

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι) ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ: ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ

«Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων ΤΕΙ»

Υποέργο: 12

Τίτλος: «Πειραματική μελέτη της συνεισφοράς αποσβεστήρα σωματιδίων στην μείωση της απόκρισης μνημείων σε σεισμική διέγερση »

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Αγγελική Παπαλού

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ

ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



«Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στο ΤΕΙ Πάτρας» με MIS **383592** του Ε.Π. «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» που συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση «Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ)» και Εθνικούς Πόρους

ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ

Υπόεργο 12: «Πειραματική μελέτη της συνεισφοράς αποσβεστήρα σωματιδίων στην μείωση της απόκρισης μνημείων σε σεισμική διέγερση »

Επιστημονική Υπεύθυνος : Δρ. Αγγελική Παπαλού

Μέλη Κύριας Ερευνητικής Ομάδας: Δρ. Αγγελική Παπαλού, Δρ. Διονύσιος Ρουμπιέν, Δρ. Ευστάθιος Ν. Μπούσιας, Δρ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου

Μέλη Εξωτερικής Ομάδας Συνεργατών: Δρ. Ηλίας Στρεπέλιας, Μιχάλης Μιαούλης, Έργκις Χατζιράι, Ευάγγελος Κοντός

Η ετήσια έκθεση περιλαμβάνει τα δύο πρώτα πακέτα εργασίας

Πακέτο εργασίας 3: Διερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς κίονα-δοκιμίου με ενσωματωμένο τον αποσβεστήρα για αρμονική, τυχαία και σεισμική διέγερση. (1/1/2014-30/6/2014)

Πακέτο εργασίας 4: Διερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς κίονα-δοκιμίου με ή χωρίς αποσβεστήρα για κίονα με ατέλειες. (1/7/2014-31/12/2014)

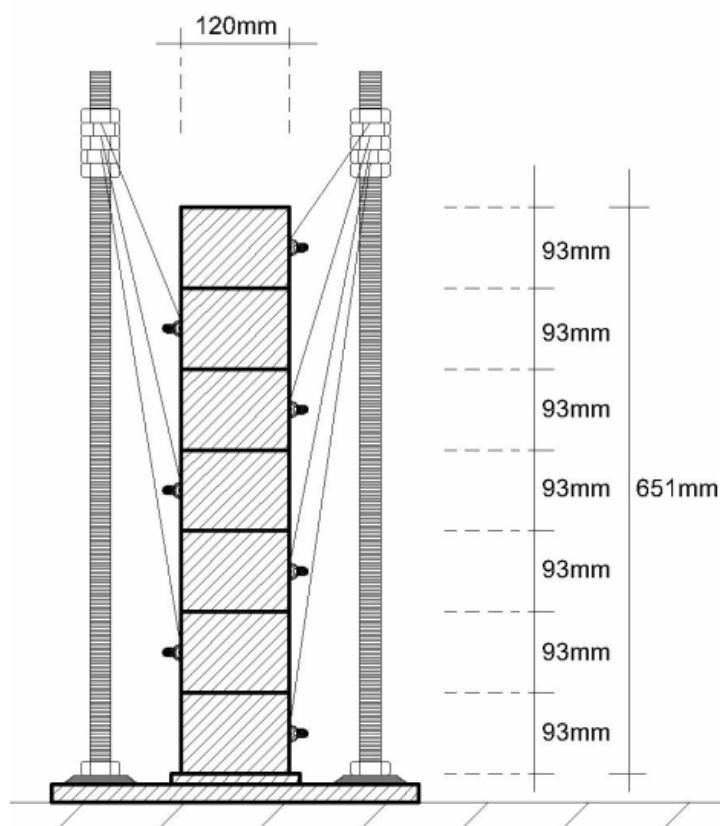
1. Διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς του κίονα-δοκιμίου με ενσωματωμένο τον αποσβεστήρα για αρμονική, τυχαία και σεισμική διέγερση

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με κίονα-δοκίμιο μικρών και μεγάλων διαστάσεων. Τα περισσότερα πειράματα έγιναν με κίονα μικρών διαστάσεων γιατί ήταν εύκολο να τοποθετηθούν οι σφόνδυλοι στην αρχική τους θέση μετά το τέλος του κάθε πειράματος.

Χρησιμοποιήθηκαν αρμονικές, τυχαίες καθώς και σεισμικές διεγέρσεις. Πιο αναλυτικά οι διεγέρσεις παρουσιάζονται στην Τεχνική Έκθεση 2. Ακολουθεί περιγραφή των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστά για τον μικρό και τον μεγάλο κίονα.

1.1 Μικρός Κίονας

Ο μικρός κίονας-δοκίμιο προσομοίωσε κίονα από τον ναό του Ηφαιστείου στην Αθήνα (1. 1). Χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1:8.



Εικ. 1.1: Κίονας-δοκίμιο μικρών διαστάσεων

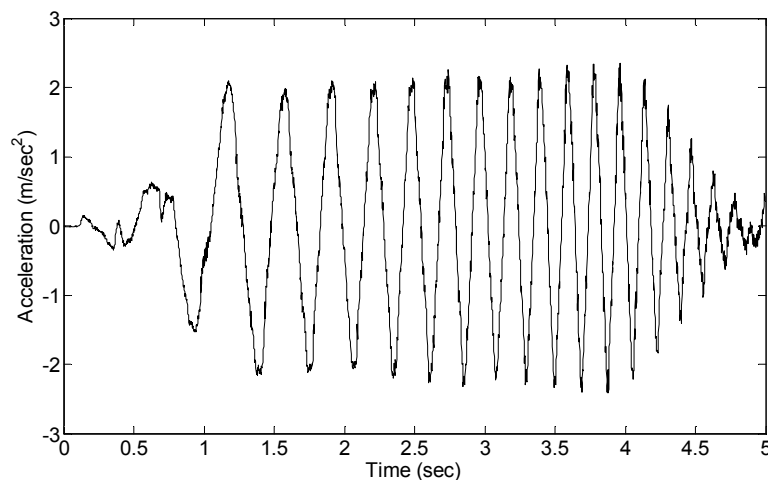
Οι αποσβεστήρες σωματιδίων ήταν μαρμάρيني κούφιοι σφόνδυλοι με εξωτερική διάμετρο ίδια με την διάμετρο των άλλων σφονδύλων δηλ. 120 mm. Τρία μεγέθη αποσβεστήρων

σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν με διάμετρο του κούφιου τμήματος 9, 8 και 6.5 cm, αντίστοιχα. Η θέση του αποσβεστήρα αποτελεί μία από τις σημαντικές παραμέτρους του πειράματος. Επιλέχθηκε η 5^η και η 7^η θέση αντικαθιστώντας τους αντίστοιχους σφονδύλους. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν σφαιρικά χαλύβδινα σωματίδια διαφορετικής διαμέτρου δηλ. 20, 30, 50 mm. Ένας μεγάλος αριθμός πειραμάτων πραγματοποιήθηκε με τα σωματίδια αυτά. Ο αριθμός των μικρότερων σωματιδίων δεν ήταν σταθερός. Δηλαδή πραγματοποιήθηκαν πειράματα με 8, 16 και 22 σωματίδια μεταβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο τον λόγο μάζας (μάζα σωματιδίων προς μάζα κίονα). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των πειραμάτων παρουσιάζονται στην συνέχεια. Λόγω του μεγάλου αριθμού των δοκιμών που γίνανε παρουσιάζονται στο κύριο μέρος της έκθεσης μόνο τα αποτελέσματα κάποιων ενδεικτικών δοκιμών. Οι υπόλοιπες δοκιμές παρουσιάζονται στα παραρτήματα αυτού του τεύχους.

1.1.1 Κίονας χωρίς αποσβεστήρα

1.1.1.1 Αρμονικές διεγέρσεις

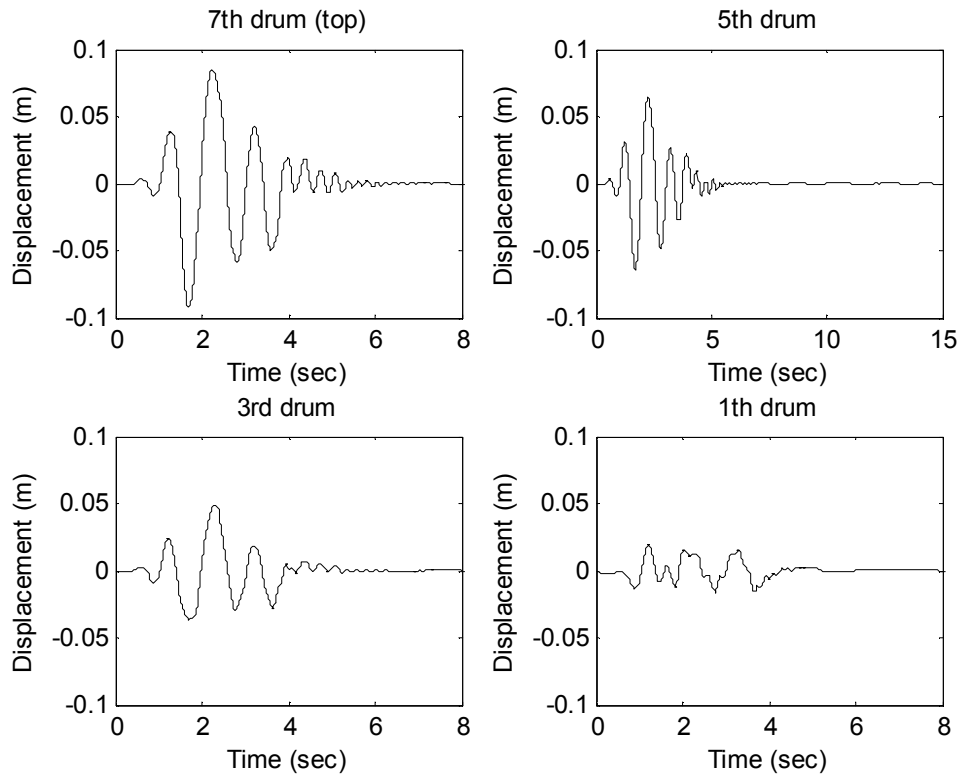
Ο κίονας αρχικά δονήθηκε με ημιτονοειδή σήμα (sine-sweep) που περιλάμβανε τις συχνότητες από 1-7 Hz (Εικ. 1.2).



Εικ. 1.2: Ημιτονοειδές σήμα διέγερσης.

Κάτω από τις ίδιες συνθήκες πραγματοποιήθηκαν αρκετά πειράματα αλλά η απόκριση δεν ήταν σταθερή παρουσιάζοντας διακυμάνσεις. Για την επίτευξη σωστών συμπερασμάτων, πειράματα με τις ίδιες αρχικές συνθήκες επαναλαμβάνονταν τουλάχιστον άλλη μία φορά. Αν η απόκριση δεν παρουσίαζε ιδιαίτερη διακύμανση δεν επαναλαμβάνονταν για τρίτη φορά. Οι σφόνδυλοι λικνίζονταν, ολίσθαιναν ή στρέφονταν. Η μεγαλύτερη απόκριση του κίονα κατά την διεύθυνση της διέγερσης παρουσιάζεται στην Εικ. 1.3. Οι μετακινήσεις υπολογίστηκαν

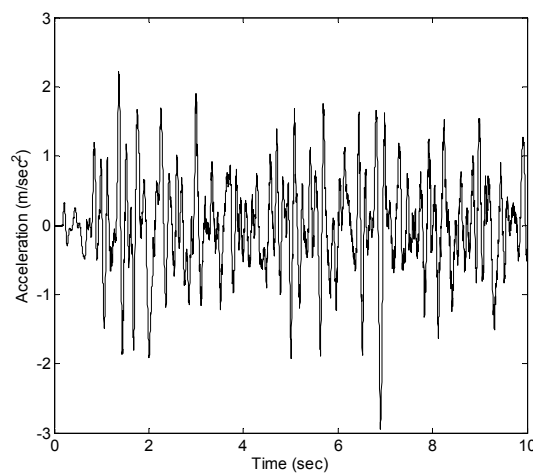
από τις επιταχύνσεις που καταγράφηκαν από τα επιταχυνσιόμετρα (βλέπε τεχνική έκθεση για το Πακέτο 2) με διπλή ολοκλήρωση. Οι μετακινήσεις εμφανίζονται πιο μεγάλες στον πάνω σφόνδυλο και μικραίνουν όσο πιο κοντά στην βάση είναι οι σφόνδυλοι.



Εικ. 1.3: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό αρμονική σεισμική διέγερση.

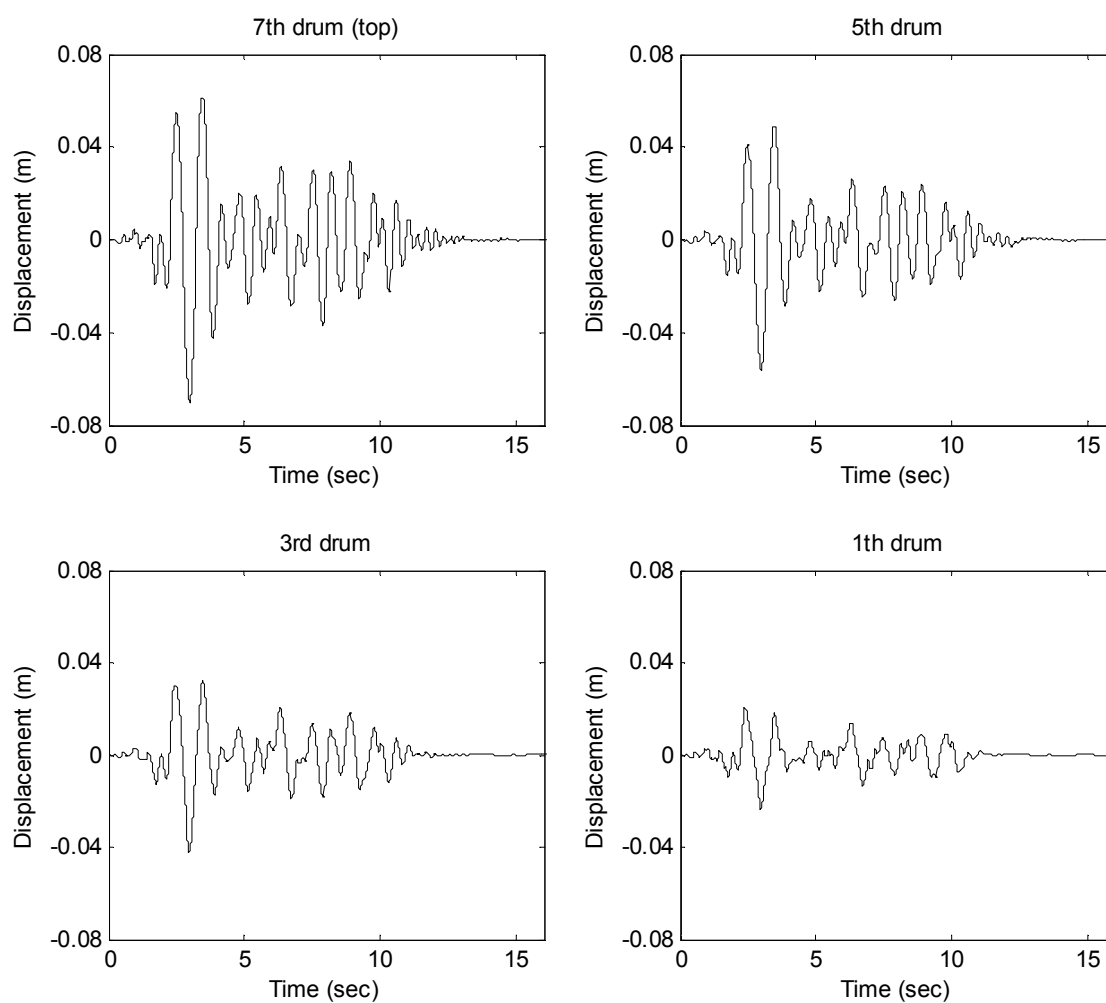
1.1.1.2 Τυχαίες διεγέρσεις

Ο κίονας διεγέρθηκε με τυχαία (random) διέγερση που περιλάμβανε συχνότητες από 1-10 Hz (Εικ. 1.4).



Εικ. 1.4: Τυχαίο σήμα διέγερσης.

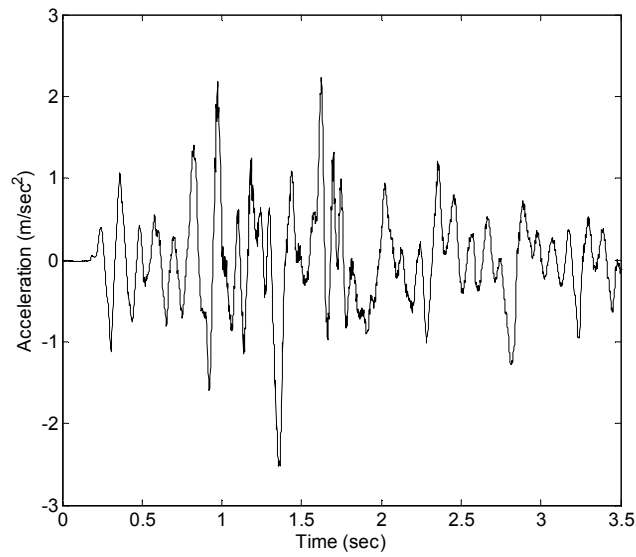
Η Εικ. 1.5 παρουσιάζει μια μέση απόκριση του κίονα κατά την διεύθυνση της διέγερσης.



Εικ. 1.5: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό τυχαία διέγερση.

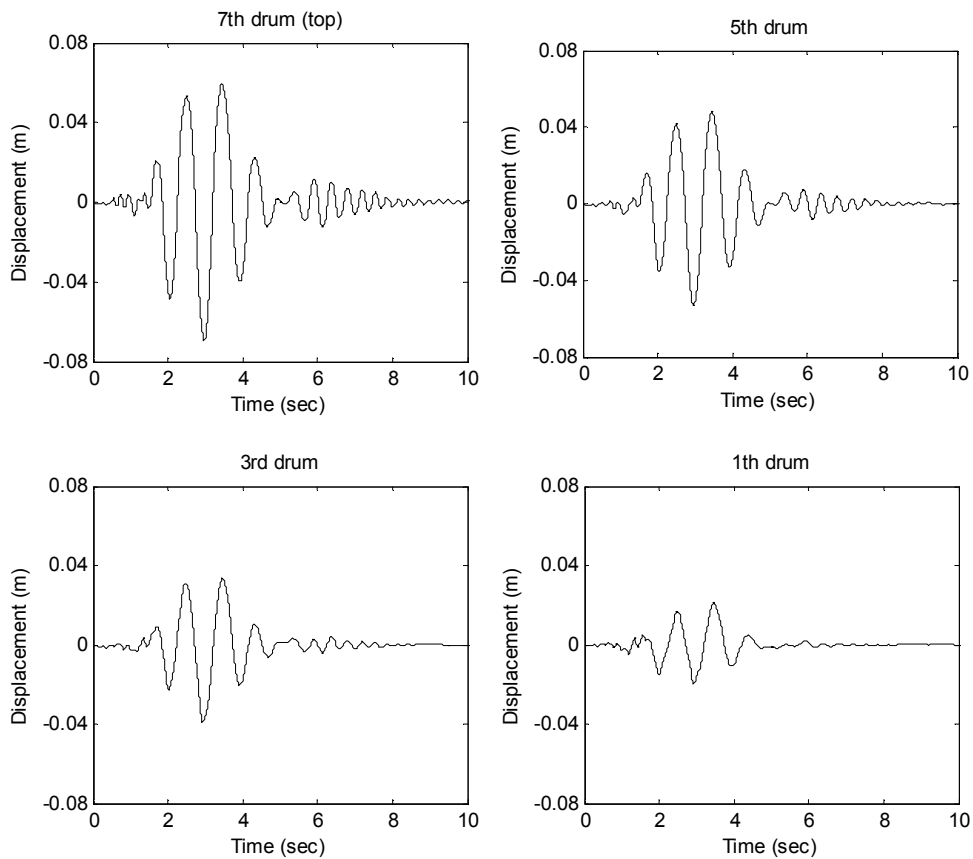
1.1.1.3 Σεισμικές δονήσεις

Διάφορες σεισμικές δονήσεις χρησιμοποιήθηκαν για την διέγερση του κίονα. Αντιπροσωπευτικά παρουσιάζεται η δόνηση υπό τον σεισμό της Καλαμάτας του 1985 (Εικ. 1.6) αφού έχει τροποποιηθεί για την κλίμακα του δοκιμίου (1:8).



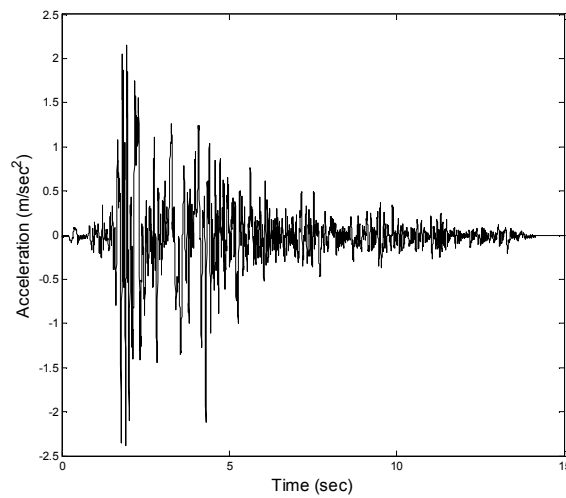
Εικ. 1.6: Σεισμική δόνηση (τροποποιημένος σεισμός Καλαμάτας).

Η Εικ. 1.7 παρουσιάζει μια μέση απόκριση του κίονα κατά την διεύθυνση της διέγερσης (Σεισμός Καλαμάτας).



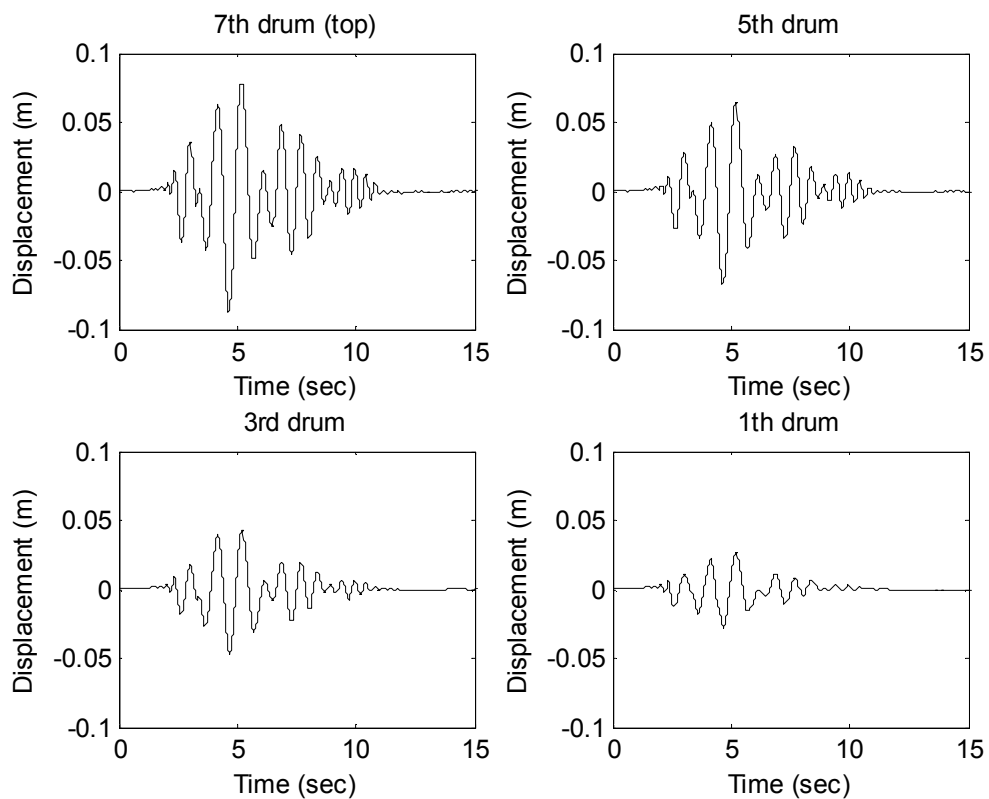
Εικ. 1.7: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό σεισμική διέγερση (σεισμός Καλαμάτας).

Η Εικ. 1.8 παρουσιάζει την δόνηση υπό τον σεισμό της Ιρπίνια (Εικ. 6) αφού έχει τροποποιηθεί για την κλίμακα του δοκιμίου (1:8).



Εικ. 1.8: Σεισμική δόνηση (τροποποιημένος σεισμός Ιρπίνια).

Η Εικ. 1.9 παρουσιάζει μια μέση απόκριση του κίονα κατά την διεύθυνση της διέγερσης (Σεισμός Ιρπίνια).

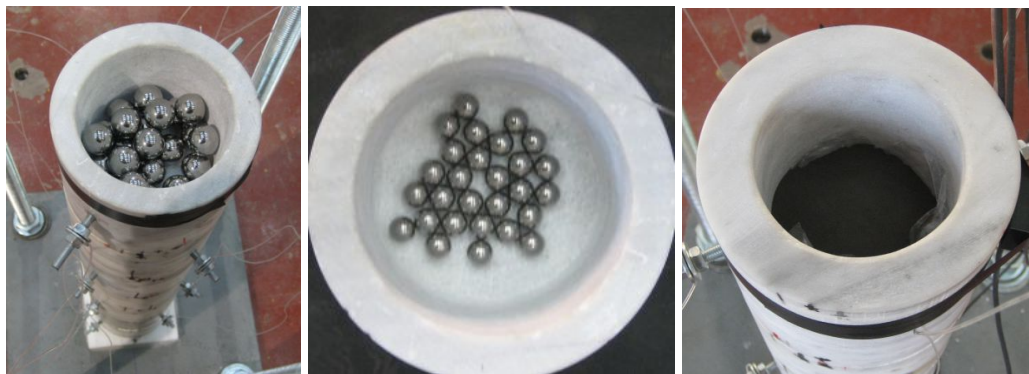


Εικ. 1.9: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό σεισμική διέγερση (σεισμός Ιρπίνια).

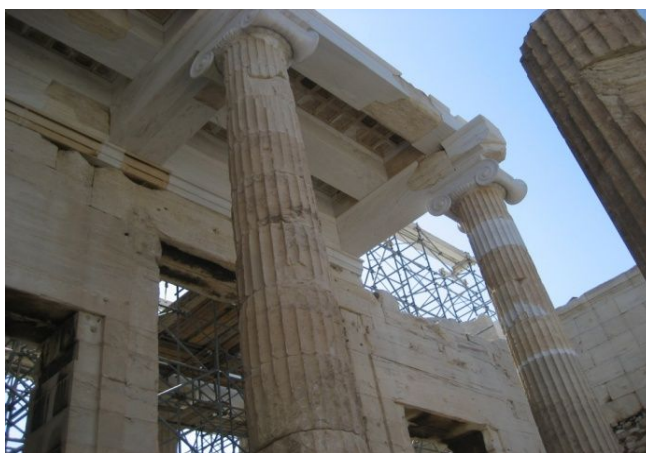
1.2.1 Κίονας με αποσβεστήρα

Τρεις αποσβεστήρες χρησιμοποιήθηκαν με διάμετρο του κενού τμήματός τους 9, 8 και 6.5 cm αντίστοιχα (Εικ. 1.10). Τους αποσβεστήρες τους ονομάζουμε για συντομία large, medium και small αντίστοιχα. Η θέση που επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ο αποσβεστήρας ήταν στο μισό πάνω τμήμα του κίονα που η ταλάντωση ήταν πιο μεγάλη δηλ. αντικαθιστώντας τον 5^ο ή τον 7^ο σφόνδυλο. Οι θέσεις αυτές δεν επηρεάζουν ή αλλοιώνουν την μορφή του κίονα. Σε πολλά μνημεία οι πάνω σφόνδυλοι έχουν αντικατασταθεί με νέο υλικό οπότε η τοποθέτηση του αποσβεστήρα σε αυτήν την θέση δεν θα αλλοιώσει την μορφή του κίονα περισσότερο από ότι οι συνηθισμένες αναστυλωτικές εργασίες (Εικ. 1.11).

Χαλύβδινα σωματίδια διαφορετικής διαμέτρου 20 mm, 30 mm και 50 mm χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 1). Ο λόγος μάζας στην τελευταία στήλη του πίνακα είναι η μάζα των σωματιδίων προς την μάζα τη αρχική μάζα του κίονα. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και σωματίδια από βολφράμιο (tungsten) των 10 mm και σκόνη από βολφράμιο (tungsten powder). Μερικά πειράματα πραγματοποιήθηκαν και με σωματίδια από μόλυβδο.



Εικ. 1.10: Αποσβεστήρας με χαλύβδινα σωματίδια των 20 mm, σωματίδια από βολφράμιο των 10 mm και σκόνη βολφραμίου.



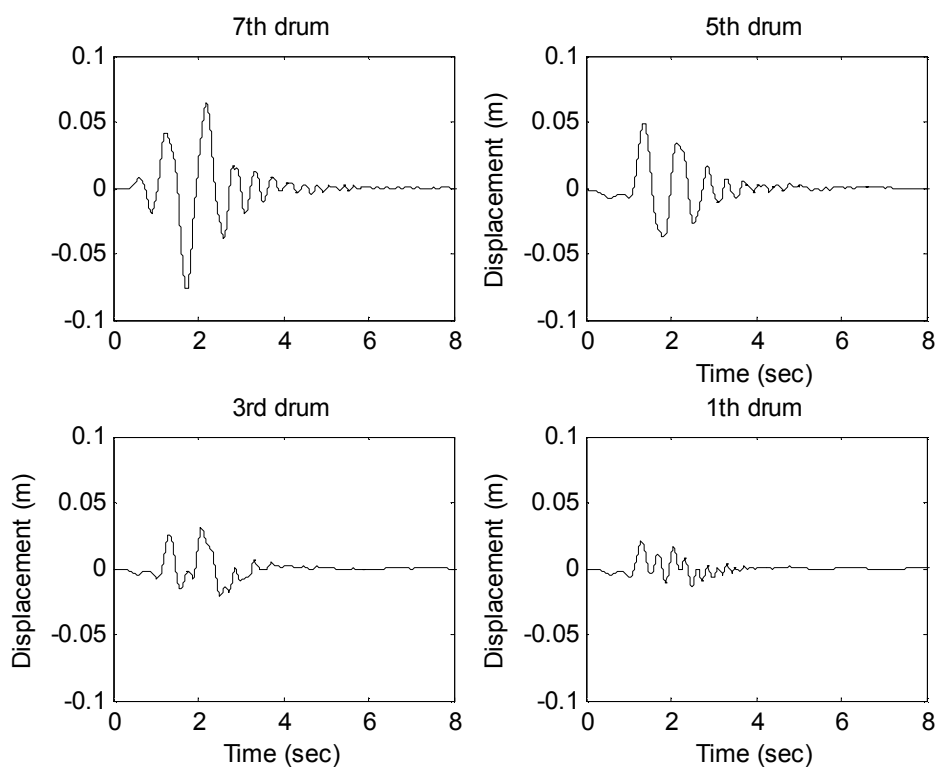
Εικ. 1.11: Αρχαίο μνημείο με πρόσθετο καινούργιο υλικό.

Πίνακας 1: Παράμετροι Συστήματος

Σετ πειραμάτων	Διάμετρος σωματιδίων (mm)	Αριθμός σωματιδίων	Λόγος μάζας (%)
1	50	1	2.60
2	20	8	1.33
3	20	16	2.66
4	20	22	3.66
5	30	3	1.67

1.2.1.1 Αρμονικές διεγέρσεις

Η μετακίνηση των σφονδύλων μειώθηκε με την χρήση του αποσβεστήρα αντικαθιστώντας τον 5^ο σφόνδυλο. Η Εικ. 1.12 παρουσιάζει την μέγιστη μετακίνηση των σφονδύλων στην διεύθυνση διέγερσης όταν ο αποσβεστήρας αντικατέστησε τον 5^ο σφόνδυλο και περιείχε 8 σωματίδια.



Εικ. 1.12: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό αρμονική διέγερση με τον αποσβεστήρα με την μεγάλη διάμετρο να αντικαθιστά τον 5^ο σφόνδυλο περιέχοντας 8 χαλύβδινα σφαιρίδια.

Η χρησιμοποίηση του αποσβεστήρα στην θέση του 7^{ου} σφονδύλου δεν ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική. Σε μερικά πειράματα το μικρό βάρος του αποσβεστήρα δεν έδινε την απαραίτητη τριβή που χρειαζόταν για να μείνει στην θέση του και ολίσθαινε πολύ.

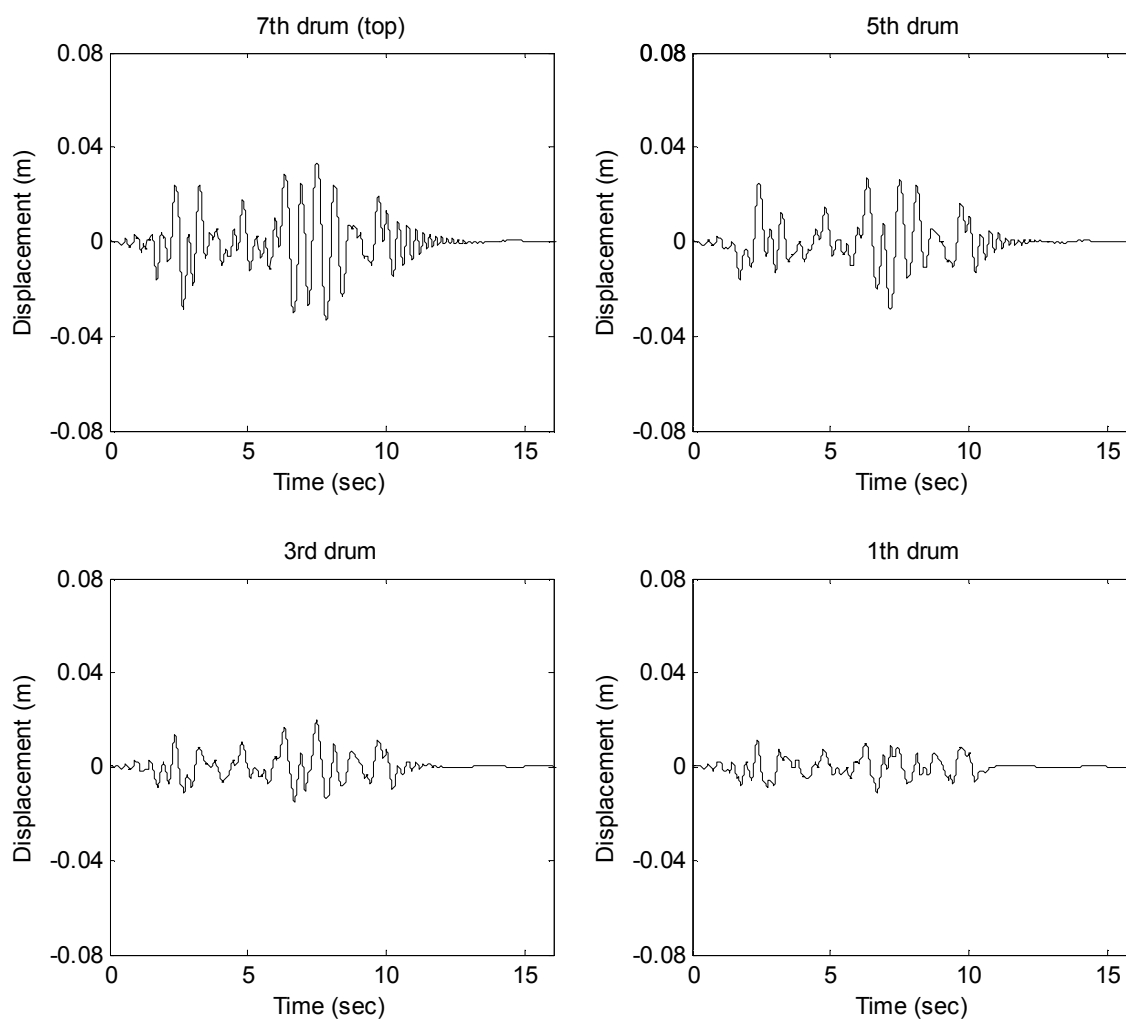
1.2.1.2 Τυχαίες διεγέρσεις

Πολλά πειράματα πραγματοποιήθηκαν με την τυχαία διέγερση γιατί μοιάζει περισσότερο με την σεισμική δόνηση και περιέχει όλες τις ιδιοσυχνότητες του κίονα. Ο αποσβεστήρας σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην 5^η και στην 7^η θέση αντικαθιστώντας τον αντίστοιχο σφόνδυλο. Μερικά πειράματα πραγματοποιήθηκαν και με τον αποσβεστήρα στην 3^η θέση αντικαθιστώντας τον αντίστοιχο σφόνδυλο. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Χρησιμοποιήθηκε για σύγκριση το rms (root mean square) της μετακίνησης του πάνω σφονδύλου (εβδόμου) που είχε την μεγαλύτερη μετακίνηση από τους υπόλοιπους σφονδύλους σε σχέση με την μετακίνηση της βάσης. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος των rms όλων των πειραμάτων που διεξήχθησαν (average RMS displacement ratio).

