บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักบริเวณบ้านศาลาลอย

5.1.1 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrain Shear Strength)

5.1.1.1 สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัย ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ จากการทดสอบ $\overline{CK_oU}$ TC Test พบว่า ค่า S_u/σ_{vc} จะสูงขึ้น เมื่อ OCR สูงขึ้น ดังสมการ

สำหรับ PI = 35 ~ 40%

$$S_u(TC)/\sigma_{vc} = 0.75\ Log(OCR) + 0.22 \qquad 5.1$$

สำหรับ PI = 20%

$$S_u(TC)/\sigma_{vc} = 0.80\ Log\ (OCR) + 0.23 \qquad 5.2$$

เมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพแล้ว พบว่า ค่า S_u/σ_{vc} จะต่ำกว่าที่ OCR เดียวกัน ดังรูปที่ 4.14

5.1.1.2 ส่วนค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดลอง $\overline{CK_oU}$ TE Test พบว่า ค่า S_u/σ_{vc} จะสูงขึ้นตาม OCR ดังสมการ

สำหรับ PI = 12 ~ 20%

$$S_u(TE)/\sigma_{vc} = 0.78\ Log(OCR) + 0.25 \qquad 5.3$$

เมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพแล้ว พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.15

5.1.1.3 ค่า Pore Pressure Parameter (A_f) ที่จุดวิบัติ จะมีค่าลดลงเมื่อ OCR สูงขึ้น สำหรับการทดสอบ $\overline{CK_oU}$ TC Test และ $\overline{CK_oU}$ TE Test

5.1.1.4 ค่า $E_u(50)/\sigma_{vc}$ จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่า OCR สูงขึ้น สำหรับการทดลอง $\overline{CK_oU}$ TC Test และ $\overline{CK_oU}$ TE Test

5.1.1.5 ค่า Undrained Strength Ratio สำหรับผลการทดสอบ $\overline{CK_oU}$ TC Test ต่อ $\overline{CK_oU}$ TE Test สำหรับดินที่มีค่า PI = 12 ~ 20% จะพบว่า $S_u(TC)/S_u(TE) = 1.0$ ซึ่งแตกต่างจากดินกรุงเทพ (Bangkok Clay) จะมีค่า 1.75 (Larsson, 1980)

5.1.2. <u>กำลังรับแรงเฉือนระบายน้ำ</u> (Drained shear strength)

5.1.2.1. สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัย ค่า Normalized Effective Stress Envelope สำหรับดิน Overconsolidated clay แล้ว สำหรับการทดสอบ $\overline{CK_oU}$ TC TEST สำหรับดินที่มีค่า PI=12-20% จะมีค่า $\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0.086$ และ ค่า $\bar{\phi} = 23.6°$ สำหรับดินที่มีค่า PI=35-40% จะมีค่า $\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0.082$ และ ค่า $\bar{\phi} = 14.4°$

5.1.2.2. สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัย ค่า Normalized Effective Stress Envelope สำหรับดิน Overconsolidated clay แล้ว สำหรับการทดสอบ $\overline{CK_oU}$ TE TEST สำหรับดินที่มีค่า PI=12-20% จะมีค่า $\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0.186$ และ ค่า $\bar{\phi} = 26.7°$

5.1.2.3.สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัย ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำจากการทดสอบ Drained Direct shear test สำหรับดินที่มีค่า PI=19.1% พบว่ามีค่า $\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0$ และ ค่า $\bar{\phi} = 40°$ ส่วนดินที่มีค่า PI=14.3% พบว่ามีค่า $\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0$ และ ค่า $\bar{\phi} = 40°$

5.1.3 <u>เสถียรภาพและอัตราส่วนปลอดภัยของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก</u>

5.1.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักโดยวิธี Bishop's Simplified Method

การวิเคราะห์อัตราส่วนปลอดภัยของตลิ่งแม่น้ำป่าสักบริเวณวัดศาลาลอย สำหรับกรณีก่อนการวิบัติ เมื่อทำการวิเคราะห์โดยวิธี Bishop's Simplified Method โดยพิจารณารอยผิวการวิบัติเป็น circular are failure หาค่ากำลังรับแรงเฉือนจาก Normalized concept. สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีหน่วยแรงรวมจะหากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดจาก Normalized shear strength ($S_u/\bar{\sigma}_{vc}$ and log OCR) โดยพิจารณาหน่วย

แรงประสิทธิผลอัดตัวคายน้ำ ($\bar{\sigma}_{vc}$) แล้วแต่ละกรณีจากระดับน้ำใต้ดิน และหาหน่วยแรงสูงสุดในอดีต ($\bar{\sigma}_{vm}$) จากชั้นดินที่ใกล้กับตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์มากที่สุด และสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีหน่วยแรงประสิทธิผล จะใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดจาก Normalized effective stress envelope ($\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm}$ and $\bar{\phi}$) โดยหาหน่วยแรงสูงสุดในอดีตเช่นเดียวกับวิธีหน่วยแรงรวมกำลังรับแรงเฉือน ทั้งแบบระบายน้ำและแบบไม่ระบายน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ จะใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ $\overline{CK_0U}$ TC TEST และ $\overline{CK_0U}$ TE TEST จะพบว่า

1. <u>กรณีของปัญหาระยะยาว</u> (long term conditon)

เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของฤดูฝน โดยใช้ระดับน้ำใต้ดินสูงสุดของฤดูฝนและระดับน้ำแม่น้ำต่ำสุดของฤดูฝน ส่วนในฤดูแล้งจะใช้ค่าระดับน้ำใต้ดินสูงสุดของฤดูแล้งและระดับน้ำแม่น้ำป่าสักต่ำสุดของฤดูแล้งพิจารณาว่าคันดินมีการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงประสิทธิผล ใช้กำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำ พิจารณาการไหลของน้ำใต้ดินแบบ steady secpage ค่าแรงดันน้ำในโพรงดินหาจากตาข่ายการไหล จะพบว่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของฤดูฝนเท่ากับ 1.86 และ อัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของฤดูแล้งเท่ากับ 1.75 เมื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก โดยพิจารณาค่าระดับน้ำใต้ดินต่ำสุดของฤดูฝน และฤดูแล้ง และระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักต่ำสุดทั้งของฤดูฝนและฤดูแล้ง พิจารณาว่าคันดินมีการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ พิจารณาว่าไม่มีการไหลของน้ำใต้ดิน ค่าแรงดันน้ำในโพรงดินหาจากวิธี Hydrostatic condition จะพบว่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของฤดูฝนเท่ากับ 2.04 และอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของฤดูแล้งเท่ากับ 1.74

ดังนั้นสำหรับกรณีของปัญหาระยะยาวแล้ว อัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดสำหรับฤดูฝนจะอยู่ระหว่าง 1.86 - 2.04 และ อัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของฤดูแล้งจะอยู่ระหว่าง 1.74 - 1.75 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง

2. <u>กรณีระดับน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว</u> (Rapid draw down)

เนื่องจากดินบริเวณนี้มีความซึมได้ต่ำ (Low permeability) สมมุติให้การเคลื่อนตัวของคันดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว คันดินเคลื่อนตัวในลักษณะไม่ระบายน้ำ พิจารณาว่าเวลาในการอัดตัวคายน้ำมากกว่าเวลาที่ใช้ในการลดระดับน้ำ ทำการวิเคราะห์

เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงรวม โดยแยกพิจารณาสำหรับฤดูฝนและฤดูแล้ง และระดับน้ำป่าสักต่ำสุดทั้งของฤดูฝนและฤดูแล้ง จะพบว่าอัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.45 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย แต่อัตราส่วนปลอดภัยของฤดูแล้งเท่ากับ 1.32 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่อาจทำให้เกิดการวิบัติได้

3. กรณีของการขุดลอกแม่น้ำ (Dreging of River)

พิจารณาปัญหาเสถียรภาพเช่นเดียวกับกรณีของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็วในฤดูแล้ง โดยใช้ค่าระดับน้ำใต้ดินสูงสุดของฤดูแล้ง และระดับน้ำต่ำสุดของแม่น้ำป่าสักในฤดูแล้ง เมื่อมีการขุดลอกแม่น้ำประมาณ 2.5 เมตร จะทำให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของตลิ่งแม่น้ำเท่ากับ 1.21 สำหรับค่ากำลังรับแรงเฉือนที่จุดสูงสุด $\tau_{ff} = (\sigma_1-\sigma_3)_f/2$ และและ 1.13 สำหรับค่ากำลังรับแรงเฉือน โดยที่ $\tau_{ff} = ((\sigma_1-\sigma_3)_f/2)\cos\phi$ อาจทำให้เกิดการวิบัติได้

5.1.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักโดยวิธี Wedge Method

การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักบริเวณศาลาลอย สำหรับกรณีก่อนการวิบัติ เมื่อทำการวิเคราะห์โดยวิธี Wedge Method โดยหาค่ากำลังรับแรงเฉือนจาก Normalized concept หาหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำประสิทธิผล และหาหน่วยแรงสูงสุดในอดีต เช่นเดียวกับการวิเคราะห์โดยวิธี Bishop's simplified Method เลือกใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุด โดยพิจารณาลักษณะการวิบัติของดินจากหน่วยแรงสามารถทำให้เกิดการพิบัติสอดคล้องกับการทดสอบ ดังต่อไปนี้ คือ

1. กำลังรับแรงเฉือนของ Active wedge ใช้กำลังแรงเฉือนจากการทดสอบ $\overline{CK_oU}$ TC TEST โดยที่ $\tau_{ff} = ((\sigma_1-\sigma_3)_f/2)\cos\phi$

2. กำลังรับแรงเฉือนของ Central wedge ใช้กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ $\overline{CK_oU}$ TC TEST โดยที่ $\tau_{ff} = ((\sigma_1-\sigma_3)_f/2)\cos\phi$

(พิจารณาว่าดินบริเวณนี้มี anisotropy ไม่มากนัก)

3. กำลังรับแรงเฉือนของ Passive wedge ใช้กำลังรับแรงเฉือนจากการทดลอบ $\overline{CK_oU}$ TE TEST โดยที่ $\tau_{ff} = ((\sigma_1-\sigma_3)_f/2)\cos\phi$ ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพกรณีก่อนการวิบัติหลังการขุดลอกแม่น้ำ โดยใช้ค่าระดับน้ำใต้ดินสูงสุดของ ฤดูแล้ง

และระดับน้ำต่ำสุดของแม่น้ำป่าสักในฤดูแล้ง สมมุติให้คันดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงรวม จะพบว่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.03 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย และเมื่อพิจารณาเสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำที่รอยผิวการวิบัติที่ปรากฏในสนาม ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการวิเคราะห์เสถียรภาพทั้งวิธี Bishop's Simplified Method และวิธี Wedge Method จะพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดของทั้งสองวิธี ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว สำหรับฤดูแล้งหลังจากการขุดลอกแม่น้ำ ให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัยทั้งคู่ ดังนั้นการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักควรทำการวิเคราะห์เสถียรภาพทั้งกรณี Bishop's Simplified Method และวิธี Wedge Method

5.2.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก การเลือกตัวประกอบในการวิเคราะห์ มีความสำคัญมาก จำเป็นต้องเลือกกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบที่เหมาะสมกับปัญหา

5.2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก ในกรณีปัญหาระยะยาว ควรใช้วิธีหน่วยแรงประสิทธิผล และ ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว ควรใช้วิธีหน่วยแรงรวม

5.2.4 ในการวิเคราะห์เสถียรภาพจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัญหาเรื่อง Progressive failure ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย