บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ลักษณะและคุณสมบัติของชั้นดิน : ดินที่ทำการวิจัยประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อนจนถึงดินเหนียวปานกลางมีความหนาชั้นดินประมาณ 14.00 ถึง 23.00 ม. สำหรับในการวิจัยพิจารณาว่าดินมีความลึกประมาณ 20.50 ม. ประกอบด้วยชั้นดินและคุณสมบัติดังข้างล่างนี้ โดยที่ผิวดินอยู่ที่ระดับความลึก +0.80 ม. (MSL)

ระดับ +0.80 ถึง -4.70 ม. (MSL)	ดินเหนียวอ่อนสีเทาดำ มีรากไม้เน่าเปื่อยเล็กน้อย (OH)
ระดับ -4.70 ถึง -6.20 ม. (MSL)	ดินเหนียวปานกลางสีเทาดำ มีเปลือกหอยเล็กน้อย (CH)
ระดับ -6.20 ถึง-13.70 ม. (MSL)	ดินเหนียวอ่อนปานกลางสีเทาเขียว มีเปลือกหอยเล็กน้อย (OH)
ระดับ-13.70 ถึง-19.70 ม. (MSL)	ดินเหนียวตะกอนปานกลาง มีทรายละเอียดเล็กน้อย (CH)

ปริมาณความชื้น (Natural Water Content), %	52-116
พิกัดเหลว (Liquid Limit), %	66-116
พิกัดพลาสติค (Plastic Limit), %	31-49
ดัชนีเหลว (Liquidity Index)	0.49-1.36
ดัชนีพลาสติค (Plasticity Index), %	35-68
ความหนาแน่นรวม (Total Density), ตัน/ม^3	1.41-1.70

5.1.2 การทดสอบในสนามและในห้องทดลอง

1. การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนาม

ก. มีค่า $S_{u(FV)}$ ระหว่าง 0.8 ถึง 5.6 ตัน/ม^2. มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นยกเว้นชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ใต้ชั้นดินเหนียวปานกลางที่แทรกอยู่ที่ระดับความลึก

-4.70 ถึง -6.20 ม. (MSL)

ข. ความไวมีค่าระดับ 3 ถึง 9 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงจนถึงสูงมาก

2. การทดสอบ UU

ก. ค่า S_u ระหว่าง 0.4 ถึง 2.9 ตัน/ม^2 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ยกเว้นชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ใต้ชั้นดินเหนียวปานกลางที่แทรกอยู่ที่ระดับความลึก -4.70 ถึง -6.20 ม. (MSL)

ข. ค่า $E_{u(50)}$ ระหว่าง 296 ถึง 372 ตัน/ม^2 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นยกเว้นชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ใต้ชั้นดินเหนียวปานกลางที่แทรกอยู่ที่ระดับความลึก -4.70 ถึง -6.20 ม. (MSL)

3. การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ

ก. ดินมีค่า $\bar{\sigma}_{vm}$ ระหว่าง 4.0 ถึง 15.3 ตัน/ม^2 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

ข. ดินมี OCR ระหว่าง 5.0 ถึง 1.4 มีค่าสูงบริเวณตอนบนของชั้นดินและลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

ค. CR มีค่าระหว่าง 0.240 ถึง 0.510 โดย RR มีค่าระหว่าง $\frac{1}{20}$ ถึง $\frac{1}{5}$ เท่ากับ CR

ง. m_v มีค่าระหว่าง 0.0040 ถึง 0.0180 สำหรับก่อนค่า $\bar{\sigma}_{vm}$ และหลังค่า $\bar{\sigma}_{vm}$ มีค่าระหว่าง 0.0069 ถึง 0.0370

4. การทดสอบทางเดินของหน่วยแรง

ก. มีค่าความเครียดในแนวดิ่งเฉลี่ยในสภาพระบายน้ำ (Average Vertical Drained Strain) ตลอดชั้นดินที่ทำการวิจัยประมาณ 2.3 % สำหรับตัวอย่างดินที่ทดสอบ ให้ค่า ε_a (Vertical Drained Strain) มีค่าประมาณ 2 ถึง 14 ของ ε_u (Vertical Elastic Strain) และ ε_a มีค่าประมาณ 0.5 ถึง 2 เท่าของ ε_u+Creep (Vertical Elastic Strain + Vertical Creep Strain) สำหรับตัวอย่างดินนั้น ๆ

ข. พารามิเตอร์ความดันน้ำ (น)มีค่าระหว่าง 0.60 ถึง 1.02 ส่วนค่า A มีค่าระหว่าง 0.24 ถึง 1.02 จะมีค่าลดลงเมื่อ OCR เพิ่มขึ้น

ค. $\bar{E}$มีค่าระหว่าง 58 ถึง 562 ตัน/ม^2 E_u มีค่าระหว่าง 554 ถึง 2067 ตัน/ม^2 ส่วน E_u+Creep มีค่าระหว่าง 96 ถึง 477 ตัน/ม^2 แนวโน้มจะมีค่าสูงขึ้น

เมื่อค่า PI ลดลง

ง. C_α มีค่าระหว่าง 0.0057 ถึง 0.0266 จะมีค่าน้อยลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ยกเว้นชั้นดินเหนียวปานกลางที่แทรกอยู่ที่ระดับ -4.70 ถึง -6.20 ม.(MSL)

จ. C_v มีค่าระหว่าง 3.2 ถึง 37.5 ซม^2/วัน

5.1.3 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ก. ผลการวิเคราะห์ความดันน้ำในโพรงเพิ่มที่ได้ไม่สามารถยืนยันความถูกต้องแน่นอนกับค่าในสนามเนื่องจากขาดข้อมูลความดันน้ำในโพรงเพิ่มใต้จุดกึ่งกลางคันดินถมของถนน แต่จากการคาดคะเนความดันน้ำในโพรงเพิ่มที่เกิดขึ้นควรจะอยู่ในขอบเขต ซึ่งเสนอโดยวิธีของ Lee (Upper Bound), 1983 โดยเฉพาะช่วงที่ความลึก 6.0 ม. ลงไปที่ดินค่อนข้างจะเป็นดินเหนียวอัดแน่นปกติ จะให้ค่าความดันน้ำในโพรงเพิ่มนี้เข้าใกล้ของวิธีขั้นพื้นฐาน 1 มิติ ($\Delta u = \Delta\sigma_v$) และของ Lee (Upper Bound), 1983 มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของ พินิจ (2528) และ นริศ (2528) ที่ทำการวิจัยดินที่ กม.30 และ กม.24 ของถนนสายบางนา-บางปะกง ตามลำดับ

ข. ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ และการประมาณค่ามีอัตราส่วนดังนี้

$$\frac{S_{u(UU)}}{S_{u(V)}} = 0.89 \pm 0.31 \quad , \quad \frac{0.22\ \bar{\sigma}_{vm}}{S_{u(V)}} = 1.01 \pm 0.29$$

สำหรับการประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนจาก $0.22\ \bar{\sigma}_{vm}$ ให้ค่าดีพอสมควร ยกเว้นสำหรับกรณีที่ชั้นดินที่แข็งกว่าแทรกอยู่ระหว่างชั้นดินที่อ่อนกว่า

อนึ่ง สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของตัวอย่างดินที่ได้จากการทดสอบ FV และการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ด้วยเครื่องทดสอบ Oedometer โดย $\frac{\mu . S_{u(FV)}}{\bar{\sigma}_{vm}}$ ที่ได้ควรอยู่ในพิกัดเส้นของ Trak (1979) และ Mesri (1975) ดังรูปที่ 4.12 สำหรับตัวอย่างที่เก็บได้ดีในสนาม

ค. C_α จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อัตราส่วน $\bar{\sigma}_{vc}/\bar{\sigma}_{vm}$ น้อยกว่า 1.0 โดยเฉพาะช่วงที่อัตราส่วน $\bar{\sigma}_{vc}/\bar{\sigma}_{vm}$ น้อยกว่า 0.5 จะให้ค่า C_α น้อยมาก และจะเพิ่มค่ามากสุดที่อัตราส่วน $\bar{\sigma}_{vc}/\bar{\sigma}_{vm}$ ระหว่าง 1.0 ถึง 3.0 หลังจากนั้น C_α จะคงที่หรือลดลงบ้าง

ง. C_α มีค่าระหว่าง 0.03 ถึง 0.08 ของ CR โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ CR

เพิ่มขึ้น ซึ่ง CR จะเพิ่มขึ้น เมื่อระดับหน่วยแรงเพิ่มขึ้น และค่า CR จะเริ่มลดลงหรือคงที่เมื่อดินเหนียวนั้นเริ่มเป็นดินเหนียวอัดแน่นปกติ (NCC)

จ. ผลการวิเคราะห์การทรุดตัว ให้ค่าการทรุดตัวขั้นที่ระหว่าง 2.6 ถึง 11.5 ซม. โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์ให้ค่าต่ำสุดเพียง 2.6 ซม.เท่านั้น แต่ถ้ารวมผลของอันเดรนครีพด้วยให้ค่าระหว่าง 13.0 ถึง 32.0 ซม. โดยวิธีที่ได้จากการทดลอบทางเดินของหน่วยแรงให้ค่าสูงสุดถึง 32.0 ซม.

สำหรับการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ ให้ค่าระหว่าง 41.0 ซม. ถึง 73.2 ซม. โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์ให้ค่าต่ำสุดเพียง 41.0 ซม.เท่านั้น ขณะที่วิธียั้นพื้นฐาน 1 มิติให้ค่าสูงสุด 73.2 ซม.

ผลการทรุดตัวรวมที่ให้ค่าระหว่าง 43.6 ถึง 74.4 ซม. และโดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์ให้ค่าการทรุดตัวต่ำสุดเพียง 43.6 ซม.เท่านั้น แต่เมื่อรวมผลของอันเดรนครีพแล้วมีค่าระหว่าง 54.0 ถึง 80.0 ซม. โดยการทรุดตัวรวมที่ได้จากการทดลอบทางเดินของหน่วยแรงให้ค่าสูงสุดถึง 80 ซม.

จากการคาดคะเนการทรุดตัว เนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ วิธียั้นพื้นฐาน 1 มิติเป็นวิธีที่เหมาะสมน่าที่จะให้ค่าใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แต่อาจจะสูงกว่าการทรุดตัวจริงอยู่บ้างเล็กน้อย (วิธีของ Asaoka, 1978 เป็นวิธีที่ถูกต้องดีที่สุดมากกว่า แต่ไม่สามารถใช้วิธีนี้สำหรับจุดที่ทำการวิจัยนี้ได้ เนื่องจากวิธีของ Asaoka, 1978 ต้องใช้ข้อมูลการทรุดตัวในสนามจริง แต่จุดที่ทำการวิจัยนี้ไม่มีข้อมูลการทรุดตัวในสนามจริง) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนสายบางนา-บางปะกงที่ กม.52 ที่มีดินทางลักษณะคล้ายคลึงกับถนนที่ทำการวิจัย

ฉ. การทรุดตัวอัดแน่นขั้นที่สองที่ได้จากวิธียั้นพื้นฐาน 1 มิติ (Lab) และที่ได้จากการทดลอบทางเดินของหน่วยแรงให้ค่าเท่ากันประมาณ 28.0 ซม. สำหรับช่วงระยะเวลา 1 รอบ (1 Cycle) ของระยะเวลาที่สิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำ การทรุดตัวอัดแน่นขั้นที่สองให้ค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการทรุดตัวรวม

ช. สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (C_v) โดยวิธีของ Asaoka (1978) และ Lacasse et al. (1975) จากข้อมูลการทรุดตัวของถนนสายบางนา-บางปะกง ที่ กม.52 ที่นำมาวิเคราะห์แทนผลของจุดที่ทำการวิจัย ให้ผลเป็นอัตราส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับค่า C_v ที่ได้จากวิธียั้นพื้นฐาน 1 มิติ (Lab) ที่ได้จากห้องทดลอง ดังนี้

$$C_{v(Asaoka)} = 1.7\ C_{v(Lacasse\ et\ al.)} = 8\ C_{v(1\ มิติ)Lab}$$

อัตราการทรุดตัวของวิธี Lacasse et al.,1975 โดยใช้ $C_{v(Lacasse\ et\ al.)}$ ให้อัตราการทรุดตัวใกล้เคียงข้อมูลในสนามสำหรับในช่วงระดับการทรุดตัวคายน้ำที่ 60% แรก ขณะที่วิธีของ Asaoka, 1978 ที่ใช้ $C_{v(Asaoka)}$ และวิธีของ Lacasse et al., 1975 ซึ่งใช้ $C_{v(Asaoka)}$ ให้อัตราการทรุดตัวที่ลอดคล้องกันใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าการทรุดที่ระดับการทรุดตัวคายน้ำที่ 90% ใกล้เคียงข้อมูลในสนาม สำหรับอัตราการทรุดตัวโดยวิธียั้นพื้นฐาน 1 มิตินั้นให้อัตราการทรุดตัวที่ช้าเกินไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดลอบในสนามให้พร้อม เช่น Settlement Plate, Piezometer ตลอดทั้งชั้นดิน ที่ใต้จุดกึ่งกลางคันดินถมของถนน พร้อมหมุดอ้างอิง (Reference Bar) สำหรับหาขนาดการทรุดตัวก่อนเริ่มทำการก่อสร้างถนน

2. ควรทำการศึกษารวบรวมข้อมูลการทรุดตัวของคันดินถมที่ได้สำรวจอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดหรือเกือบสิ้นสุดการทรุดตัว เพื่อตรวจสอบผลที่ได้ กับวิธีการวิเคราะห์ของ Asaoka (1978) ที่เสนอเป็นการทรุดตัวในสนามว่าให้ผลใกล้เคียงเพียงใด สำหรับดินเหนียวในเมืองไทย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย