



วิทยานิพนธ์

การศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำลอดใต้ผนังที่บน้ำด้วย
แบบจำลองทางกายภาพและแบบจำลองเชิงตัวเลข

**THE STUDY OF SEEPAGE BEHAVIOR UNDERNEATH
CUTOFF WALL BY PHYSICAL MODEL AND NUMERICAL
MODEL**

นายชลเมธ มงคลศิลป์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำลอดใต้ผนังที่บ้น้ำด้วยแบบจำลองทางกายภาพและแบบจำลองเชิงตัวเลข

The Study of Seepage Behavior Underneath Cutoff Wall by Physical Model and Numerical Model

นายผู้วิจัย นายชลเมธ มงคลศิลป์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์อภินิติ โชติสังาศ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วรากร ไม้เรียง, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำลอดใต้ผนังกันน้ำด้วยแบบจำลองทางกายภาพและ
แบบจำลองเชิงตัวเลข

The Study of Seepage Behavior Underneath Cutoff Wall by Physical Model and Numerical
Model

โดย

นายชลเมธ มงคลศิลป์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2550

ชลเมธ มงคลศิลป์ 2550: การศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำลอดใต้ผนังที่น้ำด้วยแบบจำลอง
ทางกายภาพและแบบจำลองเชิงตัวเลข วิทยุวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์
ก่อโชค จันทรวงูร, Ph.D. 157 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำผ่านตัวกลางพรุน โดยใช้ชุดอุปกรณ์แบบจำลอง
ทางกายภาพ โดยดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แล้วทำการวัดความดันน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ พร้อมทั้งวัดอัตรา
การไหล เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการศึกษาการไหลที่เกิดขึ้นในสภาพจริงที่มีขนาดใหญ่กว่า แล้วทำการ
เปรียบเทียบสภาพการไหลกับแบบจำลองเชิงตัวเลขโดยหลักการของวิธีผลต่างสืบเนื่อง งานศึกษาครั้งนี้
กำหนดให้ขอบเขตการไหลแบบมีขอบเขตจำกัด ตัวกลางพรุนที่ใช้มีคุณสมบัติความเท่ากันทุกทิศทาง และ
สภาวะการไหลที่เกิดขึ้นเป็นแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ผลการศึกษาสรุปได้ว่าแบบจำลองทางกายภาพสามารถจำลองสภาพการไหลที่เกิดขึ้นในสภาพจริงได้ใน
ย่านการไหลที่เป็นไปตามกฎของดาร์ซี ซึ่งจากการตรวจสอบความเร็วการไหลซึมพบว่าบางส่วนของพื้นที่การ
ไหลซึมมีความเร็วสูงเกินกว่าสภาพการไหลเอื้อย ได้แก่บริเวณที่ใกล้กับผนังที่น้ำ ความดันน้ำที่วัดได้บริเวณ
ปลายผนังที่น้ำแตกต่างจากความดันน้ำที่ได้จากการคำนวณสูงกว่าบริเวณอื่น จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง
เชิงตัวเลขและการทดลองจึงได้แสดงให้เห็นแนวการไหลพบว่าความเร็วการไหลซึมแท้จริงมีค่าไม่คงที่ตลอด
เส้นแนวการไหล โดยความเร็วช่วงแรกน้อยและค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้ผนังที่น้ำหลังจากนั้นจะค่อยๆลดลง
ปริมาณการไหลโดยเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองในกรณีทรายหยาบมีค่าสูงกว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขประมาณ
11 % จากการวิเคราะห์มิติ (dimensional analysis) พบว่าปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นทั้งในแบบจำลองทางกายภาพและ
ในสภาพการไหลจริง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ มาตรฐานของแบบจำลองที่ย่อขนาดลงมา ความแตกต่างของ
ของเหลวที่ใช้ในแบบจำลองต่างกัน โดยของเหลวแต่ละชนิดมีคุณสมบัติด้านความหนืดและความหนาแน่น
ต่างกัน และสุดท้ายประเภทของตัวกลางพรุนที่มีคุณสมบัติด้านการซึมของน้ำแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณการ
ไหลที่ได้จากแบบจำลองทางกายภาพจึงสามารถแปลงเป็นปริมาณการไหลซึมที่เกิดขึ้นในสภาพการไหลจริงได้

Cholamet Mongkolsilp 2007: The Study of Seepage Behavior Underneath Cutoff Wall by Physical Model and Numerical Model. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Korchoke Chantawarangul, Ph.D. 157 pages.

In this study , physical and numerical models are used for studying seepage behavior in porous media. The values of discharge and pressure head as calculated from numerical model and measured from physical model were compared . Finite difference method is employed in the numerical analysis and the numerical result were treated as reference. The hydraulic conditions encountered during the studies are steady state confine flow condition and isotropic porous media properties.

It is concluded that physical model is satisfactorily used to simulate the flow condition if the darcy law is valid. The seepage velocity measured close to the sheetpile region is greater than the calculated values based on laminar flow condition. The pressure heads closed to sheet pile tip from experiments and calculations deviate more than in other regions. The seepage velocities from numerical model and color testing is found that seepage velocities is not a constant value in the same flow line. The result from numerical model and color testing showed that the seepage velocities gradually increased from downstream upto the position beneath the sheetpile, after which it decreased in a symmetrical manner. The physical model yielded the discharge values being about 11% greater than that obtained using numerical model. From dimensional analysis, discharge from physical model can be used to predict the actual discharge of true scale . Relevant factors comprises of scale factor (N^2) , density and viscosity of liquid and intrinsic permeability of porous media

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ก่อโชค จันทารางกูร ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
อ.ดร.อภินิติ โชติสังกัส กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รศ.ดร.สุวัฒนา จิตตลดากร กรรมการที่ปรึกษา
วิชาการ ที่ให้คำปรึกษาในด้านวิชาการ อำนวยความสะดวกสำหรับการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ที่
จำเป็นต่างๆ ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์และขอกราบ
ขอบพระคุณ รศ.ดร. วิไล เกี่ยมไชยศรี ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาในการตรวจแก้ไข
วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้
ขอขอบคุณบรรพต กุลสุวรรณ ผู้ให้คำแนะนำ คุณวิญญพจน์ พ่อลิละและคณะ ผู้จัดทำอุปกรณ์
สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ คุณกนกวรรณ ศรีสูงเนิน ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่
ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ ในภาควิชาวิศวกรรมปฐพีทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด
นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณอานันท์ สุวรรณสินธุ์ กรรมการบริหารบริษัทชั้นยู คอนซัลแตนท์ส
ประเทศไทย จำกัด ที่ได้มอบโอกาสอันมีค่า ในการลาศึกษาต่อครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ พี่ๆ
น้องๆ เพื่อนร่วมงานทุกคนที่ได้ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องสาว และคุณอรุณี หาระสาร ผู้ที่เป็น
กำลังใจที่ยิ่งใหญ่ต่อข้าพเจ้า โดยได้ให้ความรัก ให้การสนับสนุน และเป็นแรงบันดาลใจให้ข้าพเจ้า
ศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จ

ชลเมธ มงคลศิลป์

สิงหาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	88
สรุป	88
ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	91
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก การประยุกต์วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการแก้ปัญหาคาร์ไหลซึม	94
ภาคผนวก ข การหาคูณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพูน	105
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวัดระดับน้ำและปริมาณการไหลในการทดลองกรณีต่าง	114
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข	116
ภาคผนวก จ ผลการเปรียบเทียบศักยภาพจากแบบจำลองทั้ง 2 แบบ	144
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	157

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของดินชนิดต่างๆ	16
2	แสดงมิติของปริมาณต่างๆ	31
3	แสดงผลการทดลองแบบจำลองกายภาพในทรายหยาบ	48
4	แสดงผลการทดลองแบบจำลองกายภาพในทรายละเอียด	49
5	ผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของตัวกลางพูน	51
6	แสดงผลการทดลองแบบจำลองกายภาพในทรายหยาบ	54
7	แสดงผลการทดลองแบบจำลองกายภาพในทรายละเอียด	54
8	ผลเปรียบเทียบสัณยัณน้ำจากการทดลองและจากการคำนวณโดยเฉลี่ยในกรณี ทรายหยาบ	65
9	ผลเปรียบเทียบสัณยัณน้ำจากการทดลองและจากการคำนวณโดยเฉลี่ยในกรณี ทรายละเอียด	66
10	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการไหลในทรายหยาบ	68
11	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการไหลในทรายละเอียด	69
12	ผลการคำนวณค่าความชันชลศาสตร์และระยะทางการไหลต่ำสุดที่ยอมให้ใน แต่ละกรณีของทรายหยาบและทรายละเอียด	74
13	ผลการทดลองฉีดสีสารละลายต่างทับทิมเพื่อสังเกตแนวการไหลในกรณีทราย หยาบ	75
14	ผลการทดลองฉีดสีสารละลายต่างทับทิมเพื่อสังเกตแนวการไหลในกรณีทราย ละเอียด	75

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การพิบัติของเขื่อน TETON เนื่องจากการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นฐานราก	3
2 การพิบัติของเขื่อนมูลบนเนื่องจากการรั่วซึมผ่านชั้นฐานราก	3
3 วัฏจักรของน้ำ	7
4 การไหลซึมของน้ำในแนวเดียวผ่านแท่งดิน	8
5 แสดงเขตของน้ำที่จุดพิจารณา 2 ตำแหน่ง	9
6 แสดงน้ำไหลซึมผ่านตามช่องว่างของอนุภาคดิน	10
7 แสดงน้ำไหลซึมผ่านในดิน	10
8 การทดสอบวิธีความดันน้ำคงที่	11
9 การทดสอบวิธีความดันน้ำแปรเปลี่ยน	13
10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านและระดับความอิ่มตัว	15
11 แสดงการเบี่ยงเบนไปจากกฎของดาร์ซีที่เกิดขึ้นเมื่อการไหลเป็นแบบปั่นป่วน	18
12 แสดงการเบี่ยงเบนไปจากกฎของดาร์ซีที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณการไหลมีค่าน้อยมาก	18
13 การไหลของน้ำผ่านตัวกลางพรุนลูกบาศก์	19
14 การไหลของน้ำในแบบจำลองถึงทราย	21
15 แบบจำลองน้ำมัน	22
16 การแบ่งกริดของชั้นดิน	23
17 ระบบพิกัดในระนาบสำหรับการประมาณค่าอนุพันธ์	24
18 แผนภาพสำหรับพจน์อนุพันธ์อันดับที่ 1 และ 2 ในระนาบ 1 มิติ	26
19 แผนภาพสำหรับพจน์อนุพันธ์อันดับที่ 3 และ 4 ในระนาบ 1 มิติ	26
20 ศักย์ของน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ	28
21 เงื่อนไขขอบเขตของปัญหากรณีต่างๆ	29
22 อุปกรณ์ในการทดลอง	40
23 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์การทดลอง	41
24 แผงกระจกที่บิบน้ำ	42
25 หัววัดความดัน pressure sensor	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26 ชุดอุปกรณ์วัดความดันเพิ่มเติม	43
27 การทดสอบหาค่าความชื้นน้ำ	45
28 การทดสอบการกระจายขนาดคละ	45
29 แผนการวิจัย	46
30 รูปแบบทั่วไปของการทดสอบ	47
31 การกระจายขนาดคละของทรายหยาบ	52
32 การกระจายขนาดคละของทรายละเอียด	52
33 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความต่างของศักย์น้ำ กรณีระยะฝัง 10 ซม.	56
34 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความต่างของศักย์น้ำ กรณีระยะฝัง 15 ซม.	56
35 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความต่างของศักย์น้ำ กรณีระยะฝัง 20 ซม.	56
36 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระยะฝัง กรณีความกว้างแบบจำลอง 80 ซม.	57
37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระยะฝัง กรณีความกว้างแบบจำลอง 100 ซม.	57
38 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระยะฝัง กรณีความกว้างแบบจำลอง 120 ซม.	57
39 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความกว้างแบบจำลอง กรณีระยะฝัง 10 ซม.	58
40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความกว้างแบบจำลอง กรณีระยะฝัง 15 ซม.	58
41 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความกว้างแบบจำลอง กรณีระยะฝัง 20 ซม.	58
42 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความต่างของศักย์น้ำ กรณีแบบจำลองขนาด 100 ซม. ระยะฝัง 20 ซม. ของทรายหยาบและทรายละเอียด	59
43 การกระจายศักย์น้ำสำหรับกรณีที่ 1	59
44 การกระจายศักย์น้ำสำหรับกรณีที่ 2	60
45 การกระจายศักย์น้ำสำหรับกรณีที่ 3	60
46 แนวเส้นการไหลสำหรับกรณีที่ 1	61
47 แนวเส้นการไหลสำหรับกรณีที่ 2	61
48 แนวเส้นการไหลสำหรับกรณีที่ 3	62
49 ตาข่ายการไหลสำหรับกรณีที่ 1	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
50	ตาข่ายการไหลสำหรับกรณีที่ 263
51	ตาข่ายการไหลสำหรับกรณีที่ 363
52	แนวศักย์น้ำของแบบจำลองขนาด 10 เท่าของกรณีที่ 164
53	แนวศักย์น้ำของแบบจำลองขนาด 100 เท่าของกรณีที่ 264
54	แนวศักย์น้ำของแบบจำลองขนาด 1,000 เท่าของกรณีที่ 365
55	แนวการไหลของแบบจำลองขนาด 10 เท่าของกรณีที่ 170
56	แนวการไหลของแบบจำลองขนาด 100 เท่าของกรณีที่ 270
57	แนวการไหลของแบบจำลองขนาด 1,000 เท่าของกรณีที่ 371
58	ศักย์น้ำที่เปลี่ยนแปลงตามความลึกของแบบจำลอง ณ ตำแหน่ง $x = 10, 40$ และ 70 ซม. ในกรณีที่ 171
59	ศักย์น้ำที่เปลี่ยนแปลงตามความลึกของแบบจำลอง ณ ตำแหน่ง $x = 10, 40$ และ 70 ซม. ในกรณีที่ 272
60	ศักย์น้ำที่เปลี่ยนแปลงตามความลึกของแบบจำลอง ณ ตำแหน่ง $x = 10, 40$ และ 70 ซม. ในกรณีที่ 372
61	การเปลี่ยนแปลงศักย์น้ำที่บริเวณปลายผนังที่บนน้ำของแบบจำลองกรณีที่ 1076
62	แนวเส้นการไหลของแบบจำลองเมื่อนิพจน์สสารละลายต่างทับทิม77
63	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลและความลาดชันชลศาสตร์ของแบบจำลองกายภาพ78
64	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลและความลาดชันชลศาสตร์ของแบบจำลองเชิงตัวเลข78
65	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไร้หน่วย 2 กลุ่มจากแบบจำลองกายภาพ81
66	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไร้หน่วย 2 กลุ่มจากแบบจำลองเชิงตัวเลข82
67	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไร้หน่วย 2 กลุ่มกลุ่ม เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกายภาพและแบบจำลองเชิงตัวเลข82
68	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไร้หน่วย 3 กลุ่มจากแบบจำลองกายภาพ83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
69	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไร้หน่วย 3 กลุ่มจากแบบจำลองเชิงตัวเลข	83
70	แสดงพิสัยการกระจายของปริมาณการไหลที่สัมพันธ์กับ H/Z	85
71	แสดงพิสัยการกระจายของปริมาณการไหลที่สัมพันธ์กับ L/h	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 แสดงการแบ่งกริดย่อยขนาด 1 cm. ของขอบเขตพื้นที่การไหล 80x40 cm.	95
ก2 แสดงเงื่อนไขขอบเขตที่บนน้ำด้านข้างและด้านล่างของแบบจำลอง	96
ก3 แสดงเงื่อนไขขอบเขตคงที่ซึ่งเป็น head ของน้ำสูง 5 ซม. ด้านเหนือ	96
ก4 แสดงเงื่อนไขขอบเขตคงที่ซึ่งเป็น head ของน้ำสูง 0 ซม. ด้านท้ายน้ำ	97
ก5 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบ จุดที่พิจารณา	97
ก6 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบที่ขอบที่บนน้ำด้านข้าง	98
ก7 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบที่มุมขอบล่างด้านที่บนน้ำ	98
ก8 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบที่มุมขอบที่บนน้ำด้านล่าง	99
ก9 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบที่ขอบผนังที่บนน้ำด้านซ้าย	99
ก10 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบที่ขอบผนังที่บนน้ำด้านขวา	99
ก11 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบที่ปลายผนังที่บนน้ำ	100
ก12 แสดงคอลัมน์พิเศษที่เพิ่มมาได้ผนังที่บนน้ำ	100
ก13 ขั้นตอนการให้โปรแกรมคำนวณ	101
ก14 การระบุเงื่อนไขในการคำนวณ	101
ก15 แสดงแถบแรเงาบริเวณที่หาผลรวมของปริมาณการไหลย่อย	102
ก16 แสดงแถบแรเงาบริเวณที่บนน้ำด้านข้างโดยที่ $\psi = 0$	103
ก17 แสดงแถบแรเงาบริเวณที่บนน้ำตลอดผนังที่บนน้ำโดยที่ $\psi = 5.56$	103
ก18 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบที่ขอบบนของพื้นที่การไหล	104
ก19 แสดงค่าเฉลี่ยของศักย์น้ำโดยรอบในช่วงของพื้นที่การไหล	104
ข1 ผลการทดสอบหาความชื้นน้ำของทรายหยาบสภาพหลวม	106
ข2 ผลการทดสอบหาความชื้นน้ำของทรายหยาบสภาพแน่น	107
ข3 ผลการทดสอบหาความชื้นน้ำของทรายละเอียดสภาพหลวม	108
ข4 ผลการทดสอบหาความชื้นน้ำของทรายละเอียดสภาพแน่น	109
ข5 ผลการทดสอบการกระจายขนาดคละของทรายหยาบ	110
ข6 ผลการทดสอบการกระจายขนาดคละของทรายละเอียด	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข7 ผลการทดสอบการการหาความถ่วงจำเพาะของทรายหยาบ	112
ข8 ผลการทดสอบการการหาความถ่วงจำเพาะของทรายละเอียด	113
ค1 แสดงข้อมูลการวัดระดับน้ำและปริมาณการไหลในการทดลองกรณีต่างๆ	115
ง1 ผลการวิเคราะห์ค่าศักย์ของน้ำของแบบจำลองกรณีต่างๆของทรายหยาบ	117
ง2 ผลการวิเคราะห์เส้นการไหลของแบบจำลองกรณีต่างๆของทรายหยาบ	126
ง3 ผลการรวมเส้นศักย์การไหลและเส้นการไหลกรณีต่างๆของทรายหยาบ	135
จ1 ผลการเปรียบเทียบศักย์น้ำที่ตำแหน่งต่างๆในกรณีทรายหยาบ	145
จ2 ผลการเปรียบเทียบศักย์น้ำที่ตำแหน่งต่างๆในกรณีทรายละเอียด	154

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางการไหล, (cm ²)
a	=	พื้นที่หน้าตัดของท่อ
a_v	=	Coefficient of Consolidation
C	=	ค่าคงที่ของ Kozeny
C_1	=	ค่าคงที่
C_2	=	ค่าคงที่
C_u	=	Coefficient of Uniformity
D_{10}	=	ขนาดประสิทธิภาพ (Effective Size)
e	=	อัตราส่วนช่องว่าง
G_s	=	ความถ่วงจำเพาะ
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
Δh	=	ความสูงของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป
i	=	ความลาดชันชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient)
i_c	=	ความลาดชันชลศาสตร์วิกฤติ (Critical Hydraulic Gradient)
$\ln$	=	Natural Logarithm
k	=	สัมประสิทธิ์ความซึม
k_e	=	สัมประสิทธิ์ความซึมเทียบเท่า
K	=	ความซึมแท้จริง (intrinsic permeability)
L	=	ระยะทางที่น้ำซึมผ่านตัวกลางพรุน
m_v	=	สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร
n	=	ความพรุน
P	=	หน่วยแรงดันน้ำ
R_n	=	เรโนลด์นัมเบอร์
S	=	พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface)
T_v	=	Time Factor
v	=	ความเร็วการไหลซึม
v_a	=	ความเร็วการไหลซึมในสภาพจริง
v_m	=	ความเร็วการไหลซึมในแบบจำลอง

γ_w	=	หน่วยน้ำหนักของน้ำ
Z	=	ความสูงจากระดับฐานถึงจุดที่ต้องการหาแรงดัน,ระยะฝั่งของผนังที่บ้น้ำ
μ	=	ความหนืดพลศาสตร์ของของเหลว
ρ_r	=	อัตราส่วนความหนาแน่นของของเหลวระหว่างน้ำมันและน้ำ
μ_r	=	อัตราส่วนความหนืดของของเหลวระหว่างน้ำมันและน้ำ
ω	=	ความเร็วเชิงมุม
π	=	กลุ่มของปริมาณ ไม่มีหน่วยซึ่งในแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน

การศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำลอดใต้ผนังที่บ้น้ำด้วยแบบจำลองทางกายภาพ และแบบจำลองเชิงตัวเลข

The Study of Seepage Behavior Underneath Cutoff Wall by Physical Model and Numerical Model

คำนำ

การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำ เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นดินใต้อาคารทางชลศาสตร์ เช่น ฝาย ประตูระบายน้ำ อาคารทางชลศาสตร์ที่ตั้งอยู่ในลำน้ำ ผนังกันน้ำ หรือแม้กระทั่งตัวเขื่อนดินถมที่น้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนไปทางด้านท้ายน้ำ ในการประยุกต์ใช้งานจำเป็นต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณการไหลซึมมากกว่าปริมาณการไหลซึมที่ยอมรับได้ มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดผลเสียหายเนื่องจากการกัดเซาะพัฒนาเม็ดดินตามมา จากอดีตที่ผ่านมามีหลักฐานบันทึกไว้มากมายที่เกี่ยวข้องกับการวิบัติหรือพังทลายของดิน เนื่องจากน้ำไม่ว่าจะเป็น เขื่อนดินถม (แสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2) ฝายประตูระบายน้ำ หรือ อาคารชลศาสตร์ที่อยู่ในลำน้ำ ดังนั้นการศึกษาด้านการไหลซึมจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ผู้เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นวิศวกรผู้ออกแบบ วิศวกรรมการตรวจสอบและให้คำแนะนำในสิ่งเหล่านี้

ในการศึกษาการไหลซึมในปัจจุบันมีทั้ง แบบจำลองทางกายภาพ โดยทำการย่อส่วนลงมา หรือเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และยังมีอีกหลายวิธีที่นำมาใช้ในการศึกษาสำหรับในการศึกษานี้ ได้มีการจำลองผนังที่บ้น้ำจากสภาพจริงย่อส่วนลงมาให้มีขนาดเล็ก สามารถสังเกตพฤติกรรมในด้านที่ต้องการศึกษา ได้ภายในพื้นที่จำกัดเช่นห้องทดลอง โดยมีการควบคุมดูแลอย่างทั่วถึงใกล้ชิด แบบจำลองสามารถเลียนแบบจากสภาพจริงในสนามหรือกล่าวได้ว่ามีความคล้ายคลึงกันไม่ว่าจะเป็นความคล้ายคลึงด้านรูปทรง ความคล้ายคลึงด้านชลศาสตร์ ความคล้ายคลึงทางด้านสมดุลของแรงหรือแม้กระทั่งคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ต้องสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับสภาพจริง (Prototype) จากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบการไหลซึมด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) โดยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งอาศัยชุดหลักการทางคณิตศาสตร์ แล้วแทนค่าในสมการอนุพันธ์บางส่วนเพื่อหาคำตอบ มีการคำนวณรอบหลายครั้ง ซึ่งความแม่นยำของผลขึ้นอยู่กับความละเอียดในการแบ่งขนาดพื้นที่ย่อยที่เหมาะสมกับขอบเขตของปัญหา

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมผลการทดลองจากแบบจำลองกายภาพและผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในกรณีน้ำไหลซึมผ่านผนังที่บ้น้ำ เปรียบเทียบอัตราการไหลและความดันรวม ทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของเทอมไม่มีหน่วยระหว่างกัน วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณการไหลของแบบจำลองกายภาพในห้องทดลองกับปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นในสภาพจริง



ภาพที่ 1 การพัดของเขื่อน TETON เนื่องจากการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นฐานราก
ที่มา: วรากร (2546)



ภาพที่ 2 การพัดของเขื่อนมูลบนเนื่องจากการรั่วซึมผ่านชั้นฐานราก
ที่มา: วรากร (2546)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาขบวนการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Mathematical Model)
2. ศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมจากแบบจำลองคณิตศาสตร์
3. ศึกษาพฤติกรรมการณ์การไหลซึมที่เกิดขึ้นจริงจากแบบจำลองกายภาพ
4. เปรียบเทียบการไหลจริงในแบบจำลองและการไหลจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข
5. ศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลซึม ความสัมพันธ์ของกลุ่มปริมาณไร้หน่วยต่างๆ

ขอบเขตของงานวิจัย

1. อุปกรณ์สำหรับทดสอบการไหลซึม ได้แก่ แบบจำลองถังทราย ชุดเครื่องสูบน้ำและระบบไหลเวียน ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดความดันรวม ชุดอุปกรณ์ตรวจวัด pressure sensor
2. ประยุกต์วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) เพื่อการศึกษาการไหลซึม
3. ประยุกต์วิธีวิเคราะห์ dimensional analysis เพื่อการศึกษาการไหลซึม
4. ใช้วัสดุตัวกลางพรุนที่มีค่าความซึมผ่านจำกัดได้แก่ ทรายหยาบและทรายละเอียด และจำกัดขนาดของแบบจำลองสำหรับทดสอบในห้องทดลอง