

## บทที่ 6

### หน่วยแรงเค้นประสิทธิผลของดิน

(Effective stress in soil)

#### 6.1 เนื้อหาโดยย่อ (main contents)

##### 6.1.1 ส่วนนำ (Introduction)

จากความสัมพันธ์ของน้ำหนักและปริมาตรของดิน (weight-volume relationship) ที่ทำให้ทราบว่าดินนั้นประกอบด้วยหลาย ๆ ส่วน (multiphase system) ด้วยกัน เมื่อพิจารณาในหนึ่งหน่วยปริมาตรของดิน อนุภาคของเนื้อดิน (solid particles) จะกระจายตัว (distribute) อย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่าง (void spaces) ระหว่างอนุภาคของเนื้อดิน (solid particles) เหล่านั้น ช่องว่าง (void spaces) นี้ต่อเนื่องกันและเต็มไปด้วยน้ำ (water) และ/หรือ อากาศ (air)

ในการวิเคราะห์ปัญหาทาง Soil Mechanics หรือ Foundation เช่น การวิเคราะห์ประมาณหาค่าการทรุดตัวเราจะต้องคำนวณหาแรงเค้นที่เพิ่มขึ้นจากแรงกระทำจากภายนอก (applied external load) หรือน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้าง กระทำเพิ่มขึ้นต่อชั้นดิน เช่น แรงที่ถ่ายเทมาจากฐานรากอาคาร ดินคันทาง (embankment) และต้องคำนวณหาค่าแรงเค้นประสิทธิผล (effective stress) โดยในการคำนวณหา effective stress นั้น เราจำเป็นต้องทราบถึงพฤติกรรมการกระจายตัว (nature of the distribution) ของแรงเค้นรวม (total stress)

แรงเค้นรวม (total stress) ประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ

- แรงเค้นส่วนที่เกิดจากน้ำ (water) ในช่องว่าง (void spaces) ที่ต่อเนื่องระหว่างอนุภาคของเนื้อดิน (solid particles) ซึ่งแรงเค้นส่วนนี้กระทำเท่าๆ กันทุกทิศทาง เรียกแรงเค้นส่วนนี้ว่า pore water pressure

- แรงดันส่วนที่เกิดจากอนุภาคของเนื้อดิน (solid particles) ที่จุดสัมผัส (points of contact) ของอนุภาคเนื้อดินเหล่านั้น คือผลรวมของแรงตามแนวตั้ง (vertical components of the forces) ที่จุดสัมผัสดังกล่าวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของมวลดิน (soil mass) เรียกแรงดันส่วนนี้ว่าแรงดันประสิทธิผล (effective stress)

$$\sigma_{(x,y,z,t)} = \sigma'_{(x,y,z,t)} + u_{(x,y,z,t)}$$

- โดยที่  $\sigma$  คือ แรงดันรวม (total stress)  
 $\sigma'$  คือ แรงดันประสิทธิผล (effective stress)  
 $u$  คือ pore water pressure

การนำสมการไปใช้งาน (practical application)

- กรณีแรงดันรวม (total stress) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (steady state) เช่นในการวิเคราะห์ดินชั้นตามธรรมชาติ (in-situ soil)

$$\sigma_{(x,y,z)} = \sigma'_{(x,y,z)} + u_{(x,y,z)}$$

- กรณีแรงดันรวม (total stress) , แรงดันประสิทธิผล (effective stress) หรือ pore water pressure มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$\sigma_{(x,y,z,t)} = \sigma'_{(x,y,z,t)} + u_{(x,y,z,t)}$$

### 6.1.2 ขั้นตอนการหาค่าแรงเค้นประสิทธิผล (effective stress)

1. พิจารณาเลือกชั้นความลึกของดินที่ต้องนำมาวิเคราะห์ โดยการเลือกชั้นความลึกของดินนั้นต้องครอบคลุมจุดต่างๆ ดังนี้

- ผิวดิน
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน
- ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) กรณีที่มีข้อมูลระดับน้ำใต้ดินหลายค่า จะต้องเลือกระดับน้ำใต้ดินสูงสุดมาวิเคราะห์ (worst case) เพราะยิ่งระดับน้ำใต้ดินยิ่งสูง ค่าแรงเฉือน (shear strength) และค่าแรงเค้นประสิทธิผล (effective stress) จะยิ่งมีค่าต่ำ
- ระดับอื่นที่น่าสนใจ เช่น ที่ชั้นความลึกกึ่งกลางชั้นดินเหนียว (mid layer of clay), บริเวณใต้ฐานราก หรือที่ก้นหลุมที่เกิดจากการขุด (bottom of excavation)

2. คำนวณหาค่าแรงเค้นรวม (total stress)

3. คำนวณหาค่า pore water pressure

4. จากสมการต่อไปนี้จะ คำนวณหาค่าแรงเค้นประสิทธิผล (effective stress)

$$\sigma_{(x,y,z,t)} = \sigma'_{(x,y,z,t)} + u_{(x,y,z,t)}$$

### 6.1.3 การนำไปใช้งานจริง (in field)

1. ค่าแรงดันประสิทธิผลต่ำสุด (minimum effective stress) จะเกิดเมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับดิน (ground surface)
2. เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (elevation of ground water table) สูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าแรงดันประสิทธิผล (effective stress) และค่าแรงเฉือน (shear stress) ในดินลดลง
3. ในการออกแบบก่อสร้างต้องใช้ระดับน้ำใต้ดิน (elevation of ground water table) สูงสุดของระดับน้ำใต้ดินตลอดอายุการใช้งาน
4. จากข้อ 3 ในการสำรวจเพื่อการก่อสร้างจึงต้องสำรวจให้ได้ค่าระดับน้ำใต้ดิน (elevation of ground water table) สูงสุดของระดับน้ำใต้ดินตลอดอายุการใช้งาน

## 6.2 โจทย์ทบทวนความรู้ ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของเนื้อหาที่เรียน

1. อธิบายความหมายของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ )

ตอบ total stress ( $\sigma$ ) คือ แรงดันที่เกิดจากจุดที่พิจารณารับน้ำหนักของดินและน้ำที่อยู่เหนือจุดที่พิจารณานั้น

pore water pressure ( $u$ ) คือ แรงดันที่เกิดขึ้นจากมวลของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทั้งบริเวณเหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) และใต้ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table)

effective stress ( $\sigma'$ ) คือ แรงดันที่เกิดจากเม็ดดินที่จุดที่พิจารณารับน้ำหนักของเม็ดดินที่อยู่เหนือจุดที่พิจารณานั้น

2. ตัวแปรที่มีผลต่อค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ในชั้นดินที่พิจารณา มีอะไรบ้าง

ตอบ ตัวแปรที่มีผลต่อค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ในชั้นดินที่พิจารณา มีดังต่อไปนี้

- ตำแหน่ง

ในชั้นดินที่พิจารณาชั้นเดียวกัน แต่ตำแหน่งที่พิจารณาไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกัน ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) จะมีค่าแตกต่างกัน

- เวลา

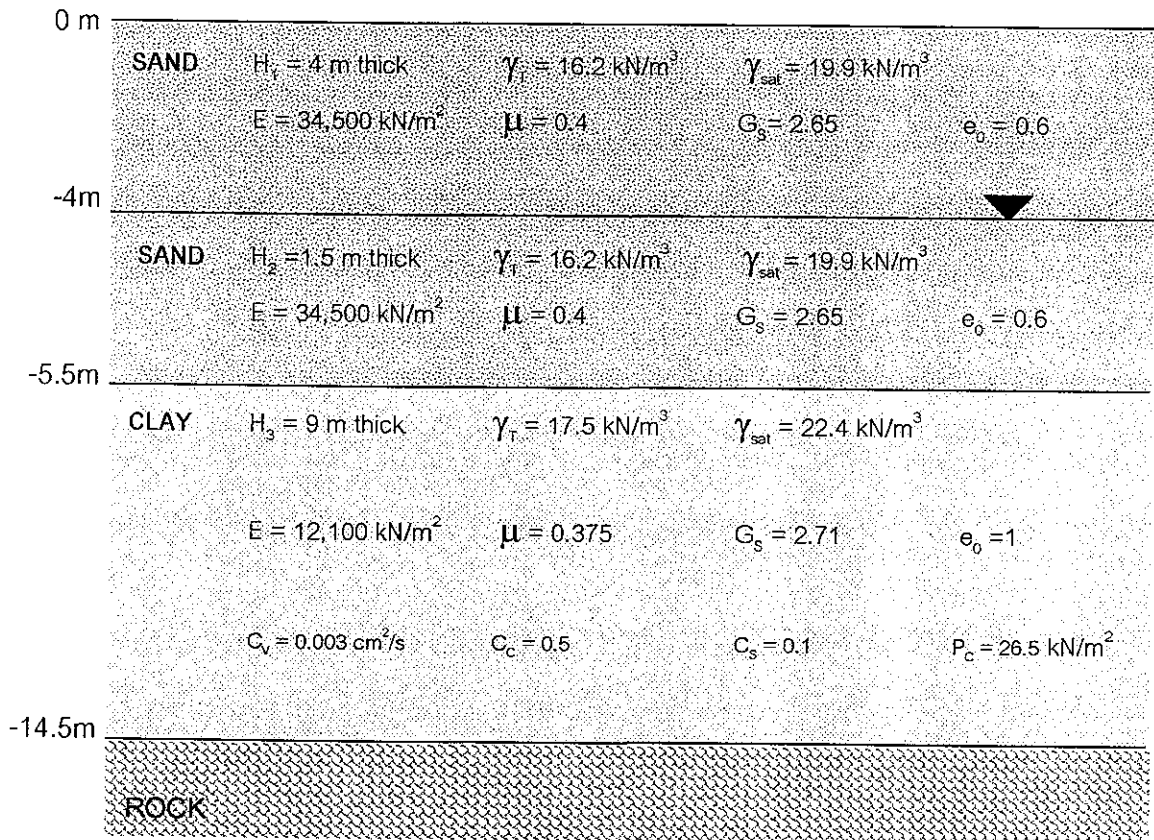
ในชั้นดินที่พิจารณาชั้นเดียวกัน แต่พิจารณาที่เวลาต่างกัน ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) จะมีค่าแตกต่างกัน

- สภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อมที่แตกต่าง ทำให้ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) มีค่าแตกต่างกัน เช่น ถ้าพิจารณาที่ระดับน้ำใต้ดินไม่เท่ากัน เป็นต้น

### 6.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้

1. บริษัททรายศการโยธาได้ทำการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณโครงการที่จะทำการก่อสร้างหอพัก 10 ชั้น พบว่า



รูปที่ 6.3.1 ชั้นดินบริเวณโครงการที่จะทำการก่อสร้างหอพัก 10 ชั้น

ในฐานะวิศวกรประจำบริษัททรายศการโยธา กรุณาเขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

### วิธีทำ

ในการที่จะเขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้นั้นมีจำนวน โดย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ระดับผิวดิน (ground surface)
- ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ที่ความลึก 4 m จากระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน ที่ระดับความลึก 5.5 m, และ 14.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดที่พิจารณาและเป็นจุดที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 4 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 4 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) \cdot (H_1) \\ &= (16.2 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) \\ &= 64.8 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$



- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 4 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (0 \text{ m}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 4 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= 64.8 \text{ kN/m}^2 - 0 \\ &= 64.8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 5.5 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 5.5 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) \\ &= (16.2 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) + (19.9 \text{ kN/m}^3) (1.5 \text{ m}) \\ &= 94.65 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 5.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (1.5 \text{ m}) \\ &= 14.72 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 5.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (94.65 - 14.72) \text{ kN/m}^2 \\ &= 79.93 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 14.5 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 14.5 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (16.2 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) + (19.9 \text{ kN/m}^3) (1.5 \text{ m}) + (22.4 \text{ kN/m}^3) (9 \text{ m}) \\ &= 296.25 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 14.5 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (10.5 \text{ m}) \\ &= 103.01 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 14.5 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

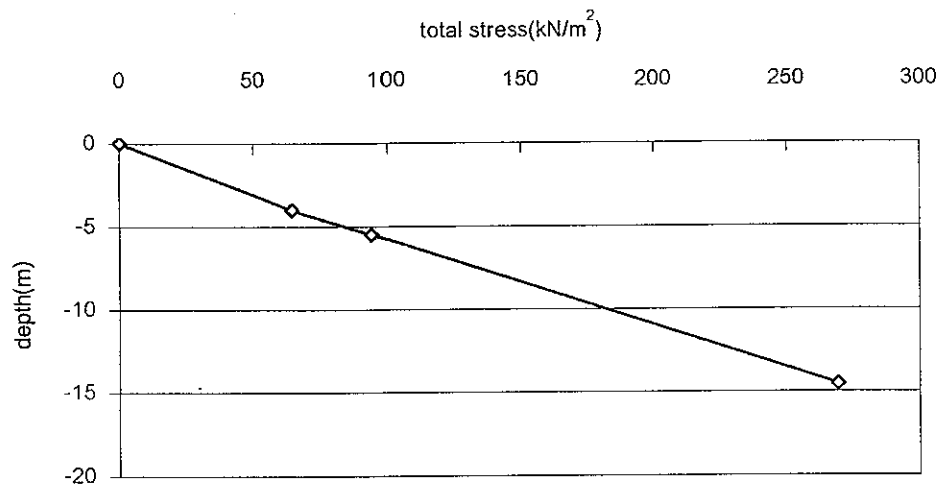
จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (296.25 - 103.01) \text{ kN/m}^2 \\ &= 193.24 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

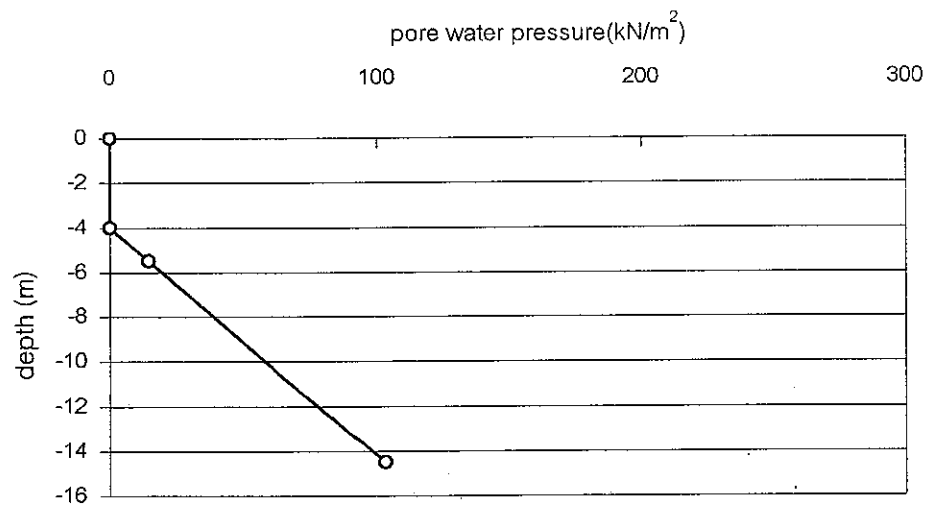
ตารางที่ 6.3.1 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
4	64.8	0	64.8
5.5	94.65	14.72	79.93
14.5	269.25	103.01	193.24

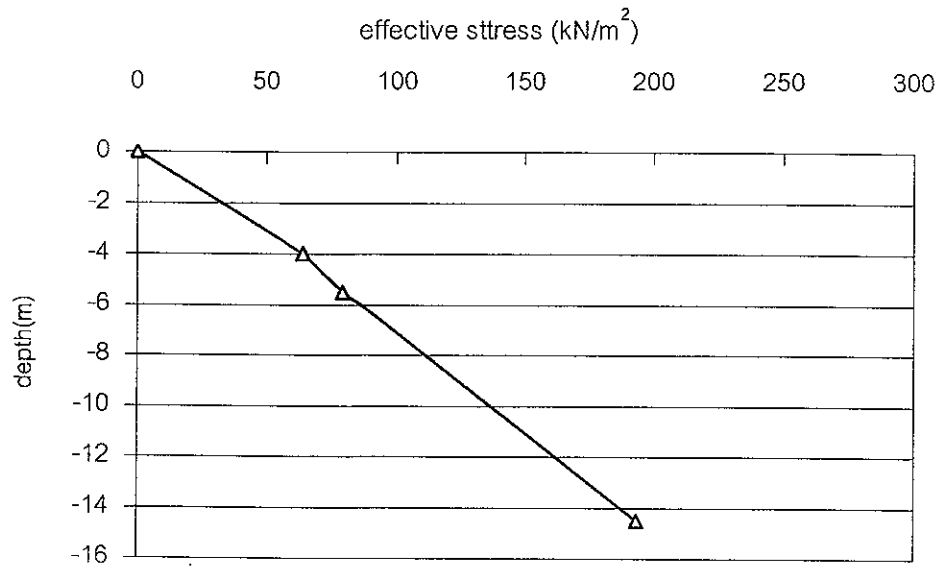
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.3.2 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

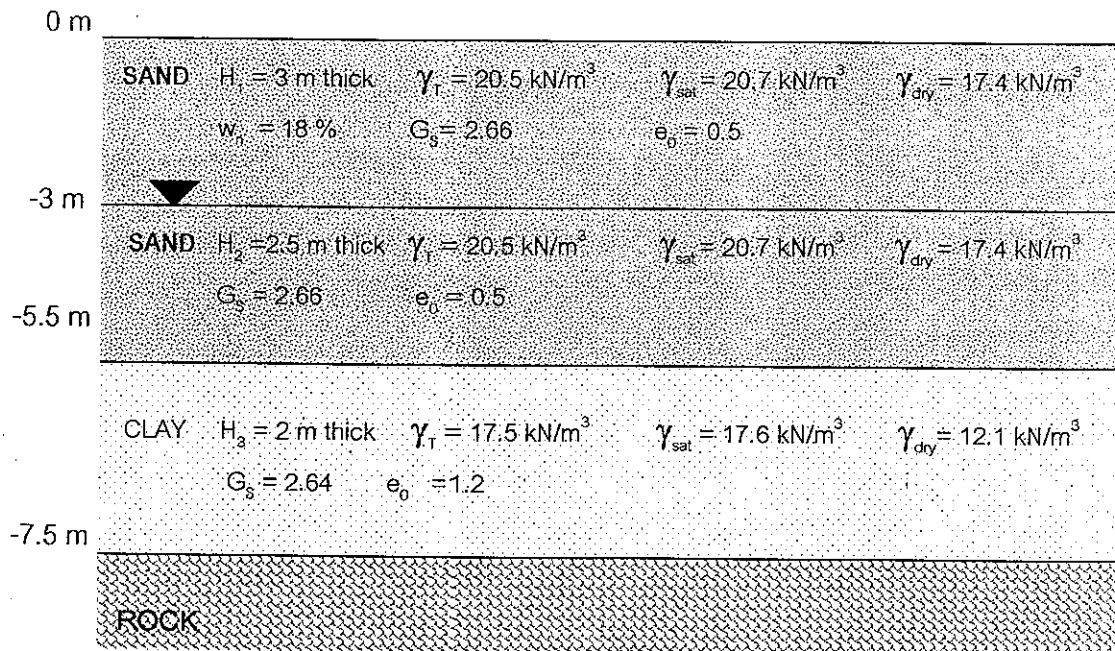


รูปที่ 6.3.3 pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.4 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

2. โครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรของห้างหุ้นส่วนจำกัด วัฒนาการพาณิชย์ ซึ่งพื้นที่ที่จะก่อสร้างบ้านจัดสรรอยู่ที่จังหวัดพิจิตร ก่อนทำการออกแบบฐานรากของบ้านในโครงการ ได้มีการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณดังกล่าวพบว่า



รูปที่ 6.3.5 ชั้นดินบริเวณโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร

ในฐานะ วิศวกรผู้ออกแบบฐานรากของบ้านในโครงการกรุณา เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

### วิธีทำ

ในการที่จะเขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้นั้นมีจำนวน โดย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ที่ระดับความลึก 3 m จากระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน ที่ระดับความลึก 5.5 m, และ 7.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 3 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 3 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) \\ &= (20.5 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) \\ &= 61.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 3 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (0 \text{ m}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 3 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= 61.5 \text{ kN/m}^2 - 0 \\ &= 61.5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) \\ &= (20.5 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) + (20.7 \text{ kN/m}^3) (2.5 \text{ m}) \\ &= 113.25 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (2.5\text{m}) \\ &= 24.25 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (113.25 - 24.5) \text{ kN/m}^2 \\ &= 88.75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 7.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 7.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (20.5 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) + (20.7 \text{ kN/m}^3) (2.5 \text{ m}) + (17.6 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) \\ &= 148.45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 7.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (4.5\text{m}) \\ &= 44.1 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 7.5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

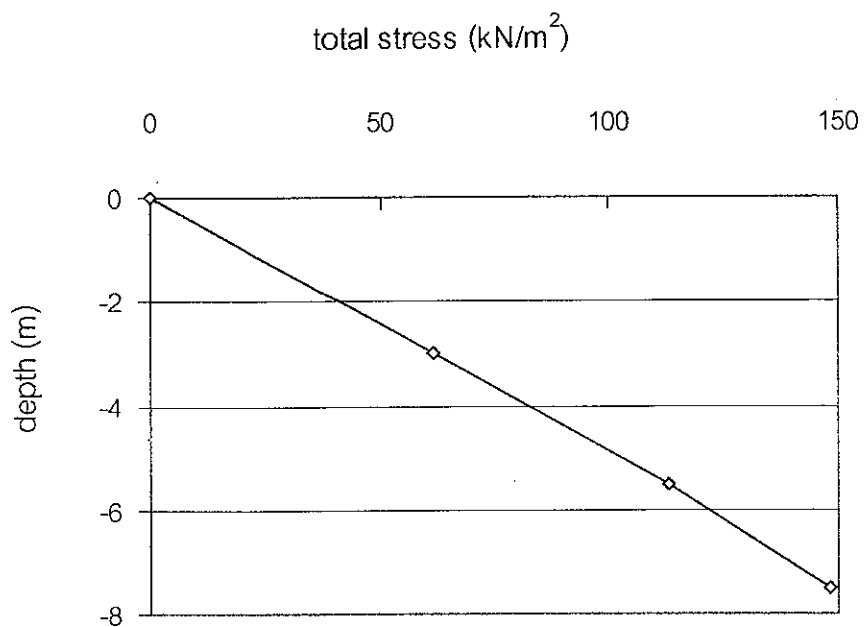
จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (148.45 - 44.1) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 104.35 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

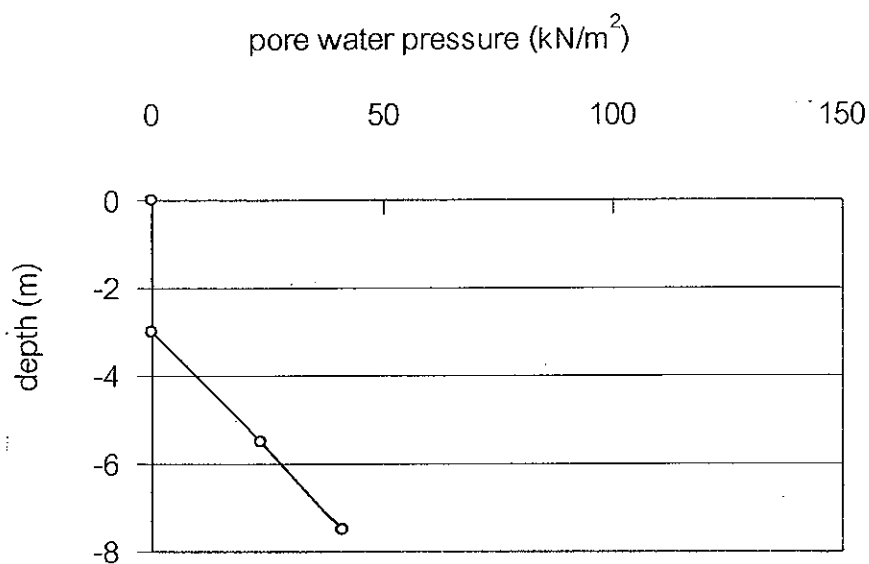
ตารางที่ 6.3.2 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
-3	61.5	0	61.5
-5.5	113.25	24.25	88.75
-7.5	148.45	41.1	104.35

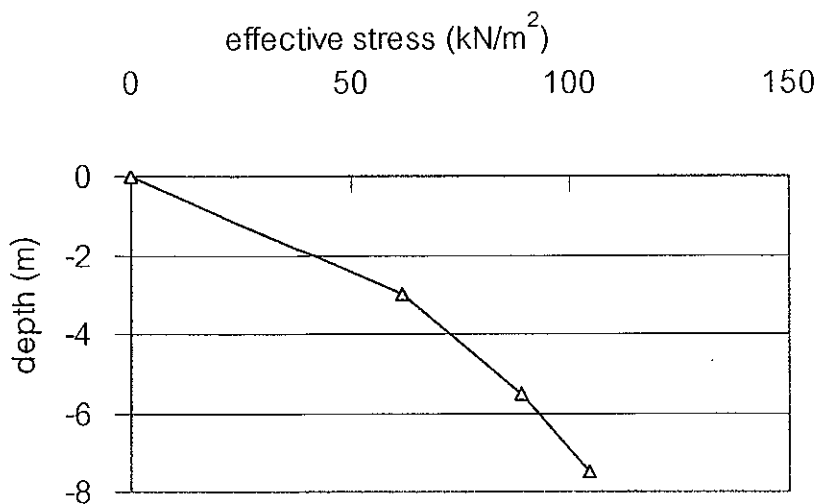
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 2



รูปที่ 6.3.6 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

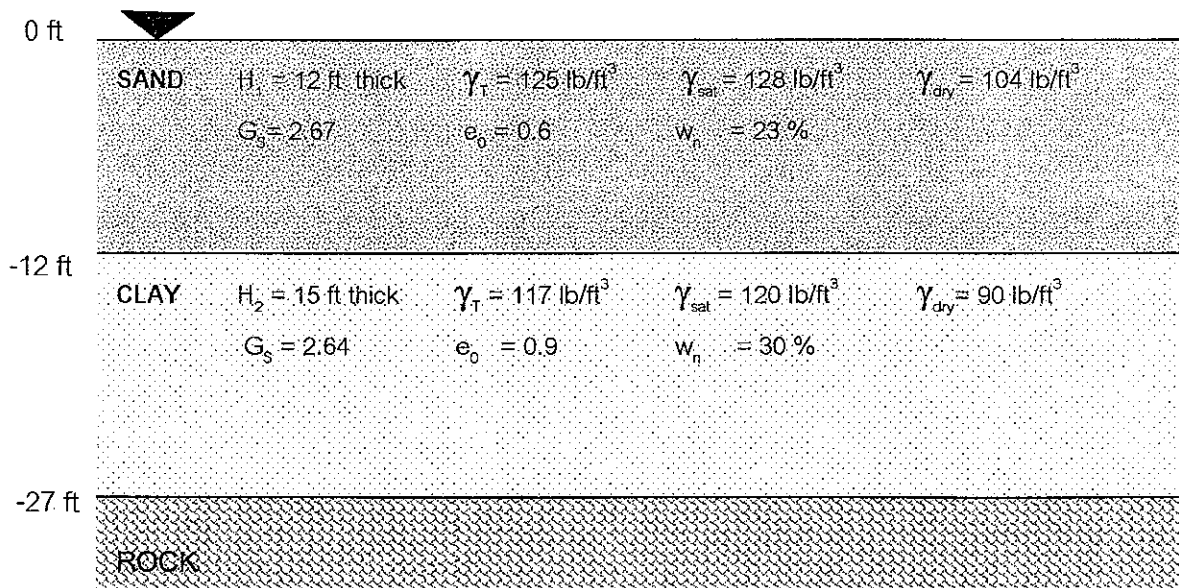


รูปที่ 6.3.7 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.8 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ

3. จากการสำรวจชั้นดินบริเวณที่จะทำการตัดถนนผ่านหมู่บ้านจุงนางซึ่งถนนยาว 6 กิโลเมตร พบว่า



รูปที่ 6.3.9 ชั้นดินบริเวณที่จะทำการตัดถนนผ่านหมู่บ้านจุงนาง

จากการสอบถามผู้สมประสงค์ซึ่งเป็นคนเก่าแก่ในหมู่บ้านจูงนาง ทราบว่า ในรอบ 1 ปี ระดับน้ำใต้ดินจะอยู่ที่ระดับ  $-6$  ft,  $0$  ft และ  $-12$  ft ซึ่งเป็นมานานประมาณ 20 ปีแล้ว เพื่อคำนวณหาค่าการยุบตัวของดินเมื่อทำการก่อสร้างถนนแล้ว ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างของถนน กรุณา

- 3.1 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ  $-6$  ft
- 3.2 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ  $0$  ft
- 3.3 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ  $+6$  ft
- 3.4 ถ้าต้องการนำค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างคันทาง ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างของถนน ท่านจะเลือกใช้ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับเท่าใด เพราะเหตุใด

### วิธีทำ

ในการที่จะเขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้นั้นมีคำนวณโดย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

3.1 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 6 ft

0 ft	SAND	$H_1 = 12$ ft thick	$\gamma_T = 125$ lb/ft <sup>3</sup>	$\gamma_{sat} = 128$ lb/ft <sup>3</sup>	$\gamma_{dry} = 104$ lb/ft <sup>3</sup>
- 6 ft		$G_s = 2.67$	$e_0 = 0.6$	$w_n = 20\%$	
- 12 ft	SAND	$H_2 = 12$ ft thick	$\gamma_T = 125$ lb/ft <sup>3</sup>	$\gamma_{sat} = 128$ lb/ft <sup>3</sup>	$\gamma_{dry} = 104$ lb/ft <sup>3</sup>
- 12 ft		$G_s = 2.67$	$e_0 = 0.6$	$w_n = 23\%$	
- 27 ft	CLAY	$H_3 = 15$ ft thick	$\gamma_T = 117$ lb/ft <sup>3</sup>	$\gamma_{sat} = 120$ lb/ft <sup>3</sup>	$\gamma_{dry} = 90$ lb/ft <sup>3</sup>
- 27 ft		$G_s = 2.64$	$e_0 = 0.9$	$w_n = 30\%$	
	ROCK				

รูปที่ 6.3.10 ชั้นดินบริเวณที่จะทำการตัดถนนผ่านหมู่บ้านจุงนางเมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 6 ft

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ที่ระดับความลึก 6 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน ที่ระดับความลึก 12 ft และ 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)  
จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 6 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 6 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) \\ &= (125 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) \\ &= 750 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 6 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (0 \text{ ft}) \\ &= 0\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 6 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= 750 \text{ lb/ft}^2 - 0 \\ \sigma' &= 750 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$



ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (Y_{T \text{ sand}}) (H_1) + (Y_{\text{sat sand}}) (H_2) \\ &= (125 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) + (128 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) \\ &= 1518 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (Y_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) \\ &= 374.4 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (1518 - 374.4) \text{ lb/ft}^2 \\ \sigma' &= 1143.6 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (125 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) + (128 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) + (120 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 3318 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (6+15) \text{ ft} \\ &= 1310.4 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

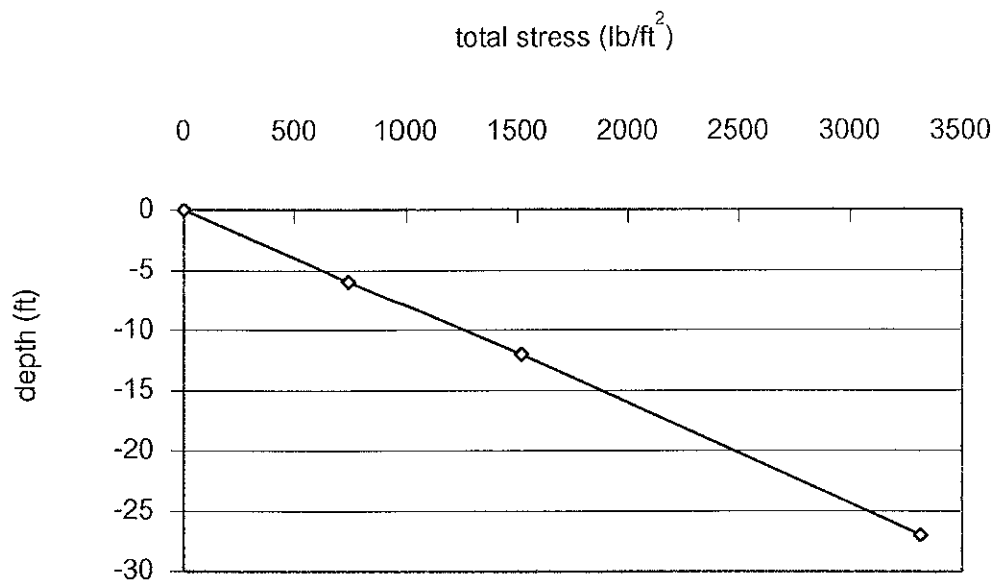
จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (3318 - 1310.4) \text{ lb/ft}^2 \\ &= 2007.6 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

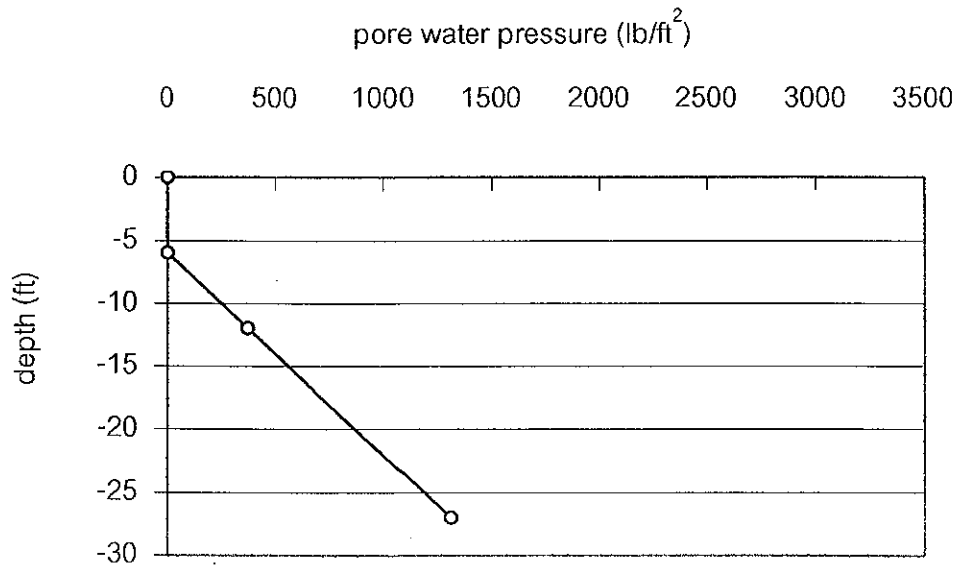
ตารางที่ 6.3.3 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (ft)	$\sigma$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$u$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (lb/ft <sup>2</sup> )
0	0	0	0
6	750	0	750
12	1518	374.4	1143.6
27	3318	1310.4	2007.6

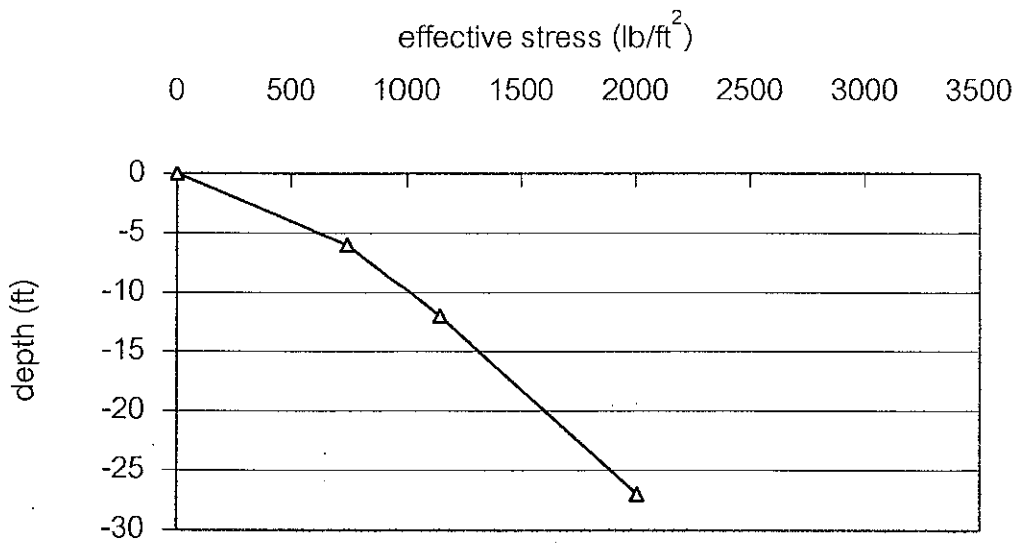
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.3.11 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

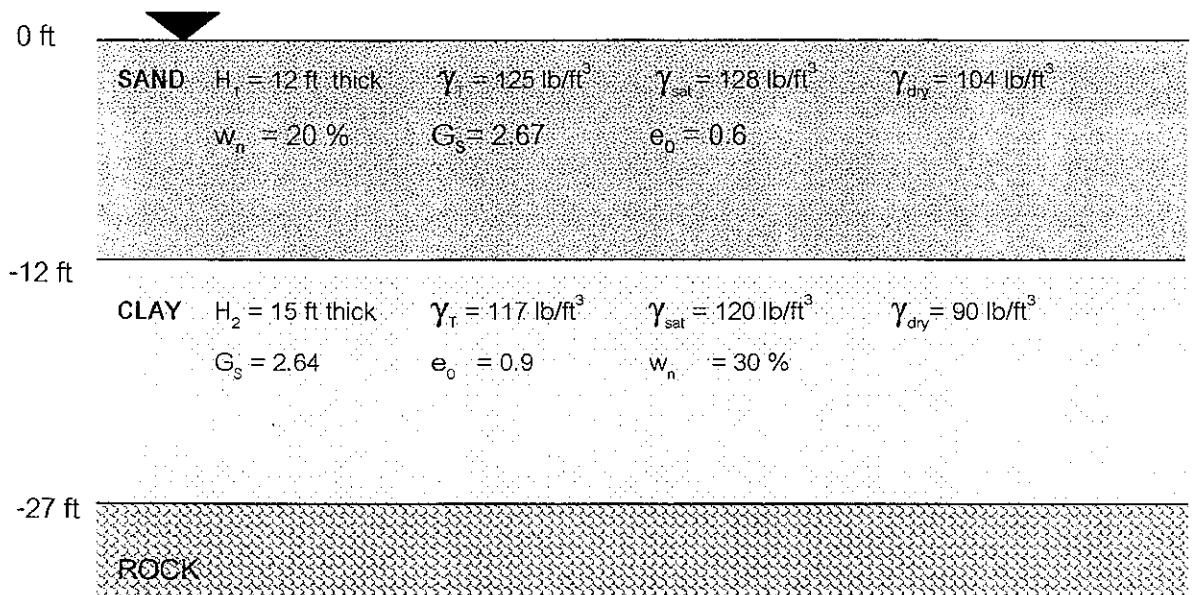


รูปที่ 6.3.12 ค่า pore water pressure (u) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.13 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

