Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκτίμηση δυναμικού ρευστοποίησης σε επιλεγμένες θέσεις στην Taiwan με βάση δεδομένα από επι-τόπου δοκιμές

Ελένη Γ. Σκλάβου

Επιβλέποντες : Παπαθανασίου Γεώργιος

Μαρίνος Βασίλειος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2018

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκτίμηση δυναμικού ρευστοποίησης σε επιλεγμένες θέσεις στην Taiwan με βάση δεδομένα από επι-τόπου δοκιμές

Ελένη Γ. Σκλάβου

Α.Μ.: 5207

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ : Παπαθανασίου Γεώργιος

Μαρίνος Βασίλειος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρευστοποίηση του εδάφους αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία τα κορεσμένα σε νερό αμμώδη εδάφη, χάνουν την διατμητική τους αντοχή λόγω της προοδευτικής συσσώρευσης υδατικών υπερπιέσεων των πόρων. Η ρευστοποίηση μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές για αυτό το λόγο το φαινόμενο αυτό αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα που καλείται να επιλύσει ένας γεωλόγος.

Το φαινόμενο της ρευστοποίησης παρατηρείται κυρίως σε σεισμούς και μπορεί να προκαλέσει παραμορφώσεις και μετατοπίσεις. Στη περίπτωση που η ένταση του φαινομένου καθώς και η διάρκεια είναι μεγάλη τότε επιφέρει σημαντικές βλάβες σε κτίρια (σχολεία, νοσοκομεία), τεχνικά έργα , οδοστρώματα και πρανή , τα οποία μπορεί να πάρουν καταστροφικές διαστάσεις όπως στον σεισμό του 1999 στην Ταϊβάν. Στην Ελλάδα, παρόλο που το φαινόμενο δεν έχει πάρει τόσο μεγάλες διαστάσεις , έχουν καταγραφεί εδαφικές αστοχίες σαν συνέπεια της ρευστοποίησης σε περιοχές όπως η Λευκάδα μετά από σεισμό του 2003.

Συγκεκριμένα, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετάται το φαινόμενο της ρευστοποίησης των εδαφικών σχηματισμών τόσο γενικά όσο και ειδικά στις περιοχές Yuanlin, Nantou και Wufeng, στις οποίες παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της ρευστοποίησης εξαιτίας του μεγάλου σεισμού που συνέβη το 1999 με μέγεθος 7.6Mw, στη Ταϊβάν. Τέλος, γίνεται εκτίμηση τουδυναμικού ρευστοποίησης των εδαφών με την βοήθεια ενός λογισμικού σε συνδυασμό με τις γεωτρήσεις που λήφθηκαν από τις παραπάνω περιοχές.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Παπαθανασίου Γεώργιο για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση της.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή ……Σελ. 7

1.1 Γενικά ……Σελ. 7

1.2 Σκοπός και διάρθρωση της εργασίας ……Σελ. 7

Κεφάλαιο 2 : Ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών ……Σελ. 9

2.1 Γενικά ……Σελ. 9

2.2 Μηχανισμός Πρόκλησης Ρευστοποίησης ……Σελ. 9

2.3 Διαδικασία της Ρευστοποίησης ……Σελ. 10

2.4 Προϋποθέσεις Πρόκλησης Ρευστοποίησης ……Σελ. 11

2.4.1 Γεωλογική ηλικία εδαφικών σχηματισμών ……Σελ. 12

2.4.2 Γεωμορφολογικά κριτήρια- περιβάλλον απόθεσης ……Σελ. 12

2.4.3 Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ……Σελ. 12

2.4.4 Σχετική Πυκνότητα ……Σελ. 13

2.4.5 Κατηγορίες επιδεκτικών εδαφών προς ρευστοποίηση……Σελ. 13

Κεφάλαιο 3 : Μέθοδοι Υπολογισμού Δυναμικού Ρευστοποίησης ……Σελ. 15

3.1 Γενικά ……Σελ. 15

3.2 1^{η}Μέθοδος ……Σελ. 15

3.3 2^{η} Μέθοδος ……Σελ. 16

Κεφάλαιο 4: Φαινόμενα ρευστοποίησης στην Ταϊβάν ……Σελ. 17

4.1 Γεωλογία ……Σελ. 17

4.2 Σεισμικότητα- Τεκτονική ……Σελ. 20

4.3 Ο σεισμός Chi-Chi ……Σελ. 21

4.3.1 Ιστορία ……Σελ. 21

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4.3.2 Σεισμικότητα ……..……Σελ. 23

4.3.3 Επιπτώσεις (Nantou, Wufeng, Yualin) ……...…..…..Σελ. 24

Κεφάλαιο 5 : Μεθοδολογία ……..Σελ. 28

5.1 Λογισμικό (LiqIT) ……..Σελ. 28

5.2 Διαδικασία ……..….Σελ. 29

Κεφάλαιο 6 :Μεθοδολογία - Αποτελέσματα ……Σελ. 34

Κεφάλαιο 7 : Βιβλιογραφία ……..Σελ. 40

Κεφάλαιο 8 : ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ……Σελ. 45

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Κατά την διάρκεια ενός σεισμού οι κορεσμένοι χαλαροί σχηματισμοί , υπό αστράγγιστες συνθήκες οδηγούνται σε συμπύκνωση. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης των πόρων και ταυτόχρονο μηδενισμό της διατμητικής αντοχής του εδάφους και μετατροπής του σε ρευστή κατάσταση. Επιπλέον, παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας του εδαφικού σχηματισμού και μείωση του όγκου του και τελικώς ενδέχεται να έχουμε πλήρης απώλεια διατμητικής αντοχής, με μεγάλες παραμορφώσεις. (Παπαθανασίου, 2006)

Οι επιπτώσεις της ρευστοποίησης των εδαφικών σχηματισμών κυμαίνονται από μια καταστροφική εδαφική ροή έως μικρές παραμένουσες παραμορφώσεις (Whitman 1995, Stamatopoulos et al 1991). Η ακριβής συμπεριφορά βέβαια εξαρτάται από την σχέση τάσεων-παραμορφώσεων καθώς και από την ένταση και την διάρκεια της δόνησης.

1.2 Σκοπός και διάρθρωση της εργασίας

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης με βάση επι-τόπου δοκιμές στην Ταϊβάν. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει ένα σύνολο ερευνητικών γεωτρήσεων σε συνδυασμό με ένα λογισμικό το οποίο βοήθησε στην ταξινόμηση των ρευστοποιημένων εδαφών.

Αρχικά, αναφέρονται οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για να προκληθεί το φαινόμενο της ρευστοποίησης καθώς και οι επιπτώσεις του στους εκάστοτε γεωλογικούς σχηματισμούς. Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύονται τα παρακάτω θέματα:

Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και περιλαμβάνει τον ορισμό της ρευστοποίησης, τον σκοπό της διπλωματικής εργασίας καθώς και τον τρόπο που είναι δομημένη.Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της ρευστοποίησης σαν γενική έννοια, δηλαδή, στις συνθήκες οι οποίες πρέπει να πληρούνται προκειμένου να χαρακτηριστεί ένα έδαφος ως εν δυνάμει ρευστοποιήσιμο. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε το δυναμικό της ρευστοποίησης.Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για το φαινόμενο της ρευστοποίησης στην περιοχή της Ταϊβάν, πως επηρέασε την ευρύτερη περιοχή και τους παράγοντες τους οποίους συντέλεσαν στην πρόκληση του.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στο πέμπτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία και η διαδικασία με την οποία διεξάχθηκαν τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των γεωτρήσεων με την χρήση του λογισμικού. Επιπλέον γίνεται αναφορά στον τρόπο εκτέλεσης του λογισμικού καθώς και στον τρόπο επεξεργασίας των μετρήσεων.Στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα των παραπάνω διεργασιών και τέλος, στο έβδομο και όγδοο αναφέρεται η σχετική βιβλιογραφία και ακολουθεί το παράρτημα με τα φύλλα εργασίας των γεωτρήσεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κεφάλαιο 2 : Ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών

2.1 Γενικά

Μη συνεκτικοί κορεσμένοι εδαφικοί σχηματισμοί έχουν την τάση όταν υπόκεινται σε άμεση φόρτιση κάτω από αστράγγιστες συνθήκες να τείνουν προς συμπύκνωση, όμως λόγω της αδυναμίας μεταβολής του όγκου τους παρουσιάζεται αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων τους με ταυτόχρονη μείωση έως και μηδενισμό της διατμητικής τους αντοχής. Κατά την παραπάνω διαδικασία μετατρέπεται η κατάσταση αυτών των εδαφικών στρωμάτων από τη στερεά στη ρευστή φάση, δηλαδή προκαλείται ρευστοποίηση αυτών (Παπαθανασίου, 2006).

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται αναλυτικά ο μηχανισμός δημιουργίας του φαινομένου καθώς και οι κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζεται. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ρευστοποίησης στους εκάστοτε εδαφικούς σχηματισμούς. Η μεγαλύτερη εξάπλωση του φαινομένου αυτού συναντάται σε λεπτόκοκκους κορεσμένους μη συνεκτικούς σχηματισμούς, όμως πριν την εκτίμηση της έντασης της ρευστοποίησης, είναι αναγκαία η εξέταση συγκεκριμένων κριτηρίων , τα οποία είναι παγκόσμια αποδεκτά, που χαρακτηρίζουν έναν εδαφικό σχηματισμό ως επιδεκτικό προς ρευστοποίηση ή όχι. Τέλος, σημαντικές είναι οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληροί ένας εδαφικός σχηματισμός ώστε να χαρακτηριστεί εν δυνάμει ρευστοποιήσιμος (Seed et al. 2003).

2.2 Μηχανισμός Πρόκλησης Ρευστοποίησης

Η κατάσταση κατά την διάρκεια της οποίας ένας μη συνεκτικός κορεσμένος εδαφικός σχηματισμός χάνει την διατμητική του αντοχή, εξαιτίας της αύξησης της πίεσης των πόρων, η οποία έχει προκληθεί από δυναμικές δονήσεις π.χ σεισμικές υπό αστράγγιστες συνθήκες περιγράφεται με τον όρο «ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών» (Kramer etal. 1996). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως σε ομοιόμορφα λεπτόκοκκα έως μεσαίας κοκκομετρίας, χαλαρά εδάφη- ιζήματα.

Με βάση τον μηχανισμό γένεσης το φαινόμενο της ρευστοποίησης διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι η εδαφική ροή , η οποία συναντάται σε χαλαρά μη συνεκτικά εδάφη, τοποθετημένα σε πρανή με σημαντική κλίση όπου η διατμητική τάση της ισορροπίας του εδάφους είναι μεγαλύτερη της διατμητικής αντοχής της εδαφικής μάζας.

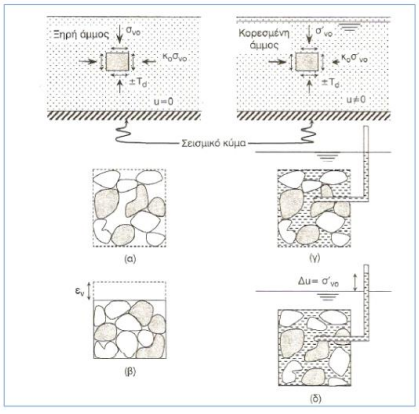
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Επιπρόσθετα, η εδαφική ροή θεωρείται πιο σπάνιο φαινόμενο άλλα με μεγαλύτερη ένταση.Την δεύτερη κατηγορία αποτελεί η ανακυκλική κινητικότητα. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται από την γρήγορη και απότομη κίνηση του καθώς και την μεγάλη απόσταση που μπορούν να διανύσουν τα ρευστοποιήσιμα υλικά και προκαλείται όταν η στατική διατμητική τάση είναι μικρότερη της διατμητικής αντοχής της εδαφικής μάζας. Η διαδικασία αυτή εμφανίζεται πιο συχνά και προκαλείται σε περιοχές με χωρίς ή με μικρή κλίση. Όσον αφορά τις επιπτώσεις κυμαίνονται από ελαφριές έως πολύ σοβαρές (Παπαθανασίου, 2006).

2.3 Διαδικασία της Ρευστοποίησης

Το φαινόμενο ερμηνεύεται ως εξής (Καπάτσολου 2008, με πηγή Μπουκοβάλα, 1999): Θεωρείται ένα στρώμα ξηρής άμμου και ένα εδαφικό στοιχείο του στρώματος αυτού, που παρουσιάζει χαλαρή δομή και μεγάλο λόγο κενών (eo). Με την επίδραση μιας σεισμικής τάσης στο εδαφικό στοιχείο επενεργούν οι γεωστατικές τάσεις σ_{vo} και $\sigma h_o=\kappa_o \times \sigma_{vo}$ καθώς και η διατμητική τάση λόγω σεισμού με εναλλασσόμενη φορά Td. Το αποτέλεσμα της επίδρασης του σεισμού είναι η μεταβολή της αρχικής δομής του εδαφικού στοιχείου και η μείωση των κενών με αντίστοιχη κατακόρυφη παραμόρφωση (εν=Δe/1+eo).Το φαινόμενο αυτό καλείται δυναμική συνίζηση και εκδηλώνεται σαν καθίζηση του εδάφους μετά από ισχυρούς σεισμούς (σχήμα 2.1,α,β).



Σχήμα 2.1 : Σχηματική απεικόνιση (α, β) δυναμικού συνίζησης και (γ, δ) ρευστοποιήσιμης άμμου (Καπάτσολου ,2008 από πηγή Μπουκοβάλα 1999)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Όταν η άμμος είναι κορεσμένη επενεργεί στο εδαφικό στοιχείο επιπλέον και η υδροστατική πίεση των πόρων (u). Το αποτέλεσμα της επίδρασης του σεισμού είναι η μεταβολή της αρχικής δομής του εδαφικού στοιχείου κατά τρόπο παρόμοιο με αυτόν της ξηρής άμμου. Η μεταβολή όμως του όγκου του εδαφικού στοιχείου δεν είναι τώρα δυνατή, καθόσον το νερό που υπάρχει στους πόρους είναι ασυμπίεστο και λόγω της μεγάλης ταχύτητας της σεισμικής φόρτισης δεν είναι δυνατή η αποστράγγιση (δηλαδή πρακτικά έχουμε αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης). Με τον τρόπο αυτό έχουμε σταδιακή αύξηση της πίεσης των πόρων με αντίστοιχη μείωση των αρχικών ενεργών τάσεων. Μετά από κάποιον αριθμό κύκλων σεισμικής φόρτισης, λόγω μεγάλης αύξησης της πίεσης των πόρων οι ενεργές τάσεις μηδενίζονται ($\Delta u = \sigma_{v0}$) και χάνεται η επαφή μεταξύ των κόκκων της άμμου (σχήμα 2.1 γ, δ). Το φαινόμενο αυτό καλείται ρευστοποίηση της άμμου, και σύμφωνα με αυτό μαζί με τις ενεργές τάσεις μηδενίζεται και η διατμητική αντοχή της άμμου που συμπεριφέρεται πλέον σαν ρευστό.

Κατά τη διάρκεια ενός έντονου φαινομένου π.χ σεισμός, οι κόκκοι ενός χαλαρού κοκκώδη σχηματισμού μετακινούνται έτσι ώστε να μειώσουν τα κενά που υπάρχουν μεταξύ τους, δηλαδή τείνουν να συμπυκνωθούν. Όμως, σε αστράγγιστες συνθήκες , στην περίπτωση κορεσμένων σχηματισμών η μετατόπιση αυτή καθίστανται αδύνατη με αποτέλεσμα η πίεση του νερού των πόρων (u) να μην μπορεί να εκτονωθεί και να αυξάνεται ραγδαία.

Η αύξηση της πίεσης των πόρων έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διατμητικής αντοχής του εδάφους και σύμφωνα με τον νόμο του Coulomb ισχύει ότι : $\tau = \sigma_v \varepsilon \varphi_\varphi$, όπου $\sigma_v = \sigma - u$ με σ_v: ενεργή τάση, σ: τάση, φ: γωνία τριβής.

2.4 Προϋποθέσεις Πρόκλησης Ρευστοποίησης

Για να χαρακτηριστεί ένας σχηματισμός εν δυνάμει ρευστοποιήσιμος θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις περιλαμβάνουν το είδος και την ηλικία του γεωλογικού σχηματισμού και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπου συναντάται καθώς και άλλες παραμέτρους (π.χ υδρογεωλογικές).

Από την μελέτη των φυσικών, μηχανικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών των εδαφικών σχηματισμών, ορίστηκαν και τα κριτήρια για τον χαρακτηρισμό των σχηματισμών σε επιδεκτικούς στη ρευστοποίηση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.4.1 Γεωλογική ηλικία εδαφικών σχηματισμών

Όσο πιο πρόσφατος είναι ένας εδαφικός σχηματισμός τόσο πιο πιθανό είναι να ρευστοποιηθεί (Krammer etal. 1996). Αυτό συμβαίνει επειδή με την πάροδο του χρόνου η πυκνότητα και ο βαθμός συγκόλλησης των εδαφών αυξάνονται και κατ΄ επέκταση αυξάνεται και η αντοχή αυτού. Πιο συγκεκριμένα, κορεσμένες, ψαθυρές και χαλαρές αποθέσεις καθίστανται πιο επιδεκτικές στο φαινόμενο της ρευστοποίησης (Youd etal. 1998) .

Άνω Ολοκαίνου	Ολοκαίνου = περισσότερο επιδεκτικοί
Πλειστοκαίνου	Επιδεκτικοίσε συγκεκριμένες περιστάσεις
Προ-Πλειστοκαίνου	Δεν έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα ρευστοποίησης

Πίνακας 2.1 : Κριτήρια επιδεκτικότητας ρευστοποίησης εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με την ηλικία τους (Obermeieretal. 1996).

2.4.2 Γεωμορφολογικά Κριτήρια- περιβάλλον απόθεσης

Το περιβάλλον απόθεσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα και καθορίζει την επιδεκτικότητα του σχηματισμού στην ρευστοποίηση. Έτσι, ομοιόμορφα ταξινομημένοι σχηματισμοί σε χαλαρή κατάσταση παρουσιάζουν υψηλή επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση. Όπως για παράδειγμα, ποτάμιες αναβαθμίδες και αιολικές αποθέσεις είναι επιδεκτικές προς ρευστοποίηση (Krammer etal. 1996).

2.4.3 Υδροφόρος ορίζοντας

Όπως προαναφέρθηκε, απαραίτητη προϋπόθεση για να ρευστοποιηθεί ένας σχηματισμός είναι να βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση, δηλαδή κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Όσο πιο χαμηλή είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη αντίσταση θα προβάλλει το συγκεκριμένο εδαφικό στρώμα σε ενδεχόμενη πιθανότητα ρευστοποίησης (Youd etal. 1998).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια (σε μέτρα)	Επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση
<3	Πολύ υψηλή
3 έως 6	Υψηλή
6 έως 10	Μέτρια
10 έως 15	Χαμηλή
>15	Πολύ χαμηλή

Πίνακας 2.2: Βάθος του υδροφόρου ορίζοντα και επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών με βάση αυτό το κριτήριο (Youdetal. 1998).

2.4.4 Σχετική Πυκνότητα

Ανάλογα με την πυκνότητα τους, παρόμοιοι σχηματισμοί (αφορά την κοκκομετρική σύσταση) μπορεί να επιδεικνύουν διαφορετική συμπεριφορά σχετικά με την επιδεκτικότητα τους στην ρευστοποίηση. Η τιμή της πυκνότητας είναι ανάλογη της πίεσης των πόρων γιατί όσο πιο χαλαρή είναι η διάταξη των κόκκων τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της πίεσης των πόρων και κατ΄συνέπεια η πυκνότητα (Dr) του εδαφικού σχηματισμού. Η τιμή της πυκνότητας δίνεται από το τύπο :

Dr= (emax-e)/(emax-emin) , όπου e : πραγματικός δείκτης πόρων , emax :ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στην ελάχιστη συμβατική πυκνότητα και emin: ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στην μέγιστη συμβατική πυκνότητα (Κούκης και Σαμπατάκης, 2002).

