

บทที่ 4

การวิเคราะห์การทรุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่ใช้หน่วยแบริ่ง

เนื่องจากลักษณะของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่ใช้หน่วยแบริ่งนั้น ประกอบด้วยเสาเข็มที่มีขนาดความยาวลดหลั่นกันเป็นจำนวนมาก โดยมีแผ่นพื้น (slab) ยึดหัวเสาเข็มไว้ การวิเคราะห์หาการทรุดตัวจึงพิจารณาเป็นลักษณะของการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดแล้วในบทที่ 3 ความแตกต่างของวิธีการที่ใช้ในการประมาณการทรุดตัวนั้น ขึ้นอยู่กับสมมุติฐานของแต่ละวิธีการศึกษาวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบและหาวิธีการที่เหมาะสมในการประมาณการทรุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่ใช้หน่วยแบริ่งในทางปฏิบัติ และเพื่อความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น จึงได้มีการวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มดังกล่าวโดยดัดแปลงใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " (Settlement Analysis of Pile Foundation Program) ซึ่งเขียนโดย Pongchai (1985) ที่ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของ IBM รุ่น Personal Computer ควบคุมการทำงานด้วยระบบ DOS (Disk operating system) ใน version 3.0 ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของภาพพร้อมทั้งพิมพ์ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวได้ และเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบผลจากการวิเคราะห์ด้วยมือ ทำให้มีความมั่นใจในการวิเคราะห์เพื่อประมาณการทรุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่งมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำในการประมาณการทรุดตัวของฐานรากลักษณะดังกล่าวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลการทรุดตัวต่าง ๆ กันไป ดังต่อไปนี้

4.1 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัว

4.1.1 สภาพของชั้นดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน

จากการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ แล้วนำมาทดสอบหาคุณสมบัติชั้นพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 3.10 และ 3.11 ประกอบกับข้อมูลการทดสอบ Vane shear ในสนาม รูปที่ 3.32 สามารถจำแนก

(Classify) ชนิดของดินออกเป็นชั้น ๆ ตาม Unified soil classification ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.33 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eide และ Holmberg (1972) , NGI (Holmberg , 1973) , Holmberg (1974) , Cox (1968) , AIT (1980) , Adhikari (1980) , Cox (1981) , คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาฯ (1984) , Udomrerk (1985) , ดังนี้

1) Weathered Clay เป็นดินเหนียวอยู่ชั้นบนสุด มีสีเทาดำ มีรากไม้และ Organic Matter สูง ความหนาของดินชั้นนี้ประมาณ 2.0 เมตร มีปริมาณความชื้นตามธรรมชาติประมาณ 89% มีค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index) อยู่ในช่วง 38 - 56% ค่า OCR (Over consolidation ratio) ประมาณ 2.7 มีค่าอัตราส่วนการอัดตัว (Compression ratio , CR) อยู่ในช่วง 0.10 - 0.30 และอัตราส่วนการอัดซ้ำ (Recompression ratio , RR) อยู่ในช่วง 0.013 - 0.029

2) ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) มีสีเทาปนเขียว อยู่ที่ระดับความลึก -1.40 ถึง -13.40 ม. เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (ร.ท.ก.) มีความหนาประมาณ 12 เมตร ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติลดลงตามความความลึกมีค่าอยู่ระหว่าง 100 - 56% มีเปลือกหอยมากในช่วงดินที่มีสีเขียว มีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.36 - 1.7 ตัน/ลูกบาศก์เมตร มีอัตราส่วนโพรง (void ratio) อยู่ในช่วง 1.97 - 2.97 ค่าดัชนีพลาสติกอยู่ในช่วง 31 - 76% ค่า OCR อยู่ในช่วง 1.0 - 2.0 ค่า CR ประมาณ 0.210 - 0.369 และค่า RR ประมาณ 0.019 - 0.045 ชั้นดินชั้นนี้นิยมเรียกเป็นชั้นดินกรุงเทพฯ (Bangkok Clay)

3) ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) มีสีเทาอ่อน อยู่ที่ระดับความลึก -13.40 ถึง -16.90 ม. (ร.ท.ก.) มีความหนาประมาณ 3.50 ม. ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติประมาณ 41 - 56% ค่าดัชนีพลาสติกประมาณ 50 - 56% ความหนาแน่นรวมประมาณ 1.65 - 1.81 อัตราส่วนโพรงประมาณ 0.94 - 1.38 OCR ประมาณ 1.0 - 1.70 ค่า CR ประมาณ 0.150 - 0.248 และค่า RR ประมาณ 0.021 - 0.049

4) ชั้นทราย (Sand) มีสีน้ำตาลเหลือง อยู่ที่ระดับความลึก -16.90 ถึง -20.40 ม. (ร.ท.ก.) ความหนาของชั้นประมาณ 3.5 ม. มีความหนาแน่นปานกลาง



เนื่องจากการวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานรากแบบ เส้าเข็ม จำเป็นที่จะต้องมีย้อนดูของดินใต้ปลายเส้าเข็ม จึงได้ทำการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินคงสภาพจนถึงชั้นทรายชั้นที่สอง ซึ่งคิดว่าข้อมูลที่ได้เพียงพอในการประมาณการทรุดตัวของฐานรากแบบ เส้าเข็ม ในลักษณะนี้ โดยถือว่าชั้นทรายชั้นที่ 2 เป็น Rigid base จากการเจาะสำรวจพบว่า ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 มีลักษณะดังนี้

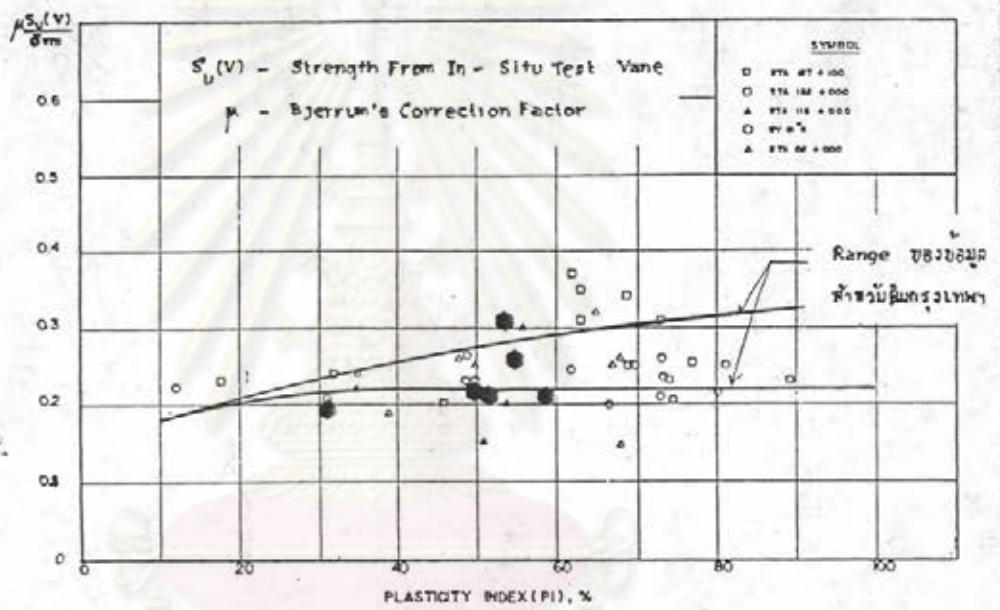
5) ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 (Stiff Clay) มีสีเทาแดง สีเหลือง อยู่ที่ระดับความลึก -20.40 ถึง -26.50 ม. (ร.ท.ก.) มีความแข็งมาก มีค่าหน่วยแรงเฉือนแบบ Undrain ประมาณ 10.75 ตันต่อตารางเมตร มีปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ ประมาณ 32% ความหนาแน่นรวมประมาณ 1.88 ตันต่อลูกบาศก์ มีค่าอัตราส่วนโพรงประมาณ 0.66 - 0.85 ค่า CR ประมาณ 0.085 - 0.098 และค่า RR ประมาณ 0.003 - 0.008

จากผลการทดสอบ Vane shear ในสนาม ; ผลของดัชนีผลเสถียรและผลของการทดสอบ Consolidation ด้วยเครื่อง Oedometer ดังกล่าวข้างต้น และยังได้มีการตรวจสอบผลของค่าหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต ($\bar{\sigma}_{vm}$) โดยอาศัยผลการวิจัยของ Mensri (1975) และ Trak et al (1979) ดังแสดงในรูป 4.1 (สุรฉัตร , 2527) แนะนำให้ใช้ค่า $\mu = 0.7$ ในบริเวณถนนบางนา - ตราด ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{0.7 S_u (F.V.)}{\bar{\sigma}_{vm}} \cong 0.22 \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

จากการตรวจสอบผลดังแสดงในตารางที่ 3.11 พบว่าในช่วงดินอ่อนให้ค่า $0.7 S_u (F.V.) / \bar{\sigma}_{vm}$ อยู่ระหว่าง 0.17 - 0.29 ส่วนดินที่เป็น Weathered Clay ให้ค่ามากกว่า 0.22 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการถูกรบกวนของตัวอย่างดินคงสภาพ หรือการที่ดินมี Organic matter สูง และปริมาณความชื้นตามธรรมชาติสูง การนำตัวอย่างดินคงสภาพออกจากระบอบเก็บตัวอย่างมีโอกาสถูกรบกวนมาก

นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบผลของอัตราส่วนการอัดตัว (CR) และอัตราส่วนการอัดซ้ำ (RR) ในบริเวณทางหลวงสาย บางนา - บางปะกง จากผลการวิจัยของคณะ



รูปที่ 4.1 วิธีการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างและผลการตรวจสอบ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2527) แนะนำค่า CR และ RR คร่าว ๆ ดังนี้

$$CR \sim 0.005 W_n \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

$$RR \sim \frac{1}{5} - \frac{1}{10} CR \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

เมื่อ W_n คือ ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ มีค่าเป็น %

จากการตรวจสอบแสดงผลในตารางที่ 3.11 พบว่าค่า CR ที่ได้จากการทดสอบ มีค่าต่ำกว่าที่ประมาณได้จากสมการ (4.2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทำการเก็บตัวอย่างคงสภาพ ในบริเวณที่มีการถมดินทางอยู่ก่อนแล้ว จึงมีการยุบอัดตัวเกิดขึ้นแล้ว ส่วนค่าอัตราส่วนของ CR ต่อ RR จากสมการ (4.3) ควรมีค่าประมาณ 5 - 10 จากการทดสอบ Consolidation ในบริเวณดินอ่อนมีค่าอัตราส่วน CR ต่อ RR ประมาณ 5 - 10 และ 12 - 18 สำหรับดินอ่อน ที่มีเปลือกหอยมาก สำหรับดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 6.4 - 7.3 แต่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 จะมีค่า CR/RR สูงมาก คืออยู่ระหว่าง 23 - 25 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะปริมาณความชื้นตามธรรมชาติและอัตราส่วนโพรงมีค่าน้อยมาก ทำให้ค่า RR มีค่าน้อยมากกว่าปกติ ส่งผลต่ออัตราส่วน CR/RR มีค่าสูงขึ้น ประกอบกับมีรอยแตก (fissure) มาก

ในการวิเคราะห์การทรุดตัวนั้น พารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมหลังจากการตรวจสอบ ดังกล่าวแล้ว ไม่น่ามาพิจารณาในการวิเคราะห์ นอกจากในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 ยังคงใช้ พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ทั้งนี้เพราะข้อจำกัดของตัวอย่างดินคงสภาพที่เก็บได้ไม่เพียงพอ และการประมาณการทรุดตัวของเสาเข็มสั้นนั้น หน่วยแรงเค้นที่เพิ่มขึ้นในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 นี้น้อย อีกทั้งอัตราส่วนโพรงและอัตราส่วนการอัดตัวก็มีค่าน้อย จึงส่งผลกระทบต่อค่าการวิเคราะห์การทรุดตัวน้อยมาก

ตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับสภาพดินที่ส่งผลกระทบต่อค่าการวิเคราะห์การทรุดตัว เช่น แรงดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water pressure) ซึ่งมีผลต่อหน่วยแรงประสิทธิผลทางตั้ง ($\bar{\sigma}_v$) , ค่าโมดูลัสของดิน (Soil Modulus) ซึ่งหาได้จากการทดสอบ CIUC - triaxial test ดังแสดงในตารางที่ 3.12 ซึ่งจะให้ค่าโมดูลัสแบบอันเดรอน ส่วนโมดูลัสแบบ

เดรน คำนวณได้จากสมการ (3.12) , ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson ratio) ซึ่งพบว่ามีผลกระทบน้อยต่อการทรุดตัว ปกติใช้เท่ากับ 0.5 ในสภาพไม่ระคายน้ำ และ 0.2 - 0.3 ในสภาพระคายน้ำ

4.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเสาเข็ม

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ เสาเข็มในการประมาณค่าการทรุดตัวมีดังต่อไปนี้คือ

4.1.2.1 คุณสมบัติของเสาเข็ม เช่น ความยาว , เส้นผ่านศูนย์กลาง , โมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็ม (E_p) , วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มสามารถส่งผลกระทบต่อค่าการทรุดตัว ดังนี้

1) ความยาวของเสาเข็ม , L มีผลต่ออัตราส่วนความขรุขระของเสาเข็ม, L/d ซึ่งมีผลต่อเนื่องในตัวแปรต่าง ๆ เช่น I_o , R_k , R_b , R_h , ในการคำนวณโดยใช้ Modified theory of elasticity ของ Poulos และ Davis (1980)

2) เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม , d ซึ่งมีผลต่ออัตราส่วนความขรุขระดังได้กล่าวในข้อ 1) แล้วยังมีผลต่อ Interaction factor (α_F , α_E) อีกด้วย ในกรณีพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม เป็นรูปลักษณะอื่น ก็ให้แปลงเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล โดยคิดจากพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากันสำหรับ เสาเข็มคาล (End Bearing Pile) และคิดจากเส้นรอบวงที่เท่ากันสำหรับ เสาเข็มเสียดทาน (Friction or Floating Pile) , Poulos & Davis , 1969

3) ค่าโมดูลัสของเสาเข็ม , E_p มีผลต่อ Stiffness ของเสาเข็ม (K) ซึ่งส่งผลต่อค่า I_o , R_k , R_b ซึ่งมีผลกระทบต่อค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม ปกติค่า E_p ของคอนกรีตมีค่าระหว่าง 2.0×10^6 ถึง 3.0×10^6 ตันต่อตารางเมตร หรือสามารถประมาณได้จาก (After ธาณินทร์ , 2528) :

$$E_p = 4270 w^{1.5} \sqrt{f_c} \quad \text{กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

$$\text{หรือ} \quad E_p = 15210 \sqrt{f_c} \quad \text{กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร}$$

เมื่อ w คือ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

f_c คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ในการวิเคราะห์การทรุดตัวในที่นี้ใช้ค่า $E_p = 2.4 \times 10^6$ ตันต่อตารางเมตร

4) วัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม ในกรณีที่ไม้ใช้เสาเข็มคอนกรีต เช่น เสาเข็มไม้ หรือเสาเข็มเหล็ก ค่าโมดูลัสของเสาเข็มก็จะแตกต่างกันออกไป เช่นค่า E_p ของเข็มเหล็ก = 2.04×10^7 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่า Stiffness ของเสาเข็ม (K) ซึ่งส่งผลไปยังค่า I_o , R_k , R_b และต่อค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม

4.1.2.2 ผลการทดสอบเสาเข็ม (Pile Load Test)

เนื่องจากพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มค่อนข้างจะซับซ้อน วิธีที่ดีที่สุดในการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E_s ในสมการที่ (3.14) และ (3.15) คือการคำนวณกลับ (Back Calculation) จากผลการทดสอบเสาเข็มดังกล่าวต่อไป อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ ผลการทดสอบเสาเข็มจะถูกต้องเพียงใดขึ้นกับลักษณะและวิธีการทดสอบซึ่งส่งผลทำให้ค่าการทรุดตัวที่วัดได้จากการทดสอบผิดไปจากค่าการทรุดตัวจริง จึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้ผลอันนี้ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ

1) ผลการทดสอบเสาเข็มโดยใช้เสาสมอ (Anchore Pile) เป็นแรงกระทำในการทดสอบเสาเข็ม จากการศึกษาเรื่องผลกระทบต่อทรุดตัวของเสาเข็มข้างเคียงที่รับน้ำหนัก พบว่าการที่เสาสมอรับแรงดึงจะมีผลทำให้เสาเข็มตัวที่ทดสอบ เกิดการทรุดตัวน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ค่าการทรุดตัวที่ปรับแก้แล้วจะมีค่าเท่ากับ ค่าการทรุดตัวที่วัดได้รวมกับผลกระทบจากเสาสมอ ดังสมการ

$$\rho_{act} = \rho_m / (1 - \alpha) \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

เมื่อ ρ_m คือ ค่าการทรุดตัวที่วัดได้จากการทดสอบ

α คือ ผลกระทบ (Interaction) เนื่องจากเสาสมอ

2) ผลจากการวางคานอ้างอิง (Reference Beam)

ไว้ใกล้เสาเข็มที่รับน้ำหนักจะทำให้คานอ้างอิงเกิดการเคลื่อนตัวลงตามเสาเข็มด้วย ค่าการทรุดตัวที่วัดได้จึงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ค่าการทรุดตัวที่ปรับแก้แล้ว จะมีค่าเท่ากับค่าการทรุดตัวที่วัดได้รวมกับผลกระทบจากเสาเข็มที่รับน้ำหนักไปยังคานอ้างอิง (Poulos and Davis , 1980)

4.1.2.3 การคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_s) จากการทดสอบเสาเข็ม

Poulos & Davis (1980) ได้แสดงการคำนวณเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น , E_s ในสมการที่ (3.14) , (3.15) และค่าสติฟเนส , K ของเสาเข็มเดี่ยว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) หาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น , E_s จากสมการที่ (3.14) หรือ (3.15) ในกรณีที่เป็น Floating Pile หรือ End Bearing Pile ตามลำดับ โดยใช้ค่าการทรุดตัวจากการทดสอบเสาเข็ม , น้ำหนักที่กระทำและลักษณะของเสาเข็มด้วย จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่น E_s กับ R_k และ R_h หรือ R_b

2) หาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น E_s ในรูปความสัมพันธ์กับค่าสติฟเนส , K จากสมการ

$$E_s = \frac{E_p R_a}{K}$$

3) จากความสัมพันธ์ที่ได้ในข้อ 1) และ 2) นำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง E_s กับ K ลงในกราฟ $\log - \log$ จะได้เส้นตรงสองเส้นตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง ซึ่งจะเป็นค่า E_s กับ K เมื่อพิจารณาพฤติกรรมร่วมระหว่างดินกับเสาเข็มเดี่ยว

เนื่องจากไม่ได้มีการทดสอบเสาเข็มในบริเวณที่ทำการศึกษา คือ คอสะพานปลัดเป็รียง

(กม.6 + 402.755) จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ผลการทดสอบเสาเข็มในบริเวณใกล้เคียง

จากโครงการพิเศษและบริการชุมชนบางนา ระยะที่ 1 ของการเคหะแห่งชาติ ทำการทดสอบ

โดยบริษัท สหศักดิ์ (1975) จำกัด โดยใช้เข็มขนาด I 0.26 x 0.26 x 21.00 ม.

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้งาน = 30 ตัน น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ทดสอบ = 60 ตัน จากการทำการ

คำนวณกลับจากผลการทดสอบปรากฏว่าได้ค่า $E_s = 2,268$ ตันต่อตารางเมตร และค่า

$K = 1055$ สำหรับเสาเข็มยาว 21.00 เมตร และการทดสอบเข็มสั้นซึ่งมีขนาด

■ $0.20 \times 0.20 \times 14.00$ ม. ในบริเวณใกล้เคียง ผลการทำการคำนวณกลับจากการทดสอบเสาเข็ม ปรากฏว่าได้ค่า $E_s = 298.2$ ตันต่อตารางเมตร และค่า K เท่ากับ 8125

ดังรูป 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ การคำนวณกลับนี้ ตรวจสอบด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ " SAPF " (Pongchai , 1985) ให้ผลใกล้เคียงกับการคำนวณมือ

4.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของฐานราก

ลักษณะรูปแบบของฐานรากแสดงไว้ในภาคผนวก ค. มีผลต่อการประมาณการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็มซึ่งตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้อาจแยกพิจารณาได้เป็น

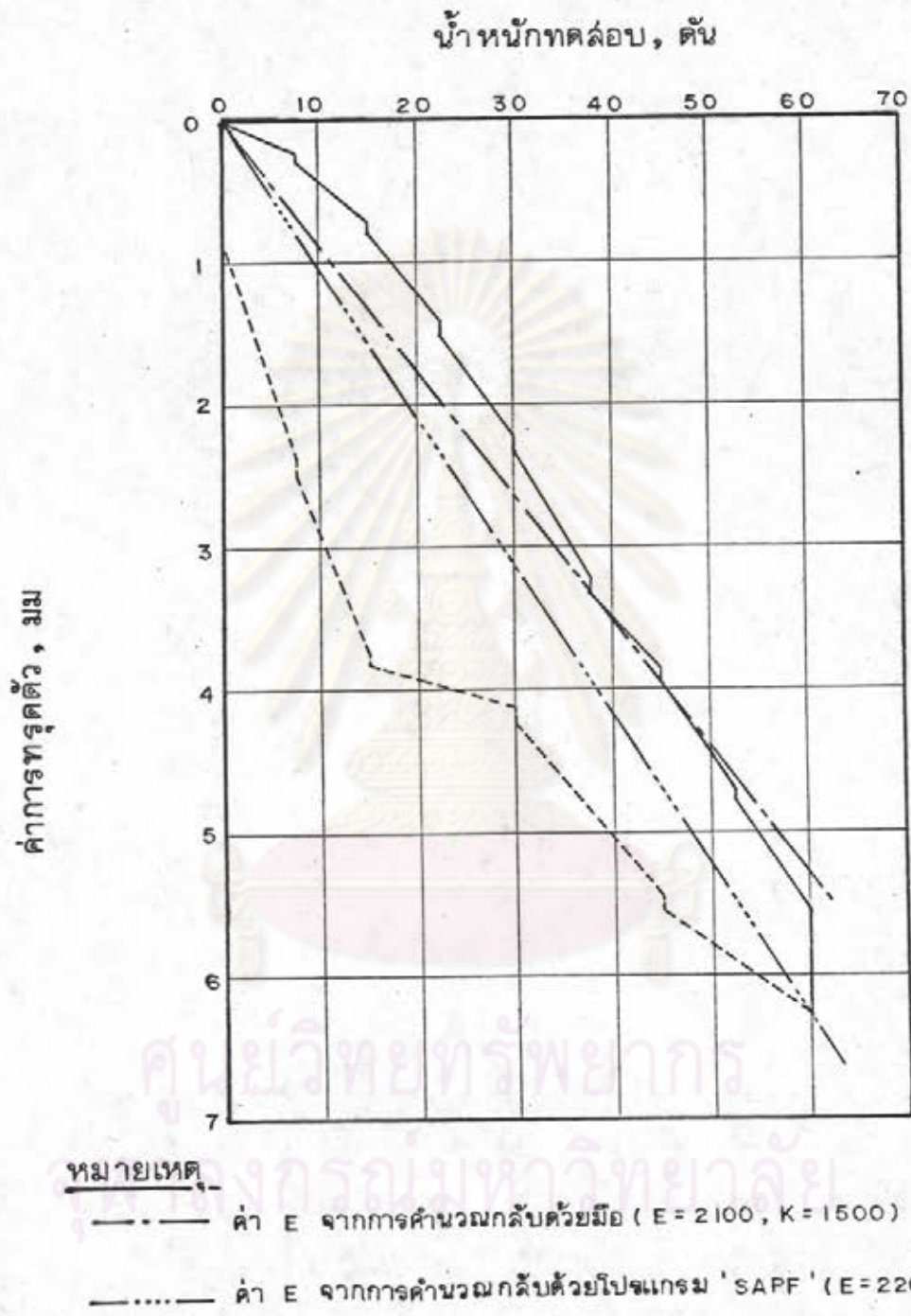
1) รูปแบบการจัดของเสาเข็ม (Pile layout) ซึ่งกรณีของการมีเสาเข็มจำนวนมากนั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ ตำแหน่ง , ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม ซึ่งส่งผลกระทบต่อเสาเข็ม (Interaction)

2) ขนาดของแท่นหัวเข็ม (Pile cap) เป็นตัวช่วยยึดไม่ให้หัวเสาเข็มเคลื่อนจากตำแหน่งที่ต้องการในระบบฐานราก ซึ่งจะช่วยเพิ่ม Rigidity ให้แก่ระบบฐานราก และยังส่งผลทำให้การทรุดตัวของเสาเข็มในฐานรากลดลงด้วย โดยแสดงอยู่ในรูปของค่าการปรับแก้ F_R รูป 9.11 ซึ่งขนาดของแท่นหัวเข็ม , d_c ที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้พิจารณาให้มีขนาดต่าง ๆ เพื่อการเปรียบเทียบผลดังนี้

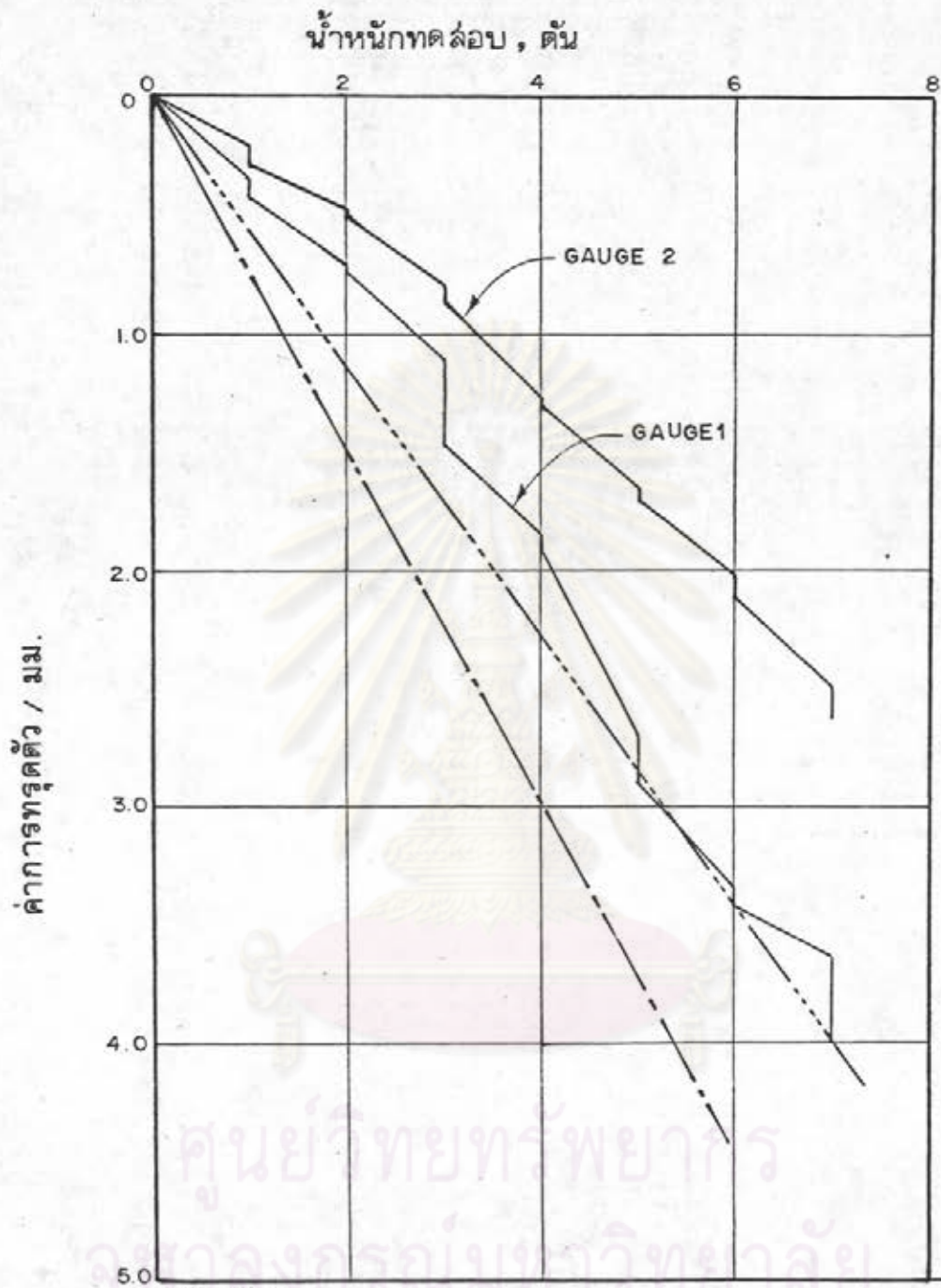
- 1) พิจารณานขนาดของแท่นหัวเข็ม , d_c , เท่ากับระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (Spacing)
- 2) พิจารณานขนาดของแท่นหัวเข็ม , d_c , เท่ากับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มเดี่ยว , d , เป็นลักษณะ Perfectly Flexible Pile
- 3) พิจารณานขนาดของแท่นหัวเข็ม , d_c , เท่ากับ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มเดี่ยว , d

4.1.4 การจัดกลุ่มของเสาเข็มในการคำนวณการทรุดตัว (Pile Configuration)

เนื่องจากการประมาณการทรุดตัวของคอสะพานที่มีหน่วยแบริ่งนั้น ลักษณะของกลุ่มเสาเข็มมีความยาวลทลันกันตั้งแต่ความยาว 22.60 - 1.95 เมตร ตามระยะที่ห่างจากคอสะพานออกไปเป็น sine curve ตามลำดับ การจัดกลุ่มจึงมีความยุ่งยากทั้งนี้เพราะ



รูปที่ 4.2 ผลการคำนวณกลับจากการทดสอบเสาเข็มขนาด I 0.26 x 0.26 x 21.0 ม.
บริเวณโครงการพิเศษและบริการชุมชนบางนา



หมายเหตุ

----- ค่า E จากการคำนวณกลับด้วยมือ (E = 300, K = 8000)

..... ค่า E จากการคำนวณกลับด้วยโปรแกรม 'SAPE' (E = 298.2, K = 6125)

รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณกลับจากการทดสอบเสาเข็มขนาด 1 0.18 x 0.18 x 14.00 บริเวณโครงการพิเศษและบริการชุมชนบางนา

ข้อจำกัดทางสมมติฐานของแต่ละทฤษฎี ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

4.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักที่กระทำบนเสาเข็ม (Load)

การคาน้ำหนักบรรทุกอาจจะแยกกระทำได้ 2 แบบ ในการวิเคราะห์ดังนี้

1) คาน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ของตัวถนนกระทำต่อแผ่นพื้นคอนกรีตเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.3 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งใช้ในการคำนวณหาปริมาณการทรุดตัวด้วยวิธีต่าง ๆ

2) คาน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) รวมกับน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) เนื่องจากน้ำหนักของรถและปริมาณจราจร (traffic volume) ในที่นี้คาน้ำหนักบรรทุกจร เท่ากับ 0.5 ตัน/ม²

จากลักษณะการถ่ายน้ำหนักดังกล่าวของคันทาง (Embankment) กระทำต่อแผ่นพื้นคอนกรีตที่วางอยู่บนหัวเสาเข็ม (Slab on Piles) กับข้อสมมติฐานของทฤษฎีต่าง ๆ จึงแยกวิธีการคิดในการถ่ายน้ำหนักได้ 2 แนวทาง คือ

1) การประมาณการทรุดตัวแบบดั้งเดิม (Conventional methods) ที่ใช้สมมติฐานของ Terzaghi และ Tomlinson การคิดให้คิดเป็นฐานแผ่แบบ mat foundation การถ่ายน้ำหนักให้กับดิน พิจารณาตามสมมติฐานของแต่ละวิธีดังกล่าว

2) การประมาณการทรุดตัวของเสาเข็มแบบ Modified theory of elasticity โดยใช้สมมติฐานของ Poulos & Davis (1980) การคาน้ำหนักที่กระทำบนแผ่นพื้นคอนกรีต ถ่ายไปยังหัวเสาเข็มโดยตรง และคาน้ำหนักบรรทุกลงเสาเข็มแต่ละต้นเท่า ๆ กัน ในฐานราก โดยไม่คิดว่าแผ่นพื้นคอนกรีตถ่ายน้ำหนักบางส่วนให้กับดินที่อยู่ระหว่างเสาเข็มเลย ทั้งนี้สามารถกระทำได้เพราะวิธีนี้มีการปรับแก้การทรุดตัวเนื่องจากแท่นหัวเข็ม (Pile cap) แล้ว และอีกทั้งไม่สามารถคำนวณหาน้ำหนักที่กระทำบนเสาเข็มแต่ละต้นในฐานรากดังกล่าวได้โดยง่าย จึงต้องสมมติให้น้ำหนักกระทำบนเสาเข็มแต่ละต้นเท่า ๆ กัน

4.2 วิธีการวิเคราะห์การทรุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่ง

การวิเคราะห์การทรุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่งในบริเวณดินอ่อน ในที่นี้ได้ใช้แนวทางการวิเคราะห์หลัก 2 แนวทาง คือ

4.2.1 การวิเคราะห์ด้วยมือ (Hand Calculation)

4.2.2 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " ที่ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของ IBM รุ่น Personal Computer ซึ่งแต่ละแนวทางได้วิเคราะห์ด้วยวิธีหลักอยู่ 2 วิธีคือ

1. วิธีการแบบดั้งเดิม (Conventional method) ซึ่งใช้สมมติฐานของ
 - 1.1) Terzaghi (1952) เรียกเป็นวิธี Terzaghi
 - 1.2) Tomlinson (1979) เรียกเป็นวิธี Tomlinson
2. วิธี Modified theory of elasticity ของ Poulos & Davis (1980) เรียกการวิเคราะห์แบบนี้ว่า วิธี Poulos

ในการวิเคราะห์แต่ละวิธีในแต่ละแนวทางนั้นแตกต่างกันที่สมมติฐานที่ใช้ แต่อย่างไรก็ดี ทุกวิธีและแนวทางนั้น มีสมมติฐานหลักที่ใช้ดังนี้คือ

- 1) สภาพชั้นดินในบริเวณคอสะพานนั้นสม่ำเสมอ (Uniform) หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก
- 2) ไม่คิดผลกระทบของการหดตัวของชั้นดินเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล
- 3) ไม่คิดการหดตัวแบบ Undrained Creep และ Secondary Compression
- 4) ไม่คิดผลกระทบของแรงเสียดทานลบ (Negative skin friction)
ในเสาเข็ม
- 5) พิจารณาให้หน่วยน้ำหนักของเสาเข็ม เท่ากับหน่วยน้ำหนักของดิน

4.2.1 การวิเคราะห์ด้วยมือ. (Hand Calculation)

เนื่องจากการประมาณการหดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยเสาเข็มจำนวนมากและมีความยาวลดหลั่นกัน ดังแสดงรูปในภาคผนวก ค มีความยุ่งยากมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีของ Poulos ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมดังนี้

- 1) พิจารณาหน่วยแบริ่ง (Bearing Unit) แยกขาดจากกันเป็น 4 ช่วง ดังรูป 4.4 ซึ่งการแบ่งออกเป็น 4 ช่วงนี้ได้จากการพิจารณาข้อมูลการหดตัวที่วัดได้ในสนาม โดยดูผลต่างของการหดตัวที่เกิดขึ้นเกินข้อกำหนดที่แผ่นพื้นจะรับได้ ดังแสดงในตาราง 4.1 ประกอบกับข้อมูลของความยาวเสาเข็มที่ยังอยู่ในชั้นดินชนิดต่าง ๆ ในแต่ละช่วงที่แบ่ง

ตารางที่ 4.1(ก) ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ (After Grant and Christian (1974))

ค่าการทรุดตัว	รายละเอียด
$\delta/L > 1/300$	Cracking in panel in frame building or wall in loaded bearing wall structure
$\delta/L > 1/150$	Structural damage (Column and beam)
$\delta/L = 1/300$	$\delta_{max} = 1 \frac{3}{4}$ " สำหรับฐานรากบนดินเหนียว $\delta_{max} = 1 \frac{1}{4}$ " สำหรับฐานรากบนทราย $\rho_{allow} = 3$ " สำหรับฐานรากเดี่ยว, 4 " สำหรับฐานรากแบบ raft บนดินเหนียว $\rho_{allow} = 2$ " สำหรับฐานรากเดี่ยว, 2 $\frac{1}{2}$ " สำหรับฐานรากแบบ raft บนทราย

สำหรับฐานรากแบบ raft ชนิดจำกัดของการทรุดจะขึ้นกับความกว้างและ rigidity ของฐานรากด้วย

ตารางที่ 4.1(ข) ข้อกำหนดความเสียหายที่เกิดขึ้น (After Skempton and Mc Donald (1956))

Angular Distortion	ลักษณะของความเสียหาย
1/500	Limit of no settlement damage
1/300	Cracking in wall and partitions
1/150	Structural damage for buildings

2) ในการคำนวณเพื่อประมาณการทรุดตัวในแต่ละวิธี พิจารณาความยาวของเสาเข็มที่ใช้เท่ากับความยาวเฉลี่ยในแต่ละช่วงที่ถูกแบ่ง การพิจารณาให้ความยาวเท่ากันเช่นนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับสมมติฐานตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้แล้ว

3) พิจารณาให้เสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำเท่า ๆ กัน

4.2.1.1 วิธี Terzaghi

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในการประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากแผ่ (Mat foundation) ในทางปฏิบัติ โดยอาศัยทฤษฎีการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำในลักษณะ 1 มิติ ซึ่งค่าการทรุดตัวที่ได้เป็นค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวได้ปลายเสาเข็ม แบบ 1 มิติ โดยไม่พิจารณาการทรุดตัวในชั้นทราย และค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักในดินเหนียว (Immediated Settlement)

การคำนวณค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำหาได้จากสมการ (3.1) โดยได้คุณสมบัติของการยุบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียว (m_v) จากการทดลอง Consolidation ด้วยเครื่อง Oedometer ของตัวอย่างคงสภาพในบริเวณคอสะพานปลัดเป็เรียง ดังกล่าวไว้ในบทที่ 3 ค่าหน่วยแรงเค้นทางตั้งประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้น ($\Delta\sigma_v$) หาได้โดยสมมติให้น้ำหนักทั้งหมด (น้ำหนักบรรทุกคงที่) กระทำบนฐานรากแผ่แบบสมมูลย์ (Equivalent raft foundation) กระทำที่ระดับ 1 ส่วน 3 เหนือปลายเสาเข็ม และน้ำหนักบรรทุกกระจายออกเป็นอัตราส่วน 1 : 2 (ทางราบ : ทางตั้ง) จากรูป 3.1 (ก). (ข) ขนาดของฐานรากแผ่สมมูลย์ที่ใช้มีความกว้างและยาวเท่ากับช่วงเสาเข็มที่ถูกแบ่งให้ขาดจากกัน ดังรูป 4.4 ค่าการทรุดตัวที่คำนวณได้เป็นการทรุดตัวสุดท้ายโดยเฉลี่ย

4.2.1.2 วิธี Tomlinson

วิธีนี้ใช้สมมติฐานเพิ่มเติมดังได้กล่าวในหัวข้อ 4.2.1 การประมาณค่าการทรุดตัวมีลักษณะเดียวกันกับวิธีของ Terzaghi ดังแสดงในรูป 4.4 เพียงแต่การกระจายของหน่วยแรงเค้นที่เพิ่มขึ้นนั้น คัดจากฐานรากแบบสมมูลย์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ในอัตราส่วน 1 : 4 (ทางราบ : ทางตั้ง) ในชั้นที่เป็นดินเหนียว ดังแสดงวิธีการกระจายไว้ในรูปที่ 3.2 แล้วจึงกระจายออกเป็นสัดส่วน 1 : 2 (ทางราบ : ทางตั้ง) เมื่อรู้ขนาดของฐานราก

สมมูลย์และการกระจายในแต่ละชั้นดิน ก็ทำการคำนวณหาการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (Immediated Settlement) จากสมการที่ (3.7) รวมกับการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement) ได้จากสมการที่ (3.8) ค่า m_v (Coefficient of vol. Compresibility) ได้จากการทดสอบ Oedometer แบบ 1 มิติ การพิจารณาการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำนั้น พิจารณาตรงจุดที่ติดตั้ง settlement plate ในช่วงที่แผ่นพื้นคอนกรีต (slab) ถูกแบ่งออกในแต่ละช่วงจริง คือจุด S_2 , S_4 , S_6 และ S_8 ดังรูป 4.4 วิธีการคิดหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกกระทำคิดโดยวิธีแบ่งฐานรากสมมูลย์ออกเป็น 4 ส่วน โดยจุดที่ติดตั้ง settlement plate อยู่ตรงมุมเพื่อการหาการกระจายหน่วยแรงเค้นทางดิ่งที่เพิ่มขึ้น ด้วยวิธีของ Boussinesq รูป 3.7 ซึ่งค่าการทรุดตัวสุดท้ายเป็นการรวมกันของค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักกับค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ

4.2.1.3 วิธี Poulos

วิธีการนี้พิจารณาการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเป็นแบบ 3 มิติ ซึ่งผลที่ได้จะใกล้เคียงกับการคำนวณด้วยวิธี Finite element (Poulos and Davis , 1980) โดยสมมุติให้ดินมีคุณสมบัติเป็น Isotropically linear elastic material และใช้ทฤษฎี Elasticity ในการหาค่าการทรุดตัว การพิจารณาหาการทรุดตัวพิจารณาเป็นเสาเข็มเดี่ยวโดยคิดผลกระทบของเสาเข็มต้นข้างเคียงด้วยดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป การคำนวณได้แบ่งการทรุดตัวออกเป็น 2 ส่วนคือ

- 1) การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (Immediate Settlement , ρ_i)
- 2) การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement , ρ_c)

การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) จะเกิดขึ้นทั้งในดินเหนียวและทราย เมื่อเสาเข็มได้รับน้ำหนัก ส่วนการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ เกิดขึ้นเฉพาะในดินเหนียว โดยค่าการทรุดตัวจะขึ้นกับ เวลาของการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียว

- 1) การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (Immediate Settlement , ρ_i)

สามารถแยกพิจารณาออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

- 1.1) การทรุดตัวเนื่องจากดินและเสาเข็มใน Founding layer (ρ_{fd})

มีขบวนการวิเคราะห์ดังนี้

ก. หากการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวซึ่งเกิดขึ้น เนื่องจากดินบริเวณข้างเสาเข็ม ปลายเสาเข็มและตัวเสาเข็มเอง ได้รับหน่วยแรงเค้นเมื่อเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุก ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.14) สำหรับ Floating pile หรือสมการ (3.15) สำหรับ End - Bearing pile และค่า E_s ในสมการทั้งสอง เป็นพฤติกรรมร่วมระหว่างเสาเข็มกับดิน ซึ่ง Poulos & Davis (1980) แนะนำให้ใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณกลับ (Back Calculate) จากผลการทดสอบเสาเข็มดังกล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.2.3 จะได้ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว ณ จุดที่พิจารณา (จุด S_2 , S_4 , S_6 , S_8) ดังแสดงในรูป 4.4

ข. ลดค่าการทรุดตัวที่ได้จากเสาเข็มเดี่ยวลง เนื่องจากผลของแท่นหัวเข็ม (pile cap) ด้วยแฟกเตอร์ F_R ดังรูป 3.11 สำหรับการคำนวณด้วยมือในที่นี้ พิจารณาผลของแท่นหัวเข็มมีขนาดเท่ากับ เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มเดี่ยว ที่พิจารณาคือ $d_c = d$ ส่วนวิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " ได้ทำการแยกพิจารณาผลของแท่นหัวเข็มใน 3 ลักษณะดังนี้คือ

- ข.1) พิจารณาขนาดของแท่นหัวเข็ม เท่ากับระยะห่างระหว่างเสาเข็ม ,
($d_c = \text{Spacing}$)
- ข.2) พิจารณาขนาดของแท่นหัวเข็ม เท่ากับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ
เข็มเดี่ยว . ($d_c = d$)
- ข.3) พิจารณาขนาดของแท่นหัวเข็ม เท่ากับ 7 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ของเข็มเดี่ยว . ($d_c = 7d$)

ค. เพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณ ได้ใช้สมมุติฐานเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.2.1 พิจารณาเป็นลักษณะของ การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวต้นที่พิจารณาโดยพิจารณาผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียงที่มากระทำทั้งหมดพื้นที่ของแผ่นพื้นคอนกรีตที่วางบนหัวเสาเข็ม

ง. คิดผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียงภายในกลุ่มที่แบ่งเป็นช่วง ๆ ซึ่งมีความยาวของเสาเข็มในแต่ละช่วง เท่ากันตามสมมุติฐานเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.2.1 ไปยังเสาเข็มต้นที่พิจารณา (ต้นที่ติดตั้ง Settlement plates S_2 , S_4 , S_6 , S_8 ดังรูป 4.4) โดย

ใช้สมการ (3.24) เมื่อค่า α (Interaction factor) หาได้จากสมการที่ (3.21) และ (3.22) กรณีเป็น Floating Pile และ End - Bearing Pile ตามลำดับ รูปที่ 3.14(ก). (ข) และ 3.15

จ. พิจารณาผลกระทบข้างเคียงในแต่ละช่วงไปยังเสาเข็มเดี่ยวต้นที่พิจารณา (S_2, S_4, S_6, S_8) พิจารณาผลกระทบของทั้งระบบแผ่นพื้นคอนกรีตที่วางอยู่บนหัวเสาเข็ม โดยพิจารณาผลกระทบข้างเคียง (Interaction Factor) ของเข็มตัวแทนในแต่ละช่วงไปยังเข็มเดี่ยวต้นที่พิจารณาโดยใช้สมการที่ (3.25) ทั้งนี้เพราะขนาดของเสาเข็มมีความยาวที่ต่างกันไปแล้ว ดังรูป 4.4 จะได้ค่าการทรุดตัวแบบทันทีที่รับน้ำหนักใน Founding layer , ρ_{fd} ของทั้งระบบฐานราก

1.2) การทรุดตัวของดินใน Underlying layer , (ρ_{ud})

การทรุดตัวนี้เป็นการทรุดตัวทันทีเมื่อเสาเข็มได้รับแรงเค้นที่เกิดจากการบรรทุกน้ำหนักทำให้ชั้นดินที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม เกิดการยุบตัว ซึ่งมีขบวนการวิเคราะห์ดังนี้

ก. หากการทรุดตัวของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็มเดี่ยว ที่จุดพิจารณาจากสมการที่ (3.27) โดยใช้ค่า I จากรูปที่ 3.12 และค่า E_u จากคุณสมบัติการยุบตัวของชั้นดินในสภาพไม่มีการระบายน้ำ (E_u) ของชั้นดินในแต่ละชั้น โดยคิดผลกระทบของการทรุดตัวของดินชั้นที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็มเดี่ยวข้างเคียงกระทำต่อเสาเข็มเดี่ยวต้นที่พิจารณาเป็นช่วง ๆ ตามที่แบ่งไว้เป็นชั้น ๆ ของดินไปรวมผลที่ได้เข้าด้วยกัน จะได้ค่าการทรุดตัวของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็มต้นที่พิจารณา (จุด S_2, S_4, S_6, S_8) เมื่อมีผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียงด้วย

ข. พิจารณาผลกระทบเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นดินที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็มในแต่ละช่วงไปยังเสาเข็มเดี่ยวต้นที่พิจารณา ก็จะได้การทรุดตัวของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็มต้นที่พิจารณา โดยมีผลกระทบของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็มข้างเคียงของทั้งระบบฐานราก

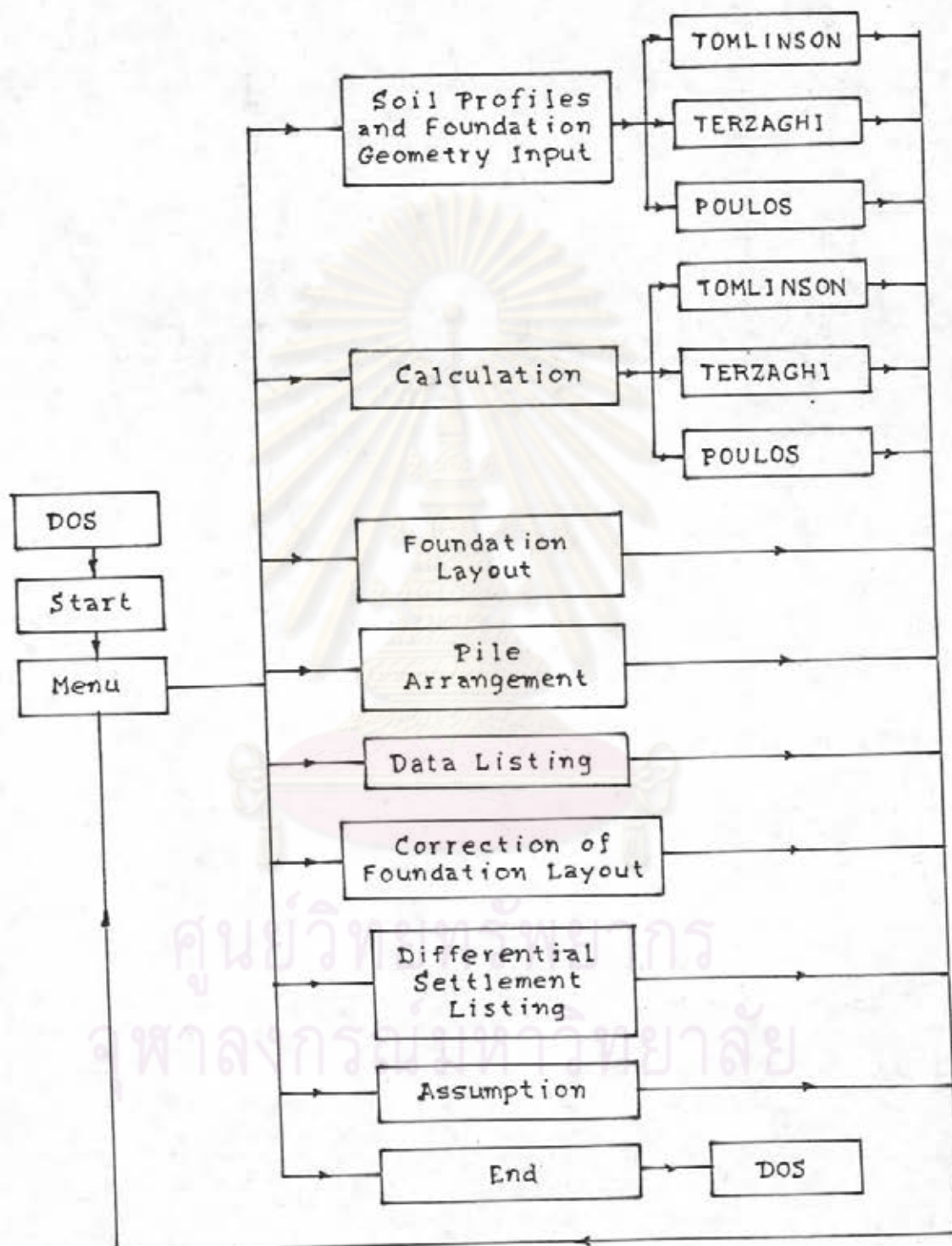
การทรุดตัวทันทีที่เกิดขึ้นทั้งหมด เป็นผลรวมของค่าการทรุดตัวเนื่องจากดินและเสาเข็มใน Founding layer , ρ_{fd} กับ การทรุดตัวของดินใน Underlying layer , ρ_{ud} ดังกล่าวในหัวข้อ 1) และ 2) ข้างต้น

2) การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement , ρ_c)

การคำนวณสามารถกระทำได้เช่นเดียวกับการหาค่าการทรุดตัวของดินใน Underlying layer , ρ_{ud} แต่ต้องใช้พารามิเตอร์ในการคำนวณในลักษณะที่มีการระบายน้ำ (drain) เช่นค่า E_u (Undrain Modulus) เปลี่ยนเป็นค่า E' (drain Modulus) และค่า ν_s (Undrain Poisson's Ratio) เปลี่ยนเป็นค่า ν' (drain Poisson's Ratio) โดยจะเกิดขึ้นเฉพาะในชั้นดินเหนียวได้ปลายเสาเข็มเท่านั้น ในทางปฏิบัติเพื่อความสะดวกจะใช้กราฟที่เสนอโดย Poulos และ Mattes (1969) ซึ่งสร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการอันเดียวกัน โดยแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักกับค่าการทรุดตัวสุดท้าย ดังแสดงในรูป 3.13 (ก)

4.2.2 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป 'SAPF'

การวิเคราะห์หากการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " (Settlement Analysis of Pile Foundation Program) ที่พัฒนาขึ้น โดย Pongchai (1985) สำหรับใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของ IBM Personal Computer ซึ่งใช้ภาษาเบสิกขั้นสูง (Advanced BASIC) ควบคุมระบบการทำงานด้วย Disk Operating System (DOS) ใน version 3.00 ซึ่งสามารถแสดงผลบนจอภาพ และพิมพ์ผลการวิเคราะห์ได้ อีกทั้งยังสามารถแสดงการจัดรูปแบบของเสาเข็ม เป็นรูปกราฟบนจอทีวีสีได้ ในตัวโปรแกรมสำเร็จรูปนี้จะประกอบไปด้วยส่วนทำงาน 14 ส่วน และส่วนข้อมูล ซึ่งเก็บเป็นลักษณะรูปกราฟอีก 48 data curve files ข้อมูลทั้งหมดเก็บไว้ในแผ่น diskette ชนิด double side, double density diskette จำนวน 2 แผ่น (เรียกเป็น โปรแกรม " SAPF 1 " และ " SAPF 2 ") ขั้นตอนการทำงานของตัวโปรแกรม " SAPF " ได้แสดงไว้ในรูป 4.8 ส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรมจะต่อเนื่องกับโปรแกรมที่แสดงผลบนจอภาพที่ชื่อว่า " MENB.EXE " ซึ่งจะเป็นตัวนำคำสั่งการทำงานไปยังส่วนต่าง ๆ ตามที่ผู้ใช้ต้องการ และยังมีโปรแกรม " GRAPHICS.COM " และ Self booting batch ในแต่ละแผ่น diskette เตรียมรับคำสั่งการทำงานใหม่เมื่อเสร็จการทำงานในแต่ละขั้นตอน สำหรับ Data curve file ได้แยกเป็นส่วนพิเศษเรียกว่า " MITABLET " ซึ่งสามารถเก็บและค้นหาข้อมูล



รูปที่ 4.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรม "SAPF" (After Pongchai, 1985)

ที่เป็นลักษณะรูปกราฟ ซึ่งใช้มากในวิธีการประมาณการหาค่าการทรุดตัวโดยวิธี Poulos รายละเอียดย และวิธีการใช้งาน ตัวโปรแกรม " SAPF " นี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. และตัวอย่าง ผลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.

เนื่องจากตัวโปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " นี้ใช้ในการคำนวณหาค่าการทรุดตัวของฐานรากแบบเสาเข็ม ทั้งที่เป็น Multi - footing pile foundation และ Single pile - raft foundation (or Mat - foundation) โดยใช้วิธีการตั้งแบบดั้งเดิมของ Terzaghi (1952) หรือ Tomlinson (1979) และวิธีการที่มีพื้นฐานมาจากการปรับปรุงทฤษฎีของอีลาสติค (Modified theory of elasticity) ของ Poulos & Davis (1980) และมีความสะดวกในการป้อนข้อมูล เช่น ข้อมูลพารามิเตอร์ของดิน , ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกและรูปแบบของฐานราก (foundation geometry) มีความยืดหยุ่นในการแก้ไขข้อมูลใช้เวลาน้อยในการคำนวณและมีความถูกต้องแม่นยำสูง จึงได้มีการทดลองเพื่อประมาณหาค่าการทรุดตัวของคอสสะพานที่มีหน่วยแบริ่งในหลายลักษณะดังจะได้อีกต่อไป ตารางที่ 4.2 ถึง 4.5 และรูปที่ 4.4 ถึง 4.7 ได้แสดงวิธีการคำนวณและสมมุติฐานที่ใช้ของแต่ละวิธี

4.2.2.1 สมมุติฐานและข้อจำกัดของโปรแกรม " SAPF "

1) สมมุติฐาน (Assumptions)

- 1.1) ความยาวของเสาเข็มที่ใช้ในระบบฐานรากจะต้องเท่ากัน
- 1.2) เสาเข็มทุกต้นจะต้องมีปลายหยั่งไปที่ระดับความลึกเดียวกัน
- 1.3) หน้าตัดของเสาเข็มจะต้องเป็นรูปวงกลมและมีความสม่ำเสมอตลอดความยาว ถ้าเสาเข็มเป็นรูปแบบอื่นให้เปลี่ยนเป็นรูปวงกลมโดยคิดเทียบพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน
- 1.4) เข็มทุกต้นที่ประกอบในฐานราก จะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน
- 1.5) การพิจารณาการทรุดตัวของเข็มกลุ่ม ให้คิดผลกระทบ (interaction) จากเข็มใกล้เคียง ภายในระยะ 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสมมุติของเข็มกลุ่มนั้น เมื่อพิจารณาด้วยวิธีการของ Poulos และ ภายในระยะ 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มกลุ่ม สำหรับวิธี Tomlinson และวิธี Terzaghi

ตารางที่ 4.2 สรุปวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์

TABLE 4.2 METHOD OF ANALYSIS

=====

TERZAGHI'S METHOD		TOMLINSON'S METHOD				POULOS'S METHOD		ASAOKA'S METHOD
HAND CAL.	COMPUTER CAL.	HAND CAL.	COMPUTER CAL.	HAND CAL.	COMPUTER CAL.	HAND CAL.	COMPUTER CAL.	FIELD DATA
SRF.# ###	SRF. ###	MFF.# ###	SRF. ###	SRF. ###	MFF. ###	MFF. ###	MFF. ###	
TGH	TG1	TG3	TMH	TM1	TM3	PLH1	PL1	A1
	TG2	TG4		TM2	TM4	PLH2	PL2	
	TG5			TM5		PLH3	PL3	
	TG6			TM6			PL4	
							PL5	
							PL6	
							PL7	

หมายเหตุ SRF = Single Raft Foundation
MFF = Multi-Footing Foundation

คู่มือการตรวจพิจารณา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6) ในวิธีการของ Tomlinson นั้น การทรุดตัวในชั้นทรายได้รวมอยู่
ในการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ

1.7) การทรุดตัวสุดท้าย (Total settlement) ในวิธี Terzaghi
นั้นประกอบด้วยทรุดตัวที่เกิดทั้งในชั้นทรายและชั้นดินเหนียว

2) ข้อจำกัดของโปรแกรม " SAPF "

2.1) จำนวนช่วง (panel) ที่มากที่สุดสำหรับการจัดรูปแบบเสาเข็มเดี่ยว
ในฐานรากตัวหนึ่ง ๆ ทั้งในทิศทาง X และ Y มีได้ไม่เกิน 20 ช่วง

2.2) จำนวนช่วง (panel) ที่มากที่สุดสำหรับการจัดรูปแบบฐาน
(footing) ในฐานราก (foundation) ในทิศทาง X และ Y มีได้ไม่เกิน 20 ช่วง

2.3) ชนิดและรูปแบบของการจัดกลุ่มเสาเข็มของฐาน (footing) ใน
ฐานราก (foundation) จะต่างกันได้ไม่เกิน 30 แบบ

2.4) จำนวนชั้นดินสามารถมีได้มากที่สุดเพียง 15 ชั้น อนึ่ง รูปที่ 4.9
ได้แสดงสมมุติฐานและข้อจำกัดของโปรแกรม " SAPF "

4.2.2.2 รูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์

เนื่องจากสมมุติฐานและข้อจำกัดบางประการดังได้กล่าวในหัวข้อ

4.2.2.1 นั้น ไม่ตรงกับลักษณะของฐานรากของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่งตามสภาพจริง ๆ
ที่เดียว จึงต้องมีข้อสมมุติฐานเพิ่มเติมดังแสดงในหัวข้อ 4.2.1 ซึ่งพอที่จะใช้โปรแกรม
" SAPF " ในการประมาณการทรุดตัวของคอสะพานที่มีหน่วยแบริ่งได้ ความต่างกันของข้อ
สมมุติฐานดังกล่าวส่งผลให้ค่าการทรุดตัวที่ประมาณได้ด้วยมือกับการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มีผล
ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการและหลักการของการคำนวณด้วยมือนั้น มีข้อสมมุติฐานที่ใกล้เคียง
กับสภาพจริงมากกว่า ถึงกระนั้นก็ตาม การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มีความรวดเร็วและสะดวก
กว่าผู้เขียนจึงพยายามจัดรูปแบบให้ใกล้เคียงกับการคำนวณด้วยมือที่สุด เพื่อการเปรียบเทียบและ
หาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้สรุปไว้ในตาราง
ที่ 4.2 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ASSUMPTIONS

- 1) The length of all the piles used in foundation must be equal.
- 2) Every pile have the same pile tip depth.
- 3) Pile cross-section must be circular and uniform through out the length. Any other pile shapes have to be converted to a circular pile with uniform cross-sectional area.
- 4) All the piles used in one footing have the same diameter.
- 5) Considering the settlement of the pile group, the interaction from the adjacent pile groups locating within the distance of 15 times the diameter of that adjacent equivalent pile group are determined for POULOS'S method and 8 times the diameter of that pile group for TOMLINSON & TERZAGHI'S methods
- 6) In TOMLINSON'S method, settlement in sand layers are included in consolidation settlement.
- 7) Total settlement in TERZAGHI'S method composes of settlement both in sand and clay layers.

Hit any key to continue

LIMITATIONS

- 1) The maximum numbers of panel for footing layout, both in X & Y directions, is 20 panels.
- 2) The maximum numbers of panel for pile arrangement, both in X & Y directions, is 20 panels.
- 3) The maximum types of footing with different pile arrangement in foundation layout is 30.
- 4) The maximum number of layers of soil is 15.

Hit any key to return to menu

รูปที่ 4.9

ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัดของตัวโปรแกรม " SAPF "

(After Pongchai , 1985)

4.2.2.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Terzaghi

พิจารณารูปแบบฐานรากออกเป็น 2 แนวทาง โดย

1) พิจารณาเป็น Single Raft Foundation , SRF (หรือ Mat Foundation)

2) พิจารณาเป็น Multi - footing Foundation , MFF

รายละเอียดของวิธีประมาณการหาค่าความสมมุติฐานและรูปแบบการจัดฐาน (Footing) ในฐานราก (Foundation) ต่าง ๆ TG1 - TG6 ได้แสดงในตารางที่ 4.3 และผลการประมาณการหาค่าแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10

4.2.2.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Tomlinson

พิจารณารูปแบบของฐานรากออกเป็น 2 แนวทางเช่นกัน คือ

1) พิจารณาเป็น Single Raft Foundation , SRF

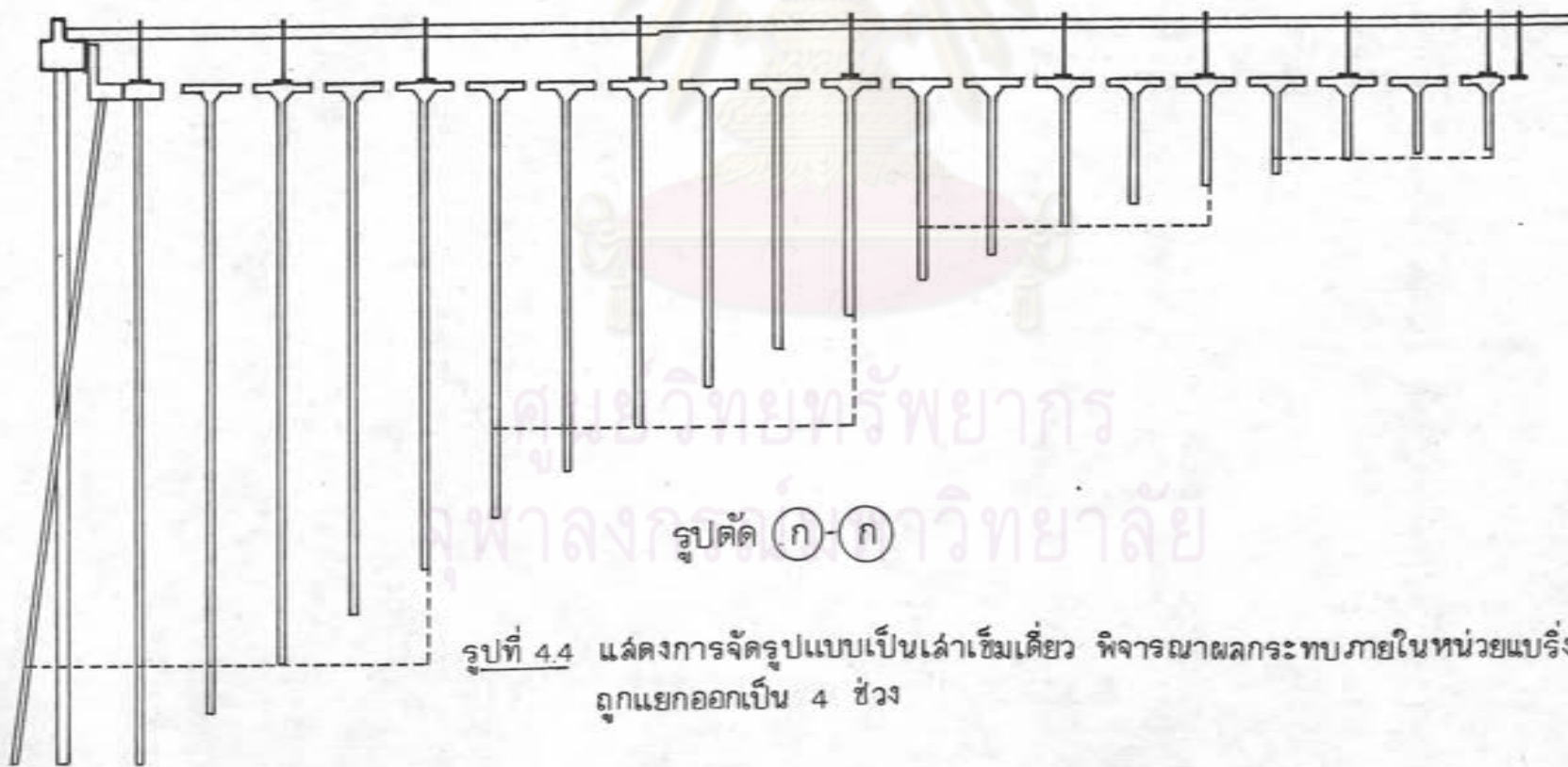
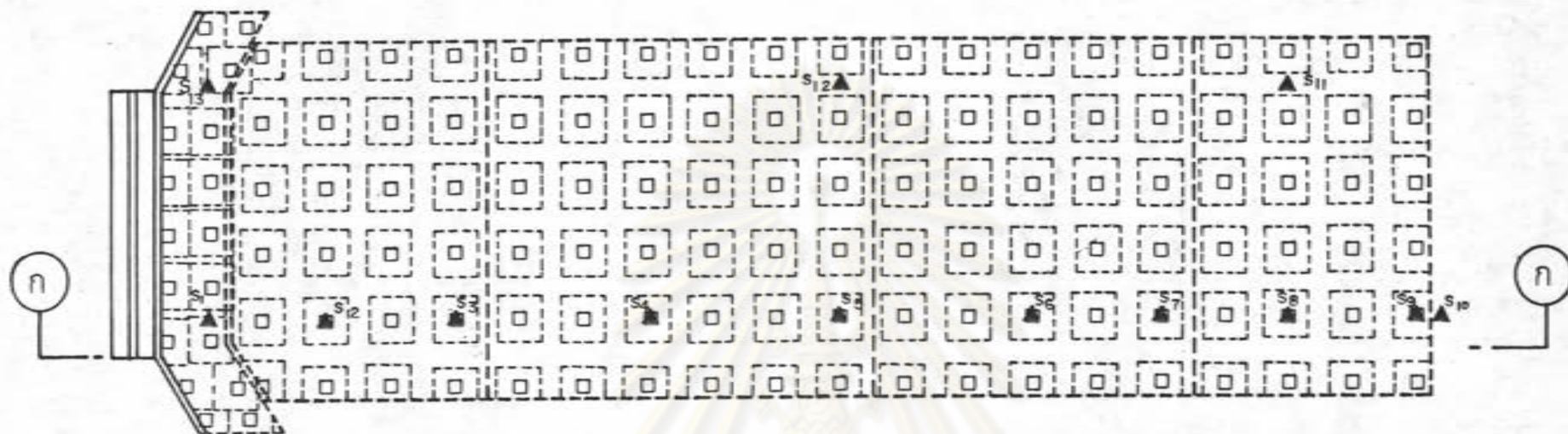
2) พิจารณาเป็น Multi - footing Foundation , MFF

ซึ่งรายละเอียดของวิธีประมาณการหาค่าความสมมุติฐานและรูปแบบการจัดฐาน ในฐานรากต่าง ๆ TM1 - TM6 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ผลการประมาณการหาค่าแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.11

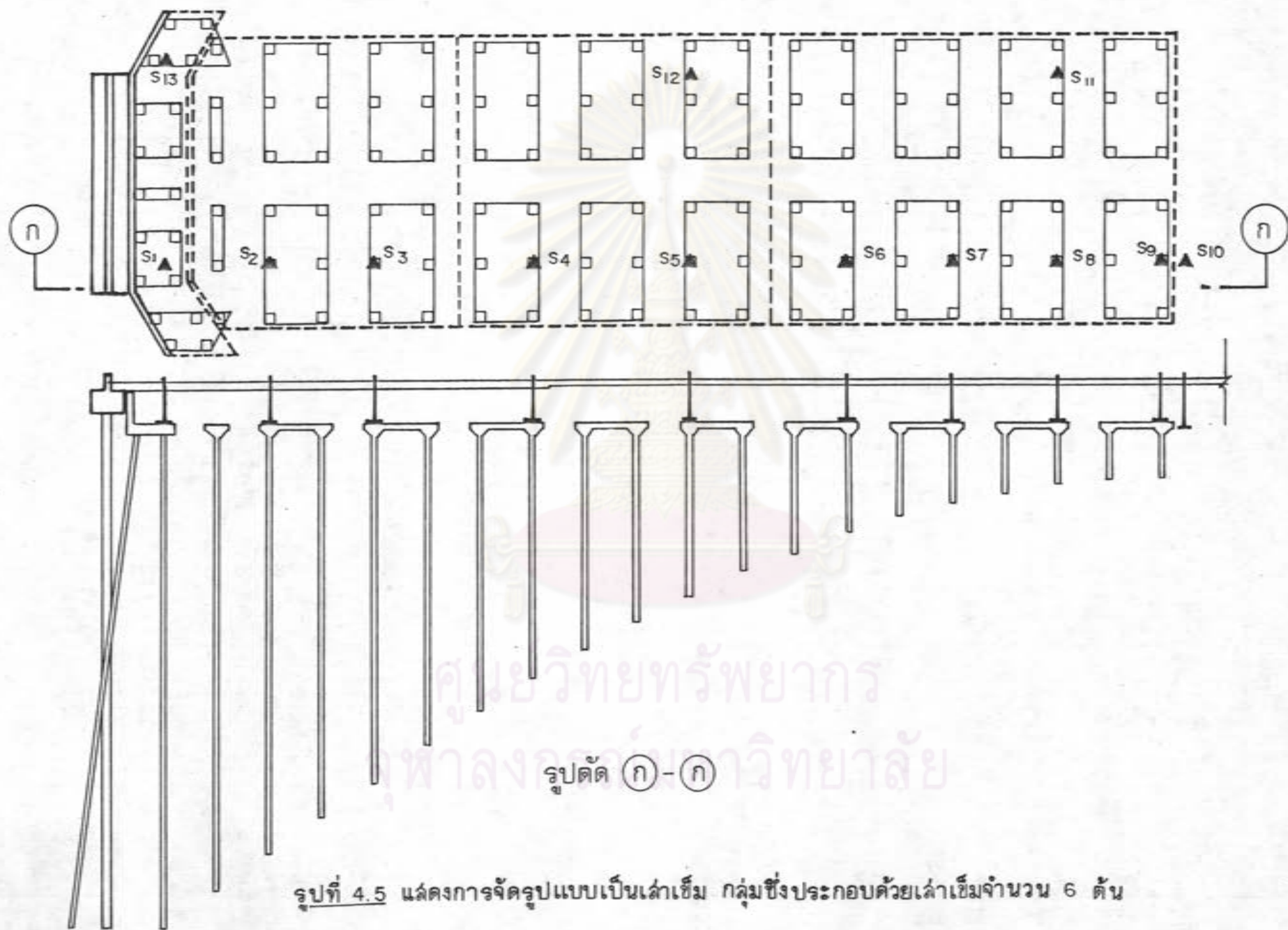
4.2.2.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Poulos

พิจารณารูปแบบของฐานในฐานรากเป็นแบบ Multi - footing Foundation เพียงอย่างเดียว แต่การจัดรูปแบบของฐานในฐานรากมีหลายวิธี ดังแสดงในรูป 4.4 ถึง 4.7 ซึ่งรายละเอียดวิธีการประมาณการหาค่าความสมมุติฐานและรูปแบบการจัดต่าง ๆ PL1 - PL7 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ผลการประมาณการหาค่าแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.12

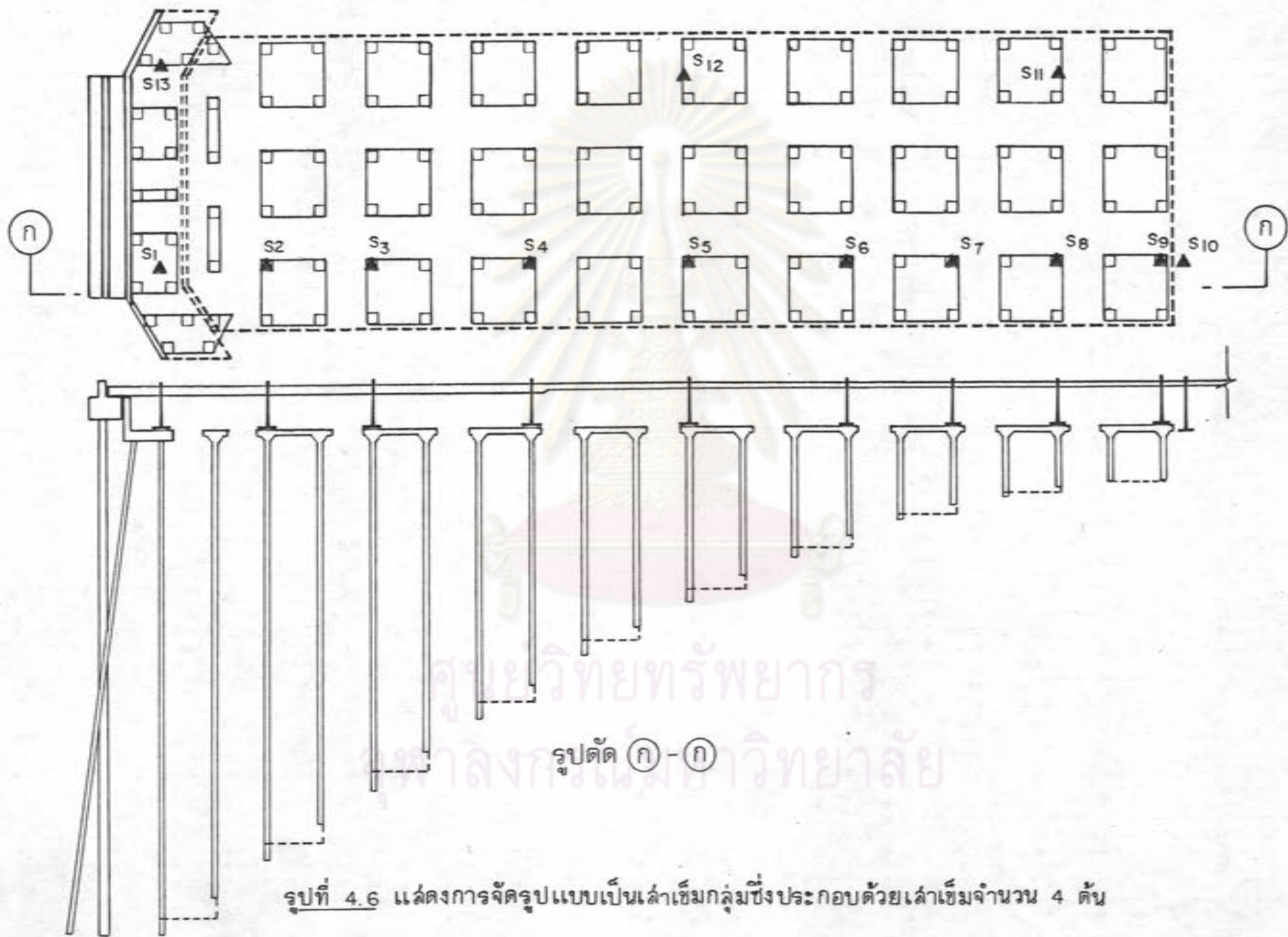
อนึ่ง การวิเคราะห์เพื่อประมาณการหาค่าด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้สรุปผลของการประมาณการหาค่าที่น่าพอใจได้จากวิธีการที่กล่าวแล้วข้างต้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.13



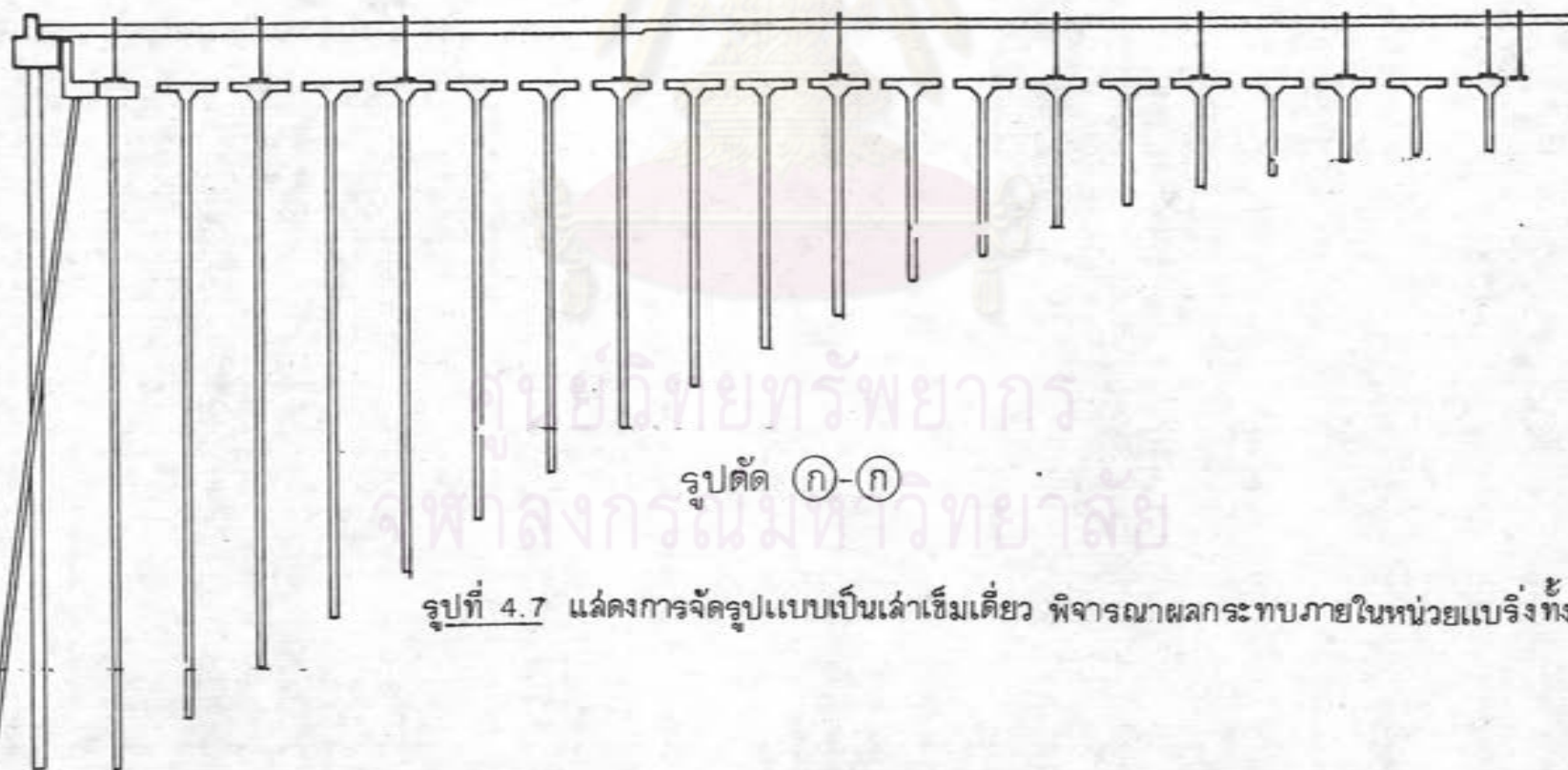
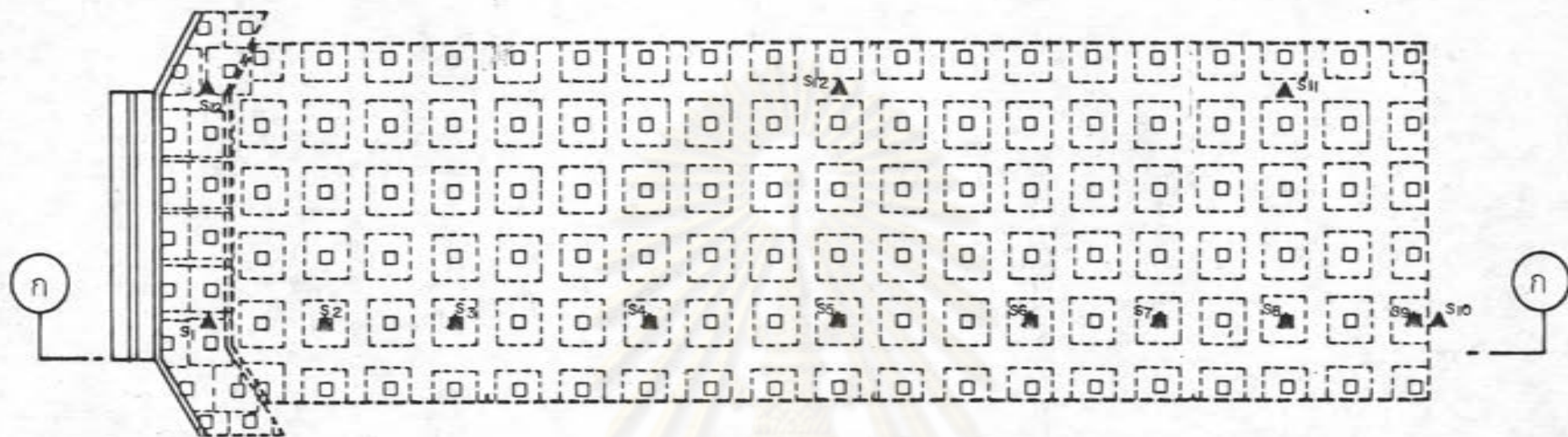
รูปที่ 4.4 แสดงการจัดรูปแบบเป็นแถวเข้มเดี่ยว พิจารณาผลกระทบภายในหน่วยแปลง
ถูกแยกออกเป็น 4 ช่วง



รูปที่ 4.5 แสดงการจัดรูปแบบเป็นเด้าเชื่อม กลุ่มซึ่งประกอบด้วยเด้าเชื่อมจำนวน 6 ต้น



รูปที่ 4.6 แสดงการจัดรูปแบบเป็นเสาเข็มกลุ่มซึ่งประกอบด้วยเสาเข็มจำนวน 4 ต้น



รูปที่ 4.7 แสดงการจัดรูปแบบเป็นเส้นเชื่อมเดี่ยว พิจารณาผลกระทบภายในหน่วยเบริงทั้งหมด

ตารางที่ 4.3 สมมุติฐานที่ใช้กับวิธีการต่าง ๆ ในการประมาณค่าการทรุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่งตามวิธี Terzaghi

วิธีที่ใช้ ประมาณ การทรุดตัว	จำนวน ด้วย	ใช้สมมุติฐาน ตามทฤษฎีของ	ลักษณะของ ฐานรากที่ พิจารณา	การจัด เรียง เสาเข็มและ ฐานรากใช้ สมมุติฐาน ตามรูปที่	ความยาว ที่ใช้ในการ ประมาณ การทรุดตัว	น้ำหนักบรรทุก ที่ใช้ใน การประมาณ (ตัน/คืบ)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ของแท่นหัว เข็ม, เป็น เท่าของ d	หมายเหตุ
A1	จำนวน ด้วยมือ	Asaoka	-	-	-	-	-	ใช้ข้อมูลจากการวัดการทรุดตัว ในสนามจริง
TGH	จำนวน ด้วยมือ	Terzaghi	SRF.*	4.4	เฉลี่ยในแค่ ลากลุ่มที่ พิจารณา	DL ^x	-	-ใช้พารามิเตอร์ m จากการทดสอบ การอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่อง Oedometer -การทรุดตัวเกิดที่จุดกึ่งกลางของ Flexible Raft
TG1	โปรแกรม SAPF	Terzaghi	SRF	4.4	เฉลี่ยในแค่ ลากลุ่มที่ พิจารณา	DL	-	-เหมือน TGH ทุกประการ -ข้อมูลของฐานรากสมมุติฐานที่เกิดใช้ตาม สมมุติฐานของ Terzaghi เหมือน รายการคำนวณมือ
TG2	โปรแกรม SAPF	Terzaghi	SRF	4.4	เฉลี่ยในแค่ ลากลุ่มที่ พิจารณา	DL	-	-เหมือน TGH ทุกประการ -ข้อมูลของฐานรากสมมุติฐานที่เกิด เป็น ไปตามข้อกำหนดของโปรแกรม SAPF
TG3	โปรแกรม SAPF	Terzaghi	MFF.**	4.5	เฉลี่ยตลอด ทั้งช่วงที่ พิจารณา	DL	-	-การทรุดตัวเกิดที่จุดกึ่งกลางของฐาน รากค้ำที่พิจารณา -คิดผลกระทบของฐานรากข้างเคียง มายังฐานรากที่กำลังพิจารณาภายใน ช่วงที่แบ่ง

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

TG4	โปรแกรม SAPF	Terzaghi	MFF	4.5	เฉลี่ยภายใน ตัวฐานรากที่ พิจารณา	DL	-	- เหมือน TG3
TG5	โปรแกรม SAPF	Terzaghi	SRF	4.6	เฉลี่ยภายใน ตัวฐานรากที่ พิจารณา	DL+LL ⁺ (25)	-	- การทรุดตัว เกิดที่จุดกึ่งกลางของ ฐานรากตัวที่พิจารณา - ฐานรากสมบูรณ์ที่เกิด เป็นไปตาม ข้อกำหนดของโปรแกรม SAPF
TG6	โปรแกรม SAPF	Terzaghi	SRF	4.6	เฉลี่ยภายใน ตัวฐานรากที่ พิจารณา	DL+LL (25)	-	- เหมือน TG5 แต่ - ฐานรากสมบูรณ์ที่เกิด เป็นไปตาม ข้อสมมุติฐานของ Terzaghi ที่ คำนวณด้วยมือ

* SRF คือ Single Raft Foundation

* DL คือน้ำหนักบรรทุกคงที่

** MFF คือ Multi - footing Foundation

+ LL คือน้ำหนักบรรทุกจร

ตารางที่ 4.4 สมมุติฐานที่ใช้กับวิธีการต่าง ๆ ในการประมาณค่าการหลุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่งตามวิธี Tomlinson

วิธีที่ใช้ ประมาณ การหลุดตัว	คำนวณ ด้วย	ใช้สมมุติฐาน ความทฤษฎีของ	ลักษณะของ ฐานรากที่ พิจารณา	การจัดเรียง เสาเข็มและ ฐานรากโดย ใช้สมมุติฐาน คาบรูปที่	ความยาวที่ ใช้ในการ ประมาณ การหลุดตัว	น้ำหนัก บรรทุกที่ ใช้ในการ ประมาณ (คั้น/คั้น)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ของแท่น หัวเข็ม, เท่าของ d	หมายเหตุ
TMH	คำนวณ ด้วยมือ	Tomlinson	SRF	4.4	เฉลี่ยในแค ลกลุ่มที่ พิจารณา	DL	-	-การหลุดตัวเกิดที่จุดกึ่งกลางของ ฐานรากที่พิจารณา -ฐานรากสมมุติที่เกิดขึ้นเป็นไปตาม ขอสมมุติฐานของ Tomlinson
TM1	โปรแกรม SAPF	Tomlinson	SRF	4.4	เฉลี่ยในแค ลกลุ่มที่ พิจารณา	DL	-	- เหมือน TMH ทุกประการ - เป็นการตรวจสอบรายการ คำนวณด้วยมือ
TM2	โปรแกรม SAPF	Tomlinson	SRF	4.4	เฉลี่ยในแค ลกลุ่มที่ พิจารณา	DL	-	- เหมือน TMH - ฐานรากสมมุติที่เกิดขึ้นเป็นไปตาม ข้อกำหนดของโปรแกรม SAPF
TM3	โปรแกรม SAPF	Tomlinson	MFF	4.5	เฉลี่ยในแค ลช่วงที่ พิจารณา	DL	-	- การหลุดตัวเกิดที่จุดกึ่งกลาง ตัวฐานรากที่พิจารณา - คัดผลกระทบของฐานรากข้างเคียง มายังฐานรากตัวที่พิจารณา - ฐานรากสมมุติที่เกิดขึ้นตามโปรแกรม

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

TM4	โปรแกรม SAPF	Tomlinson	MF	4.5	เฉลี่ยภายใน ตัวฐานที่ พิจารณา	DL	-	-เหมือน TM3 ทุกประการ -ฐานรากสมบูรณ์ที่เกิดตามข้อ สมมุติฐานของ Tomlinson
TM5	โปรแกรม SAPF	Tomlinson	SRF	4.5	เฉลี่ยภายใน ตัวฐานที่ พิจารณา	DL	-	-ฐานรากสมบูรณ์ที่เกิดตามข้อ กำหนดของ Tomlinson -เหมือน TM3
TM6	โปรแกรม SAPF	Tomlinson	SRF	4.6	เฉลี่ยภายใน ตัวฐานที่ พิจารณา	DL	-	-การทรุดค้ำที่จุดกึ่งกลางตัว ฐานรากที่พิจารณา -ฐานรากสมบูรณ์ที่เกิดเป็นไปตาม ข้อสมมุติฐานของ Tomlinson

SRF คือ Single Raft Foundation

MF คือ Multi - footing Foundation

DL คือ Dead Load , LL คือ Live Load

ตารางที่ 4.5 สมมุติฐานที่ใช้กับวิธีการต่าง ๆ ในการประมาณค่าการทรุดตัวของคอสสะพานที่ใช้หน่วยแมริงตามวิธี Poulos

วิธีที่ใช้ ประมาณ การทรุดตัว	คำนวณ ด้วย	ใช้สมมุติ- ฐานตาม ทฤษฎีของ	ลักษณะของ ฐานรากที่ พิจารณา	การจัดเรียง เสาเข็มและ ฐานรากใช้ สมมุติฐาน ความรูปที่	ความยาวที่ ใช้ในการ ประมาณ	น้ำหนัก บรรทุกที่ ใช้ในการ ประมาณ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ของแท่นหัว เข็ม, เท่า ของ d	หมายเหตุ
PLH1	คำนวณ ด้วยมือ	Poulos & Davis	MFF	4.4	เฉลี่ยใน ช่วงที่ พิจารณา	DL+LL (25t/คัน)	ld	-คิดการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว -การทรุดตัวสามารถคิดตรงจุดที่ติดตั้ง Settlement plates -ไม่คิดผลกระทบจากเสาเข็มต้นข้างเคียง
PLH2	คำนวณ ด้วยมือ	Poulos & Davis	MFF	4.4	เฉลี่ยใน ช่วงที่ พิจารณา	DL+LL (25t/คัน)	ld	-การทรุดตัวสามารถคิดตรงจุดที่ติดตั้ง Settlement plates -คิดเป็นการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว -คิดผลกระทบของเสาเข็มต้นข้างเคียง ภายในช่วงที่พิจารณา รูป 4.4
PLH3	คำนวณ ด้วยมือ	Poulos & Davis	MFF	4.7	ความยาว เสาเข็ม ต้นที่ พิจารณา	DL+LL (25t/คัน)	ld	-เหมือน PLH2 -แต่ผลกระทบของเสาเข็มต้นข้างเคียง คิดทั้งหมดของหน่วยแมริง

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

PL1	โปรแกรม SAPF	Poulos & Davis	MFF	4.5	เฉลี่ยใน ช่วงที่ พิจารณา	DL+LL (25t/คัน)	1d	- การทรุดตัวสามารถคิดตรงจุดที่ติดตั้ง Settlement plates - คิดกลุ่มเสาเข็ม เป็นเสาเข็ม เดี่ยวสมบูรณ์ และมีผลกระทบจากเสาเข็ม เดี่ยวสมบูรณ์ คั่นข้างเคียงภายในช่วงที่แบ่งดังรูป 4.5 - ไม่คิดผลกระทบของตัวปิดหัวเสาเข็ม
PL2	โปรแกรม SAPF	Poulos & Davis	MFF	4.4	เฉลี่ยใน ช่วงที่ พิจารณา	DL	11d	- การทรุดตัวสามารถคิดตรงจุดที่ติดตั้ง Settlement plates - พิจารณาเป็นการทรุดตัวของเสาเข็ม เดี่ยว - พิจารณาผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียง ภายในช่วงที่แบ่งดังรูป 4.4 - พิจารณาผลกระทบของตัวปิดหัวเสาเข็ม (pile cap) มีขนาดเท่ากับระยะห่าง ระหว่างเสาเข็ม (dc = Spacing = 11d) dc = เส้นผ่านศูนย์กลางของ pile cap d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มเดี่ยว
PL3	โปรแกรม SAPF	Poulos & Davis	MFF	4.4	เฉลี่ยใน ช่วงที่ พิจารณา	DL	1d	- เหมือนสมมุติฐานตามวิธี PL2 - พิจารณาผลกระทบของตัวปิดหัวเสาเข็ม มีขนาดเท่ากับ เส้นผ่านศูนย์กลางของ เสาเข็มเดี่ยว (dc = d)
PL4	โปรแกรม SAPF	Poulos & Davis	MFF	4.4	เฉลี่ยใน ช่วงที่ พิจารณา	DL	7d	- เหมือนสมมุติฐานตามวิธี PL2 - พิจารณาผลกระทบของตัวปิดหัวเสาเข็ม มีขนาดเท่ากับ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของเสาเข็มเดี่ยวหรือคิดเป็น 62% ของระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (Spacing)

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

PL5	โปรแกรม SAPF	Poulos & Davis	MFF	4.7	ความยาวของเสาเข็มคั่นที่พิจารณา	DL	7d	<ul style="list-style-type: none"> -การหลุดตัวสามารถพิจารณาตรงจุดที่ทำการติดตั้ง Settlement plate -พิจารณาการหลุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว -พิจารณาผลกระทบจากเสาเข็มคั่นข้างเคียงตลอดทั้งแผ่น slab (แต่ข้อจำกัดของโปรแกรม SAPF นี้พิจารณาเพียงภายในระยะ 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเดี่ยวสมบูรณ์) -พิจารณาผลของตัวปิดหัวเสาเข็มมีขนาดเท่ากับ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มเดี่ยวคั่นที่พิจารณาหรือคิดเป็น 62% ของระยะห่างระหว่างเสาเข็ม
PL6	โปรแกรม SAPF	Poulos & Davis	MFF	4.7	ความยาวของเสาเข็มคั่นที่พิจารณา	DL	11d	<ul style="list-style-type: none"> -สมมุติฐานเหมือนวิธี PL5 -แต่พิจารณาผลของตัวปิดหัวเสาเข็มมีขนาดเท่ากับ 11 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มเดี่ยวที่พิจารณาหรือคือมีขนาดเท่ากับระยะห่างระหว่างเสาเข็มนั้น ๆ
PL7	โปรแกรม SAPF	Poulos & Davis	MFF	4.7	ความยาวของเสาเข็มคั่นที่พิจารณา	DL+LL (25t/คั่น)	1d	<ul style="list-style-type: none"> -มีสมมุติฐานเหมือนวิธี PLH3 -ไม่พิจารณาผลของตัวปิดหัวเสาเข็ม -คิดผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียงทั้งหมด Slab -เป็นการตรวจสอบผลของการคำนวณด้วยมือ



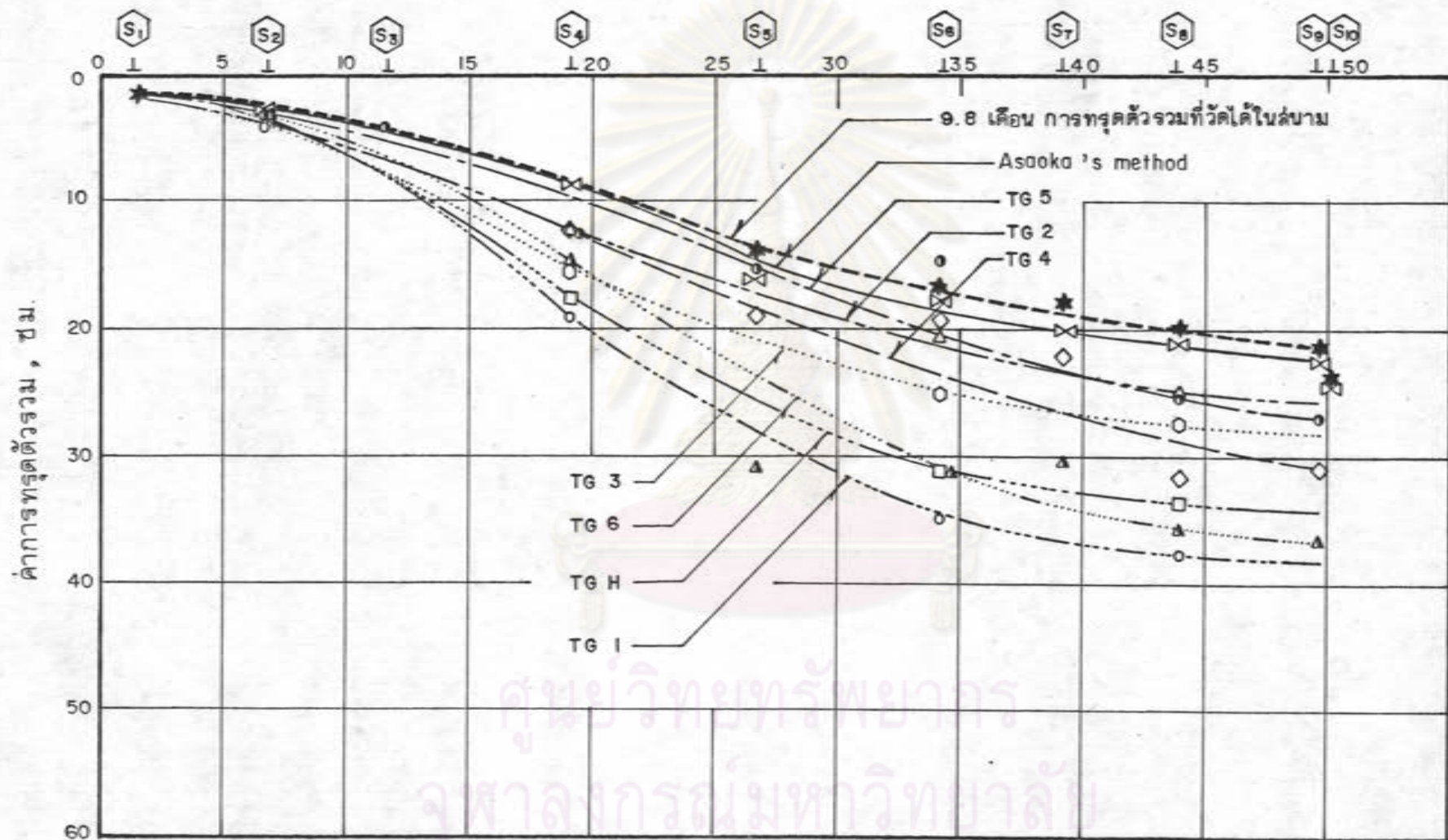
TABLE 4.6 RESULT OF SETTLEMENT PREDICTION AND SETTLEMENT RATIO

METHOD	NAME	SETTLEMENT PLATES NO.																		Avg. SR
		S2		S4		S5		S6		S7		S8		S9						
		pt	SR	pt	SR	pt	SR	pt	SR	pt	SR	pt	SR	pt	SR					
Asaka	Asaka	2.50	1.00	8.50	1.00	16.10	1.00	17.70	1.00	20.00	1.00	21.00	1.00	22.30	1.00	1.00				
	T6H	2.89	1.16	17.60	2.07	-	31.05	1.75	-	33.45	1.59	-	33.45	1.59	-	1.44				
	T6I	3.29	1.31	18.99	2.23	-	34.85	1.97	-	37.52	1.79	-	37.52	1.79	-	1.82				
	T62	3.33	1.33	12.28	1.44	-	20.60	1.16	-	25.43	1.21	-	25.43	1.21	-	1.28				
	T63	3.96	1.58	15.61	1.64	-	24.61	1.41	-	27.17	1.29	-	27.17	1.29	-	1.53				
	T64	4.13	1.65	12.68	1.49	18.08	1.12	19.25	1.09	21.90	1.09	31.61	1.50	30.89	1.38	1.43				
	T65	2.66	1.14	12.58	1.48	15.09	0.94	14.66	0.83	14.24	0.71	25.12	1.19	26.88	1.21	1.18				
TERZASHI	T65	2.66	1.14	12.58	1.48	15.09	0.94	14.66	0.83	14.24	0.71	25.12	1.19	26.88	1.21	1.18				
	T66	2.91	1.16	14.66	1.72	30.84	1.92	30.98	1.75	30.35	1.52	35.67	1.70	36.61	1.64	1.66				
	TKH	2.22	0.89	15.61	1.84	-	31.03	1.75	-	33.38	1.59	-	33.38	1.59	-	1.52				
	TK1	3.52	1.41	16.56	1.95	-	32.23	1.82	-	35.89	1.71	-	35.89	1.71	-	1.73				
	TK2	3.46	1.38	14.46	1.70	-	38.99	2.20	-	43.34	2.06	-	43.34	2.06	-	1.84				
	TK3	2.41	0.96	21.55	2.54	-	41.36	2.34	-	50.61	2.41	-	50.61	2.41	-	2.06				
	TK4	2.92	1.17	14.43	1.70	24.71	1.53	61.43	3.47	54.71	2.74	51.09	2.43	41.59	1.86	2.13				
TOMLINSON	TK5	2.16	0.86	6.88	0.81	12.92	0.80	17.21	0.97	20.48	1.02	23.69	1.13	23.47	1.05	0.96				
	TK6	2.40	0.96	4.24	0.50	10.31	0.64	14.52	0.82	17.56	0.88	20.34	0.97	22.61	1.01	0.93				
	PLH1	0.31	0.12	2.38	0.28	-	6.94	0.39	-	13.19	0.68	-	13.19	0.68	-	0.36				
	PLH2	2.06	0.82	5.95	0.70	-	14.55	0.82	-	20.52	0.98	-	20.52	0.98	-	0.83				
	PLH3	2.15	0.86	6.26	0.74	-	15.36	0.87	-	21.28	1.01	-	21.28	1.01	-	0.87				
	PL1	1.89	0.76	12.49	1.45	-	24.73	1.40	-	33.28	1.58	-	33.28	1.58	-	1.26				
	PL2	0.00	0.00	11.69	1.37	-	20.41	1.15	-	22.43	1.07	-	22.43	1.07	-	1.16				
POULOS	PL3	0.00	0.00	7.04	0.83	-	10.07	0.57	-	15.86	0.76	-	15.86	0.76	-	0.73				
	PL4	0.00	0.00	9.28	1.09	-	17.67	1.00	-	18.59	0.89	-	18.59	0.89	-	1.02				
	PL5	0.00	0.00	8.75	1.03	14.54	0.90	18.13	1.02	23.12	1.15	28.87	1.37	25.68	1.15	1.02				
	PL6	0.00	0.00	14.37	1.69	-	29.49	1.67	-	34.55	1.64	-	34.55	1.64	-	1.07				
	PL7	0.00	0.00	6.34	0.75	-	11.81	0.67	-	21.28	1.01	-	21.28	1.01	-	1.67				
																	0.81			

NOTE pt = Total Settlement ; SR = Settlement Ratio (compared with Asaka's method)

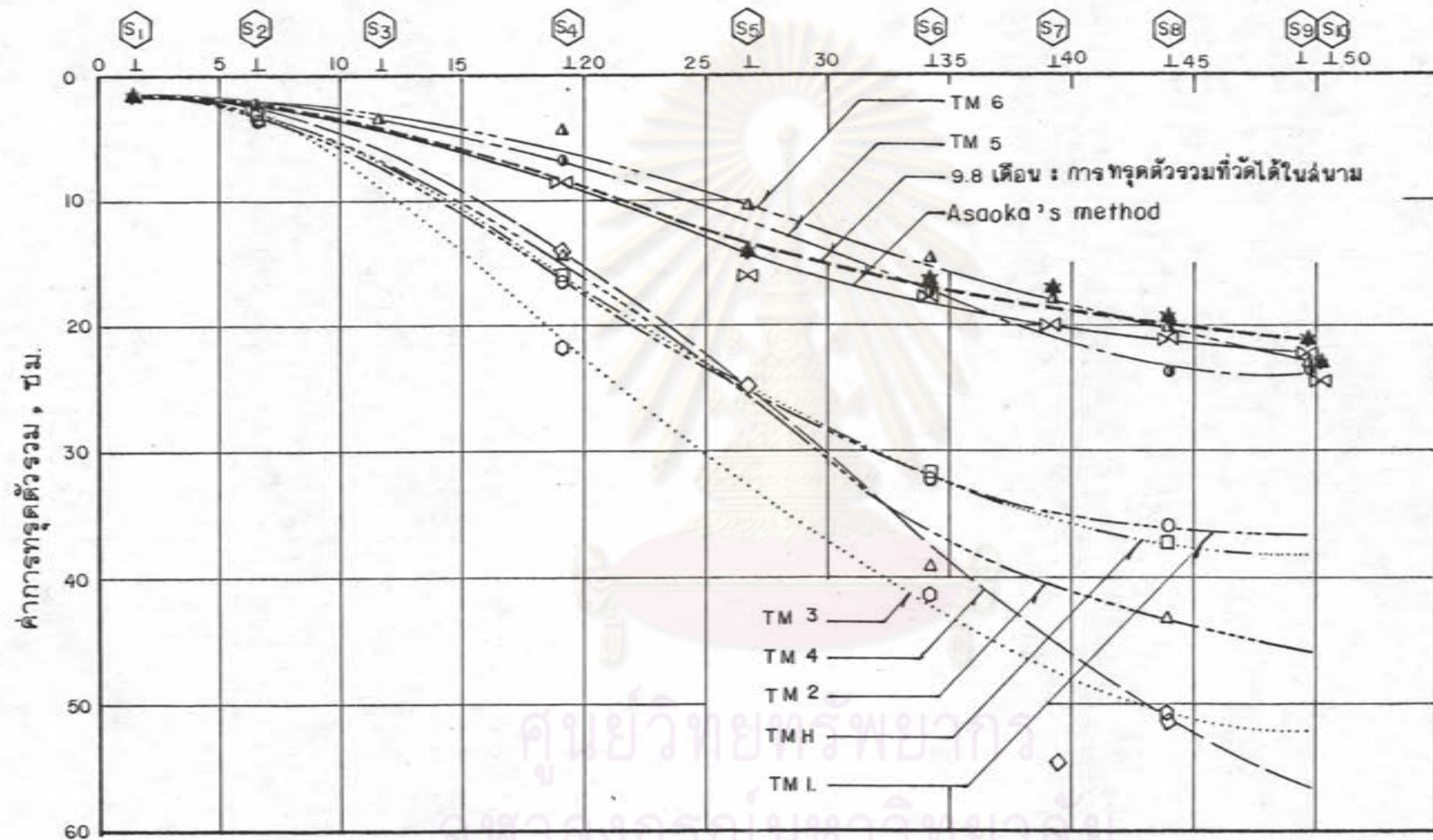
ตัวแปร 4.6 ตารางการเปรียบเทียบการทรุดตัวของแบบทดสอบการทรุดตัวของ
 1.พบวิธีการต่าง ๆ

ระยะห่างจากตอม่อสะพาน, เมตร



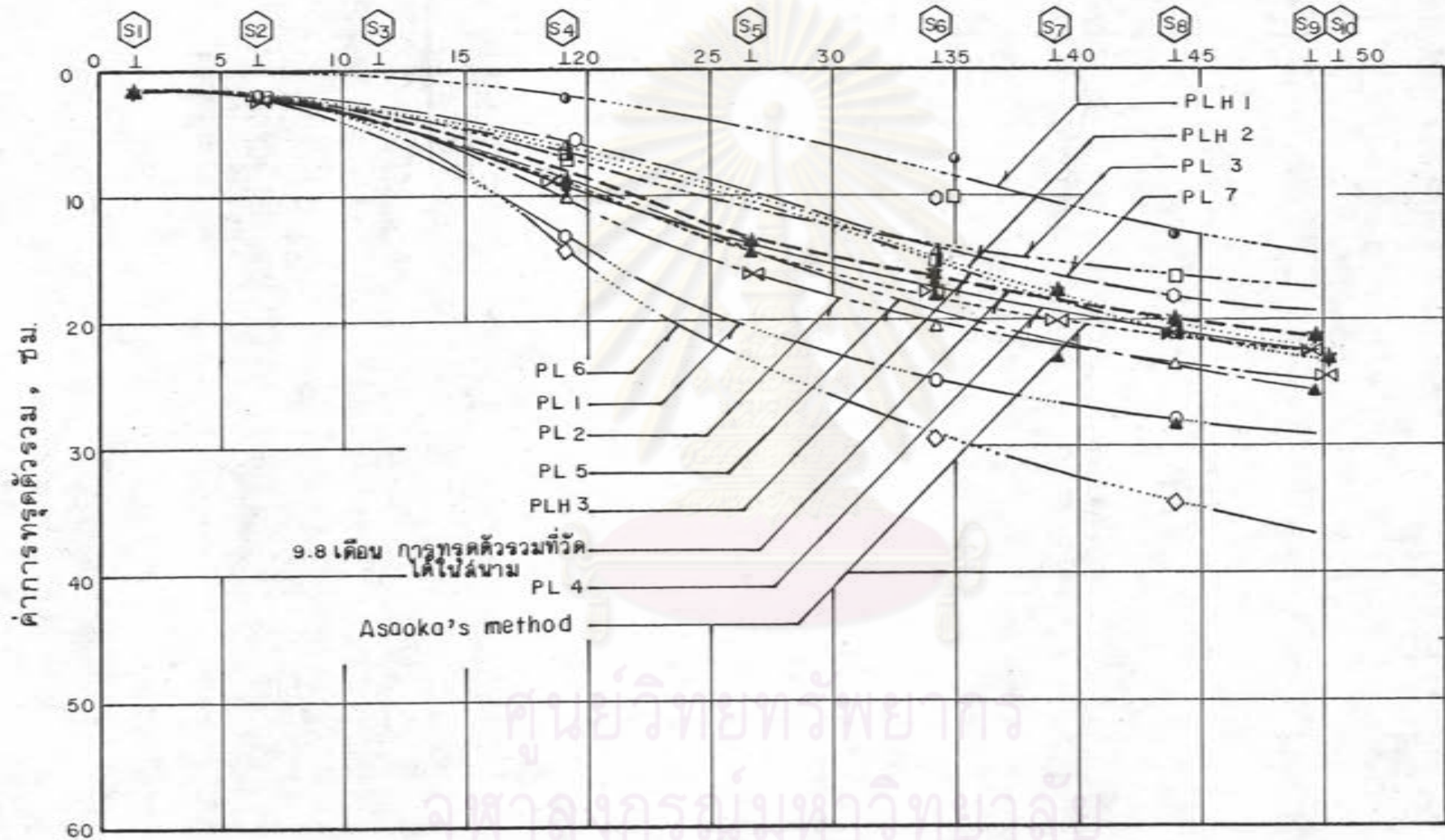
รูปที่ 4.10 แสดงผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแบร์จ โดยใช้วิธีการของ TERZAGHI

ระยะห่างจากตอม่อสะพาน , เมตร



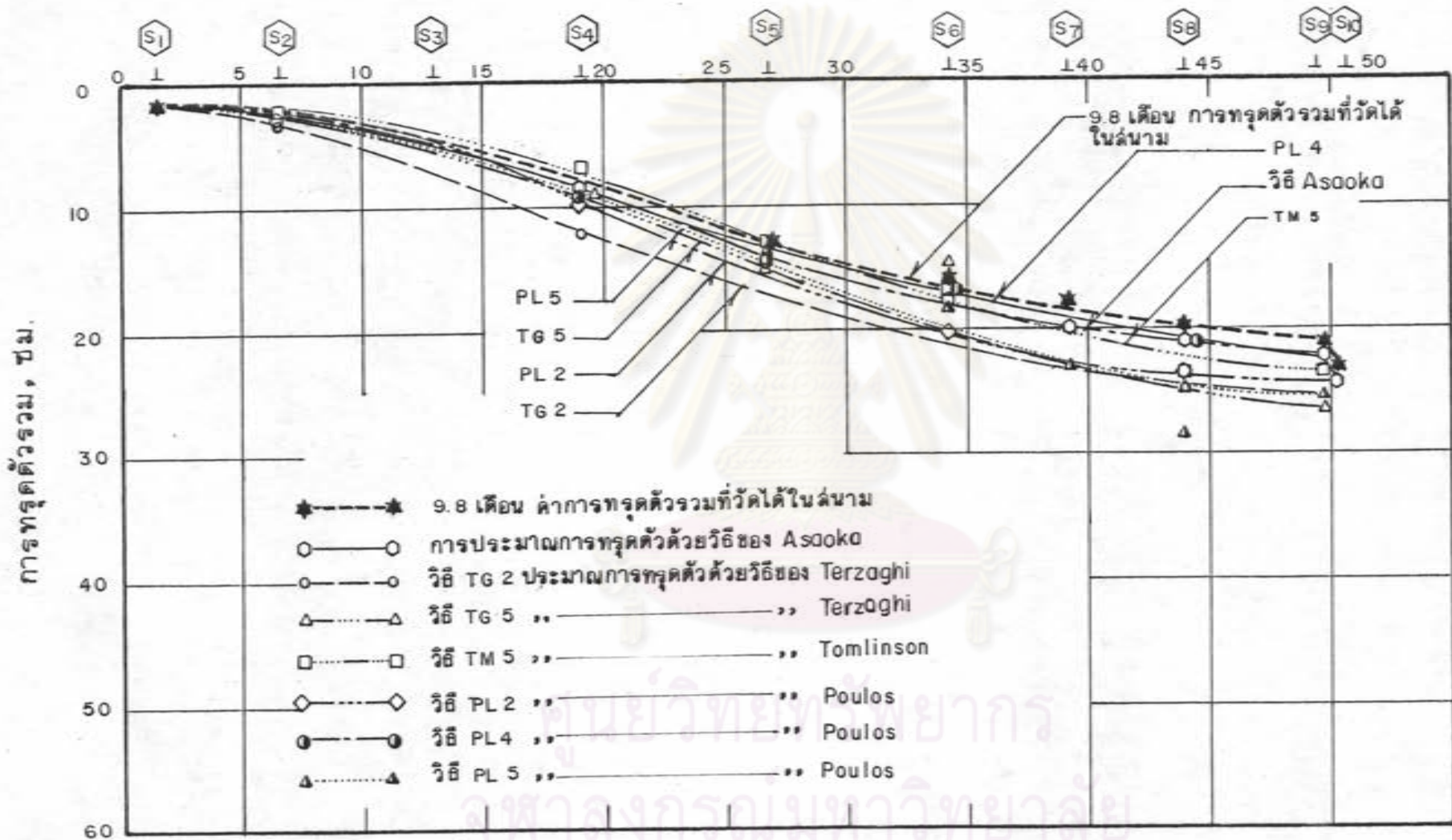
รูปที่ 4.11- แสดงผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแบริงโดยใช้วิธีการของ Tomlinson

ระยะห่างจากตอม่อสะพาน, เมตร



รูปที่ 4.12 แสดงผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแบร์จ โดยใช้วิธีการ Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis (1980)

ระยะห่างจากตอม่อสะพาน, เมตร



รูปที่ 4.13 สรุปผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามยาวของหน่วยแบริง โดยวิธีการที่ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

4.2.3 การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่งในบริเวณดินอ่อน

การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้น เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้น ขึ้นกับการกระจายของแรงดันน้ำในโพรงเพิ่ม (Excess Pore pressure) โดยสมมุติให้การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักเกิดขึ้นหมดหลังจากการก่อสร้างเสร็จ จึงเห็นได้ว่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มมีส่วนสำคัญที่จะส่งผลต่ออัตราการทรุดตัว อันเป็นการยากมากและไม่แน่นอนในการประมาณแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มที่เกิดจากการคอกเสา เข็มร่วมกับการถมดินทางอีกทั้งข้อมูลที่ได้มีจำกัดทั้งนี้เนื่องจากเป็นปัญหาการก่อสร้าง จึงส่งผลให้การประมาณอัตราการทรุดตัวได้ผลไม่ดี

สุรฉัตร (2527) แนะนำว่า วิธีที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวสำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ คือวิธีของ Asaoka (1978) ซึ่งใช้ข้อมูลการทรุดตัวที่เกิดขึ้นกับเวลาในสนามจริงมาทำการวิเคราะห์ดังได้กล่าวในหัวข้อ 3.31 การวิจัยนี้จึงใช้วิธีการของ Asaoka (1978) ทั้งนี้เพราะข้อมูลของการทรุดตัวที่วัดได้ในสนามมีมากและเพียงพอ ผลการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวด้วยวิธีการของ Asaoka (1978) แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.14 ถึง 4.18 ค่า C_v ที่คำนวณจากวิธี Asaoka (1978) ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่า C_v ในสนาม แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 ซึ่งเปรียบเทียบกับค่า C_v จากการทดลอง Consolidation แบบ 1 มิติ ด้วยเครื่อง Oedometer ใช้ค่า C_v ที่ได้จากวิธี Asaoka (1978) นำไปหาเวลาที่ใช้ในการทรุดตัวที่ Degree of Consolidation (U) ต่าง ๆ ซึ่งขึ้นกับ Time factor (T) โดยอาศัยทฤษฎีของ Terzaghi โดยพิจารณาแรงดันน้ำในโพรงเพิ่ม เริ่มต้นเป็นแบบกรณีที่ 4 (รูปสามเหลี่ยม) ดังตารางที่ 3.4 ทั้งนี้เพราะผลที่ได้จากการวัดแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มที่เกิดในสนามจริง อันนี้ยังได้มีการอาศัยทฤษฎีของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TABLE DATA OF FIELD SETTLEMENT FOR ASAOKA'S METHOD

=====

ตารางที่ 4.7

SETTLEMENT PLATES NO.

S5		S6		S7		S8		S9		S10	
ρ_{i-1}	ρ_i	ρ_{i-1}	ρ_i	ρ_{i-1}	ρ_i	ρ_{i-1}	ρ_i	ρ_{i-1}	ρ_i	ρ_{i-1}	ρ_i
cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.
0.60	1.30	0.00	1.25	0.65	1.40	0.70	1.40	0.45	1.55	1.00	1.75
1.30	1.60	1.25	1.70	1.40	1.80	1.40	1.70	1.55	2.50	1.75	2.35
1.60	1.90	1.70	1.80	1.80	2.10	1.70	2.10	2.50	3.40	2.35	2.55
1.90	2.10	1.80	2.20	2.10	2.48	2.10	2.60	3.40	3.90	2.55	2.65
2.10	2.50	2.20	2.60	2.48	3.00	2.60	3.40	3.90	4.50	2.65	3.10
2.50	2.80	2.60	3.05	3.00	3.50	3.40	3.90	4.50	4.90	3.10	3.60
2.80	3.10	3.05	3.40	3.50	3.90	3.90	4.20	4.90	5.30	3.60	4.00
3.10	3.40	3.40	3.80	3.90	4.20	4.20	4.60	5.30	5.70	4.00	4.45
3.40	3.45	3.80	3.80	4.20	4.20	4.60	4.90	5.70	5.80	4.45	4.85
3.45	3.70	3.80	4.30	4.20	4.60	4.90	5.20	5.80	6.10	4.85	5.30
3.70	3.90	4.30	4.55	4.60	5.00	5.20	5.50	6.10	6.55	5.30	5.70
3.90	4.10	4.55	4.80	5.00	5.40	5.50	5.80	6.55	7.00	5.70	6.10
4.10	4.50	4.80	5.30	5.40	5.85	5.80	6.30	7.00	7.45	6.10	6.50
4.50	4.85	5.30	5.70	5.85	6.30	6.30	6.70	7.45	7.90	6.50	6.80
4.85	5.10	5.70	6.00	6.30	6.60	6.70	7.10	7.90	8.30	6.80	7.20
5.10	5.25	6.00	6.20	6.60	6.80	7.10	7.40	8.30	8.60	7.20	7.50
5.25	5.45	6.20	6.45	6.80	7.10	7.40	7.70	8.60	8.90	7.50	7.80
5.45	5.70	6.45	6.75	7.10	7.45	7.70	8.00	8.90	9.30	7.80	8.17
5.70	6.05	6.75	7.05	7.45	7.80	8.00	8.35	9.30	9.65	8.17	8.50
6.05	6.35	7.05	7.30	7.80	8.10	8.35	8.70	9.65	10.00	8.50	8.80
6.35	6.55	7.30	7.50	8.10	8.40	8.70	9.00	10.00	10.35	8.80	9.10
6.55	6.75	7.50	7.70	8.40	8.70	9.00	9.30	10.35	10.70	9.10	9.35
6.75	6.93	7.70	7.93	8.70	9.00	9.30	9.65	10.70	11.05	9.35	9.60
6.93	7.12	7.93	8.15	9.00	9.25	9.65	10.00	11.05	11.40	9.60	9.85
7.12	7.30	8.15	8.35	9.25	9.55	10.00	10.30	11.40	11.73	9.85	10.10
7.30	7.50	8.35	8.60	9.55	9.80	10.30	10.60	11.73	12.00	10.10	10.35
7.50	7.60	8.60	8.80	9.80	10.00	10.60	10.80	12.00	12.30	10.35	10.60
7.60	7.75	8.80	9.00	10.00	10.25	10.80	11.05	12.30	12.55	10.60	10.85
7.75	7.90	9.00	9.20	10.25	10.48	11.05	11.30	12.55	12.80	10.85	11.10
7.90	8.05	9.20	9.40	10.48	10.70	11.30	11.50	12.80	13.10	11.10	11.30
8.05	8.20	9.40	9.60	10.70	10.90	11.50	11.70	13.10	13.35	11.30	11.48
8.20	8.35	9.60	9.80	10.90	11.15	11.70	11.95	13.35	13.60	11.48	11.55
8.35	8.50	9.80	10.03	11.15	11.40	11.95	12.20	13.60	13.90	11.55	11.65
8.50	8.65	10.03	10.25	11.40	11.60	12.20	12.40	13.90	14.15	11.65	11.73
8.65	8.75	10.25	10.45	11.60	11.85	12.40	12.60	14.15	14.40	11.73	11.80
8.75	8.83	10.45	10.55	11.85	11.95	12.60	12.75	14.40	14.55	11.80	11.90
8.83	8.90	10.55	10.65	11.95	12.00	12.75	12.87	14.55	14.60	11.90	12.00
8.90	9.00	10.65	10.70	12.00	12.10	12.87	12.97	14.60	14.68	12.00	12.10
9.00	9.10	10.70	10.80	12.10	12.15	12.97	13.09	14.68	14.70	12.10	12.20
9.10	9.15	10.80	10.90	12.15	12.20	13.09	13.20	14.70	14.80	12.20	12.30
9.15	9.23	10.90	10.98	12.20	12.30	13.20	13.30	14.80	14.85	14.90	14.90
9.23	9.30	10.98	11.05	12.30	12.35	13.30	13.40	14.85	14.90	14.90	0.00
9.30	9.40	11.05	11.10	12.35	12.42	13.40	13.50	14.90	14.98	14.90	14.90
9.40	9.50	11.10	11.20	12.42	12.50	13.50	13.60	14.98	15.02	17.00	16.80
12.80	12.80	11.20	11.30	12.50	12.60	13.60	13.70	15.02	15.10	-	-
12.80	0.00	11.30	11.30	16.50	16.50	13.70	13.70	18.20	18.20	-	-
12.80	12.80	14.00	14.00	16.50	0.00	16.50	16.50	18.20	0.00	-	-
16.00	15.90	14.00	0.00	16.50	16.50	16.50	0.00	18.20	18.20	-	-
-	-	14.00	14.00	18.00	17.50	16.50	16.50	-	-	-	-
-	-	16.00	15.85	-	-	18.00	17.70	-	-	-	-

รายละเอียดค่าการทรุดตัวแบบอัดตัว

ความน้ำในช่วงเวลาคงที่ใด ๆ

ตามวิธี Asaoka

ตารางที่ 4.8 ค่า C_v ในสนาม และ C_v ในห้องปฏิบัติการ บริเวณคอสะพานปลัดเป็เรียง

TABLE 4.8

Cv Field Asaka's method cm ² /day	Cv Lab. Oedometer cm ² /day	Cv Field /Cv Lab
1087.20	10.40	104
2146.40	36.30	59


ตารางที่ 4.9 ผลการประมาณค่าการทรุดตัวรวมตามวิธี Asaka

TABLE 4.9 SETTLEMENT PREDICTION BY ASAKA'S METHOD
===== USING TERZAGHI'S THEORY

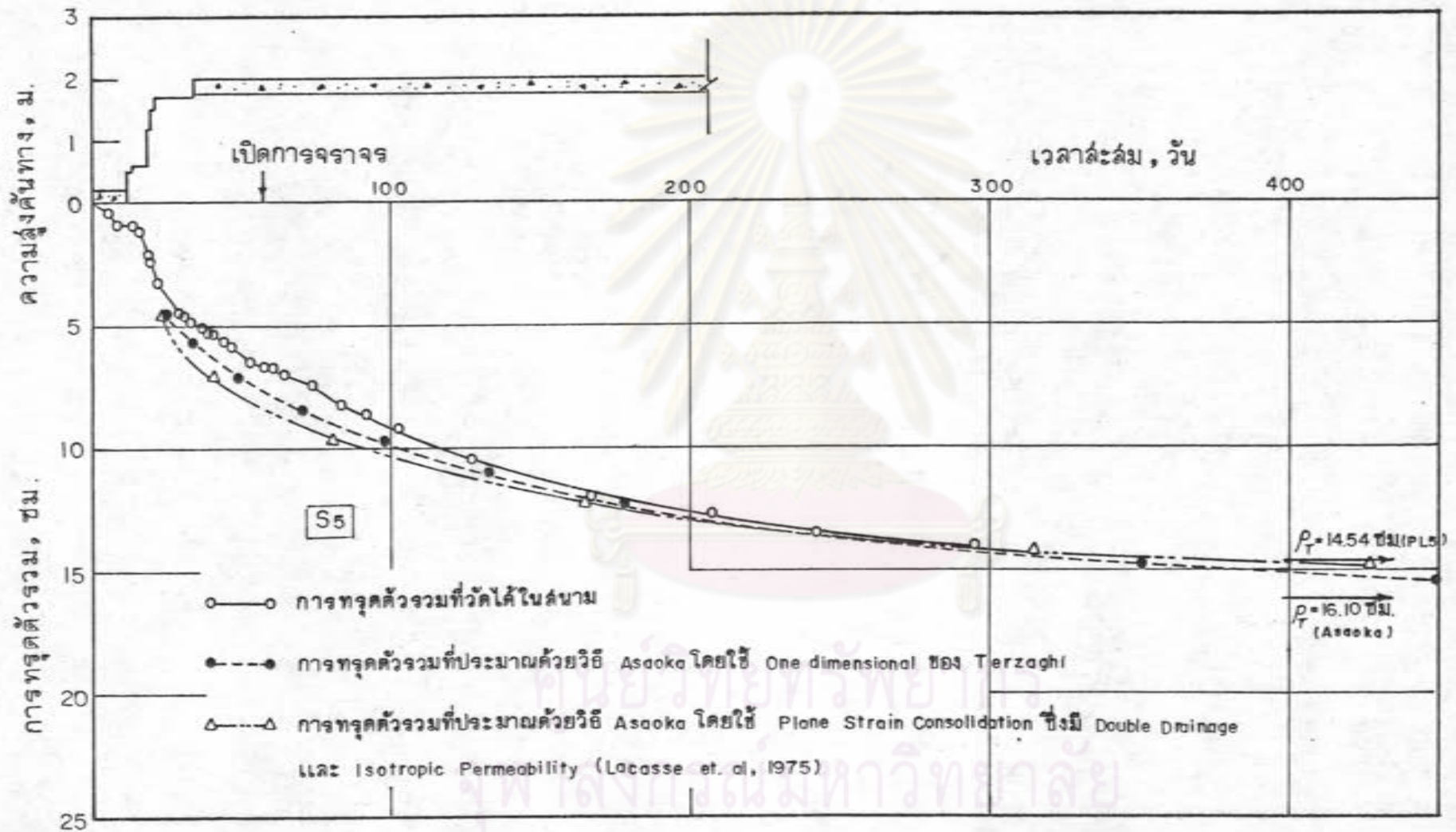
SETT.NO.	IMMIDATED SETT. cm.	CONSOL. SETT. cm.	TOTAL SETT. cm.
S5	3.30	12.80	16.10
S6	3.70	14.00	17.70
S7	3.50	16.50	20.00
S8	4.50	16.50	21.00
S9	4.10	18.20	22.30
S10	9.50	14.90	24.40

Lacasse et. al. (1975) ที่พิจารณาเป็น Plane strain Consolidation ซึ่งมี double drainage และ Isotropic Permeability ใช้ในการประมาณอัตราการทรุดตัว เพื่อเปรียบเทียบกับที่ได้จากทฤษฎี Terzaghi

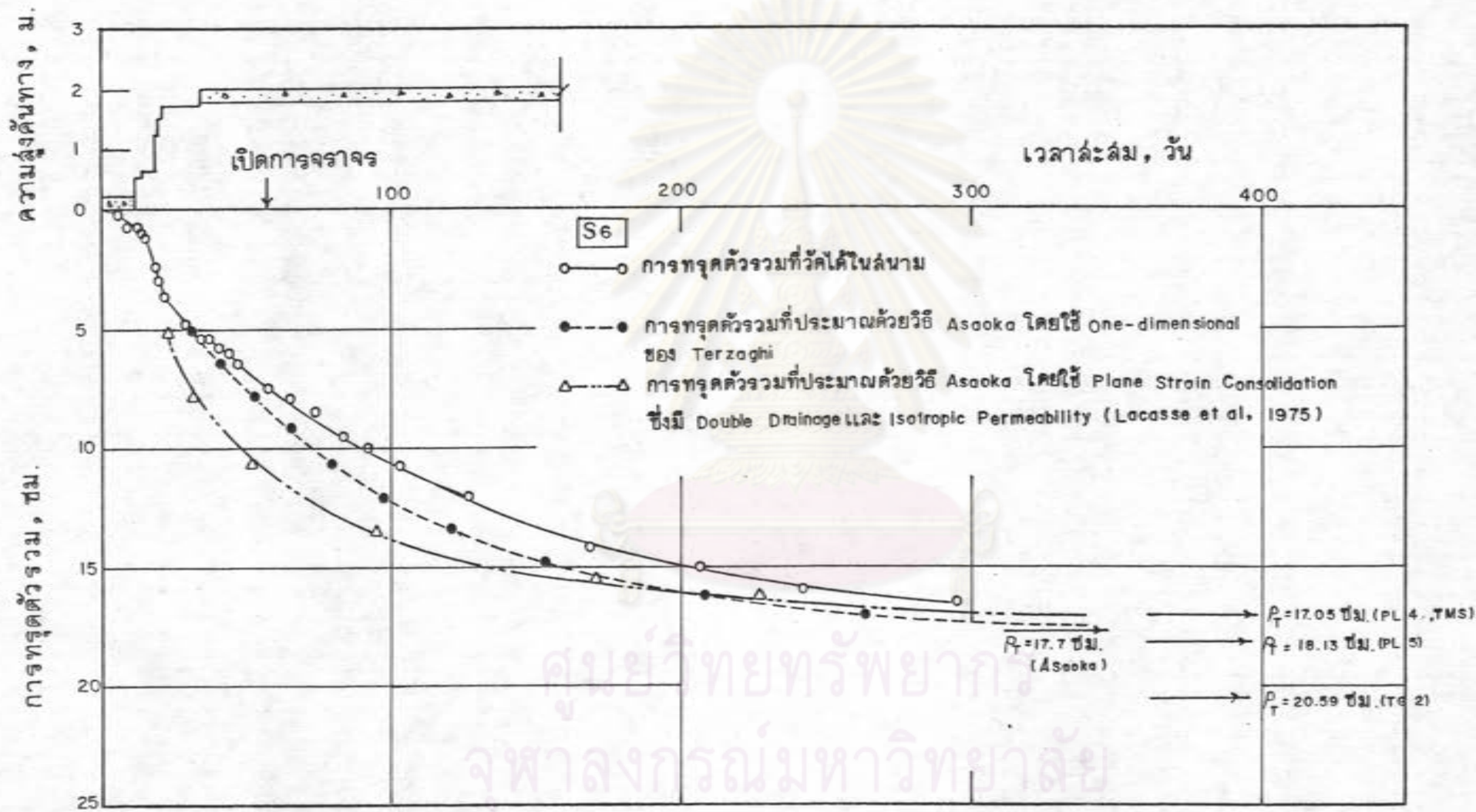
วิธีการของ Asaoka (1978) นี้ ยังสามารถประมาณการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำสุดท้าย (ρ_c , ρ_∞) ได้ ซึ่ง สรุปไว้ในตารางที่ 4.9 โดยพิจารณาการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) เกิดขึ้นหมดเมื่อสิ้นสุดการก่อสร้าง การหาการทรุดตัวทั้งหมด (Total Settlement) หาได้จากการรวมผลของการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) กับการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (ρ_c) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 อัตราการทรุดตัวของ Settlement plate แต่ละจุดแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 ถึง 4.19



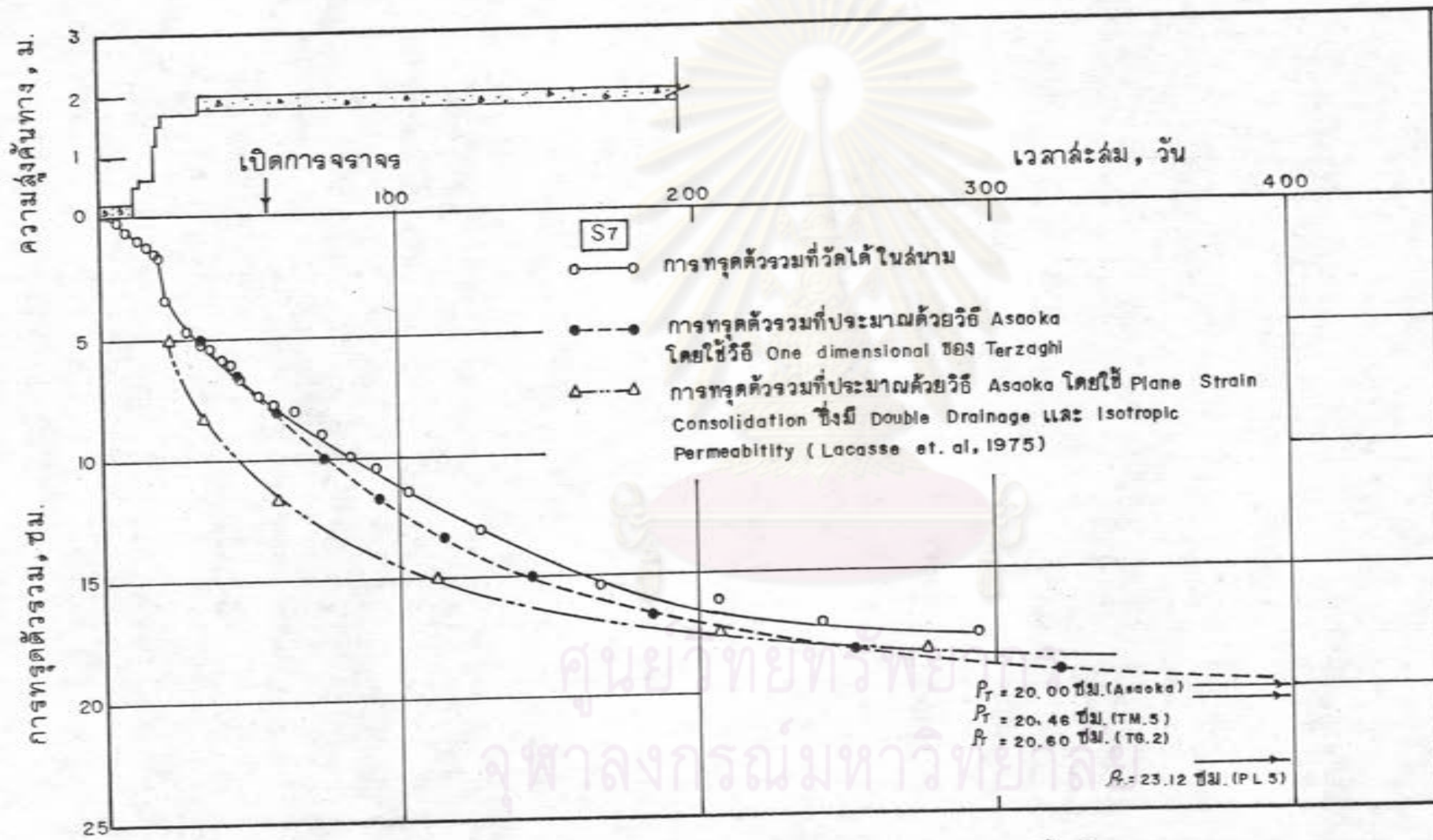
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



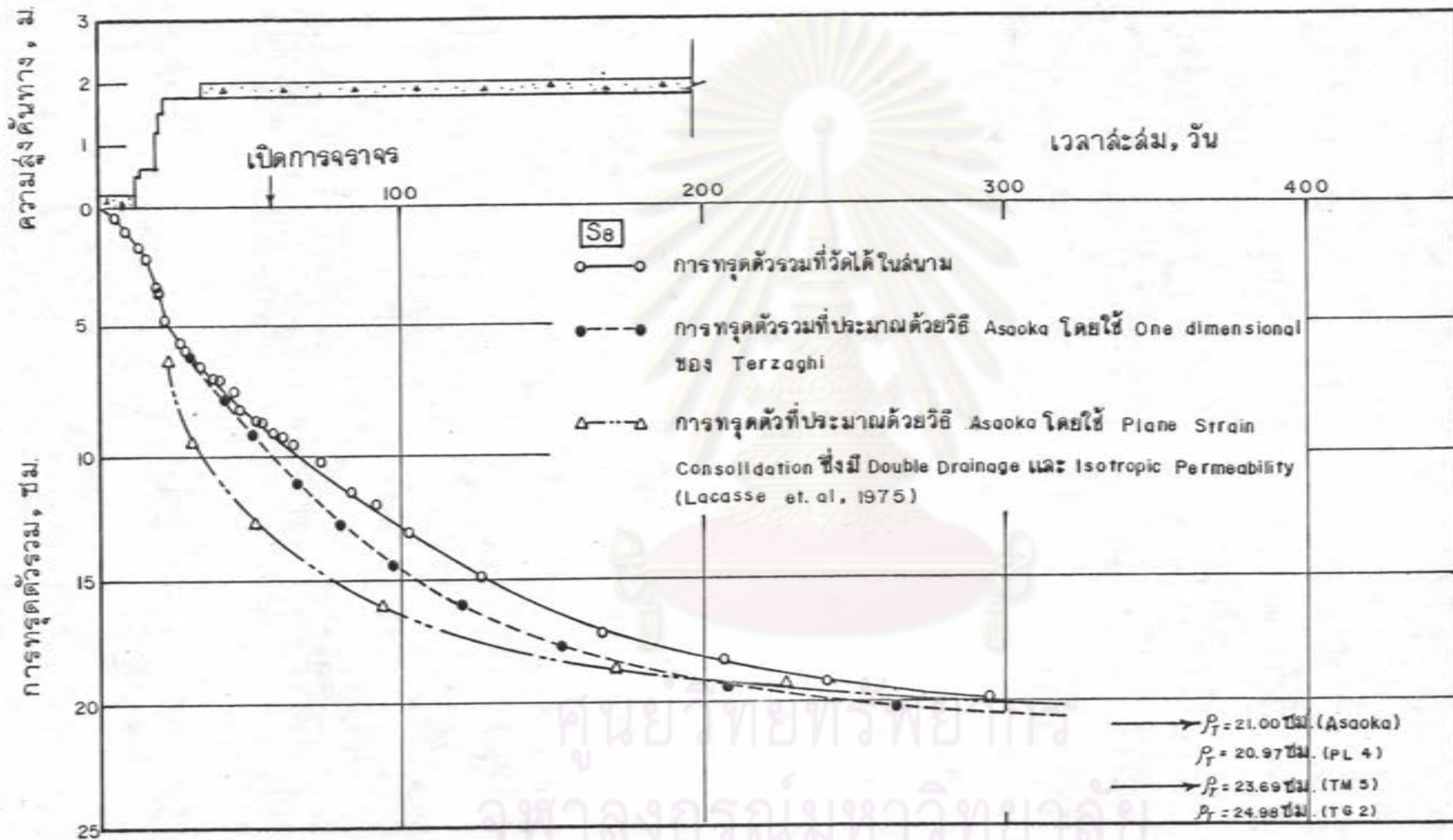
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S₅ โดยใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตามทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Locasse et. al (1975)



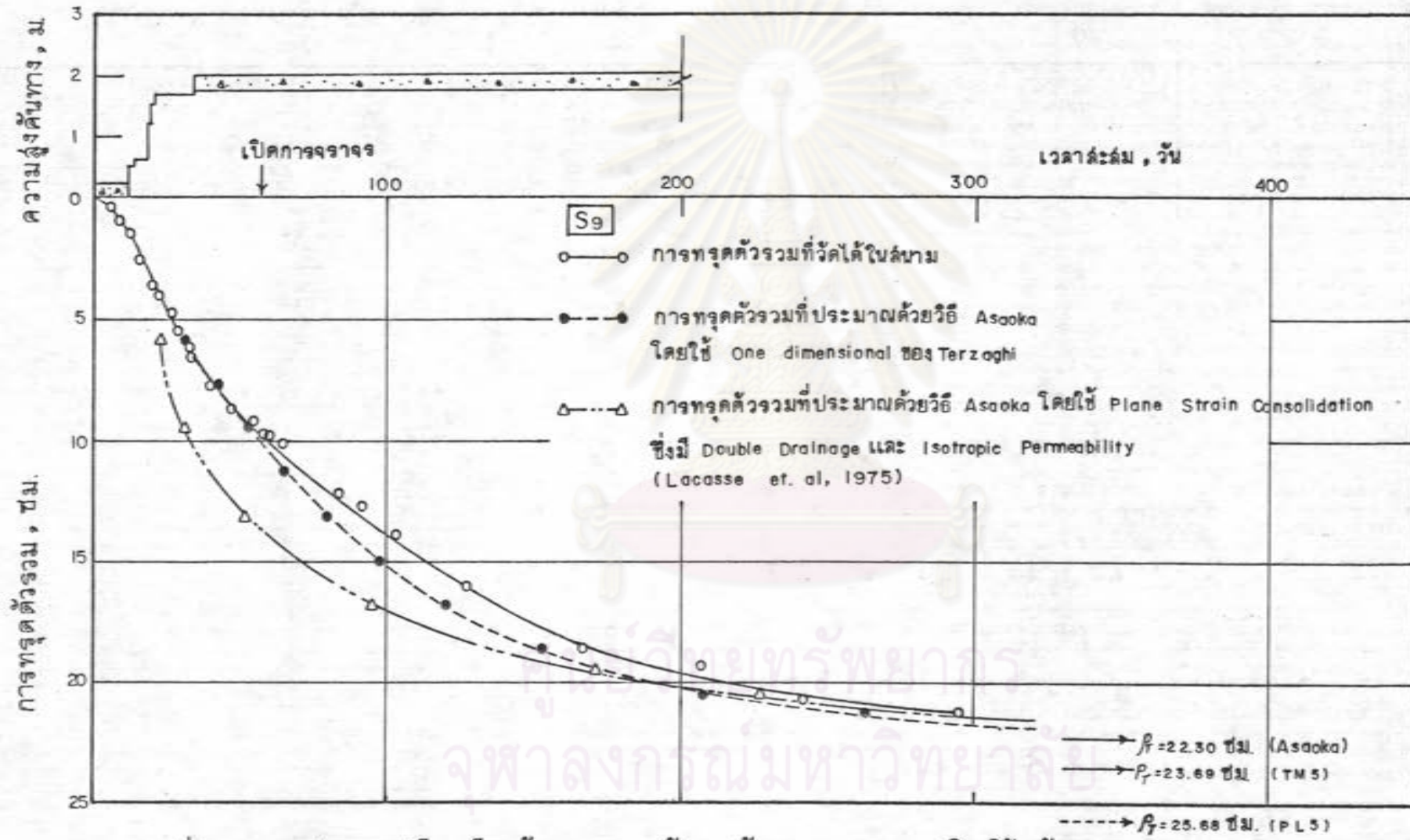
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S6 โดยใช้หลักการของ Asoka et al (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตามทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et al (1975)



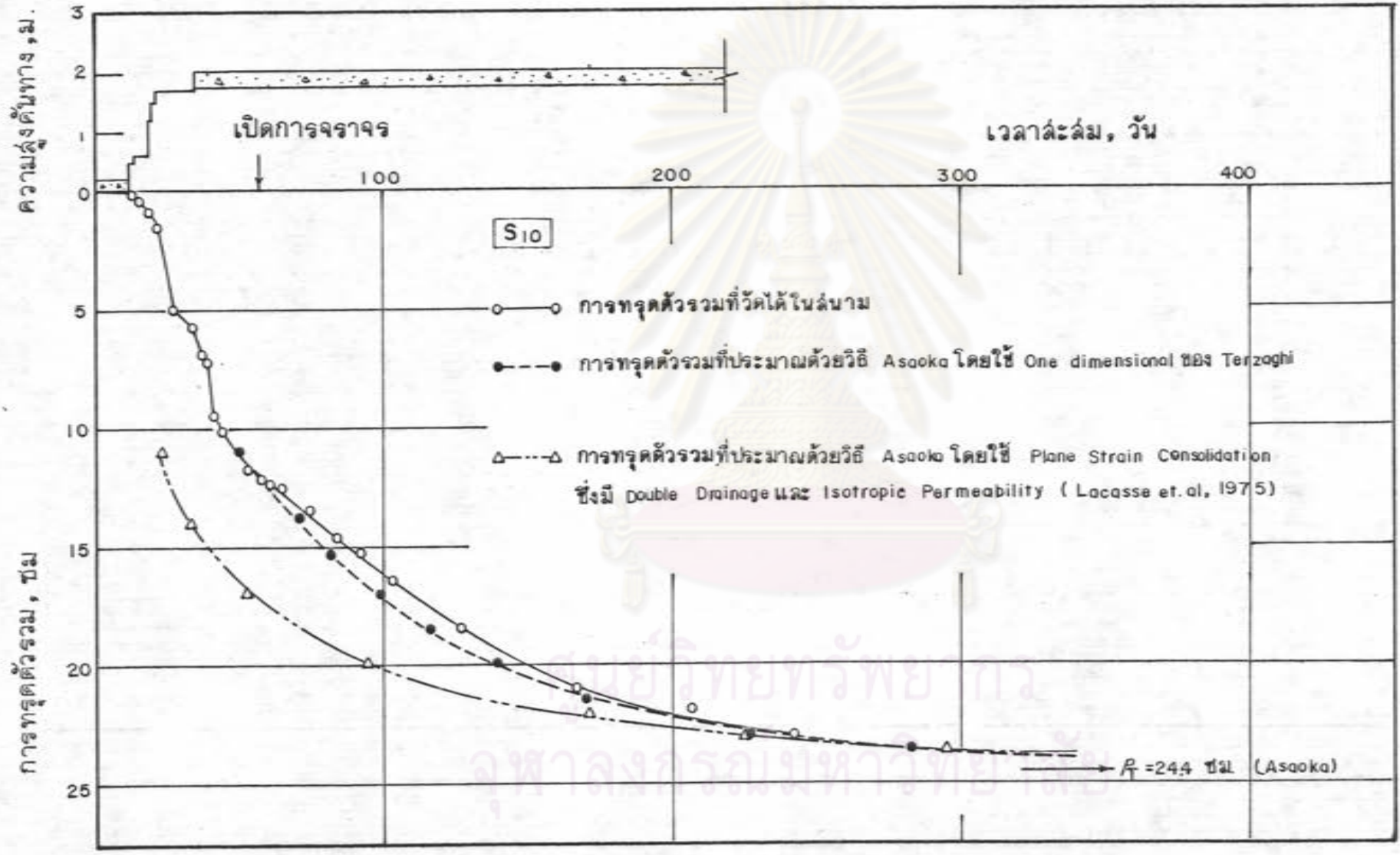
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S7 โดยใช้หลักการของ Asoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตามทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al (1975)



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S8 โดยใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตามทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al (1975)



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_g โดยใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตามทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al (1975)



รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทรุดตัวรวมกับเวลาของจุด S_{10} โดยใช้หลักการของ Asaoka (1978) ร่วมกับการคิดแบบ 1 มิติ ตามทฤษฎีของ Terzaghi และแบบ 2 มิติ ตาม Lacasse et. al (1975)