

\

Εφηρμοσμένη Έρευνα με Τίτλο:

**ΣΥΛΛΟΓΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ  
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΕΑΚ**

Τελική έκθεση  
ΤΕΥΧΟΣ 3: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Συντονιστής: Σταματόπουλος και Συνεργάτες ΕΠΕ  
(πρώην Κοτζιάς - Σταματόπουλος Ε.Π.Ε)

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2003

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Κωνσταντίνος Σταματόπουλος

Ισαύρων 5, 11471 Αθήνα. Τηλ: 3603911, 3624898, 3622855 - Fax: 3616919 - e-mail: kostama@athena.compulink.gr

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## Πίνακας Περιεχομένων

Σελίδα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. (Κεφάλαιο 3). Στατιστικά στοιχεία συνεπειών της εδαφικής μετακίνησης	Π-4
<u>A1. Στατιστικά στοιχεία Χωμάτων Φραγμάτων και άλλων επιχωμάτων</u>	Π-4
<u>A2. Στατιστικά στοιχεία τοίχων αντιστήριξης (και κρηπιδότοιχων)</u>	Π-7
<u>A3. Στατιστικά στοιχεία επιφανειακών θεμελιώσεων</u>	Π-11
<u>A4. Στατιστικά στοιχεία Φυσικών πρηνών</u>	Π-18
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. (Ενότητα 4.4.6). Μοντέλο των Stamatopoulos et al (2001) που περιγράφει την επίδραση των καταστατικών εξισώσεων, και ενδεικτικά αποτελέσματα	Π-21
<u>B.1 Καταστατικές σχέσεις</u>	Π-21
<u>B.2 Συζήτηση</u>	Π-22
<u>B.3 Τυπικές παράμετροι του μοντέλου</u>	Π-22
<u>B.4 Εφαρμογή του καταστατικού μοντέλου στη προσομοίωση σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο</u>	Π-22
<u>B.5 Πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή και εφαρμογή</u>	Π-23
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. (Ενότητα 5.2). Υπολογισμοί καθίζησης λόγω συνίζησης	Π-25
<u>Γ1. Υπολογισμός καθίζησης με την μέθοδο Tokimatsu and Seed, 1987.</u>	Π-25
<u>Γ2. Υπολογισμός καθίζησης με την μέθοδο Ishihara&amp;Yoshimine, 1992.</u>	Π-27
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. (Ενότητα 6.2) Εξισώσεις κίνησης για την περίπτωση σώματος κινούμενου σε η επίπεδα	Π-29
<u>Δ1. Σχέσεις μεταξύ των μετακινήσεων των σωμάτων</u>	Π-29
<u>Δ2. Ασκούμενες δυνάμεις και εξισώσεις ισορροπίας</u>	Π-29
<u>Δ3. Εξίσωση κίνησης στη γενική περίπτωση</u>	Π-30
<u>Δ4. Μεταβολές επιφανειών και μηκών με την απόσταση στη γενική περίπτωση</u>	Π-32
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε (Ενότητα 6.3) Εξισώσεις αναφορικά με το μοντέλο πρόβλεψης της σεισμικής στροφής κτιρίων	Π-35
<u>E1. Ροπή αδρανείας</u>	Π-35
<u>E2. Υπολογισμός των όρων τριβής <math>\Sigma \Delta W_i  \cos \beta_i </math>, <math>\Sigma \Delta W_i  \sin \beta_i </math></u>	Π-35
<u>E3. Θεώρηση δύο εδαφικών στρώσεων με διαφορετική συνοχή</u>	Π-38
<u>E4. Υπολογισμός φαινόμενου βάρους κτιρίου.</u>	Π-38

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### Πίνακας Περιεχομένων (συνέχεια)

	Σελίδα
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ (Ενότητα 7.2) Εργαστηριακές δοκιμές	Π-40
<u>Z1. Δοκιμές υπό μονοτονική φόρτιση</u>	Π-41
<u>Z2. Δοκιμές υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και σταθερό όγκο</u>	Π-42
<u>Z3. Δοκιμές υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και συνθήκες πλήρους στράγγισης</u>	Π-54

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. (Κεφάλαιο 3). Στατιστικά στοιχεία συνεπειών της εδαφικής μετακίνησης

### A1. Στατιστικά στοιχεία Χωμάτων Φραγμάτων και άλλων επιχωμάτων

**Πίνακας Α1.1.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για κάθε περίπτωση φράγματος της βάσης δεδομένων

A/A	Περίπτωση - Βιβλιογραφία *	Κατηγορία	H (m)	u <sub>z</sub> (m)	u <sub>x</sub> /u <sub>z</sub>	u <sub>z</sub> /H
Φ-1	Φράγμα "Makomanai" στο σεισμό Hokkaido Nansei-oki (Ιαπωνία) - Iwashita et, 1995, Tani, 1995.	A	34	0.5		0.015
Φ-2	Φράγμα "Niwa-Ikumine" στο σεισμό Hokkaido Nansei-oki (Ιαπωνία) - Iwashita et, 1995, Tani, 1995.	Γ	10	1-1.5		0.12
Φ-3	Συμπεριφορά του φράγματος Lower San Fernando στο σεισμό του Northridge - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	B	43	0.2	0.75	0.005
Φ-4	Φράγμα Upper San Fernando στο σεισμό του Northridge - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	B	24	0.45	0.33	0.02
Φ-5	Συμπεριφορά του φράγματος Lower San Fernando στο σεισμό του San Fernando (ΗΠΑ) - Seed et al, 1975.	Δ	43	21	2.90	0.49
Φ-6	Φράγμα Upper San Fernando στο σεισμό του San Fernando - Seed et al, 1975	B	24	0.9	1.67	0.04
Φ-7	"L.A. Reservoir, L.A. Dam", Καλιφόρνια στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ) - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	A	47	0.08	0.63	0.002
Φ-8	"L.A. Reservoir, North Dike", Καλιφόρνια, στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ) - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	A	36	0.04	1.25	0.001
Φ-9	Το φράγμα "La Marquesa" στο σεισμό της Χιλής του 1985 - De Alba et al, 1988.	Γ	10	2	5.50	0.20
Φ-10	Το φράγμα "La Palma" στο σεισμό της Χιλής του 1985- De Alba et al, 1988.	Γ	10	0.8	6.25	0.08
Φ-11	Το φράγμα "Bypass Reservoir Dam" στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ) - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	A	31	0.015	1.00	0.0005
Φ-12	Το φράγμα "Lower Debris Basin-Dam 1 " στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ) - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	A	15	0.034		0.0023
Φ-13	Το φράγμα "Lower Debris Basin-Dam 2 " στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ) - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	A	7	0.055		0.008
Φ-14	Το φράγμα "Yarnell Debris Basin " στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ)	A	6	0.006		0.001
Φ-15	Το φράγμα "Backwash Pond Dikes" στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ) - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	B	7.5	0.15		0.02
Φ-16	Ζημιά στο επίχωμα του φράγματος "Power Plant Tailrace Dike" (California) στο σεισμό του Northridge (ΗΠΑ, 1994) - Davis and Bardet, 1996, Davis and Bardet, 1995.	Δ	6.1	-		
Φ-17	Το φράγμα "Aino-no" στο σεισμό Akita-antou, Ιαπωνία, 1970 - Tani, 1995.	A	41	0-0.5		0.006
Φ-18	Το φράγμα "Makio" στο σεισμό Nagako-ken Seibu, Ιαπωνία, 1984 - Tani, 1995.	A	105	0-0.5		0.0024

\* οι βιβλιογραφικές αναφορές στον παρόντα, και σε όλους του πίνακες του Παραρτήματος Α, δίνονται στη ενότητα 3.10

**Πίνακας Α1.2.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για κάθε περίπτωση παράκτιου αναχώματος της βάσης δεδομένων

A/A	Περίπτωση - Βιβλιογραφία	Κατηγο- ρία	Ύψος H (m)	$u_z$ (m)	$u_x$ (m)	$u_x/u_z$	$u_z/H$
E2	Επιχώματα του ποταμού Kushiro στο σεισμό του Kushiro-oki (Ιαπωνία) - Kaneko et al, 1995, Sasaki et al, 1995.	Γ	10	2	3	1.5	0.2
E3	Ζημιές σε επιχώματα σε φυσικά πρηνή στο σεισμό του Kushiro-oki (Ιαπωνία) - - Wakamatsu et al, 1995	Γ	5-7	2.5			0.42
E7	Ζημιές στα επιχώματα στις όχθες του ποταμού Shiribeshi-Toshibetsu στο σεισμό του Hokkaido Nansei-oki (Ιαπωνία) - Kaneko et al, 1995.	Γ	5	3	3	1	0.6

**Πίνακας Α1.3.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για κάθε περίπτωση οδικού επιχώματος της βάσης δεδομένων

A/A	Περίπτωση - Βιβλιογραφία	Κατηγο- ρία	Ύψος H (m)	$u_z$ (m)	$u_x$ (m)	$u_x/u_z$	$u_z/H$
E4α	Ζημιές σε έργα αγροτικής υποδομής στο σεισμό του Kushiro-oki (Ιαπωνία) - Wakamatsu et al, 1995.	A		0.04			
E4β	Ζημιές σε έργα αγροτικής υποδομής στο σεισμό του Kushiro-oki (Ιαπωνία) - Wakamatsu et al, 1995	Δ		2			
E6	Ζημιές σε επιχώματα δρόμων στο Bekkai στο σεισμό του Hokkaido-toho-oki (Ιαπωνία), Wakamatsu et al, 1995 - Wakamatsu et al, 1995.	Γ		1.5			
E10	Αστοχία επιχώματος γέφυρας στο σεισμό της Κοζάνης-Γρεβενών (Ελλάδα) - Alexandris, 1995, Tika et al, 1997.	Γ	12m	1-2	0.8-2	0.93	0.13
-	Θαλάσσιο επίχωμα σε λιμάνι στην Καλιφόρνια - Kerwin and Stone., 1997.	Γ	7	1.5	5.5	3.7	0.21

**Πίνακας Α1.4.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για κάθε περίπτωση σιδηροδρομικού επιχώματος της βάσης δεδομένων

A/A	Περίπτωση - Βιβλιογραφία	Κατηγο- ρία	Ύψος H (m)	$u_z$ (m)	$u_x$ (m)	$u_x/u_z$	$u_z/H$
E1	Ζημιές στα σιδηροδρομικά επιχώματα μεταξύ Kayanuma-Gojikkoku στο σεισμό του Kushiro-oki (Ιαπωνία) - Kaneko et al, 1993, Wakamatsu et al, 1995.	Γ		0.8			
E5	Ζημιές στα σιδηροδρομικά επιχώματα μεταξύ Kayanuma και Gojikkoku στο σεισμό του Hokkaido toho-oki (Ιαπωνία) Kaneko et al, 1993, Wakamatsu et al, 1995	B		0.2			
E8	Ζημιές σε επιχώματα κατά μήκος της γραμμής JR Tokaido μεταξύ Higashi-Nada και Kobekou στο σεισμό του Hyogoken-Nambu (Kobe , Ιαπωνία) - Tatsuoka et al, 1996.	Γ	6	0.9	0.7	0.77	0.15
		Γ	6.3	1	0.6	0.6	0.16
E9	Ζημιές σε επιχώματα κατά μήκος της γραμμής JR Sanyo μεταξύ των σταθμών Hyogo και Shin Nagata στο σεισμό του Hyogoken-Nambu (Kobe , Ιαπωνία) ) - Tatsuoka et al, 1996.	Γ	4.4	0.6	0.5	0.3	0.15

## **A2. Στατιστικά στοιχεία τοίχων αντιστήριξης (και κρηπιδότοιχων)**

**Πίνακας A2.1.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για κάθε περίπτωση κρηπιδότοιχου της βάσης δεδομένων

A/A	Περίπτωση - Βιβλιογραφία	Κατηγορία	Τύπος τοίχου	H	Κατασκευές Κοντά ?	Αντιστηρ. Εδαφος Uz (m)	Τοίχος $\frac{u_x^A}{u_x^K}$ (**)
K1	Ζημιές στους κρηπιδότοιχους του λιμένα του Kushiro στο σεισμό του Hokkaido-Toho-oki (Ιαπωνία) - Wakamatsu et al, 1995	B	?	-	όχι	0.3	
K2	Ζημιά στους κρηπιδότοιχους του λιμένα του Hanasaki στο σεισμό του Hokkaido-Toho-oki (Ιαπωνία) Wakamatsu et al, 1995	Γ	?	-		1	0.6/2
K3	Νήσοι Port, Rokko και Fukae στο σεισμό του του Hyogoken-Nambu (Kobe, Ιαπωνία) - Ishihara et al, 1997, Inagaki et al 1996, Kamon et al, 1996, Kimura, 1996, <a href="http://nisee.berkeley.edu">http://nisee.berkeley.edu</a> .	Γ	Caisson	12-13	Γερανός	1.45	2.31/1.95
	Νήσοι Port, Rokko και Fukae στο σεισμό του του Hyogoken-Nambu (Kobe, Ιαπωνία) - Ishihara et al, 1997, Inagaki et al 1996, Kamon et al, 1996, Kimura, 1996, <a href="http://nisee.berkeley.edu">http://nisee.berkeley.edu</a> .	Γ	Caisson	9-10		0.96	1.56/0.99
	Νήσοι Port, Rokko και Fukae στο σεισμό του του Hyogoken-Nambu (Kobe, Ιαπωνία)	Γ	Caisson			1.64	3.3/1.9
	Νήσοι Port, Rokko και Fukae στο σεισμό του του Hyogoken-Nambu (Kobe, Ιαπωνία) - Ishihara et al, 1997, Inagaki et al 1996, Kamon et al, 1996, Kimura, 1996, <a href="http://nisee.berkeley.edu">http://nisee.berkeley.edu</a> .	Γ	Caisson	6-7		0.98	1.97/2.43
	Νήσοι Port, Rokko και Fukae στο σεισμό του του Hyogoken-Nambu (Kobe, Ιαπωνία)	B	Caisson				0.8
	Νήσοι Port, Rokko και Fukae στο σεισμό του του Hyogoken-Nambu (Kobe, Ιαπωνία) - Ishihara et al, 1997, Inagaki et al 1996, Kamon et al, 1996, Kimura, 1996, <a href="http://nisee.berkeley.edu">http://nisee.berkeley.edu</a> .	A	Caisson				0.2
K4	Ζημιές σε κρηπιδότοιχο στο σεισμό της Καλαμάτας (Ελλάδα) - Kotta et al, 1988.	B	Τεμάχια	11.5		0.2	0.25/0.05
K5	Ζημιές στον κρηπιδότοιχο του Rinko Wharf στο σεισμό της Niigata (Ιαπωνία), αποβάθρα "C" - Hamada et al, 1992.	Γ-Δ	Sheet pile	10		1	6/-
K6	Ζημιές σε κρηπιδότοιχους	Γ	Caisson	15		-	1.5/-

	στον λιμένα Akita στο σεισμό του Nihonkai-Chubu (Ιαπωνία) – αποβάθρες Gaiko Wharf - (Αποβάθρα “C”)- Hamada et al, 1992.						
K7	Λιμένας Shimizu στο σεισμό Kitaizu, Ιαπωνία- Seed and Whitman, 1970.	Δ	--	-		-	8.5/-
K9	Λιμένας Nagoya στο σεισμό Tonankai, Ιαπωνία	<Δ	--	-		-	3.3-4.3/-
K10	Λιμένας Yokkaichi στο σεισμό Tonankai, Ιαπωνία- Seed and Whitman, 1970.	<Δ	--	-		-	4/-
K11	Λιμένας Nagoya στο σεισμό Nankai, Ιαπωνία- Seed and Whitman, 1970.	<Δ	--	-		-	4.3/-
K12	Λιμένας Osaka στο σεισμό Nankai, Ιαπωνία- Seed and Whitman, 1970.	<Δ	--	-		-	4.6/-
K13	Λιμένας Yokkaichi στο σεισμό Nankai, Ιαπωνία- Seed and Whitman, 1970.	<Δ	--	-		-	4/-
K14	Λιμένας Uno στο σεισμό Nankai, Ιαπωνία- Seed and Whitman, 1970.	<Δ	--	-		-	0.7,-
K15	Λιμένας Kushiro στο σεισμό Tokachioki, Ιαπωνία- Seed and Whitman, 1970.	<Δ	--	-		-	6/-
K16	Λιμένας Puerto Montt στο σεισμό της Χιλής, Χιλή - Seed and Whitman, 1970.	Δ	--	-		-	>5/-
K17	Λιμένας Niigata στο σεισμό Niigata, Ιαπωνία, Wakamatsu et al, 1995, Hamada, 1992.	Γ	--	10		0.4	3/-
K18	Λιμένας πόλης Αιγίου στο σεισμό του Αιγίου, Ελλάδα - Bouchovalas et al, 1999.	A	--	10		-	0.1/-
K19	Λιμένας San Antonio στο σεισμό της Χιλής, Χιλή - Iai and Kameoka (1991)	Γ	--	-		-	1/-
K20	Λιμένας San Antonio στο σεισμό της Χιλής, Χιλή - Iai S. and Kameoka T. (1991)	A	--	-		-	0.15/-
K21	Λιμένας San Antonio στο σεισμό της Χιλής, Χιλή - Iai and Kameoka (1991)	A	--	-		-	0.06/-
K23	Λιμένας Nagata στο σεισμό του Kobe, Ιαπωνία- EERC (1995)	A	--	-		-	0.12/-
K24	Λιμένας Nagata στο σεισμό του Kobe, Ιαπωνία - EERC (1995)	Γ	--	-		1-2	1-2/-
EK5	Λιμάνι του Πειραιά, Αθήνα, Ελλάδα - Ο σεισμός της Πάρνηθας (Ελλάδα, 1999) - Stamatopoulos C. "personal reconnaissance, 1999.	B	--	-		0.2	0.2/-

\*\* A=Άνω, K=Κάτω



**Πίνακας A2.2.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για περιπτώσεις του site [http://nisee.berkeley.edu/cgi-bin/eqiis\\_και](http://nisee.berkeley.edu/cgi-bin/eqiis_και) ανήκουν στο Steinbrugge collection

A/A	Περίπτωση	Κατηγ.	Τύπος τοίχου	H	Κατασκευές Κοντά?	Αντιστηρ. Εδαφος Uz (m)
	Ζημιές στους κρηπιδότοιχους του λιμένα του του Τόκιο στο σεισμό του Τόκιο στις 1/9/1923i (Ιαπωνία)	Δ	?	-	γερανός	2
	Ζημιές στους κρηπιδότοιχους του λιμένα του του Τόκιο στο σεισμό του Τόκιο στις 1/9/1923i (Ιαπωνία)	Δ	?	-	αποθήκες	2
	Ζημιές στους κρηπιδότοιχους του λιμένα του του Τόκιο στο σεισμό του Τόκιο στις 1/9/1923i (Ιαπωνία)	Γ			αποθήκες	1

**Πίνακας A2.3.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για κάθε περίπτωση τοίχου αντιστήριξης (πλην κρηπιδότοιχων) της βάσης δεδομένων

A/A	Περίπτωση - Βιβλιογραφία	Κατηγορία	Τύπος τοίχου	H*	Κατασκευές Κοντά?	Τύπος Αστοχίας**	Αντιστ. Εδαφ. uz -max	Τοίχος Ux-max
TA1	Ζημιές σε τοίχο βαρύτητας από άοπλο σκυρόδεμα στο σεισμό Hyogoken Nambu (Ιαπωνία) - Tatsuoka et al, 1996.	Γ	Βαρύτητα	5/2		ΣΤΡ	--	1
TA2	Ζημιές σε τοίχους αντιστήριξης από ωπλισμένο σκυρόδεμα στο σεισμό Hyogoken Nambu (Ιαπωνία) - Tatsuoka et al, 1996.	B	Ω.Σ	4/3		ΣΤΡ	--	0.5
TA4	Ζημιές σε τοίχους αντιστήριξης από ωπλισμένο σκυρόδεμα στο σεισμό Hyogoken Nambu (Ιαπωνία) - Tatsuoka et al, 1996.	Γ	Ω.Σ	5/3.4		ΣΤΡ	--	1
TA5	Ζημιές σε τοίχους αντιστήριξης από ωπλισμένο σκυρόδεμα στο σεισμό Hyogoken Nambu (Ιαπωνία) - Tatsuoka et al, 1996.	B	Ω.Σ	4.5/1.5		ΣΤΡ	--	0.3
TA6	Τοίχος από ωπλισμένο σκυρόδεμα σε έδαφος ενισχυμένο με γεώπλεγμα (περιοχή GR1 στο Σχ. 2.3.1.γ.) στο σεισμό Hyogoken Nambu (Ιαπωνία) - Nakagawa et al, 1996, Tatsuoka et al, 1996.	A-B	Ω.Σ	--		ΣΤΡ	0.15	0.1-0.25
TA7	Τοίχος από ωπλισμένο σκυρόδεμα (περιοχή CL3 στο Σχ. 2.3.1.γ.) στο σεισμό Hyogoken Nambu (Ιαπωνία) - Nakagawa et al, 1996, Tatsuoka et al, 1996.	A-B	Ω.Σ	--		ΑΝ	--	0.1-0.2
TA8	Τοίχος από άοπλο σκυρόδεμα για σιδηροδρομικά επιχώματα, Γραμμή "J.R. Tokaido", Kobe στο σεισμό	Γ	Βαρύτητα	4		ΕΜ	1	1

	Hyogoken Nambu (Ιαπωνία) - Tatsuoka et al, 1996.							
TA9	Αστοχία τοίχου αντιστήριξης στην ορεινή οδό προς Πάρνηθα, Αθήνα, Ελλάδα - Ο σεισμός της Πάρνηθας (Ελλάδα, 1999) - Protonotarios, 1999.	Β	Βαρύτη τα	--	Δρόμος	ΕΜ	0.5	0.5
TA10	Αστοχία τοίχου βαρύτητας κοντά στην είσοδο της σήραγγας Gan-Lin, στο σεισμό Chi-Chi, Taiwan 1999 - Yung-Show Fang et al, 2001.	Γ	Βαρύτη τα	1.8		ΣΤΡ	1	1
TA12	Αστοχία τοίχου αντιστήριξης στο Lalu Resort, στο σεισμό Chi- Chi, Taiwan 1999 - 1. Yung-Show Fang et al, 2001.	Δ	Βαρύτη τα	2	Δρόμος	ΕΜ	1.3	2.0

\* η πρώτη τιμή αντιστοιχεί στο ύψος πάνω από το έδαφος, και η δεύτερη στο ύψος κάτω από το έδαφος.

\*\* ΣΤΡ =στροφή τοίχου, ΕΜ=εδαφική μετακίνηση

### **A3. Στατιστικά στοιχεία επιφανειακών θεμελιώσεων**

**Πίνακας A3.1** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της καθίζησης και της στροφής για διάφορα κτίρια στη πόλη Dagupan των Φιλιππίνων κατά τον σεισμό του Luzon το 1990 (βάσει της δημοσίευσης των Acacio et al, 2001)

A/A	Αριθμός κτιρίου	Κατηγορία βλαβών	Πλάτος θεμελίωσης (m)	Στροφή (°)	Καθίζηση (m)
		βάσει Acacio et al, διορθωμένος βάσει λειτουργικότητας και δομοστατικής αστοχίας			
1	3	Δ	16.5	2	0.5
2	5	B	14.0	1	0.5
3	6	Γ	19.2	2	1
4	7	Γ	12.0	2	0.45
5	10	B	11.9	2	0.8
6	11	Γ	14.0	2	1
7	12	B	10.0	2	0.3
8	13	Δ	5.5	2	0.3
9	15	Γ	8.5	11	0.55
10	16	B	8.0	1	0.5
11	17	B	12.0	1	1
12	18	Δ	5.2	19	1
13	21	B	7.0	1	0.1
14	22	B	9.0	1	0.15
15	23	B	10.0	1	0.15
16	24	B	7.3	1	0.1
17	25	B	10.3	1	0.2

**Πίνακας Α3.2.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της καθίζησης και της στροφής για διάφορα κτίρια της Τουρκίας κατά τον σεισμό του 1999 (βάσει της δημοσίευσης των Yoshida et al, 2001)

A/A	Αριθμός κτιρίου	Κατηγορία βλαβών	Πλάτος θεμελίωσης	Στροφή	Καθίζηση
		βάσει Acacio et al, διορθωμένος βάσει λειτουργικότητας και δομοστατικής αστοχίας	(m)	(°)	(m)
1	KAM1	A	7	0	0.01
2	2	A	12	0	0.01
3	3	A	10	0	0.01
4	4	A	8	0	0.01
5	5	A	10	0	0.01
6	6S	A	6	0	0.01
7	7S	A	6	0	0.01
8	8S	A	8	0	0.01
9	12S	B	8	3	0.25
10	CIN1S	A	13.5	6	0.25
11	3S	B	10	3	0.05
12	5S	A	12	1	0.07
13	6S	A	11	1	0.1
14	7S	A	8	1	0.12
15	2	A	8	2	0.45
16	3	A	8	3	0.3
17	4	A	16	1	0.01
18	5	A	13	0	0.05
19	PAP1	A	10.5	0	0.1
20	2	A	15	0	0.12
21	3	A	14	0	0.01
22	4	A	7	2	0.07
23	5	A	9.5	0	0.05
24	6	A	11	0	0.01
25	7	A	25	0	0.05
26	8	A	20	0	0.1
27	9	A	12	0	0.07
28	10	A	4.5	0	0.01
29	11	A	12.5	0	0.01
30	KAN1	A	13.5	0	0.01
31	2	A	4.5	0	0.01
32	3	B	10	0	0.01
33	4	B	7	0	0.01
34	5	B	10	0	0.01
35	11	B	18	0	0.01
36	12	A	18	0	0.01
37	13	A	18	0	0.01
38	14	A	9	0	0.01
39	15	A	12	0	0.01
40	16	A	12	0	0.01
41	17	A	5	0	0.01
42	19	A	25	0	0.01

43	SER1	A	4	0	0.01
44	2	A	4.7	2	0.02
45	3	B	6	0	0.01
46	4	A	4	1	0.03
47	5	B	2	1	0.03
48	10	A	11.3	0	0.05
49	3S	A	12.7	2	0.27
50	4S	A	8	1	0.05
51	5S	A	10.7	0	0.01
52	6	A	16	1	0.1
53	7	A	9.3	1	0.1
54	8	A	15.7	1	0.05
55	9	A	6.7	2	0.36
56	10S	A	9.3	0	0.5
57	11S	A	7.3	1	0.07
58	13S	A	14.7	1	0.07
59	CES1S	A	6.7	0	0.01
60	2S	A	24	0	0.01
61	3S	A	14.7	0	0.01
62	4S	A	11.1	0	0.01
63	5S	A	15.6	0	0.01
64	6S	A	7.3	0	0.01
65	7S	A	14.7	0	0.01
66	3	A	8	0	0.01
67	3	$\Delta$	10	3	0.01
68	8	$\Gamma$	6.7	3	0.05
69	9	A	7.3	2	0.05
70	10	B	6.7	6	0.35
71	11	A	10	2	0.25
72	12	A	7.3	1	0.05
73	13	A	8	2	0.1
74	TAD1S	A	12	0	0.01
75	2S	A	8.7	1	0.01
76	3S	A	12.3	1	0.07
77	4S	A	10.7	1	0.01
78	5S	A	9.3	0	0.05
79	6S	A	10.7	0	0.01
80	7S	A	10	0	0.05
81	UTK1S	A	27.3	0	0.01
82	2S	A	15.3	0	0.01
83	3S	A	8	0	0.01
84	4S	A	8	0	0.01
85	5S	$\Delta$	6	2	0.01
86	KIS1S	A	10.7	0	0.01
87	2S	A	6	0	0.01
88	3S	$\Delta$	7.3	0	0.01
89	4S	A	11.3	0	0.01
90	5S	A	12	0	0.01
91	6S	A	7.3	0	0.01
92	7S	A	7.3	0	0.01

93	8S	B	8.7	0	0.01
94	9S	A	4.7	0	0.01
95	10S	Г	5.3	0	0.01
96	11S	A	6.7	0	0.01
97	12S	A	13.3	0	0.01
98	BIR1S	A	7.3	0	0.01
99	2S	A	12	0	0.01
100	3S	A	8	0	0.01
101	4S	A	8.7	0	0.01
102	5S	B	7.3	0	0.01
103	6S	B	16.7	0	0.01
104	CIR1	A	10	0	0.01
105	2	A	9	0	0.01
106	3	A	5	0	0.01
107	ATA1	A	7	3	0.17
108	2	Δ	4.5	3	0.1
109	3	A	15	2	0.24
110	4	A	13.5	2	0.12
111	5	A	8	1	0.01
112	6	A	14	2	0.35
113	7	A	6	4	0.5
114	8	A	8	1	0.1
115	9	A	8	1	0.3
116	10	A	7	2	0.4
117	11	A	8.5	3	0.4
118	12	A	7	5	0.4
119	INC1S	A	9	2	0.2
120	2S	A	20	1	0.15
121	3S	A	12	1	0.2
122	PAM1	A	12	1	0.01
123	2	A	15.5	0	0.1
124	KOL1	B	9	1	0.01
125	2	A	9	1	0.2
126	3	A	7	0	0.01
127	4	A	9	0	0.05
128	ELC1	A	6	1.5	0.25
129	2	A	8.7	2	0.2
130	3	A	11.3	1	0.01
131	5	A	26.7	0	0.1
132	6	A	16	0	0.3
133	PEP1	A	26	0.5	0.2
134	2	A	10	0.5	0.35
135	4	A	7.3	2	0.2
136	5	B	8	2	0.01
137	6	A	10	1	0.05
138	ECZ1E	A	3.3	0	0.3
139	2E	A	10	1	0.6
140	3E	A	8.7	0	0.01
141	4E	A	8.7	0	0.01
142	5E	A	6	0	0.01

