การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากแผ่ สำหรับพื้นที่ชั้นดินเหนียว และชั้นทราย กรณีศึกษา : โครงการก่อสร้างอาคารศูนย์บริการอินเตอร์เน็ต (USO NET) ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เพ็ญวิสุทธิ์ ยิ้มแฉ่ง[1] , สหรัฐ พุทธวรรณะ[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
**Corresponding author; E-mail address: penwisut.yim@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ฉบับนี้เป็นการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากแผ่ กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์บริการอินเตอร์เน็ต (USO NET) โดยสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ(กสทช.) การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาแรงกระทำที่เกิดขึ้นจริงต่อฐานรากแผ่ และหาค่ารับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของดินที่รองรับฐานรากแผ่ (Spread Foundation) ประเภทฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตั้งแต่ระดับพื้นดิน จนถึงระดับความลึกในแต่ละระดับชั้น ด้วยวิธีการเจาะสำรวจดินด้วยหลุมเจาะ (Boring Test) โดยทำการจำแนกประเภทของดินเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ชั้นดินเหนียว และชั้นทราย ของจังหวัดในแถบพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อนำมาหาค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือ (Reliability Index) ของโครงสร้างฐานรากแผ่ อีกทั้งค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือเป้าหมาย (Target Reliability Index) จากการศึกษาพบว่าสามารถนำข้อมูลค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากแผ่ เพื่อไปใช้อ้างอิงหรือเป็นประโยชน์ในการก่อสร้างฐานรากแผ่ในเขตพื้นที่นั้นๆต่อไป

คำสำคัญ: ค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือ, ค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือเป้าหมาย, โครงสร้างฐานรากแผ่, ค่ารับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

Abstract

This research is an analysis of the reliability of the spread foundation structure of the case studies. Internet Service Center Building Construction Project (USO NET) by the National Broadcasting and Telecommunications Commission (NBTC). These studies aim to analyze the actual force acting on the spread foundation and the ultimate capacity of the soil that supports the spread foundation in square foundation types from the original soil level to the depth of each level by Boring test. By classifying two types of soil, sand and clay, in the provinces in the northern region and northeast region to determine the Reliability Index of the spread foundation structure and also the Target Reliability Index. These studies found that the reliability indexes of the spread foundation structure can be used for reference or for the benefit of spread foundation construction in that area.

Keywords: Reliability Index, Target Reliability Index, Spread foundation Structure, Ultimate capacity.

1.บทนำ

โครงสร้างฐานรากถือเป็นส่วนล่างสุดของโครงสร้าง ทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักจากโครงสร้างทั้งหมดแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาเข็มหรือดินโดยตรง คุณสมบัติของดินที่รองรับฐานรากควรมีความสามารถในการรองรับน้ำหนักบรรทุกโดยไม่เกิดการเคลื่อนตัว การพังทลายหรือการทรุดตัวของดินใต้ฐานราก ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากแผ่ ประเภทฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของชั้นดินเหนียว และชั้นดินทราย เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ในการก่อสร้างโครงสร้างฐานรากที่ระดับความลึกของชั้นดิน และทราบถึงความสามารถในการแบกรับน้ำหนักของดินใต้ฐานราก นอกจากนี้การทรุดตัวของดินใต้ฐานราก ควรเกิดขึ้นได้น้อย หากมีการวางฐานรากอยู่บนชั้นดินโดยตรง และไม่มีการตอกเสาเข็มเพื่อรองรับฐานราก

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Andrzej S. Nowak, Kevin R. Collins [1] ศึกษาเรื่องความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง พบว่า ได้เสนอแนวคิดในการหาดรรชนีความเชื่อความน่าเชื่อถือ โอกาสของการพัง และโอกาสของความปลอดภัย

2.1 ดรรชนีความเชื่อความน่าเชื่อถือ (Reliability index)

เราสามารถคำนวณดรรชนีความเชื่อความน่าเชื่อถือ ดังสมการที่ 1

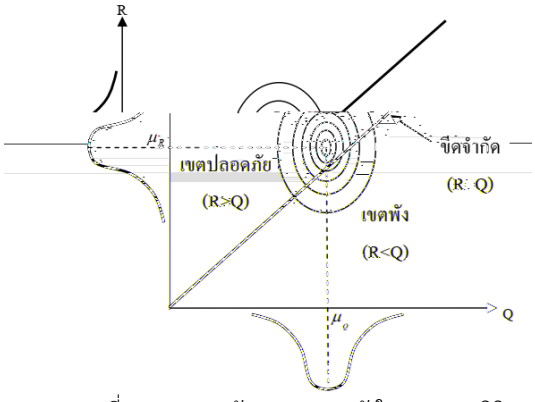
$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (1)$$

เมื่อ β คือดรรชนีความเชื่อความน่าเชื่อถือ ซึ่งเป็นส่วนกลับของสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (Coefficient of variation) หรือ COV ของฟังก์ชัน g(R,Q) = R – Q และตัวแปร R และ Q ไม่สัมพันธ์กัน (เป็นอิสระต่อกัน) ถ้าตัวแปร R และ Q มีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) ดังนั้นดรรชนีความเชื่อความน่าเชื่อถือ β และโอกาสของการพัง P_f จะสัมพันธ์กันโดยสมการที่ 2

$$\beta = -\phi^{-1}(P_f) \text{ หรือ } P_f = \phi(-\beta) \quad (2)$$

2.2 โอกาสของการพัง (Probability of failure)

ถ้าน้ำหนักบรรทุก (หรือผลของน้ำหนักบรรทุก) ทั้งหมดถูกกำหนดโดยตัวแปร Q และความสามารถในการรับแรงรวมถูกกำหนดโดยตัวแปร R ดังนั้นสถานะของตัวแปรจะอยู่ในสองมิติดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งในทั้งสองมิตินี้ เราสามารถแบ่งได้เป็นสองเขตคือ เขต “ปลอดภัย” และเขต “พัง” และขอบเขตระหว่างเขตทั้งสองจะถูกกำหนดโดยฟังก์ชันของขีดจำกัด



รูปที่ 1 เขตปลอดภัยและเขตการพังในกราฟสองมิติ

ค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติ Probability of Failure ดังสมการที่ 3

Probability of failure, $P_f = P(R < Q)$ (3)

(Nowak A. and R Collins K., 2000).

2.3 ความน่าจะเป็นความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (Probability of Structural Safety)

โดยความปลอดภัยเชิงโครงสร้างนั้นค่าความน่าจะเป็นของน้ำหนักบรรทุก P(Q) จะมีค่าไม่เกินกว่าค่าความน่าจะเป็นความต้านทานเชิงโครงสร้าง P(R) จะเรียกว่า

Probability of survival ดังสมการที่ 4

Probability of survival, $P_S = P(R > Q)$ (4)

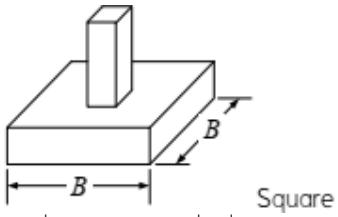
(Barker Puckett , 1997)

พรพจน์ ตันเส็ง [2] ศึกษาวิศวกรรมฐานราก พบว่า ได้อธิบายเกี่ยวกับการหากำลังรับแรงกดประลัยของฐานรากแผ่

2.4 กำลังรับแรงกดประลัยของฐานราก (Ultimate bearing capacity)

Bearing capacity ดินคือความสามารถของดินที่จะรับแรงกระทำจากฐานรากได้โดยดินใต้ฐานรากไม่วิบัติ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับคานที่รับน้ำหนักได้โดยไม่วิบัตินั่นเอง

2.4.1 วิธีคำนวณจาก Bearing capacity equation เมื่อแรงกระทำไม่เยื้องศูนย์



รูปที่ 2 ฐานรากแผ่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$q_{ult} = (1.3)cN_c + qN_q + (0.4)\gamma BN_\gamma \quad (5)$$

ซึ่ง c = ค่าแรงยึดเกาะ(cohesion)ของดิน

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน, $q = \gamma D_f$

N_γ, N_q, N_c = Bearing capacity factor

เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยและเป็นฟังก์ชั่นของมุม ø

และ

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \phi)\cdot e^{\pi \tan\phi}$$
$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$
$$N_\gamma = 2(N_q - 1)\cdot\tan\phi \quad (6)$$

2.4.2 Shape factor

ตัวคูณปรับแก้รูปร่า S_c, S_q, S_γ ใช้พิจารณารูปร่างและขนาดของฐานรากที่ไม่ใช่ฐานแถบ(Strip footing) จะต้องคิดผลเนื่องจากข้อนี้ด้วย

Shape of Footing	S_c	S_q	S_γ
Strip	1.0	1.0	1.0
Rectangular	1+0.2 B/L	1+0.2 B/L	1+0.4 B/L
Square	1.3	1.2	0.8
Circular	1.3	1.2	0.6

Hansen(Arora,1987)

3.วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เลือก ใช้สมการ Bearing capacity equation ในรูปแบบของฟังก์ชั่นการแจกแจง First and second order ในการวิเคราะห์ข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากแผ่ F5 ขนาด1.8x1.8 เมตร ในโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์บริการอินเตอร์เน็ต (USO NET)

3.1 สมการ Ultimate bearing capacity สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$q_{ult} = (1.3)cS_cN_c + qS_qN_q + (0.4)\gamma BN_\gamma S_\gamma \quad (7)$$

(Terzaghi 1943)

3.2 Bearing capacity factor Vesic (1973 ;1975)

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \phi)\cdot e^{\pi \tan\phi}$$

$$N_c = (N_q-1)\cot\phi$$
$$N_\gamma = 2(N_q-1)\cdot\tan\phi \quad (8)$$

3.3 ฟังก์ชั่นการแจกแจงแบบ First and second order

$$\frac{\partial q_{ult}}{\partial c} = (1.3)S_cN_c$$
$$\frac{\partial q_{ult}}{\partial \phi} = (1.3)cS_c\frac{\partial N_c}{\partial \phi} + \gamma D_fS_q\frac{\partial N_q}{\partial \phi} + (0.4)\gamma BS_\gamma\frac{\partial N_\gamma}{\partial \phi}$$
$$\frac{\partial q_{ult}}{\partial \gamma} = D_fS_qN_q+(0.4)BS_\gamma N_\gamma$$
$$\frac{\partial^2 q_{ult}}{\partial c^2} = 0$$
$$\frac{\partial^2 q_{ult}}{\partial \phi^2} = (1.3)cS_c\frac{\partial^2 N_c}{\partial \phi^2} + \gamma D_fS_q\frac{\partial^2 N_q}{\partial \phi^2} + (0.4)\gamma BS_\gamma\frac{\partial^2 N_\gamma}{\partial \phi^2}$$
$$\frac{\partial^2 q_{ult}}{\partial \gamma^2} = 0 \quad (9)$$

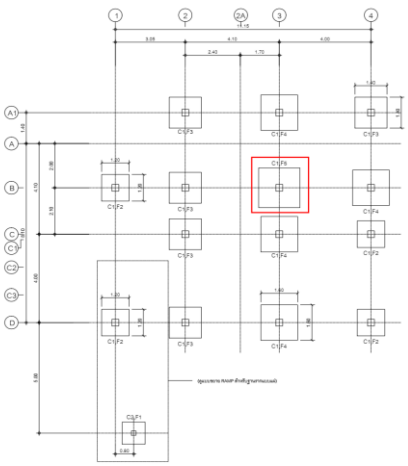
3.4 สมการดรรชนีความน่าเชื่อถือ

$$\beta = \frac{\mu_R-\mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2+\sigma_Q^2}} \quad (10)$$

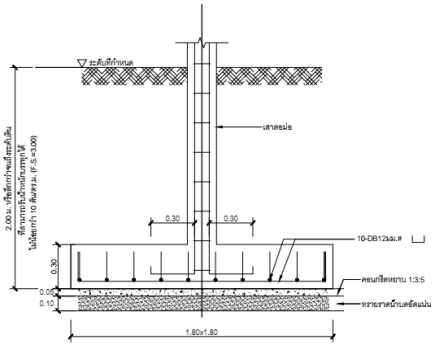
ตารางที่ 1 จำนวนข้อมูลในแต่ละระดับชั้นดินจำแนกตามภาคพื้นที่

ข้อมูล			จำนวน (แห่ง)
ภาคเหนือ	ชั้นดินเหนียว	1 เมตร	40
		2 เมตร	40
	ชั้นทราย	1 เมตร	1
		2 เมตร	1
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ชั้นดินเหนียว	1 เมตร	40
		2 เมตร	40
	ชั้นทราย	1 เมตร	40
		2 เมตร	40

3.5 แบบแปลนฐานรากแผ่



รูปที่ 3 แปลนฐานรากแผ่ F5



F5(1.80x1.80)

รูปที่ 4 แบบขยายฐานราก F5

4.ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวิธีการศึกษา จะสามารถหาค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือ โอกาสของการพัง โอกาสของความปลอดภัย และแรงกระทำต่อโครงสร้างฐานรากแผ่ โดยมีรายละเอียดดังนี้ ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงค่าของแรงกระทำต่อฐานรากแผ่ในระดับความลึกชั้นดินที่1 เมตร และ2 เมตร

ความลึกชั้นดิน	แรงกระทำ(ton/m^2)
1 เมตร	4.91
2 เมตร	5.96

ตารางที่ 3 แสดงค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือ โอกาสของการพัง และโอกาสของความปลอดภัย

