

บทที่ 2.

ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต

2.1 ระบบกำแพงกันดินในงานชุกขนาดลึก

ในงานชุกขนาดลึก ระบบกำแพงกันดินแยกได้เป็น 2 ระบบคือ

2.1.1 ระบบกำแพงแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall)

ระบบกำแพงแบบนี้ ได้แก่ เช็มพิค (Sheet Pile) ซึ่งมีค่าสตีเฟเนสต่ำ ดังนั้นจึงทำให้เกิดปริมาณการเคลื่อนตัวของค้ำหลังกำแพงค่อนข้างสูงแต่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากราคาถูก, ก่อสร้างง่ายและรวดเร็ว



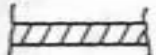
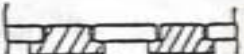
2.1.2 ระบบกำแพงแบบแข็ง (Rigid Wall)

กำแพงระบบนี้ได้แก่ Diaphragm wall และ secant pile wall ซึ่งมีค่าสตีเฟเนสสูงช่วยลดปริมาณการเคลื่อนตัวของค้ำหลังกำแพง.

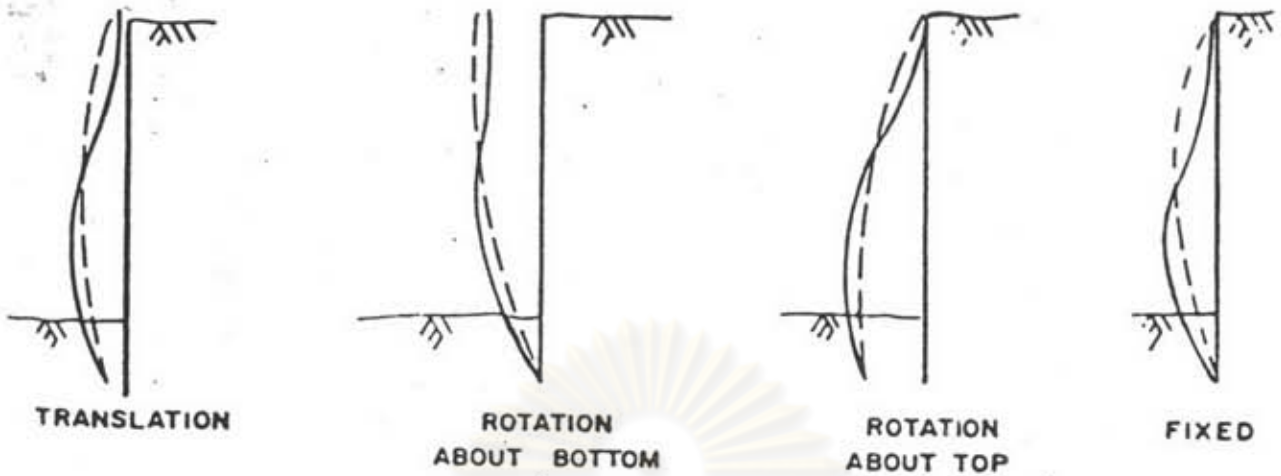
รูปที่ 2.1 แสดงข้อดี-ข้อเสียของกำแพงกันดินชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานชุกขนาดลึกของกำแพงกันดินทั้ง 2 ระบบ.

2.2 แบบของการเสียรูปของเช็มพิค (Mode of sheet pile wall deformations) ในงานชุกดินร่วนใช้เช็มพิคเป็นกำแพงกันดินซึ่งเป็นกำแพงแบบ Flexible นั้นการเสียรูปที่เกิดขึ้นแยกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้ (ดูรูปที่ 2.2)

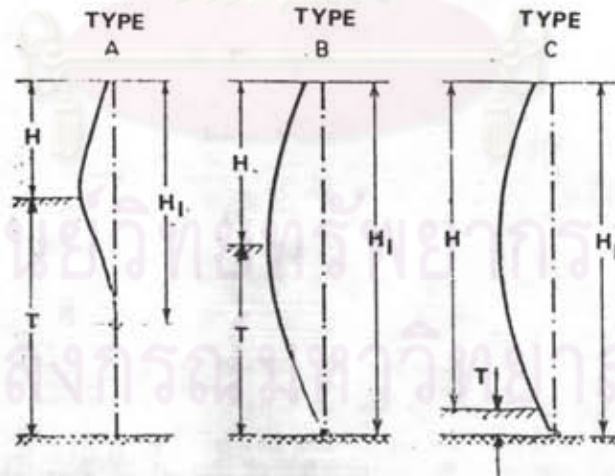
1. Translation เป็นลักษณะการเสียรูปที่ปลายล่างของเช็มพิคมีการเคลื่อนตัวเนื่องจากปลายเช็มพิคไม่ขังถึงชั้นดินแข็ง

Name	Section	Typical EI Values/Ft. (Kip x Ft ²)	Advantages	Disadvantages
Steel Sheet piling		900-90,000	<ul style="list-style-type: none"> (1) Can be impervious (2) Easy to handle and construct (3) Low initial cost 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Cannot be used in gravelly soils (2) Limited stiffness (3) Interlocks can be lost in hard driving
Soldier Pile and Lagging		2,000-120,000	<ul style="list-style-type: none"> (1) Easy to handle and construct (2) Low initial cost (3) Can be driven or augered 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Wall is pervious (2) Requires care in placement of lagging
Cast-in-Place Concrete Slurry Wall		288,000-2,300,000	<ul style="list-style-type: none"> (1) Can be impervious (2) High stiffness (3) Can be part of permanent structure 	<ul style="list-style-type: none"> (1) High initial cost (2) Specialty contractor required to construct (3) Extensive slurry disposal needed (4) Surface can be very rough
Pre-Cast Concrete Slurry Wall		288,000-2,300,000	<ul style="list-style-type: none"> (1) Can be impervious (2) High stiffness (3) Can be part of permanent structure (4) Can be prestressed 	<ul style="list-style-type: none"> (1) High initial cost (2) Specialty contractor required to construct (3) Slurry disposal needed (4) Very large and heavy members must be handled for deep systems

รูปที่ 2.1 ข้อดี-ข้อเสียของกำแพงกันดินชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 2.2 แบบของการเสียรูปของกำแพงกันดินแบบเข็มค้ำ
(Mode of sheet pile wall deformations).



รูปที่ 2.3 ผลกระทบการบังคับตัวของเข็มค้ำ (Bjerrum, Clausen และ Duncan, 1972).

2. Rotation about bottom เป็นลักษณะการเสวยรูปที่เกิดขึ้นโดยปลายล่างของเข็ม
 พิคไม่เกิด Translation แต่มี Rotation เกิดขึ้น. ในกรณีนี้ปลายล่างของเข็มพิคยังถึงชั้นดินแข็ง.
 การเสวยรูปในแบบนี้รวมถึงการเสวยรูปแบบคานยื่น(Cantilever type)ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของ
 การขุดดินก่อนที่จะอัดแรงในค้ำยัน

3. Rotation about top เป็นการเสวยรูปที่เกิดขึ้นโดยที่ปลายบนของเข็มพิคไม่เกิด
 การเคลื่อนตัว(Translation)แต่มี Rotation เกิดขึ้นมักจะเกิดในงานขุดที่มีการค้ำยันใกล้เคียงกับ
 ระดับดินเดิมหลัง เข็มพิค โดยมิปลายล่างอยู่ในชั้นดินอ่อน

4. Fixed เป็นการเสวยรูปที่เกิดขึ้นโดยทั้งปลายบนและปลายล่างของเข็มพิคไม่เกิดการ
 เคลื่อนตัว(Translation)แต่มี Rotation เกิดขึ้นทั้งสองปลายมักจะเกิดในงานขุดที่มีการค้ำยันใกล้
 เคียงกับระดับดินเดิมหลัง เข็มพิคและมีปลายล่างอยู่ในชั้นดินแข็ง

การเสวยรูปทั้ง 4 แบบของ เข็มพิคจะ เกิดการบ่งเข้า(Inward bulging) ด้วยซึ่งจะ
 มีปริมาณมากขึ้นขึ้นอยู่กับค่าสคิฟเนสของ เข็มพิค

2.3 พฤติกรรมการโค้งตัวของ เข็มพิค

Bjerrum, Clausen และ Duncan(1972) ได้ศึกษาพฤติกรรมการโค้งตัวของ
 เข็มพิค(แบบใช้ค้ำยันโดยมีปลายล่างยังถึงชั้นดินแข็ง)และลักษณะการกระจายของหน่วยแรงค้ำยัน
 (Distribution of earth pressure ที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละชั้นคอนการขุดในชั้นดินเหนียว
 อ่อน โดยได้รวบรวมข้อมูลจากผลการทดสอบในสนามจำนวนหลายแห่ง พบว่า (1)ความสามารถใน
 การยึดหยุ่นตัวของเข็มพิค(Flexibility of sheet pile)นั้นมีผลต่อการเสวยรูป
 (Deformation)ของดินที่อยู่ใต้ระดับบ่อขุด แต่ (2)การโค้งตัวของเข็มพิค(Deflection of
 sheet pile)ขึ้นอยู่กับสภาพดิน(Soil conditions)และความลึกอิทธิพล(Depth of influence,

$H_{z'}$) ของดินที่อยู่ใต้ระดับบ่อขุดค้ำแสดงในรูปที่ 2.3(3) การเคลื่อนตัวค้ำข้างสูงสุดของ เข็มพิค (S_{Hmax}) จะเกิดขึ้นที่บริเวณต่ำกว่าระดับขุดค้ำ. (4) ปริมาณของหน่วยแรงดันดินรวม (Total earth pressure) จะถูกควบคุมด้วยค่าของกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยลักษณะการกระจายของหน่วยแรงดันดินขึ้นอยู่กับผลของ Arching.

Bjerrum และคณะ (1972) ได้แบ่งรูปร่างของรังการโค้งตัว (Shapes of deflection curves) ของ เข็มพิค ออกเป็น 3 แบบตามลำดับของชั้นคอนการขุดค้ำและแบ่งตามค่าความลึกอิทธิพล Depth of influence, H_I คือ ความลึกจากระดับดินเดิมลงมาถึงใต้ระดับบ่อขุด ซึ่งเป็นช่วงความลึกที่เกิดความเครียด (Straining) ขึ้นในมวลดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง Loads ในระหว่างการขุดค้ำ ดังนี้. (1) Type A: เป็นรังการโค้งตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่ความลึกของการขุด (H) อยู่ในชั้นดินที่ค่อนข้างมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ (a fairly uniform soil layer) โดยชั้นดินนี้มีความหนาจากระดับขุดถึงชั้นดินแข็ง (T) ค่อนข้างมาก (เช่น $T \gg H$) และไม่เกิดการเสียรูป (Deformation) ขึ้นในมวลดินในส่วนที่อยู่ต่ำกว่าความลึก H_I . (2) Type B: เป็นรังการโค้งตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่ขุดค้ำเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาชั้นดิน (T) มีค่าต่ำ (เช่น $T \approx H$) โดยที่ระดับผิวบนของชั้นดินแข็ง form ตัวเป็นขอบเขตล่างของความลึกอิทธิพล (Lower boundary of the zone of influence) ทำให้เกิดการเสียรูป (Deformation) ขึ้นในมวลดินตลอดความลึกถึงชั้นดินแข็ง ($H_I = H + T$) และ (3) Type C: เป็นรังการโค้งตัวที่เกิดขึ้นเมื่อการขุดค้ำลึกเพิ่มมากขึ้นจนถึงหรือเกือบถึงระดับของชั้นดินแข็ง โดยปลายล่างของ เข็มพิค ไม่เกิดการเคลื่อนตัวค้ำข้าง (no movement) และเกิดการเสียรูปในมวลดินตลอดความลึกถึงชั้นดินแข็ง ($H_I = H + T$).

ความลึกอิทธิพล (Depth of influence, H_I) ที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นคอนการขุดนั้น สามารถหาค่าได้จากผลการวัดการโค้งตัวของ เข็มพิค โดยใช้ Inclinator. สำหรับค่า H_I ที่เกิดขึ้นในแบบ Type A นั้น จะมีค่าขึ้นอยู่กับ Factor of safety against heave (Bjerrum และ Eide, 1956), ขนาดของบ่อขุดและโมดูลัสของดิน.

เมื่อเข็มทิศเกิดการขยับตัวเนื่องจากการขุดดินมวลดินหลัง เข็มทิศจะเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างซึ่งหากการเคลื่อนตัวนี้มีปริมาณเพียงพอที่จะทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนของดินแล้ว จะทำให้หน่วยแรงค้ำคินในสภาพอยู่นิ่ง (Earth pressure at rest) มีค่าลดลงมาจนถึงสภาวะที่ทำให้เกิดหน่วยแรงค้ำคินในสภาพแอ็คทีฟ (Active earth pressure). จากผลการทดสอบในสนามโดย Peck (1942) แสดงให้เห็นว่าการขุดในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินหลังกำแพงเพียง 0.1 ถึง 2% ของค่าความลึกอิทธิพล (H_T) เพียงพอที่จะทำให้เกิดหน่วยแรงค้ำคินในสภาพแอ็คทีฟได้ซึ่งเป็นปริมาณที่การเคลื่อนตัวของดินมักจะเกิดมากกว่าปริมาณดังกล่าว. จึงสามารถกล่าวได้ว่าหน่วยแรงค้ำคินหลัง เข็มทิศ เป็นหน่วยแรงค้ำคินแบบแอ็คทีฟ. ดังนั้นหน่วยแรงค้ำคินรวมด้านข้าง (Total lateral pressure) ที่กระทำบนผิวแนวตั้งของ เข็มทิศในช่วงจากผิวดินลงมาถึงความลึกอิทธิพล H_T คงแสดงในรูปที่ 2.3 นั้นควรจะมีค่าเท่ากับหน่วยแรงค้ำคินแบบแอ็คทีฟที่เสนอโดย Rankine ด้วย นั่นคือการเคลื่อนตัวของมวลดินหลัง เข็มทิศอยู่ในสภาพที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดผิวของการวิบัติ (Failure surface) ผ่านลงมาใต้ระดับจุดจนถึงตำแหน่งของความลึกอิทธิพล H_T .

2.4 พฤติกรรมการทรุดตัวของผิวดินหลัง เข็มทิศ

Peck (1969) ได้แนะนำ Settlement envelopes ของบริเวณที่เกิดการทรุดตัวของผิวดินหลังกำแพงกันดินเนื่องจากการขุดโดยได้รวบรวมมาจากผลที่วัดได้ในสนามจำนวน 15 แห่งจากงานขุดในดิน 3 ชนิด ได้แก่ ดินเหนียว 2 ชนิด และดินทรายอีก 1 ชนิด. envelopes ที่แนะนำโดย Peck (1969) นี้ (ดูรูปที่ 2.4 ก.) แสดงให้เห็นว่าการทรุดตัวของผิวดิน (Surface settlement, S_v) อาจจะเกิดขึ้นมากในบริเวณห่างจากหลังกำแพงกันดิน (Distance from behind wall, D) ออกมาเป็นระยะประมาณ 2 ถึง 2.5 เท่าของความลึกที่ขุด [$D = (2-2.5)H$] ทั้งนี้การทรุดตัว S_v และระยะ D จะมีความสัมพันธ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของการทำงาน (Quality of workmanship) รวมทั้งชนิดและคุณสมบัติของดินที่ขุด (Soil profile).

จาก settlement envelopes ที่แนะนำโดย Peck (1969) สามารถสรุปพฤติกรรม

การทรุดตัวที่ผิวดินหลังกำแพงกันดินาคัดังนี้ (ดูรูปที่ 2.4 ก.)

1) รูปแบบ(Patterns)ของการทรุดตัวที่ผิวดินเนื่องจากการชุกดิน มีหลายรูปแบบต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของชั้นดิน(Soil conditions)

2) การทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดิน(Maximum surface settlement, δ_{Vmax}) หลังกำแพงกันดิน จะเกิดขึ้นทันที (ทั้งในการชุกดินชั้นดินเหนียวและดินทราย)ในบริเวณที่อยู่ใกล้กับกำแพงกันดิน โดยมีระยะห่างจากหลังกำแพงออกมาประมาณ 0.7 ถึง 0.8 เท่าของความลึกที่ชุก $[D (0.7 \text{ ถึง } 0.8)H]$

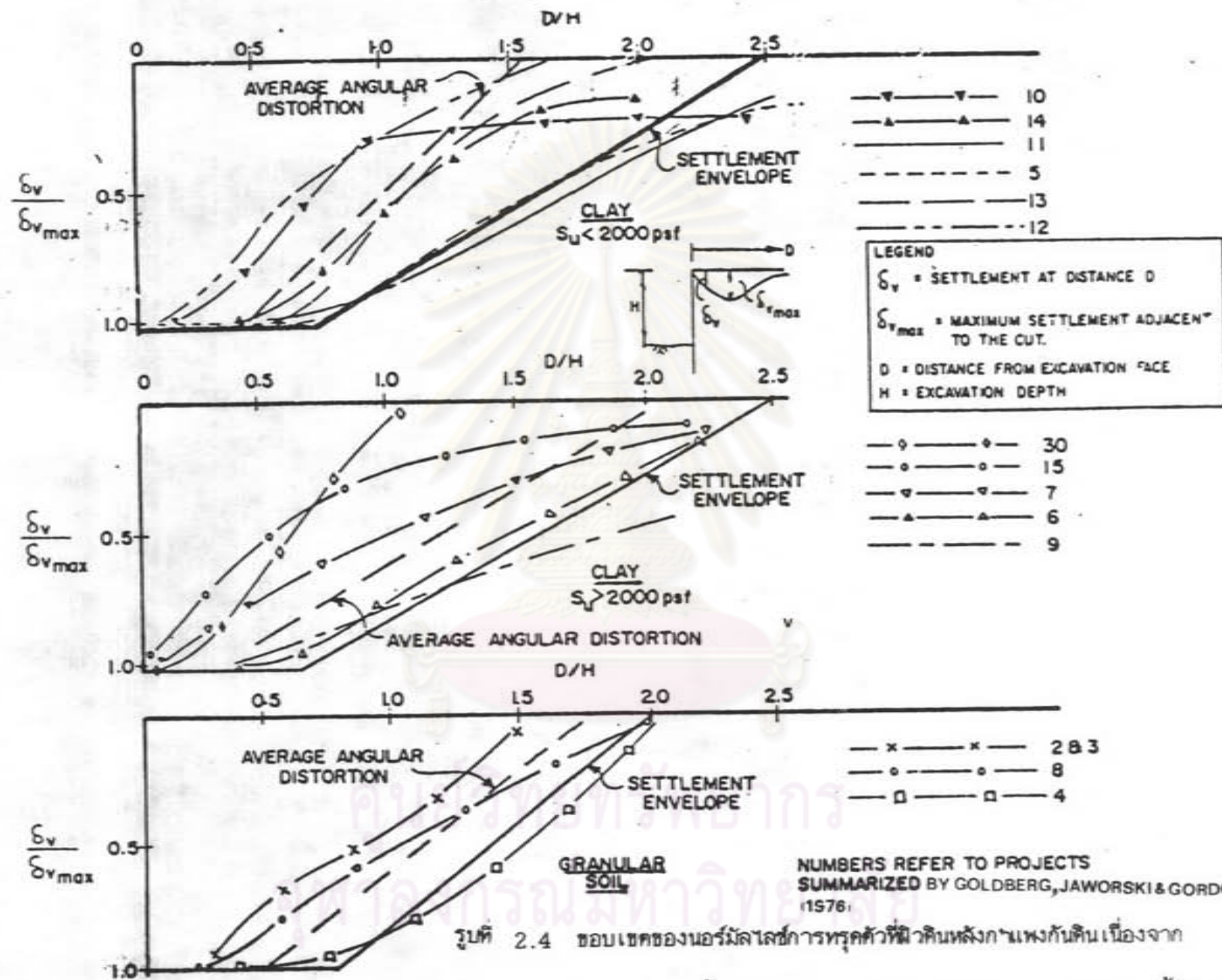
3) ระยะห่างจากหลังกำแพง(D)ที่ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ผิวดิน(δ_V)จะมีค่าประมาณ 2 และ 2.5 เท่าของความลึกที่ชุก(H)สำหรับงานชุกดินชั้นดินทรายและดินเหนียวตามลำดับ.

Mana และ Clough (1981) พบว่า การชุกดินชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง(Soft to medium clay)นั้น การทรุดตัวที่ผิวดินหลังกำแพงมีพฤติกรรมดังนี้ (ดูรูปที่ 2.4 ข.)

1) รูปแบบ(Patterns)ของการทรุดตัวที่ผิวดิน มีรูปแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าของ Factor of safety against basal heave, FS. (Terzaghi's method, 1943)

2) การทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดิน(δ_{Vmax})หลังกำแพง จะเกิดขึ้นในบริเวณห่างจากหลังกำแพงออกมาประมาณ 0.9 ถึง 1 เท่าของความลึกที่ชุก $[D = (0.9 \text{ ถึง } 1)H]$ ขึ้นอยู่กับค่าของ FS.

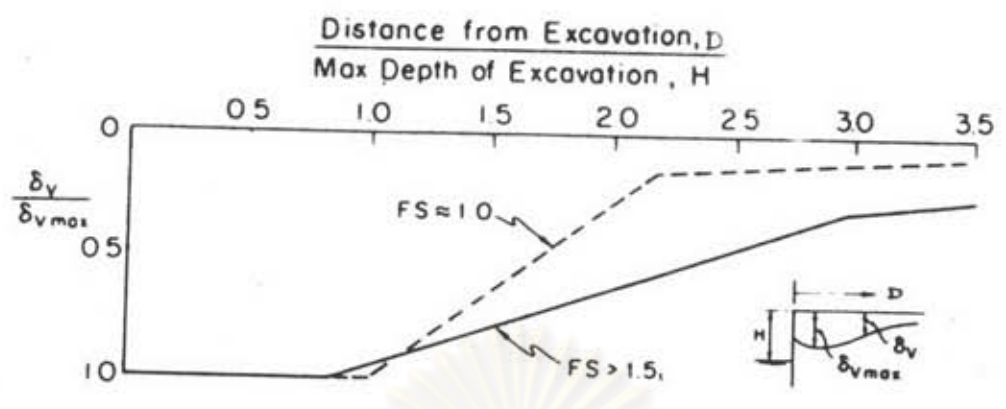
3) ระยะห่างจากหลังกำแพง(D)ที่ทำให้เกิดการทรุดตัวที่ผิวดิน(δ_V)มีค่าน้อยกว่า 3.5 เท่าของความลึกที่ชุก(H)



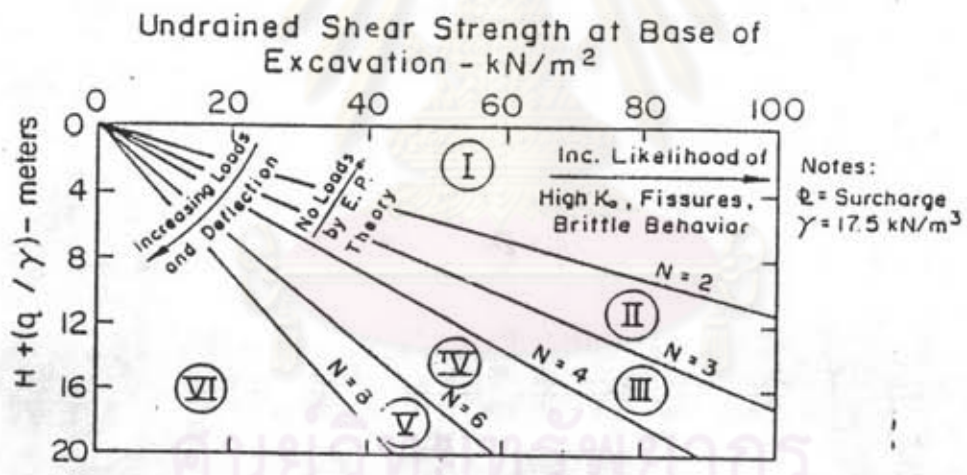
รูปที่ 2.4 ขอบเขตของนอร์มัลการทรุดตัวที่วัดกันหลังจากเพิกกันเนื่องจาก

(ก) การขุดในชั้นดินชนิดต่าง ๆ (Peck, 1969) และ (ข) การขุดในชั้นดินเหนียว

อ่อนถึงแข็งปานกลาง (Manal และ Clough, 1981)



รูปที่ 2.4 ขอบเขตของนอร์มัลการทรุดตัวที่วัดกันหลังจากเพิกกันดินเนื่องจาก
(ข) การขุดานชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง (Manal และ Clough, 1981)



ZONE	CHARACTERISTIC BEHAVIOR
I	Elastic response, small movements (Assuming no fissures)
II	Problems with unsupported Slopes in brittle clays
III	Problems with cantilever walls
IV	Moderate movements and loads on supported excavations.
V	Basal heave problems where no nearby underlying stiff layer
VI	Large movements, high loads even with nearby underlying stiff layer

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของ Stability Number(N)กับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่
ระบายน้ำ(Su)ของงานขุดแบบใช้ค้ำยันนดินเหนียว (Clough และ Schmidt, 1977)

สำหรับการทรุดตัวที่ผิวดิน (δ_v) เนื่องจากผลของการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation settlement) ที่เกิดขึ้นในบริเวณหลังกำแพงกันดินนั้น ได้มีผู้ศึกษาวิจัยทั้งในงานชุกดินชั้นดินเหนียวและดินทรายไว้ดังนี้

NGI (1962) พบว่าการชุกดินในชั้นดินเหนียว เมื่อเกิดการทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดิน (δ_{Vmax}) ในปริมาณที่สูงแล้ว การทรุดตัวที่ผิวดินเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำมีผลต่อค่า δ_{Vmax} น้อยมาก กล่าวคือปริมาณการทรุดตัวที่ผิวดินเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำมีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับค่า δ_{Vmax} ที่วัดได้ในสนาม.

Lambe, Wolfskill และ Jaworski (1972) พบว่าการชุกดินในชั้นดินทราย เมื่อการทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดิน (δ_{Vmax}) ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ (เช่น δ_{Vmax} มีค่าน้อยกว่า 1 นิ้ว) แล้ว การทรุดตัวที่ผิวดินเนื่องมาจากผลของการอัดตัวคายน้ำและการลดลงของระดับน้ำใต้ดิน (Lowering of the ground water table, เช่นการสูบน้ำออกจากพื้นที่บ่อชุก) จะมีผลอย่างมากต่อค่า δ_{Vmax} กล่าวคือปริมาณการทรุดตัวที่ผิวดินเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำและการลดลงของระดับน้ำใต้ดินมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับค่า δ_{Vmax} ที่วัดได้ในสนาม.

2.5 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวด้านข้างของ เข็มทิศกับการทรุดตัวที่ผิวดิน ปริมาณการทรุดตัวที่ผิวดิน (δ_v) และการเคลื่อนตัวด้านข้างของ เข็มทิศ (δ_H) ขึ้นอยู่กับปัจจัยและตัวแปรหลายอย่างดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 เช่น พารามิเตอร์ของดิน, ระบบโครงสร้างค้ำยัน, ขนาดของงานชุกและวิธีการก่อสร้าง. ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง δ_v กับ δ_H ของงานชุกในแต่ละแห่งจึงแตกต่างกันไป. การแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง δ_v กับ δ_H สามารถแสดงได้หลายแบบโดยการ เปรียบเทียบปริมาณ δ_v กับ δ_H ที่ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน เช่น (1) δ_v กับ δ_H . (2) δ_v/H กับ δ_H/H . (3) δ_v/δ_H กับ เวลา. และ (4) δ_v/δ_H กับ D/H . เป็นต้น. เมื่อ H คือความลึกของการชุกและ D คือระยะห่างจากหลังกำแพงกันดิน. ในงานชุกดินแบบใช้ค้ำยันที่มีการค้ำยันชั้นแรกอยู่ต่ำกว่าระดับดินเดิมนั้น ก่อนที่จะค้ำยันชั้นแรกนั้น เข็มทิศจะเกิดการเสีกรูปแบบคานยื่น (Cantilever type) ซึ่งอาจจะทำให้ δ_v และ δ_H มีค่าสูงมาก. Peck (1969)

และClough&Davidson(1977) กล่าวว่าในงานขุดในชั้นดินเหนียวชั้นแรกก่อนที่จะคิกตั้งค้ำยันนั้น ไม่ควรขุดลึกเกินค่าความลึกวิกฤติ(Critical height, $H_c = 2Su/\gamma$ เมื่อ Su คือกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำและ γ คือหน่วยน้ำหนักรวมของดิน) เพราะจะทำให้เกิด σ_v และ σ_H ของดินหลังกำแพงมีค่าสูง โดยเฉพาะหากคิกตั้งค้ำยันล่าช้า. บางครั้งพบว่า σ_v และ σ_H ที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการขุด (ซึ่งกำแพงกันดินเกิดการเสียรูปแบบคานยื่น) นั้น อาจมีปริมาณสูงกว่าค่า σ_v และ σ_H ที่เกิดขึ้นในช่วงถัดไป (Intermediate stage) เมื่อขุดดินลึกมากขึ้น. ดังนั้นในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ_v กับ σ_H นั้น อาจแยกออกเป็น 3 ช่วงคือ (1) First Stage (2) Intermediate stage และ (3) Final stage of excavation.

มีผู้ศึกษารวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง σ_v กับ σ_H ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดแบบใช้ค้ำยัน ซึ่งส่วนมากมักจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดิน (σ_{vmax}) กับปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพง (σ_{Hmax}) โดยเปรียบเทียบปริมาณที่เวลาเดียวกันหรือที่เงื่อนไขต่าง ๆ เดียวกัน แต่ตำแหน่งที่เปรียบเทียบแตกต่างกัน (คนละตำแหน่ง). ดังจะกล่าวต่อไปนี้

D' Appolonia(1971) พบว่าในงานขุดในชั้นดินหุขชนิด $\sigma_{vmax}/\sigma_{Hmax}$ มีค่าเท่ากับ 0.5 ถึง 2 โดยเฉพาะในช่วงของ 0.67 ถึง 1.33 เป็นช่วงที่น่าเชื่อถือที่สุด

Mana และ Clough(1981) พบว่า $\sigma_{vmax}/\sigma_{Hmax}$ สำหรับงานขุดในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลางแบบใช้ค้ำยันที่ Intermediate และ Final stage of excavation มีค่าประมาณ 0.5 ถึง 1.0.

Finno, Nerby และ Perkins(1988) พบว่าในงานขุดในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลางแบบใช้ค้ำยัน ในช่วงแรกของการขุดซึ่งเริ่มเกิดเกิดการเสียรูปแบบคานยื่นนั้น $\sigma_{vmax}/\sigma_{Hmax}$ มีค่าประมาณ 1.5 โดยมีค่า σ_{vmax}/H และ σ_{Hmax}/H เท่ากับ 2.1 และ 1.4 ตามลำดับ.

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเคลื่อนตัวข้างของ เข็มทิศกับการทรุดตัวของดิน

2.6.1 พารามิเตอร์ของดิน

2.6.1.1 กำลังรับแรงเฉือนของดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาพน้ำระบายน้ำ (S_u) นั้นมีผลต่อค่าปริมาณการเคลื่อนตัวข้างสูงสุดของ เข็มทิศ (δ_{Hmax}) โดยถ้า S_u มีค่าต่ำจะทำให้ δ_{Hmax} มีค่าสูง. โดยทั่วไปจะแสดงผลของกำลังรับแรงเฉือนของดินในเทอมของ

1) Stability Number (N)

Stability Number (N) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้นิยามสภาพของ Marginal stability ซึ่งในงานชุกแบบใช้ค้ำยันในดินเหนียวซึ่งอยู่ในสภาพน้ำระบายน้ำนั้น Stability number, N, มีค่าเท่ากับ $\frac{c}{\gamma H / S_u}$ เมื่อ γ คือหน่วยน้ำหนักรวมของดิน, H คือความลึกของการชุกและ S_u คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบน้ำระบายน้ำ. ค่าของ Stability number, N จะช่วยให้ทราบลักษณะพฤติกรรมในงานชุกได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 : Critical Stability Number

N Characteristic Behavior

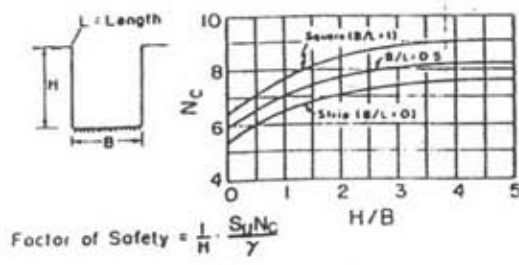
- 2 Problems develop with unsupported excavations in brittle clays
- 4 Problems develop with unsupported excavations in plastic clays.
Zero loads are predicted for support walls according to classical Rankine or Coulomb theory.
- 6 Significant loads and movements begin to develop for braced or tied back excavations.
- 8 Large plastic zones likely in soil around broad excavation; basal heave may become a significant problem if wall system not designed to prevent it.
-

Clough และ Schmidt(1977) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stability Number, N กับกำลังรับแรงเฉือนแบบนํ้าของงานขุดแบบค้ำยันดินเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งใช้หาเสถียรภาพของงานขุดได้

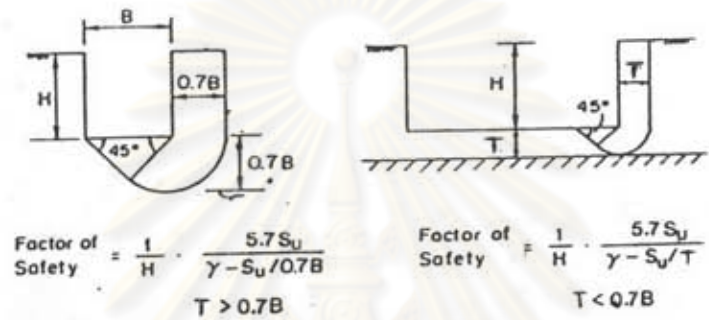
จะเห็นว่าสภาพของ Marginal stability นั้นไม่สามารถที่จะนิยามในเทอมของกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบนํ้าแค่เพียงอย่างเดียวได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับระบบค้ำยัน (Support system) และ Degree of mobilized strength ด้วย

2. Factor of safety against basal heave (F.S.)

ในงานขุดแบบค้ำยัน ขณะที่ขุดดินลึกมากขึ้น การเคลื่อนตัวของดินรอบบริเวณขุดจะ

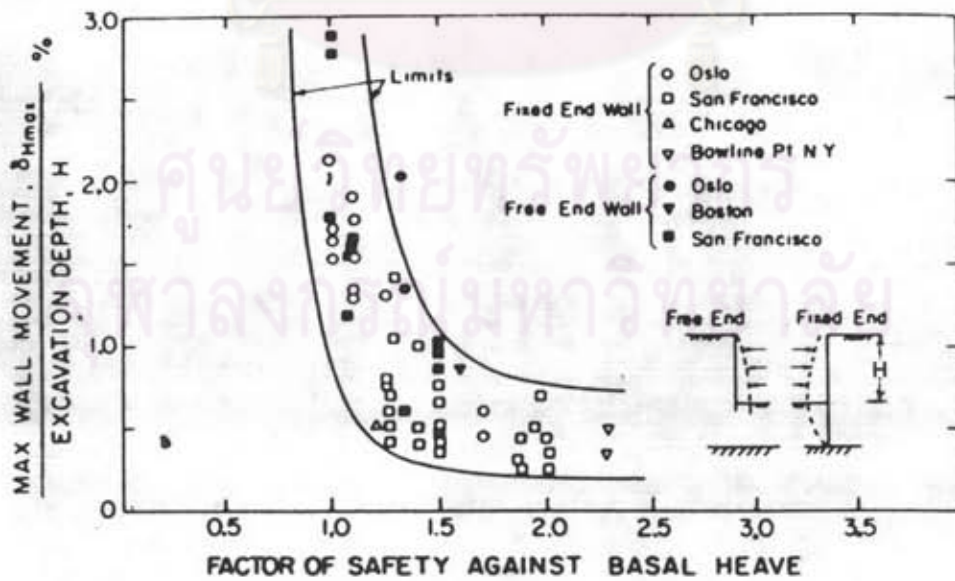


Bottom Heave Analysis for Deep Excavations ($H/B > 1$) - BJERRUM & EIDE (1956)



Bottom Heave Analysis for Shallow Excavations ($H/B < 1$) - TERZAGHI (1943)

รูปที่ 2.6 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของบ่อขุด (Factor of Safety against basal heave, FS.)



รูปที่ 2.7 แอร์มีลแสดงการเคลื่อนตัวทางด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน ($\delta_{Hmax} / H, \%$) กับ Factor of Safety against basal heave, FS. (Manal และ Clough, 1981)

เพิ่มมากขึ้นด้วยซึ่งมีสาเหตุเนื่องต้นมาจากหน่วยแรงเฉือนที่กระทำ (Shear stress) มีค่ามากขึ้นในขณะที่ Factor of safety against basal heave มีค่าน้อยลง

Terzaghi (1943) ได้ให้นิยามของ Factor of safety against basal heave สำหรับงานขุดแบบตื้น และกว้าง (Shallow and wide excavation) ใน Isotropic clay ดังแสดงในรูปที่ 2.6

Bjerrum และ Eide (1955) ได้ให้นิยามของ Factor of safety against basal heave สำหรับงานขุดแบบลึกและแคบ (Deep and narrow excavation) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

จะเห็นว่าการให้นิยามของ Factor of safety against heave ไม่ได้พิจารณาถึงผลของกัมพังกินในส่วนที่จมลงใต้ระดับขุดดิน และการต้านทานต่อการเคลื่อนตัวของดินก็ไม่ได้นำมาพิจารณาด้วย

ได้มีผู้ทำการศึกษาถึงผลของ Factor of safety against basal heave ที่มีต่อการเคลื่อนตัวของดินและกัมพังกิน สำหรับงานขุดแบบค้ำยันในดินเหนียว ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

Mana และ Clough (1981) ได้รวบรวมข้อมูลในสนามของงานขุดแบบใช้ค้ำยันในดินเหนียว Soft to medium clay จำนวน 11 แห่ง ซึ่งมีค่า Plasticity index อยู่ในช่วงค่าถึงปานกลาง (ประมาณ 10-60) และมีความไวตัว (Sensitivity) อยู่ในช่วง 2 ถึง 8 โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety against basal heave, F.S. (ใช้วิธีของ Terzaghi, 1943) กับอัตราส่วนของค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกัมพังกินต่อค่าความลึกของการขุด, ϵ_{Hmax}/H พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน กล่าวคือ ที่ค่า F.S. เท่ากับ 1.4-1.5 จะทำให้ค่า ϵ_{Hmax}/H เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (แสดงให้เห็นว่าดินมีพฤติกรรมอยู่ในสภาพที่จุดคลาก, Yield condition) ในขณะที่

ค่าFS.มากกว่า1.5 จะทำให้ σ_{Hmax}/H มีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ0.5% (แสดงให้เห็นว่าดินมีพฤติกรรม 5
 อยู่ในช่วงElastic) ดังแสดงในรูปที่2.7 อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความกระจัดกระจาย
 (Scatter) เนื่องจากผลของความแตกต่างกันในเรื่องของระยะเวลาการคิดตั้งค้ำยัน, สติฟเนสและ
 ระยะห่างของค้ำยัน, กำลังรับแรงเฉือนของดินที่แท้จริง และขนาดของบ่อขุด. Goldberg,
 Jaworski และGordon(1976) พบว่าในงานขุดแบบใช้ค้ำยันในดินเหนียวแข็ง(Stiff clay)ที่FS.
 มีค่าสูงจะทำให้ σ_{Hmax}/H มีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ0.5%

2.6.1.2 โมดูลัสของดิน (Soil modulus)

โมดูลัสของดิน เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการเคลื่อนตัวของ
 ดิน: เช่นในงานขุดแบบใช้ค้ำยันในดินMedium clayถ้าระบบโครงสร้างค้ำยันเป็นLinear elastic
 แล้ว เมื่อค่าโมดูลัสของดินมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าการเคลื่อนตัวของดินเปลี่ยนแปลงอย่าง เป็นสัดส่วน
 ส่วนผกผันกัน(Inversely proportional change). อย่างไรก็ตามสำหรับในกรณี Marginal
 stability ซึ่งพฤติกรรมของดินได้เปลี่ยนจากสภาพLinear elasticมาเป็นสภาพที่จุดคลาก(Yield
 condition)เนื่องจากการขุดดินที่เพิ่มขึ้นนั้น โมดูลัสประมาณค่าการเคลื่อนตัวของดินอย่าง เป็นสัดส่วน
 กันกับค่าโมดูลัสของดินที่เปลี่ยนแปลงได้ในการใช้Finite element analysis(FEA)ทำนายค่าการ
 เคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินและการเคลื่อนตัวของดิน อาจแสดงค่าโมดูลัสของดินอยู่ในเทอม
 ของกำลังรับแรงเฉือนของดินได้ ดังนี้

$$E_u = M \cdot S_u \dots \dots \dots (2.1)$$

เมื่อ E_u = โมดูลัสของดินแบบน้าระบายน้ำในช่วงElasticก่อนที่จะถึงสภาพPlastic
 yielding

S_u = กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบน้าระบายน้ำ

M = Modulus multiplier

Clough, Hansen&Mana(1979) และ Mana&Clough(1981)พบว่าค่า M ที่

เหมาะสมที่สุดเป็น 300. โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 150 ถึง 1200. อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมนี้ ขึ้นอยู่กับข้อมูลการทดลองและประสบการณ์ (Ladd และคณะ, 1977)

Clough, Hansen & Mana (1979) กล่าวว่า มีพฤติกรรมที่น่าสนใจอย่างหนึ่งคือเมื่อ Factor of safety against basal heave, FS. มีค่าลดลงทำให้ Sensitivity of deflection ของกำแพงลดลงด้วย ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากกรณี Marginal stability นั้นการตอบสนองส่วนใหญ่จะถูกกำหนดโดย Soil element ซึ่งอยู่ในสภาพ Yield condition ดังนั้น Soil element ในส่วน Elastic phase ซึ่งมีค่าโมดูลัสเป็น E_u จึงมีผลต่อพฤติกรรมดังกล่าวอย่างมาก. อย่างไรก็ตาม Undrained modulus, E_u ก็ยังคงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อค่า Deflection ของกำแพง เนื่องจากในสุดท้ายของการเกิด Final deformation นั้นเป็นผลส่วนหนึ่งที่เกิดจากการขูดดินในชั้นคอนก่อนหน้านั้นซึ่งขณะนั้นดินอยู่ในสภาพ Pre-yield condition แล้ว

Broms และคณะ (1986) แนะนำว่าสำหรับ Singapore clay, M ควรจะมีค่าประมาณ 200 โดย Su คือ Field vane strength ของดินซึ่งปรับแก้ตามวิธีที่เสนอโดย Bjerrum (1972)

Balasubramaniam & Brenner (1981) แนะนำว่าสำหรับ Bangkok clay, M ควรจะมีค่าประมาณ 70 ถึง 250 โดย Su คือ Uncorrected field vane strength.

2.6.2 ระบบโครงสร้างค้ำยัน

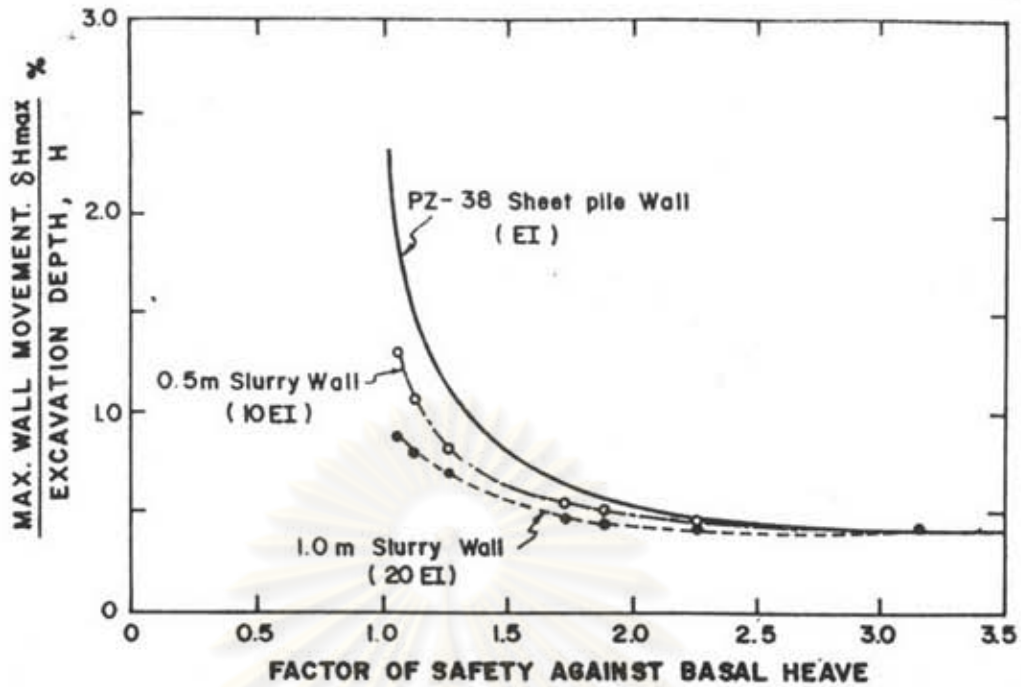
2.6.2.1 สติฟเนสของเข็มทึบ (Sheet pile stiffness, EI)

สติฟเนสของ เข็มทึบมีผลโดยตรงต่อปริมาณการ เคลื่อนตัวของ ค้ำยันข้างของ เข็มทึบ. Palmer และ Kenney (1971) พบว่าในระบบโครงสร้างค้ำยันนั้น สติฟเนสของ เข็มทึบและ สติฟเนสของ ค้ำยันมีผลโดยตรงมากที่สุดต่อปริมาณการ เคลื่อนตัวของ เข็มทึบ (ดูตารางที่ 2.2)

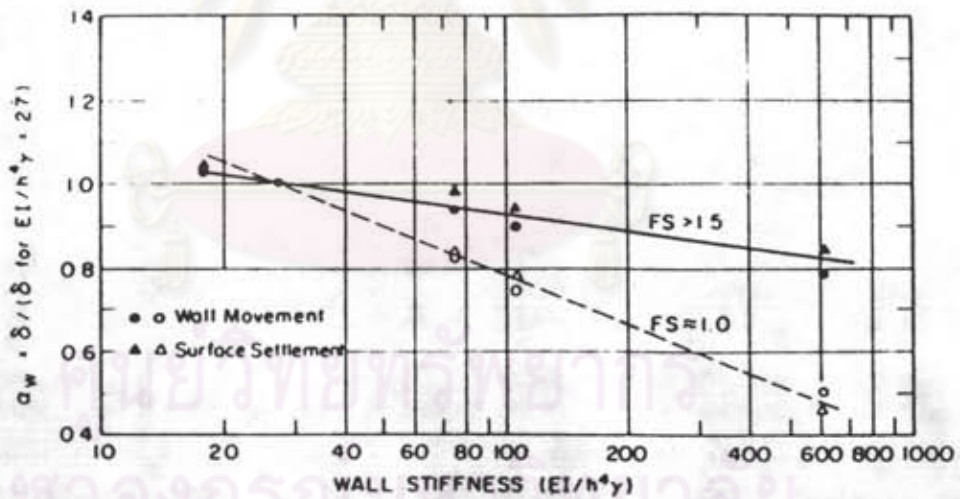
ตาราง 2.2 เปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินและแรงในค้ำยัน (Palmer และ Kenney, 1971)

Parameter	Relative influence*	
	Deformations	Maximum Strut loads
Soil Conditions		
Initial stress ratio	-1	-1
Shear strength		
Shear strength reduction	+1	+1
E_{soil}	-3	-2
Soil-to-pile adhesion	-1	-1
Support Conditions		
El pile	-3	+2
Effective strut stiffness	-3	+3
Prestress	-2	+3
Vertical strut spacing	+2	+3

* Note : (i) Graded from minor influence = 1 to major influence = 3.
(ii) The sign indicates the change in deformations or maximum strut loads for an increase in the value of the parameter (+ for increases, - for decreases).



รูปที่ 2.8 ผลของสทิพเนสของกำแพงกันดินที่มีต่อปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพง (Clough, Hansen และ Mana, 1979)



รูปที่ 2.9 นอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน ($\delta_{Hmax}/H, \%$) กับ นอร์มัลไลซ์สทิพเนสของกำแพง $EI/h^4 \cdot \gamma$ (Mana และ Clough, 1981).

(EI = Wall bending Stiffness per Horizontal Unit of Length
 h = Vertical Strut Spacing: γ = total Unit Weight of Soil)

Clough, Hansen และ Mana (1979) พบว่าค่าแรงแกกันดินที่มีค่า สติฟเนสต่ำจะมีผลทำให้แรงแกเกิดการ เคลื่อนตัวมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่องานชุกนั้นมีค่า Factor of safety against basal heave (FS) ต่ำ แต่ค่าสติฟเนสของแรงแกแทบจะไม่มีผลต่อการ เคลื่อนตัวของแรงแก เมื่องานชุกมีค่า FS สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งช่วยทำให้ประโยชน์ในการเลือกใช้ ชนิดของแรงแกกันดินได้อย่างประหยัด.

Mana และ Clough (1981) ได้ศึกษาถึงผลของสติฟเนสของ แรงแกกันดินแบบใช้ค้ำยันในงานชุกขนาดลึกประมาณ 9-15 เมตร ในดินเหนียวอ่อนโดยวิธี Finite element method จากข้อมูลที่วัดได้ในสนามจำนวน 11 แห่ง ซึ่งมีค่าสติฟเนสของแรงแก (EI) จำนวน 4 ค่า คือ 5310, 8088, 22200 และ 18300 ตัน-คร.ม/ม. โดยได้แสดงผลในเทอมของอัตราส่วนค่าการ เคลื่อนตัวค้ำยันข้างสูงสุดของแรงแก $\delta_{Hmax} / \sigma_{Hmax}$ (for $EI/h^4 \cdot \gamma = 27$) กับนอร์มัลไลซ์ค่าสติฟเนส ของแรงแก ($EI/h^4 \cdot \gamma$) ซึ่งอยู่ในลอการิทึมมิสเกล (เมื่อ h คือระยะห่างในแนวตั้งของค้ำยันและ คือ หน่วยน้ำหนักรวมของดิน) พบว่าสติฟเนสของแรงแก (EI) และระยะห่างในแนวตั้งของค้ำยัน (h) มีความ สัมพันธ์กับ Factor of safety against basal (FS.) การเพิ่มค่า EI และลดค่า h ทำให้การเคลื่อน ตัวค้ำยันข้างสูงสุดของแรงแก (δ_{Hmax}) มีค่าลดลงโดยจะมีผลทำให้ค่า δ_{Hmax} ลดลงมาก เมื่อ FS. มีค่าน้อย กว่า 1 (ดูรูปที่ 2.9)

Wong, Broms และ Goh (1990) พบว่านอร์มัลไลซ์ค่าการ เคลื่อนตัวค้ำยันข้างสูงสุดของแรงแกด้วยความลึกของการชุก ($\delta_{Hmax}/H, \%$) จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ สติฟเนสของแรงแกมีค่าตั้งแต่ 2,000 ตัน/คร.ม/ม. ขึ้นไป.

2.6.2.2 สติฟเนสของค้ำยัน (Strut stiffness, S)

สติฟเนสของค้ำยันมีผลมากต่อปริมาณการ เคลื่อนตัวค้ำยันข้างของ เข็มทิ่ม (Palmer และ Kenny, 1971)

Manal และ Clough (1981) ได้ศึกษาถึงผลของสทิพเนสของค้ำยัน (S) ที่มีต่อการเคลื่อนตัวของกำแพง โดยได้แสดงในเทอมของนอร์มัลไลซ์ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพง [$\delta_{Hmax} / \delta_{Hmax}$ (for $S/h. \gamma = 286$)] กับนอร์มัลไลซ์ค่าสทิพเนสของค้ำยัน ($S/h. \gamma$) พบว่าการเพิ่มค่า S ทำให้ค่า δ_{Hmax} ลดลงแต่จะน้อยมีผลเมื่อ S มีค่าสูงมาก (ดูรูปที่ 2.10)

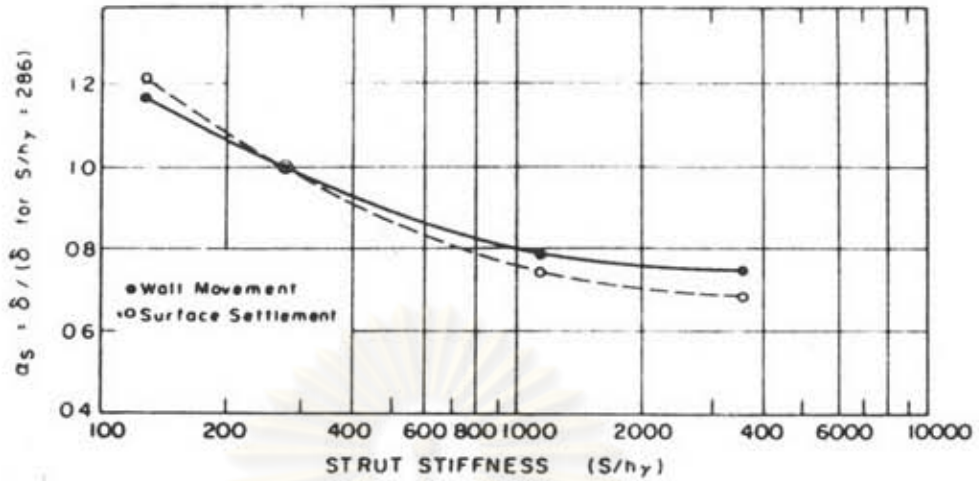
2.6.2.3 ระยะห่างในแนวตั้งของค้ำยัน (Vertical strut spacing, h)

ผลของระยะห่างในแนวตั้งของค้ำยันที่มีต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพง (δ_{Hmax}) จะแสดงในเทอมของสทิพเนสของกำแพง (EI) มักจะแสดงในเทอมของสทิพเนสของกำแพง (EI) และสทิพเนสของค้ำยัน (S) ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10. จะเห็นได้ว่าค่า h เพียงเล็กน้อยทำให้ค่า δ_{Hmax} เปลี่ยนแปลงไปด้วย

สำหรับระยะห่างในแนวตั้ง h ของการค้ำยันชั้นแรกซึ่งจะทำให้กำแพงเกิดการเสียดรูปแบบ Cantilever นั้น Peck (1969) และ Clough Davidson (1977) ได้แนะนำว่าไม่ควรมีค่าเกิน $2Su/\gamma$ (เมื่อ Su คือค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาพน้ำระบายน้ำและหรือหน่วยน้ำหนักรวมของดิน) ซึ่งจะทำให้เกิดค่า δ_{Hmax} มาก โดยเฉพาะหากค้ำยันล่าช้า.

2.6.2.4 การอัดแรงในค้ำยัน (Preloading of strut)

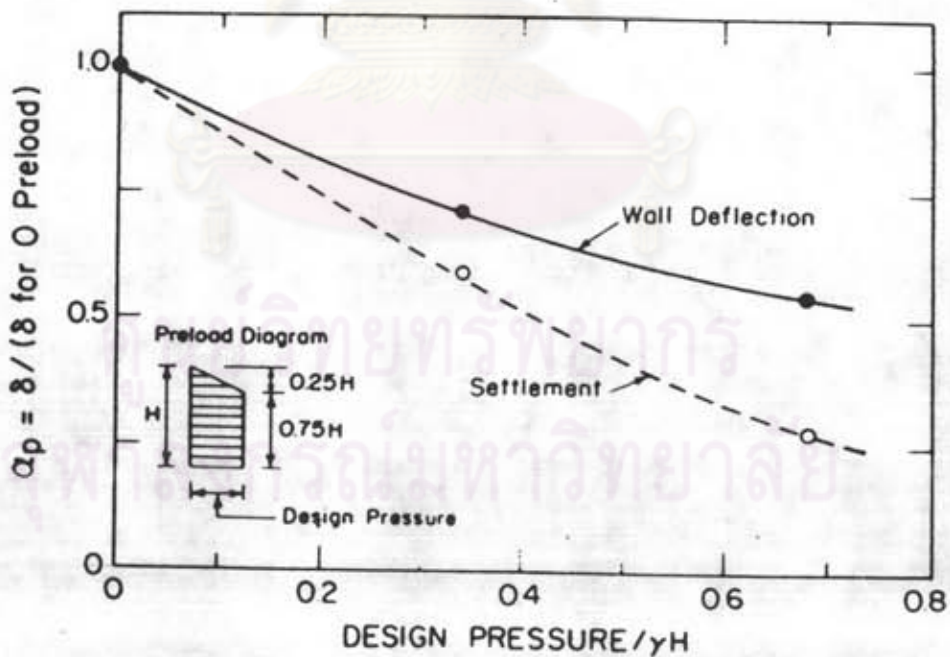
D'Appolonia (1971) พบว่าระบบกำแพงกันดินแบบเข็มค้ำยัน ใช้ค้ำยันของงานขุดดินชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็ง ไม่ว่าจะอัดแรงในค้ำยันหรือไม่นั้นก็ตาม ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดคือความลึกของการขุด (δ_{Hmax})/H, (%) มักจะมีค่ามากกว่า 1% เสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการอัดแรงในค้ำยันมีผลต่อปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของ เข็มค้ำยันไม่มากนัก



รูปที่ 2.10 นอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน ($\delta_{Hmax}/H, \%$) กับ นอร์มัลไลซ์ stiffness ของค้ำยัน S/h_y (Manal และ Clough, 1981)

(S = Strut Stiffness per Horizontal Unit of Length

h = Vertical Strut Spacing; γ = Total Unit Weight of Soil)



รูปที่ 2.11 นอร์มัลไลซ์การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดินกับนอร์มัลไลซ์การอัดแรงในค้ำยัน (Manal และ Clough, 1981)

Manal และ Clough (1981) พบว่าการอัดแรงในค้ำยันช่วยลดค่า $\delta_{Hmax}/H(\%)$ ลงได้ แต่จะมีผลน้อยลง เมื่อการอัดแรงมีค่าสูง (ดูรูปที่ 2.11) นอกจากนี้การอัดแรงในปริมาณที่สูงมากอาจจะมีผลทำให้กำแพงถูกดันเข้า เฉพาะตำแหน่งที่อัดแรงในค้ำยันและอาจจะทำให้อาคารข้างเคียงได้รับความเสียหายได้

Finno, Nerby และ Perkins (1988) พบว่าการอัดแรงในค้ำยันมีผลต่อค่า $\delta_{Hmax}/H(\%)$ น้อยมาก,

2.6.3 ขนาดของงานขุด (Geometric conditions)

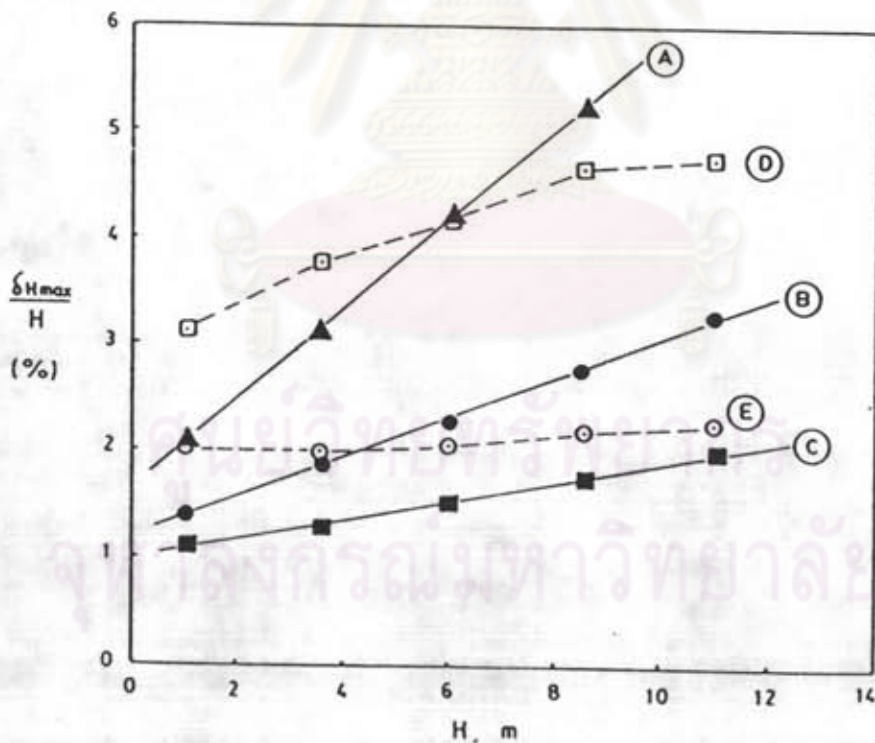
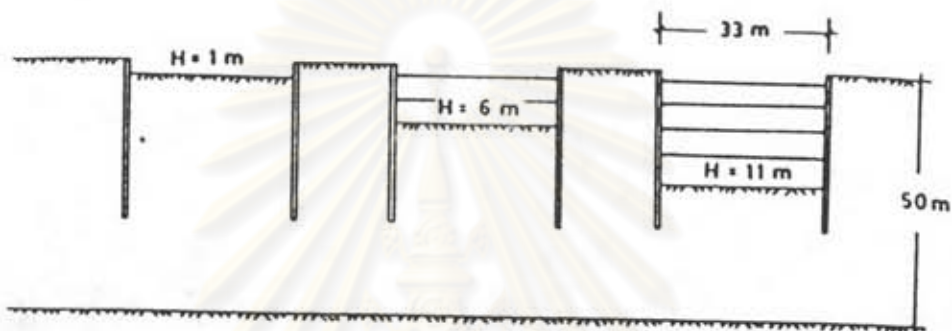
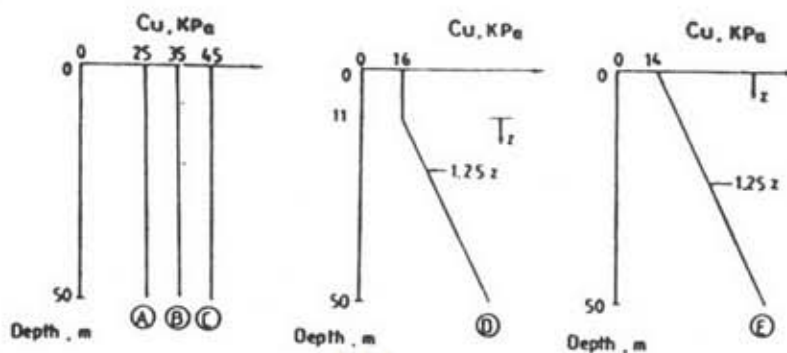
2.6.3.1 ความลึกของการขุด (Depth of excavation, H)

เมื่อความลึกของการขุด (H) เพิ่มขึ้นจะทำให้การเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพง (δ_{Hmax}) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

Wong และ Broms (1989) พบว่าความลึกของการขุด (H) มีผลต่อค่า $\delta_{Hmax}/H(\%)$ โดยถ้าเป็นงานขุดในชั้นดินเหนียวที่มีค่ากำลังแรงเฉือน (S_u) คงที่ตลอดความลึกแล้ว $\delta_{Hmax}/H(\%)$ จะมีความสัมพันธ์กับ H แบบเชิงเส้นตรง โดยการขุดในชั้นดินที่มีค่า S_u ต่ำจะทำให้เกิด $\delta_{Hmax}/H(\%)$ มีค่าสูงกว่าการขุดในชั้นดินที่มีค่า S_u สูงกว่า แต่สำหรับการขุดในชั้นดินที่มีค่า S_u เพิ่มขึ้นตามความลึก นั้นมีแนวโน้มว่าเมื่อขุดดินลึกเพิ่มขึ้น ค่า $\delta_{Hmax}/H(\%)$ อาจจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.12

2.6.3.2 ความกว้างของการขุด (Width of excavation, B)

Wong และ Broms (1989) กล่าวว่าถ้าการขุดในชั้นดินเหนียว (S_u คงที่ตามความลึก) ที่มีความหนาแน่นมากจนทำให้เกิด Plastic yielding ขึ้นเนื่องจากการขุดแล้ว ค่า δ_{Hmax}



รูปที่ 2.12 นอร์มัลไลเซชันการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกานพังกั้นดิน ($\delta_{Hmax}/H, \%$) กับ ความสูงของการชุก, H (Wong และ Broms, 1989)

$\sigma_{Hmax}/H(\%)$ จะเพิ่มขึ้นตามความกว้างของการขุด(B)โดยมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตรง

2.6.3.3 ความหนาของชั้นดินจากระดับขุดถึงชั้นดินแข็ง (Thickness of soil below the bottom of excavation to hard stratum, T)

ชั้นดินเหนียวในส่วนที่อยู่ใต้ขุดลงมาถึงชั้นดินแข็งมีความหนาเป็น T จะมีผลต่อค่า $\sigma_{Hmax}/H(\%)$ เนื่องจากดินในส่วนนี้อาจจะเกิดสภาวะของหน่วยแรงที่จุดคลาก (Yield) ได้ ซึ่งจะทาให้ดินในส่วนนี้เกิดการเคลื่อนตัวสูง

Wong และ Broms (1989) พบว่าการขุดานชั้นดินเหนียวที่มีค่า Su คงที่ตามความลึกซึ่งใช้กำแพงกันดินที่มีปลายล่างไม่ค้ำยันถึงชั้นดินแข็ง (Free end support) นั้น $\sigma_{Hmax}/H(\%)$ มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วน T/B โดยเมื่อค่า T/B เพิ่มขึ้นจะทาให้ $\sigma_{Hmax}/H(\%)$ มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และที่อัตราส่วน T/B มีค่าประมาณ 0.5 ขึ้นไปพบว่า T/B มีผลต่อค่า $\sigma_{Hmax}/H(\%)$ น้อยมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.13

2.6.4 วิธีการก่อสร้าง (Method of construction)

วิธีการก่อสร้างมีผลทาให้ดินเกิดการทรุดตัวหรือกำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนตัวได้ ภายอาจจะเกิดขึ้นก่อนมีการขุดดิน เช่นผลจากการเตรียมงานในสนามได้แก่ การตรวจสอบตำแหน่งและสาธารณูปโภคที่อยู่ใต้ดิน, การรื้อฐานรากเดิม, การเจาะดินเพื่อทาฐานรากเข็มเจาะ และการกด Sheet pile ด้วย Vibro hammer

ในระหว่างการทำงานขุดดิน ตัวประกอบที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินและการทรุดตัวของดิน ได้แก่ ประสิทธิภาพของการทำงาน (เช่น ความชันลาดและความรวดเร็วในการทำงาน), ขั้นตอน-วิธีการขุดดิน (เช่น Excavation step size และ Berm size), และ Dewatering นอกจากนี้ยังโทษของระยะเวลาภายหลังการขุดดินแล้วเสร็จก็เป็นตัวประกอบที่ทาให้เกิดการทรุดตัวและกำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนตัวมากขึ้นได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามผลของตัวประกอบเหล่านี้ยากที่จะประเมินได้ในที่จะกล่าวถึง เฉพาะผลจากขั้นตอนวิธีการขุดดิน

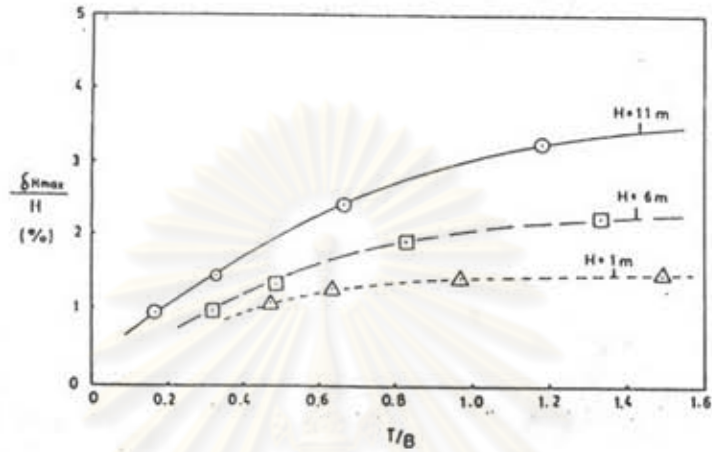
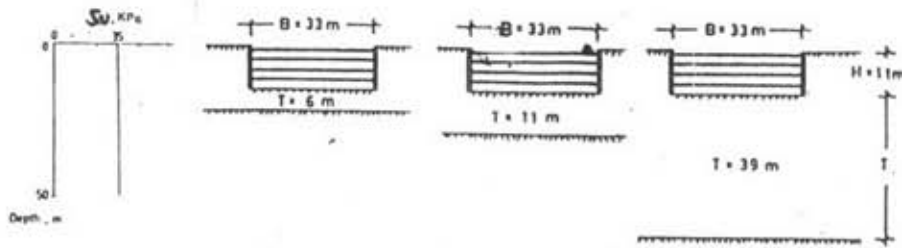
2.6.4.1 Excavation step size (ΔH)

การขุดดินลึกเพิ่มขึ้นในแต่ละชั้นคอน (ΔH) ทำให้กำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ΔS_{Hmax}) ซึ่งปริมาณการเคลื่อนตัวนี้ขึ้นอยู่กับค่าของกำลังรับแรงเฉือนของดิน (S_u) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึกที่ขุด

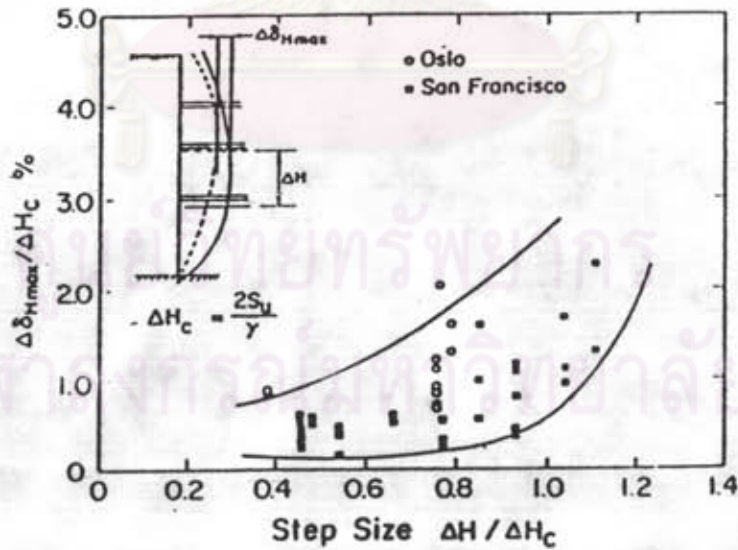
Clough, Hansen & Mana (1979) ได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta S_{Hmax} / \Delta H c$ กับ $\Delta H / \Delta H c$ (ดูรูปที่ 2.14 เมื่อ $H_c = 2S_u / \gamma$) พบว่าเมื่อ $\Delta H / \Delta H c$ มีค่ามากกว่า 0.80 จะทำให้กำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนตัวมาก

2.6.4.2 Berm size (W): Burland (1979) กล่าวว่าในการขุดดินนั้นหากทิ้ง Berm ไว้กว้าง และสามารถขุด Berm ออกพร้อมติดตั้งระบบค้ำยันให้เสร็จภายในเวลาอันรวดเร็วจะช่วยลดค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงและการทรุดตัวของดินได้

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 นอร์มัลสไลการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน ($\delta_{Hmax}/H, \%$) กับ นอร์มัลสไลความหนาของชั้นดินจากระดับตุกถึงชั้นดินแข็ง, T/B (Wong และ Broms, 1989)



รูปที่ 2.14 ผลของช่วงความลึกที่ขุดเพิ่มขึ้นในแต่ละชั้นคอนกรีตต่อการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดของกำแพงกันดิน (Clough, Hansen และ Mana, 1979)