

1. ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ του ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ – ΕΚΠΛΗΡΩΣΗ ΣΤΟΧΩΝ

Εισαγωγή

Στην επιστημονική περιοχή της σεισμικής μηχανικής είναι πλέον κοινώς αποδεκτό ότι οι *τοπικές εδαφικές συνθήκες* επηρεάζουν σημαντικά την ένταση, την διάρκεια, και το φασματικό περιεχόμενο του επιφανειακού σεισμικού κραδασμού.

Όμως, κοινή διαπίστωση αποτελεί το γεγονός ότι οι *αντισεισμικοί κανονισμοί* σε διεθνές επίπεδο, συμπεριλαμβανομένου και του ελληνικού (Ε.Α.Κ. 2000), δεν αντιμετωπίζουν την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στον επιφανειακό σεισμικό κραδασμό με ικανοποιητικό ρεαλισμό. Παράλληλα, η ανάγκη εκτελέσεως *μικροζωνικών μελετών*, ιδίως μετά τους πρόσφατους καταστρεπτικούς σεισμούς έχει γίνει πλέον ιδιαίτερος έντονη. Διαπιστώνεται όμως ότι, αφενός μόν δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτή μέθοδος μικροζωνικής μελέτης, αφετέρου δέ, οι σχετικές θεωρίες δεν έχουν αναπτυχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό για την αξιόπιστη χρήση τους στην πράξη.

Οπότε, γίνεται πλέον προφανές ότι η επιτόπου ενόργανη παρατήρηση (*πειράμα φυσικής κλίμακας*) και η σύγκρισή της με τα αποτελέσματα θεωρητικών (αναλυτικών ή αριθμητικών) λύσεων αποτελεί την απαραίτητη μέθοδο για την κατανόηση (ποιοτική και ποσοτική) των σχετικών φαινομένων. Αυτός είναι ο κύριος στόχος του προγράμματος.

Στα πλαίσια του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος, αξιοποιώντας δύο σεισμικά πειραματικά δίκτυα (ένα στην Ελλάδα και ένα στην Ιαπωνία), εξετάστηκε *πειραματικώς και θεωρητικώς* η επίδραση των *γεωμορφικών συνθηκών* στον επιφανειακό σεισμικό κραδασμό. Όπως προαναφέρθηκε, το θέμα αυτό συναντάται σε όλες σχεδόν τις *μικροζωνικές μελέτες* και αντιμετωπίζεται μάλλον ακροθιγώς από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς. Όπως αναλυτικά περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο, με τον όρο «*γεωμορφικές συνθήκες*» περιγράφονται όλες οι γεωμετρικές ανωμαλίες τόσο των ίδιων των εδαφικών στρωμάτων όσο και του (κατά-σύμβαση σκληρού) σεισμικού υποβάθρου.

Πειραματική Προσέγγιση

Η πειραματική προσέγγιση βασίστηκε στα δεδομένα δύο «πειραμάτων φυσικής κλίμακας». Πρόκειται για την ενόργανη αποτύπωση της σεισμικής συμπεριφοράς δύο εδαφικών κοιλάδων με έντονα διδιάστατα χαρακτηριστικά.

Η πρώτη, διαθέτοντας τρία καταγραφικά όργανα επιφανείας και ένα εις βάθος, βρίσκεται στην Κεφαλονιά, και αποτελεί ένα πλήρες Σεισμικό Πειραματικό Δίκτυο. Η δεύτερη βρίσκεται στην πόλη Fujisawa της Ιαπωνίας, και επί αυτής βρίσκεται θεμελιωμένη μέσω πασσάλων οδική γέφυρα. Και σε αυτή την περίπτωση καταγραφικά όργανα στην επιφάνεια και εις βάθος έχουν καταγράψει την σεισμική απόκριση της κοιλάδας. Και στις δύο περιπτώσεις οι διαθέσιμες καταγραφές, τόσο στην επιφάνεια όσο και στο υπόβαθρο, αποδεικνύουν την έντονη επίδραση της γεωμορφίας στην σεισμική κίνηση.

