

## Αλληλεπίδραση Ρήγματος–Επιφανειακής Θεμελίωσης : Προσομοίωση στη Νέα Εργαστηριακή Εγκατάσταση του ΕΜΠ

Fault Rupture–Foundation Interaction : Physical Modeling at the  
New Experimental Facility of NTUA

Ιωάννης ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ<sup>1</sup>, Τάκης ΓΕΩΡΓΑΡΑΚΟΣ<sup>2</sup>, Βασίλης ΔΡΟΣΟΣ<sup>3</sup>,  
και Γιώργος ΓΚΑΖΕΤΑΣ<sup>4</sup>

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ** : Αντικείμενο της εργασίας είναι η πειραματική διερεύνηση της διάδοσης κανονικής σεισμικής διάρρηξης διαμέσου εδαφικού σχηματισμού, και η αλληλεπίδρασή της με πλάκα επιφανειακής θεμελίωσης. Το εδαφικό δοκίμιο προετοιμάστηκε με χρήση της Συσκευής Ελεγχόμενης Διάστρωσης Άμμου εντός του Κιβωτίου Προσομοίωσης της Τεκτονικής Διάρρηξης του Εργαστηρίου. Στην συνέχεια τοποθετήθηκε το ομοίωμα της επιφανειακής θεμελίωσης : πλάκα αλουμινίου πλάτους 25 cm. Ακολούθως, επιβλήθηκε σταδιακά η μετατόπιση στην βάση του εδαφικού δοκιμίου υπό γωνία 45°, με τελική μέγιστη μετατόπιση 0.1H (όπου H το βάθος της εδαφικής στρώσης). Καταγράφηκε : (α) η διάδοση της διάρρηξης διαμέσου του εδαφικού δοκιμίου στο ελεύθερο πεδίο (χωρίς δηλαδή την επιρροή της θεμελίωσης), και (β) η επιρροή της ύπαρξης της θεμελίωσης στην διάδοση της διάρρηξης στην επιφάνεια. Αρχικά παρατηρήθηκε εκτροπή της διαρρήξεως, η οποία όμως στην συνέχεια αναδύθηκε στο αριστερό άκρο της θεμελίωσης. Η τελευταία υπέστη ανασήκωμα (απώλεια στήριξης) στο αριστερό της άκρο και στροφή. Με την αύξηση της επιβαλλόμενης μετατόπισης, παρατηρήθηκε ανασήκωμα και στο δεξιό άκρο του θεμελίου.

**ABSTRACT** : This investigates normal fault rupture propagation through soil and its interaction with a slab foundation. A 1-g experiment is conducted using the newly developed Fault Rupture Box of NTUA. After preparing the sand specimen, the foundation model (an aluminum slab of 25cm x 25cm) is placed on the surface. Finally, the fault displacement is gradually applied at the base of the model at an angle of 45°, up to a value of approximately 0.1H (where H the thickness of the soil specimen). The paper discusses : (a) the propagation of the fault rupture through the soil under free-field conditions — without the foundation slab, and (b) the interaction of the foundation with the outcropping fault rupture. For small imposed fault offset, the rupture is observed to divert due to the presence of the foundation. Eventually, it emerges at the left part of the foundation, leading to substantial loss of support and rotation. Further increase of the imposed offset leads to uplifting at the opposite side of the foundation, as well.

<sup>1</sup> Λέκτορας ΠΔ407/80, Σχολή πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: [ianast@civil.ntua.gr](mailto:ianast@civil.ntua.gr)

<sup>2</sup> Υπ. Διδάκτωρ Ερευνητής, Σχολή πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: [takgeor@yahoo.gr](mailto:takgeor@yahoo.gr)

<sup>3</sup> Μεταδιδάκτωρ Ερευνητής, Σχολή πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, [vadrosos@gmail.com](mailto:vadrosos@gmail.com)

<sup>4</sup> Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: [gazetas@ath.forthnet.gr](mailto:gazetas@ath.forthnet.gr)

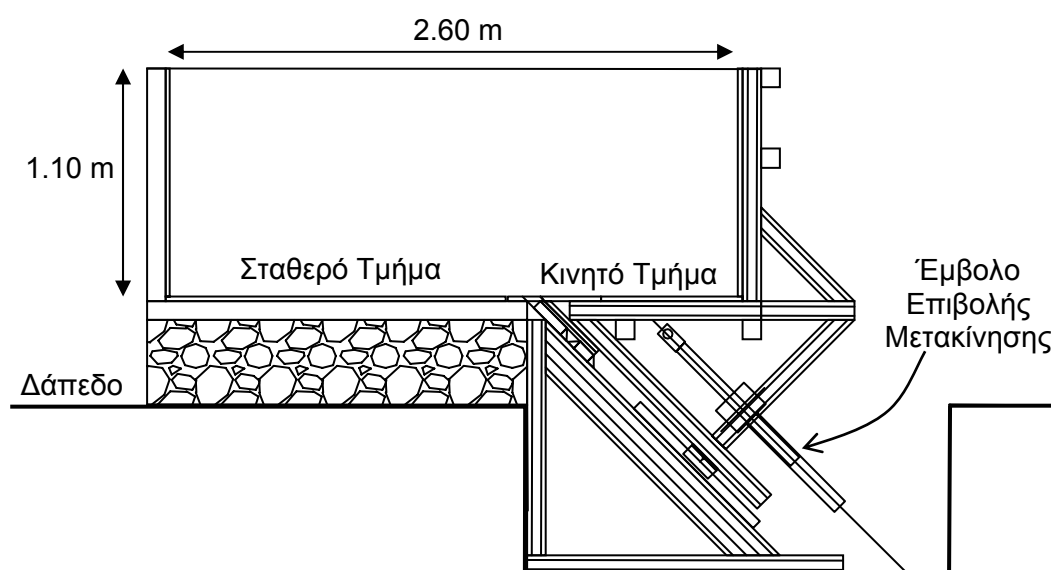
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάρρηξη ενός σεισμικού ρήγματος προκαλεί δύο είδη εδαφικής μετακίνησης : μόνιμη οιονεί στατική τεκτονική μετατόπιση στο ρήγμα, και δυναμική ταλάντωση μακριά απ' αυτό [Ambraseys & Jackson, 1984; Jackson, 2001]. Το δεύτερο είδος είναι αποτέλεσμα κυμάτων τα οποία δημιουργούνται διαδοχικώς από κάθε "σημείο" του ρήγματος μόλις ολισθήσει και διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Τα κύματα αυτά επηρεάζουν πάντα την επιφάνεια του εδάφους, και είναι επομένως πρωταρχικής σημασίας για την καταπόνηση των κατασκευών. Αντιθέτως, η μόνιμη τεκτονική μετακίνηση επηρεάζει την επιφάνεια του εδάφους μόνον σε μερικές περιπτώσεις – όταν η διάρρηξη αναδυθεί στη επιφάνεια. Οι καταστροφικοί σεισμοί του 1999 στην Τουρκία και την Ταϊβάν (Νικομήδεια, Düzce, και Chi-Chi), προσφέροντας πολυάριθμα περιστατικά καταστροφικών επιπτώσεων επιφανειακής διάρρηξης (μεγάλου μεγέθους), έστρεψαν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας εκ νέου στο θέμα.

Προσβλέποντας στην πειραματική διερεύνηση του φαινομένου αυτού, μελετήθηκε και κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής ΕΜΠ πειραματική διάταξη για την προσομοίωση της διάδοσης σεισμικής διάρρηξης διαμέσου του εδάφους και την αλληλεπίδρασή της με κατασκευές. Στη εργασία αυτή παρουσιάζεται η νέα αυτή πειραματική διάταξη, καθώς και το πρώτο πραγματοποιηθέν πείραμα.

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ

Η πειραματική διάταξη (**Σχήμα 1**) αποτελείται από : (α) το κιβώτιο εντός του οποίου γίνεται η διάστρωση του εδαφικού δοκιμίου, (β) τον μηχανισμό επιβολής της μετακίνησης, και (γ) το σύστημα ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Το κιβώτιο έχει μήκος 2.60 m, ύψος 1.10 m ύψος, και πλάτος 0.90 m. Αποτελείται από δύο τμήματα, ένα σταθερό και ένα κινητό, στο οποίο και επιβάλλεται η μετατόπιση. Αναλυτικότερη περιγραφή της πειραματικής διάταξης παρουσιάζεται στην δημοσίευση Γκαζέτας κ.α. [2008].

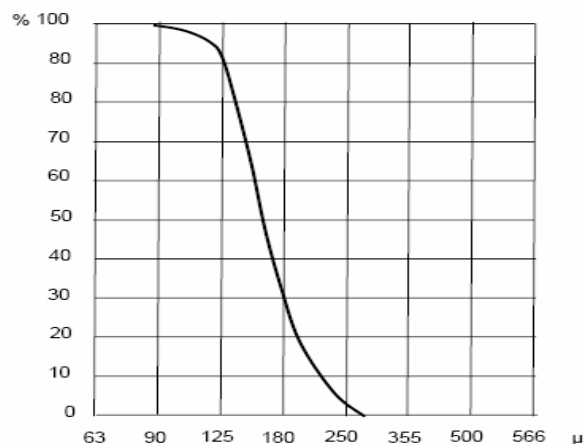


**Σχήμα 1.** Πειραματική διάταξη προσομοίωσης στις σεισμικής διάρρηξης.

Η διάστρωση του εδαφικού υλικού εντός του κιβωτίου γίνεται με χρήση της Διάταξης Ελεγχόμενης Διάστρωσης Άμμου (**Σχήμα 2**). Με την διάταξη αυτήν είναι δυνατή η δημιουργία δοκιμίων άμμου με ελεγχόμενες ιδιότητες και άρα εξασφάλιση της επιθυμητής πυκνότητας και επαναληψιμότητας. Η πυκνότητα της παραγόμενης άμμου εξαρτάται αφενός μεν από το ύψος ρήψης, αφετέρου δε από την ταχύτητα κίνησης του κάδου και το άνοιγμα του κλείστρου. Για κάθε τύπο άμμου είναι δυνατή η βαθμονόμηση του συστήματος και η εξασφάλιση ελεγχόμενων ιδιοτήτων. Χρησιμοποιήθηκε λεπτόκοκκη χαλαζιακή άμμος (*Longstone M34*), η κοκκομετρική καμπύλη της οποίας δείχνεται στο **Σχήμα 3**. Οι μηχανικές ιδιότητες μετρήθηκαν στο εργαστήριο Εδαφομηχανικής και παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**



**Σχήμα 2.** Φωτογραφία της Συσκευής Ελεγχόμενης Διάστρωσης Άμμου εν λειτουργία, αμέσως μετά την έναρξη διάστρωσης άμμου εντός του κιβωτίου της Συσκευής Προσομοίωσης Σεισμικής Διάρρηξης.



**Σχήμα 3.** Η κοκκομετρική καμπύλη της άμμου Longstone Sand, η οποία χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.

**Πίνακας 1.** Ιδιότητες Longstone Sand.

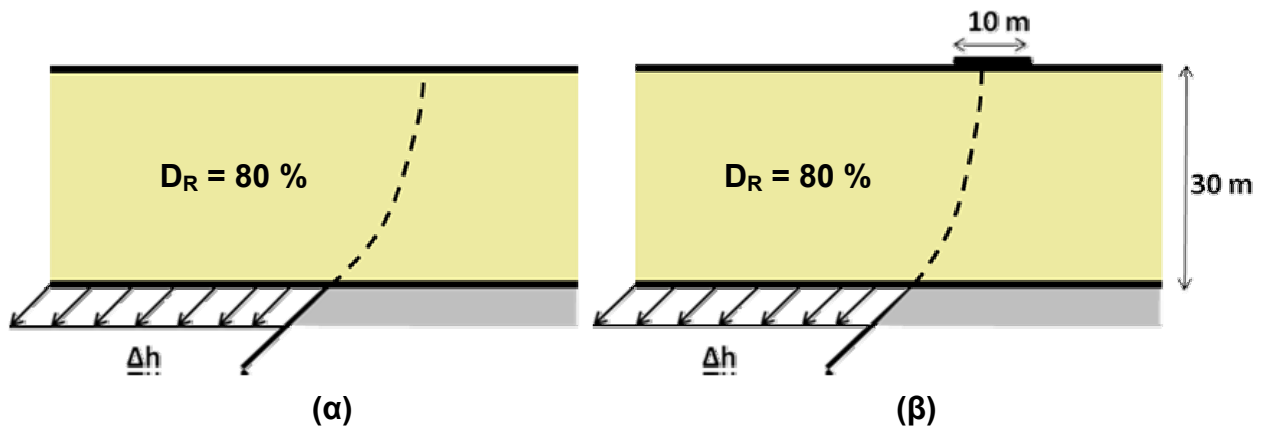
Μέγεθος		$D_r < 60 \%$	$D_r > 60 \%$
Effective Diameter $d_{50}$		0.16 mm	
Uniformity coefficient $C_u$		1.42	
Specific Gravity $G_s$		2.63 gr/cm <sup>3</sup>	
Maximum void ratio $e_{max}$		0.954	
Minimum void ratio $e_{min}$		0.513	
Maximum density $\rho_{max}$		1.738 gr/cm <sup>3</sup>	
Minimum density $\rho_{min}$		1.346 gr/cm <sup>3</sup>	
High Confining Conditions	Peak angle of internal friction $\phi_{peak}$	31°	38°
	Residual angle of internal friction $\phi_{res}$	30°	30°
	Dilation angle $\psi$	3°	13°
Low Confining Conditions	Peak angle of internal friction $\phi_{peak}$	38°	46°
	Residual angle of internal friction $\phi_{res}$	36°	36°
	Dilation angle $\psi$	3°	13°

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

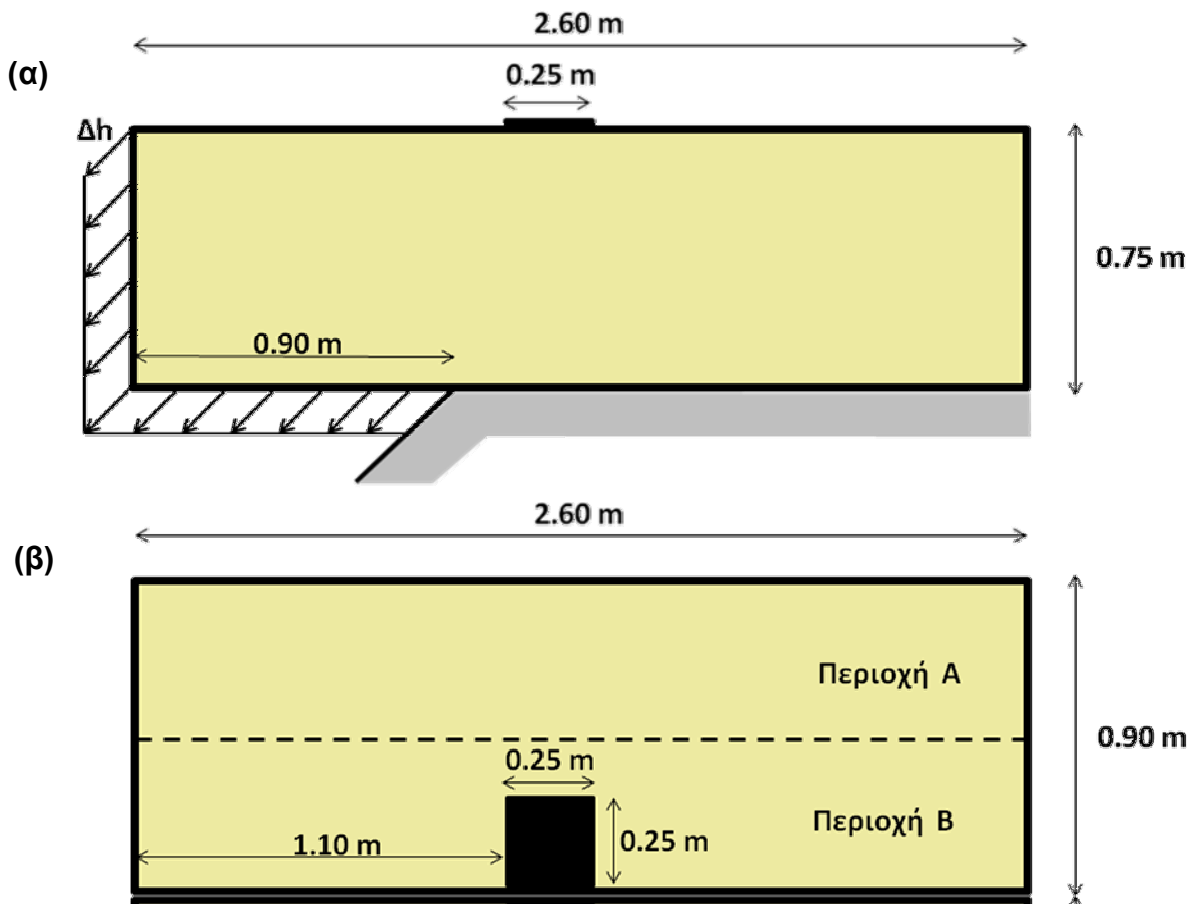
Το πραγματικό πρόβλημα, το οποίο μελετάται στο πείραμα είναι η διάδοση κανονικής διάρρηξης ρήγματος κλίσης 45° διαμέσου πυκνού αμμώδους εδαφικού σχηματισμού βάθους 30 m. Ο υπό εξέταση εδαφικός σχηματισμός είναι άμμος με σχετική πυκνότητα  $D_r \approx 80\%$ . Όπως προαναφέρθηκε, κατά την διεξαγωγή του πειράματος εξετάζεται τόσο η διάδοση της διάρρηξης σε συνθήκες ελευθέρου πεδίου, όσο και η αλληλεπίδρασή της με τετραγωνικό θεμέλιο πλάτους 10 m, και φορτίου ανωδομής  $q = 20$  kPa. Το πείραμα διεξήχθη σε κλίμακα 1:40, η δε επιλογή υλικών και διαστάσεων έγινε με γνώμονα την τήρηση των κανόνων ομοιότητας [Gibson, 1997], έτσι ώστε η προσομοίωση να είναι αντιπροσωπευτική του φυσικού προτύπου (βλ. **Πίνακα 2**). Σε κλίμακα ομοιώματος, το συνολικό ύψος της εδαφικής στρώσης είναι ίσο με 75 cm, η διάσταση της επιφανειακής θεμελίωσης 25 cm, και το πάχος της ίσο με 2 cm. Στο **Σχήμα 4** παρουσιάζεται το εξεταζόμενο πραγματικό πρόβλημα, ενώ στο **Σχήμα 5** η διάταξη του πειραματικού ομοιώματος.

**Πίνακας 2.** Συντελεστές ομοιότητας για πειράματα 1-g .

Φυσικό Μέγεθος	Συντελεστής Επικλιμάκιας Αναγωγής Λόγος Πρωτοτύπου/Ομοίωμα
Μήκος	N
Μετακίνηση	N
Πυκνότητα	1
Χρόνος	$N^{0.5}$
Ταχύτητα	$N^{0.5}$
Επιτάχυνση	1
Δύναμη	$N^3$
Τάση	N
Ροπή Αδρανείας	$N^5$
Συχνότητα	$N^{-0.5}$

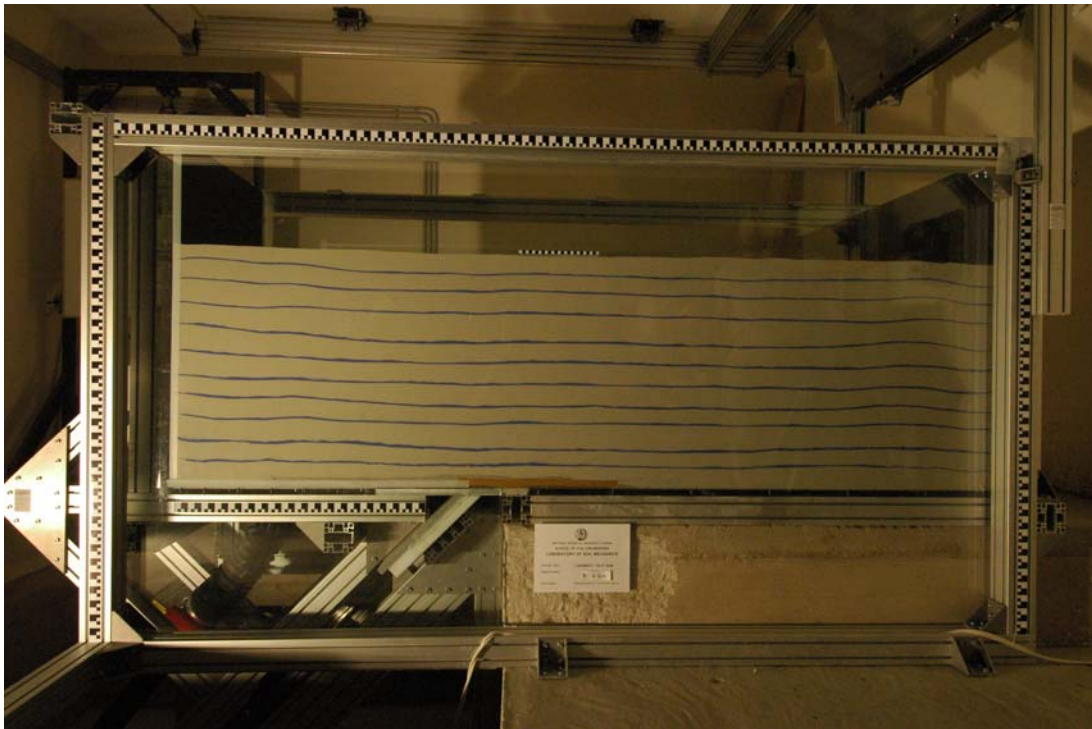


**Σχήμα 4.** Τα δύο προβλήματα που εξετάζονται στο πείραμα: (α) διάδοση διάρρηξης κανονικού ρήγματος κλίσης  $45^\circ$  διαμέσου πυκνού αμώδους εδαφικού σχηματισμού βάθους 30 m, και (β) αλληλεπίδραση της διάρρηξης κανονικού ρήγματος με τετραγωνική επιφανειακή θεμελίωση πλάτους 10 m [με  $\Delta h$  συμβολίζεται η μετακίνηση του ρήγματος].



**Σχήμα 5.** Όψη (α) και κάτοψη (β) του πειραματικού ομοιώματος. Οι περιοχές A και B αντιστοιχούν στις δύο προσομοιώσεις. Περιοχή A: διάδοση διάρρηξης ρήγματος περίπου σε συνθήκες ελεύθερου πεδίου. Περιοχή B: αλληλεπίδραση της διάρρηξης με τετραγωνική επιφανειακή θεμελίωση.

Για την διάστρωση της άμμου εντός του πειραματικού κιβωτίου, η συσκευή ελεγχόμενης διάστρωσης άμμου ρυθμίστηκε έτσι ώστε να επιτευχθεί εδαφικό δοκίμιο με σχετική πυκνότητα  $D_r = 80\%$ . Η διάστρωση γίνεται σε στρώσεις των 7 cm περίπου. Μετά την ολοκλήρωση κάθε στρώσης διαστρώνουμε στην επιφάνειά της μία λεπτή στρώση χρωματιστής άμμου, προκειμένου να είναι ορατή η παραμόρφωση του εδάφους κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Μετά την ολοκλήρωση της διάστρωσης της άμμου τοποθετούμε στην προκαθορισμένη θέση το ομοίωμα της επιφανειακής θεμελίωσης. Το ολοκληρωμένο πειραματικό ομοίωμα δείχνεται στο **Σχήμα 6**.

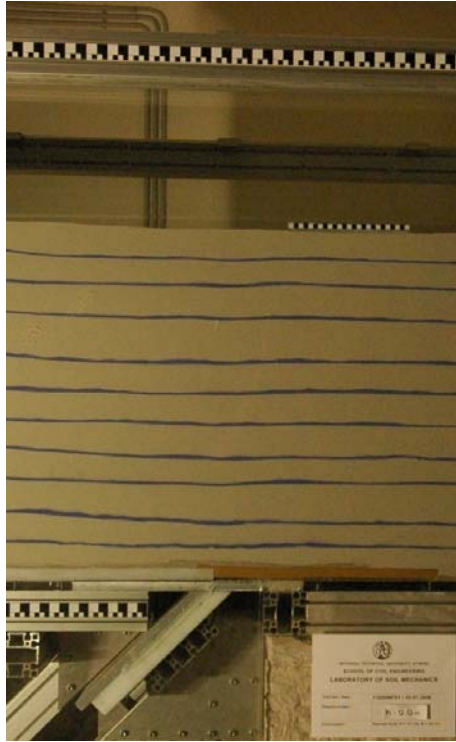


**Σχήμα 6.** Το ολοκληρωμένο εδαφικό ομοίωμα με την άκαμπτη πλάκα θεμελίωσης στην επιφάνειά.

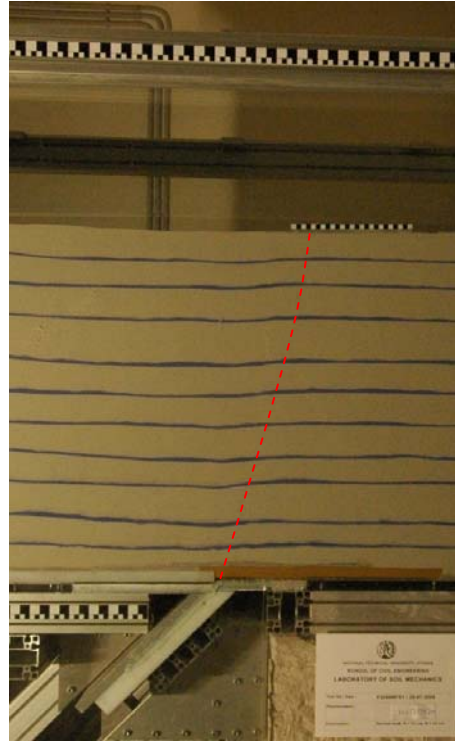
## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η μετακίνηση του ρήγματος εφαρμόστηκε σταδικά σε 8 βήματα και με πολύ μικρή ταχύτητα — οριζοντιωτικά. Στο τέλος κάθε βήματος το έμβολο επιβολής της μετακίνησης ακινητοποιούνταν και λαμβάνονταν μετρήσεις και φωτογραφίες του πειραματικού ομοιώματος. Στα **Σχήματα 7** έως **10** παρουσιάζονται στιγμιότυπα του εδαφικού ομοιώματος κατά την διάρκεια του πειράματος, και οι αντίστοιχες τιμές της επιβληθείσας μετακίνησης. Οι φωτογραφίες έχουν ληφθεί από την πλευρά όπου τοποθετήθηκε η πλάκα θεμελίωσης (Περιοχή Β). Με διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η διάδοση της διάρρηξης όπως παρατηρήθηκε στο ελεύθερο πεδίο, δηλαδή στην άλλη πλευρά του εδαφικού ομοιώματος (Περιοχή Α). Παρατηρείται μικρή εκτροπή της διάρρηξης προς τα αριστερά (προς την μεριά του κατερχόμενου τεμάχους). Η αύξηση της επιβαλλόμενης μετακίνησης οδηγεί σε απώλεια στήριξης στην αριστερή άκρη του θεμελίου. Για πολύ μεγάλες μετακινήσεις ( $\Delta h > 5.4$  cm) παρατηρείται αποκόλληση και στο δεξιό άκρο του θεμελίου.



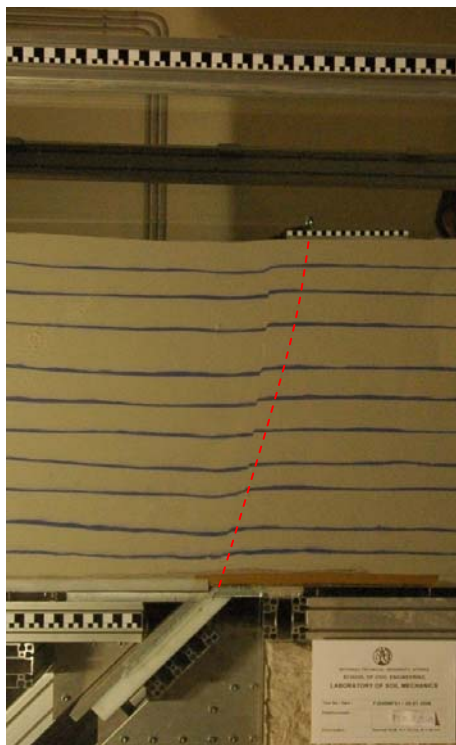


(α) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 0 \text{ cm}$

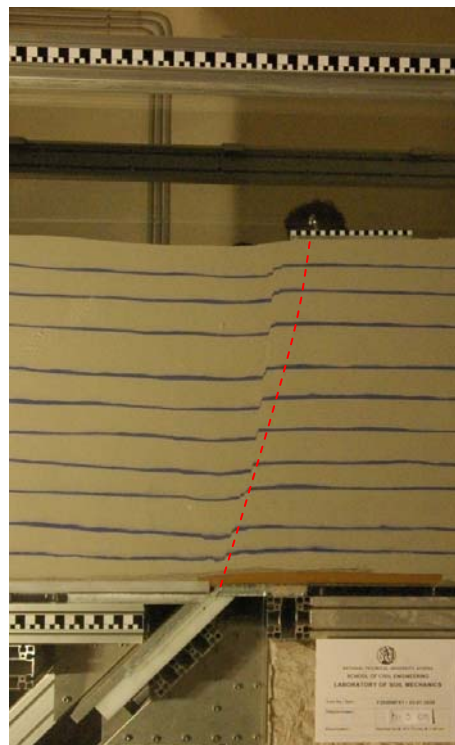


(β) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 0.5 \text{ cm}$

**Σχήμα 7.** Στιγμιότυπα του πειραματικού ομοιώματος για μετακίνηση ρήγματος : (α)  $\Delta h = 0 \text{ cm}$  (δηλαδή πριν από την έναρξη του πειράματος), και (β)  $\Delta h = 0.5 \text{ cm}$ .

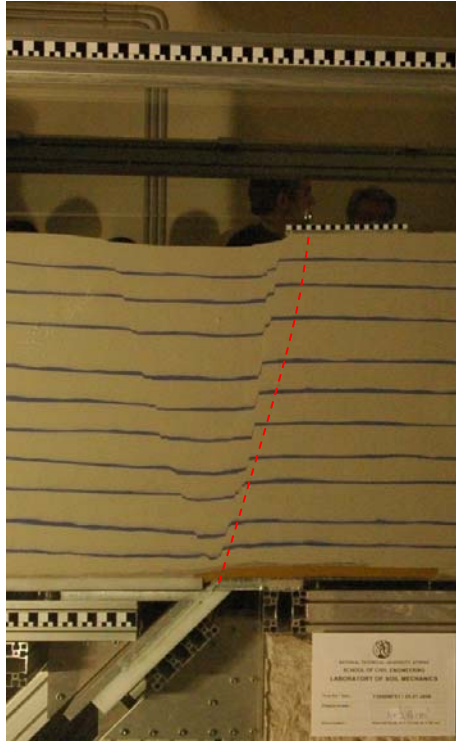


(α) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 0.9 \text{ cm}$

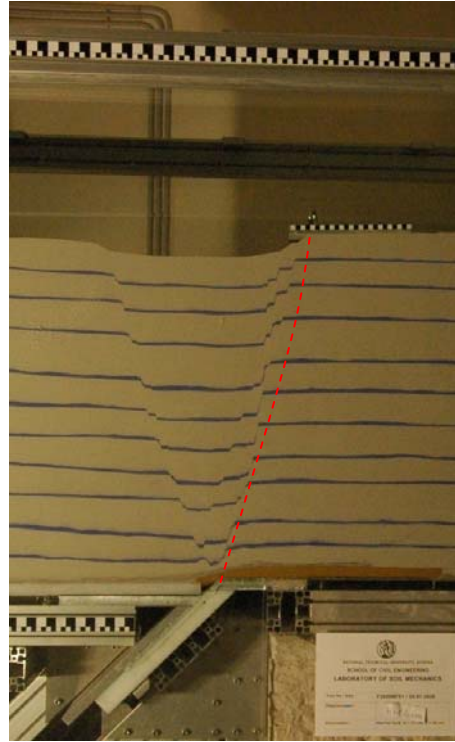


(β) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 1.4 \text{ cm}$

**Σχήμα 8.** Στιγμιότυπα του πειραματικού ομοιώματος για μετακίνηση ρήγματος : (α)  $\Delta h = 0.9 \text{ cm}$ , και (β)  $\Delta h = 1.4 \text{ cm}$ .

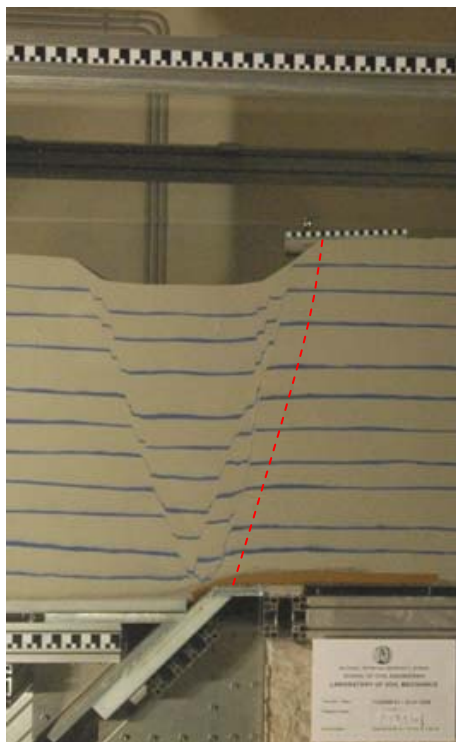


(α) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 2.0$  cm

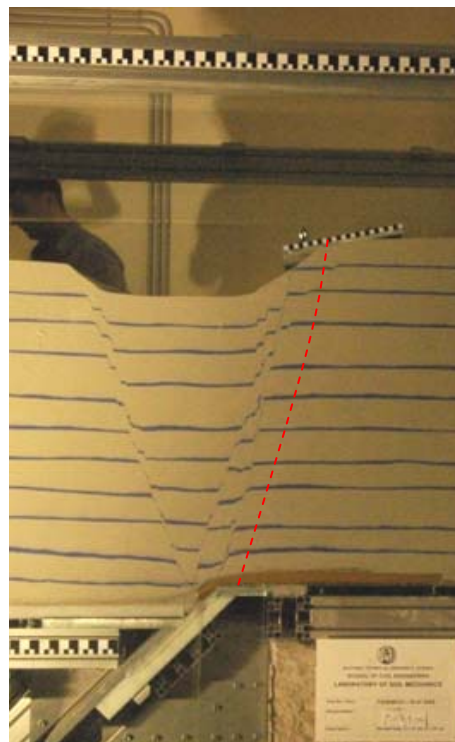


(β) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 3.0$  cm

**Σχήμα 9.** Στιγμιότυπα του πειραματικού ομοιώματος για μετακίνηση ρήγματος : (α)  $\Delta h = 2.0$  cm, και (β)  $\Delta h = 3.0$  cm.



(α) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 5.4$  cm

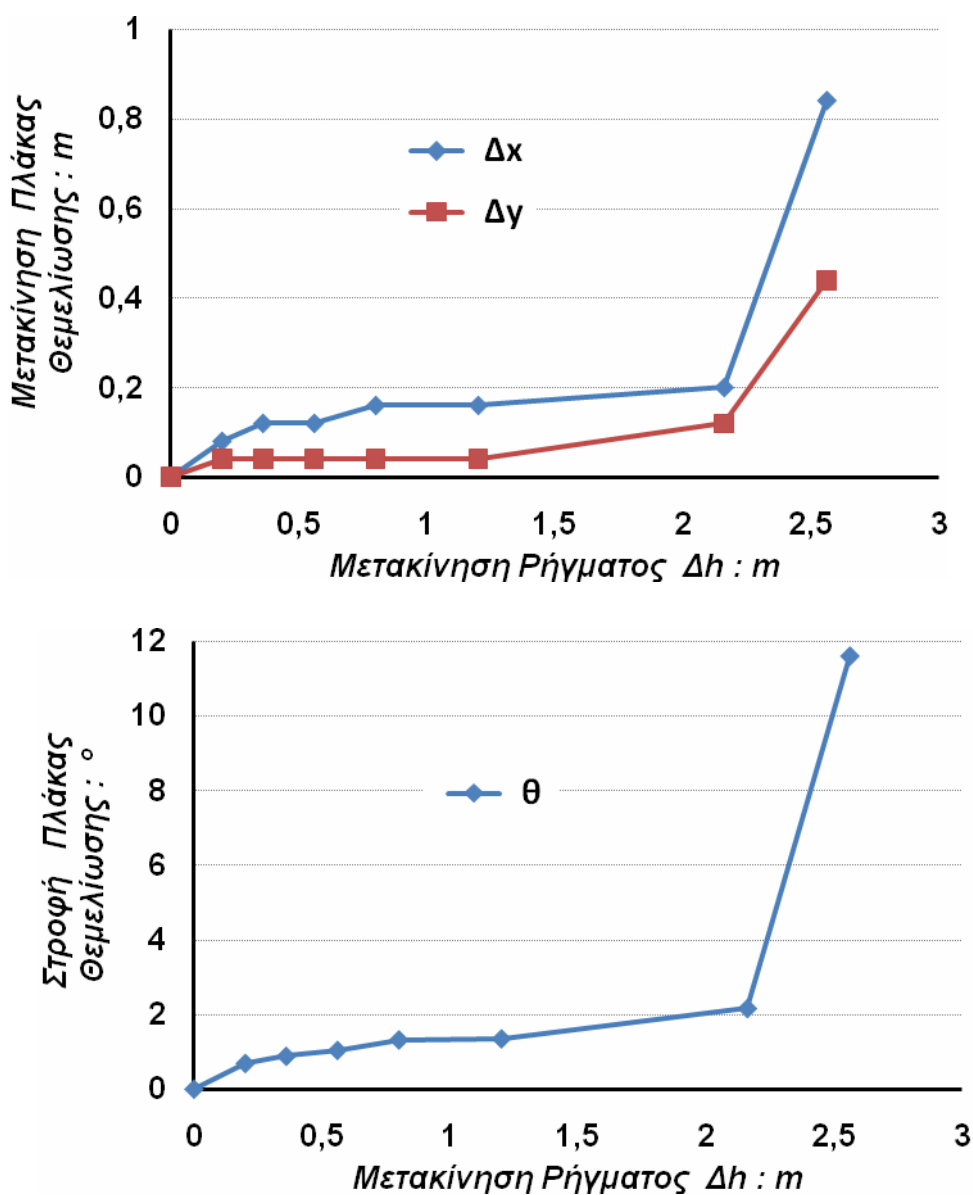


(β) Μετακίνηση Ρήγματος  $\Delta h = 6.4$  cm

**Σχήμα 10.** Στιγμιότυπα του πειραματικού ομοιώματος για μετακίνηση ρήγματος : (α)  $\Delta h = 5.4$  cm, και (β)  $\Delta h = 6.4$  cm.

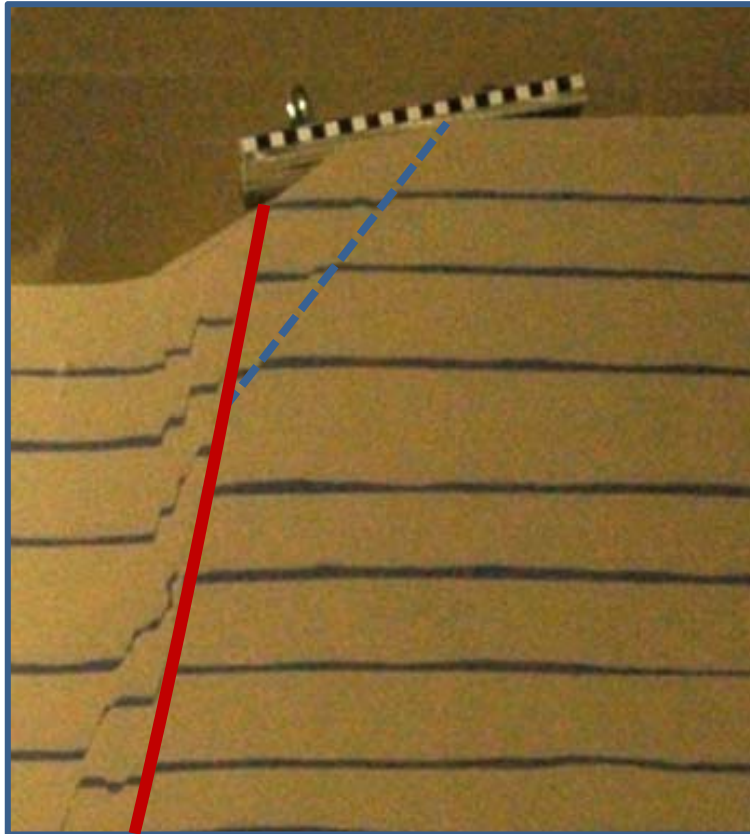


Στο **Σχήμα 11** δείχνεται η εξέλιξη της οριζόντιας  $\Delta x$  και κατακόρυφης μετακίνησης  $\Delta y$  και της στροφής  $\theta$  του θεμελίου, συναρτήσει της επιβαλλόμενης μετακίνησης  $\Delta h$  — όλα τα μεγέθη αναφέρονται σε κλίμακα πρωτοτύπου. Αύξηση της μετακίνησης του ρήγματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση τόσο της μετακίνησης όσο και της στροφής του θεμελίου. Η αύξηση αυτή είναι ομαλή για τιμές της  $\Delta h$  μικρότερες ή ίσες των 2.16 m, παρατηρείται όμως απότομο άλμα των παραπάνω τιμών για  $\Delta h > 2.16$  m. Αυτό οφείλεται στην δημιουργία νέας επιφάνειας αστοχίας, όχι λόγω της διάδοσης της διάρρηξης, αλλά λόγω αστοχίας του πρανούς στην άκρη του οποίου εδράζεται η πλάκα θεμελίωσης. Λόγω της στροφής του θεμελίου και της απώλειας στήριξης καί στην δεξιά άκρη του, το ενεργό πλάτος του θεμελίου μειώνεται στο 1/3 του συνολικού, και συνεπώς η αυξημένη τάση έδρασης του θεμελίου στην άκρη του πρανούς είναι αυτή που προκαλεί την αστοχία.

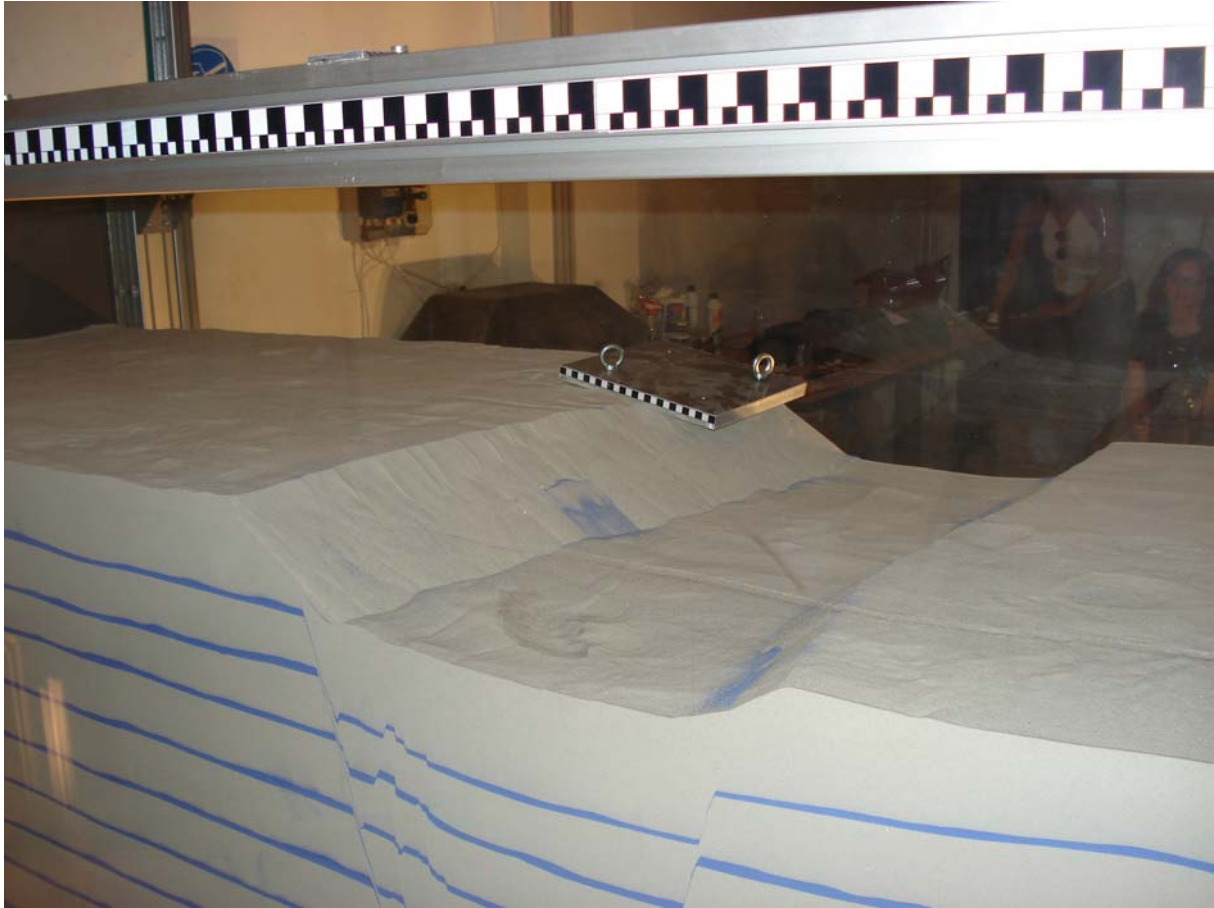


**Σχήμα 11.** Οριζόντια  $\Delta x$  και κατακόρυφη μετατόπιση  $\Delta y$  και στροφή  $\theta$  της πλάκας θεμελίωσης συναρτήσει της επιβαλλόμενης τεκτονικής μετατόπισης  $\Delta h$ .

Στο **Σχήμα 12** εστιάζουμε στην περιοχή έδρασης της πλάκας θεμελίωσης, για  $\Delta h = 2.56$  m. Η κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στην ζώνη διάρρηξης του ρήγματος και η γαλάζια στην αστοχία του (διαμορφωμένου από την διάρρηξη) πρανούς λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του θεμελίου στην κορυφή του. Τέλος, στο **Σχήμα 13** δείχνεται η στροφή της πλάκας θεμελίωσης για  $\Delta h = 6.4$  cm, καθώς και τα πρανά που δημιουργήθηκαν κατά την διάδοση της μετακίνησης του ρήγματος στην επιφάνεια του εδαφικού ομοιώματος.



**Σχήμα 12.** Λεπτομέρεια της περιοχής έδρασης της πλάκας θεμελίωσης για  $\Delta h = 2.56$  m. Παρατηρούμε απώλεια στήριξης στο αριστερό άκρο της πλάκας και το ανασήκωμα στο δεξιό του άκρο. Με κόκκινη γραμμή απεικονίζεται η διάδοση της διάρρηξης του ρήγματος και με γαλάζιο η δευτερογενής αστοχία λόγω αυξημένης τάσης στο άκρο του διαμορφωμένου πρανούς.



**Σχήμα 13.** Η στροφή της πλάκας θεμελίωσης για  $\Delta h = 6.4$  cm, και τα πρηνή που διαμορφώθηκαν στην επιφάνεια του εδαφικού ομοιώματος. Το τεκτονικό βύθισμα ("graben") είναι εμφανές.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το Νέο Έργαστήριο Πειραματικής Προσομοίωσης της Σεισμικής Συμπεριφοράς Συστημάτων Εδάφους - Κατασκευής δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το Ερευνητικό Πρόγραμμα "ΑΚΜΩΝ - Ανάπτυξη Δημόσιων Ερευνητικών Φορέων" το οποίο εντάσσεται στον Άξονα Προτεραιότητας 4 του ΕΠΑΝ "Τεχνολογική καινοτομία και έρευνα" και στο Μέτρο 4.2 "Θερμοκοιτίδες νέων επιχειρήσεων έντασης γνώσης επιστημονικών και τεχνολογικών πάρκων και ερευνητικών κέντρων με την συμμετοχή επιχειρήσεων". Το έργο συγχρηματοδοτείται στο πλαίσιο του Μέρους 4.2. του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα – Γ' Κοινωνικό Πλαίσιο Στήριξης : (i) 70% της Δημόσιας Δαπάνης από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) – Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) ; (ii) 30% της Δημόσιας Δαπάνης από το Ελληνικό Δημόσιο – Υπουργείο Ανάπτυξης – Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Anastasopoulos I., Gerolymos N., Gazetas G. (2001), Possible collapse reasons of an access span of the Nishinomiya-ko bridge : Kobe 1995, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Hellenic Conference on Geotechnical Engineering*, Athens, Vol. 2, pp. 83–90.
- Anastasopoulos I., & Gazetas G. (2007a), Foundation-Structure Systems over a Rupturing Normal Fault : Part I. Observations after the Kocaeli 1999 Earthquake, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 5 (3), pp. 253–275.
- Anastasopoulos I., & Gazetas G. (2007b), Behaviour of Structure–Foundation Systems over a Rupturing Normal Fault : Part II. Analysis of the Kocaeli Case Histories, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 5 (3), pp. 277–301.
- Anastasopoulos I., Gazetas G., Bransby M.F., Davies M.C.R., and El Nahas A. (2007), Fault Rupture Propagation through Sand : Finite Element Analysis and Validation through Centrifuge Experiments, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 133 (8), pp. 943–958.
- Anastasopoulos I., Gazetas G., Bransby M.F., Davies M.C.R., and El Nahas A. (2008), Normal Fault Rupture Interaction with Strip Foundations, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 134 (8)
- Bransby, M.F., Davies, M.C.R., and El Nahas, A. (2008a), Centrifuge modelling of normal fault-foundation interaction, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Special Issue : Integrated approach to fault rupture- and soil-foundation interaction, 6 (4) (in press).
- Brune, J.N., and Allen, C.R. (1967), A low-stress-drop, low magnitude earthquake with surface faulting. The Imperial, California, Earthquake of March 4, 1966, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 57, pp. 501-514.
- Γκαζέτας Γ., Αναστασόπουλος Ι., Γεωργαράκος Τ., και Δρόσος Β.(2008), Εργαστήριο Εδαφομηχανικής ΕΜΠ : Νέο Πειραματικό Τμήμα Σεισμικής Συμπεριφοράς Συστημάτων Εδάφους Κατασκευής, Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 2023.
- Cole, D.A. Jr., and Lade, P.V. (1984), Influence Zones in Alluvium Over Dip-Slip Faults, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 110 (5), pp. 599-615.
- Duncan, J.M., and Lefebvre, G., (1973), Earth Pressure on Structures due to Fault Movement, *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, ASCE, Vol. 99, pp. 1153–1163.
- Faccioli, E., Anastasopoulos, I., Callerio, A., and Gazetas, G. (2008), Case histories of fault–foundation interaction, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Special Issue : Integrated approach to fault rupture- and soil-foundation interaction, 6 (4) (in press).
- Gerolymos N., and Gazetas G. (2006a), Winkler model for lateral response of rigid caisson foundations in linear soil, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 26, No. 5, pp. 347–361.
- Gerolymos N., and Gazetas G. (2006b), Development of Winkler model for static and dynamic response of caisson foundations with soil and interface nonlinearities, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 26, No. 5, pp. 363–376.
- Gerolymos N., Giannakou A., Anastasopoulos I., and Gazetas G. (2008), Evidence of Beneficial Role of Inclined Piles : Observations and Numerical Results, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Special Issue : Integrated approach to fault rupture- and soil-foundation interaction, 6 (4) (in press).
- Gibson, A.D. (1997), *Physical Scale Modeling of Geotechnical Structures at One-G*, Report No. SML 97-01, California Institute of Technology, Pasadena, CA, pp. 413.
- Hanlong L., Susamu I., Ichii K. (1997), *Evaluation of deformation to the pneumatic caisson foundations of the Kobe Ohashi bridge*, Rep. of the Port & Harbor Res. Inst., Japan.
- Horsfield, W.T. (1977), An Experimental Approach to Basement-Controlled Faulting, *Geologie En Mijnbouw*, 56 (4), pp. 363-370.
- Hwang, H.Y. (2000), *Taiwan Chi-Chi Earthquake 9.21.99. Bird's eye view of Cher-Lung-Pu Fault*, Flying Tiger Cultural Publ., Taipei, Taiwan, pp. 150.

- Kawashima, K. (2001), Damage of Bridges Resulting from Fault Rupture in The 1999 Kocaeli and Duzce, Turkey Earthquakes and The 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake, *Workshop on Seismic Fault-Induced Failures—Possible Remedies for Damage to Urban Facilities*, University of Tokyo Press, pp. 171-190.
- Niccum, M.R., Cluff, L.S., Chamoro, F., and Wylie, L. (1976), Banco Central de Nicaragua : A case history of a high-rise building that survived surface fault rupture, in Humphrey, C.B., ed., *Engineering Geology and Soils Engineering Symposium*, No. 14, Idaho Transportation Department, Division of Highways, pp. 133-144.
- Pamuk, A., Kalkanb, E., Linga, H.I. (2005), Structural and geotechnical impacts of surface rupture on highway structures during recent earthquakes in Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 25, pp. 581-589.
- Polytarchou D. (2008), *Seismic Response of Reinforced Soil Retaining Walls: Shaking Table Tests*, Diploma Thesis, NTUA.
- Slemmons, D.B. (1957), Geological Effects of the Dixie Valley-Fairview Peak, Nevada, Earthquakes of December 16, 1954, *BSSA* , 47 (4), pp. 353–375.
- Taylor, C.L., Cline, K.M. Page, W.D., and Schwartz, D.P. (1985), The Borah Peak, Idaho earthquake of October 28, 1983 – Surface Faulting and Other Phenomena, *Earthquake Spectra*, 2 (1), pp. 23–49.
- Tazoh T., Ohtsuki A., Aoki T., Mano H., Isoda K., Iwamoto T., Arakawa T., Ishihara T., and Ookawa M. (2002), A new pile-head device for decreasing construction costs and increasing the seismic performance of pile foundations, and its application to structures, *Proc. 12th European Conference on Earthquake Engineering*, Elsevier Science Ltd. Paper No. 720.
- Ulusay, R., Aydan, O., Hamada, M. (2002), The behaviour of structures built on active fault zones: Examples from the recent earthquakes of Turkey, *Structural Engineering & Earthquake Engineering*, JSCE, 19 (2), pp. 149–167.
- Youd, T. L., Bardet, J-P, and Bray, J.D. (2000), Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999 Reconnaissance Report, *Earthquake Spectra*, Suppl. A to Vol. 16, pp. 456.