บทที่ 2

การเจาะสำรวจและรายงาน

ในการเจาะสำรวจพื้นที่ตั้งของโครงการก่อสร้างนั้น ก่อนอื่นต้องทราบประเภทหรืองานของโครงการเสียก่อน เพื่อเป็นพื้นฐานของการกำหนดข้อมูลและขอบเขตของรายละเอียดที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลของรายละเอียดดังกล่าวจะเป็นดัชนีของการวางพิกัดแผนงานของการสำรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสำรวจพื้นที่สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่

1) งานสำรวจสภาพพื้นผิวดิน ซึ่งเป็นการสำรวจภูมิประเทศทางด้านธรณีวิทยา อาทิ เช่น สภาพพื้นผิวดินและปรากฏการณ์ของความเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ พืชที่ปกคลุม ภูมิอากาศและสภาพของสิ่งแวดล้อม ฯลฯ ในการสำรวจสภาพพื้นที่ผิวเพื่อรวบรวมข้อมูลควรปฏิบัติการควบคู่ไปกับการศึกษาแผนที่ทางธรณีวิทยา (Geology map)

2) งานสำรวจสภาพชั้นดิน จะเป็นการเจาะสำรวจชั้นดินเพื่อทราบถึงพฤติกรรมของดินแต่ละชั้น ตลอดจนระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากวิธีการสำรวจและขั้นตอนการวิเคราะห์วิจัยของงานดิน ที่มีความมั่นใจสูง จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งของการออกแบบและการก่อสร้างในภายหลัง ตามปกติจะกำหนดงบประมาณการเจาะสำรวจประมาณ 1.0 – 2.0 เปอร์เซ็นต์ของงบประมาณทั้งหมดของโครงการแต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับขนาดของโครงการและลักษณะความซับซ้อนของสภาพชั้นดิน

ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว การวางพิกัดแผนงานการสำรวจขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของโครงการนั้นต้องมีเป้าหมายที่เด่นชัด อาทิเช่น โครงการประเภทงานสะพาน เป้าหมายของการเจาะสำรวจเพื่อการคัดเลือกชนิดของฐานราก คำนวณน้ำหนักบรรทุกของฐานราก ประมาณค่าการทรุดตัวของโครงสร้าง หน่วยแรงดันของดินที่กระทำทางด้านข้าง ฯลฯ นอกจากนั้นข้อมูลการเจาะสำรวจจะขาดเสียมิได้ คือการสำรวจหาระดับน้ำใต้ดิน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบ

2.1 การเจาะสำรวจชั้นดิน

แผนงานการดำเนินงานการสำรวจพื้นที่จะต้องประกอบด้วย ขั้นตอนการเจาะสำรวจ แผนดำเนินงานเจาะสำรวจ การกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมเจาะและความลึก

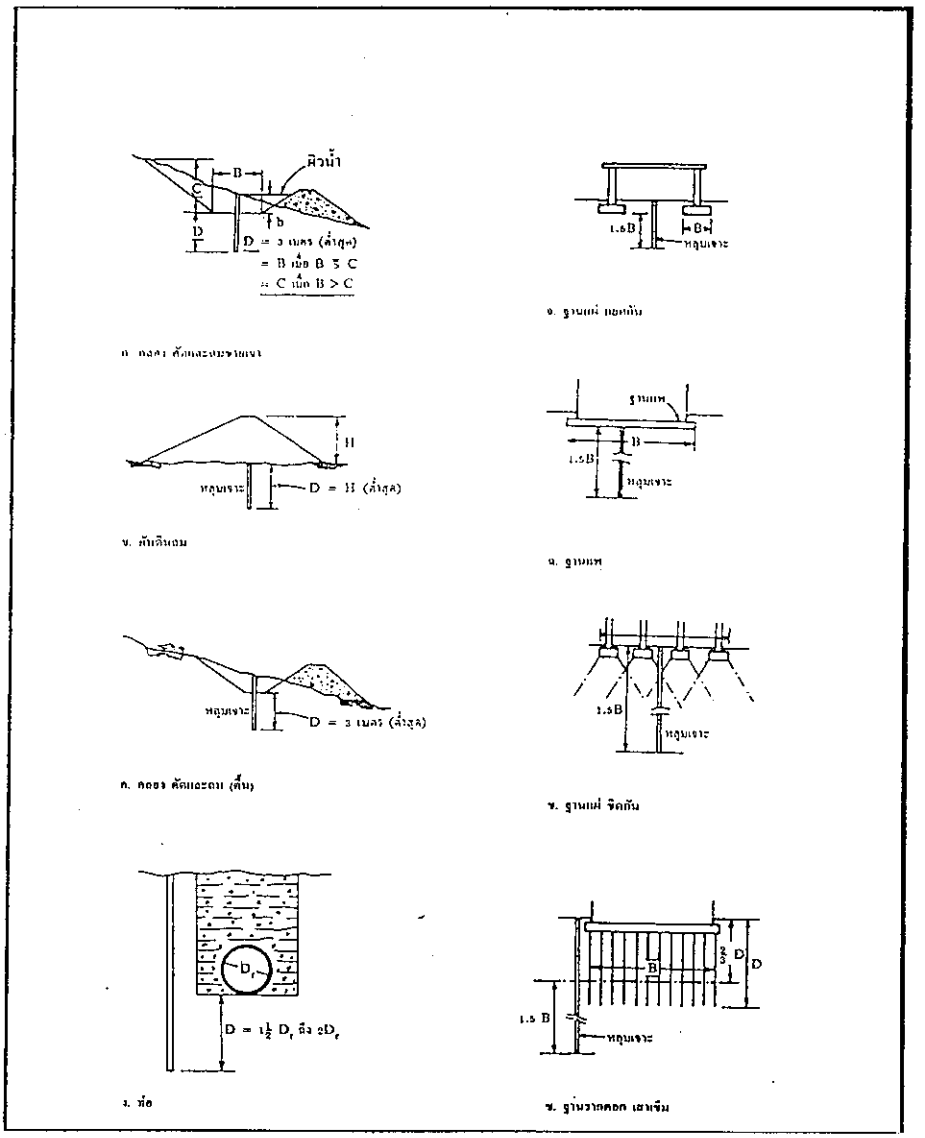
สำหรับงานประเภทสะพาน ควรทำหลุมเจาะอย่างน้อย 1 หลุม ในระยะเริ่มแรกของการหาข้อมูล อนึ่งสำหรับชั้นดินที่มีความแตกต่างกันมาก ระยะห่างของหลุมไม่ควรเกิน 10 เมตร และชั้นดินที่สม่ำเสมอระยะห่างของหลุมไม่ควรเกิน 100 เมตร กำหนดความลึกของหลุมเจาะนั้นขึ้นอยู่กับขนาดน้ำหนักบรรทุกของอาคารและลักษณะของชั้นดินที่พบ โดยเฉพาะหลุมเจาะลึกถึงชั้นดินแข็งและไม่มีชั้นดินอ่อนรองรับ สำหรับพื้นที่กรุงเทพฯ การกำหนดระยะห่างของหลุมเจาะและความลึกพอที่จะศึกษาเป็นแนวทางได้จาก ตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ระยะของหลุมเจาะสำรวจสำหรับชั้นดินที่มีความแตกต่างน้อยมากในบริเวณพื้นที่กรุงเทพฯ

ประเภทของงานก่อสร้าง	ระยะห่างของหลุมเจาะ (ม.)	จำนวนหลุมเจาะต่ำสุด
ถนน	60-600	
เขื่อนดินและคันดิน	15-60	
บ่อ	30-120	
อาคารสูง	15-45	4 หลุม
อาคารโรงงานชั้นเดียว	30-90	3 หลุม
เสาตอม่อสะพาน	8-30	1 หลุม
เสาคอสะพาน	8-30	1 หลุม
โครงเสาอากาศ	8-30	1 หลุม

ตารางที่ 2.2 ความลึกของหลุมเจาะของงานแต่ละประเภท

ประเภทของงาน	ความลึกของหลุมเจาะ
ถนน , สนามบิน	จะต้องลึกไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร และมีความลึกมากกว่าชั้นดินถม ชั้นดินอินทรีย์ ชั้นดินอ่อน
กำแพง , เขื่อนกันดิน	จะต้องมีความลึกมากกว่าชั้นดินถม ชั้นดินอินทรีย์ ชั้นดินอ่อน แนวเคลื่อนพิบัติของมวลดินเท่ากับความกว้างของเขื่อน
ดินถมและดินขุด	จะต้องมีความลึกมากกว่าแนวการเคลื่อนพิบัติมวลดิน ความกว้างของก้นคลอง ชั้นดินอ่อน
ฐานรากอาคาร	จะต้องมีความลึกถึงชั้นดินที่สามารถรับน้ำหนักของอาคารได้อย่างมั่นคงและการทรุดตัวอยู่ภายใต้พิกัดที่กำหนด



รูปที่ 2.1 ความลึกหลุมเจาะของฐานรากประเภทต่าง ๆ (ผศ. มานะ อภิพัฒนมนตรี , 2543)

การเจาะสำรวจดินโดยทั่วไปมักมีวิธีการทำดังต่อไปนี้ สว่านเจาะ (Auger) เจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) ในการเจาะสำรวจสำหรับงานฐานรากของโครงการปรับปรุงสะพานนเรศวร ได้ใช้วิธีการเจาะสำรวจแบบฉีดล้าง ซึ่งเป็นวิธีการที่เพิ่มประสิทธิภาพการเจาะหลุมให้มากขึ้นและสามารถปฏิบัติการกับชั้นดินทุกชนิด โดยมีวิธีการดำเนินดังต่อไปนี้

1. การลงปลอกเหล็กกันดินพัง (Steel Casing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ยาวประมาณ 3-6 เมตร อาจใช้ Casing เพื่อป้องกันการพังของหลุมเจาะช่วงบน

2. นำเครื่องเจาะแบบ Rotary System ที่มีหัวเจาะขนาด 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) มาตั้งและทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ โดยก้านเจาะและหัวต่าง ๆ ควรเตรียมไว้บริเวณใกล้ ๆ กันเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

3. หมุนหัวหมุน (Rotary) ในชั้นดินจะทำการไปพร้อมกับการฉีดน้ำตลอดเวลา ทำให้เศษดินที่อยู่ก้นหลุมจะถูกน้ำดันขึ้นมาข้างบน แล้วปล่อยให้ลงในบ่อตกตะกอน แล้วสูบน้ำกลับมาใช้อีกครั้ง

4. จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินที่ความลึกที่ต้องการ ด้วยกระบอกบางและทำการทดสอบในสนาม ลำดับตามขั้นตอน

2.2 วิธีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม (In - Situ Test)

