

การวิเคราะห์ การทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

4.1 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

การวิเคราะห์ เพื่อหาค่าการทรุดตัวของอาคาร สามารถกระทำได้หลายวิธี ในการศึกษานี้ผู้เขียนได้เลือกใช้วิธีการที่สอดคล้องกับผลงานในอดีตที่มีความเป็นไปได้ในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานครได้ผลดีพอประมาณ วิธีดังกล่าวคือ

1. วิธี Convention โดยใช้ข้อสมมุติฐานของ Terzaghi
 2. วิธี Convention โดยใช้ข้อสมมุติฐานของ Tomlinson
 3. วิธี Modified theory of elasticity ของ Poulos และ Davis
- มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 วิธี Convention ของ Terzaghi

วิธีนี้เป็นวิธีที่ รู้จัก และใช้กันอย่างแพร่หลายในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารในทางปฏิบัติ โดยอาศัยทฤษฎีการทรุดตัวแบบ 1 มิติ (1 Dimensional theory) ค่าการทรุดตัวของอาคารสามารถประมาณได้ เท่ากับค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวได้ปลายเสาเข็มแบบ 1 มิติ โดยไม่พิจารณาค่าการทรุดตัวในทรายและค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักในดินเหนียว ($v_s = 0$)

การคำนวณค่าการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำหาได้จากสมการที่ (2.22) โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของดินเหนียว ($\frac{1}{mv}$) จากผลการทดลองด้วย Oedometer ในตัวอย่างที่เก็บได้จากสถานที่ก่อสร้าง (ถ้ามมี) หรือจากความสัมพันธ์แบบ Empirical (เช่นจากค่า SPT) ที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.1.4.3 ค่าหน่วยแรง แคนทางตั้งที่เพิ่มขึ้นที่จุดกึ่งกลางของชั้นดินเหนียว หาได้โดยสมมุติให้น้ำหนักทั้งหมดของอาคารกระทำบนฐานรากแบบ Equivalent mat ที่ระดับปลายเสาเข็ม โดยไม่หักน้ำหนักของดินในกรณีที่มีห้องใต้ดิน (คือพิจารณาเป็น Total stress) และน้ำหนักกระจายออกเป็นมุม 60° กับแนวราบหรือเป็นอัตราส่วนประมาณ 1:2 (ทางราบ:ทางตั้ง) ดังรูป 2.24 a หรือ 2.24 d และความหนาของชั้นดินเหนียวหาได้จากสภาพชั้นดินจากการเจาะสำรวจ ณ สถานที่ก่อสร้าง

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์การทรุดตัวโดยพิจารณาให้ชั้นทรายเกิดการทรุดตัวได้ (เป็นกรณีพิเศษ) เพื่อเปรียบเทียบอีกกรณีหนึ่งด้วย คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของทรายที่ไชหาได้จาก Witoon (1984)

ค่าการทรุดตัวที่คำนวณได้จะเป็นค่าการทรุดตัวสุดท้ายโดยเฉลี่ย

4.1.2 วิธี Convention ของ Tomlinson

Tomlinson (1979) ได้เสนอวิธีการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร โดยแบ่งการทรุดตัวออกเป็น 2 ส่วนคือ การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก และการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ

ค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก หาได้โดยทฤษฎี Elastic ดังสมการ (2.30) ส่วนการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ หาได้โดยใช้ทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ นำมาปรับแก้ด้วย Depth factor และ Geologic factor ได้สมการเป็น

$$p_c = \mu_g \mu_d m_v q H \quad (4.1)$$

เมื่อ q คือ ค่าหน่วยแรงเค้นทางดิ่งที่เพิ่มขึ้น ณ จุดกึ่งกลางของชั้นดินเหนียว

สามารถหาได้จากการกระจายน้ำหนัก ดังรูป 2.25

μ_g , μ_d , m_v , H ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.2.2.2.1

การคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธีนี้ สามารถหาค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก และการทรุดตัวสุดท้ายโดยเฉลี่ยได้

ในที่นี้ การพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. พิจารณาสภาพชั้นดินเป็นชั้น ๆ ตามลักษณะสภาพชั้นดินที่สำรวจพบ และ
2. พิจารณาสภาพชั้นดิน เป็นชั้นดินเฉลี่ยเพียงชั้นเดียว โดยใช้สมการ (2.44)

และค่าการทรุดตัวสุดท้ายหาได้จากสมการ (2.30) โดยใช้ค่าโมดูลัส ในสภาพที่มีการระบายน้ำ เมื่อพิจารณาให้ชั้นดินเฉลี่ยมีลักษณะการระบายน้ำที่ดี และใช้ค่าโมดูลัสในสภาพที่ไม่มีการระบายน้ำในสมการที่ (2.30) แล้วรวมด้วยการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำตามสมการ (4.1) เมื่อพิจารณาให้ชั้นดินเฉลี่ยมีลักษณะการระบายน้ำไม่ดี ค่าการทรุดตัวสุดท้าย จากการพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากทั้ง 2 ลักษณะ จะอยู่ในรูป pF

เนื่องจากฐานรากแบบเกร็ง มักไม่ค่อยพบในอาคารโดยทั่วไป (Koerner , 1974) ดังนั้นจึงพิจารณาให้ฐานรากของอาคารเป็นฐานรากแบบยึดหยุ่น

4.1.3 วิธี Modified theory of elasticity ของ Poulos และ Davis

วิธีนี้เป็นที่เชื่อว่าเหมาะสมในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารสูงใน กรุงเทพมหานคร (Wichien . 1983) และมีผลที่ได้ใกล้เคียงกับที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Finite element (Poulos and Davis . 1980)

การทรุดตัวที่เกิดขึ้นพิจารณาให้เป็นแบบ 3 มิติ โดยสมมุติให้ดินมีคุณสมบัติเป็น Isotropically linear elasticity และใช้ทฤษฎี Elasticity ในการหาค่าการทรุดตัว การคำนวณจะแบ่งการทรุดตัวทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วนคือ

- 1) การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (Immediate settlement . ρ_i)
- 2) การทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation settlement . ρ_c)

การทรุดตัวแบบแรกจะเกิดขึ้นทั้งในดินเหนียวและทรายทันทีที่เสาเข็มได้รับน้ำหนัก ส่วนแบบหลัง จะเกิดขึ้นเฉพาะในดินเหนียว โดยค่าการทรุดตัวจะขึ้นกับเวลาการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียว

4.1.3.1 การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (Immediate settlement . ρ_i)

การทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก สามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือ

- 1) การทรุดตัวของเสาเข็ม เนื่องจากดินในชั้นที่เสาเข็มฝังอยู่ (Founding layers) . ρ_{fd}
- 2) การทรุดตัวของดิน เนื่องจากดินในชั้นที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม (Underlying layers) . ρ_{ud}

- 1) การทรุดตัวของเสาเข็ม เนื่องจากดินในชั้นที่เสาเข็มฝังอยู่ (Founding layers) . ρ_{fd}

ในเสาเข็มเดี่ยว การทรุดตัวนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการที่ดินบริเวณข้างเสาเข็ม ปลายเสาเข็ม และตัวเสาเข็มเอง ได้รับหน่วยแรงเค้นเมื่อเสาเข็มรับน้ำหนัก ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (2.35) สำหรับเสาเข็มคาล แต่เนื่องจากค่า E_s ที่ใช้ในสมการเป็นพฤติกรรมร่วมระหว่างดินกับเสาเข็มซึ่งซับซ้อนมาก Poulos และ Davis (1980)

แนะนำให้ใช้ค่า E_s ที่ได้จากการคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็มนี้นี้คือ

- ก) หาค่า E_s จากสมการที่ (2.35) เมื่อทราบค่าการทรุดตัว น้ำหนัก

บนเสาเข็มและลักษณะของเสาเข็ม ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง E_s กับ R_K และ R_b

ข) หากค่า E_s ในรูปความสัมพันธ์กับค่า K จากสมการ

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

ค) นำความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ ก และ ข มาเขียนกราฟ log-log จุดตัดที่ได้จากความสัมพันธ์ทั้งสองจะเป็นค่า E_s และ K เมื่อพิจารณาพฤติกรรมร่วมระหว่างดินกับเสาเข็ม ในเสาเข็มเดี่ยว

ในระบบฐานราก เมื่อมีเสาเข็มจำนวนมากในระบบฐานราก ค่า p_{fd} สามารถหาได้ดังต่อไปนี้คือ

ก) ลดค่าการทรุดตัวที่ได้จากในเสาเข็มเดี่ยวลง เนื่องจากผลของ Pile cap ด้วยแฟคเตอร์ F_R ดังรูป 2.42

ข) เพื่อความสะดวกในการคำนวณอาจแบ่งจำนวนเสาเข็มทั้งหมดในฐานรากออกเป็นเสาเข็มกลุ่มเดี่ยวที่มีเสาเข็มจัดอยู่ในรูปแบบเดียวกัน หรืออยู่ในช่วง 4 ถึง 9 ต้น แบบแรกเหมาะกับฐานรากที่มีเสาเข็มกลุ่มแยกห่างจากกัน ส่วนแบบหลังเหมาะกับฐานรากที่มีเสาเข็มจำนวนมากที่มีระยะเรียงของเสาเข็ม (Spacing) เท่า ๆ กัน

ค) ในเสาเข็มกลุ่มเดี่ยวแต่ละกลุ่ม เลือกเสาเข็มต้นที่เป็นตัวแทน โดยให้อยู่ในตำแหน่งที่จะหาผลกระทบ (Interaction, α) จากเสาเข็มต้นอื่นได้ง่าย เช่น ดินกลางของกลุ่ม

ง) หากค่าการทรุดตัวของเสาเข็มที่เป็นตัวแทน เมื่อได้รับผลกระทบจากเสาเข็มข้างเคียงในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้สมการ (2.41) หรือ (2.42) เมื่อค่า α หาได้จากสมการ (2.39) และรูปที่ 2.37 ถึง 2.39

จ) สมมติให้ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มกลุ่มเดี่ยว แต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากับ 90% ของค่าการทรุดตัวของเสาเข็มที่เป็นตัวแทนจากข้อ ง เมื่อเลือกดินกลางของกลุ่ม

ฉ) เมื่อพิจารณาฐานรากทั้งระบบ เสาเข็มกลุ่มเดี่ยวแต่ละกลุ่ม ซึ่งมีค่าการทรุดตัวค่าหนึ่งจะถูกพิจารณาเป็นเสาเข็มเดี่ยวสมมูลย์ต้นหนึ่งที่มีการทรุดตัวเท่ากับเสาเข็มกลุ่มเดี่ยว โดยที่ขนาดของเสาเข็มเดี่ยวสมมูลย์ จะเปลี่ยนเฉพาะเส้นผ่านศูนย์กลางและให้ความยาวของเสาเข็มคงที่ เพราะสภาพชั้นดินกรุงเทพฯ ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถประมาณจากรูปที่ 2.40 ดังนั้นระบบฐานรากจะกลายเป็นระบบสมมูลย์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเสาเข็มขนาดใหญ่ จำนวนเท่ากับจำนวนกลุ่มของเสาเข็มที่แบ่งตามข้อ ข. มีระยะห่างระยะเรียง ที่



กว้างและทราบค่าการทรุดตัวของแต่ละชั้น

ข) หาค่าการทรุดตัวของระบบฐานรากแบบสมมูลย์ เช่นเดียวกับข้อ ง และ จ ค่าการทรุดตัวที่หาได้จะเป็นค่า ρ_{fd} ของระบบฐานรากที่สมมูลย์ให้เท่ากันโดยเฉลี่ย (เฉพาะ mat)

2) การทรุดตัวของดิน เนื่องจากดินในชั้นที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม (Underlying layers) , ρ_{ud}

การทรุดตัวนี้เกิดจากการที่ชั้นดินที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็มได้รับหน่วยแรงดันที่ถ่ายมาจากเสาเข็ม แล้วเกิดการยุบอัดตัว

การคำนวณเพื่อหาค่า ρ_{ud}

ก) ใช้ระบบฐานรากแบบสมมูลย์ ในการหาค่าการทรุดตัวของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็มที่จุดใด ๆ บนฐานราก จากสมการ (2.43) โดยใช้วิธี Super impose สำหรับสภาพดินที่เป็นชั้น ๆ , ใช้ค่า I จากรูปที่ 2.34 และค่า E_s จากคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินในสภาพไม่มีการระบายน้ำ (E_u)

ข) ค่าการทรุดตัวของชั้นดินที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม ณ จุดที่พิจารณาหาได้จากการรวมผลของค่าการทรุดตัวนี้ เนื่องจากเสาเข็ม สมมูลย์ที่อยู่ข้างเคียงเข้าด้วยกัน (ถ้ามี)

4.1.3.2 การทรุดตัวแบบอัดตัวคายนํ้า (Consolidation settlement ,

ρ_c)

การคำนวณหาค่า ρ_c สามารถกระทำได้เช่นเดียวกับการหาค่า ρ_{ud} ต่างกันที่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณคือ ค่าโมดูลัส ค่าอัตราส่วนปริมาตรของที่ไ้จะเปลี่ยนเป็นสภาพที่มีการระบายน้ำ และจะเกิดเฉาะในดินเหนียวใต้ปลายเสาเข็มเท่านั้น ในทางปฏิบัติเพื่อความสะดวกจะใช้กราฟที่เสนอโดย Poulos และ Mattes (1969) ซึ่งสร้างขึ้นโดยใช้หลักการเดียวกัน โดยแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักกับค่าการทรุดตัวสุดท้าย ดังรูป 2.35

4.2 เทคนิคการเลือกใช้ข้อมูลในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

การคำนวณทางด้านวิศวกรรม ผลที่ได้จะสำเร็จด้วยดีจำเป็นต้องประกอบด้วย

(i) การเลือกใช้ทฤษฎีที่เหมาะสม (ii) ข้อมูลที่ถูกต้อง และ (iii) มีข้อมูลเพียงพอที่จะปรับแก้แบบ Empirical ในข้อมูลดินที่ใช้ ประการแรกได้กล่าวแล้วในหัวข้อ

4.1 ส่วน 2 ประการหลังผู้เขียนจะรวมเรียกว่า " เทคนิคการเลือกใช้ข้อมูล " ข้อมูลที่ใช้

ในการวิเคราะห์การทรุดตัว ประกอบด้วย

- ข้อมูลเกี่ยวกับ เสาค้ำ
- ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพชั้นดิน และคุณสมบัติของชั้นดิน
- ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของฐานรากและน้ำหนักที่กระทำ

4.2.1 การเลือกใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเสาค้ำ

ข้อมูลเกี่ยวกับ เสาค้ำมีความสำคัญอย่างมากในการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ข้อมูลที่พิจารณาแบ่งออกได้เป็น

- สมบัติทางด้านรูปร่าง และชนิดของเสาค้ำ
- ผลการทดสอบเสาค้ำในสภาพ Short term เพื่อนำไปใช้ในการทำการทรุดตัวแบบทันทีที่รับน้ำหนักในชั้น Founding

4.2.1.1 สมบัติทางด้านรูปร่าง และชนิดของเสาค้ำ

สมบัติที่พิจารณา ได้แก่ ความยาวของเสาค้ำ เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาค้ำ และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเสาค้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) ความยาวของเสาค้ำ , L

โดยทั่วไปความยาวของเสาค้ำที่ใช้ มักไม่เท่ากับระดับความลึกของปลายเสาค้ำ เนื่องจากระดับของฐานรากมักอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสูงซึ่งมักจะมีห้องใต้ดิน ดังนั้นค่า L ที่ใช้จึงเท่ากับความยาวของเสาค้ำจริง ค่า L จะมีผลต่ออัตราส่วนความขรุขระของเสาค้ำ (L/d) ซึ่งจะมีผลต่อเนื้องไปยังพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis

ข) เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาค้ำ , d

รูปหน้าตัดของเสาค้ำโดยเฉพาะในอาคารสูงมักแตกต่างกันไป ในการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis จะพิจารณาเสาค้ำมีรูปตัดเป็นวงกลม ดังนั้นค่า d ที่ใช้จึงเท่ากับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้จากการคำนวณ โดยคิดว่าเสาค้ำมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับเสาค้ำที่ใช้ ค่า d จะมีผลต่ออัตราส่วนความขรุขระและยังมีผลต่อการพิจารณาผลกระทบของเสาค้ำข้างเคียงอีกด้วย

ค) ค่าโมดูลัสของเสาค้ำ , E_p

ค่า E_p ได้ถูกนำมาใช้ในรูปของ Stiffness ของเสาค้ำ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งสำหรับเสาค้ำคอนกรีตอัดแรงโดยทั่วไป ค่า E_p จะอยู่ระหว่าง

2×10^6 ถึง 3×10^6 ดันต่อตารางเมตร หรือสามารถประมาณได้จาก

$$E_p = 4270 w^{1.5} \sqrt{fc'} \quad \text{หรือ}$$

$$= 15210 \sqrt{fc'} \quad \text{หน่วย เป็นกิโลกรัมต่อ}$$

ตาราง เซนติ เมตร

เมื่อ w คือ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

fc' คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ในที่นี้ผู้เขียนใช้ค่าเฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับ 2.4×10^6

ตันต่อตาราง เมตร

4.2.1.2 ผลการทดสอบเสาเข็ม

เนื่องจากพฤติกรรมการทรุดตัวของ เสาเข็มค่อนข้างซับซ้อน วิธีที่ดีที่สุดในการหาค่า E_s ในสมการ (2.35) คือ การคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็ม ดังได้กล่าวแล้ว อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติผลการทดสอบเสาเข็มจะถูกต้อง เพียงใดขึ้นกับลักษณะ และวิธีการที่ทดสอบ ซึ่งมีผลทำให้ค่าการทรุดตัวที่วัดได้จากการทดสอบผิดไปจากค่าการทรุดตัวจริง จำเป็นต้องปรับแก้ผลเหล่านี้ แบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือ

ก) ผลของการทดสอบเสาเข็มโดยใช้เสาสมอ (Anchore Pile)

เป็นแรงกระทำในการทดสอบเสาเข็ม จากการศึกษาเรื่องผลกระทบต่อการทรุดตัวของเสาเข็ม ข้างเคียงที่รับน้ำหนักจะเห็นได้ว่า การที่เสาสมอรับแรงดึงจะมีผลทำให้เสาเข็มดินที่ทดสอบ เกิดการทรุดตัวน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ค่าการทรุดตัวที่ปรับแก้แล้วจะมีค่าเท่ากับ ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ รวมกับผลกระทบจากเสาสมอ ดังสมการ (2.45) หรือ

$$\rho_{\text{จริง}} = \rho_{\text{วัดได้}} / (1 - \alpha) \quad (4.2)$$

เมื่อ α หาได้จากสมการ (2.39)

ข) ผลจากการวางคานอ้างอิง (Reference Beam) ไว้ใกล้

เสาเข็มที่รับน้ำหนัก จะทำให้คานอ้างอิงเกิดการเคลื่อนตัวลงตามเสาเข็มด้วย ค่าการทรุดตัวที่วัดได้จึงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ค่าการทรุดตัวที่ปรับแก้แล้วจะมีค่าเท่ากับค่าการทรุดตัวที่วัดได้รวมกับผลกระทบจากเสาเข็มที่รับน้ำหนักไปยังคานอ้างอิง (Poulos and Davis , 1980) ในการวิเคราะห์นี้ไม่ได้ปรับแก้ผลนี้ เพราะไม่มีข้อมูลรายละเอียดที่ตั้งของคานอ้างอิง

4.2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพชั้นดินและคุณสมบัติของชั้นดิน

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการเจาะสำรวจสภาพชั้นดินในกรุงเทพมหานคร เป็นจำนวนมากพอสมควร พอจะสรุปได้ว่าสภาพชั้นดินทั่วกรุงเทพมหานครไม่ค่อยสม่ำเสมอนัก แต่ก็พอที่จะแบ่งเรียกเป็นชั้น ๆ ได้ ดังในหัวข้อ 2.1.3 และคุณสมบัติของแต่ละชั้นสามารถหาความสัมพันธ์ได้ในเกณฑ์ที่น่าพอใจพอควร อันจะนำมาเป็นแนวทางในการเลือกใช้ข้อมูลทางปฏิบัติทางด้านนี้ได้

ข้อมูลสภาพและคุณสมบัติของชั้นดินที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร มีดังต่อไปนี้คือ

- คุณสมบัติในการอัดตัวคายนํ้าของชั้นดินเหนียว (Consolidation data)
ได้ปลายเสาเข็ม
- ความดันนํ้าในโพรงดิน (Pore Pressure)
- สภาพชั้นดิน (Soil Profile)
- ค่าอัตราส่วนปริมาตรของดิน (Poisson Ratio)
- ค่าโมดูลัสของดิน (Soil modulus)

4.2.2.1 คุณสมบัติในการอัดตัวคายนํ้าของดินเหนียวได้ปลายเสาเข็ม

คุณสมบัติเหล่านี้ ได้แก่ C_c , C_r , CR , RR , $\frac{1}{mv}$ และ e_0 ซึ่งได้มาจากการทดลอง การอัดตัวคายนํ้าแบบ 1 มิติ ในตัวอย่างดินที่เก็บได้ (ถ้ามี) หรือจากความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Witoon (1984) และ Tasneenart (1984) ดังสมการที่ (2.7) ถึง (2.8) และรูป 2.14 ตามลำดับ โดยที่สมการที่ (2.7) และ (2.8) จำเป็นจะต้องทราบค่า N ในสนามของชั้นดินนั้น

คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของดินจะขึ้นอยู่กับช่วงของหน่วยแรงที่กระทำ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบสภาพหน่วยแรงแรกเริ่มก่อนการรับนํ้าหนักก่อน เช่น กรณีที่อาคารมีการขุดห้องใต้ดิน หน่วยแรงแรกเริ่มจึงต้องพิจารณาหน่วยแรงประสิทธิผลทางตั้ง เนื่องจาก ดินที่รับถมหักด้วยผลของหน่วยแรงที่ลดลง เนื่องจากการขุดห้องใต้ดิน อย่างไรก็ตาม ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้ จะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่า $1/mv$

ค่าที่ได้จากสมการที่ (2.7) และ (2.8) จะอยู่ในรูปของ $\frac{1}{mv}$ ซึ่งสะดวกในการนำไปใช้ในการคำนวณทั้งวิธี Convention และวิธีของ Poulos และ Davis ส่วนค่าที่ได้จากรูป 2.14 จะอยู่ในรูป CR ซึ่งสะดวกในการคำนวณด้วยวิธีแรก

เท่านั้น อย่างไรก็ตามค่า CR สามารถคำนวณกลับมาเป็น $\frac{1}{mv}$ ได้จากความสัมพันธ์

$$\frac{1}{mv} = \Delta\sigma_v / CR \log \frac{\bar{\sigma}_{vf}}{\bar{\sigma}_{vo}} \quad (4.3)$$

เมื่อ $\Delta\sigma_v$ คือ ค่าหน่วยแรงเค้นทางตั้งที่เพิ่ม ที่กึ่งกลางของ
ชั้นดินเหนียว

4.2.2.2 ความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Pressure)

ค่าความดันน้ำในโพรงดินจะมีผลโดยตรงกับหน่วยแรง
ประสิทธิผลทางตั้งของดิน แต่เนื่องจากการวัดความดันน้ำในโพรงดิน ทำได้ไม่สะดวกนัก จาก
การรวบรวมข้อมูลพบว่าความดันน้ำในโพรงดินมีลักษณะดังรูป 2.22 และ Tasneenart
(1984) ได้รวบรวมข้อมูลและหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงประสิทธิผลทางตั้ง เนื่องจาก
น้ำหนักดินที่ทับถม ($\bar{\sigma}_{vo}$) ของดินในบริเวณกรุงเทพมหานครกับความลึกซึ่งสะดวกในการนำ
ไปใช้ ดังรูป 4.1 หรือเขียนในรูปสมการ

$$\bar{\sigma}_{vo} = 15.7 + 0.98 D \quad \text{หน่วยเป็น } (4.4)$$

ตันต่อตารางเมตร

เมื่อ D คือ ความลึกที่พิจารณาที่มากกว่า 22 เมตร

จะเห็นได้ว่า ค่า $\bar{\sigma}_{vo}$ นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับการ
พิจารณาว่า ความดันน้ำแบบ hydrostatic เริ่มต้น ($u=0$) ที่ระดับความลึกประมาณ 20
เมตรจากผิวดิน

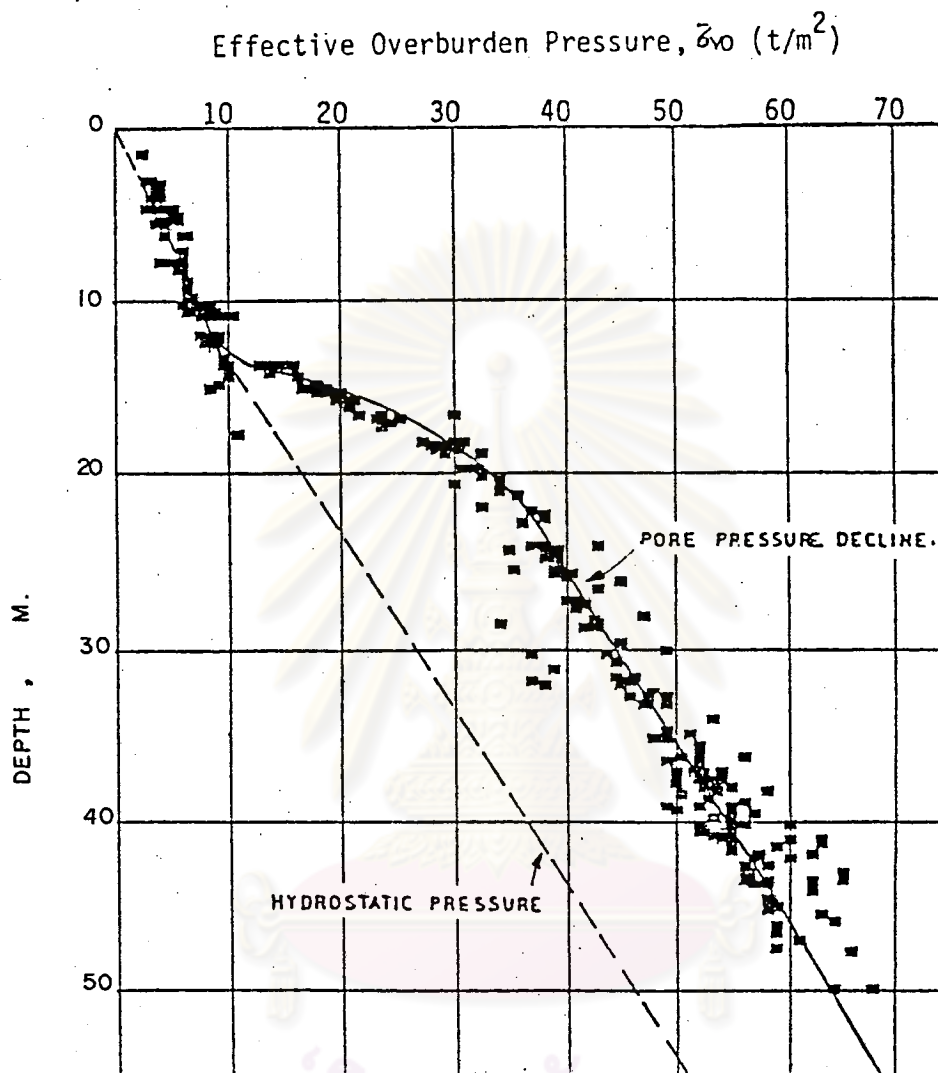
4.2.2.3 สภาพชั้นดิน (Soil Profile)

การเจาะสำรวจดินเพื่อให้ทราบถึงสภาพชั้นดิน เป็น
สิ่งจำเป็นในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร เว้นแต่ว่าในบริเวณใกล้เคียงได้มีการเจาะ
สำรวจดินแล้วพบว่า สภาพชั้นดินไม่เปลี่ยนแปลงจึงสามารถนำมาใช้ได้ ข้อมูลสภาพชั้นดินทำให้
ทราบถึงชนิด ระดับความลึก และความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น ซึ่งเป็นตัวแปรในการคำนวณค่า
การทรุดตัวและเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้คุณสมบัติของดินแต่ละชั้นด้วย

4.2.2.4 ค่าอัตราส่วนปริมาตรของของดิน (Poisson Ratio ,

v_s)

ค่า v_s นี้เป็นตัวแปรตัวหนึ่งในการคำนวณค่าการทรุด



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงประสิทธิผลทางตั้งเริ่มต้นกับความลึก

(After Tasneenart, 1984)

ตัว แต่มีผลไม่มากและมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในดินแต่ละชนิด โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ค่า v_s เท่ากับ 0.5 ในสภาพที่ไม่มีภาวะระบายน้ำ และเท่ากับ 0.3 และ 0.15 สำหรับทรายและดินเหนียว ตามลำดับ ในสภาพที่มีการระบายน้ำ (Poulos and Davis , 1980)

4.2.2.5 ค่าโมดูลัสของดิน (Soil Modulus , E)

ค่าโมดูลัสของดินเป็นตัวแปรที่สำคัญมากที่สุดตัวหนึ่งในการศึกษาโดยใช้ทฤษฎี Elasticity ซึ่งพิจารณาเป็นแบบ 3 มิติ ในที่นี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) ค่าโมดูลัสแบบไม่มีการระบายน้ำ (Undrained modulus , E_u)

2) ค่าโมดูลัสแบบมีการระบายน้ำ (Drained modulus , E'_s)

1) ค่าโมดูลัสแบบไม่มีการระบายน้ำ (Undrained modulus , E_u)

ใช้ในกรณีที่ดิน เมื่อได้รับแรงกระทำแล้วเกิดการทรุดตัว โดยที่ยังไม่มีการระบายน้ำ ได้แก่ ดินเหนียว การหาค่า E_u ของชั้นดินที่ทำได้วิธีหนึ่ง คือ การคำนวณจากค่า $1/mv$ ซึ่งได้จากการทดลองแบบ 1 มิติ โดยใช้สมมติฐานที่ว่า ค่าโมดูลัสเฉือน ในสภาพที่มีการระบายน้ำ มีค่าเท่ากันตามสมการที่ (2.31) และ (2.32) และเมื่อใช้ค่า v'_s ตามหัวข้อ 4.2.2.4 สมการจะเป็น

$$E_u = 1.235 \times \frac{1}{mv} \quad (v_s = 0.5) \quad (4.5)$$

2) ค่าโมดูลัสแบบมีการระบายน้ำ (Drained modulus , E'_s)

ใช้กับดินที่ เมื่อได้รับแรงกระทำแล้วเกิดการทรุดตัวโดยมีการระบายน้ำ ได้แก่ ทรายหรือดินเหนียวที่ทิ้งไว้เป็นเวลานาน ๆ ค่า E'_s สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.31 หรือ

$$E'_s = 0.767 E_u \quad \text{สำหรับดินเหนียว} \quad (v'_s = 0.15) \quad (4.6 a)$$

$$E'_s = 0.743 \times \frac{1}{mv} \quad \text{สำหรับทราย} \quad (v'_s = 0.3) \quad (4.6 b)$$

เมื่อ $\frac{1}{mv}$ ของชั้นทรายหาได้จากสมการ (2.20) สำหรับทรายชั้นแรก และสมการ (2.21) สำหรับทรายชั้นที่ 2 และ 3

ในกรณีที่อาคารสูงใช้เสาเข็มแบบตอก (Driven pile)

ค่า E'_s ของทรายชั้นแรกจะแนะนำให้เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เนื่องจากผลของการตอกเสาเข็มกลุ่ม (Koerner , 1974) , (Philcox , 1962) , (Poulos and Davis ,

1980)

ค่าอัตราส่วนระหว่างโมดูลัสของดินที่ชั้นแบกทาน กับดินข้างเสาเข็ม (E_b/E_s) เป็นตัวแปรที่มีผลในการคำนวณค่าการทรุดตัวด้วยเช่นกัน ค่า E_s ของดินข้างเสาเข็มสามารถหาได้โดยการเฉลี่ยตามความหนาของดินแต่ละชั้นข้างเสาเข็ม (Poulos and Davis , 1980) สำหรับอาคารในกรุงเทพมหานครที่มีปลายเสาเข็มยังอยู่ในทรายชั้นแรก ค่า E_b/E_s ในเสาเข็มเดียวมีค่าประมาณ 3 - 5 ขึ้นอยู่กับสภาพชั้นดินและความยาวของเสาเข็มในแต่ละแห่ง

4.2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของฐานรากและน้ำหนักที่กระทำ

ลักษณะรูปแบบของฐานรากและน้ำหนักบรรทุก เป็นตัวแปรที่มีพฤติกรรมซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตามในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารจำเป็นต้องประมาณค่าตัวแปรที่จะนำมาใช้เหล่านี้ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น

- รูปแบบการจัดของเสาเข็ม (Pile layout)
- ขนาดของหัวยึดเสาเข็ม (Pile cap)
- น้ำหนักที่กระทำบนเสาเข็ม (Load per pile)
- การจัดกลุ่มของเสาเข็มในการคำนวณค่าการทรุดตัว (Pile configuration)

4.2.3.1 รูปแบบการจัดเสาเข็ม (Pile layout)

ในระบบฐานรากของอาคารสูง ซึ่งประกอบด้วยเสาเข็มจำนวนมาก จัดเรียงตัวกัน สิ่งที่ต้องการทราบคือ ตำแหน่ง ระยะห่าง ระยะเรียงของเสาเข็มแต่ละต้น (S) ซึ่งมีผลในการพิจารณาผลกระทบระหว่างเสาเข็ม (Interaction) ข้อมูลเหล่านี้ดูได้จากแผนผังการจัดเรียงตัวของเสาเข็ม

4.2.3.2 ขนาดของหัวยึดเสาเข็ม (Diameter of pile cap)

Pile cap จะช่วยยึดไม่ให้หัวเสาเข็มเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ต้องการในระบบฐานรากของอาคารสูง pile cap จะประกอบด้วย footing , คานยึด และพื้นชั้นล่าง ซึ่งจะช่วยเพิ่ม Rigidity ให้แก่ระบบฐานราก และยังมีผลทำให้การทรุดตัวของเสาเข็มในฐานรากลดลงด้วย แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติ Pile cap ในแต่ละอาคารจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ซึ่งทำให้มี Rigidity แตกต่างกัน Poulos (1972) ได้ศึกษาถึงการปรับแก้ผลของขนาดของ Pile cap , F_R (ดังรูป 2.42) โดยพิจารณา Pile cap เป็น

Slab เติมหนา วางบนดินชนิดเดียวกับที่เสาเข็มฝังอยู่ ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องพิจารณาให้ Pile cap เป็น Slab เติมหนา ขนาด (d_c) เท่ากับด้านแคบของอาคาร ซึ่งหมายความว่าฐานรากถูกพิจารณาเป็น ฐานรากแบบ Mat ซึ่งอาจเป็นการพิจารณาให้ฐานรากมี Rigidity มากเกินไปบ้างในอาคารบางแห่ง

4.2.3.3 น้ำหนักที่กระทำบนเสาเข็ม (Load per pile)

ในทฤษฎี Elasticity การทรุดตัวของเสาเข็มจะเกิดขึ้น เมื่อเริ่มมีน้ำหนักกระทำบนเสาเข็ม น้ำหนักที่กระทำจะพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกของอาคารเท่านั้น คือ

- น้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead load) และ
- น้ำหนักบรรทุกจร (Live load)

น้ำหนักบรรทุกตายตัว สามารถประมาณได้จากน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร โดยคำนวณจากปริมาณคอนกรีตที่ใช้ในงาน ส่วนน้ำหนักบรรทุกจร จำเป็นต้องประมาณจากสภาพการใช้งานจริงหรือจากการออกแบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานของอาคารแต่ละแห่ง ในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารจะรวมน้ำหนักบรรทุกตายตัว และน้ำหนักบรรทุกจรด้วย ในทางปฏิบัติค่าน้ำหนักบรรทุกจรมีผลต่อการทรุดตัวประมาณได้ยาก อย่างไรก็ตามค่านี้น้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักบรรทุกตายตัว

การที่จะหาว่าเสาเข็มแต่ละต้นในฐานรากของอาคารรับน้ำหนักขณะนั้นเท่าใดไม่สามารถทำได้โดยง่าย ดังนั้นจึงสมมุติให้เสาเข็มทุกต้นในฐานรากเดียวกัน รับน้ำหนักต้นละเท่า ๆ กัน เมื่อรู้น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนฐานรากแล้ว

4.2.3.4 การจัดกลุ่มของเสาเข็มในการคำนวณค่าการทรุดตัว (Pile configuration)

เนื่องจากเสาเข็มในอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร มักมีการจัดเรียงด้วยระยะห่างที่ไม่เท่ากัน หรือมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการไม่สะดวกที่จะคำนวณแบบระบบฐานแพ ตามวิธีของ Poulos และ Davis และ Pongchai (1985) พบว่าการจัดกลุ่มของเสาเข็มที่แตกต่างกันมีผลต่อการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธีนี้มาก ผู้เขียนจึงพิจารณาให้ระบบฐานรากสำหรับอาคารที่มีรูปร่างใกล้เคียงสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นแบบ flexible mat ขนาดเท่าอาคาร โดยกำหนดให้เสาเข็มทุกต้นในฐานรากรับน้ำหนักเท่ากัน แต่มีค่าการทรุดตัวอิสระจากกันและสำหรับอาคารที่มีฐานรากรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะทำการแบ่งฐานรากออกเป็น ส่วน ๆ ให้เป็นแบบ flexible mat รูปใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ใช้ด้านแคบของ

อาคารเป็นตัวควบคุม) เมื่อมีการกระจายของน้ำหนักบนฐานรากสม่ำเสมอ ในกรณีที่มีการกระจายของน้ำหนักไม่สม่ำเสมอจะแบ่งตามการกระจายของน้ำหนักลงบนฐานรากแต่ละส่วน โดยที่ในแต่ละส่วนเสาเข็มแต่ละต้นจะรับน้ำหนักเท่ากัน แต่มีค่าการทรุดตัวอิสระจากกัน ส่วนวิธี Convention ของ Terzaghi และ Tomlinson ระบบฐานรากของอาคารจะถูกพิจารณาเป็นเสมือน Mat foundation ขนาดเท่าอาคารกระทำอยู่ที่ระดับปลายเสาเข็ม

การใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากรูปจะใช้วิธีการประมาณโดยเฉลี่ย (Interpolation) แบบเส้นตรงเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการ

4.3 การวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารแต่ละแห่งในกรุงเทพมหานคร

จากการคำนวณด้วยวิธี Convention ของ Terzaghi และ Tomlinson จะเห็นได้ว่ามีข้อสมมุติฐานหลายอย่างที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงมากนัก ส่วนวิธีของ Poulos และ Davis มีข้อสมมุติฐานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตามสำหรับอาคารสูงในกรุงเทพมหานครในการคำนวณจำเป็นต้องมีข้อสมมุติฐานบางอย่างเพิ่มเติมคือ

1. ให้สภาพชั้นดินในบริเวณพื้นที่บริเวณอาคารนั้นสม่ำเสมอ (Uniform) หรือไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

2. ไม่คำนึงถึงการทรุดตัวของชั้นดินเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล

3. ไม่คำนึงถึงการทรุดตัวแบบ Local yielding , Undrained creep และ Secondary Compression

4. ไม่คำนึงถึงผลของแรงเสียดทานลบ (Negative skin friction) ในเสาเข็ม

5. พิจารณาให้หน่วยน้ำหนักของเสาเข็ม เท่ากับหน่วยน้ำหนักของดิน

6. ค่าการทรุดตัวที่พิจารณาอ้างอิงถึงระดับของอาคาร เมื่อ เริ่มก่อสร้างชั้นล่างสุดของอาคาร

7. ค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักสิ้นสุด เมื่อ ไม่มีอัตราเพิ่มขึ้นของน้ำหนักในอาคาร หลังจากนั้นจึงเกิดการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ

4.3.1 การวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารธนาคารกรุงเทพ จำกัด สำนักงานใหญ่

1) ลักษณะทั่วไปของอาคาร

อาคารธนาคารกรุงเทพ จำกัด สำนักงานใหญ่ ตั้งอยู่ตอนกลางของถนนสีลม เป็นอาคารสำนักงานสูง 32 ชั้น ประกอบด้วยอาคารสูงมีพื้นที่ประมาณ 2,100 ตารางเมตรต่อชั้น

มีห้องใต้ดิน 1 ชั้น ใช้คอนกรีตทั้งสิ้นประมาณ 80000 ม.³ และเหล็กจำนวนประมาณ 6000 ตัน เริ่มก่อสร้างตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2521 และเสร็จสิ้นในเดือนมีนาคม 2524

2) ลักษณะของโครงสร้าง

ตัวอาคารสูงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 25.2 เมตร ความยาว 84.0 เมตร โครงสร้างที่ใช้รับน้ำหนักประกอบด้วย Shear wall อยู่ทางด้านซ้ายสุดและขวาสุดของอาคาร โดยมีพื้นที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 4 ถึง 11 และระบบเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก แผลผังของอาคารแสดงไว้ในรูป 4.2

3) ลักษณะของฐานราก

ใช้ฐานรากแบบเสาเข็ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ใช้เสาเข็มเจาะรูป Wall pile หน้าตัดขนาด 0.80 x 2.20 เมตร ยาว 25 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 293 ตัน เฉพาะตัวอาคารสูงมีเสาเข็มรองรับประมาณ 200 ตัน แผลผังรูปแบบการจัดของเสาเข็มแสดงไว้ในรูป 4.2

- ปลายเสาเข็ม หยั่งอยู่ในชั้นทรายแน่น ที่ระดับความลึกประมาณ 30 เมตรจากระดับผิวดิน

- หัวเสาเข็มถูกยึดด้วยคานเกร็ง และพื้นห้องใต้ดิน

- ห้องใต้ดินมีความลึกประมาณ 5 เมตรจากผิวดิน

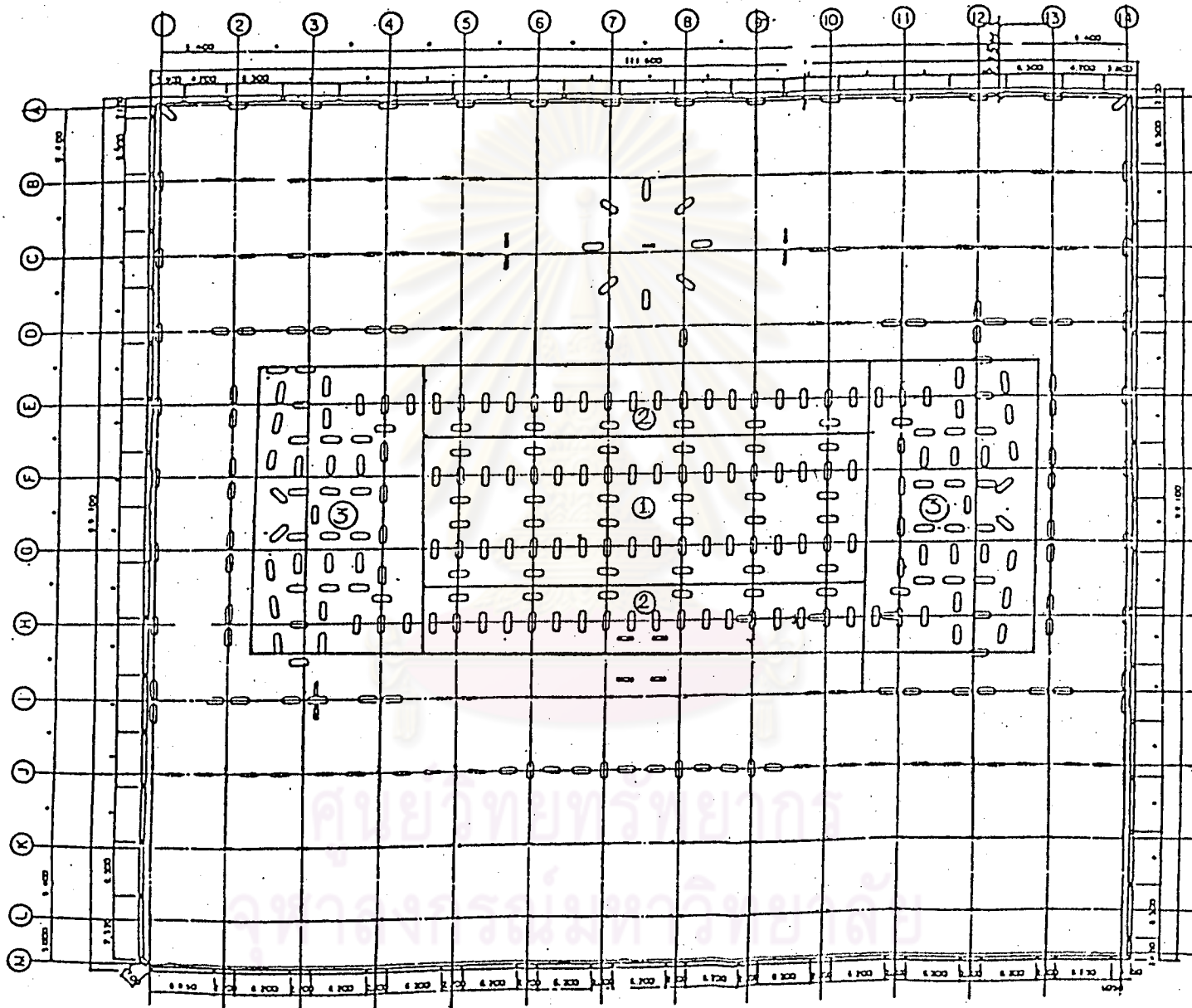
4) ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรม

ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องในการคำนวณมีดังต่อไปนี้คือ

ก) ข้อมูลสภาพชั้นดิน

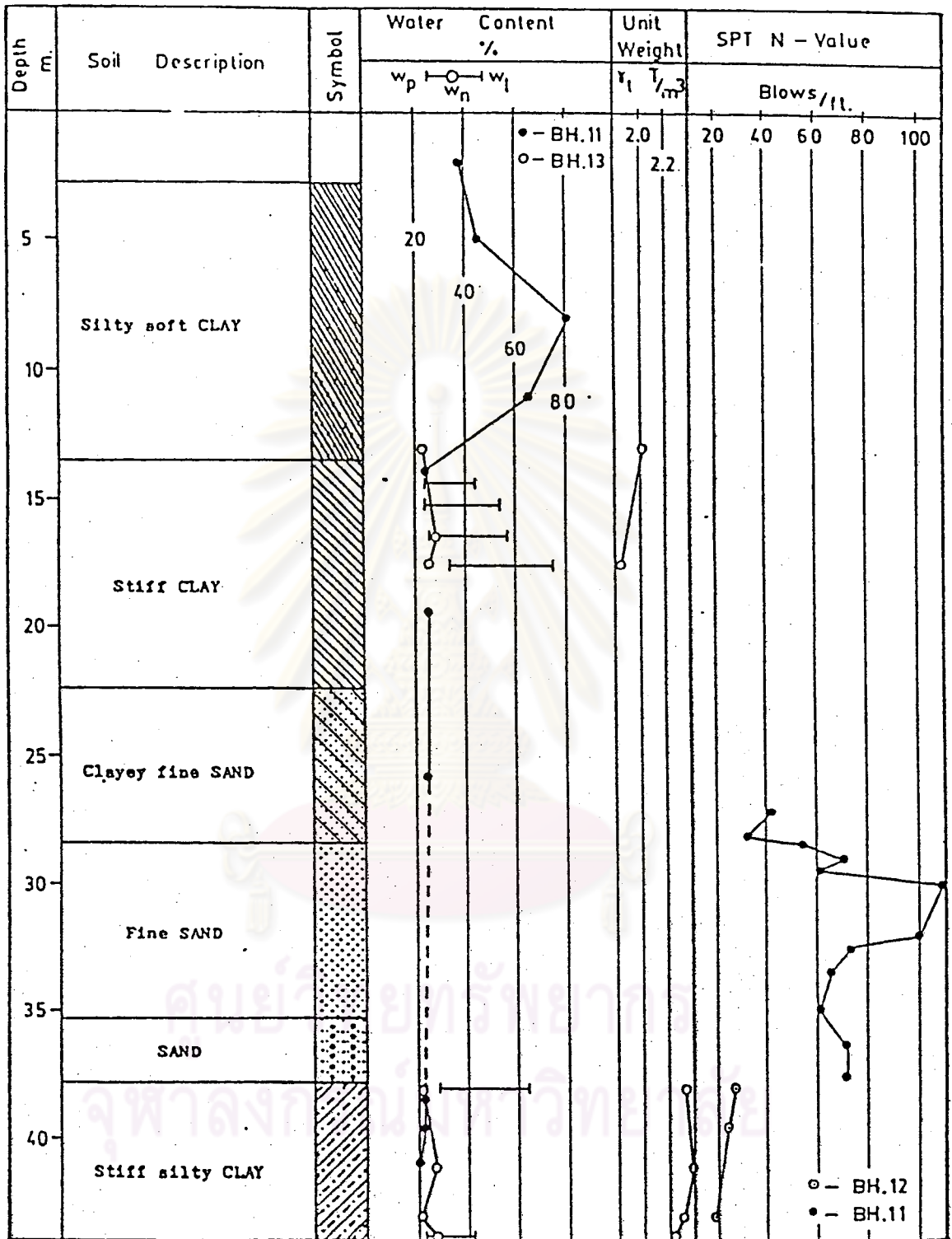
ได้มีการเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน จำนวนทั้งสิ้น 14 หลุม ในพื้นที่บริเวณอาคารโดยทำการเจาะสำรวจถึงความลึก 55 เมตร จำนวน 11 หลุมก่อน หลังจากนั้นเมื่ออาคารประสบปัญหาเกิดการทรุดตัวมาก จึงได้ทำการสำรวจเพิ่มเติมอีกถึงความลึก 100 เมตร และได้เก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนในชั้นดิน เหนียวมาทำการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างแบบถูกรบกวนในชั้นทราย พร้อมทั้งทำการทดสอบ Standard Penetration รายละเอียดสภาพชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ ได้แสดงไว้ในรูป 4.3 ส่วนลักษณะสภาพชั้นดินเฉลี่ยและคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินได้ปลายเสาเข็ม แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ (Wichien , 1983)

ข) ข้อมูลการทดสอบ เสาเข็ม



รูปที่ 4.2 แหนผังของอาคารและรูปแบบการจัดเส้าเพิ่ม อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่ (After Wichien , 1983)

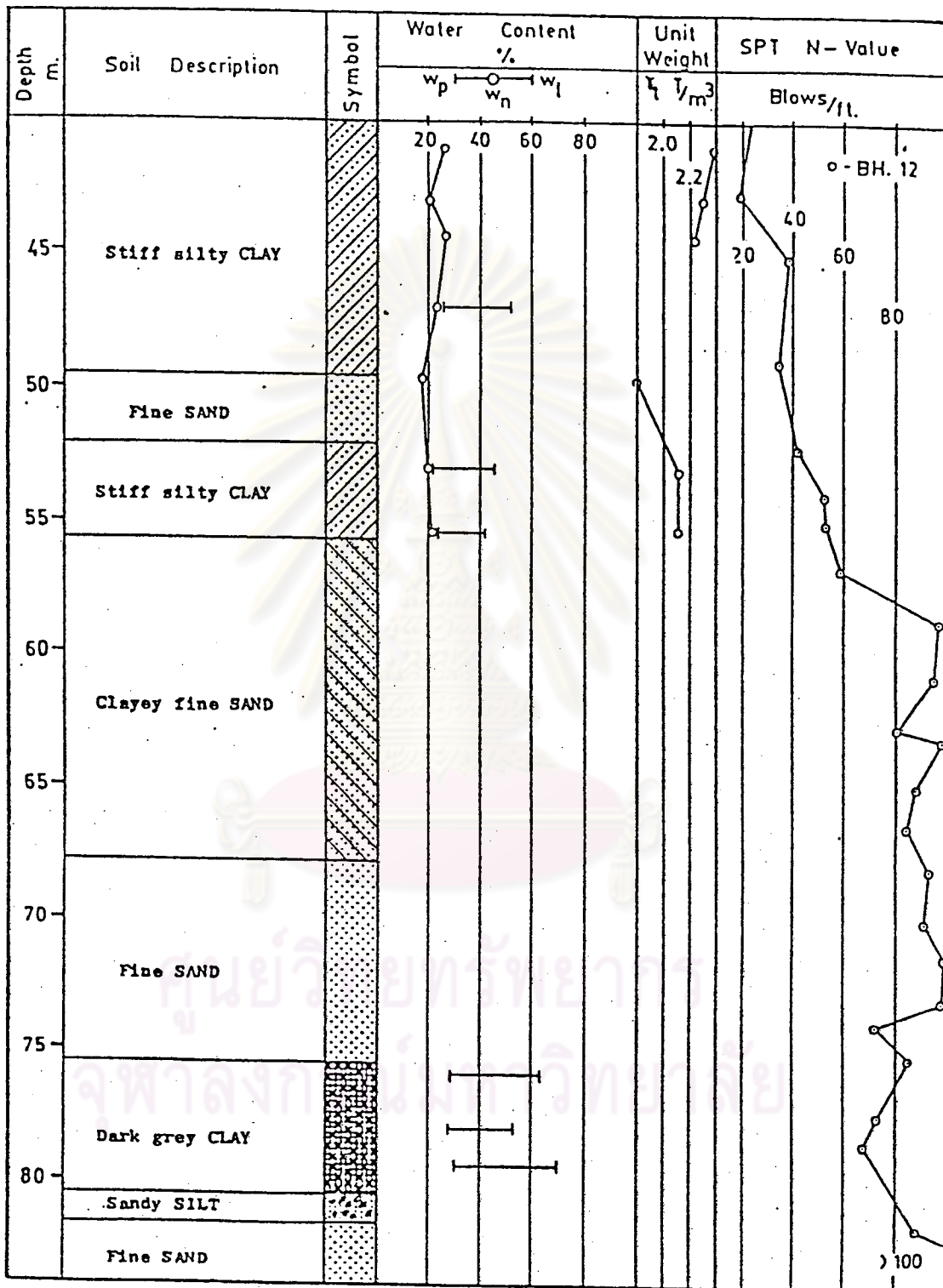
Soil Boring Log, BANGKOK BANK.



รูปที่ 4.3 รายละเอียดสภาพชั้นดิน

อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.3 คือ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสภาพชั้นดินโดยเฉลี่ย อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

(After Wichien , 1983)

ความลึก, เมตร	ชนิดของดิน	ค่า N เฉลี่ย	หมายเหตุ
0-13.5	ดินเหนียวอ่อน	-	ดินอ่อน
13.5-22.5	ดินเหนียวแข็ง	-	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
22.5-28.0	ทรายเม็ดละเอียดปนดิน- เหนียว, แน่น	37	ทรายแน่นชั้นที่ 1
28.0-38.0	ทรายเม็ดละเอียด, แน่นมาก	65	ทรายแน่นชั้นที่ 1
38.0-45.0	ดินเหนียวแข็งมาก	23	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
45.0-50.0	ดินเหนียวแข็งมาก	37	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
50.0-52.0	ทรายเม็ดละเอียด, แน่นมาก	40	ทรายแน่นชั้นที่ 2
52.0-55.0	ดินเหนียวแข็งมาก	50	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 3
55.0-75.0	ทรายเม็ดละเอียด, แน่นมาก	90	ทรายแน่นชั้นที่ 3
75.0-80.0	ดินเหนียวแข็งมาก	70	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 4
80.0-90.0	ทรายเม็ดละเอียด, แน่นมาก	> 100	ทรายแน่นชั้นที่ 4



ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินโคลนลายเสาะเข้ม อาคารธนาคาร-
กรุงเทพ สำนักงานใหญ่สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัว

ชั้นที่	ความลึก, ม.	$\frac{1}{mv}$ ตัน/ตร.ม.	E_u (2) ตัน/ตร.ม.	E'_s (3) ตัน/ตร.ม.	วิธีการหาค่า $\frac{1}{mv}$
1	30.0-38.0	5473	-	4066	$\frac{1}{mv} = 988+69N$ (1)
2	38.0-45.0	1796	2218	1701	ผลการทดลอง
3	45.0-50.0	2361	2916	2237	ผลการทดลอง
4	50.0-52.0	5150	-	3826	$\frac{1}{mv} = 3230+48N$ (1)
5	52.0-55.0	4188	5172	3967	ผลการทดลอง
6	55.0-75.0	7550	-	5610	$\frac{1}{mv} = 3230+48N$ (1)
7	75.0-80.0	3831	4731	3629	$\frac{1}{mv} = 78N-1629$ (1)

(1) ค่า N นำมาจากตารางที่ 4.1 และสมการที่ใช้เป็นของ Witoon (1984)

(2) $E_u = 1.235/mv$

(3) $E'_s = 0.767 E_u$ สำหรับดินเหนียว

$E'_s = 0.743/mv$ สำหรับทราย

การทดสอบ เสาเข็มกระทำตามมาตรฐาน Building Laws of The City of New York คือ ทำการทดสอบการรับน้ำหนักถึง 2 เท่าของน้ำหนักใช้งานเท่ากับ 2×635 ตันต่อตัน ผลการทดสอบแสดงเป็นกราฟน้ำหนักและการทรุดตัวดังรูป 4.4

5) ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวของอาคาร

การวัดค่าการทรุดตัว เริ่มกระทำเมื่อเดือนมกราคม 2522 ซึ่งขณะนั้น อาคารได้ก่อสร้างไปแล้วประมาณ 7 ชั้น การวัดค่าที่เสาเกือบทุกต้น โดยวิธี Levelling ด้วย ไมโครมิเตอร์ ที่มีความละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร ค่าการทรุดตัวสูงสุดและต่ำสุดของเสา ส่วนใน (H-5 และ H-8) และเสาส่วนนอก (F-10 และ G-5) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

เนื่องจากการวัดค่าการทรุดตัวล่าช้า อันจะทำให้ค่าการทรุดตัวที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง จึงจะเป็นต้องปรับแก้โดยการต่อเป็นเส้นตรง (Extrapolation) จากค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัดไปยังจุดเริ่มต้น (Wichien , 1983) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักในช่วงแรกของการก่อสร้างมีลักษณะค่อนข้างคงที่

6) ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำกับ เวลา

การประมาณค่าน้ำหนักที่กระทำบนฐานราก จัดทำโดยบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้าง สามารถแบ่งพื้นที่รับน้ำหนักออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ดังรูป 4.2 ค่าสัดส่วนของน้ำหนักที่กระทำลงบนแต่ละส่วนเท่ากับ 29% , 25% และ 46% ตามลำดับ โดยส่วนที่ 3 คือส่วนของ Shear wall ซึ่งก่อสร้างด้วยวิธี Slip form ใช้เวลาก่อสร้างตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2522 ถึงเดือนกรกฎาคม 2523 ขณะที่ส่วนอื่นก่อสร้างด้วยอัตราประมาณ 2 ถึง 3 ชั้นต่อเดือน ค่าน้ำหนักที่กระทำกับ เวลาได้แสดงเป็นกราฟในรูป 4.5 ถึง 4.8 โดยใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 0.1 ตันต่อตารางเมตร (Wichien , 1983)

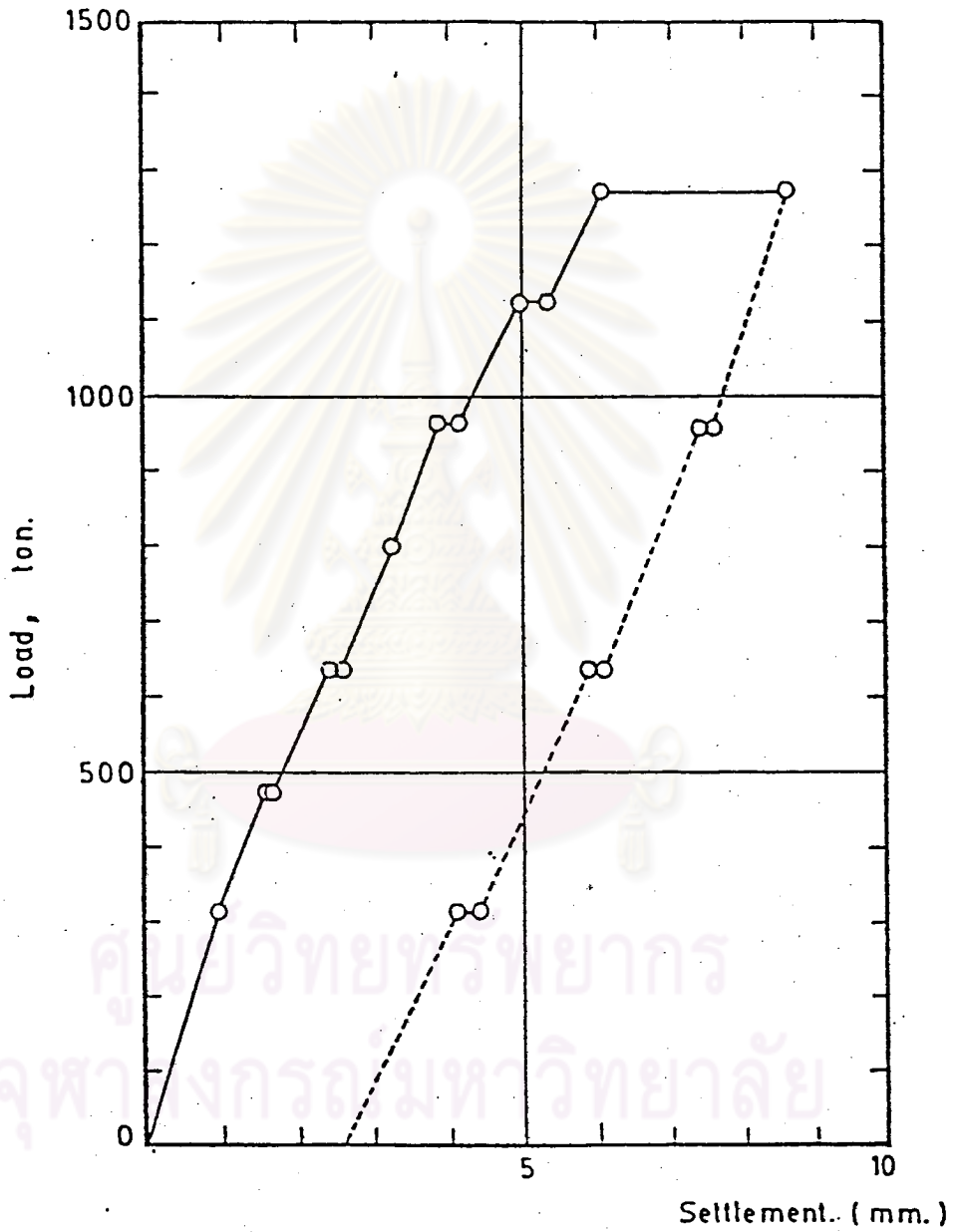
7) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร

ก) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Terzaghi

จากลักษณะของฐานราก พิจารณาให้ฐานรากเป็น Mat foundation ขนาด 25.2×84 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางตั้งที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 55.4 ตันต่อตารางเมตร (ไม่หักน้ำหนักดินเนื่องจากการขุดท้องใต้ดิน)

Section of the Test Pile (B x L) 0.8 x 2.20 m.

Depth of the Pile Tip 30.0 m.



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบเสาเข็ม บริเวณก่อสร้าง

อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

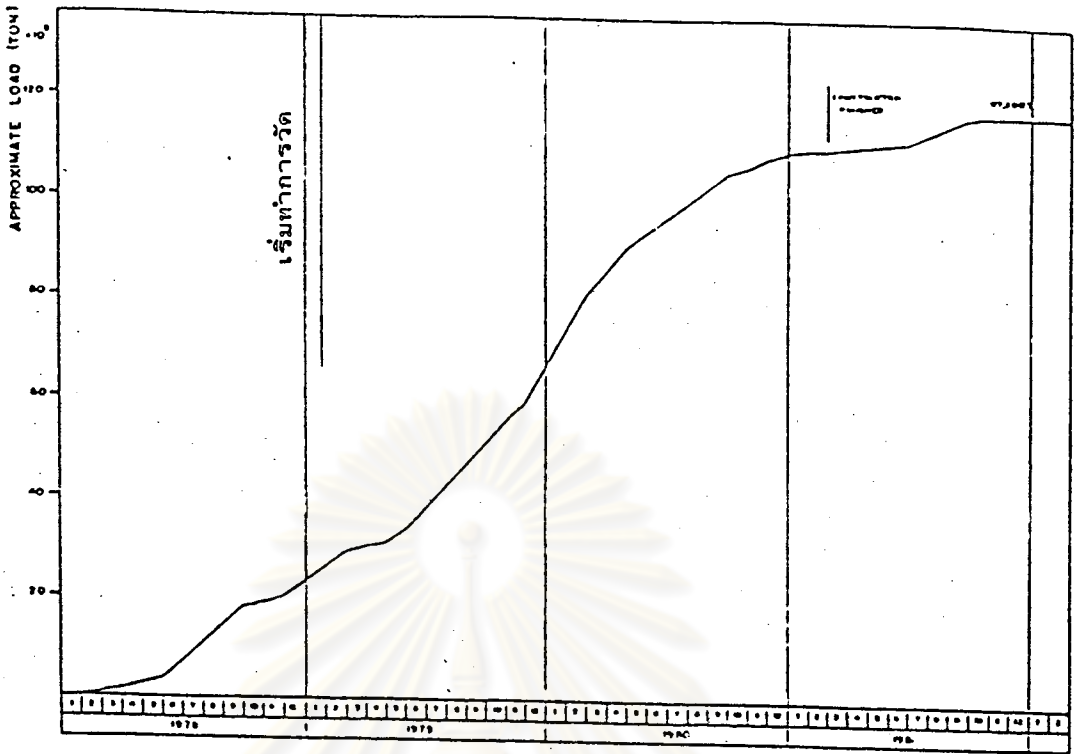
(After Wichien , 1983)

ตารางที่ 4.3 ค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัด อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

เริ่มวัดเมื่อทำการก่อสร้างไปแล้ว ประมาณ 11 เดือน (After Wichien , 1983)

วันที่ \ จุดที่	H-5	H-8	G-5	F-10
14/02/79	0	0	0	0
4/04/79	2.17	2.82	2.75	1.60
16/06/79	5.07	6.77	5.25	4.40
30/08/79	12.07	14.20	13.45	14.10
30/11/79	25.02	28.15	27.40	32.05
9/01/80	27.97	32.10	31.35	37.00
8/02/80	37.28	39.41	37.16	45.31
4/04/80	49.37	54.00	53.25	57.90
3/06/80	50.37	58.00	55.75	61.40
3/07/80	54.87	62.50	58.75	67.90
18/08/80	63.62	69.75	66.00	75.65
17/09/80	68.31	74.50	70.66	80.54
11/12/80	79.66	85.75	81.50	90.84
13/02/81	84.96	90.70	86.50	96.34
20/04/81	88.66	91.60	90.40	100.00
30/06/81	91.31	100.00	93.54	104.20
5/09/81	95.50	101.65	96.64	106.74

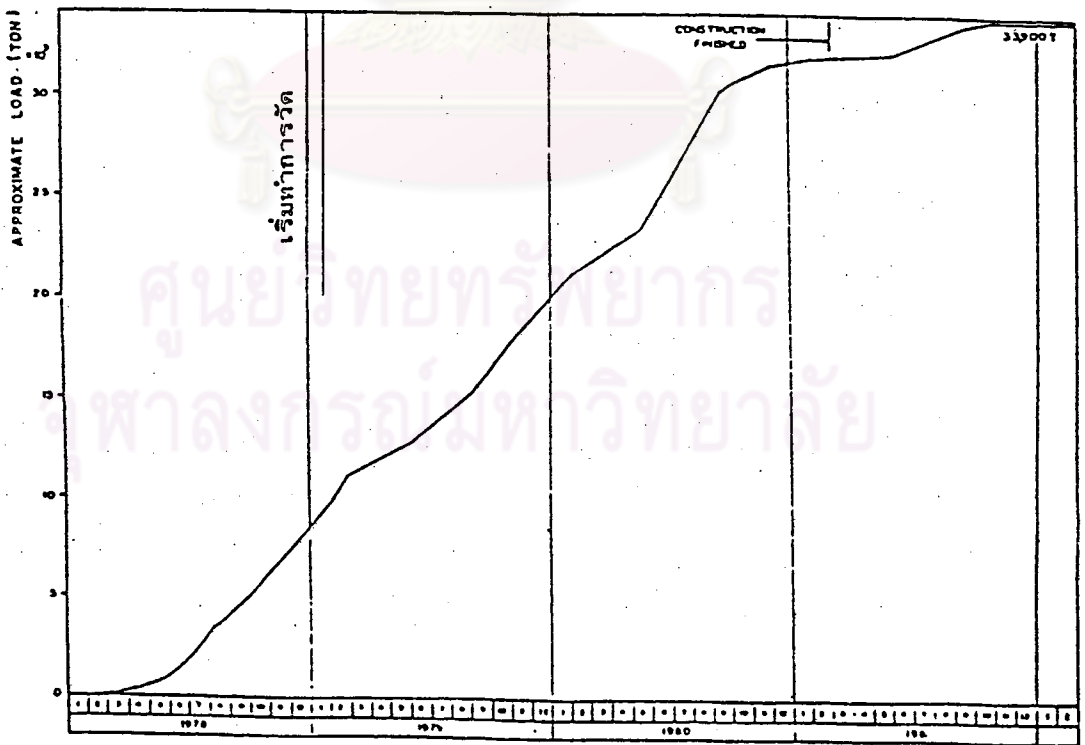
หน่วย เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 คำนี้น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับเวลา

อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

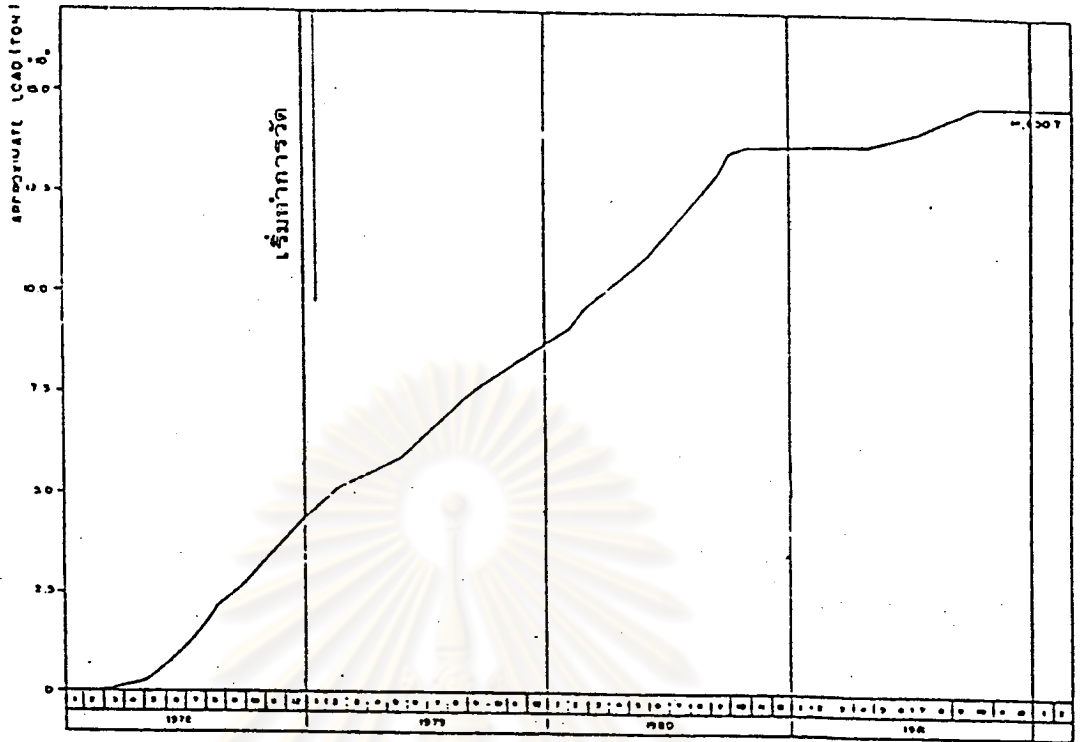
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.6 คำนี้น้ำหนักที่กระทำบนส่วนที่ 1 กับเวลา

อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

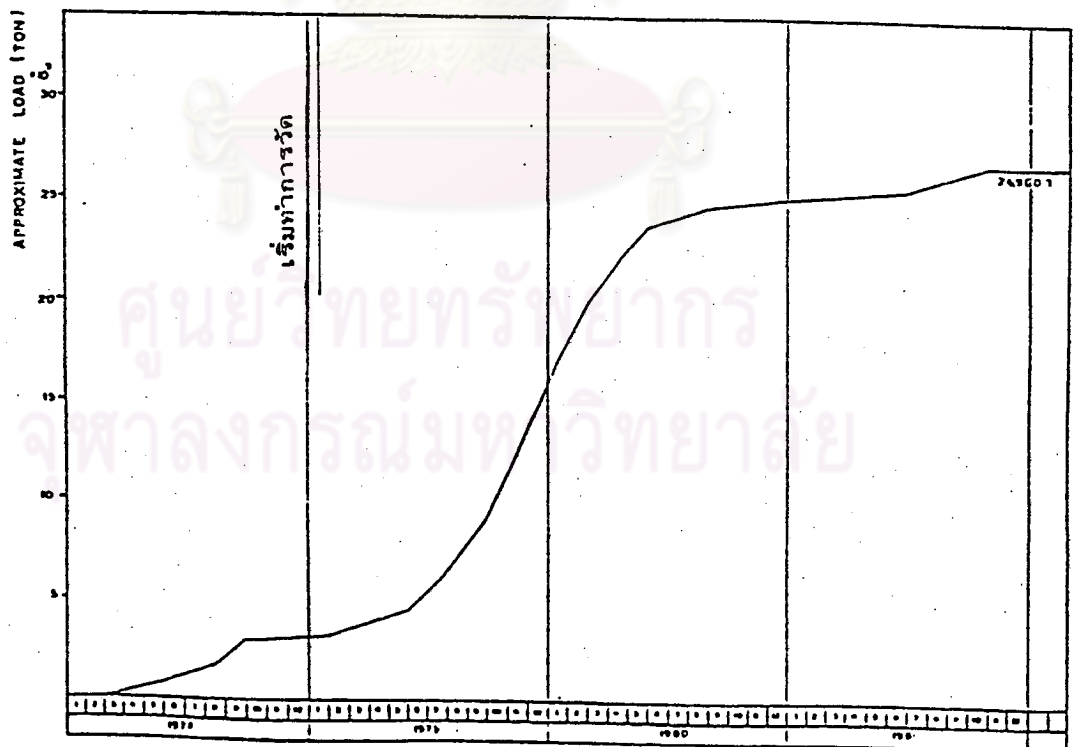
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.7 คำน้ำหนักที่กระทำบนส่วนที่ 2 กับเวลา

อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.8 คำน้ำหนักที่กระทำบนส่วนที่ 3 กับเวลา

อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

(After Wichien , 1983)

จากสภาพชั้นดิน ชั้นดินเหนียวได้ปลายเสา เข็มที่พิจารณาคือ ดินเหนียวแข็ง ชั้นที่ 2 , 3 และ 4 มีความหนา 12 , 3 และ 5 เมตร ตามลำดับ โดยที่ค่าหน่วยแรงประ-
สิทธิ์ผลทางตั้ง เนื่องจากน้ำหนักดินที่ทับถม ($\bar{\sigma}_{V0}$) หาได้จากสมการ (4.4)

การคำนวณค่าการทรุดตัวจะแบ่งพิจารณาคุณสมบัติในการยุบอัดตัวออกเป็น
3 แบบคือ

- แบบที่ 1. ใช้ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการในดินเหนียว
แข็งชั้นที่ 2 และ สมการ (2.8) ในดินเหนียวแข็ง ชั้นที่
3 ลงไป
- แบบที่ 2. ให้ความสัมพันธ์ของ Witoon (1984) ตามสมการ (2.7)
และ (2.8) ในการหาคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของดิน-
เหนียวแข็งชั้นที่ 2 และ 3 ลงไป
- แบบที่ 3. ให้ความสัมพันธ์ของ Tasneenart (1984) ตามรูป 2.14
ในดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 และใช้สมการ (2.8) ในการหา
คุณสมบัติการยุบอัดตัวของดินเหนียวแข็งชั้นที่ 3 ลงไป
- ผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้แสดง

ไว้ในตารางที่ 4.4

ข) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ
Tomlinson

พิจารณาให้ฐานรากสมมูลย์ อยู่ที่ระดับความลึก 27.5 เมตร และมีค่าหน่วย
แรงเค้นทางตั้งที่เพิ่มขึ้น เฉลี่ยเท่ากับ 49 ดันต่อตารางเมตร

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่ได้จากการพิจารณาสภาพชั้นดินทั้ง 2 ลักษณะ
(ธรรมชาติ และ เฉลี่ย) ดังได้กล่าวแล้ว โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ข้างต้น
ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ค) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธีของ Poulos และ
Davis

การคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสา เข็ม ได้ค่าโมดูลัสสะสมของ
ดินรอบเสาเข็ม (E_s) เท่ากับ 10500 ดันต่อตารางเมตร ค่า K เท่ากับ 230 และค่า
 E_b/E_s (ของดินโดยเฉลี่ย) เท่ากับ 5

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Terzaghi อาคารธนาคารกรุงเทพ
สำนักงานใหญ่

แบบที่	ดินเหนียวแข็ง ชั้นที่ 2		ดินเหนียวแข็ง ชั้นที่ 2		ดินเหนียวแข็ง ชั้นที่ 3		ดินเหนียวแข็ง ชั้นที่ 4		ค่าการทรุดตัวรวม, มม	
	$\frac{1}{mV}$ ตัน/ตร.ม	ρ_c , มม.	$\frac{1}{mV}$ ตัน/ตร.ม	ρ_c , มม.	$\frac{1}{mV}$ ตัน/ตร.ม	ρ_c , มม.	$\frac{1}{mV}$ ตัน/ตร.ม	ρ_c , มม.	ρ_c	$\rho_c + \rho_s$
1	1796	130.6	2361	57.4	4188	16.0	3831*	16.1	220.1	339.6
2	1423	164.8	2070	65.5	2271*	29.6	3831*	16.1	276.0	395.5
3	1927	121.7	2115	64.1	2271*	29.6	3831*	16.1	231.5	351.0

หมายเหตุ แบบที่ 1 ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้มาจากการทดลอง
 แบบที่ 2 ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้มาจากสมการ $\frac{1}{mV} = 359.93 + 21N$ (Witoon, 1984)
 แบบที่ 3 ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้มาจาก Tasneenart (1984)
 * ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้มาจาก $\frac{1}{mV} = 78N - 1629$ (Witoon, 1984)
 ρ_s คือ ค่าการทรุดตัวเนื่องจากทราย

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Tomlinson อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

แบบที่	ค่าการทรุดตัว ทันทีที่รับน้ำหนัก (P_i) มม.			ค่าการทรุดตัว แบบอัดตัวคายน้ำ (P_C) มม.			ค่าการทรุดตัวรวม (P_F) มม.		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	1	175.0	190.2	204.5	98.4	139.4	0	273.4	329.6
2	198.2	200.7	213.7	127.3	147.1	0	325.5	347.8	213.7
3	180.6	195.3	210.1	109.0	143.1	0	289.6	338.4	210.1

แบบที่ 1 1/11V ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 1/11V ได้จากสมการของ Witoon (1984)

แบบที่ 3 1/11V ได้จาก Tasneenart (1984)

(1) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ ตามความเป็นจริง

(2) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานราก เป็นชั้นดินเหนียวเฉลี่ยเพียงชั้นเดียว

(3) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานราก เป็นชั้นดินที่มีการระบายน้ำดี เฉลี่ยเพียงชั้นเดียว

(ใช้โมดูลัสยืดหยุ่น แบบที่มีการระบายน้ำ)

เนื่องจากน้ำหนักที่กระทำบนอาคารนี้ไม่สม่ำเสมอ (เสาเข็มในแต่ละกลุ่มรับน้ำหนักแตกต่างกันมาก) การจัดกลุ่มเสาเข็มของอาคาร จึงแบ่งออกเป็นกลุ่มลักษณะแบบ Mat 5 กลุ่ม ตามการกระจายของน้ำหนักคือ กลุ่มหมายเลข 1 , กลุ่มหมายเลข 2 จำนวน 2 กลุ่ม และกลุ่มหมายเลข 3 จำนวน 2 กลุ่ม ตามรูป 4.2 โดยพิจารณาให้แต่ละกลุ่มสามารถทรุดตัวได้อย่างอิสระ ค่า d_c ที่ใช้ในการวิเคราะห์เท่ากับ 25.2 เมตร

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่จุด H-5 , H-8 , G-5 และ F-10 ได้แสดงไว้ในตารางที่ A-1 และเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณและการวัดจริงในรูป 4.9 , ตารางที่ 4.6 แสดงสัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคาร เนื่องจากชั้นดินแต่ละชั้น

4.3.2 การวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

1) ลักษณะทั่วไปของอาคาร

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งอยู่บริเวณสี่แยกบางขุนพรหม ซึ่งอยู่ห่างจากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 200 เมตร เป็นอาคารสำนักงานสูง 8 ชั้น มีพื้นที่ประมาณ 1700 ตารางเมตรต่อชั้น มีห้องใต้ดิน 1 ชั้น เริ่มก่อสร้างตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2520 ใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 2 ปีครึ่ง

2) ลักษณะของโครงสร้าง

ตัวอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 24.0 เมตร ความยาว 72.0 เมตร มีช่วงเสา 9 × 3 ช่วง แต่ละช่วงมีความยาว 8 เมตร โครงสร้างที่ใช้รับน้ำหนักเป็นปล่องลิฟท์ 3 ปล่อง และระบบเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ความสูงของอาคารทั้งหมดเท่ากับ 36.10 เมตร แผนผังของอาคาร แสดงไว้ในรูป 4.10

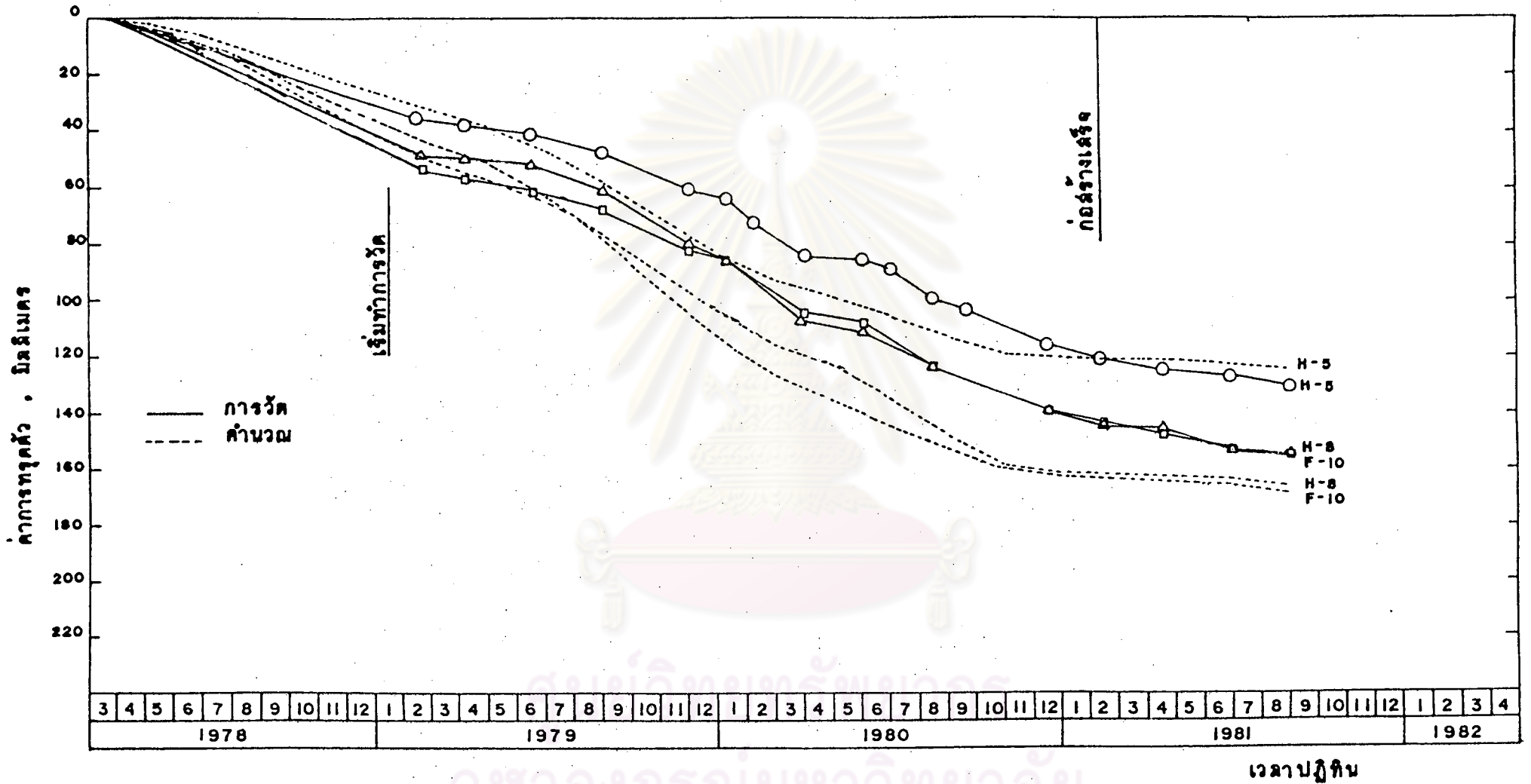
3) ลักษณะของฐานราก

ใช้ฐานรากแบบเสาเข็ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงแบบตอก มีหน้าตัดขนาด 0.45 × 0.45 เมตร ยาว 21.50 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 396 ต้น แผนผังรูปแบบการจัดเสาเข็ม แสดงไว้ในรูป 4.11

- ปลายเสาเข็มหยั่งอยู่ในชั้นทรายแน่นที่ระดับความลึกประมาณ 26 เมตร จากระดับผิวดิน

- หัวเสาเข็มถูกยึดด้วยพื้นห้องใต้ดิน เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 1.25

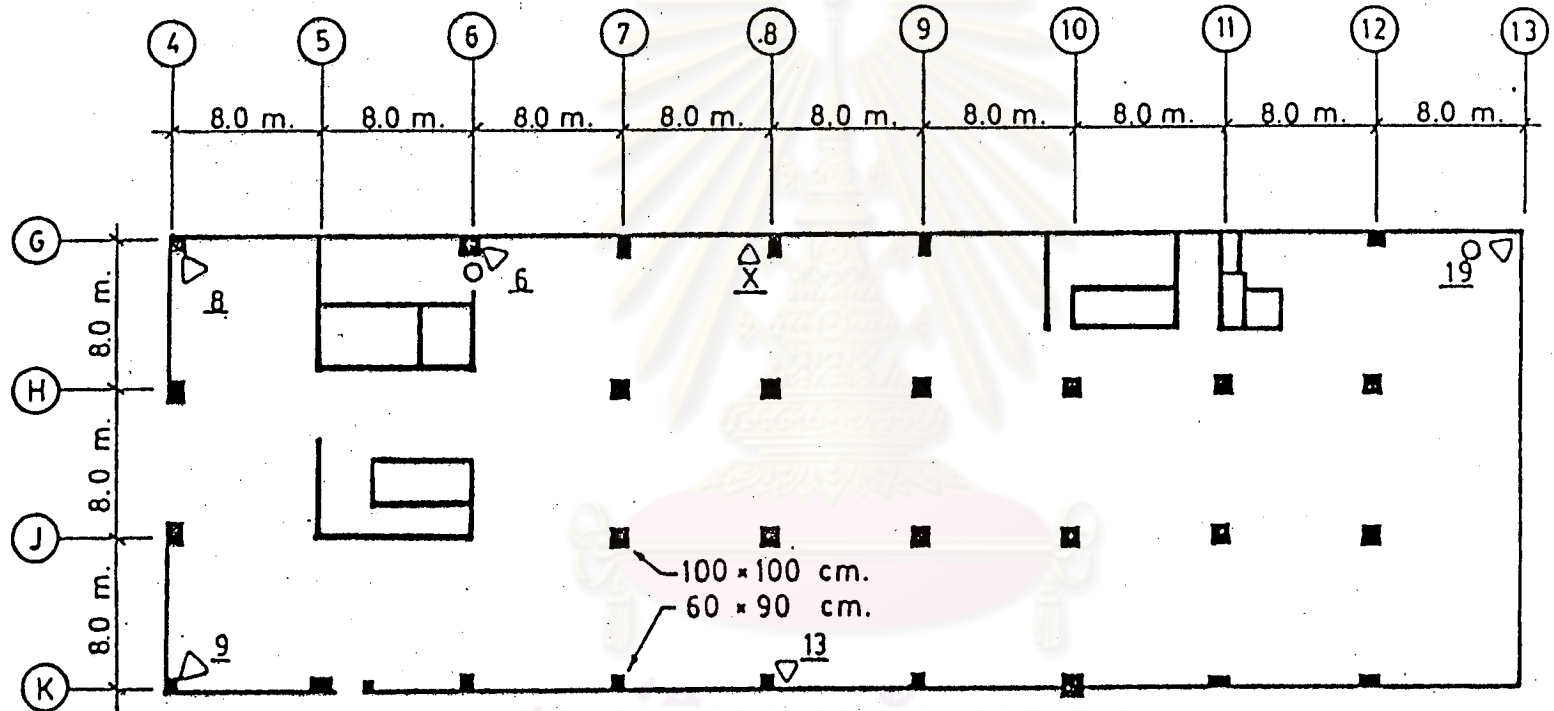


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าการทุจริตที่วัดได้กับที่คำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis

ตารางที่ 4.6 สัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคาร ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos อาคารธนาคารกรุงเทพ สำนักงานใหญ่

การทรุดตัว เนื่องจากดินในชั้น	ค่าการทรุดตัวสุดท้าย , P_F								ช่วง %
	จุด G-5		จุด F-10		จุด H-5		จุด H-8		
	มม.	%	มม.	%	มม.	%	มม.	%	
Founding	27	13.9	27.0	13.9	23.0	16.6	23.0	12.2	12.2-16.6
Underlying									
= ทราบ	68.1	35.2	70.2	36.1	49.6	35.8	65.8	34.9	34.2-36.1
- ดินเหนียว	98.5	50.9	97.4	50.1	65.9	47.6	99.6	52.9	47.6-52.9
ค่าการทรุดตัวรวม	193.6	100.0	194.6	100.0	138.5	100.0	188.4	100.0	100-100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

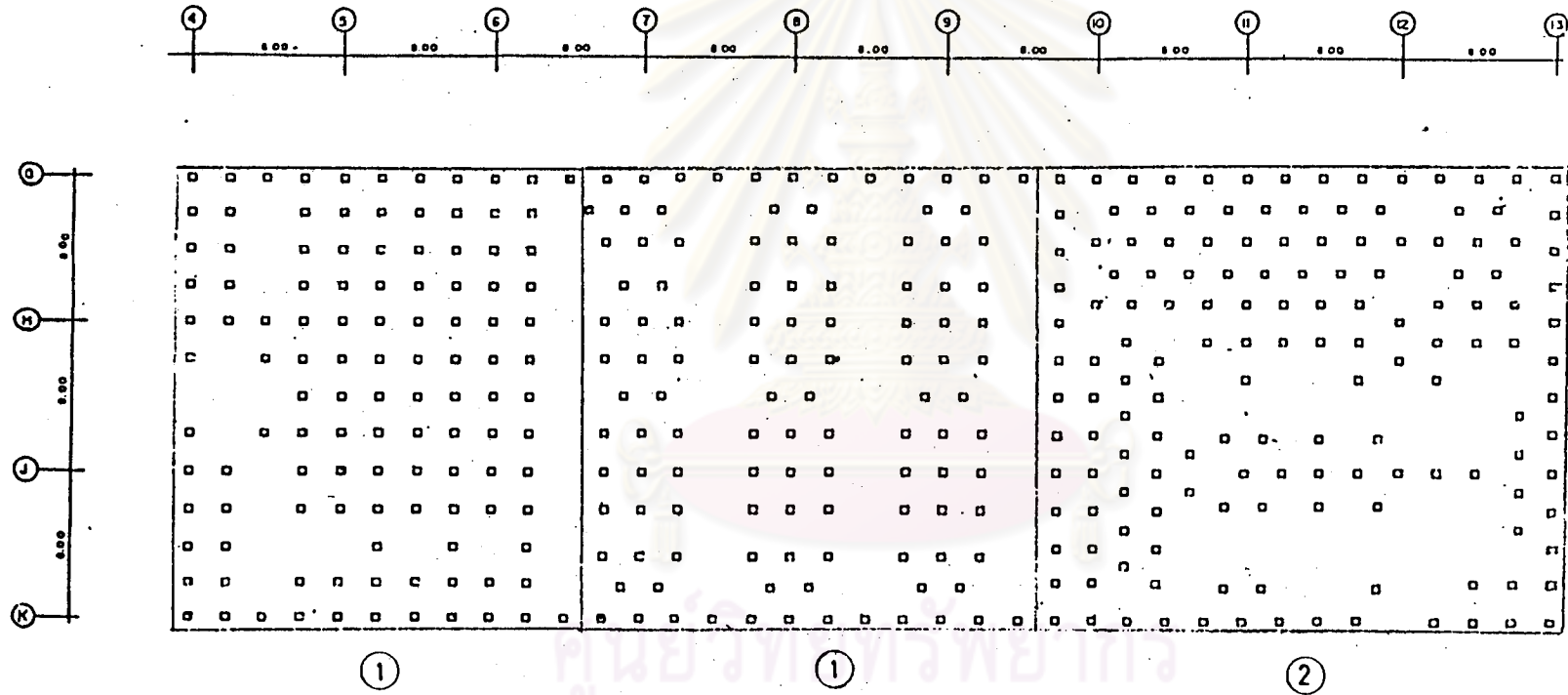


100 x 100 cm.
60 x 90 cm.

△ 19 Settlement
8 Observation Point

รูปที่ 4.10 แนวนั่งของอาคารและจุดที่ทำการวัดค่าการทรุดตัว

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย (After Wittoon , 1984)



รูปที่ 4.11 แผนผังรูปแบบการจัดเสาเข็ม

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

(After Wichien , 1983)

เมตร วางอยู่บนดินอัดแน่น

- พื้นห้องใต้ดินส่วนล่างอยู่ที่ระดับความลึก 5.10 เมตร จากผิวดิน

4) ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรม

ก) ข้อมูลสภาพชั้นดิน

การเจาะสำรวจดินกระทำทั้งสิ้น 2 หลุม โดยที่หลุมแรกทำการเจาะสำรวจถึงความลึก 35 เมตร และหลุมที่ 2 ทำการเจาะสำรวจโดย Witoon (1984) ถึงความลึก 67 เมตร และได้เก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนในชั้นดินเหนียวลึก เพื่อนำมาทดสอบการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ การเก็บตัวอย่างแบบถูกรบกวนในชั้นทรายกระทำพร้อมกับการทดสอบ Standard Penetrationรายละเอียดสภาพชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ แสดงไว้ในรูป

4.12 ส่วนลักษณะสภาพชั้นดินเฉลี่ยและคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินได้รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ข) ข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม

การทดสอบเสาเข็มกระทำตามวิธี Cyclic loading โดยทำการทดสอบการรับน้ำหนักถึง 2 เท่าของน้ำหนักใช้งานคือเท่ากับ 2×85 ตันต่อตัน ผลการทดสอบแสดงเป็นกราฟน้ำหนักและการทรุดตัว ดังรูป 4.13

5) ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวของอาคาร

การวัดค่าการทรุดตัวของอาคารได้เริ่มกระทำเมื่อเดือนมกราคม 2521 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2522 หุกระยะเวลาประมาณ 2 เดือน จุดที่ทำการวัดคือกำแพงและพื้น โดยทำเป็นหมุดทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรฝังไว้ การวัดใช้วิธี Levelling ด้วยไมโครมิเตอร์และ Special levelling rod เทียบระดับกับหมุดอ้างอิง (Bench Mark) ซึ่งตั้งอยู่บนเสาเข็มภายนอกตัวอาคาร ค่าการทรุดตัวที่วัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และการปรับแก้ค่าการทรุดตัว เนื่องจากการวัดล่าช้า ใช้วิธีต่อเป็นเส้นตรงออกไปยังจุดเริ่มต้น ดังได้กล่าวแล้ว

6) ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำกับเวลา

น้ำหนักที่กระทำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ที่แนว 10 ดังรูป 4.11 โดยคำนวณจากปริมาณคอนกรีตเสริม เหล็กที่ก่อสร้างจริง ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเสริม เหล็กใช้เท่ากับ 2.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และหลังจากที่โครงสร้างเสร็จแล้ว ค่าน้ำหนักบรรทุกจรที่เพิ่มขึ้นพิจารณาจากการออกแบบคือ 0.38 ตันต่อตารางเมตร (Code ของ American National Standard Institutes) ค่าน้ำหนักที่กระทำกับเวลา ได้แสดงเป็นกราฟในรูป

ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 GEOTECHNICAL AND TRANSPORTATION ENGINEERING DIVISION
 SOIL BORING LOG

Borehole No. 1

Project Bank of Thailand Location Bang Khun Phrom
 Elevation of Ground ± 0.00 m Date Commenced 4/10/83 Completed 16/10/83

Q Depth, m	Graphic Log	Soil Description	Sampling Method	Sample No.	Sample Depth, m	Recovery, %	Water Content, w, %		Undrained Strength, kPa	
							50	100	50	100
							Unit Weight, γ_T , kN/m ³		SPT, N, Blows/ft.	
0		Sand Fill								
0		Medium CLAY, Yellowish Brown.								
5		Soft CLAY, Dark Grey.								
10										
15		15.00								
15		Stiff CLAY, Dark Grey.								
17		17.50								
20		Stiff CLAY, Yellowish Brown.								
25										
30		29.60								

- PA = Power Auger
- WO = Wash Out
- ST = Shelby Tube
- SS = Split Spoon
- DB = Diamond Bit

Remarks
 kPa = kN/m² ÷ 0.1 1/m²
 kN/m³ ÷ 0.1 1/m³

รูปที่ 4.12 รายละเอียดสภาพชั้นดิน

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

(After Witton , 1984)



SOIL BORING LOG (Continued)

Project <u>Bank of Thailand. (Bang Khun Phrom)</u>		Borehole No. <u>1</u>							
Depth, m	Graphic Log	Soil Description	Sampling Method	Sample No	Sample Depth, m	Water Content, w, %		Undrained Strength, kPo	
						PL	LL	50	100
						Unit Weight, γ_T , kN/m ³		SPT, N, Blows /ft.	
						15	20	50	100
30		Dense to very dense coarse SAND, Yellowish brown to grey. 37.00		SS	2			105	88
				SS	3			95	83
				SS	4			94	80
35				SS	5			94	80
				SS	6			94	80
		Hard CLAY, Yellowish brown. 41.50		st	8			94	80
40				st	9			94	80
		Very dense clayey to fine SAND, Grey. 44.70		SS	10			94	80
				SS	11			94	80
45		Hard CLAY seam. 44.89		SS	12			94	80
		Very dense coarse SAND, Yellowish brown to grey. 51.00		SS	13			94	80
				SS	14			94	80
50				SS	15			94	80
		Very dense fine SAND, Grey. 53.00		SS	16			94	80
				SS	17			94	80
55		Very dense coarse SAND, Yellowish brown to grey. 60.00		SS	18			94	80
				SS	19			94	80
				SS	20			94	80
		Very dense medium to coarse SAND, Brown to grey. 67.46		SS	21			94	80
				SS	22			94	80
60				SS	23			94	80
		Hard CLAY, Yellowish brown. 67.46		SS	24			94	80
65				SS	25			94	80
		Hard CLAY, Yellowish brown. 67.46		SS	26			94	80
70				SS	27			94	80

ตารางที่ 4.7 ลักษณะสภาพชั้นดินโดยเฉลี่ย อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

(After Witoon , 1984)

ความลึก, เมตร	ชนิดของดิน	ค่า N เฉลี่ย	หมายเหตุ
0-13.0	ดินเหนียวอ่อน	-	ดินอ่อน
13.0-18.5	ดินเหนียวแข็ง	-	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
18.5-21.5	ดินเหนียวแข็งปนทราย	-	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
21.5-26.0	ดินเหนียวแข็ง	-	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
26.0-29.0	ทรายเม็ดละเอียด- ปนดินเหนียว, แน่น	50	ทรายแน่นชั้นที่ 1
29.0-37.0	ทรายเม็ดละเอียด, แน่นมาก	66	ทรายแน่นชั้นที่ 1
37.0-41.5	ดินเหนียวแข็งมาก	54	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
41.5-67.5	ทรายเม็ดละเอียด, แน่นมาก	87	ทรายแน่นชั้นที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติในการยับยั้งตัวของชั้นดินได้ปลายเสาเข็ม อาคารธนาคาร-
แห่งประเทศไทยสำหรับวิเคราะห์การทรุดตัว

ชั้นที่	ความลึก, ม.	$\frac{1}{mv}$ ตัน/ตร.ม.	E_u (1) ตัน/ตร.ม.	E'_s (2) ตัน/ตร.ม.	วิธีการหาค่า 1/ MV
1	26.0-29.0	(8876) 4438	-	(6594) 3297	() [*] แนะนำให้ใช้ $\frac{1}{mv} = 988+69N$ ^{**}
2	29.0-37.0	5542	-	4118	$\frac{1}{mv} = 988+69N$ ^{**}
3	37.0-41.5	2800	3458	2652	ผลจากการทดลอง
4	41.5-67.5	7406	-	5502	$\frac{1}{mv} = 3230+48N$ ^{**}

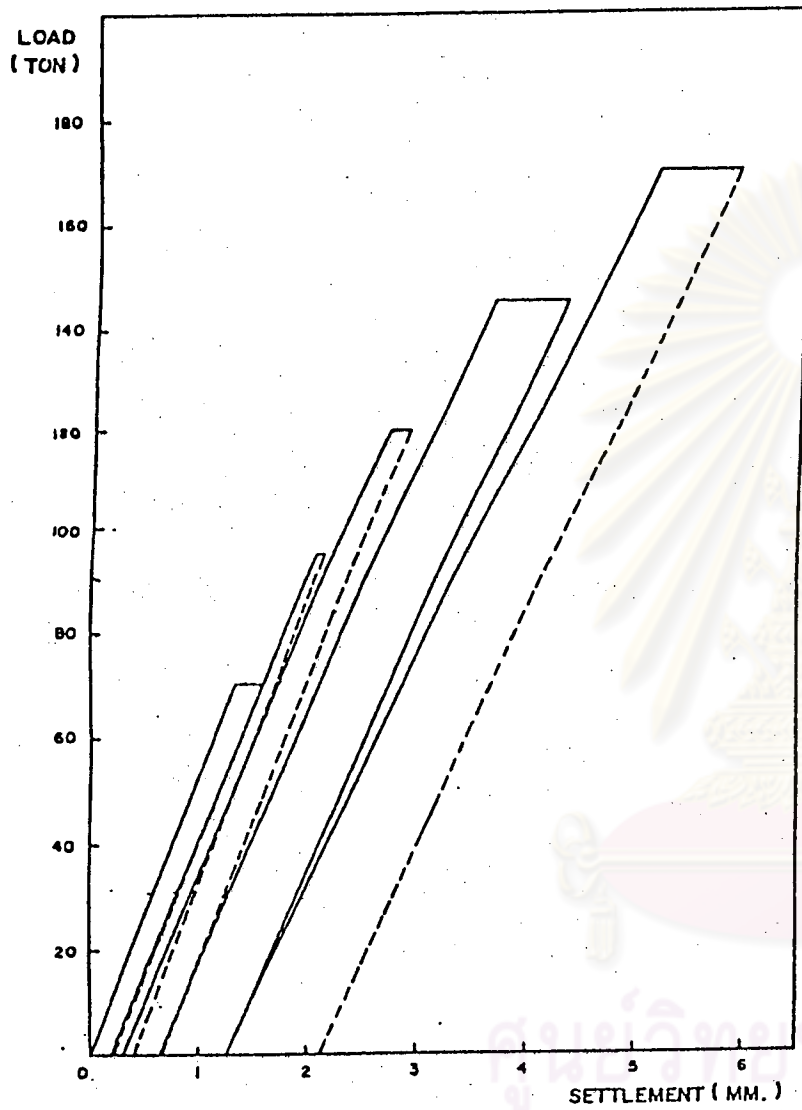
* มีรากฐานมาจาก Philcox (1962)

** ค่า N นำมาจาก ตารางที่ 4.6 และสมการที่ใช้เป็นของ Witoon (1984)

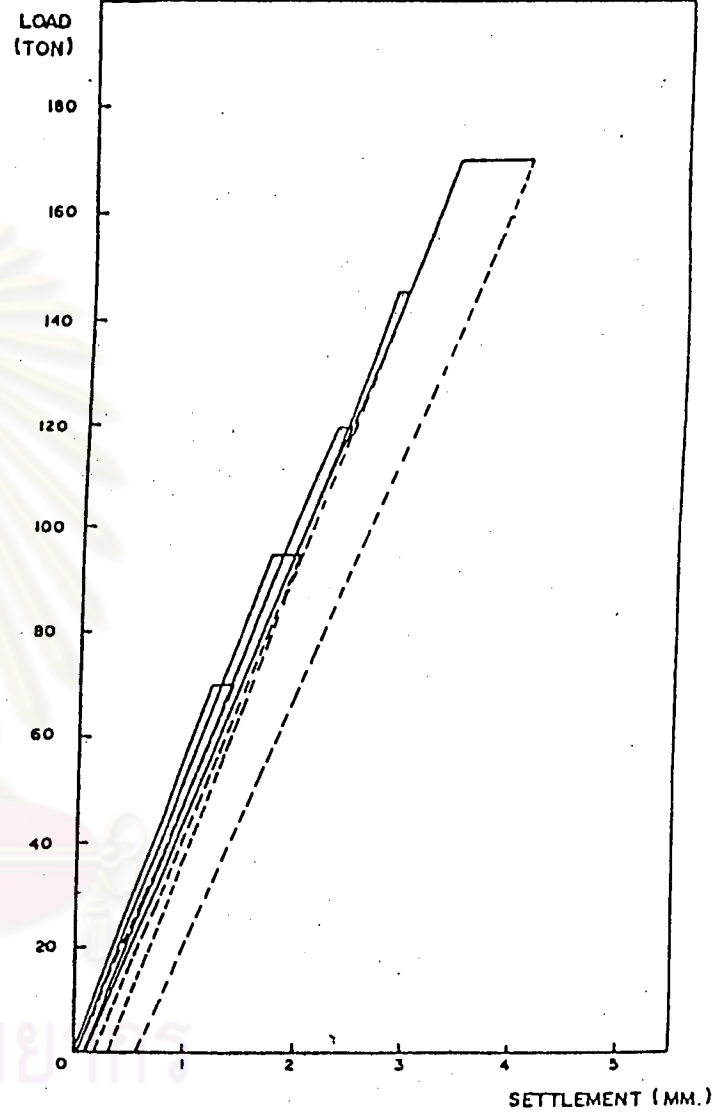
$$(1) E_u = 1.235/mv$$

$$(2) E'_s = 0.767/E_u \quad \text{สำหรับดินเหนียว}$$

$$E'_s = 0.743/mv \quad \text{สำหรับดินทราย}$$



Pile Size 0.45 x 0.45 x 24.50 m.



Pile Size 0.45 x 0.45 x 24.0 m.

รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบเสาเข็ม บริเวณก่อสร้าง

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย (After Wichien, 1983)

ตารางที่ 4.9 ค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัด อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

เริ่มวัด เมื่อทำการก่อสร้างไปแล้ว ประมาณ 9 เดือน (After Wichien , 1983)

วันที่ \ จุดที่	6	8	9	11	X	13	19
7/01/78	0	0	0	0	-	-	0
7/03/78	2.3	2.7	3.0	2.9	0	0	2.6
4/05/78	5.1	2.7	2.3	4.6	3.5	3.0	3.9
9/07/78	7.7	6.7	5.0	5.8	5.5	5.2	7.0
10/09/78	10.5	8.6	3.2	8.4	8.9	8.0	10.2
12/11/78	14.0	10.7	7.0	11.6	13.0	12.6	11.4
7/01/79	10.8	12.5	7.8	12.5	11.3	8.9	11.8
15/03/79	19.0	13.1	8.7	14.7	19.9	9.7	11.8
20/05/79	21.6	15.4	9.8	16.3	22.9	11.6	14.7
22/07/79	21.6	18.6	11.6	18.6	26.5	15.0	18.8
22/09/79	24.3	19.9	12.7	20.4	26.7	16.7	21.7
18/11/79	24.3	21.4	13.5	22.0	29.4	18.6	23.7
21/09/81	-	28.8	18.7	-	-	-	37.9

หน่วย เป็นมิลลิ เมตร

4.14 ถึง 4.16

7) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร

ก) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Terzaghi

ในการคำนวณพิจารณาให้ฐานรากเป็น Mat foundation ขนาด 24×72 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางดิ่งที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 15 ดันต่อตารางเมตร (ไม่หักน้ำหนักดินเนื่องจากการขุดท้องใต้ดิน)

จากสภาพชั้นดิน ชั้นดินเหนียวได้ปลายเสาเข็มที่พิจารณา คือ ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 ซึ่งมีความหนา 4.5 เมตรเพียงชั้นเดียว และใช้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลทางดิ่งเนื่องจากน้ำหนักดินที่ทับถม ($\bar{\sigma}_{vo}$) จากสมการ (4.4)

ผลการคำนวณโดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ที่ได้กล่าวแล้วใน 4.3.1 แสดงไว้ในตารางที่ 4.10

ข) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Tomlinson

พิจารณาให้ฐานรากสมมูลย์ อยู่ที่ระดับความลึก 26.0 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางดิ่งที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 15 ดันต่อตารางเมตร

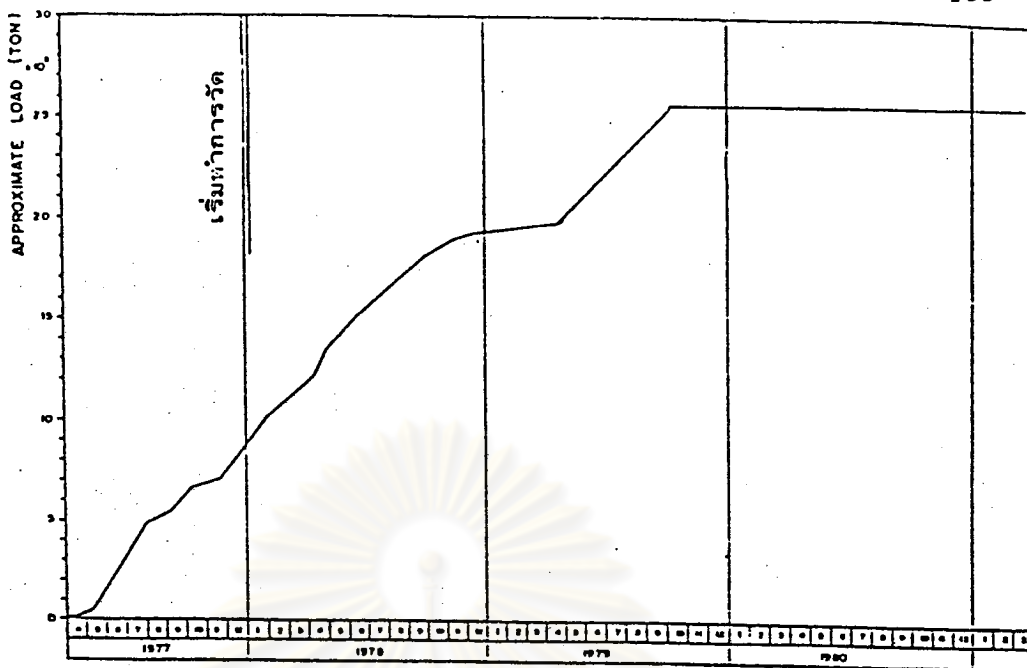
ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่ได้จากการพิจารณาสภาพชั้นดินทั้ง 2 ลักษณะ โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11

ค) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธีของ Poulos และ Davis

การคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็มได้ค่า โมดูลัสสะสมของดินรอบเสาเข็ม (E_s) เท่ากับ 4450 ดันต่อตารางเมตร ค่า K เท่ากับ 530 และค่า E_b/E_s (ของดินโดยเฉลี่ย) เท่ากับ 5

การจัดกลุ่มเสาเข็มของอาคาร จะแบ่งออกเป็นกลุ่มแบบ Mat 3 กลุ่ม ตามการกระจายของน้ำหนัก และการจัดให้เป็นรูปใกล้เคียงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($d_c = 24.0$ ม.) ดังรูป 4.11

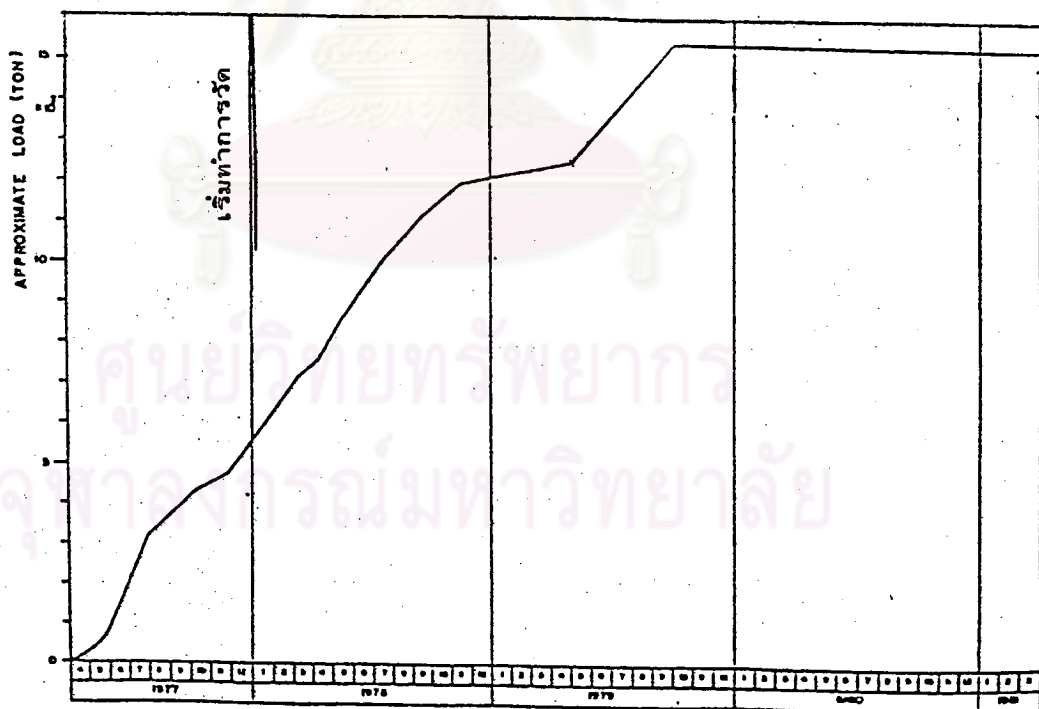
ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่จุด 6 และ 19 ได้แสดงไว้ในตารางที่ A-2 และเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณและการวัดจริง ในรูป 4.17, ตารางที่ 4.12 แสดงสัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคาร เนื่องจากชั้นดินแต่ละชั้น



รูปที่ 4.14 คำนี้น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับเวลา

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

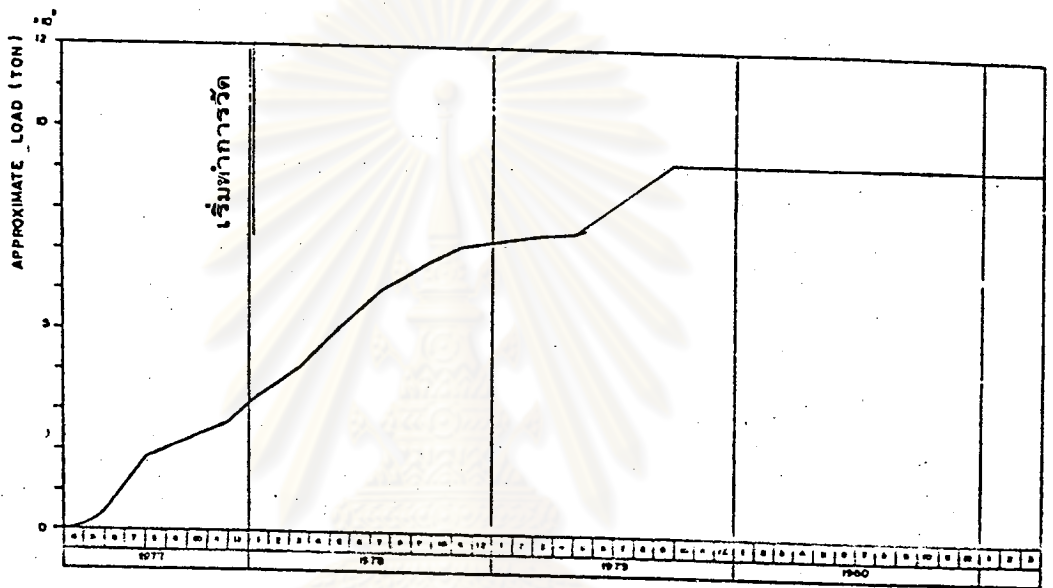
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.15 คำนี้น้ำหนักที่กระทำบนส่วนที่ 1 กับเวลา

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.16 คำน้หนักที่กระทำบนส่วนที่ 2 กับเวลา

อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

(After Wichien , 1983)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Terzaghi อธิการบดีแห่งประเทศไทย

แบบที่	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2		ค่าการทรุดตัวรวม, มม.	
	$\frac{1}{mv}$ ดิน/ตร.ม	ρ_c มม.	ρ_c	$\rho_c + \rho_s$
1	2800	13.2	13.2	50.4
2	2855	12.9	12.9	50.1
3	1827	20.2	20.2	57.4

หมายเหตุ แบบที่ 1 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้มาจากผลการทดลอง

แบบที่ 2 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้มาจากสมการ $\frac{1}{mv} = 359.93 + 46.21N$
(Witton, 1984)

แบบที่ 3 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้มาจาก Tasneenart (1984)

ρ_s คือ การทรุดตัวเนื่องจากทราย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบ การคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Tomlinson อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

แบบที่	ค่าการทรุดตัว ทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) มม.			ค่าการทรุดตัว แบบอัดตัวคายน้ำ (ρ_c) มม.			ค่าการทรุดตัวรวม(ρ_f) มม.		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	46.3	39.6	40.3	6.5	31.2	0	52.8	70.8	40.3
2	46.1	39.5	40.2	6.4	31.1	0	52.5	70.6	40.2
3	51.7	40.6	41.1	9.9	32.0	0	61.6	72.6	41.1

แบบที่ 1 1/MV ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 1/MV ได้จากสมการของ Witoon (1984)

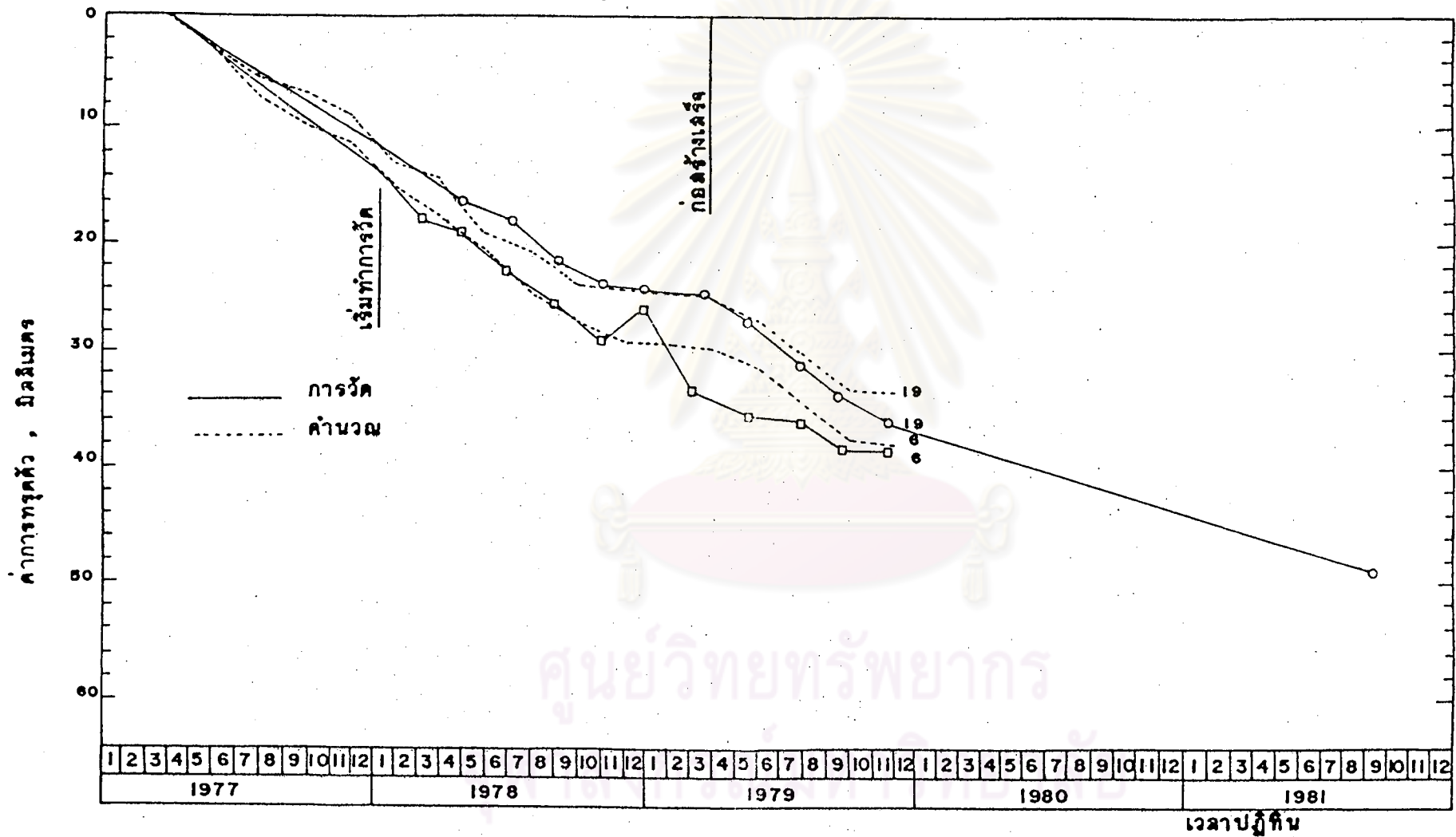
แบบที่ 3 1/MV ได้จาก Tasneenart 1984)

(1) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานราก เป็น ชั้น ๆ ตามความเป็นจริง

(2) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานราก เป็นชั้นดินเหนียวเฉลี่ยเพียงชั้นเดียว

(3) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานราก เป็นชั้นดินที่มีการระบายน้ำดี เฉลี่ยเพียงชั้นเดียว

(ใช้โมดูลัสยืดหยุ่น แบบที่มีการระบายน้ำ)



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่วัดได้กับที่คำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis

ตารางที่ 4.12 สัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคารที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos
 อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย

การทรุดตัว เนื่องจากดินในชั้น	ค่าการทรุดตัวสุดท้าย, ρ_F				ช่วง %
	จุด 6		จุด 19		
	มม.	%	มม.	%	
Founding	19.8	50.5	21.1	60.8	50.5-60.8
Underlying					
- ทราย	14.1	36.0	9.5	27.4	27.4-36.0
- ดินเหนียว	5.3	13.5	4.1	11.8	11.8-13.5
ค่าการทรุดตัวรวม	39.2	100.0	34.7	100.0	100-100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 การวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารทาวเวอร์ A และ B

1) ลักษณะทั่วไปของอาคาร

อาคารทาวเวอร์ A และ B เป็นอาคารพักอาศัยสูง 31 ชั้น ลักษณะเหมือนกัน ตั้งอยู่บริเวณถนนสุขุมวิท อาคารทั้งสองตั้งห่างกัน 56.6 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 1300 ตารางเมตรต่อชั้น มีห้องใต้ดิน 1 ชั้น เริ่มก่อสร้างตั้งแต่เดือนเมษายน 2524 ใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 2 ปีครึ่ง

2) ลักษณะของโครงสร้าง

อาคารทั้งสอง เป็นรูปแปดเหลี่ยมมีขนาด 36.6 x 36.6 เมตร โครงสร้างที่ใช้รับน้ำหนักมีแกนกลาง (Core) และเสาส่วนใน 12 ต้น กับเสาส่วนนอกอีก 16 ต้น ใช้ระบบเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ความสูงของอาคารทั้งหมดประมาณ 102 เมตร แผนผังของอาคารได้แสดงดังรูป 4.18

3) ลักษณะของฐานราก

ใช้ฐานรากแบบเสาเข็ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ใช้เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 เมตร ยาว 32 เมตร จำนวน 32 ต้น และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร ยาว 27 เมตร จำนวน 37 ต้น ในแต่ละอาคาร (ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็มขนาด 1.50 และ 1.20 เมตร เท่ากับ 800 ตัน และ 500 ตัน ตามลำดับ) แผนผังการจัดเสาเข็มแสดงไว้ในรูป 4.19
- ปลายเสาเข็มหยั่งอยู่ในชั้นทรายแน่น ที่ระดับความลึกประมาณ 32 เมตรจากผิวดิน

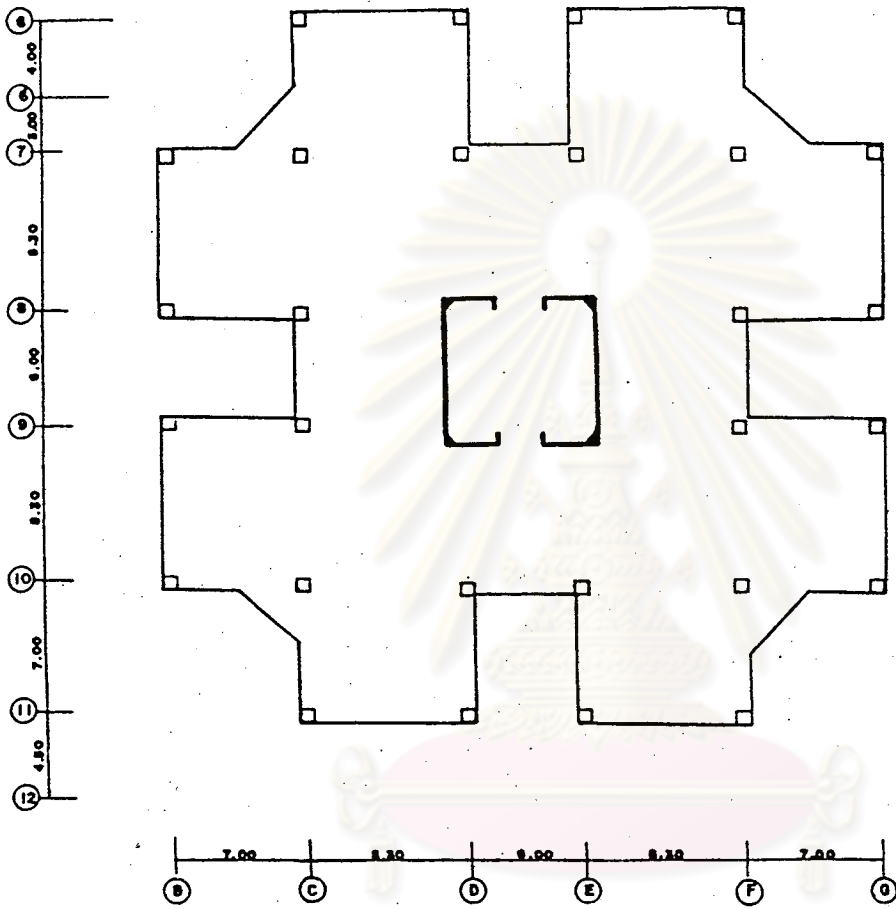
- หัวเสาเข็มในแต่ละฐานรากถูกยึดด้วยคานและพื้นห้องใต้ดิน

- พื้นห้องใต้ดินอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 5 เมตรจากระดับผิวดิน

4) ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรม

ก) ข้อมูลสภาพชั้นดิน

การเจาะสำรวจดินกระทำทั้งสิ้น 3 หลุม โดยที่ 2 หลุมแรกทำการเจาะสำรวจถึงความลึก 46 เมตรจากระดับผิวดิน และหลุมที่ 3 ทำการเจาะถึงความลึก 62 เมตร (โดยผู้เขียน) ได้มีการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนในชั้นดินเหนียวลึก เพื่อนำมาทดสอบการอัดตัวคาน้ำ และ เก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนในชั้นทรายและดินแข็ง พร้อมทั้งทำการทดสอบ Standard Penetration รายละเอียดสภาพชั้นดินได้แสดงในรูป 4.20 ส่วนลักษณะสภาพชั้นดินเฉลี่ยและคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินได้ปลายเสาเข็ม ได้แสดงไว้ใน

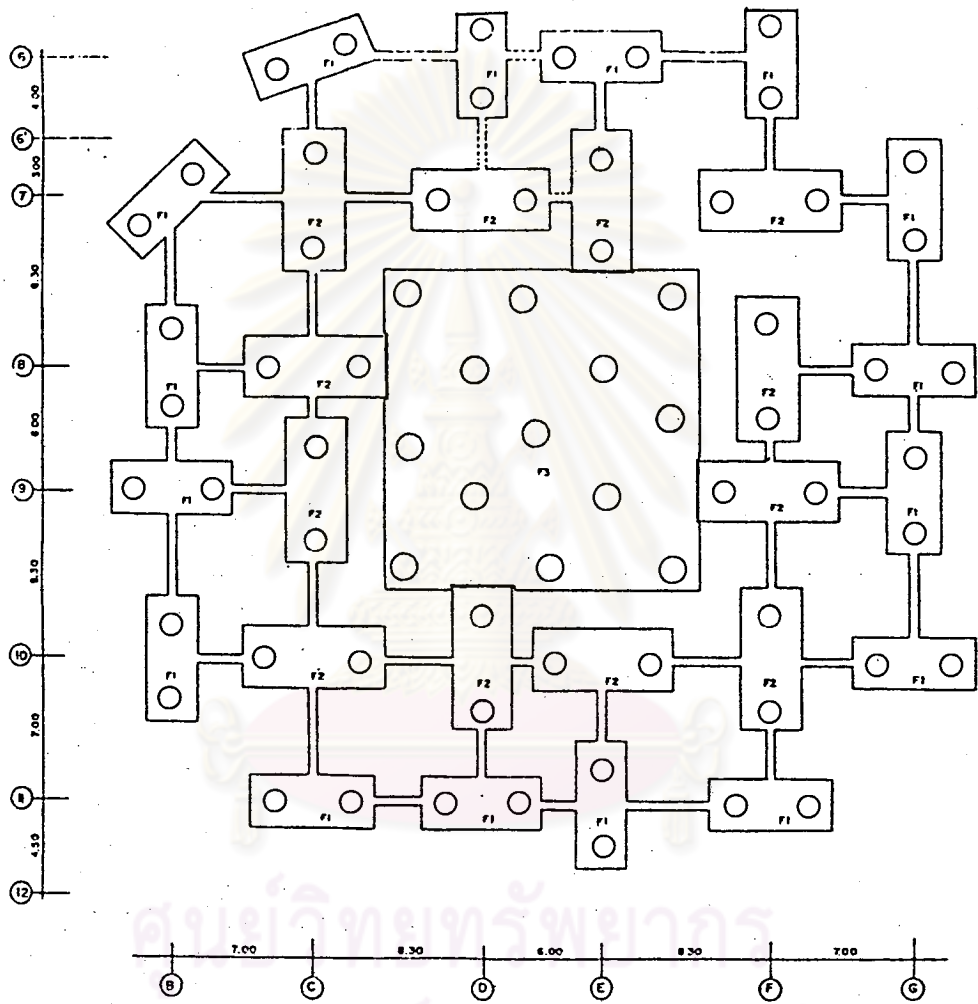


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.18 แนวนั่งของอาคาร

อาคารทาวเวอร์ A

(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.19 แผนผังรูปแบบการจัดเสาะเข้บ

อาคารทาวเวอร์ A

(After Wichien , 1983)

LOG OF BORING No. B-1					
PROJECT NAME. ทางรถไฟ A และ B			LOCATION. จุดบ่อน้ำ 63		
OWNER			CONTRACTOR.		
DEPTH, M. ELEVATION, M.	SAMPLE No	TYPE OF SAMPLE	RECOVERY	DESCRIPTION OF MATERIAL	O Natural Water Content x Plastic Limit Δ Liquid Limit (%)
					O 0w/2 ● 0w/2 Δ 0v ▲ 0v I 0p/2 (1/m ²) 2.5 5 7.5 10 □ SPT, N (Blow/m)
35.0					20 40 60 80 100
8	SS				○ 42
				38.00	
9	SS			ดินเหนียวปนทราย และปนกรวด สีเทาเข้ม (CL)	○ 47 X
				39.00	
40.0	ST				
11	SS				○ 27
12	ST			ดินเหนียวแข็งมาก	
13	SS			สีเทาอ่อนปนน้ำตาล	○ 32
14	ST				
15	SS				○ 37
45.0					
16	SS				○ 42
17	SS				○ 33
				(CL)	
30.0	18	SS			○ 38
19	SS				○ 32
20	SS				○ 39
55.0					
21	ST				
22	ST				
23	SS				○ 59
				59.00	
60.0	24	SS		ทรายละเอียดปนซิลิกา นุ่มมาก	○ 74
25	SS			สีเทาอ่อน (SM)	○ 78
				61.45	

WATER LEVEL OBSERVATIONS		จำนวนการเจาะ	BORING STARTED. 8 JAN. 85	
WL.	W.S. OR W.D.		BORING COMPLETED. 9 JAN. 85	
WL.	B.C.R. A.C.R.		RIG. JOY	FOREMAN. VT
WL.	24 HRS. AFTER		DRAWN. TN	APPROVED. TN
BORING.			JOB No.	SHEET. 2

รูปที่ 4.20 ต่อ

ตารางที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

ข) ข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม

ได้มีการทดสอบเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร และ 1.0 เมตร ด้วยวิธี Cyclic loading ตามมาตรฐาน ASTM D 1143-74 โดยการทดสอบกำลังรับน้ำหนักทำถึง 1100 ตัน และ 750 ตัน สำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร และ 1.0 เมตร ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงเป็นกราฟน้ำหนักและการทรุดตัวดังรูป 4.21

5) ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวของอาคาร

การวัดค่าการทรุดตัวของอาคารได้เริ่มกระทำเมื่อเดือนสิงหาคม 2524 ซึ่งเป็นช่วงแรกที่เริ่มก่อสร้าง ทุกระยะเวลา 1 เดือน จุดที่ทำการวัดคือ ที่เสาแต่ละต้นและมุมของปล่องลิฟท์ ที่ชั้นใต้ดิน (ดังรูป 4.22) โดยทำเป็นทองเหลืองฉากฝังไว้ในคอนกรีต การวัดทำด้วยวิธี Levelling เทียบระดับกับหมุดอ้างอิง ซึ่งตั้งอยู่บนเสาเข็มยาวนอกตัวอาคาร ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ของอาคารทาวเวอร์ A และ B ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ และการปรับแก้ค่าการทรุดตัว เนื่องจากการวัดล่าช้าใช้วิธีต่อเป็นเส้นตรงออกไปยังจุดเริ่มต้นดังได้กล่าวแล้ว

6) ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำกับเวลา

เนื่องจากการจัดเสาเข็มในฐานราก พอดีแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่รองรับปล่องลิฟท์ (F_3) ส่วนที่รองรับเสาส่วนใน (F_2) ส่วนที่รองรับเสาส่วนนอก (F_1) ซึ่งสัดส่วนของน้ำหนักที่กระทำลงบนแต่ละส่วนประมาณได้เท่ากับ 39.8% , 47.7% และ 12.5% ตามลำดับ คำนวณน้ำหนักที่กระทำกับเวลาหาได้จากปริมาณคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำได้ และน้ำหนักบรรทุกทุกจรเท่ากับ 0.19 ตันต่อตารางเมตร ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.23 ถึง 4.26 สำหรับทาวเวอร์ A และรูป 4.27 ถึง 4.30 สำหรับทาวเวอร์ B (Wichien , 1983)

7) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร

ก) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Terzaghi

ในอาคารทั้ง 2 หลัง พิจารณาให้ฐานรากเป็น Mat foundation ขนาด 32.3 × 32.3 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางดึงที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 38.3 ตันต่อตารางเมตร สำหรับทาวเวอร์ A และ 37.4 ตันต่อตาราง เมตรสำหรับทาวเวอร์ B (ไม่

ตารางที่ 4.13 ลักษณะสภาพชั้นดินโดยเฉลี่ย อาคารทาวเวอร์ A และ B

ความลึก, เมตร	ชนิดของดิน	ค่า N เฉลี่ย	หมายเหตุ
0-2.50	ทรายถม		
2.50-15.50	ดินเหนียวอ่อน		ดินอ่อน
15.50-21.0	ดินเหนียวแข็ง	7	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
21.0 -21.65	ทรายเม็ดละเอียดปนซิลต์	-	ชั้นทรายบาง ๆ แทรก
21.65-28.0	ดินเหนียวแข็ง	17	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
28.0-38.0	ทรายเม็ดละเอียดถึงปาน- กลาง, แน่น	29	ทรายแน่นชั้นที่ 1
38.0-39.0	ดินเหนียวแข็งปานกลาง	7	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
39.0-59.0	ดินเหนียวแข็งมาก	36	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
59.0-62.0	ทรายเม็ดละเอียด	75	ทรายแน่นชั้นที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 คุณสมบัติในการขุดตัวของชั้นดินได้ปลายเสาเข็ม อาคารทาวเวอร์

A และ B สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัว

ชั้นที่	ความลึก	$\frac{1}{mV}$ ตัน/ตร.ม.	E_u (๓) ตัน/ตร.ม.	E'_s (4) ตัน/ตร.ม.	วิธีการหาค่า $1/mV$
1	29.0-38.0	2983	-	2221	$\frac{1}{mV} = 988 + 69N$ (1)
2	38.0-39.0	689	851	653	(2)
3	39.0-59.0	2965	3662	2809	ผลการทดลอง
4	59.0-62.0	6830	-	5075	$\frac{1}{mV} = 3230 + 48N$ (1)

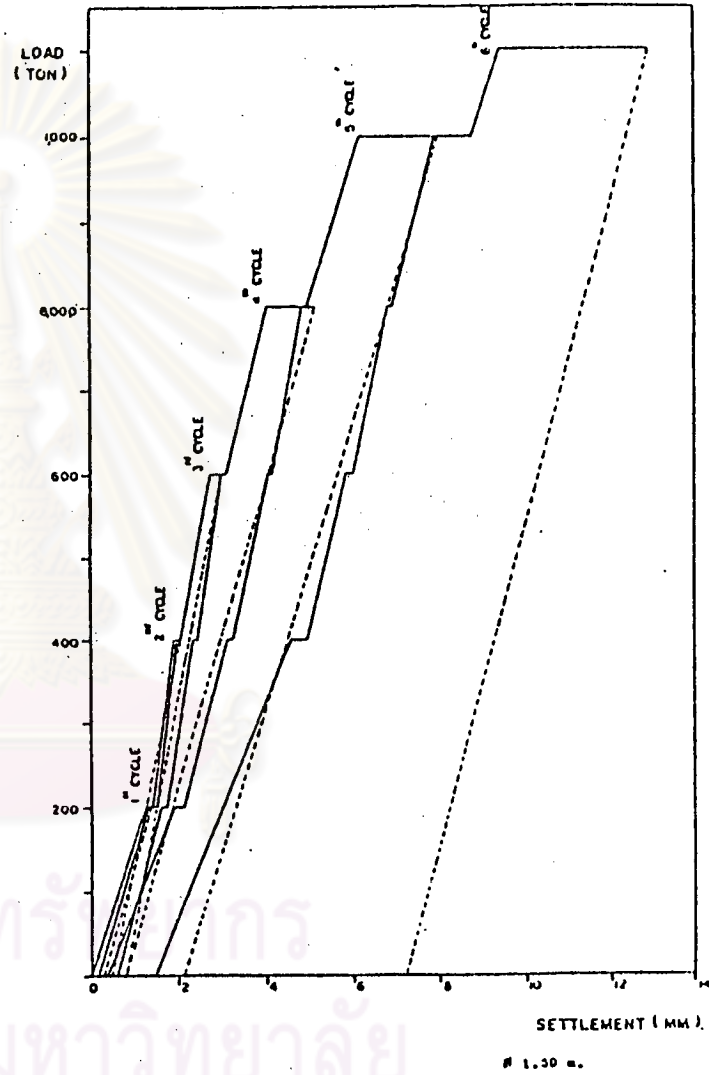
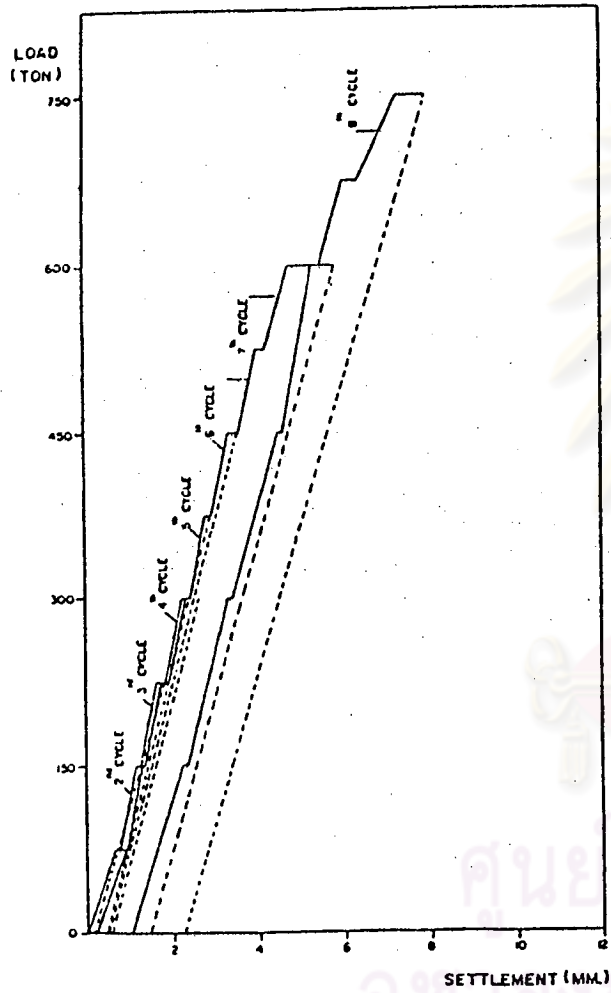
(1) สมการของ Witoon (1984)

(2) จาก Parentila (1983) เพราะชั้นดินบางมาก
เก็บตัวอย่าง แบบไม่ถูกรบกวนไม่ได้

(3) $E_u = 1.235/mV$ สำหรับดินเหนียว

(4) $E'_s = 0.767/E_u$ สำหรับดินเหนียว

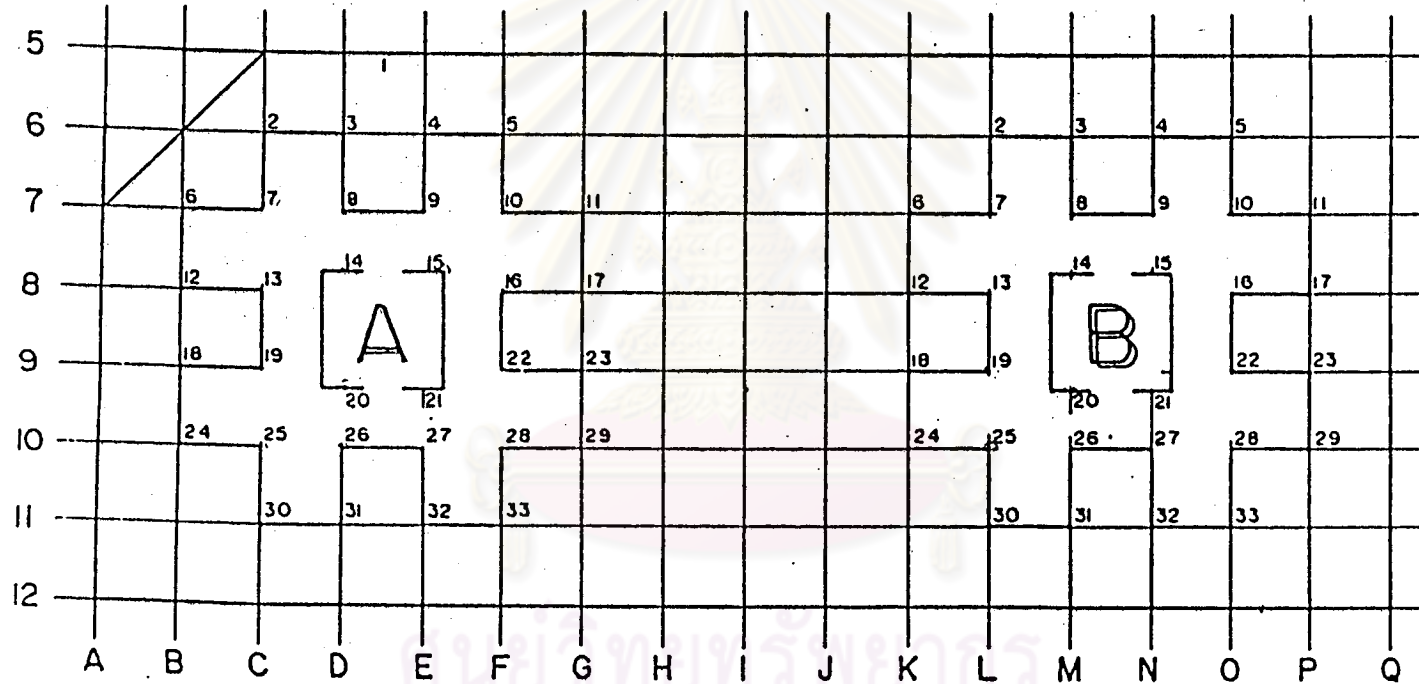
$E'_s = 0.743/mV$ สำหรับทราย



รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบเสาเข็ม บริเวณก่อสร้าง

อาคารทาวเวอร์ A และ B (After Wichien , 1983)

◎ BENCH MARK.



รูปที่ 4.22 จุดที่ทำการวัดค่าการทศหัว

อาคารทาวเวอร์ A และ B (After Wichien , 1983)

ตารางที่ 4.15 ค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัด อาคารทาวเวอร์ A

เริ่มวัดเมื่อทำการก่อสร้างไปแล้ว ประมาณ 5 เดือน (After Wichien , 1983)

วันที่	จุดที่								
	5	7	11	13	14	15	20	25	26
24/08/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/11/81	3	6	3	6	6	4	4	4	5
5/01/82	5	7	5	7	8	6	5	4	6
14/02/82	6	9	6	9	9	8	7	5	8
29/03/82	9	12	7	12	12	12	12	9	10
21/04/82	9	12	9	12	13	13	12	9	11
2/06/82	9	14	10	15	17	16	15	10	14
16/07/82	13	17	14	19	22	22	20	13	18
23/08/82	14	18	16	21	23	23	23	16	21
27/09/82	30	35	30	39	42	-	42	34	41
16/10/82	35	-	39	44	50	41	47	40	46
18/11/82	45	52	46	56	61	-	55	47	54
5/12/82	48	55	49	58	63	61	59	51	58
22/01/83	54	60	56	65	69	68	64	56	62

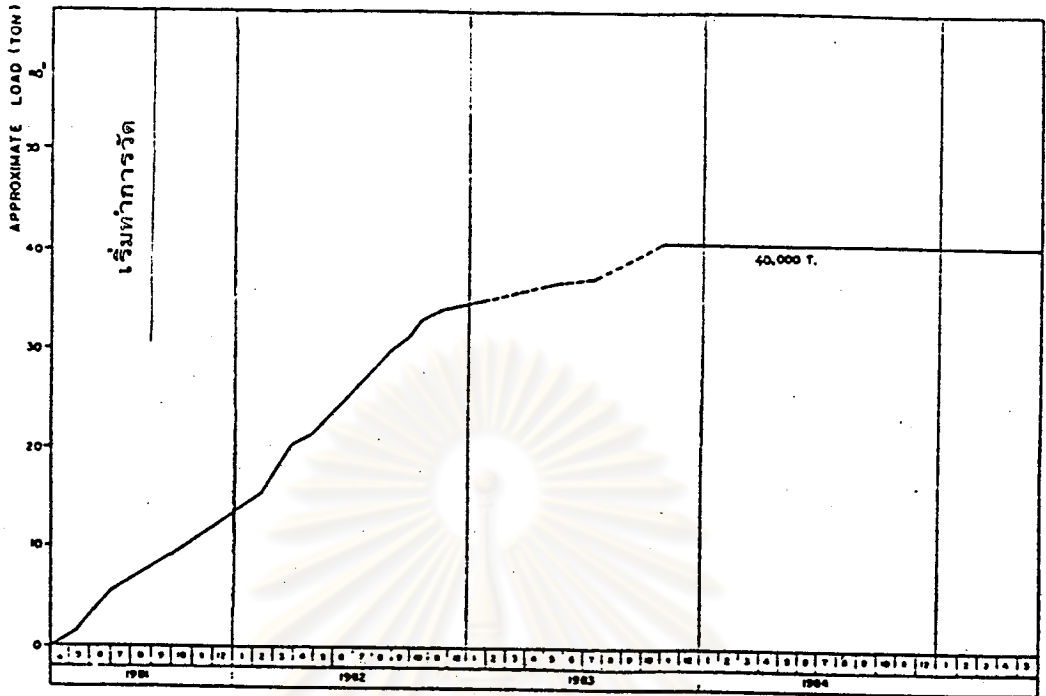
หน่วย เป็นมิลลิเมตร

ตารางที่ 4.16 ค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัด อาคารทาวเวอร์ B

เริ่มวัดเมื่อทำการก่อสร้างไปแล้ว ประมาณ 4 เดือน (After Wichien , 1983)

จุดที่ วันที่	5	14	19	20	21	22	25	27	30
3/08/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7/12/81	3	3	3	5	4	5	3	4	3
15/01/82	7	5	5	6	4	5	3	8	3
19/03/82	-	6	6	7	6	6	5	8	4
21/04/82	7	-	10	11	10	9	7	10	6
2/06/82	7	-	-	12	10	-	8	11	8
16/07/82	9	15	14	17	15	-	11	14	11
24/08/82	9	18	16	18	16	-	11	15	12
27/09/82	-	34	34	-	33	28	23	31	29
19/11/82	33	50	47	48	46	43	36	44	40
5/12/82	37	55	50	51	49	46	39	48	43
22/01/83	40	-	57	59	-	51	45	53	48

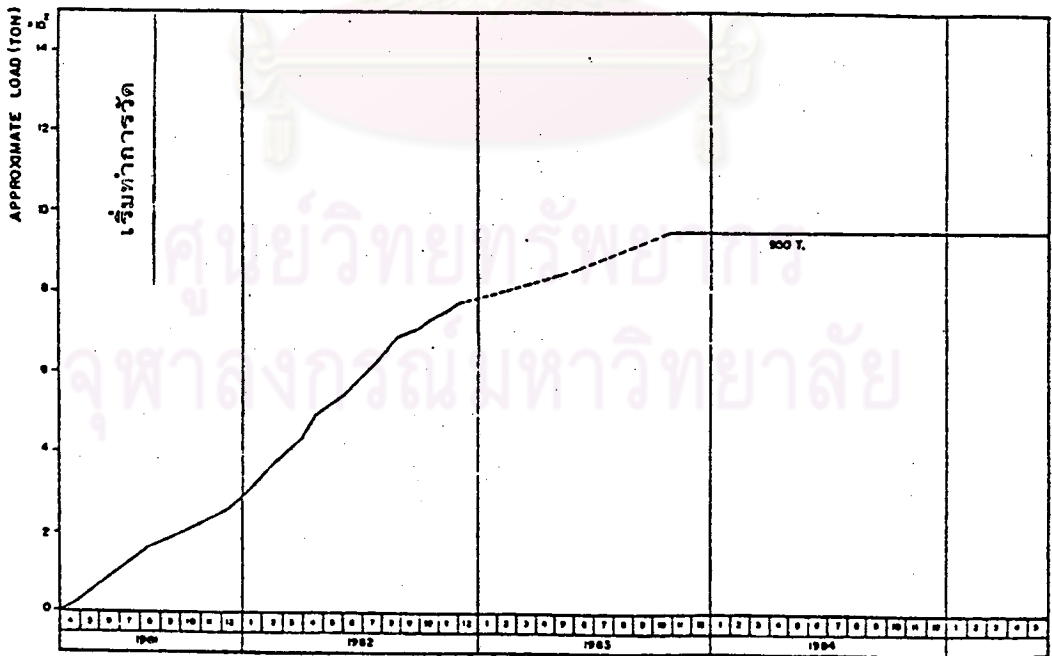
หน่วยเป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 4.23 คำน้้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับเวลา

อาคารทาวเวอร์ A

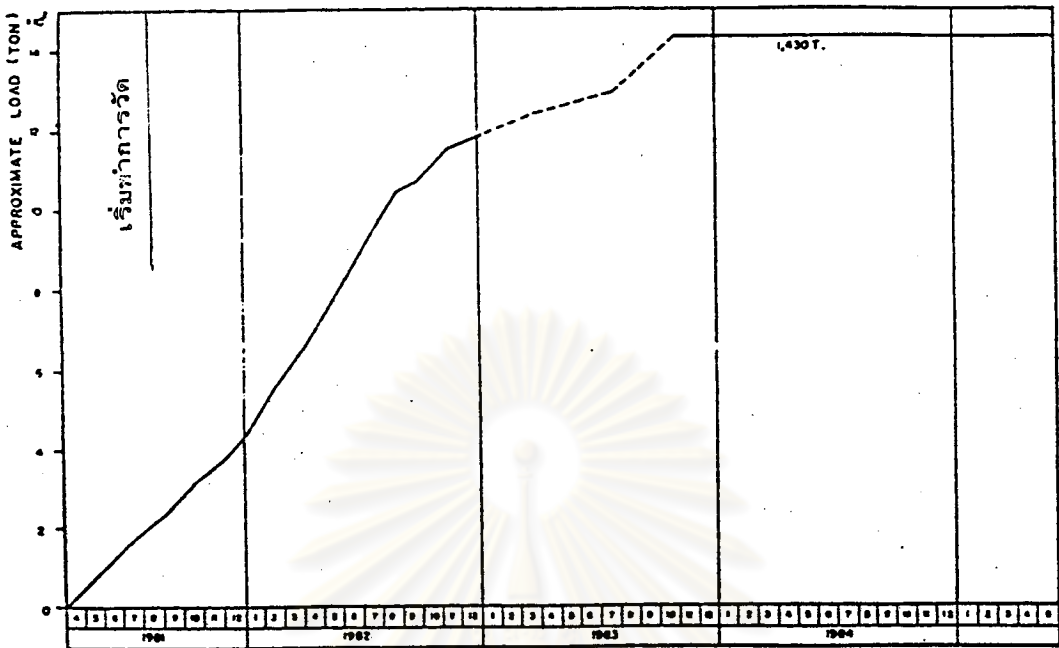
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.24 คำน้้ำหนักที่กระทำบน F1 กับเวลา

อาคารทาวเวอร์ A

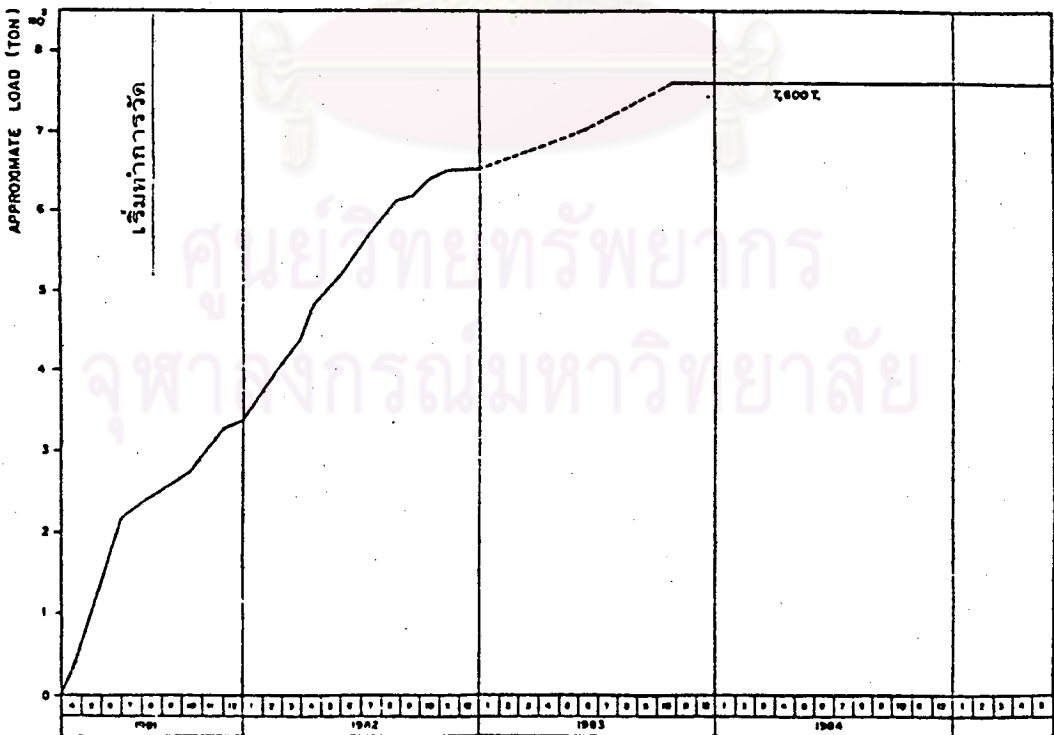
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.25 คำนี้น้ำหนักที่กระทำบน F2 กับเวลา

อาคารทาวเวอร์ A

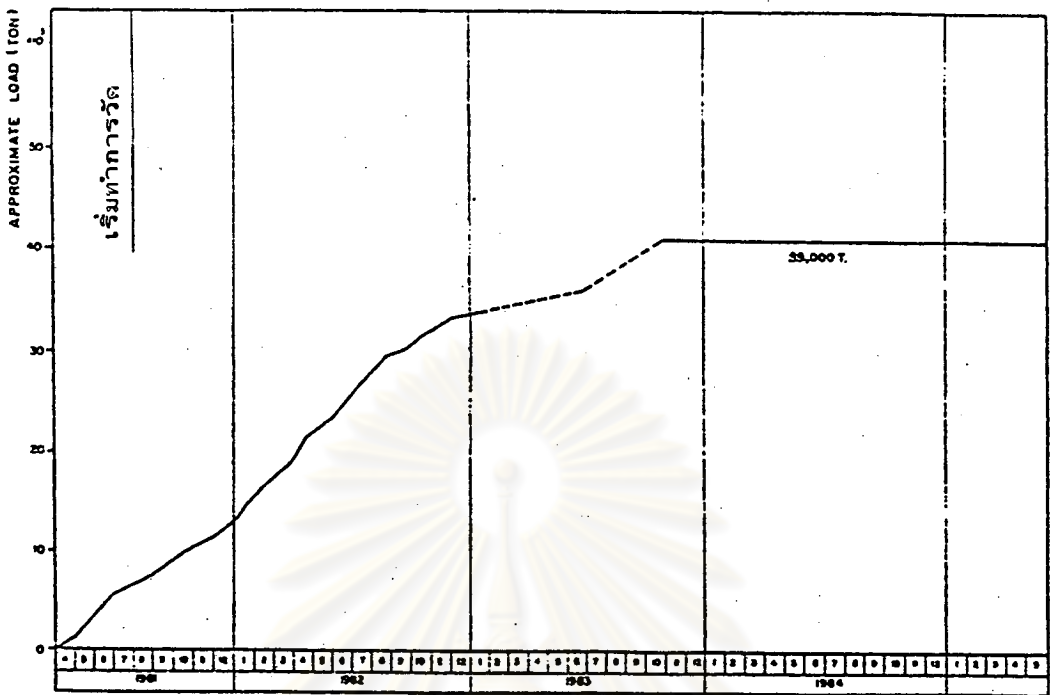
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.26 คำนี้น้ำหนักที่กระทำบน F3 กับเวลา

