



## อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินต่อกำลังรับน้ำหนักฐานรากตื้น

### บนดินเหนียวแข็งสกลนคร

## Effect of water content on bearing capacity of shallow foundation constructed on very stiff

### Sakonakhon Clay

ก้องรัฐ นกแก้ว (Kongrat Nokkaew)<sup>1</sup>

สุภกิจ นนทนนันท์ (Supakij Nontananandh)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สกลนคร)kongrat063@hotmail.com

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์fengskn@ku.ac.th

**บทคัดย่อ :** บทความนี้นำเสนออิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ความชื้น(water content) ในดินต่อกำลังรับน้ำหนักฐานรากตื้นบนชั้นดินเหนียวแข็งสกลนคร โดยทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบค่ารับแรงรับแรงเฉือนของชั้นดินเหนียวแข็งสกลนครด้วยวิธี Direct Shear Test (Consolidated Undrained Test) ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น 15 % ถึง 36% จากนั้นจึงนำค่า Cohesion( $c_u$ ) และค่า Friction Angle( $\phi_u$ ) ที่ได้ในแต่ละความชื้น วิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดด้วยสมการ Hansen ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าความเชื่อมแน่น(Cohesion) ลดลง ในขณะที่ค่ามุมเสียดทาน (Friction Angle)แทบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากลดลงตามปริมาณความชื้นของดินที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น 15%, 24% และที่ 36 % ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากเฉลี่ยจะมีค่าลดลงตามลำดับเท่ากับ 5.13, 3.02 และ 2.27 ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำกว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Standard Penetration Test ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.48

**ABSTRACT :** This paper investigates the effect of water content on bearing capacity of shallow foundation that constructed on very stiff clay in Sakonakhin. The samples were prepared for consolidated-undrained direct shear testing at difference levels of water content in range of 15% to 36% for studying the changing of cohesion( $c_u$ ) and friction angle( $\phi_u$ ). After receiving the shear strength parameter, bearing capacity was calculated in each of footing on a case study building by Hansen's bearing capacity equation. The results showed that increasing of percents of water contents caused decreasing in cohesion whereas friction angle was not effected and, safety factor of bearing capacity was reduced when percents of water increased. At level of water content 15, 24 and 36,the value of F.S. is 5.13, 3.12 and 2.27. and less than computes by shear strength parameters that receive form on field testing, which have the value is 5.48.

**KEYWORDS :** Differential Settlement, Shallow Foundation, Hansen's bearing capacity

### 1. บทนำ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร(มก.จกส.) ตั้งอยู่ในบริเวณแอ่งสกลนคร ซึ่งมีสภาพ

ชั้นดินในส่วนของ 10 เมตรแรกประกอบด้วยชั้นดินหลายวางตัวเรียงกัน สามารถจำแนกคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางด้านวิศวกรรมได้เป็น 3 ชั้นตามความลึก ได้แก่ ชั้นทรายลูกรัง ชั้นดิน



เหนียวแข็งและชั้นหินโคลนผุ ด้วยสภาพทางธรณีวิทยาที่ประกอบไปด้วยชั้นดินแข็งดังกล่าว การก่อสร้างฐานรากของอาคาร จึงนิยมออกแบบด้วยระบบฐานรากตื้นและนิยมวางฐานรากที่ชั้นทรายลูกรังสำหรับอาคารที่มีขนาดเล็ก(1- 3 ชั้น) และที่ชั้นดินเหนียวแข็งสำหรับอาคารขนาดกลาง(3-5 ชั้น) อย่างไรก็ตามแม้จะมีการเจาะสำรวจดินด้วยวิธีการฉีดล้าง(Wash Boring) และใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่สูงถึง 4.0 แล้ว ภายหลังจากการใช้งานอาคาร โดยเฉพาะอาคารขนาดกลางขึ้นไปมักพบการแตกร้าวในส่วนของโครงสร้าง อันเนื่องมาจากการทรุดตัวของฐานราก ทั้งนี้เพราะสภาพดินในพื้นที่มีลักษณะเฉพาะตัว โดยเฉพาะปัญหาในชั้นดินเหนียวแข็งซึ่งเมื่อทำการหาคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าจะเป็นดิน Over Consolidated ซึ่งมีค่าความเหนียวสูง(ปริญาและคณะ 2549)[1] นอกจากนี้เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดการแตกตัว เสียกำลัง และเกิดการฟุ้งกระจาย(Supakij et.al)[4] นอกจากนี้ดินเหนียวบางส่วนยังพบพฤติกรรมการขยายตัวของดินอีกด้วย[1]



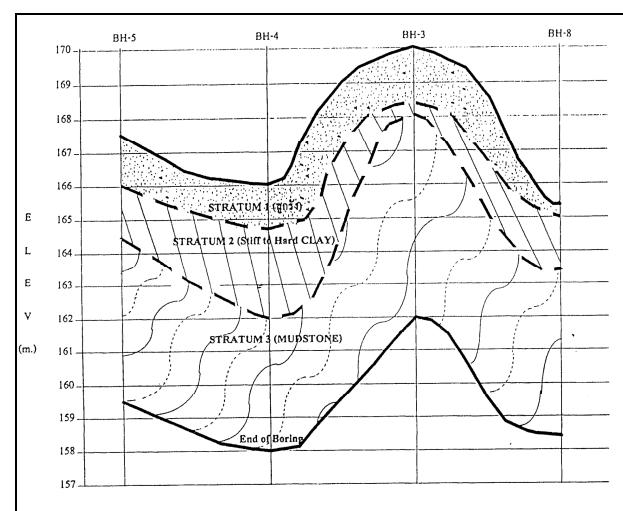
ภาพที่ 1 อาคารกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณความชื้นที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวแข็ง โดยทำการเก็บตัวอย่างชั้นดินเหนียวแข็งกลนครควบคุมหน่วยน้ำหนักของมวลดินแห้งให้คงที่ตามสภาพที่เก็บได้ในธรรมชาติ และทำการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นที่ในช่วง 15% ถึง 36% แล้วจึงทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยวิธีการทดสอบ Direct Shear Test ด้วยสภาพ Consolidated Undrained Test หรือ Consolidated Quick Test(K.H.Head,1994)[5] สังเกตดูการเปลี่ยนแปลงค่าแรงเชื่อมแน่นในสภาพไม่ระบายน้ำ( $C_u$ ) และค่าแรงเสียดทาน( $\phi_u$ ) [2]จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มา

ประเมินกำลังรับแรงของฐานรากตื้นของอาคารกรณีศึกษา ด้วยสมการหาลำดับของ Hansen เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น พร้อมทั้งประเมินความปลอดภัยของฐานราก คณะผู้วิจัยหวังว่าผลการศึกษาที่ได้จะช่วยอธิบายพฤติกรรมด้านกำลังรับแรงที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้น และเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาออกแบบและเลือกใช้ระบบของฐานรากสำหรับอาคารที่มีขนาดกลางและขนาดสูงของ มหาวิทยาลัยฯ ต่อไป

## 2. ลักษณะโดยรวมและสภาพชั้นดิน

จากผลการเจาะสำรวจชั้นดินในพื้นที่ มก.ฉกส. จัดทำโดยบริษัทพัฒนาจำกัดคณะ[3] ซึ่งได้ทำการทดสอบด้วยวิธีฉีดล้างจำนวน 8 หลุมรอบพื้นที่ มก.ฉกส. พบว่าสภาพพื้นที่โดยรวมของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนครเป็นที่ราบสูง ซึ่งเคยเป็นสนามบินเก่า พื้นที่เกือบทั้งหมดมีหน้าดินเป็นชั้นลูกรังหนาประมาณ 0.50 -2.00 ม. ได้ชั้นลูกรังลงไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งที่บ้น้ำ สีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลปนเทา หนาประมาณ 1.00 – 2.00 ม. ลึกลงนั้นจะเป็นชั้นดินดานสีน้ำตาลแดง โดยครึ่งหนึ่งของพื้นที่พบศิลาแลง สีน้ำตาลแดงภายใต้ชั้นทรายลูกรังดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2

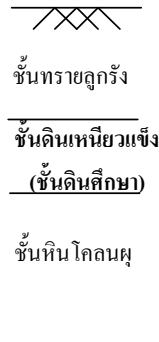
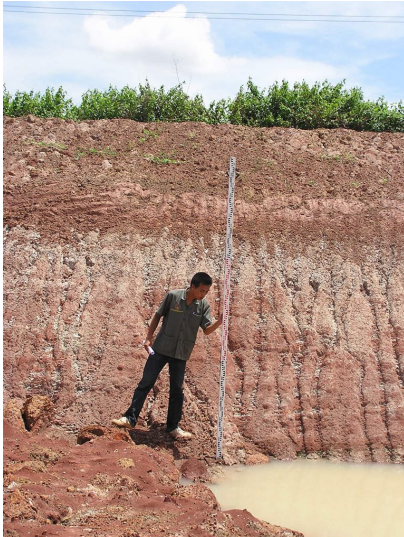


ภาพที่ 2 สภาพชั้นดินโดยรวมภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร[3]

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะชั้นดินบริเวณอ่างเก็บน้ำที่ขุดสำหรับการชลประทานภายในพื้นที่ วิทยาเขตฯ ซึ่งแสดงให้เห็นชั้นลึที่



แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยชั้นดินเหนียวแข็งกรณีศึกษาจะมีความน้อยที่สุด(ประมาณ 0.5 ถึง 1.0 เมตร)



ภาพที่ 3 สภาพชั้นดินที่ถูกเปิดเพื่อสร้างอ่างเก็บน้ำสำหรับการชลประทานในพื้นที่ฟาร์ม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

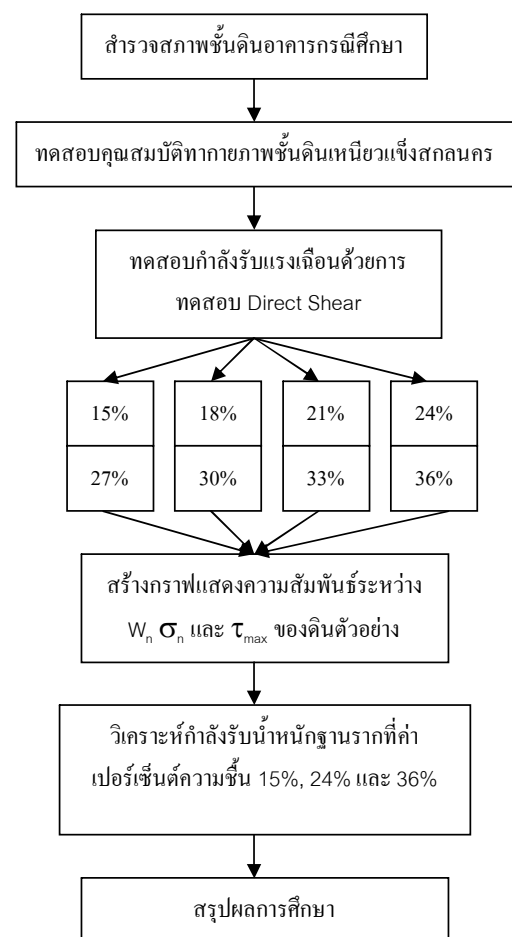
ภาพที่ 4 แสดงผลการเจาะสำรวจอาคารกรณีศึกษาด้วยวิธีชนิดล้าง (Wash Boring) พบว่าชั้นดินประกอบด้วยดินแข็งจำนวน 3 ชั้น ด้วยชั้นทรายลูกรังหนา 1.65 เมตร(SPT>50) ชั้นดินเหนียวแข็งหนา 0.95 เมตร(SPT ≈ 21-24)และชั้นหินโคลนผุหนา มากกว่า 2.5 เมตร (SPT ≈ 36-50) โดยชั้นดินทุกชั้นอยู่ในสภาพของแข็งจนถึงสภาพพลาสติก ในขณะที่หน่วยน้ำหนักรวม (γ)ของทรายลูกรังและหินโคลนผุจะมีค่าระหว่าง 2.00 - 2.12 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ชั้นดินเหนียวแข็งสกลนครจะมีค่าหน่วยน้ำหนักรวมเท่ากับ 1.875 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

