การออกแบบที่ประหยัดที่สุดของกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงรูปตัวแอล
Optimization of L-Shaped Gravity Retaining Wall

ไชยชาญ ทองธนาวัฒน์[1] ภาวีตา วินทะไชย[2] และรองศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย อุกฤษฏชน[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

การออกแบบกำแพงกันดินจะต้องออกแบบให้มีความปลอดภัยที่เพียงพอต่อแรงดันดินและน้ำหนักบรรทุกเกินที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการออกแบบกำแพงกันดินให้ได้ราคาที่เหมาะสมที่สุดมีความจำเป็นจะต้องทดลองสุ่มค่าขนาดของกำแพงและปริมาณเหล็กเสริมที่จะทำให้ได้ราคาต่ำที่สุดซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก เนื่องจากมีข้อจำกัดจำนวนมากที่จำเป็นจะต้องพิจารณา ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบกำแพงกันดินที่ประหยัดที่สุดโดยการสร้างเป็นปัญหาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของโปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง โปรแกรมที่นำเสนอนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการออกแบบกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงรูปตัวแอลโดยเป็นการวิเคราะห์ปัญหาแบบสองมิติในสภาพความเครียดระนาบ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมที่แตกต่างกัน 7 อัลกอริทึมผ่านโปรแกรม 3 โปรแกรม คือ Mathwork’s MATLAB, MS Excel, และ Maplesoft’s MAPLE โดยได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวผ่านสภาพดินที่แตกต่างกัน 3 สภาพ แต่ละสภาพดินจะทำการวิเคราะห์ที่ความสูงของกำแพงที่แตกต่างกัน 6 ความสูง ตั้งแต่ 1.5 เมตร จนถึง 4.0 เมตร

Abstract

The design of retaining walls has to provide sufficient capability of retainment for the lateral earth pressure and surcharge load safely. However, to economize the cost while still preserve its functions, the conventional method requires varying the dimensions and the amount of reinforcement several times which makes it a complicated and tiresome task. As it has numerous constraints to be considered, this civil engineering project presents the optimal design of retaining walls by formulating the problem using mathematical nonlinear programming techniques. The program was developed for designing L-shaped gravity retaining walls as a two-dimension plane strain problem. This project presents the results of seven different algorithms analysis in three different programs including Mathwork's MATLAB, MS Excel, and Maplesoft's MAPLE. The optimum design formulation performs a detailed sensitivity analysis by variation of three different soil conditions and six different heights for each soil condition.

Keywords: (3-5 keywords must be given) abstract, format, methods

1. บทนำ

โครงสร้างกำแพงกันดิน (Retaining Wall) เป็นโครงสร้างที่สร้างขึ้นเพื่อต้านทานแรงดันดินด้านข้างของมวลดิน ซึ่งกำแพงกันดินอาจถูกใช้โดยชั่วคราว เช่น ระหว่างการก่อสร้างฐานราก หรืออาจถูกใช้เป็นโครงสร้างถาวร เช่น กำแพงกันดินริมถนนที่ตัดผ่านพื้นที่ที่มีความลาดชันเกินกว่าที่ชั้นดินจะคงอยู่ได้ด้วยตัวเองอย่างปลอดภัย

กำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงที่ถือว่าเป็นกำแพงกันดินรูปแบบแรก ๆ ที่นำมาใช้ โดยจะใช้น้ำหนักของกำแพงเป็นแนวต้านแรงดันดิน นิยมใช้บริเวณเชิงเขา เพื่อป้องกันดินถล่ม หรือใช้ในงานกันดินสำหรับจัดภูมิทัศน์

การออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อราคาโครงสร้างของกำแพงอยู่หลายตัวแปร อาทิ ความหนาของกำแพง ปริมาณเหล็กเสริม เป็นต้น การหาค่าที่ต่ำที่สุดของกำแพงจะช่วยให้เจ้าของ

โครงการสามารถก่อสร้างกำแพงที่ประหยัดที่สุดได้ ในขณะที่กำแพงก็ยังคงความสามารถในการต้านทานแรงดันดินด้านข้างอย่างปลอดภัย

ปริญญานิพนธ์นี้จึงเป็นการศึกษาขั้นตอนในการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยอัลกอริทึมที่หลากหลายในการออกแบบกำแพงกันดินที่ประหยัดที่สุด

2. ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาโครงงานนี้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบกำแพงกันดินแบบแรงโน้มถ่วงทั้งในเชิงวิศวกรรมธรณีเทคนิคและเชิงวิศวกรรมโครงสร้างรวมไปถึงทฤษฎีที่ใช้ในการหาค่าต่ำสุดด้วยอัลกอริทึมต่าง ๆ ถัดมาทำการสร้างสเปรดชีตด้วยโปรแกรม MS Excel เพื่อคำนวณค่าที่เกี่ยวข้องตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามา เมื่อสร้างสเปรดชีตเรียบร้อยก็นำข้อสรุปที่ได้ไปเขียนเป็นฟังก์ชันในโปรแกรม Mathwork's MATLAB และโปรแกรม Maplesoft's Maple แล้วจึงวิเคราะห์ผลการหาค่าต่ำสุด เพื่อตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและทำให้โครงสร้างปลอดภัย แล้วจึงสรุปผลของการทดลอง

3. การสร้างสมการของปัญหา

การออกแบบที่ประหยัดที่สุด โดยทั่วไปแล้วประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การจำลองเชิงโครงสร้าง (Structural Modeling), การจำลองการออกแบบที่ประหยัดที่สุด (Optimum Design Modeling), และอัลกอริทึมของการออกแบบที่ประหยัดที่สุด (Optimization Algorithm) สำหรับขั้นตอนแรกนั้นจะใช้ข้อกำหนดของ American Concrete Institute (ACI, 2014) [ ] ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการจำลองการออกแบบที่ประหยัดที่สุดโดยทำการศึกษาตัวแปรของปัญหาอันประกอบไปด้วย ตัวแปรออกแบบ (Design Variables), ข้อจำกัด (Constraints), และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ปัญหาการออกแบบที่ประหยัดที่สุดของกำแพงกันดินนั้นมีจุดประสงค์หลักเพื่อทำให้ต้นทุนในการสร้างมีราคาถูกที่สุด การออกแบบปัญหานี้จึงสามารถเขียนได้ว่า

$$Minimize \ \ f(\tilde{x}) \ \ subject \ to$$
$$c_i(\tilde{x}) \le 0 \qquad i = 1,2,3..,14$$
$$lb_j \le \tilde{x}_j \le ub_j \quad j = 1,2,3,4,5$$

เมื่อ x _bar คือ เวกเตอร์ของตัวแปรออกแบบ

$f(\tilde{x})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$c_i(\tilde{x})$ คือ อสมการข้อจำกัด

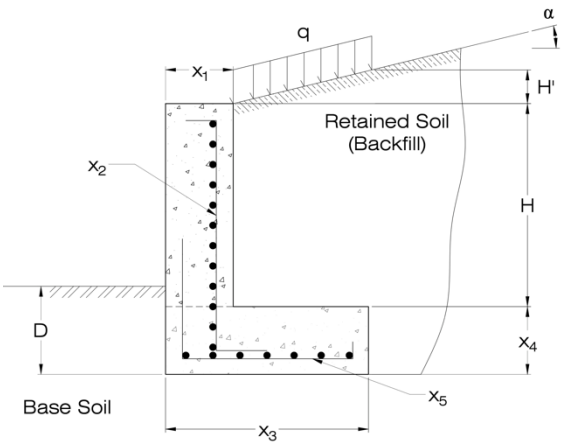
lb_j คือ ขีดจำกัดต่ำสุดของตัวแปรออกแบบ

ub_j คือ ขีดจำกัดสูงสุดของตัวแปรออกแบบ

3.1 ตัวแปรออกแบบ

รูปที่ 2 แสดงถึงหน้าตัดกำแพงกันดินและตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการคำนวณหาขนาดที่ต่ำสุดเมื่อต้องรับแรงดันดินด้านข้างจากดินถมและน้ำหนักบรรทุกเกิน โดยในการวิเคราะห์นี้ประกอบไปด้วย 5 ตัวแปรออกแบบ คือ

$$\tilde{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \qquad (1)$$



รูปที่ 2. หน้าตัดของกำแพงกันดินพร้อมตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ

เมื่อ x_1 = ความกว้างของแขนในแนวดิ่งที่ใช้รับดิน (หน่วย: เมตร)

x_2 ปริมาณเหล็กเสริมหลักของแขนในแนวดิ่ง (หน่วย: ตารางมิลลิเมตร/เมตร)

x_3 = ความหนาของฐานกำแพงกันดิน (หน่วย: เมตร)

x_4 = ความกว้างของฐานกำแพงกันดิน (หน่วย: เมตร)ฟสอกอสกสิ

x_5 = ปริมาณเหล็กเสริมหลักของฐานกำแพงกันดิน (หน่วย: ตารางมิลลิเมตร/เมตร)

