

การเกิดไฮดรอลิกจิมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น



นายสมบุญ วัฒนาสุวรรณ

005225

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๓

HYDRAULIC JUMP OVER A ROLLING BED

Mr. Somboon Vatanasuvran

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1980


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น

โดย นายสมบุญ วัฒนาสุวรรณ


ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

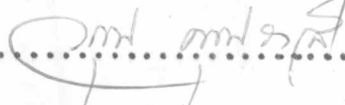
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ วรณ คุณวาสิ

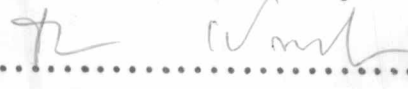
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต


.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ ชุมนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ ตารานันท์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วรณ คุณวาสิ)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชำรง เปรมปรีดิ์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จักรี จิตฺหะศรี)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเกิดไฮดรอลิคจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น
 ชื่อนิสิต นายสมบุญ วัฒนาสุวรรณ
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ วรณ คุ้มวาสี
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 ปีการศึกษา ๒๕๒๒



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเกิดไฮดรอลิคจัมของทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มี
 ท้องน้ำเป็นคลื่น โดยมีฟร็ดนัมเบอร์และระยะห่างของตัวคลื่นเป็นตัวแปร การทดลอง
 ได้กำหนดตำแหน่งของคลื่นตัวแรกขึ้น และตำแหน่งของคลื่นตัวแรกนี้เป็นจุดเริ่มต้นการ
 เกิดไฮดรอลิคจัม

การทดลองได้ใช้ท่อผ่าครึ่งในการทำท้องน้ำให้เป็นคลื่น โดยให้ระยะห่าง
 ของตัวคลื่นวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง แปรจาก ๑๐ ถึง ๒๔ เท่า ของความสูง
 ของตัวคลื่นและฟร็ดนัมเบอร์แปรจาก ๓ ถึง ๗

จากผลการทดลองได้พบว่า ที่ฟร็ดนัมเบอร์เดียวกัน การเกิดไฮดรอลิคจัม
 เหนือท้องน้ำที่เป็นคลื่นจะทำให้พลังงานสูญเสียมากกว่าการเกิดไฮดรอลิคจัม เหนือท้อง
 น้ำที่ราบเรียบ และระยะห่างของตัวคลื่นมีผลต่อตำแหน่งที่เกิดไฮดรอลิคจัม

Thesis Title Hydraulic Jump over a Rolling Bed
Name Mr. Somboon Vatanasuvran
Thesis Advisor Associate Professor Varoon Khunvasi
Department Civil Engineering
Academic Year 1979

ABSTRACT

Experimental studies of hydraulic jumps occurring over a rolling bed in a rectangular channel for various Froude numbers and various spacing of rollers were observed. It was found that the occurrence of a hydraulic jump depended on the location of the first roller.

Experiments were conducted by using half pipe as a roller. The relative roller spacing from center to center varied from 10 to 28 of the roller height and varied from 3 to 7 for Froude number.

Experimental results indicate that at the same Froude number, the hydraulic jumps over a rolling bed can be dissipated more energy than a smooth bed and the location of hydraulic jump is affected by the spacing of the roller.

กิตติกรรมประกาศ



ในการเขียนวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์
วรุณ คุณวาสี ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำความรู้ทั้งภาค
ทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย
ศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ ตารานันท์ รองศาสตราจารย์ จักริ จิตฺตะศรี และรอง
ศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดี ที่กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนสำหรับ
การวิจัยเรื่องนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทดลอง

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณ นางสาวอรนุช ชัดพันธุ์ และ นางสาวโมทนา ธนินชัย
ซึ่งเป็นผู้พิมพ์ต้นฉบับของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนเพื่อน ๆ ทุก ๆ คนที่ได้ให้ความช่วยเหลือใน
การวิจัยครั้งนี้

สมบุญ วัฒนาสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตารางประกอบ	ญ
รายการภาพประกอบ	ฎ
สัญลักษณ์	ท



บทที่

๑. บทนำ	๑
๑.๑ ความเป็นมา	๑
๑.๒ ความสำคัญของปัญหา	๑
๑.๓ จุดมุ่งหมายในการวิจัย	๒
๑.๔ ขอบเขตของการวิจัย	๒
๑.๕ วิธีที่จะดำเนินการวิจัย	๒
๑.๖ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	๓
๒. ภูมิหลังของการวิจัย	๔
๓. ทฤษฎีบท	๖
๓.๑ ไฮดรอลิกจัม	๖
๓.๒ ชนิดของไฮดรอลิกจัม	๗
๓.๓ แผนภูมิของพลังงานจำเพาะ	๑๐

๓.๔	Critical flow , Subcritical flow และ Supercritical flow	๑๑
๓.๕	Continuity Equation	๑๒
๓.๖	Bornoulli Equation	๑๓
๓.๗	Momentum Equation	๑๔
๓.๘	Sluice gate	๑๕
๓.๙	Profile of Jump	๑๗
๓.๑๐	Air Entrainment	๑๗
๔.	การวิเคราะห์หัตถุขภูบและข้อมูล	๑๙
๔.๑	สมมติฐาน	๑๙
๔.๒	การวิเคราะห์สมการของไฮดรอลิคจัม	๑๙
๔.๓	การวิเคราะห์สมการการสูญเสียพลังงานของไฮดรอลิคจัม	๒๒
๔.๔	การวิเคราะห์ข้อมูล	๒๙
๔.๔.๑	การหาปริมาณน้ำ	๒๙
๔.๔.๒	การหาค่าอื่น ๆ ในตาราง	๒๙
๔.๕	ผลการทดลอง และ วิจารณ์ผลการทดลอง	๓๑
๕.	ข้อข่ายของงานที่ใช้ในการทดลอง	๓๒
๕.๑	การออกแบบและติดตั้งเครื่องมือ	๓๒
๕.๒	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	๓๓
๕.๓	วิธีทำการทดลอง	๓๓
๕.๔	วิธีการวัด	๓๔
๕.๔.๑	การวัดปริมาณน้ำ	๓๔
๕.๔.๒	การวัดค่าความลึกของน้ำ	๓๕
๕.๔.๓	การวัดความยาวของจัม	๓๕

บทที่

หน้า

๖. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	๓๗
๖.๑ ข้อสรุป	๓๗
๖.๒ ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป	๓๘
เอกสารอ้างอิง	๔๓
ภาคผนวก	๔๖
ประวัติผู้เขียน	๑๐๒

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
๑. แสดงข้อมูลและผลการทดลองการเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นราบ	
๑.๑ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๔.๗๖๒๙ ลิตร/วินาที	๓๙
๑.๒ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๖.๔๔๑๕ ลิตร/วินาที	๔๐
๑.๓ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๗.๐๒๓๒ ลิตร/วินาที	๔๑
๑.๔ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๘.๖๒๕๑ ลิตร/วินาที	๔๒
๑.๕ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๙.๓๐๕๕ ลิตร/วินาที	๔๓
๑.๖ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๑๐.๙๕๐๐ ลิตร/วินาที	๔๔
๑.๗ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๑๓.๒๔๔๘ ลิตร/วินาที	๔๕
๒. แสดงข้อมูลและผลการทดลองการเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น	
โดยมีระยะห่างของคลื่นเป็น ๑๐ เท่าของความสูงและ	
๒.๑ มีปริมาณน้ำเป็น ๖.๔๕๙๒ ลิตร/วินาที	๔๖
๒.๒ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๗.๒๓๕๖ ลิตร/วินาที	๔๗
๒.๓ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๘.๓๗๘๕ ลิตร/วินาที	๔๘
๒.๔ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๙.๓๓๘๑ ลิตร/วินาที	๔๙
๒.๕ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๑๑.๕๐๓๒ ลิตร/วินาที	๕๐
๒.๖ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๑๓.๔๖๙๕ ลิตร/วินาที	๕๑
๓. แสดงข้อมูลและผลการทดลองการเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น	
โดยมีระยะห่างของคลื่นเป็น ๑๔ เท่าของความสูง และ	
๓.๑ มีปริมาณน้ำเป็น ๖.๓๖๐๓ ลิตร/วินาที	๕๒
๓.๒ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๗.๒๑๕๓ ลิตร/วินาที	๕๓
๓.๓ เมื่อปริมาณน้ำเป็น ๘.๔๕๙๐ ลิตร/วินาที	๕๔

ตารางที่

หน้า

๓.๔	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๔.๔๖๔๖	ลิตร/วินาที	.....	๕๕
๓.๕	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๑๑.๔๖๔๔	ลิตร/วินาที	.....	๕๖
๓.๖	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๑๓.๒๖๕๐	ลิตร/วินาที	.....	๕๗
๔.	แสดงข้อมูลและผลการทดลอง การเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น				
	โดยมีระยะห่างของคลื่นเป็น ๒๐ เท่าของความสูง และ				
๔.๑	มีปริมาณน้ำเป็น	๕.๐๗๑๒	ลิตร/วินาที	.....	๕๘
๔.๒	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๖.๒๗๘๕	ลิตร/วินาที	.....	๕๙
๔.๓	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๗.๒๐๐๓	ลิตร/วินาที	.....	๖๐
๔.๔	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๘.๕๒๐๙	ลิตร/วินาที	.....	๖๑
๔.๕	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๘.๙๘๖๕	ลิตร/วินาที	.....	๖๒
๔.๖	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๑๑.๑๒๕๙	ลิตร/วินาที	.....	๖๓
๔.๗	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๑๓.๒๙๗๑	ลิตร/วินาที	.....	๖๔
๕.	แสดงข้อมูลและผลการทดลองการเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น				
	โดยมีระยะห่างของคลื่นเป็น ๒๔ เท่าของความสูง และ				
๕.๑	มีปริมาณน้ำเป็น	๕.๑๕๖๓	ลิตร/วินาที	.....	๖๕
๕.๒	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๖.๔๔๒๗	ลิตร/วินาที	.....	๖๖
๕.๓	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๗.๕๐๔๔	ลิตร/วินาที	.....	๖๗
๕.๔	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๘.๕๘๕๓	ลิตร/วินาที	.....	๖๘
๕.๕	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๙.๕๐๖๐	ลิตร/วินาที	.....	๖๙
๕.๖	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๑๑.๕๙๘๗	ลิตร/วินาที	.....	๗๐
๕.๗	เมื่อปริมาณน้ำเป็น	๑๓.๕๓๓๗	ลิตร/วินาที	.....	๗๑
๐.๑	คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในหน่วย fps	.....			๙๗
๐.๒	คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในหน่วย cgs	.....			๙๙

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
๓.๑	HYDRAULIC JUMP	๖
๓.๒	UNDULAR JUMP	๗
๓.๓	WEAK JUMP	๗
๓.๔	OSCILLATING JUMP	๗
๓.๕	STEADY JUMP	๘
๓.๖	STRONG JUMP	๘
๓.๗	การไหลของของเหลวใน Stream tube	๑๓
๓.๘	การไหลของของเหลวใน Stream tube	๑๔
๓.๙	Sluice gate	๑๖
๔.๐	HYDRAULIC JUMP	๒๑
๔.๑	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 และ Y_2/Y_1	๗๒
๔.๒	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 และ Y_3/Y_1	๗๓
๔.๓	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 และ $(\Delta E)_{12}/E_1$ %	๗๔
๔.๔	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 และ $(\Delta E)_{13}/E_1$ %	๗๕
๔.๕	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y_2/Y_1 และ $(\Delta E)_{12}/E_1$ %	๗๖
๔.๖	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y_3/Y_1 และ $(\Delta E)_{13}/E_1$ %	๗๗
๔.๗	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 และ $(\Delta E)_{12}/Y_1$	๗๘
๔.๘	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 และ $(\Delta E)_{13}/Y_1$	๗๙
๔.๙	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y_2/Y_1 และ $(\Delta E)_{12}/Y_1$	๘๐
๔.๑๐	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y_3/Y_1 และ $(\Delta E)_{13}/Y_1$	๘๑
๔.๑	เปรียบเทียบ Water Surface Profile ระหว่าง พื้นที่ที่เป็นคลื่นและพื้นราบเมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๕.๑๕๖๓ และ ๕.๗๖๒๔ ลิตร/วินาที	๘๒

๕.๒ก	เปรียบเทียบ Water Surface Profile ระหว่าง พื้นที่ที่เป็นคลื่นและพื้นราบ เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๖.๔๔๒๗ และ ๖.๔๔๑๕ ลิตร/วินาที	๘๓
๕.๒ข	เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๖.๔๔๒๗ และ ๖.๔๔๑๕ ลิตร/วินาที	๘๔
๕.๓	เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๗.๕๐๕๔ และ ๗.๐๒๓๒ ลิตร/วินาที	๘๕
๕.๔	เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๘.๕๘๕๓ และ ๘.๖๒๕๑ ลิตร/วินาที	๘๖
๕.๕	เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๙.๕๐๖๐ และ ๙.๓๐๕๕ ลิตร/วินาที	๘๗
๕.๖	เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๑๐.๕๔๘๗ และ ๑๐.๙๕๐๐ ลิตร/วินาที	๘๘
๕.๗	เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับ ๑๓.๕๓๓๗ และ ๑๓.๒๔๔๘ ลิตร/วินาที	๘๙
๕.๘	การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	๙๐
๕.๙	Stilling Well	๙๐
๕.๑๐	การเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นราบ	๙๑
๕.๑๑	การเกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น	๙๑
๕.๑๒	ตำแหน่งที่เกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นราบ	๙๒
๕.๑๓	ตำแหน่งที่เกิดไฮดรอลิกจัมบนพื้นที่ที่เป็นคลื่น	๙๒

รายการสัญลักษณ์



A_1	=	พื้นที่หน้าตัดของ Stream tube ทางด้านมวลของของเหลวเข้า
A_2	=	พื้นที่หน้าตัดของ Stream tube ทางด้านมวลของของเหลวออก
C_c	=	สัมประสิทธิ์ของการลดขนาดลง (Coefficient of contraction)
C_d	=	สัมประสิทธิ์ของปริมาณน้ำ (Coefficient of discharge)
E	=	พลังงานจำเพาะ (Specific Energy) $Y + \frac{V^2}{2g}$
E_1	=	พลังงานจำเพาะที่จุดเริ่มต้นของจัม
E_2	=	พลังงานจำเพาะที่จุดที่มีความลึกสูงสุดของจัม
E_3	=	พลังงานจำเพาะที่จุดที่มีความลึกต่ำสุดของจัม
E_c	=	พลังงานจำเพาะที่จุดวิกฤต (Critical Specific Energy)
F_x	=	แรงในทิศทาง x ในหัวข้อ 3.7
F	=	Froude number $\frac{V}{\sqrt{gy}}$
F_1	=	Froude number ที่จุดเริ่มต้นของจัม
g	=	อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
k	=	บัลคโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Bulk modulus of elasticity)
L	=	ความยาวใด ๆ
m	=	มวล
M_1	=	โมเมนต์ที่จุดเริ่มต้นของจัม
M_2	=	โมเมนต์ที่จุดสิ้นสุดของจัม
P	=	ความกดดัน
Q	=	อัตราการไหลของปริมาณน้ำ
q	=	อัตราการไหลของปริมาณน้ำต่อความกว้างของลำน้ำหนึ่งหน่วย
S	=	ระยะทางการไหลของของเหลว
t	=	เวลา

รายการสัญลักษณ์

- V = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลว
- V₁ = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่จุดเริ่มต้นของจัม
- V₂ = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่จุดที่มีความลึกสูงสุดของจัม
- V₃ = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่จุดที่มีความลึกต่ำสุดของจัม
- V_C = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่จุดวิกฤต
- W = น้ำหนักของของเหลว
- w = ระยะเปิดของประตูน้ำ (Gate opening)
- Y = ความลึกของของเหลว
- Y₁ = ความลึกของของเหลวที่จุดเริ่มต้นของจัม
- Y₂ = ความลึกสูงสุดของของเหลวในขณะที่เกิดไฮดรอลิกจัม
- Y₃ = ความลึกต่ำสุดของของเหลวในขณะที่เกิดไฮดรอลิกจัม
- Y_C = ความลึกวิกฤต (Critical Depth)
- Z = ระดับความสูงเหนือแนว datum
- γ = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว (Specific weight)
- μ = ความหนืดไดนามิก (Dynamic viscosity)
- ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (Density)
- σ = แรงตึงผิวของของเหลว (Surface tension)