ESTACON 14th 2023
Engineering Science Technology and Architecture Conference

# การศึกษารูปแบบการทรุดตัวของโครงสร้างฐานรากที่ก่อสร้างบนพื้นที่ลาดชันจังหวัดภูเก็ต: กรณีศึกษา

# Study of Subsidence Patterns in Foundation Structures Constructed on Slopes in Phuket: A Case Study

ดิษฐพร แก้วมุนีโชค[1], พัชราวรรณ เกื้อะเจริญ[2] และ ณวรา นราราษฎร์[3,*]

[1] มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 ม.6 ถ.เทพกระษัตรี ต.รัษฎา อ.เมือง ภูเก็ต 83000
[2] มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 ม.6 ถ.เทพกระษัตรี ต.รัษฎา อ.เมือง ภูเก็ต 83000
*ณวรา นราราษฎร์: nawara.n@pkru.ac.th, 0816919280, 076-218-806

***บทคัดย่อ***

บทความนี้นำเสนอถึงรูปแบบการทรุดตัวของโครงสร้างฐานรากที่ก่อสร้างบนพื้นที่ลาดชันในจังหวัดภูเก็ตและแนวทางในการแก้ไข โดยศึกษาจากกรณีศึกษาอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ชั้นสร้างบนพื้นที่ลาดชันมากกว่า 40 องศา จากศึกษาพบว่าลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างฐานรากอาคาร เกิดจากการถมดินที่เป็นดินคุณภาพต่ำและการบดอัดไม่เป็นไปตามมาตรฐาน จากการศึกษาพบว่าฐานรากอาคารมี 2 ระบบ คือ ฐานรากแบบเสาเข็มและฐานรากแผ่ ฐานรากแบบเสาเข็มที่ใช้เป็นเสาเข็มเจาะ ความยาวของเสาเข็มน้อย และระบุค่ากำลังรับน้ำหนักปลอดภัยมากกว่าค่าความเป็นจริงตามสภาพพื้นที่ ทำให้เกิดการทรุดตัวของฐานราก โดยฐานรากทั้งหมดในอาคารทรุดตัวในแนวดิ่ง การซ่อมแซมฐานรากมีข้อจำกัดจากสภาพพื้นที่ไม่สามารถใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ได้ จึงต้องปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยการใช้แรงงานคนโดยใช้หลักในการแก้ไข คือ 1) กำหนดค่าการรับน้ำหนักปลอดภัยไม่เกิน 6 ตันต่อตารางเมตร 2) ออกแบบฐานรากใหม่โดยการยึดตอม่อและฐานรากเก่าให้เป็นฐานรากแผ่ทั้งหมดโดยใช้น้ำหนักไม่เกิน 6 ตันต่อตารางเมตร และ 3) การเสริมฐานรากและตอม่อเพื่อขยายพื้นที่ในการรับน้ำหนักของอาคาร การติดตามผลหลังจากแก้ไขฐานรากในระยะ 3 ปี พบว่าอาคารไม่มีการทรุดตัวเพิ่มขึ้น

***คำสำคัญ:*** การทรุดตัว ฐานราก พื้นที่ลาดชัน

***Abstract***

This research paper presents a comprehensive investigation into the subsidence patterns observed in foundation structures built on slopes in Phuket, along with proposed solutions. A detailed case study was conducted on a single-story reinforced concrete building on a slope with a gradient exceeding 40 degrees. The study identified the primary cause of foundation structure subsidence as

using poor-quality soil during landfilling activities, resulting in inadequate compaction that did not meet established standards.

The examined buildings employed two types of foundation systems: pile foundations and spread foundations. The pile foundations utilized relatively shorter bored piles, with assigned weight load capacities requiring more accurate specification. Consequently, the foundation structures experienced subsidence, leading to the vertical collapse of all foundations within the building. Furthermore, site constraints hindered the repair process, preventing the use of large machinery and necessitating manual labor for effective remediation.

To address the subsidence issue, a set of corrective principles was formulated: 1) A maximum safety weight load of 6 tons per square meter was determined. 2) A new foundation design was proposed, transforming existing pile foundations into spread foundations, ensuring the weight load remained within the prescribed limit. 3) The foundations and piers were reinforced to expand their load-bearing capacity, accommodating the corrected building weight. Upon conducting a post-repair monitoring over a period of 3 years, it was observed that the building exhibited no additional subsidence following the foundation remediation.

***Keywords:*** subsidence patterns foundation slope

## 1. บทนำ

จังหวัดภูเก็ตเป็นแหล่งท่องเที่ยวสำคัญของภาคใต้ มีอัตราการขยายตัวของภาคธุรกิจการท่องเที่ยวสูง ส่งผลสืบเนื่องต่อการขยายตัวของธุรกิจก่อสร้างที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยข้อจำกัดด้านพื้นที่ทำให้มีการก่อสร้างอาคารที่ขยายตัวบนพื้นที่เชิงเขาและพื้นที่ลาดชัน การก่อสร้างอาคารบนพื้นที่ลาดชันนอกจากจะมีเปลี่ยนแปลงสภาพดินเดิมโดยการขุดและถมดินแล้ว อาคารอาจได้รับผลกระทบจากปัญหาฝนตกหนักและดินถล่ม ซึ่งสามารถเห็นผลกระทบอย่างชัดเจนจากสถานการณ์ฝนตกหนักในเดือนตุลาคม ในปี พ.ศ. 2565 ส่งผลให้เกิดดินถล่ม ถนน กำแพงกันดินและอาคารพังเสียหายในหลายพื้นที่

**รูปที่ 1** ภัยพิบัติที่เกิดจากดินถล่มเนื่องจากฝนตกหนัก

ปัญหาการทรุดตัวของโครงสร้างฐานรากอาคารที่ถูกสร้างบนพื้นที่ลาดชัน เป็นปัญหาที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงและความปลอดภัยของอาคาร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึง

รูปแบบการทรุดตัวของโครงสร้างฐานรากที่ก่อสร้างบนพื้นที่ลาดชันจากอาคารชั้นเดียวที่ก่อสร้างจริงเป็นกรณีศึกษา โดยพิจารณาจากลักษณะความเสียหาย สภาพแวดล้อมและข้อจำกัดอื่น ๆ และเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาฐานรากอาคารที่เสียหายในลักษณะเดียวกันในอนาคต

**2. วิธีดำเนินการศึกษา**

การศึกษารูปแบบการทรุดตัวของโครงสร้างฐานรากที่ก่อสร้างบนพื้นที่ลาดชันจังหวัดภูเก็ตใช้วิธีการดำเนินการดังนี้

**2.1 ศึกษาลักษณะการทรุดตัวของอาคาร [1-5]**

ลักษณะการทรุดตัวของอาคารสามารถสรุปได้เป็น 2 แบบดังนี้

2.1.1 อาคารทรุดตัวในแนวดิ่ง อาคารเกิดการทรุดตัวแต่รูปทรงของอาคารโดยรวมยังคงอยู่ในแนวดิ่ง สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1) ฐานรากในอาคารทั้งหมดทรุดตัว เป็นการทรุดตัวพร้อม ๆ กัน ค่าการทรุดตัวใกล้เคียงกันแต่มีปริมาณการทรุดตัวมาก มักจะเกิดขึ้นกับการใช้เสาเข็มสั้นที่ปลายเสาเข็มนั้นอยู่ในชั้นดินอ่อนมาก ลักษณะการทรุดตัวเช่นนี้จะไม่ค่อยมีรอยร้าวเกิดขึ้น อาคารจะค่อย ๆ จมลงดิน โดยทั่วไปจะพบว่ามีปัญหาการทรุดตัวระหว่างการก่อสร้าง

2) ฐานรากในอาคารทรุดตัวไม่เท่ากัน อาจเกิดจากสาเหตุหนึ่งหรือหลายสาเหตุประกอบกัน เช่น ฐานรากหรือเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกแตกต่างกันมาก เสาเข็มบางต้นมีความบกพร่อง ฐานรากบางฐานเกิดการเยื้องศูนย์ หรือ ปลายเสาเข็มอยู่บนดินต่างชนิดกัน เมื่อฐานรากเกิดการทรุดตัว ไม่เท่ากันจะทำให้โครงสร้างบิดตัวแตกร้าว อาคารที่มีปัญหาการทรุดตัวแบบนี้มักพบผนังแตกร้าวแนวเฉียงอย่างชัดเจน

2.1.2 อาคารทรุดเอียง เกิดจากฐานรากของอาคารส่วนใหญ่เยื้องศูนย์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งมักจะเกิดขึ้นจาก การก่อสร้างที่มีการวางตำแหน่งเสาเข็มผิดพลาด หรืออาจเกิดจากเสาเข็มส่วนใหญ่ในอาคารเป็นเสาเข็มประเภทรับแรง เสียดทาน (Friction Pile) ที่ไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกตาม ต้องการได้ เพราะสภาพดินมีความแปรปรวน หรือมีน้ำหนักบรรทุกกดลงบนฐานรากกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมากเกินไปทำให้อาคารด้านหนึ่งทรุดจมลงมากกว่าอีกด้านหนึ่ง เมื่ออาคารทรุดจมลงด้านหนึ่งอีกด้านหนึ่งของอาคารจะถูกยกขึ้น การทรุดตัวของอาคารแบบนี้มักจะไม่เกิดการแตกร้าวที่โครงสร้าง แม้แต่รอยแตกร้าวที่ผนังก็เกิดขึ้นน้อยมาก รอยแตกร้าวส่วนใหญ่ จะเกิดขึ้นที่เสาตอม่อ หรือเสาเข็มบริเวณด้านของอาคารที่ถูกยกขึ้น

จากการศึกษากรณีตัวอย่างจากงานวิจัยอื่น ๆ พบว่าการก่อสร้างอาคารบนพื้นที่ลาดเอียงที่มีความลาดชัน 30-40 องศา ควรเลือกโครงสร้างแบบผนังเสาเข็มเจาะและระบบโครงสร้างเพื่อใช้ดึงรั้งผนัง (bored pile wall reinforced by a tie-back system) ยึดผนังเสาเข็มเจาะ เพื่อป้องกันดินพังทลายในระหว่างการขุดดินหรือถมกลับเข้าไปในระหว่างผนังกันดินทั้งสองด้าน การก่อสร้างฐานรากบริเวณพื้นที่ดินแข็งควรเลือกใช้ระบบฐานรากแบบเสาเข็ม แบบไมโครไพล์

(Micropile) เจาะผ่านชั้นหินแข็งจนถึงชั้นหินที่สามารถรับน้ำหนักได้

### 2.2 ศึกษาข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์สาเหตุการทรุดตัว [5-11]

การทรุดตัวของฐานรากส่งผลเสียหายต่อระบบโครงสร้างอาคารโดยรวม ความเสียหายจากการทรุดตัวสามารถแบ่งสาเหตุออกได้เป็น 3 กรณี ได้แก่ ความผิดพลาดในการออกแบบ ความผิดพลาดระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง และความผิดพลาดจากการบำรุงรักษาอาคาร เพื่อศึกษาสาเหตุของการทรุดตัวของอาคารกรณีศึกษา จึงยึดแนวทางการศึกษา [1] ดังนี้

2.2.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอาคารจากแบบแปลน รายการประกอบแบบ การก่อสร้าง หรือรายละเอียดต่าง ๆ จากสภาพที่เป็นจริง เช่น ลักษณะที่ตั้ง การขุดและถมดิน ลักษณะการใช้งาน ขนาดอาคาร ตำแหน่งของเสาและฐานราก สิ่งก่อสร้างข้างเคียงหรือสภาพของพื้นที่โดยรอบ

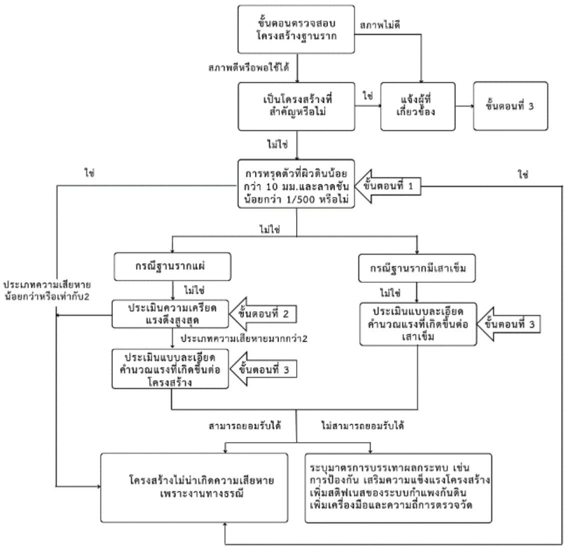
2.2.2 ศึกษาข้อมูลฐานราก ศึกษาชนิดฐานรากว่าเป็นฐานรากเสาเข็มหรือฐานรากแผ่ ขนาดและจำนวนฐานรากในอาคาร จำนวนเสาเข็มแต่ละฐาน รายละเอียดเหล็กเสริม ชนิดและขนาด ของเสาเข็มเดิม ระดับความลึกปลายเสาเข็ม กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย และอัตราส่วนความปลอดภัยของเสาเข็มที่ระบุในแบบ

2.2.3 เจาะสำรวจข้อมูลดิน เพื่อศึกษาสภาพชั้นดินคุณสมบัติดินเทียบกับความลึก ความหนาของชั้นดิน

2.2.4 ตรวจสอบความลาดเอียงที่เกิดขึ้น และถ้าฐานรากของอาคารมีการทรุดตัวไม่เท่ากัน จะทำให้อาคารเอียงและทำให้โครงสร้างเสียหายได้

### 2.3 ตรวจสอบโครงสร้างฐานราก

การศึกษารูปแบบความเสียหายของโครงสร้างฐานรากจะทำการตรวจสอบโครงสร้างฐานรากตามขั้นตอน ดังรูปที่ 2



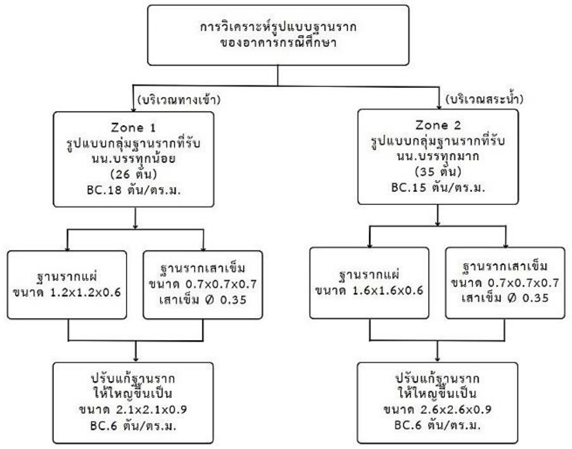

**รูปที่ 2** ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างฐานราก [1]

## 3. ผลการวิจัย

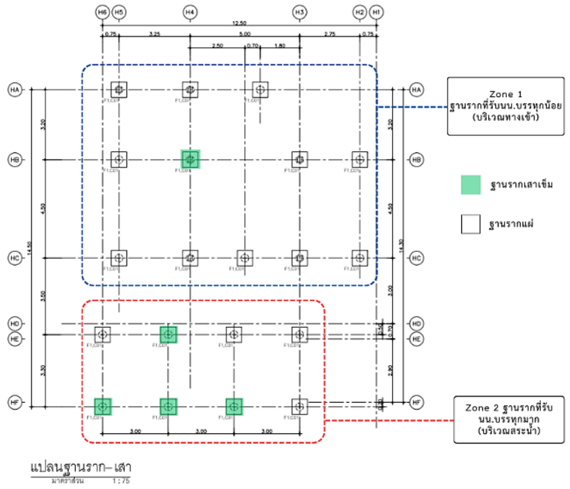
3.1 การศึกษารูปแบบอาคารและสภาพพื้นที่ อาคารที่ทำการศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กความสูง 1 ชั้น โดยยกตัวอาคารตามแนวความลาดชันของพื้นที่ระดับภายในอาคารสูงจากระดับต่ำสุดของโครงสร้าง 10 เมตร หรือเทียบเท่าอาคาร 3 ชั้น อาคารสร้างบนพื้นที่ลาดชันที่มีความชันมากกว่า 40 องศาตามสภาพพื้นที่จริง มีการปรับสภาพพื้นที่โดยรวมโดยการตัด

และถมดินเพื่อการก่อสร้างอาคาร และทางสัญจร การใช้เครื่องจักรหนักเพื่อเข้าถึงพื้นที่เป็นไปได้ยากประกอบกับอาคารอื่นที่ไม่เสียหายและพื้นที่โดยรอบมียังมีการใช้ประกอบกิจการ ทำให้มีข้อจำกัดด้านกระบวนการทำงาน

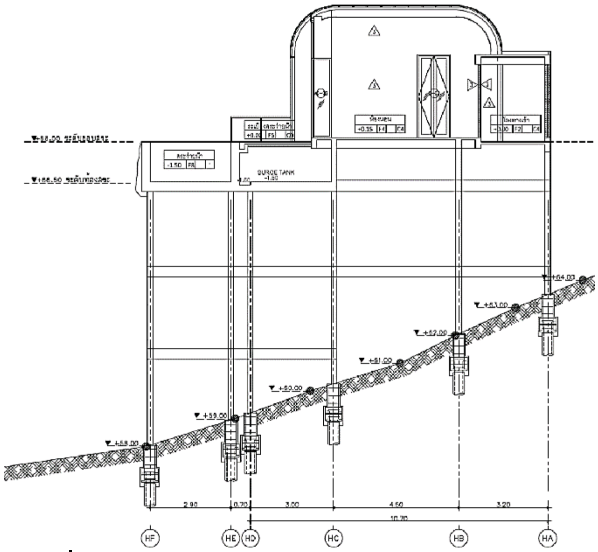
3.2 การศึกษารูปแบบฐานราก ฐานรากของอาคารที่เป็นกรณีศึกษาสามารถแบ่งออกตามลักษณะการรับน้ำหนักและการทรุดตัวเป็น 2 โซน ได้แก่ โซนที่ 1 บริเวณที่ฐานรากรับน้ำหนักบรรทุก น้อยและมีการทรุดตัวน้อย โซนที่ 2 บริเวณที่ฐานรากรับน้ำหนักบรรทุกมากและมีการทรุดตัวมาก ซึ่งทั้ง 2 โซนสามารถแบ่งรูปแบบฐานรากออกเป็น 2 แบบ คือ ฐานรากแผ่และฐานรากระบบเสาเข็ม ดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** ผังการวิเคราะห์รูปแบบฐานราก




**รูปที่ 4** แปลนฐานรากและเสาแบ่งตามโซน



**รูปที่ 5** รูปตัดอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กความสูง 1 ชั้น อาคารสร้างบนพื้นที่ลาดชันมากกว่า 40 องศา

เมื่อพิจารณาจากแบบรูปและการขุดเปิดหน้าดินเพื่อสำรวจลักษณะโครงสร้างเดิมพบว่าฐานรากแบบแผ่และแบบมีเสาเข็มมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กและ

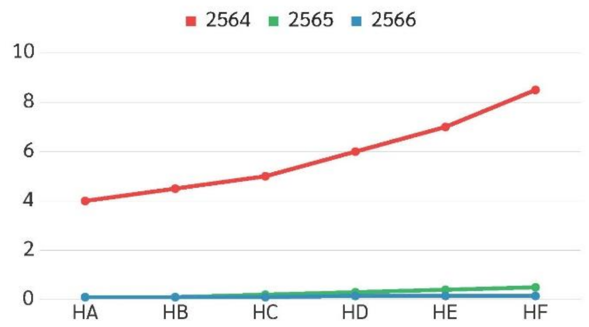
ความยาวของเสาเข็มน้อย รวมถึงมีดินไหลออกเนื่องจากน้ำกัดเซาะใต้ฐานราก ดังรูปที่ 6

**รูปที่ 6** การขุดเปิดเพื่อสำรวจลักษณะของโครงสร้างเดิม

3.3 เมื่อการเจาะสำรวจดินบริเวณจุดที่อาคารเกิดการทรุดตัวพบว่าดินบริเวณก่อสร้างอาคารเป็นดิน SC – SM: Silty, Clayey sand ซึ่งเป็นดินทรายปนดินเหนียวและพบหินขนาดใหญ่แทรกบางจุด ดินมีสภาพแปรปรวนค่อนข้างสูง ปกติดินชนิดนี้จะรับน้ำหนักกำลังรับแรงเฉือนได้ดี กันซึมน้ำค่อนข้างยากถึงปานกลาง การทรุดตัวค่อนข้างน้อย แต่เนื่องจากการถมดินทำให้การทรุดตัวของดินถมบริเวณที่ต้องรับน้ำหนักฐานรากมากขึ้น

มีการปรับพื้นที่ดินเดิมโดยการตัดและถมดินเพิ่มเพื่อการก่อสร้างอาคาร ดินถมใหม่เป็นดินที่มีคุณภาพต่ำ มีเศษซากวัสดุผสม และการบดอัดไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินลดลง

3.4 การสำรวจลักษณะการทรุดตัวของฐานราก จากการสำรวจอาคารพบว่าอาคารมีการทรุดตัวทั้งอาคาร โดยไม่พบรอยแตกร้าวระหว่างรอยต่อโครงสร้างอาคาร ลักษณะการทรุดตัวของอาคารเป็นการทรุดตัวแนวดิ่งที่เกิดจากฐานรากทั้งหมดในอาคารทรุดตัว โดยมีจุดสังเกตจากระดับน้ำในสระว่ายน้ำที่เอียงล้นออกด้านข้างของตัวอาคาร จากการตั้งระดับทดสอบพบว่ามีการทรุดตัวแบบลาดเอียง โดยจุดที่ทรุดมากที่สุด 8 cm. ซึ่งจากข้อกำหนดตามมาตรฐานค่าที่กำหนดให้การทรุดตัวของอาคารไม่ควรเกิน 2.5 cm. [6]




**รูปที่ 7** กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการทรุดตัวของฐานรากตามแนวกริดไลน์ HA-HF ปีพ.ศ. 2564-2566

จากการศึกษาข้างต้นจึงได้นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการแก้ไขการทรุดตัวของฐานรากภายใต้ข้อจำกัดของพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้เครื่องจักรหนักได้ รวมถึงสถานประกอบการยังมีการใช้งานอาคารในพื้นที่ใกล้เคียง โดยพิจารณาฐานรากระบบเสาเข็ม รูปแบบของ

เสาเข็มที่ระบุเป็นเสาเข็มเจาะขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 35 cm. รับน้ำหนักปลอดภัย 35 ตันต่อต้น จากการสำรวจเสาเข็มที่ก่อสร้างจริงเป็นเสาเข็มเจาะ ความยาวของเสาเข็มค่อนข้างน้อย โดยมีความยาวเสาเข็มอยู่ที่ 3-4 เมตร จึงเป็นสาเหตุทำให้ฐานรากอาคารมีการทรุดตัวสูง และมีการออกแบบฐานรากแผ่โดยใช้ค่ากำลังรับน้ำหนักปลอดภัย 15 ตันต่อตารางเมตรซึ่งมากกว่าค่าความเป็นจริง ในสภาพพื้นที่ก่อสร้างจริง จากการวิเคราะห์ผลการสำรวจดิน การออกแบบฐานรากอาคารที่สร้างบนดินถม ค่ารับน้ำหนักของดินไม่ควรเกิน 9 ตันต่อตารางเมตร [2-4] และเมื่อพิจารณาจากสภาพหน้างานไม่สามารถนำเครื่องจักรขนาดใหญ่เข้ามาทำงานได้ เพราะอาคารโดยรอบโครงการมีการเปิดใช้งานตลอด ถนนโครงการออกแบบมาเพื่อรถไฟฟ้าขนาดเล็กใช้งานได้เท่านั้น จึงต้องหาแนวทางการซ่อมแซมการทรุดตัวด้วยการออกแบบฐานรากใหม่เโดยการขยายพื้นที่ฐานรากเพื่อลดค่าความเครียดในดิน และช่วยกระจายการรับน้ำหนักของอาคารไม่ให้มีการทรุดตัวเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 1** ตารางแสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบเพื่อแก้ไขการทรุดตัวของโครงสร้างฐานราก

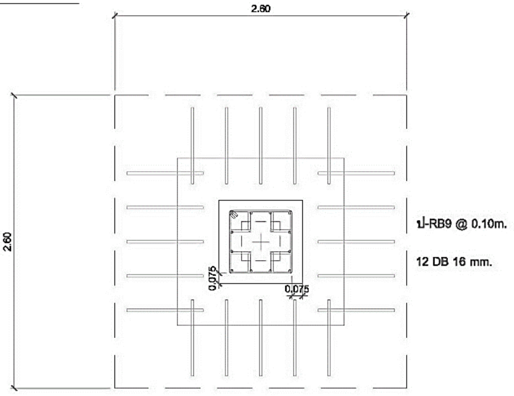
| Column grid line | Load (kg./sq.m.) | Area (kg./sq.m.) | Axial Load (ton) | Design Load (ton) |
|---|---|---|---|---|
| C1, H4/HA | 1000 | 6.6 | 7.92 | 7.92 |
| C1, H5/HA | 1000 | 3.8 | 4.56 | 4.56 |
| C1, H2/HB | 1000 | 4.98 | 5.976 | 5.98 |
| C1, H3/HB | 1000 | 14.53 | 17.436 | 17.44 |
| C1, H4/HB | 1000 | 15.88 | 19.056 | 19.06 |
| C1, H5/HB | 1000 | 9.4 | 11.28 | 11.28 |
| C1, H2/HC | 1000 | 5.15 | 6.18 | 6.18 |
| C1, H3/HC | 1000 | 5.9 | 7.08 | 20.98 |
| | 2940 | 3.94 | 13.90032 | |
| C1, H3-4/HC | 1000 | 5.63 | 6.756 | 23.09 |
| | 2940 | 4.63 | 16.33464 | |
| C1, H4/HC | 1000 | 6.47 | 7.764 | 26.53 |
| | 2940 | 5.32 | 18.76896 | |
| C1, H5/HC | 1000 | 5.34 | 6.408 | 21.90 |
| | 2940 | 4.39 | 15.48792 | |
| C1, H3/HE | 2940 | 8.13 | 28.68264 | 28.68 |
| C1, H3-4/HE | 2940 | 9.75 | 34.398 | 34.40 |
| C1, H4-5/HE | 2940 | 9.75 | 34.398 | 34.40 |
| C1, H6/HE | 2940 | 8.13 | 28.68264 | 28.68 |
| C1, H3/HF | 2940 | 2.25 | 7.938 | 7.94 |
| C1, H3-4/HF | 2940 | 4.5 | 15.876 | 15.88 |
| C1, H4-5/HF | 2940 | 4.5 | 15.876 | 15.88 |
| C1, H6/HF | 2940 | 2.25 | 7.938 | 7.94 |

| | | |
|---|---|---|
| DL Slab | 400 | 400 kg./sq.m. |
| DL Water | 1500 | 1500 kg./sq.m. |
| SDL | 400 | 300 kg./sq.m. |
| LL | 200 | 200 kg./sq.m. |

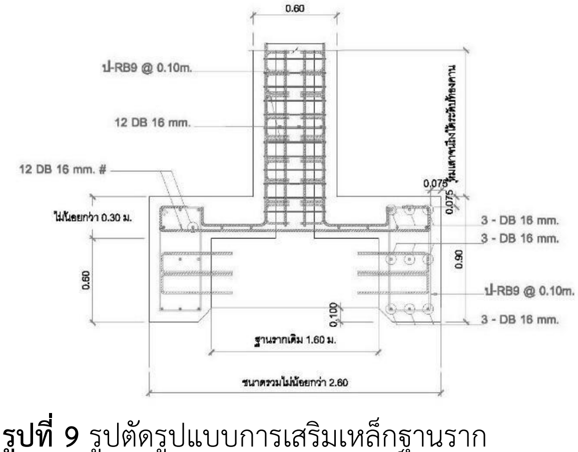
## 4. สรุปและอภิปรายผล

จากขั้นตอนการสำรวจความเสียหายที่พบว่าสาเหตุการทรุดตัวหลักของฐานรากเกิดจากการสร้างบริเวณดินถมที่ไม่ได้มีการบดอัด ระบบฐานรากที่ไม่เหมือนกัน การกำหนดค่ากำลังรับน้ำหนักปลอดภัยไม่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ก่อสร้างอาคารจริง และข้อจำกัดด้านสภาพพื้นที่ก่อสร้าง ดังนั้นแนวทางแก้ไขจึงจำเป็นต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ก่อสร้างขนาดใหญ่ได้ เพื่อป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้างฐานรากและการป้องกันการทรุดตัวของฐานรากเพิ่มขึ้น จึงได้กำหนดหลักการในการแก้ไข คือ 4.1 การออกแบบแก้ไขฐานราก กำหนดค่า

