ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΧΥΤΑ

ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

Α.Μ.: 2002.05.0007

<u>ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ</u>

ΤΣΟΜΠΑΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Γενικού Τμήματος (Επιβλέπων)

ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Καθηγητής Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΠΡΟΒΙΔΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Καθηγητής Γενικού Τμήματος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας κ. Ιωάννη Τσομπανάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης, τόσο για την επιλογή του θέματος όσο και για την καθοδήγηση του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επίσης, τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής: τον κ. Γεώργιο Καρατζά, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, και τον κ. Κωνσταντίνο Προβιδάκη, Καθηγητή του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Βαρβάρα Ζανιά, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος των Πολιτικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου της Κοπεγχάγης, για την πολύτιμη βοήθεια της.

Τους ευχαριστώ όλους θερμά!

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε χώρες που χαρακτηρίζονται από υψηλή σεισμικότητα, όπως η Ελλάδα, ο σχεδιασμός τεχνικών έργων είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τον σεισμικό κίνδυνο. Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) αποτελούν ουσιαστικά μεγάλες γεωκατασκευές, η ασφάλεια και η λειτουργικότητα των οποίων σχετίζεται κυρίως με την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και με την εύρυθμη λειτουργία των κοινωνιών τις οποίες εξυπηρετούν. Αν και παγκοσμίως δεν έχει καταγραφεί καθολική αστοχία ΧΥΤΑ λόγω σεισμικής καταπόνησης, ισχυροί σεισμοί στο παρελθόν έχουν προκαλέσει σοβαρές βλάβες σε ΧΥΤΑ, δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα στη λειτουργικότητά τους, και αναδεικνύοντας βέβαια το θέμα της σεισμικής τρωτότητάς τους.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εξεταστεί η μεταβολή της οριζόντιας και της κατακόρυφης επιτάχυνσης λόγω των ειδικών τοπικών συνθηκών και να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα σε αυτή τη μεταβολή και την εν δυνάμει μη-γραμμική συμπεριφορά των απορριμματικών υλικών. Για την επίτευξη αυτού του στόχου διεξήχθησαν δυναμικές μη-γραμμικές αναλύσεις χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση των εκάστοτε συνθηκών στη δυναμική απόκριση ενός τυπικού ΧΥΤΑ. Οι βασικές παράμετροι που μελετήθηκαν είναι:

α) η γεωμετρία του ΧΥΤΑ,

β) οι δυναμικές ιδιότητες των απορριμμάτων,

γ) τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης.

Η διάδοση των σεισμικών κυμάτων σε περιοχές με ιδιαίτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, π.χ. κοιλάδες, λόφοι, παρουσιάζει ιδιαιτερότητες. Οι ΧΥΤΑ είναι κατασκευές, των οποίων η μορφολογία μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ανάλογες ιδιαιτερότητες χαρακτηρίζουν τη δυναμική απόκρισή τους. Για το λόγο αυτό διερευνήθηκε εκτενώς ο μηχανισμός διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε τυπικές διατομές ΧΥΤΑ για διαφορετικές ιδιότητες υλικών, διαφορετικές χρονοϊστορίες επιτάχυνσης και για διαφορετικά επίπεδα σεισμικής έντασης, που καθορίζουν τη μη-γραμμικότητα του υλικού των ΧΥΤΑ.

Πιο συγκεκριμένα, για την εξέταση της δυναμικής απόκρισης των ΧΥΤΑ προσομοιώθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά παραδείγματα τυπικών διατομών ΧΥΤΑ Το πρώτο προσομοίωμα αφορά έναν μικρό υπέργειο ΧΥΤΑ, το δεύτερο

προσομοίωμα έναν μεγαλύτερης διατομής αλλά πάλι υπέργειο ΧΥΤΑ, και το τρίτο ένα ΧΥΤΑ πλευρικής απόθεσης.

Για τη διερεύνηση της δυναμικής απόκρισης των εξεταζόμενων ΧΥΤΑ πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές αναλύσεις κατάλληλων προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων. Για τις αναλύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε το επιστημονικό (μη εμπορικό) λογισμικό QUAD4M (Hudson et al., 1994). Πρόκειται για ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων στο οποίο η προσομοίωση γίνεται σε δύο διαστάσεις, προϋποθέτοντας συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης. Η δυναμική μη-γραμμική απόκριση αντιμετωπίζεται με τη μεθοδολογία της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης. Επιπροσθέτως, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων για συνθήκες “μονοδιάστατης” απόκρισης του ΧΥΤΑ (όπου δε λαμβάνεται υπόψη η δισδιάστατη γεωμετρία της γεωκατασκευής) και της δισδιάστατης απόκρισής του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε χώρες που χαρακτηρίζονται από υψηλή σεισμικότητα, όπως η Ελλάδα, ο σχεδιασμός τεχνικών έργων είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τον σεισμικό κίνδυνο. Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) αποτελούν ουσιαστικά μεγάλες γεωκατασκευές, η ασφάλεια και η λειτουργικότητα των οποίων σχετίζεται κυρίως με την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και με την εύρυθμη λειτουργία των κοινωνιών τις οποίες εξυπηρετούν. Αν και παγκοσμίως δεν έχει καταγραφεί καθολική αστοχία ΧΥΤΑ λόγω σεισμικής καταπόνησης, ισχυροί σεισμοί στο παρελθόν έχουν προκαλέσει σοβαρές βλάβες σε ΧΥΤΑ, δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα στη λειτουργικότητά τους, και αναδεικνύοντας βέβαια το θέμα της σεισμικής τρωτότητάς τους. Αυξημένες απαιτήσεις ισχύουν για τους ΧΥΤΑ λόγω των συνεπειών (περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών) που συνδέονται με το ενδεχόμενο αστοχίας τους. Καθώς δεν είναι λίγες οι βλάβες λόγω σεισμών που έχουν παρατηρηθεί σε γεωκατασκευές κατά το παρελθόν, σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού των κατασκευών αυτών σε χώρες με υψηλή σεισμικότητα, όπως η Ελλάδα, αποτελεί και ο αντισεισμικός σχεδιασμός, ο οποίος συνήθως υλοποιείται μέσω των ισχυουσών μεθοδολογιών για χωμάτινα φράγματα και πρανή.

Η παρακολούθηση και καταγραφή των βλαβών που έχουν υποστεί οι ΧΥΤΑ έπειτα από σεισμούς, έχει δώσει το έναυσμα για την εξέλιξη στην αντισεισμική θωράκισή τους. Η συστηματική καταγραφή των βλαβών είναι σημαντική καθώς αποτιμάται με αυτό τον τρόπο όχι μόνο η μεθοδολογία αντισεισμικού σχεδιασμού, αλλά και ο τρόπος απόκρισης της κατασκευής, δηλαδή οι κρίσιμες μορφές αστοχίας. Αποτελέσματα πραγματικών καταγραφών έχουν χρησιμοποιηθεί σε ανάστροφες αναλύσεις με στόχο τον προσδιορισμό των δυναμικών ιδιοτήτων του απορριμματικού υλικού. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές κατηγορίες βλαβών που έχουν αναφερθεί σε ΧΥΤΑ ενώ στον Πίνακα 1.1 παρατίθενται οι σημαντικότερες περιπτώσεις αστοχίας.

Γενικά, η ρηγμάτωση αποτελεί την συνηθέστερη μορφή αστοχίας. Επίσης διάφοροι τύποι ρωγμών έχουν αναφερθεί, συγκεκριμένα: α) ρωγμές του εδάφους επικάλυψης [Ρ.Ε.], β) περιφερειακές ρωγμές συνόρων [Ρ.Σ.], γ) ρωγμές σε συνδυασμό με καθίζηση [Ρ.Κ.], δ) διαμήκεις ρωγμές στο κατάστρωμα [Δ.Ρ.Κ.] ή στους αναβαθμούς [Δ.Ρ.Α.], ε) θλιπτικές ρωγμές [Θ.Ρ.].Οι περιφερειακές ρωγμές συνόρων, που είναι και οι πιο συχνά εμφανιζόμενες, ενέχουν τον κίνδυνο ρύπανσης του περιβάλλοντος εδάφους. Πιθανολογείται ότι οφείλονται στην διαφορετική σεισμική απόκριση του απορριμματικού υλικού και του παρακείμενου εδάφους ή βράχου. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του ΧΥΤΑ Sunshine Canyon στο σεισμό του Northridge (1994) όπου οι ρωγμές είχαν άνοιγμα 300mm (βλ Σχήμα 1.1). Επιπρόσθετα στον ίδιο ΧΥΤΑ παρατηρήθηκαν και ρωγμές σε συνδυασμό με περιορισμένης έκτασης καθίζηση. Η αναφερόμενη περίπτωση δεν είναι η μοναδική (βλ. Πίνακα 1.1) αλλά σε αυτήν η καθίζηση έφτασε τα 380mm.

Σχήμα 1.1 Χαρακτηριστική ρωγμή συνόρων (Ρ.Σ.) στον ΧΥΤΑ Sunshine Canyon κατά το σεισμό του Northridge (1994) (Matasovic et al. 1998).

Αν και περιπτώσεις ολικής αστάθειας των απορριμματικών πρανών δεν έχουν αναφερθεί, σε μερικούς ΧΥΤΑ έχουν καταγραφεί περιορισμένου εύρους μετακινήσεις στα πρανή [Μ.Π.]. Επιπλέον, παρόλο που οι ΧΥΤΑ που διέθεταν σύστημα στεγάνωσης ήταν περιορισμένοι, αναφέρθηκαν βλάβες στο σύστημα στεγάνωσης (βλ. Σχήμα 1.2). Επιπροσθέτως, σε μερικές περιπτώσεις δεν ήταν σαφές αν οι βλάβες είχαν προκληθεί κατά την κατασκευή του ΧΥΤΑ ή λόγω της σεισμικής καταπόνησης. Επίσης, πρέπει να τονισθεί ότι δεν είναι καθόλου εύκολο να καταστούν γνωστές οι επιπτώσεις του σεισμού στα συστήματα στεγάνωσης, αφού ως επί το πλείστον δεν είναι δυνατή η επισκεψιμότητά τους. Τέλος, αρκετές ήταν οι περιπτώσεις όπου αναφέρθηκαν βλάβες στο σύστημα απαγωγής βιοαερίου.

Σχήμα 1.2 Ρωγμή στην γεωμεμβράνη του ΧΥΤΑ Chiquita Canyon στο σεισμό του Northridge (1994) (Matasovic et al. 1998).

Πίνακας 1.1 Αστοχίες σε ΧΥΤΑ σε πρόσφατους σεισμούς όπως αυτοί αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Ζανιά 2009).

ΧΥΤΑ	Σεισμός	PGA (g)	Τύπος Αστοχίας	Σύστημα στεγάνωσης	Μέγεθος αστοχίας	Αναφορά
Russell Moe	San Fernando	0.50	Ρ.Σ, Ρ.Ε	Δε διατίθεται		Matasovic et al. 1998
	Northridge	0.44	Ρ.Σ, Β.Β			Anderson 1995
Sunshine Canyon	San Fernando	0.30	Ρ.Ε	Δε διατίθεται		Matasovic et al. 1998
	Northridge	0.46	Δ.Ρ.Κ, Δ.Ρ.Α	Δε διατίθεται	20mm	Augello et al. 1995
			Ρ.Σ		300mm	Augello et al. 1995
			Ρ.Κ		380mm	Anderson 1995
Scholl Canyon	San Fernando	0.19	Ρ.Ε	Δε διατίθεται		Matasovic et al. 1998
Operating Industries	Whittier Narrows	0.26	Ρ.Ε	Δε διατίθεται	15-40mm	
			Δ.Ρ.Α		25-50mm	Matasovic et al. 1998
	Northridge	0.10	Δ.Ρ.Α		50-150mm	Augello et al. 1995
			Δ.Ρ.Κ		5mm	Matasovic et al. 1998
Guadalupe	Loma Prieta	0.43	Μ.Π	Δε διατίθεται		Matasovic et al. 1998
Ben Lomond	Loma Prieta	0.38	Ρ.Ε	Δε διατίθεται	25-75mm	Matasovic et al. 1998
Kirby Canyon	Loma Prieta	0.34	Ρ.Ε	Δε διατίθεται	25-75mm	Matasovic et al. 1998
Lopez Canyon	Northridge	0.44	Β.Σ	HDPE	150-200mm	Anderson R.L.1995

			Δ.Ρ.Κ		20-30mm	
			Β.Β			
Bradley East	Northridge	0.36	Ρ.Σ	Δε διατίθεται	25mm	
Bradley West			Ρ.Σ	Άργιλος	25mm	Augello et al. 1995
Bradley West Ex.			Ρ.Κ	HDPE		Anderson 1995
			Β.Σ			Augello et al. 1995
Chiquita Canyon	Northridge	0.33	Ρ.Ε, Β.Β			Augello et al. 1995
Canyon D			Ρ.Σ	HDPE	300mm	
			Β.Σ		300mm	
Canyon C			Δ.Ρ.Κ		300mm	
			Β.Σ		250mm	
Canyon A			Ρ.Σ		150mm	
Canyon B			Ρ.Ε			
Toyon Canyon	Northridge	0.21	Ρ.Σ	Δε διατίθεται	25-50mm	Augello et al. 1995 Anderson 1995
			Θ.Ρ			
			Β.Β			
			Δ.Ρ.Κ, Δ.Ρ.Α			
Calabasas	Northridge	0.20	Δ.Ρ.Κ	Δε διατίθεται	150mm	
			Δ.Ρ.Α			Anderson 1995
Tierra Rejada	Northridge	0.21	Ρ.Σ	Δε διατίθεται	20-70mm	
			Ρ.Ε		10-150mm	Anderson 1995
Landers	Landers	0.29	Ρ.Σ	Δε διατίθεται		Anderson 1995
Santa Cruz	Loma Prieta	0.30	Ρ.Ε	Δε διατίθεται	25-75mm	Matasovic et al. 1998
Wu-Feng	Chi-Chi	0.60	Μ.Π	HDPE		Anderson 2000
Midway	Nisqually		Μ.Π		50mm	Bray et al., 2001
Kent	Nisqually		Μ.Π		100mm	Bray et al., 2001

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΧΥΤΑ

Οι ΧΥΤΑ αποτελούν γεωκατασκευές, οι οποίες, πέραν των στατικών φορτίων που φέρουν, υπόκεινται στον κίνδυνο της δυναμικής καταπόνησης κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμικού γεγονότος. Όπως συμβαίνει και με τα χωμάτινα φράγματα, η επιπρόσθετη καταπόνηση επιβάλλεται κυρίως μέσω αδρανειακών επιταχύνσεων (και κατά συνέπεια δυνάμεων), οι οποίες αναπτύσσονται στο σώμα της απορριμματικής μάζας και επιτείνουν σημαντικά τον κίνδυνο τοπικής ή καθολικής αστάθειας. Κατά συνέπεια, η σεισμική απόκριση ενός ΧΥΤΑ καθορίζεται από δύο σημαντικά θέματα της *γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής*. Πρόκειται για: (α) τον ρόλο των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική διέγερση και στη σεισμική απόκριση της γεωκατασκευής, και (β) την ευστάθεια των απορριμματικών πρανών υπό ταυτόχρονη γεωστατική και δυναμική καταπόνηση. Στην περίπτωση ενός ΧΥΤΑ, τα δύο αυτά θέματα είναι αλληλένδετα μεταξύ τους, καθώς οι αναπτυσσόμενες στην απορριμματική μάζα επιταχύνσεις καθορίζουν τελικώς τον συντελεστή ασφαλείας έναντι αστάθειας.

Όσον αφορά στη σεισμική διέγερση και στη σεισμική απόκριση της γεωκατασκευής, σε περιπτώσεις θεμελίωσης σε βραχώδεις ή σκληρούς εδαφικούς σχηματισμούς τα επίπεδα σεισμικής διέγερσης στο υπόβαθρο του ΧΥΤΑ προσδιορίζονται εν-γένει από τους αντισεισμικούς κανονισμούς. Απεναντίας, σε περιπτώσεις θεμελίωσης πάνω σε μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται από γεωμετρικές και μηχανικές ιδιαιτερότητες και ανωμαλίες είναι βέβαιο ότι οι τοπικές εδαφικές συνθήκες, σε συνδυασμό με τη δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους– γεωκατασκευής, καθορίζουν τη σεισμική διέγερση και κατά συνέπεια την αδρανειακή καταπόνηση των ΧΥΤΑ Οι αντισεισμικοί κανονισμοί, μολονότι αναγνωρίζουν πλέον την σημαντικότατη επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών, συνήθως περιορίζονται στο να ενσωματώσουν έναν αυξητικό διορθωτικό συντελεστή στις φασματικές επιταχύνσεις. Ο συντελεστής αυτός, αγνοώντας τις ιδιαιτερότητες της υπό εξέταση περιοχής, έχει προκύψει κυρίως από στατιστική επεξεργασία καταγραφών, προσφάτως δε και από μονοδιάστατες αναλύσεις. Εξαίρεση αποτελούν ο γαλλικός κανονισμός, και μερικές συμβουλευτικές διατάξεις του ευρωκώδικα EC8, όπου λαμβάνεται, έστω και απλοποιητικώς, υπόψη η επίδραση του τοπογραφικού αναγλύφου (το Ευρωπαϊκό Πρότυπο Ευρωκώδικας 8 «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών»).

Είναι σαφές ότι κατά το σχεδιασμό ενός ΧΥΤΑ, η εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης (τόσο του εδάφους θεμελίωσης όσο και του απορριμματικού πρανούς) μέσω *αναλύσεων εδαφικής απόκρισης* (όπως είναι ευρέως γνωστές) αποτελεί πρωταρχικής σημασίας, η αξιοπιστία των οποίων εξασφαλίζεται μόνον εφόσον ληφθούν ρεαλιστικώς υπόψη οι γεωμετρικές και μηχανικές ιδιομορφίες των εδαφικών σχηματισμών. Στην καλύτερη των περιπτώσεων, οι αναλύσεις εδαφικής απόκρισης της θεμελίωσης ενός ΧΥΤΑ βασίζονται στην υπόθεση ότι οι υπεδαφικές στρώσεις είναι οριζοντίως και απείρως εκτεινόμενες, θεωρώντας κατακόρυφη διάδοση οριζοντίων διατμητικών σεισμικών κυμάτων (Psarropoulos et al. 2007). Οι αναλύσεις αυτές, γνωστές και ως *μονοδιάστατες αναλύσεις*, επικράτησαν λόγω της ευχρηστίας και του μικρού υπολογιστικού κόστους που τις διακρίνει. Αν και αναμφισβήτητα υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η υπόθεση μονοδιάστατων συνθηκών μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστική, συνήθως υιοθετείται και σε περιπτώσεις πιο πολύπλοκων στρωματογραφικών συνθηκών όπου εμφανίζονται τοπογραφικές ή γεωμορφικές ιδιαιτερότητες. Ως βασικές αιτίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν: (α) το υψηλό κόστος διερευνήσεως των πραγματικών εδαφικών συνθηκών με πλήρεις και αξιόπιστες γεωτεχνικές και γεωφυσικές έρευνες, και (β) η αδυναμία εκτελέσεως μίας δισδιάστατης (πόσο μάλλον μίας τρισδιάστατης) προσομοίωσης, λόγω έλλειψης της απαιτούμενης τεχνογνωσίας και εμπειρίας.

2.1 Μέθοδοι δυναμικής ανάλυσης

Η δυναμική απόκριση των γεωκατασκευών αντιμετωπίζεται είτε μέσω αναλυτικών μεθόδων είτε μέσω αριθμητικών αναλύσεων. Οι περισσότερες αναλυτικές μέθοδοι βασίζονται στη θεωρία της διατμητικής δοκού όπως αυτή διατυπώθηκε αρχικά από τον Ambraseys και επεκτάθηκε περαιτέρω από τον Gazetas (1987). Η μέθοδος αυτή τροποποιήθηκε από τους Gunturi & Elgamal (1998) προκειμένου να προσδιοριστεί η απόκριση ενός ΧΥΤΑ, θεωρώντας διατομή κωνικής μορφής. Συχνά για τον προσδιορισμό της δυναμικής απόκρισης των γεωκατασκευών χρησιμοποιούνται απλοποιητικά μονοδιάστατες αναλύσεις, οι οποίες βασίζονται στη θεωρία διάδοσης των διατμητικών κυμάτων σε στρωσιγενείς σχηματισμούς. Η πιο ακριβής μέθοδος θεωρείται η δυναμική ανάλυση με χρήση πεπερασμένων στοιχείων που έχει την δυνατότητα να προσομοιώνει την πραγματική δισδιάστατη (ή και τρισδιάστατη) γεωμετρία και συμπεριφορά της γεωκατασκευής.

Μία μέθοδος προσέγγισης της μη-γραμμικής συμπεριφοράς ΧΥΤΑ είναι η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση. Όπως είναι γνωστό στην περιοχή των μικρών παραμορφώσεων η συμπεριφορά των εδαφών είναι σχεδόν ελαστική, ενώ με την αύξηση των παραμορφώσεων η εδαφική συμπεριφορά γίνεται μη-γραμμική και έχει υστερητικά χαρακτηριστικά. Η τυπική συμπεριφορά των εδαφικών υλικών χαρακτηρίζεται από το βρόγχο υστέρησης του σχήματος 2.1. Ο βρόχος υστέρησης μπορεί να περιγραφεί από τις εξής παραμέτρους:

- την κλίση,
- την επιφάνειά του.

Η κλίση εξαρτάται από τη δυσκαμψία του εδαφικού υλικού και προσεγγίζεται μέσω της τιμής του μέσου μέτρου διάτμησης G_0 που ενώνει τα δύο άκρα του βρόγχου. Η επιφάνεια του βρόγχου εκφράζεται μέσω του λόγου απόσβεσης ξ, ο οποίος εκφράζει την ενέργεια που απορροφήθηκε από το υλικό σύμφωνα με τη σχέση:

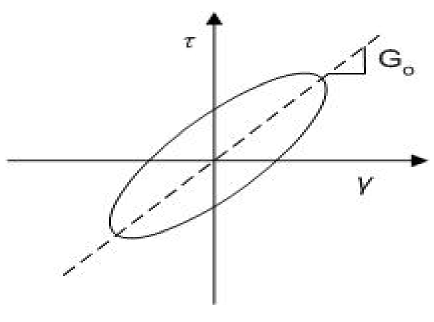
$$\xi = W_D/4\pi W_S = A/2\pi G_0 \gamma^2 \qquad (2.1)$$

όπου W_D η ενέργεια που αποσβέσθηκε από το υλικό, W_S η μέγιστη ενέργεια παραμόρφωσης και A το εμβαδόν της επιφάνειας του βρόγχου.

Η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία, που έχει ενσωματωθεί στο λογισμικό QUAD4M που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, και απαρτίζεται συνοπτικά από τα εξής βήματα:

- Υπολογίζονται οι αρχικές τιμές G και ξ.
- Με βάση της τιμές αυτές υπολογίζεται η εδαφική απόκριση.
- Υπολογίζεται η τιμή της ισοδύναμης διατμητικής παραμόρφωσης.
- Υπολογίζονται οι τιμές $G^{(i+1)}$ και $\xi^{(i+1)}$ που χρησιμοποιούνται στην επόμενη επανάληψη.

Η διαδικασία είναι πολύ απλή και έχει πολύ γρήγορη σύγκλιση, μειώνοντας το υπολογιστικό κόστος της μεθοδολογίας.



Σχήμα 2.1 Ο βρόγχος υστέρησης και το μέσο μέτρο διάτμησης G_0

Προφανώς, η πλέον ακριβής προσέγγιση της απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών σε ισχυρή εδαφική κίνηση είναι η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην αριθμητική ολοκλήρωση της εξίσωσης της κίνησης σε μικρά χρονικά βήματα με τη χρήση μοντέλων τάσεων-παραμορφώσεων ή πολύπλοκων καταστατικών μοντέλων. Βέβαια, οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με τον προσδιορισμό των καταστατικών μοντέλων απορριμματικών υλικών, αλλά και το μεγάλο υπολογιστικό κόστος της μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης καθιστά εξαιρετικά δυσχερή τη χρήση της για την περίπτωση των ΧΥΤΑ.

2.2 Δυναμικές ιδιότητες απορριμματικού υλικού

Η δυναμική συμπεριφορά του απορριμματικού υλικού περιγράφεται όπως και στα εδάφη από την ταχύτητα διάδοσης του διατμητικών κυμάτων και από τις καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης-αύξησης του λόγου απόσβεσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά αποτελέσματα των διερευνήσεων που έχουν λάβει χώρα για την εκτίμηση των δυναμικών ιδιοτήτων του απορριμματικού υλικού κατά χρονολογική σειρά.

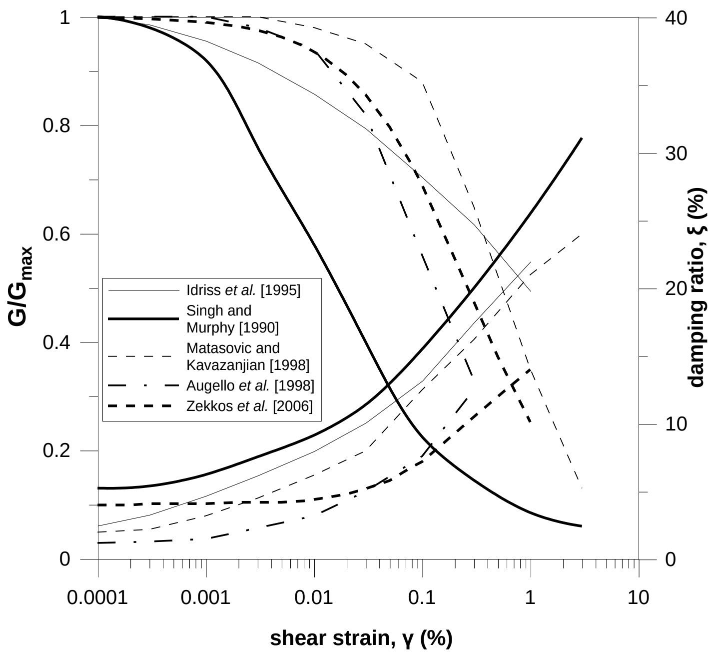
Έπειτα από επί τόπου δοκιμές downhole στους ΧΥΤΑ Richmond and Redwood, οι Singh and Murphy (1990) προσδιόρισαν την αρχική ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (274m/sec), και πρότειναν καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης με βάση τις τιμές που υπολογίστηκαν για χαμηλά επίπεδα παραμορφώσεων.Οι Idriss et al. (1995) έπειτα από δοκιμές OYO suspension logging και φασματικές αναλύσεις επιφανειακών κυμάτων (SASW) στον ΧΥΤΑ Operating Industries Inc (OII), αναφέρουν ότι η ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων χαρακτηρίζεται από μέση τιμή ίση με 365m/sec. Επιπλέον, υπολόγισαν με ανάστροφες δισδιάστατες αριθμητικές αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων ένα ζεύγος καμπυλών για το απορριμματικό υλικό, βάσει της καταγεγραμμένης απόκρισης του ΧΥΤΑ σε τέσσερις σεισμούς. Από επί τόπου downhole δοκιμές στον ΧΥΤΑ Northwest Regional Landfill Facility οι Houston et al. (1995) προτείνουν ότι η κατανομή της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων με το βάθος (έως 10m) κυμαίνεται από 124 έως 229m/sec.

Το προαναφερθέν πρόγραμμα ερευνών στον ΧΥΤΑ OII είχε ως αντικείμενο και τον προσδιορισμό των δυναμικών ιδιοτήτων των στερεών αποβλήτων με επί τόπου δοκιμές, μεγάλης κλίμακας εργαστηριακές δοκιμές και ανάστροφες αναλύσεις (Matasovic and Kavazanjian 1998). Συγκεκριμένα από φασματικές αναλύσεις επιφανειακών κυμάτων υπολογίστηκε για την ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων εύρος 150-380m/sec. Επιπλέον σε ανακατασκευασμένα δοκίμια απορριμματικού υλικού διαμέτρου 457mm εκτελέστηκαν δοκιμές ανακυκλικής άμεσης απλής διάτμησης. Οι ερευνητές συμπεραίνουν ότι τα κριτήρια Masing για την δυναμική συμπεριφορά εδαφικού υλικού ισχύουν και για τα στερεά απόβλητα και επιπλέον προτείνουν ένα νέο ζεύγος καμπύλων. Καθώς οι πειραματικές τιμές αναφέρονταν σε εύρος διατμητικών παραμορφώσεων από 0.1% έως 10%, για μικρότερο μέγεθος παραμορφώσεων οι τιμές προσδιορίστηκαν από ανάστροφες δυναμικές αναλύσεις δισδιάστατων προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων.

Οι προτεινόμενες από τους Augello et al. (1998) καμπύλες βασίστηκαν σε ανάστροφες αναλύσεις του ΧΥΤΑ OII. Οι δυναμικές αναλύσεις έγιναν για δύο διατομές (που αντιστοιχούν στις δύο βασικές διευθύνσεις) με χρήση δισδιάστατων προσομοιωμάτων με πεπερασμένα στοιχεία. Εξέτασαν επίσης την επίδραση παραμέτρων όπως η ταχύτητα διάδοσης του διατμητικού κύματος, ο λόγος του Poisson και οι καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης και αύξησης του λόγου απόσβεσης. Συμπερασματικά κατέληξαν ότι η επιλογή των καμπυλών έχει την μεγαλύτερη επίδραση στον υπολογισμό την απόκρισης και ότι το πιθανό εύρος διακύμανσης των καμπυλών για τα στερεά απόβλητα κυμαίνεται των καμπυλών για PI=30 και PI=100 που έχουν προταθεί από τους Vucetic and Dobry (1991).

Οι Morochnic et al. (1998) χρησιμοποίησαν τις καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες επιταχύνσεων του ΧΥΤΑ OII και υποθέτοντας γραμμική ιξωδοελαστική συμπεριφορά των στερεών αποβλήτων διατύπωσαν απλά μονοδιάστατα προσομοιώματα για την εξέταση των ιδιοτήτων της απόσβεσης σε σχέση με το βάθος και την συχνότητα. Τέλος, ο Zekkos (2005) προσδιόρισε τις δυναμικές ιδιότητες του απορριμματικού υλικού του ΧΥΤΑ Tri-Cities, εκτελώντας κυκλικές τριαξονικές δοκιμές μεγάλης κλίμακας. Εξέτασαν την επίδραση της σύστασης του δοκιμίου, του ειδικού βάρους, της διάρκειας της συμπίεσης και της συχνότητας της φόρτισης στο μέτρο διάτμησης των μικρών παραμορφώσεων καθώς και στις καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης - αύξησης του λόγου απόσβεσης. Το ειδικό βάρος και όλες οι άλλες ιδιότητες των απορριμμάτων μεταβάλλεται ανάλογα και με το βάθος, την ηλικία, τη σύσταση, τη συμπίεση, κλπ και γενικά υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες.

Συμπερασματικά, το μέτρο διάτμησης σύμφωνα με τις προαναφερθείσες μελέτες κυμαίνεται μεταξύ 125 και 390m/sec και μέσα σε αυτά τα όρια επιλέγησαν και οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις της παρούσας εργασίας. Επίσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2 και για τις καμπύλες απομείωσης μέτρου διάτμησης-αύξησης του λόγου απόσβεσης που προέκυψαν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, η διακύμανση είναι αρκετά μεγάλη. Σε αυτό συμβάλλει τόσο η διαφορά στην μεθοδολογία υπολογισμού όσο στις διαφορετικές παραμέτρους κατά τις εργαστηριακές δοκιμές (μέγεθος δείγματος, σύσταση). Στην παρούσα διερεύνηση, έγινε εφαρμογή της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης που έχει ενσωματωθεί στο λογισμικό QUAD4M και οι καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης και αύξησης του λόγου απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές των Zekkos et al. (2006) του Σχήματος 2.2.



Σχήμα 2.2. Προτεινόμενες στη βιβλιογραφία καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης – αύξησης του λόγου απόσβεσης (Ζανιά 2009)

2.3 Δυναμική Απόκριση ΧΥΤΑ

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει αναφορά στα ευρήματα μελετών της σχετικής βιβλιογραφίας για την εξέταση της δυναμικής απόκρισης ΧΥΤΑ. Οι Gunturi and Elgamal (1998) εξετάζοντας την περίπτωση της δυναμικής απόκρισης ΧΥΤΑ με γεωμετρία λόφου, βασίστηκαν στην θεωρία της διατμητικής δοκού και διατύπωσαν τις αναλυτικές σχέσεις για μία μη ομοιογενή, κωνικής διατομής διατμητική δοκό. Διαπιστώθηκε ότι για σχετικά μεγάλες τιμές του λόγου αποκοπής, δεν παίζει σημαντικό ρόλο η μη ομοιογενής κατανομή του μέτρου διάτμησης στις υπολογισθείσες ιδιοσυχνότητες και επιπλέον οι ιδιομορφές παρουσιάζουν μικρή διαφοροποίηση. Συμπερασματικά, το νέο αναλυτικό προσομοίωμα οδηγεί σε υψηλότερη κύρια ιδιοσυχνότητα από ότι η κλασσική θεώρηση της διατμητικής δοκού.

Οι Repetto and Bray (1992) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι επιτόπου εδαφικές συνθήκες μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόκριση του ΧΥΤΑ και για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η ακρίβεια της κοινής πρακτικής, σύμφωνα με την οποία προσδιορίζεται αρχικά η απόκριση στην επιφάνεια θεμελίωσης της γεωκατασκευής χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη του υπερκείμενου απορριμματικού όγκου. Για τον σκοπό αυτό διεξάγονται μονοδιάστατες δυναμικές αναλύσεις εδαφικής απόκρισης με κατάλληλο λογισμικό όπως το SHAKE (Schnabel et al., 1972), και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εν λόγω παραδοχή οδηγεί σε ιδιαίτερα συντηρητική εκτίμηση της μέγιστης επιτάχυνσης στη διεπιφάνεια θεμελίωσης – ΧΥΤΑ ειδικά για σχετικά μεγάλο ύψος απορριμμάτων (>15m).Οι Singh and Sun (1995) προτείνουν, βασιζόμενοι σε δημοσιευμένα αποτελέσματα αναλύσεων και καταγραφών και σε υπολογισμούς μονοδιάστατων αναλύσεων, μια προσεγγιστική συσχέτιση για την ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης, συναρτήσει του ύψους του ΧΥΤΑ και της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων των απορριμμάτων. Τονίζουν δε ότι οι μέγιστες τιμές της ενίσχυσης αντιστοιχούν σε περιπτώσεις συντονισμού.

Οι Yegian et al. (1998) προτείνουν μία απλοποιητική διαδικασία μονοδιάστατης ανάλυσης της δυναμικής απόκρισης ΧΥΤΑ προκειμένου να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των γεωσυνθετικών στρώσεων. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία τα γεωσυνθετικά αντικαθίστανται από μία ισοδύναμη στρώση εδάφους, η οποία μπορεί να προσομοιώνει την ανάπτυξη ολίσθησης κατά την επιβολή της σεισμικής διέγερσης. Τα χαρακτηριστικά της ισοδύναμης εδαφικής στρώσης, δηλαδή το μέτρο διάτμησης, ο λόγος απόσβεσης και η καμπύλη απομείωσης του μέτρου διάτμησης, προσδιορίστηκαν βάσει αποτελεσμάτων πειραμάτων σεισμικής τράπεζας για διάφορους τύπους γεωσυνθετικών.

Οι Rathje and Bray (2001) εξέτασαν την επίδραση του υπολογισμού της απόκρισης μέσω μονοδιάστατων και ακριβέστερων διδιάστατων αναλύσεων, στην εκτίμηση της ευστάθειας. Για την προσομοίωση της μη γραμμικής συμπεριφοράς του απορριμματικού υλικού επιλέχθηκαν οι καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης – αύξησης του λόγου απόσβεσης για αργίλους με δείκτη πλαστιμότητας (PI) ίσο με 30. Πιο συγκεκριμένα, οι μονοδιάστατες αναλύσεις προσεγγίζουν, υπερεκτιμώντας ελαφρώς, τον σεισμικό συντελεστή για ολίσθηση στη βάση. Επιπλέον, συμπέραναν ότι οι μονοδιάστατες αναλύσεις υπολογίζουν με αδρή προσέγγιση τις μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις στο κατάστρωμα της γεωκατασκευής, ενώ για την στέψη του πρανούς οι αντίστοιχες τιμές υποεκτιμούνται. Επίσης προτείνουν ότι, η τοπογραφική επίδραση μπορεί να ληφθεί προσεγγιστικά υπόψη στον υπολογισμό του σεισμικού συντελεστή για το σύστημα τελικής κάλυψης πολλαπλασιάζοντας τις αντίστοιχες χρονοϊστορίες επιταχύνσεων από μονοδιάστατες αναλύσεις με ένα συντελεστή επιδείνωσης της τάξης του 1.3.

Οι Psarropoulos et al. (2007) εξέτασαν την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην απόκριση υπέργειων, υπογείων και υπέργειων ΧΥΤΑ. Έπειτα από εκτενή παραμετρική διερεύνηση μέσω δισδιάστατων αναλύσεων προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων, κατέληξαν στο ότι η μη-γραμμική συμπεριφορά του απορριμματικού υλικού επηρεάζει κατά κύριο λόγο την εξέλιξη των φαινομένων ενίσχυσης και τοπογραφικής επιδείνωσης σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης (μέγιστη επιβαλλόμενη επιτάχυνση και δεσπόζουσα περίοδο). Επιπλέον τονίζεται ότι, το φαινόμενο της αλληλεπίδρασης εδάφους θεμελίωσης – ΧΥΤΑ δεν μπορεί να αγνοηθεί θεωρώντας τον ρόλο του απλουστευτικά ως ευεργετικό, καθώς είναι πιθανό ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες να μην είναι ρεαλιστική αυτή η παραδοχή.

Οι Thusyanthan et al. (2004) προσέγγισαν πειραματικά τη δυναμική απόκριση ενός υπογείου ΧΥΤΑ εκτελώντας πειράματα σε φυγοκεντριστή. Αν και το πείραμα αφορούσε σχετικά μικρό ύψος απορριμμάτων (περίπου 7m), είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα παρουσίασαν αρκετά καλή σύγκλιση προς τη συσχέτιση που προτάθηκε από τους Singh and Sun (1995), ενώ παράλληλα τονίζεται η επίδραση του συχνοτικού περιεχομένου της σεισμικής διέγερσης.

ΚΕΦΑΛΟΙΟ 3
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΧΥΤΑ

Για την εκτίμηση της δυναμικής ευστάθειας των ΧΥΤΑ, συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος των μονίμων παραμορφώσεων για τον υπολογισμό των αναπτυσσόμενων παραμορφώσεων στις διεπιφάνειες, που ορίζονται είτε από το σύστημα στεγάνωσης του πυθμένα, είτε από το σύστημα τελικής επικάλυψης. Μια ψευδοστατική μέθοδος εφαρμόστηκε από τον Shewbridge (1996) για την εκτίμηση της οριζόντιας κρίσιμης επιτάχυνσης, κατά μήκος του συστήματος στεγάνωσης. Εκτός από τις βασικές παραδοχές της ψευδοστατικής μεθόδου, δηλαδή ότι η κατανομή της διατμητικής τάσης κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης είναι ομοιόμορφη, επιπλέον θεωρείται ότι η διατμητική αντοχή χαρακτηρίζεται μόνο από τη γωνία τριβής και ότι οι κατακόρυφες εσωτερικές δυνάμεις είναι μηδενικές. Συμπεραίνεται ότι για μεγάλες τιμές του λόγου του μήκους προς το ύψος του ΧΥΤΑ η κρίσιμη επιτάχυνση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη γωνία τριβής της διεπιφάνειας.

Η περίπτωση ευστάθειας του συστήματος στεγάνωσης πυθμένα εξετάστηκε από τους Bray et al. (1995). Αρχικά διενεργήθηκαν ισοδύναμα γραμμικές μονοδιάστατες αναλύσεις και προσδιορίστηκε η ισοδύναμη επιτάχυνση, η μέγιστη τιμή της οποίας χρησιμοποιείται ως σεισμικός συντελεστής στις ψευδοστατικές αναλύσεις. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο σεισμικός συντελεστής εξαρτάται από τις δυναμικές ιδιότητες του απορριμματικού υλικού, από την μέγιστη επιβαλλόμενη επιτάχυνση και από την δεσπόζουσα περίοδο του κραδασμού. Επίσης, υπολογίστηκαν οι σεισμικές μετακινήσεις και προέκυψε ότι συσχετίζονται με την κύρια περίοδο του ΧΥΤΑ, το συχνοτικό περιεχόμενο και τον ισοδύναμο αριθμό των κύκλων της χρονοϊστορίας της ισοδύναμης επιτάχυνσης.

Οι Kramer and Smith (1997) εξέτασαν την ολίσθηση κατά μήκος της βάσης των ΧΥΤΑ, αφού επαναδιατύπωσαν το αναλυτικό προσομοίωμα που προτάθηκε από τους Westermo and Udwadia (1983) και το οποίο έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση των αδρανειακών δυνάμεων ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή στην ανάπτυξη των σεισμικών μετακινήσεων. Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση των συζευγμένων (ταυτόχρονη θεώρηση της δυναμικής απόκρισης και της ολίσθησης) με τις αντίστοιχες μη συζευγμένες αναλύσεις (υπολογισμός πρώτα της απόκρισης και έπειτα της ολίσθησης), έδειξε ότι οι τελευταίες υπερεκτιμούν την ολίσθηση της γεωκατασκευής ειδικά κοντά στο συντονισμό. Για πολύ μεγάλες ιδιοπεριόδους, η μη συζευγμένη ανάλυση παύει να είναι συντηρητική, ενώ σε κάθε περίπτωση η μη θεώρηση της ευκαμψίας της ολισθαίνουσας μάζας οδηγεί σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Σε μεταγενέστερη εργασία τους οι Bray and Rathje (1998) έπειτα από μη γραμμικές μονοδιάστατες παραμετρικές αναλύσεις πρότειναν μια συσχέτιση της μέγιστης ισοδύναμης επιτάχυνσης για ολίσθηση στη βάση του ΧΥΤΑ, με τον λόγο της κύριας περιόδου του προς τη μέση περίοδο του σεισμικού κραδασμού. Επίσης ανέδειξαν το σημαντικό ρόλο της προσομοίωσης της μη-γραμμικής συμπεριφοράς των απορριμμάτων παρατηρώντας ότι, με τις καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης και αύξησης του λόγου απόσβεσης με πιο έντονα μη-γραμμική συμπεριφορά (Kavazanjian et al., 1995) μπορεί να υπολογιστεί μικρότερη ενίσχυση σε σύγκριση με αντίστοιχες καμπύλες εδαφικών υλικών (Vucetic and Dobry, 1991). Ακόμη, η μέγιστη ισοδύναμη επιτάχυνση εξαρτάται και από τις επιτόπου εδαφικές συνθήκες, και πιο συγκεκριμένα αναμένονται μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου όταν το έδαφος θεμελίωσης είναι βράχος σε σύγκριση με άργιλο ή άμμο. Μεγαλύτερη διασπορά παρατηρείται στην κατανομή της μέγιστης επιφανειακής επιτάχυνσης με την οποία θα μπορούσε να εξεταστεί η ευστάθεια του συστήματος τελικής κάλυψης.

Επιπροσθέτως, στην προαναφερθείσα εργασία των Bray and Rathje (1998) εκτιμήθηκε η σεισμική ευστάθεια και σε όρους μετακινήσεων. Εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που προτάθηκε από τους Chopra and Zhang (1991), σύμφωνα με την οποία λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση της δυναμικής απόκρισης στην ανάπτυξη ολίσθησης (συζευγμένη ευστάθεια), θεωρώντας ελαστική φασματική απόκριση της απορριμματικής μάζας. Εν γένει, με τη μη συζευγμένη ανάλυση υπολογίζονται συντηρητικά οι μετακινήσεις συγκριτικά με τη συζευγμένη ανάλυση. Τόσο οι μετακινήσεις λόγω ολίσθησης στη βάση, όσο και οι αντίστοιχες για ολίσθηση του συστήματος τελικής κάλυψης προσδιορίστηκαν από μη συζευγμένες αναλύσεις και συγκλίνουν στο γεγονός ότι οι παράμετροι που επηρεάζουν τις αναπτυσσόμενες μετακινήσεις είναι η κρίσιμη επιτάχυνση, η μέγιστη ισοδύναμη επιτάχυνση και οι σχετιζόμενοι με αυτή παράγοντες, δηλαδή η μέγιστη επιβαλλόμενη επιτάχυνση, η ιδιοπερίοδος της κατασκευής και η μέση περίοδος της σεισμικής διέγερσης. Τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας διερεύνησης συμπυκνώθηκαν σε μία απλοποιητική διαδικασία αντισεισμικού σχεδιασμού που προτάθηκε από τους Bray et al. (1998) στην οποία εκτιμάται η ευστάθεια στο σύστημα στεγάνωσης και στο τελικό σύστημα κάλυψης σε όρους σεισμικών μετακινήσεων.

Η ευστάθεια του συστήματος τελικής κάλυψης έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας και άλλων ερευνητών. Οι Ling and Leshchinsky (1997) εξέτασαν τη ψευδοστατική ευστάθεια του συστήματος τελικής κάλυψης και προσδιόρισαν για απειρομήκες και πεπερασμένου μήκους πρανή αναλυτικές σχέσεις προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας, της απαιτούμενης δύναμης οπλισμού για την επίτευξη της ευστάθειας, και της κρίσιμης επιτάχυνσης για την περίπτωση ολίσθησης κατά μήκους της διεπιφάνειας εδάφους –γεωμεμβράνης. Έπειτα από παραμετρική διερεύνηση κατέληξαν ότι το πάχος της στρώσης επικάλυψης και η κατακόρυφη συνιστώσα της επιτάχυνσης δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην ευστάθεια, ενώ αντιθέτως η αύξηση της κλίσης του πρανούς μειώνει δραματικά την ευστάθεια. Τέλος, υπολογίστηκαν και οι σεισμικές μετακινήσεις για καταγραφές διαφόρων σεισμικών γεγονότων της Βορείου Αμερικής.

Η ανάπτυξη σεισμικών μετακινήσεων κατά μήκος της διεπιφάνειας του συστήματος τελικής επικάλυψης εξετάστηκε από τους Matasovic et al. (1998b), και πιο συγκεκριμένα διερευνήθηκε η επίδραση των βασικών παραδοχών του προσομοιώματος του Newmark (1965) επί των αποτελεσμάτων. Θεωρώντας ολίσθηση κατά μήκος του γεωυφάσματος, δηλαδή σχετικά μεγάλες τιμές κρίσιμης επιτάχυνσης, οι σεισμικές μετακινήσεις προέκυψαν ότι εξαρτώνται από το πάχος της στρώσης εδαφικής κάλυψης και επιπλέον απέδειξαν ότι η παραδοχή της σταθερής διατμητικής αντοχής κατά την εξέλιξη της ολίσθησης είναι ιδιαίτερα καθοριστική. Πιο συγκεκριμένα, η θεώρηση της απομένουσας διατμητικής αντοχής οδηγεί σε συντηρητικό υπολογισμό των μετακινήσεων σε σύγκριση με την μεταβαλλόμενη κατά την ανάπτυξη των μετακινήσεων διατμητική αντοχή. Επιπλέον, οι Biondi et al. (2008) επισημαίνουν ότι η σχέση απομείωσης της διατμητικής αντοχής μετά την μέγιστη τιμή της καθώς και το μέτρο της απομείωσης επιδρούν σημαντικά στην εκτίμηση των μόνιμων σεισμικών παραμορφώσεων.

3.1 Μέθοδοι αντισεισμικού σχεδιασμού απορριμματικών πρανών

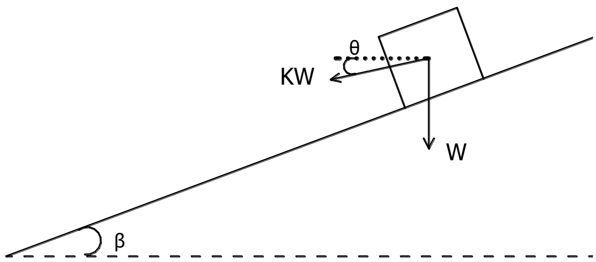
Όσον αφορά την ευστάθεια των απορριμματικών πρανών, διαπιστώνεται ότι το θέμα της ευστάθειας (ή αστάθειας) των απορριμματικών πρανών δεν διαφέρει ιδιαιτέρως από αυτό των φυσικών εδαφικών πρανών ή των τεχνητών πρανών ή επιχωμάτων. Οι όποιες διαφορές οφείλονται στη σύσταση και φύση των υλικών, καθώς και στη χρήση διαφόρων στεγανωτικών μεμβρανών. Παρόλα αυτά, διαπιστώνεται ότι, όσον αφορά τους ελέγχους ευστάθειας πρανών, η διεθνής υπολογιστική πρακτική και οι κανονισμοί, επιβάλουν την χρήση απλοποιητικών ψευδοστατικών αναλύσεων, οι οποίες βασίζονται συνήθως στην υπόθεση σταθερής (χωρικώς και χρονικώς) επιβαλλόμενης επιτάχυνσης. Οι αναλύσεις αυτές επικράτησαν τις τελευταίες δεκαετίες διότι χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη απλότητα στην εφαρμογή. Όμως, πρόσφατες αναλύσεις και καταγραφές έχουν αποδείξει πλέον ότι η ευστάθεια των πρανών υπό σεισμική αδρανειακή καταπόνηση επηρεάζεται έντονα τόσο από τα χρονικά και συχνοτικά χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης, όσο και από τα φαινόμενα που προκαλούνται σε ένα πρανές ή μία κοιλάδα εξαιτίας της πολυδιάστατης κυματικής διάδοσης, όπως οι ανακλάσεις και οι διαθλάσεις, η επιρροή των επιφανειακών κυμάτων, κ.α.

Σύμφωνα με την πλέον διαδεδομένη διαδικασία, η σεισμική ανάλυση ενός ΧΥΤΑ πραγματοποιείται με έναν απλό έλεγχο ευστάθειας του απορριμματικού πρανούς μέσω ψευδο-στατικών (ή ορθότερα ψευδοδυναμικών) αναλύσεων οι οποίες βασίζονται στη μέγιστη τιμή της αναμενόμενης – κατά τη σεισμολογική έννοια- επιτάχυνσης του αντισεισμικού κανονισμού (επιτάχυνσης σχεδιασμού). Σημειώνεται ότι ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ), όσον αφορά στον έλεγχο αναχωμάτων, αναγνωρίζοντας το θέμα της μή σταθερής κατανομής της επιτάχυνσης καθ’ ύψος, προτείνει μια τραπεζοειδή κατανομή των επιταχύνσεων, με τη διαφορά όμως ότι περιορίζεται σε αναχώματα ύψους μικρότερου των 15 m. Για μεγαλύτερα πρανή επιβάλλει ειδική γεωτεχνική και σεισμική μελέτη.

Γενικά, οι βασικές κατηγορίες αντισεισμικού σχεδιασμού πρανών κάθε είδους γεωκατασκευών είναι η ψευδοστατική μέθοδος, η μέθοδος μονίμων παραμορφώσεων και η μέθοδος τάσεων-παραμορφώσεων. Η πρώτη είναι η πιο απλουστευτική από τις τρεις αλλά και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη. Στη μέθοδο αυτή η δυναμική φόρτιση λαμβάνεται προσεγγιστικά ως η αδρανειακή φόρτιση που προκαλείται από μια σταθερή τιμή επιτάχυνσης στο πρανές. Η ευστάθεια προσδιορίζεται σε όρους συντελεστή ασφαλείας, χωρίς να υπολογίζονται οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις.

Αυτή την αδυναμία καλύπτει η μέθοδος των μονίμων παραμορφώσεων. Σύμφωνα με την τελευταία ο σεισμικός κραδασμός προκαλεί τη ανάπτυξη παραμορφώσεων όταν το μέγεθος των επιβαλλόμενων επιταχύνσεων προκαλεί την υπέρβαση της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Καθώς όμως βασίζεται σε απλοποιητικές παραδοχές που περιορίζουν την ακρίβεια της μεθόδου, ακριβέστερη όλων θεωρείται η μέθοδος τάσεων-παραμορφώσεων. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής βασίζεται στην αριθμητική προσομοίωση (με πεπερασμένα στοιχεία ή πεπερασμένες διαφορές) του προβλήματος και η μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους προσομοιώνεται με καταστατικά προσομοιώματα. Η τελευταία κατηγορία δεν έχει έως τώρα εφαρμοστεί στον αντισεισμικό σχεδιασμό ΧΥΤΑ, αφού δεν έχουν διατυπωθεί καταστατικά προσομοιώματα για την περιγραφή της δυναμικής συμπεριφοράς των στερεών αποβλήτων, όπως φαίνεται άλλωστε και στην βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος μονίμων παραμορφώσεων και οι τελευταίες εξελίξεις που σχετίζονται με αυτήν, καθώς είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως και στον αντισεισμικό σχεδιασμό ΧΥΤΑ.

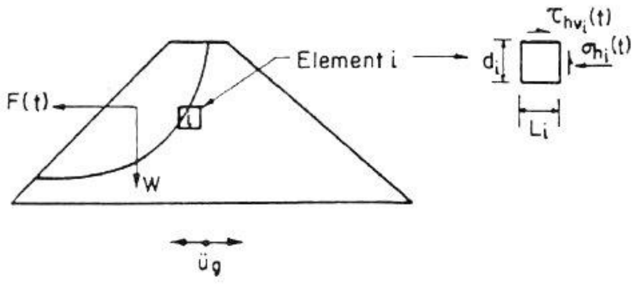
Η μέθοδος μονίμων παραμορφώσεων βασίζεται σε ένα απλό προσομοίωμα που προτάθηκε από τον Newmark (1965). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η διαδικασία με την οποία αναπτύσσονται οι σεισμικές παραμορφώσεις κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης είναι ανάλογη αυτήν των μετακινήσεων που προκαλούνται καθώς ένα άκαμπτο σώμα ολισθαίνει επί ενός κεκλιμένου επιπέδου (Σχήμα 3.1). Οι μόνιμες μετακινήσεις αναπτύσσονται όταν οι αδρανειακές δυνάμεις του άκαμπτου σώματος υπερβαίνουν τη διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας, και υπολογίζονται έπειτα από διπλή ολοκλήρωση της σχετικής επιτάχυνσης. Ως σχετική επιτάχυνση ορίζεται η διαφορά της επιβαλλόμενης επιτάχυνσης από την *επιτάχυνση διαρροής ή κρίσιμη επιτάχυνση* (k_y), δηλαδή την τιμή της επιτάχυνσης που αντιστοιχεί σε συντελεστή ασφαλείας ίσο με τη μονάδα.



Σχήμα 3.1. Απεικόνιση του μοντέλου του Newmark (1965).

Είναι προφανές ότι το προσομοίωμα αυτό έχει βασιστεί σε ένα σύνολο παραδοχών που περιορίζουν την ακρίβειά του. Η ερευνητική δραστηριότητα σε σχέση με αυτό το προσομοίωμα ήταν αρκετά έντονη και δεν περιορίστηκε στον έλεγχο και την διερεύνηση της εξάλειψης των δεσμευτικών παραδοχών τους αλλά επεκτάθηκε και σε σχέσεις που θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντικά εργαλεία σχεδιασμού. Σύμφωνα με την βασικότερη από τις παραδοχές της μεθόδου η μάζα που ολισθαίνει παραμένει άκαμπτη κατά την δυναμική ανάλυση. Μια σχετικά απλοποιημένη διαδικασία προτάθηκε από τους Makdisi and Seed (1978) προκειμένου να περιοριστεί η επίδραση της παραδοχής αυτής στους υπολογισμούς. Σύμφωνα με αυτήν η χρονοϊστορία της επιτάχυνσης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μετακινήσεων θα πρέπει να είναι μία μέση χρονοϊστορία της επιτάχυνσης για την ολισθαίνουσα μάζα. Η χρονοϊστορία αυτή συχνά αναφέρεται και ως *ισοδύναμη επιτάχυνση* και υπολογίζεται ως ο λόγος της σεισμικής δύναμης κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης προς το βάρος του ολισθαίνοντος τεμάχους (Σχήμα 3.2) από την ακόλουθη σχέση:

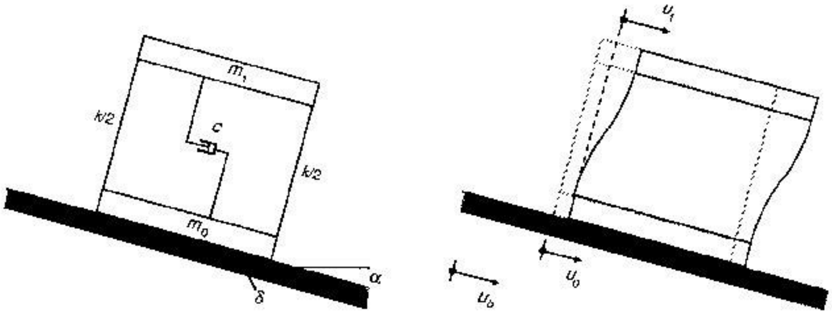
$$F(t) = \sum_{i=1}^{n} \tau_{hvi}(t) L_i + \sigma_{hi}(t) d_i \qquad (3.1)$$



Σχήμα 3.2. Προτεινόμενη μέθοδος υπολογισμού της *ισοδύναμης επιτάχυνσης* από τους Makdisi and Seed (1978).

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στον αντισεισμικό σχεδιασμό φραγμάτων και περιλαμβάνεται σε κανονισμούς (FEMA 2005). Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό η εν λόγω διαδικασία λαμβάνει υπόψη την ευκαμψία της ολισθαίνουσας μάζας μεν, αλλά χωρίς να περιλαμβάνεται η επίδραση της ολίσθησης στην απόκρισή της. Για το λόγο αυτό αυτή η διαδικασία ονομάζεται και *ασύζευκτη*. Πολλοί ερευνητές εξέτασαν την υπόθεση ότι αυτή η *ασύζευκτη* προσέγγιση είναι και συντηρητική, μελετώντας κυρίως απλά προσομοιώματα στα οποία η απόκριση και η ολίσθηση της μάζας μπορούν να συμβαίνουν ταυτόχρονα. Αρχικά οι Lin and Whitman (1983), χρησιμοποίησαν τρία διαφορετικά συστήματα εντοπισμένης μάζας και ακαμψίας για τον υπολογισμό των μετακινήσεων και συμπέραναν ότι από την *ασύζευκτη* προσέγγιση προκύπτουν συντηρητικά αποτελέσματα. Επιπλέον με ένα απλό προσομοίωμα ενός μονοβάθμιου συστήματος οι Westermo and Udwadia (1983) εξέτασαν την αλληλεπίδραση της απόκρισής του με τις αναπτυσσόμενες ολισθήσεις για αρμονικές διεγέρσεις μέσω αναλυτικών λύσεων. Οι Kramer and Smith (1997), επαλήθευσαν πειραματικά αυτό το προσομοίωμα (Σχήμα 3.3) και επιπλέον έκαναν αναλύσεις έπειτα από την αριθμητική διατύπωσή του, για να εκτιμήσουν την διαφορά μεταξύ των δύο προσεγγίσεων (της ασύζευκτης και της συζευγμένης).

Οι Bray and Rathje (1999) θεώρησαν ότι ένα μονοβάθμιο σύστημα γενικευμένης μάζας και ακαμψίας προσομοιώνει καλύτερα την δυναμική απόκριση μιας εδαφικής στρώσης. Επειδή το σύστημα αυτό περιορίζονταν από την ελαστική συμπεριφορά του υλικού διατυπώθηκε αργότερα από τους ίδιους ερευνητές (Bray and Rathje 2000) ένα μη γραμμικό προσομοίωμα συγκεντρωμένης μάζας. Εν γένει, τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων ερευνών συγκλίνουν στο ότι η *ασύζευκτη* προσέγγιση δεν είναι πάντα συντηρητική αλλά υπό συνθήκες. Δηλαδή είναι υπερσυντηρητική για την περίπτωση που ο λόγος της ιδιοπεριόδου της κατασκευής προς την περίοδο του σεισμού (T_{str}/T_m) είναι μικρότερος της μονάδας, αλλά όταν αυτός ο λόγος υπερβαίνει την μονάδα δεν ισχύει το ίδιο.



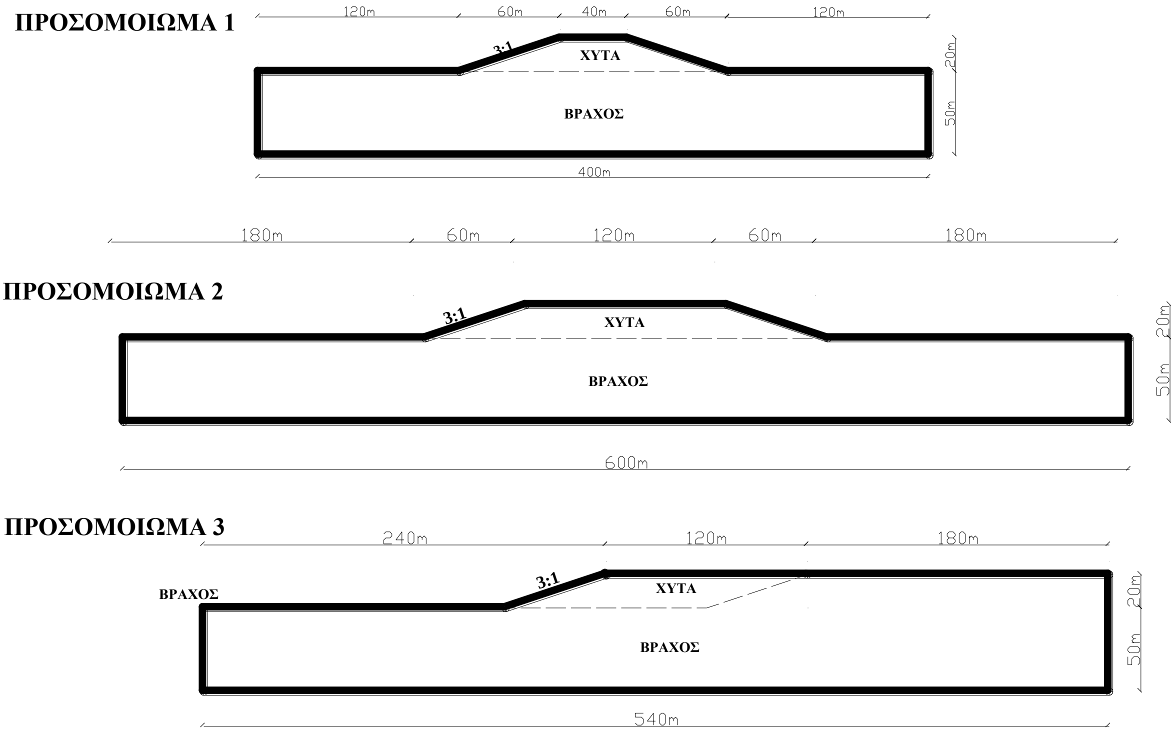
Σχήμα 3.3. Απεικόνιση του προσομοιώματος που διατυπώθηκε αρχικά από τους Westermo and Udwadia (1983) και εξετάστηκε περαιτέρω από τους Kramer and Smith (1997).

Επιπλέον εξετάστηκε και η παραδοχή ότι η μηχανική συμπεριφορά της ολισθαίνουσας διεπιφάνειας είναι απολύτως πλαστική. Οι Tika-Vassilikos et al., (1993) διερεύνησαν μέσω πειραματικής διαδικασίας την επίδραση της μετακίνησης αλλά και του ρυθμού επιβολής της διάτμησης στις αναπτυσσόμενες μετακινήσεις. Οι τελευταίες προέκυψαν μικρότερες όταν λαμβάνεται υπόψη ο ταχύς ρυθμός επιβολής της φόρτισης. Ακολούθως εξετάστηκε και η μορφή του επιπέδου ολίσθησης (αστοχίας). Θεωρώντας περιστροφικό μηχανισμό αστοχίας ο Sarma (1981) προσδιόρισε τις γωνιακές παραμορφώσεις λόγω σεισμού. Οι Ambraseys and Srbulov (1995) πρότειναν ένα προσομοίωμα αποτελούμενο από δύο ολισθαίνοντα σώματα σε επαφή και διατύπωσαν αναλυτικές σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται οι μετακινήσεις των δύο σωμάτων μετά το σεισμό λόγω απομείωσης των διατμητικών αντοχών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

4.1 Περιγραφή γεωμετρίας προσομοιωμάτων

Όπως έχει αναφερθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η δυναμική μη-γραμμική απόκριση ΧΥΤΑ. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές χαρακτηριστικές γεωμετρίες ΧΥΤΑ με τις διαστάσεις που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.1. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο προσομοίωμα αφορά ένα μικρό υπέργειο ΧΥΤΑ τραπεζοειδούς διατομής, το δεύτερο προσομοίωμα ένα μεγαλύτερης διατομής τραπεζοειδή ΧΥΤΑ, και το τρίτο ένα ΧΥΤΑ πλευρικής απόθεσης.



Σχήμα 4.1 Οι γεωμετρίες των τριών προσομοιωμάτων ΧΥΤΑ

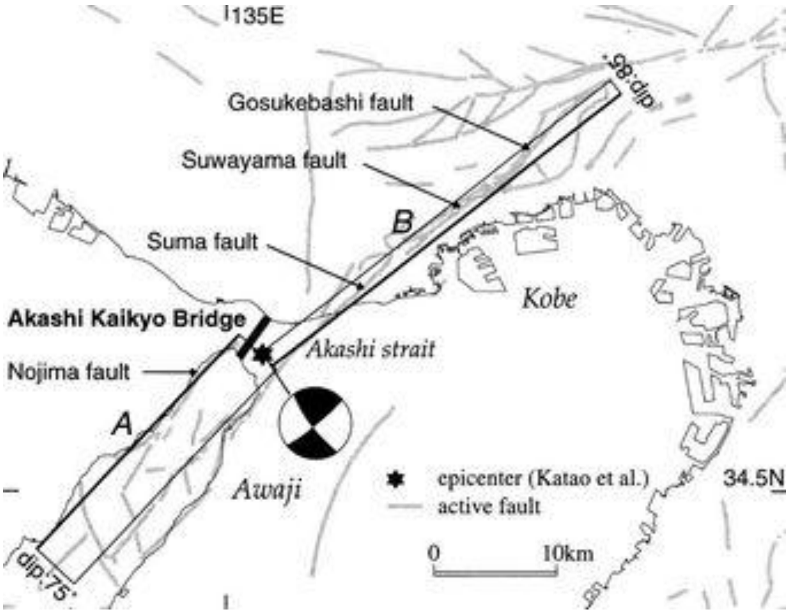
Η κλίση των απορριμματικών πρανών επιλέχθηκε κοινή και ίση με 1:3 (οριζόντια προς κατακόρυφη απόσταση) και για τα τρία προσομοιώματα για δύο λόγους: αφενός θεωρείται αντιπροσωπευτική τιμή κλίσης για απορριμματικά πρανή, αφετέρου σκοπός ήταν να εξεταστεί η επίδραση της ίδιας τοπογραφίας στη δυναμική απόκριση των ΧΥΤΑ και να συγκριθεί με την αντίστοιχη «μονοδιάστατη» ανάλυση που αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.2 Περιγραφή χρονοϊστοριών επιταχύνσεων

Για τον σκοπό της παρούσας διερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν ως διεγέρσεις βάσης σε όλα τα προσομοιώματα τρεις χρονοϊστορίες επιταχύνσεων, δύο από τις οποίες αποτελούν καταγραφές πραγματικών σεισμικών γεγονότων και η τρίτη αποτελεί έναν εξιδανικευμένο παλμό. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη αποτελεί καταγραφή από το σεισμό του 1995 στο Kobe. Η δεύτερη καταγραφή προέρχεται από το σεισμό του Αιγίου το 1995. Η τελευταία σεισμική διέγερση είναι ένας απλός παλμός Ricker.

Το πρωί της 17 Ιανουαρίου 1995 στις 5.46 (τοπική ώρα), ένας ισχυρός σεισμός κατέστρεψε στην ιαπωνική πόλη Κόμπε παρά πολλές κατασκευές και κτίρια που θεωρούνταν μέχρι τότε αντισεισμικά, ενώ περισσότεροι από 6.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν και περισσότεροι από 300.000 άνθρωποι έχασαν τα σπίτια τους. Ο σεισμός έγινε κατά μήκος της τομής του ρήγματος Nojima με το ρήγμα Suma, 16 χιλιόμετρα κάτω από το στενό Akashi, 20 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης. Το επίκεντρο του σεισμού εμφανίστηκε κοντά στο βόρειο άκρο του Awaji Island σε βάθος 20 χιλιομέτρων. Δεν ήταν αναμενόμενο ότι το Kobe θα μπορούσε να πληγεί από ένα τέτοιο ισχυρό σεισμό, στην πραγματικότητα, ο σεισμός προήλθε από ένα τοπικό σύστημα ανάστροφων ρηγμάτων τα οποία δεν συνδέονται άμεσα με τη ζώνη καταβύθισης της λιθοσφαιρικής πλάκας των Φιλιππίνων κάτω από το νησί Honshu. Το λιμάνι του Κόμπε, ένα από τα σημαντικότερα στον κόσμο, υπέστη σοβαρές ζημιές κυρίως λόγω εδαφικών ρευστοποιήσεων, αφού το ασταθές έδαφος έκανε πολλά από τα θεμέλια των κατασκευών να αστοχήσουν.

Ο σεισμός ήταν μεγέθους Mw=6.9 (μέσου μεγέθους Ms=7.2 σύμφωνα με την κλίμακα της Ιαπωνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας JMA). Ήταν ο ισχυρότερος σεισμός στη Δυτική Ιαπωνία από το 1923. Ο σεισμός θεωρήθηκε αρκετά σημαντικός, από επιστημονική άποψη, γιατί ήταν ο πρώτος μεγάλος σεισμός που πραγματοποιήθηκε σε μια περιοχή με υψηλές κατασκευαστικές προδιαγραφές. Ο σεισμός του Kobe διακρίνεται τόσο από ιδιαίτερα υψηλές τιμές εδαφικών επιταχύνσεων (0.92g), όσο και από «πλούσια» σε συχνοτικό περιεχόμενο επιταχυνσιογραφήματα (με πολλούς κύκλους) και κατά συνέπεια αποτελεί πολύ σημαντική πηγή για τις μελέτες της σεισμικής μηχανικής.

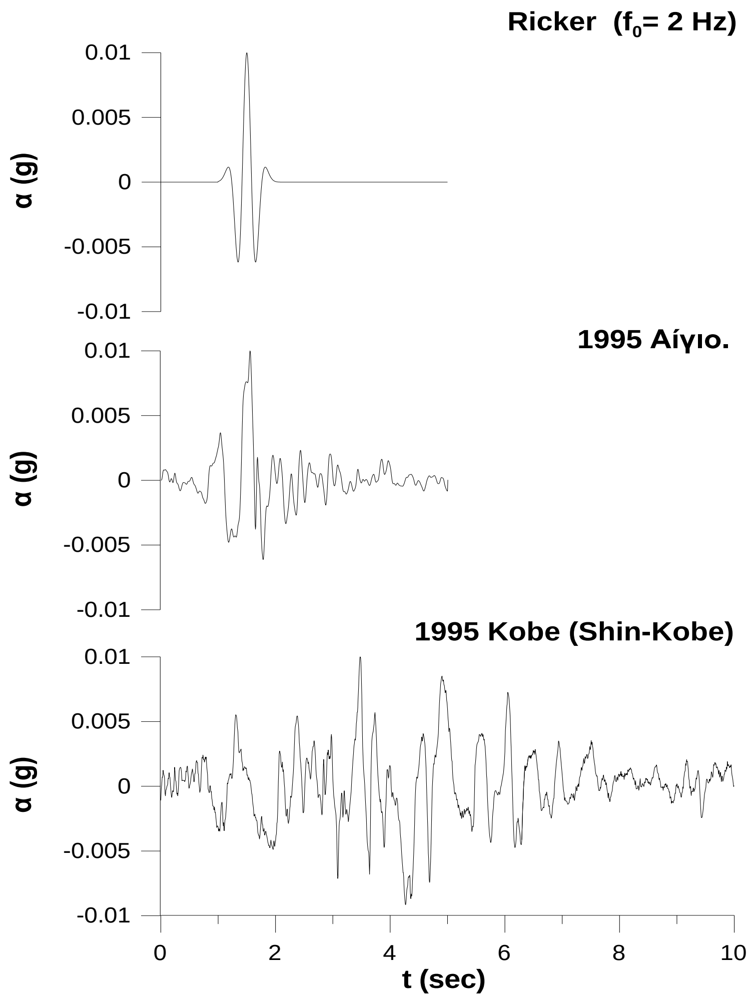


Σχήμα 4.2. Τα ρήγματα που ενεργοποιήθηκαν στον σεισμό του Kobe το 1995.

Ο σεισμός του Αιγίου (1995) είχε μέγεθος 6.4 Ρίχτερ και 26 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους. Προκλήθηκαν αρκετές βλάβες σε περιοχές. Ο σεισμός του Αιγίου παρουσίασε υψηλές τιμές εδαφικής επιτάχυνσης (0.54g) για τα Ελληνικά δεδομένα, ενώ η διάρκεια των σημαντικών δονήσεων ήταν σχετικά περιορισμένη. Παρά τις υψηλές επιταχύνσεις που καταγράφηκαν και παρά τα φάσματα απόκρισης με υψηλές επιταχύνσεις που προέκυψαν, οι βλάβες ήταν συγκριτικά χαμηλότερες από αυτές που αναμένονταν. Αυτό ισχύει εάν αναλογισθεί κανείς ότι για τα περισσότερα κτίρια ο αντισεισμικός σχεδιασμός έγινε χωρίς την επιβολή αυστηρών διατάξεων (Αντισεισμικός Κανονισμός 1959) και οι κατασκευές έγιναν χωρίς την εφαρμογή αυστηρών αντισεισμικών κατασκευαστικών προδιαγραφών.

Η τρίτη διέγερση είναι ένας παλμός Ricker. Παρά την απλοποιημένη του μορφή, ένας παλμός Ricker καλύπτει ένα ευρύ πεδίο συχνοτήτων, το οποίο μπορεί να καθοριστεί εκ των προτέρων. Ένας παλμός Ricker (όπως και οι ημιτονοειδείς παλμοί) παρέχει τη δυνατότητα κατανόησης της κυματικής διάδοσης λόγω της απλής κυματομορφής του. Σημειώνεται μάλιστα, ότι τέτοιου είδους παλμικές διεγέρσεις θεωρούνται αντιπροσωπευτικές καταγραφών εγγύς-ρήγματος.

Οι διεγέρσεις που επιλέχθηκαν για τις δυναμικές αναλύσεις καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης των τριών διεγέρσεων, για μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.01g που πρακτικά αντιστοιχεί σε ελαστικές αναλύσεις, παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.3. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής και εντονότερης μη-γραμμικής συμπεριφοράς των απορριμματικών υλικών πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση των εν λόγω επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g και 0.36g.



Σχήμα 4.3 Οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων των τριών διεγέρσεων.

4.3 Ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων

Η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_s) σε εδαφικές αποθέσεις αποτελεί μία από τις βασικότερες παραμέτρους της συμπεριφοράς του εδάφους σε πολλά προβλήματα της γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής, όπως είναι η εκτίμηση της ποιότητας και των αρχικών τάσεων εδαφικών δειγμάτων, η σεισμική εδαφική απόκριση, η εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης, η αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των μεθόδων σταθεροποίησης εδάφους, η ανίχνευση και μεταφορά ρυπαντών στο υπέδαφος, κ.α.

Η μέτρηση της V_s πραγματοποιείται είτε στο πεδίο με γεωφυσικές κυρίως δοκιμές, είτε με εργαστηριακές δοκιμές. Αν και οι δοκιμές πεδίου είναι πολύ χρήσιμες για την εκτίμηση της επιτόπου συμπεριφοράς του εδάφους, η επιτυχία τους εξαρτάται σημαντικά από την ακρίβεια του εξοπλισμού καθώς και την ορθή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους. Επιπλέον με τις δοκιμές αυτές δεν μπορεί να γίνει συστηματική μελέτη διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν τη V_s, όπως είναι η διατμητική παραμόρφωση, η συχνότητα φόρτισης, ο αριθμός κύκλων φόρτισης, η περιβάλλουσα τάση κ.α. Μια συστηματική μελέτη της επίδρασης των παραπάνω παραμέτρων μπορεί να πραγματοποιηθεί με εργαστηριακές δοκιμές.

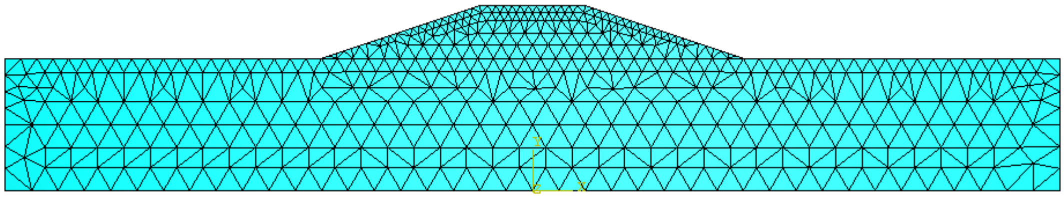
Οι Idriss et al. (1995), έπειτα από αναλύσεις επιφανειακών κυμάτων (SASW) και δοκιμές downhole σε ΧΥΤΑ αναφέρουν ότι η ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων χαρακτηρίζεται από μέση τιμή ίση με 365m/sec. Το προφίλ της κατανομής της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων με το βάθος λαμβάνει τιμές από 200m/sec στην επιφάνεια έως 500m/sec σε βάθος 100m. Αντίστοιχες τιμές αναφέρουν και οι Morochnic et al. (1998) για τις ίδιες αναλύσεις σε μία χαρακτηριστική θέση του OII, όπου υπάρχει και εγκατεστημένος επιταχυνσιογράφος. Από επιτόπου δοκιμές downhole στον ΧΥΤΑ Northwest Regional Landfill Facility της Αριζόνα, οι Houston et al. (1995) προτείνουν ότι η κατανομή της ταχύτητας διάδοσης διατμητικού κύματος, ανάλογα με το βάθος έως και 10m κυμαίνεται από 124m/sec έως 229m/sec.

Ένα εκτεταμένο πρόγραμμα ερευνών στον ΧΥΤΑ OII είχε ως αντικείμενο και τον προσδιορισμό των δυναμικών ιδιοτήτων των στερεών αποβλήτων με επιτόπου δοκιμές, μεγάλης κλίμακας εργαστηριακές δοκιμές και ανάστροφες αναλύσεις (Matasovic and Kavazanjian, 1998). Συγκεκριμένα, από φασματικές αναλύσεις επιφανειακών κυμάτων σε 27 θέσεις υπολογίστηκε ότι η μέση κατανομή της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων κυμαίνεται από 120m/sec στην επιφάνεια έως 240m/sec για βάθος ίσο με 50m. Έπειτα από μετρήσεις επιφανειακών κυμάτων σε δύο ΧΥΤΑ της Ατλάντα ο Rix (1998) αναφέρει ότι η ταχύτητα διάδοσης του διατμητικών κυμάτων μετρήθηκε εντός της απορριμματικής μάζας από 125m/sec κοντά στην επιφάνεια έως 160m/sec σε βάθος 25m.

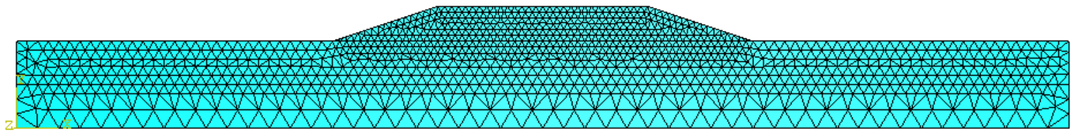
Οι Matasovic et al. (2006) αναφέρουν την εκτέλεση φασματικών αναλύσεων επιφανειακών κυμάτων (SASW) σε πέντε ΧΥΤΑ τοξικών αποβλήτων. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκτιμήθηκε ο μέσος όρος της ταχύτητας διάδοσης διατμητικού κύματος, η οποία λαμβάνει τιμές από 100m/sec στην επιφάνεια έως 500m/sec σε βάθος ίσο με 35m. Φασματικές αναλύσεις επιφανειακών κυμάτων (SASW) αναφέρεται ότι διεξήχθησαν στους ΧΥΤΑ Tri-Cities, Altamont και Redwood (Zekkos, 2005) σε 14 διαφορετικές θέσεις. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δείχνουν ότι η ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων λαμβάνει τιμές από 75m/sec στην επιφάνεια έως 250m/sec σε βάθος ίσο με 30m.

Με βάση τα προαναφερθέντα, για την πραγματοποίηση της παρούσας διερεύνησης και την εξακρίβωση της επίδρασης της δυσκαμψίας του ΧΥΤΑ στη δυναμική μη-γραμμική απόκριση του, διακρίναμε τις αναλύσεις σε τρεις κατηγορίες με διαφορετική ταχύτητα διατμητικών κυμάτων η κάθε μία. Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε σχετικά χαμηλή ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Στην δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε υψηλή ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων ίση με 400 m/s. Στην τελευταία κατηγορία (type C) έχουμε μια ενδιάμεση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων της τάξεως των 250 m/s. Το ειδικό βάρος των απορριμμάτων σε όλες τις περιπτώσεις ήταν ίσο με 10 kN/m^3.

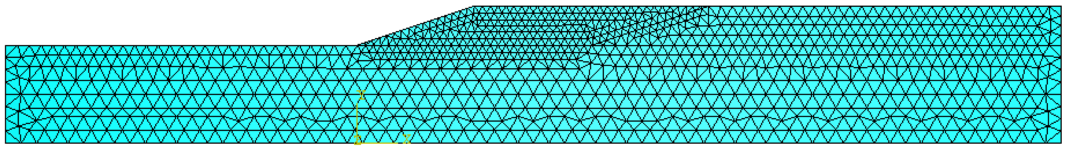
Γεωμετρία 1



Γεωμετρία 2



Γεωμετρία 3

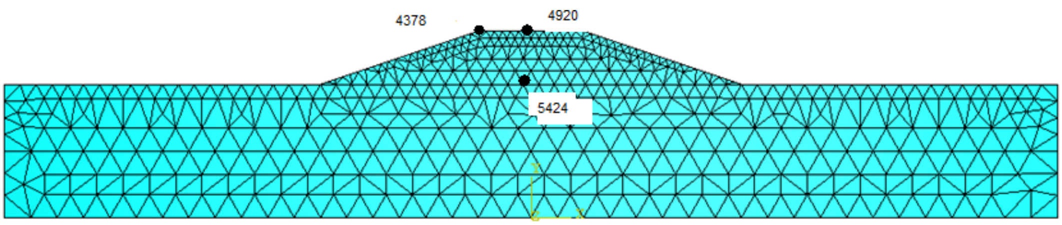


Σχήμα 4.4. Διακριτοποίηση των προσομοιωμάτων ΧΥΤΑ των οποίων εξετάζεται η δυναμική απόκριση (τα τρία σχήματα είναι υπό διαφορετική κλίμακα).

4.4 Αποτελέσματα δισδιάστατων αναλύσεων

Στην παρούσα εργασία, για τη διερεύνηση της δυναμικής απόκρισης ΧΥΤΑ πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές αναλύσεις κατάλληλων προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων. Όπως έχει αναφερθεί, για τις αναλύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό QUAD4M (Hudson et al., 1994). Πρόκειται για ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων στο οποίο η προσομοίωση γίνεται σε δύο διαστάσεις, προϋποθέτοντας συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης. Η μη-γραμμική συμπεριφορά του υλικού λαμβάνεται υπόψη μέσω μιας επαναληπτικής ισοδύναμα-γραμμικής προσέγγισης που αναπτύχθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο. Σύμφωνα με αυτήν την τεχνική, εφαρμόζεται μια επαναληπτική διαδικασία ώσπου το μέτρο διάτμησης και η απόσβεση του υλικού να συγκλίνουν σε μια τιμή συμβατή με την ισοδύναμη διατμητική παραμόρφωση του υλικού σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο του προσομοιώματος της κατασκευής.

Η διακριτοποίηση των προσομοιωμάτων αυτών έγινε με τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης (βλ. Σχήμα 4.4). Επίσης, το μέγεθος των πεπερασμένων στοιχείων επιλέχθηκε να είναι συμβατό με το αναμενόμενο μήκος κύματος, προκειμένου να αποφευχθούν ανακρίβειες στον υπολογισμό της απόκρισης της κατασκευής, για αυτό το λόγο ήταν πυκνότερη η διακριτοποίηση στον ΧΥΤΑ απ' ότι στο υποκείμενο στρώμα, το οποίο θεωρήθηκε βράχος για να μην γίνει πιο περίπλοκο το πρόβλημα από την ύπαρξη υποκείμενων (κάτωθεν του ΧΥΤΑ) μαλακών εδαφικών στρώσεων (Psarropoulos et al. 2007). Σε όλα τα προσομοιώματα τα πλευρικά όρια ήταν αρκετά μακριά για να μην υπάρξουν προβλήματα ανακλάσεων κλπ στην απόκριση των εξεταζόμενων ΧΥΤΑ.



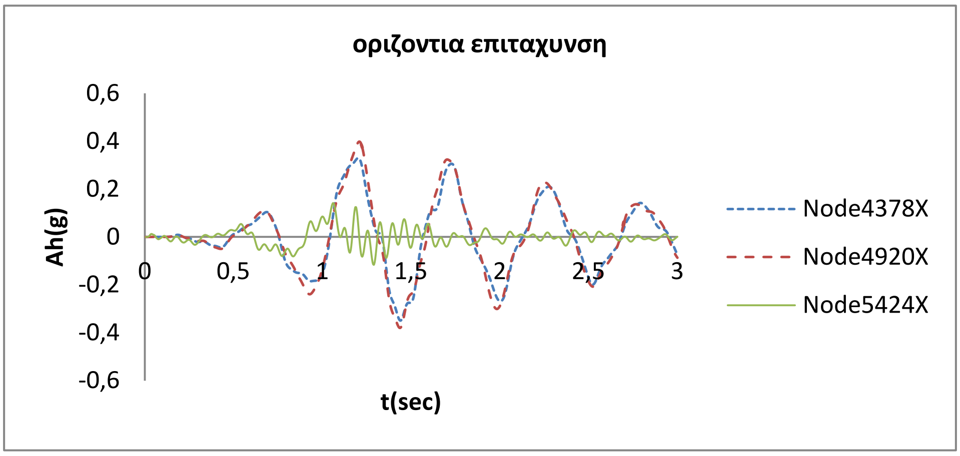
Σχήμα 4.5. Διακριτοποίηση και κόμβοι καταγραφών επιταχύνσεων πρώτου προσομοιώματος ΧΥΤΑ

4.4.1 Αποτελέσματα πρώτου προσομοιώματος

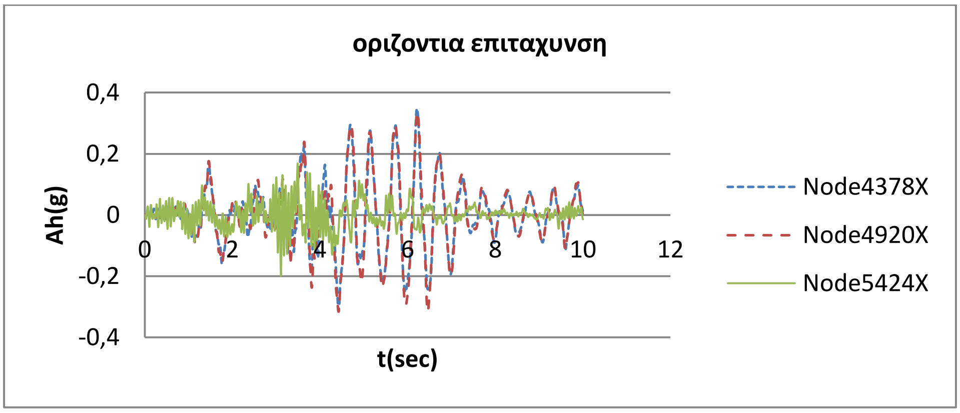
Αρχικά εξετάζουμε το πρώτο προσομοίωμα του Σχήματος 4.1. Η γεωμετρία αυτή αφορά ένα σχετικά μικρό υπέργειο ΧΥΤΑ τραπεζοειδούς διατομής. Οι κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή των χρονοϊστοριών των επιταχύνσεων στη γεωμετρία αυτή είναι οι: 4378, 4920 και 5424, που όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5, αντιστοιχούν στη γωνία και στο μέσο της στέψης, καθώς και στο μέσο της βάσης του ΧΥΤΑ. Οι δύο τελευταίοι ουσιαστικά ισοδυναμούν με την ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μονοδιάστατη ανάλυση, ενώ ο πρώτος είναι για να αναδείξει τη διαφοροποίηση λόγω της δισδιάστατης τοπογραφίας του ΧΥΤΑ.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και για τους τρεις διαφορετικούς τύπους υλικού (**Τύπος A, B, C**), καθώς και για τα δυο διαφορετικά επίπεδα επιταχύνσεων (0.1g, 0.36g). Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν παρουσιάζονται κατά σειρά τα αποτελέσματα από την εφαρμογή (υπό την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του μοντέλου) των χρονοϊστοριών από το σεισμό του Αιγίου, το σεισμό του Kobe και τέλος για τον παλμό Ricker.

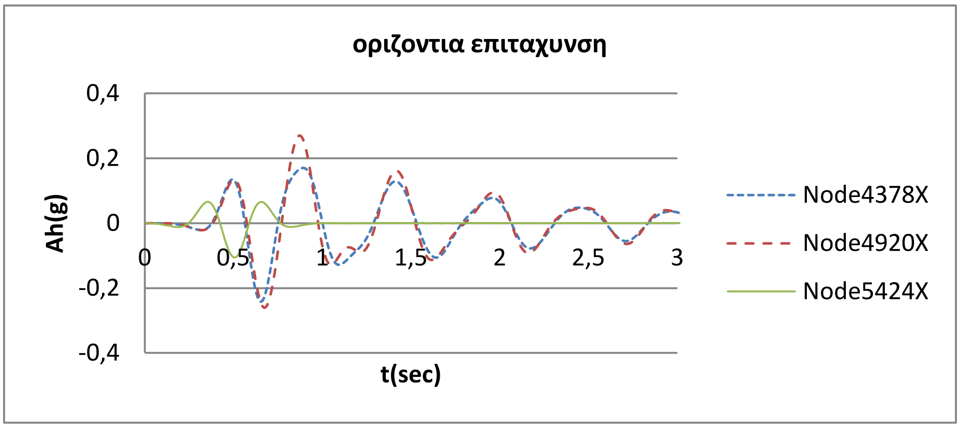
Τύπος Α - 0.1g



(α)

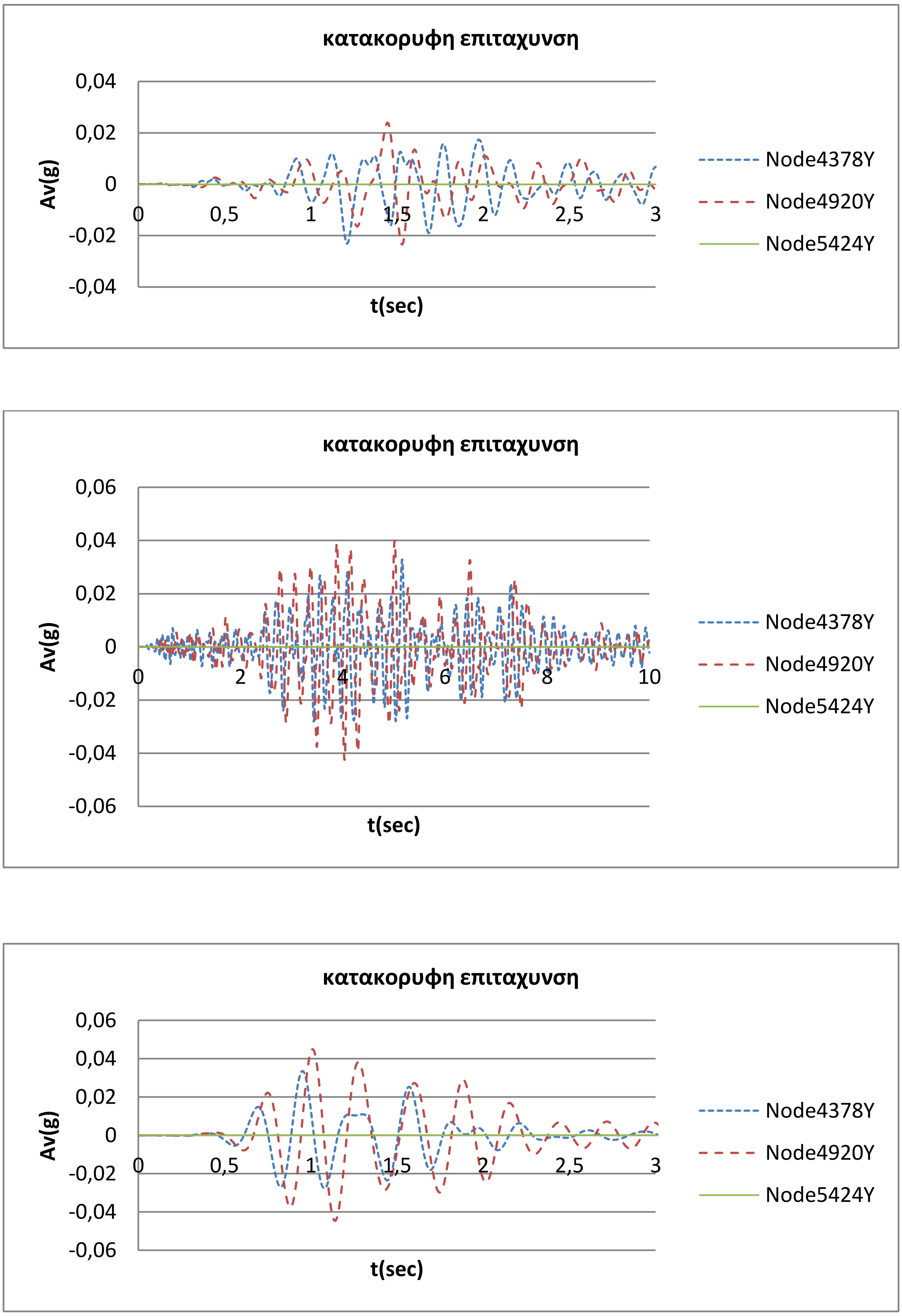


(β)



(γ)

Σχήμα 4.6 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe γ) για τον παλμό Ricker.



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 4.7 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τετραπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης σε σχέση με τη βάση.

Kobe: ανάπτυξη πολύ μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις δεν είναι ιδιαίτερα διαφοροποιημένες και σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη αρκετά μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 20% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης μεταξύ τους.

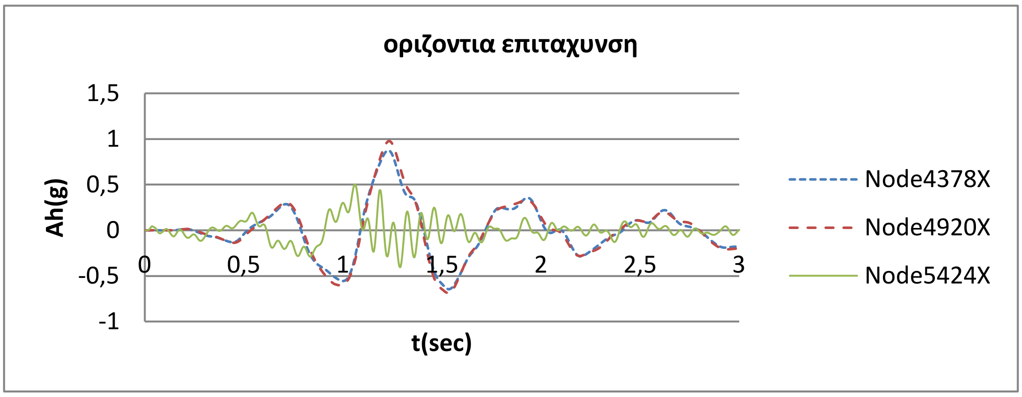
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 40% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

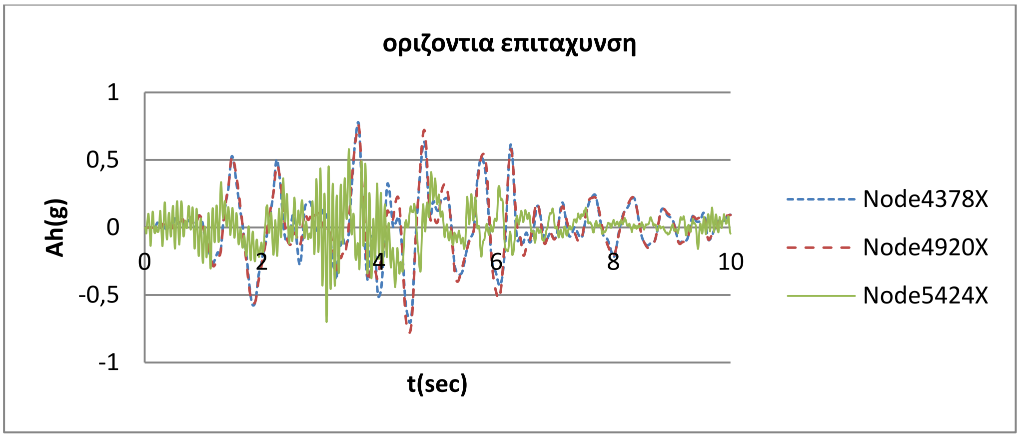
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 40% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5424 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

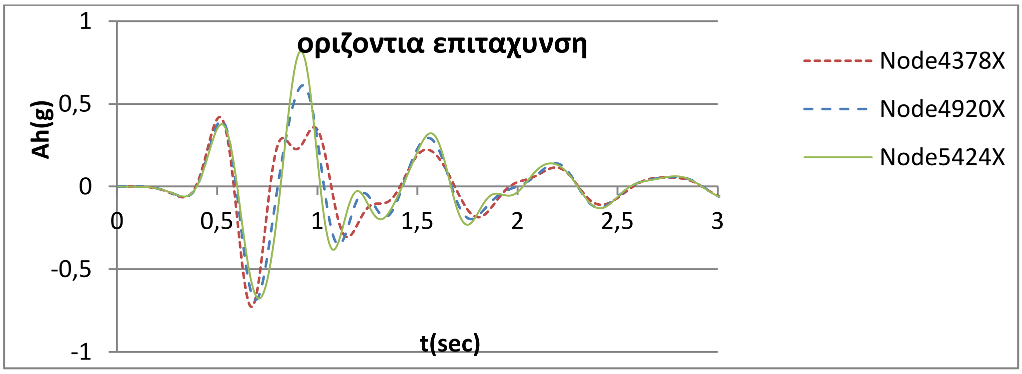
Τύπος Α 0.36g

(α)



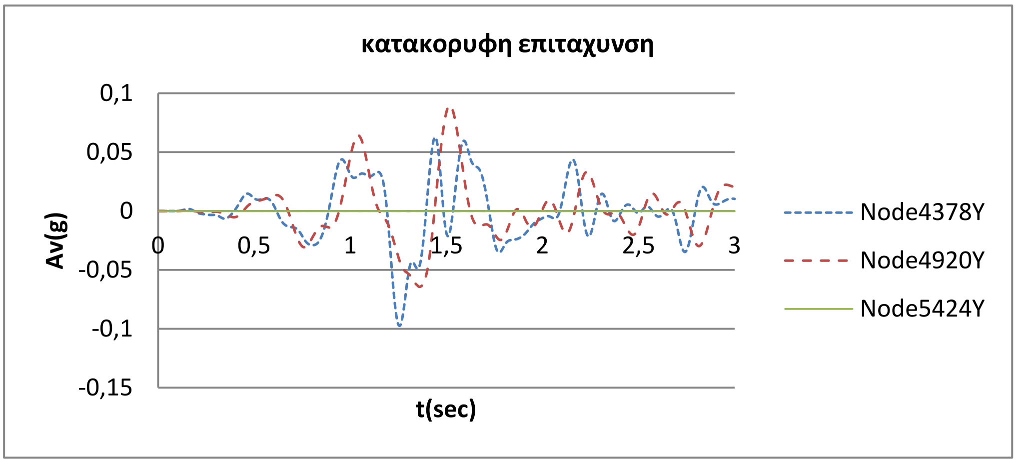


(β)

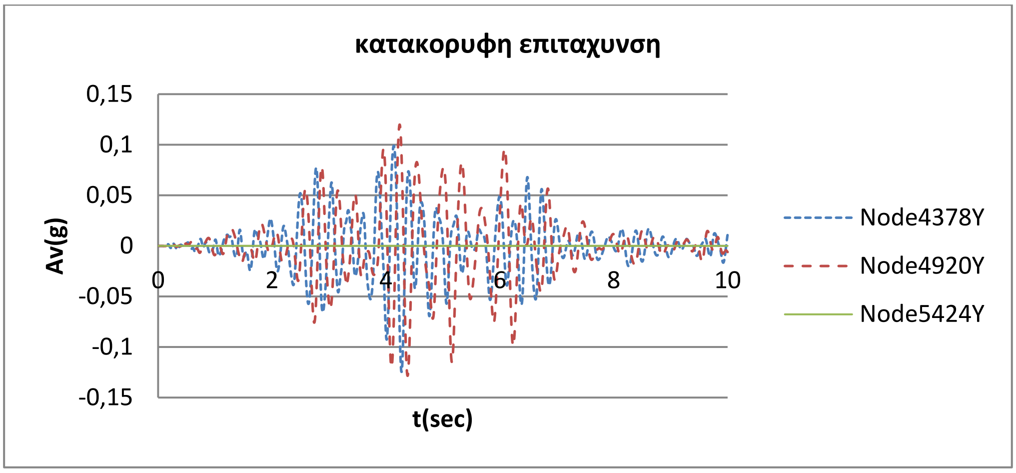


(γ)

Σχήμα 4.8 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

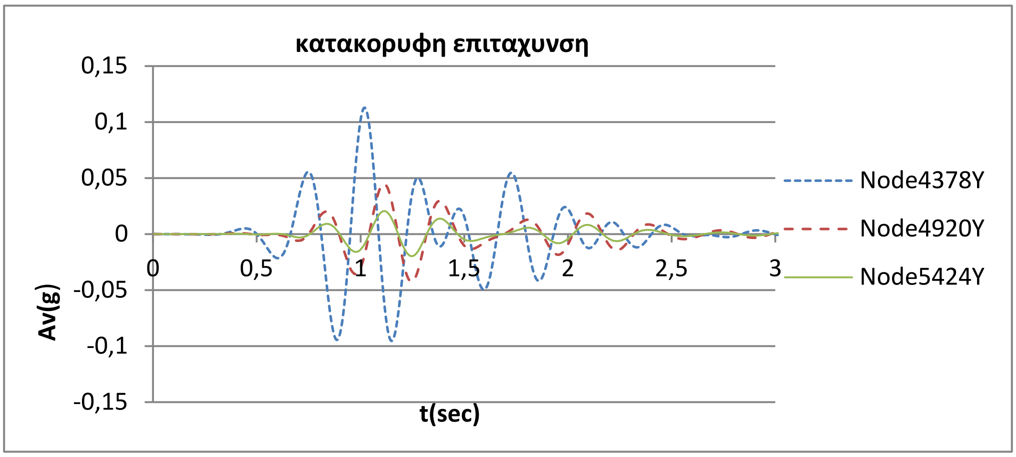


(α)



(β)

(γ)



Σχήμα 4.9 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση πιο έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης σε σχέση με τη βάση.

Kobe: ανάπτυξη πολύ μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη αρκετά μεγαλύτερων επιταχύνσεων (πάνω από διπλάσιων). Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

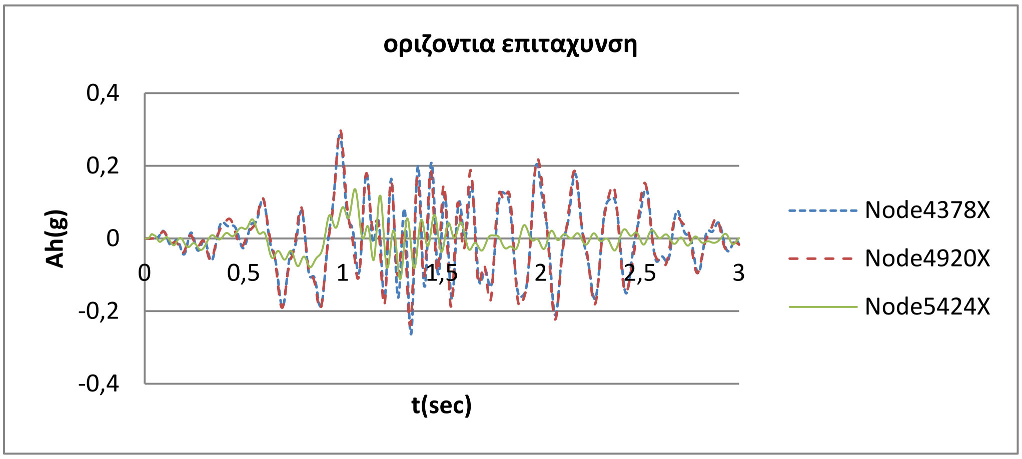
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 15% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 30% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

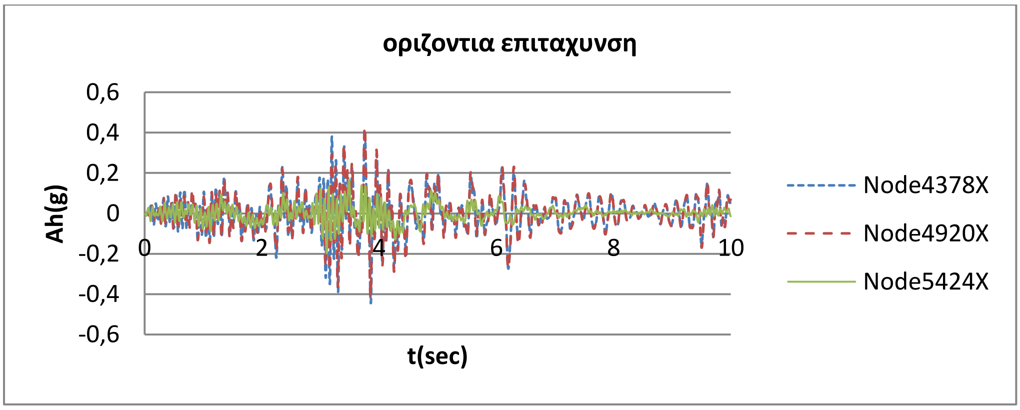
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 30% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5424 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

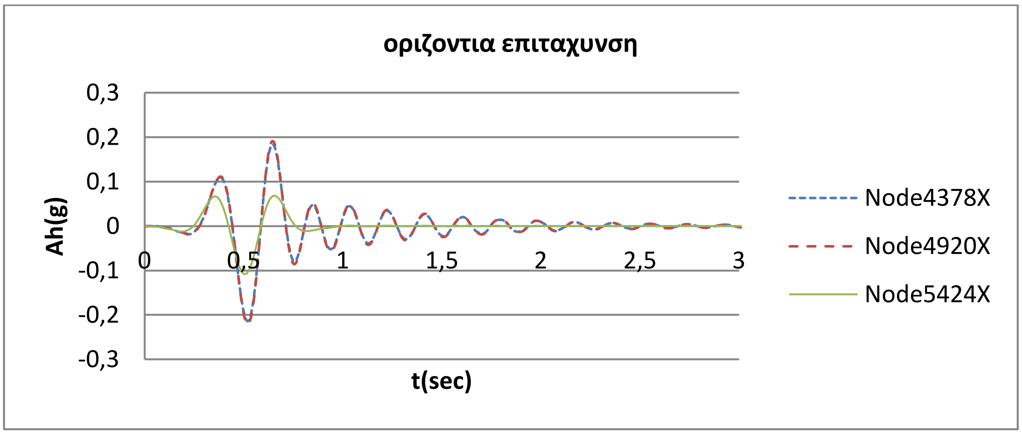
Τύπος Β 0.1g (α)



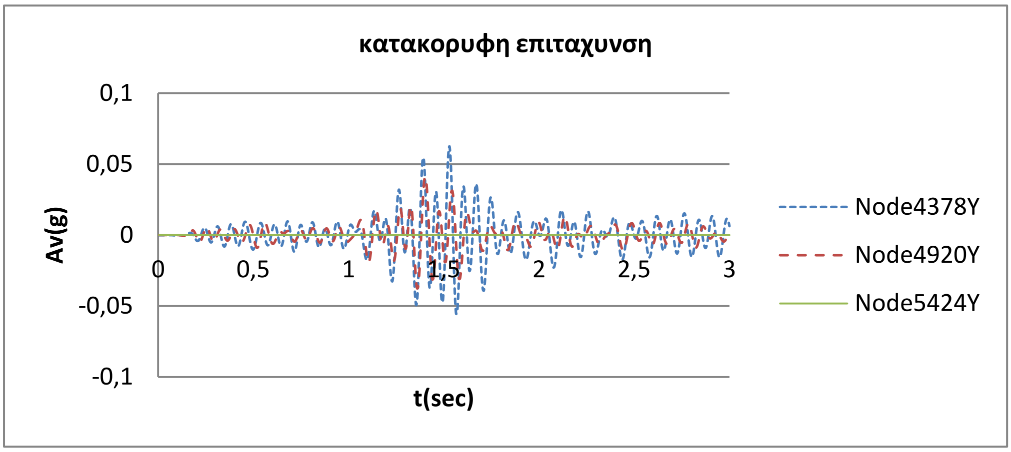
(β)



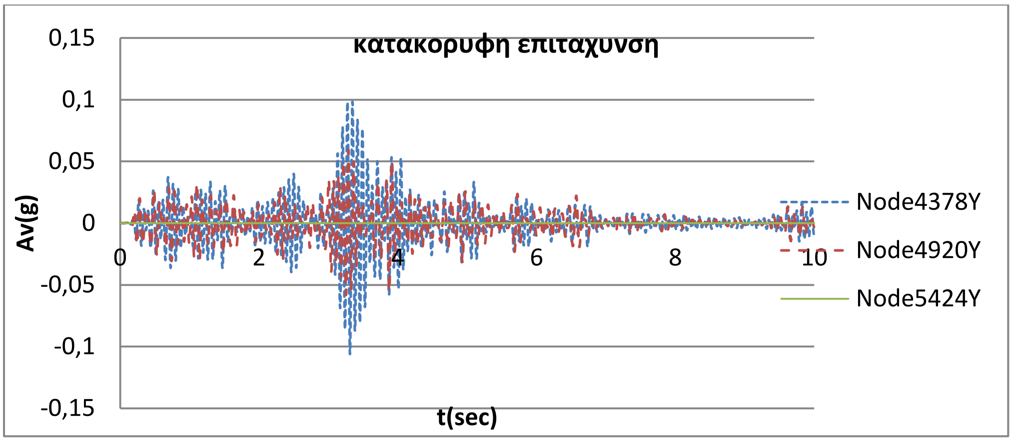
(γ)



Σχήμα 4.10 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

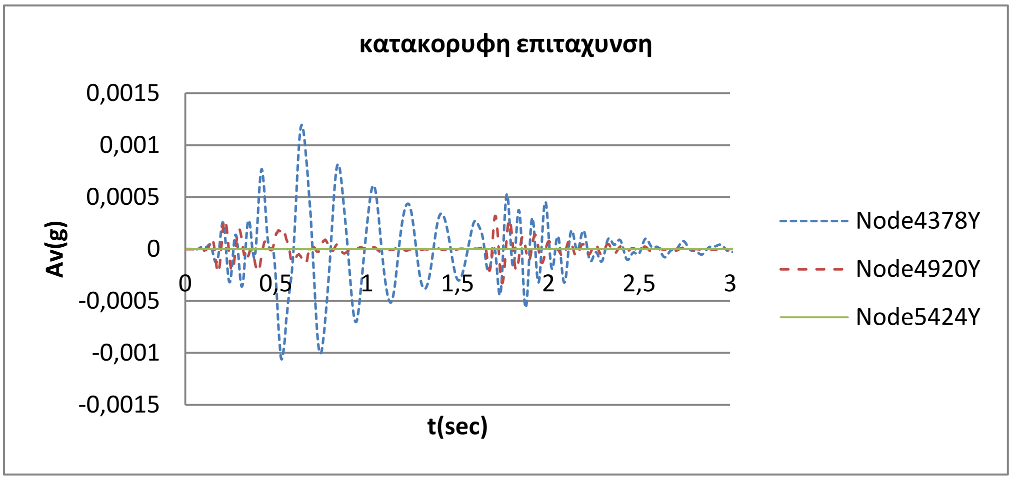


(α)



(β)

(γ)



Σχήμα 4.11 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στη δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Kobe: ανάπτυξη πολύ μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τετραπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη αρκετά μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

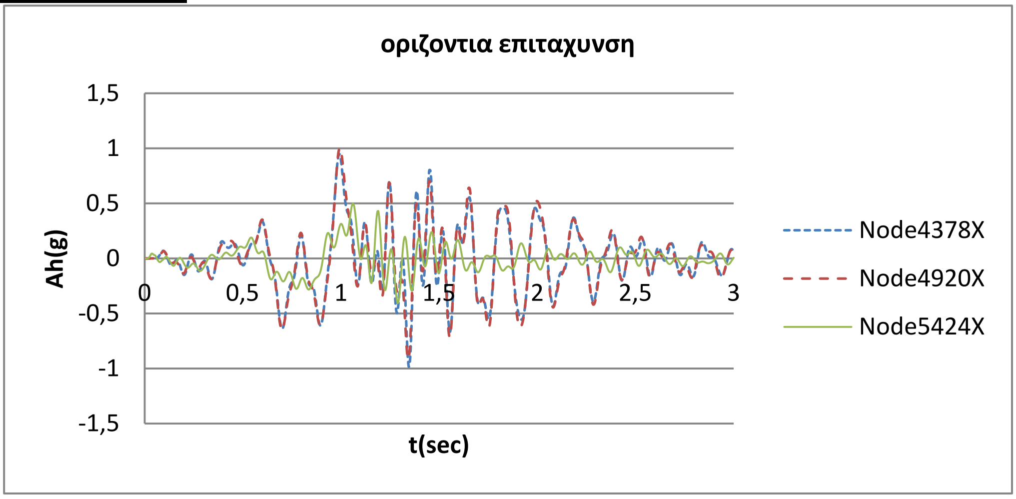
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 50% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 90% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

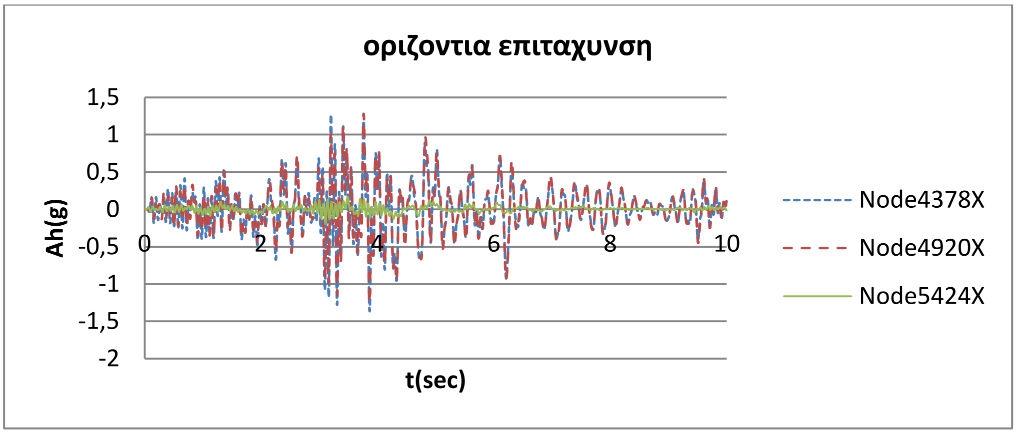
Ricker: ανάπτυξη πολύ μικρών επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 1% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5424 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

Τύπος Β 0.36g

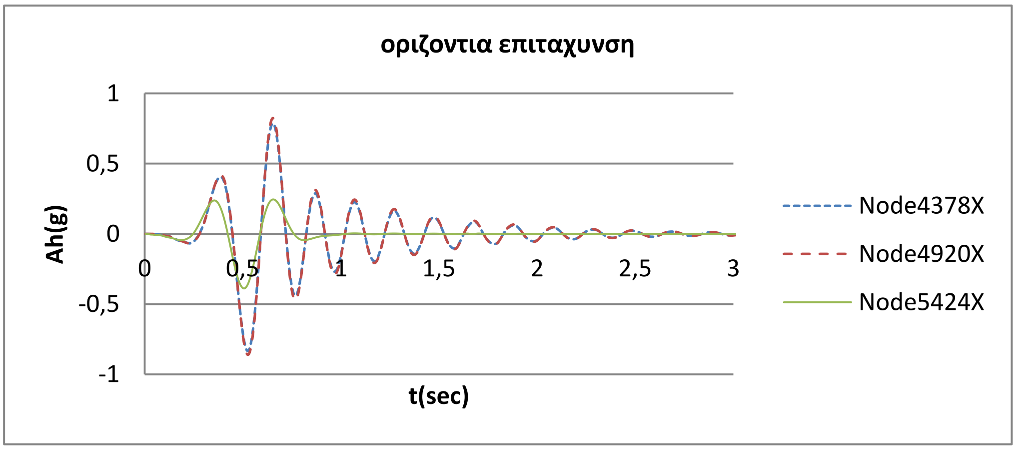


(α)

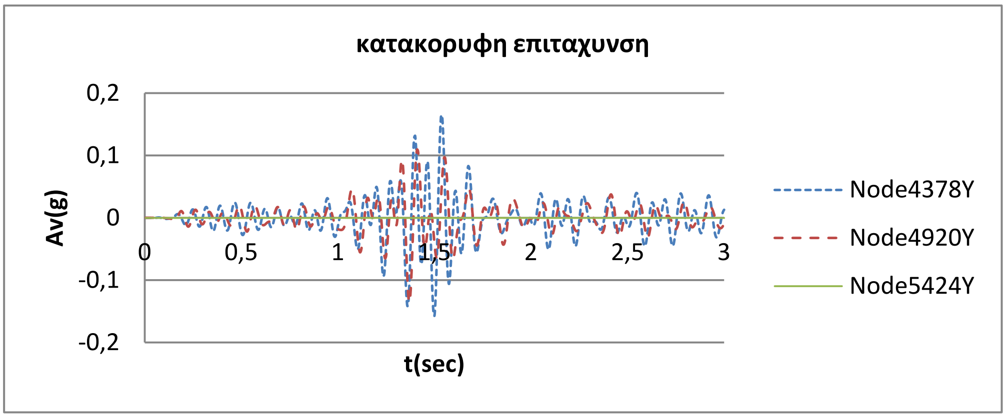


(β)

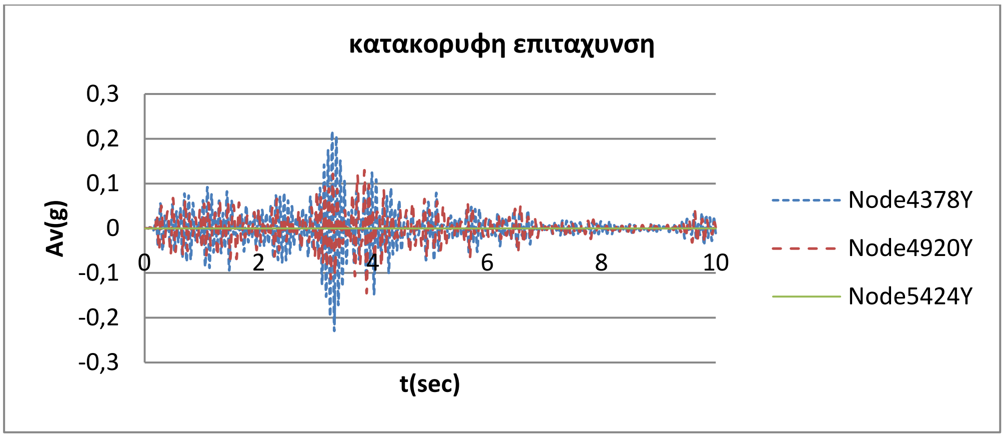
(γ)



Σχήμα 4.12 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

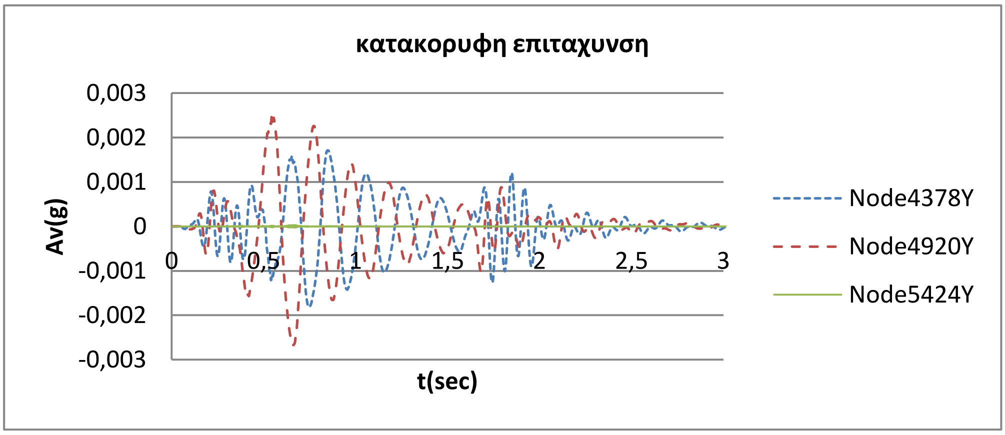


(α)



(β)

(γ)



Σχήμα 4.13 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στη δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Kobe: ανάπτυξη πολύ μεγαλύτερων επιταχύνσεων (πάνω από τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη αρκετά μεγαλύτερων επιταχύνσεων (πάνω από διπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 150% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

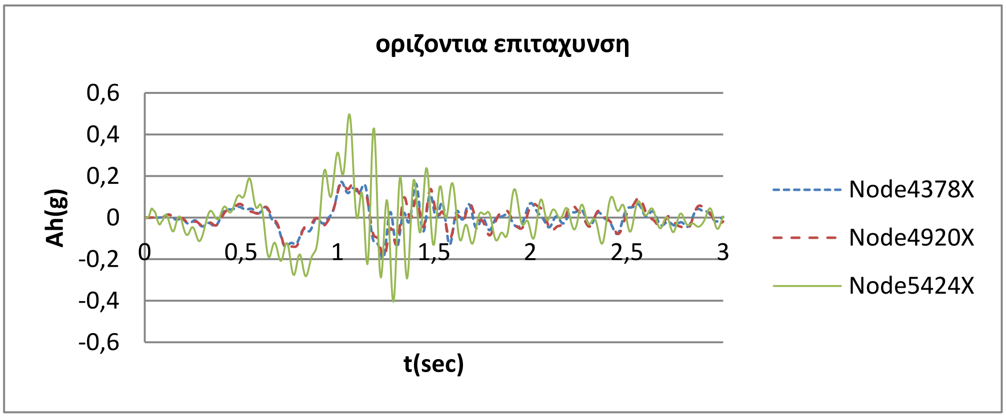
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 20% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

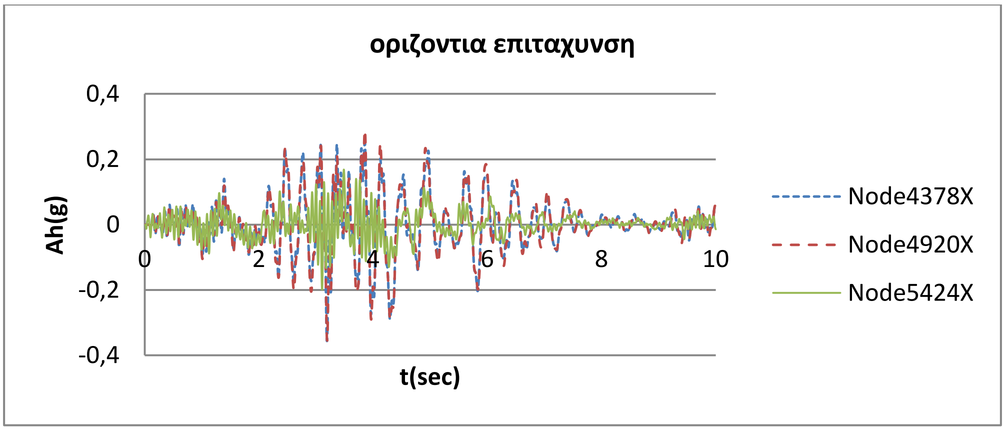
Ricker: ανάπτυξη μικρών επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 3% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5424 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

Τύπος C 0.1g

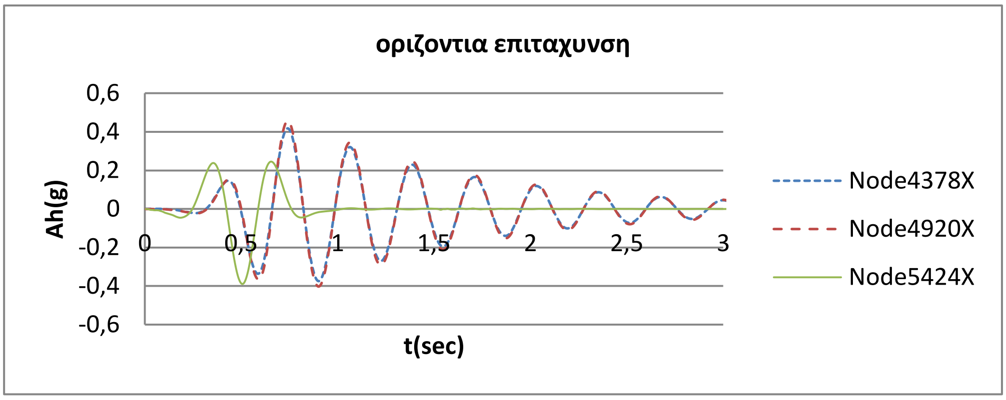
(α)





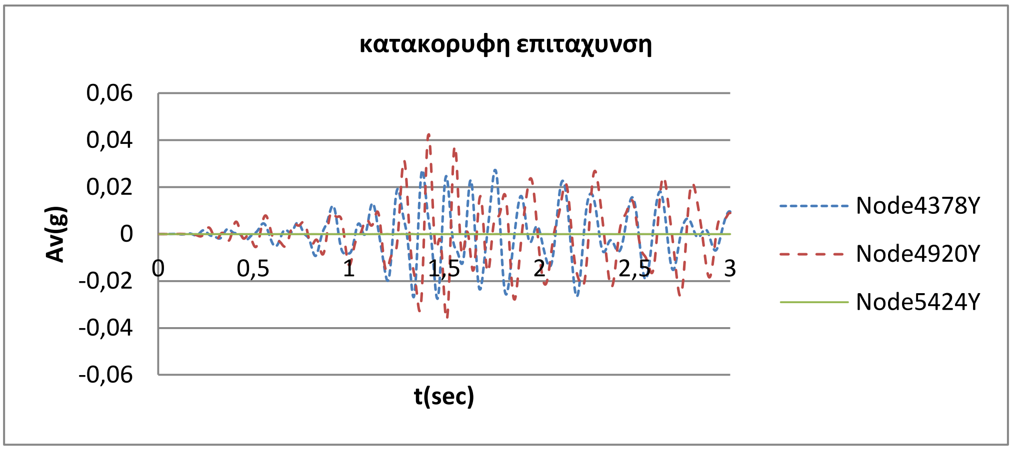
(β)

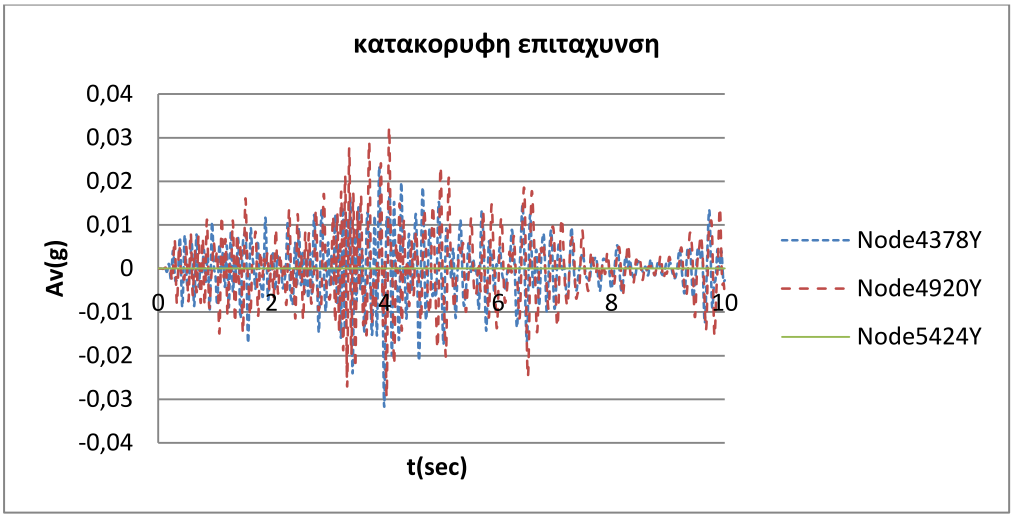
(γ)



Σχήμα 4.14 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

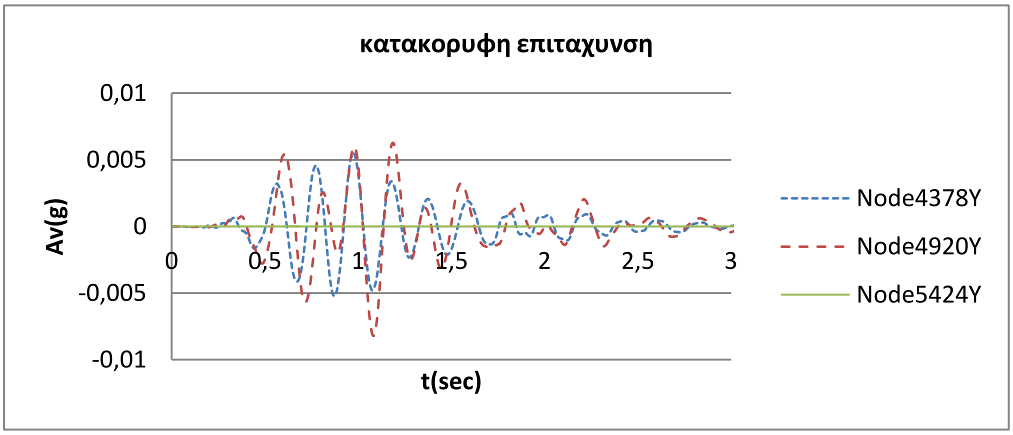
(α)





(β)

(γ)



Σχήμα 4.15 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

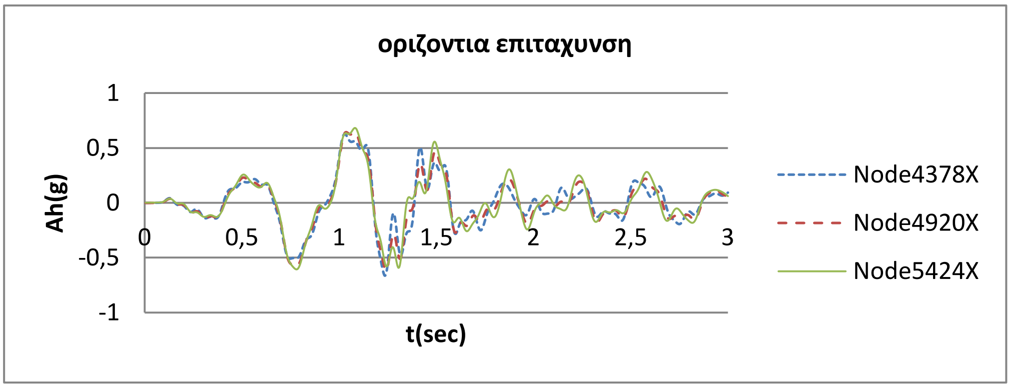
Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν πενταπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη πολύ μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker:. ανάπτυξη αρκετά μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τετραπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

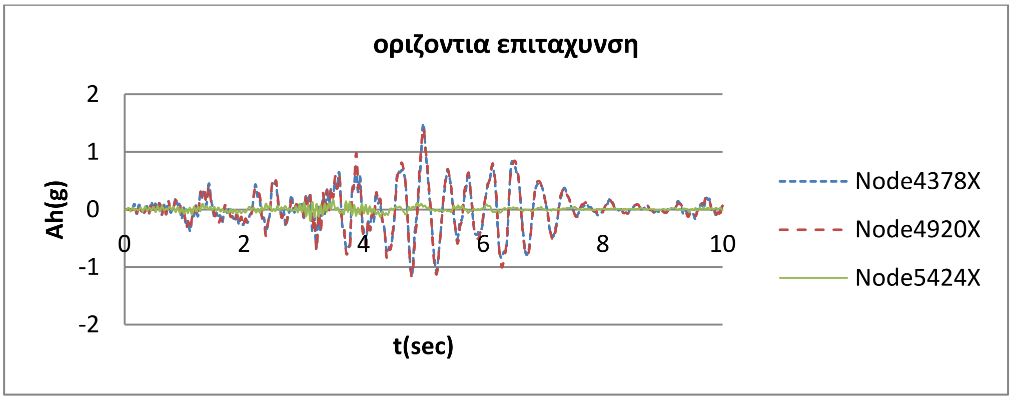
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 40% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 30% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 5% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5424 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

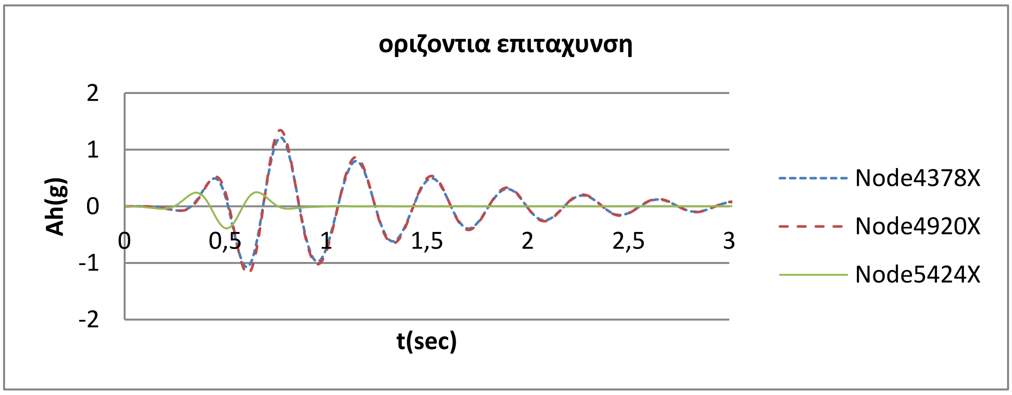
Τύπος C 0.36g



(α)

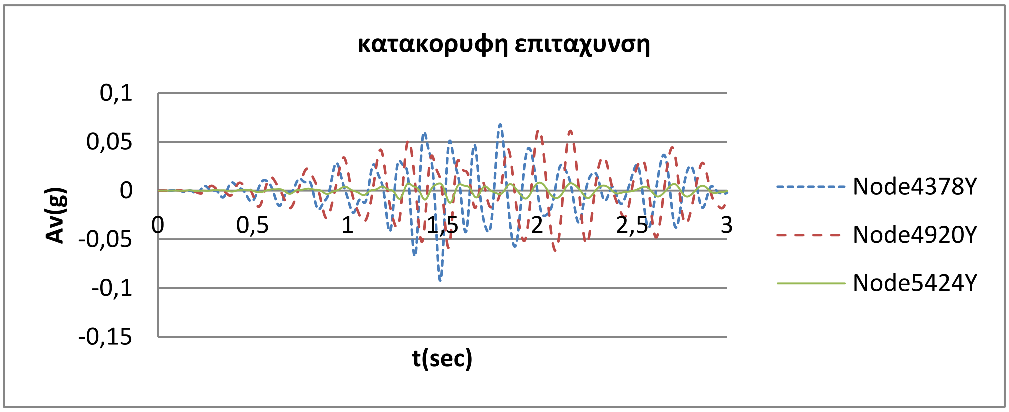


(β)

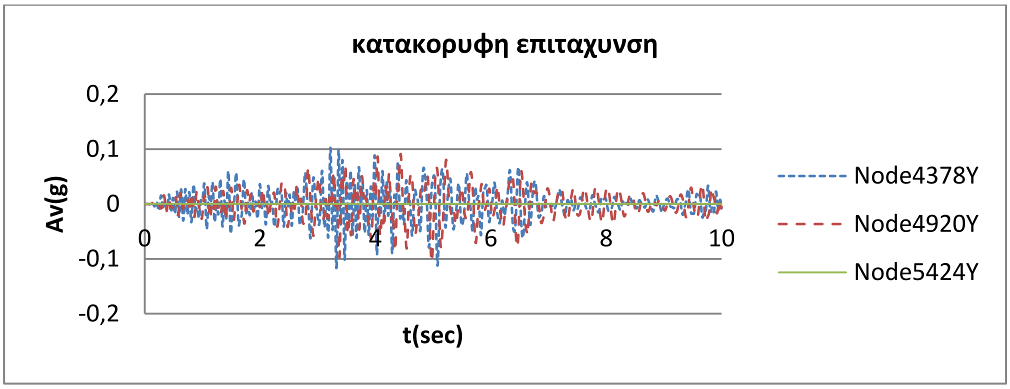


(γ)

Σχήμα 4.16 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.



(α)



(β)

(γ)

Σχήμα 4.17 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη πολύ μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker:. ανάπτυξη αρκετά μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) στη στέψη από εκείνη στον κόμβο της βάσης 5424. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

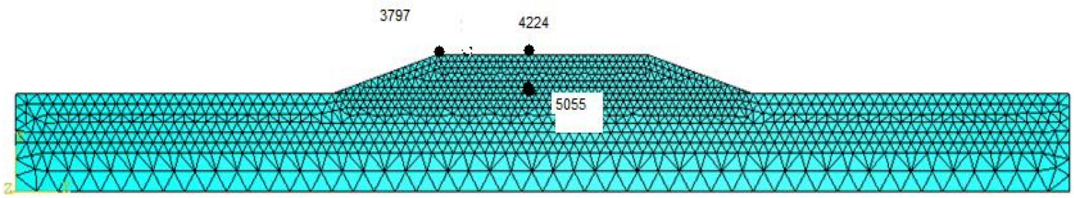
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 50% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 100% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 4378 και 4920 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 50% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 4378 και 4920 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5424 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

4.5.2 Αποτελέσματα δεύτερου προσομοιώματος

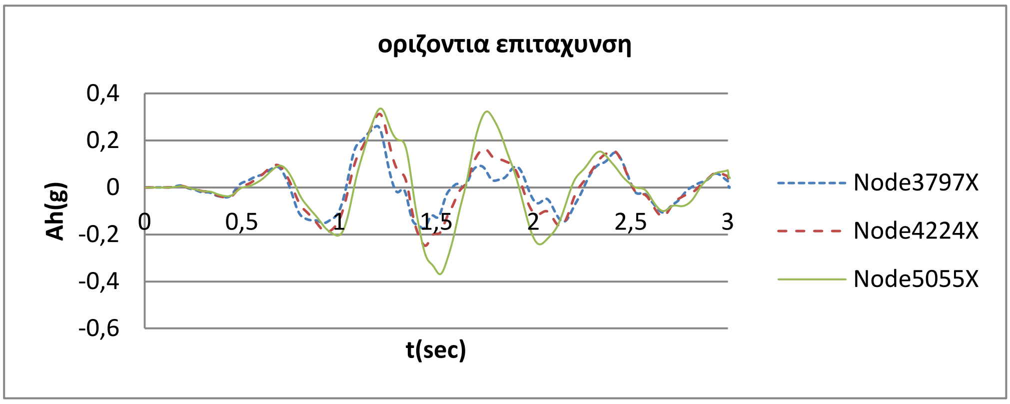
Στην παρούσα ενότητα εξετάζουμε το δεύτερο προσομοίωμα του Σχήματος 4.1. Η γεωμετρία αυτή αφορά ένα υπέργειο ΧΥΤΑ μεγαλύτερης διατομής από αυτόν της πρώτης γεωμετρίας. Οι κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή των χρονοϊστοριών των επιταχύνσεων στη γεωμετρία αυτή είναι οι: 3797, 4224 και 5055, που όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.18, αντιστοιχούν στη γωνία και στο μέσο της στέψης, καθώς και στο μέσο της βάσης του ΧΥΤΑ. Οι δύο τελευταίοι ουσιαστικά ισοδυναμούν με την ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μονοδιάστατη ανάλυση, ενώ ο πρώτος είναι για να αναδείξει τη διαφοροποίηση λόγω της δισδιάστατης τοπογραφίας του ΧΥΤΑ, που είναι διαφοροποιημένη σε αυτήν την περίπτωση σε σχέση με το πρώτο μοντέλο λόγω της πιο πεπλατυσμένης μορφής του.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και για τους τρεις διαφορετικούς τύπους υλικού (**Τύπος Α, Β, C**), καθώς και για τα δυο διαφορετικά επίπεδα επιταχύνσεων (0.1g, 0.36g). Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν παρουσιάζονται κατά σειρά τα αποτελέσματα από την εφαρμογή (υπό την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του μοντέλου) των χρονοϊστοριών από το σεισμό του Αιγίου, το σεισμό του Kobe και τέλος για τον παλμό Ricker.

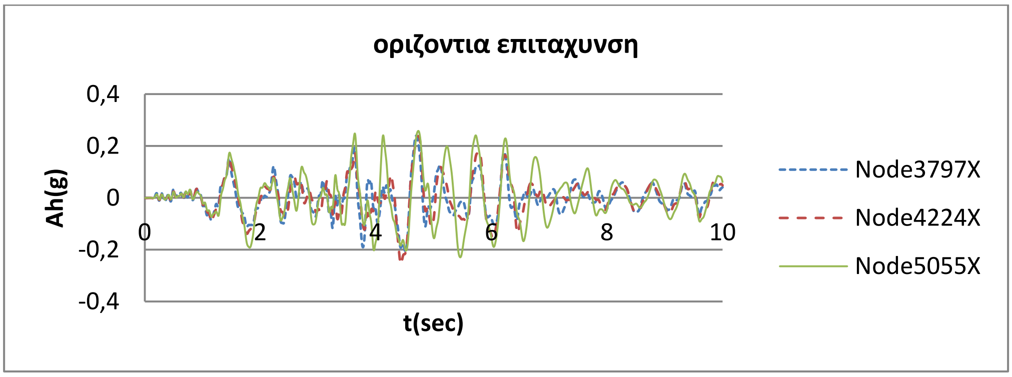


Σχήμα 4.18. Διακριτοποίηση και κόμβοι καταγραφών επιταχύνσεων δεύτερου προσομοιώματος ΧΥΤΑ

Τύπος Α 0.1g

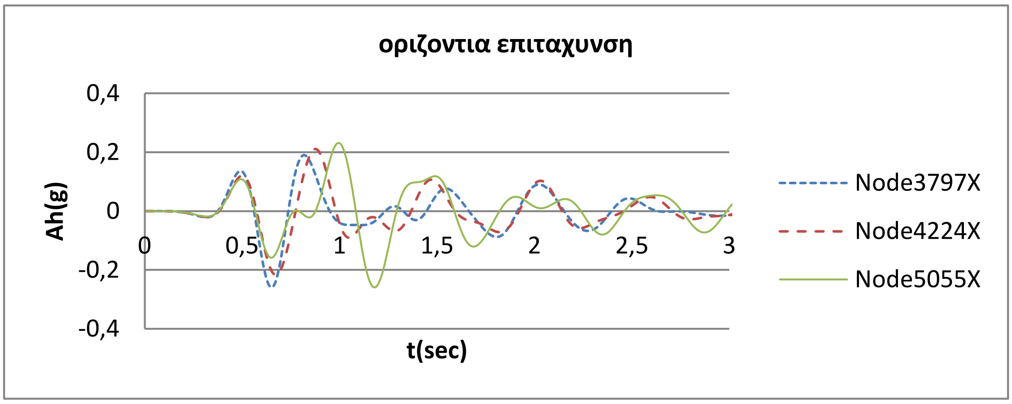


(α)



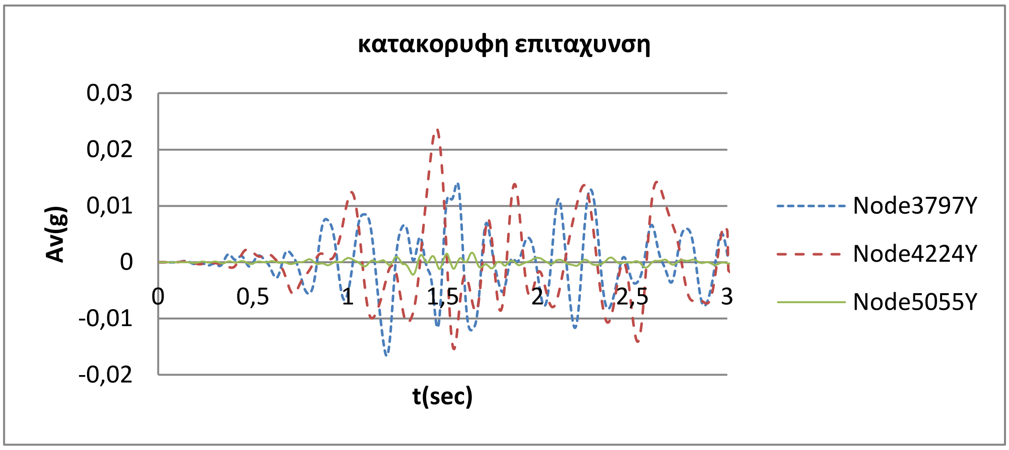
(β)

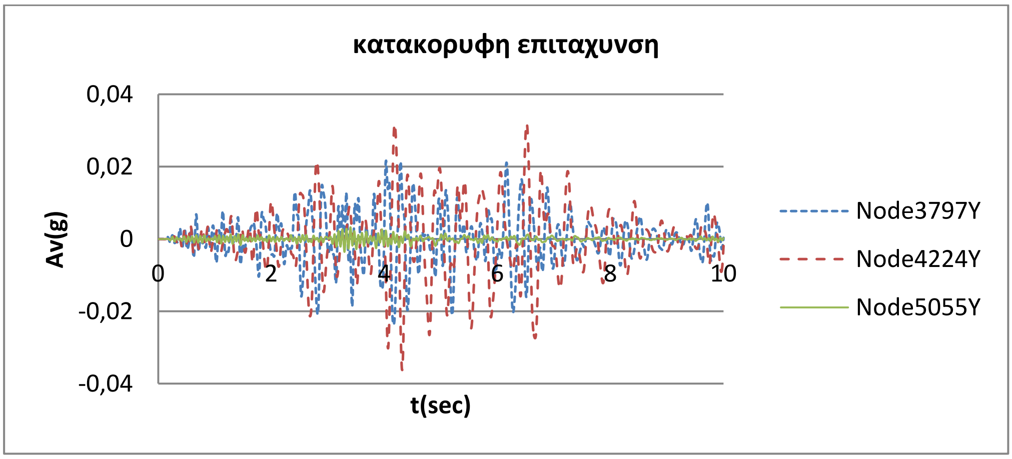
(γ)



Σχήμα 4.19 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

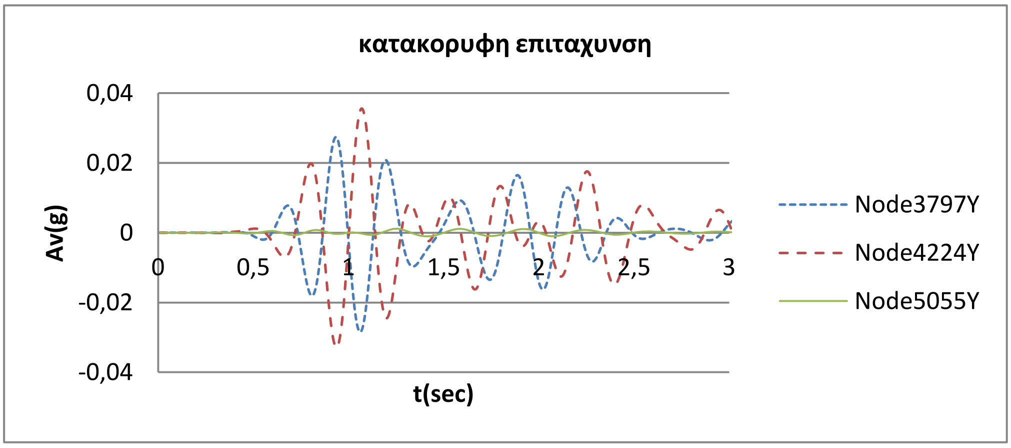
(α)





(β)

(γ)



Σχήμα 4.20 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Kobe: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 20% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

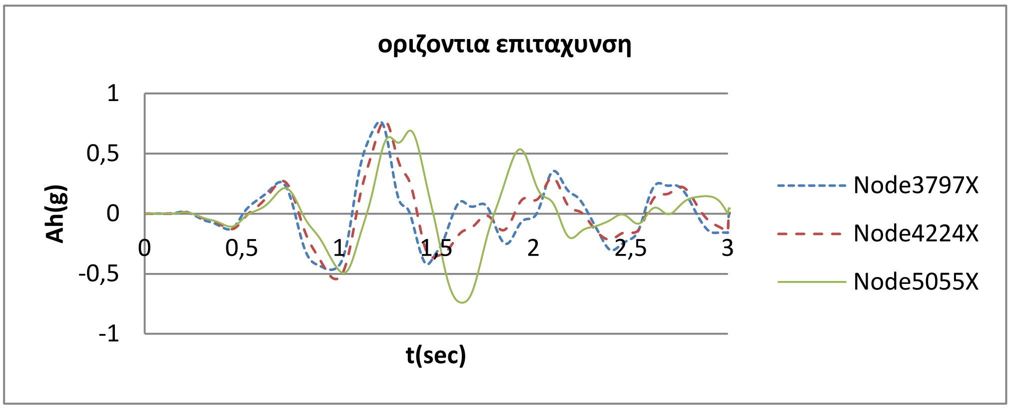
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 30% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

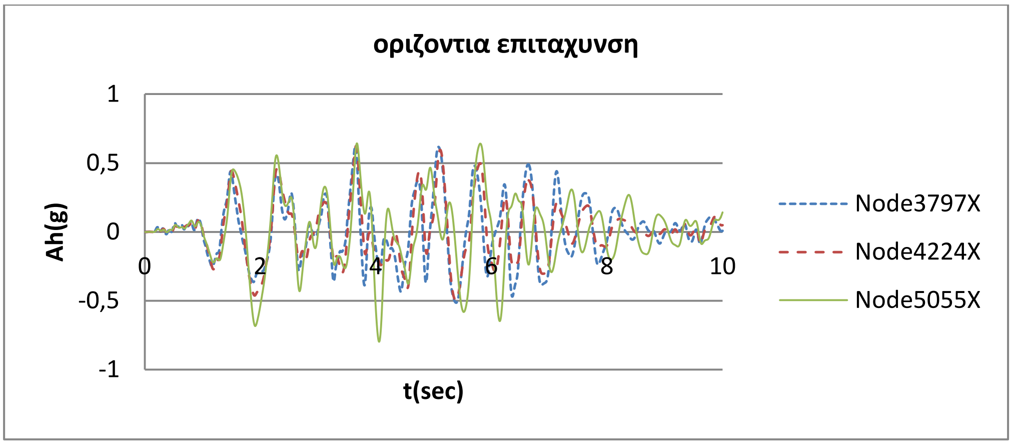
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 35% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5055 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

Τύπος Α 0.36g

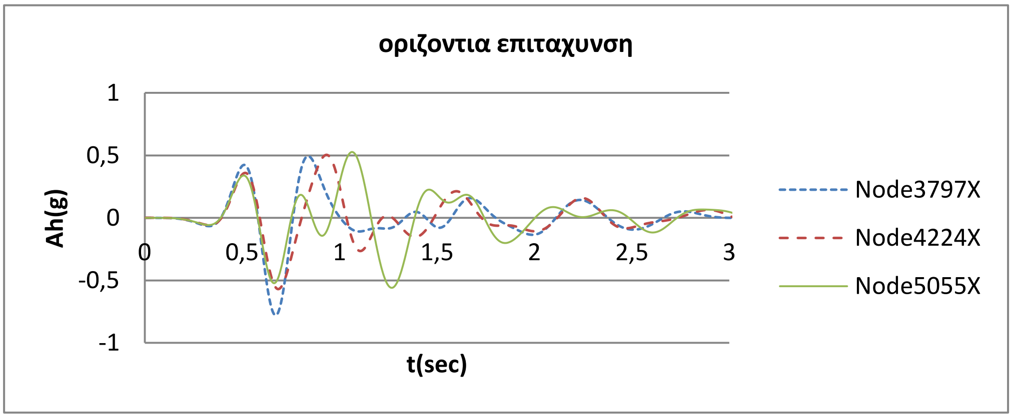
(α)





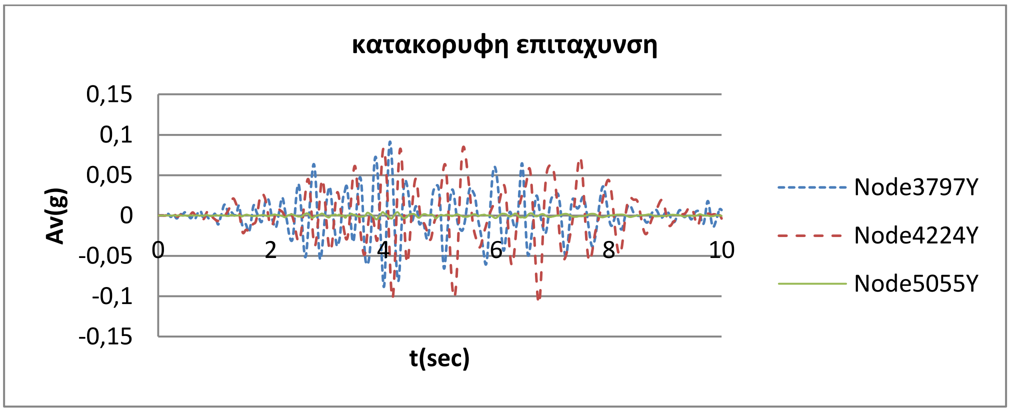
(β)

(γ)



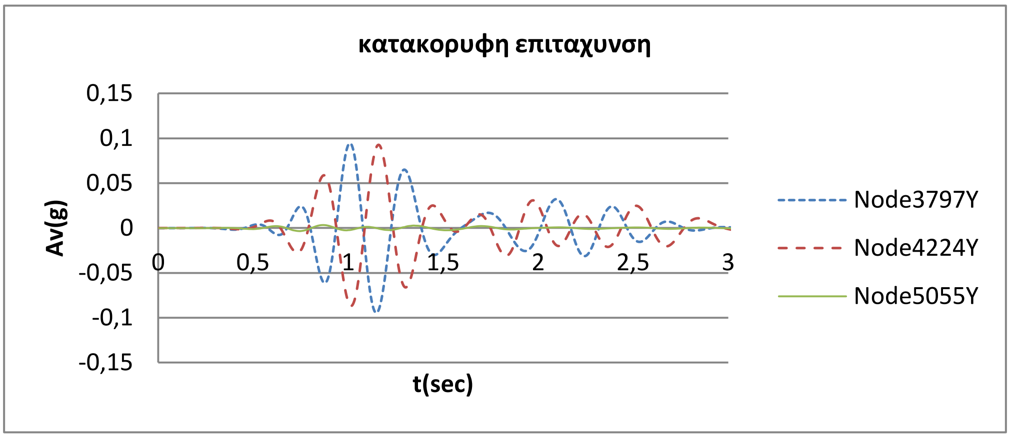
Σχήμα 4.21 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

(α)



(β)

(γ)



Σχήμα 4.22 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν 150%) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

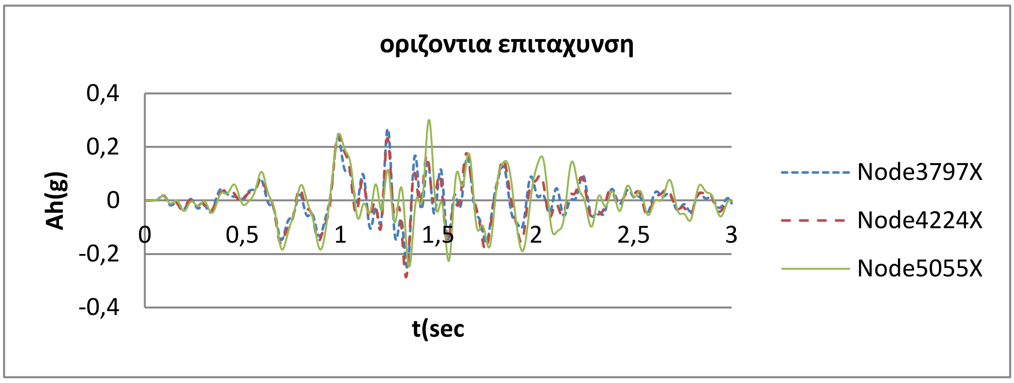
Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

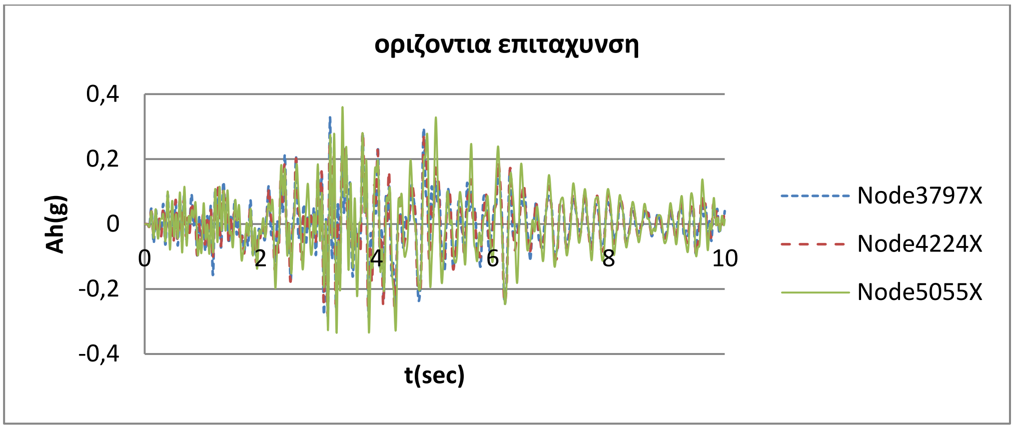
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 30% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 25% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 25% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5055 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

Τύπος Β 0.1g

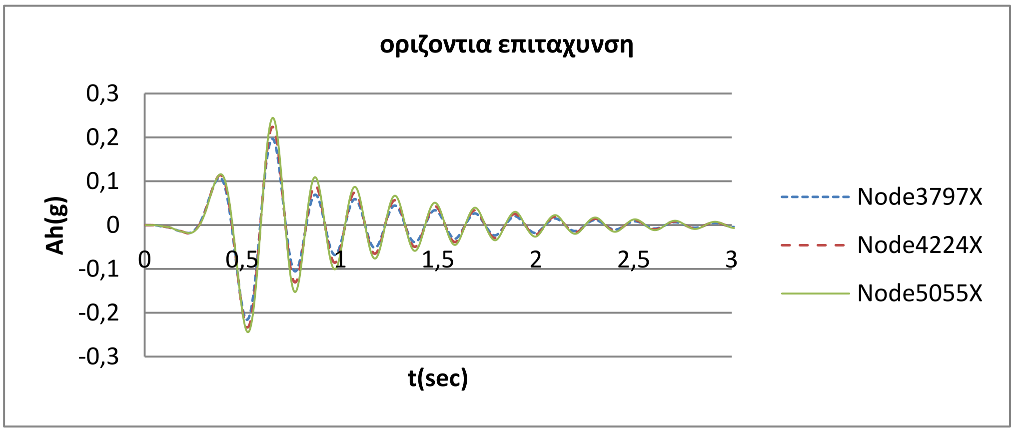
(α)



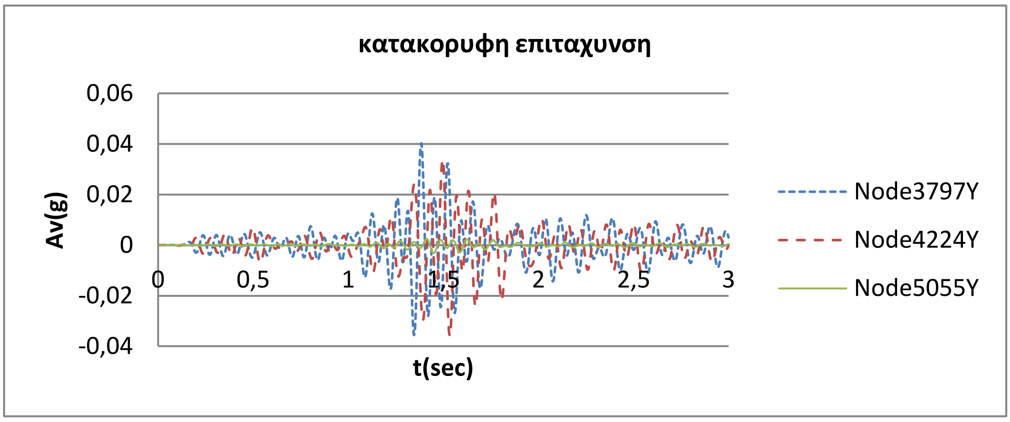


(β)

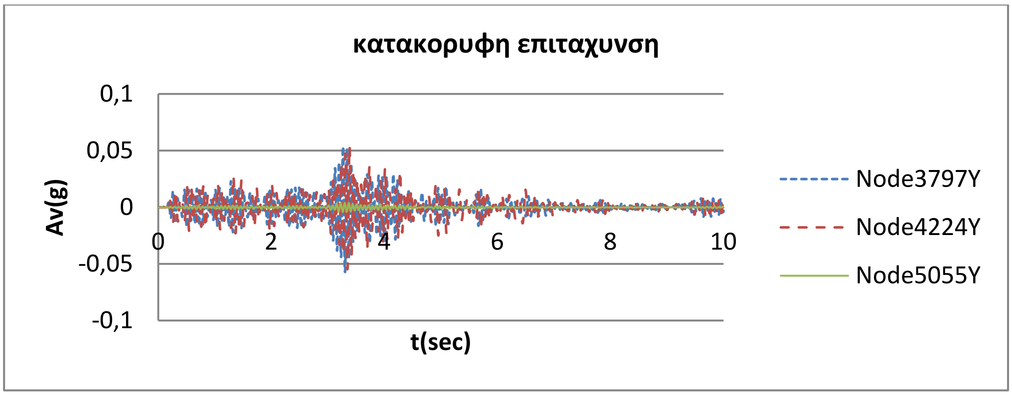
(γ)



Σχήμα 4.23 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

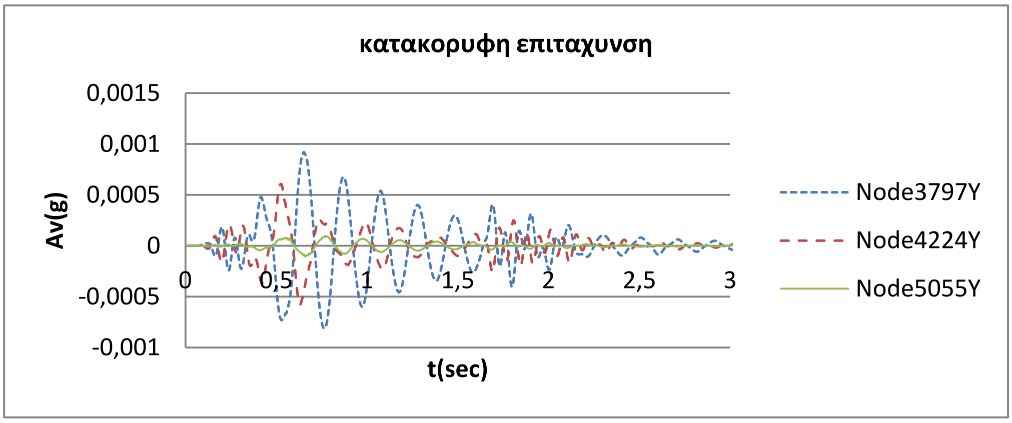


(α)



(β)

(γ)



Σχήμα 4.24 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στη δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

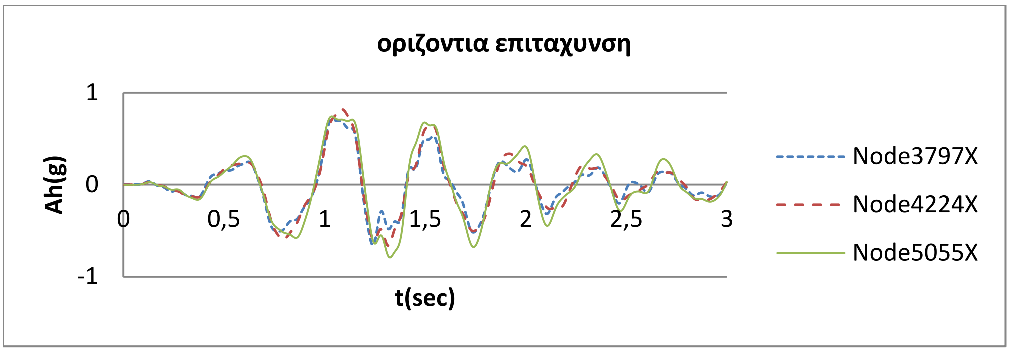
Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν 250%) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

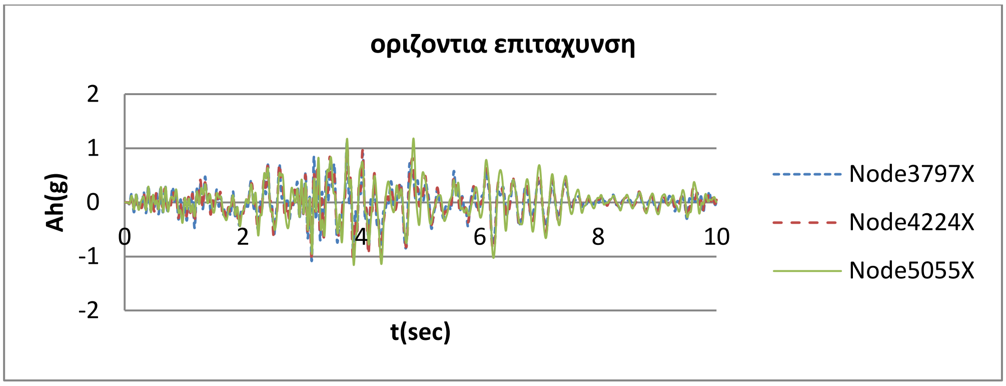
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 40% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 50% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 10% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5055 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

Τύπος Β 0.36g

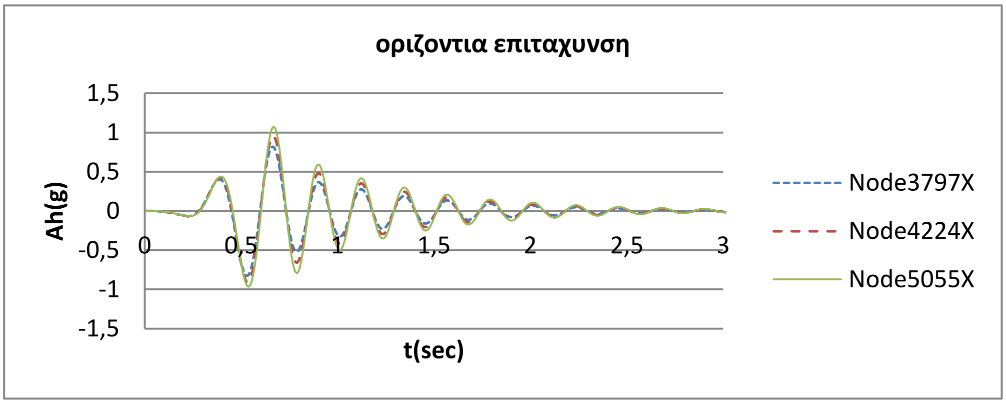


(α)



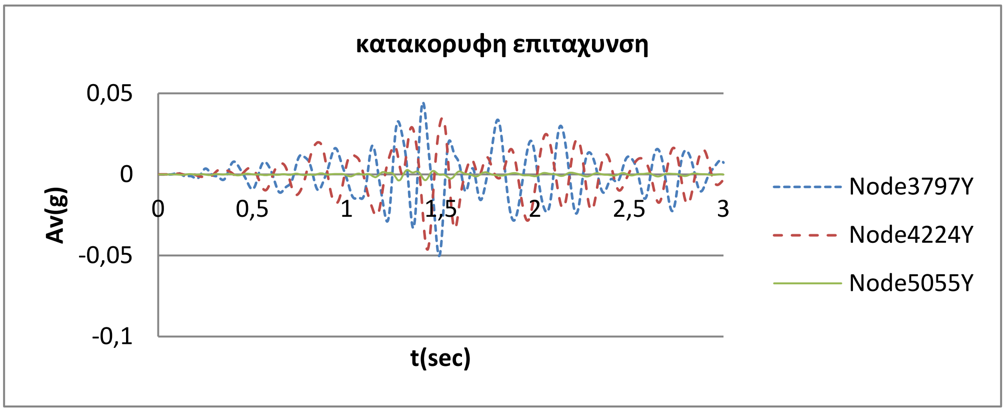
(β)

(γ)

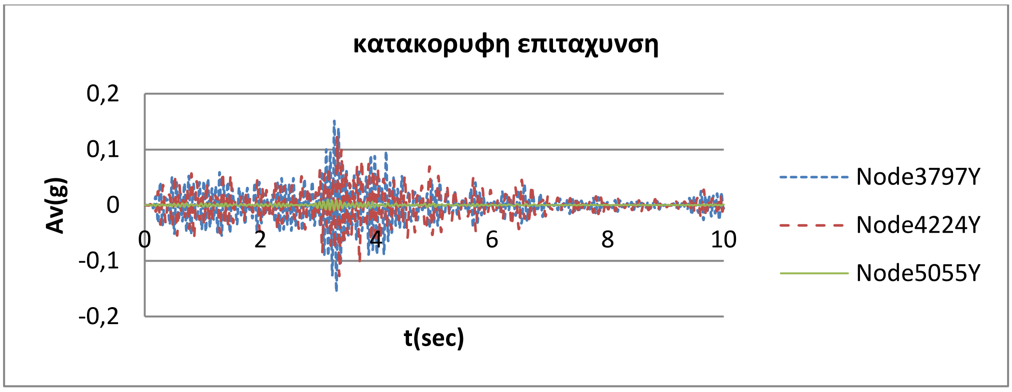


Σχήμα 4.25 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

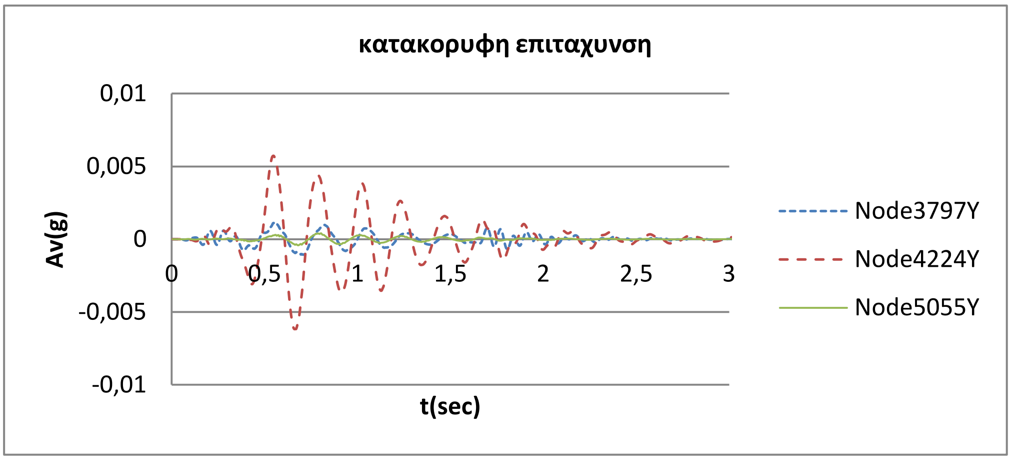
(α)



(β)



(γ)



Σχήμα 4.26 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στη δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

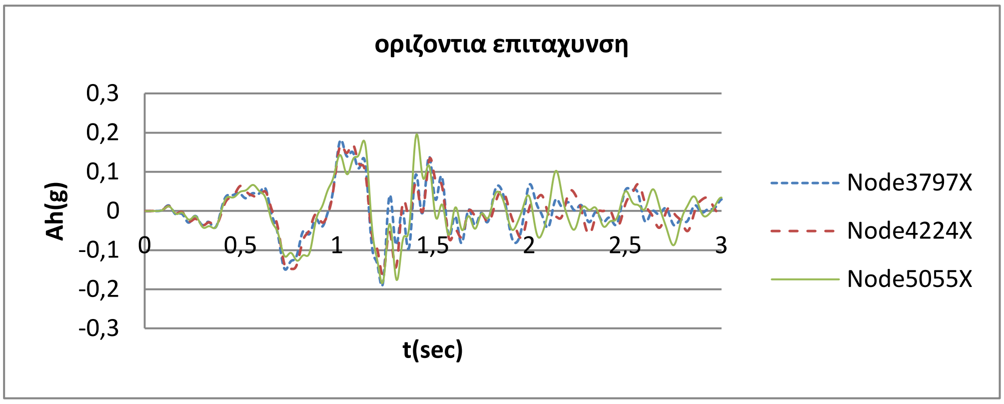
<u>Αίγιο:</u> ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
<u>Kobe:</u> ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τετραπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
<u>Ricker:</u>. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν πενταπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

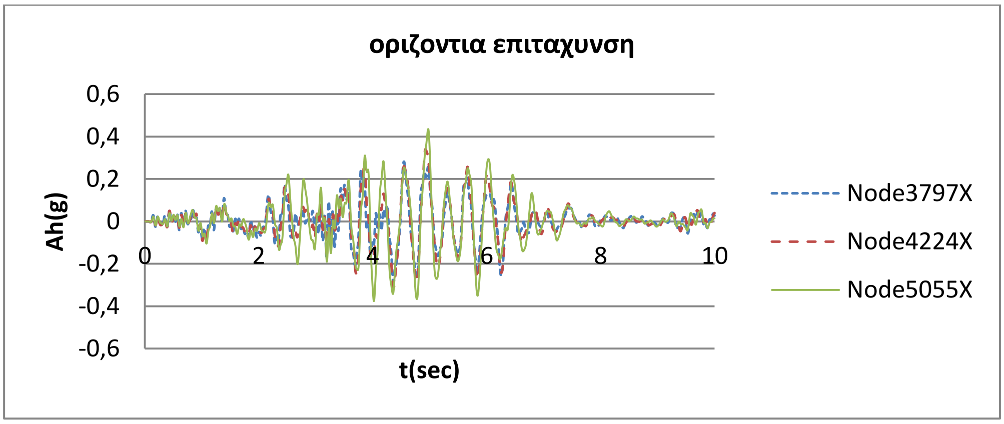
<u>Αίγιο:</u> ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 15% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
<u>Kobe:</u> ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 35% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
<u>Ricker:</u> ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 1,5% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5055 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

Τύπος C 0.1g

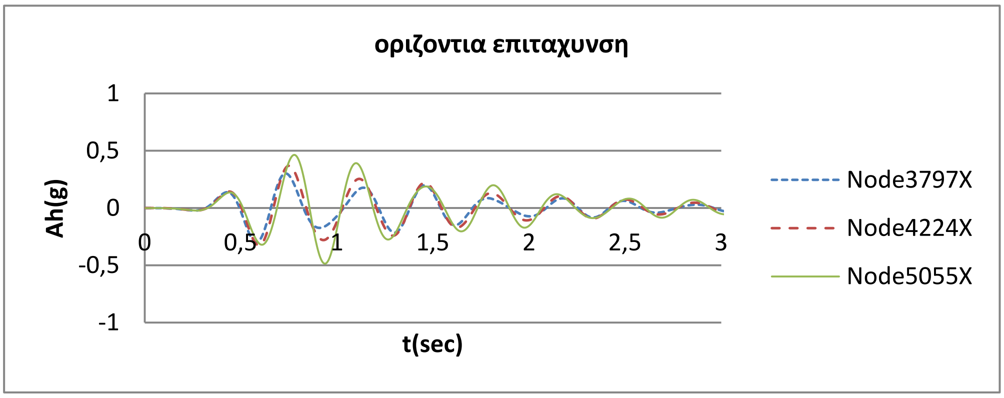


(α)



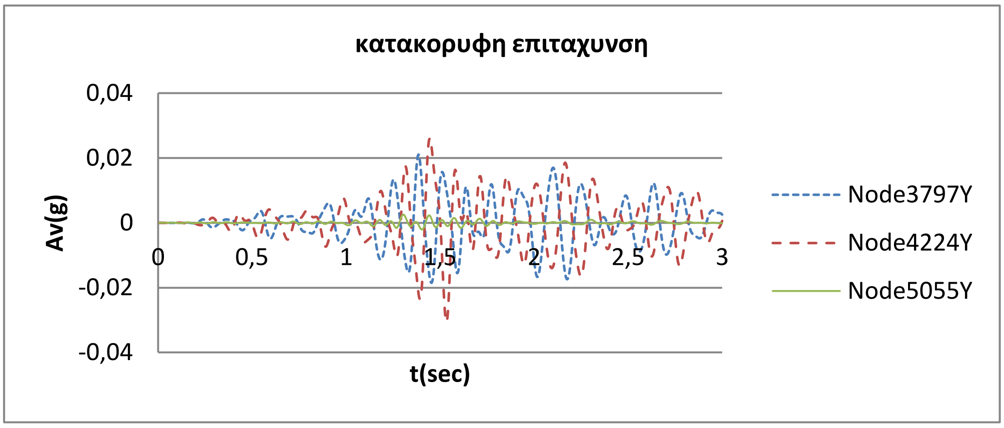
(β)

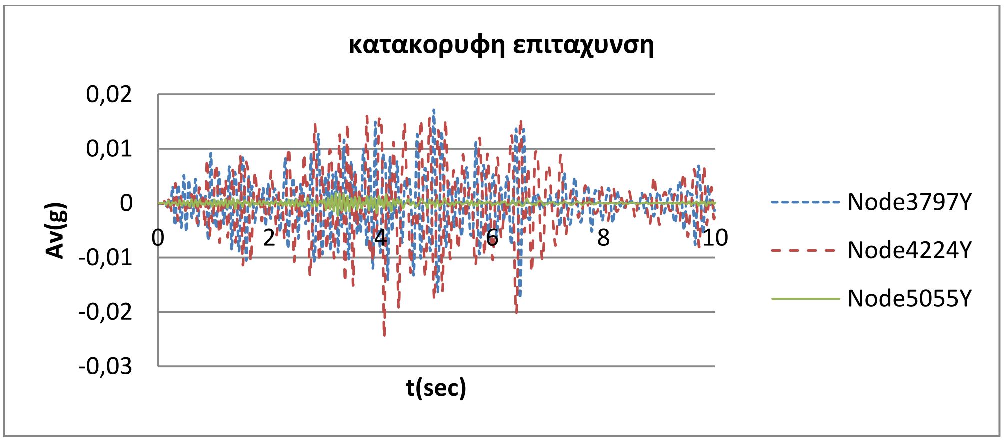
(γ)



Σχήμα 4.27 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

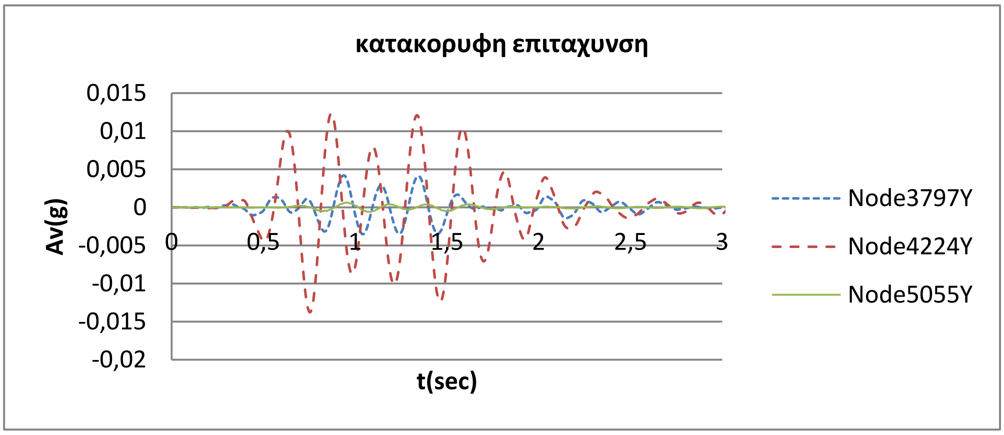
(α)





(β)

(γ)



Σχήμα 4.28 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

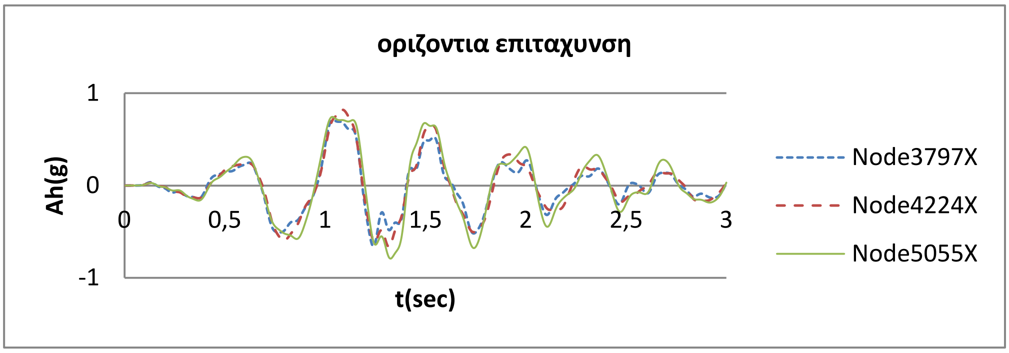
Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τετραπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν πενταπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

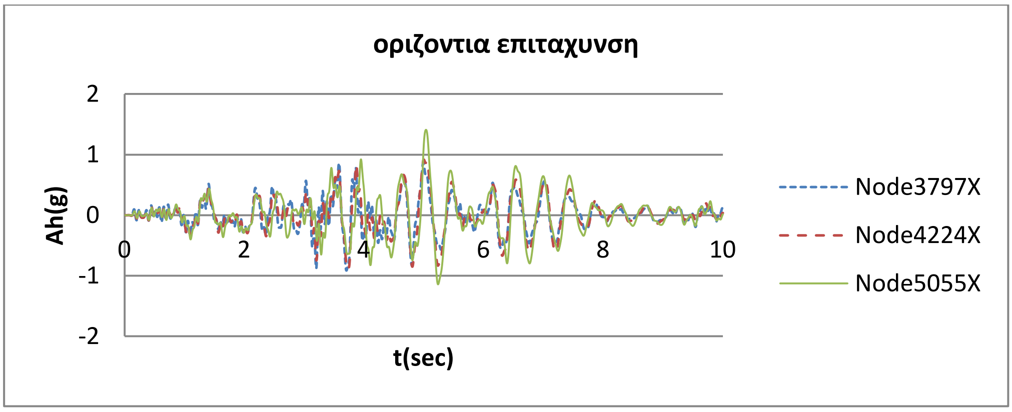
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 25% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 15% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker: ανάπτυξη μικρότερων επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 12% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5055 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

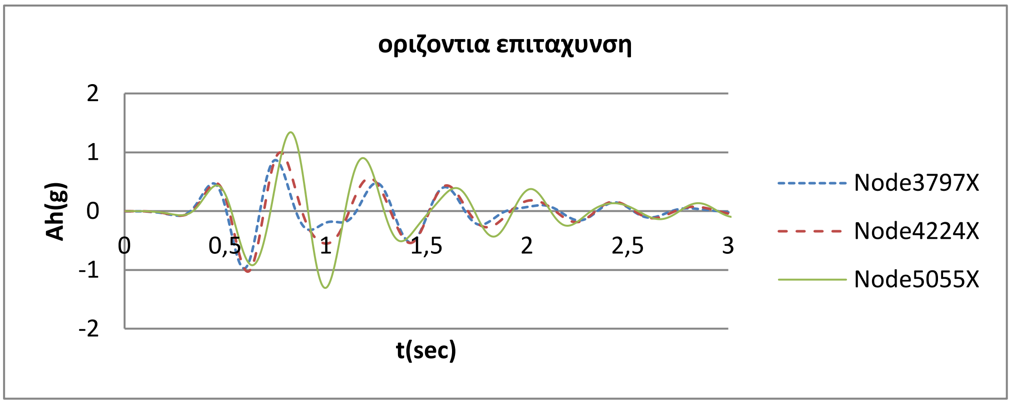
Τύπος C 0.36g



(α)

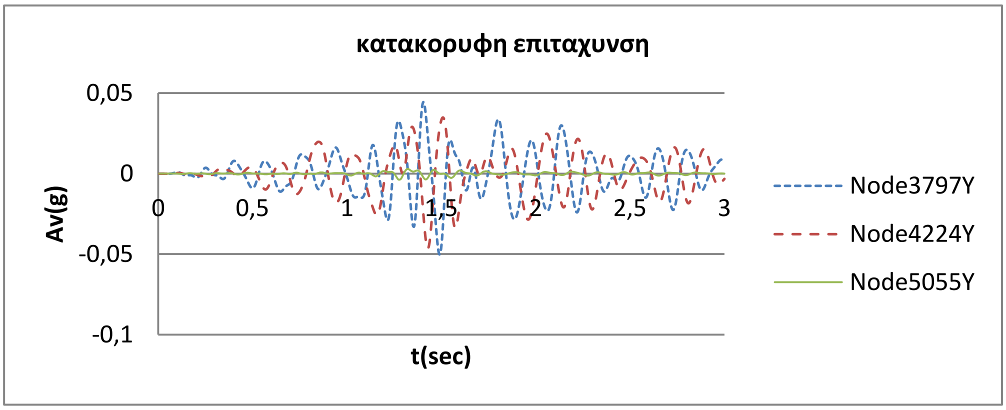


(β)

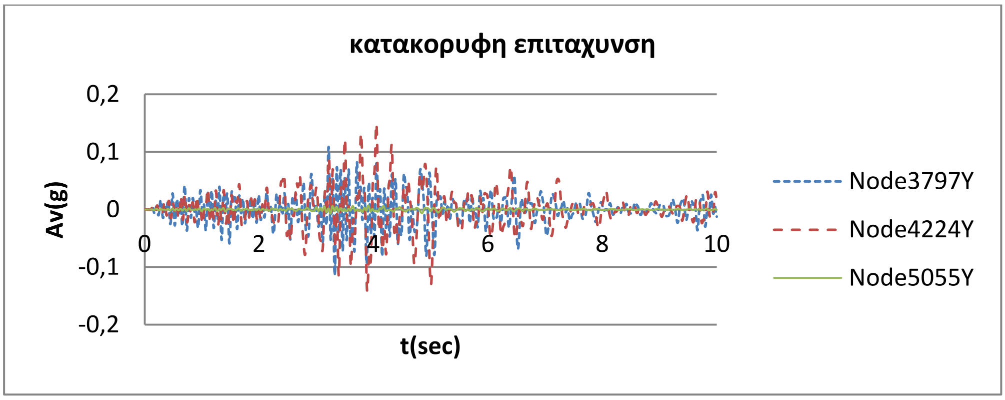


(γ)

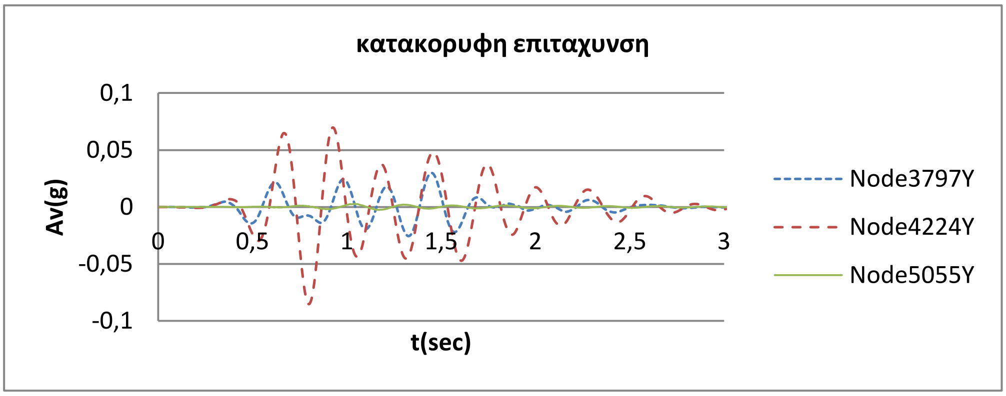
Σχήμα 4.29 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 4.30 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (πάνω από διπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (σχεδόν τριπλάσιων) από εκείνη της διέγερσης βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

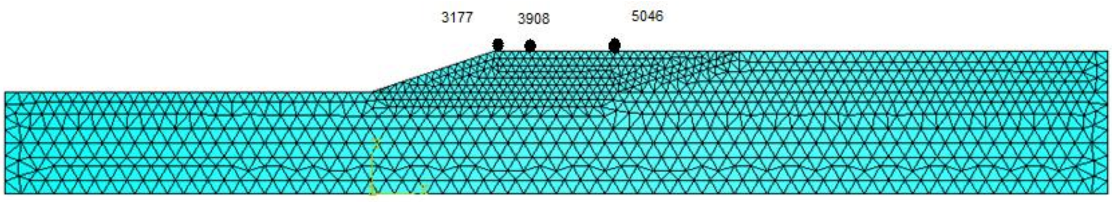
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο στο 1.5 sec, περίπου στο μέσο της διέγερσης, περίπου στο 15% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 35% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων στους κόμβους 3797 και 4224 οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 20% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι στους κόμβους 3797 και 4224 οι επιταχύνσεις είναι λίγο διαφοροποιημένες σε τιμές και έχουν μικρή διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι στον κόμβο βάσης 5055 του ΧΥΤΑ έχουμε μικρές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

4.4.3 Αποτελέσματα τρίτου προσομοιώματος

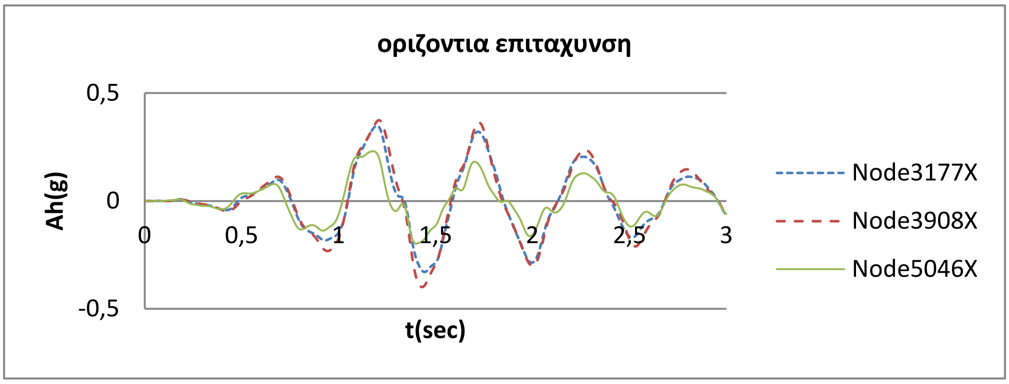
Τέλος, εξετάζουμε το τρίτο προσομοίωμα του Σχήματος 4.1. Η γεωμετρία αυτή αφορά ένα ΧΥΤΑ μεγαλύτερης πλευρικής απόθεσης. Οι κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή των χρονοϊστοριών των επιταχύνσεων στη γεωμετρία αυτή είναι οι: 3177, 3908 και 5046, που όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.31, αντιστοιχούν στη γωνία, σε και δύο ενδιάμεσα σημεία της στέψης του ΧΥΤΑ. Ο μεσαίος ουσιαστικά ισοδυναμεί με την ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μονοδιάστατη ανάλυση, ενώ οι άλλοι δύο είναι για να αναδείξουν τη διαφοροποίηση λόγω της δισδιάστατης τοπογραφίας του ΧΥΤΑ.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και για τους τρεις διαφορετικούς τύπους υλικού (**Τύπος Α, Β, C**), καθώς και για τα δυο διαφορετικά επίπεδα επιταχύνσεων (0.1g, 0.36g). Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν παρουσιάζονται κατά σειρά τα αποτελέσματα από την εφαρμογή (υπό την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του μοντέλου) των χρονοϊστοριών από το σεισμό του Αιγίου, το σεισμό του Kobe και τέλος για τον παλμό Ricker.

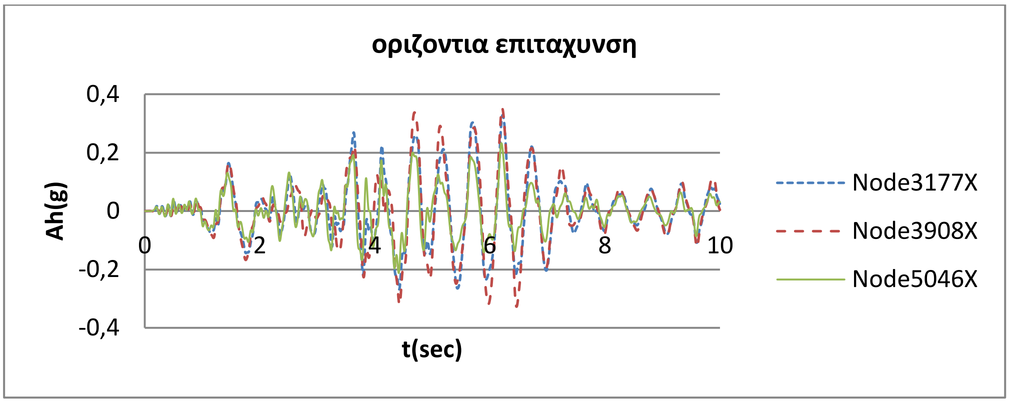


Σχήμα 4.31. Διακριτοποίηση και κόμβοι καταγραφών επιταχύνσεων τρίτου προσομοιώματος ΧΥΤΑ

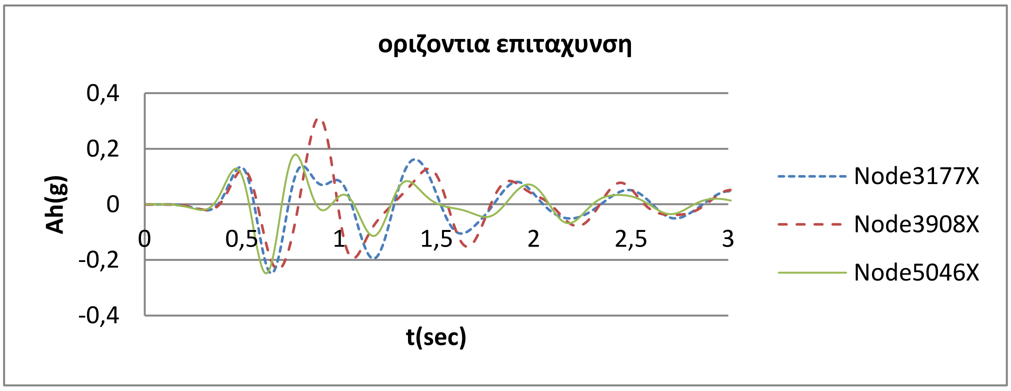
Τύπος Α 0.1g



(α)

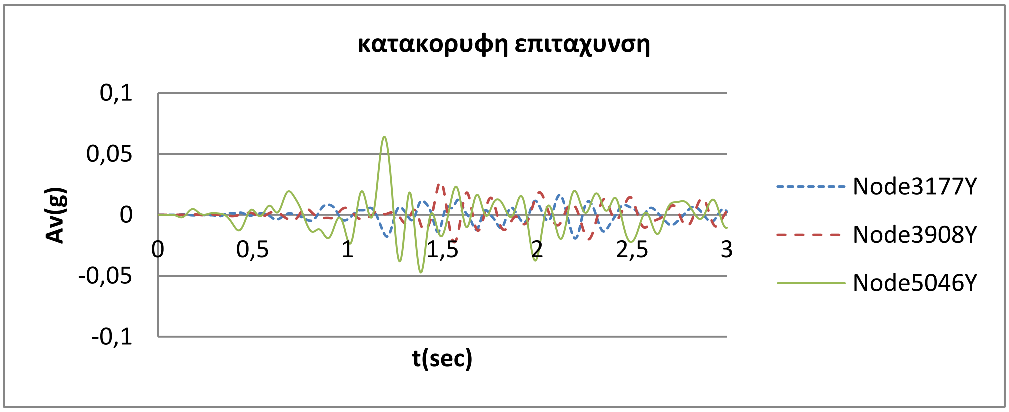


(β)

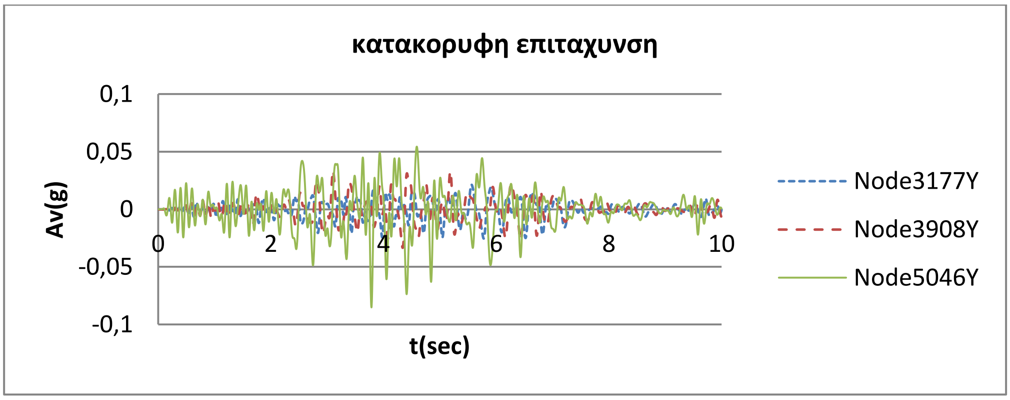


(γ)

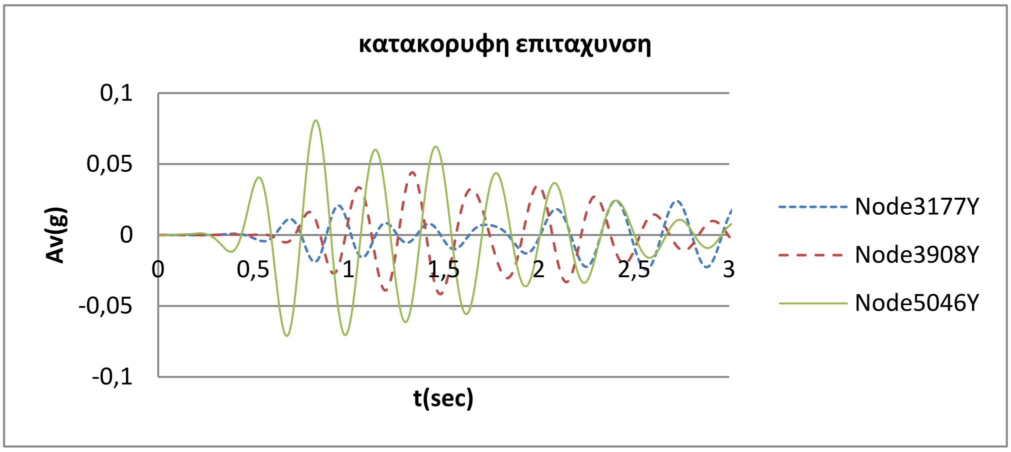
Σχήμα 4. 32 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 4.33 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

<u>Αίγιο:</u> ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου τετραπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες στην ελεύθερη άκρη και στο μέσον σε σχέση με το εσωτερικό σημείο σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

<u>Kobe</u> ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου τριπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

<u>Ricker:</u>. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (μεγαλύτερων από τριπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

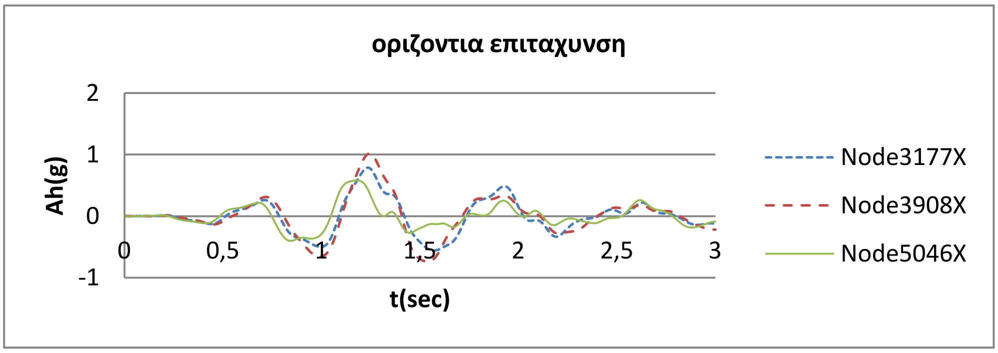
<u>Αίγιο:</u> ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 65% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

<u>Kobe:</u> ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 50% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

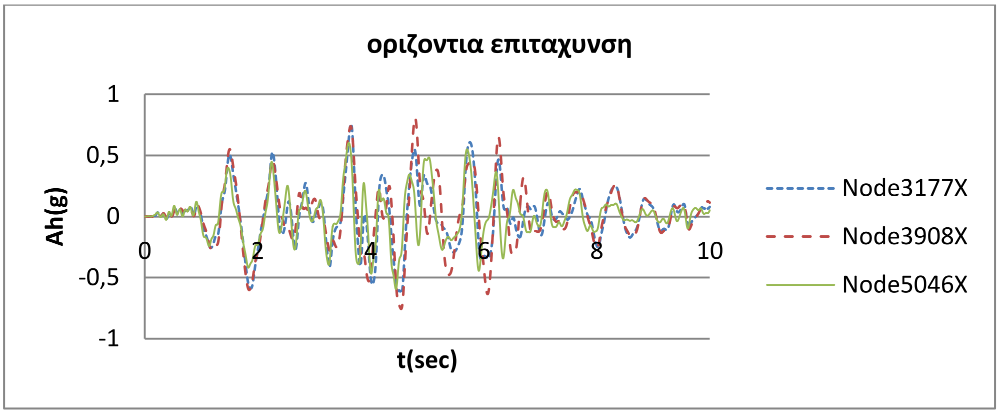
<u>Ricker:</u> ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 75% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

Υπενθυμίζεται ότι η διέγερση επιβάλλεται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του προσομοιώματος.

Τύπος Α 0.36g

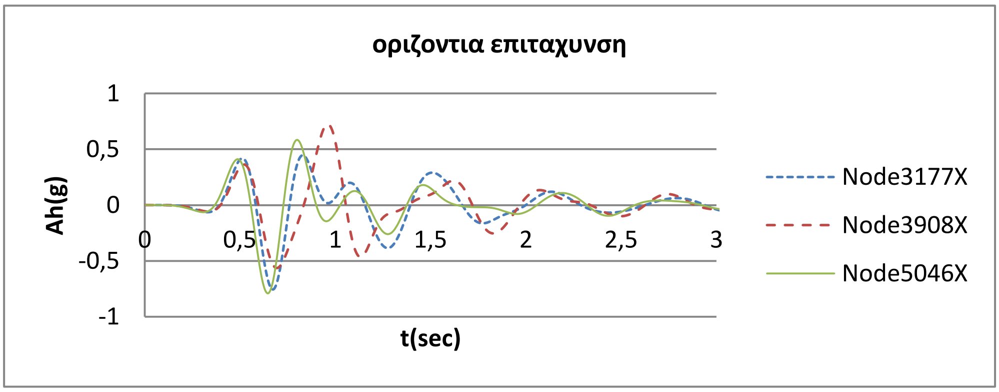


(α)



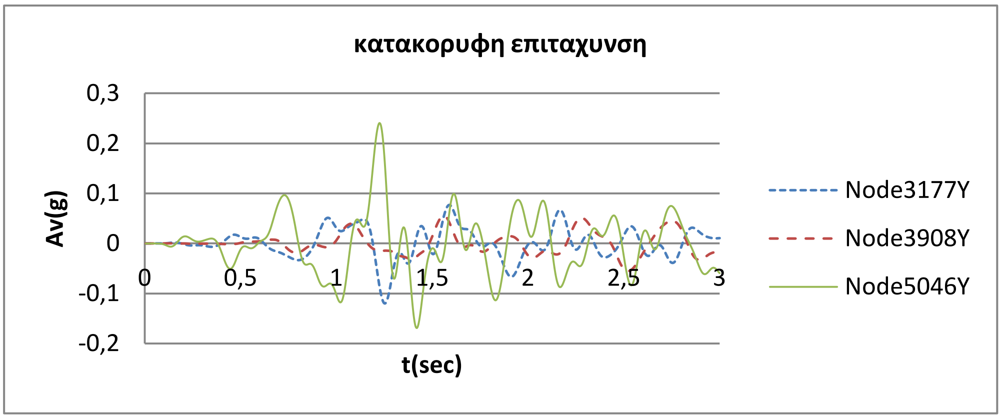
(β)

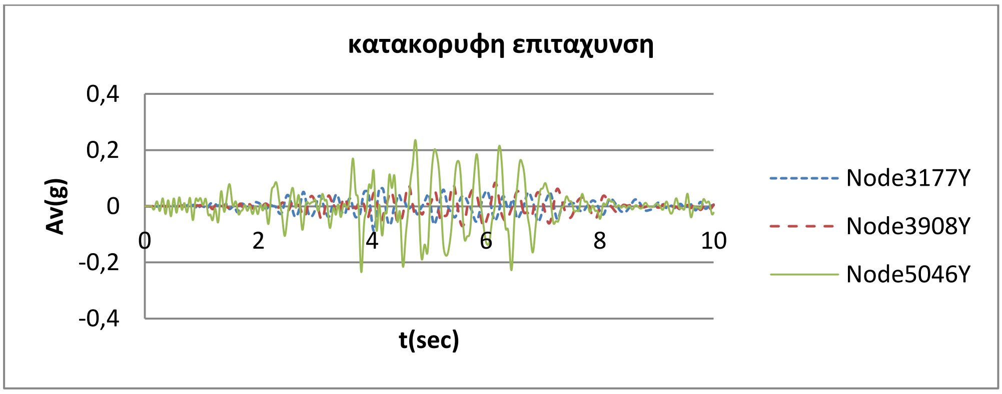
(γ)



Σχήμα 4. 34 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

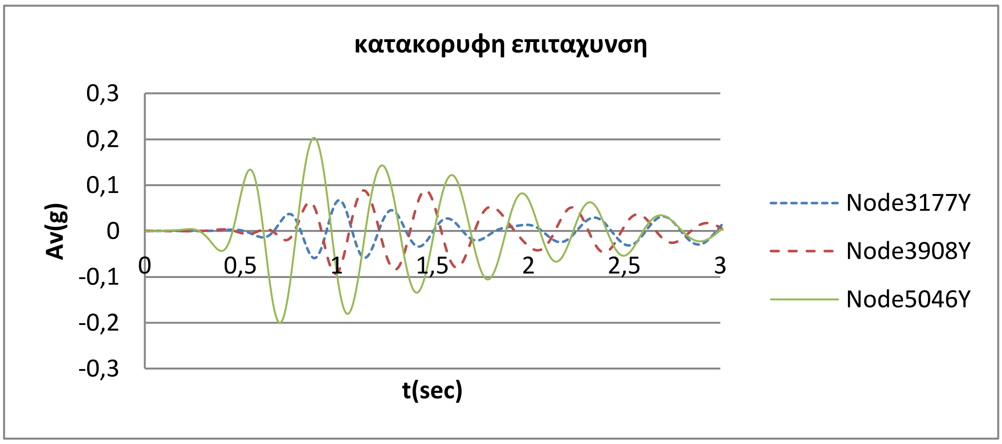
(α)





(β)

(γ)



Σχήμα 4.35 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

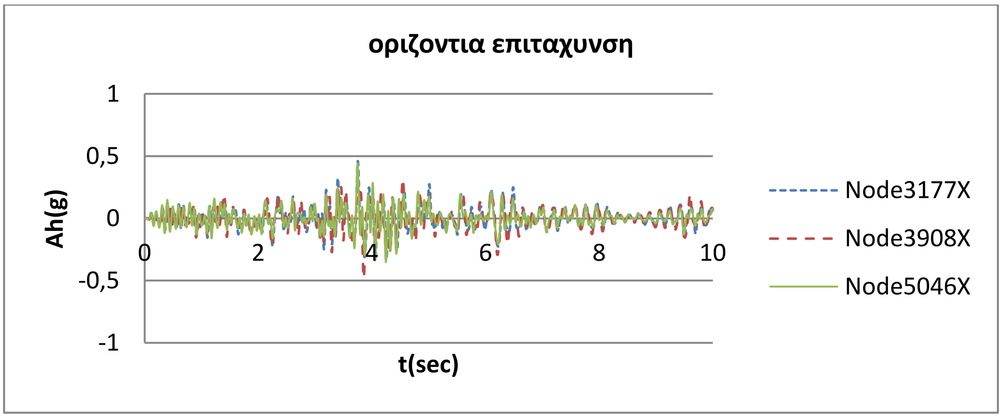
Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου τριπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες στην ελεύθερη άκρη και στο μέσον σε σχέση με το εσωτερικό σημείο σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.
Kobe ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου διπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.
Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 60% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 55% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.
Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 50% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

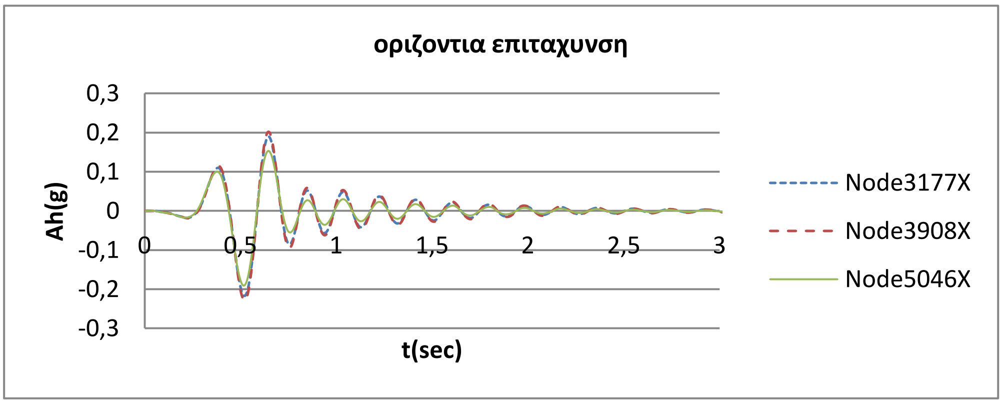
Τύπος Β 0.1g

(α)

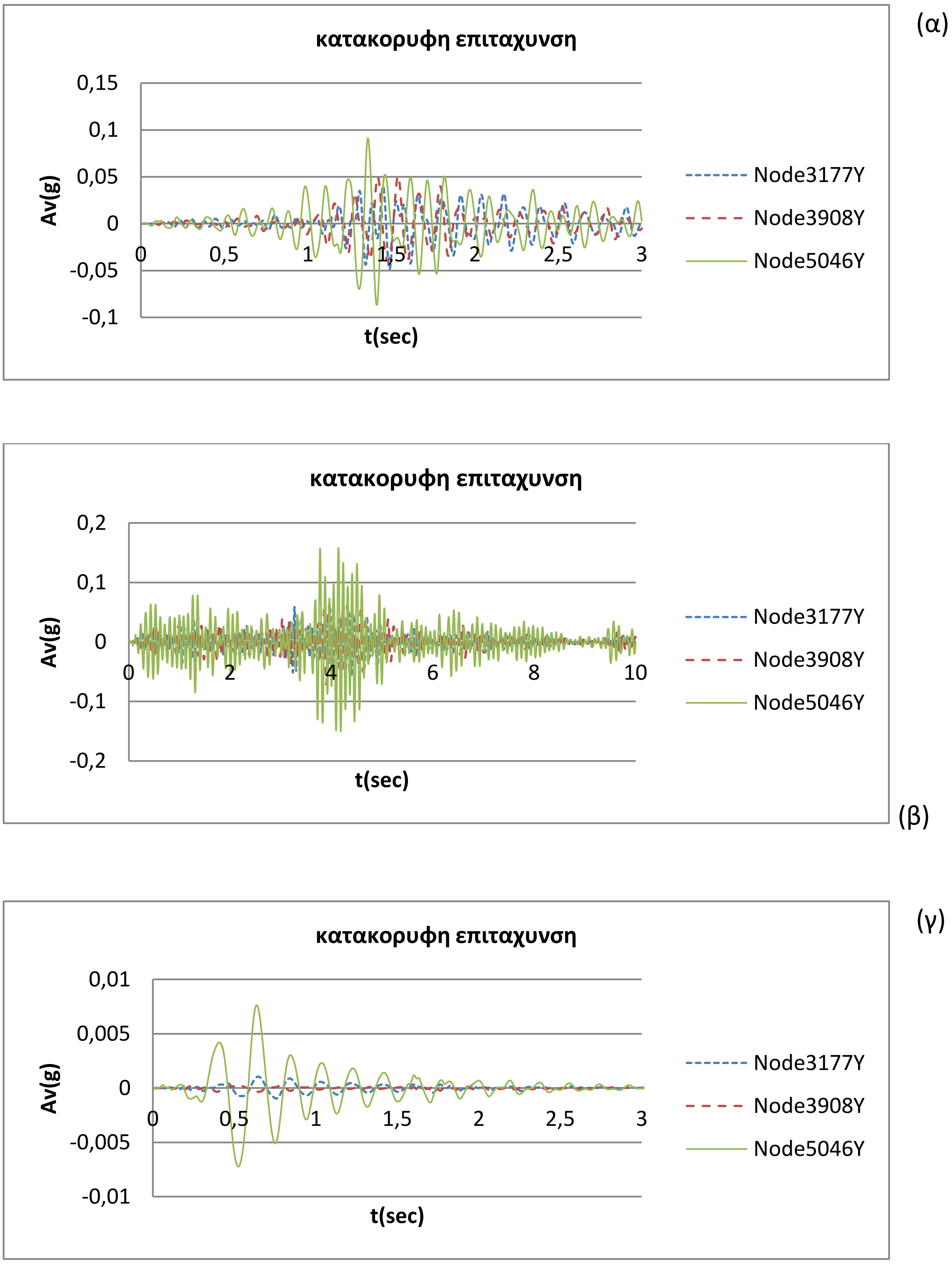


(β)

(γ)



Σχήμα 4.36 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.



Σχήμα 4.37 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στη δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου τριπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες στην ελεύθερη άκρη και στο μέσον σε σχέση με το εσωτερικό σημείο σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Kobe ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου πενταπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

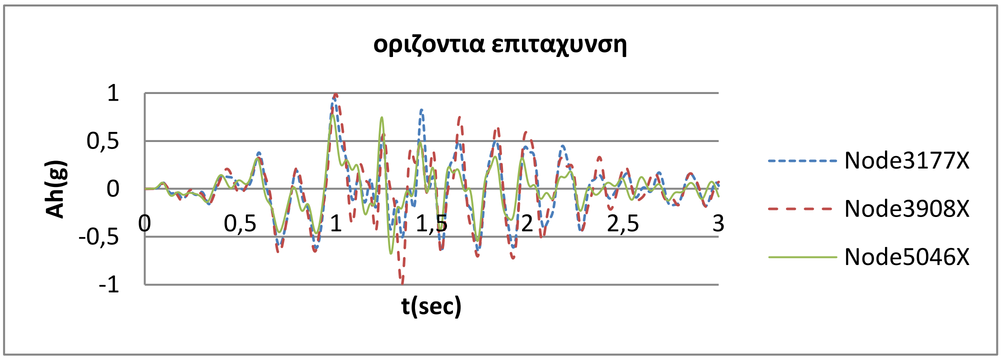
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 90% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

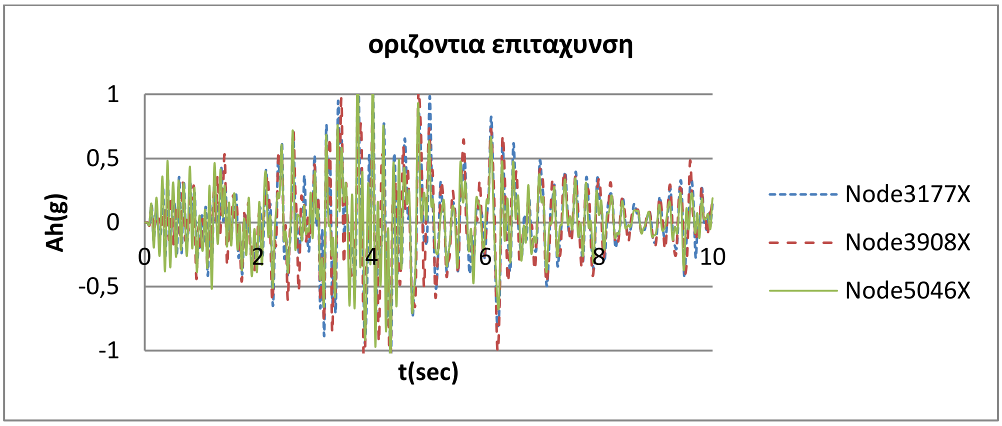
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 150% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 5% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης

Τύπος Β 0.36g

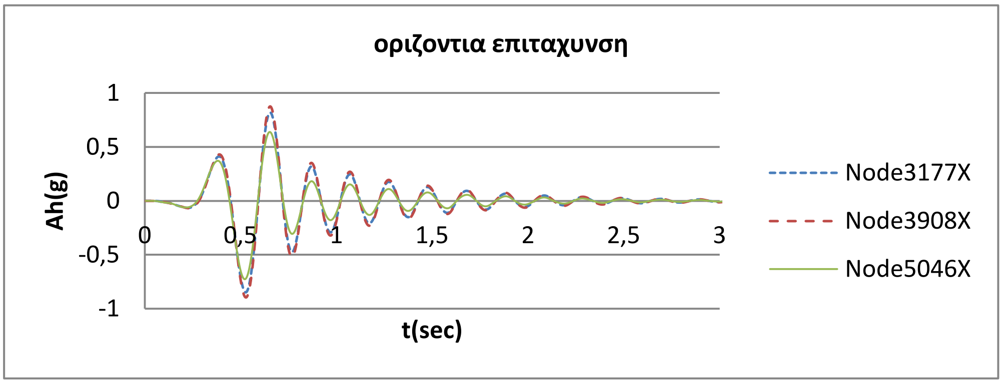
(α)



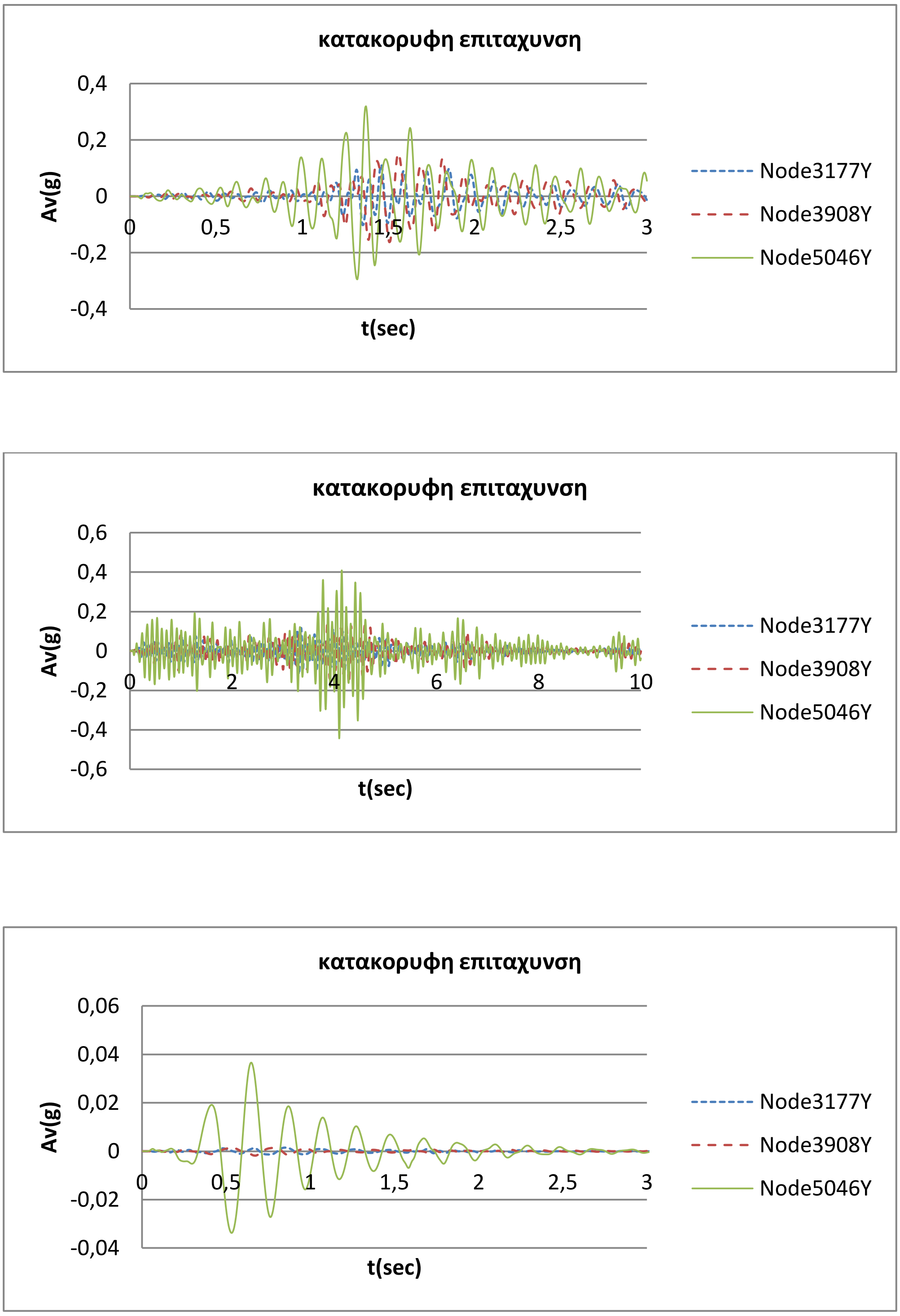


(β)

(γ)



Σχήμα 4.38 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.



Σχήμα 4.39 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στη δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου τριπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες στην ελεύθερη άκρη και στο μέσον σε σχέση με το εσωτερικό σημείο σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Kobe ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου πενταπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (σχεδόν διπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

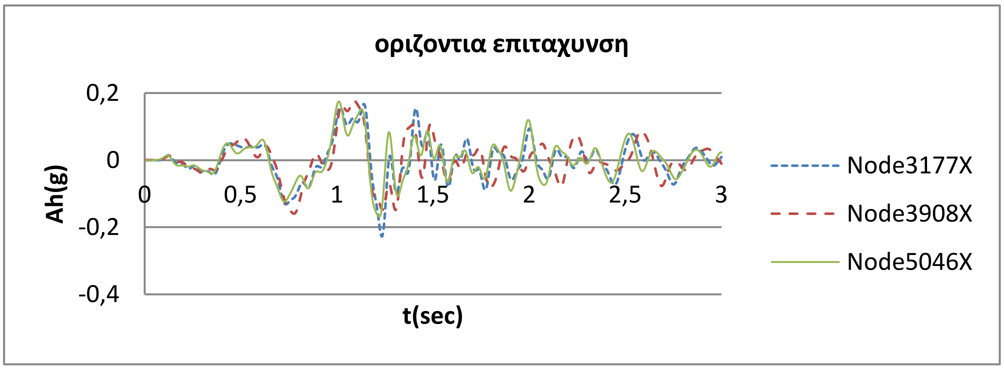
Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 90% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

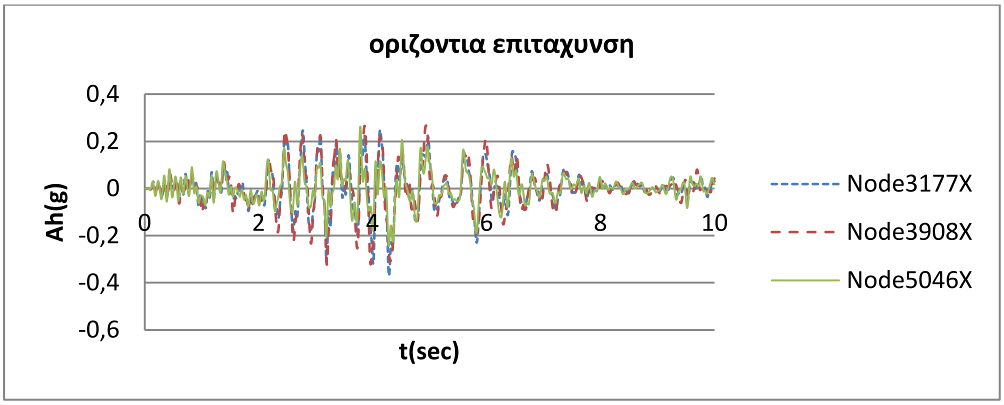
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 150% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 5% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

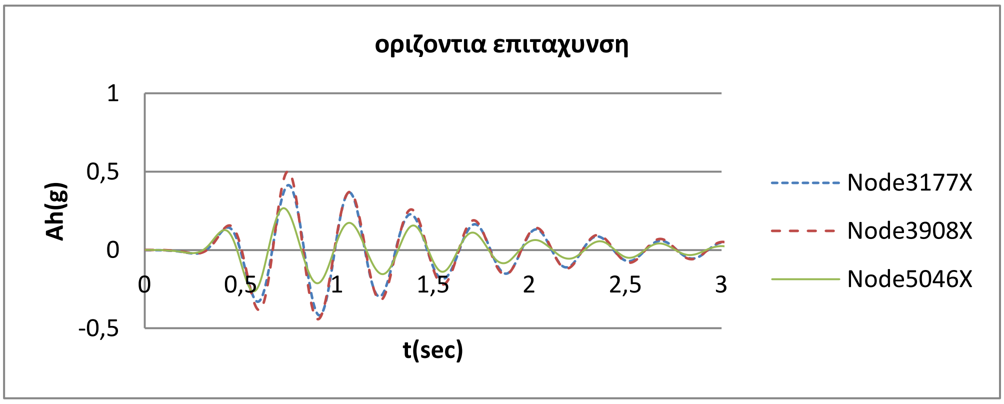
Τύπος C 0.1g



(α)



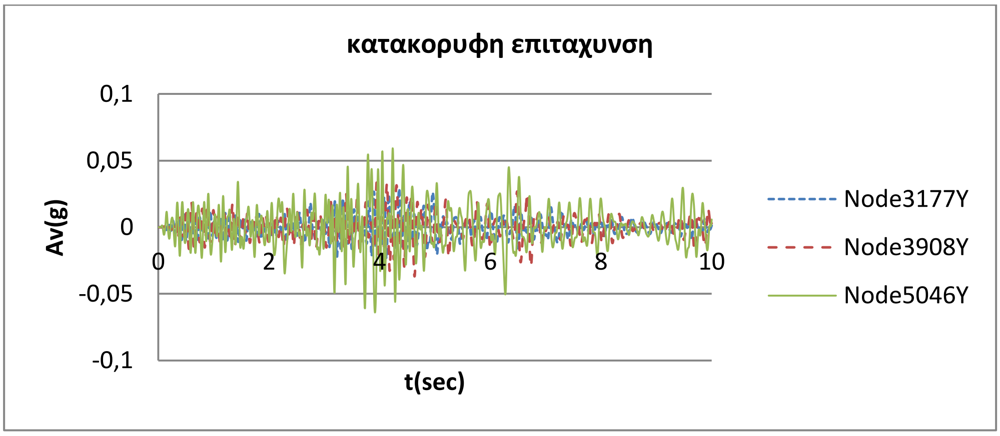
(β)



(γ)

Σχήμα 4.40 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

(α)



(β)

(γ)

Σχήμα 4.41 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου διπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες στην ελεύθερη άκρη και στο μέσον σε σχέση με το εσωτερικό σημείο σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Kobe ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (πάνω από διπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (πενταπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

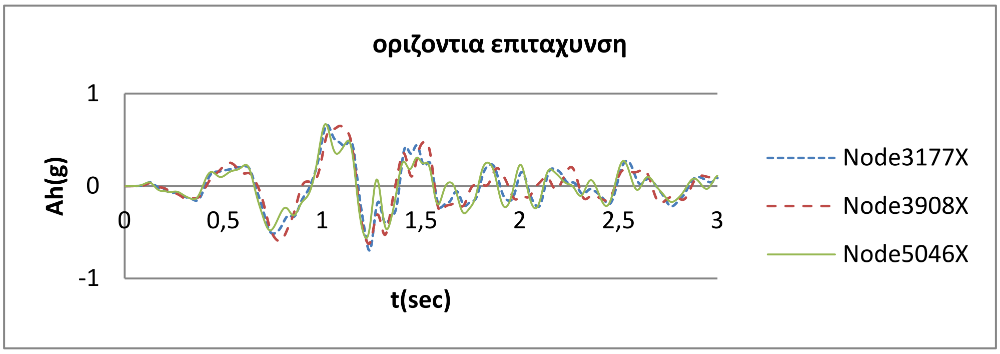
Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 40% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

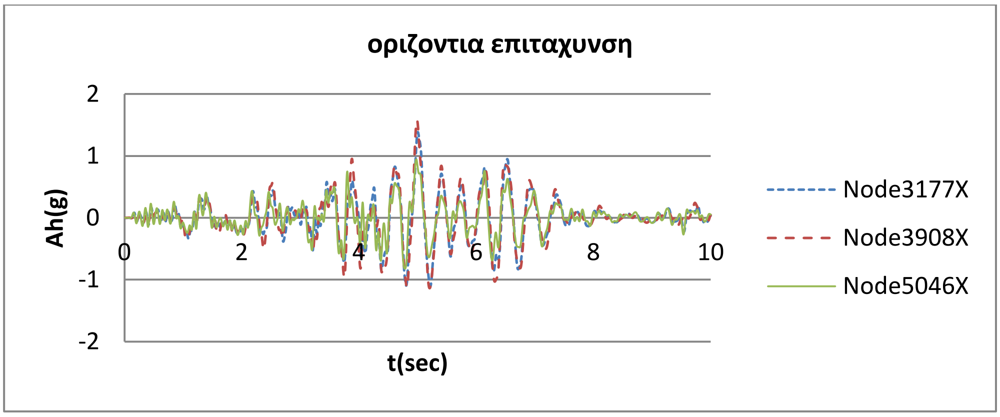
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 70% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 35% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

Τύπος C 0.36g

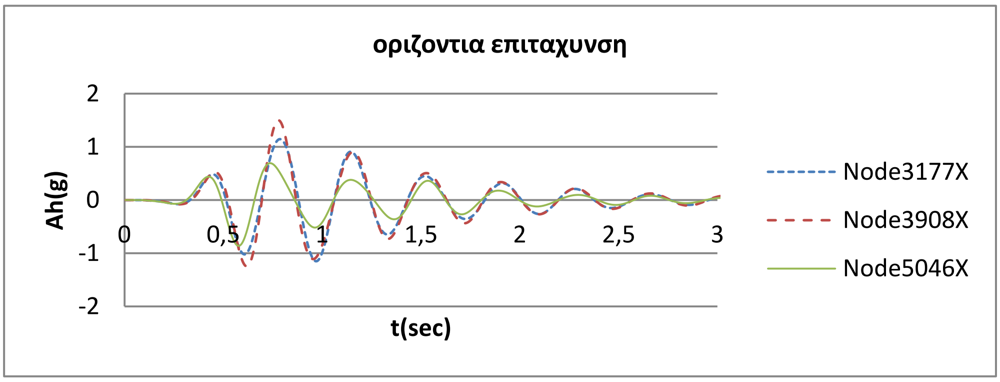
(α)





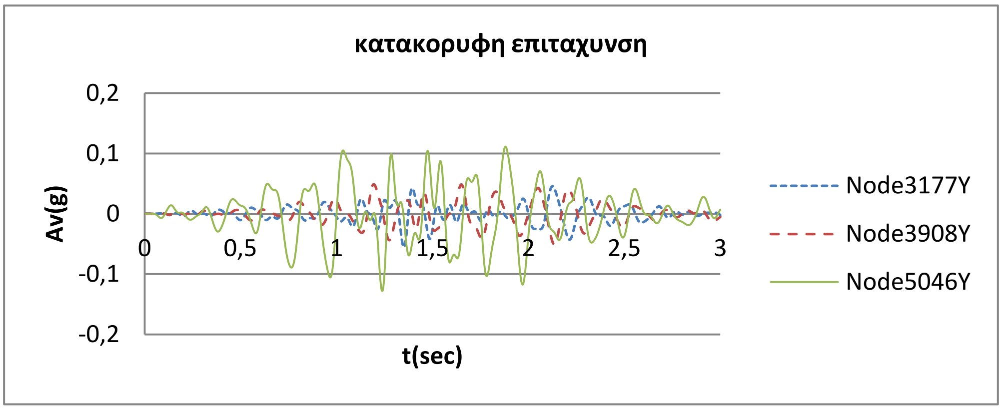
(β)

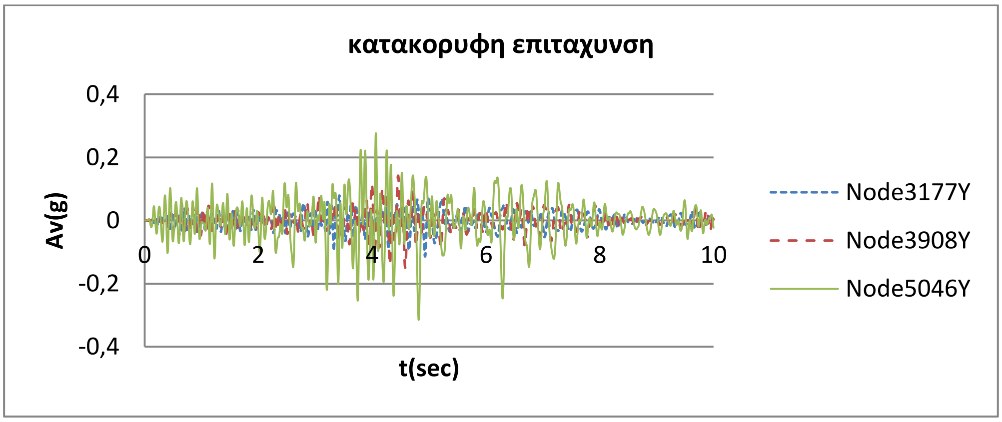
(γ)



Σχήμα 4.42 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

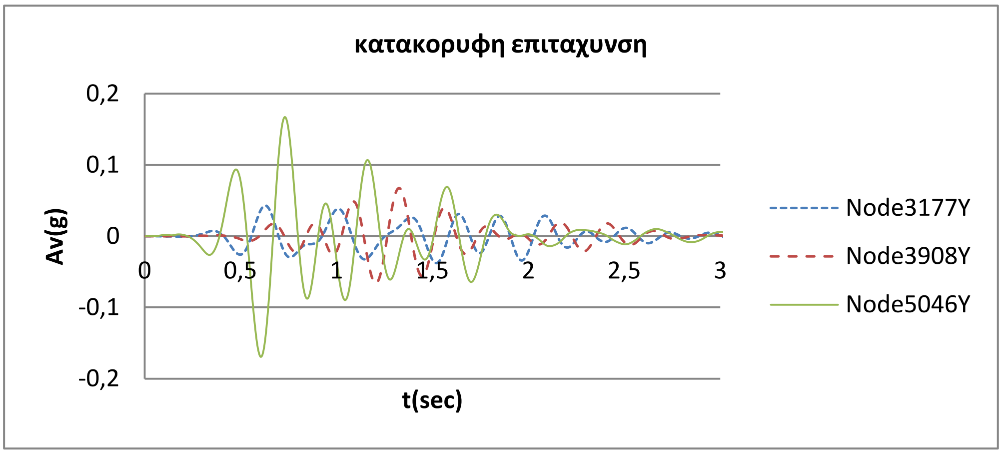
(α)





(β)

(γ)



Σχήμα 4.43 Χρονοϊστορίες κατακόρυφης επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (περίπου διπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες στην ελεύθερη άκρη και στο μέσον σε σχέση με το εσωτερικό σημείο σε τιμές και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Kobe ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (πάνω από τριπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Ricker:. ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων στους κόμβους στη στέψη (σχεδόν τριπλάσιων) από εκείνη στον κόμβο βάσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στις χρονοϊστορίες κατακόρυφων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 30% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

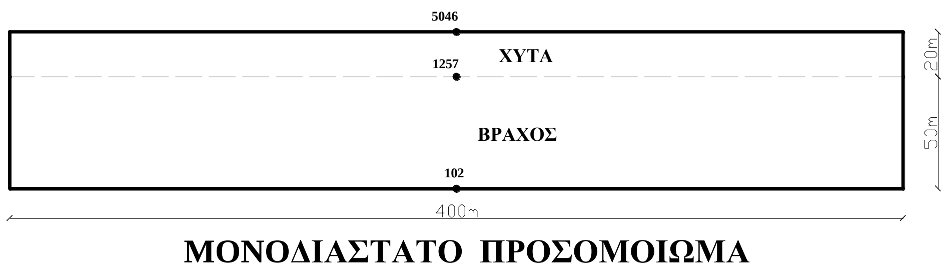
Kobe: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 60% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: ανάπτυξη επιταχύνσεων και στους τρεις κόμβους, στη στέψη (οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στο 40% της επιβαλλόμενης διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι επιταχύνσεις είναι αρκετά διαφοροποιημένες σε όλη τη στέψη και έχουν διαφορά φάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

5.1 Αποτελέσματα μονοδιάστατων αναλύσεων

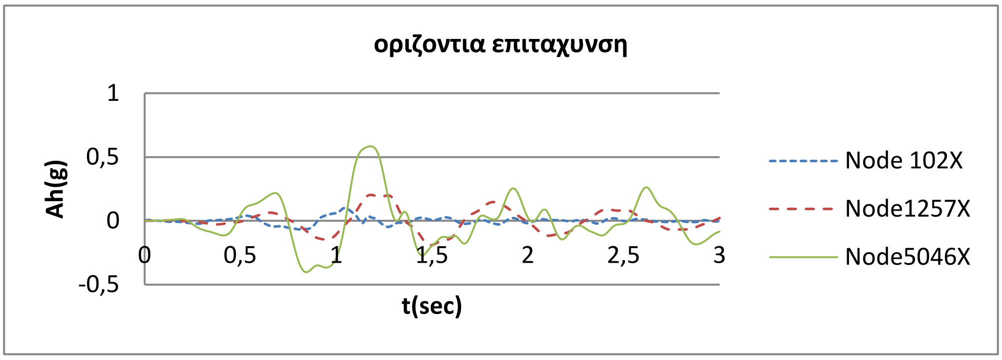
Όπως έχει αναφερθεί, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν και «μονοδιάστατες αναλύσεις» για να γίνει σύγκριση με τη διαδικασία που χρησιμοποιείται εκτενώς στη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. με το λογισμικό SHAKE (Shnabel et al. 1972)) για να ληφθεί υπόψη η στρωματογραφία μιας περιοχής, και να εξεταστεί εάν είναι επαρκής για να καλύψει και τη διαφοροποίηση της τοπογραφίας. Οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με βάση τις διαστάσεις της πρώτης γεωμετρίας για τις τρεις σεισμικές διεγέρσεις και για τους τρεις τύπους υλικού, για 0.1g και 0.36g. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.1, τα πλευρικά όρια ήταν αρκετά μακριά για να μην υπάρξουν προβλήματα ανακλάσεων κλπ στη «μονοδιάστατη» απόκριση του εξεταζόμενου ΧΥΤΑ.



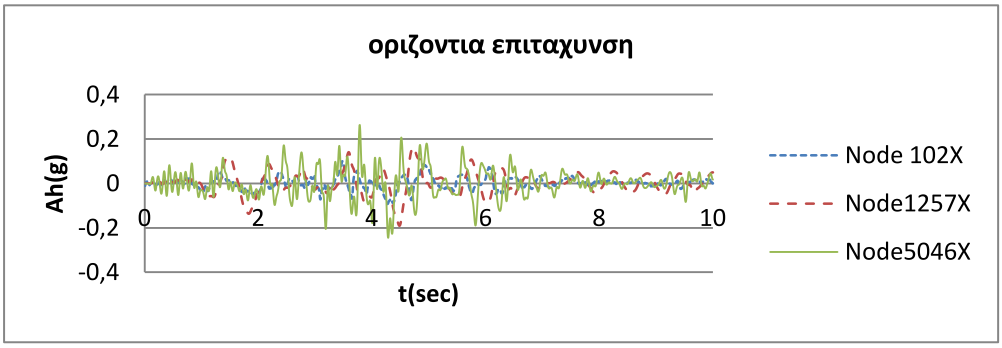
Σχήμα 5.1. Γεωμετρία και κόμβοι καταγραφών επιταχύνσεων του «μονοδιάστατου» προσομοιώματος ΧΥΤΑ

Οι κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή των χρονοϊστοριών των επιταχύνσεων στη γεωμετρία αυτή είναι οι: 102, 1257 και 5046 που αντιστοιχούν στο μέσο της βάσης του βραχώδους, καθώς και στο μέσο της βάσης και της κορυφής του ΧΥΤΑ. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και για τους τρεις διαφορετικούς τύπους υλικού (**Τύπος Α, Β, C**), καθώς και για τα δυο διαφορετικά επίπεδα επιταχύνσεων (0.1g, 0.36g). Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν παρουσιάζονται κατά σειρά τα αποτελέσματα από την εφαρμογή (υπό την οριζόντια διεύθυνση στη βάση του μοντέλου) των χρονοϊστοριών από το σεισμό του Αιγίου, το σεισμό του Kobe και τέλος για τον παλμό Ricker.

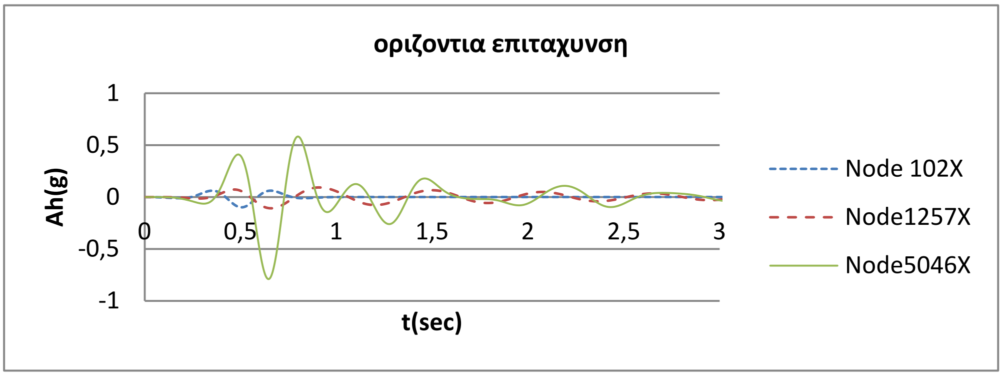
<u>Τύπος Α 0.1g</u>



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.2 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

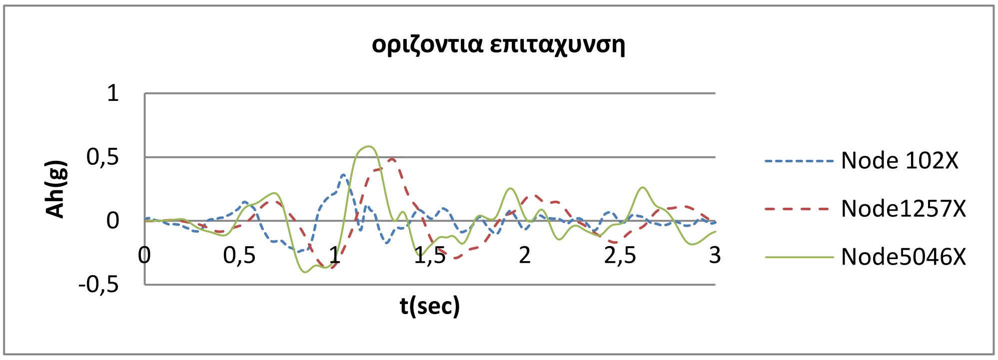
Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (πενταπλάσιων και άνω) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ περίπου στο μέσο της διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

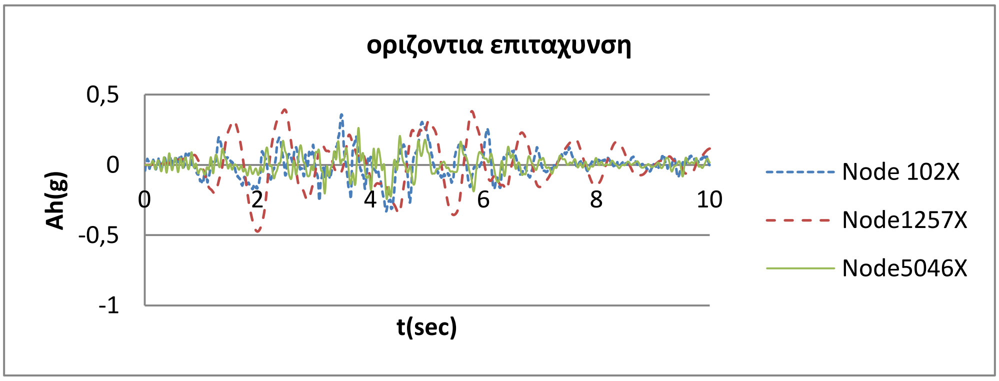
Kobe: σε σχέση με το Αίγιο ανάπτυξη λιγότερο έντονων επιταχύνσεων (διπλάσιων) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: σε σχέση με το Αίγιο γίνεται πιο γρήγορη ανάπτυξη επιταχύνσεων, εξίσου μεγάλων (πενταπλάσιων και άνω).

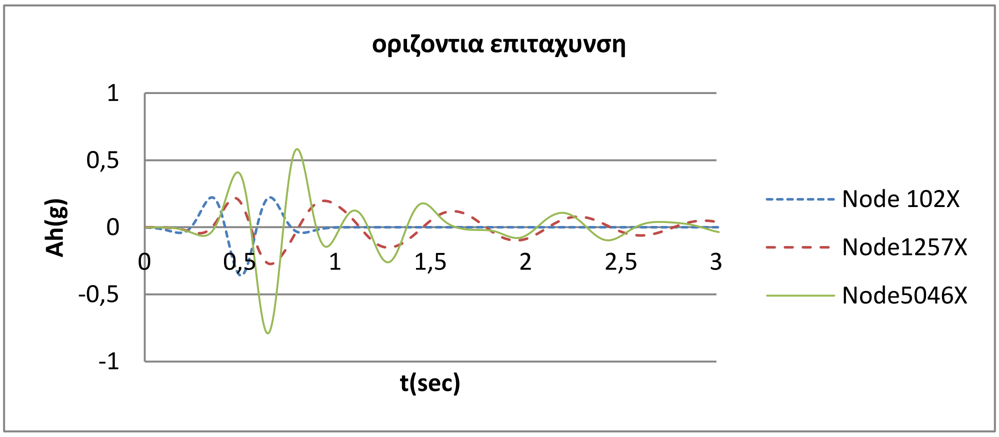
Τύπος Α 0.36g



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.3 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 160m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην πρώτη κατηγορία (type A) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 160 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση πιο έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

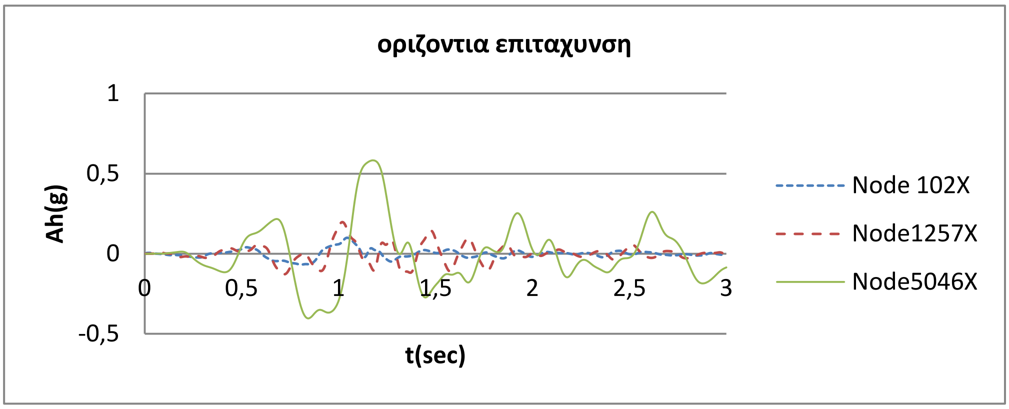
Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: λόγω μη-γραμμικότητας ανάπτυξη λίγο μεγαλύτερων επιταχύνσεων (περίπου 40%) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ περίπου στο μέσο της διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

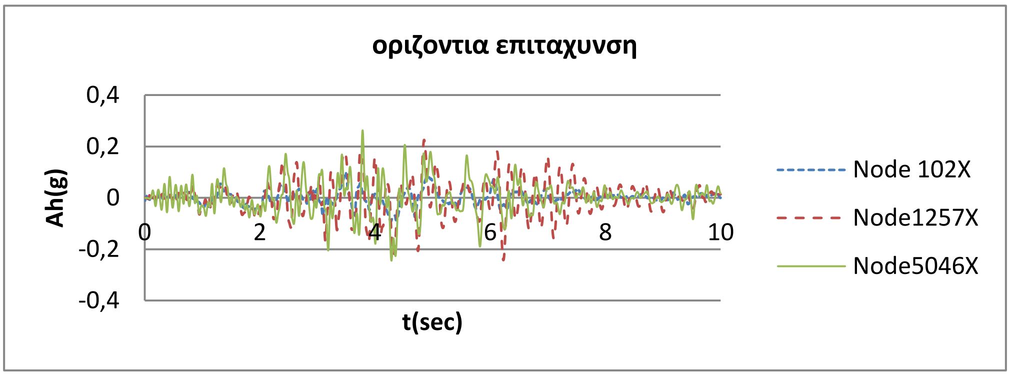
Kobe: ανάπτυξη μικρότερων επιταχύνσεων στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: σε σχέση με το Αίγιο γίνεται πιο γρήγορη ανάπτυξη επιταχύνσεων, εξίσου μεγάλων (περίπου 40%).

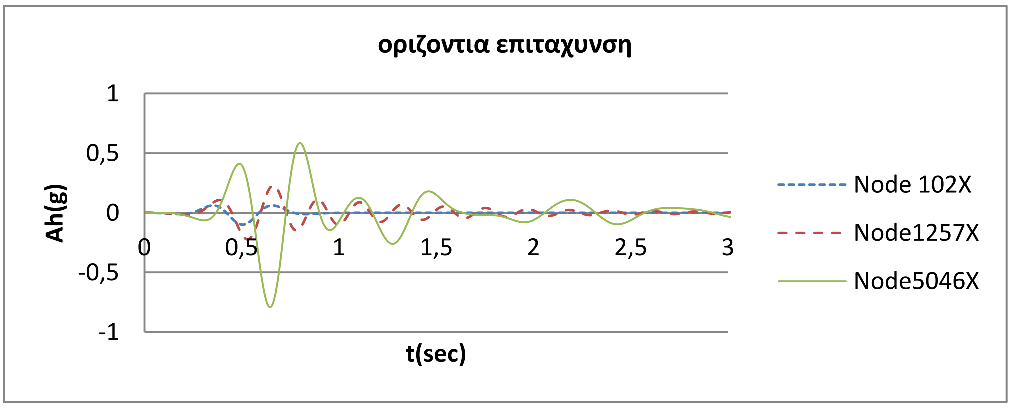
Τύπος Β 0.1g



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.4 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

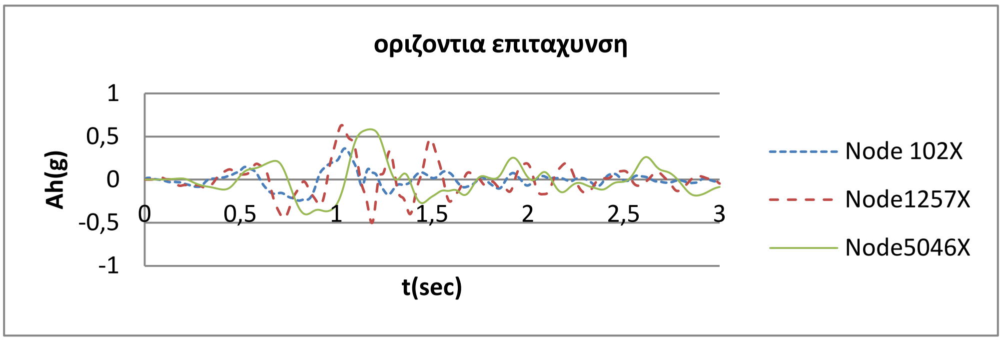
Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (πενταπλάσιων και άνω) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ περίπου στο μέσο της διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

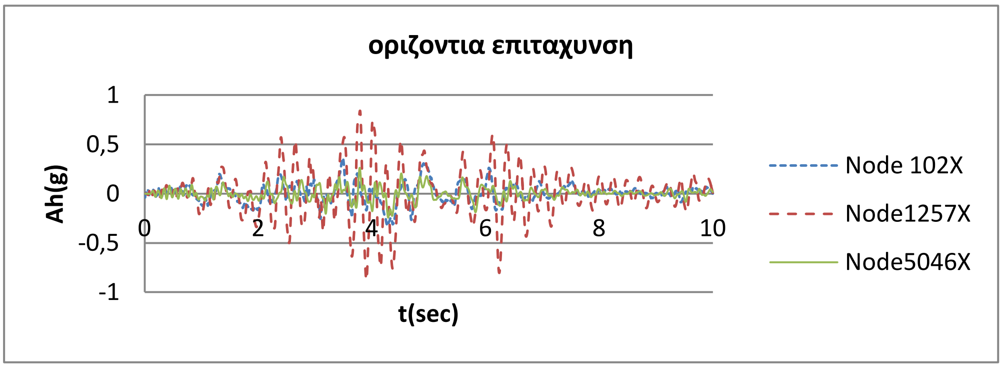
Kobe: σε σχέση με το Αίγιο ανάπτυξη λιγότερο έντονων επιταχύνσεων (διπλάσιων) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: σε σχέση με το Αίγιο γίνεται πιο γρήγορη ανάπτυξη επιταχύνσεων, εξίσου μεγάλων (πενταπλάσιων και άνω).

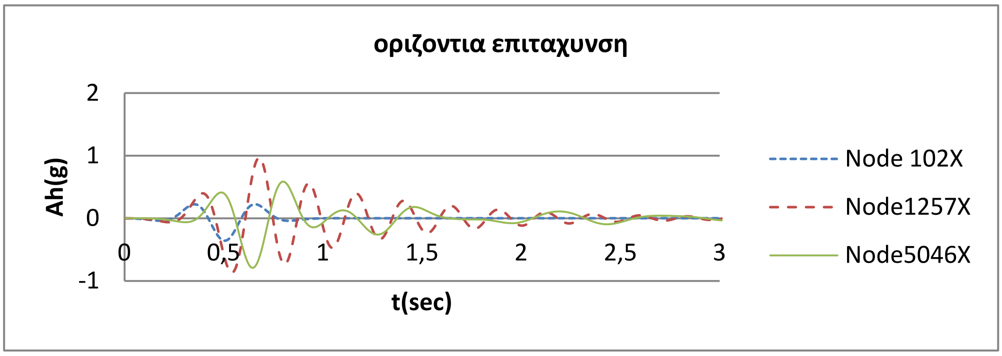
Τύπος Β 0.36g



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.5 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 400m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στη δεύτερη κατηγορία (type B) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 400 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση πιο έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

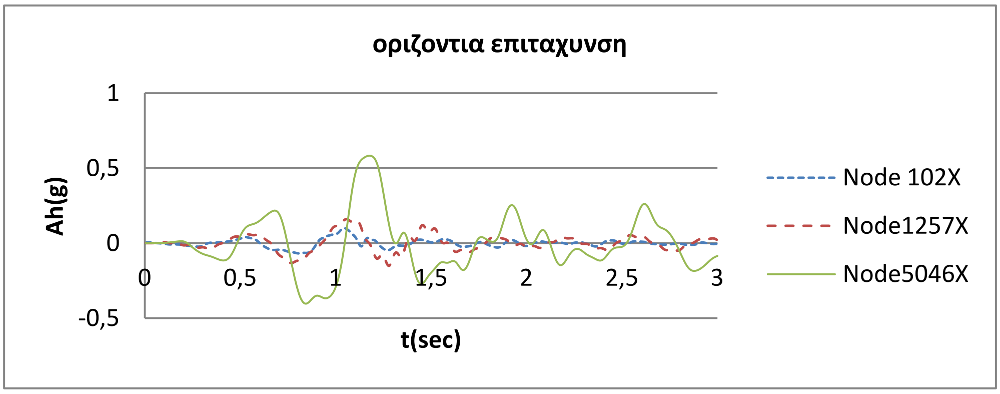
Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: λόγω μη-γραμμικότητας ανάπτυξη λίγο μεγαλύτερων επιταχύνσεων (περίπου 30%) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ περίπου στο μέσο της διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

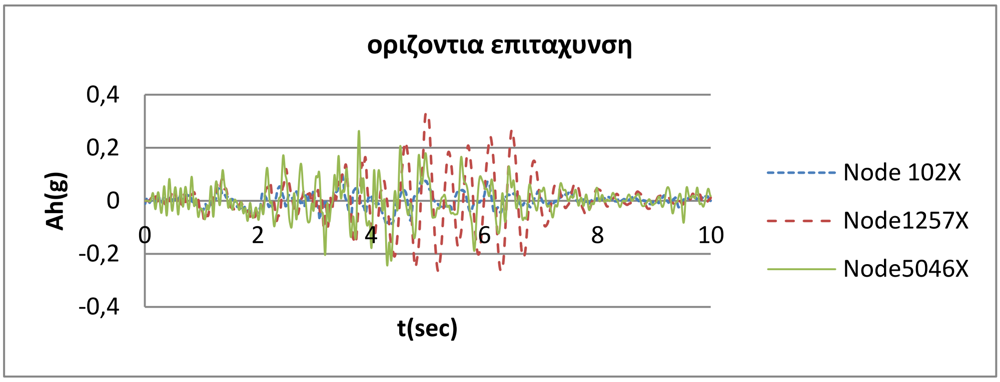
Kobe: ανάπτυξη μικρότερων επιταχύνσεων στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: σε σχέση με το Αίγιο γίνεται πιο γρήγορη ανάπτυξη επιταχύνσεων, που είναι και πολύ μεγαλύτερες (περίπου τριπλάσιες).

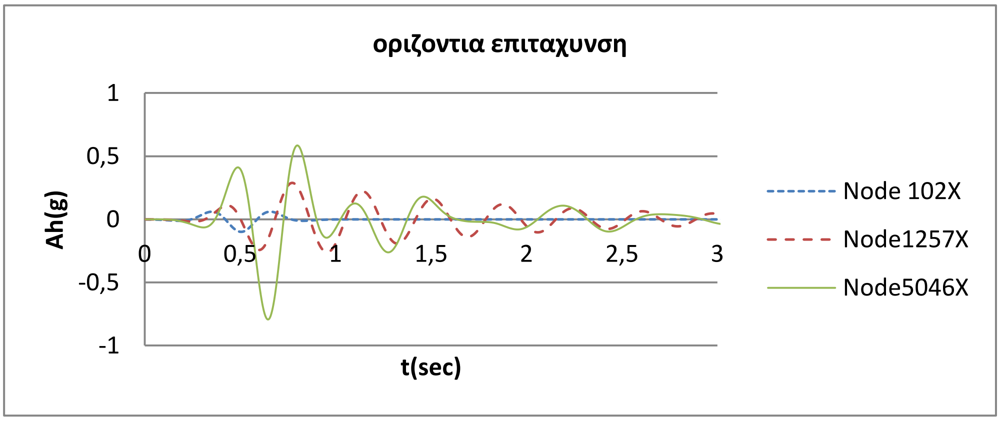
Τύπος C 0.1g



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.6 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.1g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση μικρής μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g.

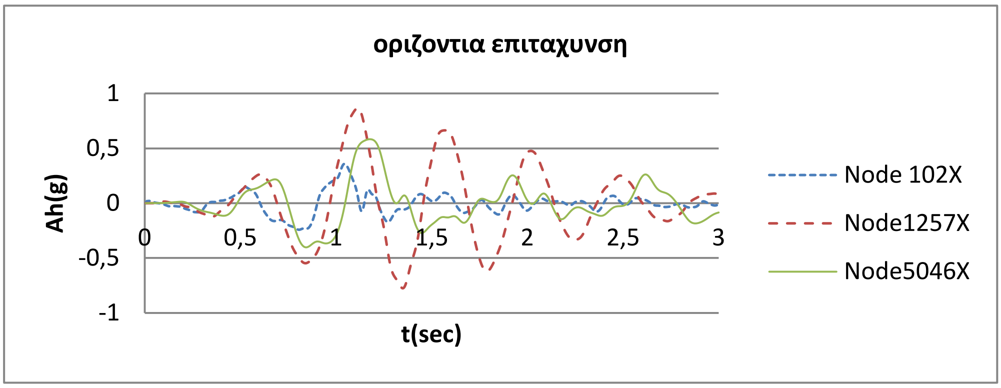
Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Αίγιο: ανάπτυξη μεγαλύτερων επιταχύνσεων (πενταπλάσιων και άνω) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ περίπου στο μέσο της διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

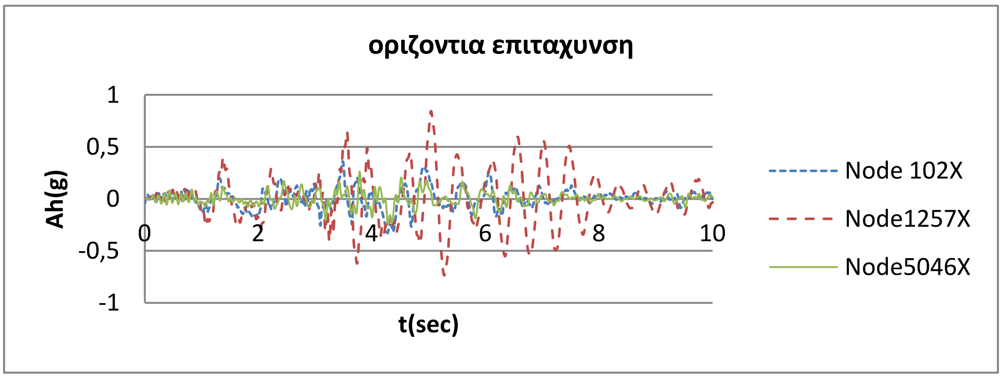
Kobe: ανάπτυξη λιγότερο έντονων επιταχύνσεων στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Ricker: σε σχέση με το Αίγιο γίνεται πιο γρήγορη ανάπτυξη επιταχύνσεων, εξίσου μεγάλων (πενταπλάσιων και άνω).

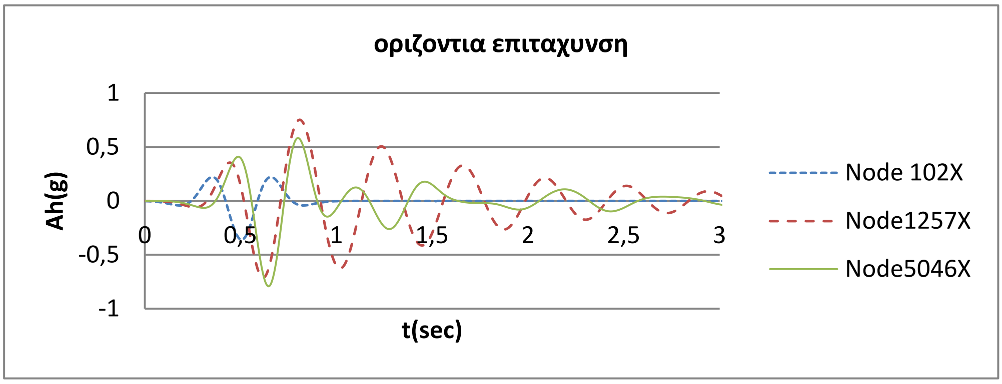
Τύπος C 0.36g



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.7 Χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, για μέγιστη επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA) ίση με 0.36g και ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων 250m/sec α) για το σεισμό του Αιγίου, β) για το σεισμό Kobe, γ) για τον παλμό Ricker.

Στην τρίτη κατηγορία (type C) έχουμε ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (V_S) ίση με 250 m/s. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της απόκρισης στην περίπτωση πιο έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του υλικού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση επιταχυνσιογραφημάτων ανηγμένων σε μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g.

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

Στις χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων παρατηρούνται συνοπτικά τα εξής:

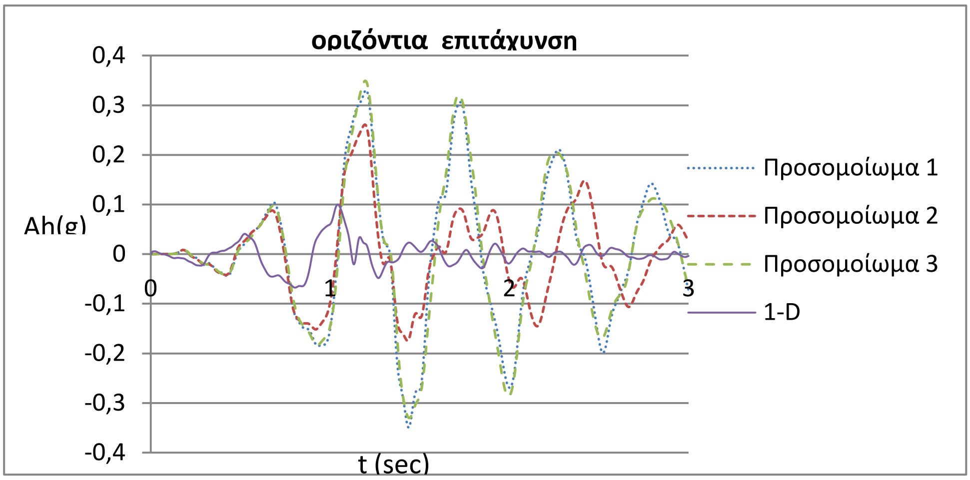
Αίγιο: λόγω μη-γραμμικότητας ανάπτυξη λίγο μεγαλύτερων επιταχύνσεων (περίπου διπλάσια) στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ περίπου στο μέσο της διέγερσης. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

Kobe: ανάπτυξη μικρότερων επιταχύνσεων στη κορυφή από εκείνη στον κόμβο της βάσης του ΧΥΤΑ. Παρατηρούμε επίσης ότι οι χρονοϊστορίες επιταχύνσεων είναι αρκετά διαφοροποιημένες και σε τιμές και έχουν διαφορά φάσης.

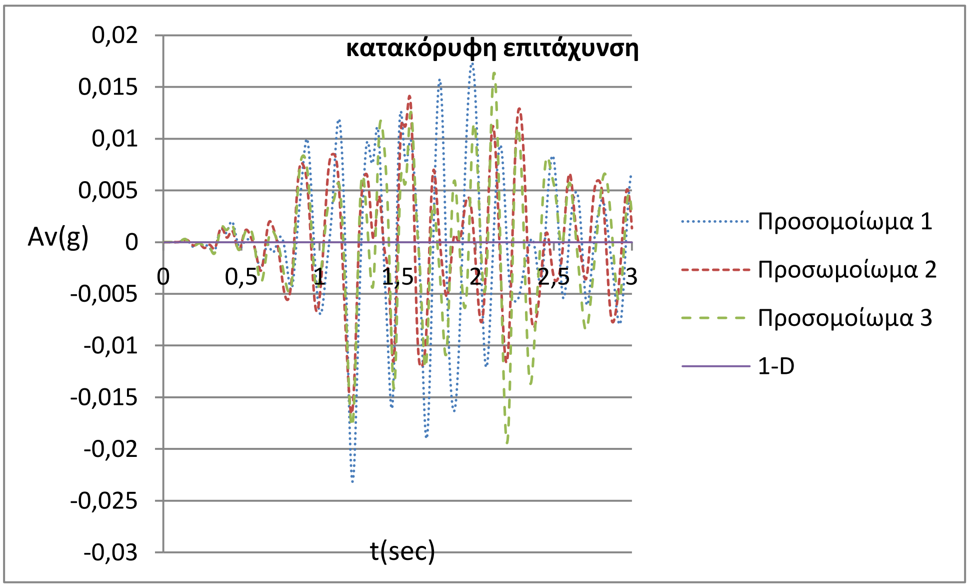
Ricker: σε σχέση με το Αίγιο γίνεται πιο γρήγορη ανάπτυξη επιταχύνσεων, εξίσου μεγάλων (περίπου διπλάσιων).

5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζεται μια ενδεικτική σύγκριση των χρονοϊστοριών (οριζόντιων και κατακόρυφων) επιταχύνσεων των δισδιάστατων και των μονοδιάστατων αναλύσεων για το σεισμό του Αιγίου. Οι κόμβοι καταγραφής είναι οι γωνιακοί στη στέψη των τριών προσομοιωμάτων ΧΥΤΑ (βλ. Σχήμα 4.1) που συγκρίνονται με αυτόν στην κορυφή του μονοδιάστατου (βλ. Σχήμα 5.1).

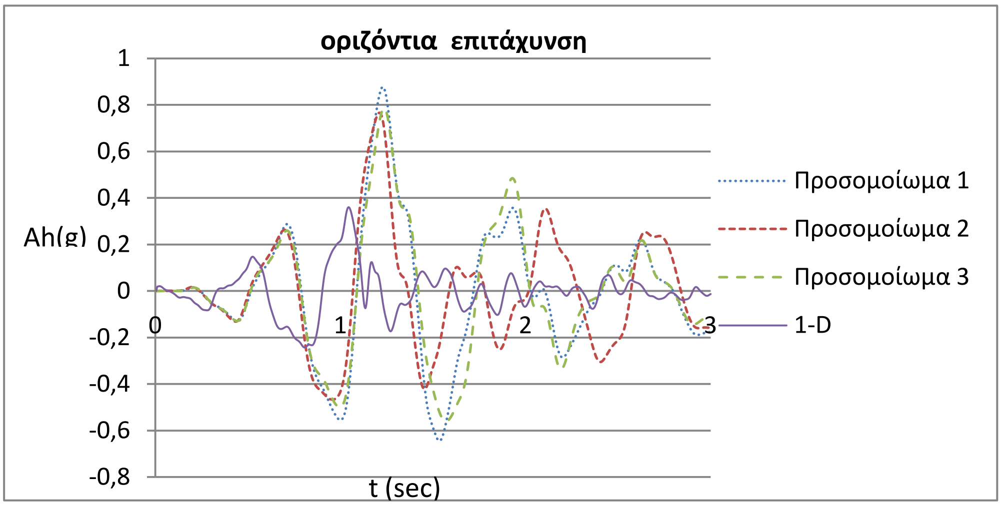


(α)

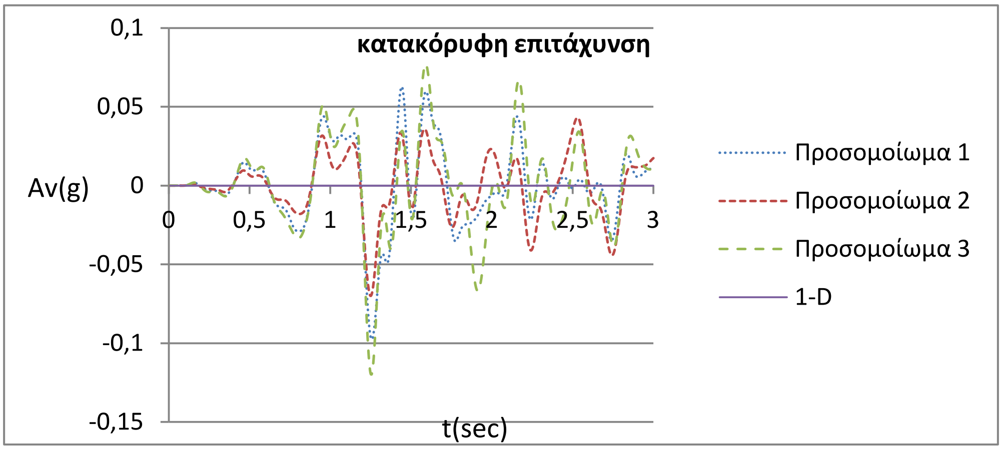


(β)

Σχήμα 5.8 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για τα τρία προσομοιώματα με τα αποτελέσματα των μονοδιάστατων αναλύσεων. Η σύγκριση πραγματοποιείται για το σεισμό του Αιγίου, για V_s=160m/s και μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g α) για οριζόντια επιτάχυνση, β) για κατακόρυφη επιτάχυνση.

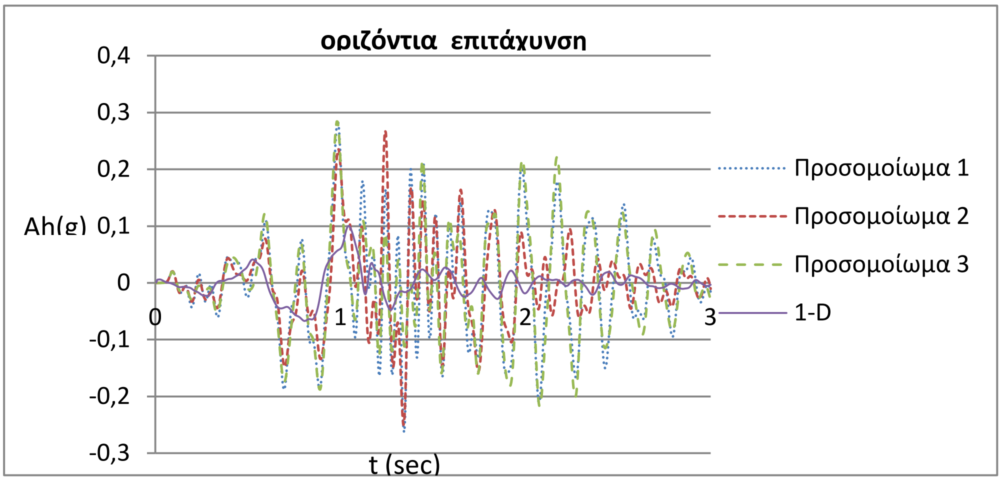


(α)

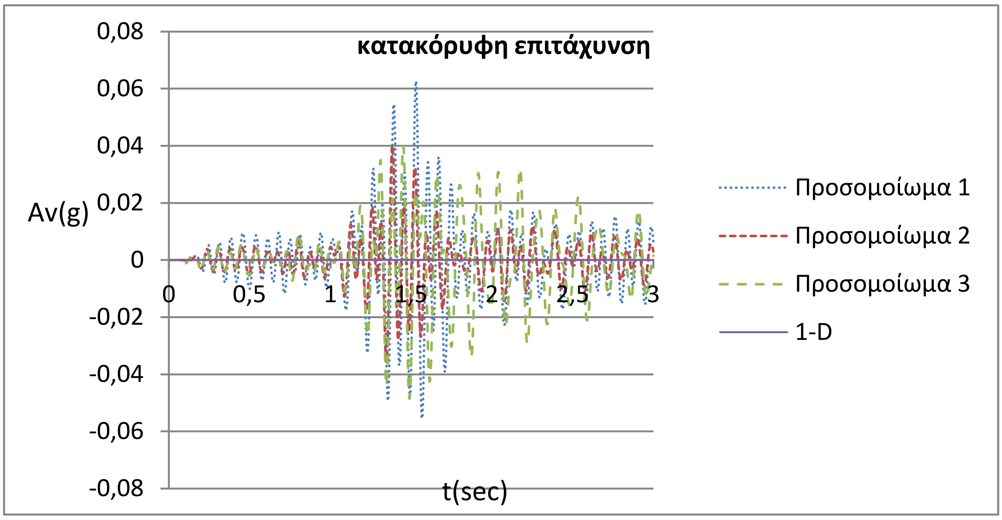


(β)

Σχήμα 5.9 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για τα τρία προσομοιώματα με τα αποτελέσματα των μονοδιάστατων αναλύσεων. Η σύγκριση πραγματοποιείται για το σεισμό του Αιγίου, για V_s=160m/s και μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.36g α) για οριζόντια επιτάχυνση, β) για κατακόρυφη επιτάχυνση.



(α)



(β)

Σχήμα 5.10 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για τα τρία προσομοιώματα με τα αποτελέσματα των μονοδιάστατων αναλύσεων. Η σύγκριση πραγματοποιείται για το σεισμό του Αιγίου, για V_s=400m/s και μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.1g α) για οριζόντια επιτάχυνση, β) για κατακόρυφη επιτάχυνση.

Συγκρίνοντας τα ενδεικτικά αποτελέσματα στα προηγούμενα σχήματα που προέκυψαν από τις δύο μεθοδολογίες: μονοδιάστατη και δισδιάστατη, παρατηρούμε πολύ μικρότερες οριζόντιες επιτάχυνσης στην περίπτωση των μονοδιάστατων αναλύσεων. Όσον αφορά την κατακόρυφη επιτάχυνση, η διαφοροποίηση είναι ακόμα πιο έντονη, καθώς κατ' ουσία στις μονοδιάστατες αναλύσεις δεν υπολογίζεται η «παρασιτική» κατακόρυφη επιτάχυνση, η οποία είναι πολύ σημαντική, όπως έχει φανεί και από σχετικές μελέτες που προέκυψαν από τις ζημιές στον σεισμό της Αθήνας (1999) κοντά στις παρυφές της κοίτης του Κηφισού, αλλά και σε άλλους σεισμούς στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες.

Υπενθυμίζεται ότι οι Rathje και Bray (2001), από αντίστοιχη σύγκριση αποτελεσμάτων μονοδιάστατων και δισδιάστατων ισοδύναμα γραμμικών αναλύσεων και προκειμένου να λαμβάνεται υπόψη η δισδιάστατη τοπογραφική επιδείνωση, είχαν προτείνει ένα συντελεστή επιδείνωσης (1.3) της ενίσχυσης (σε όρους μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης) που προκύπτει από μονοδιάστατες αναλύσεις εδαφικής απόκρισης. Όμως, όπως προκύπτει και από την παρούσα διερεύνηση, αυτή η απλουστευτική διαδικασία δεν είναι επαρκής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να εξεταστεί η μεταβολή της οριζόντιας και της κατακόρυφης επιτάχυνσης λόγω των τοπικών εδαφικών συνθηκών και να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα σε αυτή τη μεταβολή και την εν δυνάμει μη-γραμμική συμπεριφορά των απορριμματικών υλικών. Για την επίτευξη αυτού του στόχου διεξήχθησαν παραμετρικές δισδιάστατες ισοδύναμα γραμμικές αναλύσεις με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση των εκάστοτε συνθηκών της διεξαχθείσης παραμετρικής διερεύνησης στη δυναμική απόκριση κάθε ΧΥΤΑ.

Οι βασικές παράμετροι που εξετάστηκαν είναι:

α) η γεωμετρία του ΧΥΤΑ,

β) οι δυναμικές ιδιότητες των απορριμμάτων,

γ) τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης.

Όσον αφορά τα δύο πρώτα προσομοιώματα είναι αναμενόμενο ότι ο μηχανισμός απόκρισής τους δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές. Σημαντικό ρόλο σε αυτό διαδραματίζει αρχικά η συμμετρία που χαρακτηρίζει τη γεωμετρία των δύο κατασκευών και πιθανώς η κοινή τιμή της κλίσης των απορριμματικών πρανών. Η μεγαλύτερη διάσταση της στέψης του δεύτερου προσομοιώματος συμβάλλει στο ότι παρατηρείται μια χρονική υστέρηση στην ανάπτυξη των επιταχύνσεων, γεγονός που δείχνει ότι η απόκριση δεν οφείλεται μόνο στην απευθείας διάδοση διατμητικών κυμάτων, αλλά και των ανακλώμενων και διερχόμενων κυμάτων. Το κύριο κοινό χαρακτηριστικό της απόκρισης των δύο προσομοιωμάτων είναι η σύγκλιση των απευθείας κυμάτων, των ανακλώμενων και των διερχόμενων κυμάτων (στο πρανές αλλά και στην ακμή του) στο μέσο του καταστρώματος του ΧΥΤΑ με συνέπεια η αναπτυσσόμενη επιτάχυνση να λαμβάνει μεγάλη τιμή.

Το τρίτο προσομοίωμα παρουσιάζει ένα πολύ διαφορετικό μηχανισμό διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, αφού σημαντικό ρόλο παίζει το ότι η διέγερση επιβάλλεται από ένα οριζόντιο και επιπλέον ένα κεκλιμένο σύνορο. Τα ανακλώμενα και διερχόμενα κύματα που δημιουργούνται κατά την διάδοση των σεισμικών κυμάτων στην ελεύθερη επιφάνεια του ΧΥΤΑ, κυρίως στο πρανές, συντελούν στην διαμόρφωση της απόκρισης του εν λόγω προσομοιώματος.

Από τη σύγκριση των δισδιάστατων και των «μονοδιάστατων» αποτελεσμάτων είναι προφανές ότι η διαμόρφωση ιδιαίτερων «τοπογραφικών συνθηκών» επηρεάζει σημαντικά την απόκριση των ΧΥΤΑ, όπως και κάθε είδους φυσικών ή τεχνητών πρανών. Συνεπώς, θα πρέπει να προτιμάται η δισδιάστατη ή ακόμα και τρισδιάστατη ανάλυση έναντι της απλούστερης μονοδιάστατης, η οποία ακόμα και με χρήση απλοποιητικών μεγενθυντικών ενίσχυσης που έχουν προταθεί δεν μπορεί να δώσει εξίσου ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Η επίδραση δε των χαρακτηριστικών του σεισμικού κραδασμού είναι πολύ σημαντική. Ο ρόλος της σεισμικής διέγερσης στην απόκριση της γεωκατασκευής εξαρτάται, αφενός από το συχνοτικό περιεχόμενο του επιταχυνσιογραφήματος, και αφετέρου από τα επίπεδα της μέγιστης επιτάχυνσης που καθορίζουν και το βαθμό της μη-γραμμικότητας του υλικού. Γενικά, η εμφάνιση πιο έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς (για μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση) και πλαστικοποιήσεων προκαλεί αύξηση της ιδιοπεριόδου της γεωκατασκευής, γεγονός που ανάλογα την περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση αλλά ενδεχομένως ακόμα και σε αύξηση των αναμενόμενων επιπέδων επιτάχυνσης, ειδικά όταν η διέγερση έχει πλούσιο συχνοτικό περιεχόμενο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ambraseys, N.N., (1960) "On the shear response of a two-dimensional truncated wedge subjected to an arbitrary disturbance", Bulletin of Seismological Society of America.

Ambraseys, N.N and Menu J.M. (1988) "Earthquake-induced ground displacements," Earthquake engineering and structural dynamics 16, 985–1006.

Ambraseys, N.N. and Srbulov, M. (1994) "Attenuation of earthquake–induced ground displacements," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 23, 467–487.

Ambraseys, N.N. and Srbulov, M. (1995) "Earthquake induced displacements of slopes," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 14, 59–71.

Anderson, R.L. (1995) "Earthquake related damage and landfill performance," in Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills–Geotechnical, ASCE special publication No54, ed. M.K. Yegian and W.D.L. Finn, pp. 1–16.

Anderson, R.L. (2000) "Notes Regarding Infrastructure Performance and Disaster Recovery, Kocaeli, Turkey and Chi-Chi, Taiwan Earthquakes August 17 and September 21, 1999," Partnership 2000, http://www.ciwmb.ca.gov/Part2000.

Augello, A.J., Bray, J.D., Abrahamson, N.A. and Seed, R.B. (1998) "Dynamic properties of solid waste based on back-analysis of OII landfill," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(3), 211–222.

Augello, A.J., Matasovic, N., Bray, J.D., Kavazanjian, E. and Seed, R.B. (1995) "Evaluation of solid waste landfill performance during the Northridge earthquake," in Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills, ASCE Geotechnical special publication No54, ed. M.K. Yegian and W.D.L. Finn, pp. 17–50.

Biondi G., Lo Grasso, A.S., and Maugeri, M., (2008) "Displacement based analysis of waste landfill cover systems", in Proceedings of the 4th European Geosynthetics Conference, Scotland, Paper No 133.

Bray, J. D., Sancio, R. B., Kammerer, A. M., Merry, S., Rodriguez-Marek, A., Khazai, B., Chang, S., Bastani, A., Collins, B., Hausler, E., Dreger, D., Perkins, W. J. and Nykamp, M. (2001) "Some Observations of Geotechnical Aspects of the February 28, 2001, Nisqually Earthquake in Olympia, South Seattle, and Tacoma, Washington," A report sponsored by the National Science Foundation, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, University of Arizona, Washington State University, Shannon & Wilson, Inc., and Leighton and Associates.

Bray, J.D. and Rathje, E.M. (1998) “Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills,” *ASCE J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,* **124**(3), 242–253.

Chopra, A.K., and Zhang, L., (1991) “Earthquake-induced base sliding on concrete gravity dams”, Journal of Structural Engineering, 117 (12), 3698-3719.

De, A. and Zimmie T.F. (1998) “Estimation of dynamic interfacial properties of geosynthetics,” *Geosynthetics International,* **5**, 17–39.

Eid, H.T., Stark, T.D., Evans, W.D. and Sherry P.E. (2000) “Municipal solid waste slope failure. I: Waste and foundation soil properties,” ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 126(5), 397–407.

Federal Guidelines for Dam Safety (2005), “Earthquake analysis and design of dams,” FEMA 65, USA.

Gazetas, G., (1987) “Seismic response of earth dams: some recent developments”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 6(1), 3–47.

Gunturi, V.R. and Elgamal, A. M. (1998) “A class of inhomogeneous shear models for seismic analysis of landfills,” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 17, 197–209.

Houston, W.N., Houston, S.L., Liu, J.W., Elsayed, A. and Sanders, C.O. (1995) “In–situ testing methods for dynamic properties of MSW landfills,” in Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills, ASCE Geotechnical special publication No54, ed. M.K. Yegian and W.D.L. Finn, pp. 73–82.

Hudson, M., Idriss, I.M., & Beikae, M. (1994) “User’s Manual for QUAD4M,” Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA, USA.

Idriss, I.M., Fiegel, G., Hudson, M.B., Mundy, P.K. and Herzig R. (1995) “Seismic response of the Operating Industries Landfill,” in Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills, ASCE Geotechnical special publication No.54, ed. M.K. Yegian and W.D.L. Finn, pp. 83–118.

Ishihara K., (1996) “Soil behaviour in Earthquake Geotechnics”, Oxford Science Publications, pp. 16-39.

Kavazanjian, E.Jr., and Matasovic, N., (1995) “Seismic analysis of solid waste landfills”, in Proceedings of Geoenvironment 2000, ASCE Geotechnical special publication No.46, pp. 1066–1080.

Kavazanjian, E.Jr., Matasovic, N. and Bachus, R.C. (1999) “Large diameter static and cyclic laboratory testing of municipal solid waste,” Proc. of the Seventh international waste management and landfill symposium, S.Margherita di Pula, Cagliari, Italy.

Kavazanjian, E.Jr., Matasovic, N., Bonaparte, R. and Schmertmann, G.R. (1995) “Evaluation of MSW properties for seismic analysis,” in Proceedings of Geoenvironment 2000, ASCE Geotechnical special publication No.46, pp.1126–1141.

Kramer, S.L. and Smith, M.W. (1997) “Modified Newmark model for seismic displacements of compliant slopes,” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 123(7), 635–644.

Lin, J.-S. and Whitman, R.V. (1983) “Decoupling approximation to the evaluation of earthquake-induced plastic slip in earth dams,” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11, 667-678.

Lin, J.–S. and Whitman R.V. (1986) “Earthquake induced displacements of sliding blocks,” Journal of Geotechnical Engineering 112(1), 44–59.

Ling, H.I. and Leshchinsky, D. (1997) “Seismic stability and permanent displacement of landfill cover systems,” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 123(2), 113–122.

Machado, S.L., Carvalho, M.F. and Vilar, O.M. (2002) “Constitutive model for municipal solid waste,” ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 128(11), 940–951.

Makdisi, F.I. and Seed, H.B. (1978) “Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake induced deformations,” Journal of Geotechnical Engineering Division 104, 849-867.

Matasovic, N. and Kavazanjian, E.Jr. (1998) “Cyclic characterization of OII landfill solid waste,” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 124(3), 197–210.

Matasovic, N., Kavazanjian, E. Jr. and Anderson, R. (1998) “Performance of solid waste landfills in earthquakes,” Earthquake Spectra 14(2), 319–334.

Matasovic, N., Kavazanjian, E.Jr. and Giroud, J.P. (1998b) “Newmark seismic deformation analysis for geosynthetic covers,” Geosynthetics International, 5, 237–264.

Morochnik, V., Bardet, J.P., and Hushmand, B. (1998) “Identification of dynamic properties of OII landfill,” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 124(3), 186–196.

Newmark, N.M. (1965) “Effect of earthquakes on dams and embankments,” Geotechnique 15(2), 139–160.

Psarropoulos P.N., Karampatsos Y., Tsompanakis Y. (2007), Impact of local soil conditions on seismic design of solid wasteLandfills, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 41(2), 349-358.

Rix G.J. (1998), “Dynamic properties of municipal solid waste landfills for site response analysis”.

Sarma, S.K., (1981) “Seismic displacement analysis of earth dams”, ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, 107, 1735–1739.

Shewbridge, S.E., (1996) “Yield acceleration of lined landfills”, Journal of Geotechnical Engineering, 122(2), 156–158.

Singh, S. and Murphy, B., (1990) “Evaluation of the Stability of Sanitary Landfills”, in Geotechnics of Waste Fills – Theory and Practice, eds. A. Landya and G.D. Knowles, American Society for Testing and Materials, pp. 240–258.

Schnabel, P., Lysmer, J., and Seed, H.B., (1972), “SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites”, Report No. EERC 72-2, Earthquake Engineering Research Centre, University of California at Berkeley.

Tika–Vassilikos, T.E., Sarma, S.K., and Ambraseys, N.N., (1993) “Seismic displacements on shear surfaces in cohesive soils”, Earthquake engineering and Structural Dynamics, 22, 709–721.

Vucetic, M., and Dobry, R., (1991) “Effect of soil plasticity on cyclic response”, Journal of Geotechnical Engineering, 117(1), 89–107.

Westermo, B., and Udwadia, F., (1983) “Periodic response of a sliding oscillator system to harmonic excitation”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11, 135-146.
Zania V., Tsompanakis Y., Psarropoulos P.N. (2008), “Seismic distress and slope instability of municipal solid waste landfills”, Journal of Earthquake Engineering, 12(2), 312-340.
Zania V., Tsompanakis Y., Psarropoulos P.N., (2010), “Seismic displacements of landfills and deformation of geosynthetics due to base sliding”, Geotextiles and Geomembranes, 28, 491-502.
Zekkos, D.P., (2005) “Evaluation of static and dynamic properties of municipal solid waste”, Dissertation, Doctor of Philosophy, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, California, USA.
Zekkos, D., Bray, J.D., Kavazanjian, E.Jr., Matasovic, N., Rathje, E.M., Riemer, M.F., Stokoe II, K. H., (2006), “Unit weight of municipal solid waste”, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 132 (10), 1250-1261.
Ζανιά Β., (2009), “Σεισμική Καταπόνηση χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ): Μηχανισμοί Αστοχίας και Μέθοδοι Ενίσχυσης”, Διδακτορική Διατριβή, Γενικό Τμήμα, Πολυτεχνείο Κρήτης.