

ข้อมูลลักษณะชั้นดินภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Subsoil Data at Kamphaeng Saen Campus of Kasetsart University

สิริัญญา ทองชาติ^{1*}

Siranya Thongchart^{1*}

ABSTRACT

The Kamphaeng Saen Campus of Kasetsart University is located in an area of complex subsoil affected by geological processes. Therefore, the knowledge of its soil structure and texture is essential for future building constructions. It was observable that the subsoil profiles of Kamphaeng Saen soil were influenced by alluvial and marine deposits in Pleistocene and Holocene epochs. The profiles exhibited the alternate strata of stiff clay and sand layers. However, in some locations there existed soft clay and loose sand in first three meters. According to that Amphoe Kamphaeng Saen is located in the western periphery of Bangkok clay, this possibly causes soil heterogeneity and non-homogeneous soil layers. The water contents in soil ranged from 10 – 30 % and the unit weights ranged from 1.9 – 2.2 t/m³. The empirical relationship between w_n and γ_t , was $\gamma_t = 2.55 - 0.176 \ln(W_n)$ ($R^2 = 0.91$). While, the relationship between SPT-N and γ_t was $\gamma_t = 0.0024N + 1.9962$ ($R^2 = 0.823$). The first sand and second layers were observable at the depths of about 10 and 20 – 24 meters, respectively. Therefore, piles of no shorter than 10 meters long might be essential for the construction of low raised buildings of below than 4 stories. While, the limitations of soft soil layers beneath the footing must be seriously aware of for construction of small buildings on spread footing. The bindings in this study are useful contributing to the development of database system and data expansion to ESDS-KU database system which will be useful for university infrastructure planning, involved engineers and campus administrators.

Key words: Database, Kamphaeng Saen subsoil, Soil properties, Geology

บทคัดย่อ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ชั้นดินมีความซับซ้อนของลักษณะชั้นดินตามกระบวนการทางธรณีวิทยา ลักษณะชั้นดินที่พบยืนยันให้เห็นว่า อ.กำแพงแสน เป็นรอยต่อของตะกอนที่ได้รับอิทธิพลจาก Alluvial deposit และ Marine deposit สมัย Pleistocene กับ Holocene ที่ทำให้เกิดการวางตัวของชั้นทรายสลับกับชั้นดินเหนียว พบชั้นดินเหนียวอ่อนและทรายหลวมแทรกตัวอยู่บางในช่วง 3 ม.แรก

^{1*} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Civil Engineering Department, Faculty of Engineer at KamphaengSaen, Kasetsart University KamphaengSaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 0-8183-91350, Fax. 034-3510851, E-mail address: fengsytc@ku.ac.th

เนื่องจากกำแพงแสนเป็นขอบด้านตะวันตกของดินเหนียวกรุงเทพฯ ทำให้ลักษณะชั้นดินมีความแตกต่างและไม่สม่ำเสมอ คุณสมบัติของดินมีค่า w_n อยู่ระหว่าง 10 – 30 % ค่า γ_t อยู่ระหว่าง 1.9 – 2.2 t/m³ โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า w_n กับ ค่า γ_t คือ $\gamma_t = 2.55 - 0.176 \ln(W_n)$ ($R^2 = 0.91$) และความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N และค่า γ_t คือ $\gamma_t = 0.0024N + 1.9962$ ($R^2 = 0.823$) จากลักษณะชั้นดินที่พบชั้นทรายชั้นที่ 1 ที่ระดับความลึก 10 ม. และทรายชั้นที่สองที่ระดับความลึก 20 – 24 ม. ดังนั้นในการก่อสร้างอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 4 ชั้น จึงอาจใช้เสาเข็มตอกที่มีความยาวเข็มประมาณ 10 ม. สำหรับโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น อาคารชั่วคราว หรืออาคารชั้นเดียว หากใช้ฐานรากแผ่จำเป็นต้องระมัดระวัง เนื่องจากพบชั้นดินอ่อนแทรกตัวอยู่เป็นแห่งๆ ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการจัดเก็บข้อมูลของวิทยาเขตกำแพงแสนและเกิดการขยายฐานข้อมูลร่วมกันกับระบบฐานข้อมูล ESDS-KU ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรโยธาและที่สำคัญต่อผู้บริหารวิทยาเขตที่ในการนำไปใช้วางแผนพัฒนาการใช้พื้นที่ให้ถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

คำสำคัญ: ฐานข้อมูล ชั้นดินกำแพงแสน คุณสมบัติของชั้นดิน ธรณีวิทยา

คำนำ

ข้อมูลลักษณะชั้นดินทางธรณีเทคนิคมีความจำเป็นต่องานทางด้านวิศวกรรมโยธาเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนของการออกแบบตลอดจนการก่อสร้าง ซึ่งโดยธรรมชาติของดินเองเป็นการยากยิ่งที่จะทราบคุณสมบัติที่แท้จริงเนื่องจากดินเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติผ่านกระบวนการพัดพาและการตกตะกอนที่แตกต่างกัน ทำให้ชั้นดินมีความแปรปรวนทั้งภายในตัวมันเอง (Inherent variability) และความคลาดเคลื่อนของระบบ (Systematic error) เทคนิคทางวิศวกรรมปฐพีมีวิธีการพิจารณาข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดินโดยการเจาะสำรวจทั้งการเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบโดยตรงในสนาม ซึ่งจะทำให้ทราบสภาพของชั้นดินภายในพื้นที่ก่อสร้าง

ทั้งนี้โดยปกติการดำเนินโครงการก่อสร้าง จะทำการเจาะสำรวจในขั้นตอนของการออกแบบเพื่อจะกำหนดความยาวของเสาเข็มหรือกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มต่อต้นเอาไว้และจะทำการยืนยันความยาวของเสาเข็มอีกครั้งในขั้นตอนการก่อสร้าง จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่า ข้อมูลการเจาะสำรวจดินในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา

เขตกำแพงแสน เริ่มต้นครั้งแรกเมื่อประมาณ 30 ปีที่แล้ว ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างวิทยาเขต (กัญญา, 2523) ซึ่งทุกครั้งที่มีการก่อสร้างจะมีข้อมูลหลุมเจาะสำรวจเพิ่มขึ้น แต่รูปแบบของการจัดเก็บผลการเจาะสำรวจจะอยู่ในรูปแบบเอกสาร (Hard copy) ที่เสี่ยงต่อการสูญหาย ยากต่อการสืบค้นใช้งาน และกระจัดกระจายตามหน่วยงานที่รับผิดชอบ อีกทั้งพื้นที่นี้ลักษณะทางธรณีวิทยาที่เกิดขึ้นในอดีตทำให้เกิดความซับซ้อนของลักษณะชั้นดิน ดังนั้นทำให้ข้อมูลที่มีอยู่ยังขาดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการออกแบบที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาข้อมูลลักษณะชั้นดิน (Soil Profile) ความแปรปรวนของลักษณะชั้นดิน คุณสมบัติพื้นฐาน (Basic Properties) และคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของชั้นดิน (Strength Properties) ภายในวิทยาเขตกำแพงแสน และจัดทำฐานข้อมูลชั้นดินทั้งจากข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมทั้งหมดร่วมกับข้อมูลการเจาะสำรวจเพิ่มเติมรวมทั้งสิ้น 30 หลุม นำเข้าข้อมูลทั้งหมดจัดเก็บในโปรแกรมระบบการนำเข้า

ข้อมูล (Input data) ของฐานข้อมูลทางวิศวกรรมที่ ได้รับการพัฒนาล่าสุดที่เรียกว่า ESDS-KU (เซต พันธ์, 2553) องค์ความรู้เหล่านี้จะช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพในการวางแผนป้องกัน แก้ไข ออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่าง ถูกต้อง อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผลรวม ขององค์กรภายในมหาวิทยาลัย ทั้งผู้ปฏิบัติงาน จนกระทั่งผู้บริหารวิทยาเขต วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ (Geological and Geotechnical Background)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ตั้งอยู่ในตำบลกำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งใน เขตที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ลักษณะทาง ธรณีวิทยาส่วนใหญ่เป็นตะกอนสมัย Pleistocene

กับ Holocene ซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดจากการสะสม ตัวโดยทางน้ำบนบก ทั้งตะกอนน้ำพา และตะกอน ตะกัฟลุ่มน้ำ มีความหนาแน่นประมาณ 500 - 2,000 ม.(ว.ส.ท., 2546) ดินตะกอนส่วนนี้ ประกอบด้วยชั้นดินทรายสลับกับชั้นดินเหนียวที่อัด แน่นวางตัวซ้อนทับกันอยู่บนชั้นหินฐาน ซึ่ง สอดคล้องกับการศึกษาขอบทะเลในอดีตของกรม ทรัพยากรธรณีที่พบว่า ในสมัย Holocene (ช่วง 4,000 - 6,000 ปี ที่ผ่านมา) ภูเขาน้ำแข็งทางขั้ว โลกเหนือได้เริ่มละลายตัวทำให้ระดับน้ำทะเล ค่อยๆ เพิ่มขึ้น (ประมาณ 4 - 5 ม.รทก.) ซึ่งเป็น กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดชั้นดินเหนียวอ่อน ปากแม่น้ำ (Deltaic Clay) ดัง Figure 1 (ที่ราบลุ่ม ภาคกลางตอนล่างจนถึงจังหวัดอ่างทอง)

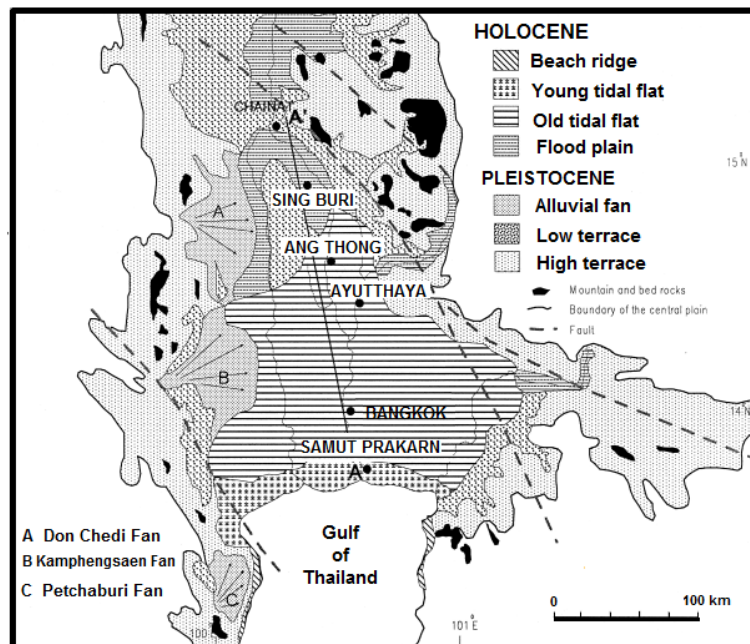


Figure 1 Geologic Map of Quaternary deposits in the Lower Central Plain (modified after Dheeradilok, 1987)

ชั้นดินเหนียวด้านบนเป็นดินที่กำหนดไม่นานจึงมีสภาพอ่อน ที่ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำเจ้าพระยา และทำกินเป็นส่วนใหญ่ มีแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำบางปะกงเสริมอยู่ทางทิศตะวันตกและตะวันออกตามลำดับ ตะกอนดินเหนียวส่วนใหญ่พัดพามาจากตอนเหนือของประเทศไหลลงสู่ท้องทะเลทางปากแม่น้ำ ตกตะกอนในสภาพน้ำเค็มในท้องทะเลเรียกว่า “Marine Clay” ในขณะที่บางส่วนตกตะกอนที่ชายฝั่งในสภาพน้ำกร่อยเรียกว่า “Intertidal Clay” ในช่วงที่ระดับน้ำทะเลยกกระดืบ (Transgression Period) ดินตะกอนชายฝั่งจะวางตัวอยู่ที่ชั้นดิน Marine Clay แต่ในช่วงที่ระดับน้ำทะเลลดระดับลง (Regression Period) ดินตะกอนชายฝั่งจะวางตัวอยู่บนชั้น Marine Clay ฉะนั้นชั้นดินเหนียวอ่อนปากแม่น้ำของประเทศไทยจึงประกอบด้วยชั้นดินตะกอน 3 ชุด คือ ดินตะกอนชายฝั่งวางตัวอยู่บนชั้น Marine Clay ที่ค่อนข้างหนาวางตัวถัดลงมา และมีชั้นดินตะกอนชายฝั่งอยู่ที่ Marine Clay อีก (วิชาญ, 2546) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ “ดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok Clay)” ที่ได้รับการตั้งชื่อโดย ศ.ดร.ชัยมุกตาพันธ์ (สุวัฒน์ และคณะ, 2538) ปกคลุมพื้นที่ประมาณ 14,000 ตารางกิโลเมตร (ประมาณ 14 จังหวัด) เป็นตะกอนดินเหนียวอ่อนที่มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 10-15 ม. โดยมีส่วนที่หนาที่สุด (ประมาณ 30 ม.) อยู่บริเวณตะวันตกของปากแม่น้ำบางปะกง

สำหรับบริเวณด้านตะวันตกของ อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ด้านตะวันตกของ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม บริเวณตะวันออกของ อ.เมืองและ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี เป็นตะกอนน้ำพารูปพัดใหม่ (Young alluvial fan) ซึ่งประกอบด้วยชั้นกรวดสลับกับชั้นทราย และชั้นทรายแป้ง มีดินลูกรังปิดทับผิวด้านบน หนาประมาณ 80 ม. วางทับอยู่บนตะกอนรูปพัดยุคเก่า (อดิษฐ์, 2551) อีกทั้ง อ.กำแพงแสนยังถือว่าเป็นขอบทางด้านตะวันตกของดินเหนียวกรุงเทพ (ดัง Figure 1) ซึ่งลักษณะชั้นดินจะมีชั้น

ดินเหนียวอ่อนไม่หนามาก พบชั้นทรายได้ที่ระดับความลึกประมาณ 10 ม. และเนื่องจากรอยต่อที่เกิดจากธรณีวิทยา 2 รูปแบบ ทั้งอิทธิพลของ alluvial และ Marine deposit ทำให้ลักษณะชั้นดินใน อ.กำแพงแสนค่อนข้างซับซ้อน และเกิดความแปรปรวนสูง ในปัจจุบันยังไม่สามารถระบุได้ว่าจุดต่อหรือขอบของดินเหนียวกรุงเทพอยู่ที่ใดบ้าง

ระเบียบและวิธีการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดำเนินการตั้งแต่ศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ และรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

เก็บรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะที่มีการเผยแพร่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 - 2554 จากเอกสารงานวิจัย (กัญญา, 2523; ปรีทัศน์และคณะ, 2548 และเชิดพันธ์, 2553) และข้อมูลหลุมเจาะที่มีการก่อสร้างภายในวิทยาเขต ซึ่งสามารถรวบรวมได้จำนวน 23 หลุมเจาะ

ทำการเจาะสำรวจชั้นดินเพิ่มเติม (Soil boring) ด้วยวิธีการเจาะแบบฉีดย้ำ (Wash boring) ตามมาตรฐาน ASTM D1587 และการทดสอบตอกทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test; SPT) ตามมาตรฐาน ASTM D1586 โดยจะทำการเจาะสำรวจถึงระดับความลึกไม่เกิน 20 ม. จากผิวดิน (ในพื้นที่กำแพงแสน ชั้นทรายชั้นที่ 1 อยู่ที่ความลึกประมาณ 10 - 13 ม.) ในพื้นที่ 7 แห่งได้แก่ (Figure 2)

- BH-1: บริเวณหน้าอาคาร DNA TECHNOLOGY LABORATORY
- BH-2: บริเวณหน้าสำนักหอสมุด กำแพงแสน
- BH-3: บริเวณอาคารศูนย์เรียนรวม 1

- BH-4: บริเวณหน้าหอพักนิสิตชาย อาคาร 5
- BH-5 บริเวณแปลงต้นไม้
- BH-6 บริเวณบ่ออภัยทาน
- BH-7 บริเวณอาคารปฏิบัติการ 5 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

