

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΜΑΖΩΝ

Υπό Αθαν. Πλατή, Πολιτικού Μηχ/κού +

I. ΓΕΝΙΚΑ

Παρ' όλον ότι τὸ θέμα της ευστάθειας φυσικῶν πρανῶν σε οποιoδήποτε τύπο εδάφους εἶναι γενικὸ και δεν μπορεί να καλυφθῇ μέσα στὰ στενὰ πλαίσια αὐτῆς της εισηγήσης, θα προσπαθῆσουμε παρακάτω να διξουμε τα κυριώτερα χαρακτηριστικὰ των κατολισθήσεων, τις παραμέτρους του εδάφους που σχετίζονται με την ευστάθεια των φυσικῶν πρανῶν καθὼς και τους παράγοντες που επηρεάζουν αὐτὲς τις παραμέτρους ειδικὰ και την ὅλη ευστάθεια των φυσικῶν πρανῶν γενικώτερα, δίνοντας μεγαλύτερη ἔμφαση στους τύπους των εδαφῶν που εμφανίζουν πιδ συχνὰ προβλήματα κατολισθήσεων στὴν Ελλάδα.

Οι κατολισθήσεις δημιουργοῦνται ἀπὸ δυνάμεις βαρύτητας ή/ και ἀπὸ ἀδρανειακὲς δυνάμεις (σεισμική δράση). Οι κῆριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οκοιο αστοχεῖ εἶνα πρανὲς λόγω αὐτῶν των δυνάμεων εἶναι:

- Γεωλογία.
- Υδρολογία.
- Τοπογραφία.
- Κλίμα.
- Εξαλλοζωση.

Παρακάτω δίνονται οι διάφοροι τύποι κατολισθήσεων και εδαφῶν με προβλήματα κατολισθήσεων, που συνήθως παρατηροῦνται στην φύση.

I.I. Τύποι κατολισθήσεων

Ο S kempton (1969) διακρίνει τους παρακάτω πέντε βασικοὺς τύπους κατολισθήσεων (βλ.σχ. I):

- Πτώση (συνήθως σε προστερεοποιημένους αργίλλους - βλ. σχ. Iα).
- Ολίσθηση με κίνηση περιστροφική . Η κίνηση μπορεί νά εἶναι κυκλική (ομοιογενὲς ὑλικὸ, συνήθως κανονικὰ στερεο-

ποιημένες αργίλλοι) ή μη (ανομογενείς, ανισότροπο υλικό, συνήθως προστερεοποιημένες αργίλλοι) (βλ. σχ. Ιβ).

- Σύνθετη ολίσθηση (περιστροφική και μεταφορική κίνηση, συνήθως πάνω σε μία επαφή με ετερογενές υλικό, π.χ. λεπτή στρώση μαλακής αργίλλου, τεκτονική ρωγμή, βράχος, κλπ., βλ. σχ. Ιγ).
- Ολίσθηση με κίνηση μεταφορική (πάνω σε επαφή με ετερογενές υλικό όπως παραπάνω, βλ. σχ. Ιδ).
- Ροή ("Flow" - επιφανειακή ολίσθηση εδάφους με την μορφή ροής ρευστού μεγάλου ιξώδους, βλ. σχ. Ιε).

Υπάρχουν και πέντε σύνθετοι τύποι κατολισθήσεων που αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω 5 βασικών τύπων.

1.2. Τύποι εδαφών

1.2.1. Αργίλλοι

Ο Skempton (1969) έχει κατατάξει τις αργίλλους στις παρακάτω επί μέρους κατηγορίες, βελτιώνοντας μία παλαιότερη ομαδοποίηση του Terzaghi (1936).

- Μαλακές μη ρηγματωμένες αργίλλοι.
- Μαλακές ρηγματωμένες αργίλλοι.
- Σκληρές μη ρηγματωμένες αργίλλοι.
- Σκληρές ρηγματωμένες αργίλλοι.

1.2.2. Άμμοι.

1.2.3. Συνδυασμοί άμμων και αργίλλων.

1.2.4. Ευαίσθητες αργίλλοι (quick clays, εδάφη καταρρέουσας δομής (Collapsible soils)).

1.2.5. Κορήματα πλαγιών (colluvial slopes).

1.2.6. Στρωσιγενείς αργίλλοι (varved clays).

1.2.7. Αυτόχθονα εδάφη (residual soils).

2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΟΝ

2.1. Μέγιστη αντοχή (Peak strength)

Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

2.1.1. Βαθμός προστερεοποίησης

2.1.2. Δομή

- Μακροδομή (ρωγμές, κανονικές ασυνέχειες (joints) στιλπνές ασυνέχειες (slickensides), κ.λ.π.)
- Μικροδομή (μικροσκοπικές ασυνεχείς επιφάνειες διάτμησης, ιστός, πυκνότητα, κλπ).

2.1.3. Βαθμός εξαλλοίωσης

2.1.4. Αντοχή διαγενετικών δεσμών

2.1.5. Μέγεθος δείγματος

Ειδικότερα για τις σκληρές ρηγματωμένες αργίλλους, έχει παρατηρηθεί μία μείωση της συνοχής (απόκομμα α' στον άξονα των τεταγμένων του διαγράμματος τ-σ') με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η μακροπρόθεσμη μείωση της συνοχής μπορεί να συσχετισθεί με την εξαλλοίωση, την προοδευτική θραύση ή το "μαλάκωμα" (softening) που προέρχεται από διόγκωση και αβήση της φυσικής υγρασίας στην ζώνη διάτμησης (Ghandler and Skempton, 1974). Αντίθετα, η γωνία εσωτερικής τριβής δεν φαίνεται να παρουσιάζει κάποια αξία λόγω μεταβολή με τον χρόνο.

Ένας άλλος λόγος που μπορεί να οδηγήσει σε μία φαινομενική μείωση της αντοχής με τον χρόνο, στις έντονα προστερεοποιημένες αργίλλους και πάλι, είναι η αβήση των διατμητικών τάσεων, υπό αστράγγιστες συνθήκες, που προκαλείται από την εκσκαφή, η οποία οδηγεί σε μείωση της πίεσης πόρων και σε αντίστοιχη αβήση των ενεργών τάσεων. Λόγω όμως της μετακίνησης του νερού των πόρων προς τις ζώνες υψηλών διατμητικών τάσεων (εξισορρόπηση πιέσεων πόρων), οι ενεργοί τάσεις μειώνονται, με επακόλουθο μία πιθανή αστοχία του πρானός. Σε

περιπτώσεις όπου η διαπερατότητα της αργίλλου είναι πολύ χαμηλή (σ' αυτό μεγάλο ρόλο παίζει και ο μικρός βαθμός ρηγματώσης της αργίλλου), ο παραπάνω μηχανισμός εξισορρόπησης της πίεσης πόρων μπορεί να διαρκέσει για πολλές δεκάδες χρόνια και η αστοχία του κρανούς να συμβεί μετά 40 ως 50 χρόνια (Skempton, 1977) ή και ακόμα αργότερα. Τα παραπάνω φαίνονται παραστατικά στην "τασική οδευση" (stress path) του σχήματος 2.

2.2. Απομένουσα αντοχή (Residual strength)

Είναι η ελάχιστη αντοχή που παρουσιάζει το έδαφος σε εξαιρετικά μεγάλες παραμορφώσεις κάτω από συνθήκες πλήρους στράγγισης (ο ρυθμός διάτμησης πρέπει να είναι αρκετά αργός ώστε να είναι δυνατή η στερεοποίηση ή διδγκωση του έδαφους κατά την διάτμηση). Περαιτέρω διατμητική παραμόρφωση του έδαφους, μετά την πτώση της αντοχής στην απομένουσα, δεν προκαλεί άλλη μεταβολή όγκου στην ζώνη διάτμησης (βλ. σχ. 3).

Η απομένουσα αντοχή εξαρτάται:

- Από το ποσοστό και την σύνθεση της αργίλλου που περιέχεται στο έδαφος (Kennedy, 1967, 1977, βλ. σχ. 4).
- Από τα όρια Atterberg (τα οποία επίσης εξαρτώνται από τον τύπο της αργίλλου) (Voight, 1973 - Kanji, 1974, 1977, βλ. σχ. 5).
- Από τα απορροφημένα κατιόντα adsorbed cations για ένα δεδομένο τύπο αργίλλου (σημαντικός παράγοντας για τις ευαίσθητες αργίλλους).
- Από την συγκέντρωση αλάτων στο νερό των πόρων (σημαντικός παράγοντας για τον Μοντιοριλλονίτη Νατρίου - Kennedy 1967, 1977, βλ. σχ. 4).
- Από το μέγεθος των τάσεων, μόνο για χαμηλές τάσεις (Kennedy 1967 - Bishop et al. 1971 - Chattopadhyay, 1972, βλ. σχ. 6,7).

Η απομένουσα αντοχή ελέγχει τις μετακινήσεις κρανών εκεί όπου προυπάρχουν επιφάνειες ολίσθησης (Skempton, 1964, 1971). Τέτοιες προυπάρχουσες επιφάνειες ολίσθησης μπορεί να έχουν δημιουργηθεί είτε από προηγούμενη ολίσθηση είτε από τεκτονικές κινήσεις (Skempton, 1966 - Pickney and Lee)

Προκειμένου η ενεργοποιημένη αντοχή, κατά μήκος μίας πρωτοδμιουργούμενης επιφάνειας ολίσθησης, να πέσει στην απομένουσα, απαιτούνται μετακινήσεις της τάξης των 1-2 m (Skempton, 1977). Η απομένουσα αντοχή σχετίζεται με έντονο προσανατολισμό των σωματιδίων της αργίλλου κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης.

