

ΔΠΜΣ : Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων

ΜΑΘΗΜΑ: ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Καθηγητής ΑΙ Σοφιανός, Λέκτορας ΠΠ Νομικός

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ε.Μ.Π.

Οκτώβριος 2008

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2. Τυποποιημένες εργαστηριακές δοκιμές αντοχής

Κεφάλαιο 3. Σεισμικά σήματα

Κεφάλαιο 4. Θραύση των πετρωμάτων

Κεφάλαιο 5. Προσομοιώματα μικρομηχανικής

Κεφάλαιο 6. Αντοχή άρρηκτου πετρώματος

Κεφάλαιο 7. Ασυνέχειες

Κεφάλαιο 8. Ανισοτροπία

Κεφάλαιο 9. Βραχομάζα

Κεφάλαιο 10. Διόγκωση των πετρωμάτων

Κεφάλαιο 11. Ιξώδης συμπεριφορά

Κεφάλαιο 12. Φυσικό εντατικό πεδίο

Κεφάλαιο 13. Υπόγειες μετρήσεις

Κεφάλαιο 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1 Βασικοί ορισμοί

Με τον όρο πέτρωμα στη γεωλογία εννοείται κάθε φυσικά υπάρχον γεωυλικό. Αντίθετα οι μηχανικοί διακρίνουν τα γεωυλικά σε δύο κατηγορίες, τα πετρώματα ή βράχους και τα εδάφη. Η διάκριση, που δεν είναι σαφής (Τσουτρέλης, 1985), βασίζεται στο βαθμό σύνδεσης των ορυκτών ή οργανικών σωματιδίων που συνιστούν τα υλικά αυτά. Σημαντική σύνδεση των σωματιδίων κατατάσσει τα γεωυλικά στην κατηγορία των βράχων ή πετρωμάτων, ενώ μικρή ως μηδενική σύνδεση κατατάσσει τα υλικά στην κατηγορία των εδαφών.

Ο όρος βραχομηχανική (rock mechanics) αναφέρεται στη βασική επιστήμη της μηχανικής, εφαρμοσμένη στα πετρώματα (Hudson and Harrison, 1997). Είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη στατική και δυναμική συμπεριφορά του άρρηκτου πετρώματος και της βραχομάζας. Η βραχομηχανική είναι η επιστήμη και θεωρία. Είναι επιστήμη ως το βαθμό που το αντικείμενο της έρευνας είναι η μελέτη των πετρωμάτων σε ελεγχόμενες συνθήκες, και είναι θεωρία γιατί ξεκινώντας από αυτή τη μελέτη προσπαθεί να βγάλει συμπεράσματα για τη συμπεριφορά πολύπλοκων γεωλογικών δομών και κατασκευών στα πετρώματα που υπάρχουν ή πρόκειται να γίνουν, πάνω στις οποίες ο στοχασμός δεν θα ήταν εξίσου έγκυρος. Ο όρος τεχνική βραχομηχανική (Engineering Rock Mechanics) αναφέρεται στη χρησιμοποίηση της βραχομηχανικής σε οιαδήποτε τεχνική δραστηριότητα έχουσα σχέση με τα πετρώματα. Η τεκτονική γεωλογία (structural geology) ασχολείται με την περιγραφή και ανάλυση της τεκτονικής δομής της βραχομάζας. Η τεχνική γεωλογία ασχολείται με την επίδραση της γεωλογίας στα τεχνικά έργα.

2 Γεωλογική ταξινόμηση

Τα πετρώματα διακρίνονται σε πυριγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωμένα. Το 99% του όγκου των ορυκτών που συνιστούν το φλοιό της γης είναι πυριτικά. Από αυτά μόνο μία μορφή, ο χαλαζίας μπορεί εύκολα να αντισταθεί στη διαδικασία αποσάθρωσης που

υφίστανται αυτά. Τα περισσότερα από τα υπόλοιπα υπόκεινται σε χημική μεταβολή και σχηματίζουν αργιλικά ορυκτά. Τα ιζήματα, που είναι τα τελικά προϊόντα της διαδικασίας αποσάθρωσης μπορούν να θεωρηθούν ότι περιέχουν δύο βασικά υλικά, χαλαζία και αργιλικά ορυκτά (Farmer, 1983). Τα σωματίδια του χαλαζία εκτείνονται και στις τρεις διαστάσεις και είναι γενικά μεγαλύτερα από το μέγεθος της ιλύος ($>0.06\text{mm}$). Ένα ιζημα αποτελούμενο βασικά από σωματίδια χαλαζία θα χαρακτηριζόταν σαν ιλύς ή άμμος ή χαλίκι. Τα αργιλικά σωματίδια είναι γενικά μικρά ($<0.002\text{mm}$) και επίπεδα. Ένα ιζημα εμπεριέχον τέτοια σωματίδια θα αναφερόταν ως άργιλος.

Τα ιζηματογενή πετρώματα προκύπτουν από τη συμπίεση και τσιμέντωση των ιζημάτων, μολονότι και άλλες διαδικασίες μπορεί να συμβαίνουν, όπως η ανακρυστάλλωση, η αντικατάσταση, η διαφορική διάλυση και η εξαλλοίωση. Οι διαδικασίες αυτές περιγράφονται με το γενικό όρο διαγένεση. Αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι η αλλαγή του μεγέθους, του σχήματος και της διεύθυνσης των σωματιδίων, καθώς και του πορώδους και της δομής του γεωυλικού.

3 Μηχανική συμπεριφορά

Βασική διαφορά μεταξύ βράχων και εδαφών υφίσταται στη μελέτη της επιτόπου συμπεριφοράς τους. Η μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφικών κατασκευών μπορεί να γίνει με βάση δοκιμές στο εργαστήριο και χρήση των εκεί μετρηθεισών παραμέτρων. Τούτο οφείλεται κυρίως στο ότι τα δείγματα στο εργαστήριο εμπεριέχουν όλα τα χαρακτηριστικά της επιτόπου γεωμάζας σε επαρκή ποσότητα έτσι ώστε να μην υφίστανται προβλήματα κλίμακας. Αντίθετα, τα δοκίμια των πετρωμάτων δεν μπορούν να εμπεριέχουν επαρκή ποσότητα από τα χαρακτηριστικά του επιτόπου γεωμάζας, όπως είναι οι ρωγμές και οι ασυνέχειες. Έτσι, η συμπεριφορά του ακέραιου πετρώματος διαφέρει από τη συμπεριφορά της βραχομάζας. Η μηχανική των πετρωμάτων ορίζεται επομένως ως η μελέτη της παραμόρφωσης και θραύσης των πετρωμάτων τόσο στην ακέραιη άρρηκτη μορφή τους, όσον και στην ασυνεχή μορφή της μάζας των πετρωμάτων, την ονομαζόμενη βραχομάζα.

Πίνακας 1. Κατηγορίες δοκιμών σε πετρώματα (Brown, 1981)

1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

α. Δείκτες χαρακτηρισμού

Πυκνότητα, υγρασία, πορώδες, απορρόφηση
 Μονοαξονική εφελκυστική και θλιπτική αντοχή και παραμορφωσιμότητα
 Δείκτες ανισοτροπίας
 Σκληρότητα, τραχύτητα, τριβή
 Περαιτότητα
 Διόγκωση και αντοχή σε χαλάρωση
 Ταχύτητα ήχου
 Πετρογραφική περιγραφή

β. «Παράμετροι μελέτης»

Τριαξονική θλιπτική αντοχή και παραμορφωσιμότητα
 Άμεση διάτμηση
 Διαχρονική και πλαστική συμπεριφορά

2. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

α. Ταξινόμηση

Προσανατολισμός, απόσταση, τραχύτητα, γεωμετρία, κλπ. των ασυνεχειών
 Απώληση πυρήνα, RQD, απόσταση ρωγμών
 Γεωφυσικές στην επίγεια επιφάνεια και σε γεώτρηση

β. Τεχνικός σχεδιασμός

Παραμορφωσιμότητα φόρτισης πλάκας ή μέσα σε γεώτρηση
 Άμεση διάτμηση
 Περαιτότητα
 Εντατικό πεδίο στο πέτρωμα
 Παρακολούθηση των μετακινήσεων του πετρώματος
 Μονοαξονική, διαξονική και τριαξονική θλιπτική αντοχή

γ. Ποιοτικός έλεγχος

Αντοχή πάκτωσης και τάνυση ήλων στο πέτρωμα
 Συνάφεια σκυροδέματος επένδυσης και πετρώματος

δ. Παρακολούθηση

Μετατοπίσεις
 Δονήσεις
 Υδραυλικές πιέσεις
 Μεταβολή της τάσης
 Παραμόρφωση της επένδυσης του πετρώματος

4 Τυποποίηση δοκιμών

Η πειραματική μελέτη της συμπεριφοράς των πετρωμάτων αφορά επιμέρους τμήματα της βραχομάζας. Οι ιδιότητες αυτών δεν είναι απόλυτες, αλλά σχετίζονται με τις συνθήκες του πειράματος. Επομένως, προκειμένου να υπάρχει δυνατότητα συσχέτισμού των ιδιοτήτων διαφόρων πετρωμάτων, έχει γίνει τυποποίηση των πειραματικών δοκιμών. Αντίθετα, υπάρχουν απόλυτες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων, όπως π.χ. η ορυκτολογική σύνθεση, που αποτελούν σταθερές του υλικού.

Τυποποιημένες δοκιμές που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι της ASTM και ISRM (Brown, 1981). Στον πίνακα 1 φαίνονται δοκιμές για τις οποίες υπάρχει ή πρόκειται να υπάρξει τυποποίηση (Brown, 1981), και στο παράρτημα δίνονται οι τίτλοι από τις δημοσιευμένες εκθέσεις με τις οδηγίες των επιτροπών της ISRM. Τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω εργαστηριακών δοκιμών χρησιμεύουν βασικά σαν δείκτες χαρακτηρισμού του πετρώματος, και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα στο σχεδιασμό των έργων. Αυτός βασίζεται σήμερα περισσότερο σε επιτόπου δοκιμές και στην εμπειρία, παρά σε λεπτομερή εργαστηριακά αποτελέσματα. Εκτιμάται επομένως ότι χρήσιμος είναι ένας μεγάλος αριθμός γρήγορων επιτόπου δοκιμών, που θα δίνουν ενδείξεις για τη συμπεριφορά της βραχομάζας.

Βιβλιογραφία

1. Brown E.T. (1981) “Rock Characterization Testing and Monitoring”, Pergamon Press.
2. Farmer I. (1983). “Engineering behaviour of rocks”, Chapman and Hall
3. Hudson J.A. and Harrison J.P. (1997). “Engineering Rock Mechanics, an introduction to the principles”, Pergamon Press.
4. Τσουτρέλης Χ. (1985). «Στοιχεία Μηχανικής των Πετρωμάτων, Μέρος 1, Βασικά θεωρητικά στοιχεία και πειραματικές μέθοδοι», ΕΜΠ.

Παράρτημα – Οδηγίες επιτροπών της ISRM

Commission on Classification of Rocks and Rock Masses

1. Basic Geotechnical Description of Rock Masses, 1981.

Commission on Computer Programs

2. A Survey of Computer Programs in Rock Mechanics Research and Engineering Practice, 1988 August, IJRM, 25, 4.

Commission on Recommendations on Site Investigation Techniques

3. Recommendations on Site Investigation Techniques, 1975 July, IJRM.

Commission on Research

4. Report on ISRM Fields of Activities 1986 April.

Commission on Rock Grouting

5. Final Report 1995 November.

Commission on Swelling Rocks

6. Characterization of Swelling Rock 1983 October IJRM.
7. Suggested Methods for Laboratory Testing of Argillaceous Swelling Rocks 1989 October and 1999. IJRM, 26, 5, 415 & 36, 3, 291.
8. Comments and Recommendations on Design and Analysis Procedures for Structures in Argillaceous Swelling Rock 1994 October. IJRM, 31, 5, 535.
9. Suggested Methods for Rapid Field Identification of Swelling and Slaking Rocks 1994 October, IJRM, 31, 5, 547.

Commission on Teaching of Rock Mechanics

10. Report on the Teaching of Rock Mechanics, 1981 September, IJRM.

Commission on Terminology, Symbols, and Graphic Representation

11. Terminology, 1975 July, IJRM.

Commission on Testing Methods

12. Suggested Method for Blast Vibration Monitoring, 1992 March, IJRM, 29, 2, 143.
13. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties 1972 October, IJRM, (Brown, 1981).
14. Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials 1972 October, (Brown, 1981).
15. Suggested Methods for Determining Shear Strength, 1974 February, (Brown, 1981).
16. Suggested Methods for Rockbolt Testing 1974 March, (Brown, 1981).
17. Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks 1977 March, (Brown, 1981).
18. Suggested Methods for Determining Mode 1 Fracture Toughness Using Cracked Chevron Notched Brazilian Disc 1995 January, IJRM, 32, 1, 57.
19. Suggested Methods for Determining Sound Velocity, 1977 March, (Brown, 1981).
20. Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression, revised version 1983 Dec., IJRM.
21. Suggested Methods for Determining Tensile Strength in Rock Materials 1977 March, (Brown, 1981).
22. Suggested Methods for Petrographic Description of Rocks 1977 March, (Brown, 1981).

23. Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses 1977 October, (Brown, 1981).
24. Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using Borehole Extensometers 1977 November, (Brown, 1981).
25. Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using Inclinometers and Tiltmeters 1977 December, (Brown, 1981).
26. Suggested Methods for Determining In-situ Deformability in Rock 1978 September, (Brown, 1981).
27. Suggested Methods for Pressure Monitoring Using Hydraulic Cells 1979 December, (Brown, 1981).
28. Suggested Methods for Geophysical Logging in Boreholes 1981 February, ISRM.
29. Suggested Methods for Surface Monitoring of Movements Across Discontinuities 1984 October, ISRM.
30. Suggested Methods for Determining Point Load Strength, 1985 April, ISRM
31. Suggested Methods for Large Scale Sampling and Triaxial Testing in Jointed Rock 1989 October, ISRM, 26, 5, 427.
32. Suggested Methods for Rock Anchorage Testing, 1985 April, ISRM.
33. Suggested Methods for Deformability Determination Using a Large Flat Jack Technique, 1986 April, ISRM, 23, 2, 131.
34. Suggested Methods for Rock Stress Determination, 1987 February, ISRM, 24, 1, 53.
35. Suggested Methods for Deformability Determination Using a Flexible Dilatometer 1987 April, ISRM, 24, 2, 123.
36. Suggested Methods for Determining the Fracture Toughness in Rock 1988 April, ISRM, 25, 2, 71-96.
37. Suggested Methods for Seismic Testing within and between Boreholes, 1988, December.
38. Suggested Method for deformability determination using a Stiff dilatometer, ISRM, 1996, 33, 7, 733.
39. Suggested Method for determining the Indentation hardness index of rock materials, ISRM, 1998, 35, 6, 831.
40. Suggested Method for In-situ Stress measurement using the Compact Conical-Ended Borehole Over coring (CCBO) Technique, ISRM, 1999, 36, 3, 307.
41. Suggested Method for the Complete Stress-Strain Curve for intact rock in Uniaxial Compression, ISRM, 1999, 36, 3, 279.
42. Suggested Method for laboratory testing of Swelling Rocks, 1999, April.
43. Supporting paper on a suggested Improvement to the Schmidt Rebound Hardness ISRM Suggested method with particular reference to rock Machineability, 1993, October.
44. Supporting Paper on Determination of In-situ Deformation Modulus: New Approaches for plate Loading Tests, 1997, December.