

Κατηγοριοποίηση Προβλημάτων που Απαντώνται σε Θεμελιώσεις περί τα Ρήγματα

Classification of Foundation Problems Caused by Faulting

ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ¹ & ΚΡΑΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Παρουσιάζονται και ταξινομούνται τα γεωλογικά – γεωτεχνικά προβλήματα που απαντώνται σε θεμελιώσεις παρά τα ρήγματα. Τα προβλήματα αντιστοιχούν σε τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες έχουν σχέση με: (i) τη διαφοροποίηση της γεωλογικής δομής εκατέρωθεν ενός ρήγματος, (ii) τη μεταβολή των γεωτεχνικών συνθηκών, (iii) τη διαφοροποίηση των υδρογεωλογικών συνθηκών και (iv) αυτά που ανακύπτουν σε σεισμικές διεγέρσεις. Πρόσθετα για κάθε μία κατηγορία προσεγγίζονται τα αίτια και περιγράφονται οι μέθοδοι εντοπισμού και αναγνώρισης. Τέλος, διατυπώνονται προτάσεις αναφορικά με τις ενέργειες, οι οποίες πρέπει να δρομολογηθούν για την αντιμετώπιση και την επίλυση των προβλημάτων.

ABSTRACT : The problems of geological and geotechnical nature that arise from foundation of buildings and technical works in the neighbourhood of active faults are presented in this paper. The problems fall into four categories, namely: (i) differentiation of geological configuration on the juxtaposed fault blocks; (ii) differentiation of geotechnical conditions; (iii) alteration in hydrogeological conditions; and (iv) problems arising in earthquake activity. For each category, the causes are presented, together with the appropriate reconnaissance and localization methods. Suggestions are also made, as to the measures that should be taken for the alleviation of problems.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια του γεωλογικού ρήγματος ταυτίζεται με μια ασυνέχεια στους γεωλογικούς σχηματισμούς, η οποία οφείλεται στη δράση των τεκτονικών δυνάμεων. Ανεξάρτητα από το εάν το ρήγμα είναι ενεργό ή ανενεργό, προκαλεί σημαντικές διαφοροποιήσεις σε μια σειρά παραμέτρους που, είτε αυτοτελώς ή σε συνδυασμό, προκαλούν έμμεσα προβλήματα σε κατασκευές και τεχνικά έργα. Βέβαια, ο κίνδυνος είναι ιδιαίτερα αυξημένος όταν το ρήγμα ή η ρηξιγενής ζώνη στην οποία ανήκει το ρήγμα είναι ενεργή.

Η προσέγγιση στα προβλήματα που δημιουργεί η παρουσία ρηγμάτων στα τεχνικά έργα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αναλυτικής έρευνας - μελέτης και διάκρισης κατηγοριών

¹ Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, email: elekkas@geol.uoa.gr

² Δρ Γεωλόγος, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, email: hkranis@geol.uoa.gr

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός πίνακας κατηγοριοποίησης προβλημάτων, αιτιών και αντιμετώπισης που απαντώνται κατά μήκος των ρηγμάτων.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΕΙΔΟΣ	ΚΥΡΙΑ ΑΙΤΙΑ	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ	ΚΥΡΙΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ	ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΔΟΜΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΡΗΞ/ΧΩΝ	ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	—	—
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ				—	—
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΡΙΒΗ	ΖΩΝΕΣ ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ	ΑΠΟΜΑΚΡ. ΤΕΚΤ. ΥΛΙΚΟΥ ΕΙΔ. ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΕΡΓΟΥ
	ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ	ΔΙΑΒΡΩΣΗ	ΕΙΔΙΚΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ		ΔΙΑΦΟΡΙΚΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΕΡΠΥΣΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	ΕΙΔ. ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΕΠΙΛ. ΘΕΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	ΔΙΑΦΟΡ. ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ	ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΗΣ	ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΕΡΓΟΥ ΕΙΔΙΚΟΙ ΟΡΟΙ
	ΔΙΑΦΟΡ. ΔΙΑΒΡΩΣΗ				ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ		ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΕΡΓΟΥ ΕΙΔΙΚΑ ΕΡΓΑ
	ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ-ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ- ΑΠΟΚΟΛΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ	ΧΑΛΑΡΩΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ		ΑΜΕΣΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΕΡΓΟΥ ΕΡΓΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ
	ΕΓΚΟΙΛΑ	ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΚΑΡΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝ.ΕΜΦΑΝΙΣΗ	+ ΓΕΩΦΥΣ. ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ	ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΕΡΓΟΥ ΕΙΔΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	—	ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΗΓΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ	ΓΕΩΛΟΓ.ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	ΔΥΣΧΕΡΕΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΔΙΑΦΟΡΙΚΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ	ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΔ. ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΕΡΓΟΥ
---	---	--	---	--	---	---

ΣΕΙΣΜΙΚΗ Διεγερση	ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΡΗΞΙΤΕΜΑΧΩΝ	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΙΔΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	ΓΕΩΛ. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΝΕΟΤ. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	ΜΕΓΑΛΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΕΙΣ	ΕΙΔΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΟΥ
	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΤΑΣΕΩΝ	ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΡΡΗΣΗΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΣΤΙΑΣ				
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ					
	ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ	ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ				

προβλημάτων, τα οποία συνδέονται με συγκεκριμένα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά μήκος ή εκατέρωθεν των ρηγμάτων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια διάκρισης και ομαδοποίησης των περιπτώσεων (Πίν. 1). Πρόσθετα προσεγγίζονται τα αίτια των προβλημάτων και περιγράφονται οι μέθοδοι εντοπισμού και αναγνώρισης. Τέλος, διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις αναφορικά με τις παρεμβάσεις και τα μέτρα αντιμετώπισης

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Κατά μήκος και εκατέρωθεν των ρηγμάτων τις περισσότερες φορές παρατηρείται διαφοροποίηση της γεωλογικής δομής. Οι παράμετροι που σχετίζονται με αυτή τη διαφοροποίηση της γεωλογικής δομής είναι οι ακόλουθες:

Διαφοροποίηση της λιθοστρωματογραφικής διάρθρωσης

Στις περιπτώσεις όπου οι το μέγεθος της συνολικής διαχρονικής μετατόπισης των εκατέρωθεν ρηξιτεμαχών είναι μεγάλο, υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση της λιθοστρωματογραφικής διάρθρωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι δυνατόν να απαντούν σχηματισμοί με τελείως διαφορετικούς χαρακτήρες στα δύο εκατέρωθεν ρηξιτεμάχη. Τούτο είναι σύνηθες στον Ελληνικό χώρο, όπου μεγάλες περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες αλλά και ρήγματα μικρότερης τάξης, φέρνουν σε επαφή σχετικά συνεκτικούς βραχώδεις σχηματισμούς του αλπικού κύκλου (π.χ. ασβεστόλιθους) με χαλαρές μεταλπικές αποθέσεις (π.χ. μάργες, άργιλοι) (ρήγματα «Αιγαιακού τύπου», Stewart & Hancock, 1991) (Σχ. 1). Παρόλο που η ανισοτροπία αυτή καθ' αυτή δεν προκαλεί άμεσα σημαντικά προβλήματα, εντούτοις αποτελεί το αίτιο γενικότερης διαφοροποίησης των τοπικών συνθηκών στην περιοχή θεμελίωσης, όπως αυτές θα περιγραφούν στη συνέχεια (π.χ. υδρογεωλογικές συνθήκες, γεωτεχνικές συνθήκες, κλπ.)

Η προκαταρκτική έρευνα για τον εντοπισμό μιας ρηξιγενούς ζώνης, αλλά και τον εντοπισμό της διαφοροποίησης της λιθοστρωματογραφικής διάρθρωσης, περιλαμβάνει: (i) χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών σε λεπτομερή κλίμακα, με παράλληλη καταγραφή της γεωμετρίας τους, εκτίμηση πάχους, (ii) συλλογή και επεξεργασία στοιχείων για τις τεκτονικές δομές εκατέρωθεν της ρηξιγενούς ζώνης, (iii) προσδιορισμό των γεωμετρικών και κινηματικών χαρακτηριστικών της, (iv) μελέτη και ανάλυση των ρηξιπετρωμάτων (κατακλαστίτες, θραυσματοπαγή, κλπ) που αναπτύσσονται κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης, κ.ά.

Διαφοροποίηση της τεκτονικής δομής

Οι διαφορετικές λιθοστρωματογραφικές ενότητες που έρχονται σε επαφή λόγω του ρήγματος μπορεί να εμφανίζουν τελείως διαφορετική τεκτονική παραμόρφωση. Χωρίς αυτό να αποτελεί κανόνα, ρήγματα με μικρό άλμα και μήκος δεν προκαλούν σημαντική διαφοροποίηση στην τεκτονική δομή εκατέρωθέν τους. Στην αντίθετη περίπτωση, είναι συχνό το φαινόμενο να έρχονται σε επαφή απαραμόρφωτοι ή ελαφρά παραμορφωμένοι γεωολογικοί σχηματισμοί με άλλους, ισχυρά τεκτονισμένους (Σχ. 1). Η προκαταρκτική έρευνα για τον εντοπισμό της



Σχήμα 1. Χαρακτηριστική περίπτωση διαφοροποίησης της λιθοστρωματογραφικής διάρθρωσης και τεκτονικής δομής εκατέρωθεν ενεργού ρήγματος.

διαφοροποίησης της τεκτονικής δομής περιλαμβάνει τις έρευνες που περιγράφηκαν προηγουμένως. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, τα προβλήματα προκύπτουν συνήθως από τη συνεπαγόμενη διαφοροποίηση των γεωτεχνικών, υδρογεωλογικών, κλπ. συνθηκών στην περιοχή θεμελίωσης του έργου.

Παρουσία τεκτονικών πετρωμάτων

Πρόκειται για πετρώματα που προέρχονται από τον κατακερματισμό των γεωλογικών σχηματισμών κατά τη διάρρηξη, λόγω τριβής των εκατέρωθεν ρηξιτεμαχών (Σχ. 2). Η παρουσία καθώς και το εύρος ανάπτυξής τους εξαρτώνται άμεσα, μεταξύ άλλων, από: (i) το είδος και την ένταση του εφαρμοζόμενου πεδίου τάσεων, (ii) το είδος και το μέγεθος της μετακίνησης, (iii) την ύπαρξη ή μη διαδοχικών επαναδραστηριοποιήσεων, (iv) τη λιθολογική σύσταση των παρειών του ρήγματος, (v) την παρουσία υγρής φάσης, κ.ά. Το σημαντικότερο πρόβλημα που δημιουργείται είναι η έντονη ανισοτροπία των γεωλογικών σχηματισμών, που οδηγεί σε σειρά επιμέρους προβλημάτων όπως: (i) απώλεια στήριξης εξαιτίας πλήρωσης των δημιουργούμενων κενών από πιθανές υπερκείμενες μάζες, (ii) κυκλοφορία υπογείων υδάτων και συνεπαγόμενη υπόγεια διάβρωση, (iii) στατική και δυναμική καθίζηση εξαιτίας συμπίεσης των χαλαρών τεκτονικών πετρωμάτων στη ζώνη του ρήγματος και (iv) διαφοροποίηση ή/και ενίσχυση αναμενόμενων μετακινήσεων και επιταχύνσεων σε σεισμική διέγερση.



Σχήμα 2. Ζώνη κατακερματισμού και κατακλαστίτες που συνοδεύουν ένα ρήγμα.

Για να εντοπιστούν τα τεκτονικά πετρώματα απαιτείται μια σειρά ερευνητικών εργασιών όπως: (i) χαρτογράφηση του ρήγματος σε κλίμακα ανάλογη με τη σπουδαιότητα του έργου, (ii) λεπτομερής γεωμετρική και κινηματική ανάλυση της ρηξιγενούς επιφάνειας και (iii) επακριβής προσδιορισμός του πάχους, της έκτασης και εν γένει της τρισδιάστατης γεωμετρίας της ζώνης του τεκτονικού πετρώματος. Πρόσθετα, πρέπει να γίνει καθορισμός των γεωτεχνικών παραμέτρων τόσο του μητρικού, όσο και του τεκτονικού πετρώματος, ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη διαφορικών καθιζήσεων, κλπ., καθώς επίσης και περαιτέρω έρευνα για άλλα συνοδά φαινόμενα όπως η δημιουργία εγκοίλων, η διαφοροποίηση της κυκλοφορίας του υπόγειου νερού, κλπ.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού περιλαμβάνει, σε γενικές γραμμές, τα ακόλουθα: (i) απομάκρυνση του τεκτονικού υλικού, (ii) βελτίωση βραχομάζας – εξυγίανση, (iii) πιθανή μετάθεση του τεχνικού έργου, κ.ά

Παρουσία πλευρικών κορημάτων

Τα ρήγματα συνήθως δημιουργούν ρηξιγενή μέτωπα ή κρημνούς που συνήθως καλύπτονται από λιγότερο ή περισσότερο χαλαρά, γωνιώδη, αδρομερή ή λεπτομερή υλικά, τα πλευρικά κορήματα. Απαντούν σε ζώνη ποικίλου εύρους κατά μήκος του ίχνους ή του μετώπου του ρήγματος με το οποίο πολλές φορές συνδέονται γενετικά (Σχ. 3).

Τα προβλήματα που ανακύπτουν είναι συνάρτηση του βαθμού συνεκτικότητας των κορημάτων. Έτσι, όταν κυριαρχούν οι χαλαρές φάσεις τα πιθανά προβλήματα εντοπίζονται: (i) στις έντονες διαφορικές καθιζήσεις, (ii) στις κατολισθήσεις οι οποίες ευνοούνται λόγω της κλίσης των πρανών, (iii) σε φαινόμενα ερπυσμού και (iv) στις αυξημένες τιμές ορισμένων σεισμικών παραμέτρων (π.χ. μετατόπιση). Θα πρέπει να επισημανθεί επίσης ότι η ο βαθμός συνεκτικότητας των κορημάτων συχνά διαφοροποιείται ακόμα και εντός της ίδιας εμφάνισης. Όταν δε η σύσταση των κορημάτων είναι ανθρακική, παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της δημιουργίας ενός επιφανειακού συνεκτικού κελύφους/κρούστας, του οποίου το πάχος μπορεί να κυμαίνεται από λίγα cm έως και αρκετά m. Η κρούστα αυτή συχνά καλύπτει χαλαρές φάσεις των κορημάτων ή/και έγκοιλα, η παρουσία των οποίων δεν γίνεται άμεσα αντιληπτή.

Στις συνεκτικές ή βραχώδεις φάσεις είναι συχνή η παρουσία εγκοίλων, λόγω εκλεκτικής υπόγειας διάβρωσης των ενδιστρώσεων των πιθανών χαλαρών φάσεων, όσο και καταπτώσεις. Συνθετότερα προβλήματα εμφανίζονται σε περίπτωση εναλλαγών τόσο κατά την κατακόρυφη, όσο και κατά την οριζόντια έννοια, διαστάσεις των χαλαρών και συνεκτικών φάσεων.



Σχήμα 3. Πλευρικά κορήματα που έχουν αναπτυχθεί στο κατερχόμενο τέμαχος κανονικού ρήγματος.

Η έρευνα σε περιοχή που καλύπτεται από κορήματα που ενδεχόμενα συνδέονται με ρηξιγενή ζώνη πρέπει να περιλαμβάνει, εκτός από τα βασικά στάδια που προαναφέρθηκαν, και γεωφυσικές διασκοπήσεις –οι οποίες μπορούν και να αναδείξουν την πιθανή ύπαρξη εγκοίλων ή σπηλαιώσεων που δεν εμφανίζονται επιφανειακά- (π.χ. Gegenleithner et al. 2003) λεπτομερή γεωτεχνική έρευνα και μελέτη ευστάθειας πρανών κάτω από συνθήκες σεισμικής φόρτισης, κ.ά.

Για να αντιμετωπιστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα προτείνεται σε γενικές γραμμές: (i) θεμελίωση σε υγιές υπόβαθρο, (ii) αποφυγή θεμελίωσης σε διαφορετικές λιθολογικές φάσεις και (iii) εξέταση της δυνατότητας μετάθεσης του έργου εκτός της ζώνης εμφάνισης των χαλαρών φάσεων των πλευρικών κορημάτων.

Ιδιόμορφα φαινόμενα κατά μήκος ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης

Οι τεκτονικές δομές που σχετίζονται με ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (Audin & Nur, 1982), αποτελούν μια ειδική περίπτωση, η οποία εξετάζεται χωριστά, διότι έχει αποδειχτεί σε μεγάλους σεισμούς (π.χ. Izmit, 1999) ότι προκαλούν αυξημένα προβλήματα και καταστροφές. Στο συγκεκριμένο σεισμό, η έρευνα υπαίθρου έδειξε ότι σε περίπτωση δημιουργίας ανθοειδών δομών (flower structures) και διεφελκυστικών λεκανών (pull-apart basins) παρατηρείται εστιασμένη αύξηση των εντάσεων (βλπ. και παρακάτω) και πιο ειδικοί τύποι καταστροφών, όπως οι προτιμητέας διεύθυνσης καταρρεύσεις, ανατροπές, υποχωρήσεις και βυθίσεις (Σχ. 4)



Σχήμα 4. Βύθιση της παράκτιας οικιστικής περιοχής του Golcuk λόγω ανάπτυξης Pull apart basin



Σχήμα 5. Βύθιση της κτηρίου εντός ανθοειδούς δομής (flower structure) κατά το σεισμό του Izmit.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Τα προβλήματα αυτού του είδους είναι άμεσο αποτέλεσμα των διεργασιών που έχουν λάβει ή λαμβάνουν χώρα κατά μήκος των ρηγμάτων, τόσο κατά τη διάρκεια γένεσης όσο και κατά τη διάρκεια εξέλιξής τους, και σχετίζονται ως ένα μεγάλο βαθμό με την διαφοροποίηση της γεωλογικής δομής. Ειδικότερα, τα προβλήματα είναι τα ακόλουθα:

Διαφορικές καθιζήσεις

Είναι ένα συχνό φαινόμενο που παρατηρείται εκατέρωθεν των ρηγμάτων και των ρηξιγενών ζωνών. Οι πιθανότεροι παράγοντες εκδήλωσής τους είναι: (i) η παρουσία διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών εκατέρωθεν του ρήγματος, (ii) η παρουσία τεκτονικών πετρωμάτων κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης, (iii) η διαφοροποίηση των γεωτεχνικών συνθηκών εκατέρωθεν του ρήγματος, και (iv) η διαφοροποίηση των υδρογεωλογικών συνθηκών.

