

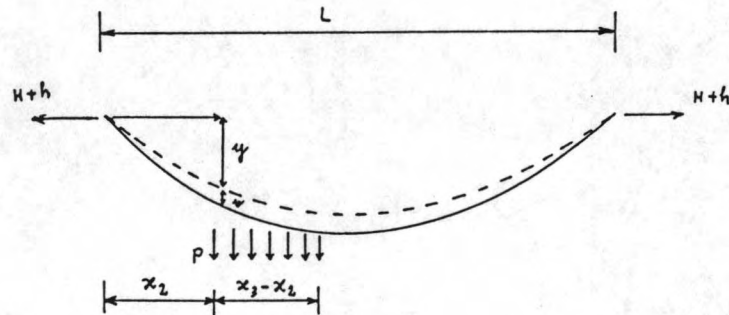
เอกสารอ้างอิง

1. Finsterwalder, U. "Prestressed concrete bridge construction"
American Concrete Institute Journal. Vol. 62, No. 9,
September 1965.
2. Walther, R. "Stress-ribbon bridges", International Civil Engineering Monthly, Tel. Aviv, Vol. 2, No. 1, July 1971, pp. 1-7.
3. Finsterwalder, U. "Modern designs for prestressed concrete bridges",
Concrete and Constructional Engineering. Vol. 60, No. 3,
March 1965, pp. 99-103.
4. Scartazzini, P. "Vibration Tests on the Bircher-weid footbridge"
International Civil Engineering Monthly, Vol. 2, No. 4,
1971/72, pp. 189-192.
5. When, R.J., and Wilson, A.J. "The stress-ribbon bridge concept in
steel", The Structural Engineer, Vol. 55, No. 5, May 1977,
pp. 223-229.
6. Pugsley, A.G. The Theory of suspension bridges. Edward Arnold,
2nd ed., London, 1968.
7. Wilson, A.J. and When, R.J. "Direct design of taut cables under
uniform loading". Journal of the Structural Division ASCE.
Vol. 100, No. ST 3, March 1974, pp. 565-578.
8. Wilson, A.J., and When, R.J. "Inclined Cables Under Load-Design
Expressions" Journal of Structural Division ASCE. Vol. 103,
No. ST 5, May, 1977, pp. 1061-1078.
9. Irvine, H.M. "Torsional Analysis of Boxgirder Suspension Bridges".
Journal of the Structural Division ASCE. Vol. 100, No. ST 4,
April, 1974. pp. 789-812

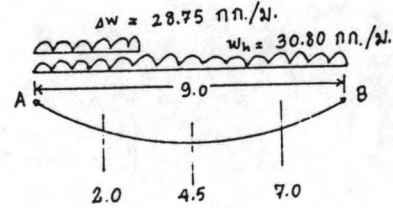
10. Krishna, P. "Cable-Suspended Roofs", McGraw-Hill, New York, 1978.

Experiment											Theory						Max. error				
p in(kg.)	x ₂ m.	x ₃ m.	Deflection (cm.)						h in (kg.)	H+h in (kg.)	Deflection (cm.)						h in (kg.)	H+h in (kg.)	%Error in h	%Error in H+h	%Error in v
			1	2	4	6	7	8			1	2	4	6	7	8					
-	-	-	3.80	7.90	10.50	9.30	7.30	3.95	0	8	4.74	8.29	11.85	10.66	8.29	4.74	0	8	-	-	11.94
2.0	3.5	5.5	4.05	8.95	15.75	12.20	7.30	4.05	42	50	4.14	8.12	15.26	11.99	8.18	4.13	47.76	55.76	12.0	10.33	10.22
2.0	3.0	5.5	4.50	9.90	16.30	12.15	7.25	4.0	52	60	4.50	8.73	15.79	13.07	8.03	4.07	57	65	8.86	7.77	9.67
2.0	2.5	5.5	5.0	10.90	16.60	12.10	7.20	4.0	62	70	4.93	9.71	16.08	11.78	7.94	4.02	65.18	73.18	4.34	4.87	12.25
2.0	2.0	5.5	5.65	12.05	16.75	11.95	7.15	4.0	67	75	5.37	10.74	16.19	11.65	7.84	3.96	72.24	80.24	7.25	6.45	12.19
2.0	0.5	6.0	7.20	13.25	17.10	12.95	7.75	4.20	77	85	6.99	12.17	16.40	12.41	8.32	4.19	92.32	100	16.30	15	8.87
2.0	0	9	6.80	12.65	17.25	15.25	11.1	6.80	102	110	6.61	11.57	16.54	14.89	9.31	6.61	115.84	123.84	13.30	12.45	9.33

หมายเหตุ A = 0.1257 ซม.².
E = 2.02x10⁶ กก./ซม.².
L = 9.00 ม.
h = แรงดึงตามแนวราบที่เพิ่มขึ้น



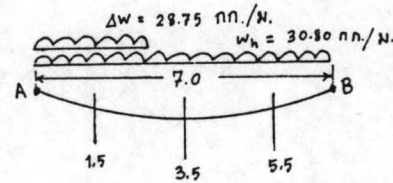
ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎีของเส้นลวดแขวนเส้นเดียว



ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี

ในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ $L = 9.00$ ม.

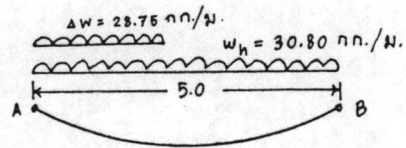
การทดลอง					ทฤษฎี						ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี		
ระยะน้ำหนักรบรรทุก x (ม.)	น้ำหนัก (กก./ม.)	การห้อยน้้ำ (ม.)			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม $H+h$ (กก.)	การห้อยน้้ำ			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม $H+h$ (กก.)	ในการห้อย น้้ำ %	ใบแรงดึง รวม %
		ที่ระยะ					ที่ระยะ						
		2.0	4.5	7.0			2.0	4.5	7.0				
	ดึงลวด นน. แผ่นพื้น 7.57	-	0.01577	-	5200	5200	-	0.01577	-	5200	5200	-	-
	นน. ถ่าง 22.7	0.0406	0.05873	0.0406	5200	5300	0.0406	0.05873	0.0406	5200	5300	-	-
$x=3$	28.75	0.04883	0.07429	0.0463	5300	5300	0.05680	0.07119	0.04621	5300	5310	14.03	0.18
$x=5$	28.75	0.05816	0.09318	0.05502	5300	5440	0.06722	0.08971	0.05434	5310	5430	13.15	0.18
$x=7$	28.75	0.06514	0.10518	0.06025	5440	5500	0.07273	0.10335	0.06700	5430	5544	10.43	0.79
$x=9$	28.75	0.06887	0.10866	0.06126	5500	5520	0.07443	0.10767	0.07443	5544	5567	17.47	0.84



ตารางที่ 7.2 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี
 ในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ $L = 7.00$ ม.

การทดลอง					ทฤษฎี							ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี	
ระยะน้ำหนักบรรทุก x (ม.)	น้ำหนัก (กก./ม.)	การห้อยค้ำ (ม.)			แรงค้ำ H (กก.)	แรงค้ำรวม H+h (กก.)	การห้อยค้ำ			แรงค้ำ H (กก.)	แรงค้ำรวม H+h (กก.)	ในการห้อยค้ำ ค้ำ %	ในแรงค้ำรวม %
		ที่ระยะ					ที่ระยะ						
		1.5	3.5	5.5			1.5	3.5	5.5				
-	30.80	-	-	-	5200	5280	0.025	0.037135	0.025	5200	5267	-	0.24
3	28.75	0.03209	0.05336	0.02824	5280	5340	0.03641	0.04700	0.02872	5267	5384	13.53	0.82
7	28.75	0.04533	0.06994	0.04602	5340	5440	0.04473	0.06641	0.04473	5384	5443	5.31	0.055

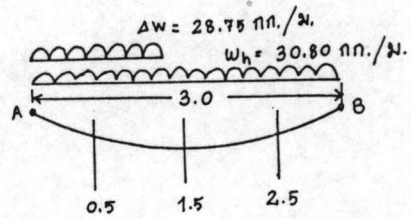




ตารางที่ 7.3 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี

ในการนี้ น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ $L = 5.00$ ม.

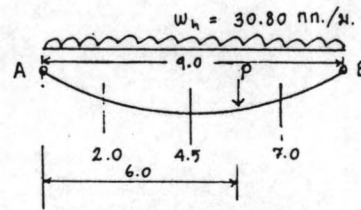
การทดลอง							ทฤษฎี					ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี	
ระยะน้ำหนักรวมทุก x (ม.)	น้ำหนัก (กก./ม.)	การห้อยค้ำ (ม.)			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม H+h (กก.)	การห้อยค้ำ			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม H+h (กก.)	ในการห้อยค้ำ ค้ำ %	ในแรงดึง รวม %
		ที่ระยะ					ที่ระยะ						
		1.0	2.5	4.0	1.0	2.5	4.0						
-	30.80	-	-	-	5200	5200	0.01184	0.01851	0.01184	5200	5200	-	-
2	28.75	0.01718	0.02588	0.01515	5200	5200	0.01791	0.02400	0.01403	5200	5216	7.83	0.31
5	28.75	0.02042	0.03386	0.01901	5200	5240	0.02024	0.03164	0.02024	5216	5299	7.016	1.13



ตารางที่ 7.4 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี

ในการใช้น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ $L = 3.00$ ม.

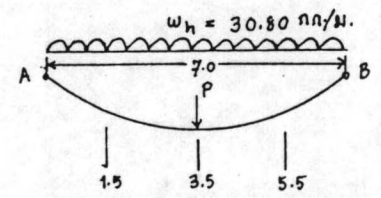
การทดลอง					ทฤษฎี							ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี	
ระยะน้ำหนักบรรทุก x (ม.)	น้ำหนัก (กก./ม.)	การหย่อนตัว (ม.)			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม H+h (กก.)	การหย่อนตัว			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม H+h (กก.)	ในการหย่อนตัว %	ในแรงดึงรวม %
		ที่ระยะ					ที่ระยะ						
		0.5	1.5	2.5			0.5	1.5	2.5				
-	30.80	-	-	-	5320	5320	0.00361	0.00651	0.00361	5320	5320	-	-
3	28.75	0.005728	0.01119	0.006164	5320	5320	0.007008	0.01261	0.007008	5320	5331	18.26	0.206



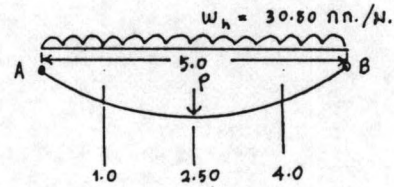
ตารางที่ 7.5 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี
ในกรณีน้ำหนักกระทำเป็นจุด $L = 9.00$ ม.

การทดลอง					ทฤษฎี						ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี	
น้ำหนัก (กก.)	การหย่อนตัว			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม H+h (กก.)	การหย่อนตัว			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม H+h (กก.)	ในการหย่อนตัว %	ในแรงดึงรวม %
	ที่ระยะ					ที่ระยะ						
	2.0	4.5	7.0	2.0	4.5	7.0						
-	-	-	-	5200	5200	0.0406	0.05873	0.0406	5200	5200	-	-
1x28.62	0.0445	0.0678	0.0478	5200	5200	0.04432	0.06694	0.04783	5200	5286.52	1.28	1.64
2x28.62	0.04669	0.07500	0.0546	5200	5200	0.0477	0.07470	0.05480	5286	5310	2.11	2.07
3x28.62	0.05135	0.08300	0.05911	5200	5300	0.05422	0.08189	0.05853	5310	5319.71	5.29	0.37
4x28.75	0.05421	0.08977	0.0657	5300	5400	0.05370	0.08890	0.06767	5319	5427.64	0.97	0.51
5x28.75	0.05649	0.09768	0.0724	5400	5480	0.05636	0.09536	0.07359	5427	5509.91	2.43	0.54

ตารางที่ 7-6 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี
 ในกรณีน้ำหนักกระทำเป็นจุด $L = 7.00$ ม.



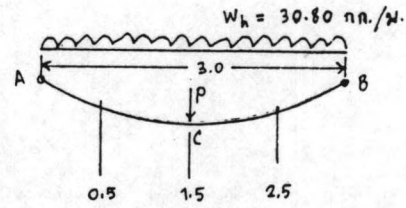
การทดลอง						ทฤษฎี					ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี	
น้ำหนัก (กก.)	การหย่อนค้ำ			แรงค้ำ H (กก.)	แรงค้ำรวม H+h (กก.)	การหย่อนค้ำ			แรงค้ำ H (กก.)	แรงค้ำรวม H+h (กก.)	ในการหย่อน ค้ำ %	ในแรงค้ำ รวม %
	ที่ระยะ					ที่ระยะ						
	1.5	3.5	5.5	1.5	3.5	5.5						
-	-	-	-	5200	5270	0.025	0.03713	0.025	5200	5267	-	-
2x28.75	0.03233	0.05239	0.03254	5270	5280	0.03157	0.05363	0.03157	5267	5381	2.31	1.87
5x28.75	0.04446	0.07736	-	5280	5440	0.04295	0.0805	0.04295	5381	5466	3.90	0.47



ตารางที่ 7.7 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี

ในกรณีน้ำหนักกระทำเป็นจุด $L = 5.00$ ม.

การทดลอง						ทฤษฎี					ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี	
น้ำหนัก (กก.)	การหย่อนตัว			แรงดึง H (กก.)	แรงดึงรวม H+h (กก.)	การหย่อนตัว	แรงดึง	แรงดึง	แรงดึงรวม	ในการหย่อน ตัว %	ในแรงดึง รวม %	
	ที่ระยะ											ที่ระยะ
	1.0	2.5	4.0	1.0	2.5	4.0	(กก.)	(กก.)				
-	-	-	-	5200	5200	0.01184	0.01851	0.01184	5200	5200	-	-
4x28.75	0.02181	0.04317	0.02321	5200	5320	0.02231	0.04493	0.02231	5200	5328	3.92	0.15
5x28.75	0.02428	0.051125	0.02603	5320	5400	0.02474	0.05653	0.02474	5328	5385.57	9.56	0.27



ตารางที่ 7.8 การเปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี

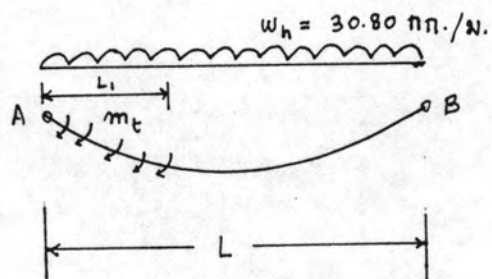
ในกรณีน้ำหนักกระทำเป็นจุด $L = 3.00$ ม.

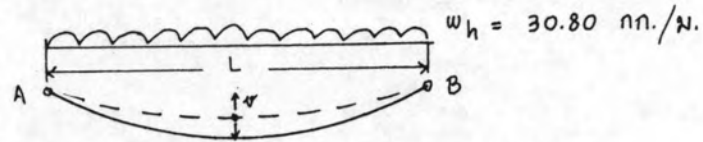
การทดลอง						ทฤษฎี					ค่าผิดพลาดสูงสุดเทียบกับทฤษฎี	
น้ำหนัก (กก.)	การห้อยค้ำ			แรงค้ำ H (กก.)	แรงค้ำรวม H+h (กก.)	การห้อยค้ำ			แรงค้ำ H (กก.)	แรงค้ำรวม H+h (กก.)	ในการห้อยค้ำ %	ในแรงค้ำรวม %
	ระยะ					ระยะ						
	0.5	1.5	2.5	0.5	1.5	2.5						
-	-	-	-	5320	5320	0.003618	0.006513	0.003618	5320	5320	-	-
5x28.75	0.00888	0.02078	0.01045	5320	5320	0.01029	0.02655	0.01029	5320	5412	21.73	1.69

ตารางที่ 7.9 แสดงผลการวิเคราะห์หาแรงบิดกระทำต่อแผ่นพื้นของสะพาน
ช่วง 9.00 เมตร

ความยาวช่วง L (ม.)	การทดลอง		การวิเคราะห์	
	มุมบิด θ เรเดียน	โมเมนต์บิด T กก-ม/ม.	มุมบิด θ เรเดียน	โมเมนต์บิด T กก-ม/ม.
9	0.1120	1.94	0.112	2.20

หมายเหตุ โมเมนต์บิด $m_t = 3.88$ กก-ม/ม. กระทำเป็นระยะ 3.00 เมตร จากปลาย





ตารางที่ 7.10 เปรียบเทียบค่าความถี่ของการสั่นต่ำสุดของทฤษฎีกับการทดลองที่ขนาดแรงดึงและความยาวช่วงต่างกัน

ความยาวช่วง L (ม.)	การทดลอง		ทฤษฎี	
	แรงดึง H (กก.)	ความถี่ η รอบ/วินาที	ความถี่ η รอบ/วินาที	ค่าความผิดพลาด %
3	1151	4.7032	3.9211	19.94
	1720	5.00	4.1700	19.90
	4120	5.4772	6.0687	9.75
	5320	5.8160	6.8771	15.43
5	1319	2.6818	2.91416	7.97
	2123	3.0501	2.8672	6.38
	4034	3.8549	3.63895	5.93
	5220	4.1717	4.1062	1.59
7	1320	2.0553	2.3497	12.53
	2320	2.2022	2.2279	1.15
	4120	2.6263	2.5884	1.46
	5280	2.8571	2.9303	2.49
9	1380	1.628	1.64	0.73
	2400	1.714	1.8861	9.12
	4400	2.1412	2.2392	4.37
	5310	2.272	2.3338	2.648

ตารางที่ 7.11 แสดงแรงดึงและการหย่อนตัวของโครงสร้างจำลอง 9 ม.

ลำดับ	ขั้นตอน	แรงดึงในเคเบิล (กก.)	การหย่อนตัวที่กึ่ง กลางช่วง (ม.)
น้ำหนักโครงสร้าง	1. ดึงลวดอัดแรง 4-φ 4 มม.	4,000	-
	2. ถ่วงน้ำหนัก (เสมือนน้ำหนัก แผ่นพื้นคอนกรีต) รวม 31 กก./ม.	4,176	0.0746
	3. ดึงลวดอัดแรงเพิ่ม	5,300	0.05873
น้ำหนักบรรทุก	1. น้ำหนักโครงสร้างเอง	5,300	0.05873
	2. น้ำหนักบรรทุกจรเต็มช่วง 28.75 กก./ม.	5,520	0.10866
	3. น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด ที่ระยะ 6 ม. จากปลาย 143 กก.	5,480	0.09768

ตารางที่ 7.12 การคาดผลของโครงสร้างต้นแบบจากโครงสร้างจำลอง 9 ม.

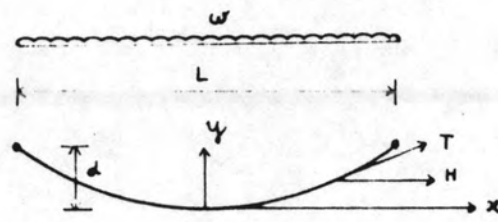
รายการ	โครงสร้างจำลอง (model)	โครงสร้างต้นแบบ (prototype)	หน่วย
พื้นที่หน้าตัดเค เบิ้ล	4x0.1257	6.4	ซม ² .
ความยาวช่วง	9.0	40.0	ม.
แรงดึง	5.50	70.0	ตัน
ความหนาของแผ่นพื้น	0.032	0.15	ม.
น้ำหนักรรทุก โครงสร้าง	30.80	1060	กก/ม.
จร	59.42	1695	
น้ำหนักรรทุกกระทำ เป็นจุด	28.75	637	
น้ำหนักรรทุกกระทำ เป็นจุด	143	18.26	ตัน
การหย่อนตัวที่กึ่งกลางช่วง	0.10866	0.48	ม.
การหย่อนตัว	L/83	L/83	

หมายเหตุ : เลือก แรงดึงในโครงสร้างต้นแบบ = 700 ตัน

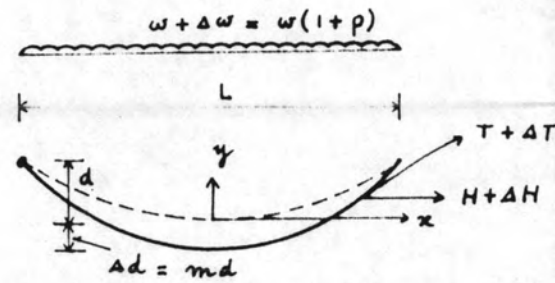
ความหนาเฉลี่ยของแผ่นพื้นคอนกรีต = 0.15 ม.

ความกว้างแผ่นพื้นในโครงสร้างต้นแบบ = 2.80 ม.



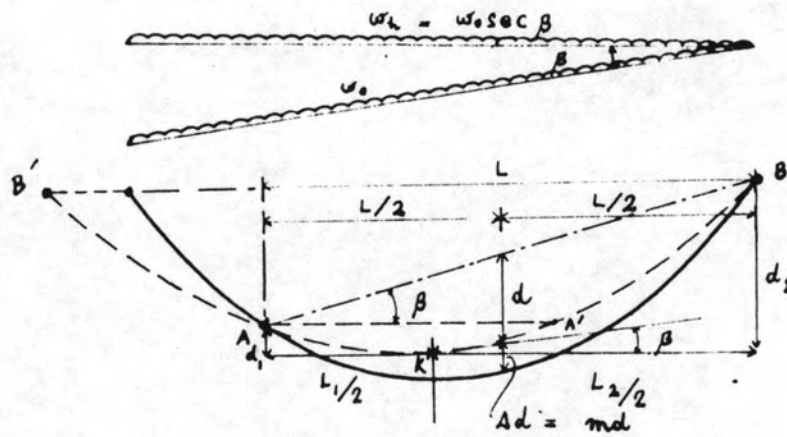


(ก) เคเบิลภายใต้น้ำหนักตัวเอง

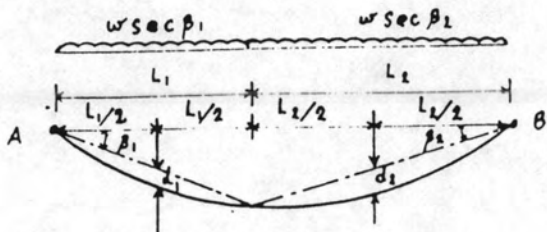


(ข) เคเบิลยึดตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น ΔW

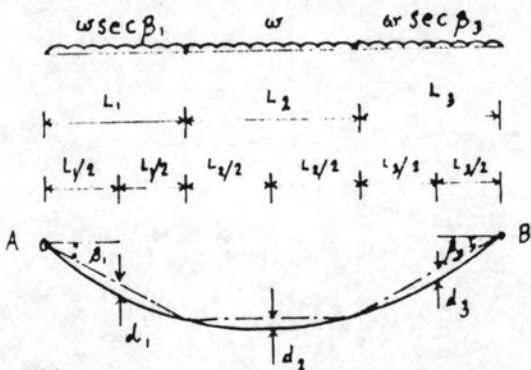
รูปที่ 3.1 รูปร่างการหย่อนตัวของเคเบิล



รูปที่ 3.2 แสดงการหย่อนตัวของเคเบิลที่มีคอร์ค์เอียง

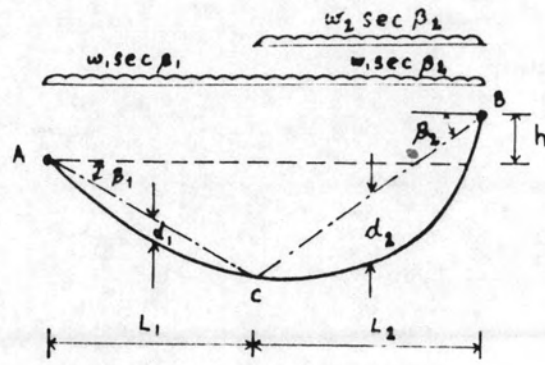


(ก) การแบ่ง เเคเบิ้ลออกเป็นสองส่วน

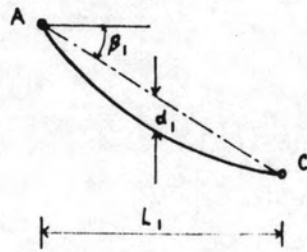


(ข) การแบ่ง เคาเบิ้ลออกเป็นสามส่วน

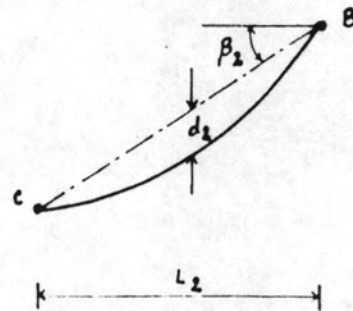
รูปที่ 3.3 แสดงการแบ่ง เคาเบิ้ลออกเป็นส่วนย่อยที่ต้ง



(n)

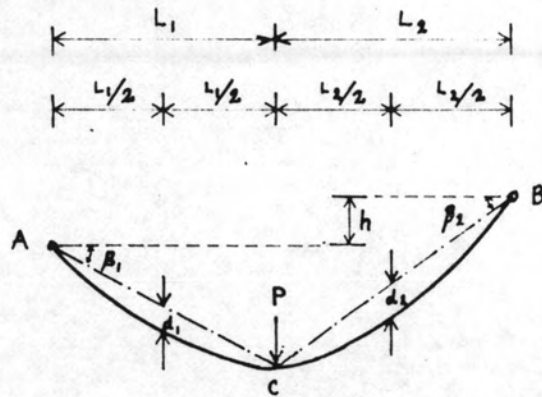


(ข)

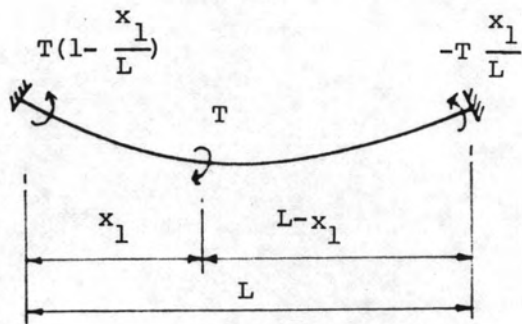


(ค)

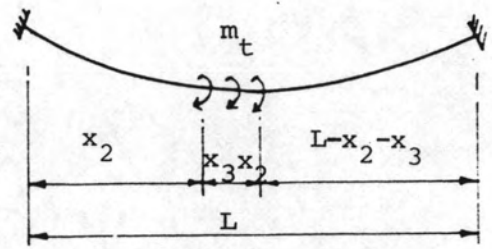
รูปที่ 3.4 เคเบิลบรรทุกน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอเป็นบางช่วง



รูปที่ 3.5 เคเบิลภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด

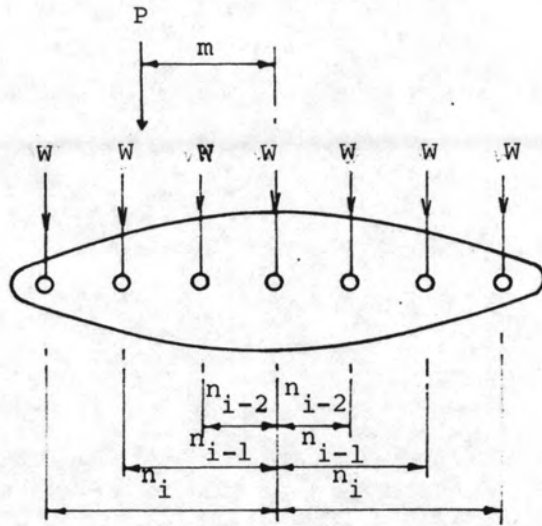


ก. โมเมนต์บิดกระทำเป็นจุด

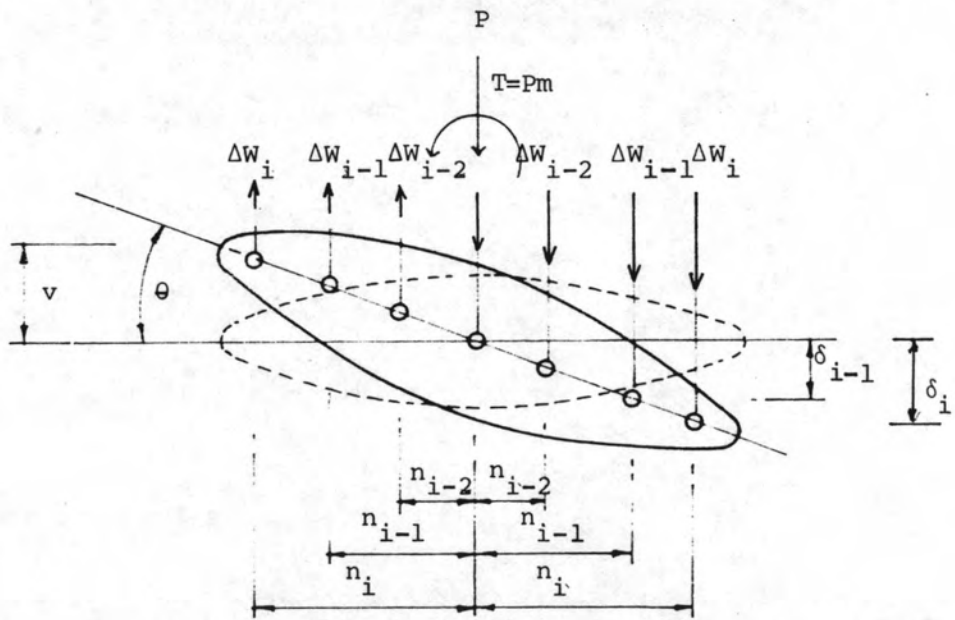


ข. โมเมนต์บิดกระจายสม่ำเสมอ

รูปที่ 4.1 แสดงแรงบิดกระทำต่อโครงสร้างสะพานชนิดสเตรสิบอน

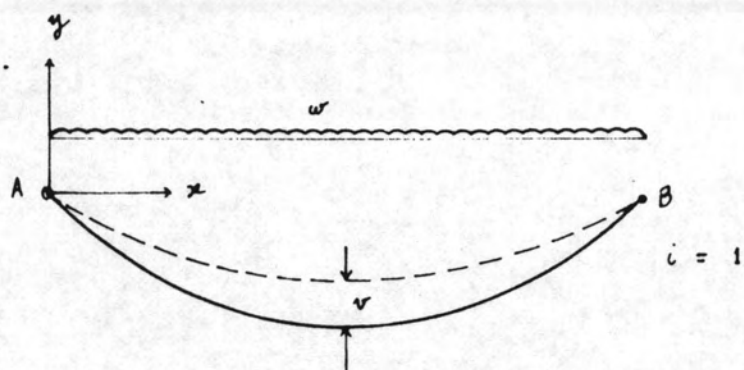


ก. หน้าตัดแผ่นพื้น เมื่อรับน้ำหนักกระทำ เยื้องศูนย์

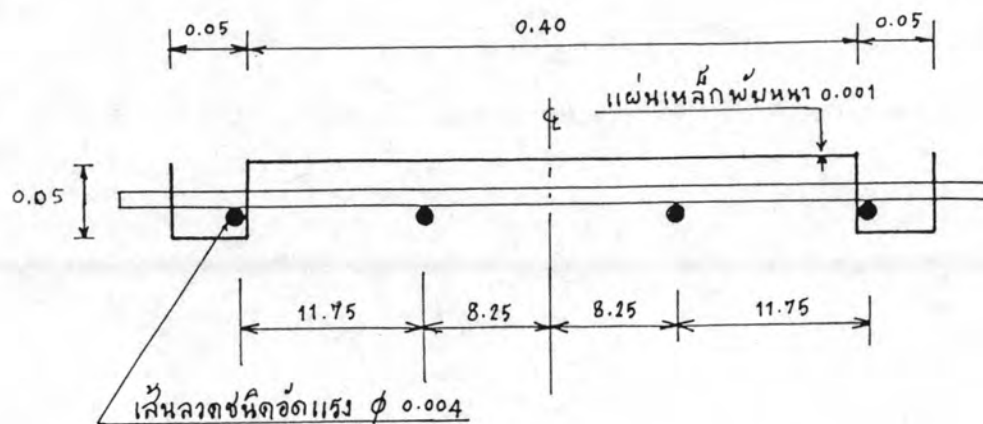


ข. การหย่อนตัวและการบิดของแผ่นพื้น ภายใต้ equivalent load.

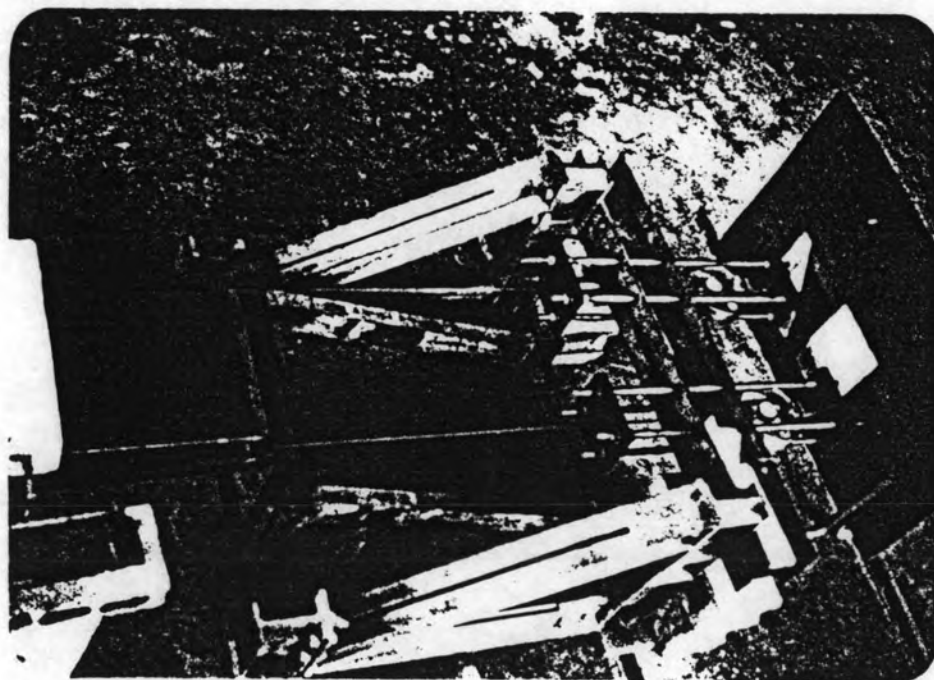
รูปที่ 4.2 แสดงแผ่นพื้นและ เค เบิ้ลรับแรงบิด



รูปที่ 5.1 แสดงการหย่อนตัวของเคเบิลเมื่อเกิดการสั่น

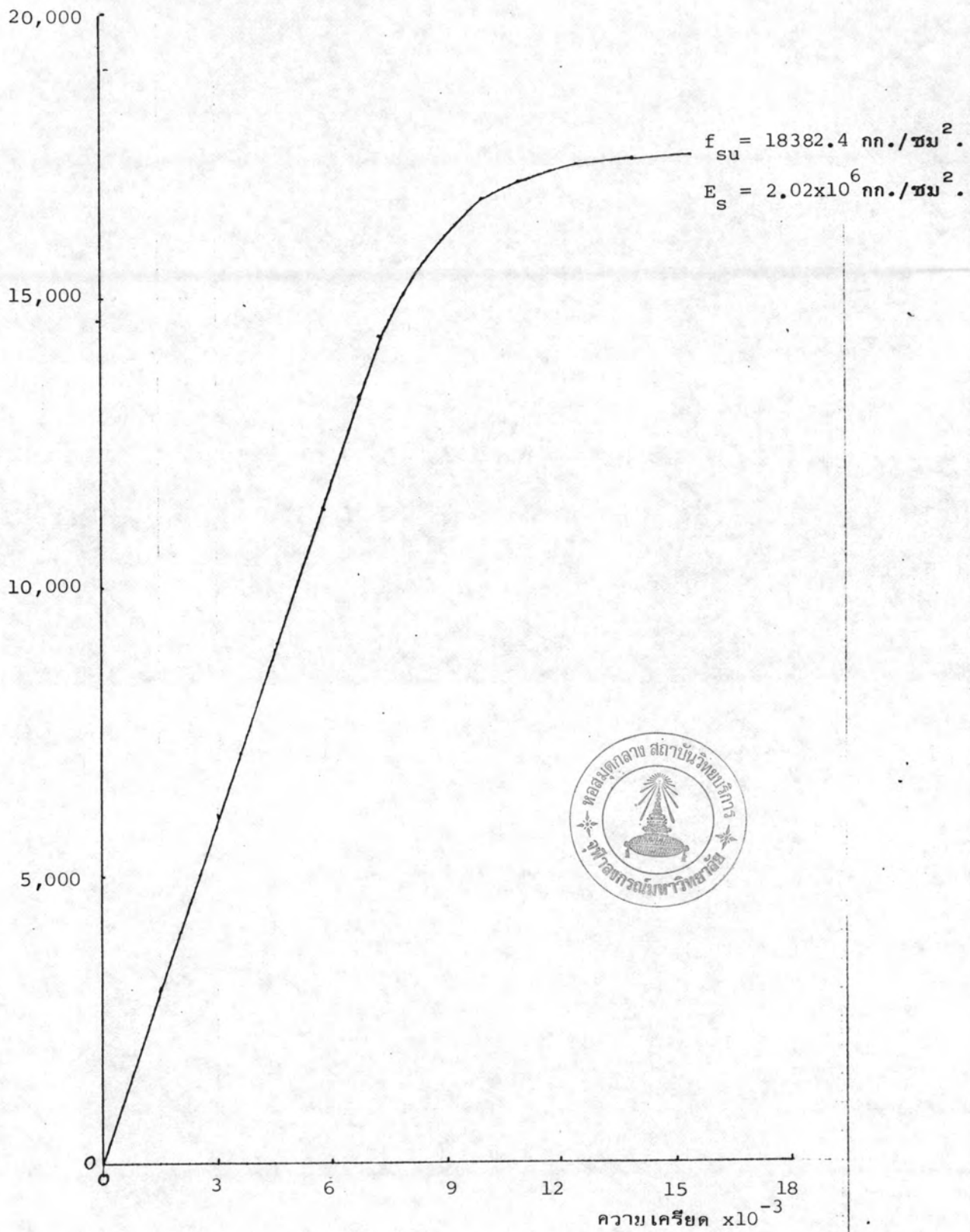


รูปที่ 6.1 แสดงหน้าตัดของแผ่น เหล็กพับ เป็นแผ่นพื้นอย่างง่าย

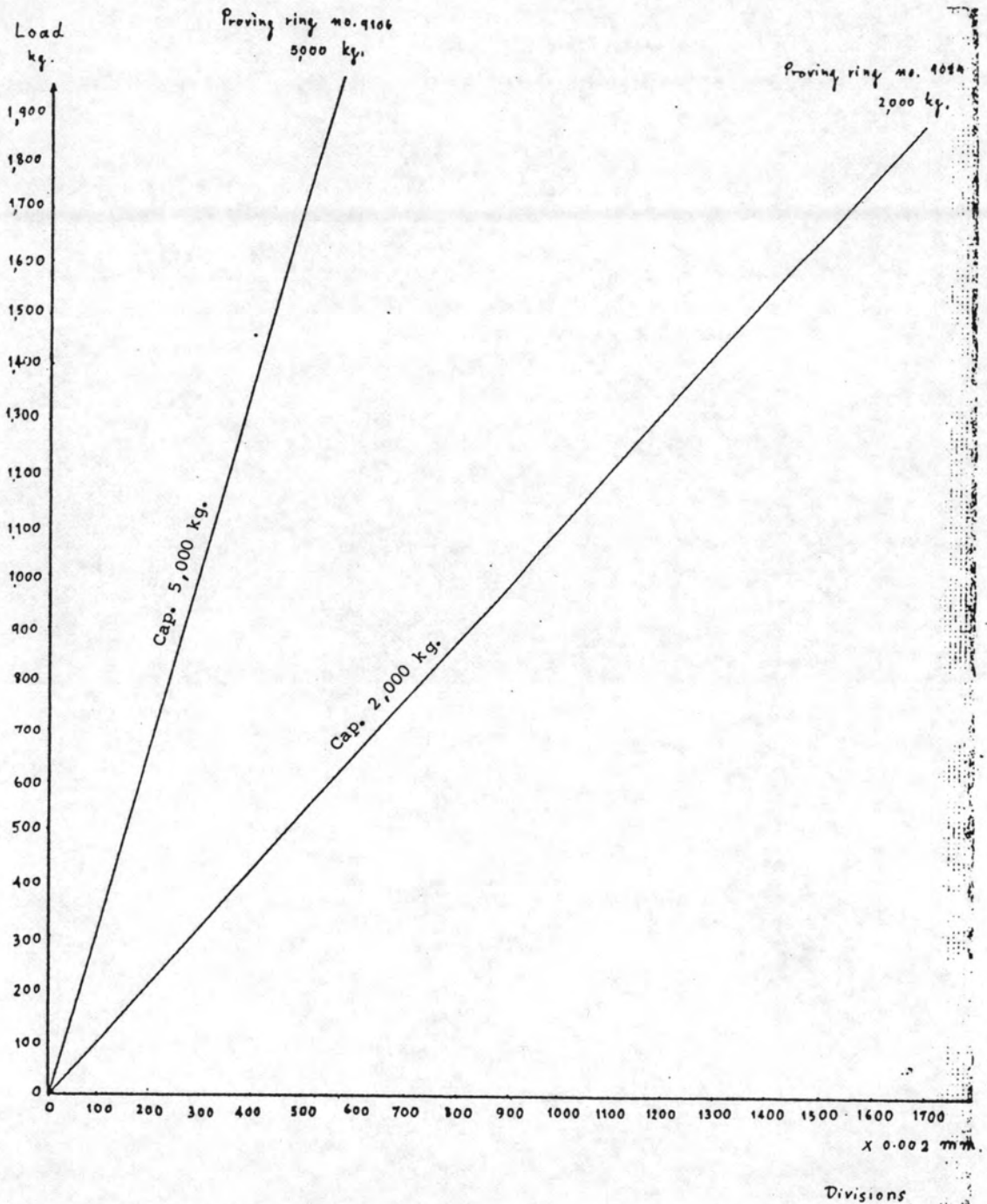


รูปที่ 6.2 การใช้ proving ring วัดแรงในเส้นลวดชนิดอัดแรง

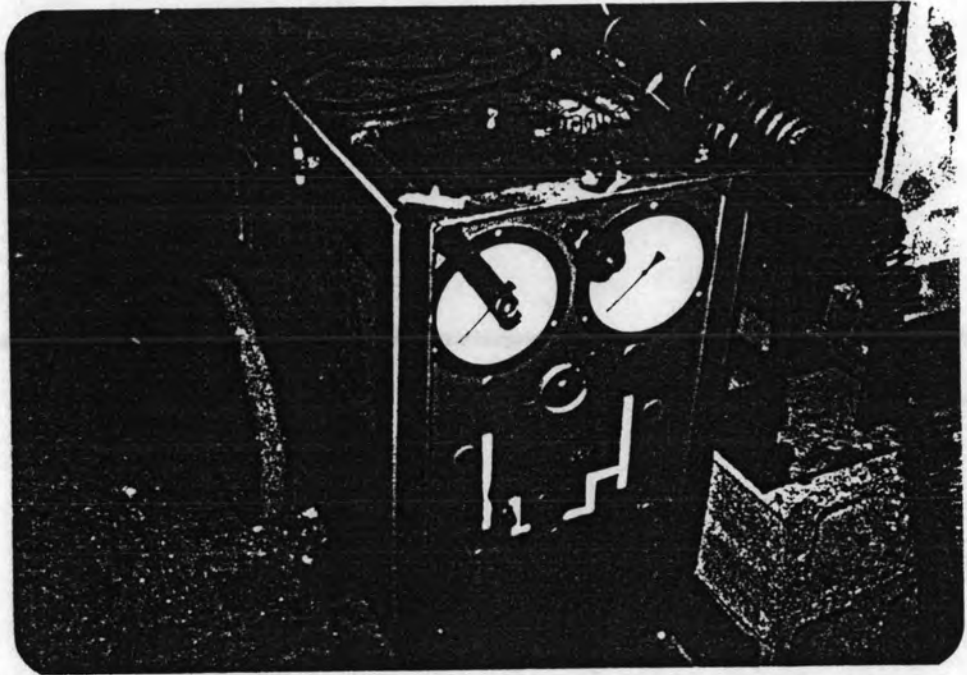
ความเค้นดึง กก./ซม.²



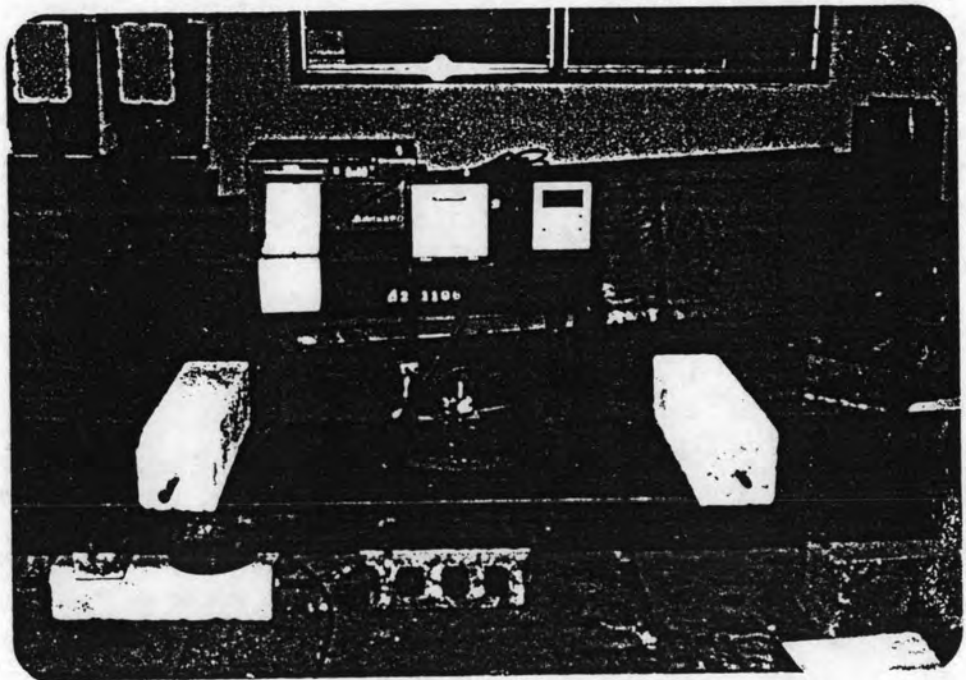
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความเค้น-ความเครียดของเส้นลวดชนิดอัดแรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม.



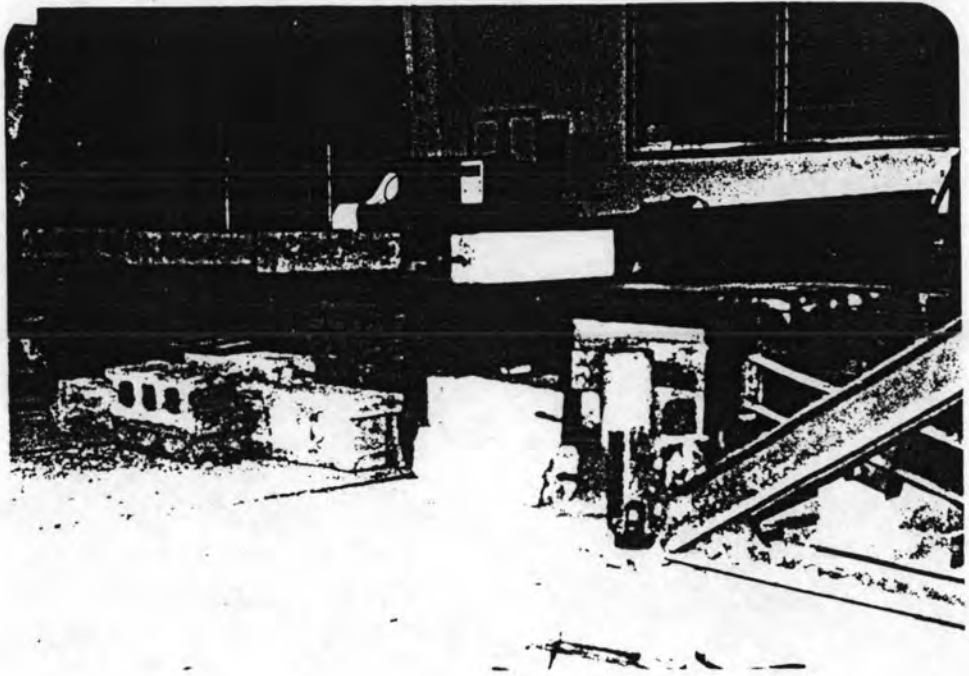
รูปที่ 6.4 แสดง Calibration curve ของ proving ring ขนาด 2,000 และ 5,000 กิโลกรัม



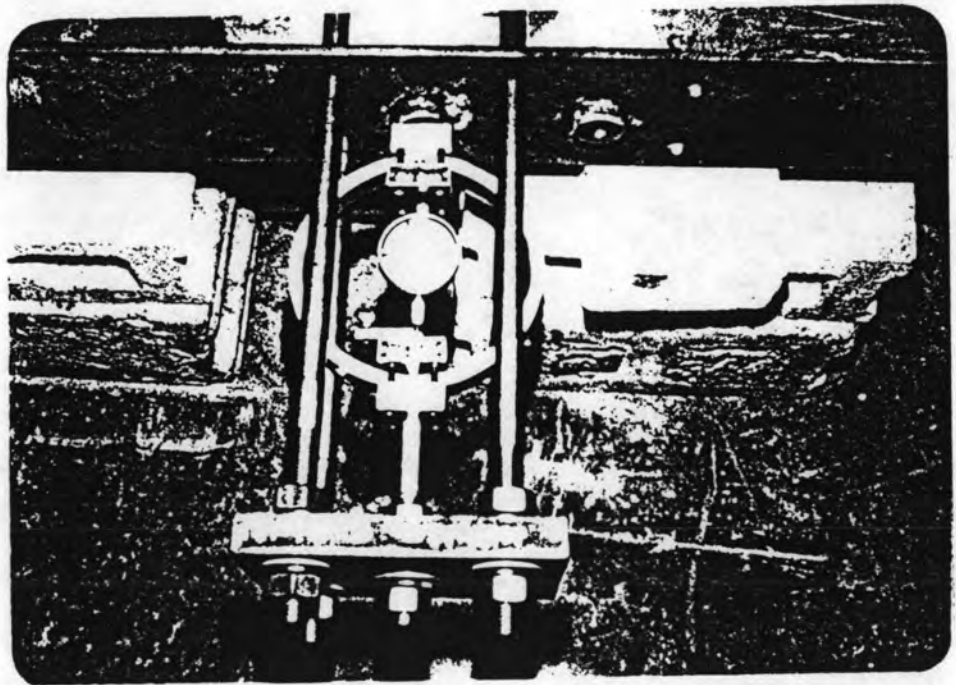
รูปที่ 6.5 แสดงอุปกรณ์เครื่องไฮครอลิคติง เส้นลวดชนิดอัดแรง



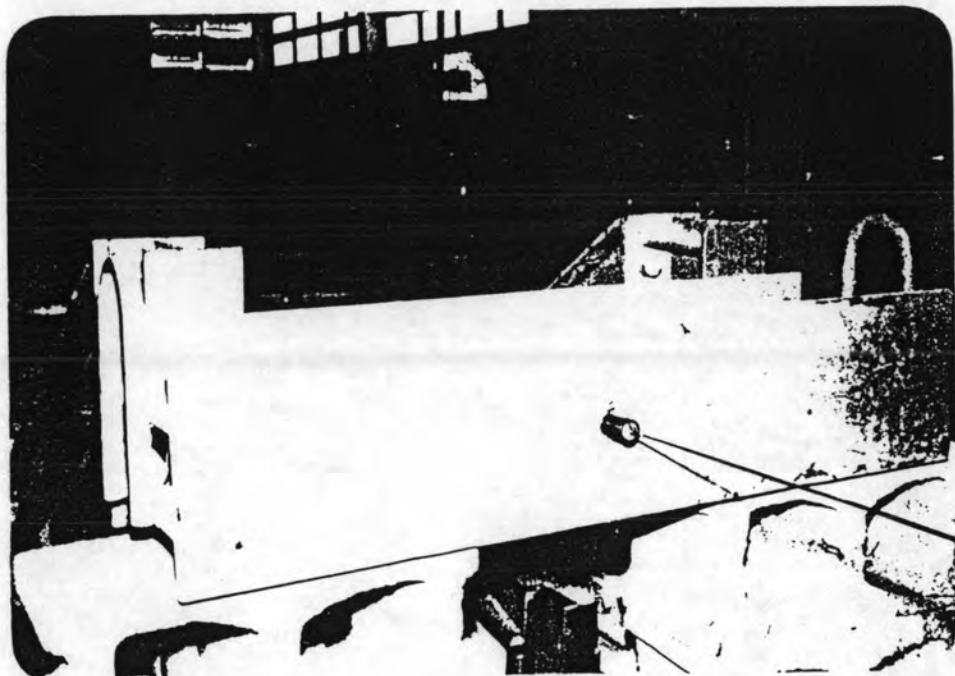
รูปที่ 6.6 แสดงการติดตั้งเครื่อง Transducer-recorder วัดการสั่น



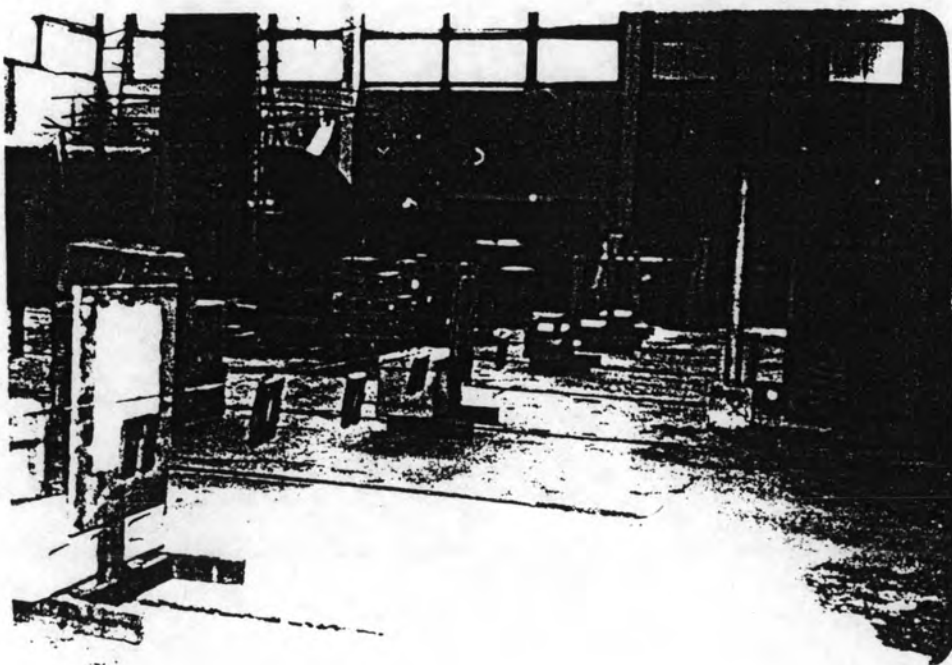
รูปที่ 6.7 แสดงการยึดแผ่นพื้นกับโครงแท่น



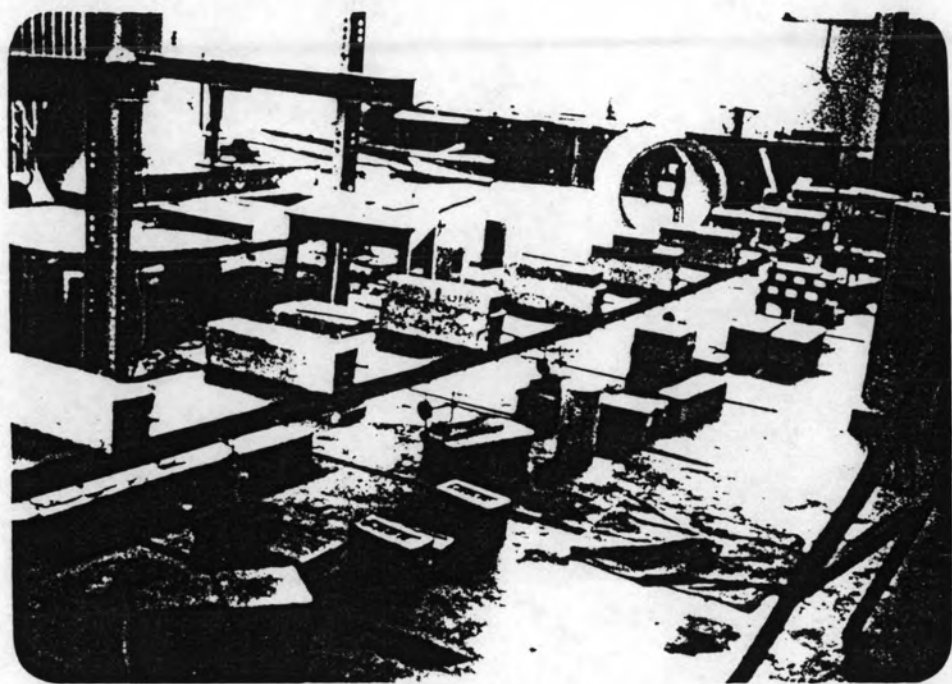
รูปที่ 6.8 แสดงการติดตั้ง proving ring



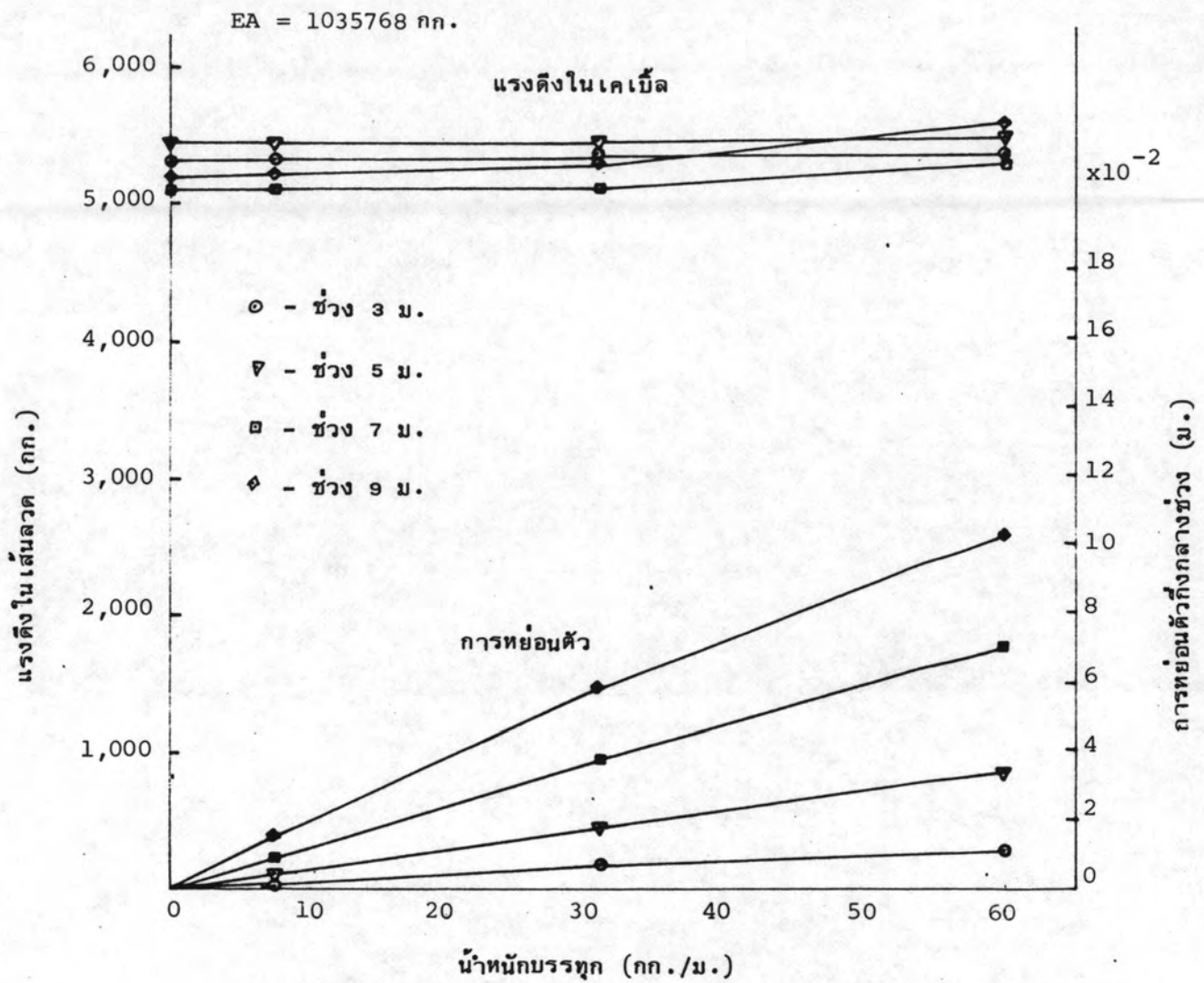
รูปที่ 6.9 แสดงการใช้ grip จับลวดอัดแรง



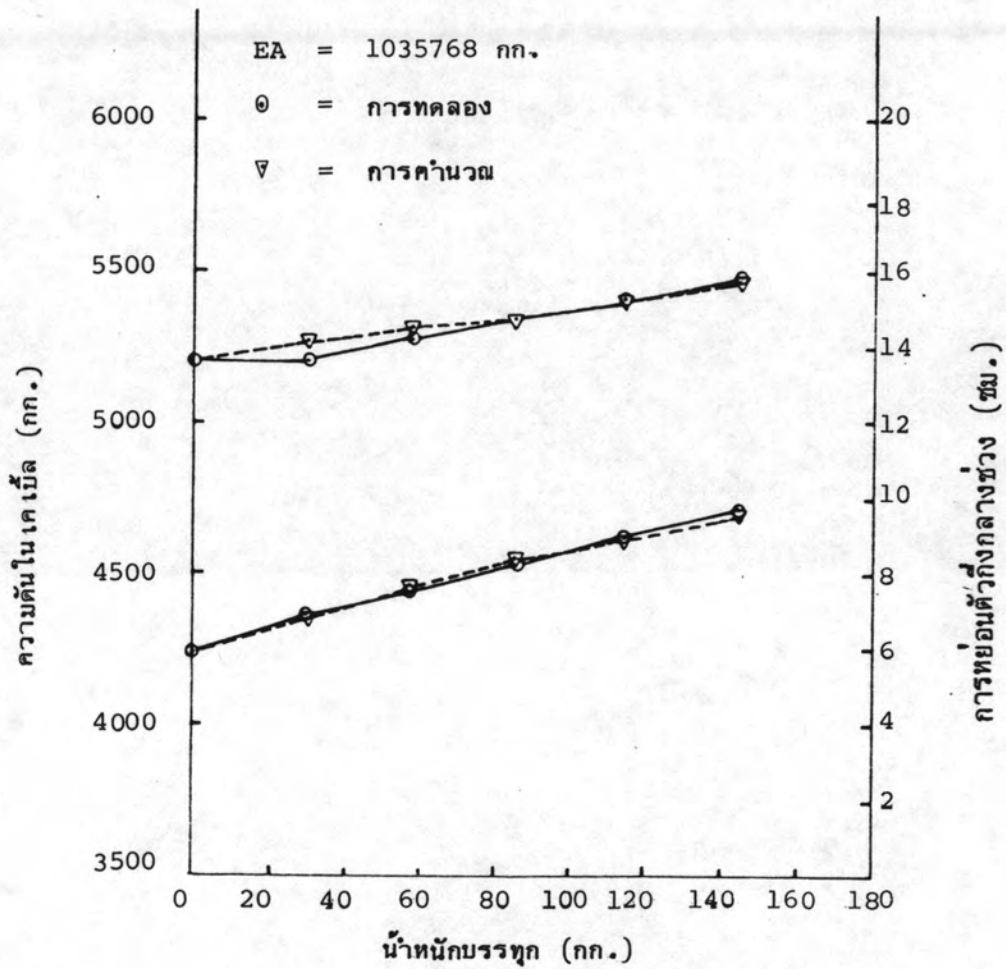
รูปที่ 6.10 แสดงการทดสอบการวัดแรงดึงของเส้นลวดแขวนช่วง 9.00 ม.



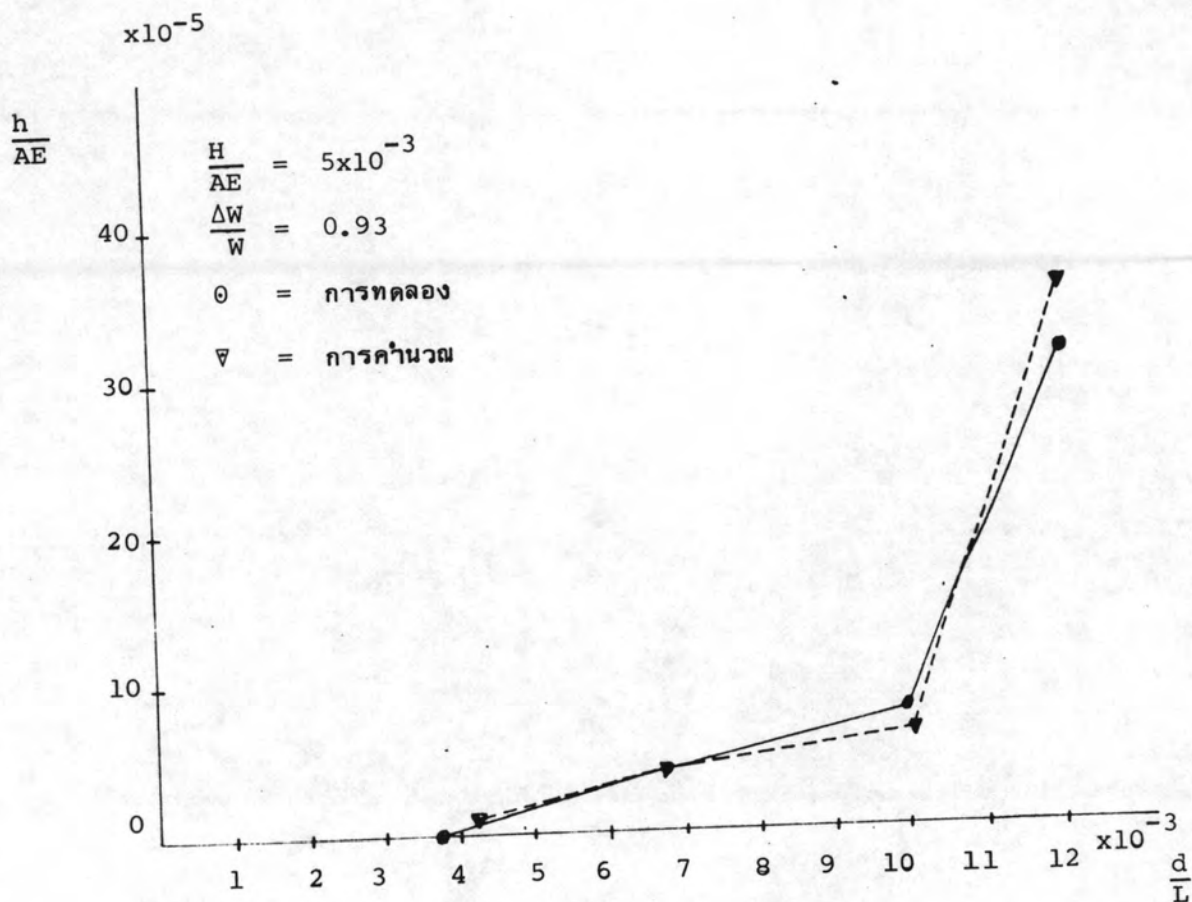
รูปที่ 6.11 แสดงการใช้ dial gages วัดการหย่อนตัว



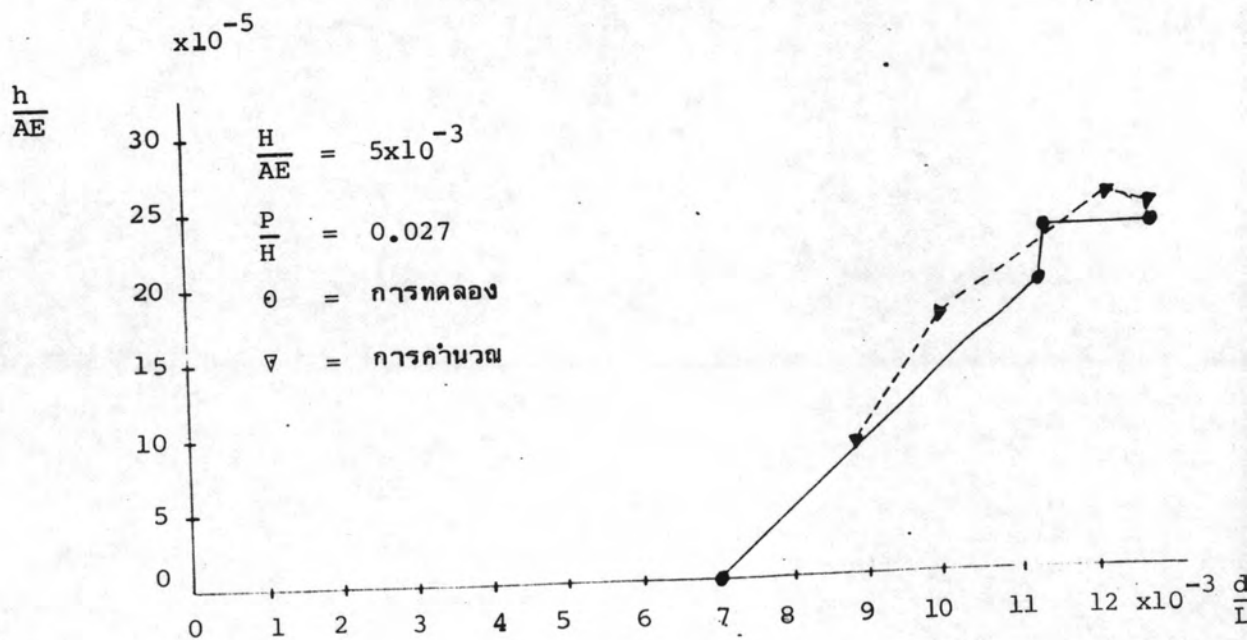
รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ของแรงในเส้นลวด, การหย่อนตัวกับน้ำหนักบรรทุก
กระจายสม่ำเสมอ



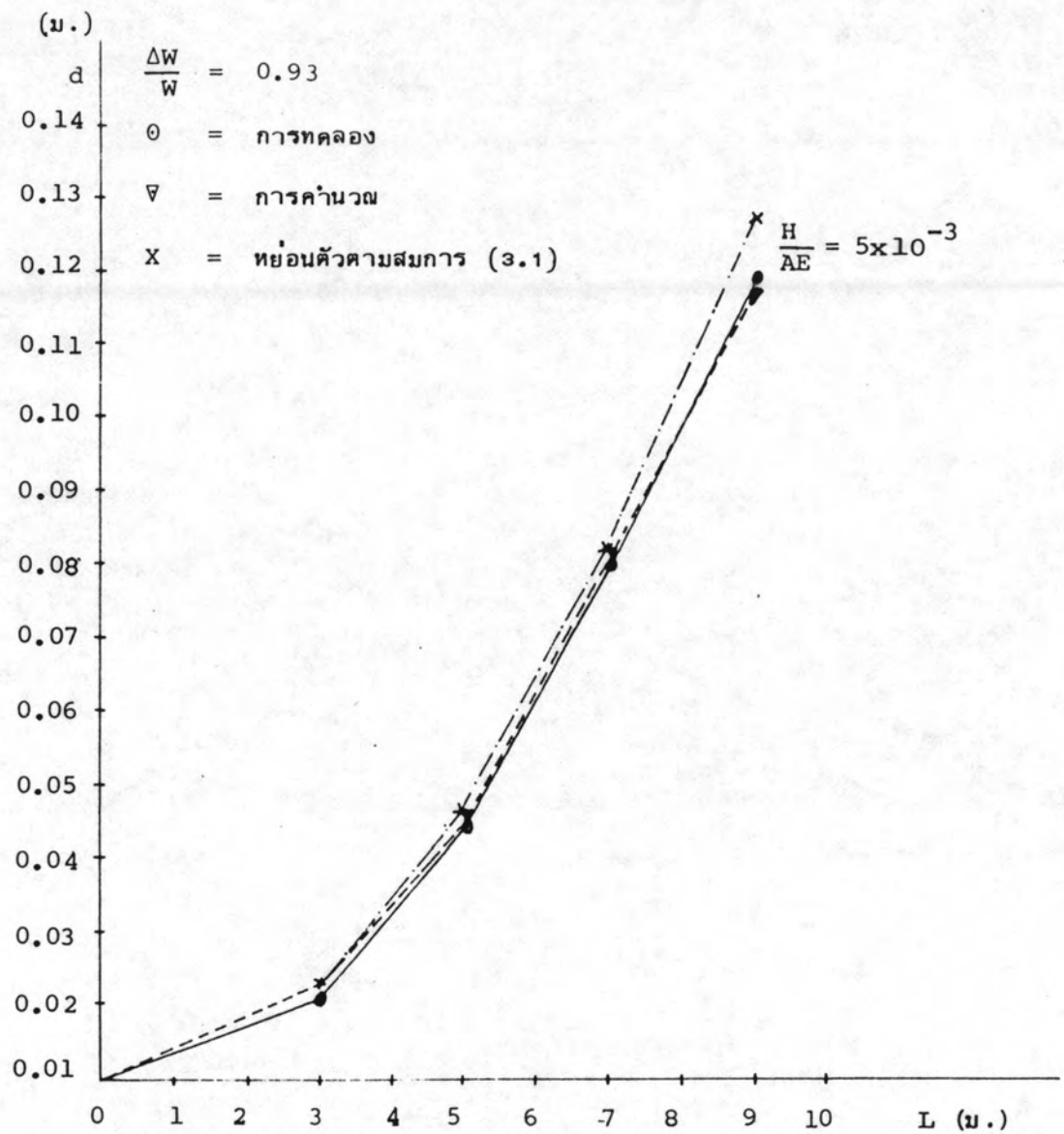
รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ของแรงในเส้นลวด การย่นตัว
 กับน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดที่ระยะ 6 เมตร
 จากปลายของความยาวช่วง 9 เมตร



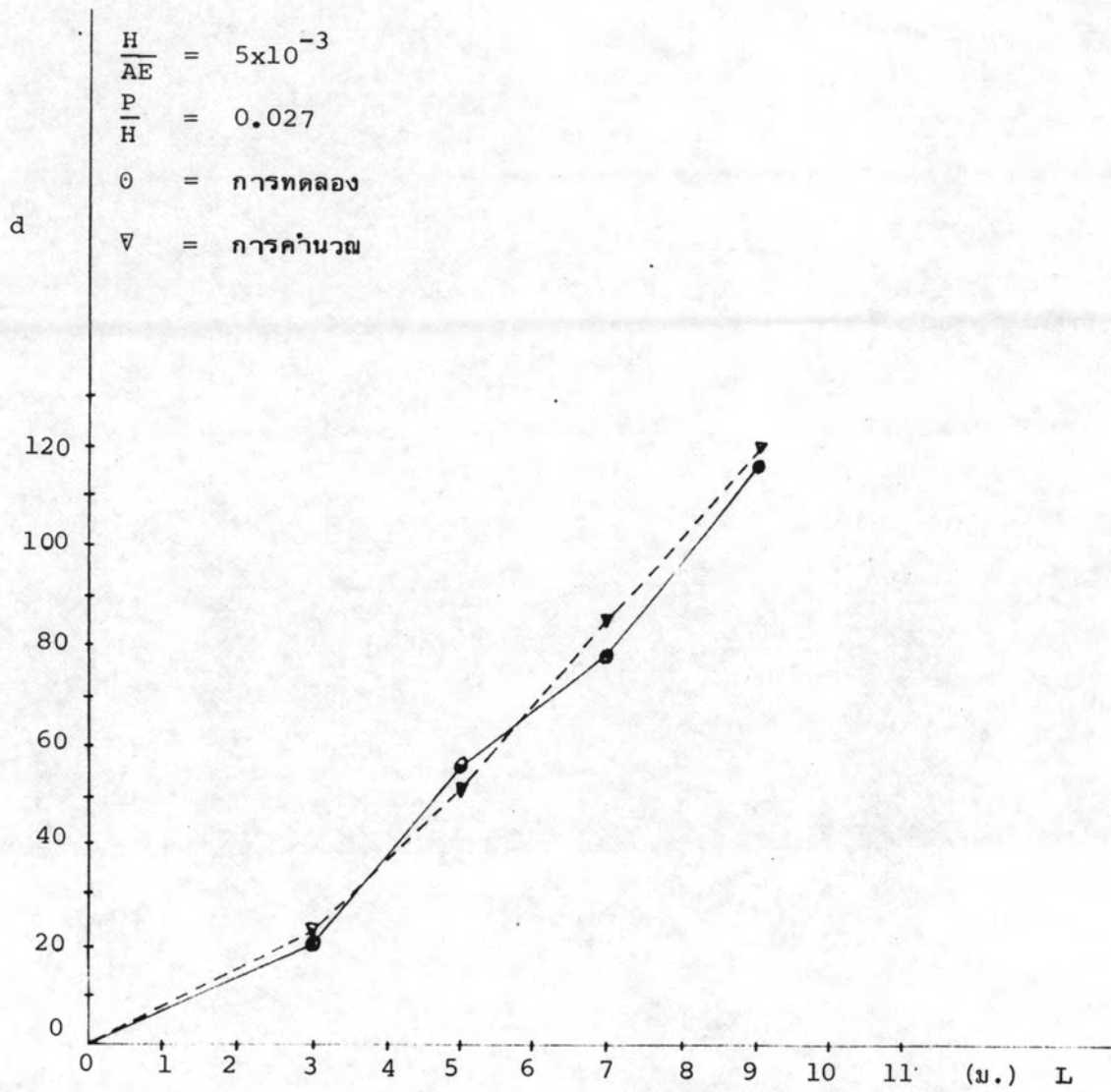
รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ของแรงดึงที่เพิ่มขึ้นกับการหย่อนตัวของกรณีหน้าหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ



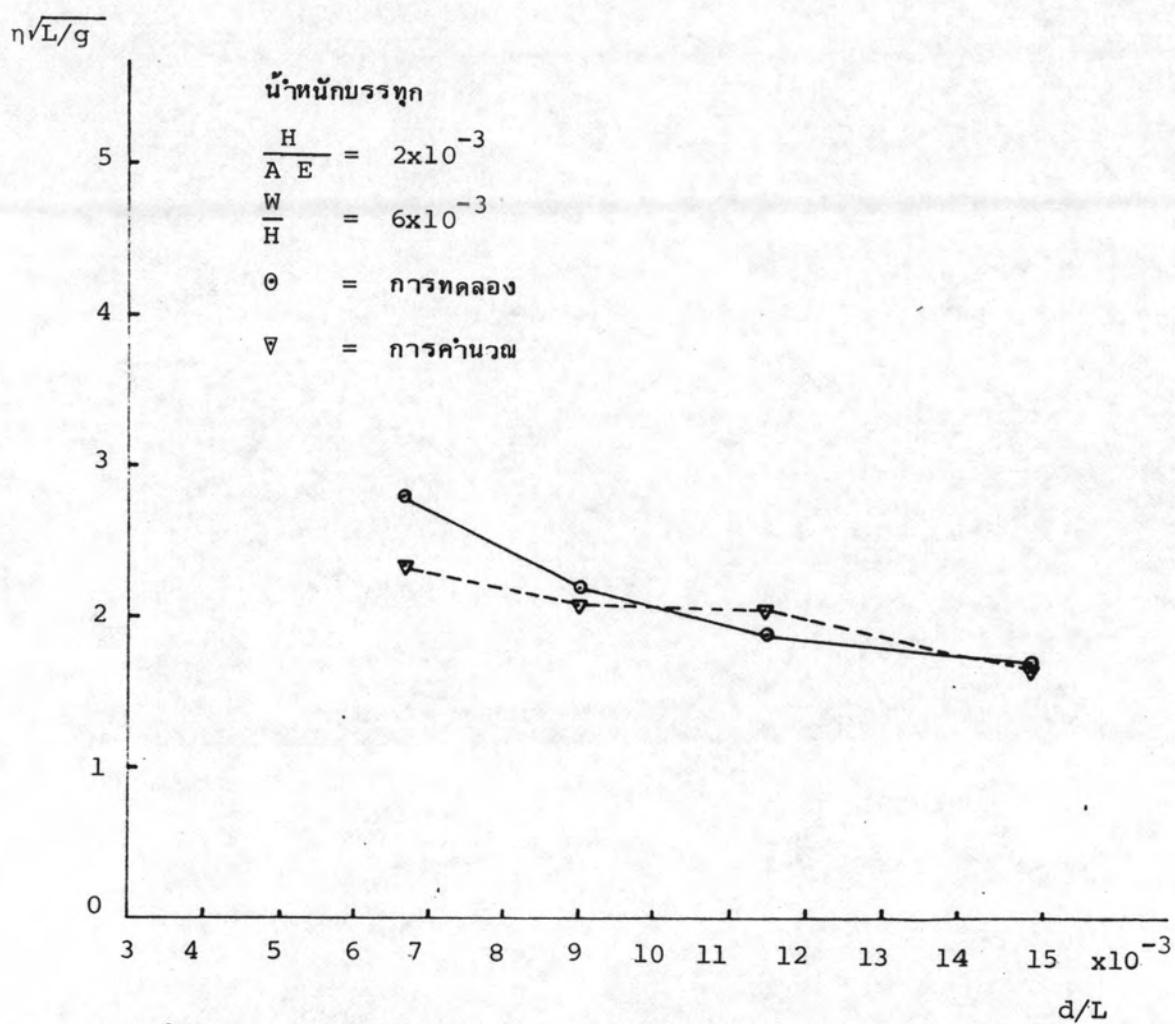
รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ของแรงดึงที่เพิ่มขึ้นกับการหย่อนตัวของกรณีหน้าหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด



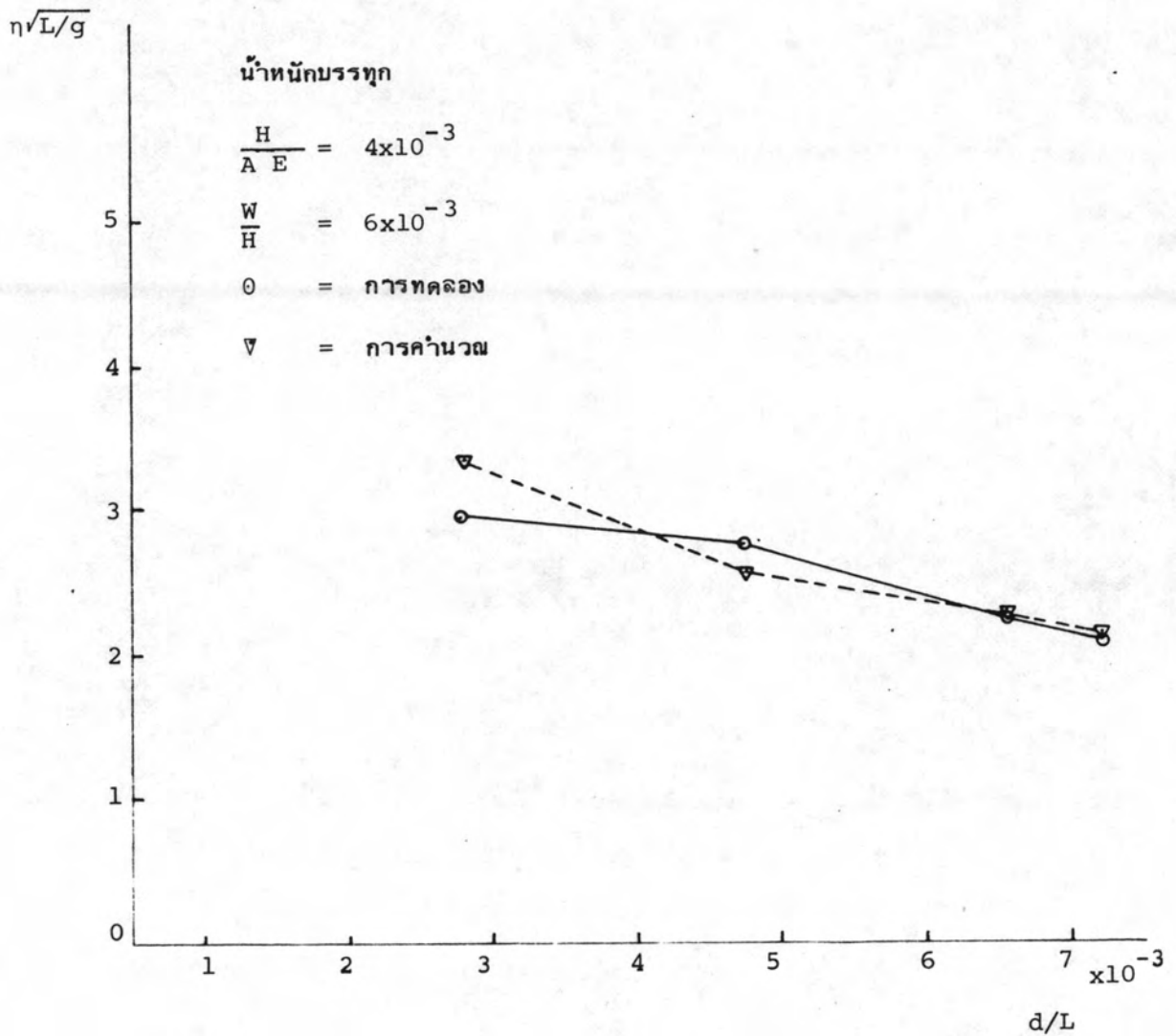
รูปที่ 7.5 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวช่วงกับการหย่อนตัวที่กึ่งกลางช่วง
ในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ

$\times 10^{-3}$ (ม.)


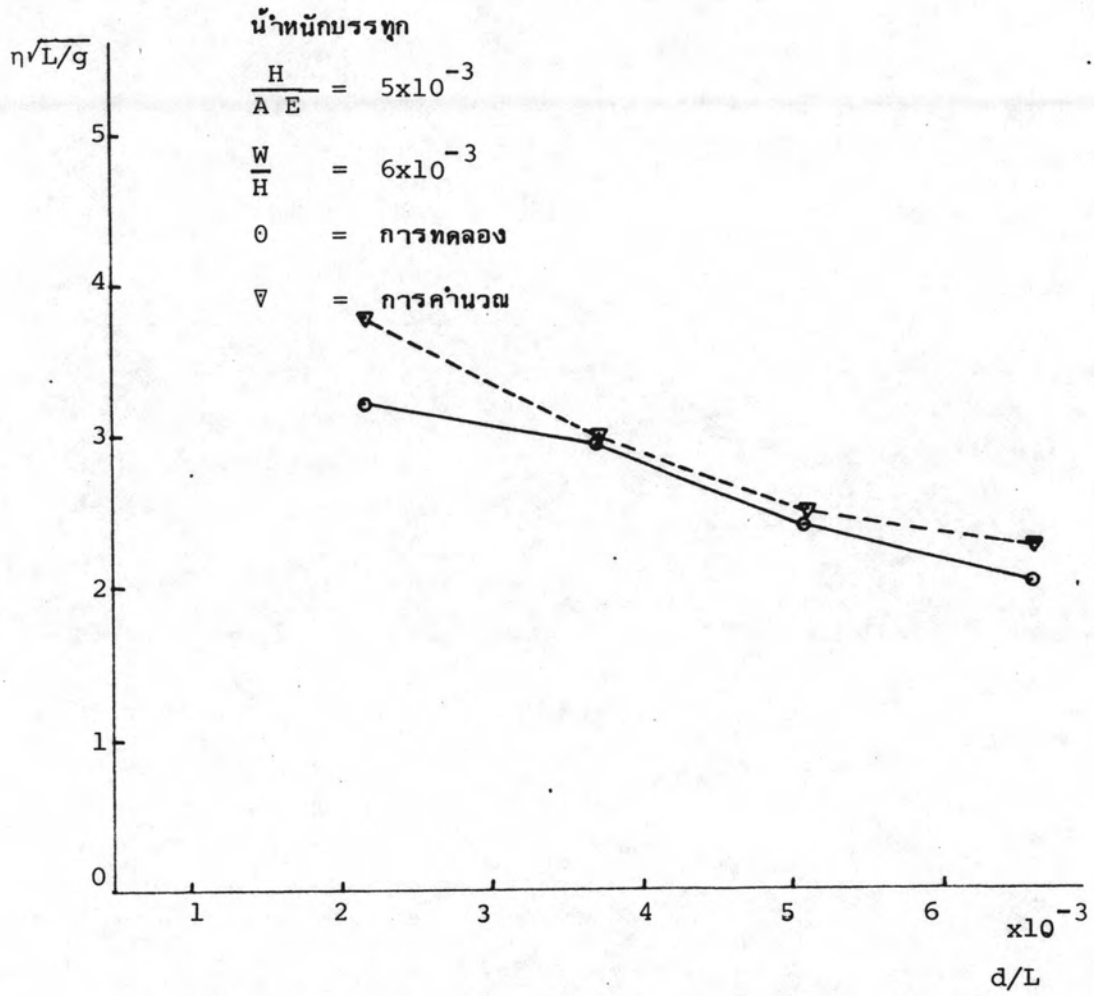
รูปที่ 7.6 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวช่วงกับการหย่อนตัวที่กึ่งกลางช่วง ในกรณี น้ำหนักบรรทุกกระทำ เป็นจุด



รูปที่ 7.7 แสดงพฤติกรรมการณ์การสิ้นของโครงสร้างสะพานชนิดสเตรสริบบอนที่ค่าการ
ห้อยนิ้วต่อความยาวช่วงต่าง ๆ



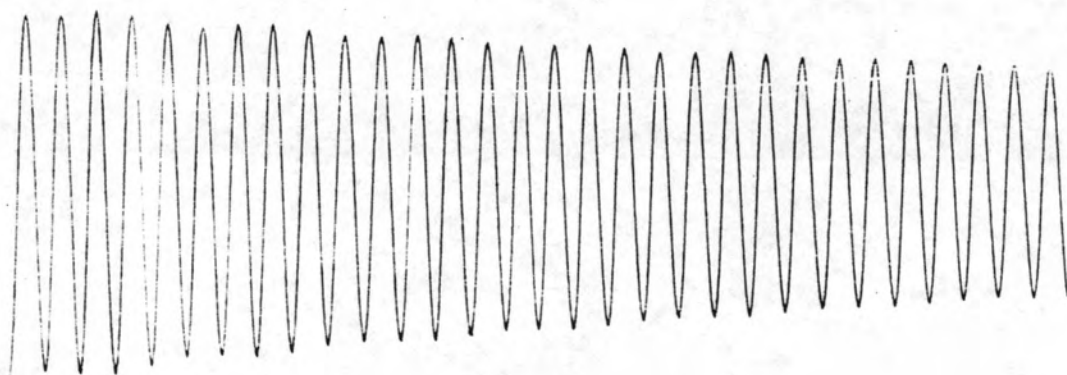
รูปที่ 7.8 แสดงพฤติกรรมการสั่นของโครงสร้างสะพานชนิดสเตรสริบบอนที่ค่าการหย่อนตัวต่อความยาวช่วงต่าง ๆ



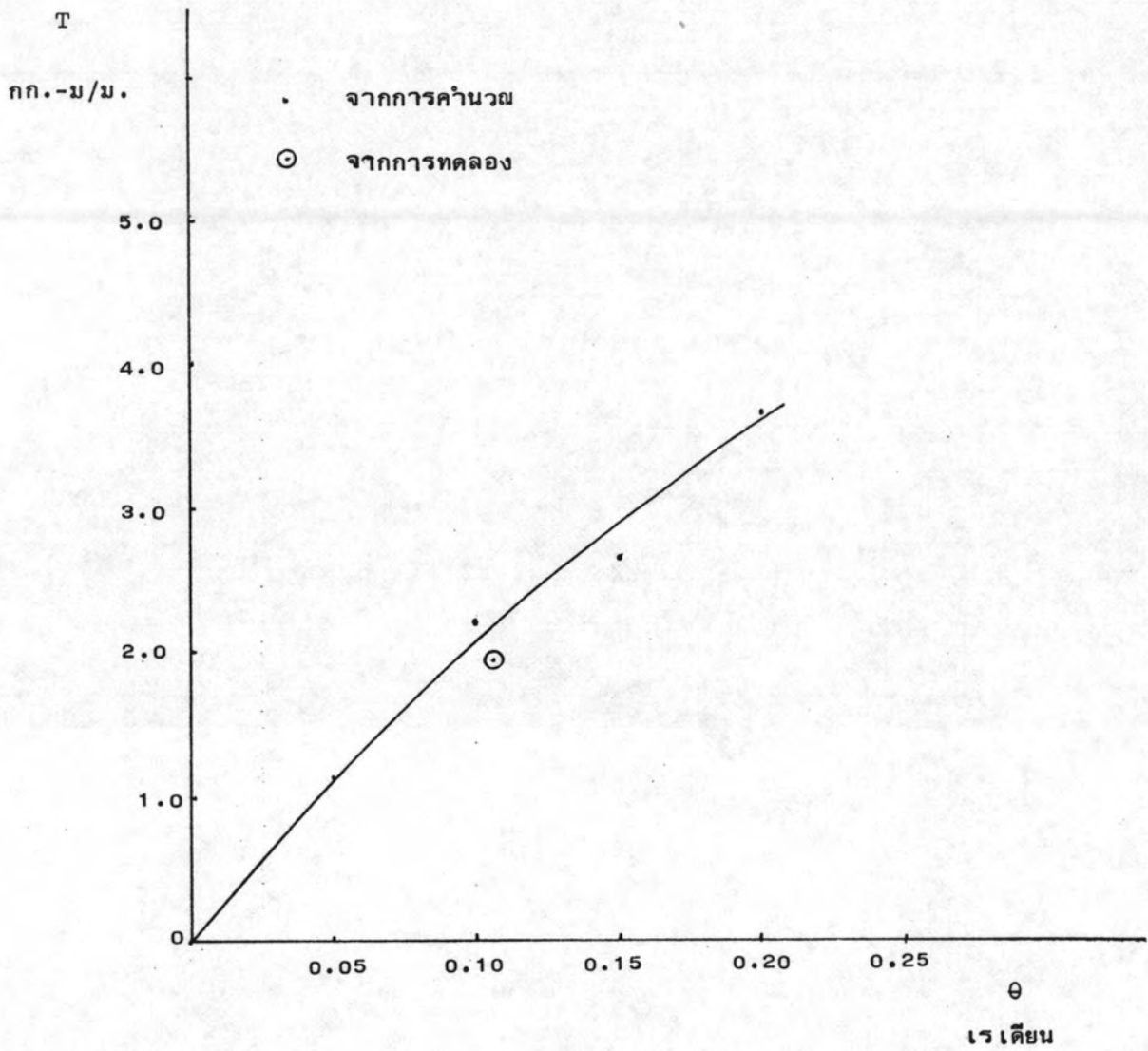
รูปที่ 7.9 แสดงพฤติกรรมการสั่นของโครงสร้างสะพานชนิดสเตรสริบบอนที่ค่าการย้อนตัวต่อความยาวช่วงต่าง ๆ



$$\eta = 2.272 \text{ รอบ/วินาที}$$



รูปที่ 7.10 แสดงการบันทึก fundamental mode ของการสั่นที่ความยาวช่วงโครงสร้าง
จำลอง 9.00 ม.



รูปที่ 7.11 แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดและมุมของการบิด

ภาคผนวก ก.

ความหมายของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการหย่อนตัว

จากสมการที่ 3.15 สามารถหาความหมายของค่า m โดยที่แปรค่า K และ p ต่าง ๆ กันได้คือ ให้ $y = m(m+1)(m+2)$ และ $y = K(p-m)$ นำมาเขียนเป็นกราฟ ให้แกน y เป็นแกนตั้งและ m เป็นแกน x (แกนราบ) ถ้าฟังก์ชัน (functions) ทั้งสองตัดกันจะให้คำตอบของค่า m ในสมการที่ 3.15 ดังแสดงในรูปที่ 1 ก. ฟังก์ชัน $y = K(p-m)$ เป็นเส้นตรงซึ่งแบ่งกลุ่มการพิจารณาได้สองกลุ่มคือ เมื่อ $K > 1$ และ $0 < K < 1$ จากสมการที่ 3.18 กลุ่มแรกของฟังก์ชันจะมีความยาวที่ไม่ยึดตัวของเคเบิ้ล เท่ากับความยาวช่วง หรือน้อยกว่าความยาวช่วง L กลุ่มที่สองของฟังก์ชันความยาวของเคเบิ้ลที่ไม่ยึดตัวจะมีค่ามากกว่าความยาวช่วง

ในกรณีพิเศษที่ $K = 1$ และ $p = -1$ คำตอบของสมการที่ 3.15 จะให้รากของค่า m ที่เหมือนกันทั้งสามค่า $m_1 = m_2 = m_3 = -1$ โดยความยาวของเคเบิ้ลที่ไม่ยึดตัวเท่าความยาวช่วง L พอดี ค่า K และ p นอกนั้นในฟังก์ชันกลุ่มนี้จะให้รากของสมการที่ 3.15 เป็นค่าจริงเพียงค่าเดียว อีกสองค่าของรากเป็นค่าจินตภาพ (imaginary)

เมื่อ $p > -1$ เสมือนเคเบิ้ลรับแรงดึงอยู่ใต้แนวระดับ

$p < -1$ เสมือนเคเบิ้ลรับแรงดึงอยู่เหนือแนวระดับ

ในกรณี $0 < K < 1$ P อยู่ในช่วงที่แลเงาตามที่แสดงในรูปที่ 1 ก. เมื่อ

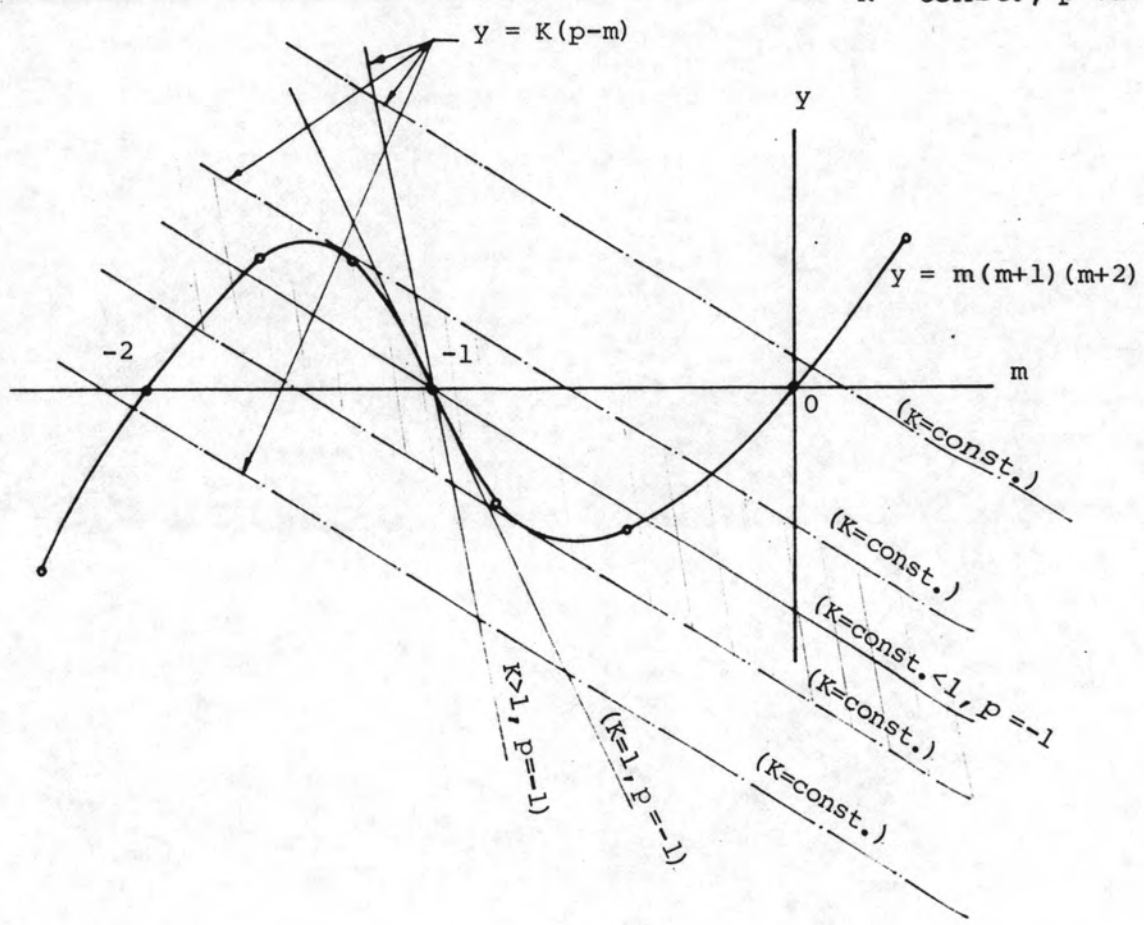
1. $p > -1$ จะได้รากของสมการคือ $-2 < m_1 < m_2 < -1$ และ $-1 < m_3 < 0$ โดยที่ราก m_1 และ m_2 แทนลักษณะของเคเบิ้ลเป็นรูปโค้ง arch รับแรงอัดเหนือแนวระดับ m_3 แทนเคเบิ้ลรับแรงดึงใต้เส้นระดับ

2. $p = -1$ จะได้รากของสมการทั้งสามคือ $-2 < m_1 < -1$, $m_2 = -1$ $-1 < m_3 < 0$ m_1 และ m_3 เคเบิ้ลโค้ง arch รับแรงอัดเหนือแนวระดับ และ m_2 เคเบิ้ลรับแรงดึงใต้แนวระดับ m_1 และ m_3 เสมือนเงาในกระจกของซึ่งกันและกัน m_2 แทนเคเบิ้ลรับแรงอัด เป็นเส้นตรงระหว่างปลายทั้งสองของจุดที่ยึด

๓. $p < -1$ จะได้รากของสมการ $-2 < m_1 < -1$ และ $-1 < m_2 < m_3 < 0$ โดยที่ m_1 แทน เค เบิ้ลรับแรงดึงโค้ง เทนชันแนวระดับ m_2 และ m_3 แทน เค เบิ้ลรับแรงอัดโค้งแนวระดับ

นอกเหนือช่วงที่แลเงาในรูปที่ 1 ก. รากของสมการจะให้ค่า m ที่เป็นจริงเพียงค่าเดียวเท่านั้น

$p = -1, K$ variable
 $K = \text{const.}, p$ variable



รูปที่ 1 ก. คำตอบของการห้อยันตัวที่สัมพันธ์กับน้ำหนักรรทุก

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างจะแสดงวิธีการคำนวณแรงดึงในเส้นลวด, การหย่อนตัว, ปัญหาการบิดของโครงสร้างและการหาความถี่ของการสั่นของโครงสร้าง โดยใช้ความยาวช่วง (L) ที่ 9 ม. เป็นตัวอย่าง ส่วนความยาวช่วงอื่นมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกันนี้ รูปที่ 1 ค. แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

1. แรงดึงและการหย่อนตัว

1.1 กรณีน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ

รูปที่ 3.1 ข. แสดงลักษณะของกรณีนี้



ดึงลวดอัดแรง $H = 1300$ กก./เส้นลวด

หากการหย่อนตัวและแรงดึงใหม่เนื่องจากน้ำหนักถ่วง จากสมการที่จะได้

$$d_o = \frac{8 \cdot 10 \cdot 9^2}{4 \cdot 8 \cdot 1300} = 0.01577 \text{ ม.}$$

$$d_o/L = 0.01577/9 = 0.001722 < 0.020$$

ฉะนั้นใช้ทฤษฎีเค เบ็ลต์จึงได้

จากสมการที่ 3.15 หาค่า m ใหม่สำหรับ $p = \frac{22.7}{8.10}$

$$m(m+1)(m+2) = \frac{3 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 9}{4 \cdot 64 \cdot \frac{1035768}{4}} \left(\frac{9}{0.01577} \right)^3 \left(\frac{22.7}{8.10} - m \right)$$

$$m^3 + 3m^2 + 615.25m - 1718.619 = 0$$

(1 ข.)

โดยการใช้ Numerical Method

อนุพันธ์สมการที่ (1 ข.) เทียบกับ m จะได้ค่า

$$f'(m) = 3m^2 + 6m + 615.25$$

$$m = m - \frac{m^3 + 3m^2 + 615.25m - 1718.619}{3m^2 + 6m + 615.25}$$

k	m
0	1
1	2.7611037
2	2.7243366
3	2.7243134

(สมมติ $m_0 = 1$)

$$m = 2.7243$$

$$\Delta d = 0.04296 \text{ ม.}$$

$$L(1+m) \frac{d}{L} = 0.05873 \text{ ม.}$$

$$H = 1300 \frac{1+22.7/8.10}{1+2.7243} = 1327.28 \text{ กก./เส้น}$$

$$H = 5310 \text{ กก. (4 เส้น)}$$

กรณีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำเป็นระยะ 3 ม. จากปลาย B (จากปลาย A ในตาราง 7.1) แบ่งเคเบิ้ลออกเป็นสองส่วน AC และ CB (ตามที่แสดงในรูปที่ 3.4 ก.)

$L_1 = 6 \text{ ม.}, L_2 = 3 \text{ ม.}$ แทนลงในสมการที่ 3.41 จะได้

$$\sec \beta_2 = \sqrt{1 + \left(\frac{6 \tan \beta_1}{3}\right)^2} \dots\dots\dots (2 \text{ ข.})$$

แก้สมการที่ 3.41, 3.43 และ 3.44 ให้อยู่ในเทอมของ $\tan \beta_1$ จะได้ว่า

$$\frac{L_1}{d_1} = \left[\frac{(W_1 + W_2)L_2 \sqrt{1 + \left(\frac{L_1 \tan \beta_1}{L_2}\right)^2}}{W_1 L_1 \sec \beta_1} + 1 \right] \frac{1}{\left(\frac{\tan \beta_1}{4} + \frac{L_1 \tan \beta_1}{4L_2}\right)} \dots\dots (3 \text{ ข.})$$

$$\text{และ } \frac{d_2}{L_2} = -\frac{d_1}{L_1} + \frac{\tan \beta_1}{4} + \frac{L_1 \tan \beta_1}{4L_2} \dots\dots\dots (4 \text{ ข.})$$

หาความยาวที่ยึดค้ำ จากสมการที่ 3.17

$$(m+1)^2 = 1 - \frac{3 \times 30.8 \times 9}{64 \times 1035768} \left(\frac{9}{0.05873}\right)^3 = -44.146028$$

จากสมการที่ 3.4

$$l_{AB} = 9 \left[1 - \frac{8}{3} \left(\frac{0.05873}{9} \right)^2 (44.146028) \right] = 8.9548832 \text{ ม.}$$

และจากสมการที่ 3.45

$$l_{AC} = 6 \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_1}{L_1} \right)^2 \left[1 - \frac{3 \times 30.8 \times 6 \text{ Sec}^3 \beta_1}{64 \times 1035768} \left(\frac{L_1}{d_1} \right)^3 \right] + \frac{1}{2} \tan^2 \beta_1 \right\} (5 \text{ ข.})$$

$$l_{BC} = 3 \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_2}{L_2} \right)^2 \left[1 - \frac{3 \times 59.42 \times 3 \text{ Sec}^3 \beta_2}{64 \times 1035768} \left(\frac{L_2}{d_2} \right)^3 \right] + \frac{1}{2} \left(\frac{6 \tan \beta_1}{3} \right)^2 \right\} (6 \text{ ข.})$$

เนื่องจากต้อง compatibility $l_{AC} + l_{BC} - 8.9548832 = 0 \dots\dots(7 \text{ ข.})$

หาค่าตอบ β_1 และ d_1/L_1 โดยการลองผิดลองถูกซึ่งมีขั้นตอน คือ

1. หาค่าของ β_1 เนื่องจากน้ำหนัก w_1 เท่านั้น
2. แทน β_1 ลงในสมการที่ (2 ข.) เพื่อหาค่า L_1/d_1 และ d_2/L_2 จากสมการที่ (4 ข.)
3. แทนค่าของข้อ 2 ลงในสมการที่ (7 ข.) ทางด้านซ้ายมือ
4. เลือกค่า β_1 ใหม่และเริ่มต้นตามข้อ 2 ใหม่ จนกว่าด้านซ้ายมือของสมการที่ (7 ข.) จะเข้าใกล้ศูนย์

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{d - \frac{h}{2}}{L_1} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.05873}{6} \right) = 0.5608122 \dots(8 \text{ ข.})$$

$$\text{จะได้ } \beta_1 = 0.6531435, \quad \tan \beta_1 = 0.01140, \quad \tan \beta_2 = 0.0229$$

$$\sec \beta_1 = 1.0000655, \quad \sec \beta_2 = 1.0002622$$

$$L_1/d_1 = 229.77899, \quad L_2/d_2 = 238.20862 \text{ จากสมการที่เหลือเศษ} = 0.000468249$$

แรงดึงใน เส้นลวด จากสมการที่ 3.44

$$H = \frac{30.8 \times 6 \times \sec \beta_1}{4 \times 8} \times 229.77899 = 1327.50 \text{ กก./เส้นลวด}$$

$$\approx 5,310.0 \text{ กก. (4 เส้น)}$$

จากสมการที่ 3.41 a. จะได้การหย่อนตัว

$$\text{ที่ } x = 2, y = 4 \left(\frac{1}{229.77899} \right) \frac{1}{6} (2)^2 - (0.01140 + 4 \frac{1}{229.77899}) (2)$$

$$= -0.046209 \text{ ม. (จากคอร์ด AB) \dots\dots\dots(9 ข.)}$$

$$x = 4.5, y = -0.0711923 \text{ ม. (จากคอร์ด AB) \dots\dots\dots(10 ข.)}$$

ในช่วง $L_2 = 3$ จากสมการที่ 3.42 b.

