

แบบนำเสนอผลผลิตการวิจัย  
โครงการวิจัยเงินประมาณ เงินรายได้ พ.ศ. 2567  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการวิจัย

ปีงบประมาณ 2567

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลดา กาญจนกุล  
หน่วยงาน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการจัดการ

ลักษณะโครงการวิจัย



โครงการวิจัยเดี่ยว

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลดา กาญจนกุล  
หน่วยงาน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการจัดการ

โครงการวิจัย เรื่อง นวัตกรรมระบบทดสอบพฤติกรรมการทนต์ตัวของเสาเข็มไม้ในดินเนื้อเดียว สำหรับพื้นที่ป่าชาย  
เลนโดยมีส่วนร่วมกับชุมชน

งบประมาณ 55,000 บาท (ห้าหมื่นห้าพันบาทถ้วน)



ชุดโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล หัวหน้าชุดโครงการวิจัย .....

หน่วยงาน.....

ชื่อชุดโครงการวิจัย เรื่อง .....

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุนชุดโครงการวิจัย ..... บาท

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการวิจัยย่อย .....

หน่วยงาน.....

ชื่อโครงการวิจัยย่อย เรื่อง .....

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุนโครงการวิจัยย่อย ..... บาท

ส่วนที่ 2 การส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (กรณีไม่ส่ง OP 1)

1. ส่งสถาบันวิจัยและพัฒนา รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 4 ชุด และอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์ จำนวน 2 ชุด
2. ส่งหน่วยงานที่สังกัด รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 1 ชุด

ส่วนที่ 3 ผลผลิต/ผลลัพธ์/การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

กรณีโครงการวิจัยต่อเนื่อง ระบุปีของผลผลิต  ปีที่ 1  ปีที่ 2  ปีที่ 3

1. ผลผลิตตามกรอบวงเงิน ที่ระบุไว้ตามประกาศมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เรื่อง การติดตาม ประเมินผล การส่งรายงานฉบับสมบูรณ์และผลผลิตจากงานวิจัย พ.ศ. 2565

1.1 โครงการวิจัย-เงินรายได้ ประเภทการวิจัยทั่วไป

| งบประมาณวิจัย            | ผลผลิต  |
|--------------------------|---|
| ไม่เกิน 100,000 บาทต่อปี | <input checked="" type="radio"/> 1. บทความวิจัย ต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ ในเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ (proceeding) จำนวนอย่างน้อย 1 บทความ หรือสูงกว่า               |
| มากกว่า 100,000 บาทต่อปี | <input type="radio"/> 1. บทความวิจัย ต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติ ที่มีระบบตรวจสอบคุณภาพของต้นฉบับ (peer review) ที่ปรากฏในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 2 จำนวนอย่างน้อย 1 บทความ หรือสูงกว่า |

1.2 โครงการวิจัย-เงินงบประมาณแผ่นดิน

| งบประมาณวิจัย            | ผลผลิต   |
|--------------------------|--|
| ไม่เกิน 300,000 บาทต่อปี | <input type="radio"/> 1. งานสร้างสรรค์ ต้องมีการเผยแพร่สู่สาธารณะภายในประเทศระดับชาติ จำนวนอย่างน้อย 1 ครั้ง และบทความวิจัยต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ บทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ในเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ ระดับชาติ (proceeding) จำนวนอย่างน้อย 1 บทความ หรือ   |
|                          | <input type="radio"/> 2. บทความวิจัย ต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ใน เอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ (proceeding) หรือ ผลงานวิจัย ที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติที่มีระบบตรวจสอบ คุณภาพของต้นฉบับ (peer review) ที่ปรากฏในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 2 จำนวนอย่างน้อย 1 บทความ หรือสูงกว่า                      |
|                          | <input type="radio"/> 3. สิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรม ต้องนำไปจดทรัพย์สินทางปัญญา จำนวนอย่าง น้อย 1 ผลงาน  |
| 300,001-500,000 บาทต่อปี | <input type="radio"/> บทความวิจัย ต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ ในเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (proceeding) หรือ ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ ที่มี ระบบตรวจสอบคุณภาพของต้นฉบับ (peer review) ที่ปรากฏในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 จำนวนอย่างน้อย 1 บทความ หรือ สูงกว่า |

| งบประมาณวิจัย              | ผลผลิต                |   |
|----------------------------|-----------------------|---|
|                            | <input type="radio"/> | 2. สิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรม ต้องนำไปจดทรัพย์สินทางปัญญา จำนวนอย่างน้อย 1 ผลงาน  |
| 500,001-1,000,000 บาทต่อปี | <input type="radio"/> | 1. บทความวิจัย ต้องได้รับตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ที่ปรากฏในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ ตามประกาศ ก.พ.อ. หรือระเบียบคณะกรรมการการอุดมศึกษา ว่าด้วยหลักเกณฑ์การพิจารณาวารสารทางวิชาการสำหรับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ พ.ศ. 2556 จำนวนอย่างน้อย 1 บทความ หรือ |
|                            | <input type="radio"/> | 2. สิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรม ต้องนำไปจดสิทธิบัตร หรืออนุสิทธิบัตร จำนวนอย่างน้อย 1 ผลงาน   |
| มากกว่า 1,000,000 บาทต่อปี | <input type="radio"/> | 1. บทความวิจัย ต้องได้รับตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ที่ปรากฏในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ ตามประกาศ ก.พ.อ. หรือระเบียบคณะกรรมการการอุดมศึกษา ว่าด้วยหลักเกณฑ์การพิจารณาวารสารทางวิชาการสำหรับการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ พ.ศ. 2556 จำนวนอย่างน้อย 2 บทความ หรือ |
|                            | <input type="radio"/> | 2. สิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรม ต้องนำไปจดสิทธิบัตร หรืออนุสิทธิบัตร จำนวนอย่างน้อย 2 ผลงาน   |

## 2. ผลผลิตการวิจัย (แนบหลักฐานผลผลิต)

2.1 การตีพิมพ์ผลงานในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceeding) ระดับชาติ/นานาชาติ  
ระบุรายละเอียดผลงานที่ตีพิมพ์ให้ชัดเจน เช่น ชื่อบทความ ชื่อผู้แต่ง ชื่องานประชุมวิชาการ วันที่จัดงานประชุม สถานที่จัด  
จังหวัดหรือเมือง ประเทศ เป็นต้น

2.1.1 ชื่อบทความ .....

ชื่อผู้แต่ง/คณะผู้แต่ง.....

ชื่องานประชุมวิชาการ.....

วันที่จัดงานประชุม.....

สถานที่จัด.....

หน้าของบทความ.....

2.2 การตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ ระบุรายละเอียดผลงานที่ตีพิมพ์ให้ชัดเจน เช่น ชื่อ บทความ ชื่อผู้แต่ง ชื่อวารสาร ฐานข้อมูลของวารสาร (TCI กลุ่ม 1 หรือ 2, SJR, ISI, Scopus ฯลฯ) ปี และฉบับที่ตีพิมพ์ เป็นต้น

ชื่อบทความ Design charts and finite element analysis to predict the settlement of piles embedded in soft ground

ชื่อผู้แต่ง/คณะผู้แต่ง Chollada Kanjanakul<sup>1</sup>, Thaksakorn Pornbunyanon<sup>2\*</sup>, Tanan Chub-Uppakarn<sup>3</sup>, Piyapong Suwanno<sup>4</sup> and Chaiwat Yaibok<sup>5</sup>

ชื่อวารสาร Lecture notes in civil engineering

ฐานข้อมูลของวารสาร Scopus Q4 ([https://doi.org/10.1007/978-981-96-8464-9\\_52](https://doi.org/10.1007/978-981-96-8464-9_52))

ปีที่ตีพิมพ์ 2025 ฉบับที่ Vol. 1, LNCE 677, 2025 หน้า 1-11

กรณีบทความอยู่ระหว่างการตีพิมพ์ ให้แนบใบตอบรับการตีพิมพ์ (letter of acceptance) จากวารสาร

2.3 การยื่นจด  สิทธิบัตร  อนุสิทธิบัตร  ลิขสิทธิ์

ยื่นจดแล้ว เมื่อ .....

### 3. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ (ถ้ามี)

1) ลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ เกิดองค์ความรู้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมรับแรงของเสาเข็มและระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มไม่ในดินเนื้อเดียว สำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยมีส่วนร่วมับชุมชน

กลุ่มเป้าหมาย ภาครัฐ (พอช.), วิศวกร, สถาปนิก ผู้ อ ก บ บ , ผู้รับเหมาก่อสร้างและ ชุมชนบ้านมั่นคง ของอาคาร บ้านเรือนขนาดใหญ่ได้รับประโยชน์เกี่ยวกับองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมโยธาจาก การเผยแพร่ผลงาน ผ่านทางงานประชุมวิชาการ หรือวารสารวิชาการ ระดับประเทศ หรือนานาชาติ

2) ลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์.....

กลุ่มเป้าหมาย .....

### 4. การได้รับรางวัลประกาศเกียรติคุณจากผลงานวิจัย (ถ้ามี แนบสำเนาหลักฐานรางวัล)

ชื่อผลงานวิจัย .....

รางวัลที่ได้รับ .....

ประเภทรางวัล .....

ผู้ให้รางวัล .....

(.....)

หัวหน้าโครงการวิจัยเดี่ยว/โครงการย่อย

วันที่ ๑๕ ส.ค. ๒๕๖๘

(.....)

หัวหน้าหน่วยงาน (คณบดี/ผู้อำนวยการ)

วันที่ ๑๕ ส.ค. ๒๕๖๘

Lecture Notes in Civil Engineering

Somnuk Tangtermsirikul  
Pennung Warnitchai  
Kriengsak Panuwatwanich  
Ganchai Tanapornraweekit *Editors*

Proceedings of the  
18th East Asia-Pacific  
Conference  
on Structural  
Engineering and  
Construction

EASEC-18; 13-15 Nov 24, Chiang Mai,  
Thailand

 Springer

## Design charts and finite element analysis to predict the settlement of piles embedded in soft ground.

Chollada Kanjanakul<sup>1</sup>, Thaksakorn Pornbunyanon<sup>2\*</sup>, Tanan Chub-Uppakarn<sup>3</sup>, Piyapong Suwanno<sup>4</sup> and Chaiwat Yaibok<sup>5</sup>

<sup>1,2\*,4,5</sup> The research unit of technology and innovation on civil engineering (RICE), College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, 80210, Thailand

<sup>3</sup> Department of Civil Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, 90110, Thailand

\*Corresponding author. Tel.: +66-9269-39791; Email address: [Thaksakorn.p@rmutsv.ac.th](mailto:Thaksakorn.p@rmutsv.ac.th)

**Abstract.** This paper aims to create a set of design charts that present the relationship between the allowable bearing capacity and several parameters, such as the depth and cross-sectional area of wooden and concrete piles. These charts will be highly useful for site engineers and users of community building in Mangrove forest, Ranong provinces, Andaman coastal. The study begins by collecting laboratory test data from the field boring log. Soil strength parameters such as unit weight ( $\gamma$ ), the effective cohesion ( $c'$ ), standard penetration test (SPT-N), and internal friction angle ( $\phi$ ) from the borehole log were used to calculate bearing capacity, section and depth of piles. Moreover, laboratory test data from the boring log were calculated by empirical method and used in terms of input parameters (Young's modulus,  $E'$ , Adhesion factor,  $\alpha$  and Poisson's ratio,  $\nu'$ ) for the finite element program (PLAXIS 2D). These two-dimensional plane strain FEM was used to analyze the settlement and consolidation behaviors of piles in the case study. Results for the Ranong case study show that increasing 988 kN of axial load (2.5 times the allowable bearing capacity) leads to reduced pile stability and increased pile settlement (12.50 mm of total settlement). PLAXIS's model predictions are satisfactorily compared with the pile load test result. In addition, the pile failure does not occur because the total settlement (12.5 mm) is less than 10% of the pile diameter (30 mm).

**Keywords:** Bearing capacity, Pile foundations, Design charts, Finite element method, Static pile load test

### 1. Introduction

In designing the structures in the community along the shoreline at inaccessible sites (Ranong provinces), Friction piles are suitable for coastal areas when the bearing stratum is not hard, such as a firm clay. These piles also transfer their load to the ground through skin friction. A set of design charts along the shoreline should present the relationship between the suitable bearing capacity for building and varying depths from shallow to deep soil layers. These charts are described in more detail in the “Design charts for piles embedded in soft ground” section. The soil classification from Boring-log in coastal areas is commonly medium to soft clay. A soft clay layer has relatively low strength, high compressibility, and high volumetric changes (Hosseinpour et al., 2017; Weitao et al., 2023). Therefore, most buildings are supported by pile foundations to reduce settlements. The approach was to ensure that the piles could carry the structural load and analyze the ultimate bearing capacity, an essential consideration in geotechnical engineering (Randolph., 1994; Boonyatee et al., 2015).

Several theoretical studies have been developed to find better methods for designing parameters of piles embedded in soft ground. Ren et al. (2008), for example, investigated a set of nine piles supporting a 12-story concrete frame building with finite difference analysis. The soil model was a silty clay layer over a saturated sand layer. The Finn and the elastoplastic constitutive models were used to simulate the soil. Pore pressure ratio and soil-pile interaction were taken into account. The numerical analysis result agreed well with the data from shaking table tests,

while Choudhury et al. (2014) evaluated a finite difference model (FLAC3D) of a single pile embedded in a homogenous and liquefied soil under dynamic loading. A two-layered soil system composed of loose sand (a liquefiable layer) underlain by stiff clay (a non-liquefiable layer) was considered. The linear elastic perfectly plastic and Finn models represented the sand and clay soils. The analysis exposed that the maximum bending moment occurs in the interface of the liquefiable and non-liquefiable layers. In addition, the results were compared against a combined pile raft foundation with a group of four piles. Wonglert et al. (2018) determined the effectiveness of the stiffened deep cement mixing (SDCM) core on the behaviors of the floating columns and the potential of using wood as a core. For a parametric study on the full-scale field pile load tests, physical model tests, and numerical analyses (Finite element method from PLAXIS 2D). The results from the numerical parametric study were used to establish a guideline chart for suggesting the appropriate length of the core in the DCM socket of the floating SDCM columns. Furthermore, the pile load test results also confirm that core materials with eucalyptus wood could potentially be used as a reinforced core.