Πίνακας 2: Παράμετροι συστήματος για τυχαία ταλάντωση

Σετ Πειραμάτων	Διάμετρος Σωματιδίων (mm)	Αριθμός Σωματιδίων	Μέγεθος Αποσβεστήρα	Θέση Αποσβεστήρα	Μέσο RMS λόγου μετακινήσεων
1	-	-	-	-	5.55
2	-	-	Large	5	4.75
3	-	-	Small	5	5.60
4	50	1	Large	5	2.92
5	30	3	Large	5	3.28
6	20	8	Large	5	3
7	20	16	Large	5	6.16
8	20	22	Large	5	4.91
9	20	8	Medium	5	3.39
10	20	16	Medium	5	5.81
12	30	3	Medium	5	4.76
13	20	8	Small	5	3.77
15	20	8	Large	7	2.68
16	30	3	Large	7	4
17	20	16	Large	7	6.76
18	30	3	Large	7	5.36
19	20	8	Medium	7	6.03
20	30	3	Medium	7	5.36
21	20	8	Large	3	5.185

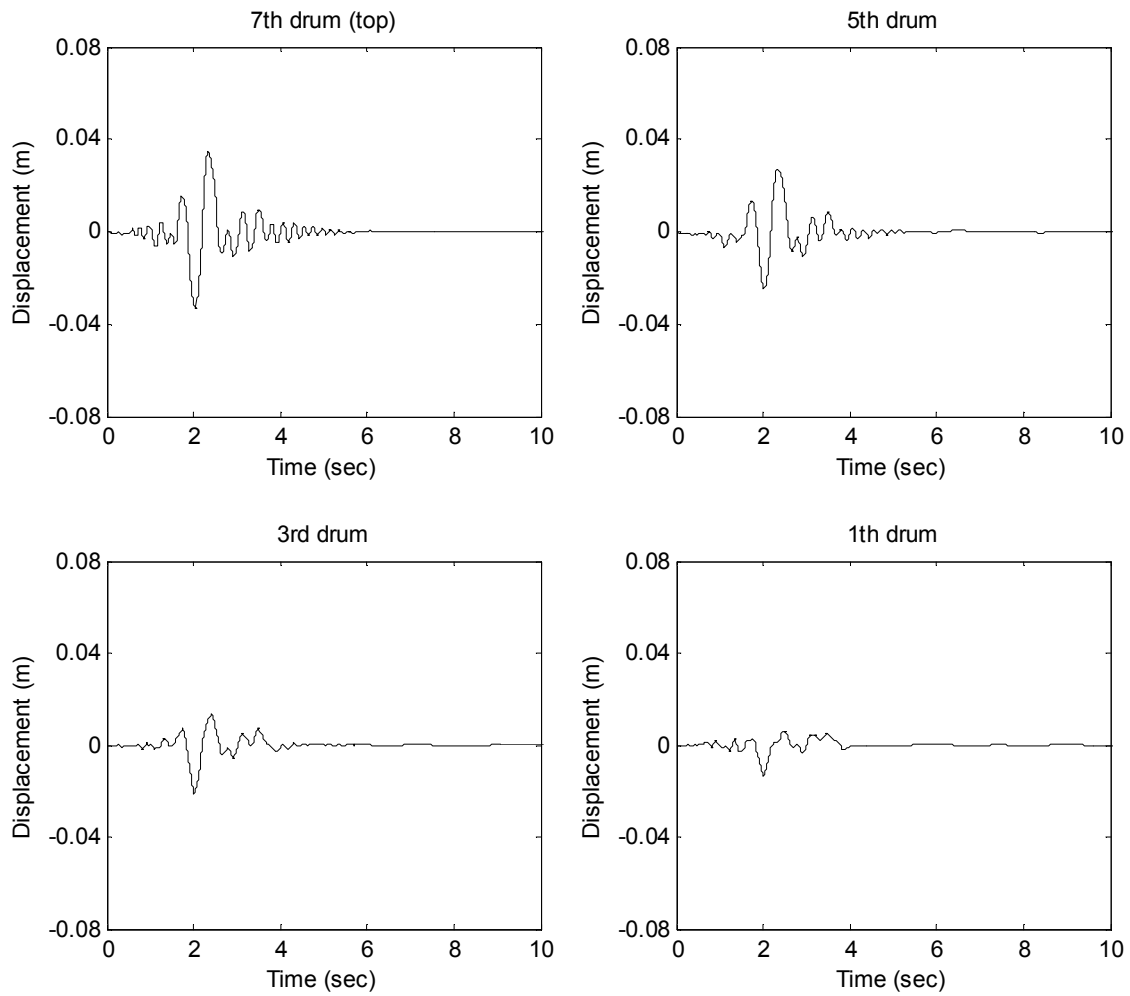
Η Εικ. 1.13 παρουσιάζει μια μέση απόκριση του κίονα κατά την διεύθυνση της διέγερσης.



Εικ. 1.13: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό τυχαία διέγερση με τον αποσβεστήρα με την μεγάλη διάμετρο να αντικαθιστά τον 5^ο σφόνδυλο περιέχοντας 8 χαλύβδινα σφαιρίδια.

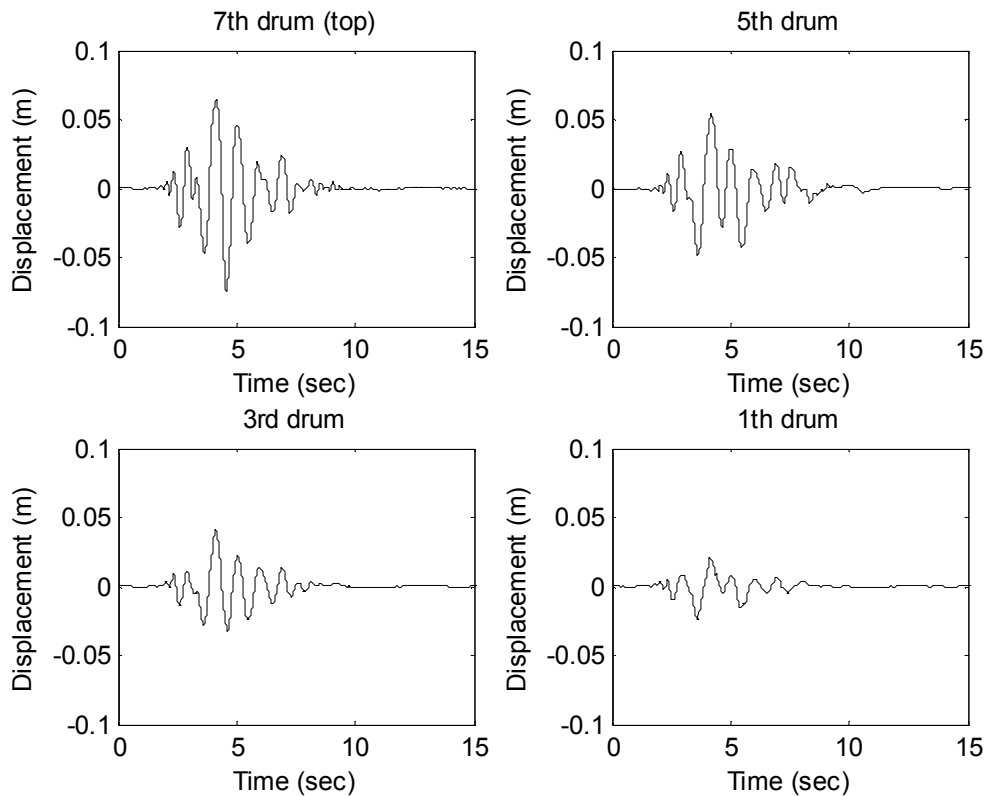
1.2.1.3 Σεισμικές διεγέρσεις

Η Εικ. 1.14 παρουσιάζει μια μέση απόκριση του κίονα κατά την διεύθυνση της διέγερσης (Σεισμός Καλαμάτας) με τον αποσβεστήρα σωματιδίων με την μεγάλη διάμετρο να αντικαθιστά τον 5ο σφόνδυλο περιέχοντας οκτώ χαλύβδινα σωματίδια των 20 mm διαμέτρου.



Εικ. 1.14: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό σεισμική διέγερση (σεισμός Καλαμάτας).

Η Εικ. 1.15 παρουσιάζει μια μέση απόκριση του κίονα κατά την διεύθυνση της διέγερσης (Σεισμός Ιρπίνια) με τον αποσβεστήρα σωματιδίων με την μεγάλη διάμετρο να αντικαθιστά τον 5ο σφόνδυλο περιέχοντας οκτώ χαλύβδινα σωματίδια των 20 mm διαμέτρου.

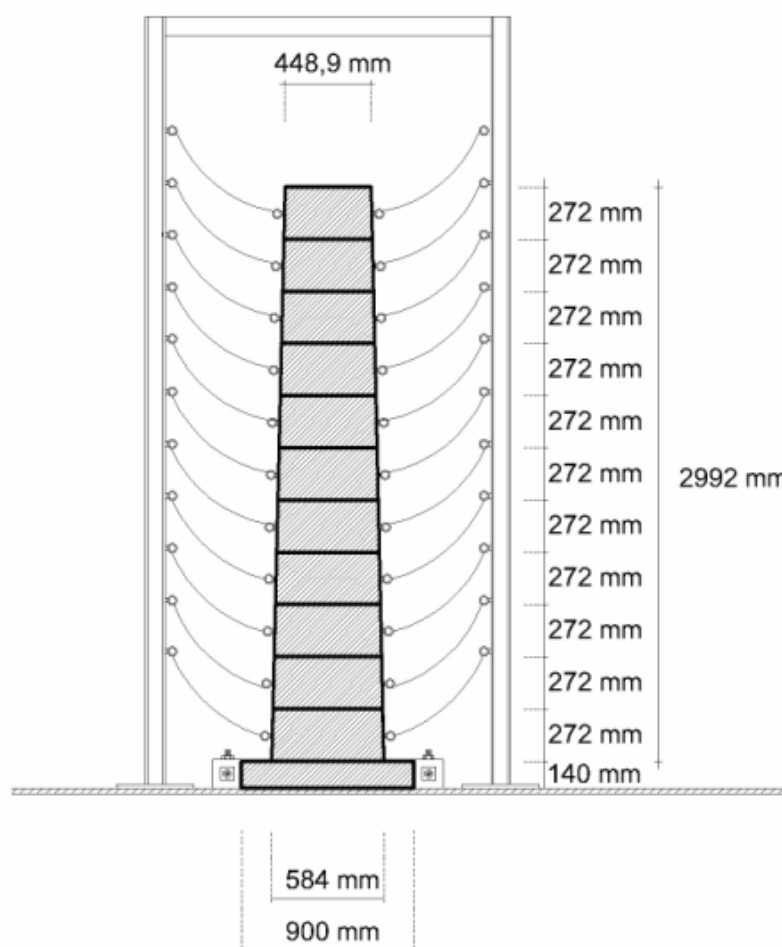


Εικ. 1.15: Μετακινήσεις σφονδύλων υπό σεισμική διέγερση (σεισμός Igrinia).

Συγκρίνοντας τις μετακινήσεις του κίονα χωρίς απόσβεση και με απόσβεση είναι φανερό ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση των μετακινήσεων ιδίως όταν ο αποσβεστήρας τοποθετηθεί σε ενδιάμεση θέση στο πάνω τμήμα του κίονα. Όταν ο αποσβεστήρας αντικαταστήσει τον πάνω σφόνδυλο σε μερικές διεγέρσεις (π.χ. αρμονική) παρουσιάστηκε μεγάλη ολίσθηση οπότε η καλύτερη θέση της τοποθέτησης του αποσβεστήρα είναι χαμηλότερα από τον πάνω σφόνδυλο. Τα σφαιρίδια από χάλυβα ήταν αποτελεσματικά στην μείωση της ταλάντωσης όταν ο αριθμός τους επέτρεπε να αποκτήσουν αρκετή ορμή ώστε να την ανταλλάξουν με την ορμή του κυρίου συστήματος. Τα πειράματα με σφαιρίδια από βολφράμιο έδειξαν ότι και αυτά μπορεί να είναι αποτελεσματικά με την κατάλληλη επιλογή παραμέτρων. Η σκόνη βολφραμίου δεν έδωσε καμία μείωση στην απόκριση του κίονα.

1.2 Μεγάλος Κίονας

Ο μεγάλος μαρμάρινος κίονας προσομοίωσε κίονα του Παρθενώνα. Χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1:3.3. Το συνολικό του ύψος είναι 2.992 m, το βάρος του 1707 kg και αποτελείται από 11 σφονδύλους (Εικ. 1.16). Ο κάθε σφόνδυλος έχει ύψος 272 mm. Η βάση του κίονα είναι μαρμάρινη πλάκα διαστάσεων 900x700x140 mm. Περισσότερα στοιχεία και διαστάσεις του κίονα παρουσιάζονται στην Τεχνική Έκθεση 1. Προστατευτικό πλαίσιο από χάλυβα κατασκευάστηκε να περικλείει τον κίονα.. Σχοινιά αναρτημένα από το πλαίσιο και συνδεδεμένα με τους σφονδύλους απέτρεπαν την πτώση των σφονδύλων και την καταστροφή τους σε περίπτωση μεγάλης σεισμικής διέγερσης.



