

การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์แรงภายในคานอู๋โมงค์หน้าตัดวงกลม



นางสาววรินธิ์ เจียมจุฬาลักษณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณชิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2355-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF COMPUTER PROGRAMME FOR ANALYSIS OF INTERNAL FORCES IN
CIRCULAR TUNNEL LINING

Miss Varin Jeamjularak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

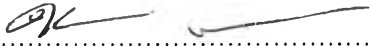
Academic Year 2005

ISBN 974-53-2355-1

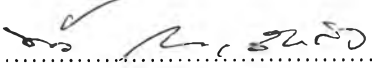
481750

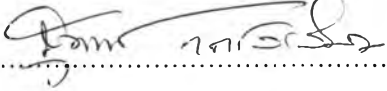
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์แรงภายในคานดัดโค้งหน้าตัดวงกลม
โดย นางสาววรินทร์ เจียมจุฬาลักษณ์
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล

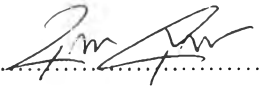
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

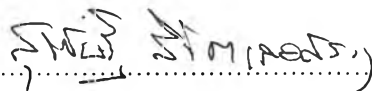

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณยศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

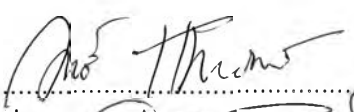
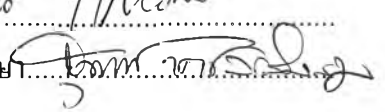

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุคคุษฎฐน)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

วรินทร์ เจียมจุฬาลักษณ์ : การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์แรงภายในคาคูโมงค์หน้าตัด
วงกลม (DEVELOPMENT OF COMPUTER PROGRAMME FOR ANALYSIS OF
INTERNAL FORCES IN CIRCULAR TUNNEL LINING) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สุพจน์
เตชวารสินสกุล, 105 หน้า. ISBN 974-53-2355-1

การออกแบบคาคูโมงค์เป็นส่วนที่สำคัญกับงานคูกโมงค์ เนื่องจากคาคูโมงค์ที่ถูก
ออกแบบต้องสามารถ รับแรงที่กระทำต่างๆ ได้ทันทีที่มีการติดตั้งคาคูโมงค์เสร็จสิ้นลง
ส่วนของการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นภายในคาคูโมงค์จึงต้องถูกต้อง และสามารถตรวจสอบค่าแรง
ที่เกิดขึ้น ได้อย่างง่ายและรวดเร็ว

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาโปรแกรมซอฟต์แวร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือ
สำหรับวิศวกรในการวิเคราะห์แรงภายในคาคูโมงค์ โดยเลือกใช้ทฤษฎี Empirical ในการ
วิเคราะห์ และใช้สมการของ Einstein , JSCE และ Wood ในการคำนวณค่าแรงภายในที่เกิดขึ้นกับ
คาคูโมงค์ จากการพัฒนาโปรแกรมที่เป็นเครื่องมือในการออกแบบครั้งนี้ได้ใช้ภาษาวิซวลเบสิก
ในการเขียน เนื่องจากเป็นภาษาที่ง่ายต่อการพัฒนาและสร้างส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งานให้
เข้าใจได้ง่าย ผู้ออกแบบสามารถเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม เพื่อเลือกใช้ผลการ
คำนวณที่มีความเหมาะสม ในการออกแบบชิ้นส่วนของคาคูโมงค์ โดยโปรแกรมนี้สามารถใช้กับ
การวิเคราะห์คูกโมงค์หน้าตัดวงกลม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต 
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ปีการศึกษา 2548

4670478521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: TUNNEL LINING / INTERNAL FORCES / TUNNEL /CIRCULAR TUNNEL

VARIN JEAMJULARAK : DEVELOPMENT OF COMPUTER PROGRAMME FOR ANALYSIS OF INTERNAL FORCES IN CIRCULAR TUNNEL LINING. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.DR. SUPOT TECHAVARASINSKUN, 105 pp. ISBN 974-53-2355-1.

Designs of tunnel liner to support external earth pressures are the most important part in tunneling engineering. The accuracy and reliability of methods used must be calibrated. The understanding of the assumptions adopted in each method is necessary . The thesis aims to provide a simple tool for engineer to analyse internal forces inducing in tunnel liner due to a few important earth loads. Assumptions and simplifications adapted in the selected equations are given in order to make awareness to engineer. There were three general empirical equations; namely, Method proposed by Einstein, JSCE and Wood. A software tool was developed using Visual Basic with user friendly pre-and post processing dialogues. User can compare results obtained from each simplification and decide to use the most proper results for design of segment section. The software can be used to analyse the circular cross section liner.

Department.....Civil Engineering.....Student's signature.....*Varin Jeamjularak*.....

Field of study.....Civil Engineering.....Advisor's signature.....*Supot T.*.....

Academic year ..2005.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษา แนวคิดและคำแนะนำในการวิจัยด้วยดีมาตลอด และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี ธนะเจริญกิจ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย อุกฤษฏ์ชน และ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง ที่ได้ร่วมเป็นคณะกรรมการการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นายวัชชัย สังขะวิไล และ นายวศิน เหลืองคชนารถ รวมทั้ง พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคน ที่ช่วยแนะนำและส่งเสริมจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้กำเนิด อบรมสั่งสอน และส่งเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษาจนทุกวันนี้ และคอยเป็นกำลังใจในยามทุกข์และสุขตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 แนวทางการศึกษา.....	3
2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ.....	4
2.1 ข้อกำหนดหลักของการออกแบบดาตอูโมงค์.....	5
2.2 ประเภทของดาตอูโมงค์.....	5
2.3 การกำหนดตำแหน่งรับแรงของอูโมงค์.....	7
2.4 การวิเคราะห์แรงภายในที่เกิดกับดาตอูโมงค์.....	7
2.4.1 Einstein Method.....	7
2.4.2 Muir Wood Method.....	12
2.4.3 JSCE Method.....	15
2.5 ผลของการเสื่อมกันของดาตอูโมงค์.....	24
3. แนวทางและขั้นตอนในการศึกษา.....	26
3.1 ผังขั้นตอนการทำงาน ของการวิเคราะห์แรงภายใน ดาตอูโมงค์ด้วยวิธี Einstein Method.....	26
3.2 ผังขั้นตอนการทำงาน ของการวิเคราะห์แรงภายใน ดาตอูโมงค์ด้วยวิธี JSCE Method.....	28
3.3 ผังขั้นตอนการทำงาน ของการวิเคราะห์แรงภายใน ดาตอูโมงค์ด้วยวิธี Muir Wood Method.....	31

บทที่	หน้า
3.4 ผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการวิเคราะห์ แรงภายในดาตคูมิ่งค์หน้าตัดวงกลม.....	34
4. การออกแบบและศึกษาผลการทำงานของโปรแกรม.....	35
4.1 ออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้.....	35
4.2 ทดสอบโปรแกรมส่วนต่างๆ จากตัวอย่าง.....	38
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการดำเนินงานในการพัฒนาโปรแกรม.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาโปรแกรม.....	60
5.3 ข้อจำกัดในการใช้โปรแกรม.....	60
รายการอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก. เมนูคำสั่งของโปรแกรม.....	63
ภาคผนวก ข. การใช้โปรแกรม.....	67
ผลลัพธ์จากโปรแกรมAFT-LINER2005.....	75
ผลลัพธ์จากโปรแกรมPlaxis.....	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความหนาโดยประมาณของดาดอุโมงค์ชนิดต่างตามขนาดของอุโมงค์.....	6
2.2 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์แรงต้านด้านข้างของดิน,K.....	17
2.3 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์แรงต้านของมวลดิน, k.....	21
2.4 สูตรในการคำนวณแรงภายในที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงภายนอกโดยวิธีJSCE Method.....	23
4.1 แสดงผลการคำนวณค่าAxial Force (T)ของวิธี Einstein,JSCE และ Muir Wood.....	40
4.2 แสดงผลการคำนวณค่าBending Moment (M) ของวิธี Einstein,JSCEและ Muir Wood....	42
4.3 แสดงผลการคำนวณค่าShear Force (S) ของวิธี JSCE และ Muir Wood.....	43
4.4 แสดงผลการคำนวณค่า Axial Force (T), Bending Moment M) และค่า Shear Force(S) เนื่องจากSelf weight.....	52
ก.1 อธิบายหน้าที่ของเมนูในโปรแกรม AFT-LINER2005.....	64
ข.1 ผลการคำนวณของวิธี Einstein จากแท็บ Einstein.....	90
ข.2 ผลการคำนวณของวิธี JSCE จากแท็บ JSCE.....	93
ข.3 ผลการคำนวณของวิธี Muir Wood จากแท็บ Wood.....	95
ข.4 ผลการคำนวณของน้ำหนักตัวดาดอุโมงค์จากแท็บ Self weight.....	97
ข.5 ผลการคำนวณจากโปรแกรม Plaxis.....	99
ข.6 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกนของแต่ละวิธี.....	104
ข.7 ผลการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ของแต่ละวิธี.....	104
ข.8 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนของแต่ละวิธี.....	104

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 หน้าตัดดาดอุโมงค์.....	5
2.2 หน้าตัดองค์ประกอบของชั้นส่วนดาดอุโมงค์ใน 1 วง.....	6
2.3 ตำแหน่งอุโมงค์.....	7
2.4 แสดงตำแหน่งทิศทางของแรงและการเสีรูปในวิธีของEinstein.....	8
2.5 กราฟแสดงลักษณะค่า stiffness ของ ground และ support.....	9
2.6 แรงกระทำรอบดินและดาดอุโมงค์ที่เท่ากันทุกด้าน (ทิศทางของแรงสมมาตร).....	10
2.7 แรงกระทำรอบดินและดาดอุโมงค์ที่เท่ากันทุกด้าน (ทิศทางของแรงไม่สมมาตร).....	10
2.8 แผนภาพแสดงแรงกระทำเริ่มแรกที่กระทำบนอุโมงค์ก่อนการเสีรูป.....	12
2.9 แรงดันดินในแนวตั้ง (Vertical soil pressure).....	16
2.10 Arching effect on the vertical stress.....	16
2.11 แรงดันดินด้านข้าง (Lateral earth pressure).....	17
2.12 การกระจายของแรงดันน้ำ (Distribution of water pressure).....	18
2.13 การกระจายของแรงดันเนื่องจากน้ำหนักดาดอุโมงค์.....	19
2.14 แรงดันด้านของมวลดินแนวตั้ง (Vertical subgrade reaction).....	20
2.15 แรงดันด้านของมวลดินด้านข้าง (Lateral subgrade reaction).....	21
2.16 แรงภายนอกทั้งหมดที่กระทำต่อตัวอุโมงค์.....	22
2.17 โมเมนต์ที่เพิ่มขึ้น(ΔM)เนื่องจากการเสีรูปกันของดาดอุโมงค์ของแต่ละวง.....	25
3.1 ผังขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธี Einstein.....	26
3.2 ผังขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธี JSCE.....	28
3.3 ผังขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธี Muir Wood.....	31
3.4 ผังขั้นตอนการวิเคราะห์โดยรวมทั้ง3วิธีของโปรแกรม.....	34
4.1 แสดงหน้าตาการเลือกหน่วยคำนวณ.....	35
4.2 หน้าตาการเลือกวิธีการวิเคราะห์.....	36
4.3 ส่วนของปุ่มคำสั่งการรับข้อมูล.....	36
4.4 หน้าต่างพื้นที่แสดงกราฟและตาราง.....	37
4.5 แสดงรูปตัดชั้นดิน.....	39
4.6 กราฟความสัมพันธ์ของแรงในแนวแกนของทั้ง3วิธี.....	41

ภาพประกอบ	หน้า
4.7 กราฟความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดของทั้ง 3 วิธี	43
4.8 กราฟความสัมพันธ์ของแรงเฉือนของวิธีJSCE&Muir Wood	44
4.9 แสดงภาพตัดขวางและตำแหน่งของดาดอุโมงค์	45
4.10 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดอุโมงค์โดยวิธีEinstein:Full-Slip	45
4.11 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดอุโมงค์โดยวิธีEinstein:No-Slip	46
4.12 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดอุโมงค์โดยวิธี JSCE	46
4.13 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดอุโมงค์โดยวิธี Muir Wood	47
4.14 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดอุโมงค์โดยวิธี Einstein:No-Slip	48
4.15 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดอุโมงค์โดยวิธี JSCE	48
4.16 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดอุโมงค์โดยวิธี Muir Wood	49
4.17 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดอุโมงค์โดยวิธี Einstein:Full-Slip	49
4.18 กราฟการกระจายของแรงเฉือนรอบดาดอุโมงค์โดยวิธี JSCE	50
4.19 กราฟการกระจายของแรงเฉือนรอบดาดอุโมงค์โดยวิธี Muir Wood	51
4.20 กราฟความสัมพันธ์ของแรงในแนวแกนเนื่องจากSelf weight of concrete segment	53
4.21 กราฟการกระจายของแรงในแนวแกนรอบดาดอุโมงค์เนื่องจาก Self weight of concrete segment	53
4.22 กราฟความสัมพันธ์ของโมเมนต์เนื่องจาก Self weight of concrete segment	54
4.23 กราฟการกระจายของโมเมนต์รอบดาดอุโมงค์เนื่องจาก Self weight of concrete segment	54
4.24 กราฟความสัมพันธ์ของแรงเฉือนเนื่องจาก Self weight of concrete segment	55
4.25 กราฟการกระจายของแรงเฉือนรอบดาดอุโมงค์เนื่องจาก Self weight of concrete segment	55
4.26 ค่าโมเมนต์ของวิธี Einstein:Full-Slip จากผลการห่อหุ้มกันของดาดอุโมงค์	56
4.27 ค่าโมเมนต์ของวิธี JSCE จากผลการห่อหุ้มกันของดาดอุโมงค์	57
4.28 ค่าโมเมนต์ของวิธีMuir Woodจากผลการห่อหุ้มกันของดาดอุโมงค์	58
ก.1 แถบเมนูของโปรแกรม AFT-LINER 2005	63
ก.2 คำสั่งใน File	63
ก.3 คำสั่งใน Input	63
ก.4 คำสั่งใน Analysis	64

ภาพประกอบ	หน้า
ก.5 คำสั่งใน Help.....	64
ก.6 หน้าจอปุ่มคำสั่งการกรอกข้อมูล.....	65
ก.7 หน้าจอส่วนประมวลผล.....	66
ข.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม.....	68
ข.2 การเลือกหน่วยคำนวณ.....	69
ข.3 การเลือกวิธีการวิเคราะห์.....	69
ข.4 ส่วนของปุ่มคำสั่งการรับข้อมูล.....	70
ข.5 หน้าต่างการกรอกข้อมูลดาตาดูโมงค์และ Geometry.....	71
ข.6 ส่วนของการเลือกผลการคำนวณของแต่ละวิธี.....	74
ข.7 หน้าผลการคำนวณเป็นตารางของวิธี Einstein.....	75
ข.8 หน้าผลการคำนวณเป็นกราฟของวิธี Einstein.....	76
ข.9 หน้าผลเนื่องจากการหาค่าของดาตาดูโมงค์(ใช้โมเมนต์วิธี Einstein).....	77
ข.10 แสดงหน้าผลการคำนวณเป็นตารางของวิธี JSCE.....	78
ข.11 หน้าผลการคำนวณเป็นกราฟของวิธี JSCE.....	79
ข.12 หน้าผลเนื่องจากการหาค่าของดาตาดูโมงค์(ใช้โมเมนต์วิธี JSCE).....	80
ข.13 หน้าผลการคำนวณเป็นตารางของวิธี Muir Wood.....	81
ข.14 หน้าผลการคำนวณเป็นกราฟของวิธี Muir Wood.....	82
ข.15 หน้าผลเนื่องจากการหาค่าของดาตาดูโมงค์(ใช้โมเมนต์วิธี Muir Wood).....	83
ข.16 หน้าผลการคำนวณเนื่องจากน้ำหนักดาตาดูโมงค์.....	84
ข.17 แสดงหน้าผลการคำนวณเป็นกราฟของผลจากน้ำหนักดาตาดูโมงค์.....	85
ข.18 หน้าผลการคำนวณเป็นกราฟจากการเปรียบเทียบ 3 วิธี.....	86
ข.19 หน้าต่างการบันทึกหัวข้องาน.....	87
ข.20 หน้าต่างข้อมูลในไฟล์ Excel.....	88
ข.21 หน้าบันทึกข้อมูลหัวข้องานจากแท็บ Information.....	89
ข.22 กราฟแสดงการกระจายของแรงในแนวแกนโดยวิธีFull-Slip & No-Slip.....	91
ข.23 กราฟแสดงการกระจายของโมเมนต์โดยวิธีFull-Slip & No-Slip.....	92
ข.24 กราฟแสดงการกระจายของแรงแนวแกน,โมเมนต์และแรงเฉือนโดยวิธีJSCE.....	94

ภาพประกอบ	หน้า
ข.25 กราฟแสดงการกระจายของแรงแนวแกน,โมเมนต์และแรงเฉือนโดยวิธีMuir Wood.....	96
ข.26 กราฟแสดงการกระจายของแรงแนวแกน,โมเมนต์และแรงเฉือน เนื่องจากน้ำหนักตาดอุโมงค์.....	98
ข.27 กราฟการกระจายแรงในแนวแกนจากโปรแกรม Plaxis.....	101
ข.28 กราฟการกระจายค่าโมเมนต์จากโปรแกรม Plaxis.....	102
ข.29 กราฟการกระจายแรงเฉือนจากโปรแกรม Plaxis.....	103

สัญลักษณ์

b	=	ความกว้างของดาดอุโมงค์
D_o	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของดาดอุโมงค์
D_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของดาดอุโมงค์
E	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของดิน (Young's modulus of soil)
E_s	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของดาดอุโมงค์ (Young's modulus of segment lining)
f'_c	=	ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอก
g	=	หน่วยน้ำหนักของดาดอุโมงค์
H_c	=	ระยะจากจุดบนสุดของดาดอุโมงค์จนถึงผิวดิน
I_o	=	โมดูลัสของความเฉื่อย (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Ring)
I	=	โมดูลัสของความเฉื่อย (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Segment)
K	=	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างของมวลดิน
M	=	โมเมนต์ดัดที่กระทำที่ชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์
M_i	=	โมเมนต์ดัดมากที่สุด (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Ring)
M_o	=	โมเมนต์ดัดมากที่สุด (กรณีคิดดาดอุโมงค์แบบ Segment)
N	=	จำนวนชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์ต่อ 1 วง
T	=	Axial force หรือ Normal force ที่กระทำที่ชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์
R_c	=	รัศมีเฉลี่ยของดาดอุโมงค์
R_i	=	รัศมีขอบในของดาดอุโมงค์
R_o	=	รัศมีขอบนอกของดาดอุโมงค์
S	=	แรงเฉือนที่กระทำที่ชิ้นส่วนของดาดอุโมงค์
S_u	=	กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ
t	=	ความหนาของดาดอุโมงค์
ϕ	=	มุมแรงเสียดทานภายในของมวลดิน (friction angle of soil)
γ	=	หน่วยน้ำหนักรวมของดิน
γ_s	=	หน่วยน้ำหนักของดาดอุโมงค์
γ_w	=	หน่วยน้ำหนักของน้ำ
ν	=	Possion's Ratio ของดิน
ν_s	=	Possion's Ratio ของดาดอุโมงค์
η	=	joint stiffness reduction factor

สัญลักษณ์

q_R	=	การกระจายตัวของหน่วยแรงต้านทานด้านข้างของมวลดิน
k	=	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานของมวลดิน
δ	=	ค่าการเคลื่อนตัวของดาดอุโมงค์ที่ Spring line