Static and dynamic load tests on a pile are thus one of the most significant methods for determining the load-settlement behavior of a pile under vertical load. Many studies on numerical modeling of pile load tests have been conducted from an early age. El-Mosallamy et al. (2013) analyzed the negative skin friction during the consolidation of piles in soft clay. The numerical analyses were based on an axisymmetric finite element model to predict the pile-soil interaction problem of negative skin friction. At the same time, Michal and Jakub (2014) compared numerical analyses based on the Finite element method calculation with a static load test of a Continuous Flight Auger (CFA) pile. The geological condition of the tested area was cast in situ piles with a diameter of 0.63 m and a penetration length equal to 15 m. The circular piles were installed in silt sand, and the numerical analyses were executed using Ansys and Plaxis software. The load-settlement curve calculated using numerical analyses agrees well with the results of a static load test. Yang et al. (2021) presented a parametric study on the consolidation behavior of the multi-pile composite ground. The results show that the increase in the area replacement ratio and the constrained modulus of the long piles raised the consolidation rate of the composite ground.

This paper aimed to create a set of design charts that present the suitable bearing capacity of wooden and concrete piles for the buildings along the shoreline in Ranong provinces. The bearing capacity analysis using the Terzaghi equation (Mohr-coulomb model). However, the traditional Mohr-coulomb model is unable to predict deformation. Then, the Finite element method from PLAXIS 2D was used to analyze the settlement of piles. The field boring log, geotechnical laboratory results, and loading step data concerning the outcome of calculated total settlement using PLAXIS 2D versus the actual total settlement from the static load test were carried out and analyzed to verify the use of the correct depth and size of piles for the community building in the tested area. Moreover, the process in this research proves the best confidence result for developing the design charts of pile foundations for practicing users and engineers.

## 2. Description of the Ranong case study

The focus of this research is community building in the Mangrove forest; the village of Kam-Puan (population: 1,236) is located in Ranong Province in the southern part of Thailand (Fig.1). This figure includes the borehole investigations (BH1) of the tested area. The primary soil properties from BH1 for analyzed pile foundation using of the Plaxis 2D are described in more detail in the "Finite element modeling" section. The primary source of income for the local people from Kam-Puan villages is fishery. The construction industry is beginning to accept the local people and tourist situation. Before the construction of buildings, where piles are used as foundations, boring logs and soil sampling tests are required. The borehole (BH1) location, as depicted in Fig.1, is used for collecting soil samples. Table 1 displays soil formations, water content, plastic, and liquid limits from Atterberg's limit test and the standard penetration test (SPT) at 0-16.5 m depths. The SPT blow count profiles were used to evaluate the stiffness and density characteristics of the soil layers (Indhanu et al., 2023). The SPT results revealed that the  $N_{spt}$  values for the in-situ soil sample ranged



### 3. Methodology

The research methodology involved the ultimate bearing capacity analysis of pile foundation based on a borehole log, finite element modeling, and comparison of a static load test of concrete pile and static load-settlement curve obtained by Plaxis2D model. These are described in more detail as follows:

#### 3.1 The ultimate bearing capacity analysis of pile

Ultimate bearing capacity analysis was the sum of the skin friction analysis and the end bearing resistance. It was given by

$$Q_u = \sum f_{si} A_{si} + q_{end} A_{end} - W_p \quad (1)$$

$$= \sum [(k_s \sigma'_{vo} \tan \delta) + (\alpha \cdot S_u) A_{si}] + [(\sigma'_{vo} N_q) + (9 \cdot S_u) A_{end}] - W_p$$

Where  $Q_u$  is the ultimate bearing capacity of the pile (kN),  $f_{si}$  is friction force (kN/m<sup>2</sup>),  $A_{si}$  is friction area (m<sup>2</sup>),  $q_{end}$  is end bearing force (kN/m<sup>2</sup>),  $A_{end}$  is end bearing area (m<sup>2</sup>), and  $W_p$  is a weight of pile (kN),  $k_s$  is coefficient of lateral earth pressure,  $\sigma'_{vo}$  is effective overburden pressure (kN/m<sup>2</sup>),  $\delta$  is the angle of pile friction,  $\alpha$  is the adhesion factor,  $S_u$  is undrained shear strength of soil (kN/m<sup>2</sup>), and  $N_q$  is bearing capacity factor coefficient depend on  $\phi$  (angle of shearing resistance).

#### 3.2 The allowable bearing capacity analysis of pile foundation based on a borehole log

The allowable bearing capacity equation for pile foundation is as follows:

$$Q_{all} = Q_u / F.S. \quad (2)$$

Where  $Q_{all}$  is the allowable bearing capacity of the pile foundation (kN),  $Q_u$  is the ultimate bearing capacity of the pile (kN), and F.S. is a factor of safety for the pile foundation.

The properties of soil based on a borehole log should be corrected as follows:

$$\bar{S}_u = 1.225 \cdot N/2 \quad (3)$$

Where  $\bar{S}_u$  is the corrected undrained shear strength of soil (kN/m<sup>2</sup>),  $N$  is the standard penetration number (Blows/ft).

$$N_{corr} = 15 + (N-15)/2 \quad (4)$$

Where  $N_{corr}$  is the corrected standard penetration number (Blows/ft),  $N$  is the standard penetration number (Blows/ft).

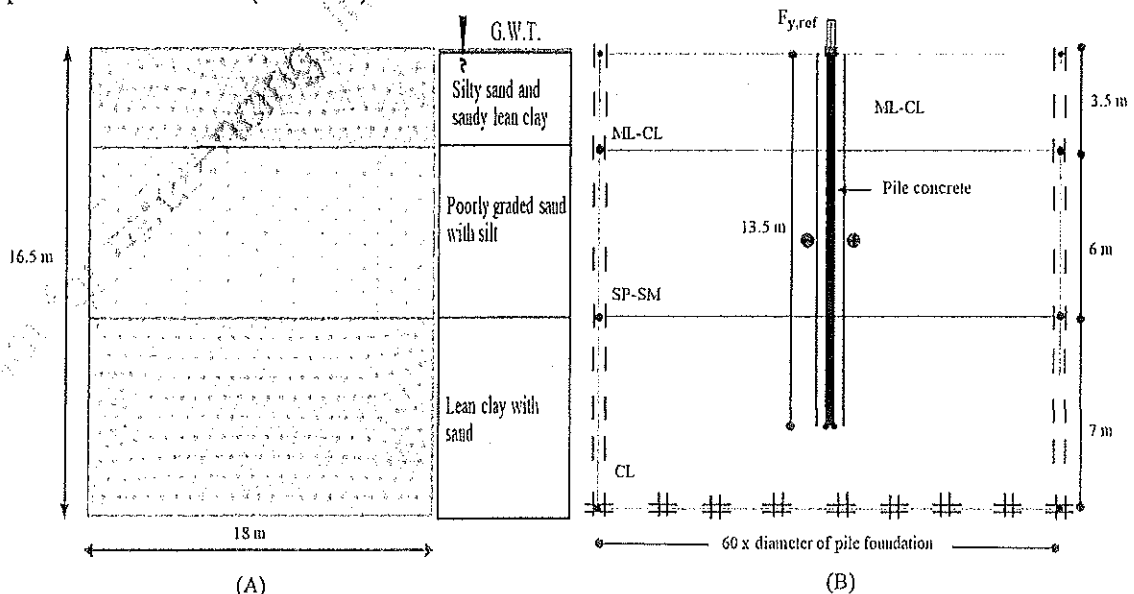


Figure 2. The model finite element mesh for the Ranong case study.

### 3.3 Finite element modeling

As earlier described, the limitation of Mohr-coulomb theory is that it was unable to predict deformation. Then, the PLAXIS 2D was used to analyze the settlement of piles. In numerical analysis, Young's modulus, Adhesion factor, and Poisson's ratio acquired from the field boring log were used in the PLAXIS 2D program to compute the settlement and consolidation behaviors of the pile in a case study. As shown in Fig. 2(A), the pile is 0.3 m in diameter and 13.5 m in length. The PLAXIS 2D model consists of 3 layers of soil: silty sand and sandy lean clay, ML-CL (up to 3.5 m), poorly graded sand with silt, SP-SM (3.5 m to 9.5 m) and lean clay with sand, CL (9.5 m to 16.5 m). Table 2. shows the physical and mechanical properties (Unit weight ( $\gamma$ ), Young's modulus ( $E'$ ), Poisson's ratio ( $\nu'$ ), the cohesion of soil ( $c$ ), internal friction angle ( $\phi$ ), and adhesion factor ( $\alpha$ )) of the soil layers and pile used in the PLAXIS 2D model. The axial loads have been applied in the model, and the settlements are estimated for simulated consolidation behaviors of the pile (Naveen et al., 2014). The PLAXIS 2D results are compared with the static load-settlement curve obtained using the field pile load test.

Table 2. Physical and mechanical properties for numerical models.

| Linear Elastic   |                      | Pile<br>Concrete | Soil<br>(ML-CL) | Soil<br>(SP-SM) | Soil<br>(CL) |
|------------------|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Type             |                      | -                | Undrained       | Drained         | Undrained    |
| $\gamma_{unsat}$ | [kN/m <sup>3</sup> ] | 25               | 17.5            | 17.9            | 20.9         |
| $\gamma_{sat}$   | [kN/m <sup>3</sup> ] | 25               | 19.5            | 19.9            | 22.9         |
| $E'$             | [kN/m <sup>2</sup> ] | 30e <sup>6</sup> | 16,675          | 22,000          | 20,000       |
| $\nu'$           | -                    | 0.2              | 0.30            | 0.35            | 0.5          |
| $c$              | [kN/m <sup>2</sup> ] | -                | 31.4            | -               | 262.2        |
| $\phi$           | [°]                  | -                | -               | 29.5            | -            |
| $\alpha$         | -                    | -                | 0.78            | -               | 0.35         |

#### 3.3.1 Model parameters for PLAXIS 2D

Vertical pile in soil has been modeled as a plane strain problem. The 15-noded triangle element has been chosen to model the soil, which results in a two-dimensional finite element model. Fig. 2(B) shows the problem's geometry and a pile in a plane strain problem. The model consists of a concrete pile with a diameter of 0.3 m and a depth of 13.5 m and a geometry dimension of the soil model with 16.5 m x 18 m was found to be optimum. The pile's behavior is assumed to be linear-elastic. The Mohr-Coulomb describes the soil's behavior. The model adopted requires 5 basic input parameters: Young's modulus ( $E'$ ), Adhesion factor ( $\alpha$ ), Poisson's ratio ( $\nu'$ ), the cohesion of soil ( $c$ ), and internal friction angle ( $\phi$ ).

Boundary conditions utilized for finite element analysis are rigid for the lower bed boundary (Horizontal and vertical displacement are zero); The left and right boundaries of the model are fixed; and there are interface elements between the pile and the soil.

The load applied on the model ( $F_{y,ref}$ ) is applied in load increments of 395-988 kN at the pile head. This approach is used to model the process of an in-situ static pile load test. The observed settlement for the corresponding loads is noted in Fig 4.

#### 4. Results and discussion

As earlier described, parameters affecting the allowable bearing capacity of pile foundation, such as a typical geometry of a Ranong case study, geotechnical and laboratory data based on a borehole log, and basic input parameters of PLAXIS 2D model with  $E'$  and  $\nu'$  for analyzing settlement and consolidation behaviors of the pile are usually needed in analytical processes.

##### 4.1 Design charts for piles embedded in soft ground

A set of design charts (Fig. 3) was plotted, showing the relationship between the allowable bearing capacity and the developments of the depth and sectional area of piles. Fig. 3(A) shows the square-sectional area of wooden (TP) and concrete (CP) piles with widths of 0.22, 0.26, 0.30, 0.35, and 0.40 m and varying depths (4.5, 6, 7.5, 13.5, 15, and 16.5 m). Results presented in Fig. 3(A) reveal that increasing the depth and the sectional area of piles increased the allowable bearing capacity. In addition, increasing the depth of the soil layer for wooden and concrete piles led to an increase of the cumulative skin friction ( $Q_{skin}$ ) based on the ultimate bearing capacity analysis equation of pile (Eq.1). For example, a wooden pile with  $0.22 \times 0.22 \text{ m}^2$  sectional area and a depth of 7.5 m leading to the allowable bearing capacity of 98.24 kN. However, increasing the depth from 7.5 to 16.5 m for a  $0.22 \times 0.22 \text{ m}^2$  sectional area of a wooden pile increased the allowable bearing capacity from 98.24 kN to 402.03 kN.

Fig. 3(B) shows the circular sectional area of wooden (TP) and concrete (CP) with diameters of 0.25, 0.3, 0.35, 0.40, and 0.45 m. and varying depths (4.5, 6, 7.5, 13.5, 15, and 16.5 m). Results for the Ranong case study (Fig. 3(B)) show that increasing the depth and the sectional area of piles led to an increase in the allowable bearing capacity. For example, a concrete pile with a diameter of 0.30 m and a depth of 15 m leads to the allowable bearing capacity of 38.64 kN. However, increasing the diameter from 0.3 to 0.45 m for a concrete pile with a depth of 15 m led to an increase in the allowable bearing capacity from 38.64 kN to 63.56 kN.

