

พฤติกรรมของแบบจำลองเสาเข็มเอียงในดินเหนียวประดิษฐ์กรุงเทพฯ รองรับรับแรงกระทำด้านข้าง

BEHAVIOR OF BATTER PILE IN ARTIFICIAL BANGKOK CLAY SUBJECTED TO LATERAL LOADING

อบเชย ท้วมประดิษฐ์ (Obchoey Taumpradith)

นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประทีป ดวงเดือน (Prateep Duengdeun)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ: เมื่อมีการก่อสร้างบริเวณดินที่มีกำลังต่ำ เช่น บริเวณดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯกรุงเทพฯ ต้องพิจารณาขยายสู่ชั้นดินที่สามารถรับน้ำหนักได้ซึ่งอยู่ลึกลงไปโดยใช้เสาเข็มเป็นตัวถ่ายแรงกระทำทั้งในแนวดิ่งและด้านข้าง สำหรับบางสถานการณ์ที่มีแรงกระทำด้านข้างสูงทำให้เสาเข็มในแนวดิ่งโดยทั่วไปไม่สามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้อย่างมั่นคงและในกรณีดังกล่าวนี้จึงได้นำเสาเข็มเอียง (Batter pile) มาใช้เพื่อรับแรงกระทำด้าน สำหรับบทความนี้จะเป็นการทดสอบอุปกรณ์ของแบบจำลองของเสาเข็มทำจากอลูมิเนียมในดินเหนียวประดิษฐ์กรุงเทพฯ โดยการปักเสาเข็มลงในแท่งทดสอบที่เตรียมไว้ที่อัตราส่วนการฝังชิด L/D (L = ความยาวของเสาเข็มที่ฝัง, D = เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) เท่ากับ 15, 20 และ 30 โดยแต่ละอัตราส่วนการฝังชิดจะเปลี่ยนมุมเอียงของเสาเข็มในช่วง -20° องศาถึง $+20^\circ$ องศาในแนวดิ่ง โดยมุมที่เอียงเข้าหาแรงกระทำเรียกว่าเสาเข็มเอียงแบบ negative และเสาเข็มที่มุมเอียงออกจากแรงกระทำเรียกว่าเสาเข็มเอียงแบบ positive จากการศึกษาพบว่ากำลังต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างของเสาเข็มเอียงแบบ negative ให้ค่าสูงสุด โดยอ้างอิงได้จากค่าโมเมนต์ดัดในแนวแกนที่เกิดขึ้นน้อยและค่ารอยแตกที่ผิวหน้าดินมีขนาดเล็กและสั้น โดยรูปแบบการพิบัติระหว่างการทดลองนี้เป็นข้อยืนยันถึงความแปรเปลี่ยนของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มได้

ABSTRACT: When structures are built on a soil with a low strength like Bangkok clay, which can extend to a considerable depth, piles are generally used to transmit vertical and lateral loads. For a particular situation with large lateral load, vertical pile generally cannot be relied on to withstand the horizontal force, and therefore batter piles are adopted in order to make the result of the external forces act axially on the pile. The results of experimental investigations carried out on instrumented modelled piles that are made from aluminium, installed in artificial Bangkok clay are given in the following report. Tests were conducted with embedment ratios L/D (L is the depth of embedment and D is diameter of the pile) of 15, 20 and 30, and of each embedment ratios, piles were tested with batter angles ranging from -20° to $+20^\circ$ to the vertical. Batter piles can be called negative batter piles if lateral load acts in the direction of batter and can be called positive batter pile if the lateral load acts against the direction of the batter. Eventually, the results of this study will indicate that piles with negative batter offer more resistance to horizontal loads than those with a positive batter. This fact is also confirmed by the moments measured along the axis of pile. Failure patterns observe during testing support the variation in capacity.

KEYWORD: BATTER PILE

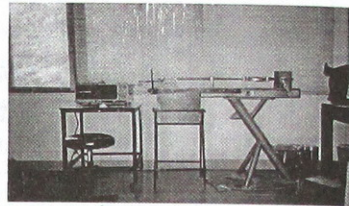
1. บทนำ

ในภาคกลางของประเทศไทยชั้นดินตะกอนเป็นดินอ่อนที่มีกำลังต่ำปกคลุมอยู่เป็นบริเวณกว้างและมีความหนามากเป็นผลให้การก่อสร้างฐานรากประสบปัญหาไม่สามารถรับน้ำหนักได้ จึงได้นำเสาเข็มมาเพื่อถ่ายแรงกระทำทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ สำหรับกรณีที่โครงสร้างมีแรงกระทำด้านข้างหรือแนวราบสูง เช่น ค้ำยันสะพาน (Bridge abutment), ตอม่อ (Piers), โครงสร้างชายฝั่งทะเล (Off-shore structure), โครงสร้างกันดิน (Retaining structure) ซึ่งเสาเข็มรับแรงในแนวดิ่งไม่สามารถต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างได้ ดังนั้นจึงได้นำเสาเข็มเอียง (Batter pile) มาเพื่อรับแรงกระทำด้านข้างแทนซึ่งสิ่งสำคัญสำหรับตัวเสาเข็มเอียงคือการออกแบบให้ตรงกับพฤติกรรมและรูปแบบที่แท้จริงขณะรับแรงกระทำจึงต้องมีการศึกษาที่จริงจังงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาค้นคว้าของแบบจำลองเสาเข็มเอียงในดินเหนียวโดยใช้ดินเหนียวประดิษฐ์กรุงเทพฯ เพื่อขจัดปัญหาการเก็บตัวอย่างดินเหนียวแบบคงสภาพ (Undisturb sample)

2. อุปกรณ์

การทดลองใช้แบบจำลองเสาเข็มกลวงทำจากอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร หนาประมาณ 1.2 มิลลิเมตร และยาว 400 มิลลิเมตร โดยเสาเข็มจะมีอุปกรณ์วัดความต้านทาน (Strain gauge) ซึ่งจะแปรเป็นค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment) ตลอดความยาว โดยเครื่องวัดจะติดตั้งเป็นคู่ มีศูนย์กลางตรงข้ามกัน ติดตั้งที่ตำแหน่งเสาเข็มต่ำจากผิวดิน 1.5 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลาง, กลางเสาเข็ม และ 1.5 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลางจากปลายเสาเข็มตามลักษณะการเกิดโมเมนต์ดัด (Broms, 1964) โดยเชื่อมต่อแต่ละคู่เข้า Data logger อ่านค่าความเครียดดัด และแปรเป็นค่าโมเมนต์ดัดต่อไป การทดสอบเสาเข็มในแท่งค้ำขนาด 350x100x300 มิลลิเมตร โดยขนาดแท่งค้ำขึ้นอยู่กับขนาดของเสาเข็มที่ใช้ทดสอบ ขอบเขตอิทธิพล (Zone of Influence) ซึ่ง Feagin (1953) พบว่าขอบเขตอิทธิพล (Interference zone) มีขอบเขตจำกัดจากระยะเท่ากับ 8 - 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม ในทิศทางของแรง และ 3 - 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มในแนวดิ่งฉากกับแรงกระทำ จากการศึกษาจนถึงปัจจัยดังกล่าวจึงออกแบบให้ขนาดใหญ่เพียงพอที่จะหลีกเลี่ยงผลของการรบกวน

สำหรับการติดตั้งรูปแบบของแรงกระทำได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 โดยเครื่องมือวัดดัดแปรจากการเครื่องการทดลอง Direct shear test และการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ผิวดินจะวัดโดยใช้ dial gauge (1 ช่อง ต่อ 0.0001 นิ้ว) ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเหนียวประดิษฐ์กรุงเทพฯ (ก้อ โซค และคณะ, 2543) โดยมีอัตราส่วนผสมของ Bentonite : Kaolinite ที่ 1 : 8 และเปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถจำลองสมบัติทางด้านกำลังรับแรงอัดแบบ Unconfined compressive strength ของดินกรุงเทพฯ ได้ดีที่สุด โดยให้ค่า Unconfined compressive strength ประมาณ 0.25 ตันต่อตารางเมตร, ค่าความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์, ความหนาแน่นรวม 1.4 ตันต่อตารางเมตร และความหนาแน่นแห้ง 0.9 ตันต่อตารางเมตร



ภาพที่ 1 แบบจำลองเสาเข็มเอียง

3. ขั้นตอนการทดลอง

ผสมและบรรจุดินเหนียวประดิษฐ์กรุงเทพฯ แบ่งเป็น 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นเข้าเครื่องเขย่าประมาณ 10 นาทีเพื่อไล่ฟองอากาศและเพื่อให้เป็นเนื้อเดียว (Homogenous) แล้วติดตั้งเสาเข็มที่ติด strain gauge และสายไฟแล้วตามความยาวและมุมเอียงในแท่งทดลองจากนั้นนำแท่งทดลองบ่มไว้ 7 วัน เพื่อให้กำลังของดินประมาณ 0.25 ตันต่อตารางเมตร จากนั้นทำการทดลองให้แรงกระทำที่ความสูง 90 มิลลิเมตรจากระดับผิวดิน โดยรายละเอียดการทดลองตามตารางที่ 1

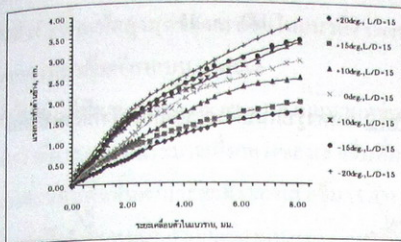
ตารางที่ 1 รายละเอียดเสาเข็มที่ทำการทดลอง

ตัวอย่างที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง D (ม.ม.)	ระยะฝังดิน L (ม.ม.)	L/D	มุมเอียง (องศา)
1	9	135	15	-20°, -15°, -10°, 0°
2	9	180	20	+10°, +20°
3	9	270	30	

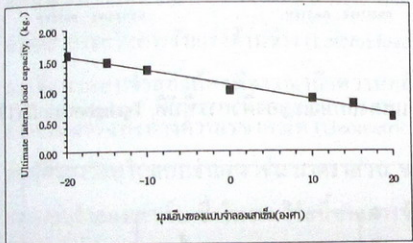
4. ผลการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ ดังภาพที่ 2 สำหรับระยะฝังที่อัตราส่วน L/D เท่ากับ 15 โดยมีมุมเอียงต่างๆ เมื่อเพิ่มน้ำหนักจะมีการเพิ่มของระยะเคลื่อน

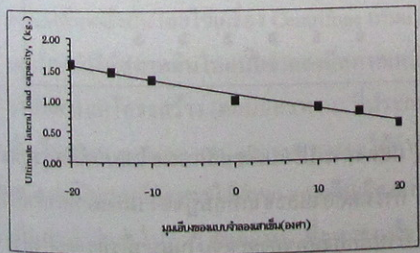
ตัวและมีแนวโน้มที่คล้ายกันสำหรับมุมเอียงที่ต่างกันและทุก
 ระยะฝั่งยึดพบว่าเสาเข็มเอียงแบบ negative มีระยะเคลื่อนตัว
 น้อยกว่าเสาเข็มแนวตั้งและเสาเข็มเอียงแบบ positive
 การทดสอบหาค่าของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแนวตั้งตาม
 ทฤษฎีของ Broms (1964) พบว่าจะมีค่ากำลังรับน้ำหนัก
 (ultimate lateral load resistance) ที่ระยะเคลื่อนตัวด้านข้างที่
 ระดับผิวดินประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของ
 เสาเข็ม



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและระยะ
 เคลื่อนตัวในแนวราบ (L/D = 15)



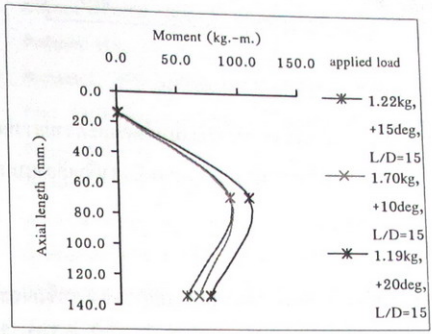
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักและ
 มุมเอียงของแบบจำลองเสาเข็ม (L/D = 15)



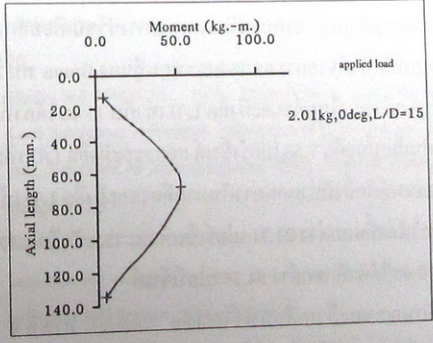
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนัก
 และอัตราการฝั่งยึดที่มุมเอียงต่างๆ

จากภาพที่ 3, 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนัก
 และมุมเอียงของแบบจำลองเสาเข็ม พบว่ากำลังรับน้ำหนักของ

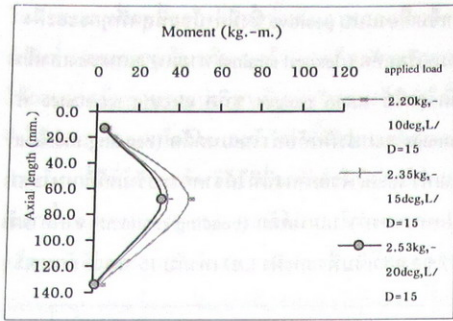
เสาเข็มเอียงแบบ negative มีค่ามากที่สุดตามด้วยเสาเข็มในแนว
 ตั้งและเสาเข็มเอียงแบบ positive ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดที่ทุกระยะฝั่ง
 ค่าความเครียดคด (flexural strains) ตามแนวแกนของเสาเข็ม
 ที่ทำการวัดโดยใช้ strain gauges ชนิด electric resistance ค่า
 flexural strains จะแปรผันกับค่าโมเมนต์คด (bending moment)
 โดยการคูณค่า strain ด้วยค่าคงที่ได้จากการปรับแก้ที่เหมาะสม
 โดยได้รูปแบบของค่าโมเมนต์คด (bending moment) จากภาพที่
 5, 6 และ 7 ของเสาเข็มที่ระยะฝั่ง L/D เท่ากับ 15 พบว่า ลักษณะ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คดและความยาวของ
 เสาเข็มที่ระยะฝั่ง L/D = 15กรณี เสาเข็มเอียงแบบ
 positive



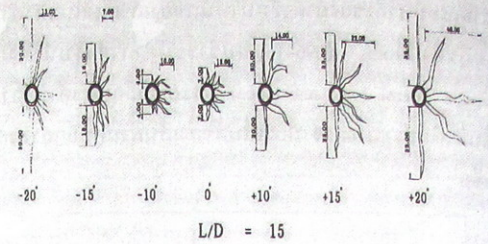
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คดและความยาวของ
 เสาเข็มที่ระยะฝั่ง L/D = 15กรณี เสาเข็มแนวตั้ง
 (vertical pile)



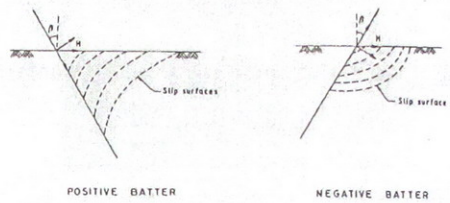
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คดและความยาวของเสาเข็มที่ระยะฝัง $L/D = 15$ กรณี เสาเข็มเอียงแบบ negative

โมเมนต์คดที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวของเสาเข็มและมีค่าสูงสุดที่ประมาณกึ่งกลางของเสาเข็มในส่วนที่ฝังลงไปในดิน หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงและค่าโมเมนต์คดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นและทุกระยะฝังยึดพบว่าค่าโมเมนต์คดกรณีเสาเข็มเอียงแบบ negative จะมีค่าน้อยกว่ากรณีเสาเข็มแนวตั้ง (vertical) และเสาเข็มแนวตั้งมีค่าโมเมนต์คดน้อยกว่าเสาเข็มเอียงแบบ positive จากภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโมเมนต์คดที่ได้จากการทดลองและทฤษฎีของ Broms พบว่าให้ค่าที่แตกต่างกันโดยที่ระยะฝังยึด L/D เท่ากับ 15 จะได้ค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยคือ 7.58 เปอร์เซ็นต์ และระยะฝังยึด L/D เพิ่มขึ้นค่าโมเมนต์คดยังมีค่าแตกต่างกันมากคือระยะฝังยึด L/D เท่ากับ 20 จะได้ค่าที่แตกต่าง 21.31 เปอร์เซ็นต์และระยะฝังยึด L/D เท่ากับ 30 จะได้ค่าที่แตกต่าง 84.79 เปอร์เซ็นต์

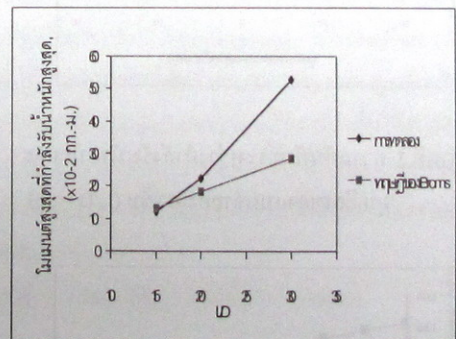
ลักษณะของผิวเคลื่อนพัง (failure surface) ภาพที่ 9 ที่มีลักษณะคล้ายกับที่เสนอโดย Tschebotarioff ภาพที่ 10 เป็นลักษณะหนึ่งที่สามารถยืนยันถึงกำลังรับน้ำหนักและ โมเมนต์คดตามแนวแกนของเสาเข็มเอียงได้ว่า เสาเข็มเอียงแบบ negative มีความต้านทานต่อการรับแรงกระทำหรือมีกำลังรับน้ำหนักได้มากกว่าเสาเข็มแนวตั้งและเสาเข็มเอียงแบบ positive



ภาพที่ 9 แสดงรูปแบบผิวการเคลื่อนพังที่ผิวหน้าดิน



ภาพที่ 10 แสดงลักษณะของผิวการพิบัติ, Tschebotarioff (1953)



ภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโมเมนต์คดสูงสุดจากการทดลองและจากทฤษฎีของ Broms ที่กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มในแนวตั้งที่ระยะฝังต่าง ๆ

5. สรุปผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบกับแบบจำลองเสาเข็ม
อลูมิเนียมติดตั้งในดินเหนียวประติษฐานกรุงเทพฯ ซึ่งจากการ
ทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มแนวตั้งและเสาเข็มเอียงมี
ค่าเพิ่มขึ้นตามระยะฝังของเสาเข็ม (L/D) และกำลังรับน้ำ
หนักสูงสุดของเสาเข็มพบว่าเสาเข็มเอียงแบบ negative มี
กำลังรับน้ำหนักสูงสุดมากกว่าเสาเข็มแนวตั้ง (vertical) และ
กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มในแนวตั้ง (vertical) มีค่า
มากกว่าเสาเข็มเอียงแบบ positive
2. ค่าโมเมนต์ดัด (bending moment) ตามแนวแกนของเสาเข็ม
พบว่ามีค่าสูงสุดที่ประมาณกึ่งกลางของเสาเข็มที่ฝังลงในดิน
และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะฝังของเสาเข็ม (L/D) และพบว่า
ที่ระยะฝัง L/D พบว่าเสาเข็มเอียงแบบ negative มีค่าโมเมนต์
ดัดต่ำกว่าเสาเข็มแนวตั้ง (vertical) และค่าโมเมนต์ดัดของ
เสาเข็มแนวตั้งมีค่าน้อยกว่าเสาเข็มเอียงแบบ positive
3. ลักษณะการเคลื่อนที่ของผิวหน้าดิน สันับสนุนถึง
ความสามารถในการรับแรงด้านข้าง (Lateral load)
4. การศึกษาแบบจำลองต้องพิจารณาถึงความคล้ายคลึงกับ
ความเป็นจริงทั้งทางด้านเรขาคณิต (Geometric) และคุณสมบัติของวัสดุในแบบจำลอง เช่น มาตรการส่วน, ขนาดเม็ดดิน
และแบบจำลองเสาเข็ม ซึ่งในงานวิจัยนี้ขาดการจำลองความ
คล้ายคลึงกันทางด้านคุณสมบัติของวัสดุคือแบบจำลอง
เสาเข็มอลูมิเนียมซึ่งพบว่าค่าโมเมนต์ดัดของแบบจำลองและ
ทฤษฎีของ Broms จะได้ค่าสอดคล้องกันเมื่ออัตราส่วนการ
ฝังยึด (L/D) ไม่เกิน 20 ตามภาพที่ 11 และอาจจะมีการจำลอง
ความคล้ายคลึงกันโดยใช้เครื่อง Centrifuge เพิ่มแรงโน้มถ่วง
ของโลกทำให้สภาพดินในแบบจำลองมีสภาพเหมือนจริง
5. การออกแบบโครงสร้าง (ตอม่อสะพาน) ที่ประกอบด้วยเสา
เข็มเอียงแบบ negative และ positive ควรจะใช้ค่ากำลังรับน้ำ
หนักและโมเมนต์ดัดควรใช้ค่าของเสาเข็มเอียงแบบ positive
เป็นตัวกำหนดในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยของ
โครงสร้าง

เอกสารอ้างอิง

1. จุมพล คินตัก, ธงชัย พึ่งรัตติ และพิภพ วสุวานิช. 2528. เอกสาร
เสริมบูรณวิธีวิทยา เล่มที่ 19. ฝ่ายสหเทศสัมพันธ์ กองเสริมรุกกิจและเขย
แพร่ กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ. 29 น.

2. วรารกร ไผ่เรียง, จิรพัฒน์ โชติไกร และประทีป ดวงเดือน. 2525.
ปฏิภนศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ. 179 น.
3. ก่อโชค จันทรวงกูร, สายชล ชอบประดิษฐ์ และกริชฤทธิ์ หิขิมเจริญ
พร. 2543. ดินเหนียวประติษฐานเพื่อใช้ในการจำลองดินเหนียวอ่อน
กรุงเทพฯ. เอกสารทางวิชาการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ. 7 น.
4. Awad, A. and G. Petrasovits. 1969. Consolidation on the bearing
capacity of vertical and batter piles subjected to forces acting in
different direction. Proc. 3rd Budapest Conf. On SM and FE.
Budapest. 34 p.
5. Bjerrum, L. 1972. Embankment on soft ground, State of art report.
Proc. ASCE Spec. Conf. On Performance of Earth and Earth
Supported Structure. Lafayette Vol. 2: 150.
6. Breaud, J.L., T.P. Smith. and B. Meter. 1983. Pressure meter
gives elementary model for laterally loaded pile. International
Symposium on In-situ Testing, Paris, Vol. 2: 217-221
7. Broms, B.B. 1964a. Lateral resistance of piles in cohesive soil.
Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE,
Vol. 90, SM2: 27-63
8. _____ 1964b. Lateral resistance of piles in cohesive soil.
Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE,
Vol. 90, SM3: 123-156
9. Feagin, L.B. 1953. The lateral load tests on group of battered and
vertical piles. Special Technical Publication, No. 154, ASTM: 12-
30
10. Haeley and Aldrich Inc. 1969. Effect of Deep Well Pumping on
Land Subsidence in Bangkok. Report by Camp, Dresser and Macky
Inc., Submitted to Metropolitan Water Workers Association,
Bangkok. 3 p.
11. Murthy, V.N.S. 1964. Behaviour of batter piles embeded in sand
subjected and vertical piles. Proc. Symposium on Bearing Capacity
of Piles, CBRI Rookee, India: 142-153.
12. Perry, C.C. and H.R. Lissner. 1955. The Strain Gauges Primer.
Mc Graw Hill Book Company, New York. 569 p.
13. Hrennikoff, A. 1950. Analysis of pile foundations with batter
piles. Transaction, ASCE, Vol. 115, No. 2401: 351-374.
14. Matsuo, H. 1938. Test on Lateral Resistance of Piles. Japanese
Report No. 42. Research Institute of Civil Engineering, Ministry
Home Affairs, Japan. 56 p.
15. Poulos, H.G. 1940. Ultimate lateral resistance of pile. Pile
Foundation Analysis and Design: 143-156.