3.2 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ 0 ft



รูปที่ 6.3.14 ชั้นดินบริเวณที่จะทำการตัดถนนผ่านหมู่บ้านจูงนางเมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ 0 ft

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งอยู่ที่ระดับผิวดิน
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน ที่ระดับความลึก 12 ft และ 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0 ft

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ที่ระดับ ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_1) \\ &= (128 \text{ lb/ft}^3) (12 \text{ ft}) \\ &= 1536 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (12 \text{ ft}) \\ &= 748.8 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (1536 - 748.8) \text{ lb/ft}^2 \\ \sigma' &= 787.2 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2) \\ &= (128 \text{ lb/ft}^3) (12 \text{ ft}) + (120 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 3338 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (12+15) \text{ ft} \\ &= 1684.8 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

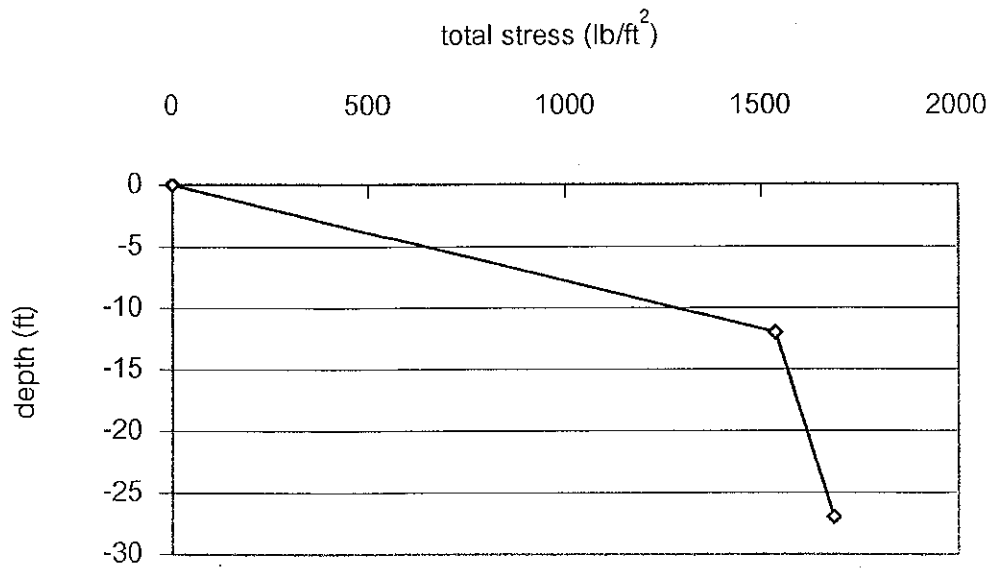
$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (3336 - 1684.8) \text{ lb/ft}^2 \\ \sigma' &= 1651.2 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

ตารางที่ 6.3.4 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

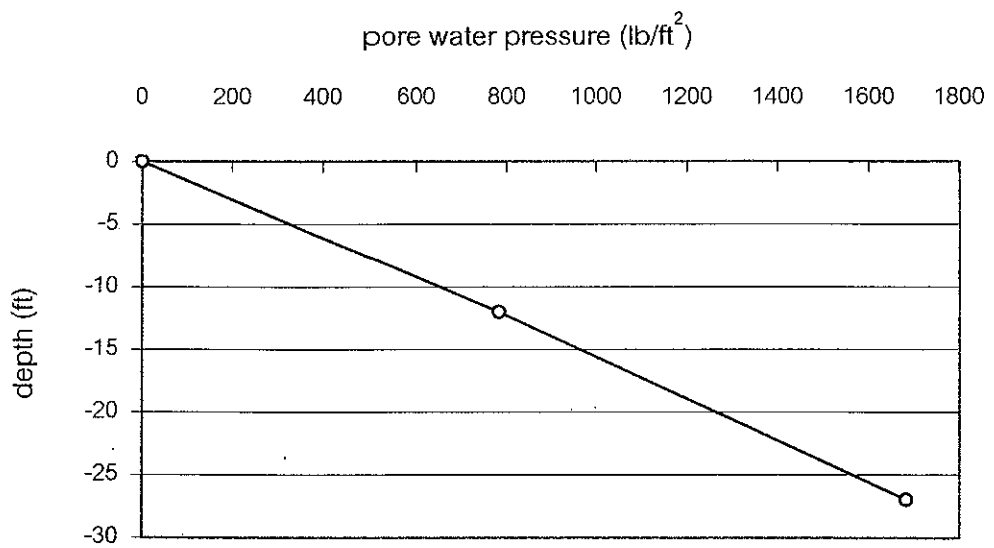
Depth (ft)	$\sigma$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$u$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (lb/ft <sup>2</sup> )
0	0	0	0
12	1538	784.8	787.2
27	3338	1684.8	1651.2

ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2

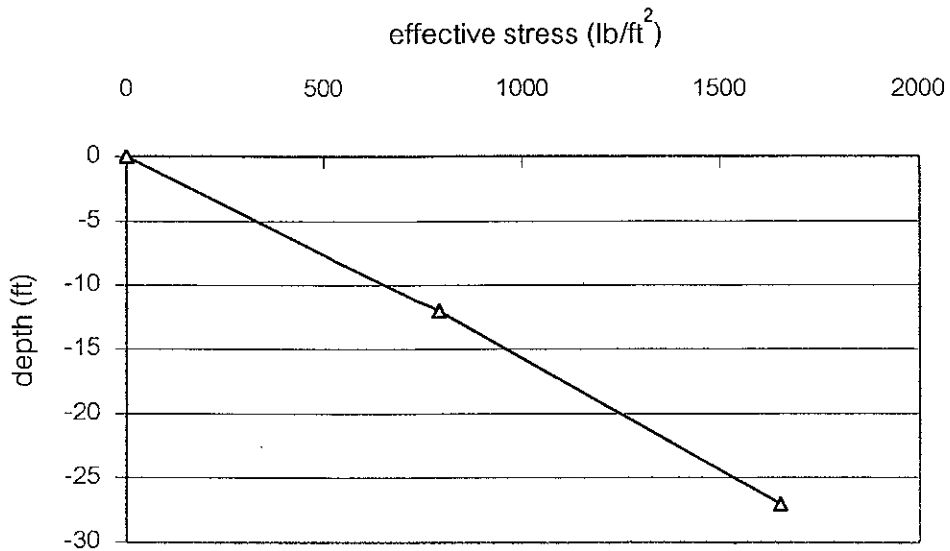




รูปที่ 6.3.15 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

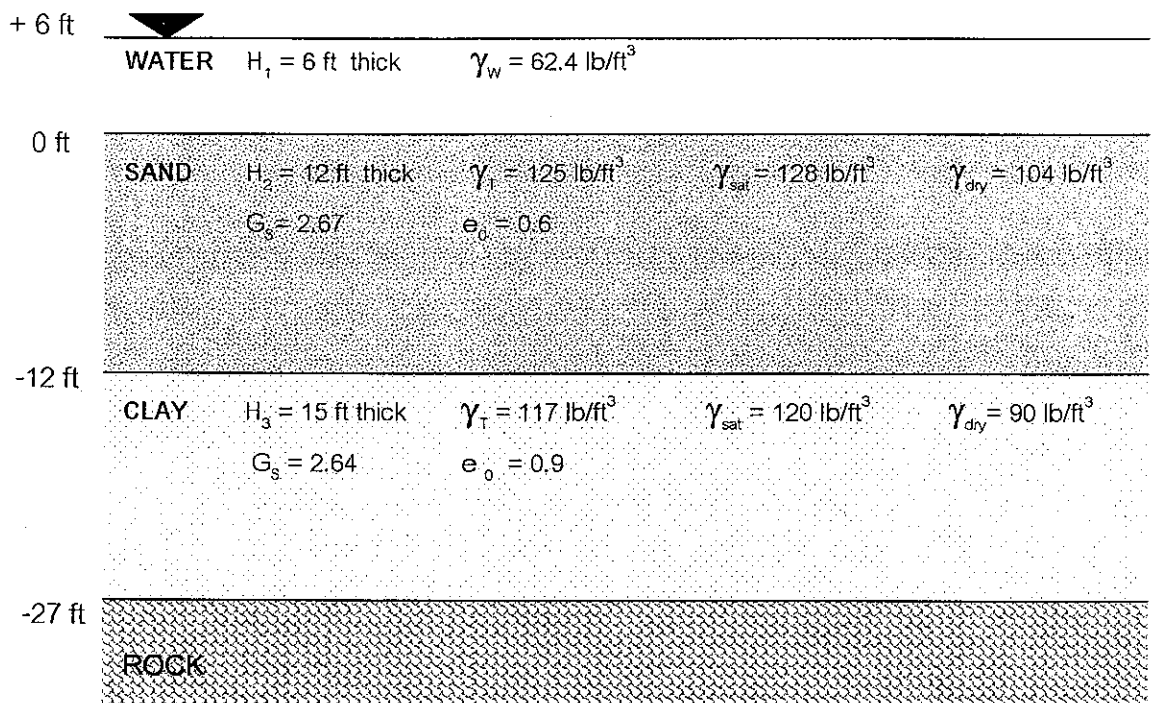


รูปที่ 6.3.16 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.17 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

3.3 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ + 6 ft



รูปที่ 6.3.18 ชั้นดินบริเวณที่จะทำการตัดถนนผ่านหมู่บ้านจุงนางเมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ + 6 ft

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับน้ำ (water surface)
- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน ที่ระดับความลึก 12 ft และ 27 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำ (water surface)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำ (water surface) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำ ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำ (water surface) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำ ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำ (water surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_w) (H_1) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) \\ &= 374.4 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) \\ &= 374.4 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (374.4 - 374.4) \text{ lb/ft}^2 \\ \sigma' &= 0\end{aligned}$$

**ขั้นที่ 3** คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_w)(H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}})(H_2) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3)(6 \text{ ft}) + (128 \text{ lb/ft}^3)(6 \text{ ft}) \\ &= 1910.4 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w)(H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3)(12 \text{ ft}) \\ &= 1123.2 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 12 ft

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (1910.4 - 1123.2) \text{ lb/ft}^2 \\ \sigma' &= 787.2 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

**ขั้นที่ 4** คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_w) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) + (128 \text{ lb/ft}^3) (6 \text{ ft}) + (120 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 3710.4 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (6 + 12 + 15) \text{ ft} \\ &= 2059.2 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 27 ft

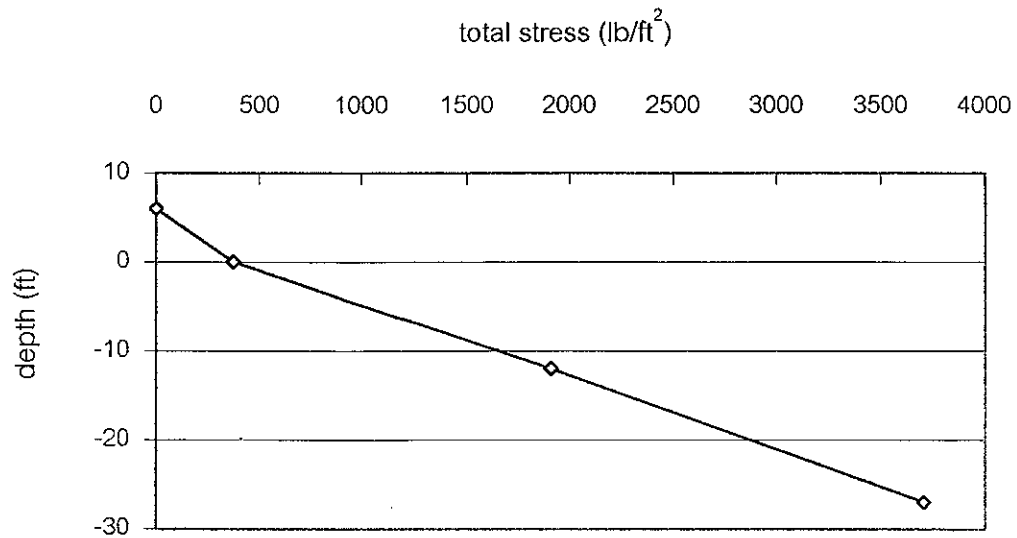
จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (3710.4 - 2059.2) \text{ lb/ft}^2 \\ \sigma' &= 1651.2 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

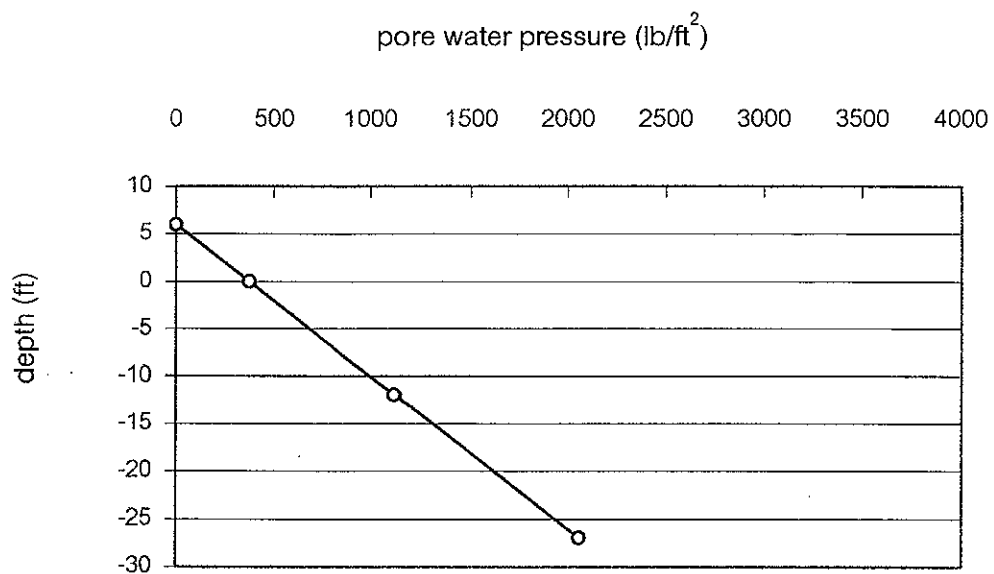
ตารางที่ 6.3.5 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (ft)	$\sigma$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$u$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (lb/ft <sup>2</sup> )
+6	0	0	0
0	374.4	374.4	0
- 12	1910.4	1123.2	787.2
- 27	3710.4	2059.2	1651.2

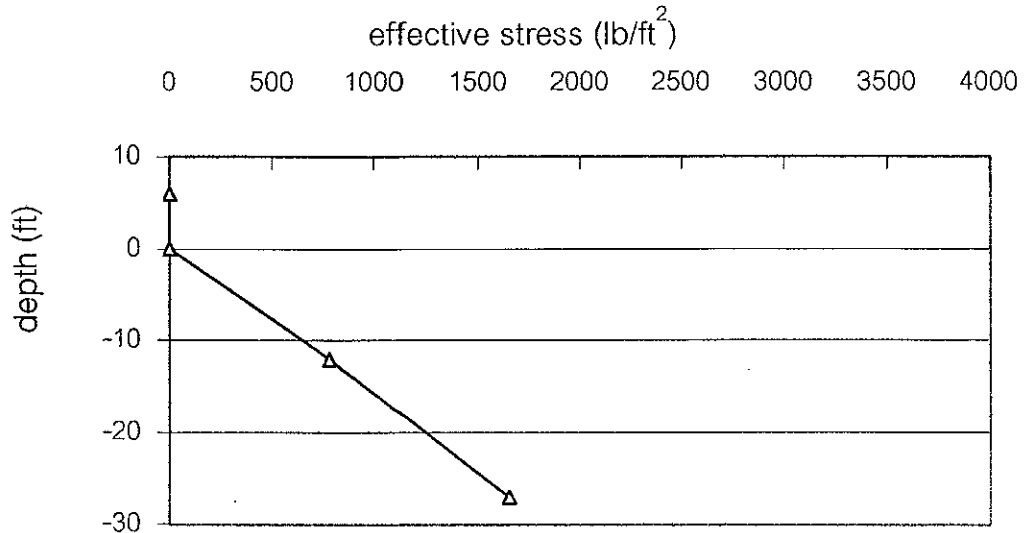
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.3.19 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.20 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.21 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

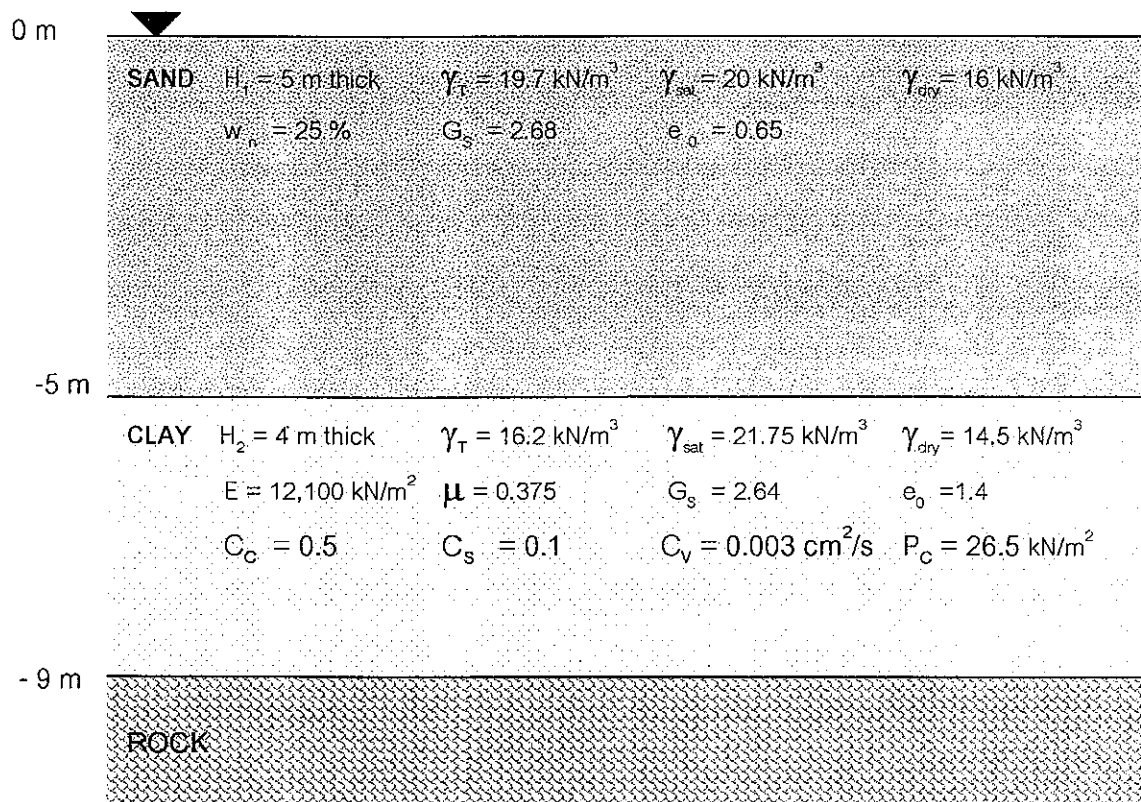
3.4 ถ้าต้องการนำค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างคันทาง ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างของถนน ท่านจะเลือกใช้ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับเท่าใด เพราะเหตุใด

**ตอบ** ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างของถนน จะเลือกใช้ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ 0 ft

เนื่องจากผลการคำนวณค่าของ effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับต่างๆ พบว่าค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ 0 ft มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเท่ากับค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ +6 ft แต่เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ +6 ft ต้องเสียเวลาในการคำนวณหาค่า effective stress ( $\sigma'$ ) มากกว่า



4. สำนักงานโยธาธิการจังหวัดพิษณุโลก ได้ทำการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคารองค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์หลังใหม่ พบว่า



รูปที่ 6.3.22 ชั้นดินบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคารองค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์หลังใหม่

ในรอบ 1 ปี ระดับน้ำใต้ดินจะเปลี่ยนเป็น 3 ระดับคือ ระดับผิวดิน, ระดับความลึก 2 m นับจากผิวดินและอยู่ที่จุดบนสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ในฐานะคณะสำรวจของสำนักงานโยธาธิการ  
กรุณา

4.1 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับผิวดิน

4.2 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 2 m

4.3 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure (u) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 5 m

4.4 ถ้าต้องการนำค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ไปใช้ในการออกแบบฐานรากอาคาร ใ้องการบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์หลังใหม่ ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบ ท่านจะเลือกใช้ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับเท่าใด เพราะเหตุใด

### วิธีทำ

ในการที่จะเขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure (u), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้นั้นมีคำนวณ โดย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure (u) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure (u), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure (u), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

4.1 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure (u) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับผิวดิน (0 m)

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure (u) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งอยู่ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดินที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m และ 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน(ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน(ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และระดับน้ำใต้ดิน (ground water table)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_1) \\ &= (20 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) \\ &= 100 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) \\ &= 49.05 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (100 - 49.05) \text{ kN/m}^2 \\ &= 50.95 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2) \\ &= (20 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) + (21.75 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) \\ &= 187 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (9 \text{ m}) \\ &= 88.29 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

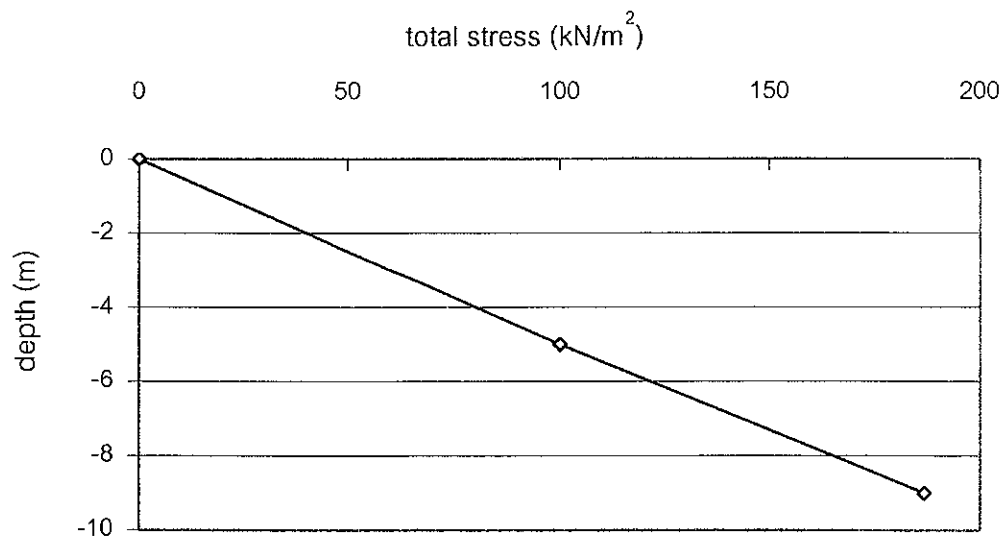
จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (187 - 88.29) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 98.71 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

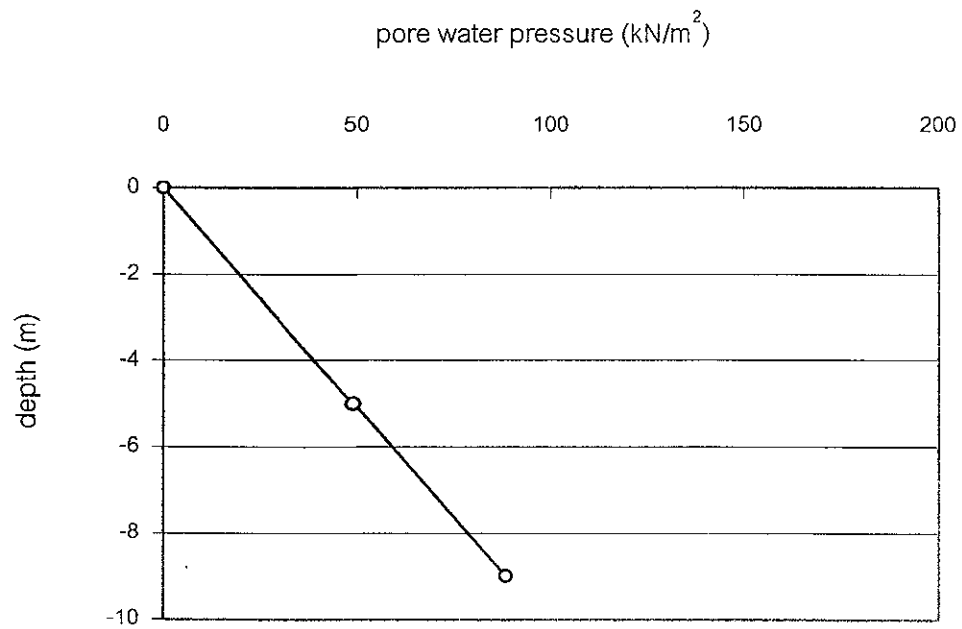
ตารางที่ 6.3.6 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
5	100	49.05	50.95
9	187	88.29	98.71

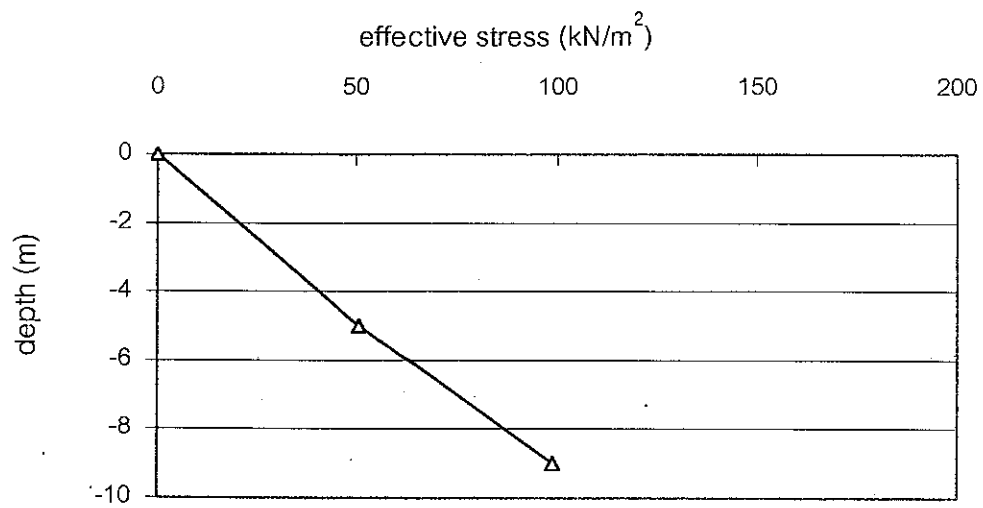
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.3.23 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

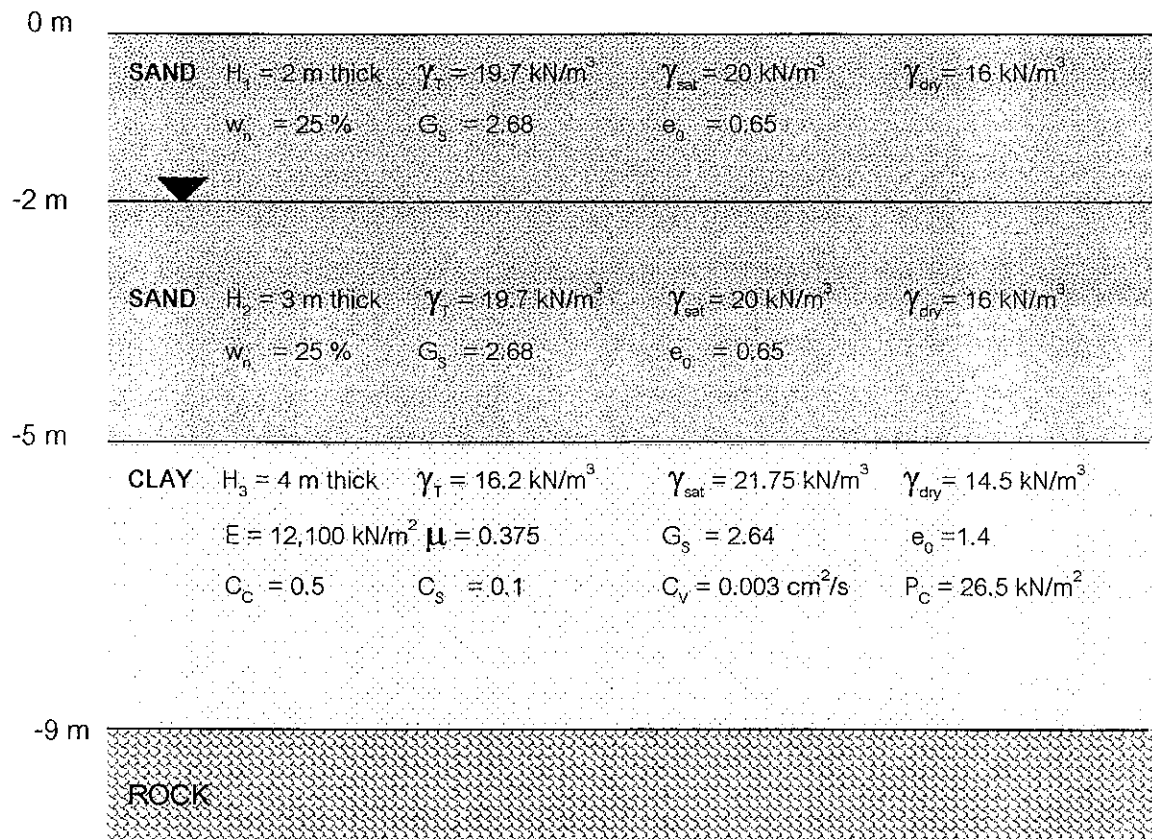


รูปที่ 6.3.24 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.25 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

4.2 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 2 m



รูปที่ 6.3.26 ชั้นดินบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคาร ใองการบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์หลังใหม่ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 2 m

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 2 m จากระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดินที่ระดับความลึก 5 m และ 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)



ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน(ground surface) เนื่องจาก ไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน(ground surface)  
จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 2 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 2 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) \\ &= (19.7 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) \\ &= 39.4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 2 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (0 \text{ m}) \\ &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 2 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (39.4 - 0) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 39.4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) \\ &= (19.7 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (20 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) \\ &= 99.4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) \\ &= 29.43 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m จากผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (99.4 - 29.43) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 69.97 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

**ขั้นที่ 4** คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (19.7 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (20 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) + (21.75 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) \\ &= 186.4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (3 + 2) \text{ m} \\ &= 68.87 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากผิวดิน (ground surface)

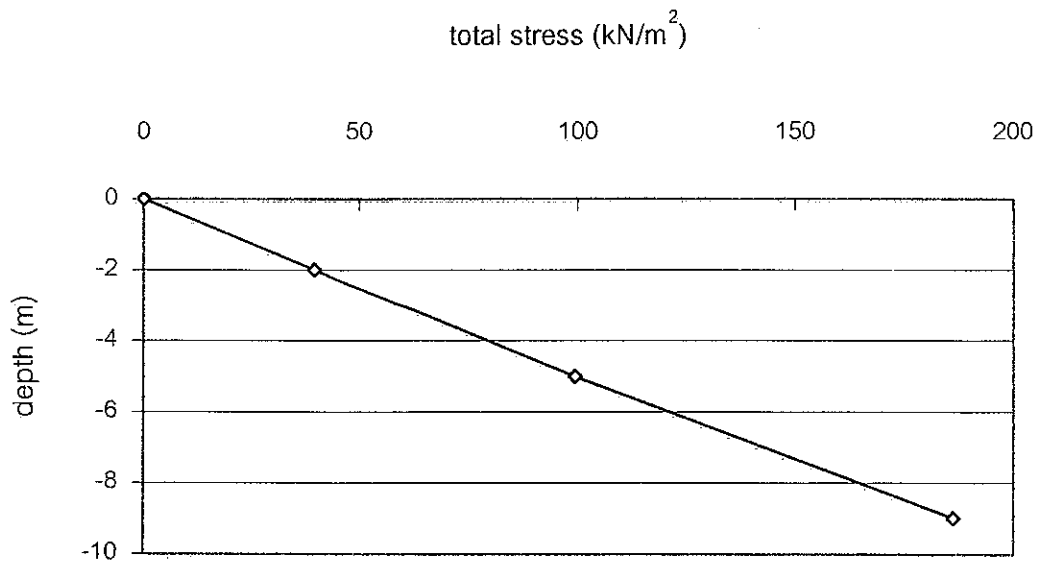
จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (186.4 - 68.67) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 117.73 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

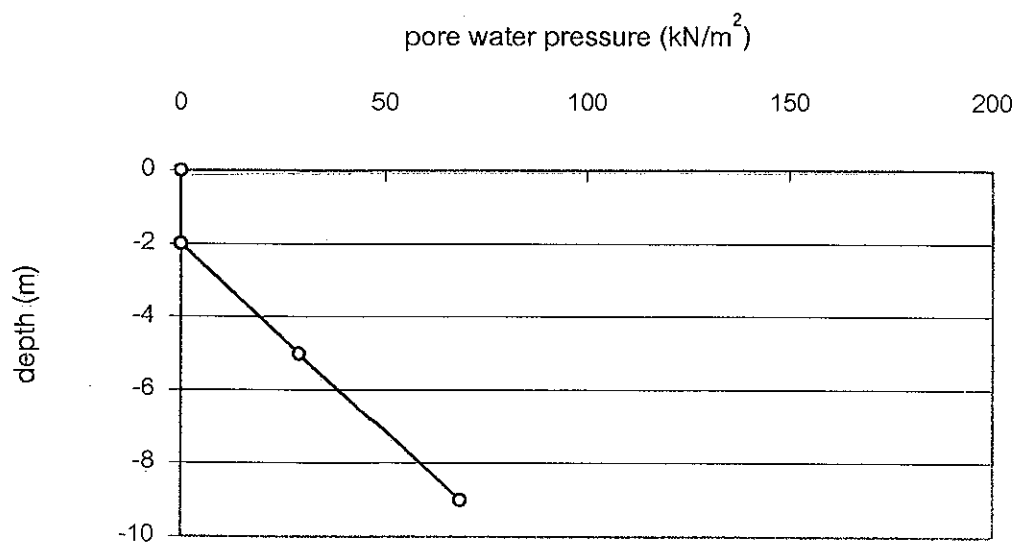
ตารางที่ 6.3.7 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
2	39.4	0	39.4
5	99.4	29.43	69.67
9	186.4	68.67	117.73

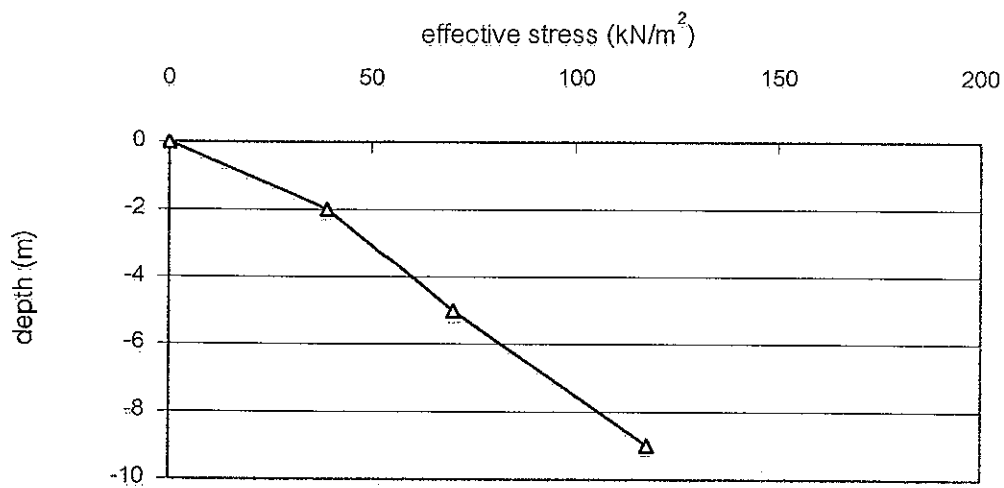
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.3.27 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

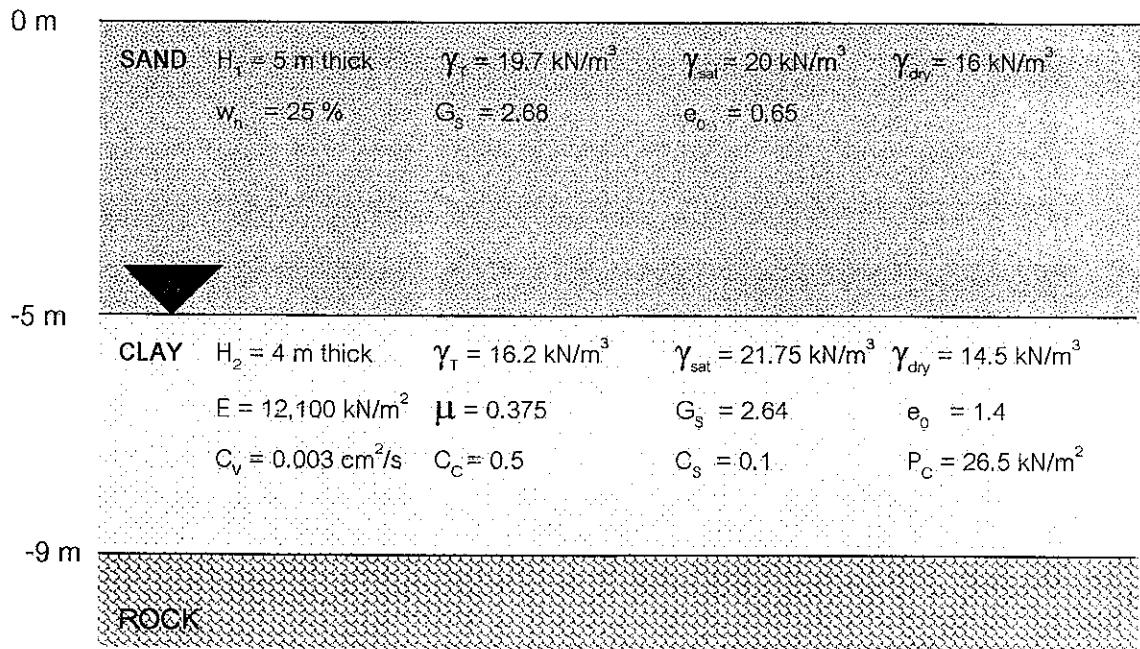


รูปที่ 6.3.28 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.29 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

4.3 เขียนกราฟแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึก (depth) ต่างๆ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 5 m



รูปที่ 6.3.30 ชั้นดินบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคารองค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์หลังใหม่ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับ - 2 m

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 5 m และ 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)  
จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$



ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) \\ &= (19.7 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) \\ &= 98.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (0 \text{ m}) \\ &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินและระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (98.5 - 0) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 98.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2) \\ &= (19.7 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) + (21.75 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) \\ &= 185.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) \\ &= 39.24 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 9 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