อาคารทาวเวอร์ A

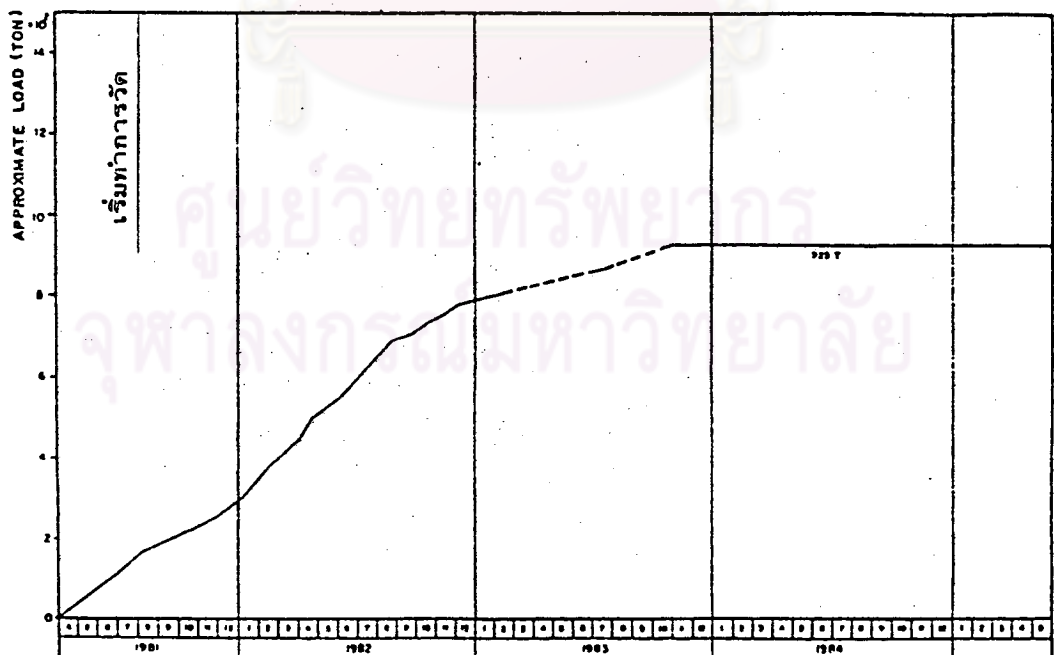
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.27 คำนํ้าหนักทั้งหมดที่กระทำกับเวลา

อาคารทาวเวอร์ B

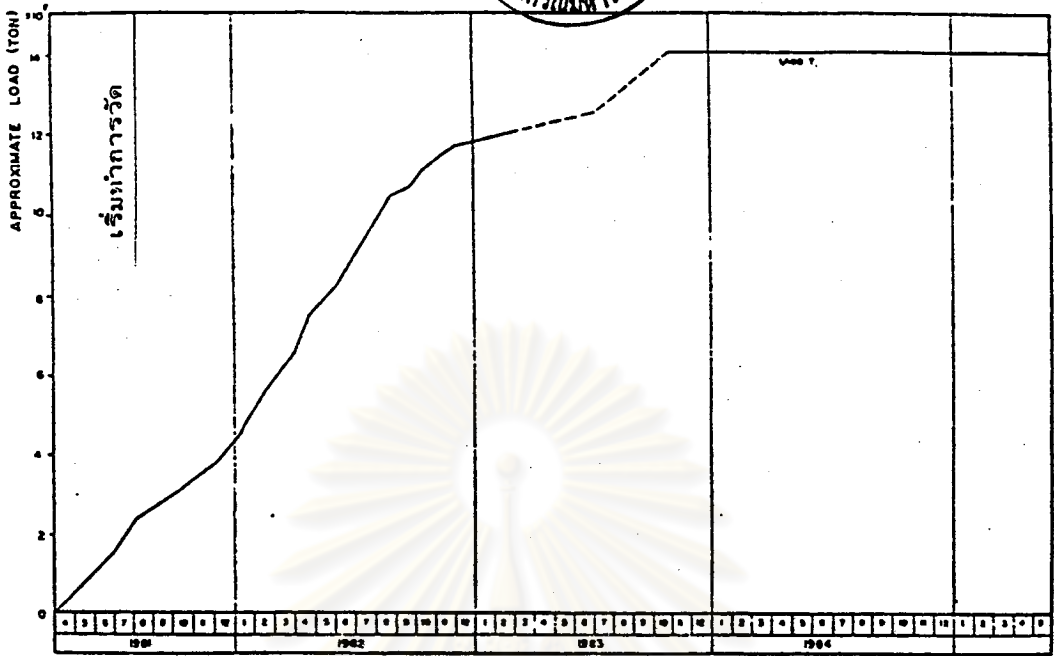
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.28 คำนํ้าหนักที่กระทำบน F1 กับเวลา

อาคารทาวเวอร์ B

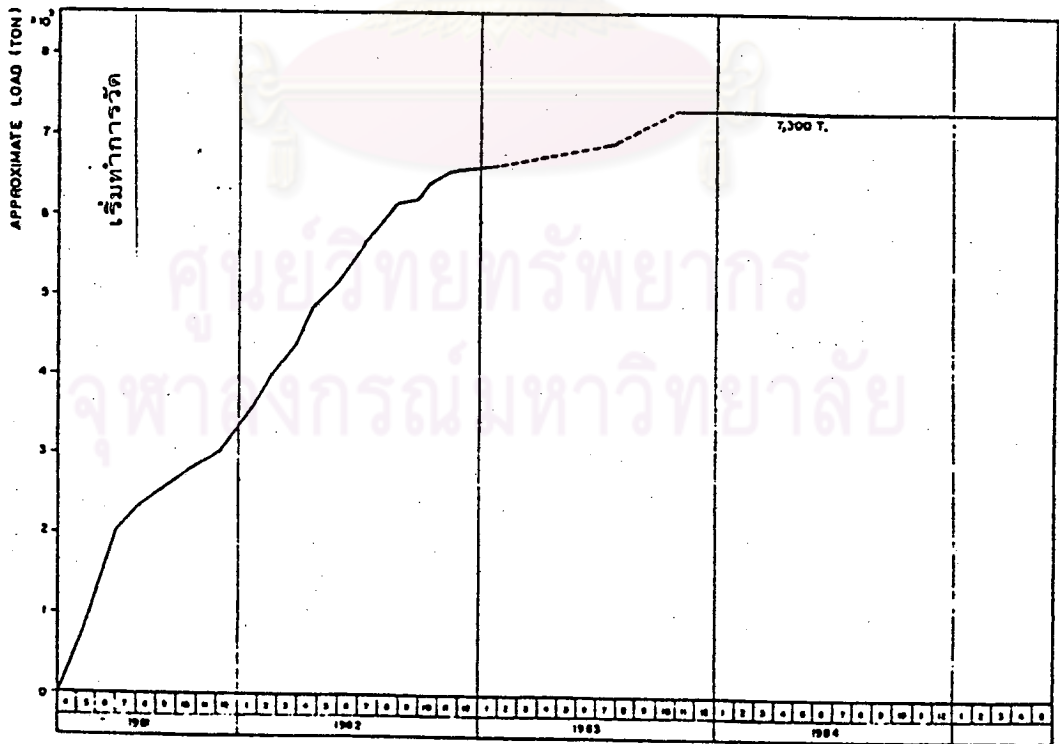
(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.29 คำน้หนักที่กระทำบน F2 กับเวลา

อาคารทาวเวอร์ B

(After Wichien , 1983)



รูปที่ 4.30 คำน้หนักที่กระทำบน F3 กับเวลา

อาคารทาวเวอร์ B

(After Wichien , 1983)

ทัศนภาพนักบิน เนื่องจากการขุดห้องใต้ดิน)

จากสภาพชั้นดิน ดินเหนียวได้ปลายเสาเข็มที่พิจารณาคือ ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 ซึ่งในอาคารแห่งนี้ ดินชั้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นชั้นย่อย 2 ชั้นคือ ชั้นบนเป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง มีความหนาเพียง 1 เมตร และชั้นล่างเป็นดินเหนียวแข็งมากหนา 20 เมตร และใช้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลทางตั้ง เนื่องจากรูปร่างที่ทับถม ($\bar{\sigma}_{VO}$) จากสมการ (4.4)

ผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ (ดังได้กล่าวแล้ว) แสดงไว้ในตารางที่ 4.17 และ 4.18 สำหรับทาวเวอร์ A และ B ตามลำดับ

ข) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Tomlinson

พิจารณาให้ฐานรากสมมูลย์ อยู่ที่ระดับความลึก 30.7 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเกินทางตั้งที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 35.4 ตันต่อตารางเมตร สำหรับทาวเวอร์ A และ 34.5 ตันต่อตารางเมตร สำหรับทาวเวอร์ B

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่ได้จากการพิจารณาสภาพชั้นดินทั้ง 2 ลักษณะ โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.19 และ 4.20 สำหรับทาวเวอร์ A และ B ตามลำดับ

ค) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Poulos และ Davis การคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็มได้ค่า โมดูลัสสะสมของดินรอบเสาเข็ม (E_S) เท่ากับ 11400 ตันต่อตารางเมตร และค่า K เท่ากับ 256 สำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร และได้ค่า E_S เท่ากับ 9360 ตันต่อตารางเมตร และค่า K เท่ากับ 210 สำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 เมตร ค่า E_b/E_s (ของดินโดยเฉลี่ย) มีค่าเท่ากับ 3

การจัดกลุ่มเสาเข็มของอาคารนี้ เพื่อความสะดวกจะพิจารณาให้เป็นกลุ่มใหญ่เพียงกลุ่มเดียว แบบ mat ค่า d_c ที่ใช้เท่ากับ 36.6 เมตร

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่จุดบริเวณมุมของปล่องลิฟท์ (19 , 20 , 25 , 26) ได้แสดงไว้ในตารางที่ A-3 และ A-4 และเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณ และการวัดจริง ในรูป 4.31 และ 4.32 และตารางที่ 4.21 และ 4.22 แสดงสัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคารเนื่องจากดินแต่ละชั้น สำหรับทาวเวอร์ A

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Terzaghi อาคารทาวเวอร์ A

แบบที่	ดินเหนียวแข็งปานกลาง ชั้นที่ 2		ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2		ค่าการทรุดตัวรวม.	
	$\frac{1}{mv}$	ρ_c	$\frac{1}{mv}$	ρ_c	มม.	
	ตัน/ตร.ม.	มม.	ตัน/ตร.ม.	มม.	ρ_c	$\rho_c + \rho_s$
1	689*	38.6	2965	111.3	149.9	244.7
2	683	38.9	2024	163.0	201.9	296.7
3	689*	38.6	2092	157.7	196.3	291.1

แบบที่ 1 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จากสมการของ Witoon (1984)

แบบที่ 3 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จาก Tasneenart (1984)

* ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จาก Parentila (1983)

ρ_s คือ การทรุดตัวเนื่องจากทราย

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Terzaghi อาคารทาวเวอร์ B

แบบที่	ดินเหนียวแข็งปานกลาง ชั้นที่ 2		ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2		ค่าการทรุดตัวรวม, มม.	
	$\frac{1}{mv}$ ตัน/ตร.ม.	ρ_c มม.	$\frac{1}{mv}$ ตัน/ตร.ม.	ρ_c มม.	ρ_c	$\rho_c + \rho_s$
1	689*	37.6	2965	108.6	146.2	238.4
2	683	37.9	2024	159.1	197.0	289.2
3	689*	37.6	2092	153.9	191.5	283.7

หมายเหตุ แบบที่ 1 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จากสมการ $\frac{1}{mv} = 359.93 + 46.21N$ (Witoon, 1984)

แบบที่ 3 ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จาก Tasneenart (1984)

* ค่า $\frac{1}{mv}$ ได้จาก Parentila (1983)

ρ_s คือ การทรุดตัวเนื่องจากทราย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Tomlinson อาคารทาวเวอร์ A

แบบ	ค่าการทรุดตัว ทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) มม.			ค่าการทรุดตัว แบบอัดตัวคายน้ำ (ρ_c) มม.			ค่าการทรุดตัวรวม (ρ_f) มม.		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	152.6	105.8	126.5	63.9	83.4	0	216.5	189.2	126.5
2	179.4	135.8	158.2	84.6	107.0	0	264.0	242.8	158.2
3	176.3	133.0	155.8	82.3	104.9	0	258.6	237.9	155.8

แบบที่ 1 1/MV ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 1/MV ได้จากสมการของ Witoon (1984)

แบบที่ 3 1/MV ได้จาก Tasneenart (1984)

- (1) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ ตามความเป็นจริง
- (2) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียวเฉลี่ยเพียงชั้นเดียว
- (3) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินที่มีการระบายน้ำดี เฉลี่ยเพียงชั้นเดียว
(ใช้โมดูลัสยืดหยุ่น แบบที่มีการระบายน้ำ)

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ
Tomlinson อาคารทาวเวอร์ B

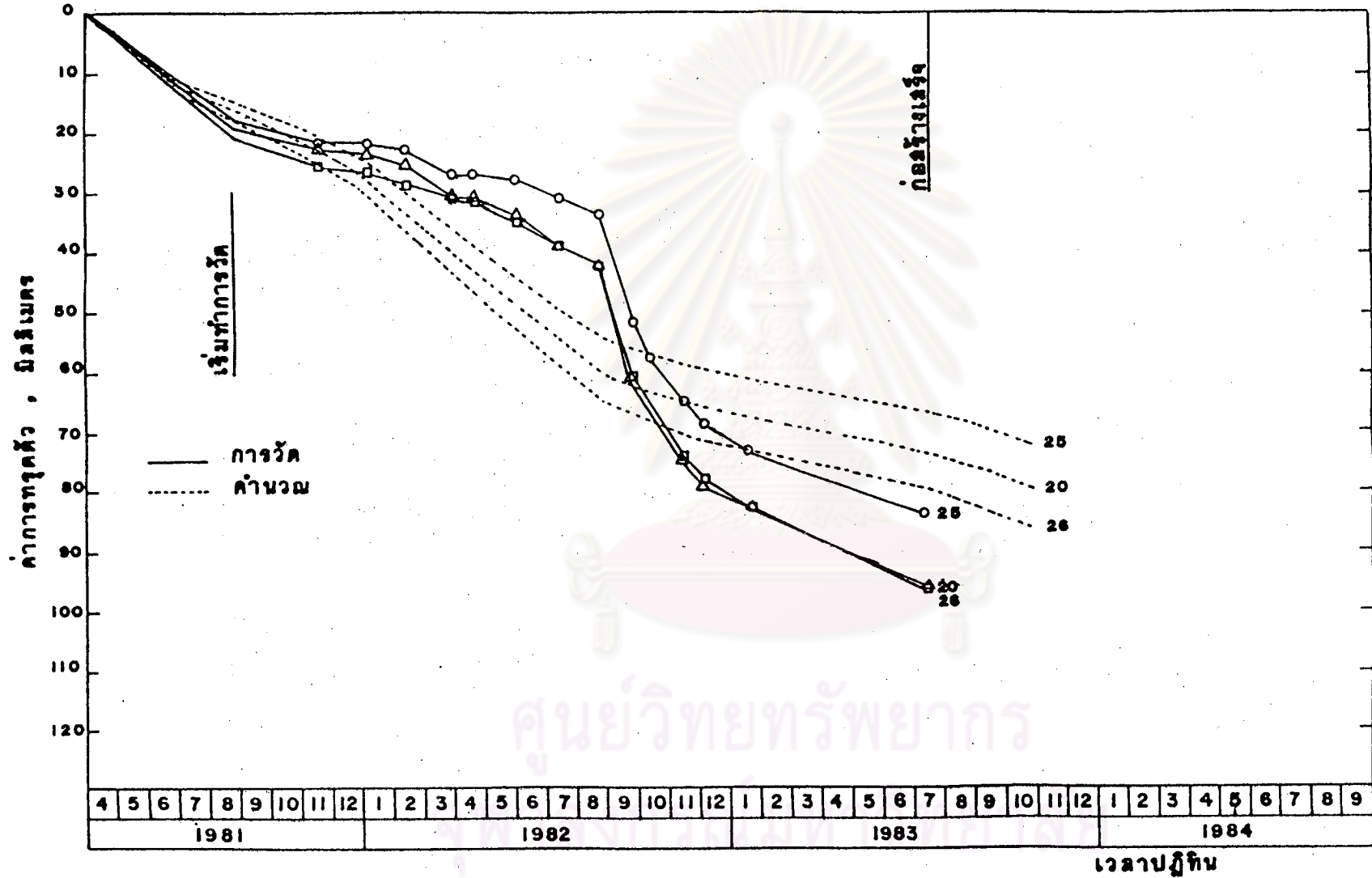
แบบ	ค่าการทรุดตัว			ค่าการทรุดตัว			ค่าการทรุดตัวรวม (ρ_F)		
	พื้นที่ที่รับน้ำหนัก (ρ_i) มม.			แบบอัดตัวคายน้ำ (ρ_C) มม.			มม.		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	148.7	103.1	123.3	65.2	81.4	0	211.2	184.5	123.3
2	174.8	132.3	154.6	82.7	104.4	0	257.5	236.7	154.6
3	171.9	129.7	151.8	80.5	102.3	0	252.4	232.0	151.8

แบบที่ 1 1/MV ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 1/MV ได้จากสมการของ Witoon (1984)

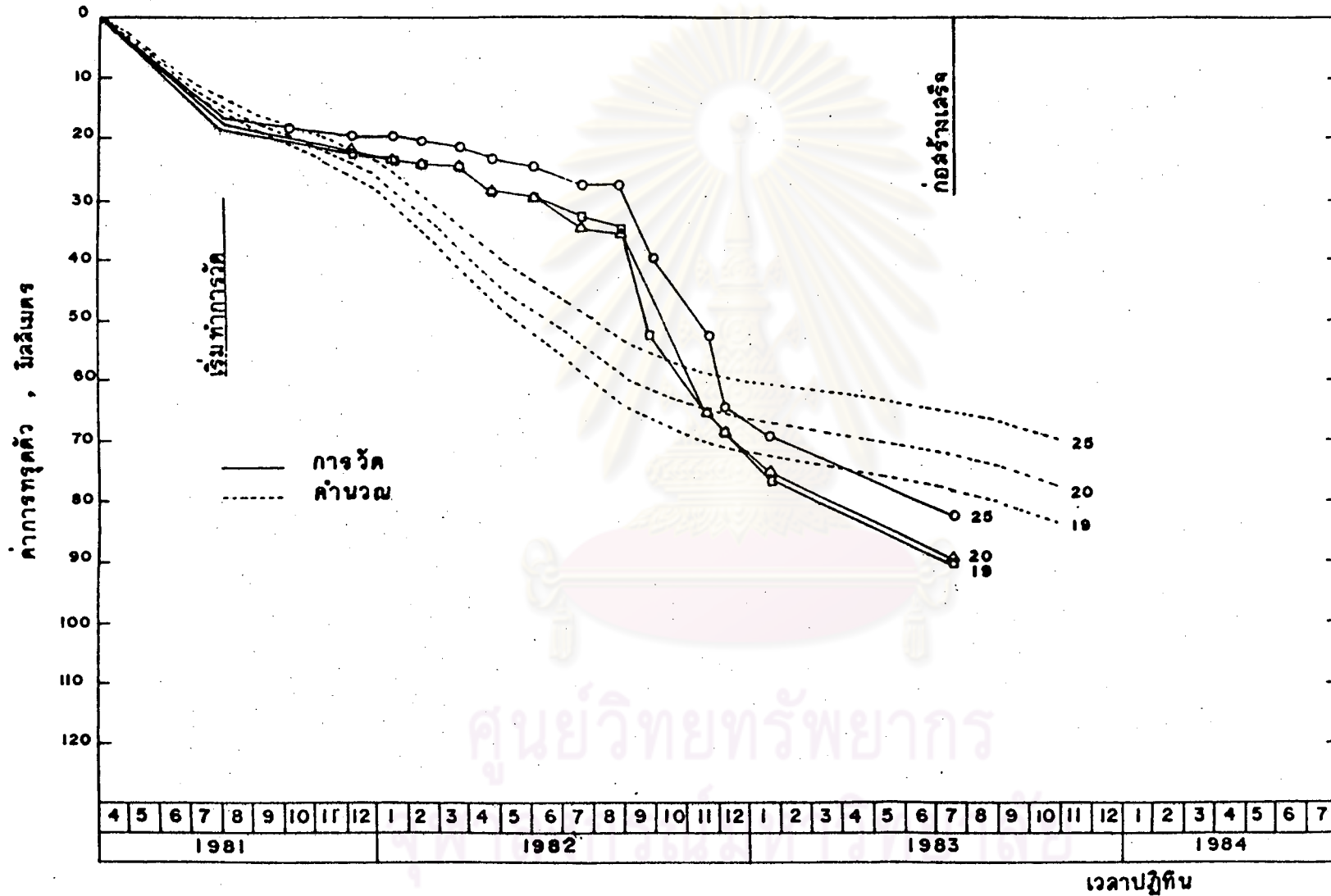
แบบที่ 3 1/MV ได้จาก Tasneenart (1984)

- (1) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ ตามความเป็นจริง
- (2) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียวเจลลี่เพียงชั้นเดียว
- (3) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินที่มีการระบายน้ำดี เพียงชั้นเดียว
(ใช้โมดูลัสยืดหยุ่น แบบที่มีการระบายน้ำ)



รูปที่ 4.31 การเปรียบเทียบค่าการทรุดหัวที่วัดได้กับที่คำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis

อาคารทาวเวอร์ A



รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบค่าการທຸກຕົວที่วัดได้กับที่คำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis

อาคารทาวเวอร์ B

ตารางที่ 4.21 สัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคารที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos อาคารทาวเวอร์ A

การทรุดตัว เนื่องจากดินในชั้น	ค่าการทรุดตัวสุดท้าย, ρ						ช่วง %
	จุด 20		จุด 26		จุด 25		
	มม.	%	มม.	%	มม.	%	
Founding	16.1	16.3	16.1	15.4	16.1	18.3	15.4-18.3
Underlying							
- ทราย	12.5	12.6	20.8	19.9	14.3	16.3	12.6-19.9
- ดินเหนียว	70.4	71.1	67.8	64.7	57.5	65.4	64.7-71.1
ค่าการทรุดตัวรวม	99.0	100.0	104.7	100.0	87.9	100.0	100-100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 สัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคารที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos อาคารทาวเวอร์ B

การทรุดตัว เนื่องจากดินในชั้น	ค่าการทรุดตัวสุดท้าย, ρ F						ช่วง %
	จุด 20		จุด 19		จุด 25		
	มม.	%	มม.	%	มม.	%	
Founding	15.7	16.3	15.7	15.4	15.7	18.3	15.4-18.3
Underlying							
- ทราบ	12.2	12.6	20.2	19.9	13.9	16.3	12.6-19.9
- ดินเหนียว	68.5	71.1	66.0	64.7	56.0	65.4	64.7-71.1
ค่าการทรุดตัวรวม	96.4	100.0	101.9	100.0	85.6	100.0	100-100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ B ตามลำดับ

4.3.4 การวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารทาวเวอร์ C

1) ลักษณะทั่วไปของอาคาร

อาคารทาวเวอร์ C เป็นอาคารสำนักงานสูง 26 ชั้น ตั้งอยู่ริมถนนพระราม 4 บริเวณใจกลางแหล่งธุรกิจในกรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ประมาณ 500 ตารางเมตรต่อชั้น มีห้องใต้ดิน 1 ชั้น เริ่มทำการก่อสร้างตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2526 ใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 2 ปี

2) ลักษณะของโครงสร้าง

ตัวอาคารสูงเป็นรูป 8 เหลี่ยม มีความกว้างประมาณ 22 เมตร ความยาว 30 เมตร โครงสร้างที่ใช้รับน้ำหนักของอาคารประกอบด้วย Shear wall อยู่ทางด้านหลังของอาคาร และเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ต้น พื้นส่วนใหญ่เป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบ Flat plate แผนผังของอาคารได้แสดงในรูป 4.33

3) ลักษณะของฐานราก

ใช้ฐานรากแบบเสาเข็มมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงแบบตอก หน้าตัดขนาด I-0.40 ยาว 25 เมตร จำนวนประมาณ 280 ต้น แผนผังรูปแบบการจัดเสาเข็มได้แสดงในรูป 4.34
- ปลายเสาเข็มหยั่งอยู่ในชั้นทรายแน่นที่ระดับความลึกประมาณ 29 เมตรจากระดับผิวดิน
- หัวเสาเข็มถูกยึดด้วย Pile cap (Combined footings)

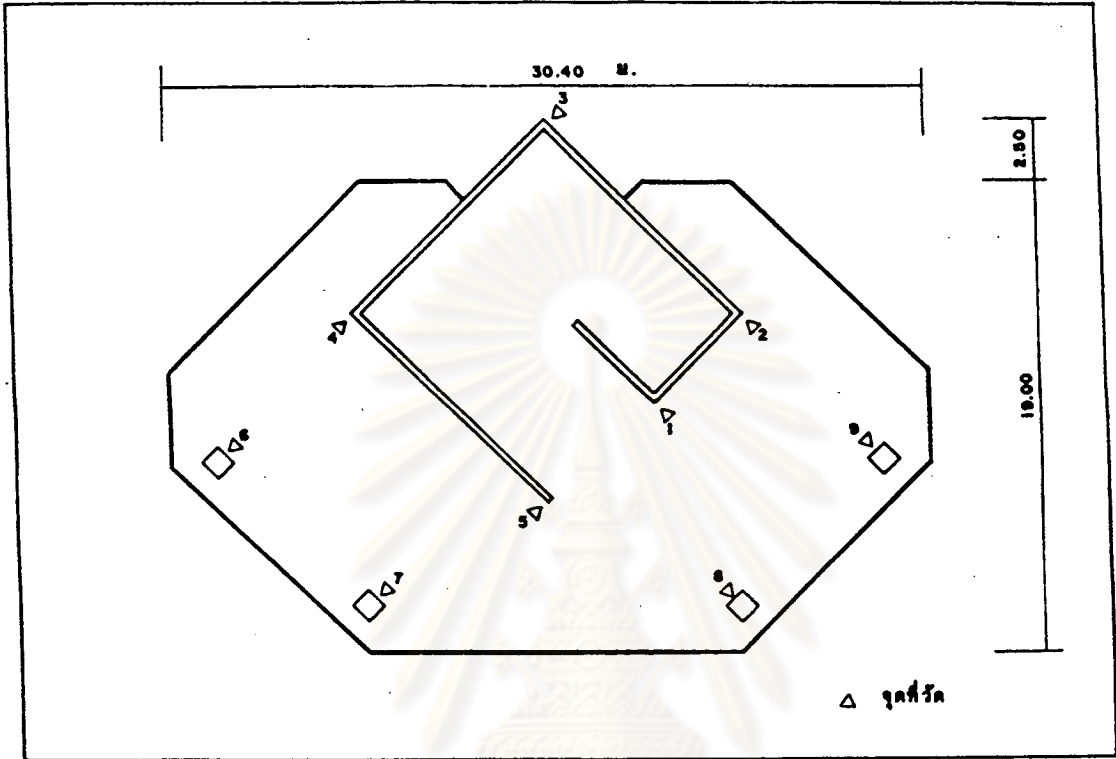
และพื้นที่ห้องใต้ดินหนา 0.30 เมตร

- พื้นที่ห้องใต้ดินอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 4 เมตรจากผิวดิน

4) ข้อมูลทางปรุพีวีศวกรรม

ก) ข้อมูลสภาพชั้นดิน

ได้มีการเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน ณ สถานที่ก่อสร้าง เมื่อเดือนสิงหาคม 2525 จำนวน 1 หลุม ถึงระดับความลึก 62 เมตรจากระดับผิวดิน โดยมีการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนในดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง มาทำการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ และเก็บตัวอย่างแบบถูกรบกวนในทรายและดินเหนียวแข็ง พร้อมทั้งทำการทดสอบ Standard Penetration รายละเอียดสภาพชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ แสดงไว้ในรูปที่ 4.35 ส่วนลักษณะสภาพชั้นดินเฉลี่ยและคุณสมบัติในการยุบตัวของชั้นดินได้ปลายเสาเข็ม ได้แสดงไว้ใน

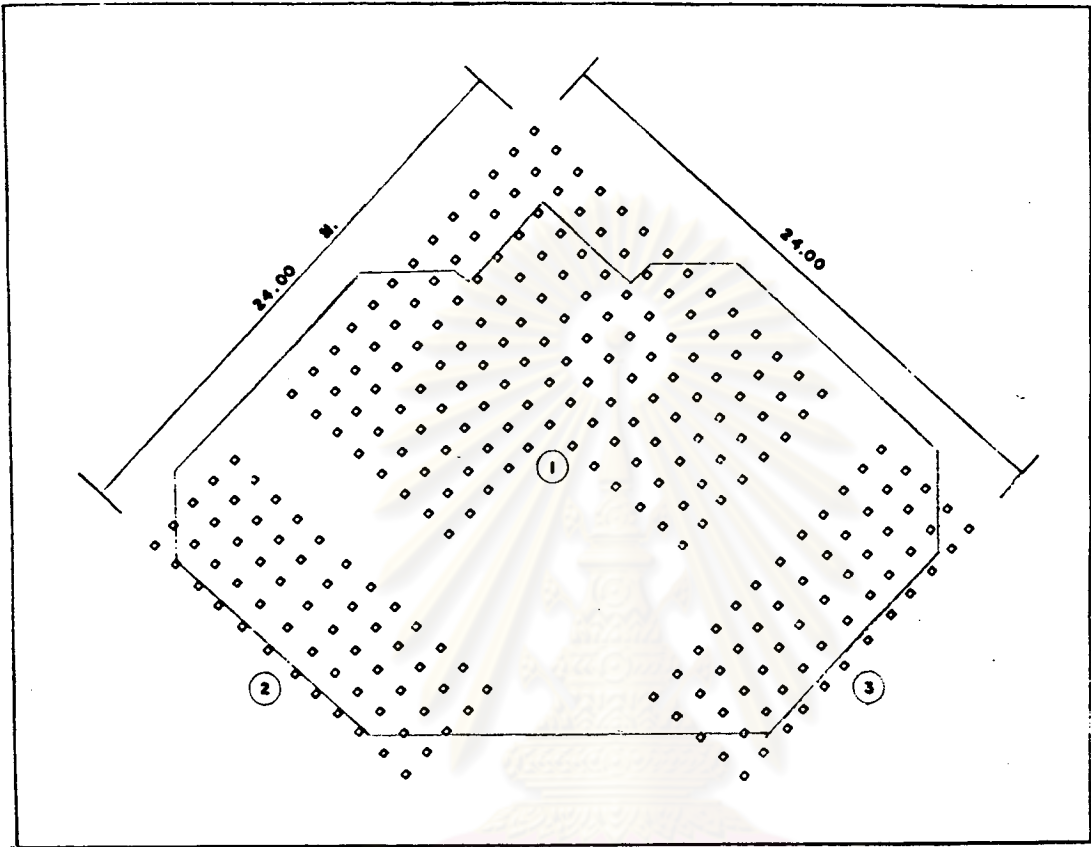


ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.33 แผนผังของอาคารและจุดที่ทำการวัดค่าการทรุดตัว

อาคารทาวเวอร์ C



ศูนย์วิทยทรัพยากร
รูปที่ 4.34 แผนผังรูปแบบการจัดเสาเข็ม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารทาวเวอร์ C



DEPTH (m)	CASING BLOWS	SAMPLE NO.	SPT		SYMBOL	MOIST	IDENTIFICATION	REMARKS
			TOI	FOC				
13.0							Gray soft clay from depth 0 - 13.50 m.	Drill by 3-3/4" Auger with casing to 13.50 m. depth.
14.0		ST 1	6	10			Brown stiff to very stiff clay.	N = 16
15.0		ST 2	5	6			Brown stiff to very stiff clay.	N = 12
17.0		ST 3	8	10			Brown stiff to very stiff clay.	N = 13
18.0		ST 4	8	10			Brown stiff to very stiff clay.	N = 16
19.0		ST 5	8	10			Brown stiff to very stiff clay.	N = 23
21.0		ST 6	8	10			Brown stiff to very stiff clay.	N = 23
23.0		ST 7	8	10			Brown stiff to very stiff clay.	N = 18
24.0		ST 8	8	8			Brown stiff to very stiff clay.	N = 17
26.0		ST 9	10	11			Brown stiff to very stiff clay.	N = 21
27.0								

รูปที่ 4.35 รายละเอียดสภาพชั้นดิน
อาคารทาวเวอร์ C

DEPTH M	CASING BLOW	SAMPLE NO.	SAMPLING			SYMBOL	IDENTIFICATION	REMARKS
			NO.	DEPTH M	RESIST BL./CM			
28.0	ST 10		7			Brown stiff to very stiff clay.	N = 19	
29.0	ST 11		9			Brown stiff to very stiff clay.	N = 24	
30.0	ST 12		12			Brown dense sand.	N = 44	
31.0			20					
32.0			24					
33.0	ST 13		11			Brown dense sand.	N = 39	
34.0			18					
35.0			20					
36.0	ST 14		15			Dense, brown, coarse sand.	N = 43	
37.0			24					
38.0			18					
39.0	ST 15		10			Dark brown very stiff clay.	N = 28	
40.0			13					
41.0	SS 1		15			Dark brown very stiff clay.	qu = 4.5 ksc. from Pocket Penetrometer	
42.0	SS 2							

รูปที่ 4.35 ต่อ

DEPTH M	CASING BLOWZ	SAMPLE HQ	SAMP. EC			STAGOL	MOIST	IDENTIFICATION	REMARKS
			TOT. NEEDS	NO.2	NO.3				
43.0		SS 3					Dark brown very stiff clay.	qu = 3.7 from Pocket Penetrometer.	
44.0		ST 16	10	13	17		Dark brown very stiff clay.	N = 30	
45.0									
46.0		SS 4					Dark brown very stiff clay.	qu = 4.3 from Pocket Penetrometer.	
47.0		ST 17	17	40	42		Very dense, dark brown sand.	N = 84	
48.0									
49.0		ST 18	35	38	42		Very dense, dark brown sand.	N = 77	
50.0							Very dense, dark brown sand.		
51.0									
52.0		ST 19	35	34			Very dense, dark brown sand.	N = 67	
53.0									
54.0							Brown, hard clay.		
55.0		ST 20	11	12	16			N = 31	
56.0									
57.0									

รูปที่ 4.35 ต่อ

DEPTH FT	CASING BLOWS	SAMPLE NO.	SAMPLES				SYMBOL	MOIST.	IDENTIFICATION	DEPTH	REMARKS
			TOT.	REC'D	TEST	PL/CL					
58.0		SS 5						Brown hard clay.		qu = 4.5 asc. by Pocket Penetrometer. N = 52	
59.0		SI 21						Brown hard clay.			
60.0											
61.0		SS 6						Brown hard clay.		Sample loss.	
62.0		SI 22						Brown, hard, sandy clay.		N = 165	
								End of boring.			

รูปที่ 4.35 ต่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ

ข) ข้อมูลการทดสอบเสาเข็ม

การทดสอบเสาเข็มได้กระทำตามวิธี Cyclic loading โดยทำการทดสอบการรับน้ำหนักถึง 2×80 ตันต่อตัน ผลการทดสอบแสดงเป็นกราฟน้ำหนัก และการทรุดตัว ดังรูป 4.36

5) ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวของอาคาร

การวัดค่าการทรุดตัวของอาคารได้เริ่มกระทำเมื่อเดือนธันวาคม 2526 โดยทำการวัดทุกระยะเวลา 1 สัปดาห์ ตั้งแต่เดือนเมษายน 2527 จนกระทั่งก่อสร้างเสร็จ จุดที่ทำการวัดคือ ที่มุมของ Shear wall และเสา โดยขีดเป็นเส้นสีแดงไว้ แล้วทำการวัดระดับด้วยวิธี Levelling เทียบกับหมุดระดับอ้างอิง ซึ่งตั้งอยู่นอกตัวอาคาร ค่าการทรุดตัวที่วัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.25

6) ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำกับเวลา

น้ำหนักที่กระทำสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังรูป 4.35 โดยที่ ส่วนที่ 2 กับส่วนที่ 3 มีขนาดน้ำหนักใกล้เคียงกัน ค่าน้ำหนักที่กระทำคำนวณจากปริมาณคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำได้จริง ได้แสดงไว้ในรูป 4.37 ถึง 4.39 และใช้น้ำหนักบรรทุกจรประมาณ 0.3 ตันต่อตารางเมตร จากการคำนวณเฉลี่ยน้ำหนักที่กระทำบนฐานรากไปยังเสาเข็มแต่ละต้นพบว่าเสาเข็มแต่ละต้นในอาคารนี้ได้รับน้ำหนักเฉลี่ยใกล้เคียงกันในทุกส่วน

7) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร

ก) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Terzaghi

ในการคำนวณ พิจารณาให้ฐานรากเป็น Mat foundation ขนาด 23×23 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางตั้งที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 36.1 ตันต่อตารางเมตร

จากสภาพชั้นดิน ชั้นดินเหนียวได้ปลายเสาเข็มที่พิจารณามี 2 ชั้น คือ ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 มีความหนา 7.5 เมตร และ 8 เมตรตามลำดับ และใช้ค่า $\bar{\sigma}_{vo}$ จากสมการ (4.4)

ผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.26

ข) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ

ตารางที่ 4.23 ลักษณะสภาพชั้นดินโดยเฉลี่ย อาคารทาวเวอร์ C

ความลึก, เมตร	ชนิดของดิน	ค่า N เฉลี่ย	หมายเหตุ
0-13.5	ดินเหนียวอ่อน	-	ดินอ่อน
13.5-19.0	ดินเหนียวแข็ง	14	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
19.0-29.0	ดินเหนียวแข็ง	20	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
29.0-39.0	ทรายเม็ดหยาบ แน่น	42	ทรายแน่นชั้นที่ 1
39.0-46.5	ดินเหนียวแข็งมาก	29	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
46.5-53.5	ทรายเม็ดละเอียด แน่น- มาก	76	ทรายแน่นชั้นที่ 2
53.5-61.5	ดินเหนียวแข็งมาก	52	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 3
61.5-62.0	ดินเหนียวปนทราย แน่น- มาก	> 100	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4. 24 คุณสมบัติในการยับยั้งตัวของชั้นดินได้ปลายเสาเข็ม อาคารทาวเวอร์ C

สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัว

ชั้นที่	ความลึก,ม.	$\frac{1}{mv}$ ดิน/ตร.ม.	E_u (๓) ดิน/ตร.ม.	E'_s (4) ดิน/ตร.ม.	วิธีการหาค่า $1/mv$
1	29.0-39.0	(7772) 3886	-	(5774) 2887	() แนะนำ (2) $\frac{1}{mv} = 988+69N$ (1)
2	39.0-46.5	2006	2478	1900	ผลการทดลอง
3	46.5-53.5	6878	-	5110	$\frac{1}{mv} = 3230+48N$ (1)
4	53.5-61.5	2427	2997	2298	$\frac{1}{mv} = 78N-1629$ (1)

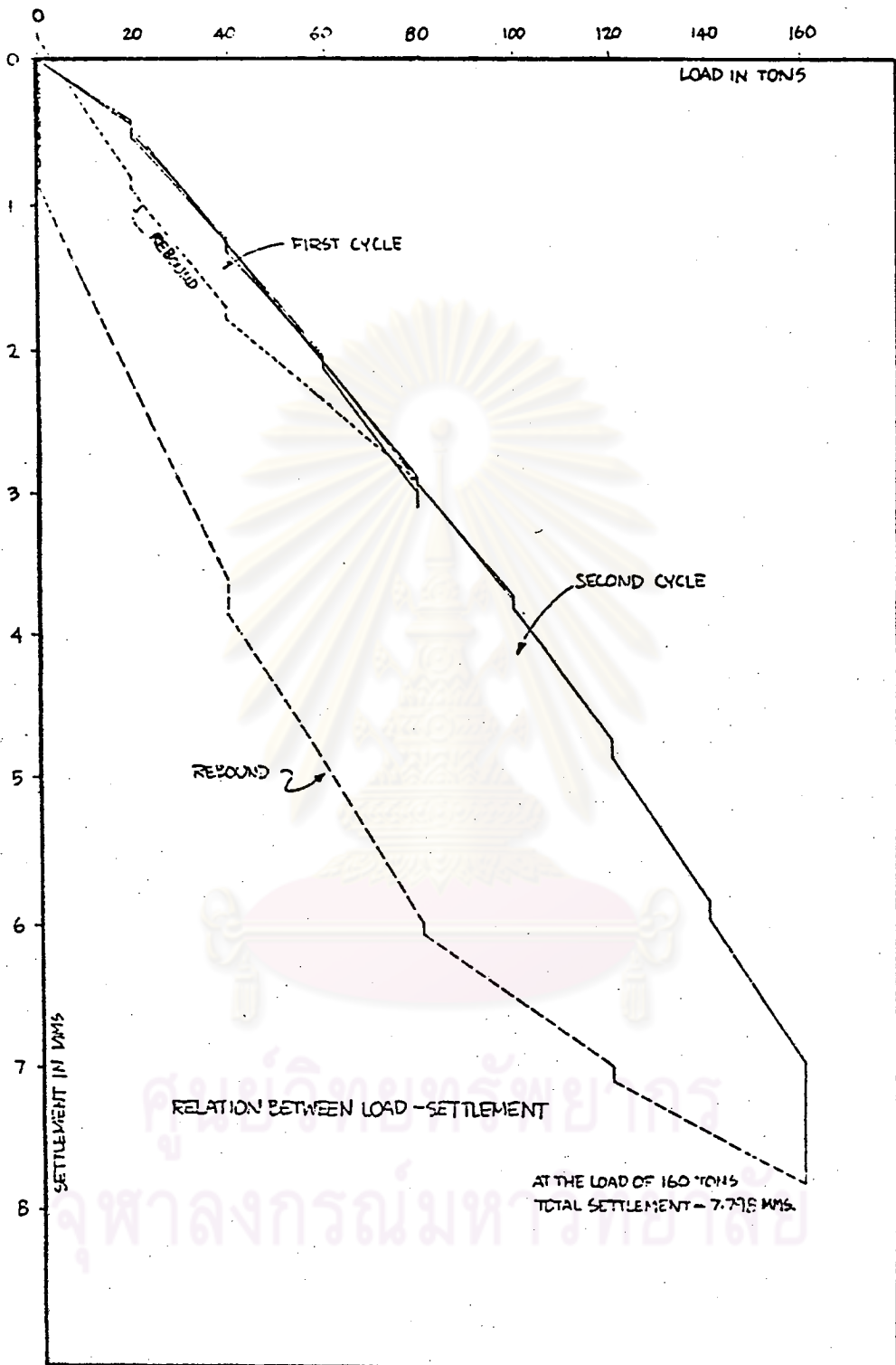
(1) สมการของ Witoon (1984) โดยที่ค่า N นำมาจากตารางที่ 4.19

(2) มีรากฐานมาจาก Philcox (1962)

(3) $E_u = 1.235/mv$

(4) $E'_s = 0.767/Eu$ สำหรับดินเหนียว

$E'_s = 0.743/mv$ สำหรับทราย



รูปที่ 4.36 ผลการทดสอบเสาเข็ม บริเวณก่อสร้าง
อาคารทาวเวอร์ C

ตารางที่ 4.25 ค่าการหดตัวที่ได้จากการวัด อาคารทาวเวอร์ C

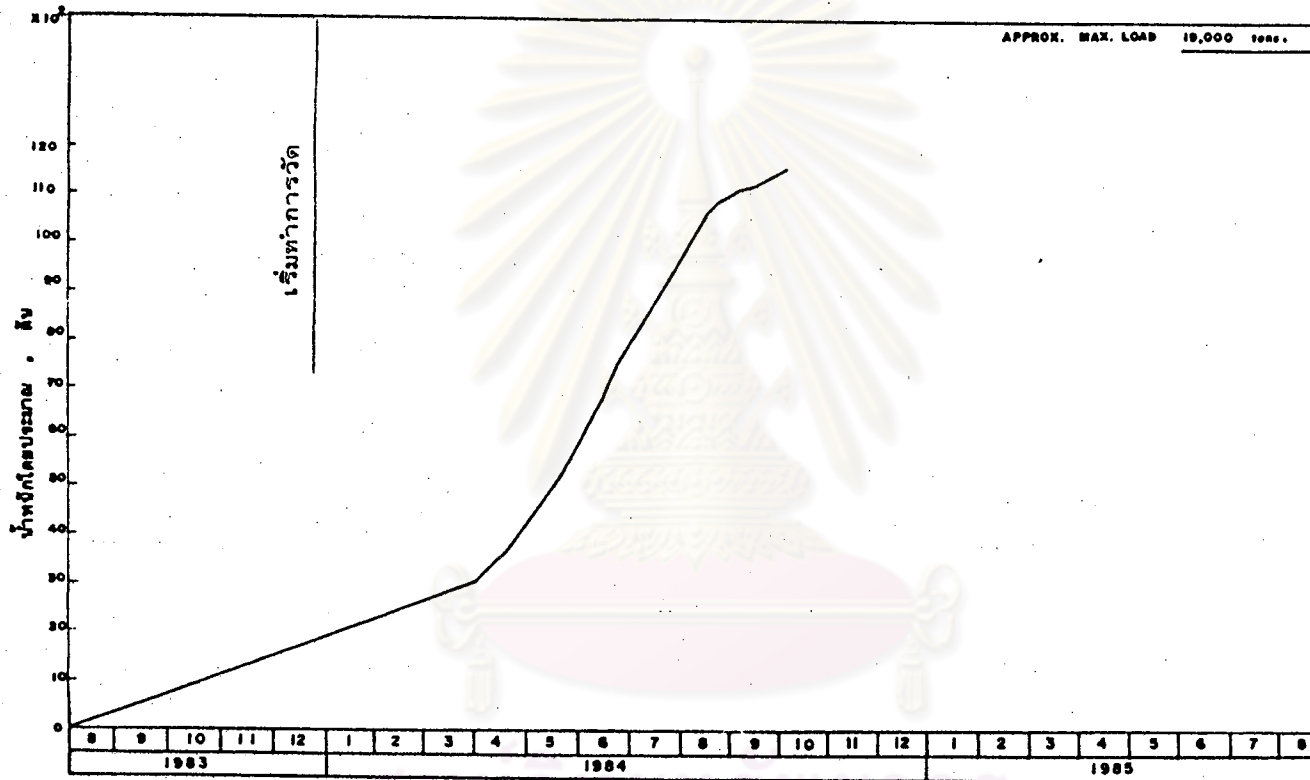
เริ่มวัดเมื่อทำการก่อสร้างไปแล้ว ประมาณ 5 เดือน

จุดที่ วันที่	จุดที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20/12/82	0	0	0	0	0	-	-	-	-
1/04/83	7.0	6.0	5.0	3.0	5.0	-	-	-	-
8/04/83	7.5	8.5	4.5	6.0	8.0	-	-	-	-
15/04/83	7.5	7.0	4.5	4.5	7.0	-	-	-	-
22/04/83	7.0	6.0	5.0	4.0	6.5	-	-	-	-
29/04/83	8.0	8.0	5.0	4.0	7.0	-	-	-	-
6/05/83	8.0	8.0	5.0	4.0	8.0	0	0	0	0
13/05/83	8.0	8.0	6.0	5.0	8.0	0	0.5	1.0	0
20/05/83	9.0	9.0	8.0	7.0	9.0	1.0	2.0	2.0	1.0
26/05/83	12.0	12.0	8.0	10.0	12.0	3.0	3.0	3.0	3.0
3/06/83	13.0	13.0	8.0	10.0	13.0	3.0	3.0	4.0	3.0
10/06/83	14.0	14.0	9.0	10.0	15.0	5.0	5.0	5.0	5.0
17/06/83	16.0	15.0	11.0	13.0	17.0	6.0	6.0	6.0	6.0
24/06/83	16.0	15.0	11.0	15.0	17.0	6.0	6.0	6.0	6.0
4/07/83	19.0	20.0	16.0	18.0	20.0	-	-	-	-
8/07/83	19.0	20.0	16.0	18.0	20.0	8.0	9.0	9.0	8.0
15/07/83	20.0	20.0	17.0	18.0	21.0	9.0	10.0	9.0	9.0
22/07/83	22.0	23.0	17.0	20.0	22.0	11.0	11.0	11.0	10.0

ตารางที่ 4.25 (ต่อ)

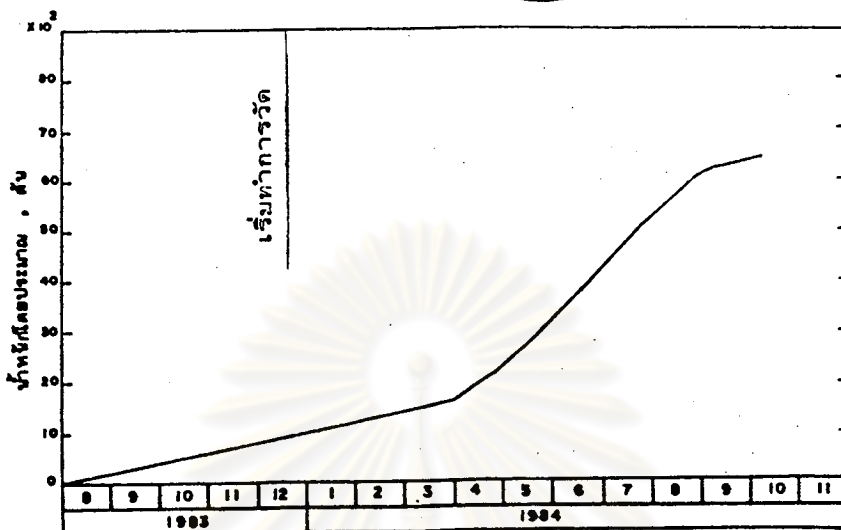
วันที่	จุดที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
29/07/83	22.0	23.0	18.0	21.0	23.0	11.0	11.0	11.0	10.0
5/08/83	22.0	23.0	18.0	21.0	23.0	11.0	11.0	11.0	10.0
12/08/83	24.0	24.0	19.0	21.0	24.0	12.0	12.0	11.0	11.0
19/08/83	28.0	27.0	19.0	21.0	29.0	14.0	17.0	13.0	12.0
26/08/83	28.0	27.0	23.0	27.0	30.0	16.0	17.0	14.0	13.0
2/09/83	29.0	28.0	23.0	28.0	31.0	16.0	17.0	15.0	14.0
9/09/83	30.0	29.0	24.0	30.0	32.0	17.0	18.0	16.0	15.0
16/09/83	31.0	30.0	26.0	30.0	33.0	18.0	18.0	17.0	16.0
23/09/83	31.0	30.0	26.0	31.0	34.0	18.0	18.0	17.0	16.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

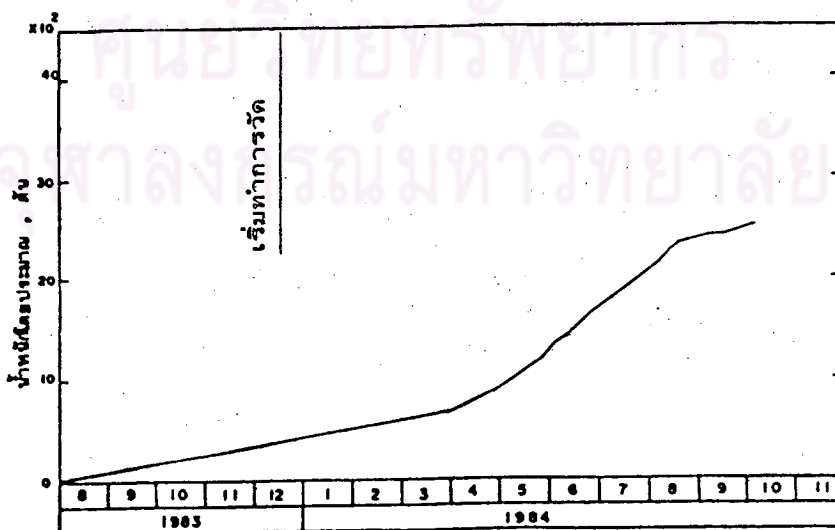


รูปที่ 4.37 คำนํ้าหนักทั้งหมดที่กระทำกับเวลา

อาคารทาวเวอร์ C



รูปที่ 4.38 คำน้หนักที่กระถางนส่วนที่ 1 กับเวลา
อาคารทาวเวอร์ C



รูปที่ 4.39 คำน้หนักที่กระถางนส่วนที่ 2 และ 3 กับเวลา
อาคารทาวเวอร์ C

ตาราง 4.26 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Terzaghi อาคารทาวเวอร์ C

แบบที่	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2		ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 3		ค่าการทรุดตัวรวม	
	$\frac{1}{mV}$	ρ_c	$\frac{1}{mV}$	ρ_c	มม.	
	ตัน/ตร.ม.	มม.	ตัน/ตร.ม.	มม.	ρ_c	$\rho_c + \rho_s$
1	2006	52.7	2427*	23.4	76.1	117.2
2	1700	62.2	2427*	23.4	85.6	126.7
3	1838	57.5	2427*	23.4	80.9	122.0

* ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้จากสมการ $\frac{1}{mV} = 78N - 1629$ Witoon(1984)

แบบที่ 1 ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้จากสมการของ Witoon (1984)

แบบที่ 3 ค่า $\frac{1}{mV}$ ได้จาก Tasneenart (1984)

ρ_s คือการทรุดตัวเนื่องจากทราย

Tomlinson :

พิจารณาให้ฐานรากสมมุติ อยู่ที่ระดับความลึก 29.0 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางดิ่งที่เพิ่มขึ้น เฉลี่ยเท่ากับ 36.1 ดันต่อตารางเมตร

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่ได้จากการพิจารณาสภาพชั้นดินทั้ง 2 ลักษณะ โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.27

ก) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Poulos และ Davis การคำนวณกลับจากผลการทดสอบ เสาค้ำได้ค่าโมดูลัสของดินรอบเสาค้ำ (E_s) เท่ากับ 2900 ดันต่อตารางเมตร ค่า K เท่ากับ 640 และค่า E_b/E_s (ของดินโดยเฉลี่ย) เท่ากับ 4

การจัดกลุ่มเสาค้ำของอาคาร พิจารณาให้เป็นเสาค้ำกลุ่มใหญ่ กลุ่มเดียว แบบ mat ค่า d_c ที่ใช้เท่ากับ 22.0 เมตร

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่จุด 2 , 3 , 5 , 6 และ 8 ได้แสดงไว้ในตารางที่ A-5 และเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณและการวัดจริง ในรูป 4.40 , ตารางที่ 4.28 แสดงสัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคาร เนื่องจากดินแต่ละชั้น

4.3.5 การวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารทาวเวอร์ R

1) ลักษณะทั่วไปของอาคาร

อาคารทาวเวอร์ R เป็นอาคารสำนักงานสูง 20 ชั้น ตั้งอยู่ริมถนนราชดำริคองกลาง ตัวอาคารสูงมีพื้นที่ประมาณ 1500 ตารางเมตรต่อชั้น มีห้องใต้ดินเพียงบางส่วน บริเวณหลังของอาคารใช้สำหรับทิ้งขยะ เริ่มทำการก่อสร้างตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2526 และส่วนของโครงสร้างเสร็จในเดือนธันวาคม 2527

2) ลักษณะของโครงสร้าง

ตัวอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 38 เมตร ยาว 41 เมตร โครงสร้างที่รับน้ำหนักของอาคารประกอบด้วย Shear wall อยู่ทางด้านหลังของอาคาร และเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนที่เหลือ ระยะระหว่างช่วงเสาค้ำเท่ากับ 8.25 เมตร พื้นเป็นคอนกรีตอัดแรงแบบ Flat slab แผนผังของตัวอาคารได้แสดงในรูป 4.41

3) ลักษณะของฐานราก

ใช้ฐานรากแบบเสาค้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Tomlinson อาคารทาวเวอร์ C

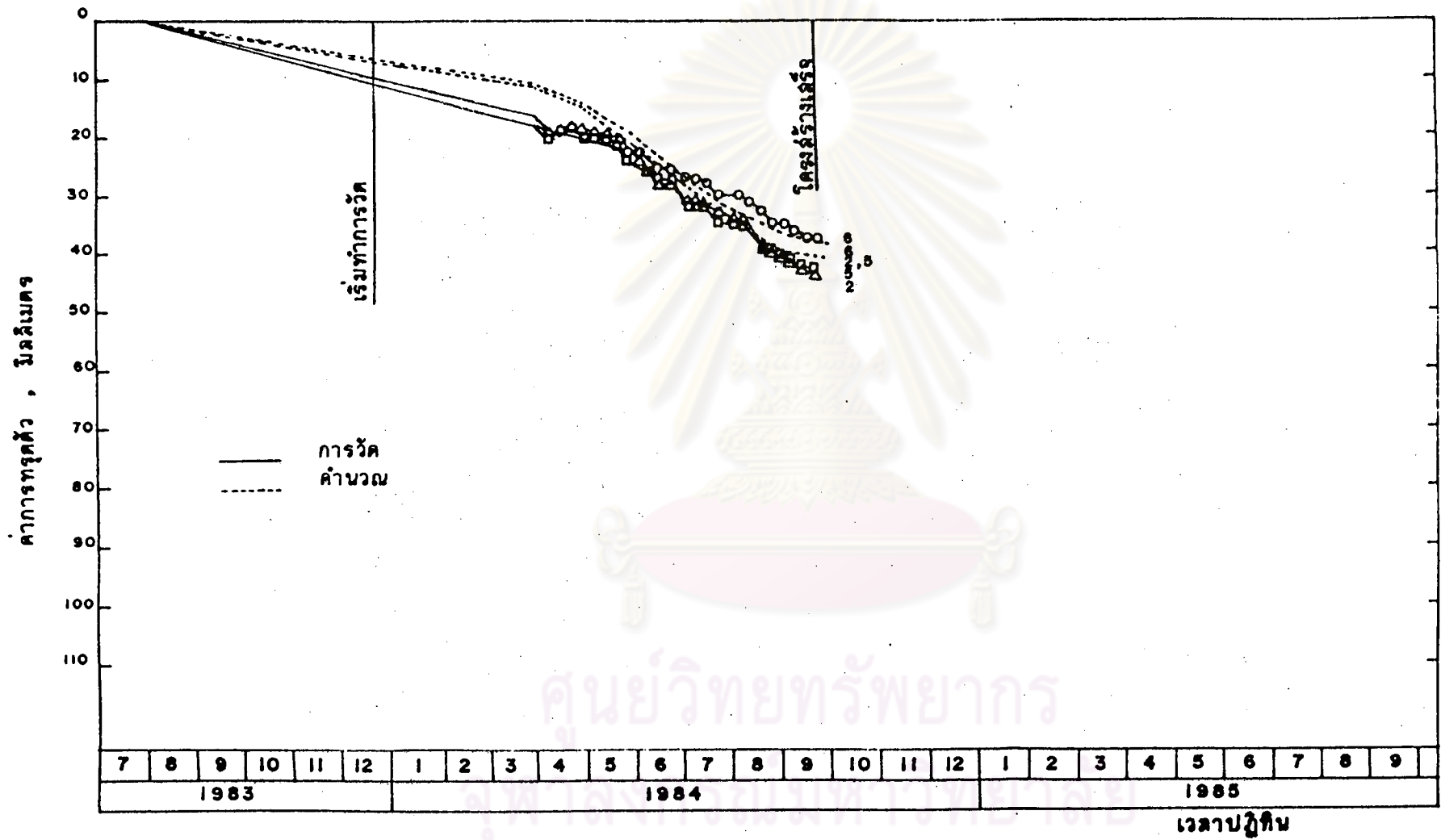
แบบ	ค่าการทรุดตัว ทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) มม.			ค่าการทรุดตัว แบบอัดตัวคายน้ำ (ρ_C) มม.			ค่าการทรุดตัวรวม (ρ_F) มม.		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	73.4	69.4	74.9	31.5	48.8	0	104.9	118.2	74.9
2	78.2	70.9	76.2	35.5	49.8	0	113.7	120.7	76.2
3	75.8	70.2	75.6	33.5	49.4	0	109.3	119.6	75.6

แบบที่ 1/MV ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 1/MV ได้จากสมการของ Witoon (1984)

แบบที่ 1/MV ได้จาก Tasneenart (1984)

- (1) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ ตามความเป็นจริง
- (2) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานราก เป็นชั้นดินเหนียว เจลลี่ เพียงชั้นเดียว
- (3) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานราก เป็นชั้นดินที่มีการระบายน้ำดี เจลลี่เพียงชั้นเดียว
(ใช้โมดูลัสยืดหยุ่น แบบที่มีการระบายน้ำ)



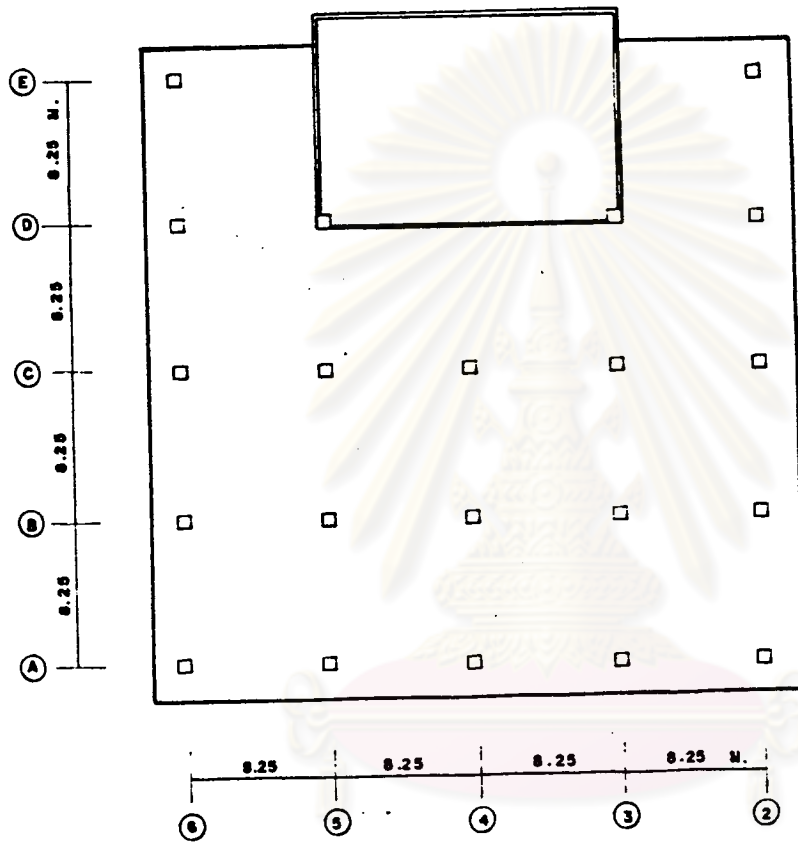
รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่วัดได้กับที่คำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis

อาคารทาวเวอร์ C

ตารางที่ 4.28 สัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคารที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos อาคารทาวเวอร์ C

การทรุดตัว เนื่องจากดินในชั้น	ค่าการทรุดตัวสุดท้าย, ρ F								ช่วง %
	จุด 2		จุด 3, 8		จุด 5		จุด 6		
	มม.	%	มม.	%	มม.	%	มม.	%	
Founding	32.0	45.3	32.0	46.6	32.0	44.7	32.0	48.6	44.7-48.6
Underlying									
- ทราย	14.2	20.1	14.2	20.7	10.7	14.9	13.0	19.7	14.9-20.7
- ดินเหนียว	24.5	34.6	22.4	32.7	28.9	40.4	20.9	31.7	31.7-40.4
ค่าการทรุดตัวรวม	70.7	100.0	68.6	100.0	71.6	100.0	65.9	100.0	100-100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 รูปที่ 4.41 แผนผังของอาคาร
 อาคารทาวเวอร์ R

- ใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงแบบดอก หน้าตัด I-0.40 ยาวประมาณ 25 เมตร จำนวนประมาณ 560 ต้น โดยที่ครึ่งหนึ่งของเสาเข็มนี้ เป็นเสาเข็มเก่าของอาคารเดิมที่ถูกรื้อถอนออกไป แผนผังรูปแบบการจัดเสาเข็ม แสดงไว้ในรูป 4.42

- ปลายเสาเข็มยังอยู่ในชั้นทรายแน่นที่ระดับความลึกประมาณ 25.5 เมตร จากระดับผิวดิน

- หัวเสาเข็มถูกยึดด้วยคาน เกร็งและพื้นชั้นล่างของอาคาร

4) ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรม

ก) ข้อมูลสภาพชั้นดิน

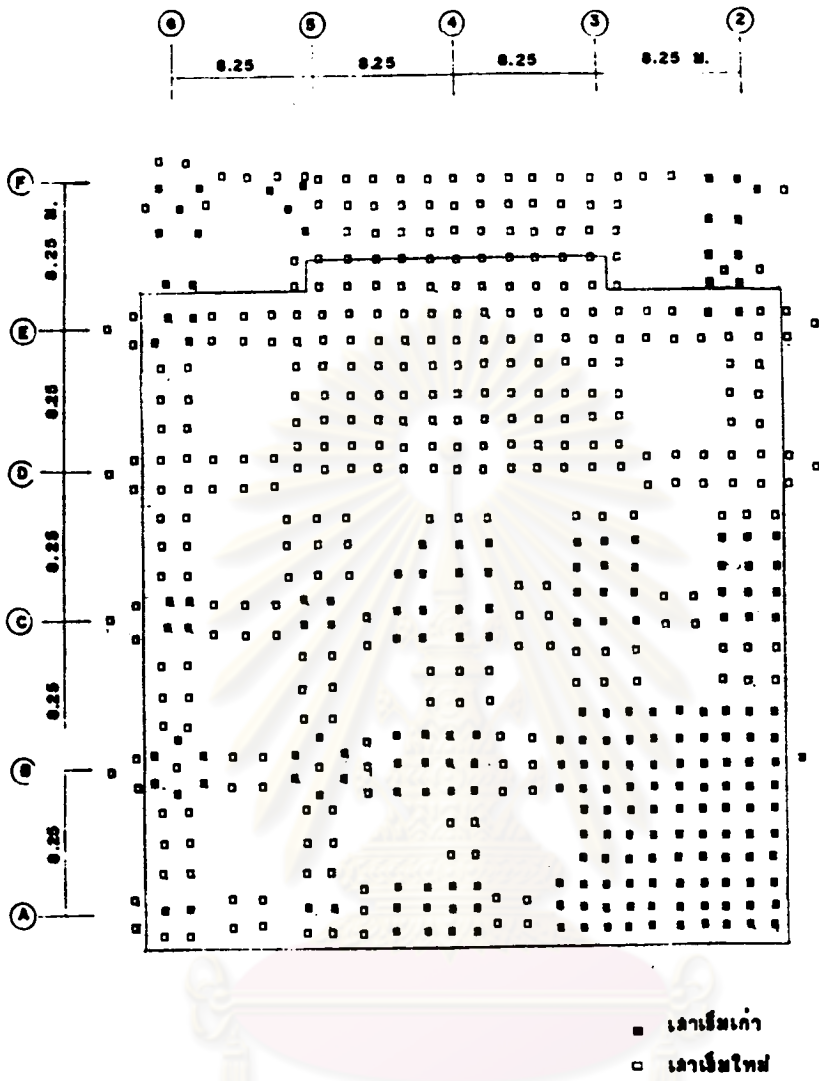
ข้อมูลสภาพชั้นดินของอาคารนี้ ทราบได้จากข้อมูลการเจาะสำรวจดินของอาคาร 4 แห่ง บริเวณถนนราชดำริคือ โครงการอัมรินทร์พลาซ่า โครงการเพนนินซูล่าพลาซ่า โครงการราชดำริแมนชั่น และโครงการสีลมเทรดเซนเตอร์ ซึ่งอยู่ล้อมรอบอาคารทาวเวอร์ R และพบว่าสภาพชั้นดินของอาคารทั้ง 4 แห่งไม่แตกต่างกันนัก จึงใช้สภาพชั้นดินเฉลี่ยดังรูป 4.43 ในการหาสภาพชั้นดินบริเวณอาคารทาวเวอร์ R (สภาพชั้นดินของอาคารทั้ง 4 แห่งได้แสดงไว้ในรูป A-1 ถึง 4 ในภาคผนวก) ส่วนลักษณะสภาพชั้นดินเฉลี่ยและคุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินได้ปลายเสาเข็ม ได้แสดงในตารางที่ 4.29 และ 4.30 ตามลำดับ

ข) ข้อมูลการทดสอบ เสาเข็ม

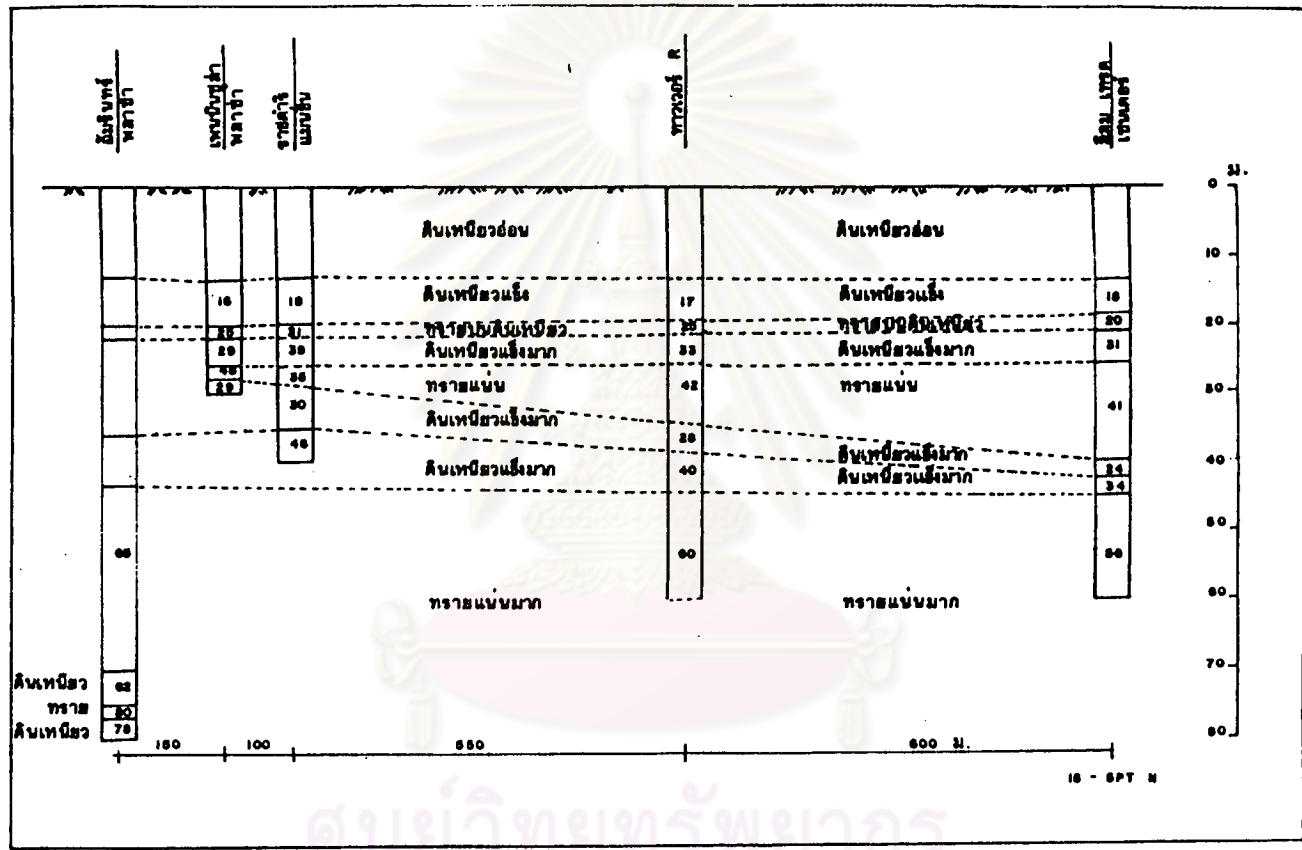
การทดสอบเสาเข็มกระทำตามมาตรฐาน Building Laws of The City of New York คือการทดสอบการรับน้ำหนักถึง 2 เท่าของน้ำหนักใช้งานเท่ากับ 2×70 ตันต่อต้น ผลการทดสอบแสดงเป็นกราฟน้ำหนัก และการทรุดตัวดังรูป 4.44

5) ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวของอาคาร

การวัดค่าการทรุดตัว เริ่มกระทำเมื่อเดือนเมษายน 2527 ซึ่งขณะนั้นอาคารได้ก่อสร้างไปแล้วประมาณ 8 ชั้น จุดที่ทำการวัดคือ ที่เสาชั้นล่างของอาคารเกือบทุกต้น โดยทำเป็นอนุกรมเรียงจากฝั่งไว้ในคอนกรีต การวัดทำด้วยวิธี Levelling เทียบระดับกับหมุดอ้างอิงซึ่งตั้งอยู่นอกตัวอาคาร และยังสามารถตรวจสอบการทรุดตัวของหมุดอ้างอิงกับหมุดมาตรฐานเพื่อปรับแก้ด้วย ค่าการทรุดตัวที่วัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.31 และการปรับแก้ค่าการทรุดตัว เนื่องจากการวัดล่าช้า ใช้วิธีคือเป็น เส้นตรงออกไปยังจุดเริ่มต้น ดังได้กล่าวแล้ว



รูปที่ 4.42 แผนผังรูปแบบการจัดเสาเข็ม
อาคารทาวเวอร์ R
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 รูปที่ 4.43 สภาพชั้นดินเฉลี่ย
 อาคารทาวเวอร์ R

ตารางที่ 4.29 ลักษณะสภาพชั้นดินโดยเฉลี่ย อาคารทาวเวอร์ R ครอบคลุม

จากข้อมูลดินของโครงการใกล้เคียง

ความลึก, เมตร	ชนิดของดิน	ค่า N เฉลี่ย	หมายเหตุ
0-13.5	ดินเหนียวอ่อน	-	ดินเหนียวอ่อน
13.5-19.0	ดินเหนียวแข็ง	17	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
19.0-21.5	ทรายปนดินเหนียว	25	ชั้นทรายบาง ๆ แทรก
21.5-25.5	ดินเหนียวแข็งมาก	33	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
25.5-34.5	ทรายแน่น	41	ทรายแน่นชั้นที่ 1
34.5-39.0	ดินเหนียวแข็งมาก	28	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
39.0-44.5	ดินเหนียวแข็งมาก	40	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
44.5-70.0	ทรายแน่นมาก	60	ทรายแน่นชั้นที่ 2
70.0-75.0	ดินเหนียวแข็งมาก	62	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.30 คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินใต้ปลายเสาเข็ม อาคารทาวเวอร์ R
สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัว

ชั้นที่	ความลึก, ม.	$\frac{1}{mV}$ ตัน/ตร.ม.	E_u (3) ตัน/ตร.ม.	E'_s (4) ตัน/ตร.ม.	วิธีการหาค่า $1/mV$
1	25.5-34.5	(7634) 3817	-	(5672) 2836	() แนะนำ (2) $\frac{1}{mV} = 988+69N$ (1)
2	34.5-39.0	1654	2042	1566	$\frac{1}{mV} = 359.93+46.21N$ (1)
3	39.0-44.5	2208	2727	2091	$\frac{1}{mV} = 359.93+46.21N$ (1)
4	44.5-70.0	6110	-	4540	$\frac{1}{mV} = 3230+48N$ (1)
5	70.0-75.0	3207	3961	3037	$\frac{1}{mV} = 78N-1629$ (1)

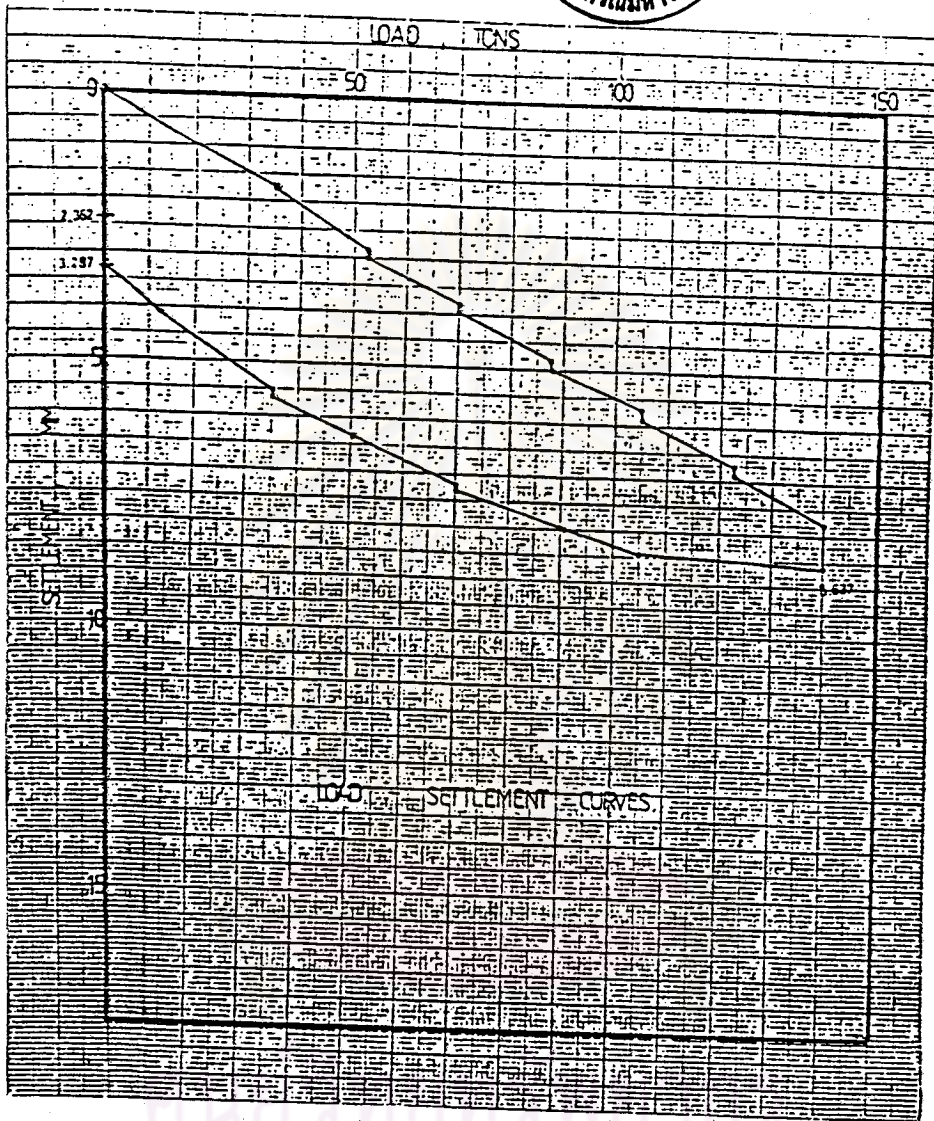
(1) สมการของ Witoon (1984) โดยใช้ค่า N จากตารางที่ 4.24

(2) มีรากฐานมาจากผลงานของ Philcox(1962)

(3) $E_u = 1.235/mV$

(4) $E'_s = 0.767/E_u$ สำหรับดินเหนียว

$E'_s = 0.743/mV$ สำหรับทราย



รูปที่ 4.44 ผลการทดสอบเสาเข็ม บริเวณก่อสร้าง
อาคารทาวเวอร์ R

ตารางที่ 4.31 ค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัด อาคารทาวเวอร์ R

เริ่มวัดเมื่อทำการก่อสร้างไปแล้ว ประมาณ 8 เดือน

วันที่	จุดที่	1A	4A	6A	7A	1B	7B	1C	6C	5D	6D	7D
	8/04/84		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/06/84		2.8	-	5.2	2.2	-	2.4	4.7	6.6	5.6	6.4	2.9
28/07/84		7.2	18.9	13.8	6.0	7.8	7.0	9.0	17.7	19.6	16.6	5.3
30/09/84		15.4	33.9	28.2	12.0	16.8	13.3	18.2	32.6	37.8	30.8	11.5
30/11/84		20.0	46.9	44.7	21.9	22.9	18.4	23.8	44.6	52.0	42.7	16.6
30/12/84		-	55.6	42.4	18.3	-	20.1	26.9	50.1	58.9	47.6	19.1
25/1/85		27.0	59.2	45.1	19.9	-	22.0	28.2	52.9	62.5	50.7	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6) ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำกับเวลา

น้ำหนักที่กระทำบนอาคารประมาณจากปริมาณคอนกรีตเสริม เหล็กที่ทำได้จริงในโครงสร้างอาคาร พร้อมกับตรวจสอบกับปริมาณคอนกรีตรวมที่ใช้ และหลังจากที่โครงสร้างเสร็จแล้ว คำนำน้หนักบรรทุกจร ที่เพิ่มขึ้นจากการออกแบบประมาณ 0.2 ดันต่อตารางเมตร คำนำน้หนักที่กระทำกับเวลา ได้แสดงเป็นกราฟในรูป 4.45

7) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร

ก) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Terzaghi

จากลักษณะของฐานราก พิจารณาให้ฐานรากเป็น Mat foundation ขนาด 38 x 41 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางดึงที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 25.0 ดันต่อตารางเมตร

จากสภาพชั้นดิน ชั้นดินเหนียวได้ปลายเสาเข็มที่พิจารณาคือ ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 โดยที่ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 สามารถแบ่งออกได้เป็นชั้นย่อย 2 ชั้น ความหนาของชั้นดินเหนียวที่พิจารณาเท่ากับ 4.5 , 5.5 และ 5.0 เมตร ตามลำดับ โดยใช้ค่า $\bar{\sigma}_{vo}$ จากสมการ (4.4)

ผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.32

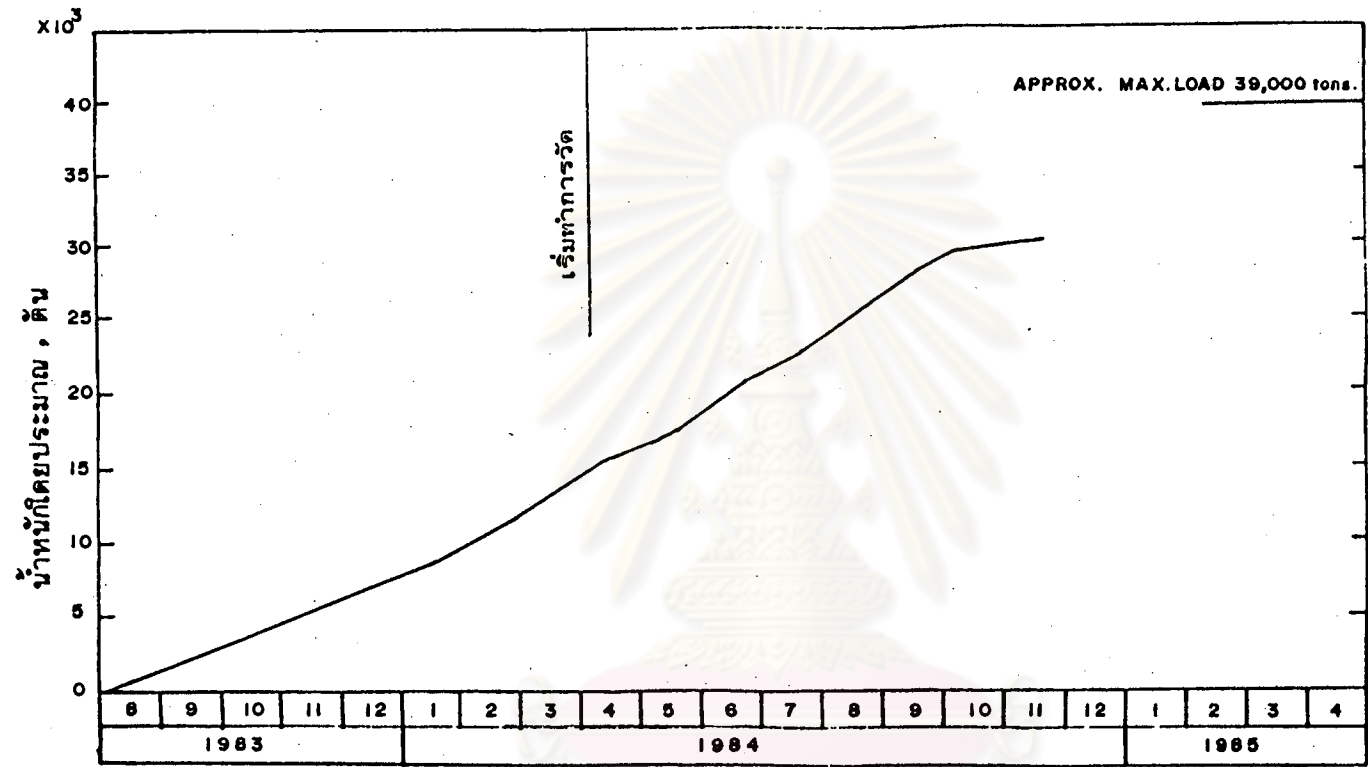
ข) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารโดยวิธี Convention ของ Tomlinson

พิจารณาให้ฐานรากสมมูลย์ อยู่ที่ระดับความลึก 25.5 เมตร และมีค่าหน่วยแรงเค้นทางดึงที่เพิ่มขึ้น เฉลี่ยเท่ากับ 25 ดันต่อตารางเมตร

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่ได้จากการพิจารณาสภาพชั้นดินทั้ง 2 ลักษณะ โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.33

ค) การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคาร โดยวิธี ของ Poulos และ Davis

การคำนวณกลับจากผลการทดสอบเสาเข็ม ได้ค่าโมดูลัสสะสมของดินรอบเสาเข็ม (E_s) เท่ากับ 1600 ดันต่อตารางเมตร ค่า K เท่ากับ 1150 และค่า E_b/E_s เท่ากับ 4



รูปที่ 4.45 คำน้้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับเวลา

อาคารทาวเวอร์ R

ศูนย์วิศวกรรมโยธา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.32 เปรียบเทียบการคำนวณค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Terzaghi อาคารทาวเวอร์ R

แบบที่	ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2		ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2		ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 3		ค่าการทรุดตัวรวม, มม.	
	$\frac{1}{mV}$ ชั้น/ตร.ม.	ρ_C มม.	$\frac{1}{mV}$ ชั้น/ตร.ม.	ρ_C มม.	$\frac{1}{mV}$ ชั้น/ตร.ม.	ρ_C มม.	ρ_C	$\rho_C + \rho_S$
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1654	41.3	2208	31.4	3207*	8.1	80.0	135.9
3	2064	33.1	2081	33.3	3207*	8.1	74.5	130.4

หมายเหตุ แบบที่ 1 $\frac{1}{mV}$ จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 $\frac{1}{mV}$ ได้มาจากสมการ $\frac{1}{mV} = 359.93 + 46.21N$ (Witoon, 1984)

แบบที่ 3 $\frac{1}{mV}$ ได้มาจาก Tasneenart (1984)

* ได้มาจาก $\frac{1}{mV} = 78 - 1629$ (Witoon, 1984)

ρ_S คือ การทรุดตัวเนื่องจากทราย

ตารางที่ 4.33 เปรียบเทียบค่านวค่าการทรุดตัวโดยวิธี Convention ของ Tomlinson อาคารทาวเวอร์ R

แบบ	ค่าการทรุดตัว ทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) มม.			ค่าการทรุดตัว แบบอัดตัวคายน้ำ (ρ_c) มม.			ค่าการทรุดตัว (ρ_f) มม.		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	94.8	90.3	95.0	38.9	64.8	0	133.7	155.1	95.0
3	91.8	89.7	94.5	35.8	64.3	0	127.6	154.0	94.5

แบบที่ 1 1/mv ได้จากผลการทดลอง

แบบที่ 2 1/mv ได้จากสมการของ Witoon (1984)

แบบที่ 3 1/mv ได้จาก Tasneenart (1984)

(1) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ ตามความเป็นจริง

(2) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียวเฉลี่ยเพียงชั้นเดียว

(3) พิจารณาสภาพดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินที่มีการระบายน้ำดี เฉลี่ยเพียงชั้นเดียว

(ใช้โมดูลัสยืดหยุ่น แบบที่มีการระบายน้ำ)

การจัด: กลุ่ม เส้าเข็ม พิจารณาให้เป็นกลุ่มใหญ่แบบ mat เพียง
กลุ่มเดียว ค่า dc ที่ใช้เท่ากับ 38.0 เมตร

ผลการคำนวณค่าการทรุดตัวที่จุดต่าง ๆ ในอาคาร (4A , 5D ,
6C , 6D) ได้แสดงไว้ในตารางที่ A-6 และ เขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้
จากการคำนวณและการวัดจริง ในรูป 4.46 ส่วนตารางที่ 4.34 แสดงสัดส่วนค่าการทรุดตัว
ของอาคาร เนื่องจากดินแต่ละชั้น

4.4 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

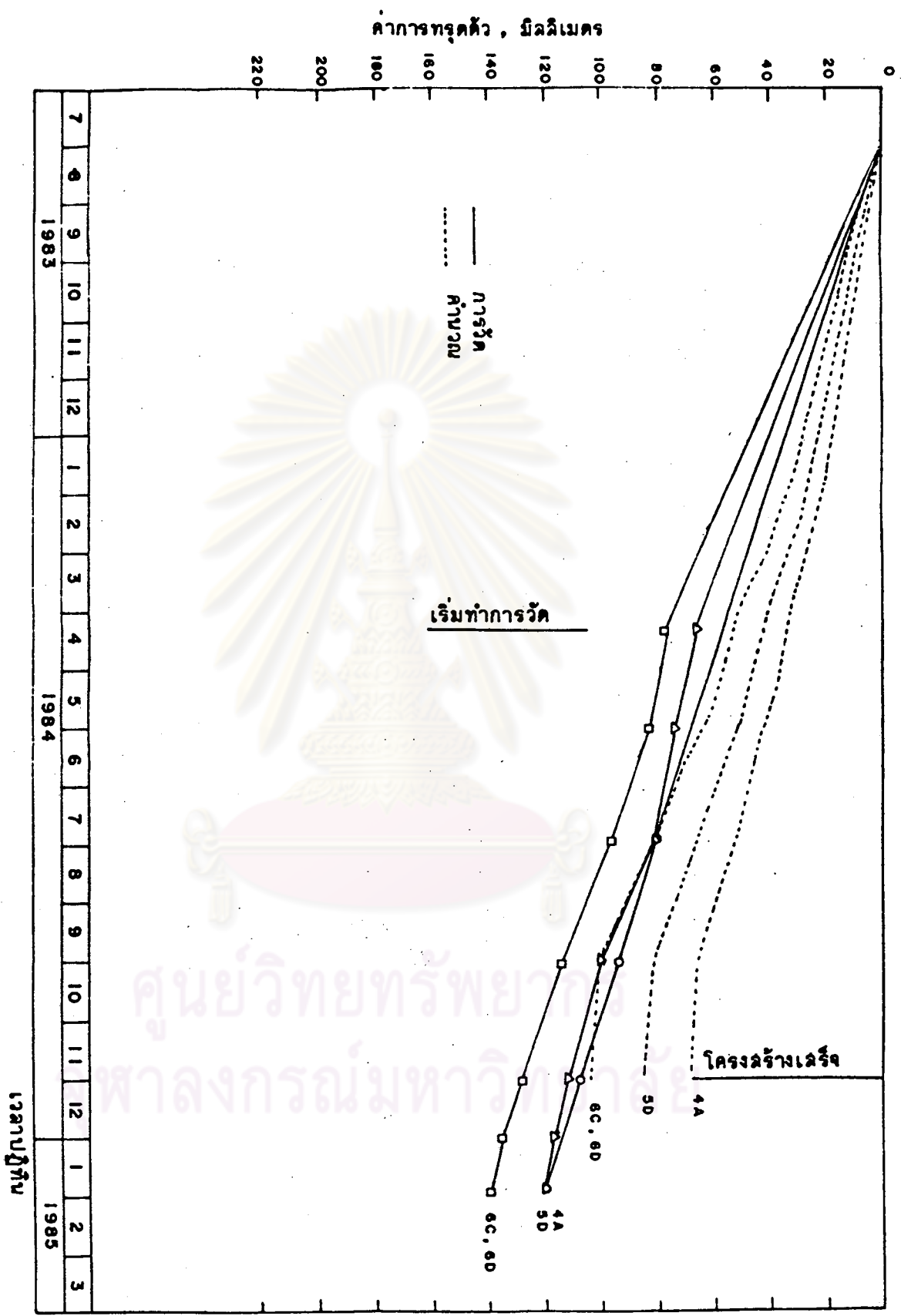
ผลการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวในอาคารแต่ละแห่งมีดังต่อไปนี้ คือ

1) อาคาร ธนาคาร กรุงเทพ จำกัด สำนักงานใหญ่

ผลการคำนวณโดยวิธี Convention ของ Terzaghi โดยใช้คุณสมบัติใน
การยุบ อัดตัว แบบที่ 1 , 2 และ 3 (ดังได้กล่าวแล้ว) ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเฉลี่ย
(ρ_F) เท่ากับ 220.1 , 276.0 และ 231.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเท่ากับ 339.6 ,
395.5 และ 351.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อรวมการทรุดตัวของทรายด้วย ขณะที่วิธี
Convention ของ Tomlinson ได้ค่าเท่ากับ 273.5 , 325.5 และ 289.6 มิลลิเมตร
ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ , ได้ค่าเท่ากับ 329.6 , 347.8
และ 338.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียว ละเอียด
เพียงชั้นเดียว และได้ค่าเท่ากับ 204.5 , 213.7 และ 210.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อ
พิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเฉลี่ยที่มีการระบายน้ำดี เพียงชั้นเดียว ส่วนผลการ
คำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย (ρ_F) เท่ากับ 138.5 -
194.6 มิลลิเมตร (พิจารณาลายจุดในอาคาร) เมื่อพิจารณาให้ฐานรากของอาคารมี
ลักษณะเป็นแบบ mat ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ เมื่ออาคารก่อสร้างเสร็จแล้ว เป็นเวลาประมาณ
7 เดือน เท่ากับ 131 - 156 มิลลิเมตร (ปรับแก้เนื่องจากการวัดล่าช้าแล้ว)

ค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_{\perp}) เมื่ออาคารก่อสร้างเสร็จ ที่ได้จาก
การคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis เท่ากับ 121 - 164 มิลลิเมตร ขณะที่ค่าการ
ทรุดตัวจากการวัด (ρ_{\perp}) เท่ากับ 121 - 146 มิลลิเมตร

สัดส่วนค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis
(พิจารณาฐานรากของอาคารเป็นแบบ mat) ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เนื่องจากดินและเส้า
เข็มในชั้น Founding , ในชั้นทราย และในชั้นดินเหนียว เท่ากับ 12 - 17% , 34 - 36%



รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่วัดได้กับที่คำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis

อาคารทาวเวอร์ R

ตารางที่ 4.34 สัดส่วนค่าการทรุดตัวของอาคารที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos อาคารทาวเวอร์ R

การทรุดตัว เนื่องจากดินในชั้น	ค่าการทรุดตัวสุดท้าย, s_F						ช่วง %
	จุด 5D		จุด 6C, 6D		จุด 4A		
	มม.	%	มม.	%	มม.	%	
Founding	41.3	30.1	41.3	37.0	41.3	46.6	30.0-46.6
Underlying							
- ทราย	49.2	35.8	31.5	28.2	23.9	26.9	26.9-35.8
- ดินเหนียว	46.9	34.1	38.9	34.8	23.5	26.5	26.5-34.8
ค่าการทรุดตัวรวม	137.4	100.0	117.7	100.0	88.7	100.0	100-100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



และ 47 - 53% ตามลำดับ

2) อาคาร ธนาคารแห่งประเทศไทย

ผลการคำนวณโดยวิธี Convention ของ Terzaghi โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัว แบบที่ 1 , 2 และ 3 ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเฉลี่ย (ρ_F) เท่ากับ 13.2 , 12.9 และ 20.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเท่ากับ 50.1 , 50.4 และ 57.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อรวมการทรุดตัวของทรายด้วย ขณะที่วิธี Convention ของ Tomlinson ได้ค่าเท่ากับ 52.8 , 52.5 และ 61.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากเป็นชั้น ๆ , ได้ค่าเท่ากับ 70.8 , 70.6 และ 72.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียว ละเอียดเพียงชั้นเดียว และได้ค่าเท่ากับ 40.3 , 40.2 และ 41.1 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากเป็นชั้นดินเฉลี่ยที่มีการระบายน้ำดี เพียงชั้นเดียว ส่วนผลการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis เมื่อพิจารณาฐานรากของอาคารเป็นแบบ mat ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย (ρ_F) เท่ากับ 39.2 - 34.7 มิลลิเมตร ขณะที่ค่าการทรุดตัวที่วัดได้เมื่ออาคารก่อสร้างเสร็จแล้วเป็นเวลาประมาณ 2 ปีครึ่ง เท่ากับ 49 มิลลิเมตร (ที่จุด 19)

ค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) เมื่อก่อสร้างเสร็จ ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis (พิจารณาฐานรากเป็นแบบ mat) ได้ค่าเท่ากับ 25 - 30 มิลลิเมตร ขณะที่ค่าการทรุดตัวจากการวัด (ρ_i) เท่ากับ 25 - 34 มิลลิเมตร (ปรับแก้แล้ว)

สัดส่วนค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เนื่องจากดินและเสาเข็มในชั้น Founding , ในชั้นทราย และในชั้นดินเหนียว เท่ากับ 50 - 61% , 27 - 36% และ 12 - 14% ตามลำดับ

3) อาคารทาวเวอร์ A และ B

ผลการคำนวณโดยวิธี Convention ของ Terzaghi โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวแบบที่ 1 , 2 และ 3 ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเฉลี่ย (ρ_F) ในทาวเวอร์ A เท่ากับ 149.9 , 201.9 และ 196.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อรวมการทรุดตัวของทราย ได้เท่ากับ 244.7 , 296.7 และ 291.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนในทาวเวอร์ B ได้เท่ากับ 146.2 , 197.0 และ 191.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อรวมการทรุดตัวของทรายได้ค่าเท่ากับ 238.4 , 289.2 และ 283.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขณะที่วิธี Convention ของ Tomlinson ได้ค่าเท่ากับ 216.5 , 264.0 และ 258.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณา

สภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๗ , เท่ากับ 189.2 , 242.8 และ 237.9 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียวเจือปนเพียงชั้นเดียว และเท่ากับ 126.5 , 158.6 และ 155.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเจือปนที่มีการระบายน้ำดีเพียงชั้นเดียว สำหรับทาวเวอร์ A, ส่วนในทาวเวอร์ B ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เท่ากับ 211.2 , 257.5 และ 252.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๗ , เท่ากับ 184.5 , 236.7 และ 232.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียวเจือปนเพียงชั้นเดียว และเท่ากับ 123.3 , 154.6 และ 151.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเจือปนที่มีการระบายน้ำดีเพียงชั้นเดียว ส่วนผลการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย (ρ_F) เท่ากับ 87.9 - 104.7 มิลลิเมตร และ 85.6 - 101.9 มิลลิเมตร ในทาวเวอร์ A และ B ตามลำดับ เมื่อพิจารณาฐานรากของอาคารเป็นแบบ mat ค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัดเป็นค่าที่วัดเมื่ออาคารก่อสร้างเสร็จมีค่าเท่ากับ 84 - 96 มิลลิเมตร (ปรับแก้แล้ว) ในทาวเวอร์ A และเท่ากับ 83 - 91 มิลลิเมตร ในทาวเวอร์ B

ค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) เมื่อก่อสร้างเสร็จ จากผลการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้เท่ากับ 67 - 80 และ 66 - 79 มิลลิเมตร ในทาวเวอร์ A และ B ตามลำดับ (พิจารณาฐานรากของอาคารเป็นแบบ mat)

สัดส่วนค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เนื่องจากดินและเสาเข็มในชั้น Founding . ในชั้นทราย และชั้นดินเหนียว เท่ากับ 15 - 18% , 12 - 20% และ 64 - 71% ตามลำดับ ทั้งในทาวเวอร์ A และ B

4) อาคารทาวเวอร์ C

ผลการคำนวณโดยวิธี Convention ของ Terzaghi โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัว แบบที่ 1 , 2 และ 3 (ดังได้กล่าวแล้ว) ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย (ρ_F) เท่ากับ 76.1 , 85.6 และ 80.9 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเท่ากับ 117.2 , 126.7 และ 122.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อรวมการทรุดตัวของทรายด้วย ขณะที่วิธี Convention ของ Tomlinson ได้ค่าเท่ากับ 104.9 , 113.7 และ 109.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๗ , เท่ากับ 118.2 , 120.7 และ 119.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียวเจือปนเพียงชั้นเดียว และเท่ากับ 74.9 , -

76.2 และ 75.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเฉื่อยที่มีการระบายน้ำดีเพียงชั้นเดียว ส่วนผลการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis เมื่อพิจารณาฐานรากของอาคารเป็นแบบ mat ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย (ρ_F) เท่ากับ 65.0 - 71.6 มิลลิเมตร ขณะที่ค่าการทรุดตัวที่วัดได้เมื่อโครงสร้างเสร็จ (น้ำหนักบรรทุกตายตัวยังไม่เต็มที่) มีค่าเท่ากับ 37 - 44 มิลลิเมตร (ปรับแก้แล้ว) ซึ่งจากการคำนวณค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก (ρ_i) เมื่อโครงสร้างเสร็จ โดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้เท่ากับ 38 - 40 มิลลิเมตร

สัดส่วนค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เนื่องจากดินและเสาเข็มในชั้น Founding . ในชั้นทราย และในชั้นดินเหนียว เท่ากับ 44 - 49% , 14 - 21% และ 31 - 40% ตามลำดับ

5) อาคารทาวเวอร์ R

ผลการคำนวณโดยวิธี Convention ของ Terzaghi โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัว แบบที่ 2 และ 3 (แบบที่ 1 ไม่มีข้อมูล) ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายเฉลี่ย (ρ_F) เท่ากับ 80.8 และ 74.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเท่ากับ 135.9 และ 130.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อรวมการทรุดตัวของทรายด้วย ขณะที่วิธี Convention ของ Tomlinson ได้ค่าเท่ากับ 133.7 และ 127.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ , เท่ากับ 155.1 และ 154.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดิน ใต้ฐานรากเป็นดินเหนียวเฉื่อยเพียงชั้นเดียว และเท่ากับ 95.0 และ 94.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเฉื่อยที่มีการระบายน้ำดีเพียงชั้นเดียว ส่วนผลการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis เมื่อพิจารณาให้ฐานรากของอาคารเป็นแบบ mat ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย (ρ_F) เท่ากับ 88.7 - 137.4 มิลลิเมตร ขณะที่ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ (ปรับแก้แล้ว) เมื่อโครงสร้างเสร็จ มีค่าเท่ากับ 108 - 128 มิลลิเมตรซึ่งจากการคำนวณค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก เมื่อโครงสร้างเสร็จ โดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้ค่าเท่ากับ 68.1 - 103.5 มิลลิเมตร

สัดส่วนค่าการทรุดตัวที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Poulos และ Davis ได้ค่าการทรุดตัวสุดท้าย เนื่องจากดินและเสาเข็มในชั้น Founding . ในชั้นทราย และในชั้นดินเหนียวเท่ากับ 30 - 47% , 26 - 36% และ 26 - 35% ตามลำดับ

รายละเอียดในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารทั้ง 6 หลัง ได้แสดงรวมไว้ในตารางที่ 4.35 และเมื่อนำค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก เมื่อก่อสร้างเสร็จ (ไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจร) ที่ได้จากการวัด (ปรับแก้แล้ว) และค่าการทรุดตัวสุดท้าย (ประมาณต่อจากค่าที่ได้จากการวัด) ในอาคารทั้ง 6 หลัง มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ทาง Empirical กับหน่วยแรงเค้นทางตั้ง (q) ดังรูป 4.47 กับหน่วยแรงเค้นทางตั้ง (q) และความกว้างของอาคาร (B) ดังรูป 4.48 กับหน่วยแรงเค้นทางตั้ง , ความกว้างของอาคารและความยาวของเสาเข็ม (L) ดังรูป 4.49 และกับหน่วยแรงเค้นทางตั้ง , ความกว้างของอาคารและความยาวของเสาเข็มที่ฝังอยู่ในชั้นดินแข็ง (L^*) ดังรูป 4.50 และหาความสัมพันธ์แบบสหสัมพันธ์และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ในรูปแบบต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้ลากเส้นเฉลี่ยผ่านจุดศูนย์ (หาค่า r ไม่ได้) ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงเพื่อเปรียบเทียบด้วย ดังแสดงในแต่ละรูป

4.4.2 พฤติกรรมการทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

พฤติกรรมการทรุดตัวของอาคารสูงสามารถดูได้จาก การทรุดตัวที่ได้จากการวัด ณ จุดต่าง ๆ ในอาคาร ดังรูป 4.9 , 4.17 , 4.31 , 4.32 , 4.40 และ 4.46 พบว่าในช่วงแรกอัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจะค่อนข้างช้าและจะเริ่มสูงขึ้น เมื่อน้ำหนักที่กระทำมีค่าเกินกว่า 30% ของน้ำหนักทั้งหมดและจะลดลงถ้าอัตราการเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกตายตัวลดลง เมื่ออาคารใช้งานแล้วอัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะช้าลงเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตาม อัตราการทรุดตัวของอาคารจะขึ้นกับอัตราการเพิ่มขึ้น และการกระจายของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นขณะก่อสร้างด้วย

ในอาคารที่ได้มีการวัดค่าการทรุดตัวทั่วบริเวณอาคาร พบว่าการทรุดตัวจะมีค่ามากที่สุดบริเวณแกนกลางของอาคารและมีค่าน้อยกว่าที่บริเวณขอบของอาคาร โดยมีลักษณะการทรุดตัวเว้าลงคล้ายแอ่งดิน ๆ ดังแสดงในรูป 4.51 ซึ่งเป็นลักษณะการทรุดตัวของอาคารโดยทั่วไปและยังไม่พบว่ามีอาคารใดเกิดความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวจนไม่สามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้

จากการเปรียบเทียบการประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธีของ Poulos และ Davis กับที่ได้จากการวัด จะเห็นได้ว่าวิธีของ Poulos และ Davis พอที่จะบอกพฤติกรรมการทรุดตัวของอาคารขณะก่อสร้าง ที่จุดต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงพอประมาณ (เมื่อพิจารณาฐานรากของอาคารเป็นแบบ mat) โดยที่อัตราการทรุดตัวที่คำนวณได้ จะสูงเกินไปเล็กน้อยในช่วงแรก และต่ำเกินไปเล็กน้อยในช่วงหลัง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติในการยุบอัดตัวเพียงค่าเดียวในการคำนวณ ซึ่งในความเป็นจริง คุณสมบัตินี้จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ตารางที่ 4.35 รายละเอียดการประมาณค่าการหลุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

รายละเอียด	อาคาร- กรุงเทพฯ	อาคารแห่ง ประเทศไทย	ทาวเวอร์ A	ทาวเวอร์ B	ทาวเวอร์ C	ทาวเวอร์ R
ลักษณะอาคาร	สำนักงาน	สำนักงาน	พักอาศัย	พักอาศัย	สำนักงาน	สำนักงาน
จำนวนชั้น	32	8	31	31	26	20
รูปร่างอาคาร	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	8 เหลี่ยม	8 เหลี่ยม	8 เหลี่ยม	สี่เหลี่ยมผืนผ้า
ขนาด, เมตร	25×84	24×72	37×37	37×37	22×30	38×41
ลักษณะฐานราก	Footing มี	Mat	Footing มี	Footing มี	Combined	Mat
ชั้นห้องใต้ดิน	คานยึด 1	1	คานยึด 1	คานยึด 1	footings 1	บางส่วน
ชนิดเสา เข็ม	คอนกรีตแบบ-	คอนกรีตแบบดอก	คอนกรีตแบบ-	คอนกรีตแบบ-	คอนกรีตแบบ-	คอนกรีตแบบดอก
	เจาะ		เจาะ	เจาะ	ดอก	
ขนาดเสา เข็ม,	0.8×2.2	0.45×0.45	(1) ϕ 1.20	ϕ 1.20	I-40	I-40
เมตร			(2) ϕ 1.50	ϕ 1.50		
ระดับปลายเสา	- 30	- 26	- 32	- 32	- 29	- 25.5
เข็ม, เมตร						
ระดับหัวเสา เข็ม	-5	-5	-5	-5	-4	0
, เมตร						

รายละเอียด	ธนาคาร- กรุงเทพฯ	ธนาคารแห่ง- ประเทศไทย	ทาวเวอร์ A	ทาวเวอร์ B	ทาวเวอร์ C	ทาวเวอร์ R
ความยาวเสา- เข็มเฉลี่ย, ม.	25	21	27	27	25	25.5
จำนวนเสา- เข็ม, ต้น	293	396	69	69	280	562
E_s เสาเข็ม, ตัน/ตร.ม.	10500	4450	(1) 9360 (2) 11400	9360 11400	2900	1600
E_p เสาเข็ม, ตัน/ตร.ม.	2.4×10^6	2.4×10^6	2.4×10^6	2.4×10^8	2.4×10^6	2.4×10^6
K	230	530	(1) 256 (2) 210	256 210	640	1150
$\frac{E_b}{E_s}$ โดยประ- มาณ	5	5	3	3	4	4
ประเภทของ- เสาเข็ม	End-Bearing	End-Bearing	End-Bearing	End-Bearing	End-Bearing	End-Bearing
ลักษณะดิน ที่ปลายเข็ม	ทรายแน่น ชั้นที่ 1	ทรายแน่น ชั้นที่ 1	ทรายแน่น ชั้นที่ 1	ทรายแน่น ชั้นที่ 1	ทรายแน่น ชั้นที่ 1	ทรายแน่น ชั้นที่ 1

ตารางที่ 4.35 (ต่อ)

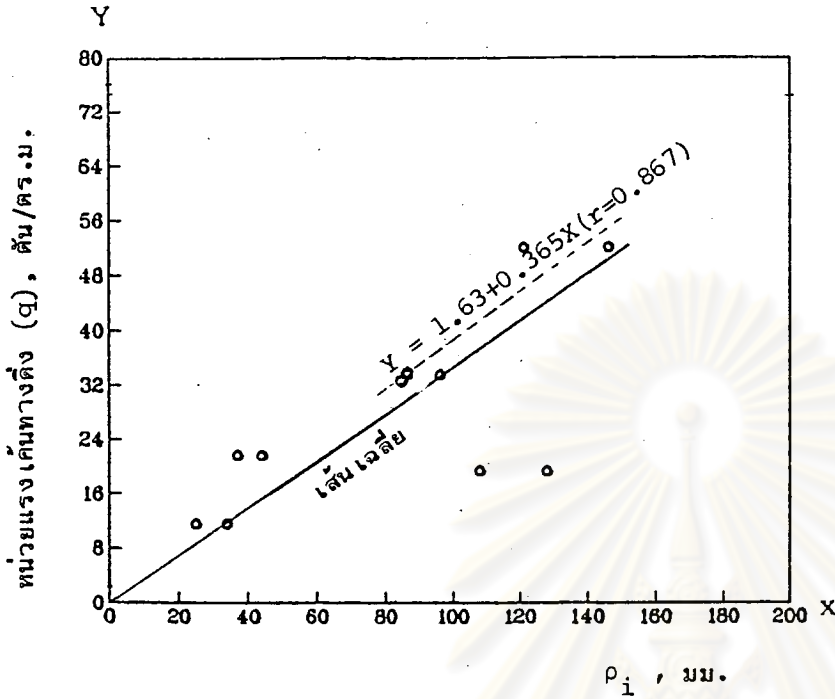
รายละเอียด	ธนาคาร- กรุงเทพฯ	ธนาคารแห่ง- ประเทศไทย	ทาวเวอร์ A	ทาวเวอร์ B	ทาวเวอร์ C	ทาวเวอร์ R
น้ำหนักที่กระทำ ทั้งหมดโดยประ- มาณ, คัน	117300	26000	40000	39000	19000	39000
หน่วยแรงรวม ทางตั้ง โดยประมาณ คัน/ตร.ม.	55.4	15.0	38.3	37.4	36.1	25.0
ความหนาของ- ชั้นดินเหนียว- ใต้ฐานราก, ม.	20	4.5	21	21	15.5	15
ความหนาของ- ชั้นทรายใต้ฐาน ราก, ม.	30	41	14	14	17	34.5

ตาราง 4.35 (ต่อ)

รายละเอียด	ธนาคาร- กรุงเทพฯ	ธนาคารแห่ง ประเทศไทย	ทาวเวอร์ A	ทาวเวอร์ B	ทาวเวอร์ C	ทาวเวอร์ R
d_c เม.	25.2	24.0	36.6	36.6	22.0	38.0
* ρ_i ที่วัดได้, มม.	121-146	25-34	84-96	83-91	37-44	108-128
* ρ_F ที่วัดได้ โดยประมาณ มม.	146-179	49	102-114	101-109	66-72	137-167

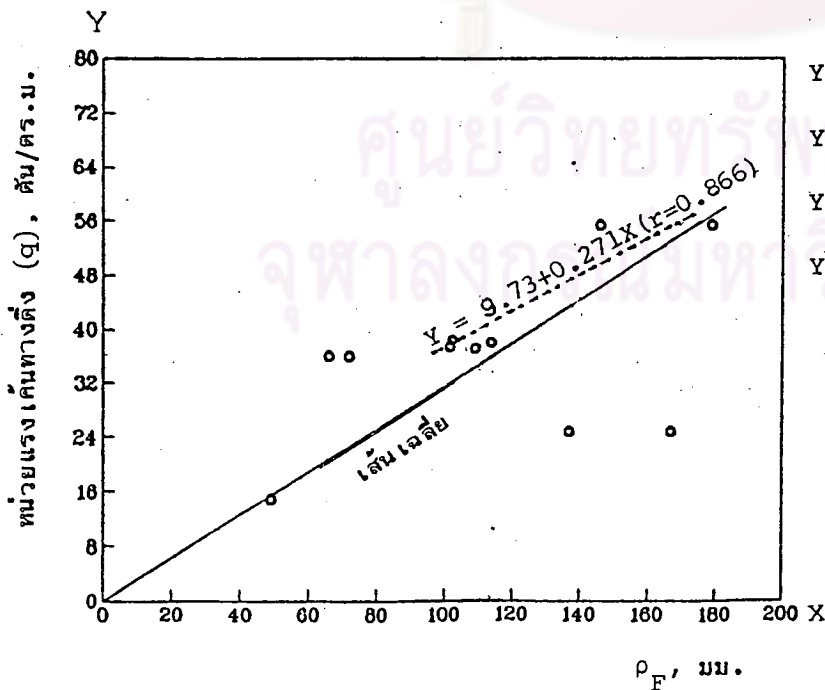
หมายเหตุ

* ปรับแก้ เนื่องจากการวัดล่าช้าแล้ว



$Y = 8.647 + 0.238X \quad (r=0.498)$
 $Y = 1.677 X^{0.636} \quad (r=0.564)$
 $Y = X / (0.016 + 1.718X) \quad (r=0.658)$
 $Y = 7.648 + 0.27X - 0.0002X^2 \quad (r=0.498)$

(a)

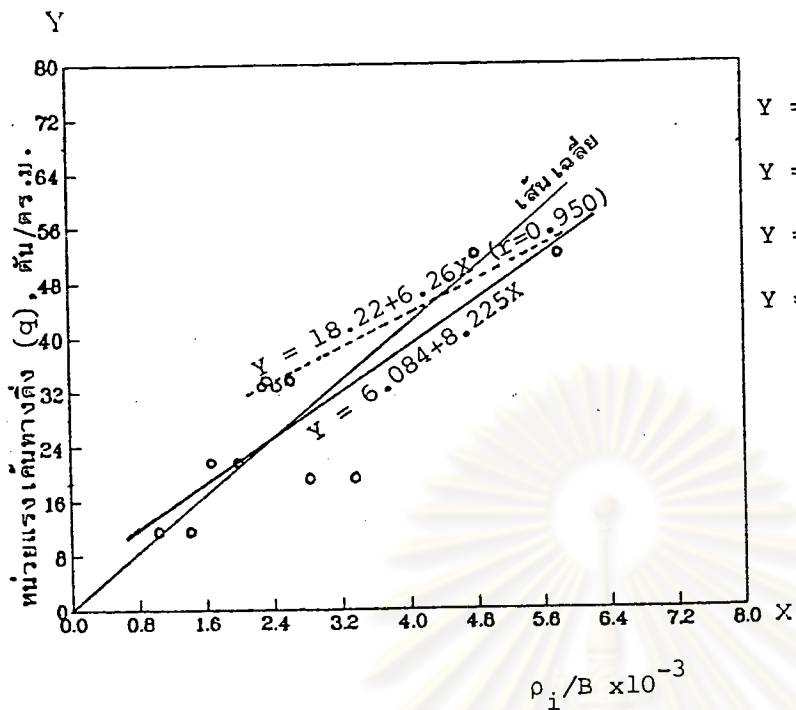


$Y = 20.87 + 0.137X \quad (r=0.222)$
 $Y = 3.73X^{0.477} \quad (r=0.266)$
 $Y = X / (0.0117 + 1.905X) \quad (r=0.395)$
 $Y = 7.183 + 0.408X - 0.0012X^2 \quad (r=0.247)$

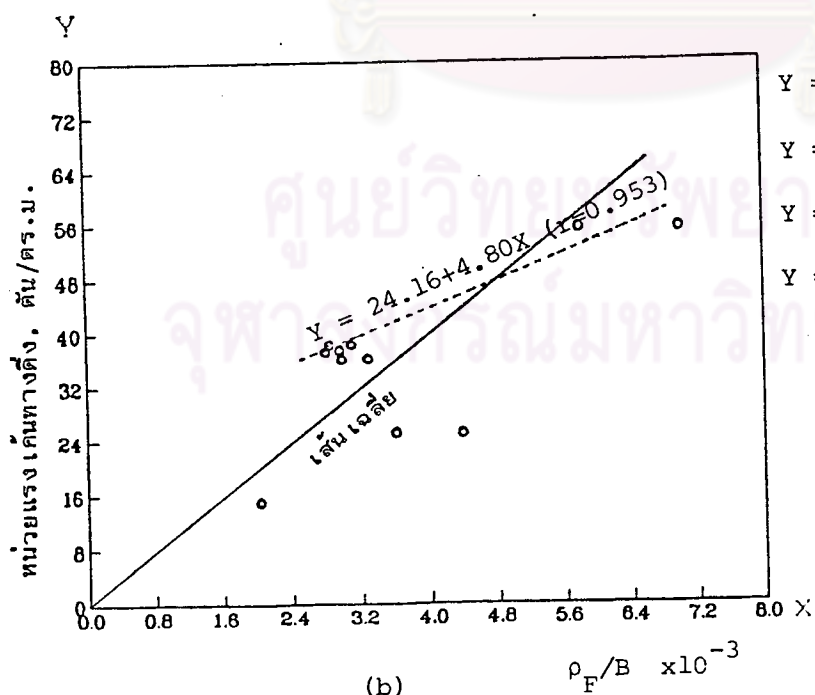
----- เส้นเฉลี่ย

(b)

รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวของวัดได้กับหน่วยแรงเค้นทางตั้ง

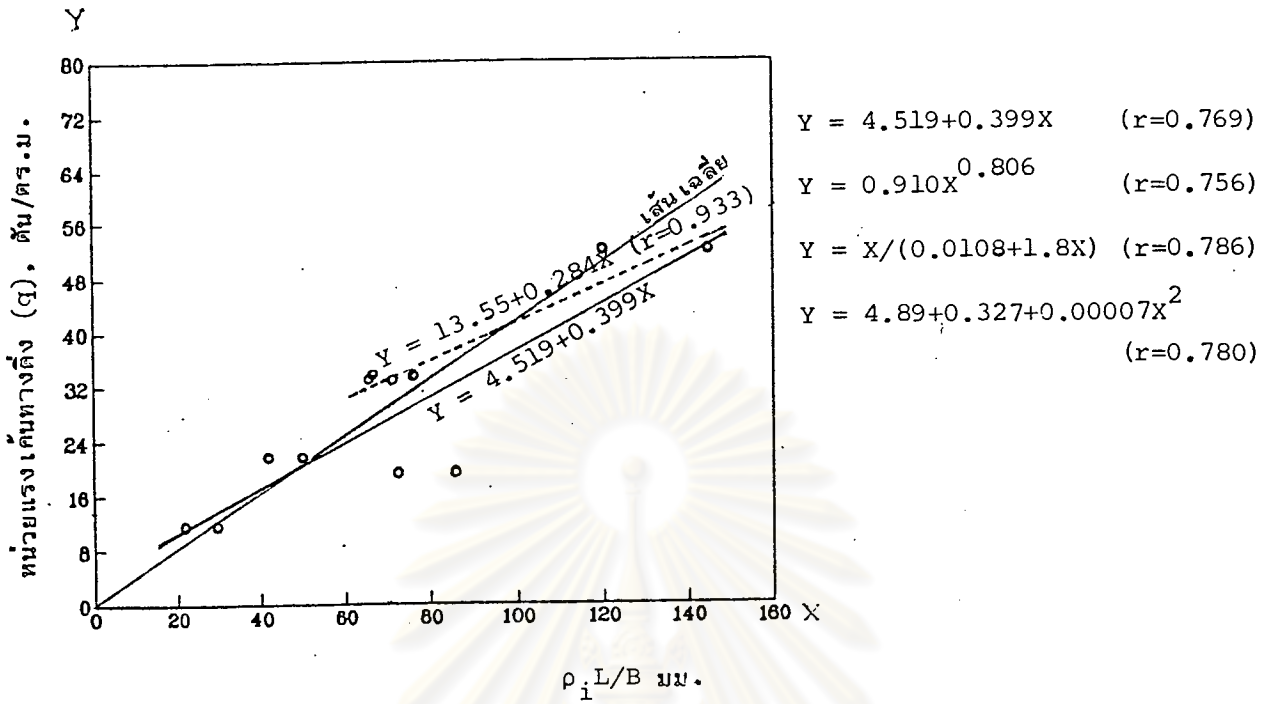


(a)

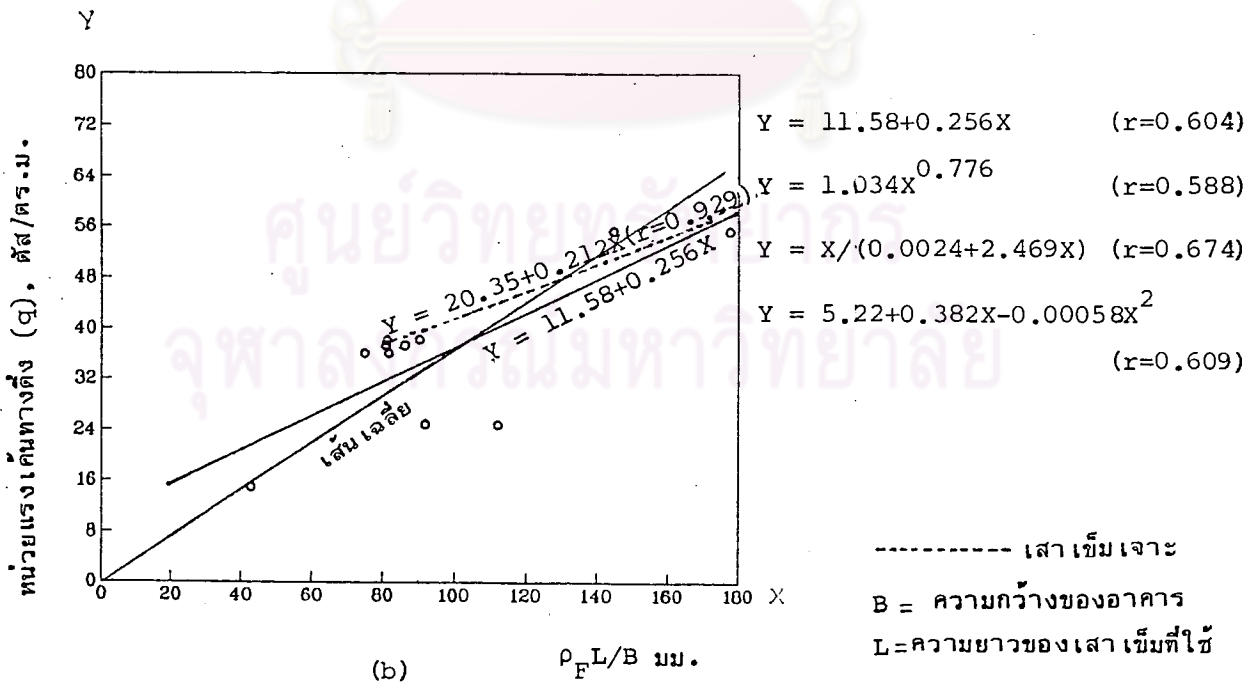


(b)

รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวที่วัดได้กับหน่วยแรงเค้นทางดึง และความกว้างของอาคาร

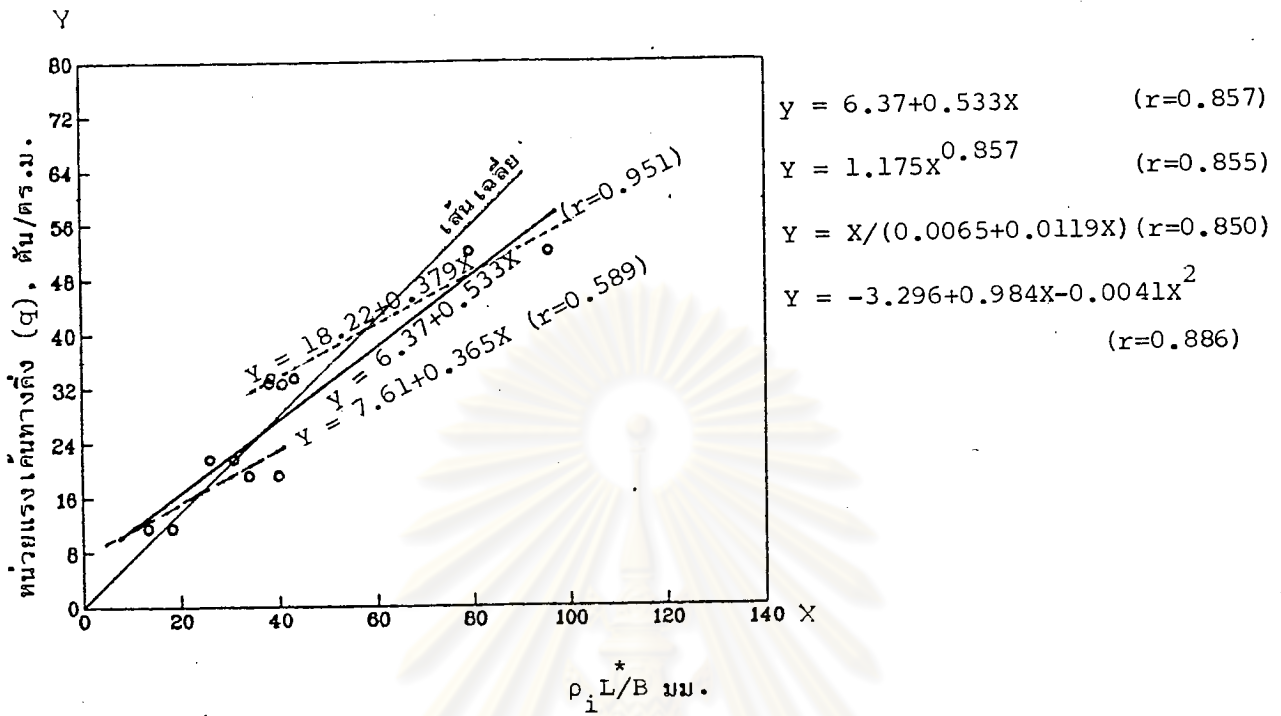


(a)

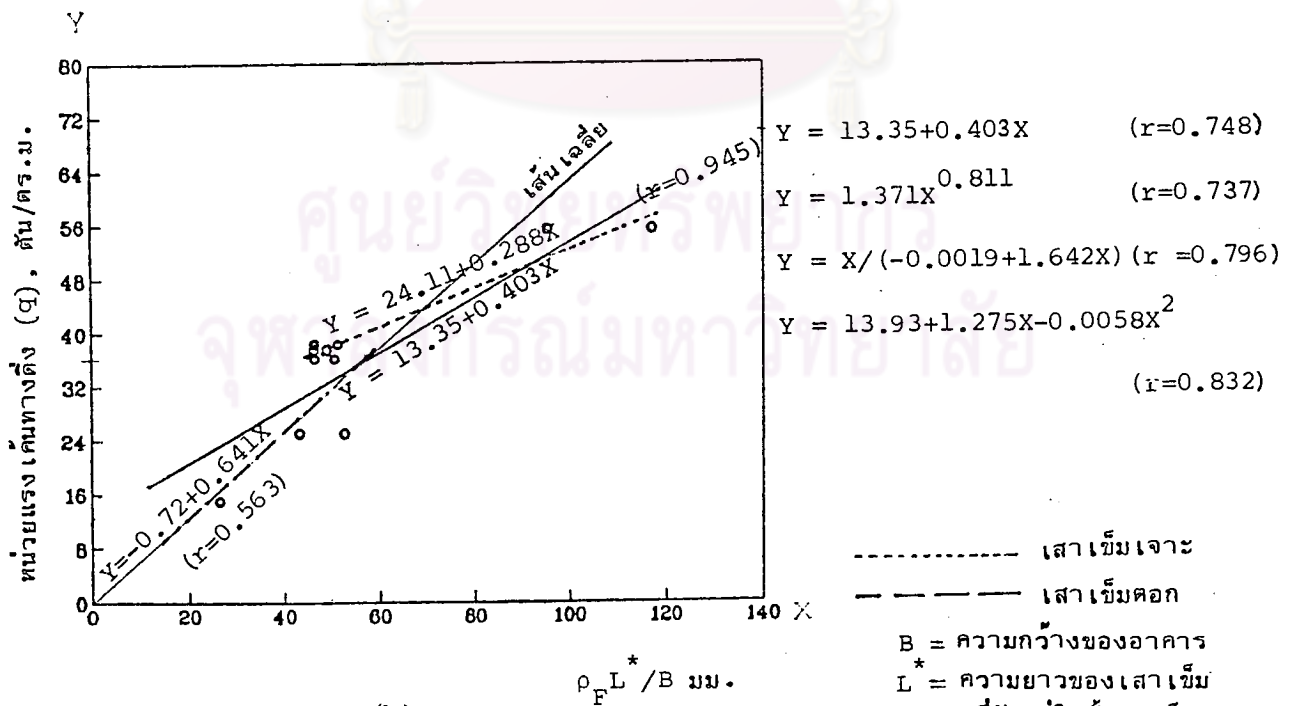


(b)

รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวที่วัดได้กับหน่วยแรงเค้นทางดิ่ง ความกว้างของอาคารและความยาวของเสาค้ำเข็มที่ใช้



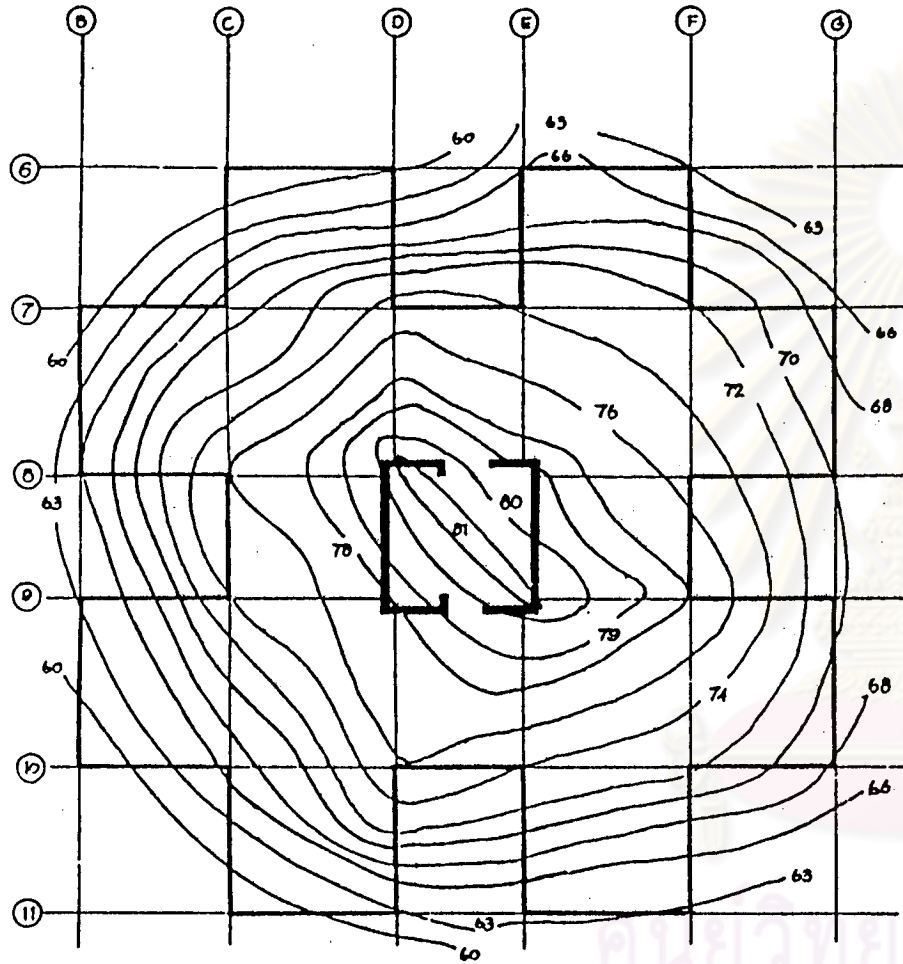
(a)



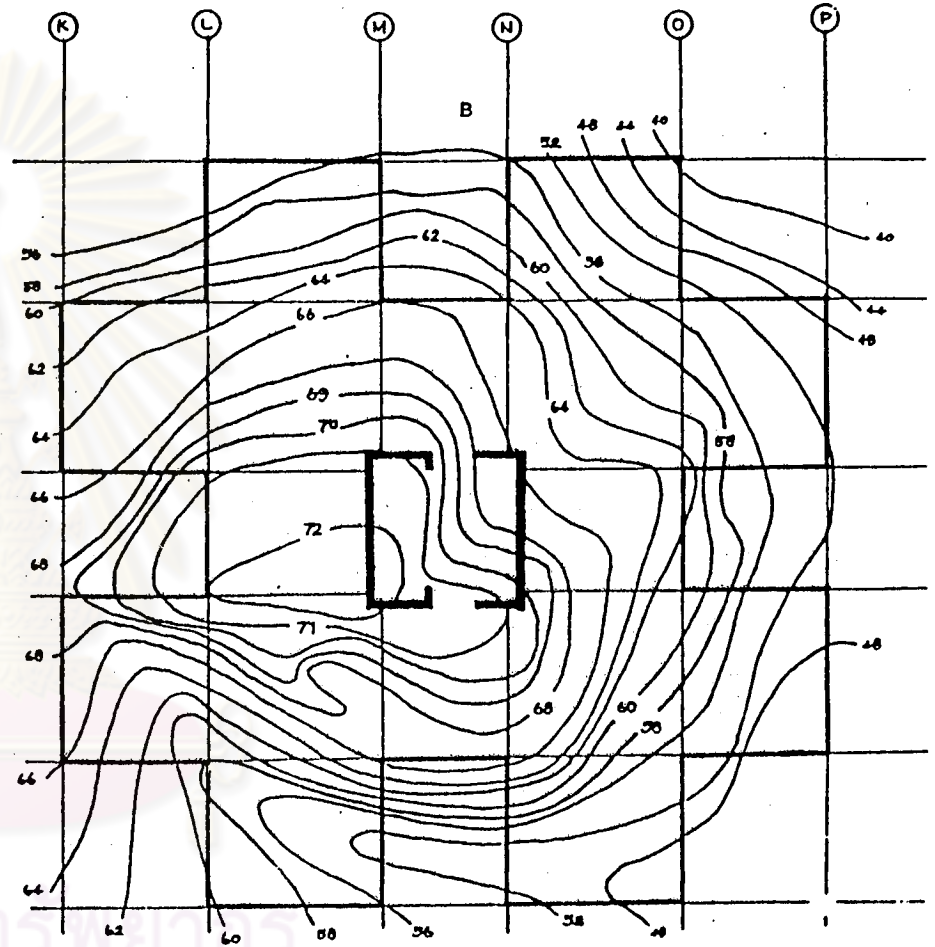
(b)

รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวที่วัดได้กับหน่วยแรงเค้นทางตั้ง ความกว้างของอาคารและความยาวของเสาค้ำเข็มที่ฝังอยู่ในชั้นดินแข็ง

อาคารทาวเวอร์ A



อาคารทาวเวอร์ B



ทำการตรวจสอบเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2526

(หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

รูปที่ 4.51 การทศวัดที่ได้จากการวัดห้วงอาคารทาวเวอร์ A และ B

(พิชัย และวิเชียร , 2526)

4.5 สรุปผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

4.5.1 การวิเคราะห์โดยวิธี Convention ของ Terzaghi

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ สามารถหาได้เฉพาะค่าการทรุดตัวสุดท้าย เฉลี่ย ซึ่งค่าการทรุดตัวที่วัดได้ยังไม่ถึง อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถตรวจสอบผลการวิเคราะห์ได้ ค่าการทรุดตัวสุดท้าย ได้ประมาณต่อจากที่ได้จากการวัด โดยใช้ผลการศึกษาของ Poulos และ Davis (1968) ผลการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลทั้ง 3 แบบ ในอาคารทั้ง 6 หลัง กับค่าที่ได้จากการวัด แสดงไว้ในตารางที่ 4.36 และพบว่า การประมาณค่าการทรุดตัวโดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวแบบที่ 1 สามารถประมาณค่าการทรุดตัวสุดท้ายของอาคารธนาคารกรุงเทพ ทาวเวอร์ A , B และ C ได้ผลใกล้เคียงด้วยค่าอัตราส่วนเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด อยู่ในช่วง 1.06 - 1.51 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.3) ส่วนการใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวแบบที่ 2 และ 3 ได้ผลใกล้เคียงกัน แต่ไม่น่าพอใจนัก คือค่าอัตราส่วนที่ได้ในข้อมูลแบบที่ 2 อยู่ในช่วง 1.19 - 1.98 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.7) และ แบบที่ 3 ได้ค่าอยู่ในช่วง 1.12 - 1.92 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.6)

อาคารที่การประมาณค่าการทรุดตัวด้วยวิธีนี้ ไม่สามารถใช้ได้คือ อาคารธนาคารแห่งประเทศไทย และทาวเวอร์ R ซึ่งผลที่ได้ต่ำกว่าที่วัดได้มาก ขณะที่อาคารดังกล่าวข้างต้นจะได้อัตราส่วนที่สูงกว่าที่วัดได้ ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์การทรุดตัวมิได้รวมถึงการทรุดตัวในชั้นทราย

เมื่อได้มีการพิจารณาการทรุดตัวในชั้นทรายด้วย (กรณีพิเศษ) พบว่า ค่าการทรุดตัวในอาคารธนาคารแห่งประเทศไทย และอาคารทาวเวอร์ R ได้ผลใกล้เคียงกับที่วัดได้มาก แต่ในอาคารธนาคารกรุงเทพ ทาวเวอร์ A , B และ C กลับได้อัตราส่วนที่สูงกว่าที่วัดได้ โดยเฉลี่ยถึง 2.3 เท่า

การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการอัดตัวคาน้ำ ($1/mv$) ของดินเหนียวแข็ง ชั้นที่ 2 ที่ได้จากความสัมพันธ์ของ Witoon (1984) และ Tasneenart (1984) กับผลที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.37 พบว่า ความสัมพันธ์ทั้งสองได้ผลใกล้เคียงกัน แต่มักให้ค่าที่ต่ำกว่าผลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าอัตราส่วนอยู่ในช่วง 0.65 - 1.07 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8)

อาจสรุปได้ว่า วิธี Convention ของ Terzaghi (คิดการทรุดตัวเฉพาะดินเหนียว) โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวแบบที่ 1 สามารถประมาณค่าการทรุดตัวสุดท้ายของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีปลายเสาเข็มยังอยู่ในชั้นทรายแน่นชั้นแรก ที่ระดับ

ตารางที่ 4.36 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนระหว่างค่าการทรุดตัวสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณ
โดยวิธี Convention ของ Terzaghi, Tomlinson และวิธีของ
Poulos กับค่าที่ได้จากการวัด

วิธี	ธนาคาร กรุงเทพ	ธนาคาร แห่งประเทศไทย	ทาวเวอร์ A	ทาวเวอร์ B	ทาวเวอร์ C	ทาวเวอร์ R
Terzaghi						
แบบที่ 1	1.51-1.23	0.27	1.47-1.31	1.45-1.34	1.15-1.06	-
1*	2.33-1.90	1.03	2.40-2.15	2.36-2.19	1.78-1.63	-
แบบที่ 2	1.89-1.54	0.26	1.98-1.77	1.95-1.81	1.30-1.19	0.59-0.48
2*	2.71-2.21	1.02	2.91-2.60	2.86-2.65	1.92-1.76	0.99-0.81
แบบที่ 3	1.59-1.29	0.41	1.92-1.72	1.89-1.75	1.23-1.12	0.54-0.45
3*	2.40-1.96	1.17	2.85-2.55	2.81-2.60	1.85-1.69	0.95-0.78
Tomlinson						
แบบที่ 1	1.87-1.53	1.08	2.12-1.90	2.09-1.94	1.59-1.46	-
1**	2.26-1.84	1.44	1.85-1.66	1.83-1.69	1.79-1.64	-
1***	1.40-1.14	0.82	1.24-1.11	1.22-1.13	1.13-1.04	-
แบบที่ 2	2.23-1.82	1.07	2.59-2.32	2.55-2.36	1.72-1.58	0.98-0.80
2**	2.38-1.94	1.44	2.38-2.13	2.34-2.17	1.83-1.68	1.13-0.93
2***	1.46-1.19	0.82	1.55-1.39	1.53-1.42	1.15-1.06	0.69-0.57
แบบที่ 3	1.98-1.62	1.26	2.53-2.26	2.49-2.31	1.66-1.52	0.93-0.76
3**	2.32-1.89	1.48	2.33-2.09	2.30-2.13	1.81-1.66	1.12-0.92
3***	1.44-1.17	0.84	1.53-1.37	1.50-1.39	1.15-1.05	0.69-0.57
Poulos(mat)	0.95-1.09	0.71-0.80	0.86-0.92	0.85-0.93	1.00-0.99	0.65-0.82

* รวมการทรุดตัวในชั้นทรายด้วย

** พิจารณาชั้นดินใต้ฐานราก เป็นชั้นดินเหนียวเจลลี่ชั้นเดียว

*** พิจารณาชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินที่ระบายน้ำดี เจลลี่เพียงชั้นเดียว

(ใช้โมดูลัสยืดหยุ่น แบบที่มีการระบายน้ำ)

ตารางที่ 4.37 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการยุบอัดตัวแบบคายน้ำ $\frac{1}{mv}$

ในแต่ละวิธีของขึ้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2

แบบที่ \n อาคาร	อาคาร- กรุงเทพฯ	อาคาร- แห่ง ประเทศไทย	ทาวเวอร์ A	ทาวเวอร์ B	ทาวเวอร์ C	ทาวเวอร์ R
1	1796 2361 1423	2800	2965	2965	2006	- 1654
2	2070 1927	2855	2024	2024	1700	2208 2064
3	2115	1827	2092	2092	1838	2081
อัตราส่วน $\frac{2}{1}$	0.79 1.07 0.88	1.02	0.68	0.68	0.85	-
อัตราส่วน $\frac{3}{1}$	0.90 0.74	0.65	0.71	0.71	0.92	- 0.80
อัตราส่วน $\frac{2}{3}$	0.98	1.56	0.97	0.97	0.92	1.06

หน่วยเป็น ดัน/ตร.ม

- แบบที่ 1 1/mv ได้จากผลการทดลอง
- แบบที่ 2 1/mv ได้จากสมการของ Witoon (1984)
- แบบที่ 3 1/mv ได้จาก Tasneenart (1984)

ความลึกประมาณ 30 เมตร และจะตั้งอยู่ในบริเวณที่มีความหนาของชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 และ 3 รวมกันอยู่ในช่วง 15 - 20 เมตร จึงจะได้ผลน่าพอใจพอควร คือ สูงกว่าที่ได้จากการวัดประมาณ 1.3 เท่า ส่วนวิธีนี้เมื่อใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวแบบที่ 2 และ 3 ก็พอจะใช้ได้เช่นกัน แต่ค่าการทรุดตัวที่ได้จะสูงกว่าที่วัดได้ประมาณ 1.6 เท่า

4.5.2 การวิเคราะห์โดยวิธี Convention ของ Tomlinson

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ สามารถหาได้ทั้งการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก และค่าการทรุดตัวสุดท้าย เฉลี่ยของอาคาร ผลการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวสุดท้าย ในอาคารทั้ง 6 หลัง กับค่าที่วัดได้ แสดงไว้ในตารางที่ 4.36 พบว่า การประมาณเมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากเป็นชั้น ๆ โดยใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ (ดังได้กล่าวแล้ว) ได้ค่าใกล้เคียงกันโดยที่แบบที่ 2 และ 3 มักได้ค่าการทรุดตัวมากกว่าแบบที่ 1 ค่าอัตราส่วนเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดอยู่ในช่วง 0.76 - 2.59 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.8) ซึ่งยังไม่น่าพอใจนัก , เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากเป็นชั้นดินเหนียว เฉลี่ยเพียงชั้นเดียว พบว่าการใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้ผลใกล้เคียงกันเช่นเดิม โดยมีค่าอัตราส่วนเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 0.92 - 2.38 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.8) ซึ่งก็ยังไม่น่าพอใจนัก แต่เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานราก เป็นชั้นดินเฉลี่ยที่มีการระบายน้ำดี เพียงชั้นเดียว พบว่า การใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวทั้ง 3 แบบ ได้ผลใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอัตราส่วนเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 0.57 - 1.55 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากชนิดหลังสุดนี้ ได้ผลดีที่สุด และได้ผลน่าพอใจพอควร แม้ว่าในอาคารทาวเวอร์ R จะได้ค่าค่อนข้างต่ำไปบ้าง (อยู่ในช่วง 0.57 - 0.69)

อาจสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวสุดท้ายของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร ทั้ง 6 หลัง โดยวิธี Convention ของ Tomlinson เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินได้ฐานรากเป็นชั้นดินเฉลี่ยที่มีการระบายน้ำดีเพียงชั้นเดียว และการใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของดินทั้ง 3 แบบ สามารถใช้ได้ผลใกล้เคียงในเกณฑ์ที่น่าพอใจพอสมควร

4.5.3 การวิเคราะห์โดยวิธีของ Poulos และ Davis

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้สามารถหาได้ทั้งค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก และค่าการทรุดตัวสุดท้ายที่จุดใด ๆ ได้ผลการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก และค่าการทรุดตัวสุดท้าย ในอาคารทั้ง 6 หลัง กับค่าที่ได้จากการวัดโดยวิธีนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่

4.38 และ 4.36 ตามลำดับ และพบว่า วิธีนี้ สามารถใช้ประมาณค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักของอาคารทั้ง 6 หลังได้ผลน่าพอใจคือ ค่าอัตราส่วนเทียบกับค่าที่วัดได้ อยู่ในช่วง 0.63 - 1.12 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.9) เมื่อพิจารณาฐานรากมีลักษณะ เป็นแบบ mat ส่วนค่าอัตราส่วนสำหรับค่าการทรุดตัวสุดท้ายก็ได้ผลใกล้เคียงกันคือ ค่าอัตราส่วนอยู่ในช่วง 0.65 - 1.09 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.9)

สัดส่วนค่าการทรุดตัวสุดท้ายที่เกิดขึ้น เนื่องจากดินและ เสาค้ำในชั้น Founding มีค่าตั้งแต่ 12 ถึง 61% โดยที่ อาคารที่ใช้เสาค้ำขนาดใหญ่ แต่ปริมาณน้อย จะให้ค่าการทรุดตัวในส่วนนี้น้อยกว่า อาคารที่ใช้เสาค้ำขนาดเล็กจำนวนมากทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณของผลกระทบ เนื่องจากเสาค้ำข้างเคียงมีมากกว่า เพราะ เสาค้ำต้องจัดอยู่ในลักษณะที่ใกล้กันมากกว่า และ เกิดขึ้นในชั้นทรายและดินเหนียวใต้ฐานรากเท่ากับ 12 - 36% และ 12 - 71% ตามลำดับ

4.5.4 การวิเคราะห์จากข้อมูลที่วัดได้จริง

จากกราฟความสัมพันธ์แบบ Empirical ดังรูป 4.47 ถึง 4.50 พบว่า ความสัมพันธ์ดังรูป 4.50 a ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดคือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนัก ที่ได้จากการวัด (ρ_i) เมื่อปรับแก้แล้ว กับหน่วยแรงเค้นทางตั้ง (q) , ความกว้างของอาคาร (B) และความยาวของเสาค้ำที่ฝังอยู่ในชั้นดินแข็ง (L^*) โดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบ Polynomial อันดับที่ 2 และ แบบเส้นตรง ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกัน และ เมื่อแบ่งพิจารณาออกเป็นอาคารที่ใช้เสาค้ำ เจาะและ เสาค้ำแบบตอก จะพบว่า ในอาคารที่ใช้เสาค้ำแบบตอก จะมีแนวโน้มที่จะให้ค่าการทรุดตัวน้อยกว่าที่ใช้เสาค้ำ เจาะ เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ข้อมูลในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ยังมีน้อยอยู่

4.6 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

การทรุดตัวของอาคารสูง เป็นขบวนการที่ซับซ้อนมากขบวนการหนึ่ง เนื่องจากประกอบด้วยตัวแปร ซึ่งไม่แน่นอน เป็นจำนวนมาก ความพยายามที่จะประมาณค่าการทรุดตัวจำเป็นที่จะต้องตั้งสมมุติฐานที่พอจะเป็นไปได้ เมื่อเทียบกับความเป็นจริงดังได้กล่าวแล้ว อย่างไรก็ตาม สิ่งเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อความใกล้เคียงในการประมาณค่าการทรุดตัวได้

4.6.1 การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารสูง โดยวิธี Convention ของ Terzaghi

วิธีนี้ มีข้อสมมุติฐานที่กล่าวได้ว่า ไม่ตรงกับความเป็นจริงทั้งการถ่ายน้ำหนักลงดิน และการทรุดตัวของชั้นดิน และยังไม่ได้คำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ อีกหลายอย่าง เช่น ระดับความ

ตารางที่ 4.๑๘ เปรียบเทียบค่าการหลุดตัวแบบหันที่รับน้ำหนัก (ρ_i) ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos กับที่ได้จากการวัด

หน่วย เป็นมิลลิเมตร

อาคาร วิธี	อาคาร กรุงเทพ	อาคาร แห่ง ประเทศไทย	ทาวเวอร์ A	ทาวเวอร์ B	ทาวเวอร์ C	ทาวเวอร์ R
Poulos	121-164	15-30	67-80	66-79	38-40	68-104
การวัด	121-146	25-34	84-96	83-91	37-44	108-128
Poulos/ การวัด	1.00 -1.12	1.00-0.88	0.80-0.83	0.80-0.87	1.03-0.91	0.63 -0.81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เกร็งของระบบฐานราก , การก่อสร้างเสาเข็ม และการทรุดตัวในชั้นทราย เป็นต้น ผลที่ได้จากวิธีนี้ จึงอาจเรียกได้ว่าเป็น Empirical วิธีหนึ่ง ผลที่ได้จึงใช้ได้เฉพาะแห่ง หรืออีกนัยหนึ่งคือ บังเอิญใช้ได้ในบางแห่ง เนื่องจากเกิดการชดเชยกันของความคลาดเคลื่อนขึ้น และ เมื่อนำมาใช้กับอาคารสูงในกรุงเทพมหานครพบว่า สามารถใช้ได้ผลใกล้เคียงพอประมาณในอาคารหลายแห่ง ถ้าได้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินที่เหมาะสม , มีสภาพชั้นดินและลักษณะของฐานรากที่คล้ายคลึงกัน แต่เมื่อได้รวมการทรุดตัวในชั้นทรายเข้าด้วย (เป็นกรณีพิเศษ) ก็ได้ผลในทำนองเดียวกันคือ ได้ผลใกล้เคียงในบางแห่งเท่านั้น

4.6.2 การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารสูงโดยวิธี Convention ของ Tomlinson

วิธีนี้มีข้อสมมุติฐานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าวิธี Convention ของ Terzaghi หลายอย่างเช่น พิจารณาการทรุดตัวเป็นแบบ 3 มิติ , การทรุดตัวเกิดขึ้นทั้งในดินเหนียวและทราย และยังได้มีการปรับแก้การถ่ายน้ำหนักลงดินให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ก็ยังไม่ได้คำนึงถึงองค์ประกอบอีกหลายอย่าง เช่น ระดับความเกร็งของฐานราก และการก่อสร้างเสาเข็ม เป็นต้น นอกจากนี้ การเลือกใช้ค่าปรับแก้ที่แตกต่างกัน อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน วิธีนี้จึงเรียกว่าเป็นวิธี Empirical อีกวิธีหนึ่ง

การนำวิธีนี้มาประมาณค่าการทรุดตัวสุดท้ายของอาคารสูง 6 หลัง พบว่า เมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้น ๆ ตามที่ได้สำรวจพบมักให้ค่าที่มากเกินไป ทั้งนี้เป็นเพราะสมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณ ไม่สอดคล้องกับสภาพชั้นดินของกรุงเทพมหานคร นอกจากนั้น องค์ประกอบบางอย่างที่วิธีนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงก็สมารถทำให้ค่าที่ประมาณผิดไปได้เช่นกัน ส่วนเมื่อพิจารณาสภาพชั้นดินใต้ฐานรากเป็นชั้นดินเฉลี่ยเพียงชั้นเดียวนั้น อาจกล่าวได้ว่าเป็นเทคนิคอย่างหนึ่ง เพราะสภาพดินจริง ๆ เป็นชั้น ๆ ซึ่งบังเอิญใช้ได้ผลดีกับอาคารในกรุงเทพมหานคร เมื่อพิจารณาให้ชั้นดินเฉลี่ยนั้นมีการระบายน้ำดีเท่านั้น อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวนี้ นับว่าสะดวก และได้ผลใกล้เคียงพอควร

4.6.3 การประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารสูง โดยวิธีของ Poulos และ Davis

การประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธีของ Poulos และ Davis มีข้อสมมุติฐานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าวิธี Convention แต่ก็ยังไม่สามารถครอบคลุมถึงอิทธิพลจากปัจจัยที่เป็นตัวแปรบางอย่าง เช่น ผลจากการก่อสร้างเสาเข็ม , การกระจายของน้ำหนักในโครงสร้างและฐานราก , ระดับความเกร็งของฐานราก และผลของแรงเสียดทานลบ ที่อาจเกิดขึ้น เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ยากแก่การพิจารณาแต่มีผลต่อการทรุดตัวของอาคารสูง

นอกจากนี้การนำทฤษฎี Elasticity มาใช้กับดิน จำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าที่ประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ ซึ่งค่าที่วัดได้ก็มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากทำการวัดหลังจากการก่อสร้างดำเนินไปได้ระยะหนึ่งแล้ว ไม่นานนัก ตัวแปรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการประมาณด้วยวิธีนี้คือ ค่าน้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งไม่อาจประมาณได้ว่าจะมีผลต่อการทรุดตัวของอาคารมากน้อยเพียงใด แม้ว่าน้ำหนักบรรทุกส่วนนี้จะไม่มากนักก็ตาม ดังนั้น การพิจารณาค่าการทรุดตัวเมื่อยังไม่มีน้ำหนักบรรทุกจร (มีค่าน้ำหนักบรรทุกตายตัว) จึงน่าจะได้รับความถูกต้องมากกว่า

ค่าที่ประมาณได้จากวิธีของ Poulos และ Davis คือค่าการทรุดตัวทันทีที่รับน้ำหนักและค่าการทรุดตัวสุดท้าย ที่จุดใด ๆ บนฐานราก ส่วนค่าการทรุดตัวที่แตกต่างกัน (Differential Settlement) ก็สามารถคำนวณได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อตั้งสมมุติฐานให้ฐานรากมีลักษณะเป็น mat ค่าการทรุดตัวที่แตกต่างกันที่ได้ จะเป็นเพียงความแตกต่างเนื่องจากการทรุดตัวในชั้น Underlying เท่านั้น ที่สำคัญคือ การวัดค่าการทรุดตัวไม่ได้กระทำตั้งแต่เริ่มแรกจะมีผลทำให้ค่าการทรุดตัวที่อ้างอิง เกิดคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งเป็นการยากแก่การพิจารณาค่าการทรุดตัวที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบได้

ในการวิเคราะห์ได้พิจารณาให้หัวยึดเสาเข็ม (Pile cap) เป็นแบบ flexible mat แต่เนื่องจากในแต่ละอาคารมีระดับความ เกร็งของหัวยึดเสา เข็มนี้แตกต่างกัน การพิจารณาดังกล่าวจึงให้ค่าการทรุดตัวที่น่าจะน้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งระบบฐานรากในกรุงเทพมหานคร ที่ใช้อยู่โดยทั่วไปเป็น Isolated footing และมีคานยึดไว้ ยังไม่สามารถพิจารณาเป็น mat flexible cap ได้อย่างสมบูรณ์ และทำให้ยากแก่การพิจารณาขนาด และระดับความ เกร็งของหัวยึดเสาเข็ม ในการประมาณค่าการทรุดตัวของอาคารสูง และการพิจารณาให้ระบบฐานราก เป็น Isolated footing โดยไม่มีคานยึดและคิดผลกระทบของเสา เข็มทั้งหมดในระบบฐานราก ก็จะทำให้ค่าการทรุดตัวที่มากเกินกว่าความเป็นจริงประมาณ 40% (Witoon , 1984) .
Pongchai (1985)

นอกจากนี้ผลที่ได้จากการคำนวณ อาจมีความคลาดเคลื่อนอื่น เนื่องมาจากการเลือกใช้ตัวแปรโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณสมบัติในการยุบอัดตัวของชั้นดินแข็งมากและทรายที่มาจากความ สัมพันธ์แบบสหสัมพันธ์ ตลอดจนการประมาณและ เฉลี่ยค่าที่ได้จากกราฟ

การประมาณค่าการทรุดตัวโดยวิธีของ Poulos และ Davis ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พยายามใช้ข้อมูลและทฤษฎีที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เท่าที่จะหาได้ แต่ก็ยังไม่สามารถครอบคลุมอิทธิพลจากผลบางอย่างไว้ทั้งหมด จึงเรียกได้ว่าวิธีนี้เป็นวิธี Semi-Empirical

วิธีหนึ่งที่สามารถใช้ได้ผลในเกณฑ์ที่น่าพอใจ กับอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร 6 หลัง ซึ่งมีสิ่งที่น่าสนใจ เกิดคือ อาคารทั้ง 6 หลัง ตั้งอยู่บนฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา โดยที่บริเวณดังกล่าวไม่พบดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง ที่มีคุณสมบัติเป็นแบบ normally consolidated อย่างชัดเจน (ที่ทาวเวอร์ A และ B พบเป็นชั้นบาง ๆ แทรกอยู่เท่านั้น) เสาเข็มที่ใช้ในทุกอาคารเป็นเสาเข็มคอนกรีตที่มีปลายหยั่งอยู่ในทรายแน่นชั้นแรก และจำนวนชั้นของอาคารอยู่ระหว่าง 8 - 32 ชั้น การนำวิธีนี้ไปใช้กับอาคารสูงที่มีลักษณะแตกต่างออกไป จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

4.6.4 ความน่าเชื่อถือของข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากอาคารทั้ง 6 หลัง ที่ทำการวิเคราะห์ หอจะกล่าวได้ว่า ได้ใช้ข้อมูลทางปฐพีวิศวกรรม ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในอาคารธนาคารกรุงเทพ , ธนาคารแห่งประเทศไทย , ทาวเวอร์ A , B และทาวเวอร์ C มีเพียงทาวเวอร์ R เท่านั้นที่ไม่มีการเจาะสำรวจชั้นดิน ซึ่งข้อมูลจากสถานที่ก่อสร้างใกล้เคียงแสดงให้เห็นว่า ในบริเวณดังกล่าวข้อมูลที่ใช้พอจะเชื่อถือได้ แต่ในการวิเคราะห์การทรุดตัว ได้ใช้คุณสมบัติในการยุบอัดตัวจากความสัมพันธ์แบบสหสัมพันธ์ ยิ่งกว่านั้น ข้อมูลการวัดค่าการทรุดตัวในอาคารทาวเวอร์ R ได้กระทำเมื่อน้ำหนักที่กระทำบนอาคาร มีประมาณครึ่งหนึ่งของทั้งหมดแล้ว อันมีผลทำให้ความน่าเชื่อถือในค่าการทรุดตัวที่ได้จากการวัดหลังปรับแก้แล้ว มีความน่าเชื่อถือน้อยกว่าในอาคารแห่งอื่น