2.3. Προοδευτική θραύση (Progressive failure)

Ο όρος προοδευτική θραύση, όπως αρχικά ορίστηκε από τον Terzaghi υποδηλώνει την διάδοση της θραύσης από κάποιο σημείο μίας πιθανής επιφάνειας ολίσθησης προς τα άκρα της επιφάνειας αυτής. Το φαινόμενο αυτό δημιουργείται από ανομοιομορφες τάσεις και παραμορφώσεις που αναπτύσσονται κατά μήκος μίας τέτοιας επιφάνειας. Λόγω της προοδευτικής θραύσης, η τάση που αναπτύσσεται σε κάποιο τυχαίο σημείο της επιφάνειας ολίσθησης, σε μία δεδομένη στιγμή, δεν είναι απαραίτητα η μέγιστη αντοχή αλλά κάποια άλλη χαμηλότερη τιμή, ανάλογα με το αν η διατμητική τάση στο σημείο αυτό έχει ξεπεράσει ή όχι την μέγιστη διατμητική αντοχή.

Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο στα υλικά που παρουσιάζουν εντατική εξασθένηση (strain softening materials, π.χ. σκληρές άργιλλοι), τα οποία εμφανίζουν απότομη πτώση της αντοχής τους για μετακινήσεις μεγαλύτερες από αυτή που αντιστοιχεί στην μέγιστη αντοχή. Αν η μετακίνηση σε κάποιο σημείο είναι αρκετά μεγάλη, η αντοχή μπορεί τελικά να πέσει στην οριακή τιμή της απομένουσας αντοχής. Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι στην ακραία περίπτωση της οριακής ισορροπίας ενός κρανός, η "ενεργοποιημένη" (operative) αντοχή κατά μήκος της πιθανότερης επιφάνειας θραύσης μπορεί να ποικίλει από την απομένουσα, στο σημείο εκκίνησης της προοδευτικής θραύσης, μέχρι την μέγιστη, στο σημείο που θα αστοχήσει τελευταίο.

Από αναλύσεις των αναπτυσσόμενων διατμητικών τάσεων σε κρανή εκσκαφής, που έχουν γίνει με την μέθοδο των κεπερασμένων διαφορών (Bishop, 1952, 1967) ή των κεπερασμένων στοιχείων (Brown και King, 1966 - Duncan και Bishop, 1966 - Dunlop και Duncan, 1970 - Lo και Lee, 1973 - Πατής, 1980 - βλ. σχ. 9, 10) σε υλικά με διάφορους νόμους συμπεριφοράς όπως γραμμική ελαστικότητα (Bishop 1952, 1967 - Brown και King.

1966- Duncan και Bishop 1966 - Πλατής, 1980), ελαστοπλαστική θλιπτική (Dunlop και Duncan, 1970 - βλ. σχ. 8) ή φαθυρά υλική (Lo και Lee, 1973 - βλ. σχ. 8) φαίνεται ότι η πιθανότερη περιοχή έναρξης της προοδευτικής θραύσης σε φαθυρά εδάφη ή σε εδάφη με μεγάλες οριζόντιες τάσεις ηρεμίας (π.χ. έντονα προφορτισμένες άργιλλοι) είναι ο πόδας του κρανοδός (βλ. σχ. 9, II). Στο σχ. 12 φαίνεται η μεταβολή του λόγου τ/σ_h κατά μήκος μίας πιθανής επιφάνειας ολίσθησης του κρανοδός του σχ. 10, για δύο περιπτώσεις εδαφών (μία ελαφρά και μία έντονα προφορτισμένη άργιλλος αντίστοιχα). Παραρρηρείται και στις δύο περιπτώσεις υπέρβαση του μέγιστου λόγου τάσεων T_p/σ_h (και κατά συνέπεια τοπική θραύση) στην περιοχή του κοδός του κρανοδός, στη περίπτωση όμως της έντονα προφορτισμένης άργιλλου το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο (η υπέρβαση αυτή εκτείνεται στο 29% του συνολικού μήκους της επιφάνειας ολίσθησης). Επίσης είναι φανερό η έντονη διακομάνση της έντασης (τ/σ_h) κατά μήκος της πιθανής επιφάνειας ολίσθησης.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλον ότι από τα εκτεθέντα παραπάνω δεν προκύπτει ότι ο μηχανισμός της προοδευτικής θραύσης εξαρτάται άμεσα από τον χρόνο, υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που καθυστερούν την πλήρη εξέλιξη του φαινομένου, όπως για παράδειγμα (Bishop, 1967):

- Ο χρόνος που απαιτείται, λόγω χαμηλού συντελεστή διόγκωσης, για την εξισορρόπηση της πίεσης των πόρων που δημιουργείται από (βλ. και Skempton, 1977):

α) την αλλαγή της εντατικής κατάστασης στο έδαφος κατά την εκσκαφή ενός κρανοδός και

β) την τροποποίηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του κρανοδός, λόγω της εκσκαφής.

- Η εξαλλοίωση, δεδομένου ότι αυτή επηρεάζει τόσο την αντοχή όσο και την διαπερατότητα του εδάφους (βλ. και Bierbaum, 1966).

- Η μείωση των παραμέτρων αντοχής λόγω ερπυσμού, ιδιαίτερα όταν οι τάσεις είναι κοντά στην μέγιστη αντοχή.

2.4. Αντοχή κρίσιμης κατάστασης (Critical state strength)

Αντοχή " πλήρως μαλαχθείσας άργιλλου " ("Fully softened" strength)

Έχει παρατηρηθεί από αντίστροφες αναλύσεις πρωτογενών κατολισθήσεων, κόρια σε σκληρές ρηγματωμένες άργιλλους, ότι η αντοχή που υπολογίζεται δεν είναι ούτε η μέγιστη ούτε η απομένουσα, όπως αυτές ορίστηκαν προηγουμένα. Ειδικά για την άργιλλο του Λονδίνου η αντοχή αυτή έχει βρεθεί να είναι πλησιέστερα προς την " αντοχή κρίσιμης κατάστασης " (ο Skempton την έχει ονομάσει " αντοχή πλήρως μαλαχθείσας άργιλλου " - "Fully softened strength"). Μία κορεσμένη άργιλλος βρίσκεται στην κρίσιμη κατάσταση (Roscoe, Schofield, Wroth, 1958) όταν οποιαδήποτε περαιτέρω παραμόρφωση, σε μια στραγγιζόμενη δοκιμή, δεν επιφέρει οιαδήποτε αλλαγή της υγρασίας της άργιλλου. Η αντοχή μίας ιδεατής άργιλλου στην κρίσιμη κατάσταση αντιστοιχεί στην αντοχή μίας κανονικά στερεοποιημένης άργιλλου και η υγρασία στην κρίσιμη κατάσταση είναι εξ ορισμού ίση προς αυτή που θα είχε τελικά μία προστεροποιημένη άργιλλος λόγω διόγκωσης κατά την διάτμηση. Φυσικά στις πραγματικές άργιλλους που παρουσιάζουν ευαισθησία, ανάπτυξη δεσμών και προσανατολισμό των σωματιδίων της άργιλλου, η συμπεριφορά είναι πολύ πιο σύνθετη και ο προσδιορισμός (ή ακόμα και ο ορισμός) της κρίσιμης κατάστασης είναι πολύ δύσκολος. Έχει προταθεί (Skempton, 1970) ότι λόγω διόγκωσης και αύξησης της υγρασίας στη ζώνη διάτμησης μίας σκληρής προστεροποιημένης άργιλλου, αυτή " μαλακώνει " (Softens) και προσεγγίζει τη μέγιστη αντοχή που θα είχε αν ήταν κανονικά στερεοποιημένη και κατ'ακολουθία ότι η αντοχή αυτή μπορεί να ληφθεί κατά προσέγγιση ίση προς την μέγιστη αντοχή της ίδιας άργιλλου αφού αυτή αναζυμωθεί και επαναστεροποιηθεί. Η παραπάνω αριθμητική προσέγγιση έχει προταθεί για την άργιλλο του Λονδίνου και δεν υποδηλώνει αναγκαστικά και κάποια φυσική συσχέτιση μεταξύ της " αντοχής της πλήρως μαλαχθείσας άργιλλου " και της κρίσιμης κατάστασης ή ακόμα της μέγιστης αντοχής της κανονικά στερεοποιημένης άργιλλου. Επομένως θα πρέπει να είναι κανείς πολύ προσεκτικός στην εκλογή της κατάλληλης αντοχής προκειμένου να γίνει η ανάλυση της ευστάθειας ενός κρανοδός που δεν έχει

ποτέ αστοχήσει στο παρελθόν κέρια στις έντονα προστερεοποιη -
μένες αργίλλους.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ

3.1. Μέθοδοι οριακής ισορροπίας

Όλες οι μέθοδοι οριακής ισορροπίας (βλ. πίνακα 3.1.) έ-
χουν τέσσερα κοινά χαρακτηριστικά:

- (α) Όλες ορίζουν τον συντελεστή ασφαλείας (F) σαν τον λόγο της διατμητικής αντοχής του εδάφους (S) προς την δια-
τμητική τάση (τ) που απαιτείται ν' αναπτυχθεί για να υπάρ-
χει ισοροπία, δηλ.

$$F = S/\tau$$

- (β) Όλες περιέχουν την υπόθεση ότι η καμπύλη τάσεων -
παραμορφώσεων του υλικού δεν είναι αυτή ενός φαινομένου
(όπως π.χ. οι σκληρές ρηγματωμένες αργίλλοι) αλλά
ενός στερεοπλαστικού (rigid - plastic) υλικού
και ότι η ίδια διατμητική αντοχή (S) θα ενεργοποιηθεί
ταυτόχρονα σε όλο το μήκος της επιφάνειας ολίσθησης,
ακόμα και για μεγάλες παραμορφώσεις (δηλ. η προοδευτική
θραύση δεν μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν).

- (γ) Όλες χρησιμοποιούν μερικές ή και όλες τις εξισώσεις
ισορροπίας για να υπολογίσουν την μέση τιμή της τ
και την ορθή τάση (p) πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης
(προκειμένου να υπολογισθεί η διατμητική αντοχή από
την γνωστή σχέση $s = c + p \tan \phi$).

- (δ) Όλες περιέχουν υποθέσεις (βλ. πίνακα 3.2.) γιατί ο
αριθμός των αγνώστων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό
των διατιθεμένων εξισώσεων.

Όσον αφορά την σχετική ακρίβεια των μεθόδων αυτών
μπορούμε να παρατηρήσουμε τα παρακάτω (Duncan και Wright,
1980):

- (α) Επεινες οι μέθοδοι που ικανοποιούν όλες τις συνθήκες
ισορροπίας (μέθοδοι λογαριθμικής σπείρας, Janbu,
Spencer και Morgenstern και Price), δίνουν πρακτι-

ΠΙΝΑΚ 3.1. Χαρακτηριστικά των μεθόδων οριακής ισορροπίας (Duncan και Wright, 1980)

α/α	Μέθοδος	Υπόθεση
1	Απλή μέθοδος λωρίδων	Η συνισταμένη των πλευρικών δυνάμεων είναι παράλληλη προς την βάση κάθε λωρίδας.
2	Τροποποιημένη μέθοδος λωρίδων (Bishop)	Η συνισταμένη των πλευρικών δυνάμεων είναι ορι- ζόντια (δεν υπάρχουν κατακόρυφες δυνάμεις)
3	Γενικευμένη μέθοδος λωρίδων (Janbu)	Σημείο εφαρμογής των συνισταμένων των δυνάμεων (η θέση του σημείου εφαρμογής μπορεί να ποικίλει)
4	Μέθοδος των Morgenstern και Price	Τρόπος μεταβολής της κλίσης (θ) των πλευρικών δυνά- μεων από λωρίδα σε λωρίδα $\theta = f(x)$. Σε κάθε όριο μεταξύ λωρίδων γίνεται μία υπόθεση για την τιμή της $f(x)$ και το λ είναι ο άγνωστος.
5	Μέθοδος του Spencer	Οι πλευρικές δυνάμεις είναι παράλληλες (θ = σταθερό) Αντιστοιχεί με $f(x) = \text{σταθερό}$ στην μέθοδο των Morgenstern και Price.
6	Μέθοδοι ισορροπίας δυνάμεων (Lowe και Karafiath, Seed και Sultan, μέθοδοι των πρισμάτων κ.λ.π.)	Επίσεις πλευρικών δυνάμεων (τιμή της θ) σε κάθε όριο μεταξύ λωρίδων.
7	Μέθοδος της λογαριθμικής σπείρας	Η επιφάνεια ολίσθησης έχει μορφή λογαριθμικής σπείρας.

ΠΙΝΑΚΑ 3.2. Υποθέσεις μεθόδων οριακής ισορροπίας (Duncan και Wright, 1980)

α/α	Μέθοδος	Ικανοποιούμενες συν- θήκες ισορροπίας				Μορφή επιφά- νειας ολίσθη- σης	Πρακτική για	
		Ενδο- στατική ροπή	Ροπή κτθ λωρίδας	Κατακόρυφες δυνάμεις	Οριζόντιες δυνάμεις		Υπολογισμο με το χερί	Υπολογισμο με τον Η/Υ
1	Απλή μέθοδος λωρίδων	Ναι	Οχι	Οχι	Οχι	I	Κυκλική	Ναι
2	Τροποποιημένη μέθοδος λωρί- δων (Bishop)	Ναι	Οχι	Ναι	Οχι	N+I	Κυκλική	Ναι
3	Γενικευμένη μέθοδος λωρίδων (Janbu)	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	3N	Οποιαδήποτε	Ναι
4	Μέθοδος των Morgenstern και Price	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	3γ	Οποιαδήποτε	Οχι
5	Μέθοδος του Spencer	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	3γ	Οποιαδήποτε	Οχι
6	Μέθοδοι ισορροπίας δυνάμεων (Lowe και Karafiath, Seed και Sultan, μέθοδοι των πρισμάτων κ.λ.π.)	Οχι	Οχι	Ναι	Ναι	2γ	Οποιαδήποτε	Ναι
7	Μέθοδος της λογαριθμικής σπείρας	Ναι	—	Ναι	Ναι	3	Λογαριθμική σπείρα	Ναι

(*) Η = αριθμός λωρίδων

κά τον ίδιο συντελεστή ασφαλείας (F). Ακόμα και για ανομοιογενή εδάφη η διαφορά στην τιμή του F δεν είναι μεγαλύτερη από 15%.

- (β) Η τροποποιημένη μέθοδος του Bishop, παρ'όλο που δεν ικανοποιεί όλες τις συνθήκες ισορροπίας, δίνει σχεδόν τον ίδιο συντελεστή ασφαλείας με τις προαναφερθείσες μεθόδους.
- (γ) Η απλή μέθοδος των λωρίδων μπορεί να δώσει τιμές του F μέχρι και 50% μικρότερες από την "σωστή" τιμή, αν χρησιμοποιηθεί σε αναλύσεις με ενεργούς τάσεις και υψηλές πιέσεις πόρων. Αντίθετα σε αναλύσεις με ολικές τάσεις (χωρίς πιέσεις πόρων) η μέθοδος αυτή δίνει μικρές διαφορές από τις άλλες μεθόδους.
- (δ) Για συνθήκες $\varphi = 0^\circ$, κάθε μέθοδος που ικανοποιεί την συνθήκη των ροπών γύρω από το κέντρο μιας κυκλικής επιφάνειας ολίσθησης (μέθοδοι λωρίδων, τροποποιημένη του Bishop, Janbu, Spencer και Morgenstern, και Price) δίνει ακριβώς την ίδια τιμή του F, ανεξάρτητα από το ποιές άλλες συνθήκες ισορροπίας ικανοποιεί.
- (ε) Οι μέθοδοι που ικανοποιούν μόνο τις συνθήκες ισορροπίας δυνάμεων είναι πολύ ευαίσθητες στην εκλεγμένη κλίση των πλευρικών δυνάμεων. Για συνθήκες $\varphi = 0^\circ$, το μέγεθος του σφάλματος αυξάνει όσο πιο κεκλιμένες ως προς την οριζόντια είναι οι πλευρικές δυνάμεις και η τιμή του συντελεστή ασφαλείας μπορεί να υπερεκτιμηθεί μέχρι και 30%.
- (στ) Η μέθοδος της λογαριθμικής σκέιρας έχει εφαρμογή μόνο σε ομοιογενή εδάφη, για τα οποία είναι απόλυτα ακριβής.

3.2. Βελτιωμένες μέθοδοι οριακής ισορροπίας - Αριθμητικές μέθοδοι ανάλυσης

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσιάζεται στις κλασσικές μεθόδους ανάλυσης είναι το ότι ^{δεν} μπορεί να ληφθεί απ'ευθείας υπ'

η αντοχή έχει πέσει στην απομένουσα (βλ. π.χ. σχ. 9) και κατόπιν προσδιορίζοντας την επιφάνεια ολίσθησης με τον μικρότερο συντελεστή ασφαλείας με μία από τις κλασσικές μεθόδους οριακής ισορροπίας, λαμβάνοντας υπ'όψη κάθε φορά την κατάλληλη αντοχή (μέγιστη ή απομένουσα) σε κάθε θέση κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης.

4. ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΕΛΑΦΩΝ.

4.1. Αργίλλοι

4.1.1. Μαλακές αργίλλοι.

Η ευστάθεια πρανών σε μαλακές κανονικά στερεοποιημένες ή ελαφρά προφορτισμένες αργίλλους εξαρτάται γενικά από τον ρυθμό αύξησης της αντοχής με το βάθος, από το φαινόμενο βάρος της εδαφικής μάζας και από την κλίση του πρανός. Η επίδραση της ελαφράς υπερεστεροποίησης που υφίσταται η αργίλλος λόγω της εκσκαφής του πρανός είναι αμελητέα (Kennedy, 1963). Ανάλογα με το μέγεθος του λόγου $\frac{S_u}{p'}$ και της γωνίας εσωτερικής τριβής σε στραγγιζόμενη δοκιμή, ϕ'_d , η κρίσιμη κατάσταση ευστάθειας ενός πρανός μπορεί να είναι είτε η βραχυπρόθεσμη υπό αστράγγιστες συνθήκες, είτε η μακροπρόθεσμη υπό συνθήκες πλήρους στραγγίσισης. Πάντως, όπως αναφέρει ο Kennedy (1963), τα εδάφη που εμφανίζουν κρίσιμες συνθήκες ευστάθειας, υπό αστράγγιστες συνθήκες, είναι αυτά που έχουν χαμηλό λόγο $\frac{S_u}{p'}$ πιθανόν λιγότερο από 0,20. Η ανάλυση της ευστάθειας πρανών σ' αυτές τις αργίλλους μπορεί να γίνει με αρκετά καλή ακρίβεια με τις κλασσικές μεθόδους ανάλυσης οριακής ισορροπίας που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 3.1.

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.2., το φαινόμενο της προοδευτικής θραύσης δεν είναι πολύ έντονο στην περίπτωση των μαλακών αργίλλων, λόγω της μορφής του διαγράμματος τάσεων παραμορφώσεων τους (μικρή πτώση της αντοχής μετά τη μέγιστη, περισσότερο πλαστική συμπεριφορά). Παρ'όλα αυτά έχουν αναφερθεί

ανάλυσης οριακής ισορροπίας, λαμβάνοντας υπ' όψιν την προοδευτική θραύση. Η εργασία που απαιτείται είναι επιπλέον η αλγόριθμος την προσφέρεται για χρήση στον H/Y. Για την ειδική περίπτωση που οι παράμετροι αντοχής είναι για μέν τη μέγιστη αντοχή $\sigma' = \sigma'_p$ και $\epsilon' = \epsilon'_p$ για δε την απομένουσα αντοχή $\sigma'_{res} = \sigma'_p$ και $\epsilon'_{res} = 0$ (μιά αρκετά καλή προσέγγιση για πολλές σκληρές ρηγματωμένες αργίλλους) οι παραπάνω ερευνητές δίνουν μία σειρά διαγραμμάτων (βλ. σχ. 14) απ' όπου εύκολα μπορεί κανείς να υπολογίσει τον συντελεστή ασφαλείας ενός πρανός γνωστής γεωμετρίας, παραμέτρων αντοχής του εδάφους και στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Μειονέκτημα της μεθόδου (Vallejo, 1978) είναι το γεγονός ότι η αρχικά εκλεγόμενη πιθανή επιφάνεια ολίσθησης για ανάλυση, αντιστοιχεί στις παραμέτρους μέγιστης αντοχής και όχι στις τελικές, μετά την προοδευτική θραύση, για τις οποίες η επιφάνεια αυτή θα είναι διαφορετική. Εν πάσει περιπτώσει όμως το σφάλμα στην εκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας είναι μικρό.

Οι Lo και Lee (1973) έχουν αναπτύξει ένα πρόγραμμα H/Y με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, με το οποίο λαμβάνουν υπ' όψη την προοδευτική θραύση των υλικών που παρουσιάζουν εντατική εξασθένηση (Strain-softening Materials). Η καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων ενός τέτοιου υλικού προσεγγίζεται με τρία ευθύγραμμα τμήματα όπως αυτή του σχ. 8 (α). Το πλεονέκτημα του προγράμματος αυτού είναι ότι προσδιορίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια το τασικό πεδίο στην περιοχή του πρανός, τόσο λόγω της εκσκαφής του όσο και λόγω κάποιας άλλης αλλαγής (αλλαγή της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, αλλαγή της κλίσης του πρανός, επιβολή φορτίων ανάντι, της στέφης του πρανός κ.λ.κ.). Παρ' όλα αυτά όμως δεν μπορεί άμεσα να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας του πρανός. Αυτό μπορεί να γίνει έμμεσα υπολογίζοντας πρώτα με τη βοήθεια του προγράμματος τις περιοχές όπου

όψη η προοδευτική θραύση, ο σημαντικός ρόλος της οποίας στην ευστάθεια των πρανών κρύβει σε σκληρές αργίλλους, αναπτύχθηκε προηγουμένα.

Ένα άλλο πρόβλημα των κλασσικών μεθόδων είναι ότι θεωρούν το έδαφος σαν ένα στερεό στικό υλικό, ένα υλικό που με απειροελάχιστη παραμόρφωση οδηγείται στη μέγιστη αντοχή του και παραμένει σ' αυτή την τιμή για οσοδήποτε μεγάλες παραμορφώσεις. Κάτι τέτοιο ισχύει με αρκετά καλή ακρίβεια στην περίπτωση ολίσθησεων πάνω σε παλαιότερες επιφάνειες ολίσθησης, όπου η αντοχή που επικρατεί είναι η απομένουσα (και με την προϋπόθεση ότι δεν έχει δημιουργηθεί κάποια "συνοχή" λόγω χημικών δεσμών στην παλαιά επιφάνεια ολίσθησης). Επίσης με σχετική καλή ακρίβεια κάτι τέτοιο ισχύει και για κάθε τύπο εδάφους που δεν παρουσιάζει σημαντική πτώση της αντοχής του μετά τη μέγιστη (π.χ. μαλακές άργιλοι).

Ένα τρίτο πρόβλημα των κλασσικών μεθόδων ανάλυσης είναι η θεώρηση ότι οι κατακόρυφες τάσεις που ασκούνται στην επιφάνεια ολίσθησης είναι ίσες με το βάρος των υπερκειμένων γαιών στο θεωρούμενο σημείο, πράγμα που δεν ισχύει γενικά όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο σχ. 13 (Tavenas et al., 1980), όπου συγκρίνονται οι κατανομές των κατακόρυφων τάσεων κατά μήκος μιας πιθανής επιφάνειας ολίσθησης ενός πρανός εκσκαφής, απ' ενός μεν κατά την μέθοδο Bishop απ' άλλου δε από μία ελαστική λύση.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα καθώς και άλλα μικρότερης σημασίας που δημιουργούνται με τις κλασσικές μεθόδους οριακής ισορροπίας, έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορες μέθοδοι για βελτίωση ή καλύτερη αξιοποίηση των σχετικών απλών αυτών μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικές από αυτές.

- Ο Skempton (1970) προτείνει για την άργιλλο του Λονδίνου την χρήση των μεγίστων παραμέτρων αντοχής που προκύπτουν μετά από αναζήτηση και εκναστερευοποίηση της αργίλλου αυτής.
- Οι Law και Lumb (1978) έχουν αναπτύξει μία μεθοδολογία

μαλακές άργιλλοι (π.χ. μαλακές άργιλλοι του Ανατολικού Καναδά, Iefebvre . 1981) . οι οποίες, λόγω ασταθούς δομής, εμφανίζουν μεγάλη πτώση της αντοχής τους μετά τη μέγιστη (κατάρευση ασταθούς δομής) και για τις οποίες το φαινόμενο της προοδευτικής θραύσης είναι κυρίαρχο. Λόγω των παραπάνω φαινομένων οι μαλακές αυτές άργιλλοι συμπεριφέρονται σε πολλά σημεία όπως οι σκληρές ισχυρά προφορτισμένες άργιλλοι (βλ. επόμενη παράγραφο).

4.1.2. Σκληρές άργιλλοι

Παρουσιάζουν γενικά φαθυρή συμπεριφορά και μπορεί να είναι ρηγματωμένες ή μη. Η προοδευτική θραύση είναι ο κυριότερος τρόπος πρωτογενούς αστοχίας πρανών σε αυτές τις άργιλλους, ενώ η απομένουσα αντοχή επικρατεί σε δευτερογενείς κατολισθήσεις. Απαντώνται συχνά στον Ελληνικό χώρο και έχουν δημιουργήσει ίσως το μεγαλύτερο αριθμό προβλημάτων όσον αφορά την ευστάθεια φυσικών πρανών. Τα προβλήματα πηγάζουν από την δυσκολία εκτίμησης των καταλλήλων παραμέτρων αντοχής για αναλύσεις ευσταθείας πρανών, όπως λεπτομερέστερα αναπτύχθηκε στις παραγράφους 2.3 και 3.2.

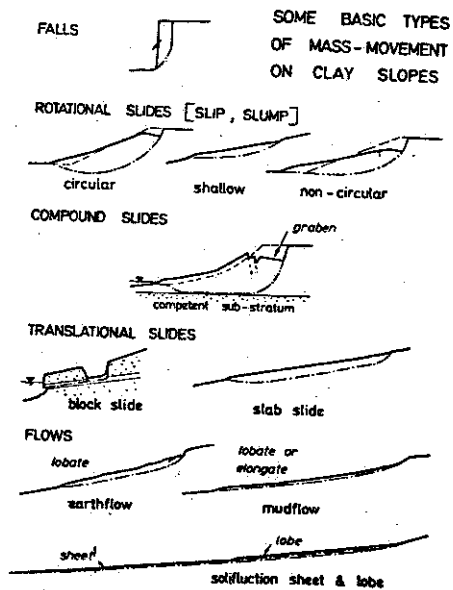
Σαν ένα γενικό κανόνα μπορεί να πει κανείς ότι αν σε μια περιοχή δεν υπάρχουν παλαιές κατολισθήσεις, είναι μάλλον απίθανο μέτριες κατασκευαστικές εργασίες να δημιουργήσουν μία νέα κατολίσθηση. Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει πίνακες σαν αυτούς του σχ. 14 προκειμένου να κάνει μία πρώτη εκτίμηση πριν προχωρήσει σε λεπτομερέστερη ανάλυση, η οποία θα λαμβάνει με κάποιο τρόπο υπ' όψη της το φαινόμενο της προοδευτικής θραύσης. Επίσης, επί τόπου δοκιμές σε μεγάλου μεγέθους δοκίμια βηθηθούν σε μία πιο αντικειμενική εκτίμηση της T_r . Αντίθετα με τα παραπάνω, αν σε μία περιοχή υπάρχουν πολλές παλαιές κατολισθήσεις, ακόμα και ασήμαντες κατασκευαστικές εργασίες μπορεί να οδηγήσουν σε νέα κατολίσθηση. Σ' αυτές τις περιπτώσεις (παλαιές κατολισθήσεις) καθώς και σε περιοχές όπου είναι διαπιστωμένη η ύπαρξη τεκτονικών διατημητικών ζωνών, οι αναλύσεις ευσταθείας είναι σκόπιμο να γίνονται με βάση την απομένουσα αντοχή της άργιλλου, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί με αρκετά καλή ακρίβεια στο εργαστήριο σε προδιατεταμένα και κα-

τάλληλα επεξεργασμένα δείγματα είτε με διαδοχικές απλές διατημώσεις προς την ίδια πάντα διεύθυνση ή με διαδοχικές τριαξονικές στραγγιζόμενες δοκιμές, με κάποια μικρή μετάτρωση της συμβατικής συσκευής τριαξονικής θλίψης (βλ. Πλατής, 1980).

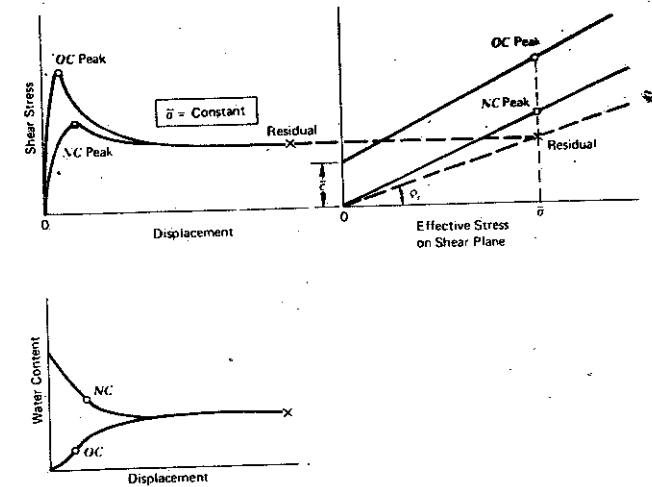
4.2. Κορήματα πλαγιών

Προέρχονται από την εποσθέρωση και μηχανική μεταφορά λόγω βαρύτητας του μητρικού πετρώματος. Η σύνθεσή τους εξαρτάται από το είδος του μητρικού πετρώματος. Γενικά η ανάλυση της ευστάθειας ενός πρανός σε κορήματα πλαγιών είναι κοινόπλοκη. Ο λόγος είναι ότι είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να ληφθούν δείγματα από ^{τις επιφάνειες} παλαιότερων ολισθήσεων, οι οποίες πολύ συχνά απαντώνται στα κορήματα πλαγιών. Ανάλογα με την φύση των κορημάτων, μπορεί να ενυπάρχει και το φαινόμενο της προοδευτικής θραύσης. Συνήθως η συμπεριφορά τους είναι φαθυρή. Πολλές φορές παρατηρούνται στα κορήματα διαδοχικές αβαθείς ολισθήσεις, από τον πόδα προς την στέψη του πρανός, οι οποίες καταλήγουν τελικά σε μία γενική ολίσθηση του πρανός πάνω στη επιφάνεια επαφής κορημάτων - μητρικού πετρώματος.

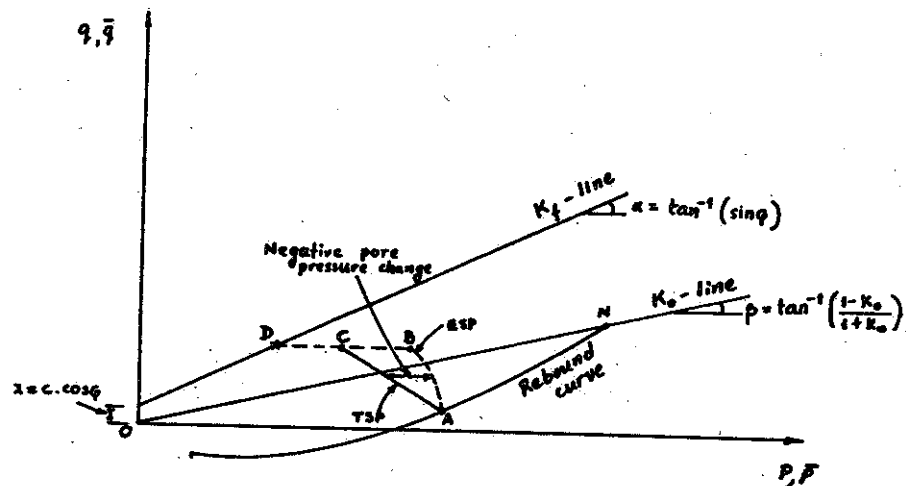
Γενικά στις περιπτώσεις κορημάτων πλαγιών απαιτείται πολύ προσεκτική και εμπειριστατωμένη εδαφοτεχνική έρευνα, με εντοπισμό τυχόν παλαιότερων επιφανειών ολίσθησης, λήψη μεγάλων κυβικών δειγμάτων (block samples) και προσδιορισμό της απομένουσας αντοχής στο εργαστήριο, προκειμένου να γίνει ή ανάλυση της ευστάθειας με αυτήν (την T_r) για μεγαλύτερη ασφάλεια.



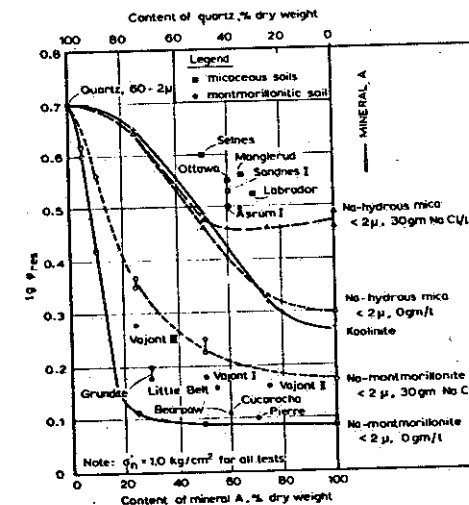
Σ X.1 Μερικοί βασικοί τύποι κατολισθήσεων (Skempton και Hutchinson, 1969).



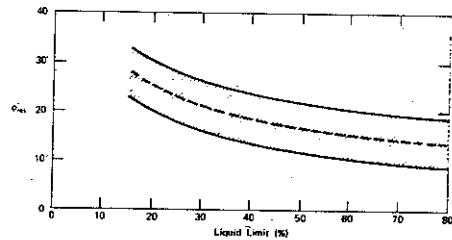
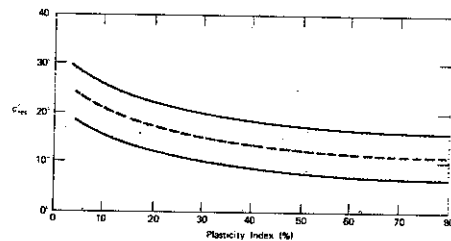
Σ X.3 Διατμητικά χαρακτηριστικά αργίλλων υπό συνθήκες πλήρους στράγγισης.



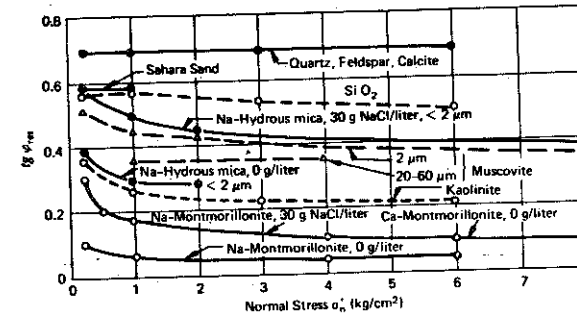
Σ X.2 Τυπική ταστική όδευση για ένα πρανές εκσκαφής σε μία προφορτισμένη άργιλλο.



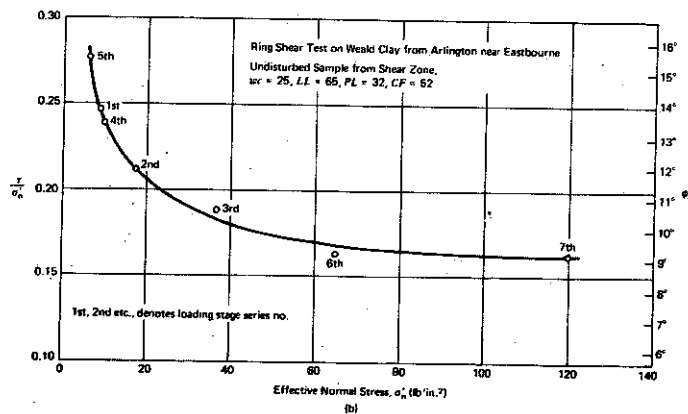
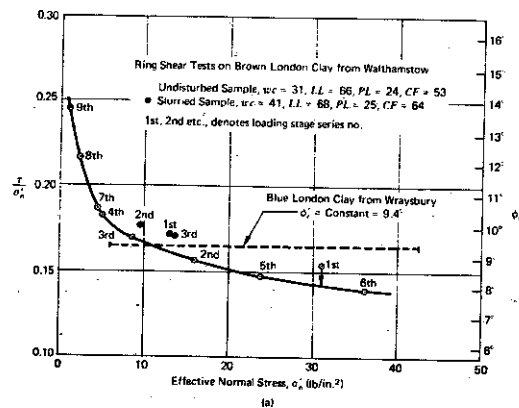
Σ X.4 Γωνίες εσωτερικής τριβής απομένουσας αντοχής για μίγματα αργίλλου-χαλαζία και φυσικά εδάφη (Kenney, 1967).



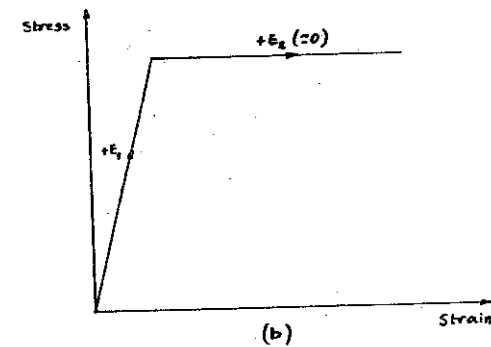
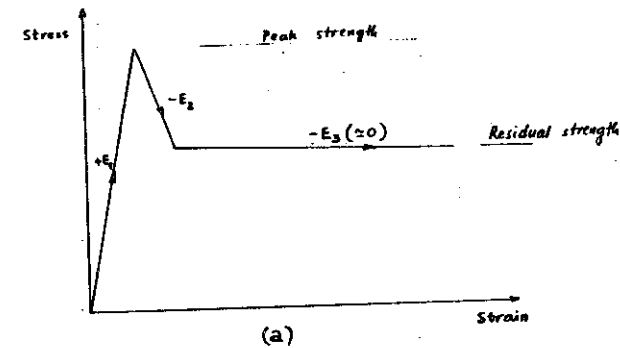
Σ X.5 Σχέση μεταξύ ϕ_{res} και πλαστικότητας (Mitchell, 1976).



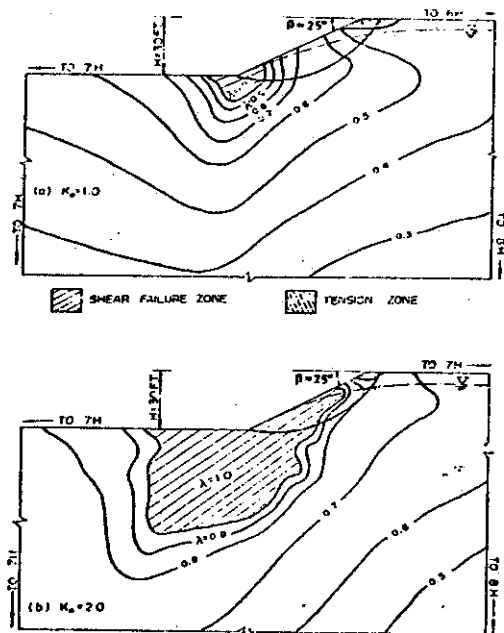
Σ X.7 Σχέση μεταξύ ϕ_{res} και ορθής τάσης για διάφορα ορυκτά (Kenney, 1967).



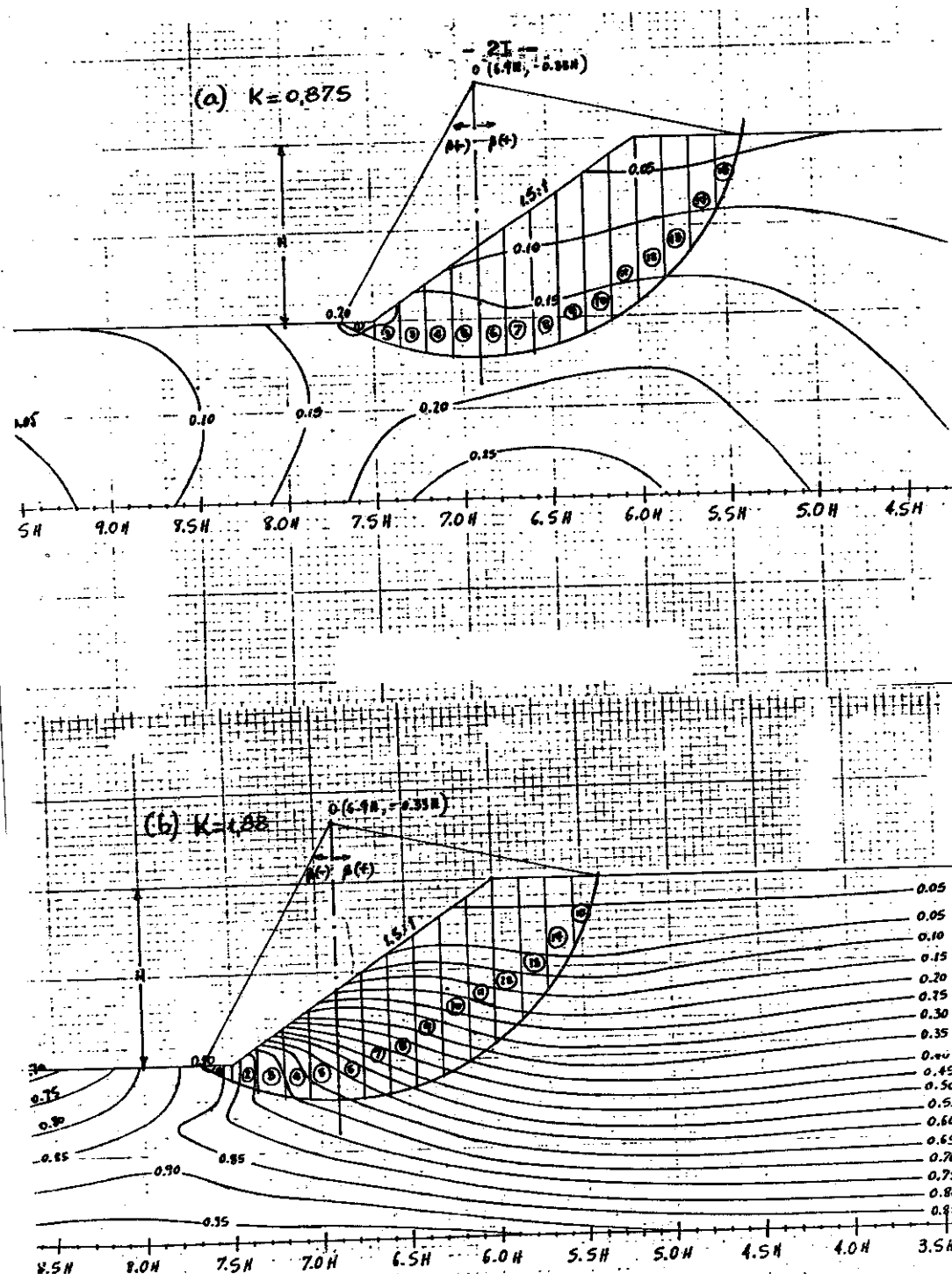
Σ X.6 Μεταβολή ϕ_{res} συναρτήσει του μεγέθους των τάσεων (Bishop et al, 1971) (α) Brown London clay (β) Weald clay.



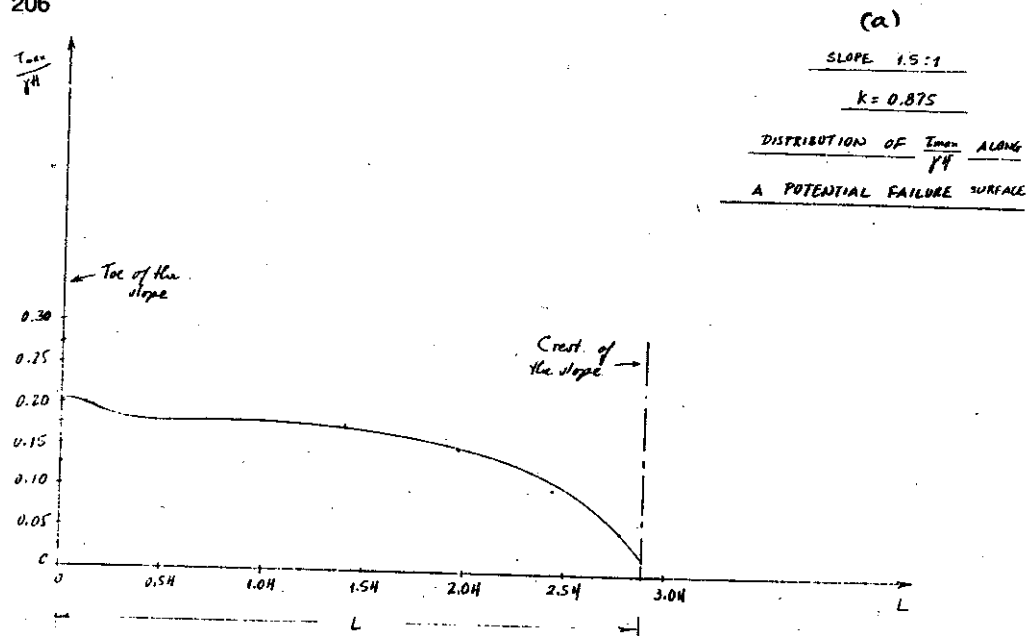
Σ X.8 Αναλυτικά μοντέλα εδαφών: (α) Υλικό που παρουσιάζει εντατική εξασθένιση (strain-softening material) (β) Ελαστοπλαστικό υλικό.



Σ Χ.9 Καμπύλες επίπεδου τάσεων, από ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία σε υλικό που παρουσιάζει εντατική εξασθένηση (strain-softening material) (Lo και Lee, 1973)

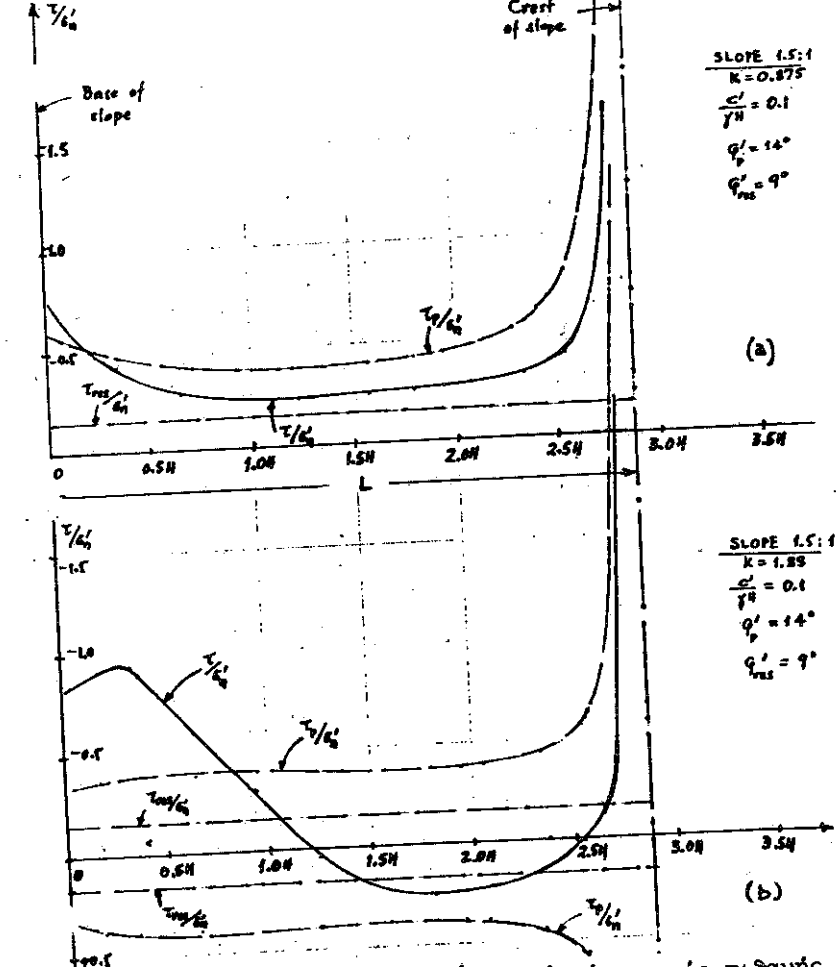
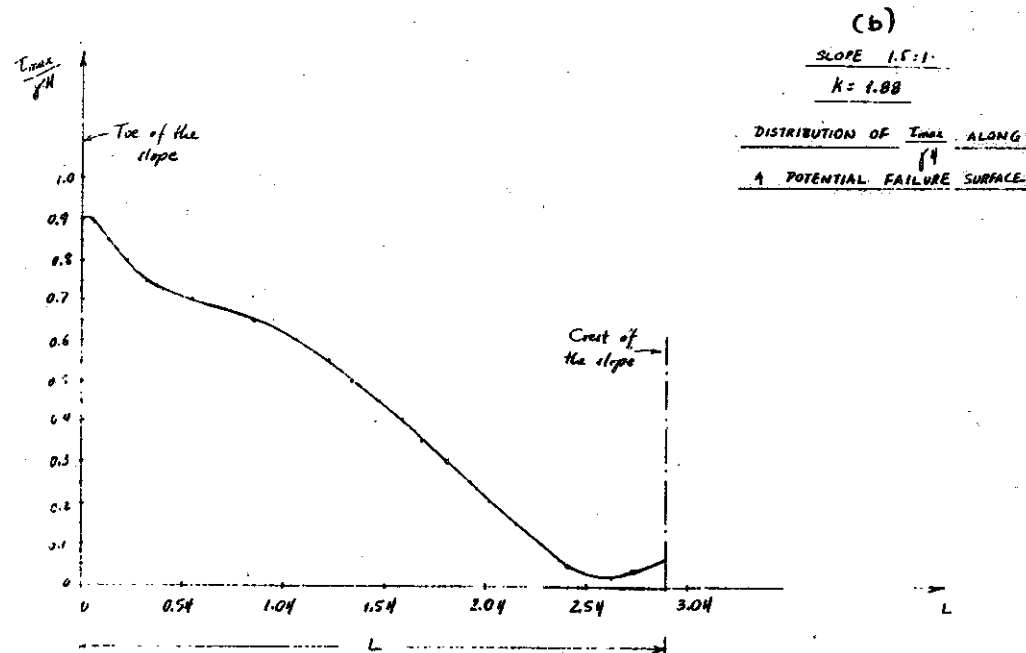


Σ Χ.10 Καμπύλες $\sigma_{\max}/\sigma_H$ για: (α) $K=0,875$ (β) $K=1,88$ (Πλατής, 1980).

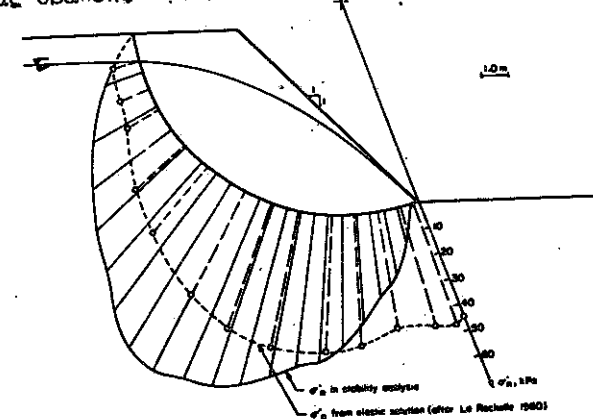


Σ X.11 Κατανομή $\tau_{max}/\gamma H$ κατά μήκος μίας πιθανής επιφάνειας θραύσης :

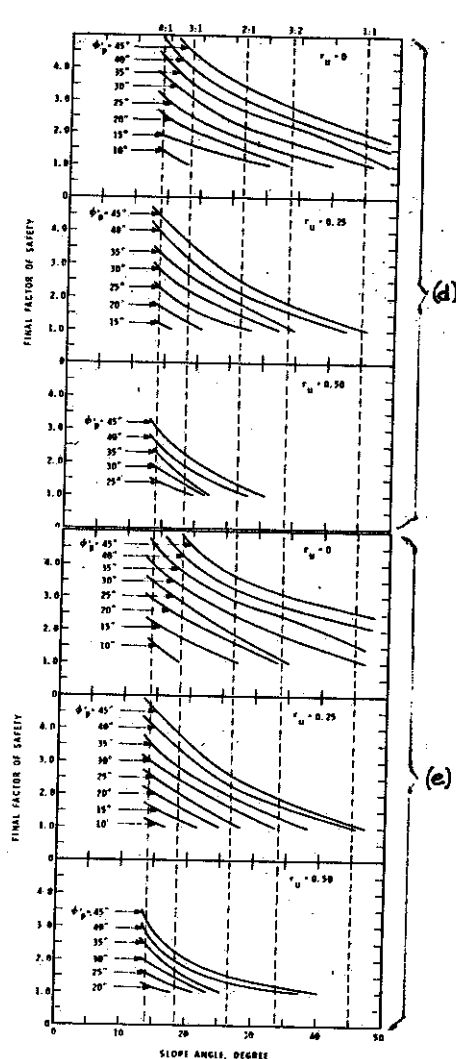
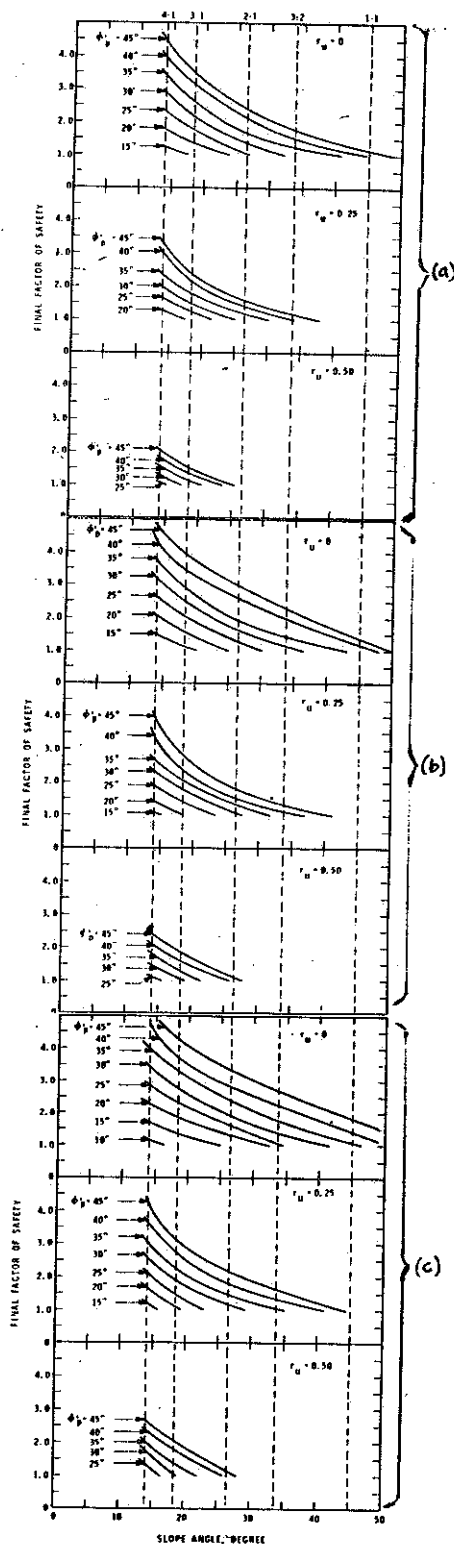
(a) $K = 0,875$ (b) $K = 1,88$ (Πλατής, 1980) ...



Σ X.12 Μεταβολή του λόγου τ/σ'_n κατά μήκος μίας πιθανής επιφάνειας θραύσης : (a) $K = 0,875$ (b) $K = 1,88$ (Πλατής, 1980).



Σ X.13 Κατανομές κατακορύφων τάσεων κατά μήκος μίας πιθανής επιφάνειας ολίσθησης κατά τη μέθοδο Bishop και από μία ελαστική λύση (Tavenas et al, 1980).



Σχ.14 Διαγράμματα υπολογισμού ευ -
στάθειας πρανών σε εδάφη με
παραμέτρους ϕ_p', c_p' ,
 $\phi_p' = \phi_p', c_p' = 0$ (Law and Lumb,
1978)

- a) $c'/\gamma H = 0,025$
 b) $c'/\gamma H = 0,050$
 c) $c'/\gamma H = 0,075$
 d) $c'/\gamma H = 0,100$
 e) $c'/\gamma H = 0,125$

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tavenas F., Trak B., Leroueil S. (1980)
 "Remarks on the validity of stability analyses",
 Canadian Geotechnical Journal, Vol.17, P.61 - 73.
2. Law K.T., Lumb P. (1978)
 "A limit equilibrium analysis of progressive failure
 in the stability of slopes", Can. Geot. Journal, Vol.
 15, P. 113 - 122.
3. Vallejo L.E. (1978)
 "A limit equilibrium analysis of progressive failure
 in the stability of slopes: Discussion", Can. Geot. Journal,
 Vol. 15, P.617-618.
4. Platis A.D. (1980)
 "The stability of cuts in the Friars Formation- An in-
 vestigation of the long-term stability of slopes in stiff,
 fissured clays and shales" M.Eng. Thesis, University of Cali-
 fornia, Berkeley.
5. Duncan J.M., Wright S.G. (1980)
 "The accuracy of equilibrium methods of slope stability
 analysis", Engineering Geology, Vol. 16, P. 5-17.
6. Skempton A.S., Hutchinson J. (1969)
 "Stability of natural slopes and embankment foundations",
 State of the Art Report, 7th Inter. Conf. SMFE, Mexico,
 1969, P.291 - 340.
7. Kenney T.C. (1963)
 "Stability of cuts in soft soils", Journal of S.M.F.D.,
 ASCE, Vol. 89, N.SM5, September 1963, P. 17-37.
8. Lefebvre G. (1981)
 "4th Canadian Geotechnical Colloquium: Strength and slope
 stability in Canadian soft Clay deposits", Can. Geot. Journal,
 Vol. 18, P.420-442.
9. Bishop A.W., Green G.E., Garga V.K., Andersen A., Brown J.D.
 (1971).
 "A new ring shear apparatus and its application to the measu-
 rement of residual strength", Geotechnique 21, No.4, P.273-323.

10. Turnbull W.J., Hvorslev M.J. (1967)
" Special problems in slope stability " , Journal of S.M.F.D., ASCE, Vol. 93, No. SM 4, July 1967, P.499-528.
11. Bishor, A.W. (1967)
" Progressive failure with special reference to the mechanism causing it, " Proc. Geot. Conf., Oslo, Vol. II, P. 142-150.
12. Bishop, A.W. (1971)
" The influence of progressive failure on the choice of the method of stability analysis, " Geotechnique 21, P. 168 - 172.
13. Bjerrum, L. (1966)
" Progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay and clay shales, " 3rd Terzaghi lecture, Journal S.M.F.D., Vol. 92, No. SM5, September 1966.
14. Brown, C.B., King, I.P. (1966)
" Automatic embankment analysis: Equilibrium and instability conditions , " Geotechnique, Vol. 16, No. 3, P. 209 - 219.
15. Chandler, R. J., Skempton, A.W. (1974)
" The design of permanent cutting slopes in stiff, fissured clays, " Geotechnique 24, No. 4, P. 457-466.
16. Chattopadhyay, P.K. (1972)
" Residual shear strength of some pure clay minerals ", Ph. D. thesis, University of Alberta, Edmonton, Canada.
17. D'Appolonia E., Alperstein R., D'Appolonia-D.J. (1967)
" Behavior of a colluvial slope ", Journal of S.M.F.D., ASCE, Vol. 93, No. SM4, July 1967, P. 447-473.
18. Duncan, 3. M., Dunlop, p. (1966)
"Slopes in stiff - fissured clays and shales ", Journal S.M.F.D., Vol. 92, No. SM2, March 1969, P.467-492.
19. Dunlop, p., Duncan, J.M. (1970)
"Development of failure around excavated slopes, " Journal S.M.F.D., Vol. 96, March 1970, P. 471-493.

20. Henkel D.J. (1967)
" Local geology and the stability of natural slopes", Journal of S.M.F.D., ASCE, Vol.93, No. SM4, July 1967, P.437 -446.
21. Kanji, M.A. (1974)
" The relationship between drained friction angles and Atterberg limits of natural soils, " Geotechnique 24, P. 671-674.
22. Kanji, M.A., Wolle, C.M. (1977)
" Residual strength- New testing and microstructure", 9th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, 1979. P.153-154.
23. Kenney, T. C. (1967)
"The influence of mineral composition on the residual strength of natural soils, " Geotech. Conf., Oslo, on shear strength properties of natural soils and rocks, Proc. Vol. I. P. 123-129.
24. Kenney, T.C. (1977)
" Residual strength of mineral mixtures, " 9th Inter. Conf. S.M. and F.E.- Tokyo, P. 155-160.
25. Lambe, T.W. (1969)
" Soil mechanics, " John Wiley & Sons, N.Y.
26. Lo, K.Y., Lee, C.F. (1973)
" Stress analysis and slope stability in strain-softening materials, " Geotechnique, Vol. 23.
27. Lo, K. Y., Lee, C. F. (1973)
" Analysis of progressive failure in clay slopes", 7th Int. Conf. SMFE, Moscow (1973), Vol. 4: 3, P. 314 - 315.
28. Mitchell, J.K. (1976)
" Fundamentals of soil behavior, " Jogh Wiley & Sons, N.Y.
29. Morgenstern, N.R. (1967)
" Shear strength of stiff clay, " Proc. Geot. Conf., Oslo, (1967) , Vol. 2, P.59 - 69.

30. Peck R.B. (1967)
 " Stability of natural slopes ", Journal of S.M.F.D.
 ASCE, Vol. 93, No. SM4, July 1967, P. 403-417.
31. Pickney, C.J., Lee, L.J.
 " The influence of bedding plane faults on the evaluation
 of landslides in western San Diego county, California, "
 Woodward-Clyde Consultants.
32. Roscoe, K.H., Schofield, A.N., Wroth, E.P. (1958)
 " On the Yielding of soils, " Geotechnique, Vol. 8, No1,
 P. 22-53.
33. Skempton, A.W. (1964)
 " Long-term stability of clay slopes, " 4th Rankine
 Lecture, Geotechnique, Vol.14, P. 77 -102.
34. Skempton, A. W. (1966)
 "Some observations on tectonic shear zones," Proc.
 1st Congr. Inst. Soc. of Rock Mech., Lisbon, (1968)
 Vol. I, P. 329-335.
35. Skempton, A.W. (1970)
 "First-time slides in O.C. clays, " Geotechnique 20,
 P.320 -324.
36. Skempton, A.W. (1977)
 " Slope stability of cuttings in Brown London clay, "
 9th Int. Conf. in Soil Mech. and Foundation Eng., Tokyo.
37. Skempton, A.W. (1978)
 "The stability of clay slopes and cuts, " Special lectu-
 res given at the University of California, Berkeley, for
 the geotechnical group of the Dept.of Civil Eng., Nov.1978.
38. Voight, B. (1973)
 " Correlation between Atterberg Plasticity limits and
 residual strength of natural soils, " Geotechnique, Vol.
 23, p.265-267.