

การศึกษาพฤติกรรมทาง โครงสร้างของสะพานชนิดส เครสริบบอน

นายวิชาญ สุชาติวัฒน์ชัย



วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-624-4

007820

i 17548251

A Study On The Structural Behavior  
Of Stress-Ribbon Bridges

Mr. Wichan Suchawatanachai



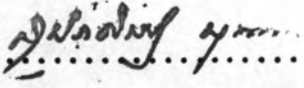
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Civil Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1983

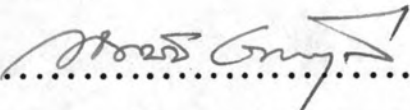
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างของสะพานชนิดสเตรสิบริบบอน  
โดย นายวิชาญ สุชาติวัฒนชัย  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ

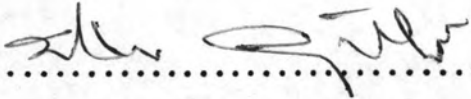


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

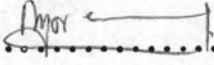
.....  ..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ นูนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคณะประสิทธิ์)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างของสะพานชนิดส เดรสริบบอน  
ชื่อ                              นายวิชาญ สุชาติวัฒนชัย  
อาจารย์ที่ปรึกษา        รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ  
ภาควิชา                        วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา                2525



#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาพฤติกรรม เเค เบิ้ลคิงที่นำมาประยุกต์ใช้กับโครงสร้างสะพานชนิดส เดรสริบบอน สะพานประกอบด้วยแผ่นพื้นรองรับด้วยเเค เบิ้ลที่ถูกดึงจนตึง โดยอาศัยทฤษฎี เเค เบิ้ลคิง เป็นแนววิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้าง ภายใต้้น้ำหนักบรรทุกชนิดกระจายสม่ำเสมอ กระทำเป็นจุดและน้ำหนักบรรทุกชนิดที่ทำให้โครงสร้างเกิดการบิด รวมทั้งการคาดคะเนหาค่าความถี่ต่ำสุดของการสั่นในโครงสร้าง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสะพานชนิดส เดรสริบบอน ได้ทำโครงสร้างจำลองที่แปรช่วงความยาวตั้งแต่ 3.00 เมตรถึง 9.00 เมตร ที่แรงดึงใน เเค เบิ้ลค่าหนึ่ง จากการทดลองด้วยน้ำหนักบรรทุกชนิดกระจายสม่ำเสมอ ได้ผลว่า การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุก ไม่มีผลต่อการเพิ่มของแรงดึงที่เกิดขึ้นใน เเค เบิ้ลและอัตราการหย่อนตัวที่เพิ่มขึ้น เป็นกำลังสามกับน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น ในกรณีของน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด การหักมุมอย่างกระทันหันของแผ่นพื้นในสะพานที่จุดน้ำหนักกระทำจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากความตึงใน เเค เบิ้ลที่ถูกดึงไว้ เปรียบเสมือนมีแรงยกขึ้นหักล้างกับน้ำหนักที่กระทำ โดยที่การหย่อนตัวแปรผกผันกับแรงที่ดึงไว้ใน เเค เบิ้ล สำหรับกรณีน้ำหนักกระทำเยื้องศูนย์ต่อโครงสร้าง โครงสร้างจะบิด แรงดึงใน เเค เบิ้ลที่ประกอบกับแผ่นพื้นจะช่วยลดมุมของการบิด เกิดแรงดึงที่แปรเปลี่ยนใน เเค เบิ้ล เส้นต่าง ๆ แผ่นพื้นจะมีบทบาทช่วยรับแรงบิดชนิดความเค้นเฉือนบิด ส่วนทางด้านพฤติกรรมการสั่นของโครงสร้าง จากการทดลองพบว่า ค่าความถี่ต่ำสุดของการสั่นแปรผันตรงกับแรงดึงใน เเค เบิ้ลและแปรผกผันกลับกับน้ำหนักบรรทุก ค่าความถี่ของการสั่นที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินได้จากทฤษฎีการสั่นใน เเค เบิ้ลแขวน

Thesis Title            A Study On The Structural Behavior of Stress-  
Ribbon Bridges  
Name                     Mr. Wichan Suchawatanachai  
Thesis Advisor        Associate Professor Karoon Chandrangsue, Ph.D.  
Department            Civil Engineering  
Academic Year         1982



ABSTRACT

This research is a study on the behavior of taut cables used in bridge structures called the stress ribbon concept. The theory of taut cables had been thoroughly investigated to its validity for several types of loading. To study the actual behavior of the stress-ribbon bridges a model study had been performed. In the experimental program, four models of 3, 5, 7 and 9 meter spans with an initial constant tension force in cables and constant width of deck were constructed and tested under partial and full uniformly distributed loading, concentrated loading and eccentric loading. Test results showed that the increasing of uniformly distributed loading would not produce a considerable increase in cable tension force. The deflection characteristic is the third order in ratio of mid span sag to span length. The effect of concentrated loading is not critical and their behavior are similar to uniformly distributed loading case.

Eccentric loadings cause twisting of the bridges. The analysis was made by assuming deflections corresponding to the test results and then equivalent loads and torque in bridge deck could be obtained. The results showed that torque would not be proportional to the angle of twisting.

Vibration tests on the models showed that the natural frequencies of stress-ribbon bridges could be estimated by the solutions of one dimensional wave equation. The natural frequencies of suspension cables tend to vary with the square root of the tension forces in the cables.

## กิติกรรมประกาศ

ในการเขียนวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ  
จันทร์างศุ ซึ่ง เป็นผู้ควบคุมการวิจัยและที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์  
จนจบ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์  
ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติศรี และรองศาสตราจารย์  
ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาการใช้อุปกรณ์ในการทำการทดลองจนสำเร็จ เรียบ  
ร้อย.

วิชาญ สุชาติวัฒนชัย



## สารบัญ



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ช
สารบัญ .....	ช
รายการตารางประกอบ .....	ญ
รายการรูปประกอบ .....	ฉ
สัญลักษณ์ .....	ฉ
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความหมายของคำว่า "สเตรสริบบอน" .....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย .....	2
2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา .....	3
3. ทฤษฎีเคเบิลตึง .....	5
3.1 รูปร่างและน้ำหนักบรรทุกในสะพานชนิดสเตรสริบบอน .....	5
3.2 เคเบิลตึง (taut cable) .....	5
3.3 เคเบิลตึงแขวนในลักษณะคอร์ดเอียงภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระจาย สม่ำเสมอ .....	10
3.4 เคเบิลตึงภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำสม่ำเสมอเป็นบางช่วง ...	12
3.5 เคเบิลตึงภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด .....	14
4. ปัญหาการบิดของโครงสร้างสะพานชนิดสเตรสริบบอน .....	17
4.1 การบิดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเอียงศูนย์ .....	17



บทที่

หน้า

5.	การวิเคราะห์พฤติกรรมทางไดนามิกของ โครงสร้างสเตรสิบริบบอน	.....	20
5.1	ความสำคัญของปัญหา	.....	20
5.2	การสั่นอย่างอิสระของ เค เบิ้ลตามแนวตั้ง	.....	20
6.	การทดสอบโครงสร้างจำลองของสะพานชนิดสเตรสิบริบบอน	.....	25
6.1	โครงสร้างจำลอง	.....	25
6.2	วัสดุและการประกอบ	.....	25
6.3	วิธีการทดลอง	.....	27
6.3.1	การทดลองน้ำหนักบรรทุกสถิต	.....	27
6.3.2	การทดลองน้ำหนักบรรทุก เยื้องศูนย์สถิต	.....	27
6.3.3	การทดสอบการสั่นของโครงสร้างจำลอง	.....	28
7.	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	.....	29
7.1	ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับการหย่อนตัวและแรงดึง ใน เค เบิ้ล	.....	29
7.2	น้ำหนักบรรทุกสถิต เยื้องศูนย์	.....	30
7.3	ความถี่ของการสั่น	.....	30
7.4	การคาดหมายพฤติกรรม โครงสร้างต้นแบบ	.....	31
8.	สรุปผลพฤติกรรมของสะพานชนิดสเตรสิบริบบอนและข้อ เสนอแนะ	.....	34
8.1	พฤติกรรมของสะพานภายใต้ น้ำหนักบรรทุก	.....	34
8.1.1	ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับการหย่อนตัว	.....	34
8.1.2	พฤติกรรมของสะพานภายใต้แรงบิด	.....	35
8.2	พฤติกรรมทางไดนามิกของ โครงสร้างสะพานชนิดสเตรสิบริบบอน	..	35
8.3	ข้อ เสนอแนะ เพื่อการศึกษา เพิ่มเติม	.....	36
	เอกสารอ้างอิง	.....	37
	ภาคผนวก ก.	.....	76
	ภาคผนวก ข.	.....	79
	ประวัติ	.....	90

## รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
6.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎีของ เส้นลวดแขวน เส้นเดียว	39
7.1 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจาย สม่ำเสมอ ความยาวช่วง 9.00 เมตร .....	40
7.2 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจาย สม่ำเสมอ ความยาวช่วง 7.00 เมตร .....	41
7.3 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจาย สม่ำเสมอ ความยาวช่วง 5.00 เมตร .....	42
7.4 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจาย สม่ำเสมอ ความยาวช่วง 3.00 เมตร .....	43
7.5 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักกระทำ เป็นจุด ความยาวช่วง 9.00 เมตร .....	44
7.6 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักกระทำ เป็นจุด ความยาวช่วง 7.00 เมตร .....	45
7.7 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักกระทำ เป็นจุด ความยาวช่วง 5.00 เมตร .....	46
7.8 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎีในกรณีน้ำหนักกระทำ เป็นจุด ความยาวช่วง 3.00 เมตร .....	47
7.9 แสดงผลการวิเคราะห์หาแรงบิดในแผ่นพื้นและการบิด .....	48
7.10 เปรียบเทียบค่าความถี่ของการสั่นค่าสุดของทฤษฎีกับการทดลอง ที่ขนาดแรงดึงและความยาวช่วงต่างกัน .....	49
7.11 แสดงแรงดึงและการหย่อนตัวของโครงสร้างจำลอง 9.00 เมตร ..	50
7.12 การคาดผลของโครงสร้างต้นแบบจากโครงสร้างจำลอง 9.00 เมตร	51



รายการรูปประกอบ

รูปที่

หน้า

3.1	รูปร่างการหย่อนตัวของ เค เบิ้ล .....	52
3.2	แสดงการหย่อนตัวของ เค เบิ้ลที่มีคอร์ด เอียง .....	52
3.3	แสดงการแบ่ง เค เบิ้ลออกเป็นส่วนย่อย ๆ ที่ตั้ง .....	53
3.4	เค เบิ้ลบรรจุหน้าหนักกระจายสม่ำเสมอเป็นบางช่วง .....	54
3.5	เค เบิ้ลภายใต้หน้าหนักบรรจุกระทำเป็นจุด .....	55
4.1	แสดงแรงบิดกระทำต่อโครงสร้างสะพานชนิดสเตรสิบบอน .....	56
4.2	แสดงแผ่นพื้นและ เค เบิ้ลรับแรงบิด .....	57
5.1	แสดงการหย่อนตัวของ เค เบิ้ลเมื่อเกิดการสั่น .....	58
6.1	แสดงหน้าตัดของแผ่นเหล็กหุ้ม เป็นแผ่นพื้นอย่างง่าย .....	59
6.2	แสดงวิธีการใช้ proving ring วัดแรงใน เส้นลวดชนิดอัดแรง ...	59
6.3	กราฟแสดงความเค้น-ความเครียดของ เส้นลวดชนิดอัดแรง ขนาดเส้น ผ่าศูนย์กลาง 4 มม. ....	60
6.4	แสดง calibration curve ของ proving ring ขนาด 2,000 และ 5,000 กิโลกรัม .....	61
6.5	แสดงอุปกรณ์เครื่องไฮดรอลิกตั้ง เส้นลวดชนิดอัดแรง .....	62
6.6	แสดงการติดตั้งเครื่อง Transducer-recorder วัดการสั่น .....	62
6.7	แสดงการยึดแผ่นพื้นกับ โครงแทน .....	63
6.8	แสดงการติดตั้ง proving ring .....	63
6.9	แสดงการใช้ลิ้ม (grip) จับลวดอัดแรง .....	64
6.10	แสดงการทดสอบการวัดแรงดึงของ เส้นลวดแขวนช่วง 9.00 ม. ....	64
6.11	แสดงการใช้ dial gages วัดการหย่อนตัว .....	65
7.1	ความสัมพันธ์ของแรงใน เส้นลวด, การหย่อนตัวกับหน้าหนักบรรจุกระจาย สม่ำเสมอ .....	66
7.2	ความสัมพันธ์ของแรงใน เส้นลวด, การหย่อนตัวกับหน้าหนักบรรจุกระทำ เป็นจุดที่ระยะ 6.00 เมตร จากปลายของความยาวช่วง 9.00 ม. ...	67
7.3	ความสัมพันธ์ของแรงดึงที่เพิ่มขึ้นกับการหย่อนตัวของกรณีหน้าหนักบรรจุ กระจายสม่ำเสมอ .....	68

รูปที่	หน้า
7.4 ความสัมพันธ์ของแรงดึงที่เพิ่มขึ้นกับการหย่อนตัวของ กรณีน้ําหนักบรรทุก กระทำ เป็นจุด .....	68
7.5 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวช่วงกับการหย่อนตัวที่กึ่งกลางช่วง ในกรณีน้ําหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ .....	69
7.6 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวช่วงกับการหย่อนตัวที่กึ่งกลางช่วง ในกรณีน้ําหนักบรรทุกกระทำ เป็นจุด .....	70
7.7,7.8,7.9 แสดงพฤติกรรมการณ์การสั่นของ โครงสร้างสะพานชนิดสเตรสริบบอน ที่ค่าการหย่อนตัวต่อความยาวช่วงต่าง ๆ .....	71-73
7.10 แสดงการบันทึก fundamental mode ของการสั่นที่ความยาวช่วง โครงสร้างจำลอง 9.00 เมตร .....	74
7.11 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและมุมบิดของ โครงสร้างจำลองช่วง 9.00 ม. ..	75
1 ก. ค่าตอบของการหย่อนตัวที่สัมพันธ์กับน้ําหนักบรรทุก .....	78

## สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของ เค เบ็ล
b	=	ความกว้างของ แผ่นพื้น
c	=	พารามิเตอร์ของ shape function
d	=	การหย่อนตัวที่จุดกึ่งกลางของความยาวช่วง
E	=	โมดูลัสของการยืดหยุ่น
e	=	ระยะเยื้องศูนย์กลางของน้ำหนักบรรทุกทุกค่อศูนย์กลางของหน้าตัดแผ่นพื้น
F	=	หน่วยของมวลใน เรื่องของการวิเคราะห์มิติ
f	=	ความเค้นดึง ใน เค เบ็ล
G	=	โมดูลัสเฉือนของแผ่นพื้น
g	=	ความเร่ง เนื่องจากความโน้มถ่วง
H	=	แรงดึง ใน เค เบ็ลตามแนวราบ
h	=	แรงดึงที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุก
h	=	แรงดึงที่ส่วนที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการสั่น
h	=	ความต่างระดับระหว่างปลายของ เค เบ็ล
J	=	โมเมนต์ที่สองอย่าง ไพลาร์ของพื้นที่หน้าตัดแผ่นพื้น
K	=	$\frac{3wL}{64AE} \left(\frac{L}{d}\right)^3$
L	=	ความยาวช่วง
L	=	หน่วยความยาวใน เรื่องของการวิเคราะห์มิติ
l	=	ความยาวของ เค เบ็ล
M	=	โมเมนต์คัต
M	=	ค่าการหย่อนตัวสูงสุด
m	=	$\frac{\Delta d}{d}$
m	=	มวลค่อหนึ่งหน่วยความยาวกระจายตามแนวราบ
$m_t$	=	โมเมนต์บิดค่อหนึ่งหน่วยความยาว

$n_i, n_{i-1}$	=	แขนของแรงคู่ควบ
$P$	=	น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ เป็นจุด
$p$	=	$\frac{\Delta w}{w}$
$R$	=	$\frac{w(L \tan \beta_1 + h)}{8(P + \frac{wl}{2})}$
$T$	=	แรงดึงใน เค เบิ้ล
$T$	=	หน่วย เวลาใน เรื่องของการวิเคราะห์มิติ
$T_d$	=	แรงบิดด้านจากแผ่นพื้น
$T_*$	=	โมเมนต์บิดภายนอก
$v$	=	การหย่อนตัวที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการสั่น
$W_I$	=	strain energy
$W_{II}$	=	kinetic energy
$w$	=	น้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอ
$w_h$	=	น้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอ กระจายตามแนวราบ
$w'$	=	น้ำหนักบรรทุกทุกไดนามิกต่อหนึ่งหน่วยความยาว
$x$	=	ระยะแปรตามแนวราบ
$y$	=	ระยะแปรตามแนวตั้งของการหย่อนตัว
$\rho$	=	ความหนาแน่นของวัสดุ เค เบิ้ล
$\theta$	=	มุมของการบิด
$\alpha$	=	สัมประสิทธิ์ของการยึดตัวตามเส้น เนื่องจากอุณหภูมิ
$\Delta \dots$	=	จำนวนที่เปลี่ยนแปลง
$\delta$	=	ระยะตั้งของการบิด
$\lambda$	=	scale ratio

$\Sigma$  = ผลรวม

$\omega$  = ความถี่ของการสั่นเชิงวงกลม (circular frequency)

$\eta$  = ความถี่ของการสั่นในหน่วย รอบ/วินาที