

คุณสมบัติและปัญหาทางวิศวกรรม ของดินในมหาวิทยาลัยขอนแก่น

โดย ประกอบ วิโรจนกูฏ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

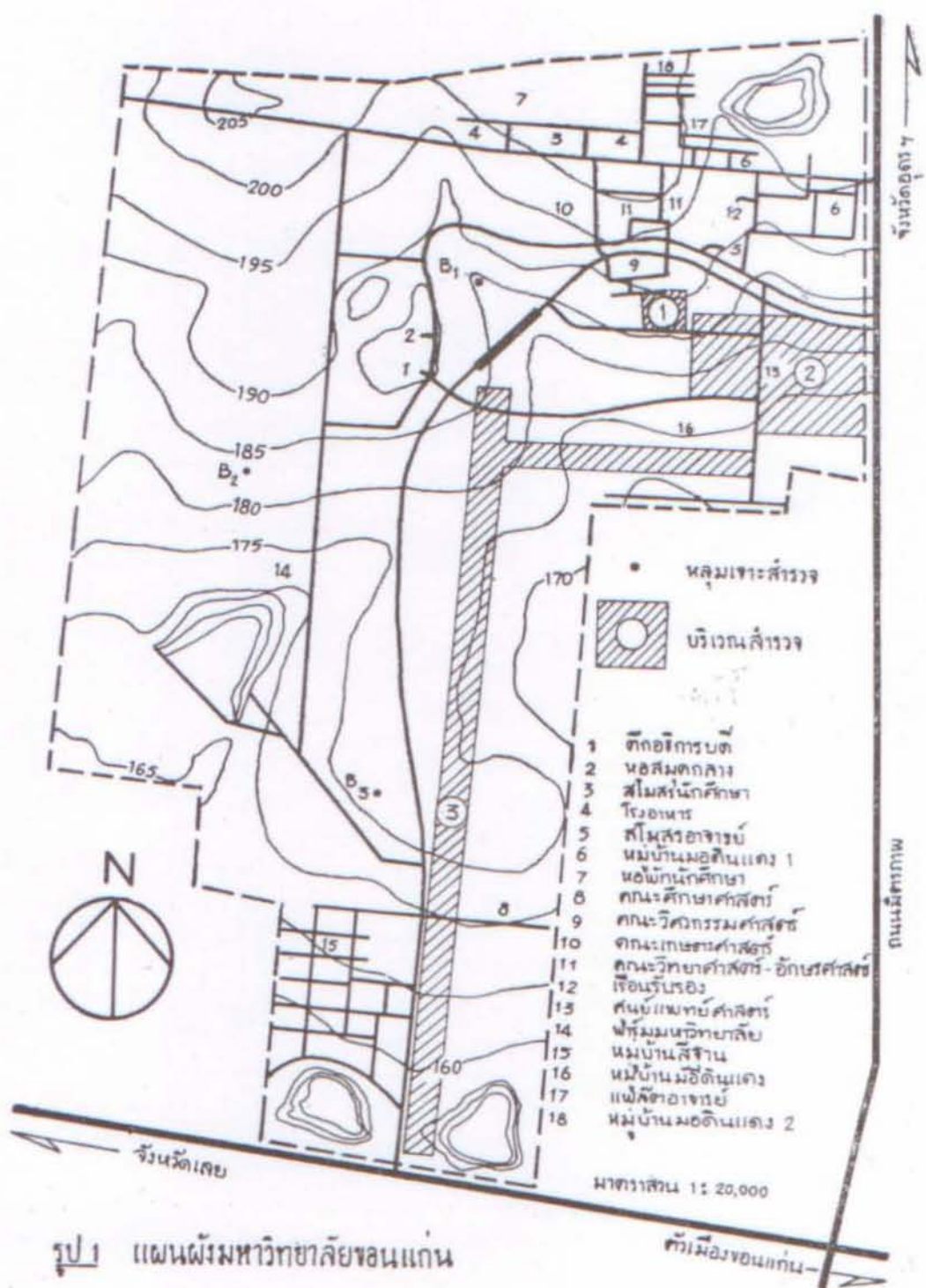
บทคัดย่อ

บทความนี้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะชั้นดินตลอดจนคุณสมบัติ และปัญหาทางวิศวกรรมของดินในมหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในงานวิจัย นอกจากนี้ผู้เขียนได้ตีความหมาย และวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวให้ ไขเป็นประโยชน์ได้ในทางปฏิบัติสำหรับวิศวกรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับดินในบริเวณดังกล่าวและดินที่มีลักษณะคล้ายกัน

1. บทนำ

พื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในเขตที่ราบสูงโคราช ด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของที่ราบสูงมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลแต่พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับเฉลี่ย 200 เมตร จากข้อมูลทางธรณีวิทยาของหินปูนโคราชแสดงให้เห็นว่า ชั้นหินส่วนใหญ่เป็นหินทราย (Sandstone) และหินดินดาน (Shale) สมัย Jurassic และ Triassic ของยุค Mesozoic (อ้างอิง 1) นอกจากนี้ยังมีหินทรายแป้ง (Siltstone) และชั้นหินชั้นหินเกลือซึ่งหนาถึง 240 เมตร ดินส่วนใหญ่เป็นดินตะกอน หินทรายและดินตะกอนปนทราย ซึ่งเกิดจากการพัดพาของสุมมาทับถมกันและเกิดจากปฏิกิริยาต่อหินผาอากาศของหินผาจนทำให้เกิดดินในที่ (Insitu Weathered Soil) นอกจากนี้ยังมีดินตะกอน หินทราย และกรวดที่นำพัดพามาทับถมกันในที่ราบลุ่ม หนองเขา หรือในลำน้ำ

มหาวิทยาลัยขอนแก่นอยู่ห่างจากตัวเมืองขอนแก่นไปทางทิศเหนือ ประมาณ 6 กิโลเมตร มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 5000 ไร่ ลักษณะของพื้นที่เป็นเนินลาดสูงไปทางทิศเหนือจากระดับ 155 ม. ถึง 205 ม. ดังแสดงในรูป 1



รูป 1 แผนที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. ลักษณะชั้นดิน

รูป 2 แสดงลักษณะของชั้นดินบริเวณหลุม B₁, B₂ และ B₃ ตามลำดับ รูป 3 และ รูป 4 เป็นลักษณะชั้นดินตามแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตกของบริเวณสำรวจพื้นที่ 2 จะเห็นได้ว่าในส่วนเหนือของมหาวิทยาลัย (หลุม B₁ และบริเวณสำรวจ 1 และ 2) ลักษณะของชั้นดินลงไปถึงความลึก 21 ม. แบ่งได้เป็น 3 ชั้น คือ

ชั้นที่ 1 เป็นดินฉาบปนประกอบด้วยทรายผสมดินตะกอน (Silty sand) มีสีน้ำตาลและแดง อยู่ในสภาพหลวมถึงปานกลาง ดินชั้นนี้หนาประมาณ 4-8 เมตร

ชั้นที่ 2 เป็นดินที่อยู่ถัดจากชั้นแรกลงไป ประกอบด้วยทรายผสมดินตะกอน และกรวดมีความเหนียวเล็กน้อย อยู่ในสภาพแน่นถึงแน่นมาก ดินชั้นนี้มีความหนาประมาณ 6-16 เมตร

ชั้นที่ 3 อยู่ถัดจากดินชั้นที่ 2 ลงไป เป็นดินเหนียวปนดินตะกอน (Silty Clay) สีแดงปนน้ำตาล มีส่วนผสมของกรวดและทรายอยู่บ้างเล็กน้อย

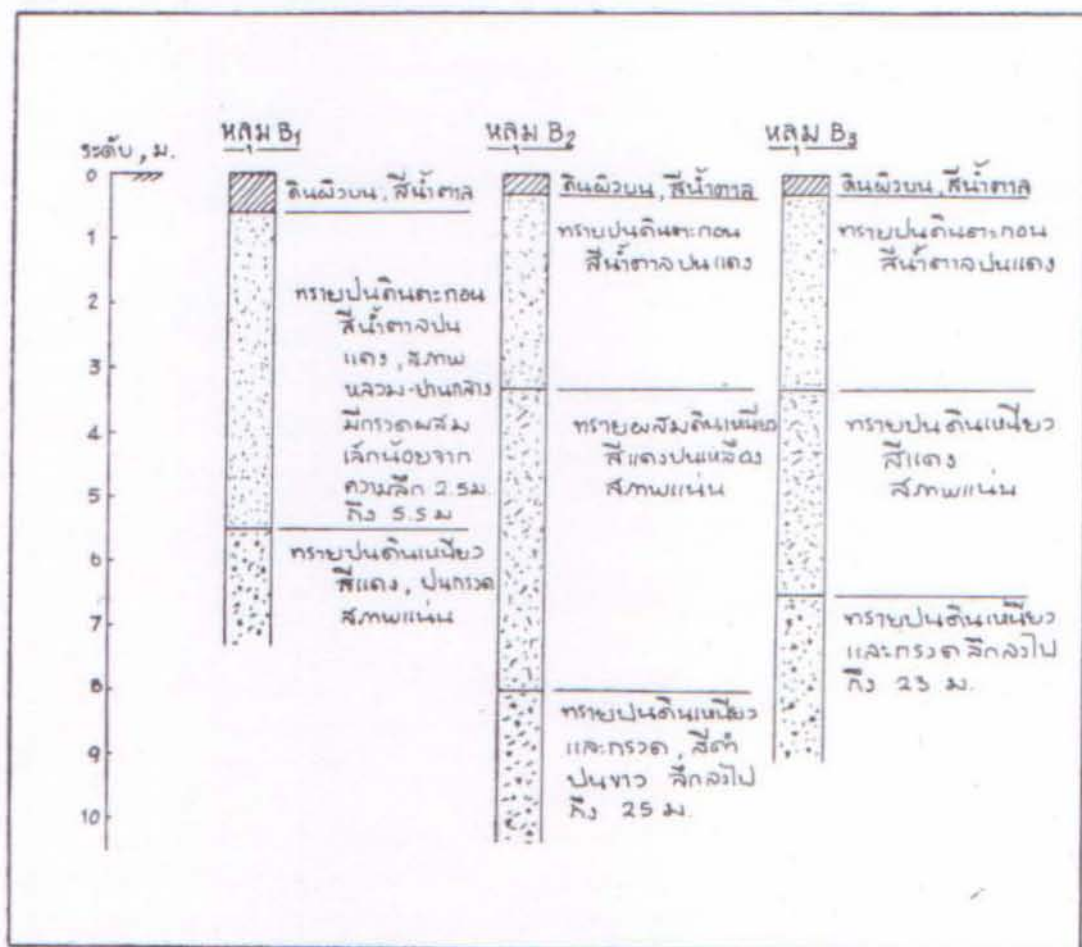
ในส่วนกลางและส่วนใต้ของมหาวิทยาลัย ลักษณะชั้นดินเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย แต่ดินฉาบเป็นทรายปนตะกอนเช่นกัน อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับสภาพชั้นดินในส่วนนี้ยังมีอยู่น้อยมากและยังอยู่ในระหว่างการสำรวจบริเวณที่ 3 ดังแสดงในรูป 1

3. คุณสมบัติของดินฉาบ (ทรายปนดินตะกอน)

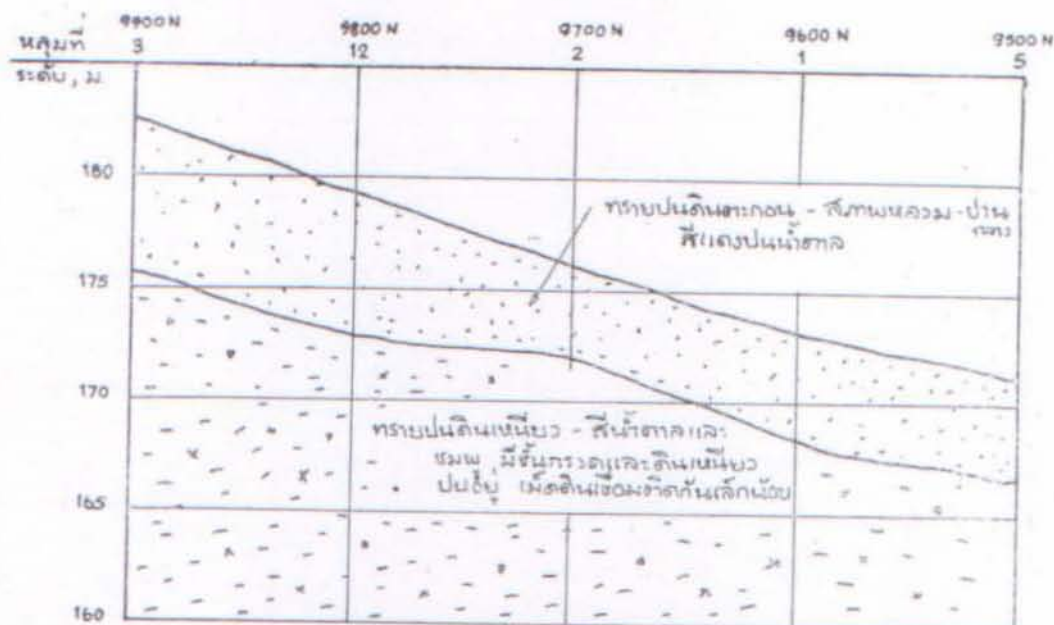
ในที่นี้เราจะศึกษาเป็นพิเศษเฉพาะคุณสมบัติและปัญหาทางวิศวกรรมของดินฉาบซึ่งเป็นทรายผสมดินตะกอนและหนาประมาณ 4-8 เมตร ทั้งนี้เนื่องจากดินฉาบมีความหนาพอประมาณ และดินชั้นนี้ดังลงไปเป็นดินที่อยู่ในสภาพแน่นมากดังนั้น คุณสมบัติของดินชั้นบนจึงเป็นตัวกำหนดในการออกแบบและปัญหาที่เกิดขึ้นจึงเป็นปัญหาของดินฉาบ นอกจากนี้การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติ ของดินฉาบยังจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง

คุณสมบัติของดินฉาบในที่นี้จะกล่าวต่อไปนี้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้ จากการทดสอบตัวอย่างดินจากจุดต่างๆ 5 จุด รวมทั้งการทดสอบในสนาม

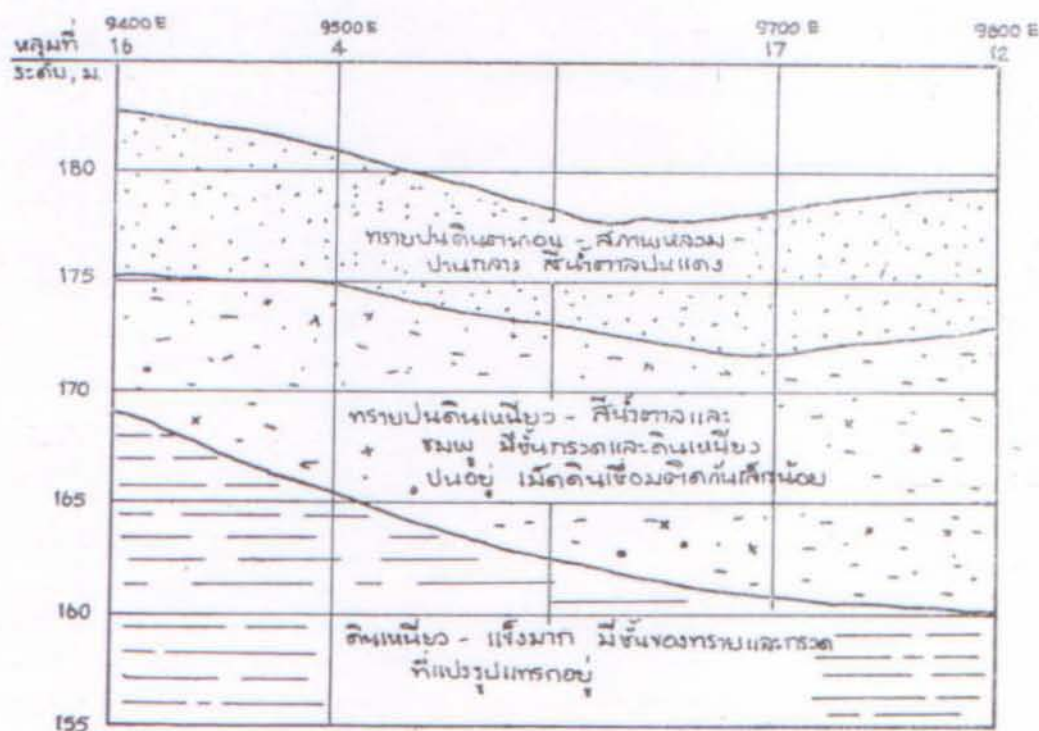
(1) ขนาดและการกระจายขนาดของเม็ดดิน รูป 5 แสดงการกระจายขนาดของเม็ดดินสำหรับตัวอย่างดินที่จุดต่างๆ จากเส้นแสดงการกระจายขนาดเฉลี่ย $D_{60}=0.16$ มม. และ $D_{10}=0.006$ มม. จะได้ $U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 26.7$ ซึ่งถือว่าเป็นดินที่มีการกระจาย



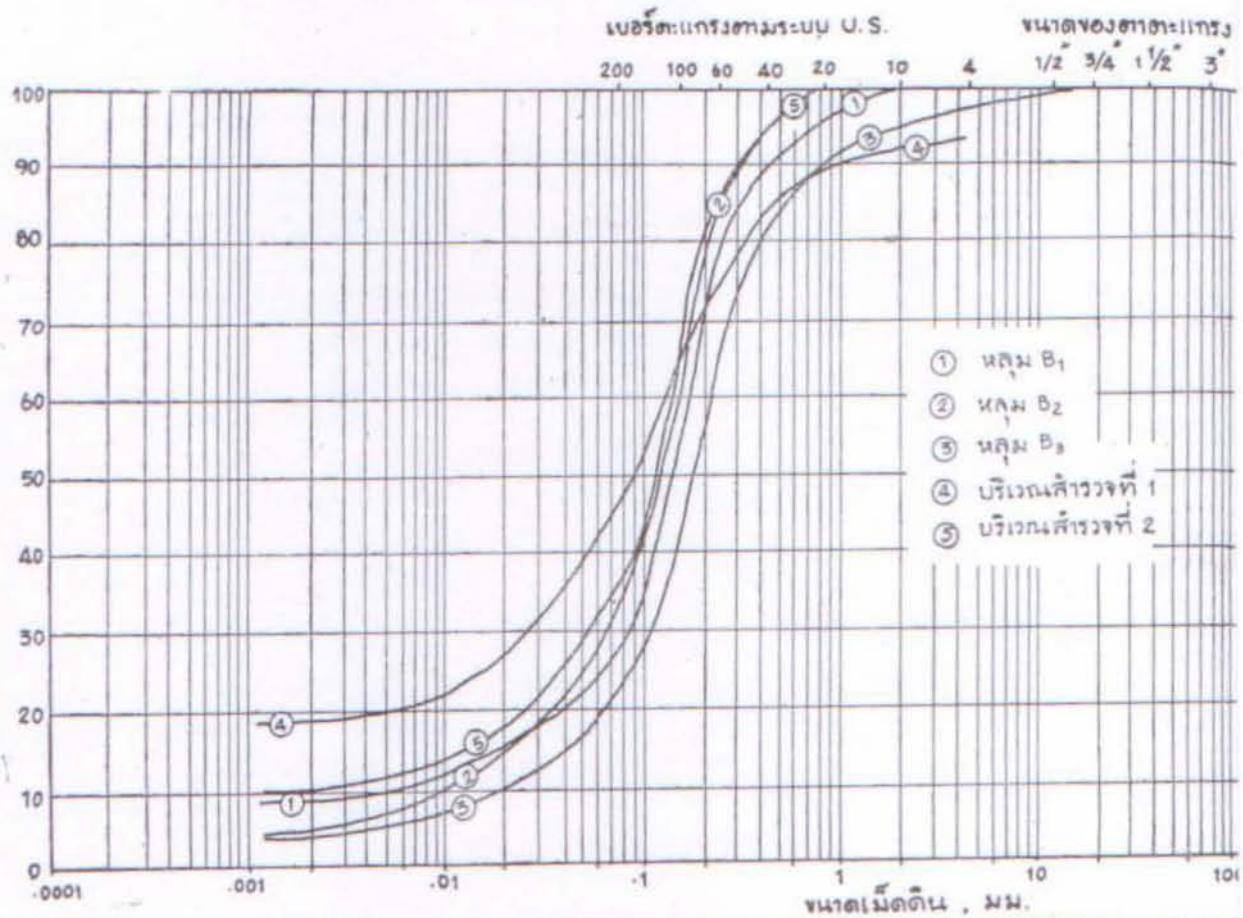
รูป 2 ลักษณะดินบริเวณกลุ่ม B₁ B₂ และ B₃



รูป 3 ลักษณะชั้นดินบริเวณสำรวจที่ 2 แนวเหนือ-ใต้



รูป 4 ลักษณะชั้นดินบริเวณสำรวจที่ 2 แนวตะวันออก-ตก



ดินเหนียว	ละเอียด	ปานกลาง	หยาบ	ละเอียด	ปานกลาง	หยาบ	ละเอียด	ปานกลาง	หยาบ	หิน
	ดินตะกอน			ทราย			กรวด			

รูป 5 การกระจายขนาดของเม็ดดิน

ขนาดของเม็ดดิน (Well Graded) เป็นที่น่าสังเกตว่าดินบริเวณสำรวจที่ 1 มีขนาดเม็ดดินละเอียดกว่าดินบริเวณอื่นและมีเม็ดดินที่เล็กกว่า 2 ไมครอนประมาณ 19% เป็นเหตุให้พิกัดเหลวแลกพิกัดพลาสติกมีค่าสูงกว่าดินบริเวณอื่นๆ ดังจะเห็นได้จากตาราง 1

(2) พิกัด Atterberg และปริมาณความชื้นในดิน

ตาราง 1 สรุปค่าพิกัดเหลว, พิกัดพลาสติก, ดัชนีสภาพพลาสติก และปริมาณความชื้นในดิน ผลที่ได้จากการหาปริมาณความชื้นของดินในดินที่ตามแนวความลึก ณ บริเวณสำรวจที่ 1 และ 2 ไม่แสดงให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ที่พอสรุปได้อย่างแน่นอน

ตารางที่ 1 ค่าพิกัด Atterberg และปริมาณความชื้นในดิน

สถานที่	L.L., %		P.L., %		P.I., %		ปริมาณความชื้น, %	
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย
B ₁	—	11	—	5.8	—	5.2	—	—
B ₂	—	12	—	6.7	—	5.3	—	—
B ₃	—	9	—	6.4	—	2.6	—	—
บริเวณสำรวจที่ 1	—	20	—	15.5	—	4.5	6.0-17.3*	9.9*
บริเวณสำรวจที่ 2	12-18	15	7-12	10	1-10	5	2-13	6

* เป็นค่าที่หาในฤดูฝนสำหรับดิน 3 เมตรแรก

(3) ความด่างจำเพาะของเม็ดดิน, (G_s)

ตารางที่ 2 ค่าความด่างจำเพาะของเม็ดดิน G_s

สถานที่	G_s	
	ช่วง	เฉลี่ย
B ₁	—	2.68
B ₂	—	2.67
B ₃	—	2.69
บริเวณสำรวจที่ 1	—	2.64
บริเวณสำรวจที่ 2	2.53-2.75	2.67

(4) ความหนาแน่น

ตาราง 3 แสดงค่าความหนาแน่นในสำหรับดินทรายปนดินตะกอนโดยใช้วิธีแทนที่โดยทราย (Sand Replacement Method) ค่าความหนาแน่นที่หลุม B_1, B_2 และ B_3 เป็นความหนาแน่นผิวบน ส่วนที่บริเวณสำรวจที่ 1 และ 2 เป็นความหนาแน่นเฉลี่ยที่ความลึก 0.4-1 ม. และ 1.5 - 2.0 เมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าดินผิวบนมีความหนาแน่นสูงกว่าดินที่ความลึกถัดลงไปที่เป็น เช่นนี้อาจจะเกิดจากการอัดแน่น ของดินเนื่องจากการระเหยน้ำของน้ำ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยที่ความลึก 0.4 - 1.0 เมตรและ 1.5-2.0 เมตร เป็นค่าที่น่าเชื่อถือสำหรับดินทั้งชั้น

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นแห้ง

สถานที่	ความหนาแน่นรวม $\times$ กก./ม ³		ความหนาแน่นแห้ง กก./ม ³	
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย
B_1	—	—	—	2070
B_2	—	—	—	2020
B_3	—	—	—	2170
บริเวณสำรวจที่ 1	1680-1764	1720	1527-1602	1564
บริเวณสำรวจที่ 2	1440-1740	1624	1380-1620	1527

(5) ค่า Standard Penetration Resistance, N (ครั้ง/30 ซม.)

ตาราง 4 แสดงค่าจำนวนครั้งที่เคาะในการทำ Standard Penetration Test ที่ความลึกทุกๆ 1 เมตรของดินบริเวณสำรวจที่ 1 N' เป็นจำนวนครั้งที่เคาะที่วัดได้และ N เป็นค่าแก้ไขเนื่องจากผลของความดันที่บดซึ่งคำนวณจาก $N = N' \frac{50}{\sigma_{0+10}}$ เมื่อ σ_0 เป็นความดันที่บดมีค่าไม่เกิน 40 ปอนด์/ตร. นิ้ว ถ้า N ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าสองเท่าของ N' จะใช้ค่า N' เท่ากับสองเท่าของ N'

ตารางที่ 4 ค่า N สำหรับดินบริเวณสำรวจที่ 1

ความลึก, ม.	N'		$\bar{\sigma}_0$ ปอนด์/นิ้ว ²	N
	ช่วง	เฉลี่ย		
1	02-1	5	2.36	10
2	3-6	4	4.72	8
3	4-10	6	7.08	12
4	5-18	9	9.44	18
5	4-27	10	11.8	20
6	6-9	8	14.16	16
7	8-9	9	16.52	17
7.5	10	10	17.7	18

(6) ความแข็งแรงเฉือน

เฉลี่ย 15

ความแข็งแรงหาได้จากการทำ Triaxial Test โดยใช้ตัวอย่างดินที่เตรียมขึ้นในปฏิบัติการให้ความหนาแน่นแห้งเท่ากับความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยในที่ ผลที่ได้แสดงในตาราง 5 จะเห็นว่าความแข็งแรงเฉือนในกรณีที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะน้อยกว่าความแข็งแรงเฉือนในกรณีที่ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่ง ความแข็งแรงเฉือนของดินลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น รายละเอียดในเรื่องนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อความสามารถในการรับน้ำหนักและการทรุดตัว

ตาราง 5 ความแข็งแรงเฉือน

สถานที่	Drained Shear Strength	
	ในสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ
บริเวณสำรวจที่ 1	-	$S = \bar{\sigma} \tan 30^\circ$
บริเวณสำรวจที่ 2	$S = \bar{\sigma} \tan 40^\circ$	$S = \bar{\sigma} \tan 33^\circ$

(7) ความซึมผ่านได้

จากข้อมูลที่พอหาได้ความซึมผ่านได้ที่หาจากการทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิ-

บัตการมีค่าอยู่ในช่วง 1.5×10^{-3} ถึง 1.7×10^{-4} ซม./วินาที แต่ไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นค่าความซึมผ่านได้ของดินในสภาพใด (ความหนาแน่นในที่หรืออัดแน่นในห้องปฏิบัติการ) อย่างไรก็ตามความซึมผ่านได้ในสนามอาจจะมีความสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากสภาพของดินในสนามมีโพรงหรือรูที่เกิดจากปลวก, แมลงและสัตว์ในดินบางชนิด ข้อเท็จจริงนี้จะพบบ่อยครั้งในขณะเจาะสำรวจดินโดยเฉพาะที่ความลึก 3 เมตรแรก

(8) การอัดดิน (Compaction)

รูป 6 แสดงผลการทดสอบอัดดินตัวอย่างจากบริเวณสำรวจ ที่ 2 โดยใช้ Standard Proctor ปริมาณความชื้นที่พอเหมาะ (Optimum Moisture Content) มีค่าประมาณ 8.5% และให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดประมาณ 2.05 ตัน/ม³ เป็นที่น่าสังเกตว่าการอัดดินทางคานแห้ง (ที่ปริมาณความชื้นน้อยกว่าค่าที่พอเหมาะ) จะให้ผลไม่แน่นอน ถึงแม้จะเห็นได้จากลักษณะของจุดคานขยับมือในรูปซึ่งการจ่ายกันมาก ในขณะทำการอัดดินทางคานเปียกจะให้ผลที่แน่นอนกว่า ดังนั้นการอัดดินชนิดนี้ในสนามจึงควรอัดที่ปริมาณความชื้นสูงกว่า 8.5% เล็กน้อยเพื่อความมั่นใจในผลการอัดดิน

4 ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัย (Allowable Bearing Capacity)

จากลักษณะของชั้นดินในบริเวณส่วนเหนือของมหาวิทยาลัย ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2 ฐานแผ่ (Spread Footing) เป็นชนิดของฐานรากที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสิ่งก่อสร้าง โดยเฉพาะตึกและอาคารต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากดินผิวบน (ทรายผสมดินตะกอน) มีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักสิ่งก่อสร้างได้ โดยสามารถออกแบบให้ไม่เกิดการทรุดมากกว่ากำหนด นอกจากนี้ฐานแผ่ยังมีความเหมาะสมในแง่ของความประหยัดและความสะดวกในการก่อสร้าง

ในการออกแบบฐานแผ่นั้น สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาสองประการ คือ ความมั่นคงของดินที่รองรับสิ่งก่อสร้าง (Stability) ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของดิน และการทรุดตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับความอัดได้ (Compressibility) จากการศึกษาและจากข้อเท็จจริงพบว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงเฉือนของดินก็จะลดลงในขณะที่การทรุดตัวจะมีมากขึ้น รายละเอียดในเรื่องนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5 ถึงแม้ว่าระดับน้ำใต้ดินในบริเวณส่วนเหนือของมหาวิทยาลัยตอนแรกจะอยู่ในระดับต่ำมากและดินในสนามมีสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แต่ในกรณีที่ฝนตกหนักและถ้าระบบระบายน้ำไม่ดีพอ ปริมาณ

ความชันของดินที่ระดับฐานอาจเพิ่มขึ้น สภาพเลวร้ายที่สุดที่จำเป็นต้องระมัดระวังได้แก่ การที่น้ำถูกกักขังในบริเวณหนึ่งจนทำให้ดินถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ ในกรณีที่ไม่มั่นใจว่าสภาพเช่นนี้จะไม่เกิดขึ้น ความสามารถในการรับน้ำหนัก และการทรุดตัวของชั้นดินที่พิจารณาควรเป็นค่าที่สภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ

(1) จากค่า N

Terzaghi และ Peck (1948) ได้ให้วิธีหาความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของดินทรายจากค่า N โดยคำนึงถึงขนาดและการทรุดตัวของฐานที่จะเกิดขึ้น วิธีดังกล่าวให้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยสำหรับฐานขนาดต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการทรุดตัวไม่เกิน 1 นิ้ว (2.54 ซม.) ด้วยเหตุนี้ Terzaghi และ Peck ได้เสนอว่าถ้าออกแบบฐานตัวที่ใหญ่ที่สุดของสิ่งก่อสร้างโดยวิธีนี้แล้ว การทรุดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะไม่เกิน 1 นิ้ว และการทรุดตัวแตกต่าง (Differential Settlement) จะไม่เกิน $\frac{3}{4}$ นิ้ว ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัย

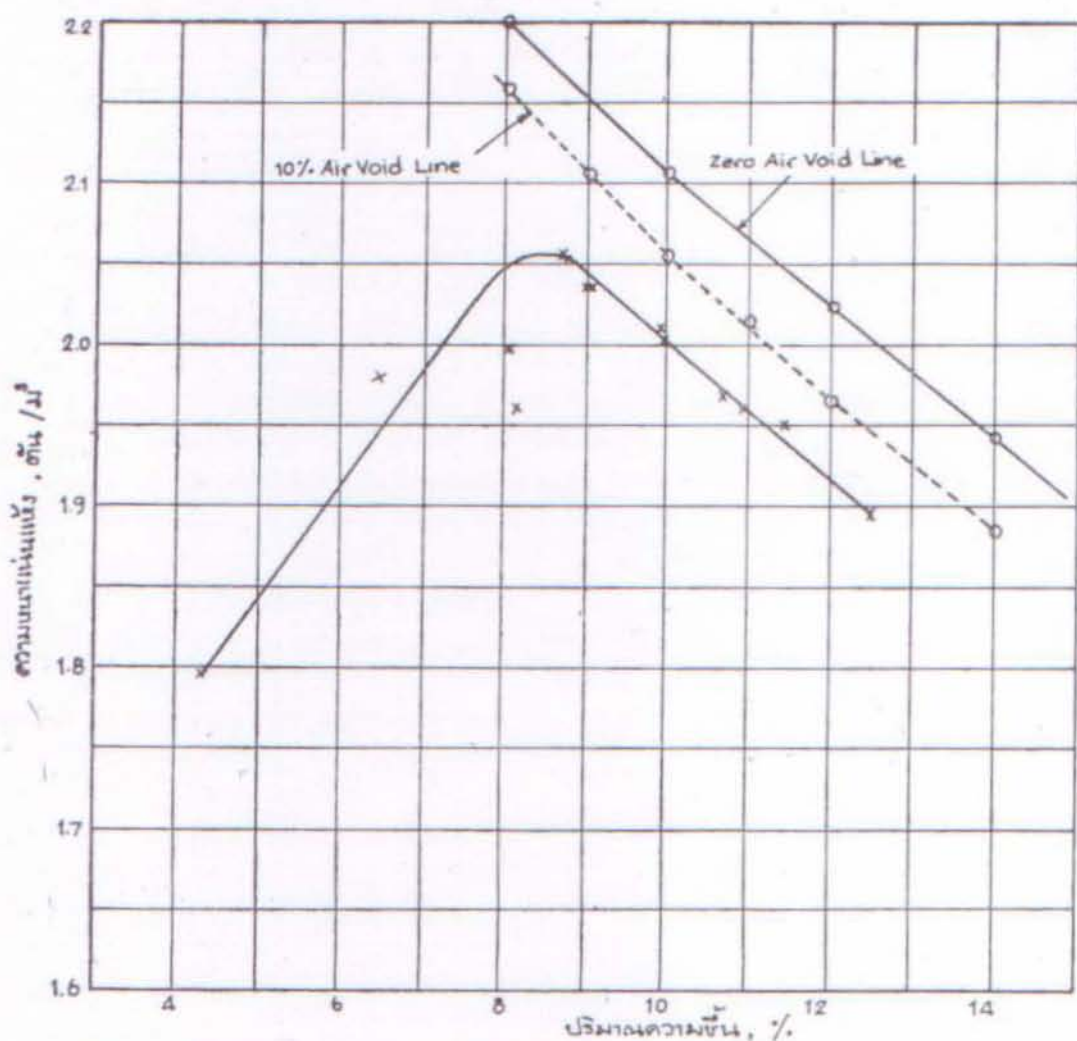
ตาราง 6 แสดงค่าความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของฐานกว้าง 2, 3 และ 4 เมตร ที่มีสกลลงไปดินชั้นบนประมาณ 2 เมตร ในสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ได้จากค่า N เฉลี่ยซึ่งเท่ากับ 15 สำหรับบริเวณสำรวจที่ 1 ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยที่ได้จากค่า N จะต้องนำมาเปรียบเทียบกับที่ได้จากทฤษฎีของ Terzaghi ซึ่งเป็นค่าที่พิจารณาเฉพาะความมั่นคงของดินโดยไม่คำนึงถึงการทรุดตัว การออกแบบจะต้องเลือกค่าที่น้อยกว่า

ตาราง 6 Allowable Bearing Capacity จากค่า N

ค่า N เฉลี่ย	ขนาดของฐาน, ม. ²	q_{allow} ตัน/ม. ²	
		สภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	สภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ
15	2×2	14.0	7.0
	3×3	12.6	6.3
	4×4	12.2	6.1

(2) จากทฤษฎีของ Terzaghi

สมการของ Terzaghi สำหรับหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดินโดย



ชนิดของดิน	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ตัน/ม³	ปริมาณความชื้นพอ เหมาะ, %	ความถ่วงจำเพาะ, G_s
ทรายปนดินเหนียว ที่มีความลึก 1.5-2.0 ม. บริเวณสำรวจที่ 2	2.05	8.5	2.67

รูป 6 ผลการอัดดินตัวอย่างจากบริเวณสำรวจที่ 2

พิจารณาถึงความมั่นคงของชั้นดินที่รองรับฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งกว้าง B คือ

$$q_{allow.} = (1.2 cN_c + 8 D N_q + 0.4 rBN_r) \frac{1}{F}$$

จากค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของดินในบริเวณสำรวจที่หนึ่ง และที่ 2 จะได้

$$\bar{C} = 0$$

$$r = 1.72 - 1.0 = 0.72 \text{ ตัน/ม}^3 \text{ ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ}$$

$$D = 2 \text{ เมตร}$$

$$B = 2.3 \text{ และ } 4 \text{ เมตร}$$

$$\bar{\phi} = 33^\circ \text{ ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ}$$

$$N_r = 25$$

$$N_q = 25$$

$$F = \text{อัตราความปลอดภัยซึ่งในที่นี้ใช้ค่า } 3$$

ตาราง 7 แสดงค่า $q_{allow.}$ ที่คำนวณได้สำหรับฐานกว้าง 2.3 และ 4 เมตร สำหรับดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ

ตารางที่ 7 ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยจากทฤษฎี ของ Terzaghi

ขนาดของฐาน, ม. ²	$q_{allow.}$, ตัน/ม ² (สภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ)
2 × 2	16.8
3 × 3	19.2
4 × 4	21.6

(3) จากผลของ Plate Load Test

นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ได้ทดลองหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดินในบริเวณสำรวจที่ 1 โดยทำ Plate Load Test ในสนามตั้งรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง 4 ผลที่ได้แสดงไว้ในตาราง 8

ตาราง 8 ผลของ Plate Load Test บริเวณตัวราวที่ 1

ขนาดของฐาน	ความลึก D	$q_{ult.}$, ตัน/ม ²	$q_{allow.} = \frac{q_{ult.}}{3}$ ตัน/ม ²
5" X 5"	6"	39.5	13.2
"	12"	48.8	16.3
"	18"	52.2	17.4
6" X 6"	6"	39.5	13.2
"	12"	41.0	13.7
7" X 7"	6"	45.9	15.3

จากการหาความสามารถในการรับน้ำหนักเท่าที่กล่าวมา จะเห็นว่าความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยที่คำนวณจาก N มีค่าต่ำกว่าที่ ได้จากสมการของ Terzaghi และจากผลของ Plate Load Test ฉะนั้นจึงใช้ค่าดังกล่าวในการออกแบบ อย่างไรก็ตามผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าวิธีที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่ง ในการเลือกใช้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยสำหรับฐานได้แก่การเลือกใช้ค่าเฉลี่ยจากสมการของ Terzaghi หรือจากผลของ Plate Load Test แล้วคำนวณหาการทรุดตัวของฐานขนาดต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น โดยอาศัยทฤษฎีความยืดหยุ่น ถ้าการทรุดตัวที่คำนวณได้มีค่าเกินกว่าที่กำหนด ก็จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงจนกว่าการทรุดตัวจะอยู่ในเกณฑ์กำหนด