Με δεδομένη την υψηλή σεισμικότητα της Ελλάδας (βλ. Σχήμα 1.1), και ιδιαίτερα του Ιονίου Πελάγους (βλ. Σχήμα 1.2), το Σεισμικό Πειραματικό Δίκτυο Κεφαλονιάς είχε τεθεί σε λειτουργία το 1996 από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στα πλαίσια πιλοτικού ερευνητικού προγράμματος χρηματοδοτούμενου από τον Ο.Α.Σ.Π. (Ο.Α.Σ.Π. 1996). Αντικείμενο του παλαιού προγράμματος ήταν η πειραματική διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς εδαφών σε σεισμικό κραδασμό μέσω επιταχυνσιογράφων βάθους και επιφανείας. Το Δίκτυο στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του (μεταξύ 1996 και 1998) είχε καταγράψει έναν ποιοτικό όγκο επιταχυνσιογραφημάτων. Μάλιστα, οι καταγραφές του Δικτύου υπερέβησαν τις αρχικές προσδοκίες, καθώς, επιφανειακές καταγραφές περί το μέσον της κοιλάδας, αν και σχετικώς υψίσυχνες, έχουν πλησιάσει οριζόντιες επιταχύνσεις της τάξεως των 0.25 g. Σημειώνεται ότι η στάθμη αυτή είναι ζηλευτή για αντίστοιχα μικρο-δίκτυα σε παγκόσμια κλίμακα. Δυστυχώς όμως, προβλήματα τεχνικής φύσεως (βλ. Παράρτημα) έθεσαν το Δίκτυο εκτός λειτουργίας (το 1999), χωρίς να υπάρχει η οικονομική δυνατότητα επισκευής ή αντικατάστασής του.

Με δεδομένη την κατάσταση που προαναφέρθηκε, στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην επαναλειτουργία του Δικτύου, οπότε πρωταρχικό στόχο αποτέλεσε η επίλυση των τεχνικών προβλημάτων που σχετίζονται με τα καταγραφικά όργανα του Δικτύου. Παράλληλα όμως πραγματοποιήθηκε περαιτέρω διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών που

επικρατούν στην κοιλάδα, ενώ αναβαθμίσθηκε η σεισμολογική βάση του δικτύου.

Οι βασικές επεμβάσεις – ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος για το Σεισμικό Πειραματικό Δίκτυο της Κεφαλονιάς συνοψίζονται στα εξής :

- α. προσδιορίσθηκαν με σχετική ακρίβεια οι ταχύτητες διάδοσης διατμητικού κύματος V_{SO} για μικρές παραμορφώσεις των εδαφικών στρώσεων μέσω γεωφυσικών διασκοπήσεων με την μέθοδο της *Φασματικής Ανάλυσης Επιφανειακών Κυμάτων (SASW)*. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και οι αναλύσεις που ακολούθησαν περιγράφονται λεπτομερώς στο υποκεφάλαιο 3.4. Η εφαρμογή της μεθόδου έδωσε ενδεικτική εικόνα τόσο της εδαφικής στήλης στην θέση των οργάνων του Δικτύου όσο και της τομής της κοιλάδας
- β. πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εδαφικού θορύθου, εφαρμόσθηκε η *Μέθοδος «Nakamura»*, και προσδιορίσθηκε προσεγγιστικώς η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα της κοιλάδας, μέσω του φασματικού λόγου H/V (οριζόντια προς κατακόρυφη συνιστώσα). Στο υποκεφάλαιο 3.5 γίνεται μία σύντομη περιγραφή της Μεθόδου «Nakamura», καθώς και τα αποτελέσματα της εφαρμογής της στην κοιλάδα του Δικτύου της Κεφαλονιάς
- γ. επαναλειτούργησαν και αναβαθμίσθηκαν τα καταγραφικά όργανα του Δικτύου (βλ. Παράρτημα), τα οποία, όπως προαναφέρθηκε, είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης για διάστημα μεγαλύτερο των τριών ετών. Σημειώνεται ότι, μέχρι την επίτευξη της επαναλειτουργίας του δικτύου, είχε τοποθετηθεί ένας προσωρινός επιταχυνσιογράφος επιφανείας στο μέσον της κοιλάδας, ώστε, σε περίπτωση σημαντικού σεισμικού γεγονότος, να καταστεί δυνατή, έστω και μερικώς, η καταγραφή της σεισμικής απόκρισης της κοιλάδας.
- δ. ολοκληρώθηκε η αρχειοθέτηση και επεξεργασία των διαθέσιμων καταγραφών του Δικτύου. Η τεκμηρίωση του δικτύου και η αρχειοθέτηση των επεξεργασμένων καταγραφών εξασφαλίζει την διάθεση των καταγραφών στην επιστημονική κοινότητα.

Η δεύτερη κοιλάδα που εξετάσθηκε στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος βρίσκεται στην Ιαπωνία, κοντά στην πόλη Fujisawa, νοτιο-δυτικά του Τόκιο, και είναι γνωστή με την ονομασία Ohba-Hashi. Πρόκειται για μία ιδιαίτερος μαλακή ιζηματογενή κοιλάδα, η οποία αναμφισβήτητα αποτελεί πείραμα φυσικής κλίμακας, καθώς κατά την διάρκεια πολλών σεισμικών γεγονότων έχουν καταγραφεί οι εδαφικές κινήσεις στην επιφάνεια και στο σεισμικό υπόβαθρό της (Tazoh et al 1984 & 1988). Σημειώνεται ότι στην εν-λόγω κοιλάδα βρίσκεται θεμελιωμένη γέφυρα, για την οποία έχει επίσης καταγραφεί η σεισμική απόκριση της θεμελίωσης και της ανωδομής. Η κοιλάδα χαρακτηρίζεται από έντονες διδιάστατες, και πιθανότατα τριδιάστατες, γεωμορφικές ιδιαιτερότητες, και, όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσιάζει ιδιαίτερος υψηλές εδαφικές ενισχύσεις, οι οποίες δεν δύνανται να ερμηνευτούν μέσω της μονοδιάστατης κυματικής θεωρίας.

Στα πλαίσια του προγράμματος αξιοποιήθηκαν οι καταγραφές που προέκυψαν σε διάστημα τεσσάρων ετών (μεταξύ 1981 και 1985), και διατέθηκαν από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της ιαπωνικής τεχνικής εταιρείας *Shimizu Corporation*.

Θεωρητική Προσέγγιση

Απεναντίας, η θεωρητική προσέγγιση περιέλαβε, πέραν των δημοσιευμένων αναλυτικών λύσεων της διεθνούς βιβλιογραφίας, τις αριθμητικές προσομοιώσεις που διεξήχθησαν στα πλαίσια του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος. Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν κλασικές αναλυτικές λύσεις και πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αριθμητικές αναλύσεις ώστε να διερευνηθεί η σημαντικότητα των παραμέτρων που εμπλέκονται στο πρόβλημα.

Και για τις δύο κοιλάδες πραγματοποιήθηκαν *ελαστικές* και *ανελαστικές* (ισοδύναμα γραμμικές) διδιάστατες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης, μέσω της μεθόδου των *φασματικών* και των *πεπερασμένων στοιχείων*. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ικανοποιητική επαλήθευση των ελαστικών αναλύσεων μέσω των διαθέσιμων καταγραφών από μικρής-έντασης σεισμούς, ενώ οι ανελαστικές αναλύσεις καταδεικνύουν την εξάρτηση του βαθμού επίδρασης της γεωμορφίας από την ένταση της σεισμικής διέγερσης και το επίπεδο της αναπτυσσομένης παραμόρφωσης.

Μέσω των διαθέσιμων καταγραφών επιβεβαιώθηκε η αξιοπιστία και η (σχετική) ακρίβεια των αριθμητικών προσομοιώσεων (τουλάχιστον των ελαστικών), ενώ η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων οδήγησε σε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την ποιοτική και ποσοτική επίδραση της γεωμορφίας.

Τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται, τόσο από την πειραματική, όσο και από την θεωρητική προσέγγιση, συνοψίζονται στα εξής:

- α. και στις δύο κοιλάδες που εξετάστηκαν, οι μονοδιάστατες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης δεν φάνηκαν ικανές να ερμηνεύσουν την μέχρι σήμερα έντονη καταγεγραμμένη εδαφική ενίσχυση, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες διδιάστατες.
- β. η επίδραση των γεωμορφικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους είναι ιδιαίτερως έντονη στην οριζόντια σεισμική κίνηση. Παρατηρείται σημαντική επιδείνωση (πέραν της ενίσχυσης λόγω μονοδιάστατης θεώρησης) του επιφανειακού σεισμικού κραδασμού, αλλά και σημαντική χρονική παράτασή του.
- γ. οι διαφορικές κινήσεις μεταξύ γειτονικών επιφανειακών θέσεων είναι σημαντικές σε μέγεθος. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να είναι κρίσιμο για τον αντισεισμικό υπολογισμό μεγάλων σε μήκος κατασκευών, όπως γέφυρες, αγωγοί, και πάσης φύσεως δίκτυα.
- δ. η παρουσία παρασιτικής (πέραν αυτής που αναμένεται λόγω των κυμάτων P) κατακόρυφης συνιστώσας ενδέχεται να είναι έντονη, ιδίως στα άκρα εδαφικών κοιλάδων.
- ε. η ανελαστική συμπεριφορά του εδάφους, όταν αυτό υπόκειται σε υψηλά επίπεδα επιταχύνσεων, και κατ' επέκταση υψηλών παραμορφώσεων, τείνει να περιορίσει, αλλά όχι να εξαλείψει, την ενισχυτική επίδραση των γεωμορφικών χαρακτηριστικών. Εξαίρεση φαίνεται να αποτελούν κοιλάδες με εδαφικά υλικά υψηλής *πλασιμότητας* τα οποία συμπεριφέρονται ελαστικώς ακόμη και σε υψηλά επίπεδα παραμορφώσεων.