การศึกษาสหสัมพันธ์ของสมบัติทางวิศวกรรมของดินกรุงเทพ

นายรชฏ ตรียัมปราย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-569-909-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015819
I17609930

A CORRELATION STUDY OF ENGINEERING PROPERTIES OF BANGKOK SUBSOIL

Mr. Rachod Treeyumpray

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1989

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสหสัมพันธ์ของสมบัติทางวิศวกรรมของดินกรุงเทพ

โดย นายรชฏ ตรียัมปราย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์

บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธารักษ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วีรยุ ตรียัมปราย : การศึกษาสหสัมพันธ์ของสมบัติทางวิศวกรรมของดินกรุงเทพ (A CORRELATION STUDY OF ENGINEERING PROPERTIES OF BANGKOK SUBSOIL) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ , 158 หน้า.

การวิจัยเรื่องนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์กันของสมบัติทางวิศวกรรมของดินกรุงเทพระดับลึก ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นำมาวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการสหสัมพันธ์ ดัชนีคุณสมบัติทั้งหมดเสนอในรูปของตัวกลางเลขคณิตและช่วงของความเชื่อมั่น ความสัมพันธ์สองรูปแบบที่วิเคราะห์คือ หนึ่งความสัมพันธ์ของสมบัติพื้นฐานกับสมบัติการยุบอัดตัว สองความสัมพันธ์ของสมบัติพื้นฐานกับสมบัติทางกำลัง ทั้งคู่แสดงในรูปความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และเส้นการถดถอย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าสำหรับวัดอัตราความสัมพันธ์กัน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานซึ่งได้แก่ ค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติมีค่าระหว่าง 15 % ถึง 25 % ขีดจำกัดเหลวมีค่าระหว่าง 30 % ถึง 56 % ขีดจำกัดพลาสติกมีค่าระหว่าง 14 % ถึง 24 % ดัชนีพลาสติกมีค่าระหว่าง 12 % ถึง 42 % ส่วนพารามิเตอร์ของความสามารถในการยุบตัวซึ่งได้แก่ ค่าอัตราส่วนช่องว่างเริ่มแรกมีค่าระหว่าง 0.495 ถึง 1.062 ดัชนีการอัดแน่นมีค่าระหว่าง 0.065 ถึง 0.270 ดัชนีการอัดแน่นซ้ำมีค่าระหว่าง 0.016 ถึง 0.125 อัตราส่วนการอัดแน่นมีค่าระหว่าง 0.043 ถึง 0.201 อัตราส่วนการอัดแน่นซ้ำมีค่าระหว่าง 0.011 ถึง 0.065

ผลการวิเคราะห์ครั้งนี้พบว่า ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบหุ่นเส้นตรงมีค่าเหมาะสมดีกว่าแบบหุ่นเส้นโค้ง อัตราความสัมพันธ์กันของสมการที่วิเคราะห์ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรอิสระกล่าวคือ เมื่อจำนวนตัวแปรอิสระมากขึ้นจะเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ปฐพีวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

RACHOD TREEYUMPRAY : A CORRELATION STUDY OF ENGINEERING PROPERTIES OF BANGKOK SUBSOIL. THESIS ADVISOR : ASSIS.PROF.SURAPHOL CHIVALAK , Ph.D. 158 PP.

The purposes of this thesis is to study the correlation of engineering properties of Bangkok clay in great depth . The data of this research taking from the laboratory tested were analyzed by correlation method . All index properties are presented in terms of arithmatic mean and confidental interval . Two kinds of relationships to be presented , first index properties and compressibility , second index properties and strength properties. Both relationships expression in form of mathematical expression and regression line . The validity of the relationships is shown in terms of correlation coefficient . Index properties such as natural water content , liquid limit , plastic limit and plasticity index are 15 % to 25 % , 30 % to 56 % , 14 % to 24 % and 12 % to 42 % respectively . The analysis also found that the initial void ratio , compression index , recompression index , compression ratio , recompression ratio to be in the range 0.495 to 1.062 , 0.065 to 0.270 , 0.016 to 0.125 , 0.043 to 0.201 and 0.011 to 0.065 respectively .

From these analysis results found that the linear regression model has suitable correlation coefficient than those curvilinear regression model . The validity of the regression equation depend on the assignment of free variables . The great number of assign variables should give the better correlation coefficient .

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา Civil Engineering ..... ลายมือชื่อนิสิต Rachod Treeyumpray.....

สาขาวิชา Soil Engineering .....

ปีการศึกษา 1988 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบพระคุณต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล จิวาลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ที่ร่วมพิจารณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการวิจัย

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อ คุณสุระศักดิ์ ศาสตรวาหา คุณชจรศักดิ์ สถาวรจันทร์ และคุณทศพร ศรีเอี่ยม ที่มีส่วนช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ ตลอดจนผู้ที่มิได้กล่าวนามซึ่งต่างก็มีส่วนช่วยงานนี้กันทุกคน จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายนี้คุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์นี้ถ้ามีอยู่บ้าง ขอมอบให้บุพการีที่ได้ช่วยเหลือทุกวิถีทางในการส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รชฎ ตรียัมปราย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
รายการตารางประกอบ ..... ฌ
รายการรูปประกอบ ..... ฎ
สัญญลักษณ์ ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและปัญหา..... 1
1.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัย..... 1
1.3 ขอบเขตการวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
บทที่ 2 ทฤษฎี
2.1 ความหมายของการถดถอย.....16
2.2 ความหมายของการถดถอยเชิงเดียว, การถดถอยเชิงซ้อน และการถดถอยแบบเส้นโค้ง.....16
2.3 แผนภาพกระจาย, เส้นการถดถอย และสมการถดถอย.....17
2.4 การศึกษาการถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียวกรณีข้อมูลเป็นข้อมูล-ตัวอย่าง.....18
2.5 การวิเคราะห์หาสมการการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดอย่าง-ธรรมดา.....19
2.6 สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด.....19
2.7 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเส้นตรงเชิงเดียว.....20
2.8 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงในกรณีมีตัวแปรอิสระหลายตัว..21
2.9 สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด.....23
2.10 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้ง.....23
2.11 การวิเคราะห์สมการการถดถอยเส้นโค้ง.....24
2.12 การพิจารณาความเหมาะสมของสมการการถดถอย.....24
2.13 การเลือกตัวแปรอิสระ.....25
2.14 วิธี ออล โพสสิเบิล รีเกรชชัน.....25

2.15 ทฤษฎีทางวิศวกรรม.....27

บทที่ 3 ผลการวิจัยในอดีต การทดลอง และการวิจัย

3.1 ดินเหนียวกรุงเทพ.....35

3.2 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินเหนียวกรุงเทพ.....37

3.3 การทดลอง.....38

3.4 การวิจัย.....42

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะชั้นดิน.....45

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติดิน.....45

4.3 พารามิเตอร์ของความสามารถในการยุบตัว.....46

4.4 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของดินเหนียวแข็งที่อยู่ต่ำกว่าชั้นทราย-ชั้นแรก.....46

4.5 เปรียบเทียบผลการวิจัยกับผลการวิจัยในอดีต.....67

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวแข็งที่อยู่-ต่ำกว่าชั้นทรายชั้นแรก.....71

5.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพารามิเตอร์ของความสามารถ-ในการยุบตัวของดินเหนียวแข็งที่อยู่ต่ำกว่าชั้นทรายชั้นแรก.....71

5.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์.....71

บรรณานุกรม.....73

ภาคผนวก ก. 76

ภาคผนวก ข. 90

ภาคผนวก ค. 147

ประวัติการศึกษา.....158

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	รายละเอียดตาราง	หน้า
2.1	แสดงการจำแนกดินระบบ UNIFINED SOIL CLASSIFICATION (ASTM D-2487)	28
2.2	แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดิน	32
2.3	ความอ่อนแข็งของดินเหนียวในเทอมของกำลังรับแรงอัดสูงสุดแกนเดียว	32
3.1	แสดงสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่าง PI-LL ของดินกรุงเทพ	39
3.2	แสดงสมการถดถอยในอดีตสำหรับทำนายค่า C_c และ CR ของ-ดินกรุงเทพ	40
3.3	แสดงสมการถดถอยและสหสัมพันธ์ของดินเหนียวแข็งชั้นที่หนึ่งของ-ดินกรุงเทพ (สมศักดิ์ 1985)	41
3.4	แสดงสมการถดถอยและสหสัมพันธ์ของดินเหนียวแข็งชั้นที่สองของ-ดินกรุงเทพ (สมศักดิ์ 1985)	41
4.1	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ BASIC PROPERTIES ของ-ดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร	49
4.2	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร	50
4.3	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร (แบบทุ่นเส้นตรงตัวแปรเดียว)	51
4.4	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร (แบบทุ่นรีซิโพรคอลตัวแปรเดียว)	52
4.5	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร (แบบทุ่นเซมิ-ลอกตัวแปรเดียว)	53
4.6	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร (แบบทุ่นดับเบิลลอกตัวแปรเดียว)	54

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	รายละเอียดตาราง	หน้า
4.7	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร (แบบหุ่นเส้นตรงสองและสามตัวแปร).....	55
4.8	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร (แบบหุ่นดับเบิลสองและสามตัวแปร).....	56
4.9	แสดงการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร.....	57
4.10	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES - MAXIMUM PAST PRESSURE ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร.....	58
4.11	แสดงผลสรุปสมการถดถอยที่มีค่าสหสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป (แบบหุ่นเส้นตรง-เส้นโค้งตัวแปรเดียว).....	59
4.11	แสดงผลสรุปสมการถดถอยที่มีค่าสหสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป (ต่อ) (แบบหุ่นเส้นตรง-เส้นโค้งสองและสามตัวแปร)	60
4.12	แสดงผลเปรียบเทียบแบบหุ่นสมการถดถอยของ COMPRESSION INDEX และ RECOMPRESSION INDEX กับค่าสหสัมพันธ์.....	61
4.13	แสดงผลเปรียบเทียบแบบหุ่นสมการถดถอยของ COMPRESSION RATIO และ RECOMPRESSION RATIO กับค่าสหสัมพันธ์.....	62
4.14	แสดงผลเปรียบเทียบแบบหุ่นสมการถดถอยของ INITIAL VOID RATIO กับค่าสหสัมพันธ์.....	63
4.15	แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง BASIC PROPERTIES RATIO -COMPRESSIBILITY PARAMETERS ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร.....	63
4.16	แสดงการวิเคราะห์การถดถอยระหว่าง COMPRESSIBILITY PARAMETERS กับ MAXIMUM PAST PRESSURE/UNDRAINED SHEAR STRENGTH RATIO ของดินเหนียวแข็งกรุงเทพในช่วงความลึก 40 - 210 เมตร.....	64

รายการรูปประกอบ

รูปที่	รายละเอียดรูป	หน้า
1.1	แสดงตำแหน่งหลุมเจาะที่นำตัวอย่างดินมาทดสอบ.....	3
1.2	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 2 กรมพัฒนาที่ดิน บางเขน.....	4
1.3	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 5 โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว.....	5
1.4	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 10 มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก.....	6
1.5	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 14 วัดราษฎร์ศรัทธาธรรม อ่อนนุช.....	7
1.6	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 15 โรงกำจัดน้ำเสีย ดอนเมือง.....	8
1.7	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 16 กองบินตำรวจ รามอินทรา.....	9
1.8	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 18 การเคหะแห่งชาติ คลองจั่น.....	10
1.9	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 37 พุทธมณฑล นครปฐม...	11
1.10	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 38 อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ.....	12
1.11	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 39 อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร.....	13
1.12	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 40 แขวงบางบอน เขตบางขุนเทียน.....	14
1.13	แผนที่รายละเอียดแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ BM 41 วัดเทียนถวาย อ.เมือง จ.ปทุมธานี.....	15
2.1	แสดงสถานภาพความชันเหลวของดินเหนียว.....	28
2.2	แสดงการหาค่า C_c, C_r จากกราฟ e - log P และค่า CR, RR จากกราฟ ϵ - log P	33
2.3	แสดงการหาค่าพรีคอนโซลิเดชั่นเพรสเชอร์โดยวิธีคลาสซาแกรนเด้ (CASAGRANDE).....	34

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	รายละเอียดรูป	หน้า
3.1	แสดงภาพตัดลักษณะชั้นดินกรุงเทพ.....	36
3.2	แสดงขั้นตอนการวิจัย.....	44
4.1	แสดง BORE HOLE LOGS ของตัวอย่างดินจากหลุมเจาะ 12 สถานี.....	47
4.2	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง C_c - w_n กับการวิจัยในอดีต.....	68
4.3	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง C_c - e_o กับการวิจัยในอดีต.....	69
4.4	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง CR - w_n กับการวิจัยในอดีต.....	70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

C_c = ดัชนีการอัดแน่น (COMPRESSION INDEX)

C_r = ดัชนีการอัดแน่นซ้ำ (RECOMPRESSION INDEX)

CR = อัตราส่วนการอัดแน่น (RECOMPRESSION RATIO)

e_o = อัตราส่วนช่องว่างเริ่มแรก (INITIAL VOID RATIO)

G_s = ความถ่วงจำเพาะ (SPECIFIC GRAVITY)

LL = ขีดจำกัดเหลว (LIQUID LIMIT)

P'c = หน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งในอดีต (PRECONSOLIDATION PRESSURE) หรือหน่วยแรงสูงสุดในอดีต

PI = ดัชนีพลาสติก (PLASTICITY INDEX)

PL = ขีดจำกัดพลาสติก (PLASTIC LIMIT)

q_u, Q_u = กำลังรับแรงอัดสูงสุด (UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH)

r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (COEFFICIENT OF CORRELATION)

r^2 = สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (COEFFICIENT OF DETERMINATION)

RR = อัตราส่วนการอัดแน่นซ้ำ (RECOMPRESSION RATIO)

SL = ขีดจำกัดหดตัว (SHRINKAGE LIMIT)

S_u = กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (UNDRAINED SHEAR STRENGTH)

w = ปริมาณความชื้น (WATER CONTENT)

w_n = ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (NATURAL WATER CONTENT)

γ_s = หน่วยน้ำหนักของดิน (UNIT WEIGHT OF SOIL)

γ_T = หน่วยน้ำหนักรวม (TOTAL UNIT WEIGHT)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่ 4° C (UNIT WEIGHT OF WATER)

$\bar{\sigma}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่ง (EFFECTIVE VERTICAL PRESSURE)

$\bar{\sigma}_{vm}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งในอดีต (MAXIMUM PAST PRESSURE) หรือหน่วยแรงสูงสุดในอดีต

$\bar{\sigma}_{vo}$ = หน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งตามธรรมชาติ (EFFECTIVE OVERBURDEN PREESSURE)