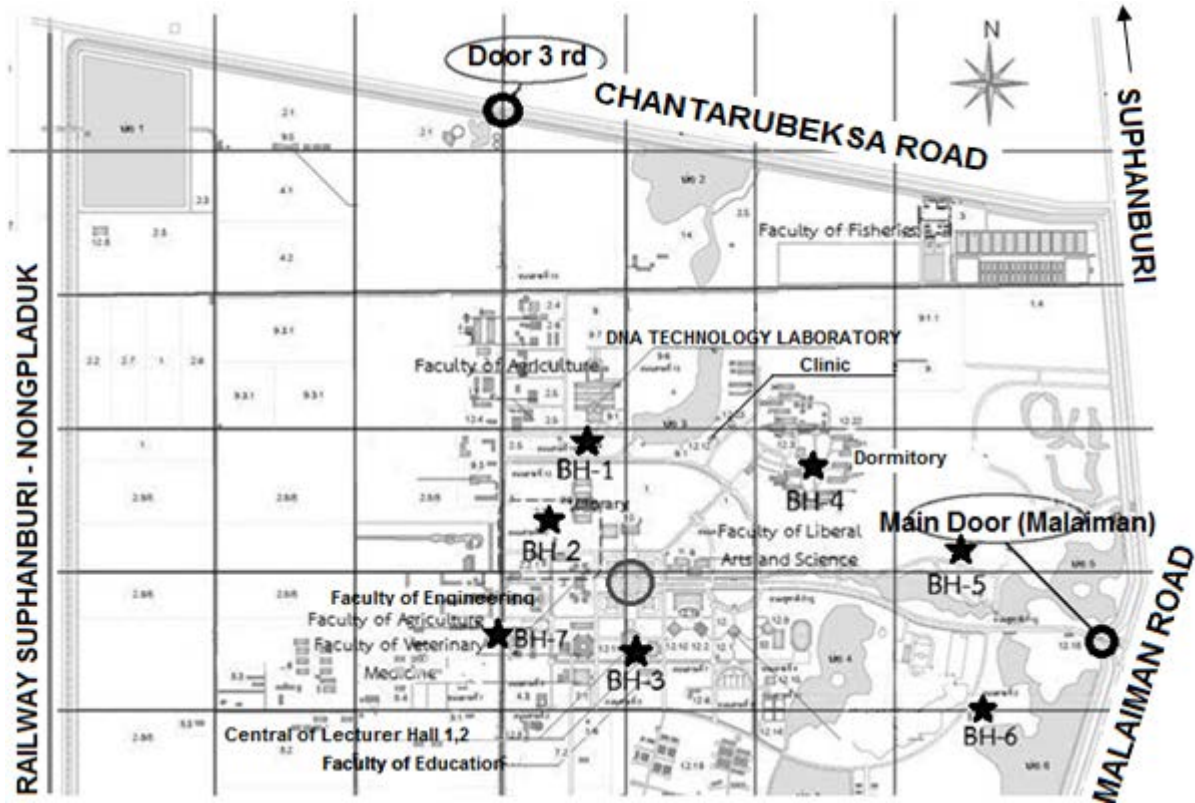


Figure 2 The location of new borin

ทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ อันได้แก่ การหาค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (Unit weight) ASTM D 4253-00 ปริมาณความชื้นในดิน (Water content) ASTM D4959-00 ขนาดเม็ดดิน (Grain size distribution) ASTM D422-63 ซีดแอดเตอร์เบิร์ก (Atterberg's limit) ASTM D423-66, ASTM D424-59, ASTM D427-61 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ASTM D854-00 เป็นต้น ส่วนการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงของดิน (Shear strength of soil) จะสามารถทำการทดสอบได้ 2

การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct shear test) ASTM D3080 การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined compression test) ASTM D2166

จากข้อมูลการสำรวจดินที่ได้รับรวบรวมและทำการสำรวจเพิ่มเติมทั้งหมด จะถูกจัดเก็บในระบบการนำเข้าข้อมูลชั้นดิน (Data Input) เพื่อให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันสอดคล้องกับฐานข้อมูล ESDS-KU (เซตพินซ์, 2553) และสามารถแสดงผลในลักษณะตารางสรุปผลการทดสอบ คุณสมบัติดิน และข้อมูลหลุมเจาะ (Figure 3)

ข้อมูลโครงการ (Project Information)

Input ข้อมูลวันที่: 2/9/2014 (Auto)

เลขที่โครงการ (Proj No., Job No.): 0002

ชื่อโครงการ (Project Name)*: ฐานข้อมูลดินภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน (หอสมุด)

สถานที่ตั้งโครงการ (Site Location): มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เจ้าของโครงการ (Client, Owner):

บริษัทเจาะสำรวจดิน (Contractors Name):

จำนวนหลุมเจาะ (Number Borehole)*: 1 หลุม

ชื่อหลุมเจาะ (Borehole Name)*: 1

ตำแหน่งหลุมเจาะ (Co-ordinate) (Y) N-UTM: 1550697.07 (X) E-UTM: 605240.47

ระดับอ้างอิง (Bench Mark, BM):

ระดับปากหลุมหรือผิวดิน (Ground Elevation):

ระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Level):

ผู้ทดสอบ (Tested by):

ผู้ตรวจสอบ (Checked by):

วันที่ทดสอบ (Date):

Clean BH

Go to Boring log --

Depth		Sample No.		Group Symbol		Atterberg Limit			Water Content, Wn (%)	Unconfined Compression, q_u			Pocket Penetration, q_p	Unit Weight (γ_m)	SPT	Specific Gravity, G_s	Sieve Analysis			
from	To	Type	No.	(USCS)	LL	PL	PI	MC	UC	UC'	UP	γ_s	γ_m	N value (blows/ft)	Sp.Gr.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	
m.	m.	Type	Number	Symbol	%	%	%	%	t/m2	ksc	ksc	t/m3	t/m3		-	% Finer	% Finer	% Finer	% Finer	
0.5	1	ST	1									2.02								
1	1.5	ST	2	CL			14.84					1.71								
1.5	2	ST	3	CL	40.55	21.42	24.34	41.334	9.4300003			1.89			2.644					
2	2.5	ST	4	CL	47.94	20.94	14.65	46.0528	9			1.91			2.562					
2.5	3	ST	5	CL			19.72					1.82								
3	3.5	ST	6									1.99								

Figure 3 Data Input Program

การวิเคราะห์ผลข้อมูลชั้นดิน ทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านกำลังของชั้นดินกำแพงแสน และนำข้อมูลทั้งหมดจะ

นำมาจัดแบ่งโซนเป็น กริดขนาด 500x500 ตารางเมตร เพื่อแสดงลักษณะการวางตัวของชั้นดิน (Soil profile)

ผลการศึกษา

ลักษณะชั้นดิน (Soil Profile)

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ทั้งสิ้น 30 หลุม ทำการจำแนกลักษณะชั้นดินตาม Consistency พิจารณาจากค่า SPT-N (Terzaghi and Peck, 1974) สามารถนำมาจัดแบ่งโซนตามกริด (Figure 4) ได้ทั้งสิ้น 10 กริด ลักษณะชั้นดินของพื้นที่เป็นชั้นดินเหนียวสลับกับชั้นทรายทับกันไปมาเป็นชั้นๆ

ซึ่งพบชั้นดินอ่อนแทรกตัวอยู่บ้างเป็นแห่งๆ ยืนยันให้เห็นลักษณะที่สอดคล้องกับธรณีวิทยาที่ในพื้นที่นี้เป็นรอยต่อของอิทธิพลที่เกิดจาก Alluvial deposit และ Marine deposit หรือเป็นขอบของโซนดินเหนียวกรุงเทพ (Edge of Bangkok Clay) โดยจะพบชั้นทรายมากขึ้นด้านฝั่งตะวันตกของพื้นที่ (ซึ่งไกลไปทาง จ.กาญจนบุรี) ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างของลักษณะชั้นดินเป็นภาพตัดตั้ง Figure 5 โดยภาพรวมแล้วพบว่า ลักษณะชั้นดินภายในวิทยาเขตสามารถสรุปชั้นดินแบ่งเป็น 2 ช่วงดังนี้

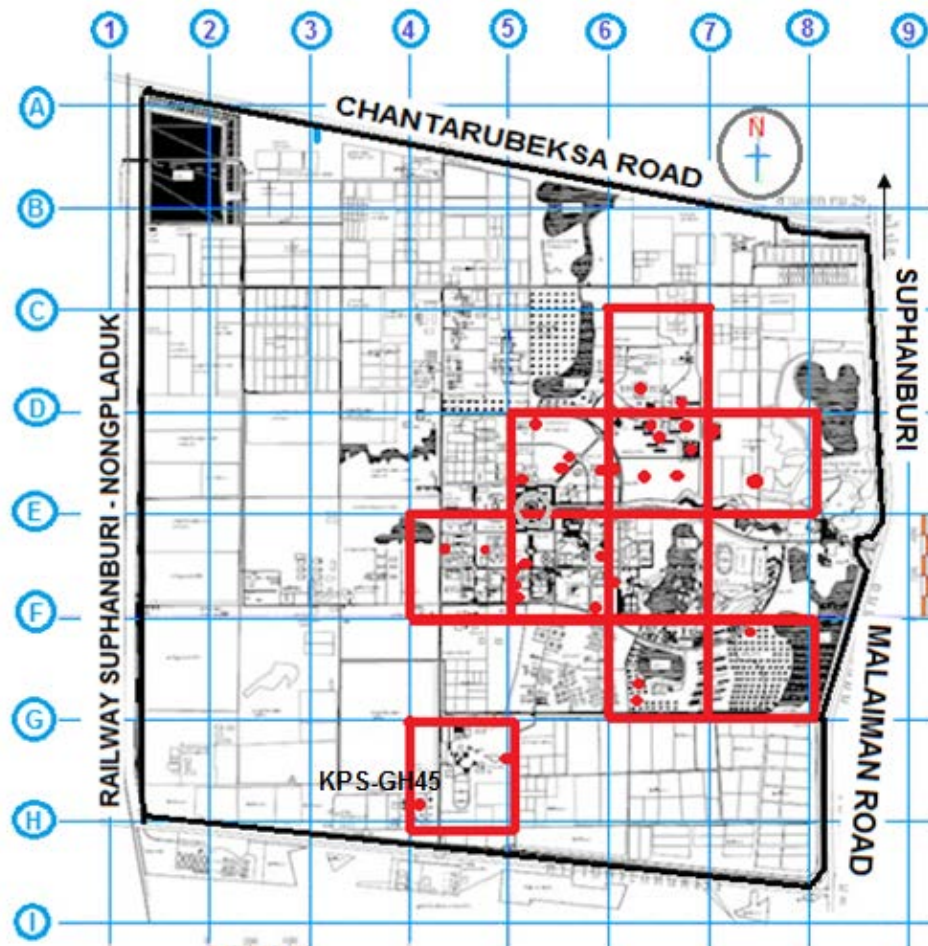


Figure 4 Zonation Map for 500x500 Square meters

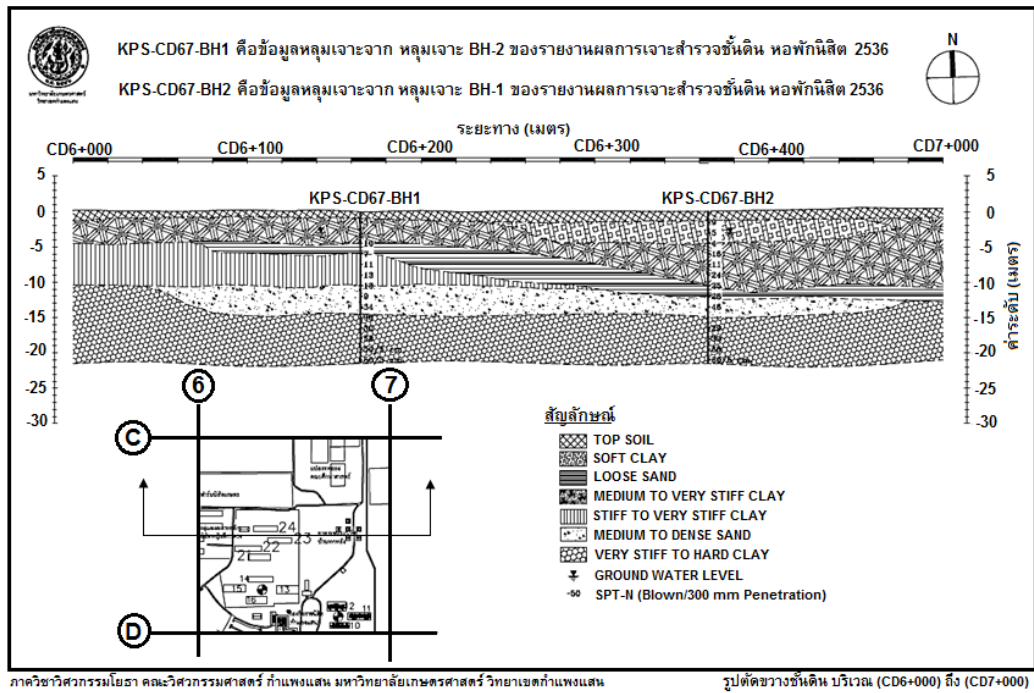


Figure 5 Soil Profile of Zone KPS-CD67

- ช่วง 0 – 10 ม. แรก ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมาก (Medium stiff to very stiff clay) สลับกับชั้นทรายแน่นปานกลาง ยกเว้น กริด KPS-GH 45 บริเวณศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (ฝั่งตะวันออกของถนนสาธิต) ที่ในช่วง 10 ม. แรกเป็นดินทรายแน่นปานกลาง (Medium dense sand) นอกจากนี้ในช่วง 10 ม.แรก หลายพื้นที่ยังพบชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ที่มีความหนา 2-3 ม. แทรกตัวอยู่ ได้แก่ กริด KPS-CD67, KPS-DE 67, KPS-DE 78, KPS-FE 45, KPS-FE 56 และ KPS-GH 45 เป็นต้น และบางพื้นที่ยังพบชั้นทรายหลวม (Loose sand) หนา 2-3 ม. แทรกตัวอยู่ ได้แก่ กริด KPS-CD 67, KPS-DE 67, KPS-GF 67

- ช่วงหลังจากความลึก 10 ม. เป็นต้นไป พื้นที่ภายในวิทยาเขตชั้นดินช่วงนี้จะพบเป็นชั้นทรายแน่นปานกลางถึงแน่นมาก (Medium dense to very dense) และชั้นดินแข็ง (Hard clay) ซึ่งในกริด KPS-FE 56 แสดงให้เห็นว่าชั้นทรายชั้นที่ 2 อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 20 – 24 ม. จากผิวดิน นอกจากนี้ กริด KPS-ED 56 บริเวณอาคาร

อุตสาหกรรมและนวัตกรรมภาษา พบชั้นทรายหลวมหนา 2.5 – 3 ม. แทรกตัวอยู่ที่ระดับความลึก 8 – 14 ม. (จากผิวดิน) ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาทางวิศวกรรมต่อไปในอนาคต ส่วนกริด KPS-GF 78 บริเวณสระอภัยทาน พบชั้นทรายแน่นปานกลาง สลับกับชั้นทรายแน่นตั้งแต่ที่ระดับความลึก -5 ม. จากผิวดิน

จากลักษณะชั้นดินที่เกิดขึ้น ชั้นดินในช่วง 10 เมตรเป็นดินเหนียวสลับกับชั้นทราย โดยพบชั้นทรายชั้นที่ 1 อยู่ที่ประมาณ 10 ม. ดังนั้นในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารต่างๆ ภายในวิทยาเขตที่มีความสูงของอาคารไม่เกิน 4 ชั้น จึงใช้ฐานรากเสาเข็มตอกที่มีความยาวของเสาเข็มประมาณ 10 – 12 ม.

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties of soil)

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมด ชนิดของดินภายในวิทยาเขตตามการจำแนกด้วยระบบ Unified Soil Classification System (USCS) จากข้อมูล 421 ชุด สามารถนำมาพล็อตกราฟ Plasticity chart ดัง Figure 6 พบว่า ดินเหนียวส่วน

ใหญ่ที่พบในวิทยาเขตเป็นดินเหนียวที่มีแร่ illite (0.73 %) ในชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก (Stiff to Very stiff clay) เป็นส่วนผสมหลัก มีความเหนียวต่ำ CL (82.61 %) (Figure 7) ซึ่งสามารถพบ MH (Silt) อยู่บ้าง

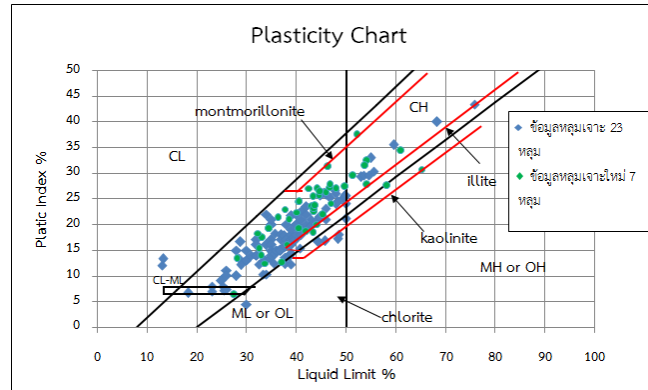


Figure 6 Plasticity Chart for laboratory of fined grained soils

Percentage of Soil class distribution (for clay)

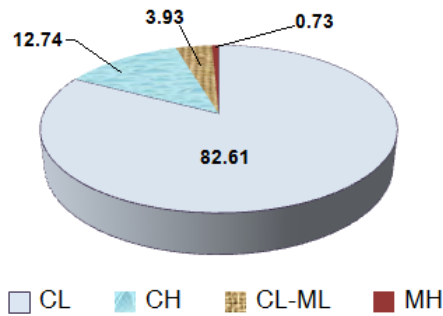


Figure 7 Percentage of soil class distribution in the study area (For clay)

ส่วนดินทรายที่พบส่วนมากเป็นดินทรายปนซิลต์ (Silty sand; SM) อยู่ถึง 44.34 % (Figure 8) ถ้าจำแนกลักษณะของดินตามความแข็งแรง แสดงดัง Figure 9

Percentage of Soil class distribution (for Sand)

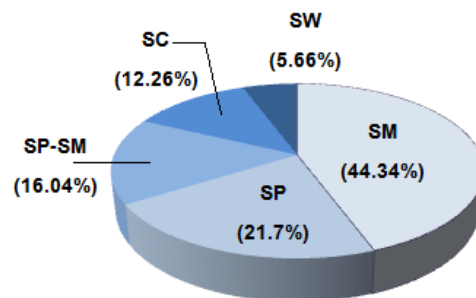


Figure 8 Percentage of soil class distribution in the study area (For Sand)

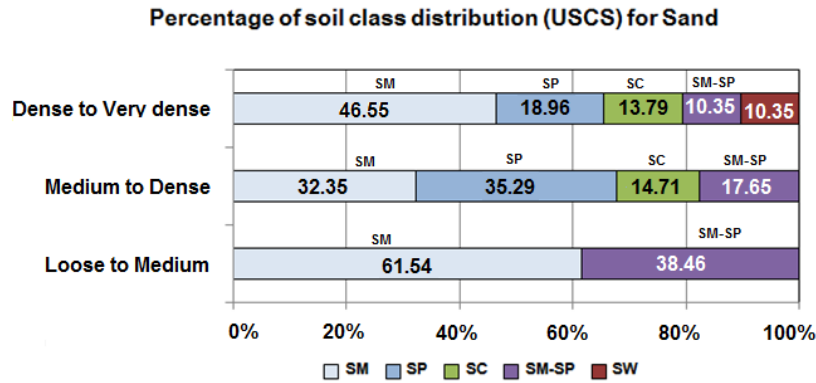


Figure 9 Percentage of soil class distribution in the study area corresponding relative density
(For sand)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณความชื้น (Water content; w_n) กับความลึก (Figure 10) พบว่า ปริมาณความชื้นในมวลจะมีค่าสูงสุดในช่วงความลึก 0-2.5 ม. หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นในช่วงผิวดิน

ถึง 10 ม. (ต่ำจากผิวดิน) ค่า w_n มีค่าอยู่ระหว่าง 10 – 30 % ที่ระดับ -15 ม. w_n มีค่าอยู่ระหว่าง 12 – 21 % ที่ระดับ 20 ม. w_n มีค่าอยู่ระหว่าง 8.35 - 19.35 %

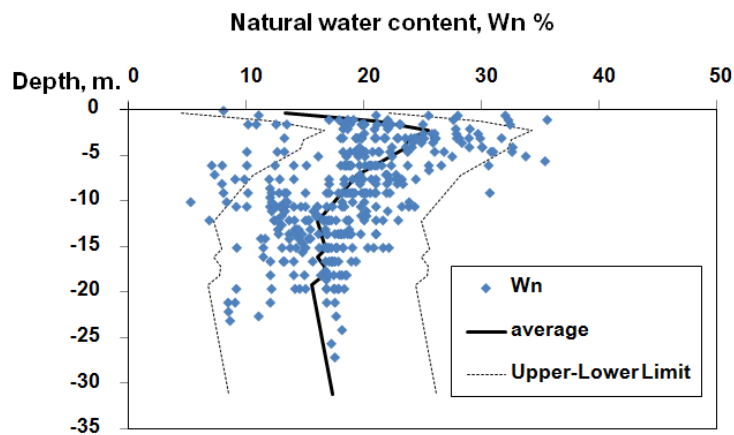


Figure 10 Relationship between W_n with depth

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight; γ_t) และความลึก (ดัง Figure 11) พบว่า γ_t มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยแล้วที่ระดับความลึก 5, 10,

15 และ 20 ม. จะมีค่า γ_t อยู่ในช่วง 1.9-2.17 t/m^3 , 1.91-2.17 t/m^3 , 1.98-2.26 t/m^3 และ 1.99-2.24 t/m^3 ตามลำดับ

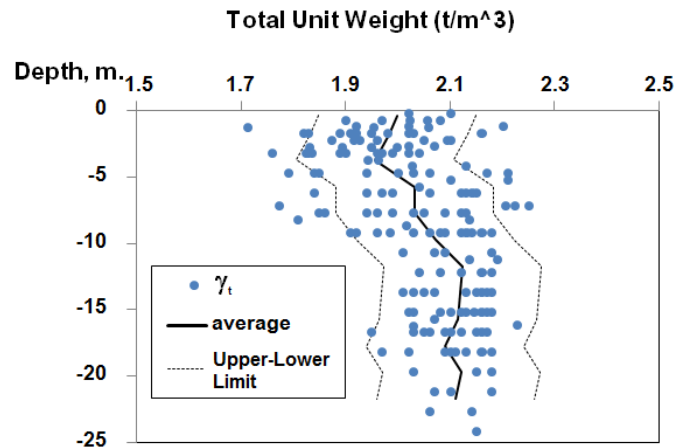


Figure 11 Relationship between γ_t with depth

คุณสมบัติทางด้านกำลัง (Strength properties of soil)

เนื่องจากชั้นดินภายในมหาวิทยาลัยเป็นชั้นดินเหนียวแข็งสลับกับชั้นดินทรายส่วนใหญ่ การพิจารณาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจึงได้จากการทดสอบดินในสนาม ได้แก่ การแปลผลผลการทดสอบจากการตอกทะลวงมาตรฐาน (SPT-N)

ตามการจำแนกค่าความแข็งแรงของดิน ของ Terzaghi and Peck (1987) (Figure 12) พบว่าชั้นดินภายในวิทยาเขต ค่า SPT-N โดยเฉลี่ยที่ระดับความลึก 5, 10, 15 และ 20 ม. มีค่าอยู่ในช่วง 3 – 30 Blow/ft, 18 – 50 Blow/ft, 31 – 63 Blow/ft และ 35 – 66 Blow/ft

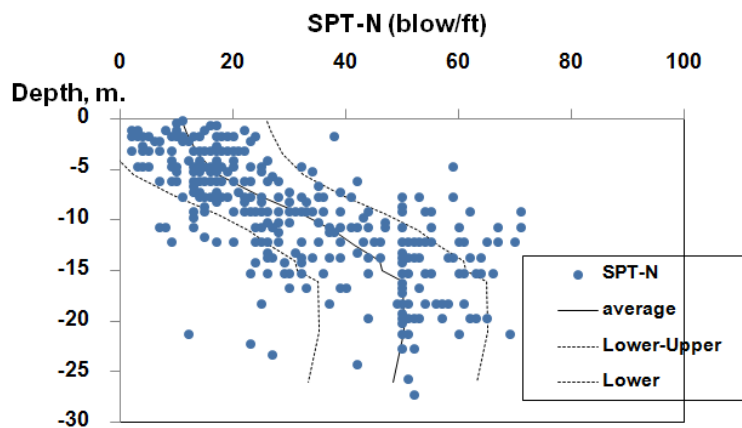


Figure 12 Relationship between SPT-N with depth

ในบางพื้นที่ที่พบชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft clay) ซึ่งในวิทยาเขตพบชั้นดินเหนียวอ่อนที่ระดับความลึก

ไม่เกิน 3 ม. ค่า S_u จะได้จากผลจากการทดสอบ Unconfined compression test ส่วนในพื้นที่อื่นๆ

ที่เป็นชั้นดินแข็ง การพิจารณาค่า S_u จะได้จากการ
แปลผลตาม Terzaghi and Peck (1989) แสดงดัง
Figure 13 โดยเฉลี่ยที่ระดับความลึก 5, 10, 15
และ 20 ม. อยู่ในช่วง $2.00-20.00 \text{ t/m}^2$, $8.67-28.7$

t/m^2 , $17.33-38.67 \text{ t/m}^2$ และ $25.76-45\text{t/m}^2$
ตามลำดับ

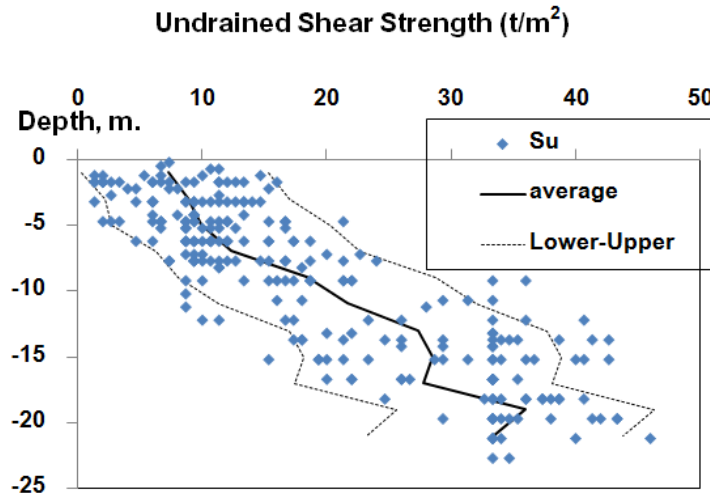


Figure 13 Relationships between S_u with depth

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดิน

ในการศึกษานี้ทำการพิจารณาผลของ
ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติดินเพื่อให้เกิด
ประโยชน์ในทางปฏิบัติ ระหว่างค่า W_n และ γ_t
เนื่องจากเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบ
และการแก้ไขปัญหาทางวิศวกรรมปฐพี ซึ่งจาก
การศึกษาของ Hough (1969), Kulhawy and
Mayne (1990) พบว่า ค่า γ_t ของดินเหนียวมีค่าอยู่
ในช่วง $1.1 - 2.3 \text{ t/m}^3$ และ เชิดพันธ์ (2553) ได้
แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า W_n และ
 γ_t สำหรับดินเหนียวคือ $\gamma_t = 3.10-0.352\text{Ln}(W_n)$

($R^2 = 0.696$) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ
ของชั้นดินกำแพงแอสที่ได้อ่อนข้างใกล้เคียงกับผล
การศึกษาดังกล่าว (ดัง Figure 14) และพบว่า
ความสัมพันธ์มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน
คือ เมื่อปริมาณความชื้นลดลง ค่าความหนาแน่น
รวมจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสามารถแสดงสมการ
ความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดังนี้ $\gamma_t = 2.55-$
 $0.176\text{Ln}(W_n)$ ($R^2 = 0.91$) และเนื่องจากการศึกษา
ตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่เหมาะสม และจำนวน
ข้อมูลที่มีน้อยจึงทำให้ไม่สามารถสร้างสมการ
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า W_n และ γ_t ในชั้น
ทรายได้

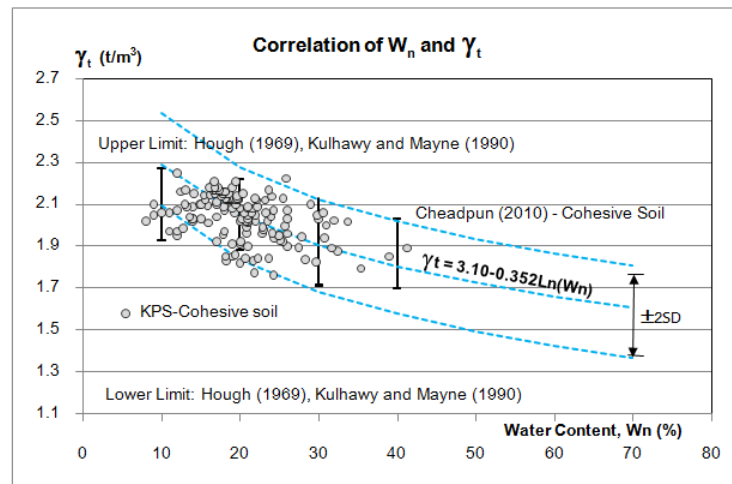


Figure 14 Empirical values for γ_t , of cohesive soils based on the w_n

นอกจากนี้สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์
ระหว่างค่า SPT-N กับ γ_t ดังนี้ $\gamma_t =$
 $0.0024N + 1.9962$ ($R^2 = 0.823$) ดัง Figure 15 ซึ่ง

ช่วงของข้อมูลสอดคล้องกับผลการศึกษาของ
Blowes (1988)

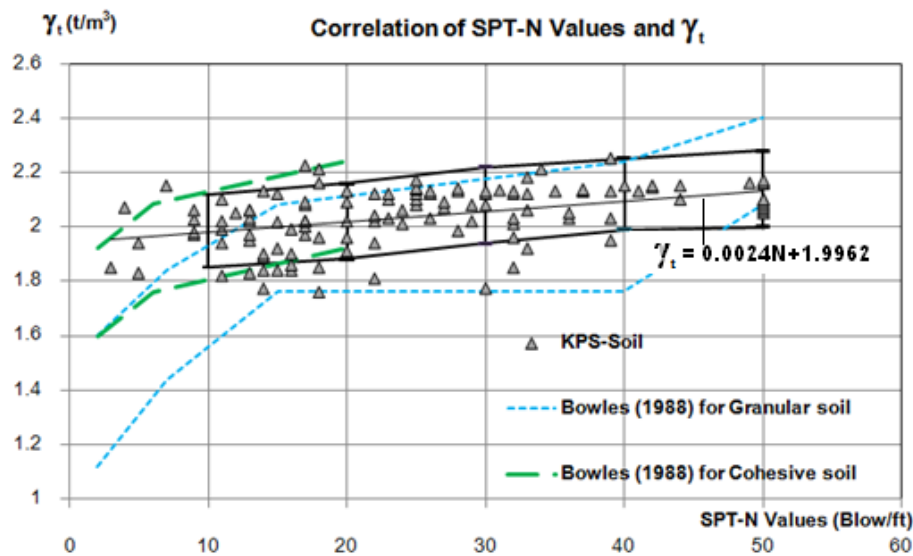


Figure 15 Empirical values for γ_t , of cohesive soils based on the SPT-N

ความแปรปรวนระหว่างคุณสมบัติของดิน

ปัจจุบันนี้การศึกษาเกี่ยวกับความไม่
แน่นอนสำหรับงานวิศวกรรมปฐพีได้เผยแพร่และ
ตีพิมพ์ในวารสารโดยนักวิจัยหลายท่าน (Lee, *et*
al., 1983; Harr, 1996; Duncan, 2000) ซึ่งค่า
มาตรฐานนี้จะช่วยให้วิศวกรผู้ออกแบบได้นำมา

พัฒนาและเลือกใช้สำหรับการเลือกช่วงความ
แปรปรวนที่เหมาะสมของการประมาณค่าตัวแปรของ
คุณสมบัติดินที่จะใช้ในการออกแบบ ซึ่งบทความนี้
นำเสนอค่าความแปรปรวนของคุณสมบัติดินที่อยู่
ในรูปแบบของสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน
(Coefficient of Variation; COV) โดยไม่ได้

พิจารณาแยกตามประเภทของความแปรปรวน สำหรับดินทราย ดัง Table 1 และดินเหนียว ดัง Table 2

ผลการศึกษาพบว่าค่า COV ของชั้นดิน กำแพงแสน ก่อนข้างอยู่ในช่วงของ COV เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Phoon *et al.* (1995) มีเฉพาะ COV ของผลการทดสอบ SPT สำหรับดินเหนียวที่มีค่า COV เท่ากับ 61 %

มากกว่าช่วงของ COV จากผลการศึกษาของ Phoon *et al.* (1995) แต่ทั้งนี้ Schultze (1975) และ Stamatopoulos and Kotzias (1975) ได้นำเสนอผลของค่า COV สำหรับการทดสอบ SPT-N ไว้ว่า มีค่า COV เท่ากับ 27 – 85% ซึ่งก็ค่า COV ที่ได้ในชั้นดินกำแพงแสนก็ยังถือว่าอยู่ในช่วงของข้อมูลดังกล่าว โดยพารามิเตอร์ของดินที่มีค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ มีค่า COV ประมาณ 3 – 6 %

Table 1 Summary of Coefficient of Variation for sand in KPS subsoil

KPS-Soil					Phoon et al. (1995)	
	Mean	SD	COV (%)	No. of Data	Mean	COV
For Sand						
w _n	15.33	4.36	28.42	48	-	-
LL* (%)	30.54	4.51	14.76	5.00	-	-
PL* (%)	16.94	2.63	15.53	5.00	-	-
PI* (%)	13.40	3.51	26.17	5.00	-	-
G _s	2.61	0.14	5.49	4.00	-	-
γ _t (t/m ³)	2.06	0.066	3.23	9.00	-	-
SPT-N (blow/ft)	38	18	48	48	7-74	16-62

Note: * for Clayey Sands (SC)

Table 2 Summary of Coefficient of Variation for Clay in KPS subsoil

KPS-Soil					Phoon et al. (1995)	
	Mean	SD	COV (%)	No. of Data	Mean	COV (%)
For Clay						
w _n (%)	20.05	5.82	29	232	13-100	8-30
LL (%)	39.9	9.46	23.77	146	30-90	6-30
PL (%)	21.51	3.72	17.31	146	15-25	6-30
PI (%)	18.62	6.35	34.1	29	10-40	-
G _s	2.60	0.93	4.23	32	-	-
γ _t (t/m ³)	2.09	0.196	9.37	144	1.33-2.04	<10
SPT-N (blow/ft)	26	16	61	187	7-63	37-57

วิจารณ์ผล

ลักษณะชั้นดินภายในวิทยาเขตส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวสลับกับชั้นทรายทับกันไปมา ในช่วงความลึก 3 ม. แรก พบชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft clay) และชั้นทรายหลวม (Loose sand) แทรกตัวอยู่เป็นแห่งๆ (Figure 16) พบชั้นทรายแน่นถึงแน่นมาก (Dense to Very dense) หรือชั้นดินเหนียวแข็งมากถึงดินแข็ง (Very stiff clay to Hard) ที่ระดับความลึก 10 ม. เป็นต้นไป ชั้นทรายชั้นที่ 2 พบที่ระดับความ ลึก 20 – 24 ม. จากข้อมูลลักษณะชั้นดินที่ยืนยันให้เห็นลักษณะที่สอดคล้องกับธรณีวิทยาว่า อ.กำแพงแสนเป็น

รอยต่อของตะกอนที่ได้รับอิทธิพลมาจาก Alluvial deposit และ Marine deposit สมัย Pleistocene กับ Holocene ซึ่งทำให้ตะกอนเหล่านี้มีการวางตัวของชั้นทรายสลับกับดินเหนียวที่อัดแน่นซ้อนทับกัน ซึ่งในพื้นที่ยังพบว่ามิดินอ่อนแทรกตัวอยู่บ้างบางแห่ง เนื่องจาก อ.กำแพงแสนอยู่ในเขตรอยต่อของดินเหนียวกรุงเทพ (Edge of Bangkok Clay) ทำให้ลักษณะการวางตัวของชั้นดินจึงมีความแตกต่างกันและไม่สม่ำเสมอ (Heterogeneous soil layer) และพบว่าพื้นที่ภายในวิทยาเขตที่อยู่ฝั่งตะวันตกไปทางกาญจนบุรีจะพบชั้นทรายเป็นหลัก โดยไม่พบการวางตัวของชั้นดินเหนียวเลยอาทิเช่น หลุมเจาะ KPS-HG45 BH-1 ใน กริด KPS-GH 45

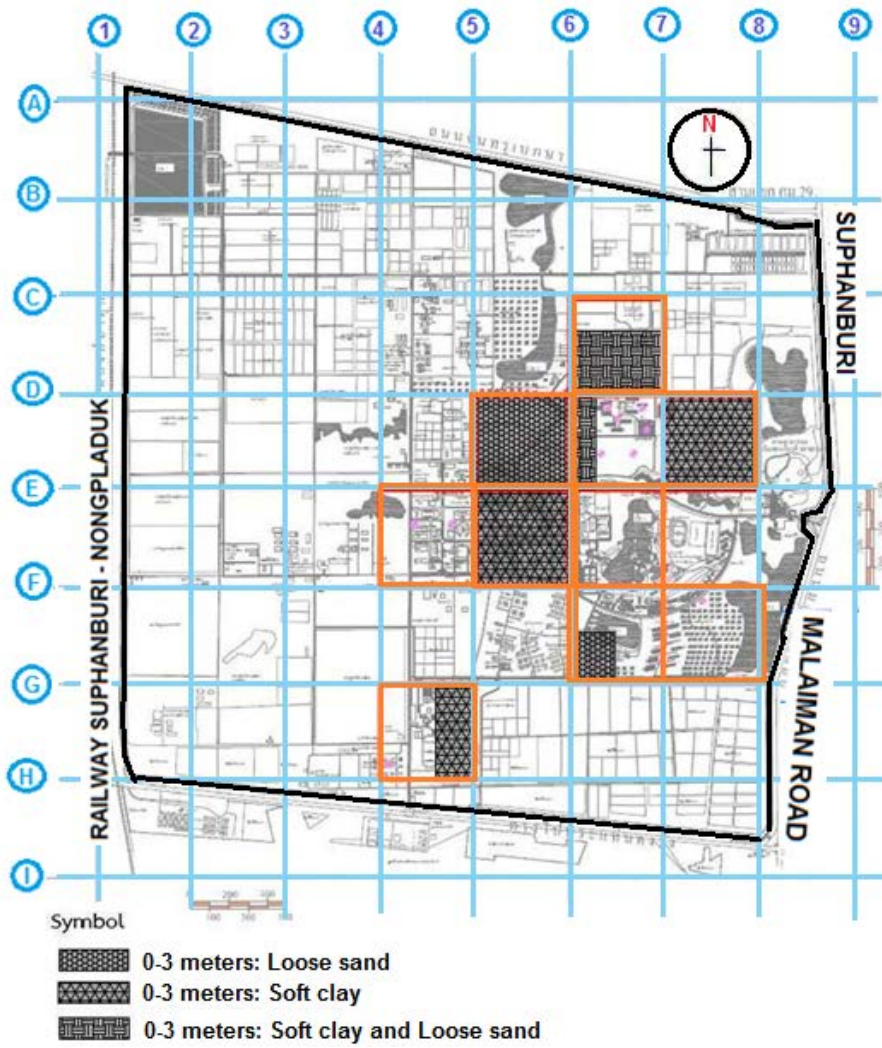


Figure 16 Map representations of Soft clay and Loose sand zone

คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวในวิทยาเขต เป็นดินเหนียวที่มีแร่ Illite เป็นส่วนผสมหลัก มีค่าความเหนียวต่ำ CL ซึ่งพบชั้นซิลท์ (MH) อยู่บ้าง (0.73 %) ในชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก (Stiff to very stiff clay) ส่วนทรายส่วนใหญ่เป็นประเภท SM (44.43 %) ชั้นดินภายในวิทยาเขตมีค่า W_n อยู่ระหว่าง 10 – 30 % ค่า γ_t อยู่ระหว่าง 1.9 – 2.2 t/m^3 โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า w_n และค่า γ_t กับ SPT-N และค่า γ_t ดังนี้ $\gamma_t = 2.55 - 0.176 \ln(W_n)$ ($R^2 = 0.91$) และ $\gamma_t = 0.0024N + 1.9962$ ($R^2 = 0.823$) ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (เชิดพันธ์, 2553) ส่วนค่ากำลังรับแรงเฉือนส่วนใหญ่ได้มาจากการทดสอบในสนาม ด้วยวิธี SPT เนื่องจากชั้นดินในพื้นที่เป็นชั้นดินแข็ง ซึ่งค่า COV ของชั้นดินกำแพงแสนค่อนข้างอยู่ในช่วงของ COV เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Phoon et al. (1995) มีเฉพาะ COV ของผลการทดสอบ SPT สำหรับดินเหนียวที่มีค่า COV เท่ากับ 61 % มากกว่าช่วงของ COV จากผลการศึกษาของ Phoon et al. (1995) แต่ยังคงอยู่ในช่วงของการศึกษาของ Schultze (1975) และ Stamatopoulos and Kotzias (1975)

จากผลการวิจัยที่พบชั้นดินส่วนใหญ่ในวิทยาเขตเป็นดินแข็ง ดังนั้นในการก่อสร้างอาคารต่างๆ ภายในวิทยาเขต ที่มีความสูงของอาคารไม่เกิน 4 ชั้น จึงใช้ฐานรากเสาเข็มตอก ที่มีความยาวของเสาเข็มประมาณ 10 – 12 ม. (เสาเข็มท่อนเดี่ยว) และจาก Figure 16 ที่แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ภายในวิทยาเขตพบชั้นดินอ่อนกระจายเป็นแห่งๆ ในช่วง 3 ม.แรก ดังนั้น การเลือกใช้ฐานรากชนิดอื่น อาทิเช่น ฐานรากแผ่ (Spread footing) สำหรับการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างชั่วคราว (Temporary building) หรือบ้านพักอาศัยชั้นดิน ซึ่งประชาชนในตำบลกำแพงแสนนิยมปลูก จำเป็นต้องให้ความสำคัญสำหรับการเลือกใช้ฐานรากประเภทนี้ ทั้งเรื่องของกำลังรับน้ำหนักบรรทุก (Bearing Capacity) และการทรุดตัว (Settlement) อีกทั้งในพื้นที่ยังพบชั้นทรายหลวมและชั้นดินที่มีค่า $PI \leq 12$,

$w_n > 0.85LL$ และ $SPT-N < 20$ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อปัญหา Liquefaction ในชั้นดิน (Tokimatsu and Yoshimi, 1983; Boulanger and Idriss, 2006; Seed et al., 2003; Bray et al., 2004a) แต่ทั้งนี้ปัญหา Liquefaction ยังมีเงื่อนไขที่ต้องได้รับการพิจารณาอีกหลายปัจจัย อาทิเช่น อายุของตะกอน ขนาดของตะกอน ระดับน้ำใต้ดิน จุดศูนย์กลางของการเกิดแผ่นดินไหว และรอบของการเกิดแผ่นดินไหว ที่ยังคงต้องศึกษาในรายละเอียดต่อไป

บทความนี้แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาระบบฐานข้อมูลและการจัดเก็บข้อมูลตั้งแต่การก่อตั้งวิทยาเขต ที่ระบบการจัดเก็บและการวิเคราะห์ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากยังจัดเก็บในรูปแบบของเอกสาร (Hard copy) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พัฒนารูปแบบการจัดเก็บข้อมูลให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและยังทำให้เกิดการขยายฐานข้อมูลร่วมกับ ESDS-KU (เชิดพันธ์, 2553) ซึ่งผลจากการวิจัยทั้งหมดจะได้รับการพัฒนาต่อยอดระบบฐานข้อมูลลงสู่ GIS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ และผลการวิจัยยังจะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรโยธาและผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะต่อผู้บริหารวิทยาเขตที่จะสามารถมองเห็นภาพรวมลักษณะของพื้นที่ อันจะเป็นประโยชน์ด้านการบริหารจัดการพื้นที่ การวางแผนการก่อสร้างอาคารและสาธารณูปโภคต่อไป

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มก. ที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัย มก. ประจำปีงบประมาณ 2554 ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กัญญา ทองนิม. 2523. คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดินบริเวณวิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด

- นครปฐม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรีทัศน์ ชัชวาลรังสรรค์, สนธยา ขวัญชุม, และ ปารี
ชาติ สมวงษ์. 2548. การวิเคราะห์ข้อมูลดินใน
จังหวัดนครปฐม.โครงการวิศวกรรมโยธา.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เชิดพันธุ์ อมรกุล. 2553. ฐานข้อมูลชั้นดินทาง
วิศวกรรมบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่างของ
ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.). 2546.
ข้อมูลสภาพดินบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา
ตอนล่าง. บริษัทจุดทอง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- วิชาญ ภูัพพัฒน์. 2546. สภาพทางปฐพีและฐานราก
ภาคกลางและกรุงเทพฯ. การสัมมนาวิศวกรรม
ฐานราก 2546 อดีต ปัจจุบัน และอนาคต: 49-
66.
- สุวัฒน์ ดิยะไพรัช, นิรันดร์ ชัยมณี และพิสิทธิ์ ธีร
ดิลก. 2538. ดินเหนียวกรุงเทพฯ: สภาพ
ธรณีวิทยาและการประยุกต์ใช้. ใน การประชุม
วิชาการ กทช. ปี 2538 เรื่อง ความก้าวหน้า
และวิสัยทัศน์ของการพัฒนาทรัพยากรธรณี.
กรมทรัพยากรธรณี: 93-99.น.
- อดิสรณ์ จารุรัตน์. 2551. ศึกษาอุทกธรณีวิทยาและ
ความสมดุลของแหล่ง น้ำบาดาล เพื่อกำหนด
แนวทางการพัฒนา เชิงอนุรักษ์ในพื้นที่ลุ่มน้ำ
แอ่งท่าจีนและแม่กลอง, รายงานวิชาการ ฉบับ
ที่ สอพ.4/2551.
- Boulanger, R.W. and I.M. Idriss. 2006.
Liquefaction susceptibility criteria for silts
and clays. Journal of Geotechnical and
Geoenvironmental Engineering, ASCE
132(11): 1413-1426.
- Bowles, J.E. 1988. Foundation Analysis and
Design. McGraw-Hill.
- Bray, J.D., R.B. Sancio, T. Durgunoglu, A.
Onalp, T.L. Youd, J.P. Stewart, R.B. Seed,
O.K. Cetin, E. Bol, M.B. Baturay, C.
Christensen, and T. Karadayilar. 2000a.
Subsurface characterization at ground
failure sites in Adapazari, Turkey. Journal
of Geotechnical and Geoenvironmental
Engineering. 130(7): 673– 685.
- Dheeradilok, P., 1987. Review of Quaternary
geological mapping and research in
Thailand, in Wetzel, W., and Rau, J.L.,
eds., Progress in Quaternary Geology of
East and Southeast Asia: Proceedings of
the CCOP Symposium on Developments
in Quaternary Geological Research in East
and Southeast Asia during the last
decade, Bangkok, Thailand, p. 141-167
- Duncan, J.M. 2000. Factors of safety and
reliability in geotechnical engineering.
Journal of Geotechnical and
Geoenvironmental Engineering, ASCE
126(4): 307–316.
- Harr, M.E. 1996. Reliability – based design in
civil engineering. New York : Dover.
- Hough, B.K. 1969. Basic soils engineering.
Ronald Press, New York.
- Kulhawy, F.H. and P.W. Mayne. 1990. Manual
on estimation soil properties for foundation
design. Report No. EL-6800, Electric
Power Research Institute, Palo Alto, CA,
306 p.
- Lee, I.K.,W. White, and O.G. Ingles. 1983.
Geotechnical Engineering. Melbourne:
Pitman.
- Phoon, K.K., F.H. Kulhawy, and M.D. Grigoriu.
1995. Reliability based design of
foundations for transmission line
structures. Electric Power Research
Institute, Palo Alto, Report TR-105000.

- Phoon, K.K. and F.H. Kulhawy. 1999. Characterization of geotechnical variability. Canadian Geotechnical Journal 36(4): 612–624.
- Schultze, E. 1975. The general significance of statistics for the civil engineer. In Proceedings of 2nd International Conference on Application of Statistical and Probability in Soil and Structural Engineering. pp. 316-367. Aachen, Germany : n.p.
- Seed, R.B., K.O. Cetin, R.E.S. Moss, A.M. Kammerer, J. Wu, J.M. Pestana, M.F. Riemer, R.B. Sancio, J.D. Bray, R.E. Kayen, and A. Faris. 2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework." Keynote presentation, 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Long Beach, Calif.
- Stamatopoulos, A.C. and P.C. Kotzias. 1975. The relative value of increasing number of observations. In Proceeding of 2nd International Conference on Applications of Statistical and Probability in Soil and Structural Engineering, pp. 495 – 510. Aachen, Germany : n.p.
- Terzaghi, K. and R.B. Peck. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons. New York.
- Thanawat, J. 1998. The Implications of Sea-Level Rise and Flooding for the Gulf of Thailand Region. In SEAPOL Gulf of Thailand Project, Second Meeting of Experts. Hanoi, Vietnam.
- Tokimatsu, K. and Y. Yoshimi. 1983. Empirical correlation of soil Liquefaction based on SPT N-value and fines content. Soil Found 23(4): 56-74.

Received 2 January 2014

Accepted 9 June 2014