3.2 สมการข้อจำกัด

อสมการข้อจำกัดในการออกแบบแต่ละค่าเปรียบเสมือนเป็นค่าปรับ (Penalty) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และจะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อมีการฝ่าฝืน (Violation) หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าหากการออกแบบนั้นมีความเหมาะสม ผลรวมของค่าปรับ (Penalty) นั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ ค่าจำกัดของการออกแบบนั้นแบ่งเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคและกำหนดทางวิศวกรรมโครงสร้าง ข้อกำหนดเหล่านี้แสดงลักษณะการวิบัติในรูปของตัวแปรออกแบบโดยรูปแบบการวิบัติได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 1 โดยแต่ละอสมการถูกนิยามโดย

g_f(X_bar) <= 0, j = 1,2,3,...,14

เมื่อ x_bar คือ เวกเตอร์ของตัวแปรออกแบบ

ตารางที่ 1 ลักษณะการวิบัติของกำแพงกันดิน

อสมการข้อจำกัด	ลักษณะการวิบัติ
$c_1(\tilde{x})$	เสถียรภาพต้านทานการล้มของกำแพง
$c_2(\tilde{x})$	เสถียรภาพต้านทานการเลื่อนที่ของกำแพง
$c_3(\tilde{x})$	เสถียรภาพต้านทานกำลังรับแรงแบกทาน

$c_4(\tilde{x})$	ความหนาของสันกำแพงขั้นต่ำ
$c_5(\tilde{x})$	ปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุดในกำแพง
$c_6(\tilde{x})$	ปริมาณเหล็กเสริมต่ำที่สุดในกำแพง
$c_7(\tilde{x})$	โมเมนต์ดัดของกำแพง
$c_8(\tilde{x})$	แรงเฉือนของกำแพง
$c_9(\tilde{x})$	ความหนาขั้นต่ำของฐาน
$c_{10}(\tilde{x})$	ปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุดในฐาน
$c_{11}(\tilde{x})$	ปริมาณเหล็กเสริมต่ำที่สุดในฐาน
$c_{12}(\tilde{x})$	โมเมนต์ดัดของฐาน
$c_{13}(\tilde{x})$	แรงเฉือนของฐาน
$c_{14}(\tilde{x})$	ไม่มีสภาพดึงบริเวณฐานของกำแพง

ตารางที่ **x** ค่าขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรออกแบบ

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของตัวแปรออกแบบ	ค่าขีดจำกัดสูงสุดของตัวแปรออกแบบ
$x_{1,\min} = 125mm.$	$x_{1,\max} = 1000mm$
$x_{2,\min} = 200mm^2$	$x_{2,\max} = 20000mm^2$
$x_{3,\min} = 200mm$	$x_3 = 1250mm$
$x_{4,\min} = 0.125m$	$x_{4,\max} = 15m$
$x_{5,\min} = 450mm^2$	$x_5 = 25000mm^2$

3.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

4. ผลการศึกษา

5. สรุปผลการวิจัย

กรุณาตรวจบทความอย่างรอบคอบก่อนส่งให้กรรมการพิจารณา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฎชน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนแนะแนวทางปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความตั้งใจของอาจารย์ จึงขอขอบพระคุณท่านอาจารย์มา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒนชัย สมิทธากรที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่าสูง

ขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อน ๆ ที่เกี่ยวข้องทุกคน ที่คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ศึกษา จึงขอมอบความดีและคุณค่าทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ รวมไปถึงผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิด ทฤษฎีต่าง ๆ ที่งานวิจัยนี้ได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัยฉบับนี้ด้วย ที่ได้ริเริ่มแนวคิดและเป็นส่วนสำคัญให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้จนเป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษา สำหรับข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีเป็นอย่างยิ่งที่จะน้อมรับทุกคำแนะนำ อันจะเป็นประโยชน์ในการวิจัยต่อไปเอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

[1] ACI 2014. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14), American Concrete Institute.

[2] Braja, M. Das 2010. Principles of Foundation Engineering, 7th ed., Cengage Learning, USA.

[3] Darwin, D., Dolan, C. W. 2015. Design of concrete structures, 15th ed, McGraw-Hill, USA.

[4] Mathworks 2021. Matlab Help: fmincon, Available from: https://www.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html.

[5] Mathworks 2021. Matlab Help: ga, Available from: https://www.mathworks.com/help/gads/ga.html.

[6] Mathworks 2021. Matlab Help: patternsearch, Available from: https://www.mathworks.com/help/gads/patternsearch.html.

[7] Sarıbaş, A., Erbatur F. 1996. Optimization and Sensitivity of Retaining Structures. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 122, 8, 649-656.

[8] Ukritchon, B., Keawsawasvong, S. “A Practical Method for the Optimal Design of Continuous Footing using Ant-Colony Optimization”. Acta Geotechnica Slovenica, 2016/2, pp. 45-55.

[9] Xin-She Yang and Xingshi He. 2013. “Firefly Algorithm: Recent Advances and Applications”, Int. J. Swarm Intelligence, Vol. 1, No. 1, pp. 36-50. DOI: 10.1504/IJSI.2013.055801.

[10] Xin-She Yang. 2021. Firefly Algorithm, MATLAB Central File Exchange, Available from: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/29693-firefly-algorithm.

[11] เอกราช ประกอบกิจ, “การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมหิ่งห้อยในการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก”, ปริญญานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.