ตาราง 9 แสดงค่า E ของดินบริเวณตัวราวที่ 1 จากผลของ Plate Load Test (อ้างอิง 4) โดยถือว่าค่า E ที่ความลึก z B จากระดับฐานเป็นค่าเฉลี่ย Poisson's Ratio μ , ของดินทรายปนดินตะกอนมีค่าประมาณ 0.3 และความดันของฐาน, q เท่ากับ 15 ตัน/ม² สมการการทรุดตัวที่จุดกึ่งกลางของจัตุรัสกว้าง B คือ $\Delta S = p \frac{B}{E} 1.12 (1 - \mu^2)$

ตาราง 9 ค่า E ของกัมมันตภาพรังสีที่ 1

ขนาดของฐาน	ความลึก D.	q, ตัน/ม^2	$\Delta = \text{ม}$	E, ตัน/ม^2	$\bar{\sigma}$, ตัน/ม^2 *
5" + 5"	6"	15	2.54×10^{-4}	7.65×10^3	0.426
"	12"	15	2.29×10^{-4}	8.48×10^3	0.688
"	18"	15	2.29×10^{-4}	8.48×10^3	0.939
6 + 6"	6"	15	3.3×10^{-4}	7.06×10^3	0.458
"	12"	15	3.3×10^{-4}	7.06×10^3	0.721

* ที่ความลึก $\frac{3}{4}B$ จากระดับฐาน

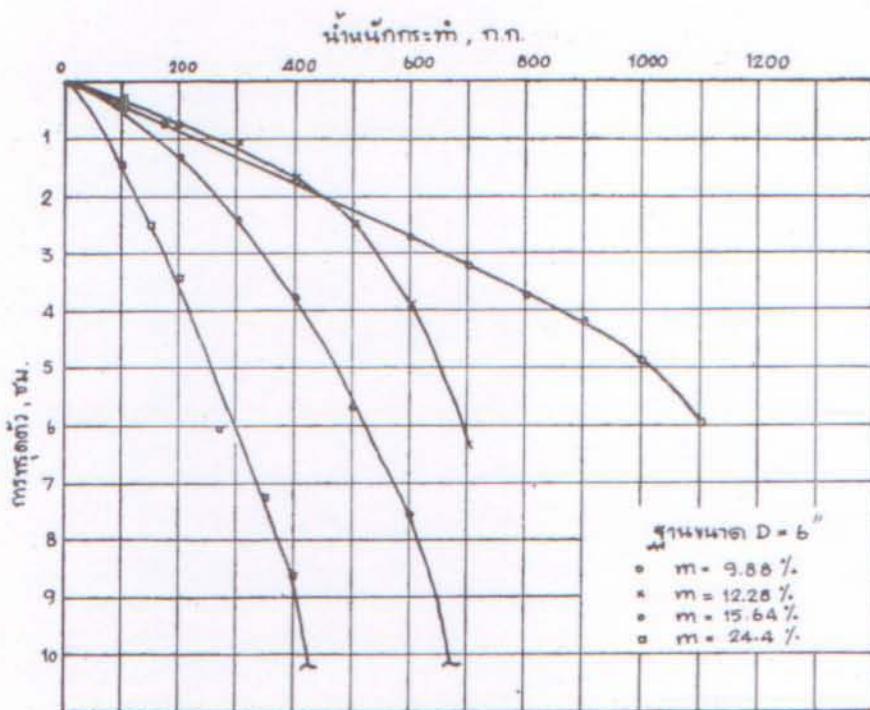
จากตาราง 9 จะเห็นว่า เราไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง E และ $\bar{\sigma}$ ได้อย่างแน่นอน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของความลึกของฐานที่ใช้ในการทดลองมีน้อยเกินไป จึงทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า E อย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตาม Lambe (1969) กล่าวว่า สำหรับหินส่วนใหญ่ค่า E จะเปลี่ยนแปลงตามค่า $\bar{\sigma}$

ตาราง 10 เป็นการสรุปตัวของฐานขนาดต่าง ๆ ที่คำนวณจาก E เฉลี่ยซึ่งเท่ากับ 7.75×10^3 ตัน/ม^2 และสมมุติว่า E มีค่าคงที่ตลอดชั้นหิน เนื่องจากค่า E ที่ใช้

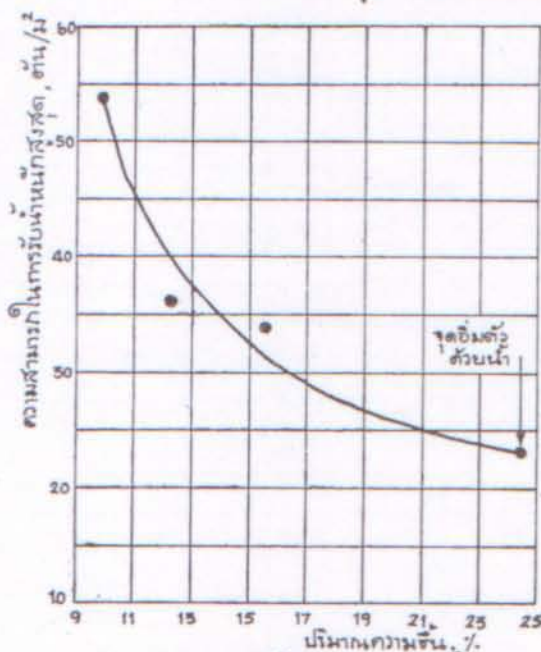
ตาราง 10 การสรุปตัวของฐานที่ความดัน 15 ตัน/ม^2

ขนาดของฐาน, ม^2	p, ช.ม.	$\frac{Z}{(B/2)}$	$\frac{\int_0^Z \bar{\sigma}_d z}{\int_0^\infty \bar{\sigma}_d z}$ $\times = 1$ $\times =$	$\Delta S' = I \Delta S$ ช.ม.
2 × 2	0.40	6	0.80	0.32
3 × 3	0.59	4	0.74	0.44
4 × 4	0.79	3	0.67	0.53

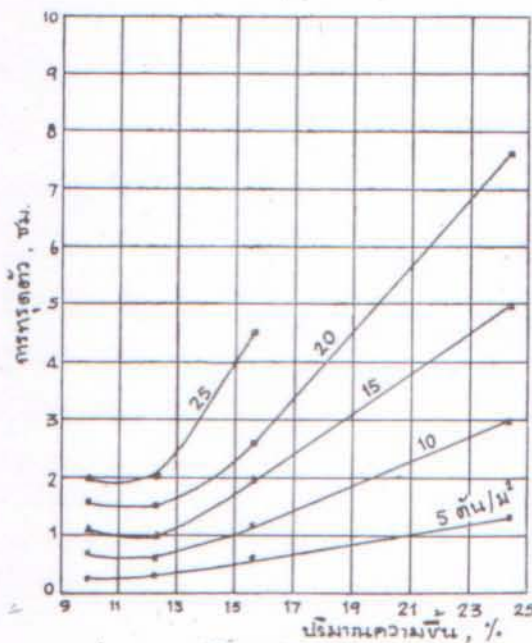
หมายเหตุ p และ p' เป็นการสรุปตัวที่ปริมาณความชื้นประมาณ 99%



รูป 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทิ - การทอดตัว



รูป 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดและปริมาณความชื้น



รูป 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการทอดตัวและปริมาณความชื้น

ในการคำนวณเป็นค่าของดินในสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และมีปริมาณความชื้นประมาณ 9.9% ดังนั้น การทรุดตัวของชั้นดินที่คำนวณได้จึงเป็นค่าการทรุดตัวที่ดินมีปริมาณความชื้นประมาณ 9.9% ค่า P' ที่คำนวณได้จากสมการเป็นการทรุดตัวในกรณีที่ชั้นดินมีความหนาไม่สิ้นสุด สำหรับกรณีที่กำลังกล่าวถึงความหนาของชั้นดินที่ทรุดตัวอยู่ในช่วง 4-8 เมตร เมื่อพิจารณาความหนาสูงสุดของชั้นดินซึ่งเท่ากับ 8 เมตร และฐานอยู่ที่ระดับ 2 เมตรจากผิวดิน ค่า Z จะเท่ากับ 6 เมตร การทรุดตัวที่แท้จริง p' จะเท่ากับ IP โดยค่า I หาได้จากรูป 14.21 Lambe, 1969

5. ผลของปริมาณความชื้นต่อความสามารถในการรับน้ำหนัก และการทรุดตัวของชั้นดิน

นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ได้ศึกษาผลปริมาณความชื้นที่มีต่อความสามารถในการรับน้ำหนัก และการทรุดตัวของชั้นดิน โดยใช้ตัวอย่างดินจากบริเวณลำธารจที่ 1 ที่ความลึก 0.5 ม. จากผิวดิน นำมาอัดในภาชนะขนาด 1 ม. x 1 ม. สูง 0.5 ม. ในที่ให้มีมีความหนาแน่นเท่ากับความหนาแน่นในสนาม ความหนาของชั้นดินที่อัดประมาณ 0.45 ม.

การทดสอบประกอบด้วยการทำ Plate Load Test โดยใช้ฐานขนาด 6" และ เปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดิน จนถึงระดับอิ่มตัวด้วยน้ำคือ 9.88%, 12.28% 15.6% และที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ 24.4% (อ้างอิง 5) ผลที่ได้แสดงไว้ในรูป 7, 8 และ 9

จากเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำ และการทรุดตัวในรูป 7 จะเห็นว่าการทรุดตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้น โดยไม่แสดงค่าน้ำหนักสูงสุดอย่างเด่นชัด ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิด Local Failure ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจาก (1) การอัดดินในห้องปฏิบัติการไม่ดีพอ ทำให้ดินผิวบนอยู่ในสภาพหลวมเกินไปทั้งๆ ที่ความหนาแน่นรวมทั้งหมดของดินที่อัดเท่ากับความหนาแน่นในสนาม และ (2) โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไปเมื่อถูกนำมาอัดในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการทรุดตัวกับค่าที่วัดได้จาก Plate Load Test ในสนามที่ปริมาณความชื้นและความดันเท่ากัน จะเห็นว่า การทรุดตัวที่วัดได้ในห้องปฏิบัติการมีมากกว่าในสนามหลายเท่า อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีข้อผิดพลาดในการทดสอบและผลที่ได้ ไม่สามารถใช้

เป็นประโยชน์ในเชิงตัวเลขแน่นอน แต่จากผลในรูป 9 ทำให้พอจะเห็นแนวโน้มของการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น สำหรับความดัน 5-20 ตัน/ม² การทรุดตัวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า เมื่อประมาณความชื้นเพิ่มจากสภาพในสนาม (9.9%) ไปยังจุดอิมบิวชันน้ำ (24.4%) ในกรณีเช่นนี้การทรุดตัวของฐานขนาด 4 ม.×4 ม. ในตาราง 10 จะเพิ่มเป็น 2.65 ซม. เมื่อตอนอิมบิวชันน้ำ ซึ่งเป็นค่ามากกว่าเกณฑ์กำหนด (2.54 ซม.) สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วๆ ไป

จากข้อมูลเท่าที่กล่าวมาพอสรุปได้ดังนี้

1. ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของชั้นดิน บริเวณส่วนเหนือของมหาวิทยาลัยขอนแก่นอยู่ในช่วง 10-15 ตัน/ม² ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดของฐาน และระดับความมั่นใจเกี่ยวกับโอกาสที่ดินใต้ฐานจะอิมบิวชันน้ำ

2. การทรุดตัวของชั้นดิน จะเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เท่า เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มจากสภาพในสนามถึงจุดอิมบิวชันน้ำ แต่สำหรับรายละเอียดในเรื่องผลของปริมาณชื้นที่มีต่อความสามารถในการรับน้ำหนัก และการทรุดตัว ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

3. ดินชั้นบน ซึ่งเป็นดินทรายปนดินตะกอนอยู่ในสภาพหลวมถึงปานกลาง มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักสิ่งก่อสร้างโดยระบบฐานรากแบบฐานแผ่ ถ้าถือว่าพื้นที่ของฐานแผ่รวมกันไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของพื้นที่อาคาร ระบบฐานแผ่จะยังคงใช้ได้สำหรับอาคาร สถานที่ราชการสูงถึง 9 ชั้น

เอกสารอ้างอิง

1. "แผนที่เล่มแสดงทรัพยากรธรรมชาติของประเทศไทย" กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด 2515
2. วีระ โอชาพันธ์ และ สนั่น ศรีสุนทร (1969) "Characteristics of Soils in Khon Kaen University" Fourth Year Engineering Student Report, Faculty of Eng. Khon Kaen U.

3. "Khon Kaen University Health Sciences Center - Soil Investigation Report" Kingston Reynolds Thom & Allardice Limited, New Zealand, 1974.
4. วิจิณน์ ไชลิตกุล และ เพื่อน (1971) "Bearing Capacity of Local Soils" Fourth Year Engineering Student Project Report No. C71-16, Faculty of Eng., Khon Kaen U.
5. เกียรติศักดิ์ วงศ์เจริญ และ พิสิษฐ์ ฉายประกายแก้ว (1972)
"The Effect of Water Content on the Bearing Capacity and Settlement of a Footing in the Local Soils" Fourth Year Engineering Student Project Report No. C72-25, Faculty of Engineering Khon Kaen U.
6. Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1948) "Soil Mechanics in Engineering Practice" John Wiley and Sons Inc., Second Edition, 1967 pp. 479-512
7. Lambe, T.W. and Whitman, R.V. (1969) "Soil Mechanics", John Wiley and Sons Inc., First Edition, 1969, pp. 195-226.