



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ
ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ**

ΟΛΓΑ ΝΙΚ. ΜΑΡΑΓΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί έντονο ενδιαφέρον για τη μελέτη των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου. Στην παρούσα εργασία, μελετάται η δυνατότητα προσομοίωσης των σεισμικών καταγραφών κοντινού πεδίου, με συνθετικές κινήσεις κυματιδίων, μέσω μίας νέας μεθόδου που προτείνεται. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής αυτής της μεθοδολογίας, σε σεισμικές καταγραφές του αρχείου NGA και εξετάζεται η εγκυρότητά της, με βάση τη σύγκριση των αποκρίσεων οκταωρόφου πλαισιωτού φορέα, κατά τη διέγερσή του με τις πραγματικές και τις αντίστοιχες παραγόμενες εδαφικές κινήσεις.

Η εργασία περιλαμβάνει τέσσερα κεφάλαια, τα οποία συμπληρώνονται από δύο παραρτήματα στο τέλος.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων του κοντινού πεδίου και αναφέρονται ορισμένα μοντέλα κυματιδίων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωσή τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η νέα μέθοδος προσέγγισης των σεισμικών κινήσεων με παλμικά προσομοιώματα και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της, σε καταγραφές της NGA βάσης δεδομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, εξετάζεται η απόκριση οκταωρόφου πλαισιωτού φορέα, για διέγερσή του με τις καταγεγραμμένες και τις συνθετικές χρονοϊστορίες και μελετώνται συγκριτικά τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναφέρονται τα συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα, την εγκυρότητα και κατ'επέκταση, τη δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου προσομοίωσης των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου με σειρά κυματιδίων.

Ευχαριστίες εκφράζονται στον Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Ι. Ψυχάρη, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας εργασίας, στον δρ. Πολιτικό Μηχανικό κ. Ι. Ταφλαμπά για την πολύτιμη βοήθειά του και παρακολούθηση της εξέλιξης της παρούσας εργασίας καθώς και στους υπ. διδάκτορες κ. Π. Μίμογλου και κα Σ. Κουσίδη, για τις σημαντικές κατευθύνσεις τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1. ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	4
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΛΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....	11
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2. ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	19
2.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	19
2.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΛΜΩΝ.....	22
2.2.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΕΣΠΟΖΟΥΣΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ.....	22
2.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΛΜΩΝ.....	27
2.3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΔΩΝ.....	30
2.4. Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕ ΒΗΜΑΤΑ.....	35
2.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΑΛΜΩΝ.....	38
2.5.1. ΝGA ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	38
2.5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΠΑΛΜΟΥΣ ΣΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΝGA.....	48
2.5.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΝGA ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ.....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΚΤΑΩΡΟΦΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΤΟΥ ΦΟΡΕΑ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΜΕ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΝΓΑ ΚΑΙ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΠΑΛΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ.....	66
--	-----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	152

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

1.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρκετές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί, με στόχο την ανάλυση των κυρίων χαρακτηριστικών των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου, καθώς έχει αποδειχθεί ότι οι κινήσεις του εδάφους κοντά στο σεισμικό κέντρο, επηρεάζουν σημαντικά τις κατασκευές.

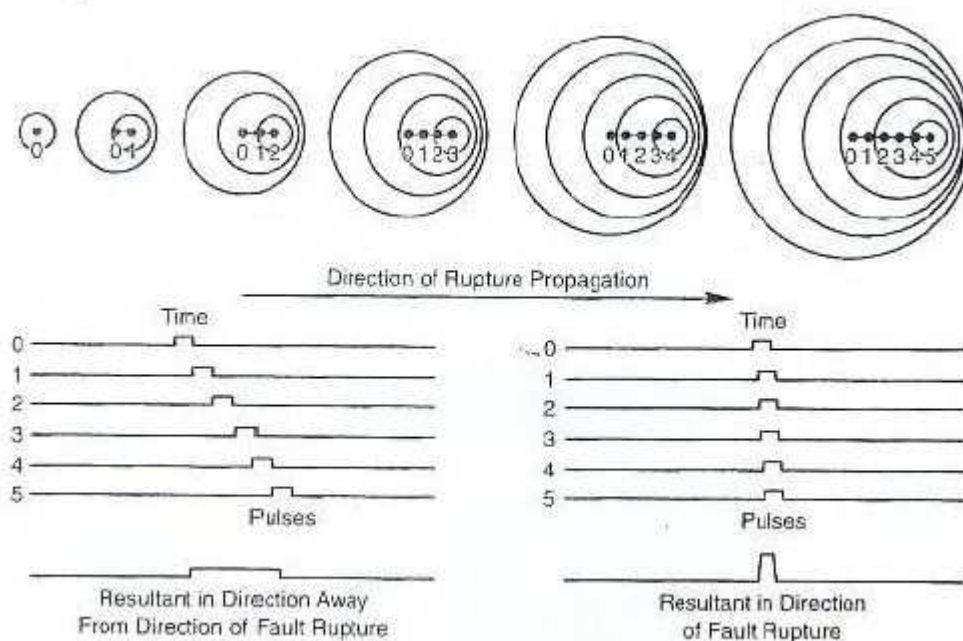
Οι κινήσεις του εδάφους κοντά σε ένα ρήγμα, μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό διαφορετικές από εκείνες που βρίσκονται μακριά από τη σεισμική πηγή. Ένα σεισμικό γεγονός είναι αποτέλεσμα της διάρρηξης που πραγματοποιείται στο επίπεδο του ρήματος, όταν οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις ξεπεράσουν την αντοχή του πετρώματος στη σεισμική εστία. Η περιοχή γύρω από το ρήγμα, που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 20-60 Km από αυτό και έχει διαστάσεις ανάλογες με την επιφάνεια ρηγμάτωσης, αποτελεί μία ζώνη που χαρακτηρίζεται από τις περισσότερες βλάβες στις κατασκευές και ονομάζεται *κοντινό πεδίο*. Οι εδαφικές κινήσεις μέσα σε αυτήν την περιοχή του κοντινού πεδίου, επηρεάζονται από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας και της μόνιμης μετακίνησης, που αποτελούν τις δύο κύριες αιτίες για την ύπαρξη παλμών ταχύτητας στις κινήσεις του εδάφους κοντά στο σεισμικό κέντρο, παλμών των οποίων η παρουσία αποδυναμώνεται ή ενισχύεται και από άλλους παράγοντες, όπως ο μηχανισμός και η ταχύτητα της διάρρηξης ή ειδικές γεωμετρικές συνθήκες και ο τύπος του εδάφους.

Όταν η ρηγμάτωση κατευθύνεται από το σεισμικό κέντρο προς μία θέση, παρουσιάζεται ένα φαινόμενο αντίστοιχο με το Doppler (σχήμα 1.1). Κατά τη διάδοση της διάρρηξης, παράγονται παλμοί ταχύτητας που διαδίδονται ως κύματα S, με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας της διάρρηξης. Όταν η ταχύτητα της διάρρηξης στο ρήγμα είναι κοντά (γενικά παρατηρείται λίγο μικρότερη) στην ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων του βράχου (κύματα S) κοντά στην πηγή, επίσης η διάρρηξη διαδίδεται με κατεύθυνση προς την εξεταζόμενη θέση και η κατεύθυνση της

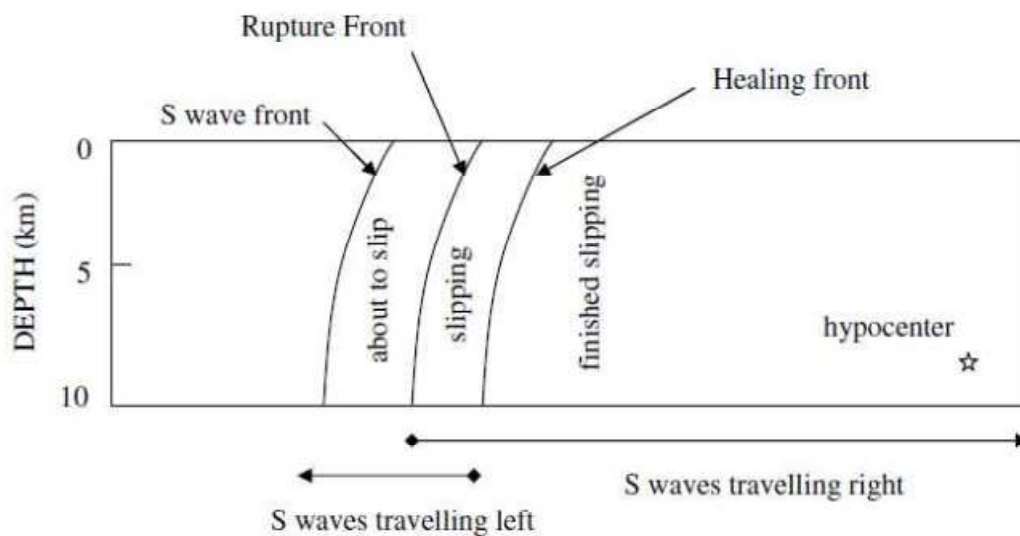
ολίσθησης στο ρήγμα είναι επίσης προς την εξεταζόμενη περιοχή, τότε εμφανίζεται το φαινόμενο της εμπρόσθιας κατευθυντικότητας (forward directivity). Για έναν μηχανισμό οριζόντιας ολίσθησης (σχήμα 1.2), όπου το μέτωπο της διάρρηξης διαδίδεται μακριά από το υπόκεντρο και προς μία περιοχή, η ενέργεια συσσωρεύεται 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.

Αντίθετα, αν μία περιοχή βρίσκεται κοντά στο επίκεντρο, δηλαδή η διάρρηξη διαδίδεται μακριά από την αυτήν, κάθε παλμός της σεισμικής διάρρηξης φθάνει διαδοχικά ο ένας μετά τον άλλον στην περιοχή. Αυτή η κατάσταση που ονομάζεται οπίσθια κατευθυντικότητα (backward directivity), χαρακτηρίζεται από κινήσεις σχετικά μεγάλης διάρκειας και μικρού πλάτους.

Η ουδέτερη κατευθυντικότητα (neutral directivity) εμφανίζεται όταν η διάρρηξη δεν είναι δεσπόζουσα ούτε προς, ούτε μακριά από την περιοχή.

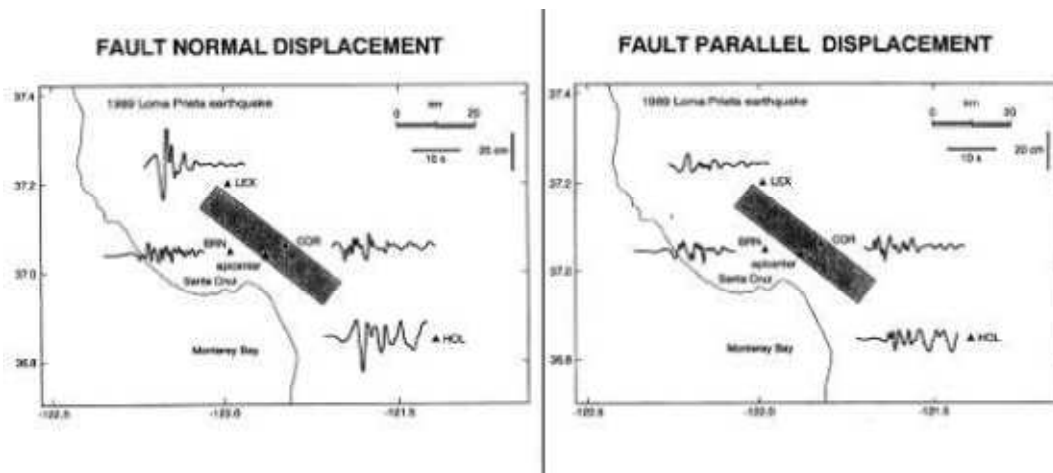


Σχήμα 1.1. Επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης με βάση το φαινόμενο Doppler. (Από 'Τεχνική Σεισμολογία' Ε.Μ.Π. 2006-2007.)



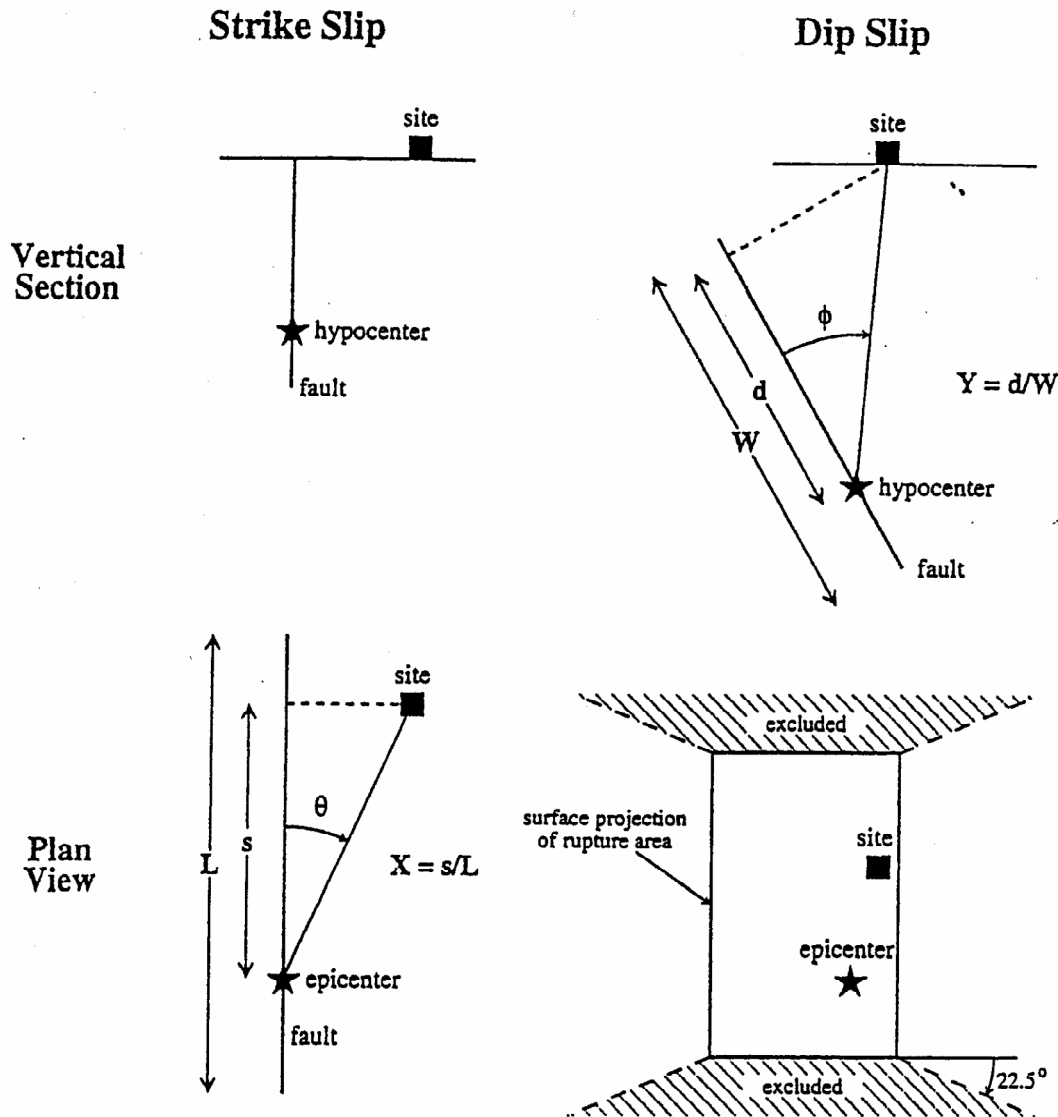
Σχήμα 1.2. Επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για ένα ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με μία ταχύτητα που είναι περίπου το 80% της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων. Η εικόνα παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο του μετώπου σε μία δεδομένη στιγμή (από Somerville et al. 1997a).

Τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις εδαφικές μετακινήσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του σεισμού στο Loma Prieta το 1989, φαίνονται στο σχήμα 1.3. Το επίκεντρο του σεισμού είναι κοντά στο «Corralitos and Branciforte drive», όπου οι οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις είναι μέτριες και στις κάθετες (fault normal) και στις παράλληλες (fault parallel) με το ρήγμα συνιστώσες. Αυτό οφείλεται στην οπίσθια κατευθυντικότητα. Αντίθετα, στα άκρα του ρήγματος, στο «Lexington Dam and Hollister», η εμπρόσθια κατευθυντικότητα προκαλεί τις οριζόντιες εδαφικές κινήσεις στην κάθετη διεύθυνση του ρήγματος να είναι παλμικές και πολύ μεγαλύτερες από τις κινήσεις τις παράλληλες στο ρήγμα, οι οποίες είναι παρόμοιες με εκείνες κοντά στο επίκεντρο. Οι μεγάλες παλμικές κινήσεις εμφανίζονται μόνο στην κάθετη στο ρήγμα διεύθυνση και μόνο μακριά από το επίκεντρο.



Σχήμα 1.3. Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης κατά το σεισμό του «Loma Prieta» το 1989 για τις κάθετες (fault normal) και παράλληλες (fault parallel) στο ρήγμα συνιστώσες. (Πηγή: EERI 1995.)

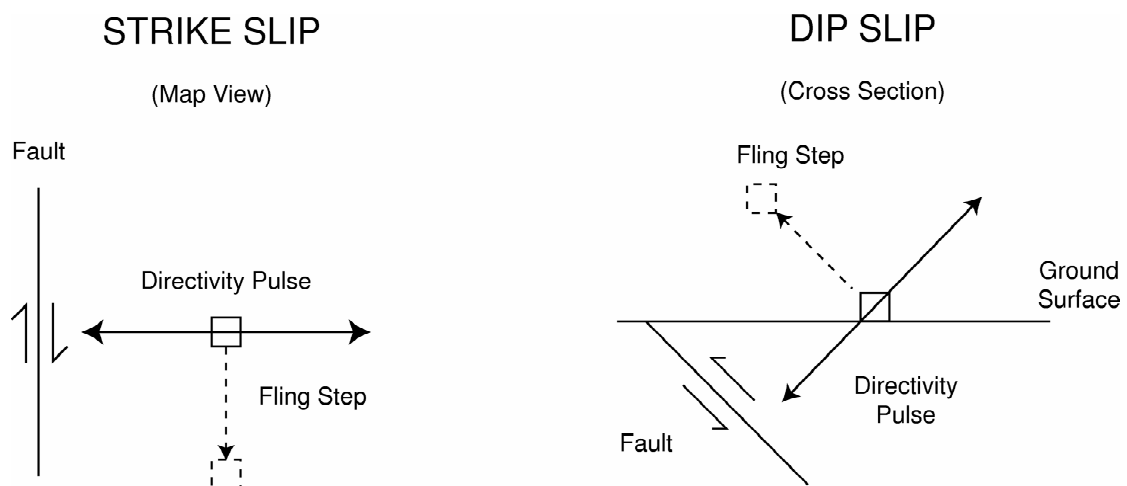
Τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης μπορούν να παρουσιασθούν τόσο σε περιπτώσεις οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip), όσο και σε περιπτώσεις κατακόρυφης ολίσθησης /βύθισης (dip-slip) και διαφοροποιούνται ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζουν η διεύθυνση ανάπτυξης της διάρρηξης και η διεύθυνση των κυμάτων που ταξιδεύουν από το ρήγμα προς την περιοχή (θ για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και ϕ για ρήγματα κατακόρυφης βύθισης), καθώς επίσης και ανάλογα με την επιφάνεια της διάρρηξης του ρήματος που βρίσκεται μεταξύ του υπόκεντρου και της εξεταζόμενης θέσης (λόγος X για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και λόγος Y για ρήγματα κατακόρυφης βύθισης) (σχήμα 1.4). Τα αποτελέσματα της εμπρόσθιας κατευθυντικότητας είναι εντονότερα για μικρότερες γωνίες μεταξύ του ρήματος και της εξεταζόμενης περιοχής και για μεγαλύτερες επιφάνειες του διερρηγμένου ρήματος μεταξύ της θέσης και του υποκέντρου. Στις περιπτώσεις κατακόρυφης ολίσθησης (dip-slip), οι συνθήκες εμπρόσθιας κατευθυντικότητας εμφανίζονται για περιοχές κοντά στην προβολή του υπερκειμένου τεμάχους του ρήματος.



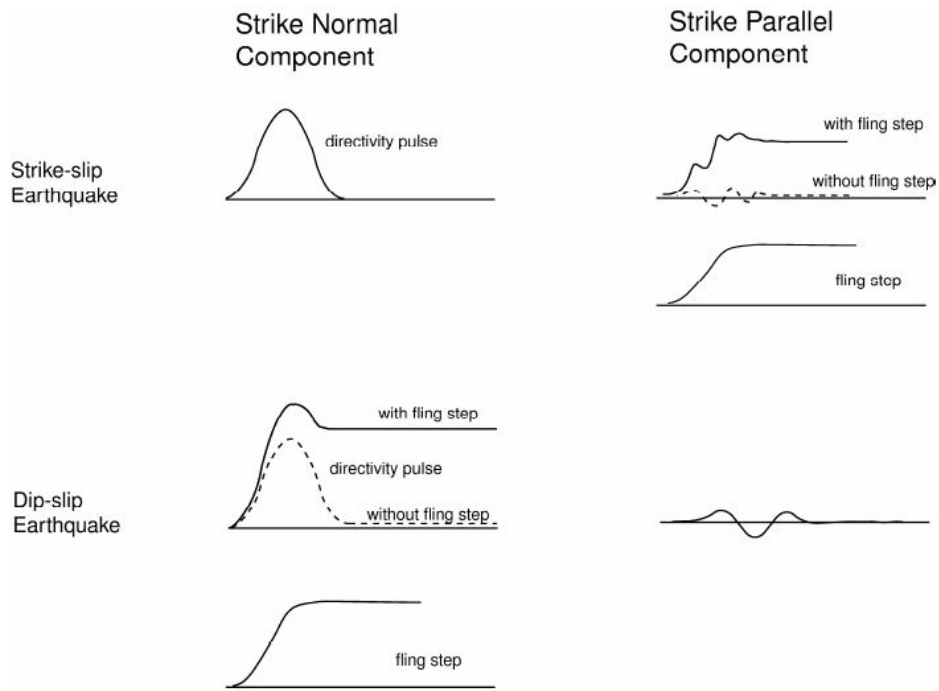
Σχήμα 1.4. Παράμετροι που καθορίζουν τις συνθήκες του φαινομένου της κατευθυντικότητας της διάρρηξης. (Από Somerville et al.1997.)

Από την άλλη πλευρά, η μόνιμη μετακίνηση που παρατηρείται σε μία περιοχή, είναι συνέπεια της μόνιμης μετακίνησης του ρήγματος, λόγω του στατικού πεδίου παραμόρφωσης του σεισμού. Αυτές οι στατικές μετατοπίσεις, καλούνται παραμένουσες μετακινήσεις (fling step) και εμφανίζονται μετά από χρονικό διάστημα αρκετών δευτερολέπτων καθώς εξελίσσεται η ολίσθηση του ρήγματος. Οι παραμένουσες μετακινήσεις (fling step) εμφανίζονται παράλληλα στη διεύθυνση ολίσθησης του ρήγματος και έτσι δε συνδέονται έντονα με τις προαναφερθείσες

δυναμικές μετακινήσεις που αναφέρονται ως «παλμός κατευθυντικότητας της διάρρηξης». Στα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζεται στην κάθετη συνιστώσα (fault normal), ενώ η παραμένουσα μετακίνηση εμφανίζεται στην παράλληλη συνιστώσα (fault parallel). Στα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης, τόσο η παραμένουσα μετακίνηση όσο και ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζονται στην κάθετη συνιστώσα (fault normal). Οι προσανατολισμοί της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης, παρουσιάζονται στο σχήμα 1.5 και οι χρονοϊστορίες στις οποίες η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζονται μαζί και χωριστά, παρουσιάζονται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.5. Προσανατολισμοί του παλμού κατευθυντικότητας (directivity pulse) και της παραμένουσας μετακίνησης (fling step), για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (strike slip) και κατακόρυφης βύθισης. (Από 'Τεχνική Σεισμολογία' Ε.Μ.Π 2006-2007.)

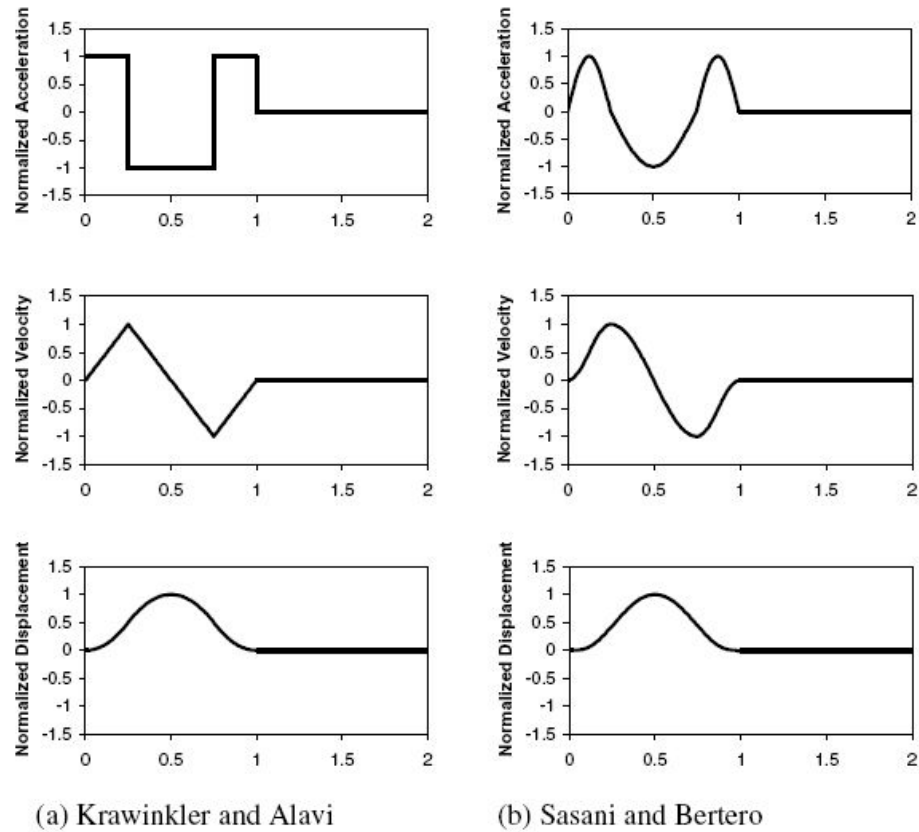


Σχήμα 1.6. Χρονοϊστορίες για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip) και κατακόρυφης βύθισης, στις οποίες η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας, εμφανίζονται μαζί (dip-slip) και χωριστά (strike-slip). (Από 'Τεχνική Σεισμολογία' Ε.Μ.Π 2006-2007.)

1.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΛΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Η σημασία των εδαφικών κινήσεων κοντά στη σεισμική πηγή, έγινε ιδιαίτερα φανερή μετά από ισχυρούς σεισμούς που συνέβησαν στο παρελθόν, όπως το 1994 (Northridge), το 1995 (Kobe) και το 1999 οι σεισμοί του Chi-Chi. Αλλά και πριν την πραγματοποίηση αυτών των σεισμών, ήταν γνωστό το ενδιαφέρον των σεισμολόγων για τη διερεύνηση αυτών των εδαφικών κινήσεων. Το πρώτο επιταχυνσιογράφημα κοντινού πεδίου καταγράφηκε κατά το σεισμό του Parkfield το 1966 στην Καλιφόρνια. Η καταγραφή αυτή περιείχε ένα διακριτό παλμό ταχύτητας μεγάλης περιόδου, που δε συναντάται σε εδαφικές κινήσεις μακριά από το σεισμικό κέντρο. Οι σοβαρές συνέπειες των κινήσεων κοντινού πεδίου για τις κατασκευές, έγιναν πιο ξεκάθαρες μετά το σεισμό του San Fernando (1971), στην Καλιφόρνια. Η καταγραφή Pacoima Dam του σεισμού, συμπεριελάμβανε ένα διακριτό παλμό στην κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα της εδαφικής ταχύτητας.

Ο σταδιακά αυξανόμενος αριθμός καταγεγραμμένων χρονοϊστοριών στην περιοχή κοντά στο σεισμικό κέντρο, κατέστησε ικανή την ακριβέστερη έρευνα του χαρακτήρα των σεισμικών εδαφικών κινήσεων που καταγράφονται στην περιοχή του κοντινού πεδίου. Ερευνητές, όπως οι Makris και Chang (2000a,b), οι Alavi και Krawinkler (2004) καθώς και οι Mavroeidis και Papageorgiou (2003), παρουσίασαν ορισμένα μαθηματικά μοντέλα παλμών που χρησιμοποίησαν προκειμένου να προσομοιώσουν τις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Τελικά, αποδείχθηκε ότι οι χρησιμοποιούμενοι παλμοί παρέχουν φάσματα που προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα φάσματα των σεισμικών κινήσεων που πραγματοποιούνται στην περιοχή κοντά στο σεισμικό κέντρο. Ορισμένοι από τους παλμούς που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων του κοντινού πεδίου, παρουσιάζονται στο σχήμα 1.7.



Σχήμα 1.7. Παλμοί που χρησιμοποιήθηκαν από ερευνητές για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου (Stewart).

Οι απλοποιημένες χρονοϊστορίες παλμών που χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση των αντίστοιχων χρονοϊστοριών των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου, καθορίζονται από συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως η περίοδος του παλμού, το πλήθος των μισών κύκλων και το πλάτος του παλμού. Στον πίνακα 1.1, παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις παραμέτρους που καθορίζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των παλμών που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων κοντά στο σεισμικό κέντρο.

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	$PHV_{P/N}$	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_{off}	Time of initiation of fault parallel pulse minus the time of initiation of fault normal pulse.

Πίνακας 1.1. Καθορισμός παραμέτρων των παλμών που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου. (Από Rodriguez-Marek 2000.)

Μεταξύ των παραμέτρων του πίνακα 1.1, αναφέρονται, ο αριθμός των σημαντικών παλμών N , η περίοδος του παλμού T_v , η δεσπόζουσα περίοδος προσδιοριζόμενη από το φάσμα της ψευδο-ταχύτητας T_p , το πλάτος του παλμού A και η μέγιστη εδαφική ταχύτητα PHV (ή PGV), η οποία επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος του σεισμού και την απόσταση της εξεταζόμενης περιοχής από το σεισμικό κέντρο. Μάλιστα, ο Somerville (1998), όπως και οι Alavi and Krawinkler (2000), πρότειναν τη χρήση γραμμικών σχέσεων μεταξύ του λογαρίθμου της PHV, του μεγέθους του σεισμού m και του λογαρίθμου της απόστασης r της εξεταζόμενης θέσης από την πηγή :

$$\ln(PHV) = -2.31 + 1.15m - 0.5 \ln(r) \quad , \text{ με } r \geq 3\text{km}, \text{ Somerville}$$

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

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν από τους Makris και Chang (2000a,b), Alavi και Krawinkler (2004) καθώς και τους Mavroudis και Papageorgiou (2003).

A) MAKRIS AND CHANG (2000)

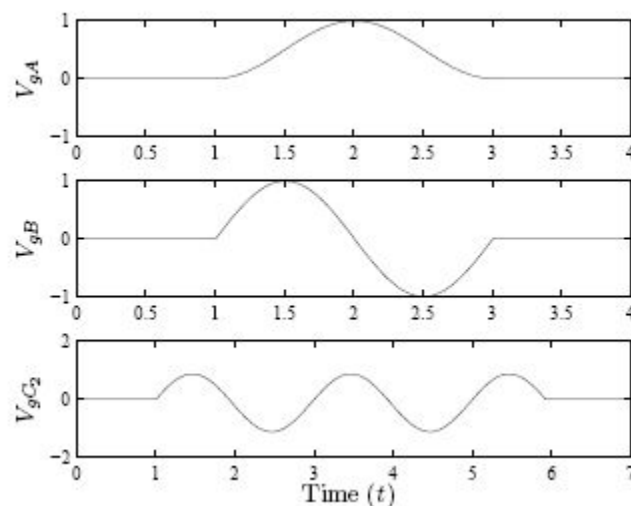
Οι Makris και Chang (2000b) χρησιμοποίησαν παλμούς τύπου C για να αναπαραστήσουν τις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου με έναν ή περισσότερους, μεγάλης διάρκειας, κύκλους μετακίνησης. Ένας παλμός τύπου C με n κύκλους μετακίνησης, καλείται παλμός τύπου C_n και η μετακίνησή του δίνεται από τη σχέση :

$$u_{gC_2}(t) = \frac{V_p}{\omega_p} \left[-\cos(\omega_p t + \varphi) + \cos \varphi - t \omega_p \sin \varphi \right], \quad 0 \leq t \leq \left(n + \frac{1}{2} - \frac{\varphi}{\pi} \right) T_p$$

όπου η τιμή της γωνίας φάσης, φ , εξαρτάται από το n και δίνεται από επίλυση της ακόλουθης εξίσωσης :

$$\cos[(2n + 1)\pi - \varphi] + [(2n + 1)\pi - 2\varphi] \sin \varphi - \cos \varphi = 0$$

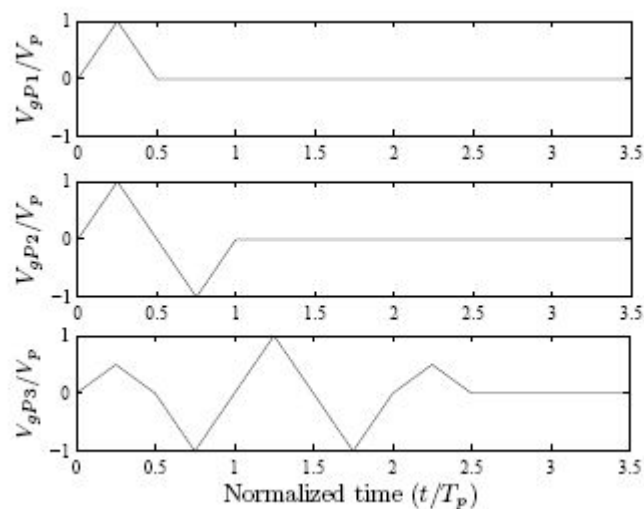
Οι παλμοί τύπου A, B, C_2 παρουσιάζονται στο σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8. Παλμοί ταχύτητας τύπου A, B, C_2 που χρησιμοποιήθηκαν από τους Makris και Chang (2000b). (Από Rajesh Rupakhety.)

B) ALAVI KAI KRAWINKLER 2001

Οι Alavi και Krawinkler 2001, χρησιμοποίησαν τρία είδη παλμών, ονομαστικά P_1 , P_2 και P_3 . Οι P_1 , P_2 και P_3 παλμοί ταχύτητας κανονικοποιημένοι με βάση τις μέγιστες τιμές τους, παρουσιάζονται στο σχήμα 1.9, στο οποίο οι άξονες του χρόνου κανονικοποιούνται με βάση τις περιόδους των παλμών (T_p).



Σχήμα 1.9. Παλμοί ταχύτητας που χρησιμοποιήθηκαν από τους Alavi και Krawinkler (2001). (Από Rajesh Rupakhety.)

C) MAVROEIDIS KAI PAPAGEORGIOU (2003)

Οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου (2002) παρουσίασαν μία αναλυτική μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τους σεισμούς στο κοντινό πεδίο. Σε αυτή την εργασία, στηριζόμενοι οι δύο ερευνητές σε ένα μεγάλο αριθμό ανάλογων καταγραφών, εξέτασαν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικασίας της διάρρηξης που χαρακτηρίζει τα σεισμικά γεγονότα που λαμβάνουν χώρα στο κοντινό πεδίο. Έμφαση δόθηκε τόσο στα φαινόμενα κατευθυντικότητας, της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης, όπως και σε άλλα αίτια που σχετίζονται με τους σεισμικές κινήσεις που παρατηρούνται στις κοντά στο σεισμικό κέντρο περιοχές.

Οι δύο ερευνητές αναλογιζόμενοι τις υπάρχουσες ανάγκες, ανέπτυξαν ένα απλό μοντέλο για την ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των σεισμικών καταγραφών κοντινού πεδίου, με σκοπό να καταστεί δυνατή η μελέτη της απόκρισης των

κατασκευών στους σεισμούς κοντινού πεδίου, μιας απόκρισης που μπορεί να οριστεί συναρτήσει ορισμένων παραμέτρων, συσχετιζόμενων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του σεισμικού γεγονότος που καταγράφεται κοντά στο σεισμικό κέντρο. Στην εργασία τους αυτή, δόθηκε ένας ορισμός της διάρκειας του σεισμικού παλμού, καθώς επίσης και η συσχέτιση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο, με τη σεισμική ένταση.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε από τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου, περιλαμβάνει 165 καταγεγραμμένα σεισμικά γεγονότα που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του κοντινού πεδίου, που προκλήθηκαν από διαφορετικά είδη διάρρηξης (κανονικά και ανάστροφα ρήγματα), διαφορετικής έντασης και συνέβησαν στις Ηνωμένες Πολιτείες, στον Καναδά, το Μεξικό, την Ιαπωνία, την Ελλάδα, την Τουρκία, τη Ρουμανία και άλλες χώρες. Παρά το γεγονός ότι οι σεισμικές κινήσεις (με εξαίρεση πέντε καταγραφών), καταγράφηκαν σε σταθμούς σε απόσταση μέχρι 20 χιλιόμετρα από τη διάρρηξη, λιγότερες από τις μισές καταγραφές της βάσης δεδομένων παρουσίασαν ισχυρούς παλμούς ταχύτητας.

Στόχος των Μαυροειδή- Παπαγεωργίου ήταν το παραγόμενο μοντέλο να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες :

1. Ο παλμός να εκφράζεται από μία απλή μαθηματική έκφραση, με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό παραμέτρων.
2. Ο παλμός να χρησιμοποιείται για την προσομοίωση όσο το δυνατόν περισσότερων καταγραφών στο κοντινό πεδίο.

Τα πιο συχνά μοντέλα χρησιμοποιούμενων παλμών, παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2.

Από τα κυματίδια που παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2, το μοντέλο Gabor είναι αυτό που χρησιμοποιήθηκε από τους Μαυροειδή- Παπαγεωργίου, καθώς ικανοποιεί περισσότερο τις παραπάνω συνθήκες. Το κυματίδιο Gabor προσδιορίζεται από τέσσερις παραμέτρους, οι οποίες καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των παλμών που καταγράφονται σε σεισμικές εδαφικές κινήσεις στην περιοχή κοντά στο σεισμικό κέντρο και ονομαστικά είναι οι: A , f_p , v και γ , που αντιπροσωπεύουν το πλάτος, την κυρίαρχη συχνότητα, τη γωνία φάσης και τη διάρκεια του παλμού αντίστοιχα.

Wavelet	Analytical Expression	Parameters	References
Gabor	$f(t) = Ae^{-2\pi f_p t / \gamma^2} \cos[2\pi f_p t + \nu]$	A: amplitude f_p : prevailing frequency ν : phase angle γ : oscillatory character	Gabor (1946) Morlet <i>et al.</i> (1982)
Berlage	$f(t) = AH(t)t^n e^{-2\pi f_p t / \gamma^2} \cos[2\pi f_p t + \nu]$	A: amplitude f_p : prevailing frequency ν : phase angle γ : oscillatory character n : asymmetry of envelope function Note: $H(t)$ is the Heaviside unit step function	Berlage (1932) Kulhánek and Klíma (1970) Farnbach (1975) Aldridge (1990)
Generalized Rayleigh	$f(t) = A (-1)^k \frac{e^{i\nu + \pi/2}}{\left(i + \frac{2\pi f_p t}{k}\right)^{k+1}}$ Use: $f_R(t) = \text{Re}\{f(t)\}$ or $f_I(t) = -\text{Im}\{f(t)\}$	A: amplitude f_p : prevailing frequency ν : phase angle k : controls the number of "lobes"	Hudson, 1980 Hubral and Tygel (1989)
Küpper	$f(t) = A \left[\sin\left(m \frac{\pi t}{T}\right) - \frac{m}{m+2} \sin\left((m+2) \frac{\pi t}{T}\right) \right]$ for $0 < t < T$	A: amplitude T : duration m : controls the number of half-cycles	Küpper (1958) Müller (1970) Fuchs and Müller (1971)
Ricker	Three-loop: (symmetric) $f(t) = A(1 - 2\pi^2 f_p^2 t^2) e^{-\pi f_p^2 t^2}$ Two-loop: (antisymmetric) $f(t) = A t e^{-\sqrt{2}\pi f_p t^2}$	A: amplitude f_p : prevailing frequency	Ricker (1943) Ricker (1944) Ricker (1945) Ricker (1953a) Ricker (1953b) Dietrich and Bouchon (1985) Hosken (1988)

Πίνακας 1.2. Μοντέλα χρησιμοποιούμενων παλμών για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου. (Από Μαυροειδής, Παπαγεωργίου 2003.)

Οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου (2003), τροποποίησαν το κυματίδιο Gabor. Σύμφωνα με το μοντέλο τους, η ταχύτητα και η επιτάχυνση του παλμού, δίνονται από τις ακόλουθες εκφράσεις :

$$\alpha(t) = \begin{cases} -\frac{A\pi}{\gamma T_p} \left[\sin\left(\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_o)\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}(t - t_o) + \nu\right) \right. \\ \left. + \gamma \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_p}(t - t_o) + \nu\right) \cdot \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_o)\right) \right] \right] \\ 0, \text{ αλλού} \end{cases}$$

$$\nu(t) = \begin{cases} \frac{A}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_o)\right) \right] \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}(t - t_o) + \nu\right) \\ 0, \text{ αλλού} \end{cases}, t_o - \frac{\gamma}{2} T_p \leq t \leq t_o + \frac{\gamma}{2} T_p$$

,όπου A είναι το πλάτος του παλμού που σχετίζεται με τη μέγιστη τιμή της εδαφικής ταχύτητας (PGV) (και με την ταχύτητα διάδοσης της διάρρηξης), T_p η περίοδος του παλμού (η δεσπόζουσα περίοδος της εδαφικής κίνησης), ν η γωνία φάσης ($\nu=0^\circ$ ή $\nu=180^\circ$ και $\nu= \pm 90^\circ$, για συμμετρικούς και αντισυμμετρικούς παλμούς αντίστοιχα), $\gamma > 1$ η διάρκεια του παλμού που εκφράζει (για δεδομένη T_p) τον αριθμό των κύκλων του παλμού και t_o ο χρόνος που καθορίζει τον παλμό στη χρονοϊστορία.

Σε αντίθεση με την παράμετρο γ , που δε φαίνεται να σχετίζεται με το σεισμικό μέγεθος ροπής M_w , η περίοδος του παλμού T_p , επηρεάζεται άμεσα αυτό. Με δεδομένο ότι η περίοδος του παλμού είναι ανεξάρτητη από την απόσταση σταθμού-πηγής σεισμικών διεγέρσεων, για σταθμούς σε απόσταση μέχρι 10 χιλιομέτρων από το ρήγμα, η περίοδος του παλμού και το σεισμικό μέγεθος ροπής σχετίζονται εμπειρικά ως εξής :

$$\log T_p = -2.2 + 0.4M_w \quad , \quad \text{ή}$$

$$\log T_p = -2.9 + 0.5M_w$$

Όπως αποδείχθηκε από την έρευνα των Μαυροειδή-Παπαγεωργίου, το μαθηματικό μοντέλο που πρότειναν, προσεγγίζει επιτυχώς το σύνολο των καταγεγραμμένων χρονοϊστοριών ταχύτητας, μετακίνησης και (σε πολλές περιπτώσεις) των χρονοϊστοριών επιτάχυνσης κοντινού πεδίου, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

2.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μαθηματική αποτύπωση των εδαφικών κινήσεων με τη χρήση παλμών συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, οδήγησε στην εφαρμογή ανάλογων αλλά αντιμαχόμενων μοντέλων. Για παράδειγμα, έχουν προταθεί διαφορετικές προσεγγίσεις για την εκτίμηση της δεσπόζουσας περιόδου του παλμού της εδαφικής κίνησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5%, ως αντιπροσωπευτική τιμή της περιόδου του παλμού της εξεταζόμενης ιστορίας. (Rupakhety et al.2011). Αντίθετα, οι Baker (2007) και Rodriguez-Marek (2000) έδειξαν ότι ένας τέτοιος ορισμός, ίσως υποεκτιμά την περίοδο του παλμού, ιδιαίτερα για γεγονότα μεγάλου σεισμικού μεγέθους. Ειδικότερα, ο Baker εκτίμησε ότι σε περίπτωση που ένας παλμός της εδαφικής κίνησης, μεγάλης περιόδου, επικρατεί σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με έναν παλμό μικρής περιόδου και μεγάλης διάρκειας, η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας απόσβεσης 5%, εντοπίζεται στην περιοχή των μικρών περιόδων, ενώ η περίοδος του παλμού αντιστοιχεί σε ένα τοπικό μέγιστο της απόκρισης σε μεγαλύτερη περίοδο. Ως αποτέλεσμα, ο καθορισμός της περιόδου του παλμού μέσω του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας καθίσταται ασαφής.

Στην παρούσα εργασία, προτείνεται μία νέα διαδικασία για τον καθορισμό των παλμών που χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου. Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στην αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα της μαθηματικής περιγραφής που αναπτύχθηκε από τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (2003) και σε μία απλοποιημένη διαδικασία για την εκτίμηση των παραμέτρων των παλμών. Η νέα μέθοδος βασίζεται σε νέα δεδομένα

και επιτρέπει τον προσδιορισμό των παλμών της εδαφικής κίνησης, με βάση τα μέγιστα των αποκρίσεων των εξεταζόμενων σεισμικών καταγραφών, τα οποία αντιστοιχούν είτε σε μικρές περιόδους και σχετίζονται με την εδαφική επιτάχυνση, είτε σε μεγάλες περιόδους και σχετίζονται με την εδαφική ταχύτητα. Πιο συγκεκριμένα, για όλες τις σημαντικές περιόδους της εδαφικής κίνησης, η διαδικασία επιτρέπει τον προσδιορισμό των αντίστοιχων παλμών του μοντέλου των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (που στη συνέχεια θα αναφέρονται ως M&Π παλμοί), που προσεγγίζουν καλύτερα τα μέγιστα των φασμάτων της πραγματικής καταγραφής.

Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην εισαγωγή νέων δεδομένων, που αφορούν από τη μία πλευρά τον προσδιορισμό των σημαντικών περιόδων της εδαφικής κίνησης και από την άλλη πλευρά τη σχέση των μεγίστων των φασμάτων απόκρισης, με τις παραμέτρους που καθορίζουν τους παλμούς που σχετίζονται με την πραγματική σεισμική καταγραφή. Ένα πλεονέκτημα της μεθόδου που παρουσιάζεται, είναι ότι επιτρέπει το συνδυασμό περισσότερων από έναν παλμών, με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο προσδιορισμός σε κάθε περίπτωση όλων των καθοριστικών παλμικών σημάτων, είτε αυτοί είναι παλμοί ταχύτητας που σχετίζονται με τα φαινόμενα της κατευθυντικότητας, είτε είναι παλμοί μικρής περιόδου που καθορίζουν το φάσμα των επιταχύνσεων. Συνδυάζοντας τις συνιστώσες μεγάλης και μικρής περιόδου της εδαφικής κίνησης, επιτυγχάνεται μία καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής εδαφικής καταγραφής και της απόκρισης αυτής. Ο αριθμός των μεγάλων και μικρών περιόδων των παλμών που επιλέγονται, εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης και καθορίζεται από το μελετητή.

Στις περιοχές ενδιάμεσων και μεγάλων περιόδων, οι παλμοί κατευθυντικότητας δεν προσδιορίζονται από το φάσμα της ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5%, αλλά μέσω μιας νέας διαδικασίας που χρησιμοποιεί τη συνέλιξη των χρονοϊστοριών της επιτάχυνσης και της ταχύτητας της εδαφικής κίνησης. Αναφορικά με τη σύνδεση των εξεταζόμενων φασματικών τιμών με συμβατούς παλμούς, χρησιμοποιείται η πρόσφατα καθορισμένη παράμετρος CAD (Taflampas et al. 2009) που ισούται με το ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας. Για το M&Π παλμό, φαίνεται ότι αυτή η παράμετρος είναι ανάλογη με την τιμή του φάσματος των μετακινήσεων που συνδέεται με τη χαρακτηριστική περίοδο του παλμού.

Με την προτεινόμενη μέθοδο, που στοχεύει στην καλύτερη προσέγγιση των φασμάτων της πραγματικής καταγραφής, οι μέσω μαθηματικής προσομοίωσης

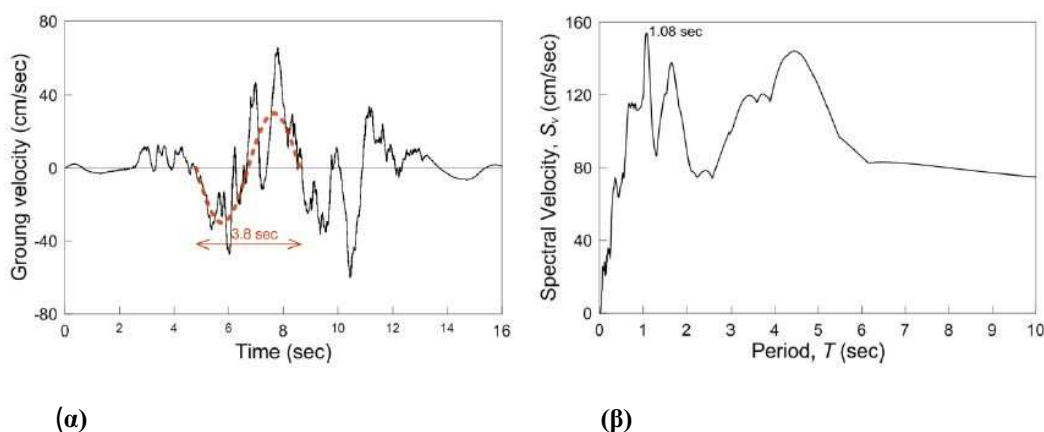
παραγόμενες χρονοϊστορίες που προσδιορίζονται, παρουσιάζουν επίσης έντονη συσχέτιση με τις πραγματικές χρονοϊστορίες της εδαφικής κίνησης.

2.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΛΜΩΝ

2.2.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΕΣΠΟΖΟΥΣΑΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Για τις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου, η περίοδος T_1 του κυρίαρχου παλμού καθορίζεται συνήθως από τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος απόκρισης της ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5%. Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, αυτός ο ορισμός έχει αμφισβητηθεί από τους Rodriguez-Marek (2000) και Baker (2007).

Ένα παράδειγμα στο οποίο αυτός ο ορισμός θα μπορούσε να οδηγήσει σε ασαφή αποτελέσματα είναι η καταγραφή KAR-000 του σεισμού του Gazli, USSR (1976) ($M_w = 6.8$). Στο σχήμα 2.1α, φαίνεται η χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας. Είναι φανερό ότι η κίνηση χαρακτηρίζεται από ένα παλμό περιόδου που ισούται περίπου με 3.8 sec. Οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου προσδιόρισαν την περίοδο του παλμού στα 4.2 sec. Αντίθετα, η περίοδος που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη κορυφή του φάσματος ταχυτήτων για απόσβεση 5%, ισούται με 1.08 sec (σχήμα 2.1β), ενώ παρατηρούνται άλλες δύο πρόσθετες μικρότερες κορυφές μικρότερου μεγέθους που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες περιόδους. Δεν είναι λοιπόν ξεκάθαρο, από το φάσμα ταχυτήτων, ποιά από όλες τις κορυφές προσδιορίζει την περίοδο του παλμού κατευθυντικότητας.



Σχήμα 2.1 Καταγραφή KAR-000 του σεισμού του Gazli, USSR (1976) : (α) χρονοϊστορία εδαφικής ταχύτητας, (β) φάσμα ταχύτητας για απόσβεση 5%. (Πηγή: υπό εξέλιξη διδακτορικό Πέτρου Μίμογλου.)

Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι φανερό ότι μία συνιστώσα της εδαφικής κίνησης μικρής περιόδου επικρατεί στο φάσμα ταχυτήτων, κάτι που έπρεπε να είναι αναμενόμενο καθώς το φάσμα των ταχυτήτων σχετίζεται με το συχνοτικό περιεχόμενο της χρονοϊστορίας της επιτάχυνσης. Ειδικότερα, οι τιμές του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης, είναι ίσες με τις αντίστοιχες τιμές του φάσματος των ταχυτήτων, εάν οι τελευταίες εμφανίζονται στο τέλος της εδαφικής κίνησης (Hudson 1979), με αποτέλεσμα το φάσμα ταχυτήτων για μηδενική απόσβεση, να αποτελεί μία προσέγγιση του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης.

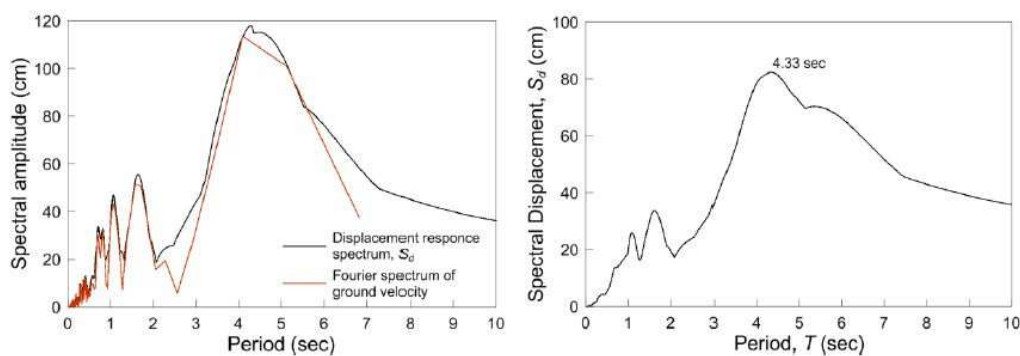
Μπορεί να αποδειχθεί ότι μία παρόμοια σχέση υπάρχει μεταξύ του φάσματος των μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση και του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας. Πράγματι, έστω ότι είναι $\tilde{a}_g(\omega) = f(a_g)$ οι τιμές του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης $a_g(t)$ και $S_{v,0}(\omega)$ το φάσμα των ταχυτήτων για μηδενική απόσβεση. Τότε, σύμφωνα με την προαναφερθείσα ιδιότητα, ισχύει :

$$\tilde{a}_g(\omega) \leq S_{v,0}(\omega) \quad (1)$$

Διαιρώντας και τα δύο μέλη με ω και λαμβάνοντας υπόψη ότι $\tilde{a}_g(\omega)/\omega = \tilde{v}_g(\omega)$ και ότι $S_{v,0}(\omega)/\omega = S_{d,0}(\omega)$, όπου $\tilde{v}_g(\omega) = f(v_g)$ είναι οι τιμές του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας $v_g(t)$ και $S_{d,0}(\omega)$ το φάσμα των μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση ($\xi=0$), η σχέση (1) οδηγεί στην :

$$\tilde{v}_g(\omega) \leq S_{d,0}(\omega) \quad (2)$$

η οποία δείχνει ότι το φάσμα των μετακινήσεων προσεγγίζει το φάσμα Fourier της εδαφικής ταχύτητας. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2(α) για την καταγραφή KAR-000 του σεισμού του Gazli.



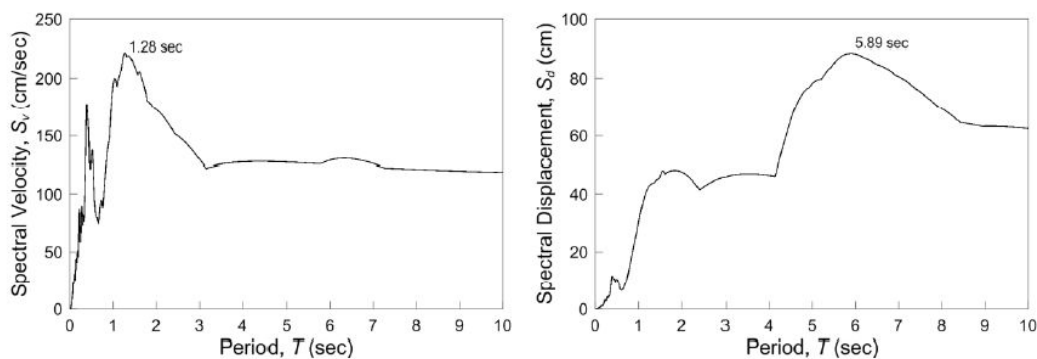
(α)

(β)

Σχήμα 2.2. Καταγραφή KAR-000 του σεισμού του Gazli, USSR (1976) : (α) Σύγκριση του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας με το φάσμα των μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση, (β) φάσμα μετακινήσεων για απόσβεση 5%. (Πηγή: υπό εξέλιξη διδακτορικό Πέτρου Μίμογλου.)

Με βάση την παραπάνω παρατήρηση και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο παλμός κατευθυντικότητας καθορίζεται από τη χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας, η T_1 θα μπορούσε να καθοριστεί ως η δεσπόζουσα περίοδος στο φάσμα των μετακινήσεων. Για την καταγραφή KAR-000, αυτή η διαδικασία θα οδηγούσε στην τιμή $T_1 = 4.33$ sec (σχήμα 2.2β), η οποία είναι παρόμοια με την περίοδο παλμού που μπορεί να προσδιοριστεί από την καταγραφή της εδαφικής ταχύτητας (σχήμα 2.1α).

Αυτός ο εναλλακτικός προσδιορισμός της T_1 , εντούτοις, μέσω της δεσπόζουσας περιόδου του φάσματος των μετακινήσεων, δεν μπορεί να γενικευθεί επίσης, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που δεν είναι έγκυρος. Ένα παράδειγμα είναι η PCD-164 συνιστώσα της καταγραφής Pacoima Dam του σεισμού San Fernando (1971). Σε αυτή την περίπτωση, η περίοδος του παλμού κατευθυντικότητας σύμφωνα με τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (2003) ισούται με 1.47sec, που είναι κοντά στη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος των ταχυτήτων (σχήμα 2.3α), ενώ η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος των μετακινήσεων είναι 5.89 sec (σχήμα 2.3β), με αποτέλεσμα ο καθορισμός της κυρίαρχης περιόδου από το φάσμα των μετακινήσεων να μην είναι αξιόπιστος σε κάποιες περιπτώσεις.



(α)

(β)

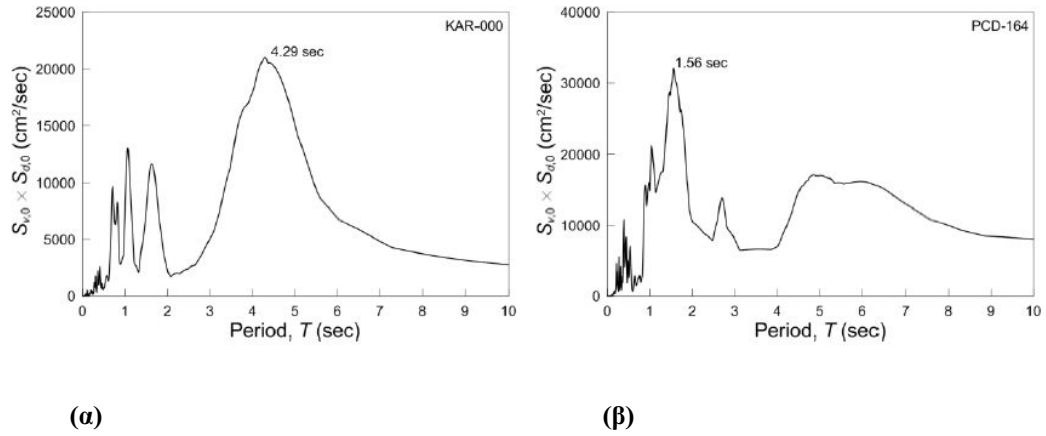
Σχήμα 2.3. Καταγραφή PCD-164 του σεισμού του San Fernando, CA (1971) : (α) φάσμα ταχυτήτων για απόσβεση 5%, (β) φάσμα μετακινήσεων για απόσβεση 5%. (Πηγή: υπό εξέλιξη διδακτορικό Πέτρου Μίμογλου.)

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, κανένα από τα δύο φάσματα των ταχυτήτων και των μετακινήσεων, δεν μπορεί γενικώς να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας. Στη συνέχεια, μία νέα διαδικασία προτείνεται για τον προσδιορισμό της T_1 .

Αν υποθεθεί ότι ο παλμός της εδαφικής κίνησης επηρεάζει τόσο την εδαφική επιτάχυνση όσο και την εδαφική ταχύτητα, σε διαφορετικό βαθμό την καθεμία, η T_1 θα έπρεπε να δεσπόζει στη συνέλιξη των δύο αυτών χρονοϊστοριών, δηλαδή, η δεσπόζουσα περίοδος της συνέλιξης της επιτάχυνσης και της ταχύτητας, συμπίπτει με την περίοδο του παλμού κατευθυντικότητας. Έτσι, προτείνεται ότι η περίοδος του παλμού κατευθυντικότητας, καθορίζεται από την κυρίαρχη κορυφή του φάσματος Fourier της συνέλιξης της επιτάχυνσης και της ταχύτητας.

Χρησιμοποιώντας την ιδιότητα ότι, το φάσμα Fourier της συνέλιξης ισούται με το γινόμενο των φασμάτων Fourier των δύο σημάτων καθώς επίσης και τις προαναφερθείσες ιδιότητες, με βάση τις οποίες, το φάσμα των ταχυτήτων για μηδενική απόσβεση $S_{v,0}$ προσεγγίζει το φάσμα Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης και ότι το φάσμα των μετακινήσεων $S_{d,0}$ προσεγγίζει το φάσμα Fourier της εδαφικής ταχύτητας, το φάσμα Fourier της συνέλιξης της εδαφικής επιτάχυνσης και της εδαφικής ταχύτητας, μπορεί να προσεγγισθεί από το γινόμενο $S_{v,0} \times S_{d,0}$. Κατά αυτόν τον τρόπο, η περίοδος του παλμού κατευθυντικότητας μπορεί να καθοριστεί από τη δεσπόζουσα περίοδο του γινομένου του φάσματος των ταχυτήτων και των μετακινήσεων της εδαφικής κίνησης, για μηδενική απόσβεση. Στη συνέχεια, αυτό το γινόμενο θα αναφέρεται ως *φάσμα συνέλιξης*.

Ένα παράδειγμα δίνεται στο σχήμα 2.4 των καταγραφών που αναφέρθηκαν παραπάνω, της KAR-000 συνιστώσας του σεισμού του Gazli και της PCD-164 συνιστώσας του σεισμού του San Fernando. Στην πρώτη περίπτωση, η περίοδος του παλμού συνδέεται με τη δεσπόζουσα περίοδο στο φάσμα των μετακινήσεων. Στη δεύτερη, η περίοδος του παλμού σχετίζεται με τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος των ταχυτήτων. Η χρήση της συνέλιξης των χρονοϊστοριών της εδαφικής επιτάχυνσης και της εδαφικής ταχύτητας, όπως καθορίστηκε από το προαναφερθέν φάσμα συνέλιξης, επιτρέπει το σωστό προσδιορισμό της περιόδου του παλμού και στις δύο περιπτώσεις.

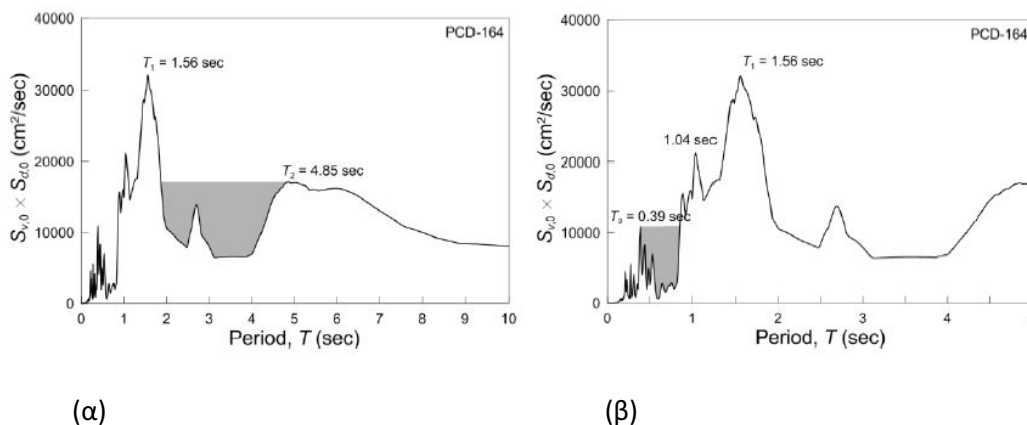


Σχήμα 2.4. Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας T_1 από την κυρίαρχη κορυφή της συνέλιξης των φασμάτων $S_{v,0} \times S_{d,0}$: (α) καταγραφή KAR-000 του σεισμού του Gazli, USSR (1976), (β) καταγραφή PCD-164 του σεισμού του San Fernando, CA (1971). (Πηγή: υπό εξέλιξη διδακτορικό Πέτρου Μίμογλου.)

2.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΛΜΩΝ

Στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχουν περισσότερες από μία σημαντικές περίοδοι που συνδέονται με την εδαφική κίνηση. Αυτό σημαίνει ότι, κατά την προσομοίωση της εδαφικής κίνησης με τη χρήση παλμών, μπορεί να είναι απαραίτητοι περισσότεροι από έναν παλμοί, προκειμένου να προσεγγισθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η εδαφική κίνηση. Οι περίοδοι αυτών των πρόσθετων σημαντικών παλμών, είναι επίσης εμφανείς στο φάσμα συνέλιξης και αντιστοιχούν στις κορυφές που παρατηρούνται αριστερά και δεξιά της δεσπόζουσας περιόδου T_1 . Στις περισσότερες περιπτώσεις, η περίοδος T_1 παρατηρείται στην περιοχή των μεγάλων περιόδων και έτσι οι πρόσθετες περίοδοι βρίσκονται στα αριστερά της T_1 στο φάσμα συνέλιξης. Υπάρχουν βέβαια και φορές που οι επίσης σημαντικές κορυφές του φάσματος συνέλιξης, εμφανίζονται στα δεξιά της κυρίαρχης περιόδου T_1 , όπως συμβαίνει στην καταγραφή PCD-164 (σχήμα 2.4β).

Για να αποφασιστεί ποιά κορυφή θα επιλεγεί, μπορεί να εφαρμοστεί μία διαδικασία «rainflow» (ASTM 1985, Hancock and Bommer 2005), προκειμένου να προσδιοριστούν οι κορυφές που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες «κοιλάδες» αριστερά και δεξιά της δεσπόζουσας περιόδου T_1 . Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου για τον καθορισμό των πρόσθετων σημαντικών περιόδων στην περίπτωση της καταγραφής PCD-164 παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5. Στα δεξιά της προηγουμένως προσδιορισμένης κυρίαρχης περιόδου, $T_1 = 1.56$ sec, η κορυφή που δίνει τη μεγαλύτερη «κοιλάδα» αντιστοιχεί στην τιμή $T_2 = 4.85$ sec (σχήμα 2.5α). Η κορυφή στα $T = 2.69$ sec αντιστοιχεί σε μία μικρότερη «κοιλάδα» και έτσι παραλείπεται. Με όμοιο τρόπο, στα αριστερά της δεσπόζουσας περιόδου T_1 η κορυφή που δίνει τη μεγαλύτερη «κοιλάδα» αντιστοιχεί στην περίοδο $T_3 = 0.39$ sec. (σχήμα 2.5β). Η ενδιάμεση κορυφή $T = 1.04$ sec σχετίζεται με μία μικρότερη «κοιλάδα» και παραλείπεται.



Σχήμα 2.5. Προσδιορισμός των πρόσθετων σημαντικών παλμών (των περιόδων αυτών) με τη διαδικασία «rainflow» από το φάσμα συνέλιξης της καταγραφής PCD-164 του σεισμού του San Fernando, CA (1971) : (α) στα δεξιά του παλμού που δεσπόζει, (β) στα αριστερά του παλμού που δεσπόζει. (Πηγή: υπό εξέλιξη διδακτορικό Πέτρου Μίμογλου.)

Κατά τη μαθηματική προσομοίωση των σεισμικών κινήσεων με μία σειρά από παλμούς, είναι σημαντικό να μην περιλαμβάνεται σε αυτή μόνο το μεγάλης περιόδου περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης, αλλά επίσης και αυτό που διακρίνεται από μικρή περίοδο. Στα μονοβάθμια συστήματα μικρής περιόδου, η απόκριση του συστήματος επηρεάζεται κατά βάση από τους μικρής περιόδου παλμούς και η επιρροή του παλμού κατευθυντικότητας μεγάλης περιόδου είναι αμελητέα (Makris and Black 2004b). Οι Rupakhety και Sigbjornsson (2011), έχουν επίσης δείξει ότι στα πολυβάθμια συστήματα με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο κοντά στην περίοδο του παλμού κατευθυντικότητας, το μεγάλης συχνότητας περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης επηρεάζει τη συνεισφορά στην απόκριση των ανώτερων ιδιομορφών του συστήματος, κάτι που σημαίνει ότι αν θεωρηθεί μόνο ο παλμός κατευθυντικότητας, οι απαιτήσεις με βάση για ελαστική ανάλυση ίσως να είναι περίπου 1.4 φορές μικρότερες από αυτές που επιβάλλει ο πραγματικός σεισμός. Είναι φανερό λοιπόν ότι, μία αποτελεσματική μαθηματική προσομοίωση της εδαφικής κίνησης, πρέπει επίσης να περιλαμβάνει όλους τους σημαντικούς παλμούς που αφορούν και την περιοχή των μικρών περιόδων.

Για τον καθορισμό των σημαντικών περιόδων και των αντίστοιχων παλμών στην περιοχή των μεγάλων συχνοτήτων, το φάσμα συνέλιξης ίσως να μην κρίνεται κατάλληλο, καθώς παρουσιάζει μικρές τιμές στην περιοχή των μικρών περιόδων. Για

το λόγο αυτό, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το φάσμα των επιταχύνσεων για απόσβεση 5%, για αυτή την επιλογή.

Φαίνεται ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα μέχρι δύο παλμοί επαρκούν για να αναπαραστήσουν το μικρής περιόδου περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης. Έτσι, η μεγαλύτερη κορυφή του φάσματος των επιταχύνσεων και αν είναι απαραίτητο, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε καταγραφής, η τιμή που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη «κοιλιάδα» δίπλα στη μεγαλύτερη κορυφή στο φάσμα των επιταχύνσεων, σύμφωνα με τη διαδικασία «rainflow», είναι αυτές οι περίοδοι που πρέπει να επιλεγούν. Σημειώνεται ότι, είναι πιθανό ότι η μεγαλύτερη από αυτές τις περιόδους να έχει ήδη επιλεγεί ως σημαντική περίοδος σε ένα προηγούμενο βήμα κατά την επιλογή των σημαντικών περιόδων. Για παράδειγμα, αυτή είναι η περίπτωση της καταγραφής PCD-164, στην οποία η περίοδος $T_3 = 0.39 \text{ sec}$, που επιλέχθηκε σε ένα προηγούμενο στάδιο, συμπίπτει με τη μεγαλύτερη κορυφή του φάσματος των επιταχύνσεων. Τέλος, προτείνεται να αποκλείονται οι κορυφές του φάσματος που αντιστοιχούν σε περιόδους μικρότερες από 0.1 sec, επειδή είναι αμφίβολο αν αυτές οι μεγάλης συχνότητας συνιστώσες της εδαφικής κίνησης μπορούν να αντιπροσωπευθούν από παλμούς και επιπλέον, δεν επηρεάζουν την απόκριση των τυπικών κατασκευών του μηχανικού.

2.3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ

Με την προτεινόμενη μεθοδολογία, ένας παλμός καθορίζεται για κάθε σημαντική περίοδο που προσδιορίζεται με την προηγούμενη διαδικασία, έτσι ώστε η εδαφική κίνηση να μπορεί να προσομοιασθεί με τη σύνθεση αυτών των παλμών. Η μορφή των κυματιδίων που χρησιμοποιείται, είναι αυτή που αναπτύχθηκε από τους Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (2003), η οποία αναφέρεται ως M&Π παλμός.

Τέσσερις παράμετροι χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του παλμού :

- Η περίοδος T_p .
- Το πλάτος A , το οποίο συνδέεται με το πλάτος της χρονοϊστορίας της ταχύτητας.
- Η παράμετρος γ του κυματιδίου, που εκφράζει τον αριθμό των κύκλων του παλμού και προσδιορίζεται ως $\gamma = t_{tot} / T_p$, με $\gamma > 1$, t_{tot} να αποτελεί τη χρονική διάρκεια του παλμού.
- Η γωνία φάσης ν .

Χρησιμοποιώντας αυτές τις παραμέτρους, η επιτάχυνση $a(t)$ και η ταχύτητα $v(t)$ του κυματιδίου-παλμού μπορούν να προσδιοριστούν από τις ακόλουθες εξισώσεις (Mavrouides and Papageorgiou 2003):

$$a(t) = \begin{cases} -\frac{A\pi}{\gamma T_p} \left[\begin{array}{l} \sin\left(\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_o)\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}(t - t_o) + \nu\right) \\ + \gamma \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_p}(t - t_o) + \nu\right) \cdot \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_o)\right)\right] \end{array} \right] \\ 0, \text{ αλλού} \end{cases} \quad (3)$$

$$v(t) = \begin{cases} \frac{A}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\gamma T_p}(t - t_o)\right) \right] \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}(t - t_o) + \nu\right) \\ 0, \text{ αλλού} \end{cases}, t_o - \frac{\gamma}{2} T_p \leq t \leq t_o + \frac{\gamma}{2} T_p \quad (4)$$

όπου t_o είναι ο χρόνος που καθορίζει τον παλμό στη χρονοϊστορία.

Για να αντιστοιχήσουμε έναν M&Π παλμό σε κάθε σημαντική περίοδο T_i της καταγραφής, η T_p τίθεται ίση με την T_i . Ο καθορισμός των τριών υπόλοιπων παραμέτρων, A , γ και ν , επιτυγχάνεται με τη χρήση της νέας παραμέτρου εδαφικής κίνησης CAD (Cumulative Absolute Displacement), η οποία εισήχθη από τον

Taflampas et al. (2009) σε αναλογία με την παράμετρο CAV (Cumulative Absolute Velocity) (EPRI 1991). Η CAD ορίζεται ως το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας, δηλαδή,

$$CAD = \int_0^{t_{tot}} |v_g| dt \quad (5)$$

Ας θεωρηθεί μία αρμονική εδαφική κίνηση πλάτους $d_{g,max}$, που εφαρμόζεται ως διέγερση βάσης σε ένα μονοβάθμιο σύστημα μηδενικής απόσβεσης. Το πλάτος της απόκρισης του συστήματος αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με τον αριθμό των κύκλων και για μία διέγερση γ κύκλων, η μέγιστη απόκριση είναι (Clough and Penzien 1975):

$$S_{d,0}(T_{res}) = \pi \cdot \gamma \cdot d_{g,max} \quad (6)$$

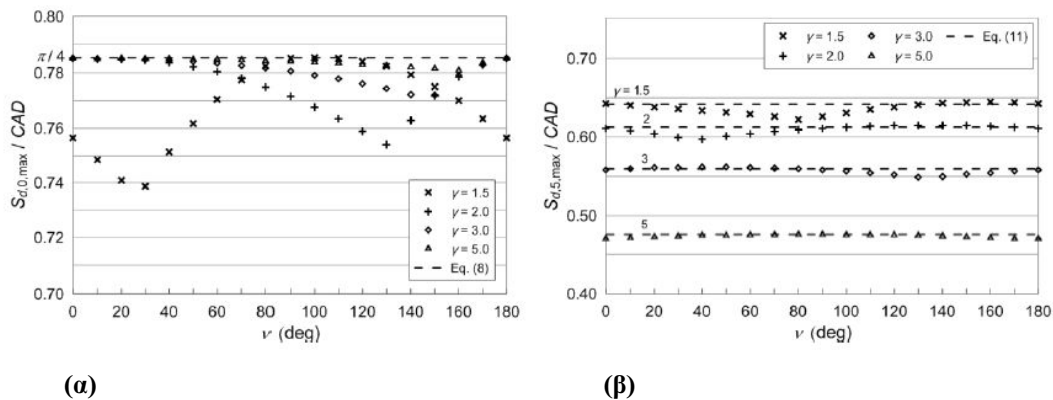
Από την άλλη πλευρά, η τιμή της παραμέτρου CAD στο τέλος του γ κύκλου της αρμονικής διέγερσης είναι:

$$CAD = 4 \cdot \gamma \cdot d_{g,max} \quad (7)$$

Έτσι, για μία αρμονική διέγερση γ κύκλων, υπάρχει μία σταθερή σχέση ανάμεσα στη φασματική μετακίνηση για μηδενική απόσβεση και την παράμετρο CAD, η οποία μπορεί να εκφρασθεί ως

$$\frac{S_{d,0}(T_{res})}{CAD} = \frac{\pi}{4} \quad (8)$$

Αν ένα M&Π κυματίδιο χρησιμοποιηθεί αντί για την καθαρά αρμονική διέγερση, η εξίσωση (8) συνεχίζει να ισχύει προσεγγιστικά, με ικανοποιητική ακρίβεια. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 2.6α, στο οποίο παρουσιάζεται ο λόγος του μεγίστου του φάσματος μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση, προς την αθροιστική απόλυτη μετακίνηση, $S_{d,0}/CAD$ σε σχέση με τη γωνία φάσης ν , για $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0$ και 5.0 . 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. Η μεγαλύτερη ανακρίβεια εμφανίζεται για $\gamma=1.5$ και $\nu=30$, αλλά ακόμα και τότε το σφάλμα είναι μικρότερο από 6%.



Σχήμα 2.6. Σχέση μεταξύ της κορυφής του φάσματος μετακινήσεων και της παραμέτρου CAD για τα Μ&Π κυματίδια για διάφορες τιμές των παραμέτρων γ και ν . (α) μηδενική απόσβεση, β) απόσβεση 5%. (Πηγή: υπό εξέλιξη διδακτορικό Πέτρου Μίμογλου.)

Μία παρόμοια σχέση ανάμεσα στην κορυφή του φάσματος μετακινήσεων και της παραμέτρου CAD μπορεί επίσης να προσδιοριστεί για άλλες τιμές της απόσβεσης, εκτός της μηδενικής. Για ένα μονοβάθμιο σύστημα απόσβεσης ίσης με ξ και για καθαρά αρμονική διέγερση, η μετακίνηση είναι (Clough and Penzien 1975):

$$S_{d,\xi}(T_{res}) = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{2\xi} \cdot d_{g,max} \quad (9)$$

Και χρησιμοποιώντας την εξίσωση (7), λαμβάνεται η επόμενη σχέση :

$$\frac{S_{d,\xi}(T_{res})}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} \quad (10)$$

Αν η διέγερση δεν είναι καθαρά αρμονική αλλά ένα Μ&Π κυματίδιο, η εξίσωση (10) παράγει ένα σφάλμα για μεγάλες τιμές του γ . Μία παραμετρική έρευνα έδειξε ότι ένας διορθωτικός παράγοντας πρέπει να εφαρμοστεί σε αυτήν την περίπτωση, ίσως με $1 + (\gamma - 1)\xi$. Έτσι, για τα Μ&Π κυματίδια, εφαρμόζεται η επόμενη σχέση :

$$\frac{S_{d,\xi,max}}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} [1 + (\gamma - 1)\xi] \quad (11)$$

Συγκρίσεις της εξίσωσης (11) με πραγματικές τιμές του λόγου $S_{d,\xi,max}/CAD$, που έγιναν για διάφορες τιμές των παραμέτρων ν και γ , παρουσιάζονται στο Σχ. 6β για $\xi=5\%$. Είναι φανερό ότι η ακρίβεια που αποκτήθηκε από την εξίσωση (11), είναι πολύ καλή σε όλες τις περιπτώσεις.

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (8) και (11) και την πολύ γνωστή σχέση μεταξύ της φασματικής μετακίνησης και της φασματικής ψευδο-ταχύτητας : $PS_v = (2\pi/T) \cdot S_d$, παράγονται οι επόμενες σχέσεις μεταξύ της παραμέτρου CAD και της PS_v για τα Μ&Π κυματίδια :

$$\frac{PS_{v,0,max}}{CAD} = \frac{\pi^2}{2T_p}, \quad \text{για μηδενική απόσβεση} \quad (12)$$

$$\frac{PS_{v,\xi,max}}{CAD} = \frac{\pi(1-e^{-2\pi\gamma\xi})[1+(\gamma-1)\xi]}{4\gamma\xi T_p}, \quad \text{για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad (13)$$

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι προσανατολισμένη με βάση τα φάσματα απόκρισης και οι παλμοί προσδιορίζονται ώστε να προσεγγίζουν τη φάσματα της πραγματικής καταγραφής. Με αυτή την έννοια, οι τιμές των φασματικών κορυφών που αντιστοιχούν στις περιόδους κοντά στις σημαντικές περιόδους T_i χρησιμοποιούνται σα βάση για τον καθορισμό των παραμέτρων CAD των αντίστοιχων κυματιδίων, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις. Για τα Μ&Π κυματίδια, η τιμή της παραμέτρου CAD είναι άμεσα συσχετισμένη με το πλάτος A και την παράμετρο διάρκειας γ , καθώς ισχύει η επόμενη σχέση :

$$CAD = \gamma A T_p / \pi \quad (14)$$

Αντικαθιστώντας την παράμετρο CAD στις σχέσεις (12) και (13) με αυτήν την έκφραση, ισχύει:

$$A_i = \frac{2PS_{v,0,max}(T_i)}{\pi\gamma_i}, \quad \text{για μηδενική απόσβεση} \quad (15)$$

$$A_i = \frac{4\xi PS_{v,\xi,max}(T_i)}{(1-e^{-2\pi\gamma_i\xi}) \cdot [1+(\gamma_i-1)\xi]}, \quad \text{για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad (16)$$

για τον i παλμό που αντιστοιχεί στη σημαντική περίοδο T_i και $PS_{v,0,max}(T_i)$ και $PS_{v,\xi,max}(T_i)$ είναι οι κορυφές στο φάσμα της ψευδο-ταχύτητας της εδαφικής κίνησης για μηδενική απόσβεση και απόσβεση ίση με ξ , αντίστοιχα, που είναι πιο κοντά στην περίοδο T_i . Ανάμεσα σε αυτές τις εξισώσεις, προτείνεται ότι η εξίσωση (16), που εφαρμόζεται για την επιθυμητή τιμή απόσβεσης, χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της παραμέτρου A_i για δύο λόγους : επειδή οι περισσότερο σημαντικές

κορυφές διακρίνονται καλύτερα από τις λιγότερο σημαντικές, στο φάσμα για μη μηδενική απόσβεση, σε αντίθεση με το φάσμα μηδενικής απόσβεσης, καθώς και γιατί έτσι το παραγόμενο κυματίδιο-παλμός θα προσεγγίζει καλύτερα το φάσμα συγκεκριμένης απόσβεσης της πραγματικής εδαφικής κίνησης. Αντίθετα, η εξίσωση (15) είναι καλό να χρησιμοποιείται σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να προσεγγισθούν τα φάσματα απόκρισης για μηδενική απόσβεση, της πραγματικής εδαφικής κίνησης.

Για τον καθορισμό του πλάτους A_i του κυματιδίου-παλμού από τις εξισώσεις (15) ή (16), η τιμή της παραμέτρου διάρκειας γ_i , πρέπει να είναι γνωστή. Καθώς αυτή αποτελεί μία άγνωστη παράμετρο, εξετάζονται όλες οι τιμές $\gamma_{i,j}$ σε μία επιλεγμένη περιοχή στην οποία κινείται η τιμή της παραμέτρου γ . Από το σύνολο των ζευγών $(A_{i,j}, \gamma_{i,j})$, αυτά που οδηγούν σε πλάτη της επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετακίνησης του παλμού μεγαλύτερα από τις αντίστοιχες μέγιστες τιμές της εδαφικής κίνησης, p_{ga} , p_{gv} , p_{gd} , απορρίπτονται.

Στη συνέχεια, και για όλες τις τιμές της παραμέτρου ν_i ανάμεσα στις 0° και τις 180° , προσδιορίζονται οι αντίστοιχοι παλμοί και τελικά επιλέγεται εκείνος ο παλμός-κυματίδιο που προσομοιάζει καλύτερα την πραγματική καταγραφή. Η διαδικασία αυτή εξηγείται καλύτερα ακολούθως.

2.4. Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕ ΒΗΜΑΤΑ

Με βάση τις προαναφερθείσες ιδιότητες, μία άμεση διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό των παραμέτρων του συνόλου των κυματιδίων που αναπαριστούν καλύτερα την εδαφική κίνηση. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό των παλμών που είναι αναγκαίοι για την προσομοίωση της εκάστοτε εδαφικής κίνησης, αποτελείται από τα παρακάτω βήματα :

1. Για την εξεταζόμενη εδαφική κίνηση, παράγεται το γινόμενο των φασμάτων των ταχυτήτων και των μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση (τα απαιτούμενα ελαστικά φάσματα απόκρισης, για επιθυμητή σε κάθε περίπτωση απόσβεση, των 100 καταγραφών της NGA βάσης δεδομένων που μελετήθηκαν, προσδιορίστηκαν με τη χρήση του προγράμματος Seismosignal). Το παραγόμενο φάσμα συνέλιξης (με βάση όσα προαναφέρθηκαν), θεωρείται ότι προσεγγίζει τη συνέλιξη των φασμάτων Fourier της επιτάχυνσης και της ταχύτητας της εδαφικής κίνησης.
2. Προσδιορισμός της περιόδου που αντιστοιχεί στην υψηλότερη-κυρίαρχη κορυφή του φάσματος συνέλιξης, που δημιουργήθηκε στο βήμα 1 και ορισμός αυτής της περιόδου ως δεσπόζουσας T_1 (ή T_p).
3. Καθορισμός των k πιο σημαντικών κορυφών (και των αντίστοιχων περιόδων) στο φάσμα συνέλιξης του βήματος 1, οι οποίες βρίσκονται στα αριστερά και πιθανότατα και στα δεξιά της κυρίαρχης T_1 , εφαρμόζοντας την προαναφερθείσα διαδικασία «rainflow». Έτσι, καθορίζονται οι πρόσθετες σημαντικές περίοδοι T_i , $i = 2, \dots, k+1$. Η τιμή του k (αριθμός πρόσθετων περιόδων) καθορίζεται από την κρίση του μελετητή, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τη μορφή του φάσματος συνέλιξης της εκάστοτε καταγραφής. Συνήθως $k = 1, 2$.
4. Καθορισμός των m σημαντικότερων κορυφών στην περιοχή των μικρών περιόδων του φάσματος των επιταχύνσεων για απόσβεση 5%. Σε αυτό το βήμα θεωρούνται μόνο οι περίοδοι που είναι μικρότερες από τις πιο μικρές περιόδους που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο βήμα 3. Η υψηλότερη κορυφή είναι αυτή που επιλέγεται αρχικά και αν χρειάζεται επιλέγονται και πρόσθετες κορυφές στην περιοχή των μεγάλων συχνοτήτων, ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια. Σημειώνεται ότι είναι πιθανό κάποια ή κάποιες περίοδοι να έχουν ήδη επιλεγεί στο προηγούμενο βήμα, κάτι που εξαρτάται από τη μορφή των εκάστοτε φασμάτων. Επίσης προτείνεται να

αποκλείονται οι κορυφές που αντιστοιχούν σε πολύ μικρές περιόδους, κάτω από τα 0.1 sec. Έτσι καθορίζονται επιπλέον σημαντικές περιόδοι T_i , $i = k+2, \dots, m+k+1$. (Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν συνολικά ένας μέχρι τέσσερις παλμοί (συμπεριλαμβανομένων όλων των περιόδων), για την προσομοίωση των σεισμικών καταγραφών που μελετήθηκαν.)

Για κάθε μία από τις περιόδους που επιλέχθηκαν στα προηγούμενα βήματα, οι παράμετροι των αντίστοιχών τους παλμών, καθορίζονται ακολούθως.

5. Προσδιορισμός της τιμής $S_{v,\xi,max}(T_i)$, της κορυφής στο φάσμα ταχυτήτων της εδαφικής κίνησης για απόσβεση $\xi=5\%$, η οποία αντιστοιχεί στην περίοδο T_i που είναι πιο κοντά στην περίοδο T_i που επιλέχθηκε (ή της τιμής του φάσματος ταχυτήτων για απόσβεση 5%, της T_i , αν δεν υπάρχει αντίστοιχη κορυφή κοντά σε αυτήν την περίοδο στο φάσμα ταχυτήτων). Σε αυτό το βήμα προτείνεται να χρησιμοποιείται το φάσμα ταχυτήτων αντί για αυτό των μετακινήσεων, καθώς οι μέγιστες φασματικές τιμές είναι καλύτερα διακριτές, ειδικά στις μικρότερες περιόδους.

6. Καθορίζεται η μέγιστη τιμή της παραμέτρου διαρκείας γ . Για τους παλμούς κατευθυντικότητας των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου, η παράμετρος γ αναμένεται να είναι μικρότερη από 5. Σε ειδικές περιπτώσεις, αντίθετα και για διαφορετικούς τύπους παλμών, ίσως να απαιτούνται μεγαλύτερες τιμές της γ . Σε περίπτωση αμφιβολίας, μία αρκετά μεγάλη τιμή γ_{max} , π.χ. $\gamma_{max}=10$, μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για κάθε τιμή της γ_{ij} δοκιμής για την οποία $1 \leq \gamma_{ij} \leq \gamma_{max}$ και για την τιμή $S_{v,\xi,max}(T_i)$ που προσδιορίστηκε στο βήμα 5, υπολογίζεται το πλάτος A_{ij} χρησιμοποιώντας την εξίσωση (16), για το φάσμα ταχυτήτων SV αντί του φάσματος της ψευδο-ταχύτητας PSV.

7. Για κάθε ζεύγος δοκιμών (A_{ij}, γ_{ij}) που προσδιορίζεται στο βήμα 6 και για τιμές τις παραμέτρου ν που κυμαίνονται από 0° έως 180° παράγεται ο αντίστοιχος παλμός M&Π χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (3) και (4), για $T_p = T_i$ και $t_o = \gamma_{ij} T_i/2$. Απορρίπτονται όλοι οι παλμοί που παρουσιάζουν μέγιστα των χρονοϊστοριών της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησής τους, μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα της πραγματικής εδαφικής κίνησης και επιλέγεται τελικά για κάθε περίοδο, εκείνος ο παλμός που προσεγγίζει καλύτερα την εξεταζόμενη σεισμική καταγραφή.

8. Η σύνθεση των παλμών για κάθε καταγραφή, δίνει το σεισμικό σήμα το οποίο συγκρίνεται με την πραγματική εδαφική κίνηση, τόσο με βάση τις χρονοϊστορίες όσο και με βάση παραγόμενα φάσματα απόκρισής του. Με αυτόν τον τρόπο,

διαπιστώνεται τελικά ποιες από τις καταγραφές μπορούν να προσεγγισθούν με σύνθεση παλμών, ανάλογα με το βαθμό στον οποίο το παραγόμενο σήμα συμφωνεί με την πραγματική εδαφική κίνηση.

9. Για τη δημιουργία του τελικού σεισμικού παλμικού σήματος, ακολουθείται μία τελευταία διαδικασία (scaling). Προσδιορίζονται οι λόγοι των τιμών $S_{v,\xi,max}(T_i)$ του φάσματος των ταχυτήτων για απόσβεση $\xi=5\%$ της πραγματικής καταγραφής, που αντιστοιχούν στις επιλεγμένες περιόδους T_i καθενός από τους παλμούς της καταγραφής, προς τις τιμές $\tilde{S}_{v,\xi,max}(T_i)$ του φάσματος ταχυτήτων απόσβεσης $\xi=5\%$ της σύνθεσης των παλμών, που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της εδαφικής κίνησης (σχέση (17α)). Έτσι, για κάθε περίοδο T_i κάθε παλμού, προσδιορίζεται ένας διαφορετικός λόγος. Το γινόμενο του αντίστοιχου της T_i λόγου, με τη χρονοϊστορία του παλμού περιόδου T_i , δίνει τον τελικό παλμό περιόδου T_i . Το τελικά παραγόμενο σεισμικό σήμα, αποτελεί τη σύνθεση των τελικών παλμών των περιόδων T_i και εξετάζεται κατά πόσο προσεγγίζει τελικά την πραγματική σεισμική κίνηση.

$$\frac{S_{v,\xi,max}(T_i)}{\tilde{S}_{v,\xi,max}(T_i)} \quad (17\alpha)$$

Παρακάτω παρουσιάζεται βήμα προς βήμα η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου σε τρεις από τις εκατό NGA καταγραφές που μελετήθηκαν.

2.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΑΛΜΩΝ

2.5.1. NGA ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου με συνθετικές κινήσεις παλμών, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μελετήθηκαν οι σεισμικές καταγραφές της NGA (Next Generation Attenuation) βάσης δεδομένων (πίνακας 2.1), οι οποίες χαρακτηρίζονται ως κινήσεις που αναλύονται με παλμούς (pulse-like ground motions).

Πίνακας 2.1. NGA σεισμικές καταγραφές (pulse-like ground motions).

No.	Αριθμός NGA	Όνομα σεισμού	Έτος	Όνομα σταθμού
1	20	Northern Calif-03	1954	Ferndale City Hall
2	77	San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper left abut)
3	96	Managua, Nicaragua-02	1972	Managua, ESSO
4	126	Gazli, USSR	1976	Karakyr
5	143	Tabas, Iran	1978	Tabas
6	150	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6
7	158	Imperial Valley-06	1979	Aeropuerto Mexicali
8	159	Imperial Valley-06	1979	Agrarias
9	161	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport
10	170	Imperial Valley-06	1979	EC County Center FF
11	171	Imperial Valley-06	1979	EC Meloland Overpass FF
12	173	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #10
13	174	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #11
14	178	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3
15	179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4
16	180	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5
17	181	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6
18	182	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7
19	183	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #8
20	184	Imperial Valley-06	1979	El Centro Differential Array
21	185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office
22	250	Mammoth Lakes-06	1980	Long Valley Dam (Upr L Abut)
23	285	Irpinia, Italy-01	1980	Bagnoli Irpinio
24	292	Irpinia, Italy-01	1980	Sturno
25	316	Westmorland	1981	Parachute Test Site
26	319	Westmorland	1981	Westmorland Fire Sta
27	407	Coalinga-05	1983	Oil City
28	415	Coalinga-05	1983	Transmitter Hill
29	418	Coalinga-07	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)

30	448	Morgan Hill	1984	Anderson Dam (Downstream)
31	451	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam (SW Abut)
32	459	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6
33	496	Nahanni, Canada	1985	Site 2
34	503	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 C00
35	504	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 E01
36	505	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 I01
37	506	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 I07
38	508	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 M07
39	517	N. Palm Springs	1986	Desert Hot Springs
40	527	N. Palm Springs	1986	Morongo Valley
41	529	N. Palm Springs	1986	North Palm Springs
42	568	San Salvador	1986	Geotech Investig Center
43	569	San Salvador	1986	National Geographical Inst
44	585	Baja California	1987	Cerro Prieto
45	614	Whittier Narrows-01	1987	Downey - Birchdale
46	615	Whittier Narrows-01	1987	Downey - Co Maint Bldg
47	645	Whittier Narrows-01	1987	LB - Orange Ave
48	692	Whittier Narrows-01	1987	Santa Fe Springs - E.Joslin
49	721	Superstition Hills-02	1987	El Centro Imp. Co. Cent
50	732	Loma Prieta	1989	APEEL 2 - Redwood City
51	759	Loma Prieta	1989	Foster City - APEEL 1
52	763	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll.
53	764	Loma Prieta	1989	Gilroy - Historic Bldg.
54	766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2
55	767	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #3
56	771	Loma Prieta	1989	Golden Gate Bridge
57	778	Loma Prieta	1989	Hollister Diff. Array
58	779	Loma Prieta	1989	LGPC
59	783	Loma Prieta	1989	Oakland - Outer Harbor Wharf
60	784	Loma Prieta	1989	Oakland - Title & Trust
61	787	Loma Prieta	1989	Palo Alto - SLAC Lab
62	796	Loma Prieta	1989	SF - Presidio
63	799	Loma Prieta	1989	SF Intern. Airport
64	802	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave
65	803	Loma Prieta	1989	Saratoga - W Valley Coll.
66	808	Loma Prieta	1989	Treasure Island
67	825	Cape Mendocino	1992	Cape Mendocino
68	828	Cape Mendocino	1992	Petrolia
69	838	Landers	1992	Barstow
70	879	Landers	1992	Lucerne
71	900	Landers	1992	Yermo Fire Station
72	963	Northridge-01	1994	Castaic - Old Ridge Route
73	982	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant
74	983	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant Generator

75	1003	Northridge-01	1994	LA - Saturn St
76	1004	Northridge-01	1994	LA - Sepulveda VA Hospital
77	1009	Northridge-01	1994	LA - Wadsworth VA Hospital North
78	1013	Northridge-01	1994	LA Dam
79	1044	Northridge-01	1994	Newhall - Fire Sta
80	1045	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.
81	1050	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (downstr)
82	1051	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (upper left)
83	1052	Northridge-01	1994	Pacoima Kagel Canyon
84	1063	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta
85	1084	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta
86	1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East
87	1086	Northridge-01	1994	Sylmar - Olive View Med FF
88	1106	Kobe, Japan	1995	KJMA
89	1108	Kobe, Japan	1995	Kobe University
90	1114	Kobe, Japan	1995	Port Island (0 m)
91	1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka
92	1120	Kobe, Japan	1995	Takatori
93	1147	Kocaeli, Turkey	1999	Ambarli
94	1148	Kocaeli, Turkey	1999	Arcelik
95	1158	Kocaeli, Turkey	1999	Duzce
96	1161	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze
97	1176	Kocaeli, Turkey	1999	Yarimca
98	1182	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006
99	1193	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY024
100	1197	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY028
101	1202	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY035
102	1244	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101
103	1329	Chi-Chi, Taiwan	1999	ILA037
104	1402	Chi-Chi, Taiwan	1999	NST
105	1403	Chi-Chi, Taiwan	1999	NSY
106	1410	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP003
107	1411	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP005
108	1463	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU003
109	1464	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU006
110	1466	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU008
111	1468	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU010
112	1471	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU015
113	1472	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU017
114	1473	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU018
115	1475	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU026
116	1476	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU029
117	1477	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU031
118	1479	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU034
119	1480	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU036

120	1481	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU038
121	1482	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU039
122	1483	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU040
123	1484	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU042
124	1485	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU045
125	1486	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU046
126	1487	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU047
127	1489	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU049
128	1490	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU050
129	1492	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU052
130	1493	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU053
131	1494	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU054
132	1496	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU056
133	1497	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU057
134	1498	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU059
135	1499	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU060
136	1501	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU063
137	1502	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU064
138	1503	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065
139	1505	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068
140	1510	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU075
141	1511	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU076
142	1514	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU081
143	1515	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU082
144	1516	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU083
145	1519	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU087
146	1523	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU094
147	1524	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU095
148	1525	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU096
149	1526	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU098
150	1528	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU101
151	1529	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU102
152	1530	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103
153	1531	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU104
154	1533	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU106
155	1537	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU111
156	1541	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU116
157	1546	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU122
158	1548	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU128
159	1550	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU136
160	1595	Chi-Chi, Taiwan	1999	WGK
161	1602	Duzce, Turkey	1999	Bolu
162	1605	Duzce, Turkey	1999	Duzce
163	1752	Northwest China-03	1997	Jiashi
164	1853	Yountville	2000	Napa Fire Station #3

165	2114	Denali, Alaska	2002	TAPS Pump Station #10
166	2457	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY024
167	2461	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY028
168	2466	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY035
169	2495	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY080
170	2507	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY101
171	2618	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU065
172	2627	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU076
173	2650	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU116
174	2734	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY074
175	3317	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	CHY101
176	3473	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	TCU078
177	3474	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	TCU079
178	3475	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	TCU080
179	3548	Loma Prieta	1989	Los Gatos - Lexington Dam

Για κάθε μία από τις καταγραφές του παραπάνω πίνακα, προσδιορίστηκαν τα φάσματα συνέλιξης SVxSD για μηδενική απόσβεση και για τις δύο κάθετες διευθύνσεις κάθε καταγραφής. Στη συνέχεια καθορίστηκε η δεσπόζουσα περίοδος T_p (που ορίζεται ως T_1 στη μεθοδολογία που ήδη παρουσιάστηκε), ως η περίοδος που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του φάσματος συνέλιξης SVxSD για μηδενική απόσβεση, της διεύθυνσης εκείνης με τη μεγαλύτερη μέγιστη τιμή του φάσματος συνέλιξης. Σε ένα επόμενο στάδιο, με τη χρήση προγραμμάτων, η κάθε NGA καταγραφή στράφηκε κατά διάφορες μοίρες, προκειμένου να προσδιοριστεί εκείνη η γωνία στροφής φ , στην οποία η φασματική τιμή της μετακίνησης, μεγιστοποιείται, για τη συγκεκριμένη δεσπόζουσα περίοδο της εδαφικής κίνησης, που καθορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο. Έτσι, κάθε καταγραφή στράφηκε κατά αυτή τη γωνία φ και μελετήθηκε στη νέα διεύθυνση που προσδιορίστηκε μετά τη στροφή (η μέθοδος προσομοίωσης της εδαφικής κίνησης με παλμούς, εφαρμόστηκε στη διεύθυνση που καθορίστηκε μετά τη στροφή της καταγραφής). Σε αυτή τη νέα διεύθυνση καθορίστηκαν και οι νέες δεσπόζουσες περίοδοι των καταγραφών, που δε διαφέρουν σχεδόν καθόλου από τις αρχικές. Οι δεσπόζουσες περίοδοι των NGA καταγραφών, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Δεσπόζουσα περίοδος για κάθε NGA καταγραφή.

No.	Αριθμός NGA	Δεσπόζουσα περίοδος T_D (sec)	Δεσπόζουσα περίοδος T_D μετά τη στροφή (sec)	Όνομα σεισμού	Έτος
1	20	1.60	1.60	Northern Calif-03	1954
2	77	1.56	1.55	San Fernando	1971
3	96	1.75	1.75	Managua, Nicaragua-02	1972
4	126	4.29	4.29	Gazli, USSR	1976
5	143	4.66	4.66	Tabas, Iran	1978
6	150	1.09	1.12	Coyote Lake	1979
7	158	1.59	1.59	Imperial Valley-06	1979
8	159	1.89	1.89	Imperial Valley-06	1979
9	161	4.49	4.56	Imperial Valley-06	1979
10	170	3.69	3.69	Imperial Valley-06	1979
11	171	2.96	2.67	Imperial Valley-06	1979
12	173	3.88	3.88	Imperial Valley-06	1979
13	174	3.29	3.28	Imperial Valley-06	1979
14	178	5.69	5.69	Imperial Valley-06	1979
15	179	4.55	4.55	Imperial Valley-06	1979
16	180	4.69	2.80	Imperial Valley-06	1979
17	181	3.83	3.83	Imperial Valley-06	1979
18	182	3.74	3.74	Imperial Valley-06	1979
19	183	4.59	4.59	Imperial Valley-06	1979
20	184	4.33	4.26	Imperial Valley-06	1979
21	185	4.24	4.24	Imperial Valley-06	1979
22	250	0.82	0.82	Mammoth Lakes-06	1980
23	285	1.16	1.16	Irpinia, Italy-01	1980
24	292	2.35	2.35	Irpinia, Italy-01	1980
25	316	5.31	3.14	Westmorland	1981
26	319	1.42	1.42	Westmorland	1981
27	407	0.56	0.56	Coalinga-05	1983
28	415	0.69	0.70	Coalinga-05	1983
29	418	0.42	0.42	Coalinga-07	1983
30	448	0.71	0.71	Morgan Hill	1984
31	451	0.78	0.78	Morgan Hill	1984
32	459	1.10	1.10	Morgan Hill	1984
33	496	0.57	0.57	Nahanni, Canada	1985
34	503	2.94	1.51	Taiwan SMART1(40)	1986
35	504	1.72	1.73	Taiwan SMART1(40)	1986
36	505	2.94	2.94	Taiwan SMART1(40)	1986
37	506	1.54	1.54	Taiwan SMART1(40)	1986
38	508	1.20	1.20	Taiwan SMART1(40)	1986
39	517	0.60	0.92	N. Palm Springs	1986
40	527	1.82	1.82	N. Palm Springs	1986

41	529	1.13	1.13	N. Palm Springs	1986
42	568	0.68	0.69	San Salvador	1986
43	569	0.69	0.69	San Salvador	1986
44	585	1.23	1.23	Baja California	1987
45	614	0.67	0.67	Whittier Narrows-01	1987
46	615	0.74	0.74	Whittier Narrows-01	1987
47	645	0.72	0.72	Whittier Narrows-01	1987
48	692	0.58	0.59	Whittier Narrows-01	1987
49	721	2.55	2.56	Superstition Hills-02	1987
50	732	1.12	1.12	Loma Prieta	1989
51	759	0.66	0.66	Loma Prieta	1989
52	763	1.45	1.45	Loma Prieta	1989
53	764	1.53	1.53	Loma Prieta	1989
54	766	1.46	1.46	Loma Prieta	1989
55	767	1.96	1.96	Loma Prieta	1989
56	771	1.37	1.37	Loma Prieta	1989
57	778	2.56	2.56	Loma Prieta	1989
58	779	2.82	2.82	Loma Prieta	1989
59	783	1.53	1.53	Loma Prieta	1989
60	784	1.54	1.54	Loma Prieta	1989
61	787	1.86	1.87	Loma Prieta	1989
62	796	1.40	1.86	Loma Prieta	1989
63	799	0.92	0.92	Loma Prieta	1989
64	802	2.82	2.83	Loma Prieta	1989
65	803	2.80	2.81	Loma Prieta	1989
66	808	2.66	2.66	Loma Prieta	1989
67	825	2.72	2.77	Cape Mendocino	1992
68	828	0.74	0.74	Cape Mendocino	1992
69	838	5.81	6.28	Landers	1992
70	879	4.18	4.05	Landers	1992
71	900	1.38	1.39	Landers	1992
72	963	1.42	1.42	Northridge-01	1994
73	982	2.80	2.80	Northridge-01	1994
74	983	2.58	2.58	Northridge-01	1994
75	1003	0.60	0.68	Northridge-01	1994
76	1004	0.68	0.68	Northridge-01	1994
77	1009	-	-	Northridge-01	1994
78	1013	2.54	2.54	Northridge-01	1994
79	1044	1.35	1.35	Northridge-01	1994
80	1045	2.24	2.24	Northridge-01	1994
81	1050	0.51	0.51	Northridge-01	1994
82	1051	0.66	0.66	Northridge-01	1994
83	1052	0.90	0.89	Northridge-01	1994
84	1063	1.34	1.34	Northridge-01	1994
85	1084	2.81	2.81	Northridge-01	1994

86	1085	-	-	Northridge-01	1994
87	1086	2.40	2.40	Northridge-01	1994
88	1106	0.70	0.70	Kobe, Japan	1995
89	1108	1.21	1.21	Kobe, Japan	1995
90	1114	1.94	1.94	Kobe, Japan	1995
91	1119	1.67	1.67	Kobe, Japan	1995
92	1120	1.25	1.23	Kobe, Japan	1995
93	1147	5.49	5.49	Kocaeli, Turkey	1999
94	1148	6.89	9.03	Kocaeli, Turkey	1999
95	1158	3.70	3.70	Kocaeli, Turkey	1999
96	1161	6.66	6.66	Kocaeli, Turkey	1999
97	1176	3.77	3.77	Kocaeli, Turkey	1999
98	1182	2.81	2.81	Chi-Chi, Taiwan	1999
99	1193	3.95	3.95	Chi-Chi, Taiwan	1999
100	1197	2.15	2.15	Chi-Chi, Taiwan	1999
101	1202	1.29	1.29	Chi-Chi, Taiwan	1999
102	1244	4.46	4.46	Chi-Chi, Taiwan	1999
103	1329	1.76	1.76	Chi-Chi, Taiwan	1999
104	1402	7.31	7.31	Chi-Chi, Taiwan	1999
105	1403	7.56	7.56	Chi-Chi, Taiwan	1999
106	1410	2.58	2.58	Chi-Chi, Taiwan	1999
107	1411	1.93	1.93	Chi-Chi, Taiwan	1999
108	1463	7.92	7.92	Chi-Chi, Taiwan	1999
109	1464	8.31	8.31	Chi-Chi, Taiwan	1999
110	1466	5.57	5.57	Chi-Chi, Taiwan	1999
111	1468	5.58	5.58	Chi-Chi, Taiwan	1999
112	1471	7.36	7.36	Chi-Chi, Taiwan	1999
113	1472	4.87	4.88	Chi-Chi, Taiwan	1999
114	1473	7.36	7.69	Chi-Chi, Taiwan	1999
115	1475	9.50	9.50	Chi-Chi, Taiwan	1999
116	1476	4.77	4.77	Chi-Chi, Taiwan	1999
117	1477	7.45	7.45	Chi-Chi, Taiwan	1999
118	1479	7.01	7.01	Chi-Chi, Taiwan	1999
119	1480	4.15	4.33	Chi-Chi, Taiwan	1999
120	1481	8.42	8.72	Chi-Chi, Taiwan	1999
121	1482	7.50	7.50	Chi-Chi, Taiwan	1999
122	1483	5.90	5.90	Chi-Chi, Taiwan	1999
123	1484	7.62	7.62	Chi-Chi, Taiwan	1999
124	1485	7.97	7.97	Chi-Chi, Taiwan	1999
125	1486	7.88	7.88	Chi-Chi, Taiwan	1999
126	1487	1.14	1.14	Chi-Chi, Taiwan	1999
127	1489	6.22	6.26	Chi-Chi, Taiwan	1999
128	1490	6.62	6.66	Chi-Chi, Taiwan	1999
129	1492	8.14	9.47	Chi-Chi, Taiwan	1999
130	1493	6.15	6.16	Chi-Chi, Taiwan	1999

131	1494	6.44	9.20	Chi-Chi, Taiwan	1999
132	1496	5.57	5.58	Chi-Chi, Taiwan	1999
133	1497	7.29	7.29	Chi-Chi, Taiwan	1999
134	1498	6.12	6.12	Chi-Chi, Taiwan	1999
135	1499	5.82	5.81	Chi-Chi, Taiwan	1999
136	1501	6.44	6.47	Chi-Chi, Taiwan	1999
137	1502	7.14	7.16	Chi-Chi, Taiwan	1999
138	1503	5.08	5.08	Chi-Chi, Taiwan	1999
139	1505	9.58	10.00	Chi-Chi, Taiwan	1999
140	1510	3.89	3.89	Chi-Chi, Taiwan	1999
141	1511	1.31	1.31	Chi-Chi, Taiwan	1999
142	1514	6.84	6.84	Chi-Chi, Taiwan	1999
143	1515	6.37	6.37	Chi-Chi, Taiwan	1999
144	1516	5.34	5.34	Chi-Chi, Taiwan	1999
145	1519	8.41	8.41	Chi-Chi, Taiwan	1999
146	1523	8.28	8.23	Chi-Chi, Taiwan	1999
147	1524	7.87	7.87	Chi-Chi, Taiwan	1999
148	1525	7.18	7.18	Chi-Chi, Taiwan	1999
149	1526	7.83	7.83	Chi-Chi, Taiwan	1999
150	1528	7.66	7.66	Chi-Chi, Taiwan	1999
151	1529	7.28	7.28	Chi-Chi, Taiwan	1999
152	1530	7.54	7.54	Chi-Chi, Taiwan	1999
153	1531	5.67	5.64	Chi-Chi, Taiwan	1999
154	1533	4.92	4.93	Chi-Chi, Taiwan	1999
155	1537	3.74	3.74	Chi-Chi, Taiwan	1999
156	1541	3.67	3.67	Chi-Chi, Taiwan	1999
157	1546	3.80	3.80	Chi-Chi, Taiwan	1999
158	1548	7.74	7.74	Chi-Chi, Taiwan	1999
159	1550	8.29	8.29	Chi-Chi, Taiwan	1999
160	1595	4.55	4.56	Chi-Chi, Taiwan	1999
161	1602	1.89	1.89	Duzce, Turkey	1999
162	1605	4.85	4.85	Duzce, Turkey	1999
163	1752	0.80	0.80	Northwest China-03	1997
164	1853	0.67	0.67	Yountville	2000
165	2114	2.72	2.72	Denali, Alaska	2002
166	2457	2.60	2.60	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
167	2461	1.06	1.06	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
168	2466	1.43	1.43	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
169	2495	1.10	1.09	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
170	2507	1.93	1.93	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
171	2618	1.44	1.44	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
172	2627	1.22	0.86	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
173	2650	3.49	3.49	Chi-Chi, Taiwan-03	1999
174	2734	1.78	1.78	Chi-Chi, Taiwan-04	1999
175	3317	1.98	1.98	Chi-Chi, Taiwan-06	1999

176	3473	0.93	0.93	Chi-Chi, Taiwan-06	1999
177	3474	0.46	0.46	Chi-Chi, Taiwan-06	1999
178	3475	0.77	0.77	Chi-Chi, Taiwan-06	1999
179	3548	-	-	Loma Prieta	1989

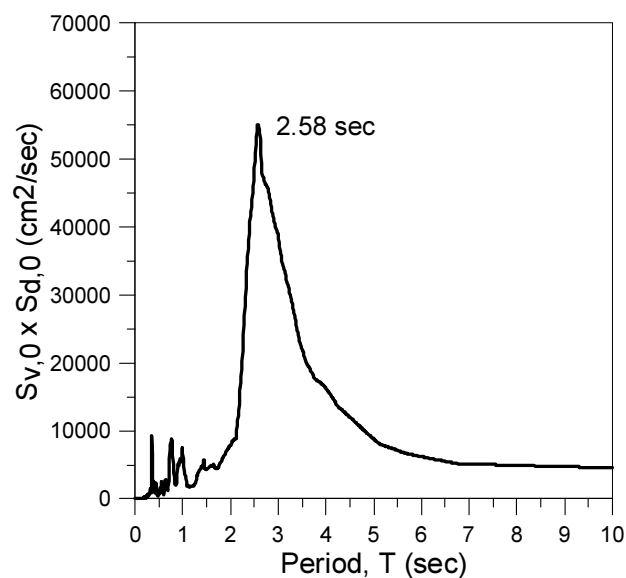
Από τις παραπάνω 179 NGA σεισμικές καταγραφές, επιλέχθηκαν οι 100 σημαντικότερες (από άποψη φασματικών τιμών), προκειμένου να εφαρμοστεί σε αυτές η μέθοδος προσομοίωσής τους με συνθετικές κινήσεις παλμών, συγκεκριμένων παραμέτρων, μία μεθοδολογία που παρουσιάστηκε αναλυτικά στην παρούσα εργασία. Στόχος είναι η σύγκριση των πραγματικών καταγραφών με τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις, μέσω της σύγκρισης των αντίστοιχων χρονοϊστοριών και φασμάτων αυτών. Με βάση το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης μπορεί να κριθεί η αποτελεσματικότητα και η δυνατότητα χρήσης και εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου σε μελλοντικές σεισμικές αναλύσεις.

2.5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΠΑΛΜΟΥΣ ΣΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ NGA

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε εκατό καταγραφές της NGA βάσης δεδομένων, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ενδεικτικά η εφαρμογή της σε τρεις από τις εκατό καταγραφές.

A) Καταγραφή NGA 983

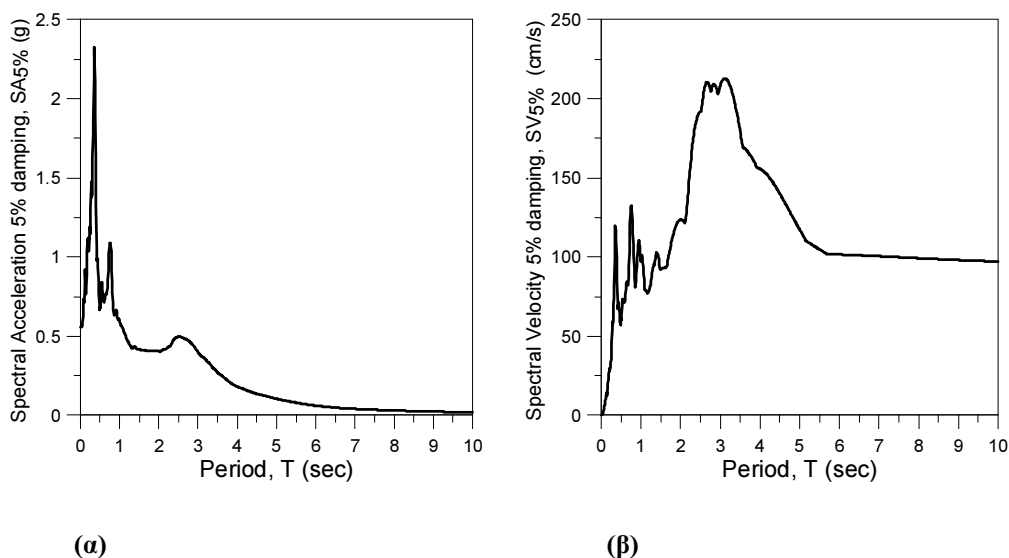
1. Λαμβάνεται το γινόμενο του φάσματος των ταχυτήτων και του φάσματος των μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση και παράγεται το *φάσμα συνέλιξης* του σχήματος 2.7.
2. Η υψηλότερη κορυφή του διαγράμματος αντιστοιχεί σε περίοδο 2.58 sec (σχήμα 2.7) και έτσι τίθεται η δεσπύζουσα περίοδος $T_p=T_1 = 2.58$ sec.



Σχήμα 2.7. Προσδιορισμός της δεσπύζουσας περιόδου T_1 με βάση την υψηλότερη κορυφή του φάσματος συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$ (για απόσβεση 0%), της καταγραφής NGA 983.

3. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία «rainflow» δεξιά και αριστερά της δεσπόζουσας T_1 , προσδιορίζονται δύο ακόμα σημαντικές περιόδους αριστερά της T_1 : $T_2 = 0.76$ sec και η $T_3 = 0.35$ sec (σχήμα 2.7).
4. Η υψηλότερη κορυφή του φάσματος των επιταχύνσεων για απόσβεση 5%, αντιστοιχεί σε περίοδο 0.35 sec (σχήμα 2.8α), η οποία έχει ήδη προσδιοριστεί ως T_3 , στο βήμα 3.
5. Από το φάσμα των ταχυτήτων για απόσβεση 5% (σχήμα 2.8β), καθορίζονται οι τιμές $S_{v,5,max}(T_i')$ που αντιστοιχούν στις τρεις κορυφές που βρίσκονται πιο κοντά στις περιόδους που επιλέχθηκαν από τα προηγούμενα βήματα, $T_1 = 2.58$ sec, $T_2 = 0.76$ sec και $T_3 = 0.35$ sec. Αυτές είναι: $S_{v,5,max}(T_1') = 212.74$ cm/s για $T_1' = 3.11$ sec, $S_{v,5,max}(T_2') = 132.29$ cm/s για $T_2' = 0.76$ sec, $S_{v,5,max}(T_3') = 119.97$ cm/s για $T_3' = 0.36$ sec.
6. Για κάθε μία από τις τρεις τιμές $S_{v,5,max}(T_i')$, $i = 1,2,3$ που προσδιορίστηκαν στο βήμα 5 και για διάφορες τιμές της παραμέτρου γ_j , υπολογίζονται τα πλάτη $A_{i,j}$ για κάθε αντίστοιχο παλμό-κυματίδιο από τη σχέση 16:

$$A_i = \frac{4\xi S_{v,\xi,max}(T_i)}{(1-e^{-2\pi\gamma_i\xi}) \cdot [1+(\gamma_i-1)\xi]}, \quad \text{για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad (16)$$



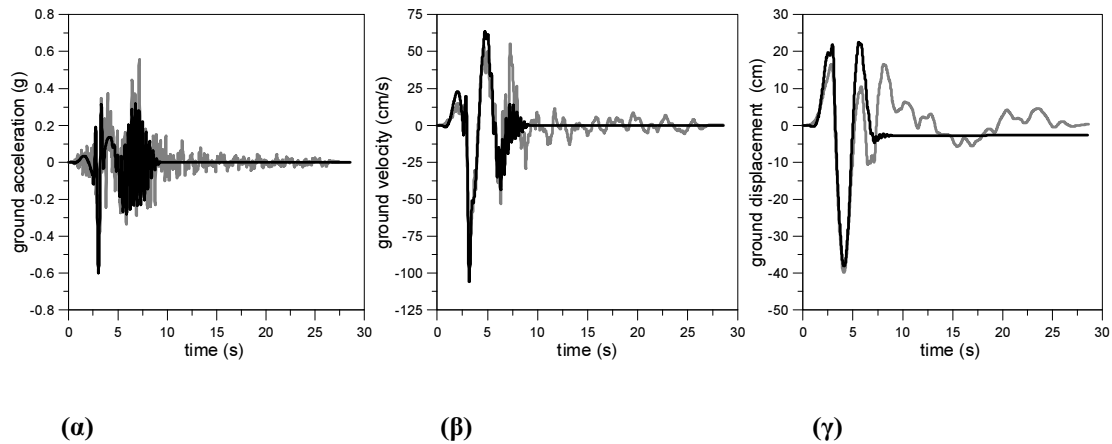
Σχήμα 2.8.(α) Φάσμα επιταχύνσεων για απόσβεση 5% της καταγραφής NGA 983, (β) Φάσμα ταχυτήτων για απόσβεση 5% της καταγραφής NGA 983.

7. Για κάθε ζεύγος $(A_{i,j}, \gamma_{i,j})$ που καθορίστηκε στο βήμα 6 και για τιμές της παραμέτρου ν στην περιοχή $0^\circ \leq \nu_i \leq 180^\circ$, προσδιορίζεται ο αντίστοιχος Μ&Π παλμός από τις προαναφερθείσες σχέσεις του μοντέλου των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (σχέσεις (3) και (4)), θέτοντας $T_p = T_i$ και $t_{o,i} = \gamma_{i,j} T_i/2$. Απορρίπτονται όλοι οι παλμοί που παρουσιάζουν μέγιστα των χρονοϊστοριών της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησής τους, μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα της πραγματικής εδαφικής κίνησης.
8. Για κάθε περίοδο T_i που επιλέχθηκε προσδιορίζεται τελικά ένας παλμός (εκείνος που σχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με την αρχική καταγραφή) και καθορίζονται τα χαρακτηριστικά αυτού (πίνακας 2.3). Τέλος, ακολουθεί η σύνθεση όλων των παλμών των περιόδων T_i .
9. Η τελική συνθετική καταγραφή, προκύπτει από τη σύνθεση των νέων χρονοϊστοριών των παλμών, οι οποίες είναι αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των αρχικών χρονοϊστοριών των παλμών, με τους αντίστοιχους διορθωτικούς συντελεστές (διαδικασία *scaling*), που καθορίζονται από την προαναφερθείσα σχέση (17α):

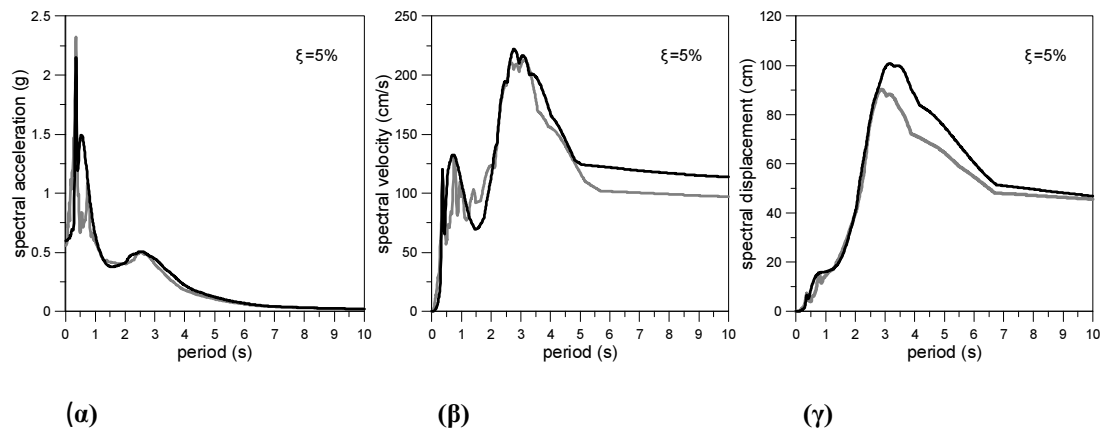
$$C_v = \frac{S_{v,\xi,max}(T_i)}{S_{v,\xi,max}(T_i)} \quad (17a)$$

Οι παράμετροι των χρησιμοποιούμενων παλμών παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3. Οι αντίστοιχοι διορθωτικοί συντελεστές παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4.

Οι συγκρίσεις των χρονοϊστοριών της σύνθεσης των παλμών, με αυτές της αρχικής πραγματικής καταγραφής NGA 983, παρουσιάζονται στο σχήμα 2.9. Φαίνεται ότι, η συνθετική κίνηση των παλμών, προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την εδαφική επιτάχυνση, εδαφική ταχύτητα και εδαφική μετακίνηση του πραγματικού σεισμού της καταγραφής NGA 983. Επίσης, η σύγκριση των αντίστοιχων φασμάτων απόκρισης για απόσβεση 5% (σχήμα 2.10), αποδεικνύει την πολύ καλή προσέγγιση της εδαφικής κίνησης της καταγραφής NGA 983 με την αντίστοιχη συνθετική εδαφική κίνηση.



Σχήμα 2.9. Σύγκριση των χρονοϊστοριών της συνθετικής κίνησης (μαύρη γραμμή) με τις χρονοϊστορίες της πραγματικής καταγραφής NGA 983 (γκρι γραμμή) : (α) εδαφική επιτάχυνση, (β) εδαφική ταχύτητα, (γ) εδαφική μετακίνηση.



Σχήμα 2.10. Σύγκριση των φασμάτων για απόσβεση 5% της συνθετικής κίνησης (μαύρη γραμμή) με τα αντίστοιχα φάσματα της πραγματικής καταγραφής NGA 983 (γκρι γραμμή) : (α) φάσμα επιταχύνσεων SA, (β) φάσμα ταχυτήτων SV, (γ) φάσμα μετακινήσεων SD.

Πίνακας 2.3. Παράμετροι των επιλεγμένων παλμών της καταγραφής NGA 983.

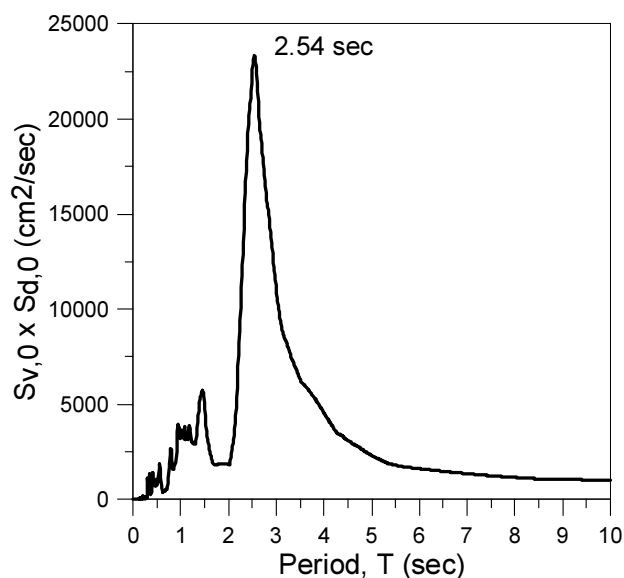
Νο παλμού	T_p (sec)	A (cm)	γ	ν (°)	t_o (sec)
1	3.11	72.75	2.5	285	0.36
2	0.76	62.24	1.6	105	2.44
3	0.36	14.24	15.0	210	4.02

Πίνακας 2.4. Αντίστοιχο διορθωτικοί συντελεστές για κάθε παλμό της καταγραφής NGA 983.

Νο παλμού	$S_{v,\xi,max}(T_i)$	$\tilde{S}_{v,\xi,max}(T_i)$	C_v
1	212.74	232.35	0.92
2	132.29	140.32	0.94
3	119.97	111.32	1.08

B) Καταγραφή NGA 1013

1. Λαμβάνεται το γινόμενο του φάσματος των ταχυτήτων και του φάσματος των μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση και παράγεται το *φάσμα συνέλιξης* του σχήματος 2.11.
2. Η υψηλότερη κορυφή του διαγράμματος αντιστοιχεί σε περίοδο 2.54 sec (σχήμα 2.11) και έτσι τίθεται η δεσπόζουσα περίοδος $T_p = T_1 = 2.54$ sec.



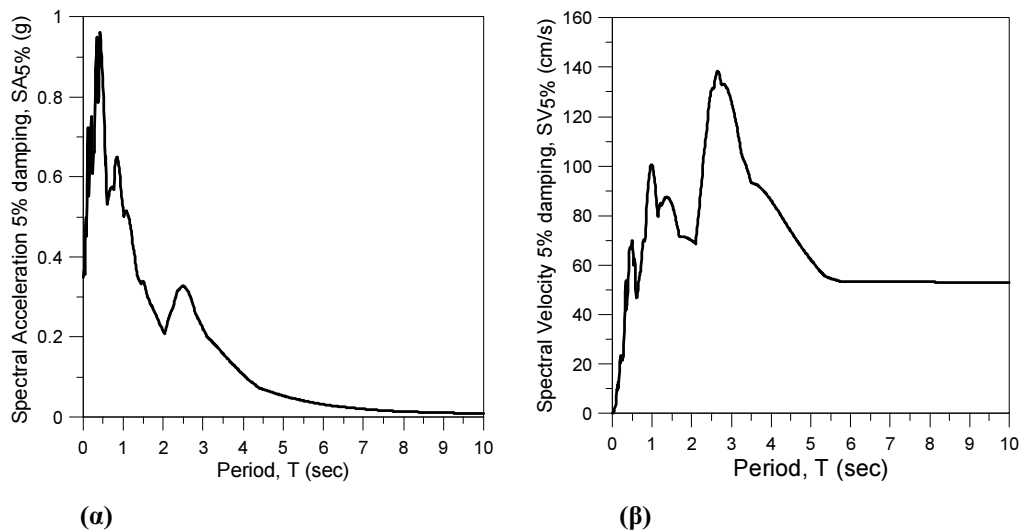
Σχήμα 2.11. Προσδιορισμός της δεσπόζουσας περιόδου T_1 με βάση την υψηλότερη κορυφή του φάσματος συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$ (για απόσβεση 0%), της καταγραφής NGA 1013.

3. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία «rainflow» δεξιά και αριστερά της δεσπόζουσας T_1 , προσδιορίζεται μία ακόμα σημαντική περίοδος αριστερά της T_1 : $T_2 = 1.45$ sec (σχήμα 2.11).
4. Η υψηλότερη κορυφή του φάσματος των επιταχύνσεων για απόσβεση 5%, αντιστοιχεί σε περίοδο $T_3 = 0.43$ sec (σχήμα 2.12α). Επίσης για μεγαλύτερη ακρίβεια, λαμβάνεται και η περίοδος $T_4 = 0.85$ sec (σχήμα 2.12α).
5. Από το φάσμα των ταχυτήτων για απόσβεση 5% (σχήμα 2.12β), καθορίζονται οι τιμές $S_{v,5,max}(T_i)$ που αντιστοιχούν στις τέσσερις κορυφές που βρίσκονται πιο κοντά

στις περιόδους που επιλέχθηκαν από τα προηγούμενα βήματα, $T_1 = 2.54$ sec, $T_2 = 1.45$ sec και $T_3 = 0.43$ sec και $T_4 = 0.85$ sec. Αυτές είναι: $S_{v,5,max}(T_{1'}) = 138.21$ cm/s για $T_{1'} = 2.65$ sec, $S_{v,5,max}(T_{2'}) = 87.54$ cm/s για $T_{2'} = 1.37$ sec, $S_{v,5,max}(T_{3'}) = 70.04$ cm/s για $T_{3'} = 0.5$, $S_{v,5,max}(T_{4'}) = 100.64$ cm/s για $T_{4'} = 0.99$ sec.

6. Για κάθε μία από τις τέσσερις τιμές $S_{v,5,max}(T_i)$, $i = 1,2,3$ που προσδιορίστηκαν στο βήμα 5 και για διάφορες τιμές της παραμέτρου γ_j , υπολογίζονται τα πλάτη $A_{i,j}$ για κάθε αντίστοιχο παλμό από τη σχέση 16:

$$A_i = \frac{4\xi S_{v,\xi,max}(T_i)}{(1-e^{-2\pi\gamma_i\xi}) \cdot [1+(\gamma_i-1)\xi]}, \quad \text{για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad (16)$$



Σχήμα 2.12.(α)Φάσμα επιταχύνσεων για απόσβεση 5% της καταγραφής NGA 1013, (β)Φάσμα ταχυτήτων για απόσβεση 5% της καταγραφής NGA 1013.

7. Για κάθε ζεύγος $(A_{i,j}, \gamma_{i,j})$ που καθορίστηκε στο βήμα 6 και για τιμές της παραμέτρου ν στην περιοχή $0^\circ \leq \nu_i \leq 180^\circ$, προσδιορίζεται ο αντίστοιχος Μ&Π παλμός από τις προαναφερθείσες σχέσεις του μοντέλου των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (σχέσεις (3) και (4)), θέτοντας $T_p = T_i$ και $t_{o,i} = \gamma_{i,j} T_i/2$. Απορρίπτονται όλοι οι παλμοί που παρουσιάζουν μέγιστα των χρονοϊστοριών της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησής τους, μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα της πραγματικής εδαφικής κίνησης.

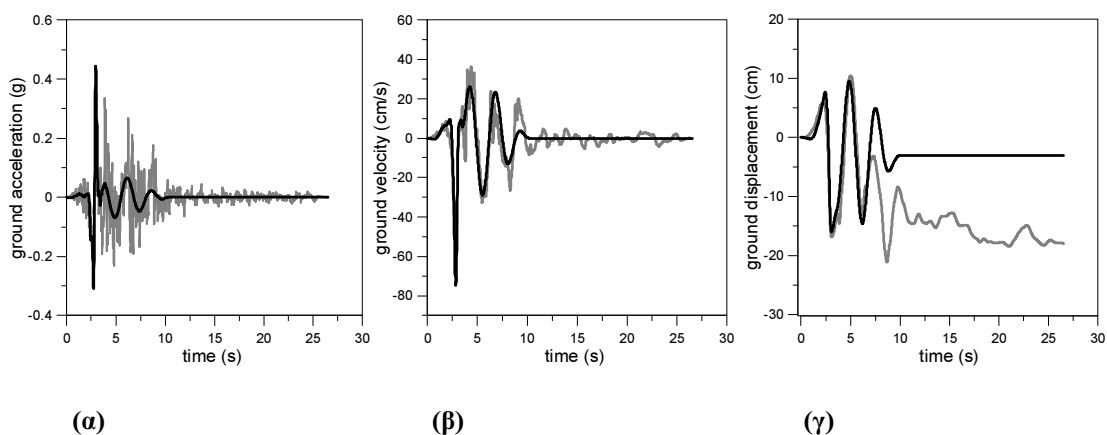
8. Για κάθε περίοδο T_i που επιλέχθηκε προσδιορίζεται τελικά ένας παλμός (εκείνος που σχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με την αρχική καταγραφή) και καθορίζονται τα χαρακτηριστικά αυτού (πίνακας 2.5). Τέλος, ακολουθεί η σύνθεση όλων των παλμών των περιόδων T_i .

9. Η τελική συνθετική καταγραφή, προκύπτει από τη σύνθεση των νέων χρονοϊστοριών των παλμών, οι οποίες είναι αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των αρχικών χρονοϊστοριών των παλμών, με τους αντίστοιχους διορθωτικούς συντελεστές (διαδικασία *scaling*), που καθορίζονται από την προαναφερθείσα σχέση (17α):

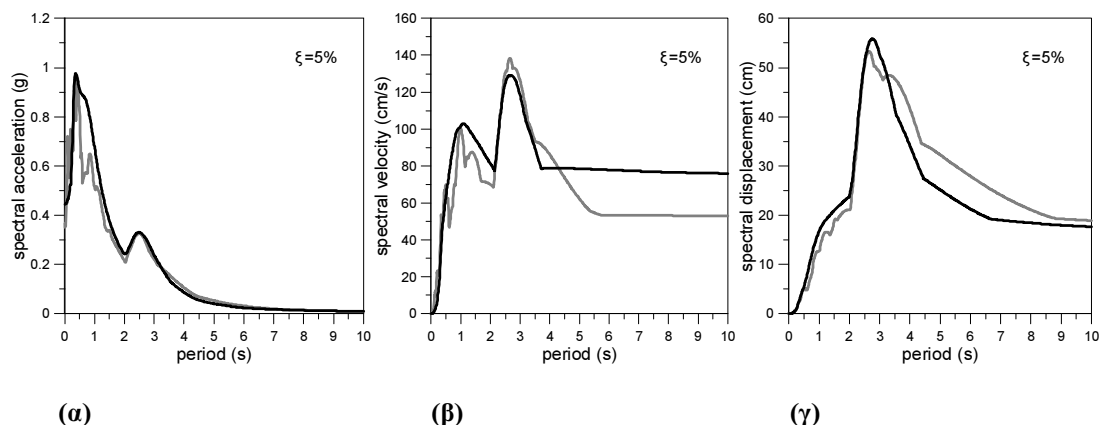
$$C_v = \frac{S_{v,\xi,max}(T_i)}{\bar{S}_{v,\xi,max}(T_i)} \quad (17\alpha)$$

Οι παράμετροι των χρησιμοποιούμενων παλμών παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5. Οι αντίστοιχοι διορθωτικοί συντελεστές παρουσιάζονται στον πίνακα 2.6.

Οι συγκρίσεις των χρονοϊστοριών της σύνθεσης των παλμών-κυματιδίων, με αυτές της αρχικής πραγματικής καταγραφής NGA 1013, παρουσιάζονται στο σχήμα 2.13. Φαίνεται ότι, η συνθετική κίνηση των παλμών-κυματιδίων, προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την εδαφική επιτάχυνση, εδαφική ταχύτητα και εδαφική μετακίνηση του πραγματικού σεισμού της καταγραφής NGA 1013. Επίσης, η σύγκριση των αντίστοιχων φασμάτων για απόσβεση 5% (σχήμα 2.14), αποδεικνύει την πολύ καλή προσέγγιση της εδαφικής κίνησης της καταγραφής NGA 1013 με την αντίστοιχη συνθετική εδαφική κίνηση.



Σχήμα 2.13. Σύγκριση των χρονοϊστοριών της συνθετικής κίνησης (μαύρη γραμμή) με τις χρονοϊστορίες της πραγματικής καταγραφής NGA 1013 (γκρι γραμμή) : (α) εδαφική επιτάχυνση, (β) εδαφική ταχύτητα, (γ) εδαφική μετακίνηση.



Σχήμα 2.14. Σύγκριση των φασμάτων για απόσβεση 5% της συνθετικής κίνησης (μαύρη γραμμή) με τα αντίστοιχα φάσματα της πραγματικής καταγραφής NGA 1013 (γκρι γραμμή) : (α) φάσμα επιταχύνσεων SA, (β) φάσμα ταχυτήτων SV, (γ) φάσμα μετακινήσεων SD.

Πίνακας 2.5. Παράμετροι των επιλεγμένων παλμών της καταγραφής NGA 1013.

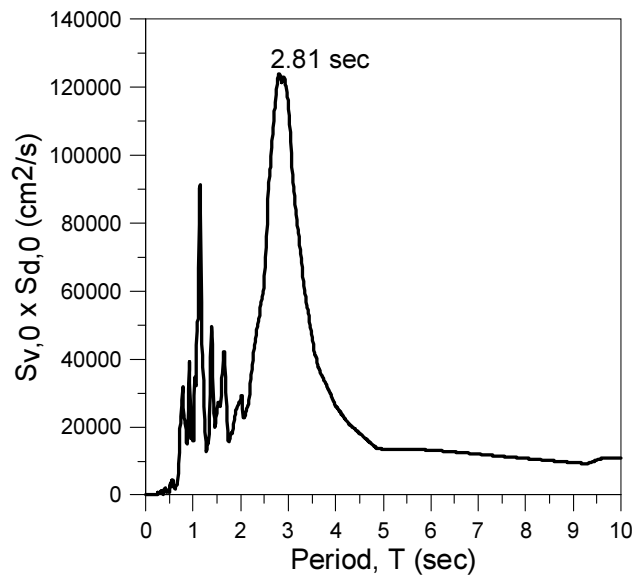
Νο παλμού	T_p (sec)	A (cm)	γ	ν (°)	t_0 (sec)
1	2.65	33.6	4.0	150	0.01
2	1.37	40.74	1.7	205	1.69
3	0.5	28.59	2.0	205	2.38
4	0.99	46.84	1.7	205	2.01

Πίνακας 2.6. Αντίστοιχοι διορθωτικοί συντελεστές για κάθε παλμό της καταγραφής NGA 1013.

Νο παλμού	$S_{v,\xi,\max}(T_i')$	$\tilde{S}_{v,\xi,\max}(T_i')$	C_v
1	138.21	161.21	0.86
2	87.54	185.32	0.47
3	70.04	104.62	0.67
4	100.64	200.09	0.5

A) Καταγραφή NGA 1084

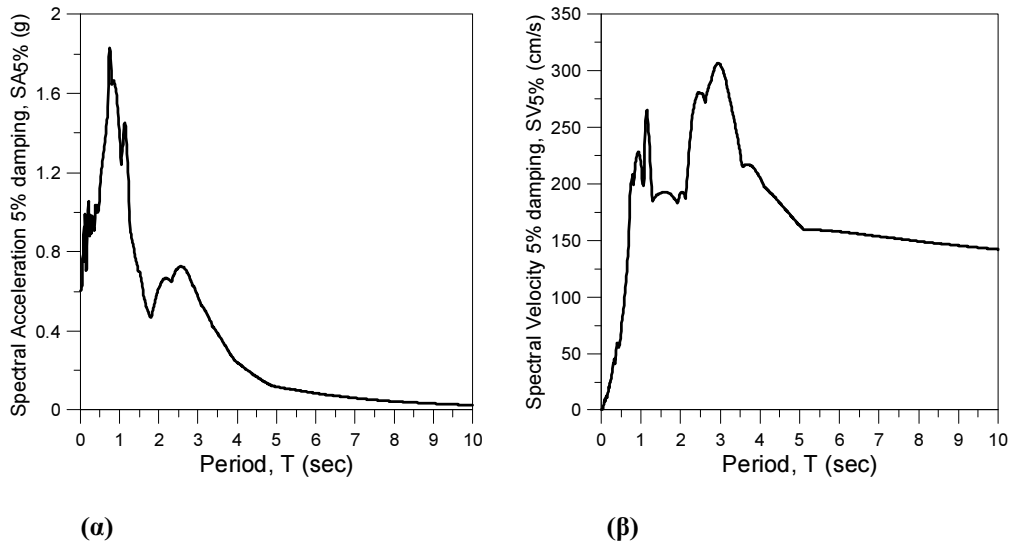
1. Λαμβάνεται το γινόμενο του φάσματος των ταχυτήτων και του φάσματος των μετακινήσεων για μηδενική απόσβεση και παράγεται το φάσμα συνέλιξης του σχήματος 2.15.
2. Η υψηλότερη κορυφή του διαγράμματος αντιστοιχεί σε περίοδο 2.81 sec (σχήμα 2.15) και έτσι τίθεται η δεσπόζουσα περίοδος $T_p = T_1 = 2.81$ sec.



Σχήμα 2.15. Προσδιορισμός της δεσπόζουσας περιόδου T_1 με βάση την υψηλότερη κορυφή του φάσματος συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$ (για απόσβεση 0%), της καταγραφής NGA 1084.

3. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία «rainflow» δεξιά και αριστερά της δεσπόζουσας T_1 , προσδιορίζεται μία ακόμα σημαντική περίοδος αριστερά της T_1 : $T_2 = 1.15$ sec (σχήμα 2.15).
4. Η υψηλότερη κορυφή του φάσματος των επιταχύνσεων για απόσβεση 5%, αντιστοιχεί σε περίοδο $T_3 = 0.75$ sec (σχήμα 2.16α).
5. Από το φάσμα των ταχυτήτων για απόσβεση 5% (Σχ. 2.16β), καθορίζονται οι τιμές $S_{v,5,max}(T_i')$ που αντιστοιχούν στις τρεις κορυφές που βρίσκονται πιο κοντά στις περιόδους που επιλέχθηκαν από τα προηγούμενα βήματα, $T_1 = 2.81$ sec, $T_2 = 1.15$ sec και $T_3 = 0.75$ sec. Αυτές είναι: $S_{v,5,max}(T_1') = 306.55$ cm/s για $T_1' = 2.95$ sec, $S_{v,5,max}(T_2') = 265.27$ cm/s για $T_2' = 1.15$ sec, $S_{v,5,max}(T_3') = 228.1$ cm/s για $T_3' = 0.93$ sec.
6. Για κάθε μία από τις τρεις τιμές $S_{v,5,max}(T_i')$, $i = 1, 2, 3$ που προσδιορίστηκαν στο βήμα 5 και για διάφορες τιμές της παραμέτρου γ_j , υπολογίζονται τα πλάτη $A_{i,j}$ για κάθε αντίστοιχο παλμό- κυματίδιο από τη σχέση 16:

$$A_i = \frac{4\xi S_{v,\xi,max}(T_i)}{(1 - e^{-2\pi\gamma_i\xi}) \cdot [1 + (\gamma_i - 1)\xi]}, \quad \text{για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad (16)$$



Σχήμα 2.16.(α) Φάσμα επιταχύνσεων για απόσβεση 5% της καταγραφής NGA 1084, (β)Φάσμα ταχυτήτων για απόσβεση 5% της καταγραφής NGA 1084.

7. Για κάθε ζεύγος (A_{ij}, γ_{ij}) που καθορίστηκε στο βήμα 6 και για τιμές της παραμέτρου ν στην περιοχή $0^\circ \leq \nu_i \leq 180^\circ$, προσδιορίζεται το αντίστοιχο M&Π κυματίδιο από τις προαναφερθείσες σχέσεις του μοντέλου των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (σχέσεις (3) και (4)), θέτοντας $T_p = T_i$ και $t_{o,i} = \gamma_{ij} T_i/2$. Απορρίπτονται όλοι οι παλμοί που παρουσιάζουν μέγιστα των χρονοϊστοριών της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησής τους, μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα της πραγματικής εδαφικής κίνησης.

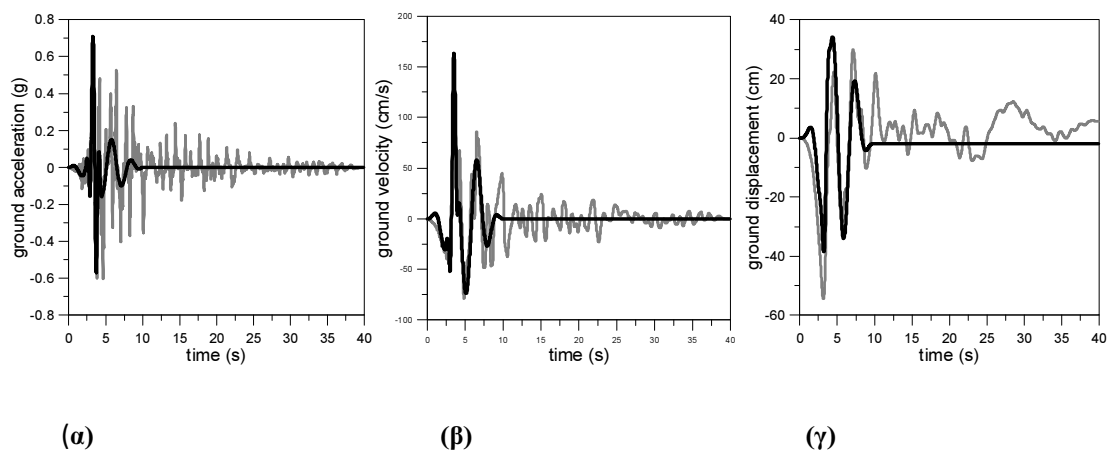
8. Για κάθε περίοδο T_i που επιλέχθηκε, προσδιορίζεται τελικά ένα κυματίδιο (εκείνο που σχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με την αρχική καταγραφή) και καθορίζονται τα χαρακτηριστικά αυτού (πίνακας 2.7). Τέλος, ακολουθεί η σύνθεση όλων των παλμών των περιόδων T_i .

9. Η τελική συνθετική καταγραφή, προκύπτει από τη σύνθεση των νέων χρονοϊστοριών των παλμών, οι οποίες είναι αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των αρχικών χρονοϊστοριών των παλμών, με τους αντίστοιχους διορθωτικούς συντελεστές (διαδικασία scaling), που καθορίζονται από την προαναφερθείσα σχέση (17α):

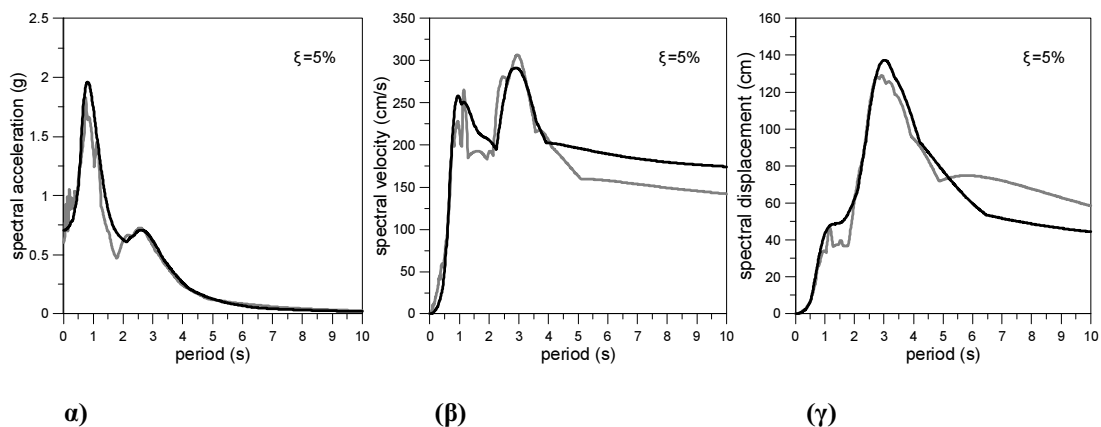
$$C_v = \frac{S_{v,\xi,max}(T_i)}{S_{v,\xi,max}(T_i)} \quad (17a)$$

Τα χαρακτηριστικά- παράμετροι των χρησιμοποιούμενων παλμών παρουσιάζονται στον πίνακα 2.7. Οι αντίστοιχοι διορθωτικοί συντελεστές παρουσιάζονται στον πίνακα 2.8.

Οι συγκρίσεις των χρονοϊστοριών της σύνθεσης των παλμών-κυματιδίων, με αυτές της αρχικής πραγματικής καταγραφής NGA 1084, παρουσιάζονται στο σχήμα 2.17. Φαίνεται ότι, η συνθετική κίνηση των παλμών-κυματιδίων, προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την εδαφική επιτάχυνση, εδαφική ταχύτητα και εδαφική μετακίνηση του πραγματικού σεισμού της καταγραφής NGA 1084. Επίσης, η σύγκριση των αντίστοιχων φασμάτων για απόσβεση 5% (σχήμα 2.18), αποδεικνύει την πολύ καλή προσέγγιση της εδαφικής κίνησης της καταγραφής NGA 1084 με την αντίστοιχη συνθετική εδαφική κίνηση.



Σχήμα 2.17. Σύγκριση των χρονοϊστοριών της συνθετικής κίνησης (μαύρη γραμμή) με τις χρονοϊστορίες της πραγματικής καταγραφής NGA 1084 (γκρι γραμμή) : (α) εδαφική επιτάχυνση, (β) εδαφική ταχύτητα, (γ) εδαφική μετακίνηση.



Σχήμα 2.18. Σύγκριση των φασμάτων για απόσβεση 5% της συνθετικής κίνησης (μαύρη γραμμή) με τα αντίστοιχα φάσματα της πραγματικής καταγραφής NGA 1084 (γκρι γραμμή) : (α) φάσμα επιταχύνσεων SA, (β) φάσμα ταχυτήτων SV, (γ) φάσμα μετακινήσεων SD.

Πίνακας 2.7. Παράμετροι των επιλεγμένων παλμών της καταγραφής NGA 1084.

Νο παλμού	T_p (sec)	A (cm)	γ	ν (°)	t_o (sec)
1	2.95	83.44	3.4	170	0.02
2	1.15	112.81	1.9	330	2.32
3	0.93	93.13	2.0	345	2.55

Πίνακας 2.8. Αντίστοιχοι διορθωτικοί συντελεστές για κάθε παλμό της καταγραφής NGA 1084.

Νο παλμού	$S_{v,\xi,max}(T_i)$	$\bar{S}_{v,\xi,max}(T_i)$	C_v
1	306.55	347.98	0.88
2	265.27	461.21	0.58
3	228.1	490.51	0.47

Στον πίνακα A.1 του παραρτήματος Α, παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράμετροι για κάθε παλμό που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση κάθε καταγραφής. Οι παράμετροι που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά κάθε παλμού, έχουν ήδη οριστεί και είναι, η περίοδος του παλμού T_p (όχι η δεσπόζουσα απαραίτητα, αλλά η περίοδος που αντιστοιχεί σε κάθε σημαντικό παλμό της καταγραφής), το πλάτος του παλμού A , οι παράμετροι διάρκειας και διαφοράς φάσης γ και ν αντίστοιχα και ο χρόνος t_o που καθορίζει τον παλμό στη χρονοϊστορία. Επίσης, στον πίνακα σημειώνονται και οι διορθωτικοί συντελεστές C_v .

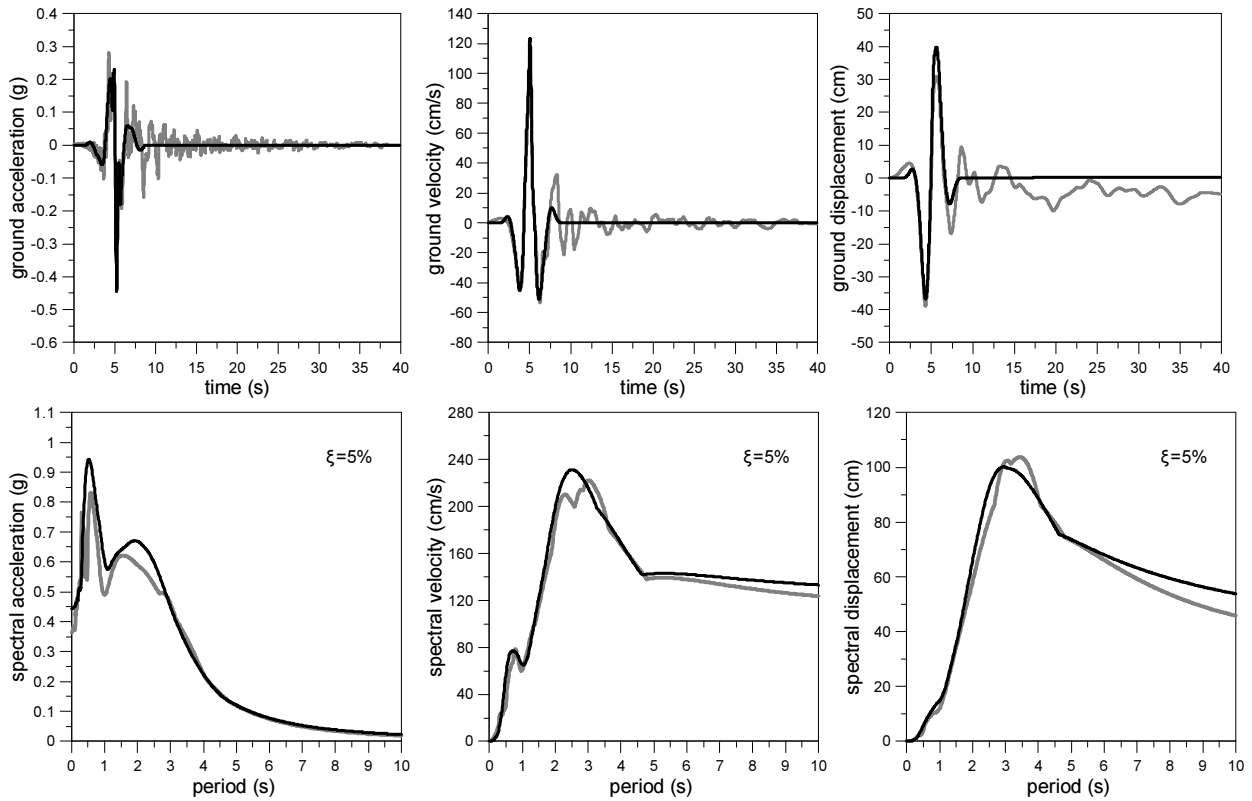
Παρακάτω παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των χρονοϊστοριών και των φασμάτων για 5% απόσβεση, για ορισμένες από τις NGA σεισμικές καταγραφές που μελετήθηκαν, με τις χρονοϊστορίες και τα φάσματα των αντίστοιχων συνθετικών εδαφικών κινήσεων από παλμούς, που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου μαθηματικής προσομοίωσης των εδαφικών κινήσεων που παρουσιάστηκε (οι συγκρίσεις χρονοϊστοριών και φασμάτων για όλες τις NGA καταγραφές που εξετάστηκαν, παρουσιάζονται στο σχήμα A.1 του παραρτήματος Α).

2.5.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ NGA ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ

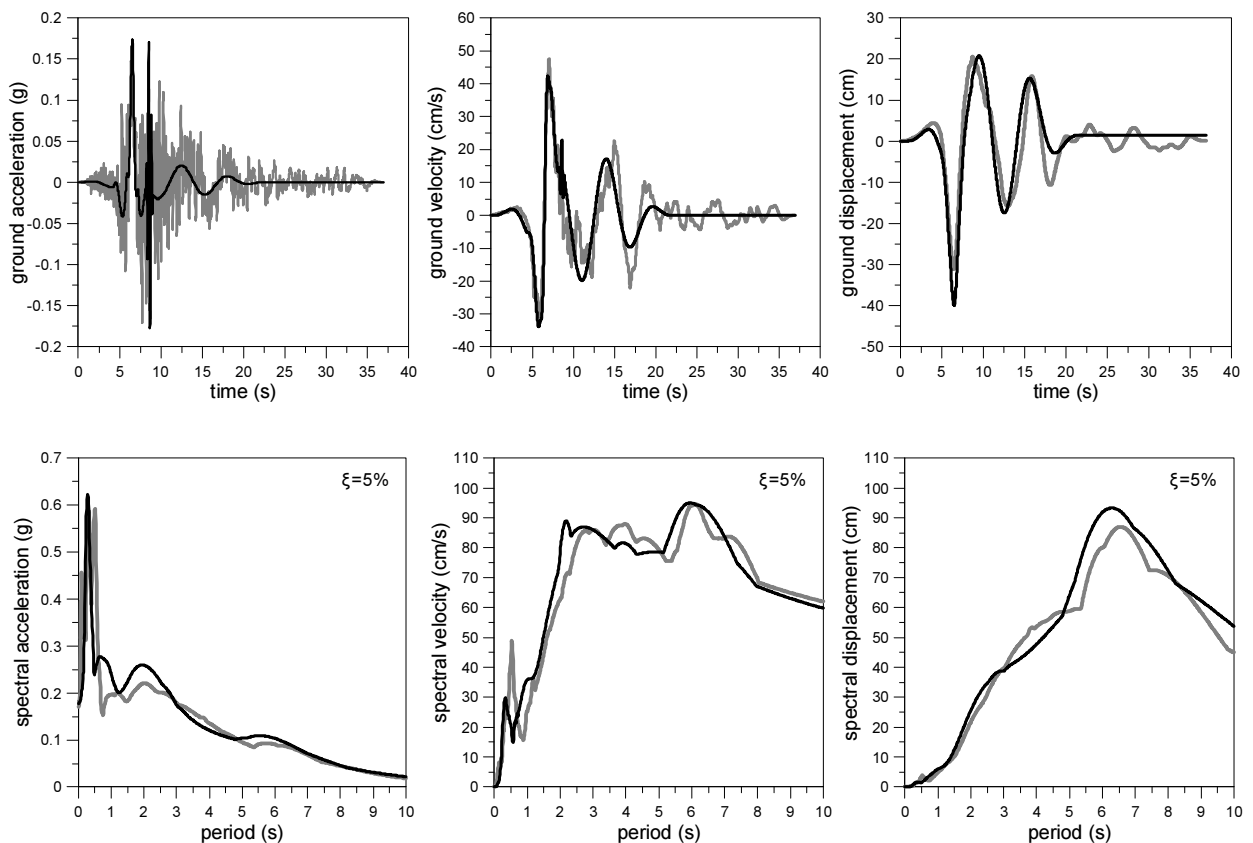
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των χρονοϊστοριών και των φασμάτων (για απόσβεση 5%), των πραγματικών σεισμικών διεγέρσεων με τις χρονοϊστορίες και τα φάσματα, των παραγόμενων από την προσομοίωση με παλμούς εδαφικών κινήσεων, για ορισμένες από τις NGA καταγραφές που μελετήθηκαν και προσεγγίστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις των παλμών . Τα αποτελέσματα, όπως παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 2.19, ενισχύουν την εγγυρότητα και την ισχύ της μεθόδου που αναπτύχθηκε. (Οι συγκρίσεις χρονοϊστοριών και φασμάτων για όλες τις NGA καταγραφές που εξετάστηκαν, παρουσιάζονται στο σχήμα Α.1 του παραρτήματος Α).

Σχήμα 2.19. Συγκρίσεις των χρονοϊστοριών και των φασμάτων (για απόσβεση 5%) πραγματικών NGA σεισμικών διεγέρσεων (γκρι γραμμή), με τις χρονοϊστορίες και τα φάσματα των παραγόμενων από την προσομοίωση με παλμούς εδαφικών κινήσεων (μαύρη γραμμή).

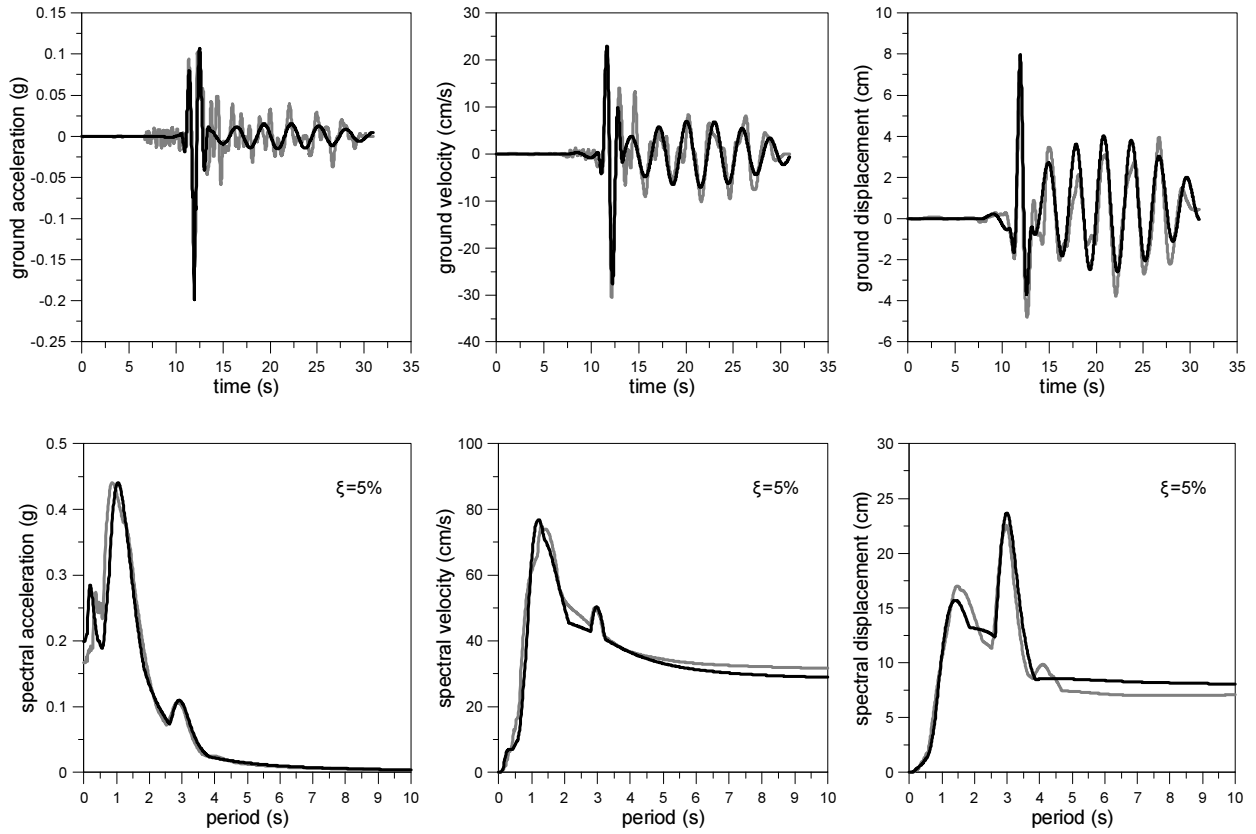
Imperial Valley-06, EC Meloland Overpass FF, NGA 171



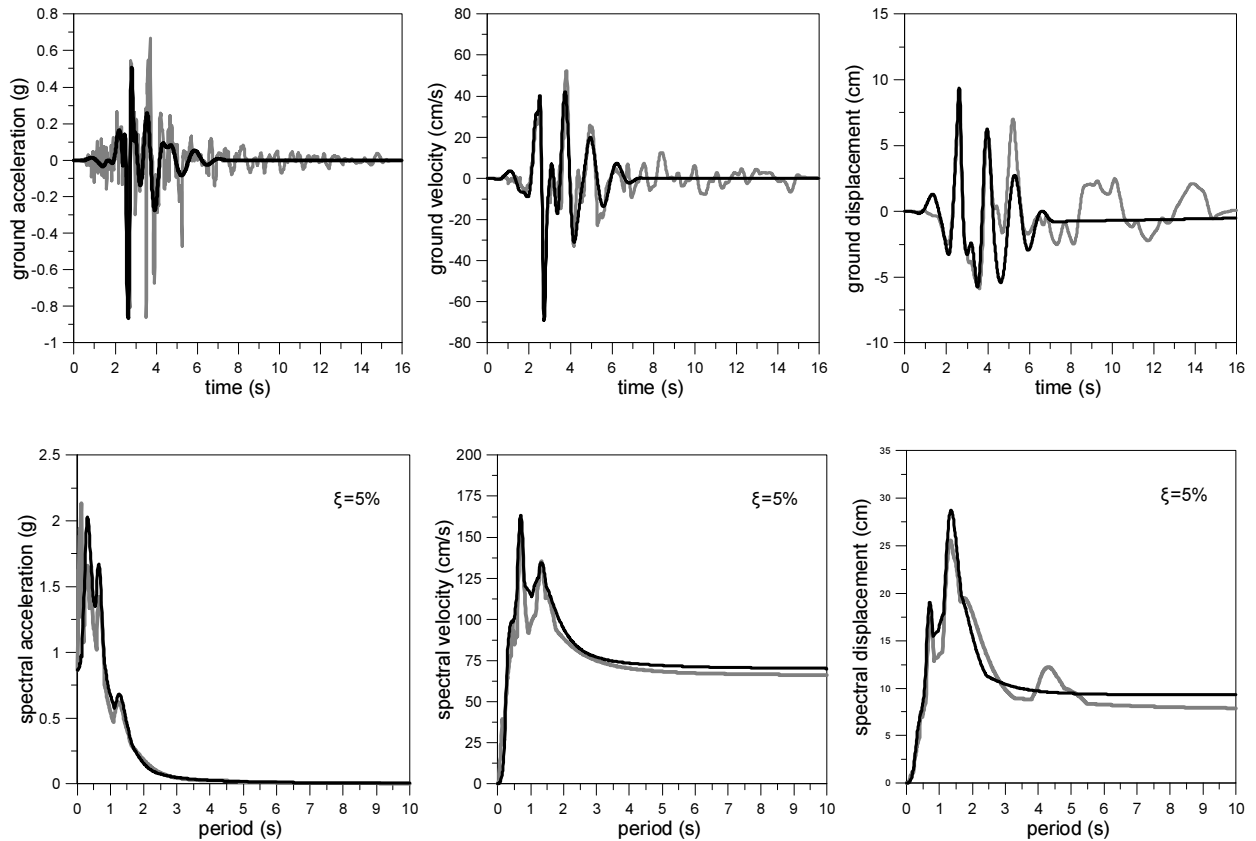
Imperial Valley-06, El Centro Array #10, NGA 173



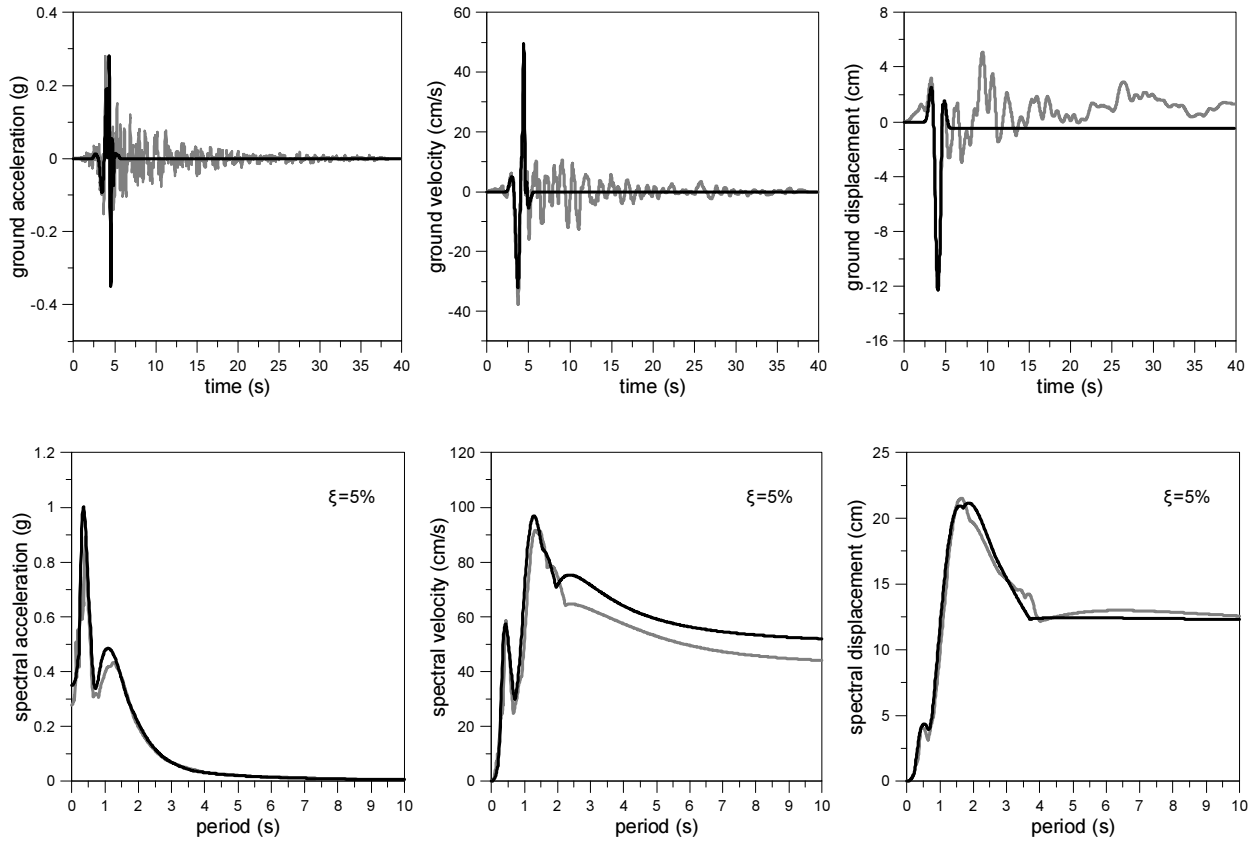
Taiwan SMART1(40), SMART1 I07, NGA 506



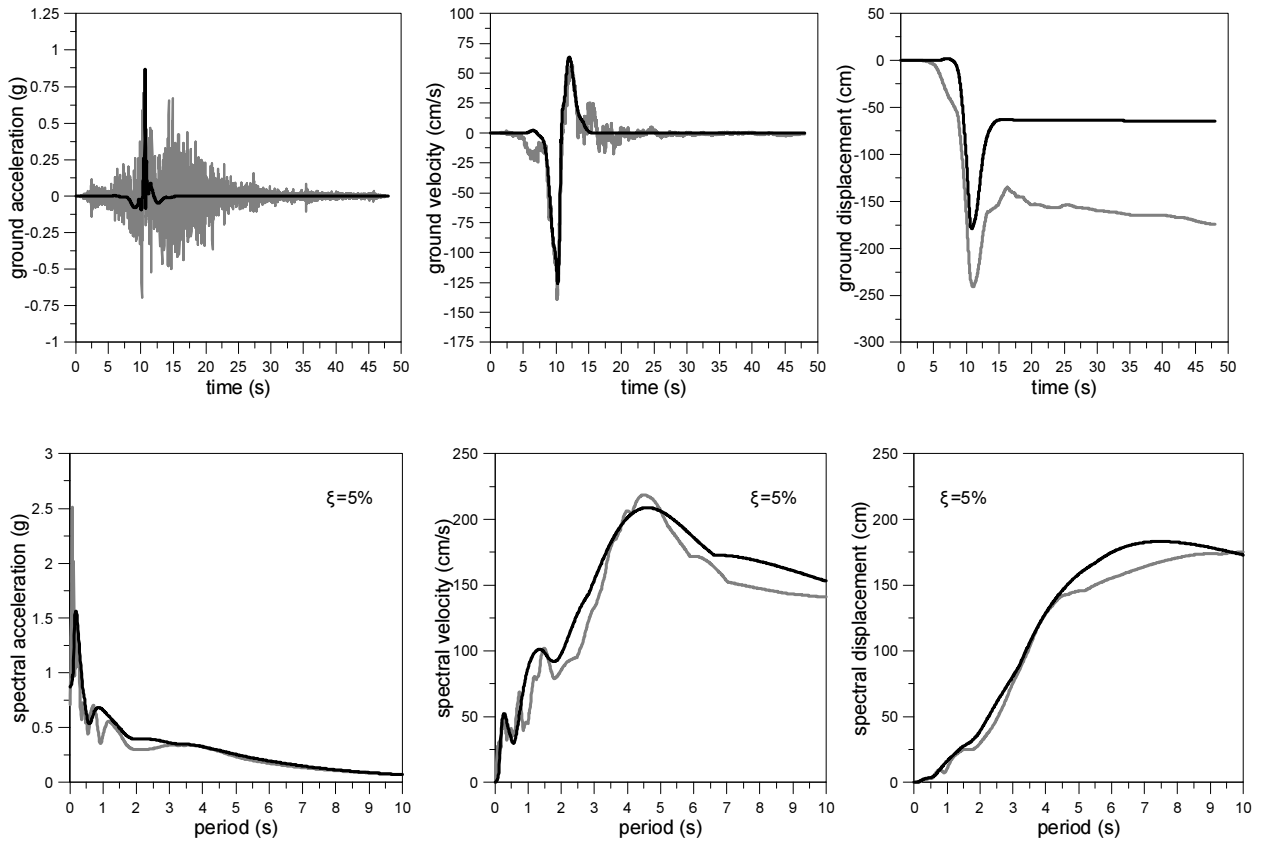
Baja California, Cerro Prieto, NGA 585



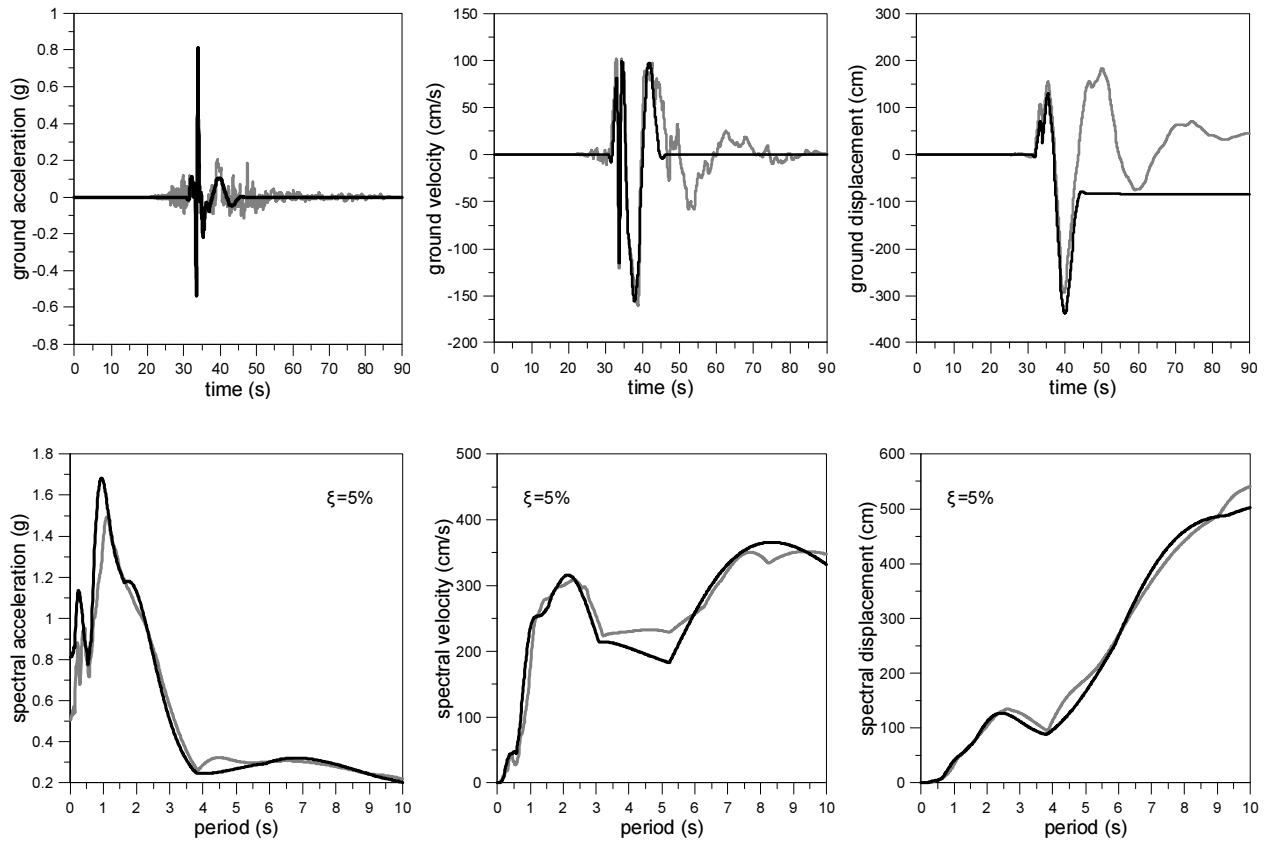
Loma Prieta, Gilroy - Historic Bldg., NGA 764



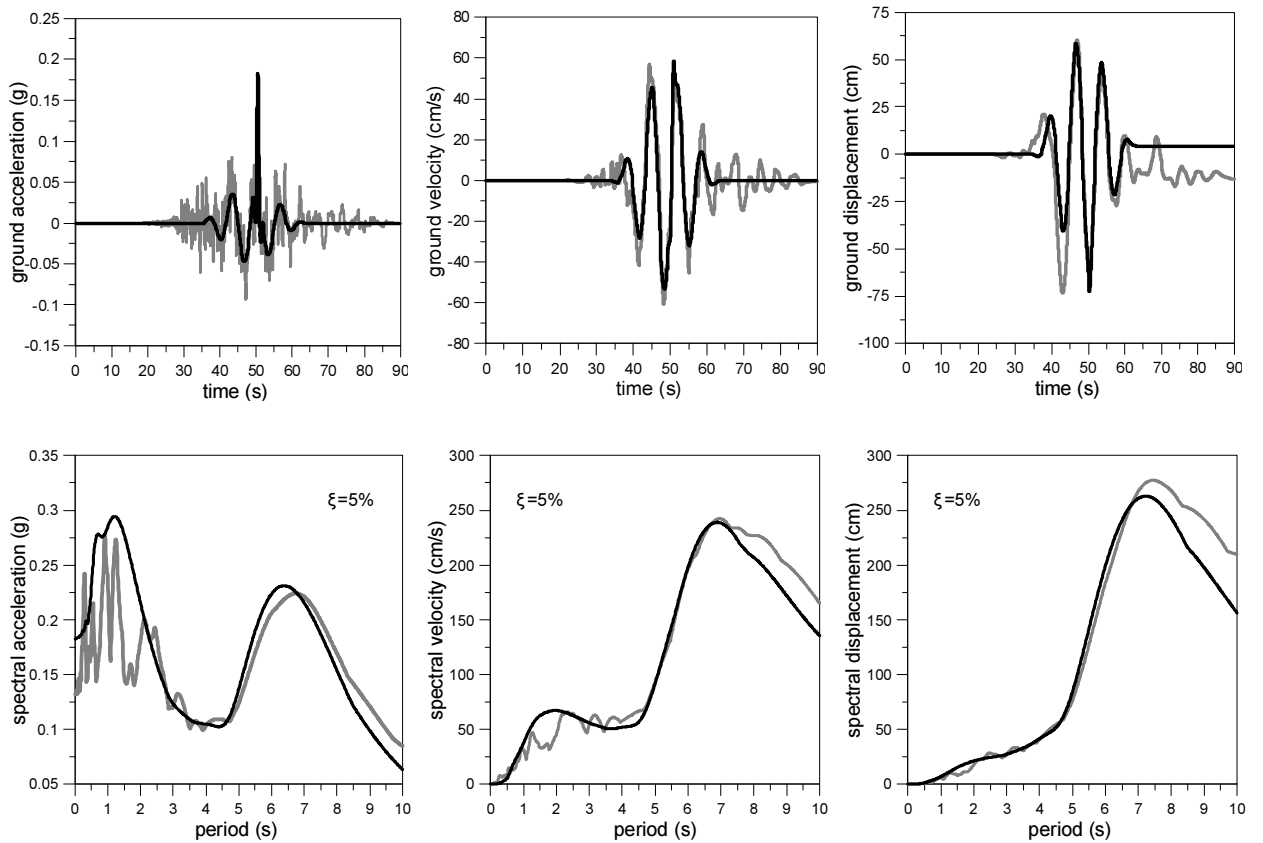
Landers, Lucerne, NGA 879



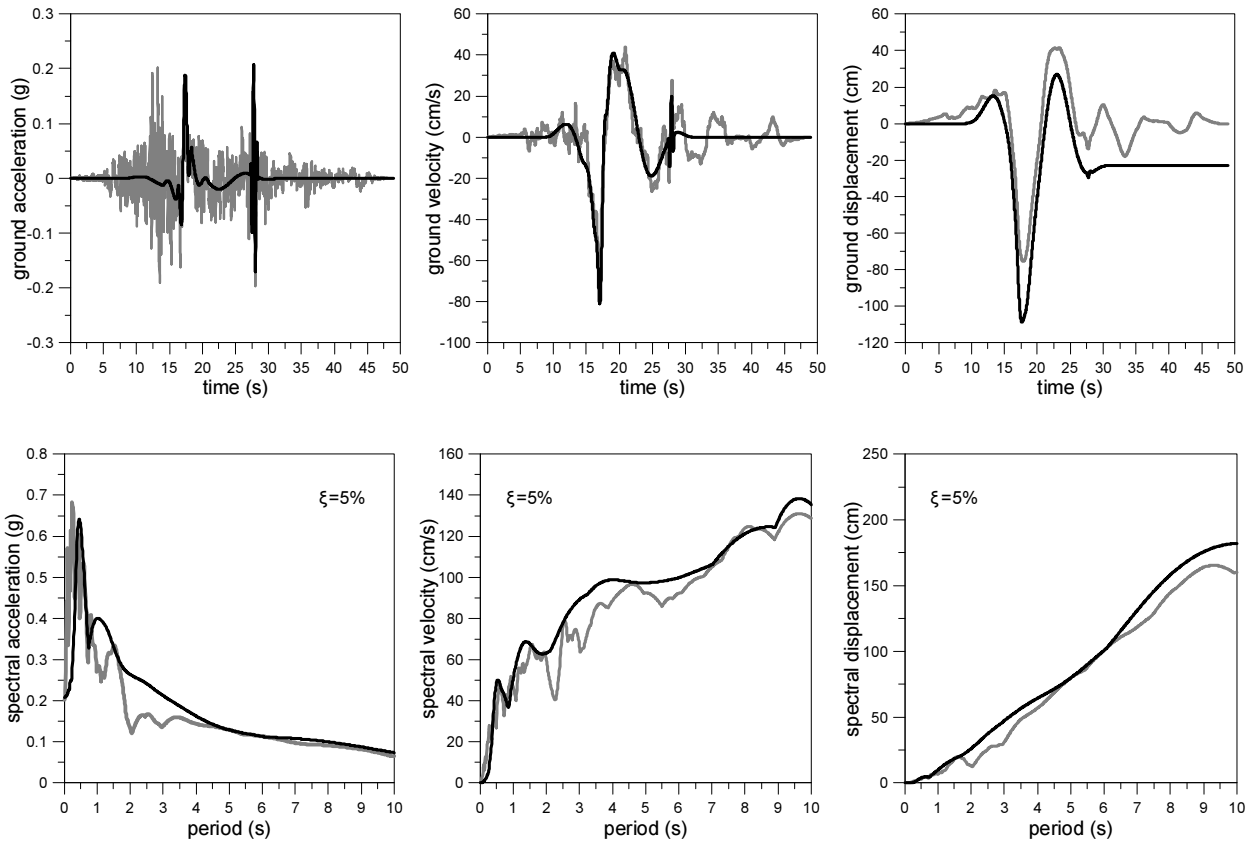
Chi-Chi, Taiwan, TCU052, NGA 1492



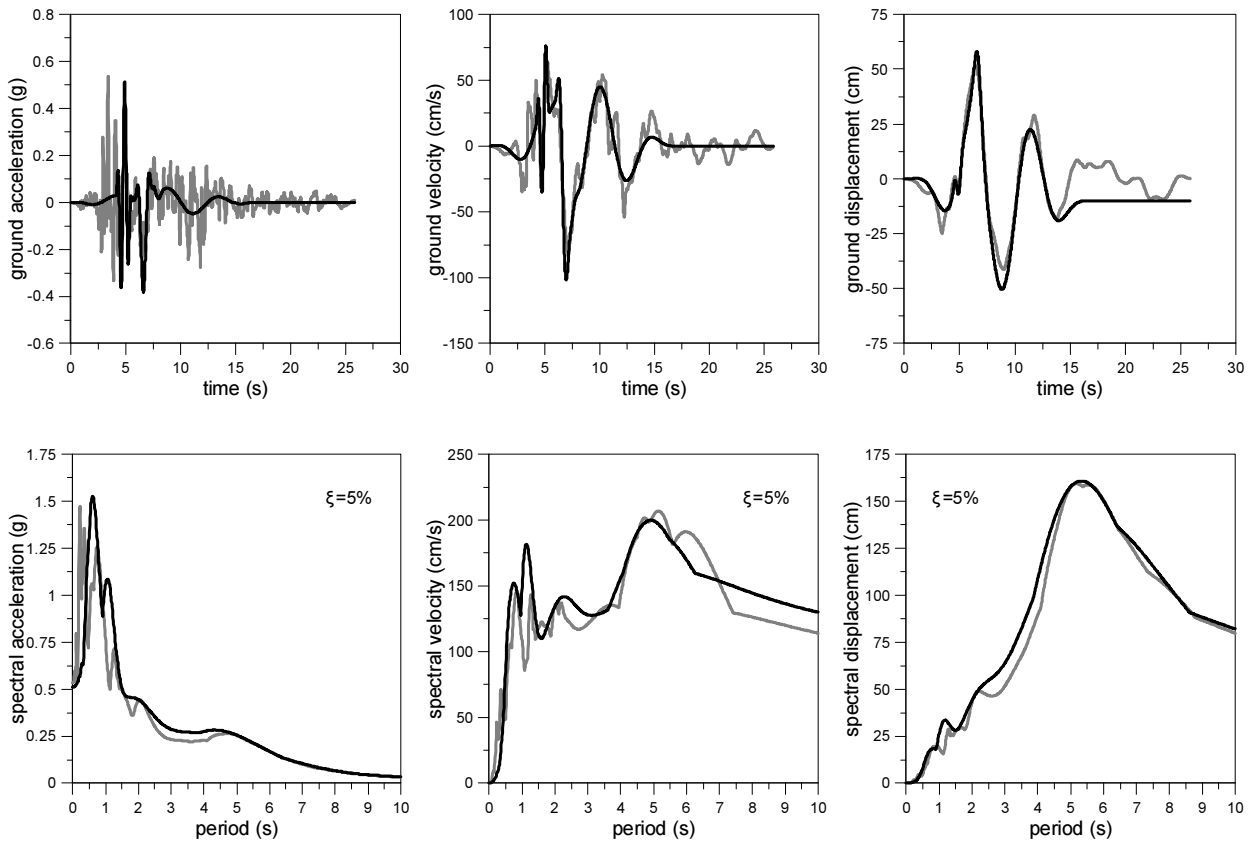
Chi-Chi, Taiwan, TCU064, NGA 1502



Chi-Chi, Taiwan, TCUI01, NGA 1528



Duzce, Turkey, Duzce, NGA 1605



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

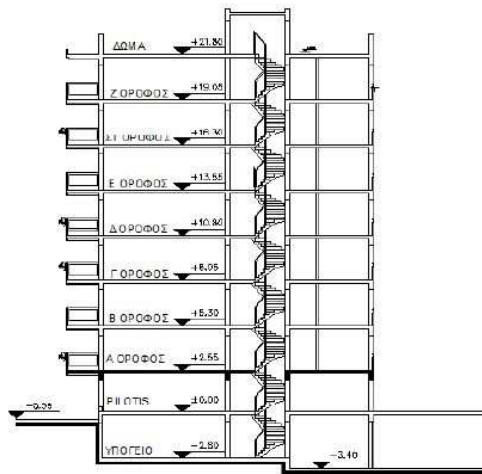
ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΚΤΑΩΡΟΦΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΤΟΥ ΦΟΡΕΑ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΜΕ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ NGA ΚΑΙ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΠΑΛΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ.

Προκειμένου να εξετασθεί η εγκυρότητα της μεθοδολογίας που προτάθηκε για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου με παλμούς, μελετήθηκαν συγκριτικά, τα αποτελέσματα της ανελαστικής απόκρισης οκταώροφου πλαισιωτού φορέα, για διέγερσή του από δέκα από τις εκατό NGA καταγραφές που μελετήθηκαν και για καταπόνησή του από τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις.

Ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε, είναι ένα πραγματικό κτίριο που κατασκευάστηκε το 2007 στη Νέα Σμύρνη Αττικής και αποτέλεσε το αντικείμενο μελέτης της μεταπτυχιακής εργασίας 'Διερεύνηση της ανελαστικής συμπεριφοράς οκταώροφου κτιρίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα με τη μέθοδο της προσαυξητικής δυναμικής ανάλυσης σε σεισμούς κοντινού πεδίου', του πολιτικού μηχανικού Απόστολου Αγγελάτου. Με δεδομένα τα αποτελέσματα και την ανάλυση της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας και χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SAP2000 v14.1.0 Advanced, ο φορέας καταπονήθηκε διαδοχικά από τις δέκα NGA σεισμικές κινήσεις και τις αντίστοιχες συνθετικές τους κινήσεις. Τα αποτελέσματα αυτής της ανελαστικής ανάλυσης για τις πραγματικές καταγραφές, παρουσιάζονται συγκριτικά με τα αποτελέσματα των αντίστοιχων συνθετικών κινήσεων, ώστε να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο οι σεισμοί κοντινού πεδίου μπορούν να προσομοιασθούν με τη χρήση παλμών, με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε την παρούσα εργασία.

Το υπό εξέταση κτίριο αποτελείται από οκτώ ορόφους (οκτώ πλάκες οροφής), υπόγειο και δώμα (σχήμα 3.1). Το θεωρητικό ύψος ενός τυπικού ορόφου είναι 2.75 m, ενώ στη στάθμη της pilotis είναι 2.55 m, με ενιαίο πάχος πλάκας για όλους τους ορόφους ίσο με 20cm. Η κάτοψη του κτηρίου έχει ορθογωνικό σχήμα διαστάσεων

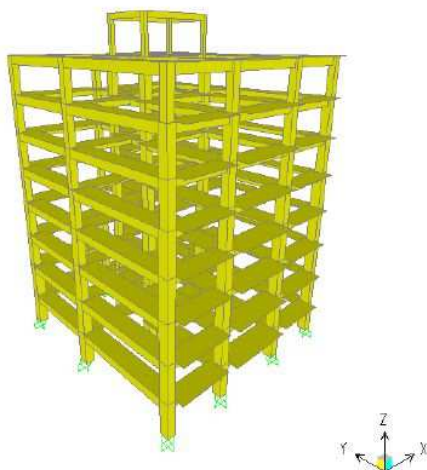
16.02x16.70m, ενώ του δώματος είναι 3.90x5.80m. Επίσης, υπάρχουν στην μπροστινή και πίσω όψη συνολικά 5 εξώστες ανά όροφο μήκους 1.40-2.30m.



Σχήμα 3.1. Σχηματική τομή του εξεταζομένου κτιρίου.

Ο φέρων οργανισμός κατασκευάστηκε από ωπλισμένο σκυρόδεμα και ο οργανισμός πλήρωσης από οπτοπλινθοδομές. Ο φορέας συμπεριφέρεται στατικά ως πλαισιωτός (διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά πολλών ανοιγμάτων, αποτελείται από οριζόντιες πλάκες μονολιθικώς συνδεδεμένες με τις δοκούς (πλακοδοκοί) και υποστυλώματα (δεν υπάρχουν τοιχώματα). Η θεμελίωση του κτηρίου έγινε με το σύστημα των πεδιλοδοκών μορφής ανεστραμμένου «ταυ».

Για την ανελαστική ανάλυση, με δεδομένα τα αποτελέσματα της σχετικής μεταπτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ο πλαισιωτός φορέας (frame building) του σχήματος 3.2 (αποτελούμενος από πλαίσια μόνο και στις δύο διευθύνσεις), η συμπεριφορά του οποίου εξετάστηκε μόνο κατά τη διεύθυνση y, που είναι και η διεύθυνση συμμετρίας του (σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2. Τρισδιάστατο προσομοίωμα για τον πλαισιωτό φορέα.

Ο φορέας φορτίστηκε με το συνδυασμό των μονίμων και κινητών $G+0.3Q$, στο αποτέλεσμα του οποίου προστέθηκε η φόρτιση της χρονοϊστορίας της εκάστοτε σεισμικής NGA καταγραφής ή της αντίστοιχης συνθετικής της κίνησης (σε δεύτερη φάση για συγκριτικούς λόγους). Μία διαδικασία που επαναλήφθηκε και τις δέκα NGA καταγραφές μελετήθηκαν σε αυτό το στάδιο (πίνακας 3.1).

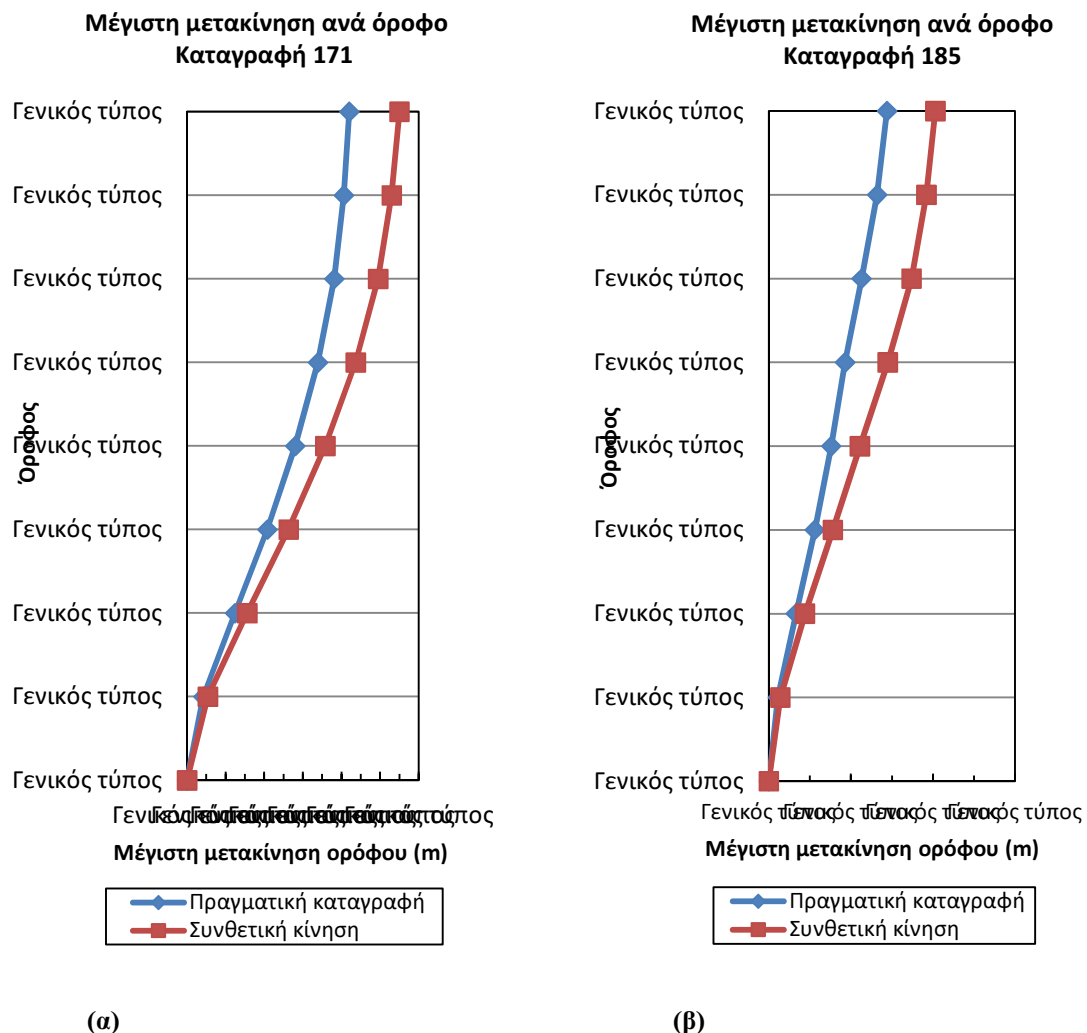
Πίνακας 3.1.

Σεισμός	Νο στη NGA	Δεσπόζουσα περίοδος T_p (s)
1	171	2.67
2	185	4.24
3	529	1.13
4	569	0.69
5	585	1.23
6	778	2.56
7	1013	2.54
8	1086	2.4
9	1471	7.36
10	1502	7.16

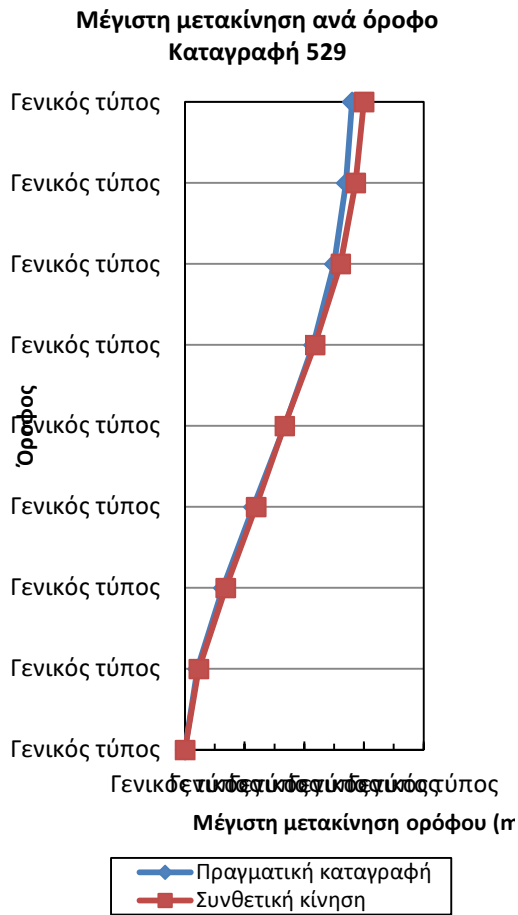
Για κάθε περίπτωση φόρτισης (φόρτιση μονίμων και κινητών $G+0.3Q$ στο αποτέλεσμα της οποίας προστίθεται η φόρτιση της χρονοϊστορίας της NGA

καταγραφής του πίνακα 3.1, ή φόρτιση μονίμων και κινητών $G+0.3Q$ στο αποτέλεσμα της οποίας προστίθεται η φόρτιση της χρονοϊστορίας της αντίστοιχης συνθετικής εδαφικής κίνησης), σημειώθηκε η μέγιστη μετακίνηση της κορυφής του φορέα $\Delta_{top,max}$ και οι μέγιστες μετακινήσεις ανά όροφο του κτηρίου, Δ_{max} , για όλη τη διάρκεια της σεισμικής κίνησης.

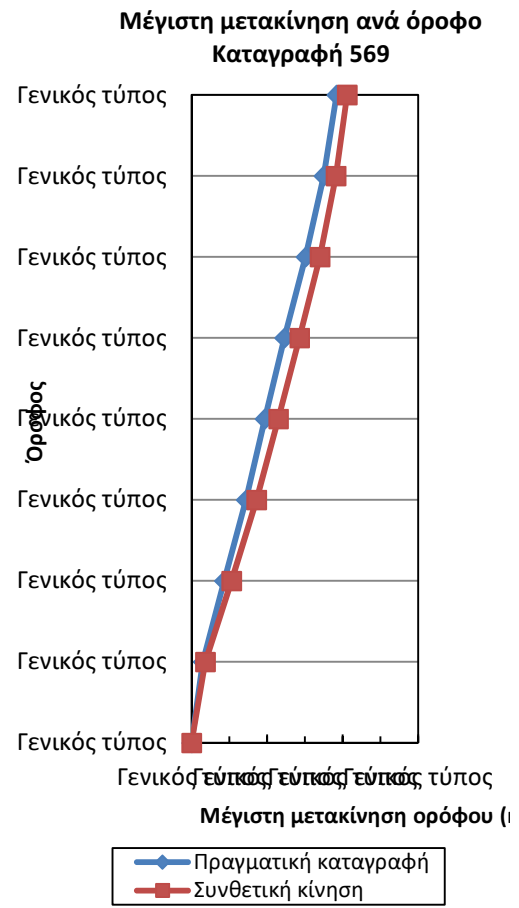
Τα συγκριτικά αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων Δ_{max} ανά όροφο του φορέα, για τις πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις, παρουσιάζονται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3 Τα συγκριτικά αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων Δ_{max} ανά όροφο του φορέα, για τις πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις.

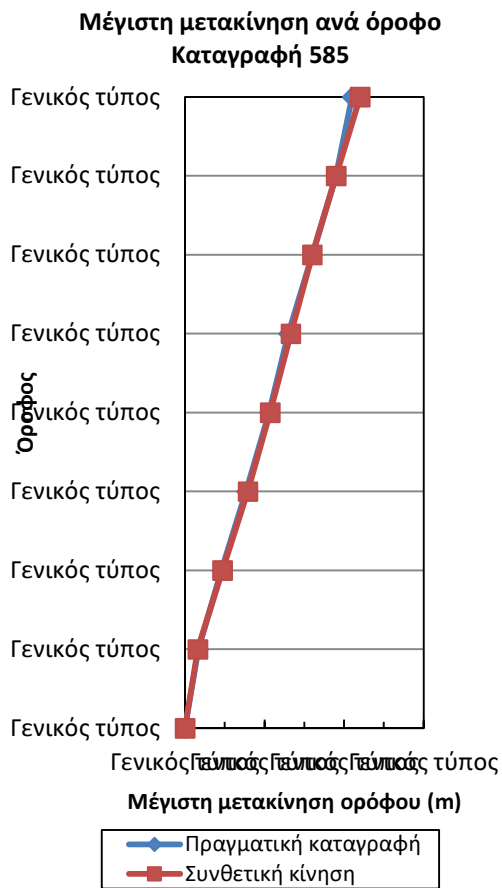


(γ)

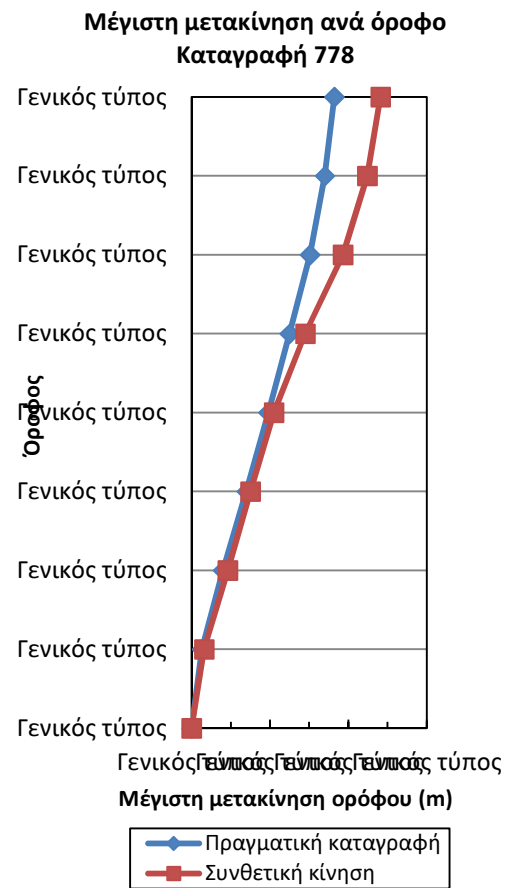


(δ)

Σχήμα 3.3 Τα συγκριτικά αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων Δ_{max} ανά όροφο του φορέα, για τις πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις.

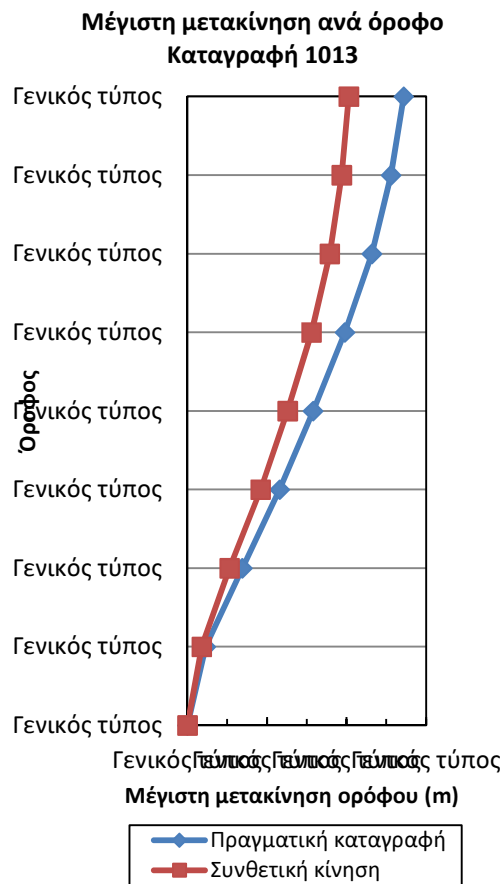


(ε)

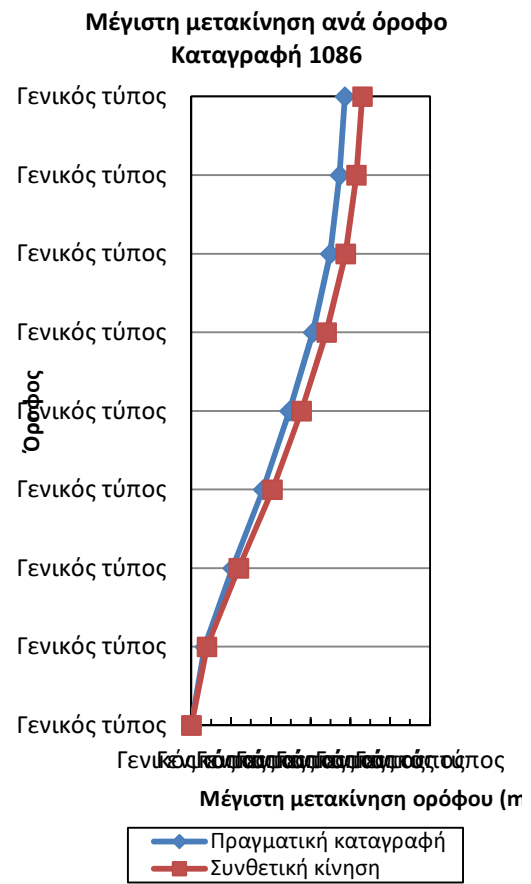


(ς)

Σχήμα 3.3 Τα συγκριτικά αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων Δ_{max} ανά όροφο του φορέα, για τις πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις.

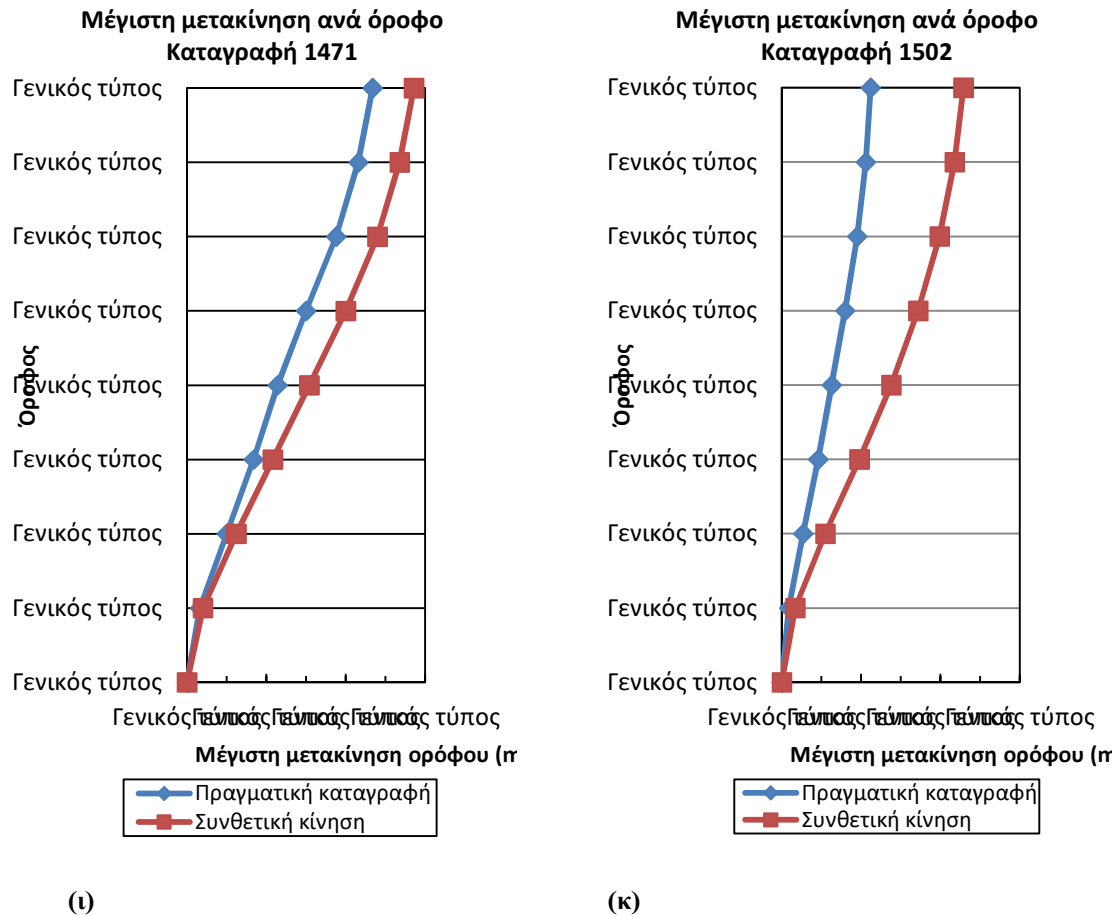


(η)



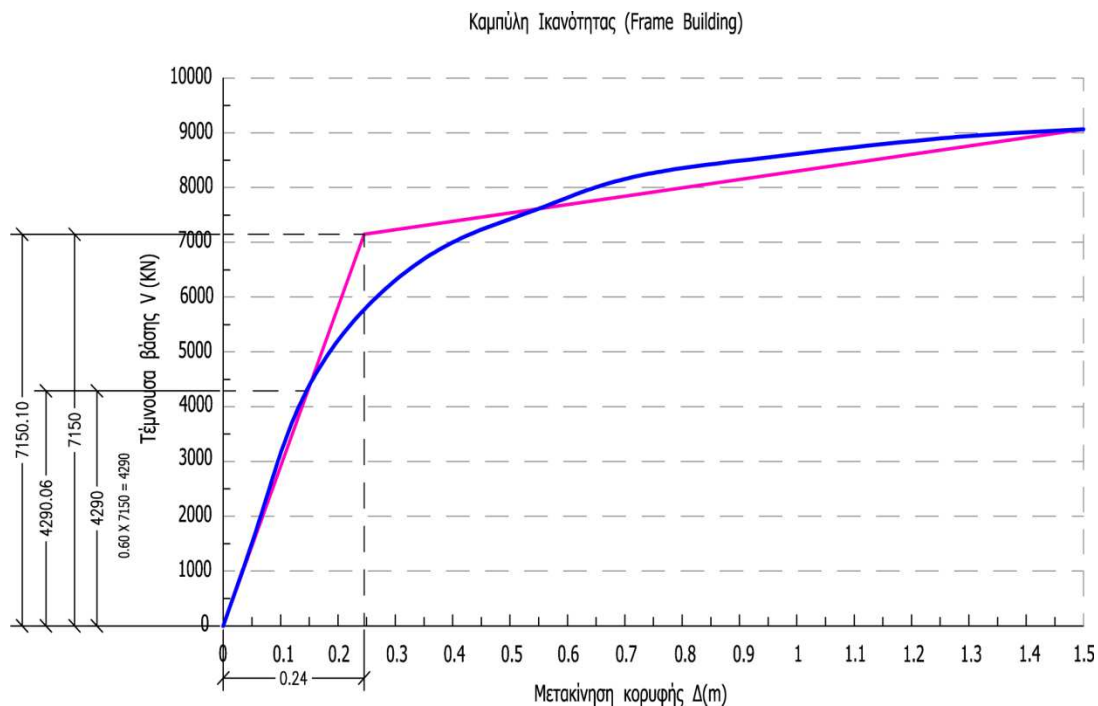
(θ)

Σχήμα 3.3 Τα συγκριτικά αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων Δ_{max} ανά όροφο του φορέα, για τις πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις.



Σχήμα 3.3. Τα συγκριτικά αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων Δ_{\max} ανά όροφο του φορέα, για τις πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις: (α) 171 (β) 185, (γ) 529, (δ) 569, (ε) 585, (ζ) 778, (η) 1013, (θ) 1086, (ι) 1471, (κ) 1502.

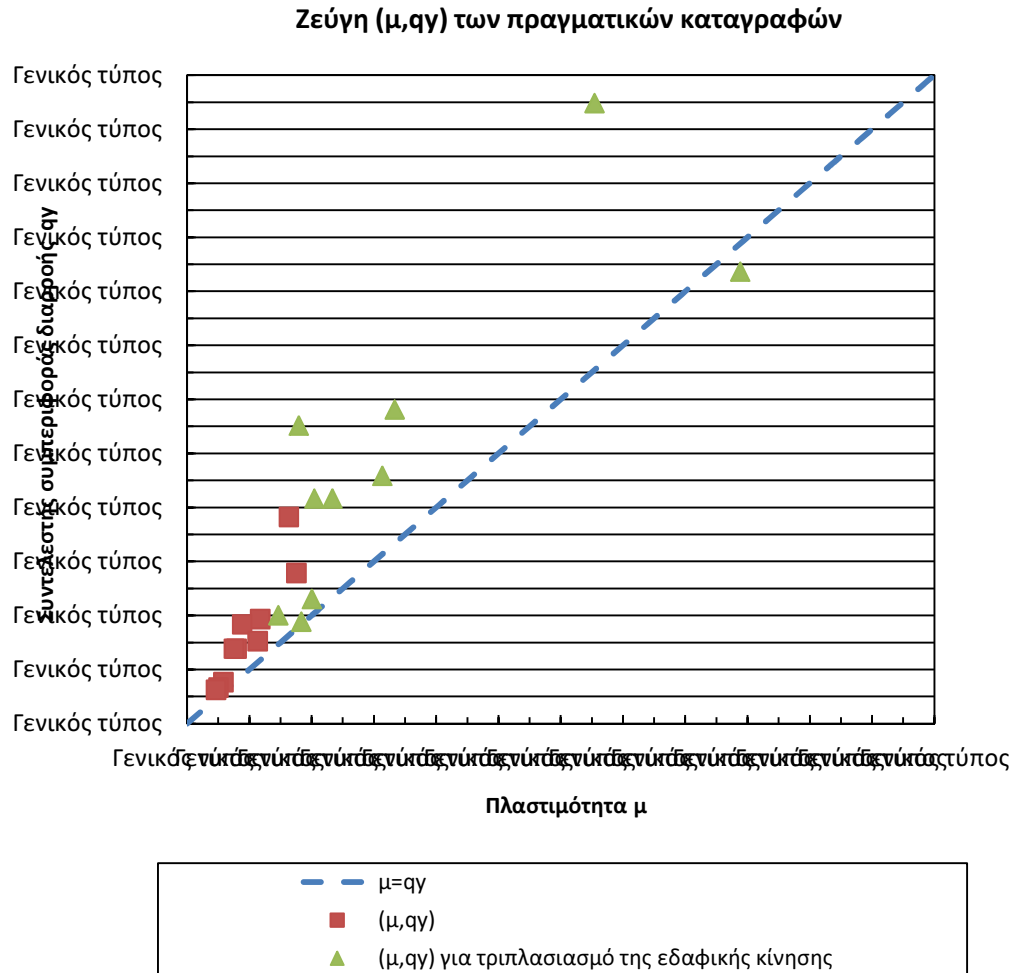
Στη συνέχεια, με δεδομένη την καμπύλη ικανότητας του πλαισιωτού φορέα του σχήματος 3.4, η οποία προέκυψε με υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης της κορυφής του φορέα, για διάφορες τιμές του οριζοντίου φορτίου, με δεδομένη κατανομή φορτίων στους ορόφους, προσδιορίστηκε η τιμή της δύναμης και η μετακίνηση διαρροής, $V_y = 7150.1\text{KN}$ και $\Delta_y = 0.24\text{m}$ αντίστοιχα, μετά τη διγραμμικοποίηση της καμπύλης ικανότητας. (Το ζεύγος ($\Delta_y = 0.24\text{m}$, $V_y = 7150.1\text{KN}$) αντιπροσωπεύει το σημείο αλλαγής της κλίσης στο διγραμμικό διάγραμμα (σχήμα 3.4).)



Σχήμα 3.4. Καμπύλη ικανότητας πλαισιωτού φορέα (frame building)

Με βάση τις τιμές $V_y = 7150.1\text{KN}$ και $\Delta_y = 0.24\text{m}$, υπολογίσθηκαν σε κάθε περίπτωση για τις πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις, οι τιμές της πλαστιμότητας $\mu = \frac{\Delta_{top,max}}{\Delta_y}$, όπου $\Delta_{top,max}$, η μέγιστη μετακίνηση της κορυφής του φορέα, για όλη τη διάρκεια της ελαστικής ή πλαστικής ή συνθετικής κίνησης, καθώς επίσης και η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς διαρροής $q_y = \frac{SA_{el}}{SA_y}$, όπου SA_{el} η τιμή του φάσματος επιταχύνσεων για κάθε καταγραφή (πραγματική ή συνθετική) για 5% απόσβεση, για τη δεδομένη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο του πολυβαθμίου συστήματος $T_{1,πολ} = 1.514\text{ sec}$ και SA_y η επιτάχυνση διαρροής με $SA_y = \frac{V_y}{m_{ολ}}$, όπου η δύναμη διαρροής έχει προσδιοριστεί ίση με 7150.1KN και $m_{ολ}$ η δεδομένη μάζα του φορέα με $m_{ολ} = 3275.21\text{ tons}$. Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών των δέκα πραγματικών καταγραφών που μελετήθηκαν, συγκριτικά με τα αποτελέσματα των αντίστοιχων συνθετικών εδαφικών κινήσεων, παρουσιάζονται στα σχήματα 3.5, 3.6, 3.7, 3.8. Στα σχήματα αυτά, παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τριπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων που διεγείρουν το φορέα, προκειμένου να μελετηθεί καλύτερα η ανελαστική συμπεριφορά του, δεδομένου ότι

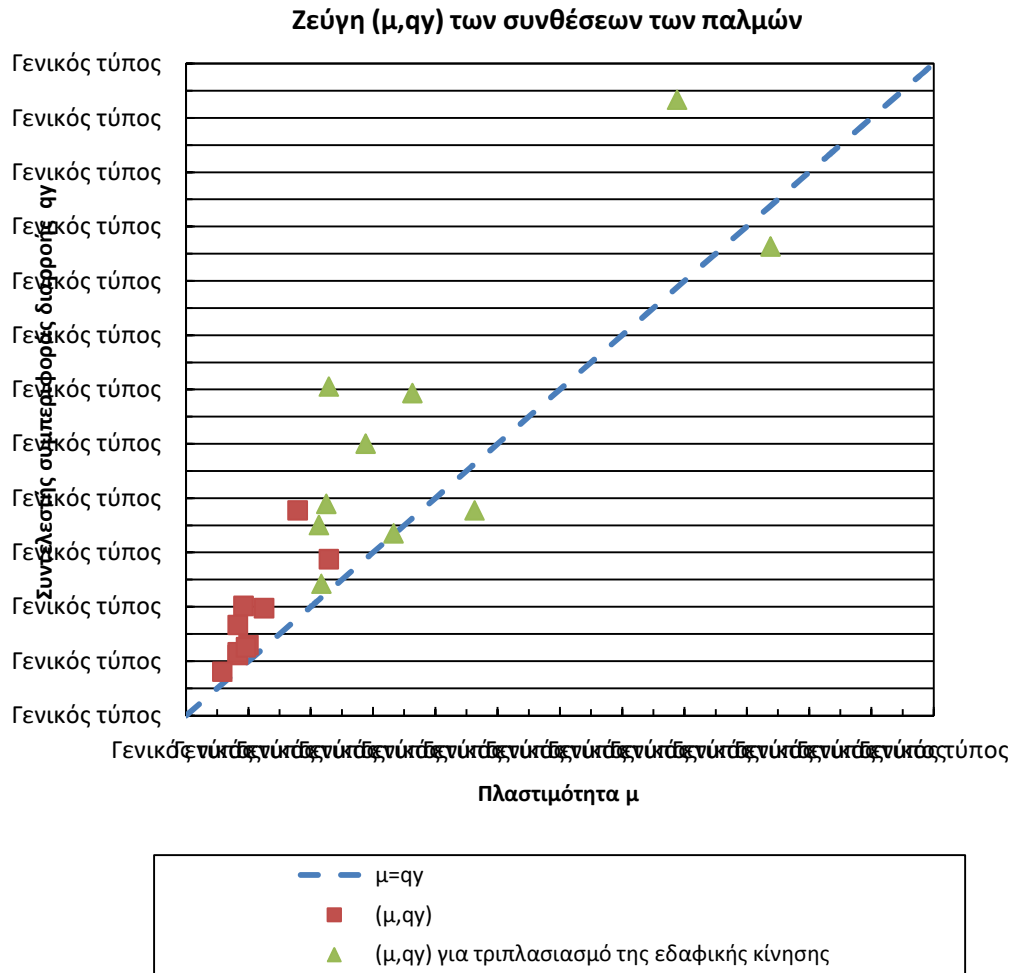
πριν τον τριπλασιασμό των σεισμικών διεγέρσεων, σε αρκετές περιπτώσεις, παρατηρήθηκε κυρίως ελαστική απόκριση του κτιρίου, με πλαστιμότητες μ' για τους περισσότερους σεισμούς που ήταν μικρότερες της μονάδας.



(α)

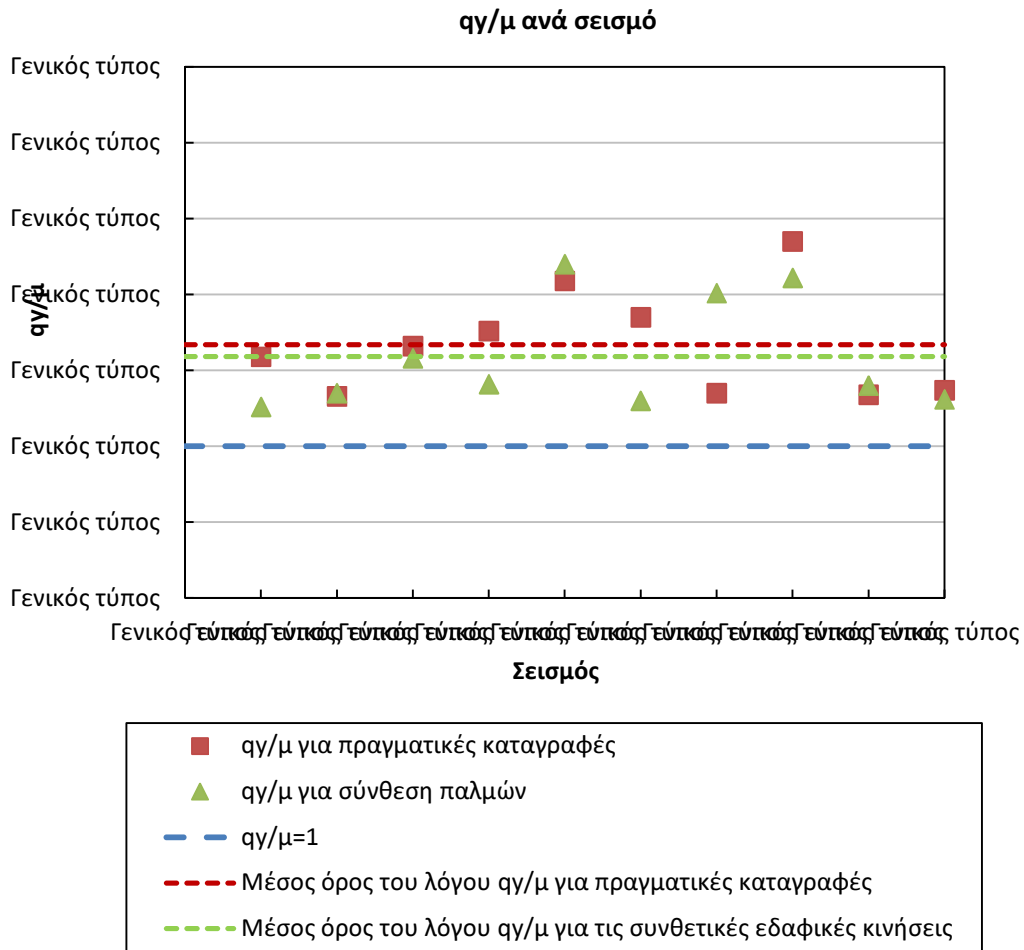
Σχήμα 3.5. Σχέση πλαστιμότητας μ και συντελεστή συμπεριφοράς διαρροής q_y , (α) για τις δέκα πραγματικές καταγραφές του πίνακα 3.1 και (β) για τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις, που προέκυψαν με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας – προσομοίωσης των σεισμικών κινήσεων κοντινού πεδίου με παλμούς.

Στο σχήμα 3.5α, παρουσιάζεται η σχέση της πλαστιμότητας μ' και του συντελεστή διαρροής q_y , για τους πραγματικούς σεισμούς. Πριν και μετά τον τριπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων, για αρκετές από τις σεισμικές καταγραφές προσεγγίζεται η ισότητα της πλαστιμότητας μ' και του συντελεστή q_y (κυρίως πριν τον τριπλασιασμό). Ανάλογη είναι η εικόνα για τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις του σχήματος 3.5β.



(β)

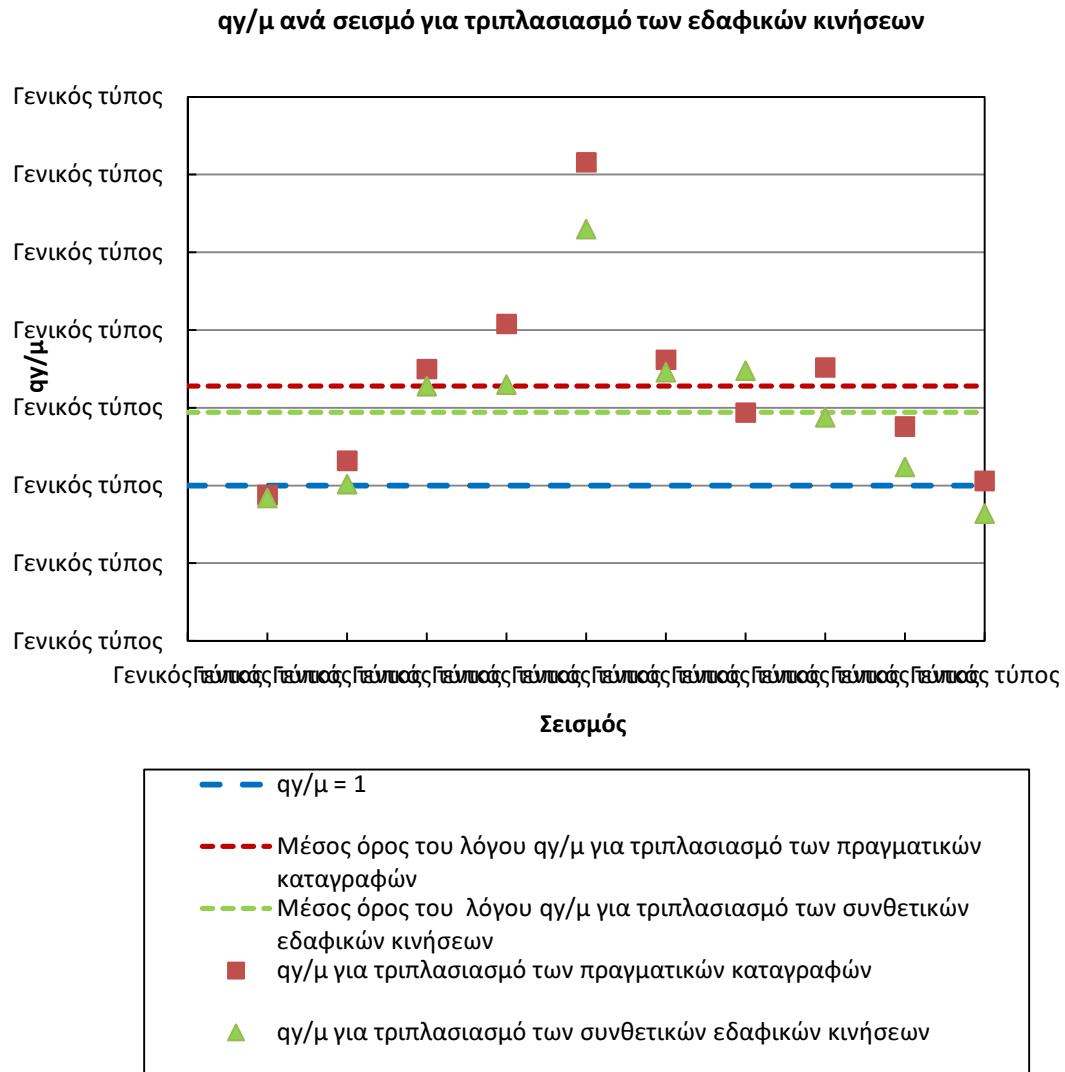
Σχήμα 3.5. Σχέση πλαστιμότητας μ και συντελεστή συμπεριφοράς διαρροής $q\gamma$, (α) για τις δέκα πραγματικές καταγραφές του πίνακα 3.1 και (β) για τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις, που προέκυψαν με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας – προσομοίωσης των σεισμικών κινήσεων κοντινού πεδίου με παλμούς.



(α)

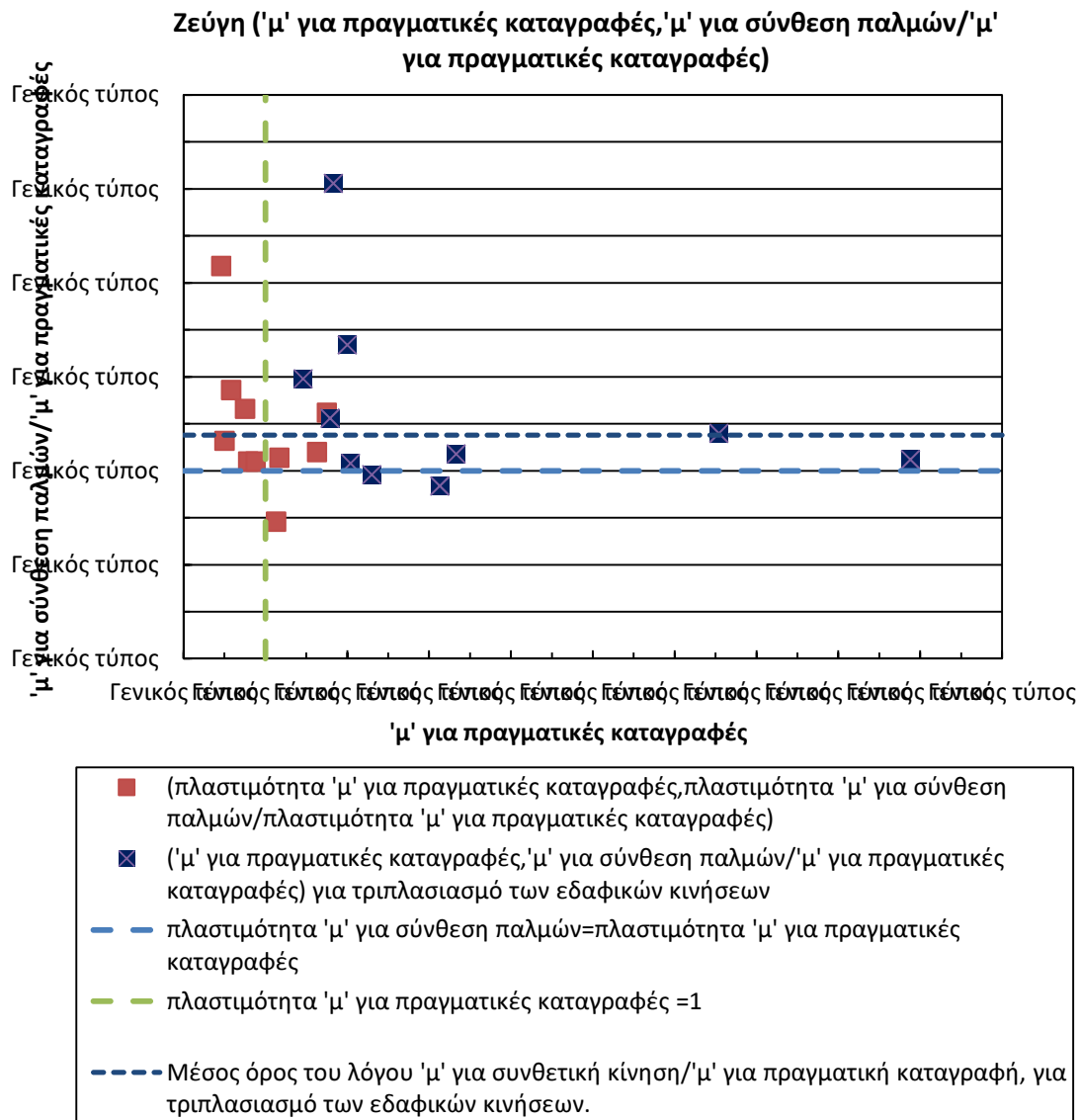
Σχήμα 3.6. (α) Σχέση πλαστιμότητας μ και συντελεστή συμπεριφοράς διαρροής q_y για τις δέκα πραγματικές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις.

Στο σχήμα 3.6α, παρουσιάζεται η σχέση πλαστιμότητας μ και συντελεστή συμπεριφοράς διαρροής q_y , για τις δέκα πραγματικές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις. Παρατηρείται ότι για κάθε σεισμό, η πλαστιμότητα, ο συντελεστής συμπεριφοράς διαρροής q_y και η μεταξύ τους σχέση που προσδιορίζεται από το λόγο q_y/μ , έχουν τιμές παραπλήσιες με τις αντίστοιχες τιμές για τις συνθετικές τους κινήσεις. Ο μέσος όρος του λόγου q_y/μ , είναι και για τις πραγματικές και για τις αντίστοιχες συνθετικές κινήσεις, πολύ κοντά στη μονάδα. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα του σχήματος 3.6β που αφορούν τον τριπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων.



(β)

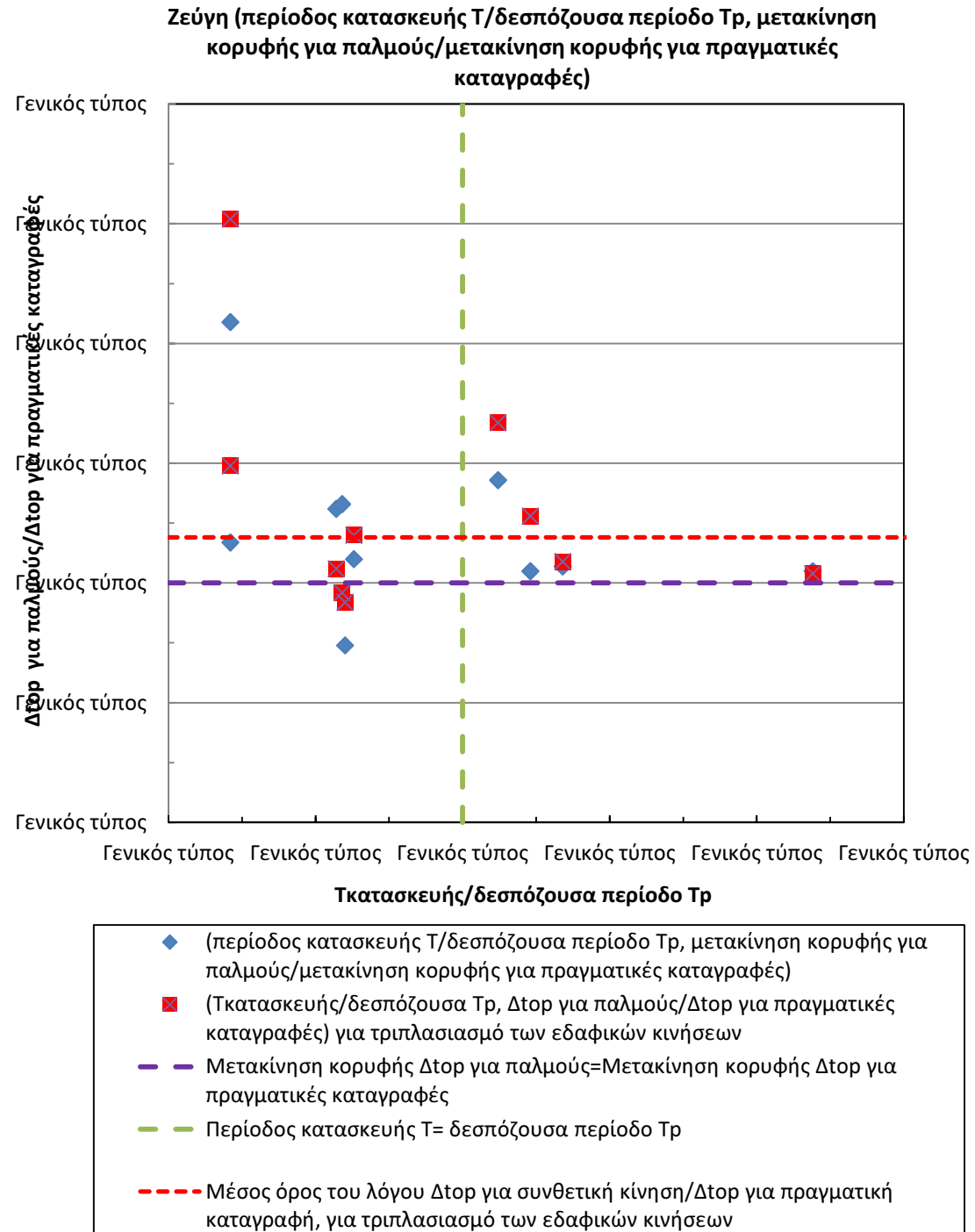
Σχήμα 3.6. (β) Σχέση πλαστιμότητας μ και συντελεστή συμπεριφοράς διαρροής q_y για τις δέκα πραγματικές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις, για τριπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων.



Σχήμα 3.7. Σχέση πλαστιμοτήτων μ για τις δέκα πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις.

Στο σχήμα 3.7, παρατηρείται ότι οι πλαστιμότητες πραγματικών και αντίστοιχων συνθετικών κινήσεων, είναι παραπλήσιες σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Τα 1-2 σημεία που εξαιρούνται, είναι εκείνα τα οποία απομακρύνονται αρκετά από την ευθεία: πλαστιμότητα 'μ' για συνθετική κίνηση = πλαστιμότητα 'μ' για πραγματική καταγραφή και ανήκουν στην περιοχή που επηρεάζεται από το υψίσυχνο περιεχόμενο της καταγραφής, το οποίο χαρακτηρίζεται από περιόδους $T \leq 0.2 T_p$, όπου T_p η δεσπόζουσα περίοδος της εδαφικής κίνησης και έτσι τα σημεία αυτά μπορούν να αγνοηθούν. Τα υπόλοιπα σημεία, χαρακτηρίζονται από ένα μέσο όρο λόγου (πλαστιμότητα 'μ' για συνθετική κίνηση / πλαστιμότητα 'μ' για πραγματική καταγραφή)=1.19, δηλαδή για αυτά οι πλαστιμότητες 'μ' για συνθετικές κινήσεις,

αποκλίνουν κατά $19\% < 50\%$, από τις πλαστιμότητες 'μ' των αντίστοιχων πραγματικών καταγραφών, μιας μικρής τάξης διαφορά που ενισχύει την εγκυρότητα και της μεθόδου προσομοίωσης των εδαφικών κινήσεων που παρουσιάστηκε και για τις ανελαστικές αναλύσεις.



Σχήμα 3.8. Σχέση του πηλίκου των μεγίστων μετακινήσεων κορυφής για συνθετικές προς τις μέγιστες μετακινήσεις κορυφής για τις αντίστοιχες πραγματικές σεισμικές καταγραφές και του πηλίκου της θεμελιώδους ιδιοπερίοδου του πολυβαθμίου φορέα προς τη δεσπόζουσα περίοδο κάθε σεισμικής καταγραφής.

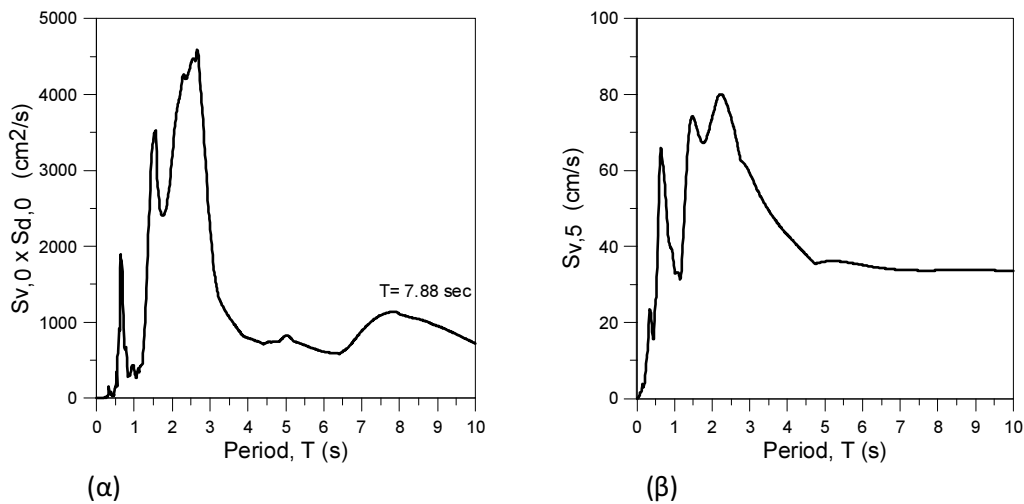
Παρατηρώντας το σχήμα 3.8, φαίνεται ότι οι συνθετικές εδαφικές κινήσεις παλμών, προκαλούν σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, ίδιες μετακινήσεις της κορυφής του φορέα, με τις μετακινήσεις για διέγερση με τις αντίστοιχες πραγματικές σεισμικές καταγραφές. Με άλλα λόγια, για τα σημεία που δεν ανήκουν στην περιοχή που επηρεάζεται από το υνίσυχο περιεχόμενο της κατασκευής (με $T \leq 0.2 T_p$, όπου T_p η δεσπόζουσα περίοδος της εδαφικής κίνησης), η μέγιστη μετακίνηση της κορυφής για τις συνθετικές κινήσεις, αποκλίνουν μόνο κατά 19% <50 %, από τη μέγιστη μετακίνηση κορυφής του φορέα για τις αντίστοιχες πραγματικές καταγραφές NGA, που εξετάστηκαν κατά τη μη γραμμική ανάλυση. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα των ανελαστικών αναλύσεων στο φορέα που εξετάστηκε, αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου προσομοίωσης των εδαφικών κινήσεων με συνθετικές κινήσεις παλμών, καθώς οι παραγόμενες εδαφικές κινήσεις φαίνεται να επηρεάζουν με παρόμοιο τρόπο τις κατασκευές, συγκριτικά με τις πραγματικές σεισμικές καταγραφές και έτσι δημιουργείται η δυνατότητα για μελλοντική χρήση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, τόσο σε γραμμικές, όσο και σε μη γραμμικές σεισμικές αναλύσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

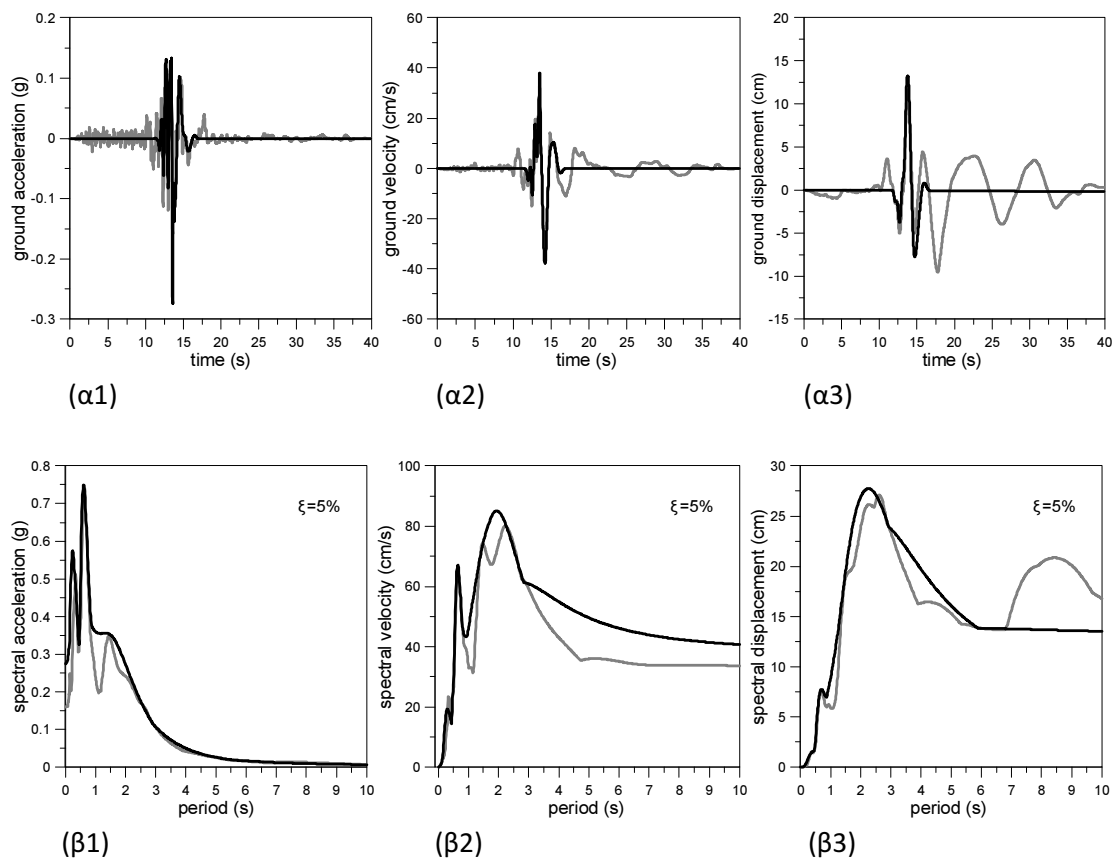
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την προτεινόμενη μέθοδο προσέγγισης των εδαφικών κινήσεων με συνθετικές κινήσεις από παλμούς, αξίζει να σημειωθεί η καθοριστική σημασία του φάσματος συνέλιξης SVxSD (του γινομένου των φασματικών τιμών των ταχυτήτων και των μετακινήσεων, για μηδενική απόσβεση), το οποίο με την ιδιότητα να αποτελεί καλή προσέγγιση της συνέλιξης των εδαφικών επιταχύνσεων και εδαφικών ταχυτήτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των σημαντικών περιόδων των σεισμικών κινήσεων (για το λόγο αυτό, για τον προσδιορισμό της δεσπόζουσας περιόδου, προτείνεται να χρησιμοποιείται το φάσμα συνέλιξης SVxSD για μηδενική απόσβεση και όχι το φάσμα των ταχυτήτων για 5% απόσβεση, το οποίο έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα). Η μεγαλύτερη αξιοπιστία του φάσματος συνέλιξης SVxSD ,σε σχέση με το φάσμα των ταχυτήτων, αναφορικά με τον καθορισμό των σημαντικών περιόδων των εδαφικών κινήσεων, ενισχύεται και από τα αμέσως επόμενα παράδειγματα.

Στην καταγραφή NGA 808 (φάσματα σχήματος 4.1), αν θεωρηθεί καθοριστικό το φάσμα ταχυτήτων (για 5% απόσβεση) για την επιλογή των σημαντικών περιόδων των παλμών, τότε ο παλμός περιόδου $T_p=7.88\text{sec}$, που αντιστοιχεί σε κορυφή του φάσματος συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$ για μηδενική απόσβεση, παραλείπεται και δε χρησιμοποιείται για την παραγωγή της αντίστοιχης συνθετικής κίνησης, με δεδομένο ότι δεν υπάρχει κορυφή κοντά στην περίοδο των 7.88 sec ,στο φάσμα ταχυτήτων για 5%. Σε αυτήν την περίπτωση, λαμβάνονται οι χρονοϊστορίες και τα φάσματα της συνθετικής εδαφικής κίνησης των παλμών, του σχήματος 4.2.



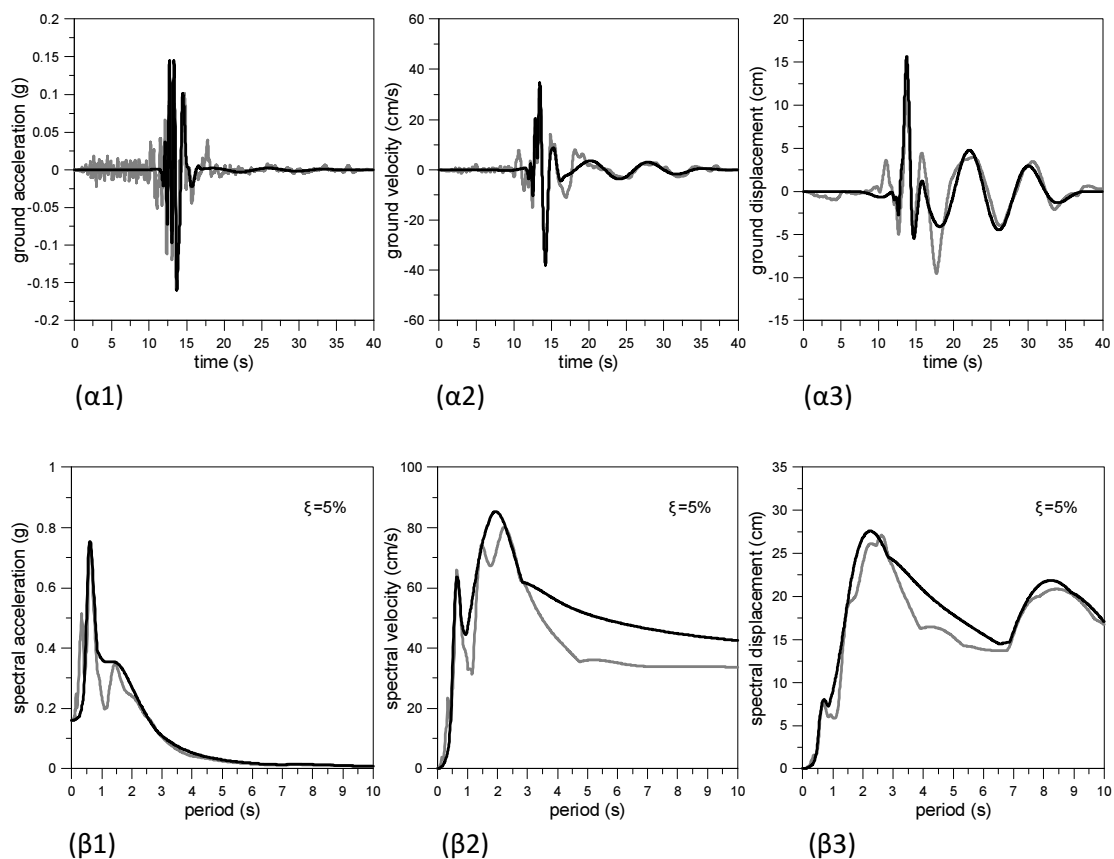
Σχήμα 4.1.(α) Φάσμα συνέλιξης (0% απόσβεση) και (β) φάσμα ταχυτήτων (5% απόσβεση) για την καταγραφή NGA 808.



Σχήμα 4.2. (α) χρονοϊστορίες: (α1) εδαφικής επιτάχυνσης (ground acceleration), (α2) εδαφικής ταχύτητας (ground velocity), (α3) εδαφικής μετακίνησης (ground displacement) και (β) φάσματα: (β1) επιταχύνσεων (spectral acceleration), (β2) ταχυτήτων (spectral velocity) και (β3) μετακινήσεων (spectral displacement), της συνθετικής εδαφικής κίνησης από παλμούς για την καταγραφή NGA 808, χωρίς τη θεώρηση της περιόδου $T_p = 7.88$ sec. (Η γκρι γραμμή αντιπροσωπεύει την πραγματική καταγραφή 808, η μαύρη αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη συνθετική κίνηση).

Από το σχήμα 4.2, παρατηρείται ότι η παραγόμενη κίνηση των παλμών προσεγγίζει γενικά πολύ καλά την πραγματική εδαφική κίνηση NGA 808. Όμως, το φάσμα μετακινήσεων της παραγόμενης εδαφικής κίνησης από παλμούς, απομακρύνεται από το φάσμα μετακινήσεων της πραγματικής καταγραφής, στην περιοχή περιόδων μεγαλύτερων από 7 sec. Ίσως λοιπόν, η περίοδος 7.88 sec, που δεν επιλέχθηκε ως σημαντική, να επηρεάζει το αποτέλεσμα και συγκεκριμένα να επηρεάζει το παραγόμενο φάσμα μετακινήσεων.

Στην περίπτωση λοιπόν, που θεωρηθεί και η περίοδος $T_p = 7.88$ sec, που προσδιορίζεται από το φάσμα συνέλιξης, η συνθετική κίνηση παλμών που παράγεται, χαρακτηρίζεται από τις χρονοϊστορίες και τα φάσματα του σχήματος 4.3.

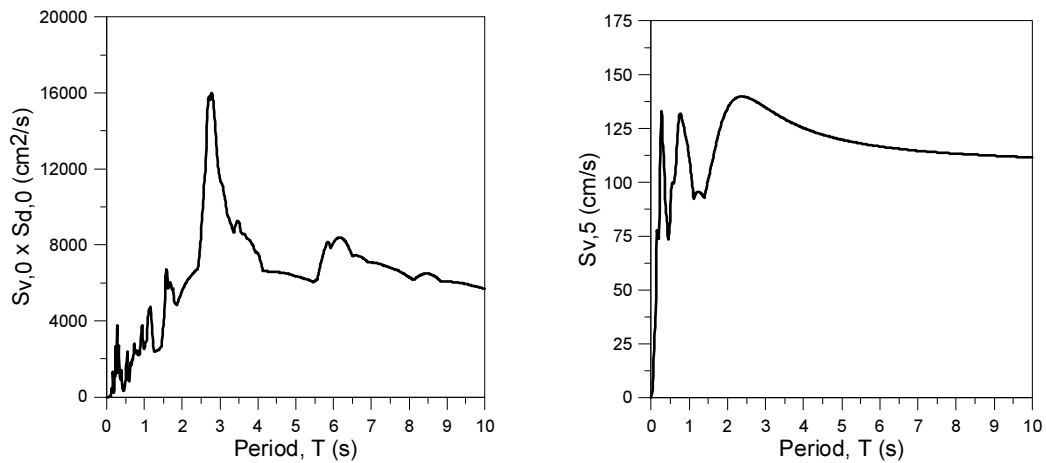


Σχήμα 4.3. (α) χρονοϊστορίες: (α1) εδαφικής επιτάχυνσης (ground acceleration), (α2) εδαφικής ταχύτητας (ground velocity), (α3) εδαφικής μετακίνησης (ground displacement) και (β) φάσματα: (β1) επιταχύνσεων (spectral acceleration), (β2) ταχυτήτων (spectral velocity) και (β3) μετακινήσεων (spectral displacement), της συνθετικής εδαφικής κίνησης από παλμούς για την καταγραφή NGA 808, με τη θεώρηση της περιόδου $T_p = 7.88$ sec. (Η γκρι γραμμή αντιπροσωπεύει την πραγματική καταγραφή 808, η μαύρη αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη συνθετική κίνηση).

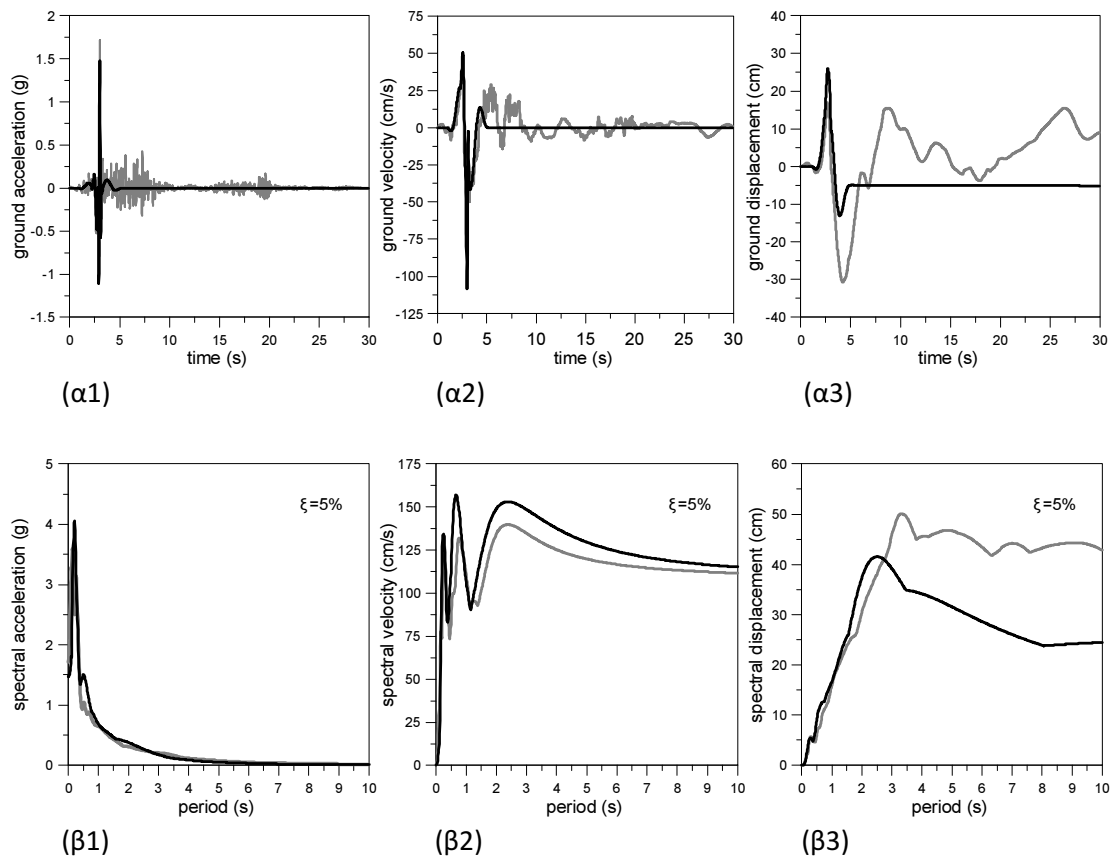
Όπως φαίνεται από το σχήμα 4.3, με τη θεώρηση της περιόδου $T_p = 7.88 \text{ sec}$, που προσδιορίζεται από το φάσμα συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$ και δεν είναι δυνατόν να εντοπιστεί από το φάσμα ταχυτήτων (σχήμα 4.1) όπου δεν υπάρχει αντίστοιχη κορυφή κοντά στα 7.88 sec , το παραγόμενο φάσμα μετακινήσεων προσεγγίζει πολύ καλύτερα τώρα, το φάσμα μετακινήσεων της πραγματικής NGA 808 καταγραφής. Είναι λοιπόν φανερό ότι, το φάσμα συνέλιξης, παρέχει μία πιο αντιπροσωπευτική εικόνα των περιόδων των παλμών που καθορίζουν την εδαφική κίνηση και για το λόγο αυτό προτείνεται και στη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία, να προτιμάται το φάσμα συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$ για μηδενική απόσβεση, σε σχέση με το φάσμα των ταχυτήτων, για μία αρχική επιλογή των βασικών περιόδων των παλμών κάθε σεισμικής καταγραφής (συμπεριλαμβανομένης και της δεσπόζουσας περιόδου). Επίσης από τα παραπάνω σχήματα, παρατηρείται ότι, η επιλογή ή όχι της περιόδου τιμής 7.88 sec , επηρέασε μόνο το φάσμα των μετακινήσεων της συνθετικής κίνησης των παλμών, ενώ τα φάσματα ταχυτήτων και επιταχύνσεων αυτής, παρέμειναν σχεδόν αμετάβλητα πριν και μετά τη θεώρηση της περιόδου των 7.88 sec . Με βάση και τις υπόλοιπες καταγραφές που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, οι μεγαλύτερες περίοδοι είναι αυτές που καθορίζουν το φάσμα των μετακινήσεων και λιγότερο το φάσμα των ταχυτήτων, ενώ οι μικρότερες περίοδοι είναι αυτές που επηρεάζουν το φάσμα των μετακινήσεων. Για το λόγο αυτό άλλωστε προτείνεται στη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε, να χρησιμοποιείται το φάσμα των επιταχύνσεων για την επιλογή των μικρών περιόδων των παλμών, καθώς στο φάσμα των επιταχύνσεων είναι εμφανείς οι κορυφές που αντιστοιχούν στις μικρές περιόδους, που καθορίζουν το υψίσυχο περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης και αντίστροφα οι μικρές περίοδοι είναι αυτές που επιδρούν στο φάσμα των επιταχύνσεων. Όμοια, οι μέτριες και μεγαλύτερες περίοδοι καθορίζονται από το φάσμα συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$, αλλά και αντίστροφα είναι αυτές που επηρεάζουν την εικόνα κυρίως των φασμάτων των μετακινήσεων (οι μεγαλύτερες περίοδοι) και των ταχυτήτων (οι μεγαλύτερες και μέτριες περίοδοι).

Ένα άλλο παρόμοιο παράδειγμα που αποδεικνύει τη σημασία του φάσματος συνέλιξης για τον αρχικό καθορισμό των σημαντικών περιόδων των παλμών, αποτελεί η καταγραφή NGA 825. Τα αντίστοιχα φάσματα συνέλιξης και φάσμα ταχυτήτων της πραγματικής καταγραφής, όπως και οι χρονοϊστορίες και τα φάσματα της αντίστοιχης συνθετικής κίνησης των παλμών, χωρίς και με τη θεώρηση της περιόδου 6.16 sec , που προσδιορίζεται από το φάσμα συνέλιξης και όχι από το φάσμα

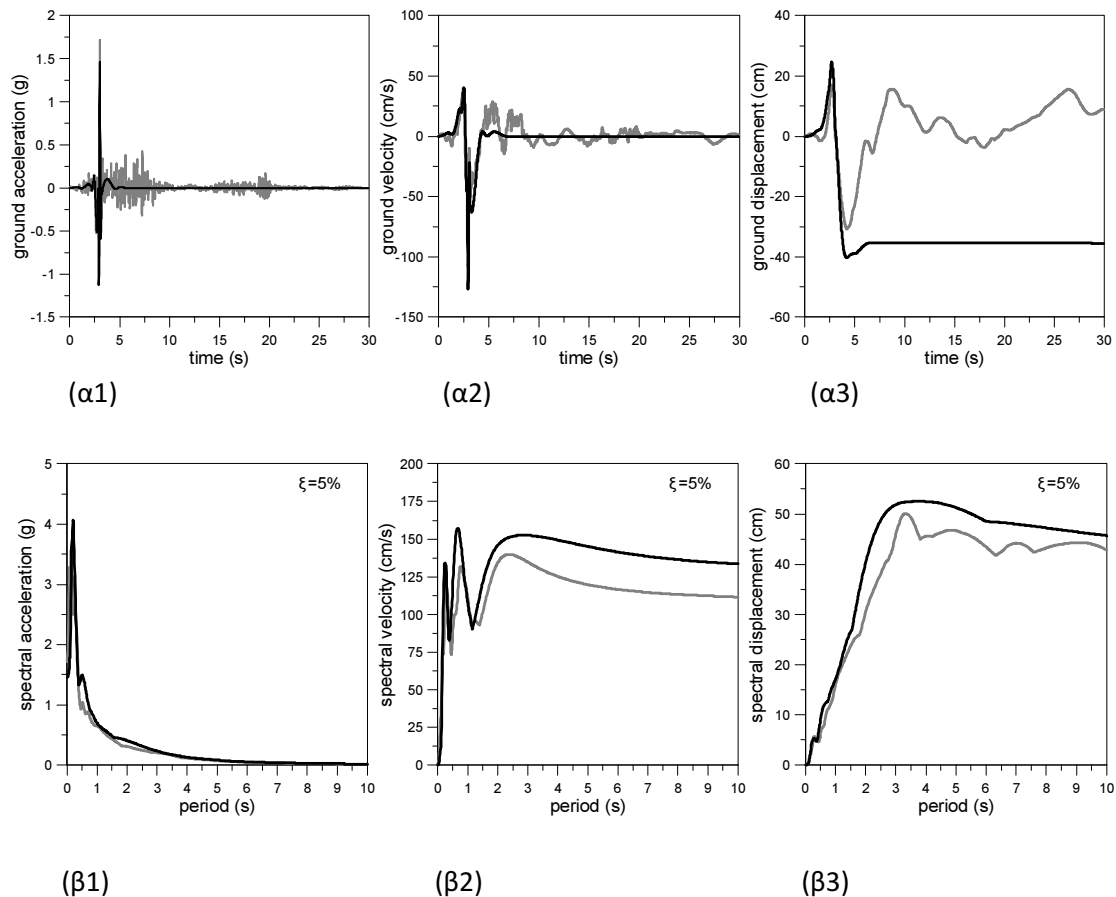
ταχυτήτων, παρουσιάζονται στα σχήματα 4.4, 4.5 και 4.6. Για την καταγραφή 825, παρατηρώντας τα αποτελέσματα, οδηγούμαστε και πάλι στα ίδια συμπεράσματα, που αναδεικνύουν τη σημασία του φάσματος συνέλιξης $S_{v,0} \times S_{d,0}$ (για μηδενική απόσβεση), για την αρχική επίλογή των σημαντικών περιόδων των παλμών που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν προκειμένου η παραγόμενη κίνηση, να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο την εκάστοτε πραγματική καταγραφή.



Σχήμα 4.4.(α) Φάσμα συνέλιξης (0% απόσβεση) και (β) φάσμα ταχυτήτων (5% απόσβεση) για την καταγραφή NGA 825.



Σχήμα 4.5. (α) χρονοϊστορίες: (α1) εδαφικής επιτάχυνσης (ground acceleration), (α2) εδαφικής ταχύτητας (ground velocity), (α3) εδαφικής μετακίνησης (ground displacement) και (β) φάσματα: (β1) επιταχύνσεων (spectral acceleration), (β2) ταχυτήτων (spectral velocity) και (β3) μετακινήσεων (spectral displacement), της συνθετικής εδαφικής κίνησης από παλμούς για την καταγραφή NGA 825, χωρίς τη θεώρηση της περιόδου $T_p = 6.16$ sec. (Η γκρι γραμμή αντιπροσωπεύει την πραγματική καταγραφή 825, η μαύρη αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη συνθετική κίνηση.)



Σχήμα 4.6. (α) χρονοϊστορίες: (α1) εδαφικής επιτάχυνσης (ground acceleration), (α2) εδαφικής ταχύτητας (ground velocity), (α3) εδαφικής μετακίνησης (ground displacement) και (β) φάσματα: (β1) επιταχύνσεων (spectral acceleration), (β2) ταχυτήτων (spectral velocity) και (β3) μετακινήσεων (spectral displacement), της συνθετικής εδαφικής κίνησης από παλμούς για την καταγραφή NGA 825, με τη θεώρηση της περιόδου $T_p = 6.16$ sec. (Η γκρι γραμμή αντιπροσωπεύει την πραγματική καταγραφή 825, η μαύρη αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη συνθετική κίνηση).

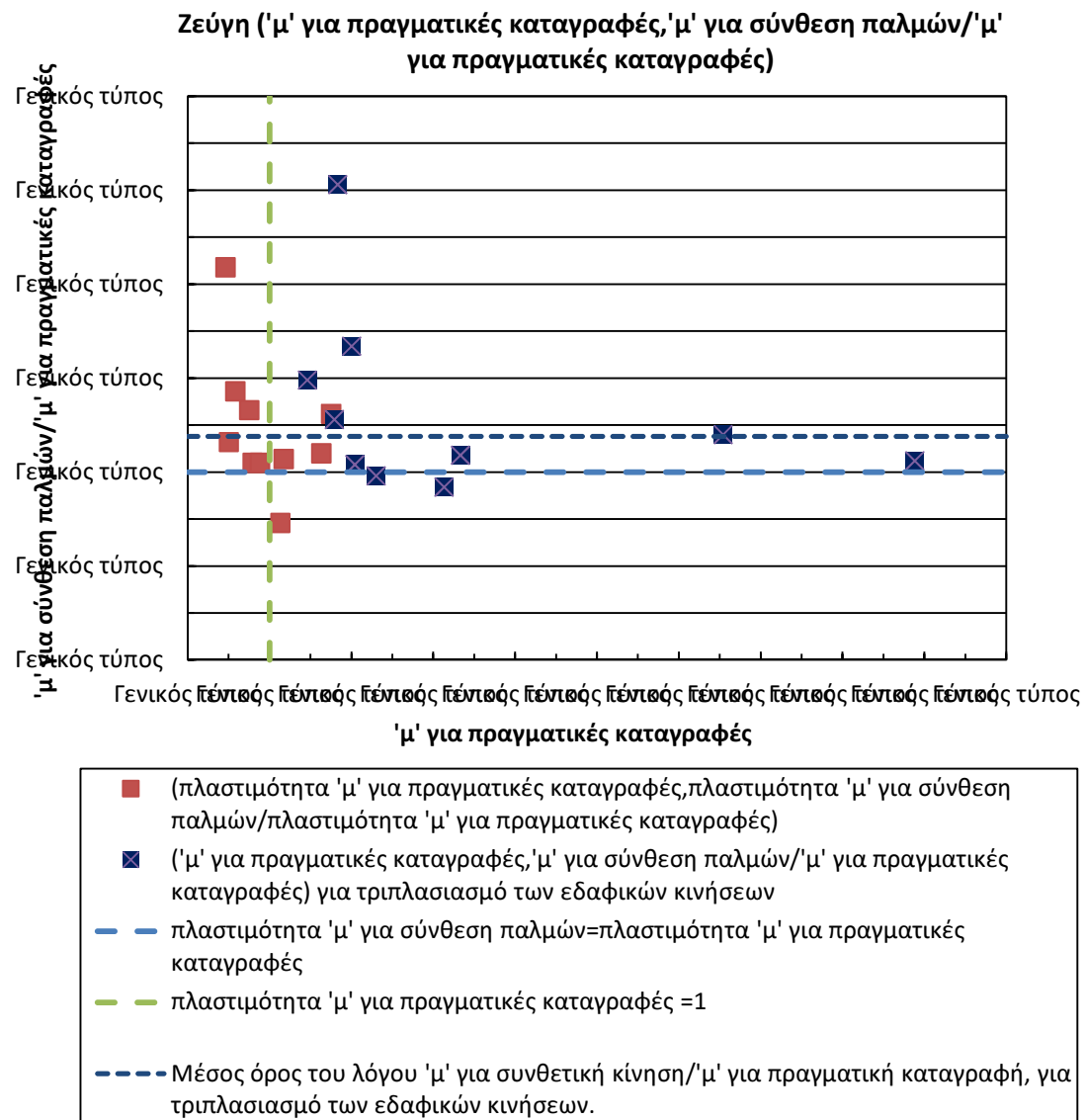
Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι, το συνθετικό φάσμα άλλων μοντέλων που χρησιμοποιούν ένα παλμό για την προσομοίωση των εδαφικών κινήσεων, όπως το μοντέλο των Μαυροειδή-Παπαγεωργίου, αναμένεται και τελικά αποδεικνύεται να συμφωνεί με το φάσμα της πραγματικής σεισμικής καταγραφής, μόνο στην περιοχή της δεσπόζουσας περιόδου του παλμού, T_p . Ως αποτέλεσμα, για μικρούς σεισμούς, των οποίων οι παλμοί χαρακτηρίζονται από μικρή περίοδο, οι δύο αποκρίσεις συμφωνούν ικανοποιητικά μόνο στο εύρος των μικρών περιόδων. Για μέτριους σεισμούς, οι παλμοί χαρακτηρίζονται από σχετικά μέτρια περίοδο και η συνθετική

απόκριση προσεγγίζει καλά την καταγεγραμμένη, στην περιοχή των μέτριων περιόδων. Τέλος, για τους μεγάλους σεισμούς, οι παλμοί έχουν μεγάλη περίοδο, και οι δύο αποκρίσεις συμφωνούν ικανοποιητικά μόνο στο εύρος των μεγάλων περιόδων. Αντίθετα, με τη μέθοδο που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία, προτείνεται η χρήση περισσότερων από έναν σημαντικών παλμών, με τον προσδιορισμό όλων των αντίστοιχων σημαντικών περιόδων, πέραν της δεσπόζουσας. Έτσι, τα συνθετικά φάσματα προσεγγίζουν σχεδόν ολοκληρωτικά τα φάσματα των πραγματικών εδαφικών κινήσεων σε όλο το εύρος των περιόδων.

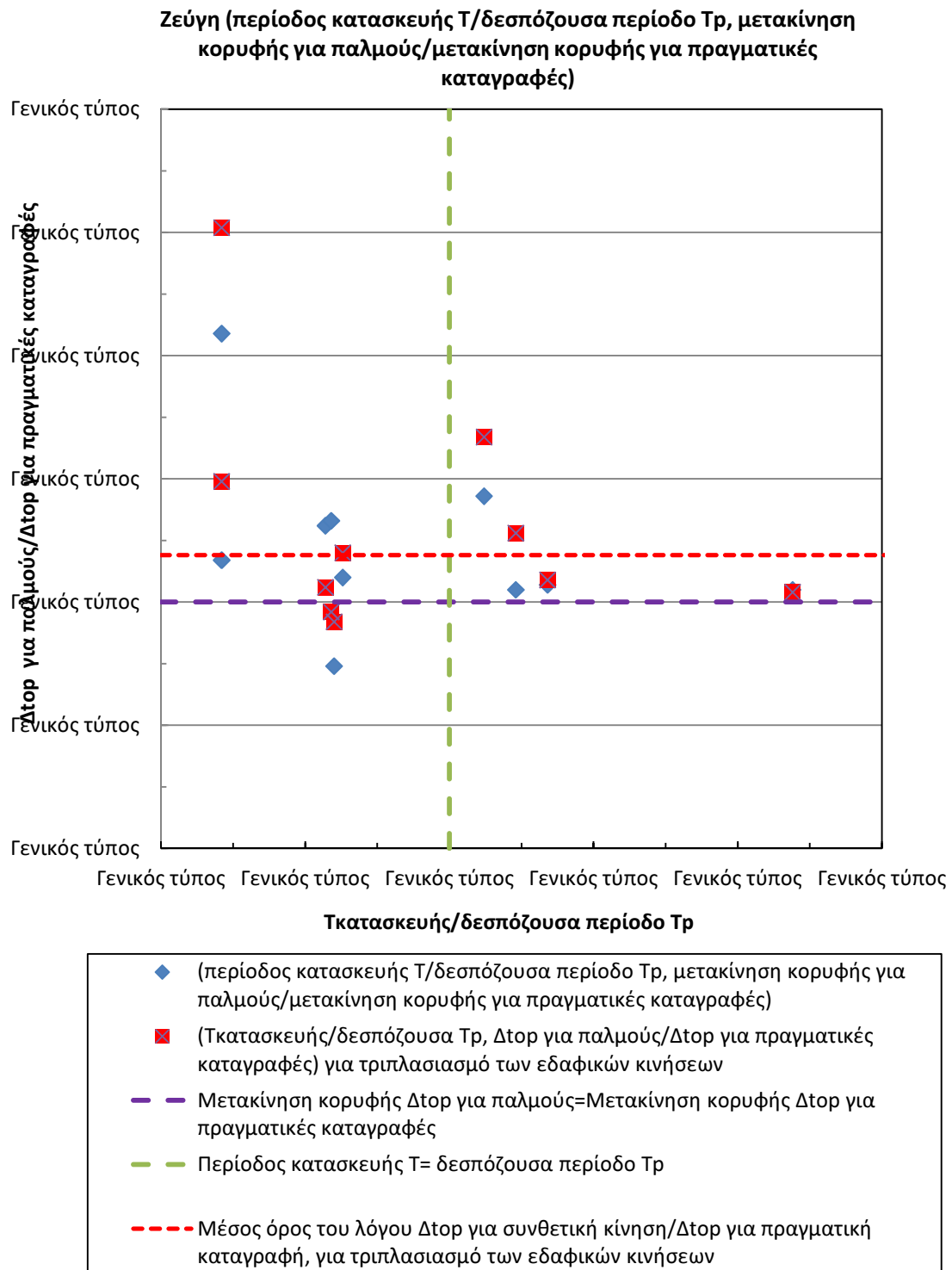
Στην παρούσα εργασία, παρουσιάστηκε μία μέθοδος προσομοίωσης των εδαφικών κινήσεων με συνθετικές κινήσεις παλμών, συγκεκριμένων παραμέτρων που καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε σεισμικής καταγραφής. Οι παλμοί που χρησιμοποιήθηκαν, αντιστοιχούν στις σημαντικές περιόδους για την κάθε περίπτωση, που μπορεί να βρίσκονται στην περιοχή των μικρών, μεσαίων ή μεγάλων περιόδων. Έτσι, καθίσταται δυνατή η προσομοίωση των περισσότερων εδαφικών κινήσεων, ανεξάρτητα από το συχνοτικό περιεχόμενο που κατά βάση τις χαρακτηρίζει. Είναι προφανές ότι, με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου σε μεγάλο αριθμό καταγραφών της NGA βάσης δεδομένων (μελετήθηκαν εκατό σεισμικές κινήσεις) και συγκρίνοντας τις χρονοϊστορίες και τα φάσματα σε κάθε περίπτωση, η προτεινόμενη μέθοδος, οδήγησε στην παραγωγή συνθετικών εδαφικών κινήσεων από παλμούς, που προσεγγίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις αντίστοιχες πραγματικές σεισμικές καταγραφές.

Πέρα από τη σύγκριση των συνθετικών με τις αντίστοιχες πραγματικές εδαφικές κινήσεις, ιδιαίτερα σημαντικά κρίνονται τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης της απόκρισης του φορέα που εξετάστηκε, κατά τη διέγερσή του με τις συνθετικές και τις καταγεγραμμένες σεισμικές κινήσεις, αποτελέσματα που ενισχύουν την εγκυρότητα και τη δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου προσομοίωσης των σεισμικών καταγραφών με παλμούς, σε γραμμικές και μη γραμμικές αναλύσεις. Όπως φαίνεται στα σχήματα 4.7 και 4.8, που παρουσιάζουν την συγκριτικά την πλαστιμότητα και τη μετακίνηση της κορυφής του φορέα για τις πραγματικές σεισμικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις των παλμών, αποδεικνύεται ότι οι παραγόμενες χρονοϊστορίες των κυματιδίων, επηρεάζουν με παρόμοιο τρόπο την απόκριση του οκταωρόφου κτιρίου που μελετήθηκε, δεδομένου ότι κάποιες αποκλίσεις αφορούν την περιοχή των πολύ μικρών περιόδων και μπορούν να αγνοηθούν. Οι αποκρίσεις, λοιπόν, των

κατασκευών κατά τη διέγερσή τους με παλμικά προσομοιώματα, φαίνεται να είναι αρκετά αντιπροσωπευτικές των αποκρίσεων για διέγερση με τις καταγεγραμμένες σεισμικές κινήσεις.



Σχήμα 4.7. Σχέση πλαστιμοτήτων μ για τις δέκα πραγματικές καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις.



Σχήμα 4.8. Σχέση του πηλίκου των μεγίστων μετακινήσεων κορυφής για συνθετικές προς τις μέγιστες μετακινήσεις κορυφής για τις αντίστοιχες πραγματικές σεισμικές καταγραφές και του πηλίκου της θεμελιώδους ιδιοπερίοδου του πολυβαθμίου φορέα προς τη δεσπόζουσα περίοδο κάθε σεισμικής καταγραφής.

Συμπερασματικά, η χρήση συνθετικών εδαφικών κινήσεων από παλμούς, για την προσομοίωση των πραγματικών σεισμών, με τον τρόπο που παρουσιάστηκε, κρίνεται αρκετά αποτελεσματική και ως αποτέλεσμα, καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμη για τις μελλοντικές σεισμικές μελέτες, με στόχο την προσέγγιση της σύνθετης πραγματικότητας με περισσότερο απλοποιημένες αναλύσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καρύδης Π., Ταφλαμπάς Ι., “Τεχνική Σεισμολογία”, Παραδόσεις 2006-2007 Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007.
2. Determination of a series of wavelets for the analytical representation of ground motions. (Petros Mimoglou, Ioannis Psycharis, M.EEPI, Ioannis Taflampas M.EERI).
3. Stewart, J.P. “Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design”, Pacific Earthquake Engineering, Research Center, Peer 2001/09.
4. Baker, J.W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.97, 1486-1501.
5. Makris, N., and Black, C.,J. (2004b). Dimensional analysis of rigid-plastic and elastoplastic structures under pulse-type excitations. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 130, 1006-1018.
6. Makris, N. and Black, C.,J. (2004). Evaluation of Peak Ground Velocity as a ‘Good’ Intensity measure for Near-Source Ground Motions. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 130,9,1032-1044.
7. Mavroeidis, G.P. and Papageorgiou, A.S. (2003). A Mathematical Representation of Near-Fault Ground Motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.93,3,1099-1131.
8. Mavroeidis, G.P., Dong, G. and Papageorgiou, A.S. (2004). Near-Fault ground motions and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33, 1023-1049.
9. Rodriguez-Marek, A. (2000). Near-fault Seismic Site Response. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.
10. Rupakhety, R., Sigurdsson, S.U., Papageorgiou, A.S. and Sigbjornsson, R. (2011a). Quantification of ground motion parameters and response spectra in the near field region. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 893-930.
11. Rupakhety, R. and Sigbjornsson, R. (2011b). Can Simple Pulses Adequately Represent Near-Fault Ground Motions?. *Journal of Earthquake Engineering*, 15,1260-1272.
12. Somerville, P.G. (2003). Magnitude Scaling of the Near Fault Rupture Directivity Pulse. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 137, 201-212.
13. Vassiliou, M.F. and Makris, N. (2011). Estimating Time Scales and Length Scales in Pulselike Earthquake Acceleration Records with Wavelet Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.101, 2. 596-618.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακας Α.1. Παράμετροι παλμών για τις εκατό NGA καταγραφές που μελετήθηκαν.

NGA καταγραφή	Αριθμός παλμού	Περίοδος παλμού T_p (sec)	A (cm)	γ	ν ($^\circ$)	t_o (sec)	C_v
20	1	0.39	10.58	2.1	360	6.30	1.03
	2	0.74	18.82	2.0	315	7.35	0.87
	3	1.57	34.83	2.4	130	5.37	0.85
	4	3.43	22.34	2.0	150	4.11	0.69
77	1	0.40	47.15	4.2	295	6.99	1.02
	2	1.34	99.42	2.0	10	1.73	0.80
	3	2.69	78.40	1.5	0	1.00	0.57
	4	6.34	32.94	4.0	185	0.01	0.70
96	1	0.44	19.81	2.4	170	1.61	1.01
	2	1.75	20.70	2.5	185	1.11	0.98
150	1	0.26	14.53	1.4	100	2.70	0.77
	2	0.58	31.60	1.8	15	2.21	0.46
	3	0.92	48.04	1.7	355	1.90	0.64
	4	2.88	14.75	3.8	320	0.01	0.63
158	1	0.13	7.09	2.5	355	2.39	1.02
	2	1.15	41.96	1.6	105	4.15	0.76
	3	1.63	22.12	6.5	125	1.62	0.85
	4	3.12	20.71	2.6	180	1.35	0.63
159	1	0.36	12.40	1.5	95	7.75	0.76
	2	0.87	29.64	1.7	55	7.18	0.69
	3	1.72	37.57	2.2	35	5.97	0.50
	4	2.23	32.89	2.2	5	5.24	0.50
161	1	0.27	4.03	5.9	300	5.72	1.02
	2	2.02	29.07	1.5	60	6.20	0.54
	3	3.37	33.19	1.7	75	5.03	0.57
	4	4.70	17.42	4.5	290	0.06	0.64
170	1	0.71	25.96	1.7	65	7.08	0.90
	2	1.44	45.96	1.8	350	6.04	0.75
	3	3.70	56.69	1.9	310	3.42	0.63
	4	5.52	38.86	2.1	275	0.63	0.51
171	1	0.78	40.92	1.5	65	4.59	0.89
	2	2.29	89.23	1.9	360	2.78	0.54
	3	3.02	75.97	2.5	30	1.43	0.60
173	1	0.34	9.74	2.6	0	8.17	1.00
	2	1.18	19.74	1.4	275	5.72	0.77
	3	3.03	44.61	1.5	280	4.26	0.83
	4	6.10	24.23	3.7	195	0.005	0.82
174	1	0.24	10.93	10.8	170	9.19	1.04
	2	1.77	40.18	2.0	245	7.03	0.88
	3	3.13	17.49	4.6	155	3.84	0.70
	4	6.02	19.84	2.2	130	7.96	0.91
180	1	0.17	7.73	3.8	275	5.26	0.99
	2	1.00	59.31	1.5	80	5.53	0.85

	3	3.02	63.26	2.6	165	3.23	0.90
181	1	0.50	28.35	1.4	85	5.56	0.52
	2	0.86	36.39	1.4	75	5.32	0.68
	3	3.34	95.05	2.2	90	2.74	0.99
182	1	0.78	56.73	2.2	235	4.04	0.98
	2	3.30	74.13	2.3	40	2.46	0.99
183	1	0.24	18.38	2.0	170	5.12	1.00
	2	0.58	36.42	1.4	90	6.03	0.63
	3	1.26	47.92	1.3	90	5.61	0.74
	4	4.19	44.96	2.0	100	2.23	0.76
184	1	0.17	6.84	6.1	95	8.59	1.02
	2	0.76	35.30	1.7	45	6.41	0.95
	3	2.73	58.22	1.6	260	3.80	0.75
	4	6.60	41.53	2.2	350	0.21	0.79
185	1	0.34	13.37	3.0	225	5.00	0.96
	2	1.24	30.59	1.4	80	4.99	0.92
	3	4.06	43.91	1.8	170	3.22	0.93
285	1	0.49	13.67	1.8	235	3.39	0.86
	2	1.52	29.53	2.0	345	2.70	0.58
	3	2.24	27.85	1.7	0	2.39	0.53
	4	4.39	11.27	3.4	245	0.01	0.55
292	1	0.31	18.31	2.3	350	43.87	1.00
	2	1.37	40.21	1.4	85	49.03	0.77
	3	2.62	50.54	2.5	250	39.17	0.88
	4	3.13	0.36	2.1	245	38.62	1.08
319	1	0.41	24.74	1.7	205	5.64	0.51
	2	0.68	39.40	1.8	230	5.45	0.70
	3	1.24	38.73	2.8	160	4.06	0.72
	4	7.04	9.41	5.8	235	0.005	0.51
407	1	0.32	41.20	2.0	330	3.34	0.94
	2	0.53	38.38	3.6	15	2.24	0.63
	3	0.98	39.91	1.6	175	2.05	0.60
	4	2.29	11.40	5.4	160	3.06	0.74
448	1	0.50	23.32	3.0	200	4.07	0.95
	2	0.79	28.64	3.2	270	2.97	0.69
	3	2.07	11.14	3.1	270	2.83	0.57
	4	2.89	14.15	2.1	180	2.43	0.59
506	1	0.31	3.66	1.4	90	11.71	0.83
	2	1.30	27.30	2.3	130	10.57	1.00
	3	2.94	7.24	10.0	145	6.55	0.98
508	1	0.31	7.32	1.4	90	11.64	0.44
	2	0.46	8.60	1.4	90	11.53	0.49
	3	1.22	36.74	1.9	355	10.43	0.58
	4	1.76	30.75	1.9	0	9.92	0.55
527	1	0.77	24.63	1.9	100	2.05	0.93
	2	1.84	32.10	5.2	120	0.005	0.77
529	1	0.31	29.66	1.7	325	2.63	0.81
	2	0.90	56.73	1.9	355	2.07	0.38
	3	1.11	55.37	1.9	335	1.80	0.37
	4	1.41	52.11	2.0	0	1.53	0.40
568	1	0.33	37.15	1.9	155	1.35	0.93
	2	0.69	45.29	4.3	135	0.14	0.91
	3	1.87	29.53	2.6	160	0.01	0.99
569	1	0.42	42.05	1.8	210	1.67	0.81
	2	0.81	60.64	2.8	275	1.09	0.89
585	1	0.44	51.47	1.5	115	2.33	0.86

	2	0.71	32.42	5.3	35	1.29	0.83
	3	1.32	26.30	5.7	60	0.10	0.94
764	1	0.43	19.99	2.5	5	3.89	0.94
	2	1.26	35.13	2.1	280	2.75	0.55
	3	1.80	33.51	1.9	255	2.25	0.56
767	1	0.31	18.24	2.8	30	5.12	1.01
	2	1.47	47.72	1.6	55	3.51	0.91
	3	2.17	42.11	2.0	100	2.82	1.13
778	1	0.38	15.59	1.7	70	7.90	0.71
	2	0.75	33.33	2.2	15	7.31	0.85
	3	2.22	38.05	1.9	260	5.21	0.75
	4	5.16	20.58	2.9	260	7.34	0.83
779	1	0.16	15.21	2.0	175	10.61	1.02
	2	0.74	44.43	7.3	350	7.63	1.00
	3	1.73	100.47	1.9	120	6.17	0.90
	4	3.18	69.70	3.4	175	2.98	0.68
783	1	0.73	32.58	2.7	180	11.52	0.96
	2	1.47	17.78	8.2	100	9.08	0.96
	3	2.77	20.69	2.5	180	8.64	0.76
784	1	0.49	18.42	1.8	165	13.30	0.86
	2	1.13	33.11	2.2	255	12.77	0.70
	3	1.45	18.55	6.3	310	11.11	0.73
	4	2.85	16.10	2.3	175	10.16	0.44
787	1	0.42	14.00	1.6	245	8.20	0.84
	2	1.08	38.78	2.3	200	7.27	0.70
	3	1.87	35.71	1.7	210	6.92	0.55
	4	3.08	16.01	4.2	65	3.96	0.61
802	1	0.47	23.43	1.7	115	5.51	0.88
	2	1.65	42.51	1.4	105	4.77	0.57
	3	2.97	43.53	1.5	80	3.50	0.53
	4	5.26	37.66	1.9	180	1.93	0.60
803	1	0.32	20.36	1.5	85	4.88	0.86
	2	1.18	72.25	1.7	345	3.86	0.74
	3	2.18	59.54	1.4	300	3.03	0.53
	4	5.64	30.66	2.5	105	0.01	0.53
808	1	0.64	15.24	4.3	60	11.59	0.84
	2	1.48	33.06	1.8	135	12.68	0.68
	3	2.24	26.56	2.6	145	11.16	0.66
	4	7.88	7.69	4.4	120	5.47	0.49
825	1	0.27	61.97	1.7	215	2.75	0.94
	2	0.76	68.53	1.5	100	2.17	0.66
	3	2.38	62.22	1.8	140	0.92	0.70
	4	6.16	33.96	1.1	180	0.04	0.62
828	1	0.37	31.56	1.5	285	3.16	0.77
	2	0.75	50.30	3.4	310	2.20	0.91
	3	2.73	43.47	1.6	105	0.82	0.52
	4	3.92	39.92	1.7	165	0.19	0.54
879	1	0.30	28.47	1.4	280	10.46	0.92
	2	1.48	55.81	1.4	260	9.56	0.83
	3	4.49	107.73	1.6	245	7.08	0.64
	4	8.64	90.51	1.2	235	5.38	0.51
900	1	0.42	14.75	1.7	265	15.96	0.70
	2	0.98	35.26	1.8	300	15.57	0.74
	3	1.36	21.71	6.9	330	11.81	0.74
	4	6.01	47.51	1.8	355	12.99	0.99
963	1	0.58	46.50	2.4	265	6.08	0.91

	2	0.95	43.91	3.7	235	10.78	0.91
	3	1.43	58.78	2.0	275	5.44	0.61
	4	2.00	46.96	2.2	340	4.98	0.57
983	1	0.36	14.24	15.0	210	4.02	1.08
	2	0.76	65.24	1.6	105	2.44	0.94
	3	3.11	72.75	2.5	285	0.36	0.92
1003	1	0.38	25.74	1.8	315	10.26	0.81
	2	0.70	37.14	2.0	250	9.78	0.72
	3	1.51	33.80	2.1	180	8.71	0.42
	4	2.27	21.16	2.3	325	8.52	0.41
1004	1	0.22	24.22	1.8	75	3.23	1.50
	2	0.85	90.53	1.7	120	2.79	0.87
	3	1.77	63.52	1.6	45	1.82	0.33
	4	2.39	48.65	2.1	90	0.91	0.30
1013	1	0.50	28.59	2.0	205	2.38	0.67
	2	0.99	46.84	1.7	205	2.01	0.50
	3	1.37	40.74	1.7	205	1.69	0.47
	4	2.65	33.60	4.0	150	0.01	0.86
1044	1	0.25	30.61	2.1	190	5.13	0.92
	2	0.69	83.91	2.6	180	4.46	0.90
	3	1.27	51.32	5.9	170	1.59	0.80
	4	3.59	41.65	3.1	260	0.01	0.89
1045	1	0.59	23.85	1.4	270	4.76	0.28
	2	0.88	59.79	1.4	265	4.55	0.61
	3	2.17	113.93	1.5	270	3.57	0.55
	4	3.31	84.51	1.6	235	2.24	0.49
1051	1	0.17	37.91	2.1	340	4.34	1.07
	2	0.32	62.43	1.5	60	3.68	0.90
	3	0.93	113.99	1.6	70	3.24	0.79
	4	4.11	32.77	2.7	235	0.16	0.73
1063	1	0.36	9.99	1.4	280	2.40	2.16
	2	0.99	139.87	1.8	230	1.63	0.51
	3	1.28	133.81	1.8	225	1.35	0.55
1084	1	0.93	93.12	2.0	345	2.55	0.47
	2	1.15	112.81	1.9	330	2.32	0.58
	3	2.95	83.44	3.4	170	0.02	0.88
1086	1	0.42	46.94	3.3	30	3.28	0.88
	2	0.90	90.27	1.4	110	2.92	0.53
	3	1.72	91.96	1.8	220	2.46	0.60
	4	2.58	58.88	3.4	325	0.36	0.65
1108	1	0.69	31.58	1.8	240	7.30	0.35
	2	0.91	41.81	1.7	235	7.14	0.27
	3	1.29	57.23	2.8	250	6.14	0.81
	4	2.53	33.28	3.8	345	1.43	0.45
1114	1	1.40	73.58	2.1	170	8.10	0.55
	2	1.86	83.12	2.2	265	8.07	0.63
	3	4.29	40.86	2.7	320	4.94	0.44
	4	4.66	40.19	2.6	345	5.00	0.45
1119	1	0.49	53.84	2.0	75	4.09	0.79
	2	0.98	59.19	2.1	195	3.87	0.75
	3	1.75	41.91	4.5	160	2.49	0.84
	4	4.27	34.17	2.1	115	1.65	0.88
1120	1	1.27	136.60	3.4	65	3.47	0.84
	2	2.09	129.35	3.3	315	3.45	0.86
1176	1	0.79	25.74	2.8	200	14.94	0.71
	2	1.29	48.17	1.4	275	13.84	0.90

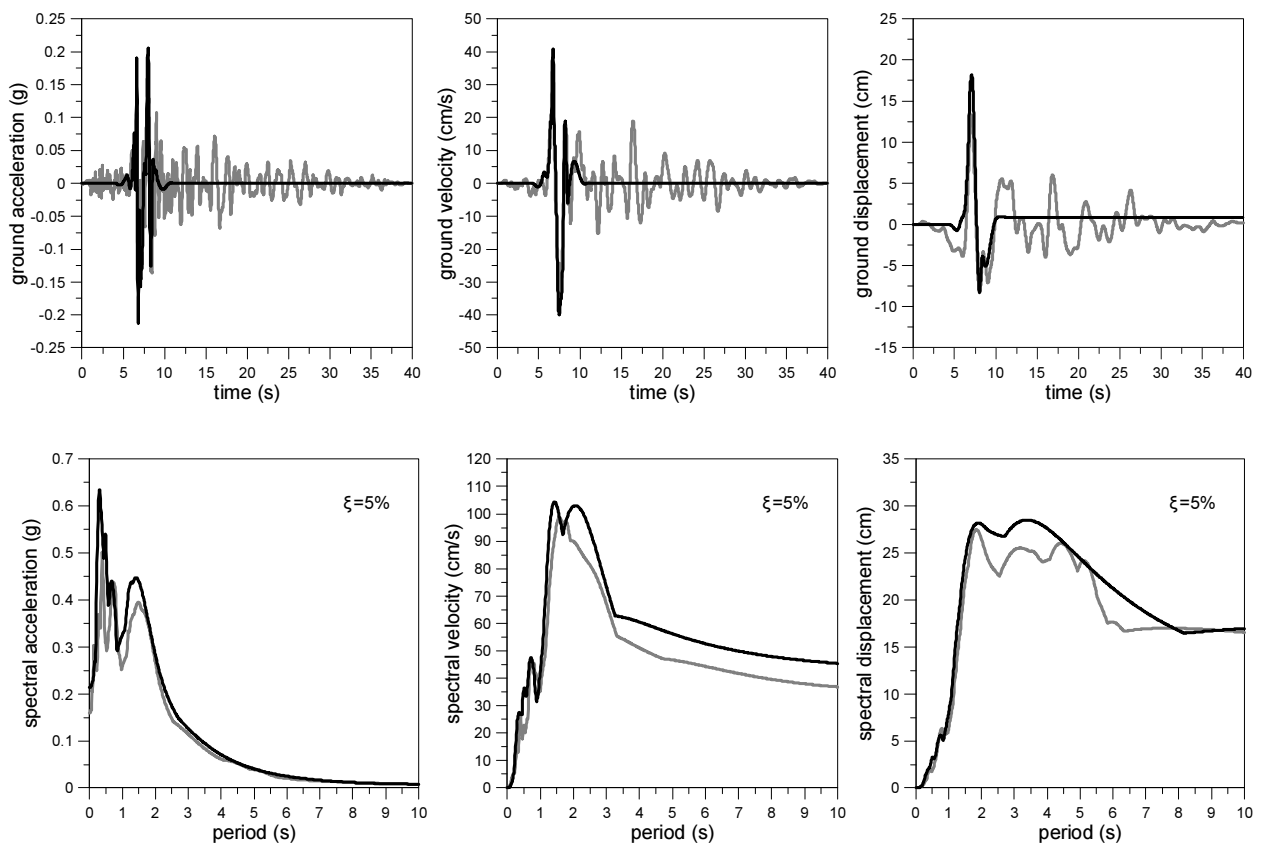
	3	3.87	58.38	3.0	55	6.13	0.47
	4	4.53	65.56	2.6	85	6.40	0.51
1193	1	0.69	27.41	1.9	65	35.60	0.96
	2	2.71	54.92	1.7	90	34.25	0.83
	3	4.11	20.25	9.2	190	18.83	0.74
	4	7.59	27.86	3.5	325	19.52	0.71
1202	1	0.90	38.34	2.9	185	34.24	0.81
	2	1.40	38.77	3.8	120	32.63	0.58
	3	2.13	38.04	2.0	0	32.67	0.44
	4	8.86	7.24	10.0	90	9.87	0.48
1244	1	0.93	24.15	9.0	225	33.47	1.00
	2	2.17	70.05	1.8	350	37.66	0.86
	3	4.88	83.30	3.0	65	33.17	0.49
	4	5.55	77.19	3.3	30	30.80	0.51
1402	1	0.28	13.28	2.0	75	29.14	0.74
	2	0.61	18.56	1.5	145	29.06	0.80
	3	2.04	20.78	1.3	85	27.82	0.70
	4	7.57	17.66	2.4	10	18.31	0.58
1403	1	0.53	11.67	1.8	90	30.01	1.00
	2	1.40	30.34	1.6	265	32.79	0.92
	3	4.05	52.89	1.5	75	27.68	0.81
	4	7.46	40.27	3.4	265	21.88	0.81
1464	1	0.41	1.67	10.1	75	35.47	1.00
	2	1.21	10.96	2.1	130	38.20	1.01
	3	2.07	20.11	2.1	0	45.06	0.98
	4	7.96	33.29	3.1	185	39.63	1.00
1471	1	0.30	1.79	15.0	250	42.04	1.08
	2	1.29	23.98	1.5	295	49.30	0.93
	3	3.78	38.27	1.5	65	49.08	0.77
	4	7.65	38.63	2.7	80	42.01	0.84
1472	1	1.30	15.66	2.7	100	45.65	0.63
	2	2.20	29.19	1.8	285	46.36	0.74
	3	6.11	44.31	1.9	120	45.38	0.49
	4	7.50	40.19	2.4	55	40.74	0.55
1473	1	1.15	11.65	1.9	70	28.58	0.98
	2	2.16	21.77	1.6	80	34.77	0.72
	3	5.08	33.45	1.5	80	33.04	0.58
	4	8.41	39.88	2.7	105	25.99	0.79
1476	1	0.19	2.48	13.9	40	46.48	1.07
	2	0.86	27.12	1.5	110	51.82	0.94
	3	4.56	50.45	3.7	85	43.75	0.98
1477	1	0.62	10.65	2.4	75	44.21	1.02
	2	3.05	35.44	1.4	270	52.61	0.66
	3	5.54	48.44	2.3	240	47.89	0.62
	4	7.95	35.50	3.0	245	42.38	0.55
1480	1	0.76	13.50	4.0	60	43.80	1.02
	2	1.78	39.72	1.4	275	47.20	0.53
	3	2.92	41.51	1.6	305	43.30	0.62
	4	5.09	68.77	2.8	185	39.79	0.80
1482	1	0.52	16.27	1.8	265	44.11	0.90
	2	1.03	3.84	1.4	265	43.88	1.64
	3	2.47	59.70	1.4	265	50.71	0.92
	4	7.62	49.58	4.1	150	34.11	0.93
1483	1	1.13	21.19	1.4	85	45.87	0.70
	2	2.80	31.95	1.4	90	44.87	0.42
	3	3.75	33.99	1.7	35	42.86	0.52

	4	6.85	43.59	2.6	340	36.12	0.66
1484	1	0.33	12.97	2.4	215	40.86	1.00
	2	1.02	28.77	1.4	85	50.05	0.86
	3	3.27	42.63	1.4	100	48.48	0.81
	4	8.06	34.67	3.6	130	36.21	0.89
1485	1	0.49	30.75	2.7	90	44.21	0.78
	2	1.06	37.14	1.1	255	44.58	0.72
	3	2.33	25.96	1.4	275	43.63	0.66
	4	9.24	31.20	2.3	300	34.77	0.93
1489	1	0.78	32.74	1.9	35	34.76	0.67
	2	1.43	37.42	1.4	70	34.69	0.70
	3	6.29	41.61	2.7	105	28.02	0.96
	4	9.29	31.57	2.8	355	40.40	0.82
1490	1	0.87	16.91	2.1	210	33.56	0.98
	2	2.43	35.69	1.5	250	37.60	0.95
	3	6.80	41.68	2.8	130	47.17	0.79
	4	9.72	36.02	3.1	10	38.79	0.58
1492	1	0.44	23.69	1.4	270	33.72	0.75
	2	1.21	104.08	2.0	180	32.51	0.84
	3	2.32	94.36	2.9	235	30.71	0.81
	4	9.36	164.01	1.7	215	30.71	0.98
1493	1	0.70	13.52	2.9	135	34.47	0.97
	2	3.06	37.73	1.4	80	34.79	0.78
	3	6.17	42.65	2.8	140	29.37	0.80
	4	9.52	24.43	5.0	190	25.26	0.77
1496	1	0.42	8.90	2.5	230	51.55	1.01
	2	2.31	34.39	1.4	100	55.33	0.79
	3	5.60	42.02	2.3	185	51.75	0.54
	4	7.66	42.10	2.9	165	46.60	0.64
1497	1	0.40	5.86	3.4	50	49.75	1.00
	2	1.90	26.99	1.4	280	43.27	0.96
	3	4.93	47.55	2.1	95	50.98	0.70
	4	7.56	43.26	2.8	135	46.18	0.70
1498	1	1.24	29.37	2.9	305	54.67	0.91
	2	2.22	43.04	1.4	255	52.51	0.75
	3	5.64	51.38	2.8	355	36.93	0.91
	4	9.01	31.33	5.0	215	28.37	0.82
1501	1	0.60	15.05	2.2	5	33.89	0.99
	2	1.37	32.38	1.8	55	39.60	0.91
	3	3.51	81.14	1.9	100	38.03	0.78
	4	6.22	62.25	2.6	205	34.89	0.74
1502	1	1.27	26.01	1.4	270	49.63	0.53
	2	2.34	36.25	1.4	280	48.94	0.69
	3	6.96	56.18	4.3	200	33.88	0.95
1503	1	0.35	29.21	1.4	270	47.28	0.92
	2	1.10	45.99	6.9	160	42.33	0.93
	3	1.95	133.83	1.4	270	31.24	0.89
	4	4.53	96.10	3.6	240	24.11	0.86
1514	1	0.96	6.83	3.9	290	43.74	1.01
	2	1.54	18.52	2.0	140	54.20	0.97
	3	4.84	29.33	2.9	5	46.96	0.83
	4	7.52	40.73	2.9	135	38.77	0.65
1524	1	0.41	13.38	9.1	95	44.94	1.00
	2	0.79	31.19	2.9	105	45.34	0.91
	3	3.34	20.28	3.0	350	47.66	0.98
	4	7.70	38.45	2.3	310	37.40	0.80

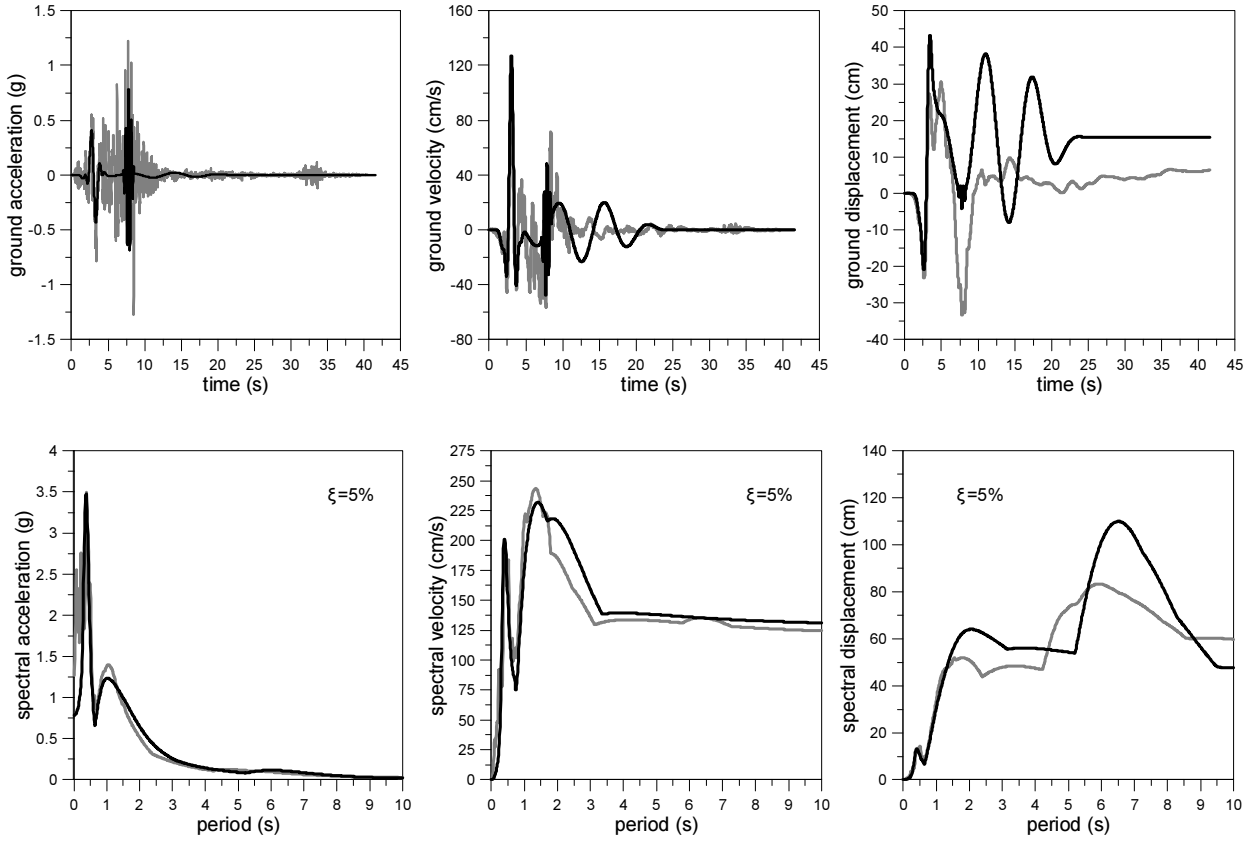
1528	1	0.60	19.58	2.0	325	27.25	1.01
	2	1.56	35.03	1.5	245	16.14	0.91
	3	4.59	50.22	1.5	240	14.06	0.77
	4	9.64	46.25	2.4	330	8.18	0.73
1530	1	0.49	6.85	5.0	255	36.55	1.01
	2	2.75	56.88	1.5	265	38.32	0.83
	3	7.33	62.06	2.1	265	32.77	0.47
	4	8.36	59.80	2.3	260	30.71	0.50
1531	1	0.29	4.70	1.6	270	41.49	0.98
	2	1.28	20.14	1.5	270	40.91	0.94
	3	5.39	32.62	6.4	275	30.26	0.98
	4	9.12	26.87	5.1	170	25.01	0.92
1546	1	0.69	15.66	3.4	140	41.33	1.00
	2	2.74	25.05	2.0	345	33.31	0.81
	3	4.12	25.28	5.0	40	22.41	0.74
	4	9.49	23.94	3.4	250	16.25	0.84
1548	1	1.44	31.48	1.6	295	43.58	0.83
	2	4.21	61.99	1.5	285	41.31	0.74
	3	7.73	58.02	3.3	60	34.39	0.84
1595	1	0.51	36.26	1.7	295	22.03	0.90
	2	0.92	22.77	8.9	265	19.18	0.82
	3	2.22	89.53	1.4	85	24.13	0.84
	4	4.64	74.07	3.2	190	19.55	0.85
1605	1	0.83	68.55	1.7	230	4.15	0.97
	2	1.26	74.47	1.5	95	5.70	0.55
	3	2.18	71.21	1.5	120	5.11	0.60
	4	5.15	57.48	3.3	250	0.04	0.85
1752	1	0.30	14.44	2.5	185	5.72	0.98
	2	0.89	26.21	3.0	155	4.64	0.96
1853	1	0.20	13.49	1.9	260	12.82	0.87
	2	0.65	35.41	2.2	340	12.40	0.75
	3	1.09	22.17	1.8	360	12.19	0.50
2114	1	1.05	58.47	1.7	25	26.14	0.72
	2	2.49	121.30	1.5	85	25.55	0.69
	3	4.53	75.34	1.6	75	23.62	0.50
	4	8.99	36.65	2.8	235	19.29	0.47
2457	1	0.44	12.58	3.0	60	11.78	1.00
	2	1.63	22.74	1.6	115	13.07	0.83
	3	2.49	29.56	3.6	0	8.94	0.68
	4	4.16	25.57	2.3	0	8.73	0.50
2627	1	0.22	13.65	1.4	95	10.21	0.82
	2	0.86	56.80	1.6	145	9.73	0.98
3317	1	0.42	7.60	3.1	70	18.47	1.00
	2	1.15	22.11	1.4	95	24.74	0.53
	3	1.95	35.26	2.5	135	23.34	0.80
	4	3.38	18.75	4.6	180	18.42	0.69

Σχήμα Α.1: Συγκρίσεις των χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης (ground acceleration), εδαφικής ταχύτητας (ground velocity), εδαφικής μετακίνησης (ground displacement) και των φασμάτων (για 5% απόσβεση) επιτάχυνσης (spectral acceleration), ταχύτητας (spectral velocity) και μετακίνησης (spectral displacement), για τις πραγματικές NGA σεισμικές καταγραφές (γκρι γραμμή) και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις παλμών (μαύρη γραμμή).

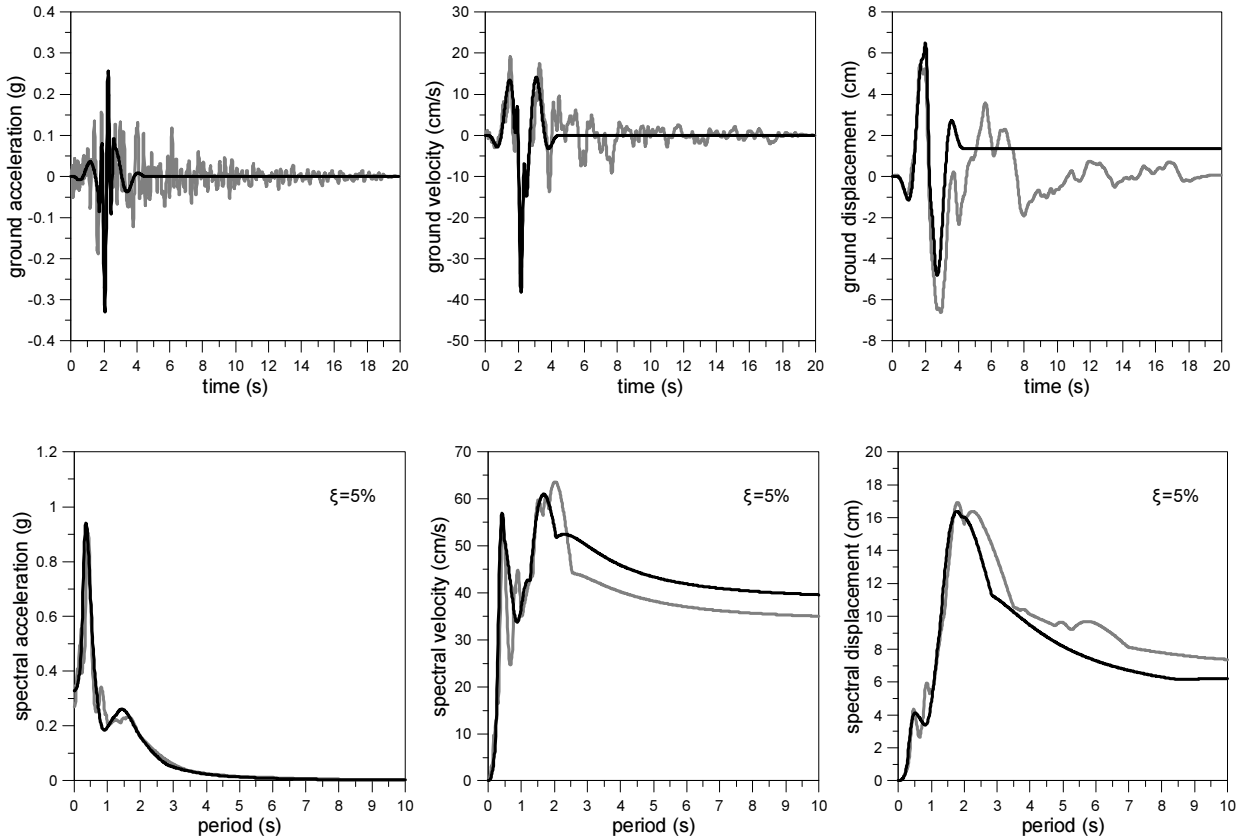
Northern Calif-03. Ferndale City Hall, NGA 20



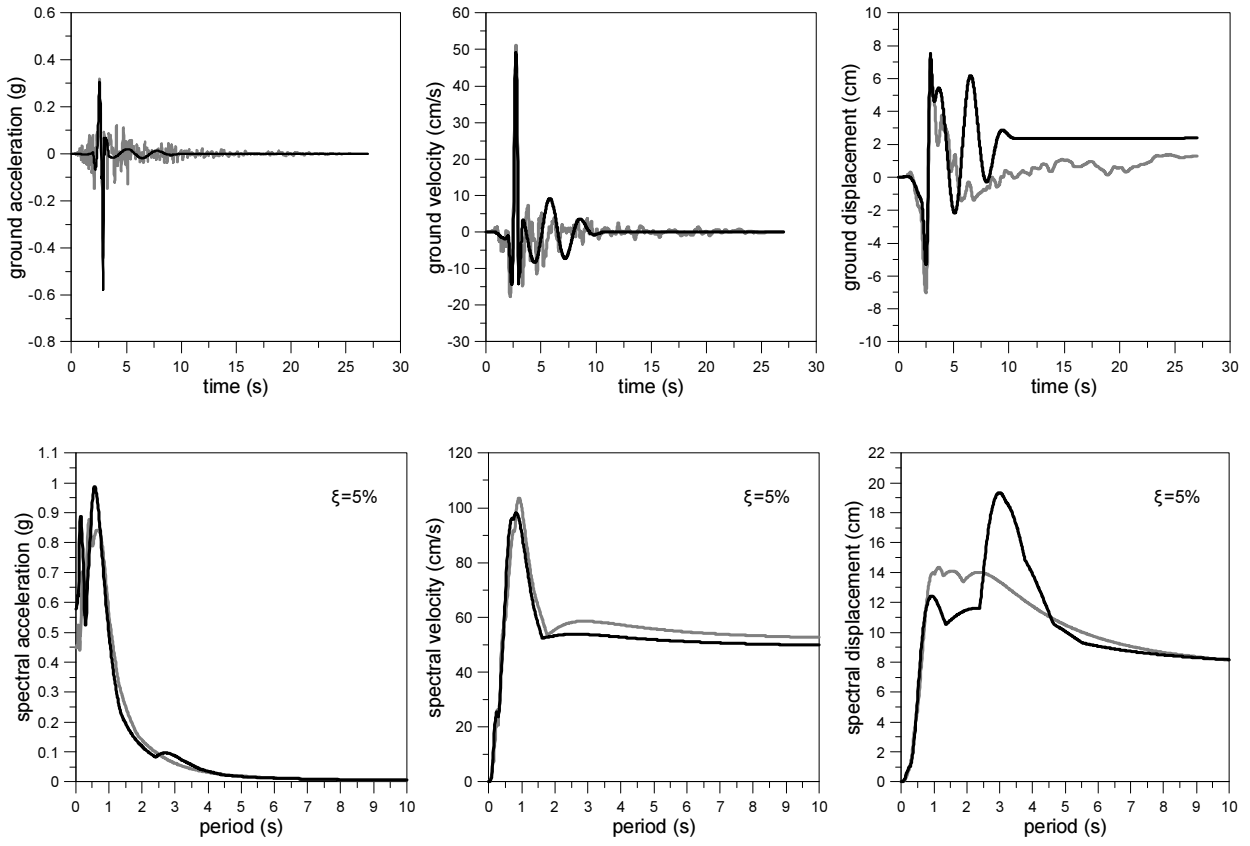
San Fernando, Pacoima Dam, NGA 77



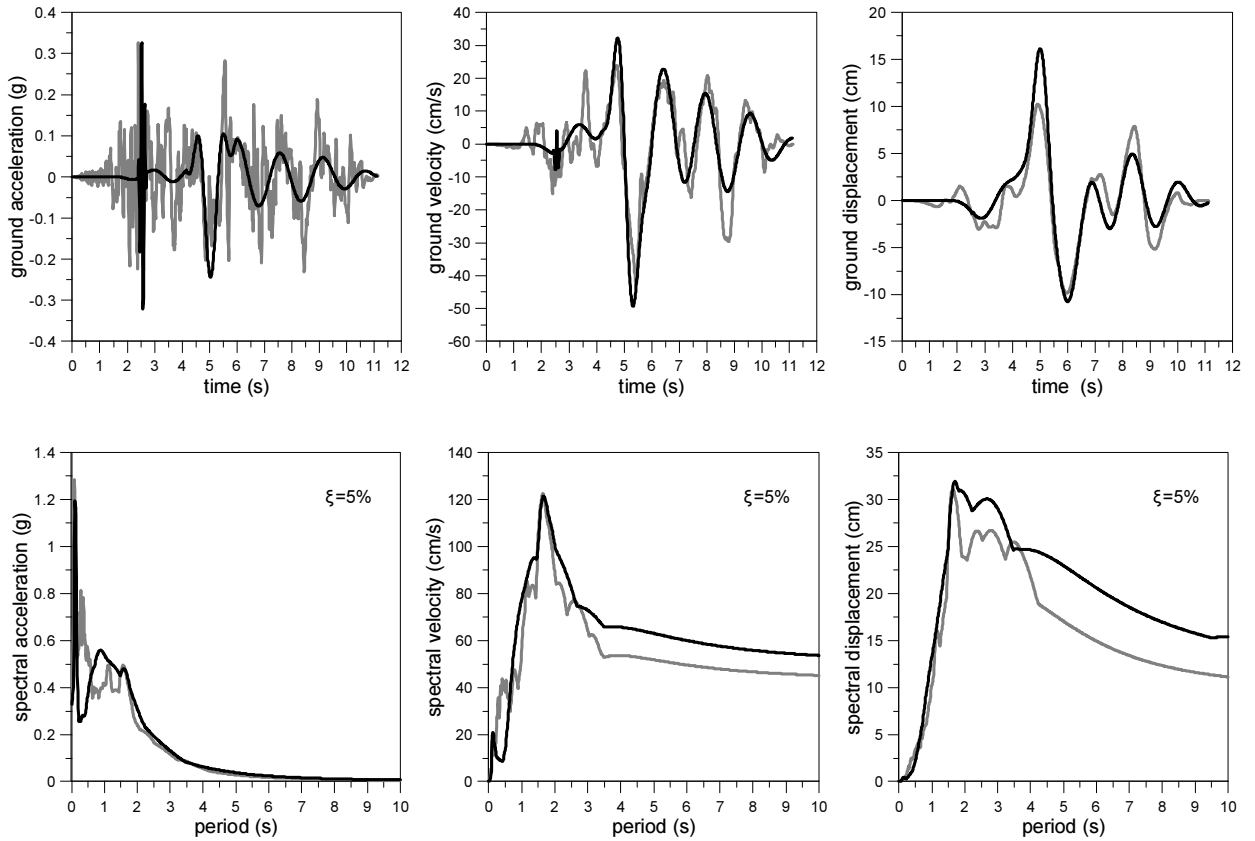
Managua, Nicaragua-02, Managua, ESSO, NGA 96



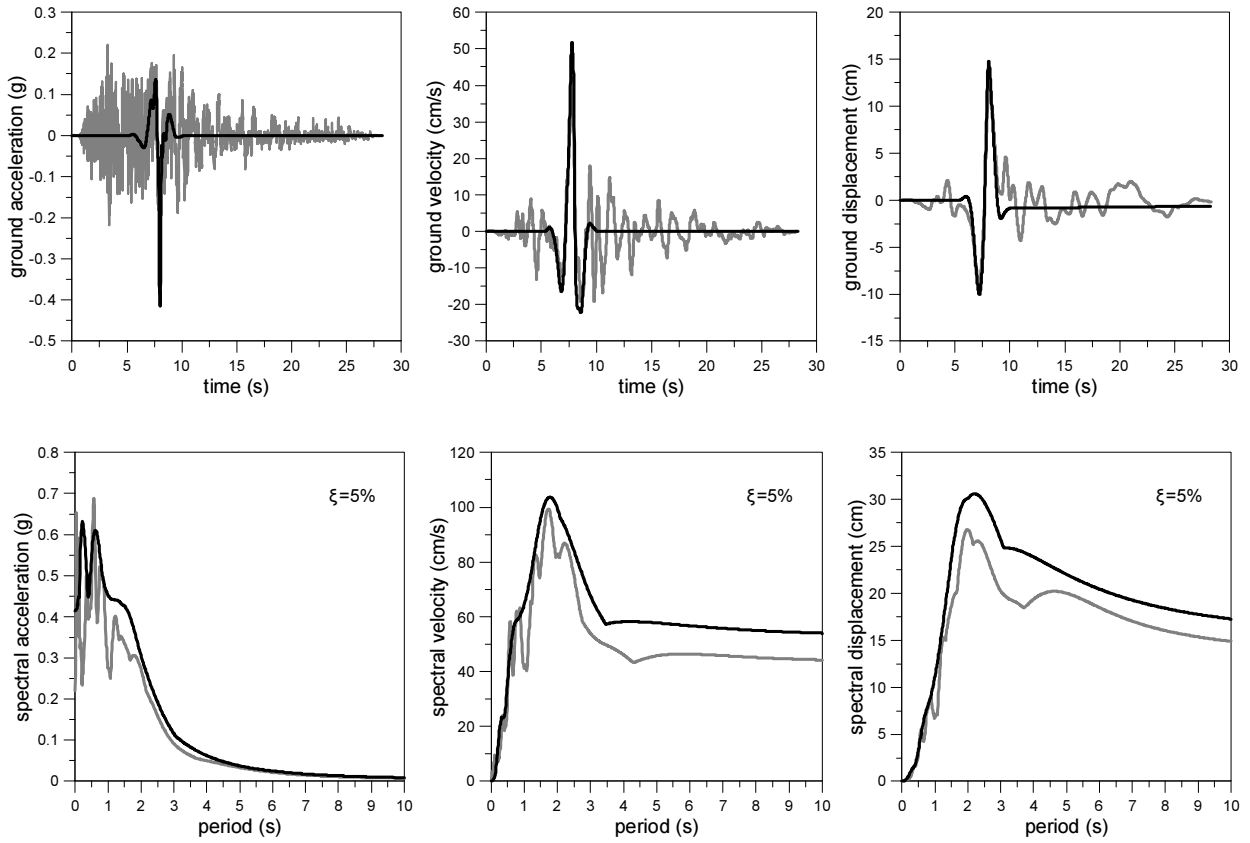
Coyote Lake, Gilroy Array #6, NGA 150



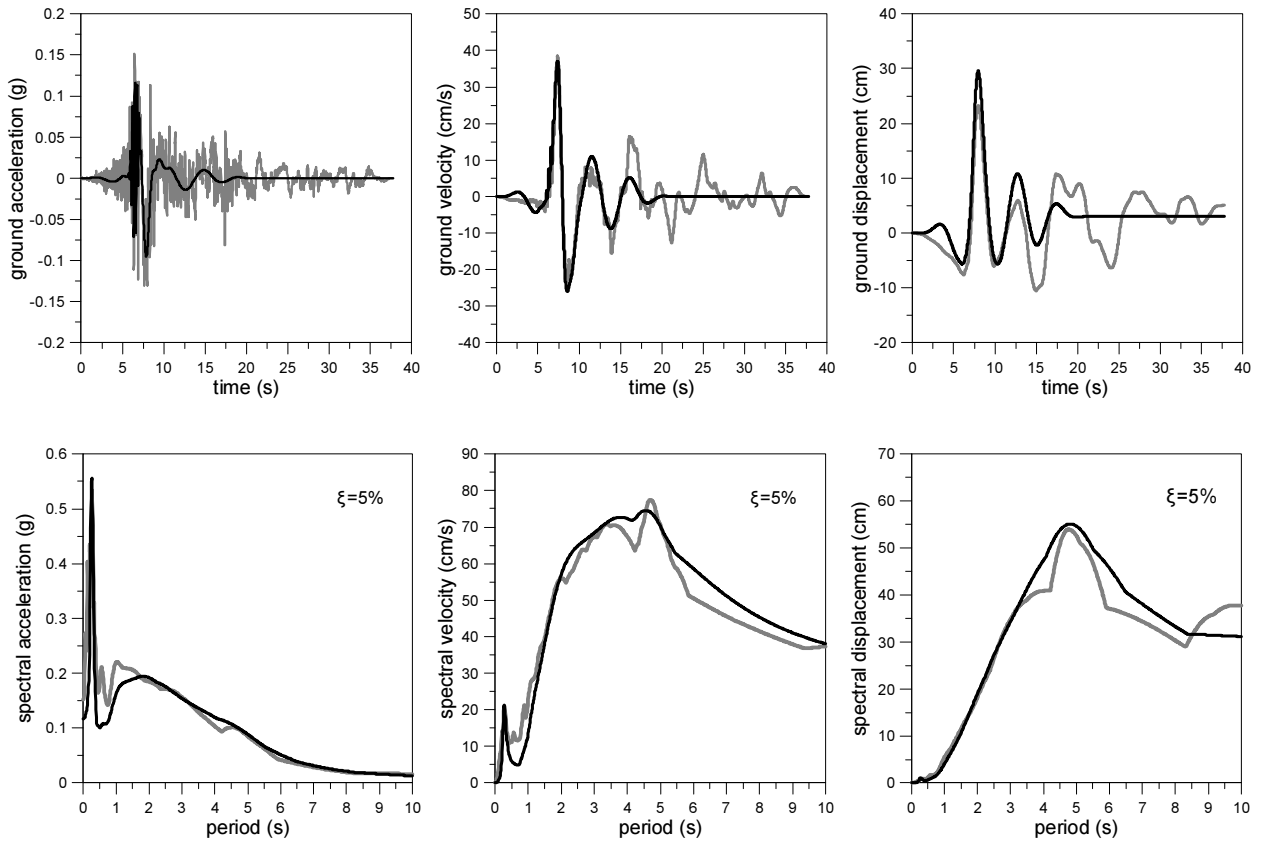
Imperial Valley-06, Aeropuerto Mexicali, NGA 158



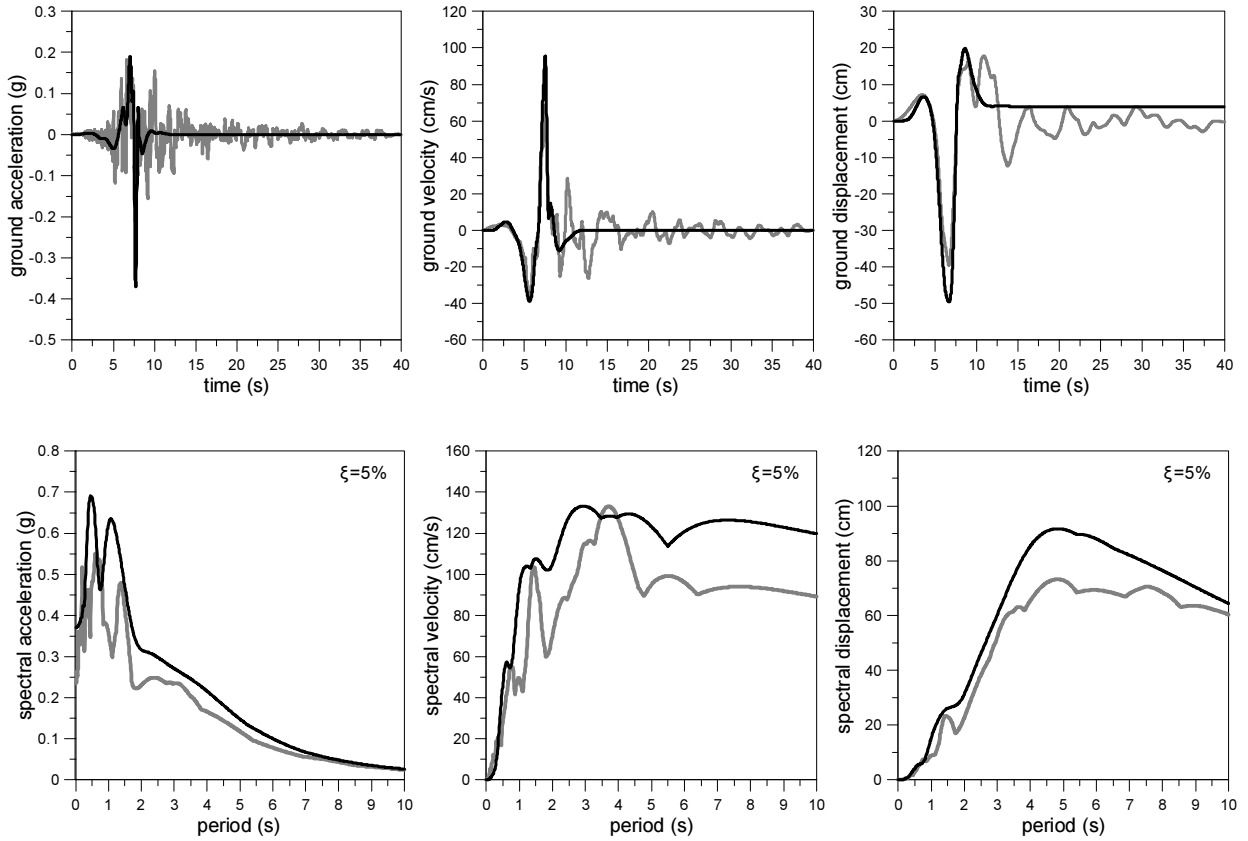
Imperial Valley-06. Agrarias, NGA 159



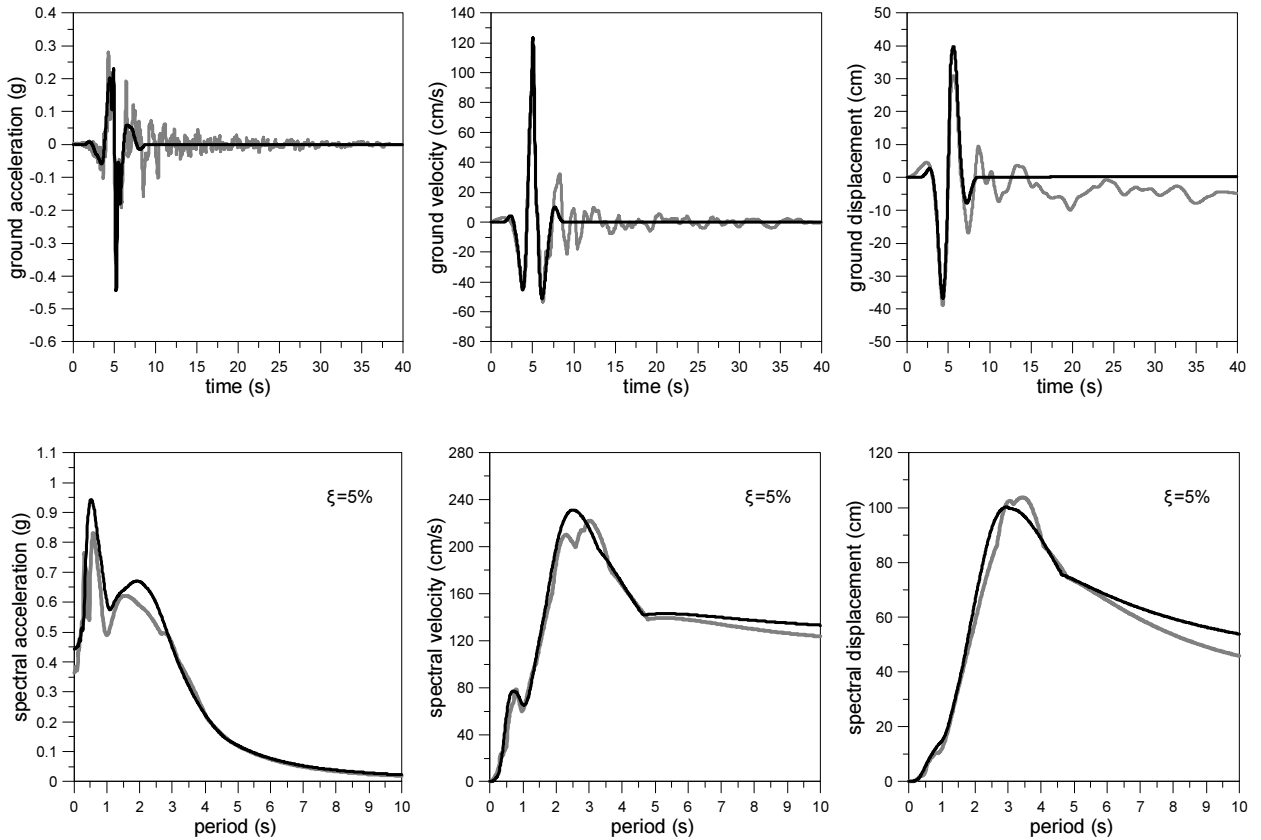
Imperial Valley-06. Brawley Airport, NGA 161



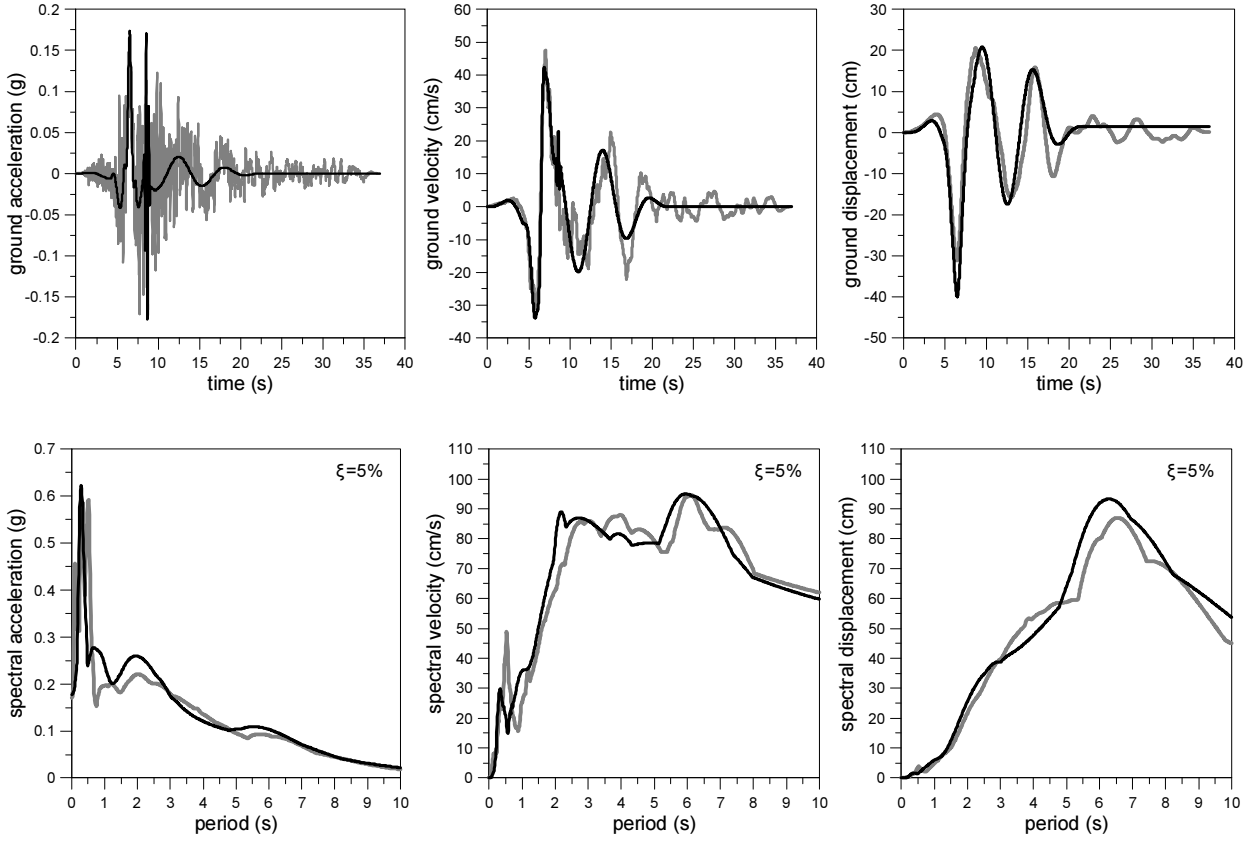
Imperial Valley-06, EC County Center FF, NGA 170



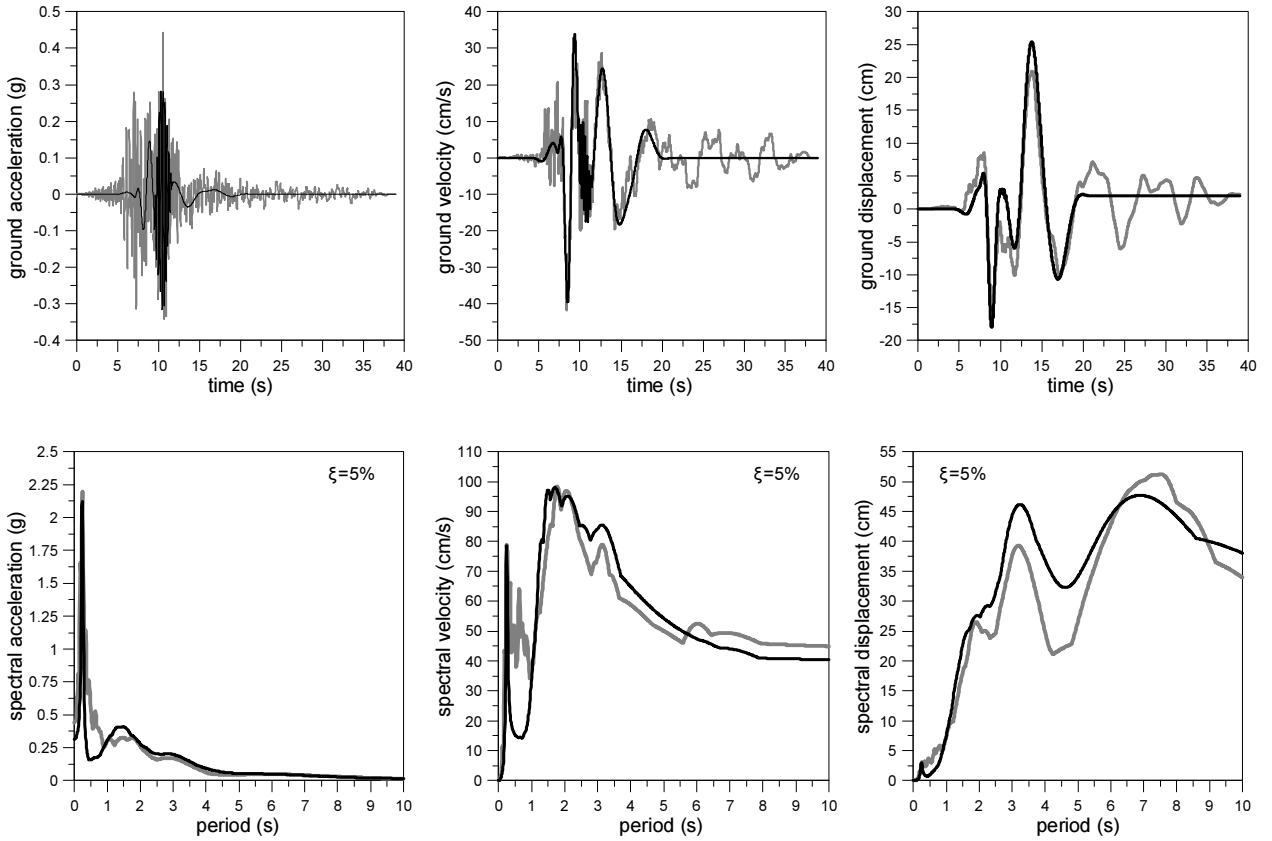
Imperial Valley-06, EC Meloland Overpass FF, NGA 171



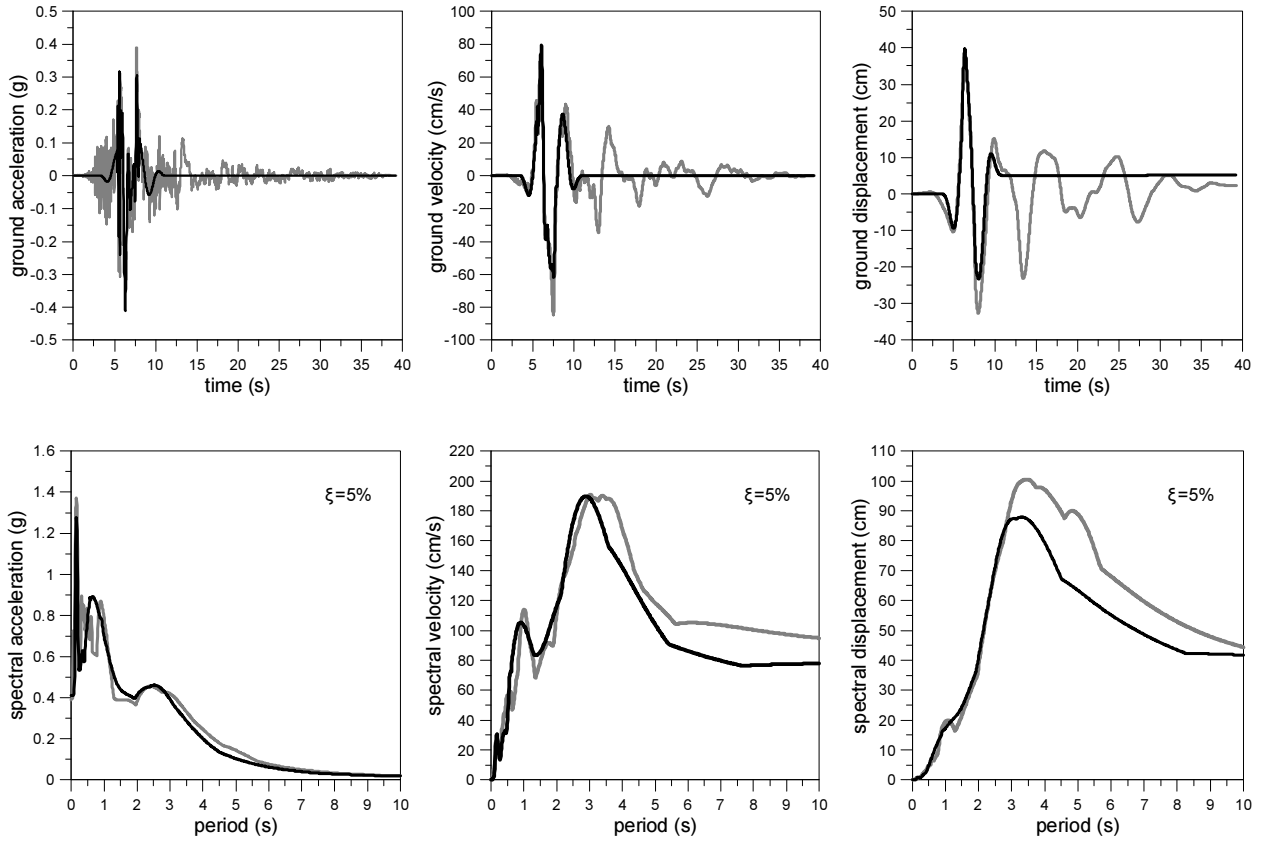
Imperial Valley-06, El Centro Array #10, NGA 173



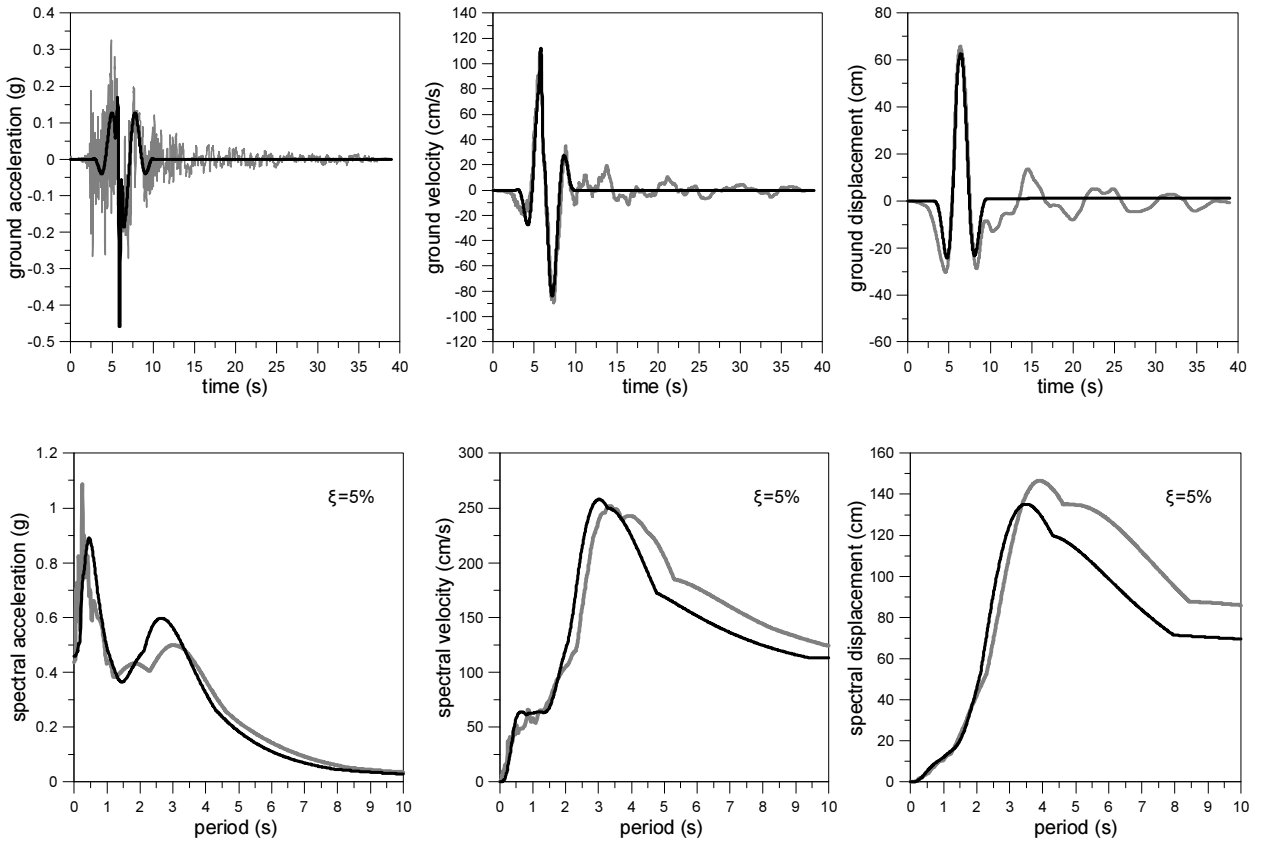
Imperial Valley-06, El Centro Array #11, NGA 174



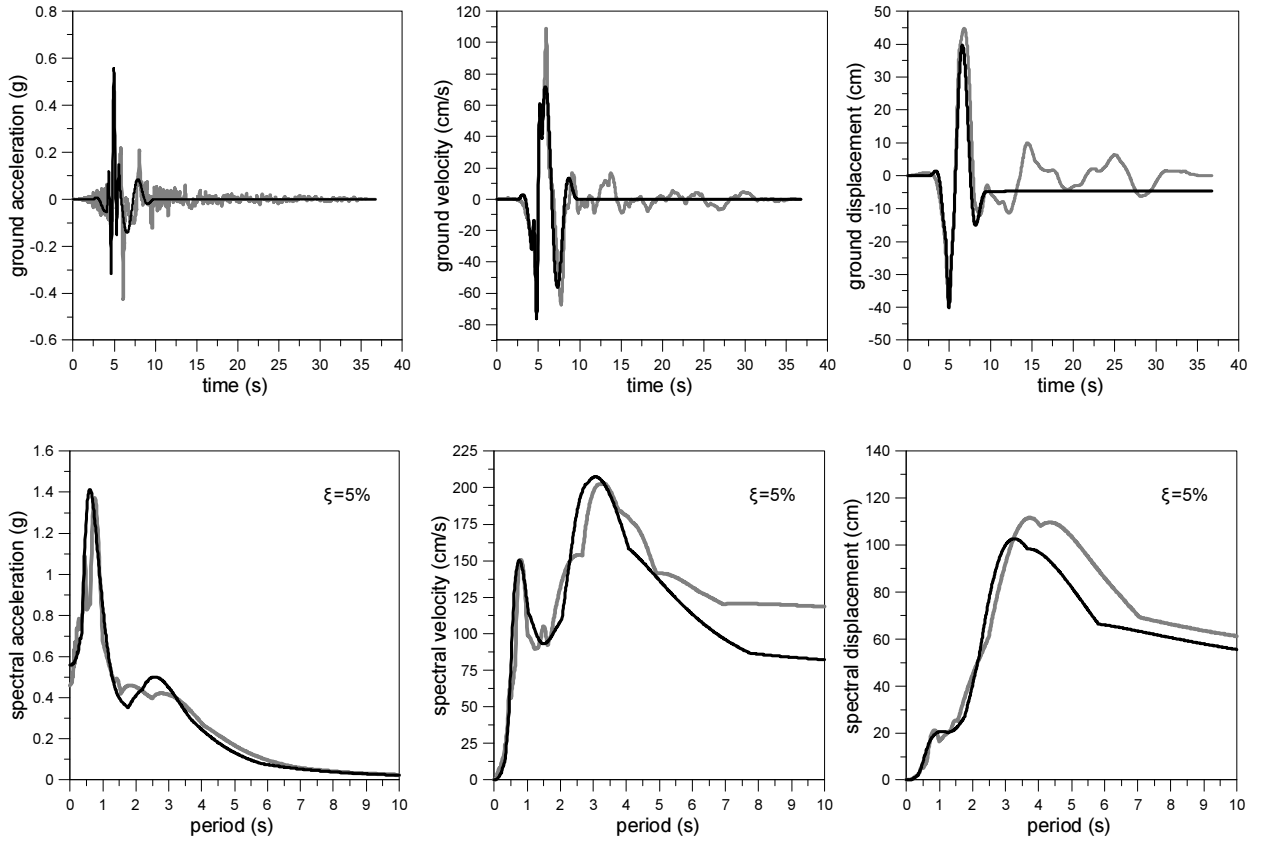
Imperial Valley-06. El Centro Array #5. NGA 180



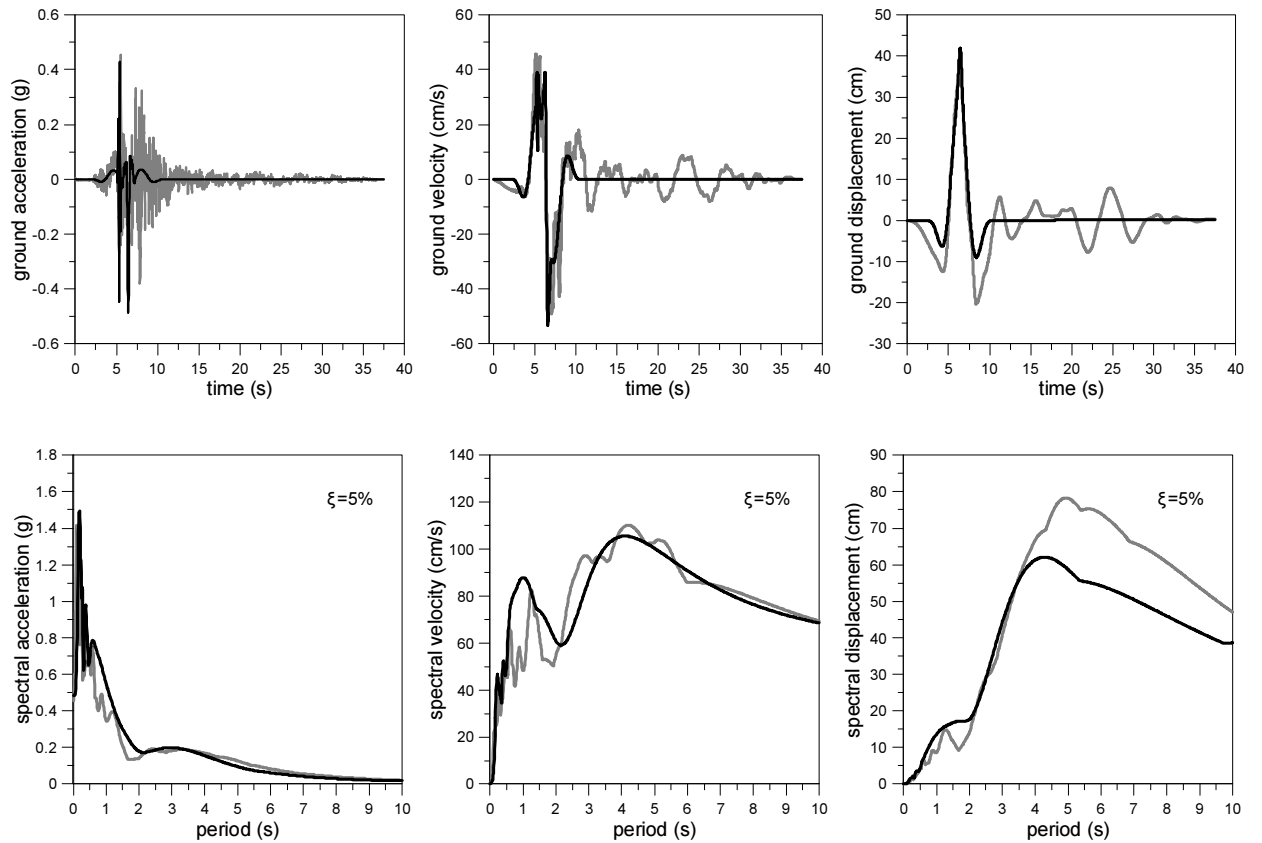
Imperial Valley-06. El Centro Array #6. NGA 181



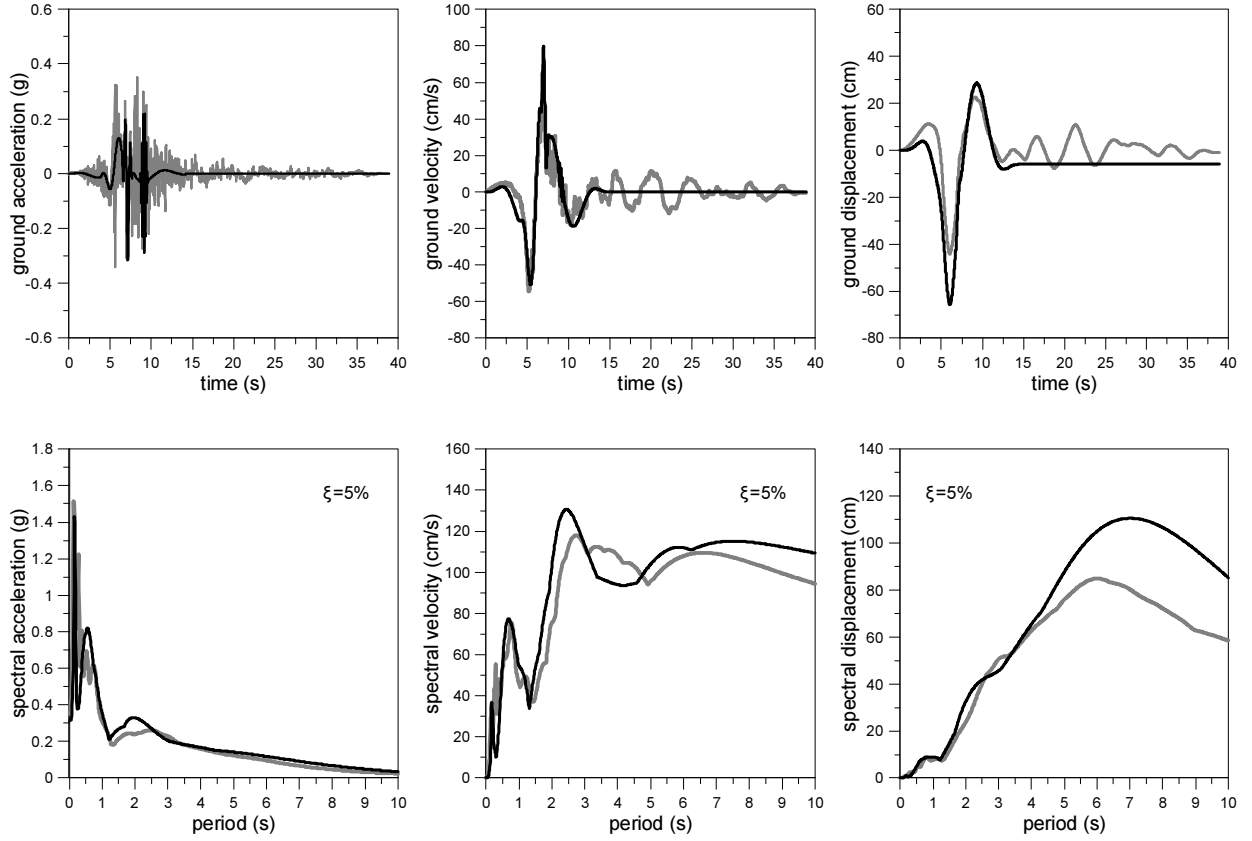
Imperial Valley-06. El Centro Array #7. NGA 182



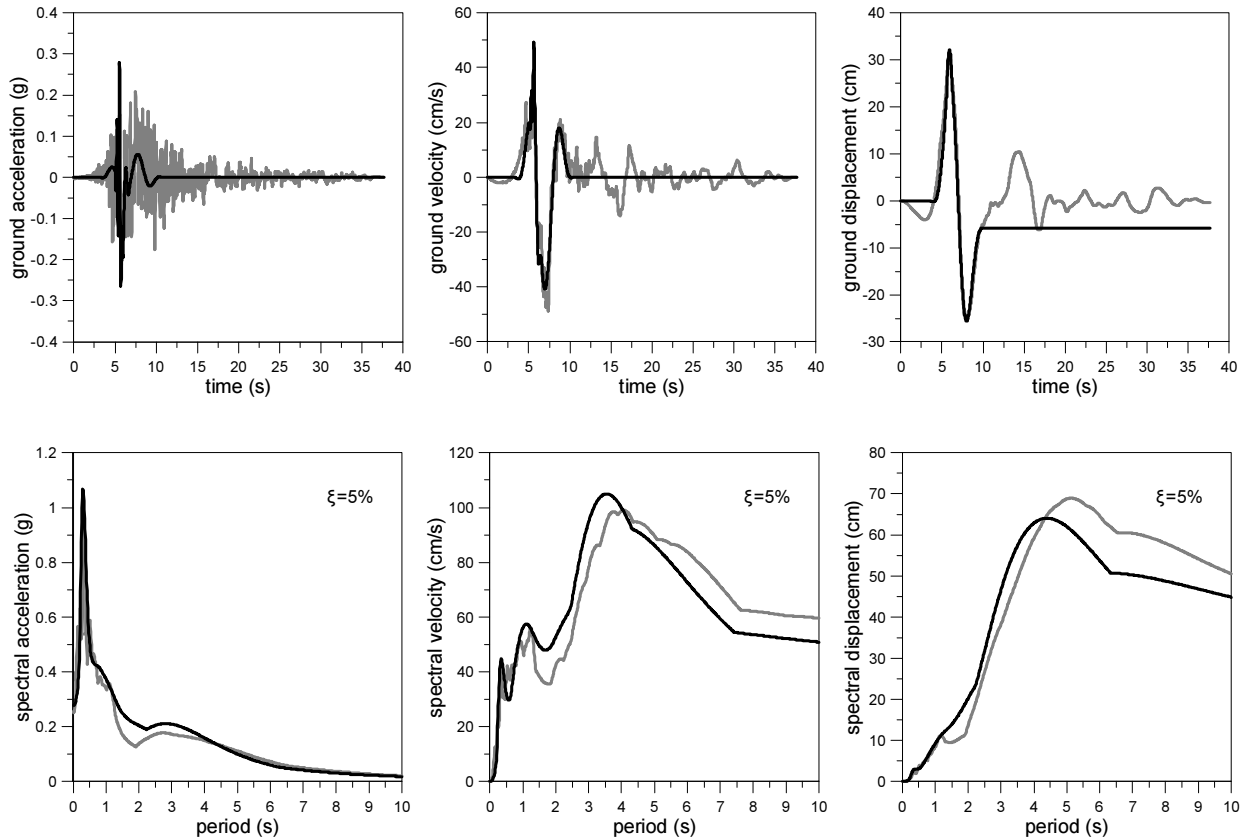
Imperial Valley-06. El Centro Array #8. NGA 183



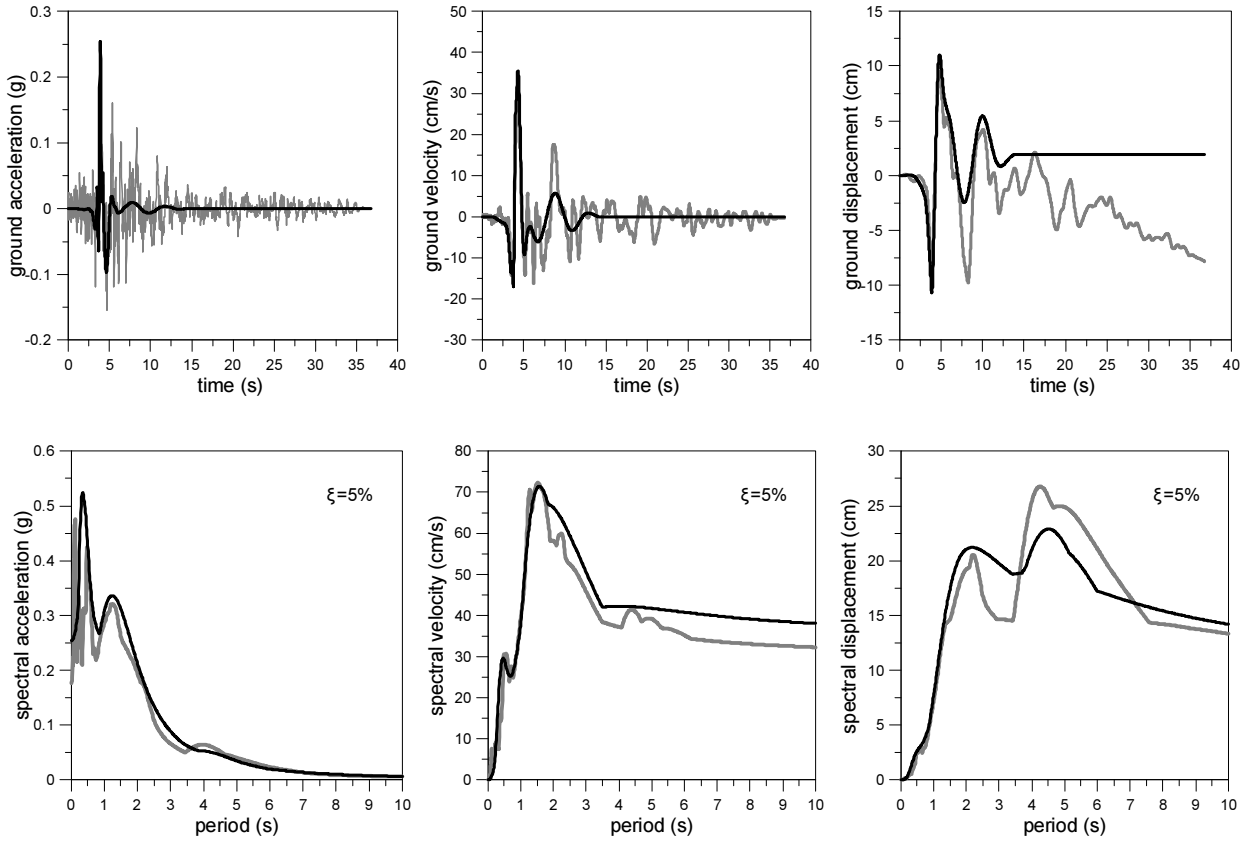
Imperial Valley-06, El Centro Differential Array, NGA 184



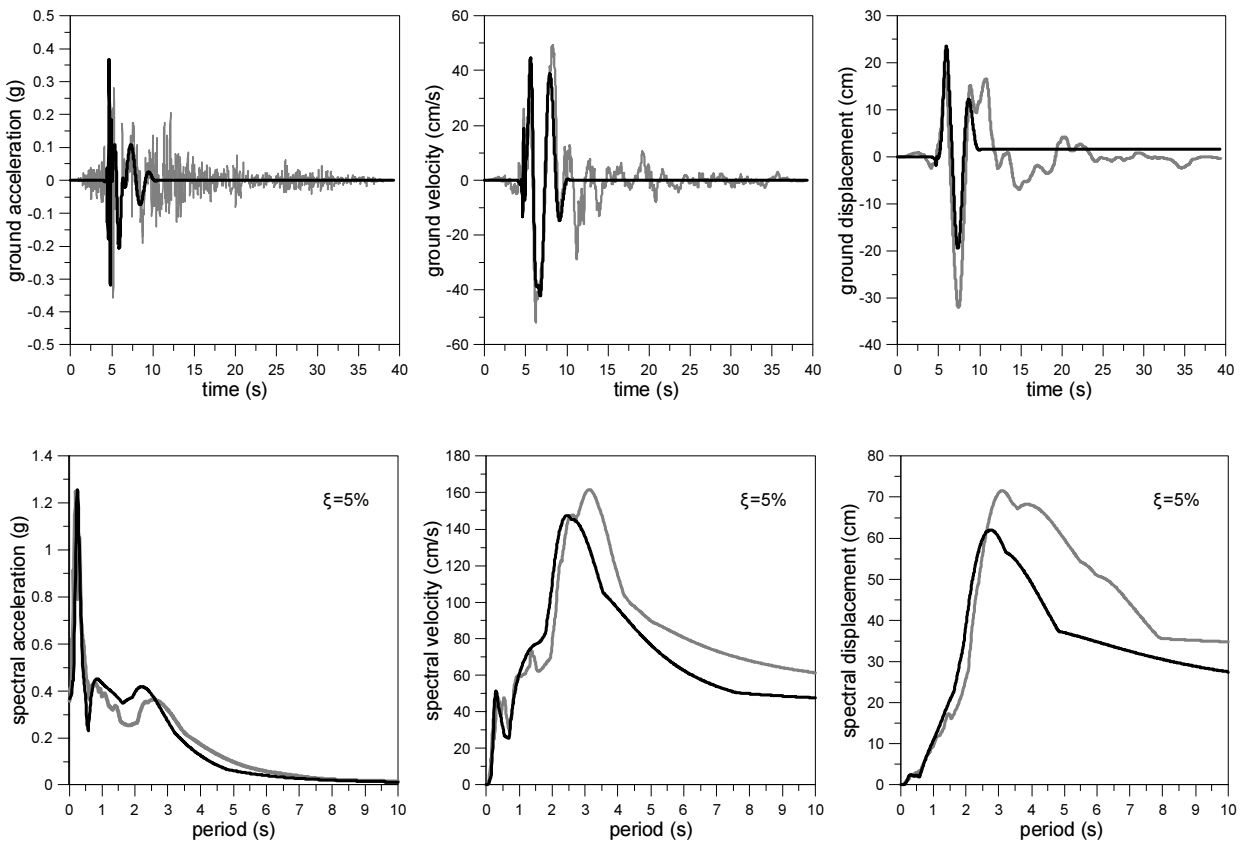
Imperial Valley-06, Holtville Post Office, NGA 185



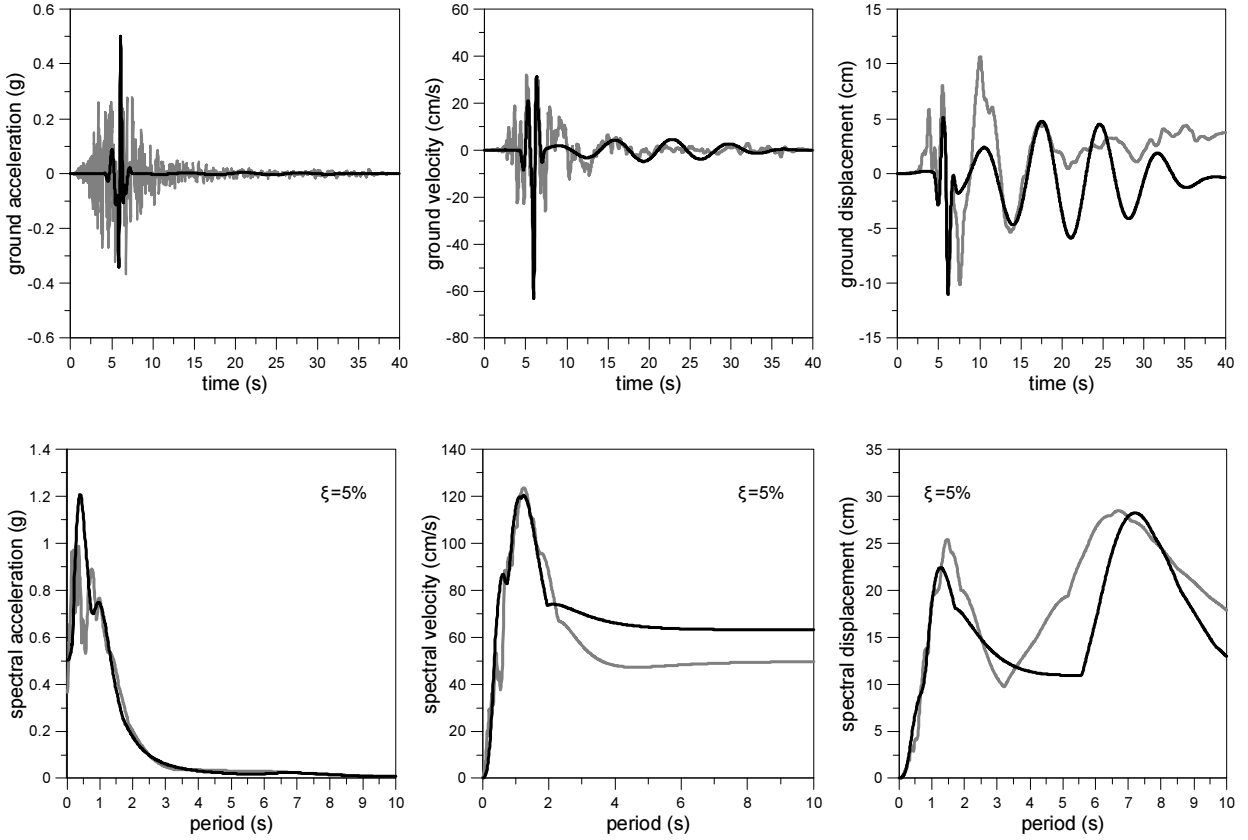
Irpinia, Italy-01, Bagnoli Irpinio, NGA 285



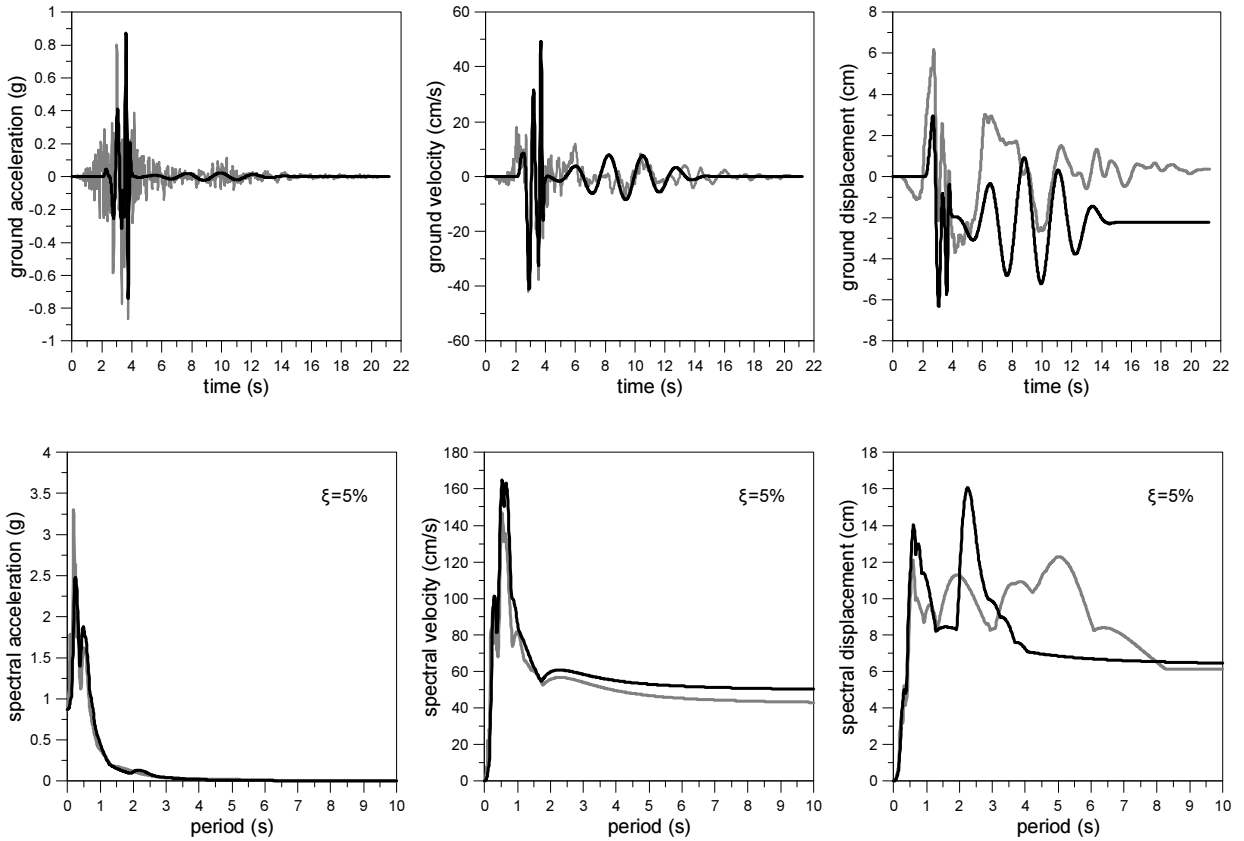
Irpinia, Italy-01, Sturmo, NGA 292



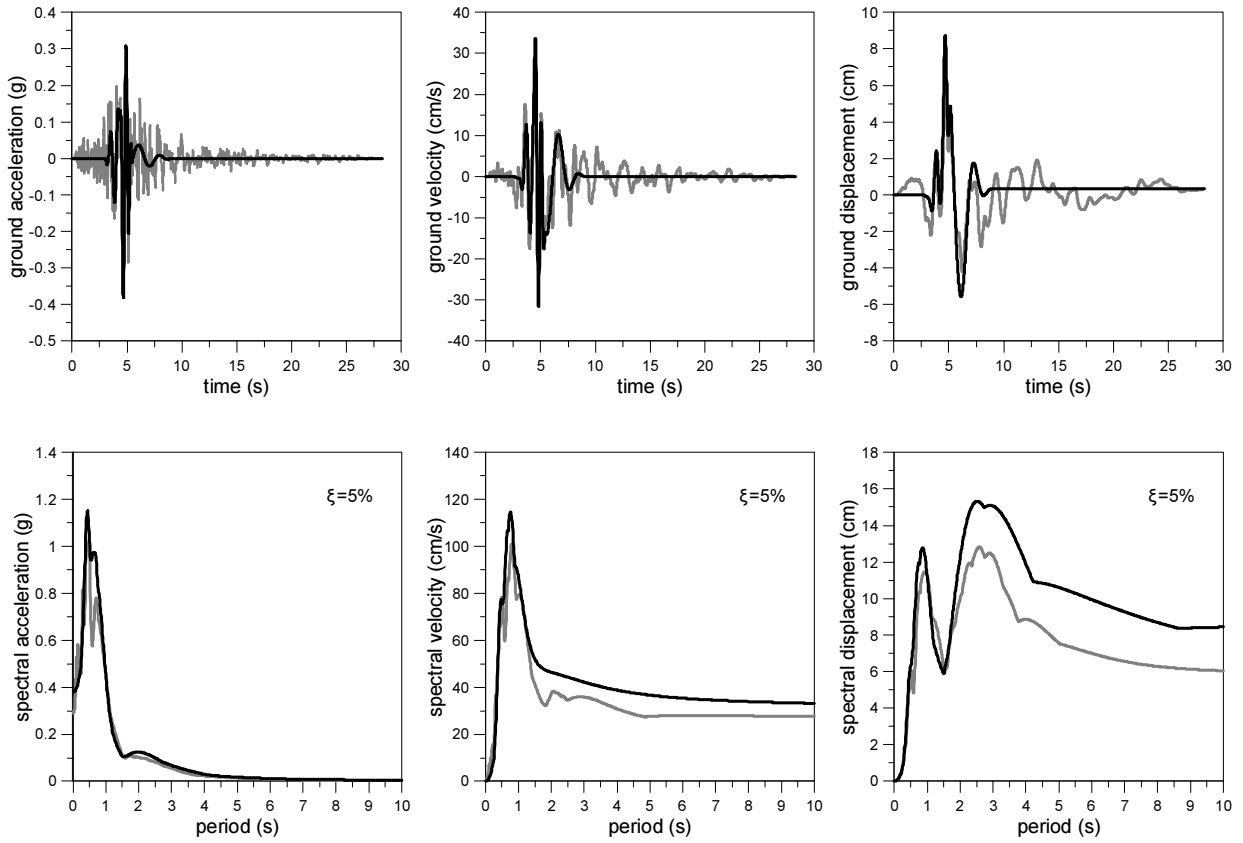
Westmorland, Westmorland Fire Sta. NGA 319



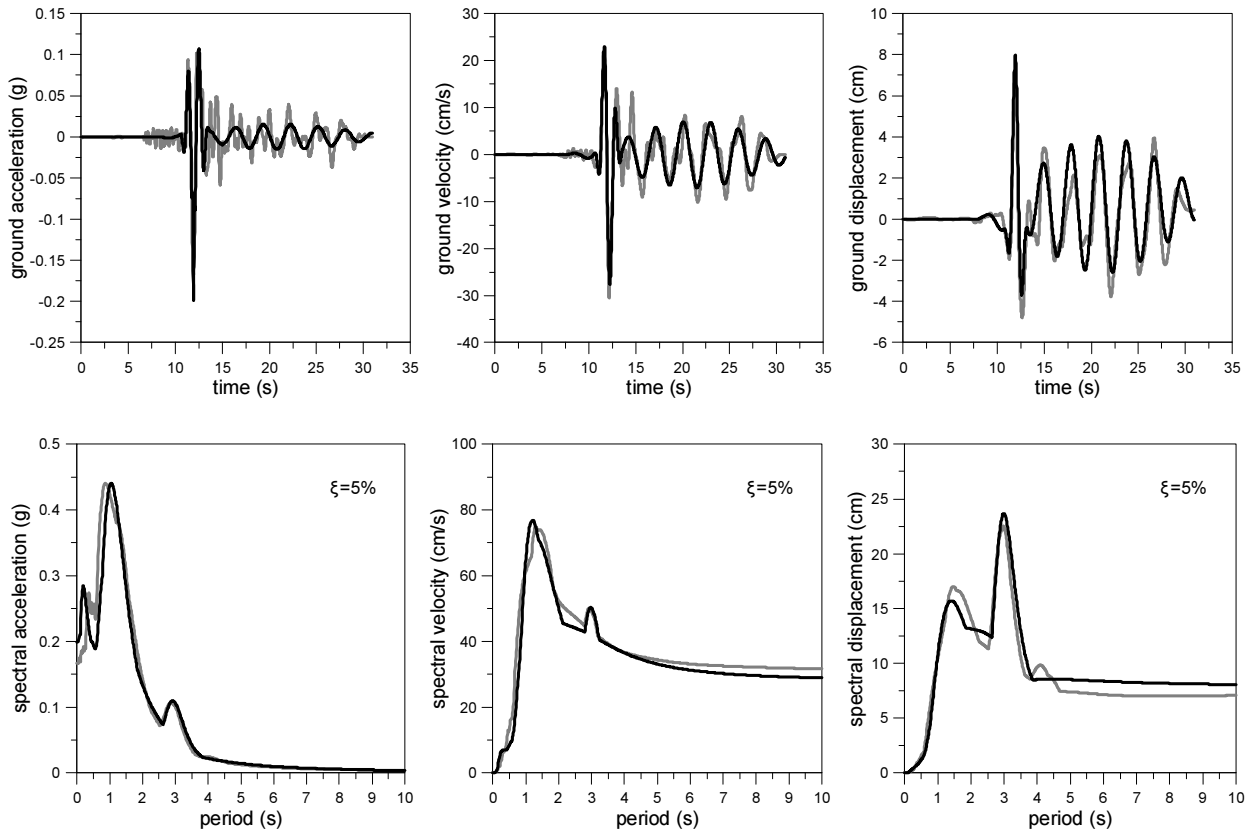
Coalinga-05, Oil City, NGA 407



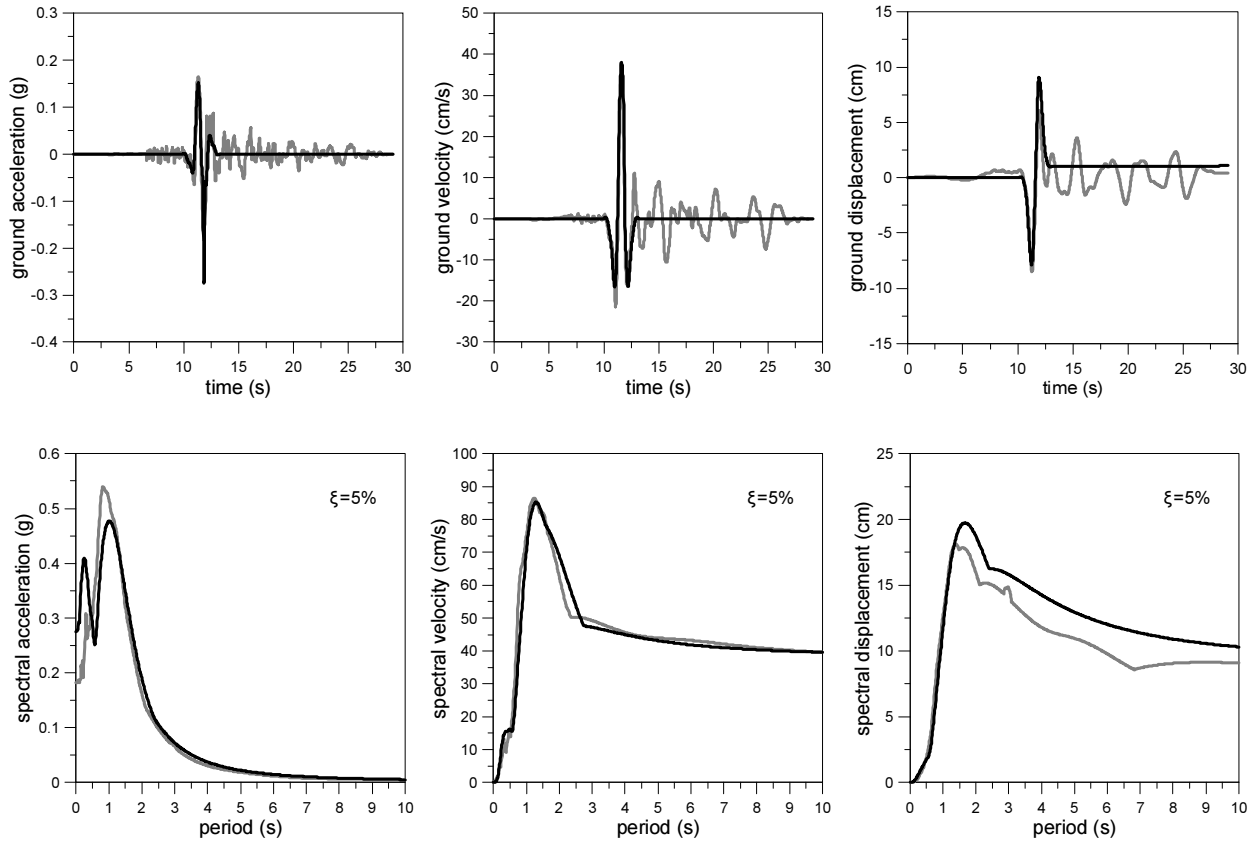
Morgan Hill, Anderson Dam (Downstream), NGA 448



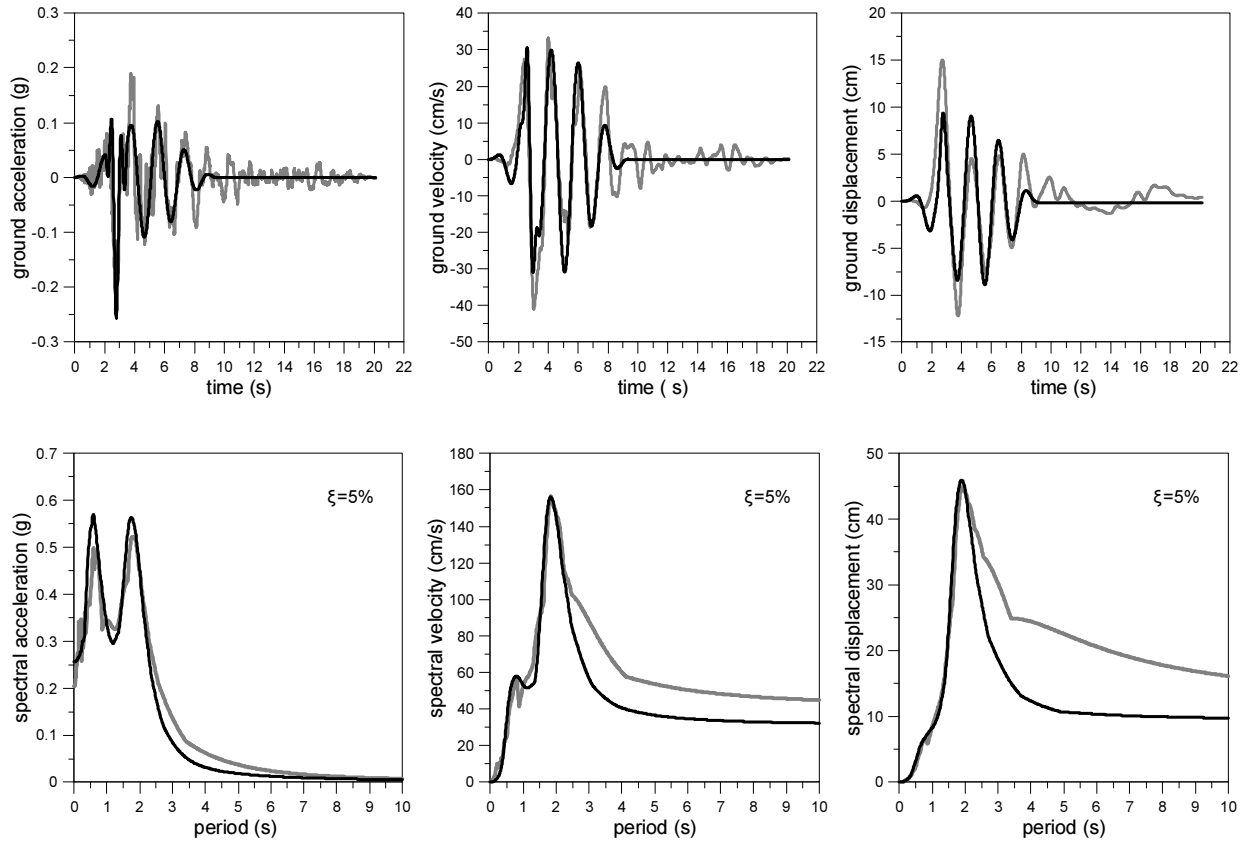
Taiwan SMART1(40), SMART1 107, NGA 506



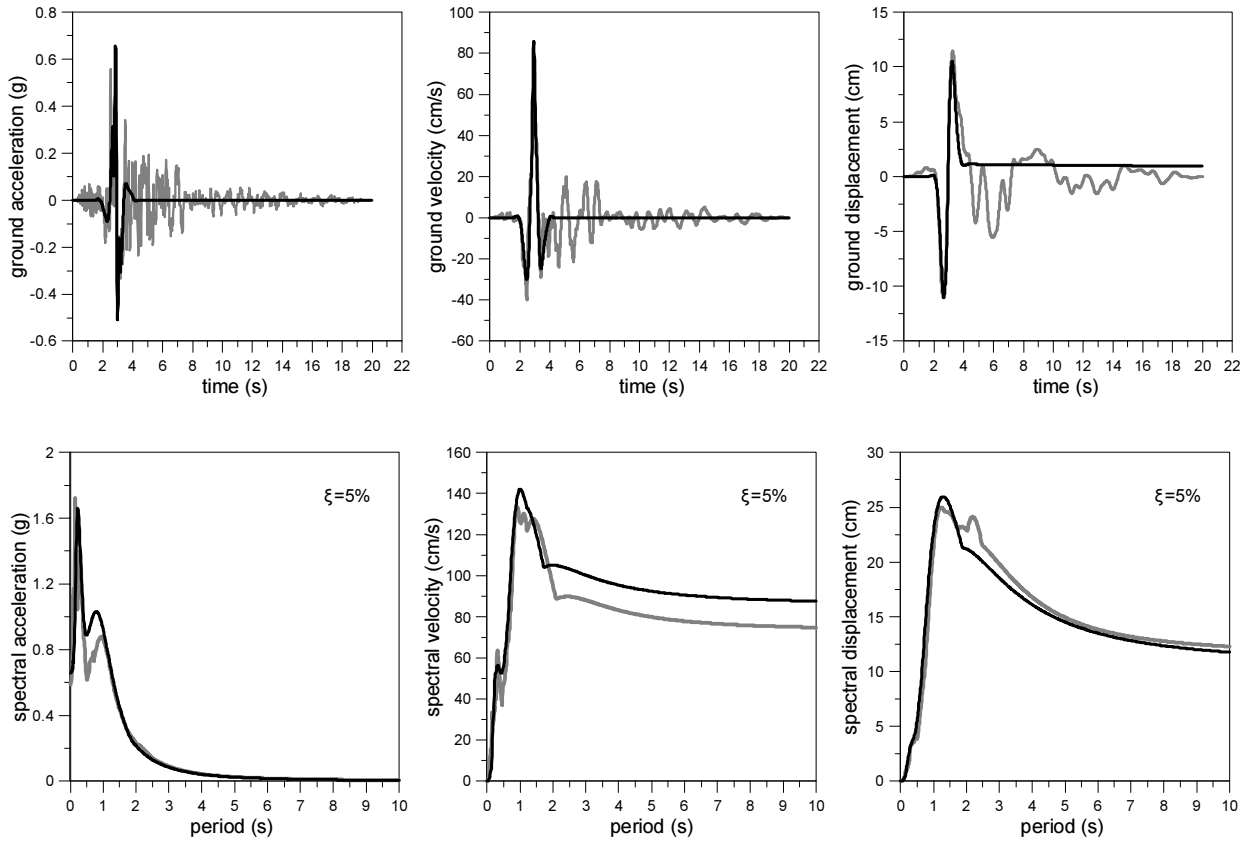
Taiwan SMART1(40), SMART1 M07, NGA 508



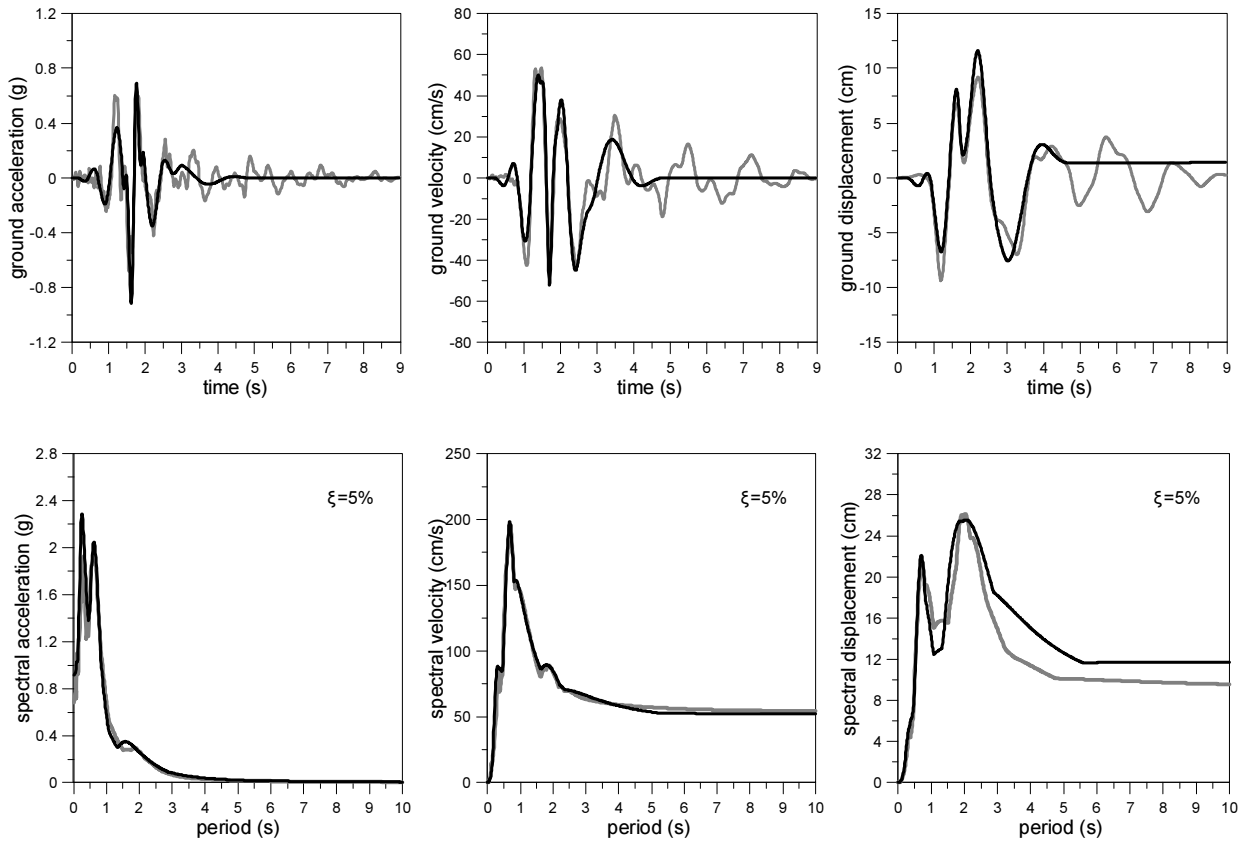
N. Palm Springs, Morongo Valley, NGA 527



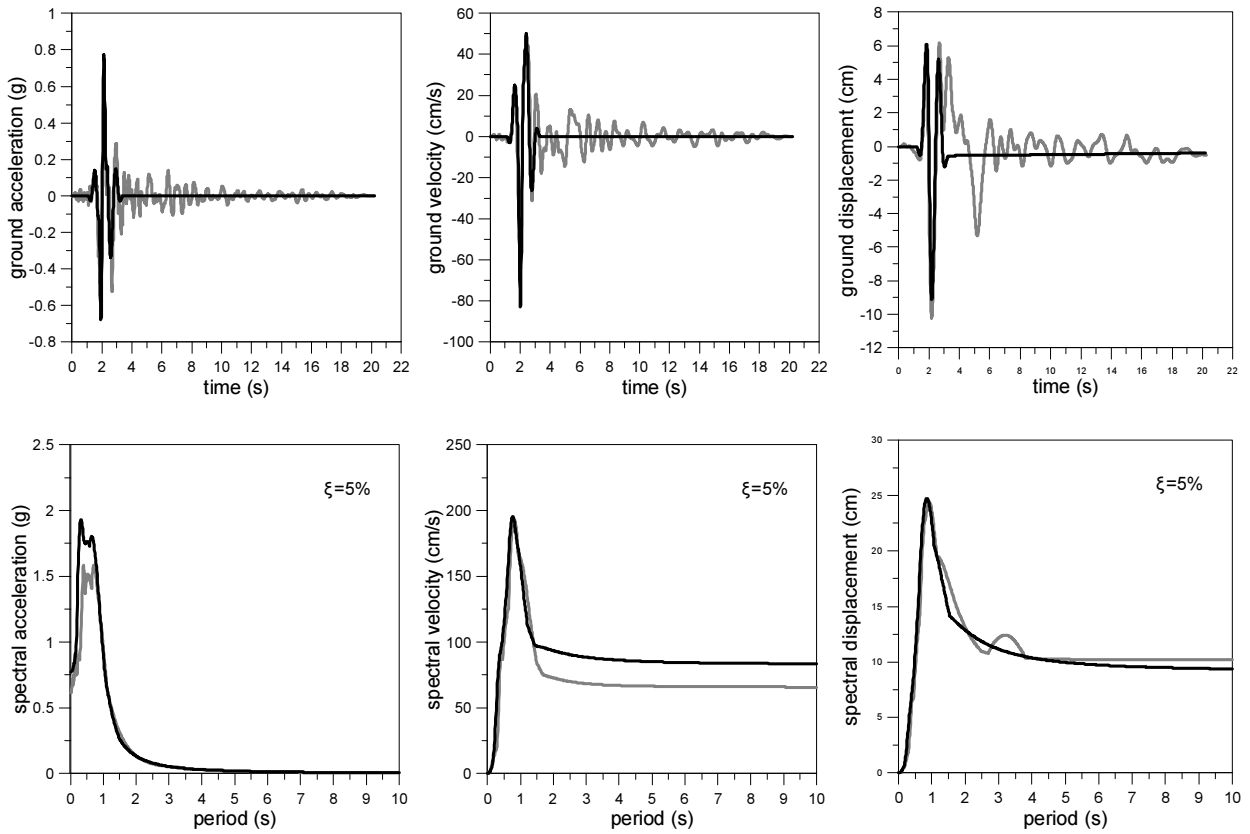
N. Palm Springs, North Palm Springs, NGA 529



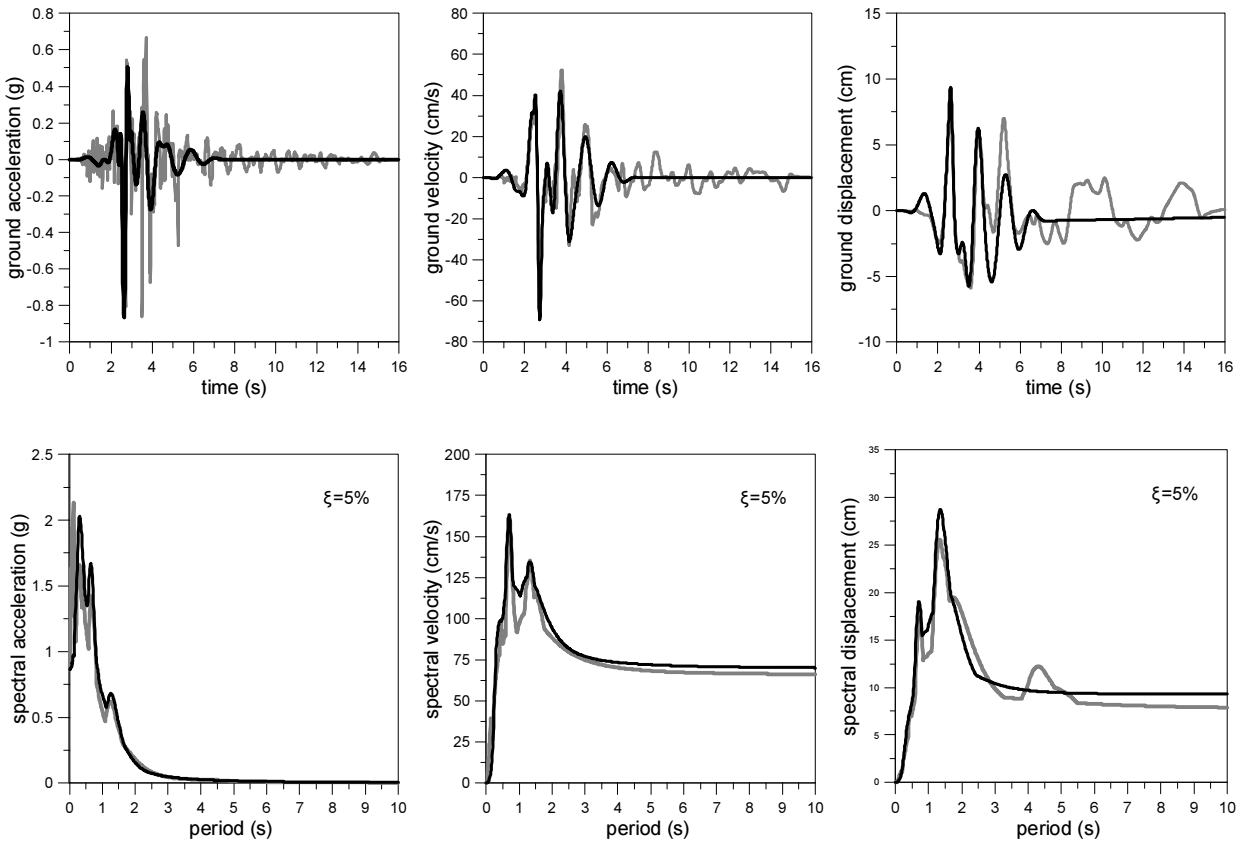
San Salvador, Geotech Investig. Center, NGA 568



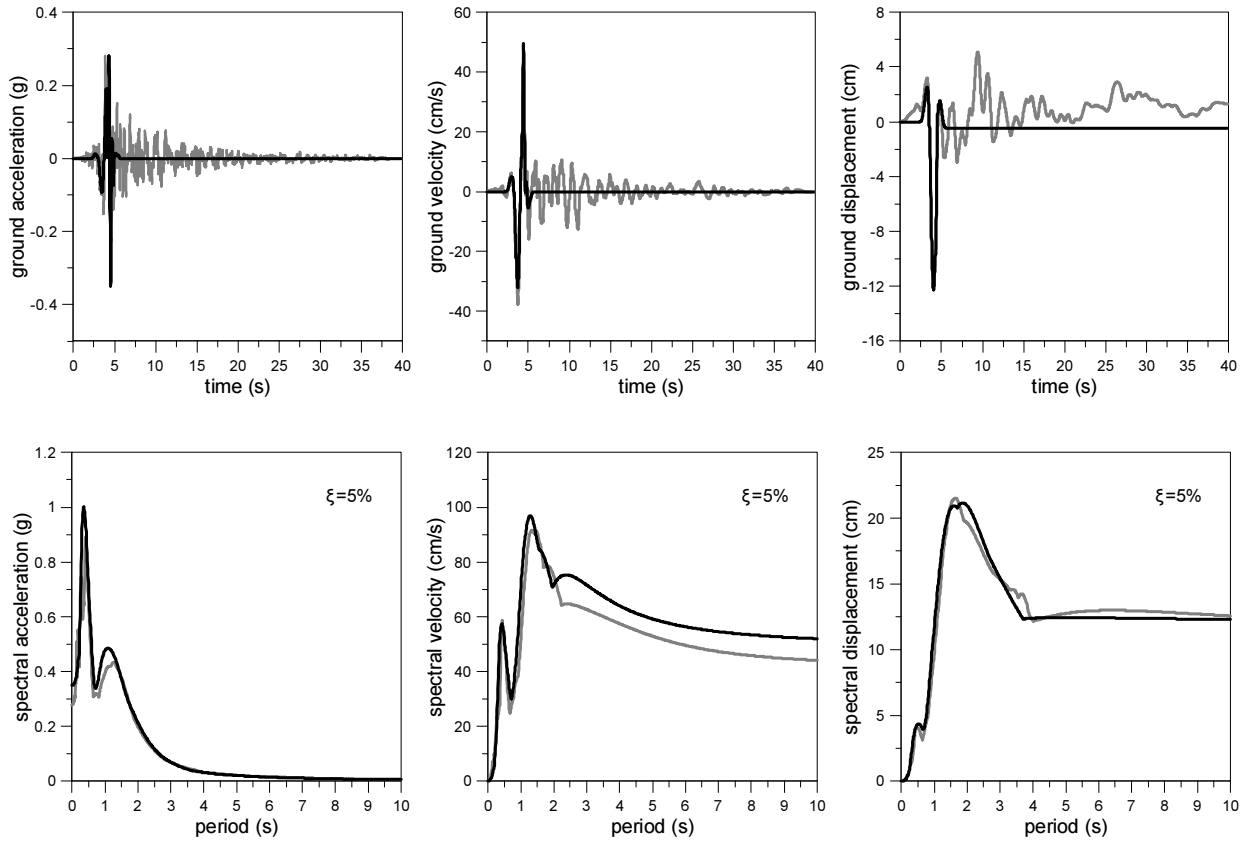
San Salvador, National Geographical Inst. NGA 569



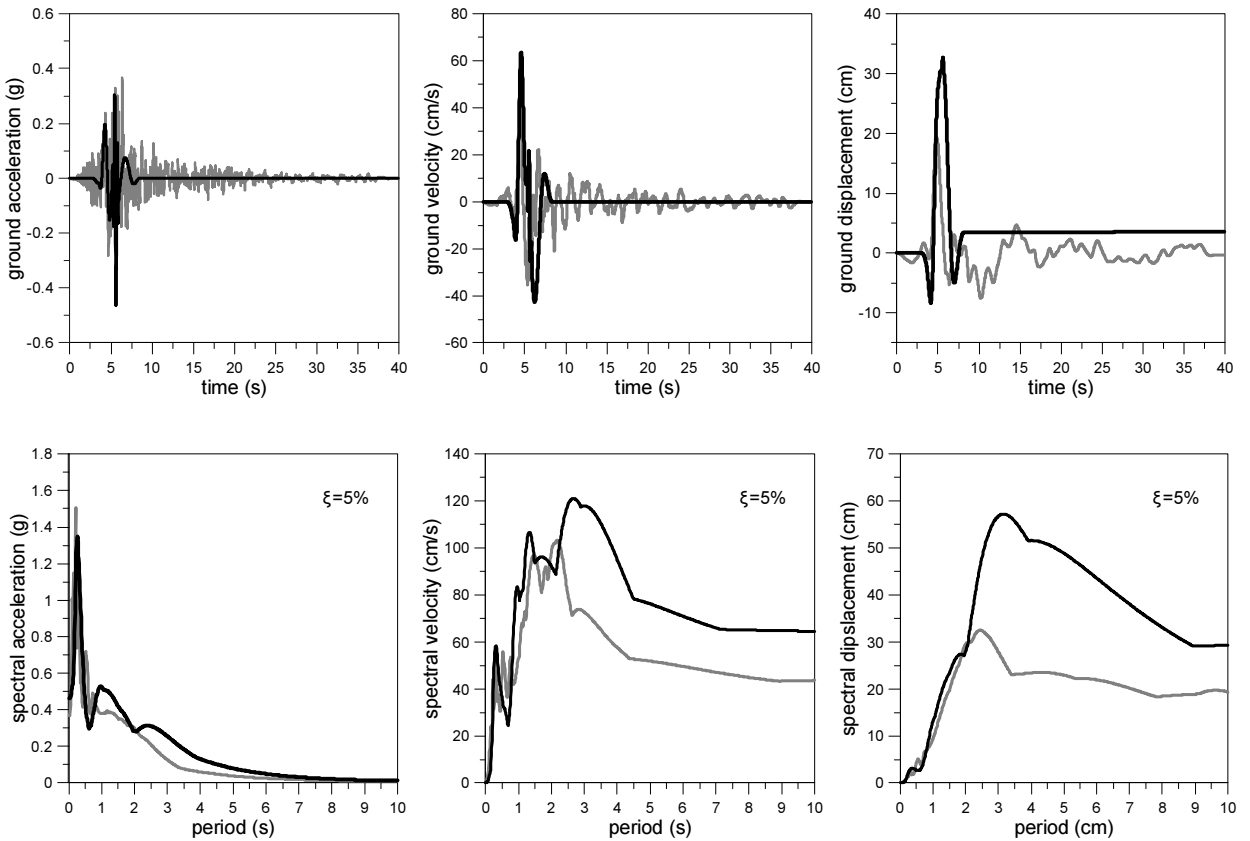
Baja California, Cerro Prieto, NGA 585



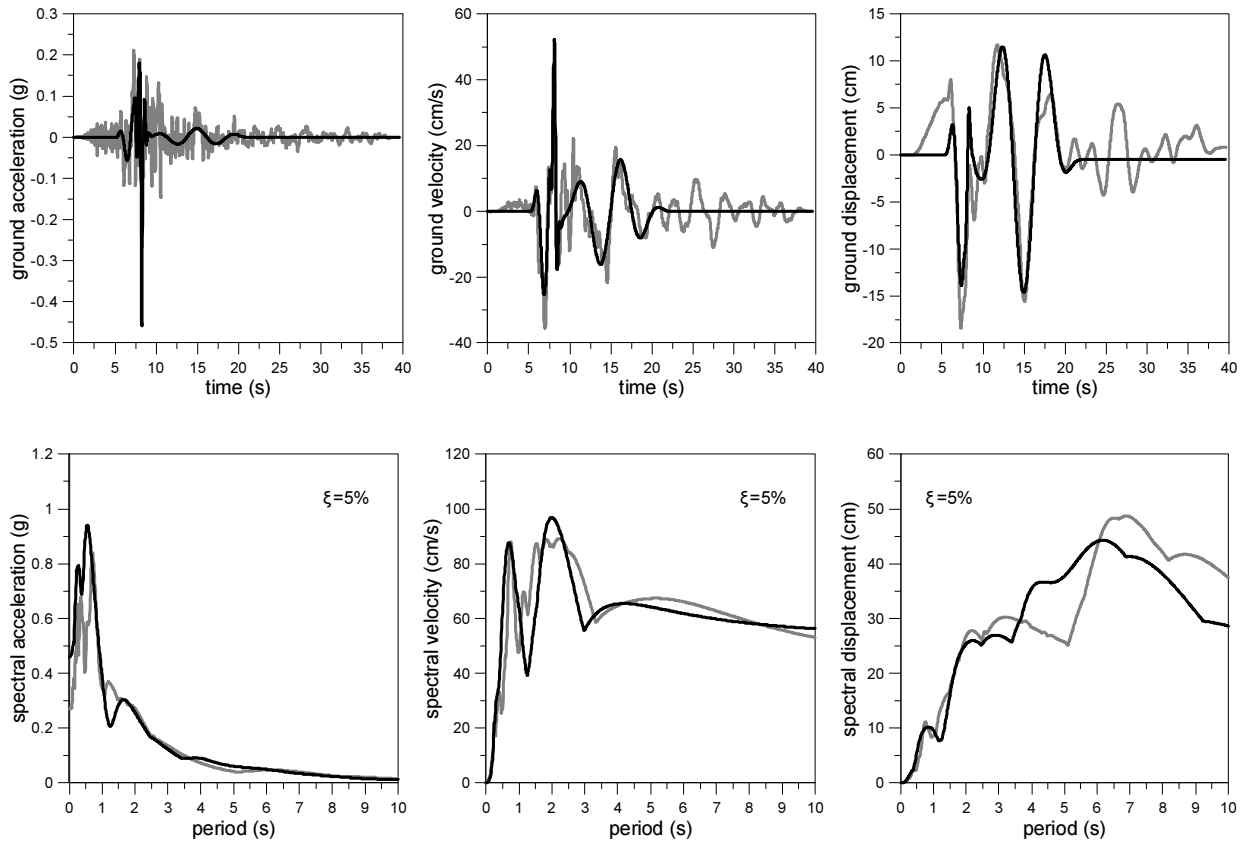
Loma Prieta, Gilroy - Historic Bldg., NGA 764



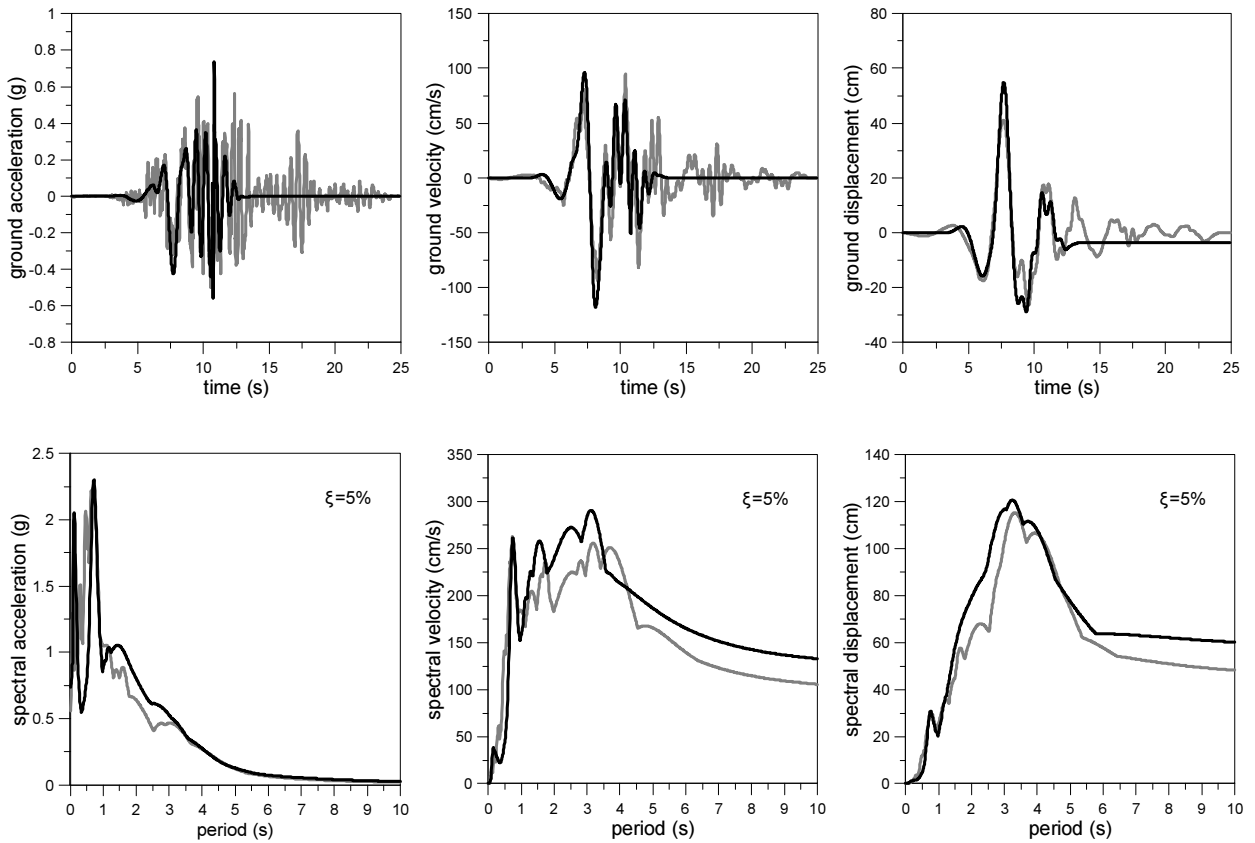
Loma Prieta, Gilroy Array #3, NGA 767



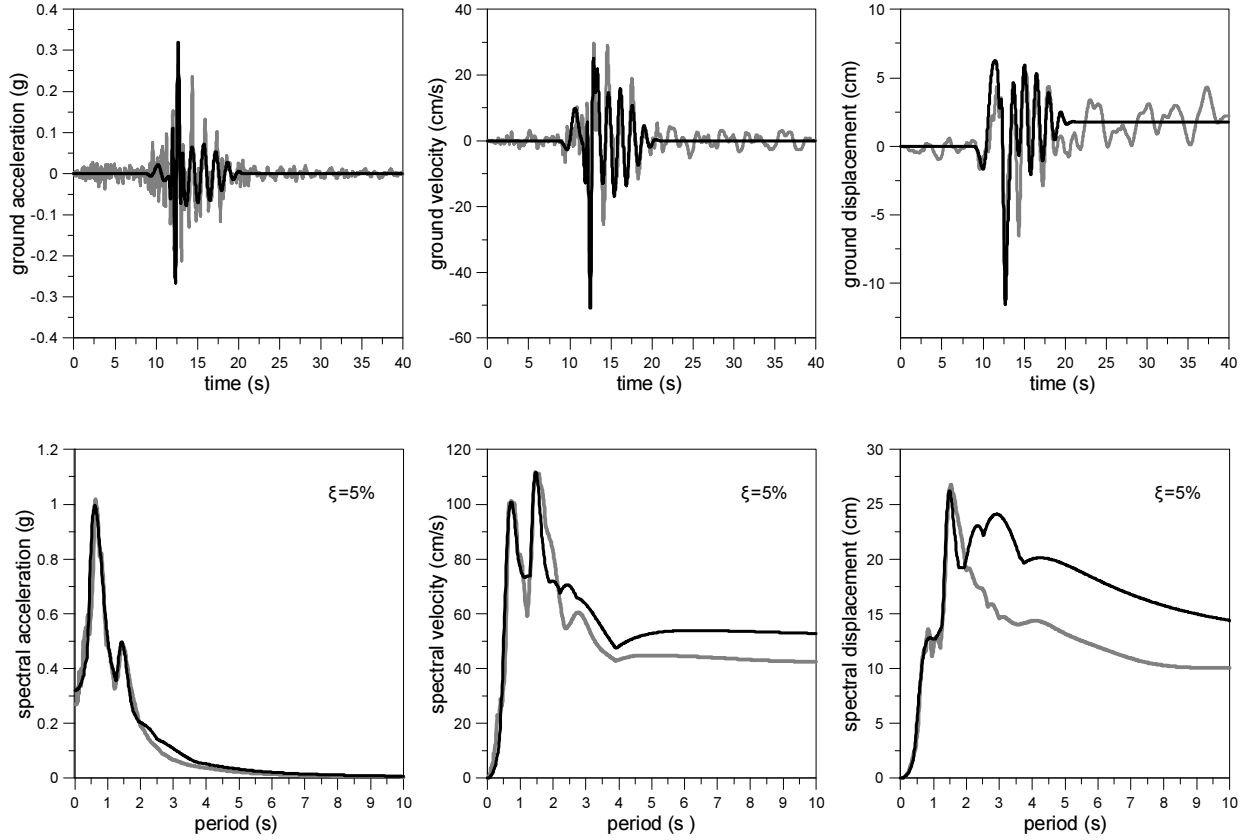
Loma Prieta, Hollister Diff. Array, NGA 778



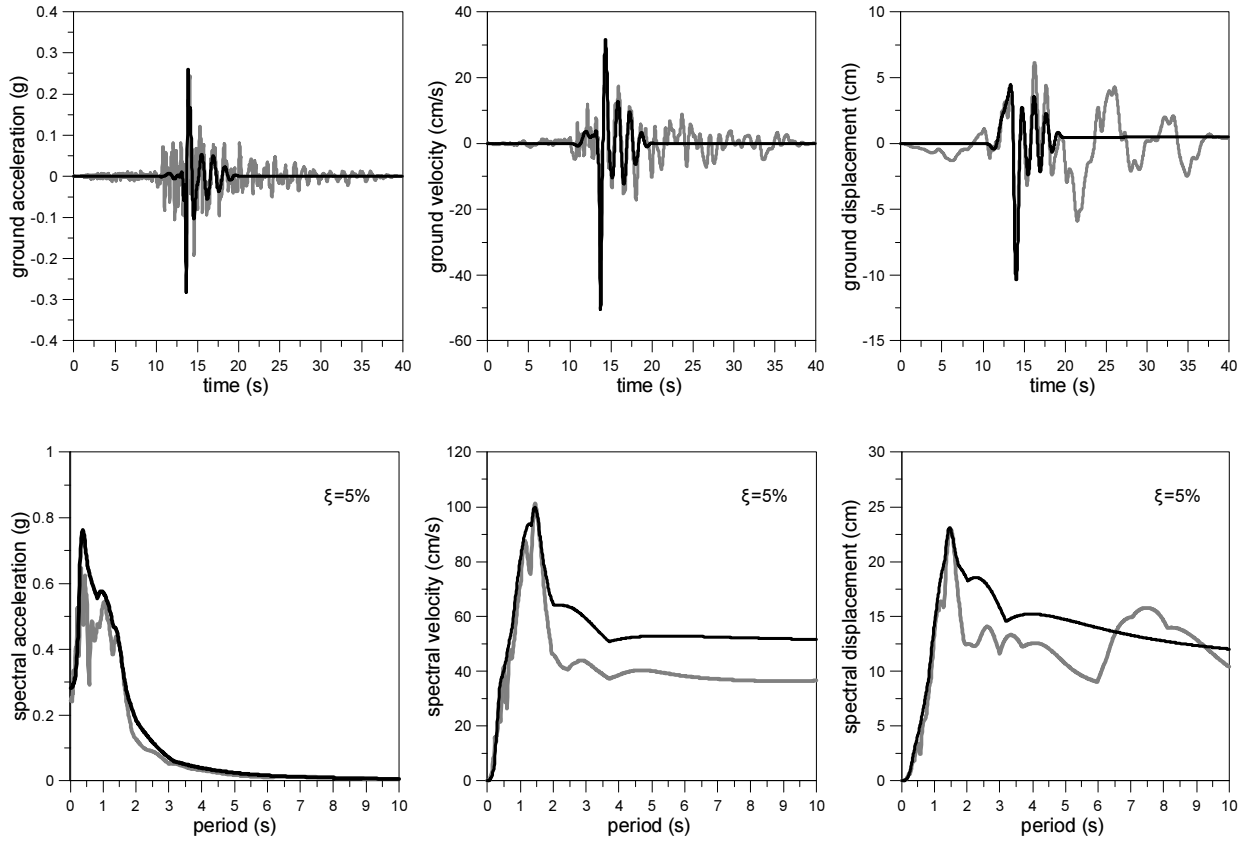
Loma Prieta, LGPC, NGA 779



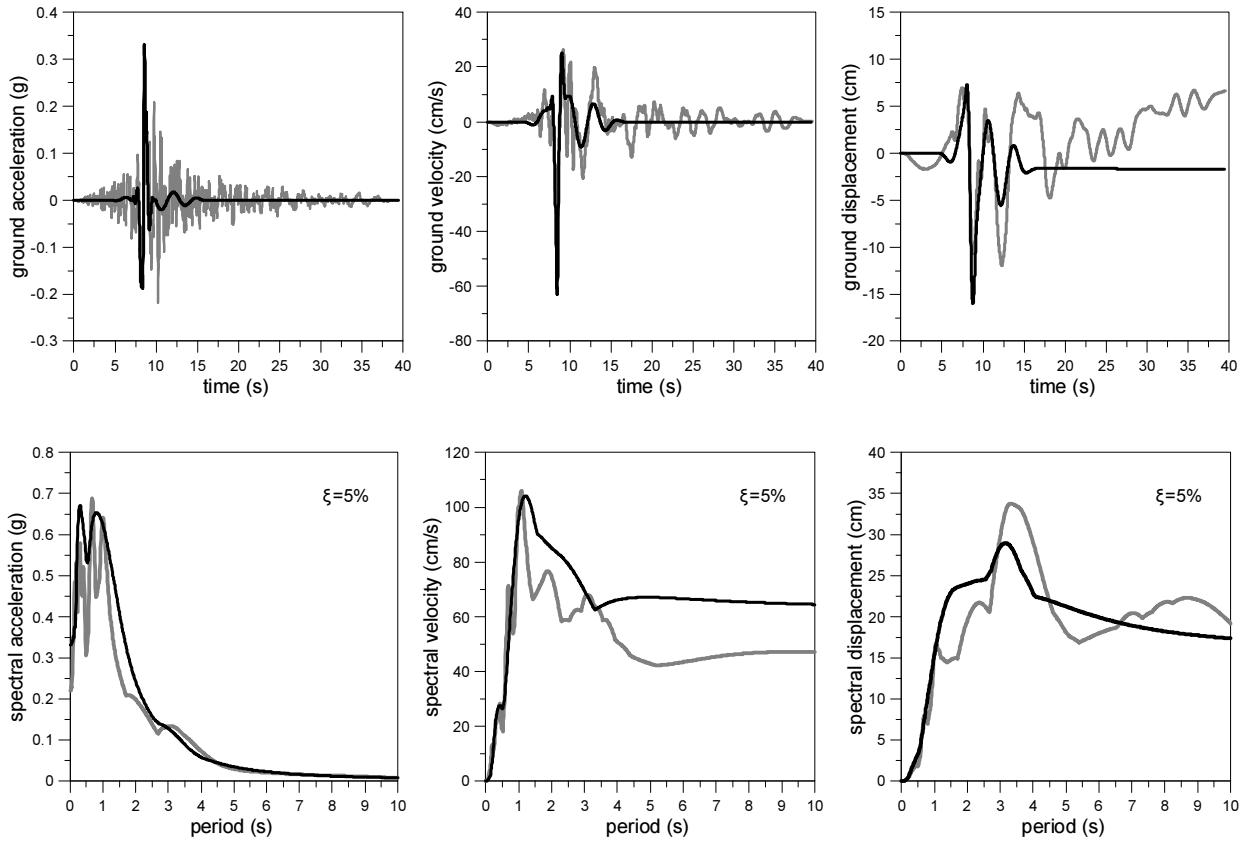
Loma Prieta, Oakland - Outer Harbor Wharf, NGA 783



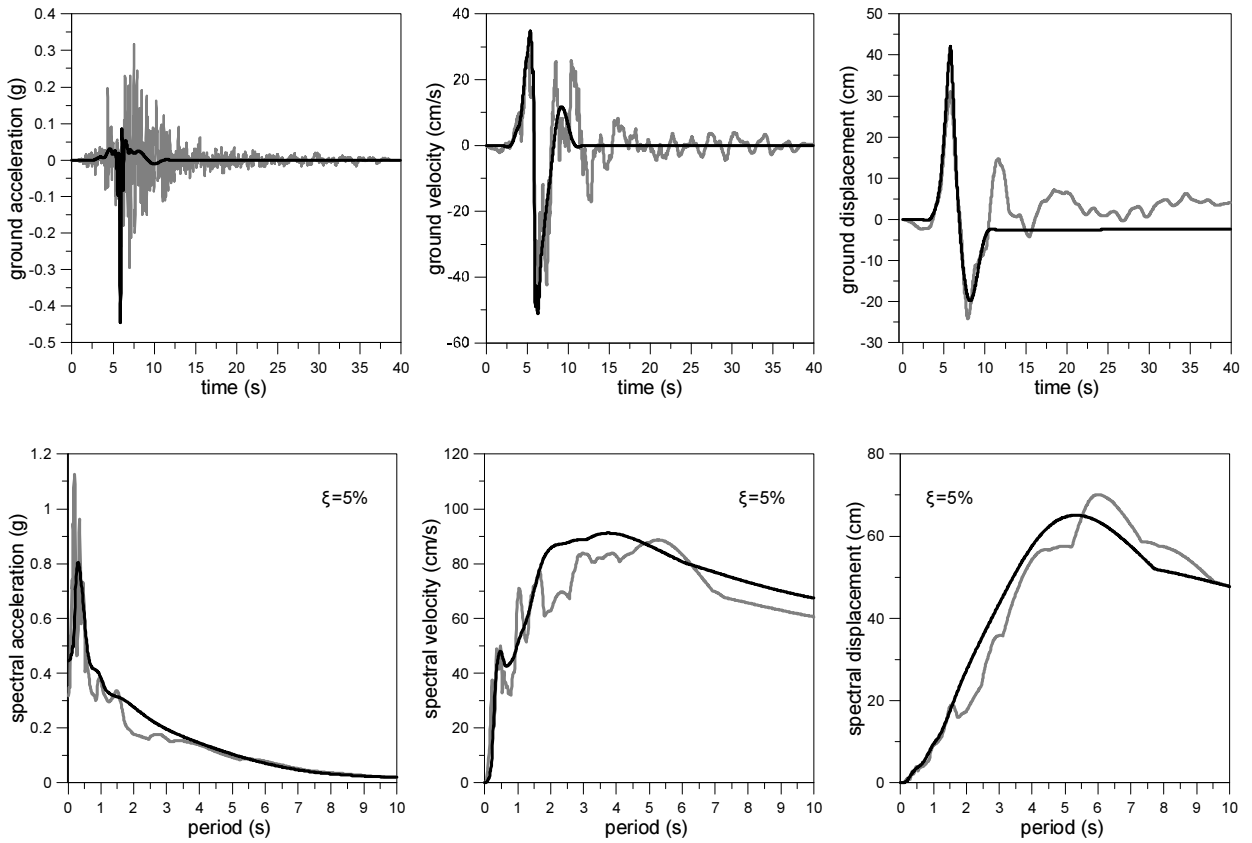
Loma Prieta, Oakland - Title & Trust, NGA 784



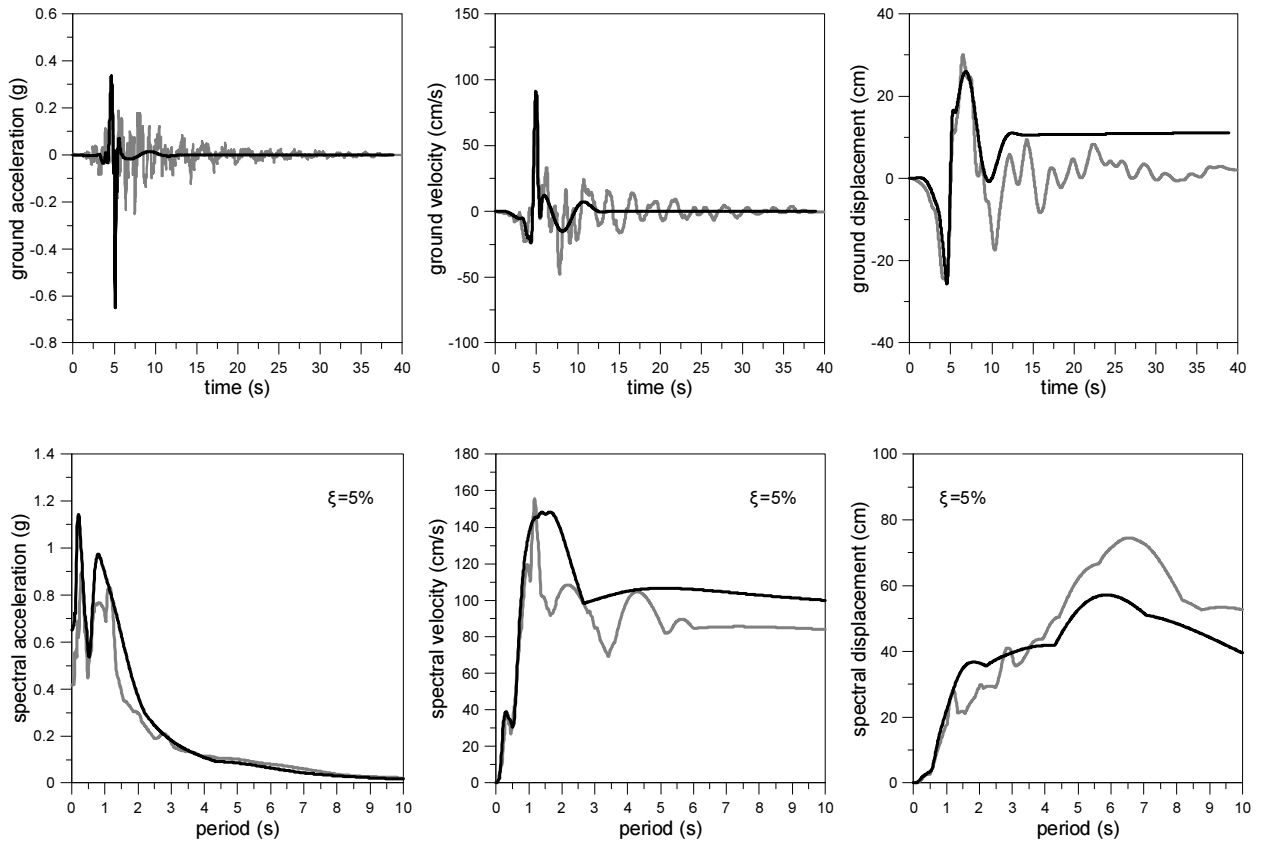
Loma Prieta, Palo Alto - SLAC Lab, NGA 787



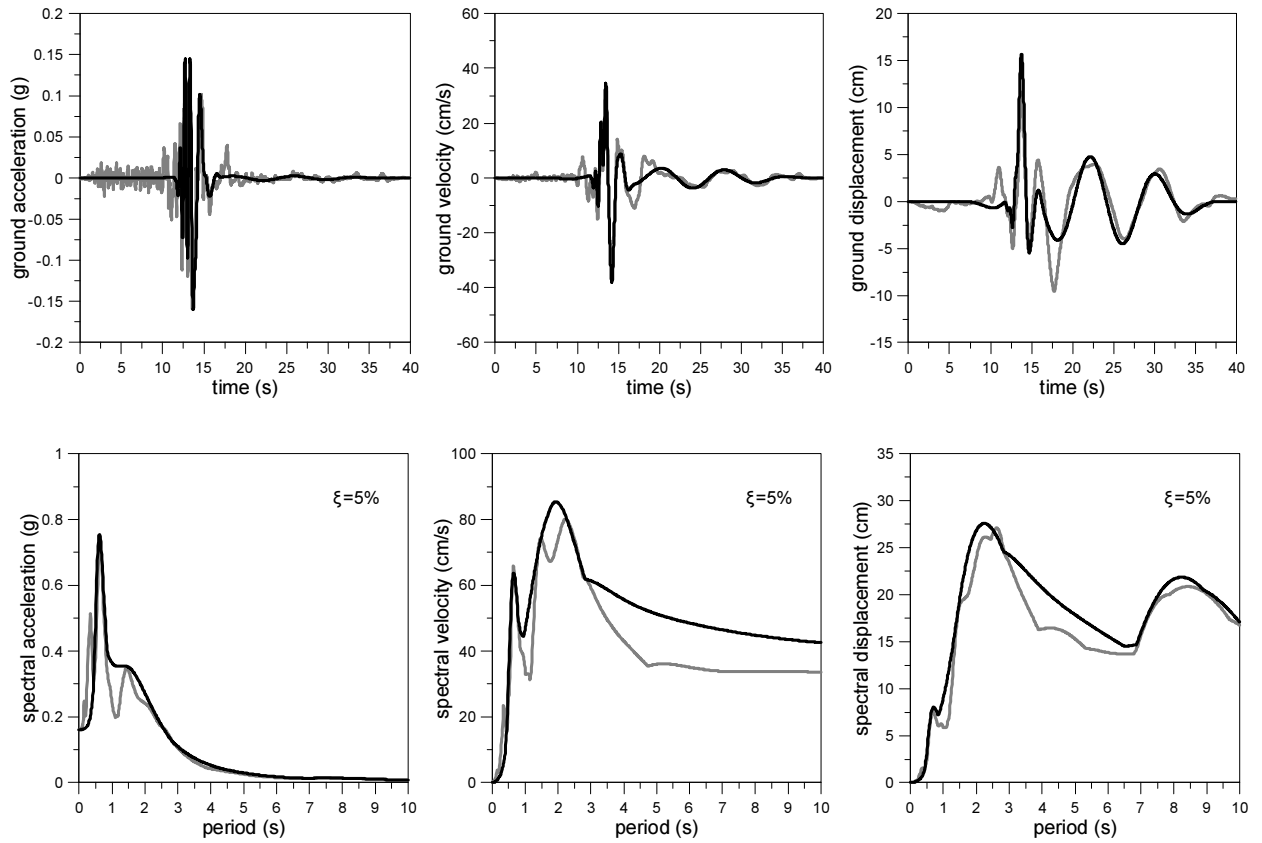
Loma Prieta, Saratoga - Aloha Ave, NGA 802



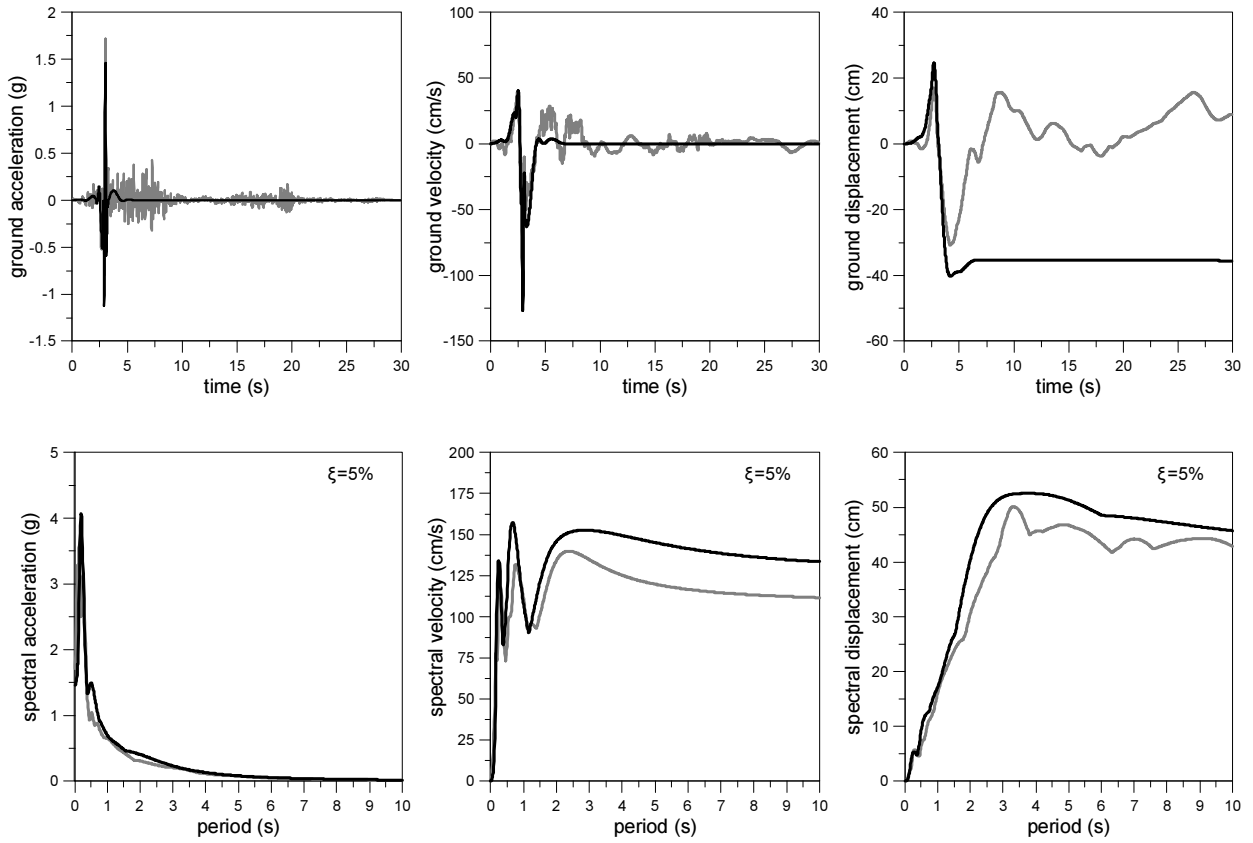
Loma Prieta, Saratoga - W Valley Coll., NGA 803



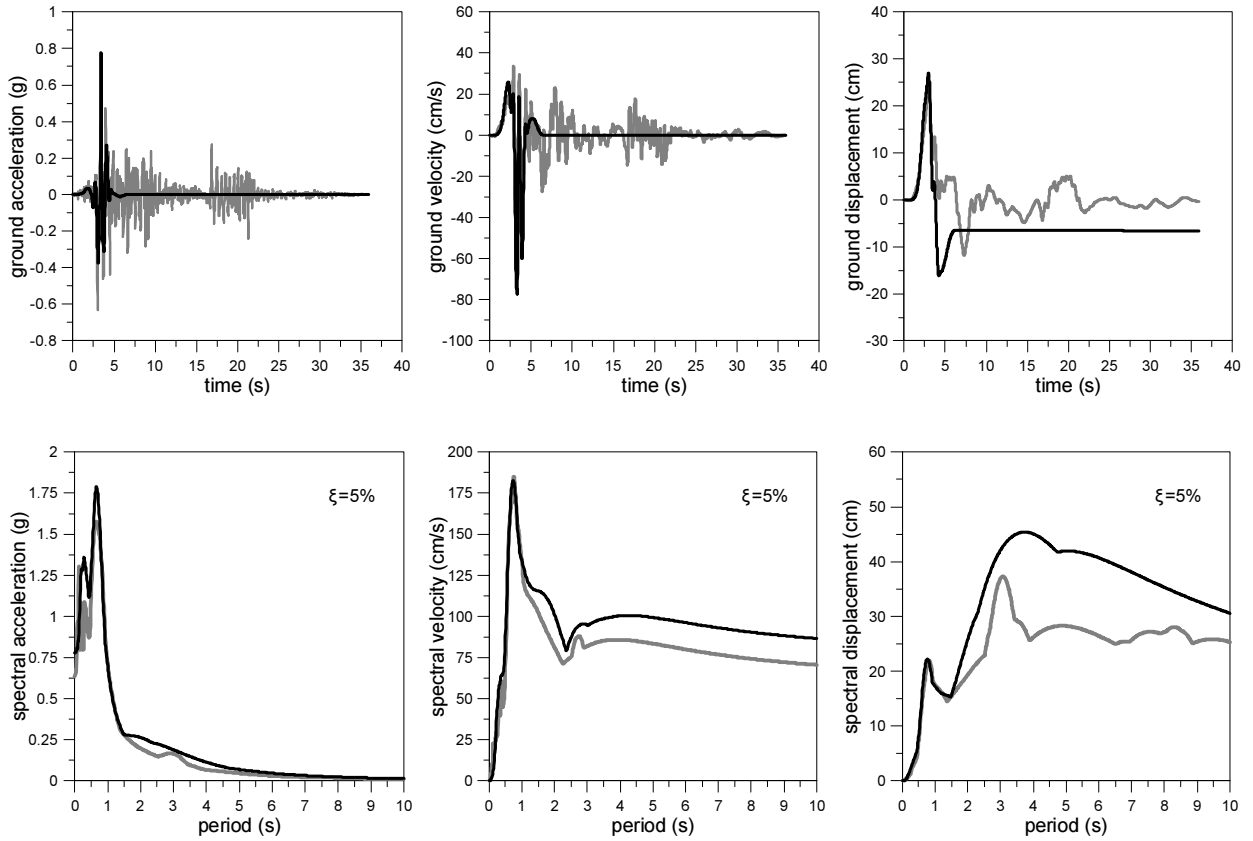
Loma Prieta, Treasure Island, NGA 808



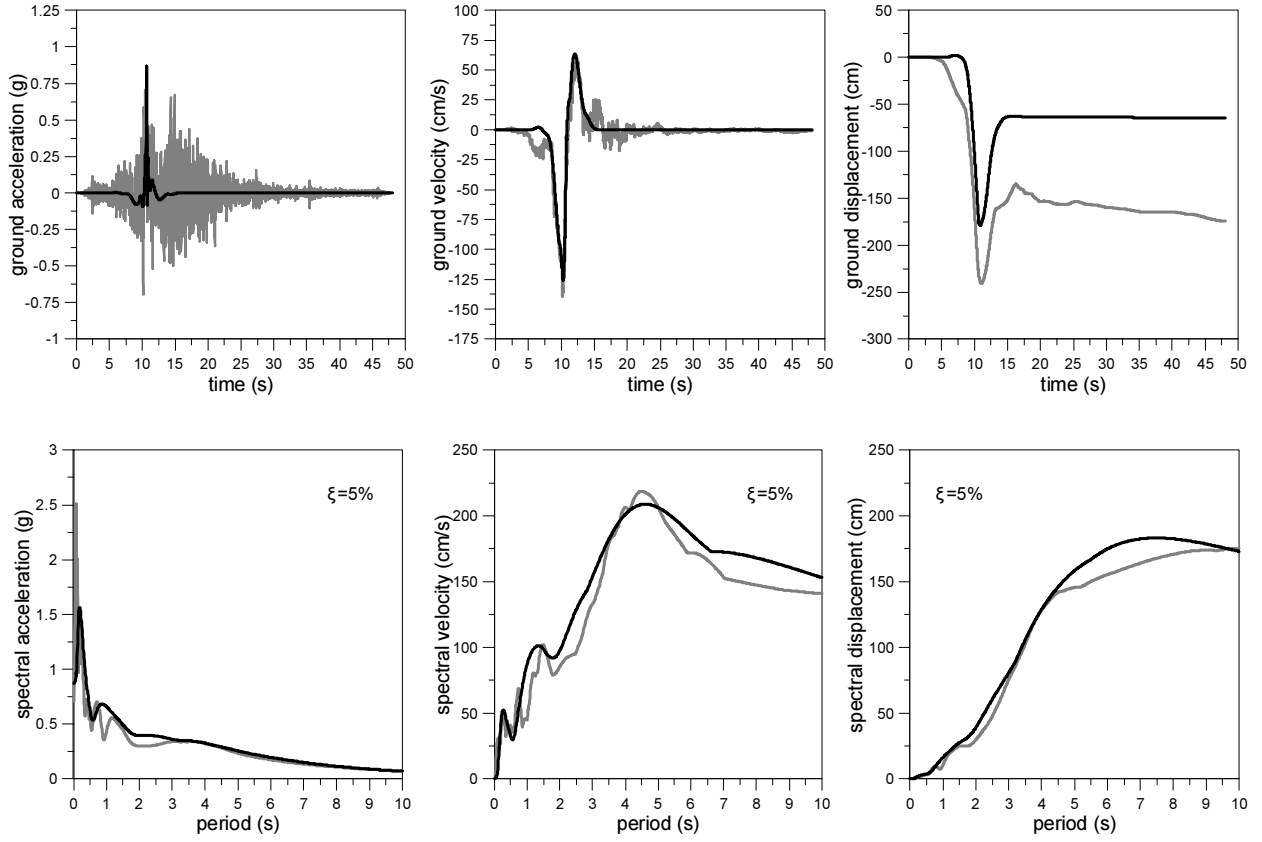
Cape Mendocino, NGA 825



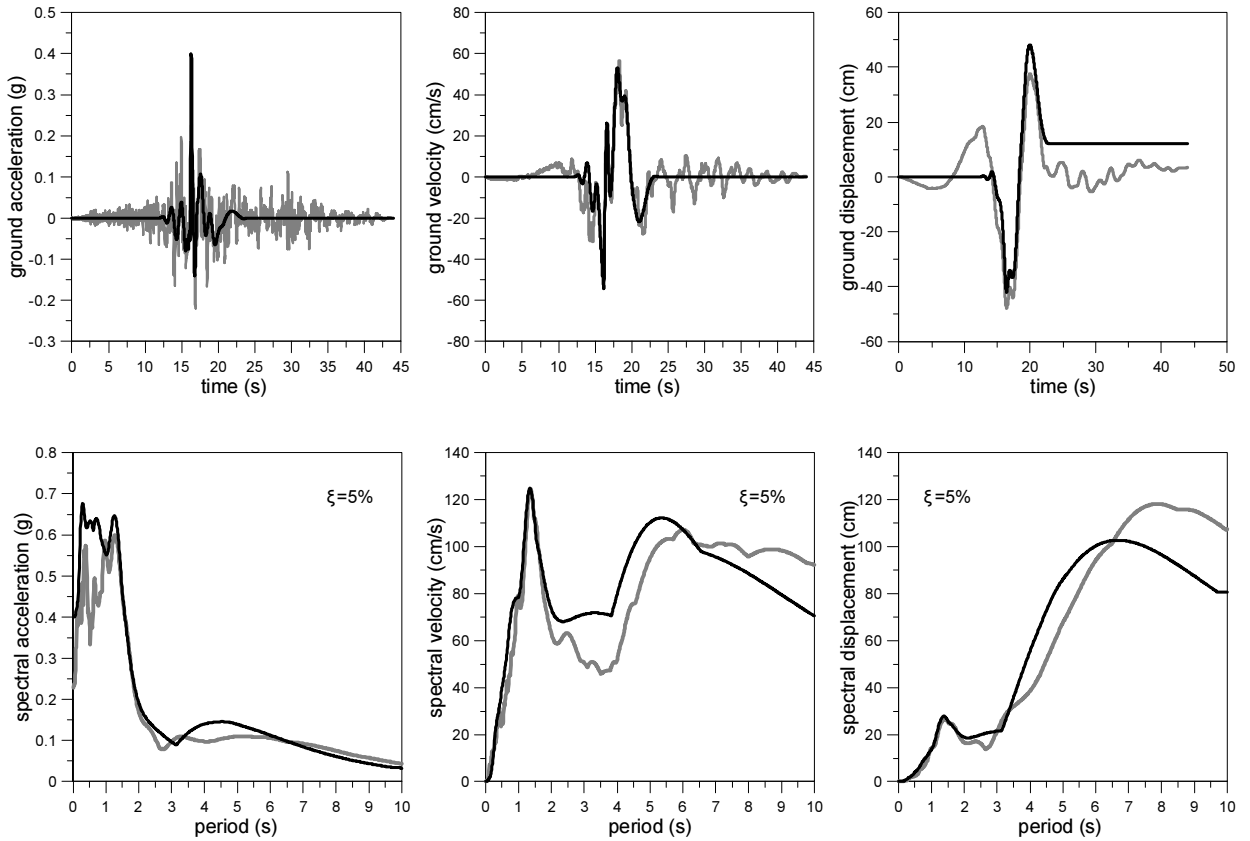
Cape Mendocino, Petrolia, NGA 828



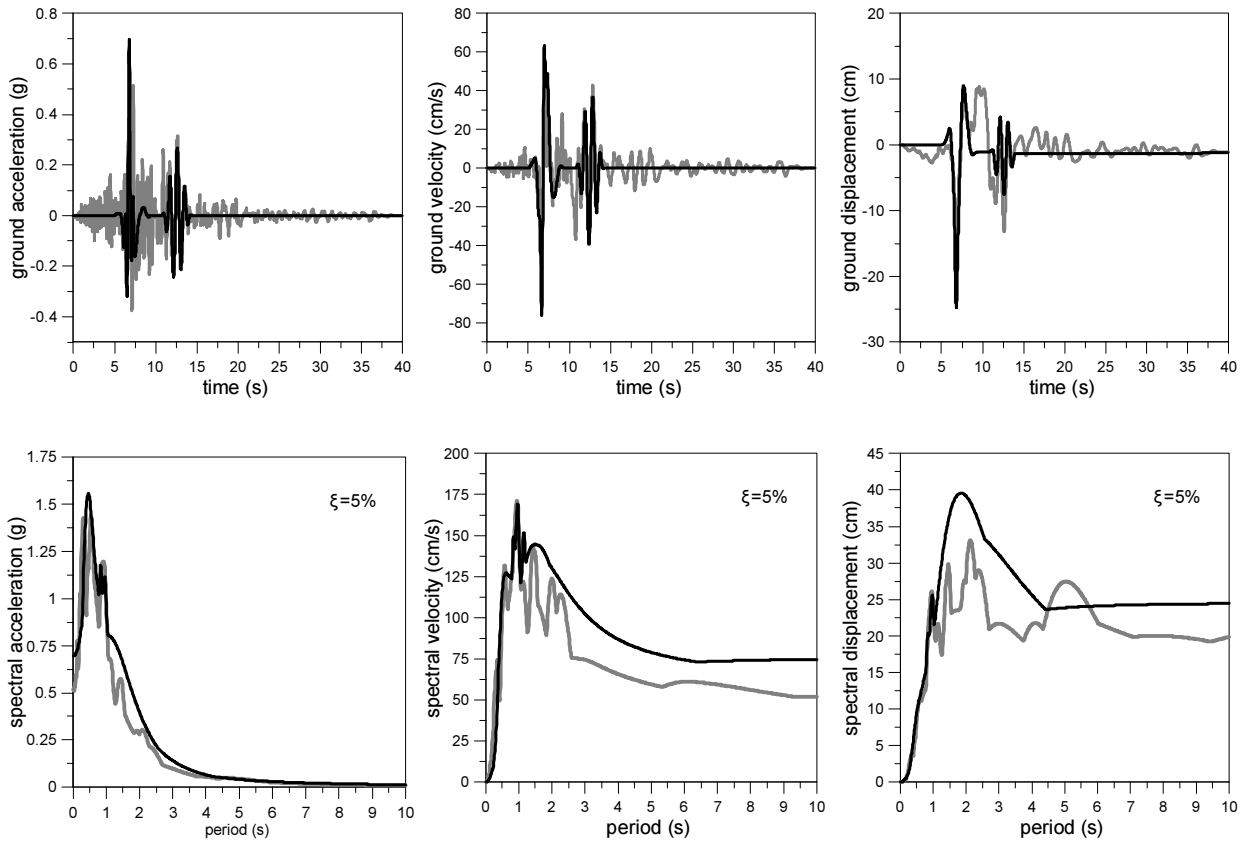
Landers, Lucerne, NGA 879



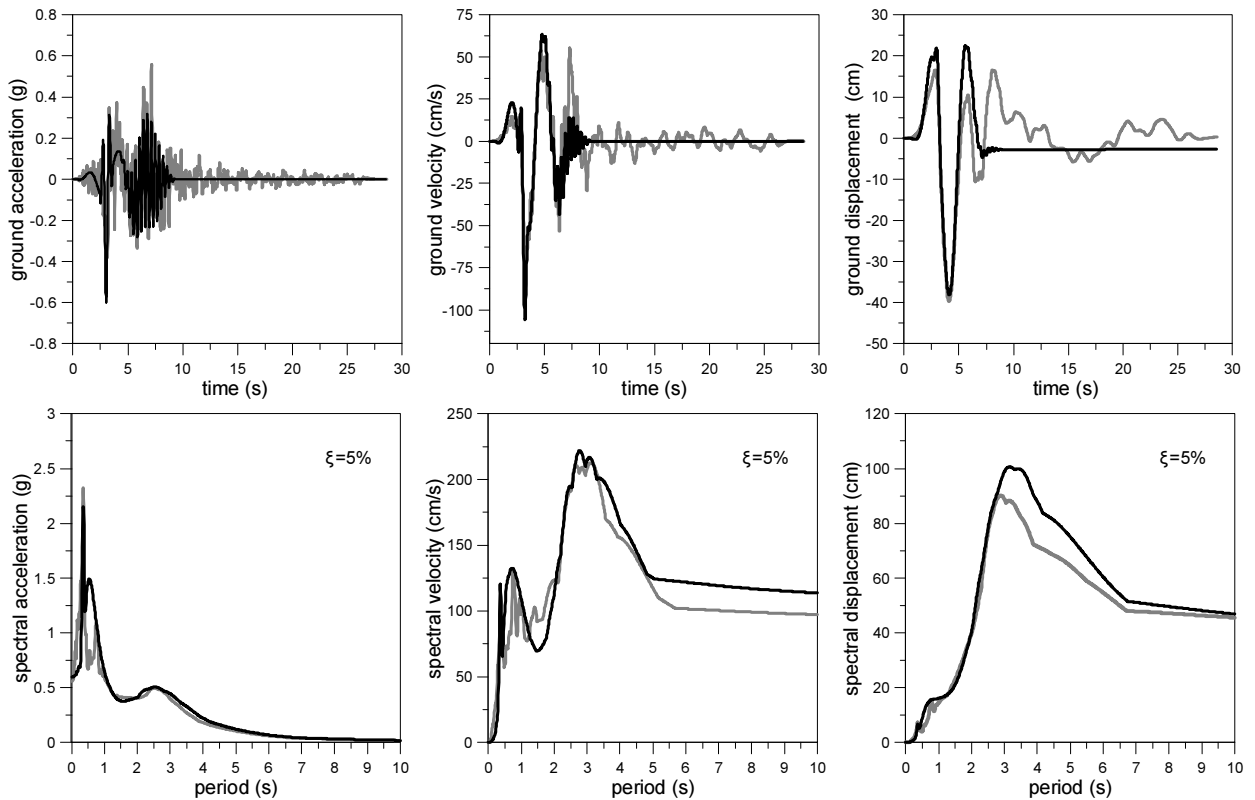
Landers, Yermo Fire, NGA 900



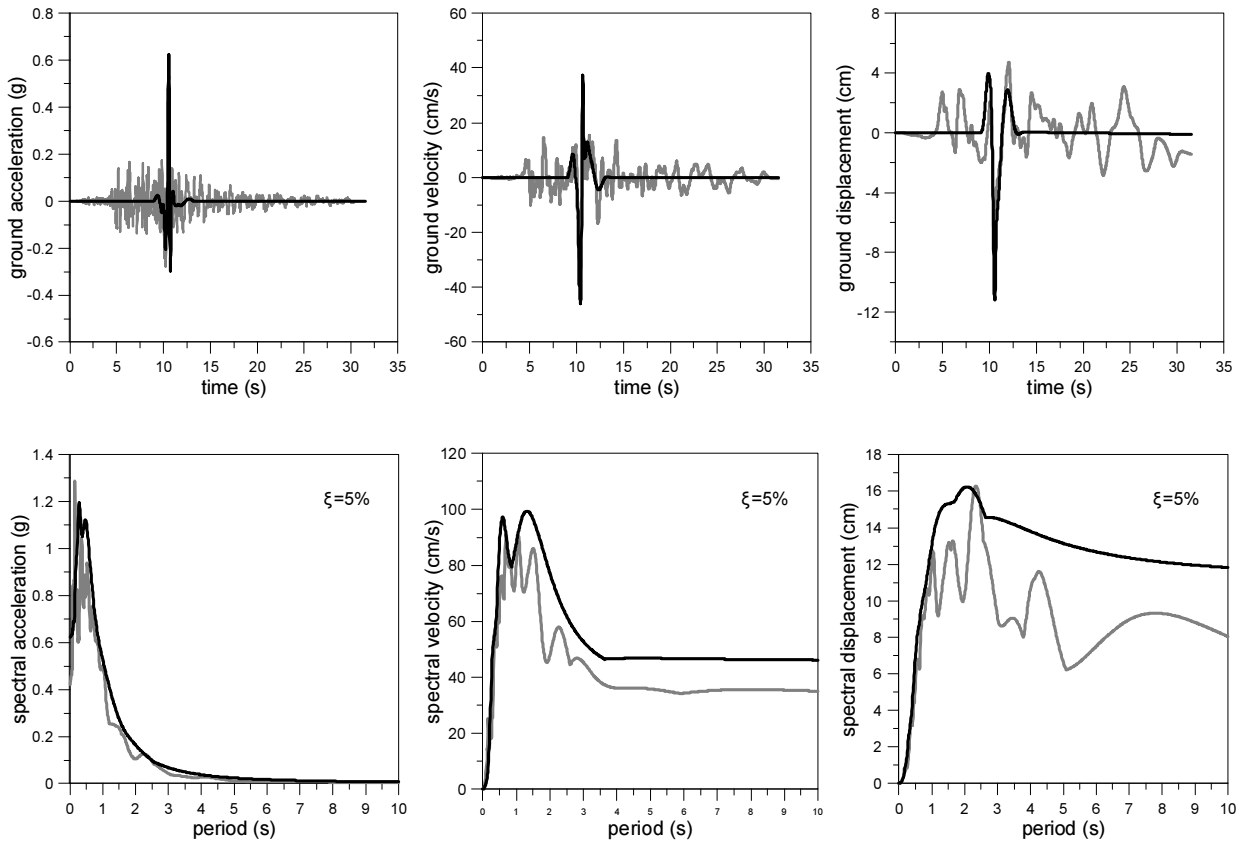
Northridge-01, Castaic - Old Ridge Route, NGA 963



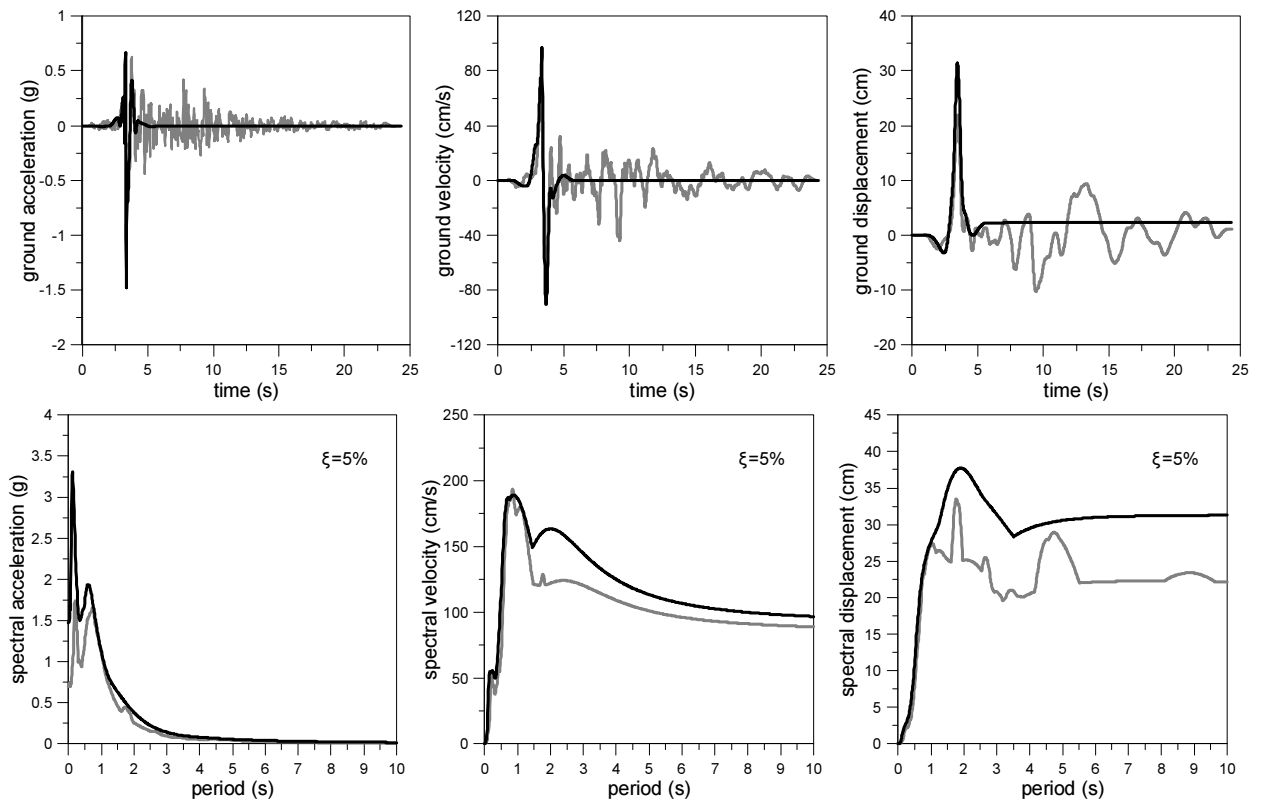
Northridge-01, Jensen Filter Plant Generator, NGA 983



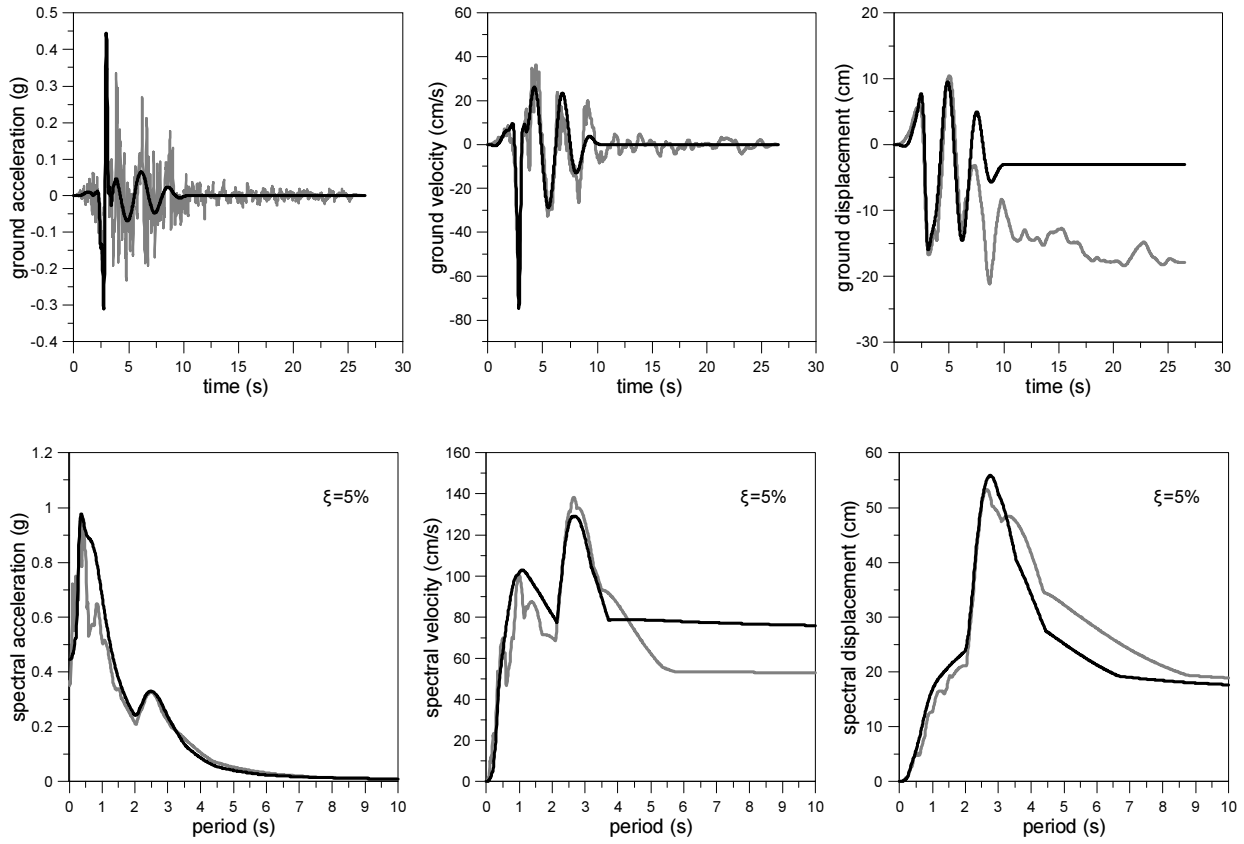
Northridge-01, LA - Saturn St. NGA 1003



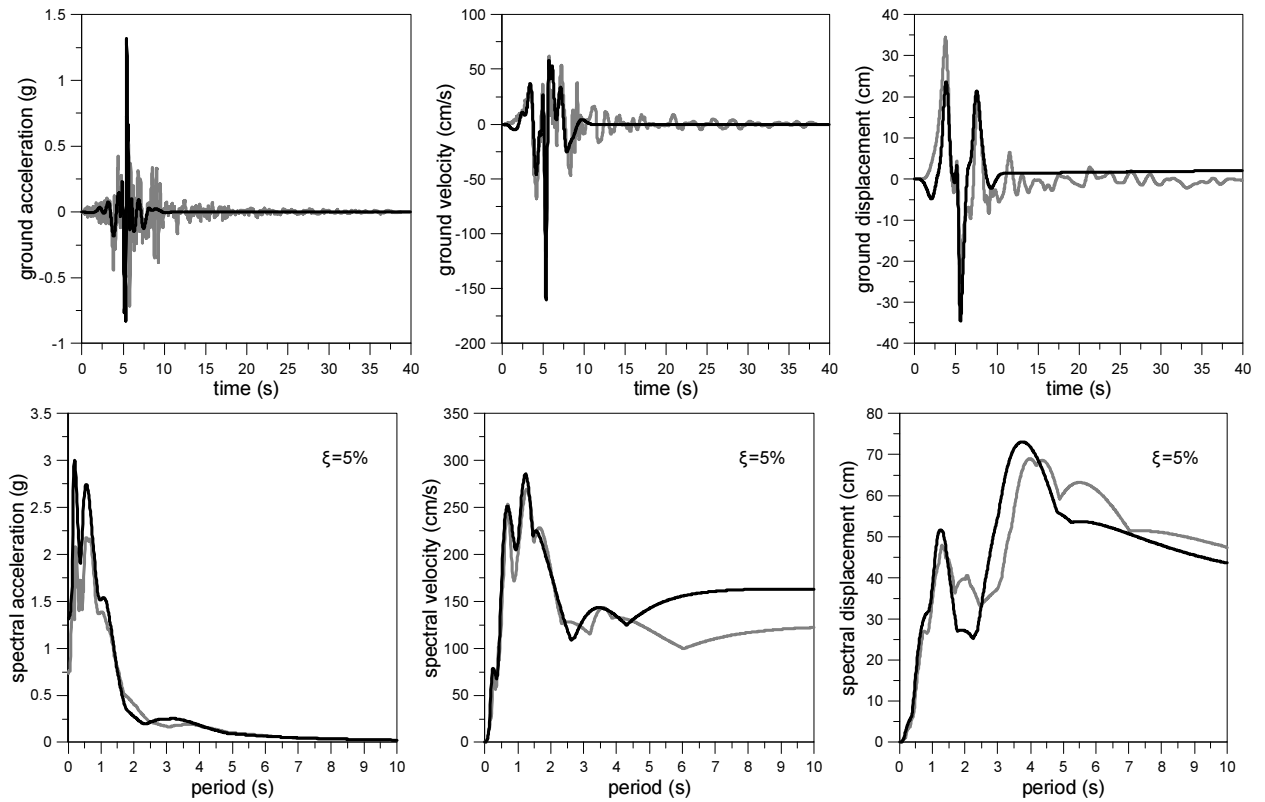
Northridge-01, LA - Sepulveda VA Hospital. NGA 1004



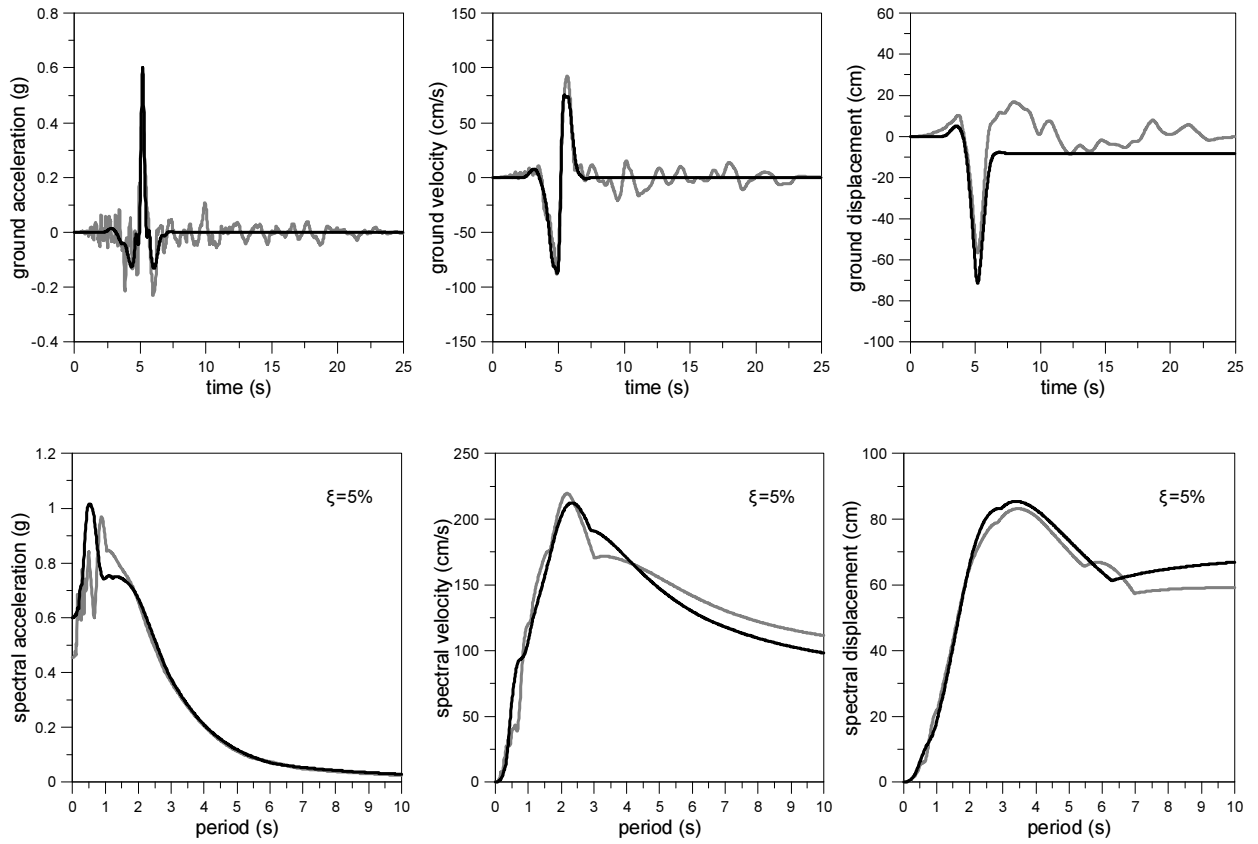
Northridge-01, LA Dam, NGA 1013



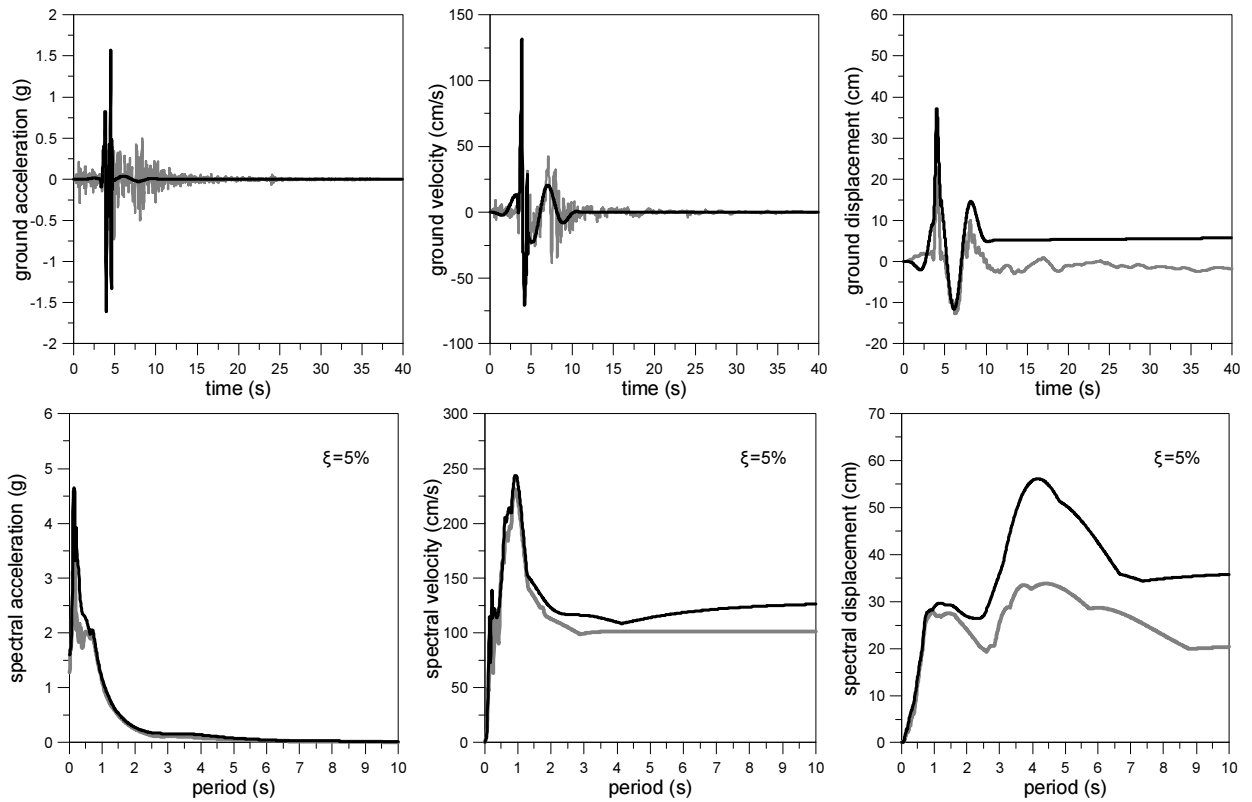
Northridge-01, Newhall – Fire, NGA 1044



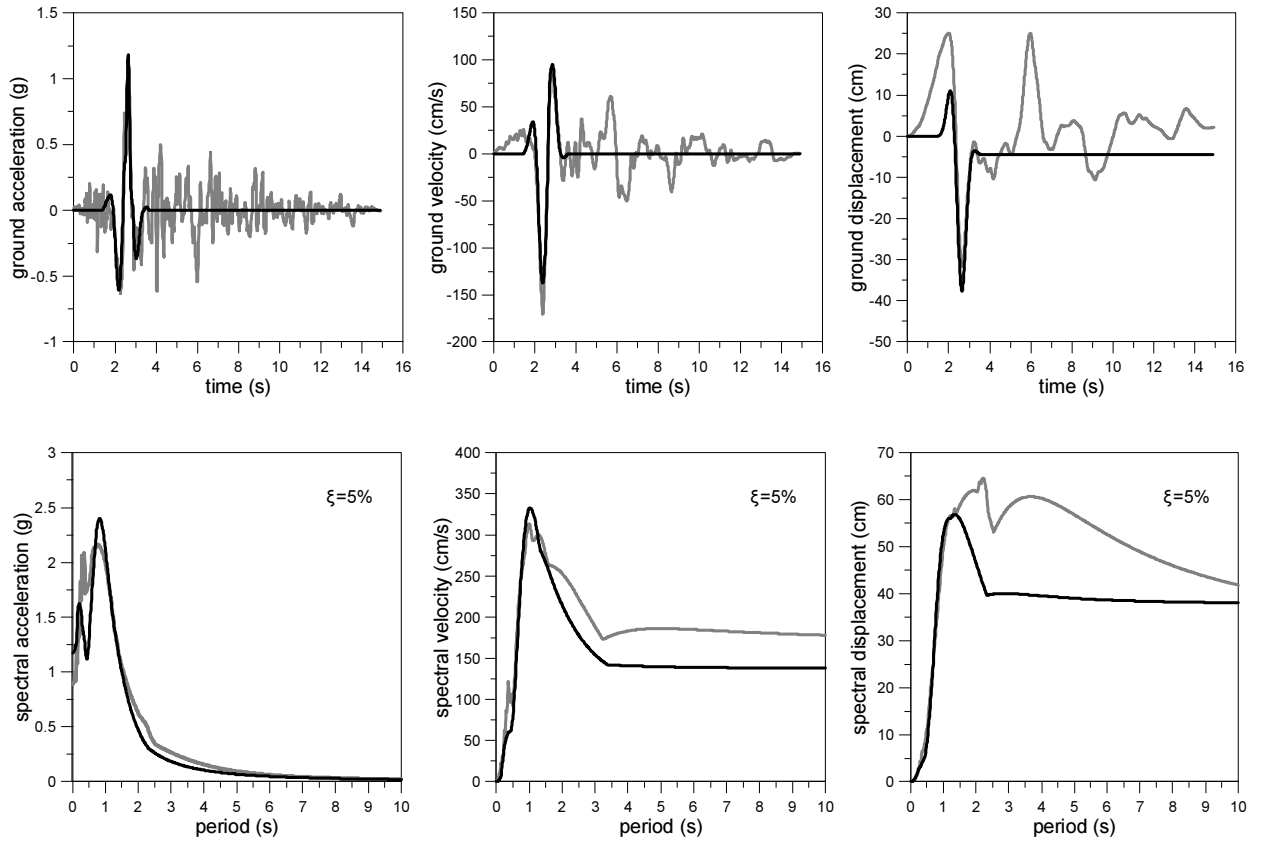
Northridge-01. Newhall - W Pico Canyon Rd., NGA 1045



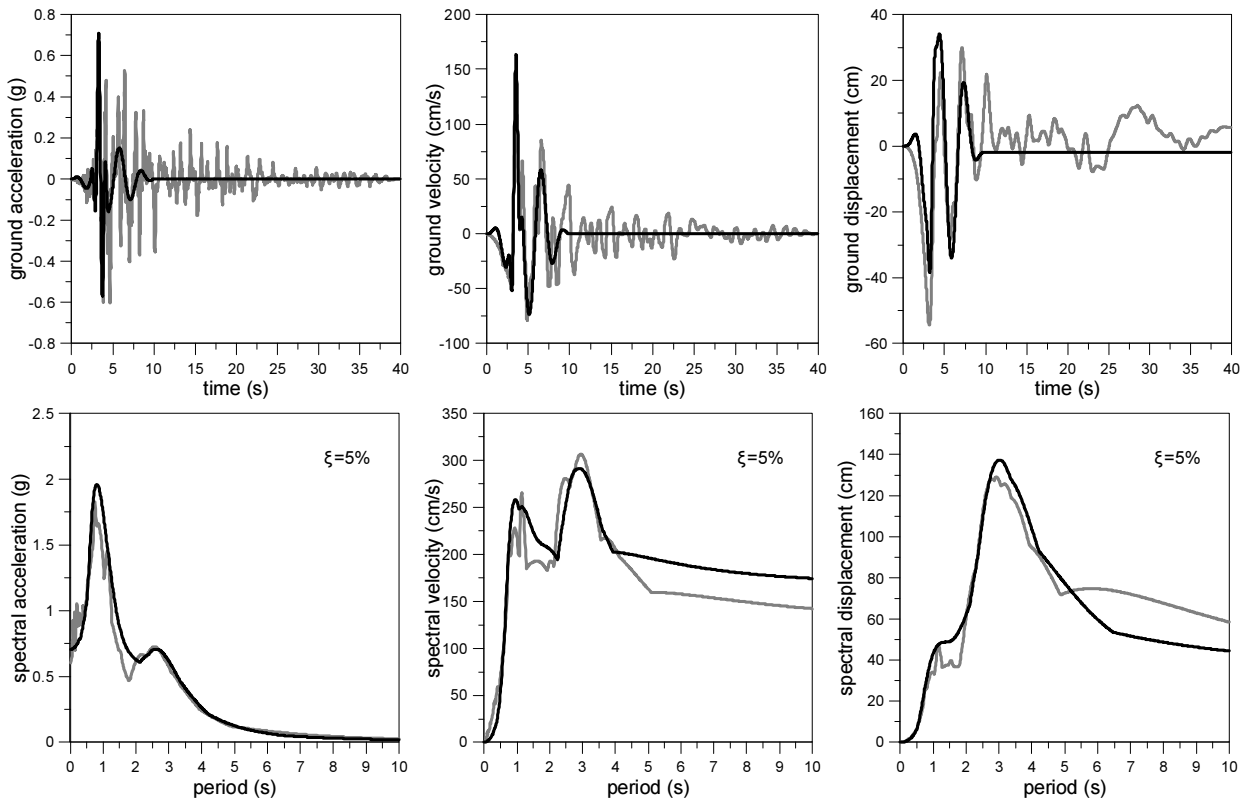
Northridge-01. Pacoima Dam, NGA 1051



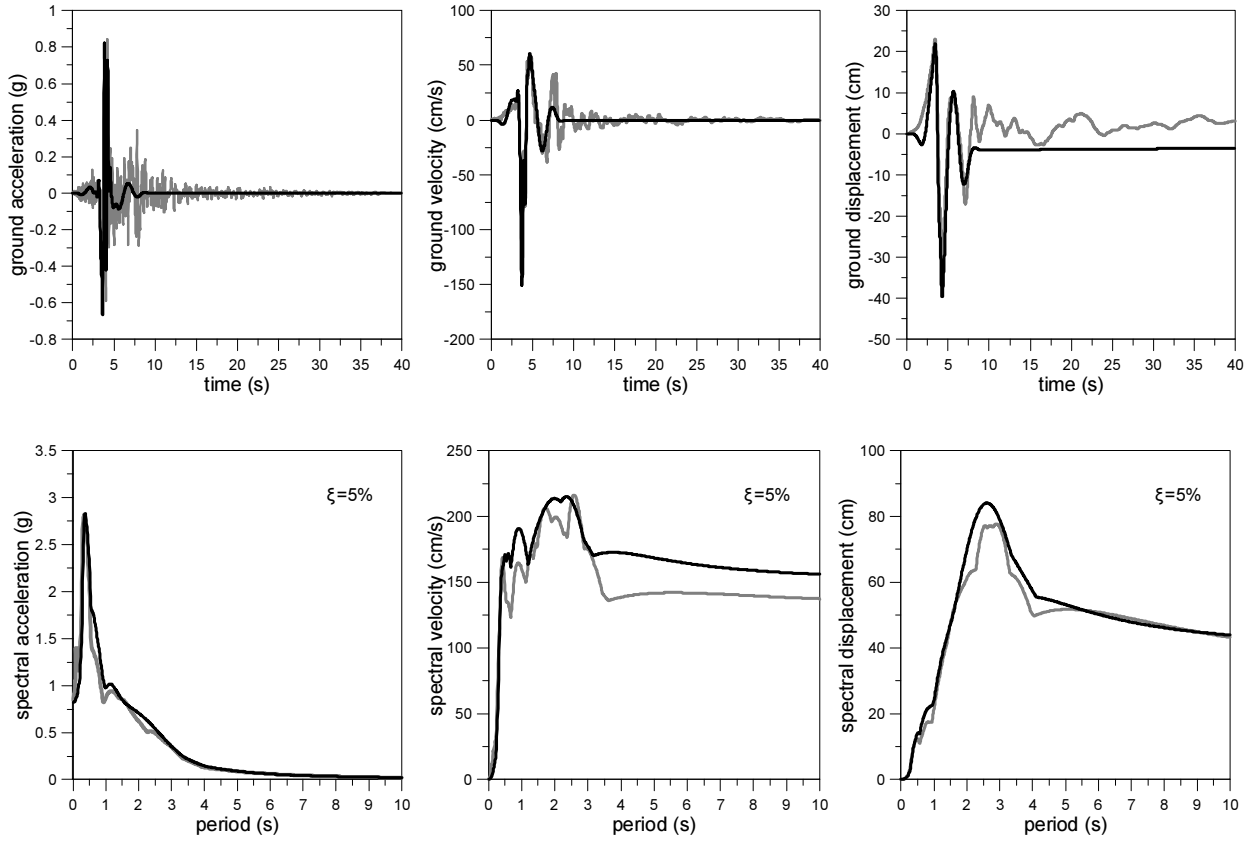
Northridge-01, Rinaldi Receiving, NGA 1063



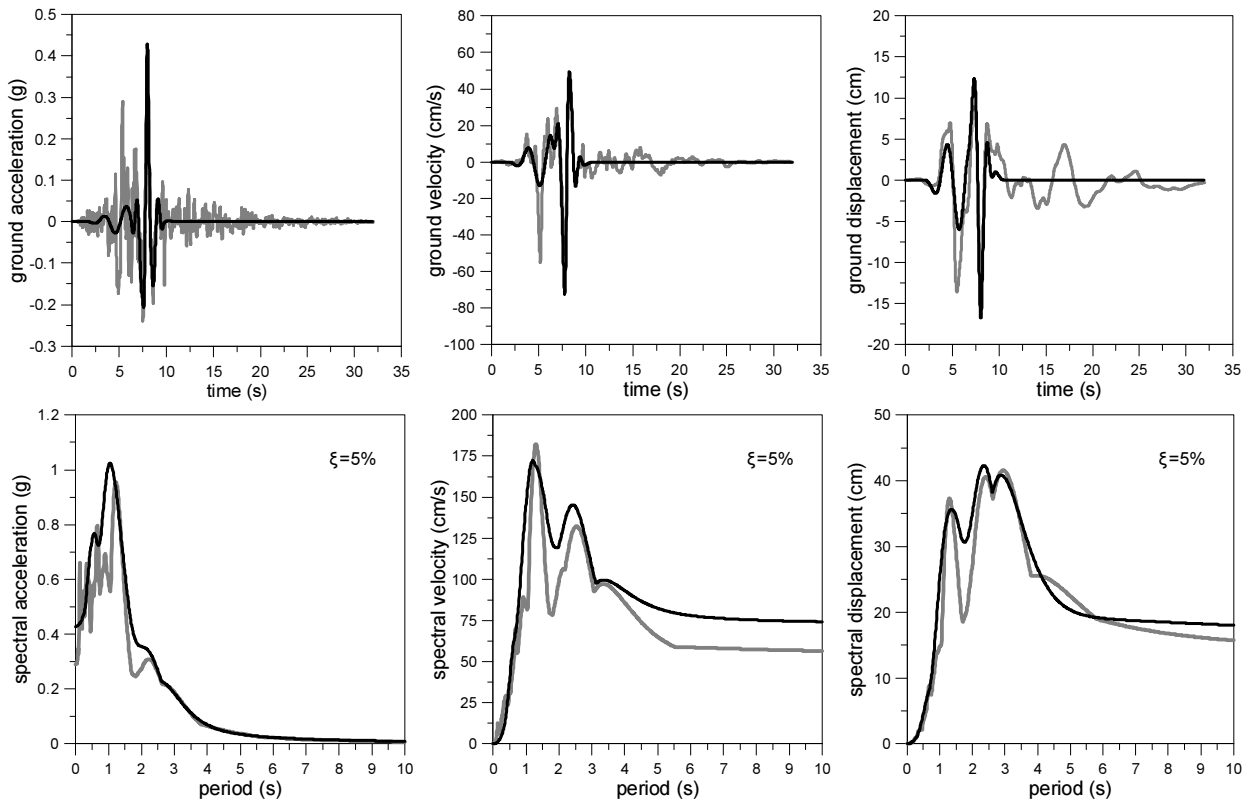
Northridge-01, Sylmar – Converter, NGA 1084



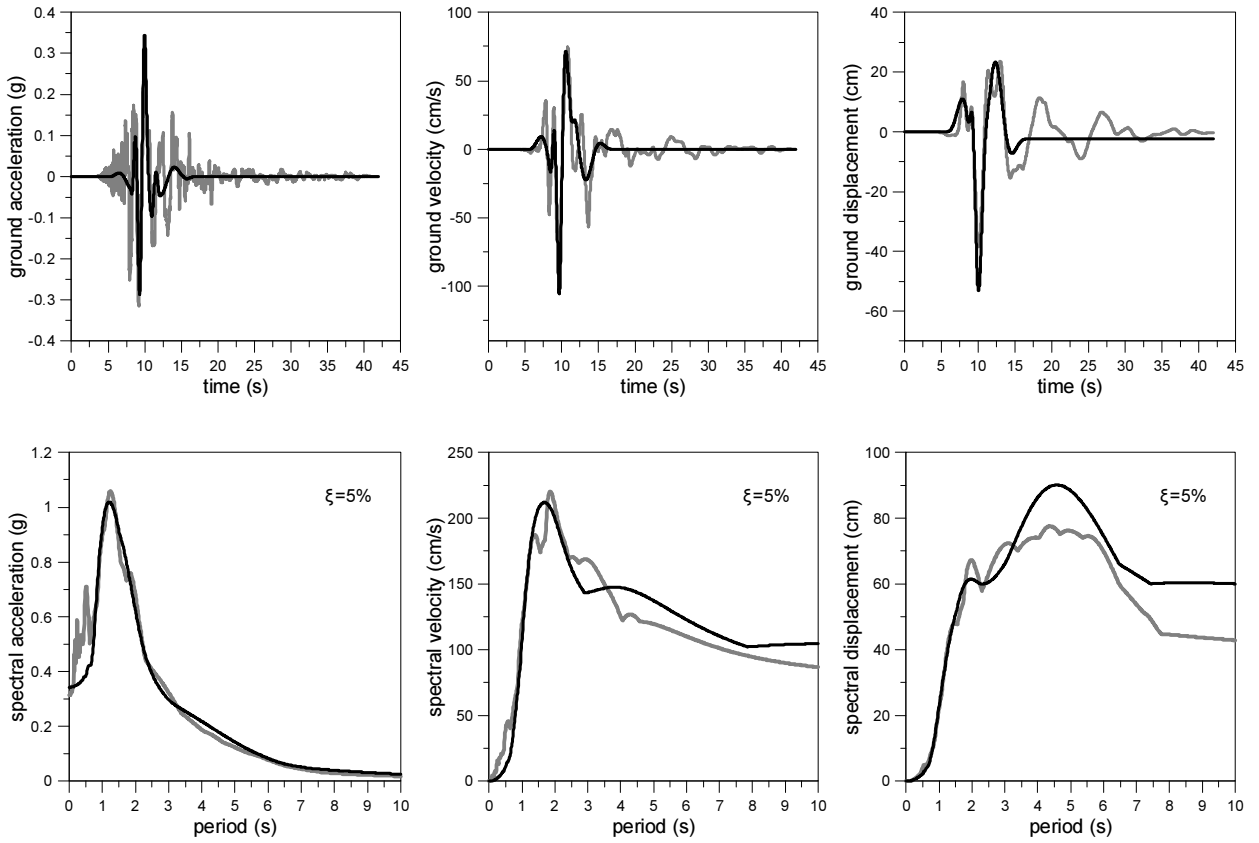
Northridge-01, Sylmar - Olive View Med FF, NGA 1086



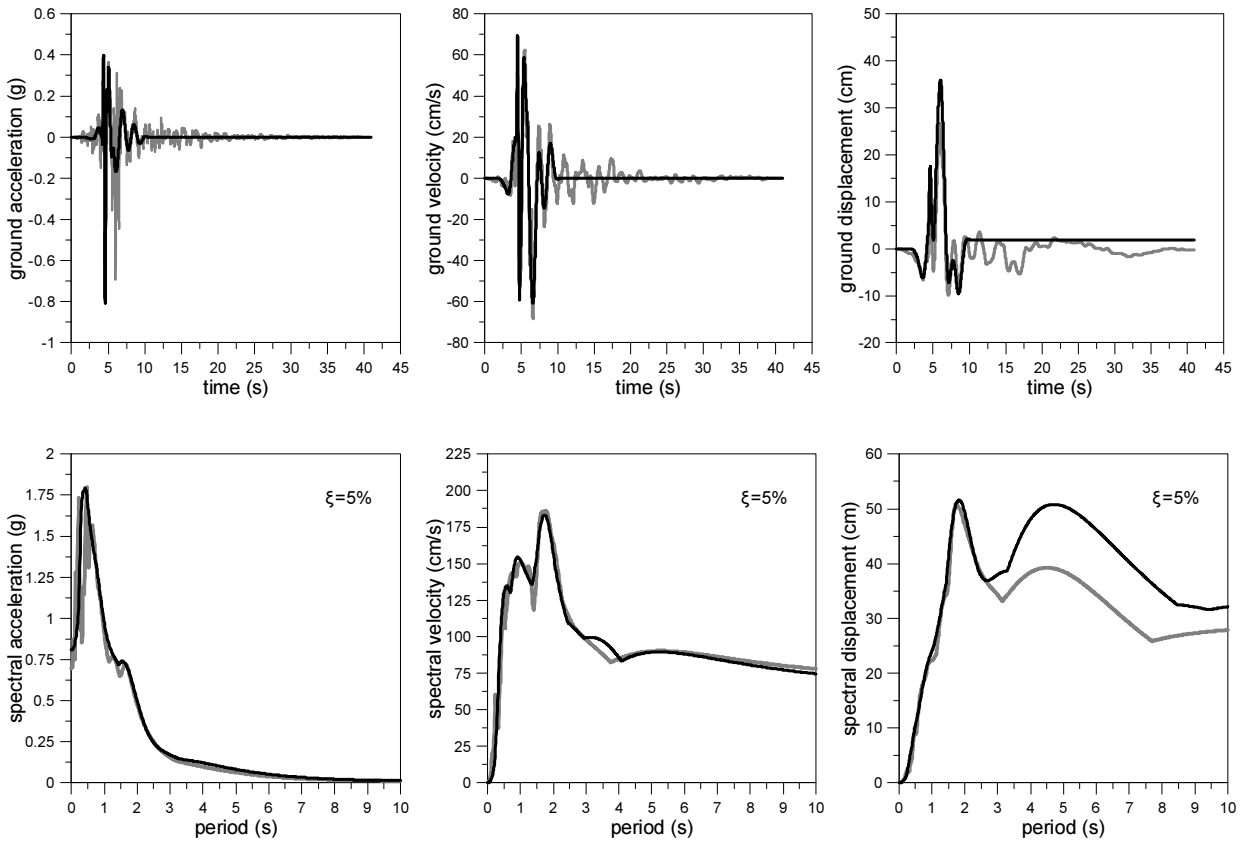
Kobe, Japan, Kobe University, NGA 1108



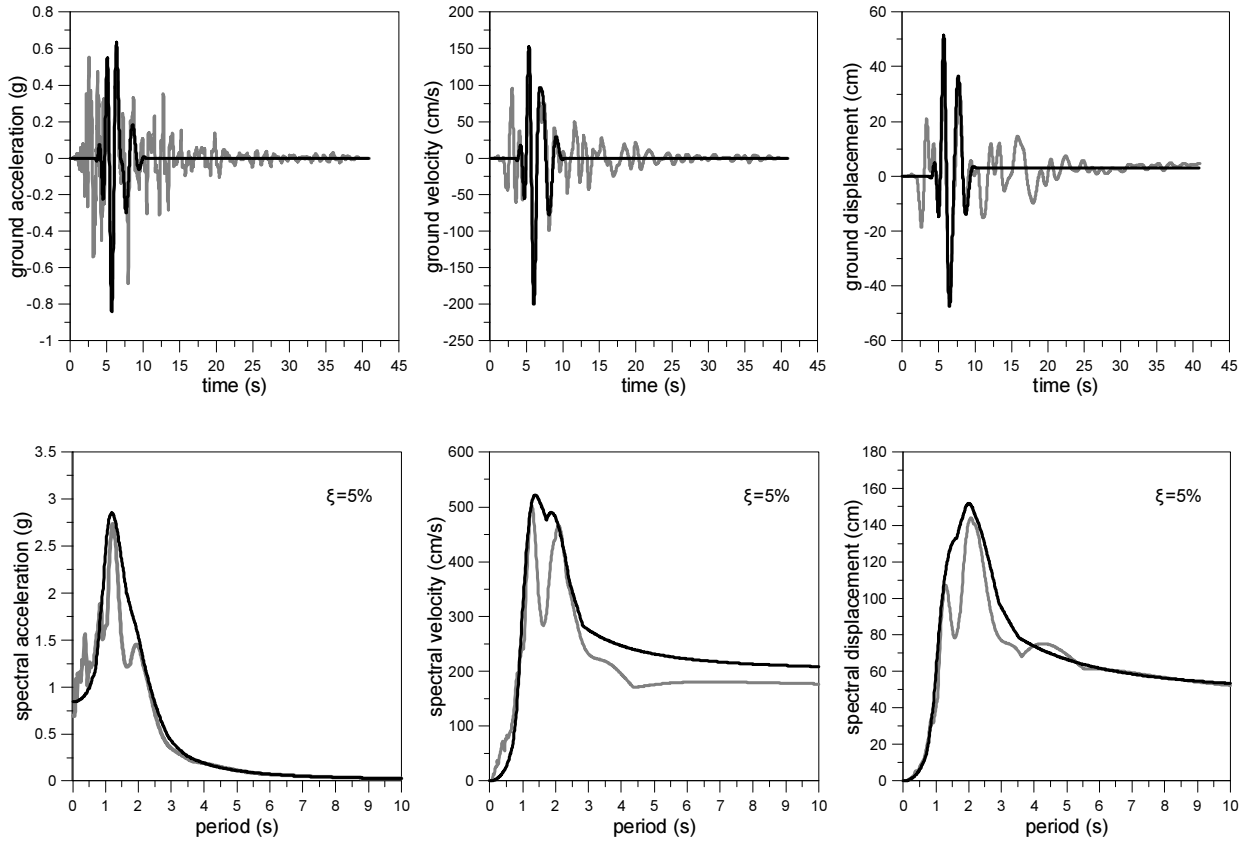
Kobe, Japan, Port Island, NGA 1114



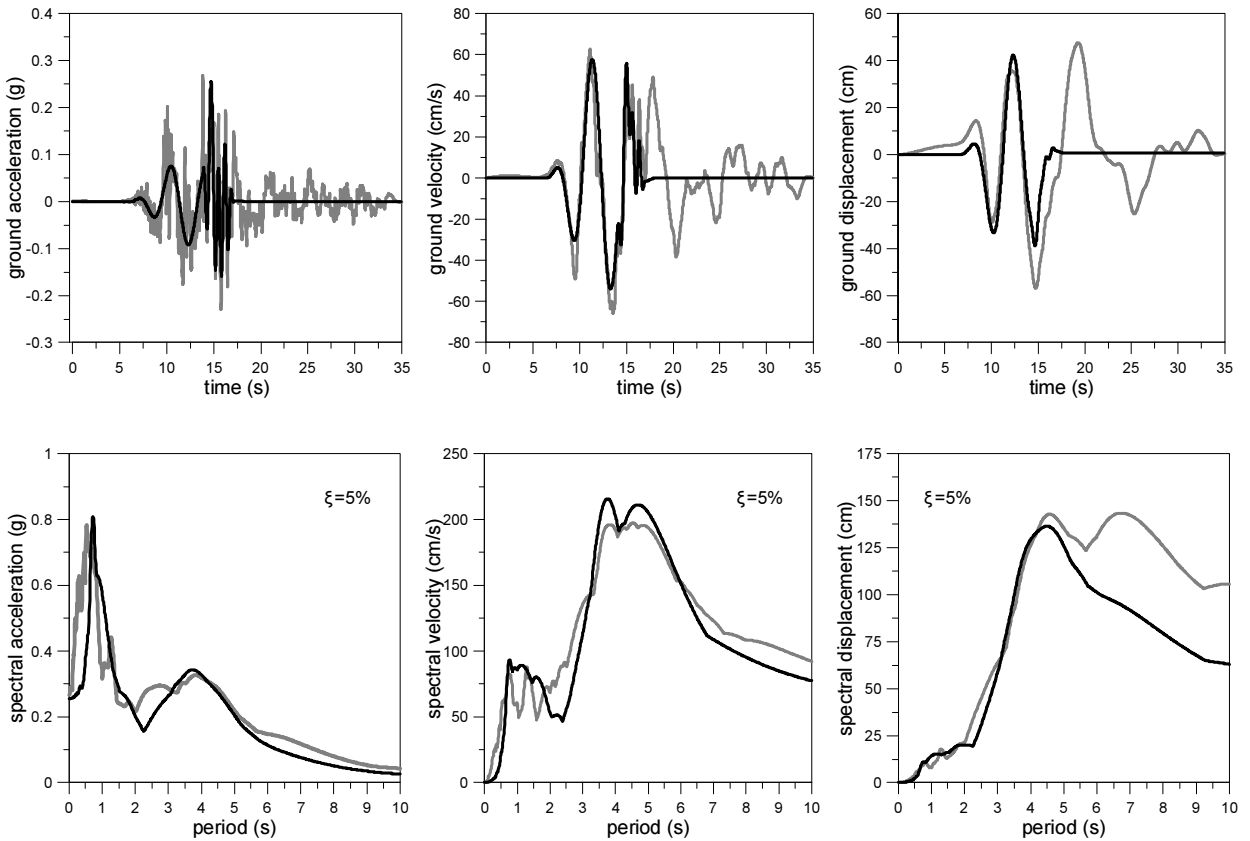
Kobe, Japan, Takarazuka, NGA 1119



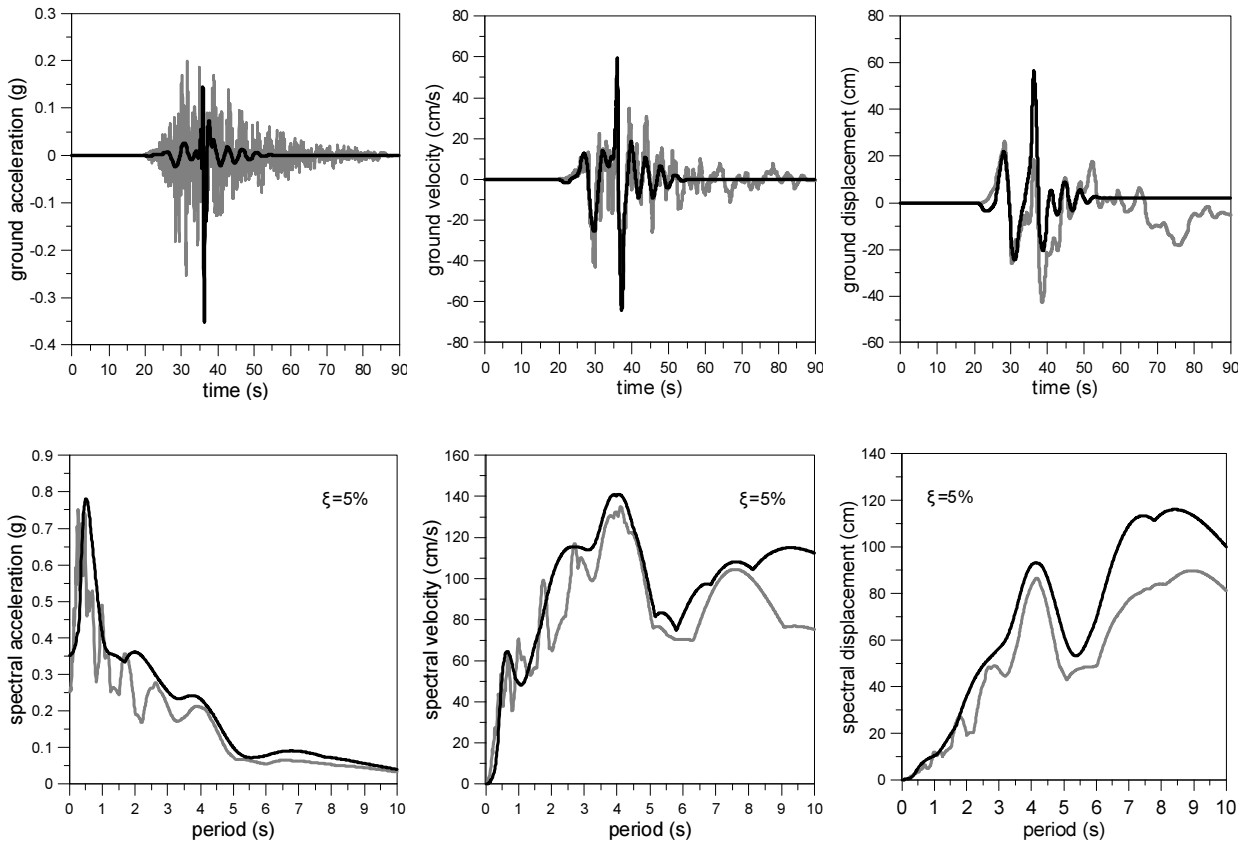
Kobe, Japan, Takatori, NGA 1120



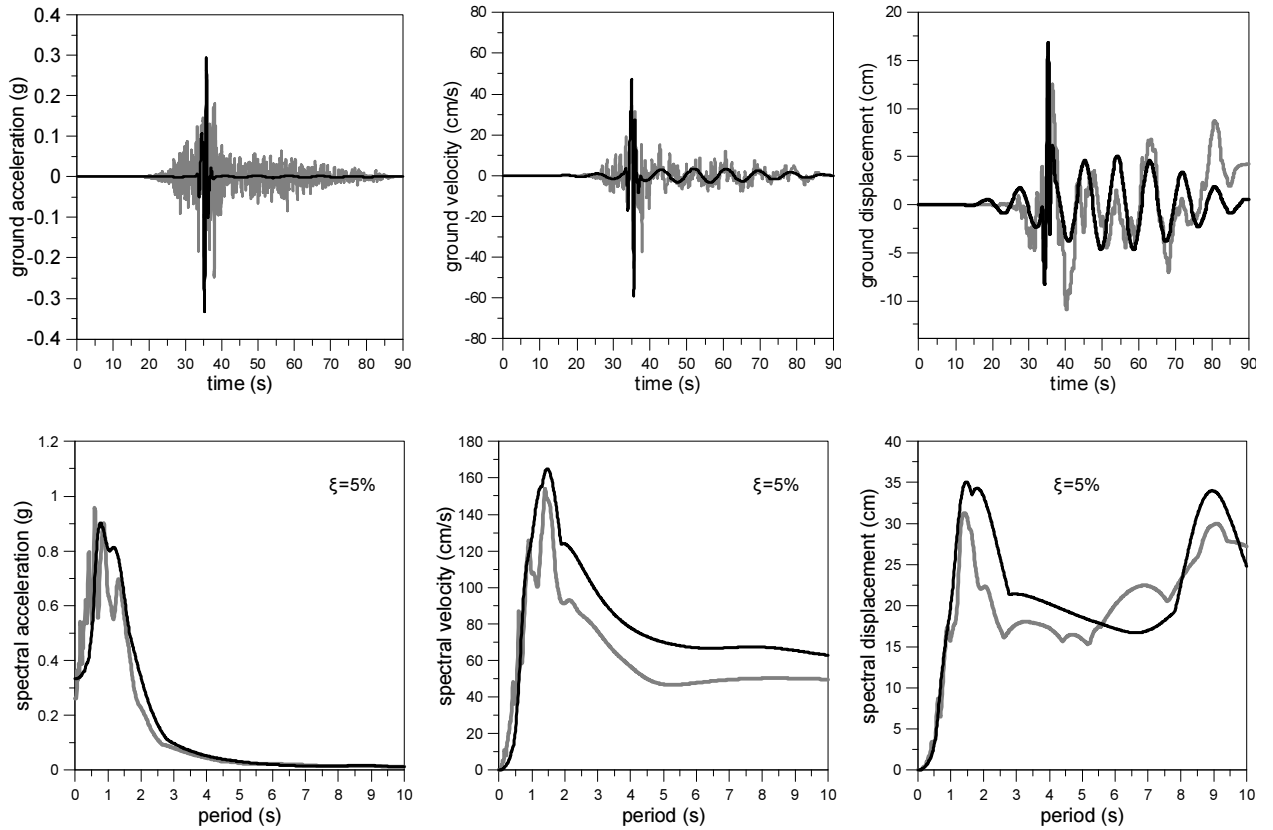
Kocaeli, Turkey, Yarimca, NGA 1176



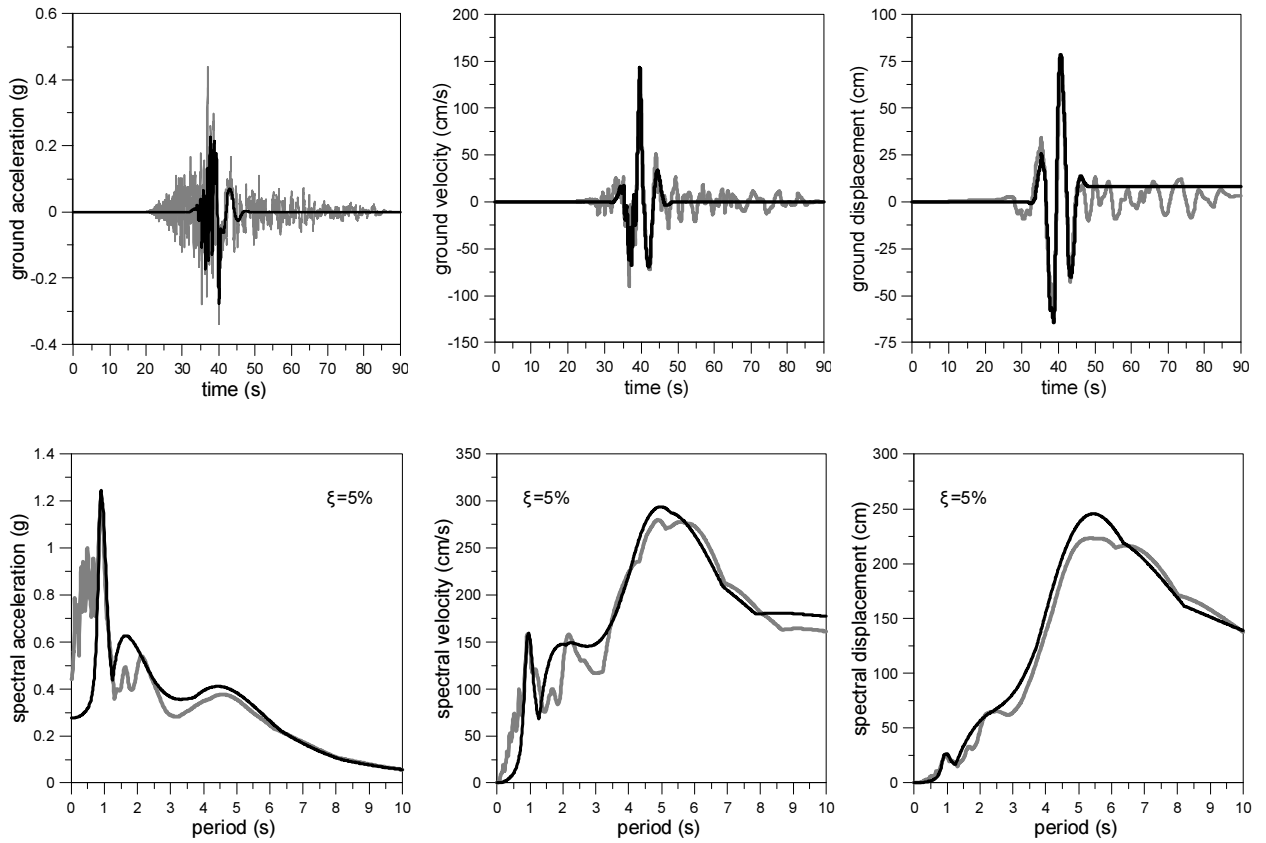
Chi-Chi, Taiwan, CHY024, NGA 1193



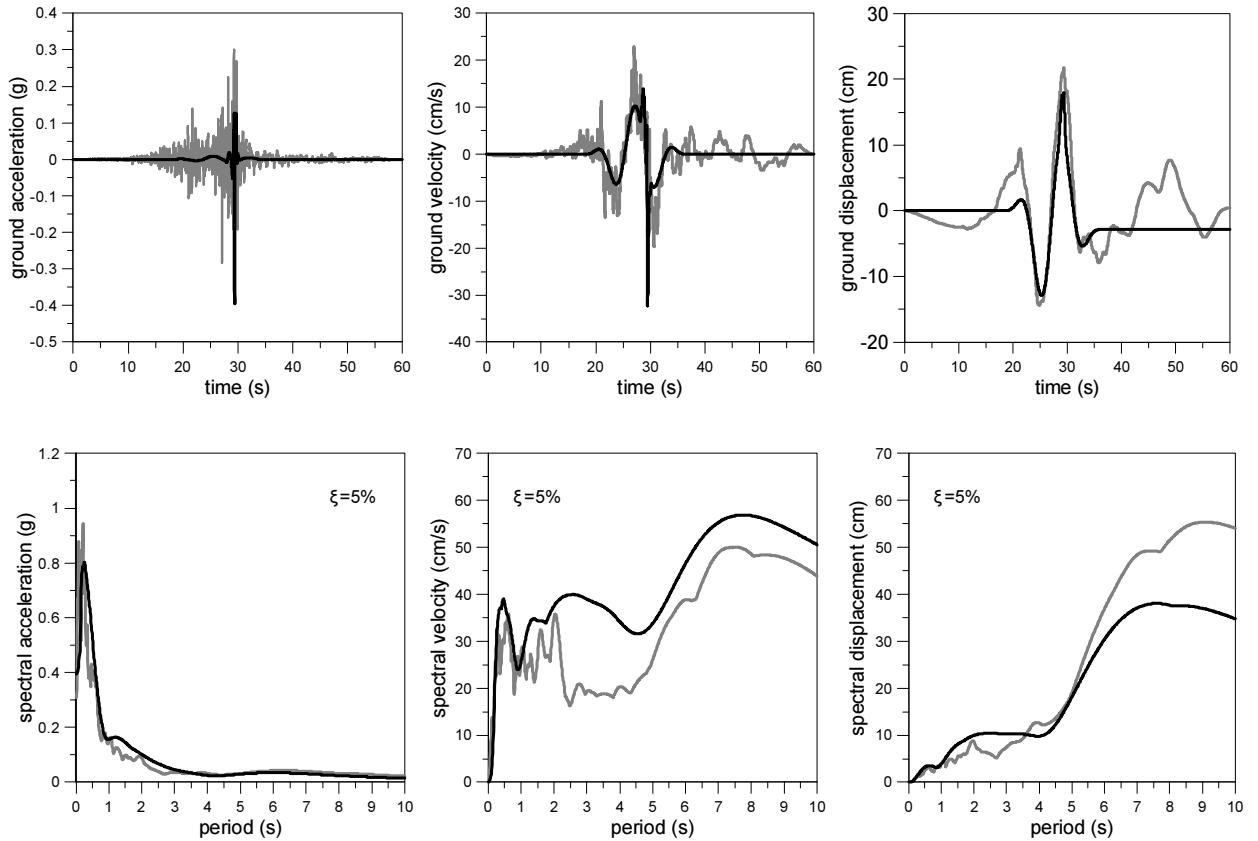
Chi-Chi, Taiwan, CHY035, NGA 1202



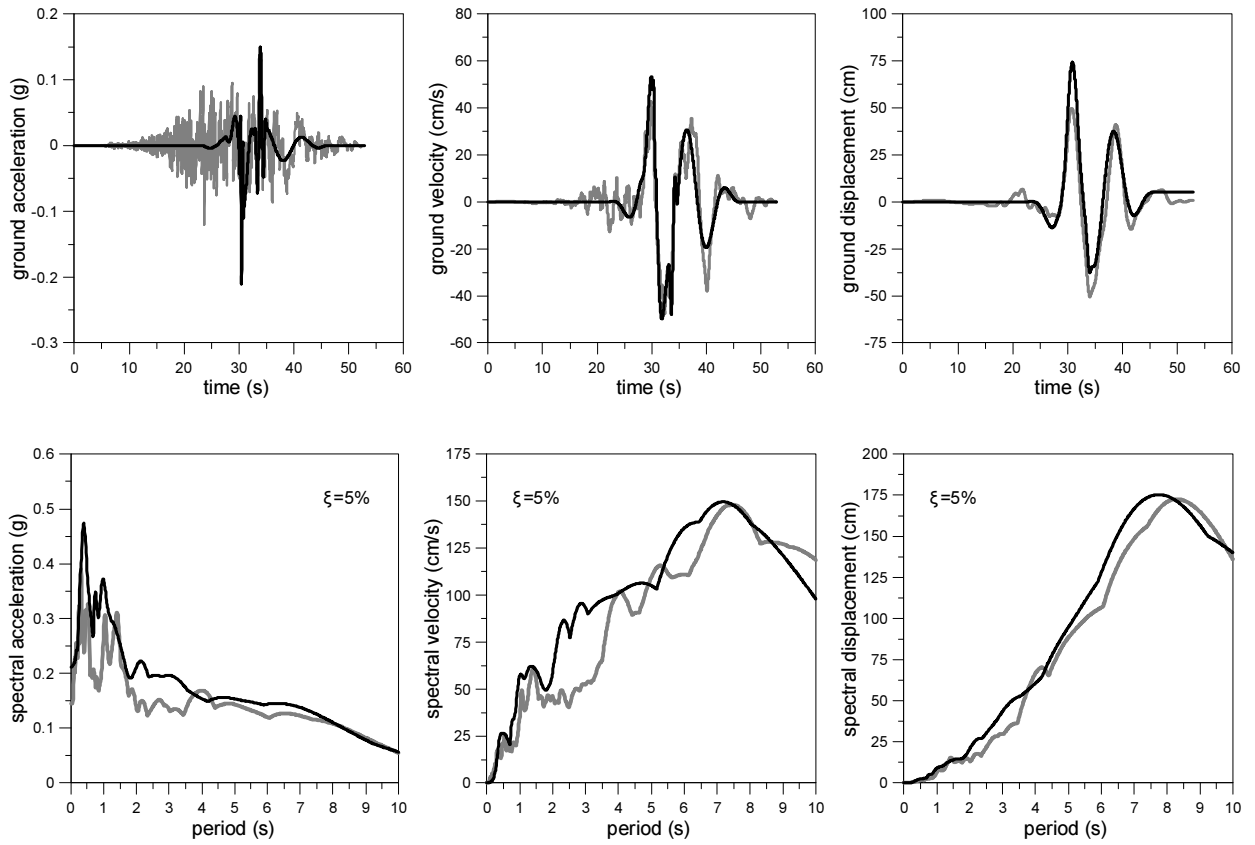
Chi-Chi, Taiwan, CHY101, NGA 1244



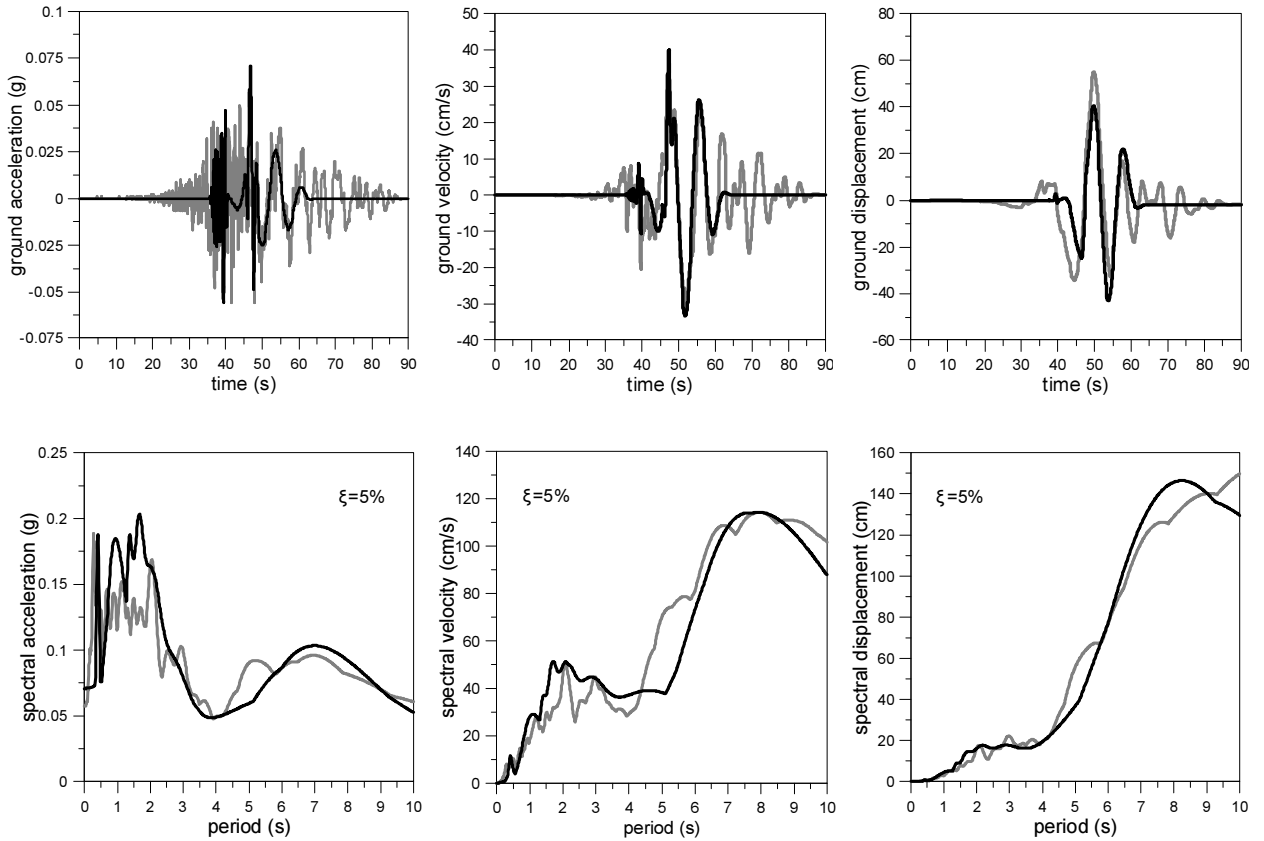
Chi-Chi, Taiwan, NST, NGA 1402



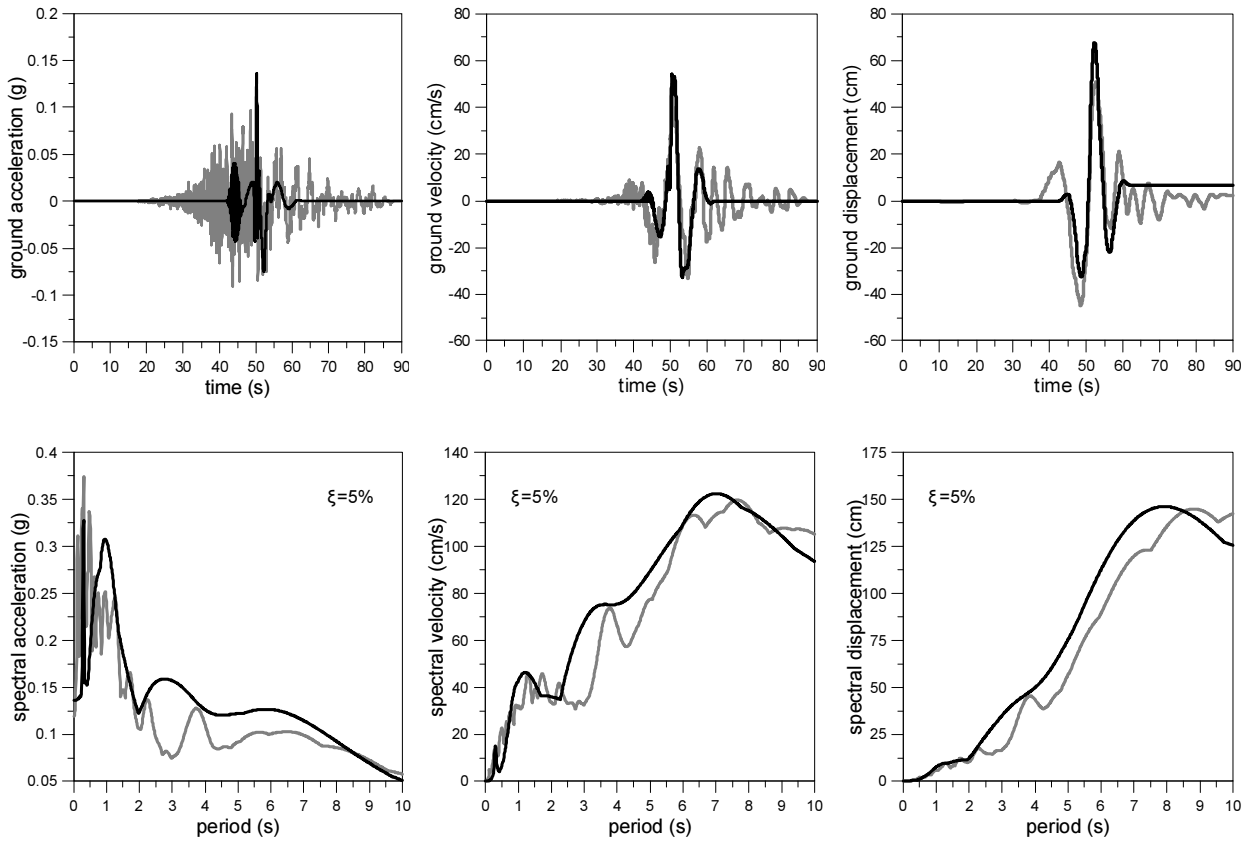
Chi-Chi, Taiwan, NSY, NGA 1403



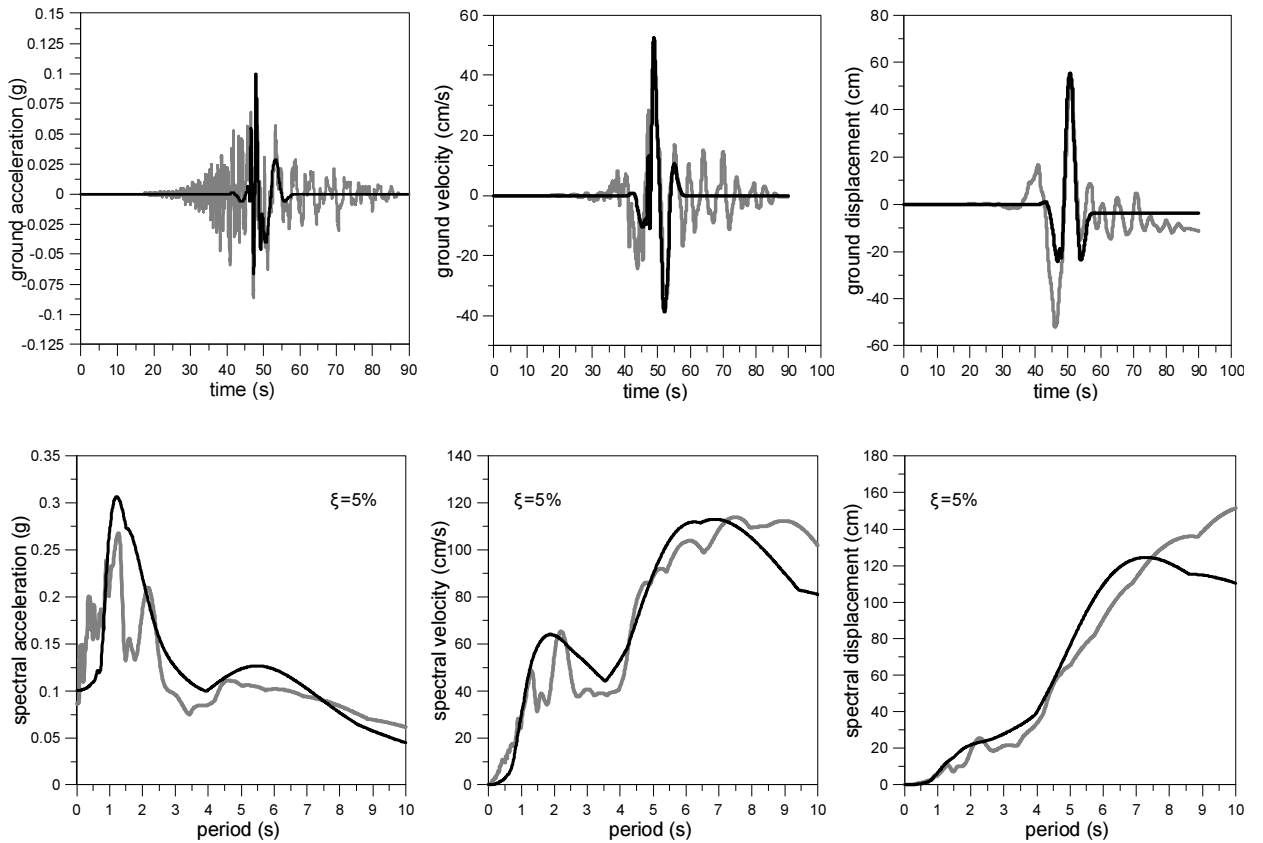
Chi-Chi, Taiwan, TCU006, NGA 1464



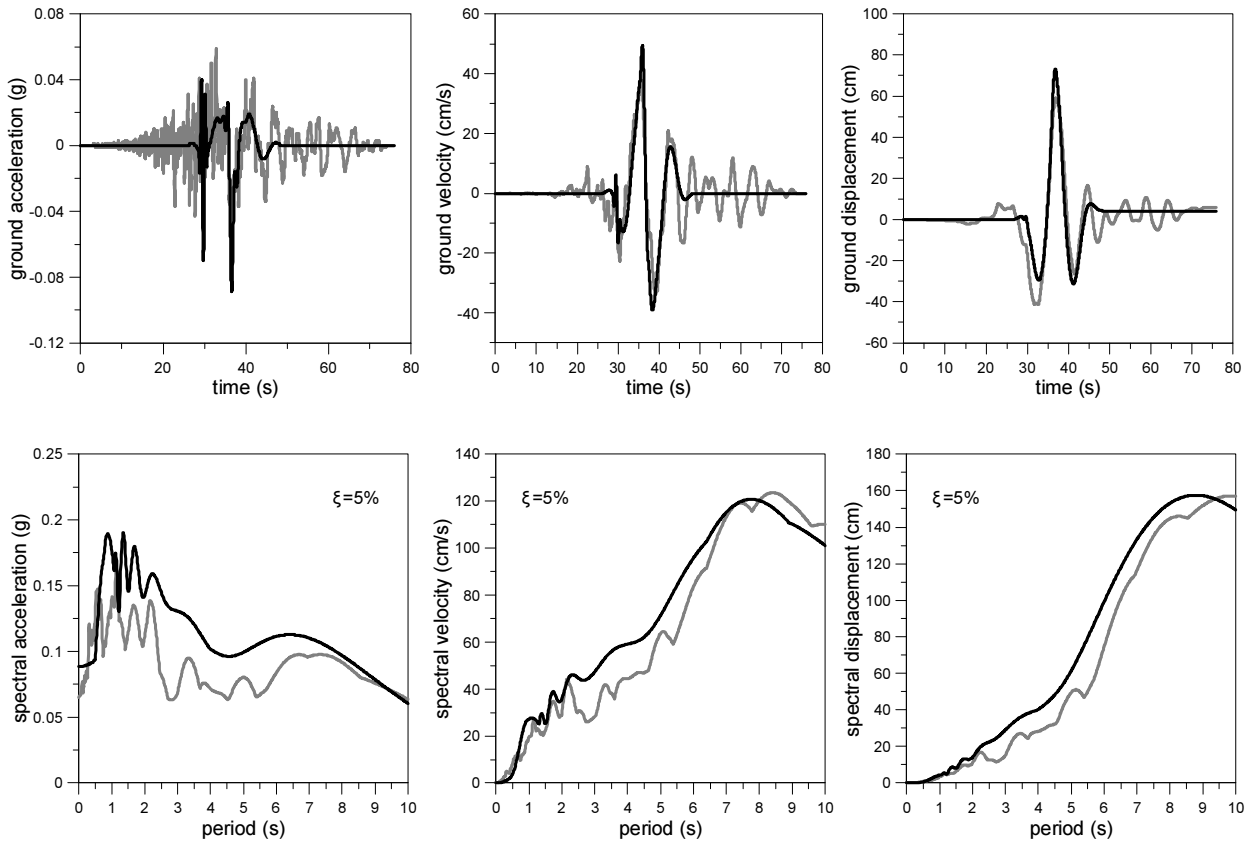
Chi-Chi, Taiwan, TCU015, NGA 1471



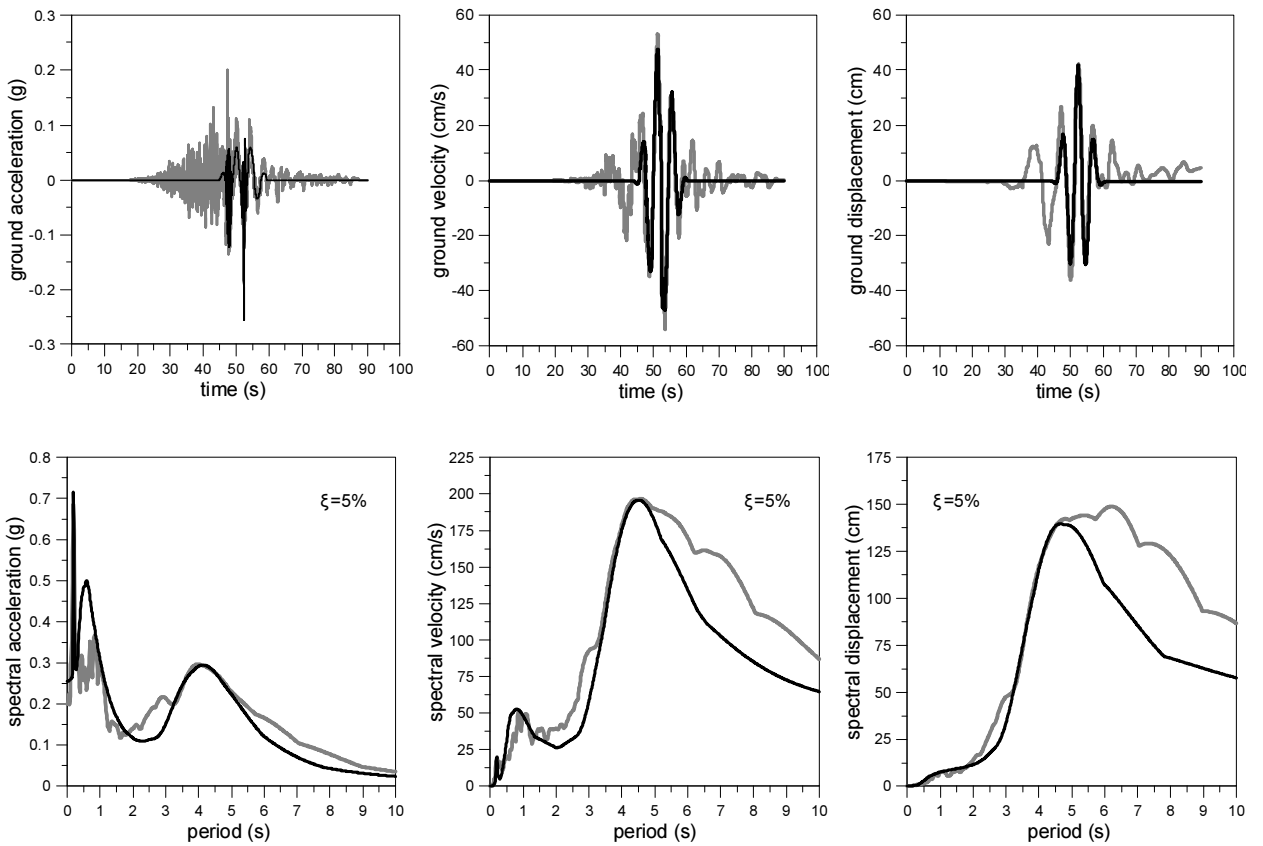
Chi-Chi, Taiwan, TCU017, NGA 1472



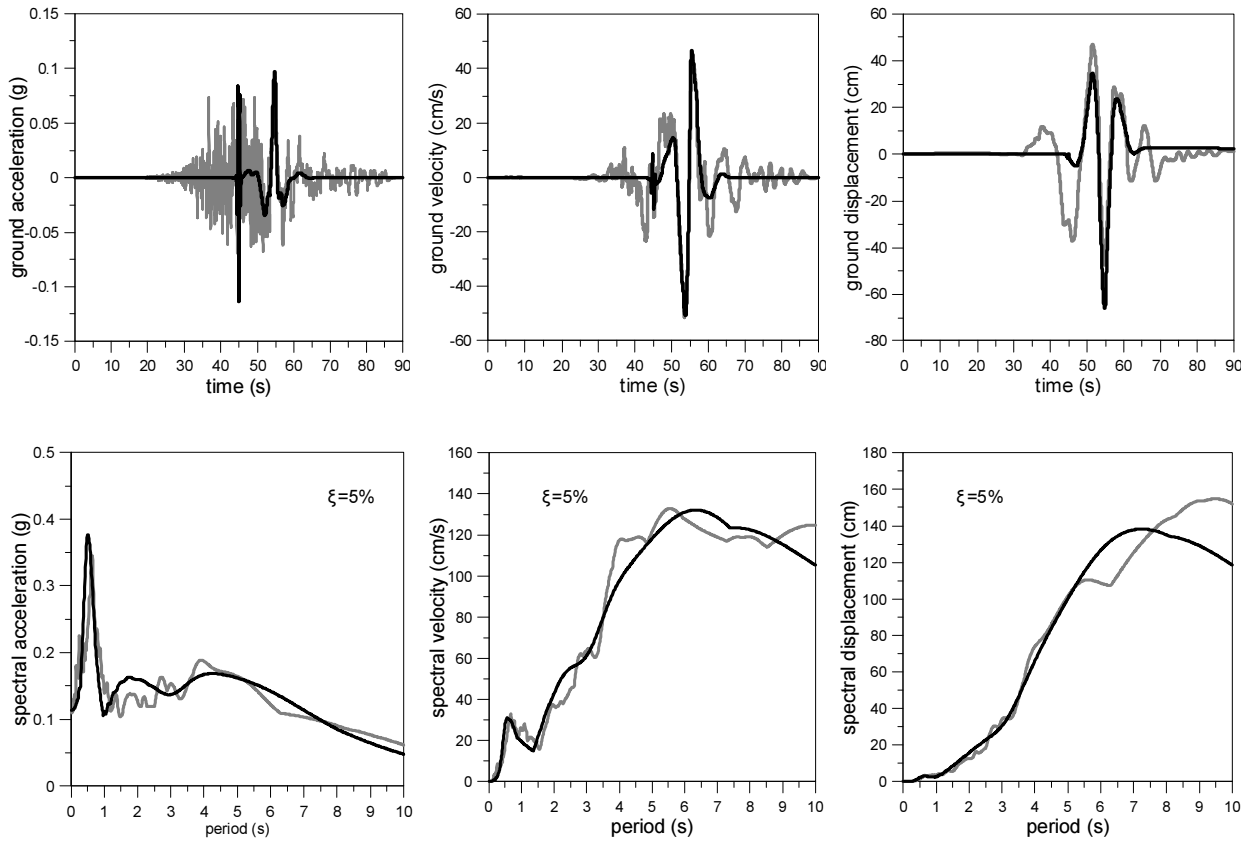
Chi-Chi, Taiwan, TCU018, NGA 1473



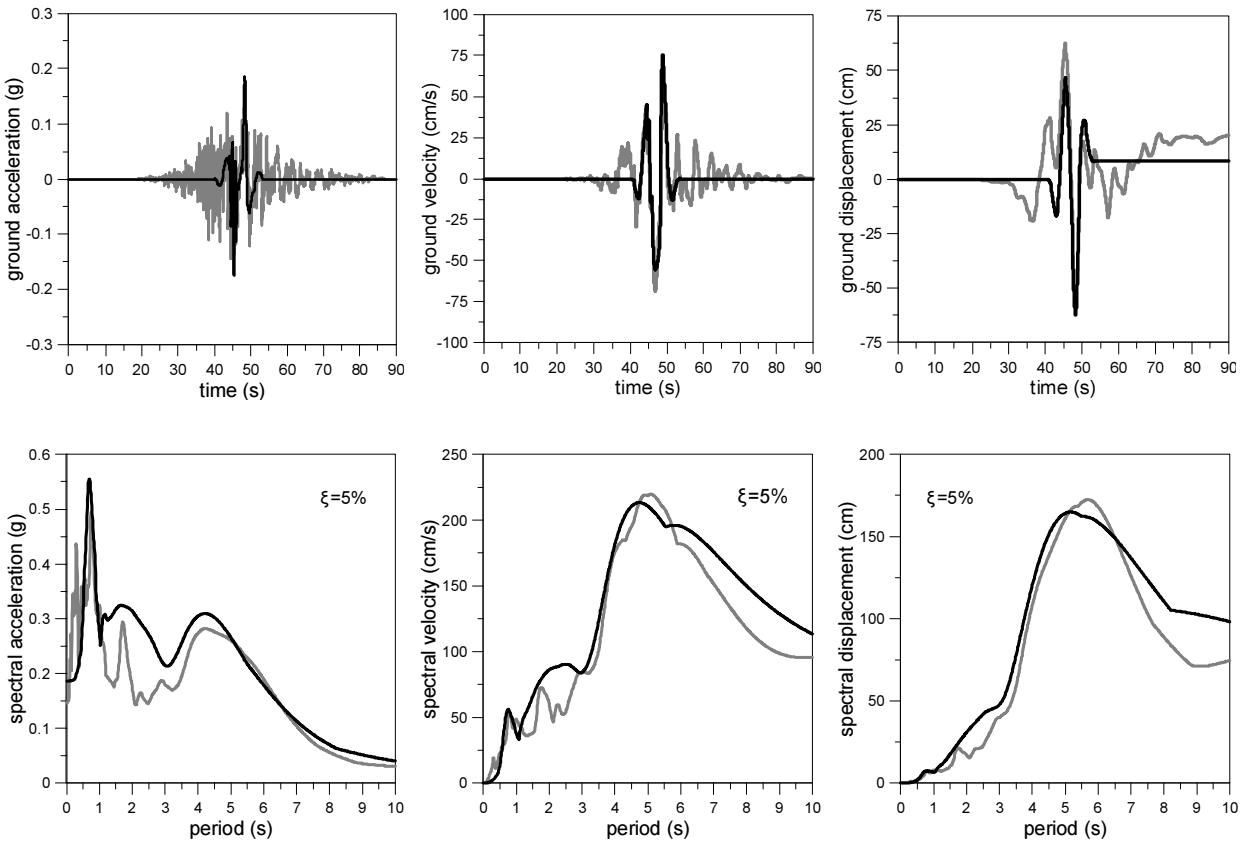
Chi-Chi, Taiwan, TCU029, NGA 1476



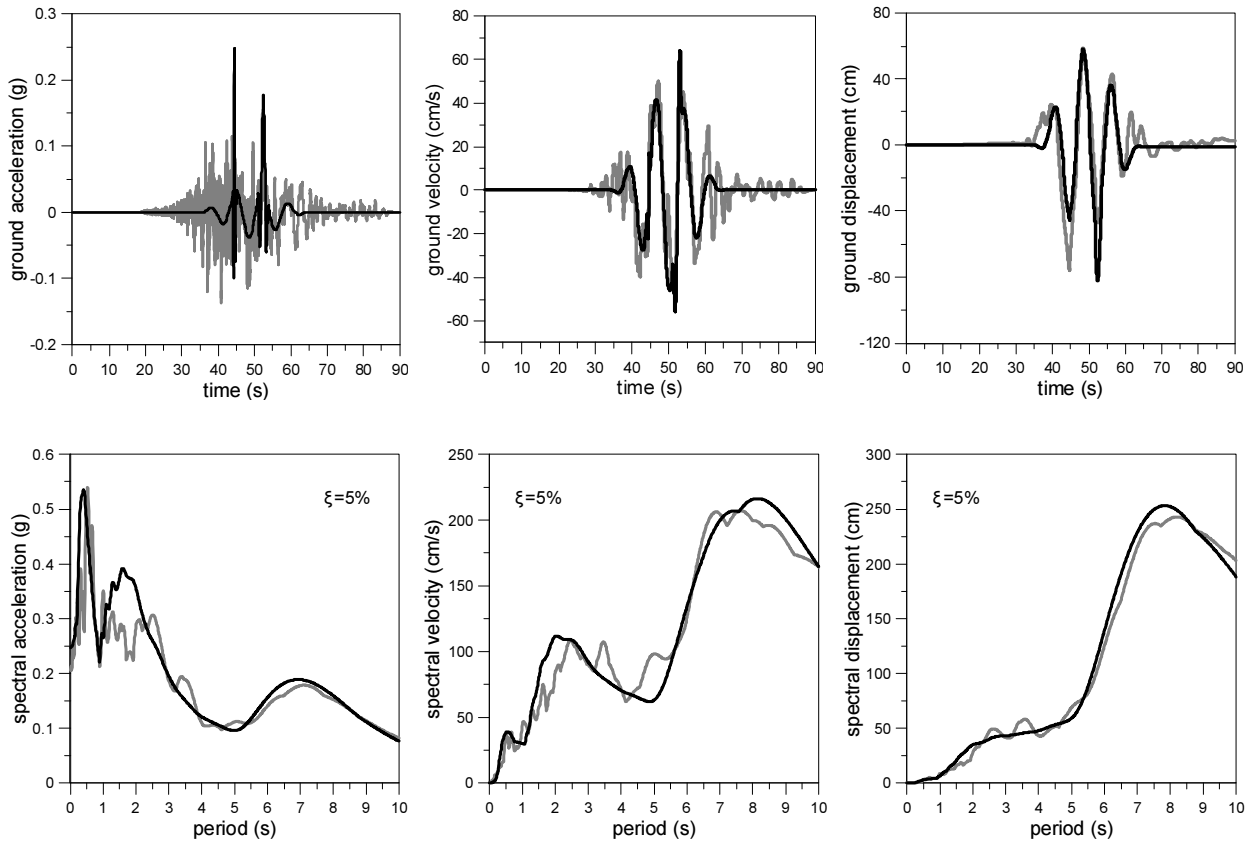
Chi-Chi, Taiwan, TCU031, NGA 1477



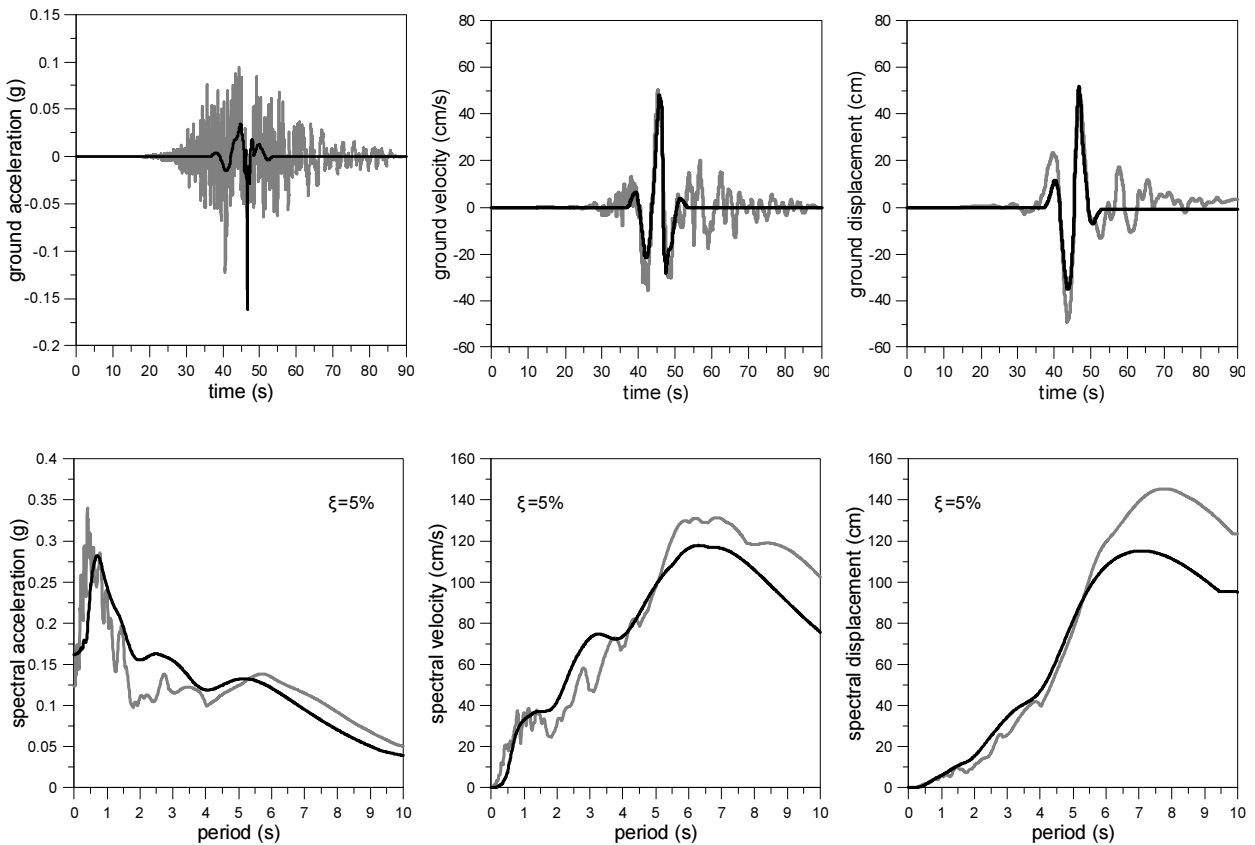
Chi-Chi, Taiwan, TCU036, NGA 1480



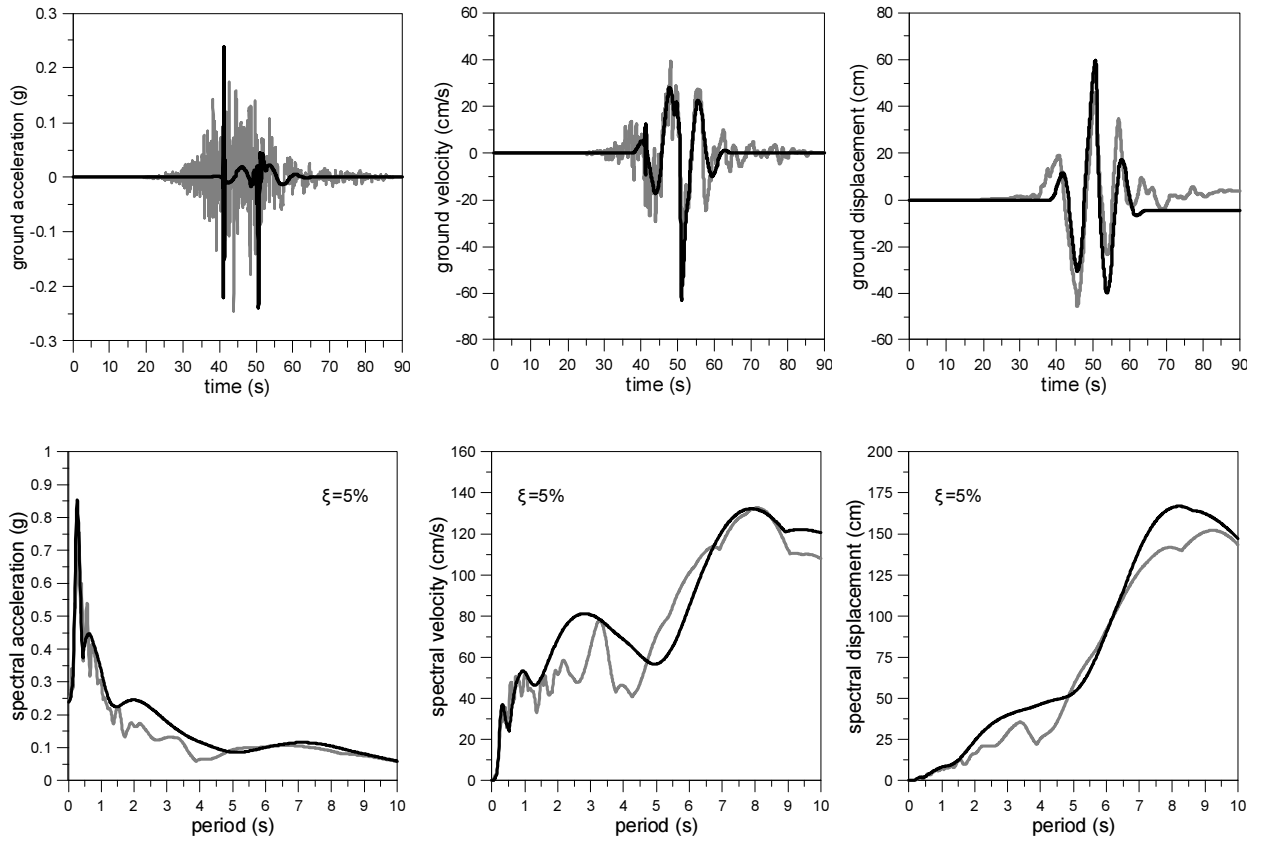
Chi-Chi, Taiwan, TCU039, NGA 1482



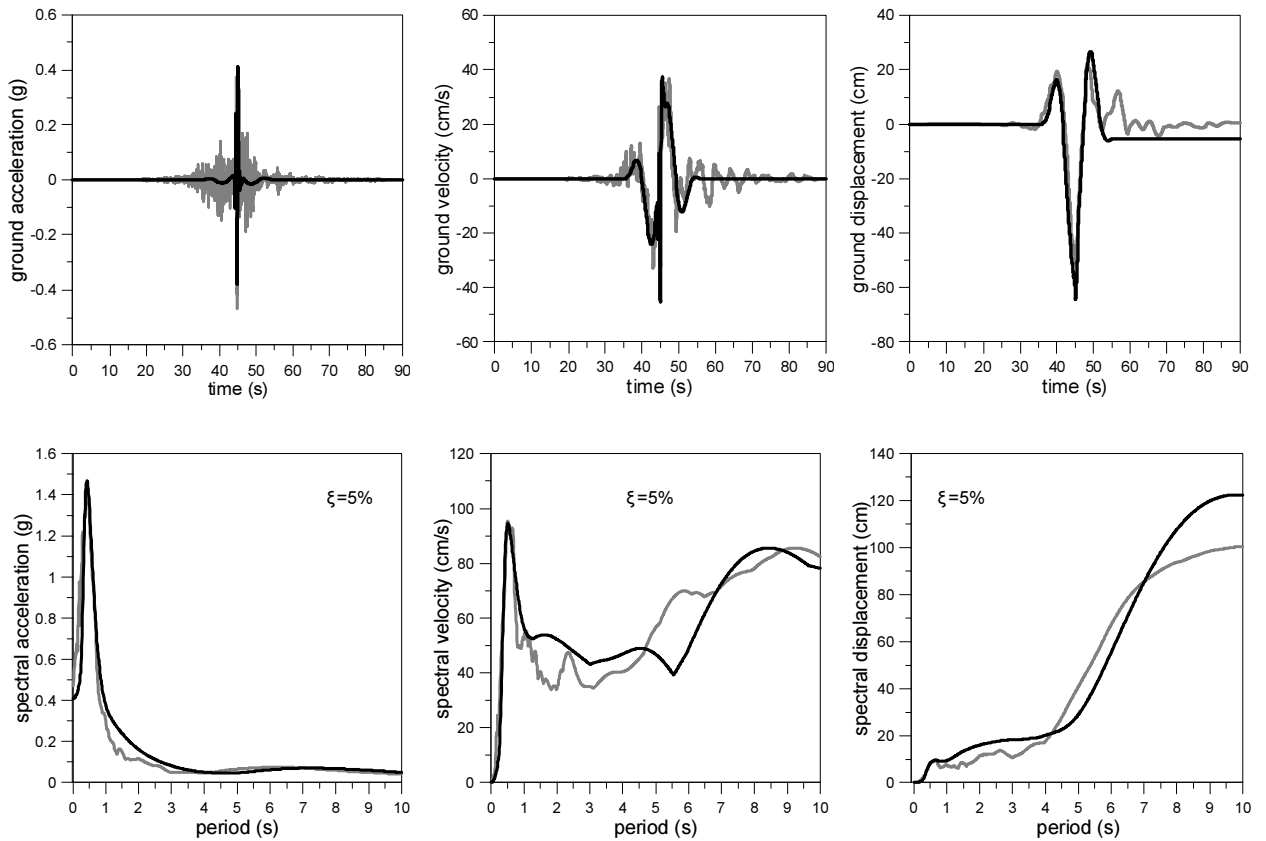
Chi-Chi, Taiwan, TCU040, NGA 1483



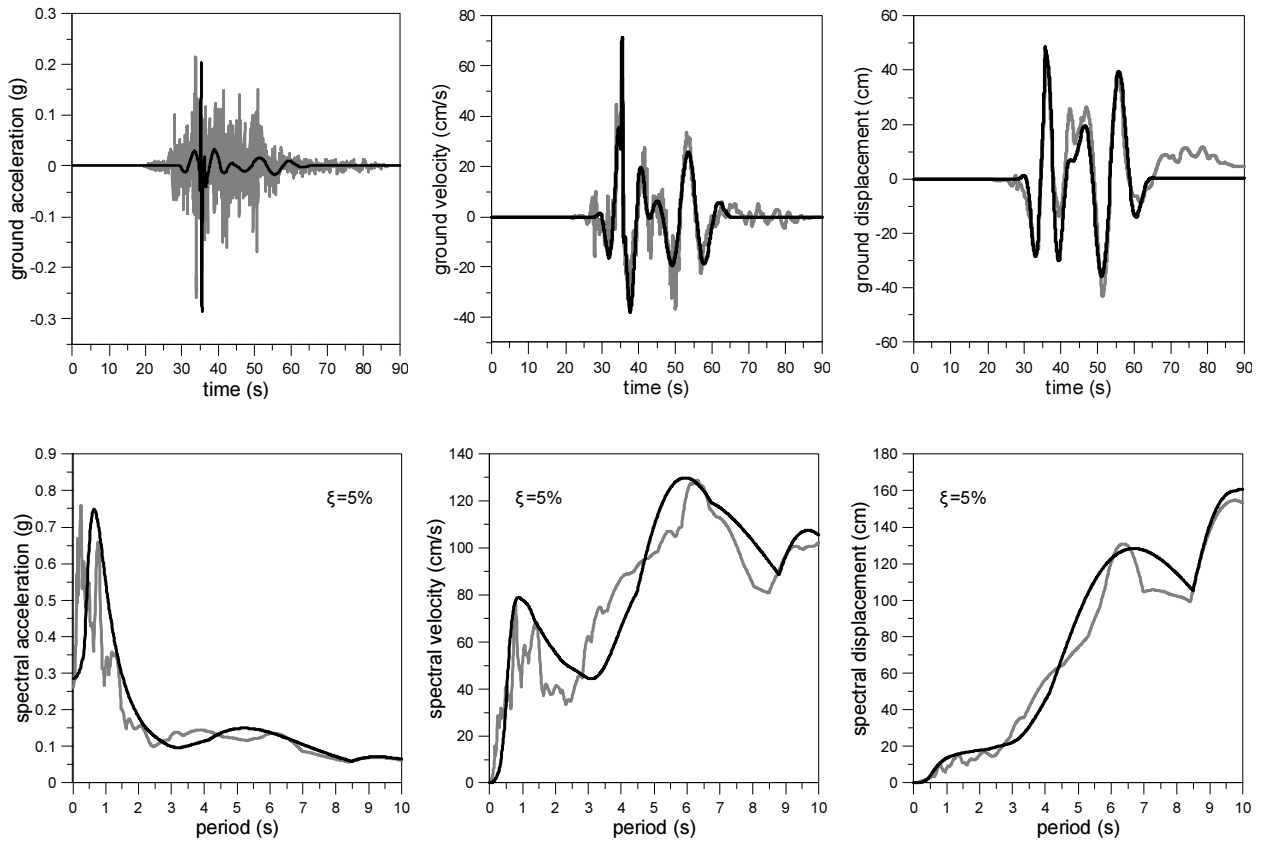
Chi-Chi, Taiwan, TCU042, NGA 1484



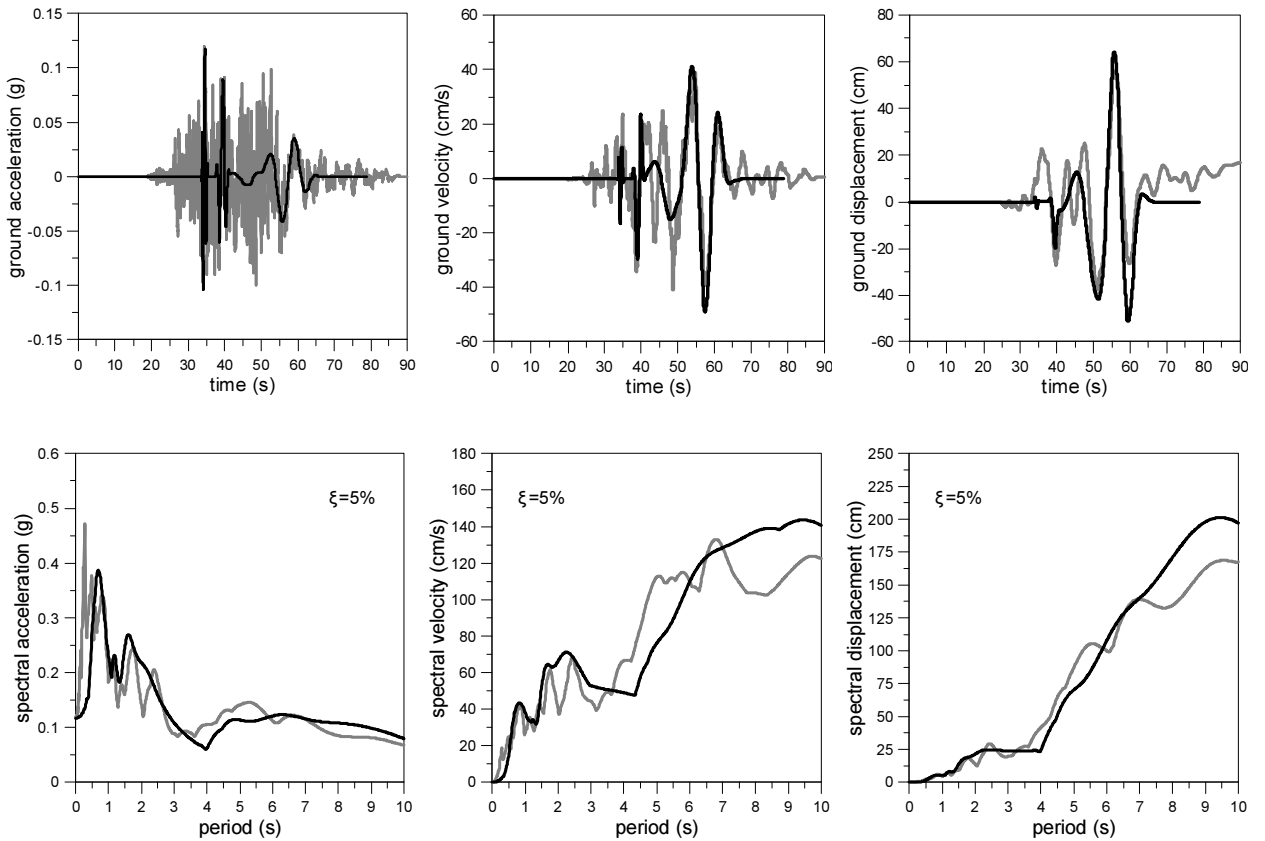
Chi-Chi, Taiwan, TCU045, NGA 1485



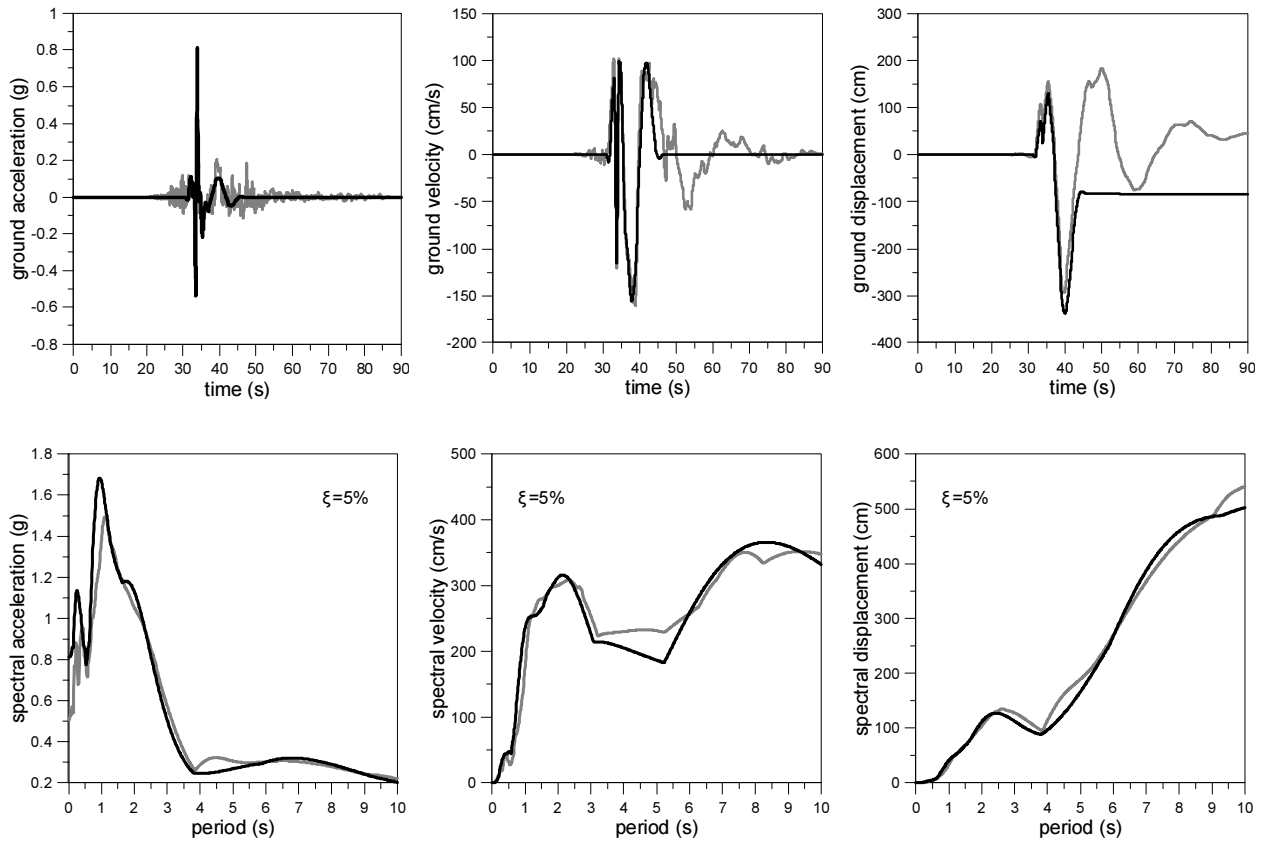
Chi-Chi, Taiwan, TCU049, NGA 1489



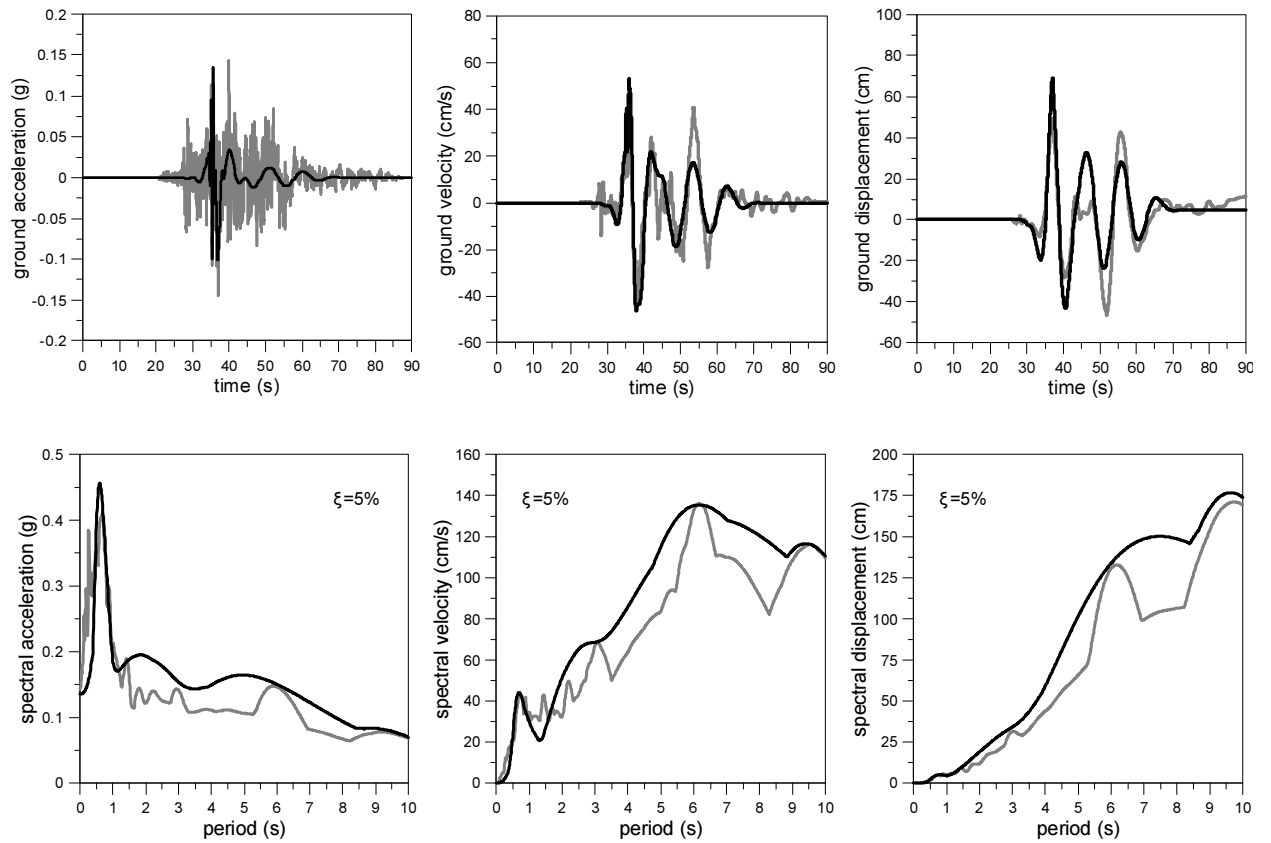
Chi-Chi, Taiwan, TCU050, NGA 1490



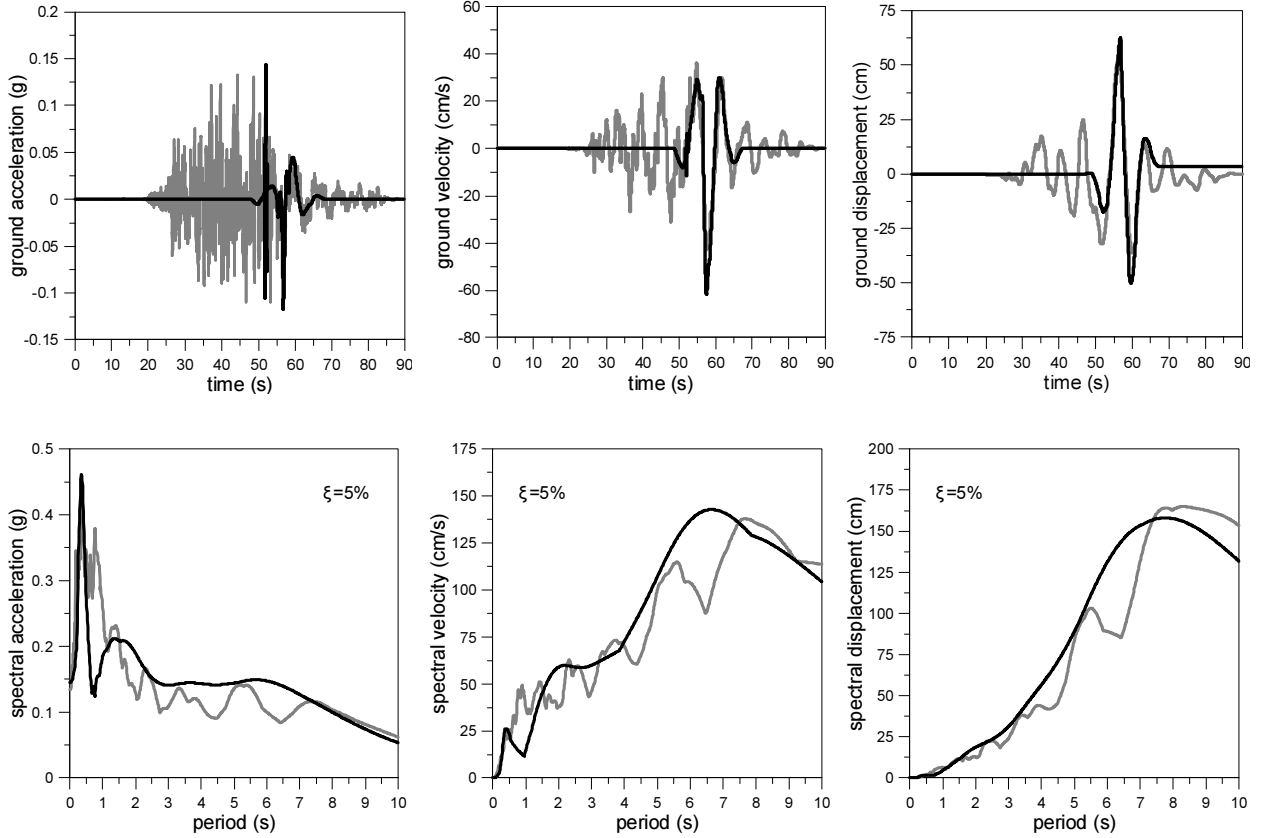
Chi-Chi, Taiwan, TCU052, NGA 1492



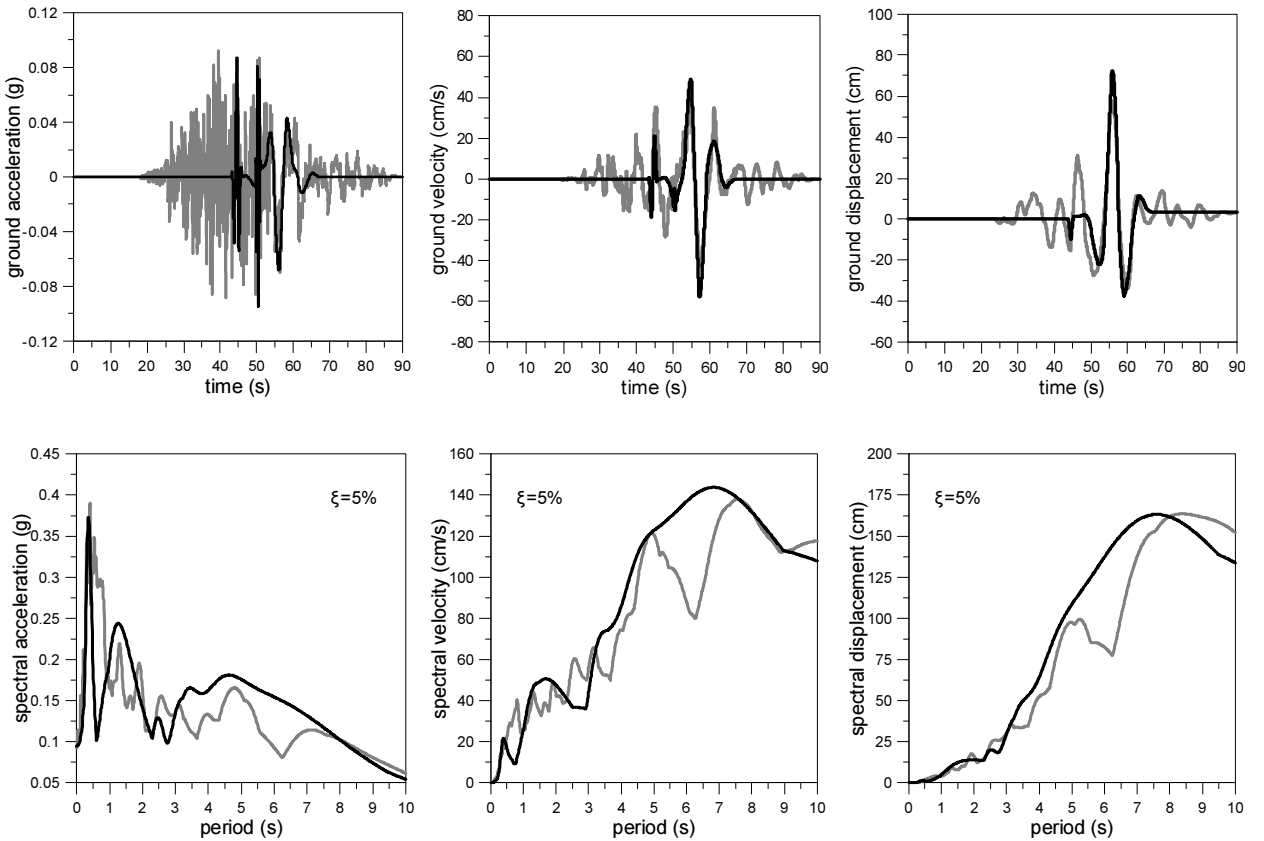
Chi-Chi, Taiwan, TCU053, NGA 1493



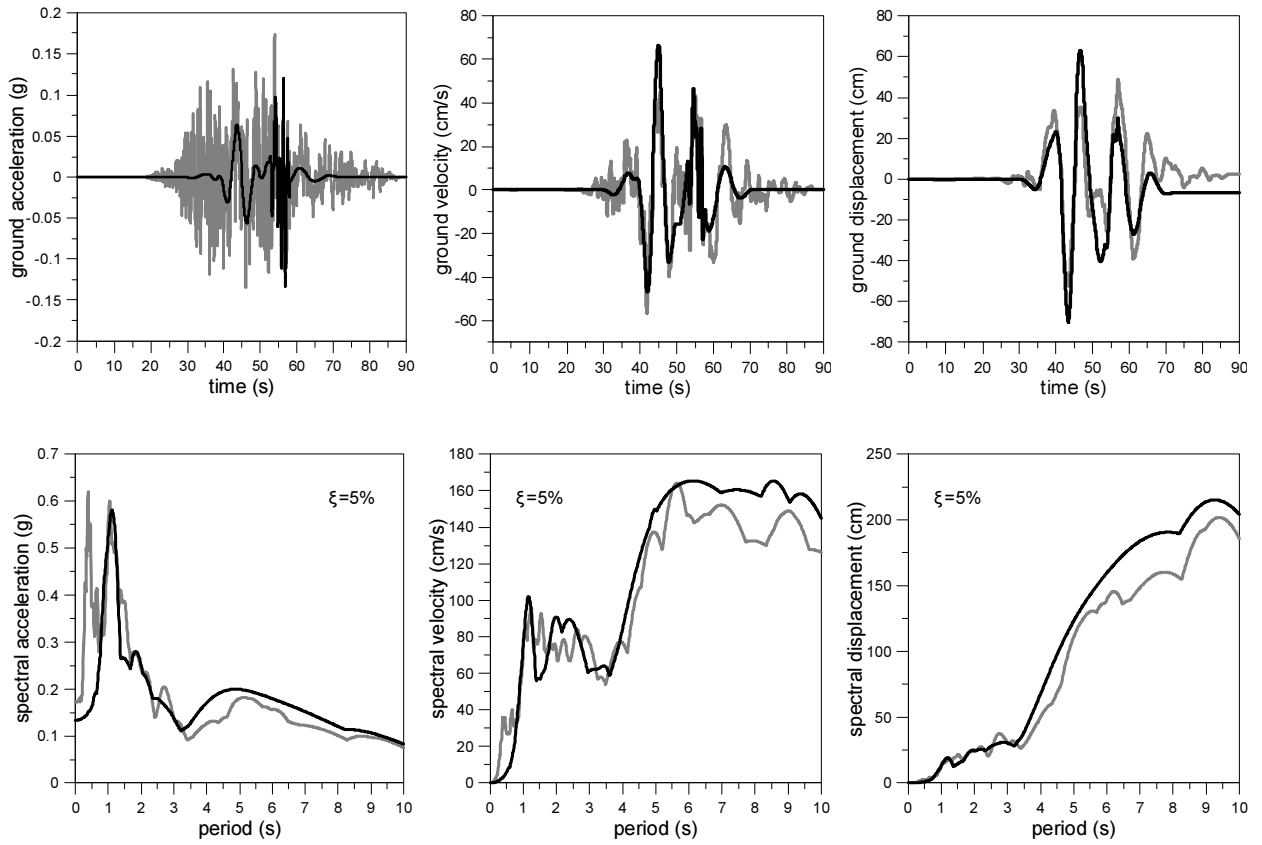
Chi-Chi, Taiwan, TCU056, 1496



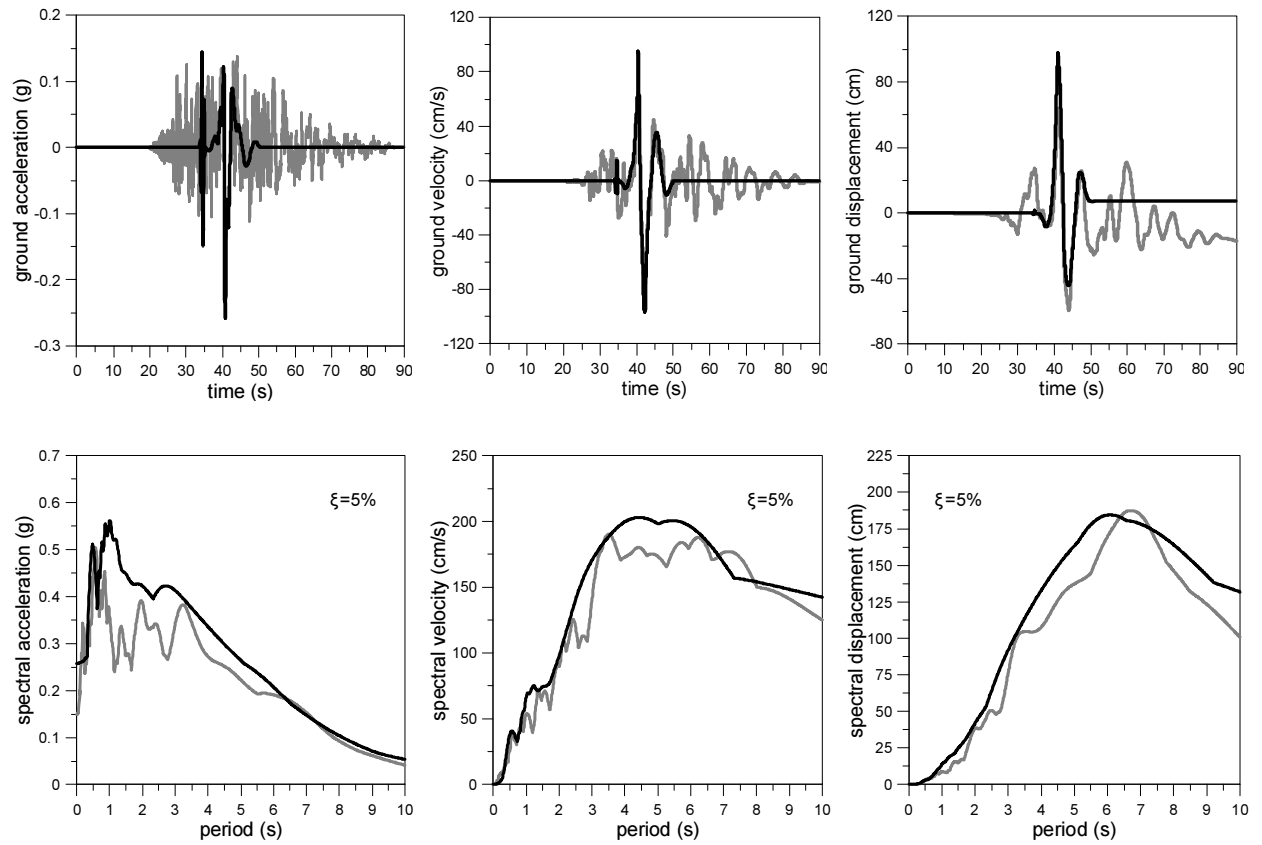
Chi-Chi, Taiwan, TCU057, NGA 1497



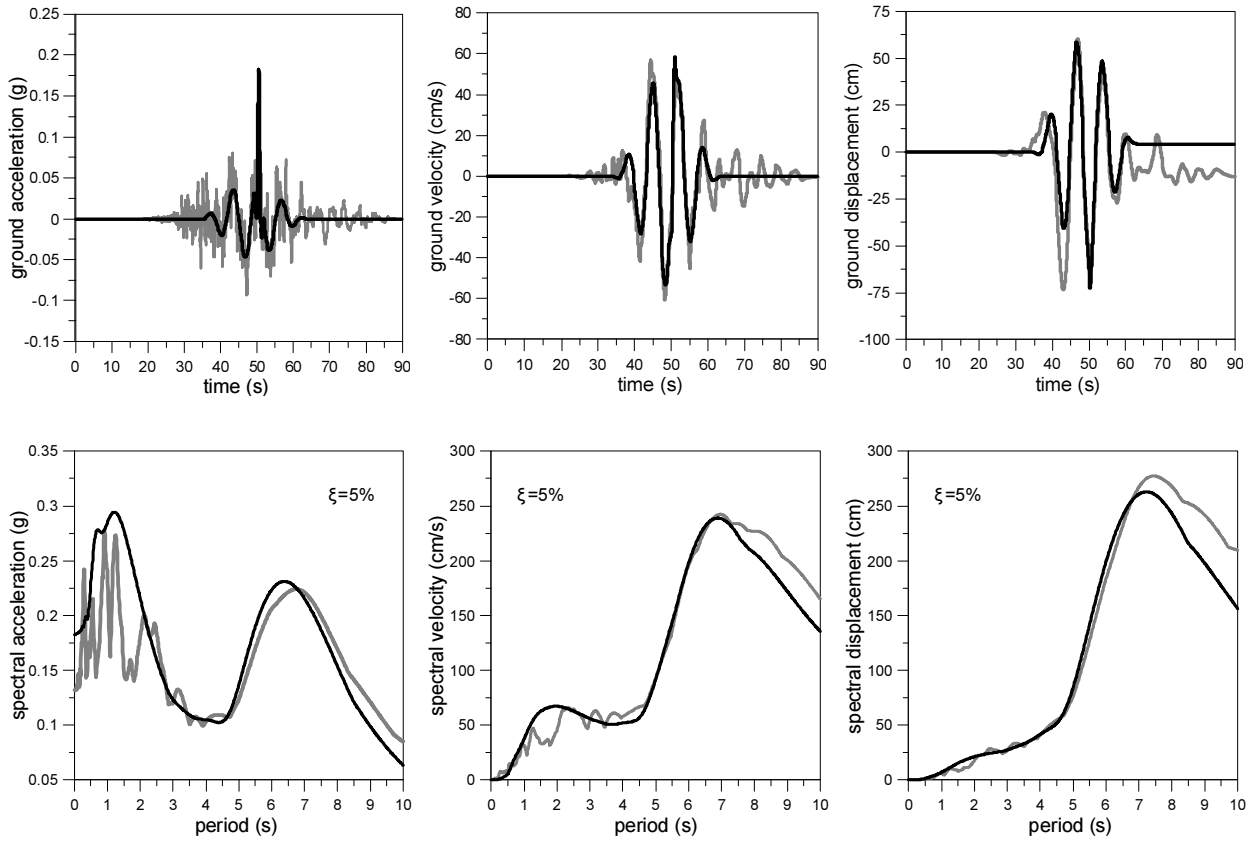
Chi-Chi, Taiwan, TCU059, NGA 1498



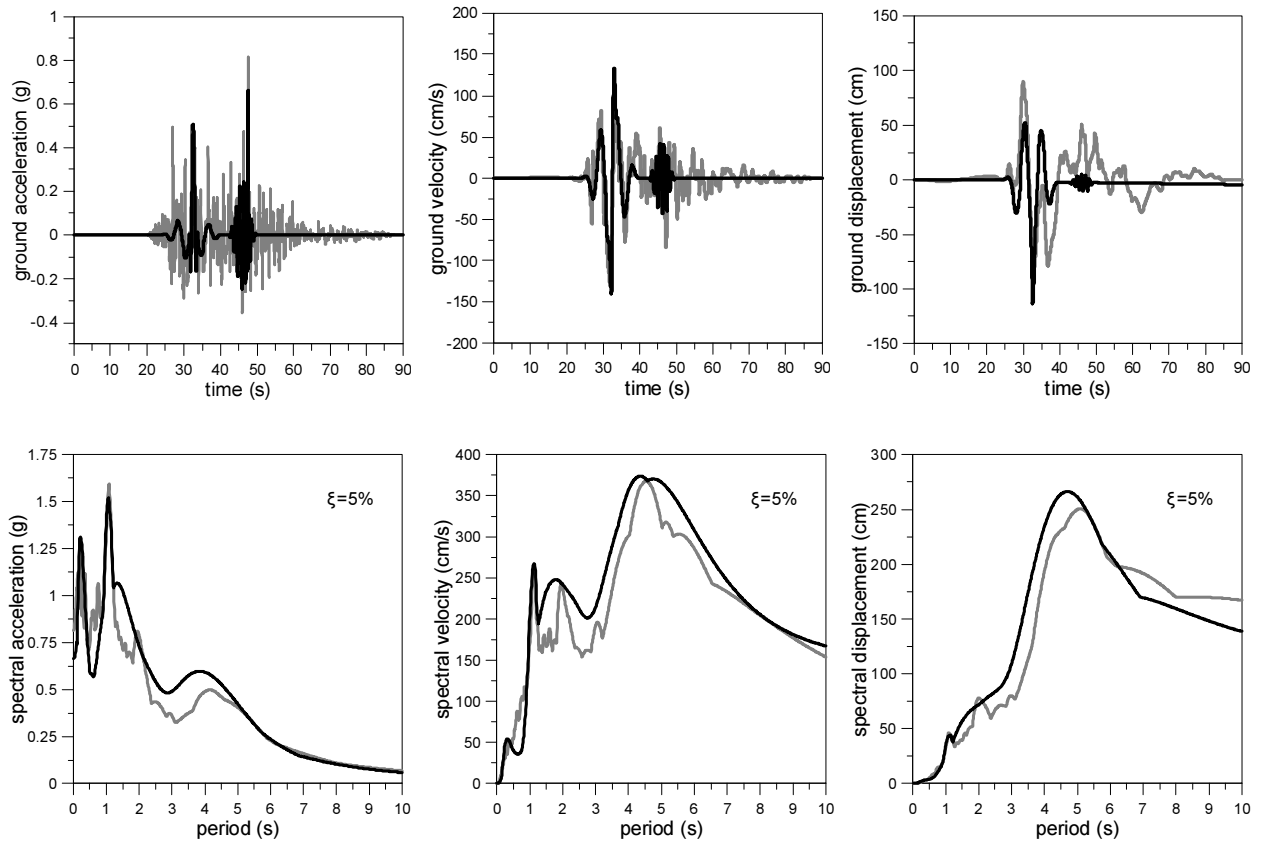
Chi-Chi, Taiwan, TCU063, NGA 1501



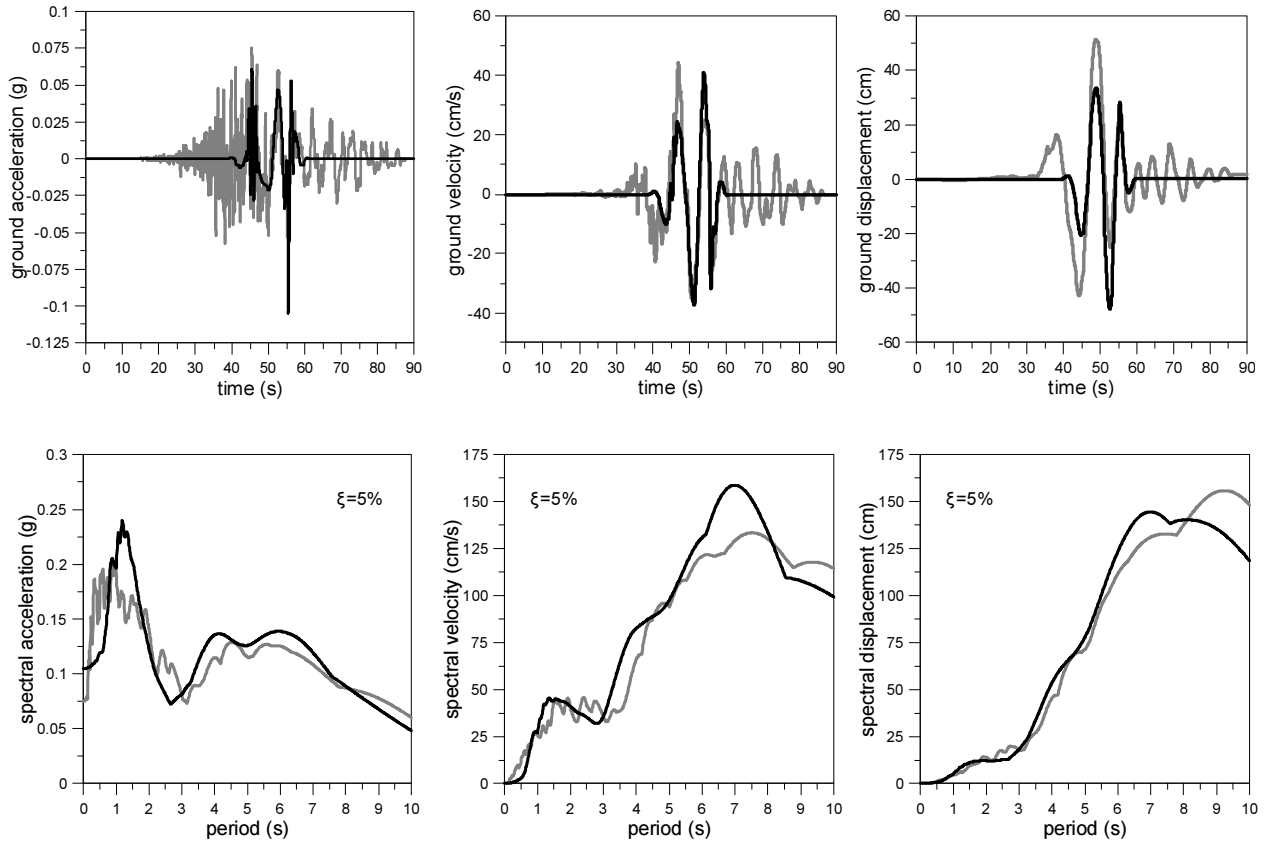
Chi-Chi, Taiwan, TCU064, NGA 1502



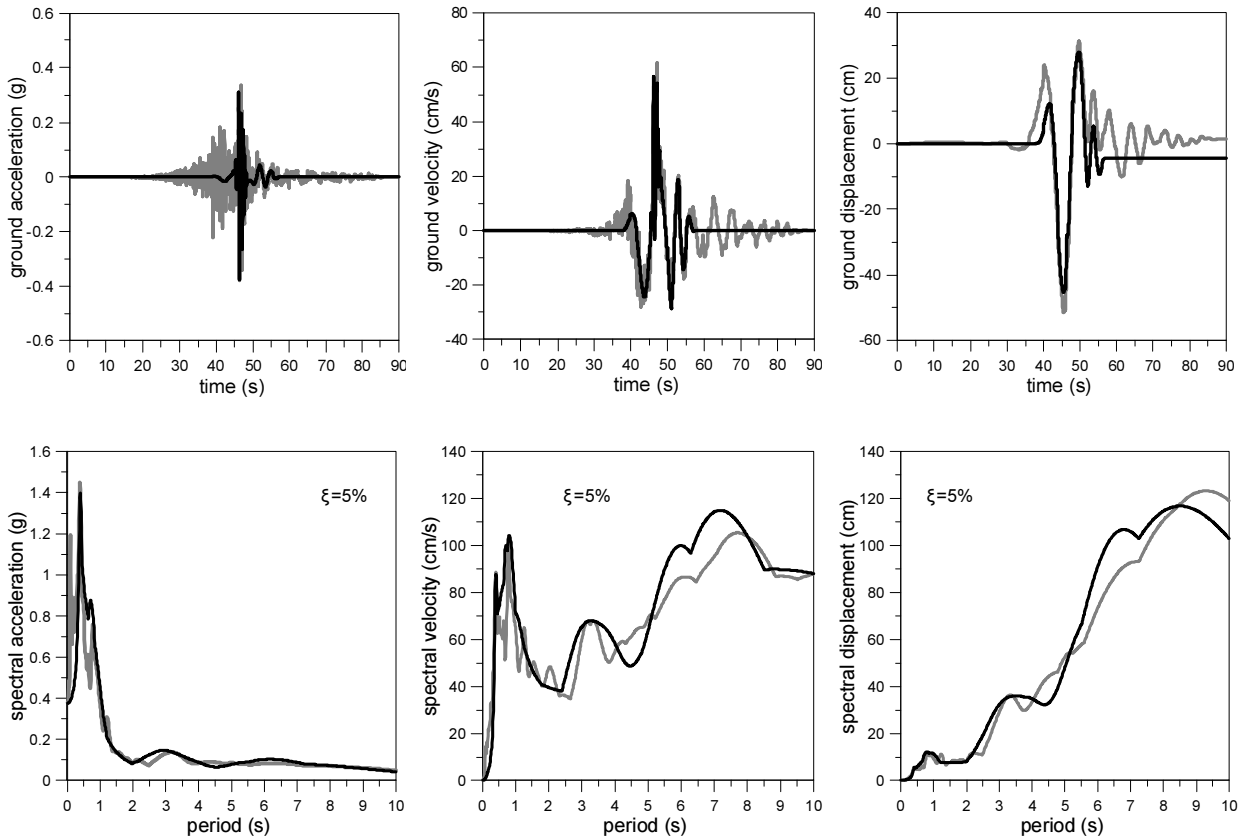
Chi-Chi, Taiwan, TCU065, NGA 1503



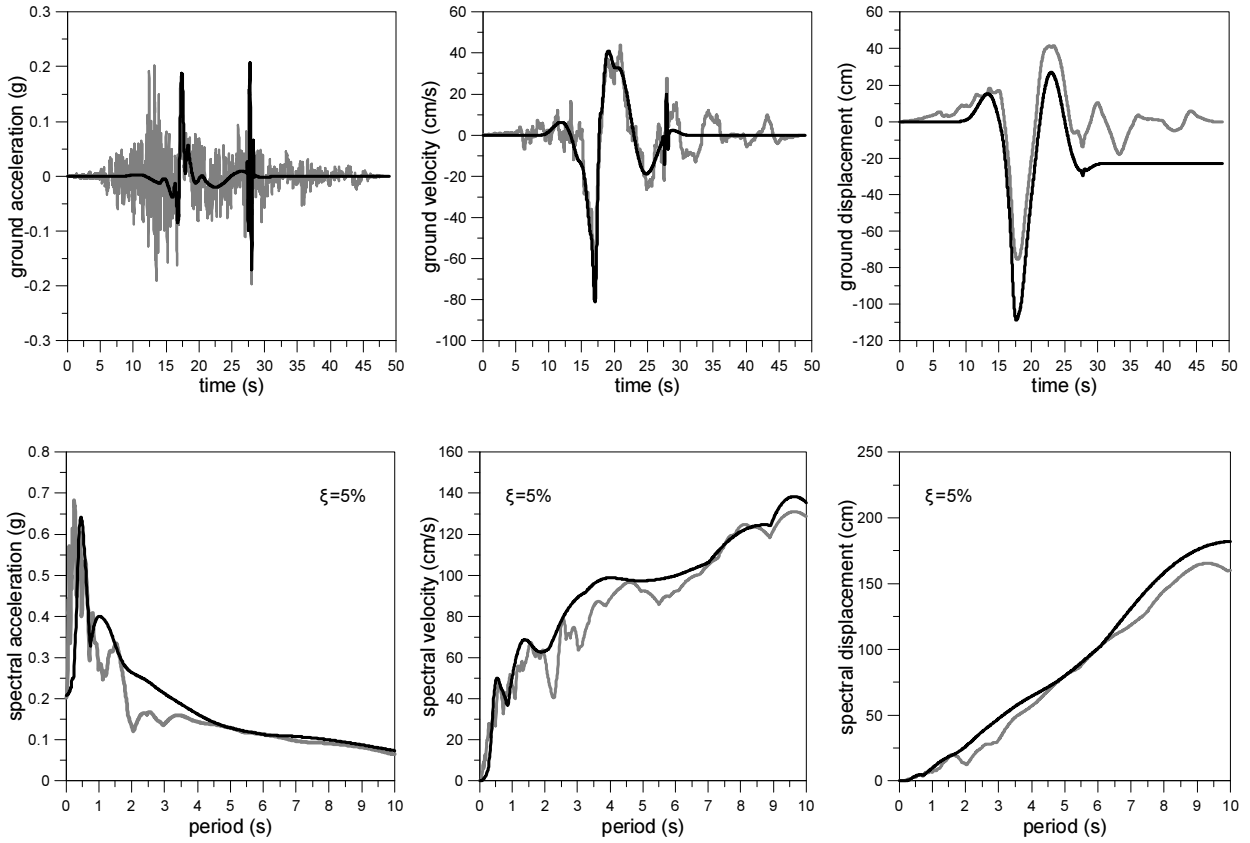
Chi-Chi, Taiwan, TCU081, NGA 1514



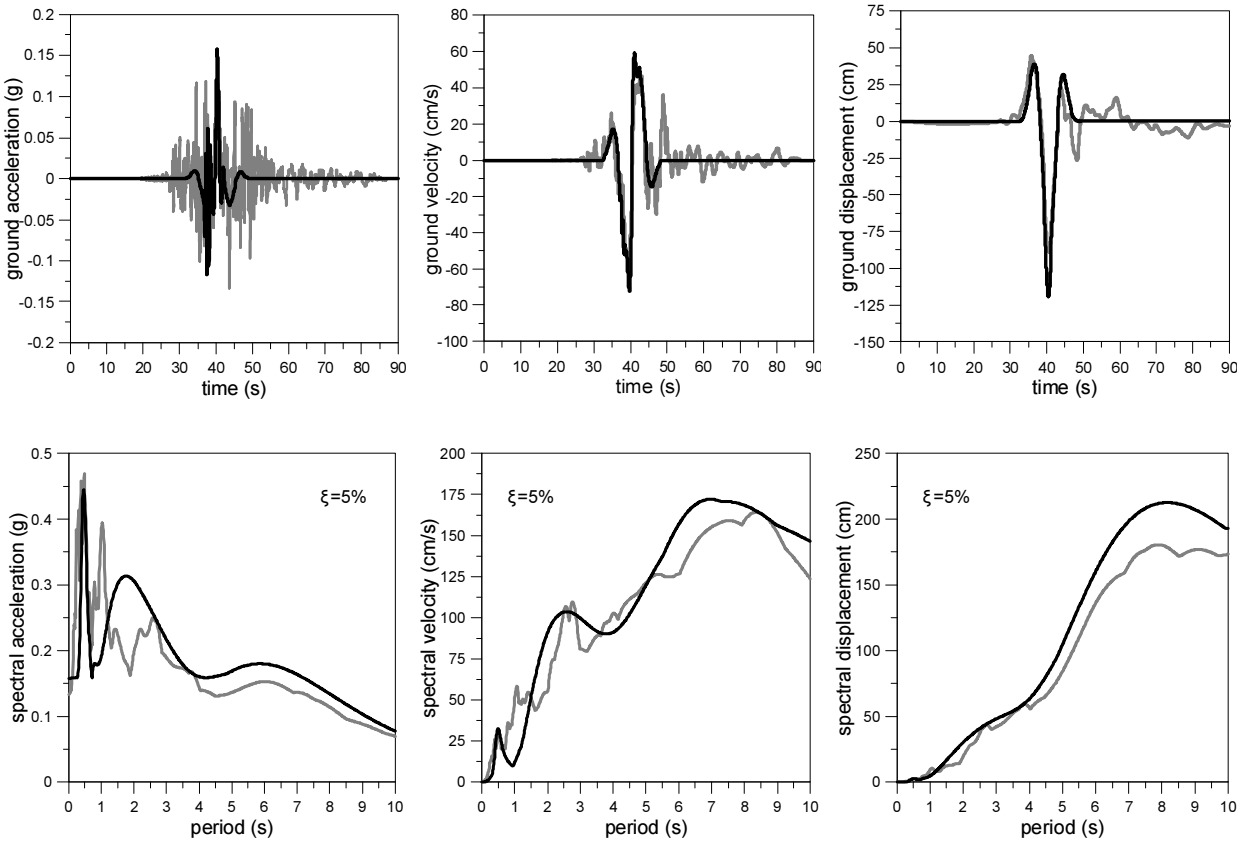
Chi-Chi, Taiwan, TCU095, NGA 1524



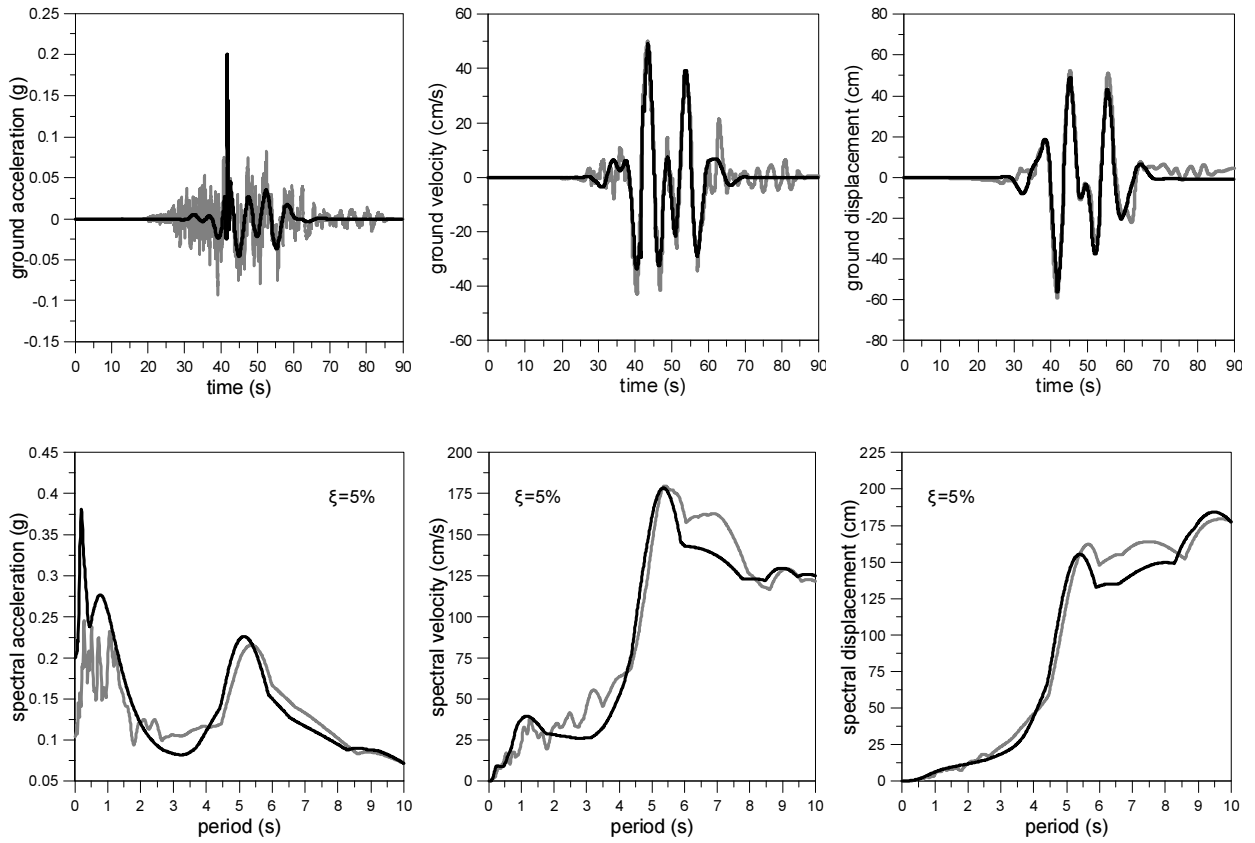
Chi-Chi, Taiwan, TCU101, NGA 1528



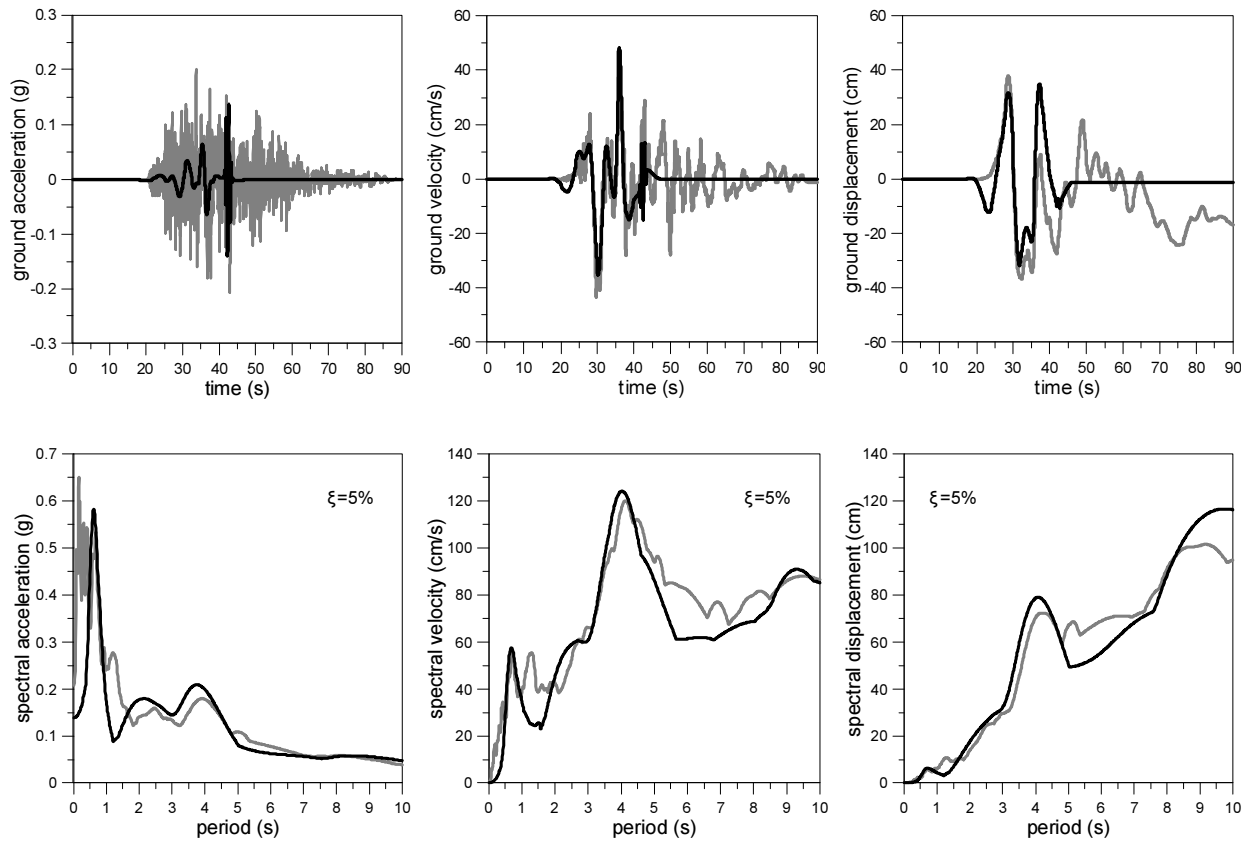
Chi-Chi, Taiwan, TCU103, NGA 1530



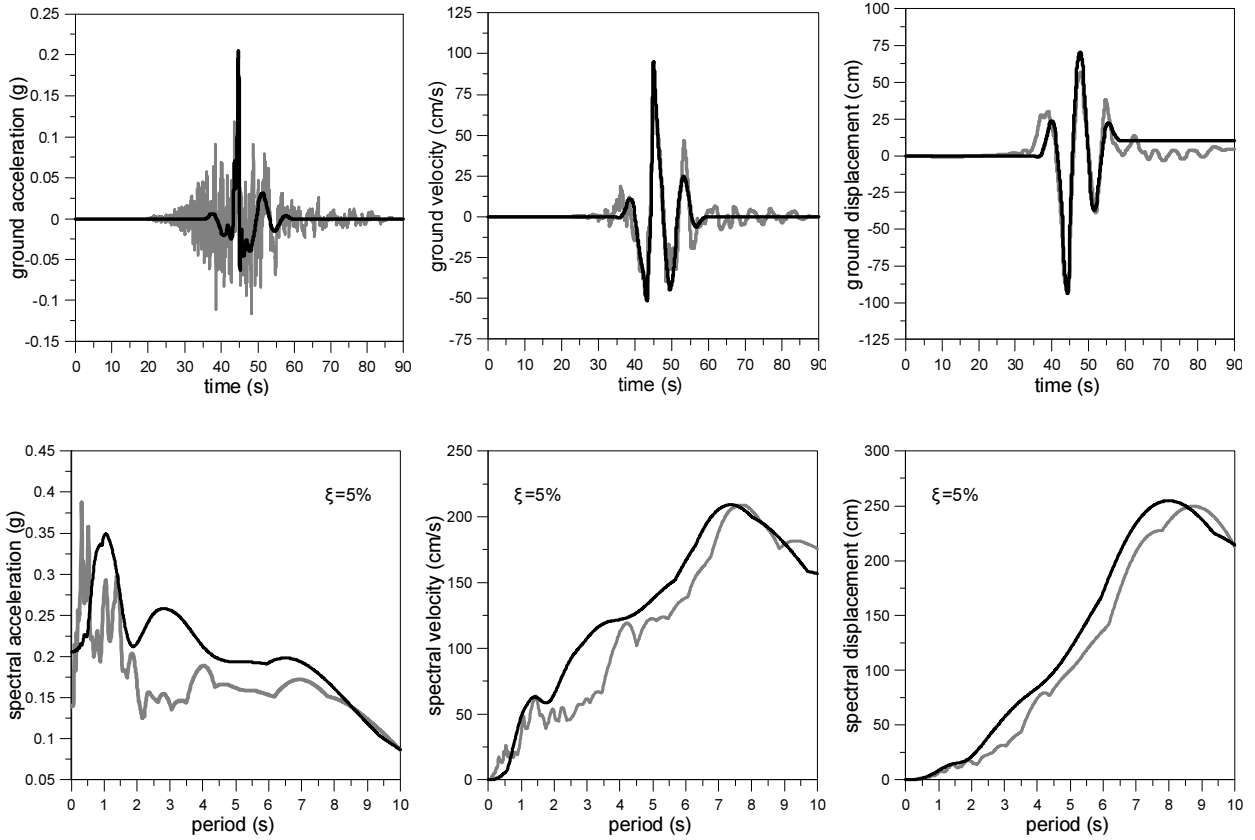
Chi-Chi, Taiwan, TCU104, NGA 1531



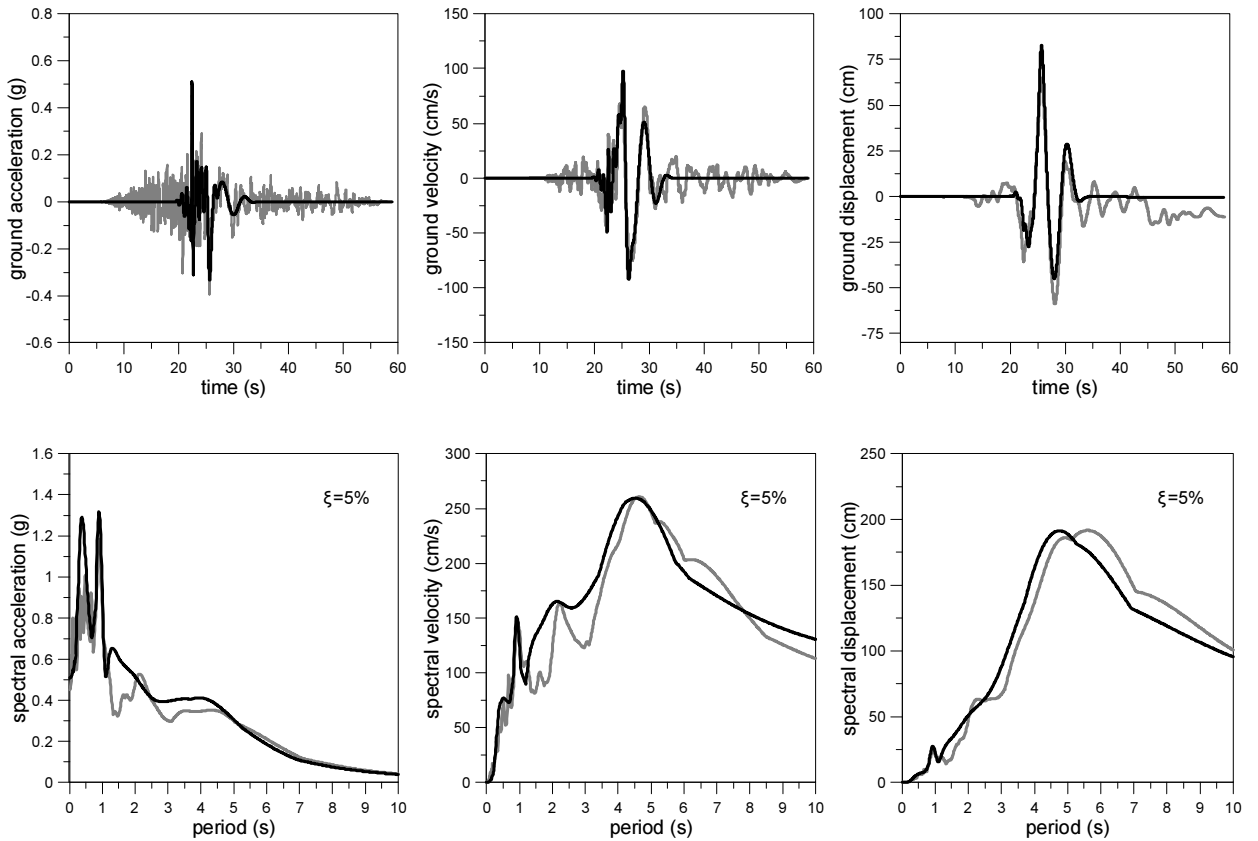
Chi-Chi, Taiwan, TCU122, NGA 1546



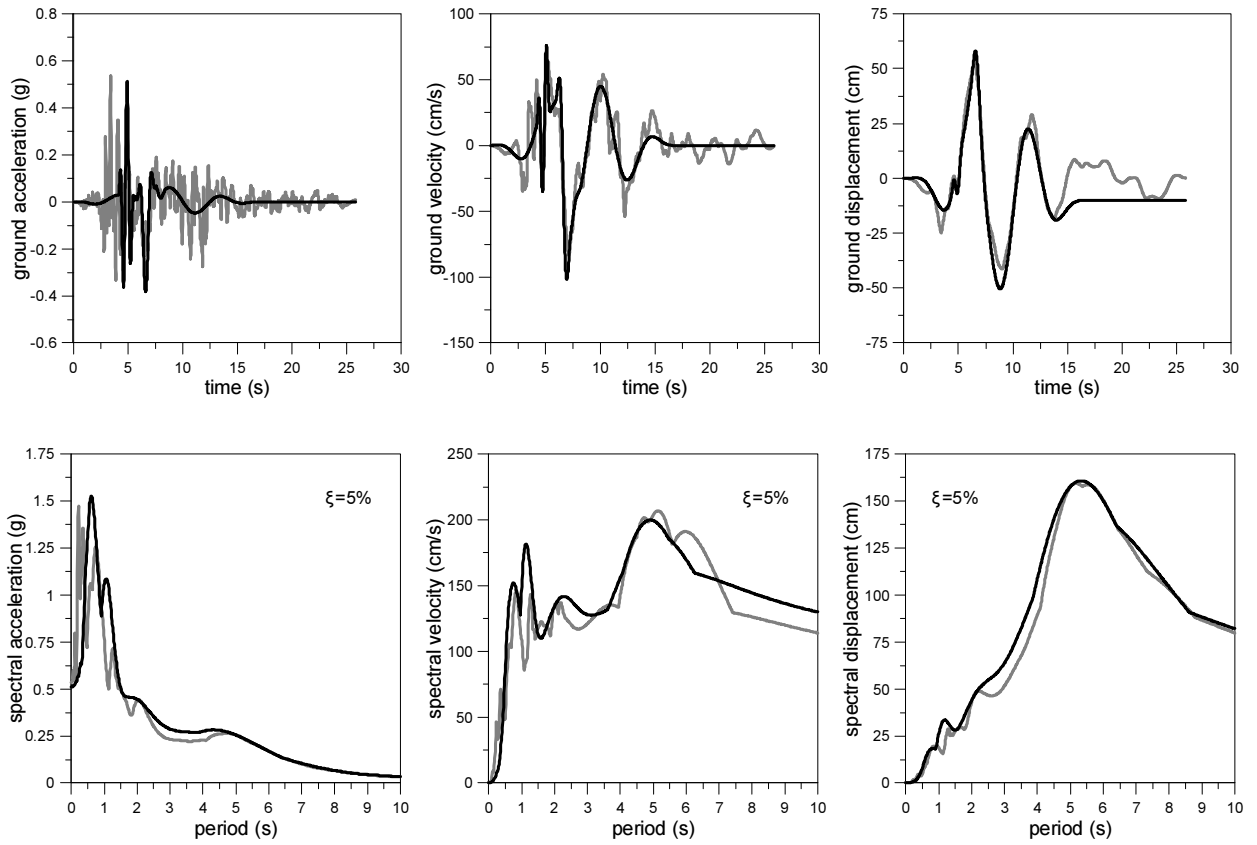
Chi-Chi, Taiwan, TCUI28, NGA 1548



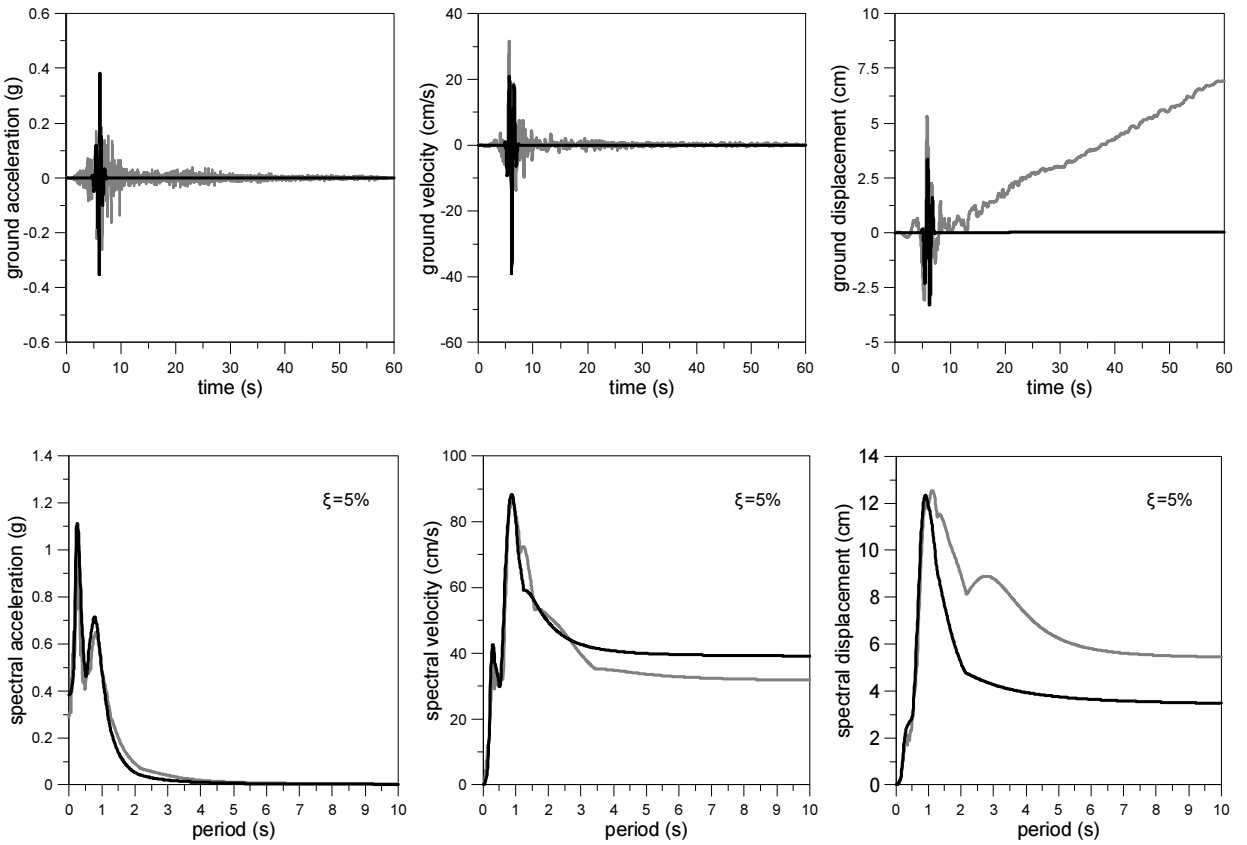
Chi-Chi, Taiwan, WGK, NGA 1595



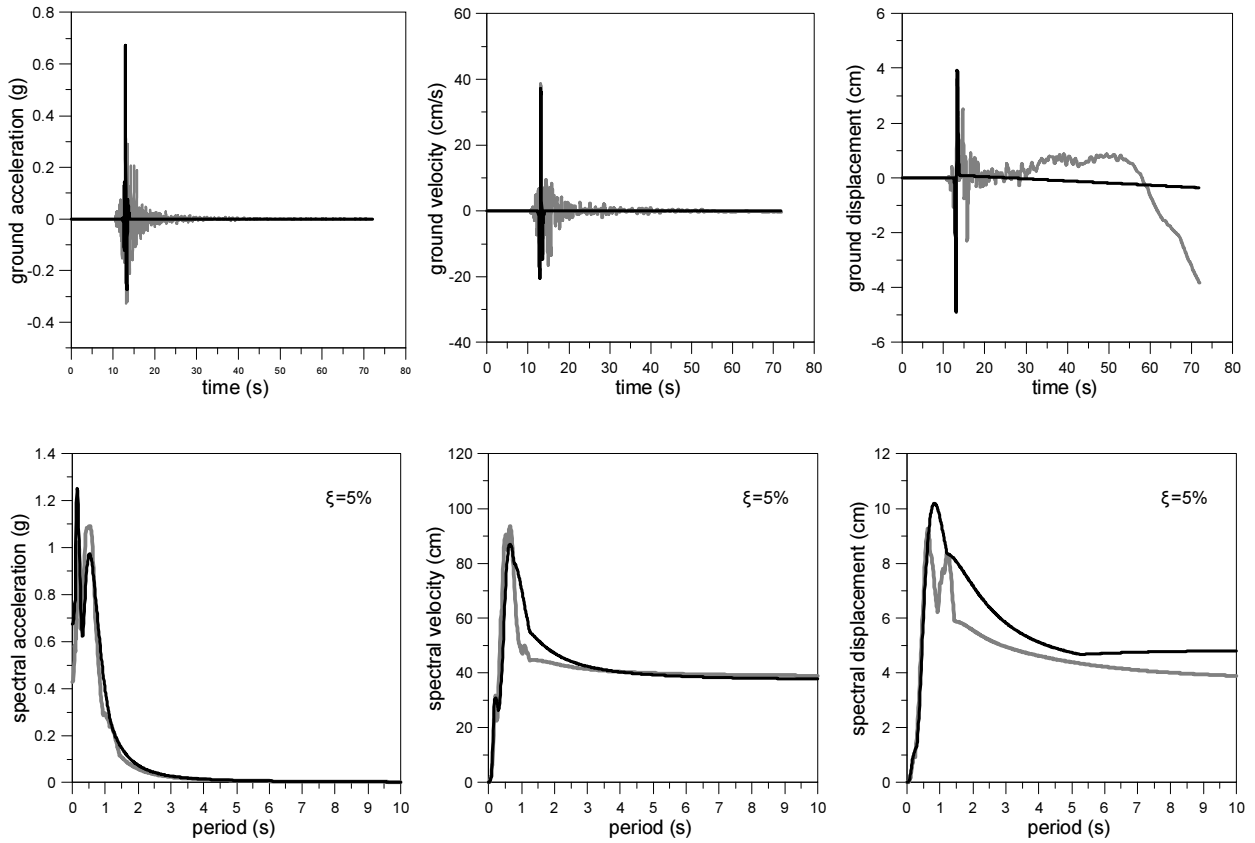
Duzce, Turkey, Duzce, NGA 1605



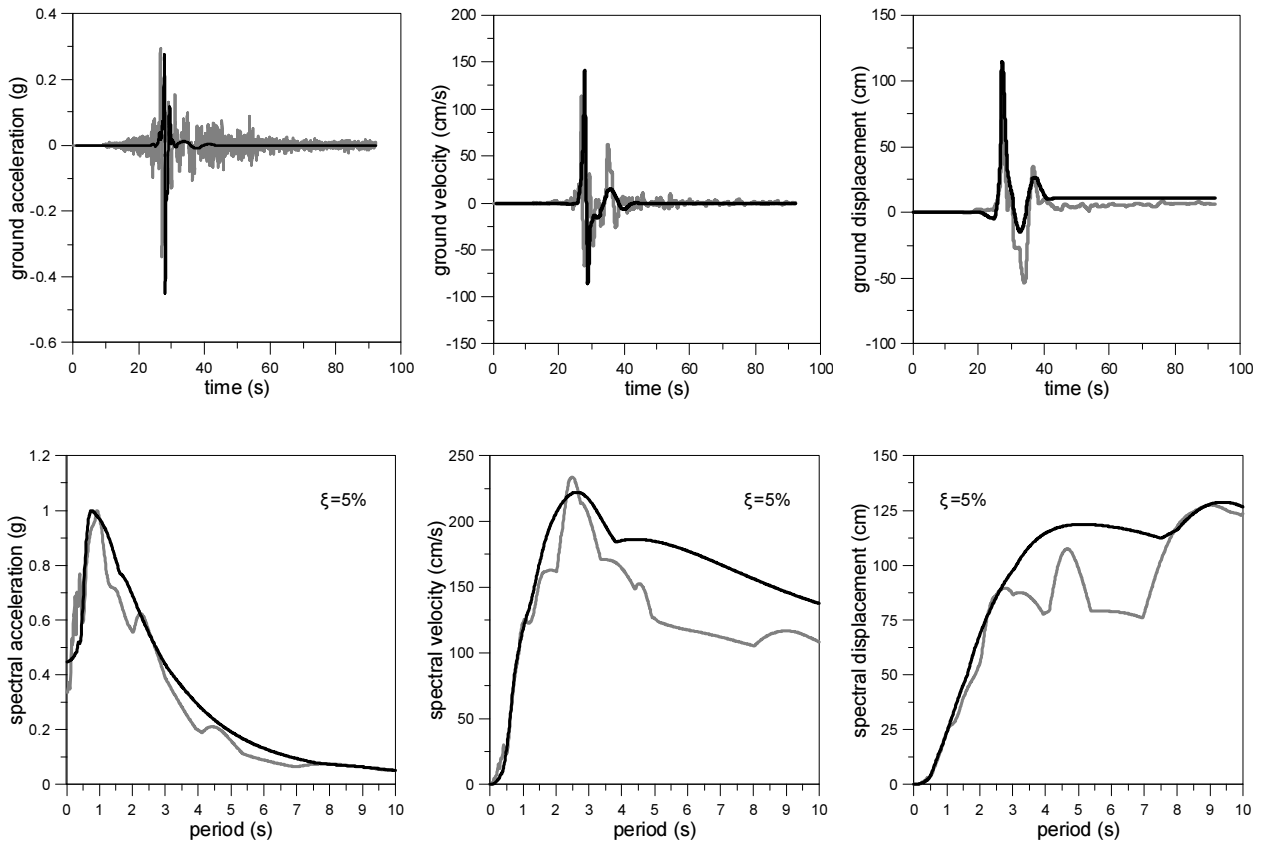
Northwest China-03, Jiashi, NGA 1752



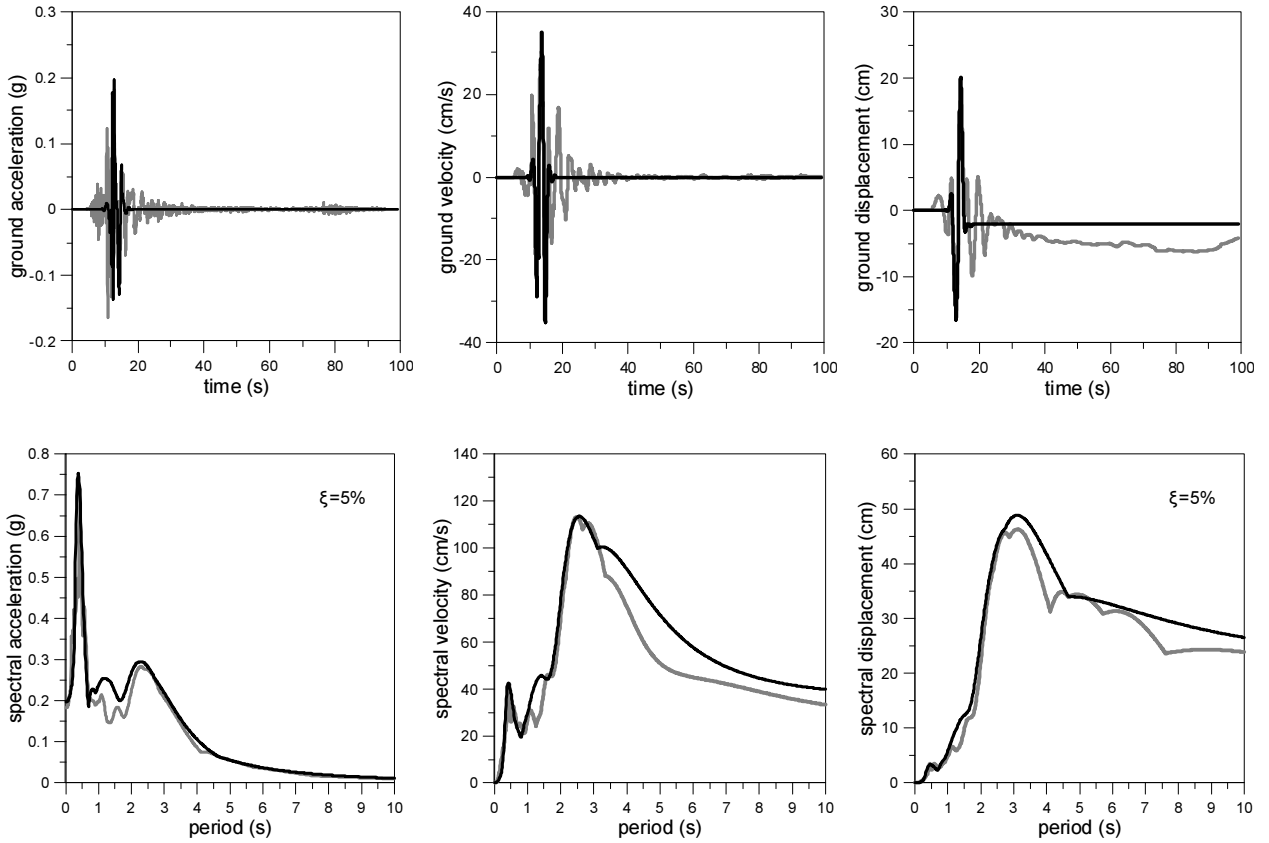
Yountville, Napa Fire Station #3, NGA 1853



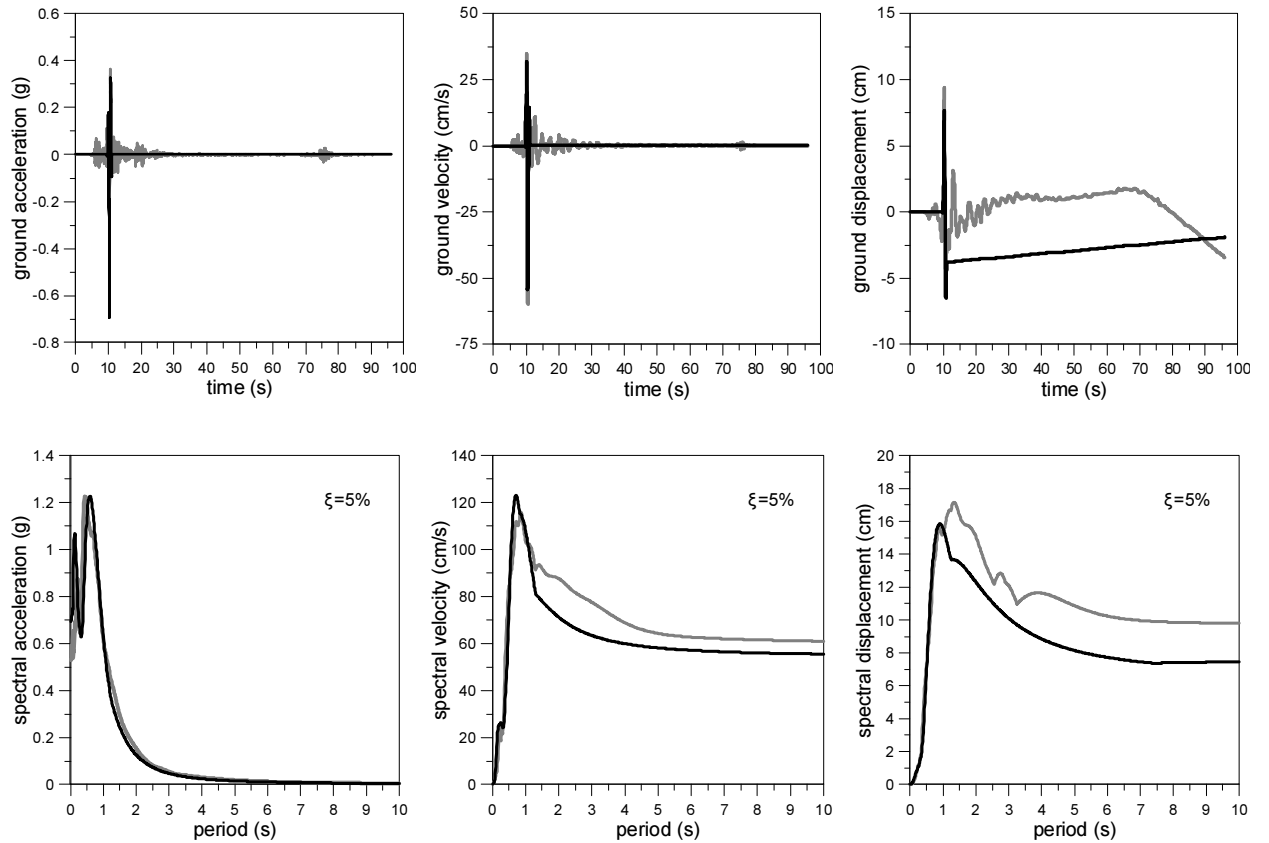
Denali, Alaska, TAPS Pump Station #10, NGA 2114



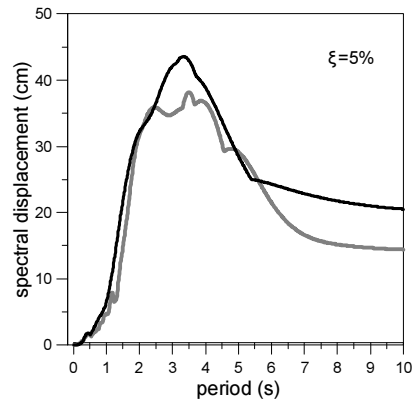
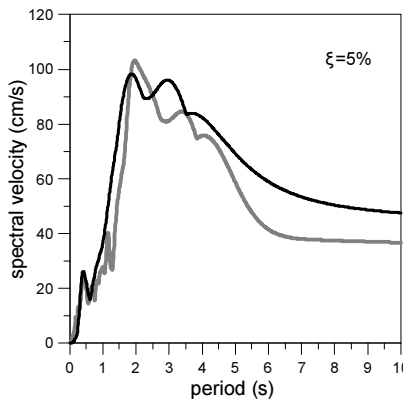
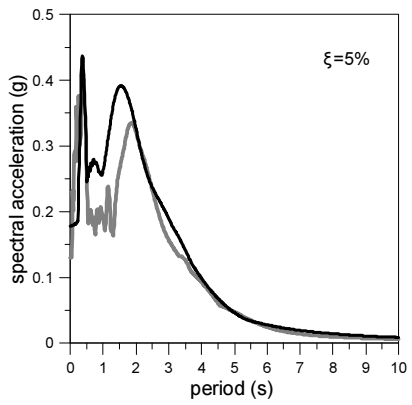
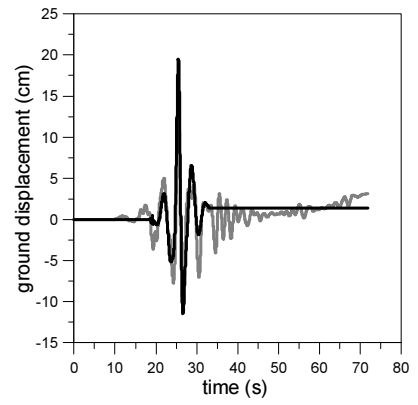
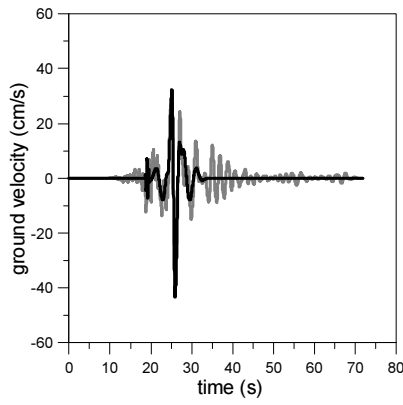
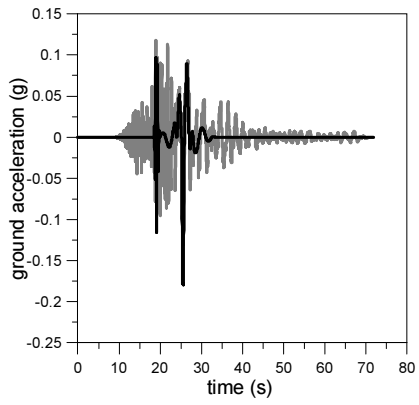
Chi-Chi, Taiwan-03, CHY024, NGA 2457



Chi-Chi, Taiwan-03, TCU076, NGA 2627



Chi-Chi, Taiwan-06, CHY101, NGA 3317



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πίνακας Β.1: Μέγιστες μετακινήσεις (m) ανά όροφο του εξεταζομένου πλαισιοτού φορέα, για διέγερση με τις πραγματικές NGA καταγραφές (Π) και τις αντίστοιχες συνθετικές (Σ) εδαφικές κινήσεις παλμών.

Όροφος	NGA 171 Π	NGA 171 Σ	NGA 185 Π	NGA 185 Σ	NGA 529 Π	NGA 529 Σ	NGA 569 Π	NGA 569 Σ	NGA 585 Π	NGA 585 Σ
1	0.042	0.054	0.011	0.014	0.021	0.023	0.015	0.018	0.017	0.016
2	0.124	0.156	0.033	0.044	0.064	0.068	0.043	0.053	0.046	0.047
3	0.208	0.263	0.056	0.078	0.114	0.119	0.072	0.086	0.077	0.079
4	0.280	0.358	0.076	0.111	0.167	0.167	0.097	0.115	0.106	0.107
5	0.339	0.437	0.093	0.145	0.215	0.218	0.123	0.143	0.130	0.133
6	0.381	0.495	0.113	0.174	0.250	0.261	0.151	0.170	0.157	0.161
7	0.406	0.530	0.132	0.192	0.270	0.286	0.175	0.191	0.186	0.195
8	0.420	0.549	0.144	0.203	0.280	0.300	0.192	0.206	0.209	0.220

Όροφος	NGA 778 Π	NGA 778 Σ	NGA 1013 Π	NGA 1013 Σ	NGA 1086 Π	NGA 1086 Σ	NGA 1471 Π	NGA 1471 Σ	NGA 1502 Π	NGA 1502 Σ
1	0.013	0.016	0.023	0.018	0.034	0.039	0.008	0.010	0.009	0.017
2	0.040	0.046	0.069	0.053	0.104	0.119	0.025	0.031	0.027	0.055
3	0.070	0.075	0.116	0.092	0.180	0.204	0.042	0.054	0.046	0.098
4	0.098	0.105	0.158	0.126	0.247	0.277	0.057	0.080	0.063	0.138
5	0.125	0.145	0.198	0.156	0.306	0.340	0.075	0.100	0.080	0.172
6	0.151	0.193	0.232	0.179	0.349	0.388	0.094	0.120	0.095	0.199
7	0.170	0.224	0.256	0.194	0.373	0.415	0.108	0.134	0.106	0.218
8	0.182	0.241	0.272	0.203	0.386	0.430	0.117	0.143	0.112	0.229

Πίνακας Β.2. Πλαστιμότητα 'μ' και συντελεστής συμπεριφοράς διαρροής q_v , για τις πραγματικές NGA καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις παλμών.

Σεισμική καταγραφή NGA	Πραγματική		Συνθετική	
	μ	q_v	μ	q_v
171	1.75	2.79	2.29	2.88
185	0.58	0.77	0.83	1.12
529	1.17	1.94	1.25	1.98
569	0.79	1.39	0.83	1.17
585	0.88	1.84	0.92	2.02
778	0.75	1.39	1.00	1.30
1013	1.13	1.53	0.83	1.67
1086	1.63	3.83	1.79	3.78
1471	0.50	0.67	0.58	0.81
1502	0.46	0.63	0.96	1.26

Πίνακας Β.3. Πλαστιμότητα 'μ' και συντελεστής συμπεριφοράς διαρροής q_v , για τις πραγματικές NGA καταγραφές και τις αντίστοιχες συνθετικές εδαφικές κινήσεις παλμών, για τριπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων.

Σεισμική καταγραφή NGA	Πραγματική		Συνθετική	
	μ	q_v	μ	q_v
171	8.88	8.37	9.38	8.64
185	2.00	2.31	3.33	3.36
529	3.33	5.82	3.63	5.94
569	2.04	4.17	2.13	3.51
585	1.79	5.52	2.29	6.06
778	2.30	4.17	2.25	3.90
1013	3.13	4.59	2.88	5.01
1086	6.54	11.49	7.88	11.34
1471	1.46	2.01	2.17	2.43
1502	1.83	1.89	4.63	3.78