Εικ. 1.16: Κίονας-δοκίμιο μεγάλων διαστάσεων

Στον κίονα τοποθετήθηκαν οκτώ επιταχυνσιόμετρα για την καταγραφή της επιτάχυνσης των σφονδύλων στην διεύθυνση της διέγερσης, δύο κάθετα στην διεύθυνση της διέγερσης και ένα για την καταγραφή της κατακόρυφης κίνησης (Εικ. 1.17).



Εικ. 1.17: Κίονας-δοκίμιο μεγάλων διαστάσεων

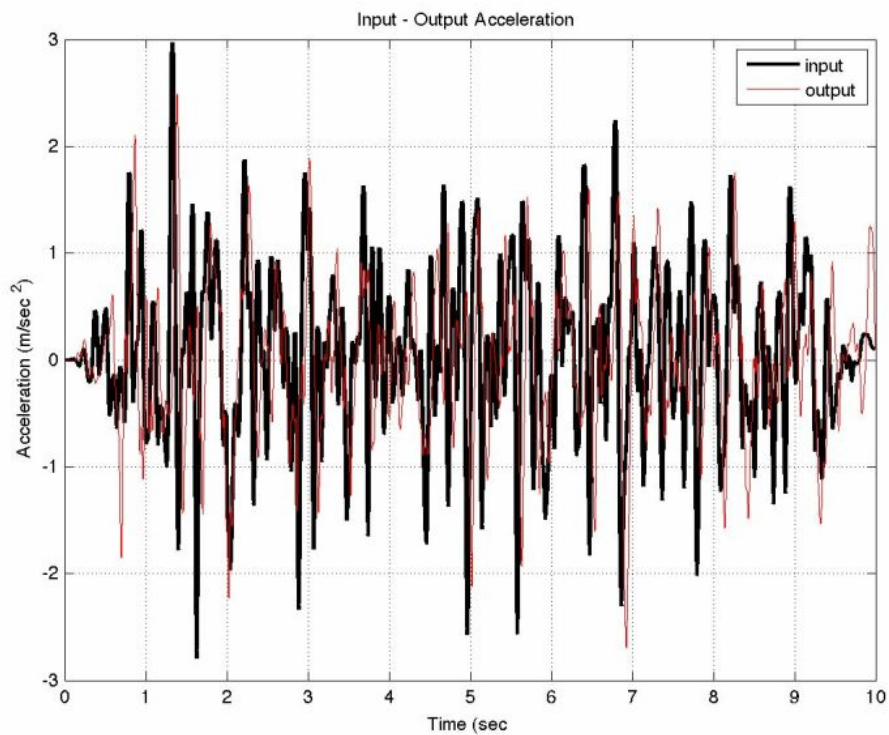
Η διεξαγωγή των πειραμάτων με τον μεγάλο σφόνδυλο ήταν πολύ δύσκολη. Το κάθε πείραμα διαρκούσε μερικά δευτερόλεπτα και η τοποθέτηση των σφονδύλων στην αρχική τους θέση έπαιρνε ώρες (Εικ. 1.18). Επίσης προβλήματα δημιουργούνταν με την σεισμική τράπεζα η οποία πριν την έναρξη του πειράματος περιστασιακά κινείτο απρόοπτα μετακινώντας τους σφονδύλους και καθυστερώντας τα πειράματα σε μεγάλο βαθμό γιατί οι σφόνδυλοι έπρεπε να επανατοποθετηθούν στην αρχική τους θέση πριν την διεξαγωγή κάθε πειράματος. Οι μεγάλες διαστάσεις και βάρος των σφονδύλων υποχρέωνε την χρήση γερανογέφυρας που καθυστερούσε επιπλέον τα πειράματα. Περισσότερα από δύο άτομα ήταν απαραίτητα για την τοποθέτηση των σφονδύλων στην αρχική τους θέση. Αποφασίστηκε να διεξαχθούν περισσότερα πειράματα με μικρούς κίονες και λιγότερα με τον μεγάλο για την επίτευξη των στόχων αυτής της έρευνας. Επίσης θεωρήθηκε ότι κύρια διέγερση θα είναι η τυχαία γιατί περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό συχνοτήτων που μπορούν να διεγείρουν όλες τις ιδιοσυχνότητες του κίονα και επιπλέον εμφανίζει κοινά χαρακτηριστικά με τις σεισμικές διεγέρσεις, Κατά την διάρκεια των μετακινήσεων μικρά κομμάτια μαρμάρου αποκόπτονταν. Οι σφόνδυλοι κυρίως λικνίζονταν ή ολίσθαιναν.



Εικ. 1.18: Τοποθέτηση σφονδύλων μεγάλου κίονα.

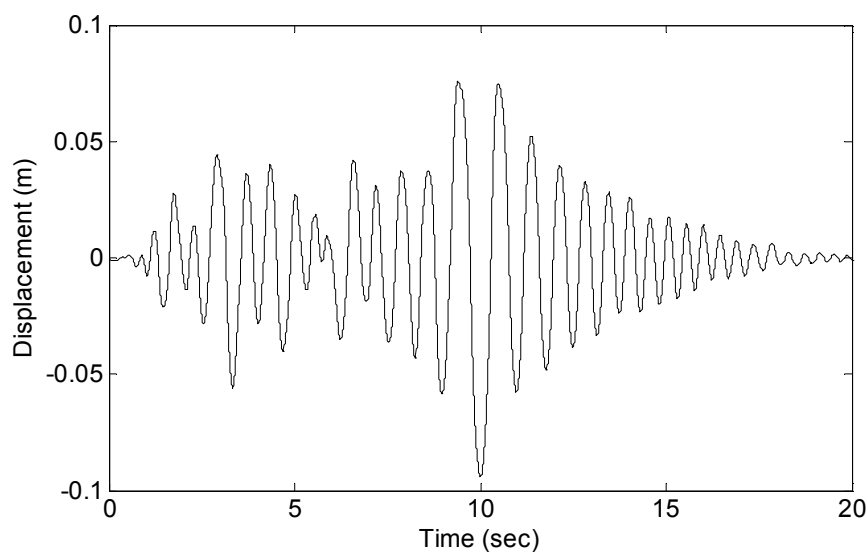
Τυχαίες διεγέρσεις

Ο κίονας δονήθηκε με τυχαία διέγερση περιέχοντας τις ίδιες συχνότητες όπως και η τυχαία διέγερση που χρησιμοποιήθηκε για τον μικρό κίονα (από 1- 10 Hz) αλλά μεγαλύτερης έντασης (Εικ. 1.19).



Εικ. 1.19: Τυχαίο σήμα διέγερσης (input είναι το σήμα που εισάγεται στην σεισμική τράπεζα και output το πραγματικό σήμα δόνησης)

Η Εικ. 1.20 παρουσιάζει την απόκριση του 11^{ου} σφονδύλου (κορυφή) του κίονα χωρίς αποσβεστήρα ενδεικτικής δοκιμής.



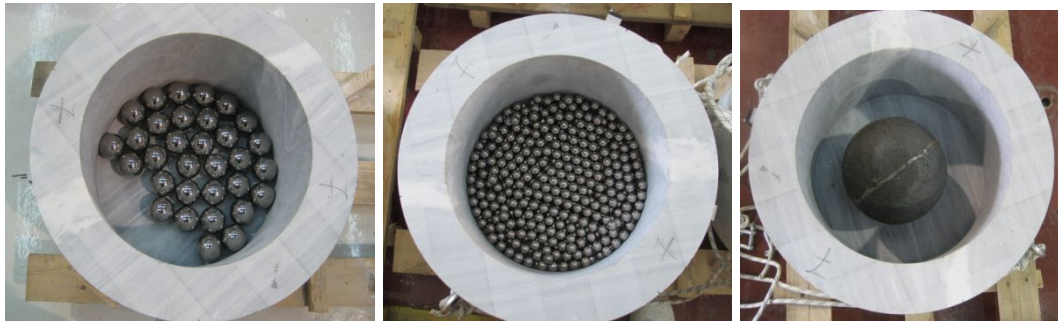
Εικ. 1.20: Απόκριση του 11^{ου} σφονδύλου (κορυφή) του κίονα χωρίς αποσβεστήρα υπό τυχαία διέγερση.

Δύο μαρμάρινοι αποσβεστήρες σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν. Ο ένας μπορούσε να αντικαταστήσει τον 11^ο σφόνδυλο (κορυφή) και ο άλλος τον 7^ο. Η εσωτερική διάμετρος ήταν 349 mm. Η εσωτερική διάμετρος μπορούσε να αυξομειωθεί με εσωτερικά δαχτυλίδια που μπορούσαν να εφαρμοστούν μέσα στο κενό του αποσβεστήρα (Εικ. 1.21).



Εικ. 1.21: Αποσβεστήρας σωματιδίων.

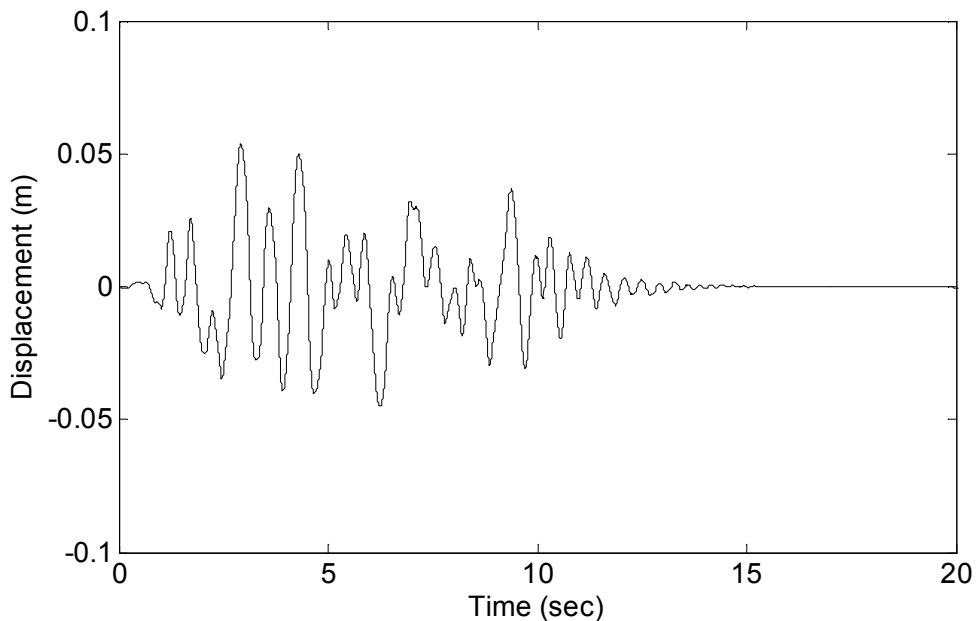
Τα σωματίδια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν χαλύβδινα και είχαν διαστάσεις 20 mm, 50 mm και 200 mm (Εικ. 1.22).



Εικ. 1.22: Αποσβεστήρας με σωματίδια διαφόρων διαμέτρων.

Πειράματα πραγματοποιήθηκαν αντικαθιστώντας τον 7^ο και 11^ο σφόνδυλο. Ο αριθμός των σωματιδίων που χρησιμοποιήθηκε ήταν 22, 32 και 64 διαμέτρου 50 mm, 374, 500 και 1000 διαμέτρου 20 mm και ένα σωματίδιο 200 mm.

Η Εικ. 1.23 παρουσιάζει την απόκριση του 11^{ου} σφονδύλου (κορυφή) του κίονα χωρίς αποσβεστήρα ενδεικτικής δοκιμής. Ο αποσβεστήρας έχει αντικαταστήσει τον 7^ο σφόνδυλο περιέχοντας 32 σωματίδια διαμέτρου 50 mm.



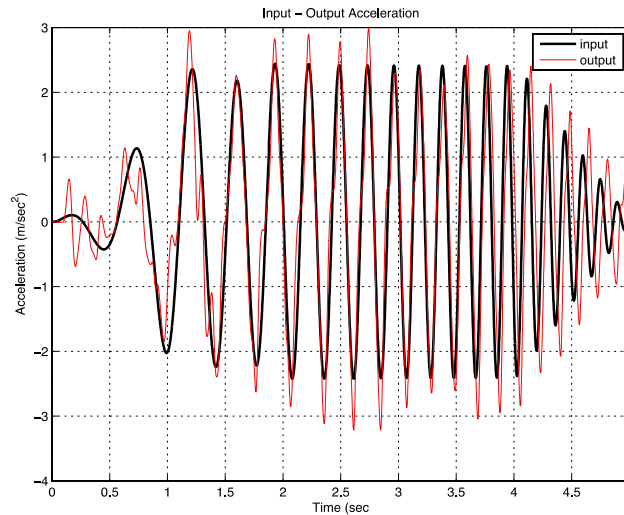
Εικ. 1.23: Απόκριση του 11^{ου} σφονδύλου (κορυφή) του κίονα με αποσβεστήρα υπό τυχαία διέγερση.

Συγκρίνοντας τις μετακινήσεις των σφονδύλων χωρίς και με αποσβεστήρα παρατηρείται σημαντική μείωση της απόκρισης. Τα συμπεράσματα είναι παρόμοια με τα συμπεράσματα των πειραμάτων από τον μικρό κίονα. Η συμπεριφορά του αποσβεστήρα αντικαθιστώντας τον 11^ο σφόνδυλο (σφόνδυλο κορυφής) είναι καλύτερη στον μεγάλο κίονα από ότι στον μικρό λόγω του μεγαλύτερου βάρους και

της αύξησης της τριβής. Η χρήση του χιτωνίου δεν επέφερε την ίδια μείωση της ταλάντωσης. Τα σωματίδια δεν είχαν αρκετό χώρο να κουνηθούν μειώνοντας την αποτελεσματικότητα του αποσβεστήρα.

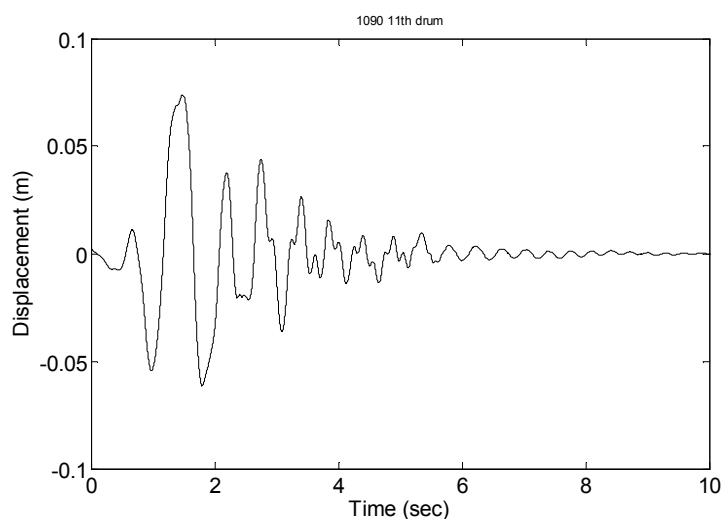
Αρμονικές διεγέρσεις

Ο κίονας δονήθηκε με ημιτονοειδή σήμα (sine-sweep) που περιλάμβανε τις συχνότητες από 1-7 Hz.

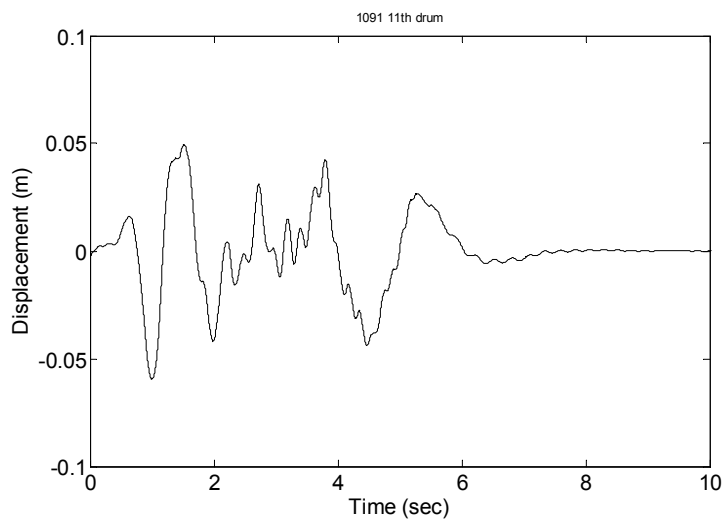


Εικ. 1.24: Αρμονικό σήμα διέγερσης

Αρχικά ο κίονας διεγέρθηκε χωρίς αποσβεστήρα και στην συνέχεια με αποσβεστήρα και 32 σφαιρικά σωματίδια διαμέτρου 50 mm. Ο αποσβεστήρας αντικατέστησε αρχικά τον 11^ο και στην συνέχεια το 7^ο σφόνδυλο. Οι Εικ. 25 και 26 δείχνουν τις μετακινήσεις του 11^{ου} σφονδύλου χωρίς και με αποσβεστήρα αντίστοιχα. Οι τελευταίοι σφόνδυλοι στην κορυφή του κίονα ολίσθησαν και παρατηρήθηκε μόνιμη παραμόρφωση της τάξεως των 3 cm κατά την διεύθυνση της κίνησης. Περισσότερες λεπτομέρειες της ανάλυσης των πειραμάτων παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.



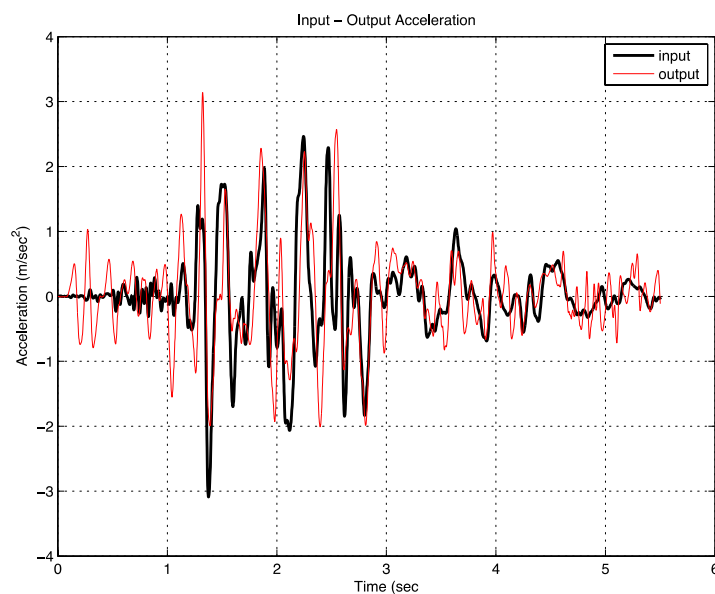
Εικ. 1.25: Μετατόπιση 11^{ου} σφονδύλου του κίονα χωρίς αποσβεστήρα.



Εικ. 1.26: Μετατόπιση 11^{ου} σφονδύλου του κίονα με τον αποσβεστήρα στην κορυφή του κίονα.

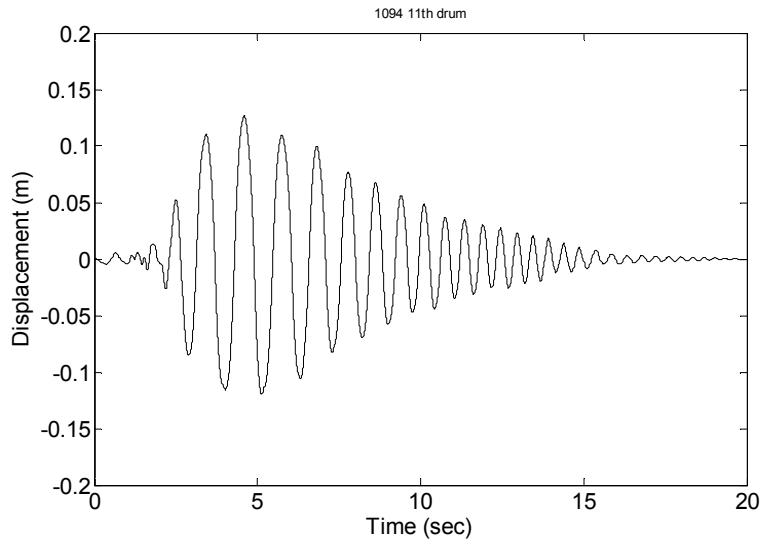
Σεισμικές διεγέρσεις

Ο κίονας διεγέρθηκε με διάφορους σεισμούς όπως τον σεισμό της Καλαμάτας, του Ιγρινία, της Αθήνας, της Λευκάδας. Στο παράρτημα Γ φαίνονται η ανάλυση των υπολοίπων πειραμάτων. Το σήμα διέγερσης παρουσιάζεται στην Εικ. 1.27.



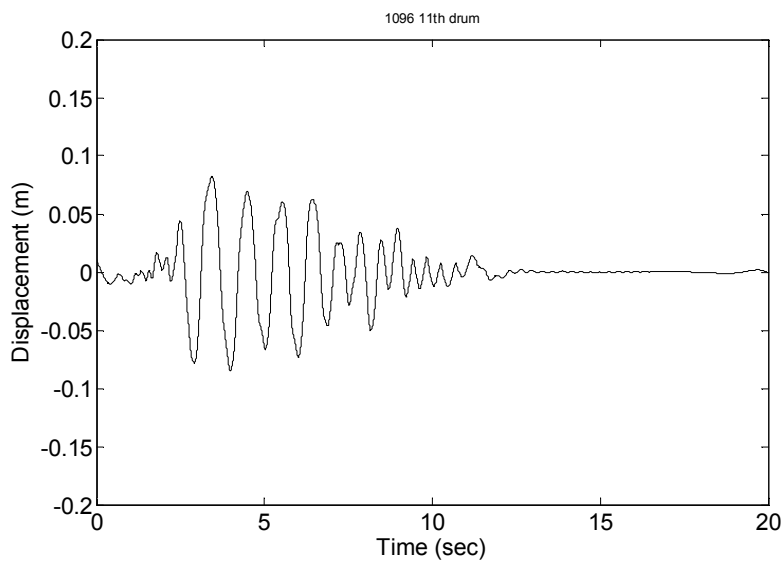
Εικ. 1.27: Σήμα διέγερσης (Σεισμός Καλαμάτας).

Η μετατόπιση του σφονδύλου στην κορυφή παρουσιάζεται στην Εικ. 1.28.



Εικ. 1.28: Μετατόπιση 11^{ου} σφονδύλου του κίονα χωρίς αποσβεστήρα (Σεισμός Καλαμάτα).

Ο αποσβεστήρας αντικατέστησε τον 11^ο σφόνδυλο. Η ταλάντωση μειώθηκε σημαντικά όπως φαίνεται στην Εικ. 1.29.



Εικ. 1.29: Μετατόπιση 11^{ου} σφονδύλου του κίονα με αποσβεστήρα (Σεισμός Καλαμάτα).

Κατά την διάρκεια των υπολειπόμενων πακέτων εργασίας αυτού του υποέργου ίσως χρειαστεί να πραγματοποιηθούν κάποια επιπλέον πειράματα που θα επιβεβαιώσουν την συμπεριφορά του κίονα με και χωρίς αποσβεστήρα.

Στα παραρτήματα Α, Β, Γ παρουσιάζεται λεπτομερής επεξεργασία των δοκιμών με τον μικρό και τον μεγάλο κίονα.

2. Διερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς κίονα-δοκιμίου με ή χωρίς αποσβεστήρα για κίονα με ατέλειες

Μικρός κίονας

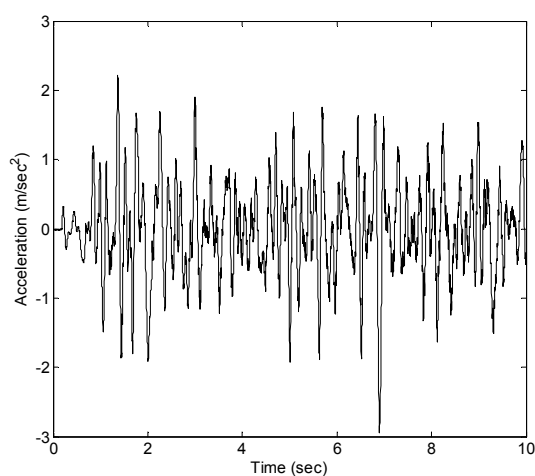
Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με κίονα-δοκίμιο μικρών διαστάσεων. Ο μικρός κίονας-δοκίμιο προσομοίωσε κίονα από τον ναό του Ηφαιστείου στην Αθήνα (κλίμακα 1:8). Ο κίονας αποτελείται από 7 σφονδύλους ύψους 120 mm και διαμέτρου 93 mm ο καθένας (Εικ. 1.1). Οι αποσβεστήρες σωματιδίων ήταν μαρμάρيني κούφιοι σφόνδυλοι με εξωτερική διάμετρο ίδια με την διάμετρο των άλλων σφονδύλων δηλ. 120 mm. Δύο μεγέθη αποσβεστήρων σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν με διάμετρο του κούφιου τμήματος 9, 8 cm, αντίστοιχα. Τα σωματίδια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν χαλύβδινα με διάμετρο 20, 30 και 50 mm και από βολφράμιο με διάμετρο 10 mm. Η θέση του αποσβεστήρα αποτελεί μία σημαντική παράμετρο του πειράματος. Επιλέχθηκε η 5^η και η 7^η θέση αντικαθιστώντας τους αντίστοιχους σφονδύλους. Οι μετακινήσεις υπολογίστηκαν από τις επιταχύνσεις που καταγράφηκαν από επιταχυνσιόμετρα που είχαν τοποθετηθεί στους σφονδύλους και στην βάση (βλέπε τεχνική έκθεση για το Πακέτο 2) με διπλή ολοκλήρωση. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε κίονα με δύο ειδών ατέλειες. Στην πρώτη περίπτωση η ατέλεια βρισκόταν στον σφόνδυλο βάσης και στην δεύτερη περίπτωση η βάση στήριξης του κίονα τοποθετήθηκε υπό κλίση. Το μεγαλύτερο μέρος των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε με τυχαίες διεγέρσεις γιατί αυτές οι διεγέρσεις περιλαμβάνουν όλες τις ιδιοσυχνότητες του κίονα και προσομοιάζουν σεισμική διέγερση. Έγιναν και κάποια πειράματα με αρμονικές και σεισμικές δονήσεις όπως φαίνονται στο Παράρτημα Δ. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή αντιπροσωπευτικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστά για τον κίονα με σπασμένο τον σφόνδυλο βάσης και για τον κίονα υπό κλίση.

2.1. Κίονας με ατέλεια στον σφόνδυλο βάσης

Χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος μικρός κίονας-δοκίμιο (Εικ. 1.1) με μόνη διαφορά την αντικατάσταση του σφονδύλου βάσης με έναν κίονα με μειωμένη διατομή (Εικ. 2.1). Η μειωμένη διατομή δημιουργήθηκε αποσπώντας ένα τμήμα από τον σφόνδυλο. Για πιο δυσμενή αποτελέσματα η μειωμένη διατομή τοποθετήθηκε στην διεύθυνση διέγερσης του κίονα. Αρχικά ο κίονας χωρίς αποσβεστήρα διεγέρθηκε με το ίδιο τυχαίο σήμα (Εικ. 2.2). Ο κίονας κινήθηκε πολύ χάνοντας την ισορροπία του στα περισσότερα πειράματα. Στην Εικ. 2.3(a) παρουσιάζεται η μετατόπιση του σφονδύλου κορυφής του κίονα για αντιπροσωπευτικό πείραμα όπου ο κίονας έχασε την ισορροπία του μετά το τέλος της διέγερσης κατά την διάρκεια της ελεύθερης ταλάντωσης.



Εικ. 2.1: Κίονας με σπασμένο τον σφόνδυλο βάσης.

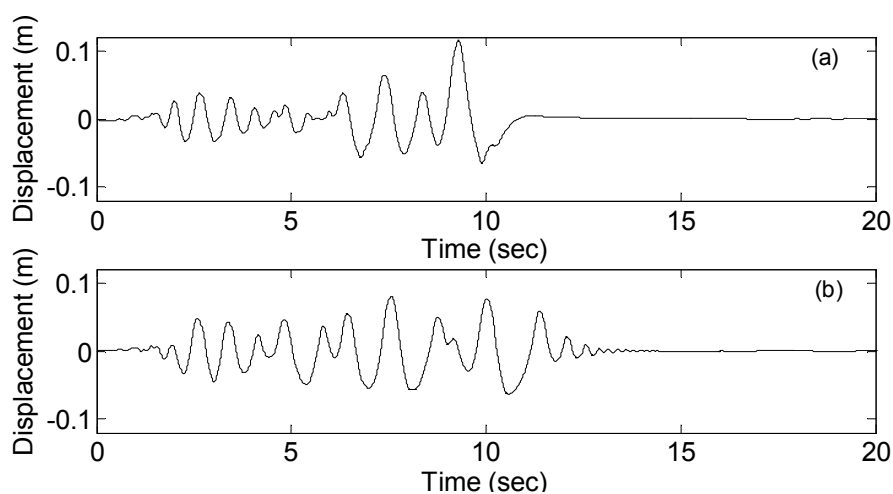


Εικ. 2.2: Τυχαίο σήμα διέγερσης.

Στην συνέχεια τοποθετήθηκε ο μεγάλος αποσβεστήρας με το ένα σωματίδιο των 50 mm διαμέτρου αντικαθιστώντας τον 5^ο σφόνδυλο. Η κίνηση του κίονα μειώθηκε και ο κίονας σε κανένα πείραμα δε έχασε την ισορροπία του (Εικ. 2.3(b)).

Η χρήση του μεσαίου αποσβεστήρα απέφερε παρόμοια αποτελέσματα με τον μεγάλο με λίγο μεγαλύτερο εύρος ταλαντώσεων. Τα σωματίδια μικρότερης διαμέτρου δεν έφεραν την ίδια μείωση.

Η αντικατάσταση του τελευταίου σφονδύλου με αποσβεστήρα δεν επηρέασε το ίδιο σημαντικά την κίνηση του κίονα.



Εικ. 2.3: Μετατόπιση κορυφής κίονα: (α) χωρίς αποσβεστήρα, (β) με αποσβεστήρα.

Ο κίονας δονήθηκε με ημιτονοειδή σήμα (sine-sweep) που περιλάμβανε τις συχνότητες από 1-7 Hz. Χωρίς τον αποσβεστήρα η κίνηση ήταν μεγάλη. Η ολίσθηση του σφονδύλου στην κορυφή ήταν σημαντική. Ολόκληρος ο κίονας λικνίστηκε στην βάση του και περιστράφηκε. Η αντικατάσταση του 5^{ου} σφονδύλου με τον αποσβεστήρα με το μεγάλο άνοιγμα και 8 χαλύβδινα σωματίδια διαμέτρου 20 mm δεν μείωσε την ταλάντωση του κίονα.

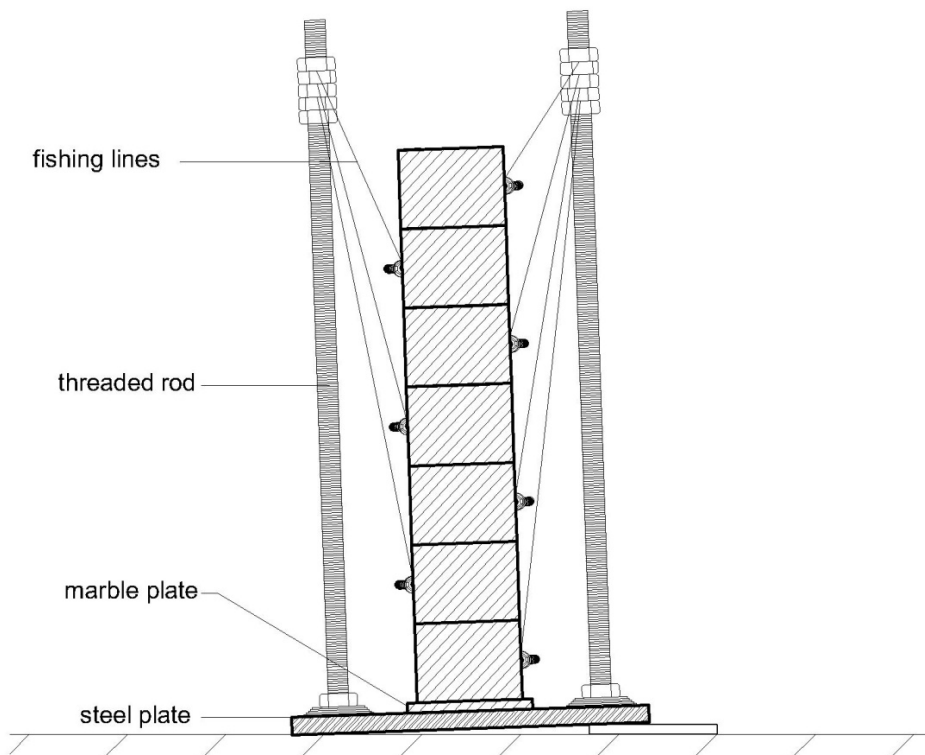
Η σεισμική διέγερση του κίονα πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης του σεισμού της Καλαμάτας το 1985 τροποποιημένη για την κλίμακα 1:8. Ο κίονας χωρίς αποσβεστήρα λικνίστηκε σημαντικά από την βάση του χωρίς σχετική μετακίνηση των σφονδύλων. Μικρό μόνο λίκνισμα παρουσιάστηκε μεταξύ των σφονδύλων κυρίως μεταξύ του 2^{ου} και του 1^{ου}. Η αντικατάσταση του 5^{ου} σφονδύλου με τον αποσβεστήρα με το μεγάλο άνοιγμα και 8 χαλύβδινα σωματίδια διαμέτρου 20 mm μείωσαν την χρονική διάρκεια της ταλάντωσης του κίονα αλλά αύξησαν την κίνηση του σφονδύλου κορυφής που παρουσίασε ολίσθηση κάτι που δεν είχε παρατηρηθεί χωρίς την χρήση αποσβεστήρα. Αποφασίστηκε ότι για την διεξαγωγή συμπερασμάτων η καλύτερη διέγερση είναι η τυχαία και αυτή χρησιμοποιήθηκε ως επί το πλείστον. Η διεξαγωγή μεγάλου αριθμού πειραμάτων αλλοίωσε τον κίονα και τα χαρακτηριστικά του γι' αυτό έγινε προσπάθεια να γίνουν μόνο τα απαραίτητα πειράματα ώστε να μπορέσουν να βγουν συμπεράσματα για το αν η χρήση του αποσβεστήρα είναι αποτελεσματική για την μείωση ταλαντώσεων κλασικών κίονων.

2.2 Κίονας υπό κλίση

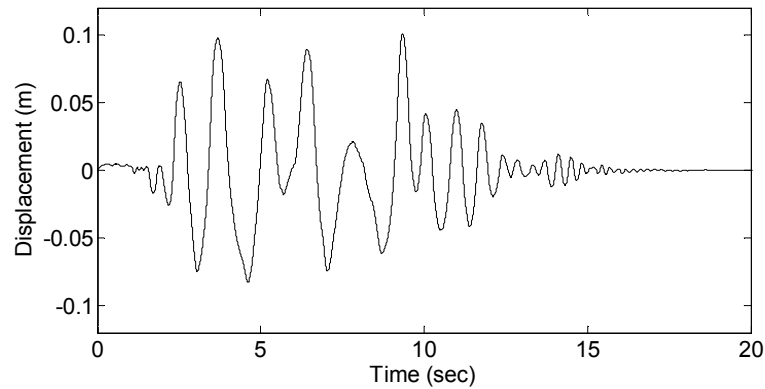
Ο μικρός κίονας-δοκίμιο των ίδιων διαστάσεων με τον κίονα που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των πειραμάτων χωρίς ατέλειες ανασηκώθηκε από την μία πλευρά τοποθετώντας κάτω από την μεταλλική πλάκα που τον συνέδεε με την σεισμική τράπεζα ξύλινη πλάκα (Εικ. 2.4). Η κλίση που δημιουργήθηκε ήταν 2.5%. Προτιμήθηκε η δημιουργία κλίσης με αυτόν τον τρόπο αντί να κατασκευαστεί μαρμάρινη πλάκα που το πάνω τμήμα της θα έχει αυτή την κλίση ώστε να μπορεί να αυξομειωθεί η κλίση με κατάλληλες ξύλινες σφήνες.

Ο κίονας διεγέρθηκε με τυχαία (random) διέγερση που περιλάμβανε τις συχνότητες από 1-10 Hz (Εικ. 2.2).

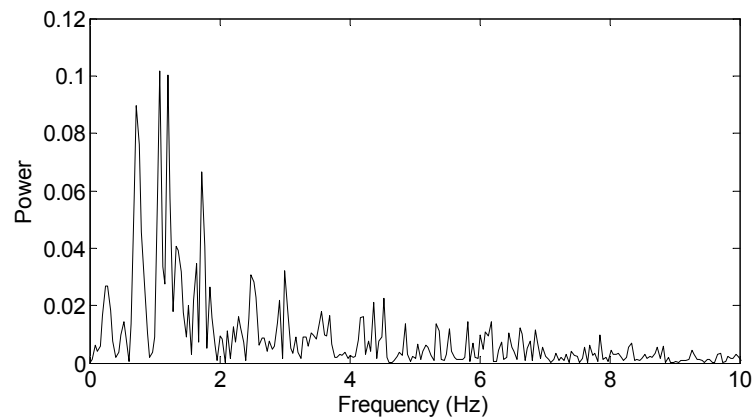
Οι σφόνδυλοι του κίονα μετακινήθηκαν πολύ χάνοντας την ισορροπία τους στα μισά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Στην Εικ. 2.5 παρουσιάζεται η μετακίνηση του 7^{ου} σφονδύλου (κορυφή κίονα) στην διεύθυνση της διέγερσης για ένα πείραμα που ο κίονας δεν έπεσε ενώ στην Εικ. 2.6 ο μετασχηματισμός Fourier της επιτάχυνσης του σφονδύλου κορυφής. Οι κύριες ιδιοσυχνότητες του σφονδύλου είναι κάτω από τα 2 Hz.



Εικ. 2.4: Κίονας-δοκίμιο μικρών διαστάσεων

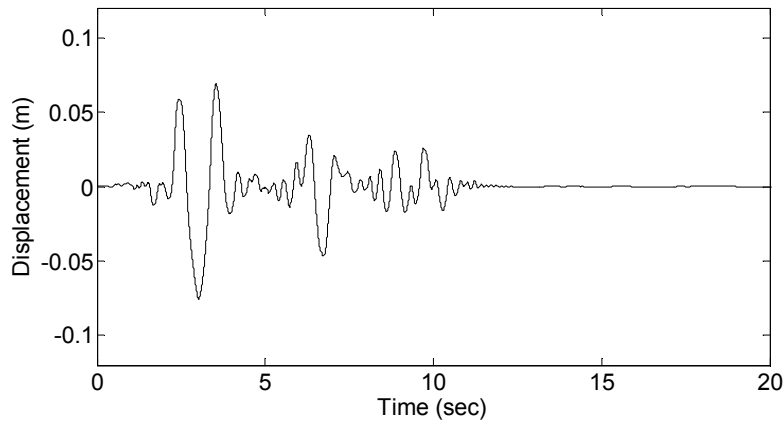


Εικ. 2.5: Μετακίνηση του σφονδύλου κορυφής στην διεύθυνση της διέγερσης (χωρίς αποσβεστήρα)



Εικ. 2.6: Μετασχηματισμός Fourier επιτάχυνσης σφονδύλου κορυφής.

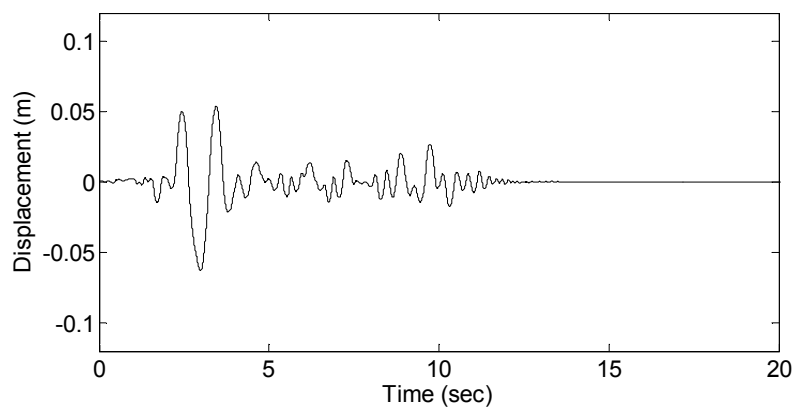
Ο αποσβεστήρας με την μεγάλη διάμετρο του κούφιου τμήματος (9 cm-μεγάλος αποσβεστήρας) αντικατέστησε τον 5^ο σφόνδυλο του κίονα. Οκτώ χαλύβδινα σωματίδια των 20 mm, 3 χαλύβδινα σωματίδια των 30 mm και 28 και 35 σωματίδια από βολφράμιο τοποθετήθηκαν στον αποσβεστήρα διαδοχικά χωρίς όμως να επηρεάσουν σημαντικά την απόκριση του κίονα (Παράρτημα Δ). Στην συνέχεια τοποθετήθηκε ένα χαλύβδινο σωματίδιο διαμέτρου 50 mm. Η κίνηση του κίονα μειώθηκε στο μεγαλύτερο κομμάτι της διέγερσης αλλά προς το τέλος η κίνηση αυξήθηκε σημαντικά. Μία μεταλλική πλάκα τοποθετήθηκε μέσα στον αποσβεστήρα δημιουργώντας εσωτερική κλίση στον πυθμένα του αποσβεστήρα αντίθετη από αυτή του κίονα. Η κίνηση του κίονα μειώθηκε σημαντικά (Εικ. 2.7) και ο κίονας δεν έχασε την ισορροπία του σε κανένα από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν.



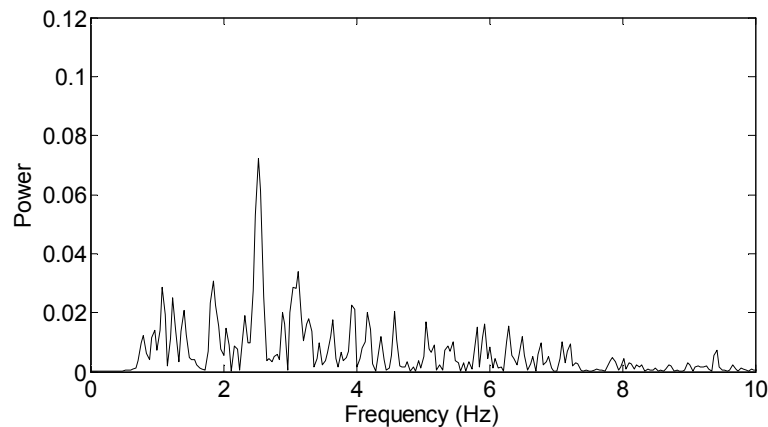
Εικ. 2.7: Μετακίνηση του σφονδύλου κορυφής στην διεύθυνση της διέγερσης (με μεγάλο αποσβεστήρα και ένα σωματίδιο 50 mm διαμέτρου)

Τοποθετήθηκαν και τα άλλα σωματίδια με τις μικρότερες διαμέτρους διατηρώντας την εσωτερική κλίση του πυθμένα του αποσβεστήρα αλλά δεν ήταν αποτελεσματικά στην μείωση της ταλάντωσης του κίονα.

Ο μεσαίος αποσβεστήρας με διάμετρο του κούφιου τμήματος 8 cm αντικατέστησε τον μεγάλο αποσβεστήρα. Η χρήση του ενός σωματιδίου διαμέτρου 50 mm έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα (Εικ. 2.8-2.9) χωρίς να χρειαστεί η δημιουργία εσωτερικής κλίσης. Μειώθηκε το εύρος των κυρίων ιδιοσυχνοτήτων αλλά αυξήθηκε για μερικές ιδιοσυχνότητες μεγαλύτερες των 2 Hz.



Εικ. 2.8: Μετακίνηση του σφονδύλου κορυφής στην διεύθυνση της διέγερσης (με μεσαίο αποσβεστήρα και ένα σωματίδιο 50 mm διαμέτρου)



Εικ. 2.9: Μετασχηματισμός Fourier επιτάχυνσης σφονδύλου κορυφής (με μεσαίο αποσβεστήρα και ένα σωματίδιο 50 mm διαμέτρου)

Δεν είχαμε την ίδια σημαντική μείωση με την χρήση των άλλων σωματιδίων.

Η τοποθέτηση του αποσβεστήρα αντικαθιστώντας τον 7^ο σφόνδυλο (σφόνδυλο κορυφής) δεν έδωσε συνεπή αποτελέσματα.

Ως συμπέρασμα από την διεξαγωγή των πειραμάτων για τον μικρό κίονα απορρέει ότι η χρήση του αποσβεστήρα σωματιδίων στον 5^ο σφόνδυλο αυξάνει σημαντικά την ισορροπία του κίονα όταν σχεδιαστεί σωστά. Η μία μεταλλική σφαίρα των 50 mm είναι η πιο κατάλληλη σαν σωματίδιο για τον συγκεκριμένο κίονα.

Στο παράρτημα Δ παρουσιάζεται λεπτομερής επεξεργασία των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν.

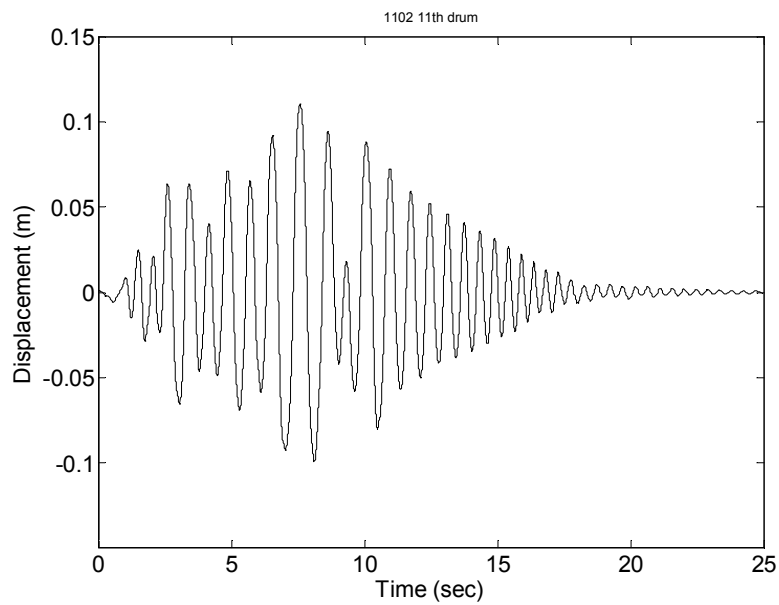
Μεγάλος κίονας

Ο μεγάλος κίονας-δοκίμιο των ίδιων διαστάσεων με τον κίονα που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των πειραμάτων χωρίς ατέλειες ανασηκώθηκε από την μία πλευρά τοποθετώντας κάτω από την μεταλλική πλάκα που τον συνέδεε με την σεισμική τράπεζα μικρές μεταλλικές πλάκες. Η κλίση που δημιουργήθηκε ήταν 2.1% (Εικ. 2.10).

Ο κίονας διεγέρθηκε με τυχαία, αρμονική και σεισμική διέγερση. Η μετατόπιση του σφονδύλου κορυφής για την τυχαία διέγερση παρουσιάζεται στην Εικ. 2.11.

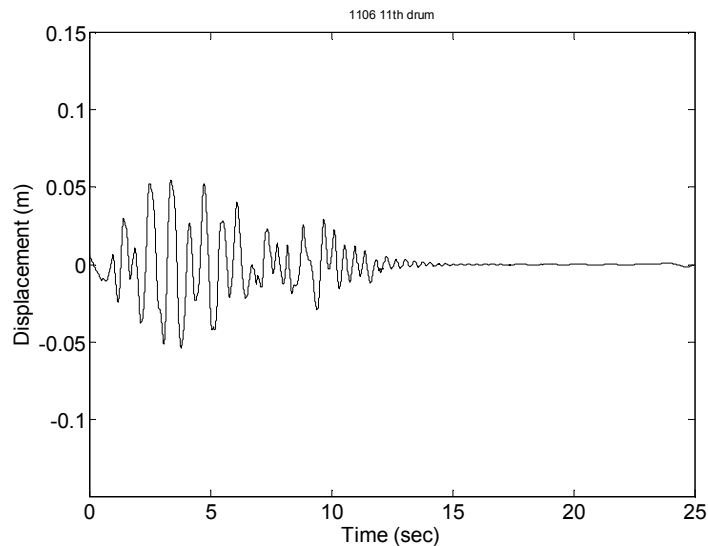


Εικ. 2.10: Κίονας-δοκίμιο με κλίση



Εικ. 2.11: Μετακίνηση του σφονδύλου κορυφής στην διεύθυνση της διέγερσης (χωρίς απόσβεση)

Ο σφόνδυλος κορυφής αντικαταστάθηκε με αποσβεστήρα που περιείχε 32 σωματίδια διαμέτρου 50 mm. Η μετατόπιση κορυφής μειώθηκε σημαντικά όπως φαίνεται στην Εικ. 2.12.



Εικ. 2.12: Μετακίνηση του σφονδύλου κορυφής στην διεύθυνση της διέγερσης (με απόσβεση)

Στα τελευταία πειράματα πολλά τμήματα του κίονα είχαν πια αποσπαστεί. Ατέλειες παρουσιάζονταν όχι μόνο στον σφόνδυλο βάσης αλλά στους περισσότερους σφονδύλους (Εικ. 2.13).



Εικ. 2:13: Κίονας με ατέλειες

Λεπτομερής ανάλυση των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζεται στο Παράρτημα Δ. Κατά την διάρκεια του επόμενου πακέτου εργασίας αυτού του υποέργου ίσως χρειαστεί να πραγματοποιηθούν κάποια επιπλέον πειράματα που θα επιβεβαιώσουν την συμπεριφορά του κίονα με ατέλειες με και χωρίς αποσβεστήρα.