Οι επιπτώσεις στις κατασκευές και στα τεχνικά έργα είναι κυρίως: (i) η σταδιακή απώλεια στήριξης σε τμήματα του έργου και (ii) η απώλεια στήριξης σε ορισμένα τμήματα κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων που συνοδεύονται από δυναμικές καθιζήσεις.

Η έρευνα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους πρόβλημα θα πρέπει να περιλαμβάνει: (i) γεωλογική χαρτογράφηση σε λεπτομερή κλίμακα, (ii) γεωτεχνική χαρτογράφηση, (iii) διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών, (iv) επιτόπιες και

εργαστηριακές γεωτεχνικές εργασίες και (v) υπολογισμό των αναμενόμενων καθιζήσεων (στατικών – δυναμικών) κατά μήκος ή εκατέρωθεν των ρηγμάτων.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο προσδιορισμός του μεγέθους και της γεωγραφικής κατανομής των πιθανών καθιζήσεων. Τα πορίσματα των επιμέρους ερευνών θα πρέπει να ενσωματώνονται στη μελέτη του έργου, και εάν οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα δυσμενείς, αυτό να μετατίθεται.

Διαφορική διάβρωση

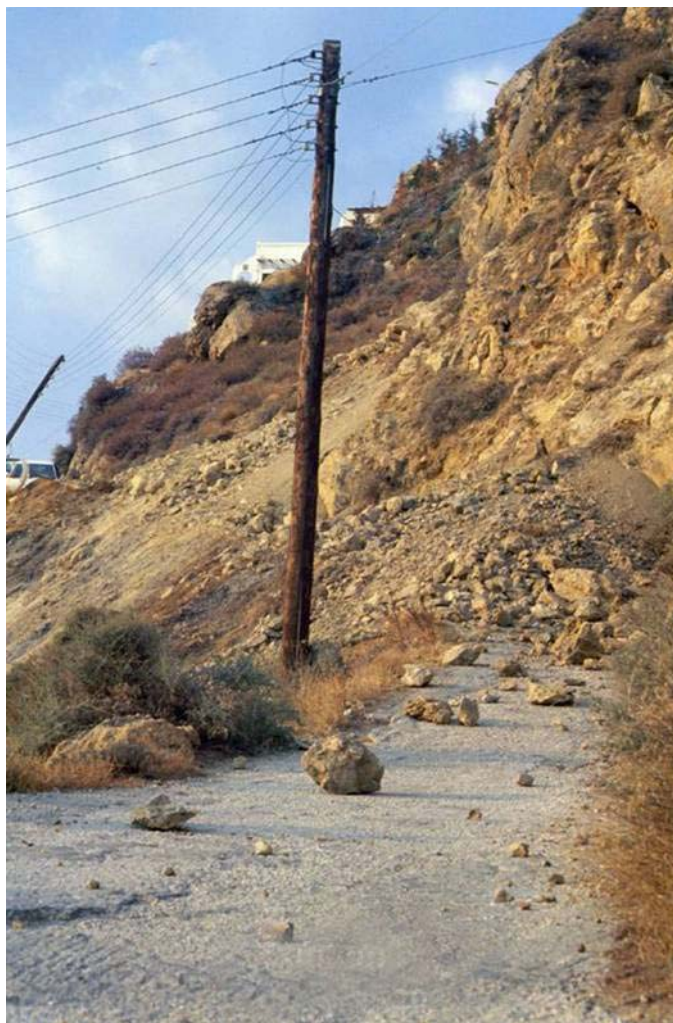
Η διαφορική διάβρωση κατά μήκος και εκατέρωθεν των ρηγμάτων ενισχύεται από: (i) τον κατακερματισμό των σχηματισμών, (ii) τη διαφοροποίηση της κυκλοφορίας των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων στα δύο ρηξιτεμάχη, (iii) τη διαφοροποίηση των μορφολογικών συνθηκών, κ.α. (π.χ. Easterbrook 1999). Οι επιπτώσεις από την εκδήλωση της διαφορικής διάβρωσης σταδιακά έχουν σαν αποτέλεσμα: (i) την υποσκαφή των σχηματισμών θεμελίωσης, (ii) τη σταδιακή απώλεια στήριξης τμημάτων της κατασκευής και (iii) την πιθανή επιχωμάτωση τμημάτων του έργου λόγω των μεταφερομένων από τη διάβρωση υλικών.

Στην έρευνα για τον εντοπισμό διαφορικής διάβρωσης, οι επιμέρους εργασίες είναι ανάλογες με την προηγούμενη περίπτωση, ενώ πρόσθετα θα πρέπει να εκτιμηθεί επακριβώς η διαβρωσιμότητα του κάθε σχηματισμού στη περιοχή θεμελίωσης. Σε ότι αφορά την αντιμετώπιση του προβλήματος συνιστώνται μια σειρά μέτρων, όπως: (i) έργα προστασίας από την επιφανειακή διάβρωση στην ευρύτερη περιοχή, (ii) αντιδιαβρωτική προστασία θεμελίωσης, (iii) έργα υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, κ.ά.

