

การให้ความหมายและความเหมาะสมของวิธีการวัดแรง เดือนในสนามแบบ

อัน เครื่องสำหรับ ใช้กับดินอ่อนในกรุง เทพ



นายธีรพล ไควราชิราษฎร์

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

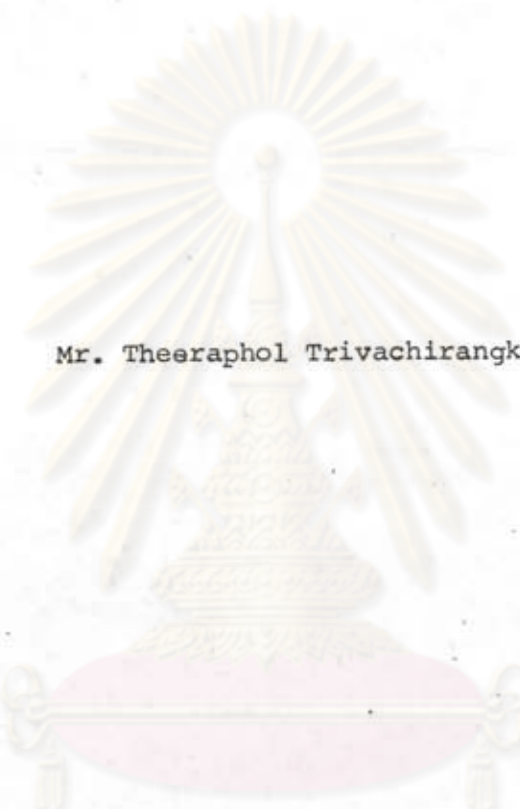
พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-459-4

010509

I 16841 509

SOME INTERPRETATIONS OF AVAILABLE INSITU UNDRAINED SHEAR STRENGTH
MEASUREMENT AND THEIR SUITABLE USES IN BANGKOK SUBSOIL CONDITIONS



Mr. Theeraphol Trivachirangkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering
Graduate School

Chulalongkorn University

1983

Thesis Title : SOME INTERPRETATIONS OF AVAILABLE INSITU UNDRAINED
SHEAR STRENGTH MEASUREMENT AND THEIR SUITABLE USES
IN BANGKOK SUBSOIL CONDITIONS

By : Mr. Theeraphol Trivachirangkul

Department : Civil Engineering

Thesis Advisor : Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Sc.D.



Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in
partial fulfillment of the requirements for the master's degree.

S. Bunnag

..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Supradit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

V. Tengamnuay

..... Chairman

(Associate Professor Vichien Tengamnuay)

Prachit Chiruppapa

..... Member

(Associate Professor Prachit Chiruppapa)

Surachat Sambhandharaksa

..... Member

(Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Sc.D.)

Suraphol Chivalak

..... Member

(Assistant Professor Suraphol Chivalak, Ph.D.)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การให้ความหมายและความเหมาะสมของวิธีการวัดแรงเฉือนในสนาม แบบอันไครนสำหรับใช้กับชั้นดินอ่อนในกรุงเทพฯ
ชื่อผู้ผลิต	นายธีรพล ไตรวิชิตราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธ์อารักษ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2525



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้พยายามที่จะให้ความหมายความเข้าใจและความเหมาะสมของวิธีการวัดแรงเฉือนในสนามแบบอันไครนและในห้องทดลองที่เอามาใช้ในภาคปฏิบัติให้มากที่สุดโดยในการวิจัยได้ทดสอบแรงเฉือนของดินในสนามโดยใช้เครื่องมือเวนบอเอร์และคัทซ์โคนและเอาผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าแรงเฉือนแบบอันไครนที่วัดโดยวิธีการทดสอบแรงเฉือนแบบ direct shear ทั้งการทดสอบแบบในรูปแบบ consolidated quick และ quick, การทดสอบแรงเฉือนแบบ anisotropically consolidated undrained triaxial compression และการทดสอบแรงเฉือนแบบ unconfined compression

การทดสอบทำกับดินอ่อนในกรุงเทพฯ ที่บริเวณสะพานพุทธและเทเวศร์ คุณสมบัติของดินทั้ง 2 แห่ง ดังนี้

Water content	32.20 - 78.92 %
Plastic limit	24.90 - 32.20 %
Liquid limit	38.20 - 79.20 %

จากการทดสอบในห้องทดลองที่เราสามารถ interpret data ได้เมื่อเอาผลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ในสนาม จึงทำให้พอที่จะเกิดความเข้าใจในค่าที่วัดได้จากการทดสอบในสนาม

จากความต้องการในการศึกษาที่ผู้เขียนจึงได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลของค่าแรงเฉือนแบบอันไครนของดินอ่อนในกรุงเทพฯ ได้ดังนี้

1. ในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนโดยวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วกับค่า q_c และ f_s ของคัทซ์โคน ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

สำหรับ เวนบอเรอร์

$q_c = 19.5 S_{uv}$	$r^2 = 0.92$
$f_s = 1.20 S_{uv}$	$r^2 = 0.87$
$q_c = 21 \mu S_{uv}$	$r^2 = 0.90$
$f_s = 1.30 \mu S_{uv}$	$r^2 = 0.89$

S_{uv} = แรงเฉือนจาก เวนบอเรอร์
 μ = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Bjerrum

สำหรับวิธีการทดสอบแรงเฉือนแบบ direct shear

$q_c = 18.5 S_{u(CD)}$
$f_s = 1.15 S_{u(CD)}$
$q_c = 19.0 S_{u(UD)}$
$f_s = 1.20 S_{u(UD)}$

$S_{u(CD)}$ = แรงเฉือนจากการทดสอบ consolidated quick direct shear,
 $S_{u(UD)}$ = แรงเฉือนจากการทดสอบ unconsolidated quick direct shear

สำหรับค่าแรงเฉือนจากการทดสอบ anisotropically consolidated undrained triaxial compression

$q_c = 19.0 S_{u(TXL)}$
$f_s = 1.20 S_{u(TXL)}$

ในการทดสอบด้วย เครื่องมือคัทซ์โคน ผู้เขียนได้วิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์แรงฝืดเพื่อใช้ในการประมาณค่ากำลังต้านทานของ เสา เข็ม เนื่องจากแรงฝืดด้วย

2. ในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน โดยวิธีต่าง ๆ กับ เวน ในสนาม ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

สำหรับวิธีทดสอบแรงเฉือนแบบ direct shear

$$\mu S_{uv} = 0.85 S_{u(CD)}$$

$$\mu S_{uv} = 0.90 S_{u(CD)}$$

สำหรับการทดสอบแบบ anisotropically consolidated undrained triaxial compression

$$\mu S_{uv} = 0.90 S_{u(TXL)}$$

สำหรับการทดสอบแบบ unconfined compression

$$\mu S_{uv} = 1.6 S_{u(UC)}$$

ได้รับค่า เวน ในสนามให้ใกล้เคียงความเป็นจริงโดยผลใช้ค่าสัมประสิทธิ์ μ ของนาย Bjerrum มีค่าประมาณ 0.81-1.03

3. ค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนที่วัดได้แต่ละวิธีมีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดรองลงมาตามลำดับคือ การทดสอบแรงเฉือนแบบ consolidated quick direct shear, การทดสอบแบบ anisotropically consolidated undrained triaxial compression โดยจำลองค่าความเค้นใกล้เคียงกับในสนาม, การทดสอบ quick direct shear การทดสอบ เวนในสนามและการทดสอบแบบ unconfined compression

4. ค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนที่วัดได้จากเวนในสนามโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ μ ปรับเป็นค่าแรงเฉือนเฉลี่ยของ circular arc failure และเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงของดินคันทาง ส่วนค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนที่ได้จากคัทซ์โคนจะให้ค่าสูงและไม่สามารถ interpret เป็นค่าแรงเฉือนสำหรับ circular arc analyses เมื่อใช้ค่า N_c ความทฤษฎีที่เสนอโดยนาย Baligh (1975) ทฤษฎีจะให้ค่าแรงเฉือนที่สูงเกินไปอย่างไรก็ตามค่า q_c และ f_s จากการทดสอบเครื่องมือคัทซ์โคนเหมาะสมสำหรับการประมาณค่ากำลังต้านทานของเสาเข็มเพราะ mode of failure ของเสาเข็มเหมือนกับคัทซ์โคนและถ้าใช้ค่า N_c

ที่ได้จากการเปรียบเทียบกับแรงเฉือนที่วัดมาเช่น เวน ในสนาม ค่าแรงเฉือนที่ได้มาจาก q_c และ N_c ก็สามารถจะเอามาใช้ใน stability analyses ได้ แต่ใช้ไม่ได้โดยตรงเพราะต้องหา correlation เสียก่อน

5. การทดสอบแบบ direct shear ให้ค่าแรงเฉือนสูงกว่าที่คาดคิดไว้มาก สาเหตุใหญ่ๆเชื่อว่าเป็น เพราะดินถูกบีบ แอน้ำออกระหว่างที่ทำการทดสอบ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title : SOME INTERPRETATIONS OF AVAILABLE INSITU UNDRAINED
SHEAR STRENGTH MEASUREMENT AND THEIR SUITABLE USES
IN BANGKOK SUBSOIL CONDITIONS

Name : Mr. Theeraphol Trivachirangkul

Thesis Advisor : Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Sc.D.

Department : Civil Engineering

Academic Year : 1982



ABSTRACT

This research concerns with the interpretation and suitability of the undrained shear strength measured from the field vane test and Dutch cone test. The interpretation is derived from the comparison of strengths with those from reliable laboratory tests where interpretation can be made, eg. those from consolidated quick direct shear tests, quick direct shear tests, anisotropically consolidated undrained triaxial compression tests, and unconfined compression tests. The soft Bangkok Clay at Memorial Bridge and Teves sites are used for this study. Soil index properties are within the following range,

Water content	32.2 - 78.92 %
Plastic limit	24.90 - 32.20 %
Liquid limit	38.20 - 79.20 %

The field test results can be interpreted using the only reliable tests in laboratory where results can be interpreted as a basis.

Results from this research are as follows.

1. The undrained shear strength from the above mentioned tests are correlate with the cone resistance and local friction of the Dutch cone test. It yields the following expressions.

a) For correlation with field vane tests.

$$q_c = 19.5 S_{uv}$$

$$f_s = 1.20 S_{uv}$$

$$q_c = 21 \mu S_{uv}$$

$$f_s = 1.30 \mu S_{uv}$$

S_{uv} = Field vane shear strength

μ = Bjerrum's correction factor

b) For correlation with consolidated quick and quick direct shear test.

$$q_c = 18.5 S_{u(CD)}$$

$$f_s = 1.15 S_{u(CD)}$$

$$q_c = 19.0 S_{u(UD)}$$

$$f_s = 1.20 S_{u(UD)}$$

$S_{u(CD)}$ = consolidated quick direct shear strength

$S_{u(UD)}$ = unconsolidated quick direct shear strength

c) For correlation with anisotropically consolidated undrained triaxial compression tests

$$q_c = 19.0 S_{u(TXL)}$$

$$f_s = 1.20 S_{u(TXL)}$$

The friction factor is also determine from the Dutch cone test, so that ultimate skin friction of the pile can be predicted.

2. The undrained shear strength from other test are correlate

with the corrected field vane strength. It yields the following expressions.

For direct shear test.

$$\mu S_{uv} = 0.85 S_{u(CD)}$$

$$\mu S_{uv} = 0.90 S_{u(UD)}$$

For anisotropically consolidated undrained triaxial compression test.

$$\mu S_{uv} = 0.90 S_{u(TXL)}$$

For unconfined compression test,

$$\mu S_{uv} = 1.6 S_{u(UC)}$$

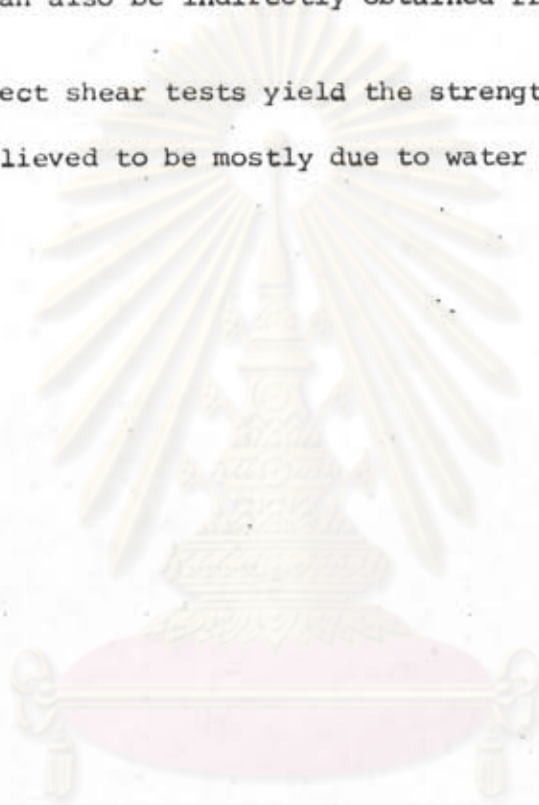
The correction factor (μ) for field vane test recommended by Bjerrum (1972) are used in this analyses. μ values range between 0.81 to 1.03

3. The undrained shear strength from each measurement is in the following order from highest to lowest value, consolidated quick direct shear test, triaxial compression test, quick direct shear test, field vane test and unconfined compression test.

4. The corrected field vane strength can be interpreted as the average strength of circular arc failure and it is suitable for stability analyses. The strength from Dutch cone test is too high and not be interpret as the strength of circular arc analyses using N_c value base on theory proposed by Baligh (1975). This theory will yield the value of undrained shear strength with is too high for

stability analyses. However the cone resistance and local friction from Dutch cone test are more suitable to estimate the resistance of pile because the mode of failure in pile and Dutch cone test is similar. Upon using N_c from empirical correlation such as those presented in this research, the undrained shear strength for stability analyses can also be indirectly obtained from q_c .

5. Direct shear tests yield the strength which is unpredictable high. It is believed to be mostly due to water is allowed to drain during testing.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ACKNOWLEDGEMENTS

The author is deeply grateful to Assistant Professor Dr. Surachat Sambhandharaksa, the advisor, for his suggestions, criticism and comments, and even more for his continual encouragement during the year the study was carried out. Wholehearted appreciation is due to Associate Professor Vichien Tengamnuay, Associate Professor Prachit Chiruppapa and Assistant Professor Dr. Suraphol Chivalak for serving as members of the thesis committee.

Special acknowledgement is given to Soil Testing Siam Engineering Consultants Co., Ltd., Krungthep Engineering Consultants Co.; Ltd. and Mr. Phaisit Verojanavat for the use of data developed and published by their staff.

The author is especially indebted to the Graduate School of Chulalongkorn University for a research grant to conduct the study.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Contents

CHAPTER	PAGE
Title page in Thai	i
Title page in English	ii
Thesis approval	iii
Abstract in Thai	iv
Abstract in English	viii
Acknowledgements	xii
Contents	xiii
List of tables	xvi
List of figures	xvii
List of symbols	xx
I. INTRODUCTION	
1.1 The necessity for measuring the reliable undrained shear strength	1
1.2 Purpose of the research	1
1.3 Scope of the research	2
1.4 Application of this research	4
II. LITERATURE REVIEW	
2.1 Definition of Undrained Shear Strength	5
2.1.1 General Failure Criteria	5
2.1.2 Undrained Shear Strength and the $\phi = 0$ concept	6
2.2 Measurements of Undrained Shear Strengths	7
2.2.1 The Direct Shear Test	9
2.2.2 The vane Shear Test	11
2.2.3 The Dutch Cone Test	17

CHAPTER	PAGE
III. EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND COLLECTION OF DATA	
3.1 Description of site	26
3.2 Experimental Investigation and Collection of Data ...	26
3.2.1 Memorial Bridge site	26
3.2.2 Teves site	27
3.3 Description of Procedure	28
3.3.1 Field Vane Test	28
3.3.2 Dutch Cone Tests	29
3.3.3 Laboratory Tests	30
IV. RESULTS AND DISCUSSIONS	
4.1 Basic Properties of Soil	33
4.1.1 At Memorial Bridge	33
4.1.2 At Teves	33
4.1.3 Comparison of Basic Properties at Memorial Bridge and Teves including in situ Pore Pressure Distribution	35
4.2 Shear Strength of the Clay Samples	36
4.2.1 Field Vane Shear Test	36
4.2.2 The Dutch Cone Test	38
4.3 Soft Clay Shear Strengths from Laboratory Tests	40
4.3.1 Shear Strength of Soil from Direct Shear Test ..	40
4.3.2 Triaxial and Unconfined Compression Tests	41
4.4 Comparison of Shear Strength from Laboratory and Field Tests	45
4.4.1 Comparison of Shear Strength values using the Corrected Field Vane Strengths as a basis	45
4.4.2 Correlations of Laboratory Strength Data with Results from Dutch Cone Tests	50

CHAPTER	PAGE
4.5 Interpretation of Strength Tests	51
4.6 Disadvantages of Triaxial Compression Tests, Direct Shear and Unconfined Compression Tests	55
4.7 Disadvantages of Dutch Cone and Field Vane Tests ..	56
4.8 Recommendation in using shear strength value from different tests for Bangkok clay	56
V. CONCLUSIONS	58
References	62
Appendix	118
Vita	133



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

TABLE	TITLE	PAGE
1.1	List of data involving in this thesis	3
2.1	Common methods for measuring undrained strength ...	8
2.2	Effect of the rate of strain	13
2.3	General types of cone penetration tests	17
2.4	Collection of Cone Factors for Different Clays with soil Properties	23
2.5	Some of the variables that influence N_c	24
3.1	List of data collected from different sources at Memorial Bridge	27
3.2	List of data collected from different sources at Teves	28
3.3	Detail of direct shear tests	29
3.4	Detail of consolidation tests	29
4.1	Basic properties and unit weight at Memorial Bridge ..	34
4.2	Basic properties and unit weight at Teves	34
4.3	The value of μ versus depth for each site	37
4.4	Results from unconfined compression tests and Triaxial compression test (CAU) at Memorial Bridge	43
4.5	Results from unconfined compression tests and Triaxial compression test (CAU) at Teves.	44
5.1	General properties of the soft clay at Memorial Bridge	58
5.2	General properties of the soft clay at Teves	58
A-1	Results from Direct Shear tests at Memorial Bridge ..	119
A-2	Results from Direct Shear tests at Teves	119

LIST OF FIGURE

FIGURE	TITLE	PAGE
2.1	Mohr Envelope	69
2.2	Mohr-Coulomb Envelope	69
2.3	Basic condition in direct shear test	70
2.4	Failure envelope of cohesive soil	70
2.5	"Geonor" vane borer	71
2.6	Bjerrum's (1972) vane strength correction factors and some of their empirical bases	72
2.7	Example of the effect of vane blade disturbance in sensitive clays	73
2.8	The adhesion jacket cone	74
2.9	Cone resistance and shear strength relationship	75
2.10	Mechanics of failure and details of cones	75
2.11	Method for estimating ϕ' from q_c reported in use in USSR ..	76
2.12	Relationship between cone resistance, Local friction and soil type	77
3.1	Location map of bore holes at Memorial Bridge	78
3.2	Location map of bore holes at Teves	79
3.3	Variation of Pore pressure, Total and Effective overburden pressure with depth at Memorial Bridge	80
3.4	Variation of Pore pressure, Total and Effective overburden pressure with depth at Teves	81
3.5	The direct shear apparatus	82
3.6	The consolidation apparatus	83
4.1	The OCR values versus depth at Memorial Bridge	84
4.2	The OCR values versus depth at Teves	84

FIGURE	TITLE	PAGE
4.3	Vane shear test result at Memorial Bridge	85
4.4	Vane shear test result at Teves	86
4.5	Normalized field vane and corrected field vane shear strength versus OCR	87
4.6	Dutch cone test results at Memorial Bridge	88
4.7	Dutch cone test results at Teves	89
4.8	Correlation between S_{uv} versus cone resistance	90
4.9	Correlation between corrected field vane shear strength VS. cone resistance	91
4.10	Correlation between f_s versus S_{uv}	92
4.11	Correlation between f_s versus μS_{uv}	93
4.12	Relationship between adhesion factor and field vane strength of the clay	94
4.13	Comparision between firction factor	95
4.14	Variation of OCR and Normalized with depth at Memorial Bridge	96
4.15	Variation of OCR and Normalized with depth at Teves	97
4.16	Comparison of shear strength from CAU Triaxial and Unconfined compression tests	98
4.17	Comparison of shear strength at Memorial Bridge	99
4.18	Comparison of shear strength at Teves	100
4.19	Correlation between corrected field vane shear strength versus unconfined compressive strength	101
4.20	Correlation between μS_{uv} VS. $S_{u(UD)}$ at Teves	102
4.21	Correlation between μS_{uv} VS. $S_{u(CD)}$	103
4.22	Correlation between μS_{uv} VS. $S_{u(TXL)}$	104
4.23	Normalized shear strength VS. Log OCR	105

FIGURE	TITLE	PAGE
4.24	Correlation between cone resistance VS. $S_{u(TXL)}$	106
4.25	Correlation between q_c VS $S_{u(CD)}$	107
4.26	Correlation between q_c VS. $S_{u(UD)}$	108
4.27	Correlation between f_s VS. $S_{u(CD)}$	109
4.28	Correlation between f_s VS. $S_{u(TXL)}$	110
4.29	Correlation between f_s VS. $S_{u(UD)}$	111
4.30	Comparison of undrained shear strength from S_{uv} and $S_{u(TXL)}$ at Memorial Bridge	112
4.31	Comparison of undrained shear strength from S_{uv} and $S_{u(TXL)}$ at Teves	113
4.32	Effect of the clay rigidity index, I_r , and the cone angle, 2θ on penetration resistance	114
4.33	N_c value VS. Depth	115
4.34	K_o of normally consolidated clay VS. plasticity index ...	116
4.35	Coefficient m relating K_o and OCR VS. plasticity index. ...	116
4.36	Relavance of laboratory shear tests to shear strength in the field	117
A-1	Consolidation test results at Memorial Bridge	120
A-2	Consolidation test results at Memorial Bridge	121
A-3	Consolidation test results at Memorial Bridge	122
A-4	Consolidation test results at Memorial Bridge	123
A-5	Consolidation test results at Teves	124
A-6	Consolidation test results at Teves	125
A-7	Consolidation test results at Teves	126
A-8	Normalized stress-strain relationship at Memorial Bridge ..	127
A-9	Normalized stress-strain relationship at Memorial Bridge ..	128
A-10-A-13	Normalized stress-strain relationship at Teves	129-132

LIST OF SYMBOLS



C	=	Cohesion
C_c	=	Compression index (consolidation)
CU	=	Abbred. for consolidated undrained
Cm	=	centimeter
CPT	=	cone penetration test
e_o	=	initial void ratio
E_u	=	undrained Young's modulus
E^+	=	ave. undrained Young's modulus to failure
E^-	=	ave. decreasing Young's modulus after undrained failure
f_s	=	unit friction on local friction sleeve in cone penetration test
FV	=	field vane strength
G	=	undrained shear modulus
PI	=	Atterberg plasticity index
K_o	=	coefficient of Earth pressure at rest
K'_o	=	ratio of insitu horizontal vertical effective stresses for zero horizontal strain
$K_{o(OC)}$	=	Coefficient of Earth pressure at rest for overconsolidated material
$K_{o(NC)}$	=	Coefficient of Earth pressure at rest for normally consolidate material
kg	=	Kilogram
Km	=	Kiometer
m	=	Meter
N_c	=	bearing capacity factor for cohesive contribution to bearing, used herein to convert q_c to S_u
N_q	=	bearing capacity factor to account for overburden effects
N_γ	=	bearing capacity factor
NC	=	abbrev. for normally consolidated

OC	=	abbrev. for overconsolidated
OCR	=	abbrev. for overconsolidation ratio
PMT	=	abbrev. for pressuremeter test
q_c	=	unit bearing capacity on cone in cone penetration test
Q-CPT	=	abbrev. for quasi-static cone penetration test
S_u	=	undrained shear strength
$S_{u(CD)}$	=	Consolidated quick direct shear strength
$S_{u(TXL)}$	=	anisotropically consolidated undrained triaxial compressive shear strength
$S_{u(UC)}$	=	Unconfined compressive shear strength
$S_{u(UD)}$	=	quick direct shear strength
S_{uv}	=	field vane shear strength
T	=	torque at failure in a VST
UC	=	Unconfined compression test
UU	=	abbrev. for unconsolidated-undrained
VST	=	abbrev. for vane shear test
w	=	water content
LL	=	Atterberg Liquid limit
PL	=	Atterberg Plastic limit
Z	=	depth from ground surface
γ	=	total unit weight of soil
μ	=	Correction factor to apply to S_{uv} (from Bjerrum)
ν	=	Poisson's ratio
σ_h	=	The horizontal total stress at that depth
σ_{vo}	=	Total overburden pressure
$\bar{\sigma}_{vo}$	=	Effective overburden pressure
$\bar{\sigma}_{vc}$	=	Effective consolidation pressure
ϕ'	=	effective stress angle of internal friction