



SPECIAL PROJECT

**" THE PREDICTION OF DIFFERENTIAL CONSOLIDATION SETTLEMENT
AND RATE OF CONSOLIDATION SETTLEMENT OF SOFT CLAY DUE TO
EMBANKMENT LOAD WITH COMPUTER'S PROGRAM "**

NAME : MR.MANIT BANCHONGTHANAKIT 291915

ADVISOR : MR.SUPOT SRININ

DEPARTMENT : CONSTRUCTION TECHNOLOGY

FACULTY OF ENGINEERING

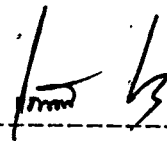
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR : 1989

027106

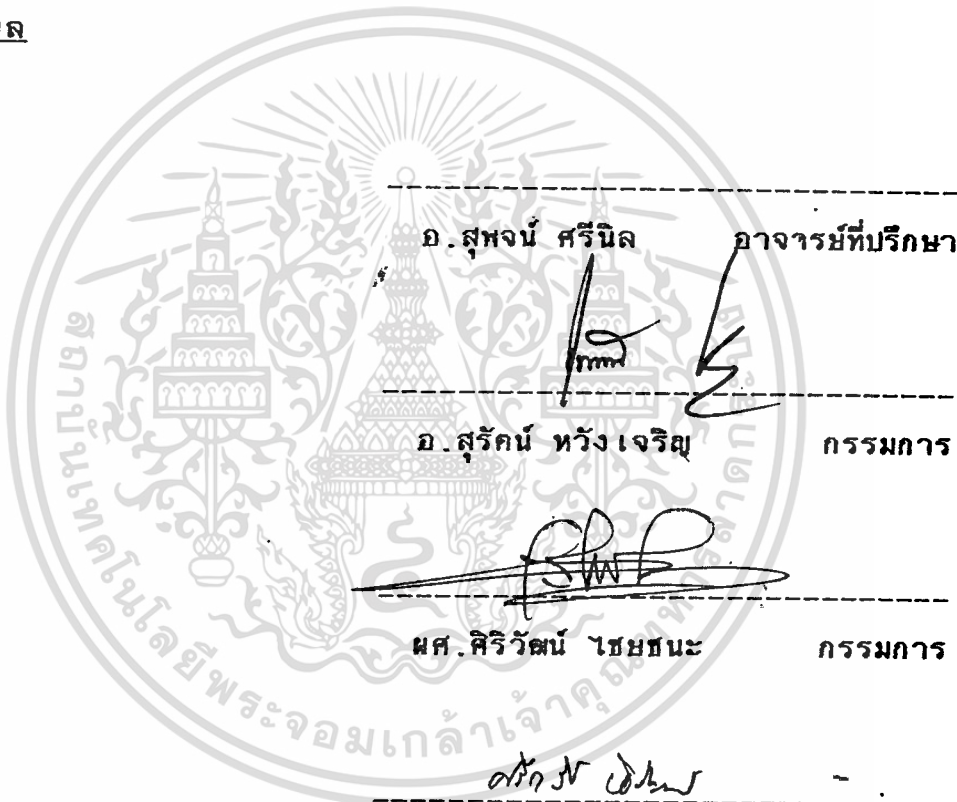
หน้าอนุมัติ

ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง อนุมัติให้รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง



หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

กรรมการวัดผล



อ. สุพจน์ ศรีนิล

อาจารย์ที่ปรึกษา



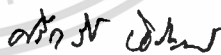
อ. สุรัตน์ ทวีงเจริญ

กรรมการ



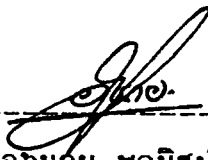
ผศ. ศิริวัฒน์ ไซยชนะ

กรรมการ




ดร. ศรีกริช หิรัณมาศ

กรรมการ



อ. อาณวย พานิชย์กุลหงษ์

กรรมการ



อ. ศิลป์ชัย งานสุวรรณ

กรรมการ

อ. วิบูลย์ วุฒินาถ

กรรมการ

อ. เกษม อมันตกุล

กรรมการ

อ. ศักดิ์ชัย สถานุพงษ์

กรรมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปว่ากรณีใดทั้งสิ่ง ลึกซึ้งห้าวหาญให้ตัดแรงใจบื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

การทรุดตัวของคันดิน นับเป็นปัญหาใหญ่ข้อหนึ่งในงานวิศวกรรมโยธา ซึ่งวิศวกรในปัจจุบันก็ได้ตระหนักถึงปัญหานี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อโครงสร้างเช่น เขื่อนหรือคันดินถมที่จะทำการก่อสร้างนั้นวางอยู่บนคันดินเหนียวอ่อน อาจเกิดการทรุดตัวได้ทั้งในส่วนของโครงสร้างเองและฐานราก และจากความสำคัญของปัญหาทางด้านนี้ ในอดีตที่ผ่านมาจึงได้มีการค้นคว้าวิจัยของนักวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อหาวิธีการที่จะค่าการณและประมาณค่าทรุดตัวของสิ่งก่อสร้างก่อนที่จะลงมือก่อสร้างจริง ทาทำให้วิธีการหรือสูตรค่าวางในการที่จะประมาณค่าทรุดตัวนี้หลายวิธีด้วยกัน

"การประมาณค่าการทรุดตัวแบบยุบอัดตัวที่แตกต่างกันของคันดินถม" ซึ่งเป็นชื่อของรายงานฉบับนี้ เน้นถึงคันดินถมในลักษณะของถนนเป็นหลัก สาเหตุที่ต้องระบุถึงว่าเป็นการประมาณค่าทรุดตัวแบบยุบอัดตัว หรือ Consolidation settlement ก็เนื่องมาจากประเภทของดินใต้คันดินถม (Embankment) นี้เป็นชนิดของดินตะกอนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งชนิดนี้จะ เป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการทรุดตัวมากที่สุดหลังจากที่การก่อสร้างถนนเสร็จสิ้นแล้ว และกินระยะเวลาเวลานานที่เชื่อว่าที่การทรุดตัวจะเสร็จสิ้นลง และจากการสำรวจของกรมทางหลวงได้ข้อมูลว่า บริเวณภาคกลางของประเทศไทยเป็นบริเวณที่มีดินเค็มเป็นคันดินตะกอนที่เกิดใหม่ และยังมีอ่อนตัวอยู่มาก

ปัจจุบันวิทยาการทางด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการประยุกต์มาใช้ในการคำนวณค่าต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง และในด้านการคำนวณก็ได้ย่นย่อระยะเวลาลงมาได้มาก จึงมีผู้คิดโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานมากมายด้วยกัน และรายงานฉบับนี้ได้คำนึงความจุกประสงค์ดังกล่าวในการคิดโปรแกรมเพื่อประหยัดเวลาในการประมาณค่าการทรุดตัวแบบยุบอัดตัวที่แตกต่างกันของคันดินถม จึงใช้วิธีการที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของ TERZAGHI (1925) คือ Conventional - One Dimensional Method

สำหรับในรายงานฉบับนี้ผู้จัดทำได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น ๓ ส่วนด้วยกันคือ

๑. ทฤษฎีและแนวความคิดตลอดจนวิธีการคำนวณในการประมาณค่าทรุดตัว
๒. รูปแบบ วิธีการทางานและวิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (พร้อมตัวอย่าง)
๓. บทสรุปและข้อเสนอแนะสำหรับผู้พัฒนาโปรแกรมต่อไป

และในโอกาสนี้ ผู้จัดทำต้องขออภัย หากการทางานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไม่สามารถอำนวยความสะดวกในการใช้งานแก่ผู้ใช้ (User) ได้เต็มที่ มา ณ. ที่นี้ด้วย

นายมานิจ บรรจงธนกิจ

ชั้นปีที่ 4 รหัส 291915

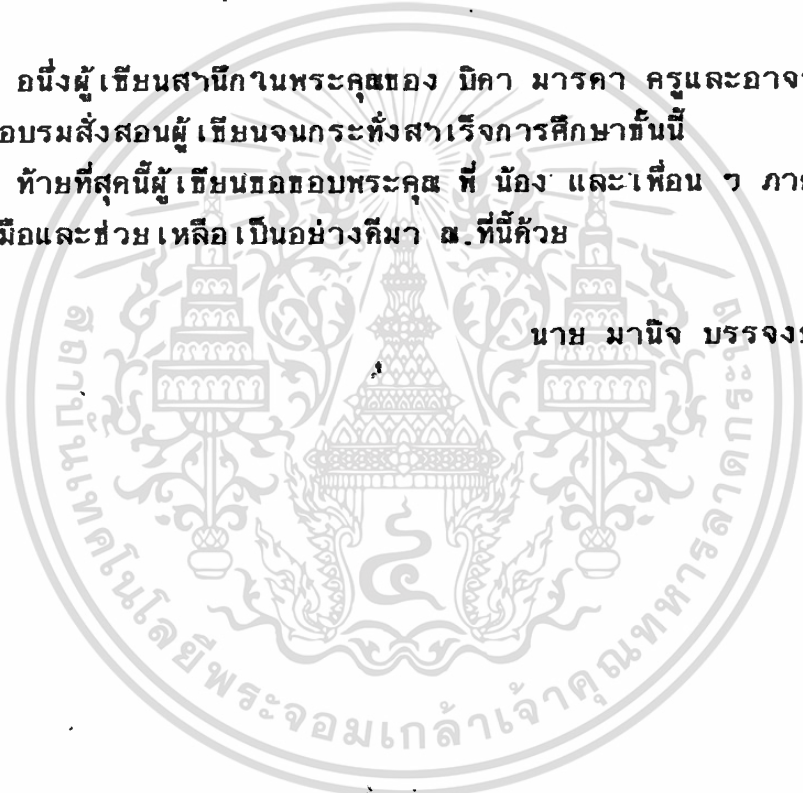
กิตติกรรมประกาศ

ในการทำ SPECIAL PROJECT และ รายงานฉบับนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ อ.สุพจน์ ศรีนิล ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและ เสนอแนะแนวทางในการศึกษาเพื่อทำรายงานฉบับนี้มีคุณค่า ตลอดจนให้การตรวจสอบและแก้ไขรายงานฉบับนี้จนสำเร็จลงด้วยดี นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ คุณวิทยา ค้อศรีเจริญ ผู้ให้คำปรึกษาด้านคอมพิวเตอร์มาโดยตลอด และ คุณพรเพ็ญ ทายหงส์ศักดิ์ ผู้ช่วยเหลือด้านการพิมพ์ดีดมาโดยตลอด

อนึ่งผู้เขียนสำนึกในพระคุณของ บิดา มารดา ครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้สนับสนุนและอบรมสั่งสอนผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษานี้

ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ที่ น้อง และเพื่อน ๆ ภาค ทส.ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดีมา ณ. ที่นี้ด้วย

นาย มานิจ บรรจงธนกิจ



สารบัญ

หน้าอนุมัติ	ก
คานา	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทนำ	1
บทที่ 1 ทฤษฎี และ ทบทวนผลงานในอดีต	
1.1 แนวความคิดพื้นฐานที่เกี่ยวกับการทรุดตัว	2
- การทรุดตัวทันทีทันใด (Immediate Settlement)	2
- การทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลา (Time Dependent Settlement)	2
1.2 การกระจายความเค้นในมวลดิน (Stress Distribution in Soil Mass)	
- วิธี Boussinesq	10
- วิธี Westergard	10
- วิธี Burmister	10
- วิธี Multilayer Flexible Systems	11
1.3 วิธีการคาดคะเนปริมาณการทรุดตัว	
- ขั้นตอนที่สำคัญในการวิเคราะห์การทรุดตัว	13
- การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวโดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบ Oedometer	15
- การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวโดยวิธี Stress Path	23
- การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวโดยวิธี Elastic Theory	30
1.4 การคาดคะเนอัตราการทรุดตัว (Prediction Rate of Settlement)	
- วิธี Terzaghi	39
- วิธี Lacasse	39
- วิธี Stress Path	42
บทที่ 2 การคาดคะเนการทรุดตัวแบบหุบอັคตัวของคันทันถมบนชั้นดินเหนียวอ่อน	
วิธี Conventional One-Dimensional คำนวณแรงรคคอมพิวเคอร์	

2.1 การกระจายความเค้นในชั้นดินเนื่องจากคันทันดินตามวิธี Boussinesq	44
2.2 การคาดคะเนการทรุดตัวด้วยวิธี Conventional One-Dimensional	46
2.3 การคาดคะเนอัตราการทรุดตัวด้วยวิธี Terzaghi	48
2.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์	
- ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	50
- Flow Chart of Program	51
- รายละเอียดประกอบการใช้โปรแกรม (Program's Manual)	52
2.5 ตัวอย่างประกอบการใช้โปรแกรม	66
บทสรุปและข้อเสนอนะ เพื่อการพัฒนาต่อไป	76
ภาคผนวก	ง
บรรณานุกรม	จ



บทนำ

แนวความคิดพื้นฐานเรื่องการทรุดตัว

ดินประกอบด้วยเนื้อดินหรือเม็ดดิน และช่องว่าง (Void) ระหว่างเม็ดดิน ซึ่งในช่องว่างอาจจะเต็มไปด้วยน้ำหรืออากาศอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือมีทั้งน้ำและอากาศปนกัน ถ้าหากว่ามีการเพิ่มความเค้นให้ดับเนื้อดิน อันเนื่องมาจากน้ำหนักกดทับ ความเค้นที่มวลดินนี้ได้รับก็จะถ่ายเทไปในลักษณะที่ไปเพิ่มความดันของน้ำในมวลดินแทน เรียกว่า ความดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore pressure) และเมื่อเวลาผ่านไป จะมีการขับน้ำในมวลดินนี้ออกไปเพื่อลดความดันให้เป็นปกติ จึงทำให้เกิดกระบวนการทรุดตัวแบบยุบอัดตัว (Consolidation settlement) โดยปกติการเพิ่มน้ำหนักให้แก่มวลดิน จะทำให้เกิดการทรุดตัวอยู่ 3 แบบ คือ

1. การทรุดตัวแบบทันทีทันใด (Immediate settlement)
2. การทรุดตัวแบบยุบอัดตัว (Consolidation settlement)
3. การทรุดตัวแบบอัดตัวครั้งที่สอง (Secondary compression-settlement)

ดังนั้นในการที่จะออกแบบให้สิ่งก่อสร้างนั้นสามารถใช้งานได้ตามที่โครงการแล้วการประมาณค่าทรุดตัวจึง เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ แต่วิธีการเท่าที่มีอยู่ ณ ปัจจุบัน ยังไม่สามารถประมาณค่าการทรุดตัวได้ถูกต้องเลย เพราะว่าความซับซ้อนทางคุณสมบัติกลศาสตร์ของดิน ตลอดจนอิทธิพลที่มีผลกระทบต่อชั้นดิน แต่อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์เพื่อหาค่า และผลกระทบอันเนื่องมาจากการทรุดตัว ยังคงเป็นสิ่งที่วิศวกรจะต้องคำนึงถึงเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจออกแบบหรือก่อสร้างต่อไป

ในอดีตที่ผ่านมา มีการศึกษาค้นคว้าวิธีการประมาณค่าการทรุดตัวมากมาย อาทิเช่น วิธีเส้นแรงความเค้น (The stress path method) วิธี stress-strain contours, วิธีทฤษฎีอีลาสติก (The elastic method) วิธี Conventional One-Dimensional Method ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของแต่ละวิธีการในบทความต่อไป

สำหรับจุดประสงค์ของรายงานฉบับนี้ เป็นการหาค่าทรุดตัวแบบยุบอัดตัวของดินดินถมบนชั้นดินเหนียวอ่อน โดยหาวิธีวิธีการ Conventional One - Dimensional เพื่อหาค่า differential - consolidation settlement ระหว่างที่ขอบของคันดินถม (At the edge of the embankment) เทียบกับที่แนวเส้นกลางของคันดินถม (At the center line of the embankment) ว่ามีค่าแตกต่างกันเท่าไร เพื่อนำไปกำหนด crown slope ของผิวพื้นถนน (Pavement surface) ว่ามีค่าเหมาะสมกัน

บทที่ 1

ทฤษฎีและทบทวนผลงานในอดีต

1.1 แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการทรุดตัว

มวลดินจะประกอบด้วย เม็ดดิน น้ำและอากาศ ซึ่งจะอยู่ตามช่องว่างหรือรูพรongระหว่างเม็ดดิน โดยมีสมมติฐานว่าภาษาคัดสภาวะน้ำหนักปกติส่วนที่เป็นเม็ดดินและน้ำจะไม่สามารถถูกอัดตัวได้ (Incompressible)

ดินจะเกิดความเครียดหรือการเคลื่อนตัวเมื่อได้รับความเค้นจากแรงภายนอกมากระทำเพิ่มขึ้น ลักษณะความเครียดที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบ 1 หรือ 2 หรือ 3 มิติก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะขนาด รูปทรงของน้ำหนักที่มากระทำและความหนาของชั้นดิน รูปแบบลักษณะความเครียดที่เกิดขึ้น แสดงอยู่ดังในรูปที่ 1.1 ความเครียดหรือการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในแนวตั้งนี้เราเรียกว่า การทรุดตัว การทรุดตัวของดินที่เกิดขึ้นอาจแบ่งได้ 2 ลักษณะใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

1. การทรุดตัวทันทีทันใด (Immediate Settlement)
2. การทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลา (Time Dependent Settlement)

1.1.1 การทรุดตัวทันทีทันใด (Immediate Settlement)

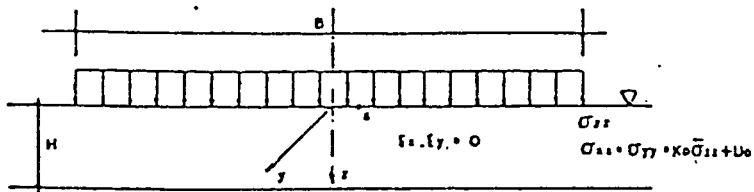
เมื่อดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำได้รับความเค้นจากการที่มีแรงมากระทำอย่างรวดเร็วกว่าการไหลของน้ำออกจากช่องว่างในมวลดิน (น้ำไหลออกได้ยาก) เนื่องจากดินมี permeability ต่ำ และผลจากการที่น้ำไหลออกจากช่องว่างได้ยากทำให้ดินไม่สามารถที่จะ เปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ทันทีเมื่อถูกความเค้น ดังนั้นการทรุดตัวทันทีจะเกิดขึ้นได้นั้นจะต้องมีการขยายตัวทางด้านข้างไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะพบได้ในกรณีที่รูปแบบความเครียดเป็น 2 หรือ 3 มิติ เท่านั้น

1.1.2 การทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลา (Time Dependent Settlement)

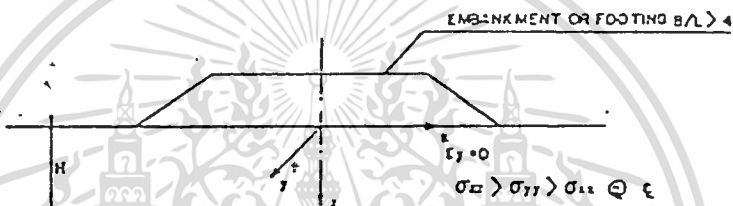
การทรุดตัวชนิดนี้เป็นลักษณะการทรุดตัวที่สำคัญสำหรับดินเหนียวและ plastic silt และสามารถแบ่งกลไก (mechanism) ของการเกิดการทรุดตัวได้ดังนี้

1.1.2.1 การทรุดตัวเนื่องจากการวิบัติเป็นที่ (Local Yield or Plastic Flow) และ Undrain Creep

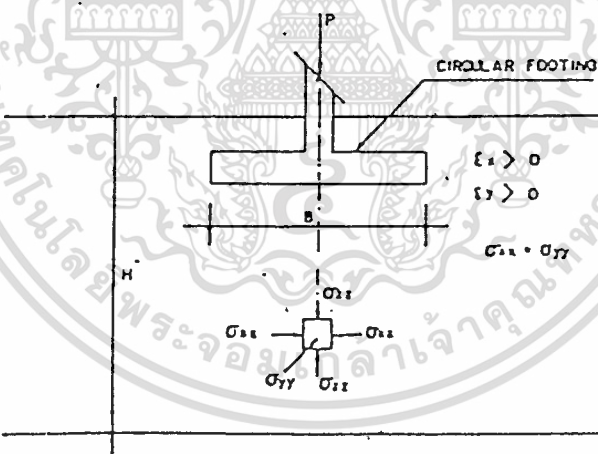
ในดินเหนียวหรือดินที่มีเม็ดละเอียด Undrain Settlement ไม่ได้เกิดขึ้นทันทีทันใดแต่เพียงอย่างเดียว (ในหัวข้อ 1.1.1) เมื่อลักษณะความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นแบบ 2 หรือ 3 มิติ Undrain Settlement



(ก) ความเครียดเป็นแบบ 1 มิติ
 $B \gg H$ ($B/H > 10$ เป็นต้น)



(ข) ความเครียดเป็นแบบ 2 มิติ



(ค) ความเครียดเป็นแบบ 3 มิติ

รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะรูปแบบความเครียด

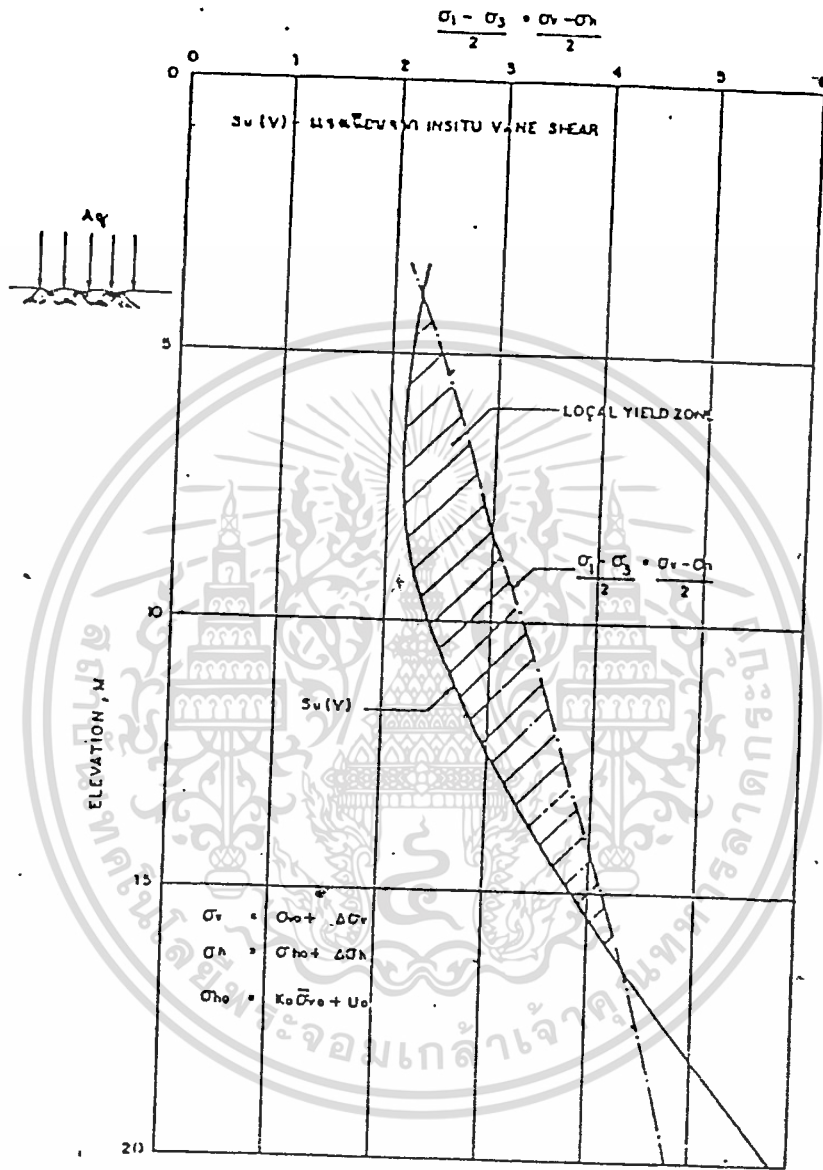
ของดินเหนียวที่เกิดขึ้นอาจเป็นฟังก์ชันกับเวลาก็เป็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากผลของ Local Yield และ Undrain Creep ซึ่งเกิดขึ้นมากใน High Plastic and Organic Clays เช่น ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งมีปัญหา Undrain Creep มาก เป็นต้น การทรุดตัวเนื่องจาก Local Yield เกิดจากการที่มวลดินบางส่วนได้รับ Shear Stress จากแรงกระทำภายนอกสูงมากจนกระทั่ง Shear Stress ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ ค่ากำลังรับแรงเฉือนไม่ระบายน้ำ (Undrain Shear Strength) ของดิน เป็นผลให้เกิดการทรุดตัวเนื่องจากการ Flow ของมวลดิน การคำนวณการเกิด Local Yield ในมวลดินแสดงอยู่ในรูปที่ 1.2

ส่วนการทรุดตัวเนื่องจาก Undrain Creep เกิดจากการที่ดินได้รับ Shear Stress คงที่ ภายเมื่อเวลาผ่านไปการทรุดตัวก็จะมากขึ้น แต่อัตราการทรุดตัวมักจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนอาจจะหยุด ในบางกรณีเมื่อระดับหน่วยแรงเฉือน (Stress Level) สูงกว่าค่าหนึ่ง ๆ ซึ่งเรียกว่า Creep Strength จะพบว่าอัตราการทรุดตัวเนื่องจาก Undrain Creep จะกลับเพิ่มขึ้นอีกจนเกิดการวิบัติในที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับเวลาที่ระดับหน่วยแรงเฉือนต่าง ๆ กันแสดงอยู่ในรูปที่ 1.3 , 1.4 และ 1.5

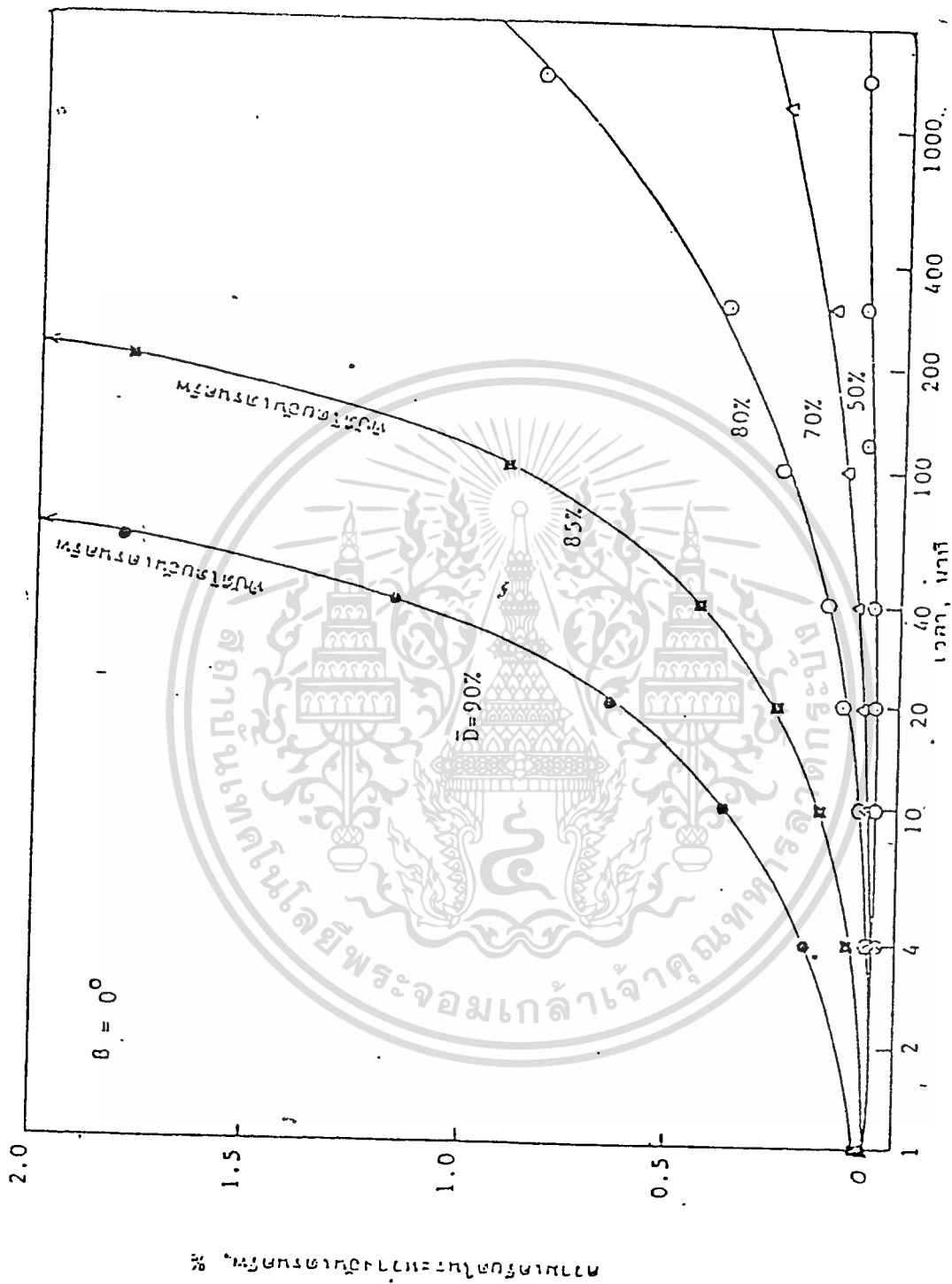
การทรุดตัวเนื่องจาก Local Yield และ Undrain Creep จะทำให้ค่า Excess Pore Pressure เพิ่มขึ้นกับเวลา ความระหว่าง Excess Pore Pressure เนื่องจาก Undrain Creep กับเวลา แสดงดังในรูปที่ 1.6 กรณีที่ในสนามมี Consolidation Process เกิดขึ้นด้วย ค่า Excess Pore Pressure อาจจะยังคงเพิ่มขึ้นคงที่หรือลดลงย่อมขึ้นอยู่กับอิทธิพลของ Consolidation Process ว่ามากน้อยเพียงไร แต่ถ้าพบว่า Excess Pore Pressure เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ กับเวลาแสดงว่ามวลดินอาจเกิดการพังทลาย (Failure) ได้ด้วยผลของ Local Yield หรือ Undrain Creep

1.1.2.2 การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำชั้นแรก (Consolidation settlement)

เป็นการทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลาเกิดขึ้นที่สภาวะระบายน้ำ (Drained Condition) เกิดจากการที่ดินมี Excess Pore Pressure ทำให้น้ำในมวลดินที่ถูกความเค้นมี Total Head มากกว่าดินภายนอก เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะไหลจากมวลดินที่มี Total Head สูงกว่าไปยังมวลดินที่มี Total Head ต่ำกว่า และความเค้นที่ถูกส่งถ่ายจากน้ำไปยังเม็ดดินทำให้ดินมีความเค้นประสิทธิผล (Effective Stress) เพิ่มขึ้น การไหลออกของน้ำจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องว่างและปริมาตรของมวลดิน (เล็กและน้อยลง) ซึ่งผลก็คือ ดินจะเกิด

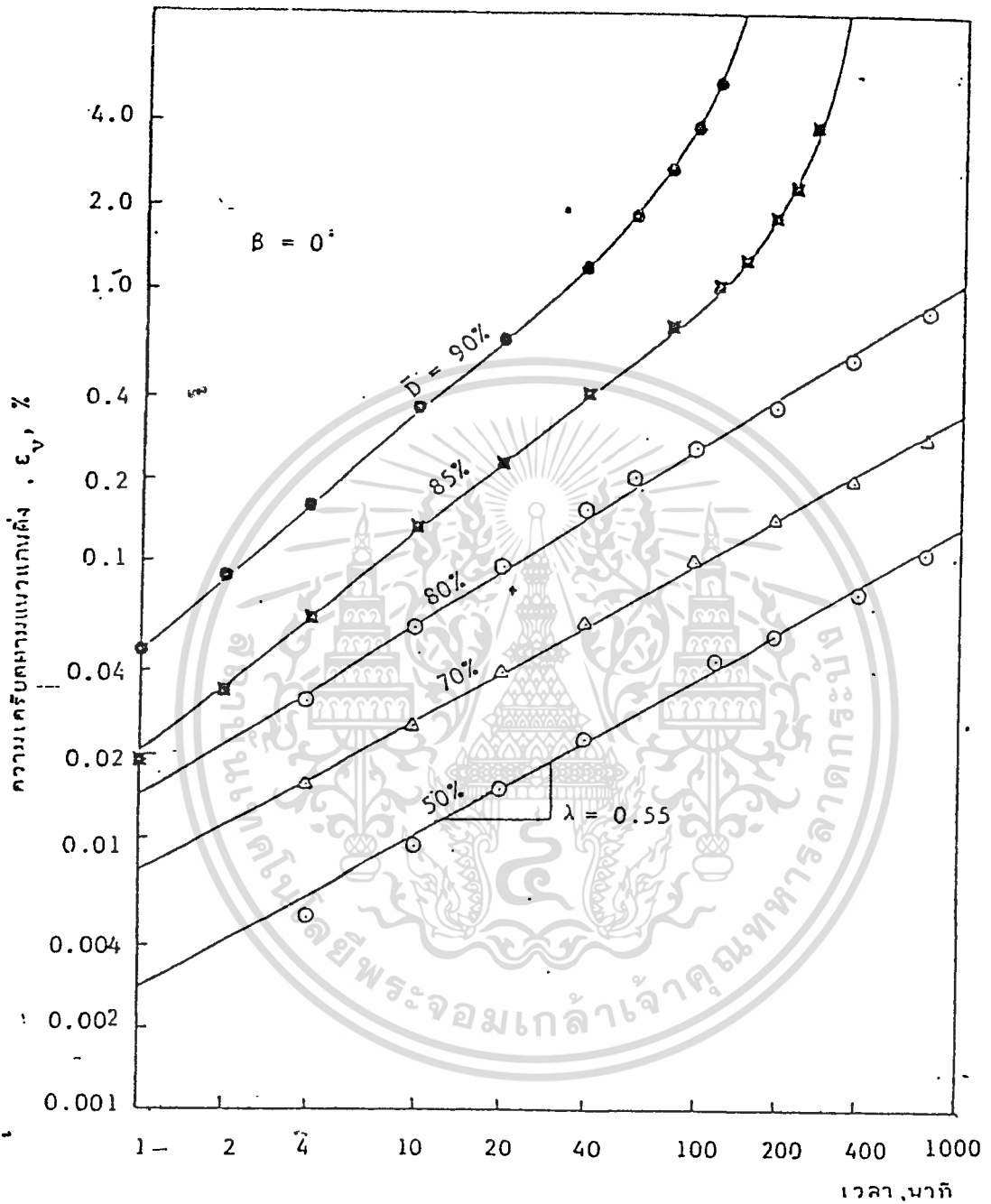


รูปที่ 1.2. แสดงการคำนวณการเกิด Local Yield ในมวลดิน

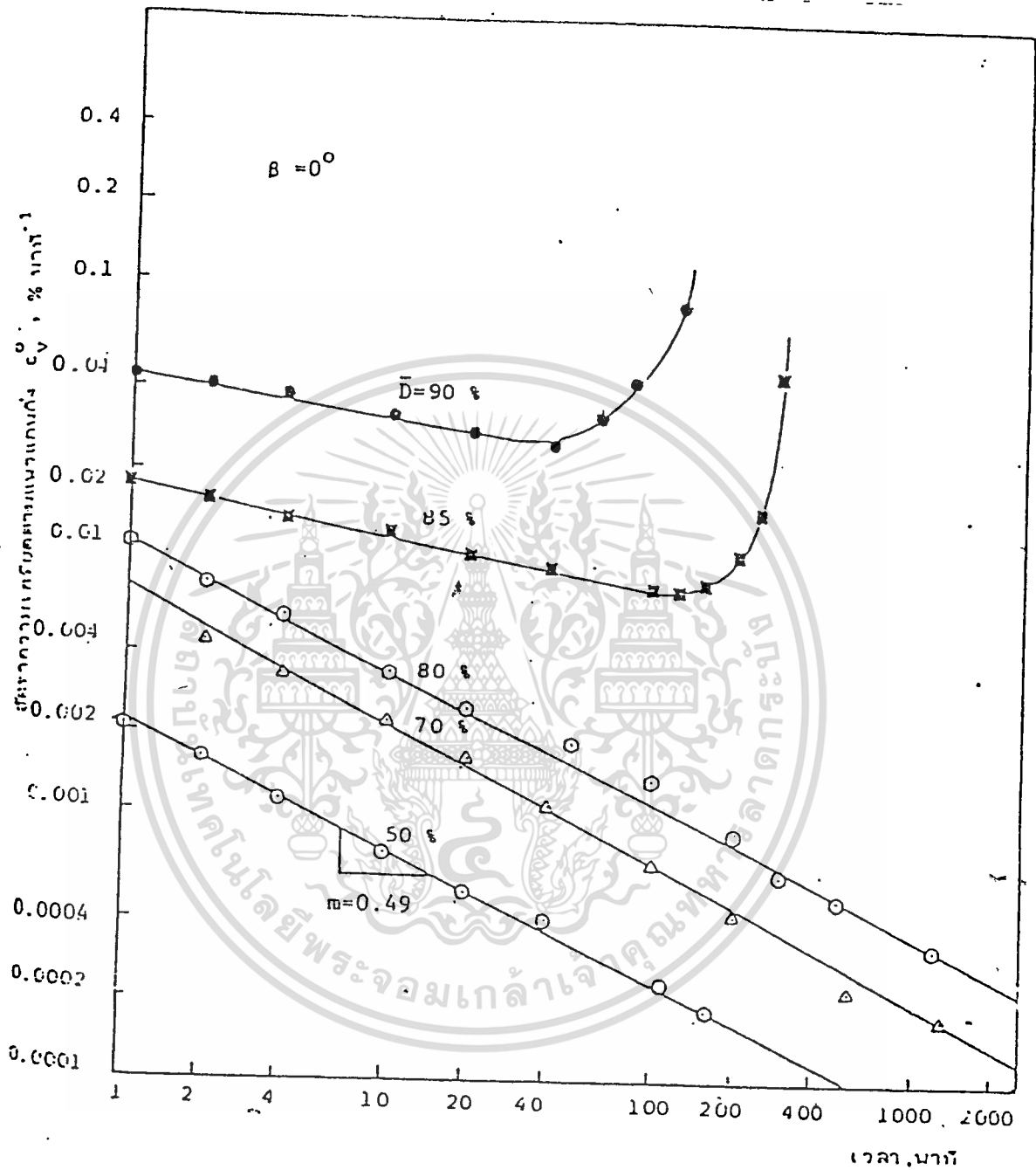


รูปที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอัตราการเกิด Undrained Creep (ฟูซาด, 2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัณยของความสามารถกับสัณยของเวลาในการเกิด Undrained Creep (ผู้ยาศิ, 2527)



รูปที่ 11.15, ความสัมพันธ์ระหว่างลอคของอัตราความเครียดกับลอคของเวลาในการเกิด Undrained Creep (ฟูปลา, 2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การทรุดตัว อัตราการทรุดตัวจะขึ้นอยู่กับ ความสามารถของน้ำในช่องว่างที่จะไหลออก ไปได้เร็วเพียงใด การไหลของน้ำสามารถเกิดได้ทั้งในลักษณะ 1 , 2 หรือ 3 มิติ เช่นเดียวกับลักษณะรูปแบบการเกิดความเครียดตั้งที่กล่าวมาแล้ว Consolidation Settlement จะสิ้นสุดเมื่อไม่มี Excess Pore Pressure เหลืออยู่ หรืออีกนัยหนึ่งคือ Total Head ของน้ำทุกจุดในมวลดินเท่ากัน

1.1.2.3 การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำขั้นที่สอง (Secondary Consolidation)

เป็นการทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลาที่สภาวะระบายน้ำ (Drained condition) เกิดขึ้นทั้ง ๆ ที่ไม่มี Excess Pore Pressure เหลืออยู่ในมวลดิน ภายหลังจะเกิดต่อเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำขั้นแรก (Primary Consolidation) การทรุดตัวเกิดจากการที่น้ำไหลออกจากช่องว่างในมวลดิน (มวลดินมีปริมาณคาร์บอนสูง) ซึ่งเป็นผลจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคเม็ดดินในขณะที่ Effective Stress ในดินคงที่ ในดินทั่วไปการทรุดตัวนี้จะมีค่าน้อย ยกเว้นใน Highly Organic soils (Weber, 1969) Lo (1961) ได้ทำการศึกษา และสรุปผลเกี่ยวกับ Secondary Consolidation ไว้ดังนี้

1. อัตราการทรุดตัวจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น
2. อัตราการทรุดตัวจะเป็นสัดส่วนกับลอการิทึมของเวลา (Logarithm of time)

1.1.3 การทรุดตัวทั้งหมด (Total Settlement)

การทรุดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นในมวลดินจะสามารถหาได้ดังนี้

1. เมื่อความเครียดที่เกิดขึ้นมีลักษณะ 1 มิติ

$$p_t = p_c + p_s \quad \text{---(1.1)}$$

2. เมื่อความเครียดที่เกิดขึ้นมีลักษณะ 2 มิติ

$$p_t = p_1 + p_u + p_c + p_s \quad \text{---(1.2)}$$

- เมื่อ p_t = การทรุดตัวทั้งหมด
- p_1 = การทรุดตัวทันทีทันใด
- p_u = การทรุดตัวเนื่องจาก Local Yield และ Undrained Creep

p_c = การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำ
ชั้นแรก

p_s = การทรุดตัวเนื่องจากขบวนการอัดตัวคายน้ำ
ชั้นที่สอง

1.2 การกระจายความเค้นในมวลดิน (Stress Distribution in Soil Mass)

การหาการกระจายความเค้นในมวลดินที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำนั้น เป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์การทรุดตัว ความละเอียดและความถูกต้องของความเค้นที่หาได้จะมีผลต่อความถูกต้อง แม่นยำและน่าเชื่อถือของผลการทรุดตัวที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก

เนื่องจากมวลดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non Homogeneous) ตลอดทั้งหมด และมีคุณสมบัติที่ซับซ้อนมาก ทำให้การวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในมวลดินหาได้ถูกต้องเป็นไปได้ยาก โดยทั่วไปความเค้นในมวลดินจะได้จากทฤษฎีอิลาสติกเชิงเส้น (Linear Elastic Theory) ซึ่งวิธีการที่ใช้กันอยู่โดยทั่ว ๆ ไปมีดังนี้

1.2.1 วิธี Boussinesq

Boussinesq (1985) ได้เสนอสมการสำหรับหาความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงเป็นจุดมากระทำที่ผิวสัมผัสในแนวตั้งของวัสดุกึ่งอนันต์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และ Isotropic ต่อมาได้มีการพัฒนาสมการนี้ไปใช้หาความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่มีรูปร่างทางเรขาคณิต (Geometry of Loading) ต่าง ๆ ในรูปของสมการ (Gray , 1925) , ตาราง (Giroud , 1970) , Influence charts (Newmark , 1942) , Curves (Fadum , 1948) และ Pressure bulbs (Bowles ; 1977) เป็นต้น

1.2.2 วิธี Westergaard

Westergaard (1938) ได้เสนอสมการสำหรับหาความเค้นในวัสดุซึ่งกึ่งอนันต์ แต่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากมีชั้นวัสดุแกร่งแทรกอยู่ซึ่งหาหาไม่มีการเคลื่อนตัวด้านข้าง การหาความเค้นเนื่องจากน้ำหนักรูปทรงต่าง ๆ คูได้จาก Bowles (1977)

1.2.3 วิธี Burnister

Burnister (1956) ได้เสนอสมการสำหรับหาความเค้นและการเคลื่อนตัวของ Two Layer Systems ซึ่งมีชั้นที่อัดตัวได้ (Compressible)

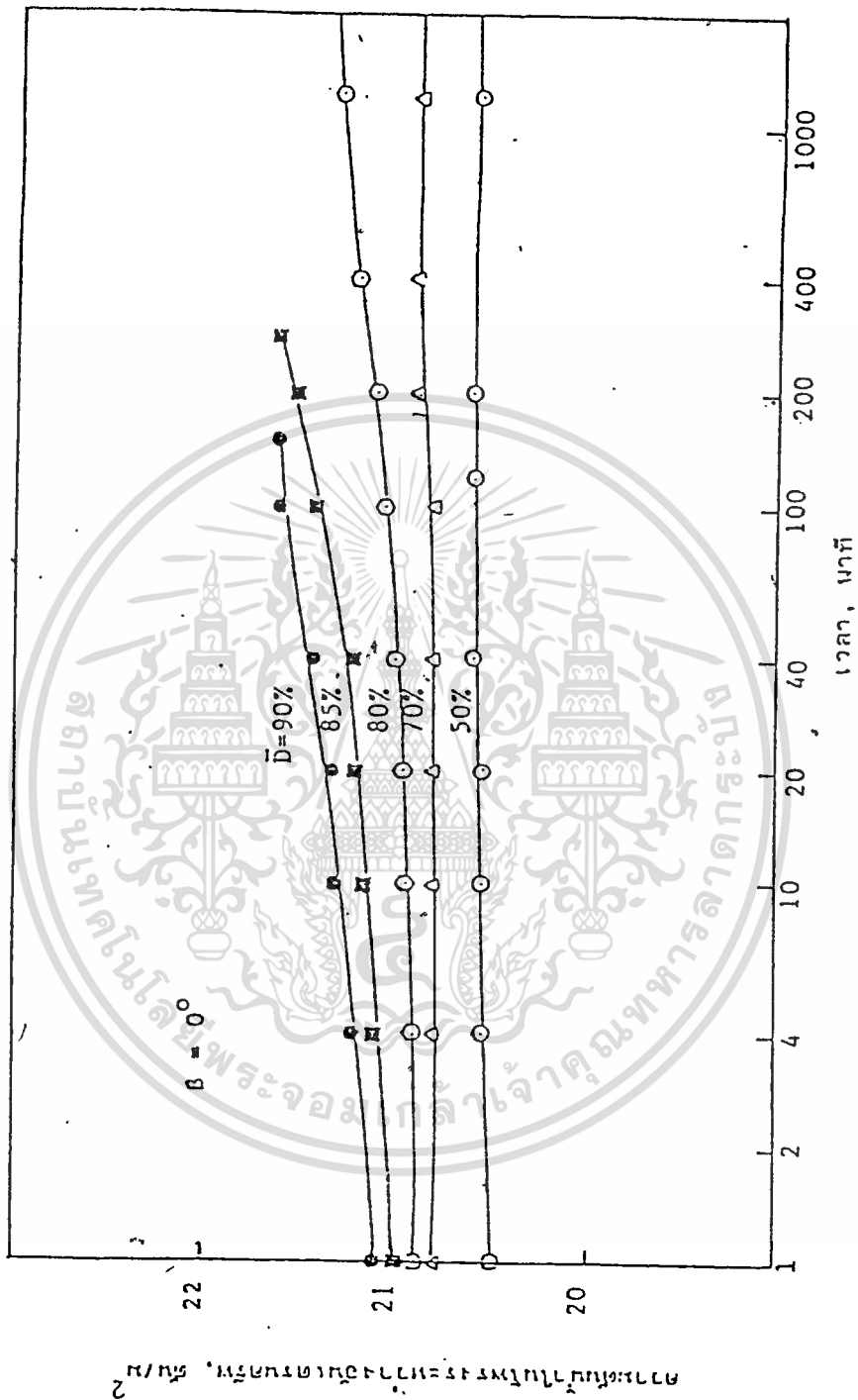
ตั้งอยู่บนชั้นวัตถุแกร่งผิวหยาบ (Rough Rigid Base) ที่มุมของน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม เมื่อ Poisson's Ratio = 0.4 ซึ่งต่อมาได้ถูกพัฒนาโดย Poulos (1967b) , Milovic (1970) , Milovic and Tournier (1971) เป็นต้น

1.2.4 วิธี Multilayer Flexiblen Systems

วิธีนี้จะพิจารณาว่าคาน้ำไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-homogeneous) แต่มีการวางตัวเป็นชั้น ๆ ที่มีความยืดหยุ่น Fox (1974) , Burnister (1958) ได้มีการเสนอและ Charts ในการใช้หาความเค้นสำหรับกรณีนี้ไว้

• Poulos and Davis (1974) ได้รวบรวมวิธีการหาความเค้นและความเครียดที่ Geometry of Loading และ Boundary Condition. ต่าง ๆ กันไว้เป็นจำนวนมาก





รูปที่ 1-1:6 ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงน้ำโพรงเพิ่มขึ้นที่คอคของเวลาในการเกิด Undrained Creep (เชือกัด, 2527)

1.3 วิธีการคาดคะเนปริมาณการทรุดตัว

1.3.1 ชั้นคอนที่สำคญในการวิเคราะห์การทรุดตัว

ในการวิเคราะห์การทรุดตัวจะประกอบด้วยชั้นคอนที่สำคัญ 2

ชั้นคอน คือ

1. ทราบความเค้นที่เกิดขึ้นในชั้นดินที่มีการทรุดตัวเมื่อมีน้ำหนัก
มากกระทำ

2. คำนวณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นที่เพิ่มขึ้น
โดยใช้ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดที่เหมาะสม ('Appropriates
Stress-Strain Relationship) เช่น จากการทดสอบ Triaxial หรือ
Oedometer เป็นต้น

Lambe (1964, 1967b) ได้เสนอองค์ประกอบที่สำคัญ 4
ประการในการวิเคราะห์การทรุดตัวและปัจจัยที่มีผลต่อแต่ละองค์ประกอบ ดังแสดงใน
ตารางที่ 1.1

Ladd (1977) ได้กล่าวไว้ว่า ความสามารถในการคาดคะ-
เนการทรุดตัวได้คั้นนั้นจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

1. แบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของดินได้อย่างถูกต้อง
2. วิธีการที่เหมาะสมสำหรับหาค่า Soil parameters ที่
3. วิธีคำนวณเพื่อที่จะคัดแปลงแบบจำลองไปใช้กับปัญหาจริง

ต้องการ

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบงานการวิเคราะห์การทรุดตัว จาก Lambe (1964, 1967b)

Determination of subsoil section

1. Vertical and lateral extent of soils; location of compressible soils, drainage surfaces and any special boundary condition.

2. Variation of initial pore pressure with depth.

Stress analysis

1. Initial effective stress versus depth.

2. Magnitude, distribution and time rate of application of surface load, including any shear stress between ground surface and applied load.

3. Stress distribution theory — compatible with boundary condition; effect of rigid boundaries or layers.

4. Variation of σ_v , σ'_v and u with consolidation; influence of arching, change in poisson's ratio.

Selection of soil parameters ($m_v, C_c, C_r, C_{\alpha}, \sigma'_{vc}, k, E_u, E', \nu', K_o, A, C_v$)

1. Representativeness of samples tested.

2. Sample disturbance.

3. Environmental factors.

4. Testing technique.

Estimation of settlement and pore pressure

1. Method of analysis.

2. Rotation of principle planes.

3. Variation of m_v, k, c_v with consolidation.

4. Secondary compression.

1.3.2 การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวของดินโดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบ Oedometer

การทดสอบ Oedometer เป็นการทดสอบพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากขบวนการ Consolidation Terzaghi (1923) ได้เสนอทฤษฎีการอัดตัวค้ำน้ำ 1 มิติ (One-Dimensional Consolidation Theory) ขึ้น โดยพิจารณาว่าดินมีการระบายน้ำและการเคลื่อนตัวแบบ 1 มิติ ไม่มีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างซึ่งจะพบในทางปฏิบัติก็ต่อเมื่อดินที่มีการทรุดตัวค้ำน้ำนั้นบางมาก เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของน้ำหนักที่มากกระทำ การวิเคราะห์การทรุดตัวโดยวิธีนี้สามารถกระทำได้โดยสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (Taylor, 1948)

1. ศึกษาการวางตัวของชั้นดิน เก็บตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดแล้วนำมาทดสอบ Oedometer เพื่อที่จะหาค่าพารามิเตอร์ของดิน ได้แก่ m_v , CR, RR, C_v เป็นต้น
 2. คำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นในชั้นดิน
 3. คำนวณหาปริมาณการทรุดตัว
- วิธีการคาดคะเนการทรุดตัวของดินโดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบ Oedometer มีดังนี้

1.3.2.1 วิธี Terzaghi (Terzaghi and Peck, 1984)

วิธีนี้มีสมมติฐานว่า ชั้นดินจะเกิดการทรุดตัวและระบายน้ำเพียง 1 มิติเท่านั้น ไม่มีการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง และค่า Excess Pore Pressure ที่เกิดขึ้นของดินเหนียวที่อัดตัวค้ำน้ำจะมีค่าเท่ากับความเค้นรวมในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้น ($\Delta u = \Delta \sigma_v$) Consolidation Settlement ของชั้นดินจะคำนวณได้จาก

$$p_t = p_c = p_{oed} = \sum_{i=1}^n (m_v \sigma_v)_i \quad \text{---(1.3)}$$

หรืออาจคำนวณได้จากค่า RR และ CR (Ladd, 1975) ดังนี้

1. เมื่อ $\bar{\sigma}_{v0} < \bar{\sigma}_{vm} < \bar{\sigma}_{vf}$

$$p_t = \sum_{i=1}^n H_i \left(RR \log \frac{\bar{\sigma}_{vm}}{\bar{\sigma}_{v0}} + CR \log \frac{\bar{\sigma}_{vf}}{\bar{\sigma}_{vm}} \right)_i \quad \text{---(1.4)}$$

2. เมื่อ $\bar{\sigma}_{v0} < \bar{\sigma}_{vf} < \bar{\sigma}_{vm}$

$$p_t = \sum_{i=1}^n H_i \left(RR \log \frac{\bar{\sigma}_{vf}}{\bar{\sigma}_{vm}} \right)_i \quad \text{---(1.5)}$$

เมื่อ H = ความหนาของแฉะชั้นดิน

n_v = Coefficient of Volume Compressibility

RR = Recompression Ratio

CR = Copression Ratio

$\bar{\sigma}_{v0}$ = Effective Overburden Pressure

$\bar{\sigma}_{vm}$ = Maximum Past Pressure

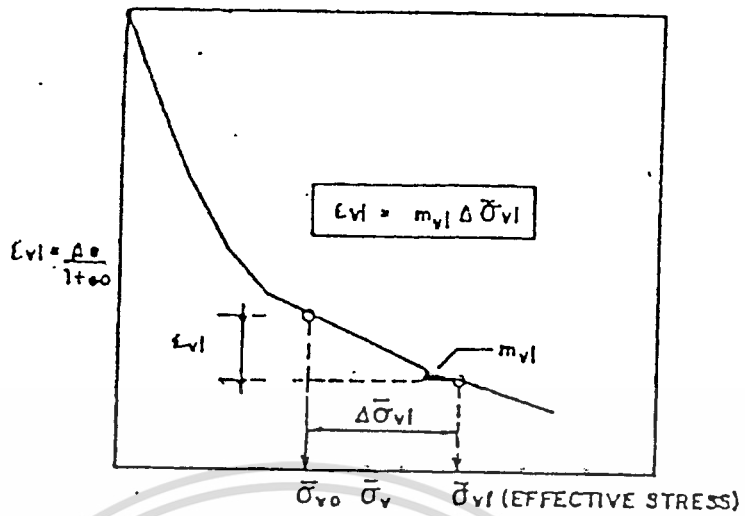
$\bar{\sigma}_{vf}$ = ความเค้นประสิทธิผลในแนวตั้งที่จุดสุดท้าย ($\Delta U = 0$),

$\bar{\sigma}_{v0} + \Delta \sigma_v$ Soil Parameters ที่ได้จากการทดสอบ Oedometer ซึ่งจะได้ดูกันภายหลังในการคาดคะเนปริมาณการทรุดตัว แสดงอยู่ในรูปที่ 1.7

1.3.2.2 วิธี Skempton-Bjerrum (1957)

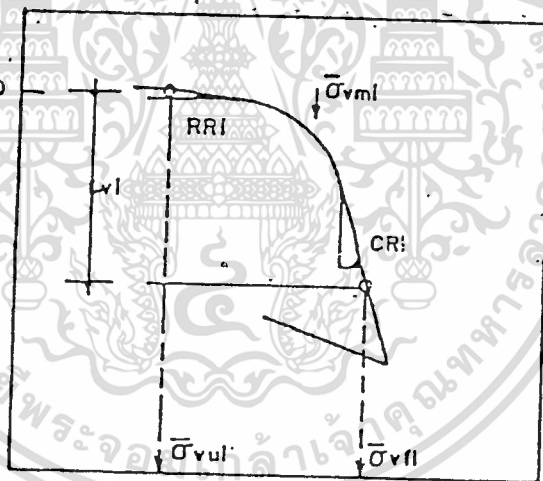
Skempton-Bjerrum (1957) พบว่าเมื่อการทรุดตัวของดินมีเป็น 1 มิตติ (เป็น 2 หรือ 3 มิตติ) การทรุดตัวทั้งหมดจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การทรุดตัวทันทีทันใดและการทรุดตัวเนื่องจากกระบวนการ Consolidation ค่า Excess Pore Pressure ของดินเหนียวที่ถมตัวด้วยน้ำจะเท่ากับความเค้นรวมในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้น โดยการทรุดตัวทันทีทันใดจะคำนวณได้จากวิธี Modified Elastic Displacement ดังจะกล่าวในหัวข้อที่ 1.3.4.3 และ Consolidation Settlement จะคำนวณได้จาก

$$p_c = \sum_{i=1}^n (n_v H)_i \quad \text{---(1.6)}$$



(NATURAL SCALE)

ก. ϵ_v กับ $\bar{\sigma}_v$



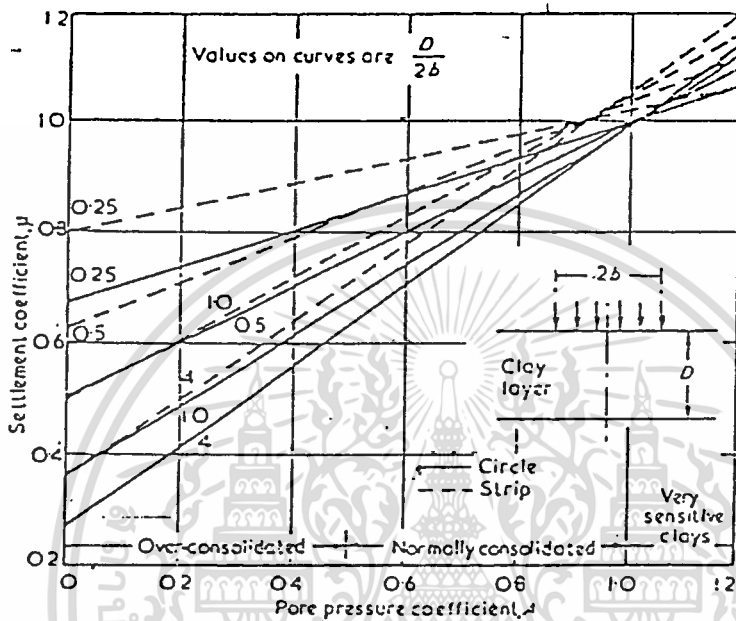
RR = RECOMPRESSION RATIO = $C_r / (1 + e_0)$

CR = COMPRESSION RATIO = $C_c / (1 + e_0)$

ข. ϵ_v กับ $\log \bar{\sigma}_v$

รูปที่ 1.7 : ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

จากการทดสอบ Consolidation



รูปที่ 1.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง μ กับ A (Skempton & Bjerrum, 1957)

