

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΣΥΝΕΧΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ

ΚΑΙ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Γ.Α Τσελέντης Earthquake Research Institute,
University of Tokyo
Ι.Κ Δρακόπουλος Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
Δ.Α Παλιάτσας Μεταπτυχιακός, Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία γίνεται μία προσπάθεια διερεύνησης της δυνατότητας χαρακτηρισμού μη συμπαγών πετρωμάτων με σεισμικές μετρήσεις.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι, η επίδραση των ασυνεχειών, του πετρώματος, στα πλάτη των κατογραφέντων σεισμικών κυμάτων είναι μερικές φορές πιο έντονη απ ό τι στις σεισμικές ταχύτητες.

Για την επεξεργασία των σεισμικών κυμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι παρακατω δυό νέες παράμετροι.

Η πρώτη είναι η τυπική απόκλιση της διαφοράς του φάσματος πλάτους μεταξύ δυο γεωφώνων και διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενός ικανοποιητικού βαθμού συσχέτισης της παραπάνω παραμέτρου και της ποιότητας του πετρώματος.

Η δεύτερη είναι ένας νέος τρόπος γραφικής παρουσίασης της διαφοράς φάσματος πλάτους ανακλώντας τις φασματικές διαφορές σε εξι συμμετρικά επίπεδα. Με αυτο τον τροπο φαίνεται ευδιόκριτα η διαφορά μεταξύ ενός συμπαγούς και ενός ραγιστωμένου πετρώματος. Ένα απο τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι: η δυνατότητα χρησιμοποίησης της και απο μη ειδικευμένο προσωπικο ακόμα και στο ύπαιθρο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα οι πολιτικοί μηχανικοί και οι γεωλόγοι έχουν μια συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για τεχνικές, με τις οποίες θα μπορούν να εκτιμήσουν την ποιότητα της βραχώμαζας κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός έργου, να εκτιμήσουν σημαντικές παραμέτρους, κρατώντας τον χρόνο που απαιτείται για αυτό καθώς και το κόστος σε χαμηλά επίπεδα.

Γενικά είναι γνωστό ότι η ύπαρξη ασυνεχειών επηρεάζει κατα πρώτο λογο τις μηχανικές ιδιότητες, αλλά και άλλες όπως οι υδρογεωλογικές. Η σχετική βιβλιογραφία γύρω απο αυτό το ζήτημα είναι αρκετά μεγάλη. (π.χ Ikedā 1979, Oda 1985, Tselentis 1985).

Από καιρό έχει διαπιστωθεί ότι η παρουσία ασυνεχειών σε ένα πέτρωμα έχει σαν αποτελεσμα, μικροτερες ταχύτητες και μικροτερα πλάτη. Απο έρευνες που έχουν γίνει φαίνεται ότι η επίδραση των ασυνεχειών είναι μεγαλύτερη πάνω στα πλάτη των

σεισμικών κυμάτων απ ότι στις ταχύτητες. (Tselentis et al 1988, King et al 1969, Pyrak et al 1987).

Πολλοί ερευνητές (King 1969, Anderson 1974) έδειξαν ότι οι ελαστικές ιδιότητες των πετρωμάτων επηρεάζονται κυρίως από τις ιδιότητες των μικρορωγμών σε χαμηλές πιέσεις. Επίσης με την εφαρμογή μονοαξονικής πίεσης τα διαμήκη κύματα έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα κατά την διεύθυνση της πίεσης. (Nur and Simons 1964).

Ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται επίσης, υπόψη είναι ο κορεσμός. Μετρήσεις υπαίθρου, όπως επίσης και εργαστηριακές μετρήσεις, δείχνουν ότι με την αύξηση της ποσότητας σε νερό, ενός πετρώματος, πρέπει να περιμένουμε και μεγαλύτερες ταχύτητες.

Για αυτούς τους λόγους δεν έχουμε φθάσει ακόμα στο στάδιο να είμαστε ικανοί να κατανοήσουμε πλήρως την διάδοση των σεισμικών κυμάτων σε ρωγματομένα πετρώματα σε πείσμα των πρόσφατων προόδων που αφορούν την θεωρητική μελέτη των ρωγματομενων μέσων. (O Connell and Budianski 1971, Hudson 1980, Burridge et al 1985).

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Ο Schoenberg (1980) υποθέτωντας ότι η διάδοση των σεισμικών κυμάτων είναι ασυνεχής κατά πλάτος των ασυνεχειών, καθώς η πίεση παραμένει σταθερή κατέληξε σε σχέσεις που έχουν τόσο το πλάτος όσο και την ταχύτητα σαν συναρτήσεις της συχνότητας.

Στη παρούσα θεωρητική έρευνα αποφασίσαμε να υιοθετήσουμε την μεθοδολογία του Schoenberg γιατί αυτή είναι απλή και η πιο κατάλληλη για τα μοντέλλα μας.

Ακολουθώντας τον Schoenberg μπορούμε να γράψουμε τους εκλογικούς τύπους για την μετάδοση και τους συντελεστές ανακλάσης για ένα διαμήκη κύμα που πεφτει κάθετα σε μια ασυνέχεια.

$$R = -(Z_1 - Z_2 - i\omega\eta Z_1 Z_2) / (Z_1 + Z_2 - i\omega\eta Z_1 Z_2) \quad (1)$$

$$T = 2Z_2 / (Z_1 + Z_2 - i\omega\eta Z_1 Z_2)$$

Όπου Z_1, Z_2 είναι η ακουστική απόκριση δύο ελαστικών μέσων χωρισμένα μεταξύ τους από μια ασυνέχεια.

ω είναι η γωνιακή συχνότητα και

η είναι το αντίστροφο του πλάτους (stiffness) της ασυνέχειας K .

Προφανώς, όταν $\eta \rightarrow \infty$, ($K \rightarrow \infty$) τότε προσεγγίζεται η περίπτωση του τέλει περιορισμού και οι R, T παίρνουν συμβατικές τιμές. (Aki and Richards 1980).

Όταν $\eta \rightarrow 0$ τότε προσεγγίζεται η περίπτωση της ελεύθερης επιφάνειας και προσδοκούνται $R \rightarrow -1$, $T \rightarrow 0$.

Στο σχήμα 1α φαίνονται οι θεωρητικές καμπυλες του μεγεθους της ανάκλασης και των συντελεστών μετάδοσης σε σχέση με την συχνότητα και με διαφορετικές τιμές του K/Z . Υποθετούμε σταθερή απόκριση του συμπαγούς βράχου ($14.6 \times 10^9 \text{ m s}$).

Κρίνοντας απο τα παραπάνω σχήματα συμπεραίνουμε ότι η ενέργεια ενός κύματος που χάνεται σε μία ασυνέχεια, αυξάνεται

με την αύξηση του ανοίγματος της ρωγμής και μειώνεται με την αύξηση της συχνότητας. Αυτό προκύπτει και από το σχήμα 1β όπου φαίνεται το μέγεθος του συντελεστή μετάδοσης σε σχέση με το άνοιγμα της ρωγμής.

Η καθυστέρηση ανά ρωγή μπορεί να γραφτεί

$$\delta t = d\phi/d\omega \quad (2)$$

όπου ϕ είναι η φάση του σεισμικού κύματος.
 Τα ϕ μπορεί να υπολογισθεί απ ευθείας από την (1)

$$\phi = t \tan^{-1} (\omega Z \eta / 2) \quad (3)$$

οπότε

$$\delta t = 2(1/(Z\eta)) / [4(1/2\eta)^2 + \omega^2] - 2(K/Z) / [4(K/Z)^2 + \omega^2] \quad (4)$$

Θεωρώντας D ασυνέχειες ανά μονάδα μήκους ο παρατηρούμενος χρόνος μετάδοσης ενός κύματος (t) που τέμνει τις ασυνέχειες μπορεί να γραφτεί ως εξής

$$t = [1/(DV_0)] + [2(K/Z) / (4(K/Z)^2 + \omega^2)] \quad (5)$$

όπου V_0 είναι η ταχύτητα σεισμικού κύματος σε συμπαγές πέτρωμα.

Έτσι η παρατηρούμενη διαφορά της ταχύτητας που προκαλείται από την ρωγή είναι

$$\delta V = V_0 \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{DV_0 Z / (2K)}{1 + [\omega / (2K/Z)]^2}} \right] \quad (6)$$

Στο σχήμα 2α παρουσιάζονται οι θεωρητικές καμπύλες της διαφοράς της ταχύτητας σε σχέση με το άνοιγμα της ρωγμής. Η παραμετρος D καθορίζεται για 10m ενώ υποθέτουμε την ίδια με πριν σταθερή απόκριση του πετρώματος. Η παρατηρούμενη διαφορά ταχύτητας, οφειλόμενη στην παρουσία των ρωγμών, μειώνεται με την αύξηση της συχνότητας και του ανοίγματος της ρωγμής. Στο σχ. 2β δείχνεται ότι η διαφορά της ταχύτητας είναι αντιστρόφως εξαρτημένη της συχνότητας.

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Τα εργαστηριακά πειράματα έχουν το πλεονέκτημα ότι διατηρούμε τον έλεγχο πάνω, στην πίεση, τον τύπο του πετρώματος καθώς και των χρησιμοποιούμενων πειραματικών μεθόδων. Από την άλλη έχουν το μειονέκτημα ότι δουλεύουμε σε υψηλές συχνότητες και σε περιβάλλον που δεν είναι όπως αυτό της πραγματικής κατάστασης.

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δυο ειδών : Ασβεστόλιθος και Γρανοδιорίτης.

Κατ' αρχήν τα δείγματα διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να έχουν κυλινδρικό σχήμα. Για να δημιουργηθεί ένα ρωγματωμένο δείγμα τοποθετήθηκαν το ένα πάνω στο άλλο μικρότερα κυλινδρικά δείγματα. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν με αυτό το τρόπο ήταν κάθετες στον άξονα του τελικού κυλινδρικού δείγματος. Από τον αριθμό των κυλινδρικών δειγμάτων, που τοποθετήθηκαν το ένα

πάνω στο άλλο, εξαρτήθηκε και ο αριθμός των ασυνεχειών ανά μέτρο. Κατ'αυτο τον τρόπο αποκτήσαμε δείγματα με 0,5, 15, 30 και 50 ασυνεχείες ανά μέτρο. Η διάμετρος του κάθε κυλίνδρου ήταν 50mm ενώ το συνολικό μήκος του δείγματος ήταν 100mm. Τις περισσότερες φορές οι ρωγμές είναι γεμάτες από άλλα υλικά τα οποία συμπεριφέρονται με τρόπο διαφορετικό από το υπόλοιπο πέτρωμα. Για να προσομοιώσουμε κάπως αυτή την κατάσταση μεταξύ δυο κυλινδρικών δειγμάτων τοποθετήσαμε ένα λεπτό φύλλο χαρτιού.

Τα διαμήκη κύματα δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας πιεζοηλεκτρικούς ταλαντωτές (μολύβδου-τιτανίου) με συχνότητα αντήχησης 1MHz. Για να επιτευχθεί καλύτερη ζεύξη μεταξύ του μετατροπέα και του δείγματος τοποθετήθηκε λίγη λιπαντική ουσία.

3.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Στο σχήμα 3α φαίνεται το ποσοστό αλλαγής της ταχύτητας των Ρ κυμάτων σε συνάρτηση με τον αριθμό των ασυνεχειών ανά μέτρο ενώ στο σχήμα 3β φαίνεται η επίδραση των ασυνεχειών πάνω στο πλάτος των σεισμικών κυμάτων. Και για τα δύο σχήματα το εξεταζόμενο πέτρωμα είναι ο ασβεστολιθός. Προφανώς, συγκρίνοντας τα δύο σχήματα, οι ασυνεχείες επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τα πλάτη των σεισμικών κυμάτων απ'ότι τις ταχύτητές τους.

Τα σχήματα 4α, β δείχνουν τα σήματα Ρ κυμάτων που παίρνουμε από τα δείγματα του γρανοδιוריτη. Αν και το σήμα που εκπεμπεται από τους μετατροπέες είναι ένας απλός παλμός το λαμβανόμενο σήμα είναι ένα πλήρες κύμα.

Στο σχήμα 4γ παρουσιάζονται τα αντιστοιχία φάσματα πλάτους των κυματομορφών. Είναι δε, προφανής η μεγάλη ελάττωση των πλατών η οποία παρατηρείται στα ρωγματομένα δείγματα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τα θεωρητικά συμπεράσματα που παρουσιάστηκαν και δείχνουν ότι σήμερα κάλλιστα αντικαθίστανται οι μετρήσεις ταχύτητας από τις μετρήσεις των πλατών των σεισμικών κυμάτων.

Μετρήθηκαν οι ταχύτητες των διαμήκων κυμάτων, τα οποία διαδίδονταν παράλληλα με τον άξονα επενέργειας της πίεσης καθώς αυτή έπαιρνε διάφορες τιμές. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν σε ξηρά, καθώς επίσης και σε κεκορεσμένα δείγματα γρανοδιוריτη. Διαπιστώνεται ότι έχουμε μια μείωση της παρατηρούμενης ταχύτητας με την αύξηση της πίεσης καθώς επίσης ότι τα κεκορεσμένα με νερό δείγματα δίνουν υψηλότερες ταχύτητες.

4. ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

4.1 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΥ)

Ο σκοπός αυτού του πειράματος ήταν να εκτιμηθεί η ποιότητα του πετρώματος (ασβεστολίθου) μέσω σεισμικών μετρήσεων που έγιναν κατά μήκος του άξονα της σφραγδας του Αρτεμισίου (Πελοπόννησος).

Δύο γεωφωνα τοποθετήθηκαν και πακτώθηκαν μέσα σε μικρές τρύπες στο τοίχο και στο πατωμα της σήραγγας και σε ορθή γωνία απο την γραμμή της πηγής.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των σεισμικών κυμάτων ήταν ένα φορητό σεισμικό GEOMETRICS ES2413 των 24 καναλιών το οποίο με την σειρά του ήταν συνδεδεμένο με ένα φορητό IBM PC μικρουπολογιστή.

Οι μετρήσεις περιλάμβαναν μετρήσεις διαμήκων και εγκάρσιων κυμάτων. Σαν πηγή για την δημιουργία των σεισμικών κυμάτων χρησιμοποιήθηκε ένας παραλληλεπίπεδος ξύλινας κορμός μήκους 1.5 m τοποθετημένος κάθετα στο προφίλ. Η δημιουργία των σεισμικών κυμάτων γίνονταν με κτυπήματα στο επάνω μέρος του κορμού καθώς και στα άκρα. Για τη καλλίτερη επαφή του κορμού με το έδαφος βρισκόταν κάτω από το βάρος του μπροστινού άξονα ενός μικρού φορτηγού αυτοκινήτου. Για την περίπτωση της παραγωγής σεισμικών κυμάτων στα τοιχώματα της σήραγγας αυτό γινόταν με το κτύπημα μεταλικής ράβδου η οποία ήταν τοποθετημένη και πακτωμένη μέσα στο βράχο.

Με κτυπήματα πότε στο ένα και πότε στο άλλο άκρο του κορμού στα καταγραφόμενα σήματα είχαμε μια αναστροφή της πολικότητας κατά 180.

Απο τις αποκτηθέντες κυματομορφές υπολογίσαμε:

α: Ταχύτητες των S και P κυμάτων

β: Τα φάσματα των πλατών

γ: Τις δυναμικές ελαστικές παραμετρους

Ορίζοντας μια νέα παράμετρο, την σταθερη απόκλιση της λογαριθμικής διαφοράς του φάσματος των πλατών (Standard deviation of the logarithmic difference of the spectral amplitude (LSSD)) μεταξύ δύο διαδοχικών γεωφώνων βρήκαμε ότι αυτη η παράμετρος συσχετίζεται πολύ καλά με τον βαθμό ρωγμάτωσης της βραχομαζας.

Στο σχήμα 5α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας τραβέρσας η οποία διασχίζει ρωγματωμένο και μη ρωγματωμένο πετρωμα. Είναι φανερο ότι στην περιοχή όπου η ταχύτητες είναι μικρές (π.χ στα γεωφωνα 2,5) η παραπάνω οριζόμενη παράμετρος παίρνει μικρές τιμές. Η φυσική έννοια αυτού είναι ότι σε περιοχές με υψηλή ρωγμάτωση στο φάσμα των πλατών φαίνεται ένας υψηλος βαθμός διασκορπισμού.

Στο σχήμα 5β μπορεί να γίνει σύγκριση για την ίδια τραβέρσα, της μεταβολής των δυναμικών ελαστικών σταθερών και της παραπάνω περιγραφόμενης μεθόδου. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε περιοχή με υψηλες τιμές ελαστικών σταθερών η παράμετρος LSSD παίρνει μικρές τιμές. Στο σχήμα 5γ κάνουμε μια σύγκριση του πηλικου των επί τόπου μετρηθέντων ταχυτήτων με τις ταχύτητες που προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο για μη ρωγματωμενα δείγματα με τη παράμετρο LSSD. Είναι προφανές ότι στις περιοχές όπου το παραπάνω πηλίκο τείνει στο 1 (αυμπαγές πετρωμα) η παράμετρος LSSD παίρνει την μικροτερη τιμή.

4.2 ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥ ΓΡΑΝΙΤΗ ΣΤΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΑΠΩΝΙΑ

Το δεύτερο πείραμα υπαιθρου έγινε σε περιοχή της Κεντρικής Ιαπωνίας όπου έχουμε εμφάνιση γρανίτη και στον οποίο έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα ασυνεχειών.

Ο σκοπός του πειράματος ήταν να εκτιμηθεί η προαναφερθείσα παράμετρος LSSD σε δύο θέσεις (υγιείς και ρωγματομένο πέτρωμα) καθώς επίσης και η διερεύνηση ύπαρξης καποιου βαθμού συσχέτισης μεταξύ της LSSD παραμέτρου και της ποιότητας του πετρώματος.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένας σειсмоγράφος ΟΥΟ των 12 καναλιών συνδεδεμένος με ένα φορητό μικρουπολογιστή TOSHIBA 3200. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε επιτόπου με κατάλληλο πρόγραμμα μικρουπολογιστή.

Στο σχ.6 παρουσιάζονται οι καταγραφείσες κυματομορφές για τις θέσεις α και β (υγιείς και ρωγματομένο πέτρωμα αντίστοιχα). Επίσης παρουσιάζεται το λογαριθμικό φάσμα διασκορπισμού. Τέλος παρατηρείται ένας μεγαλύτερος βαθμός διασκορπισμού για την δεύτερη θέση πράγμα βέβαια που ήταν αναμενόμενο.

4.3 Optical Green Functions (O.G.F) - Μια Νέα Παράμετρος για τον Χαρακτηρισμό της Βραχόμαζας

Σε ένα πρόσφατο άρθρο ο Ρινκονερ (1986) χρησιμοποιεί μια συμμετρική μέθοδο για μερικές κυματομορφές ομιλίας για να τις διακρίνει μέσω ενός οπτικού τρόπου με άμεση εφαρμογή την επικοινωνία μεταξύ κυφαλάλων.

Ακολουθως θα προσπαθήσουμε να εφαρμόσουμε μια παρομοια μέθοδο για την γραφική ποράσταση των σεισμικών δεδομένων, σαν ένα ποιοτικό τρόπο για την επιτόπου εκτίμηση της ποιότητας του πετρώματος.

Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό του λογαριθμικού φάσματος διασκορπισής (LSS) για ζεύγη γεωφώνων και σχεδιασμό κάθε σημείου της LSS(f) σε 12 συμμετρικά σημεία ενός χΥ επιπέδου σύμφωνα με τους ακολουθους μετασχηματισμούς:

$$R_{k,l} = 50 \{ (LSS_{k,l}) / (U-L) \}$$

$$F1_{k,l} = (2\pi/6) l + \{ 50 (LSS_{k,l} - L) / (U-L) \}$$

$$F2_{k,l} = (2\pi/6) l - \{ 50 (LSS_{k,l} - L) / (U-L) \}$$

οπου $k=1, N-1$ $l=1,6$ N είναι ο αριθμός των σημείων LSS(f) . U, L η μεγαλύτερη και η μικροτερη τιμή της LSS(f) και $R, F1, F2$ είναι οι πολικές συντεταγμένες.

Είναι προφανές ότι η παραπάνω μέθοδος σχεδιάζει τα πλάτη στις θέσεις $l, l+1$ σε ένα πολικό διάγραμμα με ακόλουθη αντανάκλαση δ αντικρυστων επιπέδων. Για την παραπάνω μετατροπή φτιάχτηκε ένα πρόγραμμα H/Y (για τον IBM PC) σε γλώσσα BASIC.

Επειδη το πηλίκ των φασμάτων πλάτους αποκτάται απο δύο διαδοχικά γεωφωνα είναι σε άμεση σχέση με την Green function του μέσου (πετρώματος) ονομαζουμε τα αποτελέσματα της παραπάνω οπτικής μετατροπής της LSS "Optical Green Function" (OGF).

Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η OGF για τις δύο θέσεις (Α) και (Β) που παρουσιάστηκαν στο σχήμα 6.

Εφαρμόζοντας την OGF σε κάποιο αριθμό θέσεων, όπου ήδη ξέρουμε ότι το πέτρωμα είναι υγιές, θα είμαστε ικανοί να αναγνωρίσουμε θέσεις όπου η ποιότητα του πετρώματος είναι καλή σε σύντομο χρονικό διάστημα, επειδή όλα η επεξεργασία μπορεί να γίνει στο ύπαιθρο.

Τα αδύνατα σημείο της τεχνικής είναι το γεγονός ότι η επίδραση των ασυνεχειών στα σεισμικά κύματα εξαρτάται από την συχνότητα. Για αυτό τον λόγο πρέπει να χρησιμοποιούμε σεισμικές πηγές που παράγουν σχετικά ίδιες συχνότητες. Χρησιμοποιώντας π.χ μικρά αεροβόλα μπορούμε να έχουμε πολύ καλά αποτελέσματα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχει φανερό ότι οι ασυνέχειες επηρεάζουν με πολλούς τρόπους τα σεισμικά κύματα. Πολλοί ερευνητές έχουν δείξει την επίδρασή τους πάνω στην ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων. Αντίθετα είναι φτωχή η βιβλιογραφία που αναφέρεται στην επίδρασή τους πάνω στην μεταβολή των πλάτων.

Στην παρούσα εργασία προσπαθούμε να συνενώσουμε στην ερμηνεία των δεδομένων και τις επιδράσεις στο πλάτη με τον ορισμό μερικών παραμετρών από τις οποίες εξορτώνται τα πλάτη. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε τις ταχύτητες εγκάρσιων και διαμήκων κυμάτων όπως επίσης και τα πλάτη των κυματομορφών που πήραμε κατά την διάρκεια των εργασιών ύπαιθρου. Τα πειράματα και οι θεωρητικές προσεγγίσεις δείχνουν ότι οι ασυνέχειες, από σεισμική άποψη είναι πολύπλοκες συναρτήσεις πολλών μεταβλητών, από τις οποίες μία είναι η συχνότητα. Προσέχοντας, κατά την στιγμή της δημιουργίας του σεισμικού κύματος, οι συχνότητες που θα παραχθούν να είναι σε συγκεκριμένη φασματική περιοχή, με τις προαναφερθείσες μεθοδους μπορούμε να βελτιώσουμε την διακριτική ικανότητα.

Βέβαια η χρήση συνηθισμένης ανάλυσης Fourier με τα αντίστοιχα παρόθυρα έχει σαν αποτέλεσμα την αλλοίωση της φασικής πληροφορίας που υπάρχει στις κυματομορφές.

Με την χρησιμοποίηση του αλγορίθμου του Burg, για την μεγίστη εντροπία, είμαστε πολύ αισιόδοξοι ύστερα από μερικό προκαταρκτικά πειράματα τα αποτελέσματα των οποίων θα δημοσιεύσουμε σε άλλο άρθρο.

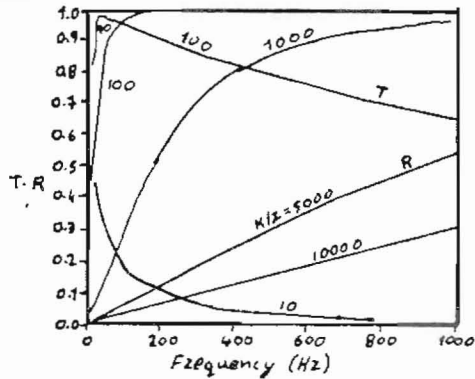
Σε μεγάλα έργα, π.χ κατασκευή σιδηρικών, όπου υπάρχει μεγάλη ποικιλία πετρωμάτων το είδος τους και η ποιότητα τους επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις εργασίες εκσκαφής και υποστήλωσης. Για αυτό τον λόγο η χρησιμοποίηση απλών γεωφυσικών μεθόδων επιφανείας μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στη μείωση του κόστους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

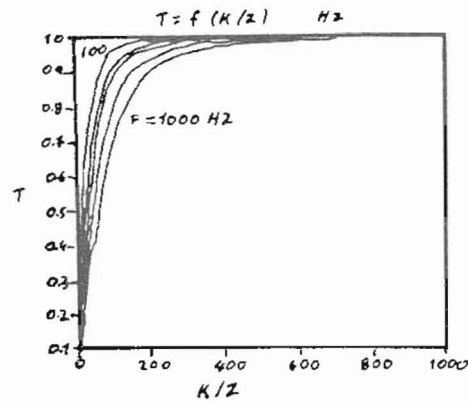
Είναι πολλοί αυτοί που συνέβαλαν με τον ένα ή με τον άλλο τρόπο σε αυτή την εργασία. Θα θέλαμε να τους ευχαριστήσουμε όλους θερμά και ιδιαίτερα τον Dr Σοφιανό Α. από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ τον Dr Roistein από την AUSEURI Ltd για τις παρατηρήσεις και την υποστήριξη που μας προσέφερε κατά την διάρκεια των εργασιών υπαίθρου στην Ελλάδα, τους κ. Θεοφανοπούλο και Feng του Πανεπιστημίου του Τοκιο για τις αντίστοιχες εργασίες στην Ιαπωνία καθώς επίσης και τον Dr Kudo από το Earthquake Research Institute για την εποικοδομητική συζήτηση πάνω σε αυτό το άρθρο.

REFERENCES

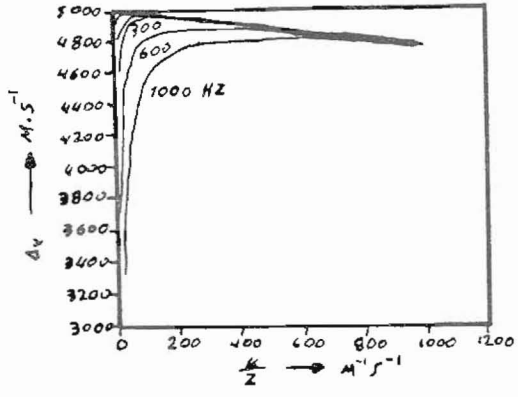
- Aki, K. and Richards, P. 1980. Quantitative Seismology: Theory and Methods. Vol. I. Freeman, San Francisco, Calif. 557pp.
- Anderson, D.L., Minster, B. and Cole, D. 1974 The effect of oriented cracks on seismic velocities: *J. Geophys. Res.* 79, 4011pp
- Burridge, R., Papadimitriou, G.S. and White, S.B. 1988 One dimensional wave propagation in a highly discontinuous medium *Wave motion*, 10, 19-44.
- Green, B., Pisoni, D. and Correll, T. 1984 Recognition of speech spectrograms: *J. Acoust. Soc. Am.* 75, 32-43.
- Hoening, A. 1979 Elastic moduli of a non-randomly cracked body: *Int. J. Solids Struct.*, 15, 137-154.
- King, M.S., 1969. Static and dynamic elastic moduli of rocks under pressure: 11th US Symposium on Rock Mechanics, Berkeley, 359-361.
- King, M.S., Meyer, L.R., and Rezwani, J.J., 1986. Experimental studies of elastic wave propagation in a columnar-jointed rock mass: *Geophys. Prosp.*, 34, 1185-1199.
- Kuster, G.T., and Toksoz, M.N., 1974. Velocity and attenuation of seismic waves in two-phase media: Part 2 Experimental Results: *Geophysics*, 39, 607-618.
- Moos, D. and Zoback, M.D., 1983, In situ studies of velocity in fractured crystalline rocks: *J. Geophys. Res.*, 88, B3, 2345-2358.
- Nur, A., and Simmons, G., 1969 The effect of saturation on velocity in low porosity rocks: *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7, 183-193.



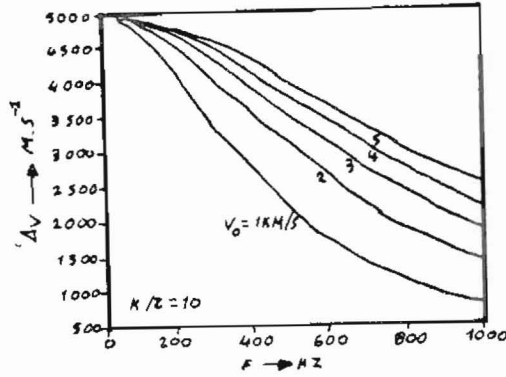
Σχ 1α. Συντελεστές ανακλάσεως και μεταδόσεως ως προς την συχνότητα για διακριτικά μεγέθη συννεύων



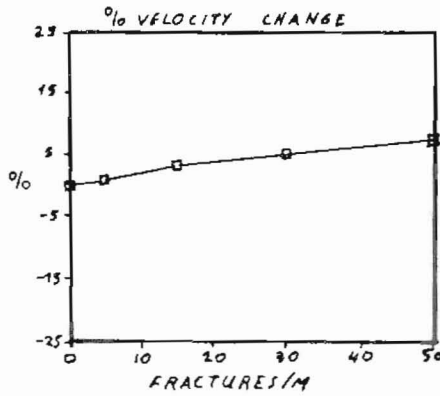
Σχ 1β Συντελεστής μεταδόσεως σε σχέση με το άνοιγμα της ρωγμής



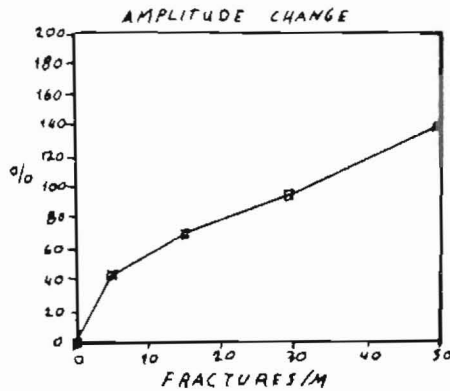
Σχ 2α. Διαφορά της ταχύτητας σε σχέση με το άνοιγμα της ρωγμής.



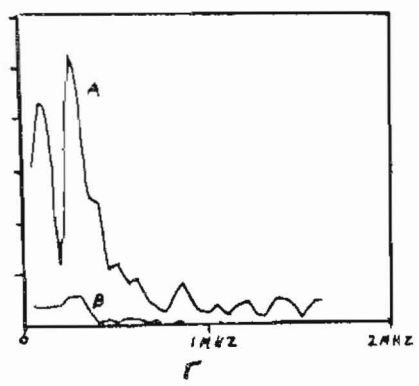
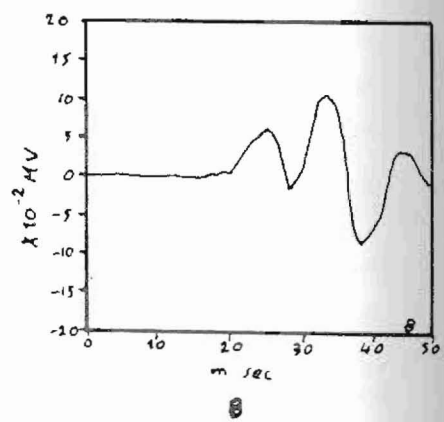
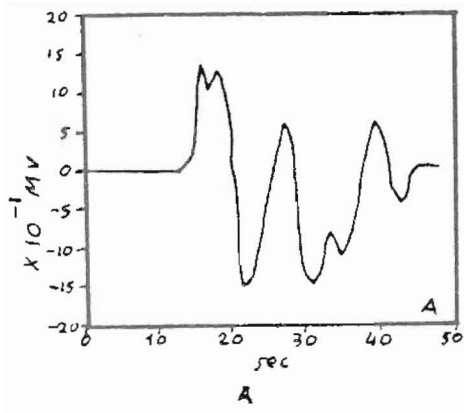
ΣΧ 28. Η διαφορά της ταχύτητας ως προς την συχνότητα.



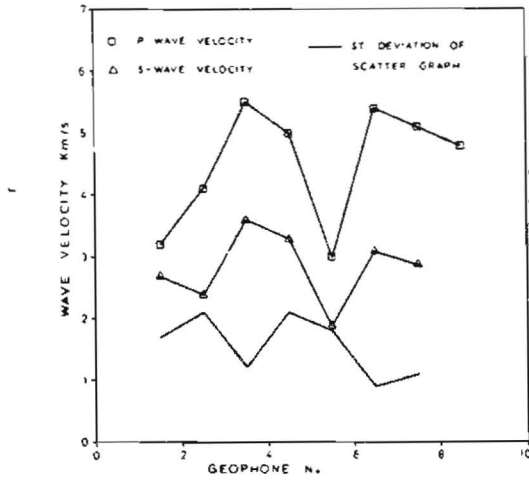
ΣΧ 2α. Ποσοστιαία μεταβολή της μετρούμενης ταχύτητας για τον ασβεστόλιθο.



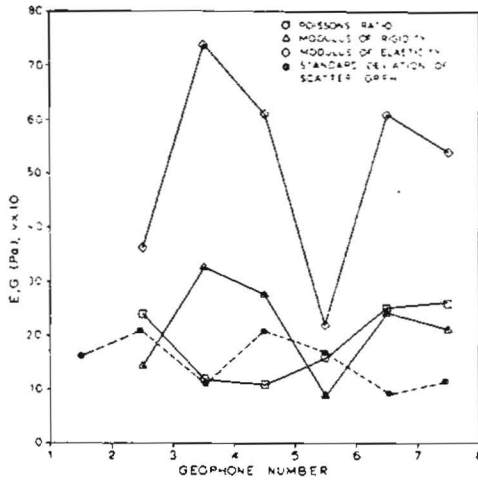
ΣΧ 38. Ποσοστιαία μεταβολή του μετρούμενου πλάτους της κυματομορφής για τον ασβεστόλιθο.



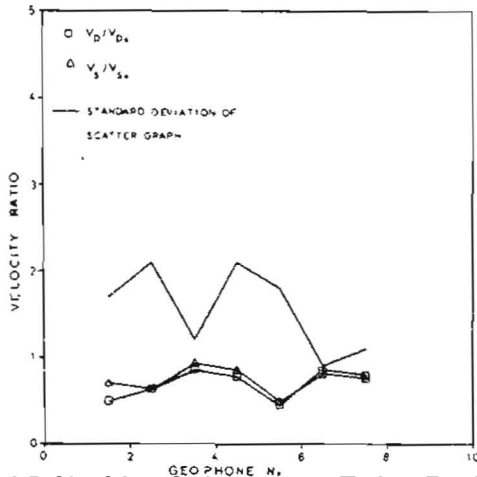
ΣΧ 4 Κυματομορφές (α) ρυπαράχους, (β) σφρατισμένου πετρώματος καθώς και τα αντίστοιχα (γ) φάσμα των πλάστων



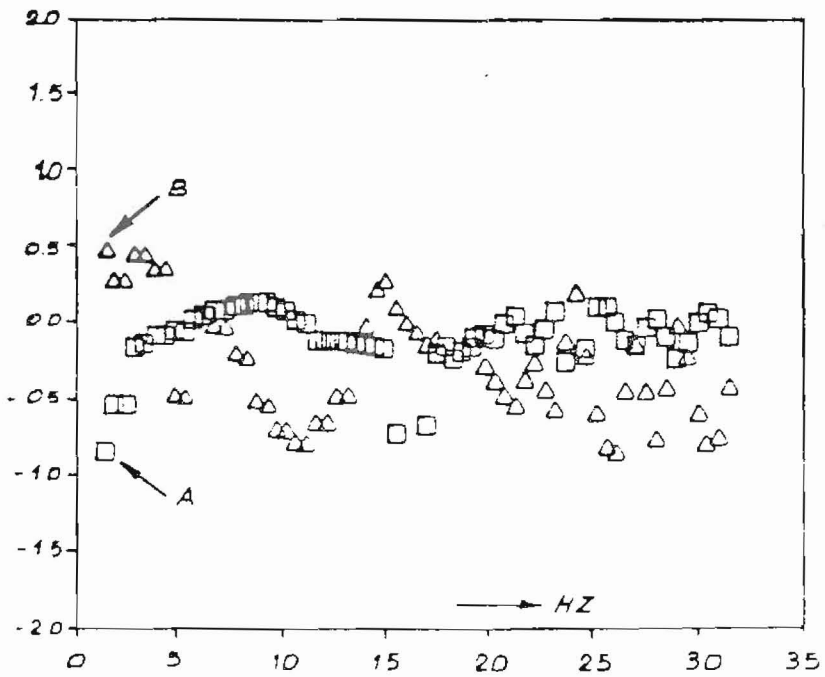
ΣΧ.5α. Μεταβολή της ταχύτητας των P και S κυμάτων καθώς και της παραμέτρου LSSD.



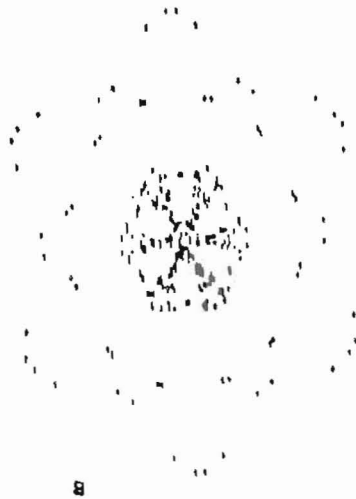
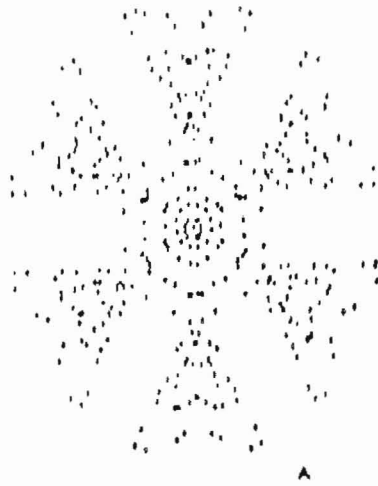
ΣΧ.5β. Συγκριση της μεταβολής της LSSD και των δυναμικών ελαστικών σταθερών.



Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
ΣΧ.5γ. Μεταβολή των V_D/V_{D_0} , V_S/V_{S_0} και της LSSD.



ΣΧ 6 Σύγκριση της ληθαριέλικης εισφοράς του φασματος των ηλάτων σε (Α) ομοπαχές και σε (Β) ριχματωμένο πέτρωμα.



ΣΧ.7 Η Optical Green Functions (OGF) για το παρόδειγμα του σχήματος 6.