

Η ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΩΡΥΓΑΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ: ΜΙΑ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Μαρίνος Π.¹, Τσιαμπάος Γ.¹

¹Τομέας Γεωτεχνικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 157 80 Ζωγράφου, marinos@central.ntua.gr, gktsiamb@central.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναλύονται οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες κατά μήκος της διώρυγας Κορίνθου και γίνεται διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών σε διακριτές γεωτεχνικές ζώνες. Αναφέρονται οι παράγοντες που συντελούν στην γενική ευστάθεια, αλλά και στην εκδήλωση τοπικών αστοχιών, των πολύ υψηλών και απότομων πρανών των μαργαϊκών σχηματισμών της διώρυγας και αναλύονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των μαργών. Αναφέρονται τα προβλήματα που εντοπίστηκαν στα βάθρα της παλιάς σιδηροδρομικής γραμμής με τους σεισμούς του 1981, οι έρευνες για τον προσδιορισμό των αιτιών που δημιούργησαν τα προβλήματα αυτά καθώς και τα μέτρα που λήφθηκαν για την εξασφάλιση των βάθρων. Περιγράφονται, τέλος, οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που επέβαλαν το συγκεκριμένο σχεδιασμό κατασκευής των νέων συγκοινωνιακών τεχνικών έργων που γεφυρώνουν τη διώρυγα.

THE GEOTECHNICS OF CORINTH CANAL: A REVIEW

Marinos P.¹, Tsiambaos G.¹

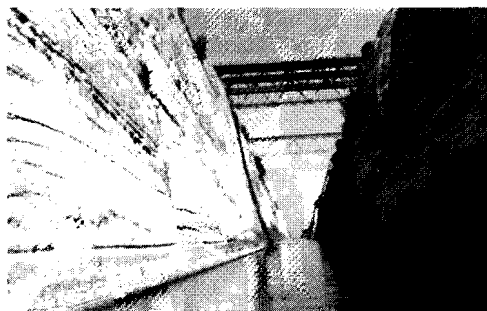
¹Department of Geotechnical Engineering, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 157 80, Zografou, marinos@central.ntua.gr, gktsiamb@central.ntua.gr

ABSTRACT

The geological and geotechnical conditions along Corinth canal are presented and the geological formations are classified in discrete geotechnical zones. Factors controlling the overall stability, as well as the local slides and rock falls, of the very high and steep marly slopes are analysed, taking into account the results of the laboratory testing for the determination of the physical and mechanical characteristics of marls. The geotechnical problems of the old railway bridge abutments, due to the 1981 strong earthquakes, are described and analyzed and the site investigations as well as the measures taken for the safe operation of bridge are also presented. Finally, the geological and geotechnical conditions which imposed the especial design for the construction of the new motorway and railway bridges are presented.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διώρυγα Κορίνθου είναι μεγάλης σημασίας για την ναυσιπλοΐα της Μεσογείου, μειώνοντας σημαντικά την απόσταση μεταξύ των κυριοτέρων λιμένων. Το μήκος της διώρυγας είναι 6.343m, το πλάτος 21m στον πυθμένα και 24,6m στην επιφάνεια της θάλασσας, ενώ το μέγιστο ύψος των πρηνών είναι 79m περίπου, με μέση κλίση 4,5 έως 5 :1 (Σχ. 1). Το μέσο βάθος της θάλασσας είναι 8m, το οποίο κυμαίνεται $\pm 2m$ λόγω της άμπωτης και της πλημμύρας. Η ιδέα για την διάνοιξη της διώρυγας ανάγεται στην αρχαιότητα. Ο Περιανδρος, ένας από τους επτά σοφούς, τον 6ο π.Χ. αιώνα, έκανε την πρώτη προσπάθεια εκσκαφής της διώρυγας, αλλά γρήγορα εγκατέλειψε από τον φόβο εκδίκησης των Θεών και ιδιαίτερα του Ποσειδώνα, προστάτη του Ισθμού. Κατάφερε όμως να κατασκευάσει τον δίολκο, έναν λιθόστρωτο δρόμο από κυβόλιθους πωρόλιθου πλάτους 3,0 - 5,5 m, με δυο παράλληλες αυλακώσεις για τους τροχούς των οχημάτων, με τα οποία γινόταν η μεταφορά των πλοίων από τον Σαρωνικό στον Κορινθιακό κόλπο και αντίστροφα.



Σχήμα 1. Πρανή διώρυγας Κορίνθου. Διακρίνονται οι παλιές γέφυρες (οδική και σιδηροδρομική)



Σχήμα 2. Ο αρχαίος Δίολκος

Στη συνέχεια, ο Δημήτριος ο Πολιορκητής (337-283 π.Χ.), ο Ιούλιος Καίσαρ (44 π.Χ.) και ο Καλιγούλας (37 π.Χ) προσπάθησαν να ξεκινήσουν το έργο της εκσκαφής, χωρίς όμως επιτυχία. Ο πρώτος που κατάφερε να αρχίσει τις εργασίες, ταυτόχρονα από Κορινθιακό και Σαρωνικό, ήταν ο Νέρων (67 μ.Χ.), ο οποίος χρησιμοποίησε 6000 σκλάβους από την Ιουδαία, ανοίγοντας δυο βαθιές τάφρους από Ανατολή και Δύση. Όμως, πολιτικές αναταραχές στην Ρώμη και τέλος ο θάνατος του Νέρωνα σταμάτησαν οριστικά το έργο. Αργότερα, ο Ηρώδης Αττικός συνέχισε, προσωρινά μόνο, την διάνοιξη.

Με την ίδρυση του νεοελληνικού κράτους, αν και ο Καποδίστριας επιθυμούσε πολύ να είναι αυτός που θα διανοίξει την διώρυγα, εντούτοις μόλις το 1881 κατέστη δυνατόν να κατακυρωθεί το έργο στον Ούγγρο στρατηγό Türr και στην διεθνή εταιρεία «Ναυτική Διώρυγα Κορίνθου» με δικαίωμα εκμετάλλευσης για 99 χρόνια. Στον αρχικό σχεδιασμό συμμετείχε και ο Ferdinand de Lesseps, κατασκευαστής της διώρυγας του Σουέζ, ενώ ο τελικός σχεδιασμός έγινε από τον Ούγγρο μηχανικό Bella Gerster που συμμετείχε και στη μελέτη του καναλιού του Παναμά. Το έργο άρχισε το 1882, αλλά, λόγω προβλημάτων της εταιρείας, περατώθηκε το 1893 από την Ελληνικών συμφερόντων «Εταιρεία Διώρυγας Κορίνθου» με χρηματοδότηση από τον Συγγρό.

Κατά μήκος των πρηνών, στη βάση τους, κατασκευάστηκε λιθόδομητος κρηπίδοτοιχος για την προστασία των πρηνών από την διάβρωση και υποσκαφή, λόγω κυματισμού (Σχ. 3). Επίσης, το 1884 περατώθηκε και η κατασκευή της παλιάς σιδηροδρομικής γέφυρας (Σχ. 4) η οποία καταστράφηκε από τους Άγγλους με ανατίναξη το 1941 καθώς και από τους Γερμανούς, το 1944 κατά την αποχώρησή τους από την Ελλάδα.



Σχήμα 3. Κατασκευή προστατευτικού λιθόδημνου κρηπίδοτοιχου κατά την εκσκαφή της διώρυγας



Σχήμα 4. Κατασκευή της πρώτης σιδηροδρομικής γέφυρας πάνω από τη διώρυγα (1884)

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1 Γεωλογικές συνθήκες

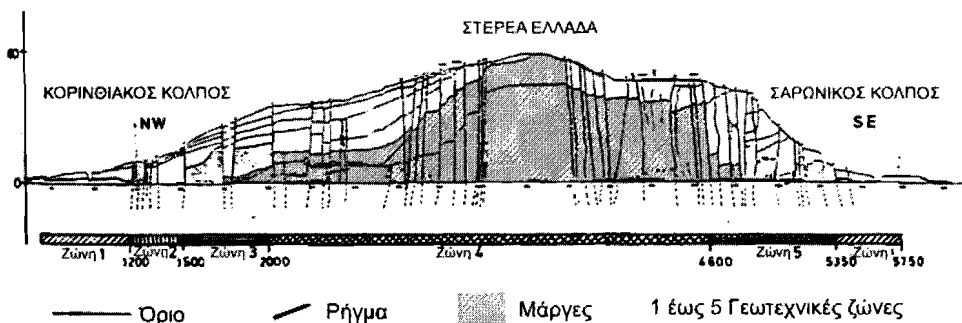
Στην περιοχή του Ισθμού της Κορίνθου, επικρατούν οι παρακάτω γεωλογικές αποθέσεις (από τις παλαιότερες προς τις νεότερες:

- πλειο-πλειστοκαινικά εναλλασσόμενα στρώματα θαλασσίων και λιμναίων μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων, ασβεστιπικών ψαμμιτών και κροκαλοπαγών
- πλειστοκαινικοί ψαμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, θαλάσσιας και ποταμο-χερσαίας προέλευσης
- πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις αργίλων, άμμων και αμμοχαλικών