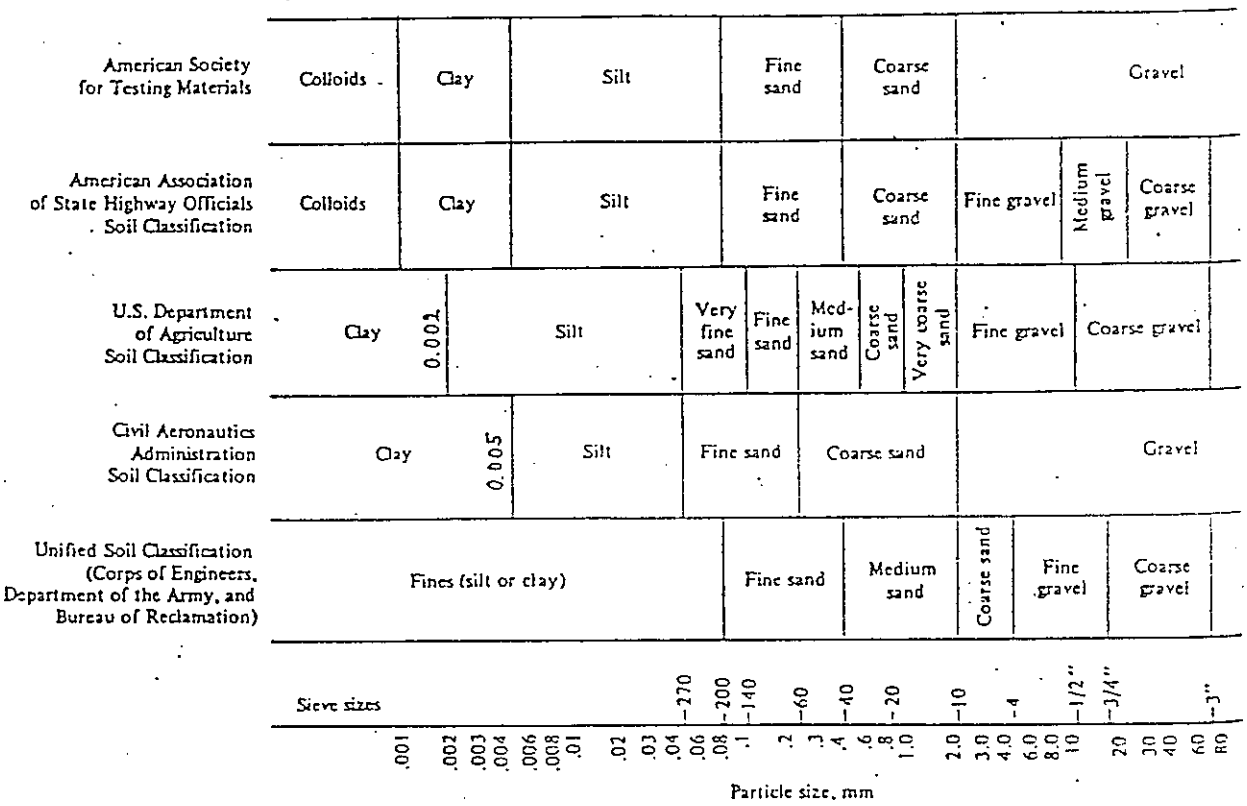
ในการระหว่างการเจาะสำรวจดินมักมีการทดสอบคุณสมบัติในสนามไปพร้อม ๆ กัน เช่น การหากำลังความต้านทานของชั้นดิน , การหาค่าความซึมน้ำ เป็นต้น ข้อดีของการทดสอบในสนามคือ ชั้นดินจะถูกรบกวนน้อยที่สุด เพราะยังคงอยู่ในที่และทดสอบโดยใช้เครื่องมืออย่างละเอียดเหมือนในห้องทดลองทำได้ยากลำบาก วิธีการทดสอบมีดังนี้

การจำแนกดินด้วยตาเปล่า (Visual Soil Classification)

การจำแนกดินชนิดนี้ใช้เครื่องมือง่าย ๆ ได้แก่ ตะแกรง จุดประสงค์หลักคือต้องการทราบชนิดของดินโดยอาศัยหลักการดังต่อไปนี้

ก. สำหรับเม็ดดินหยาบ (Coarse Grain Soil) เป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless Soil) การจำแนกดินตามขนาดคละของเม็ดดินทำโดยใช้ตะแกรงเพื่อแยกขนาดของเม็ดดินตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งอาจทำได้ดังนี้

ข. สำหรับดินเม็ดละเอียด (Fine Grained Soil) เป็นดินที่มีความเชื่อมแน่นเช่น Cohesive Soil และ Silt ที่ไม่มีพลาสติกรวมทั้ง Intermediate Soil โดยพิจารณาจากสภาพของดินเหนียว (Consistency) สถานะภาพความเหลวของดิน (Plasticity) รวมทั้งการปนเปื้อนของอินทรีย์วัตถุ

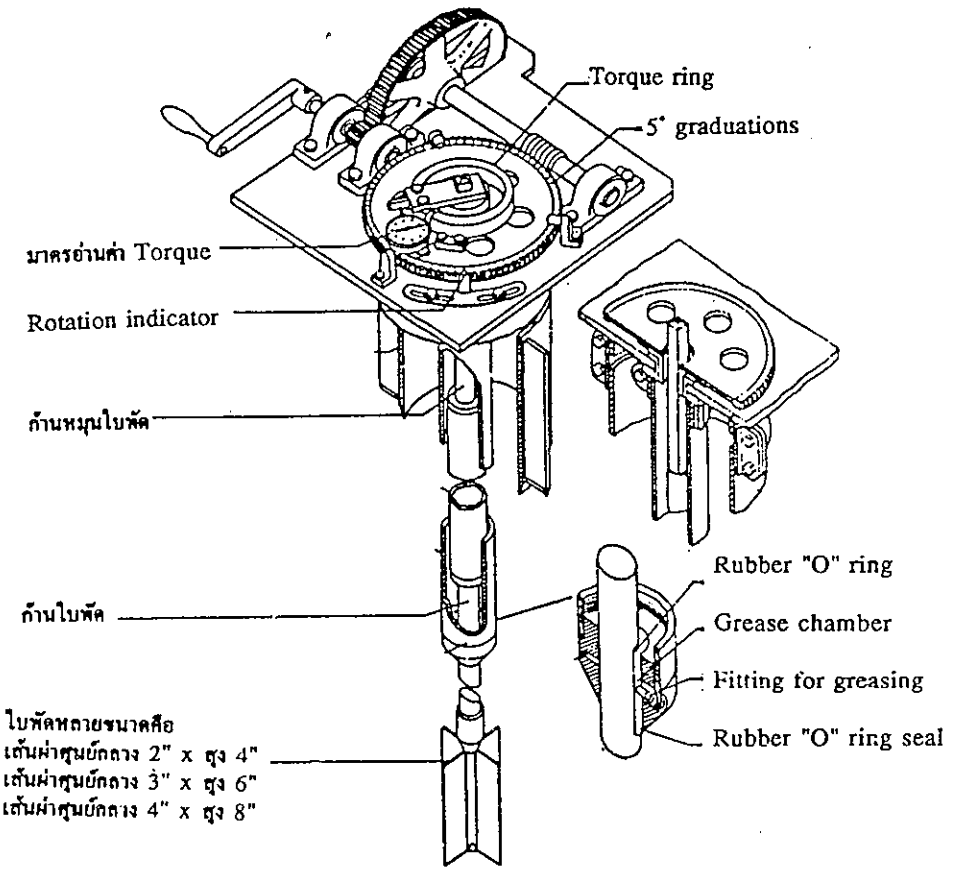


รูปที่ 2.2 การจำแนกดิน โดยวิธีของ ASTM , AASHO , USDA , CAA, Corp of Engineers and USBR

Vane Shear Test

การทดสอบนี้เริ่มโดยการใช้ใบมีด 4 แฉก (ความสูงเป็น 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง) เสียบลงไปในชั้นดินแล้วหมุนด้วยอัตราเร็ว 0.10 องศาต่อวินาที บันทึกมุมที่บิดไปกับแรงที่ใช้หมุน Torque สูงสุดที่ทำให้ดินพังทลาย ควรทดสอบทุกช่วง 30 เซนติเมตร

เป็นการทดสอบในสนามสำหนับดินเหนียวอ่อนเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้กับบริเวณการก่อสร้างสะพานนเรศวร



รูปที่ 2.4 การติดตั้งและรายละเอียดของ Field Vane Shear Test (อ. วรรณี ศุขสาตร, 2539)

วัดการซึมน้ำ (Pemeability Test)

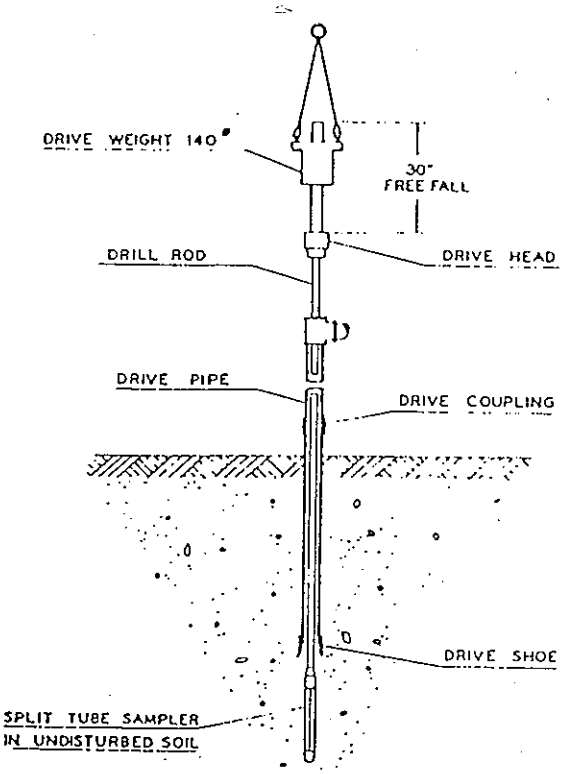
เป็นการวัดค่าความซึมซองน้ำใต้ดินตามสภาพที่เป็นอยู่ตามธรรมชาติโดยการฝัง Piezometer ทำการจับเวลาและวัดระดับน้ำเพื่อวัดแรงดันใต้ดินที่ระดับที่ต้องการ ซึ่งการนำตัวอย่างคงสภาพในสนามและนำไปหาค่าการซึมน้ำในห้องทดลองเป็นวิธีที่นิยมทำในห้องปฏิบัติการ

การวัดหาระดับน้ำใต้ดิน

ในการสำรวจดิน สำหรับ granular soil เช่นทรายหรือกรวด อาจวัดหาระดับน้ำในหลุมเจาะหลังจากปล่อยไว้ 10 ถึง 24 ชั่วโมงได้แต่ถ้าเป็น fine – grained soil แล้ว ต้องทิ้งไว้เป็นวันหรืออาจเป็นอาทิตย์

Standard Penetration Test (SPT)

ใช้ทดสอบในหลุมเจาะดินโดยใช้ standard split – spoon sample (Raymond sampler) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2 นิ้ว ทดสอบโดยใช้ค้อนหรือลูกตุ้มหนัก 140 ปอนด์ ยกขึ้นสูง 30 นิ้วแล้วปล่อยให้ตกอย่างอิสระ นับจำนวนครั้งของการกระแทกให้จมลงไปในดินทุกช่วง 6 นิ้ว (ไม่ควรใช้ค่าของ 6 นิ้วแรกเพราะเกิดการรบกวนต่อดิน) และคำนวณออกมาเป็นจำนวนครั้งต่อฟุต นิยมใช้ทดสอบกับทรายหรือดินที่มีกรวดขนาดเล็กปนไม่มากนัก เพื่อหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความแข็งแรงของดิน อาจนำไปใช้ทดสอบกับดินเหนียวได้เช่นกัน



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของการทำ Standard Penetration Test (SPT) (ดร. บุญเทพ นาเนก รังสรรค์ ,2539)

Sounding Test

การทำ Sounding อย่างง่ายโดยใช้คนเดียว ซึ่งวิธีนี้ดัดแปลงมาจากวิธี Standard Penetration Test (SPT) โดยใช้ค้อนปอนด์ตอกเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว (ต่อเป็นช่วง ๆ ความยาว 1.00 – 1.50 เมตร เพื่อสะดวกในการทำงาน) ตอกลงไปจนถึงชั้นดินแข็งจนกระทั่งตอกไม่ลง วัดความลึกที่ตอกได้แล้ว เผื่อความยาวอีกประมาณ 2 – 3 เมตร วิธีนี้จะใช้สำหรับการประมาณความยาวของเสาเข็มในสนามเท่านั้น

2.3 รายงานการเจาะสำรวจดิน (Soil Report)

รายงานการสำรวจดินนั้นควรจะประกอบไปด้วย

1. บทนำ

   บทนำจะบอกที่ตั้งของโครงการ จำนวนของหลุมเจาะ และวัตถุประสงค์ของรายงาน

2. การเจาะสำรวจและการทดสอบในสนาม

   จะบอกถึงวิธีการที่ใช้ในการเจาะ การเก็บตัวอย่าง และการทดสอบค่า SPT

3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

   เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM เช่น การหาความชื้นในมวลดินตามธรรมชาติ (Natural Moisture Content) การหาความหนาแน่นเปียก (Wet Density) การทดสอบ Atterberg Limit การทดสอบ Sieve Analysis และการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือน Undrained โดยทำ Unconfined Compression Test

4. ลักษณะชั้นดิน

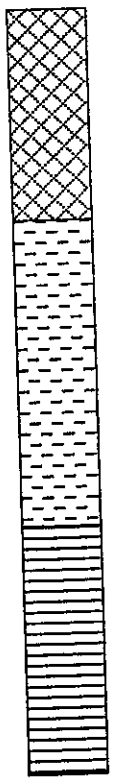
   บอกถึงความลึก ชนิดของดิน และค่า SPT - N Value และระดับน้ำใต้ดิน

5.. คำเสนอแนะ

ตัวอย่างและรูปแบบการรายงานผลการเจาะสำรวจดิน สามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก

2.4 ตัวอย่างการรายงานผลการสำรวจชั้นดินบริเวณสะพานนเรศวร

จากการเจาะสำรวจดิน และนำตัวอย่างดินไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ตัวอย่างการเจาะสำรวจบริเวณงานก่อสร้างสะพานนเรศวร จ.พิษณุโลก สามารถที่จะแบ่งชั้นดินได้ 11 ชั้น ดังต่อไปนี้



ชั้น Top soil

เป็นชั้นแรกที่พบในการเจาะสำรวจ พบตั้งแต่ที่ระดับผิวดินจนถึงที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 4.00 เมตร

ชั้นดินทรายปนดินเหนียวแน่นปานกลาง (Medium dense clayey sand)

เป็นชั้นที่รองรับชั้น Top soil พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร ถึงที่ระดับความลึกประมาณ 5.50 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 1.50 เมตร มีค่าการตอก (SPT – N) ประมาณ 19

ชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งมาก (Very stiff sandy clay)

เป็นชั้นที่รองรับชั้นดินทรายปนดินเหนียวแน่นปานกลาง พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 5.50 เมตรถึงที่ระดับความลึกประมาณ 10.00 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 4.50 เมตร ซึ่งมีค่าการตอก (SPT – N) อยู่ระหว่าง 15 ถึง 20

ชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งปานกลางและแข็ง (Medium stiff and stiff sandy clay)
เป็นชั้นที่รองรับชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งมาก พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 10.00 เมตร ถึงที่ระดับความลึกประมาณ 14.50 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 4.50 เมตร ซึ่งมีค่าการตอก (SPT – N) อยู่ระหว่าง 4 ถึง 8

ชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งมาก (Very stiff sandy clay)
เป็นชั้นที่รองรับชั้นดินเหนียวปนดินทรายที่แข็งปานกลางและแข็ง พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 14.50 เมตร ถึงที่ระดับความลึกประมาณ 16.00 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 1.50 เมตร ซึ่งมีค่าการตอก (SPT – N) ประมาณ 19

ชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งปานกลางและแข็ง (Medium stiff and stiff sandy clay)
เป็นชั้นดินที่รองรับชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งมาก พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 16.00 เมตร ถึงระดับความลึกประมาณ 19.00 เมตรจากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 3.00 เมตร ซึ่งมีค่าการตอก (SPT – N) อยู่ระหว่าง 6 ถึง 8

ชั้นดินทรายปนทรายแป้งแน่น (Dense silty sand)
เป็นชั้นที่รองรับชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งปานกลางและแข็ง พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 19.00 เมตร ถึงที่ระดับความลึกประมาณ 20.50 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 1.50 เมตร มีค่าการตอก (SPT – N) ประมาณ 45

ชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งมากและแข็งที่สุด (Very stiff and hard sandy clay)
เป็นชั้นที่รองรับชั้นดินทรายปนทรายแป้งแน่น พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 20.50 เมตร ถึงที่ระดับความลึกประมาณ 26.30 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 1.50 เมตร ซึ่งมีค่าการตอก (SPT – N) ประมาณ 26 และมากกว่า 30

ชั้นดินทรายปนทรายแป้งแน่นมาก (Very dense silty sand)
เป็นชั้นที่รองรับชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งมากและแข็งที่สุด พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 26.50 เมตร ถึงที่ระดับความลึกประมาณ 31.00 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 4.50 เมตร มีค่าการตอก (SPT – N) มากกว่า 50

ชั้นดินเหนียวปนดินทรายแข็งมากและแข็งที่สุด (Very stiff and hard sandy clay)
เป็นชั้นที่รองรับชั้นดินทรายปนทรายแป้งแน่นมาก พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 31.00 เมตร ถึงที่ระดับความลึกประมาณ 40.00 เมตร จากระดับผิวดิน ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 9.00 เมตร ซึ่งมีค่าการตอก (SPT – N) อยู่ระหว่าง 19 ถึง 30 และมากกว่า 30

ชั้นดินทรายปนทรายแป้งแน่นและแน่นมาก (Dense and Very dense silty sand)
เป็นชั้นสุดท้ายที่พบในการเจาะสำรวจ พบตั้งแต่ที่ระดับความลึกประมาณ 40.00 เมตร จนถึงก้นหลุม (45.45 เมตร) จากระดับผิวดิน มีค่าการตอก (SPT – N) ประมาณ 40 และมากกว่า 50

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า S_U กับค่า SPT

ค่าของ S_U นั้นคือค่า Undrain Shear Strength ที่ได้จาก Unconfined compression test ซึ่งได้จากการค้นคว้ามามากมายนั้นจึงได้มีผู้เสนอค่าความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันระหว่างค่า SPT กับค่า S_U ดังนี้

S_U	=	20 N	kN/m^2	(Meyerhof)
S_U	=	13 N	kN/m^2	(Terzaghi & Peck)
S_U	=	7 N	kN/m^2	(Reese , Touma and O ' Neil)
S_U	=	4 to 6 N	kN/m^2	(Stroud and Butler)

ข้อมูลจากหลุมเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน จำนวน 32 หลุมดังตารางที่ 1 ในบริเวณเมืองพิษณุโลก

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ของหลุมเจาะและตำแหน่งบริเวณ

หลุมเจาะ	ลำดับ	ลึก (ม.)	ตำแหน่งบริเวณ	แหล่งข้อมูล
BH – A	A-1	21.50	ม.นเรศวร	เอกสารอ้างอิง # 6
	A-2	41.00	ม.นเรศวร	
	A-3	35.00	ม.นเรศวร	
	A-4	36.50	ม.นเรศวร	
BH – B	B-1	20.0	ถ. บรมไตรโลกนาถ	เอกสารอ้างอิง # 5
	B-2	20.0	เทศบาลเมืองพิษณุโลก	
	B-3	20.0	เทศบาลเมืองพิษณุโลก	
BH – C	C-1 to C-16	11.5-24.5	เทศบาลเมืองพิษณุโลก	เทศบาลเมืองพิษณุโลก

2.5.1 ลักษณะสภาพชั้นดินชั้นต้นของหลุมเจาะ BH - A1

พบว่ามีลักษณะสภาพของชั้นดิน แบ่งได้เป็น 3 ชั้นดังนี้

ชั้นแรกเป็นดินถม (Top Soil) มีระดับความลึกประมาณ 1.00 – 4.00 เมตร โดยเป็นดินที่ผ่านการบดอัดแล้ว กำลังต้านทานแรงเฉือนพอใช้ การยุบตัวปานกลาง ชั้นที่ถัดมาเป็นดินเหนียวแข็ง (CL) พบระดับ 4.0 –16.30 ที่มีค่า SPT อยู่ระหว่าง 17 – 30 กำลังต้านทานแรงเฉือนพอใช้ ชั้นสุดท้าย

เป็นดินทรายปนกรวดและดินเหนียว มีความหนาอยู่ระหว่าง 16.30 –21.50 เมตร ค่า SPT โดยเฉลี่ยประมาณ 25 โดยระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ -1.80 เมตร

ผลการทำ Regression Analysis

Sample	N (Blows/ft)	S_u(t/m^2)							
no.	x_i	Y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2	$y_i' = \alpha+\beta x_i$	$y_i - y_i'$	$(y_i - y_i')^2$	y_i / x_i
SS - 01	30.00	20.01	600.30	900.00	400.40	20.473	-0.463	0.2144	6.67
SS - 02	20.00	12.97	259.40	400.00	168.22	13.002	-0.032	0.0010	6.49
SS - 03	24.00	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
SS - 04	20.00	11.76	235.20	400.00	138.30	13.002	-1.242	1.5426	5.88
SS - 05	22.00	15.34	337.48	484.00	235.32	14.496	0.8438	0.7120	6.97
SS - 06	21.00	15.17	318.57	441.00	230.13	13.749	1.4209	2.0190	7.22
SS - 07	17.00	10.23	173.91	289.00	104.65	10.761	-0.5307	0.2816	6.02
SS - 08	5.00	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
SS - 09	11.00	16.20	178.20	121.00	262.44	6.80	9.40	88.42	N / A
SS - 10	19.00	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
SS - 11	24.00	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
SS - 12	26.00	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
SS - 13	28.00	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
Sum	130.00	85.48	1924.86	2914	1277.02		Δ^2 =	4.7706	6.53

$x = 21.67 \qquad y = 14.25$

$\beta = (\Sigma x_i y_i - nxy) / (\Sigma x_i^2 - n x^2) = (1924.86 - 6 \times 21.67 \times 14.25) / (2914 - (6)(21.67)^2) = 0.7471$

$\alpha = y - \beta x = 14.25 - (0.7471 \times 21.67) = 1.940$

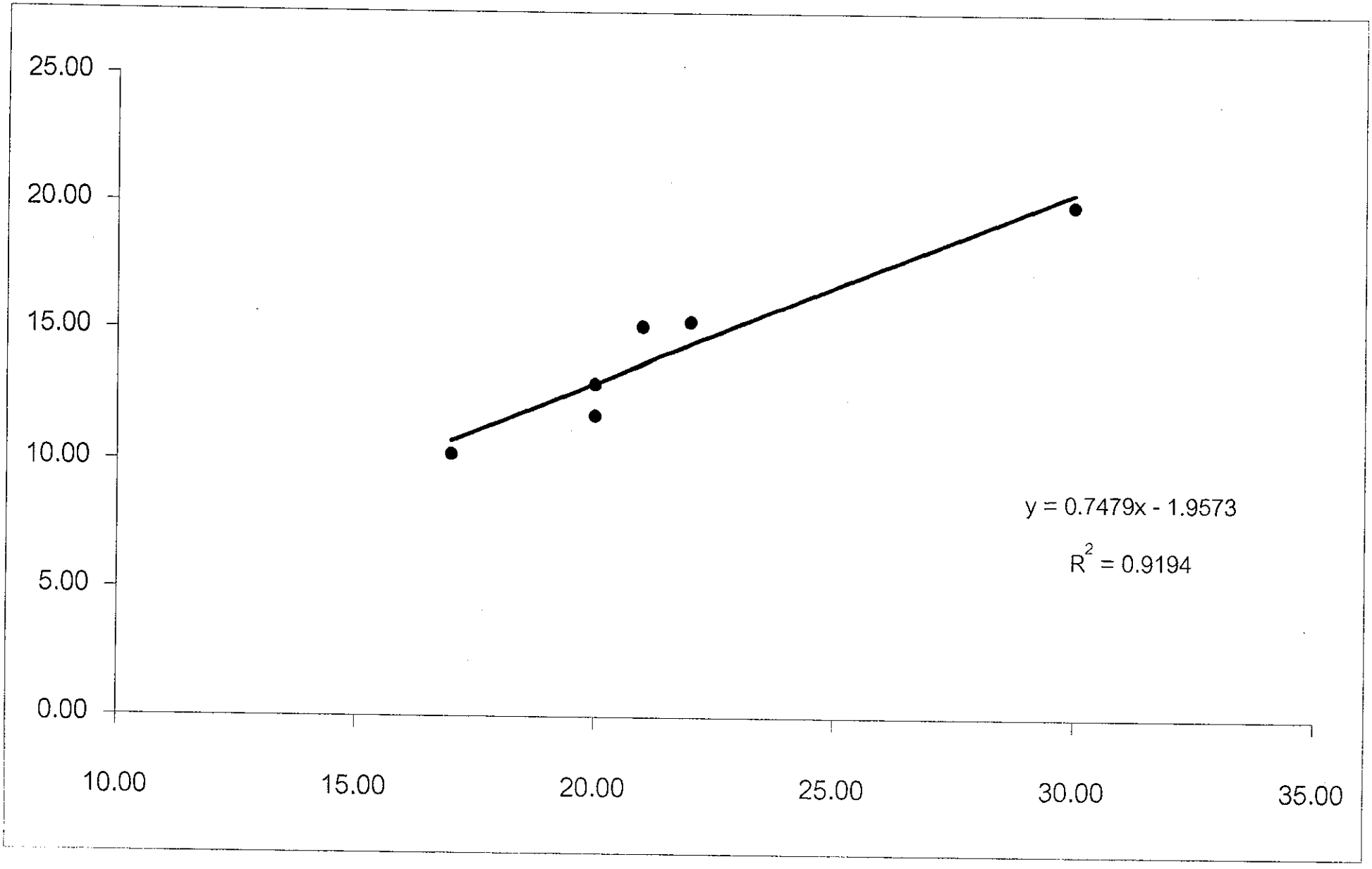
$S_Y^2 = (1/n-1)\Sigma(y_i - y)^2 = (1/5)[1277.02 - (6)(14.25)^2)] = 11.729$

$S^2_{Y/X} = \Delta^2 / (n-2) = (4.7706) / (6 - 2) = 1.1926$

$p^2 = 1 - (n-2/n-1)(S^2_{Y/X} / S_Y^2) = 1 - (4/5)(1.1926 / 11.729) = 0.9186$

จากข้อมูลในตารางจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับ SPT – N เป็น Su = 5.88 to 7.22 N

หรือใช้ค่า Average จะได้ Su = 6.53 N


25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
10.00
15.00
20.00
25.00
30.00
35.00
y = 0.7479x - 1.9573
R2 = 0.9194

2.5.2 ลักษณะสภาพชั้นดินของหลุม BH – B1

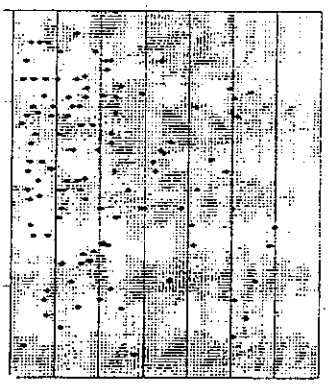
แบ่งตามสภาพชั้นดินได้เป็น 3 ชั้น

ชั้นแรกมีระดับความลึกประมาณ 0 - 6.0 เมตร เป็นดินเหนียวมีตะกอนปนอยู่และมีความเหนียวปานกลางถึงสูง สีน้ำตาลปนเทาดำ ชั้นต่อมาเป็นดินเหนียวแข็ง (CL) หนาอยู่ที่ระดับความลึก 6.00 – 18.00 เมตร ชั้นสุดท้ายเป็นดินทรายปนกรวด ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ – 2.30 เมตร

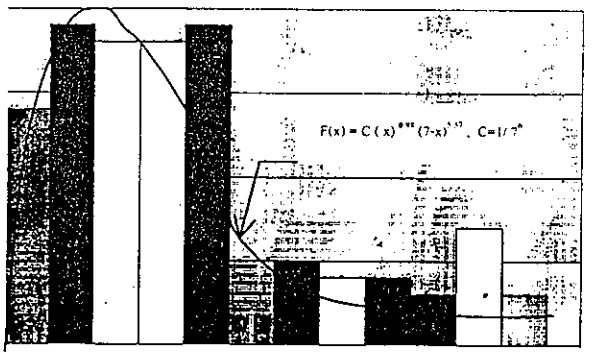
2.5.3 ลักษณะสภาพชั้นดินของหลุม BH – C

ข้อมูลคุณสมบัติค่า LL และ PI ของดินเหนียวแข็งมาจากหลุมเจาะ BH – C จำนวน 16 หลุมครอบคลุมพื้นที่ ของเทศบาลเมืองพิษณุโลก นำมาพล็อตใน Plasticity Chart แสดงลักษณะของดินเป็นประเภทดินเหนียวแข็ง ยุบตัวปานกลาง (CL) มีจำนวน 89.2 % อยู่เหนือเส้น A- Line และ 90 % มีค่า LL น้อยกว่า 50 %

ข้อมูลค่ากำลังต้านทานแรงกด (Unconfined compression strength) จำนวน 119 ตัวอย่าง แสดงการกระจายค่ากำลังต้านทานกับความลึกและลักษณะการกระจายความน่าจะเป็น จากการทดสอบความเหมาะสมที่สุด (Goodness of Fit) ของ 12 ช่วง โดยประมาณจาก $\sqrt{119}$ น่าเชื่อถือได้ว่ามีลักษณะสอดคล้องกับการกระจายตัวแบบเบต้า ด้วยค่า $\chi^2_0 = 16.10$ ซึ่งน้อยกว่า $\chi^2_{0.05,9}$ ที่มีดีกรีความเป็นอิสระเป็น 9 ด้วยความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งมีค่ามัธยฐาน = 5.05 t/m2



รูปที่ 2.5 ค่า Su กับความลึก



รูปที่ 2.6 การกระจายค่ากำลังแรงเฉือนของดิน

ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง Su กับค่า SPT ของสะพานนเรศวร

จากการหาความสัทพันธ์ระหว่างค่า Su กับค่า SPT ของสะพานนเรศวรนั้น ได้ค่าความสัมพันธ์ Su = 6.53 ซึ่งสามารถหาค่า Su ตามความลึกดังนี้

Depth (m)	N	Su (t/m2)
1.5	4	2.612
3.0	9	5.877
4.5	19	12.407
6.0	15	9.795
7.5	15	9.795
9.0	20	13.06
10.5	6	3.918
12.0	4	2.612
13.5	8	5.224
15.0	19	12.407
16.5	8	5.224
18.0	6	3.918
19.5	45	29.385
21.0	64	41.792
22.5	26	16.978
24.0	44	28.732
25.5	46	30.038
27.0	53	34.609
28.5	58	37.874

Depth (m)	N	Su (t/m2)
30.0	52	33.956
31.5	39	25.467
33.0	36	23.508
34.5	26	16.978
36.0	19	12.407
37.5	30	19.59
39.0	40	26.12
40.5	40	26.12
42.0	54	35.262
43.5	70	45.71
45.0	56	36.568

จากการคำนวณโดยวิธี Static Formular ของเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มม.

จากสูตร $Qf = Qs + Qp$

$= \sum(\Delta L)(as)(Ss) + Ap\,(qf)$

โดยที่ ΔL = ความยาวของเสาเข็มในชั้นดิน (m.)

as = เส้นรอบรูปเสาเข็มที่รับแรงฝืดผยุงตัว (m.)

Ss = แรงยึดหรือแรงพยุงผิวระหว่างเสาเข็มกับดิน (kg/m^2)

qf = ความต้านทานต่อแรงกดอัดประลัยที่ปลายเสาเข็ม

$= CNc + \gamma dNq + 0.5\gamma BN_\gamma$

Ap = พื้นที่หน้าตัดของปลายเสาเข็ม

C = แรงยึดเหนี่ยวของดิน (kg/m^2)

การคำนวณเสาเข็มต้นที่ I ตับที่ 3 มีความยาวทั้งหมด 33.57 ม.

ระดับปลายเสาเข็ม 29.00 ม.

จากตาราง Boring log ของโครงการสะพานนเรศวร ในภาคผนวก ก. เสาเข็มต้นนี้ผ่านชั้นดินทั้งหมด 9 ชั้น

วิธีทำ

$$Qf = (Q_{s1} + Qs_2 + \ldots Q_{s9}) + Qp$$

โดยที่ Q_{su} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็ง

$= (\Delta L)(as)(0.4\,Su)$

ซึ่ง Su หาได้จากความสัมพันธ์ของ Su กับ N

Su = 6.53 N

$Q_{top\ soil\ 1}$ = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินอ่อน

$= (2.0)(2\pi \times 0.5)(0.85 \times 6.53 \times 4) = 139.50$ ตัน

$Q_{top\ soil\ 1}$ = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินปานกลาง

$= (2.0)(2\pi \times 0.5)(0.4 \times 6.53 \times 9) = 173.55$ ตัน

Q_{s1} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็ง

= (1.5) (2π x 0.5) (0.4 x 6.53 x 19) = 233.87 ตัน

Q_{s2} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็ง

= (2.5) (2π x 0.5) (0.4 x 6.53 x 15) = 307.72 ตัน

Q_{s3} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็ง

= (2.0) (2π x 0.5) (0.4x6.53x20) = 328.23 ตัน

Q_{s4} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินอ่อน

= (2.0)(2π x 0.5) (0.68x6.53x6) = 167.40 ตัน

Q_{s5} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินอ่อน

= (1.5)(2π x 0.5) (0.85x6.53x4) = 104.62 ตัน

Q_{s6} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินอ่อน

= (1.0)(2π x 0.5) (0.55x6.53x8) = 90.26 ตัน

Q_{s7} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็ง

= (1.5) (2π x 0.5) (0.4x6.53x19) = 233.75 ตัน

Q_{s8} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินอ่อน

= (1.5) (2π x 0.5) (0.4x6.53x8) = 98.47 ตัน

Q_{s9} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินอ่อน

= (1.5) (2π x 0.5) (0.47x6.53x6) = 86.78 ตัน

Q_{s10} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นทราย

= (ΔL) (as) (K σ'_v tan ϕ')

K $\approx$ 1 และ $\phi' \approx 40$ จะได้

σ'_v = (2)(4) + (1.81 –1)(1.5) + (1.9 –1)(4.5) + (1.93 –1)(4.5) +
(1.93 –1)(1.5) + (1.93 –1)(3.0) + (1.93 –1)(1.5/2)

= 22.33 ตัน/ม.^{2}

Q_{s10} = (1.5) (2π x 0.5) (1 x22.33xtan 40) = 58.86 ตัน

Q_{s11} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็งมาก

= (1.5) (2π x 0.5) (0.4x6.53x64) = 787.76 ตัน

Q_{s12} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็งมาก

= (2.0) (2π x 0.5) (0.4x6.53x26) = 426.70 ตัน

Q_{s13} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็งมาก

= $(1.5)(2\pi \times 0.5)(0.4 \times 6.53 \times 44)$ = 541.58 ตัน

Q_{s14} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินแข็งมาก

= $(1.0)(2\pi \times 0.5)(0.4 \times 6.53 \times 48)$ = 393.88 ตัน

Q_{s15} = เสาเข็มที่อยู่ในชั้นทราย

$K \approx 1$ และ $\phi' \approx 43$ จะได้

σ'_v = $(2)(4) + (1.81-1)(1.5) + (1.9-1)(4.5) + (1.93-1)(4.5)$

$+(1.93-1)(1.5) + (1.93-1)(3.0) + (1.93-1)(1.5) + (1.96-1)(6.0)$

$+(2.09-1)(1.75)$ = 30.70 ตัน/ม.^{2}

Q_{s15} = $(2.5)(2\pi \times 0.5)(1 \times 30.70 \times \tan 40)$ = 202 .32 ตัน

Q_p = $A_p \sigma'_v N_q$

= $[\pi(1^2)/4](30.70)(80)$ = 1928.94 ตัน

$\therefore$ Q_f = $4375.25 + 1928.94$ = 6304.19 ตัน

กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม = $6304.19 / 5.5 \approx$ 1150 ตัน

จากการเปรียบเทียบการคำนวณการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจาก Dynamic Load Tests

เสาเข็ม	ขนาด ∅ (ม.)	ความยาว (ม.)	ระยะฝัง (ม.)	น้ำหนักตุ้ม (ตัน)	ระยะยก (ม.)	น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (ตัน)
3/1	1.0	33.57	29.0	5.6	7.5	1233.6
2/4	1.0	36.27	35.0	5.6	7.5	1204.3

หมายเหตุ : P 3/1 ใช้ Smith damping factor = 0.995 Quake = 2.54 มม.

P 2/3 ใช้ Smith damping factor = 1.207 Quake = 2.61 มม.

ค่า Factor of Safety $\approx$ 1.04 กับ 1.06