Σεισμική Αλληλεπίδραση Εδάφους-Θεμελιώσεως-Πλαισίου σε Περιοχές Εντόνου Γεωμορφικού Αναγλύφου

Seismic Soil-Foundation-Frame Interaction under Valley-affected Ground Motion

ΓΕΛΑΓΩΤΗ, Φ. Μ. Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.
ΚΟΥΡΚΟΥΛΗΣ, Ρ.Σ. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Ερευνητής Ε.Μ.Π.
ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ, Ι.Χ. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Ερευνητής Ε.Μ.Π.
ΓΚΑΖΕΤΑΣ, Γ.Χ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

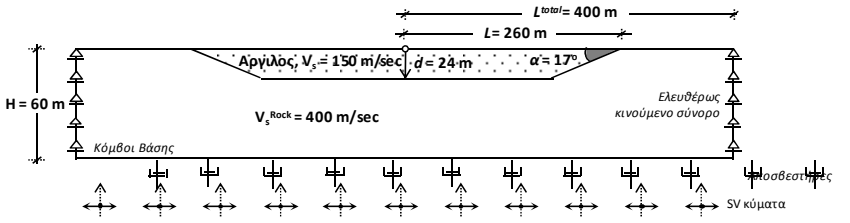
ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Αν και η διδιάστατη κυματική διάδοση εντός εδαφικών κοιλάδων έχει μελετηθεί ενδελεχώς, ελάχιστη προσοχή έχει δοθεί μέχρι σήμερα στην γένεση, πλησίον των άκρων της κοιλάδας, «παρασιτικής» κατακόρυφης συνιστώσας της επιτάχυνσης. Όντας αποτέλεσμα της γεωμετρίας και μόνον, η τελευταία αναμένεται να είναι εν φάσει με την οριζόντια συνιστώσα και ως εκ τούτου πολύ πιο επιζήμια για τις κατασκευές. Η ισχύς των ανωτέρω επιβεβαιώνεται στην παρούσα μελέτη της απόκρισης διαφόρων εδαφικών κοιλάδων σε επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση με χρήση προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων του εδαφικού σχηματισμού πλησίον του άκρου του οποίου βρίσκεται θεμελιωμένη πλαισιωτή κατασκευή.

ABSTRACT : Although the 2-dimensional wave propagation in alluvial valleys has been extensively studied in the literature, only limited attention has been drawn to the generation of a “parasitic” vertical component of ground motion near the valley edges. Being a direct result of geometry, this component is expected to be correlated with the horizontal one and hence much more detrimental to structures. The validity of the above statements is confirmed in this non-linear numerical study of the response of a frame structure founded near the edges of different valley formations subjected to strong ground shaking.

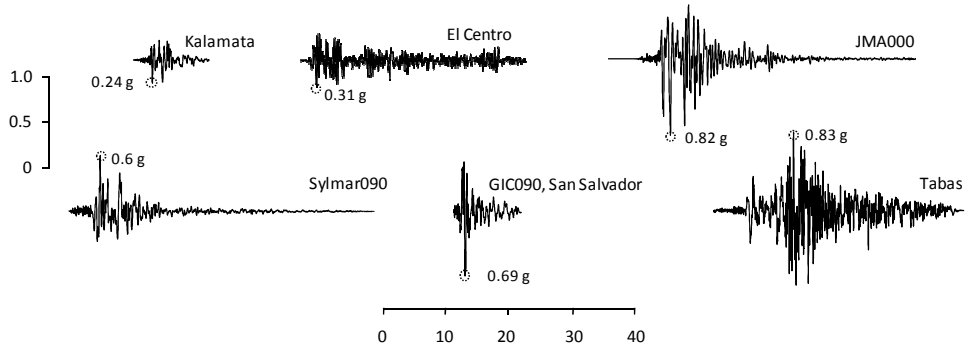
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φαινόμενα της ενίσχυσης του σεισμικού κραδασμού στην επιφάνεια εδαφικών κοιλάδων έχουν μελετηθεί στη βιβλιογραφία με εφαρμογή κυρίως ελαστικών (Wong & Trifunac, 1974, Harmsen & Harding, 1981, Sánchez-Sesma & Luzón, 1995, Bao et al., 1996, Bielak et al., 1999, 2000) αλλά και μη γραμικών αναλύσεων (Zhang & Papageorgiou 1996). Μεταξύ αυτών, οι Gelagoti et al (2010) μελέτησαν την ευαισθησία της εδαφικής απόκρισης σε παραμέτρους όπως το συχνοτικό περιεχόμενο του σεισμού (στο βραχώδες υπόβαθρο), τις «λεπτομέρειες της χρονοϊστορίας» και τη μη-γραμμική εδαφική απόκριση. Προς τον σκοπό αυτόν μελετήθηκε η πολύ μαλακή αλλουβιακή τραπεζοειδής κοιλάδα Ohba στην Ιαπωνία [Tazoh et al., 1988; Gazetas et al., 1993], με χρήση καταλλήλως βαθμονομημένου και επαληθευμένου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων κατέδειξαν ότι: (1) Η δυναμική απόκριση της κοιλάδας είναι σαφώς διδιάστατη και δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθεί επαρκώς με εφαρμογή μονοδιάστατων αναλύσεων. Η συγκέντρωση των κυμάτων στις άκρες της κοιλάδας καθώς και η γένεση επιφανειακών κυμάτων στις γωνίες της προκαλούν σημαντική επιδείνωση του σεισμικού κραδασμού. (2) Στην περίπτωση της ελαστικής απόκρισης, οι «λεπτομέρειες» της διέγερσης δεν φαίνεται να επηρεάζουν την ενίσχυση στις άκρες της

κοιλάδας, αλλά επιδρούν ουσιωδώς στη γένεση επιφανειακών κυμάτων, υπευθύνων για την επιδείνωση του κραδασμού στο κέντρο της (Bard & Bouchon, 1980, Fishman & Ahmad, 1995): η αύξηση του αριθμού των σημαντικών κύκλων φόρτισης αυξάνει προφανώς την πιθανότητα υπερθετικής συμβολής επιφανειακών κυμάτων αντιρρόπως διαδιδόμενων προς το κέντρο της κοιλάδας, με τελικό αποτέλεσμα την επιδείνωση του κραδασμού. (3) Η επίδραση της μή-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους είναι ιδιαιτέρως εμφανής στο κέντρο της κοιλάδας όπου εν γένει η επιδείνωση (AG) (η οποία είναι κατά κύριο λόγο το αποτέλεσμα επιφανειακών κυμάτων) μειώνεται δραστικά, ενώ στις άκρες (στις οποίες η απόκριση εξαρτάται σημαντικά από την γεωμετρία) οι διαφορές δεν είναι εξίσου έντονες. (4) Το πλέον σημαντικό ενδεχομένως συμπέρασμα (όσον αφορά σε θεμελιώσεις κατασκευών) είναι η γένεση «παρασιτικής» κατακόρυφης συνιστώσας στις περιοχές πλησίον των ακραίων πρισμάτων της κοιλάδας. Όντας αποτέλεσμα της γεωμετρίας και μόνον η εν λόγω κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης, είναι συνήθως εν φάσει με την οριζόντια και χαρακτηρίζεται πρακτικώς από παρόμοιο συχνοτικό περιεχόμενο. Επομένως, αντίθετα με την φυσική, ιδιαιτέρως υψίσυχνη κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης, η παρασιτική συνιστώσα ενδέχεται να είναι ιδιαιτέρως πιο επιζήμια για τις κατασκευές και για τον λόγο αυτόν η επίδρασή της διερευνάται ενδελεχώς στο παρόν άρθρο. Προς τούτο μελετάται με χρήση προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων η σεισμική απόκριση μίας ρεαλιστικώς απλής πλαισιωτής κατασκευής θεμελιωμένης επιφανειακώς πλησίον του άκρου εδαφικής κοιλάδας. Δεδομένου ότι τα παραπάνω αποτελέσματα έχουν εξαχθεί από ανάλυση μιας συγκεκριμένης μαλακής εδαφικής κοιλάδας, εξετάζεται αρχικώς η δυνατότητα γενίκευσης των παραπάνω συμπερασμάτων, διερευνώντας την επίδραση της ακαμψίας και της ενδεχόμενης μή γραμμικής συμπεριφοράς του εδαφικού υλικού στην απόκριση της κοιλάδας. Επιπλέον, επιχειρείται η αδιαστατοποίηση του προβλήματος ώστε τα παραγόμενα αποτελέσματα να δύνανται να θεωρηθούν ως γενικής ισχύος, και ανεξάρτητα από την συγκεκριμένη γεωμετρία του προβλήματος.



(α)



(β)

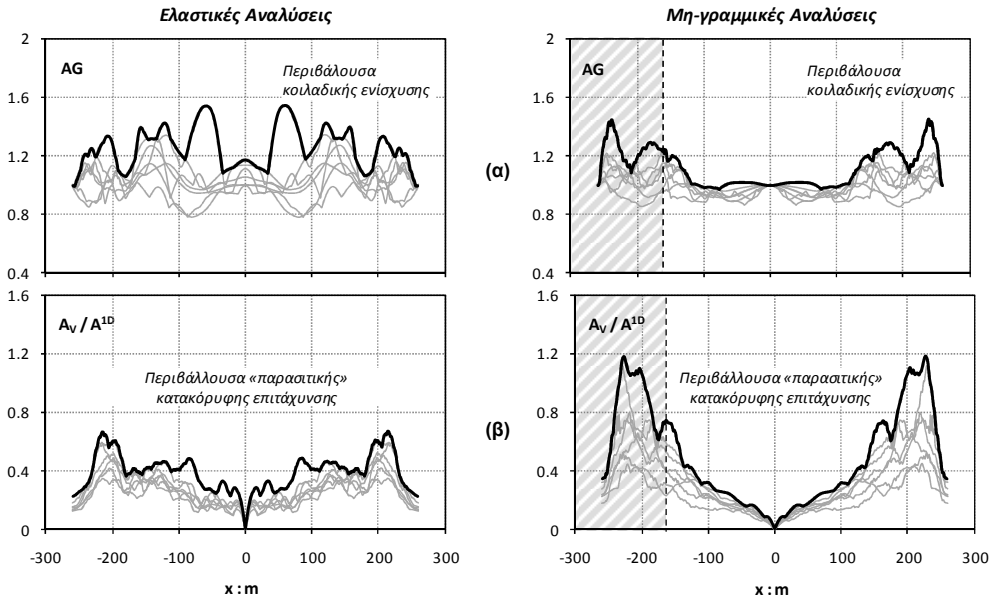
Σχήμα 1. (α) Σχηματική απεικόνιση του αριθμητικού προσομοιώματος της κοιλάδας, (β) χρονοϊστορίες επιταχυνσιογραφημάτων που χρησιμοποιήθηκαν ως διεγέρσεις βάσης του προσομοιώματος Π.Σ.

Figure 1. (a) Geometry and Finite Element model Configuration for the problem analyzed (b) Earthquake Time Histories utilized

2. ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1 Επίδραση της Μη Γραμμικότητας: Κοιλάδα υποβαλλόμενη σε Επιταχυνσιογραφήματα

Το εξετασθέν πρόβλημα (γεωμετρία και διδιάστατο αριθμητικό προσομοίωμα) απεικονίζεται στο Σχ. 1. Ως εξαίτιση στην βάση του προσομοιώματος έχουν χρησιμοποιηθεί καταγραφές από ιστορικούς σεισμούς μετρίας έως σημαντικής εντάσεως (Σχ. 1β) οι οποίοι παρουσιάζουν ποικιλία ως προς τα χαρακτηριστικά τους (αριθμός κύκλων φόρτισης, συχνοτικό περιεχόμενο και πλάτος)



Σχήμα 2. (α) Χωρική κατανομή του συντελεστή κοιλαδικής ενίσχυσης (AG) και (β) του λόγου της «παρασιτικώς» αναπτυσσόμενης κατακόρυφης επιτάχυνσης στην επιφάνεια της κοιλάδας προς την αντίστοιχη τιμή της οριζοντίας (υπό 1-διάστατες συνθήκες) για γραμμικής (αριστερά) και μη-γραμμικής εδαφικής απόκρισης (δεξιά) Με έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται η περιβάλλουσα.
Figure 2. (a) Geometry and Finite Element model Configuration for the problem analyzed (b) Earthquake Time Histories utilized

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο Σχ. 2, και επιγραμματικά συνοψίζονται ως κατωτέρω:

- Όταν το έδαφος είναι ελαστικό, η κοιλαδική ενίσχυση είναι σαφώς μη προβλέψιμη. Περιοχές συσσωρευμένης ενίσχυσης διαδέχονται περιοχές με ασήμαντη ενίσχυση κατά εντελώς ακανόνιστο τρόπο. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνει τα ευρήματα των Gelagoti et al 2010α.
- Η μη γραμμική εδαφική συμπεριφορά απλοποιεί δραστικά την παρατηρούμενη απόκριση της κοιλάδας. Σε όλες τις περιπτώσεις, η όποια (εάν υπάρχει) κοιλαδική ενίσχυση περιορίζεται εντός των εδαφικών πρισμάτων στις άκρες της κοιλάδας (γραμμοσκιασμένες περιοχές). Ιδιαίτερη προσοχή αξίζει το γεγονός ότι στα άκρα της κοιλάδας, η ενίσχυση είναι πιθανόν ακόμη και να ξεπεράσει την αντίστοιχη υπό ελαστικές συνθήκες..
- Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον των αποτελεσμάτων εστιάζεται στην γένεση και εξέλιξη της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας η οποία αναφέρθηκε προηγουμένως Η παρασιτική συνιστώσα, ως αποτέλεσμα της γεωμετρίας της κοιλάδας είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητη στη μή-γραμμικότητα του εδάφους και ως εκ τούτου, όχι μόνον δεν εκφυλίζεται λόγω αυτής αλλά αντιθέτως ενδέχεται ακόμη και να ξεπεράσει την τιμή της αντίστοιχης οριζόντιας επιτάχυνσης.

2.2 Διαστατική Ανάλυση

Ελαστική Συμπεριφορά

Στις έως τώρα παρουσιασθείσες αναλύσεις, η γεωμετρία της κοιλάδας έχει θεωρηθεί

σταθερή. Αποσκοπώντας στην απεξάρτηση των αποτελεσμάτων από την γεωμετρία της κοιλάδας, επιχειρήθηκε η αδιαστατοποίηση του προβλήματος όπως περιγράφεται παρακάτω. Αγνοώντας, σε πρώτη φάση, την μη γραμμικότητα, τα αποτελέσματα αδιαστατοποιούνται εφόσον ο λόγος $x = \lambda/D$ (μήκος κύματος προς βάθος της κοιλάδας) παραμένει σταθερός, με αποτέλεσμα βέβαια να διατηρείται σταθερός και ο λόγος της δεσπόζουσας συχνότητας του εδαφικού προφίλ προς αυτήν της σεισμικής διέγερσης:

$$\frac{\lambda}{D} = \frac{V_S}{f\ x\ D} = \frac{4\ V_s}{4\ x\ f\ x\ D} = \frac{4\ T_{\delta\iota\varepsilon\rho.}}{T_{\sigma\chi\eta\mu.}} \quad (1)$$

Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η ορθή αναπαραγωγή της επίδρασης τόσο της κυματικής διάδοσης (αφού τα παραγόμενα μήκη των κυμάτων εξαρτώνται από τις διαστάσεις της κοιλάδας) καθώς και της 1-διάστατης εδαφικής ενίσχυσης αφού ο λόγος των συχνοτήτων διέγερσης/εδαφικού προφίλ παραμένει σταθερός. Η αδιάστατη παράμετρος x είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως μέτρο της «ικανότητας» των παραγόμενων σεισμικών κυμάτων να αντιληφθούν την διδιάστατη γεωμετρία της κοιλάδας. Στη λογική αυτήν, χαμηλές τιμές του λόγου x είναι ενδεικτικές μικρού μήκους κύματος σχετικά με τις διαστάσεις της κοιλάδας, που οδηγεί σε αυξημένη ικανότητα αντίληψης της γεωμετρίας και επομένως αναπαραγωγής των κυματικών ανακλάσεων που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν λόγω αυτής.

Μη Γραμμική Συμπεριφορά

Λαμβάνοντας υπόψιν την μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους, η αδιαστατοποίηση θα πρέπει πλέον να λαμβάνει υπόψιν πέραν των ανωτέρω (διατήρηση σταθερού λόγου $x = \lambda/D$) καί την αντοχή του εδαφικού υλικού. Ως εκ τούτου, το πρόκειμένου να αδιαστατοποιηθεί επιτυχώς το μη γραμμικό πρόβλημα, απαιτείται ο λόγος των αντοχών των δύο προφίλ (Su_1/Su_2) να ισούται με τον λόγο των διαστάσεων των δύο κοιλάδων (D_1/D_2).

2.3 Συμπέρασμα

Από τα παραπάνω ενδεικτικά αποτελέσματα προκύπτει ότι τα συμπεράσματα σχετικά με την επιδείνωση του σεισμικού κραδασμού λόγω κοιλάδας τα οποία εντοπίστηκαν από τους Gelagoti et al 2010a για μία συγκεκριμένη γεωμετρία προβλήματος, είναι δυνατόν να γενικευθούν. Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμη η μελέτη της επίδρασής της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας στη σεισμική συμπεριφορά επιφανειακών θεμελιώσεων συνήθων κατασκευών, η οποία και επιχειρείται παρακάτω.

3. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ

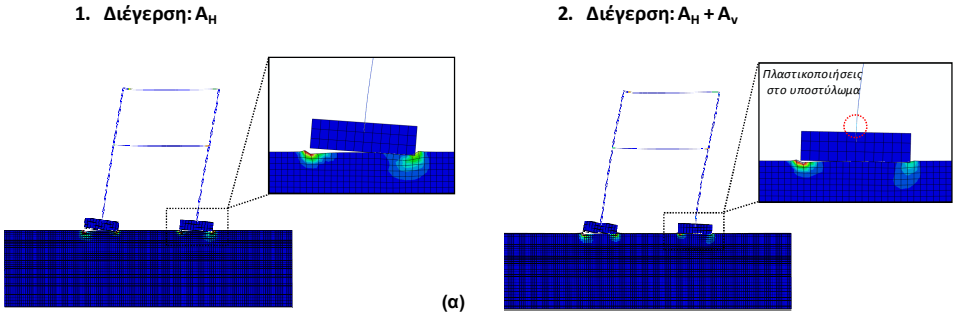
Μελετάται με χρήση πεπερασμενών στοιχείων η σεισμική συμπεριφορά ενός ρεαλιστικώς απλού πλαισίου εξ ωπλισμένου σκυροδέματος. Το πλαίσιο (το οποίο έχει μελετηθεί και επιβεβαιωθεί από τους Gelagoti et al 2010b) θεωρείται θεμελιωμένο πλησίον του άκρου κοιλάδας όπου η παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα είναι μέγιστη. Ως επιβαλλόμενες διεγέρσεις (οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα)στην βάση του προσομοιώματος χρησιμοποιούνται οι υπολογισθείσες στην επιφάνεια του προσομοιώματος της κοιλάδας όταν αυτή υποβάλλεται στον παλμό Ricker1 με επιτάχυνση 1g στο βραχώδες υπόβαθρο. Προκειμένου να απομονωθεί η επίδραση της κάθε μίας συνιστώσας της κίνησης ώστε να είναι ευκολότερα αντιληπτή, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω αναλύσεις:

1. Μη γραμμική δυναμική ανάλυση του προσομοιώματος του πλαισίου (επί αργιλικού υλικού) υποβαλλομένου στην οριζόντια συνιστώσα της κίνησης μόνον.
2. Μη γραμμική δυναμική ανάλυση του προσομοιώματος του πλαισίου (επί αργιλικού υλικού) υποβαλλομένου στην συνδυασμένη οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης.

3.1 Επιρροή της Παρασιτικής Κατακόρυφης Συνιστώσας: Μηχανισμοί

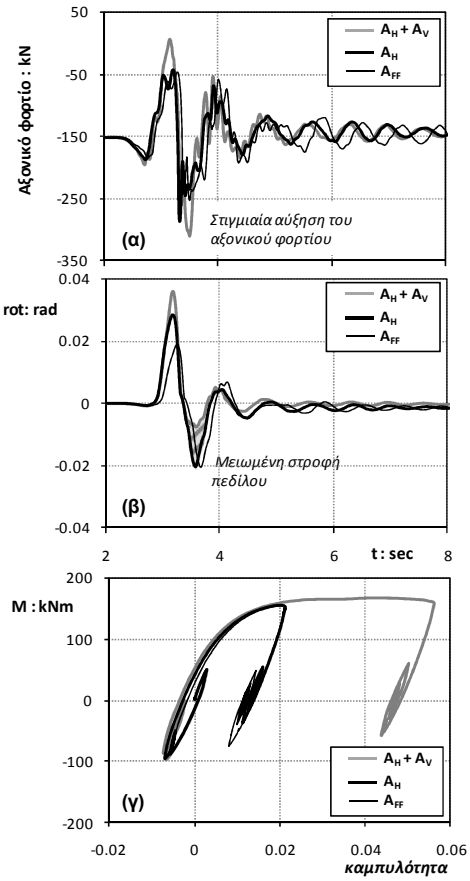
Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας, συγκρίνεται η απόκριση του πλαισίου στους ανωτέρω δύο τύπους φόρτισης (οριζόντια μόνον, οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα), ενώ για λόγους πληρότητας παρατίθενται και τα αποτελέσματα από την δυναμική ανάλυση του πλαισίου επί του αυτού εδαφικού προφίλ, θεωρώντας όμως ότι βρίσκεται σε συνθήκες ελευθέρου πεδίου (δηλ. ανεπηρέαστο από φαινόμενα κοιλάδας). Όπως προέκυψε, αποτέλεσμα της σύγχρονης με την οριζόντια παρασιτικής κατακόρυφης

συνιστώσας είναι, ανάλογα με τη φορά της φόρτισης είτε η μείωση ή η αύξηση του αξονικού φορτίου των υποστυλωμάτων. Αμφότερα τα φαινόμενα είναι πιθανόν να είναι ιδιαιτέρως επιβλαβή για την κατασκευή όπως εξηγείται παρακάτω.



Σχήμα 3. Πλαίσιο επί μεμονομένων πεδίλων διεγειρόμενο από (1) μόνον οριζόντια επιτάχυνση και (2) ταυτόχρονη δράση οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης.

Figure 3. Deformed shape of frame subjected to 1. The horizontal only acceleration and 2. Horizontal and parasitic vertical component



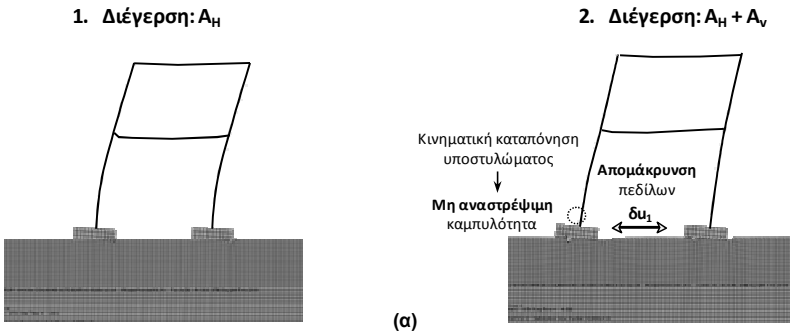
Σχήμα 4. Η ταυτόχρονη παρουσία της κατακόρυφης επιτάχυνσης (α) αυξάνει το αξονικό φορτίο στο δεξι υποστύλωμα (β) εμποδίζοντας το ανασήκωμά του, προκαλώντας (γ) σημαντικές πλαστικοποιήσεις

Figure 4. Effect of parasitic Verical acclelaration in terms of (a) axial load, (b) footing rotation and (c) Column M-k loops

Αύξηση του Αξονικού Φορτίου

Στο Σχ.3 απεικονίζονται συγκριτικά οι παραμορφωμένοι κάνναβοι-αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων του πλαισίου (ισοϋψείς πλαστικών παραμορφώσεων). Όπως φαίνεται, απουσία της παρασιτικής συνιστώσας, το πλαίσιο αποκρίνεται στη επιβαλλόμενη ισχυρή σεισμική διέγερση μέσω κυρίως ανασηκώματος από το έδαφος θεμελιώσεως, με αποτέλεσμα την απομείωση του αδρανειακού φορτίου το οποίο μπορεί να μεταφερθεί μέσω της θεμελίωσης στην ανωδομή. Ο παλμός της οριζόντιας επιτάχυνσης προκαλεί στροφή των δύο θεμελίων και, φυσικά, κινηματικού χαρακτήρα (αλλά όχι έντονη δομητικά) καταπόνηση της ανωδομής. Όταν ωστόσο ο παραπάνω παλμός συνοδεύεται ταυτόχρονα από έναν κατακόρυφο παλμό, ο οποίος αυξάνει το (μεταφερόμενο μέσω της αξονικής δύναμης του υποστυλώματος) κατακόρυφο φορτίο του θεμελίου (Σχήμα 4α) την χρονική στιγμή t=3.8s), το ανασήκωμα του τελευταίου περιορίζεται ή και ακυρώνεται. Όντως, την χρονική στιγμή αυτήν η στροφή του δεξιού θεμελίου μειώνεται κατά 80% (Σχ. 4β γκρί γραμμή) σε σχέση με την τιμή της απουσία κατακόρυφης συνιστώσας- επιβεβαίωση της αδυναμίας του θεμελίου να ανασηκωθεί. Ως εκ τούτου, το υποστύλωμα αποκρίνεται στην επιβαλλόμενη σεισμική ένταση καμπτικά, με αποτέλεσμα την έντονη δομητική του καταπόνηση, όπως ξεκάθαρα φαίνεται και στα παραχθέντα διαγράμματα ροπής καμπυλότητας του υποστυλώματος (Σχήμα 4γ). Όπως μάλιστα προκύπτει από την

σύγκριση των τριών περιπτώσεων που απεικονίζονται, αγνοώντας την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα η κοιλαδική ενίσχυση (εσφαλμένα) δεν θα εθεωρείτο ότι προκαλεί ουσιώδη επιδείνωση της καταπόνησης του πλαισιού σε σχέση με τις συνθήκες ελευθέρου πεδίου (αύξηση κατά μόλις 10% της αναπτυσσόμενης καμπυλότητας στο υποστύλωμα).



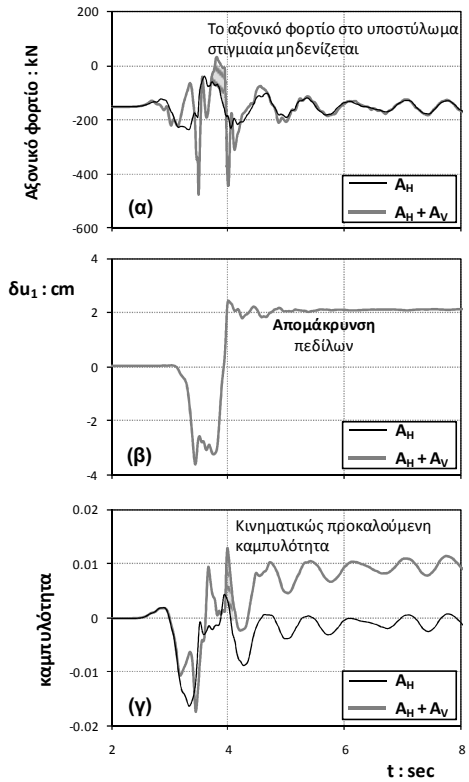
Σχήμα 5. Πλαίσιο διεγειρόμενο από (1) μόνον οριζόντια και (2) ταυτόχρονη οριζόντια και κατακόρυφη επιτάχυνση, η οποία μειώνει την αξονική δύναμη του υποστυλώματος .

Figure 4. Comparison of the response of the frame subjected to1. The horizontal only acceleration and 2. Horizontal and parasitic vertical component leading to reduction of column axial load

Μείωση του Αξονικού Φορτίου

Οι πιθανές συνέπειες της μείωσης του αξονικού φορτίου λόγω της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας επεξηγούνται στο Σχήμα 5. Η βασική συνέπεια ενός, σύγχρονου με τον οριζόντιο, παλμού κατακόρυφης επιτάχυνσης με (θετική) φορά προς τα άνω, είναι η δυνητική απώλεια της επαφής θεμελίου-εδάφους με πιθανό αποτέλεσμα μία κινηματικώς επιβληθεισόμενη μόνιμη παραμόρφωση του υποστυλώματος όπως επεξηγείται παρακάτω:

Κατά την διάρκεια του κύριου οριζόντιου παλμού, το αριστερό θεμέλιο, (το αξονικό φορτίο του οποίου είναι ήδη μειωμένο λόγω της λικνιστικής παραμόρφωσης του πλαισίου) δέχεται ταυτόχρονα την δράση ενός κατακόρυφου παλμού φοράς προς τα άνω Ο τελευταίος οδηγεί σε έστω και στιγμιαία πλήρη αποκόλληση του θεμελίου από το έδαφος όπως μαρτυρούν οι θετικές τιμές της αξονικής δύναμης (Σχήμα 6α). Μετά την αποκατάσταση της επαφής του με το έδαφος το θεμέλιο έχει πλέον μετατεθεί ελαφρώς προς τα αριστερά σε σχέση με την αρχική του θέση ενώ το δεξιό θεμέλιο έχει παραμείνει αμετακίνητο στην οριζόντια διεύθυνση (Σχήμα 6β), με τελική συνέπεια την μή αναστρέψιμη παραμόρφωση του υποστυλώματος. Η τελευταία αντανακλάται στην παραμένουσα καμπυλότητα του υποστυλώματος η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 6γ, και φυσικά διατηρείται καί κατά τους επόμενους κύκλους φόρτισης.

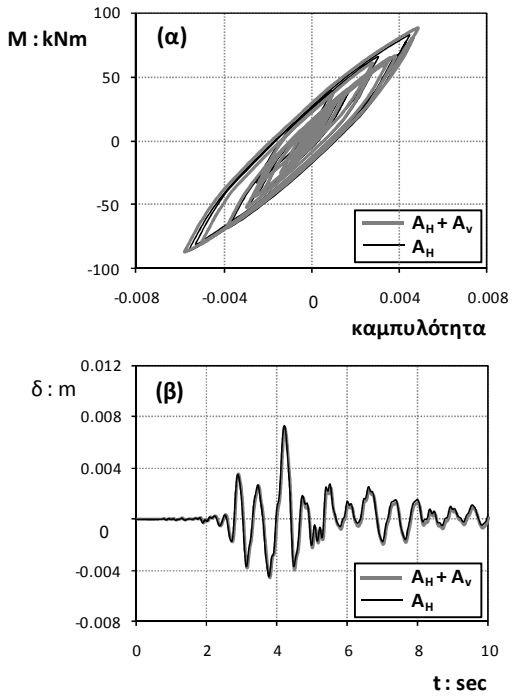


Σχήμα 6. Η κατακόρυφη επιτάχυνση (α) μειώνει το αξονικό φορτίο στο αριστερό υποστύλωμα (β) προκαλώντας μετατόπισή του και (γ) σημαντικές πλαστικοποιήσεις

Figure 6. Effect of parasitic Vertical acceleration in terms of (a) axial load, (b) footings displacement and (c) Column curvature

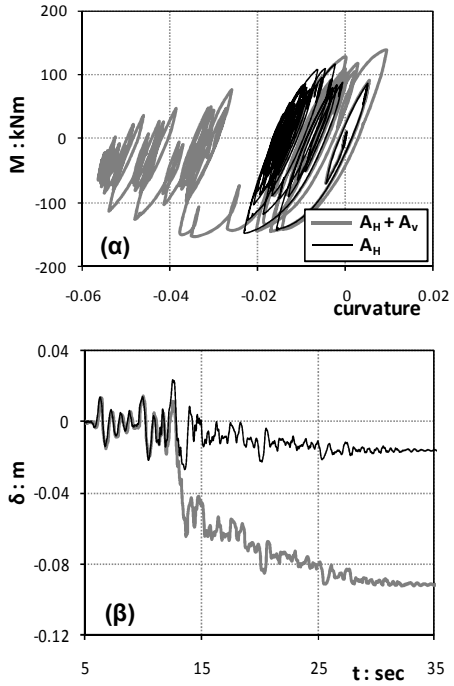
3.2 Πλαίσιο Υποβαλλόμενο σε καταγραφείσες Διεγέρσεις

Προς επιβεβαίωση των ανωτέρω σχετικά με την επιζήμια επιρροή της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας στην σεισμική απόκριση του πλαισίου, παρουσιάζονται στην ενότητα αυτήν τα αποτελέσματα από την δυναμική ανάλυση του πλαισίου υποβαλλόμενου πλέον σε δύο καταγραφείσες σεισμικές διεγέρσεις: το ήπιας έντασης επιταχυνσιογράφημα της Καλαμάτας και το ισχυρό επιταχυνσιογράφημα από τον σταθμό Dayhook (Tabas, Iran, 1978). Όπως γίνεται αντιληπτό, για την ήπιας έντασης διέγερση (Σχήμα 7), η συμπεριφορά του πλαισίου είναι ουσιαστικά ελαστική. Η κατακόρυφη συνιστώσα δεν μεταβάλλει την απόκριση του πλαισίου. Αντιθέτως, όταν η διέγερση είναι ισχυρή (Σχήμα 8), η επιδείνωση της συμπεριφοράς λόγω της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας είναι εμφανής: δραματική αύξηση της καμπτικής επιπόνησης με αποτέλεσμα εξαιρετικά αυξημένη καμπυλότητα στο υποστύλωμα και διαφορική οριζόντια μετακίνηση ορόφου ενδεικτική πλήρους αστοχίας του πλαισίου.



Σχήμα 7 Συγκριτική απόκριση πλαισίου διεγειρόμενου από μόνον οριζόντια επιτάχυνση (μαύρη γραμμή) και ταυτόχρονη δράση οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης (γκρι γραμμή): .για ήπιας έντασης διέγερση (Καλαμάτα, 1986)

Figure 7. Comparison of the response of the frame subjected to the horizontal component only (black line) and the synchronous horizontal and vertical component of the Kalamata 1986 earthquake



Σχήμα 8 Συγκριτική απόκριση πλαισίου διεγειρόμενου από μόνον οριζόντια επιτάχυνση (μαύρη γραμμή) και ταυτόχρονη δράση οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης (γκρι γραμμή): .για την ισχυρή διέγερση Tabas (Iran, 1978)

Figure 8. Comparison of the response of the frame subjected to the horizontal component only (black line) and the synchronous horizontal and vertical component of the Tabas (Iran 1978) earthquake.

4. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος της ΕΕ 7th framework το οποίο χρηματοδοτείται από το Πρόγραμμα του Ευρωπαικού Συμβουλίου Έρευνας "Ideas", Support for Frontier Research – Advanced Grant, under Contract number ERC-2008-AdG 228254-DARE

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ABAQUS, Inc. (2008), *ABAQUS user's manual*, Providence, R.I.

Bao H., Bielak J., Ghattas O., Kallivokas L.F., O' Hallaron D.R., Shewchuk J., & Xu J. (1996), Earthquake ground motion modeling on parallel computers, *Proceedings of ACM/IEEE Supercomputing Conference*, Pittsburgh, USA.

Bard P.Y. & Bouchon M.A. (1980), The seismic response of sediment filled valleys. Parts 2. The Case of incident P and SV waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.70, No. 5, pp. 1921-1941.

Bielak J., Hisada Y., Bao H., Xu J & Ghattas O. (2000). One - vs two - or three-dimensional effects in sedimentary valleys. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand.

Bielak J., Xu J. & Ghattas O. (1999), Earthquake Ground motion and Structural Response in alluvial Valleys. *Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering,* Vol. 125, No. 5, pp. 413-423.

Fishman K. L. & Ahmad S. (1995). Seismic response for alluvial valleys subjected to SH, P and SV waves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 14, pp. 249-258.

Gazetas G., Anastasopoulos I., & Dakoulas P. (2005), Failure of harbor quaywall in the Lefkada 2003 earthquake, *Proceedings of Geotechnical Earthquake Engineering Satellite Conference – Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering : Concepts and Research*, Osaka, pp. 62-69.

Gelagoti F., Kourkoulis R., Anastasopoulos I. Gazetas G. (2010) "Rocking Isolation of Frame Structures Founded on Separate Footings", Erathquake engineering and Structural Dynamics (Submitted for possible publication)

Gelagoti F., Kourkoulis R. , Anastasopoulos I., Tazoh T., Gazetas G., (2010), "Seismic Wave Propagation in a Very Soft Alluvial Valley : Sensitivity to Ground Motion Details and Soil Nonlinearity, Generation of Parasitic Vertical Component", Bulletin of Seismological Society of America (accepted for publication)

Ohtsuki A. & Harumi K. (1983). Effect of topography and subsurface inhomogeneities on seismic SV waves. *Journal of Earthquake Engineering & Structural Dynamics,* Vol. 11, pp. 441-462.

Sánchez-Sesma F.J. & Luzón F. (1995), Seismic response of three-dimensional alluvial valleys for incident P, S, and Rayleigh waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 85, No. 1, pp. 269-284.

Tazoh T., Shimizu K. & Wakahara (1988), Seismic observations and analysis of grouped piles. *Shimizu Technical Research Bulletin,* Vol. 7, pp. 17-32.

Wong H.L. & Trifunac M.D. (1974), Surface motion of a semi-elliptical alluvial valley for incident plane SH waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 64, No. 5, pp. 1389-1408.

Zhang B. & Papageorgiou A. (1996), Simulation of the Response of the Marina District Basin, San Francisco, California, to the 1989 Loma Prieta Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America,* Vol. 86, No. 5, pp. 1382-1400.