หมายเหตุ β = ดรรชนีความน่าเชื่อถือ β_{target} = ดรรชนีความน่าเชื่อถือเป้าหมาย P_f = โอกาสของการพัง P_s = โอกาสของความปลอดภัย

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่า แรงกระทำต่อฐานรากแผ่ ที่ระดับความลึกของชั้นดิน 1 เมตร คือ 4.91 (ton/m^2) และ ระดับความลึกของชั้นดิน 2 เมตร คือ 5.96 (ton/m^2) โดย พิจารณาที่จุด critical ของโครงสร้างอาคาร จากระดับชั้นดินเดิมจนถึงระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงกระทำต่อฐานรากเพิ่มมากขึ้นด้วย

จากตารางที่ 3 พบว่า ภาคเหนือ ชั้นดินเหนียว ที่ระดับความลึก2 เมตร ได้ค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือ คือ 3.32 โอกาสของการพัง คือ 4.50×10^{-4} และโอกาสของความปลอดภัย คือ 100% เนื่องจาก ค่า SPT-N ที่ได้จากการทดสอบดิน มีค่ามากสุดในพื้นที่ภาคเหนือ ที่ระยะ 2 เมตร จึงทำให้ค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกับค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือเป้าหมายดีที่สุด

5.สรุป

บทความนี้นำเสนอการศึกษาความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากแผ่ของโครงการก่อสร้างอาคารศูนย์บริการอินเตอร์เน็ต (USO NET) ของจังหวัดในพื้นที่ภาคเหนือและภาตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างชั้นดินเหนียวและชั้นดินทราย การศึกษาในครั้งนี้จะพิจารณาค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือ (Reliability Index) ค่าโอกาสของการพัง (Probability of Failure) และค่าโอกาสของความปลอดภัย (Probability of Survival)

จากการเปรียบเทียบ พบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือ ชั้นดินเหนียว ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร มีค่าดรรชนีความน่าเชื่อถือสูงกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คิดเป็น 42.75% และ 52.71% ตามลำดับ ค่าโอกาสของการพังมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่พื้นที่ภาคเหนือมีแนวโน้มที่น้อยกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพียงเล็กน้อย รวมถึงค่าโอกาสของความปลอดภัยโดยที่พื้นที่ภาคเหนือมีแนวโน้มที่สูงกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ พบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือ ชั้นดินทราย ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร มีข้อมูลที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น สามารถคาดคะเนได้ว่าความน่าเชื่อถือของโครงสร้างฐานรากในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มที่สูงกว่าภาคเหนือ ซึ่งการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของฐานรากอาจจะสมบูรณ์มากขึ้น หากมีข้อมูลในด้านอื่นๆมาพิจารณาด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) และกิจการร่วมค้าเทพมงคลสุโขทัย-ไฮมีเดีย เป็นอย่างสูงสำหรับข้อมูลต่างๆที่ครบถ้วน และขอขอบคุณ อาจารย์ทัศฐา ศรีวาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาโยธา ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ข้อมูล			β	β_{target}	P_f	P_s
ภาคเหนือ	ชั้นดินเหนียว	1 เมตร	2.62	3.5	4.40×10^{-3}	99.6%
		2 เมตร	3.32	3.5	4.50×10^{-4}	100%
	ชั้นทราย	1 เมตร	ข้อมูลไม่เพียงพอ	ข้อมูลไม่เพียงพอ	ข้อมูลไม่เพียงพอ	ข้อมูลไม่เพียงพอ
		2 เมตร				
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ชั้นดินเหนียว	1 เมตร	1.50	3.5	6.68×10^{-2}	93.3%
		2 เมตร	1.57	3.5	5.82×10^{-2}	94.2%
	ชั้นทราย	1 เมตร	2.31	3.5	1.04×10^{-2}	99.0%
		2 เมตร	2.54	3.5	5.54×10^{-3}	99.4%

เอกสารอ้างอิง

[1] พรพจน์ ตันเส็ง. (2554). วิศวกรรมฐานราก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[2] Andrzej Nowak, Kevin R. Collons. (2000). Reliability of Structures.
The McGraw-Hill Companies, Inc.

[3] K. K. Phoon. (2004). Towards reliability-based design for geotechnical engineering. National University of Singapore, Singapore.

[4] F. H. Kulhawy, K. K. Phoon(2002). Observations on geotechnical reliability-based design development in North America. In:Proceeding, International Workshop on Foundation Design Codes and Soil Investigation in View of International Harmonization and Performance Based Design, Tokyo, Japan:31-48.

[5] C. Onisiphorou. Reliability analysis of bearing capacity for shallow foundations based on Eurocode 7. Frederick University, Nicosia, Cyprus.