การรับน้ำหนักปลอดภัยไม่เกิน 6 ตันต่อตารางเมตร โดยวิเคราะห์จากผลสำรวจดิน ใช้ข้อมูลดินบริเวณที่ผิวดิน จุดที่เป็นดินถม 4.2 ออกแบบฐานรากใหม่โดยการยึดตอม่อและฐานรากเก่าให้เป็นฐานรากแผ่ทั้งหมดโดยใช้น้ำหนักไม่เกิน 6 ตันต่อตารางเมตร 4.3 การเสริมฐานรากและตอม่อเพื่อขยายพื้นที่ในการรับน้ำหนักของอาคาร และมีการเสริมเหล็กเหนือฐานรากเดิม เพื่อสร้างฐานรากใหม่ และขยายตอม่ออาคาร เสริมเหล็กรับแรงเฉือนเพื่อรับน้ำหนักที่จะเกิดขึ้นหลังจากขยายฐานราก [1, 6-7] ดังรูปที่ 8-10




**รูปที่ 8** ผังพื้นรูปแบบการเสริมเหล็กฐานราก




**รูปที่ 9** รูปตัดรูปแบบการเสริมเหล็กฐานราก

**รูปที่ 10** รูปแบบการเสริมเหล็กฐานราก

หลังจากการดำเนินการแก้ไขมีการตรวจสอบและติดตามผลโดยการทิ้งระดับอาคารหลังจากการปรับปรุงแล้ว และมีการตรวจสอบทุก 1, 3, 6, 12 เดือน 2 ปี และ 3 ปี พบว่าอาคารไม่มีการทรุดตัวเพิ่มขึ้น อาคารสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย ไม่มีความเสียหายของโครงสร้างส่วนอื่น ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกรณีศึกษาอาคารที่ก่อสร้างแล้วดังกล่าว การแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของฐานรากควรดำเนินการอย่างเป็นระบบโดยพิจารณาประกอบกับพื้นที่ก่อสร้างจริงและข้อจำกัดในการทำงาน เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม การออกแบบโครงสร้างฐานรากอาคารที่ก่อสร้างบนพื้นที่ลาดชันควรบดอัดดินให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ กำหนดรูปแบบฐานรากให้เป็นแบบเดียวกัน และกำหนดค่าการรับน้ำหนักปลอดภัยโดยพิจารณาจากสภาพพื้นที่ทำงานจริง

**5. เอกสารอ้างอิง**

[1] ธเนศ วีระศิริ. (2548). ประสบการณ์งานแก้ไขอาคารทรุดและยกอาคาร. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

[2] พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกูล (2563). คู่มือวิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[3] วินิต ช่อวิเชียร. (2547). ปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] สุขสันต์ หอพิบูลสุข. (2552). วิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล.

[5] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562). คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[6] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). มยผ. 1901-5 มาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[7] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562). คู่มือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[8] เศรษฐพงศ์ ศรีวิริยานนท์, ธงชัย โพธิ์ทอง และธีระ สาภิศชยางกูล. (2561). “การตรวจสอบการทรุดตัวของอาคารด้วยกล้องระดับ.” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 41, 1 (มกราคม-มีนาคม): 3-16.

[9] ณัฐวัฒน์ วิศาลศักดิ์ และทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์. (2563). “เทคโนโลยีซ่อมแซมอาคารทรุดตัวด้วยการยกอาคาร.” สาระศาสตร์ 3, 2 (เมษายน-มิถุนายน): 260-273.

[10] อัตพล บุบพิ และพงศกร พวงชมภู. (2565). “การทดสอบภาคสนามเพื่อศึกษาการทรุดตัวของฐานรากตื้น บนดินทรายปนดินเหนียว.” วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 22, 2 (เมษายน-มิถุนายน): 130-142

[11] Lam, Alvin K. M. (2018). “An engineering solution for hillside project in Hong Kong.” Geotechnical Research 5, 3 (July): 170-181.