ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินความเหมาะสมของวิธีการ "แซนเชฟ" ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินเหนียวอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ

นายคำรงค์ ปิ่นภูวดล

COLLEGE OF ENGINEERING
35331
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-667-8

Evaluation of SHANSEP (Soil Histories and Normalized Soil Engineering Properties) Method of Consolidation for Measuring Undrained Shear Strength of Soft Bangkok Clay

Mr. Dumrong Pinpuvadol

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเหมาะสมของวิธีการ "แซนเชพ" ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินเหนียวอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ
โดย	นายดำรงค์ ปิ่นภูวดล
ภาควิชา	วิศวกรรมไยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินความเหมาะสมของวิธีการ "แซน เชพ" ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินเหนียวอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ

ชื่อนิสิต นายดำรงค์ ปิ่นกุวดล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2526

บทคัดย่อ

วิธีการแซน เชพ |Soil Histories and Normalized Soil Engineering Properties (SHANSEP) Method of Consolidation| เป็นวิธีการใหม่ถูกค้นคิดเพื่อใช้ในการลดผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (undrained shear strength, S_u) ของดินเหนียว วิธีการ SHANSEP นี้ได้พัฒนาขึ้นมาโดยมีรากฐานที่สำคัญมาจากประวัติของหน่วยแรง (Stress History) และหลักการของ NSP (Normalized Soil Parameter Concept) จากการค้นพบว่า คุณสมบัติของดิน (เช่น S_u, E_u ฯลฯ) จะให้ค่าที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันเมื่อถูก normalized อยู่ในรูปอัตราส่วนของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนถูก load (preshear effective vertical stress, $\bar{\sigma}_{vc}$) ดังเช่นค่า $S_u/\bar{\sigma}_{vc}$, $E_u/\bar{\sigma}_{vc}$ การที่จะใช้วิธีการ SHANSEPได้ดินจึงต้องมีคุณสมบัติซึ่งถูก normalized ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนถูก load ($\bar{\sigma}_{vc}$) ได้

สมมุติฐานของวิธีการ SHANSEP ในการลดผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน ซึ่งสร้างขึ้นมาจากผลของการทดสอบของ remoulded clay คือการ reconsolidated ตัวอย่างดินให้กลายเป็น normally consolidated clay อยู่บน virgin compression line ของดินก่อนทำการทดสอบ โดยทำการ reconsolidated ตัวอย่างดินด้วยค่าหน่วยแรงประสิทธิผลมากกว่าค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ (maximum past pressure, $\bar{\sigma}_{vm}$) แล้วทำการทดสอบหรือทำการ rebound กลับมาที่ค่า overconsolidation ratio (OCR) ต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบในกรณีที่เป็น overconsolidated clay แล้วจึงทำการทดสอบด้วย mode of failure ที่ต้องการ ผลที่ได้จากการทดสอบนำมาแสดงอยู่ในรูปของ NSP เป็นฟังก์ชั่นกับค่า OCR

การ reconsolidated ไปที่หน่วยแรงประสิทธิผลมากกว่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดิน เคยได้รับตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vm}$) มีเพื่อทำให้สภาวะของหน่วยแรง (state of stress) ในดินกลับไปอยู่ใน virgin line ของ e-log $\bar{p}$ (หรือ $\bar{\sigma}_{vc}$) curve ของดินตามธรรมชาติ ดังนั้นถ้าดินมีคุณสมบัติที่ normalized ได้ ค่า NSP ที่วัดได้จึงควรเป็นคุณสมบัติตามธรรมชาติ

ค่าคุณสมบัติของดินที่ต้องการตามธรรมชาติหาได้จาก การทราบประวัติของหน่วยแรงและค่าของ NSP ที่ได้

วิธีการ SHANSEP นี้มิได้เคยมีการศึกษาในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยวิธีการ SHANSEP กับ Recompression (ซึ่งทำการทดสอบโดยการ reconsolidatedตัวอย่างดินกลับไปอยู่ที่สภาวะหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติก่อนทำการทดสอบ) ว่าให้ผลที่ใกล้เคียงหรือแตกต่างกันอย่างไร เพื่อดูว่าวิธีการ SHANSEP จะให้ผลการทดลองที่ดีหรือไม่

2. ศึกษาดูว่าเมื่อตัวอย่างดินถูกรบกวน ผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินจะเป็นอย่างไร เพื่อช่วยพิจารณาว่าวิธีการ SHANSEP มีประโยชน์อย่างไร และมีความเหมาะสมหรือไม่ เพื่อใช้ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ

การทดลองศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากับตัวอย่างดินซึ่งถูกเก็บมาจากบริเวณสถานที่ก่อสร้างคลองส่งน้ำบางหลวง โครงการขยายการประปาของการประปานครหลวง ที่แถวบริเวณรังสิต อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ไปทางทิศเหนือประมาณ 42 กิโลเมตร ตัวอย่างดินถูกเก็บขึ้นมาจากดินในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ความลึกประมาณ 5.0 เมตรจากผิวดินเดิม ตัวอย่างดินถูกเก็บขึ้นมา 2 แบบ คือ

1. ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด ถูกเก็บขึ้นมาแบบ block sample

2. ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน ถูกเก็บขึ้นมาแบบกระบอก (tube sample) โดยใช้กระบอกบาง (thin wall tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วและยาว 30 นิ้ว ตัวอย่างดินแบบกระบอกนี้ได้ถูกนำมากระแทกในห้องทดลองอีก เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างถูกรบกวน

ตัวอย่างดิน เหนียวอ่อนกรุง เทพฯ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ มีคุณสมบัติขั้นพื้นฐานต่าง ๆ ดังนี้

ค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ	=	52-60 %
Liquid Limit (w_ℓ)	=	64±1 %
Plastic Limit (w_p)	=	27±1 %
Plasticity Index (I_p)	=	37±1 %
Liquidity Index	=	0.8±0.1
Specific Gravity (G_s)	=	2.80±0.01
Total Unit Weight (γ_t)	=	1.67±0.03 ตัน/ม^3
% clay < 0.005 มม.	=	70-75 %
Sensitivity	=	2-4

ลักษณะ เป็นดิน เหนียวอ่อนสี เทาปนดำ

หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vo}$)	=	0.45 กก/ซม^2
หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดิน เคยได้รับ ($\bar{\sigma}_{vm}$)	=	0.90 กก/ซม^2
in situ OCR	=	2.0

วิธีการทดลองที่ใช้ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดิน เหนียวอ่อนกรุง เทพฯ นี้ ใช้วิธีการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอปปิกด้วย เครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรน พร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (anisotropically consolidated undrained triaxial compression test with pore pressure measurement, $\overline{CAUC}$) โดยใช้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (coefficient of earth pressure at rest, K_o) อัตราความ เครียด ($\dot{\varepsilon}$) ที่ใช้ในการทำให้ เกิดการพิบัติ เท่ากับ 1% ต่อชั่วโมง วิธีการทดสอบแบ่งออก เป็น 2 วิธีตามวิธีการที่ใช้ในการ consolidated ตัวอย่างดิน คือ

1. วิธีการแบบ Recompression โดยทำการ reconsolidated ตัวอย่างดินให้มีสภาวะหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนถูก load ($\bar{\sigma}_{vc}$) เท่ากับที่มีอยู่ตามธรรมชาติหรือน้อยกว่าค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดิน เคยได้รับ ($\bar{\sigma}_{vm}$) แล้วแต่ค่า OCR ที่ต้องการทำการทดสอบ (ในการศึกษาวิจัยนี้ ทำการทดสอบตัวอย่างดินที่ค่า OCR = 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0) แล้วจึง

ทำการทดสอบให้ตัวอย่างดินพิบัติ (shear) แบบ compression การทดสอบได้กระทำกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดและที่ถูกรบกวนบ้าง เพื่อดูว่าค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในสภาวะที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติมีค่าเป็นอย่างไร และเมื่อตัวอย่างดินถูกรบกวนผลจะเป็นอย่างไร

2. วิธีการแบบ SHANSEP โดยทำการ consolidated ตัวอย่างดินด้วยสภาวะหน่วยแรงประสิทธิผลมากกว่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับ ($\bar{\sigma}_{vm}$) ประมาณ 2 ถึง 3 เท่า เพื่อทำให้ตัวอย่างดินกลายเป็น normally consolidated clay เสียก่อน แล้วจึงทำการทดสอบให้เกิดการพิบัติแบบ compression เมื่อดินเป็น normally consolidated clay หรือทำการ rebound กลับมาที่ค่า OCR ต่าง ๆ ที่ต้องการทำการทดสอบเสียก่อน แล้วจึงทำให้เกิดการพิบัติ การทดสอบกระทำที่ OCR เท่ากับการทดสอบแบบ Recompression ผลของการทดสอบของตัวอย่างดินแบบ SHANSEP นี้ ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากตัวอย่างแบบ Recompression โดยการนำผลที่ได้จากตัวอย่างแบบ SHANSEP และ Recompression มา normalized เปรียบเทียบกัน ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า วิธีการ SHANSEP สามารถนำมาใช้กับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ทำการวิจัยหรือไม่ และการใช้ NSP เหมาะสมเพียงใด

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ด้วยวิธีการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรน (unconsolidated undrained triaxial compression test, UU) ผลที่ได้เพื่อช่วยแสดงให้เห็นว่าผลของการที่ไม่ได้ทำการปรับค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในตัวอย่างดินก่อนถูก load (preshear effective stress) มีความสำคัญต่อค่าแรงเฉือนของดินอย่างไร

ผลของการศึกษาของความเหมาะสมของวิธีการ SHANSEP ในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ พบว่า

1. ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จากตัวอย่างที่ทำการวิจัยมีคุณสมบัติที่ normalized ได้ จึงสามารถใช้วิธีการของ SHANSEP และหลักการของ NSP ได้

2. เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากวิธี Recompression ซึ่งแสดงคุณสมบัติของดินตามธรรมชาติแล้ว วิธีการ SHANSEP ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์ในเทอมของหน่วยแรงรวมเท่านั้น

(นั่นคือ ในรูปของ $S_u/\bar{\sigma}_{vc}$) ถ้าทำการวิเคราะห์ในเทอมของหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{c}$ และ $\bar{\phi}$) ค่า $\bar{\phi}$ และ $\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm}$ จะมีค่าค่อนข้างต่ำ

3. ผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินทำให้ค่าแรงเฉือนที่วัดได้จากวิธีการ Recompression อาจมีค่าสูงกว่าที่เป็นจริง เมื่อดินมีค่า OCR น้อย ๆ (OCR < 2.0) หรือมีค่าต่ำกว่าที่เป็นจริง เมื่อดินมีค่า OCR สูงขึ้น

4. ผลของการที่หน่วยแรงประสิทธิผลก่อนถูก load (preshear effective stress) มีค่าน้อยลง เนื่องจากผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินมีความสำคัญต่อค่าแรงเฉือนของดินมาก เพราะค่าแรงเฉือนที่วัดได้จากตัวอย่างที่ถูกรบกวนจะมีค่าน้อยมาก

อนึ่ง ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ นั้นอาจจะประกอบด้วยดินเหนียวอ่อนที่มีค่า plasticity แตกต่างกัน แต่ค่าของ NSP ที่ได้แต่ละชุดนั้นเป็นของดินที่มีค่า plasticity แต่ละค่า ดังนั้นอาจต้องทำการทดสอบให้ได้ค่า NSP ของดินอีกสองถึงสามชุด เพื่อให้ได้ค่าคุณสมบัติของดิน (strength profile) ตลอดทั้งความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ นั้น ๆ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Evaluation of SHANSEP (Soil Histories and Normalized Soil Engineering Properties) Method of Consolidation for Measuring Undrained Shear Strength of Soft Bangkok Clay.
Name	Mr. Dumrong Pinpuvadol
Thesis Advisor	Assistant Professor Surachat Sambhandharaksa, Sc.D.
Department	Civil Engineering
Academic Year	1983

ABSTRACT

Soil Histories and Normalized Soil Engineering Properties (SHANSEP) method of consolidation is a new design procedure that was developed for use to minimize the effects of sample disturbance in measuring undrained shear strength (S_u) of clays. The principle basic of SHANSEP approach was developed from Stress History and Normalized Soil Parameter (NSP) Concept. This NSP concept derives directly from the observation that soil properties or parameters will yield the same values when they are normalized in the ratio of preshear effective vertical stress ($\bar{\sigma}_{vc}$) by examples; $S_u/\bar{\sigma}_{vc}$, $E_u/\bar{\sigma}_{vc}$ etc. So SHANSEP can only be used for clays that their properties can be normalized by preshear effective vertical stress ($\bar{\sigma}_{vc}$), i.e. those clays which exhibit normalized behavior

Hypothesis of SHANSEP in minimizing the effects of sample disturbance derives from observations of the behavior of remoulded clays. Upon reconsolidating a sample back to its normally consolidated state using sufficiently high stress so that the sample state of stress is in the situ vergin compression line of soil prior to shearing sample, effects

of sample disturbance will be significantly decreased, if not all eliminated. In doing so, the magnitude of the consolidation stress should be greater than in situ maximum past pressure ($\bar{\sigma}_{vm}$) for testing in normally consolidating state, preferable $\bar{\sigma}_{vc} = 2\bar{\sigma}_{vm}$, or prior to shearing, reducing the effective stress to obtain the required over-consolidation ratio (OCR) for testing in overconsolidated clay state. The obtained results are then expressed in the NSP form related to OCR. For obtaining the in situ soil properties, the sample should be sheared in the stress system which is close to the in situ condition.

The purpose of reconsolidating soil samples to the effective stress greater than in situ maximum past pressure ($\bar{\sigma}_{vm}$) is to make sure that the state of stress in soil mass be back to the in situ virgin line in e-log $\bar{p}$ (or $\bar{\sigma}_{vc}$) compression curve. For clays exhibiting normalized behavior, the NSP values that have been obtained from SHANSEP approach should be equal to those of the in situ soil parameters for normally consolidated clay and overconsolidated clay having the cause of over-consolidation from unloading.

Values of in situ soil parameters can be calculated from the obtained NSP upon knowing the stress history of the deposit.

This SHANSEP method has never been studies for soft Bangkok clay. This research therefore, has the following purposes:

1. To study and compare the results of measured undrained shear strength (S_u) of soft Bangkok clay by the SHANSEP and Recompression method in which samples are reconsolidated back to the in situ stress before shearing. Considering Recompression tests on block samples as

the correct approach, the suitability of SHANSEP method can be evaluated.

2. To study the effect of sample disturbance on undrained shear strength measurements. Results from Recompression tests on undisturbed and disturbed samples are compared.

This study involves the uses of soil samples which are obtained from the construction site of Bang Luang waterways (Metropolitan Water Works Authority Extension project) at Pathum Thanee Province. This site is about 42 km North of central Bangkok. The samples are soft clay, taken from the depth of about 5 meters below the natural ground surface in the open pit supported by sheet pile. These obtained samples can be divided into two types as follows:

1. Undisturbed samples which are obtained in the form of block samples.

2. Disturbed samples which are obtained by using thin wall tube sampler (diameter of 3 inches and 30 inches long). These tube samples are then made to be more disturbed in the laboratory by hitting the tube, to insure the disturbed condition.

Soft Bangkok clay samples that are used in this study have the following basic index properties:

Natural water content (w_n)	= 52-60 %
Liquid limit (w_ℓ)	= 64±1 %
Plastic limit (w_p)	= 27±1 %
Plasticity index (I_p)	= 37±1 %
Liquidity index	= 0.8±0.1
Specific gravity (G_s)	= 2.80±0.01

Total unit weight (γ_t) = 1.67±0.03 t/m^3

% clay < 0.005 mm. = 70-75 %

Sensitivity = 4

Soft grey clay

In situ effective vertical stress ($\bar{\sigma}_{vo}$) = 0.45 kg/cm^2

In situ maximum past pressure = 0.90 kg/cm^2

In situ OCR = 2.0

The procedure of testing for measuring undrained shear strength (S_u) of soft Bangkok clay uses that of anisotropically consolidated undrained triaxial compression test with pore pressure measurement ($\overline{CAUC}$) Sample are consolidated with approximately K_o condition. $\overline{CAUC}$ tests are performed at slow strain rate about 1 % of axial strain per hour. The tests are divided into 2 procedures corresponding to the method of consolidation as follows:

1. Recompression method by reconsolidating samples equal to the in situ effective stress or less than the in situ maximum past pressure ($\bar{\sigma}_{vm}$) corresponding to the required OCR. These tests are performed at OCR = 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0 before shearing in triaxial compression mode. The tests are performed on undisturbed samples and disturbed samples for obtaining the in situ undrained shear strength, and investigating the effects of sample disturbance.

2. SHANSEP method by reconsolidating soil samples with effective vertical stress equal to 2 to 3 times the in situ maximum past pressure ($\bar{\sigma}_{vm}$) for making sure that these samples become normally consolidated clay before shearing when the normally consolidated samples are required. If overconsolidated samples are required, they can be obtained at known

OCR values by reducing the effective consolidation stress to that yielding the required OCR and also shearing the samples by compression failure. The tests are performed at the same OCR values with those of Recompression tests. The obtained results from SHANSEP are compared with those results of Recompression tests for evaluating the suitability of SHANSEP method using in soft Bangkok clay.

Unconsolidated undrained triaxial compression tests were also used to measure undrained shear strength (S_u) of this soft Bangkok clay. These obtained results may help to emphasize the important of the necessity to maintain preshear effective stress in measuring undrained shear strength (S_u) of clays.

Results from this study lead for the following conclusions.

1. Soft Bangkok clay that is used in this study exhibits normalized behavior. The SHANSEP method and NSP concept can be applied for this soft Bangkok clay.

2. From comparison the results with those from Recompression test which is thought to represent the in situ behavior, the SHANSEP method should be used for analysis in term of total stress (by example $S_u/\bar{\sigma}_{vc}$). If the results are analysed in term of effective stress ($\bar{c}$ and $\bar{\phi}$), the obtained strength parameters ($\bar{c}$ and $\bar{\phi}$) from SHANSEP will give somewhat lower values.

3. The effects of sample disturbance in measuring undrained shear strength (S_u) using Recompression testing method may tend to give an overestimated undrained shear strength (S_u) when soil samples have low OCR (OCR < 2.0), and an underestimated S_u if soil samples have higher OCR.

4. The result of decreasing in preshear effective stress due to sample disturbance effects is very important for undrained shear strength (S_u) measurement of clay because the obtained undrained shear strength (S_u) from disturbed samples will be somewhat low due to the decrease in preshear effective stress.

It should be noted that soft Bangkok clay profile may consist of soft clays of various plasticity. A set of NSP will be suitable only a clay of given soil plasticity. Two or three sets of NSP may be therefore, required to fully yield the strength profile with depth for Bangkok clay deposit.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การประเมินความเหมาะสมของวิธีการแซนเซพในการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินเหนียวอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ" ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ผู้เขียนอย่างดีเลิศ ตลอดจนให้คำปรึกษาและทุ่มเทเวลาส่วนตัวให้แก่ผู้เขียนในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ ซึ่งได้กรุณาให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการวิจัยและให้คำปรึกษาต่าง ๆ รวมทั้งท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนให้ความรู้ต่าง ๆ แก่ผู้เขียนมาจนทุกวันนี้

ดำรงค์ ปิ่นภูวดล

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฌ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ท

สารบัญภาพ .....

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ .....

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

2. แนวเหตุผลทางทฤษฎีและสมมุติฐานที่สำคัญ 8

2.1 หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล (The Principle of Effective Stress) 8

2.2 สัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (Coefficient of Earth Pressure at Rest, K_o) 9

2.3 หลักการเบื้องต้นของแรงเฉือน 13

2.3.1 คำจำกัดความของแรงเฉือนแบบอันเดรน (Undrained Shear Strength, S_u) 13

2.3.2 หลักการแรงเฉือนของ Ladd (1963) 13

2.4 ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) 14

2.5 พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton 14

2.6 เอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจากไดอะแกรมของ $\bar{p}$ และ q และหลักการกำหนดจุดที่เกิดการพิบัติ 16

บทที่ หน้า

2.6.1 เอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจากไดอะแกรม $\bar{p}$ และ q ($\bar{p}$-q Strength Envelope) 16

2.6.2 หลักการกำหนดจุดที่เกิดการพิบัติ (Failure Criteria) 17

2.7 วิธีการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) 21

2.7.1 แฟคเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการวัดค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) 22

2.7.2 หลักการของ NSP และวิธีการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) แบบแซนเซฟ (SHANSEP) 30

2.7.2.1 หลักการของ NSP (Normalized Soil Parameters Concept, NSP Concept) ... 30

2.7.2.2 วิธีการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรนแบบแซนเซฟ (Soil Histories and Normalized Soil Engineering Properties Method of Consolidation, SHANSEP) ... 32

2.7.3 วิธีการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) แบบ Recompression 39

2.7.4 วิธีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) จากวิธีการแบบแซนเซฟ (SHANSEP) และ Recompression 39

3. วิธีการวิจัยและการทดสอบ 42

3.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไปของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ 42

3.2 สถานที่และการเก็บตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง 43

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง 43

3.2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง 43

3.3 คุณสมบัติขั้นพื้นฐานของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Basic Index Properties of Soft Bangkok Clay) 46

บทที่ หน้า

3.4 การทดสอบ Triaxial และโปรแกรมของการทดลอง 52

3.4.1 โปรแกรมของการทดสอบในการวิจัย 52

3.4.2 วิธีการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน พร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Anisotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, $\overline{\text{CAUC}}$ Test) 58

3.4.3 การทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test) 65

4. ผลการทดลองที่ได้และการวิเคราะห์ 66

4.1 ผลการทดลองและหลักการวิเคราะห์ 66

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ 68

4.2.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression 68

4.2.2 การเปรียบเทียบทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path, ESP) และเอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression 73

4.2.3 การเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression ของตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดและจากตัวอย่างที่ถูกรบกวนบ้าง 78

4.2.4 ผลของ Overconsolidation Ratio (OCR) ที่มีต่อค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) และค่า A_f ของ Skempton 80

บทที่ หน้า

4.2.5 การเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ที่ได้จากการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่อง Triaxial ในสภาพอันเดรน (UU) กับผลที่ได้จากการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง Traixial ในสภาพอันเดรน ($\overline{CAUC}$) โดยวิธีการ consolidated ตัวอย่างแบบ SHANSEP และ Recompression 81

4.3 การประมวลผลการวิเคราะห์ 83

4.3.1 การประมวลผลที่ได้จากการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยวิธีการแบบ SHANSEP และ Recompression 83

4.3.2 การประมวลผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินเมื่อทำการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) โดยวิธีการแบบ Recompression และ UU 84

4.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการวัดแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) โดยวิธีการแบบ SHANSEP และ Recompression สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ 84

4.4.1 วิธีการทดสอบแบบ Recompression .....

4.4.2 วิธีการทดสอบแบบ SHANSEP 85

4.5 ข้อเสนอแนะในการออกแบบ 86

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 109

5.1 ผลสรุป 109

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม 111

5.3 ข้อเสนอแนะในการใช้วิธีการแบบ SHANSEP 111

เอกสารอ้างอิง 113

ภาคผนวก ก. 117

ก.1 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (K_o) สำหรับnormally consolidated clay ของ Chang และคณะ (1977) 117

ประวัติ 119

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 คุณสมบัติขั้นพื้นฐานของดิน เหนียวอ่อนกรุง เทพฯ 47

3.2 ประวัติของหน่วยแรง (stress history) ของดิน เหนียวอ่อนกรุง เทพฯ ที่เก็บมาทำการศึกษาและวิจัย 46

3.3 โปรแกรมการทดสอบ triaxial แบบ $\overline{\text{CAUC}}$ test 56

3.4 โปรแกรมการทดสอบ triaxial แบบ UU test 57

4.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการวัดหาค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ของดิน เหนียวอ่อนกรุง เทพฯ ในการวิจัยนี้ จากการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression โดยวิธีการทดลอง triaxial แบบ $\overline{\text{CAUC}}$ 88

4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression ของดิน เหนียวอ่อนกรุง เทพฯ ในการวิจัยนี้ จากการทดลอง triaxial แบบ $\overline{\text{CAUC}}$ (เมื่อพิจารณาการพิบัติที่หน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด) 90

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ของ K_o ของ normally consolidated clays กับมุม ประสิทธิผลของความต้านทานต่อแรงเฉือน ($\bar{\phi}$) (a) และ plasticity index (b) 11

2.2 ความสัมพันธ์ของ K_o กับ OCR ของ Haney sensitive clay ระหว่าง การ unloading และ reloading (Companella และ Valid,1972) 12

2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ m ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่า K_o และ OCR กับ plasticity index (Ladd, 1975) 12

2.4 เอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจาก Mohr และ Coulomb กับ เอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจากไดอะแกรมของ $\bar{p}$ และ q 18

2.5 ผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดินที่มีต่อประวัติของหน่วยแรงในการทดสอบ one-dimensional consolidation test 25

2.6 ผลของการทดสอบแบบ $\overline{CIUC}$ Test กับตัวอย่างดินในแนวดิ่งและแนวนอน ของ overconsolidated kaolinite (Duncan และ Seed, 1966) 27

2.7 ผลของแอนไอโซทรอบปีของกำลังรับน้ำหนักแบบอันเดรนจากการทดสอบ UU Test กับตัวอย่างดินในระนาบต่าง ๆ กัน 28

2.8 ผลของแอนไอโซทรอบปีเนื่องจากระบบของหน่วยแรงที่กระทำ (stress system induced anisotropy) จากการทดสอบแบบ CK_oU plane strain shear test (ทำให้เกิดการพิบัติโดยมีทิศทางของหน่วยแรงหลักที่ทำให้พิบัติแตกต่างกัน) 29

2.9 ตัวอย่างของพฤติกรรม normalized ที่สมบูรณ์จากการทดสอบ triaxial compression test 31

2.10 Normalized ผลการทดลองจากการทดสอบ CK_oU direct simple shear test ของ normally consolidated of Maine organic clay (Ladd และ Foott, 1974) 31

รูปที่ หน้า

2.11 Normalized ผลการทดสอบที่ได้จากการทดลอง CK_oU direct simple shear test ของ Boston blue clay (Ladd และ Foott, 1974) 33

2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของช่องว่างในมวลดิน (e) และค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ($\bar{\sigma}_{vc}$) ในลอการิทึมมิกสเกล ระหว่างการ reconsolidation เมื่อมีการรบกวนต่อตัวอย่างดิน และลักษณะของการ consolidation ตามวิธีการแบบแชนเชฟ (SHANSEP) ของดินที่เป็น normally consolidated clay ... 35

2.13 กราฟแสดงสภาวะของการเปลี่ยนแปลงการยุบตัวของมวลดินกับหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งในลอการิทึมมิกสเกลจากวิธีการ consolidation แบบ Recompression และ SHANSEP ในการทดลอง $\overline{CK_oU}$ Test 41

3.1 แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินทดลอง 44

3.2 แสดงลักษณะของชั้นดินเหนือระดับที่เก็บตัวอย่าง 48

3.3 ผลของการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vm}$) จากการทดลอง one-dimensional oedometer 49

3.4 ผลของการทดสอบหาค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vm}$) จากการทดลอง one-dimensional oedometer 50

3.5 ค่า K_o สัมพันธ์กับค่า OCR ของดินที่ทำการวิจัย 53

3.6 รายละเอียดมาตรฐาน triaxial cell (จาก Bishop และ Henkel, 1957) 59

3.7 กราฟ calibration สำหรับ triaxial cell 64

4.1 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรน (UU) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเบี่ยงเบน $|q = (\sigma_1-\sigma_3)/2|$ กับความเครียด (ε) ที่ได้จากการทดสอบกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดและที่ถูกรบกวน .. 91

รูปที่ หน้า

4.2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง normalized ค่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือนแบน, ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้นและค่า A พารามิเตอร์ของ Skempton กับความเครียดที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินเป็น normally consolidated clay (OCR = 1.0) 92

4.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง normalized ค่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือนแบน, ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้นและค่า A พารามิเตอร์ของ Skempton กับความเครียดที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินมีค่า OCR = 1.5 93

4.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง normalized ค่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือนแบน, ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้นและค่า A พารามิเตอร์ของ Skempton กับความเครียดที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินมีค่า OCR = 2.0 94

4.5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง normalized ค่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือนแบน, ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้นและค่า A พารามิเตอร์ของ Skempton กับความเครียดที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินมีค่า OCR = 3.0 95

4.6 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงเฉือนแบบอันเดรน (S_u) ที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP, Recompression และแบบ UU และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน 96

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง normalized แรงเฉือนแบบอันเดรน ($S_u/\bar{\sigma}_{vc}$) กับค่า overconsolidation ratio (OCR) ของดิน จากการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรน ($\overline{CAUC}$) โดยวิธีการ consolidated ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression ... 97

รูปที่ หน้า

4.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น ณ จุดพิบัติ (Δu_f) ที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ ที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน 98

4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า A พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton ณ จุดพิบัติ (A_f) ที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ ที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน 99

4.10 การเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณความชื้นที่ถูกขับออกไปจากตัวอย่างดิน เนื่องจากการถูกอัดตัวคายน้ำ (Δw_c) ของตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดกับตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน เมื่อทำการ reconsolidated ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแบบ Recompression (จากการทดลอง triaxial แบบ $\overline{CAUC}$) 100

4.11 การเปรียบเทียบทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินเป็น normally consolidated clay (OCR = 1.0) 101

4.12 การเปรียบเทียบทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินมีค่า OCR = 1.5 102

4.13 การเปรียบเทียบทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินมีค่า OCR = 2.0 103

4.14 การเปรียบเทียบทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน เมื่อดินมีค่า OCR = 3.0 104

รูปที่ หน้า

4.15 การเปรียบเทียบ normalized เอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผล ณ จุดพิบัติที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ ของ overconsolidated clay ที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน 105

4.16 การเปรียบเทียบ normalized เอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผล ณ จุดพิบัติที่maximum obliguity $(\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3)_{max}$ ของ overconsolidated clay ที่ได้จากการทดสอบ $\overline{CAUC}$ แบบ SHANSEP กับ Recompression และแสดงผลของการรบกวนต่อตัวอย่างดิน 106

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า normalized ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น ณ จุดพิบัติ $(\Delta u_f/\bar{\sigma}_{vc})$ ที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ กับค่า overconsolidation ratio (OCR) จากการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรน ($\overline{CAUC}$) โดยวิธีการ consolidated ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression 107

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า normalized ค่า A พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton ณ จุดพิบัติ (A_f) ที่เกิดค่าหน่วยแรงเบี่ยงเบนสูงสุด $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ กับค่า overconsolidation ratio (OCR) จากการทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรน ($\overline{CAUC}$) โดยวิธีการ consolidated ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแบบ SHANSEP และ Recompression ... 108

ทองสมุดกลางวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

A = พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton

A_f = พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton ณ จุดพิบัติ

$\bar{a}$ = ระยะตัดของเส้นเอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจากไดอะแกรมของ $\bar{p}$ และ q บนแกนตั้ง (q)

B = พารามิเตอร์ของความดันน้ำในโพรงดินของ Skempton

$\overline{CAUC}$ = การทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Anisotropically consolidated undrained triaxial compression test with pore pressure measurement)

$\overline{CIUC}$ = การทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซทรอบปิกด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรนพร้อมวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Isotropically consolidated undrained triaxial compression test with pore pressure measurement)

$\bar{c}$ = หน่วยแรงยึดหน่วงประสิทธิผล (Effective cohesion)

E = โมดูลัสของดิน (Modulus of Soil)

E_u = อันเดรนโมดูลัส (Undrained modulus)

ESP = ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Path)

e = อัตราส่วนของช่องว่างในมวลดิน (Void ratio)

e_o = อัตราส่วนของช่องว่างในมวลดินเริ่มต้น (Initial void ratio)

G, G_s = ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง (Specific gravity of solids)

I_f = Flow index

I_ℓ = Liquidity index

I_p = Plasticity index

K = สัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน (Coefficient of earth pressure)

K_o = สัมประสิทธิ์ของแรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุลย์ (Coefficient of earth pressure at rest)

LI = Liquidity Index

LL = Liquid Limit

NC = Normally consolidated

NCC = Normally consolidated clay

NSP = Normalized Soil Engineering Properties หรือ Parameters

OC = Overconsolidated

OCC = Overconsolidated clay

OCR = Overconsolidation Ratio

PI = Plasticity Index

PL = Plastic Limit

$\bar{p}$ = $(\bar{\sigma}_1+\bar{\sigma}_3)/2$ = ค่าครึ่งหนึ่งของผลบวกของหน่วยแรงหลักและหน่วยแรงรองประสิทธิผล

$\bar{p}_f$ = $\bar{p}$ ณ จุดพิบัติ

q = $(\sigma_1-\sigma_3)/2$ = ค่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเบี่ยงเบน

q_f = q ณ จุดพิบัติ

RD = การทดสอบโดยใช้ตัวอย่างที่ถูกรบกวนแบบ Recompression (Recompression test on disturbed samples)

RU = การทดสอบโดยใช้ตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดแบบ Recompression (Recompression test on undisturbed samples)

rec. = Recompression test

S = การทดสอบแบบ SHANSEP โดยใช้ตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด

SHANSEP = Soil Histories and Normalized Soil Engineering Properties

S_t = Sensivity

S_u = แรงเฉือนแบบอันเดรน (Undrained shear strength)

$S_{u_{rec.}}$ = แรงเฉือนแบบอันเดรนที่ได้จากการทดสอบแบบ Recompression โดยใช้ตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด

UU = การทดสอบหากำลังรับแรงกดของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่อง triaxial ในสภาพอันเดรน (Unconsolidated undrained triaxial compression test)

u = ความดันน้ำในโพรงดิน (Pore pressure)

u_f = ความดันน้ำในโพรงดิน ณ จุดพิบัติ (Pore pressure at failure)

w = ปริมาณความชื้น (Water content)

w_c = ปริมาณความชื้นภายหลังจากการถูกอัดตัวคายน้ำ (Water content after consolidation)

w_f = ปริมาณความชื้นสุดท้าย (Final water content) หรือปริมาณความชื้น ณ จุดพิบัติ (Water content at failure)

w_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (Initial water content)

w_ℓ = liquid limit

w_n = ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural water content)

w_p = plastic limit

$\bar{\alpha}$ = มุมลาดเอียงของเส้นเอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลจากไดอะแกรมของ $\bar{p}$ และ q

γ_d = dry unit weight

γ_t = ความหนาแน่นรวม

$\Delta\sigma$ = การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวม

$\Delta\sigma_1$ = การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวมในแนวดิ่ง

$\Delta\sigma_3$ = การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรวมในแนวด้านข้าง

ΔS_u, $\Delta\Delta u_f$, ΔA_f = ผลแตกต่างของค่า S_u, Δu_f หรือ A_f ที่ได้จากการทดสอบแบบ SHANSEP โดยใช้ Block Sample หรือ Recompression (จากตัวอย่างที่ถูกรบกวนโดยใช้ Tube Sample) กับค่า S_u, Δu_f หรือ A_f ที่ได้จากการทดสอบแบบ Recompression กับตัวอย่างที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด (Block Sample) ที่ค่า OCR เดียวกัน

Δu_a = การเปลี่ยนแปลงของความดันน้ำในโพรงดินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ $\Delta\sigma_3$

Δu_d = การเปลี่ยนแปลงของความดันน้ำในโพรงดินเนื่องจากหน่วยแรงเบี่ยงเบน $(\sigma_1-\sigma_3)$

Δu = ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น (excess pore pressure)

Δu_f = ความดันน้ำในโพรงดินที่เพิ่มขึ้น ณ จุดพิบัติ (excess pore pressure at failure)

σ = หน่วยแรงรวม (total stress)

$\bar{\sigma}$ = หน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress)

σ_b = back pressure

σ_c = ความดันน้ำในเซล (cell pressure)

$\bar{\sigma}_c$ = effective consolidation stress

$\bar{\sigma}_{cm}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่ดินได้รับในห้องทดลอง (maximum effective consolidation stress)

$\bar{\sigma}_{ff}$ = หน่วยแรงตั้งฉากประสิทธิผลบนระนาบพิบัติ (effective normally stress on failure plane)

$\bar{\sigma}_{ho}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอนตามธรรมชาติ

$\bar{\sigma}_{vc}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนถูก load (preshear effective vertical stress)

$\bar{\sigma}_{vm}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดที่มวลดินเคยได้รับตามธรรมชาติ (maximum past pressure)

$\bar{\sigma}_{vo}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ

$\bar{\sigma}_1$ = หน่วยแรงหลักประสิทธิผล (effective major principle stress)

$\bar{\sigma}_2$ = หน่วยแรงกลางประสิทธิผล (effective intermediate principle stress)

$\bar{\sigma}_3$ = หน่วยแรงรองประสิทธิผล (effective minor principle stress)

$\bar{\sigma}_{1c}$ = effective vertical consolidation stress

$\bar{\sigma}_{3c}$ = effective horizontal consolidation stress

$\bar{\sigma}_{vc_{rec.}}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งก่อนถูก load ของการทดสอบแบบ Recompression

$\bar{\sigma}_{1f}$ = หน่วยแรงหลักประสิทธิผล ณ จุดพิบัติ (effective major principle stress at failure)

$(\sigma_1-\sigma_3)$. = หน่วยแรงเบี่ยงเบน (deviator stress)

τ = หน่วยแรงเฉือน (shear stress)

τ_{ff} = แรงเฉือนที่พิบัติ (shearing strength)

ϕ = มุมของเส้นเอนเวลอปของกำลังรับแรงเฉือนจาก Mohr และ Coulomb (τ-σ plot)

$\bar{\phi}$ = มุมประสิทธิผลของความต้านทานต่อแรงเฉือน (effective angle of shearing resistance)