143	6E	$\Gamma$	6.7	0	0.05
144	7E	$\Delta$	8	11	0.01
145	8E	A	10.7	4	0.3
146	9E	A	8.7	3.5	0.4
147	10E	A	15.3	1	0.1
148	11E	A	20.7	0	0.05
149	3E	B	13.3	1.5	0.05

**Πίνακας Α3.3.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της καθίζησης και του τύπου θεμελίωσης για κάθε περίπτωση θεμελίωσης της βάσης δεδομένων όπου υπάρχουν τα σχετικά στοιχεία

Α/Α	Περίπτωση - Βιβλιογραφία	Κατηγο- ρία	τύπος θεμε- λίωσης** *	καθίζηση (m)	Παρατηρ .
Θ1	Πολυκατοικία στο Βραχάτι, Πελοπόννησος - Ο σεισμός των Αλκυονίδων (Ελλάδα, 1981) - Stamatopoulos A. et al, 2001.	Δ	α	0.3-0.5**	Κατάρ- ρευση
Θ2	Ξενοδοχείο στα Βαλιμίτικα, Πελοπόννησος - Ο σεισμός του Αιγίου (Ελλάδα, 1995) - Stamatopoulos A. et al, 2001.	Δ	α	0.35**	Κατάρ- ρευση
Θ9- 11	Ο Λευκός Πύργος στους σεισμούς της Θεσσαλονίκης το 1978 (Ελλάδα) - Gazetas, 1981.	A		<0.10	
Θ12	Ζημιές σε κατοικημένες περιοχές στον σεισμό του Hokkaido-toho-oki (Ιαπωνία) - Wakamatsu et al, 1994'.	B	β	0.5	
Θ13	Κτίρια που έλαβαν μεγάλη κλίση στο σεισμό της Niigata (Ιαπωνία 1964) - Hamada, 1992.	Γ	β	1.5	
Θ14	Θέση Saranca, ξενοδοχείο Saranca - ο σεισμός του Kocaeli (Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	B		0.2-0.5	
Θ15	Κτίριο A στο Kobe στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Ιαπωνία, 1995 - Miyazaki et al, 2001.	A	β	<0.10	
Θ16	Κτίριο B στο Kobe στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Ιαπωνία, 1995- Miyazaki et al, 2001.	A	β	<0.10	
Θ17	Κτίριο C στο Kobe στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Ιαπωνία, 1995- Miyazaki et al, 2001.	A	β	<0.10	
Θ18	Κτίριο D στο Kobe στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Ιαπωνία, 1995- Miyazaki et al, 2001.	A	β	<0.10	
Θ19	Κτίριο E στο Kobe στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Ιαπωνία, 1995- Miyazaki et al, 2001.	A	β	<0.10	
Θ20	Κτίριο F στο Kobe στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Ιαπωνία, 1995- Miyazaki et al, 2001.	A	β	<0.10	
Θ21	Δεξαμενή 1, βόρεια από το Rokko Island, στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Kobe, Ιαπωνία 1995 - Elizabeth et al, 2001.	B	γ	0.45	
Θ22	Δεξαμενή 2, κοντά σε κρηπιδότοιχο, βόρεια από το Rokko Island, στο σεισμό Hyogoken-Nambu, Kobe, Ιαπωνία 1995 - Elizabeth et al, 2001.	B	γ	0.62	
Θ23	Δεξαμενή 3, βόρεια από το Rokko Island, στο σεισμό Hyogoken Nambu, Kobe, Ιαπωνία 1995 - Elizabeth et al, 2001.	A	γ	0.44	
Θ24	Συγκρότημα κτιρίων στο Nishinomiya City, Hyogo Prefecture, στο σεισμό Hyogoken Nambu, Kobe, Ιαπωνία 1995- Elizabeth et al, 2001.	B	α ή β	0.2	
Θ27	Βλάβες στην περιοχή Wufeng στο σεισμό Chi-Chi, Taiwan 1999 - Der-Her	B	α ή β	0.1	



	Lee and Chih-Sheng, 2001.				
EK6	Πλάκα, Αθήνα, Ελλάδα - Ο σεισμός της Πάρνηθας (Ελλάδα, 1999), Stamatopoulos A (1999).	A	α	0.02	
E3	Ζημιές σε επιχώματα σε φυσικά πρανή με κτίρια στο σεισμό του Kushiro-oki (Ιαπωνία) - Wakamatsu et al, 1995.	Δ	α ή β	0.5	Κατά- ρευση σπιτιών
ΦΠ1	Η κατολίσθηση "Nikawa" στον σεισμό Hyogoken-Nambu (Ιαπωνία) - Sassa et al, 1996.	Δ	α ή β	10-15	Κατοικη- μένη περιοχή
ΦΠ2	Η κατολίσθηση "Takarazuka" στον σεισμό Hyogoken-Nambu (Ιαπωνία) - Sassa et al, 1996.	Δ	α ή β	15-20	
ΦΠ3	Η κατολίσθηση της 4ης Λεωφόρου στο Anchorage στον σεισμό της Αλάσκας του 1964 (Αλάσκα), Stark and Contreras, 1998.	Δ	α ή β	1.2-1.5	Κατοικη- μένη περιοχή

\*\* βάσει υπολογισμού

\*\*\*(α) κτίρια χωρίς εννιαία θεμελίωση, (β) κτίρια με εννιαία θεμελίωση και (γ) δεξαμενές

#### **A4. Στατιστικά στοιχεία Φυσικών πραγών**

**Πίνακας A4.1.** Κατηγορία ζημιάς συναρτήσει της μετακίνησης και άλλων χαρακτηριστικών για κάθε περίπτωση πραγούς χωρίς κατασκευές της βάσης δεδομένων

A/A	Περίπτωση - Βιβλιογραφία	Κατηγορία	ux	uz	L
ΦΠ4	Η κατολίσθηση του "Chonan Middle School" (Ιαπωνία) – Ο σεισμός Chiba - Ishihara, 1993.	B'	3	1	20
ΦΠ6	Μετασεισμική κατολίσθηση στον σεισμό του Popayan (Κολομβία) - BRGM et al, 1987	Γ'	30	10	50
ΠΕ1	Πλευρική Εξάπλωση στην περιοχή Ebigase-Ohgata της πόλης Niigata στο σεισμό Niigata (Ιαπωνία) - Hamada, 1992.	B'	2		
ΠΕ2	Πλευρική Εξάπλωση στην περιοχή Matsuhama-Shitayama-Shinkawa της πόλης Niigata στο σεισμό Niigata (Ιαπωνία) - Hamada, 1992.	B'	2.2		
ΠΕ3	Πλευρική Εξάπλωση στην περιοχή του σιδηροδρομικού σταθμού της πόλης Niigata στο σεισμό Niigata (Ιαπωνία) - Hamada, 1992.	B'	1		
ΠΕ4	Πλευρικές Εξαπλώσεις στην πόλη Noshiro στο σεισμό Nihonkai-Chubu - Νότια Περιοχή της Πόλης Noshiro - - Hamada, 1992.	B'	5		
ΠΕ5	Βόρεια Περιοχή της Πόλης Noshiro στο σεισμό Nihonkai-Chubu - - Hamada, 1992.	B'	2.1		
ΠΕ6	Θέση Degirmedere – ο σεισμός του Kocaeli (Adapazari, Τουρκία 1999) - Hiroyoshi et al, 2001 - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	A'	0.2		
ΠΕ7	Θέση Police Station - ο σεισμός του Kocaeli (Adapazari, Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	A'	0.25		
ΠΕ8	Θέση Soccer Field στον σεισμό του Kocaeli (Adapazari, Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	A'	0.4		
ΠΕ9	Θέση Yalona Harbor στον σεισμό του Kocaeli (Adapazari, Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a> - Hiroyoshi et al, 2001	A'	0.35		
ΠΕ10	Θέση Yakin Street στον σεισμό του Kocaeli (Adapazari, Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	A'	0.10		
ΠΕ12	Συγκρότημα στο Golcuk - Ο σεισμός του Kocaeli (Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	B'	2		
ΠΕ13	Θέση Haliderere - Ο σεισμός του Kocaeli (Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	Γ'	50		
ΠΕ14	Αίγιο, Ελίκη, Ελλάδα - Ο σεισμός του Αιγίου (Ελλάδα, 1867) - Stamatopoulos A. and Stamatopoulos C. (2000) <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	B'	3	2	20
ΠΕ15	Ποταμός Maolou, Nantou, Taiwan -	B'	4	1.5	

	Ο σεισμός του Chi-Chi (Taiwan, 1999), Lin, 2001				
ΠΕ16	Ερατεινή, Ελλάδα - Ο σεισμός του Αιγίου (Ελλάδα, 1995) - Bouchovalas et al, 1999.	Γ'	10	5	15

**Πίνακας Α4.2.** Η οριζόντια και κατακόρυφη μετακίνηση για τις άλλες περιπτώσεις πρανών (δηλαδή πρανών με κατασκευές) της βάσης δεδομένων.

<b>A/A</b>	<b>Περίπτωση - Βιβλιογραφία</b>	<b>ux (m)</b>	<b>uz (m)</b>	<b>L (m)</b>
Θ12	Ζημιές σε κατοικημένες περιοχές στον σεισμό του Hokkaido-toho-oki (Ιαπωνία) - Wakamatsu et al, 1994.	0.5	0.5	
Θ14	Θέση Sapanca, ξενοδοχείο Sapanca - ο σεισμός του Kocaeli (Adapazari, Τουρκία 1999) - <a href="http://nisee.berkeley.edu/">http://nisee.berkeley.edu/</a>	0.4	0.3.5	
ΦΠ3	Η κατολίσθηση της 4ης Λεωφόρου στο Anchorage στον σεισμό της Αλάσκας του 1964 (Αλάσκα) - Stark and Contreras, 1998.	5.3	1.3	
ΦΠ1	Η κατολίσθηση "Nikawa" στον σεισμό Hyogoken-Nambu (Ιαπωνία) - Sassa et al, 1996.	60	15	100
ΦΠ2	Η κατολίσθηση "Takarazuka" στον σεισμό Hyogoken-Nambu (Ιαπωνία)- Sassa et al, 1996.	50	10	100
ΦΠ10	Η κατολίσθηση στο Usoy, στο σεισμό της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, - Ambraseys and Sbrulov, 1995.	1595	500	3000
ΦΠ8	Η κατολίσθηση Galdian, περιοχή Rudbar, στο σεισμό του Manjil, (Ιράν) - Haeri et al, 1994..	425	50	2500

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. (Ενότητα 4.4.3). Μοντέλο των Stamatopoulos et al (2001) που περιγράφει την επίδραση των καταστατικών εξισώσεων, και ενδεικτικά αποτελέσματα

### B.1 Καταστατικές σχέσεις

Οι Stamatopoulos et al (2001) προτείνουν μοντέλο που περιγράφει την ελαστο-πλαστική συμπεριφορά του εδάφους σε συνθήκες απλής διάτμησης, βάσει της κρίσιμης κατάστασης. Σε πολύ μικρή παραμόρφωση τα μέτρα διάτμησης και διόγκωσης προσομοιάζονται ως

$$G_{\max} = A (P_{\text{atm}} \sigma'_{\text{oct}})^{0.5} / (0.3 + 0.7e^2) \quad (\text{B.1}\alpha)$$

$$K_{\max} = 3 G_{\max} / 8 \quad (\text{B.1}\beta)$$

όπου  $A$  είναι παράμετρος του μοντέλου,  $P_{\text{atm}}$  είναι η ατμοσφαιρική πίεση (ισούται με  $10.33 \text{ Tf/m}^2$ ).

Η απόλυτη τιμή της διατμητικής τάσης δίδεται ως:

$$|\tau| = \sigma' F R \quad (\text{B.1}\gamma)$$

όπου  $\sigma'$  είναι η ενεργή κατακόρυφη τάση, και

$$F = 1 - b \ln[\sigma'/\sigma'_c] \quad (\text{B.1}\delta)$$

όπου,

$$\sigma'_c = \sigma_{\text{co}} \exp(-\beta \varepsilon^p_{\text{vol}}) \quad (\text{B.1}\epsilon)$$

και  $b$ ,  $\sigma_{\text{co}}$  και  $\beta$  είναι παράμετροι του μοντέλου.

Επίσης, η μεταβολή του λόγου τάσεων,  $dR$ , δίδεται συναρτήσει της προσαύξησης της διατμητικής παραμόρφωσης  $d\gamma$  ως

$$dR = \frac{d\gamma}{F \sigma/G_{\max} + (1/E) (\tan\varphi)^2 (R_a)^{-2} \text{ fac}} \quad (\text{B.1}\zeta)$$

όπου

$$\text{fac} = (Nr^{aN} - (Nr-1)^{aN}) \quad (\text{B.1}\eta)$$

Στην παραπάνω εξίσωση:

-  $R$  είναι η απόσταση από τον λόγο των τάσεων για αστοχία στην κατεύθυνση της φόρτισης, δηλαδή  $\{\tau/\sigma + \tan\varphi\}$  κατά την αποφόρτιση ή  $\{\tau/\sigma - \tan\varphi\}$  κατά την φόρτιση

- παρθενική φόρτιση επικρατεί όταν η τρέχουσα τιμή του λόγου τάσεων είναι μεγαλύτερη ή ίση με κάθε προηγούμενη

- ο αριθμός των κύκλων φόρτισης  $Nr$  ορίζεται ως ο αριθμός των κύκλων (συμπεριλαμβανομένου του τρέχοντα) με λόγο  $\Delta\tau_{\max}/\sigma$  κατά την αποφόρτιση μεγαλύτερο από 0.1.

Υπό συνθήκες πλήρους στράγγισης, η μεταβολή του όγκου υπολογίζεται ως:

$$d\varepsilon^p = \left[ \tan\psi - \frac{|\partial|}{\partial'} \right] |d\gamma^p| = \left[ \tan\psi - \frac{|\partial|}{\partial'} \right] |d\gamma - d\gamma^{\text{el}}| \quad (\text{B.1}\kappa)$$

όπου

$$d\gamma^{\text{el}} = dR F \sigma' / G_{\max} \quad (\text{B.1}\lambda)$$

Υπό αστράγγιστες συνθήκες, η προσαύξηση της ενεργής κατακόρυφης τάσης  $\sigma'$  και της πίεσης των πόρων  $P$  είναι:

$$d\sigma' = dP \quad (\text{B.1}\mu)$$

όπου

$$dP = -K_{\max} d\varepsilon^p \quad (\text{B.1}\nu)$$

### B.2 Συζήτηση

Η σχέση (1α) βασίζεται στην εμπειρική σχέση που έχει προταθεί για το μέτρο διάτμησης σε πολύ μικρές παραμορφώσεις από τον Hardin (1978). Η σχέση (1β) βασίζεται στο ότι ο λόγος Poisson σε πολύ μικρές παραμορφώσεις λαμβάνεται στα εδάφη ίσος με περίπου 0.3.

Οι σχέσεις (1γ – 1ζ) περιγράφουν τη μεταβολή της συμπεριφοράς συναρτήσει της κρίσιμης κατάστασης κατά τους Modaressi et al, 1995, παρόμοια με τους Roscoe and Burland, 1968 - μοντέλο Cam-clay). Σε αυτές τις σχέσεις ο συντελεστής  $F$  καθορίζει την

τρέχουσα κατάσταση σε σχέση με την κρίσιμη. Ειδικότερα, ο συντελεστής  $F$  είναι μεγαλύτερος του ενός αριστερά της γραμμής της κρίσιμης κατάστασης, μικρότερος του ενός δεξιά της γραμμής της κρίσιμης κατάστασης και ίσος με τη μονάδα πάνω στη γραμμή. Η παράμετρος  $R$  αυξάνεται με την παραμόρφωση από την τιμή 0 αρχικά, στην τελική τιμή  $R=\tan\phi$ , όπου  $\phi$  είναι η γωνία τριβής στην κρίσιμη κατάσταση.

Η σχέση (1η) περιγράφει τη μεταβολή της συμπεριφοράς λόγω των προηγούμενων κύκλων ανακυκλιζόμενης φόρτισης, και είναι παρόμοια με αυτές που έχουν προταθεί από τους Stamatoropoulos et al (1991).

Οι σχέσεις (1κ-1ν) χρησιμοποιούνται σε πολλά ελαστοπλαστικά μοντέλα. Έχουν προταθεί και από τους Modaressi et al (1995). Ειδικότερα, η σχέση (1κ) βασίζεται σε πλήθος μετρήσεων στο εργαστήριο που δείχνουν ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του λόγου των εφαπτομενικών παραμορφώσεων ( $d\epsilon/d\gamma$ ) και του λόγου τάσεων ( $\tau/\sigma'$ ) (π.χ. Taylor, 1948).

### **B.3 Τυπικές παράμετροι του μοντέλου**

Σύμφωνα με τον Hardin (1978) ενδεικτική τιμή του συντελεστή  $A$  είναι το 630. Σύμφωνα με τους Modaressi et al (1995), για τις άμμους αντιπροσωπευτική τιμή του  $b$  είναι η 0.2, του  $\beta\beta$  είναι 60 του  $\phi$  είναι 30 και του  $E$  στις άμμους είναι το 150. Σύμφωνα με τους Stamatoropoulos et al (1991), για τις άμμους αντιπροσωπευτική τιμή του  $aN$  είναι το 0.4. Βάσει των παραπάνω, τυπικές παράμετροι του μοντέλου δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας B1.** Τυπικές παράμετροι του μοντέλου των Stamatoropoulos et al (2001)

<b>'A</b>	630
<b>'e</b>	1.0, 0.8, 0.7, 0.6
<b>E</b>	150
<b><math>\Psi=\phi</math> (°)</b>	30
<b>'b</b>	0.2
<b>'β</b>	60
<b><math>\sigma_{co}/\sigma'</math></b>	0.2, 1.0, 5.0, 25.0
<b>AN</b>	0.4

Η πρώτη τιμή αντιστοιχεί σε πολύ χαλαρή άμμο, η δεύτερη σε χαλαρή, η τρίτη σε μέσης πυκνότητας και η τέταρτη σε πυκνή. Η παράμετρος  $\sigma_{co}$  αυξάνεται με την πυκνότητα, η παράμετρος  $G_0$  επηρεάζεται λίγο, ενώ οι άλλες παράμετροι είναι – προσεγγιστικά – ανεξάρτητες.

### **B.4 Εφαρμογή του καταστατικού μοντέλου στη προσομοίωση σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο**

Εξετάζεται ένα σώμα με μοναδιαίο μήκος σε κεκλιμένο επίπεδο. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα είναι το βάρος του σώματος  $W$ , η σεισμική δύναμη  $k(t)*m*g$ , η δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση,  $T$  και η κάθετη δύναμη  $N$ . Η ισορροπία στη διεύθυνση της  $N$  δίνει:

$$N = W \cdot \cos \alpha - k \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (B.2\alpha)$$

Η δύναμη που αντιστέκεται στη κίνηση ισούται με:

$$T = N \cdot r + c = (W \cos \alpha - k(t) \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha) \cdot r + c \quad (B.2.\beta)$$

όπου  $r = \tau/\sigma$

Εάν η ελαστο-πλαστική συμπεριφορά του εδάφους δεν ληφθεί υπόψη, ο συντελεστής  $\tan\phi$  χρησιμοποιείται στη θέση του  $r$ , και έχουμε

$$T = (W \cdot \cos \alpha - k \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi + c \quad (B3)$$

Αρα, η εξίσωση της κίνησης του σώματος στο κεκλιμένο επίπεδο γράφεται ως

$$m \cdot \ddot{u} = W \cdot \sin \alpha + k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha - T = W \cdot \sin \alpha + k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha - (W \cdot \cos \alpha - k \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha) \cdot r - c$$

όπου για κατωφερική κίνηση  $r > 0$  και για ανωφερική  $r < 0$ .

Οι καταστατικές σχέσεις σχετίζουν την τάση με την παραμόρφωση. Άρα, η μετακίνηση  $du$  του σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο πρέπει να μετατραπεί σε παραμόρφωση. Αυτό πραγματοποιείται με διαίρεση με το πάχος της ζώνης που παραμορφώνεται,  $H$  ως:

$$dy = \frac{du}{H} \quad (B4)$$

Όταν η ασκούμενη παραμόρφωση είναι γνωστή, μπορούμε να επαναπροσδιορίσουμε τον λόγο τάσεων  $r$ . Υπό αστράγγιστες συνθήκες, ο λόγος τάσεων  $r$  υπολογίζεται συναρτήσει του λόγου των ενεργών τάσεων  $r$  ως:

$$r = r' \cdot \frac{\sigma}{\sigma'} = r' \cdot \frac{\sigma}{\sigma - p} \quad (B5)$$

όπου  $\sigma$  είναι η ολική τάση και  $p$  η πίεση των πόρων. Οι ποσότητες  $\sigma$ ,  $p$  and  $r'$  υπολογίζονται με τις καταστατικές σχέσεις του μοντέλου.

Στη περίπτωση σταθερής αντοχής (όπου  $r = \tan \phi$ ), η παραπάνω σχέση μπορεί να διατυπωθεί ως τη σχέση (3.4.1), με τη κρίσιμη επιτάχυνση να δίνεται από τη σχέση (3.4.2).

### **B.5 Πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή και εφαρμογή**

Πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή έχει γραφεί που επιλύει τις παραπάνω σχέσεις για ασκούμενες σεισμικές διεγέρσεις. Το πρόγραμμα εφαρμόστηκε για τον σεισμό του San-Fernando, για διάφορες κλίσεις σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο και διάφορες πυκνότητες (όπως περιγράφονται από τον  $\sigma_{co}$ ). Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές του πίνακα B1. Το πάχος της περιοχής διάτμησης ελήφθη ως  $H=1.5m$ . Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα B2. Βάσει της ενότητας 4.4.3ε, σε όλες τις περιπτώσεις εκτός της περίπτωσης χαλαρής άμμου και αστράγγιστες συνθήκες, γίνεται σύγκριση συναρτήσεως της τελικής γωνίας τριβής. Στη περίπτωση χαλαρής άμμου και αστράγγιστες συνθήκες, γίνεται σύγκριση συναρτήσεως της τελικής αστράγιστης αντοχής.

**Πίνακας Β2.** Ενδεικτικά αποτελέσματα του μοντέλου των Stamatopoulos et al (2001). Η μετακίνηση είναι σε m.

**Συνθήκη πλήρους**

**στράγγισης**

Πυκνή άμμος

$a_c/a_{max}$	Σώμα σε κεκλι- μένο επίπεδο	Μετακίνηση			Διαφορά		
		$\sigma'/\sigma_{co}=1$	2	5	1	2	5
0	1.91	1.86	0.38	0.19	-0.05	-1.53	-1.72
0.1	0.174	0.49	0.24	0.127	0.316	0.066	-0.047
0.3	0.023	0.17	0.097	0.068	0.147	0.074	0.045
0.5	0.003	0.06	0.056	0.041	0.057	0.053	0.038
0.7	0.001	0.04	0.031	0.025	0.039	0.03	0.024
0.9	0	0.02	0.019	0.016	0.02	0.019	0.016

Χαλαρή άμμος

		Μετακίνηση			Διαφορά		
		$\sigma'/\sigma_{co}=1$	0.5	0.2	1	0.5	0.2
0	1.91	1.86	5.41	27.71	-0.05	3.5	25.8
0.1	0.174	0.49	1.48	9.9	0.316	1.306	9.726
0.3	0.023	0.17	0.18	0.273	0.147	0.157	0.25
0.5	0.003	0.06	0.07	0.117	0.057	0.067	0.114
0.7	0.001	0.04	0.04	0.069	0.039	0.039	0.068
0.9	0	0.02	0.02	0.042	0.02	0.02	0.042

**Αστράγγιστες συνήκες**

Πυκνή άμμος

		Μετακίνηση			Διαφορά		
		$\sigma'/\sigma_{co}=1$	2	5	1	2	5
0	1.91	1.39	0.23	0.094	-0.52	-1.68	-1.816
0.1	0.174	1.18	0.215	0.09	1.006	0.041	-0.084
0.3	0.023	0.74	0.129	0.07	0.717	0.106	0.047
0.5	0.003	0.44	0.079	0.065	0.437	0.076	0.062
0.7	0.001	0.28	0.043	0.051	0.279	0.042	0.05
0.9	0	0.06	0.002	0.042	0.06	0.002	0.042

Χαλαρή άμμος

		Μετακίνηση			Διαφορά		
		$\sigma'/\sigma_{co}=1$	0.5	0.2	1	0.5	0.2
0	2.0	6.5	3.04	0.1	4.5	1.04	-1.9
0.1	0.108	3.52	1.3	0.042	3.412	1.192	-0.013
0.3	0.014	2.45	0.036	0.019	2.436	0.022	0.028
0.5	0.002	0.84	0.016	0.012	0.838	0.014	0.017
0.7	0	0.6	0.01	0.005	0.6	0.01	0.012
0.9	0	0.34	0.007	0.001	0.34	0.007	0.005



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. (Ενότητα 5.2). Υπολογισμοί καθίζησης λόγω συνίζησης

### Γ1. Υπολογισμός καθίζησης με την μέθοδο Tokimatsu and Seed, 1987.

Πίνακας Γ1.1 Port Island & Rokko Island (χωρίς βελτίωση)

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E</i>	$\Sigma T = E \times 1m$
Ζώνη (m)	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	r <sub>d</sub>	(CSR) <sub>M=7.5</sub>	Ογκομ. Παραμ. (%)	Καθίζηση (cm)
0 – 1	26.3	0.97	0.25	0.056	0.056
1 – 2	18.6	0.98	0.25	0.18	0.18
2 – 3	15.2	0.98	0.25	0.22	0.22
3 - 4	13.1	0.97	0.25	0.36	0.36
4 - 5	11.7	0.96	0.25	0.6	0.6
5 - 6	11.2	0.96	0.27	2.2	2.2
6 - 7	10.7	0.96	0.29	2.2	2.2
7 - 8	10.3	0.94	0.30	2.3	2.3
8 - 9	9.9	0.93	0.31	2.3	2.3
9 - 10	9.6	0.92	0.32	2.5	2.5
10 - 11	9.3	0.9	0.32	2.5	2.5
11 - 12	9.0	0.88	0.32	2.5	2.5
12 – 13	8.8	0.82	0.31	2.5	2.5
13 – 14	8.5	0.78	0.30	2.6	2.6
14 – 15	8.3	0.72	0.28	2.6	2.6

Ολική Καθίζηση: **25.6 ≈ 26**

Πίνακας Γ1.2. Port Island (βελτίωση με “sand drains”)

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E</i>	$\Sigma T = E \times 1m$
Ζώνη (m)	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	r <sub>d</sub>	(CSR) <sub>M=7.5</sub>	Ογκομ. Παραμ. (%)	Καθίζηση (cm)
0 – 1	65.7	0.97	0.25	0.003	0.003
1 - 2	46.4	0.98	0.25	0.016	0.016
2 - 3	37.9	0.98	0.25	0.03	0.03
3 - 4	32.8	0.97	0.25	0.06	0.06
4 - 5	29.4	0.96	0.25	0.076	0.076
5 - 6	28.0	0.96	0.27	0	0
6 - 7	26.8	0.96	0.29	0.1	0.1
7 - 8	25.8	0.94	0.30	0.2	0.2
8 - 9	24.8	0.93	0.31	0.5	0.5
9 - 10	24.0	0.92	0.32	1	1
10 - 11	23.2	0.9	0.32	1.1	1.1
11 - 12	22.5	0.88	0.32	1.2	1.2
12 - 13	21.9	0.82	0.31	1.2	1.2
13 - 14	21.3	0.78	0.30	1.2	1.2
14 - 15	20.8	0.72	0.28	1.1	1.1

Ολική Καθίζηση: **7.8 ≈ 8**

**Πίνακας Γ1. 3.** Rokko Island (βελτίωση με “sand drains”)

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E</i>	$\Sigma T = E \times 1m$
<b>Ζώνη (m)</b>	<b>(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub></b>	<b>r<sub>d</sub></b>	<b>(CSR)<sub>M=7.5</sub></b>	<b>Ογκομετρική Παραμόρφωση (%)</b>	<b>Καθίζηση (cm)</b>
0 - 1	42.0	0.97	0.25	0.018	0.018
1 - 2	29.7	0.98	0.25	0.044	0.044
2 - 3	24.3	0.98	0.25	0.08	0.08
3 - 4	21.0	0.97	0.25	0.1	0.1
4 - 5	18.8	0.96	0.25	0.2	0.2
5 - 6	17.9	0.96	0.27	1.4	1.4
6 - 7	17.2	0.96	0.29	1.6	1.6
7 - 8	16.5	0.94	0.30	1.7	1.7
8 - 9	15.9	0.93	0.31	1.7	1.7
9 - 10	15.3	0.92	0.32	1.8	1.8
10 - 11	14.9	0.9	0.32	1.8	1.8
11 - 12	14.4	0.88	0.32	1.9	1.9
12 - 13	14.0	0.82	0.31	1.9	1.9
13 - 14	13.6	0.78	0.30	2	2
14 - 15	13.3	0.72	0.28	2	2

**Ολική  
Καθίζηση: 18.2 ≈ 18**

**Πίνακας Γ1.4.** Naruohama

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E</i>	$\Sigma T = E \times 1m$
<b>Ζώνη (m)</b>	<b>(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub></b>	<b>r<sub>d</sub></b>	<b>(CSR)<sub>M=7.5</sub></b>	<b>Ογκομετρική Παραμόρφωση (%)</b>	<b>Καθίζηση (cm)</b>
0 - 1	7.9	0.97	0.25	0.5	0.5
1 - 2	27.9	0.98	0.25	0.05	0.05
2 - 3	24.3	0.98	0.25	0.1	0.1
3 - 4	22.3	0.97	0.25	0.12	0.12
4 - 5	17.6	0.96	0.25	0.22	0.22
5 - 6	16.8	0.96	0.27	1.5	1.5
6 - 7	10.7	0.96	0.29	2.2	2.2
7 - 8	7.2	0.94	0.30	2.8	2.8
8 - 9	2.0	0.93	0.31	4.5	4.5
9 - 10	1.0	0.92	0.32	5	5
10 - 11	3.7	0.9	0.32	3.7	3.7
11 - 12	4.5	0.88	0.32	3.7	3.7
12 - 13	6.1	0.82	0.31	2.9	2.9
13 - 14	3.4	0.78	0.30	4	4
14 - 15	3.3	0.72	0.28	4	4

**Ολική  
Καθίζηση: 35.3 ≈ 35**

## Γ2. Υπολογισμός καθίζησης με την μέθοδο *Ishihara&Yoshimine, 1992*

Πίνακας Γ2.1. Port Island & Rokko Island (χωρίς βελτίωση)

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E = Δ x 1m</i>
Ζώνη (m)	N <sub>1</sub>	FS	Ογκομετρική Παραμόρφωση (%)	Καθίζηση (cm)
0 - 1	21.9	5.00	0.056	0.056
1 - 2	15.5	0.94	0.18	0.18
2 - 3	12.6	0.80	0.22	0.22
3 - 4	10.9	0.72	0.36	0.36
4 - 5	9.8	0.62	0.6	0.6
5 - 6	9.3	0.55	3.3	3.3
6 - 7	8.9	0.46	3.5	3.5
7 - 8	8.6	0.44	3.5	3.5
8 - 9	8.3	0.38	3.5	3.5
9 - 10	8.0	0.42	3.7	3.7
10 - 11	7.7	0.34	3.7	3.7
11 - 12	7.5	0.33	3.7	3.7
12 - 13	7.3	0.39	3.7	3.7
13 - 14	7.1	0.40	3.7	3.7
14 - 15	6.9	0.42	4	4

Ολική  
Καθίζηση: **37.7 ≈ 38**

Πίνακας Γ2.2. Port Island (βελτίωση με “sand drains”)

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E = Δ x 1m</i>
Ζώνη (m)	N <sub>1</sub>	FS	Ογκομετρική Παραμόρφωση (%)	Καθίζηση (cm)
0 - 1	54.7	5.00	0.003	0.003
1 - 2	38.7	5.00	0.016	0.016
2 - 3	31.6	5.00	0.03	0.03
3 - 4	27.4	5.00	0.06	0.06
4 - 5	24.5	5.00	0.076	0.076
5 - 6	23.3	5.00	0	0
6 - 7	22.3	5.00	0	0
7 - 8	21.5	5.00	0	0
8 - 9	20.7	5.00	0	0
9 - 10	20.0	1.31	0.3	0.3
10 - 11	19.3	1.26	0.4	0.4
11 - 12	18.8	1.07	0.7	0.7
12 - 13	18.2	1.07	0.7	0.7
13 - 14	17.8	1.08	0.7	0.7
14 - 15	17.3	1.09	0.7	0.7

Ολική  
Καθίζηση: **3.7 ≈ 4**

**Πίνακας Γ2.3.** Rokko Island (βελτίωση με “sand drains”)

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E = Δ x 1m</i>
<b>Ζώνη (m)</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>FS</b>	<b>Ογκομετρική Παραμόρφωση (%)</b>	<b>Καθίζηση (cm)</b>
0 - 1	35.0	5.00	0.018	0.018
1 - 2	24.8	5.00	0.044	0.044
2 - 3	20.2	5.00	0.08	0.08
3 - 4	17.5	1.26	0.1	0.1
4 - 5	15.7	0.97	0.2	0.2
5 - 6	14.9	0.86	2.1	2.1
6 - 7	14.3	0.77	2.5	2.5
7 - 8	13.7	0.72	2.7	2.7
8 - 9	13.2	0.68	2.7	2.7
9 - 10	12.8	0.65	2.8	2.8
10 - 11	12.4	0.62	2.8	2.8
11 - 12	12.0	0.61	2.8	2.8
12 - 13	11.7	0.62	3	3
13 - 14	11.4	0.63	3	3
14 - 15	11.1	0.65	3	3

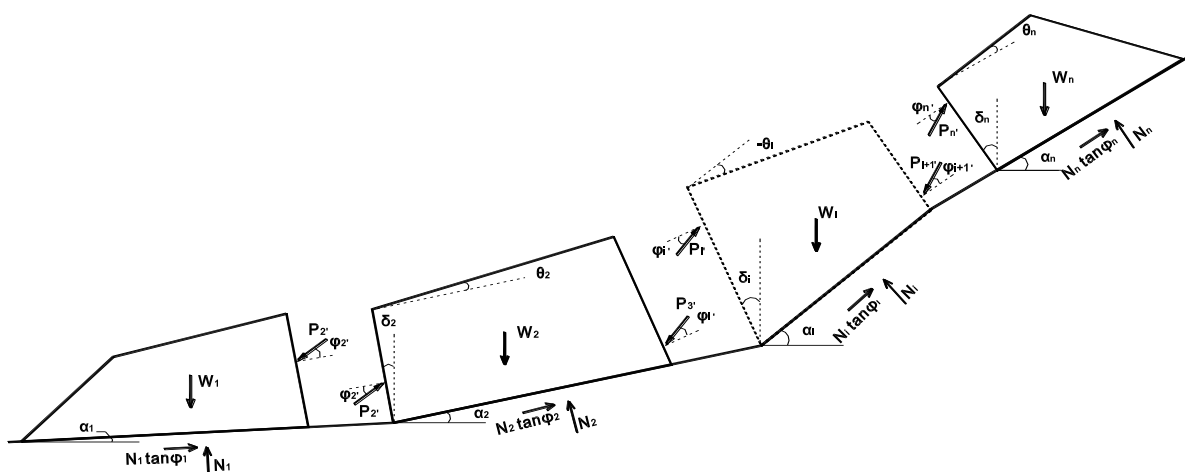
**Ολική Καθίζηση: 27.8 ≈ 28**

**Πίνακας Γ2.4.** Naruohama

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Γ</i>	<i>Δ</i>	<i>E = Δ x 1m</i>
<b>Ζώνη (m)</b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>FS</b>	<b>Ογκομετρική Παραμόρφωση (%)</b>	<b>Καθίζηση (cm)</b>
0 – 1	6.6	0.51	0.5	0.5
1 – 2	23.2	5.00	0.05	0.05
2 – 3	20.2	5.00	0.1	0.1
3 – 4	18.6	1.36	0.12	0.12
4 – 5	14.7	0.92	0.22	0.22
5 – 6	14.0	0.81	2.6	2.6
6 – 7	8.9	0.54	3.5	3.5
7 – 8	6.0	0.40	4	4
8 – 9	1.7	0.30	5.5	5.5
9 – 10	0.8	0.28	5.5	5.5
10 – 11	3.1	0.31	4.7	4.7
11 – 12	3.8	0.32	4.7	4.7
12 – 13	5.1	0.37	4.2	4.2
13 – 14	2.8	0.32	5.2	5.2
14 – 15	2.8	0.34	5.2	5.2

**Ολική Καθίζηση: 46.1 ≈ 46**

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ (Ενότητα 6.2) Εξισώσεις κίνησης για την περίπτωση σώματος κινούμενου σε η επίπεδα



Σχήμα Δ.1. Το σύστημα που θεωρείται: Αρχική γεωμετρία και ασκούμενες δυνάμεις

### Δ1. Σχέσεις μεταξύ των μετακινήσεων των σωμάτων

Στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των σωμάτων, οι ταχύτητες των δύο σωμάτων σχετίζονται με τον συντελεστή λ που μπορεί να υπολογισθεί βάσει της αρχής της συνέχειας της ταχύτητας. Αυτή η αρχή δίδει ότι η σχετική μετακίνηση των η σωμάτων σχετίζονται μεταξύ τους ως:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{du_1}{du_2} = \frac{\cos(\delta_2 + \alpha_2)}{\cos(\delta_2 + \alpha_1)} = \lambda_1 \quad (\Delta 1)$$

$$\frac{u_2}{u_3} = \frac{du_2}{du_3} = \frac{\cos(\delta_3 + \alpha_3)}{\cos(\delta_3 + \alpha_2)} = \lambda_2$$

.....

$$\frac{u_{n-1}}{u_n} = \frac{du_{n-1}}{du_n} = \frac{\cos(\delta_n + \alpha_n)}{\cos(\delta_n + \alpha_{n-1})} = \lambda_{n-1}$$

### Δ2. Ασκούμενες δυνάμεις και εξισώσεις ισορροπίας

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο σύστημα δίδονται στο Σχήμα Δ1.

Η κάθετος δύναμη στο τυχαίο σώμα i,  $N_i$  ισούται με:

$$\begin{aligned} N_i = & W_i \cdot \cos \alpha_i + k m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i) - P_i' \cdot \cos \phi_i' \cdot \sin(-\delta_i - \alpha_i) - P_i' \cdot \sin \phi_i' \cdot \cos(-\delta_i - \alpha_i) + \\ & + P_{i+1}' \cdot \cos \phi_{i+1}' \cdot \sin(-\delta_{i+1} - \alpha_i) + P_{i+1}' \cdot \sin \phi_{i+1}' \cdot \cos(-\delta_{i+1} - \alpha_i) - \\ & - c_i' \cdot d_i \cdot \cos(-\delta_i - \alpha_i) + c_{i+1}' \cdot d_{i+1} \cdot \cos(-\delta_{i+1} - \alpha_i) \end{aligned} \quad (\Delta 2)$$

Από την εξίσωση (Δ2), η εξίσωση ισορροπίας διαμορφώνεται ως:

$$m_i \cdot \ddot{u}_i = \frac{1}{\cos \varphi_i} [W_i \sin(\alpha_i - \varphi_i) + k m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i) + c_i d_i \sin(\varphi_i - \delta_i - \alpha_i) - c_{i+1} d_{i+1} \sin(\varphi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i) + P_{i+1}' \cos(\varphi_i + \varphi_{i+1}' - \delta_{i+1} - \alpha_i) - P_i' \cos(\varphi_i + \varphi_i' - \delta_i - \alpha_i) - c_i b_i \cos \varphi_i] \quad (\Delta 3)$$

ή

$$0 = [W_i \sin(\alpha_i - \varphi_i) + k m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i) + c_i d_i \sin(\varphi_i - \delta_i - \alpha_i) - c_{i+1} d_{i+1} \sin(\varphi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i) + P_{i+1}' \cos(\varphi_i + \varphi_{i+1}' - \delta_{i+1} - \alpha_i) - P_i' \cos(\varphi_i + \varphi_i' - \delta_i - \alpha_i) - c_i b_i \cos \varphi_i] - \cos \varphi_i m_i \cdot \ddot{u}_i \quad (\Delta 4)$$

### Δ3. Εξίσωση κίνησης στη γενική περίπτωση

Η εξίσωση (Δ4) δίδει ότι η εξίσωση κίνησης του πρώτου σώματος είναι :

$$[W_1 \sin(\alpha_1 - \phi_1) + k m_1 g \cos(\alpha_1 - \phi_1) - c_1 \cdot b_1 \cdot \cos \varphi_1 - c_2' d_2 \sin(\phi_1 - \delta_2 - \alpha_1) + P_2' \cos(\phi_2' + \phi_1 - \delta_2 - \alpha_1) - \cos \varphi_1 m_1 \cdot \ddot{u}_1 = 0] \quad (\Delta 5a)$$

Αντίστοιχα, η εξίσωση κίνησης του δεύτερου σώματος είναι :

$$[W_2 \sin(\alpha_2 - \phi_2) + k m_2 g \cos(\alpha_2 - \phi_2) - c_2 b_2 \cos \varphi_2 + c_2' d_2 \sin(\phi_2 - \delta_2 - \alpha_2) - c_3' d_3 \sin(\phi_2 - \delta_3 - \alpha_2) - P_2' \cos(\phi_2' + \phi_2 - \delta_2 - \alpha_2) + P_3' \cos(\phi_3' + \phi_2 - \delta_3 - \alpha_2)] - \cos \varphi_2 m_2 \cdot \ddot{u}_2 = 0$$

$$[W_2 \sin(\alpha_2 - \phi_2) + k m_2 g \cos(\alpha_2 - \phi_2) - c_2 b_2 \cos \varphi_2 + c_2' d_2 \sin(\phi_2 - \delta_2 - \alpha_2) - c_3' d_3 \sin(\phi_2 - \delta_3 - \alpha_2) - P_2' \cos(\phi_2' + \phi_2 - \delta_2 - \alpha_2) + P_3' \cos(\phi_3' + \phi_2 - \delta_3 - \alpha_2)] - \cos \varphi_2 m_2 \cdot \frac{1}{\lambda_1} \ddot{u}_1 = 0$$

.....

Γιά το σώμα i έχουμε:

$$[W_i \sin(\alpha_i - \phi_i) + k m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i) - c_i b_i \cos \varphi_i + c_i' d_i \sin(\phi_i - \delta_i - \alpha_i) - c_{i+1}' d_{i+1} \sin(\phi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i) - P_i' \cos(\phi_i' + \phi_i - \delta_i - \alpha_i) + P_{i+1}' \cos(\phi_{i+1}' + \phi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i)] - \cos \varphi_i \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k} m_i \cdot \ddot{u}_1 = 0 \quad (\Delta 5.i)$$

.....

Για το τελευταίο σώμα (σώμα n) έχουμε:

$$[W_n \sin(\alpha_n - \phi_n) + k m_n g \cos(\alpha_n - \phi_n) - c_n b_n \cos \varphi_n + c_n' d_n \sin(\phi_n - \delta_n - \alpha_n) - P_n' \cos(\phi_n' + \phi_n - \delta_n - \alpha_n)] - \cos \varphi_n \frac{1}{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k} m_n \cdot \ddot{u}_1 = 0 \quad (\Delta 5.n)$$

Ορίζουμε τις παραμέτρους  $\mu_i$  ως:

$$\mu_1 = \frac{\cos(\varphi_2' + \varphi_2 - \delta_2 - \alpha_2)}{\cos(\varphi_2' + \varphi_1 - \delta_2 - \alpha_1)}, \mu_2 = \frac{\cos(\varphi_3' + \varphi_3 - \delta_3 - \alpha_3)}{\cos(\varphi_3' + \varphi_2 - \delta_3 - \alpha_2)}, \dots, \mu_i = \frac{\cos(\varphi_{i+1}' + \varphi_{i+1} - \delta_{i+1} - \alpha_{i+1})}{\cos(\varphi_{i+1}' + \varphi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i)} \quad (\Delta 6)$$

Για να απαλείψουμε τις εσωτερικές δυνάμεις  $P_i$  πολλαπλασιάζουμε με  $\left( \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right) :$

Οι σχέσεις (Δ5.ι)-(Δ5.η) πολλαπλασιάζονται με τα  $\mu_i$  και προσθέτονται ως:

$$\begin{aligned} & \left\{ [W_1 \sin(\alpha_1 - \phi_1) + k m_1 g \cos(\alpha_1 - \phi_1) - c_1 \cdot b_1 \cdot \cos \phi_1 - c_2' d_2 \sin(\phi_1 - \delta_2 - \alpha_1) + P_2' \cos(\phi_2' + \phi_1 - \delta_2 - \alpha_1)] + \right. \\ & + [W_2 \sin(\alpha_2 - \phi_2) + k m_2 g \cos(\alpha_2 - \phi_2) - c_2 \cdot b_2 \cos \phi_2 + c_2' d_2 \sin(\phi_2 - \delta_2 - \alpha_2) - c_3' d_3 \sin(\phi_2 - \delta_3 - \alpha_2) - \\ & - P_2' \cos(\phi_2' + \phi_2 - \delta_2 - \alpha_2) + P_3' \cos(\phi_3' + \phi_2 - \delta_3 - \alpha_2)] \cdot \frac{1}{\mu_1} + \dots + \\ & + [W_i \sin(\alpha_i - \phi_i) + k m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i) - c_i \cdot b_i \cos \phi_i + c_i' d_i \sin(\phi_i - \delta_i - \alpha_i) - c_{i+1}' d_{i+1} \sin(\phi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i) - \\ & - P_i' \cos(\phi_i' + \phi_i - \delta_i - \alpha_i) + P_{i+1}' \cos(\phi_{i+1}' + \phi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i)] \cdot \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} + \dots + \\ & \left. + [W_n \sin(\alpha_n - \phi_n) + k m_n g \cos(\alpha_n - \phi_n) - c_n \cdot b_n \cos \phi_n + c_n' d_n \sin(\phi_n - \delta_n - \alpha_n) - P_n' \cos(\phi_n' + \phi_n - \delta_n - \alpha_n)] \cdot \frac{1}{\prod_{k=1}^{n-1} \mu_k} \right\} \\ & - \ddot{u}_1 (\cos \phi_1 m_1 + \cos \phi_2 m_2 \cdot \frac{1}{\lambda_1} \frac{1}{\mu_1} + \cos \phi_i \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k} \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} m_i + \cos \phi_n \frac{1}{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k} \cdot \frac{1}{\prod_{k=1}^{n-1} \mu_k} m_n) = 0 \end{aligned} \quad (\Delta 7)$$

Κατ'αυτόν τον τρόπο οι εσωτερικές δυνάμεις  $P_i$  απαλείφονται και έχουμε:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n \left\{ [W_i \sin(\alpha_i - \phi_i) + k m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i) - c_i \cdot b_i \cos \phi_i + c_i' d_i \sin(\phi_i - \delta_i - \alpha_i) - c_{i+1}' d_{i+1} \sin(\phi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i)] \cdot \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right\} \\ & = \ddot{u}_1 \sum_{i=1}^n (\cos \phi_i \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k} \frac{1}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} m_i) \\ & \text{ή} \\ & \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i g \sin(\alpha_i - \phi_i)}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right) (k - \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{[W_i \sin(\phi_i - \alpha_i) + c_i \cdot b_i \cos \phi_i - c_i' d_i \sin(\phi_i - \delta_i - \alpha_i) + c_{i+1}' d_{i+1} \sin(\phi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i)]}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i g \sin(\alpha_i - \phi_i)}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right)}) \\ & = \ddot{u}_1 \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i \cos \phi_i}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k \prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right) \end{aligned} \quad (\Delta 8)$$

Η εξίσωση (Δ7) μπορεί να εκφρασθεί ως:

$$\ddot{u}_1 = Z_1 g (k(t) - k_c) \quad (\Delta 9a)$$

όπου

$$Z_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i)}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i \cos \phi_i}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k \prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right)}$$

και

(Δ9b)

$$k_c = \frac{AA}{BB}$$

(Δ9c)

όπου

$$AA = \sum_{i=1}^n \left( \frac{[W_i \sin(\phi_i - \alpha_i) + c_i b_i \cos \phi_i - c_i' d_i \sin(\phi_i - \delta_i - \alpha_i) + c_{i+1}' d_{i+1} \sin(\phi_i - \delta_{i+1} - \alpha_i)]}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right)$$

$$BB = \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i g \cos(\alpha_i - \phi_i)}{\prod_{k=1}^{i-1} \mu_k} \right)$$

#### Δ4. Μεταβολές επιφανειών και μηκών με την απόσταση στη γενική περίπτωση

Για να επιλύσουμε την παραπάνω σχέση, χρειάζεται να εκφράσουμε τα  $b_1, b_2, W_1, W_2, m_1, m_2, d$  συναρτήσει της διανύμενης απόστασης. Για τα μήκη στην επιφάνεια ολίσθησης  $b_i$  έχουμε:

$$b_1 = b_{10} + u_1 \quad (\Delta 10.1)$$

$$b_2 = b_{20} \quad (\Delta 10.2)$$

.....

$$b_i = b_{i0} \quad (\Delta 10.3)$$

.....

$$b_{n-1} = b_{(n-1)0} \quad b_n = b_{n0} - u_n = b_{n0} - u_1 * \frac{1}{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k} \quad (\Delta 10.n)$$

Επίσης, για τα εσωτερικά μήκη  $d_i$  ισούνται με

$$d_2 = d_{20} + \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_2 + \alpha_2 + \delta_2)} \cdot u_2 = d_{20} + \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_2 + \alpha_2 + \delta_2)} \cdot \frac{u_1}{\lambda_1} \quad (\Delta 11.1)$$

.....

$$d_i = d_{i0} + \frac{\sin \theta_i}{\cos(\theta_i + \alpha_i + \delta_i)} \cdot u_i = d_{i0} + \frac{\sin \theta_i}{\cos(\theta_i + \alpha_i + \delta_i)} \cdot \frac{u_1}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k} \quad (\Delta 11.i-1)$$

.....

$$d_n = d_{n0} + \frac{\sin \theta_n}{\cos(\theta_n + \alpha_n + \delta_n)} \cdot u_n = d_{n0} + \frac{\sin \theta_n}{\cos(\theta_n + \alpha_n + \delta_n)} \cdot \frac{u_1}{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k} \quad (\Delta 11.n-1)$$



Η μεταβολή των επιφανειών δίδεται ως:

$$\Delta A_1 = d_{20} \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot u_2 + \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot \sin \theta_2}{\cos(\theta_2 + \alpha_2 + \delta_2)} \cdot (u_2)^2 = \quad (\Delta 12.1)$$

$$= d_{20} \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot \frac{u_1}{\lambda_1} + \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot \sin \theta_2}{\cos(\theta_2 + \alpha_2 + \delta_2)} \cdot \left( \frac{u_1}{\lambda_1} \right)^2$$

$$\Delta A_2 = d_{30} \cdot \cos(\alpha_3 + \delta_3) \cdot u_3 + \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_3 + \delta_3) \cdot \sin \theta_3}{\cos(\theta_3 + \alpha_3 + \delta_3)} \cdot (u_3)^2 -$$

$$- d_{20} \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot u_2 - \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot \sin \theta_2}{\cos(\theta_2 + \alpha_2 + \delta_2)} \cdot (u_2)^2 =$$

$$= d_{30} \cdot \cos(\alpha_3 + \delta_3) \cdot \frac{u_1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} + \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_3 + \delta_3) \cdot \sin \theta_3}{\cos(\theta_3 + \alpha_3 + \delta_3)} \cdot \left( \frac{u_1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \right)^2 -$$

$$- d_{20} \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot \frac{u_1}{\lambda_1} - \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_2 + \delta_2) \cdot \sin \theta_2}{\cos(\theta_2 + \alpha_2 + \delta_2)} \cdot \left( \frac{u_1}{\lambda_1} \right)^2$$

(Δ12.2)

.....

$$\Delta A_i = d_{(i+1)0} \cdot \cos(\alpha_{i+1} + \delta_{i+1}) \cdot u_{i+1} + \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_{i+1} + \delta_{i+1}) \cdot \sin \theta_{i+1}}{\cos(\theta_{i+1} + \alpha_{i+1} + \delta_{i+1})} \cdot (u_{i+1})^2 -$$

$$- d_{i0} \cdot \cos(\alpha_i + \delta_i) \cdot u_i - \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_i + \delta_i) \cdot \sin \theta_i}{\cos(\theta_i + \alpha_i + \delta_i)} \cdot (u_i)^2 =$$

$$= d_{(i+1)0} \cdot \cos(\alpha_{i+1} + \delta_{i+1}) \cdot \frac{u_1}{\prod_{k=1}^i \lambda_k} + \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_{i+1} + \delta_{i+1}) \cdot \sin \theta_{i+1}}{\cos(\theta_{i+1} + \alpha_{i+1} + \delta_{i+1})} \cdot \left( \frac{u_1}{\prod_{k=1}^i \lambda_k} \right)^2 -$$

$$- d_{i0} \cdot \cos(\alpha_i + \delta_i) \cdot \frac{u_1}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k} - \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_i + \delta_i) \cdot \sin \theta_i}{\cos(\theta_i + \alpha_i + \delta_i)} \cdot \left( \frac{u_1}{\prod_{k=1}^{i-1} \lambda_k} \right)^2 \quad (\Delta 12.i)$$

.....

$$\Delta A_n = -d_{n0} \cdot \cos(\delta_n + \alpha_n) \cdot \frac{u_1}{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k} - \frac{0.5 \cdot \sin \theta_n \cdot \cos(\alpha_n + \delta_n)}{\cos(\theta_n + \alpha_n + \delta_n)} \cdot \frac{u_1^2}{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k^2} \quad (\Delta 12.n)$$

Από την μεταβολή των επιφανειών, η μεταβολή των βαρών και των μαζών μπορεί να υπολογισθεί ως:

$$W_i = W_{i0} + \Delta A_i \cdot \gamma_i \quad (\Delta 13)$$

$$m_i = m_{i0} + \Delta A_i \cdot \gamma_i / g \quad (\Delta 14)$$

όπου  $\gamma_i$  είναι το ολικό ειδικό βάρος και η τιμή του  $\gamma_i$  αντιστοιχεί στο ολικό ειδικό βάρος εάν το έδαφος είναι πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, και κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα εάν το έδαφος είναι ακόρεστο.

Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν στη περίπτωση που  $u_n < b_n$ . Όταν  $u_n > b_n$  έχουμε:

$$b_n = 0, d_n = 0, A_n = 0$$

$$\Delta A_{n-1} = A_n - d_{i0} \cdot \cos(\alpha_i + \delta_i) \cdot u_i - \frac{0.5 \cdot \cos(\alpha_{n-1} + \delta_{n-1}) \cdot \sin \theta_{n-1}}{\cos(\theta_{n-1} + \alpha_{n-1} + \delta_{n-1})} \cdot (u_{n-1})^2$$

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε (Ενότητα 6.3) Εξισώσεις αναφορικά με το μοντέλο πρόβλεψης της σεισμικής στροφής κτιρίων

### Ε1. Ροπή αδρανείας

$$\begin{aligned}
 I &= \rho_b \cdot ab \cdot r_b^2 + \rho_u \frac{\pi b^2}{2} \cdot y_s^2 + \rho_u \cdot b\alpha_2 \cdot r_{s\alpha}^2 = \\
 &= \rho_b \cdot ab \cdot \frac{1}{4} (\alpha^2 + b^2) + \rho_u \frac{\pi b^2}{2} \cdot \frac{16b^2}{9\pi} + \rho_u \cdot b\alpha_2 \cdot \left( \frac{b^2}{4} + \alpha_2^2 \right) = \\
 &= \frac{1}{4} \rho_b \cdot ab \cdot (\alpha^2 + b^2) + \frac{8}{9\pi} \rho_u \cdot b^4 + \frac{1}{4} \rho_u \alpha_2 b^3 + \rho_u \cdot b\alpha_2^3 = \\
 &= \frac{1}{4} \rho_b \cdot ab \cdot (\alpha^2 + b^2) + \rho_u b \left( \frac{8}{9\pi} b^3 + \frac{1}{4} \alpha_2 b^2 + \alpha_2^3 \right) = \\
 &= \frac{8\rho_u}{9\pi} b^4 + \left( \frac{\rho_u \alpha_2}{4} + \frac{\rho_b \alpha}{4} \right) b^3 + \left( \rho_u \alpha_2^3 + \frac{1}{4} \rho_b \alpha^3 \right) b = \\
 &= \frac{8\rho_u}{9\pi} b^4 + 0.25 (\rho_u \alpha_2 + \rho_b \alpha) b^3 + (\rho_u \alpha_2^3 + 0.25 \rho_b \alpha^3) b
 \end{aligned}$$

### Ε2. Υπολογισμός των όρων τριβής $\Sigma \Delta W_j |\cos \beta_j|$ , $\Sigma \Delta W_j |\sin \beta_j|$

(α). Υπολογισμός του όρου  $\Sigma \Delta W_j |\cos \beta_j|$

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n \Delta W_j |\cos \beta_j| &= \sum_{j=1}^n \Delta W_{j0} |\cos \beta_j| + \sum_{j=1}^n \Delta W_{j\alpha} |\cos \beta_j| = \\
 &= \gamma_u b^2 \sum_{j=1}^n \left| \left( 1 - 2\sin^2 \left( \frac{\beta_j}{2} \right) \right) \right| \cdot \cos^2 \beta_j \Delta \beta_j + \gamma_u b^2 \sum_{j=1}^n \left( \frac{\alpha_2}{b} \right) \cos^2 \beta_j \Delta \beta_j + \\
 &\gamma_b b^2 \sum_{j=n_1+1}^n \left( \frac{\alpha}{b} \right) \cos^2 \beta_j \Delta \beta_j
 \end{aligned} \tag{E2.1}$$

όπου  $W_{j0}$  και  $W_{j\alpha}$  είναι τα βάρη πάνω και κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης αντίστοιχα. Τα ανωτέρω αθροίσματα με  $n \rightarrow \infty$  όπου στα αντίστοιχα ολοκληρώματα:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n \Delta W_j |\cos \beta_j| &= 2\gamma_u b^2 \int_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (1 - 2\sin^2(\beta/2)) \cos^2 \beta d\beta + \gamma_u b \alpha_2 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\omega}{2}} \cos^2 \beta d\beta + \gamma_b b \alpha \int_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \beta d\beta \\
 &= 2\gamma_u b^2 I_1(\beta) \bigg|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} + \gamma_u b \alpha_2 I_2(\beta) \bigg|_{-\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\omega}{2}} + \gamma_b b \alpha I_2(\beta) \bigg|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}}
 \end{aligned} \tag{E2.2}$$

όπου το  $\beta$  αντικαθιστά το  $\beta_j$ , και  $d\beta$  το  $\Delta \beta_j$  και :

$$\begin{aligned}
 I_1(\beta) &= \int (1 - 2\sin^2 \left( \frac{\beta}{2} \right)) \cdot \cos^2 \beta d\beta = \int \cos^2 \beta d\beta = \int \cos^2 \beta \sin \beta = \int (1 - z^2) dz = \int dz - \int z^2 dz = z - \\
 \frac{z^3}{3} &= \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3}
 \end{aligned} \tag{E2.3}$$

$$I_2(\beta) = \int \cos^2 \beta d\beta = \int \frac{1 + \cos 2\beta}{2} d\beta = \frac{\beta}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\beta \quad (E2.4)$$

Τότε θα είναι:

$$I_1(\beta) \Big|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \sin \beta \Big|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} - \frac{1}{3} \sin^3 \beta \Big|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \sin \frac{\pi}{2} - \sin \frac{\omega}{2} - \frac{1}{3} \sin^3 \frac{\pi}{2} + \frac{1}{3} \sin^3 \frac{\omega}{2} = \frac{2}{3} + \sin \frac{\omega}{2}$$

$$\left( \frac{1}{3} \sin^2 \frac{\omega}{2} - 1 \right) \Rightarrow$$

$$\Sigma \Delta W_{jo} |\cos \beta_j| = 2\gamma_u b^2 I_1(\beta) \Big|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = 2\gamma_u b^2 \left[ \frac{2}{3} + \sin \frac{\omega}{2} \left( \frac{1}{3} \sin^2 \frac{\omega}{2} - 1 \right) \right] \Rightarrow$$

$$\Sigma \Delta W_{jo} |\cos \beta_j| = 2\gamma_u b^2 \left[ \frac{2}{3} + \sqrt{1-\lambda^2} \left( \frac{1}{3} (1-\lambda^2) - 1 \right) \right] \quad (E2.5)$$

$$\gamma_u b \alpha_2 I_2(\beta) \Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\omega}{2}} + \gamma_b b \alpha I_2(\beta) \Big|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \gamma_u \alpha_2 b \left[ \frac{\beta}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\beta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\omega}{2}} + \gamma_b \alpha b \left[ \frac{\beta}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\beta \right]_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} =$$

$$\gamma_u \alpha_2 b \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\omega}{4} - \frac{1}{4} \sin \omega \right) + \gamma_b \alpha b \left( \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4} \sin \pi - \frac{\omega}{4} - \frac{1}{4} \sin \omega \right) = \frac{1}{4} \gamma_u \alpha_2 b (\pi - \omega - \sin \omega) + \frac{1}{4} \gamma_b \alpha b$$

$$(\pi - \omega - \sin \omega) = \frac{b}{4} (\pi - \omega - \sin \omega) (\gamma_b \alpha + \gamma_u \alpha_2) \Rightarrow$$

$$\Sigma \Delta W_{ja} |\cos \beta_j| = \frac{b}{4} (\gamma_b \alpha + \gamma_u \alpha_2) \cdot (\pi - 2\cos^{-1}(\lambda) - 2\lambda \sqrt{1-\lambda^2}) \quad (E2.6)$$

Με πρόσθεση των όρων των (5), (6) προκύπτει τελικά:

$$\Sigma \Delta W_j |\cos \beta_j| = \frac{2}{3} \gamma_u b^2 \lambda [2 - (\lambda^2 + 2) \sqrt{1-\lambda^2}] + \frac{b}{4} (\gamma_b \alpha + \gamma_u \alpha_2) (\pi - 2\cos^{-1}(\lambda) - 2\lambda \sqrt{1-\lambda^2}) \quad (E2.7)$$

(β). Υπολογισμός του όρου  $\Sigma \Delta W_j |\sin \beta_j|$

$$\sum_{j=1}^n \Delta W_j |\sin \beta_j| = \sum_{j=1}^n \Delta W_{jo} |\sin \beta_j| + \sum_{j=1}^n \Delta W_{ja} |\sin \beta_j| \quad (E2.8)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta W_{jo} |\sin \beta_j| = \gamma_u b \sum_{j=1}^n \left( 1 - 2\sin^2 \left( \frac{\beta_j}{2} \right) \right) |\sin \beta_j| \cos \beta_j \Delta \beta_j \cdot b \Rightarrow$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^n \Delta W_{jo} |\sin \beta_j| = \gamma_u b^2 \int_{\frac{\omega-\pi}{2}}^0 \left( 1 - 2\sin^2 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right) |\sin \beta| \cos \beta d\beta =$$

$$= \gamma_u b^2 I_3(\beta) \Bigg|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \quad (E2.9)$$

$$I_3(\beta) = \int |\sin \beta| \cos^2 \beta d\beta = \int \cos^2 \beta d|\cos \beta| = \int z^2 dz = \frac{z^3}{3} = \frac{|\cos^3 \beta|}{3} \Rightarrow$$

$$I_3(\beta) \Bigg|_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{1}{3} \left[ \cos^3 \frac{\omega}{2} - \cos^3 \frac{\pi}{2} \right] = \frac{1}{3} \cos^3 \frac{\omega}{2} = \frac{1}{3} \lambda^3 \stackrel{(9)}{\Rightarrow}$$

$$\Sigma \Delta W_{j\alpha} |\sin \beta_j| = \frac{1}{3} \gamma_u b^2 \lambda^3 \quad (E2.10)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta W_{j\alpha} |\sin \beta_j| = \gamma_c b^2 \int_{\theta_{c1}}^{\theta_{c2}} \frac{\alpha_c}{b} |\sin \beta| \cos \beta d\beta \stackrel{\alpha_c = \alpha}{=} \gamma_b \alpha b \int_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \beta d\sin \beta =$$

$$= \gamma_b \alpha b \left[ \frac{\sin^2 \beta}{2} \right]_{\frac{\omega}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{1}{2} \gamma_b \alpha b (1 - \sin^2 \frac{\omega}{2}) \Rightarrow$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta W_{j\alpha} |\sin \beta_j| = \frac{1}{2} \gamma_b \alpha b \lambda^2 \text{ στο τεταρτημόριο } \left[ 0, \frac{\pi}{2} \right] \quad (E2.11)$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta W_{j\alpha} |\sin \beta_j| = \gamma_c b^2 \int_{\theta_{c1}}^{\theta_{c2}} \frac{\alpha_c}{b} |\sin \beta| \cos \beta d\beta \stackrel{\alpha_c = \alpha_2}{=} \gamma_u \alpha_2 b \int_{-\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\omega}{2}} -\sin \beta d\sin \beta = \frac{1}{2} \gamma_u \alpha_2 b \lambda^2$$

$$\text{στο τεταρτημόριο } \left[ -\frac{\pi}{2}, 0 \right] \quad (E2.12)$$

Με πρόσθεση των (10), (11) ή (10), (12) προκύπτει τελικά:

$$\sum_{j=1}^n \Delta W_j |\sin \beta_j| = \frac{1}{3} \gamma_u b^2 \lambda^3 + \frac{1}{2} \gamma_c \alpha_c b \lambda^2 = \gamma_u b^2 \left( \frac{1}{3} \lambda^3 + \frac{1}{2} \mu_c \lambda^2 \right) \quad (E2.13)$$

$$\text{όπου } \mu_c = \{\mu, \nu\}, \mu = \frac{\gamma_b \alpha}{\gamma_u b}, \nu = \frac{\alpha_2}{b}$$

#### (γ). Ολική δύναμη τριβής

Η ολική δύναμη τριβής δίνεται από τη σχέση:

$$F_F = \left\{ \sum_{j=1}^n \Delta W_j |\cos \beta_j| + k \Delta W_j |\sin \beta_j| \right\}_{(1)} + \left\{ \sum_{j=1}^n \Delta W_j |\cos \beta_j| - k \Delta W_j |\sin \beta_j| \right\}_{(2)} \quad (E2.14)$$

όπου οι δείκτες (1), (2) σημαίνουν τεταρτοκύκλιο  $[0, \pi/2]$ ,  $[0, -\pi/2]$  αντίστοιχα. Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (E2.7), (E2.10), (E2.11), (E2.12) στην (E2.14) για  $k > 0$  με φορά προς τα δεξιά ( $\rightarrow$ ) προκύπτει:

$$F_F = \frac{2}{3} \gamma_u b^2 \lambda [2 - (\lambda^2 + 2) \sqrt{1 - \lambda^2}] + \frac{b}{4} (\gamma_b \alpha + \gamma_u \alpha_2) (\pi - 2 \cos^{-1}(\lambda) - 2\lambda \sqrt{1 - \lambda^2}) + k \left[ \frac{1}{3} \gamma_u b^2 \lambda^3 + \frac{1}{2} \gamma_b \alpha b \lambda^2 - \frac{1}{3} \gamma_u b^2 \lambda^3 - \frac{1}{2} \gamma_u \alpha_2 b \lambda^2 \right] \Rightarrow$$

$$F_F = \frac{2}{3} \gamma_u b^2 \lambda [2 - (\lambda^2 + 2) \sqrt{1 - \lambda^2}] + \frac{b}{4} (\gamma_b \alpha + \gamma_u \alpha_2) (\pi - 2 \cos^{-1}(\lambda) - 2\lambda \sqrt{1 - \lambda^2}) + k \frac{1}{2} b \lambda^2 (\gamma_b \alpha - \gamma_u \alpha_2) \quad (E2.15)$$

Η εξίσωση (E2.15) είναι η εξίσωση (6.3.12β) του κεφαλαίου 6 με  $k > 0$  ( $\rightarrow$ ).

### **E3. Θεώρηση δύο εδαφικών στρώσεων με διαφορετική συνοχή.**

Στην περίπτωση αυτή για την κάτω στρώση:

$$F_{c2} = 2b \cos^{-1} \left( \frac{h_{c2} - \alpha_2}{b} \right) c_{u2} = 2b \cos^{-1}(\lambda_2) c_{u2} \quad (E3.1)$$

Για την πάνω στρώση:

$$F_{c1} = 2b \left[ \cos^{-1} \left( \frac{h_w - \alpha_2}{b} \right) - \cos^{-1} \left( \frac{h_{c2} - \alpha_2}{b} \right) \right] c_{u1} = 2b [\cos^{-1}(\lambda) - \cos^{-1}(\lambda_2)] c_{u1} \quad (E3.2)$$

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} = 2b [(\cos^{-1}(\lambda) - \cos^{-1}(\lambda_2)) c_{u1} + \cos^{-1}(\lambda_2) c_{u2}] \quad (E3.3)$$

### **E4. Υπολογισμός φαινόμενου βάρους κτιρίου.**

Το μόνιμο βάρος του κτιρίου θεωρείται αποτελούμενο από το βάρος των εξωτερικών και των εσωτερικών τοίχων, το βάρος των πλακών των ορόφων και το βάρος των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων (υποστυλωμάτων, τοιχείων).

Απλουστευτικά μπορεί να δοθεί από την παρακάτω σχέση:

$$B_b = (2\alpha L + 2\alpha b) + (m_1 \alpha L + m_2 \alpha b) \bar{\delta} h_{bwex} \bar{\gamma}_{bw} + (m_1 \alpha L + m_2 \alpha b) \bar{\delta} h_{bwin} \bar{\gamma}_{bw} + (n + 1)bL \cdot \bar{d}_s \cdot \gamma_{be} + m_1 m_2 \alpha \cdot (b_o L_o) \cdot \gamma_{be} \quad (E4.1)$$

όπου:

$b, L, \alpha$  το πλάτος, μήκος, ύψος του κτιρίου αντίστοιχα

$n$  ο αριθμός των ορόφων (μαζί με το υπόγειο)

$m_1, m_2$  το πλήθος των εσωτερικών τοίχων κατά  $b, L$  αντίστοιχα

$\bar{d}_s$  το μέσο πάχος των πλακών ορόφων μαζί με τις δοκούς,

$\bar{d}_s = 0.15 \text{ m}$

$b_o, L_o$  οι οριζόντιες διαστάσεις των υποστυλωμάτων που θεωρούνται διατεταγμένα στις τομές των τοίχων μεταξύ τους:

$b_o \times L_o = 0.25 \times 0.25 \text{ m}^2$

$\bar{\delta} h_{bw}$  το μέσο πάχος των τοίχων,  $\bar{\delta} h_{bwex} = 0.20 \text{ m}$ ,  $\bar{\delta} h_{bwin} = 0.10 \text{ m}$  όταν  $ex, in$  σημαίνει εξωτερικός, εσωτερικός τοίχος αντίστοιχα.

$\bar{\gamma}_{bw} = 1.4 \text{ tn/m}^3$  το μέσο ειδικό βάρος των τοίχων από οπτόπλινθους

$\gamma_{be} = 2.4 \text{ tn/m}^3$  το ειδικό βάρος του οπλισμένου σκυροδέματος

Θεωρείται:

$$m_1 = b/c_b - 1, \quad m_2 = L/c_L - 1$$

όπου  $c_b$ ,  $c_L$  οι διαστάσεις του τυπικού δωματίου και  $m_1$ ,  $m_2$  είναι αδιάστατα μεγέθη.

Θεωρείται κινητό φορτίο  $B_p$  ίσο προς το 25% του μόνιμου.

Τότε θα είναι:

$$B_{b+p} = 1.25 (2\alpha L + 2ab) \cdot 0.28 + 0.175 \left[ \left( \frac{1}{c_u} + \frac{1}{c_L} \right) baL - \alpha L - ab \right] + (n + 1) bL \cdot 0.45 + 0.1875 \left[ \frac{1}{c_b \cdot c_L} baL + \alpha - \left( \frac{L}{c_L} + \frac{b}{c_b} \right) \alpha \right] \quad (E4.2)$$

$$V_b = \alpha bL \quad (E4.3)$$

$$\gamma_b = \frac{B_{b+p}}{V_b} = 0.525 \left( \frac{1}{b} + \frac{1}{L} \right) + 0.1875 \frac{1}{bL} + (n + 1) \cdot \frac{1}{\alpha} 0.45 + 0.175 \left( \frac{1}{c_b} + \frac{1}{c_L} \right) + 0.1875 \left( \frac{1}{c_b c_L} - \frac{1}{bc_L} - \frac{1}{Lc_b} \right) \quad (E4.4)$$

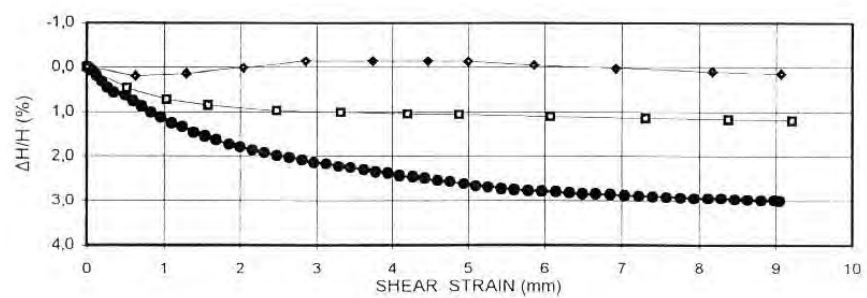
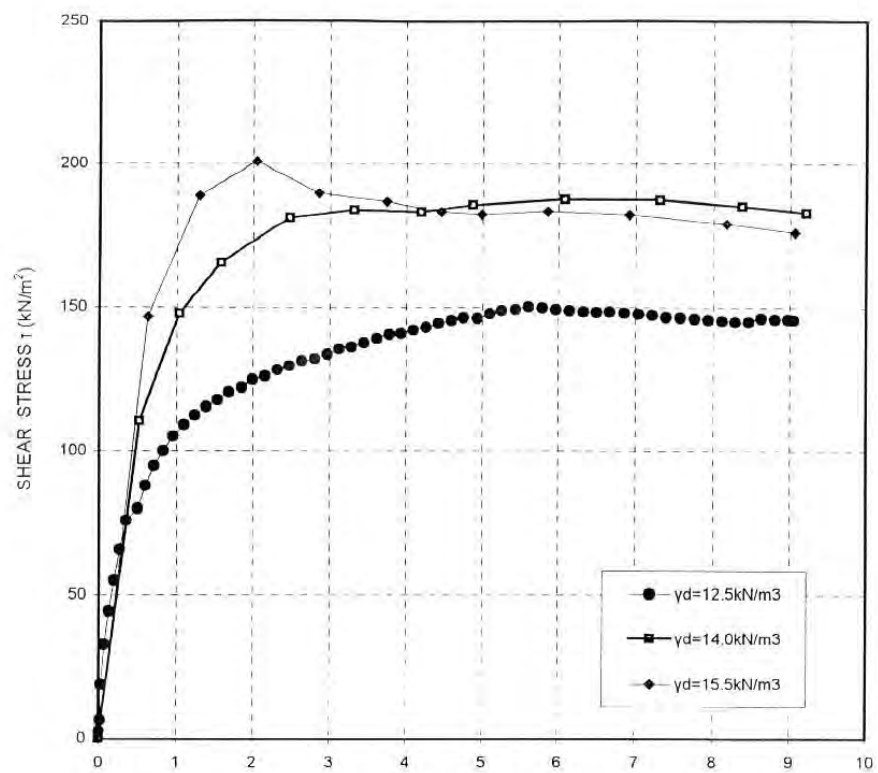
Παράδειγμα: Έστω  $\alpha = 20$ ,  $b = 6$ ,  $L = 12$ ,  $n = 5$ ,  $c_b = 3$ ,  $c_L = 6$

$$\begin{aligned} \gamma_b &= 0.525 \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{12} \right) + 0.1875 \cdot \frac{1}{6 \cdot 12} + 0.45 \cdot \frac{6}{20} + 0.175 \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \right) + \\ &0.1875 \left( \frac{1}{3 \cdot 6} - \frac{1}{6 \cdot 6} - \frac{1}{12 \cdot 3} \right) = 0.13125 + 0.0026 + 0.135 + 0.0875 + \\ &0.01042 = 0.367 \text{ tn/m}^3 \end{aligned}$$

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ (Ενότητα 7.2) Εργαστηριακές δοκιμές**

<b>Z1. Δοκιμές υπό μονοτονική φόρτιση</b>	<b>σελίδα 41</b>
<b>Z2. Δοκιμές υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και σταθερό όγκο με στερεοποίηση μετά την ρευστοποίηση</b>	<b>σελίδες 42-53</b>
<b>Z3. Δοκιμές υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και συνθήκες πλήρους στράγγισης</b>	<b>σελίδες 54-68</b>



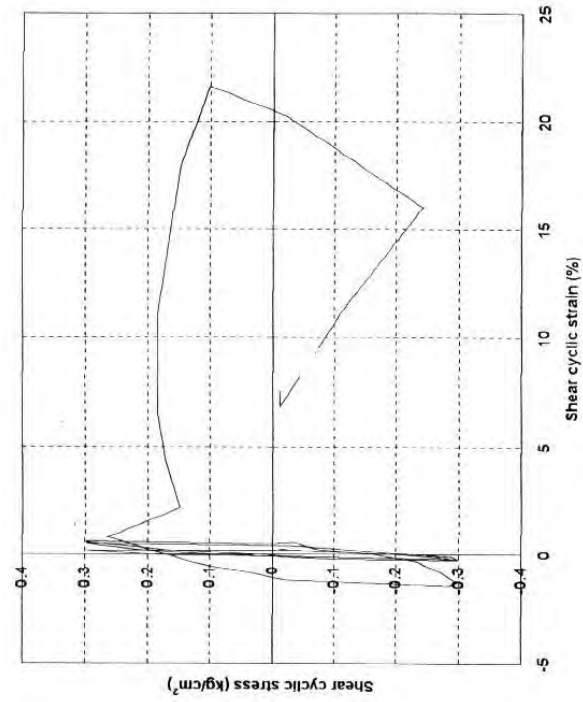
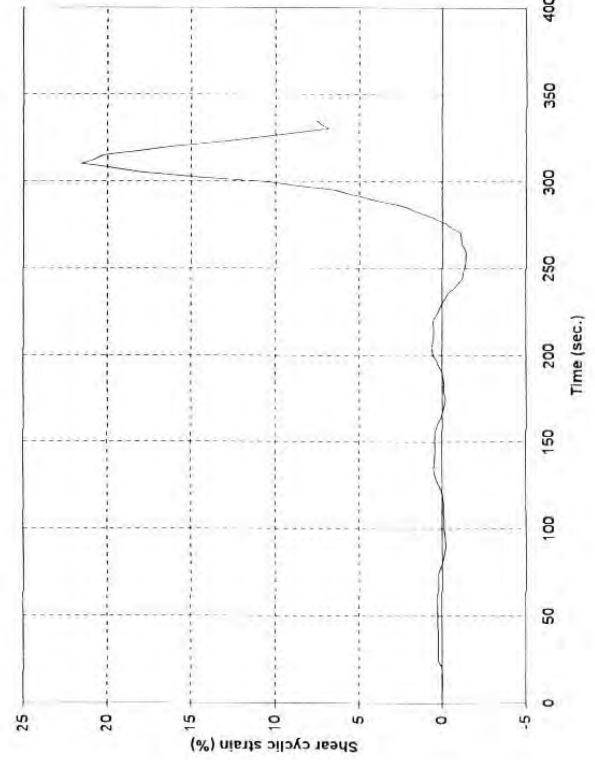
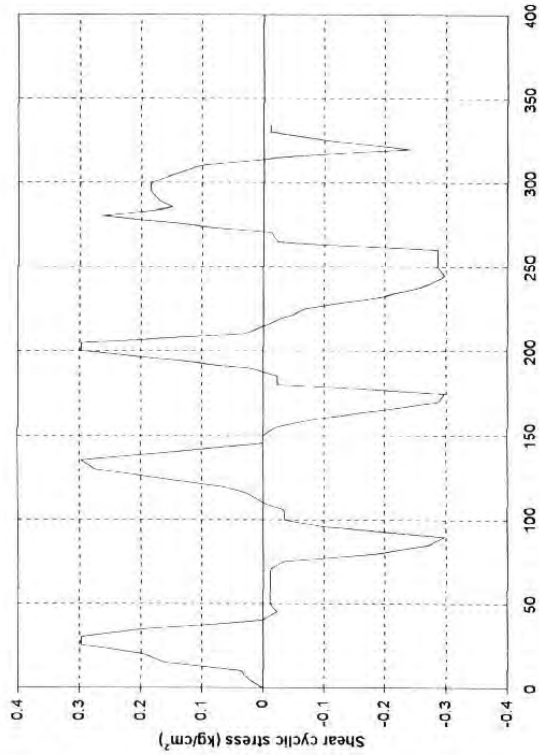


### SHEAR TEST CONSOLIDATED-DRAINED (CD)

SAND B

INITIAL CONDITIONS				CONSOL.		SHEAR			FINAL CONDITIONS				
WATER CONTENT	DRY UNIT WEIGHT	SATURATION	SPECIMEN HEIGHT	VERTICAL STRESS	$\Delta H/H$	VERTICAL STRESS	$\tau_{max}$	$\tau_f$	WATER CONTENT	DRY UNIT WEIGHT	SATURATION		
(%)	( $\text{kN/m}^3$ )	(%)	(cm)	( $\text{kN/m}^2$ )	(%)	( $\text{kN/m}^2$ )			(%)	( $\text{kN/m}^3$ )	(%)	$\phi_{max}$	$\phi_f$
7,4	12,5	17	0,0	300	12,1	300	150	146	25,29	14,2	76	30	29
8,6	14,0	40	2,0	300	7,8	300	188	183	24	15,0	82	35	35
8,3	15,5	57	2,0	300	6,9	300	201	176	21	16,6	90	38	34

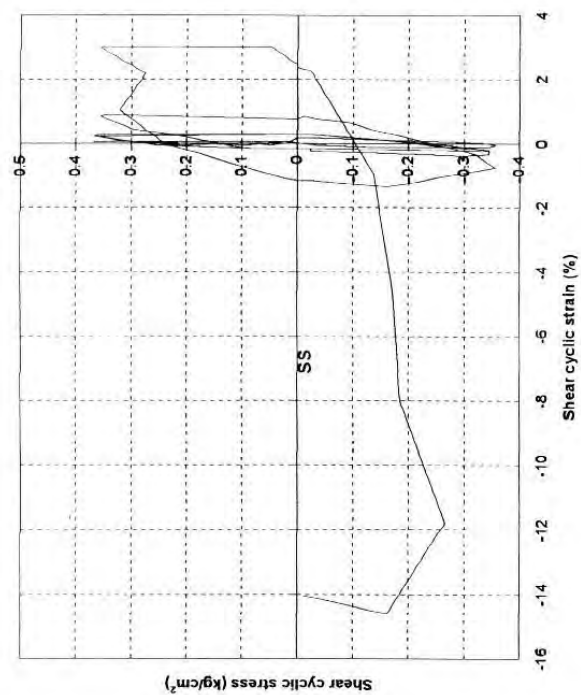
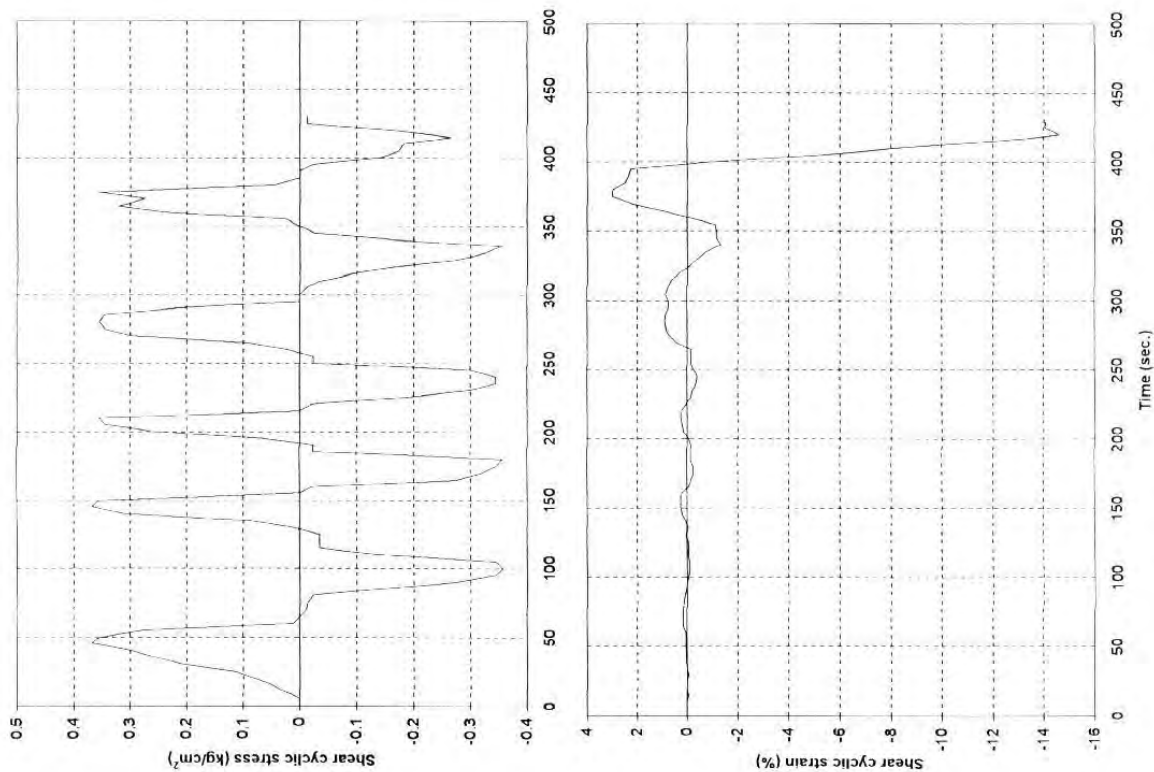
n-38



# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

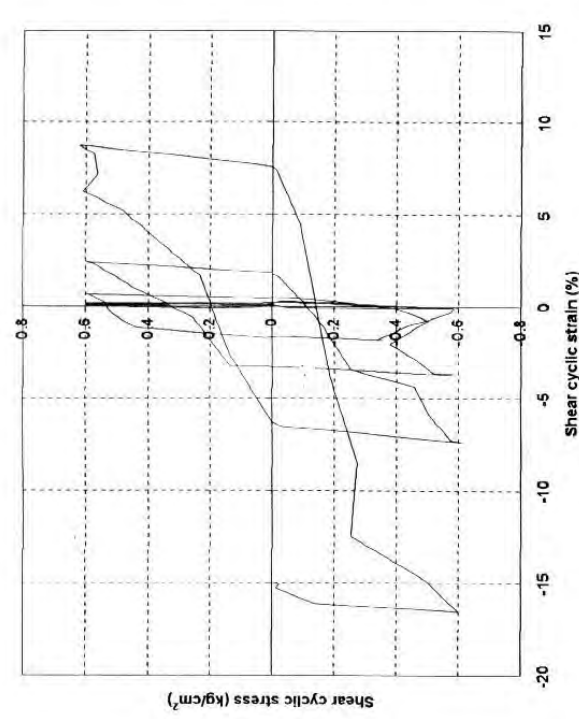
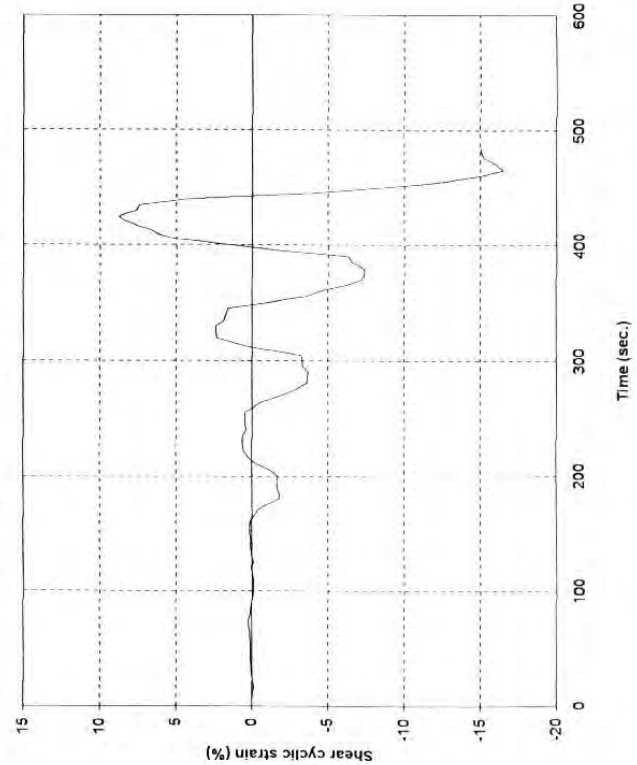
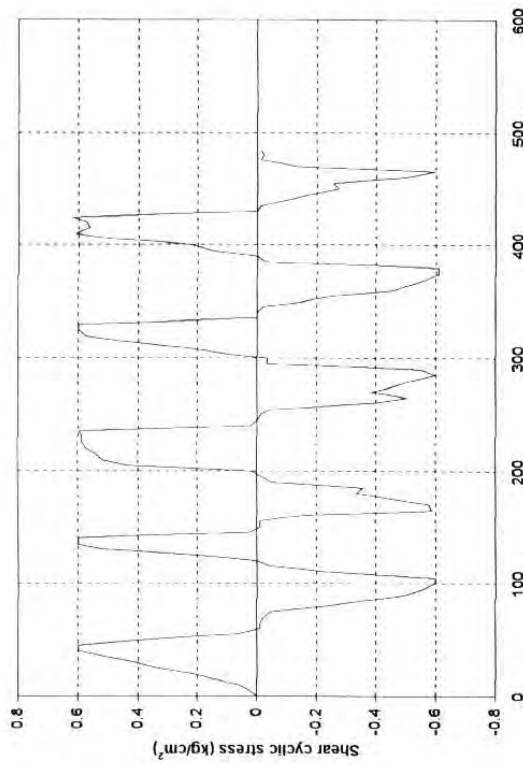
Test No	N-1
Date:	6/11/2002
Soil	Sand B
Initial dry density	12.3 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_v$	10.48 (%)
$\gamma_d$	13.7 (kN/m <sup>2</sup> )
$w_{fin}$	23 (%)
$e$	0.965
Test: SR:	0.10
$N_f$	4
Consolidation after Liquefaction $\epsilon_v$	5.08 (%)

П-39



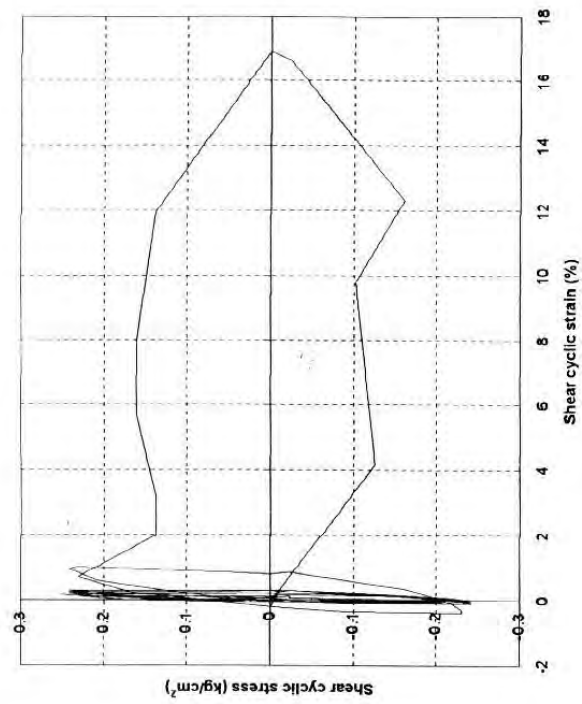
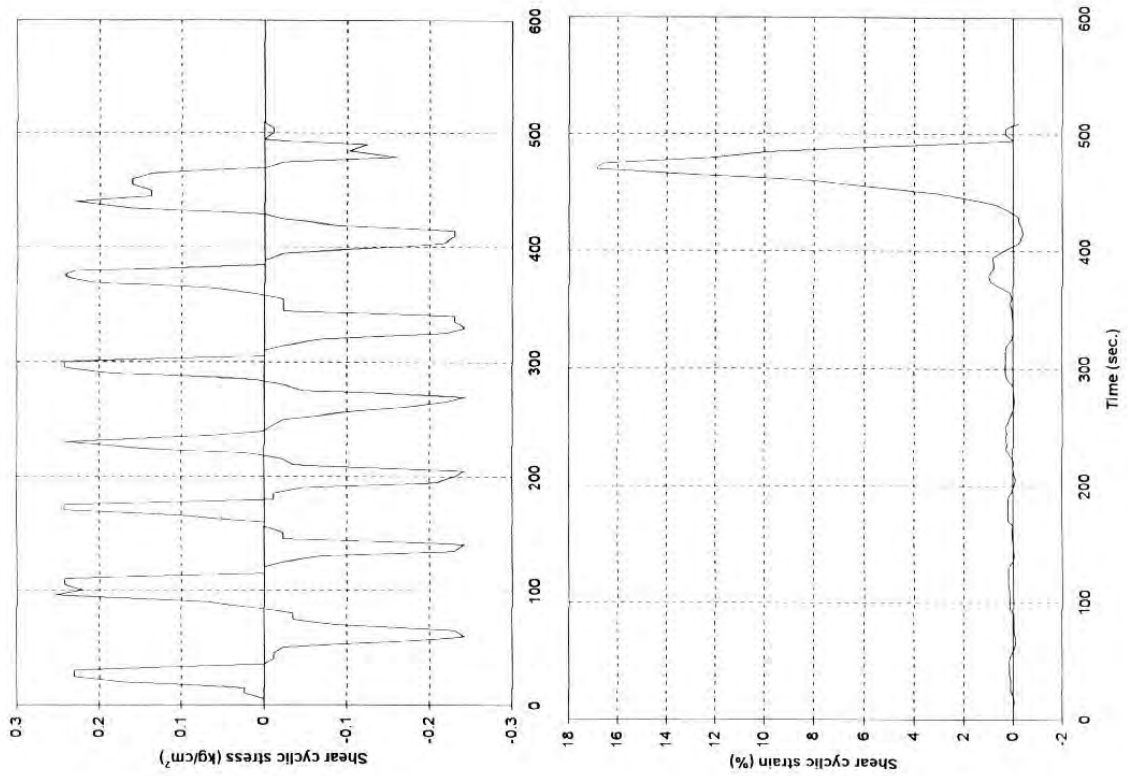
# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

Test No	N-2	
Date:	7/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	13.7	(kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	300	(kN/m <sup>2</sup> )
$e_v$	8.19	(%)
$V_d$	14.9	(kN/m <sup>3</sup> )
$w_{dm}$	23	(%)
$e$	0.809	
Test:	SR:	0.12
	$N_f$	5
Consolidation after Liquefaction $e_s$	4.08	
	(%)	



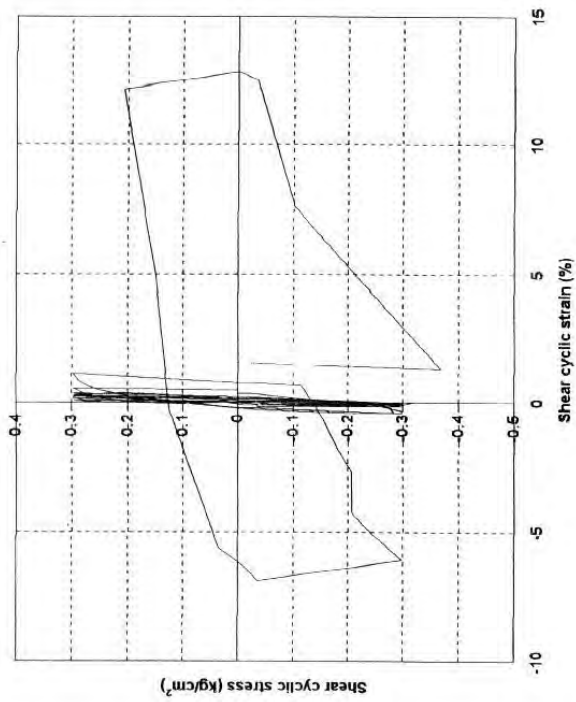
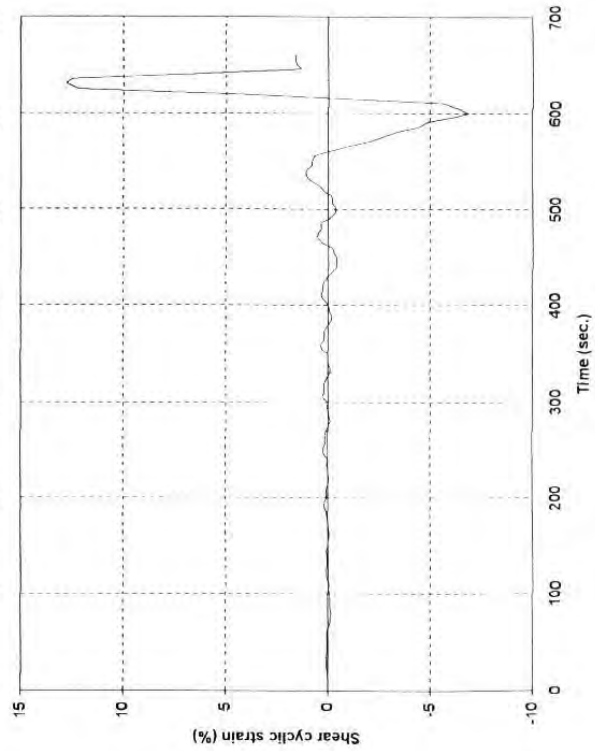
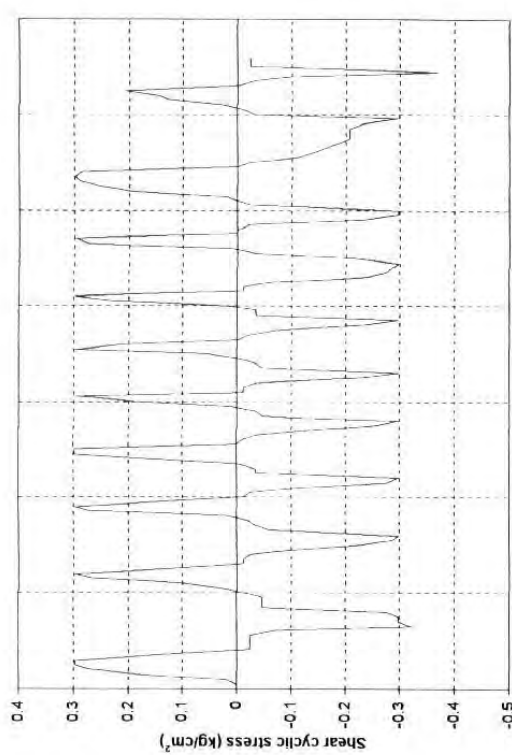
**CYCLIC SHEAR TEST WITH  
NO CHANGE IN VOLUME**

Test No	N-3	
Date:	8/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	15.2 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )	
$e_v$	5.63 (%)	
$V_d$	16.1 (kN/m <sup>3</sup> )	
$w_{fm}$	23 (%)	
$e$	0.676	
Test: SR:	0.2	
$N_i$	5	
Consolidation after Liquefaction $e_v$	2.91 (%)	



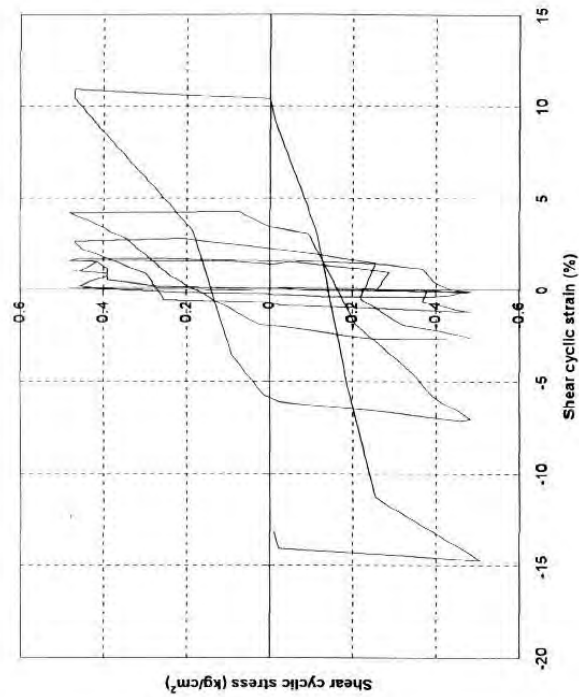
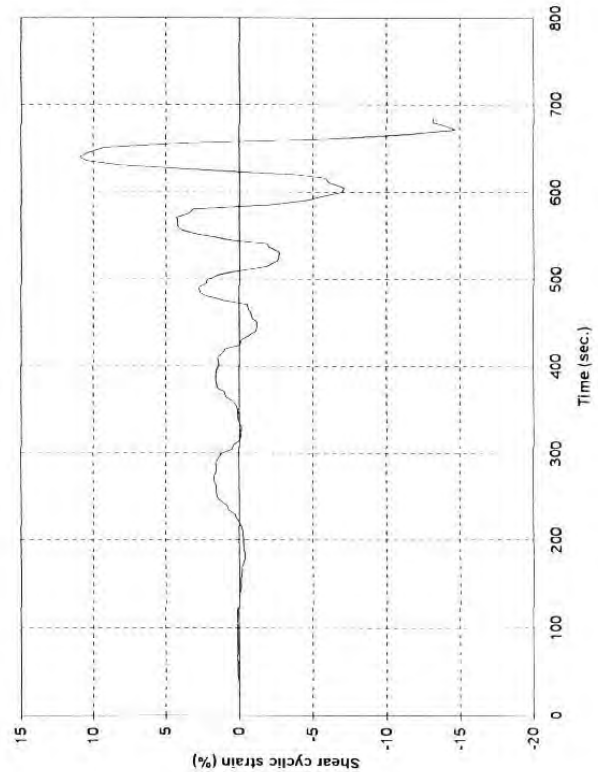
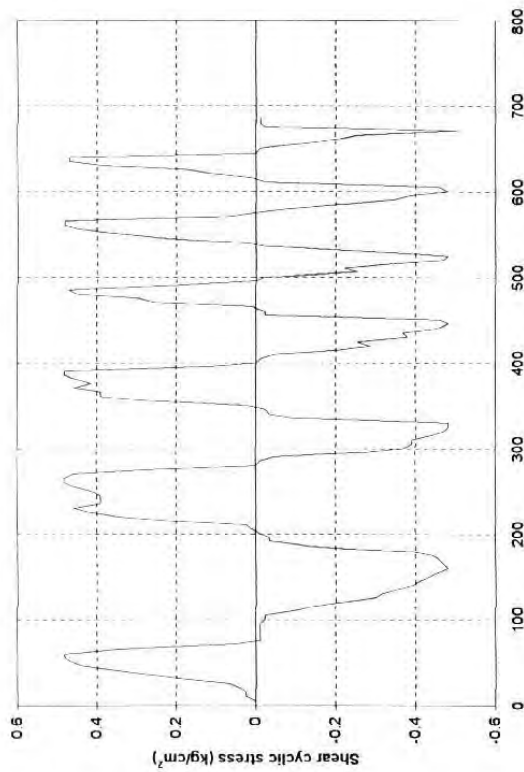
# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

Test No	N-4	
Date:	11/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	$\sigma_v$	12.3 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation:	$\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )
	$\epsilon_v$	15.07 (%)
	$\gamma_d$	14.5 (kN/m <sup>2</sup> )
	$w_{dln}$	23 (%)
	$e$	0.864
Test:	SR:	0.08
	$N_f$	7
Consolidation after Liquefaction	$\epsilon_v$	5.11 (%)



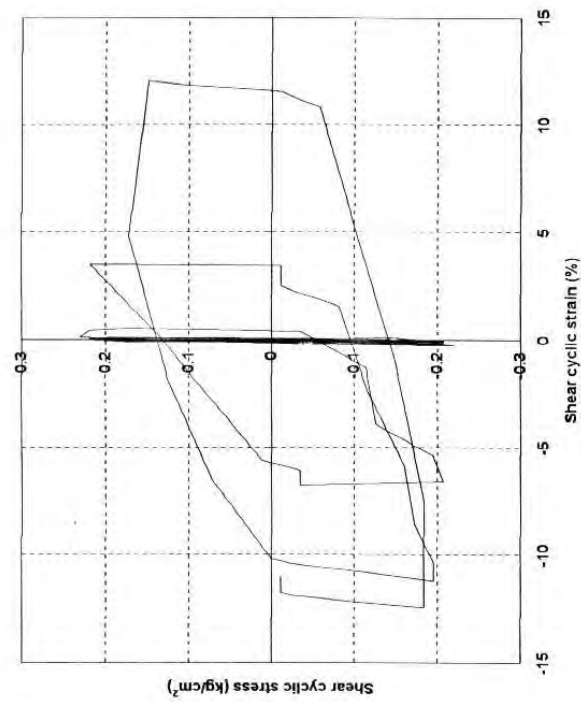
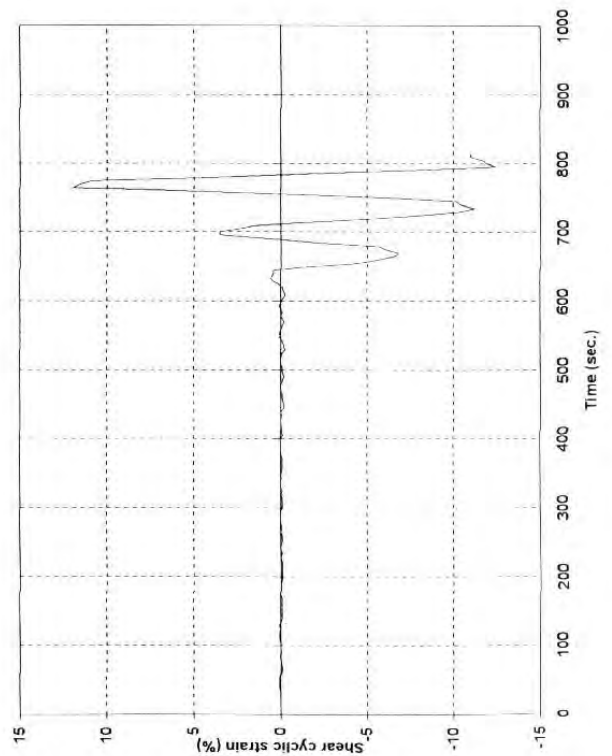
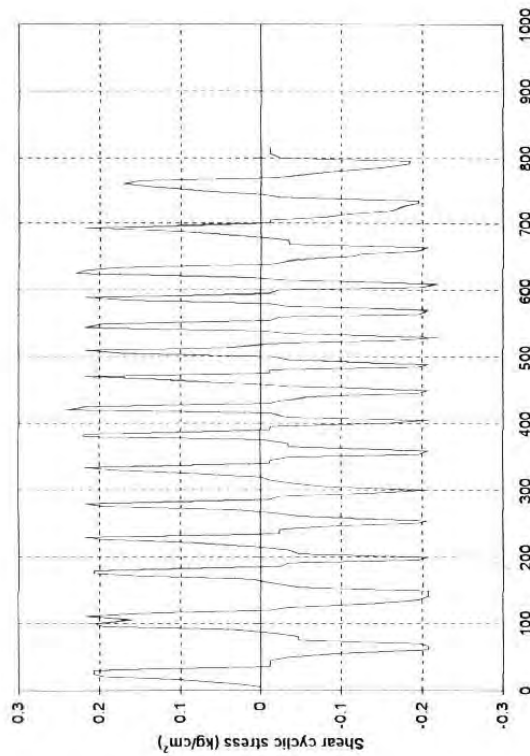
# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

Test No	N-5	
Date:	12/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	13.7 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )	
$\epsilon_v$	11.43 (%)	
$V_d$	15.5 (kN/m <sup>3</sup> )	
$w_{fm}$	25 (%)	
$e$	0.746	
Test: SR:	0.1	
$N_f$	10 (%)	
Consolidation after Liquefaction $\epsilon_v$	4.91 (%)	



# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

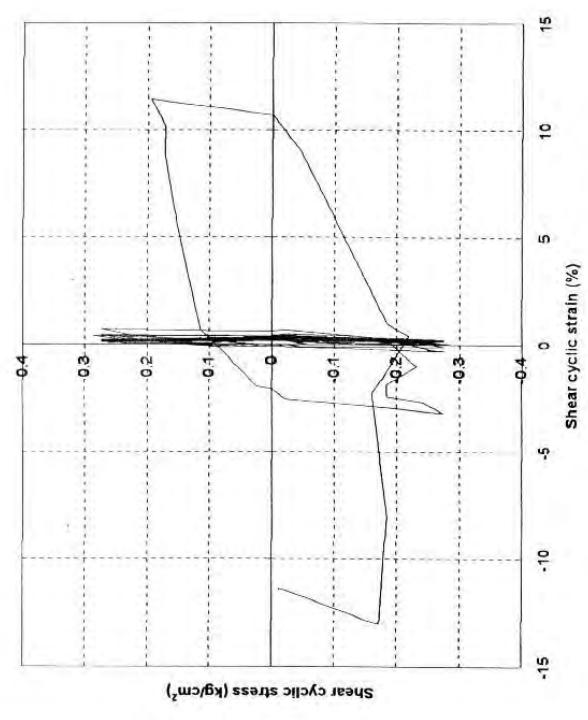
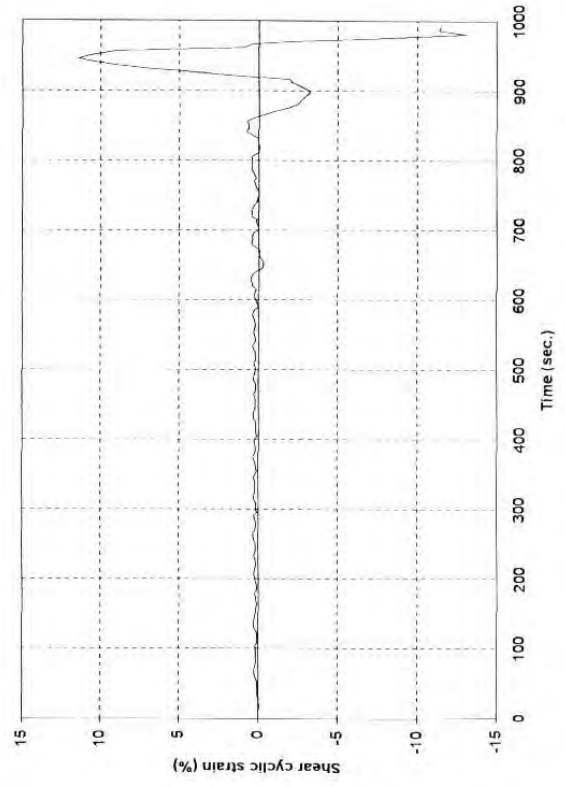
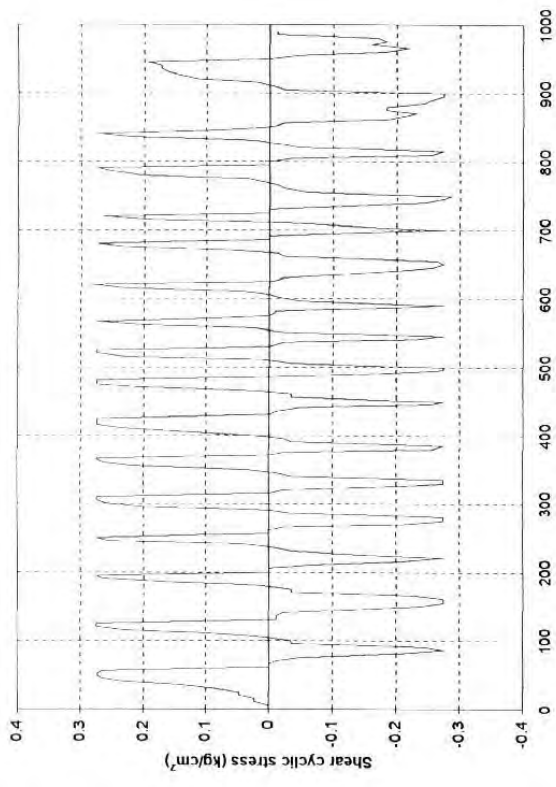
Test No	N-6		
Date:	13/11/2002		
Soil	Sand B		
Initial dry density	15.2 (kN/m <sup>3</sup> )		
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )		
$e_v$	7.21 (%)		
$\gamma_d$	16.4 (kN/m <sup>3</sup> )		
$w_{dm}$	21 (%)		
$e$	0.648		
Test: SR:	0.16		
$N_f$	4		
Consolidation after Liquefaction $e_v$	3.57 (%)		



# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

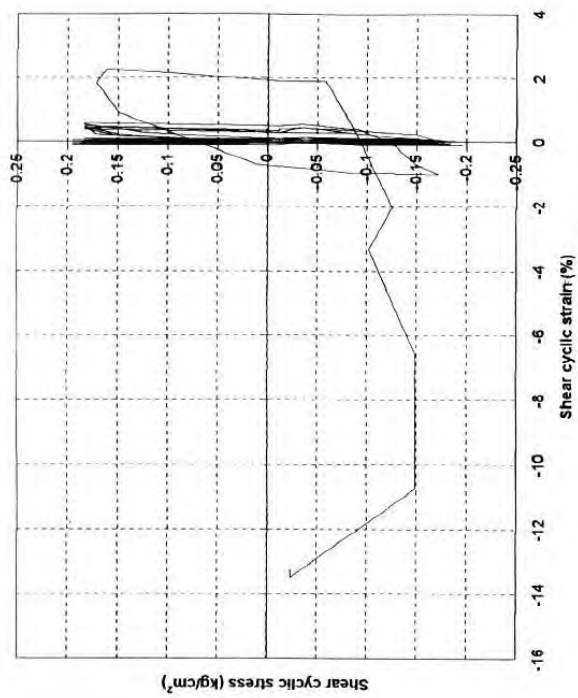
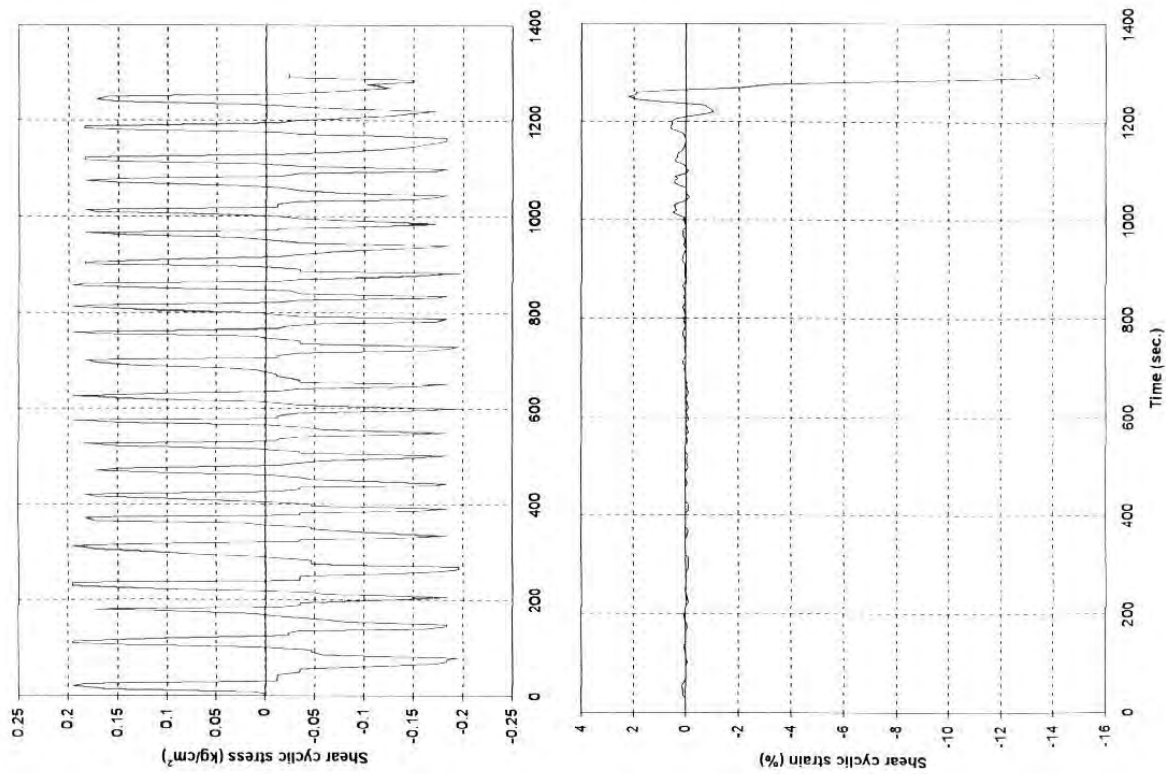
Test No	N-7	
Date:	14/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	12.3 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )	
$e_v$	14.08 (%)	
$V_d$	14.3 (kN/m <sup>2</sup> )	
$w_{dm}$	20 (%)	
$e$	0.886	
Test: SR:	0.07	
$N_f$	15	
Consolidation after Liquefaction $e_v$	3.92 (%)	





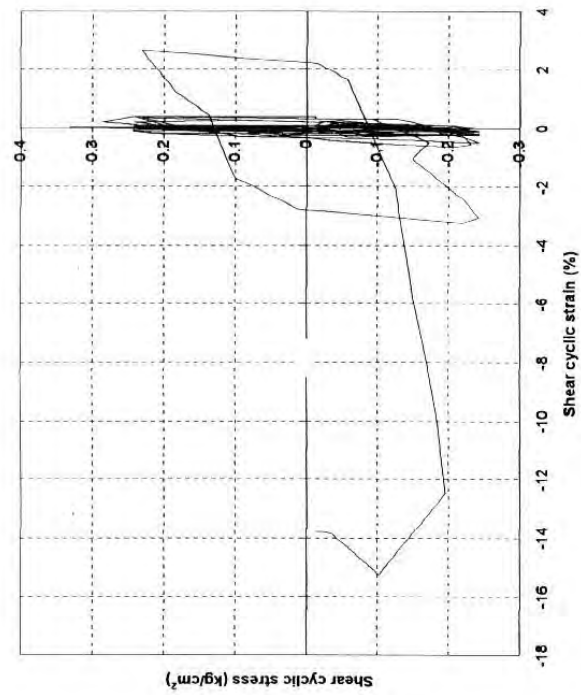
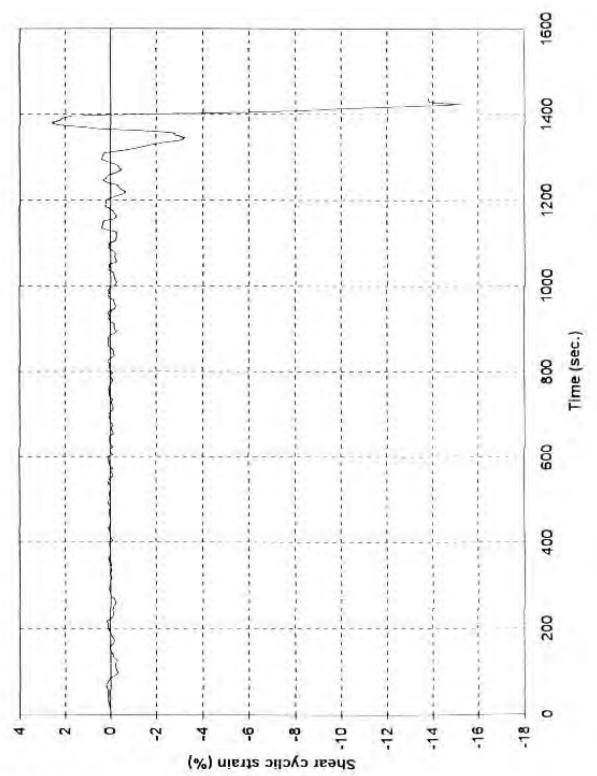
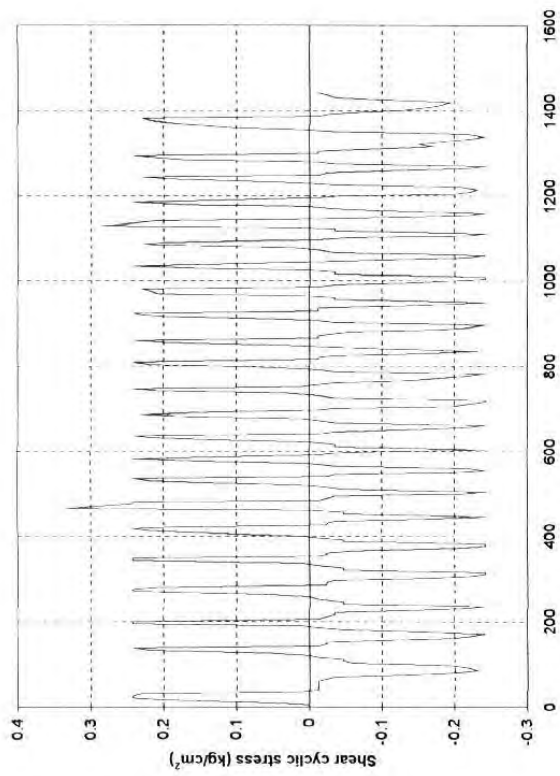
**CYCLIC SHEAR TEST WITH  
NO CHANGE IN VOLUME**

Test No	N-8	
Date:	15/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	13.7	(kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	300	(kN/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_v$	8.59	(%)
$\gamma_d$	15.0	(kN/m <sup>2</sup> )
$W_{dln}$	22	
$e$	0.802	(kN/m <sup>2</sup> )
Test: SR:	0.09	
$N_f$	16	(%)
Consolidation after Liquefaction $\epsilon_v$	4.66	



### CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

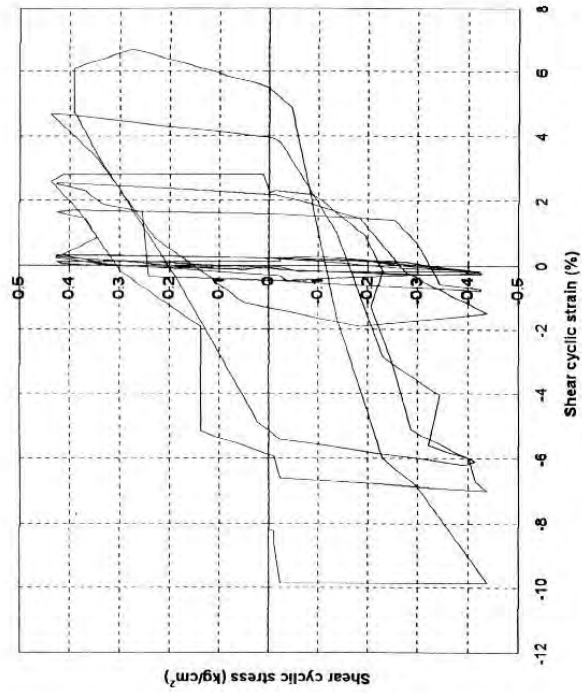
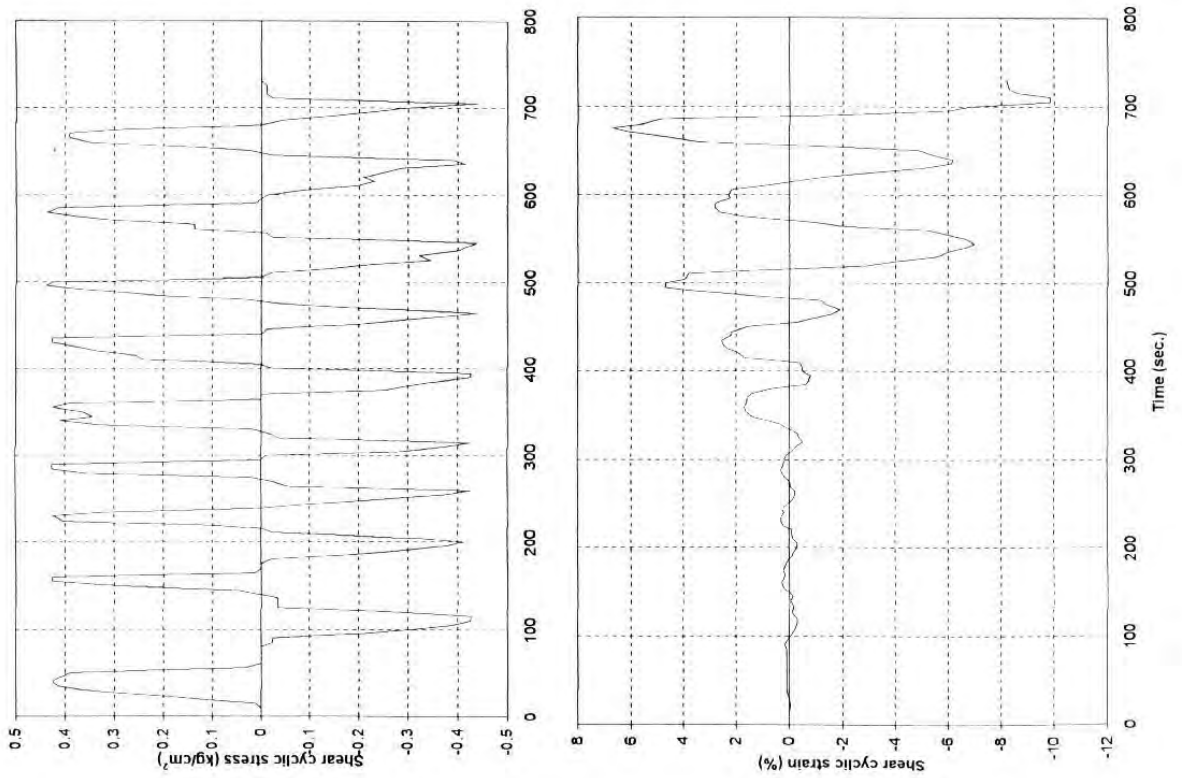
Test No	N-9	
Date:	18/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	$\sigma_v$	12.3 ( $\text{kN/m}^3$ )
Consolidation:	$\sigma_v$	300 ( $\text{kN/m}^2$ )
	$e_v$	11.10 (%)
	$V_d$	13.8 ( $\text{kN/m}^3$ )
	$w_{fm}$	24 (%)
	$e$	0.951
Test:	SR	0.06
	$N_f$	22
Consolidation after Liquefaction	$\epsilon_v$	4.83 (%)



# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

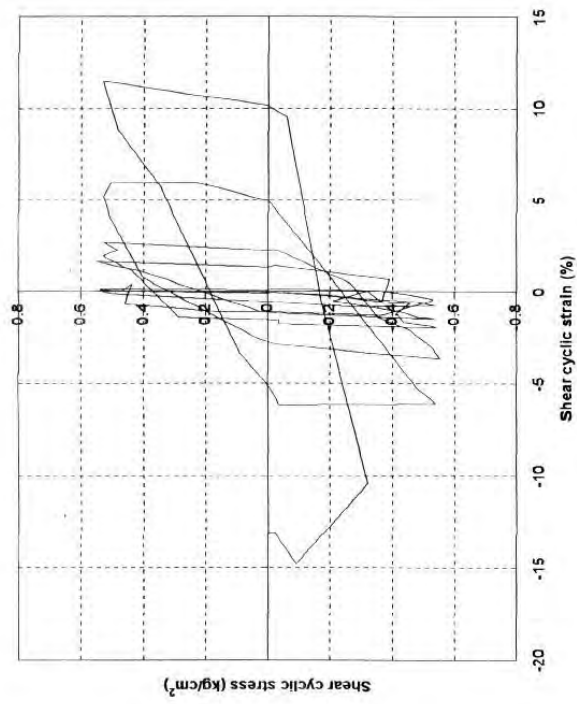
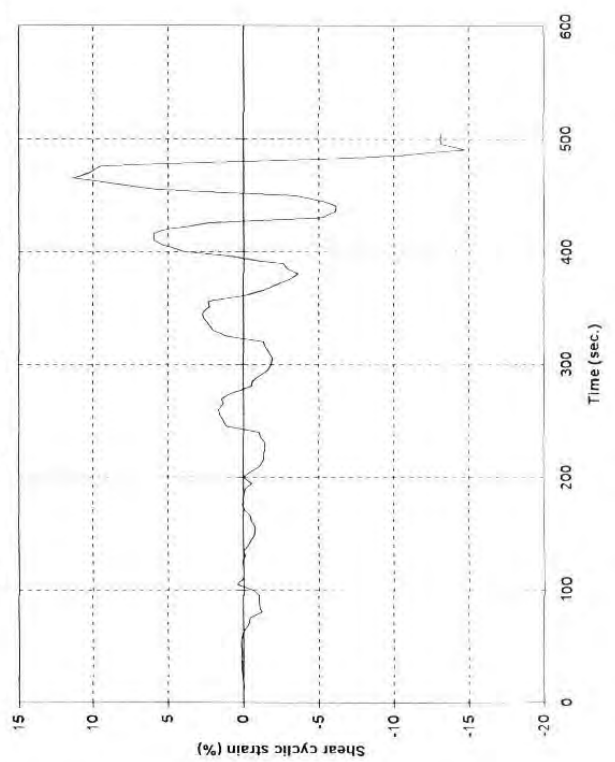
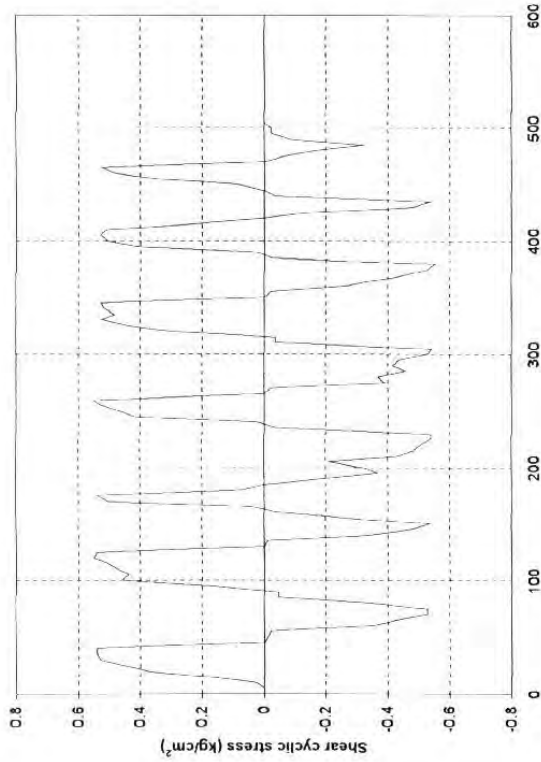
Test No	N-10	
Date:	19/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	13.7 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )	
$e_v$	10.86 (%)	
$\gamma_d$	15.3 (kN/m <sup>3</sup> )	
$w_{dm}$	22 (%)	
$e$	0.761	
Test:	SR:	0.08
	$N_i$	23
Consolidation after Liquefaction $e_v$	4.94 (%)	

7-48



# **CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME**

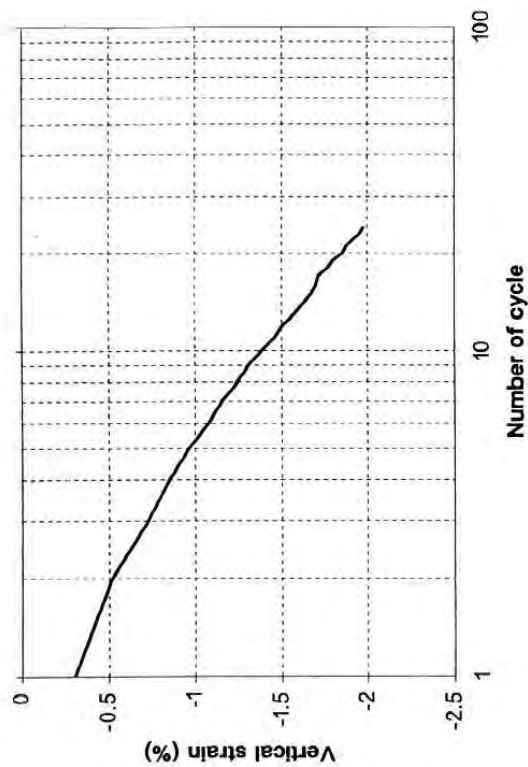
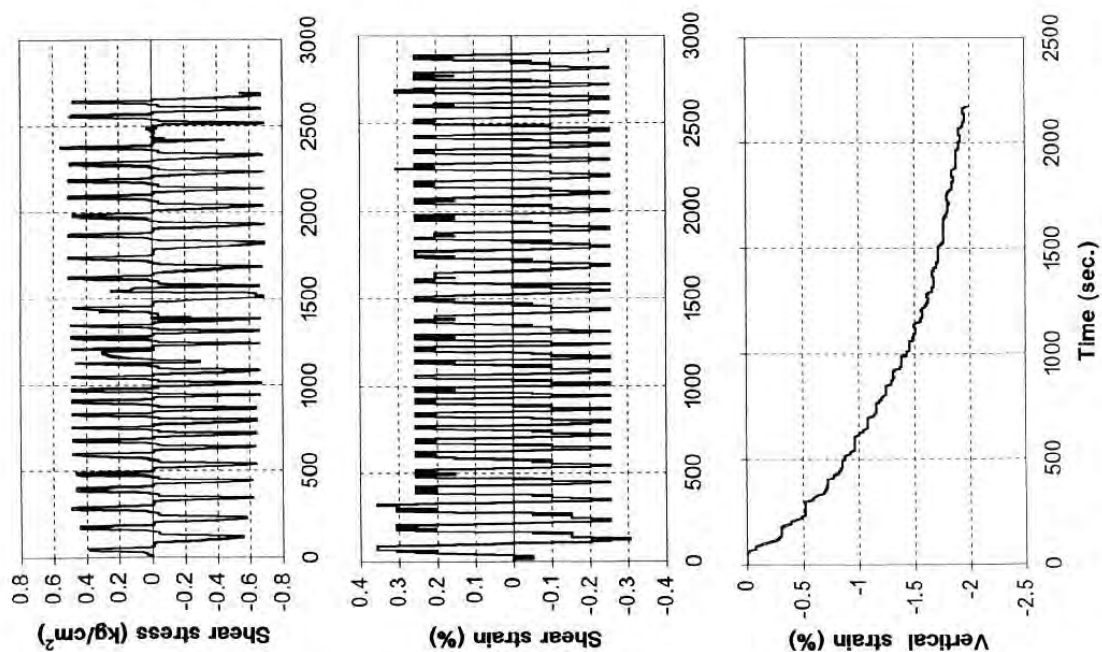
Test No	N-11	
Date:	20/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	15.2 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )	
$e_v$	6.85 (%)	
$V_d$	16.3 (kN/m <sup>3</sup> )	
$w_{fm}$	23 (%)	
$e$	0.655	
Test: SR	0.14	
$N_f$	7	
Consolidation after Liquefaction $e_v$	2.73 (%)	



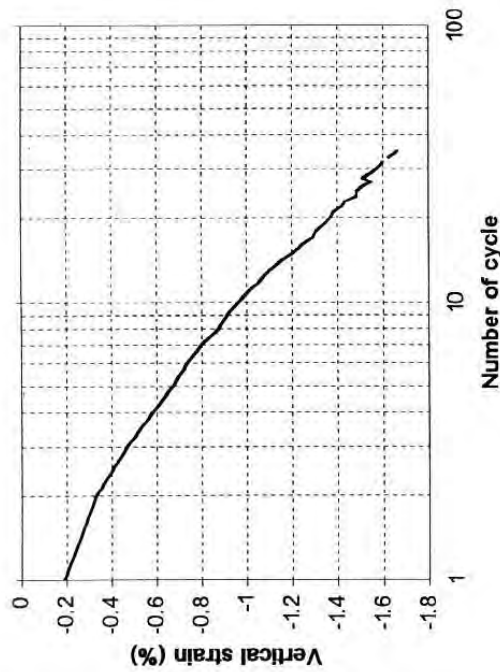
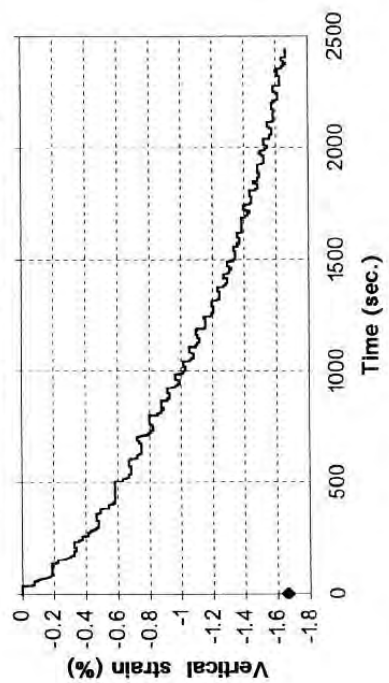
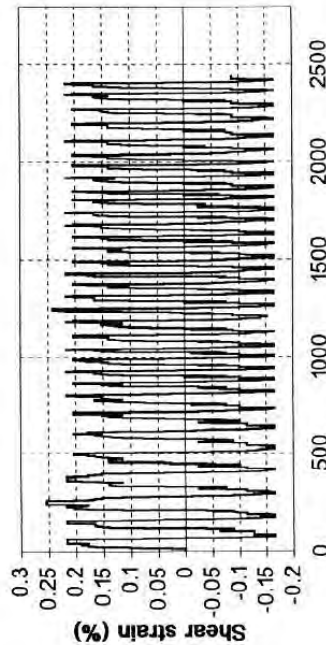
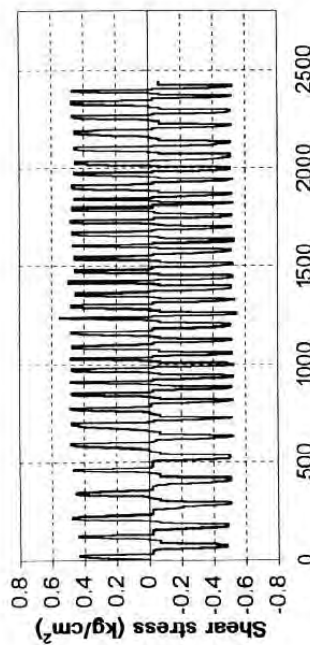
# CYCLIC SHEAR TEST WITH NO CHANGE IN VOLUME

Test No	N-12	
Date:	21/11/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	$\sigma_v$	15.2 ( $\text{kN/m}^3$ )
Consolidation:	$\epsilon_v$	300 ( $\text{kN/m}^2$ )
	$\gamma_d$	6.95 (%)
	$w_{dm}$	16.3 ( $\text{kN/m}^3$ )
	$e$	22 (%)
Test:	SR:	0.653
	$N_r$	0.18
Consolidation after Liquefaction	$\epsilon_v$	5
		2.87 (%)

15-11



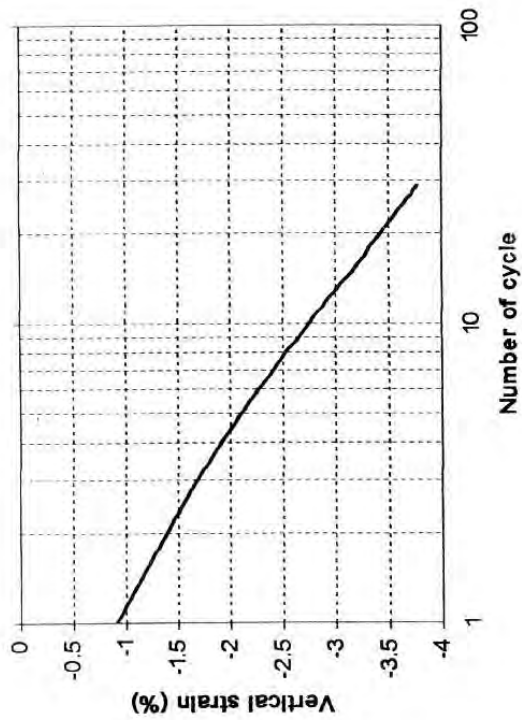
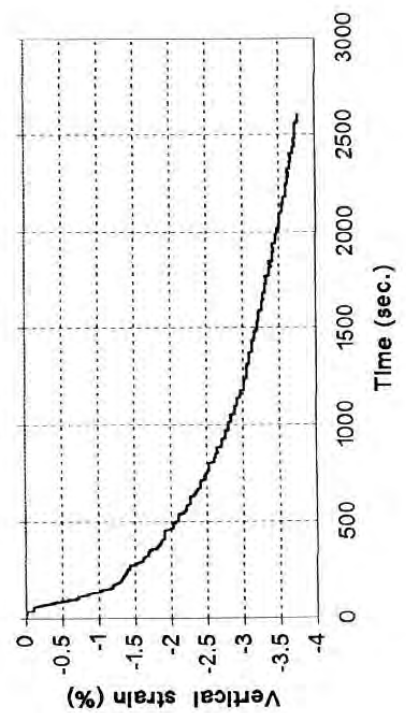
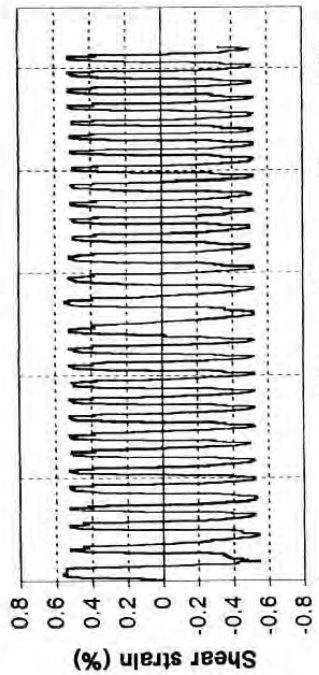
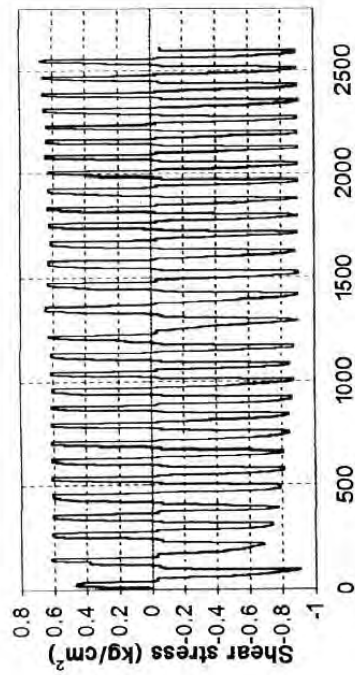
Test No	M-1
Date:	15/2/2002
Soil	Sand B
Initial dry density	12.30 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_v$	9.77 (%)
$\gamma_d$	13.63 (kN/m <sup>3</sup> )
$e$	0.801
Test: $\gamma_{cvs}$	0.254 (%)
$T_{cvs} (N=10)^{-1}$	0.57 (kg/cm <sup>2</sup> )
$N_f$	24
$\epsilon_{v-f}$	1.98 (%)
Final conditions:	
$\gamma_d$ from lab	13.3 (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_d$ from $\epsilon$	14.8 (kN/m <sup>3</sup> )
Shear cyclic strain +/- 20 units	



Test No	M-2
Date:	18/2/2002
Soil	Sand B
Initial dry density	12.30 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_v$	9.37 (%)
$\gamma_d$	13.6 (kN/m <sup>3</sup> )
$e$	0.801
Test: $\gamma_{ave}$	0.15 (%)
$\tau_{ov}(N=10)$	0.50 (kg/cm <sup>2</sup> )
$N_f$	35
$\epsilon_{v-f}$	1.66 (%)
Final conditions:	
$\gamma_d$ -from lab	13.5 (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_d$ -from $\epsilon$	13.8 (kN/m <sup>3</sup> )

Shear cyclic strain +/- 12 units

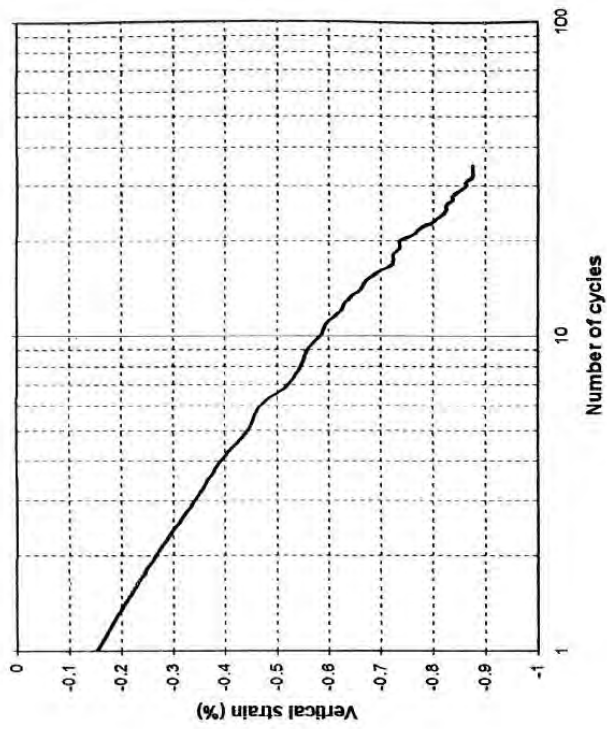
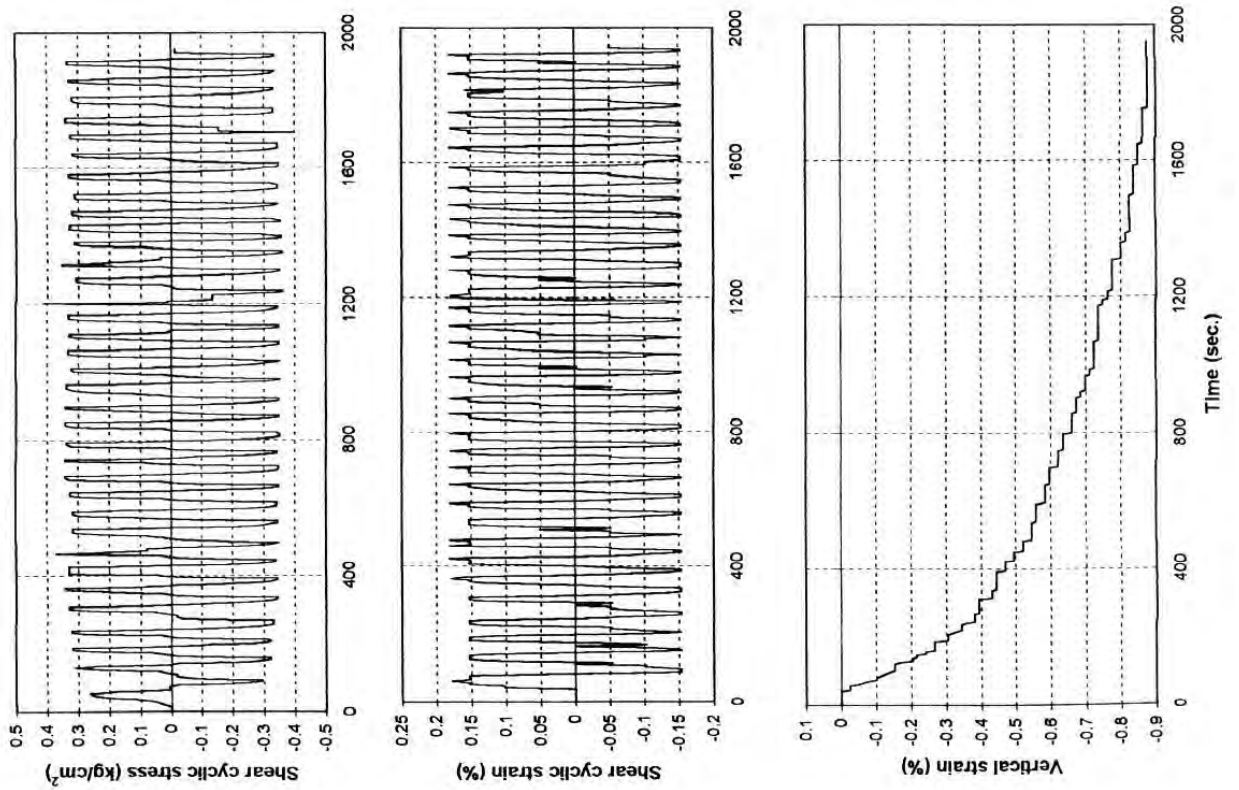




Test No	M-3
Date:	20/2/2002
Soil	Sand B
Initial dry density	12.30 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation:	$\sigma_v$ 300 (kN/m <sup>2</sup> )
	$\epsilon_v$ 9.29 (%)
	$Y_d$ 13.6 (kN/m <sup>3</sup> )
	$e$ 0.801
Test:	$Y_{eye}$ 0.508 (%)
	$\tau_{cyc}$ 0.7 (kg/cm <sup>2</sup> )
	$N_f$ 29
	$\epsilon_{v-f}$ 3.8 (%)
Final conditions:	
	$Y_d$ -from lab 13.5 (kN/m <sup>3</sup> )
	$Y_d$ -from $\epsilon$ 14.1 (kN/m <sup>3</sup> )

Shear cyclic strain +/- 40 units

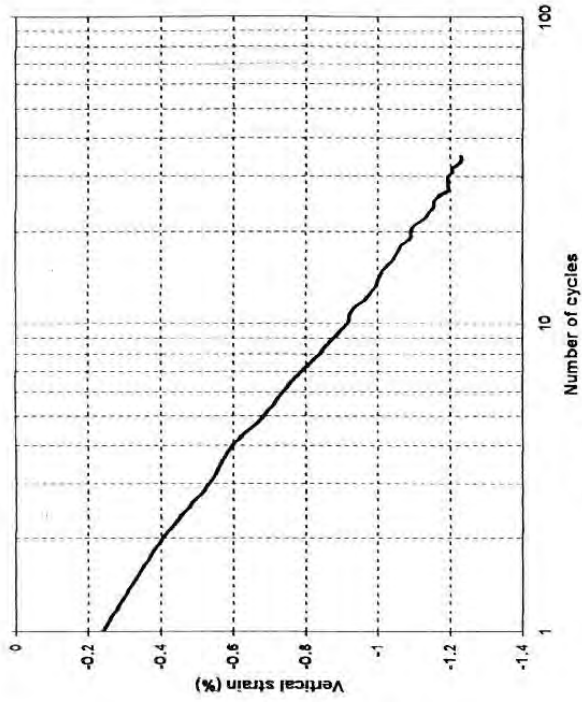
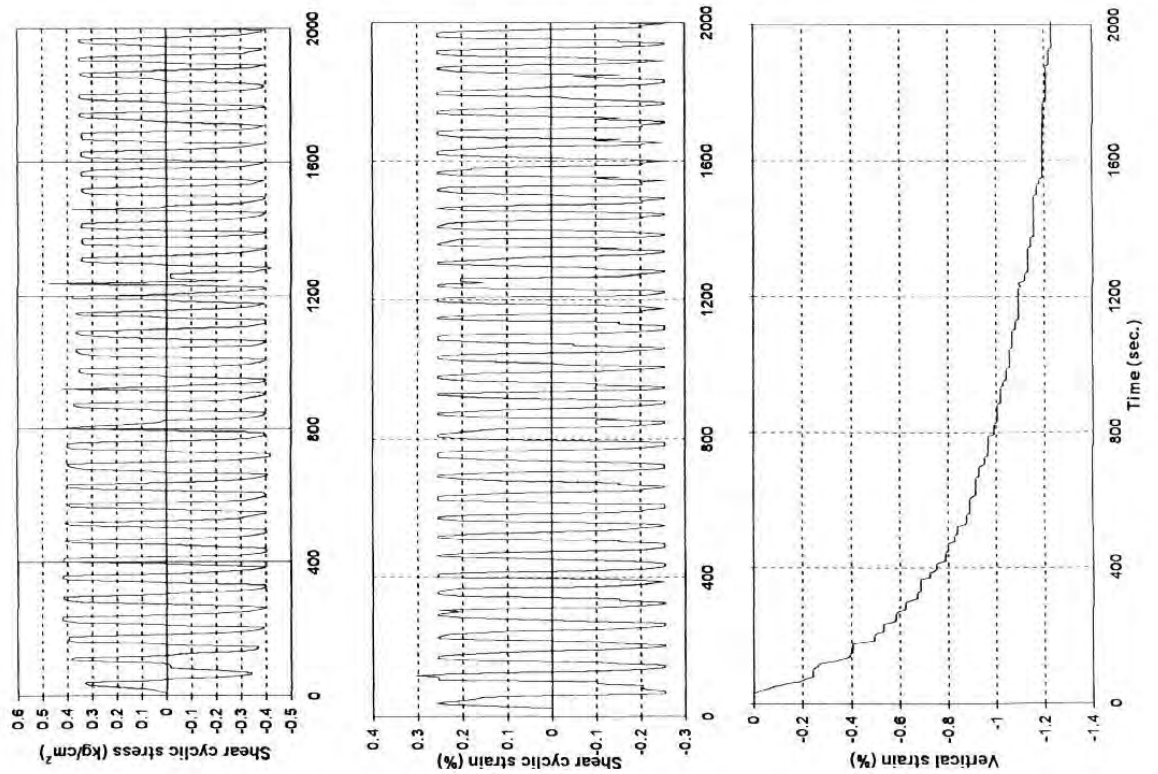




### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-5	
Date:	2/8/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	$\sigma_v$	14.0 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation:	$\epsilon_v$	150 (kN/m <sup>2</sup> )
	$\gamma_d$	0.88 (%)
	$e$	14.1 (kN/m <sup>2</sup> )
Test:	$\gamma_{cyc}$	0.15 (%)
	$\tau_{cyc}$	0.37 (kg/cm <sup>2</sup> )
	$N_f$	35
	$\epsilon_{v-f}$	0.88 (%)

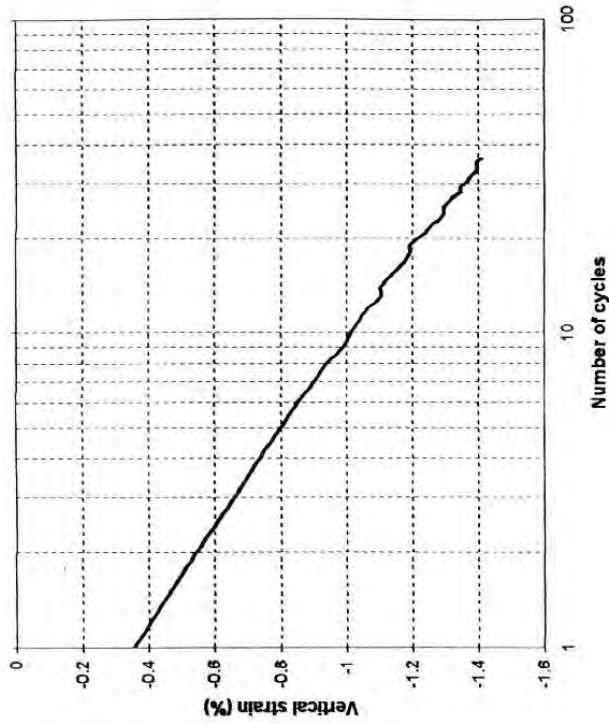
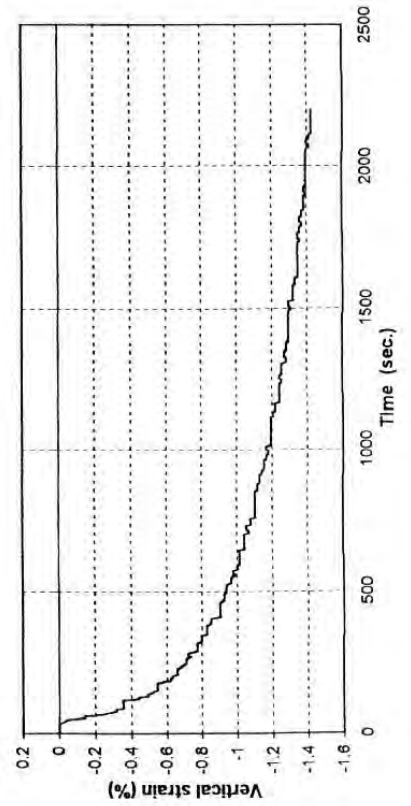
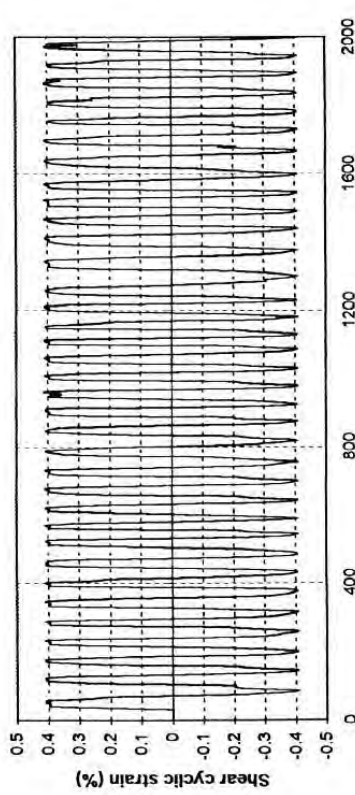
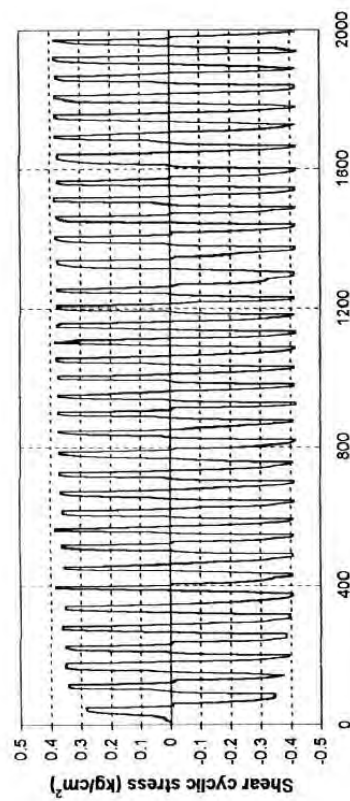
Shear cyclic strain +/- 12 units



### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

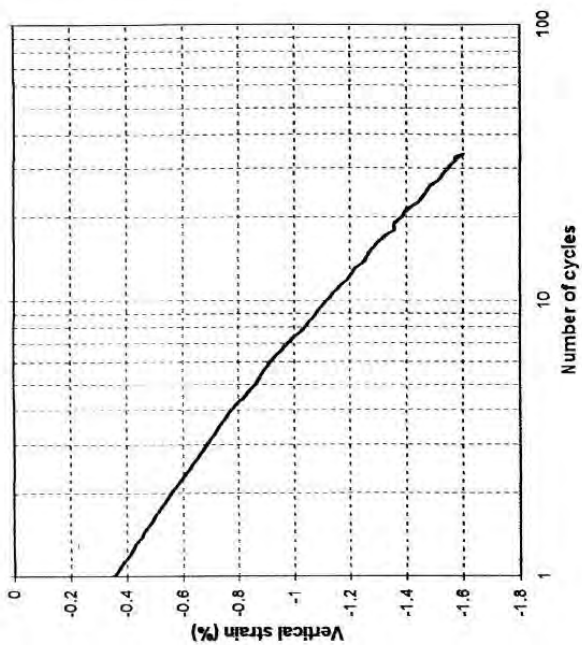
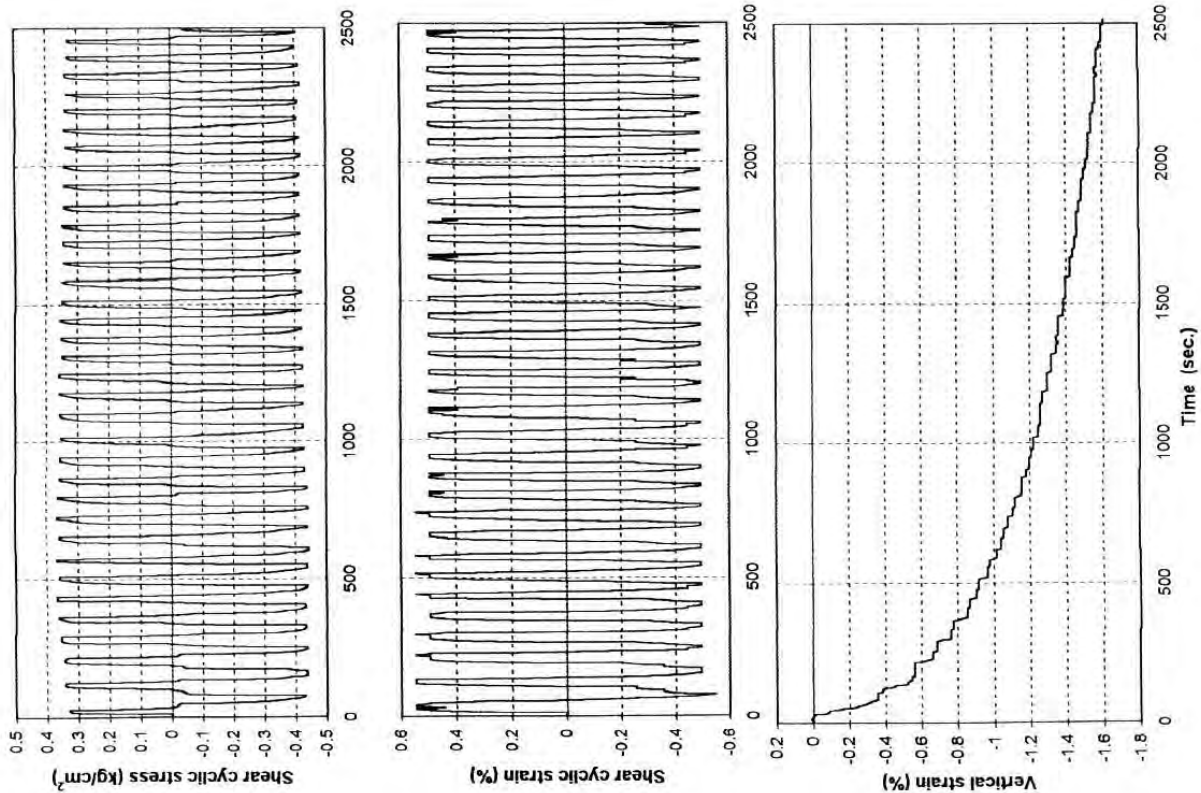
Test No	M-6
Date:	05-08-2002
Soil	Sand B
Initial dry density	14.0 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	160 (kN/m <sup>2</sup> )
$e_v$	1.23 (%)
$\gamma_d$	14.2 (kN/m <sup>3</sup> )
$e$	
Test: $\gamma_{exp}$	0.25 (%)
$T_{exp}$	0.38 (kg/cm <sup>2</sup> )
$N_f$	35
$\epsilon_{v+1}$	1.23 (%)

Shear cyclic strain +/- 20 units



### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

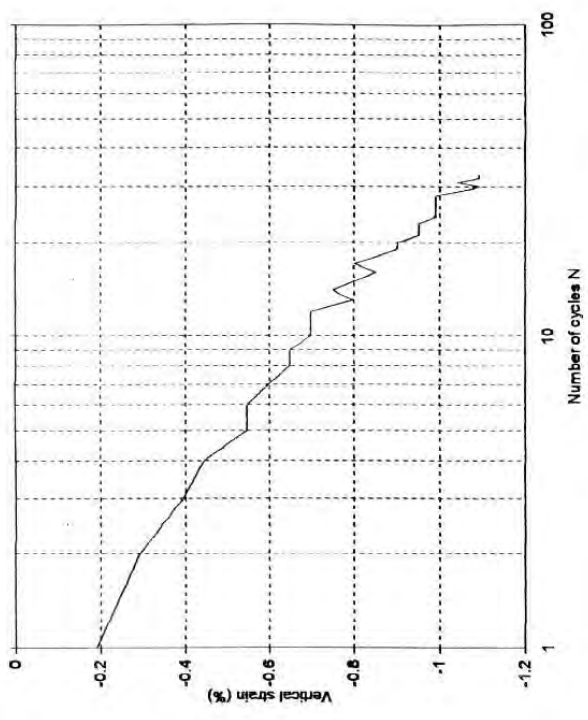
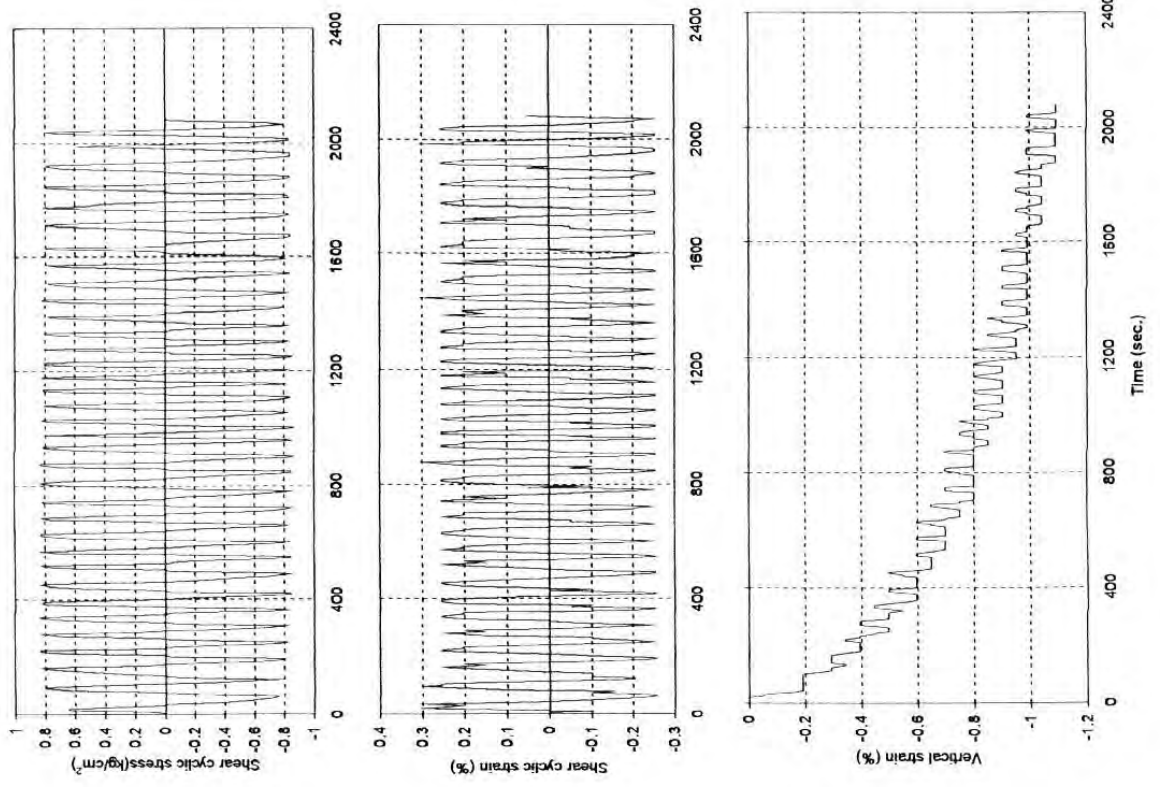
Test No	M-7
Date:	06-08-2002
Soil	Sand B
Initial dry density	14.0 (kN/m³)
Consolidation: $\sigma_v$	150 (kN/m²)
$\epsilon_v$	1.42 (%)
$\gamma_d$	14.2 (kN/m²)
$e$	
Test: $\gamma_{cyc}$	0.41 (%)
$\tau_{cyc}$	0.38 (kg/cm²)
$N_f$	35
$\epsilon_{v+d}$	1.42 (%)
Shear cyclic strain +/- 32 units	



# **CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME**

Test No	M-8
Date:	07-08-2002
Soil	Sand B
Initial dry density	14.0 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	150 (kN/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_r$	1.61 (%)
$\gamma_d$	14.2 (kN/m <sup>3</sup> )
$e$	
Test: $V_{cyc}$	0.51 (%)
$T_{cyc}$	0.39 (kg/cm <sup>2</sup> )
$N_f$	35
$\epsilon_{v,d}$	1.61 (%)

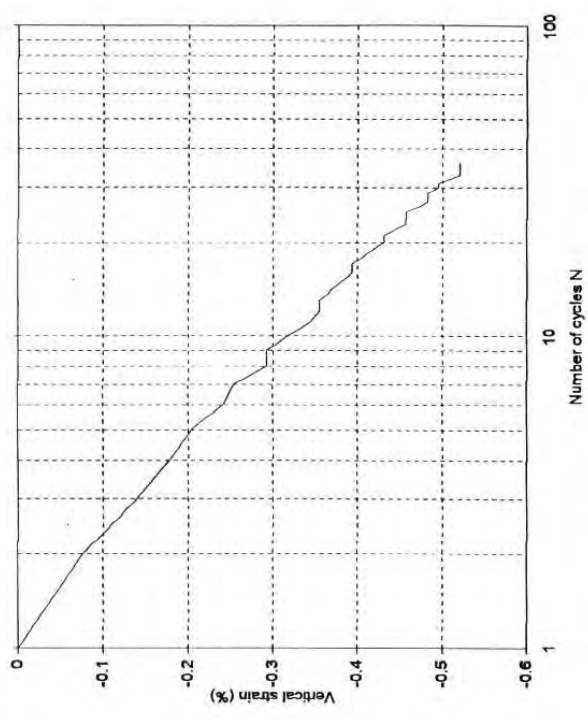
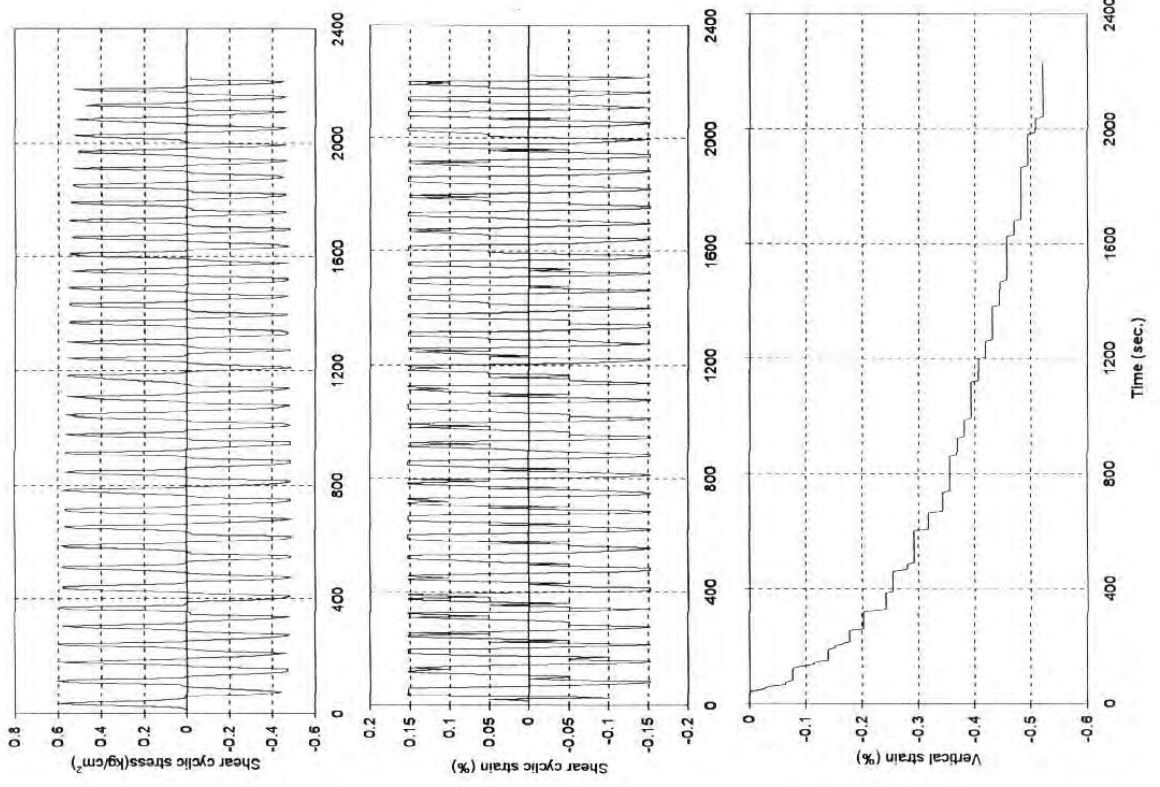
Shear cyclic strain +/- 40 units



### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-9	
Date:	25/9/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	15.5 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation, $\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )	
$\epsilon_v$	4.20 (%)	
$V_d$	16.2 (kN/m <sup>3</sup> )	
$e$		
Test:	$V_{exp}$	0.25 (%)
	$\tau_{cyc}$	83 (kN/m <sup>2</sup> )
	$N_f$	35
	$\epsilon_{v-f}$	1.09 (%)

Shear cyclic strain +/- 20 units

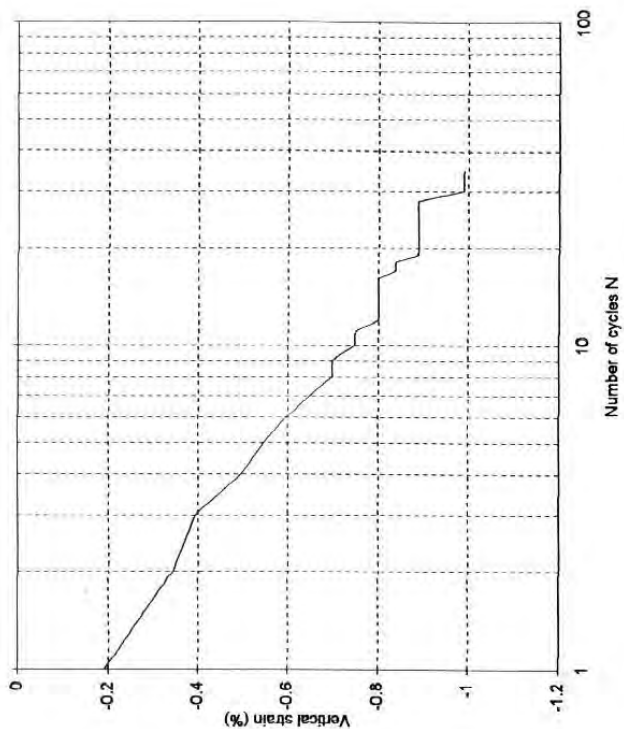
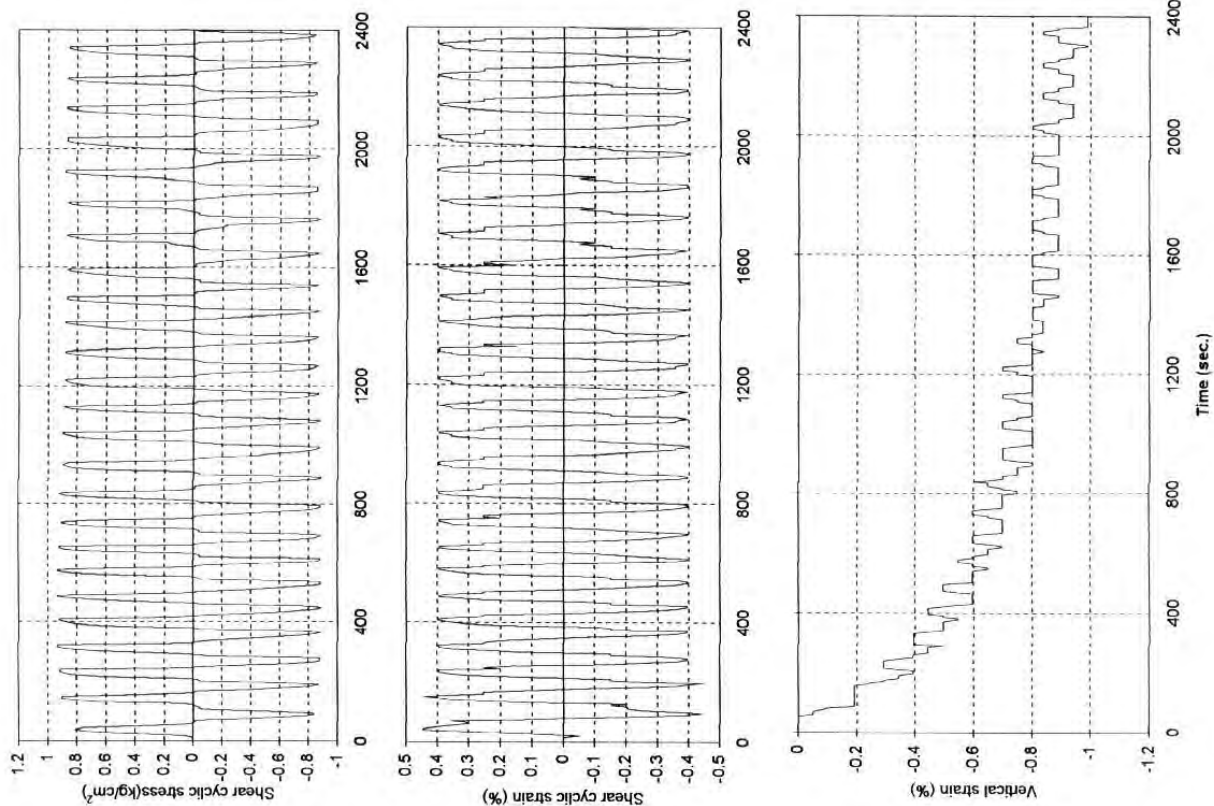


### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-10	
Date:	25/9/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	15.5	(kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	300	(kN/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_v$	6.83	(%)
$\gamma_d$	16.6	(kN/m <sup>2</sup> )
$e$		
Test: $V_{exp}$	0.15	(%)
$T_{exp}$	52	(kN/m <sup>2</sup> )
$N_f$	35	
$\epsilon_{v-d}$	5.27	(%)

Shear cyclic strain +/- 12 units

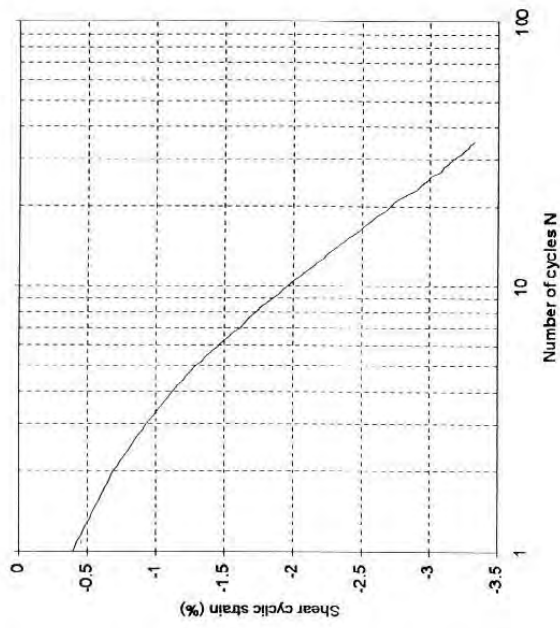
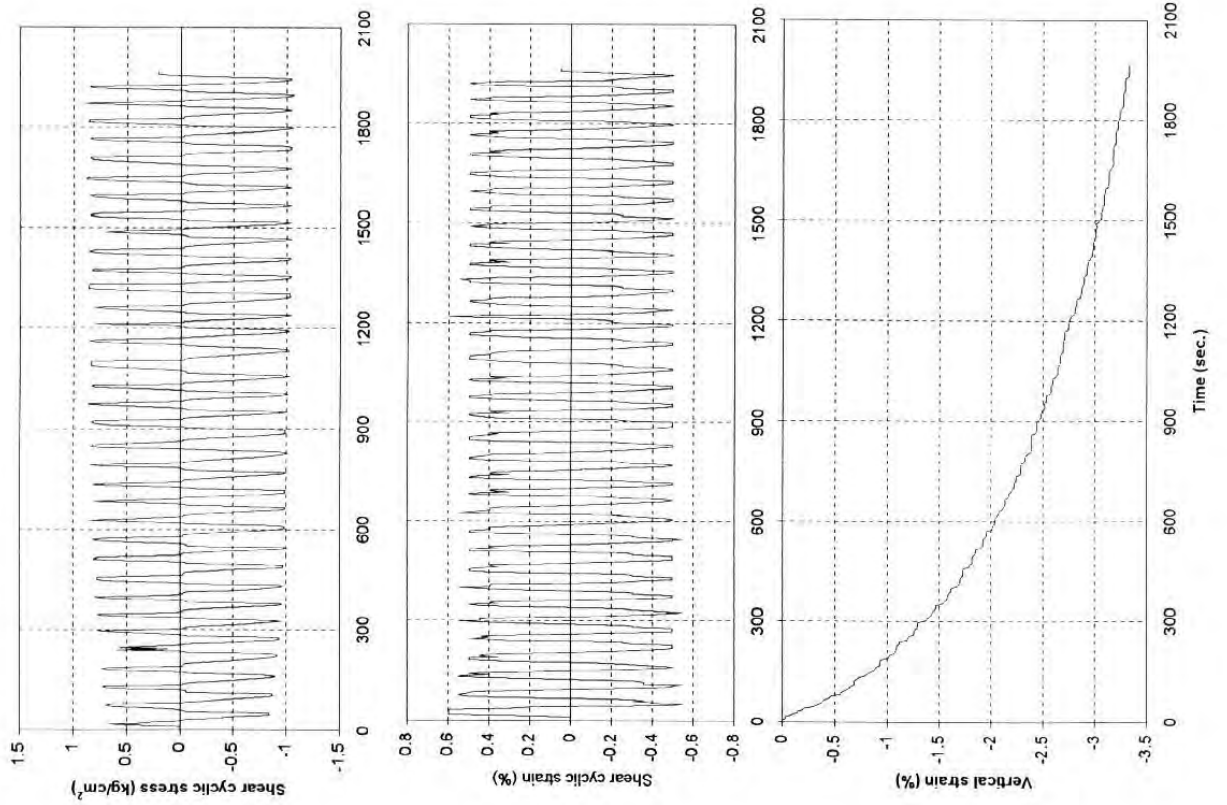




## CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-11	
Date:	26/9/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	$\sigma_v$	15.5 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation:	$\sigma_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )
	$\epsilon_v$	5.91 (%)
	$V_c$	16.5 (kN/m <sup>3</sup> )
	$e$	
Test:	$V_{cyc}$	0.41 (%)
	$\tau_{cyc}$	87 (kN/m <sup>2</sup> )
	$N_f$	35
	$\epsilon_{v,d}$	0.99 (%)

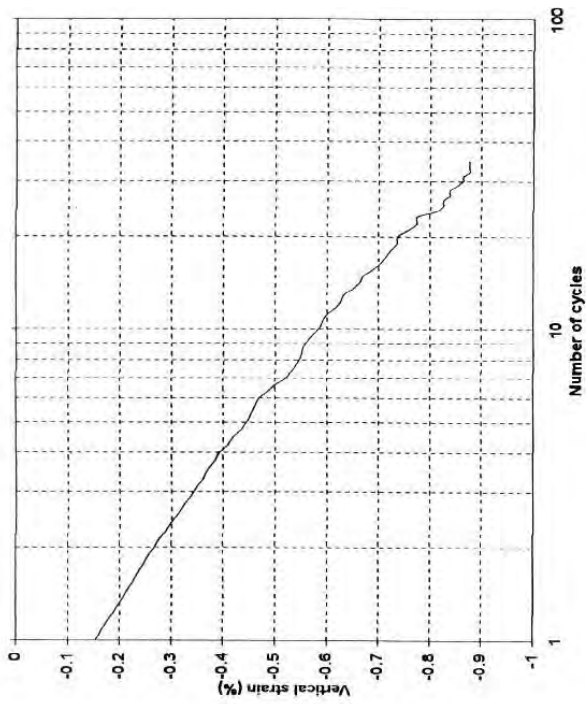
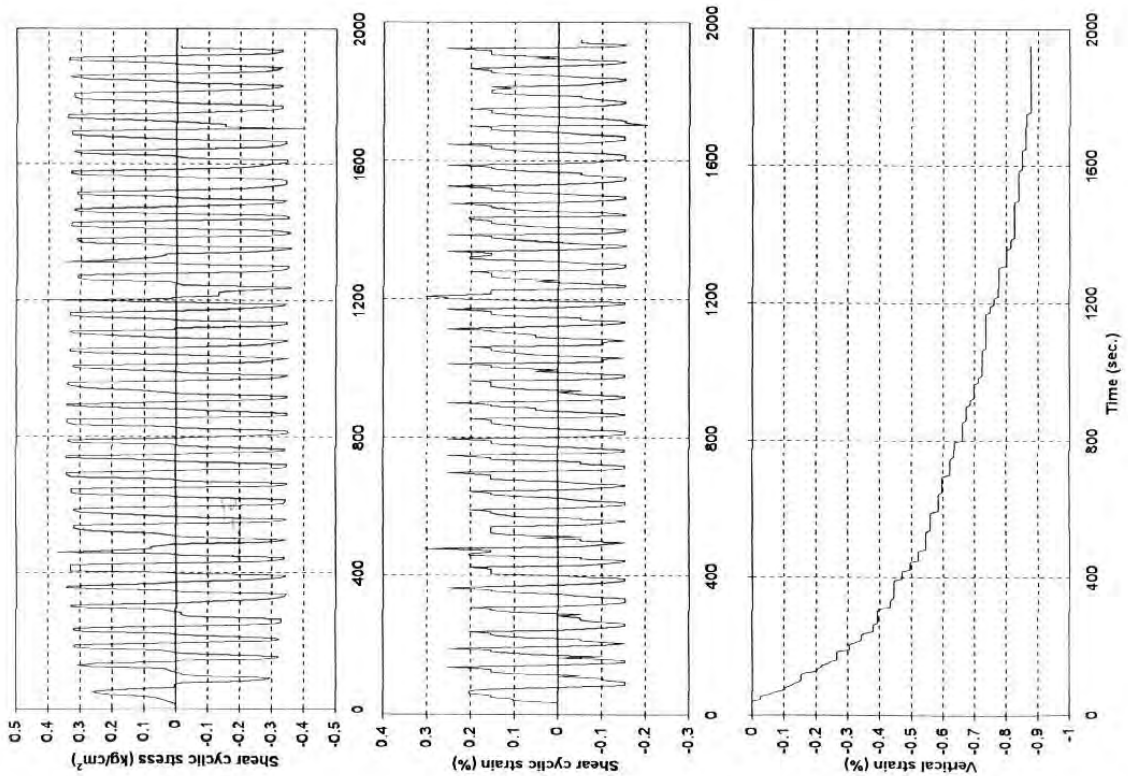
Shear cyclic strain +/- 32 units



## CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-12	
Date:	27/9/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	$\sigma_v$	15.5 (kN/m <sup>2</sup> )
Consolidation:	$\epsilon_v$	300 (kN/m <sup>2</sup> )
	$\gamma_d$	2.79 (%)
	$e$	15.9 (kN/m <sup>2</sup> )
	$\gamma_{cyc}$	0.51 (%)
	$\tau_{cyc}$	0.82 (kg/cm <sup>2</sup> )
	$N_f$	35
Shear cyclic strain $\pm$ 40 units	$\epsilon_{v,f}$	3.32 (%)

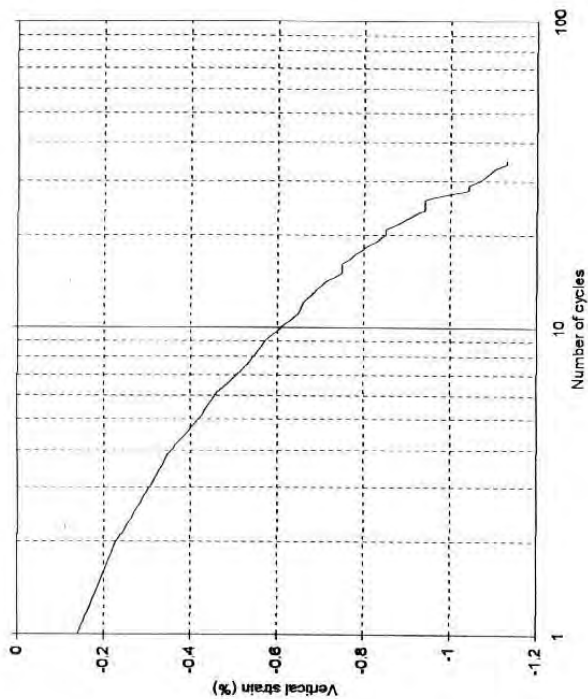
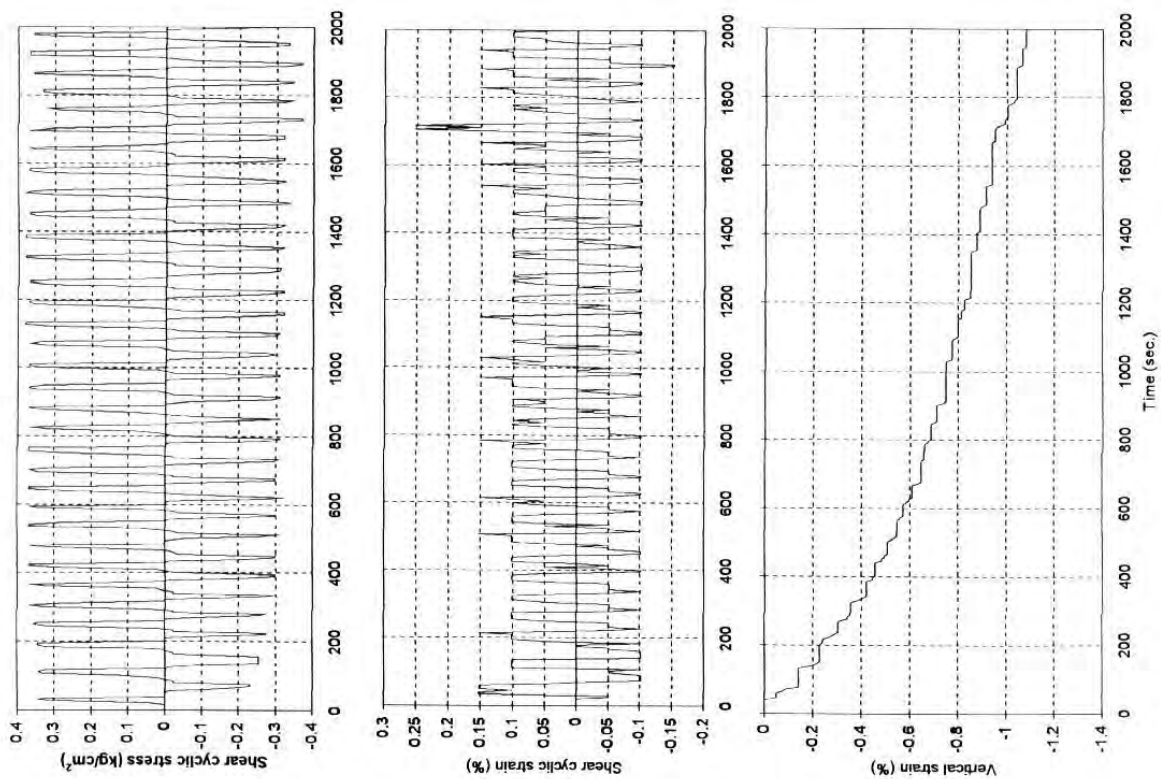




### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-13	
Date:	29/8/2002	
Soil	Sand B	
Initial dry density	14.0 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation: $\sigma_v$	150 (kN/m <sup>2</sup> )	
$e_v$	10.60	(%)
$\gamma_d$	17.6	(kN/m <sup>2</sup> )
$e$	0.746	
Test: $\gamma_{exp}$	0.15	(%)
$T_{exp}$	35	(kN/m <sup>2</sup> )
$N_f$	35	
$\epsilon_{v-f}$	0.72	(%)

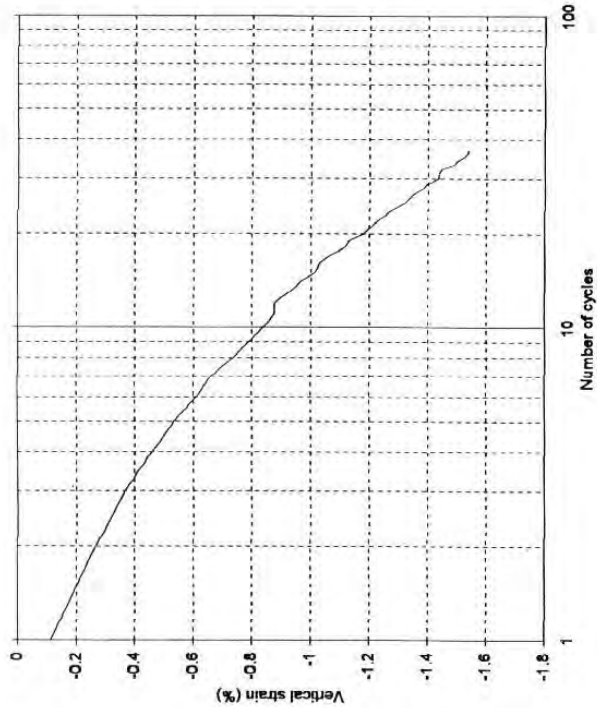
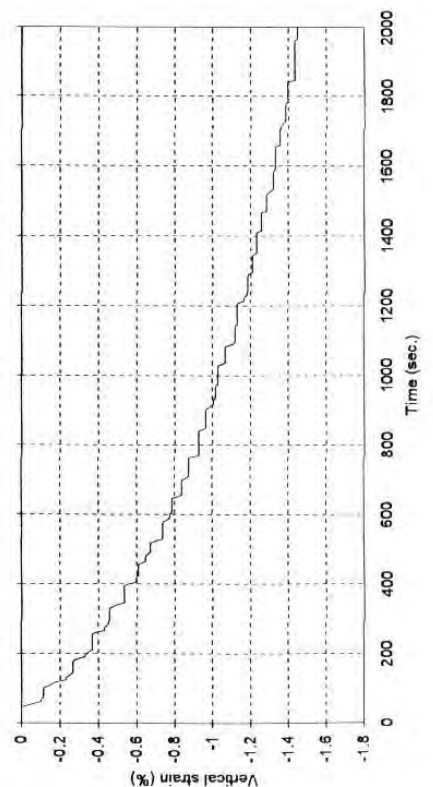
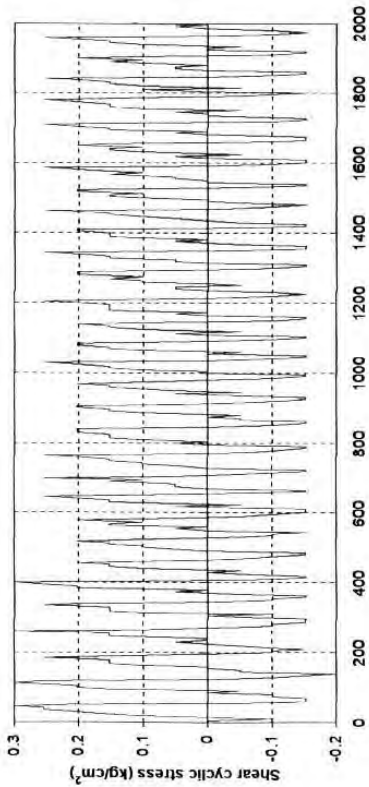
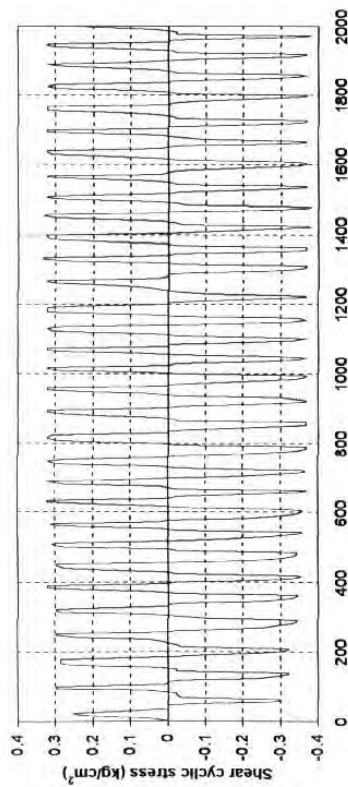
Shear cyclic strain  $\pm 12$  units



### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-14
Date:	3/12/2002
Soil	Sand b
Initial dry density	14.0 (kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	150 (kN/m <sup>2</sup> )
$e_v$	8.38 (%)
$V_d$	15.0 (kN/m <sup>3</sup> )
$e$	
Test: $\gamma_{cyc}$	0.10 (%)
$T_{cyc}$	33 (kN/m <sup>2</sup> )
$N_f$	35
$\epsilon_{vd}$	1.09 (%)

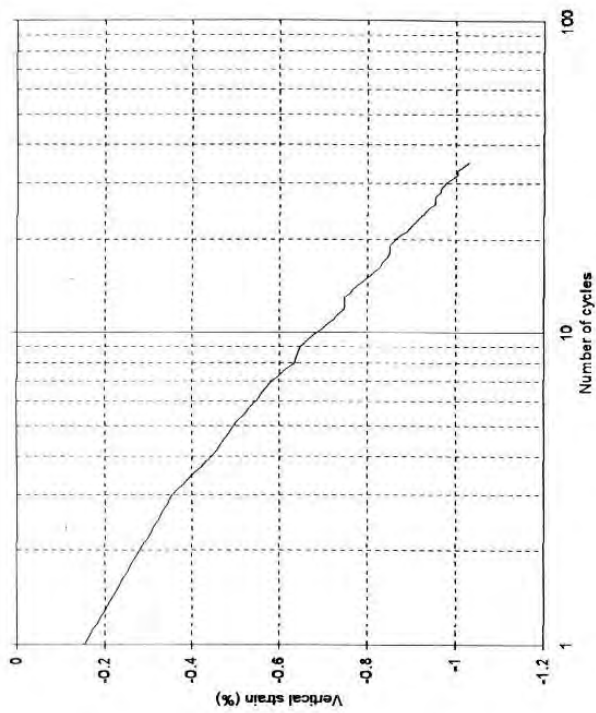
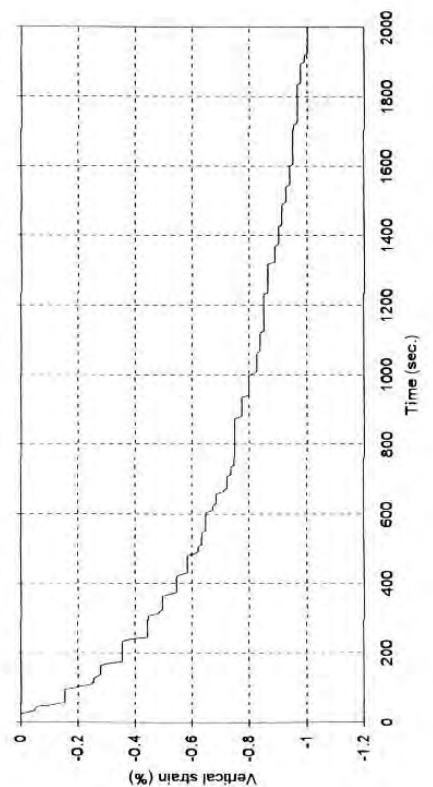
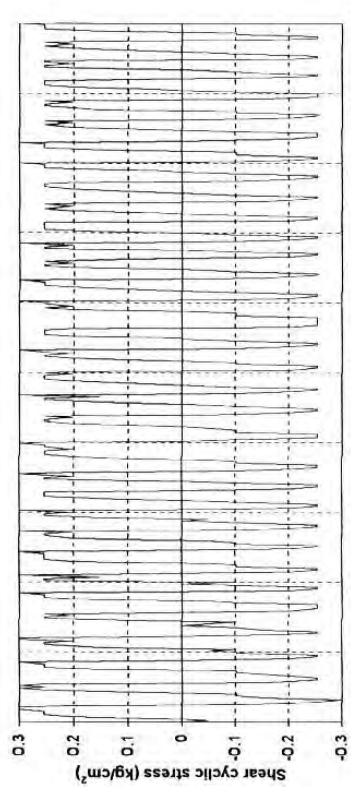
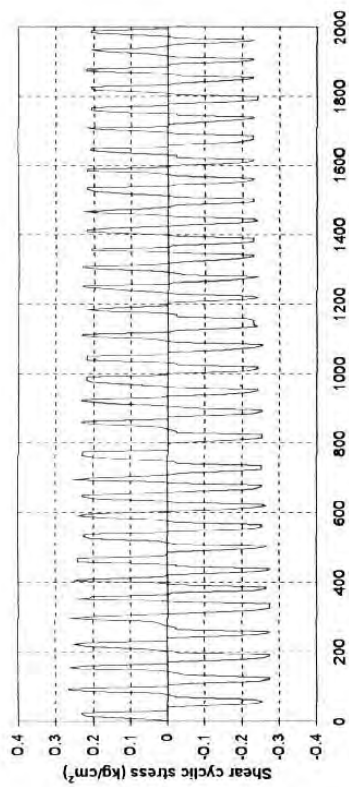
Shear cyclic strain +/- 8 units



### CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-15			
Date:	4/12/2002			
Soil	Sand b			
Initial dry density			14.0 (kN/m <sup>3</sup> )	
Consolidation: $\sigma_v$			150 (kN/m <sup>2</sup> )	
$\epsilon_v$			4.60 (%)	
$V_d$			14.7 (kN/m <sup>3</sup> )	
$e$				
Test: $V_{eyr}$			0.15 (%)	
$T_{eyr}$			34 (kN/m <sup>2</sup> )	
$N_f$			36	
$\epsilon_{v-d}$			1.45 (%)	

Shear cyclic strain +/- 12 units



# CYCLIC SHEAR TEST WITH CHANGE IN VOLUME

Test No	M-16	
Date:	5/12/2002	
Soil	Sand b	
Initial dry density	14.0	(kN/m <sup>3</sup> )
Consolidation: $\sigma_v$	150	(kN/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_v$	6.07	(%)
$\gamma_d$	14.9	(kN/m <sup>2</sup> )
$e$		
Test: $\gamma_{exp}$ :	0.25	(%)
$\gamma_{exp}$ :	24	(kN/m <sup>2</sup> )
$N_f$	35	
$\epsilon_{v-f}$	1.00	(%)

Shear cyclic strain +/- 20 units