PROJECT		BORING LOG		DATE START																
การเจาะสำรวจชั้นดิน				18 พ.ค. 2549																
LOCATION				DATE FINISH																
อาคารวิทยาสถาพรและเทคโนโยลี				18 พ.ค. 2549																
BORING NO.																				
BH-1																				
Description of Soils	Sam- ple & Depth Type No	Profile & Depth m.	Standard Penetration Blows/Ft	Natural Water Content				One half unconfined				Total Unit								
				Liquid Limit		Plastic Limit		Compressive Strength (quasi)		X Vane shear		Weight								
				%				T/M <sup>2</sup>		T/M <sup>3</sup>										
				10	20	30	40	50	20	40	60	80	100	0	5	10	15	20	1.0	2.0
0.001-0.66m Latentite, Medium Clayey Sand, Brown (SC)	SS-1	1	>50	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	2.028		
1.65-2.60 m Very Stiff Clay, Brown (CH)	SS-2	2	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	1.875		
2.60-5.25 m Midstone Layer, Brown.	SS-3	3	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	2.425		
	SS-4	4	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	2.659		
End of Boring	SS-5	5	>50	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1.125		

ภาพที่ 4 ผลการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณอาคารกรณีศึกษา[1]

### 3. ขั้นตอนการศึกษาและการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ในการทดลองจำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างดินเหนียวที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นแตกต่างกันได้แก่ที่ 15 % 18% 21% 24% 27% 30% 33% และ 36% โดยทุกตัวอย่างต้องมีการควบคุมค่าหน่วยน้ำหนักแห้งให้เท่ากับ 1.552 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นจึงทำการทดสอบ Direct Shear (Consolidated Undrained Test) นำค่าพารามิเตอร์  $C_u$  และค่า  $\phi_u$  ที่ได้คำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักโดยใช้สมการ Hansen และหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากแต่ละฐานโดยเทียบกับการสำรวจสภาพการใช้งานจริง หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์และสรุปผล รายละเอียดดูได้จากภาพที่ 5 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



### 3. คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวแข็งสกลนคร

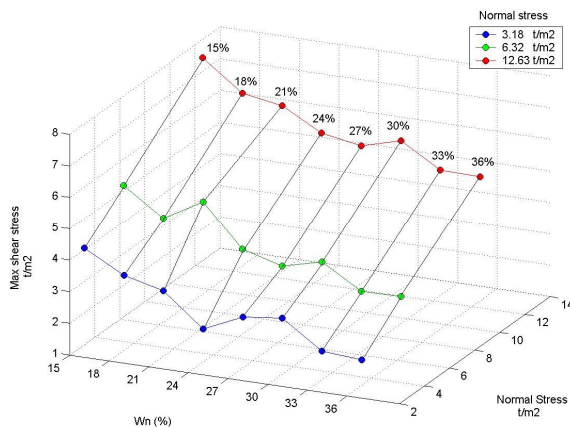
จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการเก็บดินตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณใกล้เคียงกันพบว่าค่าคุณสมบัติทางกายภาพไม่แตกต่างกันมากนัก โดยจัดเป็นดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูงและมีค่าความชื้นธรรมชาติ(Natural Water Content) ประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ ค่า Plasticity Index มีค่าเฉลี่ยประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ค่า Specific Gravity เฉลี่ยเท่ากับ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินเหนียวแข็งสกลนคร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวแข็งสกลนคร

ตัวอย่างที่	Atterberg's Limit				G.S.	Wn(%)
	WL(%)	WP(%)	PI(%)	SK(%)		
1	66.67	25.50	41.17	16.00	2.67	24.03
2	59.09	26.49	40.18	16.17	2.67	23.58
3	66.67	25.32	41.35	16.11	2.67	24.52
ค่าเฉลี่ย	64.14	25.10	40.9	16.09	2.67	24.04

### 4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Natural Moisture Content, Normal Stress และ Shear Stress ของชั้นดินเหนียวแข็งสกลนคร

จากผลการทดสอบ Direct Shear Test หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Natural Moisture Content, Normal Stress และ Shear Stress

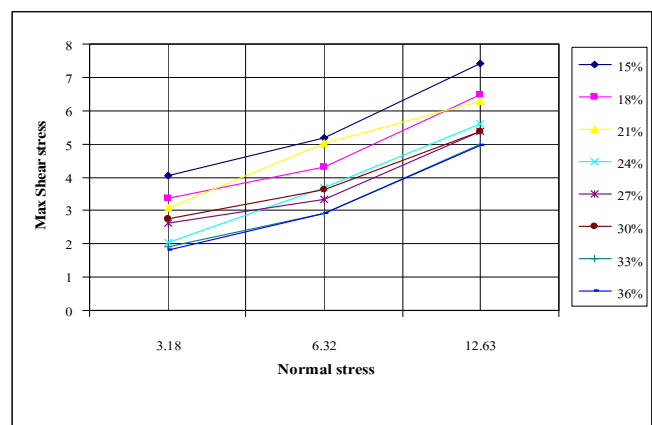


ภาพที่ 6 ความความสัมพันธ์ระหว่างค่า Natural Moisture Content, Normal Stress และ Shear Stress ของชั้นดินเหนียวแข็งสกลนคร

ของชั้นดิน-เหนียวแข็งสกลนครด้วยวิธี Direct Shear Test พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Maximum Shear Stress ที่ค่ามีแนวโน้มลดลงดังแสดงในภาพที่ 6 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่า  $W_n$  ต่อ ค่า  $C_u$  และค่า  $\phi_u$  พบว่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเชื่อมแน่นลดลงในขณะที่ค่ามุมเสียดทานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก กล่าวคือจะมีค่าอยู่ในช่วง 17.1 ถึง 19.3 ดังแสดงในตารางที่ 2 และจากภาพที่ 7

ตารางที่ 2 อิทธิพลของค่า  $W_n$  ต่อ ค่า  $C_u$  และค่า  $\phi_u$

$W_n$	Normal Stress(t/m <sup>2</sup> )			$C_u$ (t/m <sup>2</sup> )	$\phi_u$ (Degree)
	3.18	6.32	12.63		
	Maximum Shear Stress(t/m <sup>2</sup> )				
15%	4.05	5.17	7.42	3	19.3
18%	3.37	4.31	6.48	2.3	18.4
21%	3.07	5.01	6.28	2.5	18.4
24%	2.04	3.68	5.60	1.2	19.7
27%	2.61	3.33	5.38	1.6	17.1
30%	2.76	3.64	5.37	1.7	17.4
33%	1.90	2.90	4.98	0.9	18.4
36%	1.81	2.92	4.95	0.8	18.4



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normal Stress และค่า Maximum Shear Stress ที่ค่า  $W_n$  ต่าง ๆ กัน

### 5. การประเมินอัตราส่วนความปลอดภัยฐานรากกรณีศึกษา

หลังจากที่หาค่า  $C_u$  และค่า  $\phi_u$  ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างกัน ขั้นตอนต่อไปจะทำการในการประเมินอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากจะใช้วิธีเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังรับน้ำหนักที่หาได้จากสมการของ Hansen ต่อกำลังน้ำหนักใช้งานจริงในแต่ละฐาน





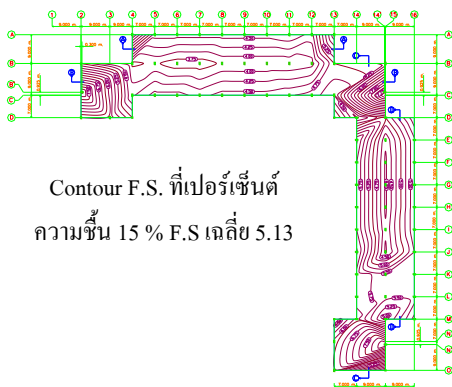
ราก ดังแสดงในสมการที่ 1 และนำค่า F.S. ที่ได้มาเฉลี่ยหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยโดยรวมต่อไป

$$F.S. = \frac{Q_{ult}}{Q_{actual}} \quad (1)$$

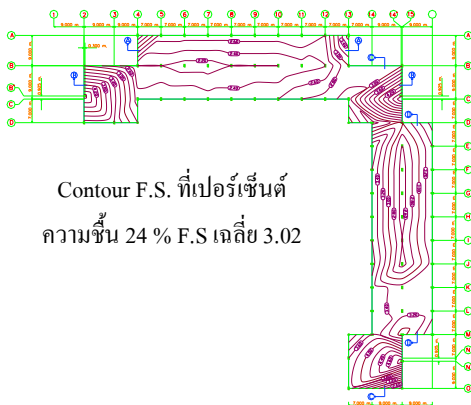
เมื่อ  $Q_{ult}$  คือ กำลังรับแรงของฐานรากที่คำนวณด้วยสมการ

Hansen

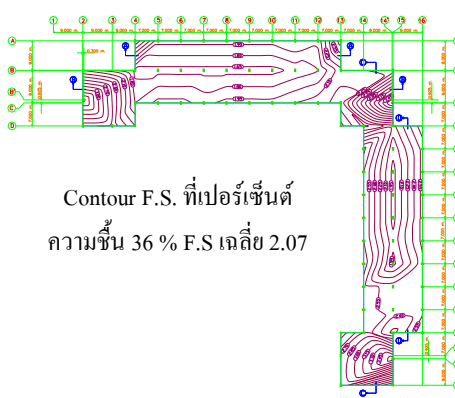
$Q_{actual}$  คือ น้ำหนักที่ลงจริงในแต่ละฐานราก



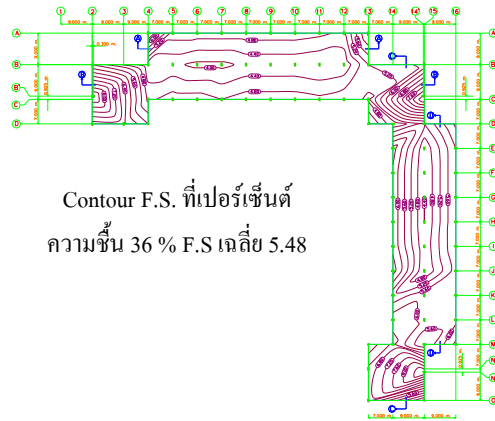
ภาพที่ 8 เส้นชั้นความสูงของค่า F. S. ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 15%



ภาพที่ 9 เส้นชั้นความสูงของค่า F. S. ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 24%

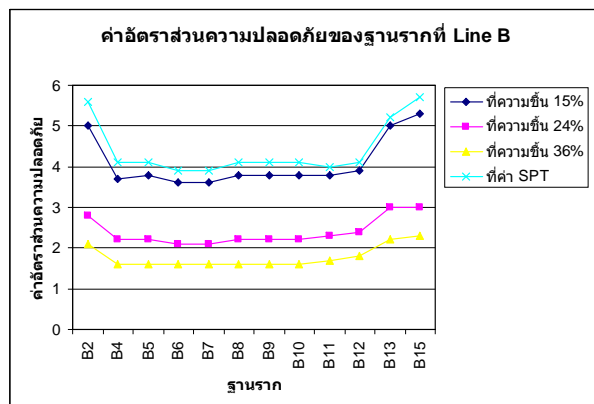


ภาพที่ 10 เส้นชั้นความสูงของค่า F. S. ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 36%

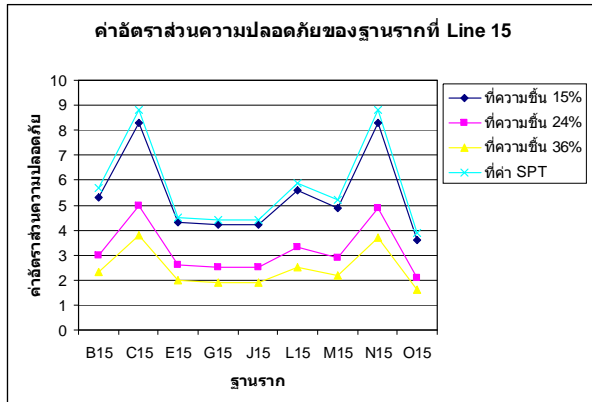


ภาพที่ 11 เส้นชั้นความสูงของค่า F. S. ที่คำนวณได้จากการใช้ค่าการแปลงข้อมูลจากค่า Standard Penetration Test (SPT)

ภาพที่ 8 9 และ 10 แสดงผลการคำนวณค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ซึ่งคำนวณจากฐานรากทั้งสิ้น 73 ฐานรากพบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยโดยรวมจะมีค่ามากที่สุดบริเวณขอบอาคาร และมีค่าน้อยลงตามลำดับโดยเฉพาะในบริเวณ Line B และ Line 15 ดังแสดงในภาพที่ 11 และภาพที่ 12 และจะน้อยที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางอาคารฐานรากใน Zone ของ Line A B และ C จะมีค่า F.S. น้อยที่สุด และฐานรากที่อยู่ในบริเวณกลางอาคารจะมีค่า F.S. น้อยกว่าฐานรากที่อยู่ชิดขอบ และเมื่อค่าความชื้นของฐานรากเพิ่มขึ้น F.S. จะลดลงตามลำดับกล่าวคือ ที่ค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินเป็น 15% 24% และ 36% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากจะมีค่าเท่ากับ 5.13 3.02 และ 2.07 ตามลำดับ โดยจะมีค่าต่ำกว่าการคำนวณโดยใช้การแปลงค่าจาก ผล Standard Penetration Test(SPT) ซึ่งได้ผลเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 5.48



ภาพที่ 11 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ Line B



ภาพที่ 12 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ Line 15

## 5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินต่อกำลังรับน้ำหนักฐานรากตื้นบนดินเหนียวแข็งสกปรก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณของเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านแรงยึดเหนี่ยวของดิน ( $C_u$ ) โดยเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน ( $C_u$ ) ลดลง ในขณะที่ค่ามุมเสียดทานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก

2. เมื่อจำลองพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากที่ตั้งอยู่บนชั้นเหนียวแข็งสกปรก พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากอาคารกรณีศึกษาลดลงตามปริมาณความชื้นของดินที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น 15%, 24% และที่ 36% ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของฐานรากเฉลี่ยจะมีค่าลดลงตามลำดับเท่ากับ 5.13, 3.02 และ 2.27 ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำกว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Standard Penetration Test ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.48

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่ช่วยอุดหนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณคุณวุฒิวิทย์ วิเศษสังข์ นายวีรวิทย์ จิตต์วิบูลย์, นายเจตณรงค์ งามหนัก ที่ช่วยเตรียมข้อมูลผลการทดสอบ Direct Shear Test ขอขอบคุณ นายปริญญา ศรีสมบูรณ์ นายวินัย วีระหงส์ และ นายสิทธิพร ปากเมย ที่ช่วยเตรียมข้อมูลในส่วนของหลุมเจาะและข้อมูลดิน

## 7. บรรณานุกรม

- [1] ปริญญา ศรีสมบูรณ์และคณะ, 2549. การทำนายการทรุดตัวและประเมิน กำลังรับแรงของฐานรากตื้น กรณีศึกษา อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัด สกลนคร. ปริญญาพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร
- [2] บรรพต กุลสุวรรณม, 2548. การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ดินน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี. กรุงเทพมหานคร:มหาวิทยาลัย – เกษตรศาสตร์.
- [3] บริษัท พัทธ์ จำกัด, บริษัท เซเวน แอสโซซิเอต คอนซัลแตนต์ จำกัด และบริษัท เนชั่นเนล เอ็นอีเอรี่จิ่ง คอนซัลแตนต์ จำกัด 2540. งานออกแบบฝังแม่บท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิม พระเกียรติ จังหวัดสกลนคร รายงานผลการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลทางปฐพีวิทยา. :ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.
- [4] Supakij Nontananandh, Choodech Thongmit, Apinit Jotisankasa, PongsakSuriyavanagul and Korchoke Chantawarangul (2006). A preliminary study ofdispersive soil erosions of reservoirs and road embankments in KasetsartUniversity Chalermphramiat Sakon Nakhon Province Campus. In the InternationalSymposium on Infrastructure development and the Environment (SIDE 2006),Philippines.
- [5] K.H. Head, 1994. Manual of Soil Labatory Testing. United States and Canada: John Wiley&Sons, Inc.