เมื่อ m_v = Coefficient of Volume Compressibility จาก
Oedometer Test
สำหรับดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะได้

$$\Delta U = \Delta \sigma_v + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad \text{---(1.7)}$$

เมื่อ A = Skenton's Pore Pressure Coefficient ซึ่งได้จากการทดสอบ Undrained Triaxial Test (เป็น Axisymmetric) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ Stress Level, Stress Path และ OCR

หรือ
$$P_c = \mu P_{oed}$$

เมื่อ P_{oed} = Consolidation Settlement ซึ่งได้จากวิธี Terzaghi (1948)

μ = Correction Factor ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า A และรูปทรงเรขาคณิตของปัญหาที่วิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 2.8

1.3.2.3 วิธี Bjerrum

Bjerrum (1967) ได้เสนอว่า การทรุดตัวของดินเหนียวจะประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. Instant Compression เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใดพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเค้นประสิทธิผล ซึ่งเป็นสาเหตุที่ช่องว่างลมน้อยลงจนถึงสภาวะสมดุลย์เมื่อความเค้นทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นถูกรับไว้ด้วยเม็ดดิน ซึ่งเมื่อถึงจุดนี้ความเค้นประสิทธิผลจะมีค่าคงที่

2. Delayed Compression เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากดินมีปริมาตรลดลง โดยที่ความเค้นประสิทธิผลคงที่

ส่วนประกอบของการทรุดตัวโดยวิธี Bjerrum แสดงดังในรูปที่ 1.9 และจากรูปที่ 1.10 สามารถคำนวณการทรุดตัวได้ดังนี้

$$P_{int} = \sum_{i=1}^n H_i \left[CR \log \frac{\bar{\sigma}_{v0} + \Delta \sigma_v}{\bar{\sigma}_{vc}} \right] \downarrow_1 \quad \text{---(1.9)}$$

$$P_t = \sum_{i=1}^n H_i \left| CR \log \frac{\bar{\sigma}_{v0} + \Delta \bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{v0}} \right|_i \quad \text{----(1.10)}$$

$$P_{delay} = P_t - P_{int} \quad \text{----(1.11)}$$

1. เมื่อ $\bar{\sigma}_{v0} + \Delta \bar{\sigma}_v > \bar{\sigma}_{vc}$

$$P_{delay} = \sum_{i=1}^n H_i \left| CR \log \frac{\bar{\sigma}_{vc}}{\bar{\sigma}_{v0}} \right|_i \quad \text{----(1.12)}$$

2. เมื่อ $\bar{\sigma}_{v0} + \Delta \bar{\sigma}_v < \bar{\sigma}_{vc}$

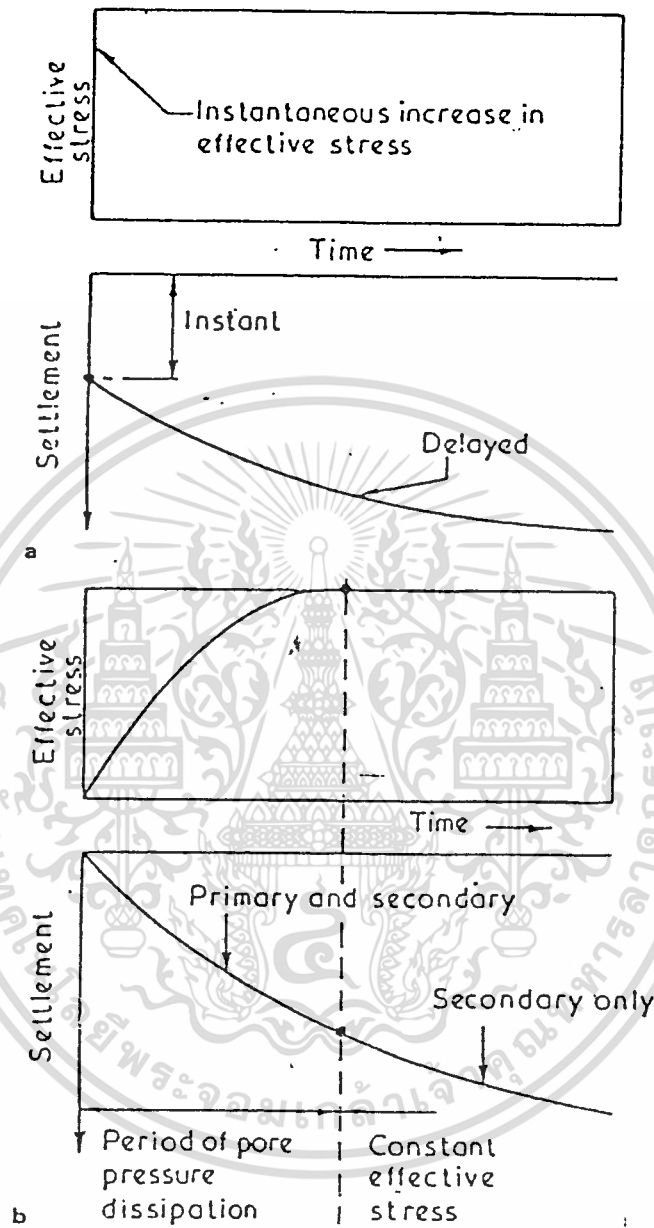
$$P_{delay} = \sum_{i=1}^n H_i \left| CR \log \frac{\bar{\sigma}_{v0} + \Delta \bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{v0}} \right|_i \quad \text{----(1.13)}$$

เมื่อ P_{int} = Instant Compression
 P_{delay} = Delayed Compression
 P_t = Total Settlement

1.3.2.4 วิธีการของ Cox

Leroueil et al (1978-a, 1978b) และ Tavenas et al (1978-b) พบว่า พฤติกรรมการทรุดตัวของดินทางที่สร้างอยู่บน Overconsolidated Clay จะประกอบด้วยทรุดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง (Construction Settlement) และการทรุดตัวภายหลังการก่อสร้าง (Post Construction Settlement) ซึ่งจากหลักการนี้ Cox (1981) ได้เสนอวิธีการคำนวณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง และ ภายหลังการก่อสร้างของดินทางที่สร้างบนดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ไว้ดังนี้

ก. การทรุดตัวระหว่างการก่อสร้าง (Construction Settlement)



รูปที่ 1.9 แสดง Instant และ Delayed Compression (Bjerrum, 1967)

การทรุดตัวระหว่างการก่อสร้างจะประกอบด้วย การทรุดตัวทันที ซึ่งปรับแก้ผลของ Local Yield (กฎข้อที่ 1.3.4.3) และการทรุดตัวเนื่องจากขบวนการ Consolidation ในช่วง OC Range

เมื่อ $\bar{\sigma}_{v0} + \Delta\bar{\sigma}_v > \bar{\sigma}_{vm}$

$$P_i = \left| qBI/E_u(SR) \right| + H \left| RR \log \frac{\bar{\sigma}_{vm}}{\bar{\sigma}_{v0}} \right| \quad \text{---(1.14)}$$

เมื่อ $\bar{\sigma}_{v0} + \Delta\bar{\sigma}_v < \bar{\sigma}_{vm}$

$$P_i = \left| qBI/E_u(SR) \right| + H \left| RR \log \frac{\bar{\sigma}_{v0} + \Delta\bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{v0}} \right| \quad \text{---(1.15)}$$

๓. การทรุดตัวภายหลังการก่อสร้าง (Post Construction Settlement)

$$P_e = H \left| CR \log \frac{\bar{\sigma}_{v0} + \Delta\bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{vm}} \right| \quad \text{---(1.16)}$$

เมื่อ P_i = การทรุดตัวระหว่างการก่อสร้าง

P_e = การทรุดตัวภายหลังการก่อสร้าง

1.3.3 การคาดคะเนปริมาณการทรุดตัวด้วยวิธี Stress Path

1.3.3.1 หลักการของ Stress path

Stress Path คือ เส้นที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพความเค้น (State of Stress) ที่ระนาบใดระนาบหนึ่งในมวลดิน Stress Path สามารถแสดงได้หลายรูปแบบด้วยกัน แต่ที่นิยมกันคือ แสดงในรูปของ p-q diagram ซึ่ง Lambe (1964) เป็นผู้เสนอขึ้น โดย Stress Path ของ p-q diagram จะเป็นเส้นที่ลากผ่านจุดระนาบที่มีความเค้นเฉือนมากที่สุด (Maximum Shear Stress) State of Stress ที่แสดงอาจอยู่ในรูปของความเค้นรวม (Total Stress) หรือความเค้นประสิทธิผล (Effective Stress) ก็ได้ และสามารถแสดงใน diagram เดียวกันได้ ค่าพารามิเตอร์ใน p-q diagram หากได้ดังนี้ เมื่อแสดงในรูปความเค้นรวม

$$P = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$$

$$Q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$$

เมื่อแสดงในรูปความเค้นประสิทธิผล

$$P = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$$

$$Q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$$

และได้ว่า

$$\bar{P} = p - u$$

$$\bar{Q} = q$$

เมื่อ $\sigma_1, \bar{\sigma}_1$ = Major Total and Effective Principle

Stress

$\sigma_3, \bar{\sigma}_3$ = Minor Total and Effective Principle

Stress

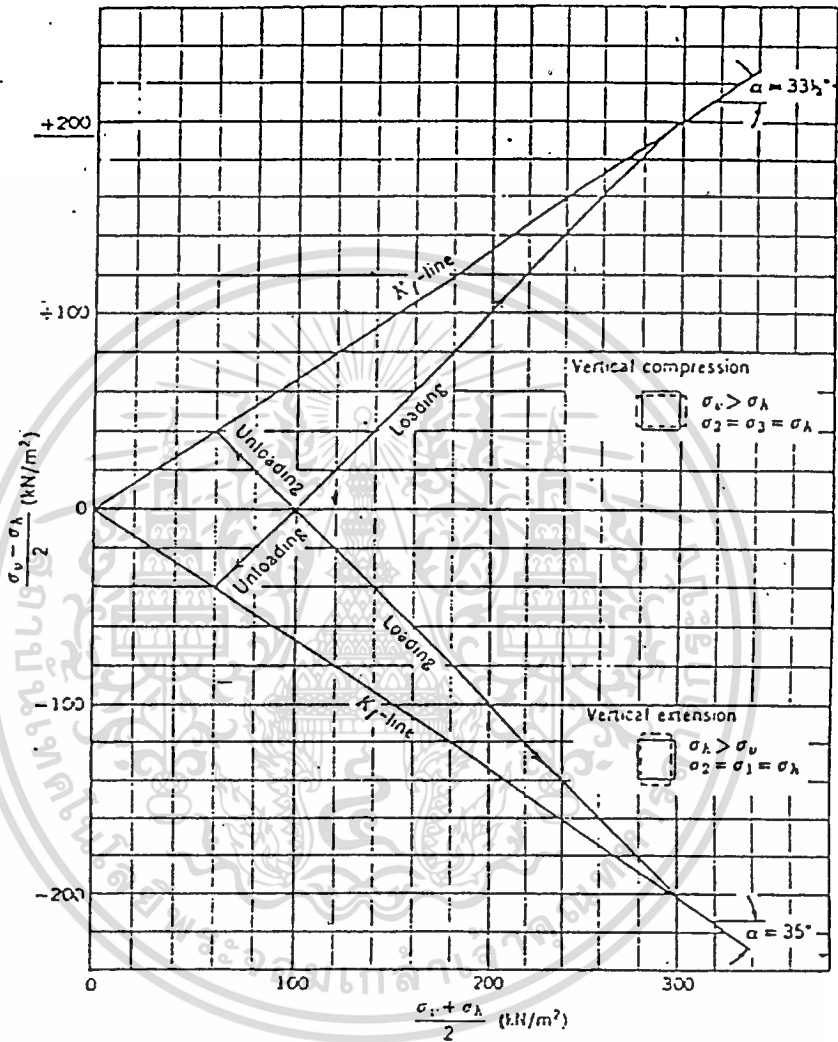
u = Pore Pressure

โดยทั่วไป Stress Path ที่ได้จากทดสอบ Triaxial มีอยู่ 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 1.11 ซึ่งที่จุดเริ่มต้น ดินจะถูกอัดตัวด้วยความเค้นเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation)

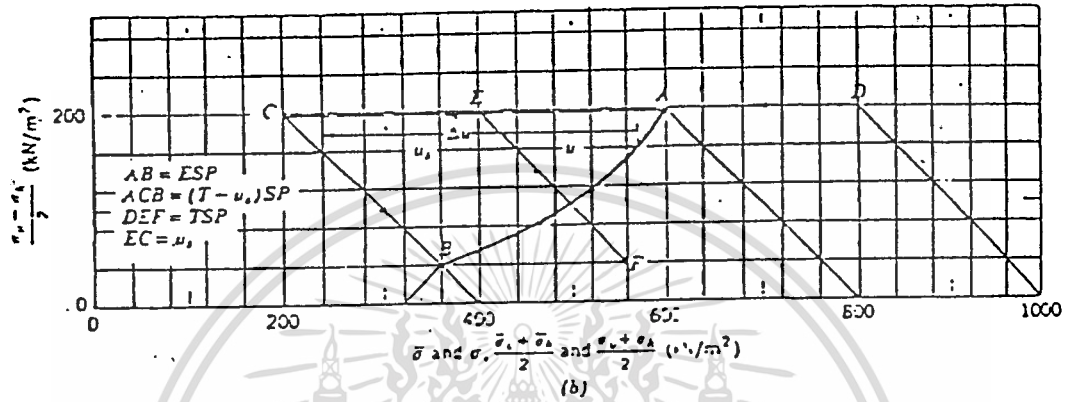
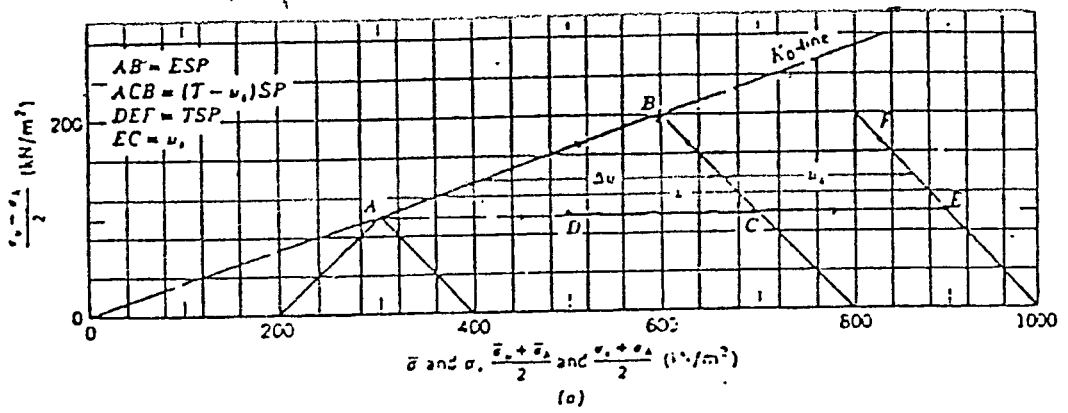
1.3.3.2 วิธี Stress Path

Lambe (1964, 1967a) โดยเสนอวิธี Stress Path สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัวโดยพิจารณาถึงความสำคัญของ Stress Path (การเปลี่ยนแปลง \bar{P} , \bar{Q}) ที่เกิดขึ้นในสนาม ซึ่งจะบ่งบอกถึงพฤติกรรมต่าง ๆ ของดิน ได้แก่ ลักษณะการเคลื่อนตัว, Compressibility และ Excess Pore Pressure เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.12 และ 1.13

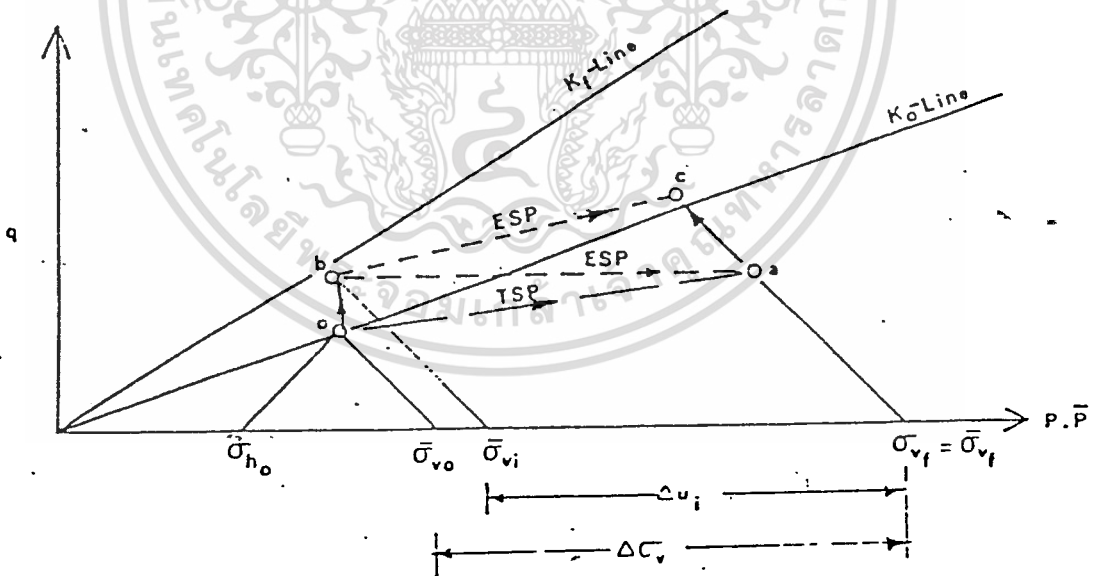
โดยส่วนใหญ่ Stress Path ของดินที่อยู่ใต้ผิวน้ำหนักระทาเมื่อมีน้ำหนักมากกระทาทันที จะเป็นแบบดังรูปที่ 1.13 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ



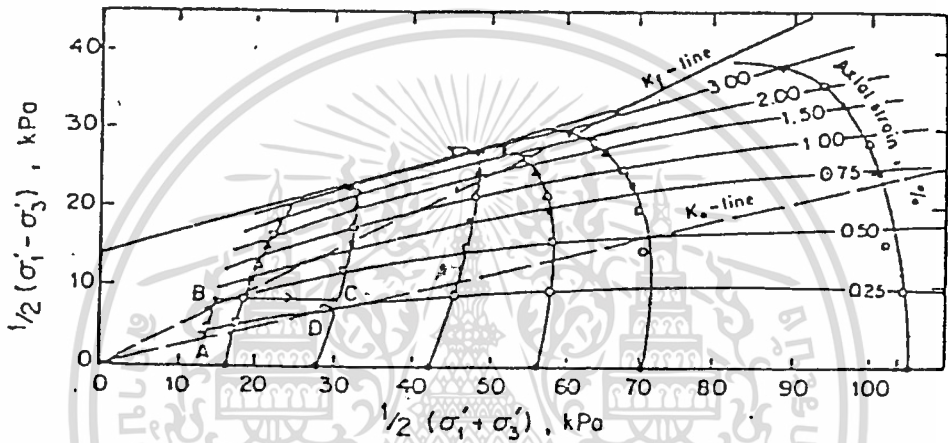
รูปที่ 1.11 Stress Path ของการทดลอง Triaxial.
(Lambe, 1967a)



รูปที่ 1.12 Stress Path จากการทรหด Consolidation (Lambe, 1967a)



รูปที่ 1.13 Stress Path เมื่อความเครียดเป็นแบบ 3 มิติ



รูปที่ 1.14 Effective Stress Paths และ Strain Contours
ของ Weathered Clay จากบางพลี (Balasubramaniam &
Brenner, 1981)

OB - Effective Undrained Stress Path ซึ่ง Strain ที่เกิดขึ้นตามเส้น OB นี้จะสอดคล้องกับ Undrained Settlement ที่เกิดขึ้นอันจะรวมถึงผลของ Local Yield และ Undrained Creep ด้วยถ้ามีเกิดขึ้น

BC - Effective Drained Stress Path ซึ่ง Strain ที่เกิดขึ้นตามเส้น BC นี้จะสอดคล้องกับ Consolidation Settlement แต่ในทางปฏิบัติจะไม่พิจารณาถึงผลการลดลงของความเค้นรวมอันเนื่องจากการ Consolidation (ทำให้ Poisson's Ratio ลดลง) ดังนั้น Effective drained Stress Path-BC ในทางปฏิบัติจึงเป็นเส้น BA แทน

การหา Stress Path ในการค่าคะแนนการทรุดตัวมี 2 วิธีคือ

ก. วิธีการหา Stress-Strain Contours มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Test หลาย ๆ ชุด แล้วนำมา plot ให้อยู่ในรูปของ Stress-Strain Contours ดังแสดงในรูปที่ 1.14
2. คำนวณหา Effective Stress Path ในสนาม แล้วจึงนำมาแสดงใน Stress-Strain Contours เช่น ABC ดังในรูปที่ 1.14
3. คำนวณหาความเครียด โขมความเครียดตามแนวตั้ง (Vertical Strain) ที่สภาวะไม่ระบายน้ำ จะได้จาก Axial Strain Contours (AB) ในขณะที่ความเครียดเชิงปริมาตรที่เกิดขึ้นเนื่องจากการ Consolidation จะได้จากการทดสอบ Oedometer (Stress Path AD ในรูปที่ 1.14) ทั้งนี้เนื่องจาก Stress Path BC มีความเครียดเชิงปริมาตรเท่ากับ Stress Path AD (C, D อยู่บน Undrained Stress Path) จากทฤษฎีอัสลาติกจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดตามแนวแกนกับความเครียดเชิงปริมาตรในกระบวนการ Consolidation ได้ดังนี้ (Lambe, 1964; Suklje, 1969)

$$\epsilon_h / \epsilon_v = (1 + k_0 - 2K * K_0) / (1 - K_0)(1 + 2K) \quad \text{---(1.23)}$$

เมื่อ ϵ_h = ความเครียดตามแนวแกน

ϵ_v = ความเครียดเชิงปริมาตร

K_0 = Coefficient of Earth Pressure at Rest

$\Delta\sigma_v, \Delta\sigma_h$ = ความเค้นประสิทธิผลตามแนวตั้งและในแนวนอนที่เพิ่มขึ้น และถ้า Effective Stress Path BC เป็นเส้นในแนวนอน จะได้

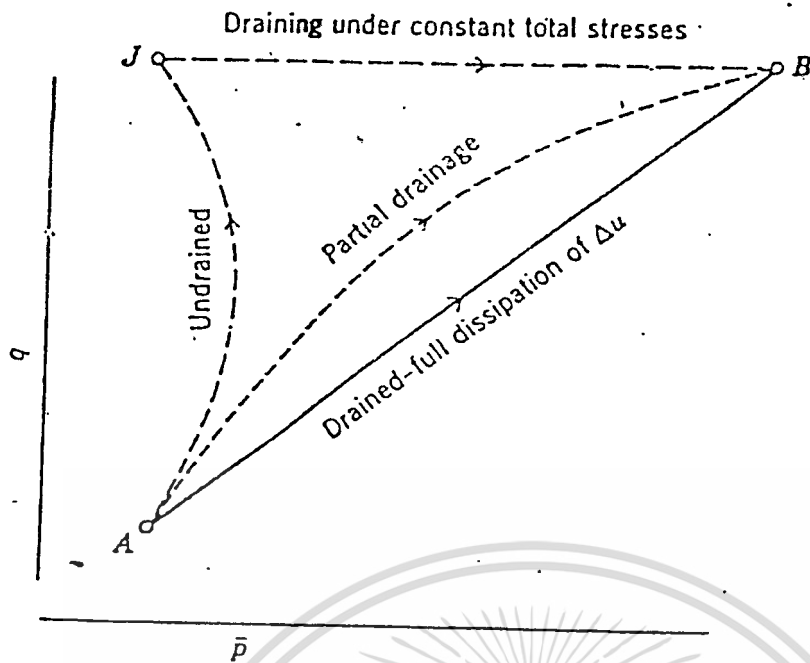
$$\epsilon_1 = \epsilon_r/3 \quad \text{---(1.24)}$$

4. ความเครียดทั้งหมดตามแนวตั้ง (Total Vertical Strain) จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความเครียดตามแนวแกนที่สภาพำม่ ระบายน้ำกับความเครียดตามแนวแกนเนื่องจากขบวนการ Consolidation และการทรุดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะได้จากการคูณ Total Vertical Strain ด้วยความหนาของชั้นดิน

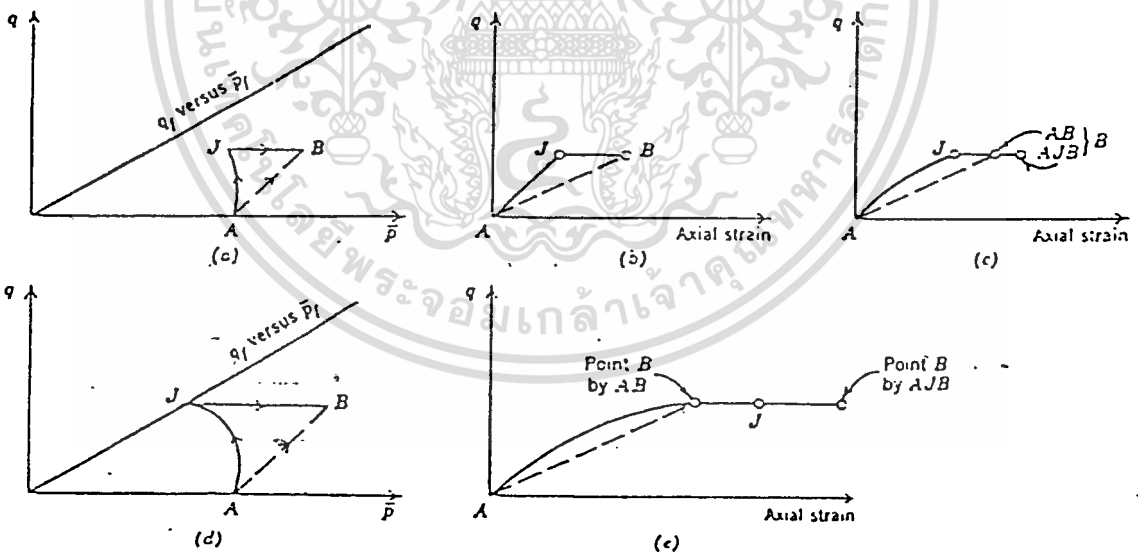
ข. วิธีการนำผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยจำลอง Stress Path ำให้เหมือนกับที่เกิดขึ้นจริงในสนาม (Procedure Using Results of Laboratory Test Duplicating Field Effective Stress Path) มีขั้นตอนดังนี้

1. แบ่งดินเป็นชั้น ๆ ตามคุณสมบัติ การทรุดตัว, Plasticity และ Stress History เป็นต้น
2. กำหนดจุดที่เป็นตัวแทนของแต่ละชั้น โดยปกติ จะใช้จุดกึ่งกลางของแต่ละชั้น
3. กำหนดหาสภาวะความเค้น (Stress Condition) ที่ชั้นก่อนค้ำง ๆ ได้แก่ $\sigma_{vo}, \sigma_{ho}, \bar{\sigma}_{vo}, \bar{\sigma}_{ho}, \Delta\sigma_v, \Delta\sigma_h, U_o, \Delta u$ เป็นต้น ของจุดที่เป็นตัวแทน
4. ทำการทดสอบำให้เป็นไปตาม Field Effective Stress Path และทำการวัดความเครียดตามแนวแกนที่เกิดขึ้น
5. กำหนดผลการทรุดตัว โดยได้จากการคูณความเครียดตามแกนด้วยความหนาของชั้นดินที่กำลังพิจารณา

ปัญหาที่สำคัญของวิธีการนี้ คือ การหา Field Effective Stress Path เนื่องจาก Effective Stress Path ที่เกิดขึ้นจริงในสนามจะขึ้นอยู่กับ Rate of Loading และ Rate of Consolidation ดังแสดงในรูปที่ 1.15 Lambe (1967a) พบว่าความเครียดตามแนวแกนจะขึ้นอยู่กับ Rate of Loading หรือ Effective Stress Path ดังแสดงในรูปที่ 1.16 และได้สรุปว่า



รูปที่ 1.15 ผลของ Rate of Loading ที่มีต่อ Effective Stress Path (Lambe, 1967*)



รูปที่ 1.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Strains กับ Stress Path (Lambe, 1969)

\bar{E}, E_u = ค่า Drained และ Undrained Young's Modulus

$\bar{\nu}$ = Drained Poisson's Ratio

ν_u = Undrained Poisson's Ratio

สำหรับดินเหนียวที่อิ่มตัวด้วยน้ำ $\nu_u = 0.5$

$\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\sigma_z$ = ความเค้นรวมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งได้จาก Elastic Stress Distribution Theory โดยวิธี ν ที่เหมาะสม

1.3.4.2 วิธี Elastic Displacement Theory

วิธีนี้เหมาะสำหรับชั้นดินที่มีลักษณะ เป็นเนื้อเดียวกัน คลอด ดังนั้นค่า Elastic Constants ที่ใช้จึงใช้ค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมเพียงค่าเดียว ตลอดทั้งชั้นดิน การทรุดตัวจะคำนวณได้ดังนี้

$$P_t = (q BI) / \bar{E} \quad \text{---(1.28)}$$

$$P_f = (q BI) / E_u \quad \text{---(1.29)}$$

เมื่อ q = ความเค้นของแรงภายนอกที่มากระทำ (Applied Foundation Pressure)

B = ขนาดด้านสั้นที่สุดของหน้าผกกระทำ

I = Influence Factor ได้จาก Elastic Theory ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ Poisson's Ratio, Geometry of Loading, ความหนาของชั้นดิน ดังแสดงในตารางที่ 1.2

Janbu, Bjerrun, Kjaernsli (1956) ได้สร้าง chart สำหรับหาการทรุดตัวทันทีที่หน้าผกเฉลี่ย (Average Immediate Settlement) ของหน้าผกสม่ำเสมอที่ยืดหยุ่น (Flexible) ที่มีรูปทรงแบบ Strip, Rectangular และ Circular ซึ่งต่อมาได้ถูกพัฒนาใหม่โดย Christian and Carrier (1978) ดังแสดงในรูปที่ 1.17 เมื่อ $I = \square$

1.3.4.3 วิธี Modified Elastic Displacement

เนื่องจากดินในธรรมชาติไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-Homogenous), Anisotropy และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดไม่เป็นอีลาสติกเชิงเส้นอย่างแท้จริง โดยเฉพาะเมื่อความเค้นในมวลดินสูง ๆ Davis and Poulos (1968) ได้กล่าวว่า การคำนวณการทรุดตัวโดยวิธี

Elastic Theory นั้น จะให้ค่าที่ไม่ถูกต้อง (ต่ำไป) เนื่องจากดินจะเกิด Plastic Flow D'Appolonia et al (1971) ได้พิจารณาว่าดินเป็น Elasto-Plastic Clay ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับการทรุดตัวของดินเป็นคังรูปที่ 1.18 และใช้วิธี Finite Element เพื่อที่หาผลของการเกิด Local Yield ที่มีต่อการทรุดตัวของดิน นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีการอย่างง่ายในการคำนวณการทรุดตัวของดินเมื่อเกิด Local Yield ในรูปของ Chart ดังแสดงในรูปที่ 1.19 ดังนั้น การทรุดตัวของดินเมื่อเกิด Local Yield สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_1 = P_e / SR \quad \text{---(1.30)}$$

เมื่อ P_1 = การทรุดตัวของดินเมื่อเกิด Local Yield
 P_e = การทรุดตัวของดินจาก Elastic Theory โดยวิธี Summation of the Vertical Strain หรือวิธี Elastic Displacement Theory

SR = อัตราส่วนการทรุดตัว (Settlement Ratio)

ค่าอัตราส่วนการทรุดตัว (Settlement Ratio, SR) จะขึ้นอยู่กับ
 1. Initial Shear Stress Ratio, f
 ซึ่ง f จะค่าคังสมการ 1.31 หรืออาจได้จาก ความสัมพันธ์กับ Stress History (OCR) และชนิดของดิน (PI) ดังแสดงในรูปที่ 1.20

$$f = (\bar{\sigma}_{v0} - \bar{\sigma}_{ho}) / 2S_u = (1 - K_o) / (2S_u / \bar{\sigma}_{v0}) \quad \text{---(1.31)}$$

S_u = Undrained Shear Strength

$$S_u = S_u(V) \quad K_o \leq 1$$

$$= S_u(H) \quad K_o > 1$$

2. Applied Stress Ratio, q/q_{ult}

q = Applied Foundation Pressure

q_{ult} = Ultimate Bearing Stress

3. อัตราส่วนความหนาของชั้นดินต่อความกว้างของหน้าหนัก

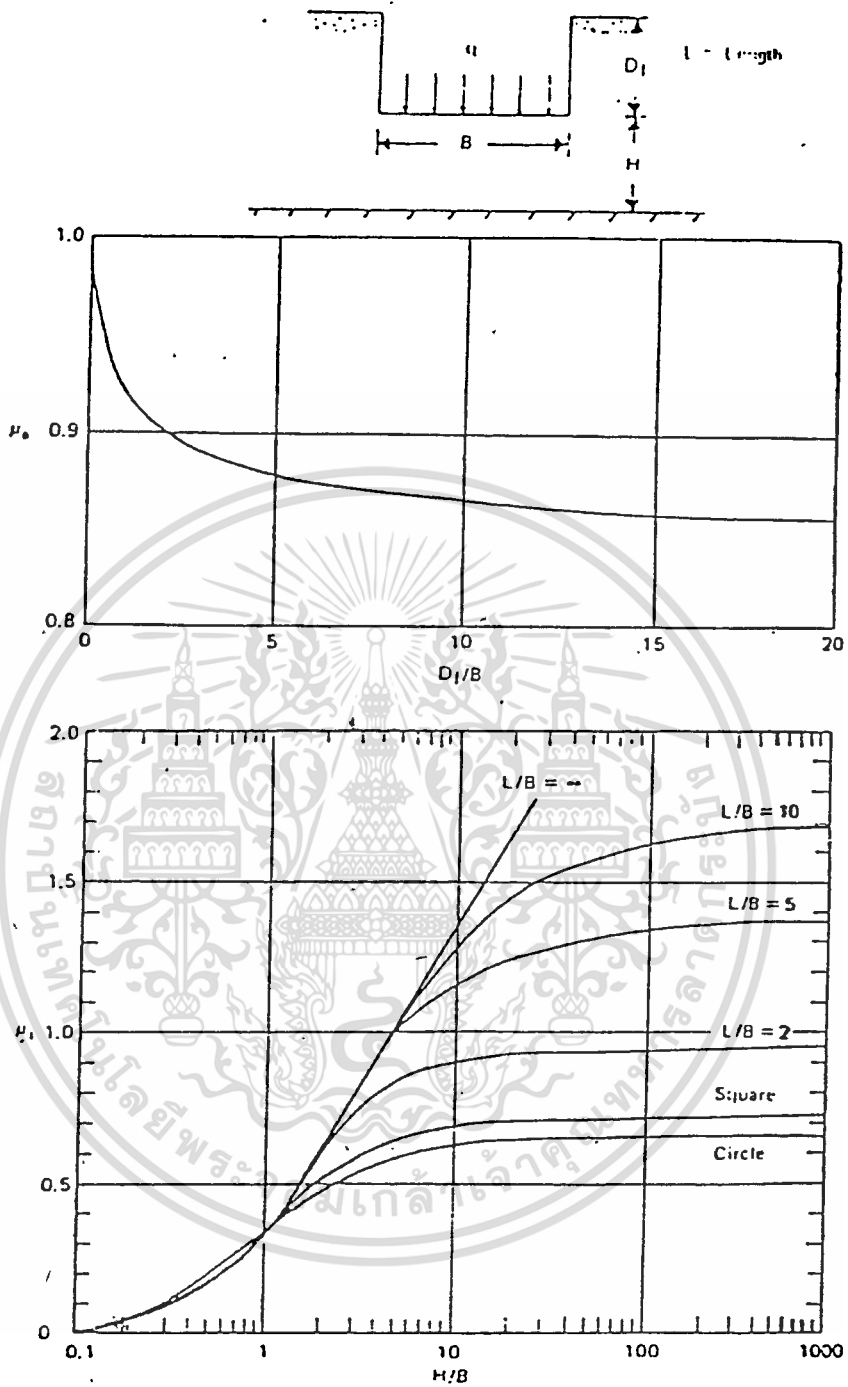
กระทำ, H/B

ตารางที่ 1-21 ค่า Shape และ Rigidity Factor ในการคำนวณหาการทรุดตัว

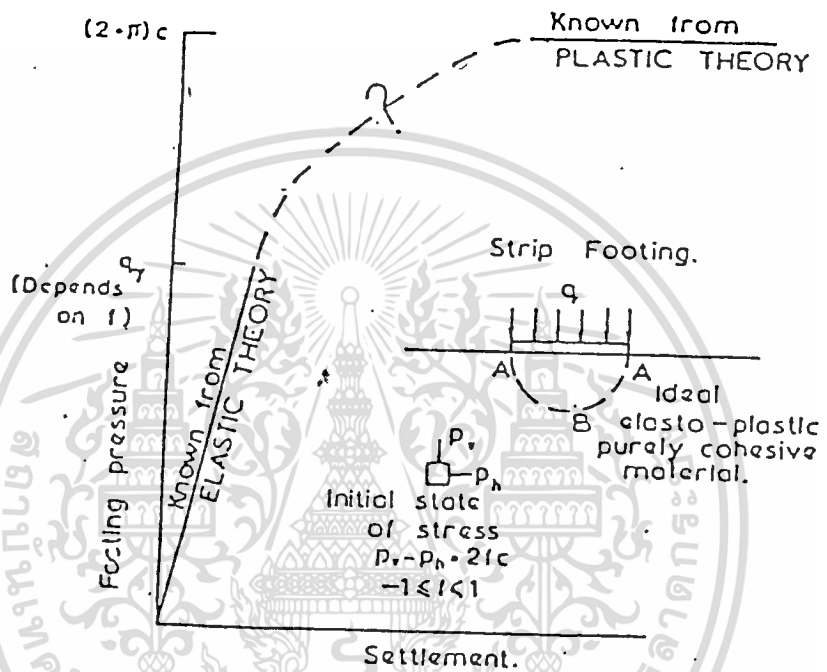
ณ จุดต่าง ๆ บนพื้นที่แรงกระทำ ที่ผิวหน้าของ Elastic Half-Space

Shape and Rigidity Factor I for Loaded Areas on an Elastic Half-Space of Limited Depth Over a Rigid Base						
H/B	Center of Rigid Circular Area Diameter = a	Corner of Flexible Rectangular Area				
		L/B = 1	L/B = 2	L/B = 5	L/B = 10	(strip) L/B = ∞
for $\nu = 0.50$						
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.14	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
1.0	0.35	0.15	0.12	0.10	0.10	0.10
1.5	0.48	0.23	0.22	0.18	0.18	0.18
2.0	0.54	0.29	0.29	0.27	0.26	0.25
3.0	0.62	0.36	0.40	0.39	0.38	0.37
5.0	0.69	0.44	0.52	0.55	0.54	0.52
10.0	0.74	0.48	0.64	0.76	0.77	0.73
for $\nu = 0.33$						
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.20	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
1.0	0.40	0.19	0.18	0.16	0.16	0.16
1.5	0.51	0.27	0.28	0.25	0.25	0.25
2.0	0.57	0.32	0.34	0.34	0.34	0.34
3.0	0.64	0.38	0.44	0.46	0.45	0.45
5.0	0.70	0.46	0.56	0.60	0.61	0.61
10.0	0.74	0.49	0.66	0.80	0.82	0.81

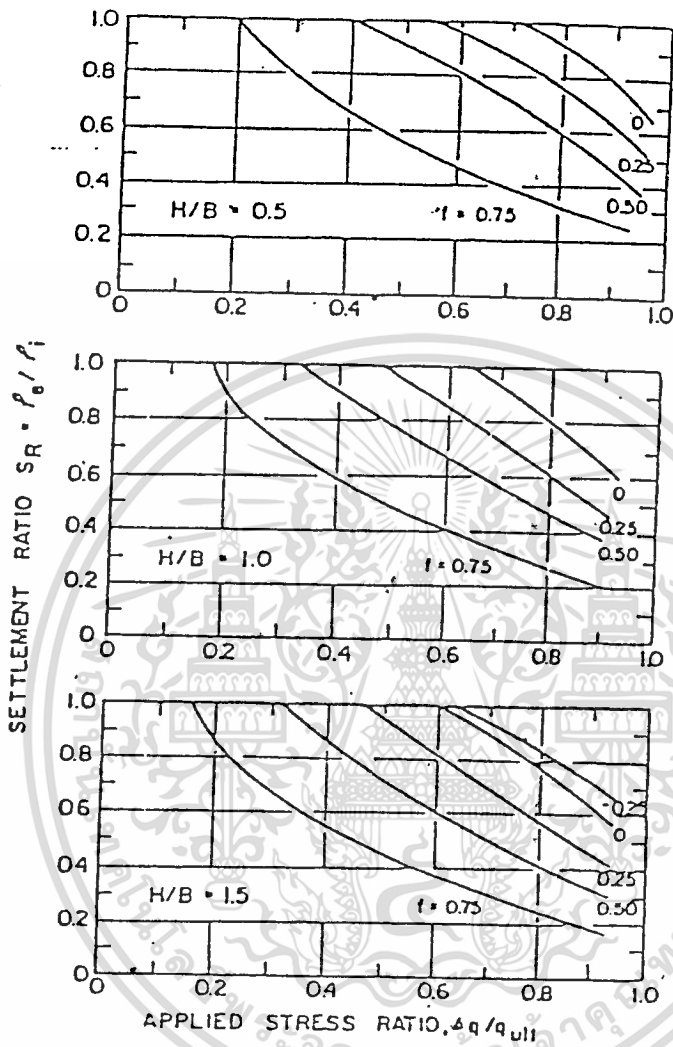
RECTANGLE CIRCLE
NOTATION FOR LOADED AREAS, SHOWN IN PLAN VIEW



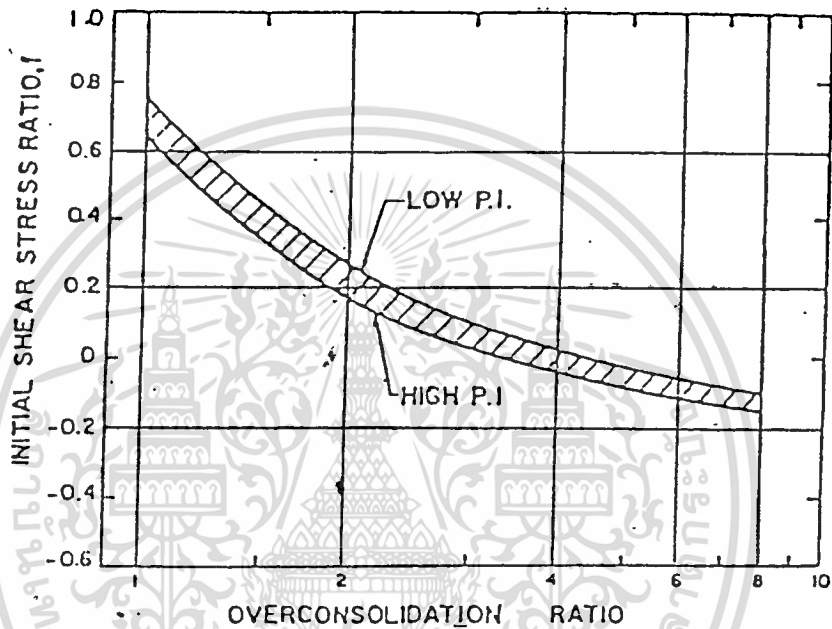
รูปที่ 1.17 ค่า μ_0 , μ_1 ที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัวทันที
(Christian & Carrier, 1978)



รูปที่. 1118 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด
 ของ Elasto-Plastic Material
 (Davis & Poulos, 1968)



รูปที่ 1.19¹ ความสัมพันธ์ระหว่าง Settlement Ratio กับ Applied Stress Ratio สำหรับ Load กระทำบน Isotropic Homogeneous Foundation (จาก D'Applonia et al, 1971)



รูปที่ 1.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Initial Shear Stress กับ Overconsolidation Ratio (จาก D'Appolonia et al, 1971)

1.4 การคาดคะเนอัตราการทรุดตัว

การคาดคะเนอัตราการทรุดตัวเป็นสิ่งสำคัญมาก ในกรณีที่อยู่ของสิ่งก่อสร้างนั้นสั้นกว่าระยะเวลาที่การทรุดตัวทั้งหมดจะเกิดขึ้น วิธีการคาดคะเนอัตราการทรุดตัวที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะพิจารณาเฉพาะ Consolidation Settlement เท่านั้น ที่เป็นการทรุดตัวที่เป็นฟังก์ชันกับเวลา โดย Consolidation Settlement ที่เวลาใดเวลาหนึ่งจะคำนวณได้จาก

$$P_{ct} = UP_{cf} \quad \text{---(1.32)}$$

P_{ct} = Consolidation Settlement ที่เวลาใด
เวลาหนึ่ง

U = Average Degree of Consolidation

P_{cf} = Consolidation Settlement ทั้งหมด

ดังนั้นในการคาดคะเนอัตราการทรุดตัว จึงมีความจำเป็นจะต้องทราบค่า Average Degree of Consolidation วิธีการคาดคะเนอัตราการทรุดตัว มีดังนี้

1.4.1 วิธี Terzaghi

ค่า U จะหาได้จากความสัมพันธ์กับ Time Factor (T) ดังแสดงในรูปที่ 1.21

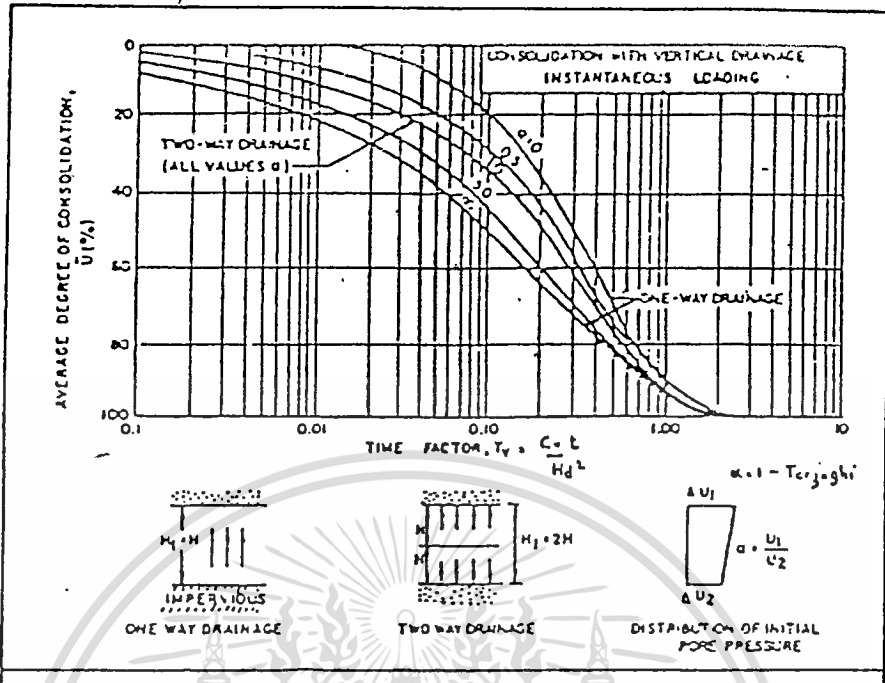
$$\text{โดย } T = (C_v t) / H_d^2 \quad \text{---(1.33)}$$

เมื่อ C_v = Coefficient of Consolidation ซึ่งได้จากการทดสอบ Oedometer โดยวิธี t หรือ $\log t$

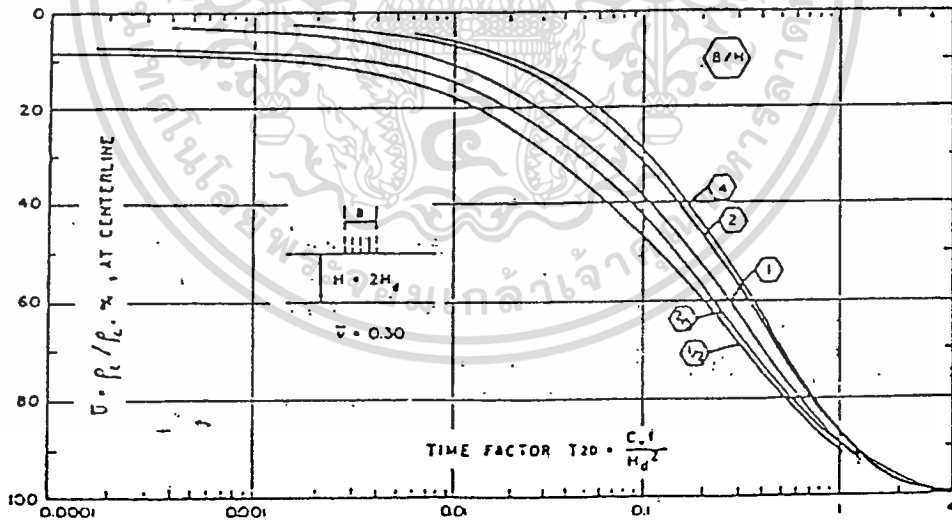
1.4.2 วิธี Lacasse

Lacasse et al (1975) ได้เสนอความสัมพันธ์ U กับ T สำหรับในกรณีที่น้ำสามารถไหลออกได้ในลักษณะ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 1.22 และได้เสนอสมการที่ 1.34 สำหรับเปรียบเทียบเวลาที่ได้โดยวิธี Lacasse กับ Terzaghi ที่ Degree Consolidation เดียวกัน

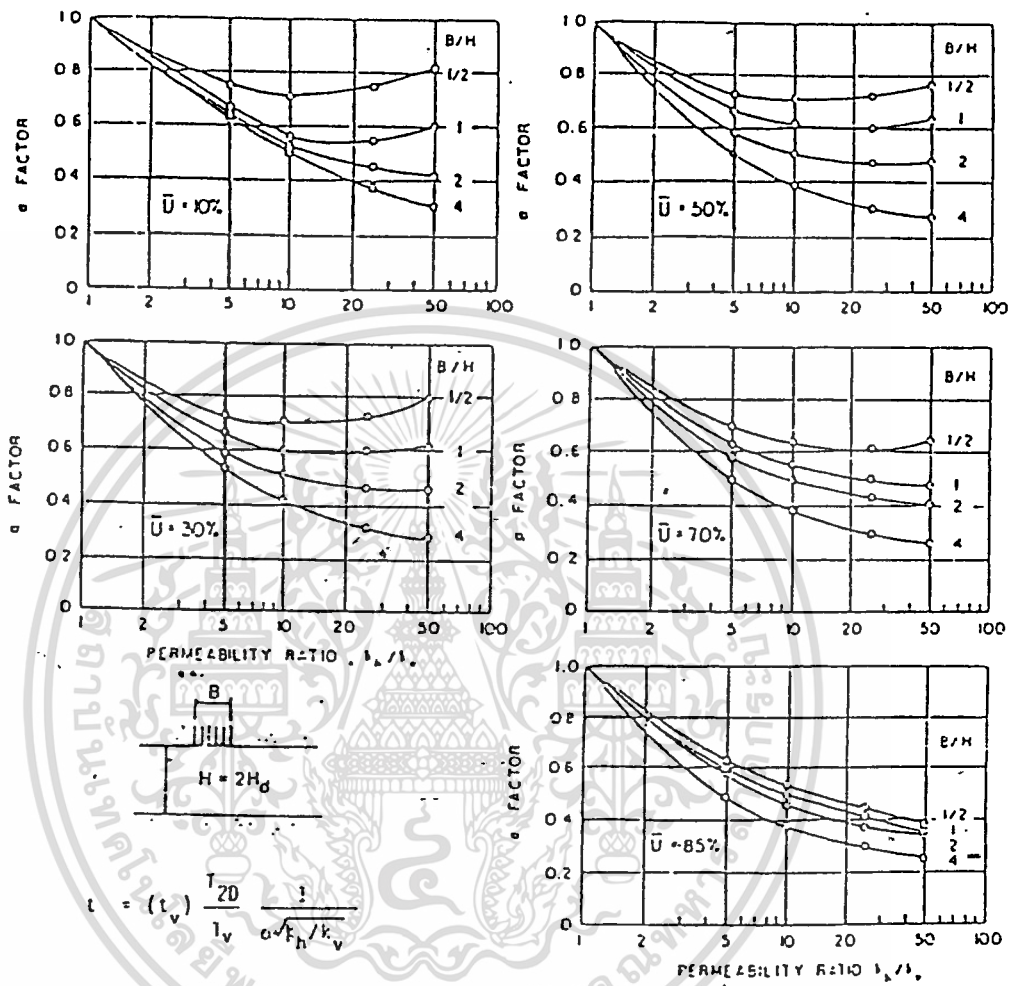
$$t = t_v * (T_{2D} / T_v) * (1 / \alpha \sqrt{K_h / K_v}) \quad \text{---(1.34)}$$



รูปที่ 1221 อัตราการทรุดตัวเนื่องจาก Consolidation สำหรับ Vertical Drainage เมื่อเพิ่มหน้าทับบรรทุกทันที (DM-7)



รูปที่ 1222 แสดง T_{2D} กับ U สำหรับ Plane Strain Consolidation โดยมี Double Drainage และ Isotropic Permeability (Lacasse et al, 1975)



รูปที่ 1.23 แสดง Alpha factor กับ Permeability Ratio สำหรับ Plane Strain Consolidation ที่ $\bar{U} = 10\% - 85\%$ (Iacasse et al, 1975)

เมื่อ t_v = เวลาที่เข้าในการ drainage โดยวิธี Terzaghi
ที่ U ที่สนใจ

T_v = Time factor จากวิธี Terzaghi ที่ค่า U ที่สนใจ

T_{2D} = Time Factor จากวิธี Lacasse ที่ค่า U ที่สนใจ

α = ค่า Factor ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ K_h/K_v , B/H และ

ค่า U ดังแสดงในรูปที่ 1.23

K_h, K_v = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมมาเค้นบนแนวนอน และตั้งตามลำดับ

1.4.3 วิธี Asaoka

เป็นวิธีที่อาศัยข้อมูลการวัดการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในสนาม ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 1.3.5.1 ซึ่งจะคำนวณ C_v ได้ดังนี้

$$C_v = (-5/12)Ha^2(\ln p_1/\Delta t) \quad \text{---(1.35)}$$

ค่า C_v ที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้คำนวณหาอัตราการทรุดตัว โดย
ใช้ความสัมพันธ์ U กับ T จากทฤษฎี Terzaghi หรือจากทฤษฎี Lacasse et al
(1975)

1.4.4 วิธี Stress Path

Davis & Poulos (1963) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง
 U กับ T ซึ่งได้จากการทดสอบ Triaxial Consolidation ที่สภาวะการระบาย
น้ำข้าง ๑ ดังแสดงในรูปที่ 1.24

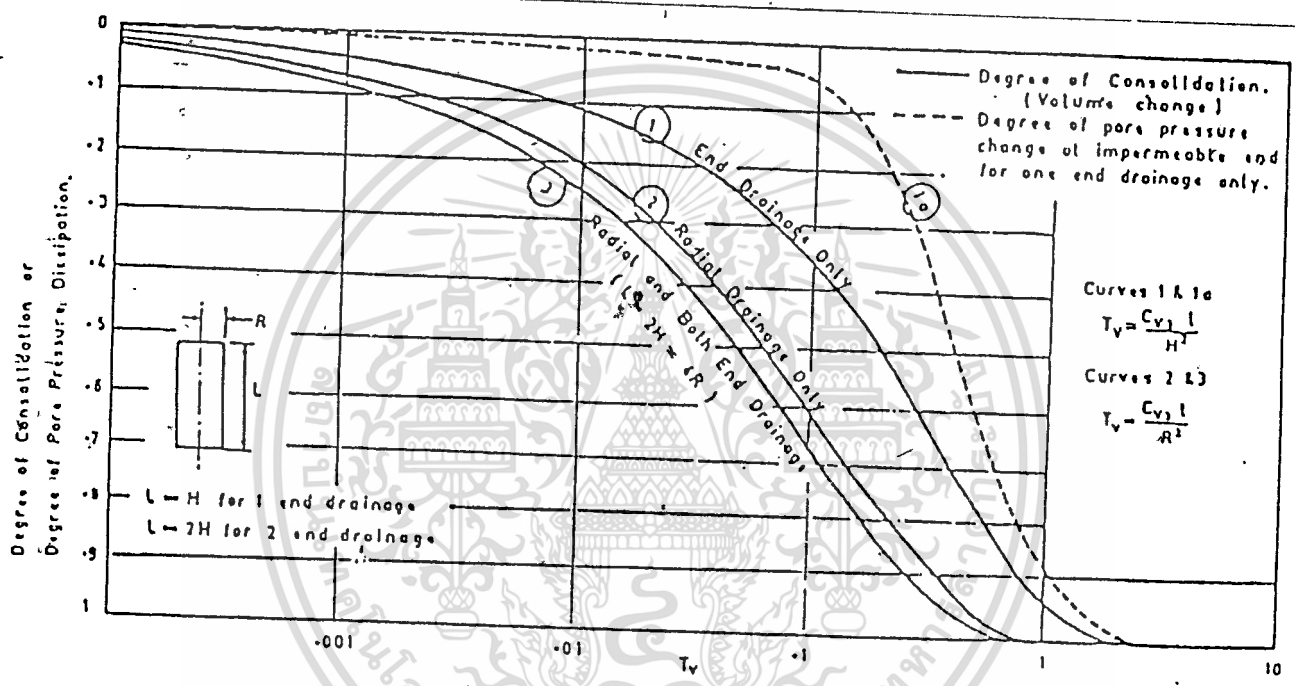
เมื่อ C_{v3} = Three-Dimensional Coefficient of
Consolidation

$$= (kE)/(3\gamma_w(1-\bar{V})) \quad \text{---(1.36)}$$

และความสัมพันธ์ระหว่าง C_{v1} , C_{v2} , C_{v3} มีดังนี้

$$C_{v1} = 2(1-\bar{V}) * C_{v2} = (3(1-\bar{V})/(1+\bar{V})) * C_{v3} \quad \text{---(1.37)}$$

เมื่อ C_{v1} , C_{v2} = One and Two Dimensional Coefficient
of Consolidation



รูปที่ 1.24 แสดง Rate of Triaxial Consolidation ที่สภาพการระบายน้ำต่าง ๆ กัน (Davis & Poulos, 1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การคาดคะเนปริมาณและอัตราการทรุดตัว ของคันทันถมบนชั้นดินเหนียวอ่อนด้วยวิธี Boussinesq

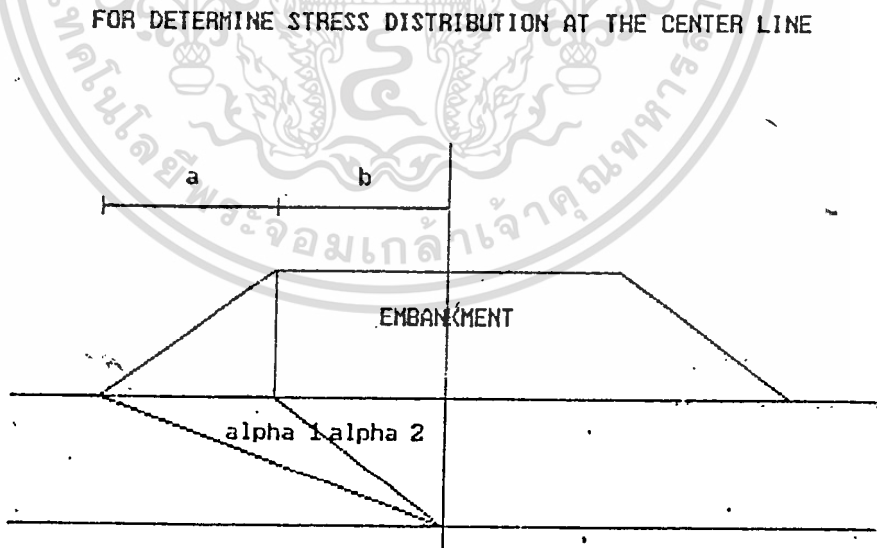
2.1 การกระจายความเค้นบนชั้นดินเนื่องจากคันทันถมตามวิธี Boussinesq

การที่จะพิจารณาเกี่ยวกับเรื่องการกระจายของหน่วยแรงในมวลดิน และการวิเคราะห์การทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นก็มีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึง แรงที่มากระทำต่อมวลดินเสียก่อน นอกเหนือจากน้ำหนักตัวเองของดินแล้ว ก็ยังมีน้ำหนักของโครงสร้างทั้งน้ำหนักคงที่และน้ำหนักจร รวมทั้งแรงลมซึ่งอาจจะทำให้เกิดลมเมมส์ แรงในแนวราบ และแรงในแนวตั้ง กระทำต่อมวลดิน สิ่งหนึ่งที่เป็นลักษณะสำคัญของแรงลมก็คือ เป็นแรงที่ไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้น จึงจะกล่าวถึงแค่เฉพาะอิทธิพลเนื่องจากแรงในแนวตั้ง ซึ่งจะมีค่าคงที่เสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และเป็นแรงที่มักคำนึงถึง เป็นสำคัญในการวิเคราะห์การทรุดตัว

1) การกระจายหน่วยแรงในดิน

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะรูปแบบของน้ำหนักที่กระทำ เป็นแบบคันทันถมเท่านั้น

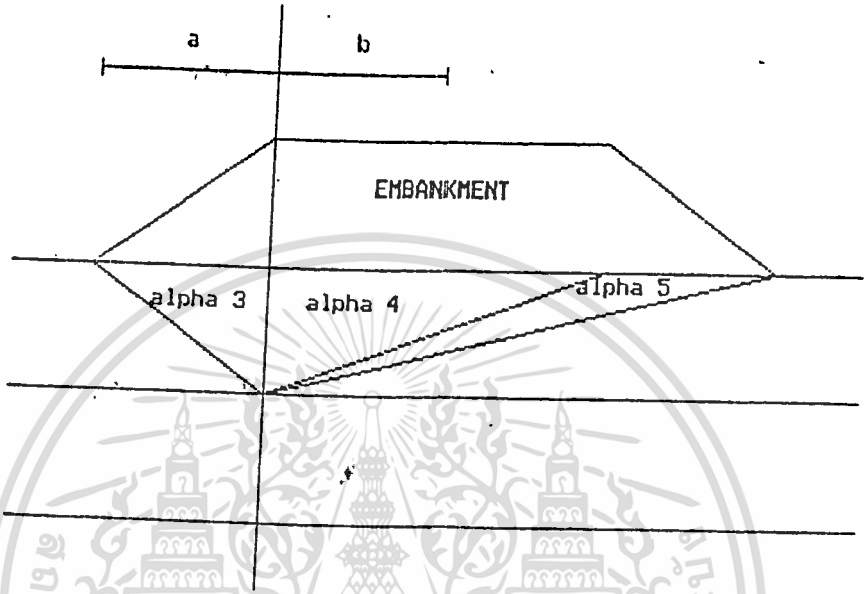
ที่แนวศูนย์กลาง



$$\Delta \sigma_v = 2 \left[\frac{\gamma}{\pi} \left[\frac{(a+b)(\alpha_1 + \alpha_2)}{a} - \frac{b\alpha_2}{a} \right] \right]$$

ที่ขอบของถนน

FOR DETERMINE STRESS DISTRIBUTION AT THE EDGE



$$\Delta\sigma_v = \frac{q}{\pi} \left[\alpha_3 + \frac{(a+b)(\alpha_3 + \alpha_5) - b\alpha_4}{a} \right]$$

2.2 การวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวแบบหุบอັคตัวด้วยวิธี CONVENTIONAL ONE-DIMENSIONAL METHOD

วิธีการนี้คิดค้นโดย Terzaghi (1925) โดยมีรายละเอียดดังนี้ เป็นวิธีการที่เกี่ยวกับการรวมผลของความเครียดใต้โครงสร้างในแนวดิ่ง โดยสามารถใช้กับมวลดินที่มีคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกัน ที่ความลึกต่าง ๆ กันด้วย โดยที่ คุณสมบัติของดินเหล่านี้หาได้จากจากการทดลองหรือ Oedometer tests โดยให้ตัวอย่างของดินในบริเวณก่อสร้าง และนำมาคำนวณสูตรดังนี้

$$P_c = H(M_v * \Delta \sigma_v)$$

หรือ
$$P_c = \frac{H}{1 + E_o} C_c * \log \frac{\sigma_{vo} + \Delta \sigma_v}{\sigma_{vo}}$$

- โดยที่
- H = ความหนาของชั้นดินที่ i
 - C_c = compression index
 - E_o = void ratio
 - σ_{vo} = in-situ effective vertical stress
 - Δσ_v = increase in vertical stress
 - M_v = coefficient of volume compressibility
 - P_c = consolidation settlement

ความทฤษฎีการหุบอັคตัวของ Terzaghi นั้น จะคำนึงถึงเฉพาะ การทรุดตัวแบบหุบอັคตัวเท่านั้น
 คาอธิบายเพิ่มเติม

C_c = คชนิยของการกดอัด (Compression Index) คือ ความลาดเอียงของเส้นสัมพันธ์ e-log p ในส่วนของเส้นตรง ดังรูปที่ 2.25 หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

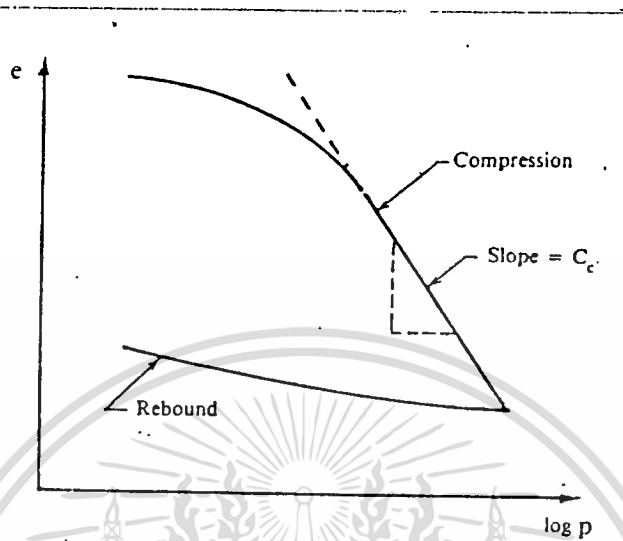
$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p}$$

$$= \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{p_1}{p_2}}$$

- นเมื่อ
- e₁ = อัตราส่วนช่องว่างที่แรงกดอัด p₁
 - e₂ = อัตราส่วนช่องว่างที่แรงกดอัด p₂

เส้นสัมพันธ์ $e-\log p$ เขียนได้จากผลการทดสอบการยุบตัวของดิน ดัง

รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1

หรืออาจจะหาค่า C_c ได้จากสมการเอมเพริคอลดังนี้ค่าเป็น (สมการนี้ได้จากผลการทดสอบดินเหนียวที่ต่าง ๆ จำนวนมาก)

ค่าของ C_c และ $CR = \frac{C_c}{1 + E_0}$ ซึ่งอยู่ในเทอมของ W_L หรือ W_n ดังงานแสดงงานรูปที่ 2.2

Regression equation	Correlation coefficient	No. of samples	Applicability	Reference
$C_c = 0.007 (w_L - 7)$ $C_c = 1.15 (e_n - 0.35)$ $C_c = 0.256 (r - 1)$ $(e_n = 0.64)$ $r_s = 0.0640 (w_L - 9)$ $C_c = 0.0099 (w_L - 10)$			Remoulded clays All clays Brazilian clays	Skempton (1944) Nashida (1956) Cozzolino (1961)
$C_c = 0.40 (e_n - 0.25)$ $C_c = 0.01 (w_n - 5)$ $C_c = 0.006 (w_L - 9)$ $C_c = 0.37 (e_n + 0.003 w_L - 0.34)$ $C_c = 0.40 (e_n + 0.001 w_n + 0.25)$ $C_c = 0.37 (r_s + 0.003 w_L + 0.0004 w_n - 0.34)$	0.85 0.79 0.59 0.56	717 717 675 575	Brazilian clays Normally consolidated clays	Cozzolino (1961) Terzaghi & Peck (1967)
$C_c = 0.21 + 0.008 w_L$ $C_c = 0.22 + 0.29 e_n$ $C_c = 0.20 + 0.008 w_n$ $C_c = 0.20 + 0.008 w_L - 0.009 e_n$	0.70 0.77 0.77 0.70	113 113 113 113	Weathered and soft Bangkok clay	Adakari (1977)
$C_c = 0.1662 + 0.1097 e_n$ $C_c = 0.1109 + 0.1401 e_n - 0.0062 e_n^2$	0.88 0.90		Soft Bangkok clay	Sivandran (1979)
$C_c = 0.575 e_n - 0.241$ $C_c = 0.0147 w_n - 0.213$	0.966 0.963		French clays	Vidalie (1977)
$CR = 0.0043 w_n$ $CR = 0.0045 w_L$			Marine clays of Southeast Asia	Cox (1958)
$CR = 0.156 e_n + 0.0167$ $(r_s < 2)$	0.93	≈ 250	All clays	Elragnar & Kriek (1975)
$CR = 0.14 (e_n - 0.637)$ $CR = 0.003 (w_n + 7)$ $CR = 0.002 (w_L + 9)$	0.74 0.65 0.53	215 717 675	Clays from Greece and some parts of the United States	Arzouzi et al (1976)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... เอกสารนี้...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม...
เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของแบบหุ้บอัดด้วยวิธี TERZAGHI

Rate of Consolidation หรืออัตราเร็วของการหุ้บอัด คือเวลาที่ใช้ในการหุ้บอัดของดิน (t) จะเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่มากกระทำ การกระจายตัวของน้ำหนัก ความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดินระยะทางที่น้ำไหลออกจากดิน เหล่านี้เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับว่าต้องการทราบเวลาของการทรุดตัวที่กี่เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$t = T_v d^2 / C_v$$

ในเมื่อ t = ระยะเวลาของการทรุดตัว

T_v = Time factor ขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ของการทรุดตัว (U_v)

ซึ่งหาได้จากตารางที่

C_v = สัมประสิทธิ์ของการหุ้บอัด

d = ระยะทางไกลที่สุดที่น้ำไหลออกจากดิน

= $(1/2)h$ ในกรณีที่น้ำไหลออกได้ทั้ง 2 ทาง

= h ในกรณีที่น้ำไหลออกได้ทางเดียว

h = ความหนาของชั้นดิน

คำอธิบายเพิ่มเติม

C_v = Coefficient of Consolidation คือ สัมประสิทธิ์ของการหุ้บอัดของดิน เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดินและความสามารถในการหุ้บอัดของดิน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_v = k / (M_v \gamma_w)$$

ในเมื่อ k = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดิน (Coefficient of Permeability)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = 9.81 กิโลนิวตัน/ม.³

U_v = Degree of Consolidation หรือระดับขั้นการหุ้บอัดของดิน คือ อัตราส่วนของอัตราการทรุดตัวภายหลังช่วงเวลา t ต่อการทรุดตัวสุดท้ายทั้งหมดเป็นเปอร์เซ็นต์

$$U_v = \frac{\text{Settlement after time } t * 100\%}{\text{Total final settlement}}$$

T_v = Time factor เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับระดับชั้นของการยุบอัดตัวของดิน ความสัมพันธ์ระหว่าง T_v และ U_v ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น การกระจายตัวของน้ำหนัก ลักษณะแรงดันน้ำส่วนเริ่มแรก ระยะทางที่น้ำไหลออกจาก ดิน ฯลฯ สามารถหาได้จากรูปที่ 2.3 หรือจากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับ $U_v < 60\%$ $T_v = \pi/4 U_v^2$

สำหรับ $U_v > 60\%$ $T_v = -0.933 \log (1-U_v) - 0.0851$

Degree of Consolidation, U_v %	Time Factor, T_v
0	0.0000
5	0.0020
10	0.0078
15	0.0177
20	0.0314
25	0.0491
30	0.0707
35	0.0962
40	0.1260
45	0.1590
50	0.1970
55	0.2390
60	0.2860
65	0.3420
70	0.4030
75	0.4770
80	0.5670
85	0.6740
90	0.8480
95	1.1290
100	∞

รูปที่ 2.3

2.4 โปรแกรม MICROSET I

2.4.1 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในงานการเขียนโปรแกรมขึ้นมาหลายภาษา อาทิ เช่น ภาษา BASIC , FORTRAN , COBOL , PASCAL , C เป็นต้น ซึ่งภาษาเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มภาษาระดับสูง (High Level Language) และยังมีอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า ภาษาระดับต่ำ หรือ ภาษาเครื่อง (Machine Language) ได้แก่ ภาษา Assembly เป็นต้น

สำหรับภาษาที่ผู้เขียนได้นำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมนี้ได้เลือกใช้ภาษา Turbo Pascal Version 5.0 โดยมีเหตุผลประกอบดังต่อไปนี้

1) ลักษณะของภาษาได้ถูกออกแบบเพื่อเป็นภาษาสำหรับการเรียนเขียนโปรแกรมอย่างมีระบบและมีระเบียบ

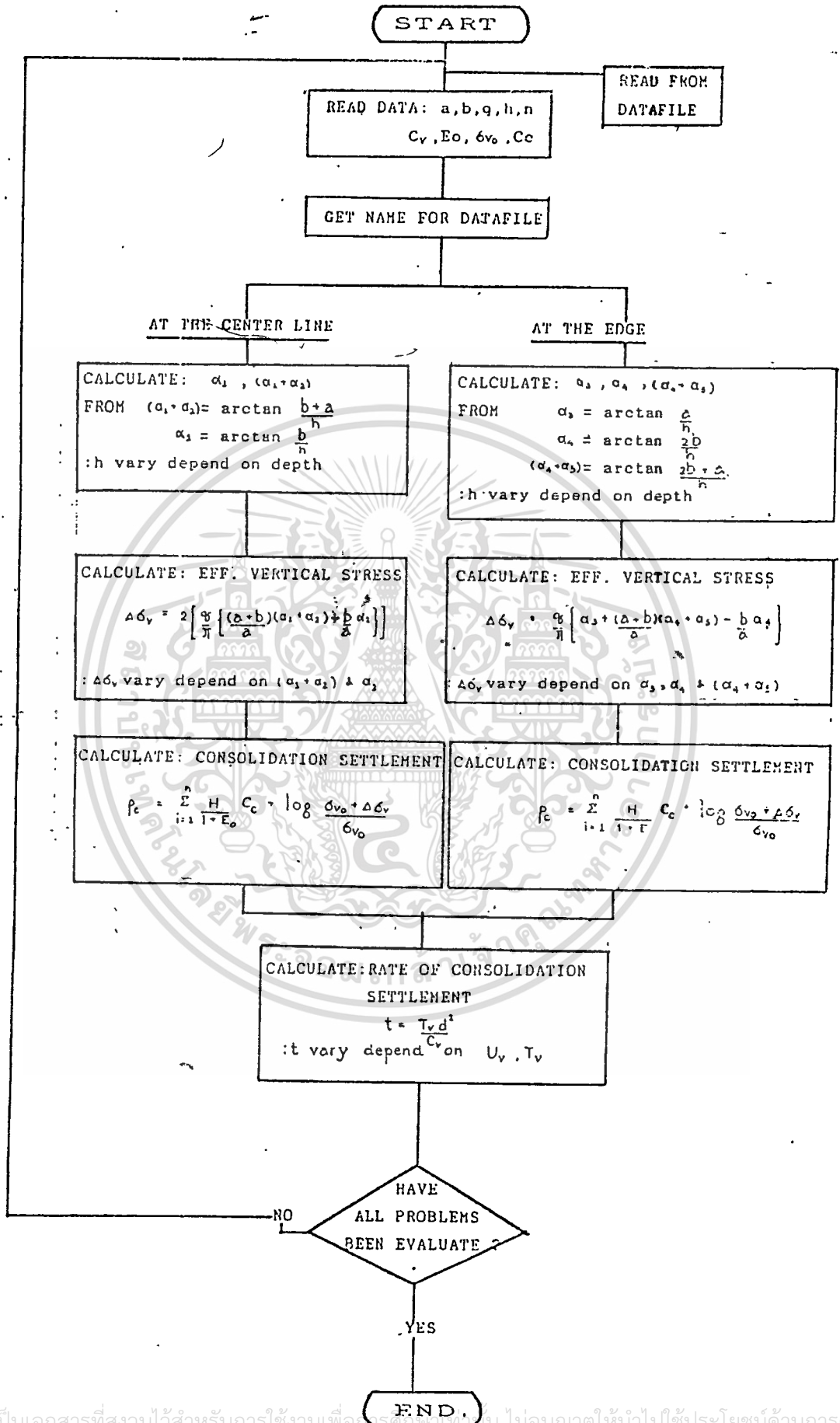
2) ภาษา Pascal กลายเป็นภาษาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจึงมีผู้พัฒนาความสามารถของ Compiler และเพิ่ม Utility เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้มากยิ่งขึ้น จากอดีตมีการพัฒนาจาก Standard Pascal จนมาถึง Turbo Pascal Version 5.0 ในปัจจุบัน

3) สามารถที่จะพัฒนาโปรแกรมที่เขียนด้วย Turbo Pascal ต่อไปได้สะดวก เนื่องจากสามารถแบ่งโปรแกรมออกเป็น ส่วน ๆ ได้ เรียกว่า ยูนิต (Unit) ความเป็นการคอมไพล์เป็นออบเจกต์ (obj) แยกเก็บไว้ต่างหาก แล้วนำมารวมกันในระดับคอนการคอมไพล์รวม การที่สามารถแยกโปรแกรมเป็นส่วน ๆ หรือ โมดูลได้เช่นนี้ ทำให้สามารถ

- เขียนโปรแกรมที่ให้ออบเจกต์โค้ดใหญ่กว่า 64 กิโลไบต์
- แยกงานกันเขียนโปรแกรมได้
- เก็บโมดูลเก่าไว้ใช้กับโครงการใหม่ได้

4) ได้รับการอบรมการใช้ภาษา Pascal มา 1 course ทำให้พอรู้พื้นฐานมาบ้างพอสมควร

2.4.2 FLOW CHART OF PROGRAM



2.4.3 รายละเอียดประกอบการใช้โปรแกรม (Program's Manual)

แบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้ คือ

2.4.3.1 คำนำ (Introduction)

2.4.3.2 การทำงานด้วย MIROSET I

2.4.3.1 คำนำ (Introduction)

MICROSET I นี้เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณเพื่อหาค่าการทรุดตัวของแบบยุบอัดตัว (Consolidation Settlement) ของคันดินถม (Embankment) และแสดงค่าความแตกต่าง (Differential) ของการทรุดตัวของแบบยุบอัดตัวระหว่างจุดกึ่งกลางกับจุดที่ขอบของคันดินถมและค่ารวมทั้งหมด

1) ข้อกำหนดด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware requirement)

- IBM-PC หรือ IBM Compatible มีหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 256 กิโลไบต์
- เครื่องขั้วคิสก์ 2 เครื่องหรือฮาร์ดดิสก์ 1 เครื่อง
- จอโมโนโครม
- เครื่องพิมพ์ DOT MATRIX (Optional Hardware)

- แผ่น Floppy Disk ขนาด 5 1/4" สำหรับบรรจุ Program 1 แผ่น และ/หรือ สำหรับบรรจุ Data อีก 1 แผ่น

2) ประสิทธิภาพของ MICROSET I

- วิเคราะห์ค่า stress distribution ในแต่ละชั้นดิน ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Embankment & Vehicle Load
- วิเคราะห์ค่า Consolidation Settlement ของแต่ละชั้นดินและค่ารวม บริเวณจุดกึ่งกลางและที่ขอบทั้งสองของคันดินถม
- วิเคราะห์ค่า Rate of Consolidation-Settlement ภายใต้มุมจากค่า TIME FACTOR และค่า U_v (COFFICIENT OF CONSOLIDATION)

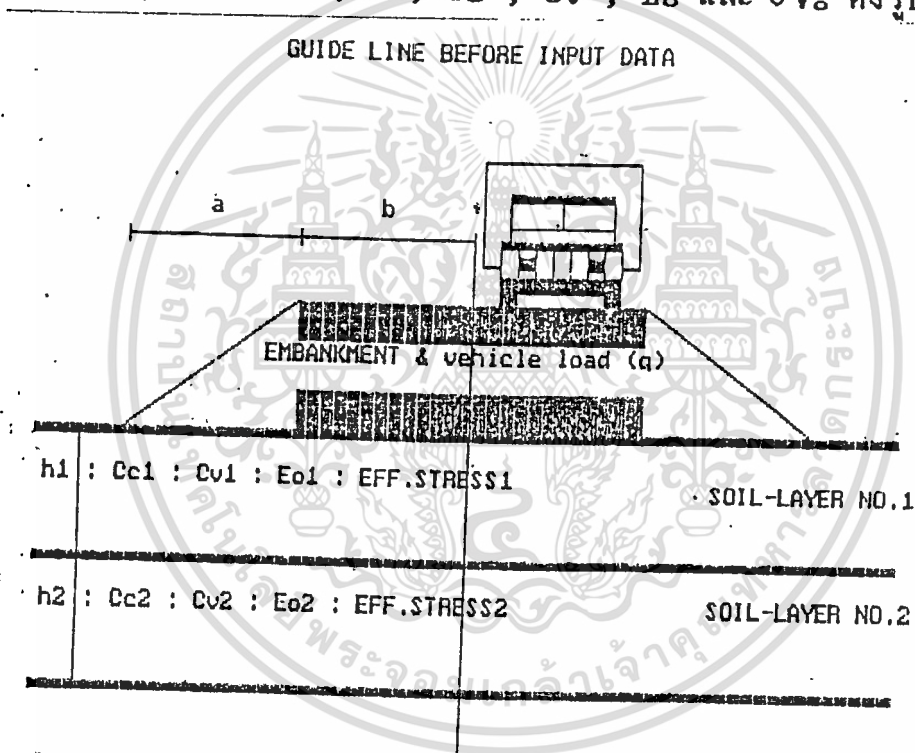
2.4.3.2 การทำงานของ MICROSET I

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการใช้ MICROSET I กับเครื่อง IBM-PC หรือ IBM Compatible

- 1) คำแนะนำในการเตรียมข้อมูล (Introduction for data preparation)
 - 2) เริ่มใช้ MICROSET I (To start MICROSET I)
 - 3) การใส่ข้อมูลเพื่อการประมวลผล (Input data for solution) และ แสดงผลลัพธ์ (Output of result)
 - 4) ออกจาก MICROSET I (To exit MICROSET I)
- 1) คำแนะนำในการเตรียมข้อมูล (Information for input data)

ข้อมูลที่ผู้เข้าใช้จะต้องเตรียมก่อนการรันโปรแกรม MICROSET I นั้น ประกอบด้วยตัวแปรดังนี้

$a, b, q, n, h, C_c, C_v, E_o$ และ σ_{V_o} ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4

- โดยที่
- a = ความกว้างของลาดคันดินถมเพียงด้านเดียว มีหน่วยเป็น เมตร
 - b = ความกว้างครึ่งหนึ่งของคันดินถม มีหน่วยเป็น เมตร
 - q = น้ำหนักของคันดินถมและน้ำหนักที่ออกแบบเพื่อรับยานพาหนะ มีหน่วยเป็น คัน/ตร.ม.
 - n = จำนวนชั้นของคันดินถม

- h = ความหนาของแต่ละชั้นดินใต้ดินถม มีหน่วยเป็น เมตร
- E_0 = อัตราส่วนช่องว่างเริ่มแรกของมวลดิน (Initial Void Ratio)
- σ_{V_0} = ความเค้นอันเนื่องมาจากน้ำหนักของมวลดินเหนือจุดที่พิจารณา (Insitu Effective Vertical Stress)
- C_c = คัดชนีของการกดอัด (Compression Index)
- C_v = Coefficient of Consolidation คือ สัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัวของดิน

ค่า n , h , E_0 , C_c , C_v , และ σ_{V_0} นั้น ต้องได้มาจากการเจาะสำรวจชั้นดินในสนาม และทำการทดสอบหาคคุณสมบัติของตัวอย่างดินในห้องทดลอง

2) เริ่มใช้ MICROSET I (To start MICROSET I)

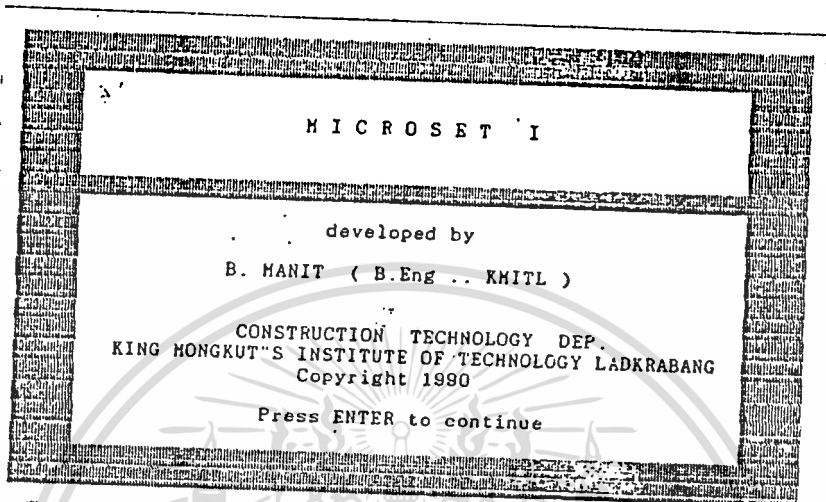
- ใส่แผ่น DOS Version 3.0 ขึ้นมาใน Drive A แล้วเปิดเครื่อง เพื่อ Boot DOS
- ใส่แผ่น Program disk ใน Drive B ตรวจสอบว่ามี File ครบหรือไม่มีครบที่ 2.5

```
A:\>dir
Volume in drive A is PROJECT'90
Directory of A:\

MICROSET EXE  63824  4-12-90  6:03p
GRAPH  TPU  32192  8-29-88  5:00a
ATT  BGI  6269  8-29-88  5:00a
CGA  BGI  6253  8-29-88  5:00a
EGAVGA  BGI  5363  8-29-88  5:00a
HERC  BGI  6125  8-29-88  5:00a
1BHB514  BGI  6665  8-29-88  5:00a
PC3270  BGI  6029  8-29-88  5:00a
COMMAND  COM  25332
HGC  COM  3431  8-20-86
10 File(s)  195584 bytes free
```

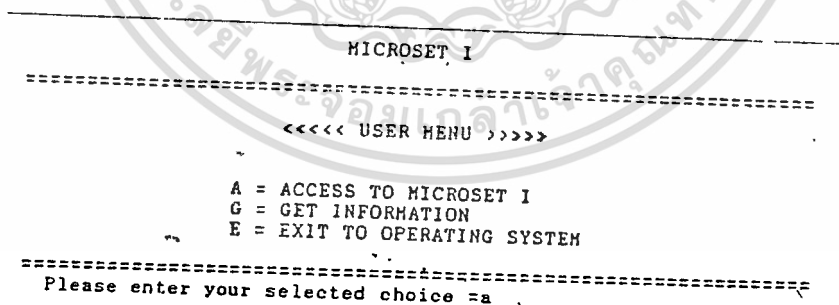
รูปที่ 2.5

- จากนั้นเรียก File : MICROSET.EXE ผู้ใช้จะเห็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6

- หลังจากกด ENTER 1 ครั้งจะเข้าสู่ USER MENU, ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7

- การเลือกตัวเลือก ถ้าหากว่าผู้ใช้ต้องการเริ่มโปรแกรม MICROSET I จะต้องเลือกปุ่ม " s " ตัวเล็ก จอภาพจะเปลี่ยนเป็น DATA MENU แทนที่ดังรูปที่ 2.8

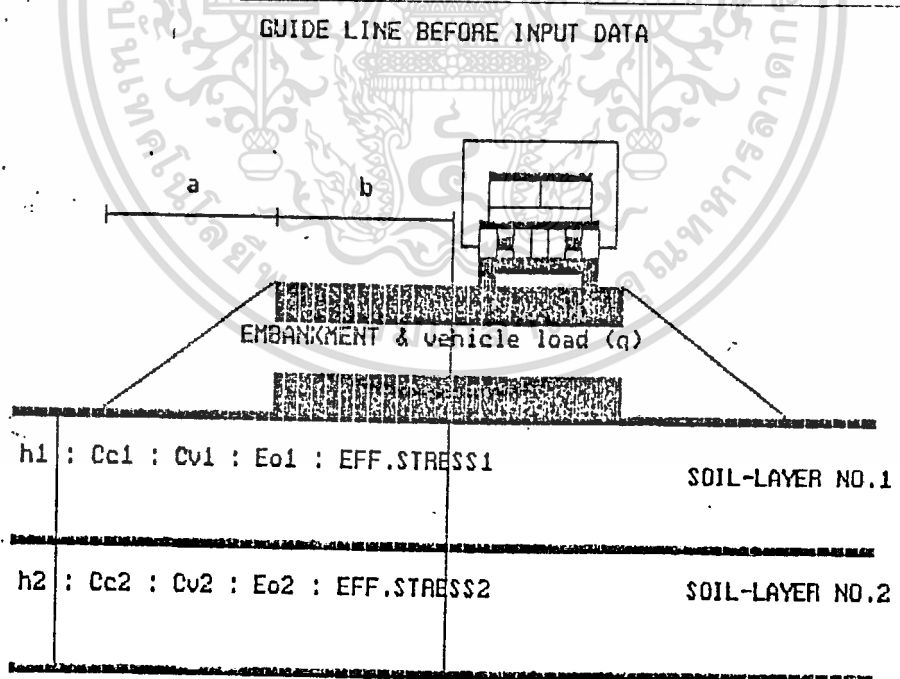
```

<<<<< DATA MODE >>>>>
=====
Create source of data from :
      K = Keyboard.
      D = Datafile
=====
* Please enter your selected choice >>> >> >k

```

รูปที่ 2.8

- จาก DATA MENU ผู้ใช้จะต้องกำหนดแหล่งข้อมูลว่าจะรับได้จากแหล่งใด
 ตัวเลือก K = Keyboard หมายถึง ผู้ใช้จะป้อนข้อมูลเข้าปเองทั้งหมด
 D = Datafile หมายถึง ผู้ใช้จะนำข้อมูลจาก Datafile ซึ่งได้เคย
 ป้อนเข้าปแล้วมาซ้ำใหม่
- ถ้าหากผู้ใช้เลือกปุ่ม " k " จะเข้าสู่ DATA MODE โดยแสดง GRAPHIC เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการ INPUT ค่าตัวแปรแก่ผู้ใช้ ดังแสดงนรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9

3) การใส่ข้อมูลเพื่อการประมวลผล(Input data for solution) และ แสดงผล
(Output of result)

- เมื่อกดปุ่ม ENTER จะเข้าสู่หมวด GENERAL ดังในรูปที่ 2.10

<<<< DATA MODE >>>>

GENERAL

Enter slope-length of the embankment in horizontal axis (a) in metre =4

Enter half-width of the embankment (b) in metre =5

Enter embankment and vehicle load (q) in ton/m² =4.5

Enter the amount of soil-layer beneath the embankment.=5-

รูปที่ 2.10

- จากนั้นก็จะเข้าสู่ หมวด THICKNESS , หมวด VOID RATIO , หมวด COMPRESSION INDEX , หมวด COEFFICIENT OF CONSOLIDATION และ หมวด INSITU EFFECTIVE VERTICAL STRESS ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ,รูปที่ 2.12 ,รูปที่ 2.13 , รูปที่ 2.14 และ รูปที่ 2.15 ตามลำดับ

<<<< DATA MODE >>>>

THICKNESS

Enter the thickness of soil-layer no.1=4

Enter the thickness of soil-layer no.2=4

Enter the thickness of soil-layer no.3=4

Enter the thickness of soil-layer no.4=4

Enter the thickness of soil-layer no.5=4

รูปที่ 2.11

<<<< DATA MODE >>>>

VOID RATIO (E_o)

Enter void ratio of soil-layer no.1=6

Enter void ratio of soil-layer no.2=6

Enter void ratio of soil-layer no.3=6

Enter void ratio of soil-layer no.4=6

Enter void ratio of soil-layer no.5=6

รูปที่ 2.12

<<<< DATA MODE >>>>

COMPRESSION INDEX (C_e)

Enter compression index of soil-layer no.1=5

Enter compression index of soil-layer no.2=5

Enter compression index of soil-layer no.3=5

Enter compression index of soil-layer no.4=5

Enter compression index of soil-layer no.5=5

รูปที่ 2.13

<<<< DATA MODE >>>>

COEFFICIENT OF CONSOLIDATION (Cv)

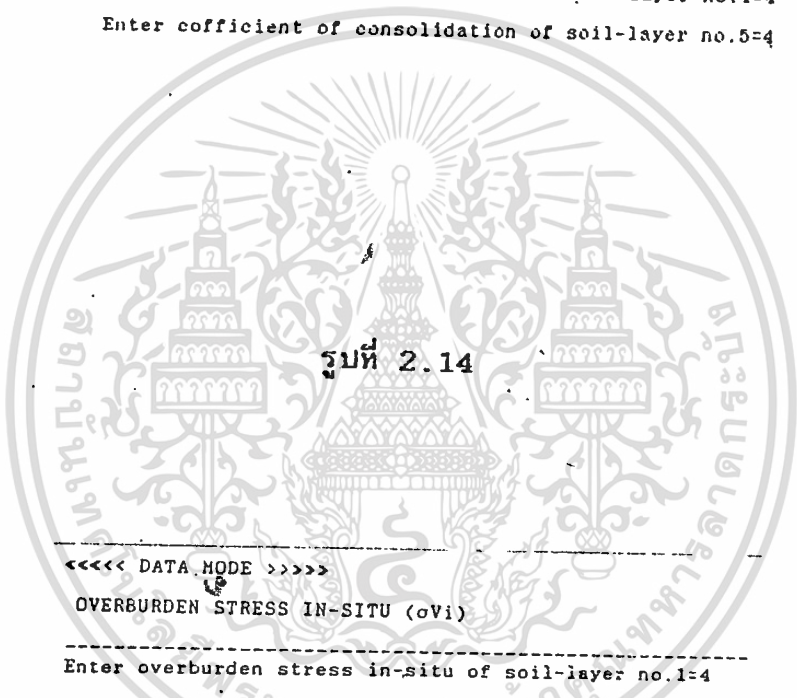
Enter coefficient of consolidation of soil-layer no.1=4

Enter coefficient of consolidation of soil-layer no.2=4

Enter coefficient of consolidation of soil-layer no.3=4

Enter coefficient of consolidation of soil-layer no.4=4

Enter coefficient of consolidation of soil-layer no.5=4



รูปที่ 2.14

<<<< DATA MODE >>>>

OVERBURDEN STRESS IN-SITU (σ_v)

Enter overburden stress in-situ of soil-layer no.1=4

Enter overburden stress in-situ of soil-layer no.2=4

Enter overburden stress in-situ of soil-layer no.3=4

Enter overburden stress in-situ of soil-layer no.4=4

Enter overburden stress in-situ of soil-layer no.5=4

รูปที่ 2.15

- โดยที่จำนวนข้อมูลในแต่ละหมวดจะมีเท่าไรนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของชั้นดิน (SOIL-LAYER) ที่กำหนดไว้ในหมวด GENERAL
- หลังจากที่เราใส่ข้อมูลทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว จอภาพจะแสดงข้อมูลรวมทั้งหมด เพื่อให้ผู้ใช้ตรวจสอบอีกครั้งก่อนที่จะนำข้อมูลไปประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 2.16

<< CHECK LIST DATA TABLE >>

LAYER NO.	THICKNESS	a	b	q	Cc	Cv	Eo	σ_{Vi}
1	4.000	4.00	5.00	4.500	5.000	6.000	6.000	4.000
2	4.000	4.00	5.00	4.500	5.000	6.000	6.000	4.000
3	4.000	4.00	5.00	4.500	5.000	6.000	6.000	4.000
4	4.000	4.00	5.00	4.500	5.000	6.000	6.000	4.000
5	4.000	4.00	5.00	4.500	5.000	6.000	6.000	4.000

Are you confirm these data ? (y/n) =y

รูปที่ 2.16

- ถ้าหากต้องการแก้ไข โดยการกดปุ่ม " n " โปรแกรมจะย้อนกลับไปยัง DATA MENU เพื่อเริ่มใส่ข้อมูลใหม่ตั้งแต่ หมวด GENERAL จนถึง หมวด INSITU EFFECTIVE VERTICAL STRESS หรือถ้าหากตรวจสอบแล้วถูกต้อง กดปุ่ม " y " โปรแกรมจะดำเนินการต่อเพื่อหาผลลัพธ์
- หลังจากนั้นจอภาพก็จะเปลี่ยนเป็นดังรูปที่ 2.17

```

+++++
+ Max. no. of characters for filename = 12 +
+ Filename should conform to DOS conventions. +
+++++

```

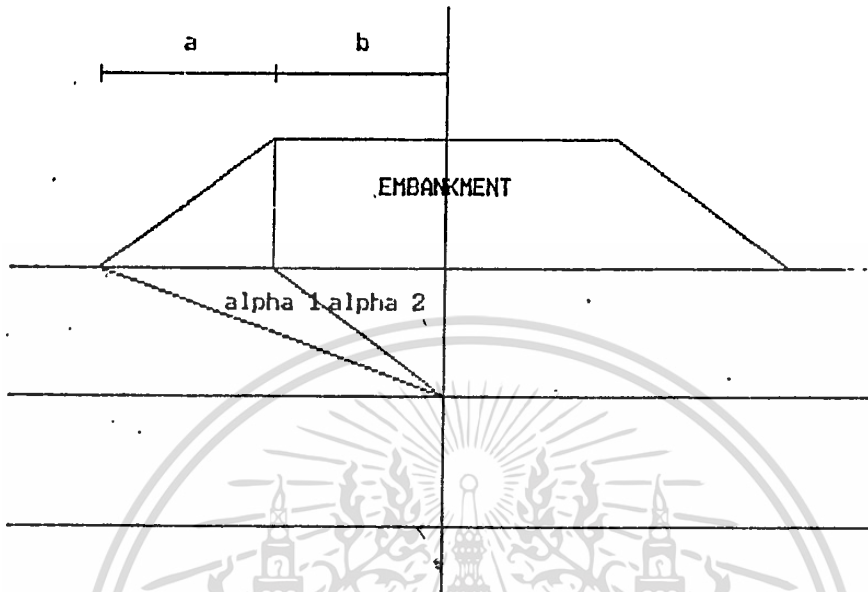
*** Please enter name of datafile to record data ***

hit.dat

รูปที่ 2.17

- เพื่อให้ผู้ใช้ตั้งชื่อให้กับ datafile ถ้าหากผู้เข้าไม่ต้องการบันทึก data ลงใน datafile ก็ให้กดปุ่ม ENTER ผ่านไป การตั้งชื่อ datafile ไม่ควรเกิน 8 ตัวอักษรสำหรับชื่อ และสำหรับนามสกุลควรใช้ .DAT เพื่อความสะดวกในการจดจำและการนำกลับมาใช้งานอีก
- จอภาพจะแสดง GRAPHIC แสดงตำแหน่งของ α ที่ CENTER LINE ดังรูปที่ 2.18

FOR DETERMINE STRESS DISTRIBUTION AT THE CENTER LINE



รูปที่ 2.18

- จากนั้นจะแสดงค่าของ α ที่ CENTER LINE ที่คำนวณได้ดังรูปที่ 2.19

<< AT THE CENTER LINE OF THE EMBANKMENT >>

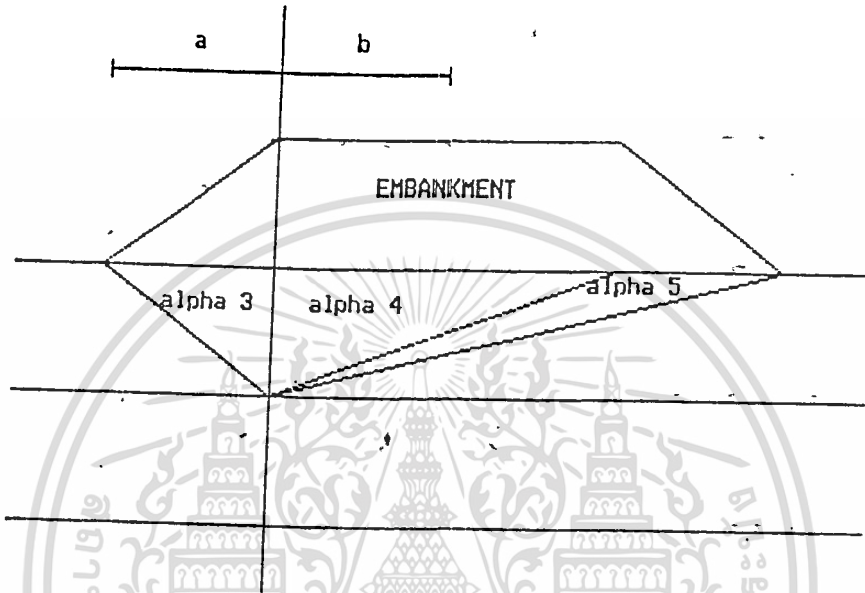
LAYER NO.	THICKNESS	(a1 + a2)	(a2)
1	1.500	1.471	1.326
2	1.500	1.373	1.107
3	2.000	1.249	0.876
4	1.600	1.156	0.738
5	1.600	1.071	0.632
6	1.300	1.006	0.563
7	1.500	0.938	0.499
8	1.800	0.864	0.438
9	1.200	0.820	0.405
10	1.500	0.769	0.369
11	1.500	0.723	0.339
12	1.600	0.679	0.312
13	0.800	0.658	0.300

* Press Enter to continue *

รูปที่ 2.19

- จอภาพจะแสดง GRAPHIC แสดงตำแหน่งของ α ที่ EDGE OF EMBANKMENT ดังรูปที่ 2.20

FOR DETERMINE STRESS DISTRIBUTION AT THE EDGE



รูปที่ 2.20

- จากนั้นจะแสดงค่าของ α ที่ EDGE OF EMBANKMENT ที่คำนวณได้ดังรูปที่ 2.21

<< AT THE EDGE OF THE EMBANKMENT >>

LAYER NO.	THICKNESS	($\alpha 3$)	($\alpha 4 + \alpha 5$)	($\alpha 4$)
1	1.500	1.406	1.499	1.446
2	1.500	1.249	1.429	1.326
3	2.000	1.064	1.337	1.176
4	1.600	0.938	1.266	1.068
5	1.600	0.832	1.199	0.971
6	1.300	0.758	1.146	0.901
7	1.500	0.686	1.088	0.829
8	1.800	0.613	1.023	0.753
9	1.200	0.571	0.983	0.709
10	1.500	0.526	0.935	0.659
11	1.500	0.487	0.890	0.615
12	1.600	0.451	0.846	0.573
13	0.800	0.434	0.825	0.554

* Press Enter to continue *

รูปที่ 2.21

- จากนั้นจอภาพก็จะแสดงค่า STRESS DISTRIBUTION OF EACH SOIL-LAYER สำหรับจุดกึ่งกลางและที่ขอบของ EMBANKMENT ดังรูปที่ 2.22

<< Stress distribution in each soil-layer >>
<< due to embankment & vehicle load >>

LAYER NO.	THICKNESS	INC. STRESS AT C	INC. STRESS AT THE EDGE
1	1.500	4.1925	3.9312
2	1.500	4.1468	3.6720
3	2.000	4.0046	3.5531
4	1.600	3.8376	3.1237
5	1.800	3.6446	2.9169
6	1.300	3.4800	2.7641
7	1.500	3.2902	2.6029
8	1.800	3.0706	2.4283
9	1.200	2.9319	2.3221
10	1.500	2.7686	2.1994
11	1.500	2.6170	2.0868
12	1.600	2.4681	1.9767
13	0.800	2.3984	1.9252

! INC. STRESS = Incremental vertical stress !

* Press Enter to continue *

ผังรูปที่ 2.22

- หลังจากนั้นจอภาพก็จะแสดงค่า DIFFERENTIAL CONSOLIDATION SETTLEMENT OF EACH SOIL-LAYER และ แบบ TOTAL ระหว่างจุดกึ่งกลางและที่ขอบของ EMBANKMENT ดังรูปที่ 2.23

<< Differential-settlement of the embankment >>
<< due to embankment & vehicle load >>

LAYER NO.	THICKNESS	AT THE CENTRE LINE (C)	AT THE EDGE
1	1.500	0.144856	0.140283
2	1.500	0.154746	0.143595
3	2.000	0.128296	0.113397
4	1.600	0.114251	0.098500
5	1.600	0.091880	0.077503
6	1.300	0.057258	0.047724
7	1.500	0.049593	0.040902
8	1.800	0.046378	0.038098
9	1.200	0.024376	0.019953
10	1.500	0.025479	0.020822
11	1.500	0.021759	0.017768
12	1.600	0.018670	0.015266
13	0.800	0.008552	0.006990
TOTAL		0.866193	0.780800

* Press Enter to continue *

รูปที่ 2.23

- หลังจากกด ENTER แล้วจอภาพเปลี่ยนเป็นแสดงตารางค่า RATE OF CONSOLIDATION SETTLEMENT ดังรูปที่ 2.24

<<<< RATE OF CONSOLIDATION SETTLEMENT >>>>
OF EMBANKMENT AT THE CENTER LINE

DEGREE OF CONSOLIDATION U _v (%)	TIME FACTOR (T _v)	TIME (DAYS)		CONSOLIDATION SETTLEMENT (M)
		ONE-WAY	TWO-WAYS	
10.00	0.0078	9.06	2.27	0.089514
20.00	0.0314	36.48	9.12	0.179029
30.00	0.0707	82.15	20.54	0.268543
40.00	0.1260	146.40	36.60	0.358058
50.00	0.1970	228.90	57.22	0.447572
60.00	0.2860	332.31	83.08	0.537087
70.00	0.4030	468.25	117.06	0.626601
75.00	0.4770	554.24	138.58	0.671359
80.00	0.5670	658.81	164.70	0.716116
85.00	0.6740	783.13	195.78	0.760873
90.00	0.8480	985.31	246.33	0.805630
95.00	1.1290	1311.81	327.95	0.850387
99.00	1.1781	1368.86	342.21	0.886193

*** Press ENTER to back to USER MENU ***

รูปที่ 2.24

โดยขึ้นอยู่กับค่าของ TIME FACTOR และค่า U_v (DEGREE OF CONSOLIDATION) และในช่องของ TIME FACTOR ที่มี ONE-WAY, TWO-WAY นั้น หมายถึง

กรณี ONE-WAY DRAINAGE = การไหลออกของน้ำในมวลดินแค่ทางเดียว

TWO-WAY DRAINAGE = การไหลออกของน้ำในมวลดินทั้งสองทาง

- จากนั้นโปรแกรมจะย้อนกลับไปที่ USER MENU อีก
- ย้อนกลับไปที่ DATA MENU ซึ่งมีตัวเลือก

K = Keyboard

และ D = Datafile

สำหรับตัวเลือก " K " ได้อธิบายไปแล้ว ค่าปกติที่แสดงคือตัวเลือก " D "

- โปรแกรมจะให้ผู้ผู้ใช้ INPUT ชื่อของ datafile ที่ต้องการเรียกใช้ หลังจากนั้นก็แสดงข้อมูลที่มีอยู่ใน datafile นั้นออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และ 2.26 ตามลำดับ

*** Please enter name of datafile to operate ***

nit.dat

รูปที่ 2.25

<< CHECK LIST DATA TABLE >>

Data read from file : nit.dat

LAYER NO.	THICKNESS	a	b	g	Cc	Cv	Eo	oVi
1	1.500	9.00	6.00	4.200	0.666	0.207	3.702	1.100
2	1.500	9.00	6.00	4.200	0.909	0.314	3.233	2.050
3	2.000	9.00	6.00	4.200	0.837	0.297	3.679	3.120
4	1.600	9.00	6.00	4.200	0.936	0.412	3.257	3.450
5	1.600	9.00	6.00	4.200	0.954	0.354	3.429	4.300
6	1.300	9.00	6.00	4.200	0.882	0.202	3.652	4.920
7	1.500	9.00	6.00	4.200	0.783	0.313	3.577	5.870
8	1.800	9.00	6.00	4.200	0.684	0.457	3.632	6.210
9	1.200	9.00	6.00	4.200	0.603	0.381	3.451	7.110
10	1.500	9.00	6.00	4.200	0.567	0.288	3.299	8.020
11	1.500	9.00	6.00	4.200	0.531	0.299	2.876	8.210
12	1.600	9.00	6.00	4.200	0.504	0.261	3.123	10.040
13	0.800	9.00	6.00	4.200	0.523	0.451	3.113	11.230

รูปที่ 2.26

4) การออกจาก MICROSET I (To exit MICROSET I)

หลังจากที่ใส่ข้อมูลและประมวลผลได้ค่าคอมพิวเตอร์ที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะย้อนกลับมาที่ USER MENU เพื่อรอคำสั่งใหม่ถ้าหากต้องการออกจากโปรแกรมก็กดปุ่ม " E " ตัวเล็ก โปรแกรมก็จะหยุดการทำงานแล้วออกไปสู่ ระบบ OPERATING SYSTEM

หมายเหตุ

- โปรแกรมที่มีการนำตัวเลือกตัว เล็กให้ป้อนอักษรที่เลือก เป็นตัว เล็ก เสมอ เช่น จะเลือก A = ACCESS TO MICROSET I นั้นจะต้องป้อน a แทนที่ A
- การสั่งพิมพ์ GRAPHIC จะต้อง LOAD FILE: ชื่อ HGC PRINT ก่อนที่จะเข้าสู่ โปรแกรม MICROSET I

2.5 ตัวอย่างการรายโปรแกรม MICROSET I

ข้อมูลในตัวอย่างนี้ได้มาจากงานวิจัย การหาค่าการทรุดตัวของถนนสายบางนา-บางปะกง ที่ กม.52 + 000

-ลักษณะคันดินถนนบริเวณถนนบางนา-บางปะกง กิโลเมตรที่ 52

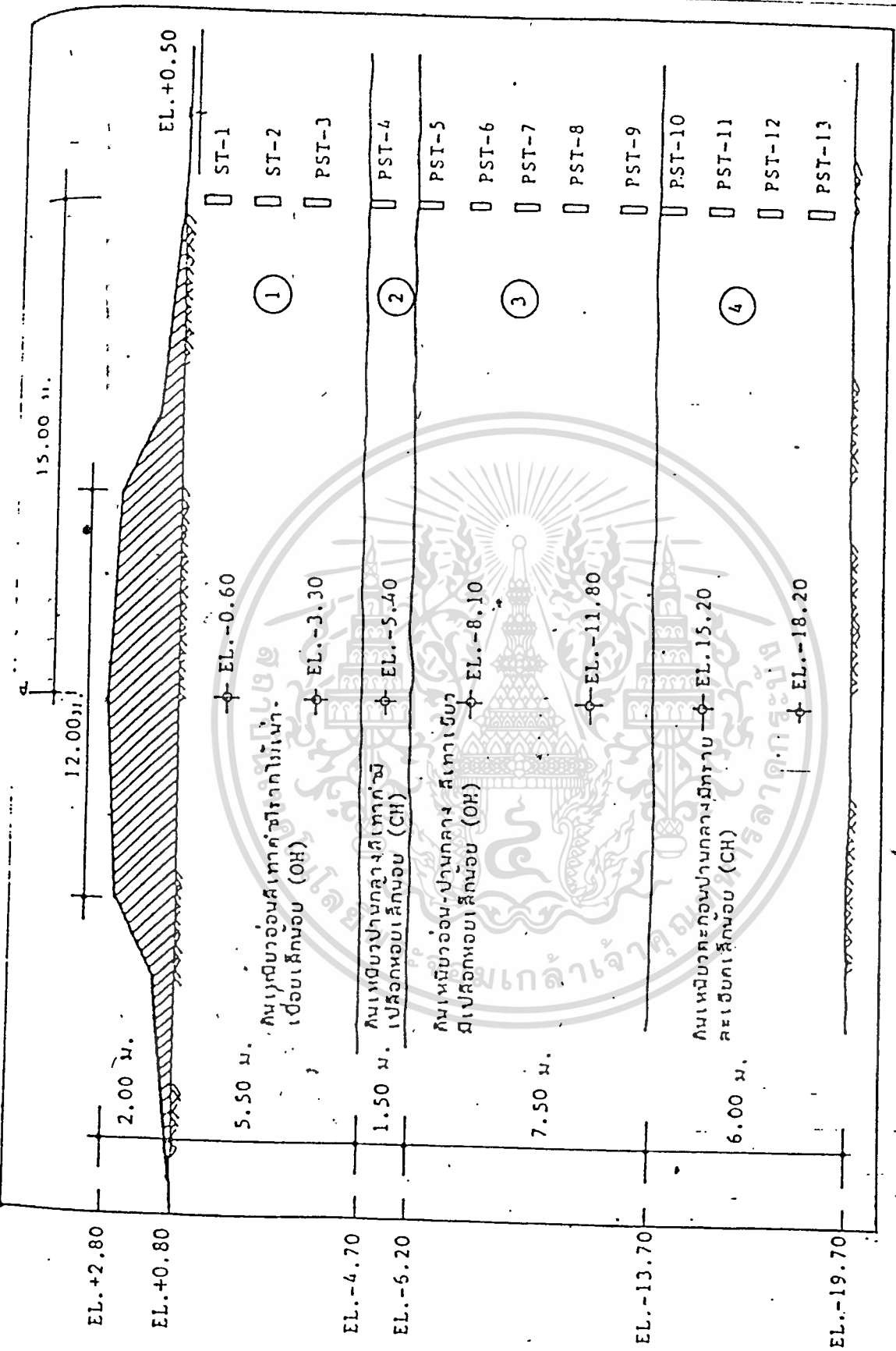
คันดินถนนที่ศึกษาวิจัยนี้อยู่ที่บริเวณทางแยกเข้าโรงพยาบาลหลังความร้อนบางปะกง ห่างจากทางแยกบริเวณกิโลเมตรที่ 52 ของถนนบางนา-บางปะกง ประมาณ 2 กิโลเมตร คังรูปที่ 2.26 ซึ่งได้ก่อสร้างคันทางขึ้นสูงประมาณ 2.0 เมตร คังรูปที่ 2.27

-ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลค่าบัพที่กลศาสตร์บริเวณถนนบางนา-บางปะกง กิโลเมตรที่ 52

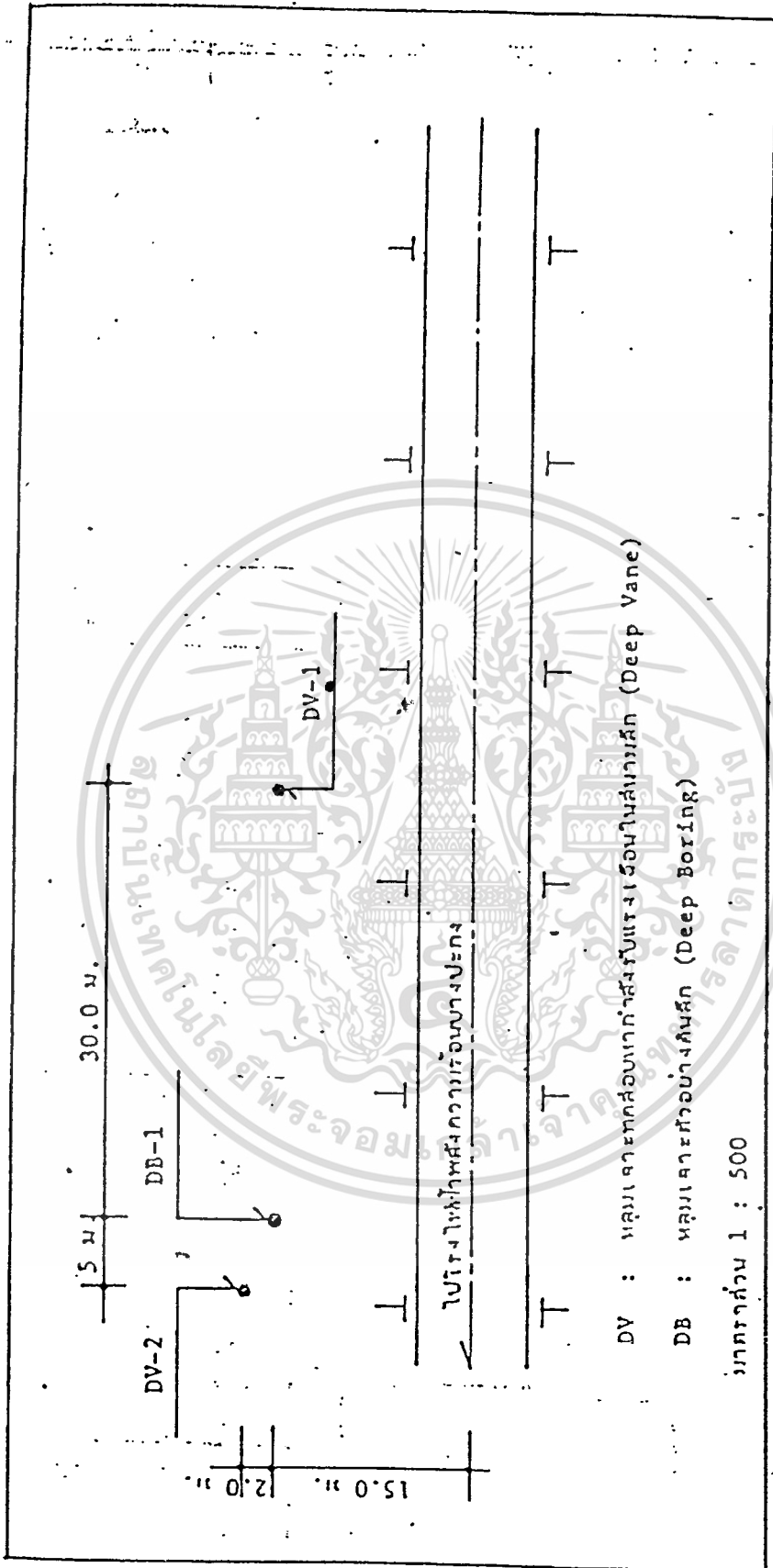
จากหลุมเจาะสำรวจอันปรากฏตำแหน่งคังรูปที่ 2.28 ข้อมูลจากหลุมเจาะ DB-1 สามารถแบ่งชั้นดินได้คังรูปที่ 2.29 และพบว่า จากระดับผิวดิน(ระดับ 0.80 เมตร) ลงไปถึงความลึก -13.70 เมตร เป็นดินเหนียวอ่อน ซึ่งถูกแทรกด้วยดินเหนียวปานกลางหนา 1.50 เมตร ที่ความลึก -4.70 ถึง 6.20 เมตรและตารางที่ 2.1 จะแสดงสมบัติพื้นฐานของดินบริเวณนี้ ซึ่งพบว่า ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของดินเหนียวอ่อนมีค่าประมาณ 52 ถึง 116% ทรายมีค่าลดลงเมื่อความลึกมากขึ้น ค่าพิภคเหลวของดินเหนียวอ่อนมีค่าระหว่าง 66 ถึง 116% ค่าพิภคความเป็นพลาสติกมีค่าระหว่าง 31 ถึง 49% ทำให้มีค่าดัชนีความเป็นพลาสติกระหว่าง 35 ถึง 68% และดัชนีเหลวมีค่า 0.49 ถึง 1.36 ทรายมีค่าลดลงเมื่อความลึกมากขึ้น ค่าความหนาแน่นของดินเหนียวอ่อนมีค่าระหว่าง 1.41 ถึง 1.70 ตัน/ม^3 ทรายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความลึกมากขึ้น

-กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเคอร์นบริเวณถนนบางนา-บางปะกง กิโลเมตร 52

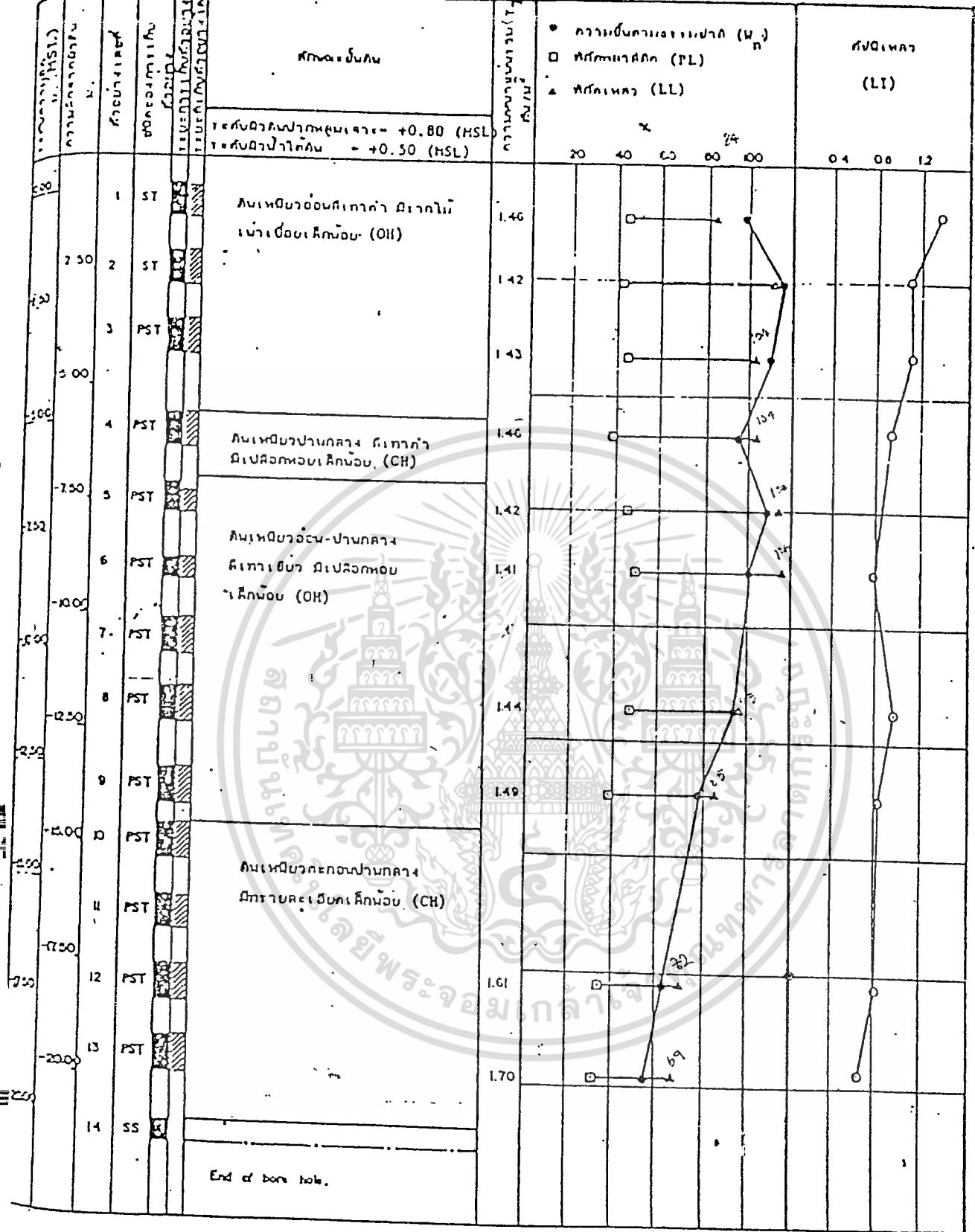
ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเคอร์นและค่าความไวของดินบริเวณนี้ ได้จากการทดสอบ Field Vane ในสนามทุกระยะความลึก 50 ซม. คังรูปที่ 2.30 พบว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเคอร์น มีค่าระหว่าง 0.8 ถึง 5.6 ตัน/ม^2 ทรายมีค่าสูงขึ้นเมื่อความลึกมากขึ้น และมีค่าความไวสูงมากคือ มีค่าระหว่าง 3 ถึง 9



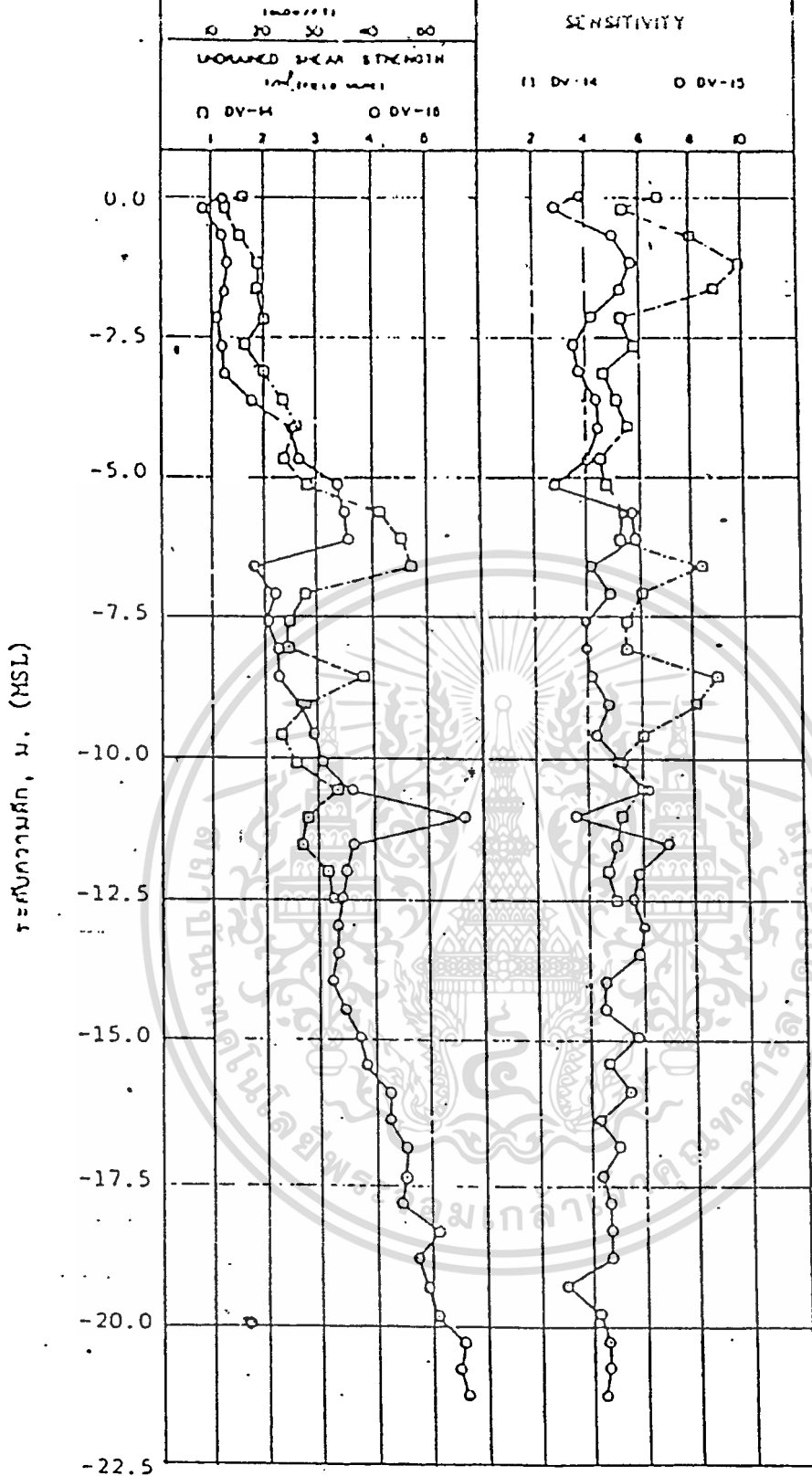
รูปที่ 1 รูปตัดขวางของถนนแสดงตำแหน่งระดับที่จำลองทรงหน่วยแรงในสนาม (ข้อมูลจาก สาคอนบ, 2528)



รูปที่ ตำแหน่งการเจาะสำรวจดินที่ กม. 2 (ข้อมูลจาก สำนคดี, 2528)

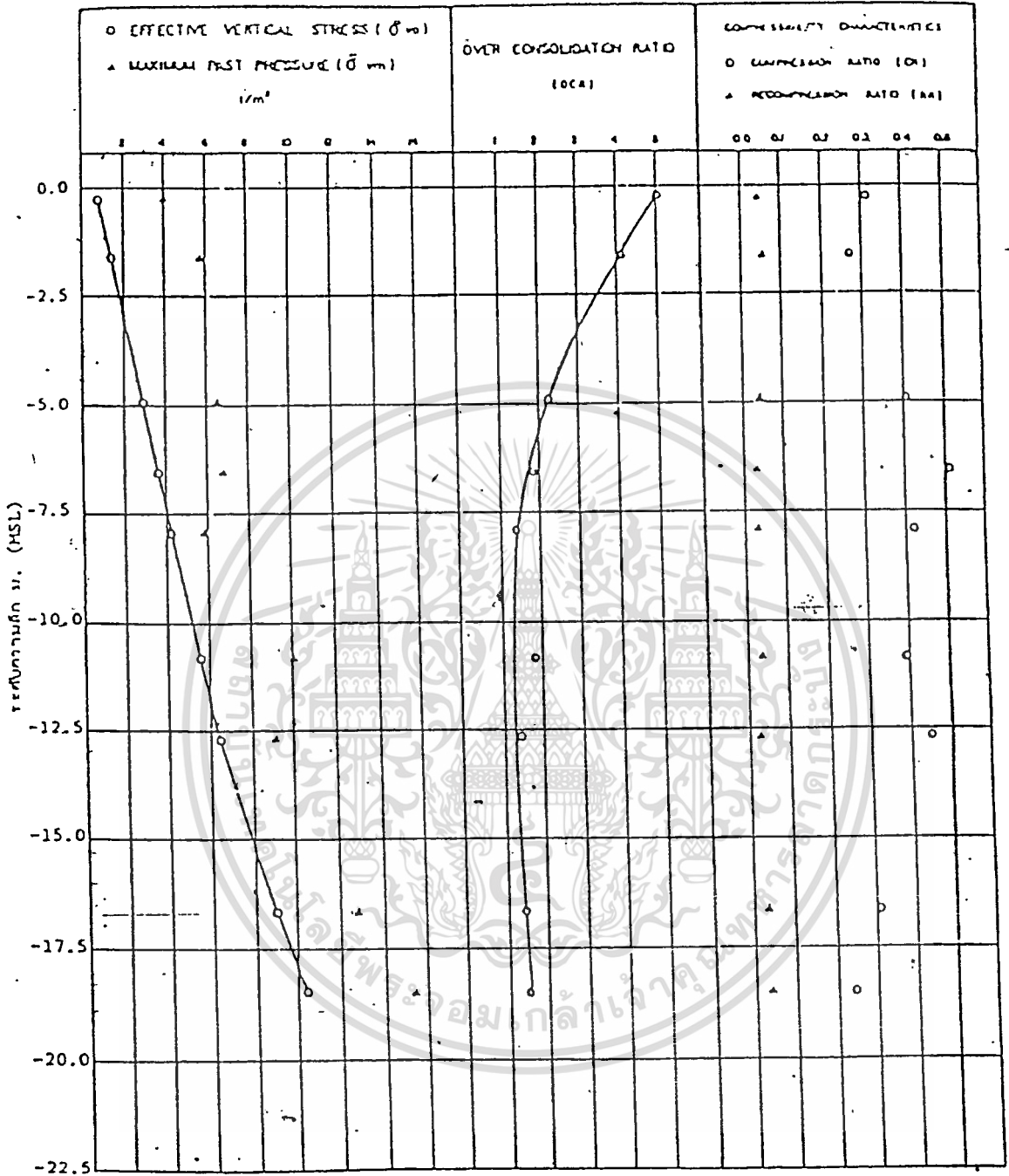


ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติพื้นฐานบริเวณถนนบางนา-ตราด กิโลเมตรที่ 52 (ข้อมูลจาก ลำดับที่, 2528)



รูปที่ ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนามที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของชั้นดิน บริเวณถนนบางนา-ตราด กิโลเมตรที่ 52 (ข้อมูลจาก ลำดับที่, 2528)

ลักษณะการเก็บ ตัวอย่างดิน			คุณสมบัติพื้นฐาน						
ตัวอย่างเลขที่	ความลึกจาก ผิวดิน ม.		ปริมาณความชื้น %	ATTENDING LIMITS %			ดัชนีเหลว (LI)	ความหนาแน่นรวม (γ _T) กน/ม ³	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION
	จาก	ถึง		LL	PL	PI			
ST-1	0.50	1.30	98	84	45	39	1.35	1.46	OH
ST-2	2.00	2.80	116	111	43	68	1.07	1.42	OH
PST-3	3.50	4.30	109	103	45	58	1.10	1.43	OH
PST-4	5.50	6.30	95	104	39	65	0.86	1.48	CH
PST-5	7.10	7.80	109	114	46	68	0.93	1.42	OH
PST-6	8.70	9.20	100	116	49	67	0.76	1.41	CI
PST-7	10.00	10.80							
PST-8	11.50	12.30	94	97	47	50	0.94	1.44	OH
PST-9	13.30	14.10	77	86	38	48	0.81	1.49	OH
PST-10	14.50	15.30	54	77	32	45	0.49		CH
PST-11	16.00	16.75							
PST-12	17.50	18.30	62	69	34	35	0.80	1.61	CH
PST-13	19.10	19.90	54	60	31	35	0.66	1.70	CH



รูปที่ ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ 1 ชาติ ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของชั้นดิน บริเวณถนนบางนา-ตราด กิโลเมตรที่ 52 (ข้อมูลจาก ลำดชัย, 2528)

การวางแสดงข้อมูลที่จะป้อนเข้าสู่โปรแกรม

LAYER NO.	THICKNESS	a	b	g	Cc	Cv	Eo	σ_{Vi}
1	1.500	9.00	6.00	4.200	0.666	0.207	3.702	1.10
2	1.500	9.00	6.00	4.200	0.909	0.314	3.233	2.05
3	2.000	9.00	6.00	4.200	0.837	0.297	3.679	3.12
4	1.600	9.00	6.00	4.200	0.936	0.412	3.257	3.45
5	1.600	9.00	6.00	4.200	0.954	0.354	3.429	4.30
6	1.300	9.00	6.00	4.200	0.882	0.202	3.652	4.92
7	1.500	9.00	6.00	4.200	0.783	0.313	3.577	5.87
8	1.800	9.00	6.00	4.200	0.684	0.457	3.632	6.21
9	1.200	9.00	6.00	4.200	0.603	0.391	3.451	7.11
10	1.500	9.00	6.00	4.200	0.567	0.288	3.299	8.02
11	1.500	9.00	6.00	4.200	0.531	0.299	2.976	9.21
12	1.600	9.00	6.00	4.200	0.504	0.261	3.123	10.04
13	0.800	9.00	6.00	4.200	0.523	0.451	3.113	11.23

การวางแสดงผลลัพธ์

<< Stress distribution in each soil-layer >>
<< due to embankment & vehicle load >>

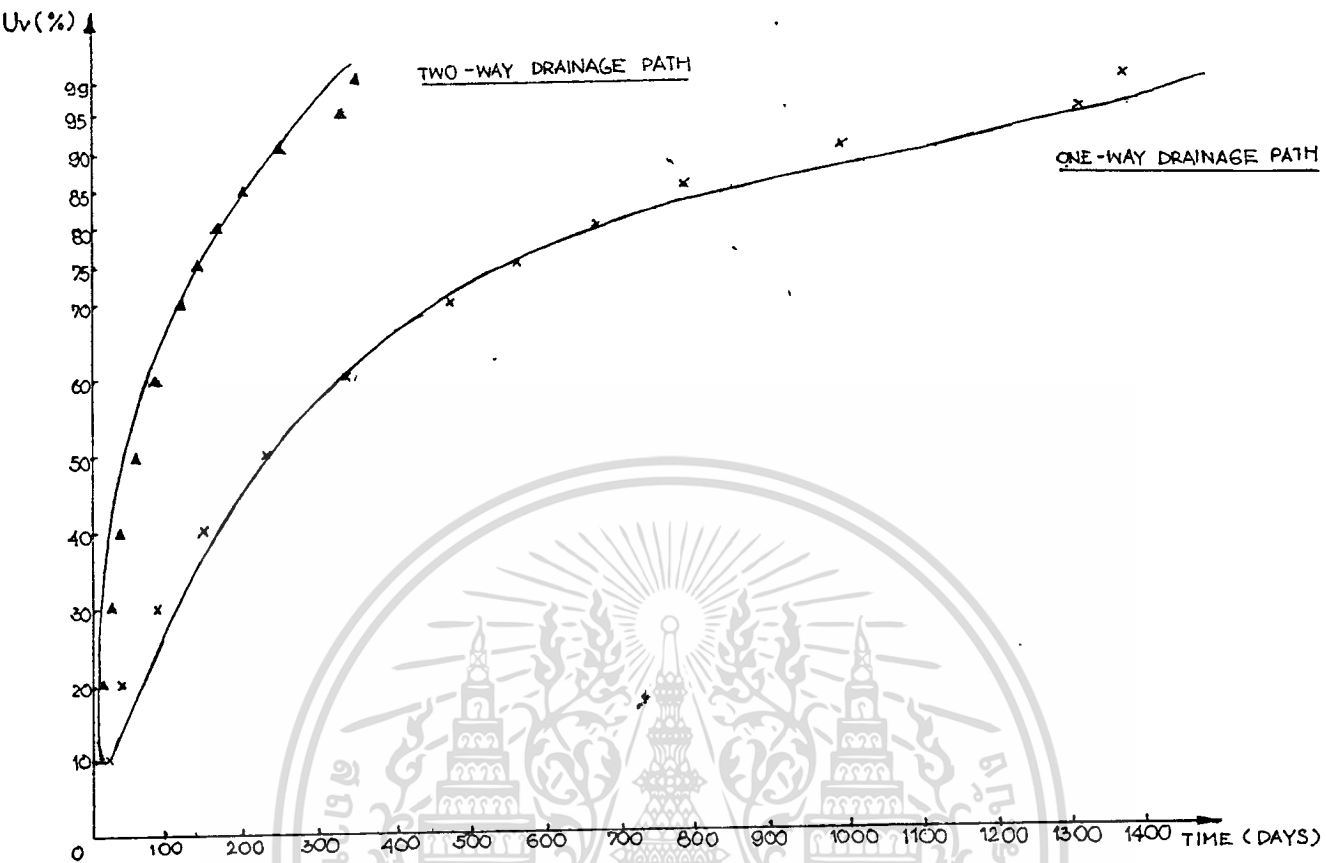
LAYER NO.	THICKNESS	INC. STRESS AT C	INC. STRESS AT THE EDGE
1	1.500	4.1925	3.9312
2	1.500	4.1468	3.6720
3	2.000	4.0046	3.3531
4	1.600	3.8376	3.1237
5	1.600	3.6446	2.9169
6	1.300	3.4800	2.7641
7	1.500	3.2902	2.6029
8	1.800	3.0706	2.4283
9	1.200	2.9319	2.3221
10	1.500	2.7686	2.1994
11	1.500	2.6170	2.0868
12	1.600	2.4681	1.9767
13	0.800	2.3984	1.9252

<< Differential-settlement of the embankment >>
 << due to embankment & vehicle load >>

LAYER NO.	THICKNESS	AT THE CENTRE LINE (C)	AT THE EDGE
1	1.500	0.144956	0.140283
2	1.500	0.154746	0.143595
3	2.000	0.128296	0.113397
4	1.600	0.114251	0.098500
5	1.600	0.091880	0.077503
6	1.300	0.057218	0.047724
7	1.500	0.049593	0.040902
8	1.800	0.046378	0.038099
9	1.200	0.024376	0.019953
10	1.500	0.025479	0.020822
11	1.500	0.021759	0.017768
12	1.600	0.018670	0.015266
13	0.800	0.008552	0.006990
TOTAL		0.886193	0.780800

<<<< RATE OF CONSOLIDATION SETTLEMENT >>>>
 OF EMBANKMENT AT THE CENTER LINE

PERCENTAGE OF CONSOLIDATION U _v (%)	TIME FACTOR (T _v)	TIME (DAYS)		CONSOLIDATION SETTLEMENT (M)
		ONE-WAY	TWO-WAYS	
10.00	0.0078	9.06	2.27	0.089514
20.00	0.0314	36.48	9.12	0.179029
30.00	0.0707	82.15	20.54	0.268543
40.00	0.1260	146.40	36.60	0.358058
50.00	0.1970	228.90	57.22	0.447572
60.00	0.2860	332.31	83.08	0.537087
70.00	0.4030	468.25	117.06	0.626601
75.00	0.4770	554.24	138.56	0.671359
80.00	0.5670	658.81	164.70	0.716116
85.00	0.6740	783.13	195.78	0.760873
90.00	0.8480	985.31	246.33	0.805630
95.00	1.1290	1311.81	327.95	0.850387
99.00	1.1781	1368.86	342.21	0.886193



กราฟแสดง เวลาที่ใช้ในการทรุดตัวที่ระดับชั้นการยุบตัวต่าง ๆ กัน และเปรียบเทียบ เวลาในการทรุดตัวระหว่าง ONE-WAY DRAINAGE PATH และ TWO-WAY DRAINAGE PATH

บทสรุปและข้อ เสนอแนะ เพื่อการพัฒนาต่อไป

บทสรุป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นของรายงานฉบับนี้ว่ามวลดิน เป็นวัสดุธรรมชาติที่มีความซับซ้อนทางคุณสมบัติกลศาสตร์และยังมีอิทธิพลที่มีผลกระทบอื่น ๆ อีกมาก การคาดคะเนพฤติกรรมต่าง ๆ ของดิน เช่น ปริมาณการทรุดตัวของดิน, อัตราการทรุดตัว เป็นต้น ไม่สามารถที่ชี้ชัดลงไปได้ ตัวเลขต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากสูตรหรือวิธีการใดมีค่าใกล้เคียงกับการวัดจากสนามโดยตรงก็ถือได้ว่าเป็นใช้ได้

สำหรับ SPECIAL PROJECT นี้ได้ค้นคว้าวิธีการของ TERZAGHI (1925) มาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการหาปริมาณและอัตราการทรุดตัวแบบหุบอັกดตัวของมวลดินซึ่งก็สามารถวิเคราะห์ทำให้ผลลัพธ์ที่ค่ากว่าที่วัดได้จากสนามเล็กน้อยและสำหรับอัตราการทรุดตัวนั้นการวิเคราะห์หาวิธีการของ TERZAGHI เป็นในลักษณะที่การไหลของน้ำเป็น 1 มิติ แต่ถ้าหากการไหลของน้ำออกจากมวลดินเป็น 2 หรือ 3 มิติอันเนื่องมาจากอิทธิพลของการสูบน้ำใต้ดินผลลัพธ์ที่ได้จะน้อยกว่าความเป็นจริง

และปัจจัยที่มีความสำคัญอีกประการหนึ่งที่จะให้ผลลัพธ์นั้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดขึ้นอยู่กับการกระ เสรียมข้อมูลและการทดสอบหาคูสมบัติของมวลดินที่ต้องการคาดคะเนพฤติกรรมในชั้นคอนกรีตนั้นจะต้องมีความละเอียดและถูกต้องที่สุด

ข้อ เสนอแนะ เพื่อการพัฒนาต่อไป

-ปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถคำนวณหาหน่วยแรง เค้นในมวลดินเนื่องจากดินถมที่เป็นทางเร่งและมีระดับของขอบถนนด้านนอกสูงกว่าด้านใน

-ปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถ เลือกใช้สูตรที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่าทรุดตัวโดยคำนึงถึงว่าดินฐานรากนั้น เป็นกรณีของดินชนิด OVERCONSOLIDATED CLAY , NORMALLY CONSOLIDATION CLAY หรือ UNDERCONSOLIDATED CLAY

-ปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถ เลือกใช้สูตรที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่าอัตราการทรุดตัวในกรณีที่กวดรูยน้ำเป็นแบบ 2 หรือ 3 มิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Program Settlement_Analysis;
Uses crt,graph;
Type array1=array[1..20] of real;
Var d,c,v,s,fl:array1;
    t,n,z:real;
    i:integer;
    cof,stress,comp,void,thick,a,b,q,h:real;
    ch,chi:char;
    fp:file of real;
    fname:string[20];

```

```

Procedure Inform;

```

```

Begin

```

```

  Clrscr;Writeln;Writeln;

```

```

  Writeln('                MICROSET I -- THE HISTORY                Page 1/5 ');Writeln;

```

```

  Writeln('-----');Writeln;

```

```

  Writeln('MICROSET I is developed under B.Eng Special Project - ');Writeln;

```

```

  Writeln('during January-March in 1990 at Construction Technology ');Writeln;

```

```

  Writeln('Dep., Faculty of Engineering ( KMITL ). ');Writeln;Writeln;writeln;

```

```

  Writeln('                ** Press Enter to forward **                ');

```

```

  Readln;

```

```

  Clrscr;

```

```

  Writeln('                MICROSET I -- INTRODUCTION                Page 2/5 ');Writeln;

```

```

  Writeln('-----');Writeln;

```

```

  Writeln('In order to evaluate the satisfactory performance of an ');Writeln;

```

```

  Writeln('earth structure design, it is frequently necessary to - ');Writeln;

```

```

  Writeln('estimate its settlement. Because of the complexity of ');Writeln;

```

```

  Writeln('the mechanical properties of soils and the disturbing ');Writeln;

```

```

  Writeln('influences of stratification, there exist no accurate - ');Writeln;

```

```

  Writeln('methods of predicting settlements.Nevertheless, a theo- ');Writeln;

```

```

  Writeln('retical analysis of the settlement process is indispensa- ');Writeln;

```

```

  Writeln('ble because the results permit the engineer at least to ');Writeln;

```

```

  Writeln;

```

```

  Writeln('                ** Press Enter to forward **                ');

```

```

  Readln;

```

```

  Clrscr;Writeln;Writeln;

```

```

  Writeln('                INTRODUCTION ( cont. )                Page 3/5 ');

```

```

  Writeln('-----');Writeln;

```

```

  Writeln('recognize the factors that determine the magnitude and the ');Writeln;

```

```

  Writeln('distribution of the settlement. ');Writeln;

```

```

  Writeln('In general , the settlement consists of three components, ');Writeln;

```

```

  Writeln('namely immediate settlement , consolidation and secondary ');Writeln;

```

```

  Writeln('compression settlement. ');Writeln;

```

```

  Writeln('In the past , numerous methods to estimate settlement have ');Writeln;

```

```

  Writeln('been developed.Some of these methods , namely the stress - ');Writeln;

```

```

  Writeln('strain contours , the elastic method , Skempton - Bjerrum ');Writeln;

```

```

  Writeln;

```

```

  Writeln('                ** Press Enter to forward **                ');

```

```

  Readln;

```

```

  Clrscr;Writeln;Writeln;

```

```

  Writeln('                INTRODUCTION ( cont. )                Page 4/5 ');

```

```

  Writeln('-----');Writeln;

```

```

  Writeln('method and convention one-dimensional method etc. ');Writeln;

```

```

  Writeln('The prediction of settlement method , in this microcomputer ');Writeln;

```

```

  Writeln('program , used the conventional one-dimensional method. ');Writeln;

```

```

  Writeln('CONVENTIONAL ONE - DIMENSIONAL METHOD ');Writeln;

```

```

  Writeln('This method was originally developed by TERZAGI (1925) and ');Writeln;

```

```

  Writeln('involves the numerical summation of vertical strains beneath ');Writeln;

```

```

  Writeln('the earth structure , allowing for different soil properties ');Writeln;

```

```

  Writeln('at different depths. These soil properties are generally - ');Writeln;

```

```

  Writeln;

```

```

  Writeln('                ** Press Enter to continue **                ');

```

```

  Readln;

```

```

Clrscr;
Writeln('
Writeln('
Writeln('
Writeln('
writein('
Writeln('
Writeln;Writeln;Writeln;
Writeln('
Readln;

```

determined from oedometer tests.

In consolidation theory of Terzaghi only consolidation settlement is considered. The secondary compression is fully neglect

Enter to back to user menu ##');

End;

Procedure Does;

```

Var graphdriver:integer;
    graphmode:integer;

```

Begin

```

graphdriver:=detect;
initgraph(graphdriver,graphmode,'');
Line(100,175,600,175);
Line(250,125,450,125);
Line(150,175,250,125);
Line(450,125,550,175);
Line(350,97,350,300);
Line(100,225,600,225);
Bar(250,125,450,140);
Bar(250,160,450,175);
Line(100,275,600,275);
Bar(100,175,600,178);
Bar(100,225,600,228);
Bar(100,275,600,278);
Line(150,100,350,100);
Line(150,97,150,103);
Line(250,97,250,103);
Line(125,175,125,275);
Line(365,120,435,120);
Line(365,130,365,100);Line(375,120,375,125);
Line(435,130,435,100);Line(425,120,425,125);
Line(365,100,435,100);Line(370,100,370,85);
Line(430,100,430,85);Line(370,85,430,85);
Line(370,95,430,95);Line(400,85,400,95);
Line(355,110,365,110);Line(435,110,445,110);
Line(355,110,355,70);Line(445,110,445,70);
Line(355,70,445,70);Line(365,114,435,114);
Line(375,103,375,114); Line(385,103,385,114);
Line(395,103,395,114); Line(405,103,405,114);
Line(415,103,415,114);Line(425,103,425,114);
Line(375,106,385,106);Line(375,111,385,111);
Line(415,106,425,106);Line(415,111,425,111);
Line(355,70,380,85);Line(445,70,420,85);
Line(355,110,365,103);Line(435,103,445,110);}
Bar(375,106,385,111);Bar(415,106,425,111);
Bar(365,100,435,103);Bar(365,114,435,120);
Bar(365,120,375,125);Bar(435,120,425,125);
Bar(370,82,430,85);
Settextstyle(2,0,7);Settextjustify(1,2);
Outtextxy(350,25,'GUIDE LINE BEFOR INPUT DATA');
Outtextxy(200,85,'a');
Outtextxy(300,85,'b');
Settextstyle(2,0,5);Settextjustify(1,2);
Outtextxy(350,142,'EMBANKMENT & vehicle load (q)');
Outtextxy(550,195,'SOIL-LAYER NO.1');
Outtextxy(550,240,'SOIL-LAYER NO.2');

```



เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Outtextxy(240,240,'h2 : Cc2 : Cv2 : Eo2 : eVi2');
Readln;
Closegraph;
End;
```

Procedure Done;

```
Var graphdriver:integer;
    graphmode:integer;
```

Begin

```
graphdriver:=detect;
initgraph(graphdriver,graphmode,'');
Line(100,175,600,175);
Line(250,125,450,125);
Line(150,175,250,125);
Line(450,125,550,175);
Line(350,75,350,300);
Line(100,225,600,225);
Line(100,275,600,275);
Line(250,175,350,225);
Line(150,175,350,225);
Line(250,125,250,175);
Line(150,100,350,100);
Line(150,97,150,103);
Line(250,97,250,103);
```

```
Settextstyle(2,0,5);Settextjustify(1,2);
Outtextxy(350,25,'FOR DETERMINE STRESS DISTRIBUTION AT THE CENTER LINE');
```

```
Outtextxy(200,85,'a');
```

```
Outtextxy(300,85,'b');
```

```
Outtextxy(350,140,'EMBANKMENT');
```

```
Settextstyle(2,0,4);Settextjustify(1,2);
```

```
Outtextxy(250,185,'alpha 1');
```

```
Outtextxy(310,185,'alpha 2');
```

```
Readln;
```

```
Closegraph;
```

```
End;
```

Procedure Did;

```
Var graphdriver:integer;
    graphmode:integer;
```

Begin

```
graphdriver:=detect;
initgraph(graphdriver,graphmode,'');
```

```
Line(100,175,600,175);
```

```
Line(250,125,450,125);
```

```
Line(150,175,250,125);
```

```
Line(450,125,550,175);
```

```
Line(250,75,250,300);
```

```
Line(100,225,600,225);
```

```
Line(100,275,600,275);
```

```
Line(150,175,250,225);
```

```
Line(450,175,250,225);
```

```
Line(550,175,250,225);
```

```
Line(250,125,250,175);
```

```
Line(150,100,350,100);
```

```
Line(150,97,150,103);
```

```
Line(350,97,350,103);
```

```
Settextstyle(2,0,5);Settextjustify(1,2);
```

```
Outtextxy(350,25,'FOR DETERMINE STRESS DISTRIBUTION AT THE EDGE ');
```

```
Outtextxy(200,85,'a');
```

```
Outtextxy(300,85,'b');
```

```
Outtextxy(350,140,'EMBANKMENT');
```

```
Settextstyle(2,0,4);Settextjustify(1,2);
```

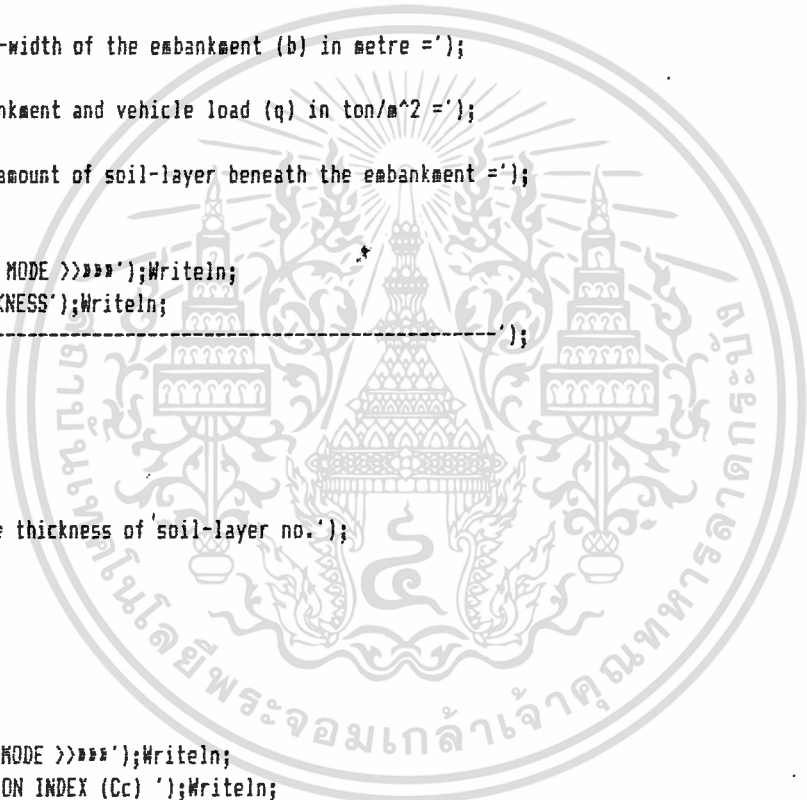


การที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Outtextxy(300,185,'alpha 4');
Outtextxy(460,177,'alpha 5');
Readln;
Closegraph;
End;
Procedure Readdata;
Label 100;
Var confirm:char;
Begin
  Does;
  100 ;;
  Clrscr;Writeln;
  Writeln('***<< DATA MODE >>***');Writeln;
  Writeln('      GENERAL');Writeln;
  Writeln('-----');
  Write ('Enter slope-length of the embankment in horizontal axis ');
  Write ('(a) in metre =');
  Readln(a);Writeln;
  Write ('Enter half-width of the embankment (b) in metre =');
  Readln(b);Writeln;
  Write ('Enter embankment and vehicle load (q) in ton/m^2 =');
  Readln(q);Writeln;
  Write ('Enter the amount of soil-layer beneath the embankment =');
  Readln(n);
  Clrscr;Writeln;
  Writeln('***<< DATA MODE >>***');Writeln;
  Writeln('      THICKNESS');Writeln;
  Writeln('-----');
  i:=0;z:=0;
  While z<n Do
  Begin
    i:=i+1;
    z:=z+1;
    Write('Enter the thickness of soil-layer no. ');
    Write(i, '=');
    Readln (thick);
    d[i]:=thick;
    Writeln;
  End;
  Clrscr;Writeln;
  Writeln('***<< DATA MODE >>***');Writeln;
  Writeln('      COMPRESSION INDEX (Cc) ');Writeln;
  Writeln('-----');
  i:=0;z:=0;
  While z<n Do
  Begin
    i:=i+1;
    z:=z+1;
    Write('Enter compression index of soil-layer no. ');
    Write(i, '=');
    Readln (comp);
    c[i]:=comp;
    Writeln;
  End;
  Clrscr;Writeln;
  Writeln('***<< DATA MODE >>***');Writeln;
  Writeln('      .COEFFICIENT OF CONSOLIDATION (Cv) ');Writeln;
  Writeln('-----');
  i:=0;z:=0;
  While z<n Do
  Begin

```

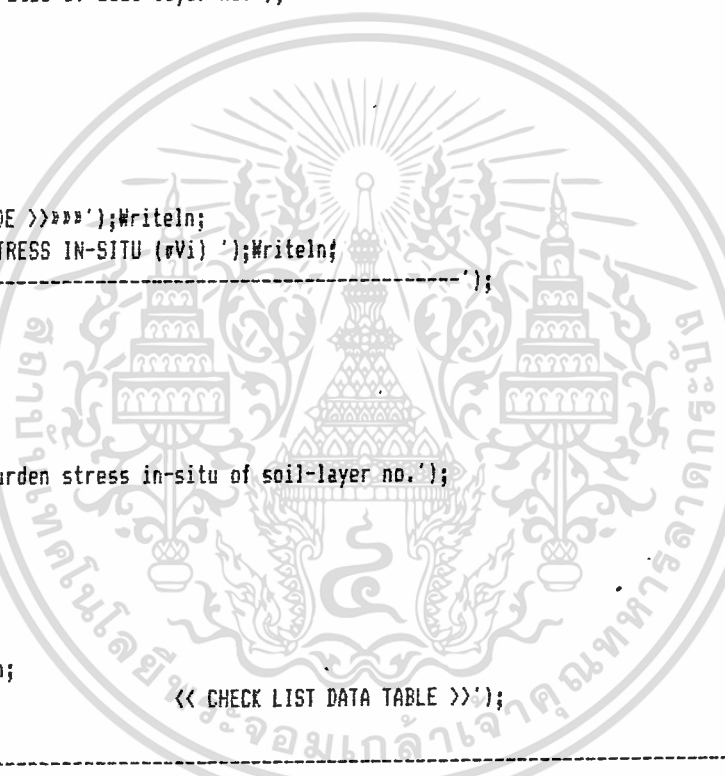


เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หากมีข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อปรับปรุงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

z:=z+1;
Write('Enter coefficient of consolidation of soil-layer no. ');
Write(i, '=');
Readln (cof);
fi[i]:=cof;
Writeln;
End;
Clrscr;Writeln;
Writeln('====<< DATA MODE >>====');Writeln;
Writeln('      VOID RATIO (Eo) ');Writeln;
Writeln('-----');
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
  i:=i+1;
  z:=z+1;
  Write('Enter void ratio of soil-layer no. ');
  Write(i, '=');
  Readln (void);
  v[i]:=void;
  Writeln;
End;
  Clrscr;Writeln;
  Writeln('====<< DATA MODE >>====');Writeln;
  Writeln(' OVERBURDEN STRESS IN-SITU (σVi) ');Writeln;
  Writeln('-----');
  i:=0; z:=0;
  While z<n Do
  Begin
    i:=i+1;
    z:=z+1;
    Write('Enter overburden stress in-situ of soil-layer no. ');
    Write(i, '=');
    Readln(stress);
    s[i]:=stress;
    Writeln;
  End;
  Clrscr; Writeln;Writeln;
  Writeln('      << CHECK LIST DATA TABLE >>');
  Writeln;Writeln;
  Writeln('-----');
  Writeln(' | LAYER NO. | THICKNESS | a | b | q | Cc | Cv | Eo | σVi | ');
  Writeln('-----');
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
  i:=i+1;
  z:=z+1;
  Write(' ',i:6);Write(' ',5,d[i]:10:3);Write(' ',a:6:2);Write(' ',b:6:2);
  Write(' ',q:7:3);Write(' ',c[i]:7:3);Write(' ',fi[i]:7:3);Write(' ',v[i]:7:3);
  Writeln(' ',s[i]:8:3, ' ');
End;
  Writeln('-----');
  Writeln;Write(' Are you confirm these data ? (y/n) =');Readln(confirm);
  If confirm = 'n' Then goto 100 Else

```



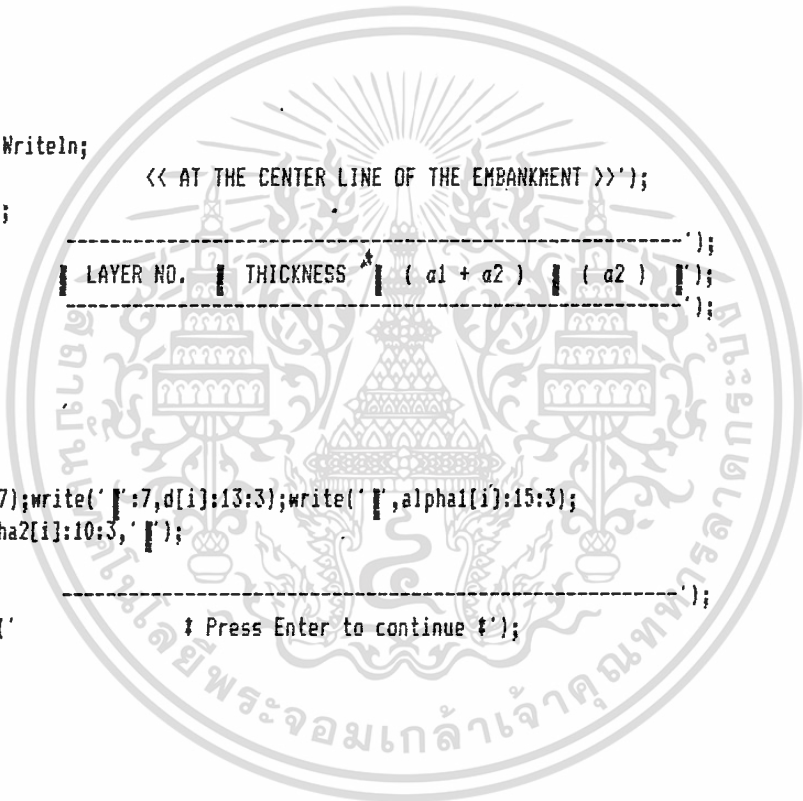
Procedure Solution;
Var t,y,z,e,f,k,w,v1,p1,keep,sum1,sum2,sum3,sum4,sum5,cv:real;
alpha1,alpha2,alpha3,alpha4,alpha5:array[1..20] of real;
stress1,stress2,p1,p2,p3,p4,tv,o,m:array[1..20] of real;
time1,time2,time3,time4,rate1,rate2:array[1..20] of real;

ขอสงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
อย่างไร้ชื่อของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i:=0;z:=0;t:=0;
While z<n Do
Begin
  i:=i+1;
  z:=z+1;
  y:=d[i] + t;
  x:=arctan( (a+b)/(y) );
  alpha1[i]:=x;
  t:=y;
End;Writeln;Writeln;
i:=0;z:=0; t:=0;
While z<n Do
Begin
  i:=i+1;
  z:=z+1;
  y:=d[i] + t;
  x:=arctan( (b)/(y) );
  alpha2[i]:=x;
  t:=y;
End;
Done;
Clrscr;Writeln;Writeln;
Writeln(' << AT THE CENTER LINE OF THE EMBANKMENT >>');
Writeln;Writeln;
Writeln('-----');
Writeln(' | LAYER NO. | THICKNESS | ( a1 + a2 ) | ( a2 ) |');
Writeln('-----');
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
  i:=i+1;
  z:=z+1;
  Write(' |':12,i:7);write(' |':7,d[i]:13:3);write(' |',alpha1[i]:15:3);
  Writeln(' |',alpha2[i]:10:3,' |');
  End;
  Writeln('-----');
  Writeln;Writeln(' * Press Enter to continue *');
  Readln;
i:=0;z:=0; t:=0;
While z<n Do
Begin
  i:=i+1;
  z:=z+1;
  y:=d[i] + t ;
  x:=arctan( (a)/(y) );
  alpha3[i]:=x;
  t:=y;
End;
i:=0;z:=0; t:=0;
While z<n Do
Begin
  i:=i+1;
  z:=z+1;
  y:=d[i] + t;
  x:=arctan( (a+(2*b))/(y) );
  alpha4[i]:=x;
  t:=y;
End;

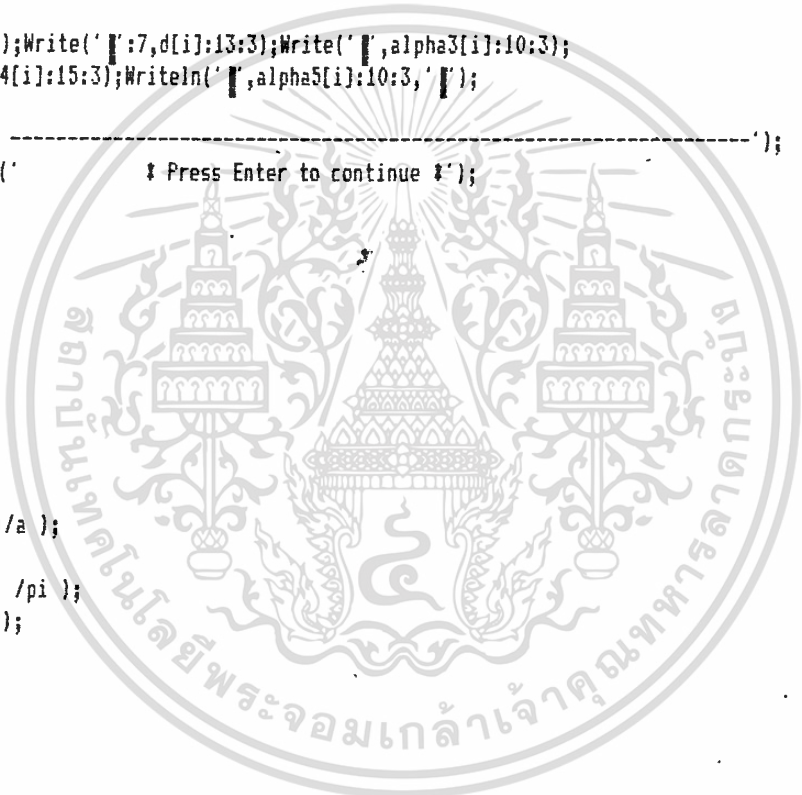
```



```

z:=z+1;
y:=d[i] + t;
x:=arctan( (2*b)/(y) );
alpha5[i]:=x;
t:=y;
End;
Did;
Clrscr;Writeln;Writeln;
Writeln('
<< AT THE EDGE OF THE EMBANKMENT >>');
Writeln;Writeln;
Writeln('-----');
Writeln('
| LAYER NO. | THICKNESS | ( a3 ) | ( a4 + a5 ) | ( a4 ) |');
Writeln('-----');
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
Write(' | :7,i:7);Write(' | :7,d[i]:13:3);Write(' | ',alpha3[i]:10:3);
Write(' | ',alpha4[i]:15:3);Writeln(' | ',alpha5[i]:10:3, ' | ');
End;
Writeln('-----');
Writeln;Writeln('
* Press Enter to continue *');
Readln;
Clrscr;
pi:=3.1415927;
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
y:=alpha1[i];
x:=alpha2[i];
e:=((a+b)*y)/a);
f:=(b*x)/a);
k:=(q*(e-f))/pi);
stress1[i]:=(k*2);
End;
Clrscr;
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
w:=alpha3[i];
y:=alpha4[i];
x:=alpha5[i];
e:=((a+b)*y)/a);
f:=(b*x)/a);
k:=(q*(w+e-f))/pi);
stress2[i]=k;
End;
Clrscr;Writeln;Writeln;
Writeln('
<< Stress distribution in each soil-layer >>');
Writeln('
<< due to embankment & vehicle load >>');
Writeln('-----');
Writeln('
| LAYER NO. | THICKNESS | INC.STRESS AT C | INC.STRESS AT THE EDGE |');
Writeln('-----');

```

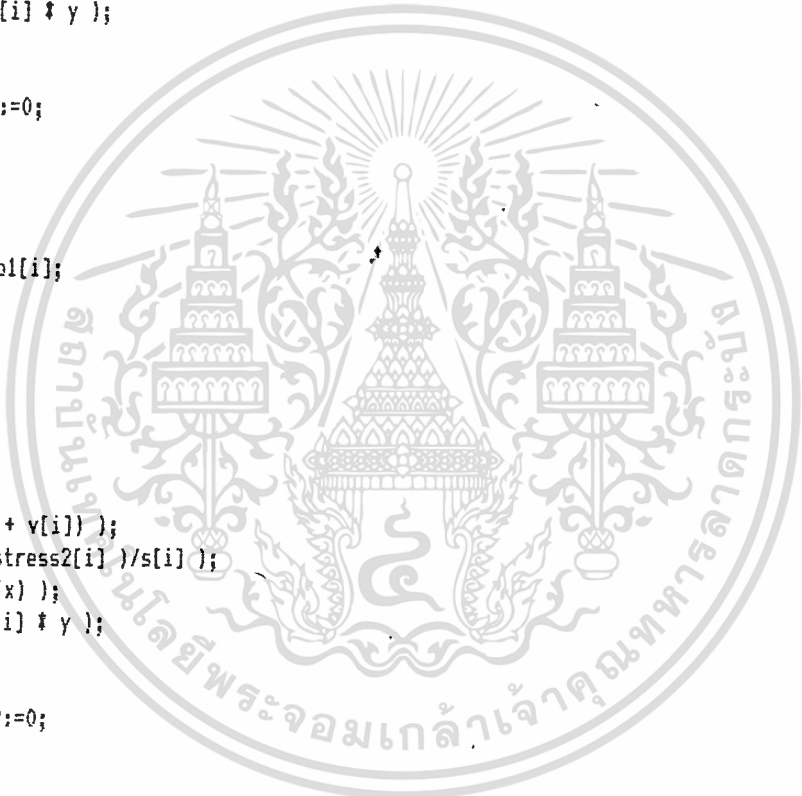


นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หากมีข้อผิดพลาดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

z:=z+1;
Write(' ',i:7);Write(' ',d[i]:13:3);Write(' ',stress1[i]:19:4);
Writeln(' ',stress2[i]:26:4,' ');
End;
Writeln(' -----');
Writeln(' [ INC.STRESS = Incremental vertical stress ]');
Writeln;Writeln(' * Press Enter to continue *');
Readln;
keep:=0.43429;
i:=0;z:=0;
While z<n do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
w:=( d[i]/(1 + v[i]) );
x:=( ( s[i] + stress1[i] )/s[i] );
y:=( keep * ln(x) );
p1[i]:=( w * c[i] * y );
p3[i]:=p1[i];
End;
i:=0;z:=0;sum1:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
p1[i]:=sum1 + p1[i];
sum1:=p1[i];
End;
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
w:=( d[i]/(1 + v[i]) );
x:=( ( s[i] + stress2[i] )/s[i] );
y:=( keep * ln(x) );
p2[i]:=( w * c[i] * y );
p4[i]:=p2[i];
End;
i:=0;z:=0;sum2:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
p2[i]:=sum2 + p2[i];
sum2:=p2[i];
End;
Clrscr;Writeln;Writeln;
Writeln(' << Differential-settlement of the embankment >>');
Writeln(' << due to embankment & vehicle load >>');
Writeln(' -----');
Writeln(' | LAYER NO. | THICKNESS | AT THE CENTRE LINE (C) | AT THE EDGE |');
Writeln(' -----');
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
Write(' ',i:7);Write(' ',d[i]:13:3);Write(' ',p3[i]:25:6);
Writeln(' ',p4[i]:15:6,' ');
End;

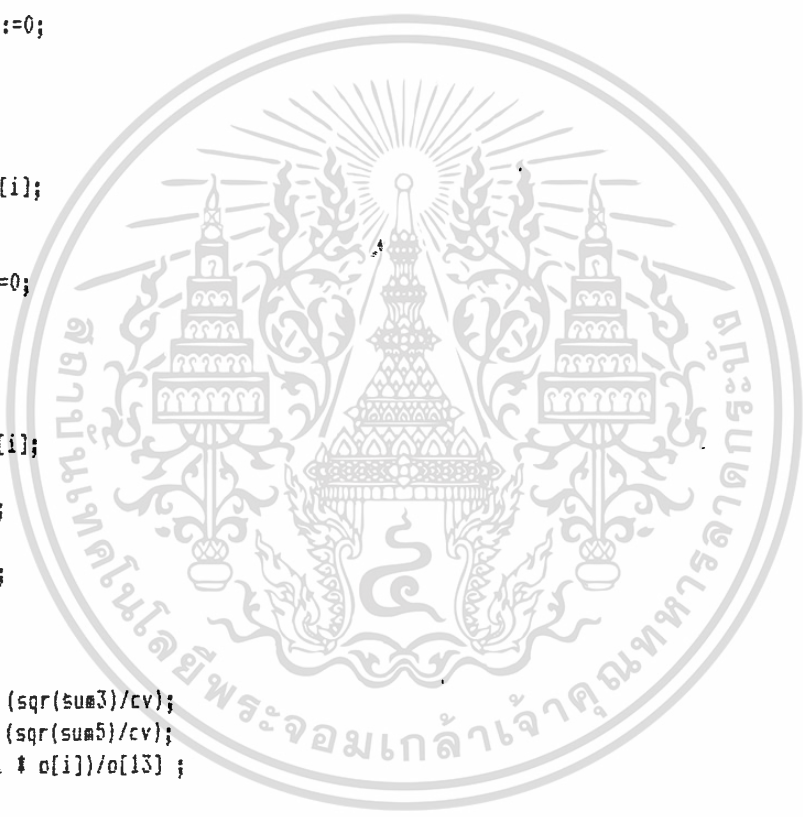
```



```

write(' i :1/, TOTAL:9, ' :5,sum1:25:6);writeln(' ',sum2:15:6, ' ');
Writeln('-----');
Writeln;Writeln('          * Press Enter to continue *');
Readln;
o[1]:= 10; o[2]:= 20; o[3]:= 30; o[4]:= 40; o[5]:= 50; o[6]:= 60;
o[7]:= 70; o[8]:= 75; o[9]:= 80; o[10]:= 85; o[11]:= 90; o[12]:= 95;
o[13]:= 99;
tv[1]:= 0.0078; tv[2]:= 0.0314; tv[3]:= 0.0707; tv[4]:= 0.1260;
tv[5]:= 0.1970; tv[6]:= 0.2860; tv[7]:= 0.4030; tv[8]:= 0.4770;
tv[9]:= 0.5670; tv[10]:= 0.6740; tv[11]:= 0.8480; tv[12]:= 1.1290;
tv[13]:= 1.1781;
i:=0;z:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
m[i]:=f1[i] * d[i];
End;
i:=0;z:=0;sum4:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
m[i]:=sum4 + m[i];
sum4:=m[i];
End;
i:=0;z:=0;sum3:=0;
While z<n Do
Begin
i:=i+1;
z:=z+1;
d[i]:=sum3 + d[i];
sum3:=d[i];
sum5:=sum3 / 2;
End;
cv:= sum4 / sum3 ;
For i:=1 To 13 Do
Begin
v1:=tv[i];
time1[i]:=v1 * (sqr(sum3)/cv);
time2[i]:=v1 * (sqr(sum5)/cv);
rate1[i:]=(sum1 * o[i])/o[13] ;
End;
Clrscr;
Writeln;
Writeln('          <<< RATE OF CONSOLIDATION SETTLEMENT >>>');
Writeln('          OF EMBANKMENT AT THE CENTER LINE');
Writeln('-----');
Writeln(' | DEGREE OF CONCOLIDATION | TIME FACTOR | TIME (DAYS) | CONSOLIDATION |');
Writeln(' | | | | |');
Writeln(' | Uv (%) | ( Tv ) | ONE-WAY | TWO-WAYS | SETTLEMENT (M) |');
Writeln('-----');
For i:=1 To 13 Do
Begin
Write(' ' :1,o[i]:13:2);Write(' ' :13,tv[i]:9:4);Write(' ' :5,time1[i]:9:2);Write(' ' :2,time2[i]:9:2);
Writeln(' ' :2,rate1[i]:13:6, ' ' :3);
End;
Writeln('-----');
Writeln;
Writeln(' *** Press ENTER to back to USER MENU *** ');
Readln;
End;

```




```

    Clrscr;Writeln;Writeln;Writeln;
    Writeln('          <<<< DATA MODE >>>> ');
    Writeln;
    Writeln('          =====');
    Writeln;Writeln;
    Writeln('    Create source of data from :');
    Writeln('          K = Keyboard');
    Writeln('          D = Datafile');
    Writeln;Writeln;
    Writeln('          =====');Writeln;
    Write('    * Please enter your selected choice >>> ');Readln(ch1);
    Clrscr;
    If ch1='k' Then
    Begin
        Readdata;
        Fix;
        Readln;
        Solution;
        Goto return;
    End;
    If ch1='d' Then
    Begin
        Loose;
        Recheck;
        Solution;
        Goto return;
    End;
End;
If ch='g' Then
Begin
    Inform;
    Goto return;
End;
If ch='e' Then
End.

```



บรรณานุกรม

มณเฑียร กังคศิเทียม

อภิรัช อึ้งอร่าม

: กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม (กรมชลประทาน)

: วิทยานิพนธ์ " การประเมินค่าพารามิเตอร์และ
ค่าคคะเนการทรุดตัวของถนนสายบางนา-บางประกง
ซึ่งสร้างบนดินเหนียวชนิครโอเวอร์คอนโซลิเดต
(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

REINMANOROM, S(1974)

: ONE-DIMENSIONAL CONSOLIDATION CHARAC-
TERISTICS OF SOFT NONG NGOO HAO CLAY,
M.Eng. THESIS No. 703, AIT; BANGKOK

วิชาญ ภูพิคณ

: สัมมนาทางวิชาการ เรื่อง การวิเคราะห์การทรุดตัว
ที่แตกต่างกัน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

วิชาญ ภูพิคณ

: งานวิจัยเรื่อง " ถนนบนดินอ่อน " (กรมทางหลวง)

ธีชวาล ยนต์หงส์

: แนะนำภาษา PASCAL ด้วย TURBO PASCAL

บุญเลิศ เอี่ยมทัศนาว

: เรียนรู้ภาษาปาสคาลด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0-5.0