

Πειραματική και θεωρητική διερεύνηση εξαναγκασμένης ελεύθερης ταλάντωσης ομοιώματος βάρου γέφυρας

Experimental and theoretical investigation of free vibration of a bridge pier model

ΤΕΡΖΗ, Β. MSc Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Δρ Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
ΡΑΠΤΑΚΗΣ. Δ. Λέκτορας Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
ΜΑΝΑΚΟΥ Μ. MSc Γεωλόγος, Υποψ. Δρ Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
ΜΑΝΟΣ, Γ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ, Κ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Ομοίωμα βάρου γέφυρας κλίμακας 1:3 που βρίσκεται στο πειραματικό πεδίο δοκιμών EUROSEISTEST υποβλήθηκε σε μία σειρά δοκιμών εκτέλεσης ελεύθερης ταλάντωσης. Οι στόχοι διεξαγωγής των πειραμάτων ήταν οι εξής: (α) εκτίμηση των χαρακτηριστικών της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-ανωδομής, (β) μελέτη της δυναμικής απόκρισης της κατασκευής και (γ) διερεύνηση του κυματικού πεδίου της διάδοσης των παραγόμενων ελαστικών κυμάτων στο περιβάλλον έδαφος. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την σύνθετη φύση του φαινομένου που σχετίζεται με την δυναμική αλληλεπίδραση και προσφέρουν ένα πλήθος καλά τεκμηριωμένων δεδομένων για την βαθμονόμηση αριθμητικών προσομοιωμάτων.

ABSTRACT : Bridge pier model in scale 1:3 which is located at the EUROSEISTEST site was subjected to a series of release tests. The experimental targets were the following: (a) estimation of the dynamic characteristics of soil-foundation-superstructure interaction, (b) study of the structural dynamic behavior and (c) study of propagation of the generated wave field in the time and frequency domain as well. The results show the composite nature of the phenomenon which is related to the dynamic soil-foundation-structure interaction and offer a great number of well proved experimental data for the calibration and the estimation of numerical models.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής και τα παραγόμενα κύματα από την ταλάντωση της κατασκευής στο έδαφος αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα πειραματικής και θεωρητικής μελέτης. Η συστηματική μελέτη της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-ανωδομής υπό πραγματικές εδαφικές συνθήκες καθώς και η μελέτη των χαρακτηριστικών του κυματικού πεδίου που δημιουργείται από την ταλάντωση της κατασκευής, απαιτούν την εκτέλεση σχετικά πολύπλοκων δοκιμών με σύνθετη ενοργάνωση τόσο της κατασκευής όσο και της θεμελίωσης και του περιβάλλοντος εδάφους. Η εξαναγκασμένη

ελεύθερη ταλάντωση της κατασκευής αποτελεί της συνηθέστερη μέθοδο διέγερσης του συστήματος κατασκευής-εδάφους και ως εκ τούτου χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Χαρακτηριστικά είναι τα πειράματα που διεξήχθησαν στο παρελθόν τόσο σε μοντέλα κατασκευών υπό κλίματα όσο και σε πραγματικές κατασκευές. Ένα από τα πρώτα πειράματα διεξήχθη από τον Jennings(1970) κατά την διάρκεια εξαναγκασμένης ταλάντωσης του κτιρίου Milikan Library. Επίσης ο Mucciarelli(2003) μελέτησε το παραγόμενο κυματικό πεδίο από την εξαναγκασμένη ταλάντωση τριώροφης κατασκευής με σεισμική μόνωση στην Rapolla (Ιταλία). Σε επίπεδο κατασκευών υπό

κλίμακα αναφέρονται τα πειράματα που διεξήχθησαν στο πεδίο EUROSEITEST από τους Μάνο(1994,1996,2005) και Guegeun(2000) σε πενταώροφη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από την εκτέλεση δοκιμών σε ομοίωμα βάρου γέφυρας καθώς και οι θεωρητικές αναλύσεις. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η κατανόηση των σύνθετων φαινομένων που συνθέτουν το πρόβλημα της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-κατασκευής, όπως επίσης και ο έλεγχος της δυνατότητας πιστής αριθμητικής προσομοίωσης του φυσικού φαινομένου.

2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Το ομοίωμα βάρου γέφυρας υπό κλίμακα 1:3 κατασκευάστηκε το 2004 και είναι παρόμοιο με αντίστοιχα βάθρα γεφυρών τα οποία ελέγχθηκαν στο εργαστήριο ELSA στο European Joint Research Center (Pinto 1996). Το ορθογωνικής διατομής ομοίωμα βάρου(Σχήμα 1) έχει ύψος 4m, διαθέτει ορθογωνική πλάκα καταστρώματος και εδράζεται επιφανειακά σε τετραγωνική θεμελίωση διαστάσεως 2,5x2,5m² (Μάνος 2005).



Σχήμα 1. Ομοίωμα βάρου γέφυρας.
Figure 1. Bridge pier model.

Το ομοίωμα βάρου γέφυρας υποβλήθηκε σε μία σειρά δοκιμών εκτέλεσης ελεύθερης ταλάντωσης κατά την διεύθυνση των κυρίων αξόνων γεωμετρικής συμμετρίας. Η επιβολή της δύναμης πραγματοποιήθηκε μέσω ενός τένοντα, το ένα άκρο του οποίου στερεώνεται στο κατάστρωμα του ομοιώματος βάρου γέφυρας ενώ το άλλο σε σταθερό σημείο όμορης βοηθητικής κατασκευής. Όταν το πλάτος της σταδιακά αυξανόμενης δύναμης λάμβανε το επιθυμητό μέγεθος, η δύναμη καταργούνταν και η κατασκευή εκτελούσε ελεύθερη ταλάντωση. Η ενοργάνωση της

κατασκευής απαρτίζεται από καταγραφείς επιτάχυνσης σε χαρακτηριστικά σημεία του καταστρώματος καθώς και της θεμελίωσης. Η καταγραφή των κινήσεων ελεύθερου εδαφικού πεδίου πραγματοποιήθηκε με την χρήση 3D σεισμομέτρων τα οποία τοποθετήθηκαν σε διάφορες θέσεις στους δύο κύριους άξονες.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά εδαφικού προφίλ.
Table 1. Soil profile characteristics.

βάθος [m]	Περιγραφή	Vs [m/s]	ρ [t/m ³]
0-4	Ιλυώδης άργιλος-Άμμος	135	2.05
4-20	Ιλυώδης άμμος και Αμμοιλύς	225	2.15
20-70	Ιλύς- Ιλυώδης άμμος, Αμμώδης άργιλος	325	2.10
70-100	Αργιλώδης Ιλύς	425	2.15
100-130	Ιλυώδης άμμος με άμμο και χαλίκια	525	2.15
130-184	Ιλυώδης-Αργιλώδης άμμος, Αμμώδης Ιλύς ή ιλυώδης άργιλος με χαλίκια, αργιλώδης Ιλυώδης άμμος	835	2.20
184-196	Αποσαθρωμένος σχιστόλιθος	1350	2.50
196-200	Γνεύσιος	2600	2.60

3. ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

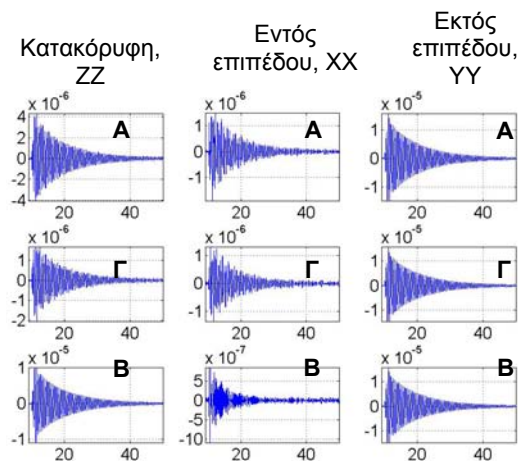
3.1 Πειραματικά αποτελέσματα

Μία από τις μεθόδους προσδιορισμού των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής κατά την εκτέλεση ελεύθερης ταλάντωσης είναι η διερεύνηση του κυματικού πεδίου που καταγράφεται σε τρία σεισμόμετρα τοποθετημένα στην θεμελίωση.



Σχήμα 2. Ενοργάνωση θεμελίωσης.
Figure 2. Foundation instrumentation.

Οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων των καταγραφών εικονίζονται στο Σχήμα 3.

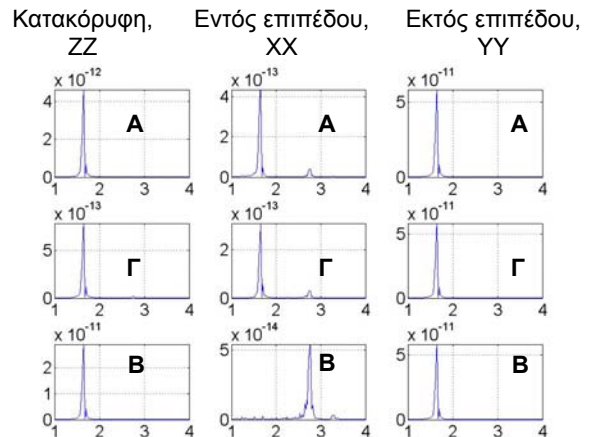


Σχήμα 3. Χρονοϊστορίες ταλάντωσης θεμελίωσης.
Figure 3. Foundation vibration recordings.

Παρατηρούμε ότι κατά την διεύθυνση διέγερσης της κατασκευής, η οποία αντιστοιχεί στην εκτός επιπέδου συνιστώσα των οργάνων, οι καταγραφές όλων των οργάνων είναι παρόμοιες. Συνεπώς η θεμελίωση κινείται κατά την διεύθυνση XX ως ένα στερεό σώμα. Επίσης η κατακόρυφη μετακίνηση του μεσαίου οργάνου υπερβαίνει κατά πολύ τις μετακινήσεις των υπολοίπων. Το προαναφερθέν είναι αναμενόμενο αφού το μεσαίο όργανο τοποθετείται στον οριζόντιο άξονα της διεύθυνσης της διέγερσης κάθετα στον οποίο αναμένεται η στροφή της θεμελίωσης. Αξιοσημείωτο είναι ότι η εντός επιπέδου συνιστώσα της κίνησης λαμβάνει στα όργανα A και Γ τιμές μίας τάξεως μικρότερες από ότι οι τιμές της εκτός επιπέδου συνιστώσας. Συνεπώς, η ταλάντωση της κίνησης απαρτίζεται από μεταφορική συνιστώσα κατά τον άξονα YY, στροφική κατά τον άξονα XX και στρεπτική κατά τον κατακόρυφο άξονα ZZ.

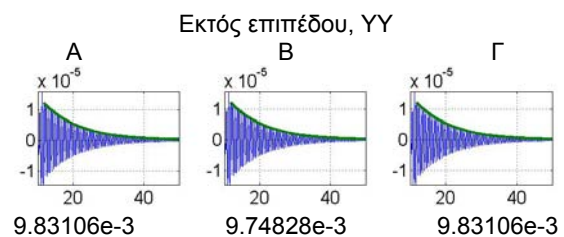
Στο πεδίο των συχνοτήτων τα αποτελέσματα (Σχήμα 4) αναδεικνύουν με σαφήνεια τα συμπεράσματα που εξήχθησαν προηγουμένως. Συγκεκριμένα κατά την διεύθυνση της διέγερσης η κυρίαρχη συχνότητα είναι ίση με $f=1,65\text{Hz}$. Η τιμή αυτή αποτελεί την θεμελιώδη μεταφορική ιδιοσυχνότητα της κατασκευής κατά τον άξονα YY και ταυτίζεται με ανεξάρτητη μέτρηση της ιδιοσυχνότητας της κατασκευής από τα όργανα της ανωδομής (Manos et al., 2005). Η ίδια τιμή συχνότητας εμφανίζεται

κατά την κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης. Ωστόσο κατά τον οριζόντιο άξονα ο οποίος είναι κάθετος προς την διεύθυνση της διέγερσης εμφανίζονται και δύο άλλες τιμές συχνοτήτων, $f=2,767\text{Hz}$ και $f=3,28\text{Hz}$. Η δεύτερη τιμή αποδίδεται στην στρεπτική κίνηση της κατασκευής ενώ η τρίτη στην μεταφορική κατά άξονα κάθετα προς τον άξονα της διέγερσης.



Σχήμα 4. FFT χρονοϊστοριών θεμελίωσης.
Figure 4. FFT of foundation recordings.

Ο προσδιορισμός της απόσβεσης πραγματοποιήθηκε για την εκτός επιπέδου συνιστώσα βάσει της εκθετικής απομείωσης της κίνησης (Σχήμα 5) εξαιτίας του γεγονότος ότι η επικρατούσα συνιστώσα της κίνησης προέρχεται από την διέγερση της κατασκευής στην διεύθυνση αυτή. Ο μέσος όρος της τιμής του συντελεστή απόσβεσης για τα τρία όργανα είναι ίσος με $9.8034\text{e-}3$.



Σχήμα 5. Προσδιορισμός απόσβεσης
Figure 5. Estimation of damping

3.2 Αριθμητικές αναλύσεις

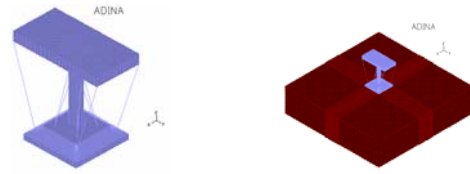
Οι θεωρητικές-αριθμητικές αναλύσεις έγιναν με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA. Στο σχήμα 6 παρατίθεται το προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων του βάθρου. Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται οι ιδιότητες των υλικών του βάθρου καθώς

και του εδαφικού μέσου που αντιστοιχεί στα επιφανειακά στρώματα (Πίνακας 1).

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά υλικών.
Table 2. Material characteristics.

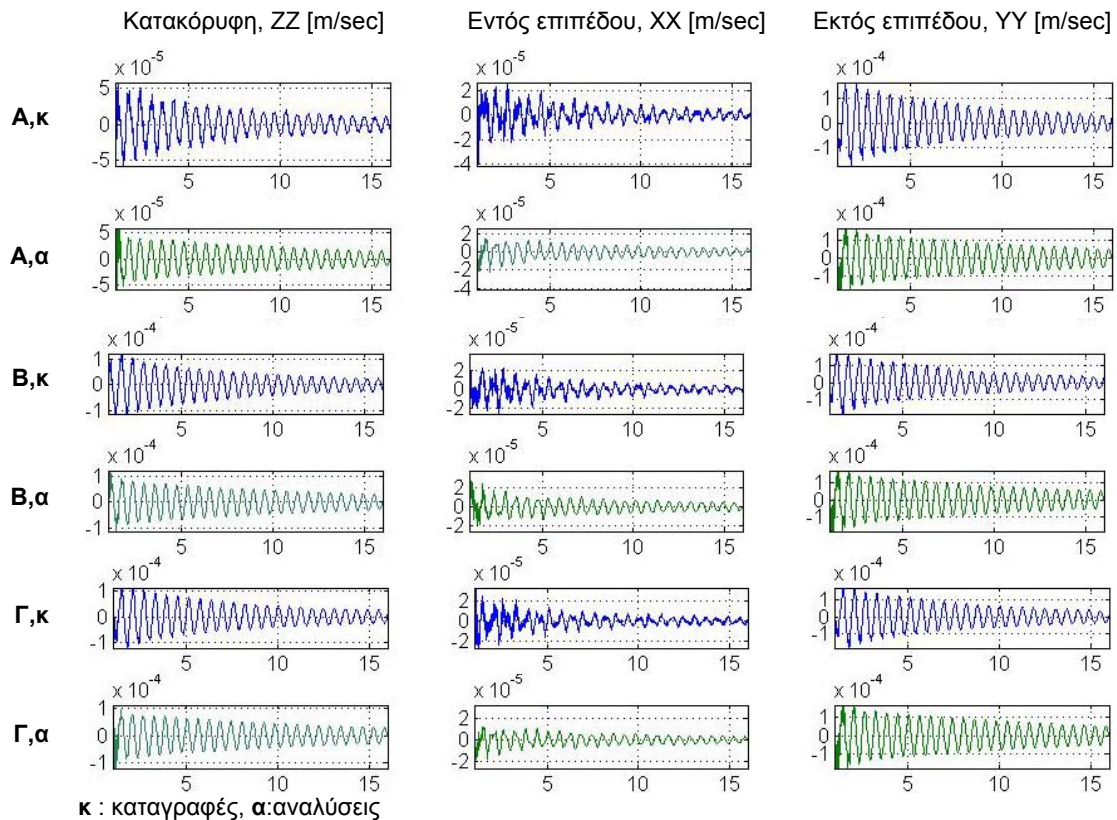
	E [MPa]	ν	ρ [t/m ³]
Βάθρο	32000,00	0,3	2,5
Έδαφος	97,14	0,33	2,05

Οι αναλύσεις αφορούν την περιοχή της γραμμικής ελαστικότητας τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο των συχνοτήτων. Η σύμπτωση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων και των καταγραφών πιστοποιεί την ορθή προσομοίωση του προβλήματος και επιτρέπει την περαιτέρω μελέτη του φαινομένου της αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-κατασκευής.



Σχήμα 6. Προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων κατασκευής και εδάφους.
Figure 6. Finite element model of structure and soil.

Στο σχήμα 7 εικονίζονται οι χρονοϊστορίες που προκύπτουν από την αριθμητική ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων με τις αντίστοιχες πειραματικές. Η σύμπτωση μεταξύ των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των πεπερασμένων στοιχείων και των πειραματικών αποτελεσμάτων στο πεδίο του χρόνου είναι ικανοποιητική.



Σχήμα 7. Σύγκριση χρονοϊστοριών θεμελίωσης.
Figure 7. Comparison of time histories between analyses and recordings.

Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης εικονίζονται στο σχήμα 8. Παρατηρούμε ότι οι τρεις πρώτες τιμές ιδιοσυχνοτήτων βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις αντίστοιχες τιμές συχνοτήτων που προκύπτουν από την ανάλυση των καταγραφών. Προκειμένου να εξακριβωθεί ο βαθμός της επιρροής της

θεμελίωσης και του εδάφους στην δυναμική συμπεριφορά του βάθρου, πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση θεωρώντας διαφορετικές συνθήκες έδρασης. Στην πρώτη περίπτωση η κάτω παρειά της θεμελίωσης δεν διαθέτει κανέναν βαθμό ελευθερίας(πλήρη πάκτωση) ενώ στην δεύτερη διαθέτει τους βαθμούς ελευθερίας

που παρέχονται από την εύκαμπτη έδραση στο έδαφος. Παρατηρούμε ότι η επιρροή του εδάφους είναι έντονη στην περίπτωση των μεταφορικών ιδιομορφών κατά τους δύο κύριους γεωμετρικούς άξονες του βάθρου. Αντιθέτως, η μεταβολή της στρεπτικής ιδιοσυχνότητας δεν είναι αξιοσημείωτη.

Πίνακας 3. Ιδιομορφική ανάλυση (FEM).
Table 3. Modal analysis (FEM).

Πακτωμένη κατάσταση		Εύκαμπτη θεμελίωση		$\Delta T/T_{fixed}$
f [Hz]	T [sec]	f [Hz]	T [sec]	
1,7091	0,5851	1,6742	0,5973	2,043%
2,6927	0,3714	2,6839	0,3726	0,326%
3,4110	0,2932	3,1645	0,3160	7,226%



Σχήμα 8. Ιδιομορφική ανάλυση FEM.
Figure 8. Modal FEM analysis.

4.2 Αναλύσεις στο πεδίο χρόνου

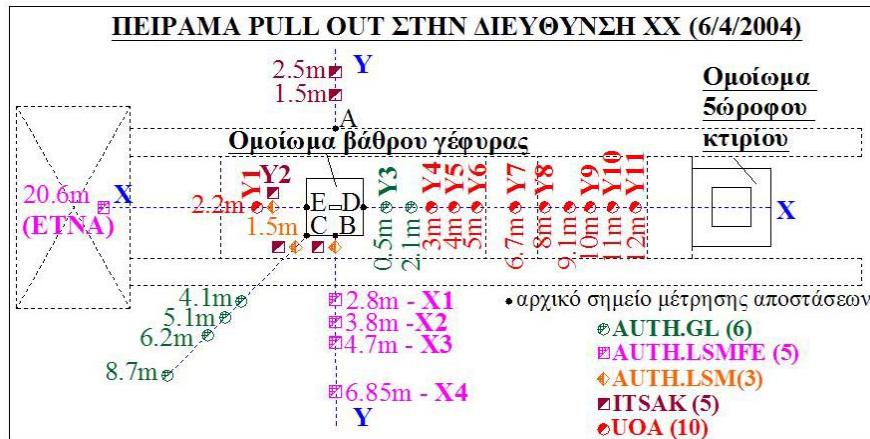
Οι χρονοϊστορίες καθώς και οι μέγιστες τιμές των καταγραφών δίδονται στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήματα 10,11,12,13). Η εντός επιπέδου συνιστώσα των οργάνων είναι πάντοτε κατά την διεύθυνση ΧΧ ενώ η εκτός επιπέδου συνιστώσα κατά την ΥΥ. Η ισχυρότερη καταγραφή αντιστοιχεί προφανώς στο όργανο που είναι πλησιέστερα προς το βάθρο. Οι μέγιστες τιμές των καταγραφών αντιστοιχούν στην εντός επιπέδου καθώς και στην κατακόρυφη συνιστώσα των οργάνων ενώ η εκτός επιπέδου είναι σημαντικά ασθενέστερη. Συνεπώς, η κίνηση κατά την διεύθυνση ΧΧ κυριαρχείται από την οριζόντια κίνηση η οποία είναι παράλληλη προς την διεύθυνση διέγερσης. Η κύρια αιτία των μεγάλων τιμών της κατακόρυφης συνιστώσας οφείλεται πιθανότητα στην στροφική ταλάντωση της θεμελίωσης και την παρουσία επιφανειακών κυμάτων. Κατά τον άξονα ΥΥ, οι καταγραφές των οριζόντιων συνιστωσών είναι παρόμοιας τάξης μεγέθους ενώ η κατακόρυφη συνιστώσα διαφοροποιείται σημαντικά (Σχήμα 10).

Κοινό και αναμενόμενο χαρακτηριστικό όλων των καταγραφών είναι η εκθετική

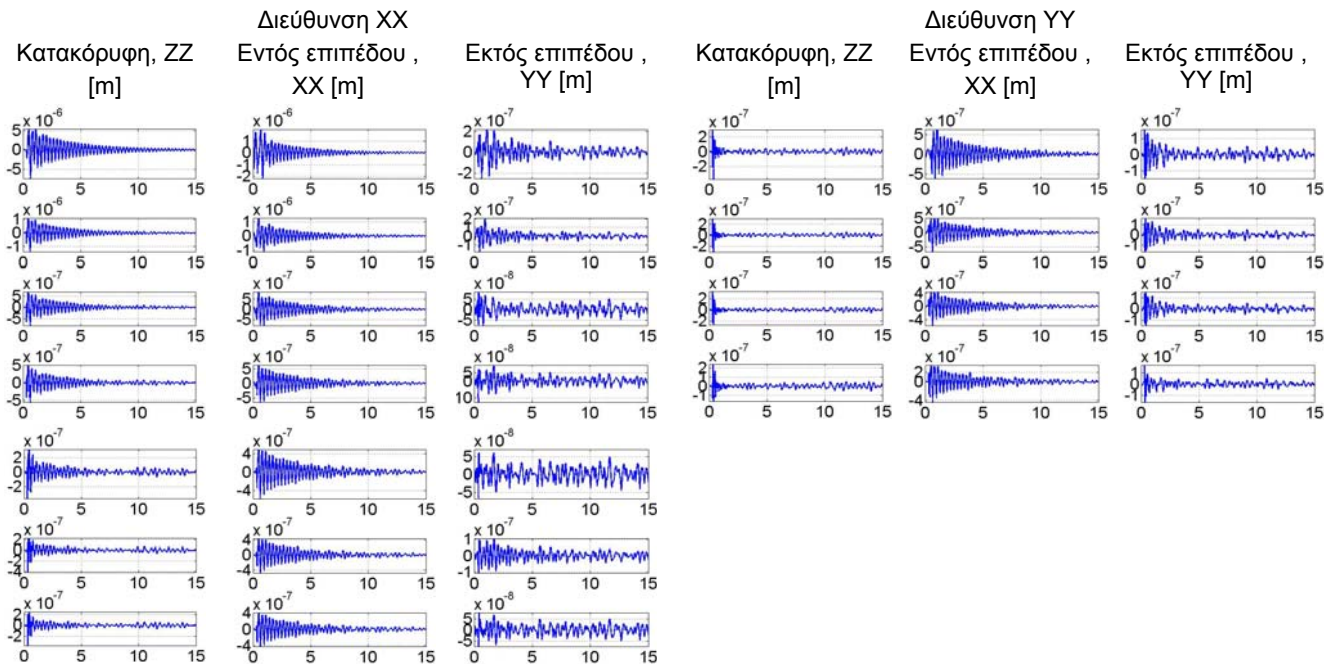
απομείωση της ταλάντωσης με τον χρόνο. Η κίνηση κατά την εντός επιπέδου συνιστώσα διαθέτει την μεγαλύτερη χρονική διάρκεια ενώ η διάρκεια των υπολοίπων περιορίζεται στα 5-8sec. Συνεπώς, το ποσοστό απόσβεσης κατά την εντός επιπέδου συνιστώσα αναμένεται μικρότερο του αντιστοίχου στις υπόλοιπες συνιστώσες. Παρόμοιες παρατηρήσεις δύναται να διατυπωθούν για τον άξονα ΥΥ. Γενικά η ταλάντωση κατά την εκτός επιπέδου κίνηση είναι περισσότερη σύνθετη από την αντίστοιχη εντός επιπέδου. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η εμφάνιση σύνθετων κυματομορφών στην κατακόρυφη συνιστώσα μετά από κάποιο διάστημα στην διεύθυνση ΧΧ ενώ στην διεύθυνση ΥΥ από την αρχή σχεδόν της διέγερσης.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζουν και οι τροχιές των μετακινήσεων στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Θεωρώντας την θεμελίωση του ομοιώματος βάθρου γέφυρας ως μία επιφανειακή πηγή, λόγω της ελεύθερης ταλάντωσης της κατασκευής, αναμένεται η εμφάνιση τόσο επιφανειακών όσο και κυμάτων χώρου. Το κύριο επίπεδο ενδιαφέροντος της κίνησης περιλαμβάνει την κατακόρυφη και την εντός επιπέδου συνιστώσα, η οποία ταυτίζεται με την διεύθυνση της διέγερσης. Από το σχήμα 11 γίνεται αντιληπτό ότι οι πειραματικές τροχιές στην ελεύθερη εδαφική επιφάνεια διαφέρουν από τις αναμενόμενες ελλειπτικές τροχιές βάσει της θεωρίας των επιφανειακών κυμάτων. Η γωνία φάσης μεταξύ της κατακόρυφης και της εντός επιπέδου συνιστώσας δεν είναι ίση με $\pi/2$, αλλά περίπου ίση με $\pi/4$.

Ο προσδιορισμός της απόσβεσης (Σχήμα 12) πραγματοποιήθηκε κατά την εντός επιπέδου συνιστώσα η οποία ταυτίζεται με την διεύθυνση της διέγερσης. Ο συντελεστής απόσβεσης που εκτιμήθηκε κατά την διεύθυνση ΧΧ είναι ίσος με $1,153E-02$ ενώ κατά την διεύθυνση ΥΥ ισούται με $1,082E-02$. Συνεπώς η απόσβεση της κίνησης στην εντός επιπέδου συνιστώσα είναι ισχυρότερη κατά την διεύθυνση ΧΧ από κατά την ΥΥ. Εξετάζοντας τον συντελεστή απομείωσης της κίνησης κατά την κατακόρυφη συνιστώσα, βλέπουμε ότι είναι χαμηλότερος των δύο προηγούμενων τιμών ($8,826E-03$).



Σχήμα 9. Ενοργάνωση του περιβάλλοντος εδάφους.
Figure 9. Free field instrumentation.



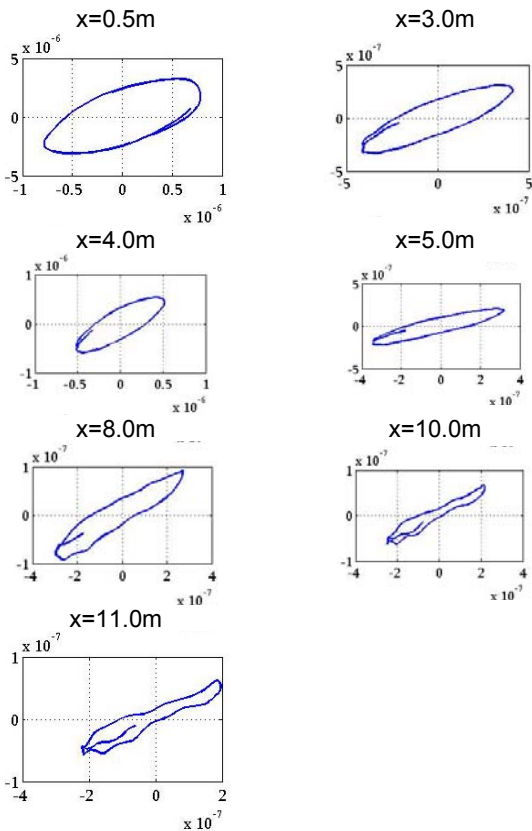
Σχήμα 10. Καταγραφές ελεύθερου εδαφικού πεδίου.
Figure 10. Recordings of free field.

Στην συνέχεια προκειμένου να μελετηθεί η χωρική απομείωση της κίνησης, υπολογίσθηκε το μέγιστο πλάτος μετακίνησης στις αντίστοιχες θέσεις των οργάνων. Η απόσβεση του πλάτους με την απόσταση από την κατασκευή στον άξονα XX εικονίζεται στο Σχήμα 13.

Η ενέργεια που απελευθερώνεται στο έδαφος διαδίδεται με την μορφή επιφανειακών και κυμάτων χώρου. Τα κύματα χώρου διαδίδονται ως γνωστόν ακτινικά από την πηγή με ημισφαιρικά κυματικά μέτωπα ενώ τα επιφανειακά κύματα

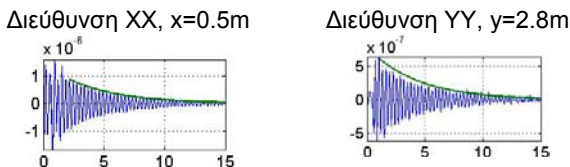
με σφαιρικά κυματικά μέτωπα. Όλα τα είδη κυμάτων συναντούν μεγαλύτερο όγκο υλικού και συνεπώς η ενεργειακή πυκνότητα μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από την πηγή. Η προαναφερθείσα απομείωση της ενεργειακής πυκνότητας ή η απομείωση του πλάτους της μετακίνησης είναι γνωστή με τον όρο γεωμετρική απόσβεση (geometrical damping). Έχει αποδειχθεί θεωρητικά (Ewing, Jardetzky, and Press, 1967) ότι ο νόμος γεωμετρικής απόσβεσης των ελαστικών κυμάτων χώρου εκφράζεται από τον όρο $1/r$ (r είναι η απόσταση από την πηγή) ενώ

στην περίπτωση της ελεύθερης επιφάνειας από τον όρο $1/r^2$. Επίσης, τα επιφανειακά κύματα απομειώνονται χωρικά βάσει του όρου $1/r^{0.5}$.

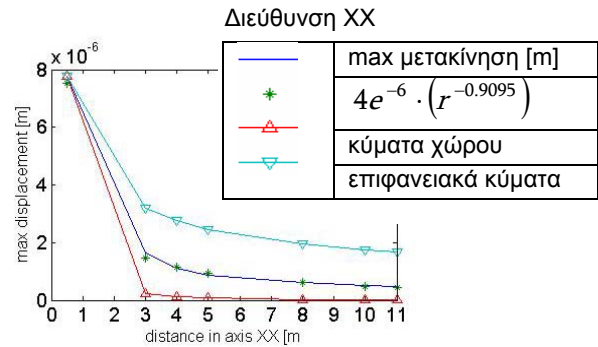


Σχήμα 11. Τροχιές σημείων ελεύθερου πεδίου.
Figure 11. Orbits of free field motion.

Η καμπύλη της χωρικής απομείωσης των κυμάτων που διαδίδονται κατά την διεύθυνση XX εντοπίζεται μεταξύ των καμπύλων απομείωσης των επιφανειακών και κυμάτων χώρου. Σε απόσταση ίση με την διάσταση της θεμελίωσης, 2B, το πλάτος του κίνησης είναι μόνο το 4% του πλάτους της κίνησης σε απόσταση 0,5m από την πηγή.



Σχήμα 12. Προσδιορισμός απόσβεσης.
Figure 12. Estimation of damping.

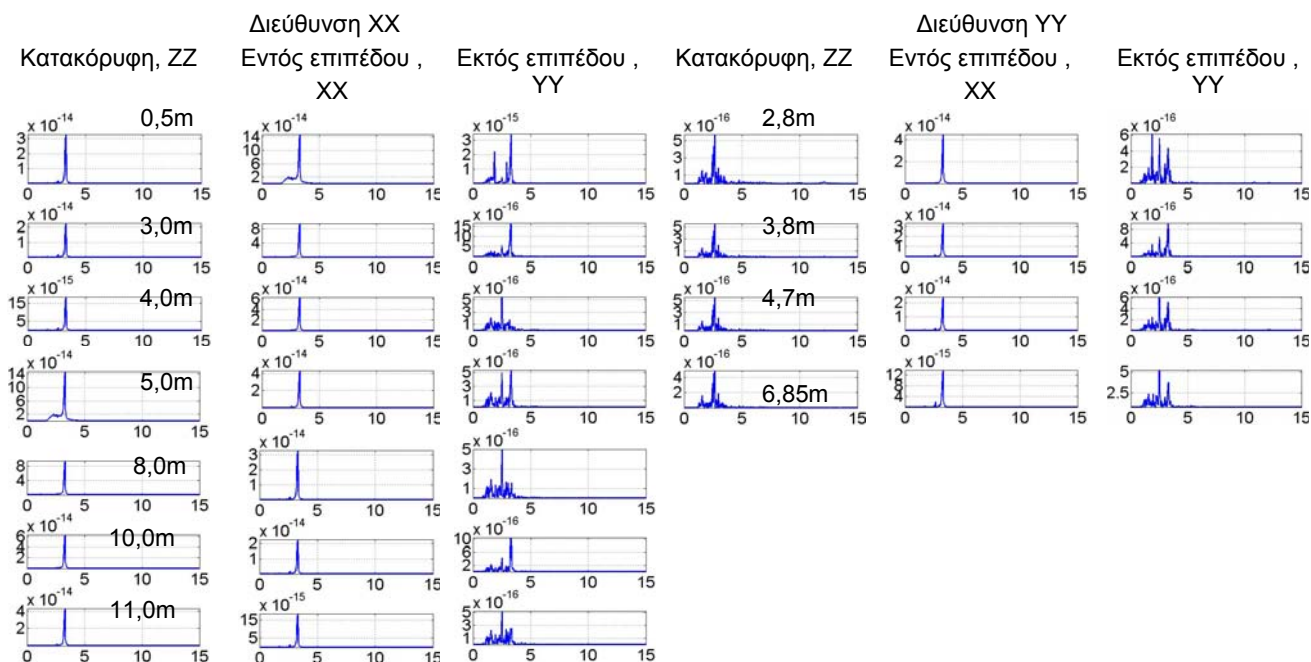


Σχήμα 13. Χωρική απόσβεση.
Figure 13. Spatial attenuation.

4.3 Ανάλυση στο πεδίο συχνοτήτων

Προκειμένου να εξαχθούν πληροφορίες για το συχνοτικό περιεχόμενο της κίνησης ελεύθερου εδαφικού πεδίου, πραγματοποιήθηκε ανάλυση FFT των καταγραφών. Στο Σχήμα 14 παρατίθενται τα πλάτη Fourier όλων των συνιστωσών όλων των οργάνων.

Η κυρίαρχη συχνότητα της κίνησης στην εντός επιπέδου συνιστώσα καθώς και στην κατακόρυφη είναι ίση με $f=3,3\text{Hz}$ και δύναται να αποδοθεί στην θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα μεταφορικής ταλάντωσης του σύνθετου συστήματος εδάφους-κατασκευής. Η συγκεκριμένη συχνότητα είναι η μοναδική που εμφανίζεται στην εντός επιπέδου συνιστώσα των οργάνων και στους δύο άξονες (XX και YY). Όσον αφορά την κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης, παρατηρείται ότι η θεμελιώδης συχνότητα της ελεύθερης ταλάντωσης, κυριαρχεί στις καταγραφές των οργάνων που βρίσκονται κοντά στην θεμελίωση. Το παραπάνω είναι εμφανές ακόμη και σε απόσταση ίση με 5m (2B) από την θεμελίωση πλάτους B. Η επιρροή της στροφικής κίνησης της θεμελίωσης είναι εμφανής ακόμη για τα όργανα που έχουν τοποθετηθεί σε αποστάσεις 8m, 10m και 11m από την κατασκευή. Ωστόσο σε απόσταση μεγαλύτερη των 8m στην κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης εμφανίζονται δύο επιπλέον συχνότητες, 2,6Hz και 12,2Hz, τα πλάτη των οποίων ενισχύονται με την αύξηση της απόστασης από το ομοίωμα του βάθρου γέφυρας. Κατά την διεύθυνση XX η μέγιστη τιμή του πλάτους Fourier αντιστοιχεί σε συχνότητα ίση με 2,6Hz. Η εκτός επιπέδου συνιστώσα εμφανίζει μέγιστες τιμές στην περιοχή συχνοτήτων 0-5Hz.



Σχήμα 14. FFT καταγραφών ελευθέρου εδαφικού πεδίου.

Figure 14. FFT recordings of free field.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη της αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-κατασκευής μέσω πειραματικών μετρήσεων είναι απαραίτητη και ουσιαστική για την κατανόηση του φυσικού προβλήματος. Ο προσδιορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών του σύνθετου συστήματος κατασκευής-εδάφους είναι εφικτός μέσω πειραματικών μετρήσεων. Η ικανοποιητική προσομοίωση του φαινομένου με τις αριθμητικές αναλύσεις επιτρέπει την αξιόπιστη παραπέρα παραμετρική μελέτη φαινομένων που σχετίζονται με την μελέτη της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-ανωδομής. Μεταξύ αυτών κυρίαρχο πρακτικό αντικείμενο μελέτης είναι η εκτίμηση της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών όπως επίσης και των χαρακτηριστικών της ίδιας της κατασκευής στην ευνοϊκή ή δυσμενή απόκρισή της σε σχέση με την κλασική θεώρηση της πλήρους πακτωμένης κατασκευής.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Gueguen, et al. (2000). "Experimental and numerical analysis of soil motion caused by free vibration of a building model". Bull. of the Seism. Soc. of America, Vol. 90, pp. 1464-1479.

Jennings, P.C. (1970). "Distant motion from a building vibration test". Bull. of the Seism. Society of America, Vol. 65, pp. 2037-2043.

Pinto, A.V. editor (1996). "Pseudo-dynamic and Shaking Table Tests of R.C. Bridges". ECOEST-PREC*8-Report-No.8, Nov.

Manos, G.C. et al. (1994). "Correlation of observed seismic response of a 5storey R.C. building with predictions based on the old and new provisions of the Greek Seismic Code". 10th European Conference on Earthquake Engineering, pp. 1029-1034, Austria.

Manos, G.C. et al. (1996). "Prediction of the dynamic characteristics of a 5storey building at the Vovli EURO-SEITEST site, utilizing low-intensity vibrations". Structural Dynamics EURON'96, Augusti, Born & Spinelli (eds), Balkema, Rotterdam.

Manos, G.C. et al. (2005). "Cyclic and dynamic response of a pier model located at the Volvi Test Site in Greece". 18th International Conference on Structural Mechanics in reactor Technology, (SMIRT 18), Beijing, China, August 7-12.

Mucciarelli, M., et al. (2003). "Seismic wave generated by oscillating buildings: analysis of a release test". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 23, pp. 255-262.