

วิธีการและขั้นตอนการออกแบบฐานรากตื้นบนชั้นหินฐานราก Design of Shallow Foundation on Rock Mass : Methodology and Process

ชาญวิทย์ น้อยโฮม¹ และ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์²

¹ นิสิตปริญญาโทและวิศวกรรมโครงการ และ ² รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก (GERD)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม.

E-mail: ¹ chanwitgeo@gmail.com, ² soralump_s@yahoo.com

บทคัดย่อ

ลักษณะทางธรณีวิทยาและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์และออกแบบฐานรากตื้นวางบนชั้นหินแกรนิต การศึกษานี้สำรวจลักษณะทางธรณีวิทยาโดยใช้ Stereonet ตรวจสอบ Dip และ Strike Direction ของชั้นหินและตัวอย่างหินที่ได้จากการเจาะสำรวจสามารถจำแนกและทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยวิธีต่างๆ เช่น RQD (Rock Quality Designation), RMR (Rock Mass Rating), Uniaxial Compression Test, Direct Shear Test และใช้ Parameter จากการทดสอบวิเคราะห์ค่ากำลังแรงแบกทาน (Bearing Capacity) ของหินโดยใช้ทฤษฎี Hoek-Brown Criterion, Bell และ Hong Kong Geotechnical Engineering Office

คำสำคัญ: Stereonet, RQD, RMR, Uniaxial Compression Test, Direct Shear Test, Bearing Capacity

Abstract

The geological and engineering properties of rocks are very importance in analysis and design of shallow foundation on rocks. The stereonet method used for investigates dip and strike direction of rock mass. Rocks classification and engineering properties can determine from RQD, RMR, compression test, and direct shear test and use parameters in analysis and design by Hoek - Brown Criterion, Bell and Hong Kong Geotechnical Engineering Office.

Keywords: Stereonet, RQD, RMR, Uniaxial Compression Test, Direct Shear Test, Bearing Capacity

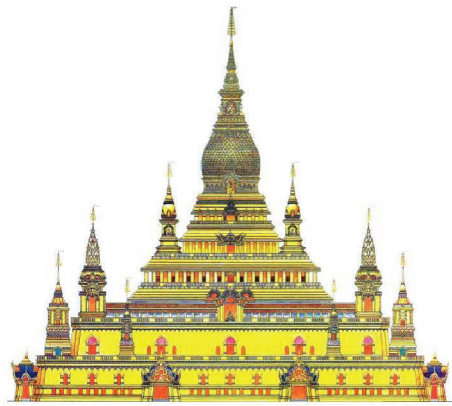
1. คำนำ

โครงการก่อสร้างเจดีย์บูรพาวิสุทธิวิริยาประชาสามัคคี เป็นพื้นที่ตั้งอยู่บนภูเขาหินแกรนิตที่ระดับความสูง +50.00 m. ปรับระดับก่อนการก่อสร้างโดยการระเบิดภูเขาหินและนำมามากกลับ และนำดินจากนอกพื้นที่บางส่วนมาถมปรับระดับเพิ่มเติม โดยพื้นที่ก่อสร้างแยกออกเป็น 2 ส่วนได้แก่พื้นที่เป็นชั้นหินตื้นโดยจะออกแบบเป็นฐานรากตื้น และพื้นที่ที่นำดินและหินมาถมจะออกแบบเป็นฐานรากที่ใช้เสาเข็ม เพราะฉะนั้นอาคารนี้จะมีฐานราก 2 ชนิดอยู่ในอาคารเดียวกัน ในบทความนี้จะกล่าวเฉพาะส่วน ของฐานรากตื้นเท่านั้น

การวิเคราะห์ชั้นหินรองรับฐานรากจะวิเคราะห์หาค่าคุณภาพชั้นหินโดยอาศัยมาตรฐานที่ยอมรับในการก่อสร้างในพื้นที่หิน โดยการประเมินคุณภาพของหินด้วยวิธี Rock Mass Rating ประกอบกับการเจาะสำรวจชั้นหิน เพื่อนำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆของหิน

2. ลักษณะโครงการและสภาพพื้นที่

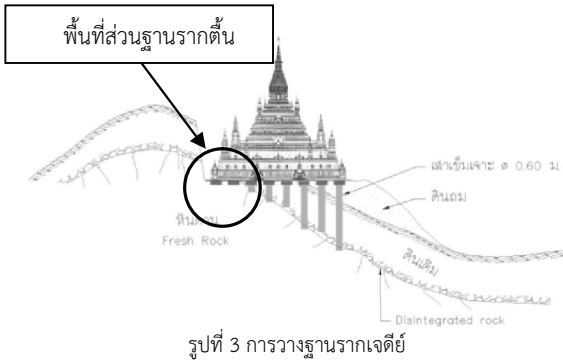
โครงการก่อสร้างเจดีย์บูรพาวิสุทธิวิริยาประชาสามัคคี ตั้งอยู่ที่วัดเขาสุกิม อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดพื้นที่ฐานราก 99.00 x 99.00 เมตร ความสูง 199 เมตร ตั้งรูปที่ 1 โครงการตั้งอยู่บนไหล่เขาหินแกรนิตที่ทำการปรับระดับพื้นที่โดยการระเบิดภูเขาบางส่วนและ นำมาถมกลับ ดังรูปที่ 2 โดยนำดินจากนอกพื้นที่บางส่วนถมเพิ่มเติม โดยไม่ทำการบดอัด เพื่อปรับพื้นที่ก่อนการก่อสร้าง ทำให้ชั้นดินและหินถมมีความหนาต่างกันตั้งแต่ 5-25 เมตร ดังแสดงลักษณะพื้นที่ก่อสร้างใน รูปที่ 3 ฐานรากบางส่วนเป็นฐานรากตื้น วางอยู่บนหน้าหิน ซึ่งอยู่ในส่วนที่ระดับชั้นหินมีความหนาน้อย แสดงดังรูปที่ 4 เมื่อปี 2548 ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก (GERD) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้เข้าไปศึกษาเพื่อออกแบบแก้ไขงานฐานรากที่มีปัญหาอยู่เดิมโดยออกแบบฐานรากแผ่ร่วมกับฐานรากเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ



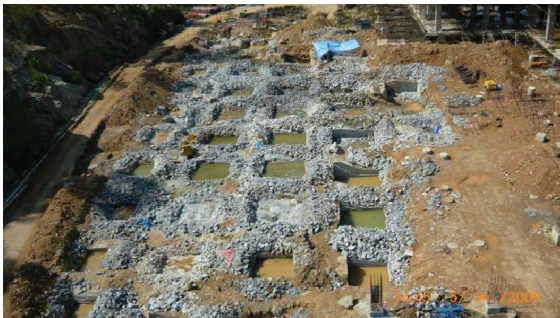
รูปที่ 1 แบบเจดีย์บูรพาวิสุทธิวิริยาประชาสามัคคี



รูปที่ 2 ลักษณะพื้นที่ก่อสร้างโครงการ



รูปที่ 3 การวางฐานรากเจตีย์

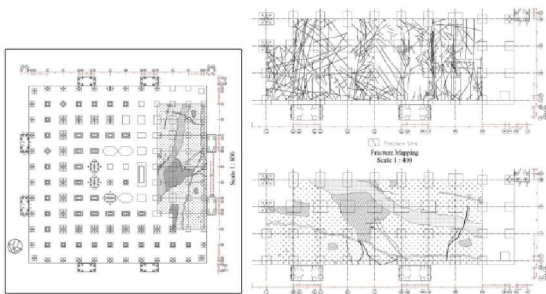


รูปที่ 4 พื้นที่ที่เตรียมทำฐานรากตื้น

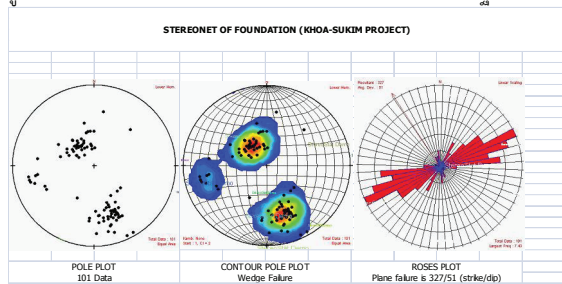
3. ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

3.1 ข้อมูลการสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยา

จากการเก็บข้อมูลทิศทางระนาบรอยแตกของหินและลักษณะระนาบชั้นหิน เมื่อนำวิเคราะห์ Stereonet พบว่ารูปแบบของรอยแตกตัดกันให้ลักษณะการพิบัติแบบล้มระนาบ 327/51° (รูปที่ 5 และ 6)



รูปที่ 5 แผนที่รอยแตกและประเภทของหินบริเวณส่วนก่อสร้างฐานรากแผ่



รูปที่ 6 STERONET บริเวณหินฐานราก

3.2 ข้อมูลแสดงค่า RQD, Rock Quality Designation

ในตารางที่ 1 ได้ทำการเจาะสำรวจชั้นหินจำนวน 8 หลุม โดยตำแหน่งการเจาะ ได้ทำการเจาะสำรวจรอบบริเวณพื้นที่ ที่ทำการออกแบบฐานรากตื้น

ตารางที่ 1 ข้อมูล RQD, Rock Quality Designation

Depth m.	BH-1 %	BH-2 %	BH-3 %	BH-4 %	BH-5 %	BH-6 %	BH-7 %	BH-8 %
0-1	-	-	-	-	78	63	74	56
1-2	-	60	-	-	89	62	57	90
2-3	56	88	-	-	90	94	94	88
3-4	79	71	-	-	95	80	87	93
4-5	73	72	-	-	95	85	98	92
5-6	94	96	-	-	94	98	88	72
6-7	95	-	-	-	-	82	89	-
7-8	85	-	-	-	-	-	78	-
8-9	87	-	90	32	-	-	-	-
9-10	-	-	91	92	-	-	-	-
10-11	-	-	90	54	-	-	-	-
11-12	-	-	76	70	-	-	-	-
12-13	-	-	90	99	-	-	-	-

3.3 ข้อมูลการทดสอบการหาค่า Uniaxial Compression Test

จากผลการทดสอบจำนวน 5 หลุม ดังตารางที่ 2
ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบ Uniaxial Compression Test

หลุมเจาะ	$\gamma T/m^3$	ν	E ksc.	$\sigma_{(Intact\ Rock)KSC.}$
BH-1	2.6-2.7	-	-	400-600
BH-2	2.6-2.7	-	-	300-550
BH-3	2.6-2.7	-	-	500-700
BH-4	2.6-2.7	0.15-0.2	650,000-750,000	500-650
BH-5	2.6-2.7	0.13-0.25	300,00-600,000	400-700

3.4 ข้อมูลการทดสอบ Direct Shear Test

ผลการทดสอบจำนวน 2 ตัวอย่าง ทดสอบเฉือนผ่านระนาบรอยแตกดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดสอบ Direct Shear Test

Sample No.	Peak Shear Strength		Residual Shear Strength	
	$C_{peak}(Mpa.)$	$\phi_{peak}(deg)$	$C_{peak}(Mpa.)$	$\phi_{peak}(deg)$
1	0.0	53.87	0.0	35.59
2	0.0	45.29	0.0	34.99

3.5 ข้อมูล RMR, Rock Mass Rating

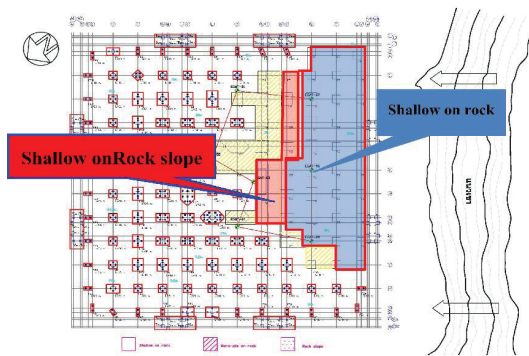
จากข้อมูลสำรวจในสนามและข้อมูลจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถ ประเมินตามเกณฑ์การให้คะแนนตามเงื่อนไข 5 ประการประกอบไปด้วย (Strength of Intact Rock, RQD, Spacing of Joints, Condition of Joints, Ground Water) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปค่า RMR CLASSIFICATION ของแต่ละหลุมเจาะ

PARAMETER	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5
Strength of Intact Rock	7	7	2	4	7
RQD	13	13	8	8	17
Spacing of Joints	20	20	20	20	20
Condition of Joints	20	20	12	12	20
Ground Water	7	7	7	7	7
Summary	67	67	49	51	71

4. หลักการทฤษฎีที่ใช้ออกแบบฐานรากบนหิน

การออกแบบฐานรากได้พิจารณาตามพื้นที่ของการก่อสร้างโดยแยกการออกแบบเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ฐานรากที่วางบนชั้นหินที่ค่อนข้างอยู่ในแนวระนาบ และฐานรากที่วางบนชั้นหินที่มีลาดชัน Slope ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การแบ่งพื้นที่การออกแบบ

การคำนวณค่า Bearing Capacity ของชั้นหินฐานรากได้จำลองลักษณะการวิบัติให้สอดคล้องกับลักษณะของพื้นที่ออกแบบดังนี้

4.1 General shear failure

การพิบัติแบบทั่วไป (General Shear Failure) เป็นลักษณะการพิบัติของหินเมื่อฐานรากรับน้ำหนักบรรทุกทุกถึงน้ำหนักประลัย (Ultimate Load) โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางปริมาตรและ จะเกิดบริเวณของการพิบัติ (Failure Zone) เป็น 3 บริเวณด้วยกันคือ Active Zone, Intermediate Zone และ Passive โดย [1] ได้ให้สมการเพื่อหาค่ากำลังการรับน้ำหนักของหินฐานรากดังแสดงในสมการที่ 1

$$q_a = \frac{C_{f1} s^{1/2} \sigma_{u(r)}}{F.S.} \left[1 + (m s^{-1/2} + 1)^{1/2} \right] \quad (1)$$

m และ s คือ ค่า Empirical constants.

โดย [2] ได้ให้สมการสำหรับประเมินหาค่ากำลังรับน้ำหนักของหิน โดยใช้กับฐานรากที่มีลักษณะเป็นแถบยาว สี่เหลี่ยมจัตุรัส และ วงกลม ดังสมการที่ 2 และ ตารางที่ 5

$$q_a = \frac{C_{f1} c N_c + C_{f2} (B \gamma_r / 2) N_{\gamma} + \gamma D N_q}{F.S.} \quad (2)$$

$$N_c = 2N^{1/2} \phi (N \phi + 1)$$

$$N_{\gamma} = 0.5N^{1/2} \phi (N^2 \phi - 1)$$

$$N_q = N^2 \phi$$

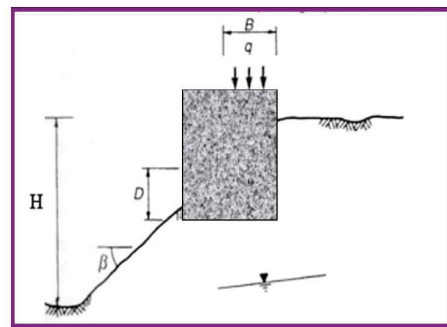
$$N \phi = \tan^2(45 + \phi/2)$$

ที่มา [3]

ตารางที่ 5 Correction factors for foundation shapes (L=Length, B=width) [4]

Foundation Shape	C _{f1}	C _{f2}
Strip (L/B>6)	1.0	1.0
Rectangular		
L/B = 2	1.12	0.9
L/B = 5	1.05	0.95
Square	1.25	0.85
Circular	1.2	0.7

สำหรับฐานรากที่วางบน Slope ดังรูปที่ 8 สามารถหาค่ากำลังการรับแรงแบกทานของหินได้ดังสมการที่ 3 [6]



รูปที่ 8 ฐานรากวางบน Slope ของชั้นหิน

$$q_a = \frac{C_{f1} c N_{cq} + (C_{f2} B \gamma_r / 2) N_{\gamma q}}{F.S.} \quad (3)$$

$$N_o = \frac{\gamma_r H}{c}$$

γ_r = rock density

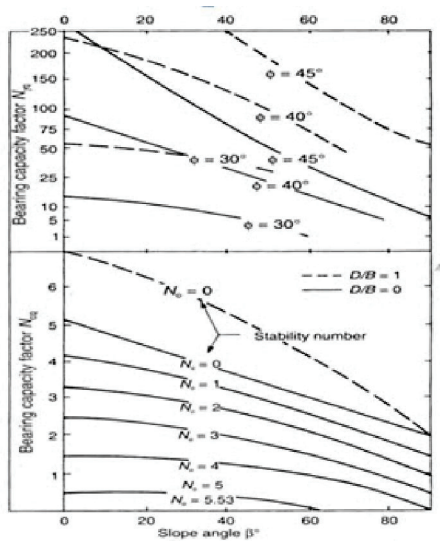
C = rock mass cohesion หาได้จากตารางที่ 6

H = slope height

N_{cq} และ $N_{\gamma q}$ หาได้จากรูปที่ 9

ตารางที่ 6 การปรับแก้ค่าจากการทดสอบ Uniaxial Compression Test, q_u ในห้องปฏิบัติการเป็นผลการทดสอบในสนาม [7]

ROQ (%)	Rock mass properties		
	Uniaxial compressive strength	Cohesion, c	Angle of friction
0-70	0.33 q_u	0.1 q_u	30
70-100	0.33 - 0.8 q_u	0.1 q_u	30-60



รูปที่ 9 การหาค่า Bearing capacity factor สำหรับ sloping ground surface [9]

5. ผลการคำนวณ

การคำนวณโดยหาค่ารับแรงแบกทานของหิน โดยแบ่งฐานรากที่พิจารณาเป็น 2 ส่วน คือฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสี่เหลี่ยมผืนผ้า แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปกำลังแบกทานของชั้นหินฐานรากจากสมการต่างๆ

	ขนาดของฐานราก	Hoek & Brown (1988)	Bell (1915)	Hong Kong Geotechnical Engineering Office, 1981
	BXLXH	q_u T/m ²	q_u T/m ²	q_u T/m ²
F1A	1.4×1.4×1.0	80.00	1,813.00	457.00
F2A	1.5×3.0×1.0	72.00	1,626.00	410.00
F3A	3.0×3.0×1.0	80.00	1,817.00	458.00
F4A	4.0×4.0×1.0	80.00	1,820.00	460.00
F5A	3.0×4.0×1.5	73.00	1,656.00	417.00
F6A	4.0×4.0×1.5	80.00	1,825.00	460.00
F8A	4.8×13.8×1.8	70.00	1,599.00	403.00

6. สรุป

การออกแบบฐานรากตื้นบนชั้นหิน ได้เลือกสมการที่ 1 เนื่องจากให้ค่า Bearing capacity ที่ต่ำกว่าสมการอื่นๆ ในสมการมีความแตกต่างจากสมการอื่นที่นำค่า RMR Rock Mass Rating ที่อยู่ในรูป m และ s มาประกอบในการคำนวณ โดย RMR คือการประเมินคุณสมบัติของหินในสนามประกอบไปด้วย 1. กำลังของหิน 2. ความสมบูรณ์ของหิน 3. ระยะห่างของรอยต่อของหิน 4. ลักษณะของรอยต่อ 5. ระดับน้ำ เพราะฉะนั้นจึงได้ค่า q_u , Bearing Capacity ที่ต่ำกว่าสมการอื่นๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวัดเขาสุกิม อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนในเรื่องข้อมูลและสถานที่

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hoek, E., and Brown, E.T. 1988. The Hoek-Brown failure criterion
- [2] Bell, A.L. 1915 The lateral pressure and resistance of clay, and the supporting power of clay foundation, Proc. Inst. Civ. Eng.199, 233-272
- [3] Lambe, T.W. and Whitman, R.V. 1969. Soil Mechanics. John Wiley, New York.
- [4] Sowers, G.F.1970. Introductory Soil Mechanics and Foundation
- [5] Goodman, R.E. 1980. Introduction to Rock Mechanics
- [6] Hong Kong Geotechnical Engineering Office, 1981 Geotechnical Manual for Slope
- [7] Kulhawy, F.H. and Goodman, R.E. 1987. Foundation in rock, Chapter 55 in Ground Engineer Reference Book, F.G. Bell (ed.) Butterworths, London
- [8] Richard E. Goodman. 1989. Introduction to Rock Mechanics
- [9] U.S. Army Corps of Engineers. 1994. Rock Foundations. EM 1110-1-2908
- [10] Duncan C., Wyllie. 1999. Foundation on Rock