Κατολισθήσεις–Καταπτώσεις–Ανατροπές

Οι κύριοι παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων είναι: (i) οι μορφολογικές συνθήκες, (ii) η γεωμετρία των πετρωμάτων και των πρωτογενών δομών τους, (iii) οι τεκτονικές ασυνέχειες, (iv) ο βαθμός κατακερματισμού των πετρωμάτων, (v) η παρουσία και κυκλοφορία υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, (vi) οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, κ.ά. (Keefe, 1984). Δεδομένου όμως ότι οι μορφολογικές ασυνέχειες συνδέονται ή οφείλονται συχνότατα σε ρήγματα ή ρηξιγενείς ζώνες, γίνεται αντιληπτό ότι τα φαινόμενα αυτά ενισχύονται διότι: (i) η ρηξιγενής ζώνη προκαλεί κατακερματισμό των πετρωμάτων, (ii) στα εκατέρωθεν ρηξιτεμάχη δημιουργούνται διαφοροποιήσεις στην κίνηση των υπόγειων υδάτων που οδηγούν σε υποβοήθηση των μετακινήσεων-ολισθήσεων κατά μήκος ασυνεχειών και (iii) οι διαδικασίες διάβρωσης – αποσάθρωσης στο ανερχόμενο τέμαχος τείνουν να εξομαλύνουν την υφιστάμενη μορφολογική ασυνέχεια, κ.ά. Τα φαινόμενα ενισχύονται σε περίπτωση σεισμικής διέγερσης (Σχ. 6). Η έρευνα για τον εντοπισμό εκδήλωσης πιθανών κατολισθήσεων κατά μήκος των ρηγμάτων περιλαμβάνει: (i) γεωλογική χαρτογράφηση σε λεπτομερή κλίμακα, (ii) τεκτονική ανάλυση, (iii) γεωτεχνική χαρτογράφηση σε αντίστοιχη κλίμακα, (iv) προσδιορισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων, (v) μορφοτεκτονική ανάλυση, (vi) υδρογεωλογική έρευνα, (vii) μελέτη σεισμικότητας και (viii) στατιστικό και δυναμικό υπολογισμό της ευστάθειας των μαζών.

Η αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων πρέπει να λαμβάνει υπόψη οπωσδήποτε τις ιδιαίτερες συνθήκες που διαμορφώνονται και αντιστοιχούν στα συνήθη έργα αντιμετώπισης κατολισθήσεων.



Σχήμα 6. Κατολισθήσεις και καταπτώσεις στη Χώρα της Σκύρου από το σεισμό της 11.8.2001.

Έγκοιλα – ασυνέχειες

Η προκαλούμενη λόγω της διάρρηξης ασυνέχεια στα πετρώματα έχει ως αποτέλεσμα τον κατακερματισμό της προϋπάρχουσας δομής, ακόμα και την πλήρη αλευροποίηση των σχηματισμών. Έτσι είναι δυνατό να δημιουργηθούν έγκοιλα και λοιπές ασυνέχειες εξαιτίας της υπόγειας διάβρωσης από τα κυκλοφορούντα ύδατα κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα.

Οι διαδικασίες εντοπισμού, ειδικά στις περιοχές όπου υπάρχει υπόνοια παρουσίας εγκοίλων, περιλαμβάνουν: (i) εκσκαφή, σε βάθος πολλαπλάσιο του βάθους θεμελίωσης, (ii) συσχέτιση πιθανής ύπαρξης εγκοίλων – ρηξιγενούς ιστού και (iii) εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων, γεωφυσικών διασκοπήσεων και διάνοιξη ερευνητικών στοών. Στην περίπτωση εντοπισμού εγκοίλων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σοβαρά το ενδεχόμενο να μετατεθεί η θέση εκτέλεσης του τεχνικού έργου, ειδικότερα εάν βρίσκονται στη γειτονία ενεργού ή σεισμικού ρήγματος (Lekkas & Kranis 1994).

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Η διαφοροποίηση των υδρογεωλογικών συνθηκών οφείλεται: (i) στην παρουσία της ρηξιγενούς επιφάνειας, ιδίως όταν συνοδεύεται από τεκτονικά πετρώματα, τα οποία είναι δυνατό να μεταβάλουν δραστικά τη διαπερατότητα σε διεύθυνση εγκάρσια της ρηξιγενούς ζώνης, (ii) στην παρουσία σχηματισμών διαφορετικής υδρογεωλογικής συμπεριφοράς στα δύο ρηξιτεμάχη (π.χ Bense & Van Balen 2004) και (iii) στην παρουσία σχηματισμών που χαρακτηρίζονται από διαφορετική τεκτονική δομή, η οποία με τη σειρά της ορίζει σε μακροεπίπεδο την κυκλοφορία των υπογείων υδάτων.

Η διαφοροποίηση των υδρογεωλογικών συνθηκών μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω: (i) της παρουσίας πηγών κατά μήκος της τεκτονικής επαφής, (ii) της έντονης υδροφορίας κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης, η οποία μπορεί να οφείλεται στην διαφορετική περατότητα των σχηματισμών των δύο ρηξιτεμαχίων και στην περατότητα του τεκτονικού λατυπτοπαγούς, (iii) του διαφορετικού βάθους της ελεύθερης επιφάνειας του υδροφορέα, (iv) της διαφορετικής γεωμετρίας των υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων, κ.ά.

Τα ανωτέρω είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε προβλήματα, όπως: (i) δυσχέρειες κατά τη θεμελίωση, λόγω παρουσίας πηγών κατά μήκος του μετώπου, ιδιαίτερα όταν αυτές έχουν μεγάλη παροχή, (ii) εμφάνιση εποχιακής υδροφορίας κατά μήκος της ρηξιγενούς ασυνέχειας, (iii) εκλεκτική υπόγεια διάβρωση των σχηματισμών θεμελίωσης ή και των κατασκευών, (iv) επιφανειακές διαταραχές στη μορφολογία από τη διακύμανση των ελευθέρων οριζόντων, ιδίως όταν αυτοί φιλοξενούνται σε πετρώματα με σημαντικό ποσοστό αργιλικών ορυκτών και (v) αποσυμπίεση του υδροφορέα στο ένα τέμαχος, με αποτέλεσμα τη συμπίκνωση και μεταβολή της γεωμετρίας του.

Για τον εντοπισμό τέτοιου είδους προβλημάτων εκτελούνται οι ακόλουθες εργασίες: (i) έρευνα για τον εντοπισμό πιθανής ρηξιγενούς ζώνης, (ii) μελέτη των τεκτονικών πετρωμάτων, (iii) χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών και τεκτονικών δομών της ευρύτερης περιοχής, (iv) υδρογεωλογική χαρτογράφηση, καταγραφή σημείων ύδατος και καθορισμός των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και (v) με βάση τα ανωτέρω, πρόταση μοντέλου κυκλοφορίας υπόγειων υδάτων.

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων γίνεται με: (i) θεμελίωση σε ένα μόνο γεωλογικό σχηματισμό ή σχηματισμούς με σχετικά ομοιογενή υδρογεωλογική συμπεριφορά, (ii) αποφυγή θεμελίωσης κατά μήκος του ρήγματος, ιδίως όταν το τεκτονικό λατυπτοπαγές διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαφοροποίηση της κυκλοφορίας του υπόγειου νερού, (iii) αποφυγή θεμελίωσης ή θεμελίωση με ειδικούς όρους σε σχηματισμούς οι οποίοι αποκτούν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά με την εποχιακή παρουσία νερού, (iv) αποφυγή θεμελίωσης κοντά ή πάνω από καρστικές πηγές ή έγκοιλα, (v) στεγανοποίηση της θεμελίωσης πάνω από υψηλό υδροφόρο ορίζοντα, κ.ά. Επισημαίνεται βέβαια ότι πέραν του γενικού πλαισίου, πιθανόν να απαιτείται περαιτέρω έρευνα που θα υποδείξει τη λήψη και εφαρμογή ειδικών κατά περίπτωση μέτρων (π.χ. Cooley 2002).

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Τα προβλήματα αυτού του είδους είναι και τα περισσότερα γνωστά, δεδομένης της άμεσης συσχέτισης ρήγματος – σεισμού και έχουν σχέση με τα ακόλουθα.

Μετατόπιση ρηξιτεμαχών

Η εμφάνιση αυτού καθ' αυτού του σεισμικού ρήγματος το οποίο προκαλεί μετάθεση των εκατέρωθεν ρηξιτεμαχών στην επιφάνεια δεν είναι ιδιαίτερα συχνό φαινόμενο. Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις (Σχ. 7) στο πρόσφατο παρελθόν ήταν οι σεισμοί του Kobe (Ιαπωνία) το 1995 (Lekkas et al., 1996a,b), του Izmit και Duzce (Τουρκία) το 1999 (Lekkas, 2000a), καθώς και στην Taiwan το 1999 (Lekkas 2000b).

Τα προβλήματα αλλά σε περίπτωση μετατόπισης ρηξιτεμαχών στη βάση της θεμελίωσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση αστοχιών στα τεχνικά έργα (Lazarte et al. 1994, Murbach et al. 1999, Lekkas 2001). Για το λόγο αυτό καθίσταται επιτακτικός ο εντοπισμός και χαρακτηρισμός ρηγμάτων που είναι δυνατό να ενεργοποιηθούν. Η διαδικασία εντοπισμού – χαρακτηρισμού είναι χρονοβόρα και εμπεριέχει πάντα ποσοστό αβεβαιότητας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες προτεινόμενες εργασίες, όπως: (i) προσδιορισμός του νεοτεκτονικού καθεστώτος της περιοχής, (ii) λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση, (iii) νεοτεκτονική χαρτογράφηση, (iv) η τεκτονική ανάλυση, (v) ενόργανες παρατηρήσεις για τη μέτρηση του εντατικού πεδίου, (vi) μελέτη σεισμικότητας, ιστορικής και ενόργανης, (vii) μορφοτεκτονική ανάλυση, (viii) γεωφυσικές διασκοπήσεις, (ix) παλαιοσεισμολογική μελέτη, κ.ά.

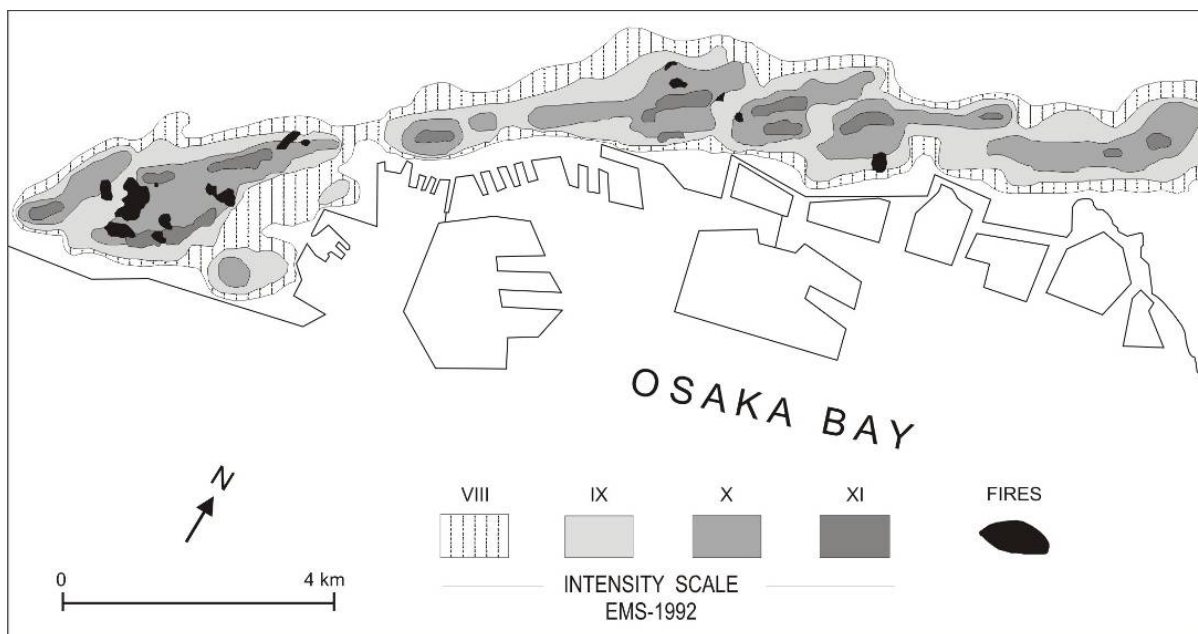
Λόγω της μεγάλης επικινδυνότητας, η ενδεικνυόμενη λύση στην περίπτωση των τεχνικών έργων είναι η μετάθεσή τους εκτός της ζώνης του σεισμικού ρήγματος. Σε περίπτωση έργων χωρίς δυνατότητα μετάθεσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα των επιμέρους ερευνών και μάλιστα οι πιο δυσμενείς προβλέψεις τους, ώστε να εφαρμοστούν οι μέγιστοι δυνατοί συντελεστές ασφάλειας.

Ενίσχυση Εντάσεων

Σε πολλούς σεισμούς παρατηρήθηκε ότι κατά μήκος των σεισμικών ρηγμάτων οι εντάσεις λάμβαναν τις μέγιστες τιμές και γενιά παρουσίαζαν γραμμική ή επιμήκη κατανομή, η οποία ταυτιζόταν με το ίχνος του σεισμικού ρήγματος (Σχ. 8). Τέτοια φαινόμενα παρατηρήθηκαν τόσο στον Ελληνικό, όσο και στο διεθνή χώρο, ιδίως στις περιπτώσεις όπου τα σεισμικά ρήγματα έτεμναν αστικές πολεοδομικές μονάδες. Ενδεικτικά αναφέρονται οι σεισμοί του Αιγίου (1995), Kobe (1995), Izmit και Duzce (1999) (Lekkas et al. 1996a, b, Lekkas 2000a). Μια ειδική περίπτωση είναι το «Φαινόμενο άνω τεμάχους ρήγματος» (Abrahamson & Somerville, 1997, Lekkas 2000c), κατά το οποίο έχει διαπιστωθεί ότι στο άνω τέμαχος οι σεισμικές εντάσεις που αναπτύσσονται είναι κατά τεκμήριο μεγαλύτερες από το άλλο τέμαχος με την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν διαφοροποιούνται σημαντικά οι γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν επιπρόσθετα την διανομή των εντάσεων.



Σχ. 7. Απόψεις του ρήγματος Nojima που ενεργοποιήθηκε κατά τον σεισμό της 17^{ης} Ιανουαρίου 1995.



Σχ. 8. Εστιασμένη γραμμική κατανομή εντάσεων κατά μήκος του ίχνους του σεισμικού ρήγματος στο σεισμό του Kobe (17.1.1995).

Και σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητος ο εντοπισμός του ρήγματος ή των ρηγμάτων που μπορούν είτε να ενεργοποιηθούν ή να δραστηριοποιηθούν παθητικά κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και ενδείκνυνται οι επιμέρους έρευνες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη περίπτωση, ενώ αντίστοιχες ενέργειες θα πρέπει να γίνουν για την αποφυγή του προβλήματος.

Φαινόμενα κυματικής συμβολής – κατευθυντικότητας

Σε ορισμένες περιπτώσεις σεισμών παρατηρήθηκε ότι κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος υφίσταται και ανισοκατανομή των εντάσεων, οι οποίες μειώνονται προς τη μία κατεύθυνση και αυξάνονται σημαντικά προς την άλλη. Το φαινόμενο έγινε περισσότερο κατανοητό όταν έγινε κατανοητή η μετανάστευση της σεισμικής πηγής κατά μήκος του επιπέδου θραύσης, δίνοντας γένεση στο φαινόμενο Doppler/Fiseau (Lekkas & Kranis, 1997).

Το πλέον αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ήταν ο σεισμός του Kobe (1995) όπου κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος οι εντάσεις αύξαναν δραματικά προς το ένα άκρο (BA), ενώ ήταν πολύ μικρότερες στο άλλο (NA). Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στο ότι ο σεισμός αποτελείτο από τρία υπο-γεγονότα που έλαβαν χώρα σε χρονικό διάστημα 11sec, με ταυτόχρονη μετανάστευση της σεισμικής πηγής από τα NA στα BA κατά 13 km. Το φαινόμενο προκάλεσε διαμόρφωση του συχνοτικού περιεχομένου με αποτέλεσμα μεγάλες βλάβες προς τα BA μέσα στο Kobe και μικρές βλάβες προς τα NA στη νήσο Awaji (Lekkas & Kranis, 1997, Warren & Shearer 2006).

Ρευστοποιήσεις και σεισμικά ρήγματα

Σε πρόσφατους μεγάλους σεισμούς (Kobe, Αίγιο) παρατηρήθηκε η ταυτόχρονη εκδήλωση σεισμικών ρηγμάτων και ρευστοποιήσεων. Τα φαινόμενα ρευστοποιήσεων λαμβάνουν χώρα κατά μήκος των σεισμικών ρηγμάτων και τα ρευστοποιηθέντα υλικά εκτινάσσονται διαμέσου των ασυνεχειών στην επιφάνεια (Sims & Garvin 1995, Lekkas 1996b, Lin 1997, Tuttle et al. 2002, Chu et al. 2004). Η συνύπαρξη αυτών των δύο στοιχείων δημιουργεί, όπως είναι επόμενο, εξαιρετικά αρνητικές επιπτώσεις στα υπερκείμενα τεχνικά έργα. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι υπάρχει στενή συσχέτιση μεταξύ της σεισμικής πηγής (δηλαδή της επιφανειακής εκδήλωσης του σεισμικού ρήγματος) και της εμφάνισης ρευστοποιήσεων (Cox et al. 2006).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως έγινε σαφές, ο παράγοντας ρήγμα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην πρόκληση προβλημάτων στις κατασκευές και στα τεχνικά έργα. Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια κατηγοριοποίησης των προβλημάτων που εμφανίζονται κατά μήκος ή εκατέρωθεν των ρηγμάτων με στόχο αφενός μεν να αναγνωρίζονται, να εντοπίζονται και να ερευνώνται διεξοδικά, αφετέρου δε να λαμβάνονται συστηματικά μέτρα για την αντιμετώπισή τους, έτσι ώστε ο κίνδυνος για τις κατασκευές να ελαχιστοποιείται.

Επισημαίνεται ότι οι γενικές κατευθύνσεις έρευνας προσδιορισμού του κινδύνου και αντιμετώπισης από τεχνικής πλευράς των προβλημάτων σε περιπτώσεις κατασκευής

σημαντικών έργων, θα πρέπει να εξειδικεύονται κατά περίπτωση στις τοπικές συνθήκες. Είναι αυτονόητο ότι σε περίπτωση κατασκευής κάποιου σημαντικού τεχνικού έργου πρέπει να εκτελούνται εξειδικευμένες νεοτεκτονικές και σεισμοτεκτονικές έρευνες (π.χ. Christenson et al. 2003), τα πορίσματα των οποίων πρέπει να ενσωματώνονται στη μελέτη της κατασκευής, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ακεραιότητα του έργου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abrahamson, N.A. & Somerville, P.G. (1997). Effects of the hanging wall and foot wall on ground motions recorded during the Northridge Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, S93-S99.
- Aydin, A. & Nur, A. (1982). Evolution of pull-apart basins and their scale independence, *Tectonics*, 1, 91-105.
- Bense, V.F. & Balen, R.V. (2004) The effect of fault relay and clay smearing on groundwater flow patterns in the Lower Rhine Embayment. *Basin Research*, 16, 397-411.
- Christenson, G.E., Batatian, L.D. & Nelson, N.V. (2003) Guidelines for evaluating surface-fault-rupture hazards in Utah. *Utah Geological Survey, Misc. Pub.* 03-6, 14pp.
- Chu, D.B., Stewart, J.P., Lee, S., Tsai, J. S., Lin, P. S., Chu, B. L., Seed, R.B., Hsu, S. C., Yu, M. S. & Wang, M.C.H. (2004) Documentation of soil conditions at liquefaction and non-liquefaction sites from 1999 Chi-Chi (Taiwan) earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 647-657.
- Cooley, T. (2002) Engineering approaches to conditions created by a combination of karst and faulting at a hospital in Birmingham, Alabama. *Engineering Geology*, 65, 197-204.
- Cox, R.T., Hill, A.A. Larsen, D., Holzer, T., Forman, S.L., Noce, T., Gardner, C. & Morata, J. (2006). Seismotectonic implications of sand blows in the southern Mississippi Embayment. *Engineering Geology*, 89, 278-289.
- Easterbrook, D. J. (1999) *Surface processes and landforms*. (Second Ed). Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Gegenleitner, R., Hinsch, R., Brückl, E., Decker, K. & Roch, K.H. (2003) Locating neotectonic faults by GPR and reflection seismics. *Geoph. Res. Abs.* 5, 09050.
- Keefer, D.K. (1984) Landslides caused by earthquakes. *GSA Bulletin*, 95, 406-421.
- Lazarte C., Bray J., Johnson A. & Lemmer R. (1994), "Surface breakage of the 1992 Landers earthquake and its effect on structures". *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, June, 547-561.
- Lekkas, E. & Kranis, H. (1994), "Discontinuous Tectonic Deformation and Cave Formation: Examples from the Hellenic territory". Διεθνές Σπηλαιολογικό Συνέδριο, Αθήνα.
- Lekkas, E., Kranis, H., Stylianos, P. & Leounakis, M. (1996a), "Brittle tectonics: a factor in the intensity distribution of the Hanshin earthquake". 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico.
- Lekkas, E., Lozios, S., Skourtsos, E. & Kranis, H. (1996b), "Linear distribution of damage and seismic fractures at the Egio earthquake (15 June 1995, Greece)". *Earthquake Resistant Engineering Structures* 96, Thessaloniki.
- Lekkas, E. & Kranis, H. (1997), "The Doppler-Fizeau effect on the damage distribution during the Kobe earthquake (Japan)". *Advances in Earthquake Engineering, Earthquake Resistant Engineering Structures, Computational Mechanics Publications*, 2, 57-66.
- Lekkas, E. (2000a), "Intensity distribution and parameters controlling Izmit and Düzce earthquakes (Turkey)". *IESCA 2000* (in press).

- Lekkas, E. (2000b), "Analysis of damage parameters of the Chi-Chi Taiwan earthquake". Risk Analysis 2000 (in press).
- Lekkas, E. (2000c). – Analysis of damage parameters of the Chi-Chi Taiwan earthquake. Risk Analysis, Ed. C.A. Brebbia, Wit Press, Vol. 3, 419-432
- Lekkas, E. (2001), "The role of transcurrent fault structures in damage typology during the Izmit and Duzce earthquakes (Turkey, 1999)". ERES 2001 (in press).
- Lin, A. (1997), "Instantaneous-shaking liquefaction induced by the M7.2 1995 southern Hyogo Prefecture earthquake, Japan. Geology, 25, 5.
- Murbach D., Rockwell T. & Bray J. (1999), "The Relationship of Foundation Deformation to Surface and Near-Surface Faulting Resulting from the 1992 Landers Earthquake". Earthquake Spectra, Volume 15, No 1, 121-144.
- Sims, J.D & Garvin, C.D. (1995), Recurrent liquefaction induced by the 1989 Loma Prieta earthquake and 1990 and 1991 aftershocks: implications for palaeoseismicity studies. Bulletin of the Seismological Society of America, 85, 51–65.
- Stewart H. & Hancock P.L. (1991). Scales of structural heterogeneity within neotectonic normal fault zones in the Aegean region. *Journal of Structural Geology*, 13, 191-204.
- Tuttle, M.P., Hengesh, J., Tucker, K.B., Lettis, W., Deaton, S.L. & Frost, J.D., Observations and comparisons of liquefaction features and related effects induced by the Bhuj earthquake. Earthquake Spectra 18, 79–100.
- Warren, L.M. & Shearer, P.M. (2006) Systematic determination of earthquake rupture directivity and fault planes from analysis of long-period P-wave spectra, Geophys. J. Int. , 164 , 46–62.