$x = 1$ จากจุดเริ่มต้นที่ C (หรือเท่ากับ 7 จากจุดเริ่มต้นที่ A) จะได้

$$x = 1, y = 4 \left(\frac{1}{238.20862} \right) \frac{1}{3} (1)^2 + (0.0229 - 4 \frac{1}{238.20862}) (1)$$

$$= 0.01160 \text{ ม. (จากเส้นระดับลากผ่าน C)}$$

การหย่อนตัวจากคอร์ด AB คือ $= L_2 \tan \beta_2 - 0.01160$

$$= 3 \tan \beta_2 - 0.01160$$

$$= 0.0571 \text{ ม. \dots\dots\dots(11 ข.)}$$

กรณีนี้หนักบรรทุกกระทำเป็นระยะ $L_2 = 5$ ม.

$$L_1 = 4 \text{ ม. , } L_2 = \frac{5 \text{ ม.}}{4 \tan \beta_1}$$

$$L_1/d_1 = \left[\frac{59.42 \times 5 \sqrt{1 + \left(\frac{4 \tan \beta_1}{5} \right)^2}}{30.8 \times 4 \times \sec \beta_1} + 1 \right] \frac{1}{0.45 \tan \beta_1}$$

$$d_2/L_2 = -\frac{d_1}{L_1} + 0.45 \tan \beta_1$$

$$4\left\{1 + \frac{8}{3}\left(\frac{d_1}{L_1}\right)^2 \left[1 - \frac{3 \times 30.8 \times 4 \text{Sec}^3 \beta_1}{64 \times 1035768} \left(\frac{L_1}{d_1}\right)^3\right] + \frac{1}{2} \tan^2 \beta_1\right\}$$

$$+ 5\left\{1 + \frac{8}{3}\left(\frac{d_2}{L_2}\right)^2 \left[1 - \frac{3 \times 59.42 \times 5 \text{Sec}^3 \beta_2}{64 \times 1035768} \left(\frac{L_2}{d_2}\right)^3\right] + \frac{1}{2} \left(\frac{4 \tan \beta_1}{5}\right)^2\right\}$$

$$- 8.9548832 = 0$$

$$\tan \beta_1 = 0.0215 \quad L_1/d_1 = 352.6125 \quad L_2/d_2 = 146.21966$$

$$\tan \beta_2 = 0.0172$$

$$H = 4 \left[\frac{30.8 \times 4 \times \text{Sec} \beta_1}{4 \times 8} (352.6125) \right] = 4 \left[\frac{59.42 \times 5 \times \text{Sec} \beta_2}{4 \times 8} (146.21966) \right]$$

$$= 5430.2325 \quad \text{กก.}$$

การหย่อนตัว

$$\text{ที่ } x = 2, \quad y = -0.05434 \text{ ม.}$$

$$\text{ที่ } x = 0.5 \text{ (หรือ } 4.5 \text{ ม. จากจุด A)} \quad y = -0.0037102$$

$$\text{หรือการหย่อนตัว} = 0.08228 \quad (\text{จากคอร์ด AB})$$

$$\text{และ } x = 3, \quad y = 0.0187727$$

$$\text{หรือการหย่อนตัว} = 0.06722 \quad (\text{จากคอร์ด AB})$$

กรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำเต็มช่วง $L = 9 \text{ ม.}$

$$p = 28.75/30.8 = 0.9292$$

จากสมการที่ 3.15 ทาค่า m

$$m(m+1)(m+2) = \frac{3 \times 30.8 \times 9}{64 \times 1035768} \left(\frac{9}{0.05873}\right)^3 (0.9292 - m)$$

$$\text{จะได้ } m = 0.8333$$

$$\Delta d = 0.04894, \quad L(1+m) \frac{d_0}{L} = 0.10767 \text{ ม.}$$

$$H = \frac{30.8 \times 9}{8} \left(\frac{9}{0.05873} \right) \left(\frac{1+0.9292}{1+0.8333} \right)$$

$$= 5566.7997 \text{ กก. (4 เส้น)}$$

การหย่อนตัวกึ่งกลางช่วง $x = 4.5$ ม., $d = 0.10767$ ม.

$$\text{ที่ } x = 2 \text{ และ } 7 \text{ ม. } y = 4d \left[\frac{x}{L} - \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right]$$

$$= 4 \times 0.10767 \left[\frac{2}{9} - \left(\frac{2}{9} \right)^2 \right]$$

$$= 0.074438 \text{ ม.}$$

1.2 กรณีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำเป็นจุด

รูปที่ 3.5 แสดงถึงลักษณะของกรณีนี้

$$p = 28.75 \text{ กก.}$$

$$w_o = 30.80 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{ความยาวที่ไม่ยึดตัว } l_{AB} = 8.9548832 \text{ ม.}$$

จากสมการที่ 3.49

$$R = \frac{w(L \tan \beta_1 + h)}{8(p + \frac{wL}{2})} = \frac{30.80 \times 9 \tan \beta_1}{8(28.75 + \frac{30.80 \times 8.9548832}{2})}$$

$$= 0.2080766 \tan \beta_1 \quad \dots\dots\dots (12 \text{ ข.})$$

แทนค่า R ในสมการที่ 3.50 จะได้

$$6 \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_1}{L_1} \right)^2 \left[1 - \frac{3 \times 30.8 \times 6 \text{Sec}^3 \beta_1}{64 \times 1035768} \left(\frac{L_1}{d_1} \right)^3 \right] + \frac{1}{2} \tan^2 \beta_1 \right\}$$

$$+ 3 \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_2}{L_2} \right)^2 \left[1 - \frac{3 \times 30.8 \times 3 \text{Sec}^3 \beta_2}{64 \times 1035768} \left(\frac{L_2}{d_2} \right)^3 \right] + \frac{1}{2} \left(\frac{6 \tan \beta_1}{3} \right)^2 \right\} - 8.9548832 = 0 \quad (13 \text{ ข.})$$

จะได้คำตอบ $\tan\beta_1 = 0.0105$, $\tan\beta_2 = 0.021$

$$d_1/L_1 = 4.36984 \times 10^{-3} \quad d_2/L_2 = 2.18528 \times 10^{-3}$$

แรงดึงในเส้นลวด

$$H = \frac{wL_1 \text{Sec}\beta_1}{8} \left(\frac{L_1}{d_1}\right) = \frac{wL_2 \text{Sec}\beta_2}{8} \left(\frac{L_2}{d_2}\right)$$

$$H = \frac{30.8 \times 6 \times \text{Sec}\beta_1}{8} \left(\frac{1}{4.36984 \times 10^{-3}}\right) = 5286.5252 \text{ กก.}$$

การหย่อนตัว

จากสมการที่ 3.42a และ 3.42b

$$x = 2 \text{ ม.} , \quad y = -0.04430 \text{ ม.}$$

$$x = 4.5 \text{ ม.} , \quad y = -0.0669142 \text{ ม.}$$

$$x = 1 \text{ ม. (ที่ 7 ม. จากปลาย A)} \quad y = 0.04783 \text{ ม.}$$

$$P = 5 \times 28.75 \text{ กก.}$$

$$R = \frac{30.8 \times 9 \times \tan\beta_1}{8(5 \times 28.75 + \frac{30.8 \times 8.9548832}{2})} = 0.1233072 \cdot \tan\beta_1$$

แทนค่า R ในสมการที่ 3.50 จากวิธีการลองถูกลงผิด จะได้

$$\tan\beta_1 = 0.0170 , \quad \tan\beta_2 = 0.034$$

$$L_1/d_1 = 238.48966 , \quad L_2/d_2 = 476.77274$$

แรงดึงในเส้นลวด

$$H = \frac{30.8 \times 6 \times \text{Sec}\beta_1}{8} (238.48966) = 5509.9072 \text{ กก.}$$

การหย่อนตัว

$$x = 2 \quad , \quad y = -0.05636 \text{ ม.}$$

$$x = 4.5 \quad , \quad y = -0.09536 \text{ ม.}$$

$$x = 1 \quad (\text{หรือ } 7 \text{ ม. จากจุด } A)$$

$$y = 0.073594 \text{ ม.}$$

2. ปัญหาการบิดในโครงสร้าง

$$\text{กำหนดให้ } L = 9.00 \text{ ม.} \quad H = 1300 \text{ กก./เส้น} \quad A = 0.1257 \text{ (ซม.)}^2$$

$$\text{จากรูปที่ 6.1 แผ่นเหล็กพับมีค่า } J = 0.02333 \text{ (ซม.)}^4$$

$$\text{น้ำหนักของ โครงสร้างเอง} \quad w_1 = 30.8 \text{ กก./ม.}$$

น้ำหนักบรรทุก 28.75 กก.-ม. วางเป็นระยะ 3.00 ม. จากปลายและวางน้ำหนักบรรทุกนี้เยื้องศูนย์กลางเป็นระยะ 0.1350 ม. จากศูนย์กลางหน้าตัด ทำให้เกิด

$$\text{โมเมนต์บิด } m_t = 28.75 \times 0.1350 = 3.88 \text{ กก.-ม./ม.}$$

ลวดอัดแรงอยู่ห่างจากศูนย์กลางหน้าตัด 0.20 และ 0.0825 ม.

จากสมการที่ 3.15 หากการหย่อนตัวเนื่องจากน้ำหนักตัวโครงสร้างเอง

$$\text{จะได้ } d = 0.05873 \text{ ม.}$$

ความยาวของเคเบิ้ลที่ไม่ยึดตัวตามสมการที่ 3.17 และ 3.18 จะได้

$$(m+1)^2 = 1 - \frac{3(30.8)(9.00)}{64(0.1257)(2.02 \times 10^6)(4)} \left(\frac{9}{0.05873}\right)^3$$

$$= -45.04$$

$$l = 1 - \frac{8}{3}(45.04) \left(\frac{0.05873}{9}\right)^2 = 8.9827386 \text{ ม.}$$

การหย่อนตัว เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก 28.75 กก./ม. กระทำผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดแผ่นพื้น จากสมการที่ 3.41 และ 3.43 จะได้

$$\sec\beta_2 = \sqrt{1+4\tan\beta_1^2} \quad \dots\dots\dots (14 \text{ ข})$$

$$d_2/L_2 = -\frac{d_1}{L_1} + \frac{\tan\beta_1}{4} + \frac{\tan\beta_1}{2} \quad \dots\dots\dots (15 \text{ ข})$$

จากสมการที่ 3.44 แทนค่าด้วยสมการที่ 14 ข. และ 15 ข. จะได้

$$\frac{L_1}{d_1} = \frac{178.65 \sec\beta_2 + 184.80 \sec\beta_1}{184.80 \sec\beta_1 \left(\frac{\tan\beta_1}{4} + \frac{\tan\beta_1}{2} \right)} \quad \dots\dots\dots (16 \text{ ข})$$

$L_1 = 6.0 \text{ ม.}, \quad L_2 = 3.0 \text{ ม.}$ และจากสมการที่ 3.45 จะได้

$$\begin{aligned} \delta = 8.9827386 = & 6 \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_1}{L_1} \right)^2 \left[1 - \frac{3(30.8)(6) \sec^3\beta_1}{64(4 \times 0.1257)(2.02 \times 10^6) \left(\frac{L_1}{d_1} \right)^3} \right] + \frac{1}{2} \tan^2\beta_1 \right\} \\ & + 3 \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_2}{L_2} \right)^2 \left[1 - \frac{3(30.8+28.75)(3) \sec^3\beta_2}{64(4 \times 0.1257)(2.02 \times 10^6) \left(\frac{L_2}{d_2} \right)^3} \right] \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \tan^2\beta_2 \right\} \quad \dots\dots\dots (17 \text{ ข}) \end{aligned}$$

จากการลองผิดลองถูก จะได้ค่าคือ $\tan\beta_1 = 0.0215, \tan\beta_2 = 0.043$

$\sec\beta_1 = 1.0002311, \sec\beta_2 = 1.0009241$ และ $d_1/L_1 = 0.00819813$

$d_2/L_2 = 0.00792886$

เมื่อเกิดการบิดทวนน้ำหนักเสมือนที่กระทำให้เคเบิลเส้นนั้น ๆ หย่อนตัวสอดคล้องกับ มุมบิดที่เกิดขึ้น

1. สมมติให้ มุมบิด $\theta = 0.05$ เรเดียน ที่ระยะ 3.00 ม. จากปลายช่วงและที่
เคเบิลเส้นนอก ตามรูปที่ 6.1 จะได้

$$\tan\beta_1 = \frac{0.0215 \times 6 + 0.05 \times 0.2}{6} = 0.023167$$

$$\tan\beta_2 = 2 \times 0.023167 = 0.046333$$

จากสมการที่ 4.3 หาความยาวที่ไม่ยึดตัวในรูปของ พารามิเตอร์ d_2/L_2

โดยการสมมติค่า d_2/L_2 ต่าง ๆ ซึ่งทำให้สมการด้านขวามือเท่ากับ $\ell = 8.9827386$ ม.
ด้านซ้ายมือจะได้ $d_2/L_2 = 0.007$ และแทนในสมการที่ 4.2 จะได้

$$\Delta W_1 = 10.76 \text{ กก.}$$

ในทำนองเดียวกัน เคเบิลเส้นด้านในจะมี

$$\tan\beta_1 = \frac{0.0215 \times 6 + 0.05 \times 0.0825}{6} = 0.0221875$$

$$\tan\beta_2 = 0.044375$$

$$d_2/L_2 = 0.0063$$

$$\Delta W_2 = 6.72$$

คิด เป็นโมเมนต์บิด $T = 10.76 \times 0.4 + 6.72 \times 0.0825 \times 2 = 5.4128 \text{ กก-ม.}$

$$= \frac{5.4128}{9} \left(9 - \frac{3}{2}\right) - 5.4128 = -1.127 \text{ กก-ม/ม.}$$

ในทำนองเดียวกัน โดยการสมมติค่า มุมบิด θ ต่าง ๆ คือ

$$\theta = 0.1 \text{ เรเดียน จะได้ } \Delta W_1 = 26.80 \text{ กก.}$$

$$\Delta W_2 = 17.04 \text{ กก.}$$

$$T = -2.25 \text{ กก.-ม/ม.}$$

$$\theta = 0.15 \text{ เรเดียน} \quad \text{จะได้} \quad \Delta W_1 = 31.57 \text{ กก.}$$

$$\Delta W_2 = 20.16 \text{ กก.}$$

$$T = -2.65 \text{ กก.-ม/ม.}$$

$$\theta = 0.20 \text{ เรเดียน} \quad \text{จะได้} \quad \Delta W_1 = 42.72 \text{ กก.}$$

$$\Delta W_2 = 29.54 \text{ กก.}$$

$$T = -3.66 \text{ กก.-ม/ม.}$$

ความสัมพันธ์ของ T และ θ แสดงในรูปที่ 7.11

3. การหาความถี่ของการสั่นของโครงสร้าง

จากสมการที่ 5.16

$$H = 5310 \text{ กก.} \quad w_0 = 30.80 \text{ กก./ม.} \quad , \quad d = 0.05873 \text{ ม.}$$

$$\text{Curvature } \theta^2 = \left(\frac{-8 \times 0.05873}{9} \right)^2 = 3.36457 \times 10^{-5}$$

ค่าความถี่ต่ำสุดคือ

$$\eta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{9.81}{30.8} \frac{5310}{9} + \frac{8 \times 1035768 \times 3.36457 \times 10^{-5}}{1^4}}$$

$$\eta = 2.3338 \text{ รอบต่อวินาที}$$

ประวัติการศึกษา

นายวิชาญ สุชาติวัฒนชัย สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี ปีการศึกษา 2521

