

แผนภูมิสำหรับการออกแบบความสูงคันทางบนชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

CHART FOR THE DESIGN HEIGHT OF EMBANKMENT ON SOFT BANGKOK
CLAY LAYER IN THE VICINITY OF BANGKOK METROPOLIS.

รองศาสตราจารย์ วิชาญ ภูพัฒน์, Ph.D.

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นางสาวมณฑา ตันติพรหมินทร์

นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email address: thipmonta@hotmail.com

บทคัดย่อ : ปัจจุบันได้มีการทำแผนภูมิสำหรับการออกแบบบนสภาพชั้นดินแล้วใน 2 รูปแบบ คือ 1. แผนภูมิสำหรับการออกแบบบนสภาพชั้นดินแบบเนื้อเดียวโดยที่ค่ากำลังรับแรงเฉือนคงที่ตามความลึก 2. แผนภูมิสำหรับการออกแบบบนสภาพชั้นดินแบบเนื้อเดียวโดยที่ค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง แต่เนื่องจากดินในธรรมชาติไม่ Homogeneous แต่มีลักษณะเป็น Layer ซึ่งรวมทั้งดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ด้วย ซึ่งชั้นบนสุดเป็นชั้น Crust ถัดลงมาเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน และได้ชั้นดินนี้ลงไปเป็นดินเหนียวแข็งที่มีความแตกต่างสูง โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษา วิเคราะห์ เพื่อจัดทำแผนภูมิสำหรับการออกแบบหาความสูงของคันทางบนชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ หรือดินอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน

งานวิจัยได้กระทำโดยศึกษาในรายละเอียดของลักษณะชั้นดินจากข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จำนวนมาก ประมาณ 1,096 หลุม เฉพาะในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากข้อมูลกำลังรับแรงเฉือนของดินสามารถแบ่งลักษณะชั้นดินได้ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบ A และ B โดยรูปแบบ A ค่ากำลังรับแรงเฉือนในชั้น Crust จะลดลง และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกในชั้นดินเหนียวอ่อน ส่วนรูปแบบ B จะต่างกับ A ตรงที่ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะคงที่ตามความลึกในส่วนที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน

จากลักษณะกำลังของดินทั้ง 2 รูปแบบนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาความสูงของคันทาง โดยอาศัยทฤษฎีวิเคราะห์ Slope Stability Analysis แบบ Undrained Total Strength โดยคำนึงถึงผิวน้ำหนักจรบนผิวคันทางและกำลังเฉือนของดินจะทำการปรับลดในชั้น Crust สำหรับความสูงของคันทางที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบในแผนภูมิการออกแบบนี้ กำหนดค่าความปลอดภัยไว้ที่ 1.8 และ 2.0

ABSTRACT : The main objective of this research is to develop charts for designing height of embankment on soft Bangkok clay in the vicinity of Bangkok metropolis area. Studying from the Bangkok clay origin and the soil properties, especially the soil strength profile, from a large number of soil boring logs within the city boundary. It was found that the soft Bangkok clay stratum composed

of three sub layers of marine clay deposits; crust at the top, soft marine clay in the middle and medium intertidal clay at the bottom. Soil strength versus depth characteristic of the multi layer soil stratum was then interpreted and classified into two typical patterns.

The embankment heights were then analysed based on the two soil strength patterns. The design chart for each strength pattern was formed by varying the soil strength versus depth within the boundary of Bangkok clay strength profile. Safety factor of 1.8 and 2.0 were arranged in the chart for appropriate application. The stability analysis was performed based on limit equilibrium method using computer program called KUSlope version 1.18. The circular failure surface is assumed in this analysis. The vertical tension cracks are initially assumed in the embankment material. Water pressure and earthquake forces are not included.

KEYWORDS : SOFT BANGKOK CLAY, DESIGN CHART, SLOPE STABILITY, HEIGHT OF EMBANKMENT

ปัจจุบันแผนภูมิสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินถมคันทาง (หรือดินถมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู) บนชั้นดิน นับว่าเป็นประโยชน์และให้ความสะดวกรวดเร็ว สำหรับการออกแบบคันทางบนชั้นดินอ่อนเป็นอย่างมาก ปัจจุบันแผนภูมิลักษณะนี้ได้จัดทำขึ้นและมีใช้กันอย่างกว้างขวางเพียง 2 ลักษณะชั้นดินของฐานรากคือ 1. ดินฐานรากเป็นดินแบบเนื้อเดียวและมีกำลังรับแรงเฉือนคงที่ตลอดความลึก 2. ดินฐานรากเป็นดินที่มีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นแปรผันโดยตรงกับความลึก แต่เนื่องจากธรรมชาติของชั้นดินอ่อนปากแม่น้ำเจ้าพระยาของประเทศไทย ซึ่งได้รับขนานนามว่า “ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ” นี้ เป็นชั้นดินที่มีเนื้อดินไม่สม่ำเสมอ แบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น ชั้นบนสุดเป็นชั้นเปลือก ที่ค่อนข้างแข็งมีความหนาประมาณ 3.0 – 5.0 เมตร ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 5.0 เมตร จากลักษณะชั้นดินดังกล่าว จึงทำให้เงื่อนไขของลักษณะชั้นดินแตกต่างไปจากเงื่อนไขที่มีอยู่ในแผนภูมิการวิเคราะห์เสถียรภาพดินถมทั้ง 2 รูปแบบ ที่กล่าวมาแล้วนั้น โครงการวิจัยนี้จึงจัดทำการวิเคราะห์เสถียรภาพ เพื่อหาความสูงของดินถมคันทางบนชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในลักษณะชั้นดิน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบ A และ B โดยรูปแบบ A ค่ากำลังรับแรงเฉือนในชั้นเปลือกจะลดลง และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกในชั้นดินเหนียวอ่อน ส่วนรูปแบบ B จะต่างกับ A ตรงที่ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะคงที่ตามความลึกในส่วนที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน

1. บทนำ

ประเทศไทยคือประเทศหนึ่งในหลายสิบประเทศที่มีตะกอนของชั้นดินเหนียวอ่อนปกคลุมเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ สำหรับประเทศไทย ชั้นดินเหนียวอ่อนปกคลุมพื้นที่ 13 จังหวัด บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างที่จะไหลออกสู่อ่าวไทย เนื่องจากการก่อสร้างและงานออกแบบดินถมคันทางหรือดินถมเขื่อนดินมี

ความจำเป็นต้องวิเคราะห์เสถียรภาพของดินถมเหล่านี้ให้ละเอียดถี่ถ้วน และต้องออกแบบหาความสูงที่เหมาะสม

เนื่องจากงานวิเคราะห์เพื่อหาความสูงของคันทาง คันดินนี้เป็นงานที่ต้องมีการคำนวณเป็นปริมาณมาก ใช้เวลานาน แม้จะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณและประมวลผลก็ตาม การจัดทำแผนภูมิเพื่อช่วยในการออกแบบหาความสูงของคันทางนี้ จึงนับว่าเป็นประโยชน์อย่างมาก แต่เนื่องจากปัจจุบันแผนภูมิสำหรับการออกแบบหาความสูงของคันทางที่มีอยู่ มีเงื่อนไขในด้านลักษณะดินฐานรากไม่สอดคล้องกับลักษณะของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ปกคลุมบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาวิชิตบทความวิชาการนี้เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยของมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งได้จัดทำแผนภูมิความสูงของคันทางบนชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Bangkok Clay) ที่ได้จัดทำออกมาในลักษณะที่สะดวกต่อการนำไปใช้งาน

2. วิธีการ

วิจัยโดยศึกษาคุณสมบัติของชั้นดินอ่อน โดยรวบรวมข้อมูลจำนวน 1,271 หลุม โดยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร รวม 1,163 หลุม (ซึ่งเป็นผลจากการทำ Wash Boring จำนวน 1,054 หลุม และ Field Vane Shear Test 109 หลุม โดยมีผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Test จากตัวอย่างที่ได้จากการทำ Wash Boring เพียง 891 หลุม) และอยู่นอกเขตกรุงเทพมหานครอีกจำนวน 108 หลุม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ดังรูปที่ 1 โดยที่ข้อมูลมาจากหลากหลายบริษัท, หลายยุคเวลาและฤดูกาล แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก

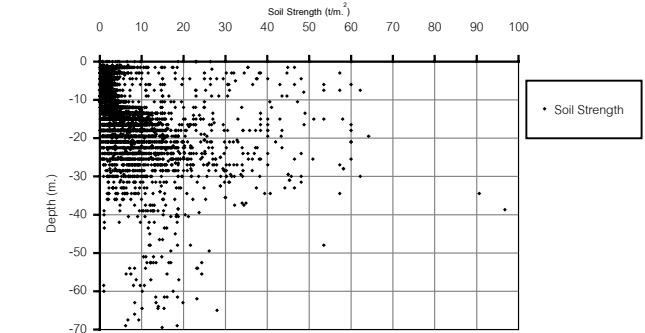
ได้ดังรูปที่ 2 ได้พบรูปแบบของชั้นดินและกำลังของชั้นดิน ซึ่งนำไปใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินต่อไปนำค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินตามความลึกมาวิเคราะห์จะได้รูปแบบของกำลัง 2 รูปแบบ แตกต่างกัน ดังรูปที่ 3 แล้วจึงแบ่งซอยเส้นรูปแบบกำลังออกเป็น Interval เท่าๆ กัน คือ 0.15 t/m^2 โดยให้ครอบคลุมใน Boundary ของกลุ่มข้อมูลทั้งหมด ดังในรูปที่ 4 จากนั้นนำรูปแบบกำลังของดินที่ได้มาแบ่งชั้นดิน ทุกๆ 1.00 m. และหาค่ากำลังและหน่วยน้ำหนักของดินในแต่ละชั้น

ในการหาความสูงของดินถมคันทาง (H) นั้น ทำโดยรักษาความกว้างของคันทาง (W) เท่ากับ 12.0 เมตร และเปลี่ยนความลาดชันด้านข้าง (s) ของคันทาง ได้แก่ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ แล้วจึง Trial ค่า H จนได้ค่า F.S. ครอบคลุม 1.8 - 2.0 ดังแสดงในภาพที่ 6 จากนั้นจึงนำค่า H และ F.S. ที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อหาความสูงของดินถมคันทาง (H) ที่ F.S. เท่ากับ 1.8 และ 2.0 จากนั้นจึงนำรูปแบบกำลังของดินทั้ง 2 รูปแบบและตารางสรุปผลค่า H และ F.S. พร้อมทั้งรูปแบบจำลองสภาพชั้นดินและดินถมคันทาง (รวมน้ำหนักจรเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^2$) ของทั้ง 2 รูปแบบ มาจัดทำเป็น Design Chart vs. ตารางความสูงคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำหนักจรเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^2$) ได้ ดังในภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



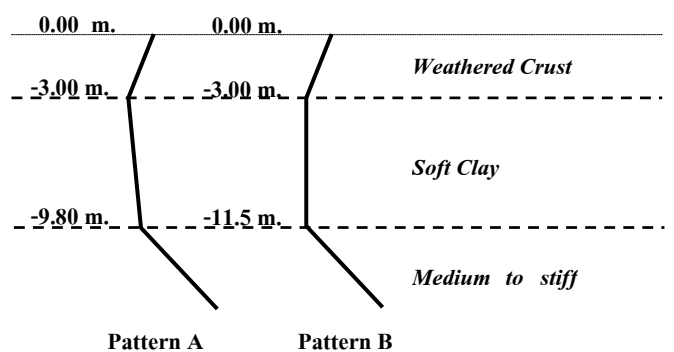
รูปที่ 1 รูปตัดขวางแสดงตำแหน่งหลุมเจาะในเขตกรุงเทพมหานครทั้งหมด

ทำการสร้างรูปแบบจำลองสภาพชั้นดินและดินถมคันทาง รวมน้ำหนักจรเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^2$ (ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงฯ) พร้อมใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงเฉือน หรือ Cohesion และ Unit Weight ของดินฐานราก ดังในภาพที่ 5 โดยค่ากำลังรับแรงเฉือนเป็นค่าที่ได้ทำการปรับแก้ในชั้น Weathered Crust โดยวิธีของ Tavenas and Leroucil (1980) แล้ว ส่วนค่า Unit Weight (γ) ของ Embankment นั้น ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่าง S_u และ γ_t ในตารางที่ 1 จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าเสถียรภาพความลาดชัน (F.S.) ของดินถมคันทางบนดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในกรณีเกิด Tension Crack ไม่คิดแรงดันน้ำและแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว โดยใช้โปรแกรม KUslope ตามกรณีต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (SS) และความลึก (D) ในเขตกรุงเทพมหานคร

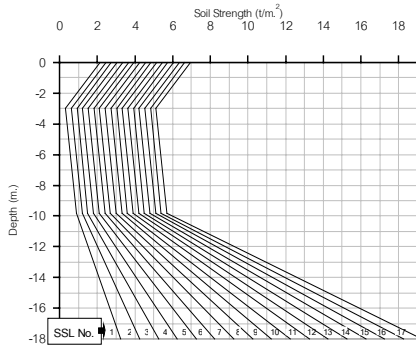
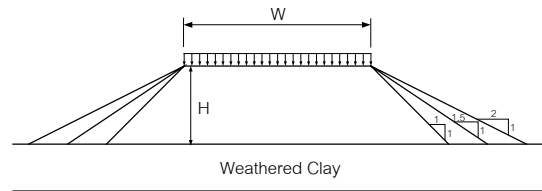
- ความลาดเอียงของตัวคันทาง = 1:1, 1:1.5, 1:2
- ความกว้างคันทาง = 12.0 เมตร
- เส้นกำลังรับแรงเฉือน Soil Strength Lines (SS)
 - Pattern A มี 17 เส้น
 - Pattern B มี 16 เส้น



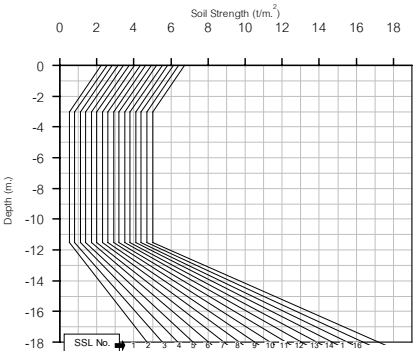
รูปที่ 3 แบบลักษณะกำลังของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่พบจากการวิจัย

โดยมีวิธีการใช้ Design Chart vs. ตารางความสูงคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำหนักจรเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^2$) นี้ พร้อมทั้งตัวอย่างในภาคผนวก และได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จาก Design Chart vs. ตารางความสูงคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำ

หนักจรรเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^2$) นี้ด้วยในภาคผนวก จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ สรุปผล พร้อมข้อเสนอแนะ



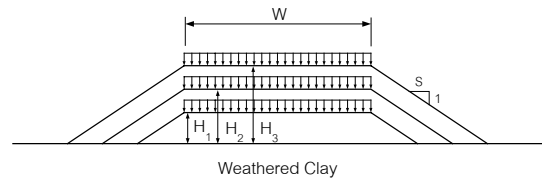
Pattern A



Pattern B



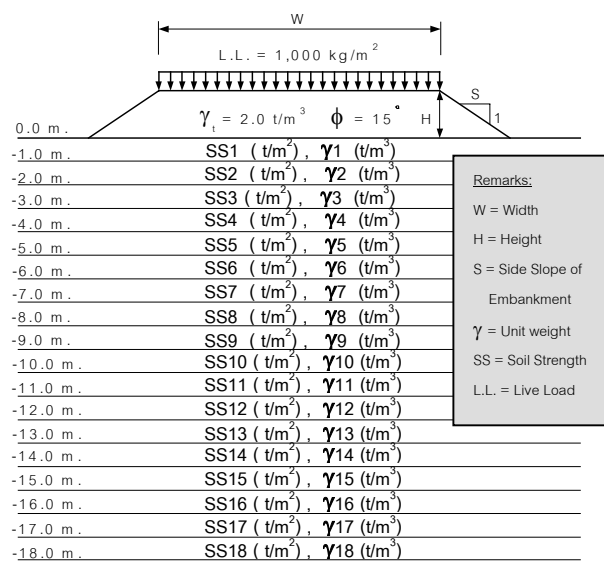
การเปลี่ยนแปลงความลาดชันของคันทางเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า F.S.



การเปลี่ยนแปลงความสูงของคันทางเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า F.S.

รูปที่ 6 การ Trial เพื่อหาความสูงของดินถมคันทางให้ครอบคลุม F.S. เท่ากับ 1.8-2.0

รูปที่ 4 การแบ่งซอยเส้นรูปแบบกำลังของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ รูปแบบ A (บน) และ B (ล่าง) ตามลำดับ]



รูปที่ 5 รูปแบบจำลองสภาพชั้นดินและดินถมคันทาง รวม น.น.จร = 1,000 kg/m^2 (ตามมาตรฐานของกรมทางฯ) พร้อมใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

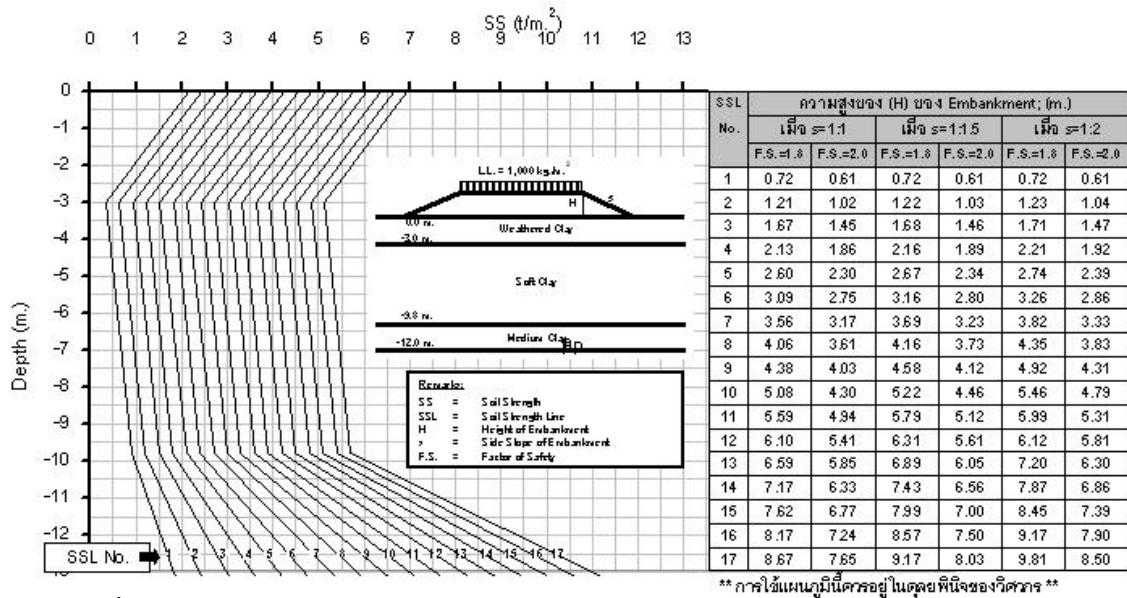
3. ผลการวิจัย

3.1.1 ได้ Character ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือน (SS) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ และความลึก (D) เป็น 2 Pattern คือ

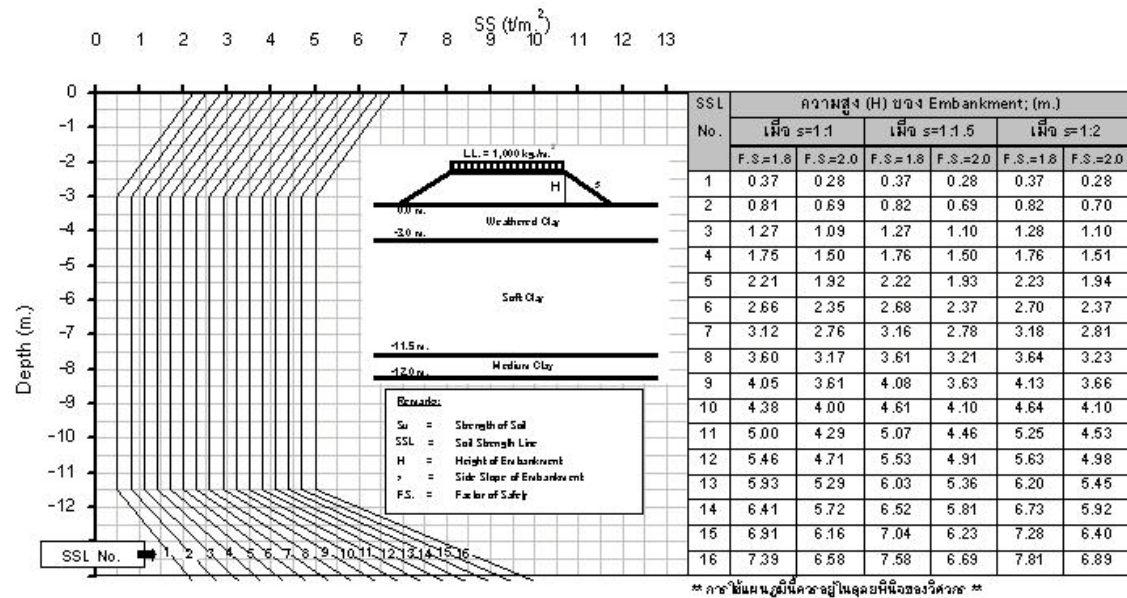
- Pattern A ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะค่อย ๆ ลดลงตามความลึกในชั้น Weathered Crust (ช่วงความลึก 0.0 ถึง -3.0 m.) แล้วจากนั้นในชั้นดินเหนียวอ่อน (ช่วงความลึก -3.0 ถึง -9.8 m.) ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเลขชั้นดินเหนียวอ่อนลงไปค่ากำลังรับแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 3

- Pattern B ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะค่อย ๆ ลดลงตามความลึกในชั้น Weathered Crust (ช่วงความลึก 0.0 ถึง -3.0 m.) แต่ในชั้นดินเหนียวอ่อน (ช่วงความลึก -3.0 ถึง -11.5 m.) ถัดลงมานั้นค่ากำลังรับแรงเฉือนจะ Uniform ตามความลึกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเลขชั้นดินเหนียวอ่อนลงไปค่ากำลังรับแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 3

3.1.2 จากการวิจัยครั้งนี้สามารถจัดทำ Design Chart แสดง Soil Strength Lines vs. ตารางความสูงของดินถมคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำหนักจรรเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^2$) ได้ ดังภาพที่ 7 - 8



รูปที่ 7 แผนภูมิสำหรับการออกแบบแสดง Soil Strength Lines vs. ตารางความสูงของดินถมคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำหนักจวรเท่ากับ 1,000 kg/m²) ของ Pattern A



รูปที่ 8 แผนภูมิสำหรับการออกแบบแสดง Soil Strength Lines vs. ตารางความสูงของดินถมคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำหนักจวรเท่ากับ 1,000 kg/m²) ของ Pattern B

4. สรุปผล

4.1 สรุปผล

3.1.1 พบลักษณะ (Character) ของดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay) เป็น 2 Pattern คือ Pattern A และ Pattern B ดังภาพที่ 3

3.1.2 ได้แผนภูมิสำหรับการออกแบบแสดง Soil Strength Lines vs. ตารางความสูงของดินถมคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำหนักจวรเท่ากับ 1,000 kg/m²) ดังภาพที่ 7-8

3.1.3 แผนภูมิสำหรับการออกแบบแสดง Soil Strength Lines vs. ตารางความสูงของดินถมคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำ

หนักจวรเท่ากับ 1,000 kg/m²) ของทั้ง Pattern A และ B นี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยที่ค่าความปลอดภัยที่ยอมรับได้นั้นถูกต้อง เป็นจริง

3.2 ข้อเสนอแนะ

3.2.1 ข้อมูลในการทำวิจัยนั้นยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของกรุงเทพมหานคร และยังไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ทั้งหมด 13 จังหวัด หากมีการทำวิจัยต่อโดยขยายพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ให้ครอบคลุมมากขึ้นหรือ

ทั้งหมด จะทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางและครอบคลุมยิ่งขึ้น

3.2.2 ในการทำวิจัยนี้ได้ทำครอบคลุมเฉพาะ F.S. = 1.8 และ 2.0 เท่านั้น หากมีการเพิ่มเติมให้ครอบคลุมช่วง F.S. มากขึ้น จะทำให้สามารถใช้งานได้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

3.2.3 สามารถนำแผนภูมิสำหรับการออกแบบแสดง Soil Strength Lines vs. ตารางความสูงของดินถมคันทางที่ปลอดภัย (รวมน้ำหนักจรเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^2$) ของทั้ง Pattern A และ B นี้ ไปปรับให้ใช้กับพื้นที่ลุ่มแม่น้ำอื่น ๆ ได้

ตารางที่ 1 สรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Su และคุณสมบัติทางกายภาพ

	Undrained Shear Strength (ton/sq.m.)	R ²
Wn	$Su = 6.26 - 0.58 * Wn^{0.5}$	0.47
LL	$Su = 31.22 - 6.54 \ln(LL)$	0.18
PL	$Su = 22.45 - 5.56 \ln(PL)$	0.11
PI	$Su = 18.22 - 3.98 \ln(PI)$	0.14
LI	$Su = -1.52 + 9.08 * e^{-(LI)}$	0.48
γ_t	$Su = -5.81 + 1.95 * \gamma_t^3$	0.54
σ'_v	$Su = 0.51 * \sigma'_v$	0.54

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณประธานกรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.วิชาญ ภูพัฒน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานและแก้ปัญหาในการทำวิจัย พร้อมทั้งคอยให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ด้วยดีตลอดมา และรศ.ดร. วรากร ไม้เรียง หัวหน้าศูนย์วิจัยวิศวกรรมปฐพีและฐานรากที่ได้ให้ความสะดวกในการนำข้อมูลเพื่อใช้ในการทำวิจัย ตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและคอยให้กำลังใจมาตลอด สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณรัฐธรรม อิศโรพาร ที่ได้คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือทุก ๆ เรื่อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปณูท สุวรรณวิวัฒนา. 2545. ลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯ โดยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ GRASS. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] วรากร ไม้เรียง และ ชูเลิศ จิตเจื้อจุน. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน. เอกสารการประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 6. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [3] วิชาญ ภูพัฒน์. 2517. ถนนบนดินอ่อน. รายงานฉบับที่ 10. กองวิเคราะห์วิจัย, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.

- [4] ศูนย์วิจัยและพัฒนาทางหลวง. 2544. การพัฒนา Design Chart เพื่อการออกแบบคันทางบนดินอ่อน, น.1-24. ในรายงานการสัมมนาวิศวกรรมทาง ครั้งที่ 1. กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- [5] ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก. 2540. คู่มือการใช้งาน KUslope. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [6] Matar, M. & Salencon, J. 1979. Capacite portante des semelles filantes. *Revue Francaise de Geotechnique*, No.9: 51-76.