บทที่ 4

ผลของการทดสอบและวิเคราะห์

4.1 ผลของการเจาะสำรวจชั้นดินและคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน

4.1.1 ชั้นดินบริเวณจังหวัดสมุทรปราการฝั่งตะวันออก

จากการขุดเจาะสำรวจชั้นดินด้วยการขุดหลุมเจาะ จำนวน 13 หลุม พบว่าดินชั้นบนสุดเป็น Weathered Clay หนาประมาณ 1.0 เมตร มีชั้นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก (Very Soft to Soft Clay) อยู่ถัดลงมาจากชั้น Weathered Clay มีความหนาประมาณ 12.0 เมตร ถัดลึกลงไปเป็น Medium to Stiff Clay ซึ่งมีความหนา 5.0 เมตร แล้วจึงเปลี่ยนเป็น Very Stiff to Hard Clay

4.1.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน

ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของชั้นดิน จากหลุมทดสอบจำนวน 13 หลุม แสดงดังตารางที่ 4.1 นำค่าเฉลี่ยคุณสมบัติที่ได้มาพล็อตใน รูปที่ 4.1 พบว่า โดยทั่วไปค่า Natural Water Contents จะสูงใกล้เคียงกับค่า Liquid Limit ในโซนของดินเหนียวอ่อน (Soft Clay Zone) และลดลงใกล้เคียงกับค่า Plastic Limit ในโซนของดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay Zone) ค่า Water Content สูงสุดเกิดที่ความลึก 10.0 เมตร มีค่าประมาณ 91 เปอร์เซ็นต์ ใน Soft Clay Zone ค่า Liquid Limit ในโซนนี้อยู่ในช่วง 55-98 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่า Plastic Limit อยู่ในช่วง 25-36 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Total Unit Weight มีค่าสูงในโซนของดินเหนียวแข็งและจะมีค่าต่ำในโซนของดินเหนียวอ่อน

4.2 วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเสาเข็มหิน

วัสดุที่ใช้เป็นกรวดพวก Whittish-Gray, Poorly Graded Crushed Limestones คุณภาพต่ำ มีขนาดใหญ่ที่สุด เท่ากับ 75 มิลลิเมตร ผลของการวิเคราะห์โดยการร่อนผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน (Sieve Analysis) แสดงดังในรูปที่ 4.2 LAM (1985) พบว่าสำหรับกรวดชนิดเดียวกัน ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นในที่ (In Situ Density) ของแต่ละเสาเข็มหินกับ 15 ครั้งของบดอัดจะเท่ากับ 1.74 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และ (BERGADO ET AL., 1984; BERGADO AND LAM, 1987) ทำการบดอัดเสาเข็มหินโดยแต่ละชั้นของเสาเข็มจะถูกบดอัด 15 ครั้ง/ชั้น หนาชั้นละ 0.6 ม. พบว่าค่ามุมเสียดทานภายในที่ทดสอบมีค่าเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ 39-45 องศา และมีค่าความหนาแน่นการบดอัดอยู่ระหว่าง 1.73-1.85 ตันต่อลูกบาศก์เมตร SIM (1986) ใช้ Direct Shear Box สี่เหลี่ยมจตุรัส 0.15 x 0.15 เมตร ในห้องปฏิบัติการของ AIT กับกรวดคุณภาพต่ำ (Poorly-Graded) ขนาดใหญ่สุด 20 มิลลิเมตร พบว่าค่ามุมของแรงเสียดทานภายในของตัวอย่างซึ่งถูกเตรียมแบบหลวมและแบบบดอัดแล้วในสนามมีค่าอยู่ระหว่าง 39-46 องศาและได้ใช้มุมเสียดทานภายในเท่ากับ 42 องศาในการศึกษา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ค่า Density เท่ากับ 1.74 ตันต่อลูกบาศ์กเมตร และค่ามุมเสียดทานภายในเท่ากับ 42 องศา

4.3 ผลการทดสอบ Field Vane Shear

ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน และค่า Sensitivity จากการทดสอบ Field Vane Shear จำนวนทั้งสิ้น 13 หลุม ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.1 นำค่าเฉลี่ยมาพล็อตดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) และ 4.3 (ข) ผลจากการทดสอบจะพบว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน ที่ตำแหน่งต่างกันแต่ระดับเดียวกันจะมีค่าที่ต่างกัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย Sensitivity โดยส่วนใหญ่จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5 ถึง 8 ในช่วงความลึก 2 ถึง 15 เมตร ลงไป ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง ในการวิจัยนี้จะนำค่า Vane Shear ที่ได้มาปรับแก้ไขโดยใช้ค่าความสัมพันธ์ Bjrrum's Correction Factor กับค่า Plasiticity Index (LADD, 1975) รูปที่ 2.23 มาใช้ในการศึกษาเสถียรภาพของคันดินต่อไป

4.4 การคาดคะเนความลึกของดินถมใต้คันดิน

เนื่องจากในการก่อสร้างคันดินกั้นน้ำบริเวณพื้นที่ จังหวัดสมุทรปราการฝั่งตะวันออก (บางปู) จำเป็นต้องทำการก่อสร้างในพื้นที่ริมฝั่งทะเลหรือป่าเสื่อมโทรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งดินมีลักษณะอ่อนมาก (ดินเลน) การถมดินเพื่อก่อสร้างคันดินในชั้นแรกเพื่อให้ได้ระดับคันดิน +1.50 เมตร (Plate Form) จึงมีดินส่วนหนึ่งที่ต้องจมลงไปแทนที่ในดินอ่อน (ดินเลน) ทั้งนี้เป็นเพราะดินเลนเป็นดินที่มีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงฉือนต่ำมาก และเนื่องจากการก่อสร้างคันดินเป็นช่วงยาวต่อเนื่อง (Strip Loading) ทำให้ดินไม่สามารถเคลื่อนตัวตามความยาวประกอบกับฐานของคันดินมีขนาดกว้างกว่าความลึกวิกฤติ จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นการยากที่จะทำการคำนวณหาความลึกที่แท้จริงของดินถม (Z_1) ที่จมลงไป แต่สามารถประมาณได้คร่าว ๆ จากความสัมพันธ์ของคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนของเม็ดดินที่อยู่ใต้ลงไปกับ Stress เนื่องจากน้ำหนักคันดินถมชั้นแรกที่ระดับความสูง +1.50 เมตร (ระดับดินเดิมเฉลี่ยเท่ากับ +0.07 เมตร) โดยสมมุติว่าดินถมจะจมลงไปแทนที่ในดินเดิมที่ระดับความลึกที่ Stress ที่เกิดเนื่องคันดินถมสูง 1.50 เมตร ซึ่งลดลงตามความลึก เท่ากับค่า Undrained Shear Strength ของดินเดิมที่เพิ่มขึ้นตามความลึก รูปที่ 4.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของ Stress ที่เกิดขึ้นเนื่องจากคันดินถมสูง 1.5 เมตร กับ Shear Strength ของคันดินเดิม ที่เพิ่มขึ้นตามความลึก โดยค่า Stress ที่เกิดขึ้นเนื่องจากคันดินถม สามารถคำนวณหาได้โดย วิธี 2:1 โดยประมาณจากรูป พบว่าคันดินถมจะจมลงไปที่ระดับความลึกประมาณ 4.50 เมตร ส่วนรูปที่ 4.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของ Stress ที่เกิดขึ้นเนื่องจากคันดินถมสูง 1.5 เมตร บวกน้ำหนักจากรถบรรทุก 1 ตันต่อตารางเมตร กับ Shear Strength ที่ของคันดินที่เพิ่มขึ้น จากรูปพบว่าคันดินจะจมลงไปที่ระดับความลึกประมาณ 6.50 เมตร ดังนั้นจะได้ค่าเฉลี่ยของดินที่จมลงไปเท่ากับ 5.50 เมตร ซึ่งการจมลงของคันดินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของชั้นดินแต่ละพื้นที่ รูปที่ 4.6 แสดง Typical Section ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์การทรุดตัวและเสถียรภาพของคันดิน

I17332187

4.5 การคาดคะเนการทรุดตัว

ในการจัดเตรียมคันดินสำหรับติดตั้งเสาเข็มหิน หลังจากก่อสร้างคันดินจนถึงระดับ +1.50 เมตร และติดตั้งเสาเข็มหินเสร็จก็จะทำการถมดินคันทางหนา 60 เซนติเมตร (ชั้นละ 20 เซนติเมตร) ชั้นรองพื้นทางหนา 20 เซนติเมตร และผิวทางลูกรังหนา 20 เซนติเมตร ตามลำดับ จนถึงระดับ +2.50 เมตร

จากการเจาะสำรวจชั้นดินและการทดสอบหาคุณสมบัติดินทางด้านวิศวกรรมตามความลึกได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณการขนาดการทรุดตัว การประมาณการเพื่อหาค่าการทรุดตัวที่กึ่งกลางคันดินจะแบ่งชั้นดินออกเป็นชั้นย่อย ๆ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่การหาค่าความเครียดที่จุดกึ่งกลางของชั้นดินแต่ละชั้นคูณกับค่าความหนาของชั้นดินที่แบ่งก็จะได้ค่าการทรุดตัวของชั้นดินย่อย ๆ นั้น ผลรวมของค่าการทรุดตัวของชั้นดินทุกชั้น ก็จะกลายเป็นค่าการทรุดตัวรวมของคันดิน ฉะนั้นหน่วยแรงที่พิจารณาคือหน่วยแรง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของชั้นดิน รายละเอียดของแบ่งชั้นดิน เพื่อการคำนวณค่าการทรุดตัวแบบอันเดรนและการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำของคันดิน แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยมีค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของคันดินและดินถมเท่ากับ 2.0 ตันต่อลูกบาศก์เมตร มุมเสียดทานภายใน จากการทดสอบ Direct Shear Test เท่ากับ 37.5 องศา และมี Rigid Base อยู่ที่ระดับความลึก -24.0 เมตร

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบอันเดรน (Eu) ที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัวแบบอันเดรน หาได้จากตาราง ที่ 2.1 ที่ PI > 50 และ OCR < 3 ส่วนการคำนวณหาค่าการทรุดตัว เนื่องจากการอัดตัวคายน้ำอาศัยทฤษฎีของการทรุดตัวแบบ 1 มิติของ TERZAHI และวิธี 2:1 ซึ่งเป็นวิธีหาค่า Stress โดยประมาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการก่อสร้างคันดิน

4.6 อัตราการทรุดตัว

จากผลการเจาะสำรวจชั้นดินและคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน พบว่า Drainage Layer จะมีระยะจากผิวดินถึงความลึก 24.0 เมตร ใต้ความลึก 24.0 เมตร จะสมมุติว่าการทรุดตัวนั้นละทิ้งได้ เนื่องจากเป็นชั้นดินเหนียวที่มีความแข็งมาก

โดยที่ทางระบายน้ำในแนวดิ่ง 2 ทิศทาง (Double Drainage Path) B/H เท่ากับ 0.62 และสมมุติให้ Kh/Kv เท่ากับ 1 ดังนั้นจะใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การอัดตัวคายน้ำและตัวประกอบเวลา (Time

Factor) ที่เสนอโดยวิธี LACASSE ET AL., (1975) ในการคาดคะเนอัตราการทรุดตัวของคันดินในลักษณะ Plane Strain Consolidation

ผลการคาดคะเนอัตราการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.3 ส่วนรูปที่ 4.7 แสดงการคาดคะเนอัตราการทรุดตัว เนื่องจากการยุบอัดตัวโดยใช้วิธีของ LACASSE ET AL., (1975)

4.7 ผลจากการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน

4.7.1 กรณีก่อสร้างคันดินบนดินเดิม

การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน โดยใช้โปรแกรม STABLE ในการคาดคะเนเสถียรภาพความชันของ คันดินบนฐานรากดินเหนียวอ่อนที่ไม่มีเสาเข็มหิน ค่า Parameters ของคันดินและข้อมูลของดินเดิม ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.8 ผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพได้ค่า Minimum Safety Factor เท่ากับ 0.92

4.7.2 กรณีก่อสร้างคันดินบนดินถมโดยไม่มีเสาเข็มหิน

ในการใช้โปรแกรม STABLE คาดคะเนเสถียรภาพความชันของคันดิน บนฐานรากดินถมสูง 5.50 เมตร ก่อนติดตั้งเสาเข็มหิน ค่า Parameters ของคันดินและของดินฐานราก ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพได้ค่า Minimum Safety Factor เท่ากับ 1.50

4.7.3 กรณีก่อสร้างคันดินบนดินถมที่มีเสาเข็มหิน

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน กรณีก่อสร้างคันดินบนดินถมที่มีเสาเข็ม จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณเสถียรภาพโดยวิธี Profile และวิธีค่าเฉลี่ย Shear Strength โดยค่า Parameters ของคันดินและฐานรากซึ่งใช้วิธี Profile วิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ ได้ค่า Minimum

Safety Factor เท่ากับ 1.50 ส่วนค่า Parameters ของวิธีค่าเฉลี่ย Shear Strength แสดงดังในรูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ ได้ค่า Minimum Factor Safety เท่ากับ 1.71 ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยของคันดินในกรณีต่าง ๆ

ผลการศึกษาและเปอร์เซ็นต์ของการปรับปรุง พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าเสถียรภาพความชันของคันดินเป็นผลมาจากการถมดินรองพื้นคันดิน (Back Fill) และการติดตั้งเสาเข็มหินจะทำให้เสถียรภาพความชันของคันดินเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

4.8 การคาดคะเนการเคลื่อนตัวด้านข้าง

จากการก่อสร้างคันดินกั้นน้ำโดยการถมดิน (Plate Form) เพื่อก่อสร้างคันดินให้ได้ระดับ +1.50 เมตรนั้น ค่า fmax (Maximum Final Shear Stress Ratio) สามาถคำนวณได้จากอัตราส่วนสูงสุดระหว่างหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในมวลดิน ($\sigma v - \sigma h)/2$ ต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (Su) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 สมมติให้ K0 = 0.65 ที่ระดับความลึก 6.0 สามารถคำนวณหาค่า fmax โดยใช้ Influence Charts สำหรับหาการกระจายของหน่วยแรงโดย POULOS (1967 b) ได้ค่า fmax สูงสุดเท่ากับ 2.08 ส่วนตารางที่ 4.6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rhv ที่ได้จากค่า fmax, ความสูงของคันทาง (ΔH) และเสถียรภาพความลาดชันของคันทาง (Fsmin) พบว่าค่า Rhv มีค่าเท่ากับ 0.87 เมตร เมื่อ fmax มีค่า 2.08 และ Rhv มีค่าเท่ากับ 0.9 เมตร เมื่อ ΔH มีค่าเท่ากับ 1.5 เมตร และ มีค่าเท่ากับ 0.73 เมื่อ FSmin มีค่าเท่ากับ 0.92