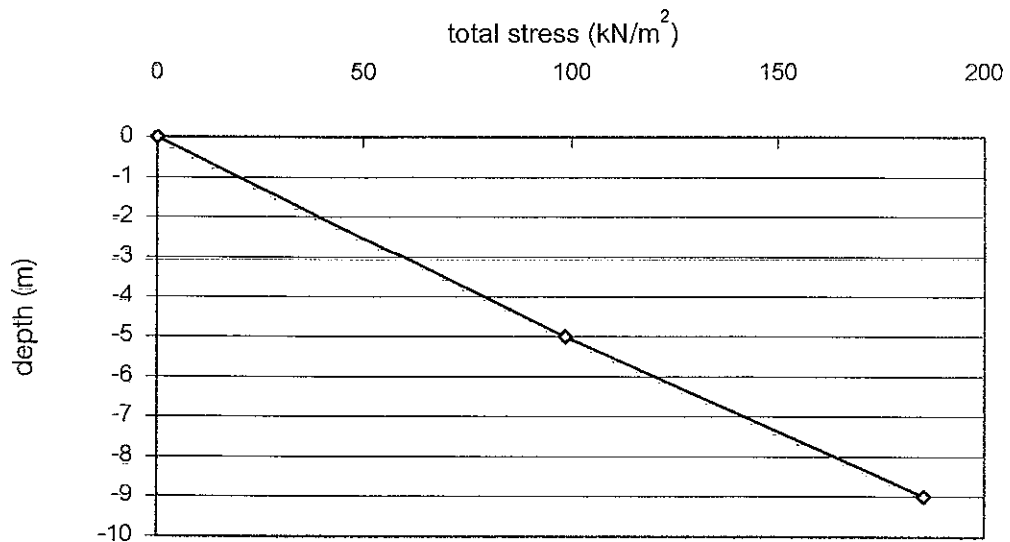
จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (185.5 - 39.24) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 146.26 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

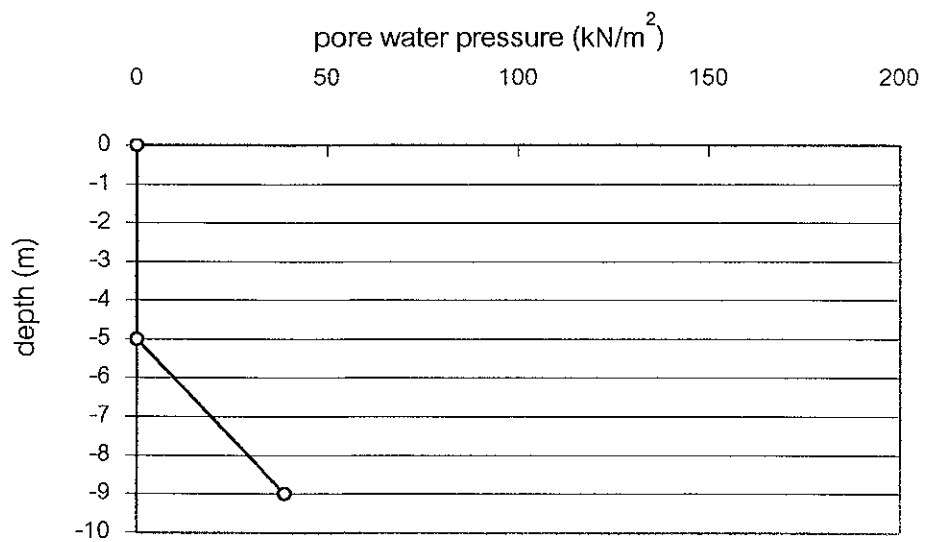
ตารางที่ 6.3.8 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
5	98.5	0	98.5
9	185.5	39.24	146.26

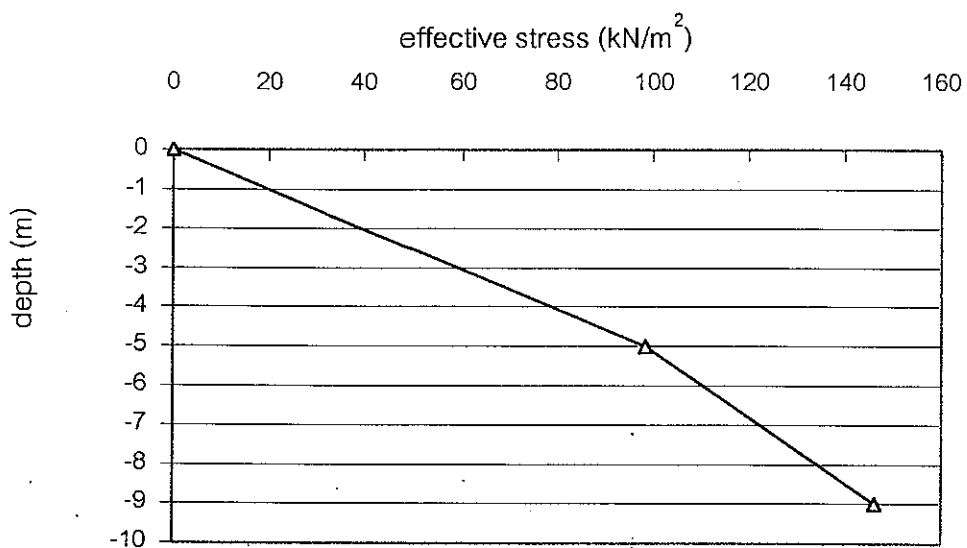
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.3.31 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.32 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.3.33 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

4.4 ถ้าต้องการนำค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ไปใช้ในการออกแบบฐานรากอาคารองค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์หลังใหม่ ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบ ท่านจะเลือกใช้ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับเท่าใด เพราะเหตุใด

**ตอบ** ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบ จะเลือกใช้ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ระดับผิวดินเพราะจากผลการคำนวณหาค่า effective stress ( $\sigma'$ ) เมื่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับผิวดินจะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อนำค่า effective stress ( $\sigma'$ ) น้อยที่สุดมาใช้ในการออกแบบฐานรากอาคาร องค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์หลังใหม่ ไม่ว่าจะระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ใดก็ตาม ดินก็ยังรองรับน้ำหนักของตัวอาคารจากฐานรากได้

5.บริษัทภูมิประเทศการโยธาได้ทำการเจาะสำรวจชั้นดินที่จะทำการก่อสร้างห้างสรรพสินค้า ซึ่งบริเวณที่จะก่อสร้างห้างสรรพสินค้าอยู่ที่ อ. เมือง จ. เพชรบูรณ์ ผลจากการเจาะสำรวจ พบว่า

0 m	SAND	$H_s = 4.5$ m thick	$\gamma_T = 18.9$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat} = 20.4$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{dry} = 15.5$ kN/m <sup>3</sup>
-4.5 m		$w_n = 22\%$	$G_s = 2.72$	$e_o = 0.6$	
	SAND	$H_s = 5$ m thick	$\gamma_T = 18.9$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat} = 20.4$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{dry} = 15.5$ kN/m <sup>3</sup>
		$w_n = 24\%$	$G_s = 2.68$	$e_o = 0.65$	
-9.5 m	CLAY	$H_s = 3.5$ m thick	$\gamma_T = 18.3$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat} = 19.7$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{dry} = 14.1$ kN/m <sup>3</sup>
-13 m		$w_n = 40\%$	$G_s = 2.66$	$e_o = 1$	
	ROCK				

รูปที่ 6.3.34 ชั้นดินที่จะทำการก่อสร้างห้างสรรพสินค้าบริเวณ อ. เมือง จ. เพชรบูรณ์

ในฐานะวิศวกรประจำบริษัทภูมิประเทศการโยธา กรุณาคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) เมื่อ

- ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ภาวะปกติ
- ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ลดลงจากภาวะปกติ 2.5 m

### วิธีทำ

ในการที่จะเขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้นั้นมีคำนวณ โดย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

5.1 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) อยู่ที่ภาวะปกติ

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (18.9 \text{ kN/m}^3) (4.5 \text{ m}) + (20.4 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) + (19.7 \text{ kN/m}^3) (3.5 \text{ m}) \\ &= 256 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

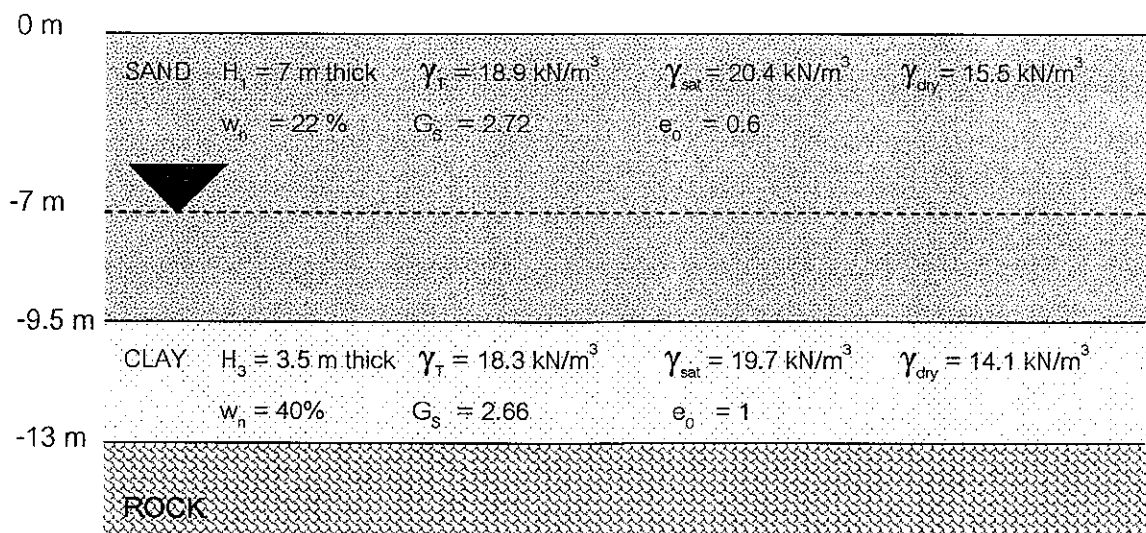
$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (3 + 3.50) \text{ m} \\ &= 83.4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (256 - 83.4) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 172.6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5.2 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดิน clay เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ลดลงจากภาวะปกติ 2.5 m



รูปที่ 6.3.35 ชั้นดินที่จะทำการก่อสร้างห้างสรรพสินค้าบริเวณ อ. เมือง จ. เพชรบูรณ์ เมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ลดลงจากภาวะปกติ 2.5 m

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (18.9 \text{ kN/m}^3) (7 \text{ m}) + (20.4 \text{ kN/m}^3) (2.5 \text{ m}) + (19.7 \text{ kN/m}^3) (3.5 \text{ m}) \\ &= 252.25 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (3 + 3.50) \text{ m} \\ &= 83.4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับล่างสุดของชั้นดินเหนียว (clay) ระดับความลึก 13 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

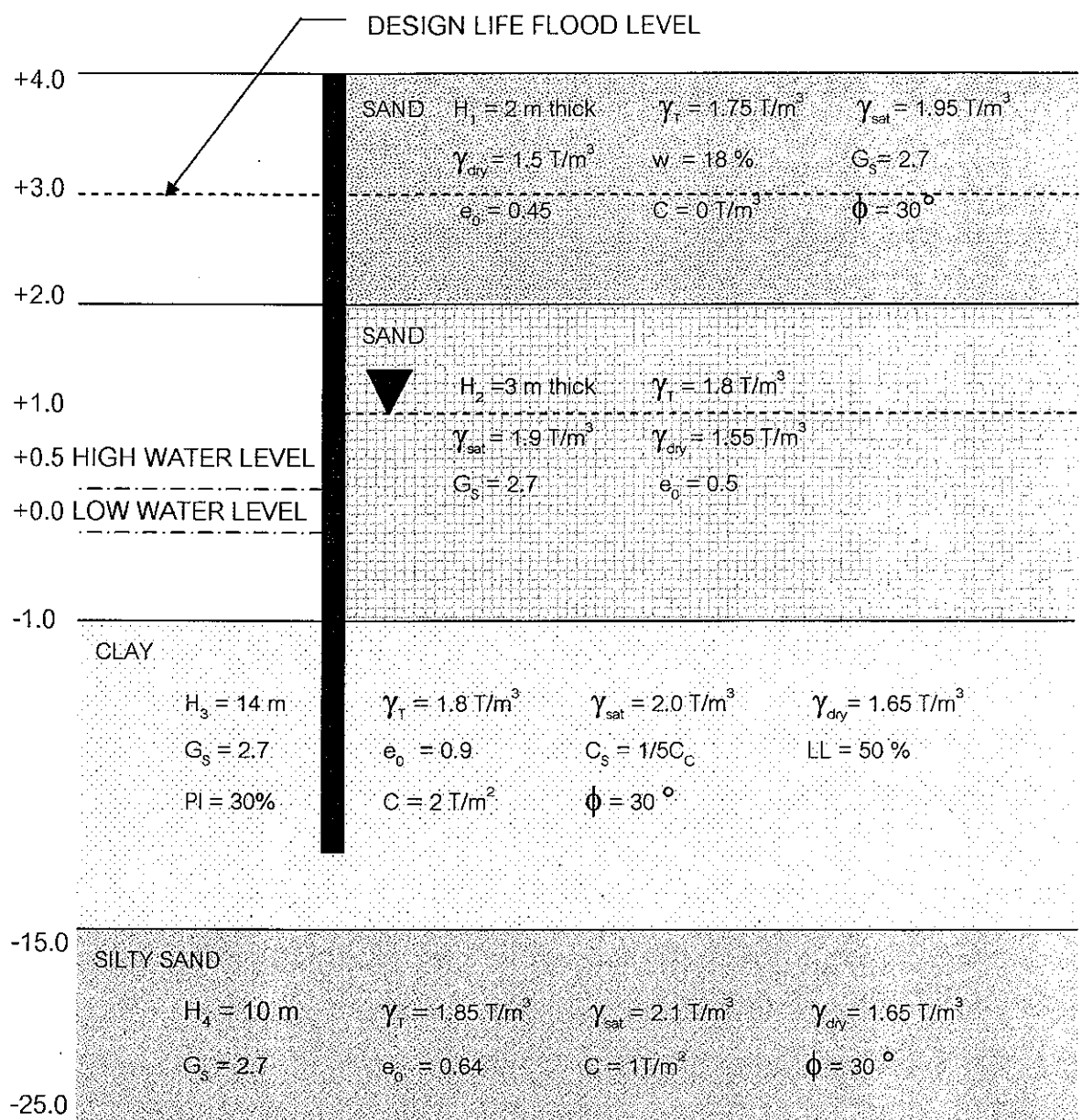
$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (252.25 - 83.4) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 168.85 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$



## 6.4 โจทย์ทดสอบความสามารถในการนำความรู้ไปใช้ในการทำงานจริง

1. บริษัทพระราม 2 การโยธา ได้รับงานโครงการขยายโรงงานผลิตท่อของบริษัท ไทยเรอิ่งอุตสาหกรรม จำกัด พื้นที่ของบริษัทตั้งอยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ และมีพื้นที่ด้านหนึ่งติดกับทะเล วิศวกรที่ปรึกษาของโครงการ ได้แนะนำให้ตอก sheet pile ตลอดเขตพื้นที่ของโครงการด้านที่ติดกับทะเล เพื่อป้องกันแนวตลิ่งพัง จากการสำรวจชั้นดินบริเวณพื้นที่โครงการพบว่า

EL (m)



รูปที่ 6.4.1 ชั้นดินบริเวณพื้นที่โครงการขยายโรงงานผลิตท่อ

ในฐานะวิศวกรของบริษัทพระราม 2 โยธา กรุณาพิจารณาเลือกระดับน้ำของทะเลที่จะใช้ ในการออกแบบ sheet pile โดยที่ระดับน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่โครงการจะเท่ากับระดับน้ำทะเล

### วิธีทำ

ในการออกแบบ sheet pile ให้ปลอดภัย ต้องเลือกออกแบบที่ระดับน้ำทะเลที่ให้ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ต่ำสุด

1) สำหรับ high water table

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับน้ำ (water level)
- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำ (water level)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำ (water level) เนื่องจากไม่มีชั้นดินและไม่มีระดับน้ำ (water level) อยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำ (water level) เนื่องจากไม่มีระดับน้ำ (water level) อยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำ (water level) จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1.5 m จากระดับน้ำ (water level)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1.5 m จากระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (1.5 \text{ m}) \\ &= 1.5 \text{ T/m}^3\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1.5 m จากระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (1.5 \text{ m}) \\ &= 1.5 \text{ T/m}^3\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1.5 m จาก ระดับน้ำ (water level)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (1.5 - 1.5) \quad \text{T/m}^3$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15.5 m จากระดับน้ำ (water level)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15.5 m จากระดับ น้ำ (water level)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_{\text{clay}}) + (\gamma_w) (H_w) \\ &= (2 \text{ T/m}^3) (14 \text{ m}) + (1 \text{ T/m}^3) (15.5 \text{ m}) \\ &= 43.5 \quad \text{T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15.5 m จาก ระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (15.5 \text{ m}) \\ &= 15.5 \quad \text{T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 5.5 m จาก ระดับน้ำ (water level)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (43.5 - 15.5) \text{ T/m}^2$$

$$\sigma' = 28 \text{ T/m}^2$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25.5 m จาก ระดับน้ำ (water level)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25.5 m จาก ระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_{\text{clay}}) + (\gamma_{\text{sat silty sand}}) (H_{\text{silty sand}}) + (\gamma_w) (H_w) \\ &= (2 \text{ T/m}^3) (14 \text{ m}) + (2.1 \text{ T/m}^3) (10 \text{ m}) + (1 \text{ T/m}^3) (25.5 \text{ m}) \\ &= 74.5 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25.5 m จาก ระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (25.5 \text{ m}) \\ &= 25.5 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25.5 m จากระดับน้ำ (water level)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

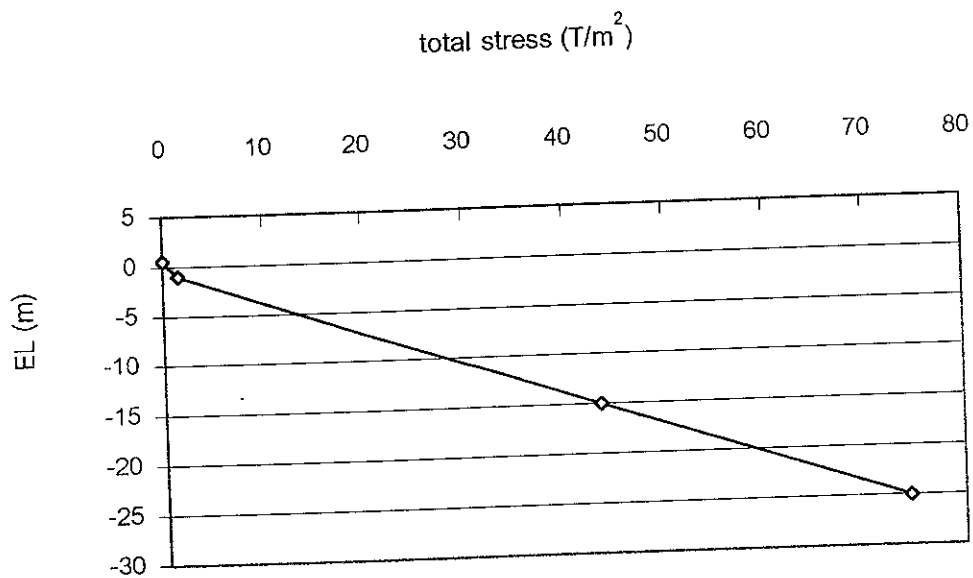
$$\sigma' = (74.5 - 25.5) \text{ T/m}^2$$

$$\sigma' = 49 \text{ T/m}^2$$

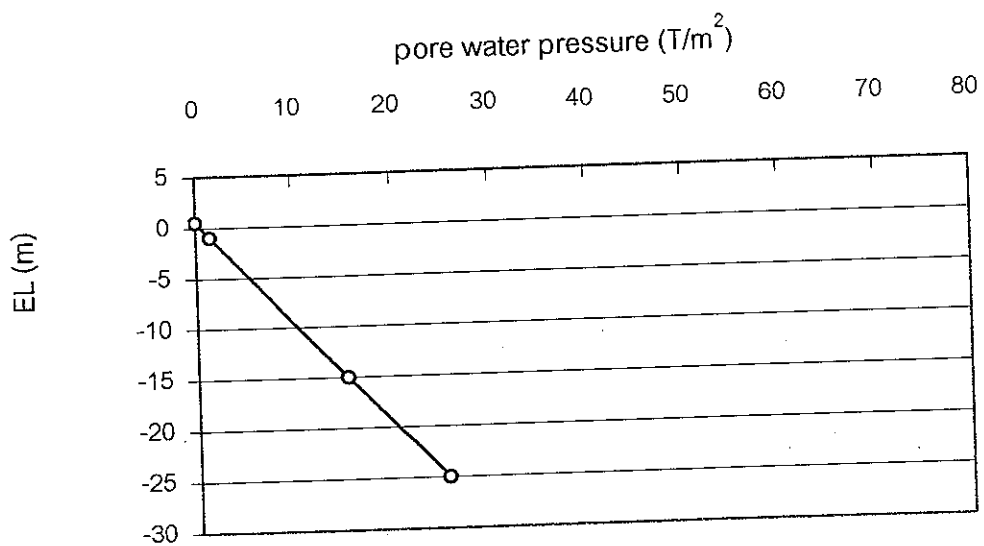
ตารางที่ 6.4.1 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (T/m <sup>2</sup> )	$u$ (T/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (T/m <sup>2</sup> )
+0.5	0	0	0
-1	1.5	1.5	0
-15	43.5	15.5	28
-25	74.5	25.5	49

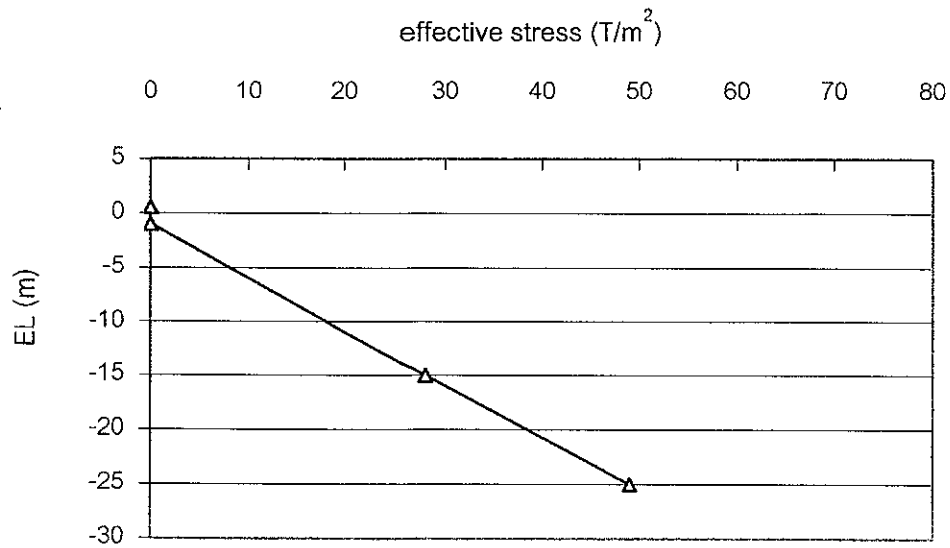
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.4.2 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.4.3 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.4.4 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

2) สำหรับ low water level

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับน้ำ (water level)
- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1



ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำ (water level)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำ (water level) เนื่องจาก ไม่มีชั้นดินและไม่มีระดับน้ำ (water level) อยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำ (water level) เนื่องจาก ไม่มีระดับน้ำ (water level) อยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำ (water level) จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1 m จากระดับน้ำ (water level)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1 m จากระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (1 \text{ m}) \\ &= 1 \text{ T/m}^3\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1 m จากระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (1 \text{ m}) \\ &= 1 \text{ T/m}^3 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) ความลึก 1 m จากระดับน้ำ (water level)

จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (1 - 1) \text{ T/m}^3 \\ \sigma' &= 0 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จากระดับน้ำ (water level)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จากระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_{\text{clay}}) + (\gamma_w) (H_w) \\ &= (2 \text{ T/m}^3) (14 \text{ m}) + (1 \text{ T/m}^3) (15 \text{ m}) \\ &= 43 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (15 \text{ m}) \\ &= 15 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับน้ำ (water level)

จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (43 - 15) \text{ T/m}^2 \\ \sigma' &= 28 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25 m จาก ระดับน้ำ (water level)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25 m จาก ระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_{\text{clay}}) + (\gamma_{\text{sat silty sand}}) (H_{\text{silty sand}}) + (\gamma_w) (H_w) \\ &= (2 \text{ T/m}^3) (14 \text{ m}) + (2.1 \text{ T/m}^3) (10 \text{ m}) + (1 \text{ T/m}^3) (25 \text{ m}) \\ &= 74 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25 m จากระดับน้ำ (water level)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (1 \text{ T/m}^3) (25 \text{ m}) \\ &= 25 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25 m จากระดับน้ำ (water level)

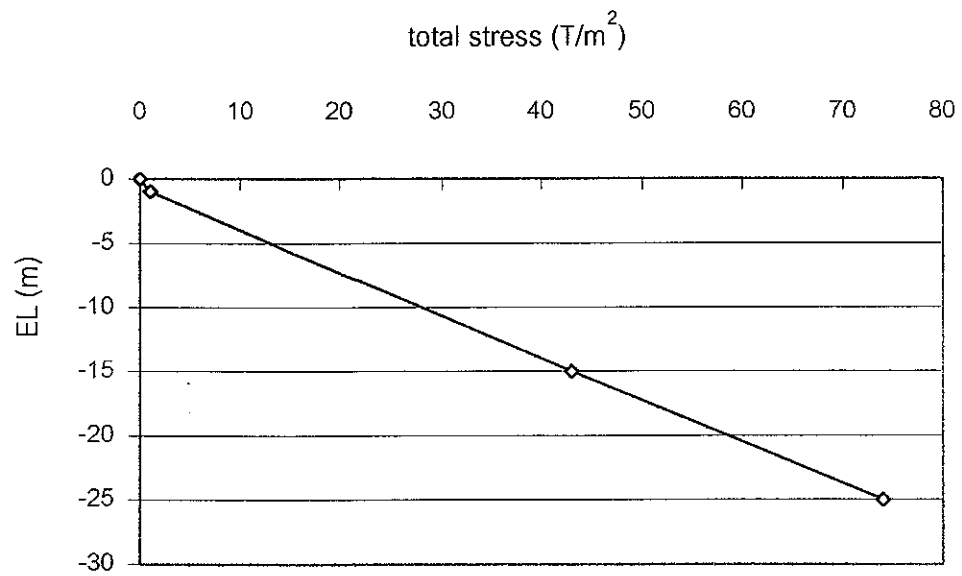
จาก

$$\begin{aligned} \sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (74 - 25) \text{ T/m}^2 \\ \sigma' &= 49 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

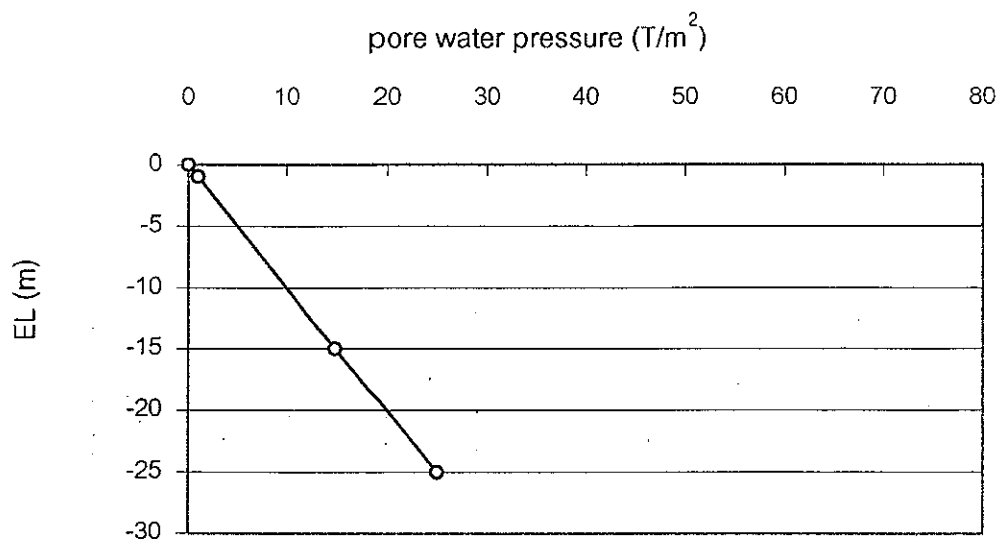
ตารางที่ 6.4.2 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (T/m <sup>2</sup> )	$u$ (T/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (T/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
-1	1	1	0
-15	43	15	28
-25	74	25	49

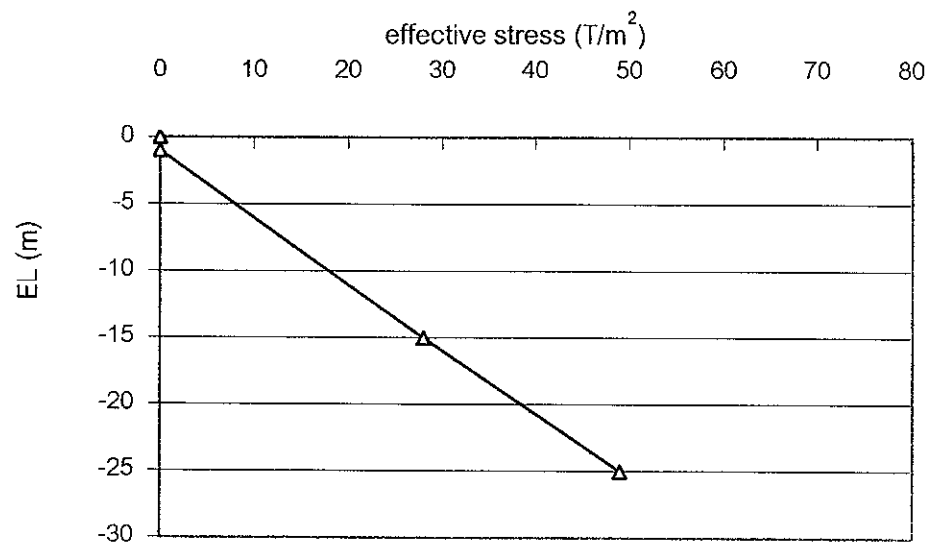
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.4.5 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



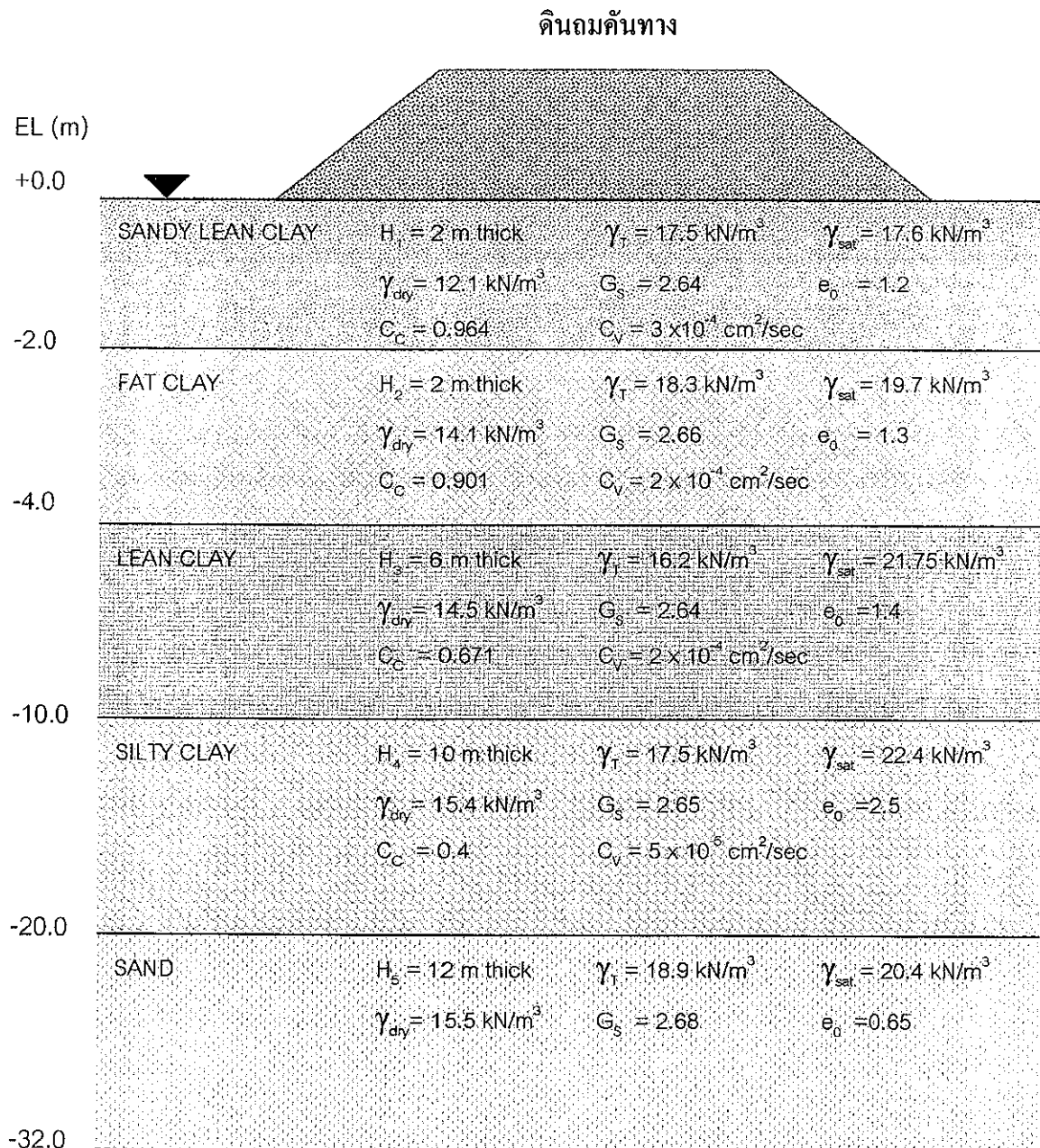
รูปที่ 6.4.6 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.4.7 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

จากการเปรียบเทียบค่าของ ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่คำนวณได้เมื่อระดับน้ำ (water level) อยู่ที่ระดับ 0 m จะให้ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ต่ำกว่าเมื่อระดับน้ำ (water level) อยู่ที่ระดับ +0.5 m ดังนั้นในฐานะวิศวกรของบริษัทพระราม 2 การโยธาจะเลือกระดับน้ำ (water level) อยู่ที่ระดับ 0 m มาเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบ sheet pile

2. แขวงทางหลวงสมุทรปราการทำการปรับปรุงเส้นทางสายบางนา-บางปะกง ระยะทางยาวประมาณ 15 กิโลเมตร โดยจะทำการก่อสร้างคันทาง (embankment) ใหม่ให้มีความสูง (รวมผิวทาง) หลังสิ้นสุดงานก่อสร้าง 1.5 m จากระดับดินเดิม ทั้งนี้ผลการสำรวจชั้นดินรองรับคันทางพบว่า



รูปที่ 6.4.8 ชั้นดินรองรับคันทางเส้นทางสายบางนา-บางปะกง

ในฐานะวิศวกรผู้ควบคุมการสำรวจชั้นดินรองรับคันทาง กรุณาแสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของดินที่ระดับความลึกต่างๆ จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเพื่อที่จะนำค่าของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ไปใช้ในการออกแบบ (design) และหาค่าการทรุดตัว (settlement) ของคันทาง (embankment)

### วิธีทำ

ในการแสดงค่าของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ควรจะแสดงผลในรูปของกราฟ โดยใช้ 3 ขั้นตอนหลักในการคำนวณดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน



ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และไม่มีการระบายน้ำอยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากไม่มีระดับน้ำอยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 2 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 2 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sandy lean clay}}) (H_1) \\ &= (17.6 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) \\ &= 35.2 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 2 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) \\ &= 19.62 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 2 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &\equiv u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (35.2 - 19.62) \text{ kN/m}^2 \\ &= 25.6 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 4 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 4 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sandy lean clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat fat clay}}) (H_2) \\ &= (17.6 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (19.7 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) \\ &= 74.6 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 4 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (4 \text{ m}) \\ &= 39.24 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 4 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (74.6 - 39.24) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 35.36 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

**ขั้นที่ 4** คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 10 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 10 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sandy lean clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat fat clay}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat lean clay}}) (H_3) \\ &= (17.6 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (19.7 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (21.75 \text{ kN/m}^3) (6 \text{ m}) \\ &= 205.1 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 10 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (10 \text{ m}) \\ &= 98.1 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 10 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (205.1 - 98.1) \text{ kN/m}^2 \\ &= 107 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

**ขั้นที่ 5** คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sandy lean clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat fat clay}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat lean clay}}) (H_3) \\ &\quad + (\gamma_{\text{sat silty clay}}) (H_4) \\ &= (17.6 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (19.7 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (21.75 \text{ kN/m}^3) (6 \text{ m}) \\ &\quad + (22.4 \text{ kN/m}^3) (10 \text{ m}) \\ &= 429.1 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (20 \text{ m}) \\ &= 196.2 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (429.1 - 196.2) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 232.9 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

**ขั้นที่ 6** คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 32 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 32 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat sandy lean clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat fat clay}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat lean clay}}) (H_3) \\ &\quad + (\gamma_{\text{sat silty clay}}) (H_4) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_5) \\ &= (17.6 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (19.7 \text{ kN/m}^3) (2 \text{ m}) + (21.75 \text{ kN/m}^3) (6 \text{ m}) \\ &\quad + (22.4 \text{ kN/m}^3) (10 \text{ m}) + (20.4 \text{ kN/m}^3) (12 \text{ m}) \\ &= 673.9 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 32 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (32 \text{ m}) \\ &= 313.9 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 32 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

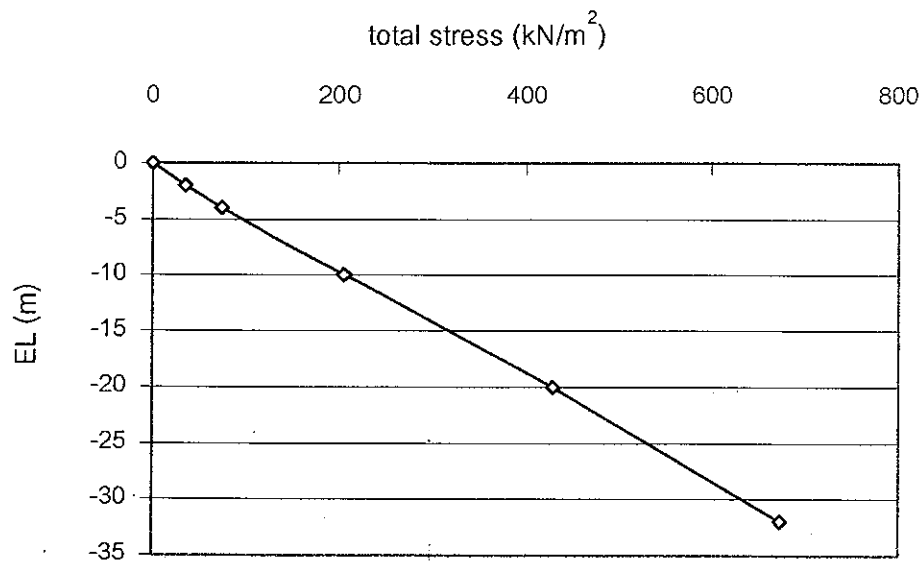
จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ \sigma' &= (673.9 - 313.9) \text{ kN/m}^2 \\ \sigma' &= 360 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

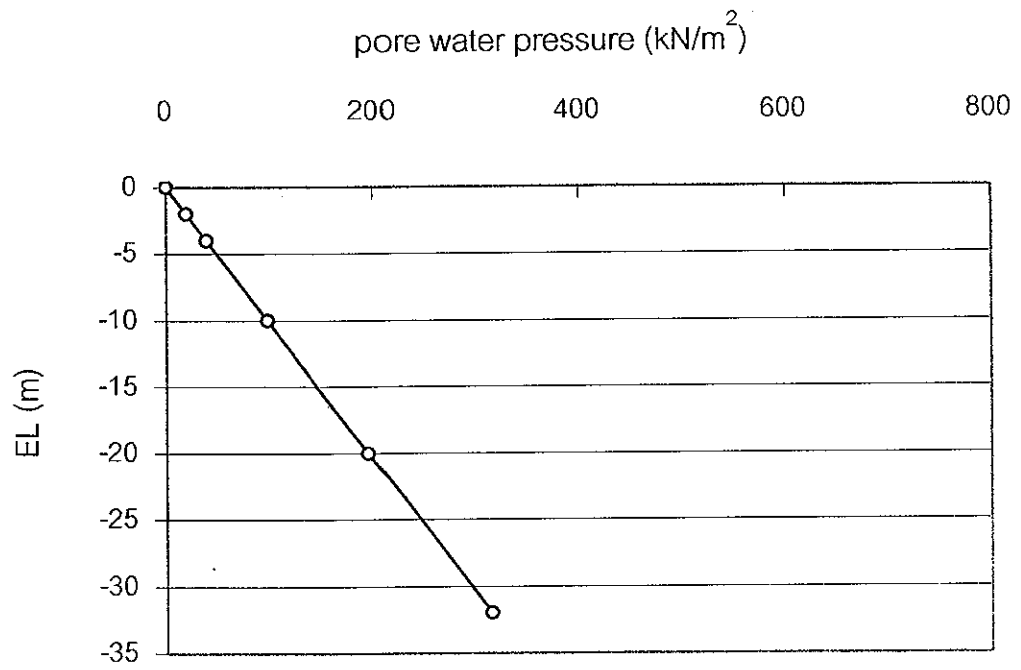
ตารางที่ 6.4.3 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
2	35.2	19.62	15.58
4	74.6	39.24	35.36
10	205.1	98.1	107
20	429.1	196.2	232.9
32	673.9	313.9	360

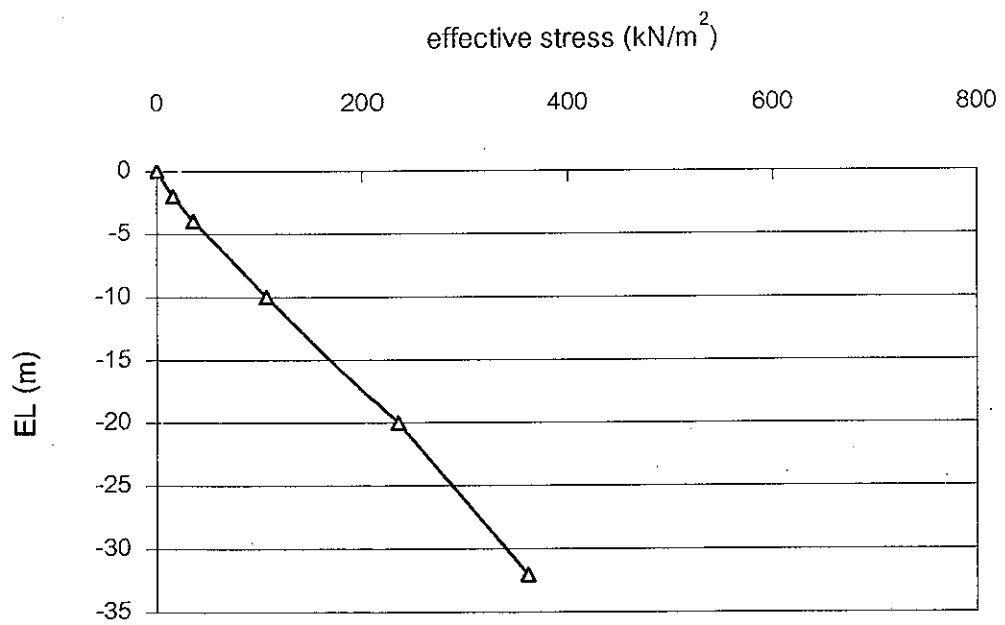
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.4.9 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



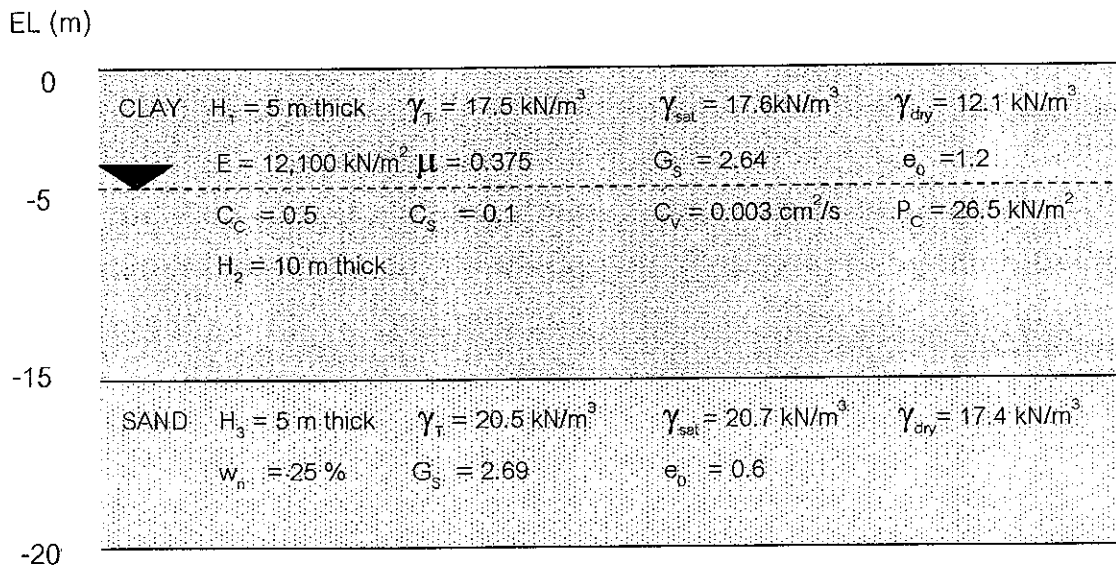
รูปที่ 6.4.10 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.4.11 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



3.บริษัท ไทยคาจิม่า ซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดสระบุรี ต้องการจะขยายโรงจอดรถบรรทุก จากการสำรวจ  
ชั้นดินที่รองรับ โรงจอดรถบรรทุก พบว่า



รูป 6.4.12 ชั้นดินที่รองรับโรงจอดรถบรรทุกบริษัท ไทยคาจิม่า จังหวัดสระบุรี

เจ้าของบริษัท ต้องการที่จะสร้าง โรงจอดรถบรรทุกสูงกว่าระดับดินเดิม เพื่อให้มีอายุการใช้งานได้อย่างน้อย 30 ปี ในฐานะวิศวกรโยธาประจำบริษัท ไทยคาจิม่า ท่านได้รับมอบหมายให้ ออกแบบระดับดินถมบริเวณที่จะทำโรงจอดรถบรรทุก ให้มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 30 ปี โดยที่เมื่อเวลาผ่านไป 30 ปี ดินถมจะไม่ต่ำกว่าระดับดินเดิม (ระดับดินถมลดลงเนื่องจาก settlement)

จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระดับชั้นดินรองรับโรงจอดรถบรรทุก กรุณาคำนวณค่าของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระดับดินถมที่ต้องการ

#### วิธีทำ

ในการแสดงค่าของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ควรจะแสดงผลในรูปของกราฟ โดยใช้ 3 ขั้นตอนหลักในการคำนวณดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และไม่มีระดับน้ำอยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหาค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากไม่มีระดับน้ำอยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ clay}}) (H_1) \\ &= (17.5 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) \\ &= 87.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (0 \text{ m}) \\ &= 0\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ความลึก 5 m จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= 87.5 \text{ kN/m}^2 - 0 \\ &= 87.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2) \\ &= (17.5 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) + (17.6 \text{ kN/m}^3) (10 \text{ m}) \\ &= 263.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (10 \text{ m}) \\ &= 98.1 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= (263.5 - 98.1) \text{ kN/m}^2 \\ &= 165.4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_3) \\ &= (17.5 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) + (17.6 \text{ kN/m}^3) (10 \text{ m}) + (20.7 \text{ kN/m}^3) (5 \text{ m}) \\ &= 367 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (15 \text{ m}) \\ &= 147.15 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

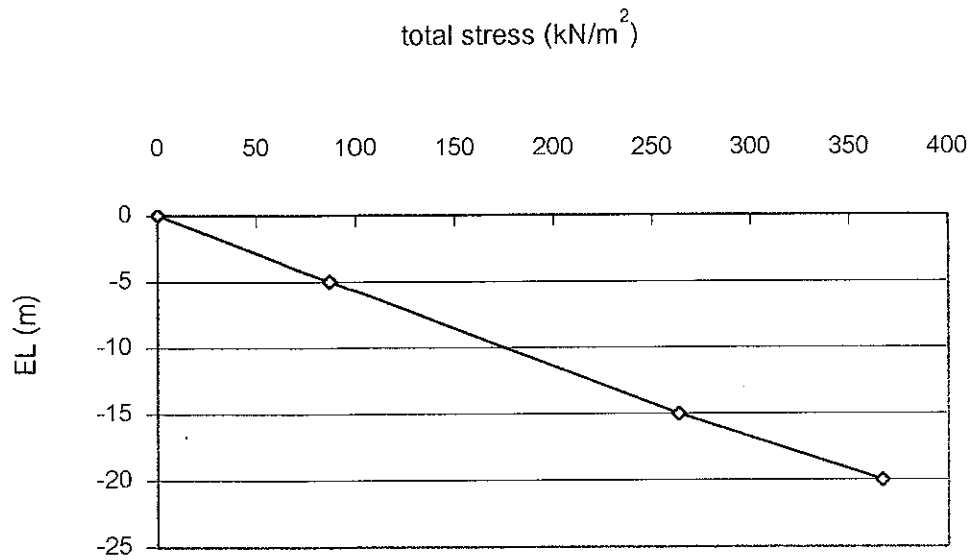
$$\sigma' = (367 - 147.15) \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma' = 219.85 \text{ kN/m}^2$$

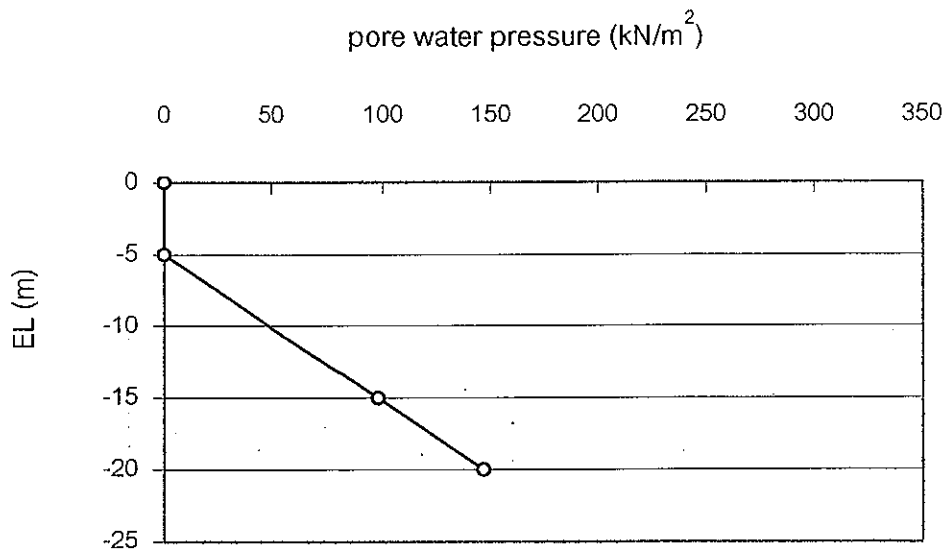
ตารางที่ 6.4.4 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
5	87.5	0	87.5
15	263.5	98.1	165.4
20	367	147.15	219.85

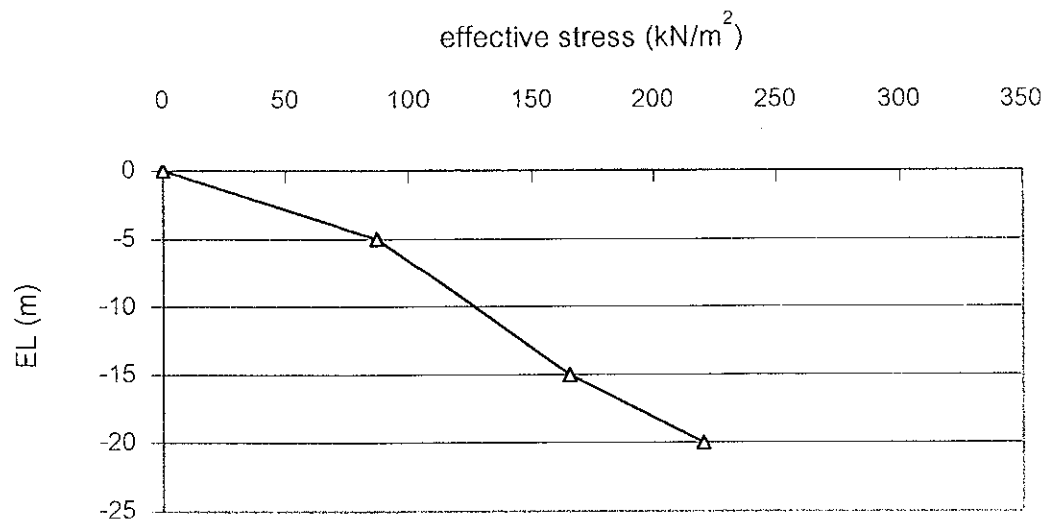
ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2



รูปที่ 6.4.13 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



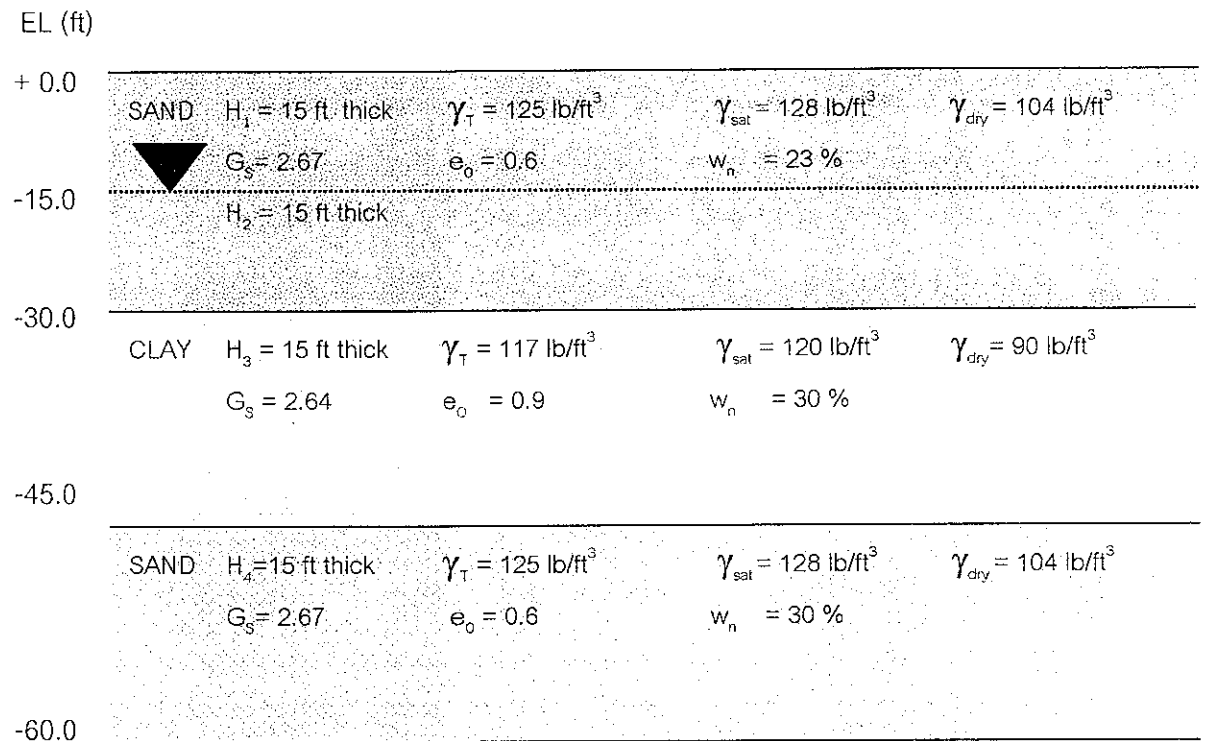
รูปที่ 6.4.14 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.4.15 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



4. เจ้าของเหมืองแร่ร้างแห่งหนึ่งในจังหวัดภูเก็ต ต้องการที่จะทำสนามกอล์ฟ แบบครบวงจรในเหมืองร้างแห่งนี้และเจ้าของเหมืองแร่ร้างต้องการสร้างโรงแรมในพื้นที่เหมืองร้างแห่งนี้ด้วย จากการสำรวจชั้นดินบริเวณเหมืองร้างแห่งนี้ พบว่า



รูปที่ 6.4.16 ชั้นดินบริเวณเหมืองร้างจังหวัดภูเก็ต

วิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างของโรงแรม จำเป็นต้องนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจชั้นดินมาคำนวณหาค่าของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อนำค่าเหล่านี้ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบฐานรากของโรงแรม

ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างของโรงแรม กรุณาคำนวณค่าของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คิดว่าจำเป็น

#### วิธีทำ

ในการที่จะเขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ได้นั้นมีคำนวณโดย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ที่ระดับความลึก 15 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน ที่ระดับความลึก 30 ft, 45 ft และ 60 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) เนื่องจากจุดนี้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface)  
จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 15 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 15 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) \\ &= (125 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 1875 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 15 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (0 \text{ ft}) \\ &= 0\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ระดับความลึก 6 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\begin{aligned}\sigma &= u + \sigma' \\ \sigma' &= \sigma - u \\ &= 1875 \text{ lb/ft}^2 - 0 \\ &= 1875 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 30 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 30 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) \\ &= (125 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) + (128 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 3795 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 30 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 936 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 30 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (3795 - 936) \text{ lb/ft}^2$$

$$\sigma' = 2859 \text{ lb/ft}^2$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 45 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 45 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) \\ &= (125 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) + (128 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) + (120 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 5595 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 45 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (30 \text{ ft}) \\ &= 1872 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 45 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (5595 - 1872) \text{ lb/ft}^2$$

$$\sigma' = 3723 \text{ lb/ft}^2$$

ขั้นที่ 5 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 60 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 60 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{T \text{ sand}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_3) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_4) \\ &= (125 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) + (128 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) + (120 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &\quad + (128 \text{ lb/ft}^3) (15 \text{ ft}) \\ &= 7515 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 60 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (62.4 \text{ lb/ft}^3) (45 \text{ ft}) \\ &= 2808 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดิน ระดับความลึก 45 ft จากระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

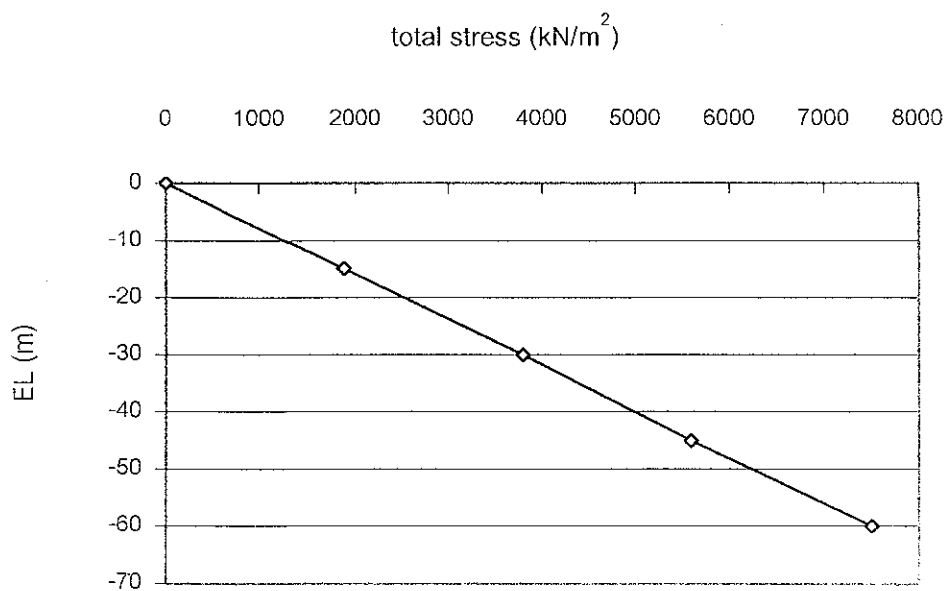
$$\sigma' = (7515 - 2808) \text{ lb/ft}^2$$

$$\sigma' = 4707 \text{ lb/ft}^2$$

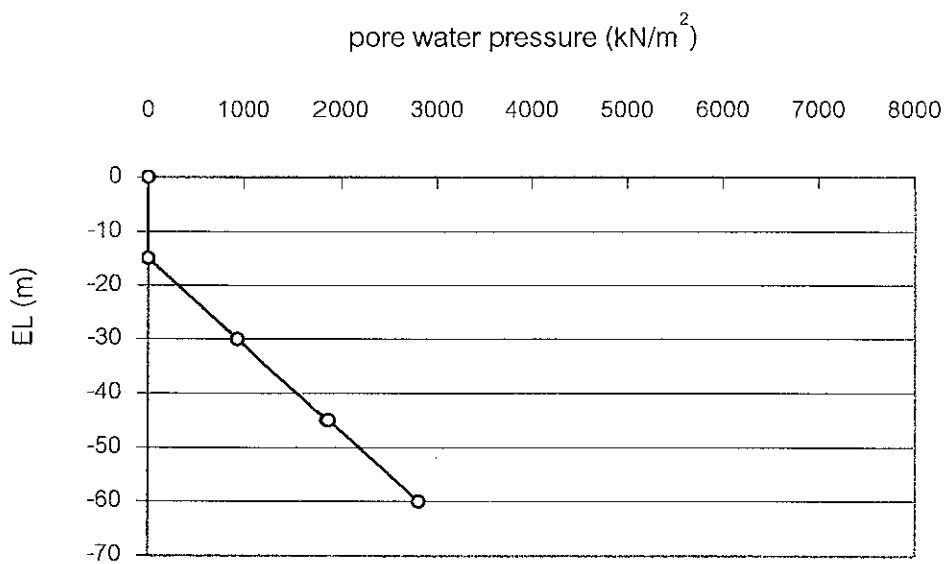
ตารางที่ 6.4.5 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

Depth (ft)	$\sigma$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$u$ (lb/ft <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (lb/ft <sup>2</sup> )
0	0	0	0
15	1875	0	1875
30	3795	936	2859
45	5595	1872	3723
60	7515	2808	4707

ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2

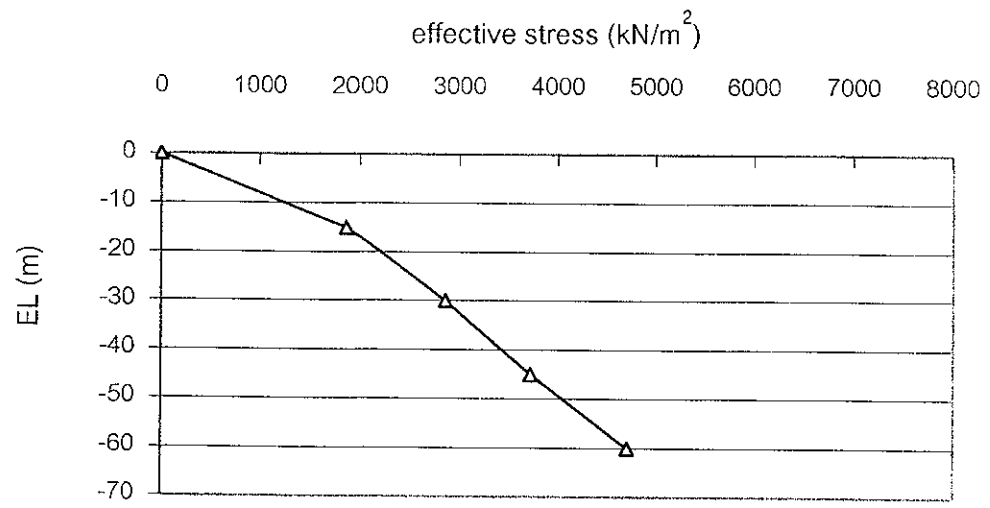


รูปที่ 6.4.17 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



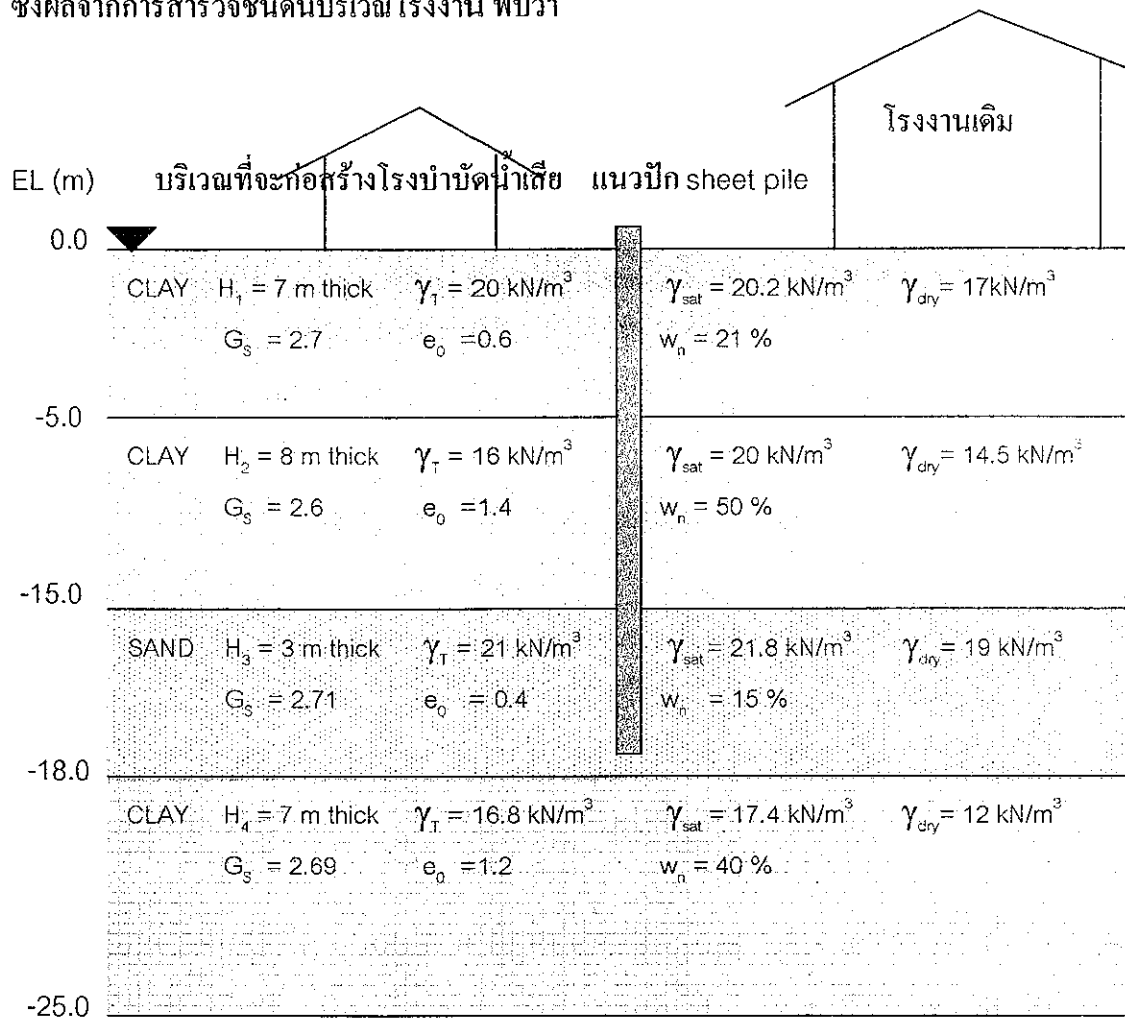
รูปที่ 6.4.18 ค่า pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ





รูปที่ 6.4.19 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

5. บริษัท นูบูน จำกัด เป็นโรงงานผลิตกาแฟกระป๋องยี่ห้อหนึ่ง ตั้งอยู่ที่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ต้องการที่จะสร้างโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานซึ่งอยู่ไม่ไกลจาก โรงงานมากนัก ดังนั้นในการก่อสร้างโรงบำบัดน้ำเสีย จำเป็นจะต้องปัก sheet pile ป้องกันไม่ให้กระทบกระเทือนโรงงานเดิม ซึ่งผลจากการสำรวจชั้นดินบริเวณโรงงาน พบว่า



รูป 6.4.20 ชั้นดินบริเวณโรงงานบริษัท นูบูน จำกัด อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ

ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างของโรงบำบัดน้ำเสีย ท่านจำเป็นต้องคำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบฐานรากของโรงบำบัดน้ำเสีย และใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ sheet pile

### วิธีทำ

ในการแสดงค่าของ total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ควรจะแสดงผลในรูปของกราฟ โดยใช้ 3 ขั้นตอนหลักในการคำนวณดังนี้

- พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )
- คำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ
- เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ

ขั้นตอนหลักที่ 1 พิจารณาจุดที่มีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ )

- ที่ระดับผิวดิน (ground surface)
- ที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table)
- จุดเปลี่ยนชั้นดิน

ขั้นตอนหลักที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนหลักที่ 1

ขั้นที่ 1 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน

- คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากไม่มีชั้นดินอยู่เหนือจุดนี้และไม่มีระดับน้ำอยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$\sigma = 0$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากไม่มีระดับน้ำอยู่เหนือจุดนี้ ดังนั้น

$$u = 0$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับผิวดิน (ground surface) และที่ระดับน้ำใต้ดิน (ground water table) ซึ่งเป็นจุดเดียวกัน

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = 0$$

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 7 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 7 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}\sigma &= (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_1) \\ &= (20.2 \text{ kN/m}^3) (7 \text{ m}) \\ &= 141.4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 7 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned}u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (7 \text{ m}) \\ &= 68.67 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 7 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (141.4 - 68.67) \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma' = 72.73 \text{ kN/m}^2$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\sigma = (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2)$$

$$= (20.2 \text{ kN/m}^3) (7\text{m}) + (20 \text{ kN/m}^3) (8 \text{ m})$$

$$= 301.4 \text{ kN/m}^2$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 15 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$u = (\gamma_w) (H_w)$$

$$= (9.81 \text{ kN/m}^3) (15 \text{ m})$$

$$= 147.15 \text{ kN/m}^2$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 20 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (301.4 - 147.15) \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma' = 154.25 \text{ kN/m}^2$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 18 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 18 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_3) \\ &= (20.2 \text{ kN/m}^3) (7\text{m}) + (20 \text{ kN/m}^3) (8 \text{ m}) + (21.8 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) \\ &= 366.8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 18 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (18 \text{ m}) \\ &= 366.8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 18 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (366.8 - 176.58) \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma' = 190.22 \text{ kN/m}^2$$

ขั้นที่ 5 คำนวณค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 18 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

- คำนวณหา total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} \sigma &= (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_1) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_2) + (\gamma_{\text{sat sand}}) (H_3) + (\gamma_{\text{sat clay}}) (H_4) \\ &= (20.2 \text{ kN/m}^3) (7\text{m}) + (20 \text{ kN/m}^3) (8 \text{ m}) + (21.8 \text{ kN/m}^3) (3 \text{ m}) \\ &\quad + (17.4 \text{ kN/m}^3) (7\text{m}) \\ &= 488.6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา pore water pressure ( $u$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25 m จาก ระดับ ผิวดิน (ground surface)

$$\begin{aligned} u &= (\gamma_w) (H_w) \\ &= (9.81 \text{ kN/m}^3) (25 \text{ m}) \\ &= 245.25 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- คำนวณหา effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับจุดเปลี่ยนชั้นดินระดับความลึก 25 m จาก ระดับผิวดิน (ground surface)

จาก

$$\sigma = u + \sigma'$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\sigma' = (488.6 - 245.25) \text{ kN/m}^2$$

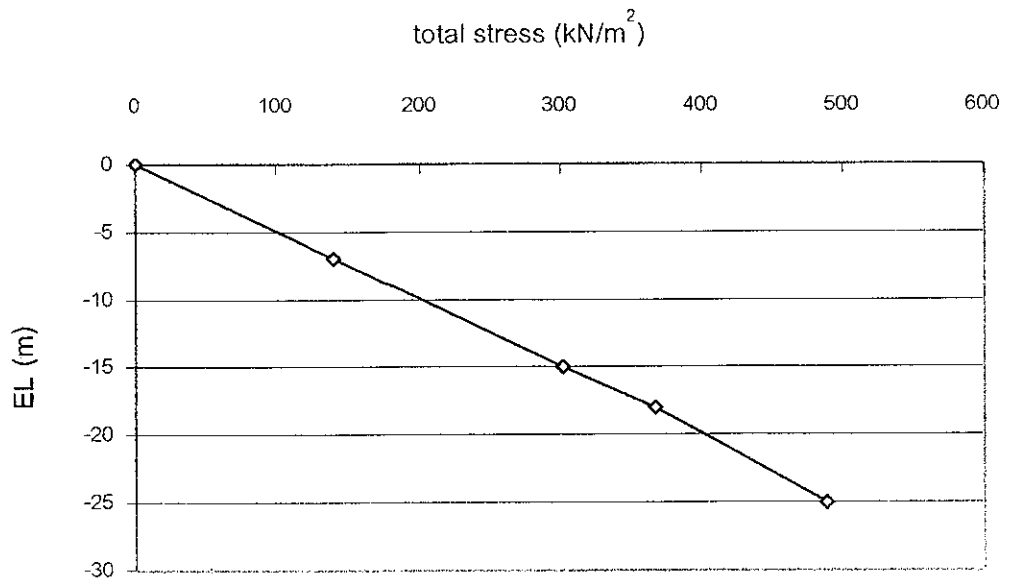
$$\sigma' = 243.35 \text{ kN/m}^2$$

ตารางที่ 6.4.6 ค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ) และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นดังนี้

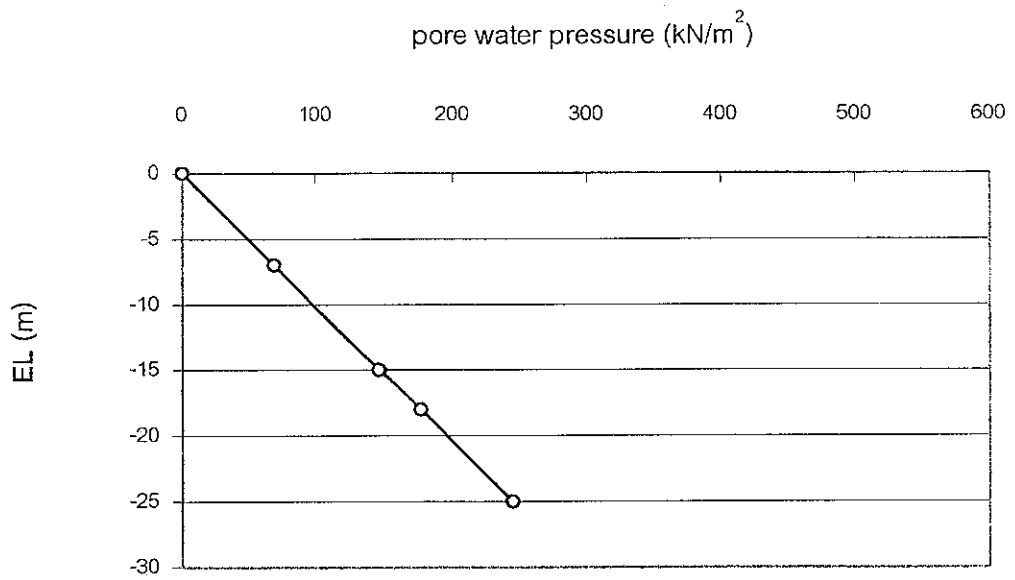
Depth (m)	$\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
7	141.4	68.67	72.73
15	301.4	147.15	154.25
18	366.8	176.58	190.22
25	488.6	245.25	243.35

ขั้นตอนหลักที่ 3 เขียนกราฟ แสดงค่า total stress ( $\sigma$ ), pore water pressure ( $u$ ), และ effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนหลักที่ 2

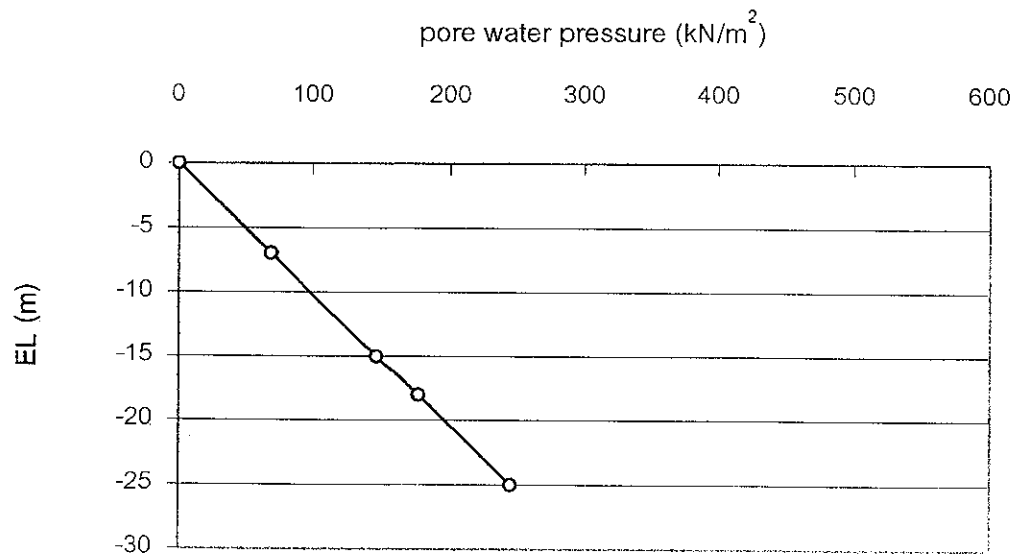




รูปที่ 6.4.21 ค่า total stress ( $\sigma$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.4.22 ค่า pore water pressure (u) ที่ระดับความลึกต่างๆ



รูปที่ 6.4.23 ค่า effective stress ( $\sigma'$ ) ที่ระดับความลึกต่างๆ