Στο κεντρικό τμήμα της διώρυγας, όπου έχουν εκσκαφθεί τα υψηλά πρηνή, επικρατούν οι πλειο-πλειστοκαινικές μάργες με λεπτές ενστρώσεις μαργαϊκών άμμων και ασβεστολίθων. Στα ανώτερα συμπιεστικών τάσεων κατά το κατώτερο πλειστόκαινο) με αποτέλεσμα την δημιουργία αντιθετικών κανονικών ρηγμάτων, διεύθυνσης Α-Δ και ΑΒΑ-ΔΝΔ, δημιουργώντας στο κεντρικό τμήμα της διώρυγας ένα τεκτονικό κέρας (Freyberg 1973). Έτσι, τα ΒΔ/κά τεκτονικά τεμάχη βυθίζονται σταδιακά προς τον Κορινθιακό, ενώ τα αντίστοιχα ΝΑνατολικά βυθίζονται προς τον Σαρωνικό κόλπο. Ο Philiprson (1890) εντόπισε 23 κύρια ρήγματα, ο Freyberg (1973), κάνοντας μια λεπτομερέστερη χαρτογράφηση των πρηνών της διώρυγας, εντόπισε 45 ρήγματα. Οι Andrikoroulou et al. (1988) σε μια αποτύπωση και χαρτογράφηση των πρηνών με σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους, με σκοπό την γεωτεχνική ζωνοποίησή τους, εντόπισαν 52 κύρια ρήγματα (Σχ. 5). Ορισμένα από τα ρήγματα αυτά θεωρούνται ενεργά, αφού υπάρχουν σαφείς ενδείξεις επιφανειακών συν-σεισμικών μετακινήσεων τα τελευταία 100 περίπου χρόνια (Mariolakos & Stiros, 1986).

Τα τεκτονικά τεμάχη, στα οποία διαχωρίζεται η διώρυγα, διασχίζονται από ένα κύριο σύστημα υποκατακόρυφων διακλάσεων, οι οποίες είναι παράλληλες προς τα ρήγματα. Σύμφωνα με την γεωτεχνική έρευνα που έγινε στα πρηνή της διώρυγας, πλησίον της παλιάς σιδηροδρομικής γέφυρας (Christoulas et al., 1984), οι διακλάσεις αυτές, οι οποίες διατρέχουν τα πρηνή με πυκνότητα περίπου 1 διάκλαση ανά 4 m πλάτους πρηνούς, έχουν μέγιστο άνοιγμα 10 cm, υλικό πλήρωσης αμμώδη άργιλο, ενώ τα τοιχώματα είναι επίπεδα έως λίγο κυματοειδή, με σχεδόν λείες επιφάνειες.

Τα ρήγματα και οι διακλάσεις σχηματίζουν γωνία με τον άξονα της διώρυγας 30⁰ έως 40⁰ και σε συνδυασμό με τις ρωγμές αποτόνωσης αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την ευστάθεια των πρηνών καθώς και τη θεμελίωση των τεχνικών έργων στη στέψη των πρηνών.



Σχήμα 5. Γεωλογική αποτύπωση του ΒΑκού πρανούς της διώρυγας και διαχωρισμός σε γεωτεχνικές ζώνες (Andrikoroulou et al., 1988).

2.2 Διάκριση γεωτεχνικών ζωνών

Με βάση τα αποτελέσματα λεπτομερούς γεωτεχνικής διερεύνησης που έγινε κατά μήκος των πρανών της διώρυγας (Andrikoroulou et al., 1988), προσδιορίστηκαν πέντε (5) διακεκριμένες γεωτεχνικές ζώνες, όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 5. Στον Πίνακα 1, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών της κάθε γεωτεχνικής ζώνης και δίνονται οι παράμετροι αντοχής, όπως προέκυψαν από εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν σε χαρακτηριστικά δείγματα από 27 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και 20 ερευνητικά φρέατα που διανοίχθηκαν κατά μήκος των πρανών της διώρυγας.

Πίνακας 1. Παράμετροι αντοχής για τους γεωλογικούς σχηματισμούς κάθε γεωτεχνικής ζώνης (Andrikoroulou et al 1988).

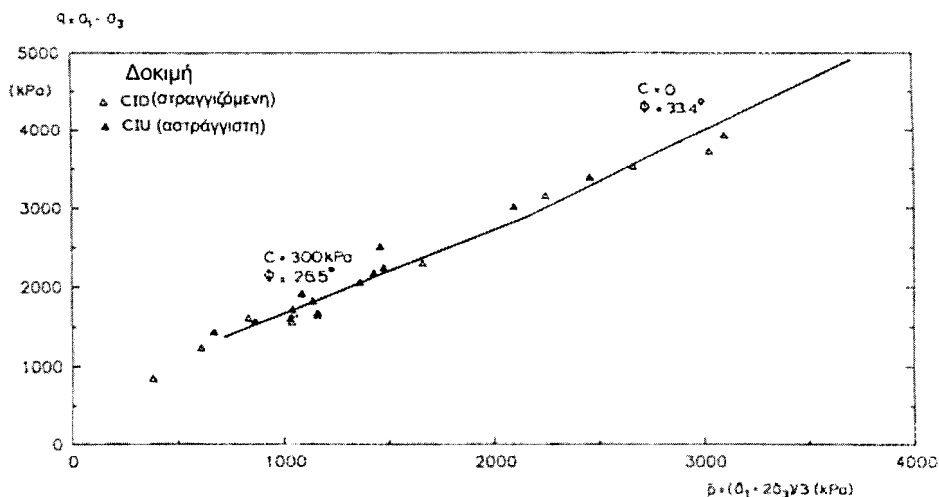
Ζώνη	Χιλιομ. Θέση (m)*	Γεωλογικός σχηματισμός	Μηχανικές παράμετροι
1a	0,0 - 700 5750 - τέλος	άμμοι-άργιλοι-ιλύες χαλαροί ψαμμίτες- μάργες- κροκαλοπαγή	άργιλοι μάργες c=2-50 kPa, φ=180-300 c=35-94 kPa, φ=200-280
1b	700 - 1200 5350 - 5750	άμμοι-άργιλοι-ιλύες μάργες - ψαμμίτες	μάργες c=160-400 kPa φ=150-170
2	1200 - 1500	αμμοχάλικα-χονδρόκοκκοι ψαμμίτες- κροκαλοπαγή -μάργες - μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	αμμοχάλικα μάργες c=0, φ=400 - 450 c=160-400 kPa φ=150-170
3	1500 - 2000	άμμοι - αμμοχάλικα - μάργες	μάργες c=35-76 kPa φ=260 - 350
4	2000 - 4600	μάργες - μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες - κροκαλοπαγή	μάργες μάργες c=113-500 kPa φ=240-340 c= 500-1950 kPa φ= 320 -500
5	4600 - 5350	ψαμμίτες - κροκαλοπαγή μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, μάργες	ψαμμίτες κροκαλοπαγή μαργ. ασβεστόλιθοι μάργες qu=4,5-14MPa qu=42-66,5 MPa qu=17 MPa c=300-1200kPa φ=190 -250

*Αρχή χιλιόμετρησης από Ποσειδωνία

2.3 Γεωτεχνική συμπεριφορά των μαργών

Οι μάργες, που όπως αναφέρθηκε είναι οι κύριοι γεωλογικός σχηματισμός στο κεντρικό και μεγαλύτερο τμήμα της διώρυγας, όπου έχουν εκσκαφθεί τα υψηλότερα πρηνή, παρουσιάζουν μια «ασυνήθη» γεωτεχνική συμπεριφορά, η οποία εκφράζεται από την υψηλή ακαμψία και τη μεγάλη φαινομένη συνοχή τους όταν υποβάλλονται σε χαμηλή έως μέτρια φόρτιση. Η υψηλή διατμητική αντοχή τους, η οποία ερμηνεύει και την πράγματι ικανοποιητική ολική ευστάθεια των πολύ υψηλών πρηνών, δεν είναι συμβατή με το σχετικά μεγάλο πορώδες (λόγω κενών) των μαργών αυτών, αλλά ούτε και με την γεωλογική τους ιστορία.

Από τις εργαστηριακές έρευνες που έχουν γίνει (Anagnostopoulos et al., 1991), οι μάργες αυτές έχουν υψηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (73-77%), το δε μικροτικό ασβεσπιτικό υλικό φαίνεται να παίζει το ρόλο υλικού συγκόλλησης των κόκκων. Η συγκόλληση αυτή έλαβε χώρα μετά την απόθεση των μαργών και όταν από την διαδικασία της φυσικής συμπίκνωσης αυτών, κάτω από το βάρος των υπερκείμενων, ο λόγος κενών είχε τιμή 0,60, που αντιστοιχεί σε υπερκείμενο μαργών (υπό το νερό) ύψους περίπου 70 m. Η συγκόλληση αυτή των κόκκων είχε ως αποτέλεσμα την διατήρηση της συγκεκριμένης δομής των μαργών, αν και αυτές υπέστησαν μετέπειτα έντονες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις καθώς και πρόσθετες καταπονήσεις, που υπό άλλες προϋποθέσεις θα υφίσταντο περαιτέρω συμπίκνωση και μείωση του λόγου κενών.

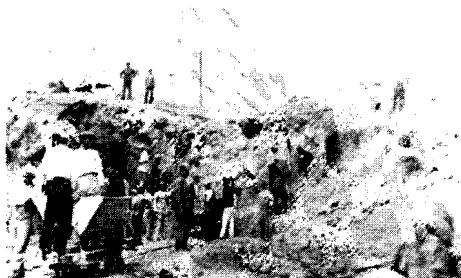


Σχήμα 6. Διάγραμμα παραμέτρων διατμητικής αντοχής των μαργών (Anagnostopoulos et al., 1991).

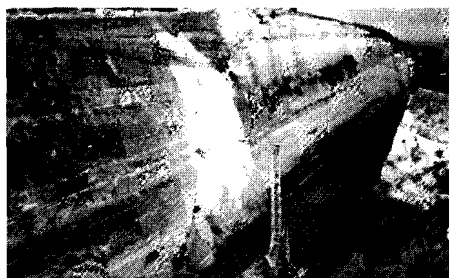
Λεπτομερής διερεύνηση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής και της μηχανικής συμπεριφοράς της λευκόεφρης – κυανόεφρης μάργας του κεντρικού τμήματος της διώρυγας (Anagnostopoulos et al., 1991), έδειξε ότι η περιβάλλουσα της κορυφαίας διατμητικής αντοχής της μάργας (υπό στραγγιζόμενες ή μη συνθήκες) και για τιμές προφόρτισης μικρότερες των 3 MPa, δίνει μια υψηλή συνοχή (περίπου 300 kPa), η οποία μηδενίζεται σε υψηλότερες πιέσεις. Αντίθετα, η γωνία τριβής αυξάνεται από 27° περίπου στις 33° (Σχ. 6). Η συμπεριφορά αυτή εξηγείται, αν ληφθεί υπόψη η συγκόλληση των κόκκων της μάργας που καταστρέφεται στις υψηλότερες πιέσεις, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συνοχή και να αυξάνεται η γωνία τριβής.

2.4 Ευστάθεια πρηνών διώρυγας

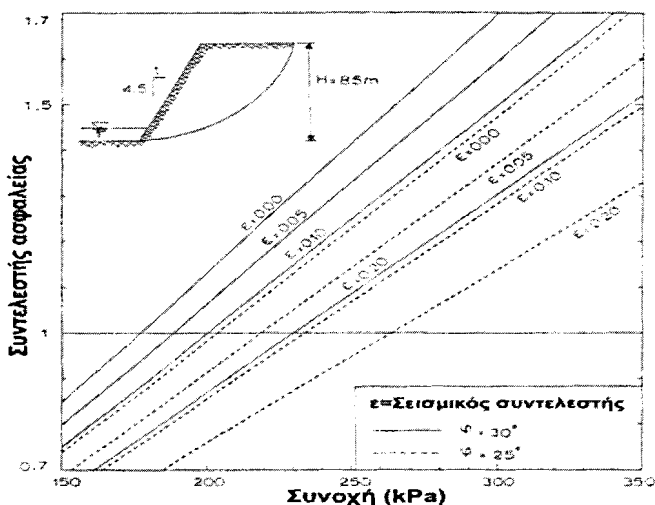
Κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών λειτουργίας της διώρυγας (1894-1939) εκδηλώθηκαν 14 ολισθήσεις – καταπτώσεις πρηνών, με αποτέλεσμα τα 250.000 m³ που ολίσθησαν συνολικά, κυρίως από το πρηνές της Πελοποννήσου, να αποφράξουν κατά περιόδους τη διώρυγα και έτσι να μείνει κλειστή στη ναυσιπλοία για μια συνολική περίοδο 4 ετών.



Σχήμα 7. Σημαντική κατολίσθηση πρανούς διώρυγας, Νοέμβριος 1923.



Σχήμα 8. Κατάπτωση υπό μορφή πρίσματος από το προς Πελοπόννησο πρανές, 1998.



Σχήμα 9. Ανάλυση ευστάθειας υψηλών μαργαϊκών πρανών (Κανναδάς, 1990).

Στην φωτογραφία του σχήματος 7, φαίνεται η μεγάλη κατολίσθηση που συνέβη τον Νοέμβριο του 1923. Από το 1940 και μετά, οι ολισθήσεις και καταπτώσεις περιορίστηκαν σημαντικά, συνδεδεμένες κυρίως με ισχυρούς σεισμούς ή την υποσκαφή των πρανών από τον κυματισμό, αφού τοπικά ο προστατευτικός κρηπιδότοιχος έχει καταστραφεί. Στη φωτογραφία του σχήματος 8, διακρίνεται μια κατάπτωση μορφής πρίσματος που εκδηλώθηκε στο πρανές προς Πελοπόννησο, καθ' όλο το ύψος του. Οι καταπτώσεις αυτές, με τη μορφή σφήνας ή πρίσματος, δημιουργούνται από την τομή των επιφανειών των ρηγμάτων και των διακλάσεων σε συνδυασμό και με τις ασυνέχειες αποτόνωσης.

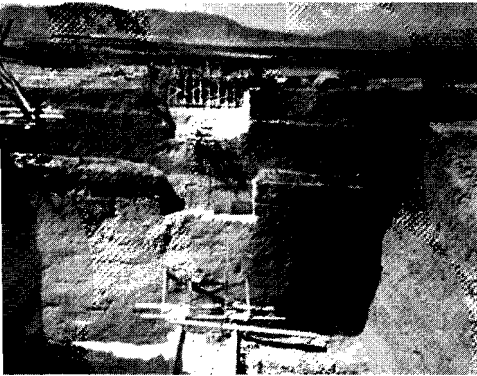
Σε ότι αφορά την ευστάθεια των υψηλών μαργαϊκών πρανών και τον κίνδυνο να εκδηλωθεί μια ολίσθηση μέσα στη μάζα των μαργών, και όχι κατά μήκος ασυνεχειών, οι αναλύσεις ευστάθειας που έγιναν (Κανναδάς, 1990) λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής των μαργών (συνοχή 300 kPa και γωνία τριβής 25°) έδειξαν ότι ακόμα και στην περίπτωση ισχυρού σεισμού (σεισμικός συντελεστής μέχρι 0,20) τα πρανή είναι ασφαλή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 9. Τα αποτελέσματα αυτά εξηγούν ικανοποιητικά την συνολική ευστάθεια των υψηλών και απότομων μαργαϊκών πρανών.

3 ΓΕΦΥΡΕΣ ΔΙΩΡΥΓΑΣ

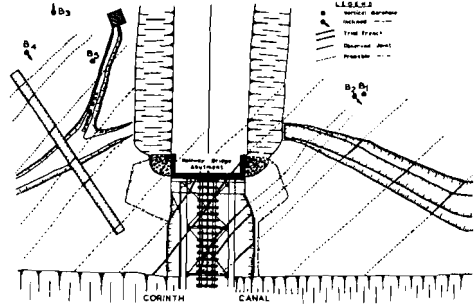
3.1 Παλιά σιδηροδρομική γέφυρα

Η παλιά μεταλλική σιδηροδρομική γέφυρα, δόθηκε στην κυκλοφορία το 1948 μετά την ανατίναξη της προϋπάρχουσας σε άλλη θέση γέφυρας από τα γερμανικά στρατεύματα κατά την αποχώρησή τους. Η επιλογή της θέσης θεμελίωσης της γέφυρας έγινε αφού λήφθηκαν υπόψη οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες σε ένα τεκτονικό τμήμας μήκους 300 m περίπου. Τα ίχνη των κλειστών ρωγμών που υπήρχαν στην επιφάνεια του πρσανούς θεωρήθηκε ότι ήταν τελειώς επιφανειακά και δεν επηρέαζαν την ευστάθεια του πρσανούς. Όμως, κατά την διάρκεια εκσκαφής για τη θεμελίωση των βάθρων της γέφυρας παρατηρήθηκε ότι οι ρωγμές αυτές ήταν συστηματικές, συνεχίζονταν σε βάθος και κατά θέσεις είχαν σημαντικό άνοιγμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να επανασχεδιασθούν τα βάθρα, ώστε να αυξηθούν οι διαστάσεις τους και να θεμελιωθούν σε μεγαλύτερο βάθος (Σχ. 10).

Με την ισχυρή σεισμική δόνηση του 1953 στην περιοχή της Κορίνθου και κυρίως με τον σεισμό μεγέθους 6,6R του Φεβρουαρίου 1981, παρατηρήθηκε επέκταση του ίχνους των ρωγμών στο πρνανές κάτω από το βόρειο (προς την Στερεά) βάθρο της γέφυρας. Από την λεπτομερή γεωλογική - γεωτεχνική έρευνα που έγινε μετά το τελευταίο γεγονός (Christoulas et al., 1984) διαπιστώθηκε ότι τα ίχνη των ρωγμών αντιστοιχούσαν σε υποκατακόρυφες, συστηματικές διακλάσεις, παράλληλες προς τα κύρια ρήγματα, με άνοιγμα μέχρι 5 cm, πληρωμένο με αμμώδες μαργαίκο υλικό (Σχ. 11).



Σχήμα 10. Εκσκαφή για τη θεμελίωση των βάθρων της παλιάς σιδ/κής γέφυρας (1948).



Σχήμα 11. Κάτοψη της περιοχής θεμελίωσης του βόρειου βάθρου με τις ερευνητικές εργασίες (1981).

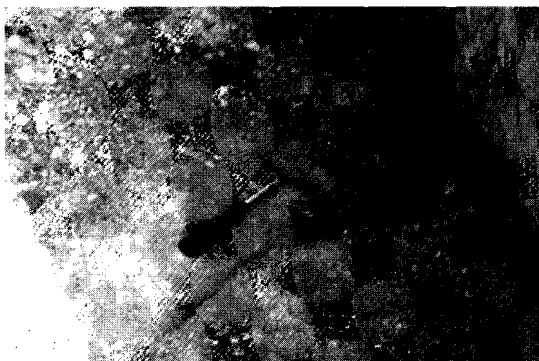
Η τοποθέτηση ειδικών οργάνων παρακολούθησης (Σχ. 12) και η καταγραφή των μικρομετακινήσεων των τοιχωμάτων των ασυνεχιών με τις μικροδονήσεις που προκαλούσαν οι μετασεισμοί και οι δοκιμαστικές διελεύσεις του τραίνου καθώς και οι αναλύσεις ευστάθειας, έδειξαν ότι πράγματι υπήρχε κίνδυνος αστοχίας του βάθρου. Για την εξασφάλιση του βάθρου κατασκευάστηκαν 5 σειρές κεκλιμένων μικρο-πασσάλων, μήκους 20 m περίπου ο καθένας, με διεύθυνση κάθετη προς τις ασυνέχειες. Τα μέτρα αυτά προστασίας είχαν ως σκοπό να σταθεροποιήσουν την περιοχή του βάθρου, συνδέοντας μεταξύ τους τα διάφορα τεμάχια στα οποία αποχωριζόταν η μάργα, λόγω της ύπαρξης των ανοικτών ασυνεχειών (φωτογραφία του Σχήματος 13). Στη γέφυρα αυτή δεν παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα μέχρι τη στιγμή που εγκαταλείφθηκε, λόγω της κατασκευής της νέας σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων και της αντίστοιχης γέφυρας σε νέα θέση.

3.2 Νέα οδική γέφυρα

Η νέα, διπλού κλάδου, οδική γέφυρα που δόθηκε στην κυκλοφορία το 1997, έχει κεντρικό άνοιγμα 110 m, με φορέα από προεντεταμένο σκυρόδεμα. Για τη θεμελίωση των βάθρων (δύο μεσόβαθρα και δύο ακρόβαθρα ανά κλάδο) έγινε ειδική μελέτη ώστε να εξεταστεί η δυνατότητα θεμελίωσής τους στο ίδιο το τεκτονικό τμήμας, με σκοπό να αποφευχθούν πιθανές διαφορικές μετακινήσεις τους, σε περίπτωση ενεργοποίησης, έστω και δευτερογενούς, των εγγύς ρηγμάτων. Αυτό πράγματι κατέστη δυνατό με την κατασκευή της γέφυρας υπό γωνία ως προς τον άξονα της διώρυγας, ακολουθώντας σε γενικές γραμμές τη διεύθυνση των ρηγμάτων.



Σχήμα 12. Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης των μικρομετακινήσεων των ασυνεχειών.

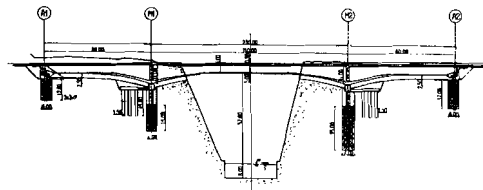
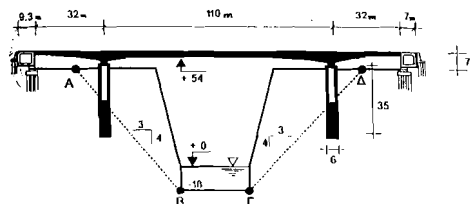


Σχήμα 13. Εντοπισμός ανοικτής ασυνέχειας σε ερευνητική τάφρο στην περιοχή του βάθρου.

Η θεμελίωση των κεντρικών βάθρων, ένα σε κάθε πρανές της διώρυγας, έγινε με φρέατα. Το ανώτερο τμήμα των βάθρων αποτελείται από κοίλο κύλινδρο σκυροδέματος μήκους 16 m με εξωτερική διάμετρο 4 m και εσωτερική 2,8 m, χωρίς να έρχεται σε επαφή με το έδαφος, ενώ το κατώτερο τμήμα, μήκους 20 m είναι ένας συμπαγής κύλινδρος από σκυρόδεμα διαμέτρου 6m, που μεταφέρει τα φορτία στο έδαφος (Σχ. 14). Από τις αναλύσεις ευστάθειας, προέκυψε ότι στη δυσμενέστερη περίπτωση η αστοχία του πρανούς θα γίνει σε επιφάνεια με κλίση 3:4, η οποία όμως θα αφήσει άθικτη τη θεμελίωση των βάθρων και έτσι δεν θα επηρεαστεί η λειτουργικότητα της γέφυρας (Γκαζέτας & Λουκάκης, 1997).

3.3 Νέα σιδηροδρομική γέφυρα

Η νέα, σιδηροδρομική γέφυρα έχει κεντρικό άνοιγμα 110 m, με φορέα από προεντεταμένο σκυρόδεμα, με διπλή γραμμή υψηλών ταχυτήτων. Η θεμελίωση των κεντρικών βάθρων και ακροβάθρων, δύο σε κάθε πρανές της διώρυγας, έγινε με φρέατα, διαμέτρου 6m στην πλευρά της Στερεάς και 7 m στην πλευρά της Πελ/σου, μήκους 15 – 25 m (Σχ.15). Τα κεντρικά βάθρα συνδέονται στο βάθος με ομάδα πασσάλων για την ανάληψη των οριζοντίων φορτίων.



Σχήμα 14. Κατά μήκος τομή της νέας οδικής γέφυρας. Σχήμα 15. Κατά μήκος τομή της νέας σιδηροδρομικής γέφυρας.

Λόγω των απαιτούμενων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, δεν κατέστη δυνατή η θεμελίωση όλων των βάθρων στο ίδιο τεκτονικό τέμαχος. Για το λόγο αυτόν έγινε ειδική διερεύνηση για τον προσδιορισμό των αναμενόμενων σχετικών μετακινήσεων των ρηγμάτων (Γκαζέτας & Μαρίνος, 1996). Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας, ο φορέας της γέφυρας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να υποστεί, κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου, αφενός μια διαφορετική μετακίνηση των βάθρων της τάξεως των 0,25 cm μετά από σεισμό, αφετέρου μια μικρή σεισμική ερπυστική μετακίνηση, χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργικότητά του.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διώρυγα Κορίνθου αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά τεχνικά έργα που έχει κατασκευαστεί σε μια περιοχή με ιδιαίτερες γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες. Η γεωτεχνική πολυπλοκότητα των λιθολογικών ενοτήτων οφείλεται τόσο σε πρωτογενείς παράγοντες, όπως η σύσταση και οι συχνές εναλλαγές των διαφόρων λιθοτύπων, όσο και σε παράγοντες που έχουν σχέση με την τεκτονική καταπόνηση και την ύπαρξη πολυαριθμών κανονικών ρηγμάτων καθώς και παραλλήλων προς αυτά διακλάσεων που διατέμνουν την διώρυγα υπό γωνία $30^{\circ} - 40^{\circ}$.

Οι μάργες, που συνιστούν τον κύριο γεωλογικό σχηματισμό στο κεντρικό τμήμα της διώρυγας, όπου έχουν εκσκαφθεί τα πολύ υψηλά και απότομα πρανή, παρουσιάζουν μίαν ιδιαίτερη μηχανική συμπεριφορά, η οποία εκφράζεται από τις υψηλές τιμές διατμητικής αντοχής και τον υψηλό λόγο κενών. Η συμπεριφορά αυτή των μαργών, που επιβεβαιώνεται από τη γενική ευστάθεια των πρανών της διώρυγας, αποδίδεται κυρίως στη δομή και στη συγκόλληση του μικροτικού αβριστικού υλικού των μαργών, λόγω διαγενετικών διεργασιών.

Οι τοπικές αστάθειες των πρανών της διώρυγας, εκδηλώνονται κατά κύριο λόγο ως αποκολλήσεις και καταπτώσεις πρισμάτων που οριοθετούνται από τις επιφάνειες των υπαρχόντων ρηγμάτων, των διακλάσεων και των ρωγμών αποτόνωσης.

Οι δονήσεις από τους ισχυρούς σεισμούς της ευρύτερης περιοχής και η υποσκαφή του πόδα των πρανών στο υποθαλάσσιο τμήμα τους, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των ασταθειών. Τόσο τα προβλήματα αστάθειας που παρουσιάστηκαν στα βάρη της παλιάς σιδηροδρομικής γραμμής, μετά τους ισχυρούς σεισμούς του 1981, όσο και αυτά που αντιμετωπίστηκαν κατά τον σχεδιασμό και κατασκευή της νέας οδικής και σιδηροδρομικής γέφυρας, σχετίζονται άμεσα με τη γεωτεχνική συμπεριφορά των μαργαϊκών κυρίως σχηματισμών, καθώς και με την ύπαρξη των ρηγμάτων που επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών και επιπλέον συνιστούν παράγοντα κινδύνου, λόγω των δυναμικών μετακινήσεων που μπορεί να προκαλέσουν με την επαναδραστηριοποίησή τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Γκαζέτας Γ. και Λουκάκης Κ., 1997. Θεμελίωση μεσόβαθρων της νέας οδικής γέφυρας Ισθμού Κορίνθου. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής, Πάτρα, 1, 171-178.
- Γκαζέτας Γ. και Μαρίνος Π., 1996. Μέγεθος της τεκτονικής μετακίνησης των ρηγμάτων της διώρυγας Κορίνθου σε σχέση με το σχεδιασμό της νέας σιδηροδρομικής γέφυρας. Τεχνική Έκθεση (αδημοσίευτη).
- Anagnostopoulos A., Kalteziotis N., Tsiambaos G.K., Kavvadas M., 1991. Geotechnical properties of the Corinth Canal marls. *Geotechnical and Geological Engineering*, 9, 1-26.
- Andrikopoulou K.P., Marinou P.G., Vainalis D., 1988. Geotechnical zoning in the Corinth Canal. *Proceedings of the International Symposium on the Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Athens*, 1, 231-235.
- Christoulas S.G. Kalteziotis N.A., Tsiambaos G.K., 1988. Geotechnical problems in a bridge over Corinth Canal. *Proceedings of the International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. University of Missouri-Rolla, II, 849-854.
- Collier, R.E., 1990. Eustatic and tectonic controls upon quaternary coastal sedimentation in the Corinth basin, Greece. *Journal of the Geological Society, London*, 147, 301-314.
- Freyberg V., 1973. *Geologie des Isthmus von Korinth*. Erlangen. Geologische Abhandlungen, Heft., Junge und Sohn, 95, 183p.
- Kavvadas M., 1990. Some considerations on the stability of the Corinth Canal slopes. Presentation at the 4th Young Geotechnical Engineers Conference, Delft.
- Marinos P., Tsiambaos G., Kavvadas M., 2001. Geological and geotechnical conditions of the Corinth Canal. *Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens*, 5, 3987-4003.
- Mariolakos I., Stiros S.C., 1987. Quaternary deformation of the Isthmus and Gulf of Corinth (Greece). *Geology*, 15, 225-228.
- Philippson A., 1890. *Der Isthmus von Korinth*. Z. Ges. Erdkde. Berlin, 25, 1-98.