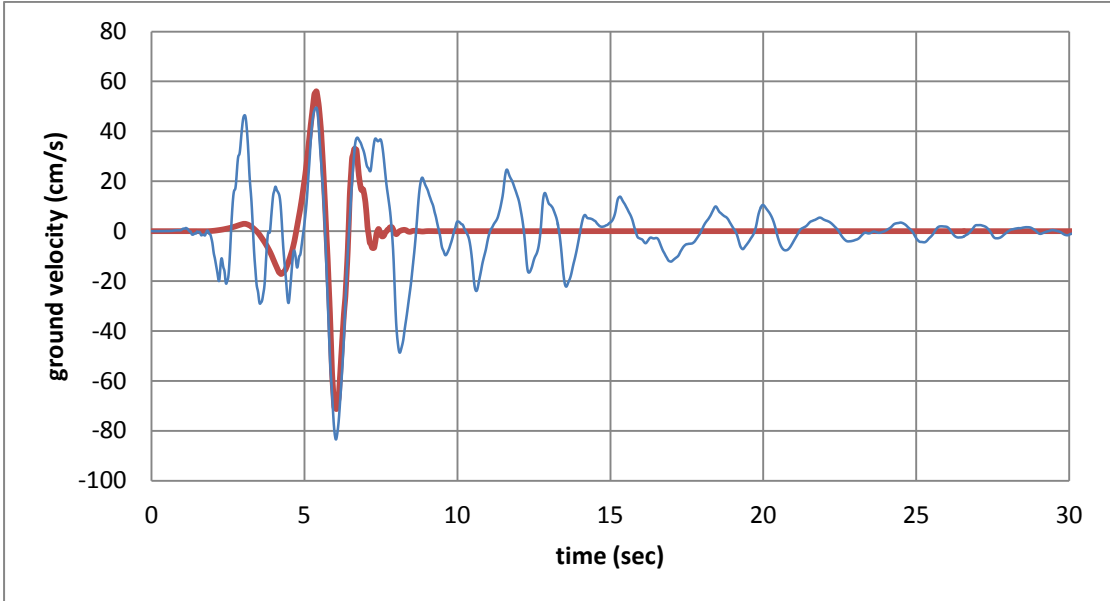
#53 Kobe, Japan, Takarazuka

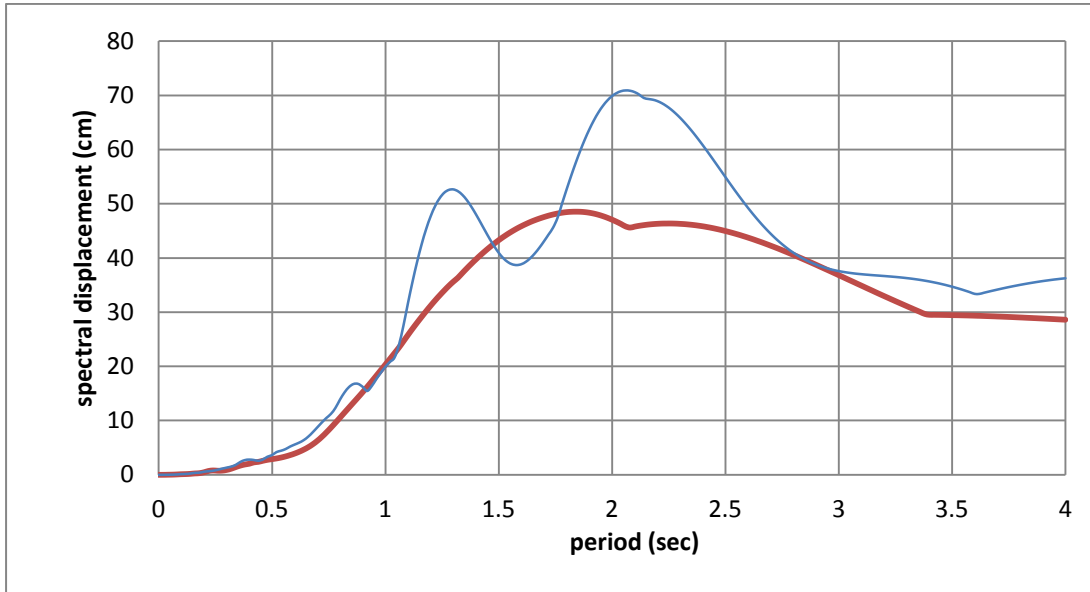




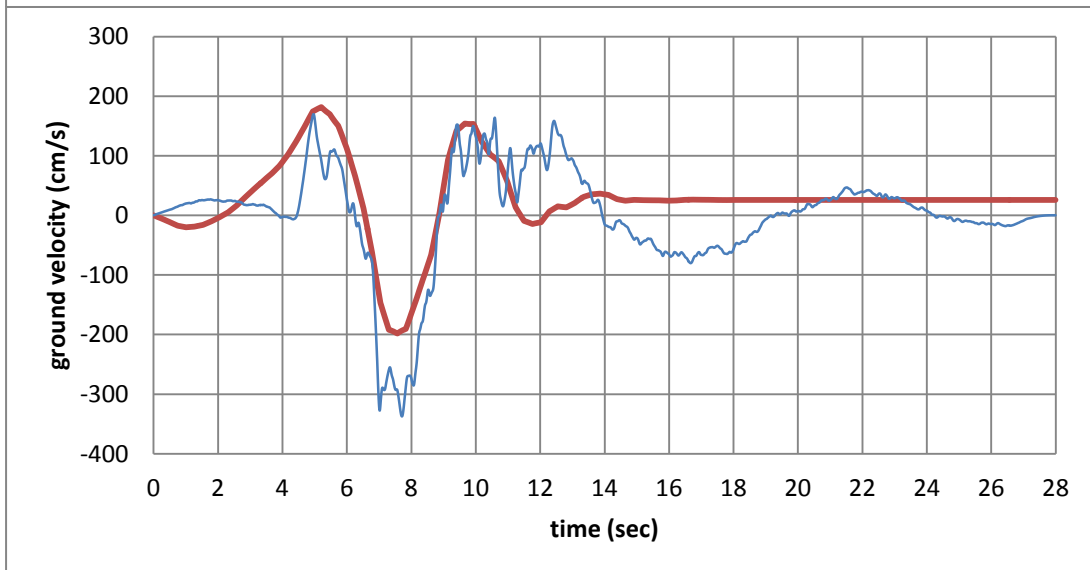
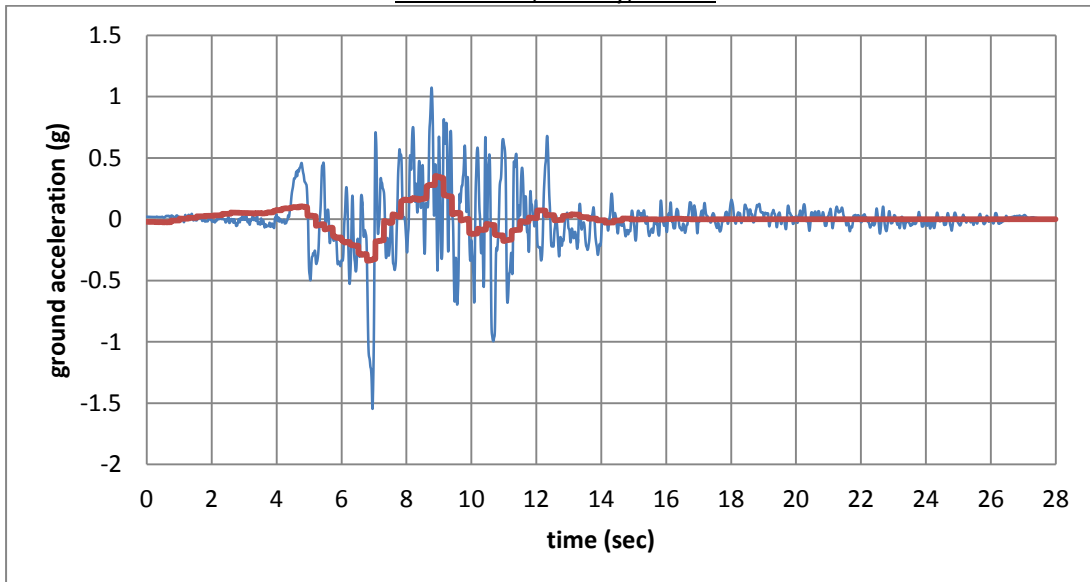
#54 Kobe, Japan, Takatori

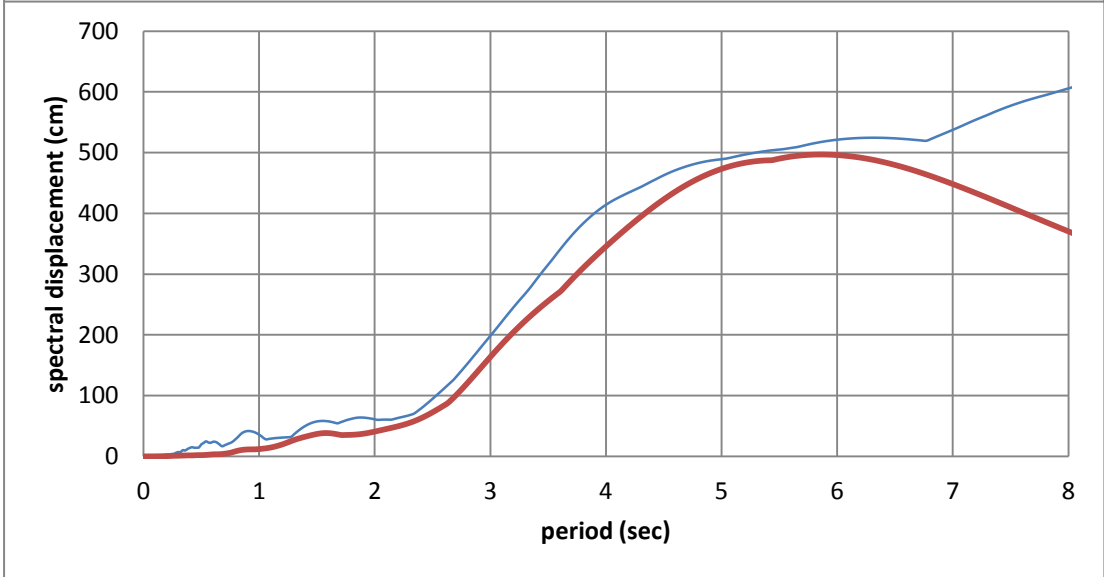
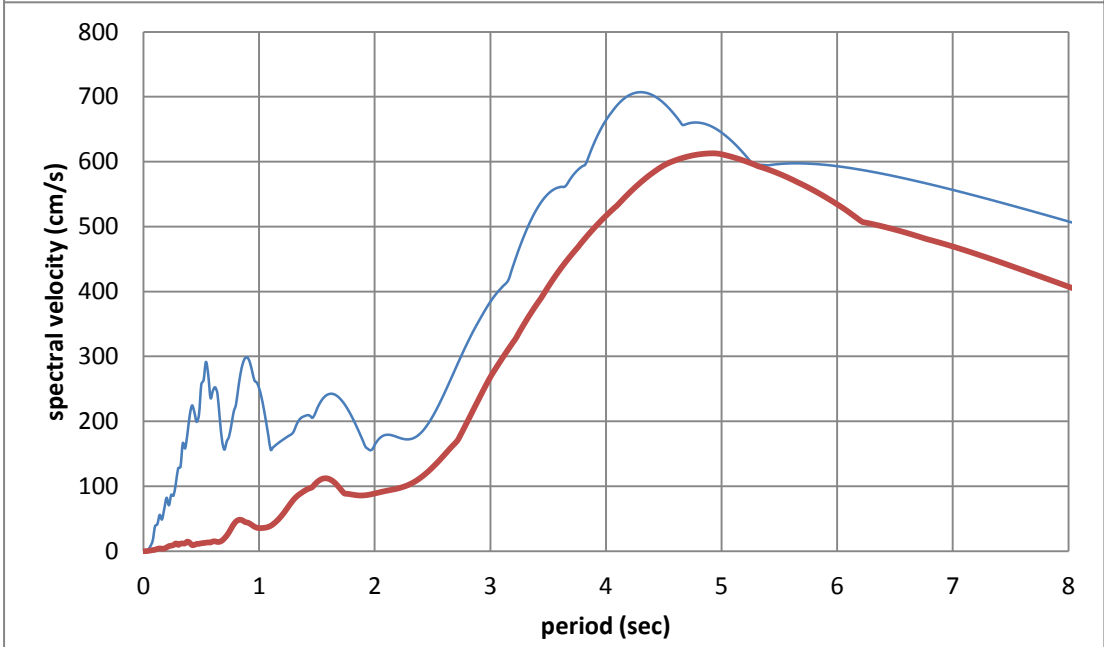
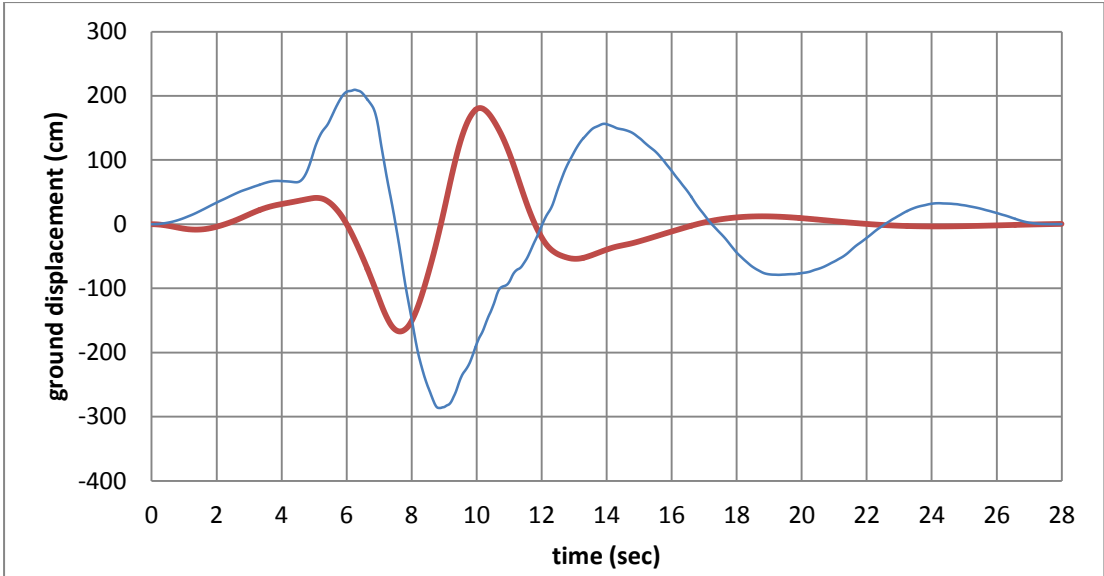




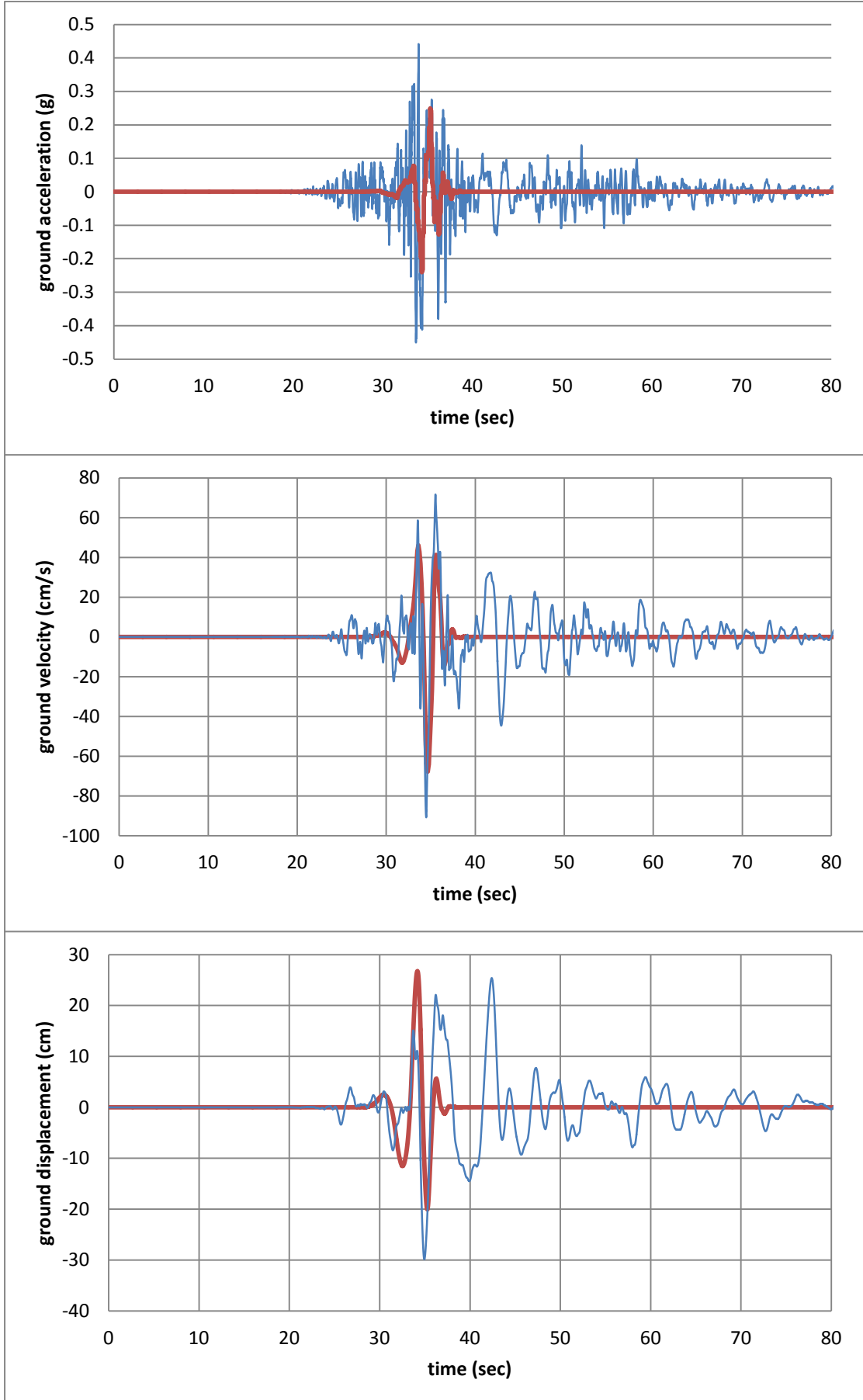


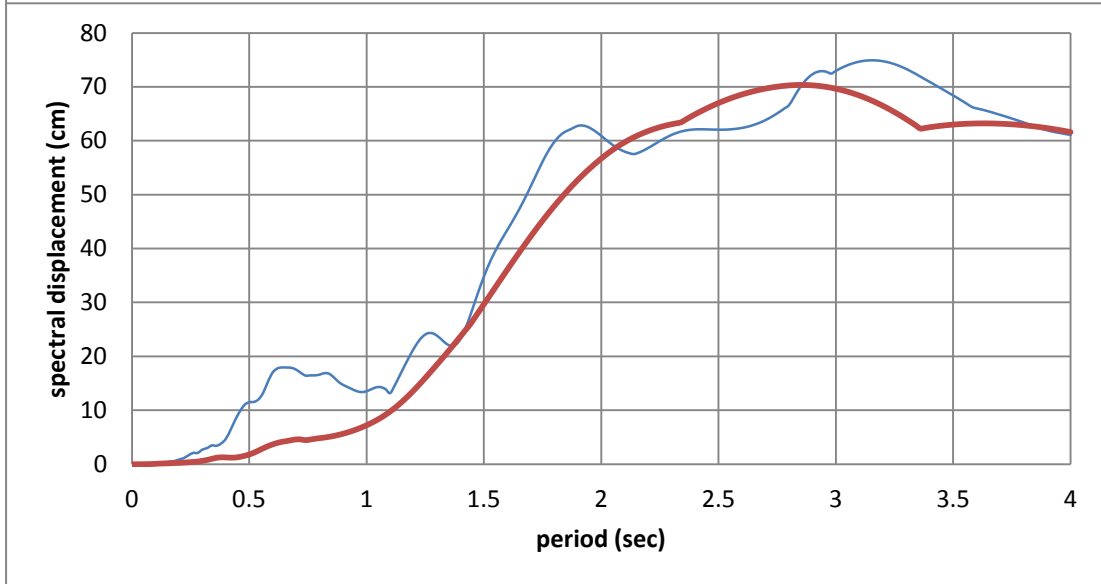
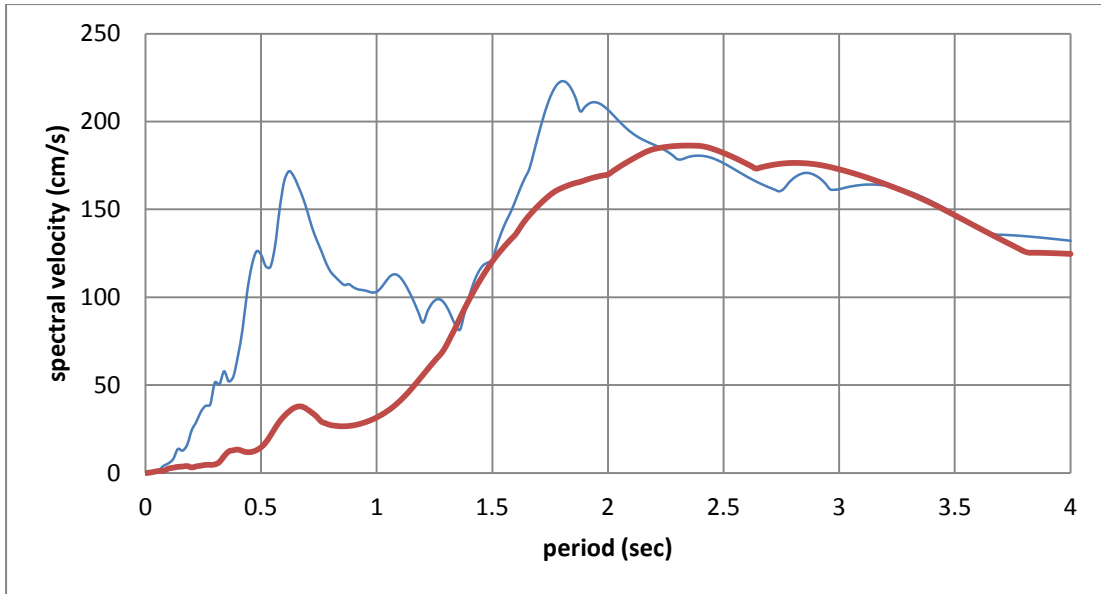
#55 Kocaeli, Turkey, Gebze



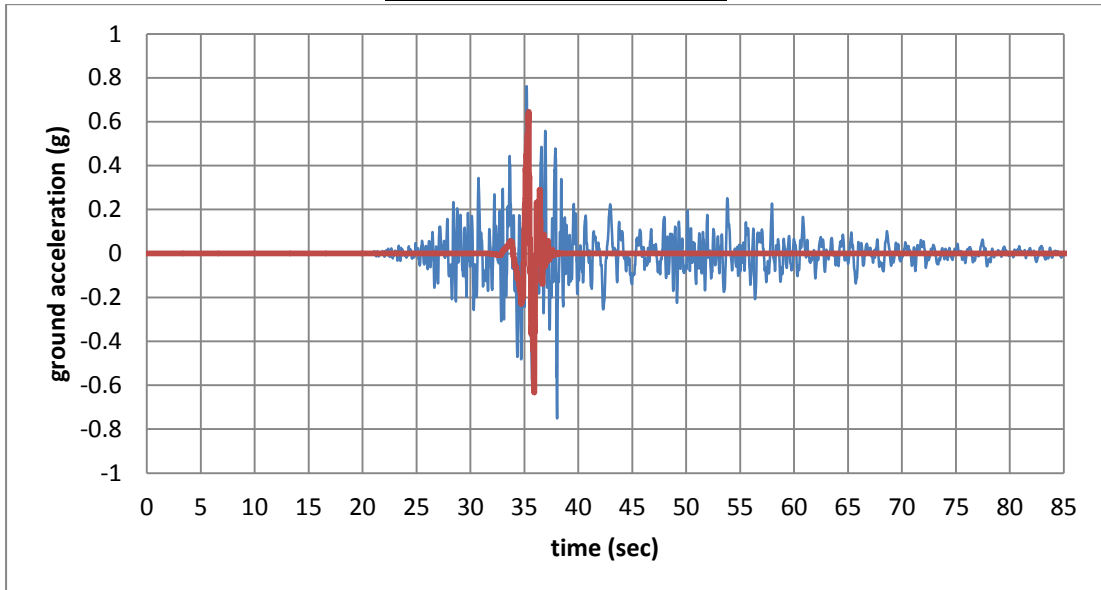


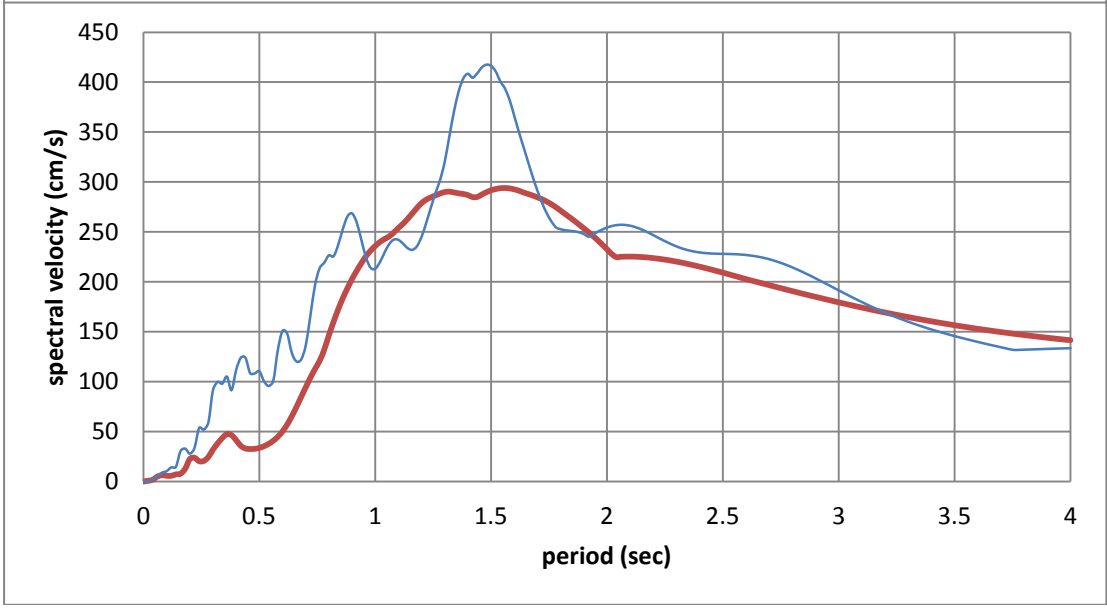
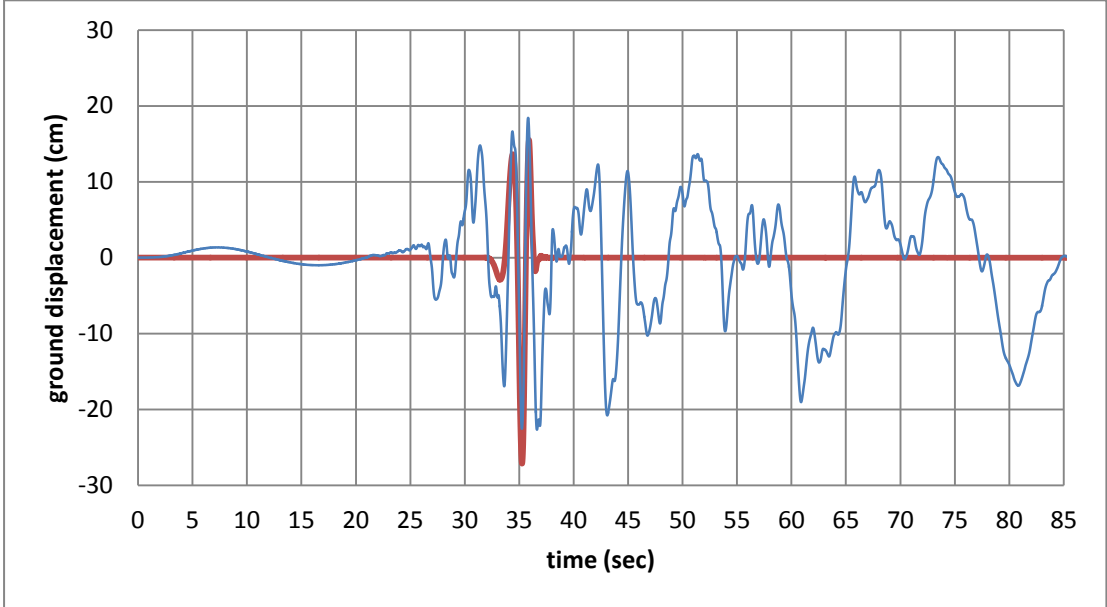
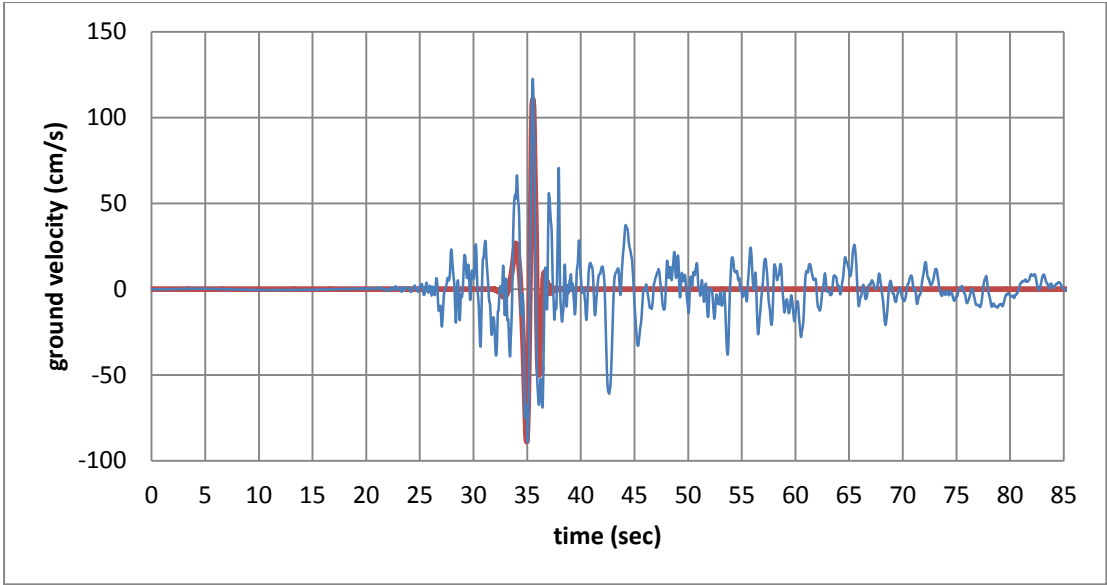
#56 Chi-Chi, Taiwan, CHY006

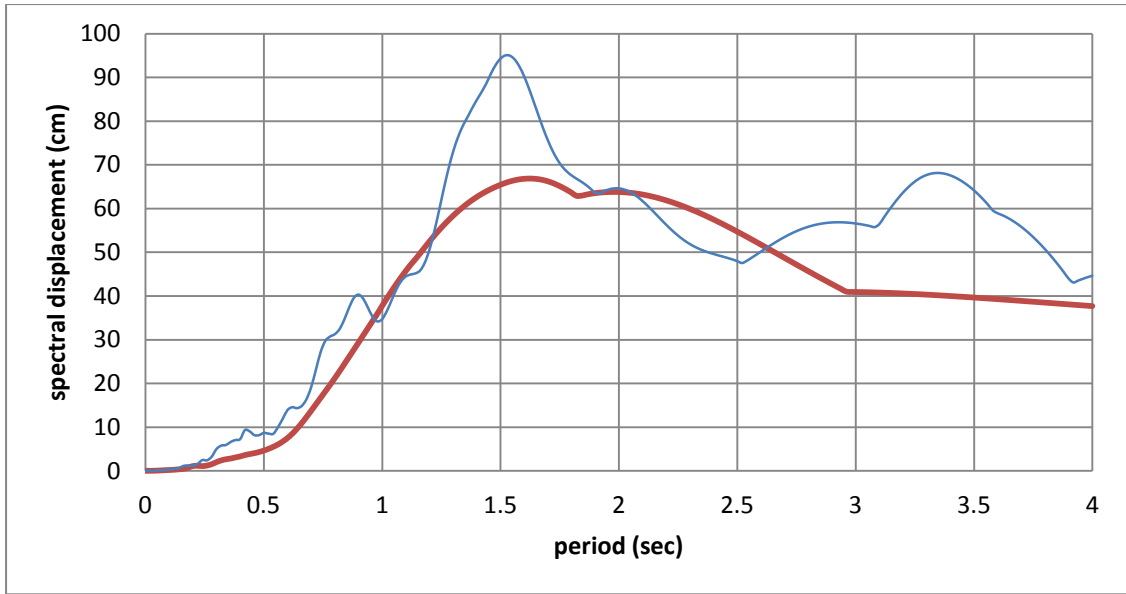




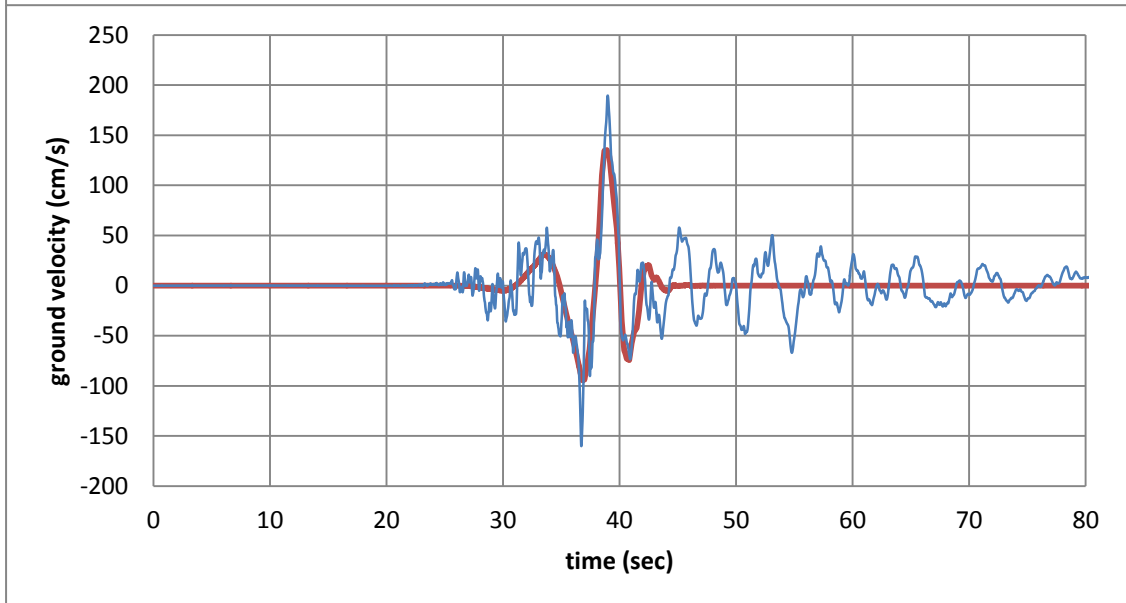
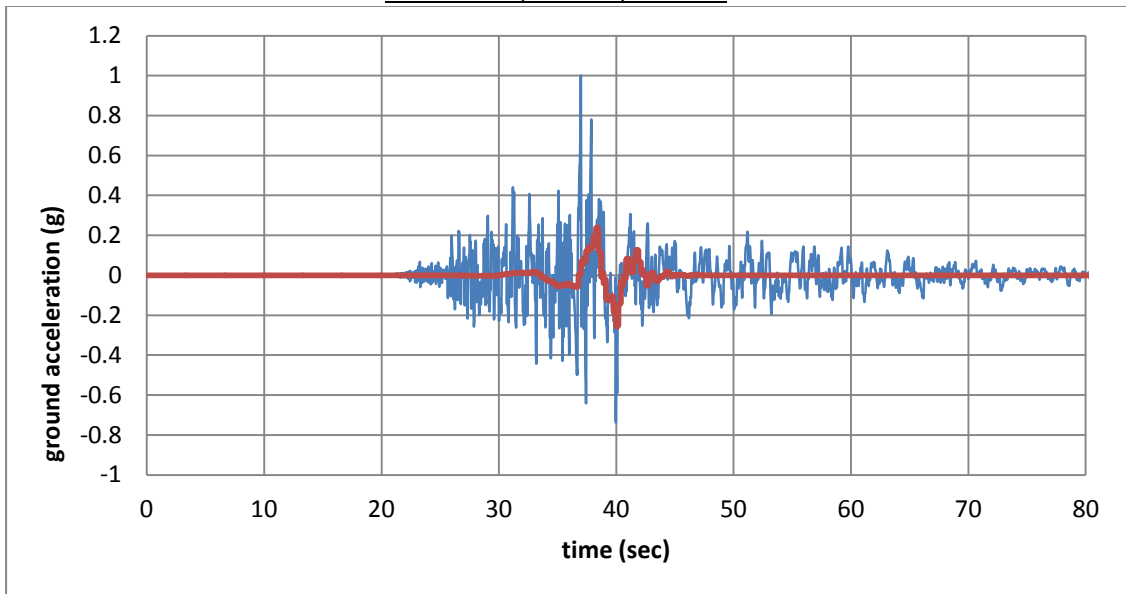
#57 Chi-Chi, Taiwan, CHY035

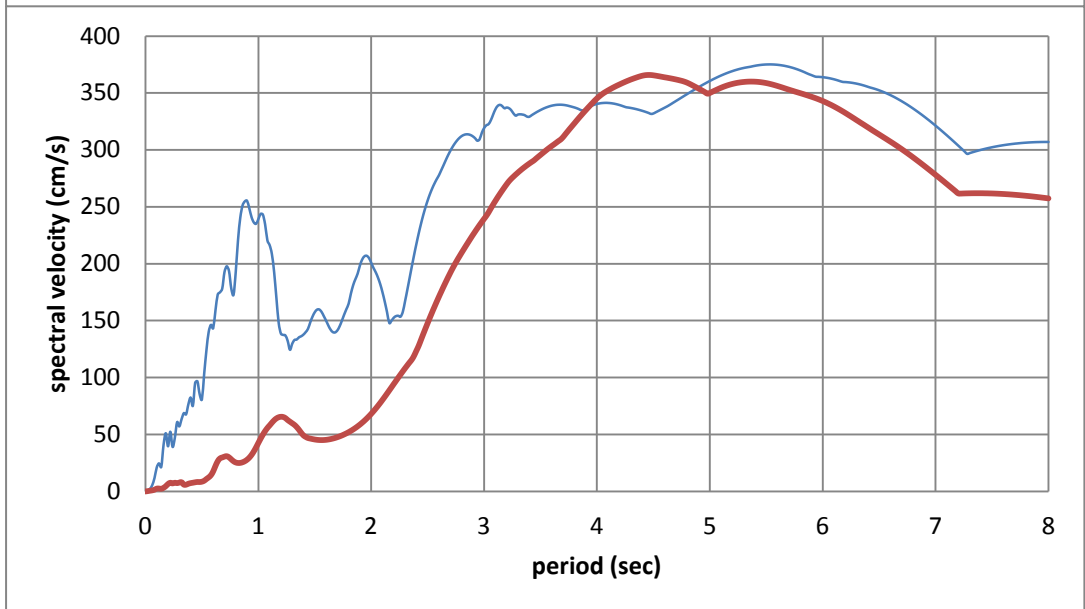
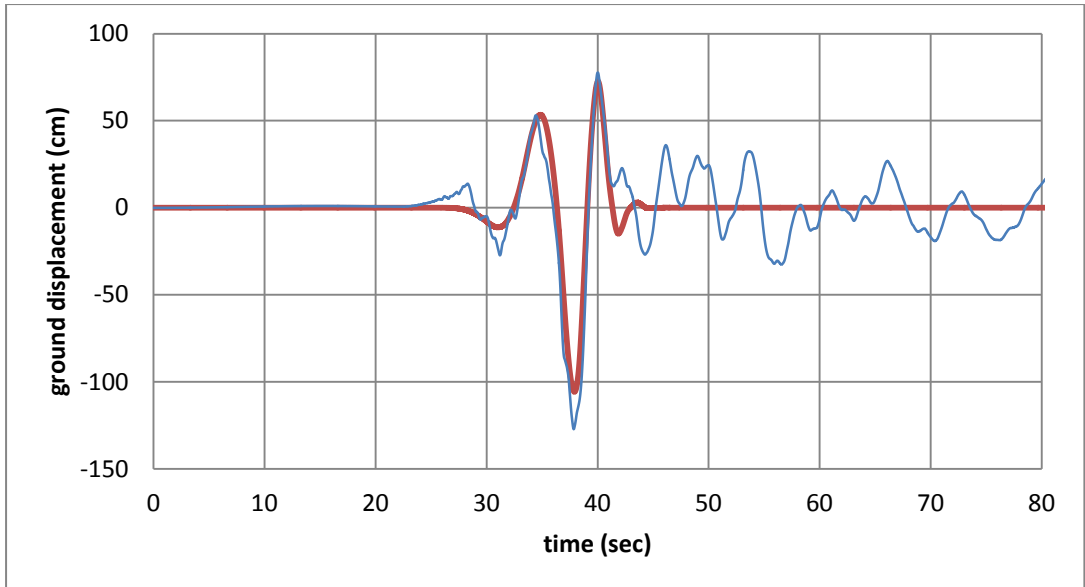




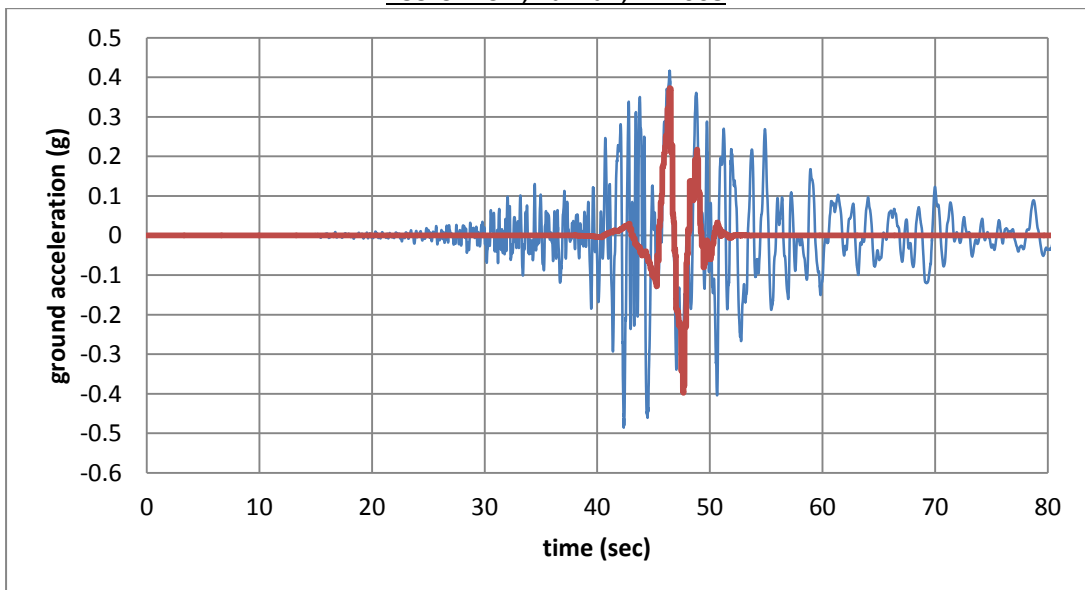


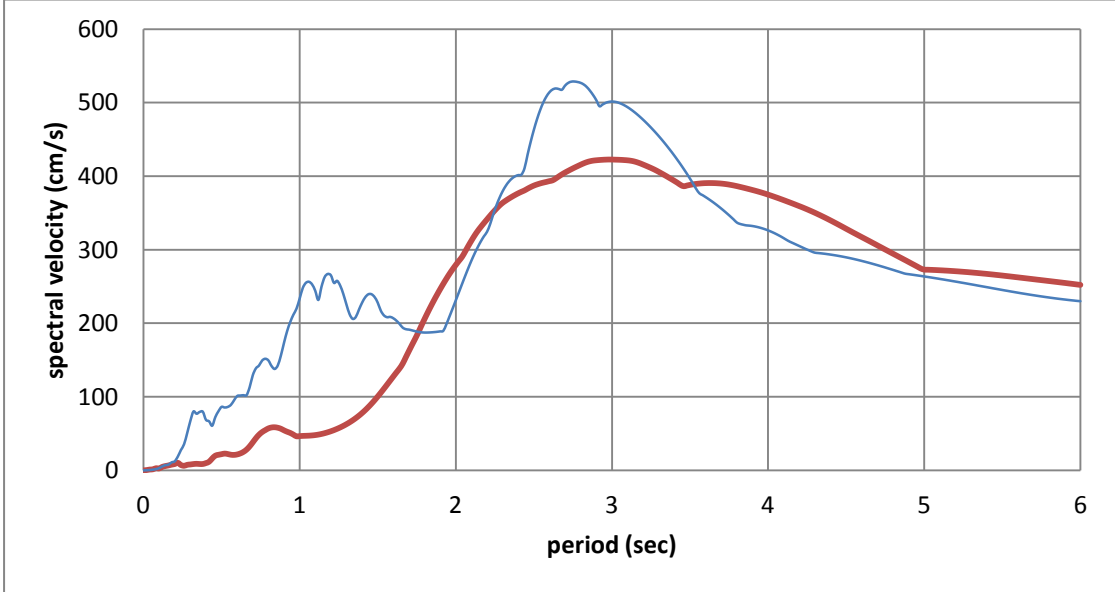
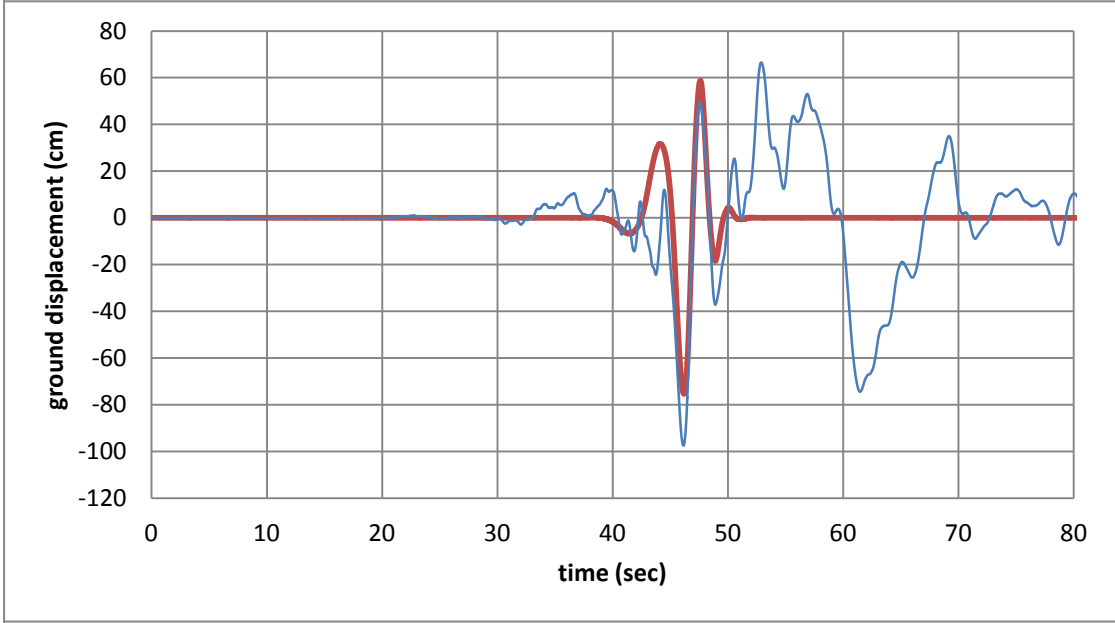
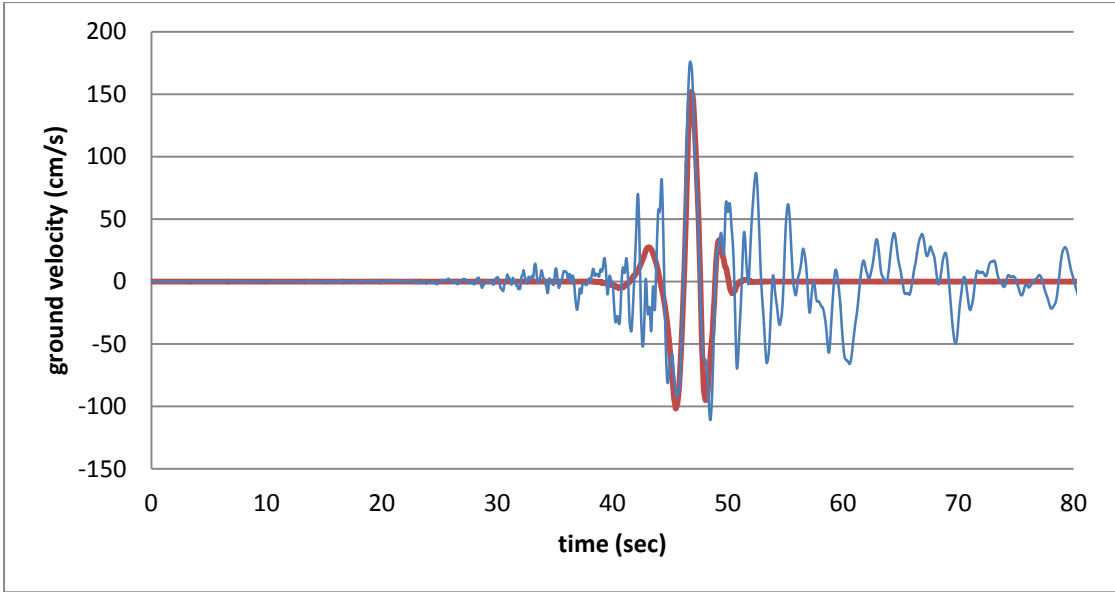
#58 Chi-Chi, Taiwan, CHY101

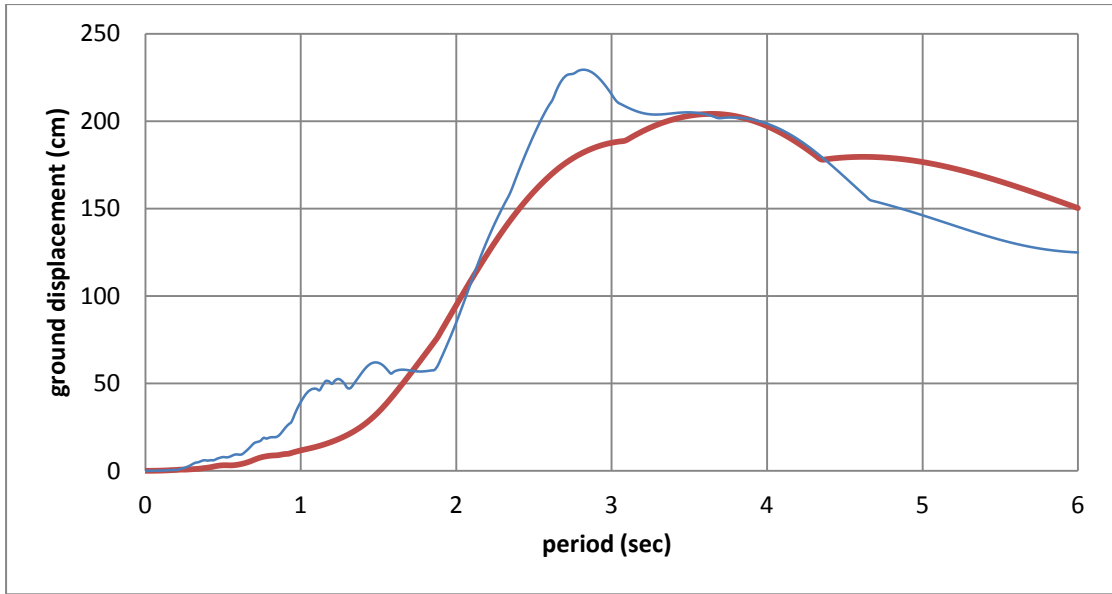




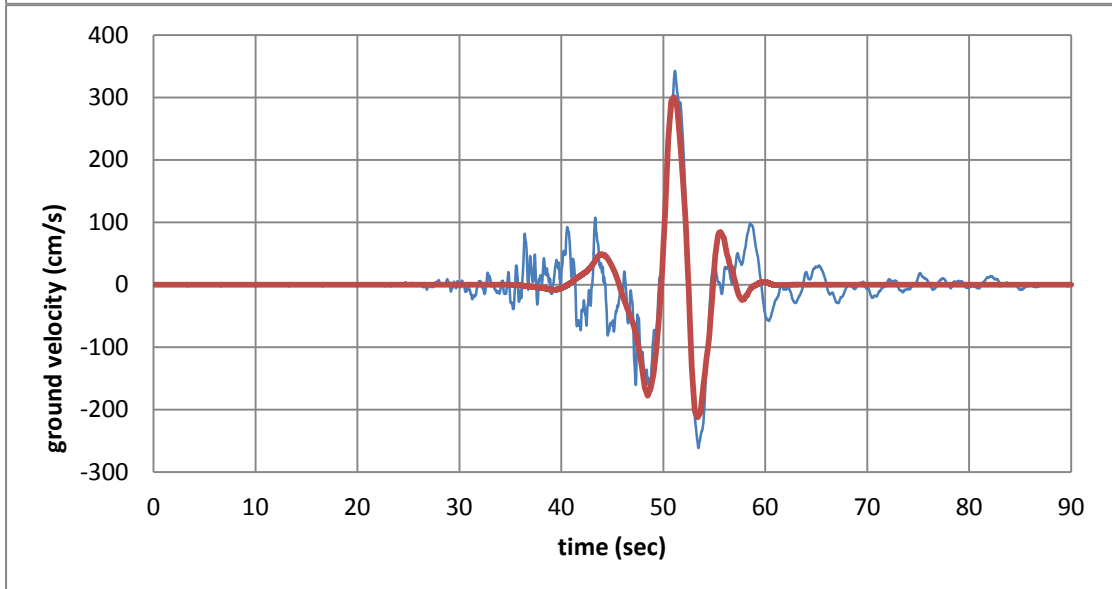
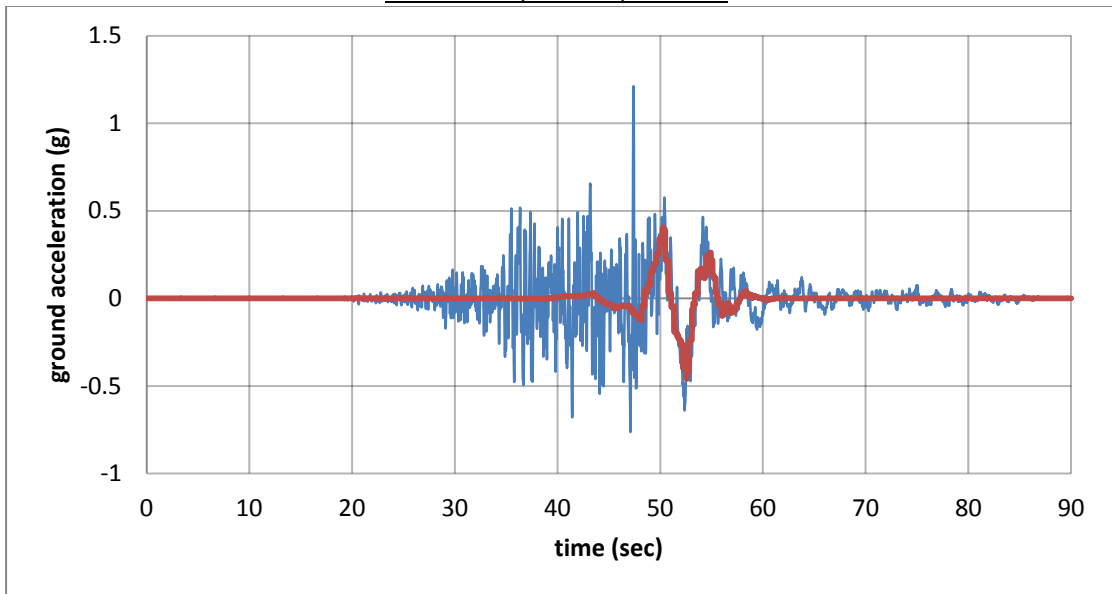
#59 Chi-Chi, Taiwan, TAP003

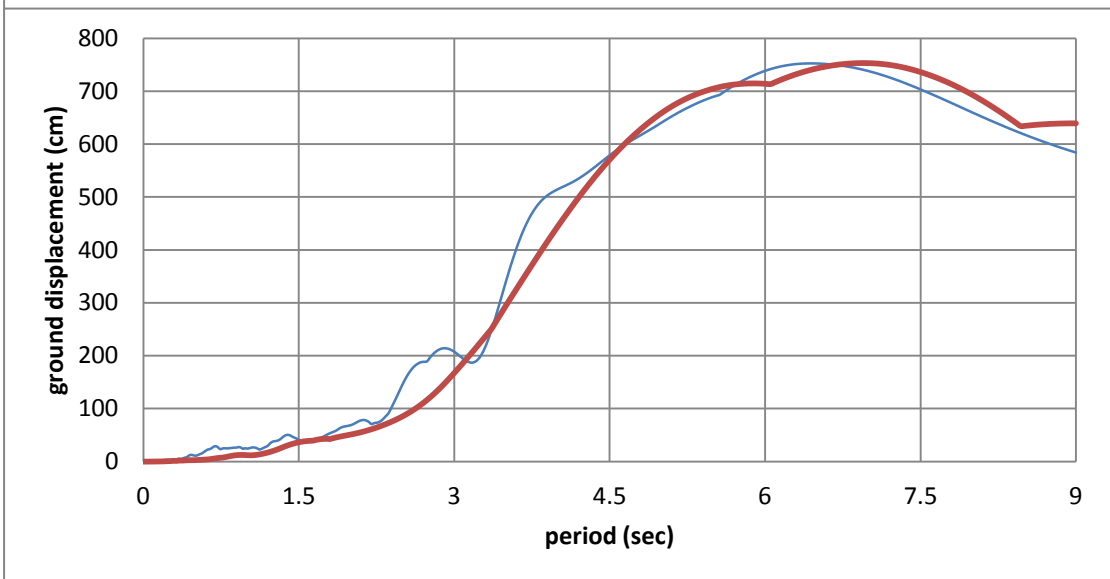
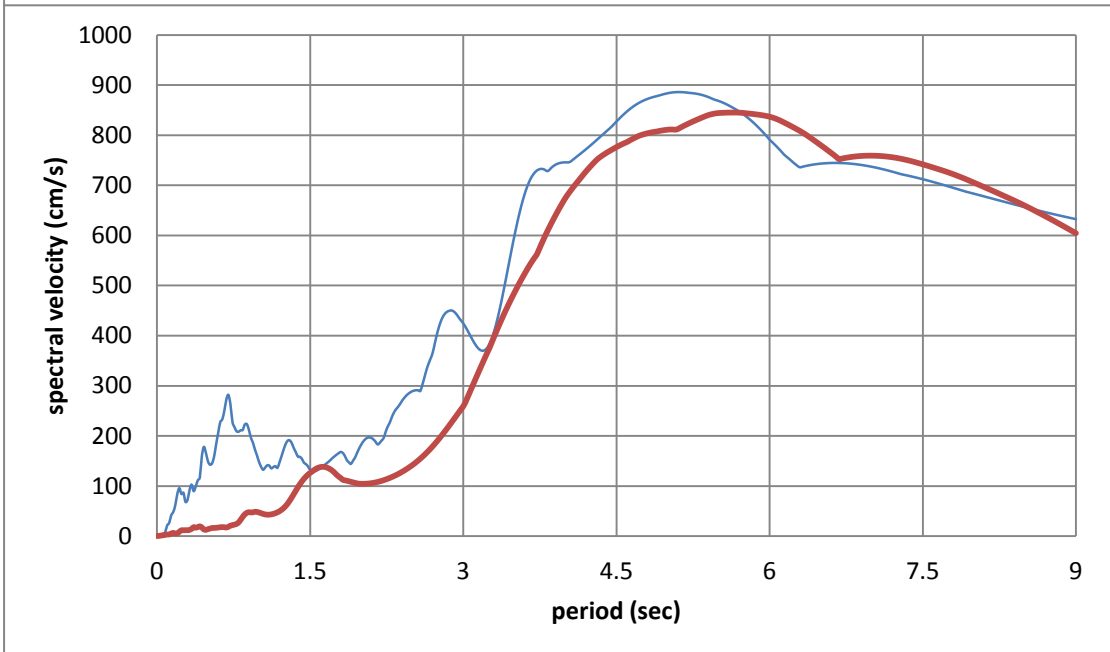
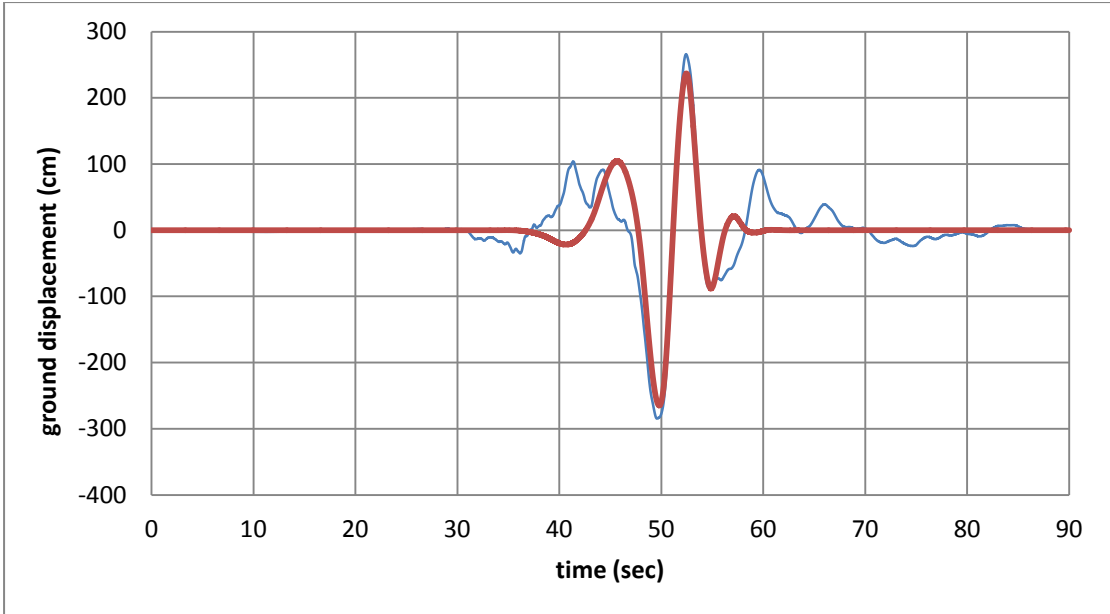




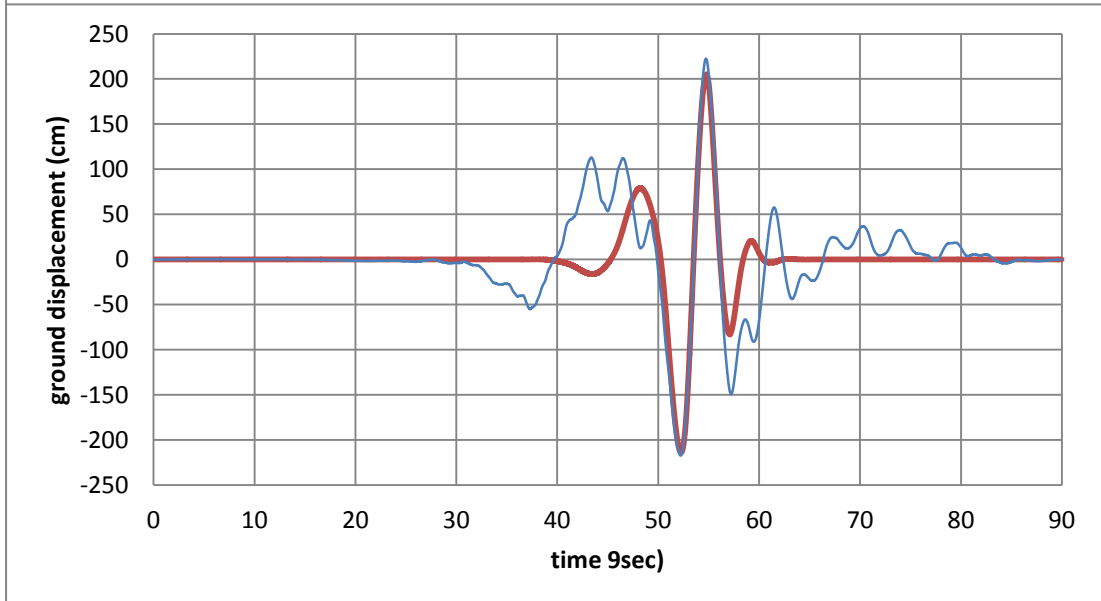
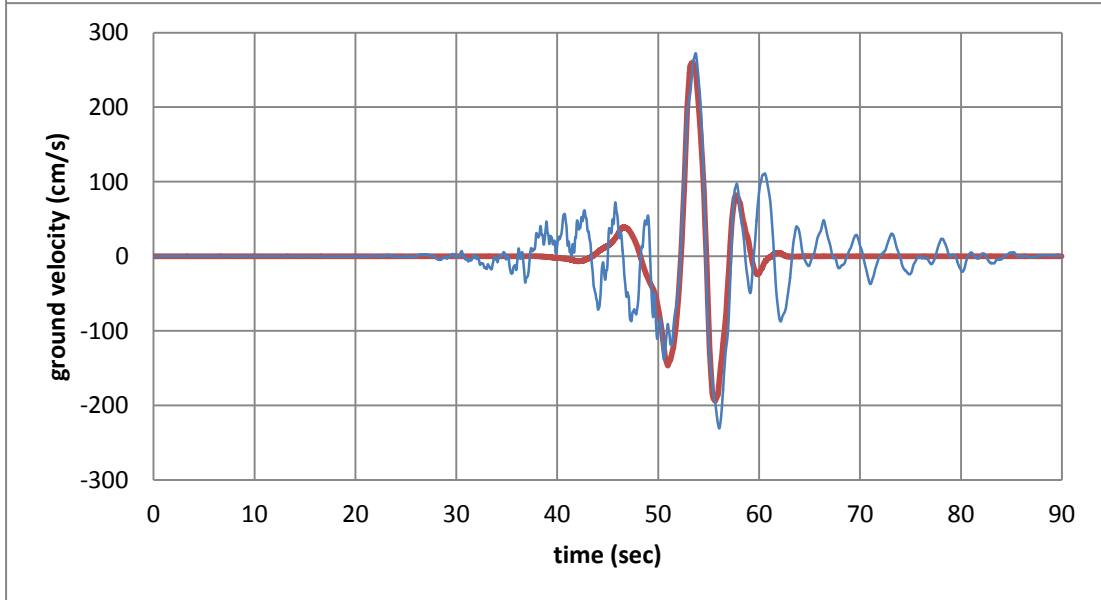
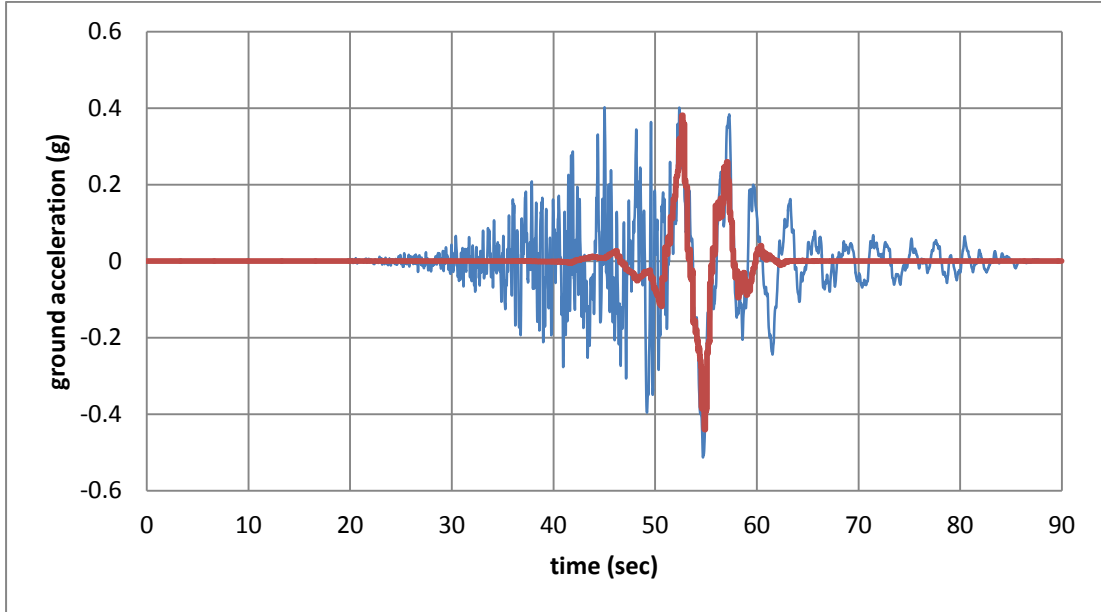


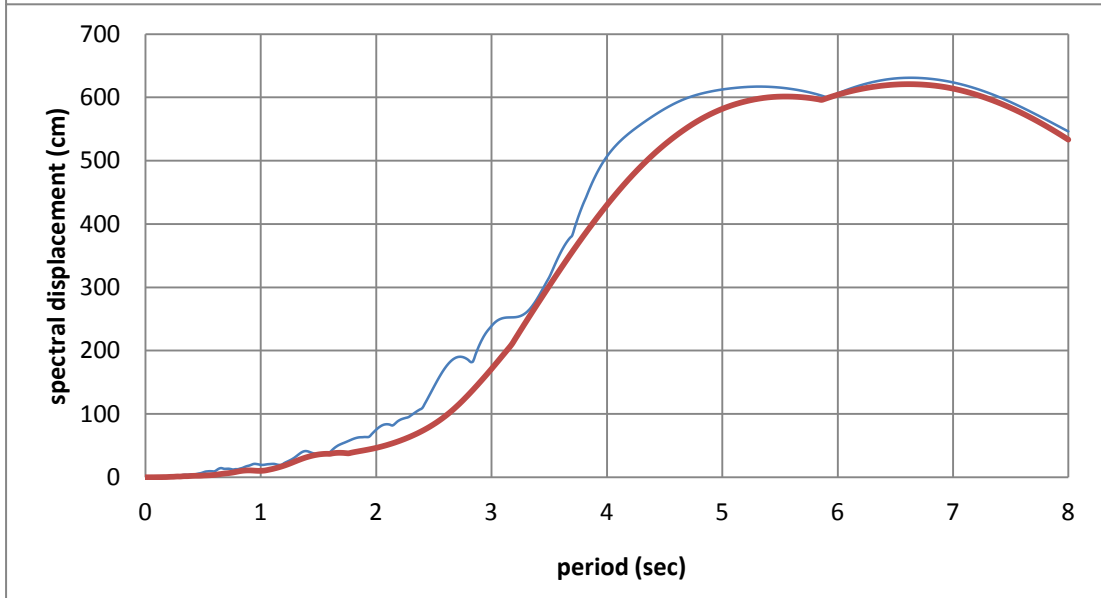
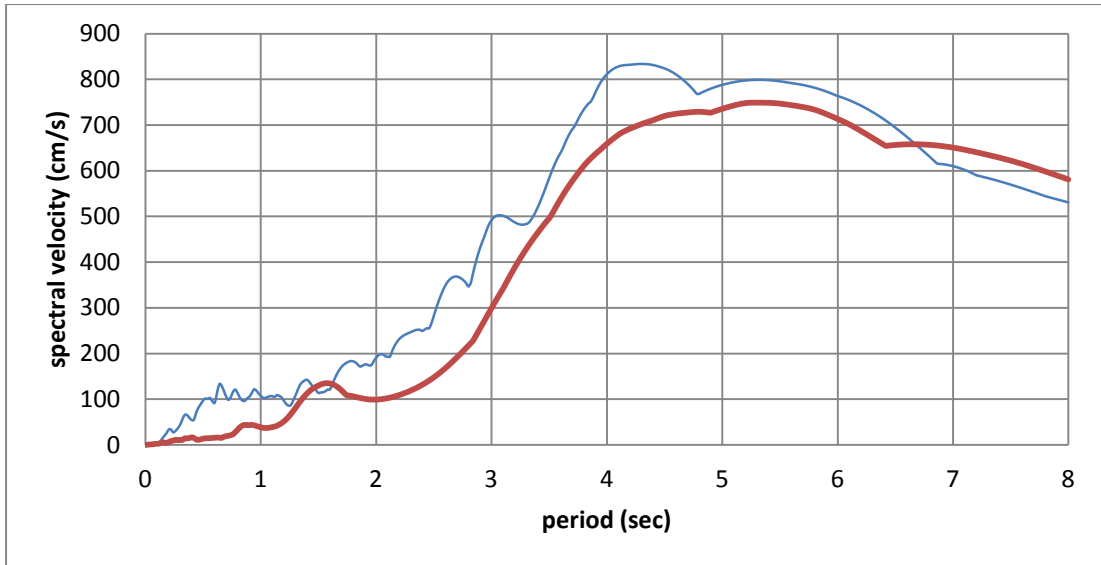
#60 Chi-Chi, Taiwan, TCU029



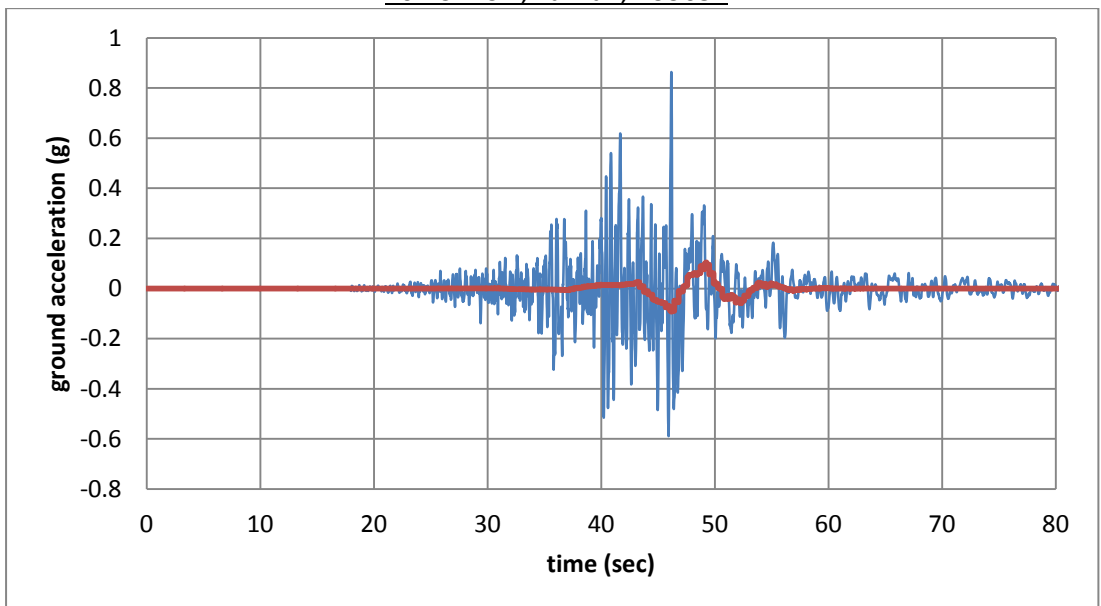


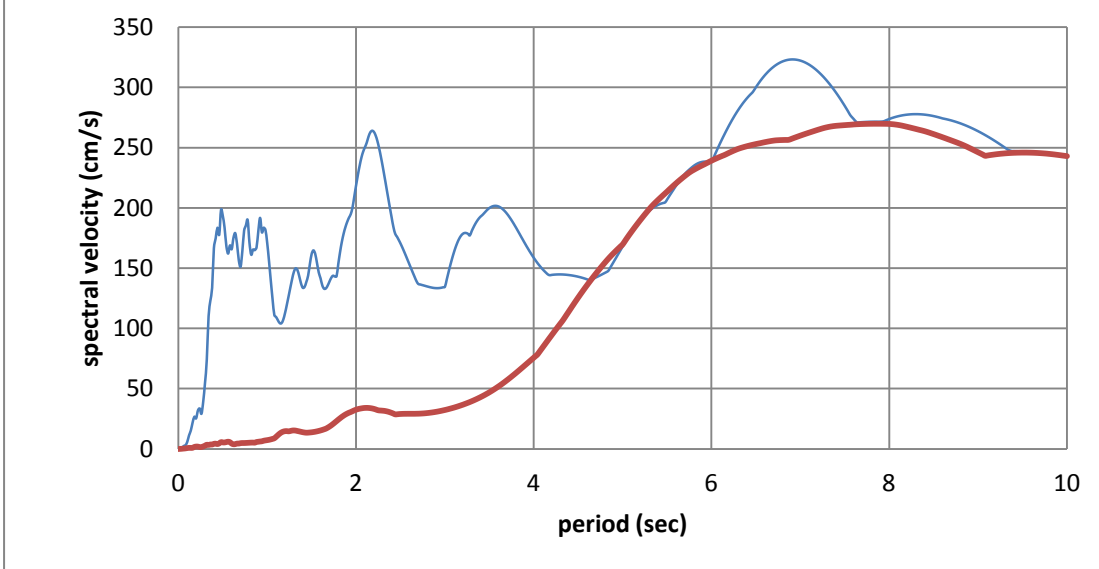
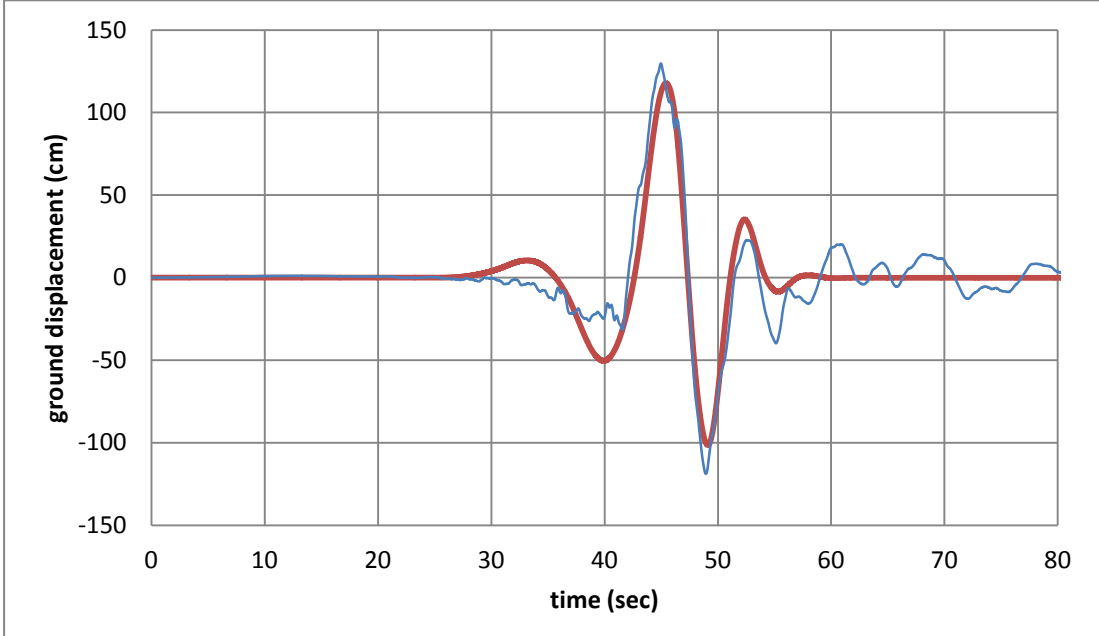
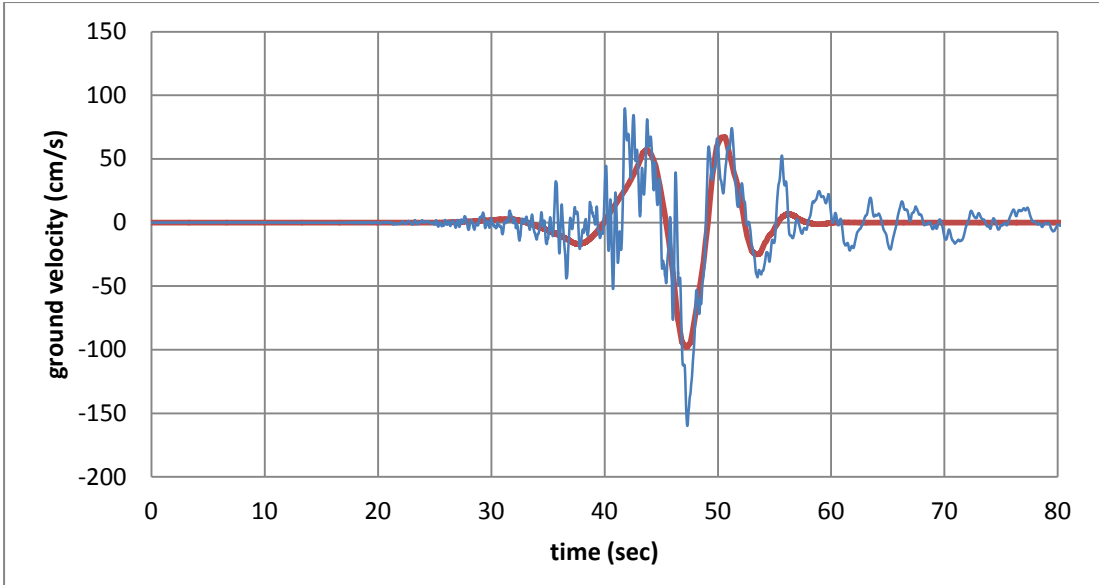
#61 Chi-Chi, Taiwan, TCU031

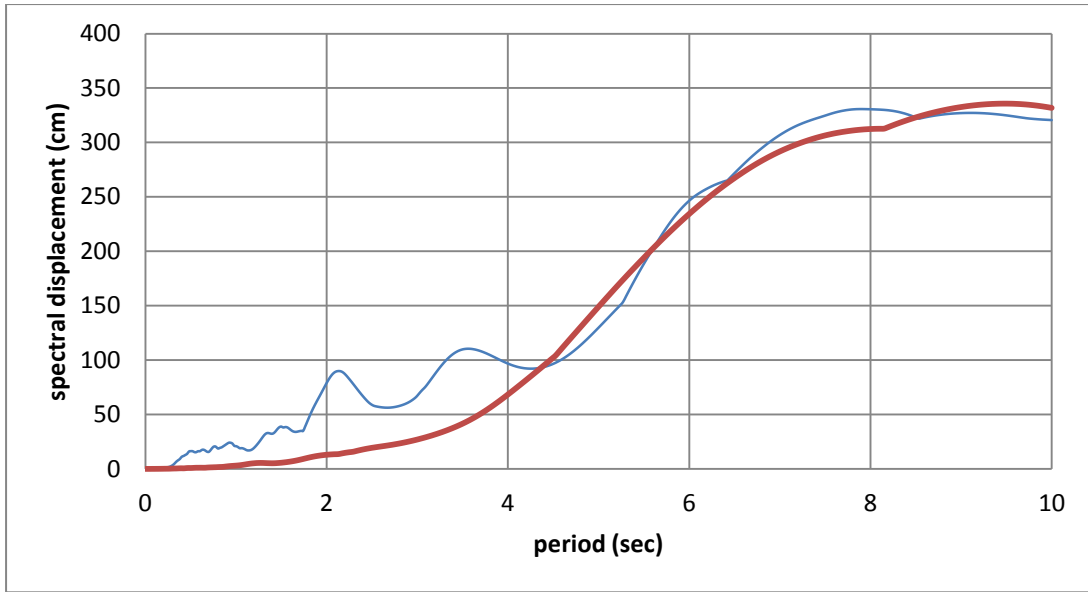




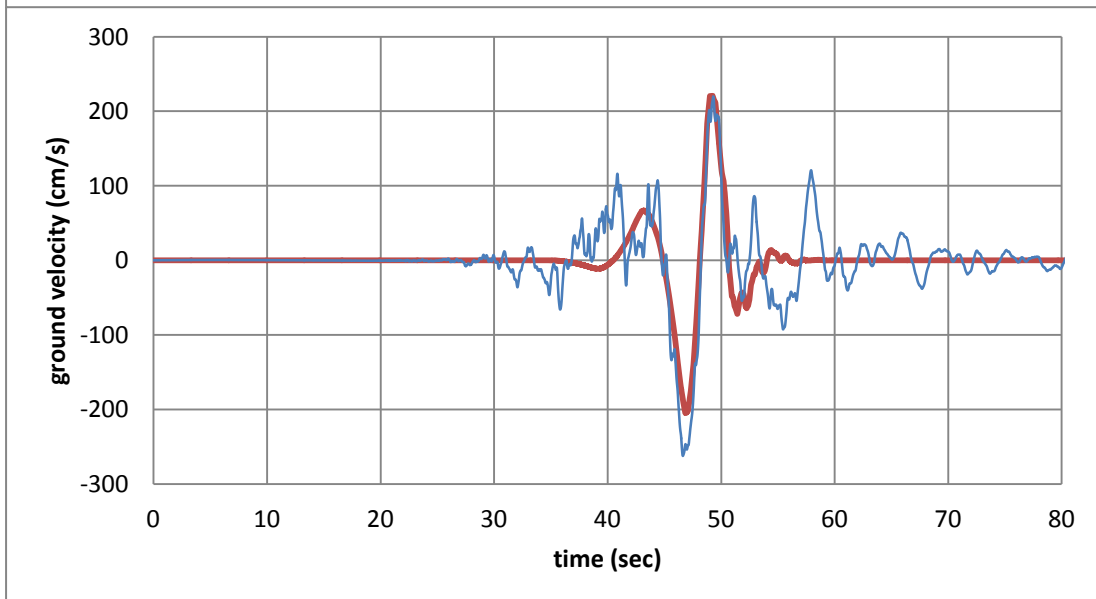
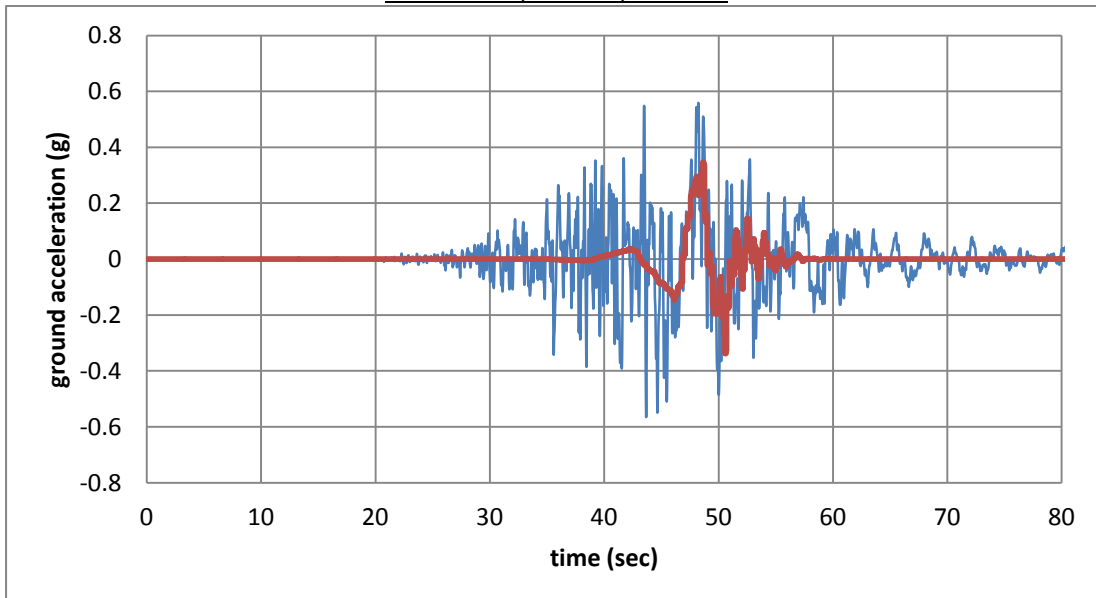
#62 Chi-Chi, Taiwan, TCU034

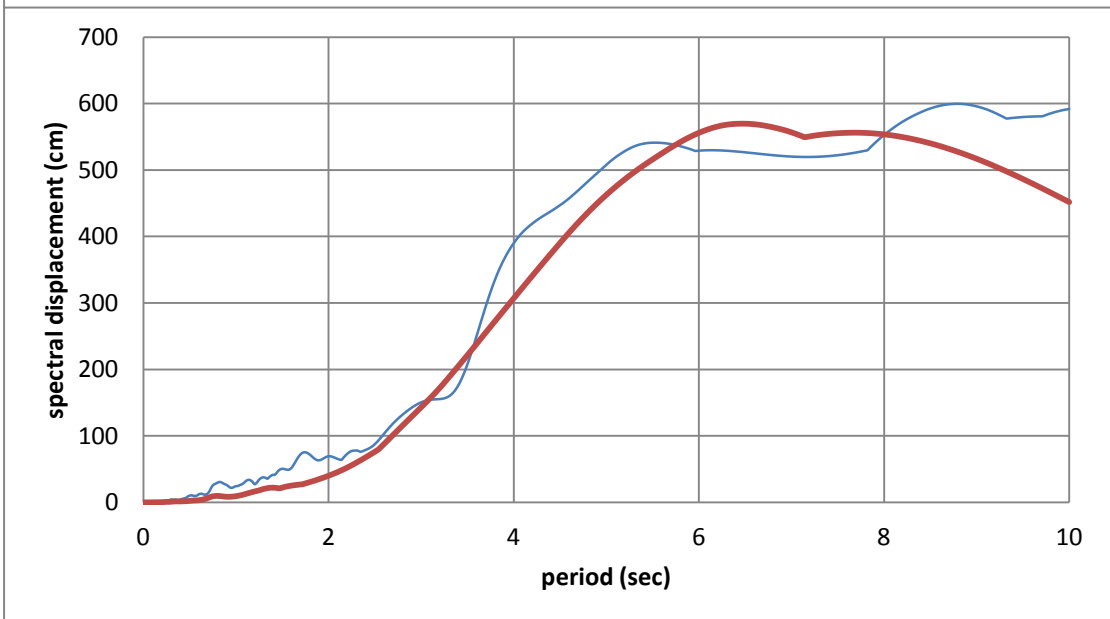
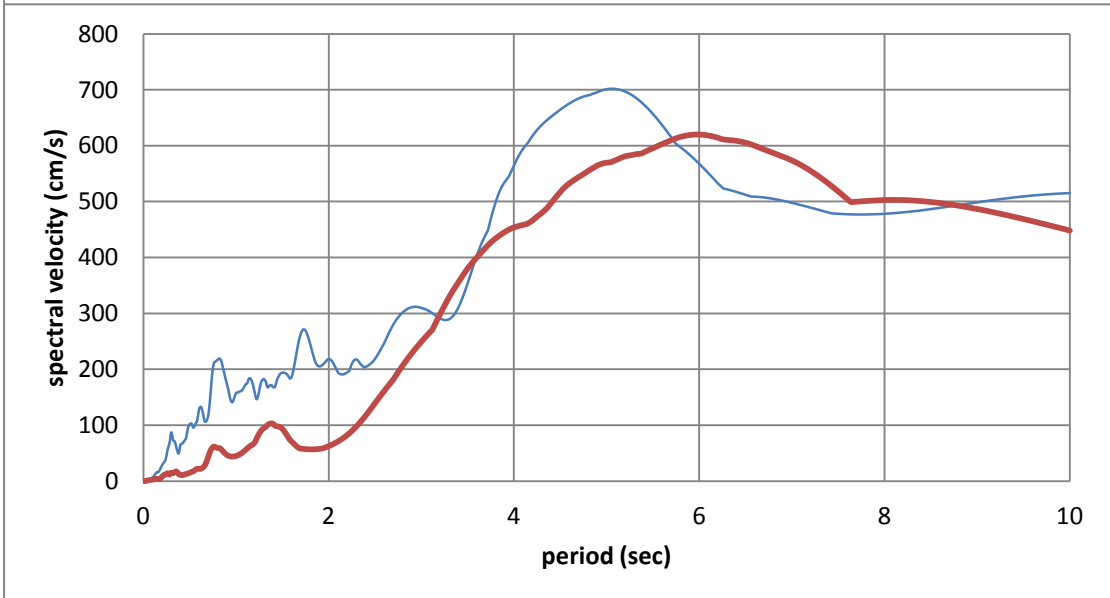
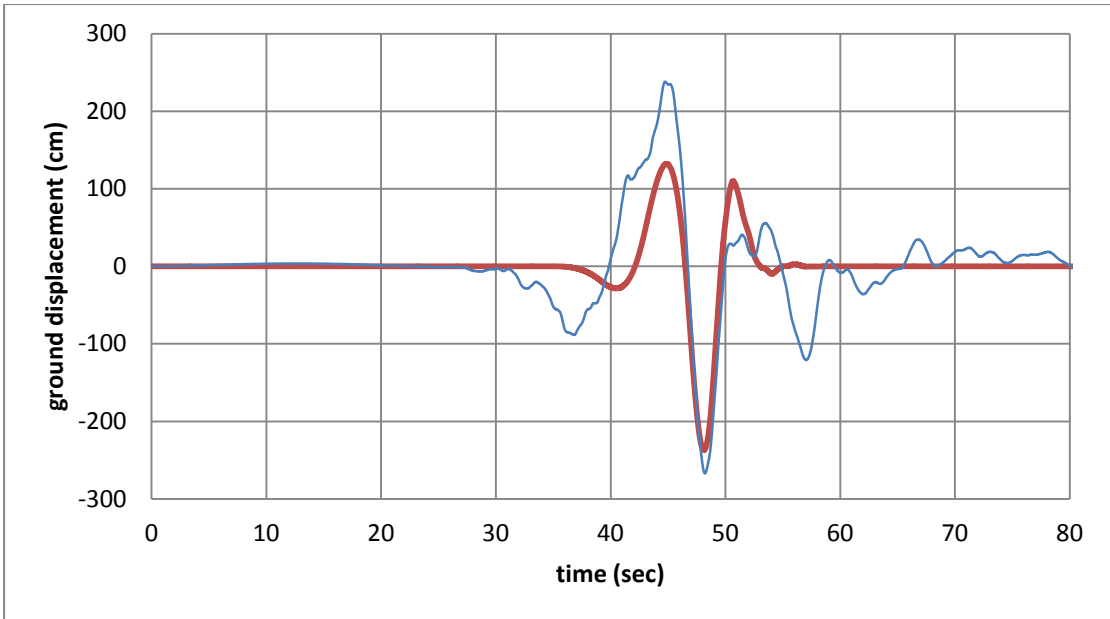




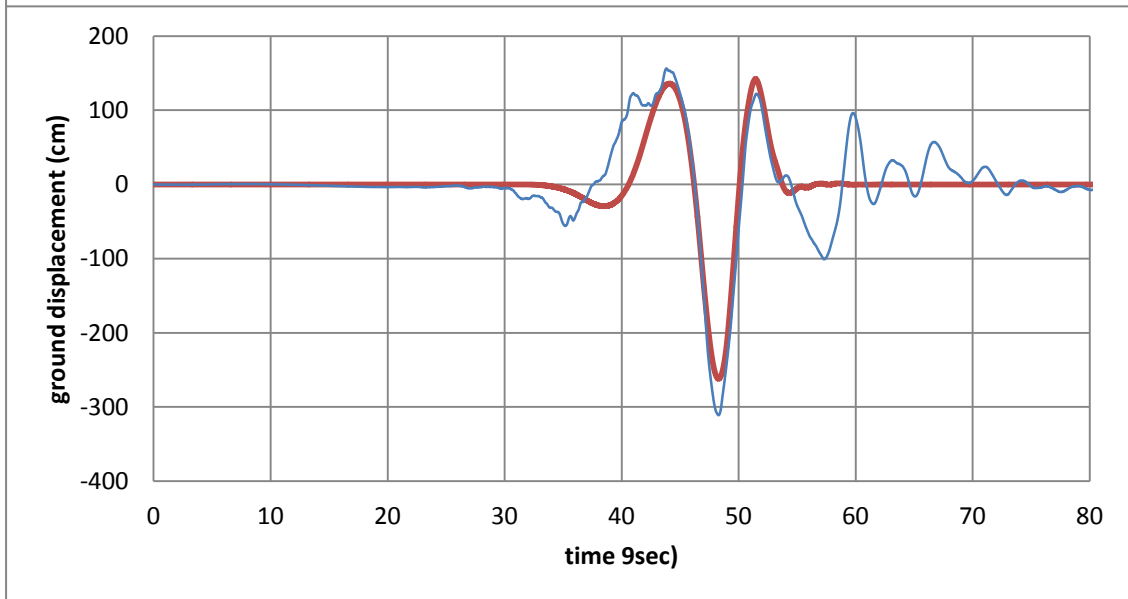
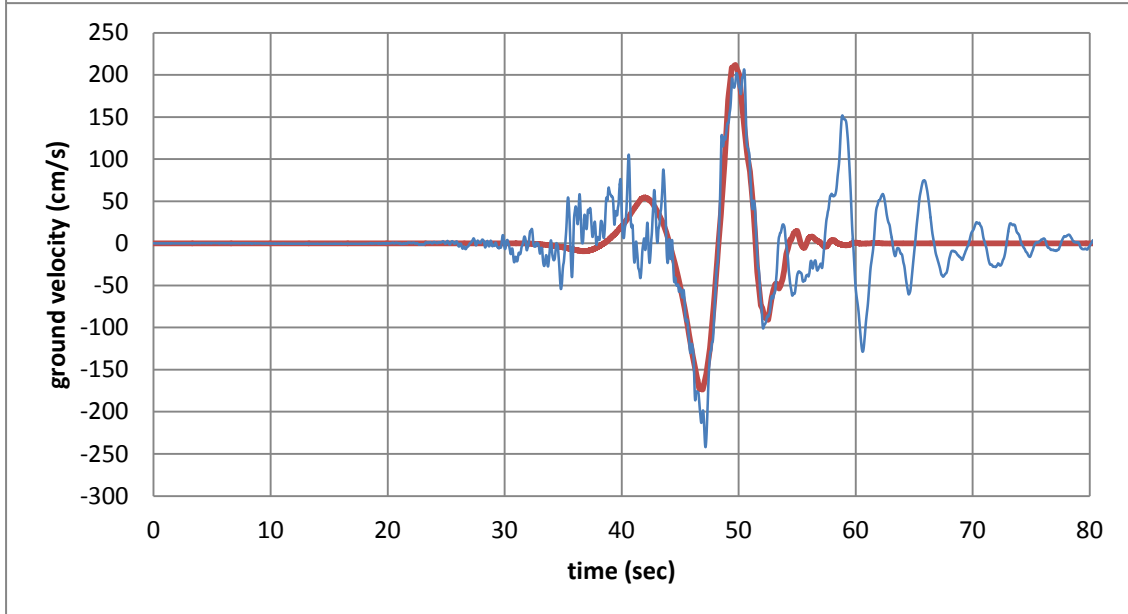
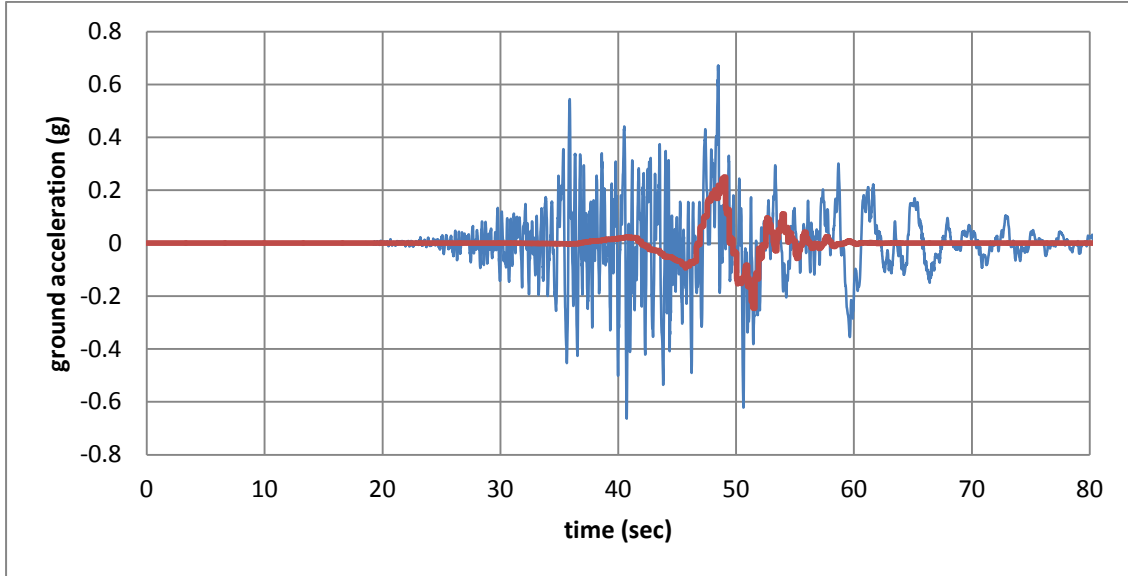


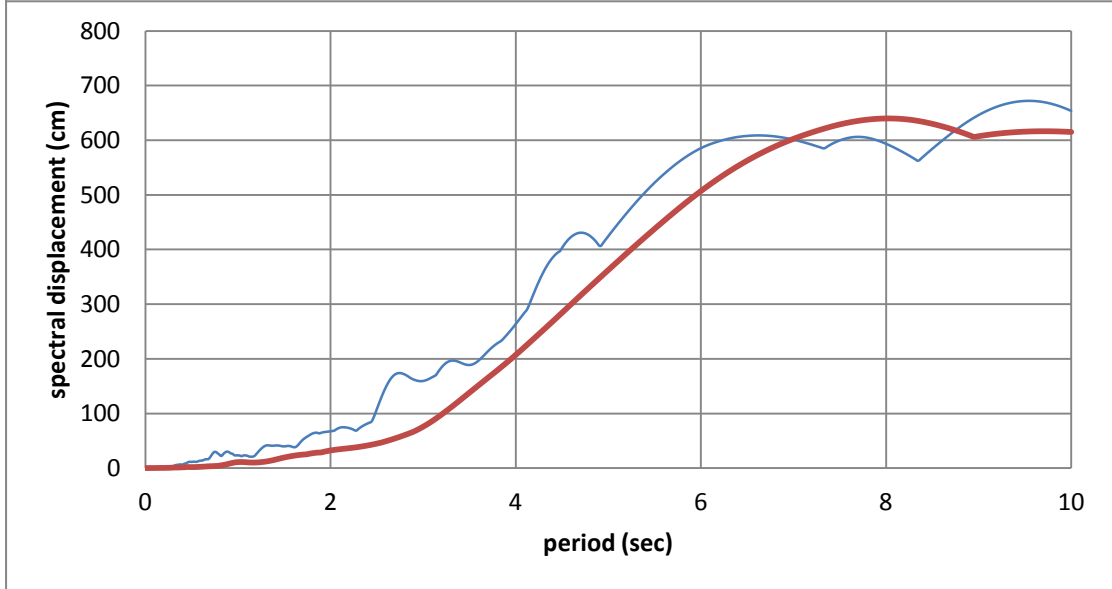
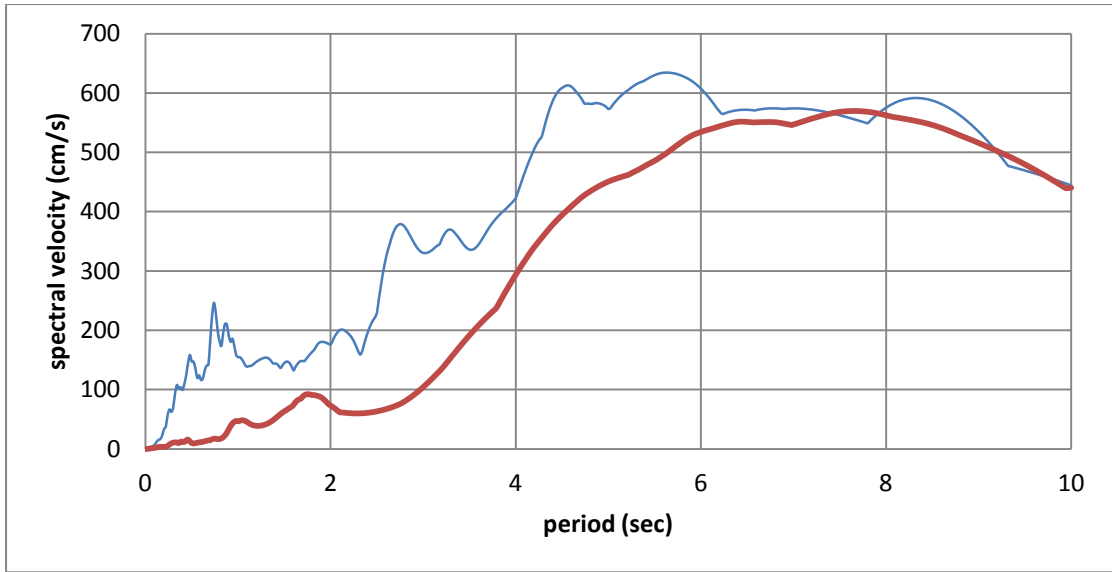
#63 Chi-Chi, Taiwan, TCU036



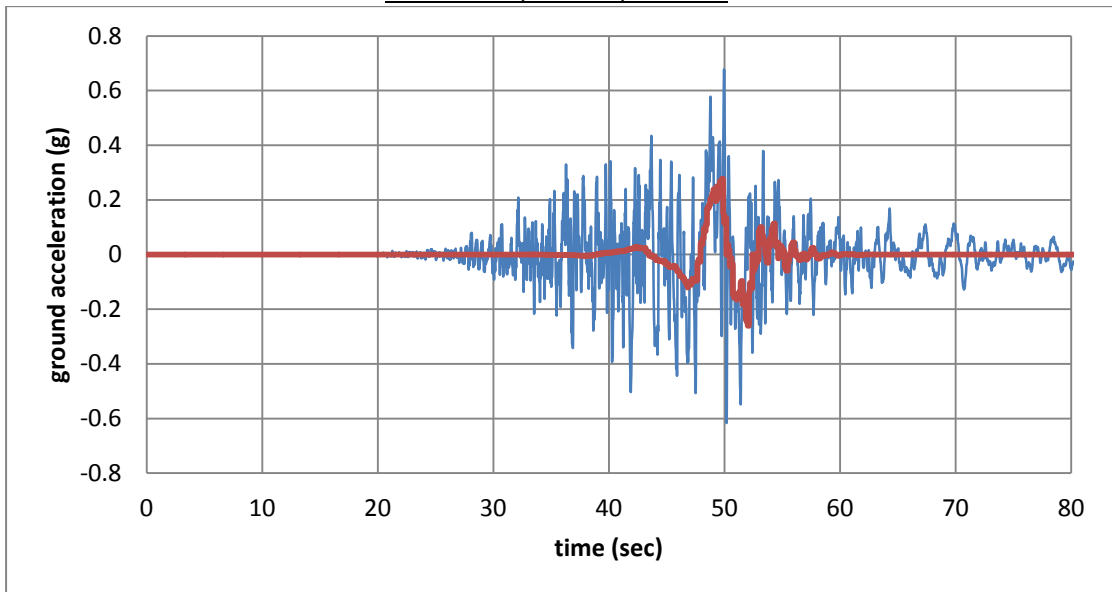


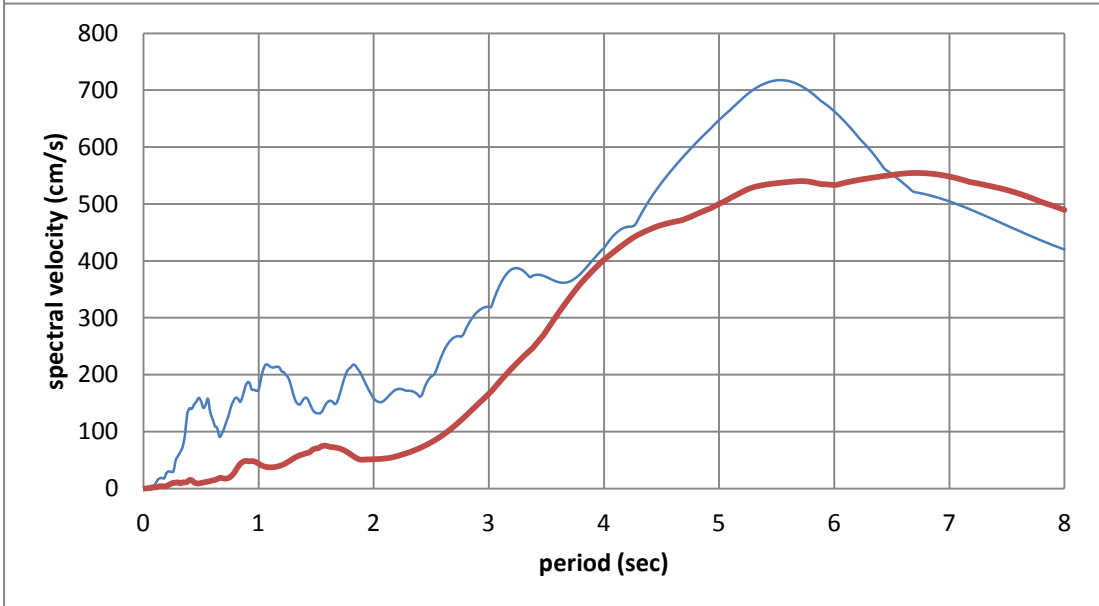
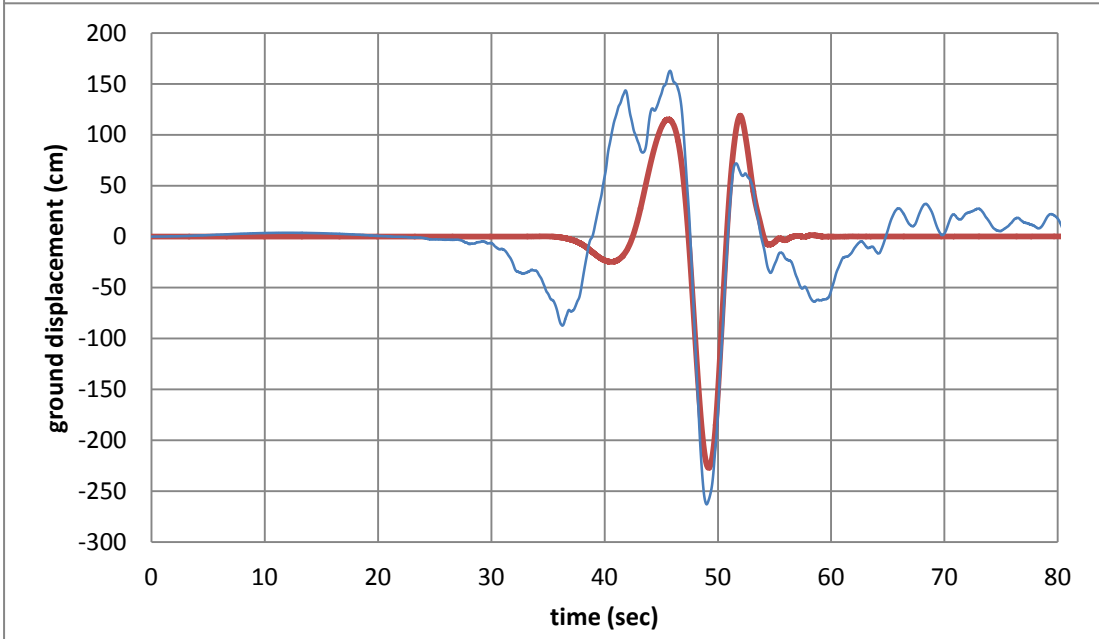
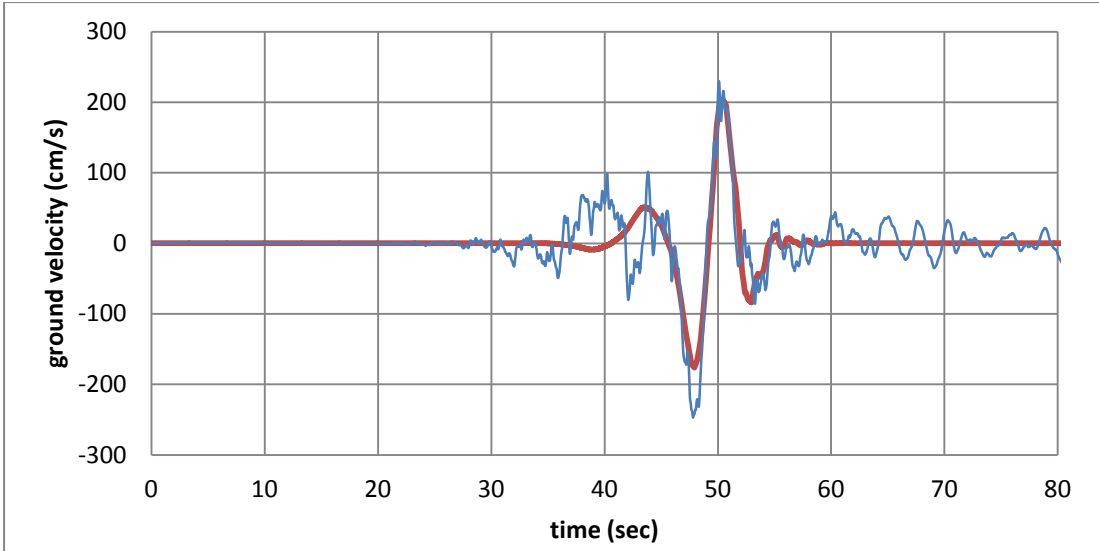
#64 Chi-Chi, Taiwan, TCU038

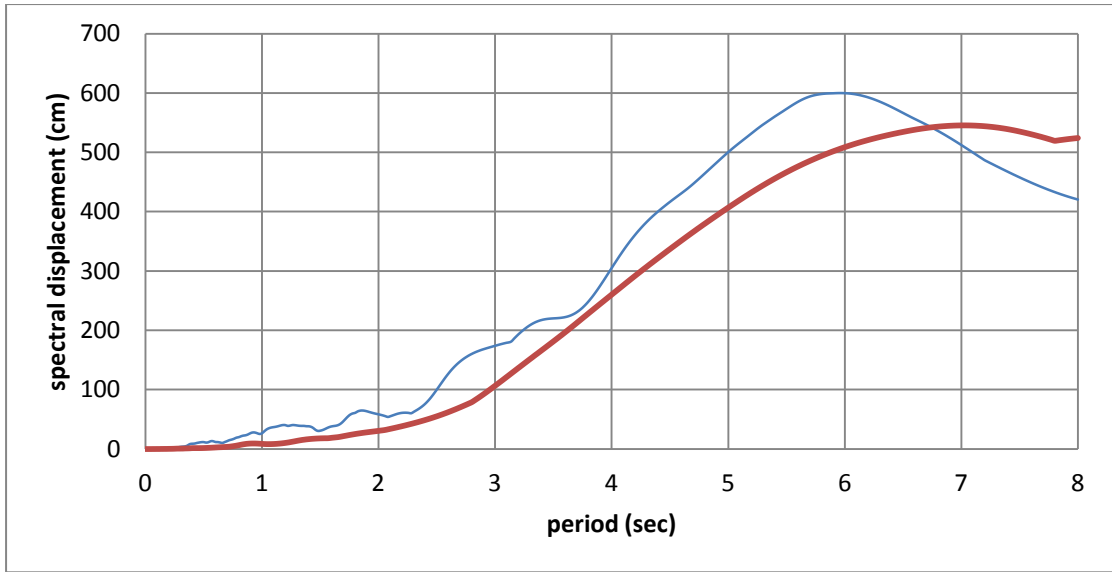




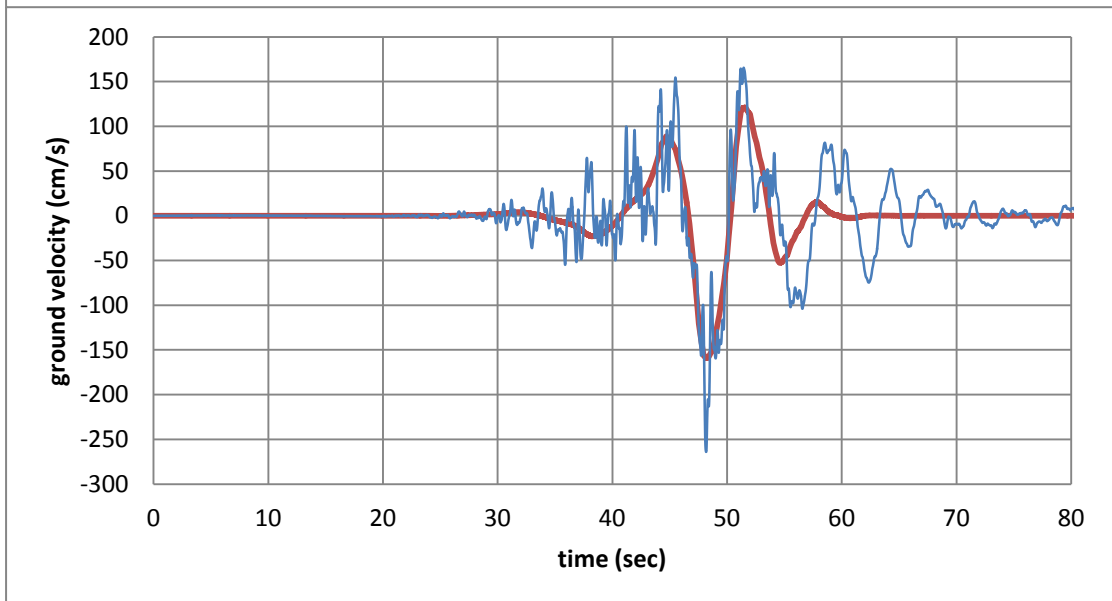
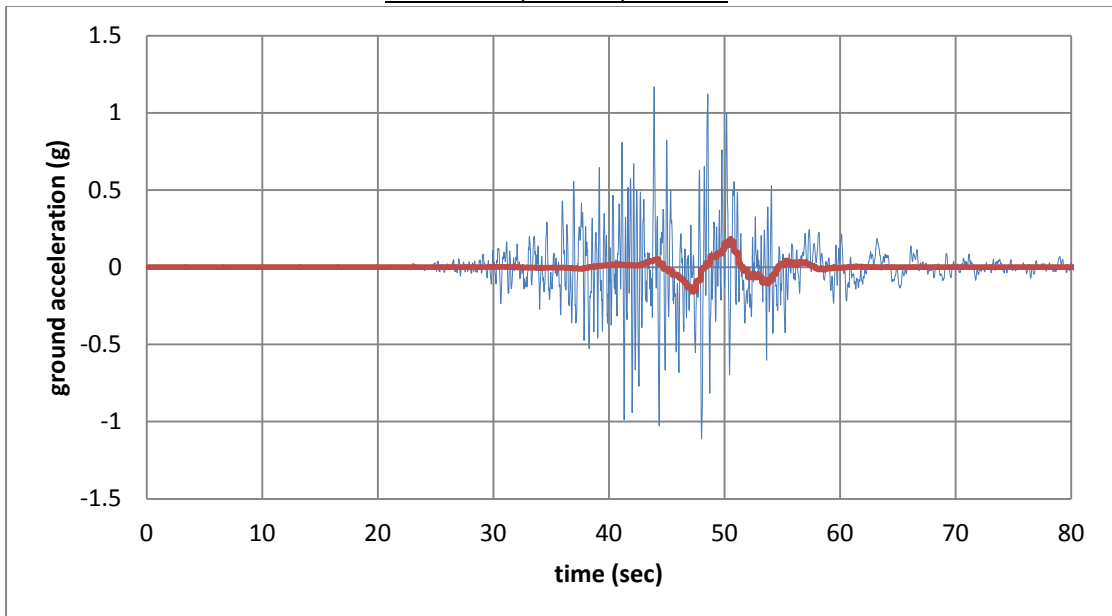
#65 Chi-Chi, Taiwan, TCU040

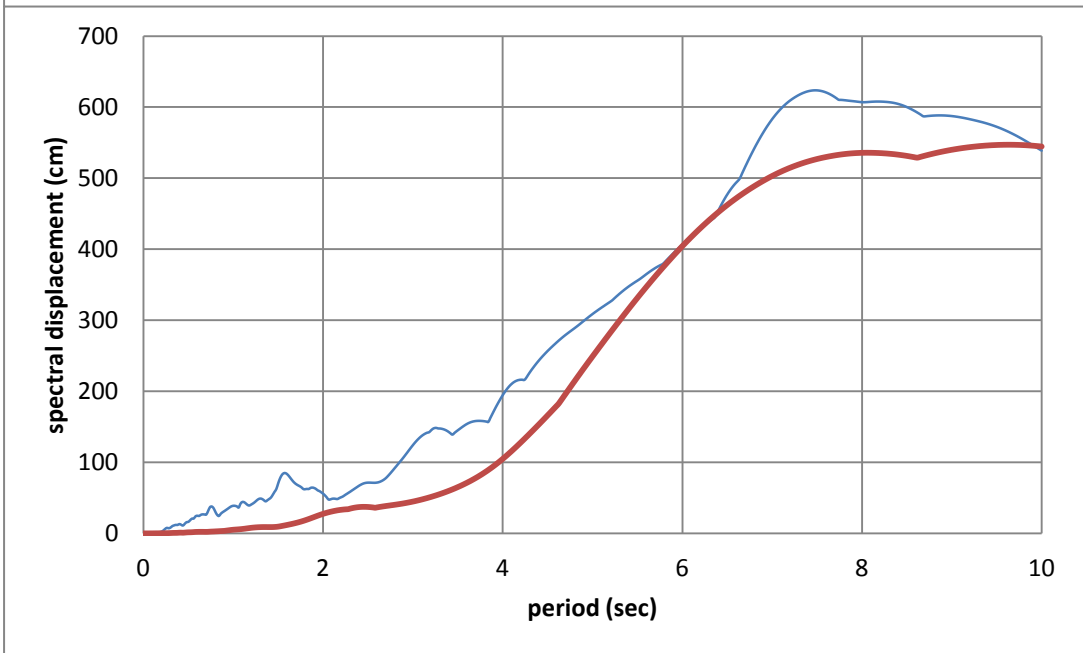
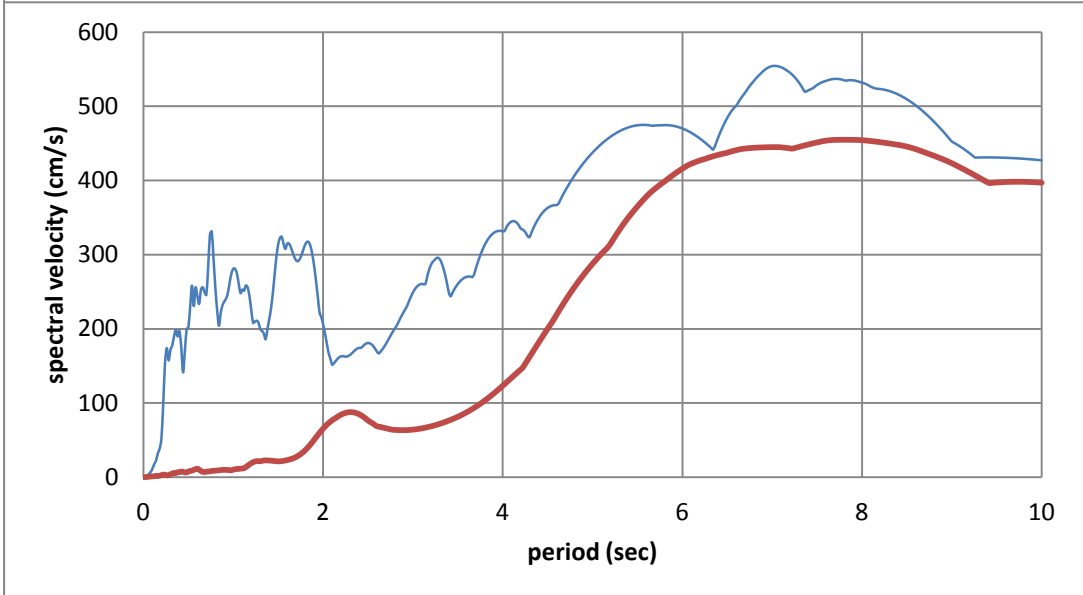
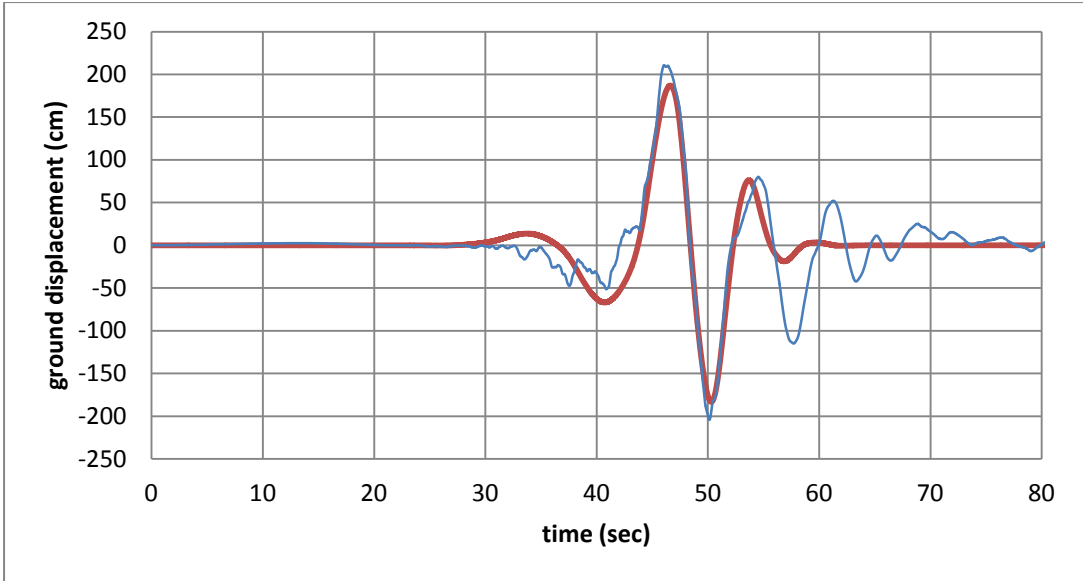




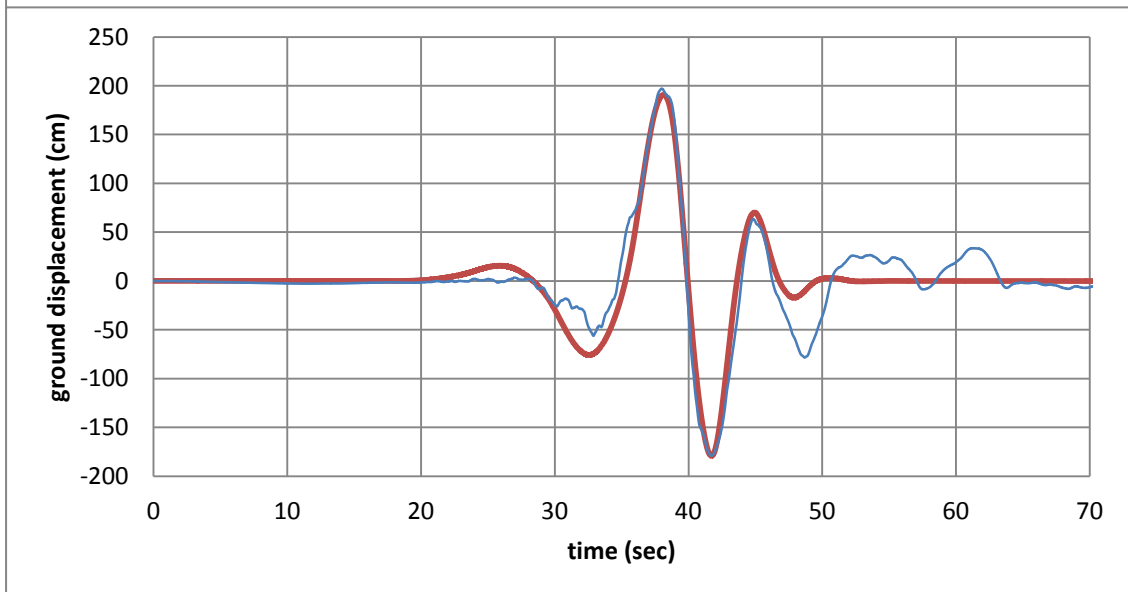
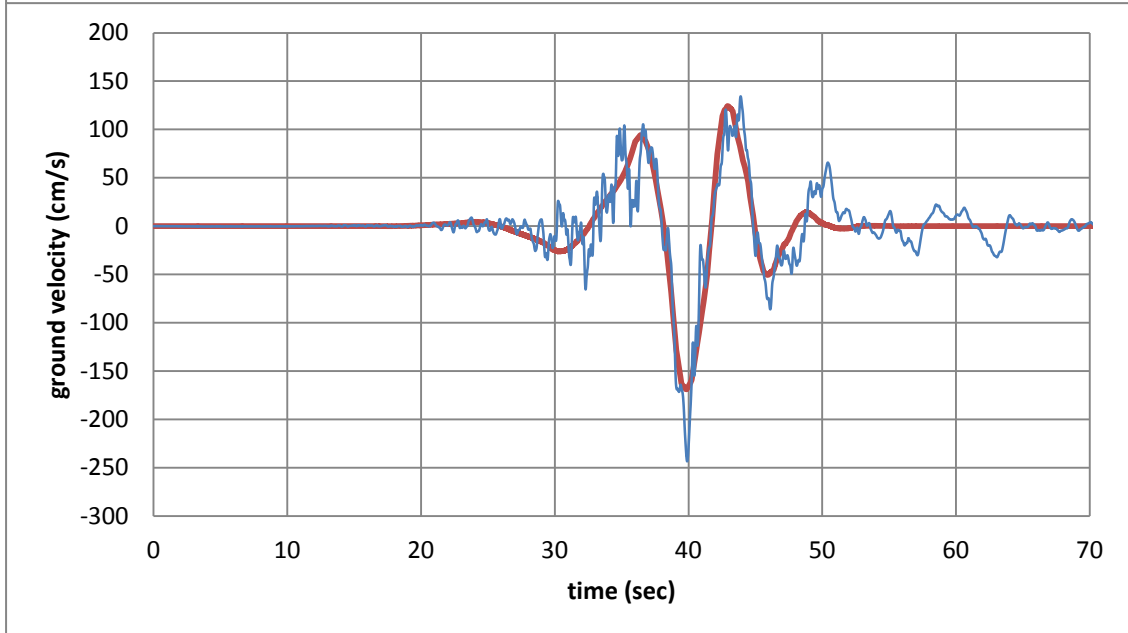
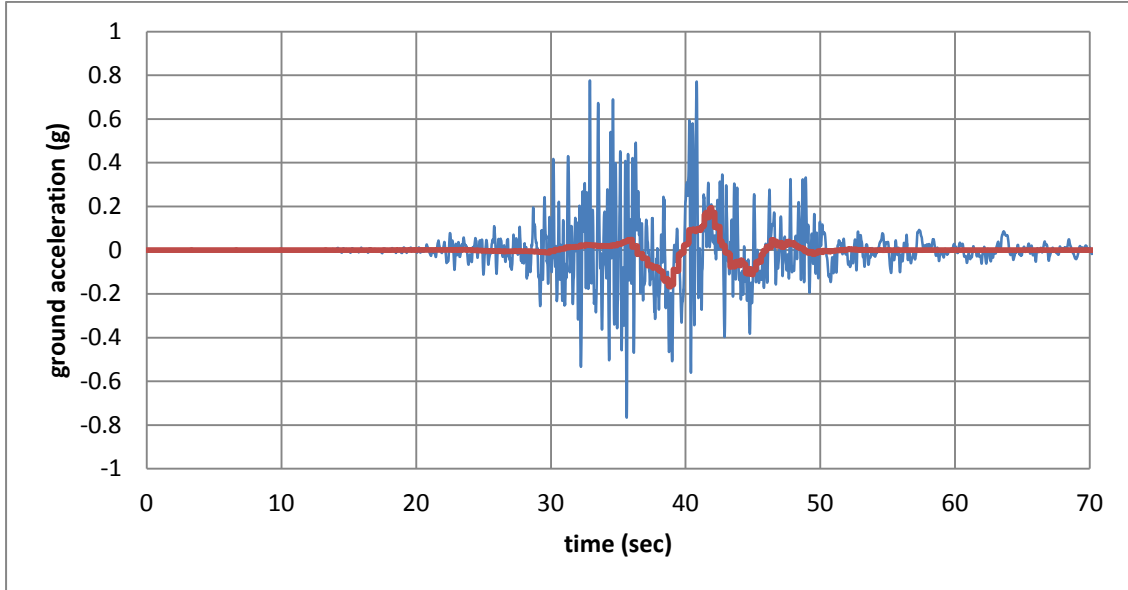


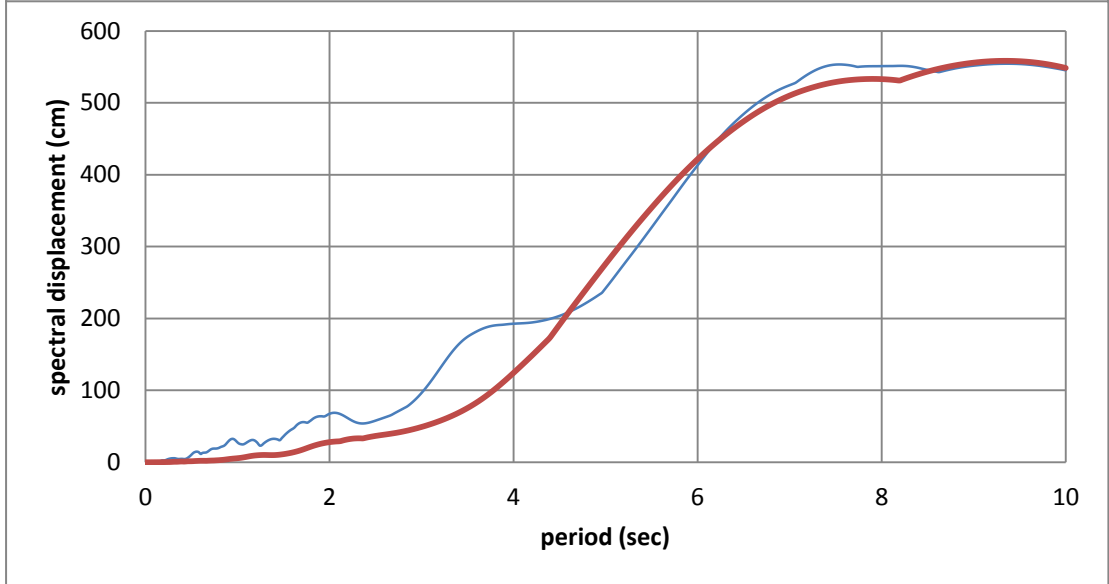
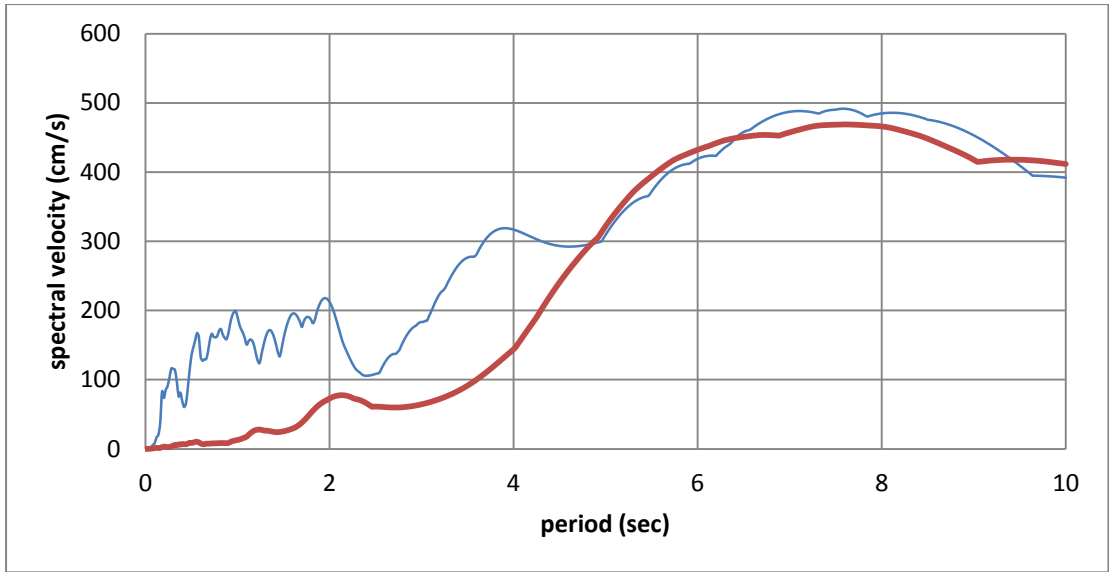
#66 Chi-Chi, Taiwan, TCU042



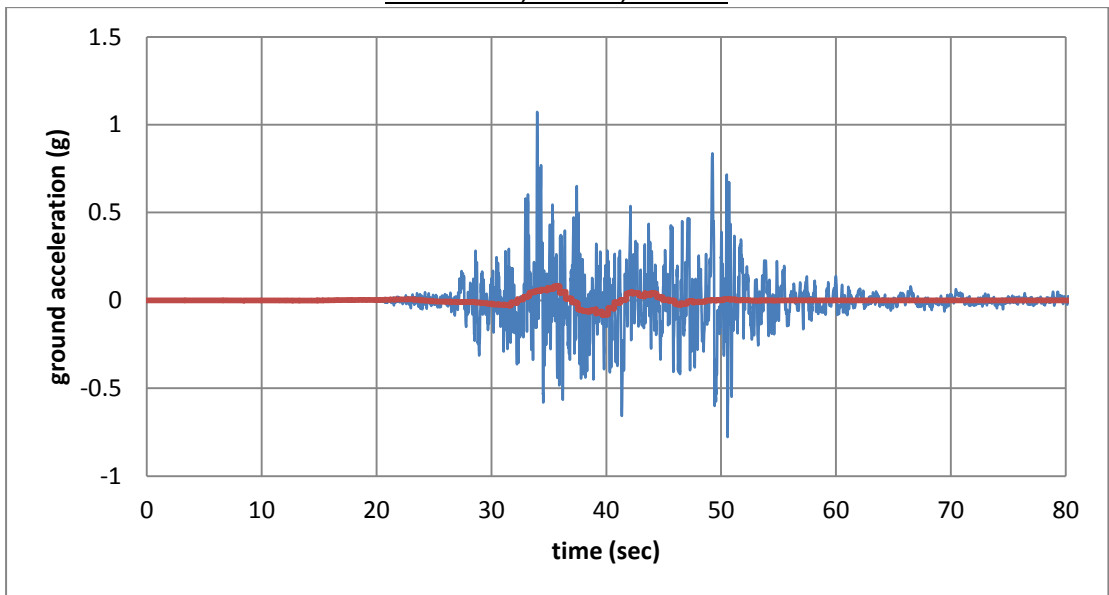


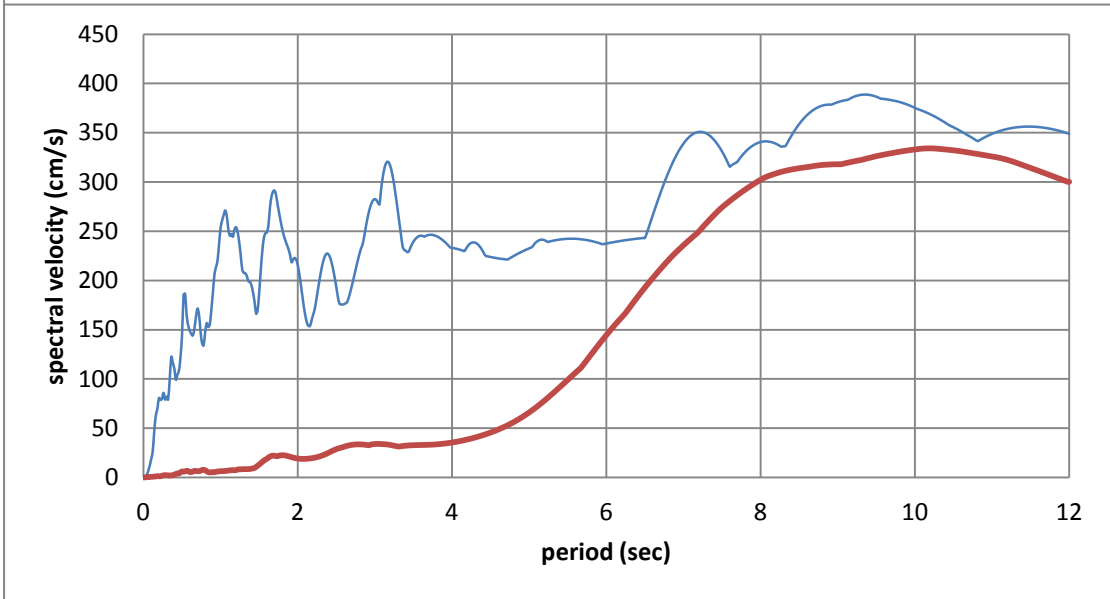
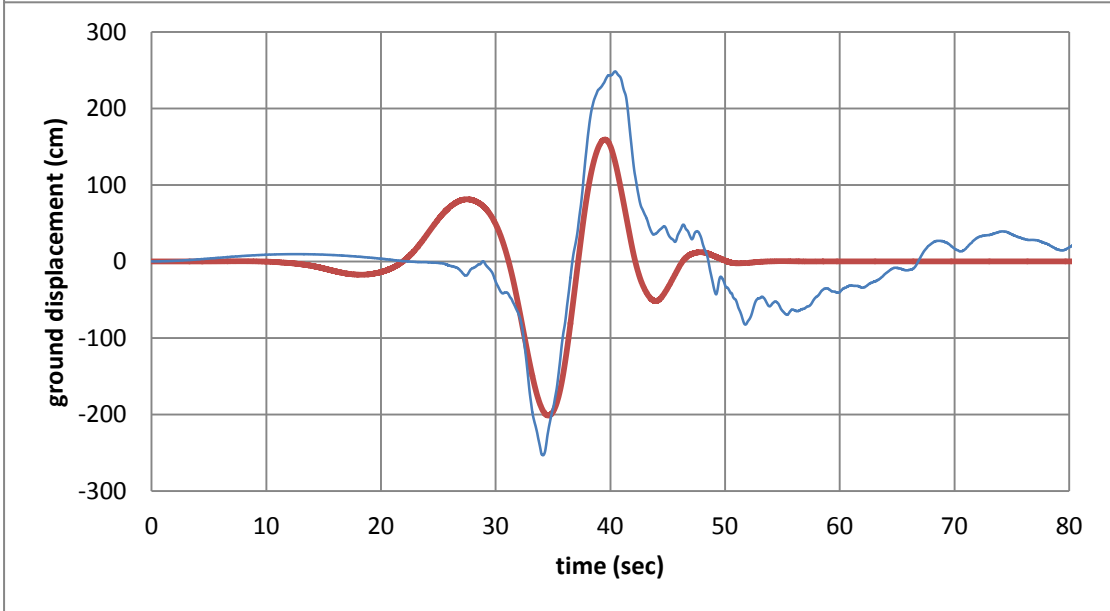
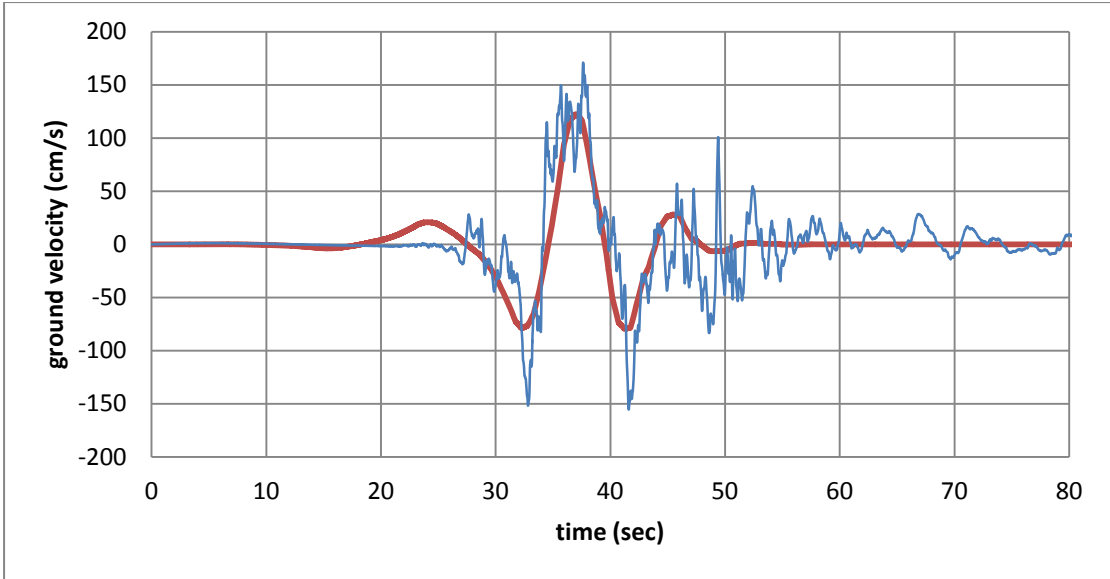
#67 Chi-Chi, Taiwan, TCU046

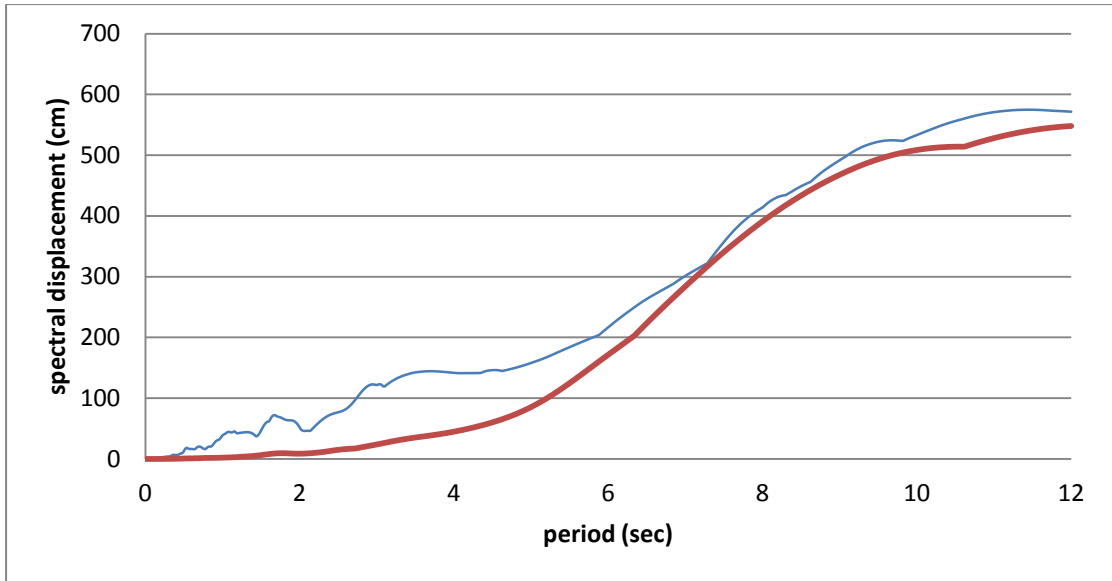




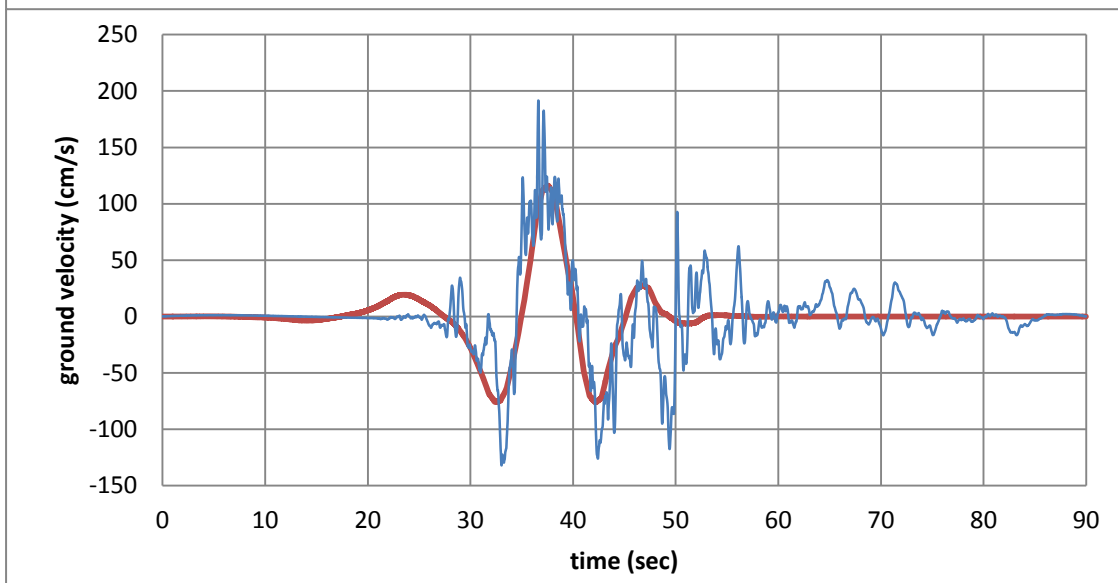
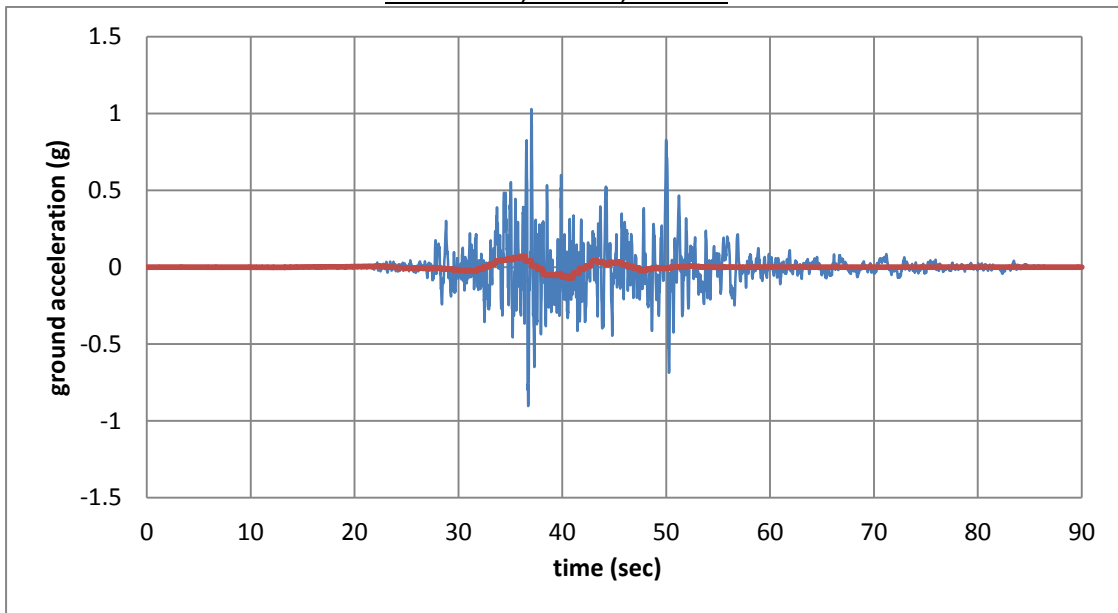
#68 Chi-Chi, Taiwan, TCU049

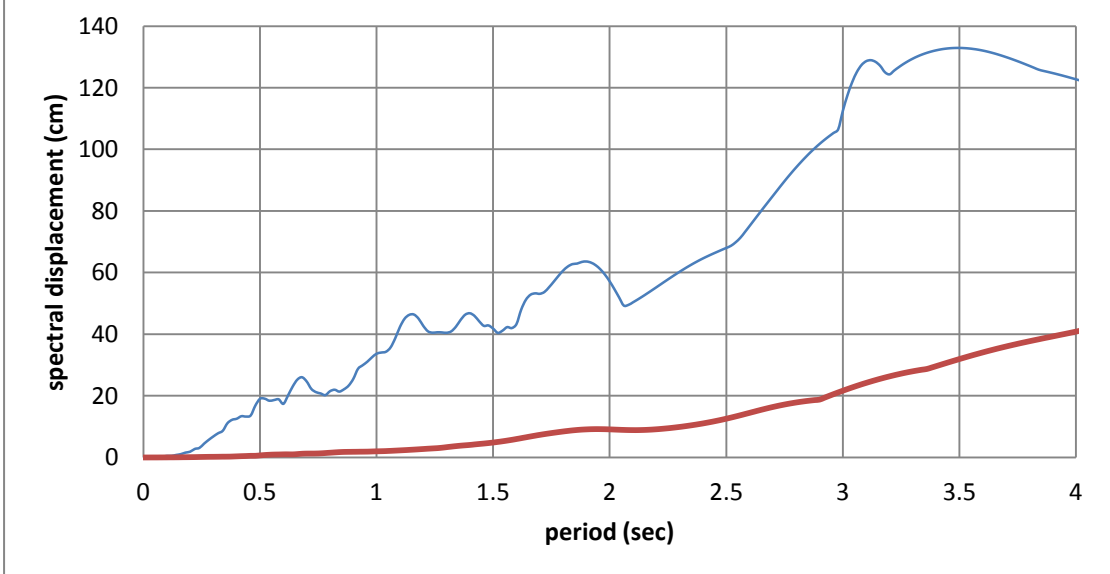
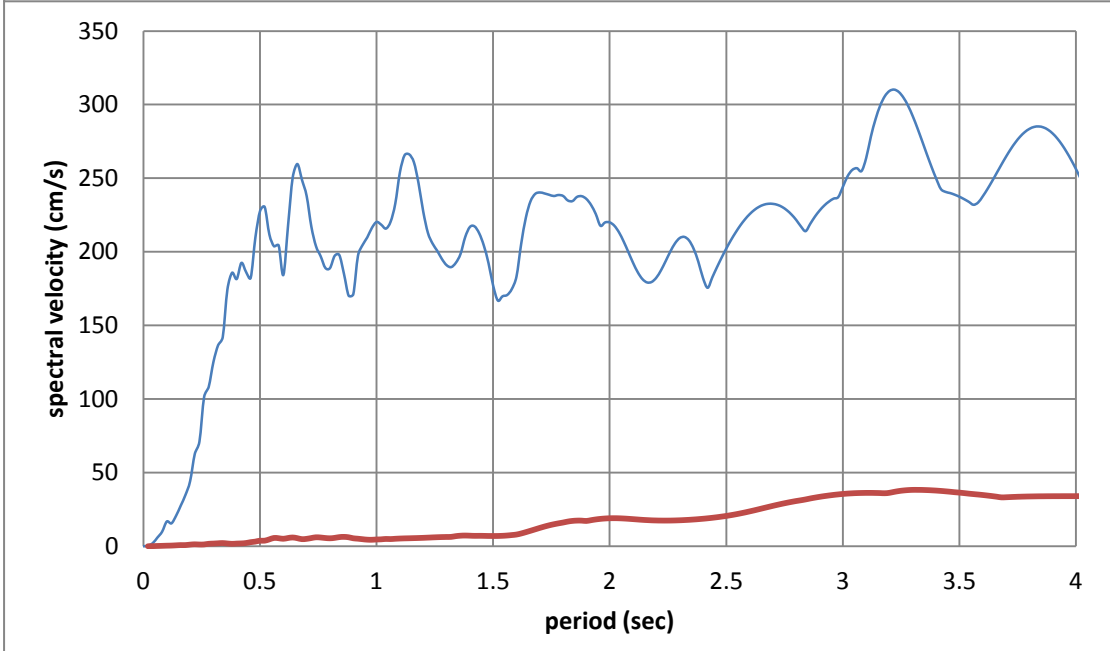
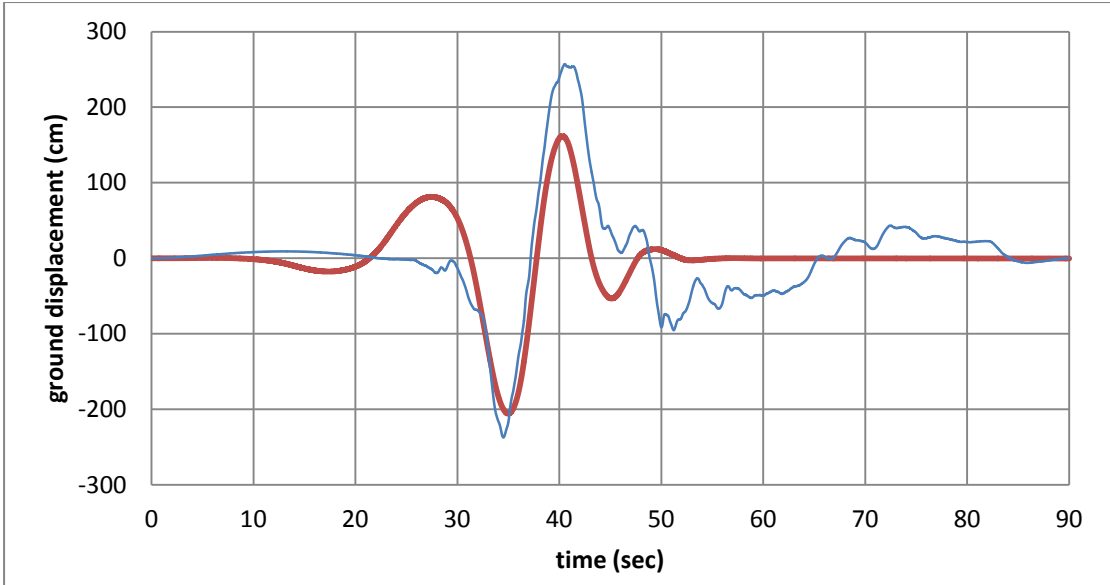




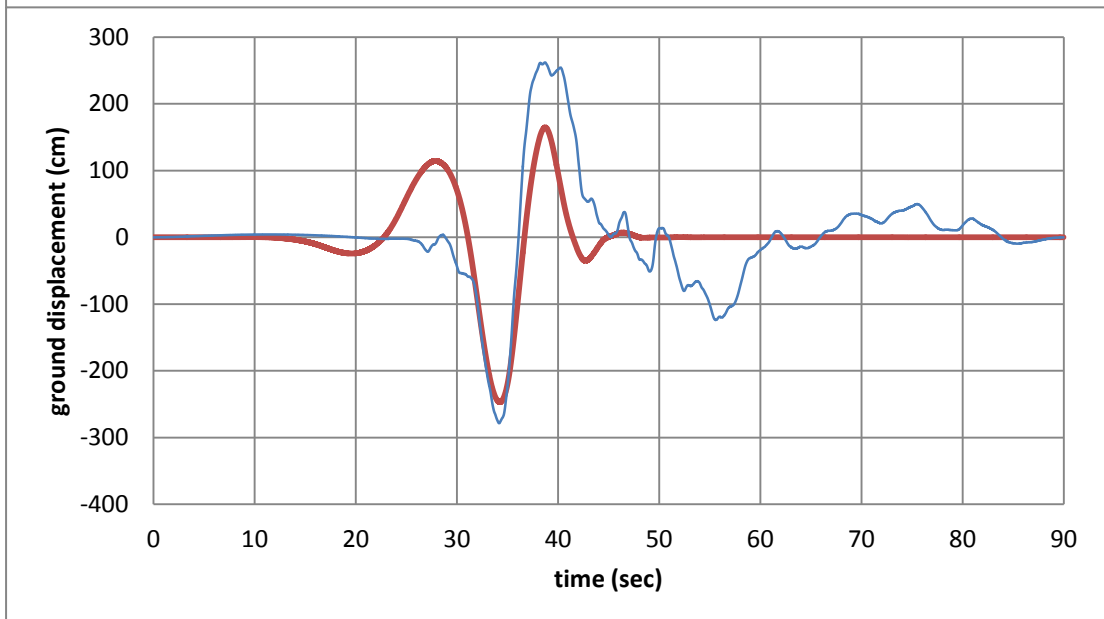
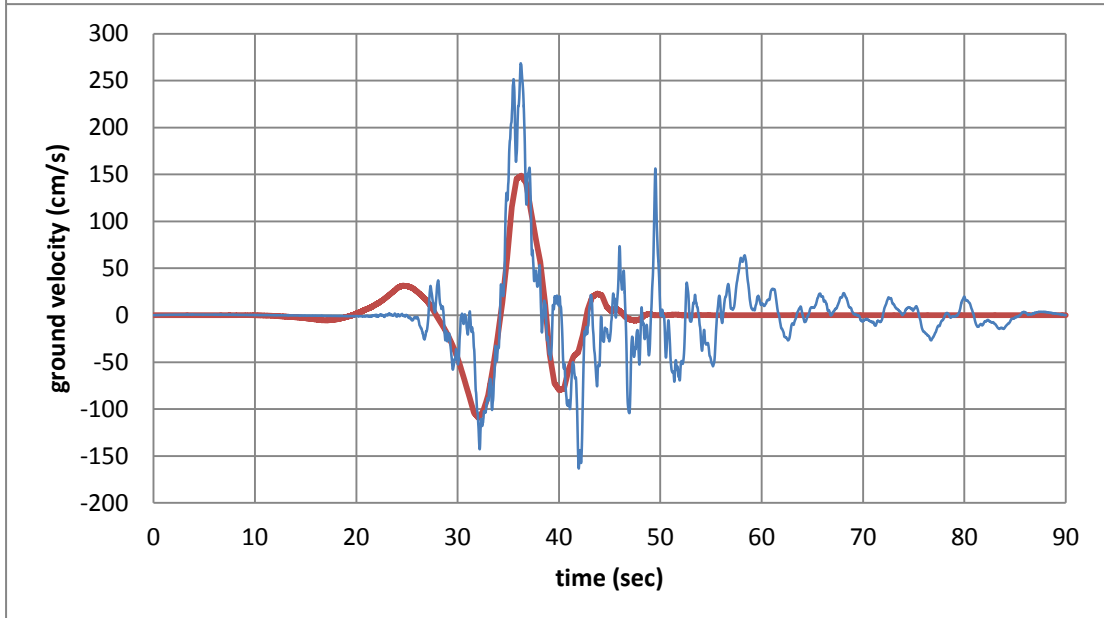
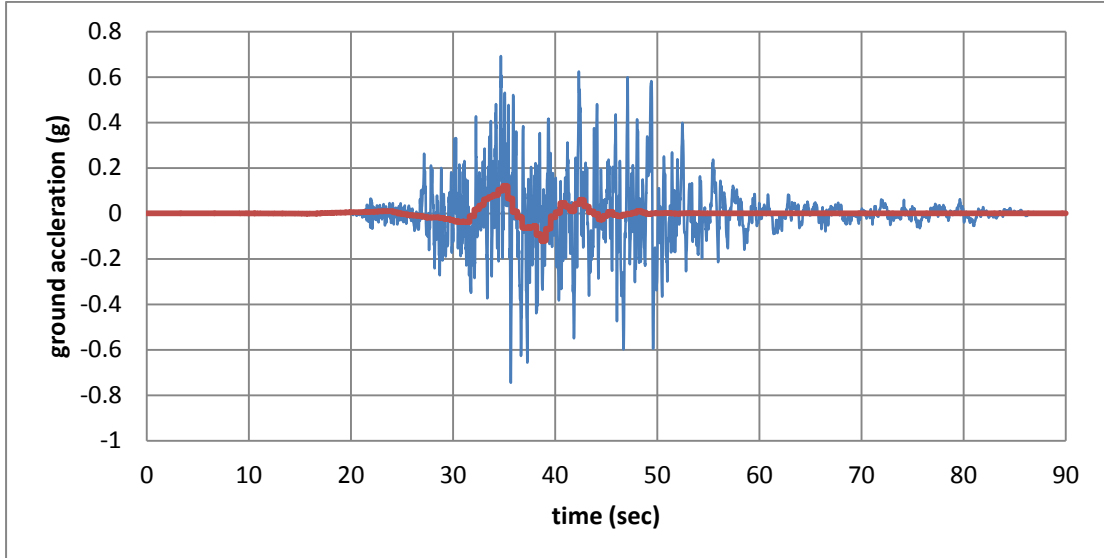


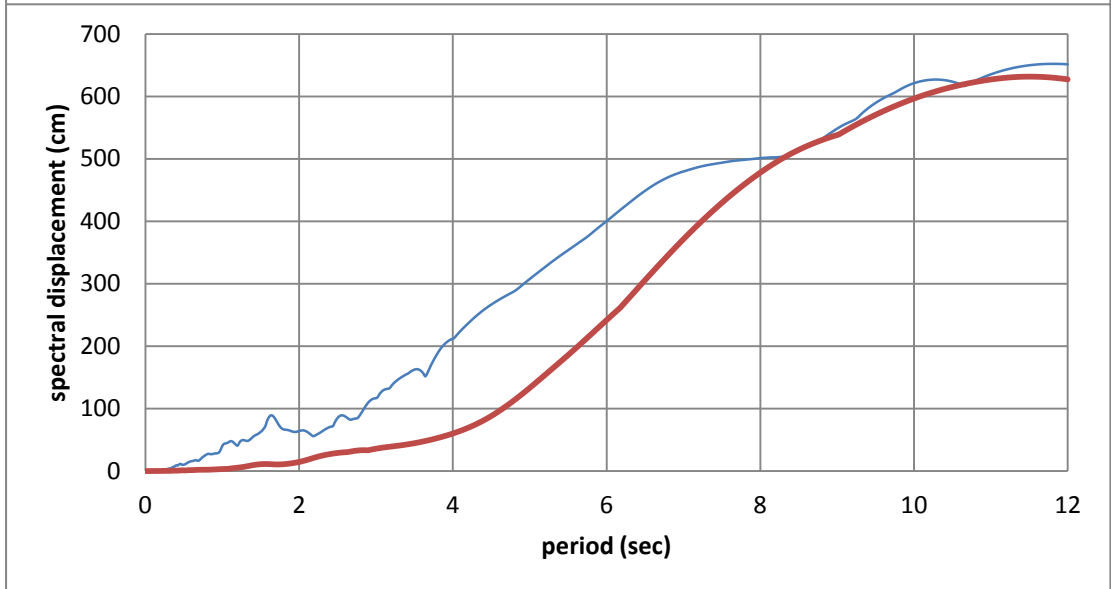
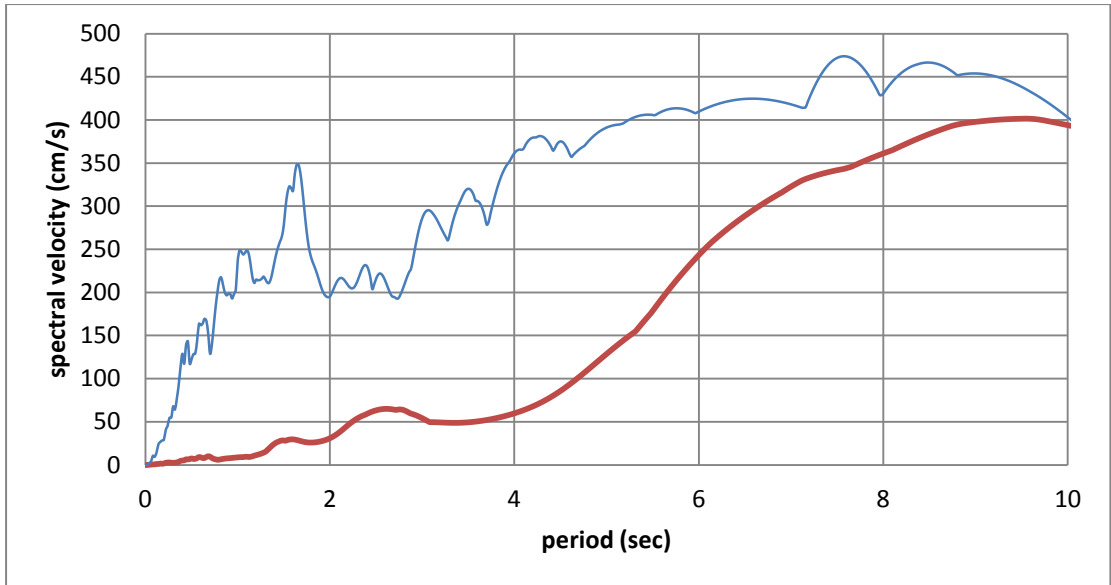
#69 Chi-Chi, Taiwan, TCU053



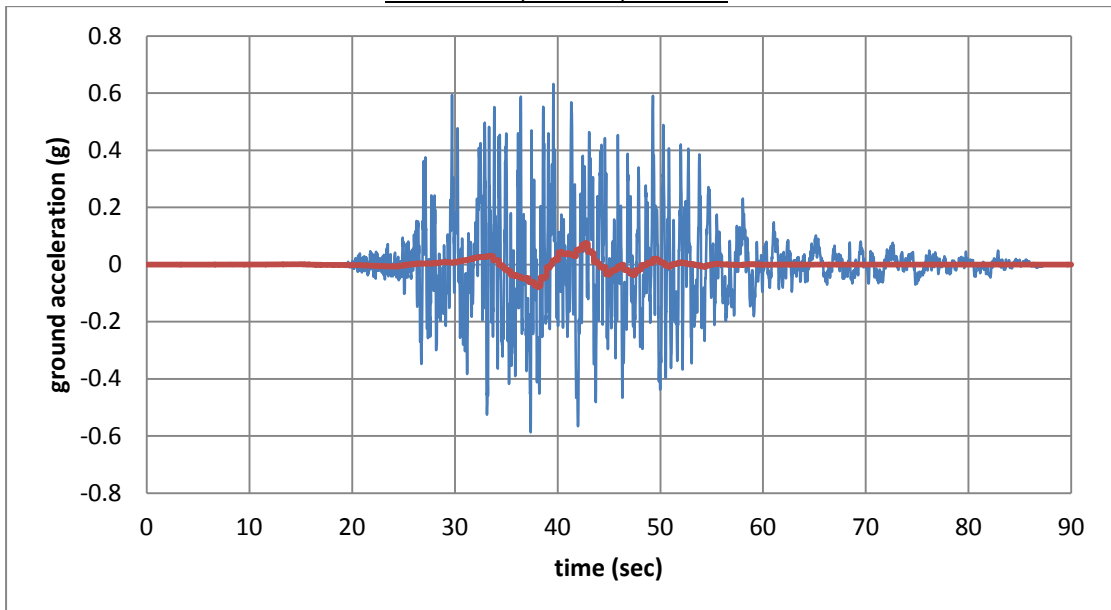


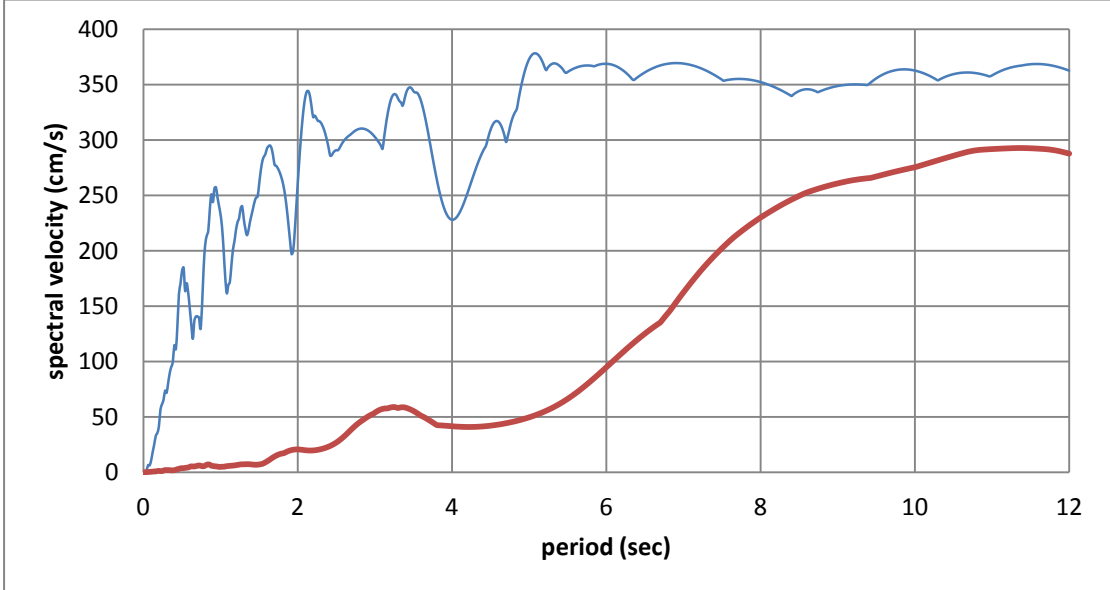
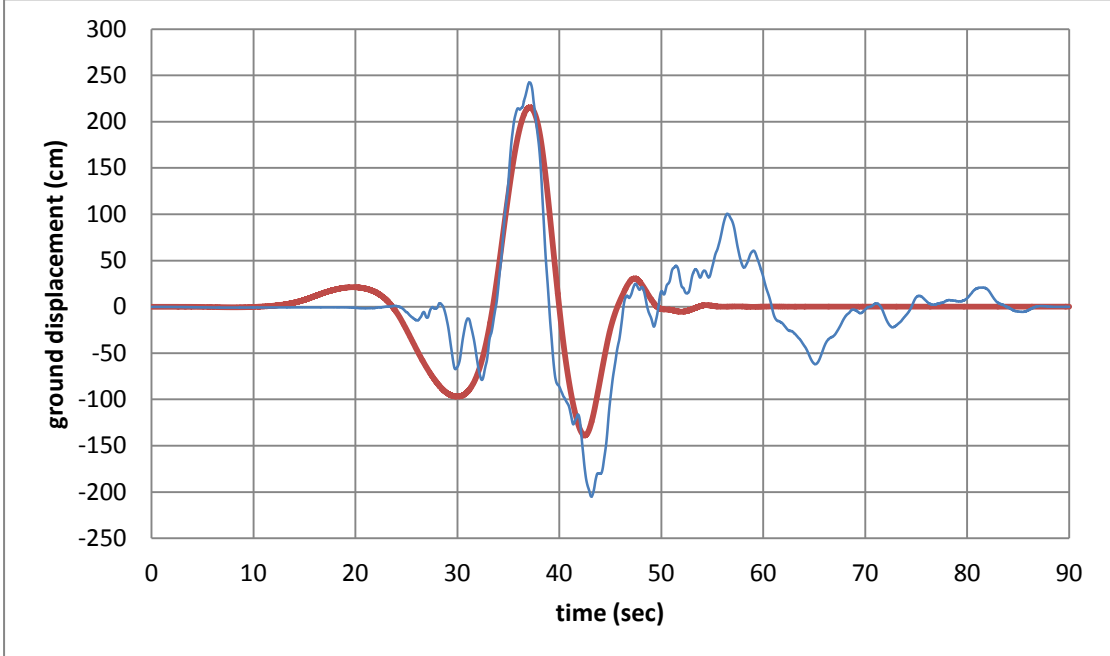
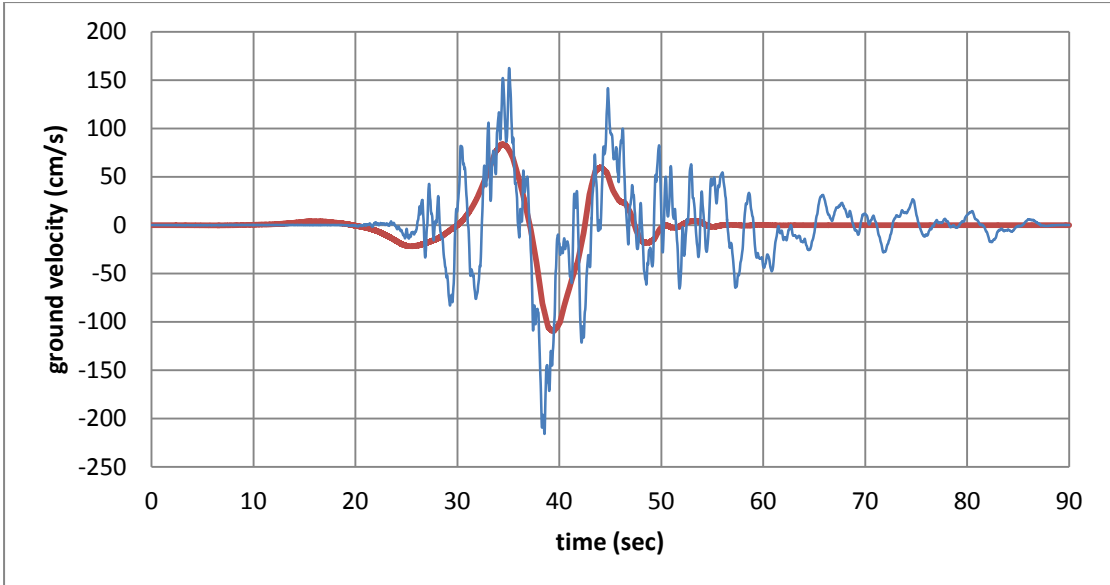
#70 Chi-Chi, Taiwan, TCU054

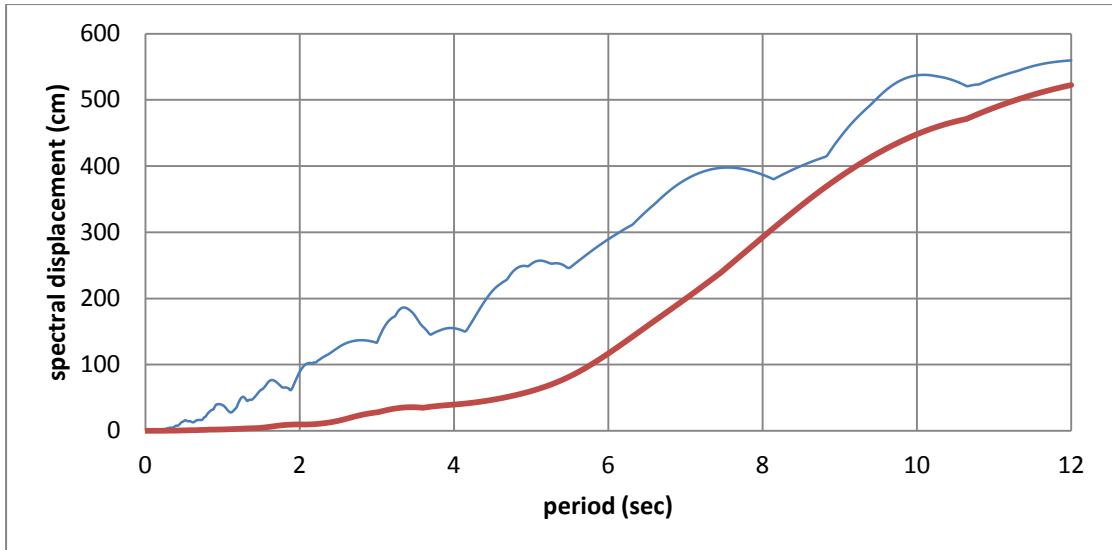




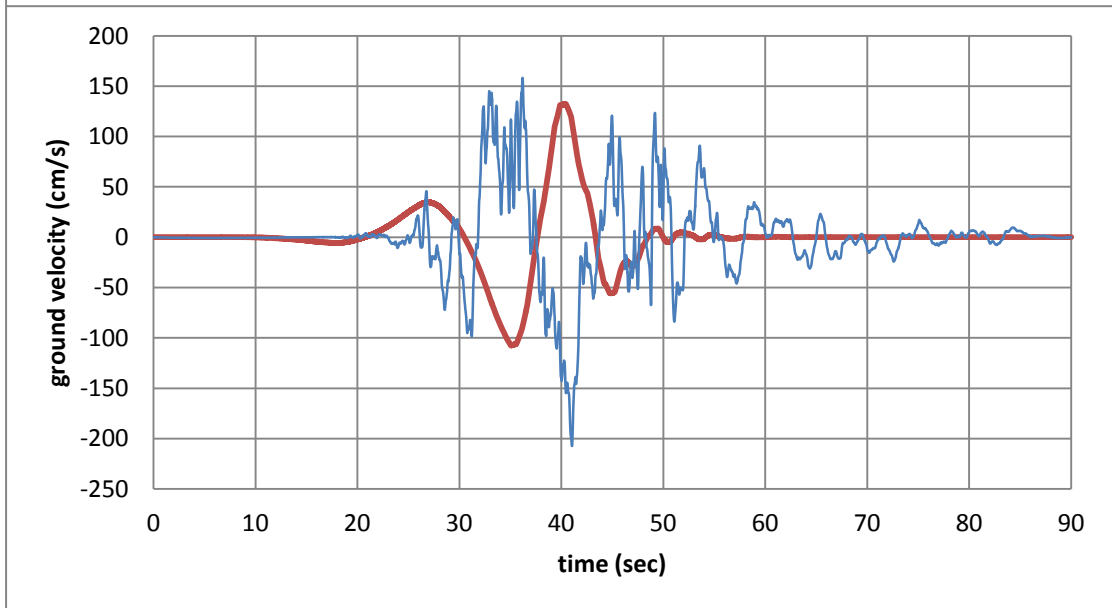
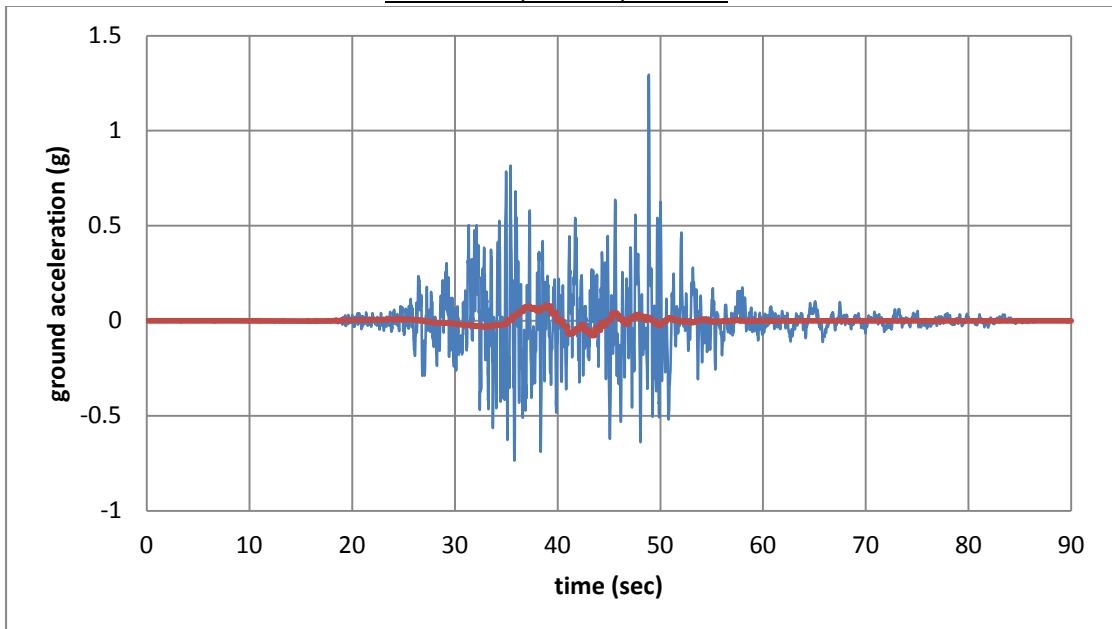
#71 Chi-Chi, Taiwan, TCU056

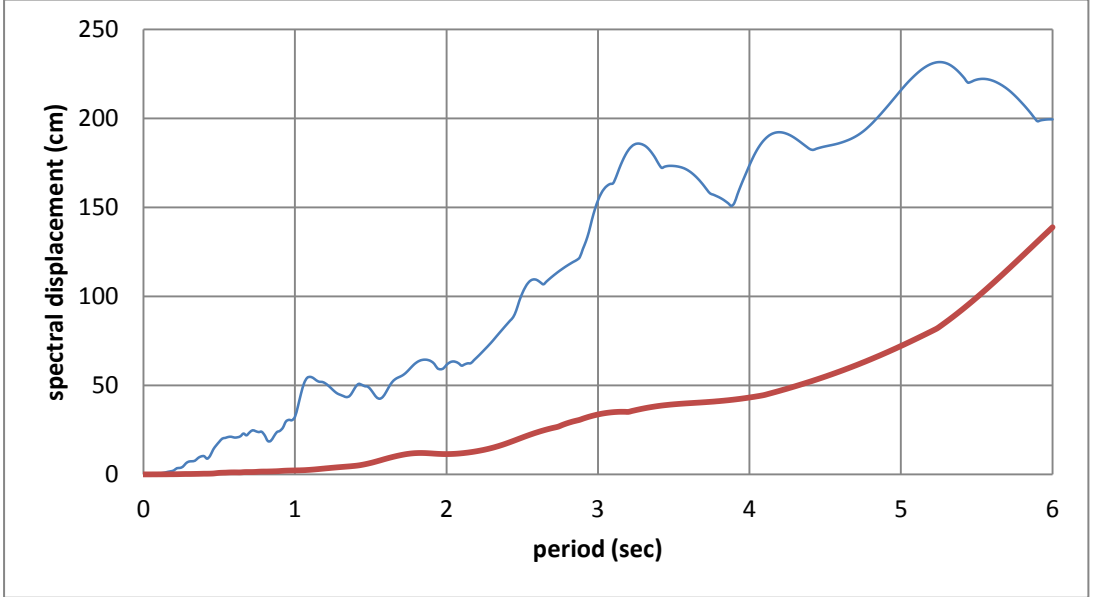
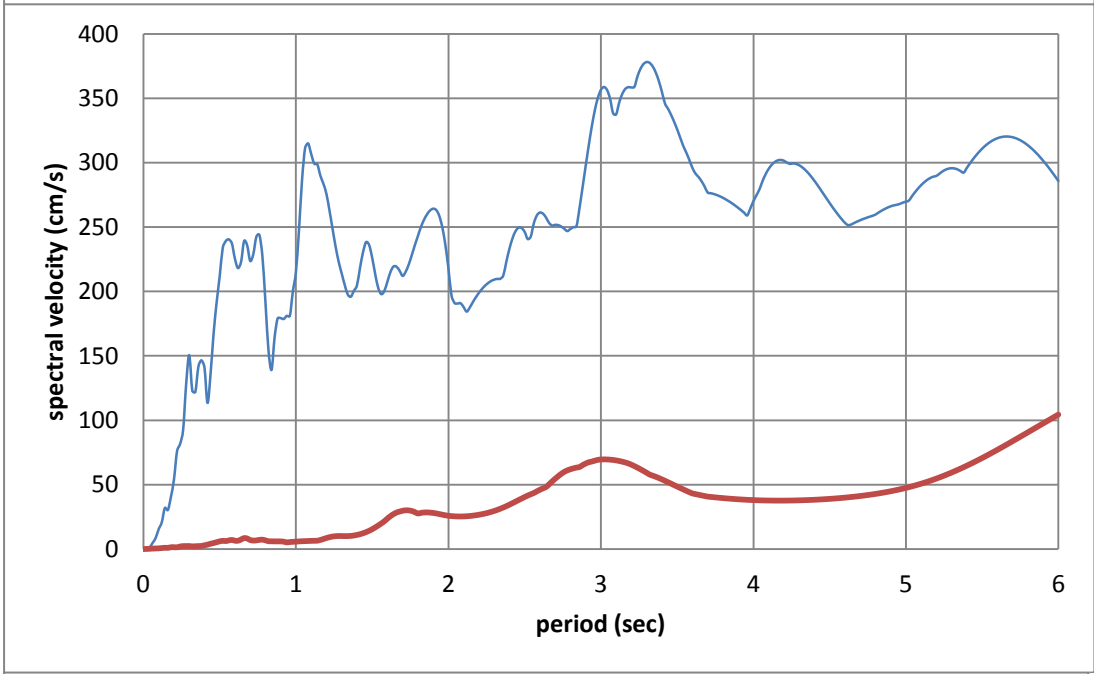
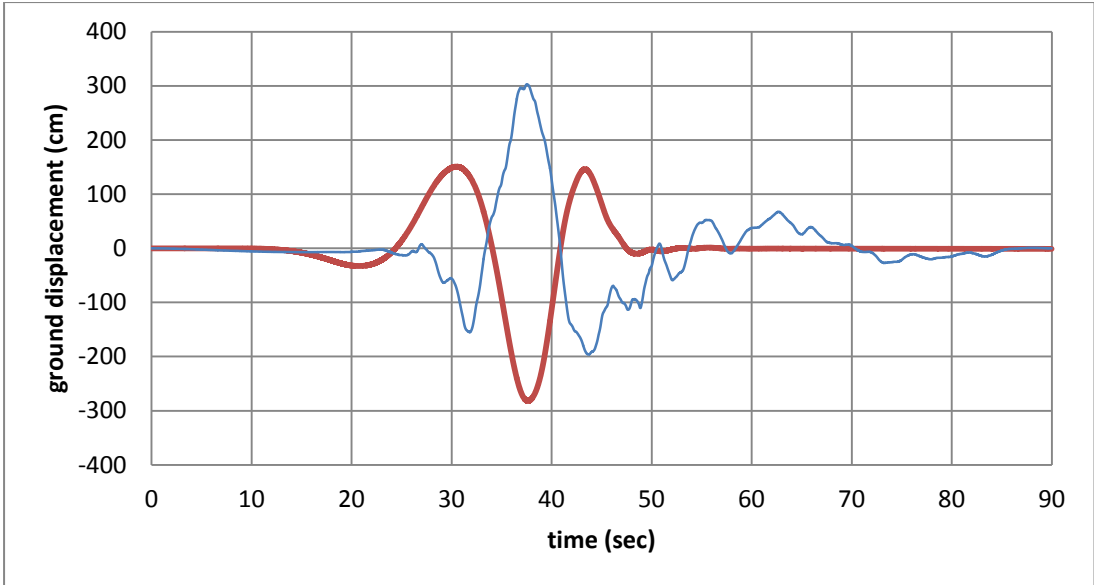




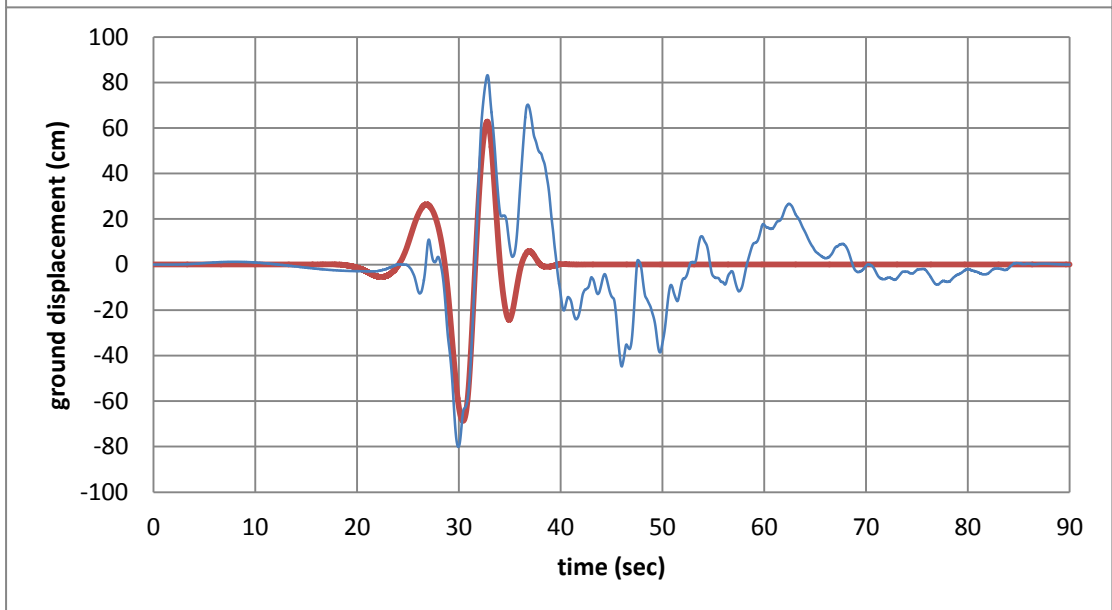
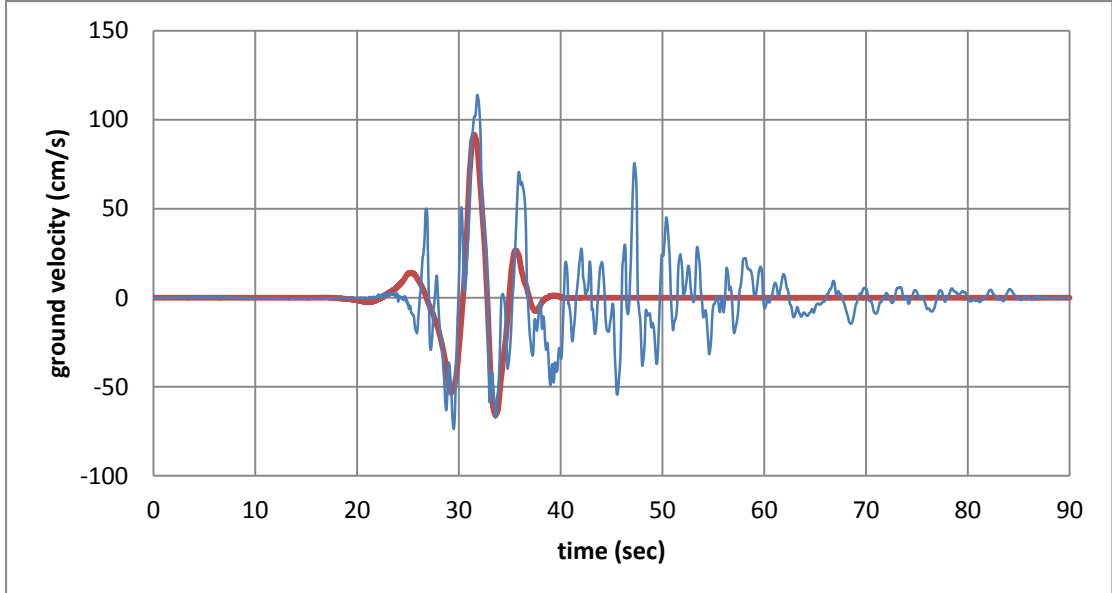
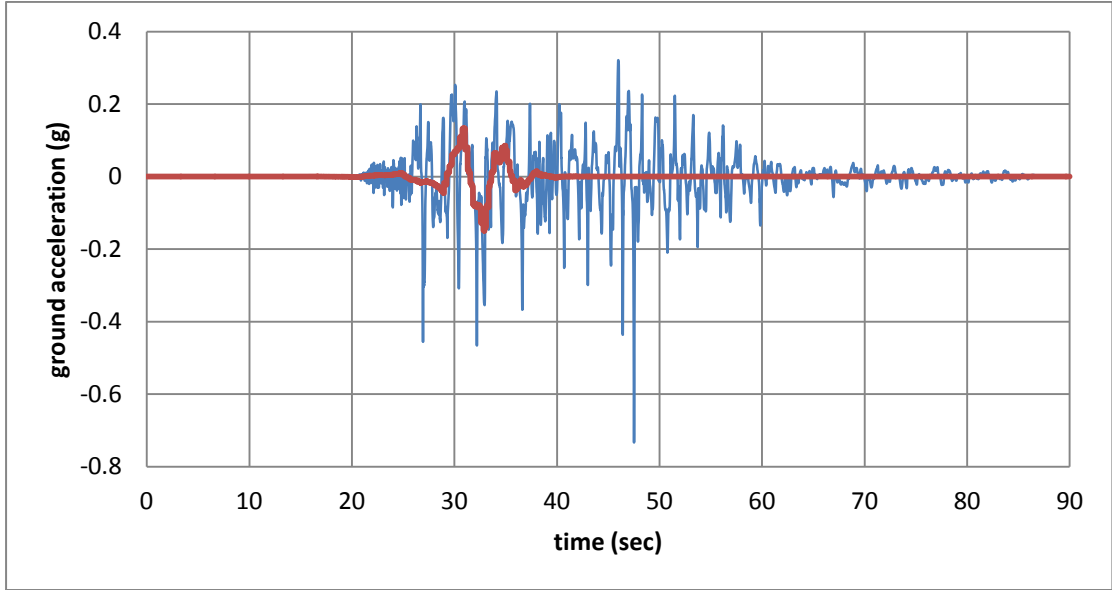


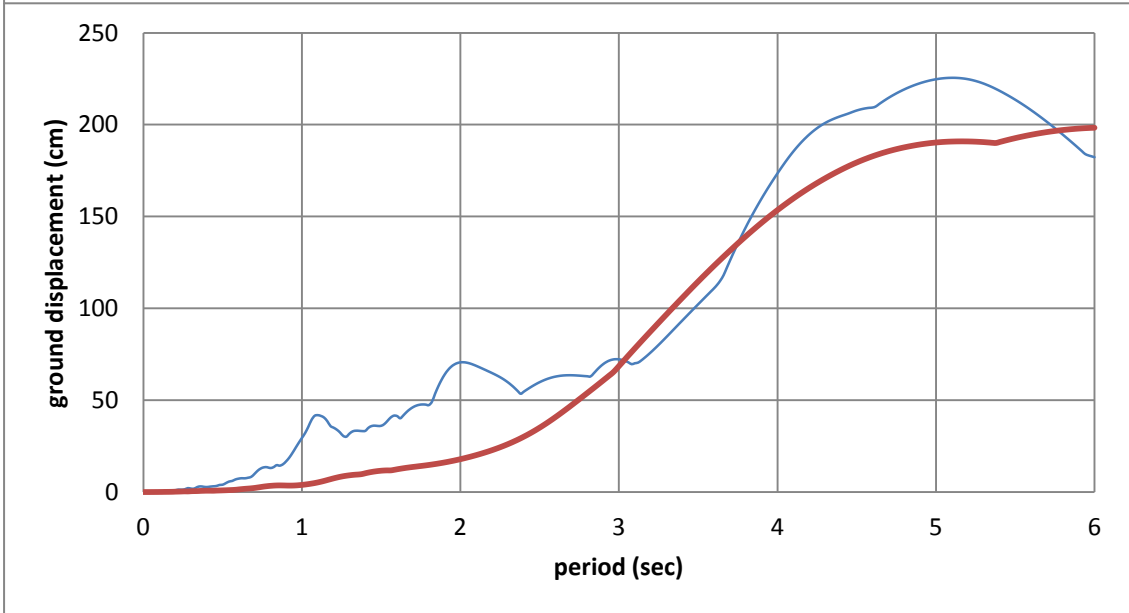
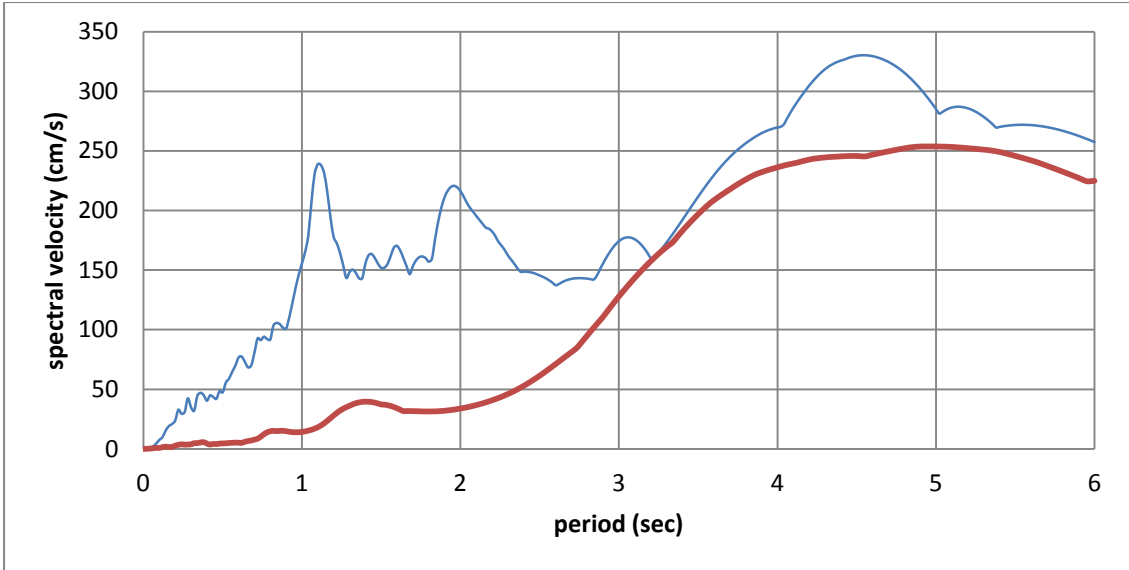
#72 Chi-Chi, Taiwan, TCU060



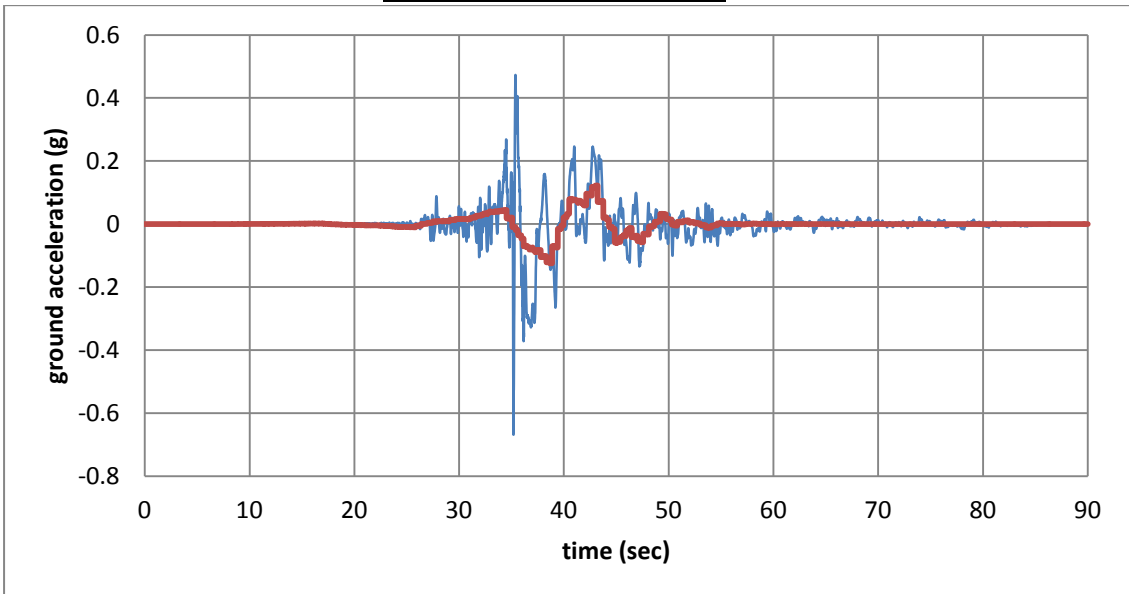


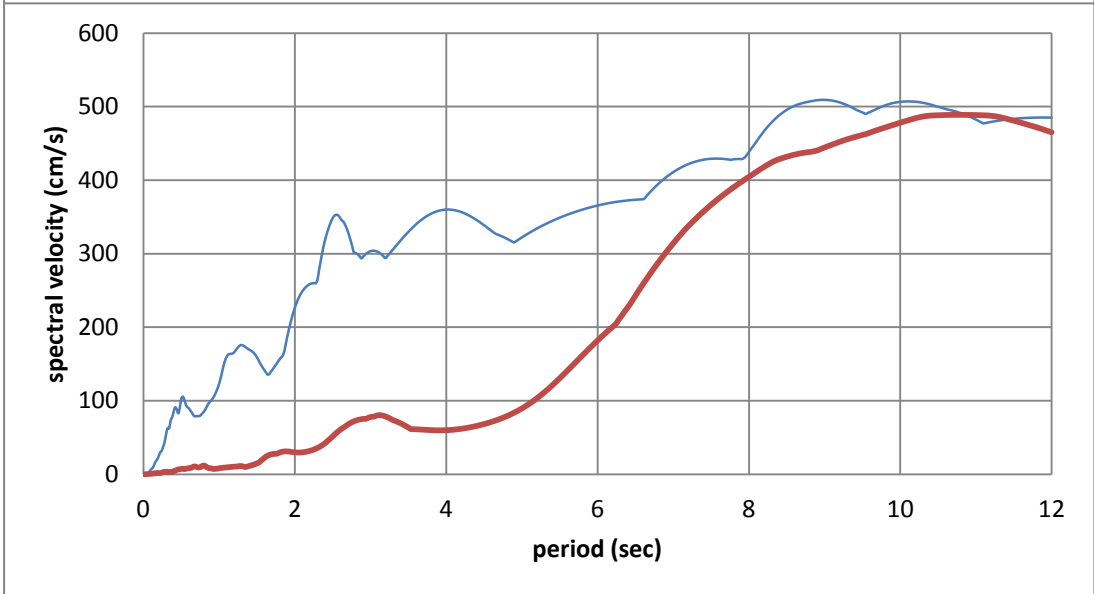
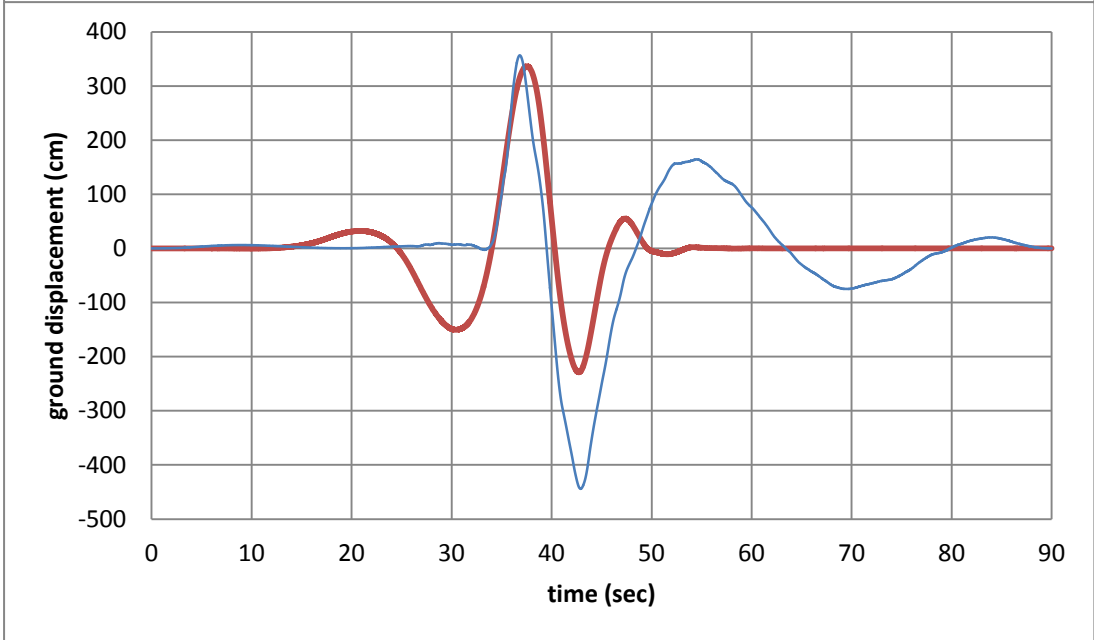
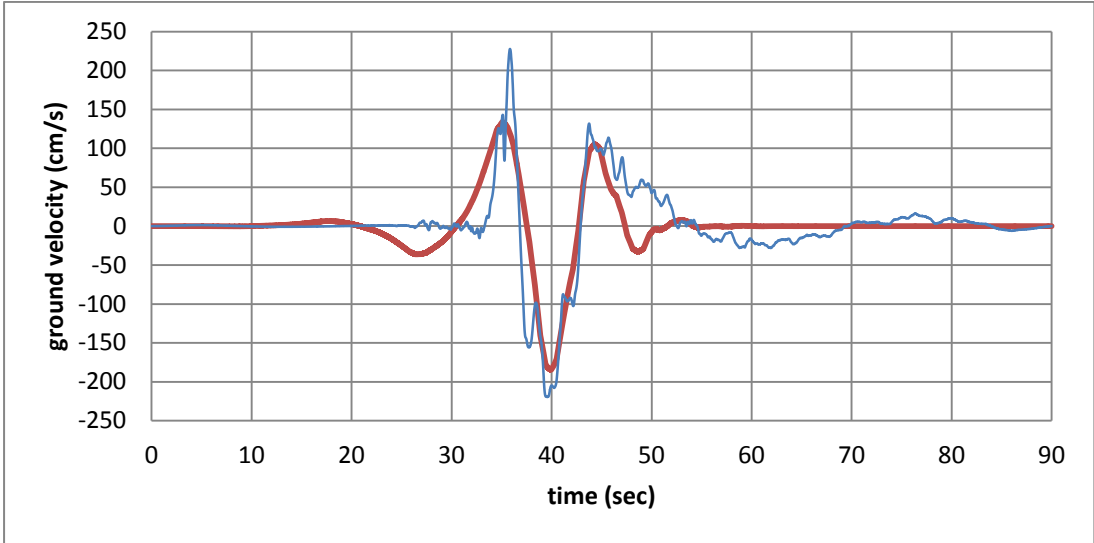
#73 Chi-Chi, Taiwan, TCU065

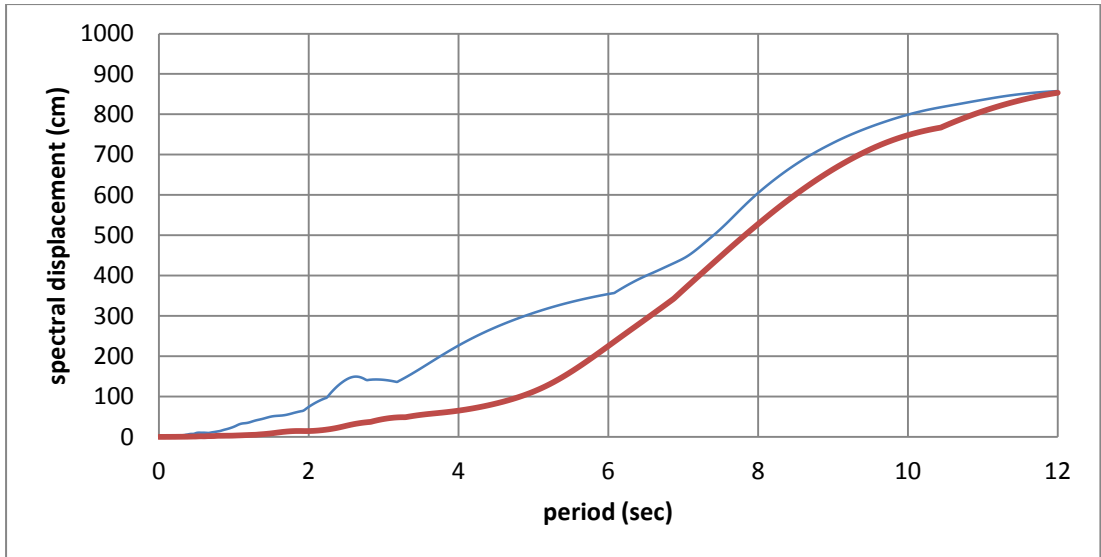




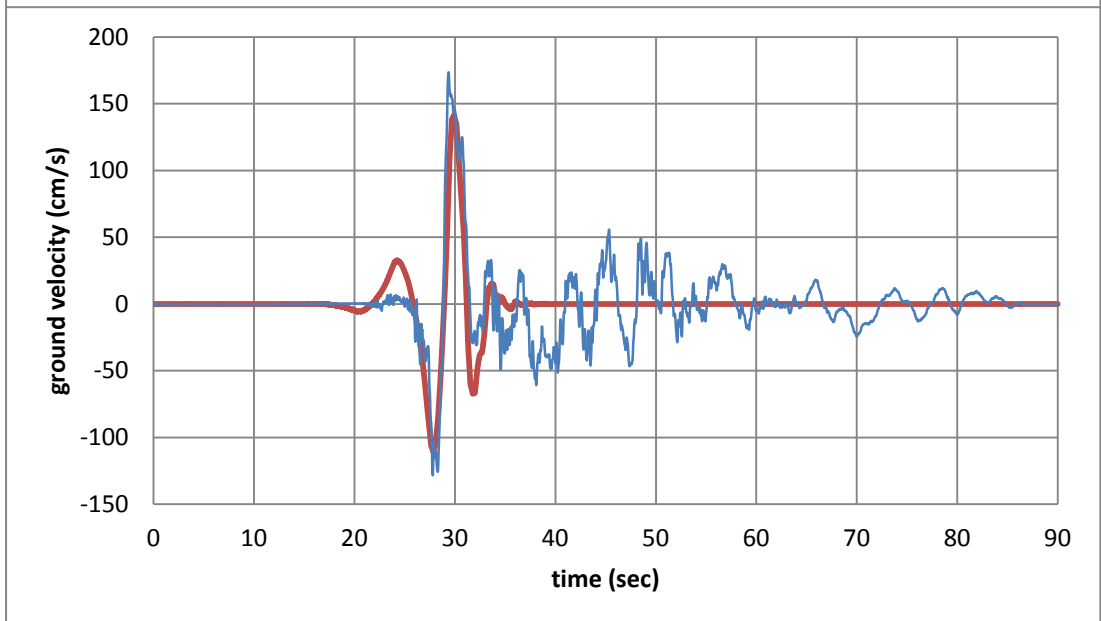
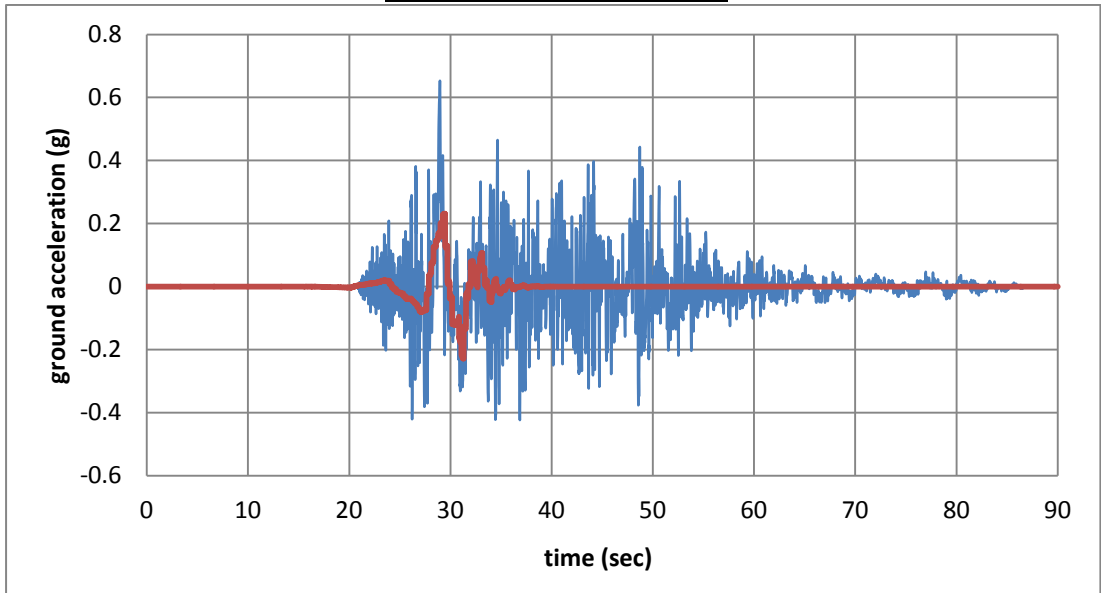
#74 Chi-Chi, Taiwan, TCU068

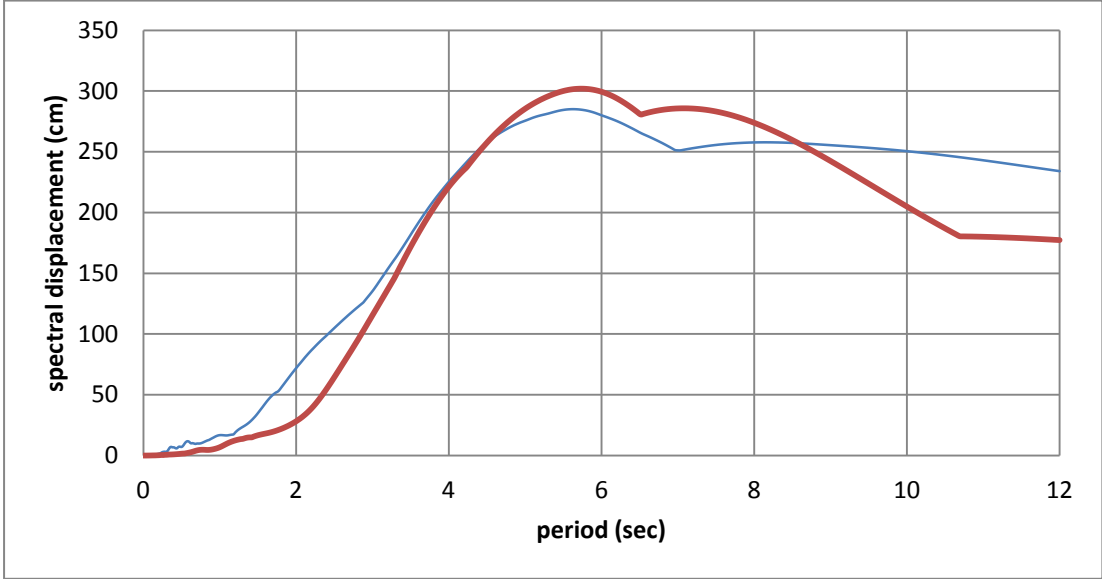
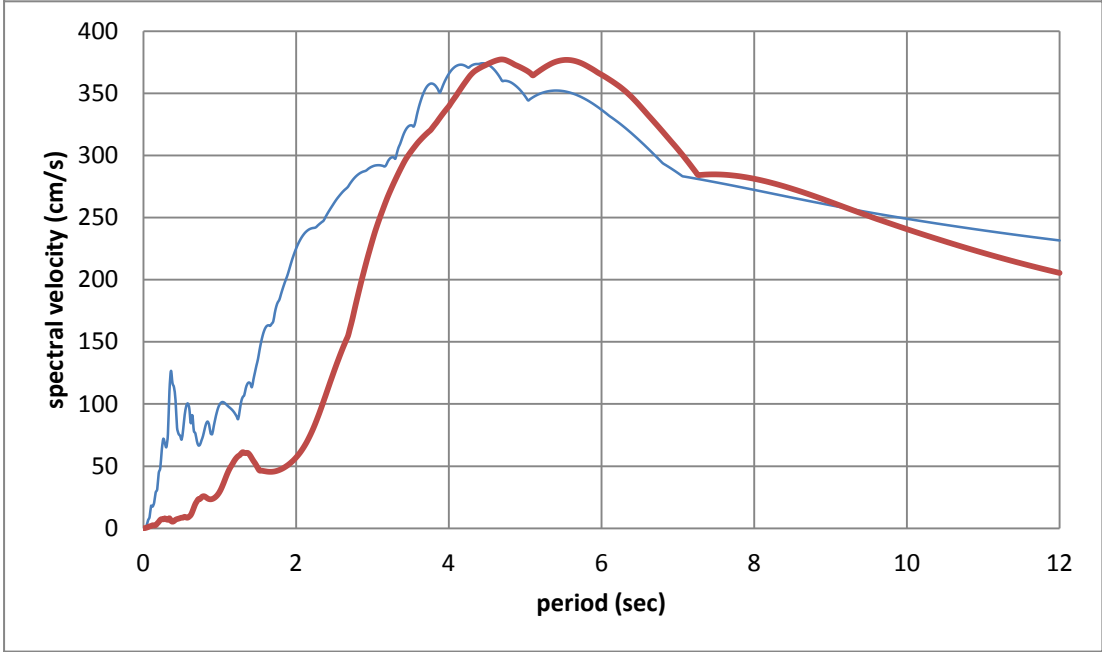
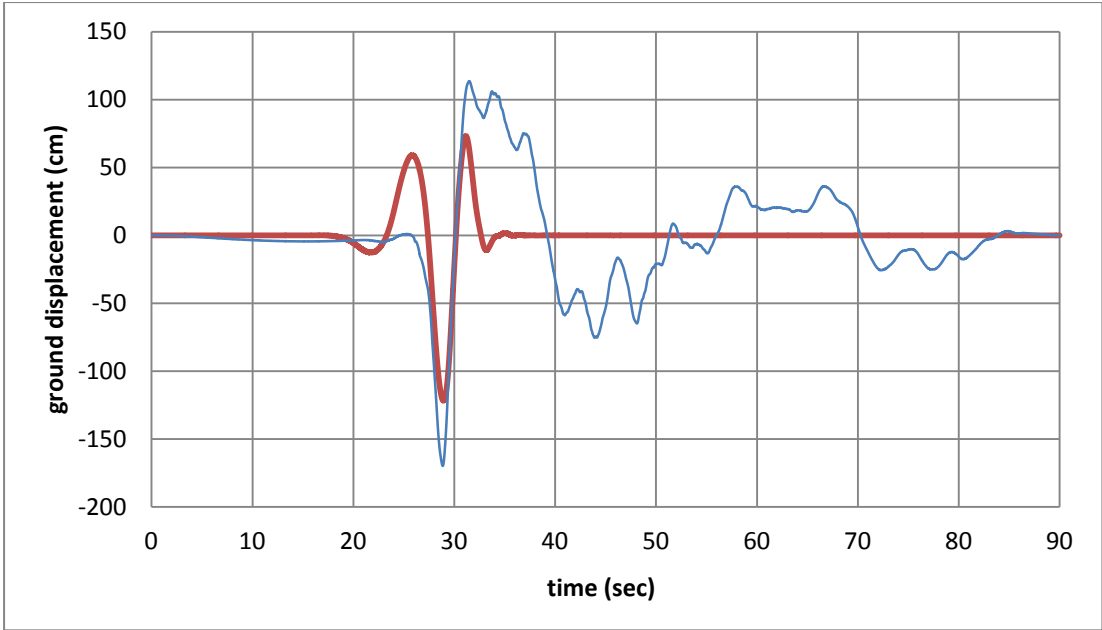




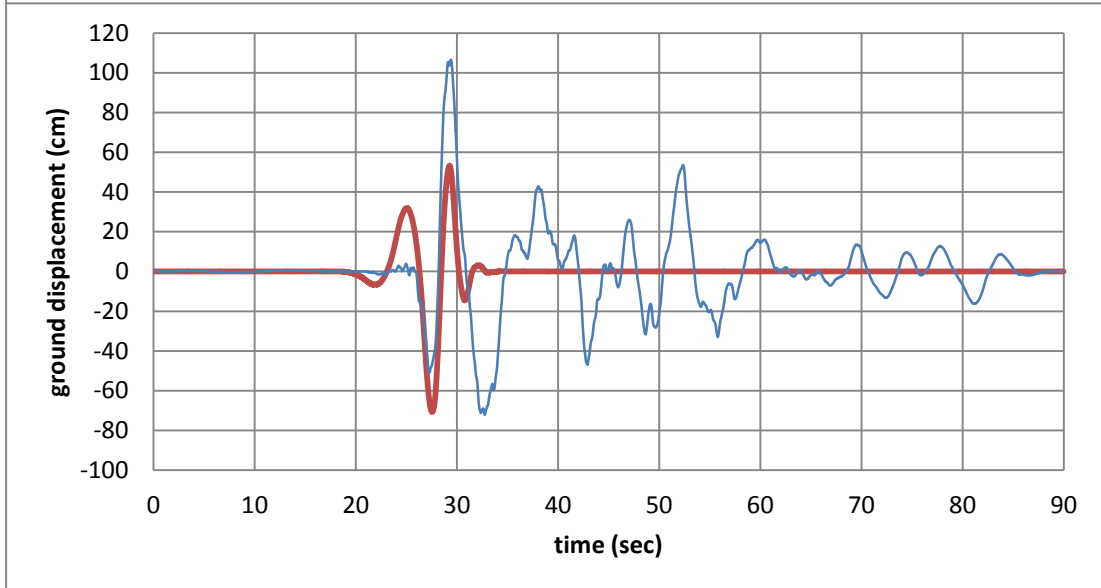
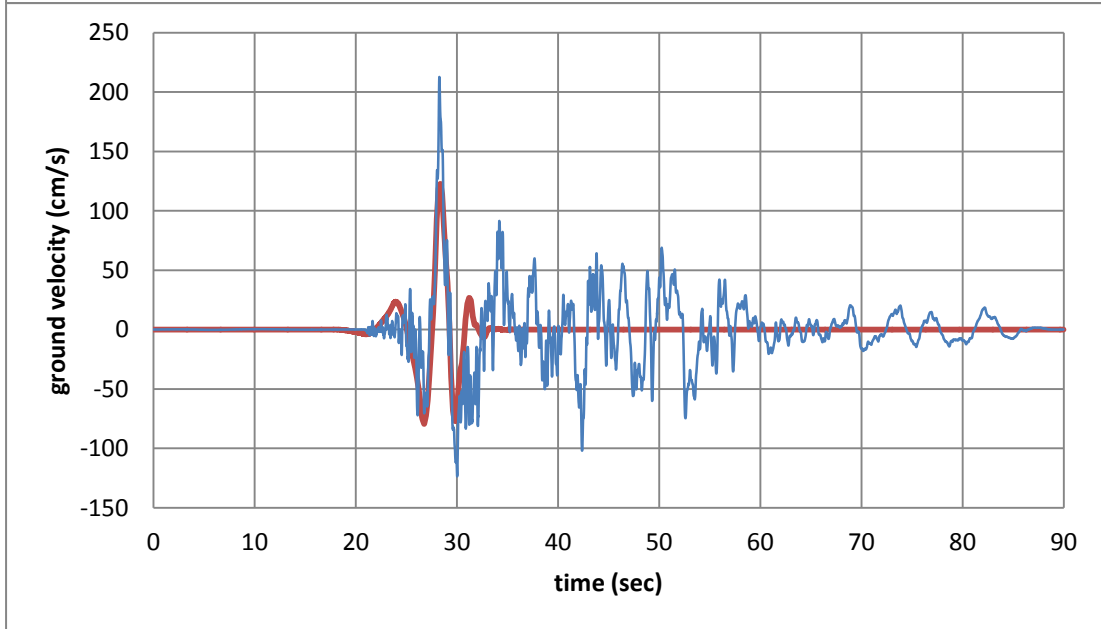
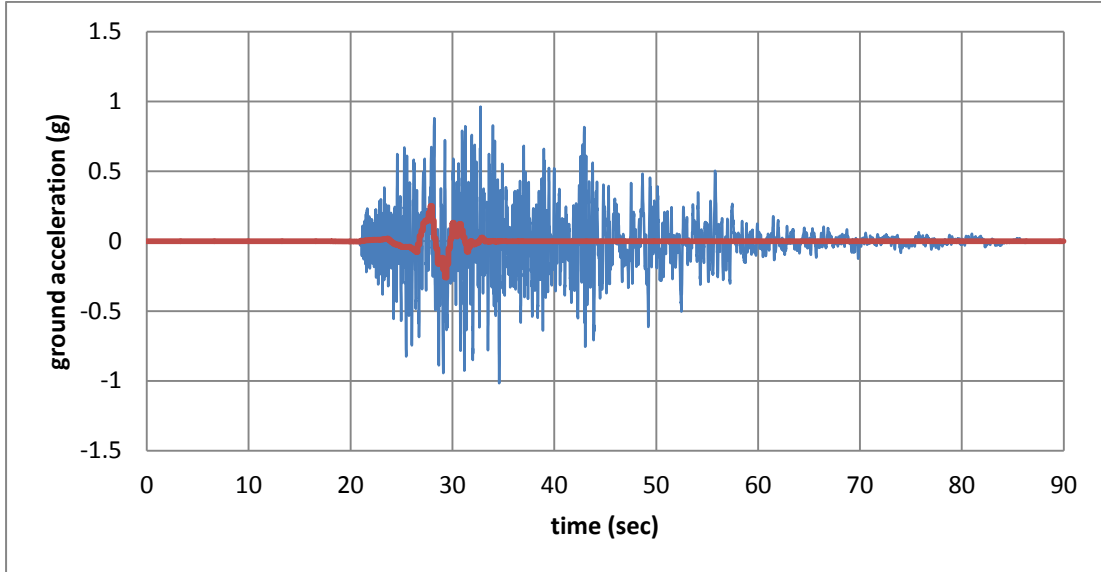


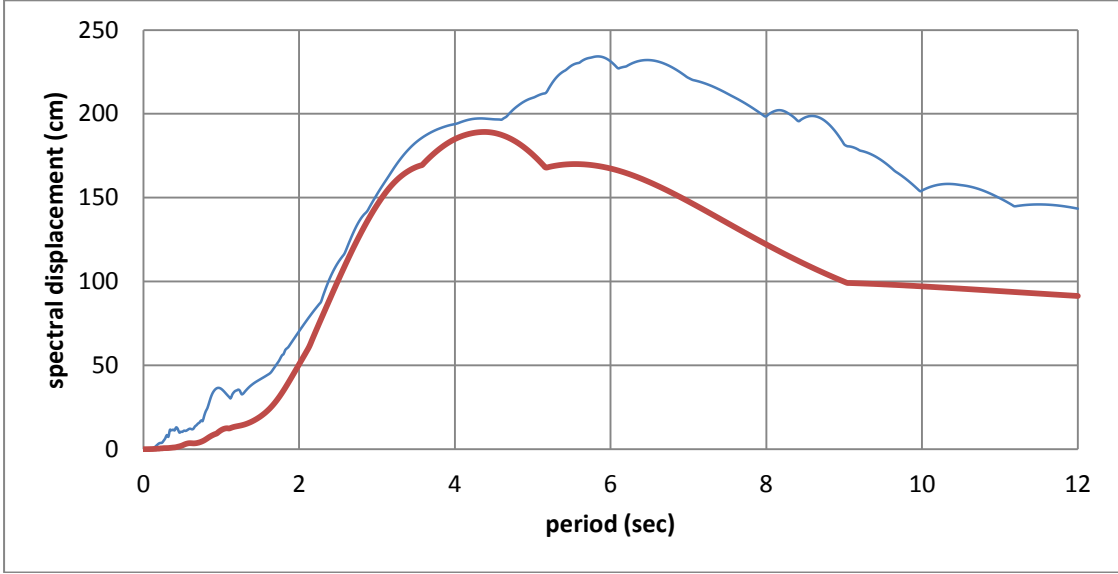
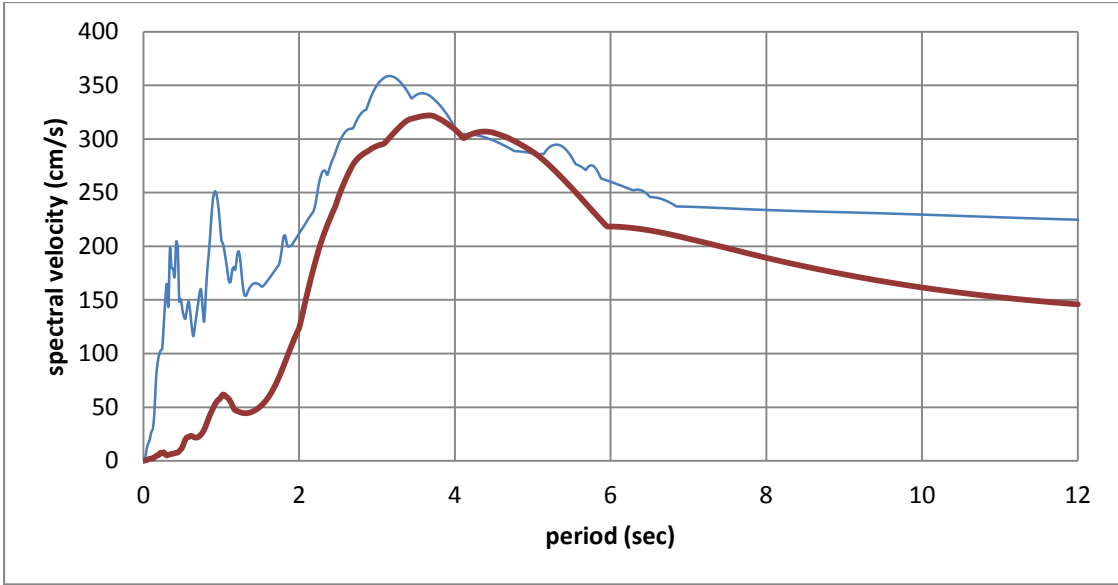
#75 Chi-Chi, Taiwan, TCU075



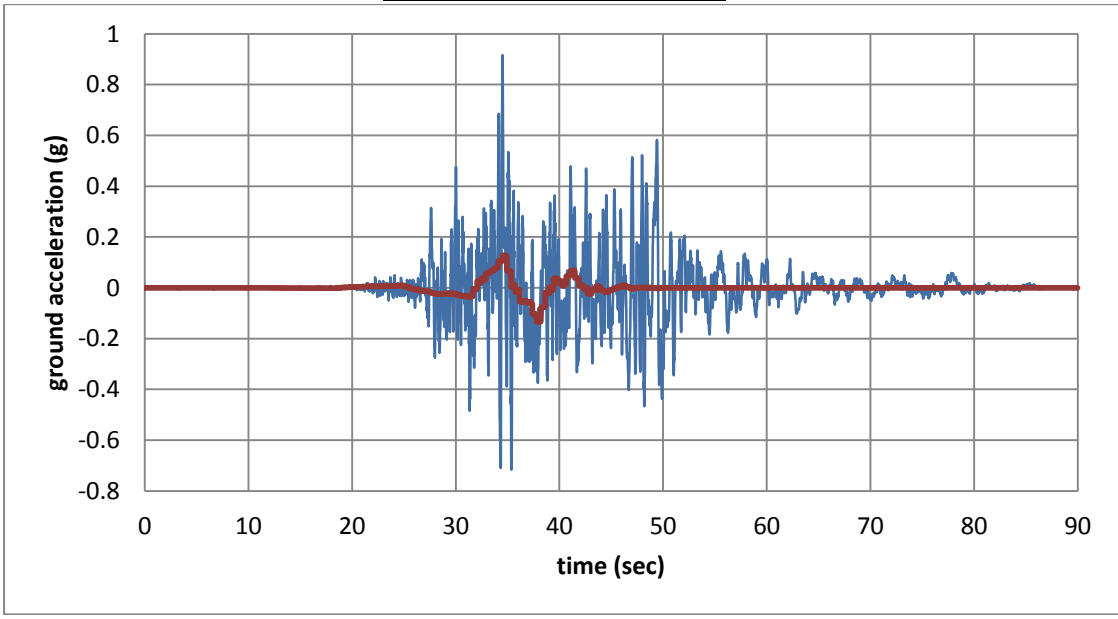


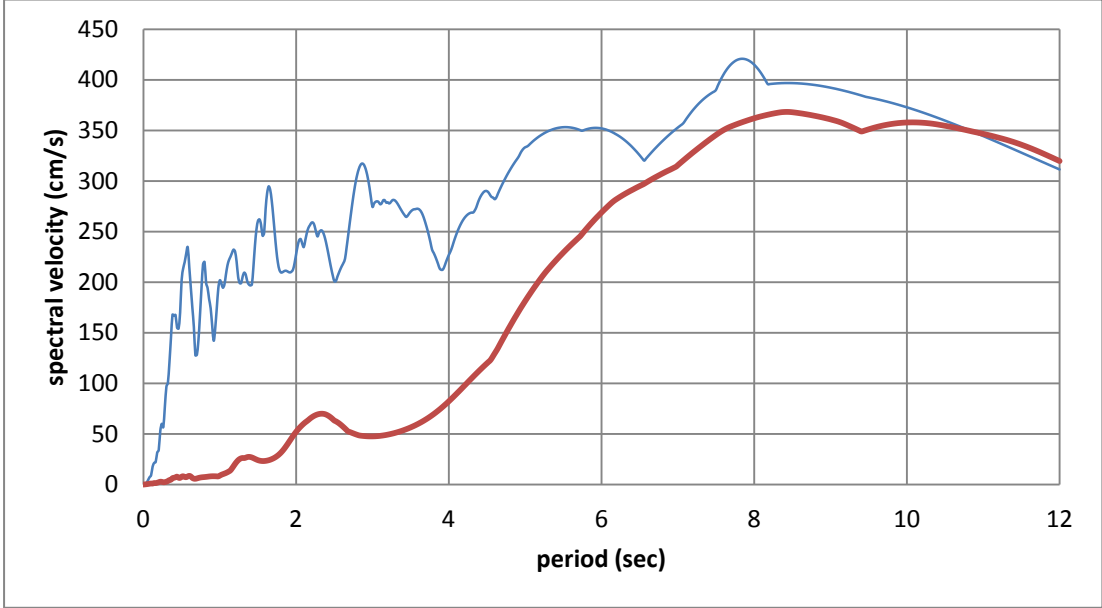
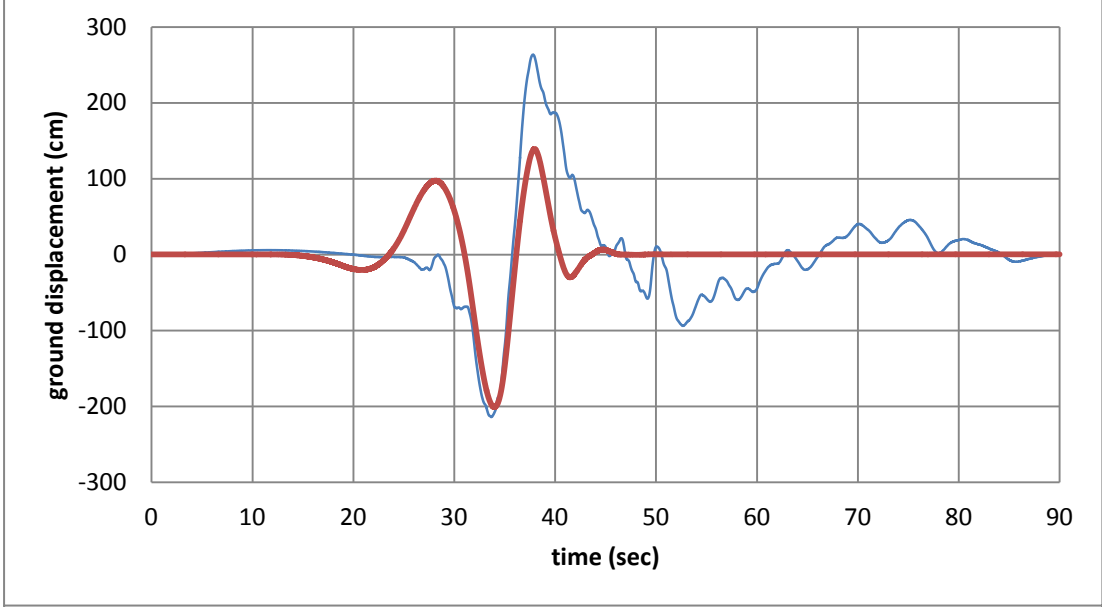
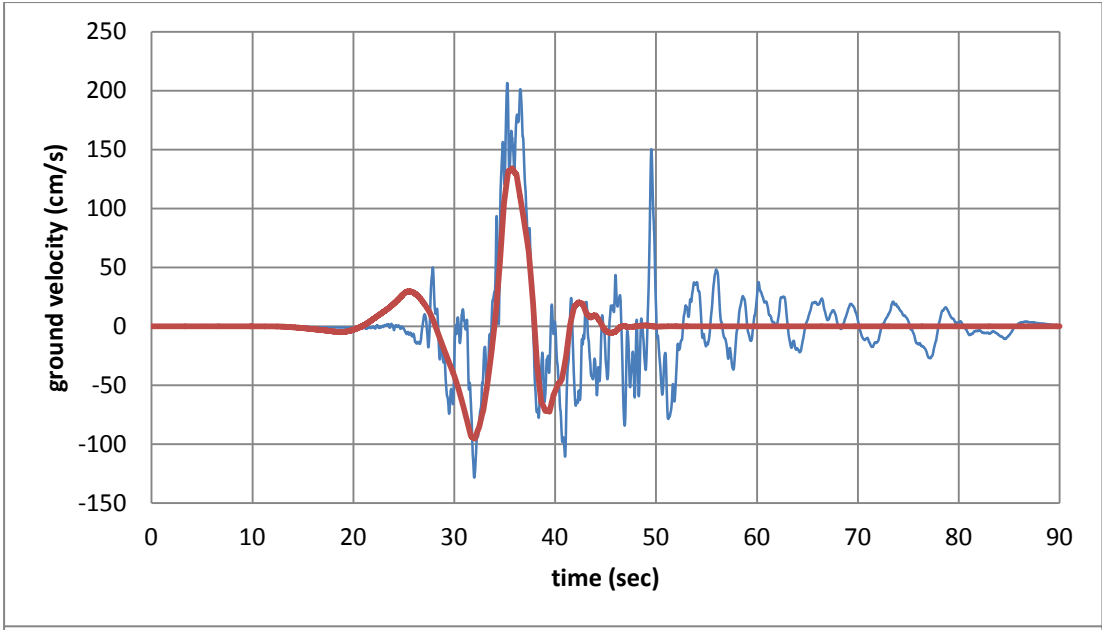
#76 Chi-Chi, Taiwan, TCU076

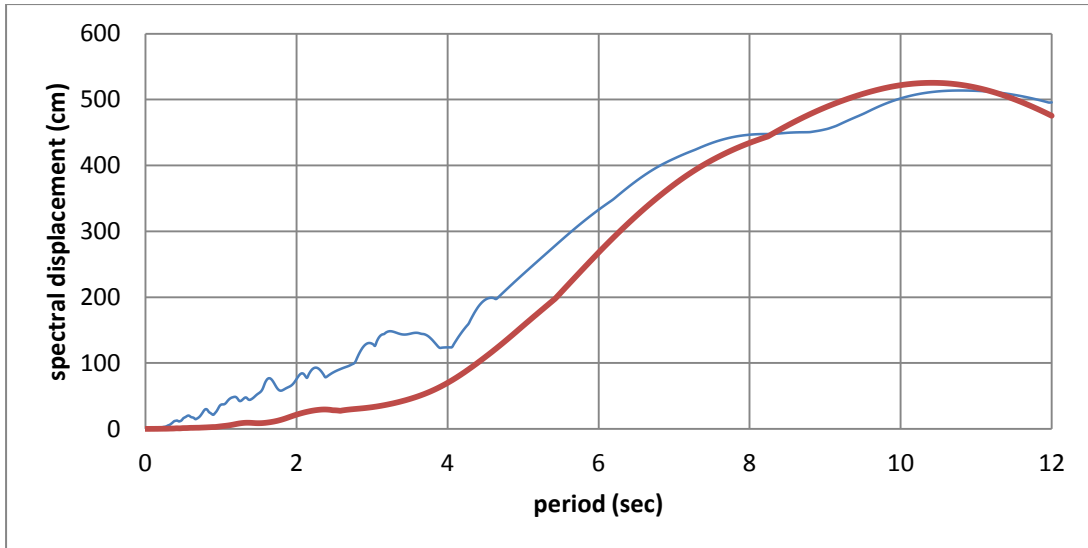




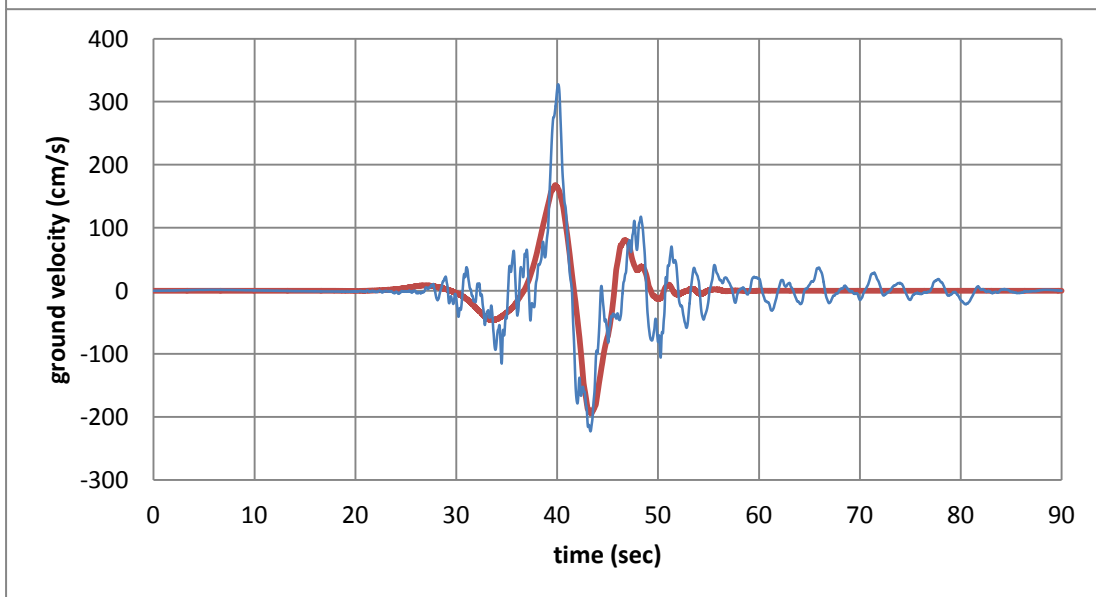
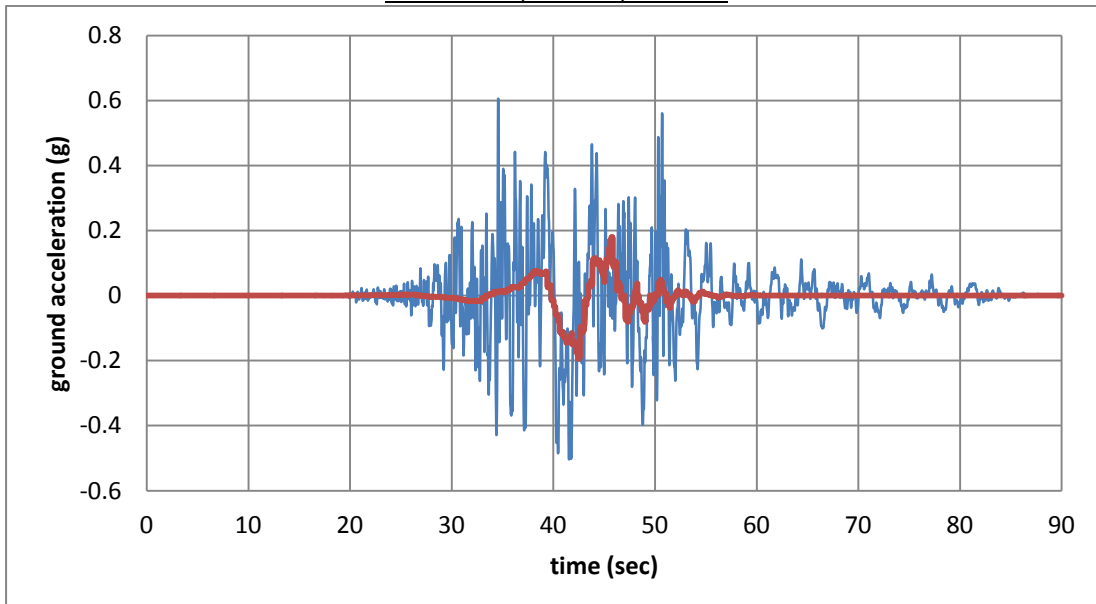
#77 Chi-Chi, Taiwan, TCU082

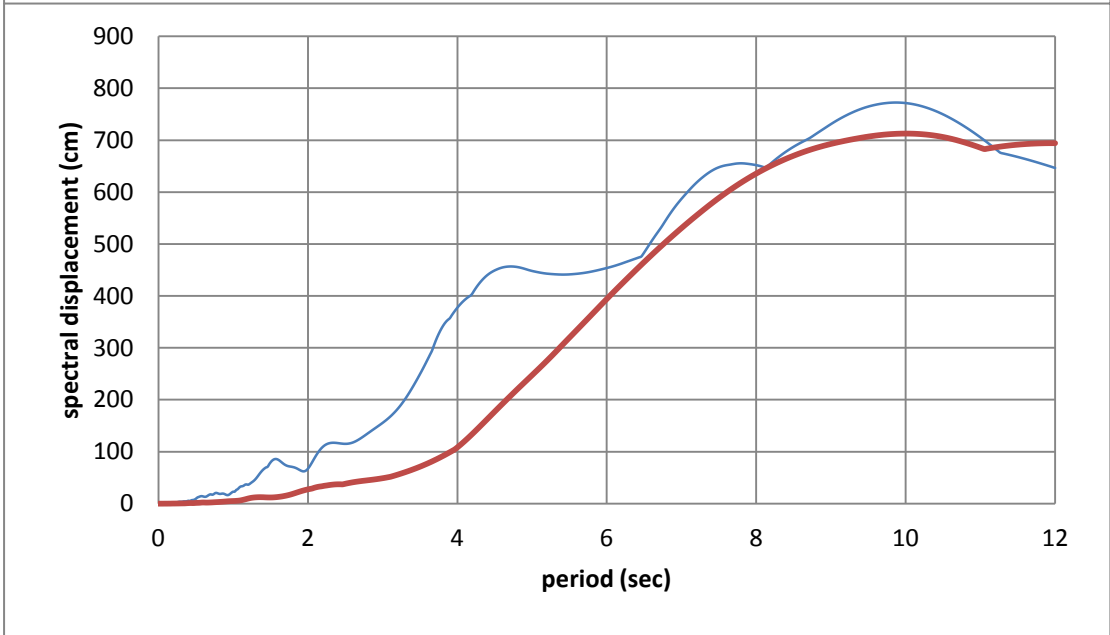
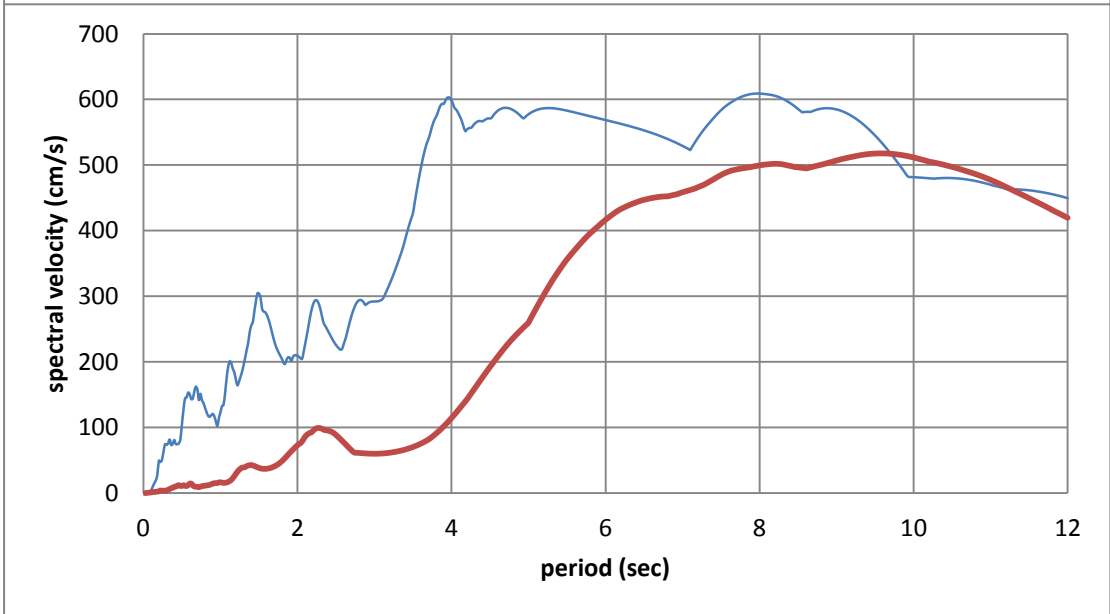
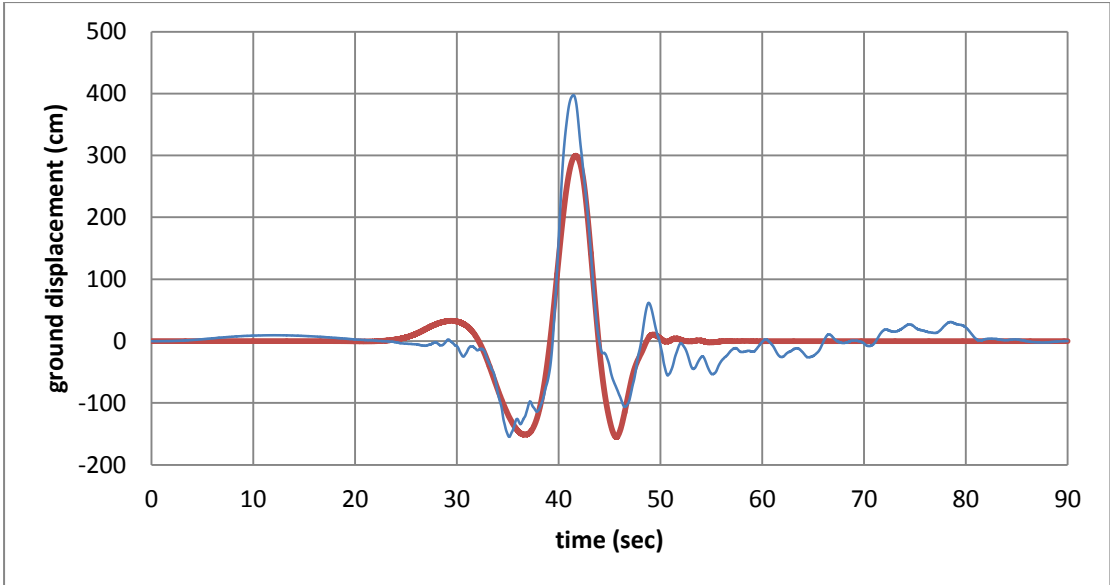




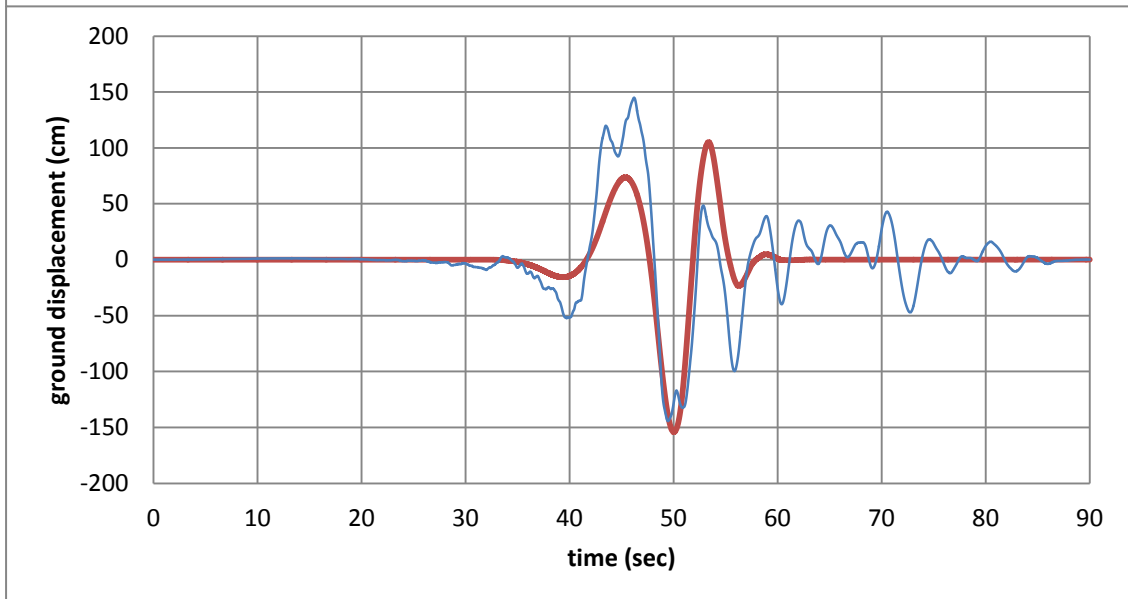
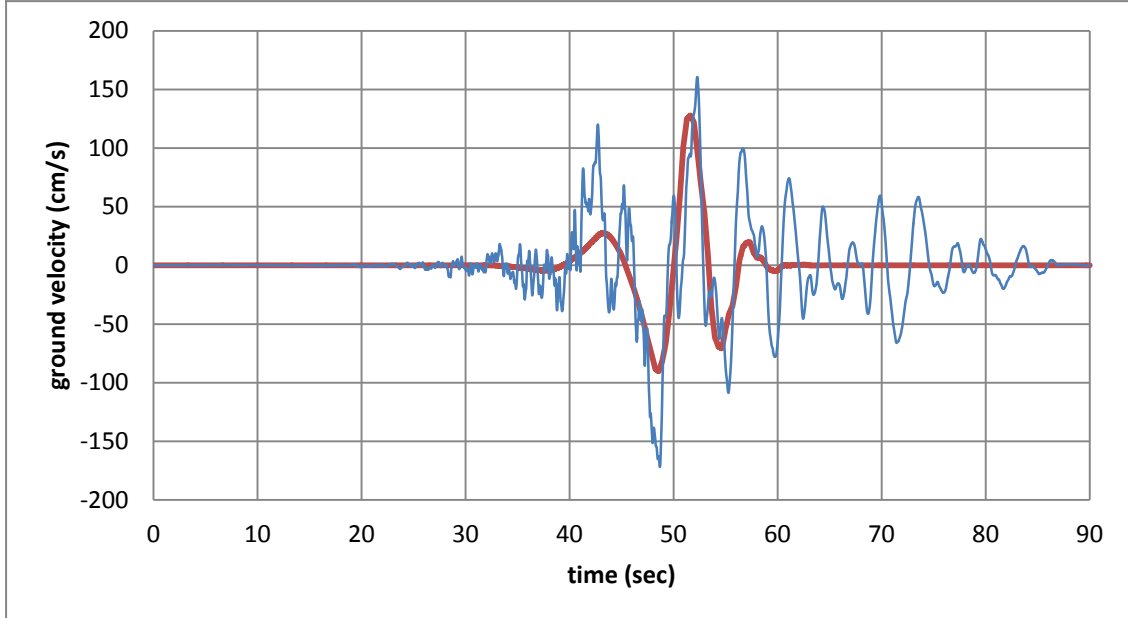
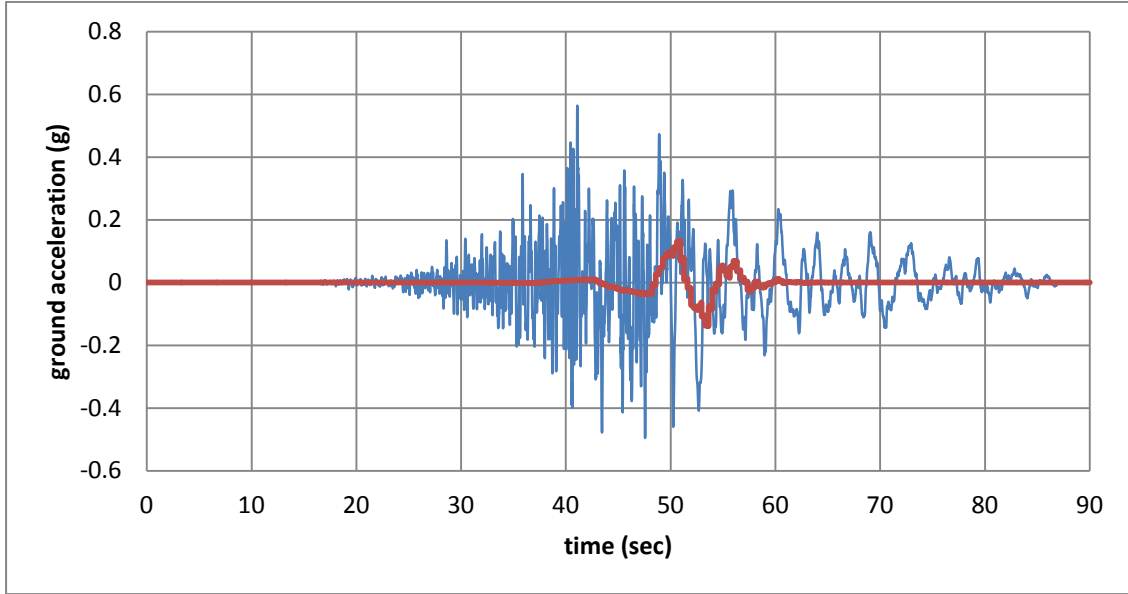


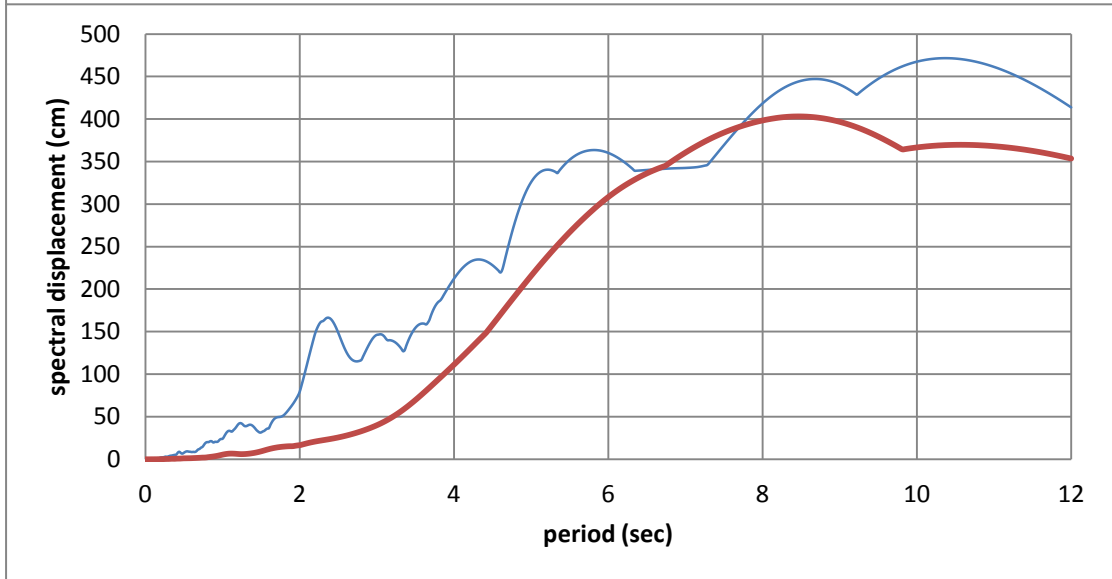
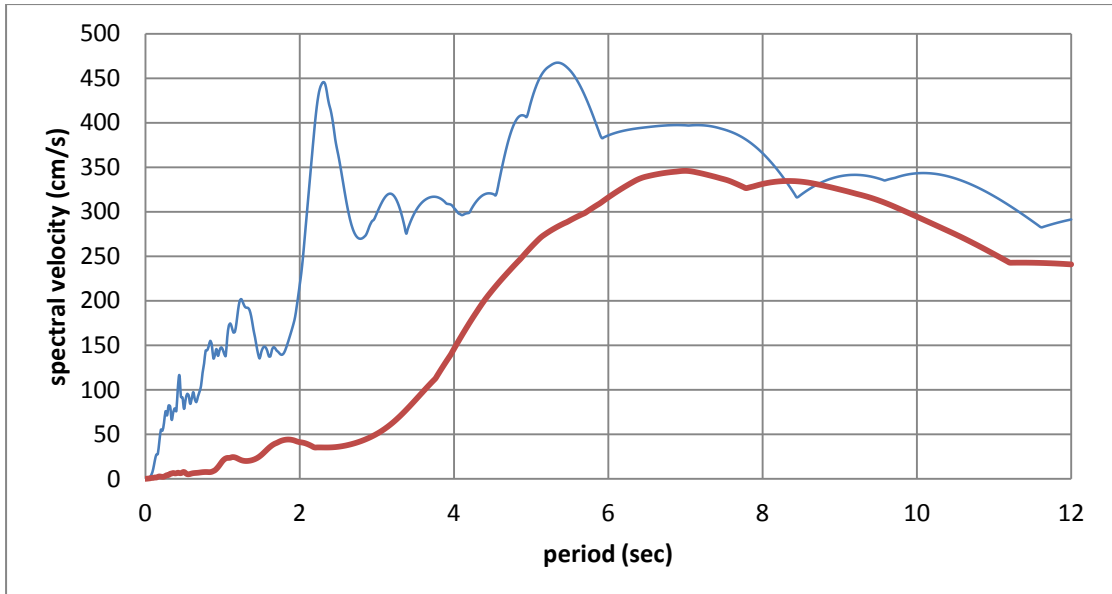
#78 Chi-Chi, Taiwan, TCU087



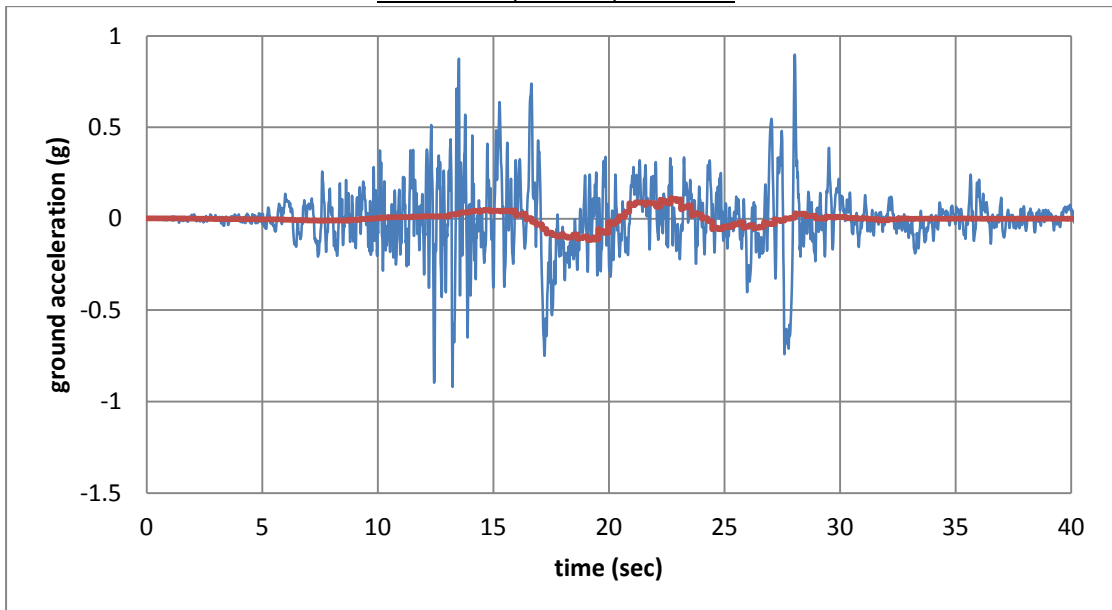


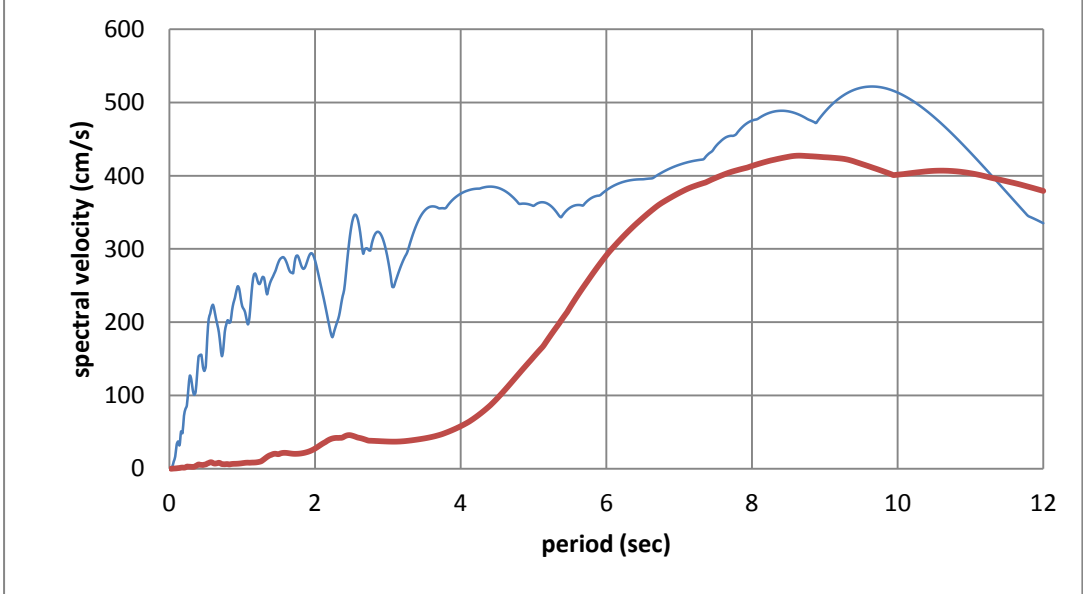
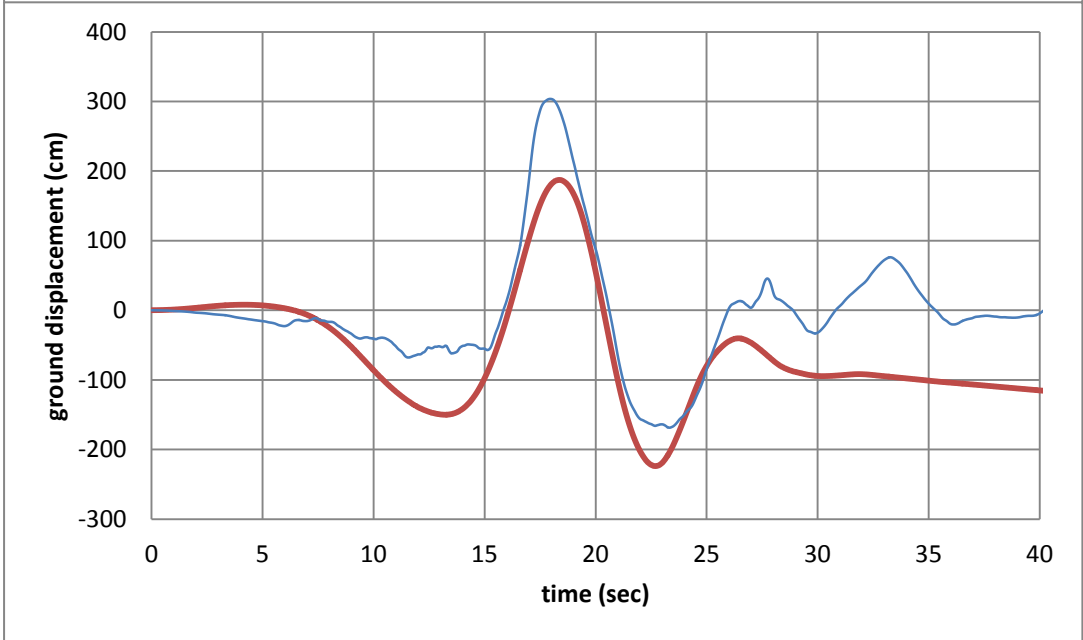
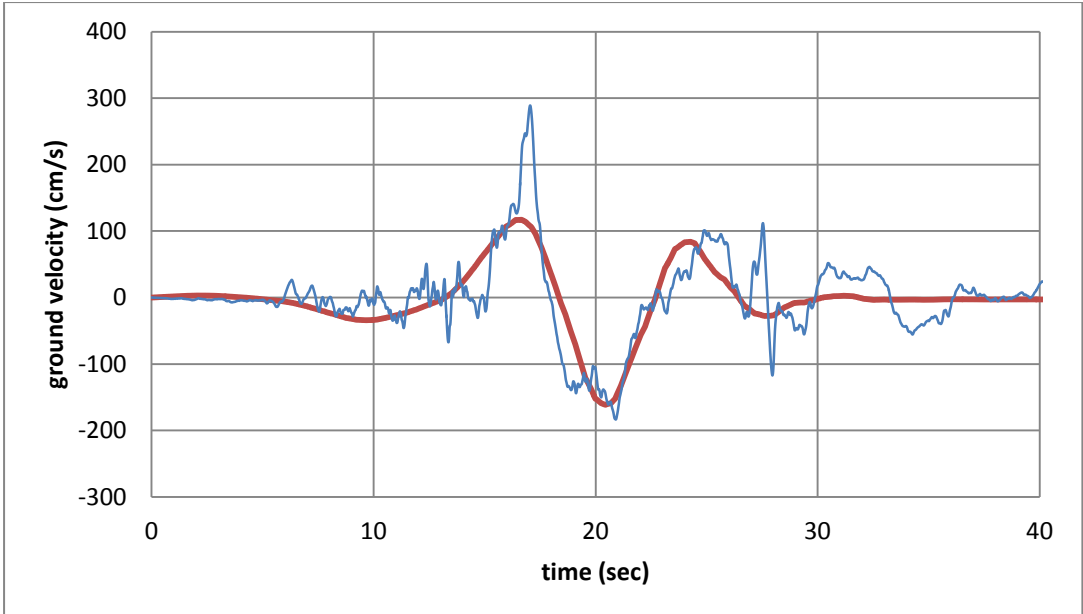
#79 Chi-Chi, Taiwan, TCU098

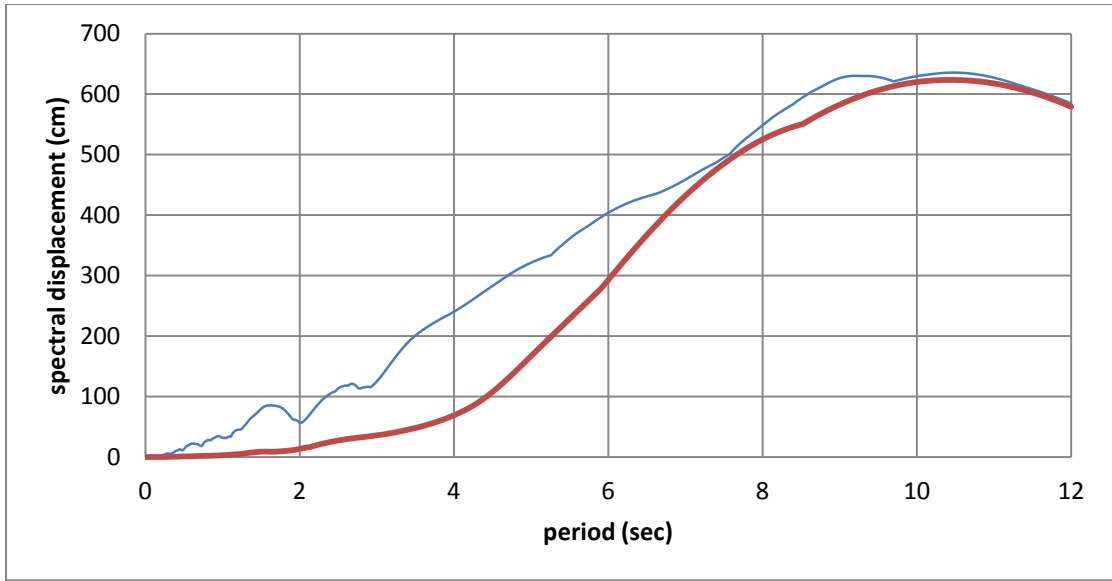




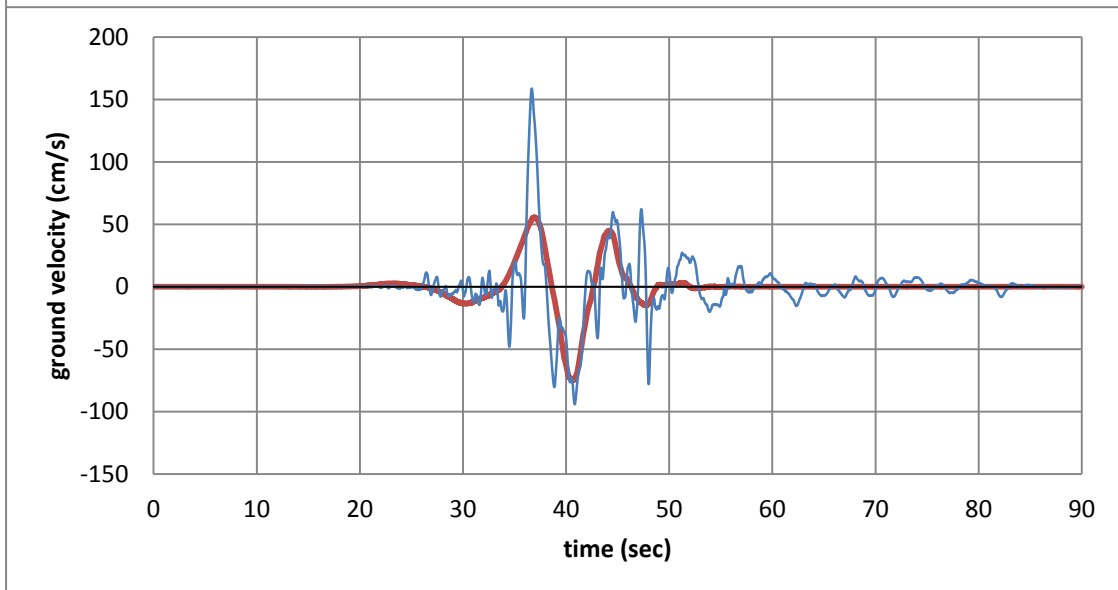
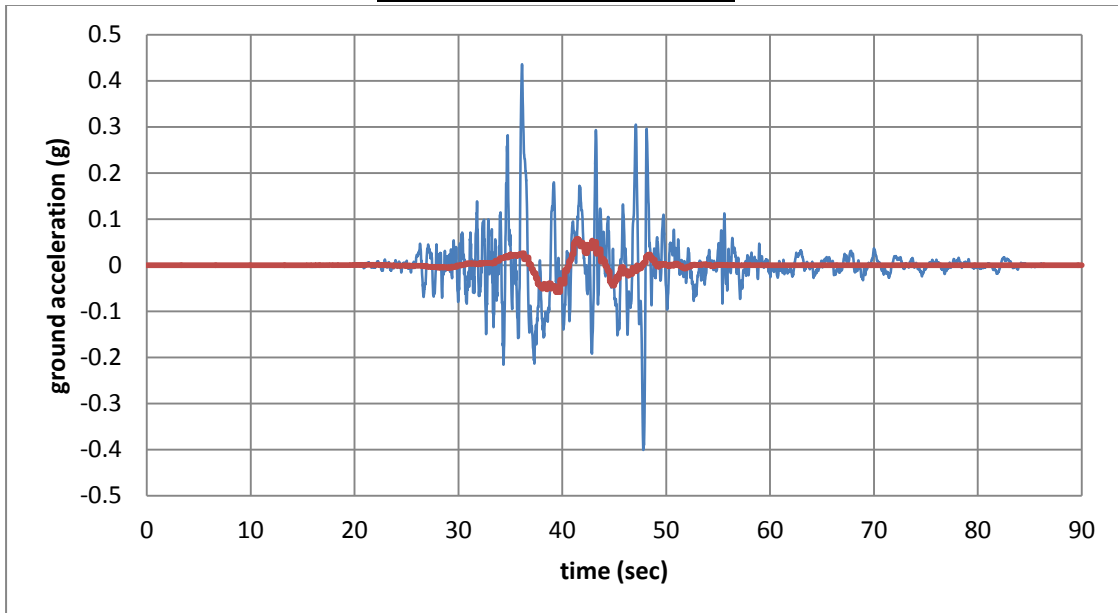
#80 Chi-Chi, Taiwan, TCU0101

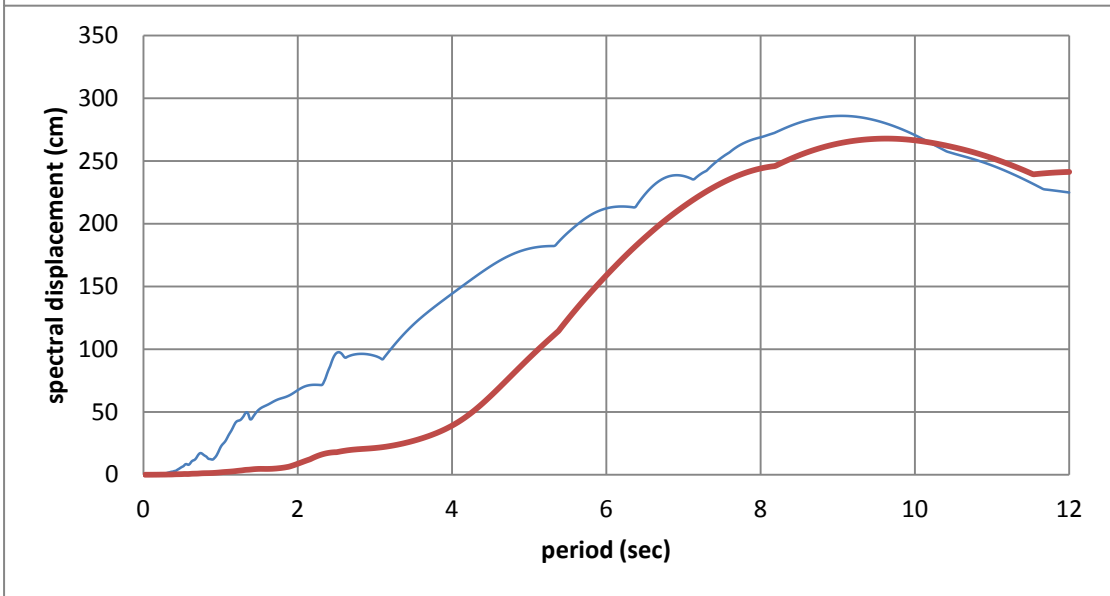
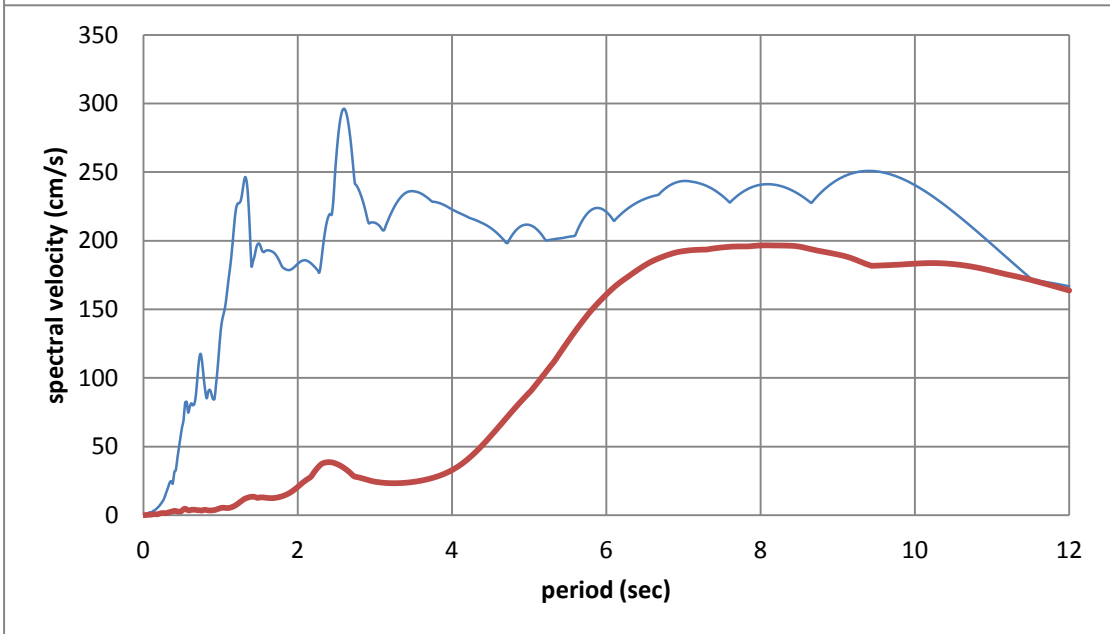
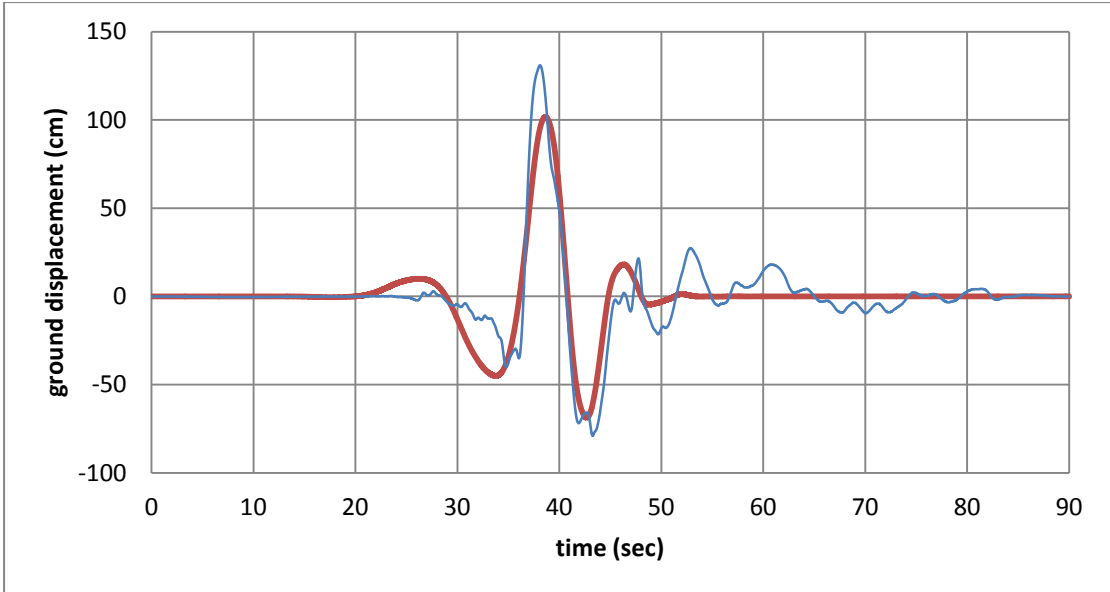




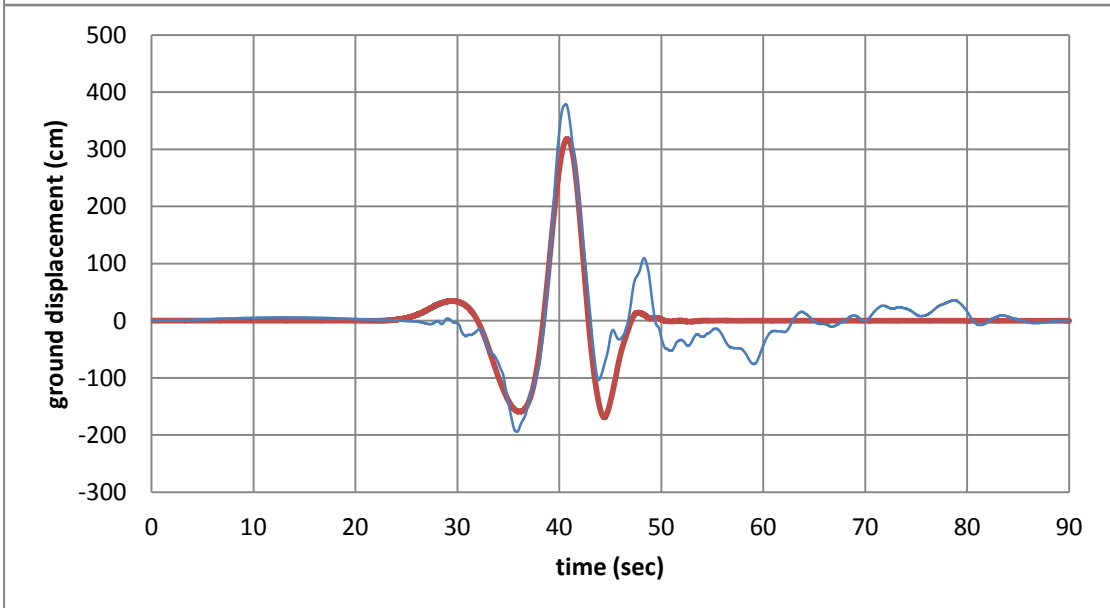
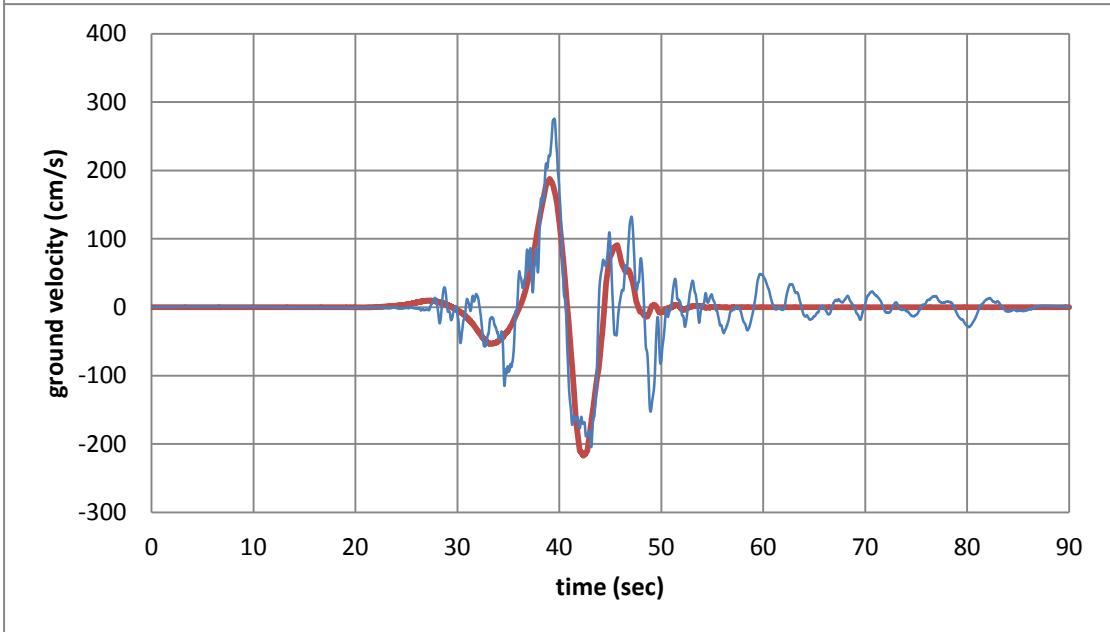
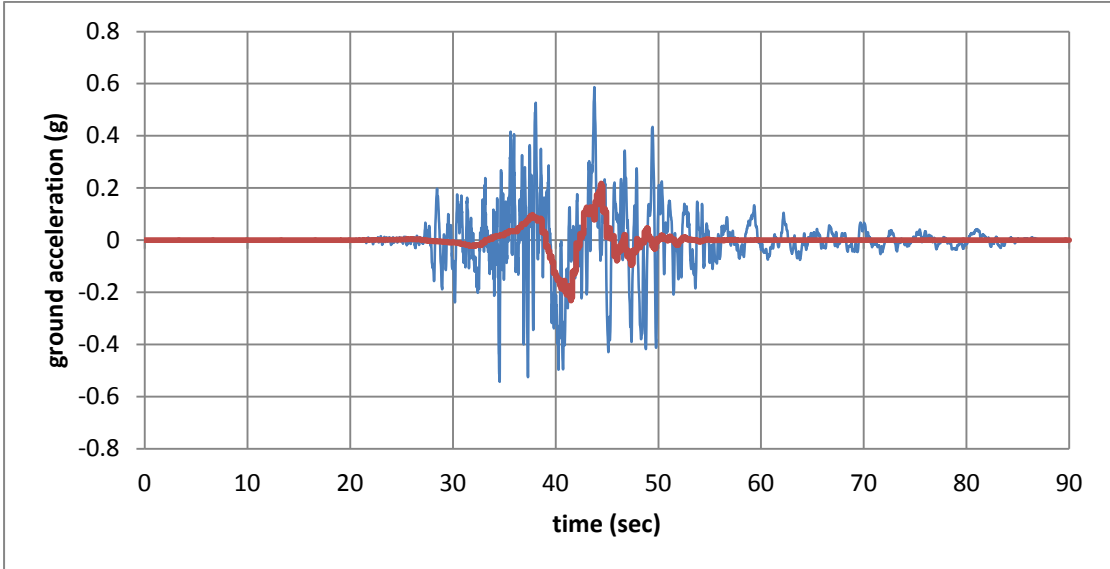


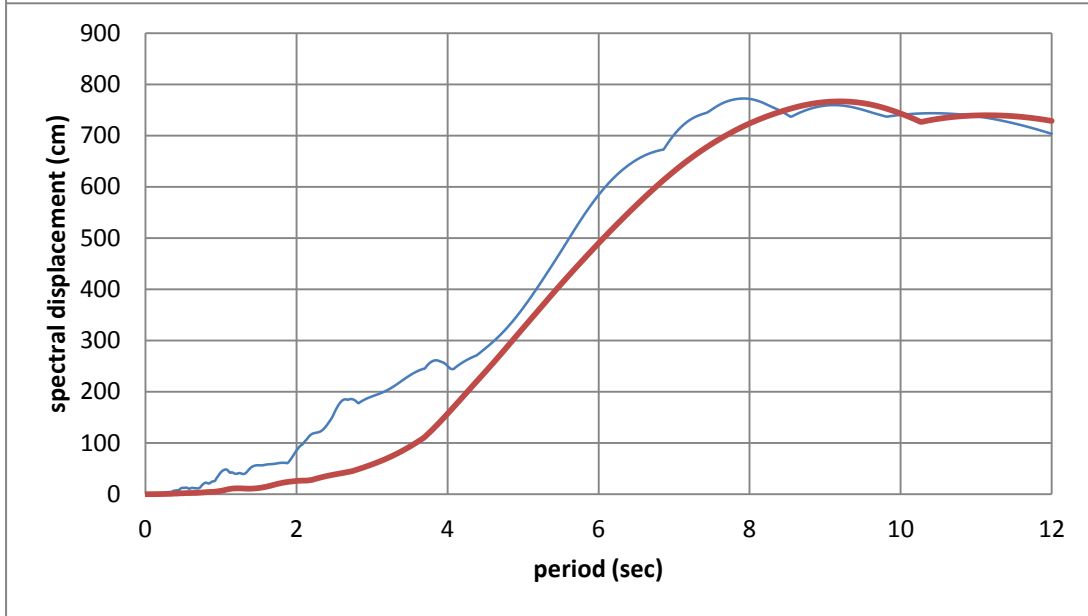
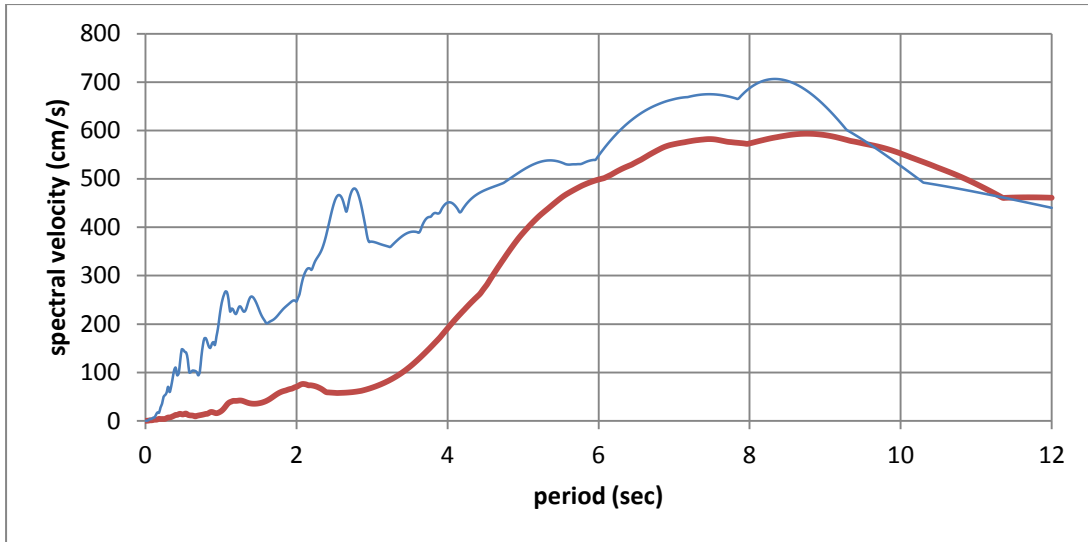
#81 Chi-Chi, Taiwan, TCU0102



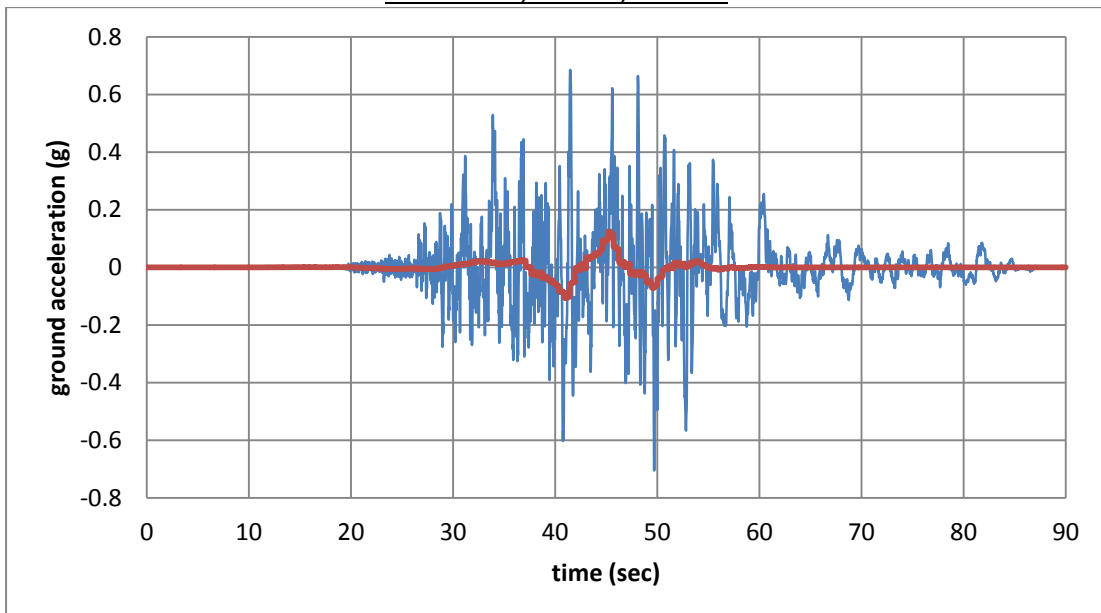


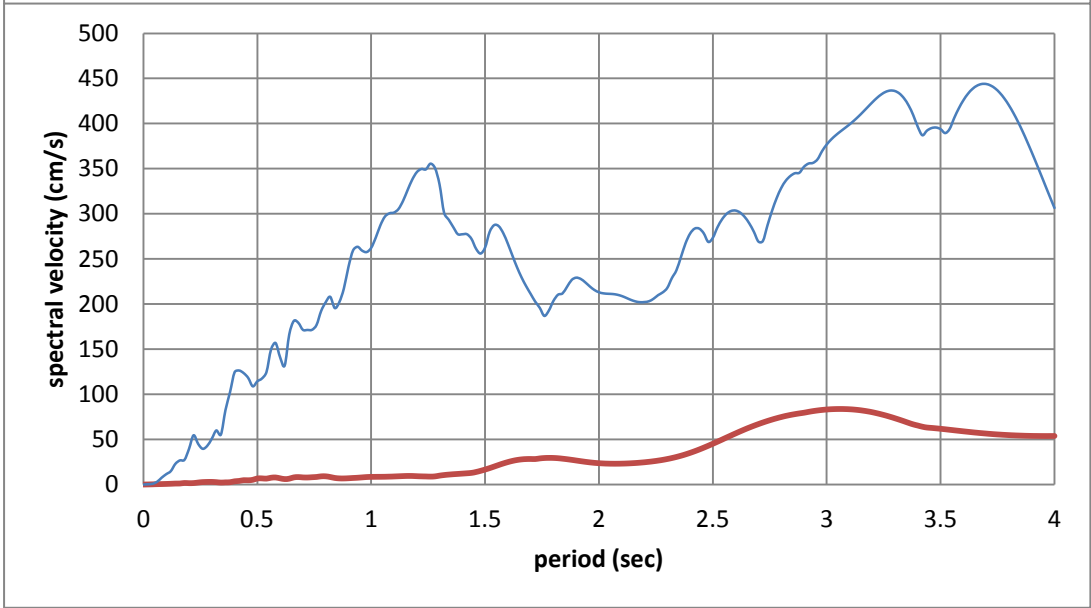
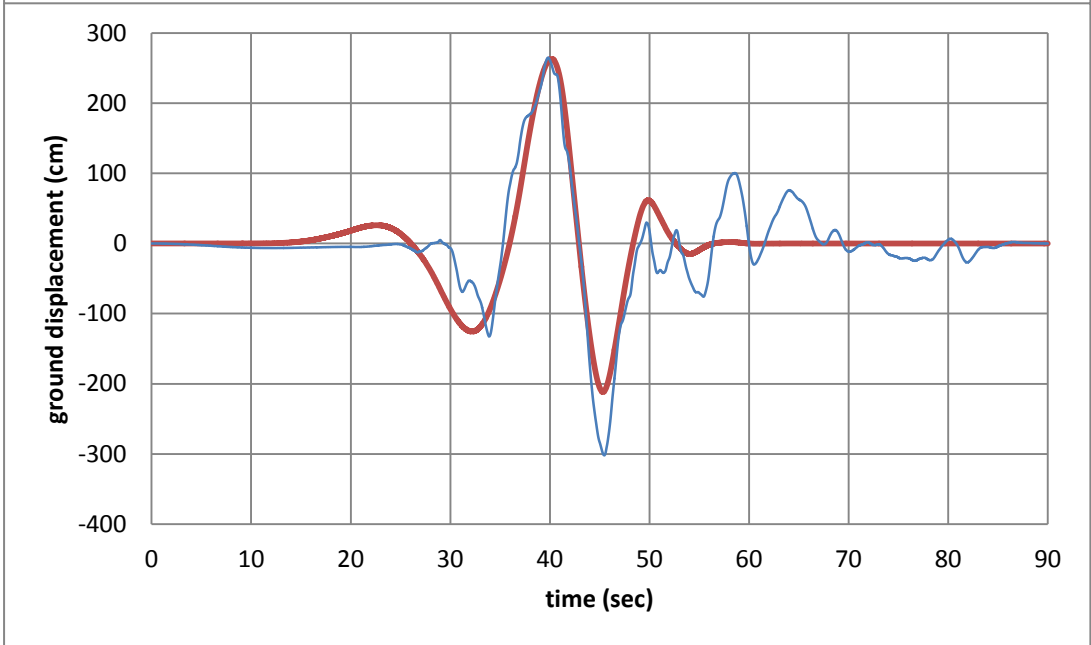
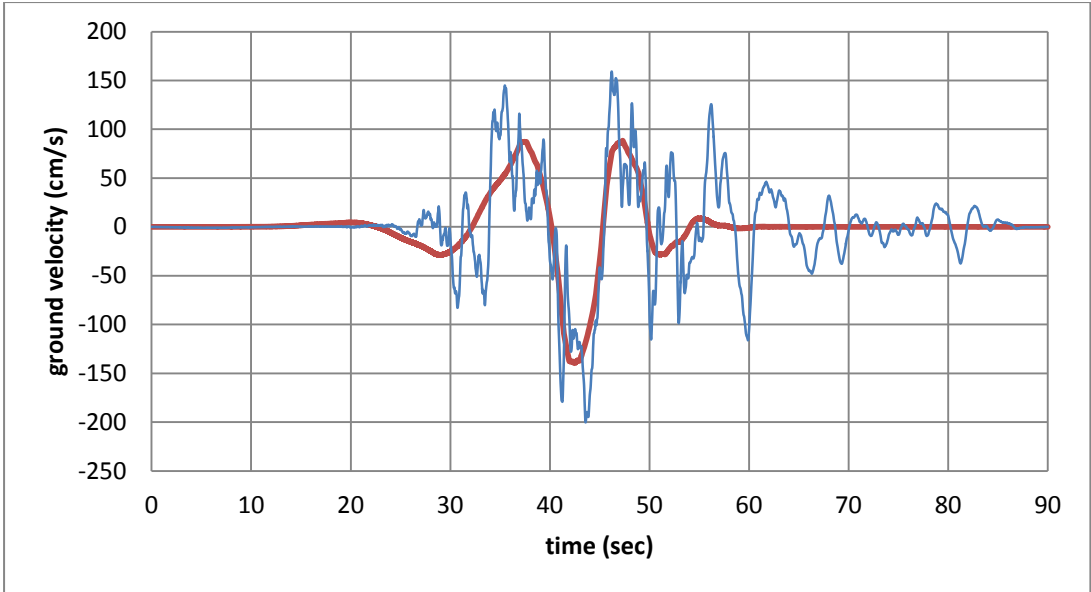
#82 Chi-Chi, Taiwan, TCU103

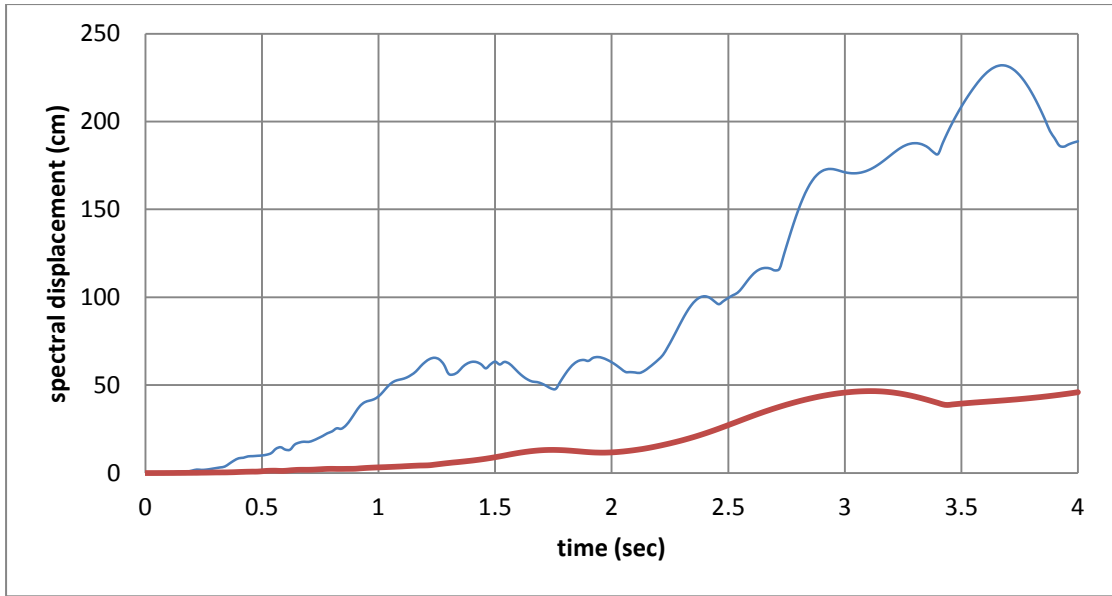




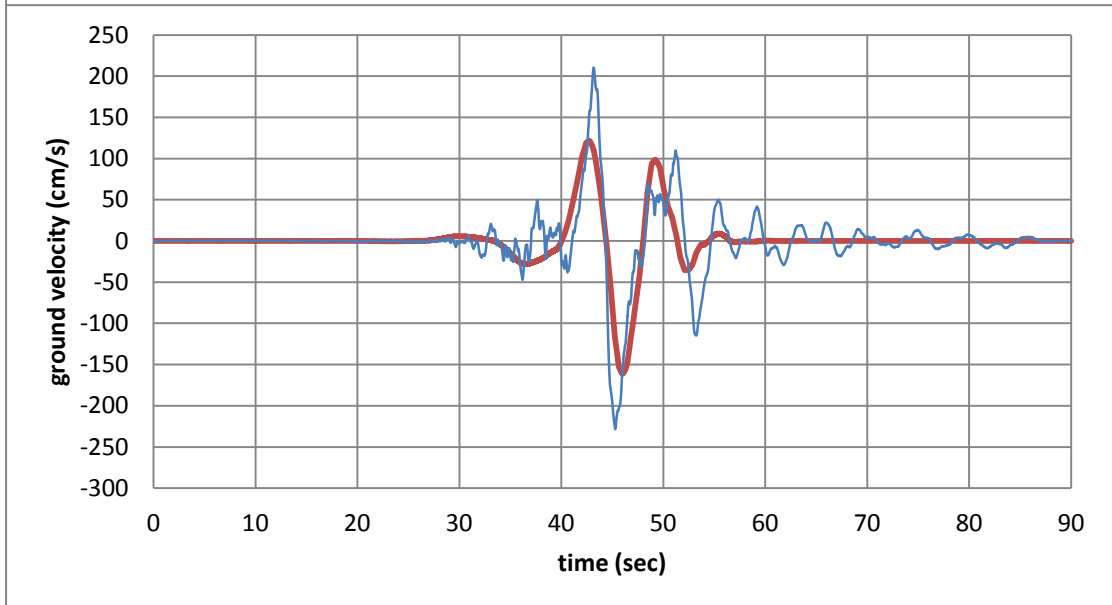
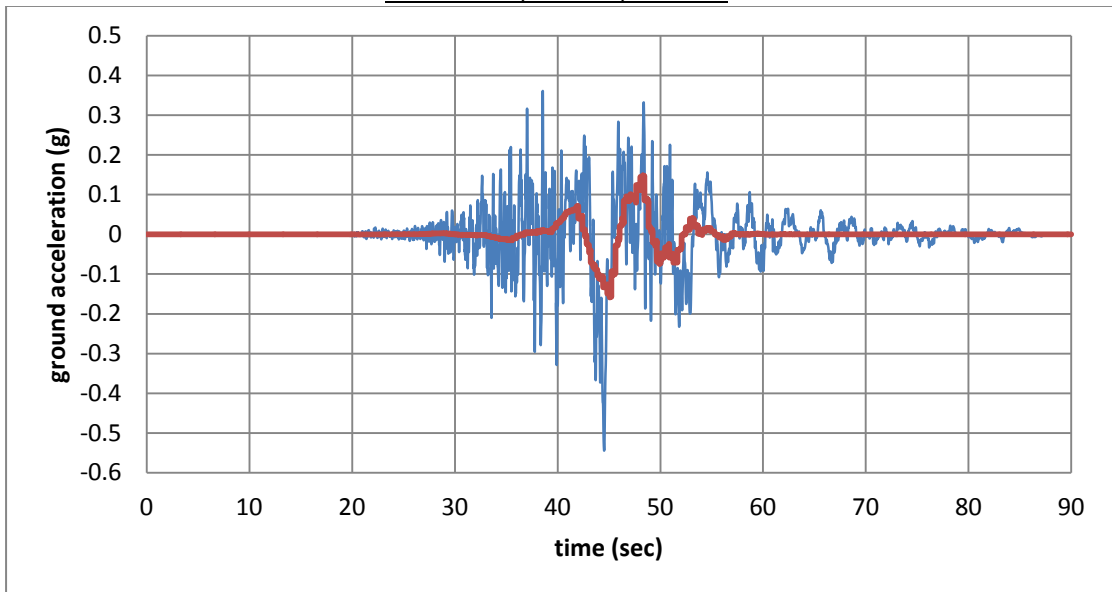
#83 Chi-Chi, Taiwan, TCU104

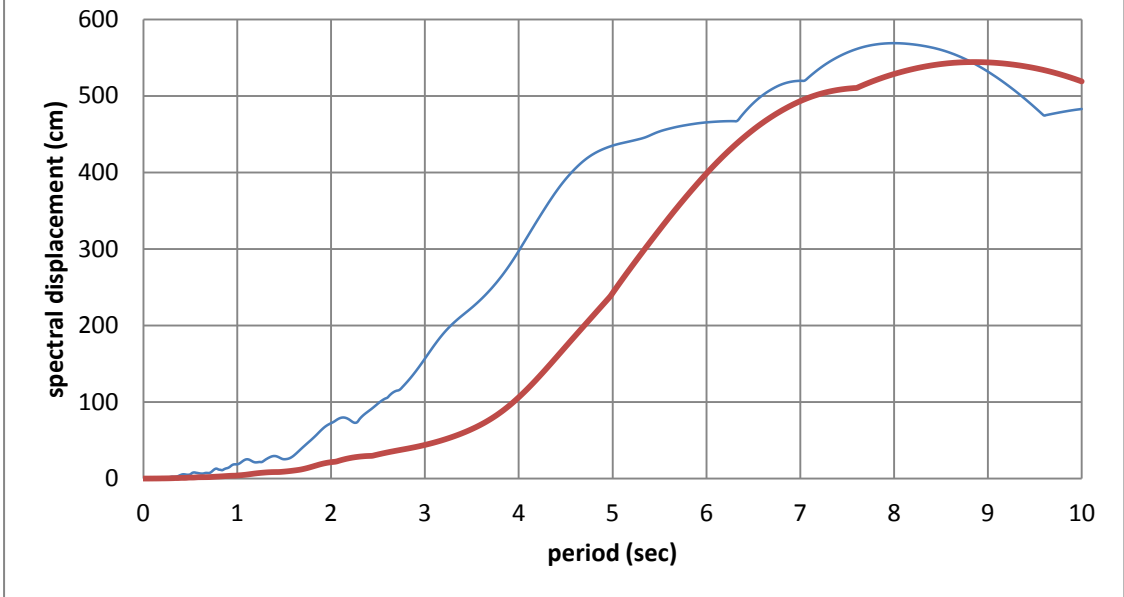
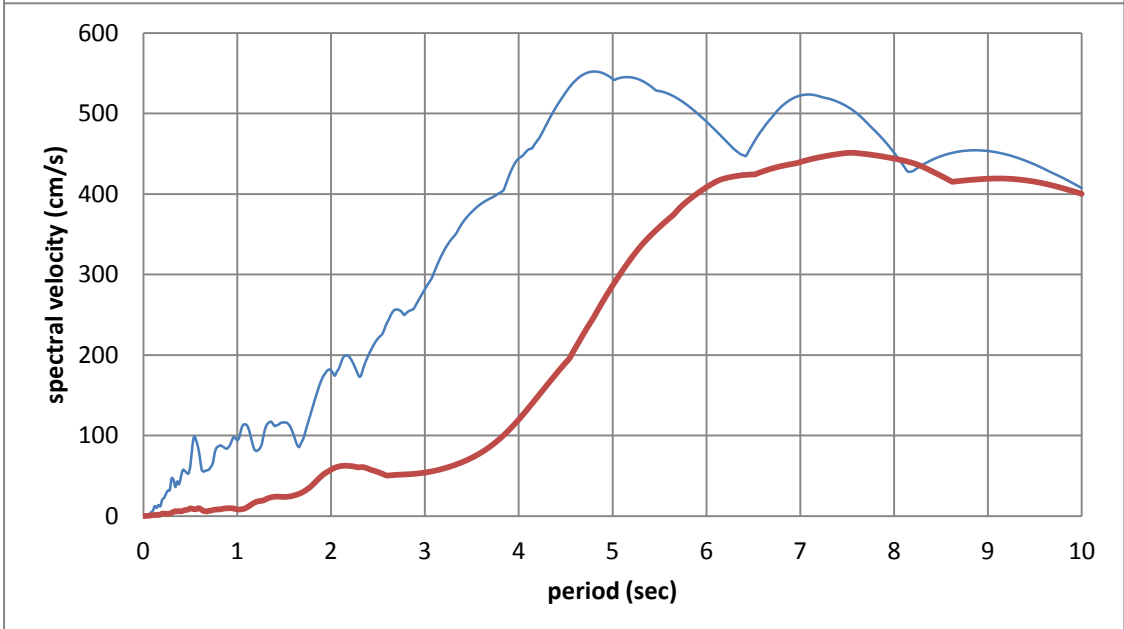
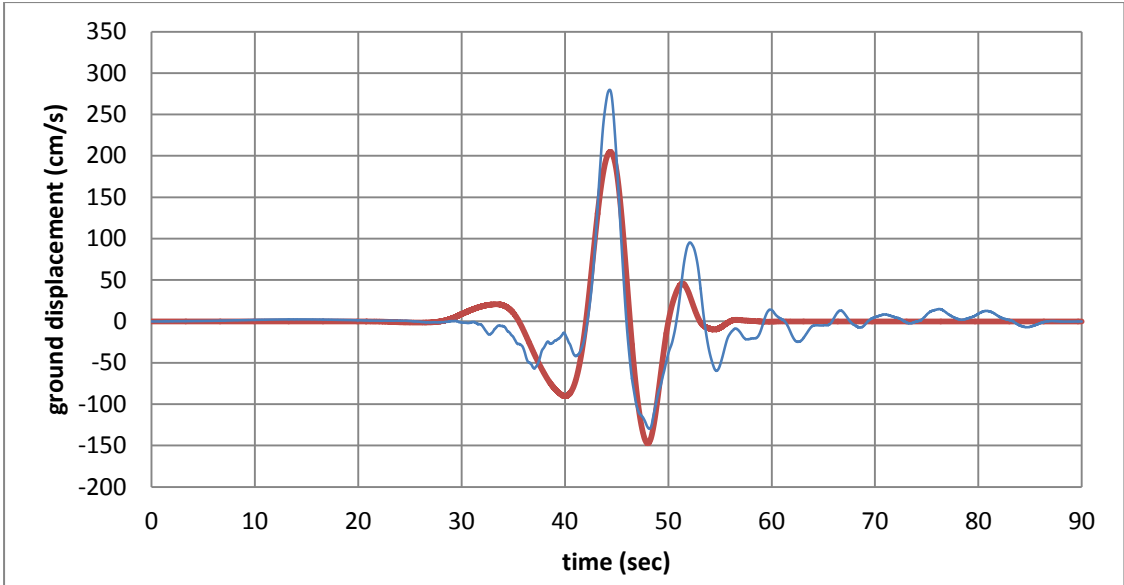




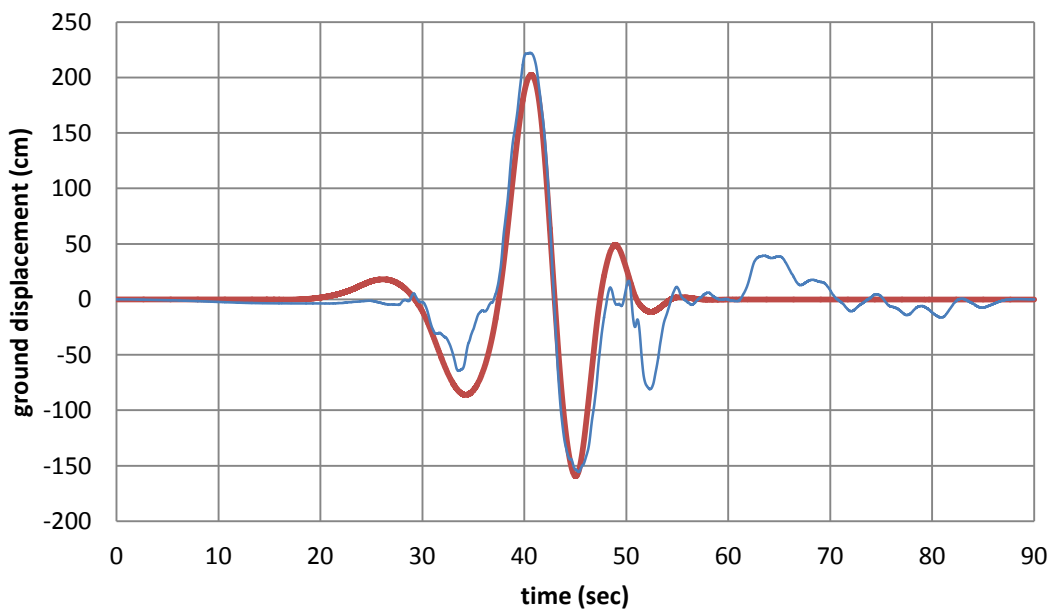
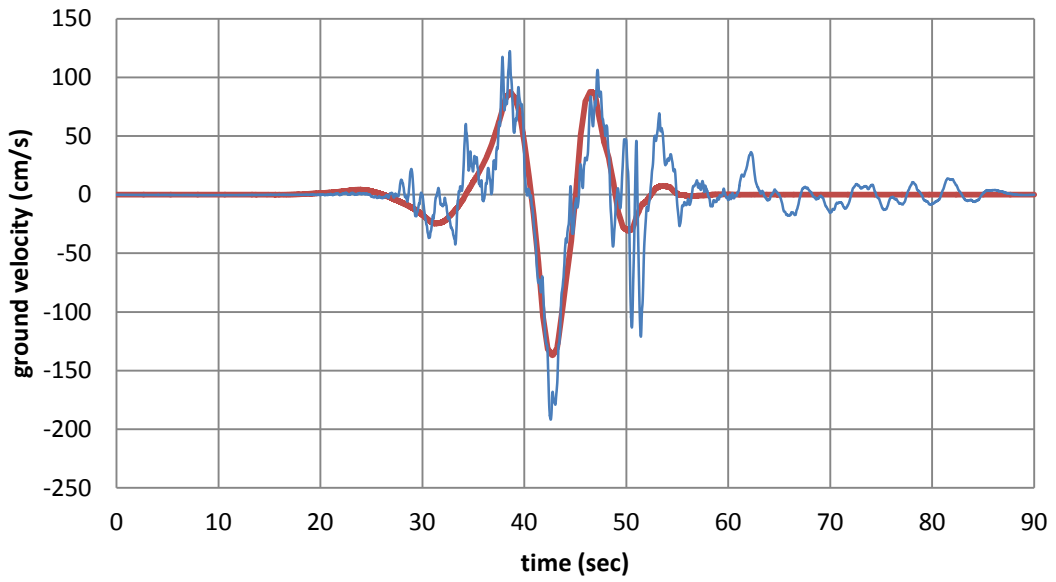
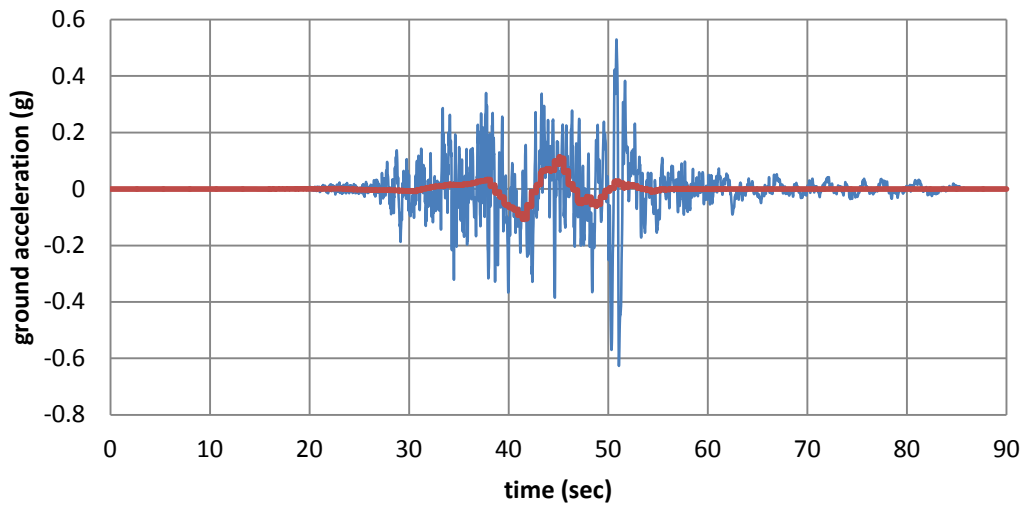


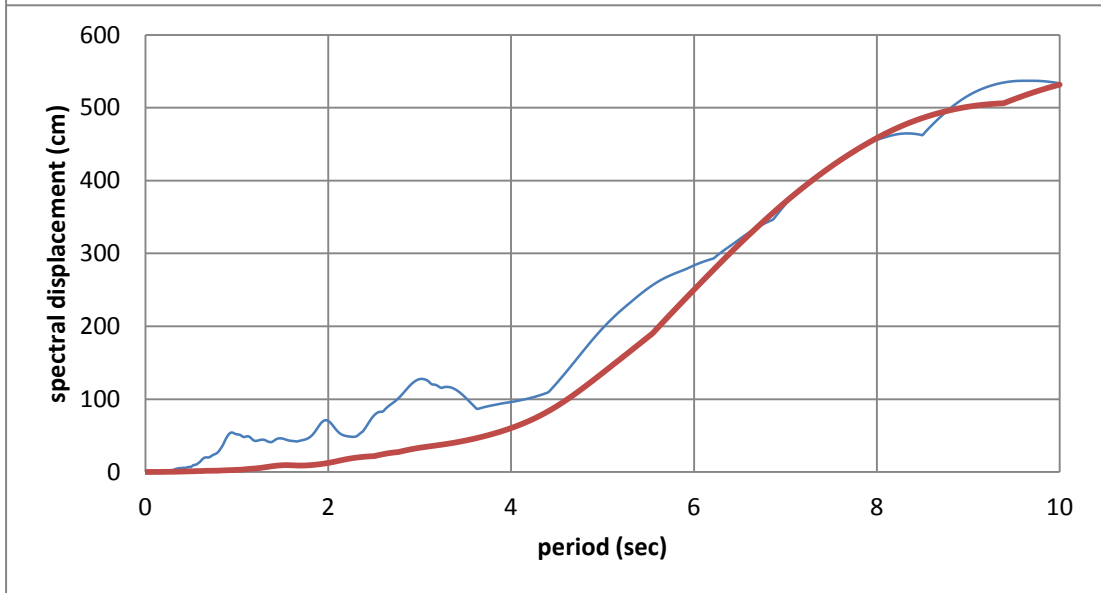
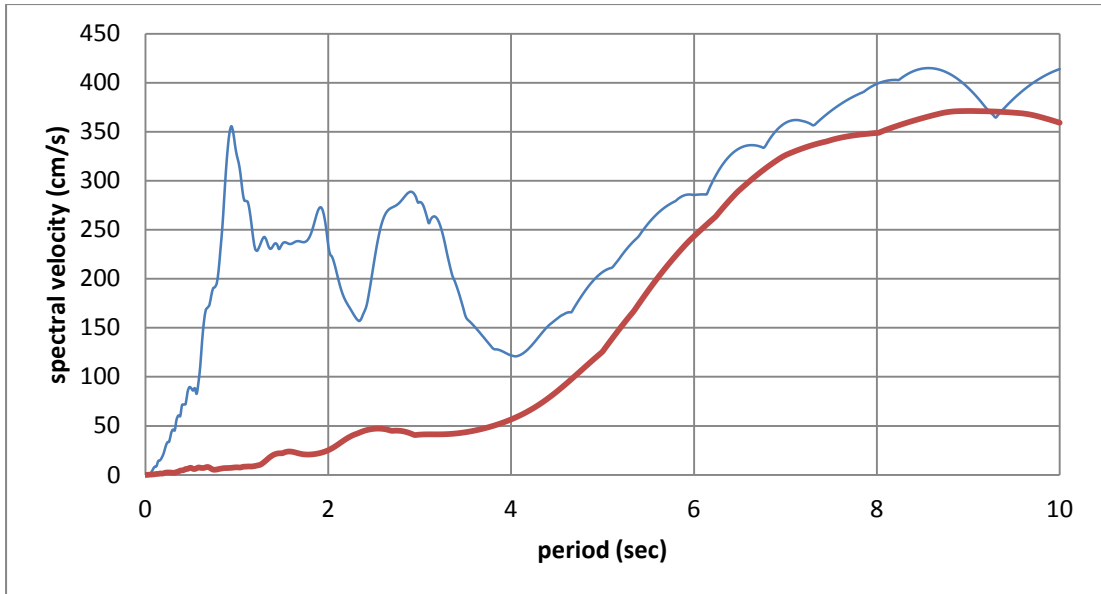
#84 Chi-Chi, Taiwan, TCU128



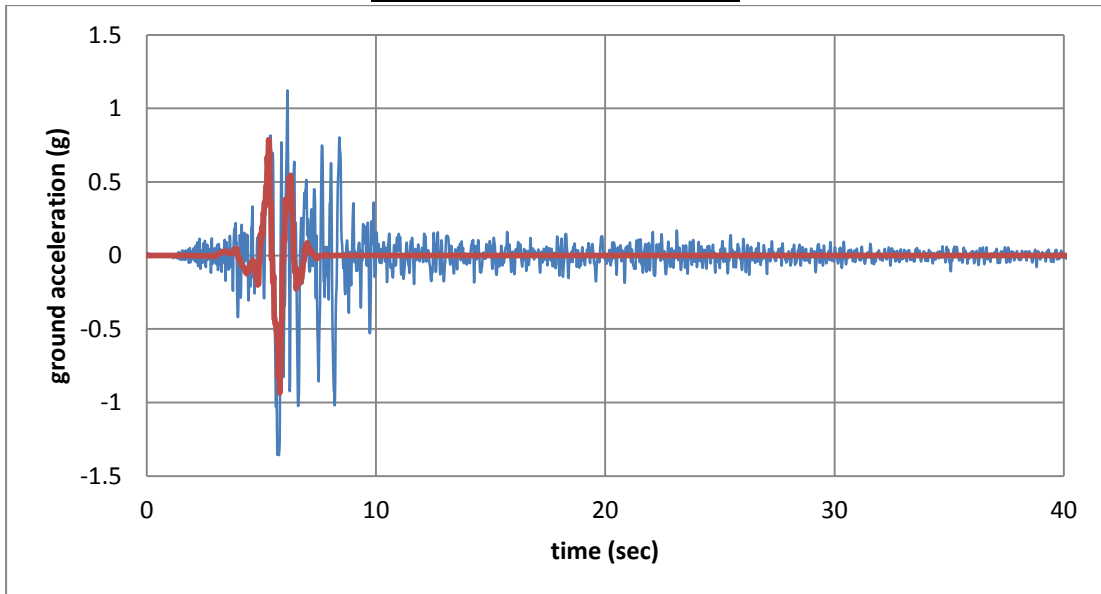


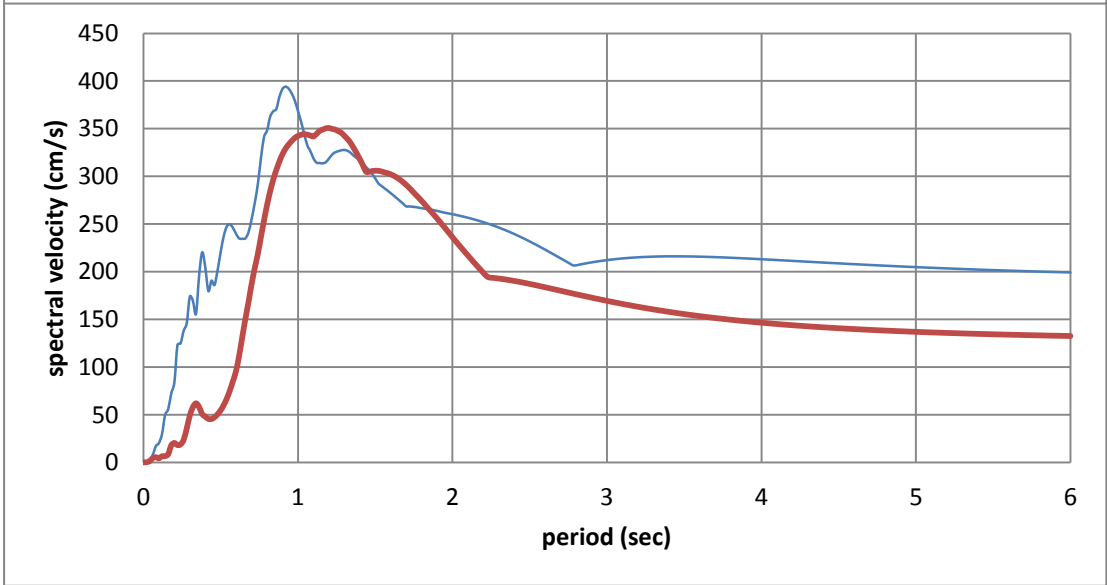
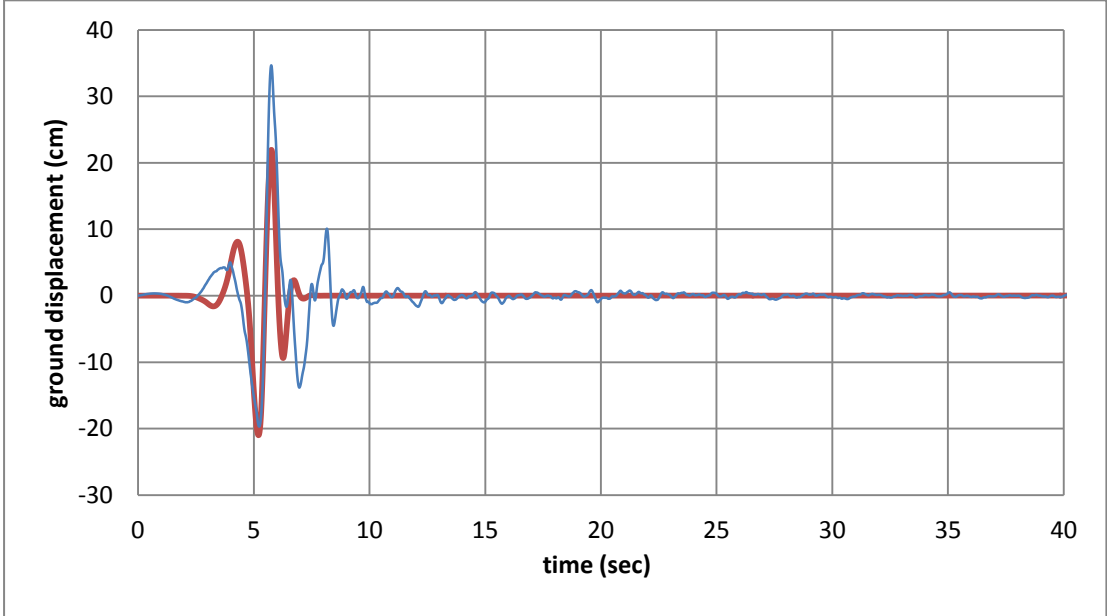
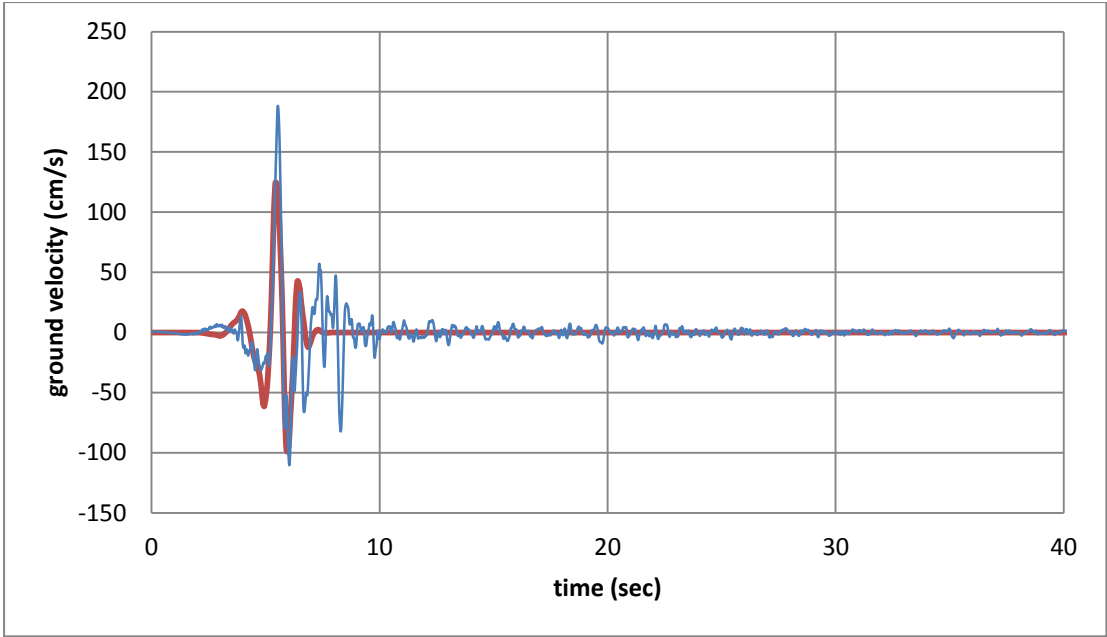
#85 Chi-Chi, Taiwan, TCU136

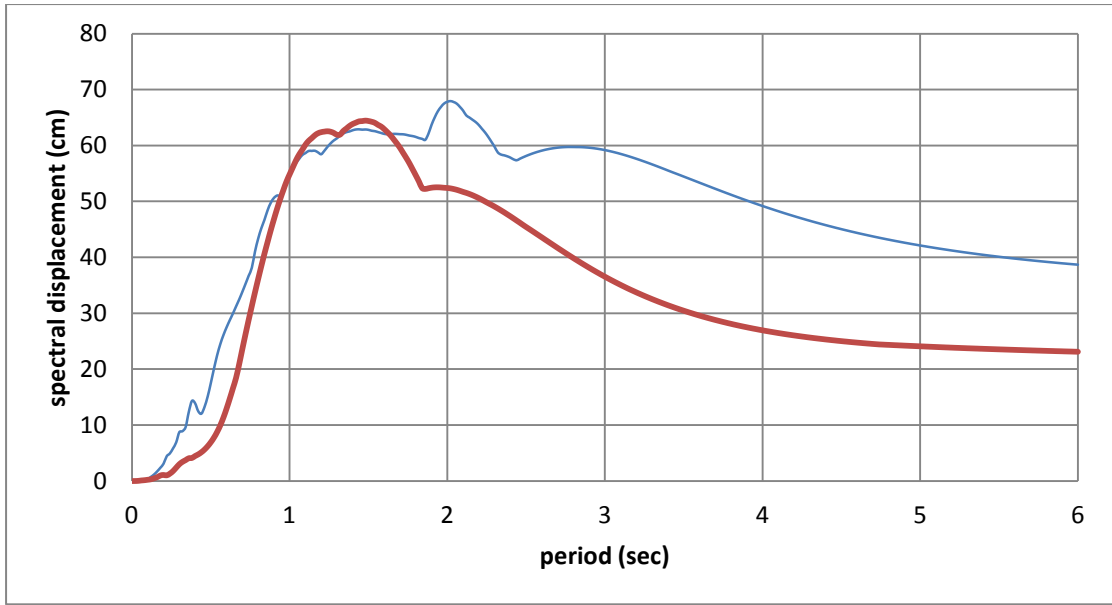




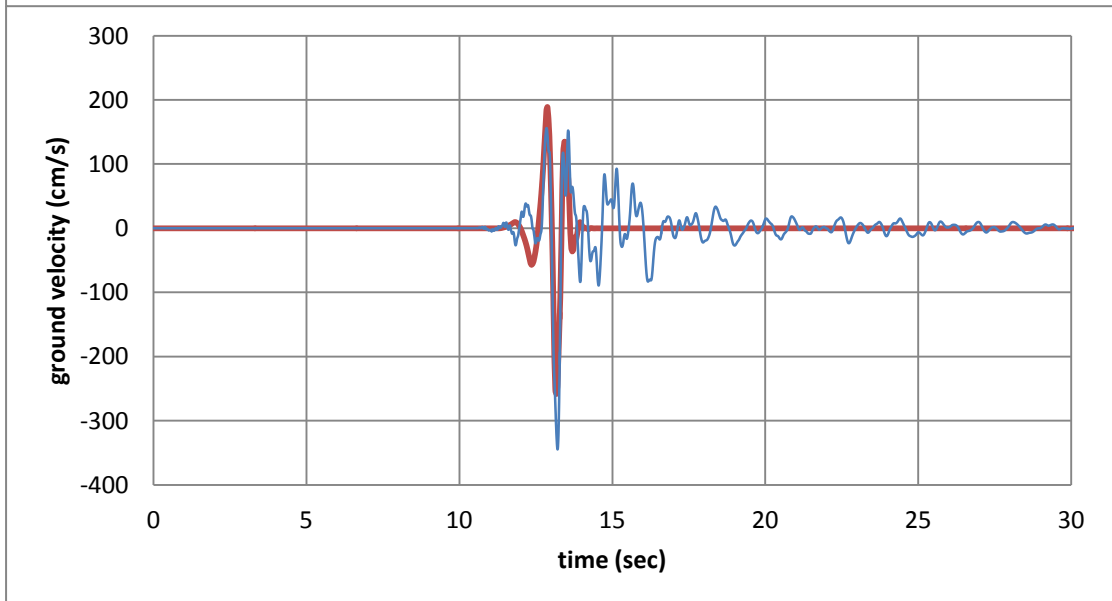
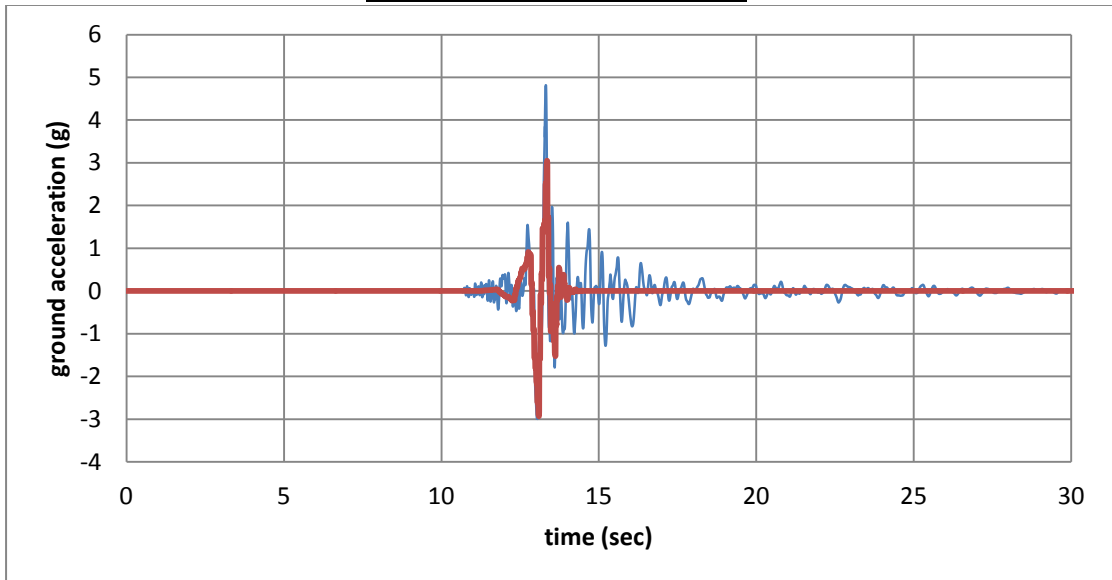
#86 Northwest China-03, Jiashi

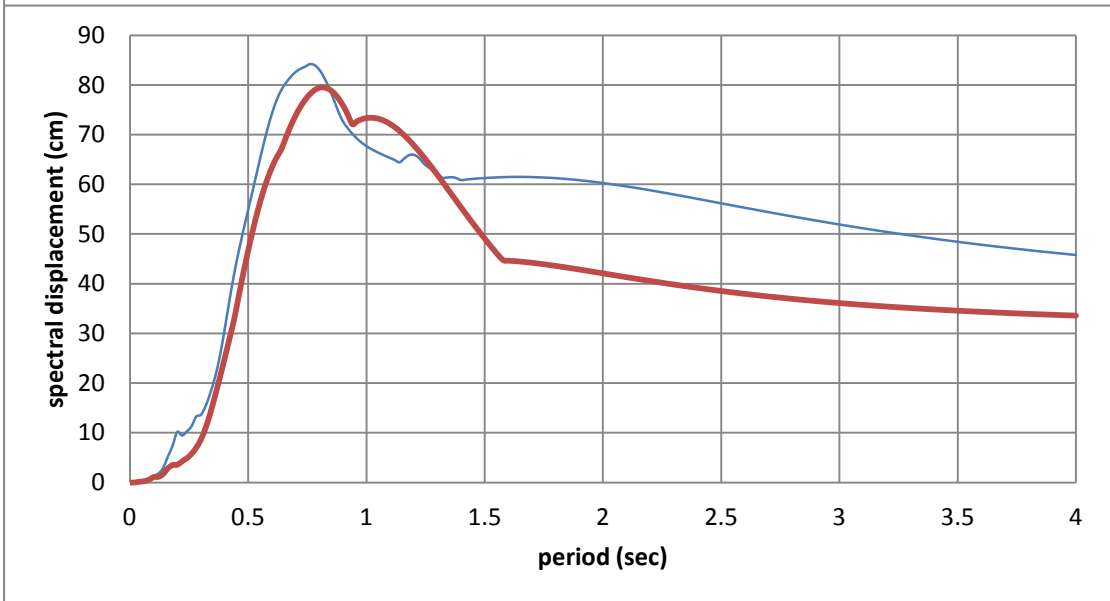
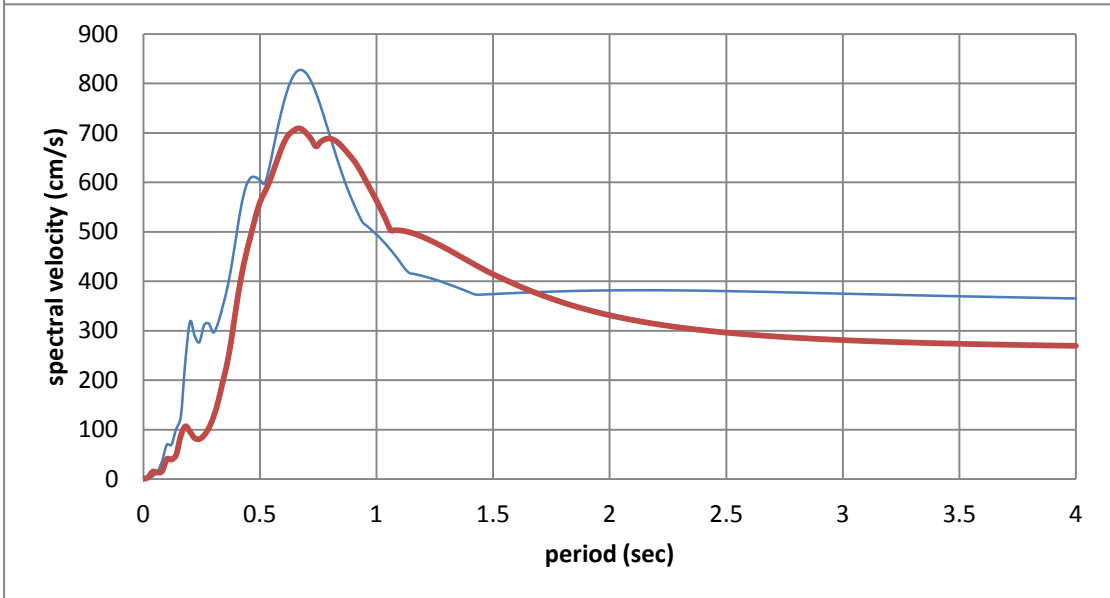
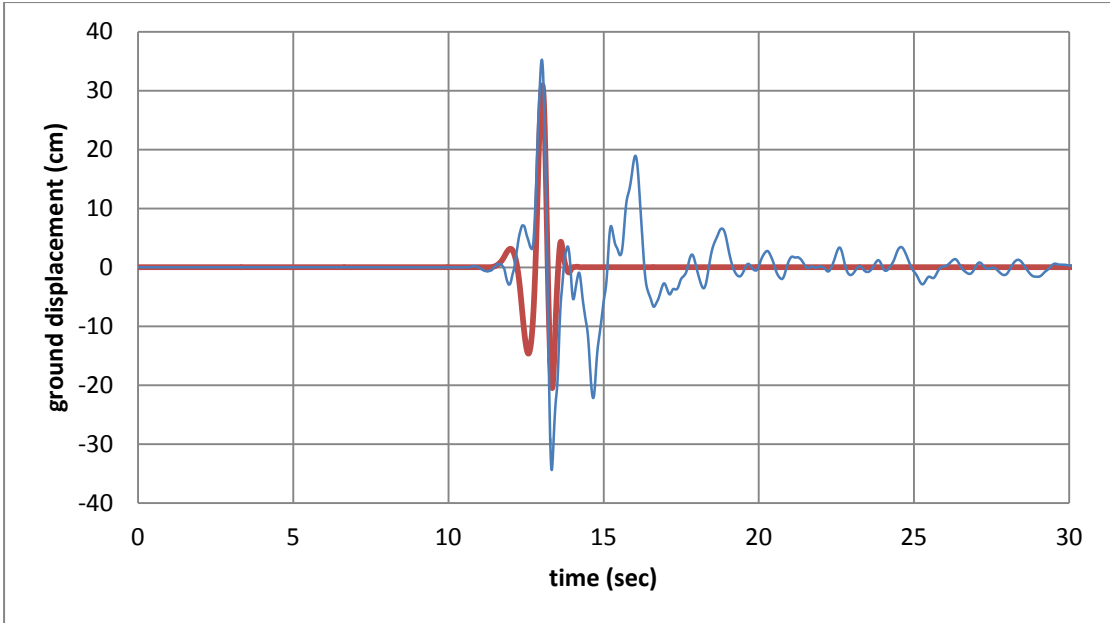




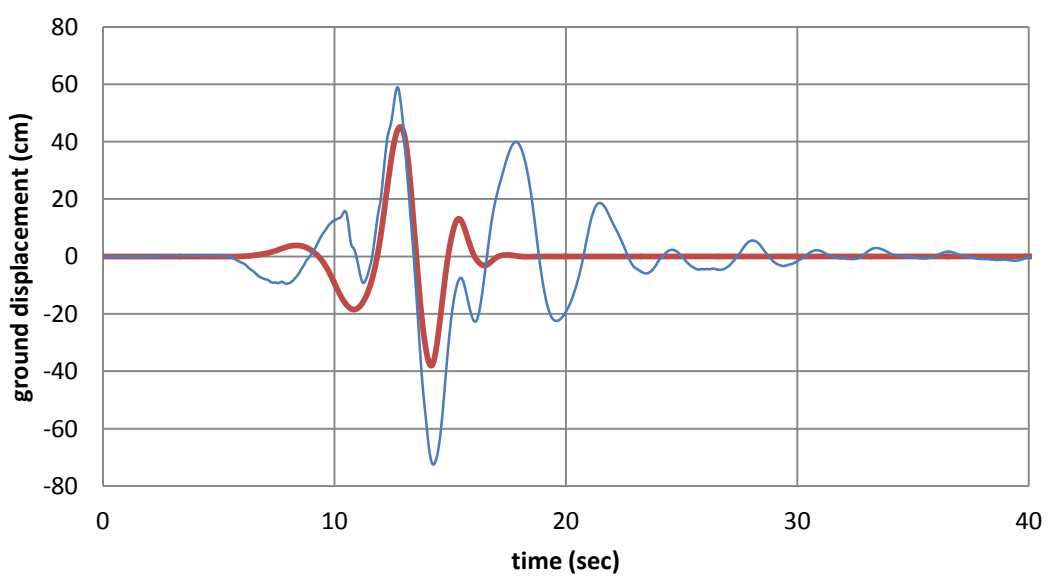
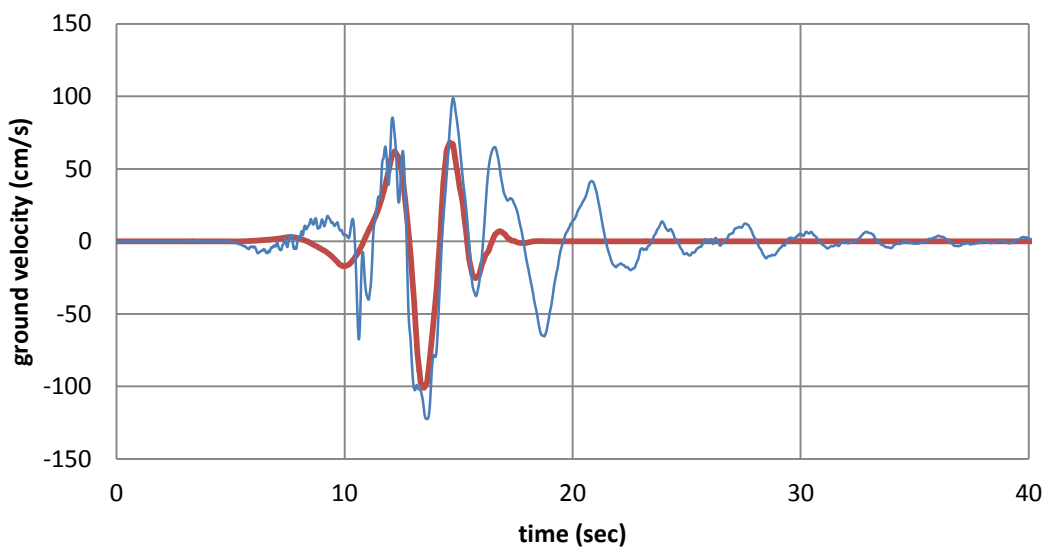
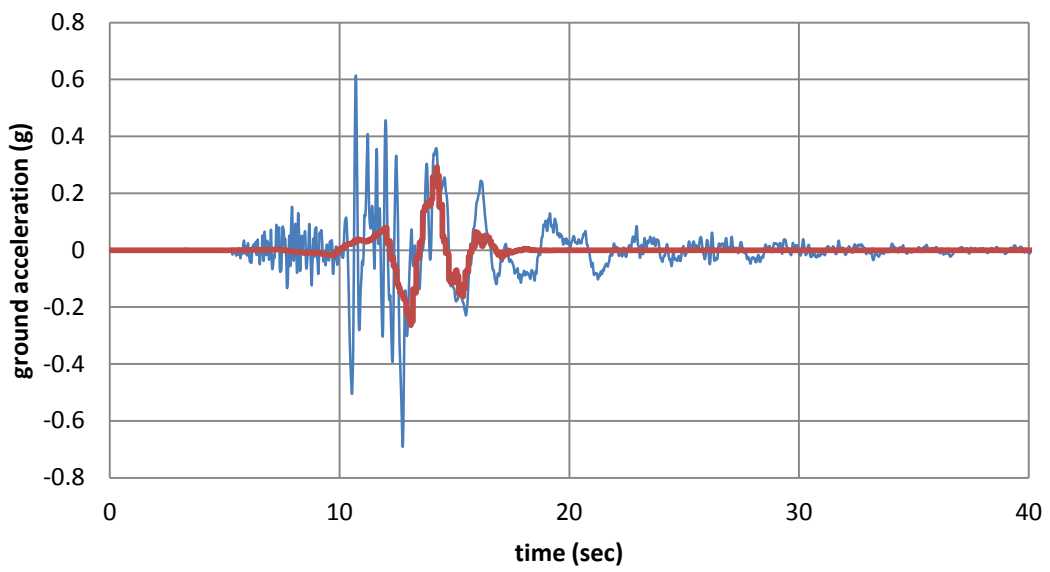


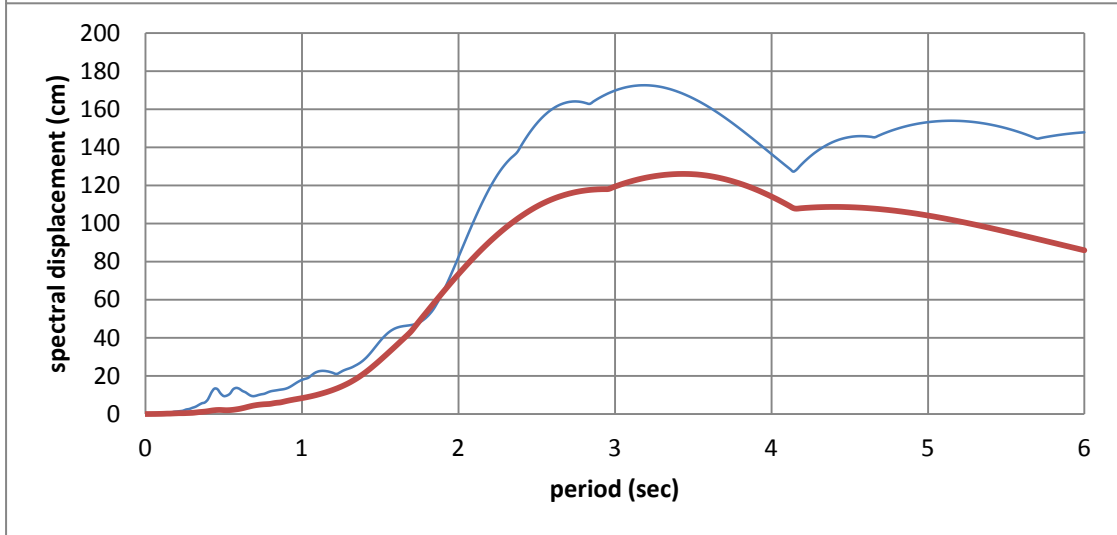
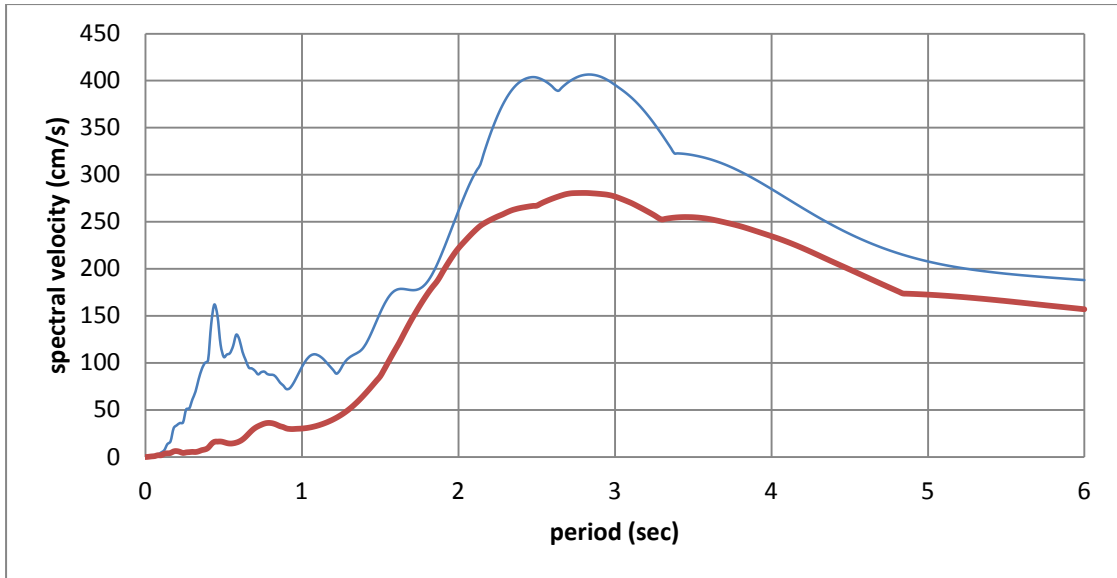
#87 Chi-Chi, Taiwan-03, CHY024



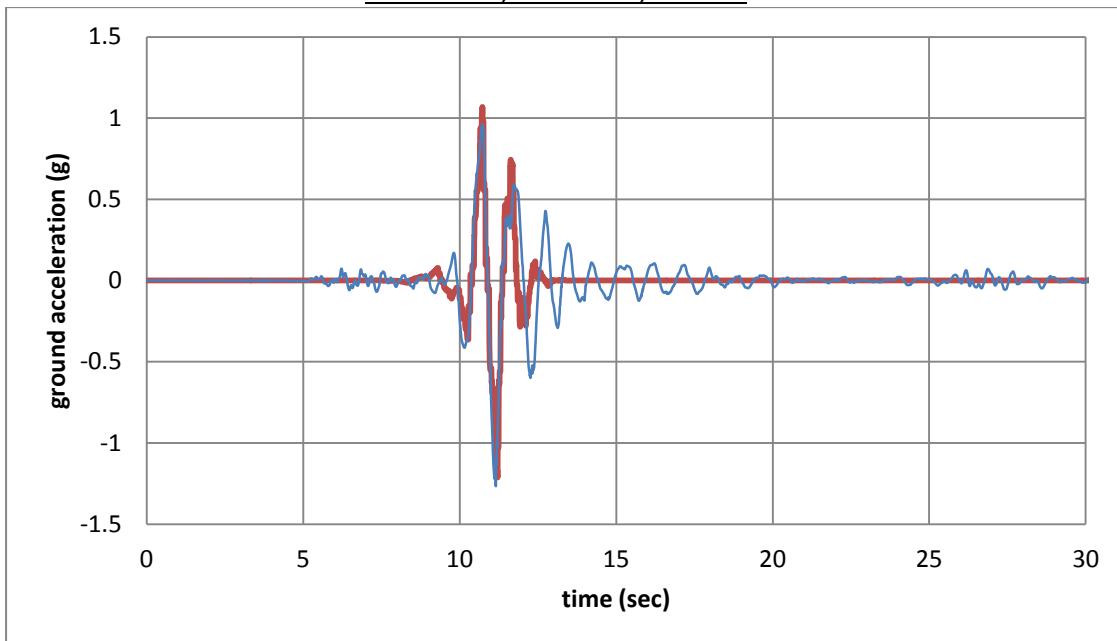


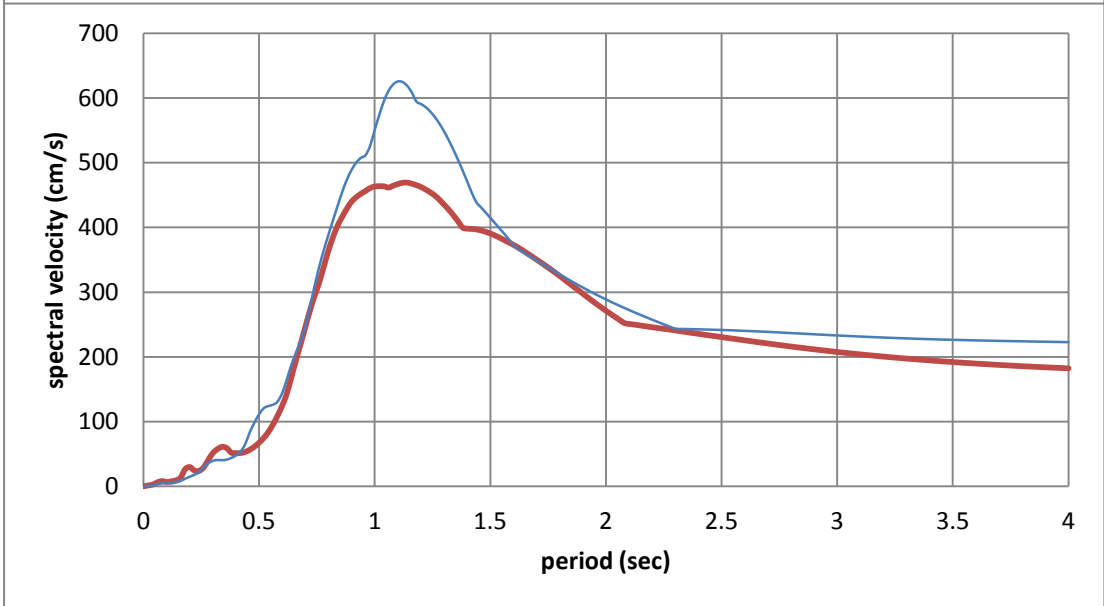
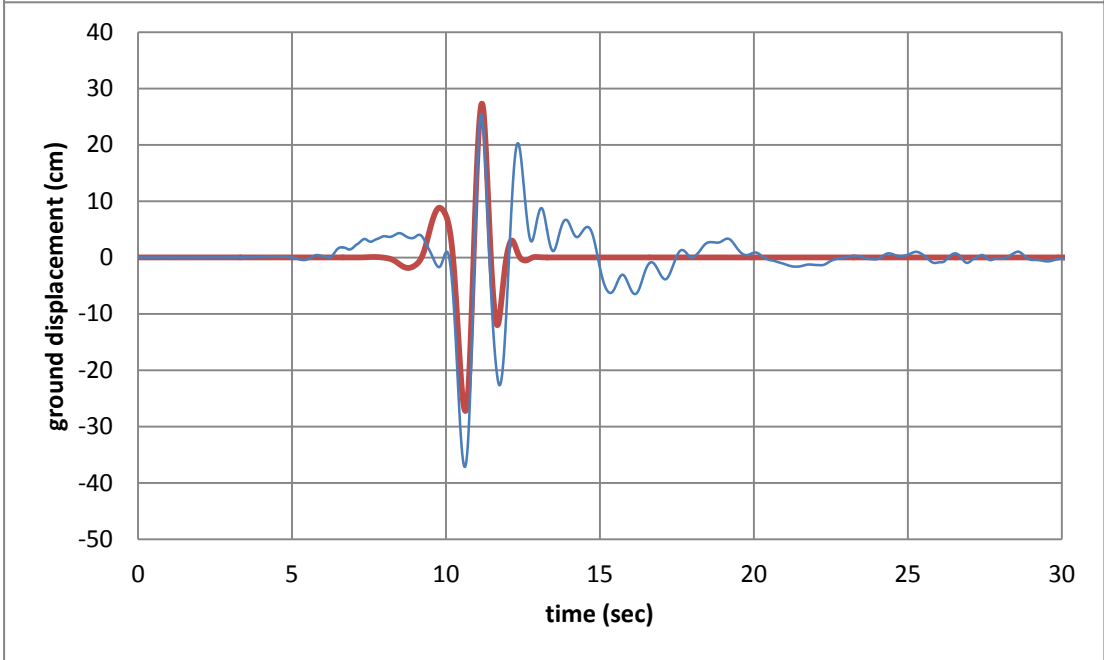
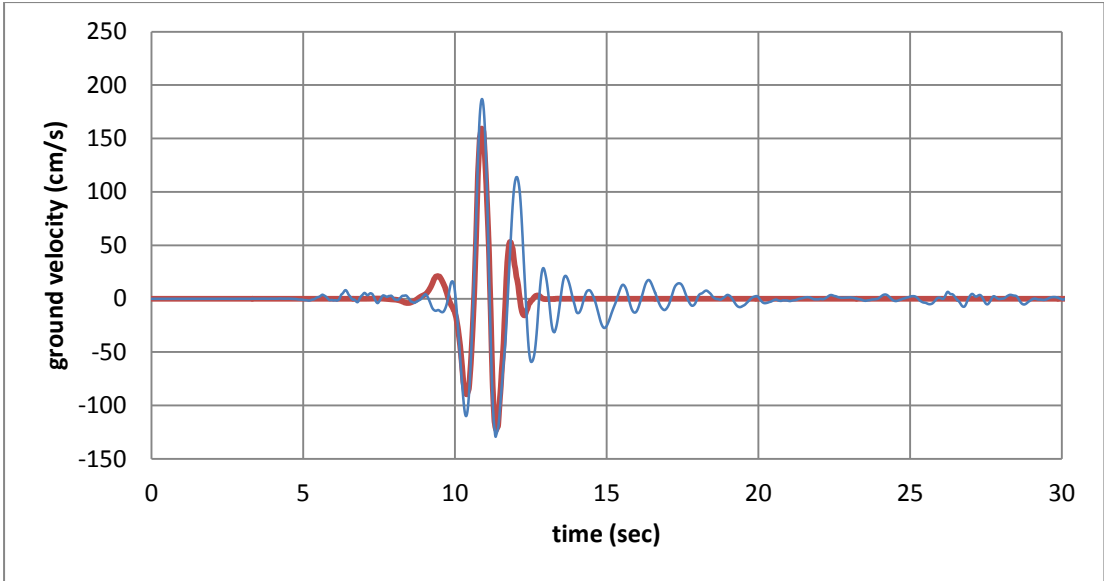
#88 Chi-Chi, Taiwan-03, CHY080

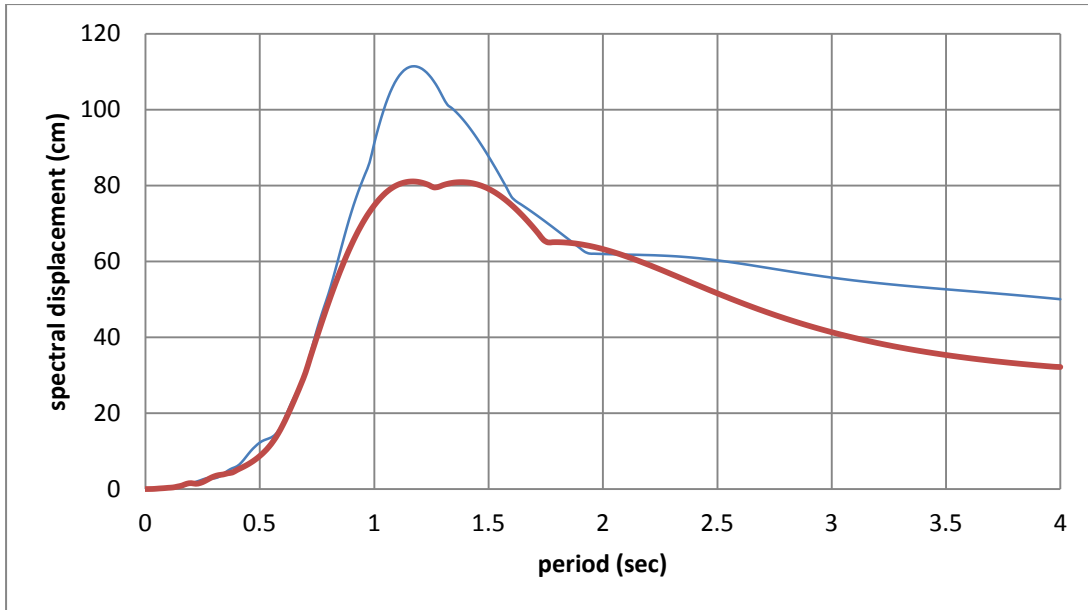




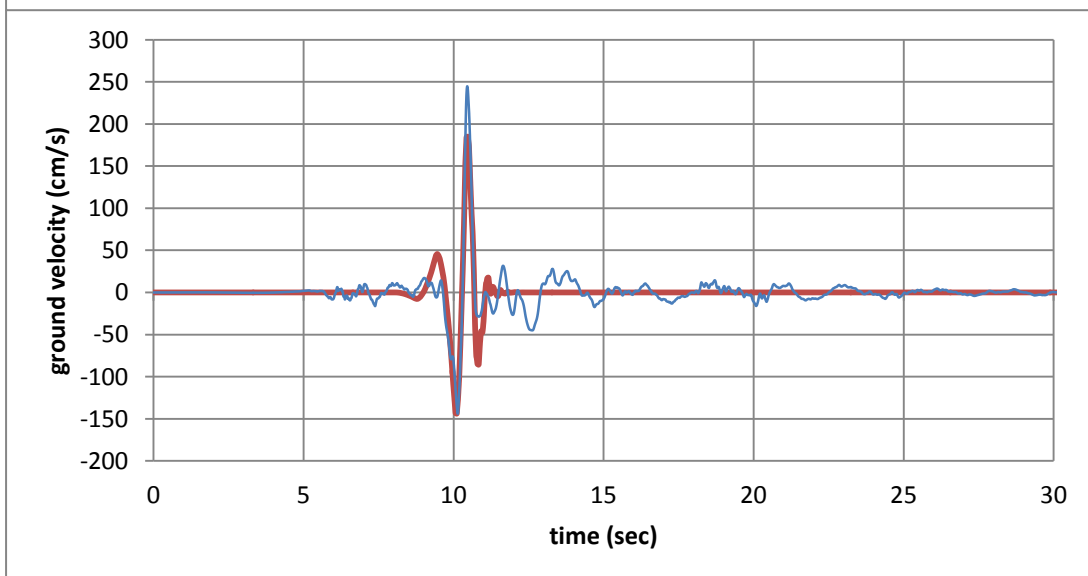
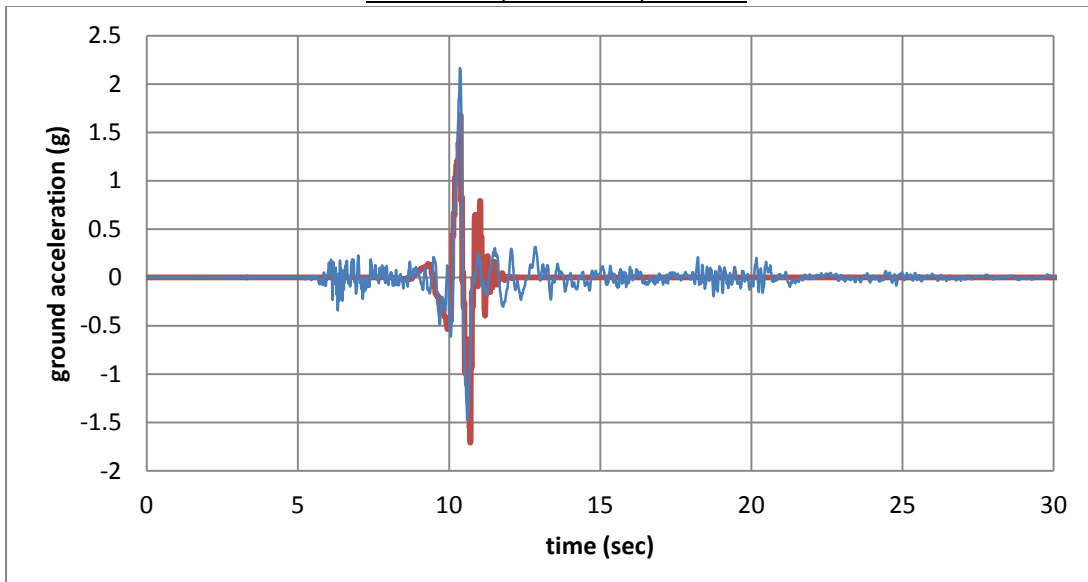
#89 Chi-Chi, Taiwan-03, TCU076

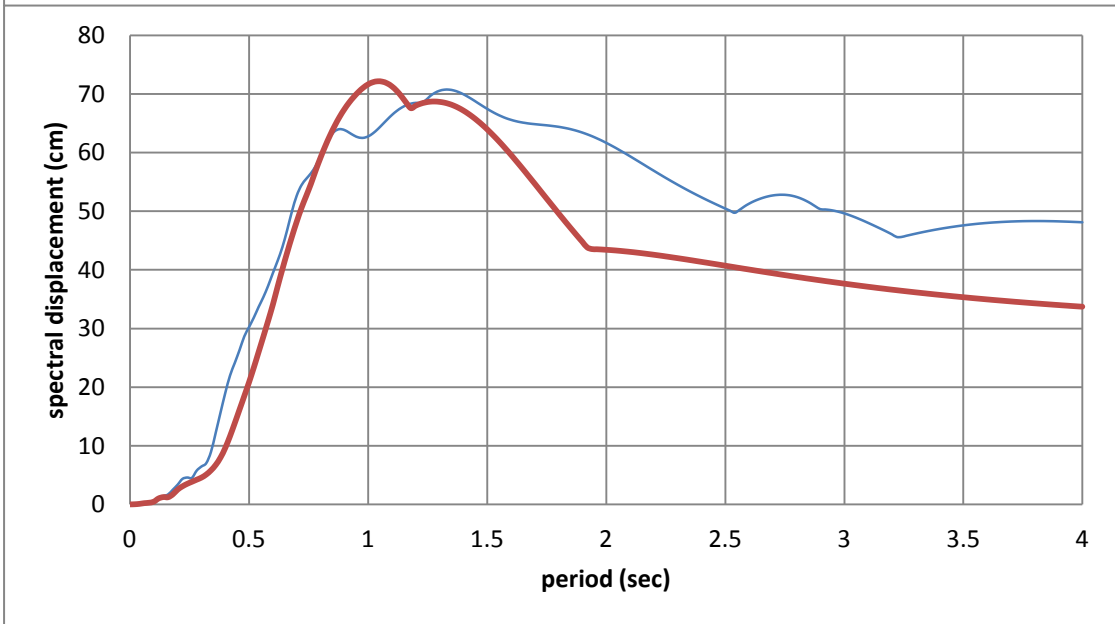
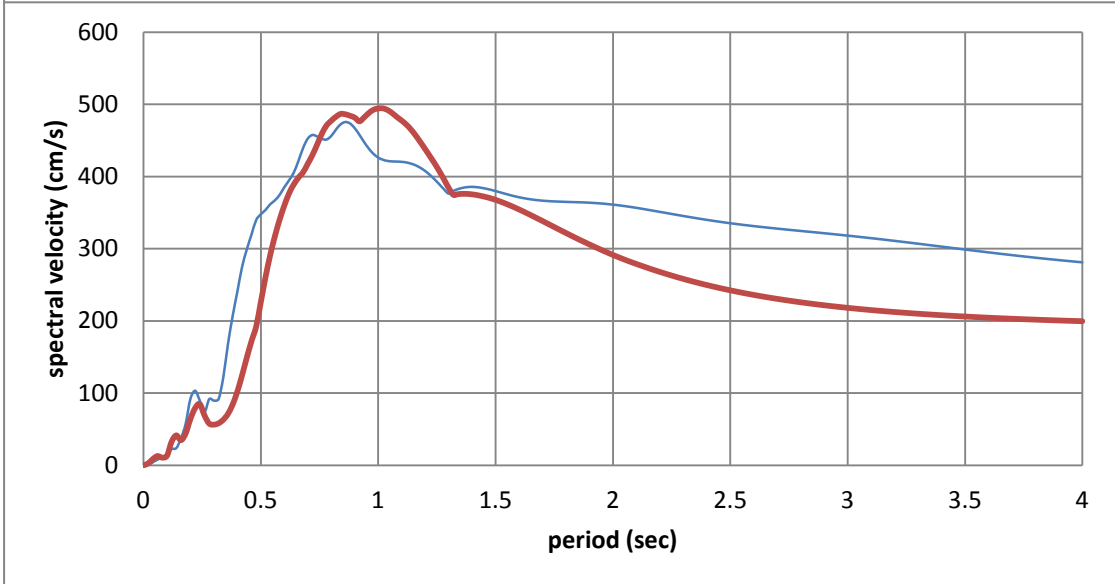
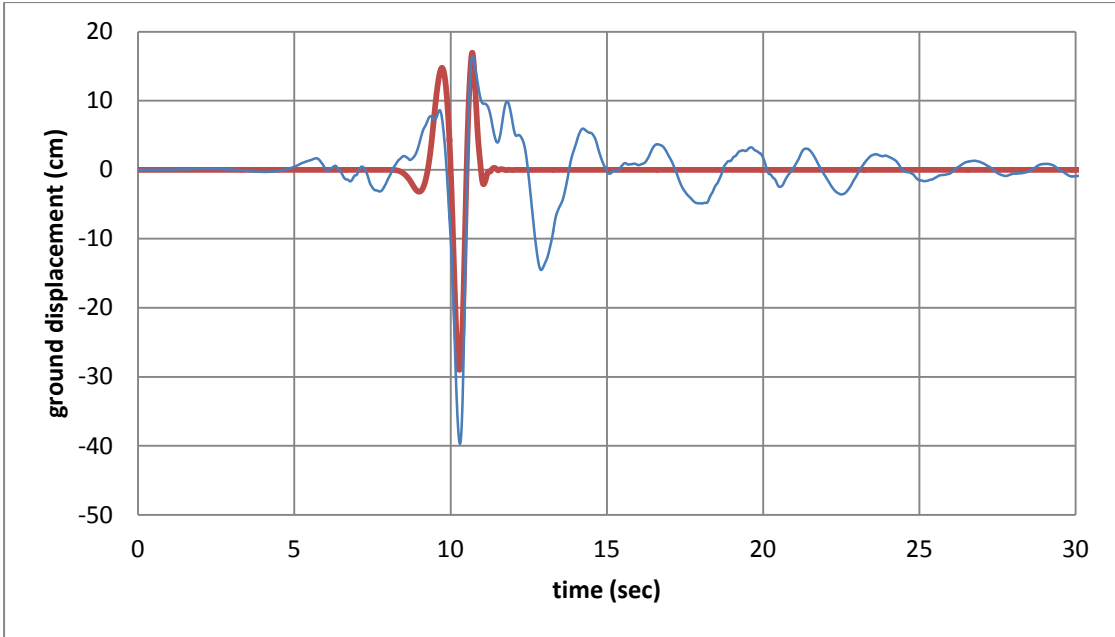






#90 Chi-Chi, Taiwan-03, CHY101





#91 Yountville, Napa Fire Station #3