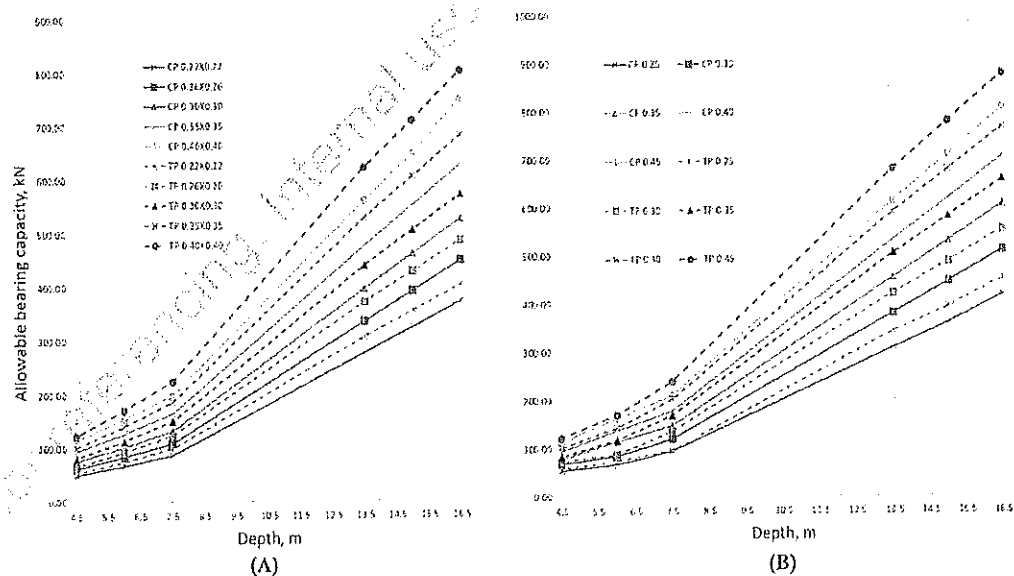


Figure 3. The relationship between the allowable bearing capacity and the several depth and cross-sectional area of wooden and concrete piles.

##### 4.2 Comparison of static pile load test and load-settlement curve obtained by PLAXIS 2D

The results of the PLAXIS 2D model of the pile are compared with the results of the static pile load test. Fig 4 shows the deformed mesh of the pile model at the end of the numerical simulation. Increasing the maximum load increments of 988 kN at the pile head (Fig. 4(A)) led to an increase of 12.54 mm settlement (Fig. 4(B)) and led to the maximum stress on the bottom of a pile (Fig.

4(C)) of  $600.8 \text{ kN/m}^2$  cartesian total stress ( $\sigma_{yy}$ ) for a concrete pile. As shown in Fig. 5, the result of the static pile load test (PLT Cycle 1,2 Loading and Unloading line) along with the static load settlement curve estimated from the PLAXIS 2D model (FEM Loading and Unloading line).

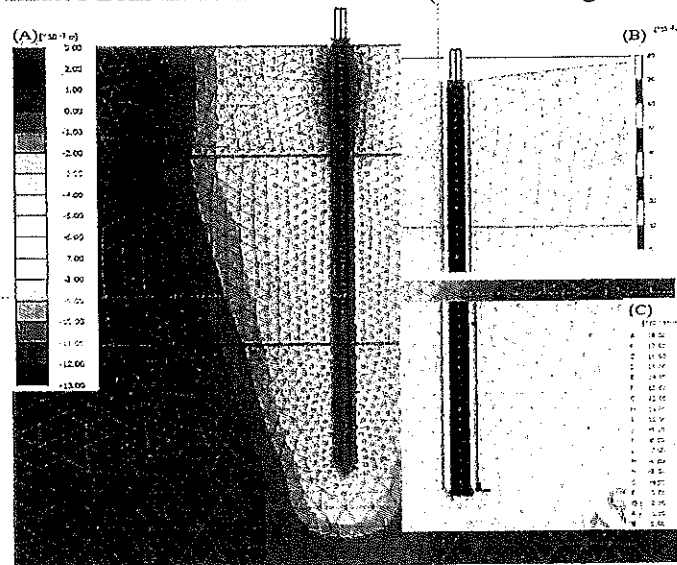


Figure 4. Deformed mesh.

This static pile load test result (988 kN of the maximum load increments led to 12.50 of the total settlement for concrete pile) agrees well with the PLAXIS 2D model (988 kN of the maximum load increments led to 12.54 of the total settlement for concrete pile). Furthermore, the failure of the pile doesn't occur because the total settlement is less than 30 mm (10% of the pile diameter).

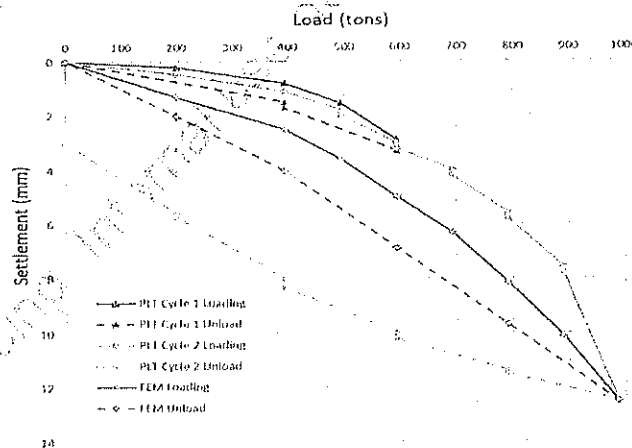


Fig. 5. Load-Settlement curve from pile load test and finite element method (PLAXIS 2D).

## 5. Conclusions

An analysis of a case study site at Ranong in southern Thailand, introduced a set of design charts for wooden (TP) and concrete (CP) piles using Terzaghi's equation. The results reveal that increasing the depth and the sectional area of piles increased the allowable bearing capacity. Moreover, the depth of the soil layer for wooden and concrete piles was significant in the cumulative skin friction ( $Q_{skin}$ ) and played an important role in the bearing capacity of piles. The computed total settlement from the static pile load test with the finite element method (PLAXIS 2D) was presented. The result of this finite element method agreed well with the static load test results. The above findings suggested that the axial load on the pile head reduces the pile's bearing capacity and increases settlement in the soil mass.

## Acknowledgments

This research was supported by the Research Unit of Technology and Innovation on Civil Engineering (RICE), Rajamangala University of Technology Srivijaya, and Southern Natural Disaster Research Center (NadRec), Prince of Songkhla University for having provided very helpful information and improving the use of English in the manuscript.

## References

- Cascione, V., Maskeil, D., Shea, A. et al. (2019), A review of moisture buffering capacity: From laboratory testing to full-scale measurement, *Construction and Building Materials*, 200, pp. 333-343
- Sasika, B., Thomas, J., Ramaswamy, K. et al. (2005), Performance of hybrid rebars as longitudinal reinforcement in normal strength concrete, *Materials and Structures*, 38(284), pp. 857-864
- Van, V.K., Kiekens, P., and Van, L.L., Basalt fibres as reinforcement for composites, In: *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Composites/Nano Engineering*, New Orleans, LA, USA, 2003, pp. 20-26
- Boonyatee, T., Tongjarukae, J., Uaworakunchai, T., and Ukritchon, B. (2015), A review on design of pile foundations in bangkok, *Geotechnical Engineering, SEAGS & AGSSEA*, 46 (1), pp. 76-85
- Choudhury, D. et al. (2014), Pile foundations during earthquakes in liquefiable soils – Theory to Practice, *15SEE*, pp.327-342
- El-Mossallamy, Y.M., Hefny, A.M., Demerdash, M.A., and Morsy, M.S. (2013), Numerical analysis of negative skin friction on piles in soft clay, *HBRC J.*, 9, pp. 68-76
- Hosseinpour, I., Almeida, M.S., Riccio, M., Baroni, M. (2017), Strength and compressibility characteristics of a soft clay subjected to ground treatment. *Geotech. Geol. Eng.* 35, pp. 1051-1066
- Indhanu, T., Srisakul, W., Chompoorat, T., and Chub-uppakarn, T. (2023), Evaluation and mitigation of ground loss and shear failure in silty sand due to static liquefaction potential with geotextile filtration. *Int. J. of Geosynth and Ground Eng.* 9, 80, pp. 1-20
- Michal, H., and Jakub, S. (2014), Comparison of numerical analyses with a static load test of a continuous flight auger pile, *SJOCE*, 22, 4, pp. 1 – 10
- Naveen, B.P., Parthasarathy, C.R., and Sitharam, T.G. (2014), Numerical modeling of pile load test, 4th China International Piling and Deep Foundations Summit, Shanghai, China, pp. 156 – 161
- Randolph, M.F. (1994), Design methods for pile groups and piled rafts, *Thirteenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, New Delhi, India, Vol. 5, pp. 61-82
- Ren, H., Lu, X. and Li, P. (2008), Computer simulation on dynamic soil-pile-superstructure interaction system considering liquefiable foundation. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Weitao, Y., Pengpeng, N., Zheng, C., Jianxue, F. and Guoxiong, M. (2023), Consolidation analysis of composite ground improved by granular piles with a high replacement ratio considering overlapping smear zones. *Computers and Geotechnics* 162 (2023) 105636, pp. 1-13
- Wonglert, A., Jongpradist, P., Jamsawang, P., and Larsson, S. (2018), Bearing capacity and failure behaviors of floating stiffened deep cement mixing columns under axial load. *Soils Found.* 58 (2), pp. 446-461
- Yang, T., Ruan, Y., Ni, J., and Li, C. (2021), Consolidation analysis of an impervious multi-pile composite ground under rigid foundation. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 25, pp. 1287-1301