2.4.5 Κατηγορίες επιδεκτικών εδαφών προς ρευστοποίηση

Στα πλαστικά εδάφη, διακρίνονται τρεις κατηγορίες επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση (Seed et al. 2003) όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2 που ακολουθεί:

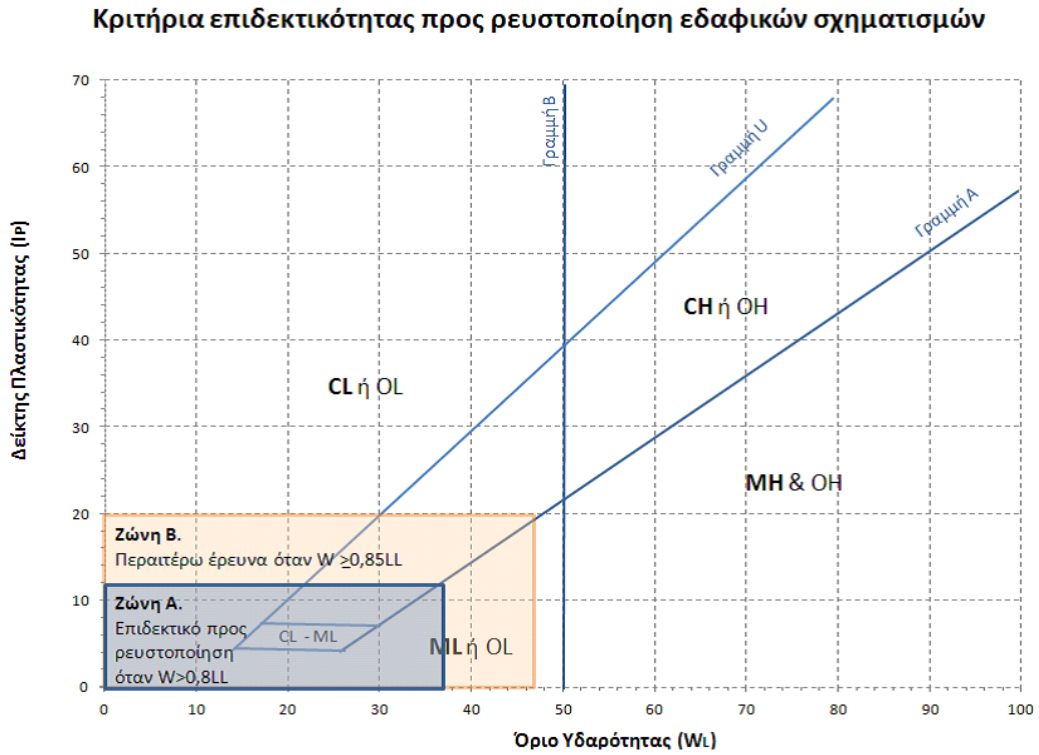
- Στην πρώτη κατηγορία ταξινομούνται εδάφη με δείκτη πλαστικότητας (PI) μικρότερο του 12 και όριο υδαρότητας (LL) μικρότερο του 37 ενώ η περιεχόμενη υγρασία τους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 80% του LL. Τα εδάφη ονομάζονται εν δυνάμει ρευστοποιήσιμα και τοποθετούνται στη ζώνη Α του διαγράμματος πλαστικότητας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- Η δεύτερη κατηγορία (ζώνη Β), περιλαμβάνει εδάφη των οποίων ο δείκτης πλαστικότητας δεν υπερβαίνει την τιμή 20 και το όριο υδαρότητας είναι μικρότερο του 47. Τα εδάφη αυτά θεωρούνται επιδεκτικά προς ρευστοποίηση όταν η περιεχόμενη υγρασία τους είναι μεγαλύτερη από το 85% της τιμής του.

-Τέλος τα εδάφη που ταξινομούνται στη ζώνη C του διαγράμματος πλαστικότητας θεωρούνται ως μη επιδεκτικά προς ρευστοποίηση και κατά συνέπεια δε συντρέχουν λόγοι περαιτέρω διερεύνησης του δυναμικού ρευστοποίησης αυτών (Παπαθανασίου, 2006).



Σχήμα 2.2 Όρια Atterberg δειγμάτων άμμου - Κριτήρια επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών βάσει των ορίων Atterberg (Seed et al., 2003).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κεφάλαιο 3 : Μέθοδοι Υπολογισμού Δυναμικού Ρευστοποίησης

3.1 Γενικά

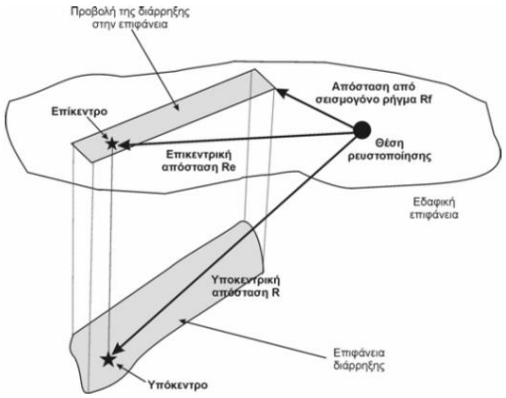
Δύο παράγοντες καθορίζουν τη ρευστοποίηση, ο ένας είναι η ένταση και ο άλλος η διάρκεια του φαινομένου. Σε αυτή την περίπτωση η ρευστοποίηση καθορίζεται από εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού του κινδύνου της εμφάνισης του φαινομένου από μια τοποθεσία με απόσταση R από το επίκεντρο του σεισμού M. Τον δεύτερο παράγοντα αποτελεί η επιδεκτικότητα του εκάστοτε σχηματισμού προς ρευστοποίηση. Σ' αυτή τη μέθοδο κύριο ρόλο παίζουν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού , τα οποία προκύπτουν από επι-τόπου δοκιμές στις θέσεις εμφάνισης καθώς και τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης. Και οι δύο μέθοδοι εφαρμόζονται για την εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης (Παπαθανασίου, 2006).

3.2 1η Μέθοδος

Η πρώτη μέθοδοςβασίζεται σε εμπειρικές σχέσεις μεγέθους σεισμικής δόνησης και απόστασης. Πιο συγκεκριμένα, στοχεύει στο να προσδιοριστεί η μέγιστη απόσταση των θέσεων όπου συναντήθηκαν τα φαινόμενα της ρευστοποίησης και του επικέντρου της σεισμικής δόνησης ή του σεισμογόνου ρήγματος. Έτσι, υπολογίζεται η επικεντρική απόσταση Re , η οποία ορίζεται ως η απόσταση από τον εντοπισμό της θέσης ρευστοποίησης του εδάφους μέχρι το επίκεντρο της δόνησης ενώ ως Rf , ορίζεται η απόσταση του σχηματισμού από το σεισμογόνο ρήγμα (Σχήμα 3). Να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δεν συνίσταται για σεισμούς μικρού μεγέθους καθώς η μικρή απόκλιση από το επίκεντρο μπορεί να επιφέρει μεγάλα σφάλματα(Παπαθανασίου, 2006, Ambraseys etal. 1998).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 3 : Ερμηνευτικό σχήμα υπολογισμού της επικεντρικής απόστασης από το σεισμογόνο ρήγμα (Παπαθανασίου, 2006).

3.3 2η Μέθοδος

Η δεύτερη μέθοδος συνδέεται με την εκτίμηση του δυναμικού της ρευστοποίησης βασιζόμενη στην προσέγγιση των κυκλικών τάσεων και επιτόπου δοκιμών. Σ΄ αυτή τη μέθοδο η εκτίμηση του δυναμικού της ρευστοποίησης υπολογίζεται με βάση τη σύγκριση των κυκλικών διατμητικών τάσεων της σεισμικής φόρτισης με την αντίσταση στην ρευστοποίηση του σχηματισμού , εκφρασμένη σε κυκλικές διατμητικές τάσεις (Kramer, 1996). Όταν ο λόγος των μεγεθών αυτών είναι μικρότερος από την μονάδα τότε προκαλείται ρευστοποίηση.

Η σεισμική φόρτιση και η αντοχή ενός σχηματισμού υπολογίζονται είτε από εργαστηριακές δόκιμες , οι οποίες δεν συνίστανται λόγω κόστους αλλά και αδυναμίας διατήρησης του δείγματος μέχρι να μεταφερθεί στο εργαστήριο , είτε από εμπειρικές σχέσεις που βασίζονται σε επιτόπου δοκιμές (Seed et al, 2003) . Υπάρχουν τέσσερις μεθοδολογίες επιτόπου δοκιμών , οι οποίες θεωρούνται και οι πιο αξιόπιστες και είναι οι μέθοδοι SPT, CPT, Vs, BPT (Youd και Idriss etal. 2001).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 4 : Φαινόμενα ρευστοποίησης στην Ταϊβάν

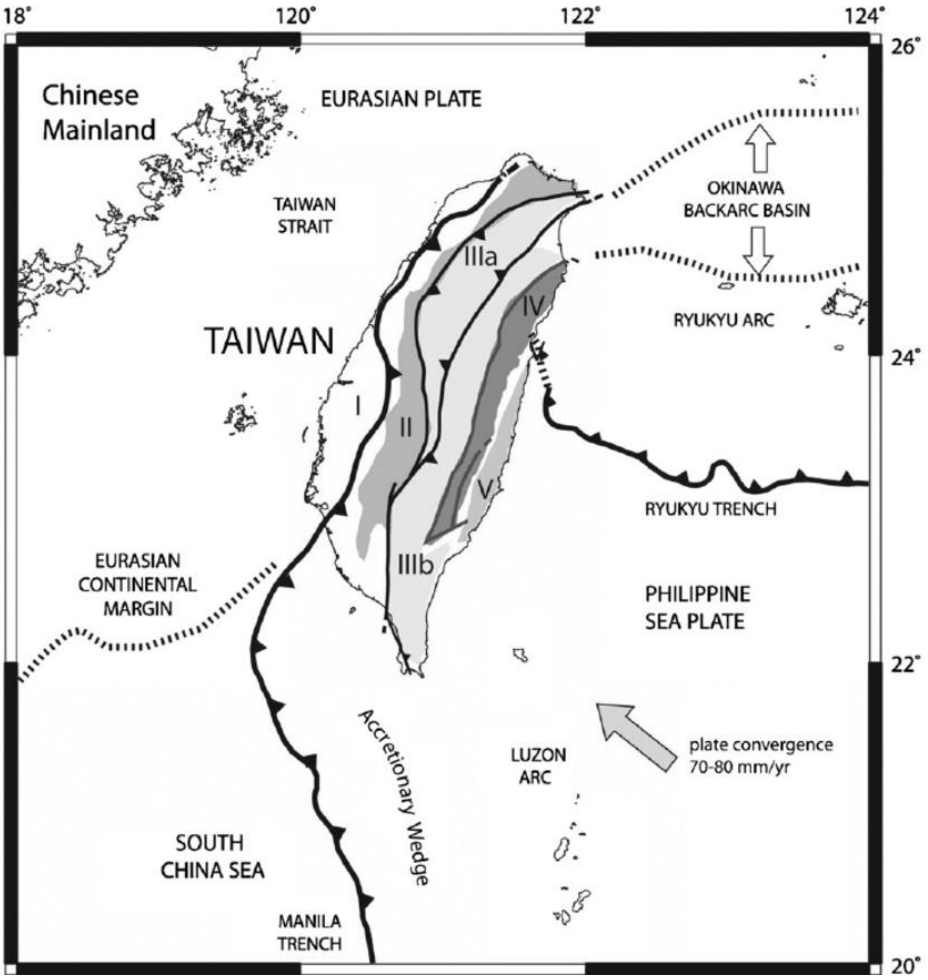
4.1 Γεωλογία

Η Ταϊβάν σχηματίζεται σε ένα σύνθετο συγκλίνον όριο μεταξύ της υπο-πλάκας Yangtze της Ευρασιατικής πλάκας προς τα δυτικά και προς τα βόρεια , της πλάκας Okinawa στα βόρειο-ανατολικά , της Φιλιππινέζικης πλάκας στα ανατολικά και νότια και της πλάκας Sunda στα νότιο- δυτικά. Το πάνω μέρος του φλοιού του νησιού αποτελείται κυρίως από μια σειρά από τερράνες, κυρίως παλαιά νησιωτικά τόξα τα οποία έχουν αναγκαστεί να συσπειρωθούν από τη σύγκρουση της Ευρασιατικής πλάκας και της Φιλιππινέζικης, η οποία κινείται στα βορειοανατολικά . Η υποβύθιση της Ευρασιατικής πλάκας κάτω από την πλάκα των Φιλιππίνων έχει σαν αποτέλεσμα ο φλοιός που βρίσκεται κάτω από την Ταϊβάν να ρευστοποιείται.

Νότια της Ταϊβάν, η πλάκα των Φιλιππίνων υποβυθίζεται κάτω από την πλάκα Sunda, σχηματίζοντας το ηφαιστειακό τόξο Luzon. Το ανατολικό και νότιο τμήμα του νησιού είναι ένα σύνθετο σύστημα ζωνών που σχηματίζεται και αποτελεί μέρος της ζώνης της ενεργής σύγκρουσης μεταξύ του τμήματος του ηφαιστειακού τόξου Luzon και της Ευρασιατικής πλάκας. Στα βορειοανατολικά, η πλάκα των Φιλιππίνων υποβυθίζεται κάτω από την πλάκα της Οκινάουα, σχηματίζοντας το ηφαιστειακό τόξο Ryukyu (Σχήματα 4.1.1). (MeganAndersonetal. 2001).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα
Α



4.1.1 : Σχηματική απεικόνιση της σύγκλισης της Φιλιππινέζικης πλάκας με την Ευρασιατική και την πλάκα Okinawa και ο σχηματισμός του ηφαιστειακού τόξου Luzon και του τόξου Ryukyu αντίστοιχα. (Gourleyaetal. 2007)

Η γεωλογία της Ταϊβάν μπορεί να περιγραφεί από την Ανατολή προς η Δύση με χωρισμένα τμήματα (σχήμα 4.1.2) :

-Την παράκτια οροσειρά (Coastal Range) που αντιστοιχεί στο ηφαιστειακό τόξο Luzon

- Η διαμήκης κοιλάδα (Longitudinal Valley) που θεωρείται η ζώνη ρήγματος μεταξύ του τόξου Luzon και του Κινέζικου ηπειρωτικού περιθωρίου.

-Οι σχιστόλιθοι του Tananao (Tananao Schists) αποτελούνται από το μεταμορφωμένο προ-Τριτογενές υπόβαθρο του Ευρασιατικού παθητικού περιθωρίου. Εκτός από το πιο πρόσφατο μεταμορφωτικό γεγονός, το τμήμα αυτό έχει επίσης καταγράψει παρελθόντα ορογενή γεγονότα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

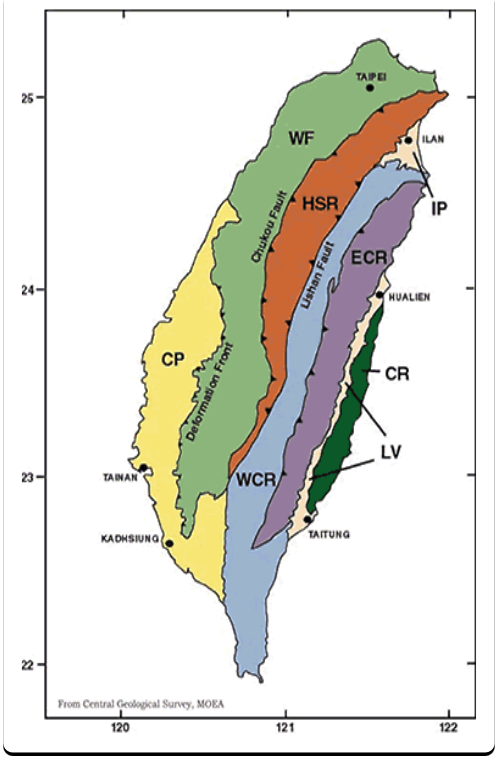
- Η ζώνη σχιστόλιθου (Slate belt) , που αποτελείται από μεταμορφωμένα και παραμορφωμένα ιζήματα του κινεζικού παθητικού περιθωρίου, από την Ανατολή προς τη Δύση.

-Η οροσειρά Backbone (Backbone Range), με ιλιόλιθους Μειόκαινου και Ηωκαίνου, αντιστοιχεί στην περιοχή των μεγαλύτερων υψομέτρων στο νησί.

- Η οροσειρά Hsueshan (Hsueshan Range), που αποτελείται κυρίως από ιζήματα Ηωκαίνου και Ολιγοκαίνου.

-Οι δυτικοί πρόποδες (Western Foothills), σε χαμηλότερα υψόμετρα, όπου τα συνορογενή ιζήματα της λεκάνης του ποταμού έχουν αυξηθεί και παραμορφωθεί.

-Η παράκτια πεδιάδα (Coastal Plain) η οποία αποτελεί μέρος της σημερινής λεκάνης απορροής της Ταϊβάν.



4.1.2: Τα σημαντικότερα τμήματα στην Ταϊβάν. CR: Coastal Range; LV: Longitudinal Valley; ECR: East Central Range or Tananao Schist complex; WCR: West Central Range or Backbone Range; HSR: Hsueshan Range; WF: Western Foothills; CP: Coastal Plain. From Central Geological Survey of Taiwan-MOEA

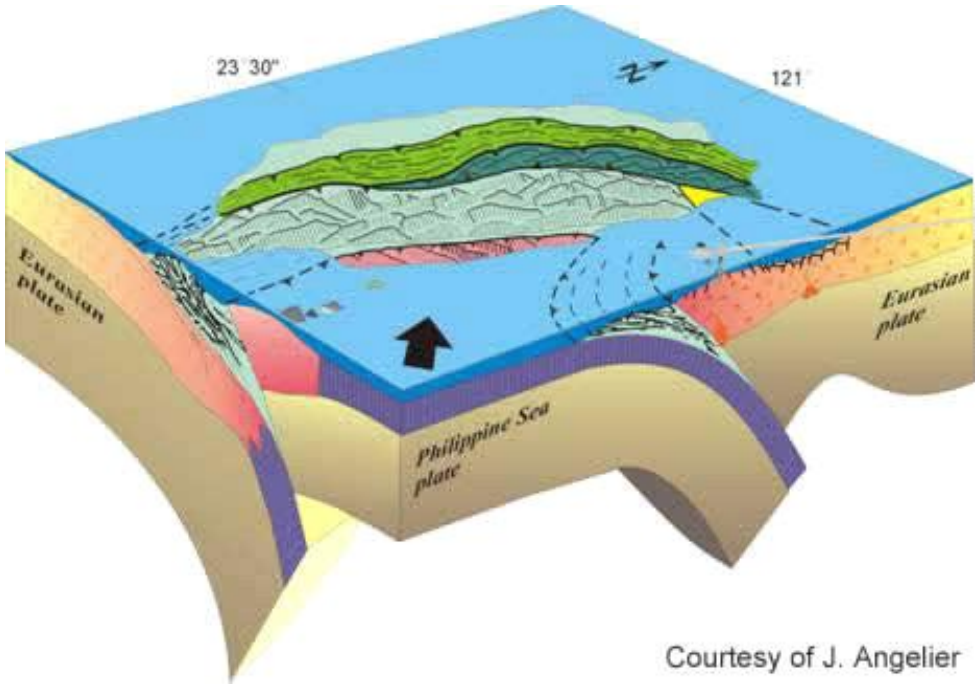
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στην ζώνη του σχιστόλιθου (Slate belt), δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τον βαθμό της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων εξαιτίας της φτωχής ορυκτολογίας των πετρωμάτων. Παρόλα αυτά είναι αποδεκτό, ότι η μεταμόρφωση αυξάνει από τα δυτικά προς τα ανατολικά παράλληλα στην οροσειρά Taiwanese.

4.2 Σεισμικότητα- Τεκτονική

Η Ταϊβάν βρίσκεται στα όρια μεταξύ της Φιλιππινέζικης Θάλασσας – Πλάκας ανατολικά και της Ευρασιατικής πλάκας προς τη Δύση, με ρυθμό σύγκλισης ~ 80 mm / yr (Seno etal.1977, Yu et al.1997). Αυτό το όριο πλάκας είναι μάλλον πολύπλοκο, καθώς περιλαμβάνει δύο ζώνες επαγωγής αντίστροφης πολικότητας (σχήμα 4.2.1). Στα νοτιοδυτικά, η συνεχιζόμενη υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της θάλασσας της Νότιας Κίνας οδήγησε σε σύγκρουση μεταξύ του κινεζικού ηπειρωτικού περιθωρίου και του ηφαιστειακού τόξου Luzon ~ 6,5 εκ. χρόνια πριν (Lin et al., 2003), που οδήγησε στη δημιουργία της οροσειράς Taiwanese.

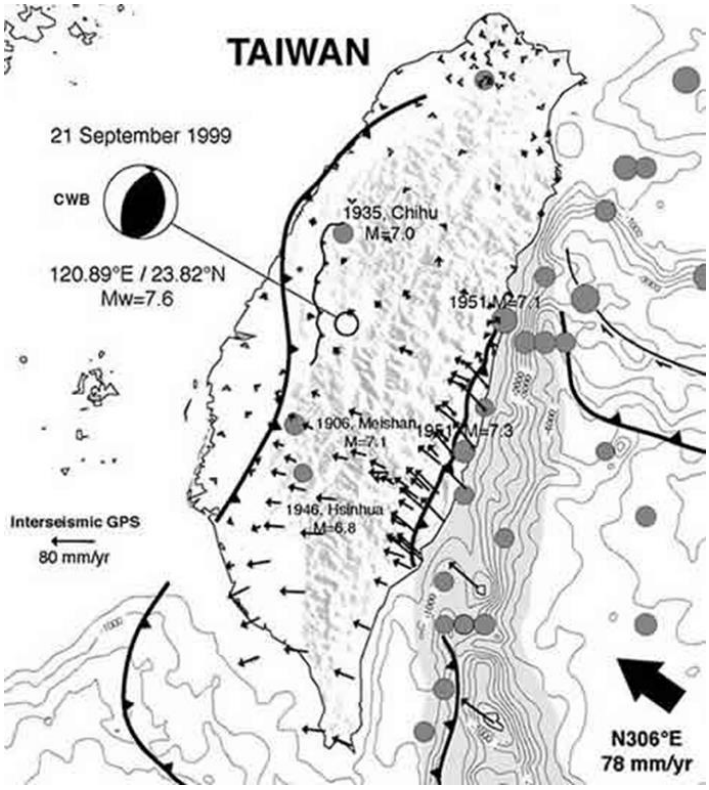


4.2.1 : Λόγω της κλίσης της σύγκλισης, η σύγκρουση μεταδόθηκε προς τα νότια: η σύγκρουση είναι πρόσφατη και εξαφανίζεται στα βόρεια του νησιού, ενώ στα νότια η θάλασσα της Νότιας Κίνας εξακολουθεί να υποβυθίζεται κατά μήκος της τάφρου Manila. (Senoetal. 1977,Yuetal., 1997)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η ενδοσεισμική παραμόρφωση (πριν τον σεισμό Chi-Chi), που καταγράφηκε από GPS επιτρέπει να κατανοηθεί πως η σύγκλιση των 80-82 mm/ yr επηρεάζει το νησί. (Εικόνα 4.2.2)



4.2.2 : Ενδοσεισμική παραμόρφωση που καταγράφηκε από το GPS σχετικά με τις νήσους Penghu (Yu et al., 1997). Η ρήξη επιφάνειας σεισμού Chi-chi έχει επίσης αναφερθεί. (Dominguez et al., 2003).

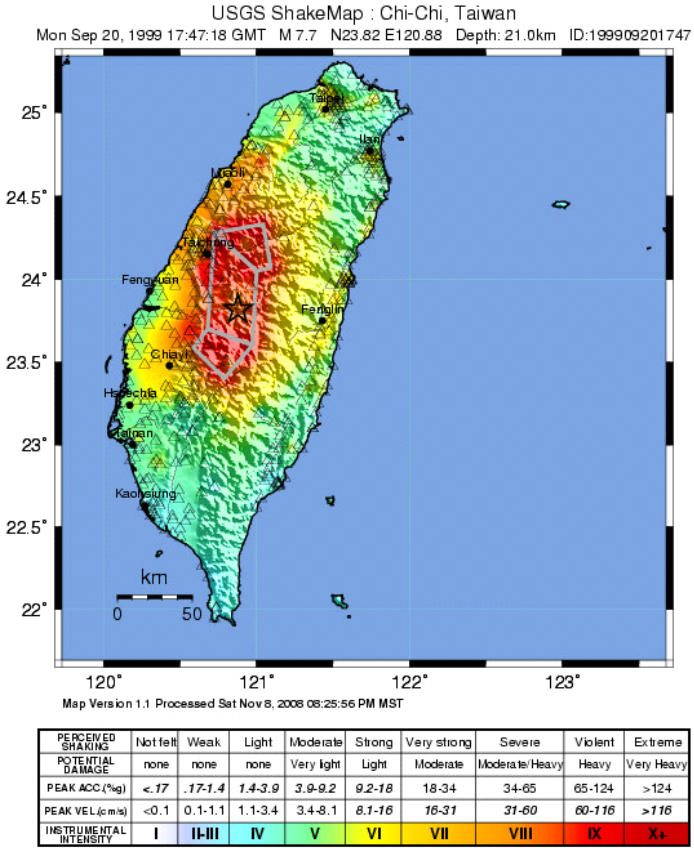
4.3 Ο σεισμός CHI-CHI

4.3.1 Ιστορία

Στις 1:47 πμ., στις 21 Σεπτεμβρίου του 1999, το νησί της Ταϊβάν, υπέστη σεισμό μεγέθους 7.6Mw. Το επίκεντρο του τοποθετείται στην πόλη Nantou (εικόνα 4.3.1.1), στην Κεντρική Ταϊβάν, αλλά σοβαρές ζημιές προκλήθηκαν και στο υπόλοιπο νησί. Πάνω από 2,400 άνθρωποι σκοτώθηκαν ενώ πάνω από 11,000 τραυματίστηκαν σοβαρά και χιλιάδες κτίρια καταστράφηκαν.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεω
Α.Π.Θ



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	*<.17*	*.17-1.4*	*1.4-3.9*	*3.9-9.2*	*9.2-18*	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	*8.1-16*	*16-31*	*31-60*	*60-116*	*>116*
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

4.3.1.1 : Απεικόνιση κατανομής του μεγέθους του σεισμού στο νησί της Ταϊβάν και το επίκεντρο Nantou (αστεράκι : πόλη Nantou)(Xingzhengyuanetal. 2006).

Ο σεισμός «921» όπως ονομάστηκε και αλλιώς ήταν ο δεύτερος μεγαλύτερος και θανατηφόρος σεισμός που συνέβη στην Ταϊβάν μετά τον σεισμό του 1935. Ο σεισμός ήταν τόσο δυνατός που άλλαξε ολόκληρο το τοπίο, καθώς οι κατολισθήσεις προκάλεσαν εκτροπή στα ποτάμια, δημιουργώντας λίμνες που δεν υπήρχαν, μικροί λόφοι εμφανίστηκαν κατά μήκος της υπαίθρου και επιπλέον ένας νέος καταρράκτης εμφανίστηκε αμέσως κοντά στην τοποθεσία μιας καταστρεμμένης γέφυρας. Ο σεισμός κατέστρεψε επίσης ένα 12όροφο-ιστορικό ξενοδοχείο στην Taipei, καθώς και ένα κτίριο 14 ορόφων στο Dongshi. Καταστράφηκε επίσης ένας αριθμός βουδιστικών ναών και πολλές άλλες αρχιτεκτονικές δομές (XingZhengyuanetal. 2006).

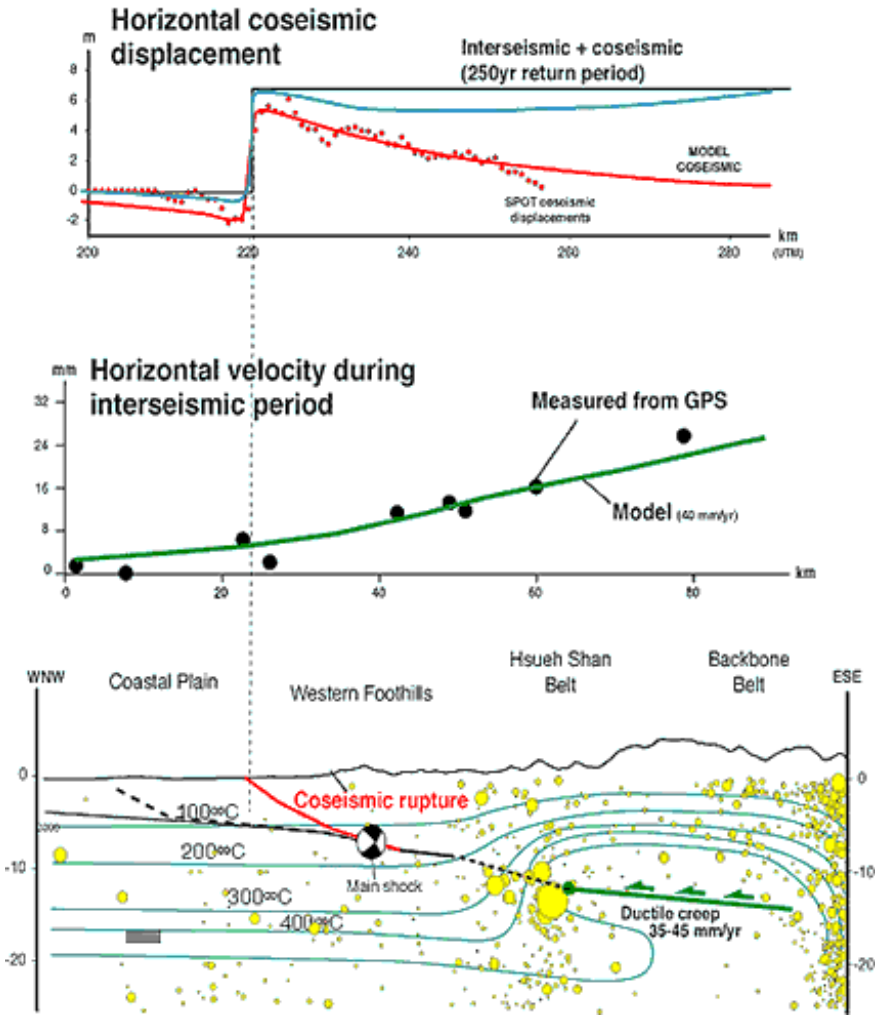
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.3.2 Σεισμικότητα

Ο σεισμός Chi-Chi με μέγεθος 7.6 Mw που έλαβε χώρα στην κεντρική Ταϊβάν και είχε ως συνέπεια την μετατόπιση κατά μήκος του ρήγματος Chelungpu σε ~ 80 χλμ. τον Σεπτέμβριο του 1999 (Ma et al., 1999) αποτελεί μέχρι σήμερα έναν από τους μεγαλύτερους τεκμηριωμένους σεισμούς που έχουν καταγραφεί στην ιστορία.

Σύμφωνα με καταγραφές που έγιναν από μετρήσεις GPS (Yu et al. 2001) ,σεισμικές εγγραφές (Ji et al., 2001), παρατηρήσεις πεδίου (Lee et al., 2001) και εικόνες Spot (Dominguez et al., 2003) , παρατηρείται μια εσωτερική σεισμική ολίσθηση που βυθίζεται 30° δυτικά σε βάθη μικρότερα από 5-7 χλμ. και έφτασε σε μέγιστη τιμή πάνω από 12 μέτρα σε πολύ μικρό βάθος στο βόρειο τμήμα του ρήγματος.



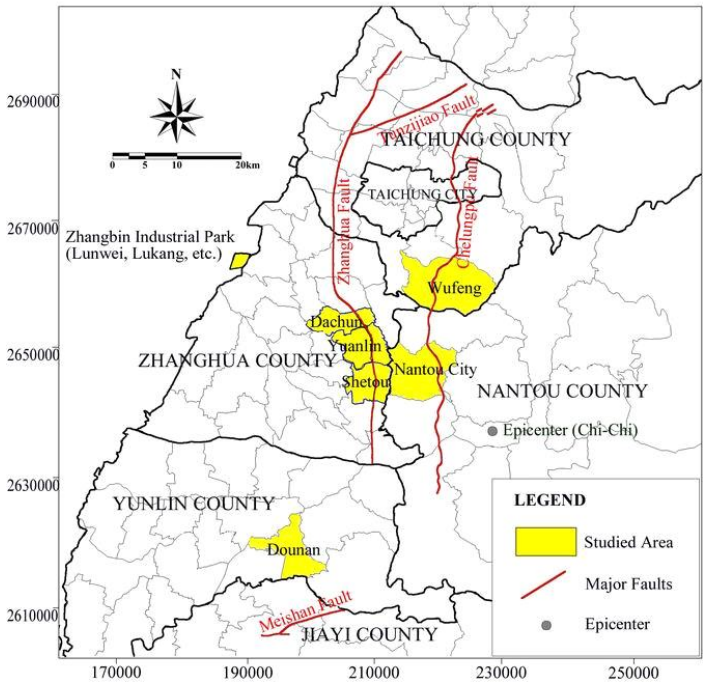
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Σχήμα 4.3.1: Ο σεισμός Chi-Chi και ο σεισμικός κύκλος στην Κεντρική Ταϊβάν. <u>Κορυφαίο διάγραμμα :</u>Οριζόντιες μετατοπίσεις από το SPOT. Οι εσωτερικές σεισμικές μετατοπίσεις έχουν προστεθεί έτσι ώστε να υπολογιστεί ένας χρόνος επανάληψης **για τέτοιους σεισμούς. <u>Μεσσαίο διάγραμμα:</u> μετατοπίσεις GPS πριν από τον σεισμό Chi-Chi και μοντελοποιημένη ενδοσεισμική παραμόρφωση, υποθέτοντας ότι τα 40 mm / yr μεταφέρονται στους πρόποδες μέσω υποοριζόντιας αποδέσμευσης κάτω από την κεντρική περιοχή. <u>Κάτω διάγραμμα</u> : Γεωμετρία του συστήματος και πώς συγκρίνεται με τη θερμική δομή που προτείνεται από τον (Lin, 2000). Σχήμα από το (Dominguez et al., 2003).**

4.3.3 Επιπτώσεις (Nantou, Wufeng, Yuanlin)

Οι επιπτώσεις που προκάλεσε ο σεισμός ήταν καταστροφικές για τον πληθυσμό της Ταϊβάν και υπήρξαν μεγάλες απώλειες όσο αφορά τον αριθμό τον ανθρώπων που σκοτώθηκαν και τραυματίστηκαν καθώς και σε κτίρια, σχολεία και άλλα τεχνικά έργα. Στην συγκεκριμένη διπλωματική παρατίθενται τρεις τοποθεσίες στις οποίες παρατηρείται έντονο το φαινόμενο της ρευστοποίησης, η πόλη Nantou, Wufeng και Yuanlin.



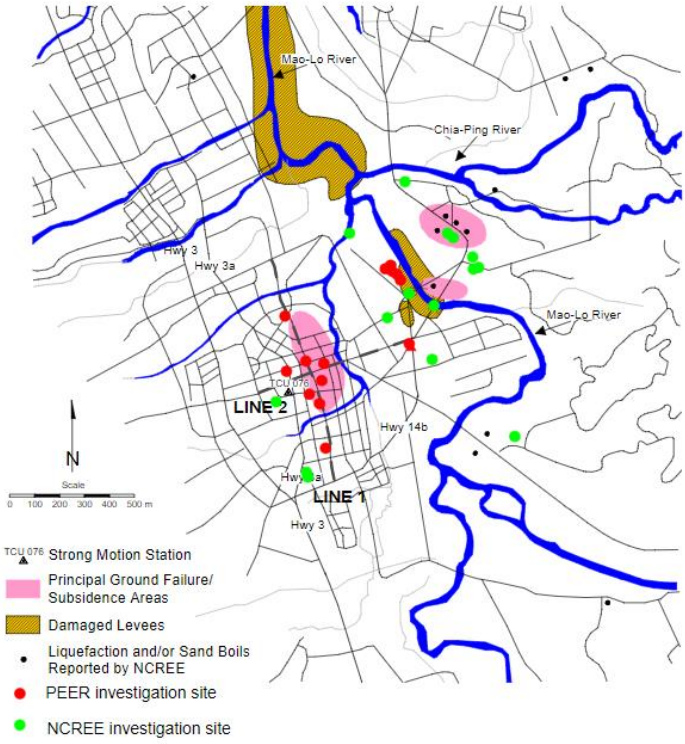
Εικόνα 4.3.3α : Απεικόνιση τον περιοχών που μελετήθηκαν για τα φαινόμενα ρευστοποίησης. (MohandAssociatesInc. (MAA 2000a,b, Yu,2001, Lee,2001 personalcommunication)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Τοποθεσία NANTOU

Η πόλη του Ναντού (πληθυσμός=94.000, περιοχή 72 km^2) βρίσκεται δίπλα από την λεκάνη Taichung και σε απόσταση κατά προσέγγιση 0 με 5 χιλιόμετρα από το ρήγμα. (Εικόνα 4.3.3β)



Εικόνα 4.3.3β : Χάρτης την Nantou που απεικονίζει τις εδαφικές αστοχίες στις τοποθεσίες που ερευνήθηκαν. (National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE), National Advanced Project in Hazard Mitigation (NAPHM), and Taiwan Geotechnical Society (GST). Geotechnical 16reconnaissance report of the 921 Ji-Ji earthquake, Taiwan, 1999, in Chinese.)

Η ρευστοποίηση πραγματοποιήθηκε μέσα σε συγκεκριμένες ζώνες εντός της πόλης . Η γεωλογία της Ναντού αποτελείται γενικά από νεαρά προσχωσιγενή ιζήματα με τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στα 0,5-5 μ. από την επιφάνεια. Η επιτάχυνση του εδάφους που καταγράφηκε στη Nantou (σταθμός TCU076) είναι 0,38g. Ο σταθμός βρίσκεται σε Ολοκαινικής ηλικίας προσχωσιγενή εδάφη σε απόσταση 3 χλμ. από το ρήγμα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η αστοχία του εδάφους στη Nantou από τον σεισμό Chi-Chi είχε διάφορες μορφές. Ανατολικά από τον ποταμό Mao-Lo, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις κλασικής ρευστοποίησης που σημειώθηκαν σε πολλές τοποθεσίες με καθίζηση εδάφους και πλευρική εξάπλωση κατά μήκος του ποταμού. Δυτικά του ποταμού, η πόλη είναι σχετικά πυκνά ανεπτυγμένη και η λεπτομερής χαρτογράφηση σε αυτήν την περιοχή παρείχε θέσεις όπου η καθίζηση του εδάφους κάτω από τα κτίρια είναι εμφανής.Τα αποτελέσματα των μετασεισμών και των δεδομένων που αποκτήθηκαν από την πόλη Nantou συγκεντρώνονται στις αναλύσεις για να οριοθετήσουν τα όρια της ρευστοποίησης και της μη διαπερατότητας (Chuetal. 2004).

Τοποθεσία WUFENG

Ο σεισμός 921 Chi-Chi (Mw = 7.6) το 1999 προκάλεσε εκτεταμένες εδαφικές αστοχίες στο κεντρικό τμήμα της Ταϊβάν. Σοβαρές ζημιές λόγω της ρευστοποίησης του εδάφους συνέβησαν ευρέως στην Wufeng. Διάφορα φαινόμενα όπως οι κώνοι άμμου, η καθίζηση, ηπεριστροφική αστοχία του εδάφους κάτω από τα κτίρια και η πλευρική εξάπλωση του εδάφους συνδέονται με την ρευστοποίηση. Οι περιοχές σχηματισμού κώνων άμμου και της πλευρικής εξάπλωσης βρίσκονται κυρίως δίπλα στους ποταμούς.(Chuaetal.2004).

Εικόνες 4.3.3 γ : Κώνοι άμμου και καθίζηση κτιρίωνστη Wufeng.

Το χωριό Wufeng (πληθυσμός ≈ 61.000, έκταση = 98 km^2) βρίσκεται πάνω και δυτικά της επιφάνειας του ρήγματος. Στην περιοχή της Wufeng συναντάται μια προσχωσιγενή πεδιάδα που διασχίζεται από διάφορα ποτάμια και οριοθετείται ανατολικά από το ρήγμα Chelungpu. Οι περιοχές ανατολικά του ρήγματος είναι σχετικά ορεινές, και απαρτίζονται από ψαμμίτες ηλικίας Πλειόκαινου, σχιστόλιθους και πηλίτες. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μικρά βάθη (γενικά εντός 1-2 m από την επιφάνεια).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η ισχυρή κίνηση εδάφους από τον σταθμό TCU065 στην Wufeng κατέγραψε μια γεωμετρική μέση μέγιστη επιτάχυνση εδάφους 0.67g. Ο σταθμός εγγραφής βρίσκεται περίπου 120 m δυτικά του ρήγματος και η περιοχή δεν έδειξε καμία εδαφική αστοχία. Όπως συνέβη στη Nantou, η ρευστοποίηση του εδάφους στη Wufeng από το σεισμό Chi-Chi πήρε διάφορες μορφές. Στο κέντρο της πόλης ανατολικά του ποταμού Dry Creek, και βόρεια του Dove Nest Creek, η ρευστοποίηση τυπικά εκδηλώθηκε γύρω από ψηλά κτίρια με τη μορφή καθίζησης. Κώνοι ιζημάτων δεν παρατηρήθηκαν ευρέως σε αυτές τις περιοχές. Παρατηρήθηκε πλευρική εξάπλωση κατά μήκος των δύο ποταμών , ρευστοποίηση ιζημάτων και αστοχίες των θεμελίων σε αρκετές θέσεις δυτικά του ποταμού Dry Creek. Οι περιοχές δυτικά του ποταμού Dry Creek είναι γενικά αραιοκατοικημένες(Chuetal. 2004).

Τοποθεσία YUANLIN

Η πόλη Yuanlin (πληθυσμός ≈ 116.000, περιοχή = 40 km^2) βρίσκεται περίπου 15 χλμ. από το ρήγμα Chelungpu, παρόλα αυτά εντοπίζονται φαινόμενα ρευστοποίησης. Η πόλη τοποθετείται σε επίπεδες ορεινές αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικίας δυτικά της οδού Shan-Jao Road και παλαιότερος Πλειστοκαινικός ψαμμίτης και ιλιόλιθοι-σχιστόλιθοι ανατολικά της Shan-Jao Road που κλίνουν με κατεύθυνση προς τα ανατολικά. Τα επίπεδα των υπόγειων υδάτων βρίσκονται σχετικά σε μικρό βάθος, μεταξύ 0,5-7 m. Οι καταγραφές κινήσεων εδάφους από το σταθμό TCU110 στη Yuanlin υποδεικνύουν μια γεωμετρική μέση μέγιστη επιτάχυνση 0,18 g. Αυτός ο σταθμός βρίσκεται σε μια περιοχή όπου δεν παρατηρείται το ρήγμα. Η μετατόπιση του εδάφους στη Yuanlin από τον σεισμό Chi-Chi έλαβε τυπικά τη μορφή καθίζησης των εδαφικών σχηματισμών κάτω από τα κτίρια (Chuetal. 2004).

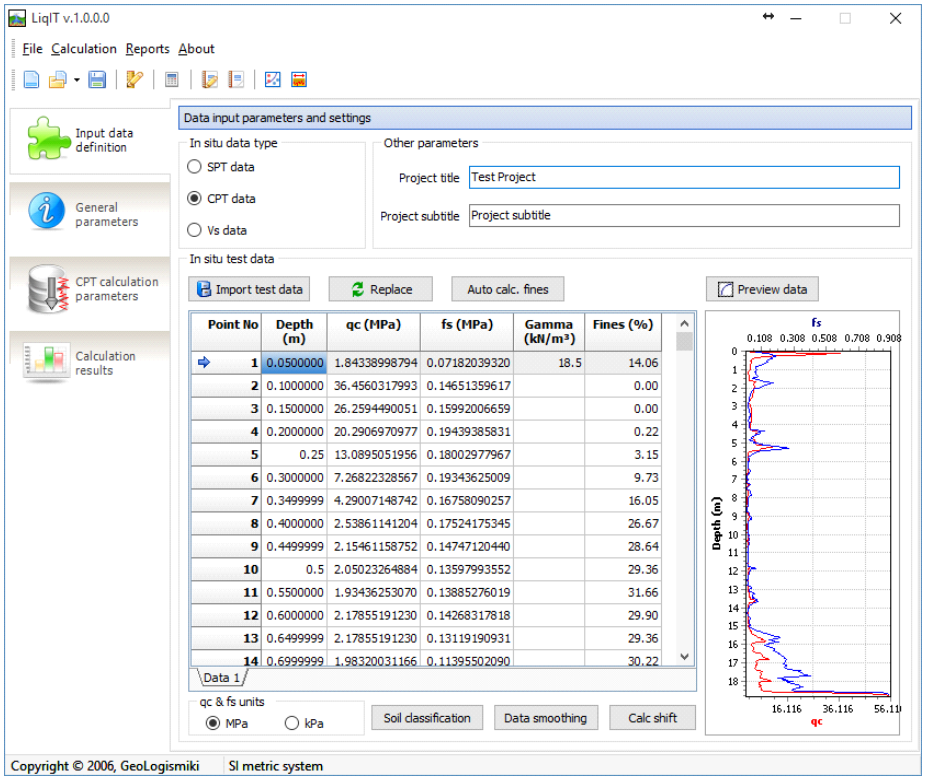
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Κεφάλαιο 5 : Μεθοδολογία

5.1 Λογισμικό (LiqIT)

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει ένα σύνολο γεωτρήσεων από τις τοποθεσίες Nantou και Wufeng, σε συνδυασμό με ένα λογισμικό , το LiqIT (Εικόνα 5.1) ,το οποίο χρησιμοποιεί τις πιο πρόσφατες και πολύ γνώστες χρησιμοποιούμενες μεθόδους προσδιορισμού ενός εδάφους ως ρευστοποιήσιμο ή μη , που υπάρχουν σήμερα . Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων πρέπει να χρησιμοποιούνται σύμφωνα με την τεχνική κρίση του χρήστη και λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές αβεβαιότητες.



Εικόνα 5.1 : Τα πεδία που είναι απαραίτητα να συμπληρωθούν για να διεξάγουμε αποτελέσματα παρατίθενται στην εικόνα.

Η ρευστοποίηση κορεσμένων εδαφών υπό την επίδραση ενός ισχυρού σεισμού είναι ένα από τα πιο σύνθετα θέματα που μπορεί να αντιμετωπίσει ο γεωλόγος. Το LiqIT είναι ένα λογισμικό ανάλυσης ρευστοποίησης εδάφους για την εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης βασισμένο σε κοινά χρησιμοποιούμενα δεδομένα πεδίου (SPT, CPT και Vs).Η διαδικασία υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1. Την αξιολόγηση του CRR (Cyclic Resistance Ratio), που αποτελεί παράμετρο στην πρόβλεψη του φαινομένου της ρευστοποίησης, σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα πεδίου (SPT, CPT ή Vs).

2. Η εκτίμηση του επαγόμενου σεισμικού φορτίου που εκφράζεται μέσω του λόγου κυκλικής αντοχής (CSR).

3. Ο υπολογισμός του συντελεστή ασφάλειας έναντι της ρευστοποίησης.

Επιπλέον, το LiqIT μπορεί να εκτιμήσει:
Την καθίζηση που μπορεί να προκληθεί μετά την ρευστοποίηση και το συνολικό δυναμικό ρευστοποίησης (Δείκτης δυναμικού ρευστοποίησης Iwasaki LPI).

5.2 Διαδικασία

Όσον αφορά τη διαδικασία, πρώτο και βασικό βήμα είναι στα φύλλα των γεωτρήσεων να χωρίσουμε τους εδαφικούς σχηματισμούς με κριτήριο την αλλαγή της σύστασης του εδάφους . Στην συνέχεια, υποδιαιρούμε στρώματα με ίδια σύσταση με κριτήριο το SPT , εάν ο αριθμός των κτύπων είναι πάνω από 30 δηλαδή N>30 , το στρώμα θεωρείται μη ρευστοποιήσιμο, στα υπόλοιπα στρώματα εδάφους όπου ισχύει N<30, διερευνούμε με άλλα κριτήρια αν είναι ρευστοποιήσιμα ή όχι τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Τέλος, σημαντικό είναι να σημειώσουμε και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα (Εικόνα 1).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Sponsored by:
PEER, Caltrans
CEC, PG&E

Date: July 17 & July 18, 2002
Field Log by: DC
Operator: Mr. Yang of Shin-Yang Drilling
Drilling Method: Rotary wash/percussion with 9-cm-diameter fishtail bit
Water Table Elevation: 52.4
Notes: Coordinates Ref. Taiwan Datum 1997 (IUGG, GRS 80, 1980)

Elevation: 56
Drilling Equipment: Tripod Rig
Responsible Engineers: Daniel Chu
SPT System: 2 turns rope, pulley and cathead. AWJ rods.
Hammer Type: 140 lb donut hammer

Depth Scale (m)	Lithology	USCS	Sample Type and No.	SPT Blows/15 cm	Casing Depth (m)	Rod Length (m)	Energy Ratio (%)	Description	Dry Unit Weight (Tf/m^3)	Moisture Content (%)	Liquid Limit	Plasticity Index	% fines < 75 µm	< 5 µm (%)	< 2 µm (%)	D 50 (mm)	D 10 (mm)	Remarks
0								FILL: Dark brown, moist, soft silty clay										
1		SM	S-1	1-2-2	0.55	2.16		SILTY SAND: Brown to yellowish brown, moist, loose to medium dense, fine to medium silty sand	1.54	11.0		NP	13			0.15	0.068	
2		SM	S-2	4-3-2	1.55	3.16			1.71	15.2		NP	10			0.16	0.068	
3		SM	S-3	1-0.5-0.5	2.55	4.16			1.45	20.7		NP	13			0.18	0.068	
4		SM-SC	S-4	1-1-2	3.3	6.16		CLAY AND SILT: Brown, wet, very soft, very fine, sandy silt to silty clay to clayyey silt	1.43	21.7	28	7	31	23	11	0.12	0.0012	
			SH-1	push	3.3				1.64	22.97								
5		SM	S-5	5-6-9	3.3	7.16		SC: Greenish brown, wet, medium dense, sandy silt to clayey sand	1.85	16.2		NP	10			0.19	0.068	
6		SM	S-6	3-6-5	3.3	7.16		SAND AND SILT: Dark brown to gray, wet, medium dense, silty sand to sandy silt with gravels up to 1.5 cm	1.93	14.0		NP	36			0.11	0.011	
7		SM	S-7	7-5-9	6.3	9.16		diameter	1.87	16.0		NP	26			0.16	0.011	
8		SM	S-8	7-8-10	6.3	9.16			1.91	15.2		NP	33			0.18	0.012	
9		SM	S-9	7-13-23	6.3	10.16		SILTY SAND: Gray, wet, dense, fine silty sand	1.99	13.1		NP	27			0.17	0.01	**Μη ρευστοποιήσιμο γιατί N>30.**
10		SM	S-10	11-8-12	9.3	12.16			2.03	12.3		NP	26			0.19	0.02	
11		SM	S-11	7-10-13	9.3	12.16			1.97	13.2		NP	8			0.17	0.08	

Εικόνα 1 : Με την μπλε ευθεία γραμμή συμβολίζεται το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα το οποίο στην συγκεκριμένη γεώτρηση βρίσκεται στα 3.6 μέτρα [Elevation (56μ)- WaterTableelevation (52.6m)], το στρώμα που θεωρείται μη ρευστοποιήσιμο επειδή ο αριθμός χτύπων (N) SPT είναι πάνω από 30 (μοβ τετράγωνο 13+23=46>30) βρίσκεται σε βάθος μεταξύ 8.80 και 10 μέτρων . Οι κόκκινες ευθείες γραμμές αντιπροσωπεύουν τον διαχωρισμό των στρωμάτων.

Σύμφωνα με τα κριτήρια που υπάρχουν στο κεφάλαιο 2.4.5 (Κατηγορίες επιδεκτικών εδαφών προς ρευστοποίηση- Όρια Attemberg), προχωράμε σε περαιτέρω διαχωρισμό των στρωμάτων. Όταν το όριο υδαρότητας είναι μεγαλύτερο του 37 (LL>37) ή το όριο πλαστικότητας πάνω από 12 (PL>12), τότε το στρώμα θεωρείται μη ρευστοποιήσιμο.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Όριο υδαρότητας LL (liquidity limit) είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία κατά τη χρονική στιγμή που το έδαφος μεταπίπτει από τη ρευστή (υδαρή) στην πλαστική κατάσταση. Όριο πλαστικότητας PL (plasticity limit) είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική κατάσταση στην ημιστερεή και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο (διαμέτρου <3 mm), χωρίς αυτός να θραύεται (Εικόνα 2). Τα ανωτέρα όρια είναι γνωστά σαν όρια Atterberg ή όρια συνεκτικότητας .

Depth Scale (m)	Lithology	USCS	Sample Type and No.	SPT Blows/15 cm	Casing Depth (m)	Rod Length (m)	Energy Ratio (%)	Description	Dry Unit Weight (t/m^3)	Moisture Content (%)	Liquid Limit	Plasticity Index	% fines < 75 μm	< 5 μm (%)	< 2 μm (%)	D 50 (mm)	D 10 (mm)	Remarks
0								Fill: Moist, with silty fine sand, road base material cobble										
1		CL	SH-1 S-1	1-1-3				Silty Clay: Gray to brownish yellow, moist to wet, medium stiff to stiff, often with thin layers of sandy silt, with traces of organic soil; -8.5~9.2m with quite a few gravel; -25-25.5m with silty fine sand and few gravel	1.46	32.7	44.0	22.1	96	52	35	0.0047	<0.001	**ΟΧΙ ρευστοποιήσιμο**
4		CL	SH-2 S-2	2-3-5					1.46	27.0	38.3	17.1	95	62	42	0.0024	<0.001	**ΟΧΙ ρευστοποιήσιμο**
6		CL	S-3	2-3-4					1.47	27.5	28.8	19.0	93	59	34	0.0036	<0.001	**ΟΧΙ ρευστοποιήσιμο**
8		CL	S-4	5-6-7					1.70	20.0	49.7	32.4	83	15	12.5	0.033	0.001	**ΟΧΙ ρευστοποιήσιμο**
9		GC	S-5	3-5-8					1.54	27.7	44.9	23.0	47	33	22.5	5.1	0.001	
10		CL	S-6	2-5-6					1.46	30.5	48.4	23.4	97	70	49	0.0021	<0.001	
12		CL	S-7	3-5-7					1.53	29.3	49.8	23.9	98	58	35	0.004	<0.001	
13		CL	S-8	3-4-7					1.55	24.5	36.2	16.4	98	48	22.5	0.0055	<0.001	**ΟΧΙ ρευστοποιήσιμο**
14																		

Εικόνα 2 : Στα μαύρα τετράγωνα είναι το όριο υδαρότητας LL (αριστερά) και το όριο πλαστικότητας PL (δεξιά) .Τα παραπάνω στρώματα είναι μη ρευστοποιήσιμα σύμφωνα με τα όρια Attemberg .

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Το λογισμικό για να διεξάγει τα διαγράμματα απαιτεί το βάθος (depth (m)) των σχηματισμών μαζί με τις τιμές SPT , που αντιστοιχούν σε κάθε βάθος. Επίσης, απαιτείται το συνολικό βάρος μονάδας του εδάφους στο βάθος της δοκιμής (unit weight (kN/m^3) , το οποίο πάνω από τον υδροφόρο κάνουμε την παραδοχή και παίρνει την τιμή 17.00 ενώ κάτω παίρνει την τιμή 19.00, και τέλος το ποσοστό των λεπτόκοκκων εδαφών (fines content) το οποίο βρίσκεται στα φύλλα των γεωτρήσεων.
Τα δεδομένα της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (SPT) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της επιδεκτικότητας εδαφικών σχηματισμών σε ρευστοποίηση.
Γενικές παράμετροι που είναι απαραίτητοι να τοποθετηθούν είναι η επιτάχυνση του εδάφους κατά τη διάρκεια του σεισμού στη συγκεκριμένη τοποθεσία που μελετάται, το ύψος του υδροφόρου την στιγμή της πυρηνοληψίας και το μέγεθος του σεισμού. Σύμφωνα με τα δεδομένα που δόθηκαν στο λογισμικό , δημιουργούνται διαγράμματα CSR και CRR, διάγραμμα του δείκτη ασφαλείας καθώς και διάγραμμα καθίζησης.Τέλος, στον υπολογισμό της ρευστοποίησης σημαντικό ρόλο κατέχει και ο δείκτης του δυναμικού της ρευστοποίησης LPI.

CSR : Ο κυκλικός λόγος τάσεων υπολογίζεται από τον τύπο των Seed and Idriss (1971) :

$$CSR_{7.5} = 0.65\left(\frac{\sigma_v}{\sigma_v'}\right)\left(\frac{a_{max}}{g}\right)(r_d)$$

Όπου:

$CSR_{7.5}$: κυκλικός λόγος τάσεων σε σεισμούς με μέγεθος 7.5

σ_v :ολική τάση

σ_v' : ενεργή τάση

a_{max} : επιτάχυνση διάδοσης του σεισμού

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

r_d :παράγονταςμείωσηςπίεσης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

CRR : Ο λόγος κυκλικής αντίστασης (CRR) είναι μία από τις θεμελιώδεις παραμέτρους στην πρόβλεψη του φαινομένου ρευστοποίησης, που συχνά παρατηρείται κατά τη διάρκεια πολλών μέτριων έως ισχυρών σεισμών σε μείγματα αποθέσεων χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων υλικών. Αυτή η παράμετρος μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας κυκλικές δοκιμές στα μη διαταραγμένα ή ανασυσταθέντα εργαστηριακά δείγματα (HassanSharafietal. 2014, SaharJalilietal.2014). Ο λόγος της κυκλικής αντίστασης υπολογίζεται από τον τύποτον Seedetal. 1985:

$$100 \times \mathrm{CRR}7.5 = \frac{95}{34 - N60} + \frac{\mathrm{N}60}{1.3} - \frac{1}{2}$$

Όπου $CRR_{7.5}$είναι ο λόγος της κυκλικής αντίστασης για σεισμούς με Mw=7,5 και το N_{60} ισοδυναμεί με τους κτύπους του SPTγια N_{60}<=30.

Συντελεστής ασφαλείας (F) : Ο παράγοντας ασφάλειας έναντι της ρευστοποίησης ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη κυκλικής αντοχής (CRR) ως προς τον λόγο των αναπτυσσόμενων κυκλικών τάσεων (CSR), F= CRR/CSR, όπου για τις τιμές του F<=1 το έδαφος χαρακτηρίζεται ρευστοποιήσιμο ενώ για τις τιμές F>1 ως μη ρευστοποιήσιμο. Στο πλαίσιο της ρευστοποίησης, η πιθανότητα ρευστοποίησης αποτελεί σημαντικό όρο με τον οποίο υπολογίζεται στην συνέχεια και ο παράγοντας ασφαλείας έναντι της ρευστοποίησης (Παπαθανασίου, 2006).

Πιθανότητα Ρευστοποίησης σύμφωνα με τον δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης LPI (Iwasakietal. 1982) :

LPI: 0 μη ρευστοποιήσιμο

LPI: 0-5 μη πιθανή ρευστοποίηση

LPI: 5-15 πιθανή ρευστοποίηση

LPI : >15 σίγουρη Ρευστοποίηση

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Κεφάλαιο 6 : Μεθοδολογία - Αποτελέσματα

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή μελετήθηκαν 9 φύλλα γεωτρήσεων τα οποία ανήκαν στις τοποθεσίες Nantou και Wufeng, στα μέρη δηλαδή που το φαινόμενο της ρευστοποίησης παρατηρήθηκε πιο έντονα μετά τον σεισμό.

Στην τελική εικόνα του φύλλου της γεώτρησης έχουμε διαχωρίσει τα στρώματα σε ρευστοποιήσιμα και μη σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια(Εικόνα 3). Τα δεδομένα που περνάμε στο λογισμικό είναι το βάθος των στρωμάτων , το SPT, το ποσοστό των λεπτόκοκκων και το βάθος του υδροφόρου .

Translation and Formatting: Daniel Chu

Date: 12/31/99-1/05/00
Test ID MAANS-3
Operator: Shing-Yang Drilling
Drilling Method: Rotary wash/percussion with fish-tail bit
Water Table Elevation: 83.33
Notes: Data source: NCREE, 1999

Elevation: 87.33
Drilling Equipment: Tripod Rig
Responsible Engineers: Moh and Associates
SPT System: Rope, pulley and cathead method. AWJ rods.
Hammer Type: 140-lb Donut Hammer

Depth Scale (m)	Lithology	USCS	Sample Type and No.	SPT Blows/15 cm	Casing Depth (m)	Rod Length (m)	Energy Ratio (%)	Description	Dry Unit Weight (t/m^3)	Moisture Content (%)	Liquid Limit	Plasticity Index	% fines < 75 µm	< 5 µm (%)	< 2 µm (%)	D 50 (mm)	D 10 (mm)	Remarks
0																		
1		CL	S-1	2-2-3				Silty Clay: Brownish yellow, moist, soft to medium stiff	1.55	24.2	32.8	11.8	87	16	10	0.02	0.003	
2																		
3		CL	S-2	1-1-1					1.59	27.2	34.4	13.5	84	13	9.5	0.028	0.0037	
4								Silty Sand: Brownish yellow, moist to wet, medium dense silty fine sand, occasionally with thin layers of clay - 8.0~8.5m with few gravel(fmax=5cm)				13.5							OXI ρευστοποιήσιμο
5		SM	SH-1 S-3	3-4-5					1.61	24.4		NP	20	6	4	0.15	0.03	
6		SM	S-4	3-3-4					1.63	24.8		NP	18	3	1	0.16	0.033	
7																		
8																		
9		SM	S-5	15-15-18					1.87	16.3		NP	16	5	2.5	1.4	0.028	OXI ρευστοποιήσιμο
10		CL	S-6	3-5-8				Silty Clay: Brownish gray, wet, stiff	1.56	26.2	33.9	12.9	99	21	8	0.017	0.0024	OXI ρευστοποιήσιμο
11		CL	S-7	5-8-13					1.74	21.7	25.6	8.2	90	16	9	0.026	0.0023	

Εικόνα 3 : Διαχωρισμός των στρωμάτων με τις κόκκινες ευθείες. Η μπλε ευθεία γραμμή αντιπροσωπεύει το βάθος του υδροφόρου. Τα στρώματα που είναι μη ρευστοποιήσιμα τα συναντάμε στα 4m, 9,4m και 11m . (Γεώτρηση Maans-3, Nantou).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στην εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό υπογραμμίζεται το PointID, το οποίο αντιστοιχεί στα βάθη που τα στρώματα είναι μη ρευστοποιήσιμα πάντα σύμφωνα με το φύλλο της γεώτρησης(ΕΙΚΟΝΑ Α).

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/m³)	Fines content (%)
1	1.60	5.00	17.00	87.00
2	3.00	2.00	17.00	87.00
3	4.00	9.00	17.00	84.00
4	5.50	9.00	19.00	20.00
5	8.00	7.00	19.00	18.00
6	9.40	33.00	19.00	16.00
7	11.00	13.00	19.00	99.00
8	12.00	21.00	19.00	90.00
9	13.40	20.00	19.00	99.00
10	14.40	28.00	19.00	30.00

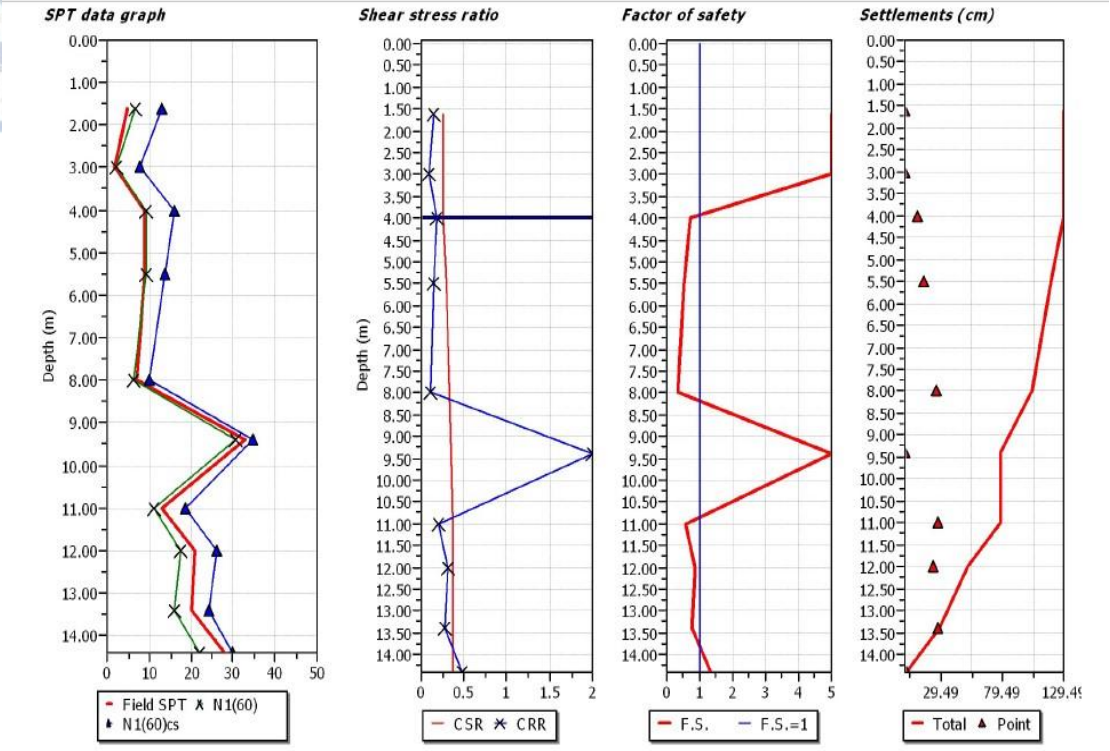
Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m³)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

ΕΙΚΟΝΑΑ

Στα αποτελέσματα του λογισμικού παρατίθενται 4 διαγράμματα, ένα που δείχνει το SPT , το δεύτερο που συγκρίνει τις τιμές του λόγου της κυκλικής αντίστασης (CRR) και του επαγόμενου σεισμικού φορτίου (CRS) , ένα τρίτο που απεικονίζει τον συντελεστή ασφαλείας F και το τελευταίο με την συνολική καθίζησηόλα σε συνάρτηση με το βάθος. Στόχος είναι να υπολογιστεί η συνολική καθίζηση και η πιθανότητα ρευστοποίησης σύμφωνα με τον Iwasaki (LPI) αφαιρώντας τα στρώματα που έχουμε επιλέξει από την στήλη Point ID . (EIKONAB)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



ΕΙΚΟΝΑ Β :Απεικονίζεται το αντίστοιχο φύλλο της γεώτρησηςMaans-3 μετά την εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων στο λογισμικό LiqiT.

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	13.16	10.97	5.00	0.00	0.00
2	7.86	6.55	5.00	0.00	0.00
3	16.13	13.44	0.71	2.90	10.14
4	13.82	11.52	0.52	3.23	15.36
5	10.16	8.47	0.33	3.84	25.95
6	34.84	29.03	5.00	0.00	0.00
7	18.56	15.47	0.56	2.64	26.94
8	26.18	21.82	0.84	1.96	22.56
9	24.32	20.26	0.75	2.12	26.93
10	29.98	24.98	1.33	0.12	1.61

Total settlement : 129.49

$N_{1(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.20	0.00
2	0.00	8.50	0.00
3	0.29	8.00	2.33
4	0.48	7.25	5.20
5	0.67	6.00	9.99
6	0.00	5.30	0.00
7	0.44	4.50	3.19
8	0.16	4.00	0.64
9	0.25	3.30	1.14
10	0.00	2.80	0.00

Overall potential I_L : 22.48

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Στην αριστερή εικόνα η συνολική καθίζηση ισούται με 129.49, αλλά αφαιρώντας τα στρώματα που είναι μη ρευστοποιήσιμα θα έχουμε 129.49-10.14-26.94= 92.41.Αντίστοιχα στη δεξιά εικόνα παρατίθενται η πιθανότητα της ρευστοποίησης σύμφωνα με τον Iwasaki , το αποτέλεσμα είναι 22.48-2.33-3.19= 16.96. Σύμφωνα με τα κριτήρια LPI>15, οπότε η ρευστοποίηση είναι σίγουρη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στη πόλη Nantou αντιστοιχούν οι Maans-1, Maans-3, Maans-4, Nbs-2, Nbs-4καιNbs-5 γεωτρήσεις με επιτάχυνση 0.38gενώ στην πόλη Wufenganτιστοιχούν οι Wcs-1, Wcs-2 καιWas-2 γεωτρήσεις με επιτάχυνση 0.67g. Με βάση τις παραπάνω γεωτρήσεις και το λογισμικό LiqiT καταλήγουμε στον παρακάτω Πίνακα.

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ-ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (g)	LPI (συντελεστής ρευστοποίησης Iwasaki)	ΚΑΘΙΖΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ (m)	Μη ρευστοποιήσιμα στρώματα σε βάθος (m)
MAANS-1-NANTOY	0,38	2,77 (μη πιθανή ρευστοποίηση)	61,78	5,3	1-3.1, 3.1-5.3, 5.3-7.2, 7.2-12.5
MAANS-3-NANTOY	0,38	16,96 (σίγουρη ρευστοποίηση)	92.41	4	3-4, 8-9.4, 9.4-11
MAANS-4-NANTOY	0,38	25,22 (σίγουρη ρευστοποίηση)	165,29	5	Δεν υπάρχουν
NBS-2-					

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

NANTOY	0,38	27,80 (σίγουρη ρευστοποίηση)	112,05	1	Δεν υπάρχουν
NBS-4-NANTOY	0,38	30,85 (σίγουρη ρευστοποίηση)	209,37	1	3.5-4.4, 7.5-8.4, 9.4-10.8
NBS-5-NANTOY	0,38	27,75 (σίγουρη ρευστοποίηση)	209,66	1	8.9-10.6
WCS-1-WUFENG	0,67	49,36 (σίγουρη ρευστοποίηση)	196,32	1,2	12.4-13.4
WCS-2-WUGENG	0,67	37,04 (σίγουρη ρευστοποίηση)	210,54	0,4	8.8-10
WAS-2-WUFENG	0,67	31,86 (σίγουρη	91,52	1,1	4-5.4

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

		ρευστοποίηση)			

Τέλος, είναι απαραίτητο να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα που προέρχονται από το λογισμικό LiqiT με τα δεδομένα που μας δόθηκαν στις γεωτρήσεις. Συγκρίνοντας ,λοιπόν, τα αποτελέσματα του πίνακα που βρήκαμε με τις γεωτρήσεις που μας δόθηκαν καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα :
Στην πόλη Nantou , όπου το φαινόμενο της ρευστοποίησης ήταν αρκετά έντονο επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματα μας και πιο συγκεκριμένα , στις γεωτρήσεις Maans-3 και Maans-4 παρατηρήθηκαν σποραδικές εδαφικές αστοχίες και κώνοι άμμου. Επιπλέον, στις γεωτρήσεις Nbs-2, Nbs-4 και Nbs-5 έχουμε σίγουρη ρευστοποίηση με καθίζηση τους εδάφους κάτω από τα κτίρια. Βέβαια, στη γεώτρηση Maans-1 δεν παρατηρούνται φαινόμενα ρευστοποίησης .Στην πόλη Wufeng , οι γεωτρήσεις Wcs-1 και Wcs-2 δείχνουν ρευστοποίηση με πλευρικές μετατοπίσεις του εδάφους και τέλος στη γεώτρηση Was-2 συναντάμε ρευστοποίηση με καθίζηση τους εδάφους κάτω από τα κτίρια.Η ομοιότητα και η συμφωνία των αποτελεσμάτων μας με τα δεδομένα που μας δόθηκαν δείχνουν ότι το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι ικανό να προβλέψει τη ρευστοποίηση.

Στην παρούσα διπλωματική περιγράψαμε το φαινόμενο της ρευστοποίησηςκαι τα αποτελέσματά της βασιζόμενοι στην εμφάνιση της μετά από σεισμικές δραστηριότητες στις πόλεις Nantoukαι Wufeng, στηTaiwan. Οι μέθοδοι καθώς και το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε αποδείχτηκαν αρκετά ικανοποιητικά για την διεξαγωγή των σωστών αποτελεσμάτων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κεφάλαιο 7 : Βιβλιογραφία

Ambraseys, N.N., 1988.Engineering seismology, Int. J. Earthq.Eng. Struct.Dyn. 17, pp. 1-105

Chu, Daniel BStewart, Jonathan PLee, ShannonTsai, J. SLin, P. SChu, B. LSeed, Raymond BHsu, S. CYu, M. SWang, Mark C.H. Documentation of soil conditions at liquefaction and non-liquefaction sites from 1999 Chi-Chi (Taiwan) earthquake 2004.

Dominguez, S., J.P. Avouac, and M. Remi, Horizontal coseismic deformation of the 1999 Chi-Chi earthquake measured from SPOT satellite images: implications for the seismic cycle along the western foothills of central Taiwan., Journal of Geophysical Research, 108 (B2), 2083, 2003.

Hassan Sharafi, Sahar Jalili 2014Assessment of Cyclic Resistance Ratio (CRR) in Silty Sands Using Artificial NeuralNetworks,

Ji, C., D.V. Helmberger, A.T.-R.Song, K.-F. Ma, and D.J. Wald, Slip distribution and tectonic implications of the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, Geophysical Research Letters, 28 (23), 4379-4382, 2001.

Hsu, Y.-J., M. Simons, S.-B.Yu, L.-C.Kuo, and H.-Y. Chen, A two-dimensional dislocation model for interseismic deformation of the Taiwan mountain belt., Earth and Planetary Science Letters, 211, 287-294, 2003.

Iwasaki, T. Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., Sato, H., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, Proc., 3rd Int. Conf. on microzonation , Seattle, Vol. 3, pp. 1310-1330

Καπάτσωλου Α., 2008. Εκτίμηση της επικινδυνότητας για ρευστοποίηση των εδαφών στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Πατρών. Διατριβή ειδίκευσης. Πανεπιστήμιο Πατρών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κούκης, Γ., Σαμπατάκης., 2002. Τεχνική Γεωλογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 515 σελ.

Kramer, S.L. (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Upper Saddle River, NI.: Prentice Hall, 1996

Lee, W. H. K., Shin, T. C., Kuo, K. W., and Chen, K. C. (1999), CWB Free-Field Strong Montion data from the 921 Chi-Chi Earthquake: Volume 1. Digital Acceleration Files on CD-Rom, Seismology Center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, December 6, 1999.

Lee, D.H., Ku, C.S., and Juang, C.H. (2000), "Preliminary investigation of soil liquefaction in the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake," Proceedings, International Workshop on Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake, Vol. III – Geotechnical Aspect, C.H. Loh and W.I. Liao, eds., National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan, pp. 140-151.

Lee, D.H., Juang, C.H., and Ku, C.S. (2001), "Liquefaction performance of soils at a partially improved site in the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 38, No. 6, (in press).

Lee, D.H. and Ku, C.S. (2001), "A study of the soil characteristics at liquefied areas," Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, accepted for publication, (in Chinese).

Lee, J.-C., Y.-G.Chen, K. Sieh, K. Mueller, W.-S.Chen, H.-T.Chu, Y.-C. Chan, C.M. Rubin, and R. Yeats, A vertical exposure of the 1999 surface rupture of the Chelungpu Fault at Wufeng, western Taiwan: structural and paleoseismic implications for an active thrust fault., Bulletin of the Seismological Society of America., 91 (5), 914-929, 2001.

Loevenbruck, A., R. Cattin, X. Le Pichon, M.-L. Courty, and S.-B. Yu, Seismic cycle in Taiwan derived from GPS measurements.,ComptesRendus De L' Academie Des Sciences, 333, 57-64, 2001.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Lin, C.-H., Thermal modeling of continental subduction and exhumation constrained by heat flow and seismicity in Taiwan, Tectonophysics, 324, 189-201, 2000.

Lin, A.T., A.B. Watts, and S.P. Hesselbo, Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the South China Sea margin in the Taiwan region., Basin Research, 15, 453-478, 2003.

MAA (2000a), Soil Liquefaction Assessment and Remediation Study, Phase I (Yu-anlin, Dachun, and Shetou), Summary Report and Appendixes, Moh and Associates (MAA), Inc., Taipei, Taiwan (in Chinese).

MAA (2000b), Soil Liquefaction Investigation in Nantou and Wufeng Areas, Moh and Associates (MAA), Inc. Taipei, Taiwan (in Chinese).

Ma, H.F., C.T. Lee, Y.-B.Tsai, T.-C. Shin, and J. Mori, The Chi-Chi, Taiwan earthquake: large surface displacements on an inland thrust fault., EOS, Transactions, American Geophysical Union, 80 (50), 605-611, 1999.

Malavieille, J., S.E. Lallemand, S. Dominguez, A. Deschamps, C.-Y.Lu, C.-S. Liu, P. Schnurle, and A.S. Crew, Arc-continent collision in Taiwan : new marine observations and tectonic evolution., Geological Society of America Special Paper, 358, 189-213, 2002.

Megan Anderson (5 March 2001). "Introduction to Geologic Features". Taiwan: An Active Continental Subduction Zone.

National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE), National Advanced Project in Hazard Mitigation (NAPHM), and Taiwan Geotechnical Society (GST). Geotechnical 16reconnaissance report of the 921 Ji-Ji earthquake, Taiwan, 1999, in Chinese.

Obermeier, S.F., 1996. Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis - an overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

otherfatures and how their regional distrinution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleoearthqukaes, Engineering Geology, 44, pp. 1-76

ΠαπαθανασίουΓ., 2006, Φαινόμεναρευστοποίησηςεδαφώνστονελληνικόχώρο.

Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971. Simplified Procedure for evaluation Soil liquefaction potential, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, 97 SM9, pp. 1249-1273

Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, R.M., 1985. The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations, J. Geotech. Engrg, ASCE, 111 (12), pp. 1425-1445

Seed, R.B., Cetin, O.K., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., Riemer, M.F., Sancio, R.B., Bray, J.D., Kayen, R.E., Faris, A., 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework, 26th annual ASCE L.A. Geot.Sem., Long Beach, California, April 30, p 71.

Seno, T., The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate., Tectonophysics, 42, 209-226, 1977

Youd, T.L., 1998. Screening guide for rapid assessment of liquefaction hazard at highway bridge site, Technical report MCEER-98-0005, 58 pp.

Youd et al. (2001) “Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of Soils”,

Youd, T.L., Idriss, I.M., 2001. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils, J. Geotec. Geoenv. Eng., 817-833

Yu, S.-B., H.-Y.Chen and L.-C. Kuo, Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. Tectonophysics, 274, 41-59, 1997

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Yu, M.S., Shieh, B.C., and Chung, Y.T. (2000), "Liquefaction induced by Chi-Chi earthquake on reclaimed land in central Taiwan," Sino-Geotechnics, No. 77, pp. 39-50 (in Chinese).

Yu, S.-B., L.-C.Kuo, Y.-J.Hsu, H.-H.Su, C.C. Liu, C.-S.Hou, J.-F.Lee, T.-C.Lai, C.C. Liu, C.-L.Liu, T.-F.Tseng, C.-S.Tsai and T.-C. Shin, Preseismic deformation and coseismic displacements associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake., Bulletin of the Seismological Society of America., 91 (5), 995-1012, 2001

Xing zheng yuan.921 Earthquake Post-disaster Recover CommissionExperiences on Post-disaster Reconstruction for the 921 Earthquake.Taiwan Historica. 2006.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

http://www.geo.arizona.edu/~anderson/taiwan/intro.html
http://www.tectonics.caltech.edu/taiwan/regional.htm
https://geologismiki.gr/products/liqit/
https://cecas.clemson.edu/chichi/TW-LIQ/Studied-area.htm
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795203001297
http://escholarship.org/uc/item/0jh8z8jj#page-4
http://mitigation.eeri.org/gallery/main.php?g2_itemId=33633
https://file.scirp.org/pdf/OJCE_2014082814523144.pdf
http://peer.berkeley.edu/lifelines/research_projects/3A02/
https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-219182249741411/unrestricted/Chp07.pdf

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελέσματα του LiqiT

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

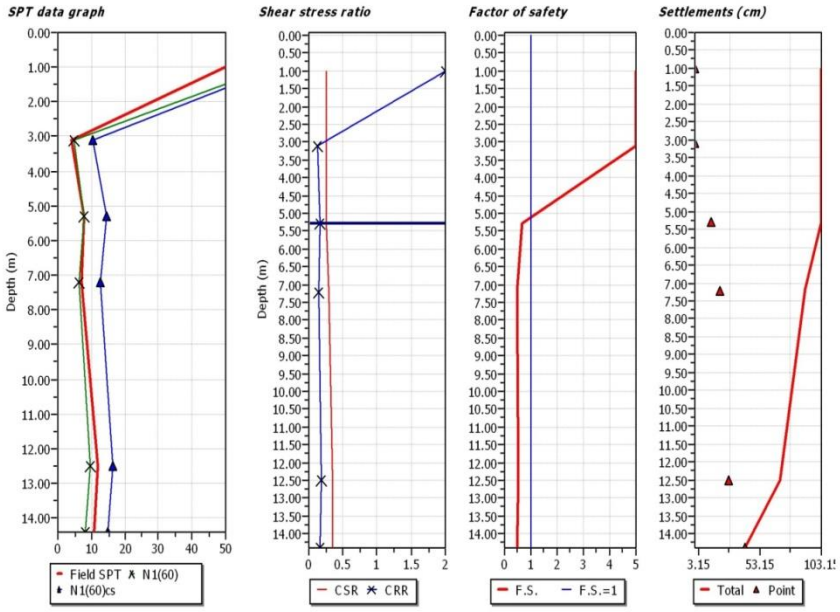
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

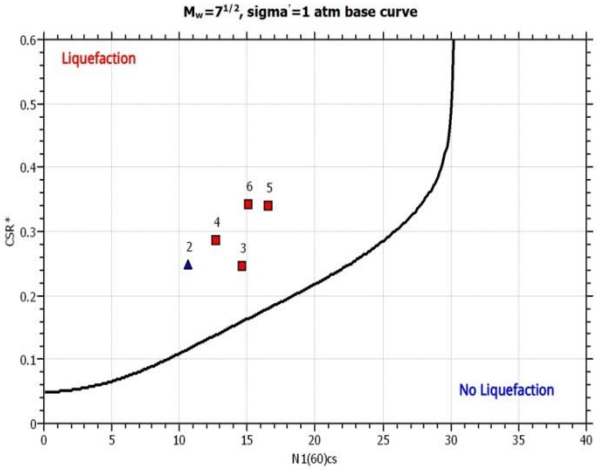
Project title : NANTOU

Project subtitle : MAANS-1

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	5.30 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.38 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	1.00	50.00	17.00	10.00
2	3.10	4.00	17.00	96.00
3	5.30	8.00	17.00	95.00
4	7.20	7.00	19.00	93.00
5	12.50	12.00	19.00	97.00
6	14.40	11.00	19.00	98.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	1.00	17.00	0.00	17.00	0.99	0.25	0.97	0.25	1.00	0.25
2	3.10	52.70	0.00	52.70	0.98	0.24	0.97	0.25	1.00	0.25
3	5.30	90.10	0.00	90.10	0.96	0.24	0.97	0.25	1.00	0.25
4	7.20	126.20	18.64	107.56	0.94	0.27	0.97	0.28	0.99	0.29
5	12.50	226.90	70.63	156.27	0.84	0.30	0.97	0.31	0.91	0.34
6	14.40	263.00	89.27	173.73	0.79	0.30	0.97	0.31	0.90	0.34

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$: CSR adjusted for M= 7.5
K_{sigma} : Effective overburden stress factor
CSR^* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	50.00	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	63.75	2.25	66.00	2.00
2	4.00	1.38	1.00	1.00	0.85	1.00	4.68	5.94	10.62	0.12
3	8.00	1.05	1.00	1.00	0.95	1.00	8.01	6.60	14.61	0.16
4	7.00	0.96	1.00	1.00	0.95	1.00	6.41	6.28	12.69	0.14
5	12.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	9.60	6.92	16.52	0.18
6	11.00	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	8.35	6.67	15.01	0.16

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	66.00	55.00	5.00	0.00	0.00
2	10.62	8.85	5.00	0.00	0.00
3	14.61	12.17	0.65	3.12	13.10
4	12.69	10.58	0.48	3.40	20.90
5	16.52	13.77	0.53	2.84	27.98

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
6	15.01	12.51	0.48	3.06	41.16

Total settlement : 103.15

$N_{1(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.50	0.00
2	0.00	8.45	0.00
3	0.35	7.35	5.67
4	0.52	6.40	6.30
5	0.47	3.75	9.42
6	0.52	2.80	2.77

Overall potential I_L : 24.16

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

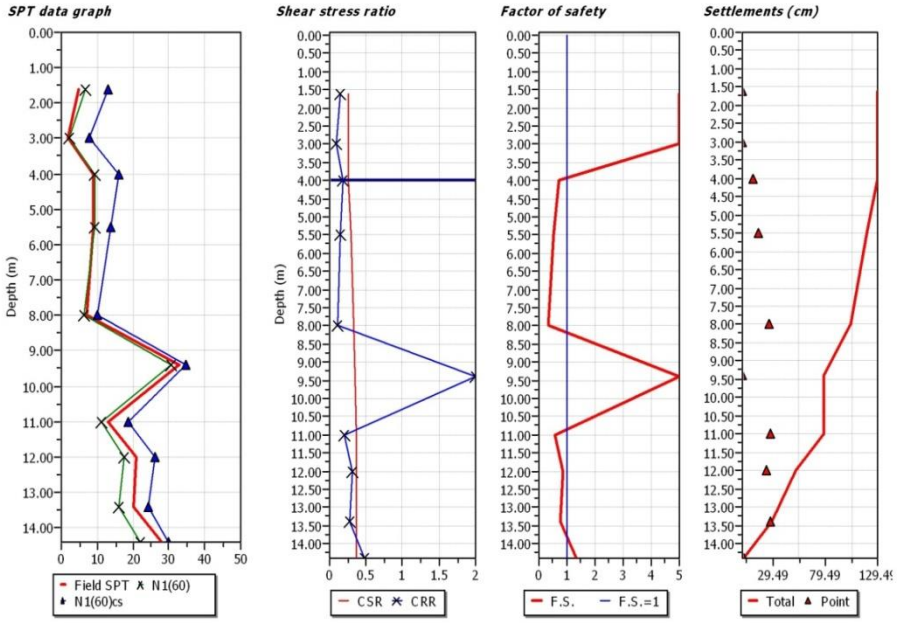
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

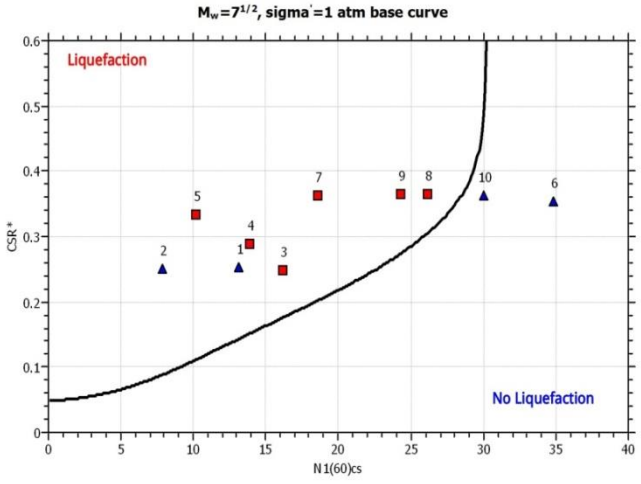
Project title : NANTOY

Project subtitle : MAANS-3

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	4.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.38 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	1.60	5.00	17.00	87.00
2	3.00	2.00	17.00	87.00
3	4.00	9.00	17.00	84.00
4	5.50	9.00	19.00	20.00
5	8.00	7.00	19.00	18.00
6	9.40	33.00	19.00	16.00
7	11.00	13.00	19.00	99.00
8	12.00	21.00	19.00	90.00
9	13.40	20.00	19.00	99.00
10	14.40	28.00	19.00	30.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	1.60	27.20	0.00	27.20	0.99	0.24	0.97	0.25	1.00	0.25
2	3.00	51.00	0.00	51.00	0.98	0.24	0.97	0.25	1.00	0.25
3	4.00	68.00	0.00	68.00	0.97	0.24	0.97	0.25	1.00	0.25
4	5.50	96.50	14.71	81.78	0.96	0.28	0.97	0.29	1.00	0.29
5	8.00	144.00	39.24	104.76	0.94	0.32	0.97	0.33	0.99	0.33
6	9.40	170.60	52.97	117.63	0.92	0.33	0.97	0.34	0.97	0.35
7	11.00	201.00	68.67	132.33	0.88	0.33	0.97	0.34	0.95	0.36
8	12.00	220.00	78.48	141.52	0.85	0.33	0.97	0.34	0.93	0.36
9	13.40	246.60	92.21	154.39	0.82	0.32	0.97	0.33	0.92	0.36
10	14.40	265.60	102.02	163.58	0.79	0.32	0.97	0.33	0.91	0.36

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M= 7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	5.00	1.70	1.00	1.00	0.80	1.00	6.80	6.36	13.16	0.14
2	2.00	1.40	1.00	1.00	0.85	1.00	2.38	5.48	7.86	0.09
3	9.00	1.21	1.00	1.00	0.85	1.00	9.28	6.86	16.13	0.18
4	9.00	1.11	1.00	1.00	0.95	1.00	9.45	4.37	13.82	0.15
5	7.00	0.98	1.00	1.00	0.95	1.00	6.50	3.66	10.16	0.11
6	33.00	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	30.43	4.41	34.84	2.00
7	13.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	11.30	7.26	18.56	0.20
8	21.00	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	17.65	8.53	26.18	0.31
9	20.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	16.10	8.22	24.32	0.27
10	28.00	0.78	1.00	1.00	1.00	1.00	21.89	8.08	29.98	0.48

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : ↜↞↕↠ я ↙↯↯ ⇄⇵ ↬↹ë.

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	13.16	10.97	5.00	0.00	0.00
2	7.86	6.55	5.00	0.00	0.00
3	16.13	13.44	0.71	2.90	10.14
4	13.82	11.52	0.52	3.23	15.36
5	10.16	8.47	0.33	3.84	25.95
6	34.84	29.03	5.00	0.00	0.00
7	18.56	15.47	0.56	2.64	26.94
8	26.18	21.82	0.84	1.96	22.56
9	24.32	20.26	0.75	2.12	26.93
10	29.98	24.98	1.33	0.12	1.61

Total settlement : 129.49

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.20	0.00
2	0.00	8.50	0.00
3	0.29	8.00	2.33
4	0.48	7.25	5.20
5	0.67	6.00	9.99
6	0.00	5.30	0.00
7	0.44	4.50	3.19
8	0.16	4.00	0.64
9	0.25	3.30	1.14
10	0.00	2.80	0.00

Overall potential I_L : 22.48

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη "ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

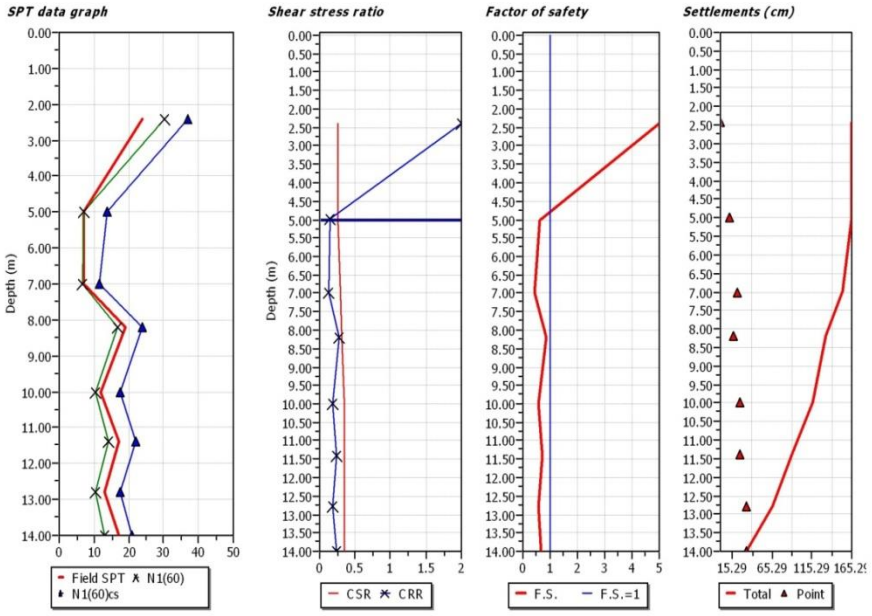
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

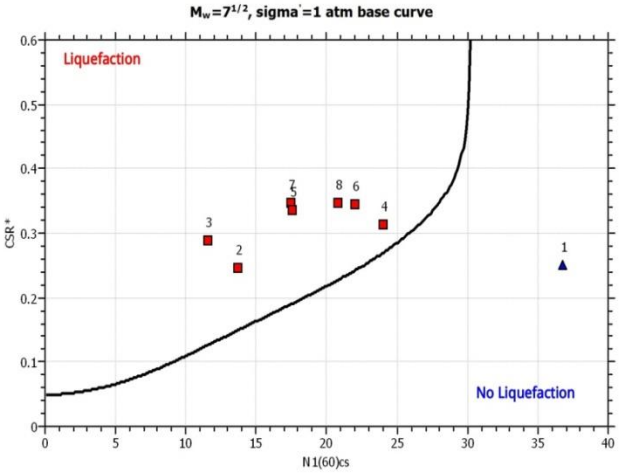
Project title : NANTOY

Project subtitle : MAANS-4

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	5.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.38 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	2.40	24.00	17.00	22.00
2	5.00	7.00	17.00	42.00
3	7.00	7.00	19.00	25.00
4	8.20	19.00	19.00	29.00
5	10.00	12.00	19.00	43.00
6	11.40	17.00	19.00	55.00
7	12.80	13.00	19.00	85.00
8	14.00	17.00	19.00	80.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	2.40	40.80	0.00	40.80	0.98	0.24	0.97	0.25	1.00	0.25
2	5.00	85.00	0.00	85.00	0.96	0.24	0.97	0.25	1.00	0.25
3	7.00	123.00	19.62	103.38	0.95	0.28	0.97	0.29	0.99	0.29
4	8.20	145.80	31.39	114.41	0.94	0.30	0.97	0.31	0.97	0.31
5	10.00	180.00	49.05	130.95	0.91	0.31	0.97	0.32	0.95	0.34
6	11.40	206.60	62.78	143.82	0.87	0.31	0.97	0.32	0.93	0.34
7	12.80	233.20	76.52	156.68	0.83	0.31	0.97	0.32	0.91	0.35
8	14.00	256.00	88.29	167.71	0.80	0.30	0.97	0.31	0.90	0.35

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M= 7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	24.00	1.57	1.00	1.00	0.80	1.00	30.06	6.73	36.79	2.00
2	7.00	1.08	1.00	1.00	0.95	1.00	7.21	6.44	13.66	0.15
3	7.00	0.98	1.00	1.00	0.95	1.00	6.54	5.04	11.58	0.13
4	19.00	0.93	1.00	1.00	0.95	1.00	16.88	7.10	23.98	0.27
5	12.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	10.49	7.10	17.58	0.19
6	17.00	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	14.18	7.84	22.01	0.24
7	13.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	10.39	7.08	17.46	0.19
8	17.00	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	13.13	7.63	20.75	0.23

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	36.79	30.65	5.00	0.00	0.00
2	13.66	11.38	0.61	3.26	12.06
3	11.58	9.65	0.44	3.58	21.47
4	23.98	19.98	0.86	2.12	16.10
5	17.58	14.65	0.57	2.73	24.84
6	22.01	18.34	0.70	2.33	24.92
7	17.46	14.55	0.55	2.74	33.16
8	20.75	17.29	0.65	2.44	32.74

Total settlement : 165.29

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	8.80	0.00
2	0.39	7.50	7.68
3	0.56	6.50	7.32
4	0.14	5.90	1.01
5	0.43	5.00	3.89
6	0.30	4.30	1.78
7	0.45	3.60	2.28
8	0.35	3.00	1.25

Overall potential I_L : 25.22

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟ

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

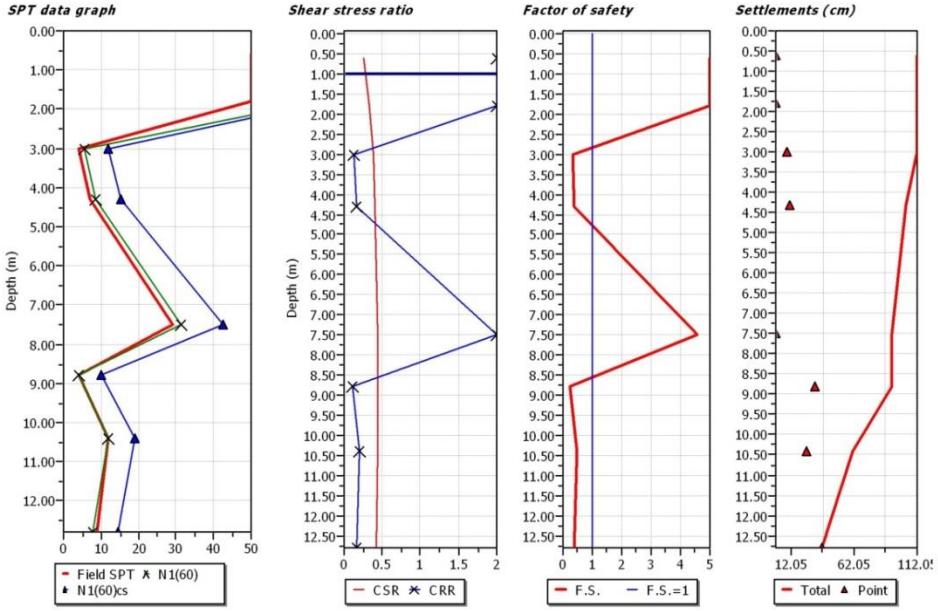
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

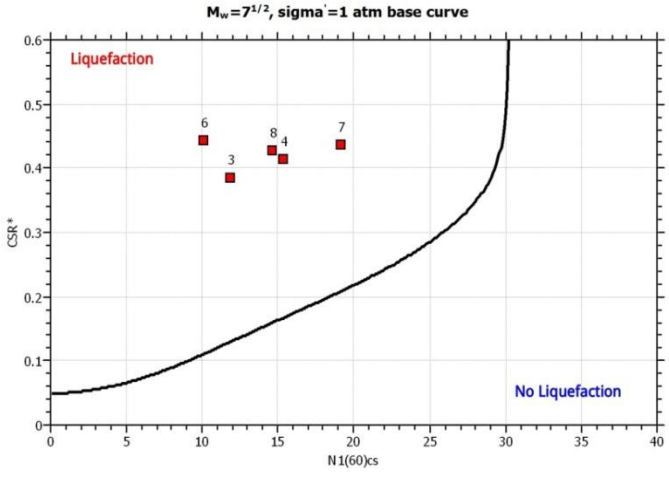
Project title : NANTOY

Project subtitle : NBS-2

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	1.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.38 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	0.60	50.00	17.00	10.00
2	1.80	50.00	19.00	10.00
3	3.00	4.00	19.00	92.00
4	4.30	7.00	19.00	98.00
5	7.50	29.00	19.00	97.00
6	8.80	4.00	19.00	99.00
7	10.40	12.00	19.00	94.00
8	12.80	9.00	19.00	99.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	0.60	10.20	0.00	10.20	1.00	0.25	0.97	0.25	1.00	0.25
2	1.80	33.00	7.85	25.15	0.99	0.32	0.97	0.33	1.00	0.33
3	3.00	55.80	19.62	36.18	0.98	0.37	0.97	0.39	1.00	0.39
4	4.30	80.50	32.37	48.13	0.97	0.40	0.97	0.41	1.00	0.41
5	7.50	141.30	63.77	77.53	0.94	0.42	0.97	0.44	1.00	0.44
6	8.80	166.00	76.52	89.48	0.93	0.43	0.97	0.44	1.00	0.44
7	10.40	196.40	92.21	104.19	0.90	0.42	0.97	0.43	0.99	0.44
8	12.80	242.00	115.76	126.24	0.83	0.39	0.97	0.41	0.95	0.43

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M= 7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	50.00	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	63.75	2.25	66.00	2.00
2	50.00	1.70	1.00	1.00	0.80	1.00	68.00	2.34	70.34	2.00
3	4.00	1.66	1.00	1.00	0.85	1.00	5.65	6.13	11.78	0.13
4	7.00	1.44	1.00	1.00	0.85	1.00	8.58	6.72	15.29	0.17
5	29.00	1.14	1.00	1.00	0.95	1.00	31.29	11.26	42.55	2.00
6	4.00	1.06	1.00	1.00	1.00	1.00	4.23	5.85	10.07	0.11
7	12.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	11.76	7.35	19.11	0.21
8	9.00	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	8.01	6.60	14.61	0.16

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	66.00	55.00	5.00	0.00	0.00
2	70.34	58.62	5.00	0.00	0.00
3	11.78	9.82	0.33	3.54	8.50
4	15.29	12.74	0.40	3.02	11.02
5	42.55	35.45	4.55	0.00	0.00
6	10.07	8.40	0.25	3.86	31.47
7	19.11	15.92	0.48	2.59	24.88
8	14.61	12.18	0.37	3.12	36.18

Total settlement : 112.05

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.70	0.00
2	0.00	9.10	0.00
3	0.67	8.50	6.79
4	0.60	7.85	6.09
5	0.00	6.25	0.00
6	0.75	5.60	5.46
7	0.52	4.80	4.02
8	0.63	3.60	5.42

Overall potential I_L : 27.80

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Nbs-4, NANTOY

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

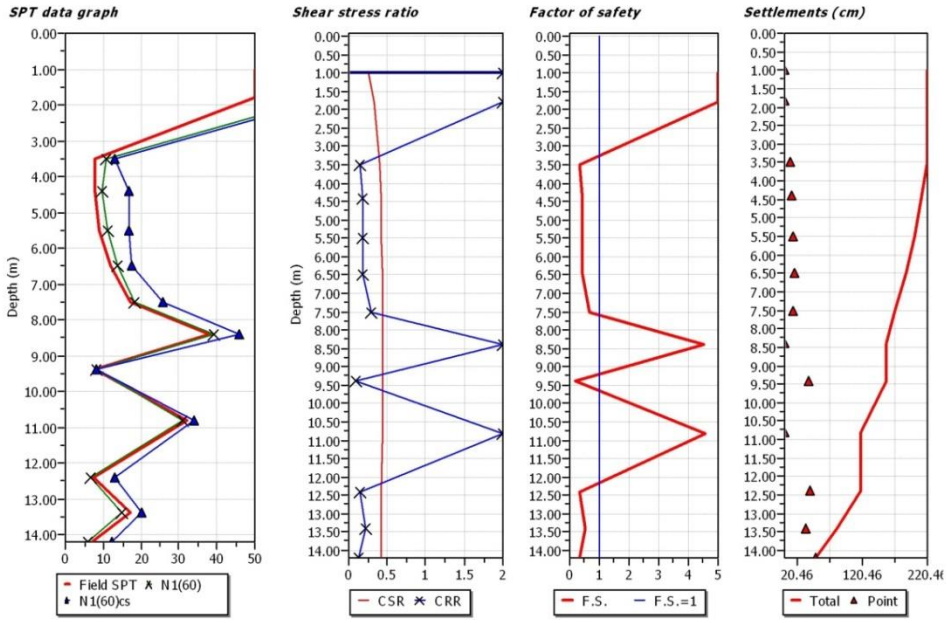
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

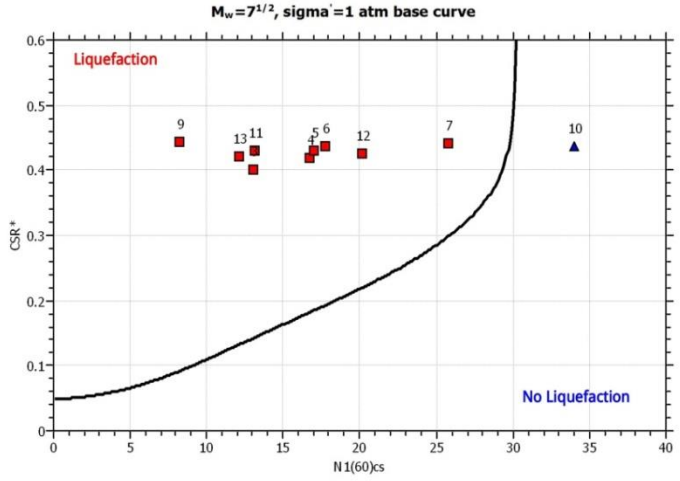
Project title : NANTOU

Project subtitle : NBS-4

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	1.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.38 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	1.00	50.00	17.00	10.00
2	1.80	50.00	19.00	10.00
3	3.50	8.00	19.00	13.00
4	4.40	8.00	19.00	36.00
5	5.50	9.00	19.00	26.00
6	6.50	12.00	19.00	17.00
7	7.50	17.00	19.00	29.00
8	8.40	38.00	19.00	20.00
9	9.40	8.00	19.00	4.00
10	10.80	32.00	19.00	13.00
11	12.40	7.50	19.00	98.00
12	13.40	17.00	19.00	22.00
13	14.20	7.00	19.00	75.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	1.00	17.00	0.00	17.00	0.99	0.25	0.97	0.25	1.00	0.25
2	1.80	32.20	7.85	24.35	0.99	0.32	0.97	0.33	1.00	0.33
3	3.50	64.50	24.52	39.98	0.97	0.39	0.97	0.40	1.00	0.40
4	4.40	81.60	33.35	48.25	0.97	0.40	0.97	0.42	1.00	0.42
5	5.50	102.50	44.15	58.35	0.96	0.42	0.97	0.43	1.00	0.43
6	6.50	121.50	53.95	67.55	0.95	0.42	0.97	0.44	1.00	0.44
7	7.50	140.50	63.77	76.73	0.94	0.43	0.97	0.44	1.00	0.44
8	8.40	157.60	72.59	85.01	0.94	0.43	0.97	0.44	1.00	0.44
9	9.40	176.60	82.40	94.20	0.92	0.43	0.97	0.44	1.00	0.44
10	10.80	203.20	96.14	107.06	0.89	0.42	0.97	0.43	0.99	0.44
11	12.40	233.60	111.83	121.77	0.84	0.40	0.97	0.41	0.96	0.43
12	13.40	252.60	121.64	130.96	0.82	0.39	0.97	0.40	0.95	0.43
13	14.20	267.80	129.49	138.31	0.80	0.38	0.97	0.39	0.94	0.42

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M= 7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	50.00	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	63.75	2.25	66.00	2.00
2	50.00	1.70	1.00	1.00	0.80	1.00	68.00	2.34	70.34	2.00
3	8.00	1.58	1.00	1.00	0.85	1.00	10.76	2.28	13.04	0.14
4	8.00	1.44	1.00	1.00	0.85	1.00	9.79	6.96	16.75	0.18
5	9.00	1.31	1.00	1.00	0.95	1.00	11.19	5.76	16.95	0.18
6	12.00	1.22	1.00	1.00	0.95	1.00	13.87	3.85	17.72	0.19
7	17.00	1.14	1.00	1.00	0.95	1.00	18.44	7.33	25.77	0.30
8	38.00	1.08	1.00	1.00	0.95	1.00	39.15	6.73	45.88	2.00

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
9	8.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	8.24	0.00	8.24	0.09
10	32.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	30.93	3.03	33.96	2.00
11	7.50	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	6.80	6.36	13.16	0.14
12	17.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	14.86	5.31	20.17	0.22
13	7.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	5.95	6.19	12.14	0.13

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	66.00	55.00	5.00	0.00	0.00
2	70.34	58.62	5.00	0.00	0.00
3	13.04	10.87	0.35	3.35	8.87
4	16.75	13.96	0.44	2.81	11.09
5	16.95	14.13	0.43	2.79	13.79
6	17.72	14.76	0.44	2.72	16.30
7	25.77	21.47	0.68	2.02	14.12
8	45.88	38.23	4.51	0.00	0.00
9	8.24	6.87	0.21	4.20	37.42
10	33.96	28.30	4.59	0.00	0.00
11	13.16	10.96	0.33	3.33	38.65
12	20.17	16.80	0.52	2.50	32.20
13	12.14	10.12	0.32	3.48	48.01

Total settlement : 220.46

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.50	0.00
2	0.00	9.10	0.00
3	0.65	8.25	9.05
4	0.56	7.80	3.96
5	0.57	7.25	4.56
6	0.56	6.75	3.78
7	0.32	6.25	2.02
8	0.00	5.80	0.00
9	0.79	5.30	4.20
10	0.00	4.60	0.00
11	0.67	3.80	4.05
12	0.48	3.30	1.60
13	0.68	2.90	1.59

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

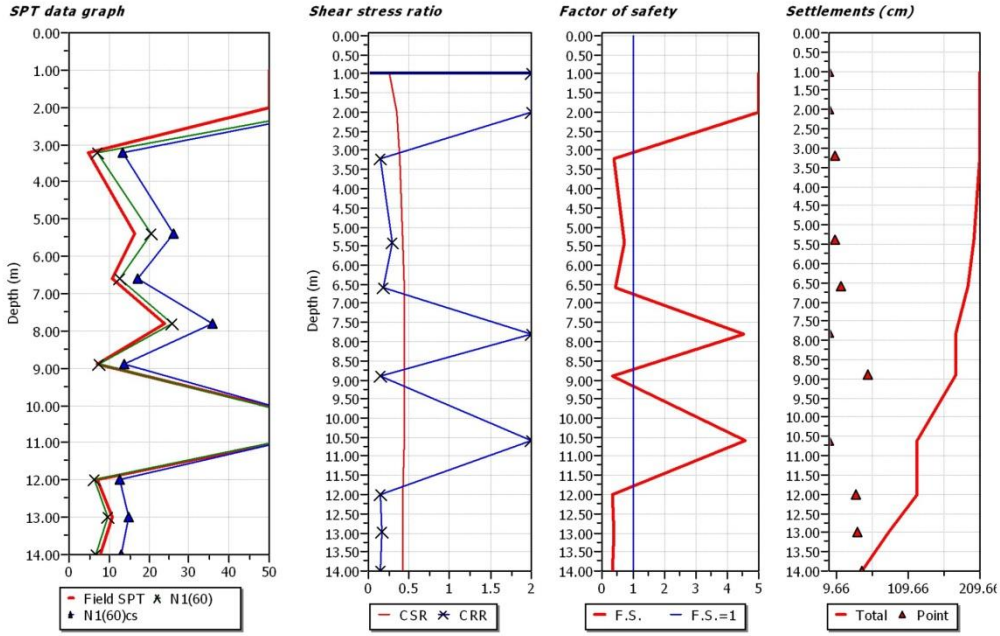
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

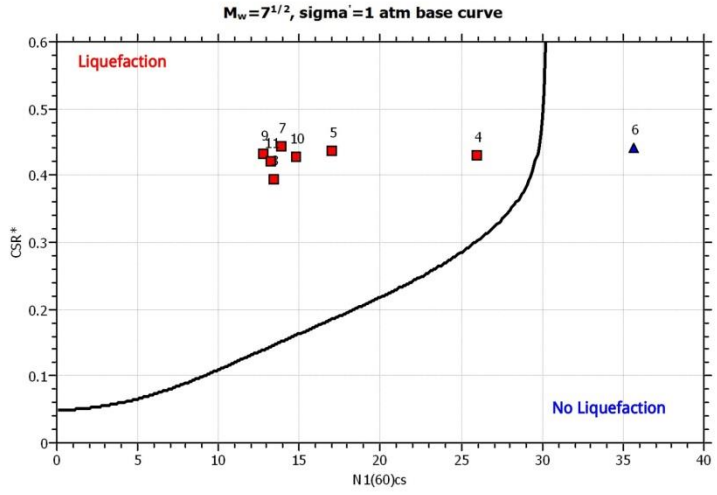
Project title : NANTOY

Project subtitle : NBS-5

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	1.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.38 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	1.00	50.00	17.00	10.00
2	2.00	50.00	19.00	10.00
3	3.20	5.00	19.00	98.00
4	5.40	16.50	19.00	20.00
5	6.60	11.00	19.00	19.00
6	7.80	24.00	19.00	97.00
7	8.90	7.00	19.00	98.00
8	10.60	71.00	19.00	3.00
9	12.00	7.00	19.00	98.50
10	13.00	11.00	19.00	23.00
11	14.00	8.00	19.00	97.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	1.00	17.00	0.00	17.00	0.99	0.25	0.97	0.25	1.00	0.25
2	2.00	36.00	9.81	26.19	0.98	0.33	0.97	0.35	1.00	0.35
3	3.20	58.80	21.58	37.22	0.98	0.38	0.97	0.39	1.00	0.39
4	5.40	100.60	43.16	57.44	0.96	0.41	0.97	0.43	1.00	0.43
5	6.60	123.40	54.94	68.46	0.95	0.42	0.97	0.44	1.00	0.44
6	7.80	146.20	66.71	79.49	0.94	0.43	0.97	0.44	1.00	0.44
7	8.90	167.10	77.50	89.60	0.93	0.43	0.97	0.44	1.00	0.44
8	10.60	199.40	94.18	105.22	0.89	0.42	0.97	0.43	0.99	0.44
9	12.00	226.00	107.91	118.09	0.85	0.40	0.97	0.42	0.97	0.43
10	13.00	245.00	117.72	127.28	0.83	0.39	0.97	0.41	0.95	0.43
11	14.00	264.00	127.53	136.47	0.80	0.38	0.97	0.40	0.94	0.42

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M=7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	50.00	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	63.75	2.25	66.00	2.00
2	50.00	1.70	1.00	1.00	0.80	1.00	68.00	2.34	70.34	2.00
3	5.00	1.64	1.00	1.00	0.85	1.00	6.97	6.39	13.36	0.15
4	16.50	1.32	1.00	1.00	0.95	1.00	20.68	5.26	25.94	0.30
5	11.00	1.21	1.00	1.00	0.95	1.00	12.63	4.35	16.98	0.18
6	24.00	1.12	1.00	1.00	0.95	1.00	25.57	10.11	35.69	2.00
7	7.00	1.06	1.00	1.00	1.00	1.00	7.40	6.48	13.87	0.15
8	71.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	69.22	0.00	69.22	2.00
9	7.00	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	6.44	6.29	12.73	0.14
10	11.00	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	9.75	5.04	14.79	0.16
11	8.00	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	6.85	6.37	13.22	0.14

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	66.00	55.00	5.00	0.00	0.00
2	70.34	58.62	5.00	0.00	0.00
3	13.36	11.13	0.37	3.30	8.58
4	25.94	21.62	0.70	2.00	8.62
5	16.98	14.15	0.42	2.78	16.70
6	35.69	29.74	4.52	0.00	0.00
7	13.87	11.56	0.34	3.23	53.89
8	69.22	57.68	4.58	0.00	0.00
9	12.73	10.61	0.32	3.39	38.35
10	14.79	12.32	0.38	3.09	38.67
11	13.22	11.01	0.34	3.32	44.85

Total settlement : 209.66

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.50	0.00
2	0.00	9.00	0.00
3	0.63	8.40	6.35
4	0.30	7.30	4.78
5	0.58	6.70	4.65
6	0.00	6.10	0.00
7	0.66	5.55	4.03
8	0.00	4.70	0.00
9	0.68	4.00	3.80
10	0.62	3.50	2.18
11	0.66	3.00	1.97

Overall potential I_L : 27.75

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

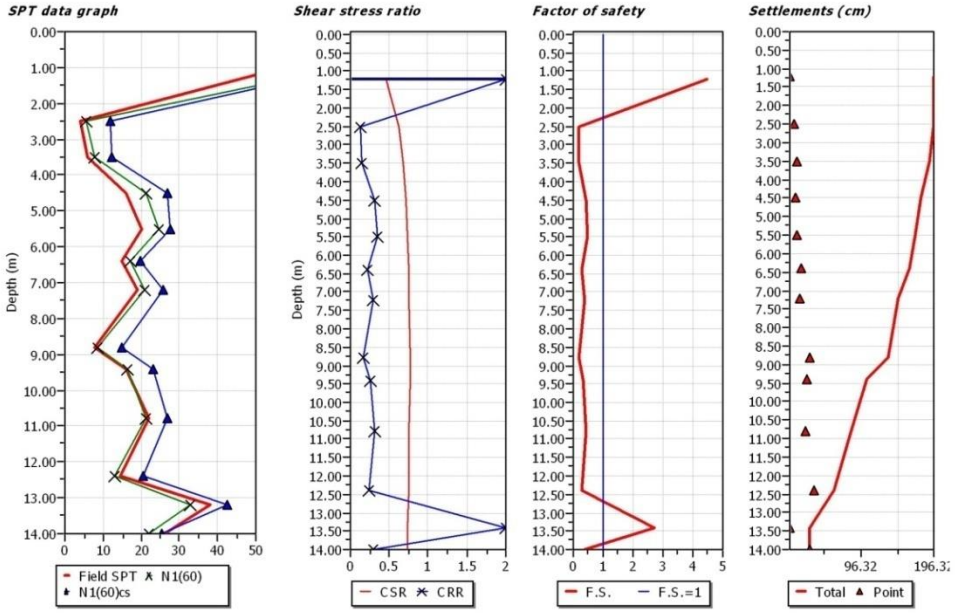
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

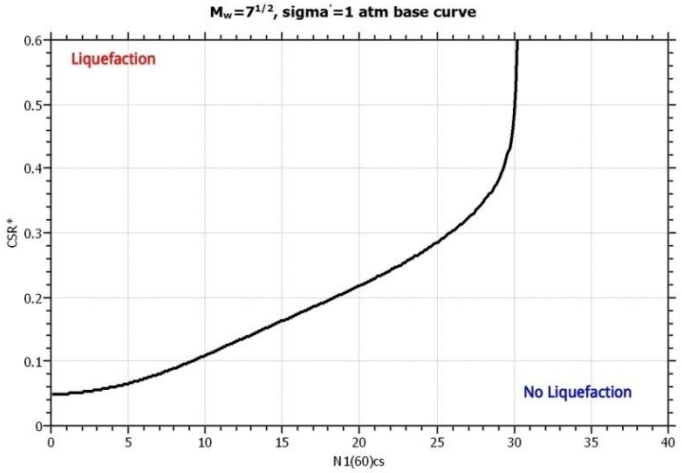
Project title : WUFENG

Project subtitle : WCS-1

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	1.20 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.67 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : ←←↑↓= я ⇙⇓ ⇉⇵ ↭↯ë .

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	1.20	50.00	17.00	10.00
2	2.50	4.00	19.00	70.00
3	3.50	6.00	19.00	21.00
4	4.50	16.00	19.00	21.00
5	5.50	20.00	19.00	14.00
6	6.40	15.00	19.00	13.00
7	7.20	19.00	19.00	19.00
8	8.80	8.00	19.00	41.00
9	9.40	16.00	19.00	28.00
10	10.80	22.00	19.00	22.00
11	12.40	14.50	19.00	35.50
12	13.40	38.00	19.00	29.00
13	14.00	26.00	19.00	14.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	1.20	20.40	0.00	20.40	0.99	0.43	0.97	0.45	1.00	0.45
2	2.50	45.10	12.75	32.35	0.98	0.60	0.97	0.62	1.00	0.62
3	3.50	64.10	22.56	41.54	0.97	0.65	0.97	0.68	1.00	0.68
4	4.50	83.10	32.37	50.73	0.97	0.69	0.97	0.71	1.00	0.71
5	5.50	102.10	42.18	59.92	0.96	0.71	0.97	0.74	1.00	0.74
6	6.40	119.20	51.01	68.19	0.95	0.72	0.97	0.75	1.00	0.75
7	7.20	134.40	58.86	75.54	0.94	0.73	0.97	0.76	1.00	0.76
8	8.80	164.80	74.56	90.24	0.93	0.74	0.97	0.77	1.00	0.77
9	9.40	176.20	80.44	95.76	0.92	0.74	0.97	0.77	1.00	0.77
10	10.80	202.80	94.18	108.62	0.89	0.72	0.97	0.75	0.98	0.76
11	12.40	233.20	109.87	123.33	0.84	0.69	0.97	0.72	0.96	0.75
12	13.40	252.20	119.68	132.52	0.82	0.68	0.97	0.70	0.95	0.74
13	14.00	263.60	125.57	138.03	0.80	0.67	0.97	0.69	0.94	0.74

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M=7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	50.00	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	63.75	2.25	66.00	2.00
2	4.00	1.70	1.00	1.00	0.85	1.00	5.78	6.16	11.94	0.13
3	6.00	1.55	1.00	1.00	0.85	1.00	7.91	4.46	12.37	0.14
4	16.00	1.40	1.00	1.00	0.95	1.00	21.34	5.62	26.96	0.32
5	20.00	1.29	1.00	1.00	0.95	1.00	24.55	3.25	27.79	0.34
6	15.00	1.21	1.00	1.00	0.95	1.00	17.26	2.52	19.78	0.22
7	19.00	1.15	1.00	1.00	0.95	1.00	20.77	4.95	25.71	0.30
8	8.00	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	8.42	6.68	15.11	0.16

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : ↩↤⇵≒ я ⇙⇟ ⇉⇵ ↬↹ë .

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
9	16.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	16.35	6.82	23.17	0.26
10	22.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	21.11	5.89	27.00	0.32
11	14.50	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	13.06	7.61	20.67	0.23
12	38.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	33.01	9.46	42.47	2.00
13	26.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	22.13	3.14	25.27	0.29

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	66.00	55.00	4.48	0.00	0.00
2	11.94	9.95	0.21	3.51	6.50
3	12.37	10.31	0.20	3.45	10.34
4	26.96	22.47	0.45	1.93	7.71
5	27.79	23.16	0.47	1.87	9.33
6	19.78	16.48	0.29	2.53	15.06
7	25.71	21.43	0.39	2.02	13.75
8	15.11	12.59	0.21	3.05	27.73
9	23.17	19.31	0.34	2.22	22.47
10	27.00	22.50	0.43	1.93	22.33
11	20.67	17.22	0.30	2.45	32.96
12	42.47	35.39	2.70	0.00	0.00
13	25.27	21.06	0.39	2.05	28.15

Total settlement : 196.32

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.40	0.00
2	0.79	8.75	8.97
3	0.80	8.25	6.60
4	0.55	7.75	4.25
5	0.53	7.25	3.88
6	0.71	6.80	4.36
7	0.61	6.40	3.11
8	0.79	5.60	7.04
9	0.66	5.30	2.11
10	0.57	4.60	3.70
11	0.70	3.80	4.25
12	0.00	3.30	0.00
13	0.61	3.00	1.09

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L

Overall potential I_L : 49.36

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

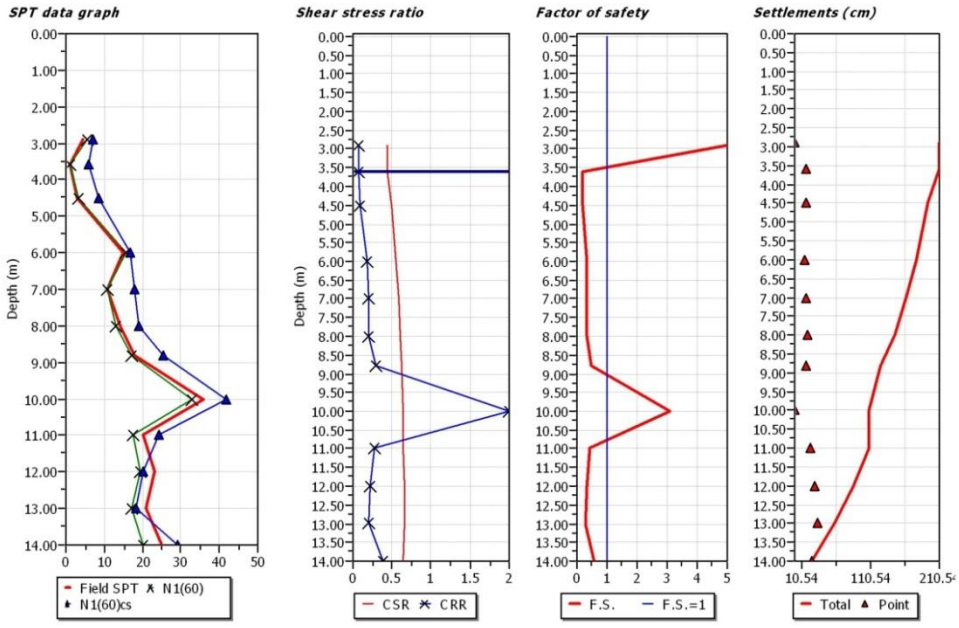
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

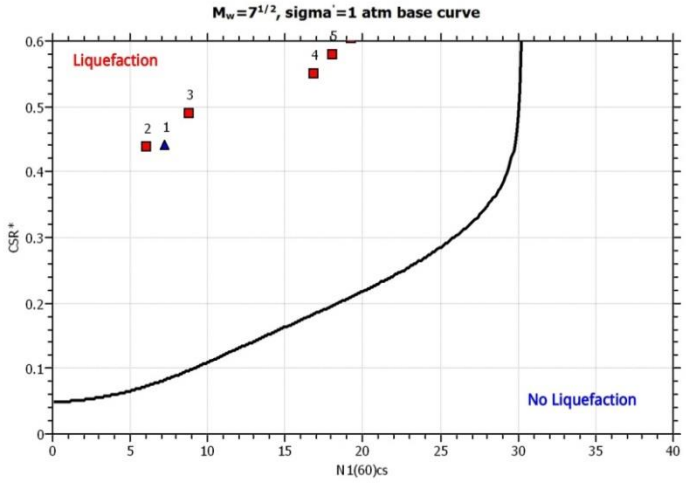
Project title : WUFENG

Project subtitle : WCS-2

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	3.60 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.67 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	2.90	4.50	17.00	12.00
2	3.60	1.00	17.00	31.00
3	4.50	3.00	19.00	31.00
4	6.00	15.00	19.00	10.00
5	7.00	11.00	19.00	36.00
6	8.00	14.00	19.00	26.00
7	8.80	18.00	19.00	33.00
8	10.00	36.00	19.00	27.00
9	11.00	20.00	19.00	26.00
10	12.00	23.00	19.00	8.00
11	13.00	21.00	19.00	9.00
12	14.00	25.00	19.00	67.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	2.90	49.30	0.00	49.30	0.98	0.43	0.97	0.44	1.00	0.44
2	3.60	61.20	0.00	61.20	0.97	0.42	0.97	0.44	1.00	0.44
3	4.50	78.30	8.83	69.47	0.97	0.47	0.97	0.49	1.00	0.49
4	6.00	106.80	23.54	83.26	0.95	0.53	0.97	0.55	1.00	0.55
5	7.00	125.80	33.35	92.45	0.95	0.56	0.97	0.58	1.00	0.58
6	8.00	144.80	43.16	101.64	0.94	0.58	0.97	0.60	1.00	0.60
7	8.80	160.00	51.01	108.99	0.93	0.60	0.97	0.62	0.98	0.63
8	10.00	182.80	62.78	120.02	0.91	0.60	0.97	0.62	0.96	0.65
9	11.00	201.80	72.59	129.21	0.88	0.60	0.97	0.62	0.95	0.65
10	12.00	220.80	82.40	138.40	0.85	0.59	0.97	0.61	0.94	0.66
11	13.00	239.80	92.21	147.59	0.83	0.59	0.97	0.61	0.93	0.66
12	14.00	258.80	102.02	156.78	0.80	0.58	0.97	0.60	0.91	0.65

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M= 7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	4.50	1.42	1.00	1.00	0.85	1.00	5.45	1.73	7.17	0.08
2	1.00	1.28	1.00	1.00	0.85	1.00	1.09	4.95	6.03	0.07
3	3.00	1.20	1.00	1.00	0.95	1.00	3.42	5.33	8.75	0.10
4	15.00	1.10	1.00	1.00	0.95	1.00	15.62	1.21	16.82	0.18
5	11.00	1.04	1.00	1.00	0.95	1.00	10.87	7.17	18.04	0.20
6	14.00	0.99	1.00	1.00	0.95	1.00	13.19	6.01	19.20	0.21
7	18.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	17.24	7.98	25.22	0.29
8	36.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	32.86	8.76	41.62	2.00
9	20.00	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	17.59	6.54	24.14	0.27
10	23.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	19.55	0.55	20.10	0.22

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
11	21.00	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	17.29	0.85	18.14	0.20
12	25.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	19.97	8.99	28.96	0.38

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	7.17	5.98	5.00	0.00	0.00
2	6.03	5.03	0.17	4.76	15.70
3	8.75	7.29	0.20	4.11	16.85
4	16.82	14.02	0.33	2.80	15.11
5	18.04	15.04	0.34	2.69	17.47
6	19.20	16.00	0.34	2.58	19.38
7	25.22	21.02	0.46	2.06	17.29
8	41.62	34.68	3.09	0.00	0.00
9	24.14	20.12	0.42	2.14	22.47
10	20.10	16.75	0.33	2.50	28.78
11	18.14	15.11	0.30	2.68	33.49
12	28.96	24.13	0.59	1.78	24.00

Total settlement : 210.54

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	8.55	0.00
2	0.83	8.20	4.78
3	0.80	7.75	5.60
4	0.67	7.00	7.02
5	0.66	6.50	4.31
6	0.66	6.00	3.93
7	0.54	5.60	2.42
8	0.00	5.00	0.00
9	0.58	4.50	2.63
10	0.67	4.00	2.67
11	0.70	3.50	2.45
12	0.41	3.00	1.24

Overall potential I_L : 37.04

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Was-2, WUFENG

GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: http://www.geologismiki.gr - email: info@geologismiki.gr

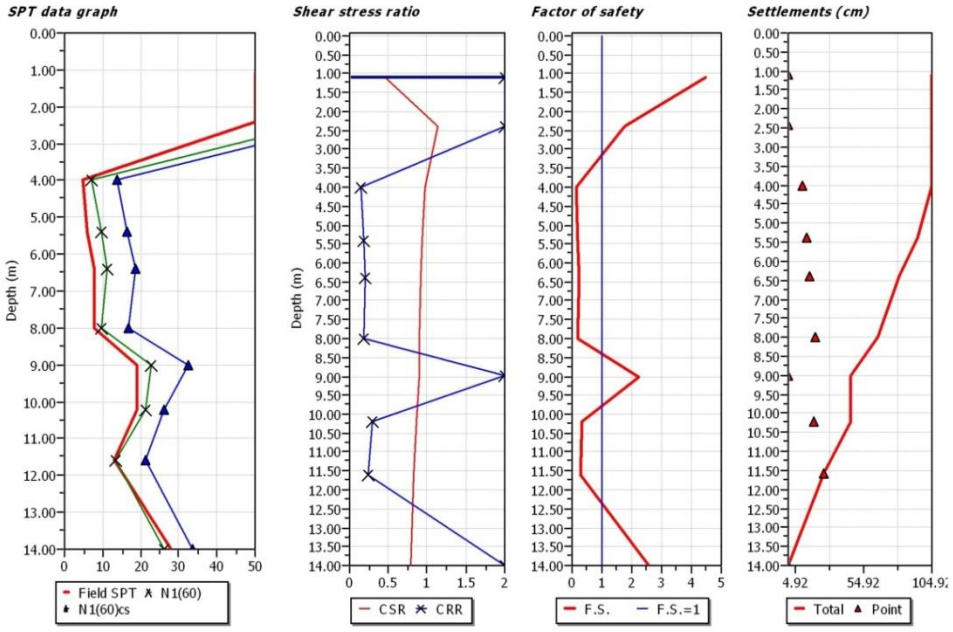
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

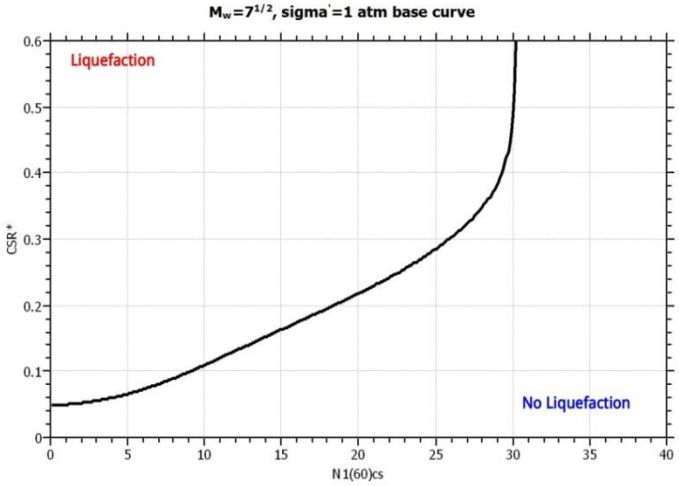
Project title : WUFENG

Project subtitle : WAS-2

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	1.10 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w:	7.60
Analysis method:	NCEER 1998	Peak ground accelaration:	0.67 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : ↩⇦⇩= я ⇙⇛ ⇉⇳ ↬↯ë.

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	Field N_{SPT} (blows/30	Unit weight (kN/mE)	Fines content (%)
1	1.10	50.00	17.00	10.00
2	2.40	50.00	1.70	17.00
3	4.00	5.00	19.00	85.00
4	5.40	6.00	19.00	93.00
5	6.40	8.00	19.00	88.00
6	8.00	8.00	19.00	88.00
7	9.00	19.00	19.00	88.00
8	10.20	19.00	19.00	18.40
9	11.60	13.00	19.00	75.00
10	14.00	28.00	19.00	25.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)
Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/mE)
Fines content : Percentage of fines in soil (%)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR^*
1	1.10	18.70	0.00	18.70	0.99	0.43	0.97	0.45	1.00	0.45
2	2.40	20.91	12.75	8.16	0.98	1.10	0.97	1.13	1.00	1.13
3	4.00	51.31	28.45	22.86	0.97	0.95	0.97	0.98	1.00	0.98
4	5.40	77.91	42.18	35.73	0.96	0.91	0.97	0.94	1.00	0.94
5	6.40	96.91	51.99	44.92	0.95	0.89	0.97	0.92	1.00	0.92
6	8.00	127.31	67.69	59.62	0.94	0.87	0.97	0.90	1.00	0.90
7	9.00	146.31	77.50	68.81	0.93	0.86	0.97	0.89	1.00	0.89
8	10.20	169.11	89.27	79.84	0.90	0.83	0.97	0.86	1.00	0.86
9	11.60	195.71	103.00	92.70	0.87	0.80	0.97	0.82	1.00	0.82
10	14.00	241.31	126.55	114.76	0.80	0.73	0.97	0.76	0.97	0.78

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)
Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
r_d : Nonlinear shear mass factor
CSR : Cyclic Stress Ratio
MSF : Magnitude Scaling Factor
$CSR_{eq,M=7.5}$ CSR adjusted for M= 7.5
K_{sigma} Effective overburden stress factor
CSR^* CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$
1	50.00	1.70	1.00	1.00	0.75	1.00	63.75	2.25	66.00	2.00
2	50.00	1.70	1.00	1.00	0.80	1.00	68.00	7.10	75.10	2.00
3	5.00	1.70	1.00	1.00	0.85	1.00	7.22	6.45	13.67	0.15
4	6.00	1.67	1.00	1.00	0.95	1.00	9.54	6.91	16.44	0.18
5	8.00	1.49	1.00	1.00	0.95	1.00	11.34	7.27	18.61	0.20
6	8.00	1.30	1.00	1.00	0.95	1.00	9.84	6.97	16.81	0.18
7	19.00	1.21	1.00	1.00	1.00	1.00	22.90	9.58	32.49	2.00
8	19.00	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	21.26	4.78	26.05	0.30
9	13.00	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	13.50	7.70	21.20	0.23
10	28.00	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	26.14	7.29	33.43	2.00

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

This software is licensed to : [illegible].

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ ::

Point ID	Field SPT	C_n	C_e	C_b	C_r	C_s	$N_{1(60)}$	DeltaN	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$

C_n : Overburden corretion factor
C_e : Energy correction factor
C_b : Borehole diameter correction factor
C_r : Rod length correction factor
C_s : Liner correction factor
$N_{1(60)}$: Corrected N_{SPT}
DeltaN : Addition to corrected N_{SPT} value due to the presence of fines
$N_{1(60)cs}$: Corected $N_{1(60)}$ value for fines
$CRR_{7.5)}$: Cyclic resistance ratio for M=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	$N_{1(60)}$	N_1	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	66.00	55.00	4.48	0.00	0.00
2	75.10	62.58	1.76	0.02	0.03
3	13.67	11.39	0.15	3.26	10.42
4	16.44	13.70	0.19	2.85	13.40
5	18.61	15.51	0.22	2.64	15.56
6	16.81	14.01	0.20	2.80	20.15
7	32.49	27.07	2.24	0.00	0.00
8	26.05	21.70	0.35	2.00	19.17
9	21.20	17.67	0.28	2.40	26.19
10	33.43	27.86	2.56	0.00	0.00

Total settlement : 104.92

$N_{1,(60)}$: Stress normalized and corrected SPT blow count
N_1: Japanese equivalent corrected value
FS_L: Calculated factor of safety
e_v: Post-liquefaction volumentric strain (%)
Settle.: Calculated settlement (cm)

:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.45	0.00
2	0.00	8.80	0.00
3	0.85	8.00	10.85
4	0.81	7.30	8.28
5	0.78	6.80	5.31
6	0.80	6.00	7.66
7	0.00	5.50	0.00
8	0.65	4.90	3.81
9	0.72	4.20	4.22
10	0.00	3.00	0.00

Overall potential I_L : 40.14

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L > 15 - Liquefaction certain

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης