# การกัดเซาะของน้ำต่อโครงสร้างสะพานและท่อ

นายสมรักษ์ ต่อวงศ์ไพฑูรย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-135-3

013124

# Effect of Scour on Bridge and Culvert

Mr. Somraks Torwongphaichayont

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การกัดเซาะของน้ำต่อโครงสร้างสะพานและท่อ |
| โดย | นายสมรักษ์ ต่อวงศ์ไพชยนต์ |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย |

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จักรี จัตุทะศรี)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ ตารานันทน์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกัดเซาะของน้ำต่อโครงสร้างสะพานและท่อ
ชื่อนิสิต นายสมรักษ์ ต่อวงศ์ไพฑูรย์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2526

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทคัดย่อ

สะพานและท่อลอด อันเป็นส่วนประกอบหนึ่งของถนนสำหรับการสัญจรที่ถูกสร้างขึ้นมาขวางการไหลของน้ำตามธรรมชาติ จึงนับเป็นโครงสร้างชลศาสตร์ประเภทหนึ่ง ดังนั้นการกัดเซาะโดยการไหลผ่านของน้ำ อาจเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักต่าง ๆที่ทำให้เกิดการวิบัติของสะพานและท่อได้ โดยเหตุที่ประเทศไทยอยู่ในระหว่างการพัฒนา จึงได้มีการก่อสร้างถนนในท้องถิ่นชนบทเพิ่มขึ้นในแต่ละปีเพื่อเร่งเร้าการพัฒนาเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของสังคมชนบท ประสบการณ์ที่ผ่านมาได้พบว่ามีโครงสร้างสะพานและท่อลอดของถนนชนบทจำนวนมากเกิดการวิบัติ ยังผลให้การสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งในด้านอุปสรรคของการสัญจรและการซ่อมแซมบำรุงรักษา จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาถึงสาเหตุของการวิบัติของโครงสร้างสะพานและท่อลอด ตลอดจนอิทธิพลของการกัดเซาะโดยการไหลของน้ำต่อโครงสร้างดังกล่าว

การศึกษาได้ทำการทบทวนและรวบรวมหลักวิชาการต่าง ๆ อันประกอบด้วย ทฤษฎีชลศาสตร์ของการกัดเซาะเบื้องต้น ผลการศึกษาและทดลอง และประสบการณ์ด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวกับการกัดเซาะ โดยเฉพาะการกัดเซาะต่อโครงสร้างที่ขวางการไหลของน้ำ และทำการศึกษาและรวบรวมหลักการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรม ในการสำรวจออกแบบก่อสร้างสะพานและท่อลอด ที่ได้มีการปฏิบัติโดยทั่วไปในวงงานวิศวกรรมของไทย

ตัวอย่างที่นำมาศึกษาและวิเคราะห์ เป็นเหตุการณ์วิบัติของสะพานและท่อลอดที่เกิดขึ้นจริงในช่วงปี 2520-2526 อันประกอบด้วยการวิบัติของสะพาน 4 แห่ง และการวิบัติของท่อลอด 57 แห่ง ข้อมูลในการศึกษาได้มาจากแบบแปลนของการก่อสร้างและซ่อมแซมที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม ภาพถ่าย และข้อมูลด้านอุทกวิทยา ซึ่งรวบรวมมาจากหน่วยงานต่าง ๆ และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามเพิ่มเติมระหว่างการศึกษา

การศึกษาได้พบว่าการวิบัติของสะพานส่วนใหญ่มีสาเหตุหลักมาจาก การกัดเซาะและการศึกษาออกแบบด้านชลศาสตร์และอุทกวิทยาไม่เพียงพอ ในกรณีของท่อลอดพบว่าเกิดการวิบัติจากการกัดเซาะด้านท้ายน้ำร้อยละ 60 และร้อยละ 35 มีผลมาจากการกัดเซาะและการออกแบบอัตราการระบายน้ำต่ำกว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งสรุปได้ว่าการกัดเซาะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการวิบัติของโครงสร้างสะพานและท่อลอด และยังได้พบว่ามีช่วงว่างในการพิจารณาวางแผนและการสำรวจออกแบบด้านวิศวกรรมโดยทั่วไปอันได้แก่การขาดความสนใจต่อการศึกษาปัญหาและออกแบบด้านชลศาสตร์และอุทกวิทยาให้เหมาะสมตามหลักวิชาการ โดยวิศวกรผู้ปฏิบัติงานมักจะให้ความสนใจเพียงด้านความแข็งแรงของโครงสร้างสะพานส่วนบนและฐานรากเท่านั้น ในตอนท้ายของการศึกษาได้มีข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่จะลดการวิบัติของโครงสร้างสะพานและท่อลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title Effect of scour on Bridge and Culvert
Name Mr. Somraks Torwongphaichayont
Thesis Advisor Associate Professor Chaipant Rukvichai, Ph.D
Department Civil Engineering
Academic Year 1983

## ABSTRACT

Bridges and culverts, the essential components of road for transportation, are counted as a type of hydraulic structures that obstruct the natural passage of water flow. Consequentially scouring by the flow of water may be one of the main causes for the failure of bridges and culverts. As Thailand is in a developing stage, more rural roads have been constructed each year to stimulate the growth of rural economy and quality of life. However, the failures of bridges and culverts are often experienced and causes the economic losses due to disruption of transportation and maintenance costs. It is thus interesting to study the causes of these failures as well as scouring by water flow upon these structures.

The study begins with the review and summary of some basic hydraulic theories on scouring, results of previous studies and experiments, and past engineering experiences related to scouring problems, especially the scouring of structures obstructing water flow. In addition, practical engineering procedures in the survey and design for the construction of bridges and culverts as normally practiced in

Thailand are delineated and summarized.

The study cases are the failures of bridges and culverts that actually happened during 1977-1983. They include 4 cases of bridge failures and 57 cases of culvert failures. Data and information employed in this study are mainly obtained from drawings for constructions and repairing works at various periods, data from field surveys, photographs of the events, and hydrologic data which are collected from various agencies. Further, some field survey and observations were also made during the study period for confirmation of data and information.

It is found that the failures of most bridges were mainly caused by scouring and inadequate study and design in the hydraulic and hydrological aspects. Meanwhile, the failures of road culverts were primarity caused by downstrcam erosion for about 60 percent and by erosion and the under-designed drainage capacity than that actually happened for about 35 percent. Consequently it may be concluded that scouring by water flow is an important factor for the failure of bridges and culverts. In addition there is a significant gap in the planning and the survey and design process in general. Such gap is the lack of interest in the proper study and design in the hydraulic and hydrological aspects. Engineers often concentrate only on the design works of superstructures and foundation. Some measures to reduce the failure of bridges and culverts have been recommended.

# กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์ ท่านศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์ ท่านรองศาสตราจารย์ จักรี จัตุทะศรี ท่านรองศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี และท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ คำสอน และคำแนะนำตลอดจนข้อคิดเห็นที่มีคุณค่า ทั้งในด้านหลักวิทยาการ และทุลักการปฏิบัติ เป็นเบ้าหลอมงานวิจัยชิ้นนี้จนเป็นรูปเป็นร่าง โดยเฉพาะท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย ได้สละเวลาและกำลังสมองให้คำชี้แนะปรุงแต่งเสริมสร้างอย่างใกล้ชิดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พบผลสำเร็จสมบูรณ์ ขณะเดียวกันได้สอดแทรกข้อคิดที่เป็นประโยชน์แก่การปฏิบัติงานนอกเหนือจากงานวิจัยนี้

อนึ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมชลประทาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ สำนักงานสถิติแห่งชาติ กรมทางหลวงแผ่นดิน กรมโยธาธิการ องค์การบริหารส่วนจังหวัดอุตรดิตถ์ องค์การบริหารส่วนจังหวัดเชียงราย และองค์การบริหารส่วนจังหวัดน่าน ที่มีส่วนสนับสนุนเอื้ออำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือด้านข้อคิดเห็นและข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บังคับบัญชาและเพื่อนร่วมงานในสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท ที่ได้ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์ทั้งแรงกาย แรงใจ ตลอดมา สำหรับทุนการทำวิจัยส่วนหนึ่งได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณท่านผู้อ่านที่จะนำผลลัพธ์แห่งงานวิจัยชิ้นนี้ก่อประโยชน์ต่อส่วนรวม แม้ผลงานการวิจัยยังไม่ดีเท่าที่ควรแต่ด้วยเจตนาแห่งอุดมการณ์ประสงค์จะได้เห็นการพัฒนาท้องถิ่นชนบทดำเนินบนหนทางที่ได้ผลคุ้มค่าการลงทุน จึงหวังว่าจะได้รับการตอบสนองจากท่านในการเผยแพร่ให้เป็นประโยชน์มากที่สุดสืบไป

สมรักษ์ ต่อวงศ์ไพชยนต์

สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตารางประกอบ..... ฌ

สารบัญภาพประกอบ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ความเป็นมา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 1

1.3 ขอบข่ายและการดำเนินการศึกษา ..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นของการกัดเซาะ (Basic theory of scour)... 4

2.1 ปรากฏการณ์การกัดเซาะ ..... 4

2.2 ชนิดของการกัดเซาะ ..... 9

2.2.1 การกัดเซาะตามพื้นผิว (General scour)..... 9

2.2.2 การกัดเซาะเฉพาะ(Local scour)..... 12

2.3 กลศาสตร์กัดเซาะ(Scouring Mechanics)..... 15

2.4 สถานะภาพของสิ่งก่อสร้างกับการกัดเซาะ ..... 21

2.4.1 การบีบตัวของลำน้ำ(Constriction)..... 21

2.4.2 สิ่งกีดขวางกระแสน้ำไหล(Flow Obstruction). 26

2.4.3 ท่อลอด (Culvert) ..... 33

บทที่ 3 ประสบการณ์ การศึกษาและผลงานการทดลอง ..... 39

3.1 บทนำ ..... 39

3.2 การศึกษาทั่วไปเกี่ยวกับกลศาสตร์กัดเซาะ ..... 39

หน้า

3.2.1 การศึกษาทดลองความเร็วกระแสน้ำและแรงเฉือนที่มีผลต่อการกัดเซาะ ..... 40
3.2.2 การศึกษาทดลองเกี่ยวกับความลึกกัดเซาะ ..... 45
3.3 การศึกษาทดลองการป้องกันการกัดเซาะ ..... 58
3.4 การศึกษาการกัดเซาะของท่อ ..... 61
บทที่ 4 หลักการปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธาและตัวอย่างกัดเซาะ ..... 68
4.1 บทนำ ..... 68
4.2 หลักการปฏิบัติการออกแบบด้านวิศวกรรมโยธาทั่วไป ..... 68
4.2.1 การสำรวจข้อมูลลำน้ำ ..... 69
4.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการออกแบบ ..... 73
4.2.3 แนวทางปฏบัติงานด้านวิศวกรรมในประเทศไทย ..... 74
4.3 ตัวอย่างการกัดเซาะของสะพาน ..... 77
4.3.1 คอสะพาน ..... 77
4.3.2 โครงสร้างสะพาน ..... 78
4.3.3 ท่อคอนกรีต ..... 85
4.3.4 โครงสร้างอื่น ๆ ..... 85
บทที่ 5 กรณีตัวอย่างสำหรับการศึกษาและข้อมูล ..... 88
5.1 แนวทางในการศึกษา ..... 88
5.1.1 คัดเลือกโครงการ ..... 88
5.1.2 เก็บและตรวจสอบข้อมูล ..... 89
5.1.3 วิเคราะห์และคำนวณ ..... 89
5.2 กรณีตัวอย่างการกัดเซาะสำหรับการศึกษา ..... 90
5.3 สะพานข้ามลำน้ำแม่กก (A) ..... 90
5.3.1 ที่ตั้งโครงการ ..... 90
5.3.2 ผลของการกัดเซาะ ..... 90
5.3.3 ข้อมูลที่ราบรวมได้ ..... 95

หน้า


5.4 สะพานข้ามลำน้ำว้า (B) ..... 95

5.4.1 ที่ตั้งโครงการ ..... 95

5.4.2 ผลของการกัดเซาะ ..... 98

5.4.3 ข้อมูลที่รวบรวมได้ ..... 98

5.5 สะพานข้ามลำน้ำเลย (C) ..... 102

5.5.1 ที่ตั้งโครงการ ..... 102

5.5.2 ผลของการกัดเซาะ ..... 102

5.5.3 ข้อมูลที่รวบรวมได้ ..... 107

5.6 สะพานข้ามคลองตรอน (D) ..... 108

5.6.1 ที่ตั้งโครงการ ..... 108

5.6.2 ผลของการกัดเซาะ ..... 108

5.6.3 ข้อมูลที่รวบรวมได้ ..... 108

5.7 ตัวอย่างกัดเซาะท่อลอด ..... 113

บทที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา ..... 126

6.1 บทนำ ..... 126

6.2 การวิเคราะห์การกัดเซาะโดยทฤษฎีและสูตร ..... 126

6.2.1 การคำนวณ ..... 126

6.2.2 การดำเนินการวิเคราะห์ ..... 127

6.2.3 สรุปผลการวิเคราะห์ ..... 137

6.3 การวิเคราะห์การกัดเซาะตัวอย่างท่อลอด ..... 137

6.3.1 การวิเคราะห์ ..... 140

6.3.2 สรุปผลการวิเคราะห์ ..... 141

บทที่ 7 สรุปและแนะนำ ..... 143

7.1 สรุปผลการศึกษา ..... 143

7.2 ข้อเสนอแนะ ..... 144

หน้า

เอกสารอ้างอิง ..... 147

ภาคผนวก ก ..... 154

ภาคผนวก ข ..... 173

ภาคผนวก ค ..... 197

ภาคผนวก ง ..... 221

ภาคผนวก จ ..... 240

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตารางประกอบ


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | ค่า $K_A, K_N$ ในเงื่อนไขต่างๆของPeir โดย Yarnell ..... | 32 |
| 3-1 | ความเร็ววิกฤตที่ทำให้วัสดุชนิดต่างๆเคลื่อน ..... | 42 |
| 3-2 | ค่าแรงเฉือนวิกฤต $\tau_c$ ที่ทำให้วัสดุต่างๆเคลื่อนที่ ..... | 42 |
| 3-3 | ค่าสัมประสิทธิ์ K สำหรับตอม่อรูปทรงต่างๆที่ตั้งขนานกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำ..... | 53 |
| 3-4 | ค่าสัมประสิทธิ์ K สำหรับตอม่อรูปทรงต่างๆที่ทำมุมกับทิศทางการไหล.. | 54 |
| 3-5 | ค่าสัมประสิทธิ์ $K_2$ ที่สัมพันธ์กับค่าความเร็ว ขนาดตอม่อ ความลึกน้ำ.. | 54 |
| 3-6 | สัมประสิทธิ์ประกอบสมการ 3.24,3.25 ..... | 66 |
| 5-1 | โครงการที่ใช้เป็นตัวอย่างกรณีศึกษา ..... | 91 |
| 5-2 | ตัวอย่างการศึกษาการกัดเซาะของท่อลอดถนน ..... | 114 |
| 6-1 | รายละเอียดขนาดโครงสร้างตอม่อและเสาเข็มแต่ละโครงการ ..... | 130 |
| 6-2 | คุณสมบัติดินท้องน้ำที่โครงการตั้งอยู่ ..... | 130 |
| 6-3 | ข้อมูลตัวแปรทางชลศาสตร์ในการคำนวณความลึกการกัดเซาะ ..... | 131 |
| 6-4 | ตารางแสดงสูตรต่างๆเกี่ยวกับความลึกการกัดเซาะ ..... | 132 |
| 6-5 | แสดงตัวแปรที่ต้องใช้ในแต่ละสูตรการคำนวณ ..... | 133 |
| 6-6 | สรุปค่าความลึกกัดเซาะ ..... | 134 |
| 6-7 | เปรียบเทียบความลึกกัดเซาะที่ได้จากการคำนวณกับที่วัดได้จริง ..... | 135 |
| 6-8 | สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะและสาเหตุการเกิดวิบัติขิงสะพาน ..... | 136 |
| 6-9 | สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะและสาเหตุการเกิดวิบัติของท่อลอด ..... | 142 |
| ก-1 | ลักษณะโครงการกรณีศึกษาA -สะพานข้ามลำน้ำแม่กก ..... | 156 |
| ก-2 | รายละเอียดโครงสร้างสะพานน้ำกก เมื่อสร้างเสร็จครั้งแรกในปี 2516 | 159 |
| ก-3 | รายละเอียดโครงสร้างสะพานน้ำกก( เมื่อมีการซ่อมสร้างภายหลังการกัดเซาะเมื่อปี 2521) ..... | 160 |
| ก-4 | ความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับความกว้างผิวน้ำของลำน้ำแม่กก ณ จุดที่ตั้งสะพาน..... | 161 |

ตารางที่ หน้า


ก-5 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์..... 170

ก-6 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำแม่กก..... 171

ข-1 ลักษณะโครงการ ตัวอย่างกัดเซาะ B สะพานข้ามลำน้ำว้า..... 175

ข-2 รายละเอียดองค์ประกอบโครงสร้างสะพานข้ามลำน้ำว้า..... 178

ข-3 เปรียบเทียบสถิติน้ำฝนเดือนกรกฎาคม ปี 2520-2524..... 179

ข-4 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์ ..... 194

ข-5 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำว้า ..... 195

ค-1 ลักษณะโครงการศึกษา C - สะพานข้าลำน้ำเลย ..... 199

ค-2 รายละเอียดโครงสร้างสะพานข้ามลำน้ำเลย ..... 202

ค-3 แสดงความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับความกว้างผิวน้ำ ..... 204

ค-4 แสดงชั้นความหนาของดิน ..... 205

ค-5 แสดง Seive analysis ของดินท้องถิ่น..... 205

ค-6 สรุปผลการทดสอบดินท้องน้ำในลำน้ำเลย ..... 210

ค-7 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์ (ข้อมูลปี 2521) ..... 215

ค-8 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำเลย (ปี 2521)... 216

ค-9 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์เพิ่มเติมจากปี 2521 ..... 218

ค-10 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำเลย (ปี 2523)... 219

ง-1 ลักษณะโครงการกรณีศึกษา D - สะพานข้ามคลองตรอน ..... 223

ง-2 รายละเอียดโครงสร้างสะพานข้ามคลองตรอน (ก่อนก่อสร้างเพิ่มเติม)... 225

ง-3 รายละเอียดโครงสร้างสะพานข้ามคลองตรอน (หลังก่อสร้างเพิ่มเติม)... 226

ง-4 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์ ..... 234

ง-5 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามคลองตรอน (ปี 2521).. 235

ง-6 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์ที่เปลี่ยนแปลงจากปี 2521 .... 237

ง-7 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะสะพานข้ามคลองตรอน (ปี 2523) .... 238

# สารบัญภาพประกอบ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | กราฟแสดงการขยายของหลุมกัดเซาะ ..... | 6 |
| 2-2 | มิติและปริมาตรของหลุมกัดเซาะ ..... | 6 |
| 2-3 | ความสัมพันธ์ของเวลากับความลึกกัดเซาะ ..... | 7 |
| 2-4 | กราฟแสดงการขยายตัวของหลุมกัดเซาะตามเวลาโดยใช้ขนาดเสาที่แตกต่างกัน ..... | 8 |
| 2-5 | ระดับท้องลำน้ำที่ถูกกัดเซาะ ..... | 13 |
| 2-6 | ค่าระดับต่าง ๆ เพื่อการคำนวณการกัดเซาะ ..... | 13 |
| 2-7 | การกัดเซาะรอบตอม่อชนิดต่าง ๆ ..... | 14 |
| 2-8 | แสดงแรงกระทำบนอนุภาคดินในการไหลแบบลามินาร์ ..... | 17 |
| 2-9 | แสดงแรงกระทำบนอนุภาคดินในการไหลแบบเทอร์บูเล้นท์ ..... | 17 |
| 2-10 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักทราย (เปียก) และ $N_s$ ..... | 20 |
| 2-11 | กราฟแสดงความเร็วการตกตะกอนตามขนาดของเม็ดทราย ..... | 22 |
| 2-12 | แสดงกระแสน้ำขณะไหลผ่าน ..... | 25 |
| 2-13 | ระดับผิวน้ำขณะไหลผ่าน Constriction ..... | 25 |
| 2-14 | สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำไหลของ Constriction ที่ริมฝั่งลาดเอียง .. | 27 |
| 2-15 | กราฟแสดง $K_e$, $K_t$ และ $K_j$ สำหรับ Constriction ทุกประเภท | 28 |
| 2-16 | ภาพแสดงการไหลผ่าน Obstruction ของน้ำ ..... | 30 |
| 2-17 | ค่า $\sigma$ สำหรับกระแสน้ำในสถานะการไหลของ Subcritical และ Supercritical flow..... | 30 |
| 2-18 | กราฟแสดงค่า $\beta$ ในสูตรของ Nagler ..... | 30 |
| 2-19 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความลาดเอียง ขนาดรูปทรงของท่อ ต่อการจำแนก Hydraulically short and long..... | 36 |
| 2-20 | ชนิดของการไหลในท่อ ..... | 37 |
| 2-21 | กราฟแสดงค่าแรงดันสำหรับท่อกลมที่มีขอบเหลี่ยมและน้ำไหลไม่เต็มท่อ | 38 |
| 2-22 | กราฟแสดงค่าแรงดันสำหรับท่อเหลี่ยมที่มีของเหลี่ยมและน้ำไหลไม่เต็มท่อ | 38 |

| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3-1 | แสดงค่า $\tau_c$ ในสมการของเส้นผ่าศูนย์กลางวัสดุท้องน้ำ ..... | 44 |
| 3-2 | กราฟของShield แสดงค่า $\tau_c$ ในอัตราส่วนขนาดวัสดุต่อความหนาของLaminar layer ..... | 44 |
| 3-3 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Q ต่อความกว้างผิวน้ำ ..... | 48 |
| 3-4 | ความสัมพันธ์ความลึกการกัดเซาะกับความเร็วกระแสน้ำ ..... | 48 |
| 3-5 | ความลึกกัดเซาะแปรเปลี่ยนตามเวลา ..... | 48 |
| 3-6 | ความลึกกัดเซาะสมดุลย์ ณ ตอม่อสะพาน ..... | 49 |
| 3-7 | ค่าคงที่สำหรับออกแบบของตอม่อที่ไม่ได้วางอยู่ในแนวทิศทางการไหลของกระแสน้ำ ..... | 49 |
| 3-8 | ความลึกกัดเซาะสมดุลย์ในค่าของความกว้างของตอม่อโดยสมมุติให้วางวางในแนวทิศทางกระแสน้ำ ..... | 55 |
| 3-9 | ความลึกกัดเซาะต่อเวลา ..... | 57 |
| 3-10 | การกัดเซาะจุดที่ตั้งตอม่อริมฝั่งและตอม่อใกล้เคียง ..... | 57 |
| 3-11 | กราฟการคำนวณการกัดเซาะตอม่อริมฝั่ง ..... | 59 |
| 3-12 | การลดค่ากัดเซาะสำหรับค่ามุมต่าง ๆ ..... | 59 |
| 3-13 | ปรากฏการณ์การเกิด คลื่นเนื่องมาจากรูปทรงตอม่อต่อการไหล .. | 60 |
| 3-14 | การกัดเซาะต่อเวลา ..... | 60 |
| 3-15 | ผังการเคลื่อนที่ของทรายผ่านตอม่อ ..... | 62 |
| 3-16 | รูปทรงของตอม่อที่สวมวงแหวนป้องกันการกัดเซาะ ..... | 62 |
| 3-17 | กราฟแสดงผลของอัตราส่วนต่อความลึกกัดเซาะ ..... | 62 |
| 3-18 | กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองความลึกกัดเซาะสำหรับตอม่อที่มีแหวนกับทฤษฎี ..... | 63 |
| 3-19 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Shear number กับค่าของ S/D, L/D, $Vol/D^3$ ..... | 67 |
| 3-20 | กราฟแสดงการกัดเซาะต่อเวลา ..... | 67 |
| 4-1 | ตัวอย่างแผนที่แสดงภูมิประเทศที่ตั้งสะพาน ..... | 71 |
| 4-2 | แบบแสดงระดับความสูงพื้นที่ใกล้เคียงสะพานทั้งต้นน้ำและท้ายน้ำทุกระดับ 1.0 เมตร และทิศทางน้ำไหล ..... | 71 |

หน้า

ภาพที่


4-3 ต้นชุงขนาด 1.20 เมตร ยาว 20 เมตร ถูกพัดมาติดค้างตาตอม่อ ม่อสะพาน ซึ่งไม่ได้ออกแบบให้รับแรงกระแทกจากต้นชุง เป็นผลจากการสำรวจข้อมูลที่ผิดพลาด ..... 72

4-4 แผนภูมิแสดงการปฏิบัติการทั่วไปในการออกแบบสะพานทั้งขบวนการ. 75

4- 5 แผนภูมิเปรียบเทียบขั้นตอนการปฏิบัติที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ .... 76

4-6 ดินถมคอสะพานถูกกัดเซาะจนขาดเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ผิวจราจรหายไปหนึ่งช่องทาง ..... 79

4-7 หินเรียงยาแนวป้องกันคอสะพานทรุดลง เนื่องจากทนการกัดเซาะอย่างรุนแรงจากกระแสน้ำไม่ไหว ..... 79

4-8 ตอม่อสะพานไม้ในเขตอำเภอปากชม จ.เลย ถูกกระแสน้ำกัดเซาะจนไม่สามารถรับน้ำหนักได้ และทรุดตัวลงในที่สุด ..... 80

4-9 สะพานไม้อีกแห่งหนึ่งในพื้นที่เดียวกับ ถูกกัดเซาะในลักษณะเดียวกัน แต่มีสภาพที่เลวร้ายกว่า ..... 80

4-10 ในสภาวะการณ์ที่รุนแรง ระดับน้ำได้ท่วมถึงระดับคานของสะพานไม้แห่งหนึ่ง โครงสร้างได้รับแรงกระทำด้านข้างและถูกกัดเซาะด้านล่างโครงสร้างส่วนบนจึงเซตามแรงน้ำ ..... 81

4-11 หลังการกัดเซาะอย่างรุนแรง คอสะพานขาด ตอม่อทรุดและล้ม คานหัก เป็นอีกสภาพหนึ่งโครงสร้างที่เกิดวิบัติ ..... 81

4-12 ร่องรอยสถานที่ตั้งสะพานถูกกระแสน้ำกัดเซาะ โครงสร้างทั้งหมดถอนออกและพัดลอยไปกับน้ำ ..... 82

4-13 ทัศนียภาพที่เหลือไว้แต่ความว่างเปล่า หลังสะพานถูกพัดลอยไป .... 83

4-14 กระแสน้ำกัดเซาะคอสะพาน คสล.ขาด ตอม่อถูกดัเซาะจนทรุดลงทำให้พื้นสะพานหักเป็นมุม ..... 84

4-15 ผลจากการกัดเซาะอย่างรุนแรงพัดพาดินรอบเสาเข็มไปทำให้เสาเข็มต้านน้ำหนักไม่ไหว จึงหักในที่สุด ..... 84

4-16 ท่อขนาด 0.80 เมตร ถูกกัดเซาะเสียหายใช้การไม่ได้ ..... 86

4-17 อีกภาพหนึ่งของท่อลอดที่ถูกกระแสน้ำกัดเซาะเสียหาย ..... 86

| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4-18 | สภาพทางน้ำผ่านถนน(Wet crossing) ที่ถูกกัดเซาะด้านท้ายน้ำ | 87 |
| 5-1 | แผนที่แสดงที่ตั้งสะพานแต่ละโครงการ ..... | 92 |
| 5-2 | แผนที่แสดงลักษณะลำน้ำที่คดเคี้ยวก่อนถึงสะพานข้ามลำน้ำแม่กก .. | 93 |
| 5-3 | แบบสะพานข้ามลำน้ำแม่กก ก่อนและหลังการกัดเซาะ และการก่อสร้างเพิ่มความยาวสะพานให้พ้นแนวกัดเซาะ ..... | 94 |
| 5-4 | เสาเข็มที่ดีเป็นพืดลดการกัดเซาะ แต่ไม่ได้ผล ..... | 96 |
| 5-5 | คอสะพานถูกกระแสน้ำกัดเซาะขาด การขนถ่ายสินค้าหยุดชงัก สังเกตุเห็นตอม่อตับ 2,3 มีสวะ กิ่งไม้พันรอบ ตอม่อเกิดการทรุดตัว ... | 96 |
| 5-6 | แผนที่แสดงเส้นทางคมนาคมรอบที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำว้า ..... | 97 |
| 5-7 | แบบแสดงโครงสร้างทั่วไปของสะพานข้ามลำน้ำว้า ..... | 99 |
| 5-8 | รูปทรงลำน้ำว้า ส่วนโค้งลำน้ำอยู่ห่างจากสะพานประมาณ 100 เมตร | 100 |
| 5-9 | กราฟแสดงระดับน้ำบริเวณลำน้ำว้า สำรวจในปี 1981 (ปีน้ำ).... | 101 |
| 5-10 | เสาเข็มที่ออกแบบสำหรับตอกจิกลงในชั้นหิน ..... | 103 |
| 5-11 | ขากสะพานส่วนพื้นและฐานที่มีสวะ กิ่งไม้พันติดแน่นอยู่รอบ ..... | 103 |
| 5-12 | รูปทรงลำน้ำก่อนถึงที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำเลย ..... | 104 |
| 5-13 | แบบแสดงโครงสร้างสะพานข้ามลำน้ำเลย ..... | 105 |
| 5-14 | สภาพความเสียหายของสะพานน้ำเลย ..... | 106 |
| 5-15 | แปลนแสดงบริเวณที่ตั้งสะพาน ..... | 109 |
| 5-16 | สภาพตอม่อสะพานทรุดลงจนเห็นได้ชัดอันเป็นผลจากการกัดเซาะ . | 110 |
| 5-17 | ริมฝั่งคลองตรอนด้านท้ายน้ำของสะพาน มีการก่อสร้างเครื่องป้องกันกัดเซาะเป็นระยะ แสดงให้เห็นถึงความรุนแรงของการกัดเซาะที่เกิดขึ้นตลอด ..... | 110 |
| 5-18 | รูปหน้าตัดลำน้ำตรอน สำรวจก่อนและหลังการกัดเซาะ ..... | 111 |
| 5-19 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 18 ..... | 122 |
| 5-20 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 31 ..... | 122 |
| 5-21 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 32 ..... | 123 |
| 5-22 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 34 ..... | 123 |

| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 5-23 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 36..... | 124 |
| 5-24 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 42 ..... | 124 |
| 5-25 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 45 ..... | 125 |
| 5-26 | ภาพประกอบตัวอย่างกรณีศึกษาท่อลอดที่ 57 ..... | 125 |
| 6-1 | ลักษณะน้ำไหลล้นข้ามถนน และกัดเซาะด้านท้ายน้ำ เป็นเหตุให้ถนนขาด สาเหตุมาจากการออกแบบพื้นที่รับน้ำไม่เพียงพอ ..... | 138 |
| 6-2 | การกัดเซาะปากทางน้ำออกของท่อ ทำให้ดินรองรับท่อหาย ท่อทรุด และถนนขาด ..... | 139 |
| 6-3 | น้ำกัดเซาะตามรอยต่อของท่อ เริ่มต้นจากจุดเล็ก และขยายจนกลายเป็นหลุมใหญ่ ..... | 139 |
| ก-1 | ลักษณะสะพานข้ามลำน้ำแม่กกเมื่อก่อสร้างครั้งแรก (2516) และหลังจากการซ่อมแซม ต่อเติม (2521) ..... | 164 |
| ก-2 | ทัศนียภาพสะพานข้ามลำน้ำแม่กก และลักษณะตอม่อ ..... | 165 |
| ก-3 | ภาพสะพานข้ามลำน้ำแม่กกทั้งโครงการในสภาพเดิม ..... | 165 |
| ก-4 | ตอม่อริมฝั่งตับ เอฟ หลังถูกกระแสน้ำกัดเซาะและจะสังเกตเห็นสวะติดตามตอม่อ ..... | 166 |
| ก-5 | การขนถ่ายสินค้าเกษตรต้องชวัก รถยนต์วิ่งผ่านสะพานไม่ได้ต้องใช้วิธีขนถ่ายด้วยแรงคน ..... | 166 |
| ก-6 | รูปกัดเซาะสะพานข้ามลำน้ำแม่กก ปี 2518 ..... | 167 |
| ก-7 | อัตราการไหลในลำน้ำแม่กก ปี 2519 วัดที่สถานีบ้านท่ากกโดยสำนักงานพลังงานแห่งชาติ ..... | 168 |
| ก-8 | แสดงชั้นดินตามขวางของลำน้ำช่วงตำแหน่งที่ถูกกัดเซาะ ..... | 169 |
| ข-1 | สถานที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำว้า ..... | 182 |
| ข-2 | ลักษณะสะพานข้ามลำน้ำว้า ..... | 183 |
| ข-3 | แบบแสดงเส้นระดับผิวดินบริเวณที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำว้า ..... | 184 |
| ข-4 | สภาพทั่วไปบริเวณที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำว้า มองจากด้านท้ายน้ำ .. | 185 |
| ข-5 | โครงสร้างสะพานส่วนที่เหลืออยู่ทางด้านส่วนโค้งนอกของลำน้ำ ... | 185 |

| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ข-6 | ส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างสะพาน กระจายอยู่ด้านท้ายน้ำ และส่วนใหญ่อยู่ด้านส่วนโค้งในของลำน้ำ ..... | 186 |
| ข-7 | โครงสร้างส่วนพื้นวางตะแคงฝังอยู่ในดินท้องน้ำ ..... | 186 |
| ข-8 | อีกมุมหนึ่งของโครงสร้างส่วนพื้น ซึ่งไม่ปรากฏรอยแตกร้าว ..... | 187 |
| ข-9 | คอม่อแตกหักพับอยู่บนฐานราก ปริมาณสวะ กิ่งไม้ที่ติดอยู่สามารถทำให้คอม่อกลายเป็นแผ่นทึบ และถูกแรงน้ำกระทำ ..... | 187 |
| ข-10 | ภาพมุมใกล้ ทำให้เห็นเสาเข็มที่แตก แต่ยังอยู่ที่เดิม ..... | 188 |
| ข-11 | ส่วนของฐานรากที่ถูกกัดเซาะ เดิมนั้นฝังอยู่ใต้ระดับท้องน้ำประมาณ 1.50 เมตร ..... | 188 |
| ข-12 | ริมฝั่งคลิ่งที่ถูกกัดเซาะ ห่างจากสะพานไปทางท้ายน้ำประมาณ 50 เมตร คาดว่าเกิดจากกระแสน้ำเบี่ยงเบนจากแนวหินฝั่งตรงข้าม (ปี 2525) | 189 |
| ข-13 | ริมฝั่งคลิ่งทางต้นน้ำก่อนถึงสะพานมีสภาพถูกกัดเซาะเช่นกัน (ปี 2525) | 189 |
| ข-14 | แนวชั้นหินด้านต้นน้ำของสะพาน ห่างจากสะพานประมาณ 50 เมตร | 190 |
| ข-15 | แนวชั้นหินด้านท้ายน้ำของสะพาน ห่างจากสะพานประมาณ 50 เมตร | 191 |
| ข-16 | สภาพภูมิประเทศทั่วไปด้านต้นน้ำของสะพาน (ปี 2525) ..... | 192 |
| ข-17 | สภาพภูมิประเทศทั่วไปด้านท้ายน้ำของสะพาน (ปี 2525) ..... | 193 |
| ค-1 | แสดงที่ตั้งสะพาน คสล. ข้ามลำน้ำเลย ..... | 207 |
| ค-2 | ลักษณะสะพานข้ามลำน้ำเลย และระดับท้องน้ำที่คาดคะเนหลังการกัดเซาะเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2523 ..... | 208 |
| ค-3 | ระดับชั้นดินบริเวณก่อสร้างสะพาน คสล.ข้ามลำน้ำเลย (สำรวจปี 2524) ..... | 209 |
| ค-4 | กราฟแสดงการทดสอบการเรียงเม็ด ดินท้องน้ำลำน้ำเลย ..... | 211 |
| ค-5 | ทัศนียภาพบริเวณที่ตั้งสะพาน หลังจากสะพานพังทลายแล้ว ..... | 212 |
| ค-6 | สภาพความเสียหายของสะพานด้านฝั่งหมู่บ้านน้ำพร ..... | 212 |
| ค-7 | สภาพพื้นสะพานที่ได้รับความเสีย (สำรวจปี 2523)..... | 213 |
| ค-8 | พื้นสองช่วงที่วางอยู่ในแนวเดิม สภาพปกติ ..... | 213 |

| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ค-9 | สภาพความเสียหายของตอม่อตับ สังเกตเห็นสวะพันแน่นอยู่กับฐานราก ..... | 214 |
| ค-10 | ตำแหน่งและระดับของพื้นสองช่วงที่หลุดออกจากกัน สามารถคาดการณ์ลักษณะการพังทลายได้ ..... | 214 |
| ง-1 | ที่ตั้งสะพานหมู่บ้านแก่ง จ.อุตรดิตถ์ ..... | 229 |
| ง-2 | แสดงการกัดเซาะสะพานคลองครอนในตำแหน่งตอม่อที่ทรุดตัว และเปรียบเทียบระดับท้องน้ำที่ถูกกัดเซาะระหว่างปี 2521 และ 2523 . | 230 |
| ง-3 | สภาพต้นน้ำของสะพานก่อนการก่อสร้างสะพาน ซึ่งอยู่ในตำแหน่งใกล้ส่วนโค้งของลำน้ำมาก (ปี 2514) ..... | 231 |
| ง-4 | สภาพ ณ จุดก่อสร้างสะพานก่อนเริ่มโครงการก่อสร้าง (ปี 2514) | 231 |
| ง-5 | ตอม่อสะพานตับที่ทรุดลง จะเห็นได้ชัดทางด้านข้างของสะพาน แต่พื้นและตอม่อไม่ปรากฏรอยแตกร้าว (ปี 2525) ..... | 232 |
| ง-6 | ระดับการทรุดตัวของตอม่อที่ปรากฏ เมื่อมองเปรียบเทียบกับระดับทางเท้าและราวสะพาน (ปี 2525) ..... | 232 |
| ง-7 | สภาพทางต้นน้ำของสะพาน หลังจากที่ได้มีการกัดเซาะหลาย ๆ ปี (ปี 2525) ..... | 233 |
| ง-8 | สภาพท้ายน้ำของสะพาน (ปี 2525) ..... | 233 |
| จ-1 | Chart for selecting a trial pier opening width ..... | 241 |
| จ-2 | Chart ของ Neil (1973) หาค่า Competent mean Velocity สำหรับ Cohesionless material..... | 242 |
| จ-3 | Chart แสดงค่าความสัมพันธ์ ของ Froude Number และ Conveyance ratio ..... | 243 |
| จ-4 | Chart แสดงความสัมพันธ์ ของ $\beta$ และ Conveyance ratio | 244 |
| จ-5 | กราฟสำหรับหา Backwaterของน้ำที่ผ่านตอม่อสะพานในสภาวะการไหลแบบ Subcritical flow ..... | 245 |
| จ-6 | กราฟสำหรับหาBackwater ของน้ำที่ผ่านตอม่อสะพานในสภาวะการไหลแบบ Supercritical flow..... ..... | 246 |

ภาพที่ หน้า

จ-7 Effect of increase in length of bridge pier..... 247

จ-8 บันทึกประวัติการกัดเซาะด้วยเครื่อง Sonic Depth Sounder..... 248

จ-9 ระดับน้ำสูงสุดของ Backwater ใน Rigid Channel ..... 249

จ-10 ระดับน้ำของ Backwater ใน Rigid Channel ..... 250

จ-11 ระดับน้ำของ Backwater ใน Rigid Channel ..... 251

จ-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของ $h^*/h$ ใน Rigid bed และ Alluvial Bed ..... 252

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย