

เอกสารอ้างอิง

1. L.E. Grinter, M. ASCE, and C.H. TSAO. ASCE. "Joint Translation by Cantilever Moment Distribution" Founded November 5, 1954 Transactions Paper No. 2718; pp. 1195-1211.
2. German Gurfinkel, M. ASCE "Simple Method of Analysis of Vierendeel Structures" ASCE Structural Division, June 1967; pp. 273-285.
3. Ganesan, T.P., and Paramasivam, V., "Direct Rotation Contribution Method for the Analysis of Continuous Beams and Vierendeel Structure", Journal of the Institution of Engineers (India), July, 1968.
4. Abdul-Shafi, A. "A Rapid Solution of Vierendeel Frames" AISC Engineering Journal, Vol. 10, No. 2, Second Quarter/1973, pp. 53-55.
5. Abdul-Shafi, A. "Analysis of Vierendeel Frames for Deflections" AISC Engineering Journal, First Quarter/1979. pp. 18-22.
6. Velu Paramasivam "Vierendeel Frame Analysis: Slope-Shear Equations" ASCE Structural Division, November 1980, pp. 2333-2345.
7. "High-Rise Building Structures" Wolfgang Schueller School of Architecture Syracuse University; A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons. New York, London, Sydney Toronto; pp. 177-184.
8. James M. Gere and William Weaver, Jr. "Analysis of Framed Structures" D. Van Nostrand Company, New York, 1965.
9. Edwin H. Gaylord, Jr. and Charles W. Gaylord "Design of Steel Structure" McGraw-Hill, New York, 1972.

10. Dunham "The Theory and Practice of Reinforced Concrete" McGraw-Hill
Book Company.
11. Chu-Kia Wang and Charles G. Salmon "Reinforced Concrete Design"
Rainbow-Bridge Book Co.
12. ACI Publication No. 24 "Models for Concrete Structures".
13. F.S. Shaw "Virtual Displacements and analysis of Structures"
Prentice-Hall, 1972.
14. Fred W. Beaufait William H. Rowan, Jr. Peter G. Hoadley Robert M.
Hackett "Computes Methods of Structural Analysis"
Prentice-Hall, 1970.
15. J.J. Azar "Matrix Structural Analysis" Pergamon Press Inc, New York,
1972.
16. August E. Komendant "Contemporary Concrete Structure" McGraw-Hill,
1972.
17. J.S. Przemieniecki "Theory of Matrix Structural Analysis" McGraw-Hill,
1969.

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนย่อยระหว่างโครงสร้างจริงและโครงสร้างจำลอง

โครงสร้างคอมกรีตเสริมเหล็ก		P (กก.)	A ₁ (ชม. ²)	A ₂ (ชม. ²)	A ₃ (ชม. ²)	A ₄ (ชม. ²)	A ₅ (ชม. ²)	I ₁ (ชม. ⁴)
	โครงสร้างจริง	8000	2773.7	3035.2	2646.4	2403.2	2275.2	1.33 x 10 ⁶
	ตัวคูณ	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^2}$
	โครงสร้างจำลอง	500	173.36	189.70	165.4	150.2	142.2	5200
โครงสร้างเหล็กรูปตัว I		I ₂ (ชม. ⁴)	I ₃ (ชม. ⁴)	I ₄ (ชม. ⁴)	I ₅ (ชม. ⁴)	M (กก-ม.)	ระยะเคลื่อนที่ (ชม.)	
	โครงสร้างจริง	1.56 x 10 ⁶	1.25 x 10 ⁶	7.78 x 10 ⁵	7.30 x 10 ⁵	1.62 x 10 ⁴	0.309798	
	ตัวคูณ	$\frac{1}{4^4}$	$\frac{1}{4^4}$	$\frac{1}{4^4}$	$\frac{1}{4^4}$	$\frac{1}{4^3}$	$\frac{1}{4}$	
	โครงสร้างจำลอง	6084.0	4888.5	3039.0	2852.9	2.53 x 10 ²	0.076687	
โครงสร้างเหล็กรูปตัว I		P (กก.)	A (ชม. ²)	I (ชม. ⁴)	M (กก-ม.)	ระยะเคลื่อนที่ (ชม.)		
	โครงสร้างจริง	8000	166.64	42672.0	1.66 x 10 ⁴	1.009860		
	ตัวคูณ	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^2}$	$\frac{1}{4^4}$	$\frac{1}{4^3}$	$\frac{1}{4}$		
	โครงสร้างจำลอง	500	10.42	167.0	2.59 x 10 ²	0.252466		

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีที่ 1

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าความเครียดที่อ่านได้ในแต่ละตำแหน่ง ($\times 10^{-6}$)						
	1	4	6	7	10	11	12
200	+19.0	-47.6	+28.6	-57.1	+57.1	+38.0	+38.1
300	+114.3	-57.1	+47.6	-66.7	+181.0	+47.6	+47.6
400	+181.0	-76.2	+66.7	-85.7	+285.7	+57.1	+66.7
500	+276.2	-104.8	+161.9	-123.8	+400.0	+57.1	+95.7
600	+457.1	-142.9	+285.7	-161.9	+533.3	+38.1	+142.8
700	+600.0	-161.9	+419.0	-200.0	+695.2	+114.3	+209.5
800	+804.8	-209.5	+514.3	-238.1	+785.7	+228.6	+285.7
900	+957.1	-238.1	+523.8	-285.7	+914.2	+285.7	+333.3
1000	+1085.7	-266.7	+580.9	-304.8	+1057.1	+371.4	+428.6
1100	+1204.8	-276.2	+606.0	-342.9	+1223.8	+390.5	+476.2
1200	+1352.4	-304.8	+647.6	-361.9	+1390.5	+457.1	+504.8
1300	+1528.6	-333.3	+666.7	-361.9	+1561.9	+504.8	+561.9
1400	+1657.1	-361.9	+761.9	-409.5	+1819.0	+571.4	+600.0
1500	+1800.0	-390.5	+800.0	-371.4	+1866.7	+657.1	+628.6

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 2

น้ำหนักบรรทุก P (กก.)	ค่าความเครียดที่อ่านได้ในแต่ละตำแหน่ง ($\times 10^{-6}$)								
	1	2	3	5	6	9	10	11	12
400	-28.8	+28.3	+9.4	-19.0	+9.5	+9.4	-19.2	-14.2	+9.4
600	-96.2	+84.9	+14.2	-66.7	+47.6	+51.9	-48.2	-51.9	+42.4
800	-134.6	+122.6	+15.1	-95.2	+66.7	+89.6	-115.4	-89.6	+66.0
1000	-190.4	+174.5	+18.9	-142.9	+95.2	+132.0	-163.5	-127.4	+94.3
1200	-235.6	+217.0	+28.3	-180.9	+121.9	+160.4	-206.7	-160.4	+117.9
1400	-293.3	+268.9	+33.0	-228.6	+152.4	+198.1	-245.2	-198.1	+150.0
1600	-336.5	+310.9	+37.7	-257.0	+176.2	+231.1	-283.6	-226.4	+174.5
1800	-384.6	+349.0	+47.2	-304.8	+209.5	+283.0	-336.5	-268.9	+202.8
2000	-432.7	+377.4	+56.6	-333.3	+233.3	+320.8	-384.0	-311.3	+226.4
1600	-336.5	+349.0	+47.2	-285.7	+228.6	+287.7	-341.3	-264.2	+207.5
1200	-240.4	+273.6	+42.4	-219.0	+176.2	+212.3	-240.4	-198.1	+165.1
800	-134.6	+179.2	+28.3	-138.1	+114.3	+141.5	-153.8	-122.6	+103.8
0	+72.1	-4.7	+14.2	+19.0	0	+9.4	+19.2	+14.2	+4.7

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและน้ำหนักของโครงสร้างเหล็กกรงที่ 3

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าความเครียดที่อ่านได้แต่ละตำแหน่ง (10^{-6})					
	1	2	3	4	5	6
400	-38.5	+37.7	+9.4	-4.7	-23.8	+9.5
800	-115.4	+113.2	+37.7	-18.9	-76.2	+38.1
1200	-201.9	+188.7	+66.0	-28.3	-128.6	+61.9
1600	-283.6	+264.2	+89.6	-42.3	-180.9	+95.2
2000	-360.6	+330.2	+117.9	-51.9	-228.6	+119.0
2500	-471.2	+429.2	+155.7	-70.8	-295.2	+161.9
2000	-432.7	+386.8	+136.8	-61.3	-276.2	+147.6
1000	-211.5	+193.4	+61.3	-28.3	-138.1	+61.9
0	+9.62	-9.4	-9.4	+4.7	0	-19.0

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าความเครียดที่อ่านได้แต่ละตำแหน่ง ($\times 10^{-6}$)					
	7	8	9	10	11	12
400	0	-9.4	+4.7	-9.6	-9.4	+14.2
800	+14.2	-37.7	+18.9	-38.5	-47.2	+42.4
1200	+28.3	-61.3	+28.3	-62.5	-75.5	+75.5
1600	+37.7	-89.6	+42.4	-91.3	-108.5	+103.8
2000	+51.9	-113.2	+51.9	-115.4	-141.5	+132.1
2500	+70.8	-141.5	+75.5	-144.2	-179.2	+179.2
2000	+70.8	-132.0	+66.0	-134.6	-165.1	+160.4
1000	+37.7	-66.0	+33.0	-67.3	-84.9	+84.9
0	0	0	0	+4.8	0	0

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและน้ำหนักของโครงสร้างเหล็กกรงที่ 4

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าความเครียดที่อ่านได้ในแต่ละตำแหน่ง ($\times 10^{-6}$)					
	1	2	3	4	5	6
200	-48.1	+18.9	-28.3	+23.6	-47.6	+57.1
400	-115.4	+47.2	-84.9	+66.0	-123.8	+123.8
600	-182.7	+80.2	-136.8	+113.2	-200.0	+185.7
800	-245.2	+113.2	-193.4	+160.4	-276.2	+261.9
1000	-302.9	+141.5	-245.3	+202.8	-352.4	+333.3
1200	-360.6	+174.5	-292.4	+250.0	-414.3	+400.0
1400	-427.9	+202.8	-344.3	+301.9	-476.2	+471.4
1600	-456.7	+217.0	-367.9	+349.0	-514.3	+523.8
1800	-557.7	+254.7	-429.2	+405.7	-595.3	+585.7
2000	-615.4	+273.6	-476.4	+457.5	-657.1	+667.0
2200	-1278.8	+377.4	-452.8	+641.5	-628.6	+885.7
2400	-1350.9	+349.0	-471.7	+693.4	-676.2	+1038.0

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าความเครียดที่อ่านได้ในแต่ละตำแหน่ง ($\times 10^{-6}$)					
	7	8	9	10	11	12
200	+4.7	-28.3	+9.4	-38.5	-47.2	+37.7
400	+47.2	-80.2	+51.9	-100.9	-117.9	+103.8
600	+89.6	-132.0	+70.8	-163.5	-188.7	+179.2
800	+136.8	-188.7	+94.3	-230.8	-273.6	+250.0
1000	+179.2	-235.8	+127.4	-298.1	-344.3	+316.0
1200	+221.7	-283.0	+160.4	-351.0	-396.2	+386.8
1400	+273.6	-339.6	+188.7	-427.9	-471.7	+467.0
1600	+306.6	-377.4	+216.9	-480.8	-518.9	+518.9
1800	+358.5	-424.5	+245.3	-548.1	-589.6	+589.6
2000	+500.0	-466.9	+273.6	-620.2	-660.4	+650.9
2200	+561.3	-301.9	+396.2	-610.6	-627.4	+783.0
2400	+622.6	-349.0	+419.8	-687.5	-702.8	+839.6

ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีต กรณีที่ 1

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าระยะทางการเคลื่อนที่แต่ละตำแหน่งที่วัด ($\times 10^{-2}$ มม.)							
	1	3	4	5	6	8	9	10
200	+14.2	-73.8	-118.6	-67.4	-56.2	+0.2	101.0	121.0
300	+18.2	-106.8	-165.6	-117.4	-93.2	+1.2	111.0	97.0
400	+18.4	-139.0	-221.1	-174.6	-134.2	+3.4	180.0	140.0
500	+21.4	-206.3	-320.0	-276.5	-199.0	+4.4	225.5	132.0
600	+18.5	-306.3	-471.5	-421.9	-293.1	+4.0	257.0	90.0
700	+32.0	-398.6	-642.2	-604.8	-416.4	+16.0	330.0	60.0
800	+48.7	-523.4	-834.8	-773.2	-483.6	+44.0	397.0	-3.0
900	+53.6	-629.2	-995.4	-943.6	-596.8	+53.6	461.0	-25.0
1000	+57.2	-748.0	-1190.0	-1138.5	-710.0	+56.25	523.0	-58.0
1100	+57.0	-882.4	-1409.8	-1375.2	-864.6	+58.0	597.0	-74.0

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนและน้ำหนักกระทำของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 2

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าระยะทางการเคลื่อนที่แต่ละตำแหน่งที่วัด ($\times 10^{-2}$ มม.)							
	1	3	4	5	6	8	9	10
400	-0.2	-30.8	-34.1	-29.7	-20.7	-0.2	0.0	+19.0
600	-11.6	-98.9	-109.7	-100.3	-67.9	+3.1	+109.0	+262.5
800	-17.4	-144.5	-268.5	-254.5	-117.5	+3.6	+109.0	+365.0
1000	-21.5	-206.9	-343.3	-331.7	-270.1	+3.0	+109.0	+421.0
1200	+18.2	-267.2	-406.9	-387.1	-310.8	+3.2	+109.0	+604.0
1400	+99.7	-327.4	-481.3	-454.2	-358.6	+1.8	+109.0	+845.5
1600	+100.1	-374.0	-536.5	-508.0	-400.5	-11.0	+109.0	+905.0
1800	+100.3	-429.2	-612.9	-583.6	-462.3	-18.7	+182.5	+939.0
2000	+100.8	-473.8	-673.4	-648.0	-514.1	-24.2	+172.5	+990.0
1600	+100.9	-438.0	-632.4	-599.7	-471.6	-27.0	+173.0	+975.0
1200	+100.8	-353.5	-519.0	-489.5	-384.5	-25.2	+173.0	+941.0
800	+98.9	-242.1	-388.7	-370.5	-297.9	-24.6	+168.0	+764.0
0	-26.3	-50.4	-146.3	-136.2	-26.1	+9.7	-20.5	+432.0

ตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 3

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าระยะทางการเคลื่อนที่แต่ละตำแหน่งที่วัด ($\times 10^{-2}$ มม.)							
	1	3	4	5	6	8	9	10
400	-26.2	-48.8	-45.1	-29.4	-19.2	+2.1	-82.0	+221.0
800	-11.9	-130.2	-124.9	-77.6	-44.8	+3.1	-138.0	+570.0
1200	-15.4	-218.8	-179.6	-126.4	-75.2	+11.4	-170.0	+875.0
1600	-16.4	-300.6	-296.2	-170.8	-103.4	+11.5	-182.5	+1007.0
2000	-	-381.0	-374.0	-223.0	-135.0	+12.0	-183.0	+1062.0
2500	-	-480.4	-474.3	-	-163.6	+12.4	-188.0	+1136.0
2500	+0.4	-480.4	-474.3	-	-163.6	+12.4	-188.0	+1136.0
2000	+0.4	-441.4	-437.8	-	-151.6	+12.4	-193.5	+1107.0
1000	+15.2	-237.8	-228.6	-	-81.2	+12.2	-198.5	+916.0
0	+190.0	-1.0	-4.0	-	-6.0	+11.0	-54.5	+242.0

ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 4

น้ำหนัก P (กก.)	ค่าระยะทางการเคลื่อนที่แต่ละตำแหน่งที่วัด ($\times 10^{-2}$ มม.)							
	1	3	4	5	6	8	9	10
200	230.0	-51.2	-82.9	-80.6	-45.3	-0.2	-23.0	-501.0
400	140.4	-125.2	-212.4	-204.6	-112.8	-0.6	-75.0	-60.0
600	238.8	-194.4	-341.8	-332.2	-177.6	-1.2	-82.0	-6.0
800	243.2	-265.6	-570.2	-459.4	-244.4	-3.8	-85.0	+44.0
1000	235.9	-329.6	-593.2	-582.4	-312.4	-19.8	-125.0	+115.0
1200	233.0	-393.4	-713.8	-679.2	-373.6	-22.0	-140.0	+148.0
1400	237.8	-466.0	-857.0	-838.0	-447.0	-35.2	-157.0	+204.0
1600	242.4	-501.6	-933.2	-915.8	-489.4	-40.6	-165.0	+228.0
1800	258.9	-608.9	-1130.8	-1103.7	-592.6	-43.0	-212.0	+313.0
2000	271.7	-689.6	-1297.7	-1267.8	-685.4	-47.3	-367.0	+467.0

ตาราง 5.1 เปรียบเทียบโมเมนต์สมมูลย่นส่วนโครงสร้างจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

วิเคราะห์โดยวิธี น้ำหนักบรรทุกกรณี		โมเมนต์สมมูลย่นส่วนโครงสร้าง (กก-ม.)							
		0,0'	0,1	1,0	1,1'	1.2	2,1	2,2'	2,3
①	การกระจายโมเมนต์	253.852	253.852	246.148	358.848	112.704	137.296	119.808	17.496
	พลังงานเสมือน	255.586	255.586	248.926	350.547	101.620	148.656	117.411	31.245
	แมทริก	253.010	253.010	245.900	354.500	108.000	142.400	118.100	24.100
②	การกระจายโมเมนต์	123.710	123.710	126.291	113.408	12.884	12.884	10.307	2.576
	พลังงานเสมือน	122.886	122.886	127.115	112.394	14.721	14.721	10.493	4.228
	แมทริก	123.400	123.400	126.900	112.100	14.800	14.000	9.900	4.100
③	การกระจายโมเมนต์	96.198	96.198	103.801	65.793	38.006	11.994	38.281	26.288
	พลังงานเสมือน	95.465	95.465	104.535	65.141	39.394	10.606	37.721	27.114
	แมทริก	95.800	95.800	104.700	65.000	39.700	11.300	37.700	26.800
④	การกระจายโมเมนต์	136.078	136.078	113.922	224.739	110.288	139.171	111.340	27.829
	พลังงานเสมือน	135.539	135.539	114.461	222.625	108.164	141.836	110.232	31.664
	แมทริก	135.600	135.600	113.400	222.600	109.200	141.900	110.500	31.400

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

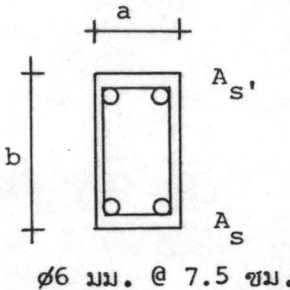
วิเคราะห์โดยวิธี น้ำหนักบรรทุกกรณี		โมเมนต์สมมูลยึบนส่วนของโครงสร้าง (กก-ม.)							
		3,2	3,3'	3,4	4,3	4,4'	4,5	5,4	5,5'
①	การกระจายโมเมนต์	17.496	119.831	137.298	112.702	358.865	246.148	253.852	253.852
	พลังงานเสมือน	31.245	117.411	148.656	101.624	350.547	248.923	255.581	255.586
	แมทริก	24,100	118.300	142.400	108.000	353.900	245.900	253.010	253.010
②	การกระจายโมเมนต์	2.576	10.308	12.884	12.884	113.409	126.295	123.710	123.710
	พลังงานเสมือน	4.228	10.493	14.721	14.721	112.394	127.115	122.886	122.886
	แมทริก	4.100	9.900	14.800	14.800	112.100	126.900	123.400	123.400
③	การกระจายโมเมนต์	23.712	48.589	24.877	25.123	47.612	22.491	27.510	27.510
	พลังงานเสมือน	22.886	48.213	25.328	24.672	47.252	22.579	27.411	27.411
	แมทริก	22.800	48.000	25.300	24.900	47.100	22.200	26.600	26.600
④	การกระจายโมเมนต์	27.829	111.344	139.172	110.828	224.754	113.927	136.073	136.073
	พลังงานเสมือน	31.604	110.232	141.836	108.164	222.625	114.461	135.539	135.539
	แมทริก	31.400	110.500	141.900	109.200	222.600	113.400	135.600	135.600

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบแรงเฉือนและแรงร่วมแกนบนส่วนของโครงสร้างจากการวิเคราะห์


วิเคราะห์โดยวิธี น้ำหนักบรรทุกทุกกรณี		แรงเฉือนบนส่วนของโครงสร้าง (กก.)						
		0,0'	0,1=4,5	1,1'	1,2=3,4	2,2'	2,3	3,3'
①	การกระจายโมเมนต์	676.9	500.0	956.9	250.0	319.5	0	319.5
	พลังงานเสมือน	681.56	500.0	934.8	250.0	313.1	0	313.1
	แมทริก	676.0	500.0	944.5	250.0	315.2	0	
④	การกระจายโมเมนต์	362.9	250.0	599.2	250.0	296.8	0	296.8
	พลังงานเสมือน	361.4	250.0	593.7	250.0	294.0	0	294.0
	แมทริก	362.5	250.0	593.6	250.0	294.0	0	294.0
แรงร่วมแกนบนส่วนของโครงสร้าง (กก.)								
①	การกระจายโมเมนต์	-500.0	-676.9	-250.0	-1633.8	-250.0	-1953.3	-250.0
	พลังงานเสมือน	-500.0	-681.6	-250.0	-1616.4	-250.0	-1929.4	-250.0
	แมทริก	-500.0	-676.0	-250.0	-1620.6	-250.0	-1935.8	-250.0
④	การกระจายโมเมนต์	-250.0	-362.9	0.0	-962.1	-250.0	-1255.9	-250.0
	พลังงานเสมือน	-250.0	-361.4	0.0	-955.1	-250.0	-1249.1	-250.0
	แมทริก	-250.0	-362.5	0.0	-956.1	-250.0	-1250.1	-250.0

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบระยะโค้งจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

วิเคราะห์โดยวิธี น้ำหนักบรรทุกกรณี		ระยะโค้งที่จุดต่อ (x 10 ⁻² มม.)			
		1 (3)	2 (4)	3 (5)	4 (6)
①	การกระจายโมเมนต์	73.60	120.60	122.30	77.80
	พลังงานเสมือน	87.470	156.30	156.30	87.470
	แมทริก	76.69	124.21	124.21	76.69
②	การกระจายโมเมนต์	108.50	133.00	133.00	108.50
	พลังงานเสมือน	127.40	157.10	157.10	127.40
	แมทริก	112.33	140.14	140.14	112.33
③	การกระจายโมเมนต์	84.20	81.30	56.10	25.20
	พลังงานเสมือน	101.80	92.90	61.40	39.10
	แมทริก	85.76	83.44	56.70	26.57
④	การกระจายโมเมนต์	131.30	260.00	260.00	131.40
	พลังงานเสมือน	157.70	301.20	301.20	157.70
	แมทริก	140.14	271.27	271.27	140.14

	a (ซม.)	8.0	8.0	8.0	
	b (ซม.)	14.6	17.5	14.6	
	A _s '	2ø9 มม.	2ø12 มม.	2ø9 มม.	
	A _s	2ø9 + ø12 มม.	2ø12 + ø9 มม.	2ø9 มม.	
	ø6 มม. @ 7.5 ซม.	หน้าตัดที่ 4	หน้าตัดที่ 2	หน้าตัดที่ 5	
คำนวณโดยทฤษฎี	Elastic (Beam)	M \neq y (กก-ม.)	669.8	1011.0	362.1
		P (กก.)	1323.7	1428.4*	1781.7*
	Ultimate (Beam)	M _u (กก-ม.)	696.95	1036.2	388.4
		P (กก.)	1377.3	1464.0	1911.0
		V _u (กก.)	1251.2	4231.8	1251.2*
		P (กก.)	1251.2*	2263.5	2502.4
	Ultimate (Beam-Column)	M _u (กก-ม.)	815.7	1689.6	981.3
		P (กก.)	1612.0	1539.4	4828.0
	จากผลการทดลอง เมื่อ $\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$	M _y (กก-ม.)	980.0	ไม่ถึงจุด yield	ไม่ถึงจุด yield
		P (กก.)	1000.0		
ลักษณะหน้าตัดควบคุม		เหล็กรับแรงดึง	เหล็กรับแรงดึง	เหล็กรับแรงดึง	

ตารางที่ 5.4 แสดงคุณสมบัติรับแรงของคอนกรีตเสริมเหล็ก โดย P คือน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 1

	M _y (กก-ม.)	1182.36	P = 2655.8 กก.
	M _p (กก-ม.)	1423.9	P = 3198.2 กก.

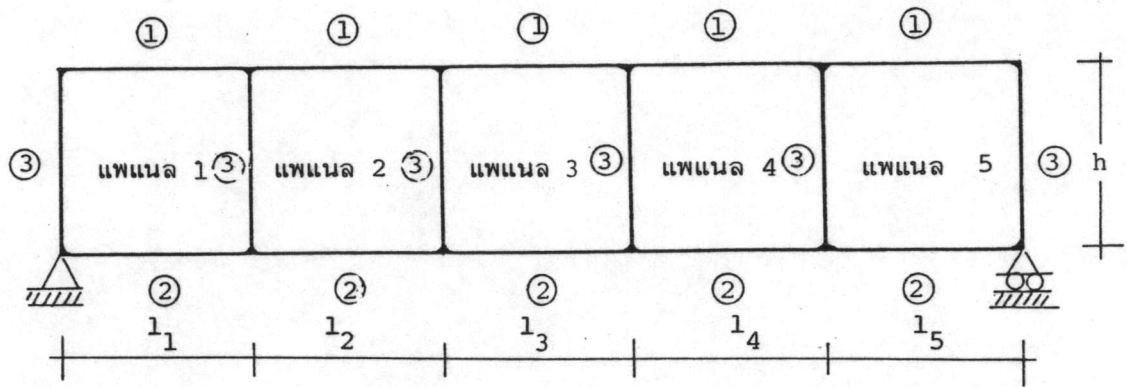
ตารางที่ 5.5 แสดงคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็กรูปตัว I ของส่วนโครงสร้าง 1,1' และ 4,4' กรณีที่ 4

โครงสร้าง	ระยะเคลื่อนที่	ตำแหน่งที่ 1 ($\times 10^{-2}$ มม.)	ตำแหน่งที่ 2 ($\times 10^{-2}$ มม.)	ตำแหน่งที่ 3 ($\times 10^{-2}$ มม.)	ตำแหน่งที่ 4 ($\times 10^{-2}$ มม.)
1. กรรณที่ 1 กรรณรูปที่	4.29	125.0	180.0	180.0	125.0
2. กรรณที่ 2 กรรณรูปที่	A. 2. 10	127.40	157.10	157.10	127.40
3. กรรณที่ 4 กรรณรูปที่	A. 2. 12	157.70	301.2	301.2	157.70
4. กรรณที่ 2 + กรรณที่ 4		285.10	458.30	458.30	285.10
4/1		2.28	2.54	2.54	2.28
ค่าเฉลี่ย		2.41			

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าอัตราส่วนของระยะโก่งของโครงสร้างเหล็กต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจากการวิเคราะห์ โดยวิธีพลังงาน
เสมือนเมื่อน้ำหนักบรรทุก $P = 500$ กก. และมีลักษณะน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบกรรณที่ 1

โครงสร้าง	ระยะเคลื่อนที่	ตำแหน่งที่ 1 ($\times 10^{-2}$ มม.)	ตำแหน่งที่ 2 ($\times 10^{-2}$ มม.)	ตำแหน่งที่ 3 ($\times 10^{-2}$ มม.)	ตำแหน่งที่ 4 ($\times 10^{-4}$ มม.)
1. กรรณที่ 1 กรรณรูปที่	4.29	140.0	225.0	180.0	125.0
2. กรรณที่ 2 กรรณรูปที่	4.30	75.0	120.0	100.0	76.0
3. กรรณที่ 4 กรรณรูปที่	4.32	140.0	240.0	260.0	120.0
4. กรรณที่ 2 + กรรณที่ 4		215.0	360.0	360.0	196.0
4/1		1.54	1.60	2.0	1.57
ค่าเฉลี่ย		1.68			

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าอัตราส่วนของระยะโก่งของโครงสร้างเหล็กต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจากผลการทดลองเมื่อน้ำหนักบรรทุก
 $P = 500$ กก. และมีลักษณะน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบกรรณที่ 1

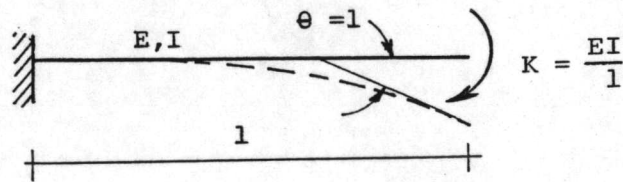


รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะโครงสร้างเวียเรนคิล

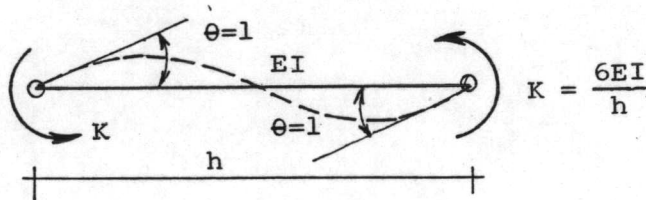
- หมายเลข ① เรียกว่าคอร์ดบน
 ② เรียกว่าคอร์ดล่าง
 ③ เรียกว่าส่วนโครงสร้างในแนวตั้ง

h คือ ความสูงของโครงสร้าง

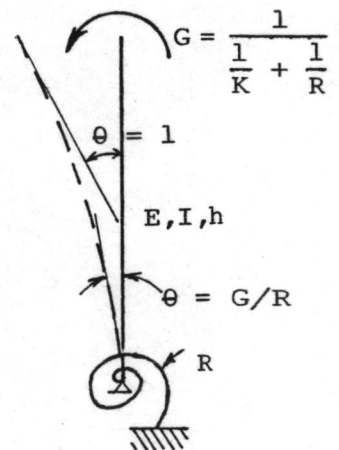
l_n คือ ความยาวของแพนเนลที่ n



2.1a แสดงการหาค่าแคนติลไฟเวอรัสตีเฟนส

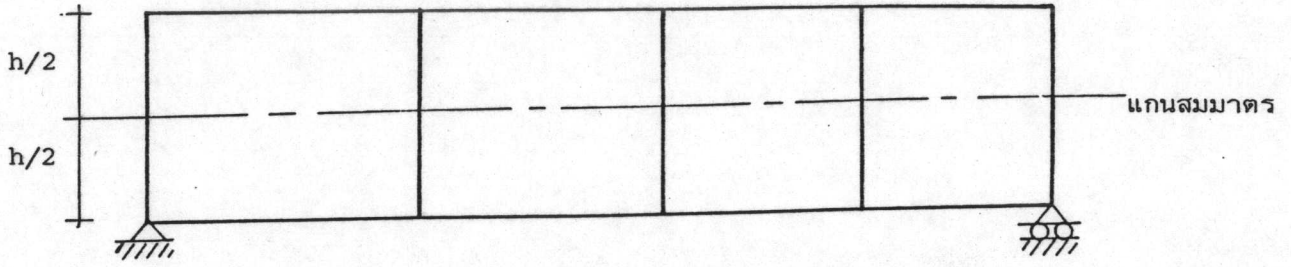


2.1b แสดงหาค่าสติเฟนสของส่วนโครงสร้างในแนวตั้ง

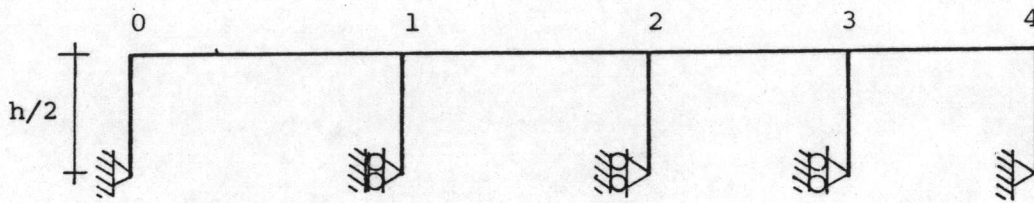


2.1c แสดงหาค่าสติเฟนสของส่วนโครงสร้างที่มีปลายหนึ่งติดสปริง

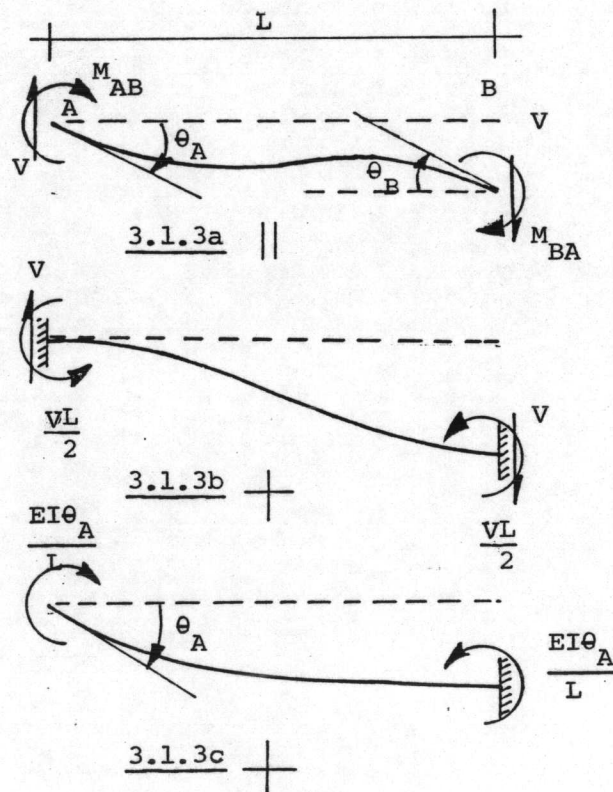
รูปที่ 2.1 แสดงการหาค่าสติเฟนสของส่วนโครงสร้างกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 3.1.1 ลักษณะของโครงสร้างเวียนคี่ที่สมมาตรตามเส้นแบ่งครึ่งความสูง

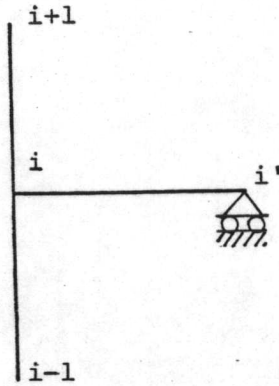
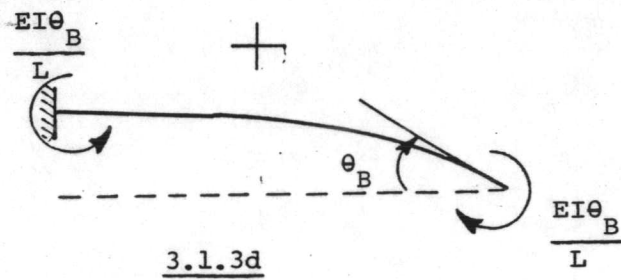


รูปที่ 3.1.2 ลักษณะของโครงเปิด (Open frame)

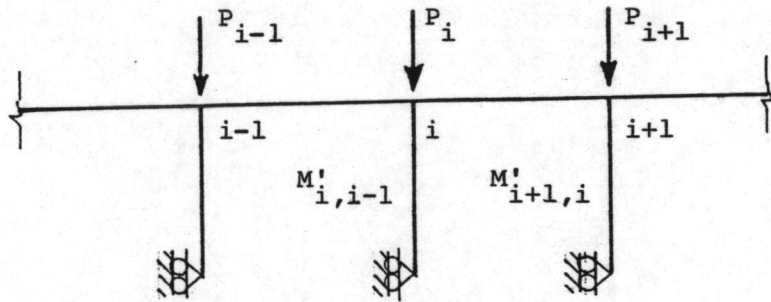


รูปที่ 3.1.3 แสดงลักษณะการแยกส่วนโครงสร้าง

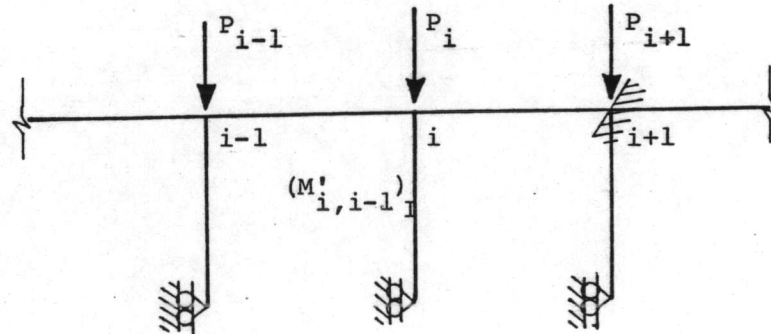
เมื่อมีแรงมากกระทำ



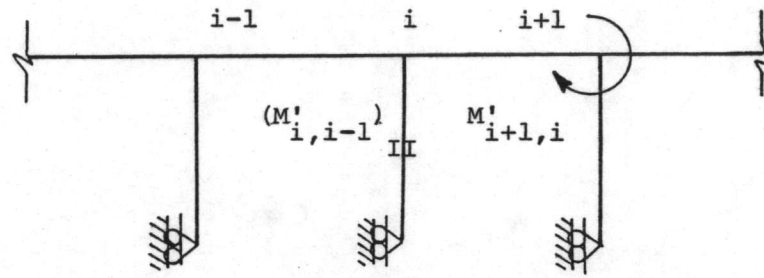
รูปที่ 3.1.4 ชนิดของจุดต่อในโครงเปิด



รูปที่ 3.1.5a มีน้ำหนักกระทำ

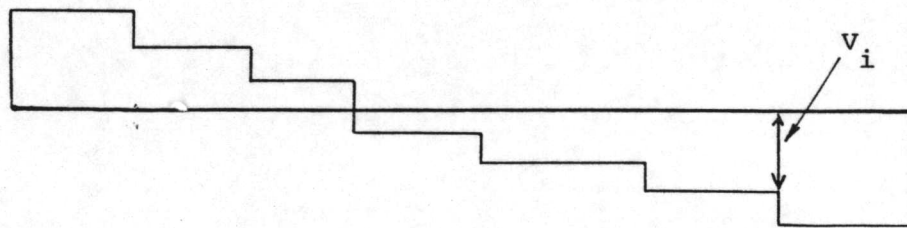
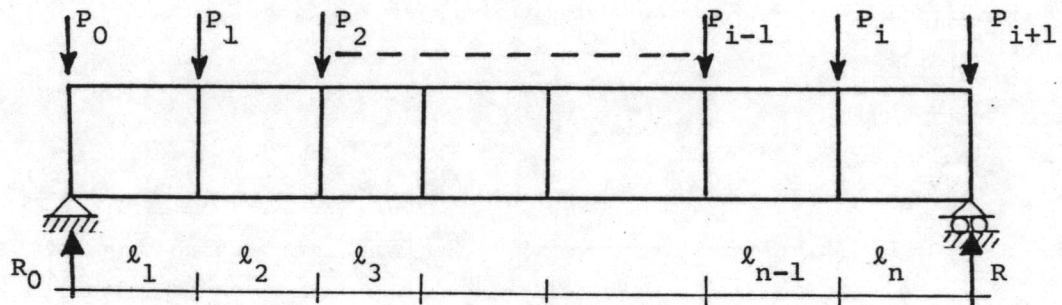


รูปที่ 3.1.5b มีน้ำหนักกระทำที่จุดต่อ i+1 เป็นแบบยึด

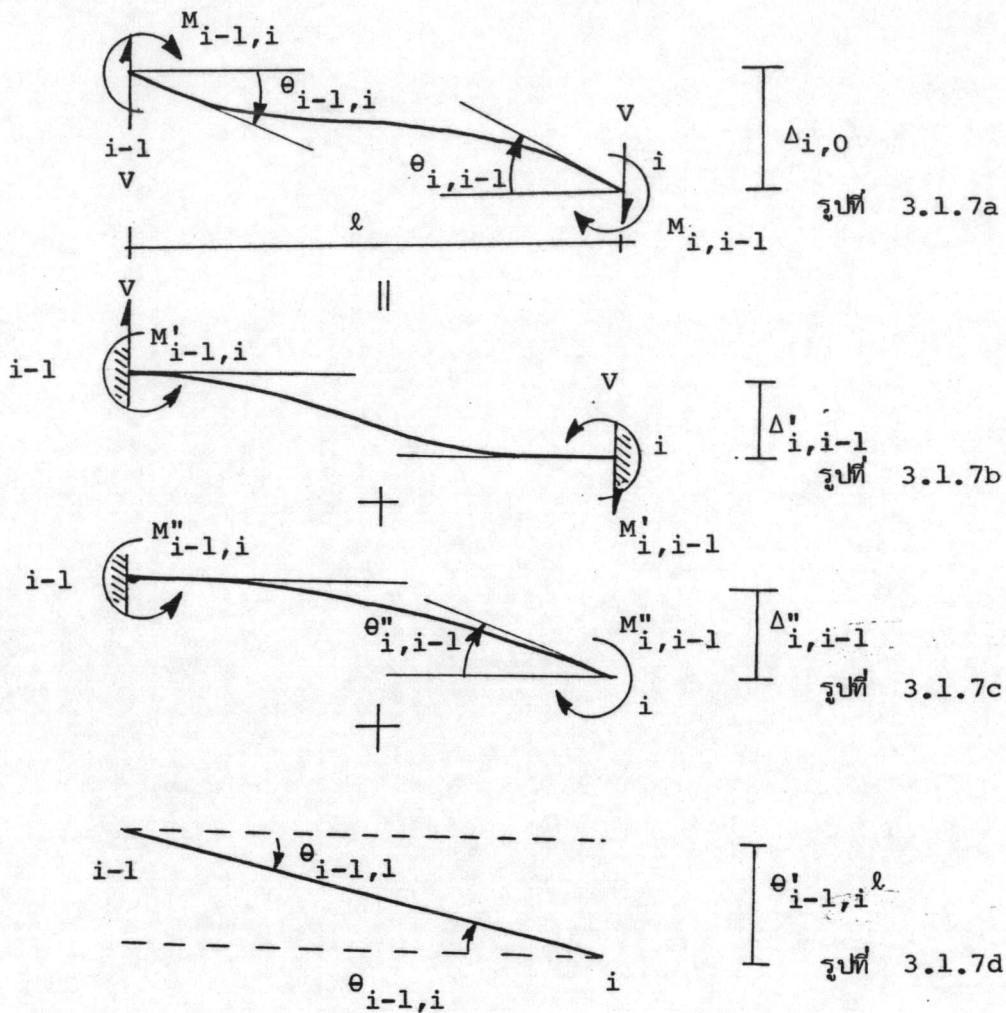


รูปที่ 3.1.5c ไม่มีน้ำหนักกระทำแต่ทำให้จุดต่อ $i+1$ หมุน

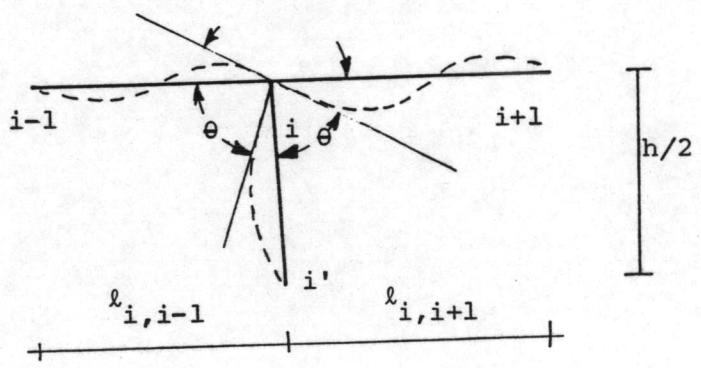
รูปที่ 3.1.5 แสดงขั้นตอนในการหาค่าโมเมนต์จากความสัมพันธ์ของการหมุน (rotation contribution)



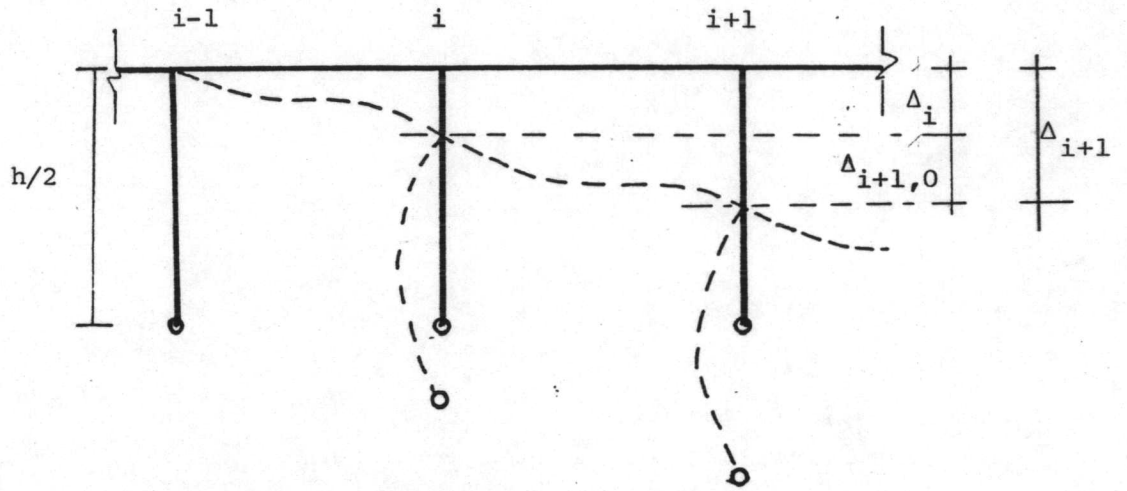
รูปที่ 3.1.6 แสดงการหาค่าแรงเฉือนเพื่อหาค่าโมเมนต์ปลายยึด



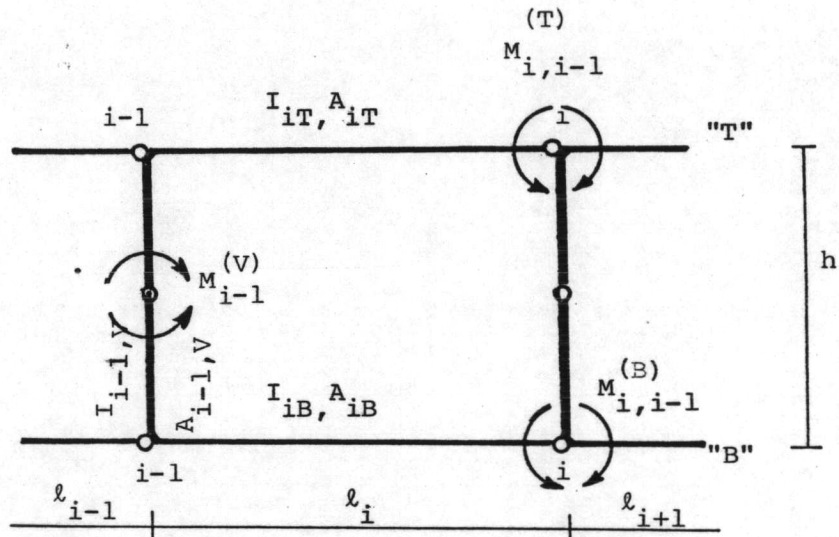
รูปที่ 3.1.7 แสดงการรวมของการหาระยะโค้งโดยการแยกรูปของส่วนของโครงสร้าง



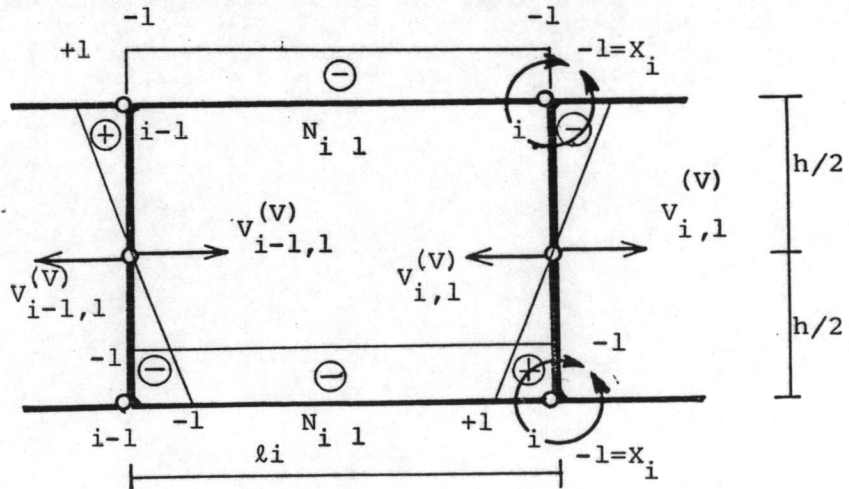
รูปที่ 3.1.8 แสดงการหมุนของส่วนของโครงสร้างที่จุดต่อ i ของโครงสร้าง



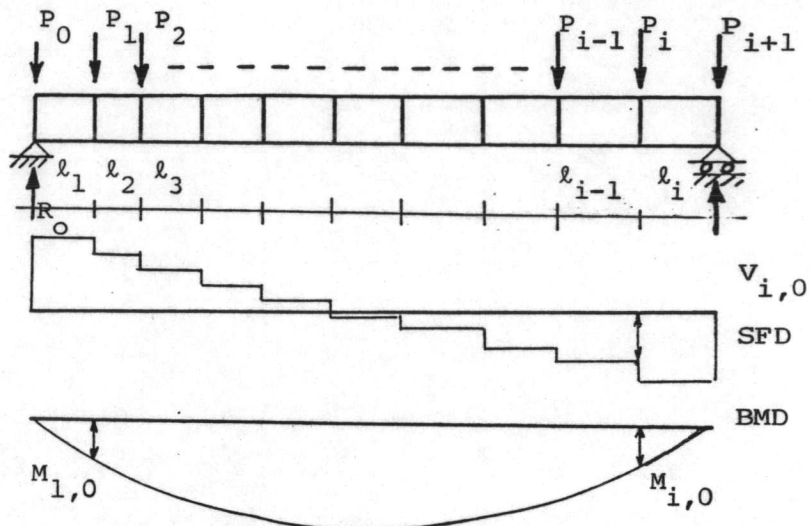
รูปที่ 3.1.9 แสดงความต่อเนื่องของระยะโก่ง



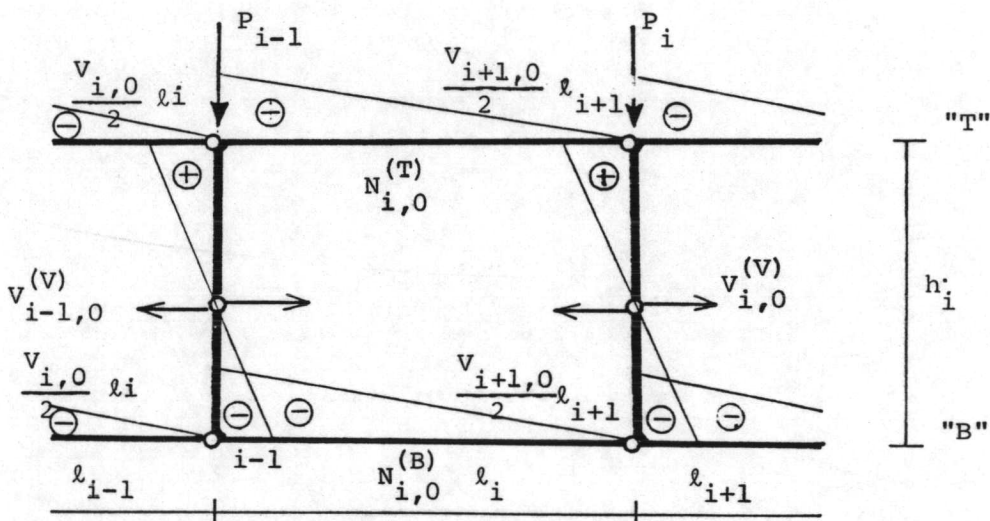
รูปที่ 3.2.1 แสดงการเป็น Three-hinged frame



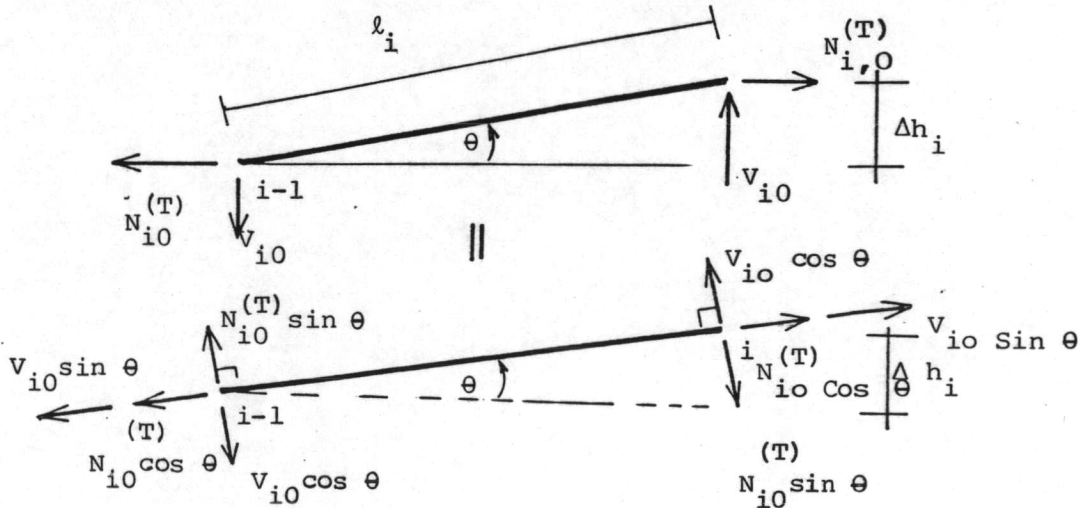
รูปที่ 3.2.2 แสดงโมเมนต์ diagram ที่เกิดขึ้นเมื่อใส่ redundant X_i



รูปที่ 3.2.3 แสดงการหาค่าแรงเฉือน $V_{i,0}$ และโมเมนต์ $M_{i,0}$

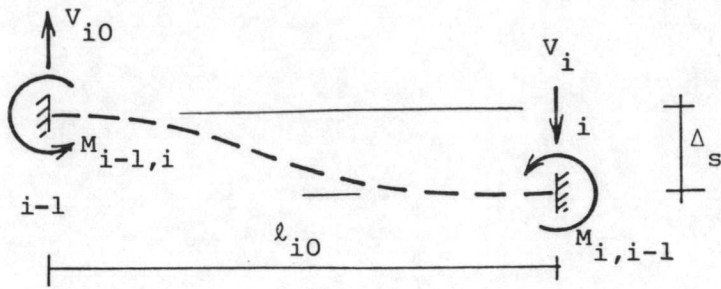


รูปที่ 3.2.4 แสดงการเกิดของโมเมนต์จากน้ำหนักกระทำ

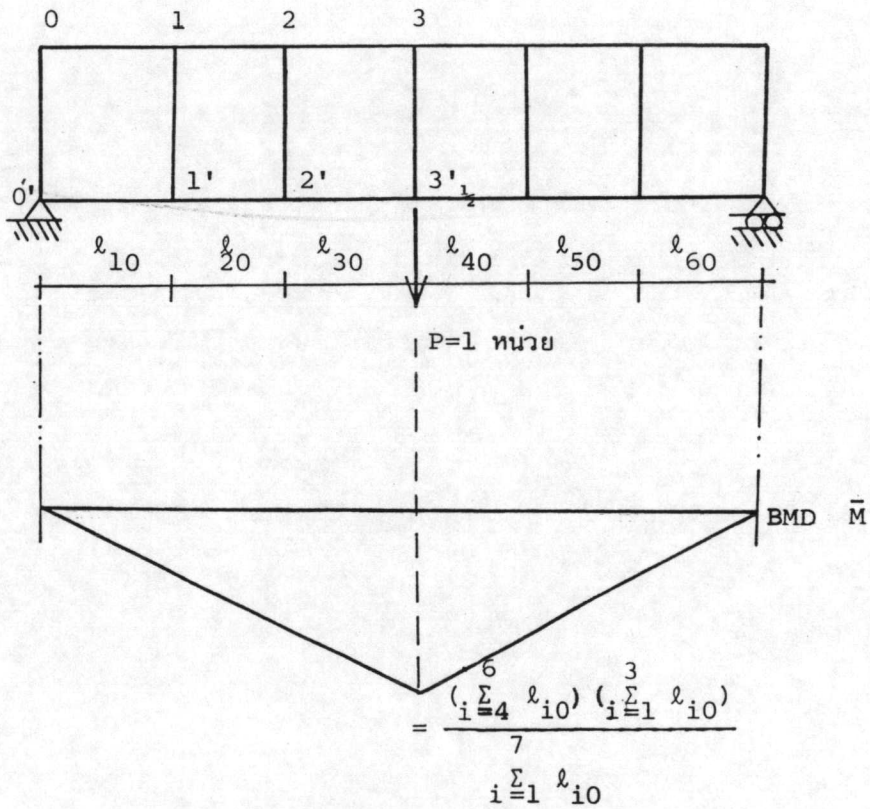


รูปที่ 3.2.5 แสดงการเปลี่ยนให้อยู่ในแนวแกนและตั้งฉากกับคอร์ค์เมื่อคอร์ค์เอียง

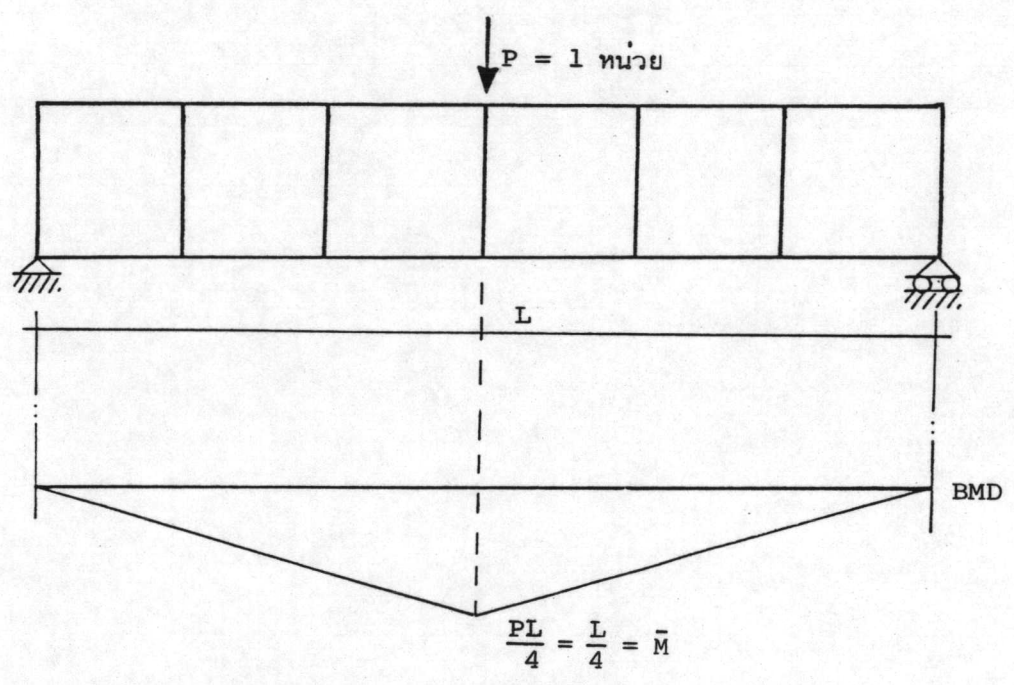
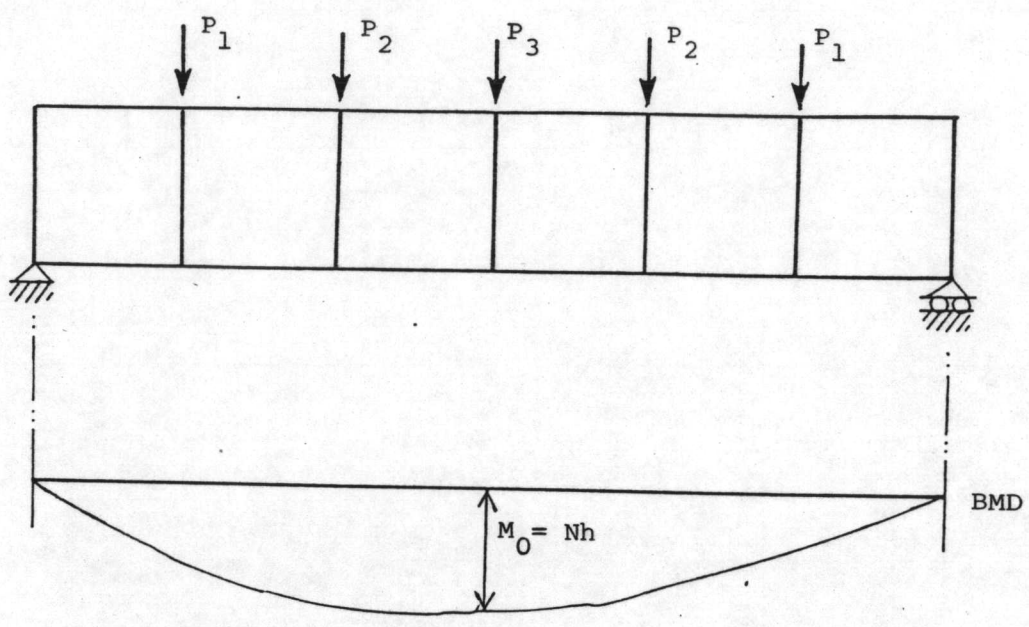
ใน panel $i, i-1$



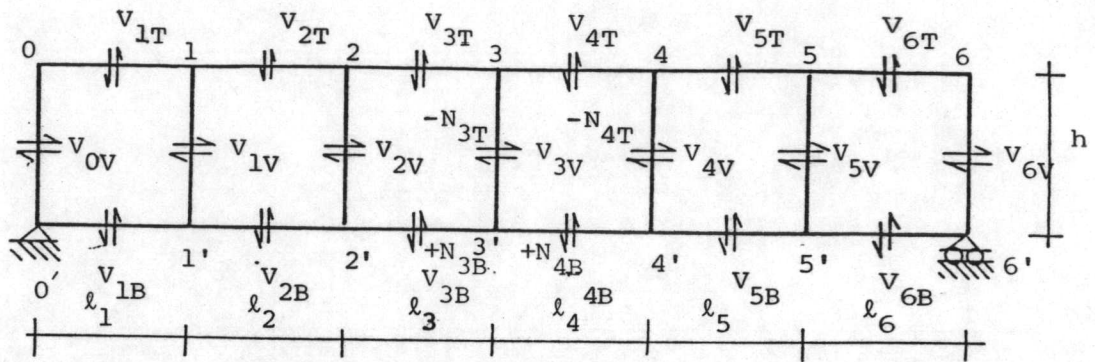
รูปที่ 3.2.6 แสดงการเคลื่อนที่ของส่วนโครงสร้าง $i, i-1$ เป็นแบบปลายยึดเมื่อมีแรงเฉือน V_i กระทำ



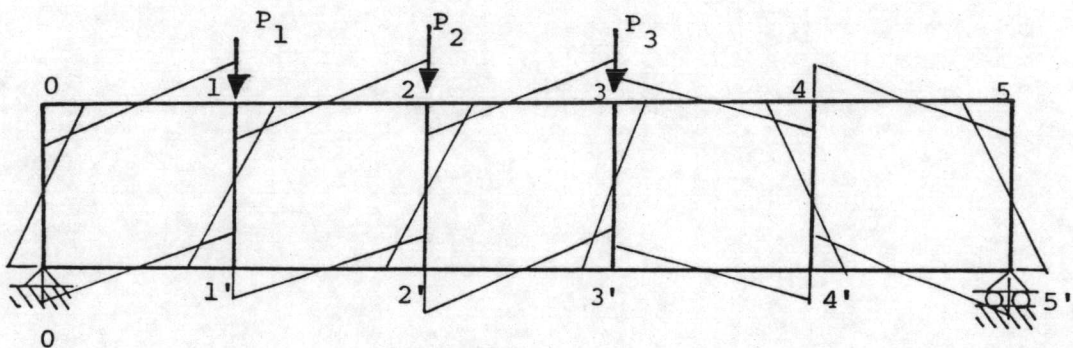
รูปที่ 3.2.7 แสดงการใส่แรง $P = 1$ หน่วยเมื่อต้องการหาค่า ระยะโค้งที่จุดต่อ 3 และฟังก์ชันของ \bar{M} เมื่อใส่แรง



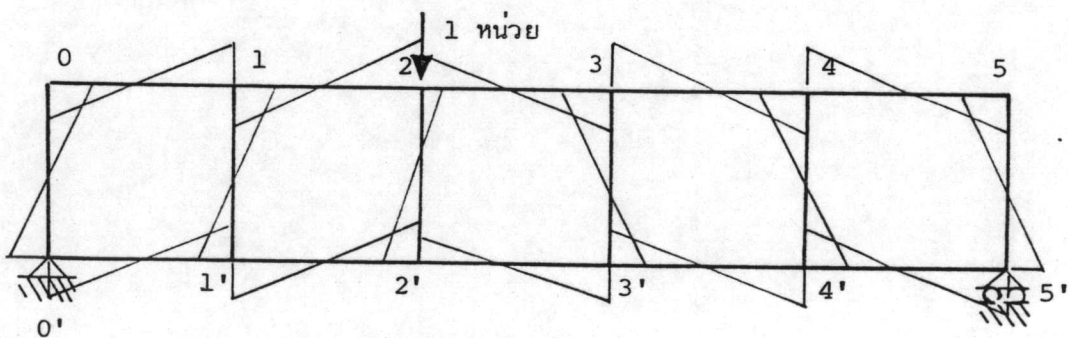
รูปที่ 3.2.8 แสดงค่าโมเมนต์ไคอะแกรมของน้ำหนักกระทำและค่าโมเมนต์ไคอะแกรมของน้ำหนักกระทำหนึ่งหน่วย



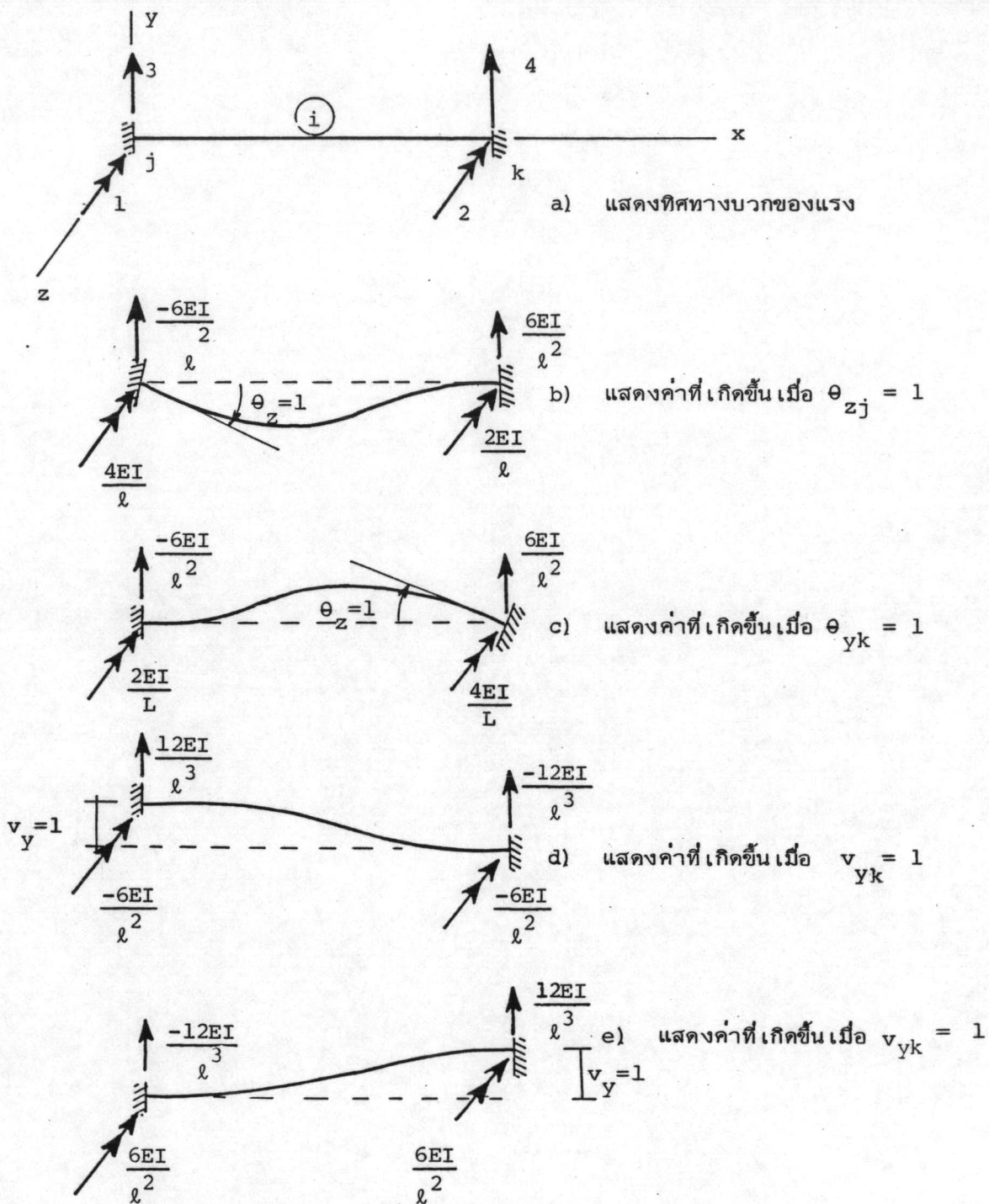
รูปที่ 3.2.9 แสดงค่าแรงเฉือนและแรงในแนวแกนเพื่อหาค่าระยะโก่งที่จุดกึ่งกลาง โดยที่ M_0 ที่ใช้แทนในสูตร 3.2.15 มีค่าเท่ากับ $N_{3T} \times h$ หรือเทียบเท่า $N_{4T} \times h$



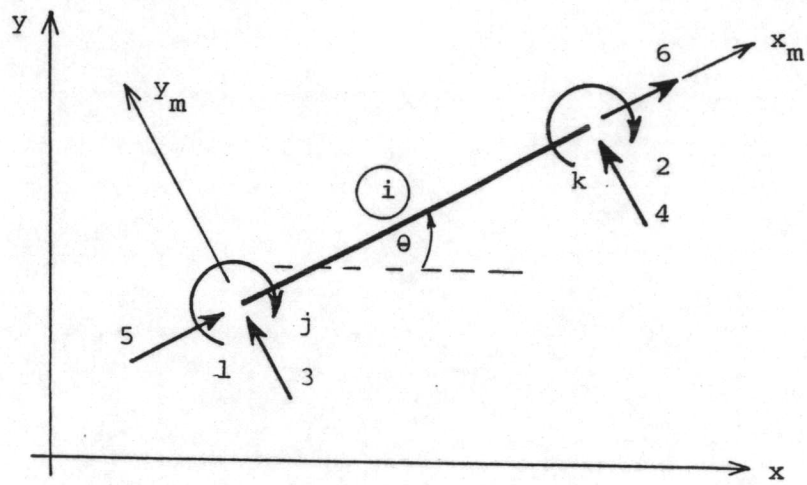
รูปที่ 3.2.10 แสดงโมเมนต์ไดอะแกรมที่ได้จากน้ำหนักกระทำใด ๆ (M)



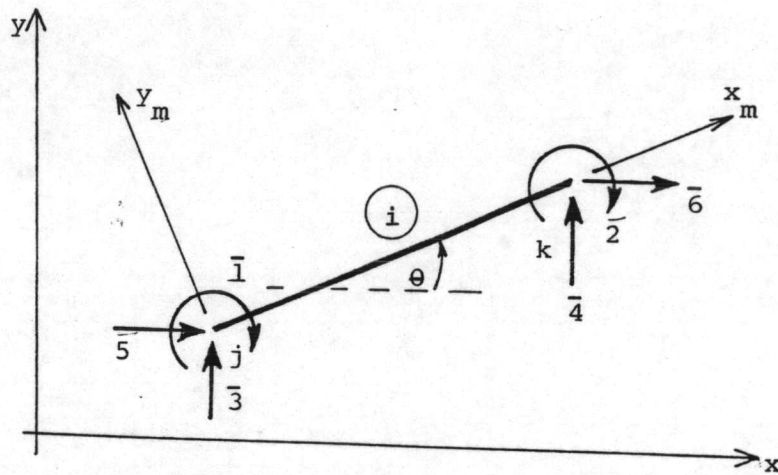
รูปที่ 3.2.11 แสดงโมเมนต์ไดอะแกรมที่ได้จากน้ำหนักกระทำหนึ่งหน่วยเพื่อหา ระยะโก่งที่จุดต่อ 2 (m)



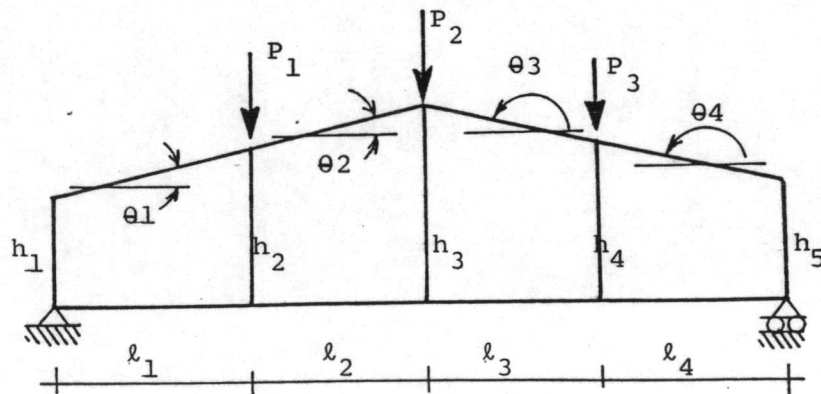
รูปที่ 3.3.1 แสดงการหาค่า stiffness matrix ในกรณีที่โมเมนต์ผลจากแรงในแนวแกน



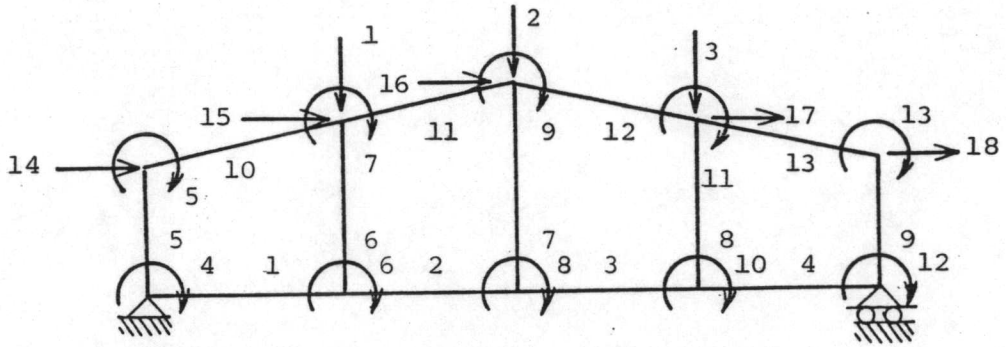
รูปที่ 3.3.2 แสดงทิศทางใน local coordinate เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงในแนวแกน



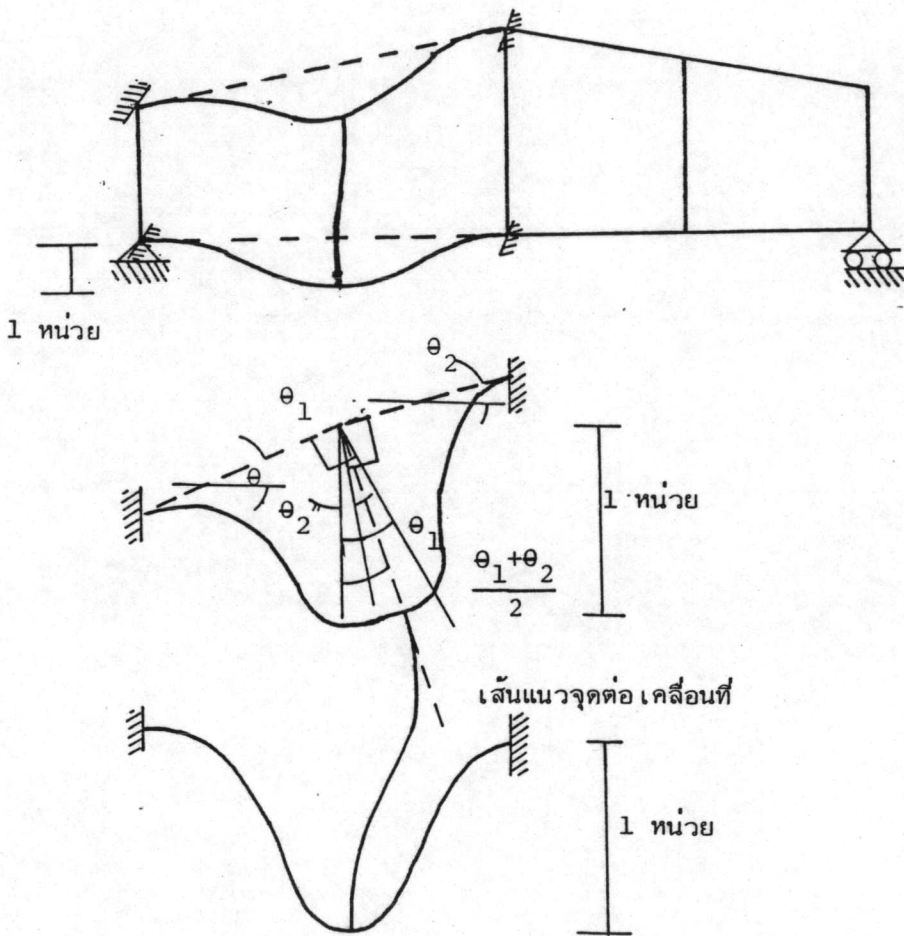
รูปที่ 3.3.3 แสดงทิศทางใน global coordinate



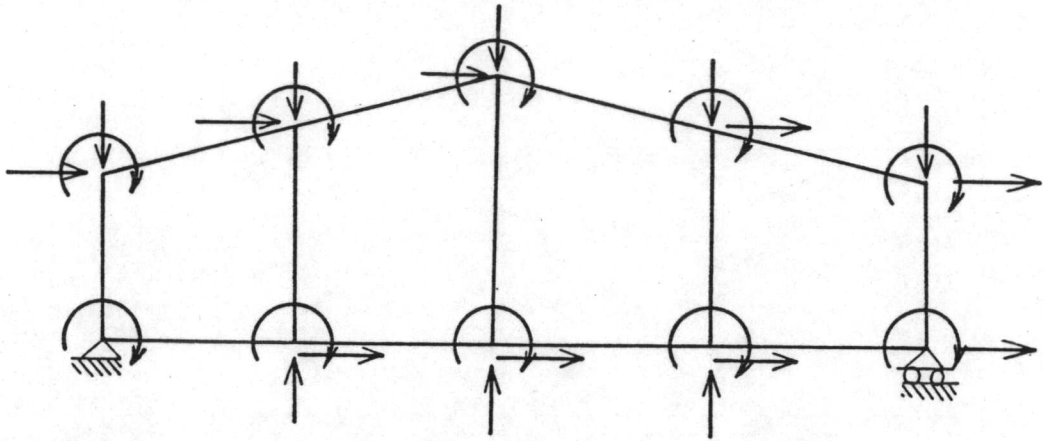
รูปที่ 3.3.4 Loading condition



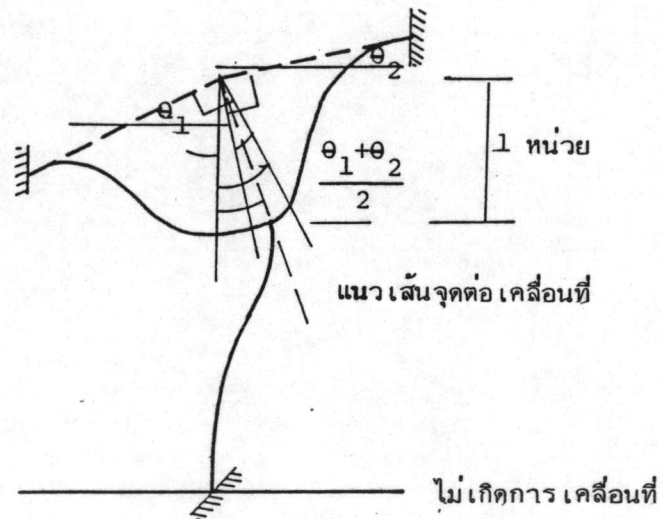
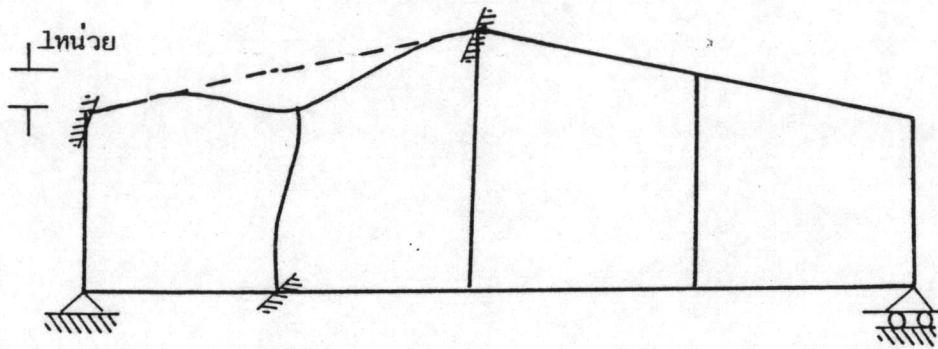
รูปที่ 3.3.5 System coordinates เมื่อไม่คิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงในแนวแกน



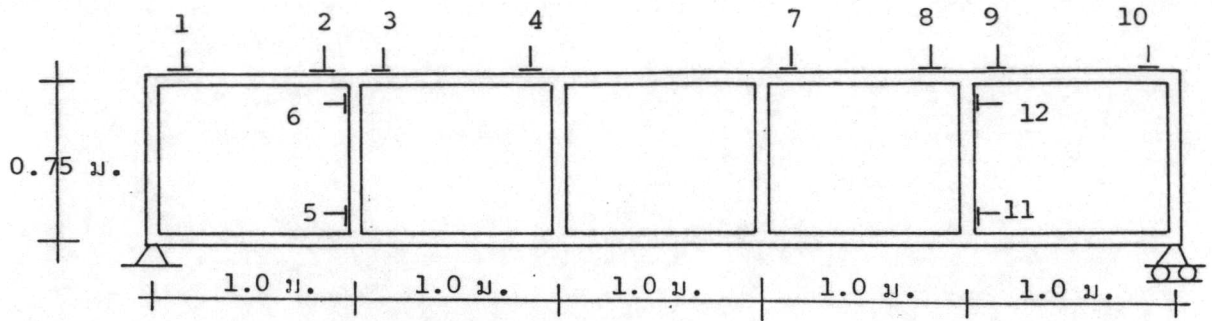
รูปที่ 3.3.6 แสดงการหาค่า a เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ ไป 1 หน่วย ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงในแนวแกน



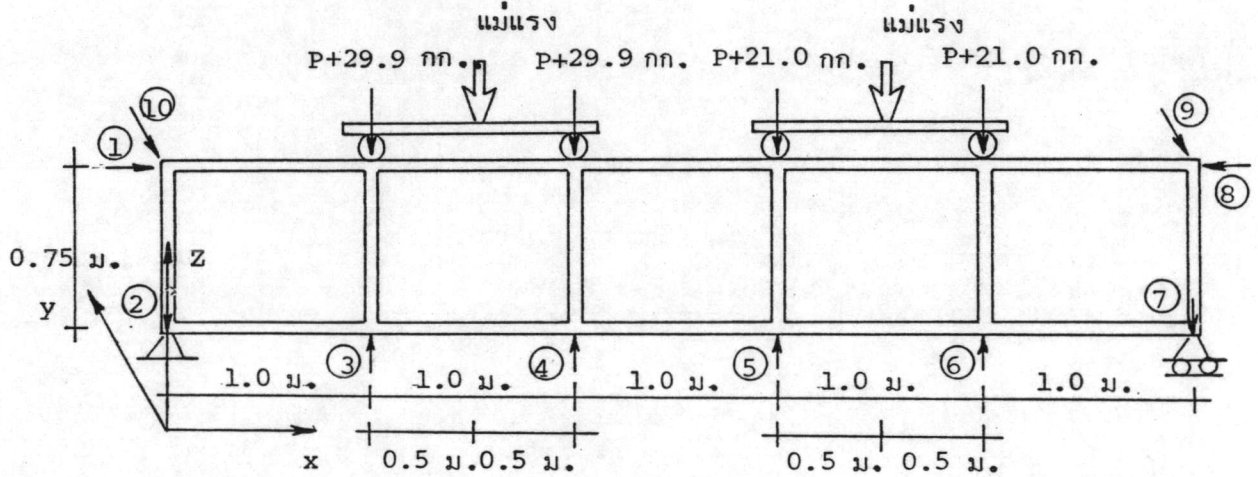
รูปที่ 3.3.7 System coordinates เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงในแนวแกน



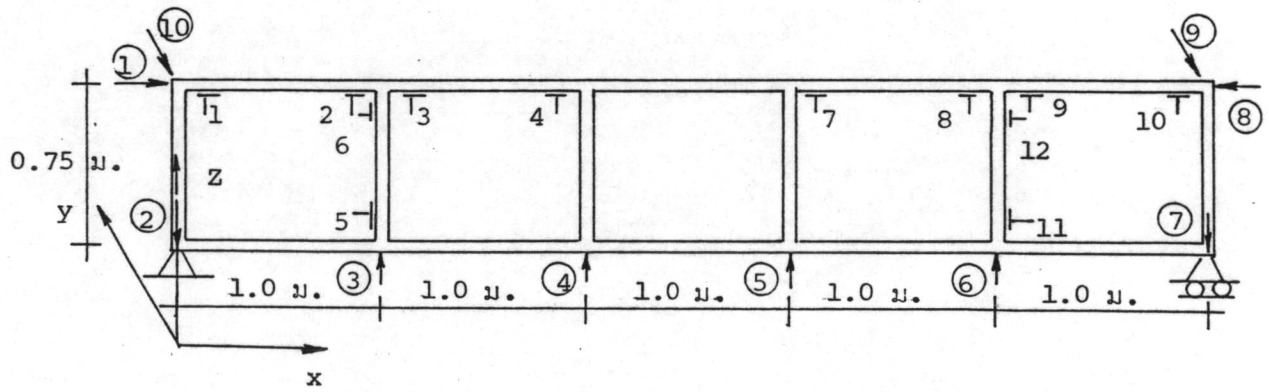
รูปที่ 3.3.8 แสดงการหาค่า a เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ไป 1 หน่วย คัดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงในแนวแกน



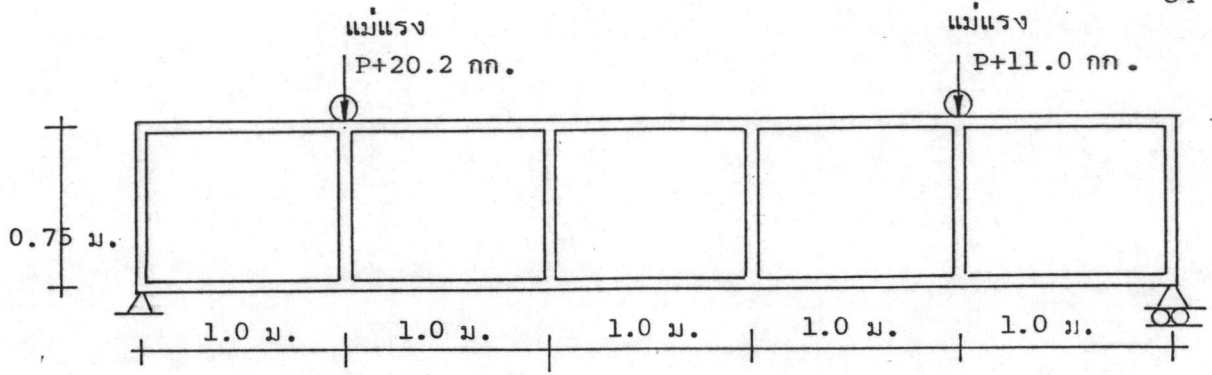
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งคิด เกจวัดความเครียดของโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก น้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 1 (ระยะห่างของเกจวัดความเครียดจากกึ่งกลางจุดต่อ มีค่าเท่ากับ 14.5 ซม.)



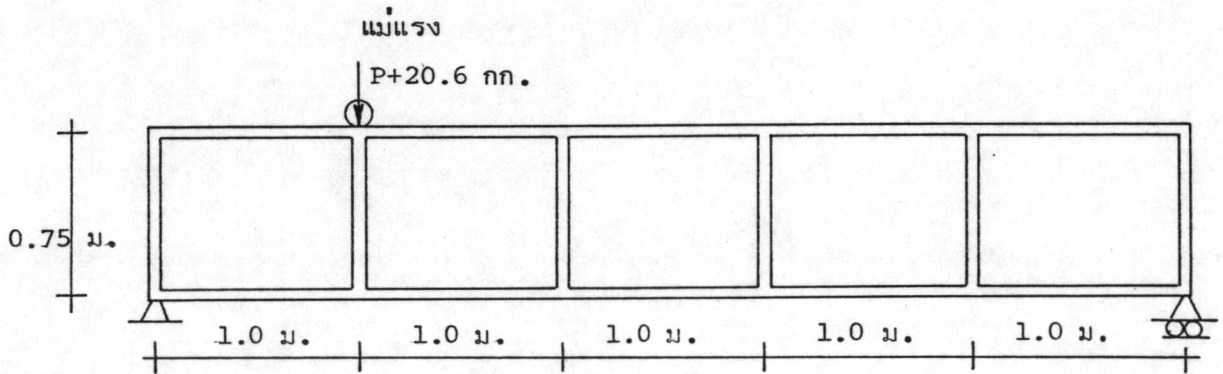
รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งคิด เกจวัดระยะการเคลื่อนที่และตำแหน่งรับน้ำหนักบรรทุก P ของโครงสร้างน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 1



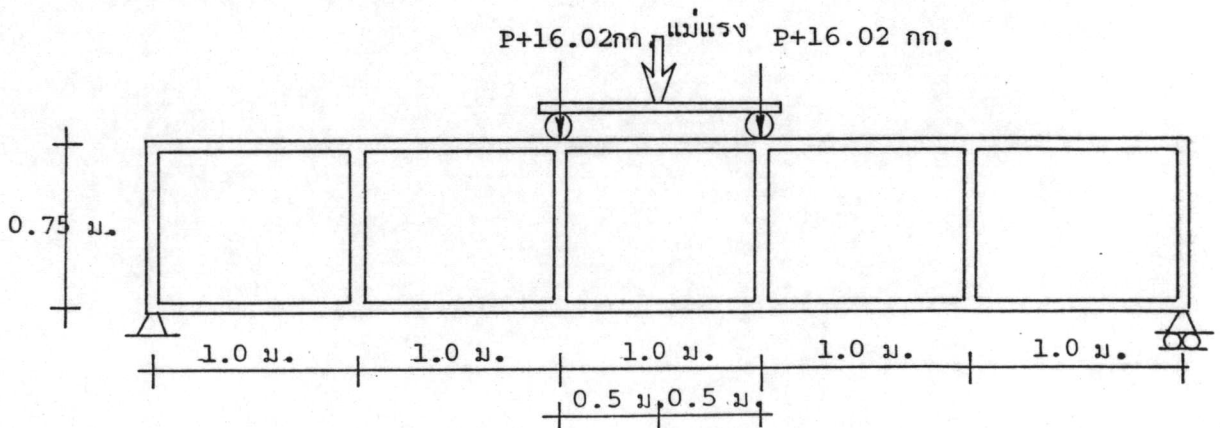
รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งคิด เกจวัดความเครียดและตำแหน่งคิด เกจวัดระยะการเคลื่อนที่ ของโครงสร้างน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 2 ถึง 4 (ระยะห่างของเกจวัดความเครียด จากจุดกึ่งกลางจุดต่อมีค่าเท่ากับ 14.5 ซม.)



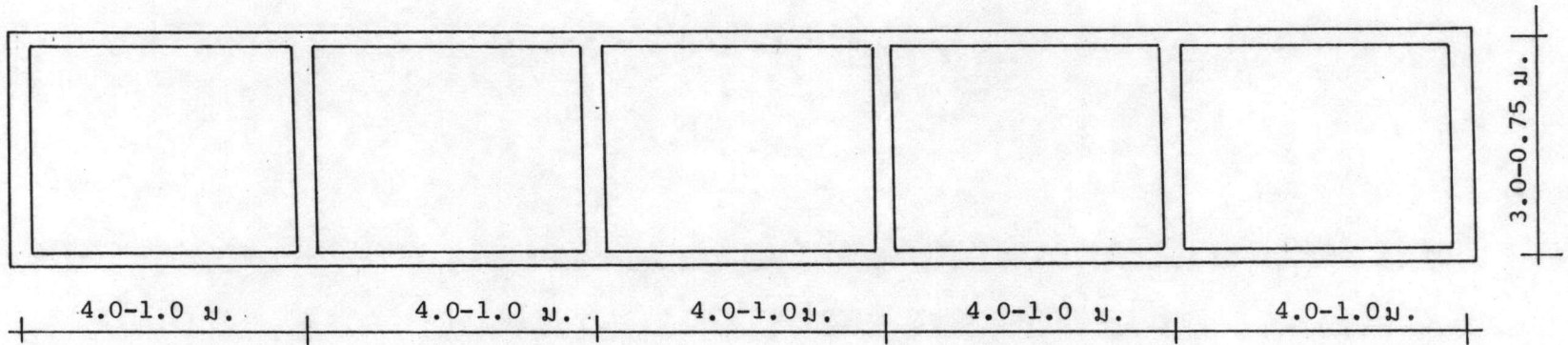
รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งน้ำหนักบรรทุก P กรณีที่ 2 ของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก รูปตัว I



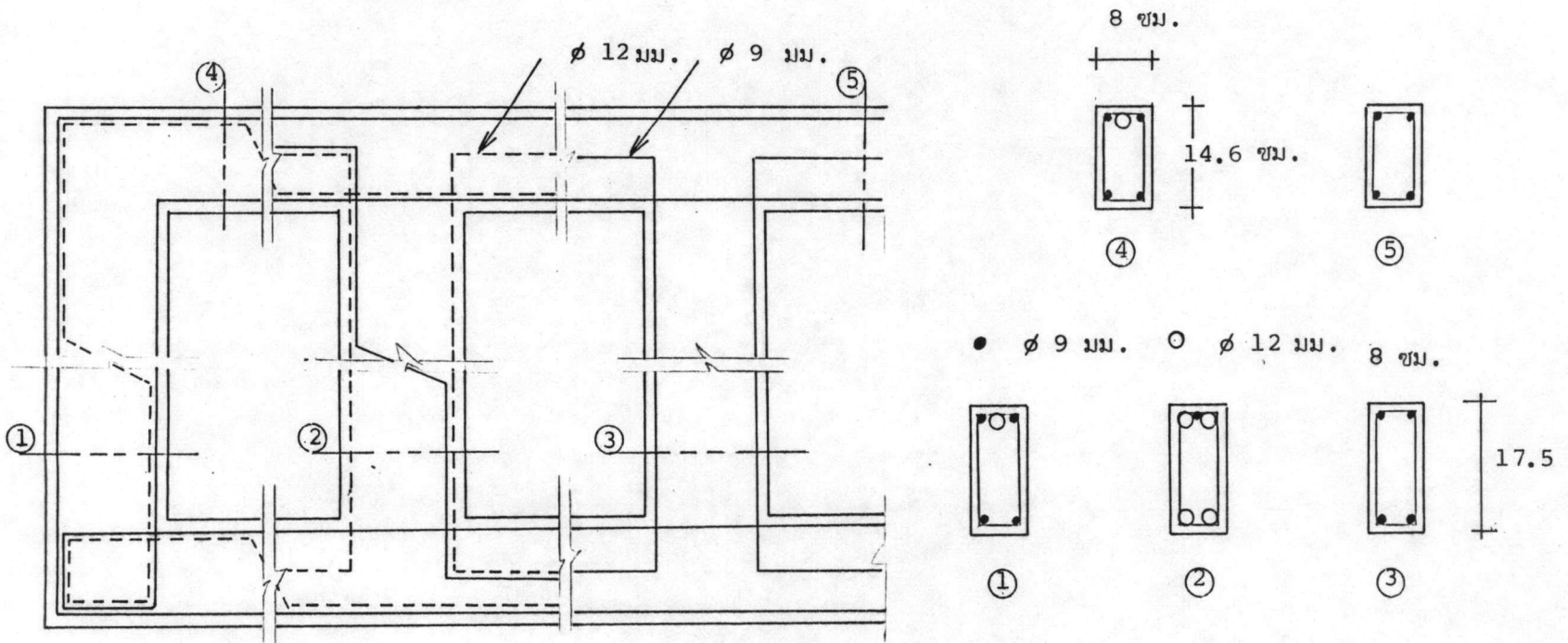
รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งน้ำหนักบรรทุก P กรณีที่ 3 ของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก รูปตัว I



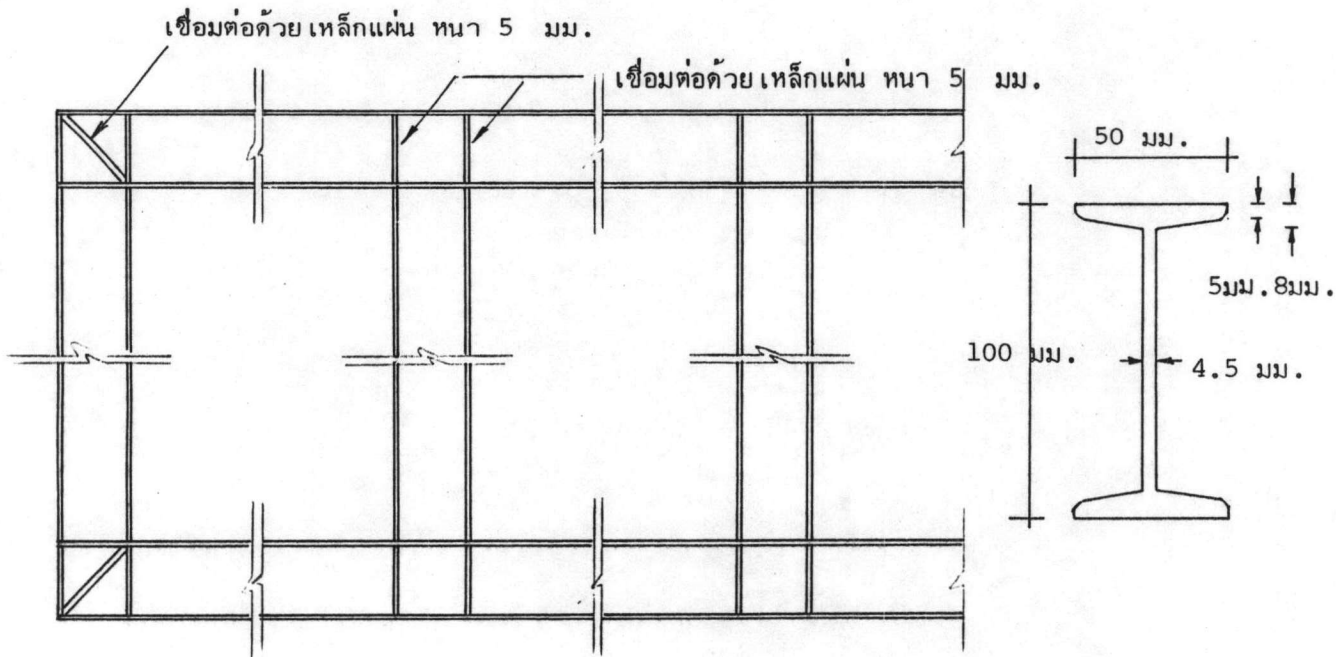
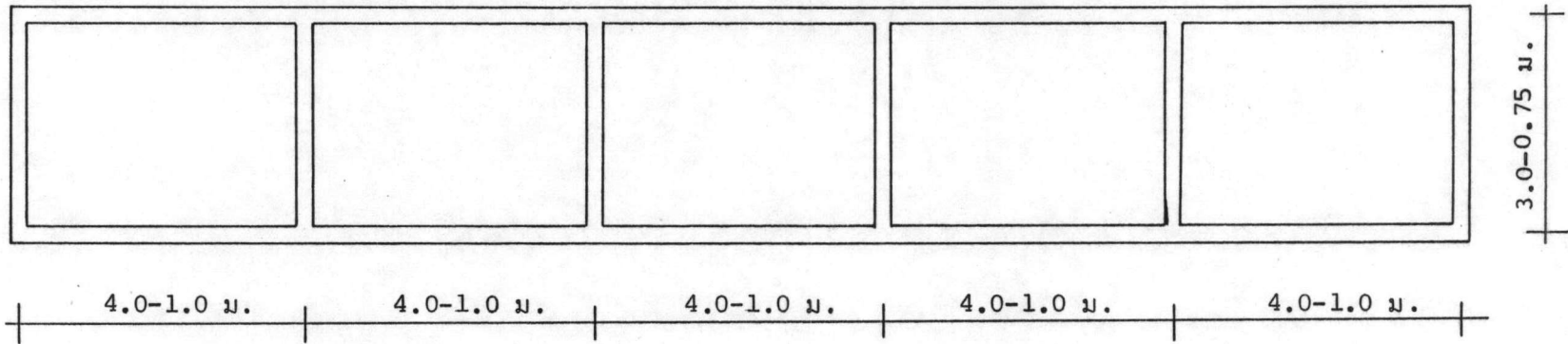
รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งน้ำหนักบรรทุก P กรณีที่ 4 ของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก รูปตัว I



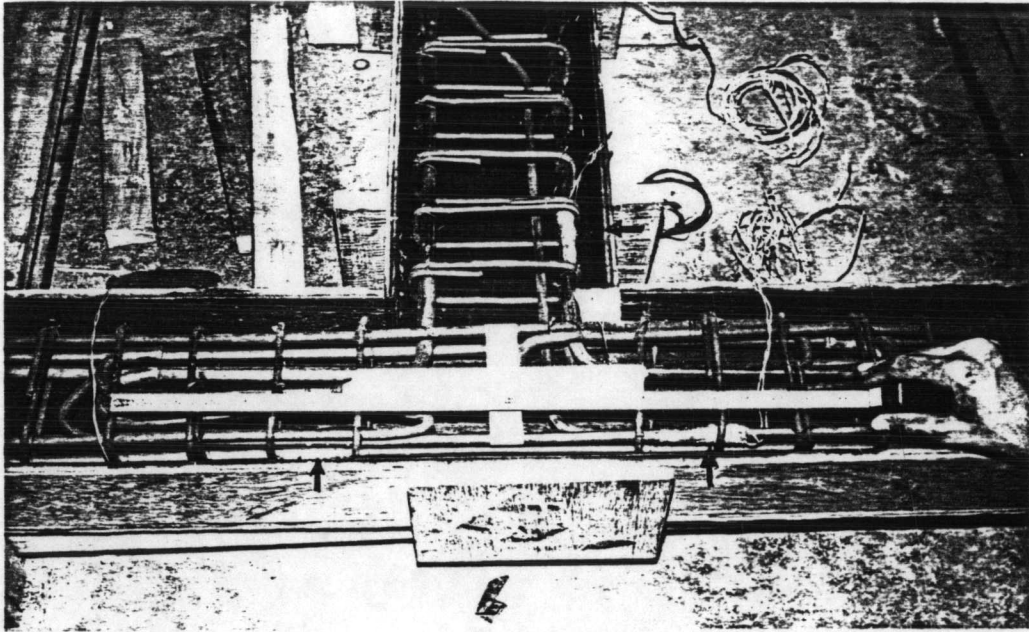
ขนาด 4.0-1.0 ความหมายคือ ขนาดโครงสร้างจริงยาวเท่ากับ 4.0 ม. ขนาดโครงสร้างจำลองยาวเท่ากับ 1.0 ม.



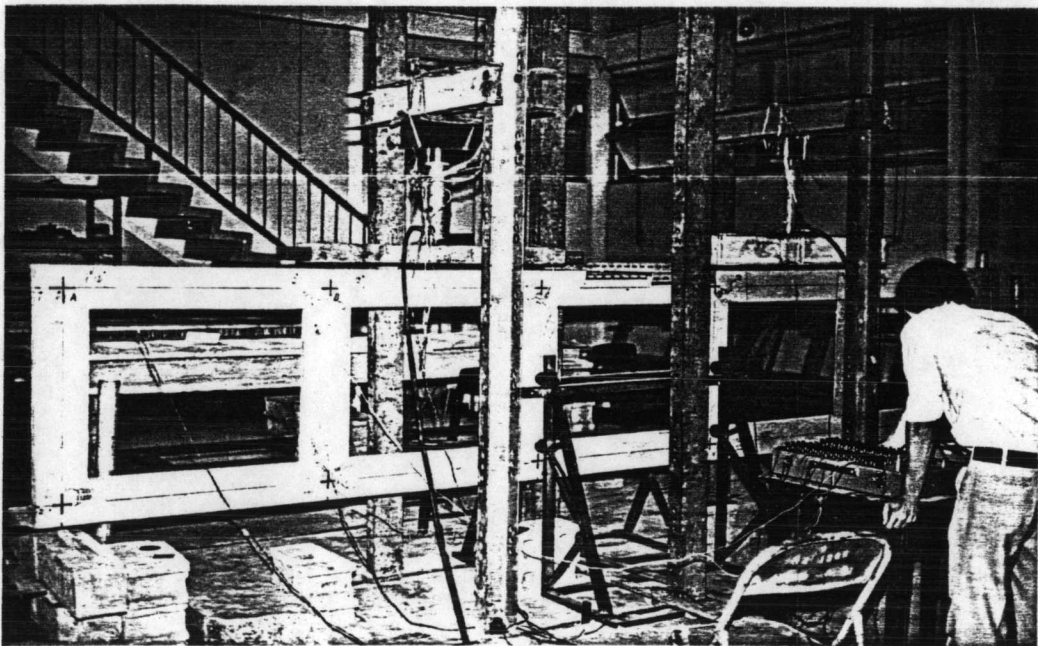
รูปที่ 4.7 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก



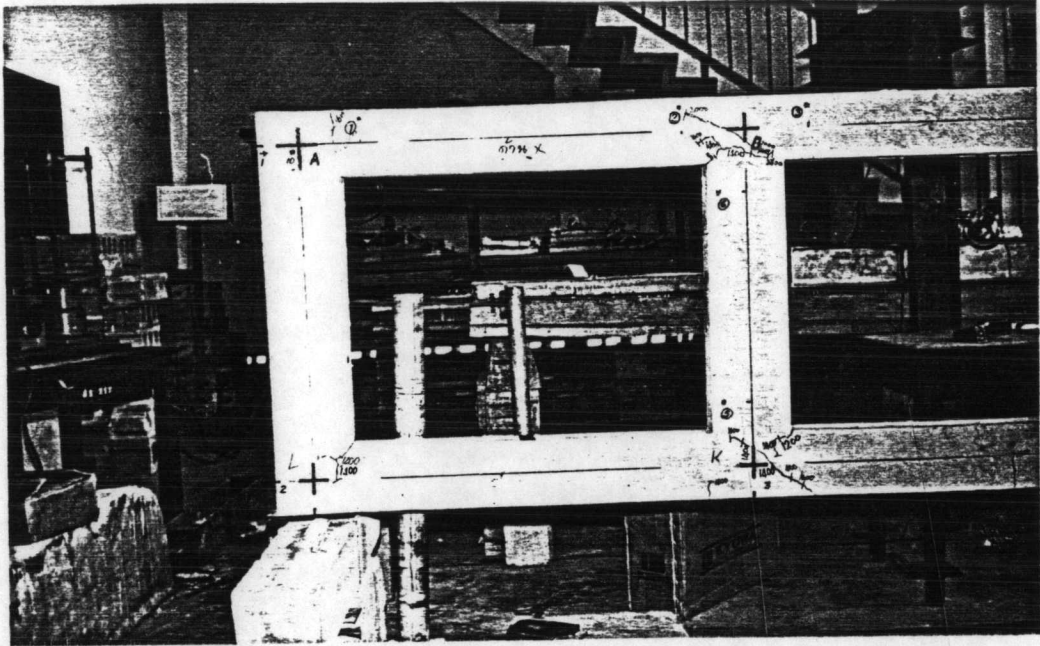
รูปที่ 4.8 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กรูปตัว I



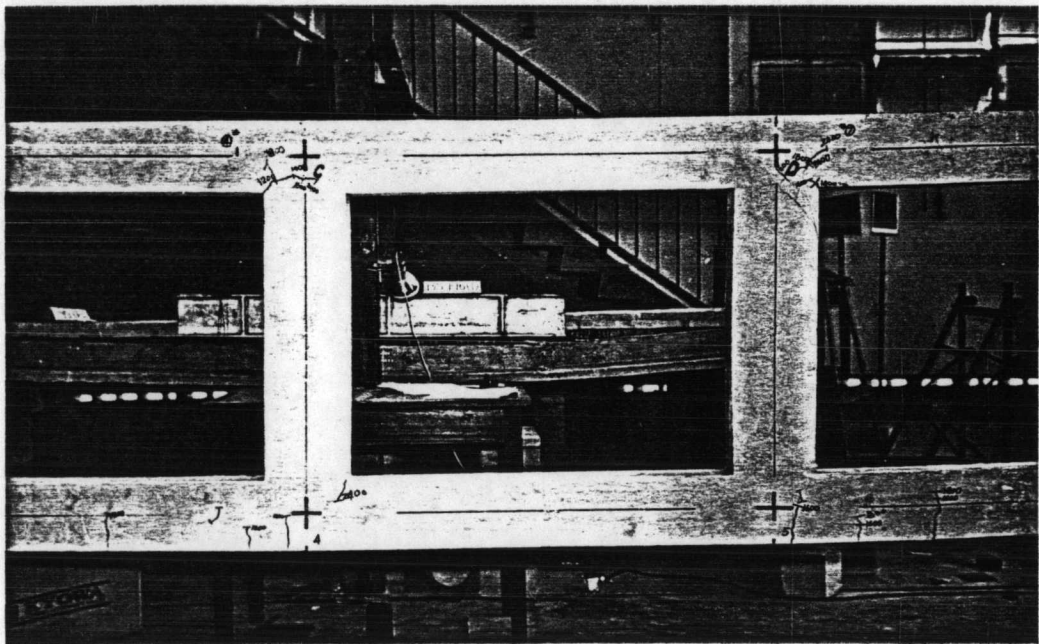
รูปที่ 4.9 แสดงการติดเอกวัตความเครียดของโครงสร้างในกรณีที่ 1



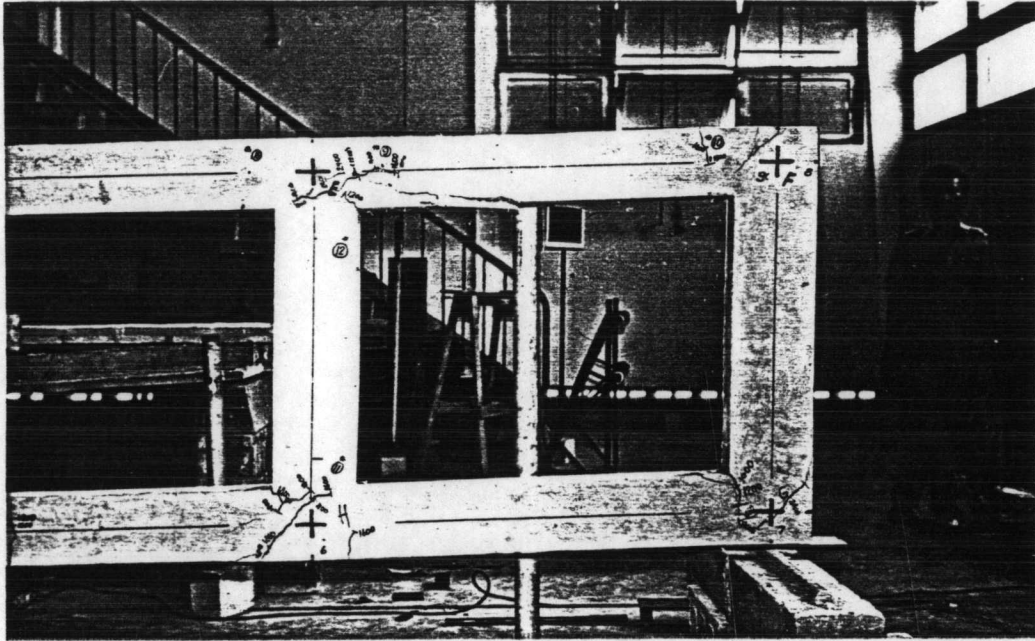
รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งและวิธีติดตั้งแม่แรงน้ำหนักของโครงสร้าง กรณีที่ 1



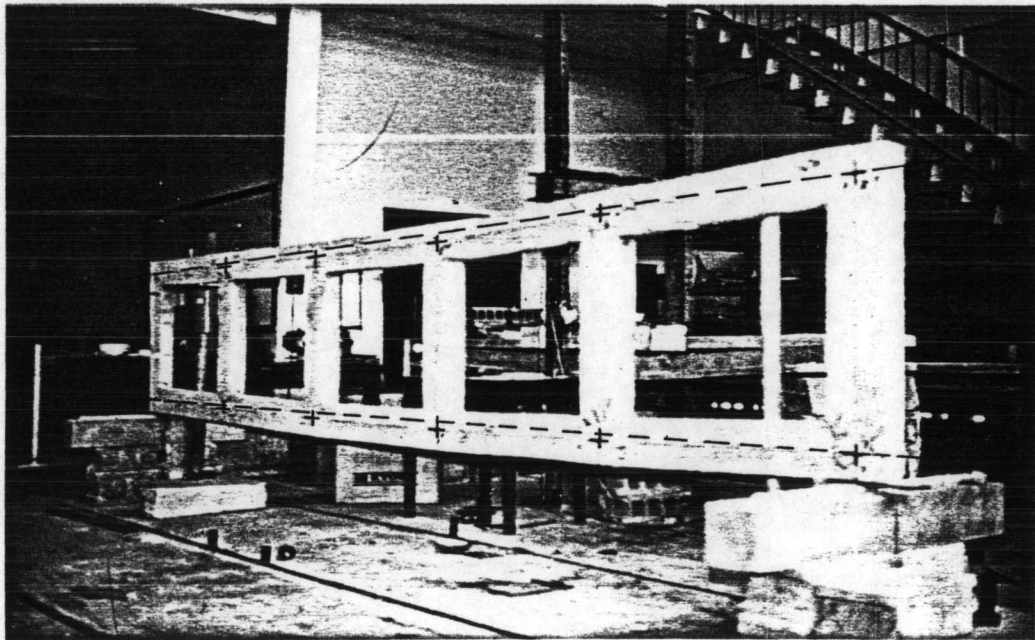
รูปที่ 4.11a แสดงลักษณะการวิบัติของโครงสร้าง กรณีที่ 1



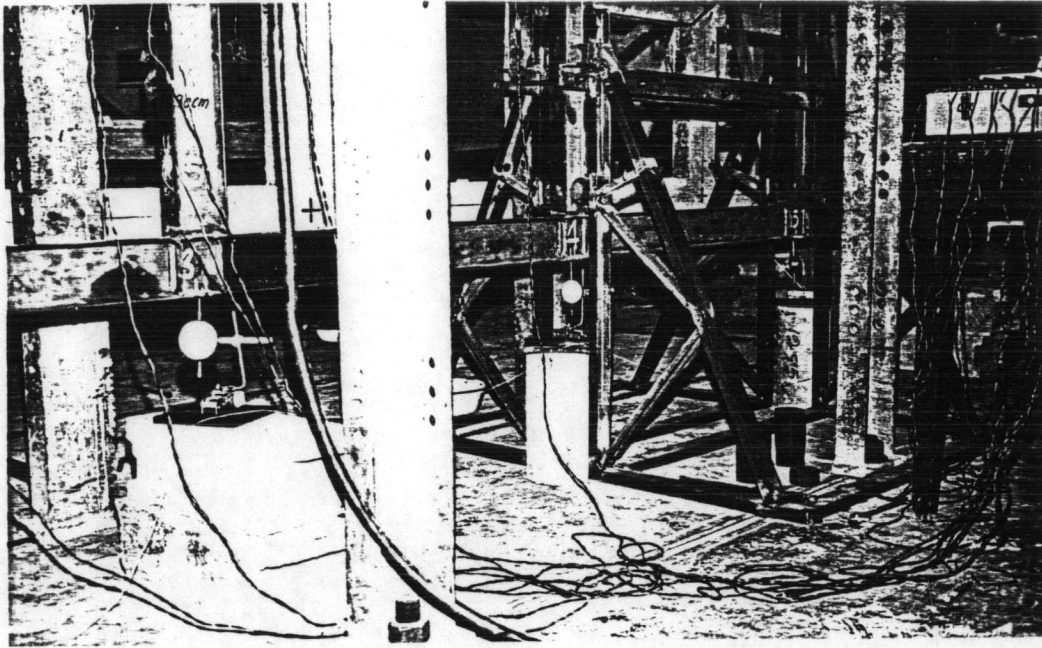
รูปที่ 4.11b แสดงลักษณะการวิบัติของโครงสร้าง กรณีที่ 1



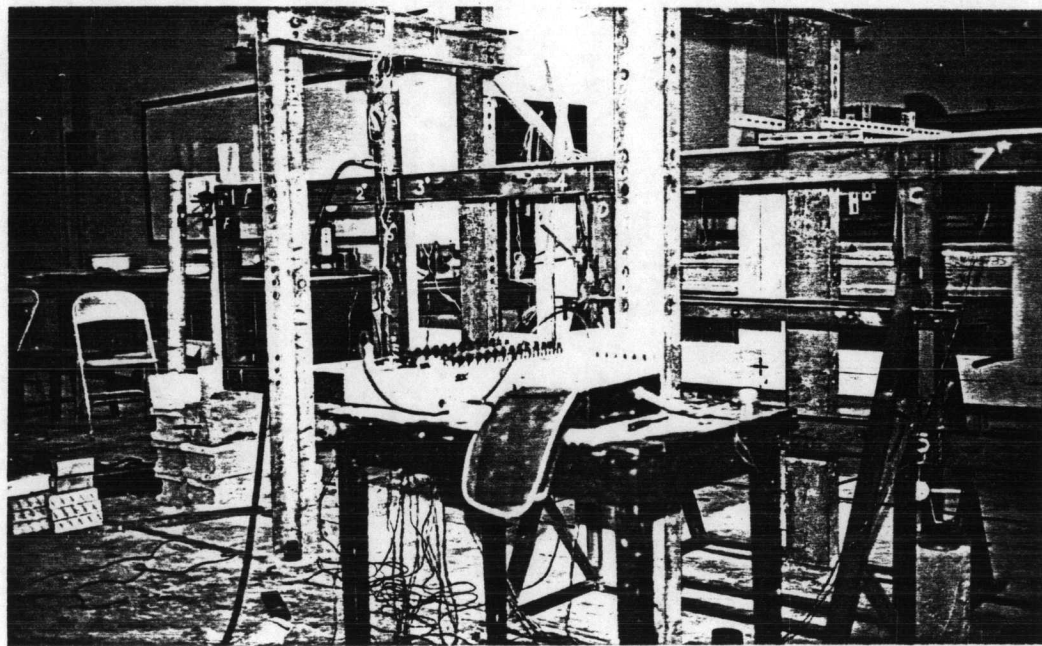
รูปที่ 4.11c แสดงลักษณะการวิบัติของโครงสร้าง กรณีที่ 1



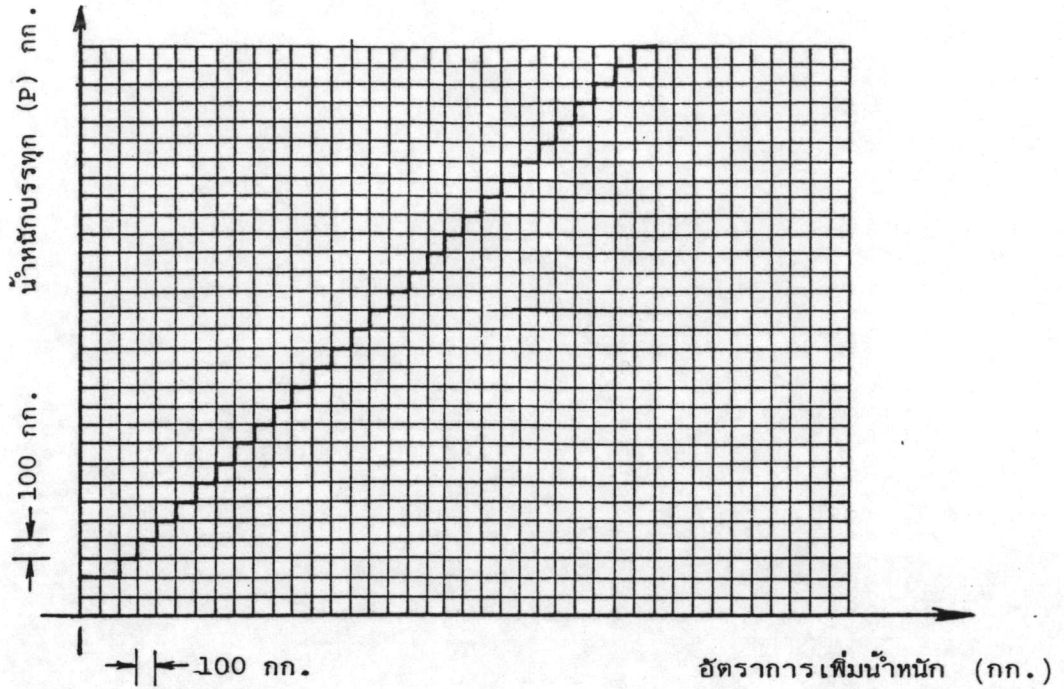
รูปที่ 4.12 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างหลังจากเกิดการวิบัติของโครงสร้าง กรณีที่ 1



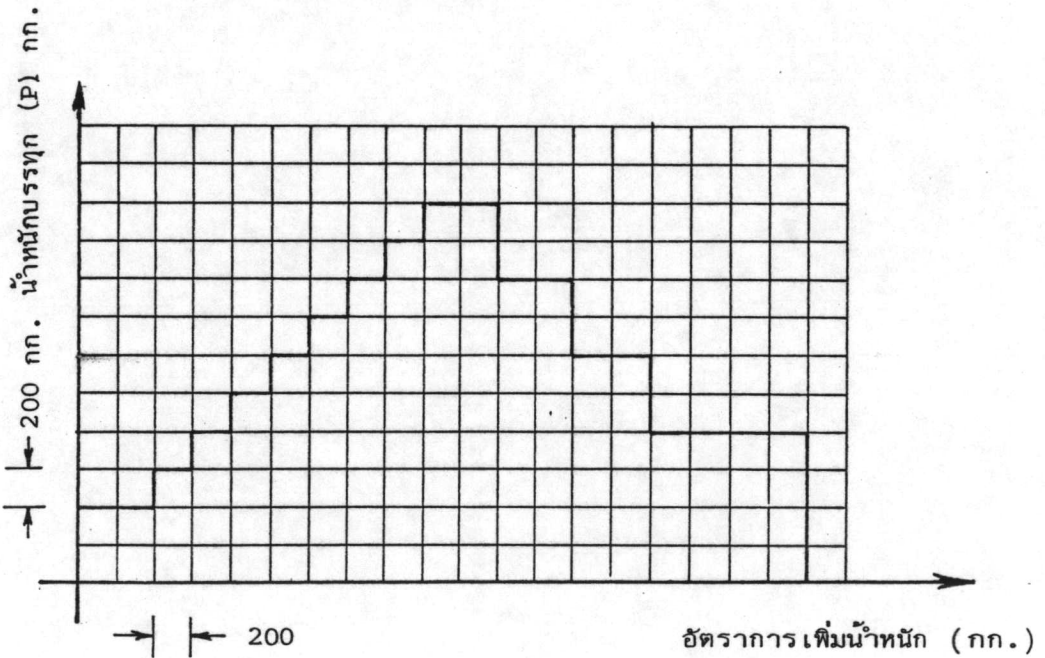
รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งติดตั้งเกจวัดระยะทาง



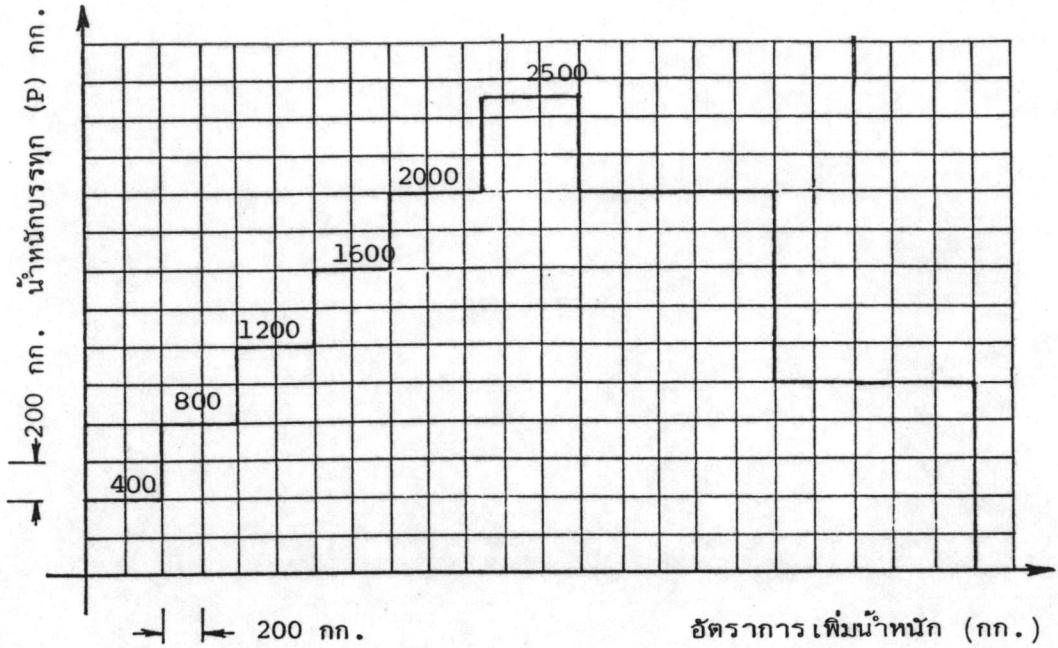
รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งแม่แรงน้ำหนักในกรณี 2



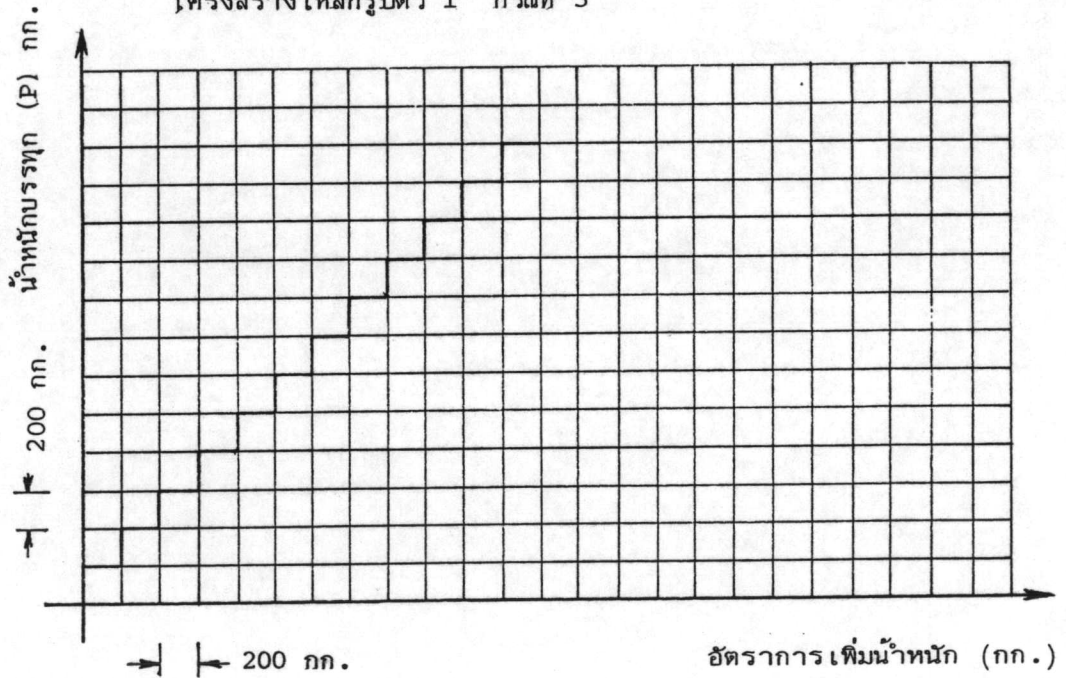
รูปที่ 4.15 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของโครงสร้าง กรณีที่ 1



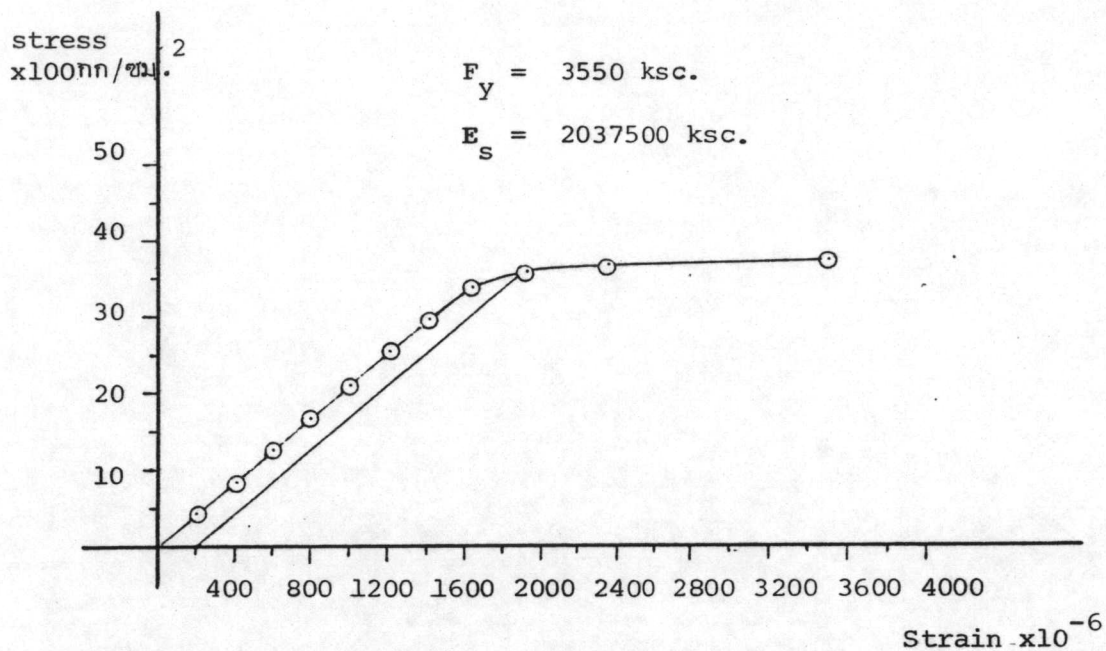
รูปที่ 4.16 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2



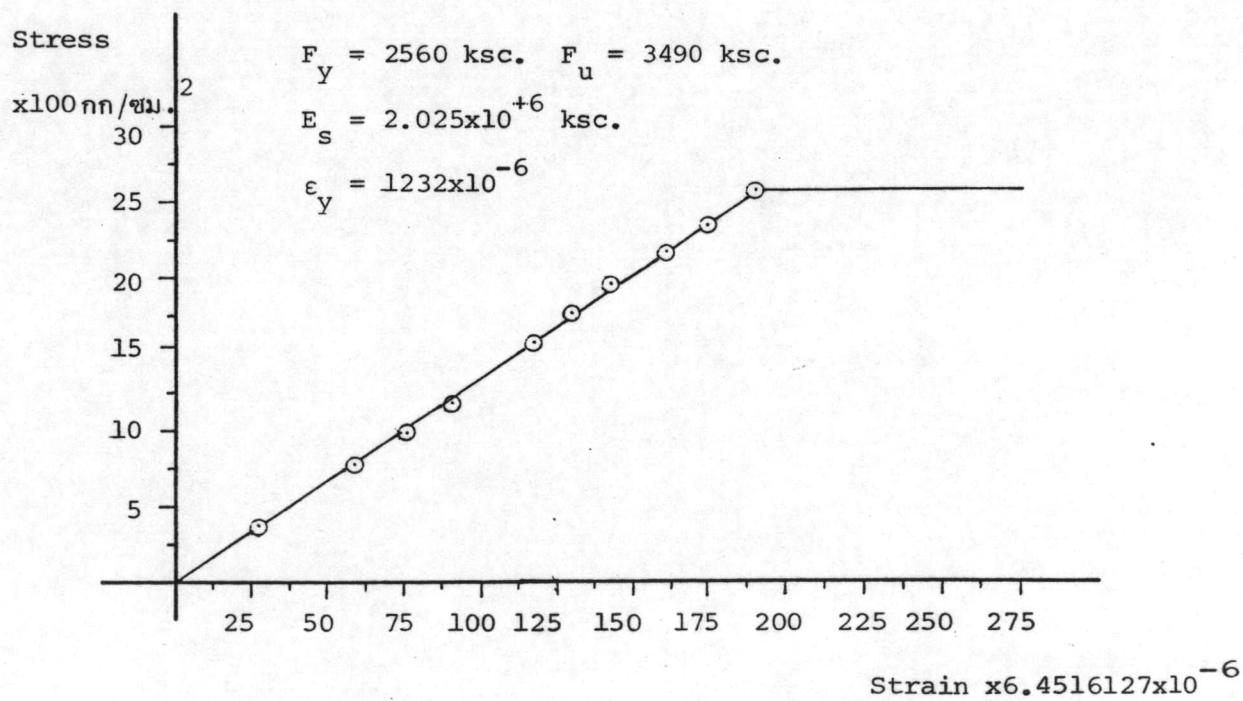
รูปที่ 4.17 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของ โครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3



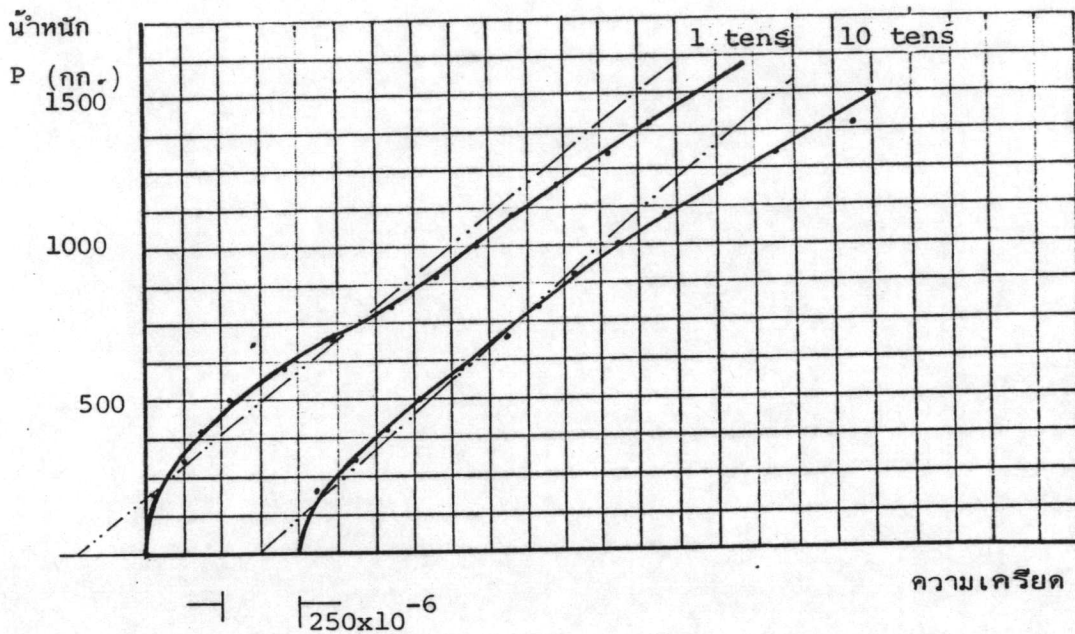
รูปที่ 4.18 แสดงค่าน้ำหนักบรรทุก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของ โครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
ของเหล็กรูปตัว I ภายใต้แรงดัด

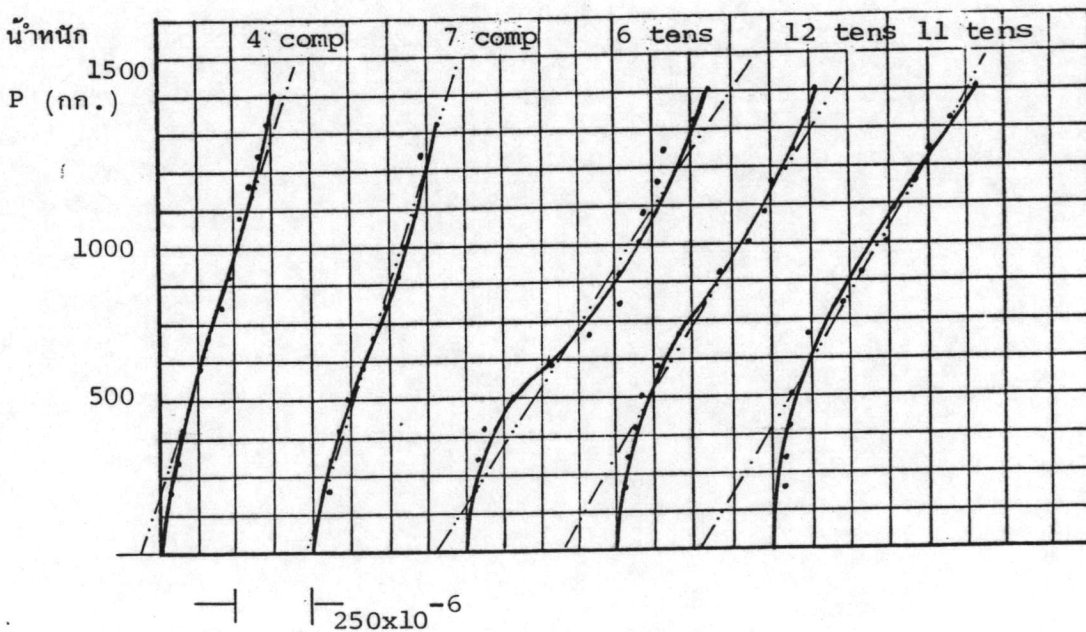


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
ของเหล็ก ϕ 12 มม. ภายใต้แรงดึง

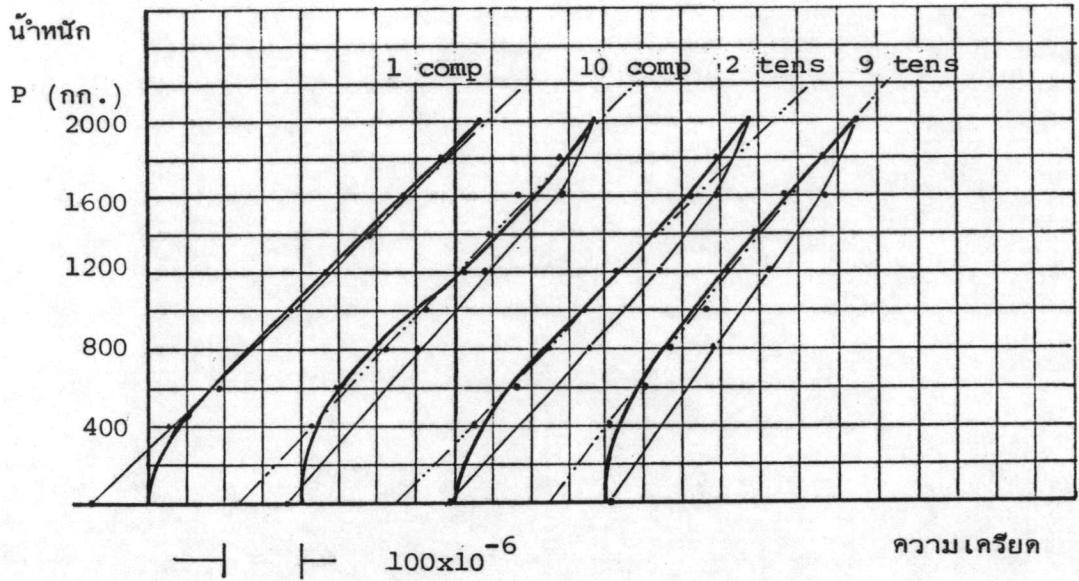


รูปที่ 4.21a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีที่ 1

..... เส้นปรับค่าผลการทดลอง ————— ผลการทดลอง

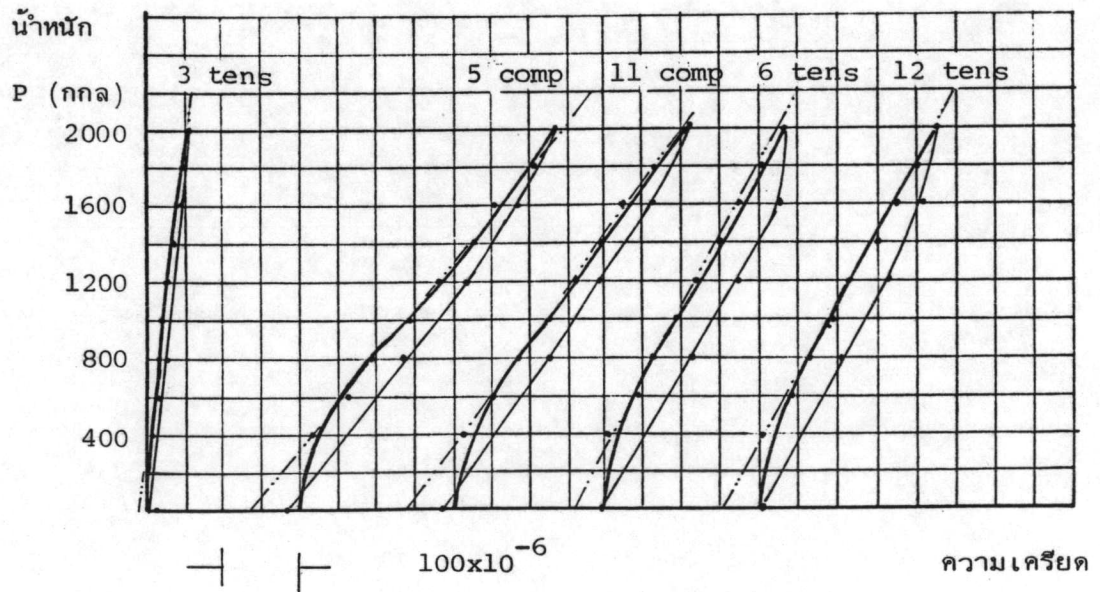


รูปที่ 4.21b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีที่ 1

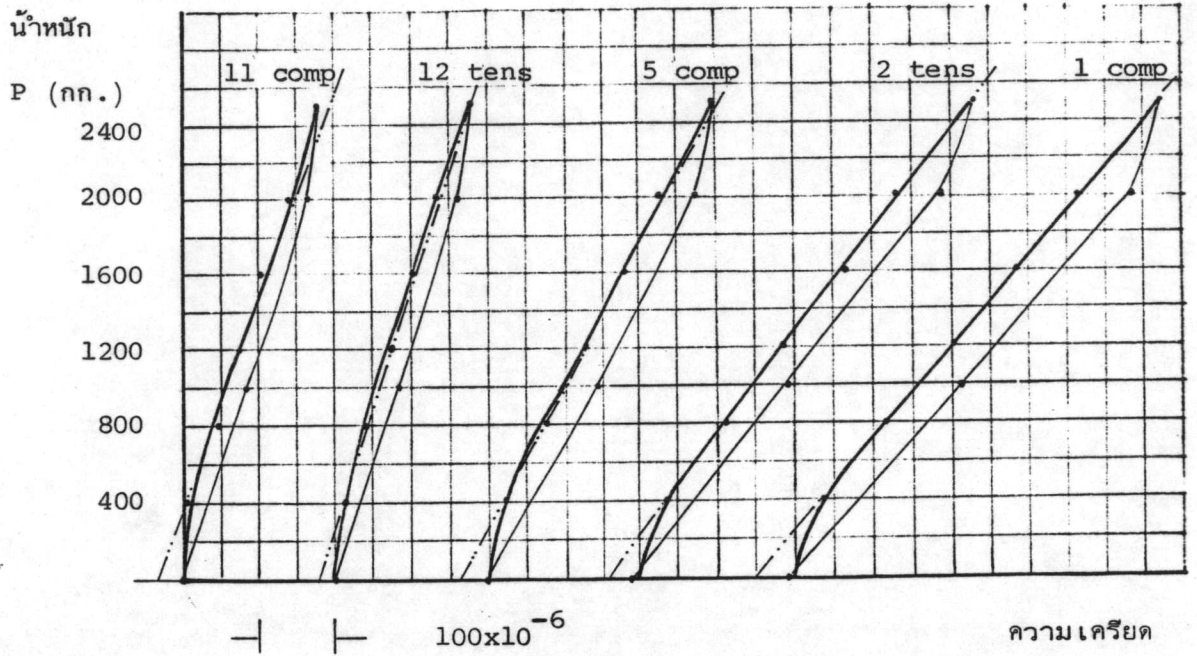


รูปที่ 4.22a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียด
ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2

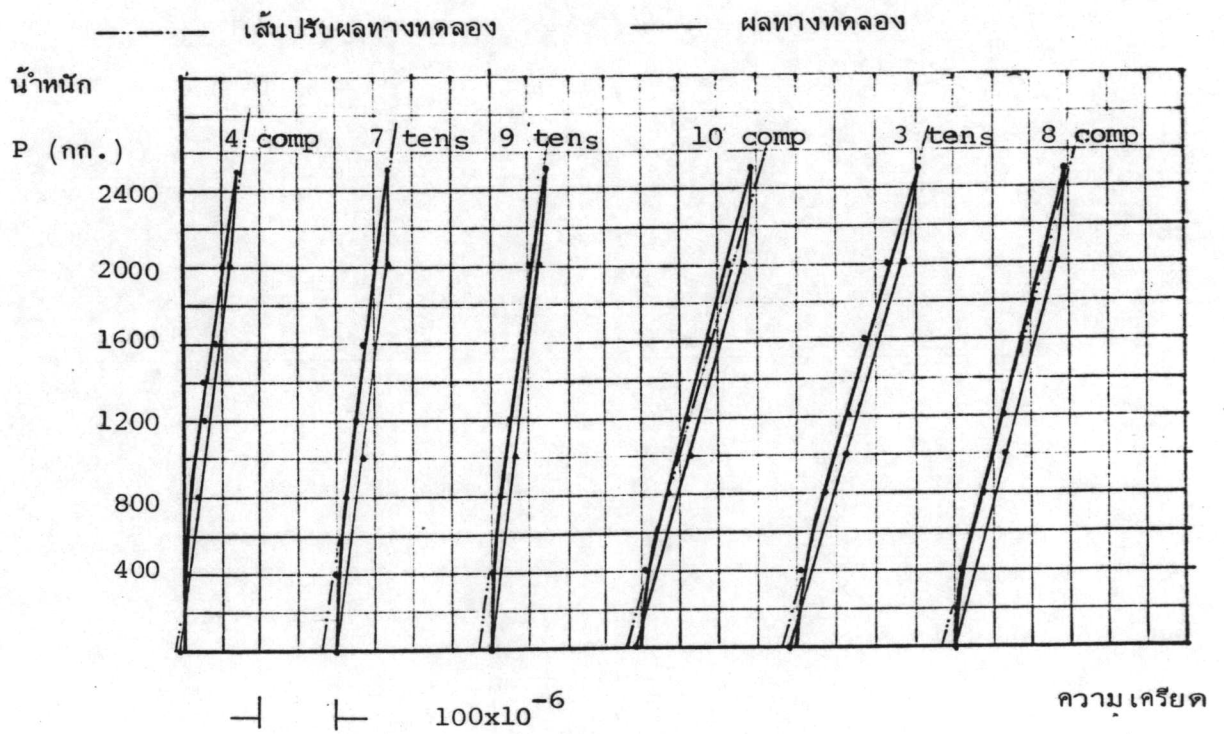
..... เส้นปรับผลการทดลอง — ผลการทดลอง



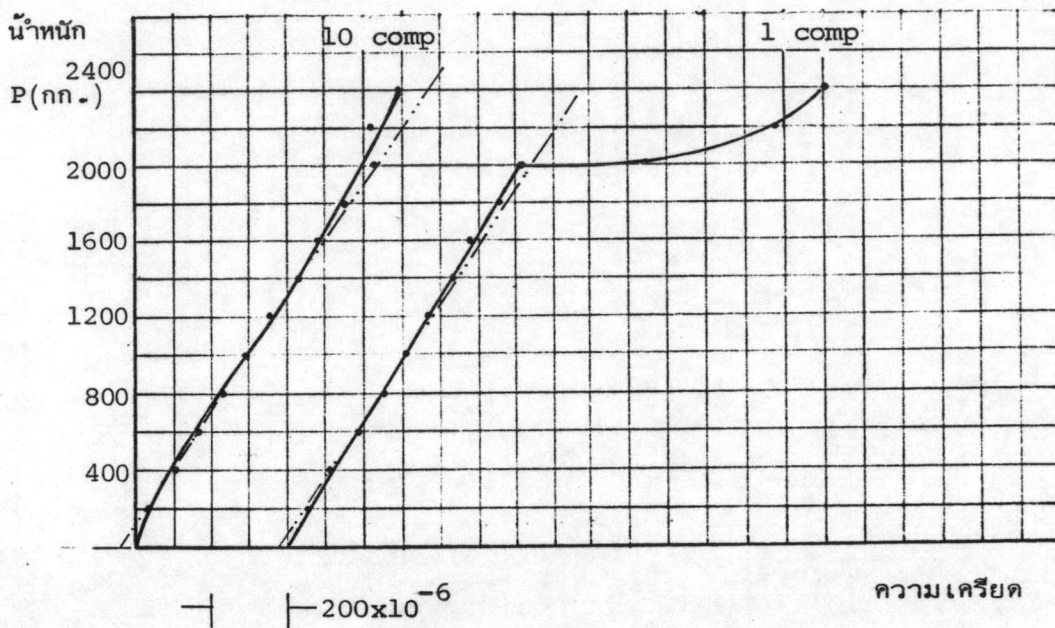
รูปที่ 4.22b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียด
ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2



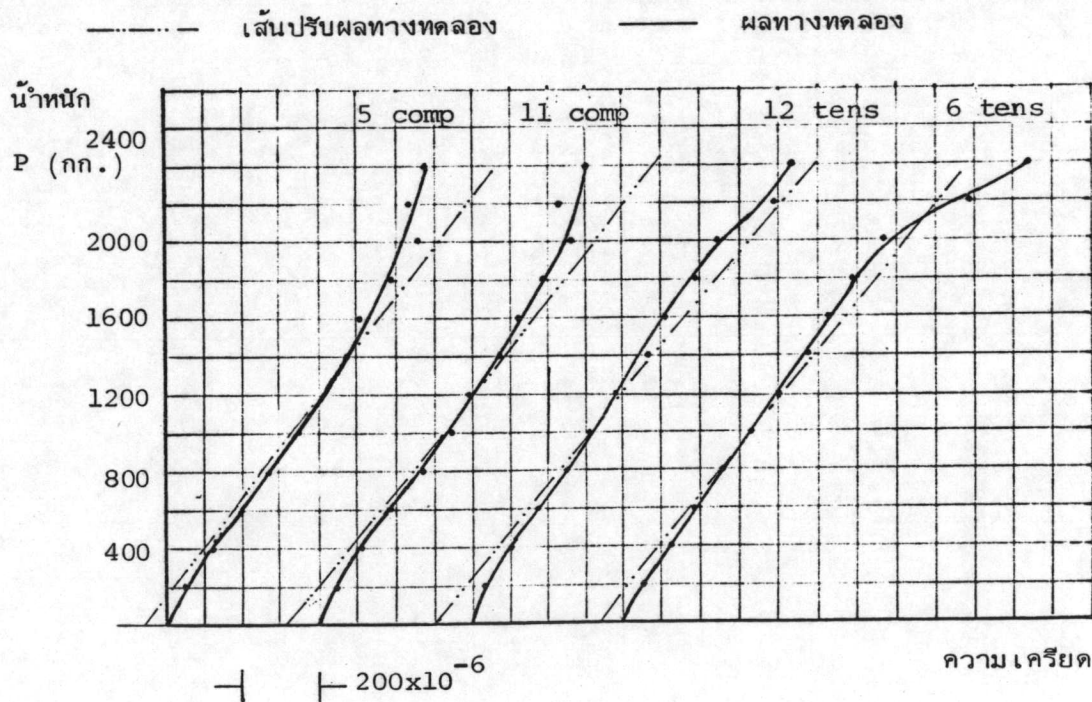
รูปที่ 4.23a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียด
ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3



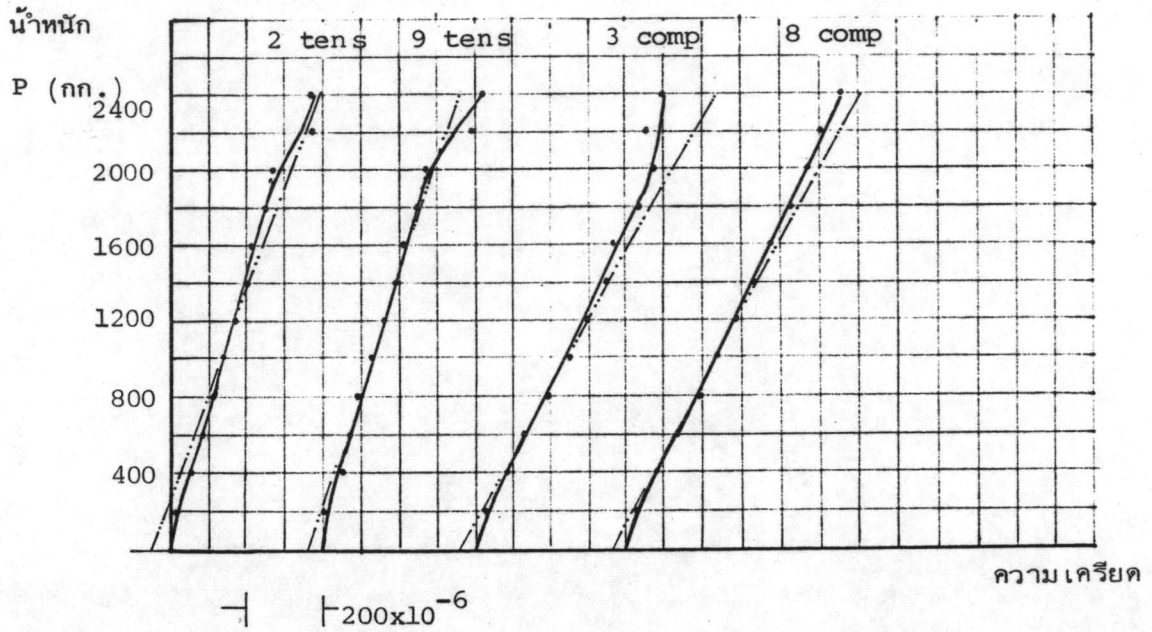
รูปที่ 4.23b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้น
บนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3



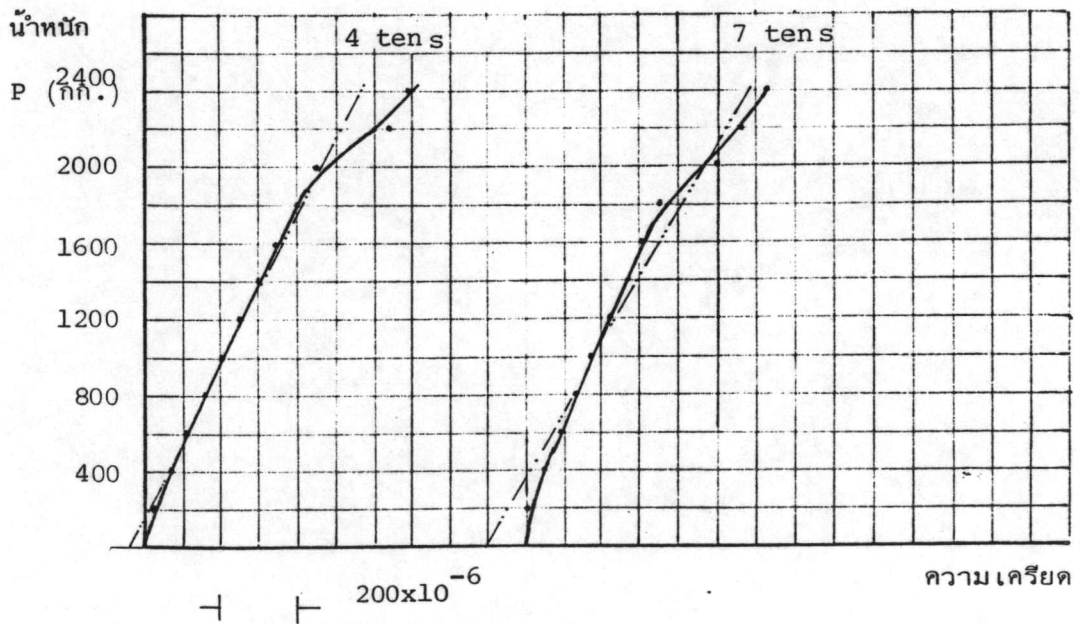
รูปที่ 4.24a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักระหว่างน้ำหนักระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4



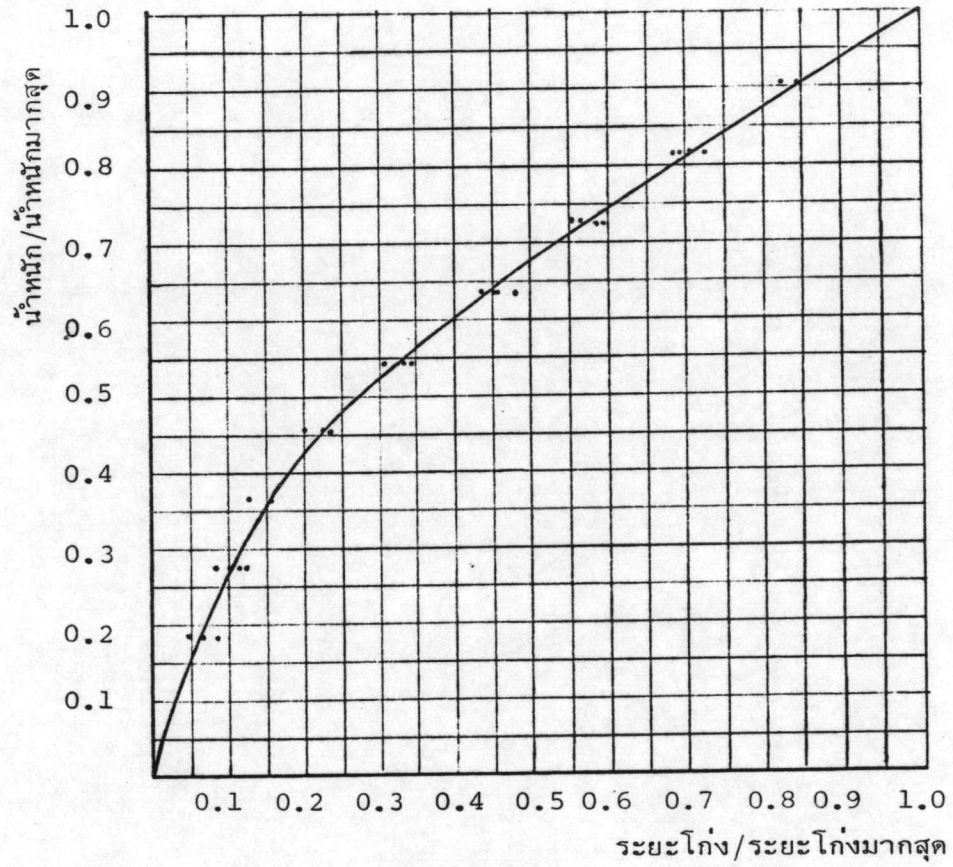
รูปที่ 4.24b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4



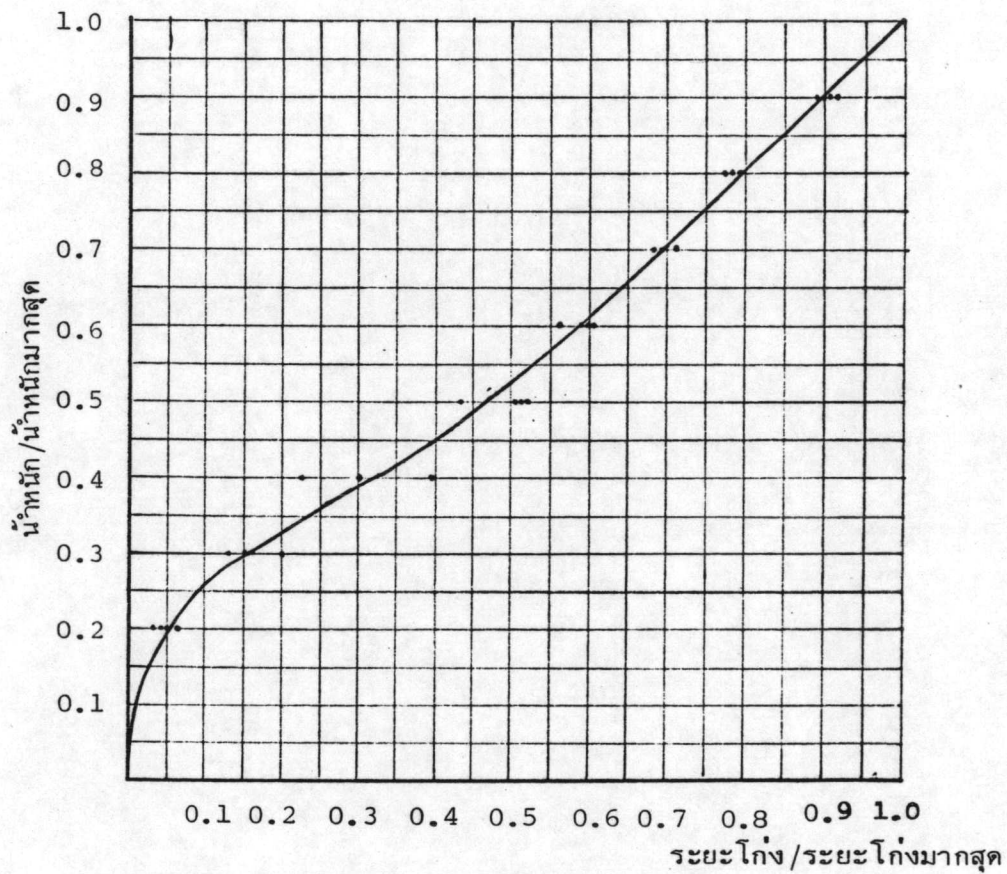
รูปที่ 4.24c กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียด
ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4



รูปที่ 4.24d กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียด
ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4



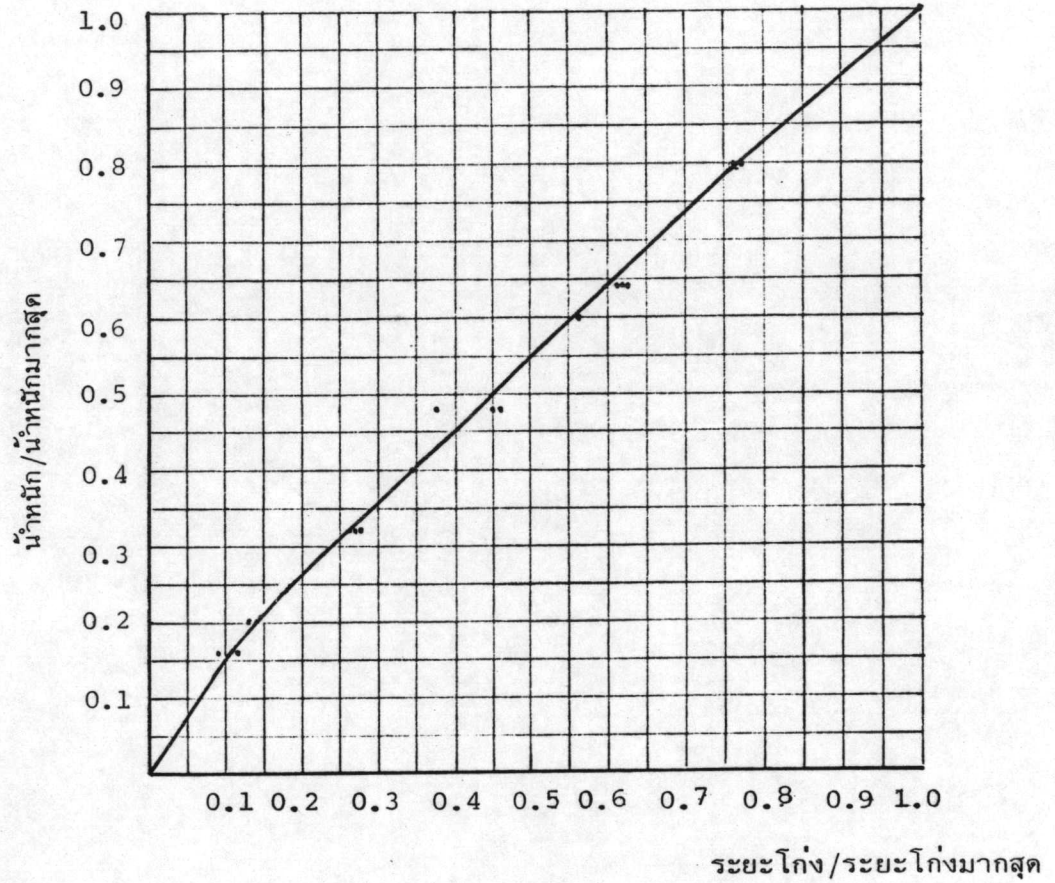
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำหนักรีดต่อ น้ำหนักรีดกับระยะโพ่งต่อระยะโพ่งตอนรีดของ โครงสร้างคอนกรีต เสริมเหล็ก กรณีที่ 1



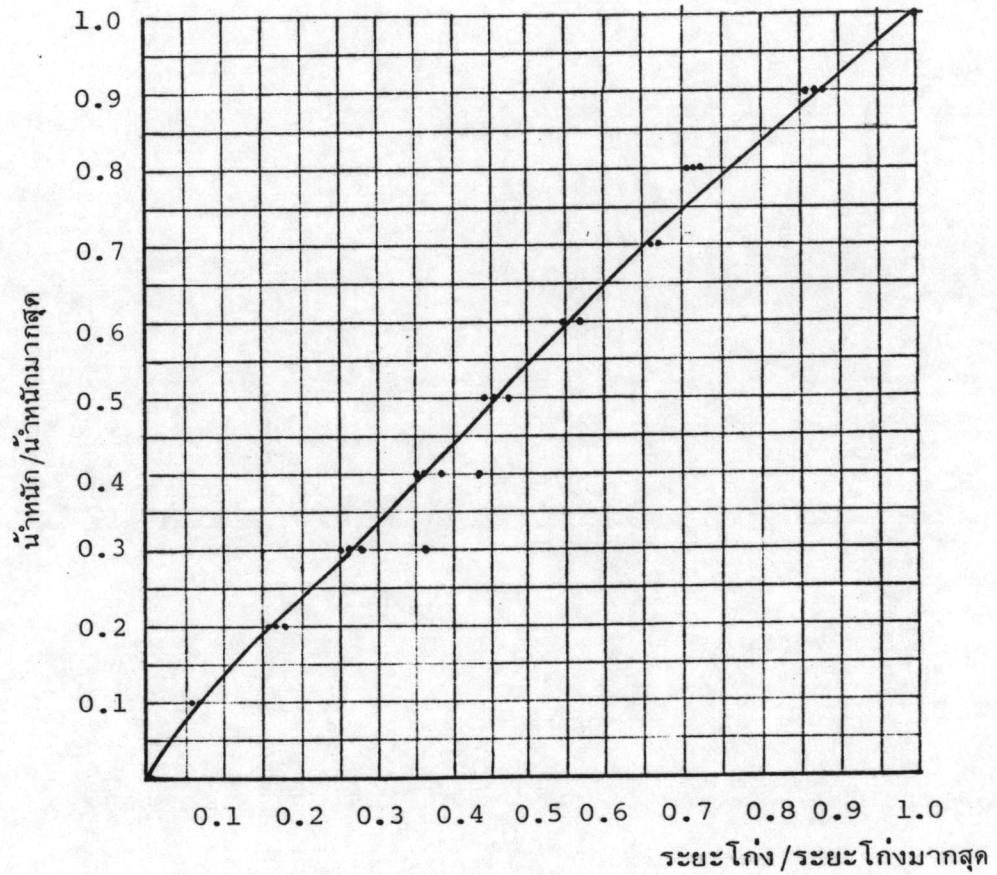
รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรกระทำ

ต่อน้ำหนักรกระทำมากที่สุดกับระยะโก่งต่อระยะโก่งมากที่สุด

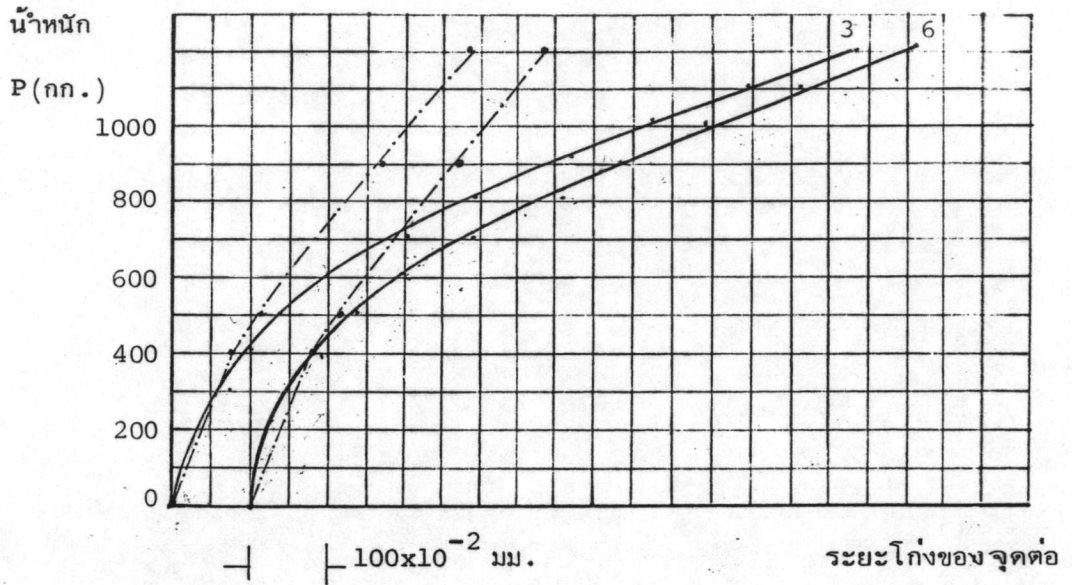
ของโครงสร้างเหล็กรูปตัว I ในกรณีที่ 2



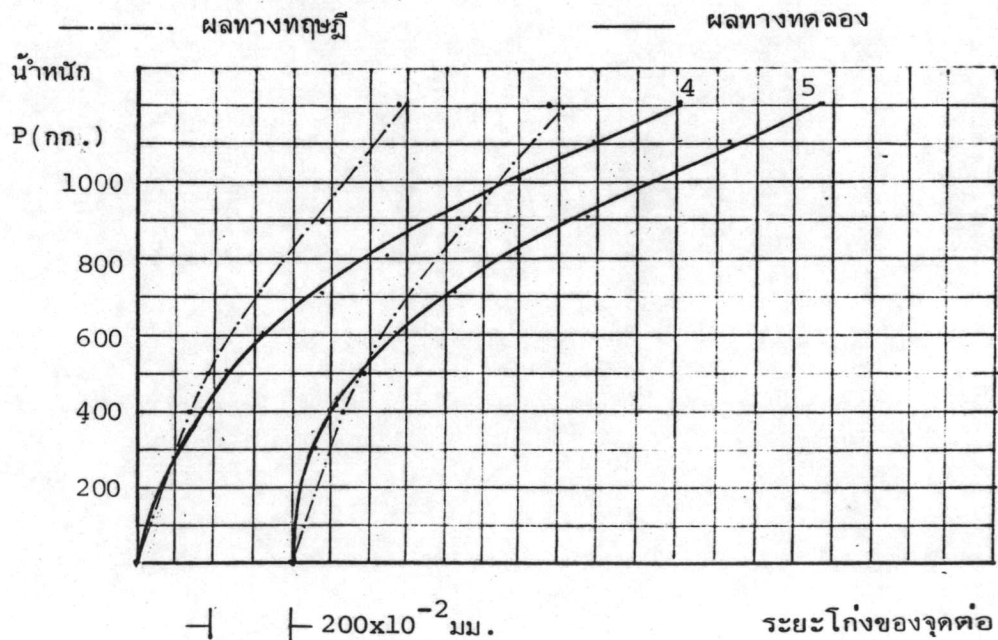
รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรกระทำต่อน้ำหนักรกระทำมากที่สุดกับระยะโค้งต่อระยะโค้งมากที่สุดของโครงสร้างเหล็กรูปตัว I ในกรณีที่ 3



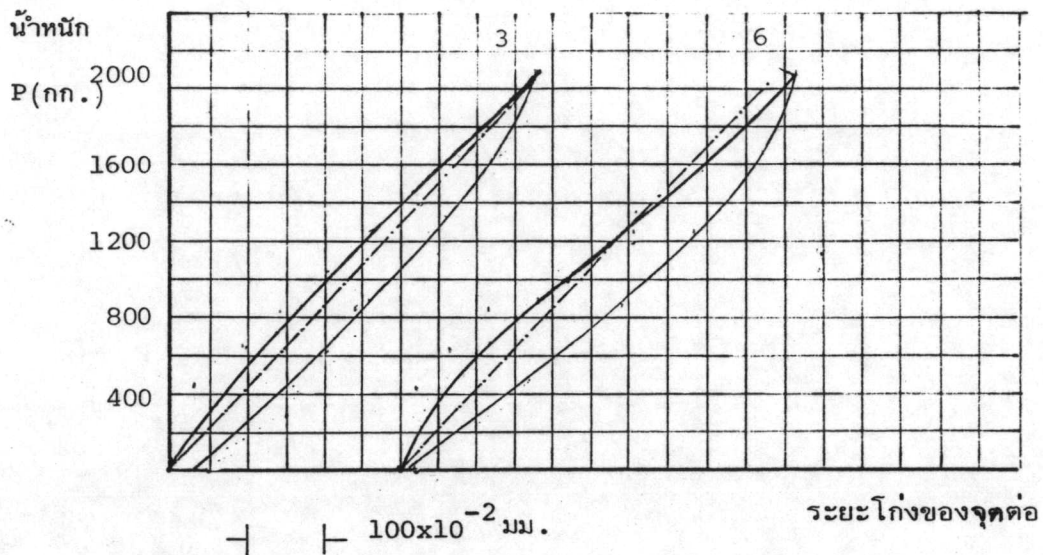
รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำต่อน้ำหนักกระทำมากที่สุดกับระยะโค้งต่อระยะโค้งมากที่สุดของโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4



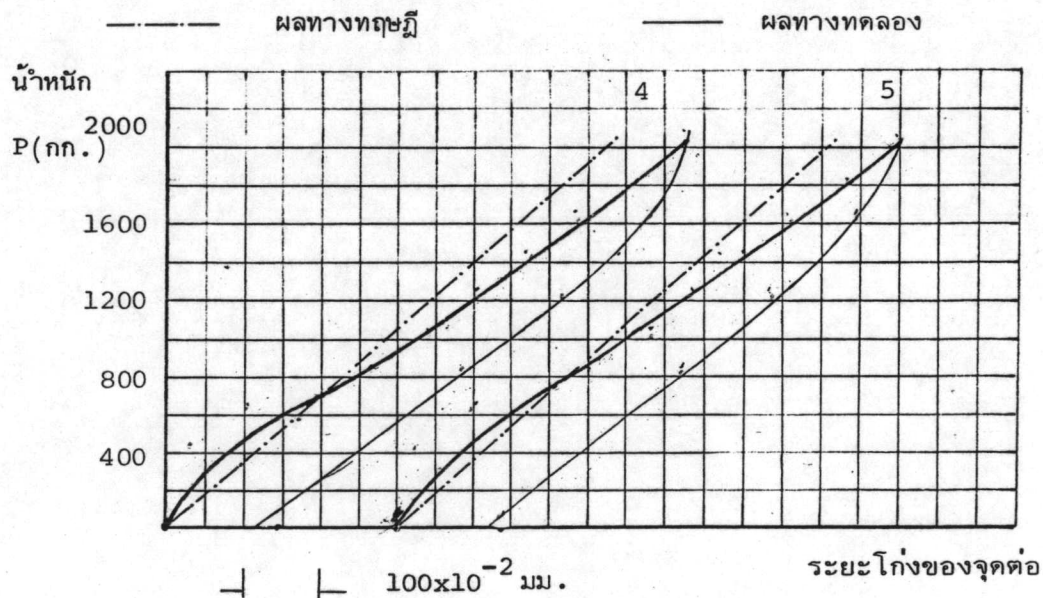
รูปที่ 4.29a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะโค้งของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีที่ 1 (ตำแหน่ง 3; 6 คือ ตำแหน่งที่ 1 และ 4 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)



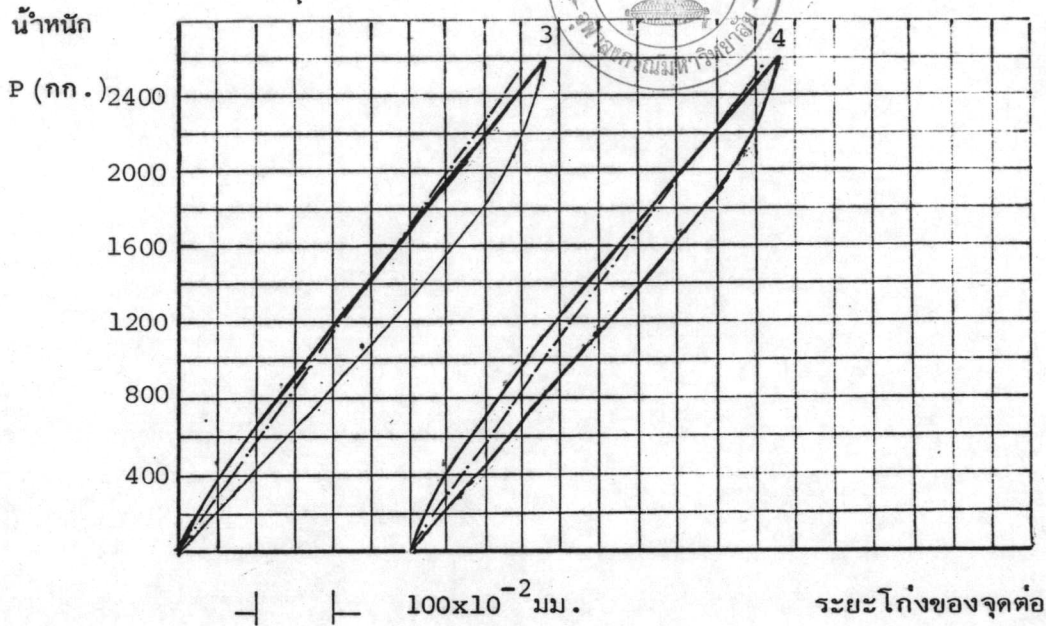
รูปที่ 4.29b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะโค้งของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีที่ 1 (ตำแหน่งที่ 4, 5 คือ ตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)



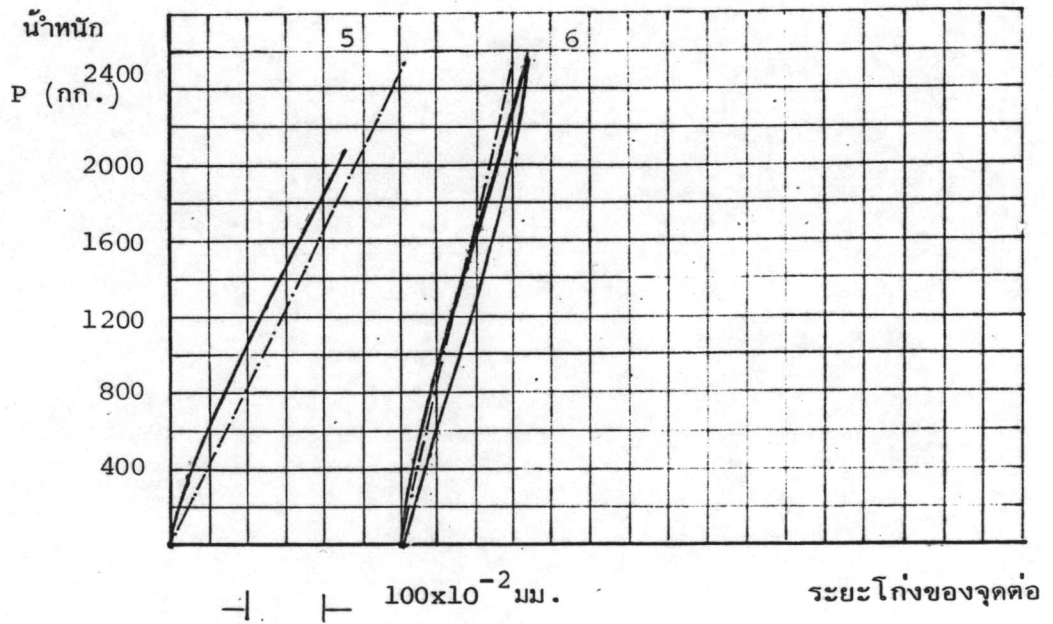
รูปที่ 4.30a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรกระทำและระยะโค้งของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2 (ตำแหน่งที่ 3, 6 คือ ตำแหน่งที่ 1 และ 4 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)



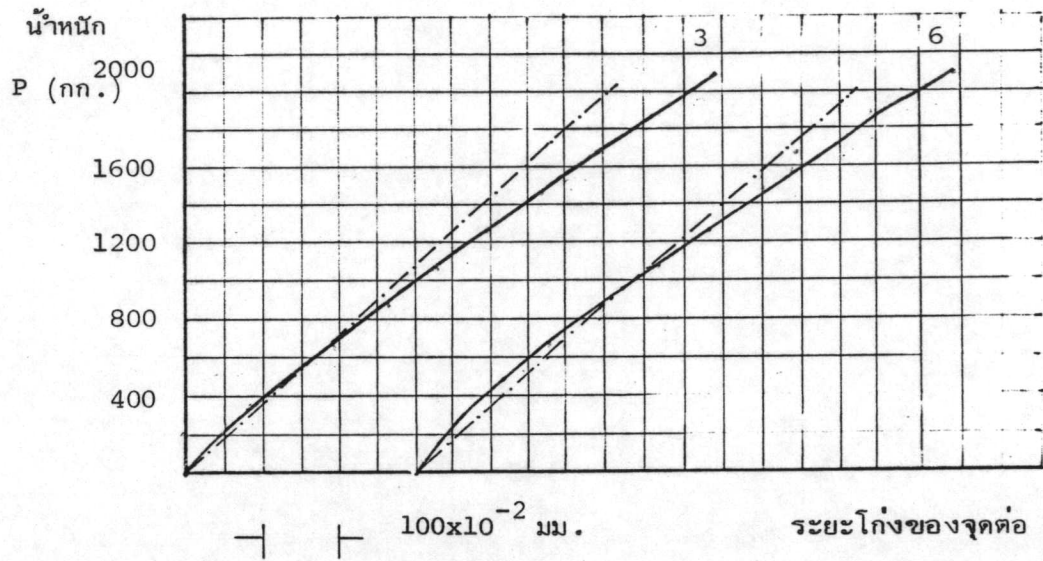
รูปที่ 4.30b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรกระทำและระยะโค้งของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2 (ตำแหน่งที่ 4, 5 คือ ตำแหน่งที่ 2 และ 5 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)



รูปที่ 4.31a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรกระทำและระยะโค้งของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3 (ตำแหน่ง 3, 4 คือตำแหน่งที่ 1 และ 2 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)

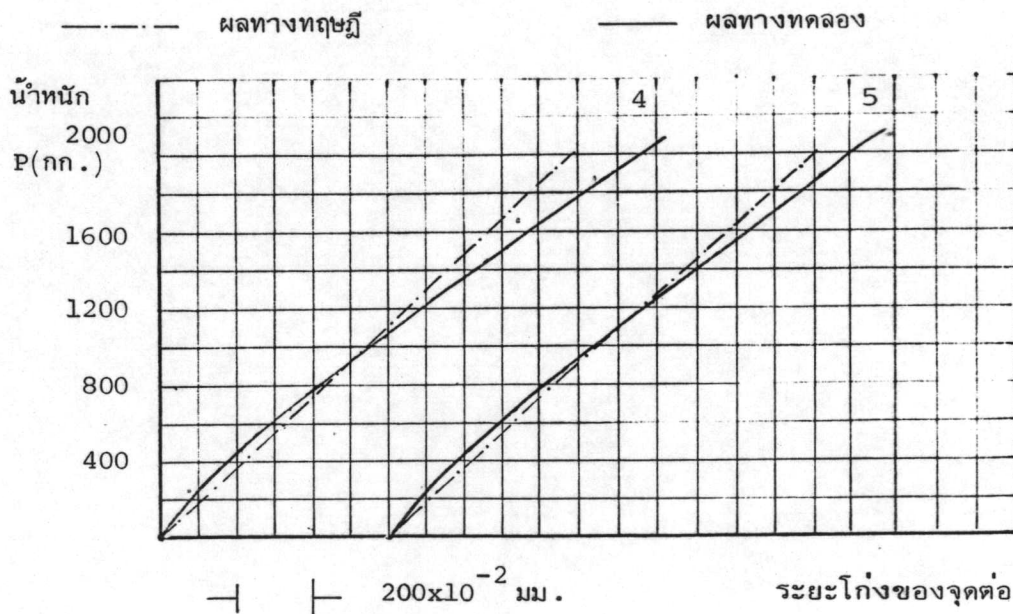


รูปที่ 4.31b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรกระทำและระยะโค้งของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3 (ตำแหน่ง 5, 6 คือตำแหน่งที่ 3 และ 4 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)



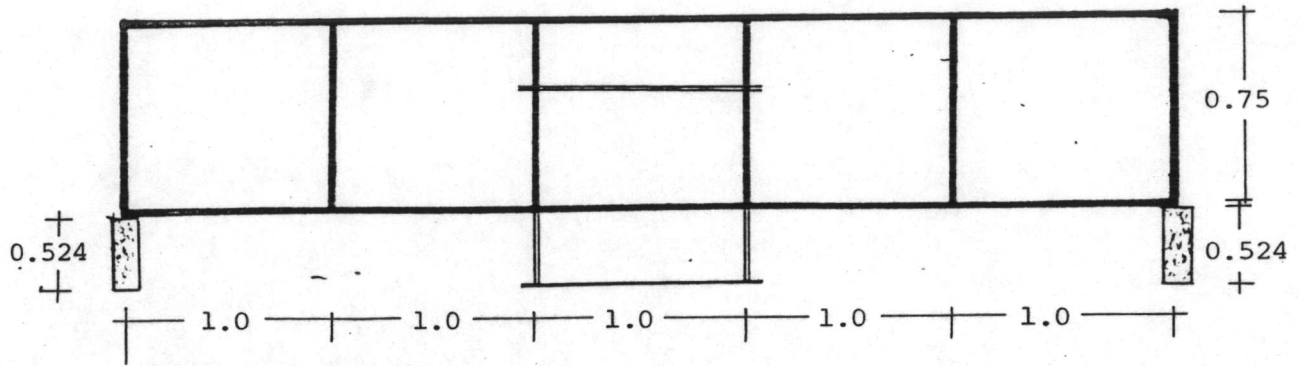
รูปที่ 4.32a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะ

โค้งของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4 (ตำแหน่ง 3, 6 คือตำแหน่ง 1 และ 4 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)

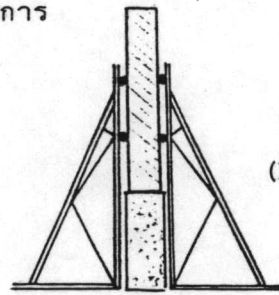


รูปที่ 4.32b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะโค้ง

ของจุดต่อที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4 ตำแหน่ง 4, 5 คือตำแหน่ง 2 และ 3 ของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี)

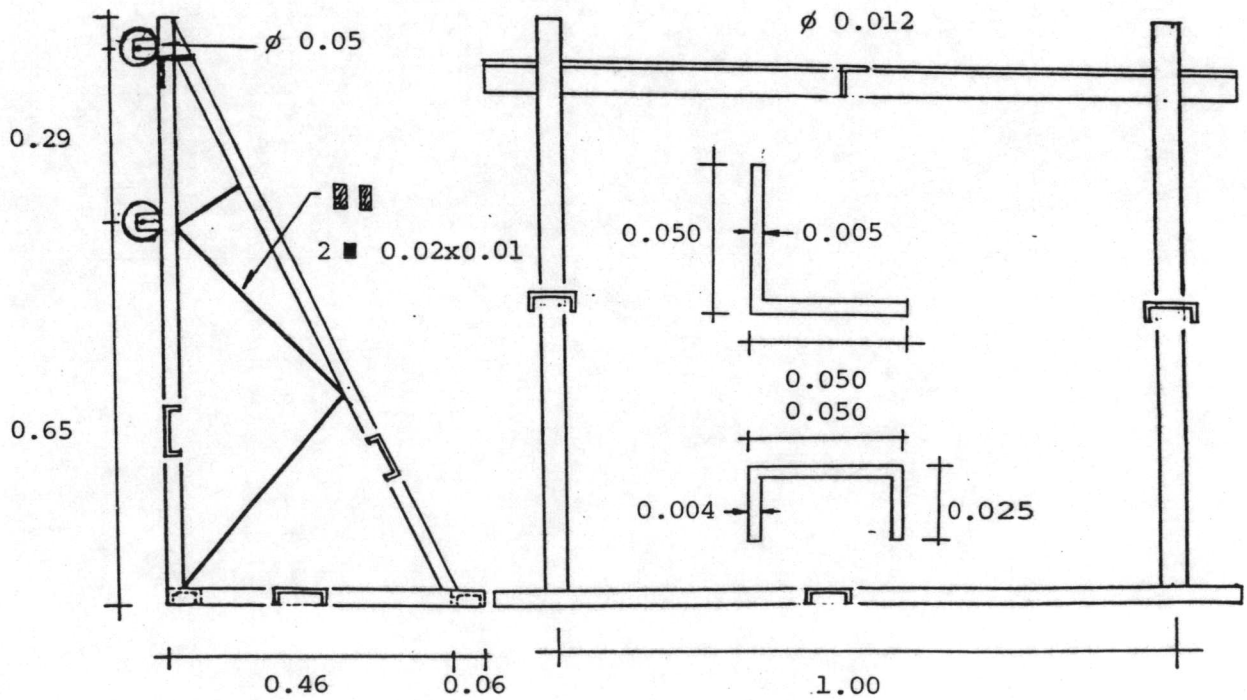


(a) แสดงตำแหน่งและลักษณะการ
ค้ำยันด้านหน้า

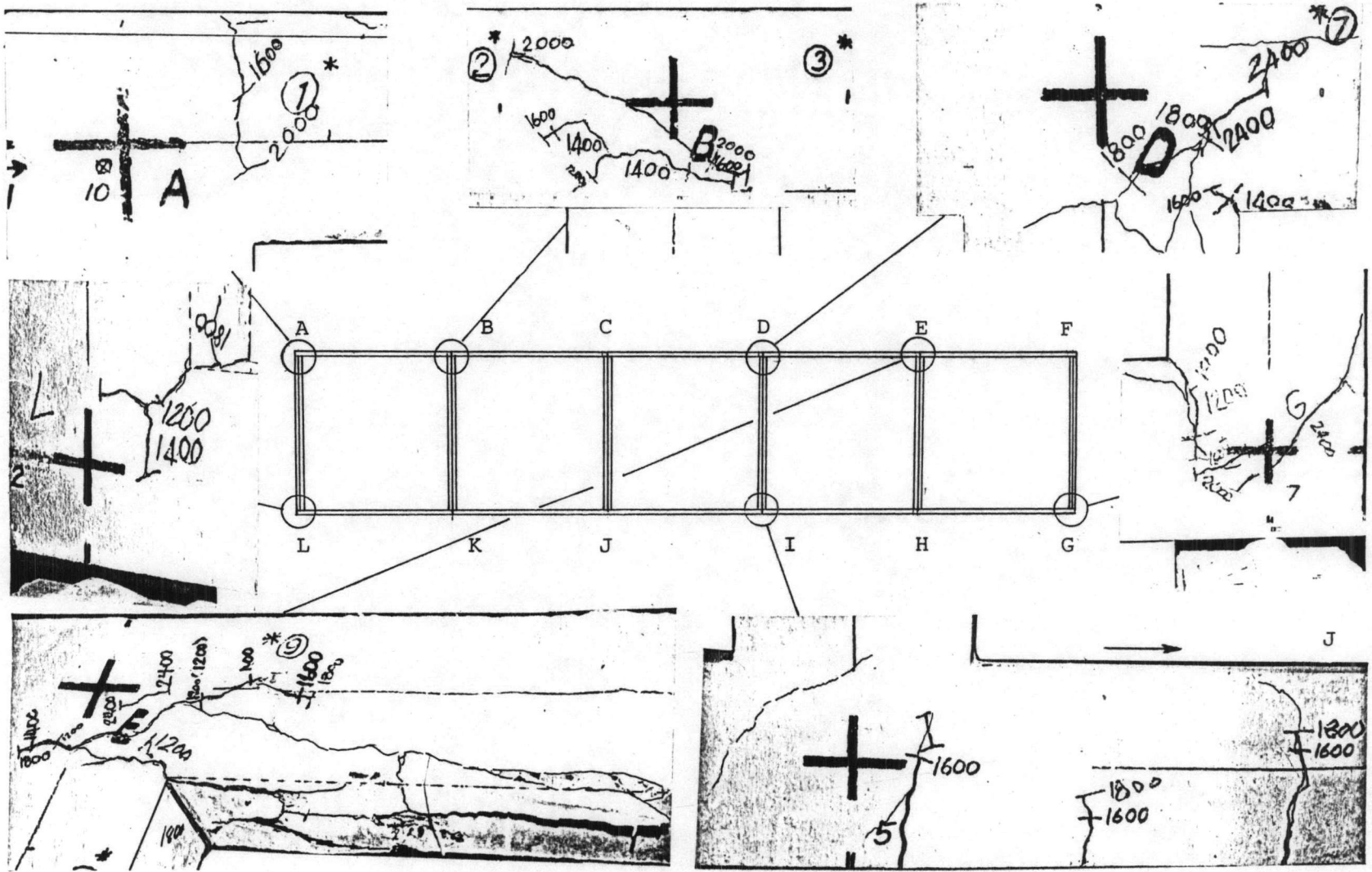


(b) แสดงลักษณะการค้ำยันทาง
ด้านข้าง

(c) แสดงขนาดของเหล็กที่ใช้ทำเป็นตัวค้ำยันด้านข้าง

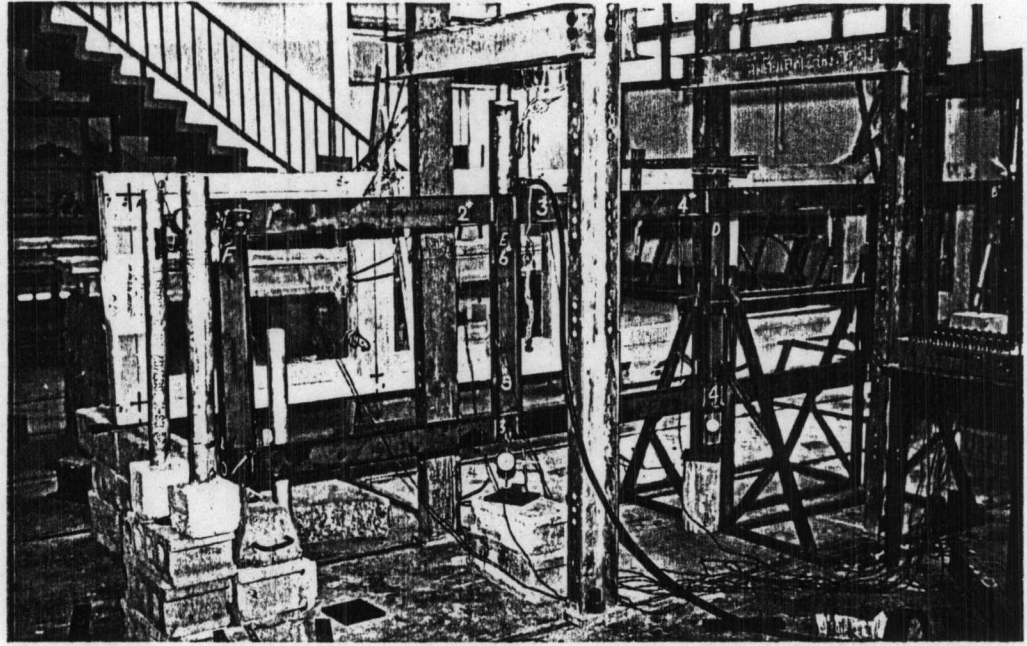
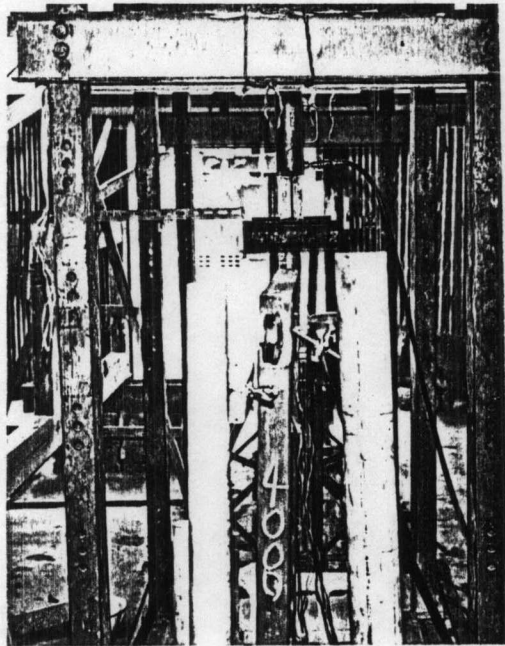


รูปที่ 4.33 แสดงขนาดและลักษณะการค้ำยันทางด้านข้าง



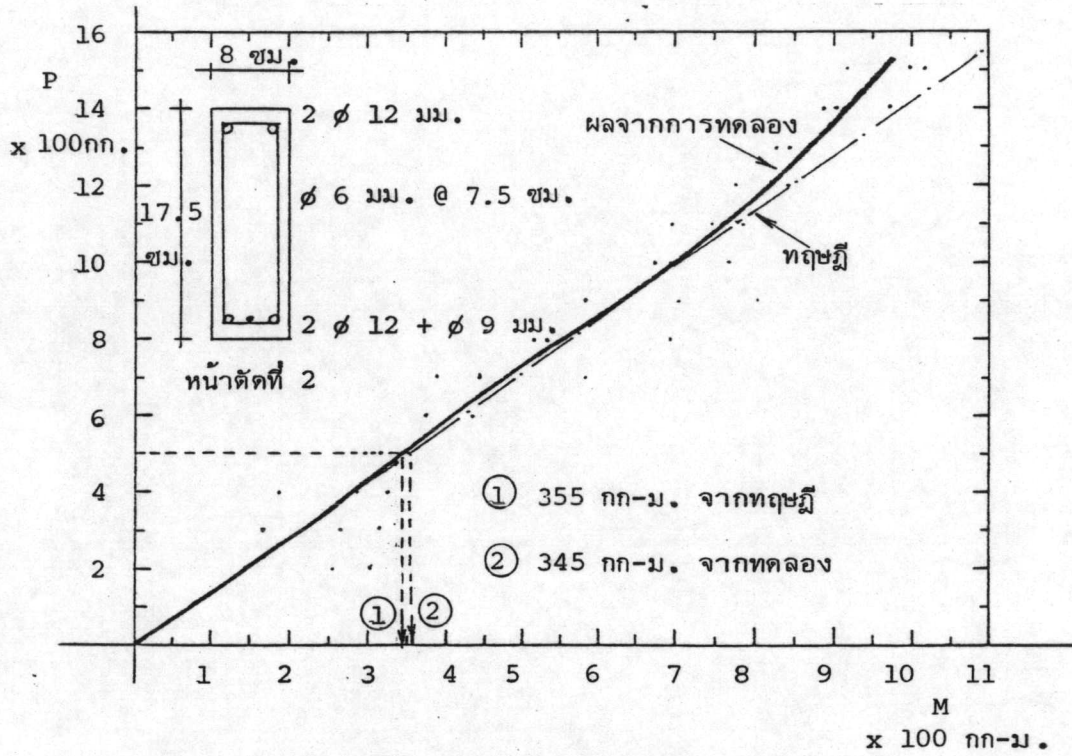
รูปที่ 4.34 แสดงการแตกตัวของจุดต่อและส่วนของโครงสร้างที่น้ำหนักบรรทุกทุกใด ๆ

(ค่าที่แสดงบนรูปมีค่าเท่ากับ 2P)

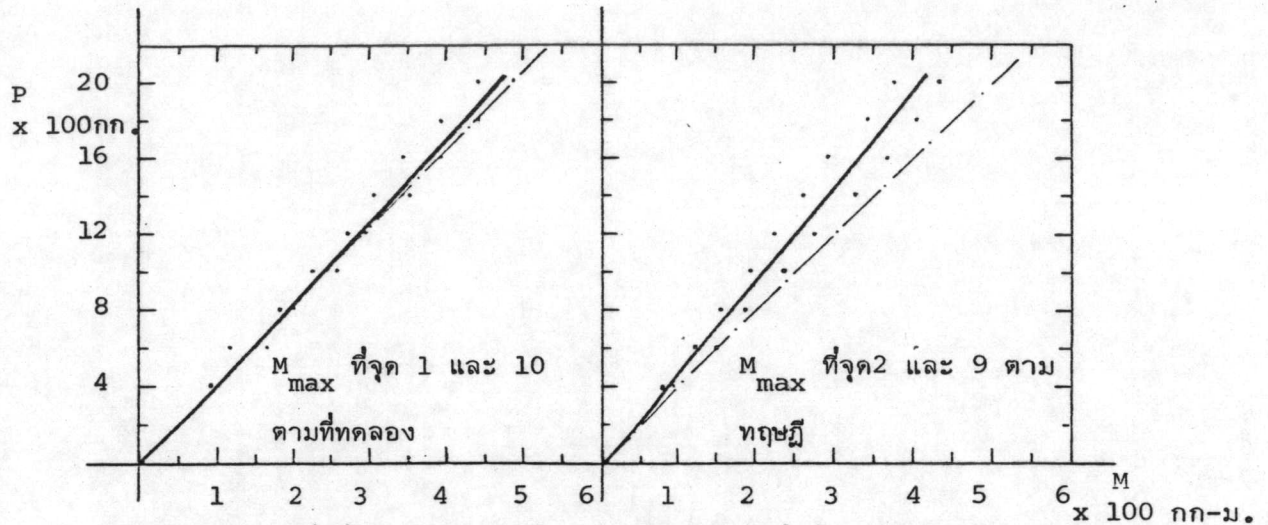


รูปที่ 4.35 แสดงการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่เกิดขึ้นสำหรับโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก

(ค่าที่แสดงบนรูปมีค่าเท่ากับ 2P)

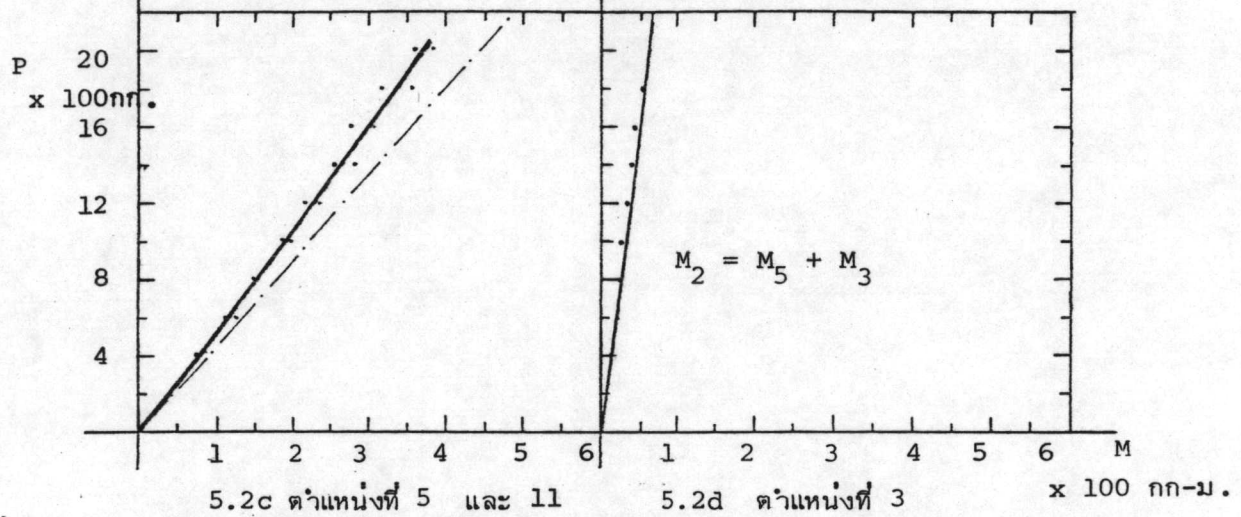


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และโมเมนต์
 สมดุลย์ของตำแหน่ง 6, 11 และ 12 ที่ทำการวัดความเครียด
 ของน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 1



5.2a ตำแหน่งที่ 1 และ 10

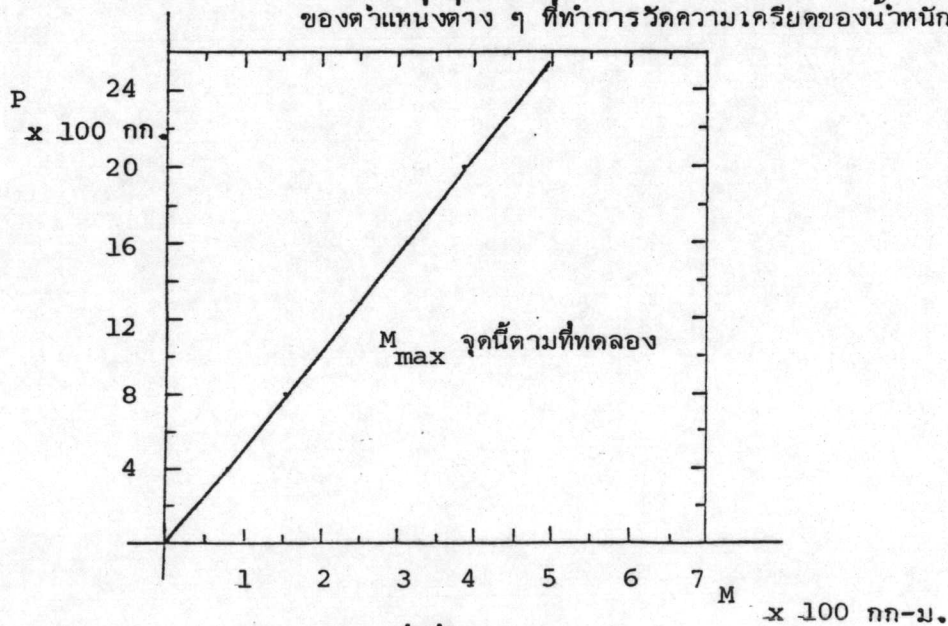
5.2b ตำแหน่งที่ 2 และ 9



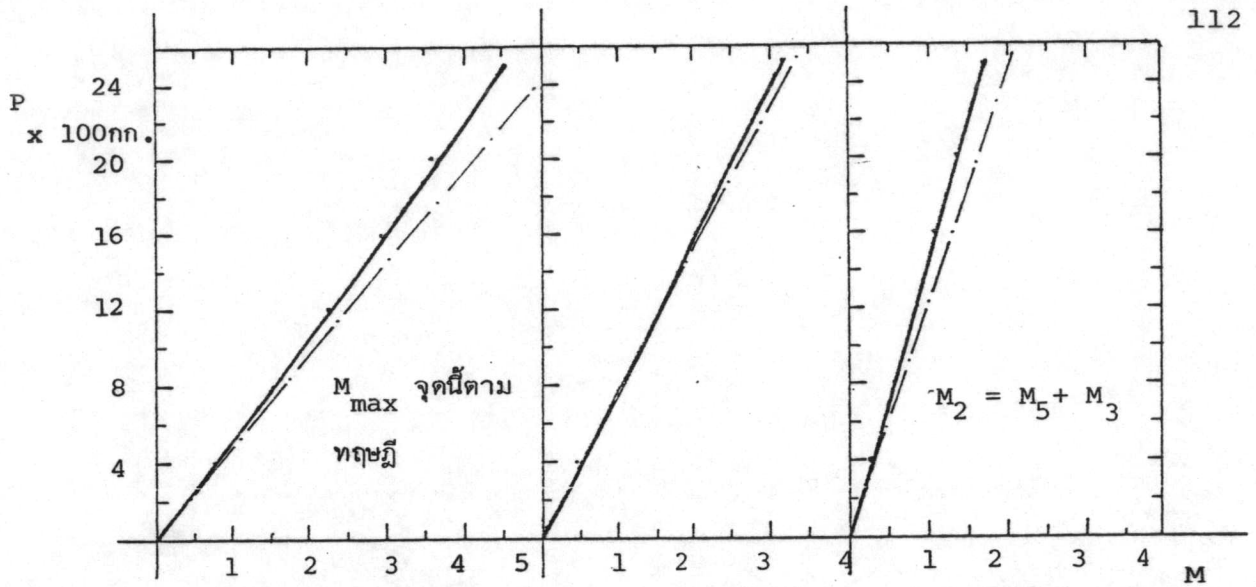
5.2c ตำแหน่งที่ 5 และ 11

5.2d ตำแหน่งที่ 3

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และโมเมนต์สมมูลย์ของตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการวัดความเครียดของน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 2



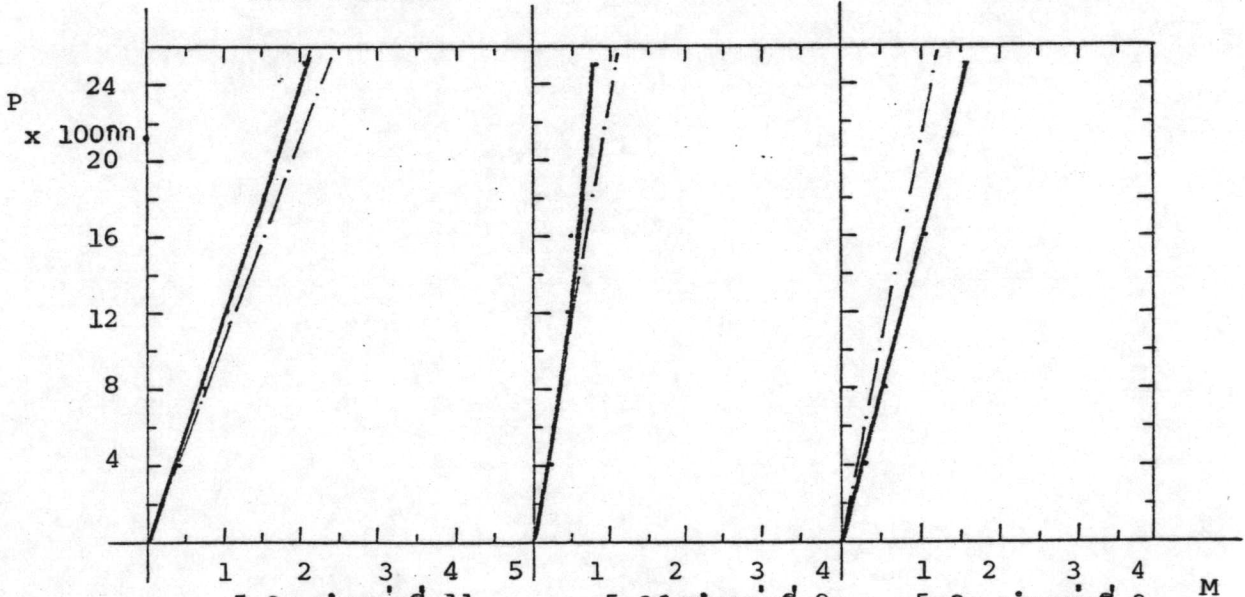
5.3a ตำแหน่งที่ 1



5.3b ตำแหน่งที่ 2

5.3c ตำแหน่งที่ 5

5.3d ตำแหน่งที่ 3 x 100 กก-ม.

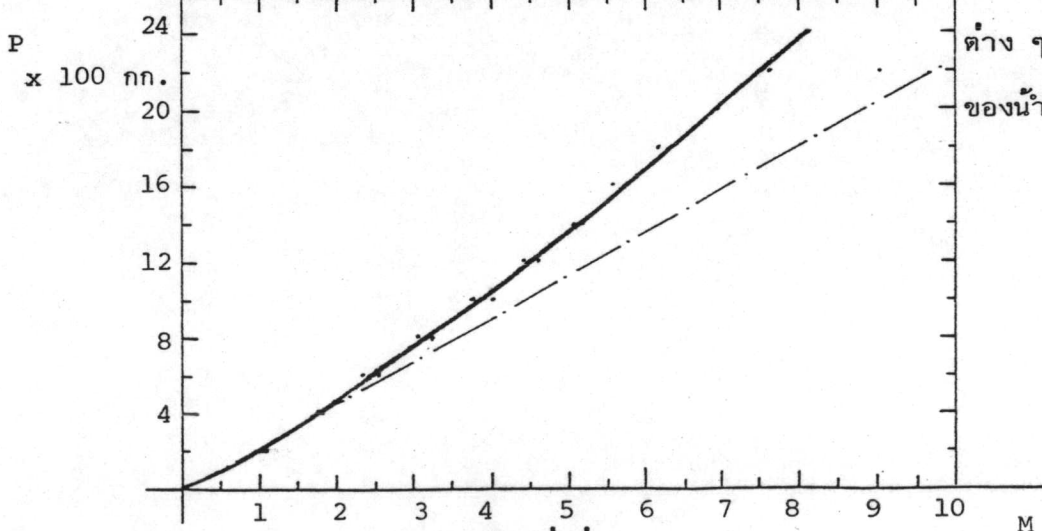


5.3e ตำแหน่งที่ 11

5.3f ตำแหน่งที่ 9

5.3g ตำแหน่งที่ 8 x 100 กก-ม.

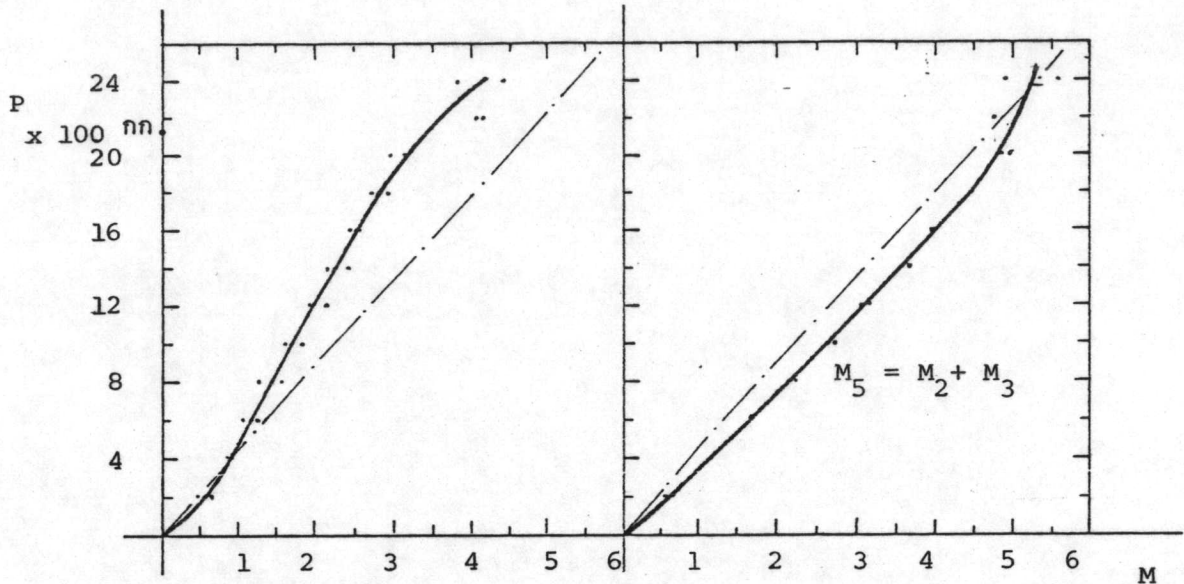
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์สมมูลของตำแหน่ง



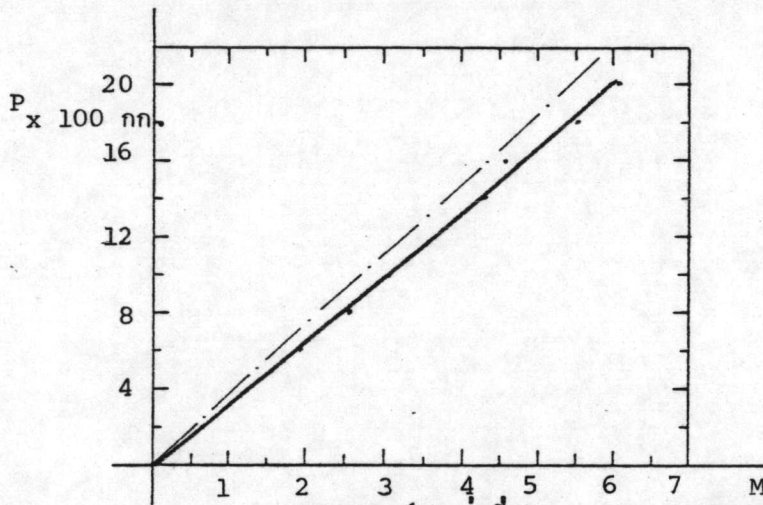
5.4a ตำแหน่งที่ 5 และ 6

ต่าง ๆ ที่ทำการวัดความเครียด
ของน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 3

x 100 กก-ม.

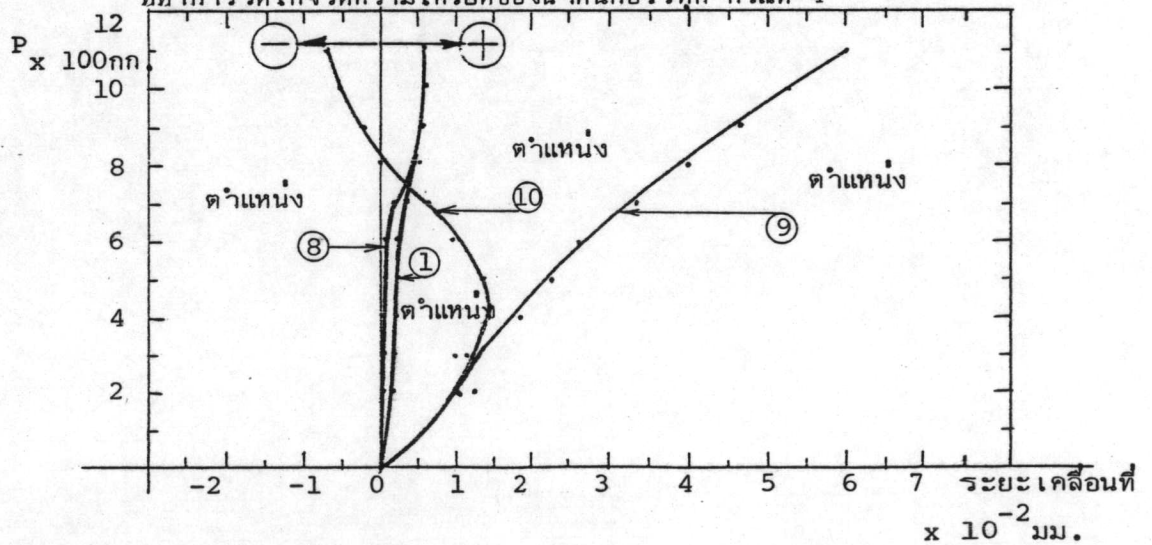


5.4b ตำแหน่งที่ 2 และ 9 5.4c ตำแหน่งที่ 3 และ 8 $\times 100 \text{ กก-ม.}$

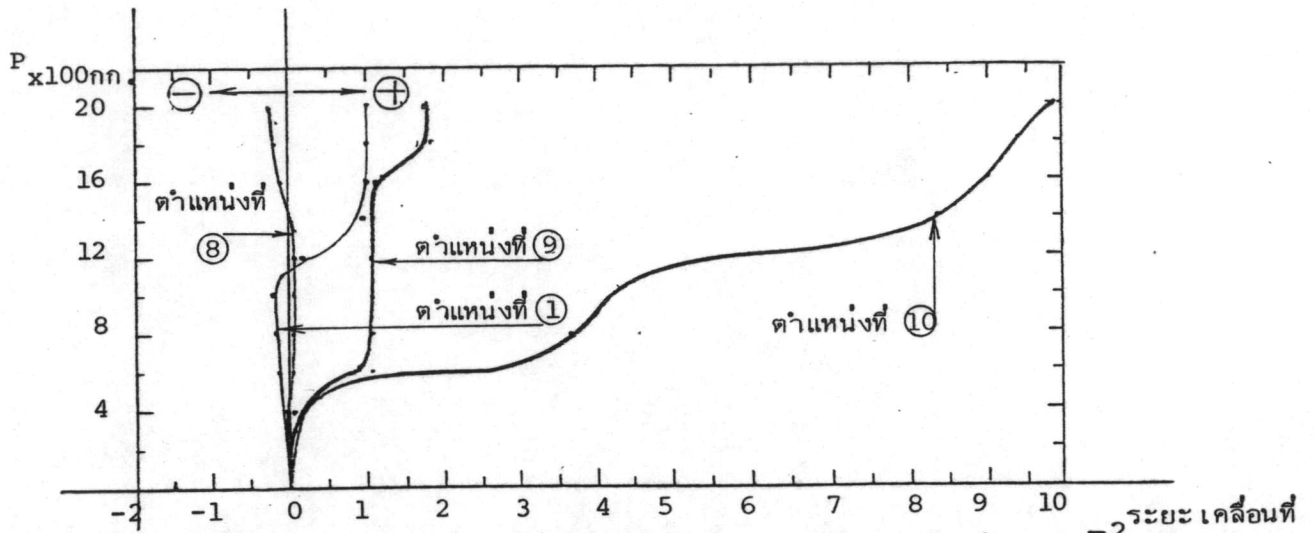


5.4d ตำแหน่งที่ 1 $\times 100 \text{ กก-ม.}$

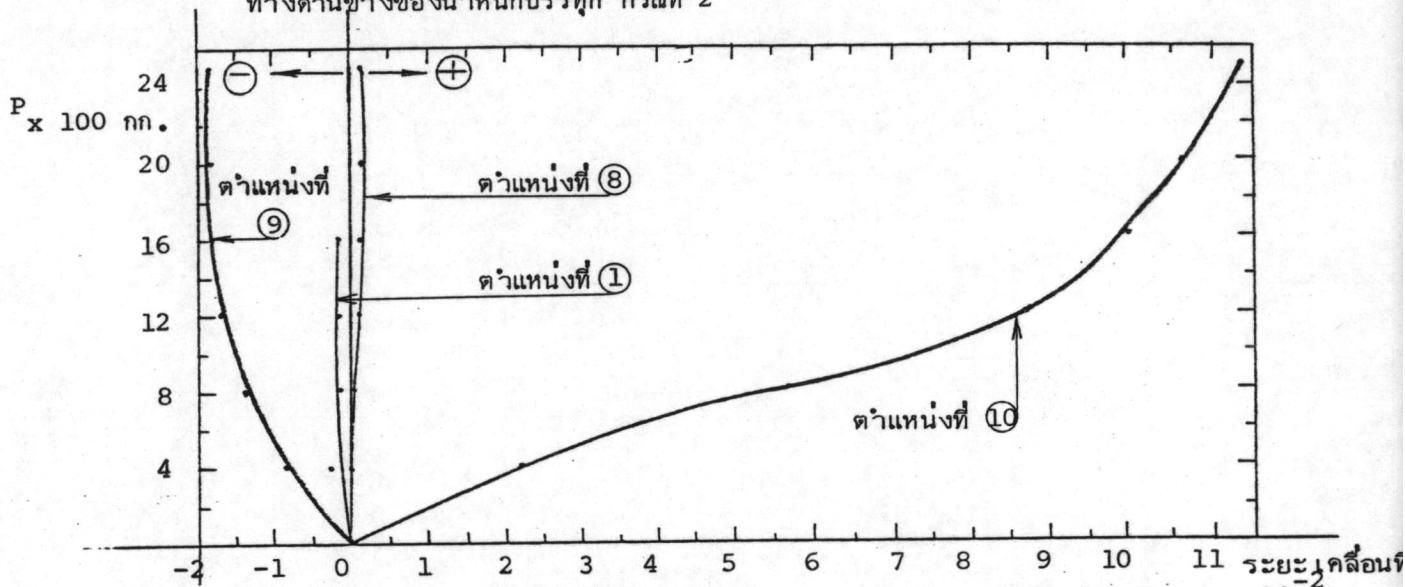
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์สมมูลย์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการวัด เวกซ์วัดความเครียดของน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 4



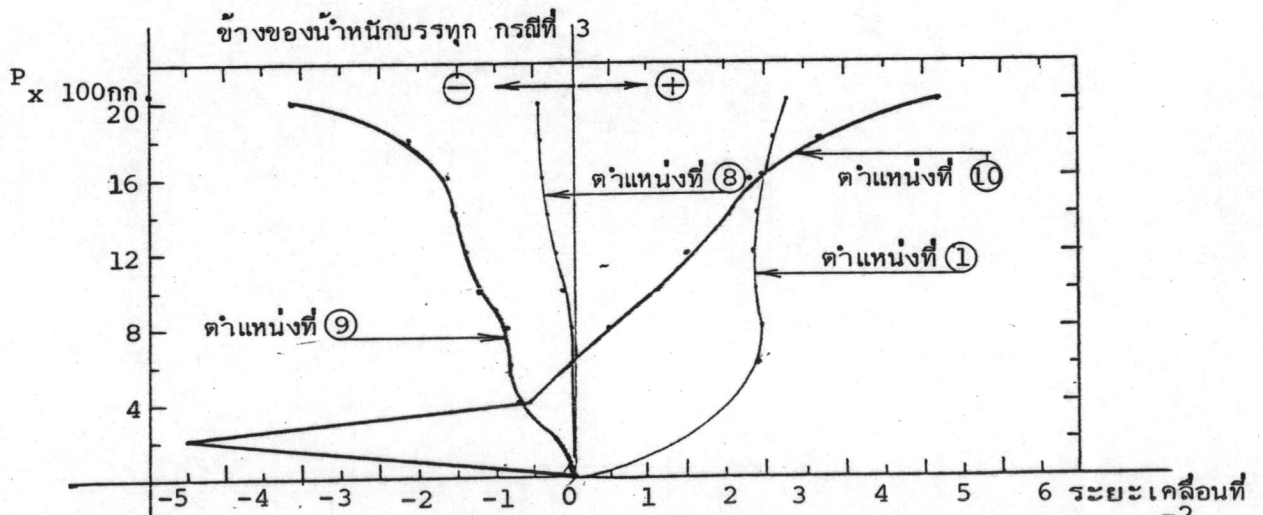
5.5a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและระยะเคลื่อนที่ทางด้านข้างของน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 1



รูปที่ 5.5b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และระยะเคลื่อนที่ $x \times 10^{-2}$ มม. ทางด้านข้างของน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 2

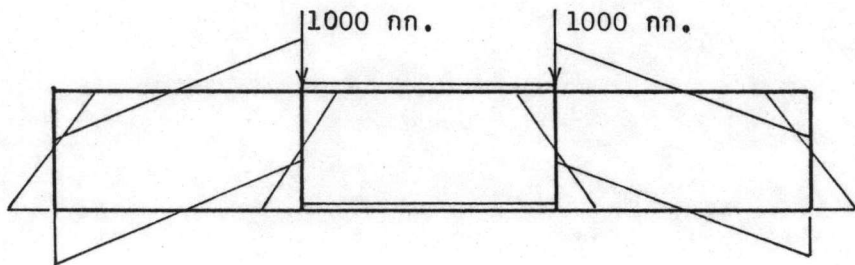
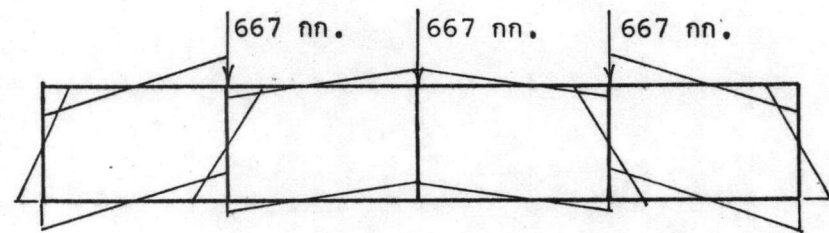
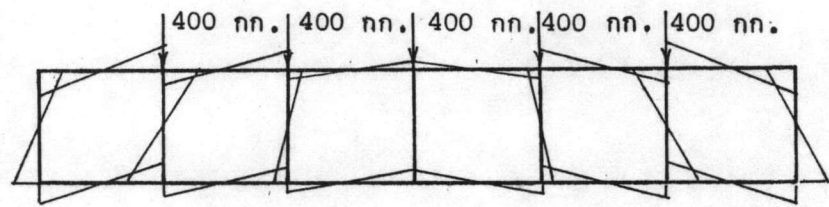


รูปที่ 5.5c กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และระยะเคลื่อนที่ทางด้าน $x \times 10^{-2}$ มม.

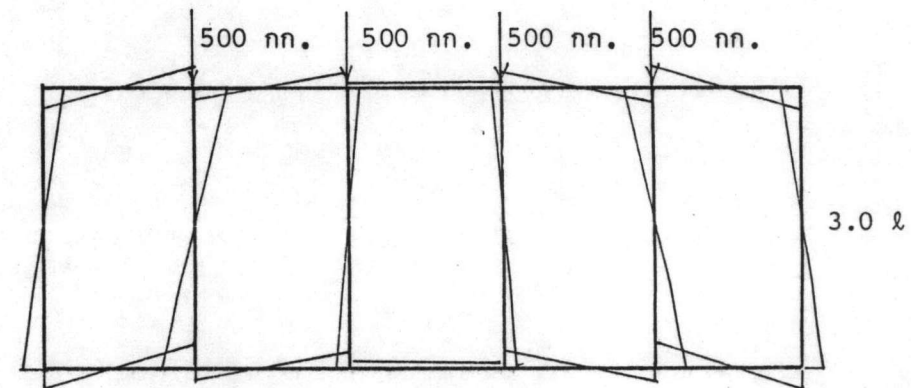
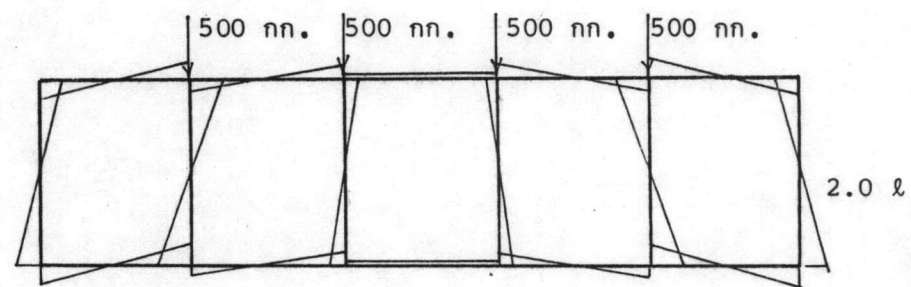
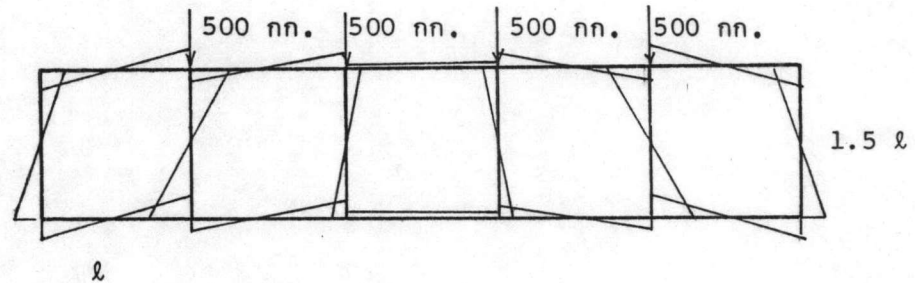


รูปที่ 5.5d กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และระยะเคลื่อนที่ $x \times 10^{-2}$ มม.

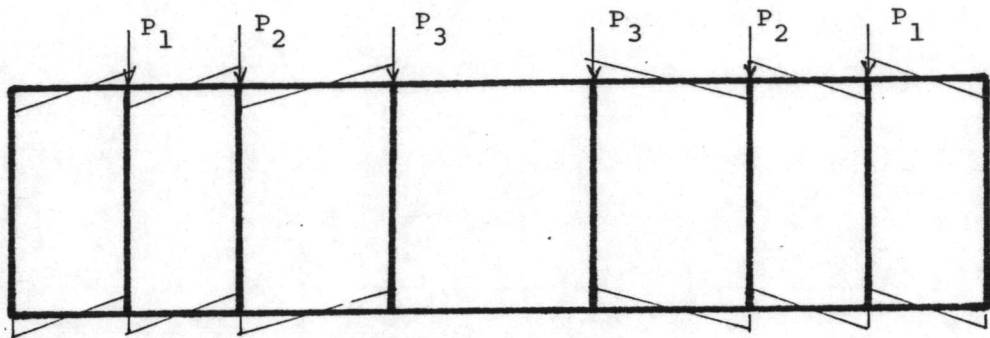
ทางด้านข้างของน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 4



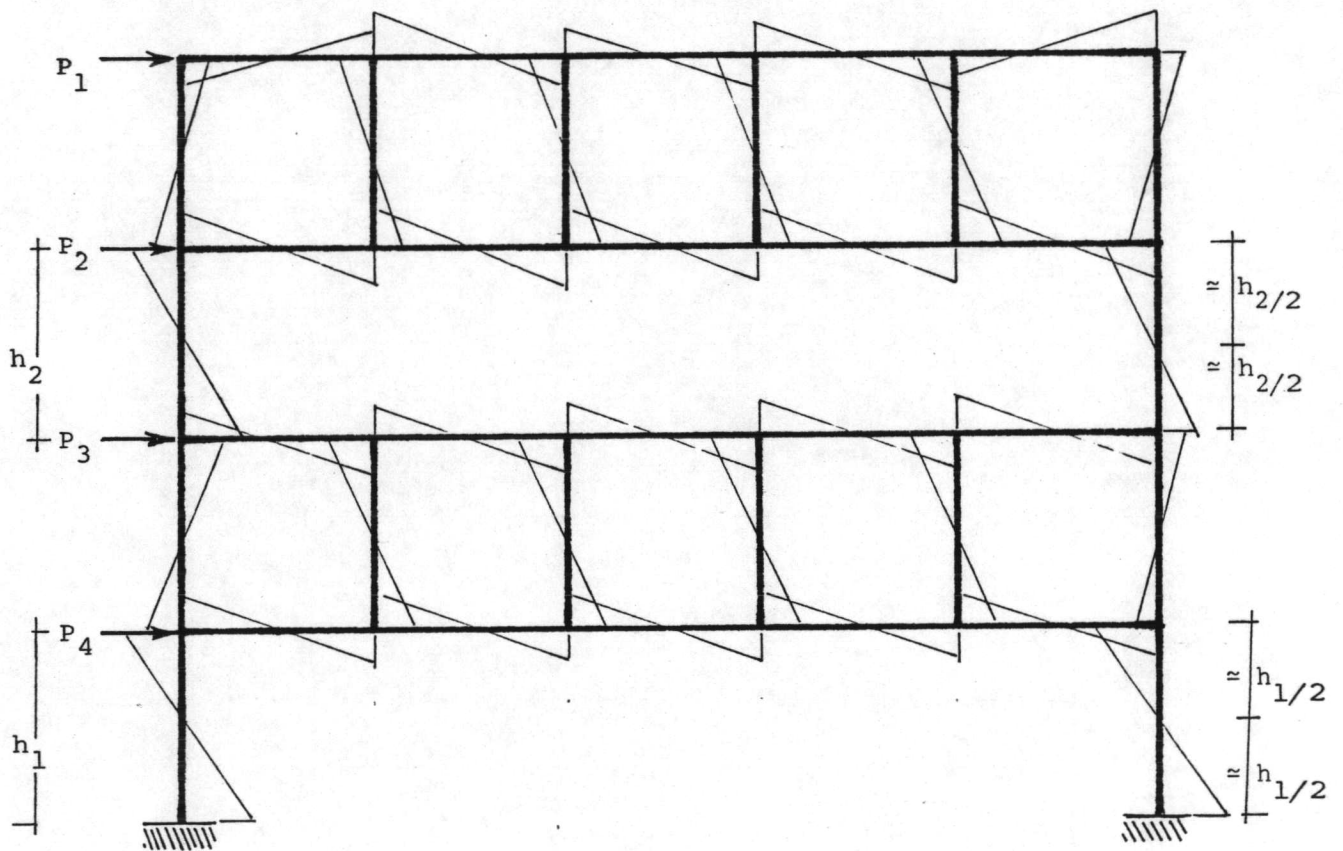
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์สมดุลงบนส่วน
ของโครงสร้างเมื่อนำน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดเท่ากันโดย
กำหนดให้ความสูงของโครงสร้างคงที่และระยะระหว่าง
จุดรองรับคงที่



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์สมดุลงบนส่วน
โครงสร้างเมื่อนำน้ำหนักบรรทุก P และระยะระหว่าง
จุดรองรับคงที่โดยที่มีความสูงแตกต่างกัน



รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะการจัดส่วนโครงสร้างในแนวตั้งให้ชิดกันในช่วงที่อยู่ใกล้จุดรองรับ เพื่อให้โมเมนต์สมดุลย์ของคอร์ดแตกต่างกันน้อย



รูปที่ 6.4 แสดงการรับแรงทางด้านข้างของโครงสร้างที่ประกอบจากโครงสร้างเวีย.เรนติล ซึ่งจะประมาณการ เกิดจุดข้อหมุนที่กึ่งกลางความสูงของชั้น

ภาคผนวก

ตัวอย่างแสดงรายการคำนวณ

1. ตัวอย่างแสดงการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์สมมูลโดยวิธีการกระจายโมเมนต์
ของโครงสร้างคอนกรีตซึ่งมีค่า $E = 306015.8 \text{ กก/ชม.}^2$

$$I_1 = 5200.0 \text{ ชม.}^4 \text{ พื้นที่หน้าตัด} = 173.4 \text{ ชม.}^2$$

$$I_2 = 6084.0 \text{ ชม.}^4 \text{ พื้นที่หน้าตัด} = 189.7 \text{ ชม.}^2$$

$$I_3 = 4888.5 \text{ ชม.}^4 \text{ พื้นที่หน้าตัด} = 165.4 \text{ ชม.}^2$$

$$I_4 = 3039.0 \text{ ชม.}^4 \text{ พื้นที่หน้าตัด} = 150.2 \text{ ชม.}^2$$

$$I_5 = 2852.7 \text{ ชม.}^4 \text{ พื้นที่หน้าตัด} = 142.2 \text{ ชม.}^2$$

$K_{00'} = K_{55'}$	$K_{11'} = K_{44'}$	$K_{22'} = K_{33'}$	$K_{01} = K_{45}$	$K_{12} = K_{34} = K_{23}$
$\frac{6EI_1}{h}$	$\frac{6EI_2}{h}$	$\frac{6EI_3}{h}$	$\frac{EI_4}{l}$	$\frac{EI_5}{l}$
1.273×10^8	1.489×10^8	1.197×10^8	9.300×10^6	8.730×10^6

ตาราง A.L.1 แสดงค่า K ของส่วนโครงสร้าง

$$\mu_{00'} = \frac{K_{00'}}{K_{00'} + K_{01}} = \frac{1.273 \times 10^8}{1.273 \times 10^8 + 9.300 \times 10^6} = 0.9319$$

$$\mu_{01} = \frac{K_{01}}{K_{00'} + K_{01}} = 0.0681$$

$$\mu_{10} = \frac{K_{01}}{K_{12} + K_{01} + K_{11'}} = 0.0557$$

ในทำนองเดียวกันจะได้ค่า μ ดังรูป A.1.5a

คำนวณหาค่า f_i โดยเริ่มที่จุด 0 จะได้ค่า f_i และ μ'_i โดยสมการ

3.1.11a และ 3.1.11b ได้ดังนี้

$$f_0 = \frac{1}{1-0} = 1; \mu'_{01} = 0.0681; \mu'_{00'} = 0.9319$$

$$f_1 = \frac{1}{1-0.0681 \times 0.0557} = 1.0038; \mu'_{10} = 0.0559; \mu'_{12} = 0.0525$$

$$\mu'_{11'} = 0.8954$$

$$f_2 = \frac{1}{1-0.0525 \times 0.0637} = 1.0034; \mu'_{21} = 0.0639; \mu'_{23} = 0.0639$$

$$\mu'_{22'} = 0.8756$$

$$f_3 = \frac{1}{1-0.0639 \times 0.0637} = 1.0041; \mu'_{32} = 0.0640; \mu'_{34} = 0.0640$$

$$\mu'_{33'} = 0.8763$$

$$f_4 = \frac{1}{1-0.0640 \times 0.0523} = 1.0034; \mu'_{43} = 0.0525; \mu'_{45} = 0.0559$$

$$\mu'_{44'} = 0.8950$$

$$f_5 = \frac{1}{1-0.0559 \times 0.0681} = 1.0038; \mu'_{54} = 0.0684; \mu'_{55'} = 0.9355$$

จากไดอะแกรมของแรงเฉือนในรูป A.1.2 คำนวณหาค่าโมเมนต์ปลายยึดได้เป็น

$$FEM_{01} = \frac{VL}{4} = \frac{1000 \times 1.0}{4} = 250 \text{ กก-ม.} = FEM_{10}$$

$$FEM_{12} = \frac{500 \times 1}{4} = 125 \text{ กก-ม.} = FEM_{21}$$


$$FEM_{23} = FEM_{32} = 0 \text{ กก-ม.}$$

$$FEM_{34} = FEM_{43} = -125 \text{ กก-ม.}$$

$$FEM_{45} = FEM_{54} = -250 \text{ กก-ม.}$$

กระจายค่าโมเมนต์ปลายยึดจากค่า μ' และค่าแครีโอเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ -1
จะได้ค่าดังตารางการกระจายที่ A.1.2

2 ตัวอย่างแสดงการวิเคราะห์หาค่าระยะโก่งจากค่าโมเมนต์สมดุลง่ายที่ได้โดยการ
กระจายโมเมนต์

คำนวณหาค่ามุมที่หมุนจากค่าโมเมนต์สมดุลง่ายที่ได้โดยการแทนค่าในสูตร 3.1.25
โดยให้ทิศทางหมุน  มีเครื่องหมายตามค่าที่คำนวณได้

$$\theta_{55}' = \theta_{00}' = \frac{-253.852 \times 75 \times 100}{6 \times 306015.8 \times 5200.0} - \frac{1.2 \times 676.0 \times 2.4}{306015.8 \times 173.365} = -2.36106 \times 10^{-4} \text{ เรเดียน}$$

$$\theta_{44}' = \theta_{11}' = \frac{-358.848 \times 75 \times 100}{6 \times 306015.8 \times 6084.0} - \frac{1.2 \times 944.5 \times 2.4}{306015.8 \times 189.7} = -2.87785 \times 10^{-4} \text{ เรเดียน}$$

$$\theta_{33}' = \theta_{22}' = \frac{-119.808 \times 75 \times 100}{6 \times 306015.8 \times 4888.5} - \frac{1.2 \times 315.2 \times 2.4}{306015.8 \times 165.4} = -1.18043 \times 10^{-4} \text{ เรเดียน}$$

คำนวณหาค่าโมเมนต์ M' และ M'' โดยสมการ 3.1.22 จากค่าโมเมนต์
สมดุลง่ายได้ดังนี้

ตารางที่ A.1.2 แสดงการกระจายโมเมนต์ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ส่วนโครงสร้าง	00'	01	10	11'	12	21	22'	23
ค่า μ'	0.9319	0.0681	0.0559	0.8954	0.0525	0.0639	0.8756	0.0639
โมเมนต์ปลายยึด		250	250		125	125		0
	-232.975	-17.025	17.025					
		21.914	-21.914	-351.019	-20.581	20.581		
					9.303	-9.303	-127.471	-9.303
								-7.405
Unbalanced Moment		Unbalanced Moment			Unbalanced Moment			
								-1.347
					-0.559	0.559	7.663	0.559
		0.489	-0.489	-7.829	-0.459	0.459		
	-20.877	-1.526	1.526					
โมเมนต์สมดุล	-253.852	+253.852	+246.148	-358.848	+112.704	+137.296	-119.808	-17.496

ตารางที่ A.1.2 (ต่อ)

ส่วนโครงสร้าง	32	33'	34	43	44'	45	54	55'
ค่า μ'	0.0640	0.8763	0.0640	0.0525	0.8950	0.0559	0.0684	0.9355
โมเมนต์ปลายยึด	0		-125	-125		-250	-250	
	9.303							
	7.405	101,385	7.405	-7.405				
			-20.076	20.076	342.252	21.376	-21.376	
Unbalanced Moment			Unbalanced Moment			-18.562	18.562	253.872
			-0.974	0.974	16.613	1.038	-1.038	
	1.347	18.446	1.347	-1.347				
	-0.559							
โมเมนต์สมมูลย์	17.496	119.831	-137.298	-112.702	358.865	-246.148	-253.852	253.872

$$M'_{01} = M'_{10} = - \left(\frac{246.148+253.852}{2} \right) = -250.0 \text{ กก-ม.} = -M'_{45}$$

$$M''_{10} = \frac{246.148-253.852}{2} = -3.852 \text{ กก-ม.} = +M''_{45}$$

$$M'_{12} = - \left(\frac{112.704+137.296}{2} \right) = -125.0 \text{ กก-ม.} = -M'_{34}$$

$$M''_{12} = \frac{137.296-112.704}{2} = 12.296 \text{ กก-ม.} = +M''_{34}$$

$$M'_{23} = - \left(\frac{17.496-17.496}{2} \right) = 0 \text{ กก-ม.}$$

$$M''_{23} = \frac{17.496+17.496}{2} = 17.496 \text{ กก-ม.}$$

คำนวณหาค่าระยะโก่งที่จุดต่อต่าง ๆ โดยการแทนค่า M' M'' และ θ ในสูตร 3.1.23
จะได้ระยะโก่งที่จุดต่อต่าง ๆ ดังนี้

$$\Delta_{10} = \frac{-250.0 \times 100^3}{6 \times 306015.8 \times 3039.0} - \frac{3.852 \times 100^3}{2 \times 306015.8 \times 3039.0}$$

$$- 2.36106 \times 10^{-4} \times 100 = - 7.0426 \times 10^{-2} \text{ ซม.}$$

$$\Delta_{20} = \frac{-125.0 \times 100^3}{6 \times 306015.8 \times 2852.7} + \frac{12.296 \times 100^3}{2 \times 306015.8 \times 2852.7}$$

$$- 2.87785 \times 10^{-4} \times 100 = - 4.560 \times 10^{-2} \text{ ซม.}$$

$$\Delta_{30} = \frac{17.496 \times 100^3}{2 \times 306015.8 \times 2852.7} - 1.1804 \times 10^{-4} \times 100 = -1.800 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_{40} = \frac{125.0 \times 100^3}{6 \times 306015.8 \times 2852.7} + \frac{12.296 \times 100^3}{2 \times 306015.8 \times 2852.7} + 1.1804 \times 10^{-4} \times 100$$

$$= 4.270 \times 10^{-2} \text{ ซม.}$$

$$\Delta_{50} = \frac{250 \times 100^3}{6 \times 306015.8 \times 3039.0} - \frac{3.852 \times 100^3}{2 \times 306015.8 \times 3039.0}$$

$$+ 2.87785 \times 10^{-4} \times 100 = 7.15 \times 10^{-2} \text{ ซม.}$$

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5
1. ค่า Δ_{i0} (ชม.)	-7.0426 $\times 10^{-2}$	-4.560 $\times 10^{-2}$	-1.800 $\times 10^{-3}$ $\times 10^{-5}$	+4.270 $\times 10^{-2}$	+ 7.15 $\times 10^{-2}$
2. ค่าระยะโก่ง (ชม.) โดยสูตร 3.1.26	-7.0426 $\times 10^{-2}$	-11.6026 $\times 10^{-1}$	-11.7826 $\times 10^{-1}$	-7.5126 $\times 10^{-2}$	-5.74 $\times 10^{-4}$
3. ค่าแก้ไขจากสูตร (ชม.) ค่าแรงเฉือนในคอร์ด	+1.10 $\times 10^{-4}$ -3.13 $\times 10^{-3}$	+2.30 $\times 10^{-4}$ -4.78 $\times 10^{-3}$	+3.40 $\times 10^{-4}$ -4.78 $\times 10^{-3}$	+4.59 $\times 10^{-4}$ -3.13 $\times 10^{-3}$	+5.74 $\times 10^{-4}$ 0
4. ค่าระยะโก่งจริง = 2 + 3 (ชม.)	-7.36 $\times 10^{-2}$	-1.206 $\times 10^{-1}$	-1.223 $\times 10^{-1}$	-7.78 $\times 10^{-2}$	0

ตาราง A.1.3 แสดงการหาค่าระยะโก่ง (ชม.)

ระยะโก่งเนื่องจากแรงเฉือนของคอร์ด

$$\Delta_{10} = \Delta_{40} = \frac{500 \times 1.2 \times 2.4 \times 100}{306015.8 \times 150.2} = 3.13 \times 10^{-3} \text{ ซม.}$$

$$\Delta_{20} = \Delta_{30} = 3.13 \times 10^{-3} + \frac{250 \times 1.2 \times 2.4 \times 100}{306015.8 \times 142.2} = 4.78 \times 10^{-3} \text{ ซม.}$$

3 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาค่าโมเมนต์สมมูลโดยวิธีพลังงานเสมือน

1. จากสมการ 3.2.1 และ 3.2.3 คำนวณหาค่า $\delta_{i,i}$ และ $\delta_{i,i+1}$ ได้ดังนี้

$$3039.0E \delta_{1,2} = -\frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{6084.0} + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{189.7 \times 75} \right] = -15.564$$

$$= 3039.0E \delta_{2,1}$$

$$3039.0E \delta_{2,3} = -\frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{4888.5} + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{169.4 \times 75} \right] = -19.069$$

$$= 3039.0E \delta_{3,2}$$

$$3039.0E \delta_{3,4} = -\frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{4888.5} + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{165.4 \times 75} \right] = -19.069$$

$$= 3039.0E \delta_{4,3}$$

$$3039.0E \delta_{4,5} = -\frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{6084.0} + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{189.7 \times 75} \right] = -15.564$$

$$= 3039.0E \delta_{5,4}$$

$$3039.0E \delta_{1,1'} = \frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{5200} + \frac{3039 \times 75}{6084.0} + \frac{6 \times 3039 \times 100}{3039} \right.$$

$$\left. + \frac{12}{75} \left(\frac{2.4 \times 1.5 \times 3039}{173.377} + \frac{2.4 \times 1.5 \times 3039}{189.7} \right) \right.$$

$$\left. + \frac{24 \times 3039 \times 100}{150.2 \times 75 \times 75} \right] = 236.417$$

$$3039.0E \delta_{2,2'} = \frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{6084.0} + \frac{3039 \times 75}{4888.5} + \frac{6 \times 3039 \times 100}{2852.7} \right.$$

$$\left. + \frac{12}{75} \left(\frac{2.4 \times 1.5 \times 3039}{189.7} + \frac{2.4 \times 1.5 \times 3039}{165.4} \right) \right.$$

$$\left. + \frac{24 \times 3039 \times 100}{142.2 \times 75 \times 75} \right] = 250.734$$

$$\begin{aligned}
 3039.0E \delta_{3,3} &= \frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{4888.5} + \frac{3039 \times 75}{4888.5} + \frac{6 \times 3039 \times 100}{2852.7} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{12}{75} \left(\frac{2 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{165.4} \right) + \frac{24 \times 3039 \times 100}{142.2 \times 75 \times 75} \right] \\
 &= 254.239
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3039.0E \delta_{4,4} &= \frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{4888.5} + \frac{3039 \times 75}{6084.0} + \frac{6 \times 3039 \times 100}{2852.7} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{12}{75} \left(\frac{2.4 \times 1.5 \times 3039}{165.4} + \frac{2.4 \times 1.5 \times 3039}{189.7} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{24 \times 3039 \times 100}{142.2 \times 75 \times 75} \right] = 250.734
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3039.0E \delta_{5,5} &= \frac{1}{3} \left[\frac{3039 \times 75}{6084.0} + \frac{3039 \times 75}{5206} + \frac{6 \times 3039 \times 100}{3039.0} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{12}{75} \left(\frac{2.4 \times 1.5 \times 3039.0}{189.7} + \frac{2.4 \times 1.5 \times 3039}{173.377} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{24 \times 3039 \times 100}{150.2 \times 75 \times 75} \right] = 236.417
 \end{aligned}$$

2. จากสมการ 3.2.4 และสมการ 3.2.5 คำนวณหาค่า δ_{i0} ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 3039.0E \delta_{10} &= \frac{1000 \times 100}{6 \times 75} \left(\frac{3 \times 75 \times 3039 \times 100}{3039.0} + \frac{3039.0 \times 75 \times 75}{5200} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{173.377} \right) - \frac{500 \times 100}{6} \left(\frac{3039 \times 75}{6084.0} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{75 \times 189.7} \right) + \frac{2 \times 100}{75 \times 75} \left(\frac{2 \times 3039}{150.2} \right) 100000 \\
 &= 5653591.5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3039.0E \delta_{20} &= \frac{500 \times 100}{6 \times 75} \left(\frac{3 \times 75 \times 3039 \times 100}{2852.7} + \frac{3039.0 \times 75 \times 75}{6084.0} \right. \\
&\quad \left. + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039.0}{189.7} \right) + 0 + \frac{2 \times 100}{75 \times 75} \left(\frac{2 \times 3039.0}{142.2} \right) 150000 \\
&= 3280314.7
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3039.0E \delta_{30} &= + \frac{500 \times 100}{6} \left(\frac{3039.0 \times 75}{4888.5} + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039.0}{165.4 \times 75} \right. \\
&\quad \left. + \frac{2 \times 1000}{75 \times 75} \left(\frac{2 \times 3039.0}{142.2} \right) \right) 150000 \\
&= 704693.49
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3039.0E \delta_{40} &= - \frac{500 \times 100}{6 \times 75} \left(\frac{3 \times 75 \times 3039.0 \times 100}{2852.7} + \frac{3039.0 \times 75 \times 75}{4888.5} \right. \\
&\quad \left. + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039}{165.4} \right) + \frac{1000 \times 100}{6} \left(\frac{3039.0 \times 75}{6084.0} \right. \\
&\quad \left. + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039.0}{189.7 \times 75} \right) + \frac{2 \times 100}{75 \times 75} \left(\frac{2 \times 3039.0}{142.2} \right) 100000 \\
&= -2209849.4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3039.0E \delta_{50} &= - \frac{1000 \times 100}{6 \times 75} \left(\frac{3 \times 75 \times 3039.0 \times 100}{3039.0} + \frac{3039.0 \times 75^2}{5200} \right. \\
&\quad \left. + \frac{12 \times 2.4 \times 1.5 \times 3039.0}{189.7} \right) \\
&= -5884321.0
\end{aligned}$$

3. คำนวณหาค่า X_i จากการแทนค่า $\delta_{i,i-1}$, $\delta_{i,i'}$, $\delta_{i,i+1}$ และ δ_{i0}

ในสมการ 3.2.2

$$236.417X_1 - 15.564X_2 + 5653591.5 = 0 \quad (1)$$

$$-15.564x_1 + 250.734x_2 - 19.069x_3 + 3280314.7 = 0 \quad (2)$$

$$-19.069x_2 + 254.239x_3 - 19.069x_4 + 704693.49 = 0 \quad (3)$$

$$-19.069x_3 + 250.734x_4 - 15.564x_5 - 2209849.4 = 0 \quad (4)$$

$$-15.564x_4 + 236.417x_5 - 5884321.0 = 0 \quad (5)$$

แก้สมการ จะได้ค่า x_i ดังนี้

$$x_1 = -24892.3 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$x_2 = -14865.6 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$x_3 = -3124.54 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$x_4 = 10162.4 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$x_5 = 25558.6 \quad \text{กก-ชม.}$$

4. หาค่าโมเมนต์สมมูลจากค่า x_i ที่ได้

$$M_{01}^{(T)} = M_{01}^{(B)} = 25558.6 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$= M_{54}^{(T)} = M_{54}^{(B)}$$

$$M_{10}^{(T)} = M_{10}^{(B)} = M_{45}^{(T)} = M_{45}^{(B)} = -24892.3 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$M_{12}^{(T)} = M_{12}^{(B)} = M_{43}^{(T)} = M_{43}^{(B)} = 10162.4 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$M_{21}^{(T)} = M_{21}^{(B)} = M_{34}^{(T)} = M_{34}^{(B)} = -14865.6 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$M_{23}^{(T)} = M_{23}^{(B)} = M_{32}^{(T)} = M_{32}^{(B)} = -3124.54 \quad \text{กก-ชม.}$$

5. จากหลักความสมดุล คำนวณหาค่าโมเมนต์สมดุลงของส่วนโครงสร้างในแนวตั้ง
แรงในแนวแกนและแรงเฉือนของส่วนโครงสร้างต่าง ๆ

โมเมนต์สมดุลงขององค์ส่วนโครงสร้างในแนวตั้ง

$$M_{OV}^{(T)} = M_{OV}^{(B)} = M_{5V}^{(T)} = M_{5V}^{(B)} = -M_{01}^{(T)} = -25558.6 \quad \text{กก-ชม.}$$

$$\begin{aligned} M_{1V}^{(T)} = M_{1V}^{(B)} = M_{4V}^{(T)} = M_{4V}^{(B)} &= 25558.6 + 10162.4 \quad \text{กก-ชม.} \\ &= 35721.0 \quad \text{กก-ชม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2V}^{(T)} = M_{2V}^{(B)} = M_{3V}^{(T)} = M_{3V}^{(B)} &= 14865.6 - 3124.54 \quad \text{กก-ชม.} \\ &= 11741.06 \quad \text{กก-ชม.} \end{aligned}$$

แรงในแนวแกนของส่วนโครงสร้างในแนวระดับ

$$\begin{aligned} -N_{5T} = N_{5B} &= -\frac{25558.6 \times 2}{75} = 681.56 \quad \text{กก.} \\ &= -N_{1T} = N_{1B} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -N_{4T} = N_{4B} &= 681.56 + \frac{35721.0 \times 2}{75} = 1634.12 \quad \text{กก.} \\ &= -N_{2T} = N_{2B} \end{aligned}$$

$$-N_{3T} = N_{3B} = \frac{11741.06 \times 2}{75} + 1634.12 = 1947.21 \quad \text{กก.}$$

แรงเฉือนของส่วนโครงสร้างในแนวระดับ

$$V_{1T} = V_{1B} = V_{5T} = V_{5B} = \frac{25558.6 + 24892.3}{100} = 504.5 \quad \text{กก.}$$

$$V_{2T} = V_{2B} = V_{4T} = V_{4B} = \frac{10162.4 + 14865.6}{100} = 250.3 \quad \text{กก.}$$

$$V_{3T} = V_{3B} = \frac{3124.54 - 3124.54}{100} = 0 \quad \text{กก.}$$

แรงเฉือนของส่วนโครงสร้างในแนวดิ่ง

$$V_{0V} = V_{5V} = \frac{25558.6x2}{75} = 681.56 \quad \text{กก.}$$

$$V_{1V} = V_{4V} = \frac{35721.0x2}{75} = 952.56 \quad \text{กก.}$$

$$V_{2V} = V_{3V} = \frac{11741.06x2}{75} = 313.09 \quad \text{กก.}$$

4. คำนวณหาค่าระยะโก่งที่จุด 1 และ 4 จากสมการ 3.2.13 โดยอาศัยรูป

A.2.2 และ A.2.4

$$\begin{aligned} 500 \Delta_1 &= \frac{2}{E3039} \int_0^{100} (25558.6-500x)(9538.9-200x) dx \\ &\quad - \frac{2}{2852.7E} \int_0^{100} (10162.4-250x)(3604.48-50x) dx \\ &\quad + \frac{2}{2852.7E} \int_0^{54.7} (3124.5)(2734.71-50x) dx \\ &\quad - \frac{2}{2852.7E} \int_0^{45.3} (3124.5)(2265.29-50x) dx \\ &\quad + \frac{2}{2852.7E} \int_0^{100} (14865.6-250x)(2532.26-50x) dx \\ &\quad + \frac{2}{3039E} \int_0^{100} (24892.3-500x)(2393.48-50x) dx \\ &\quad + \frac{1}{5200E} \int_0^{75} (25558.6-681.56x)(9538.9-254.37x) dx \\ &\quad + \frac{1}{6084E} \int_0^{75} (35054.7-934.79x)(6856.6-182.84x) dx \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{1}{4888.5E} \int_0^{75} (11741.06 - 313.09x)(4130.23 - 110.14x) dx \\
& + \frac{1}{4888.5E} \int_0^{75} (11741.06 - 313.09x)(4797.55 - 127.93x) dx \\
& + \frac{1}{6084E} \int_0^{75} (35054.7 - 934.79x)(4861.22 - 129.63x) dx \\
& + \frac{1}{5200E} \int_0^{75} (25558.6 - 681.56x)(2606.52 - 69.51x) dx \\
& \quad + \int_0^x \frac{KVv}{AG} dx + \int_0^x \frac{Nn}{AE} dx \\
& = 33.648321 + 10.08721
\end{aligned}$$

$$\Delta = 0.0874711 \quad \text{ซม.}$$

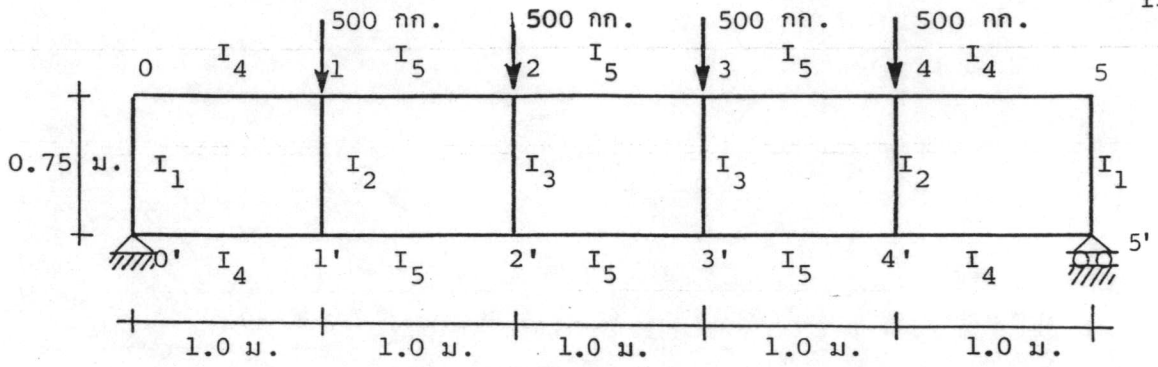
คำนวณหาค่าระยะโก่งที่จุด 2 และ 3 จากสมการ 3.2.13 โดยอาศัยรูป A.2.3

และ A.2.4

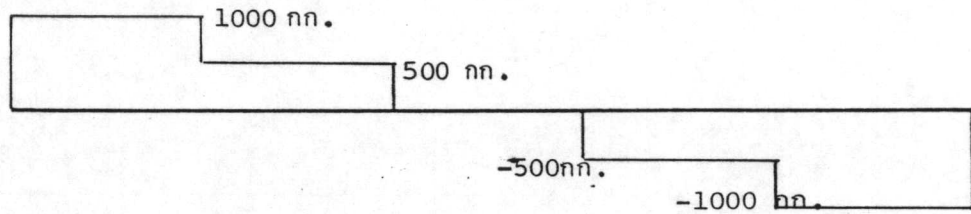
$$\begin{aligned}
500 \Delta_2 & = \frac{2}{3039E} \int_0^{100} (25558.6 - 500x)(7753.8 - 150x) dx \\
& + \frac{2}{2852.7E} \int_0^{100} (10162.4 - 250x)(6401.05 - 150x) dx \\
& + \frac{2}{2852.7E} \int_0^{63.3} (3124.5)(6328.63 - 100x) dx \\
& - \frac{2}{2852.7E} \int_0^{36.7} (3124.5)(3671.37 - 100x) dx \\
& + \frac{2}{2852.7E} \int_0^{100} (14865.6 - 250x)(5130.06 - 100x) dx \\
& + \frac{2}{3039E} \int_0^{100} (24892.3 - 500x)(4791.28 - 100x) dx
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{5200E} \int_0^{75} (25558.6 - 681.56x)(7753.8 - 206.77x) dx \\
& + \frac{1}{6084E} \int_0^{75} (35054.7 - 934.79x)(13647.26 - 363.93x) dx \\
& + \frac{1}{4888.5E} \int_0^{75} (11741.06 - 313.09x)(2270.32 - 60.54x) dx \\
& + \frac{1}{4888.5E} \int_0^{75} (11741.06 - 313.09x)(8801.43 - 234.7x) dx \\
& + \frac{1}{6084.0E} \int_0^{75} (35054.7 - 934.79x)(9661.22 - 257.63x) dx \\
& + \frac{1}{5200E} \int_0^{75} (25558.6 - 681.56x)(5208.72 - 138.9x) dx \\
& \quad + \Sigma \int_0^x \frac{KV_V}{AG} dx + \Sigma \int_0^x \frac{N_n}{AE} dx \\
= & + \frac{16625373}{E} + \frac{6575557.6}{E}
\end{aligned}$$

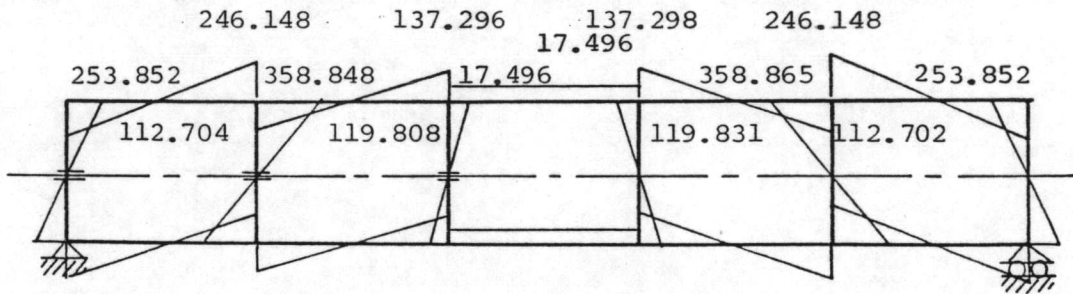
$$\Delta = 0.1516321 \quad \text{mm.}$$



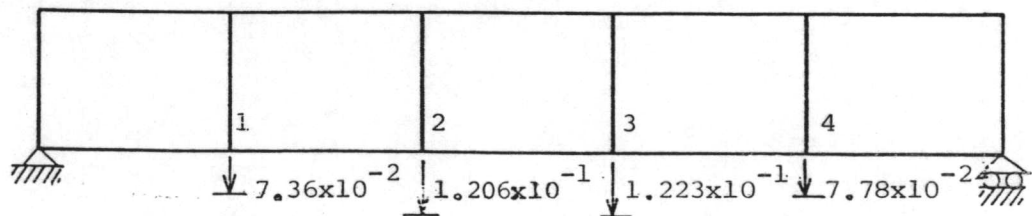
รูปที่ A.1.1 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างและตำแหน่งน้ำหนักกระทำกรณีที่ 1



รูปที่ A.1.2 แสดงไดอะแกรมของแรงเฉือนจากน้ำหนักกระทำ

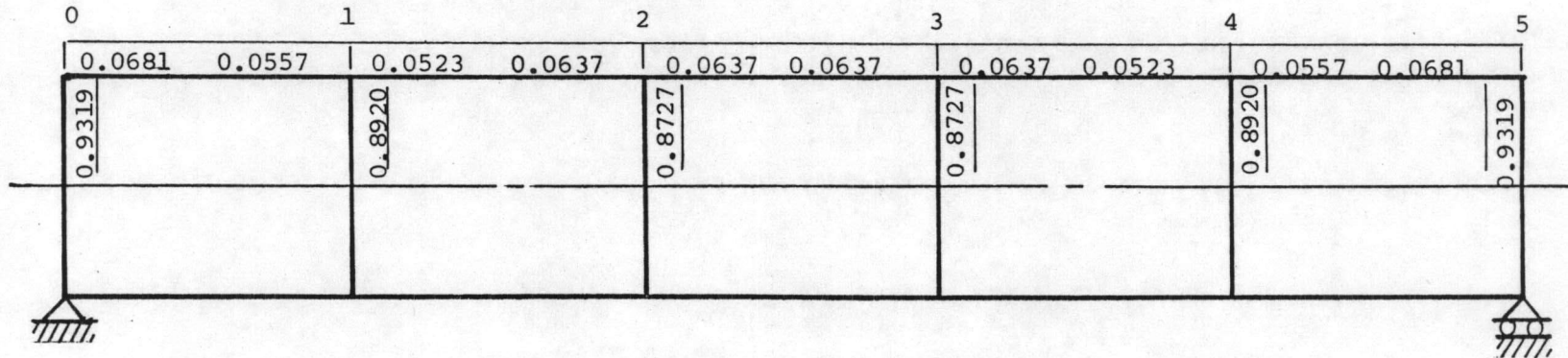


รูปที่ A.1.3 แสดงค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณ (บนด้านแรงอัด และหน่วยเป็น กก-ม.)

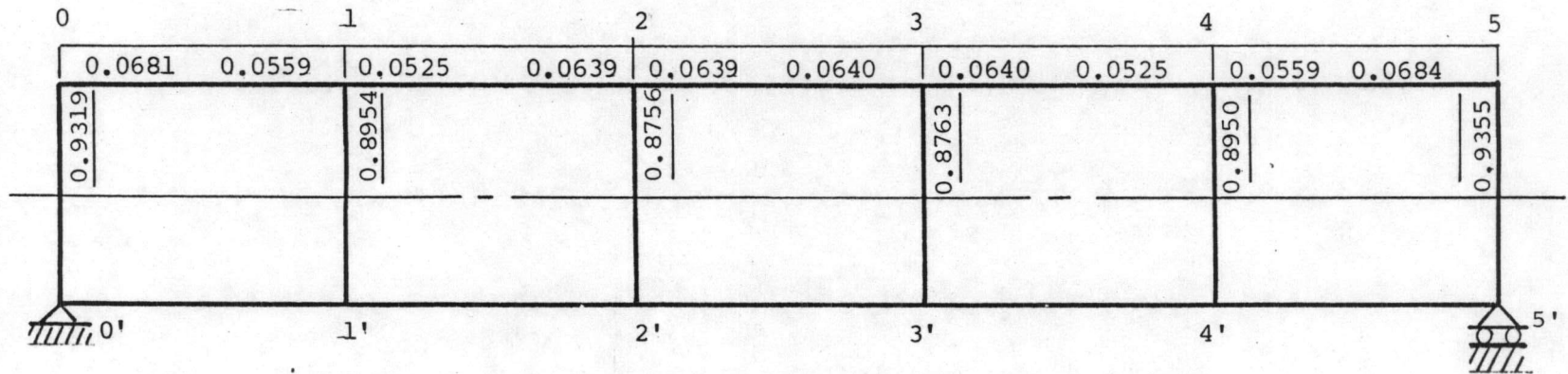


รูปที่ A.1.4 แสดงค่าระยะโก่งที่ตำแหน่ง 1 2 3 4 หน่วย ซม.

รูปที่ A.1.5 แสดงค่าแฟกเตอร์ของการกระจายของโครงสร้างคอนกรีต กรณีที่ 1

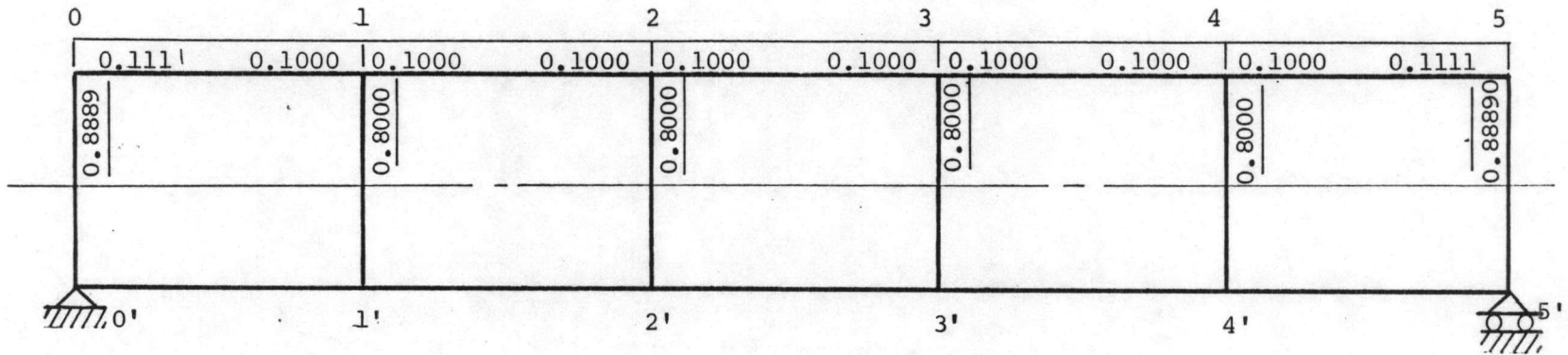


รูปที่ A.1.5a แสดงค่า μ ของส่วนโครงสร้าง

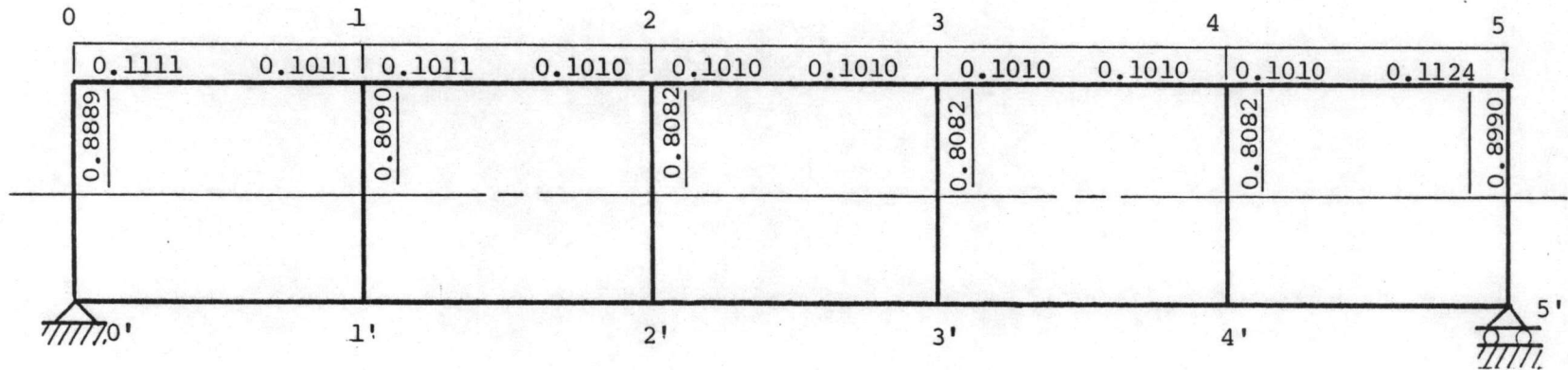


รูปที่ A.1.5b แสดงค่า μ' ของส่วนโครงสร้าง

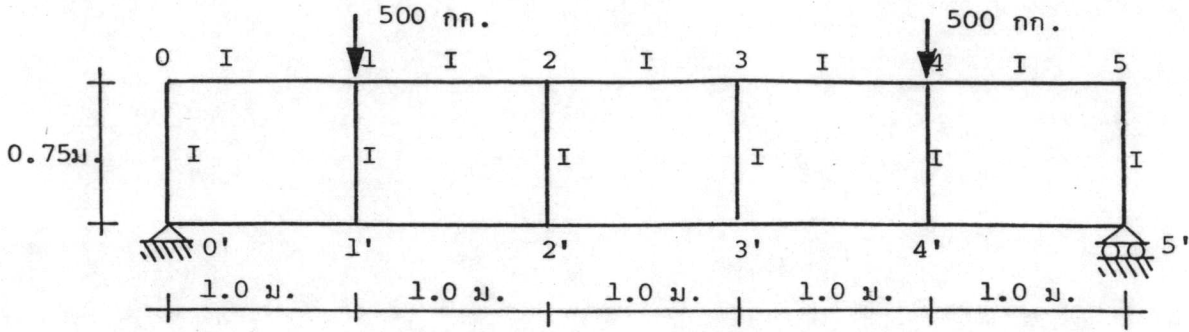
รูปที่ A.1.6 แสดงค่าแฟคเตอร์ของการกระจายของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 2 ถึงกรณีที่ 4



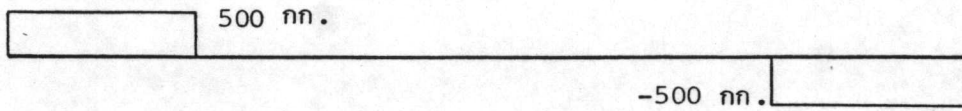
รูปที่ A.1.6 a แสดงค่า μ ของส่วนโครงสร้าง



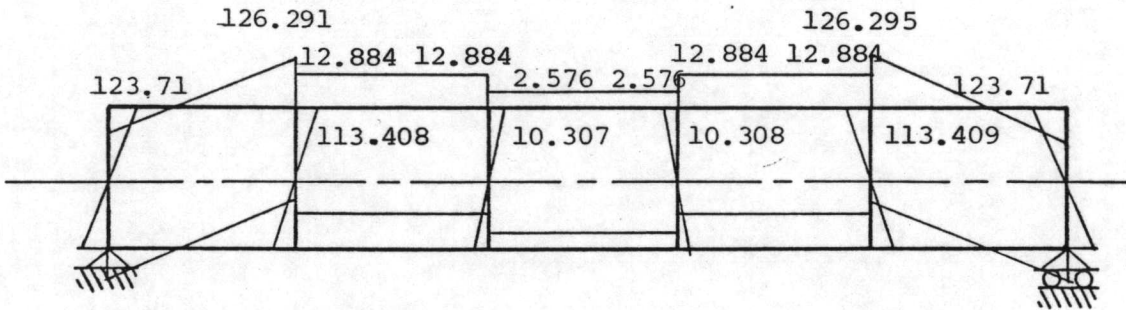
รูปที่ A.1.6b แสดงค่า μ' ของส่วนโครงสร้าง



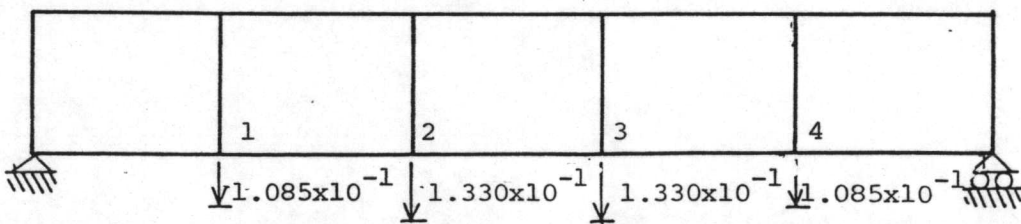
รูปที่ A.1.7 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างและตำแหน่งน้ำหนักกระทำในกรณีที่ 2



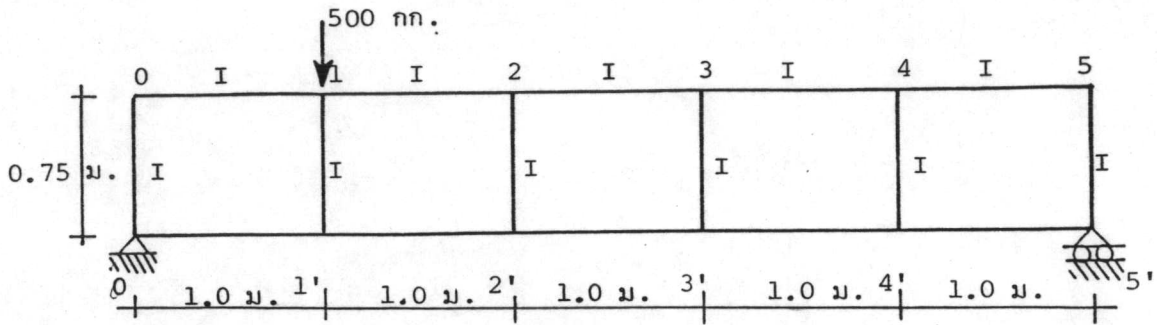
รูปที่ A.1.8 แสดงไดอะแกรมของแรงเฉือนจากน้ำหนักกระทำ



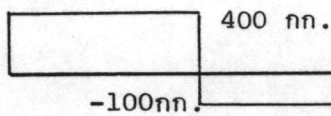
รูปที่ A.1.9 แสดงค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณ (บนด้านแรงอัดและหน่วยเป็น กก-ม.)



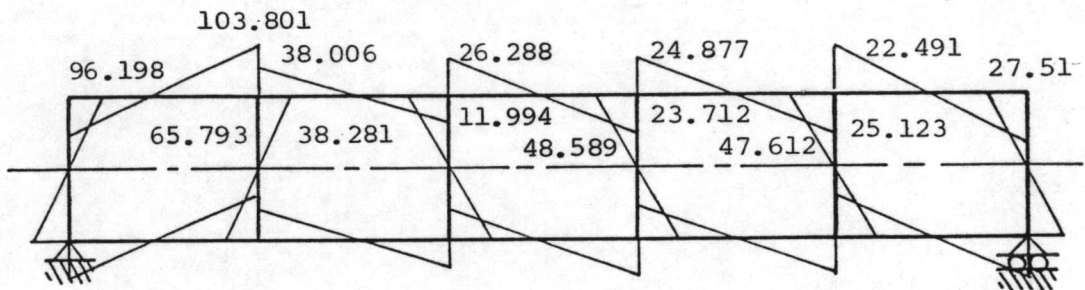
รูปที่ A.1.10 แสดงค่าระยะโค้งที่ตำแหน่ง 1 2 3 4 หน่วย ซม.



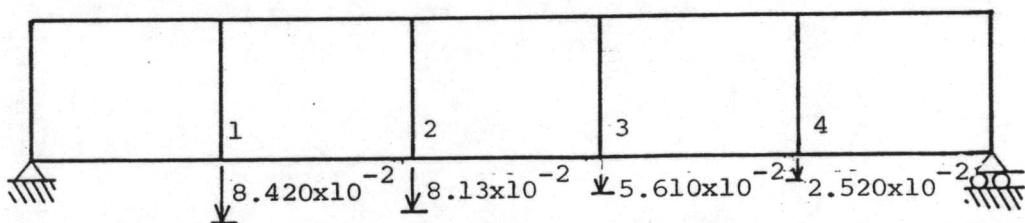
รูปที่ A.1.11 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างและตำแหน่งน้ำหนักกระทำในกรณีที่ 3



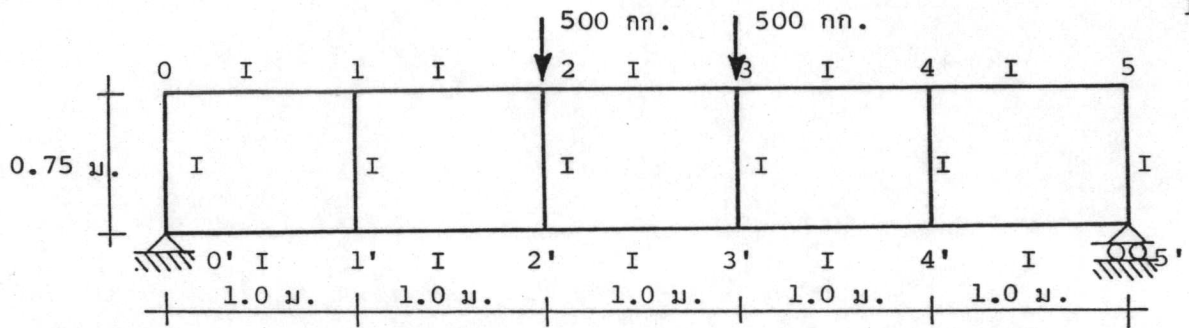
รูปที่ A.1.12 แสดงไดอะแกรมของแรงเฉือนจากน้ำหนักกระทำ



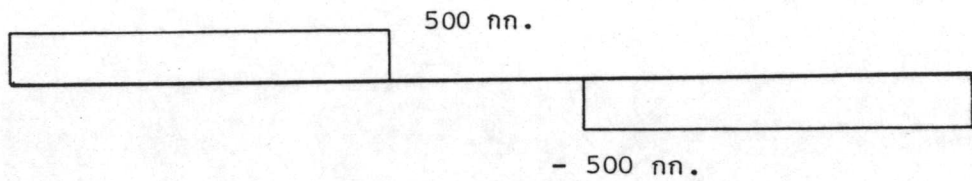
รูปที่ A.1.13 แสดงค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณ (บนด้านแรงอัดและหน่วยเป็น กก-ม.)



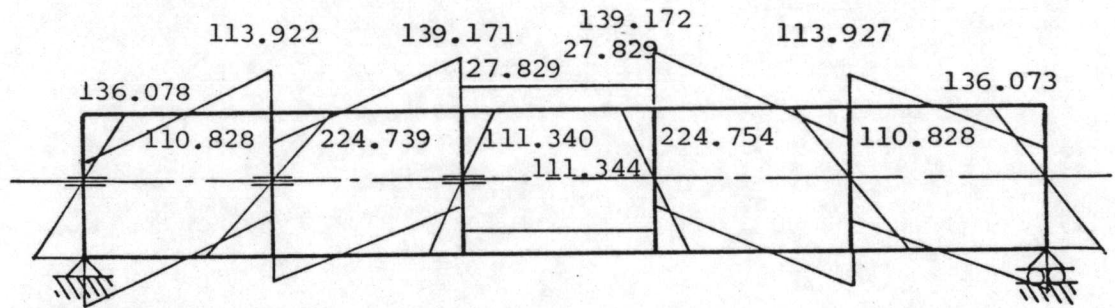
รูปที่ A.1.14 แสดงค่าระยะโก่งที่ตำแหน่ง 1 2 3 4 หน่วย ซม.



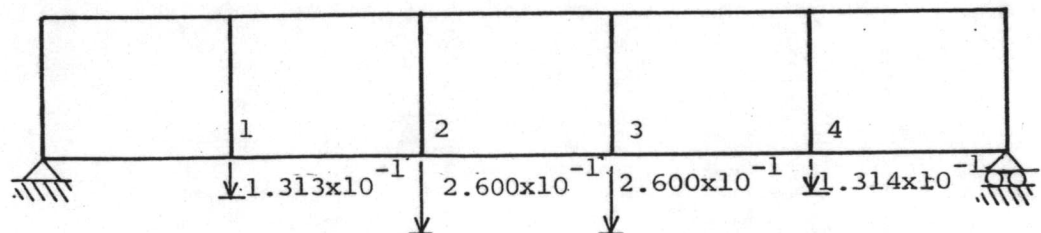
รูปที่ A.1.15 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างและตำแหน่งน้ำหนักกระทำในกรณีที่ 4



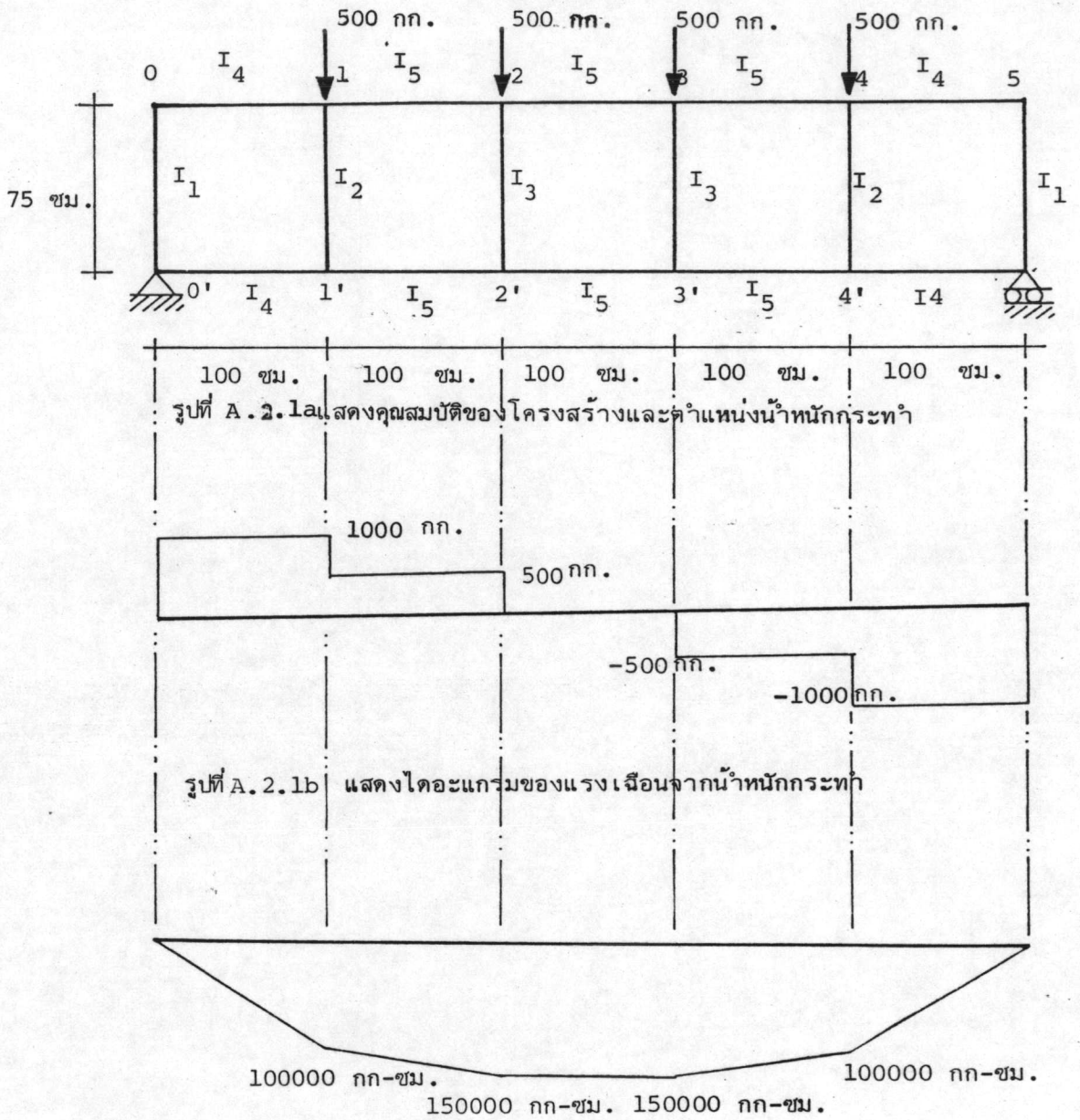
รูปที่ A.1.16 แสดงไดอะแกรมของแรงเฉือนจากน้ำหนักกระทำ



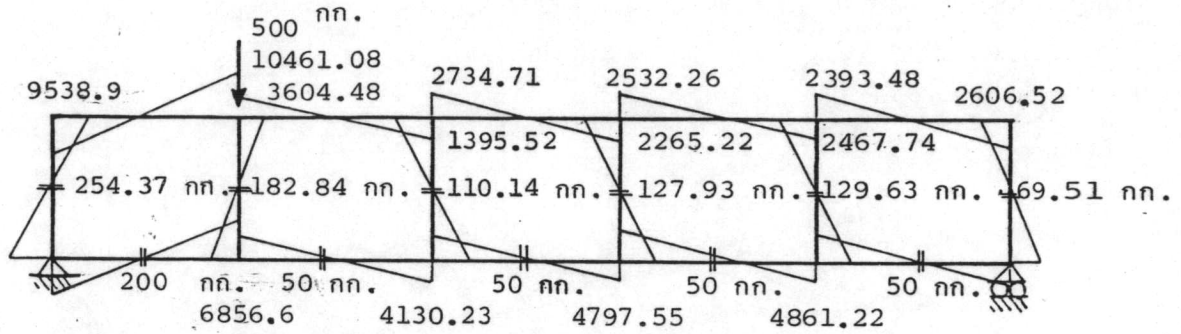
รูปที่ A.1.17 แสดงค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณ (บนด้านแรงอัดและหน่วยเป็น กก-ม.)



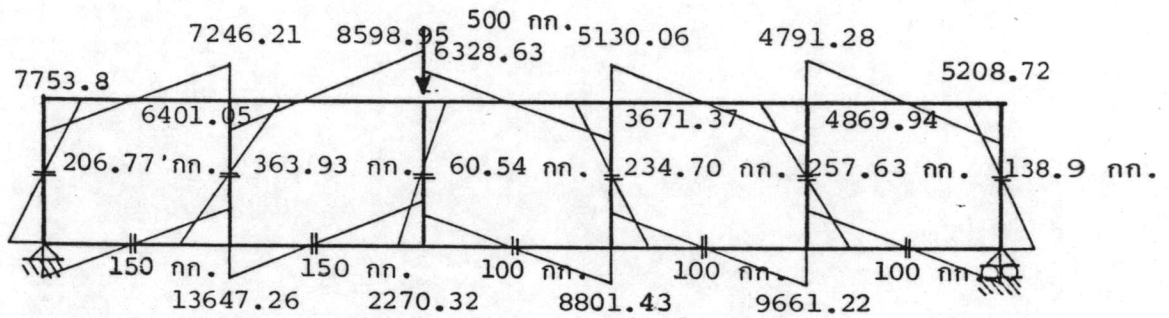
รูปที่ A.1.18 แสดงค่าระยะโก่งที่ตำแหน่ง 1 2 3 4 หน่วย ซม.



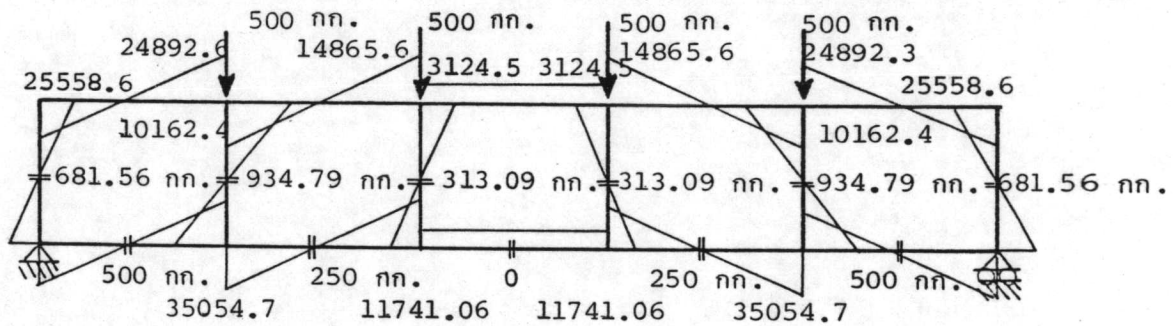
รูปที่ A.2.1c แสดงไดอะแกรมของโมเมนต์



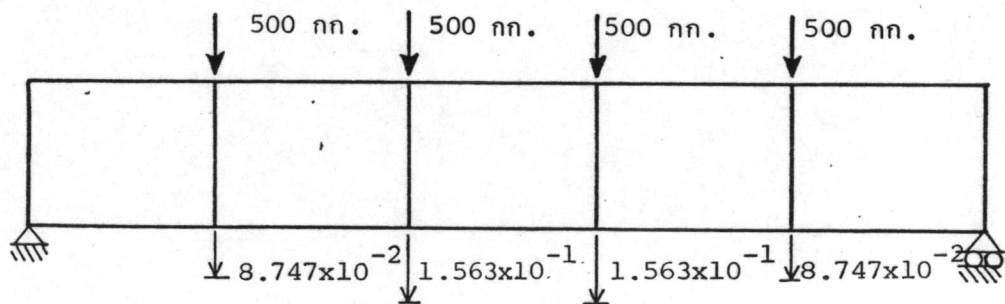
รูปที่ A.2.2 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ซม.) และแรงเฉือนที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ A.2.3 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ซม.) และแรงเฉือนที่ได้จากการคำนวณ

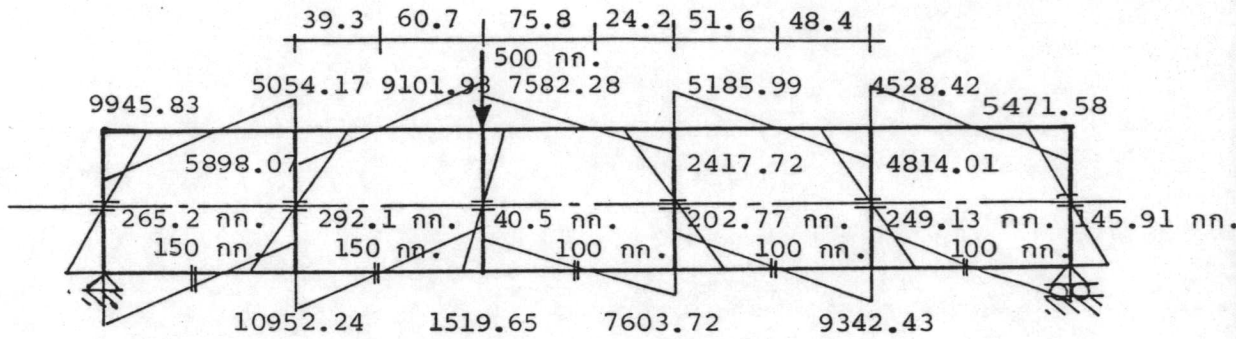


รูปที่ A.2.4 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ซม.) และแรงเฉือนที่ได้จากการคำนวณ

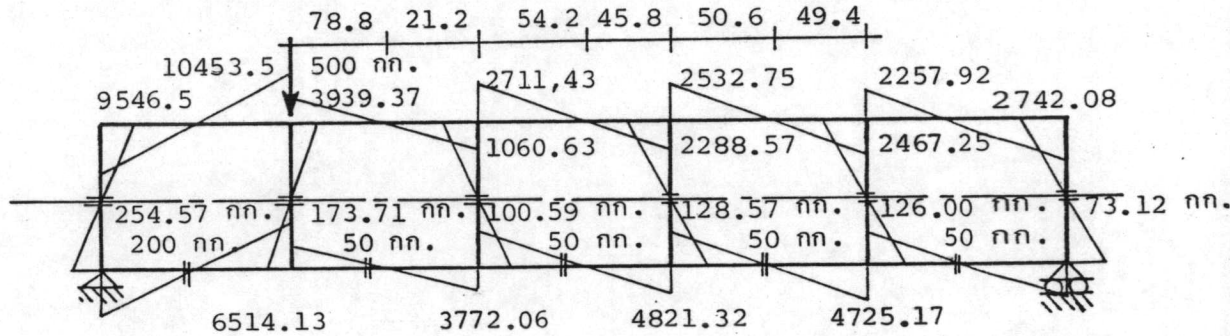


รูปที่ A.2.5 แสดงค่าระยะโค้งเมื่อมีน้ำหนักกระทำตามรูป (ซม.)

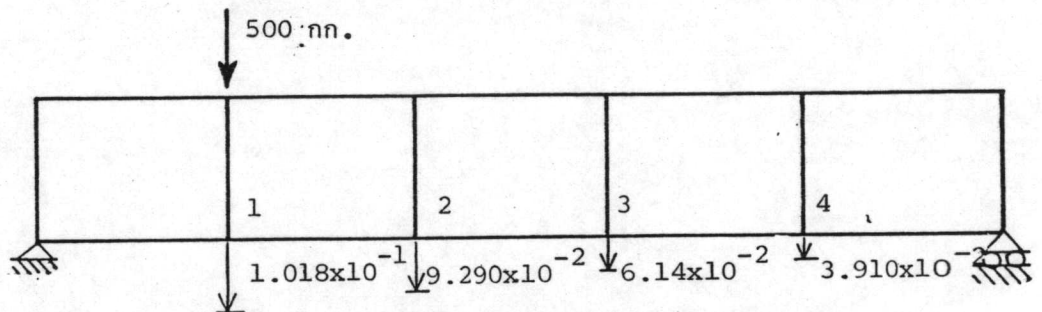
วิเคราะห์โครงสร้างเหล็กโดยวิธีพลังงานเสมือน



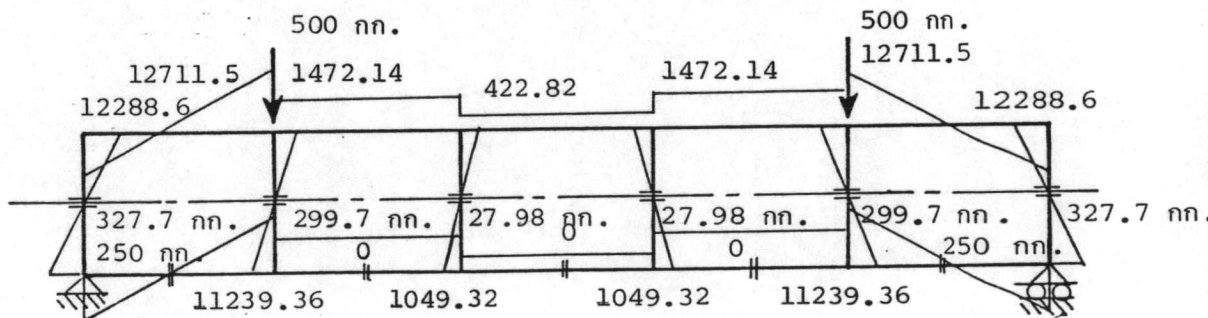
รูปที่ A.2.6 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ชม.) และแรงเฉือนที่ได้จากการคำนวณ



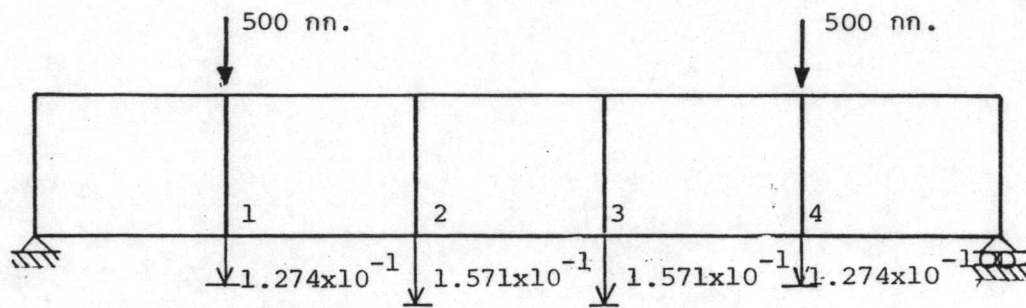
รูปที่ A.2.7 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ชม.) และแรงเฉือนที่ได้จากการคำนวณ



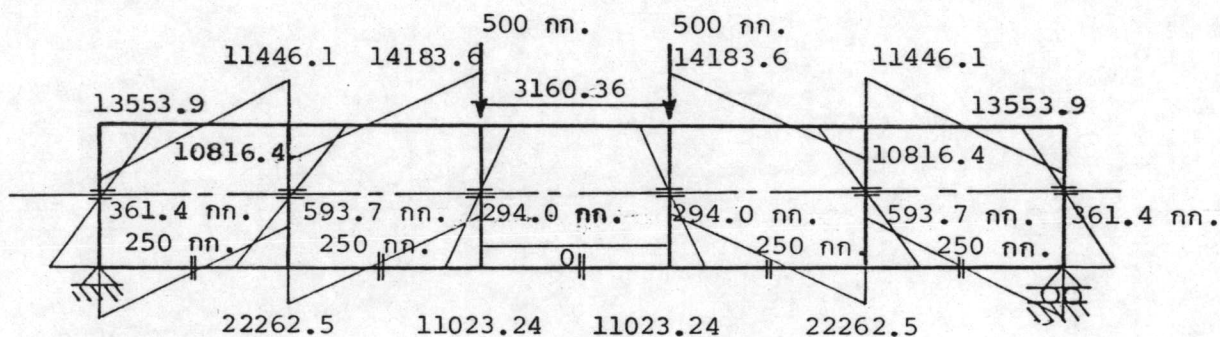
รูปที่ A.2.8 แสดงค่าระยะโค้งเมื่อมีน้ำหนักกระทำตามรูป (ชม.)



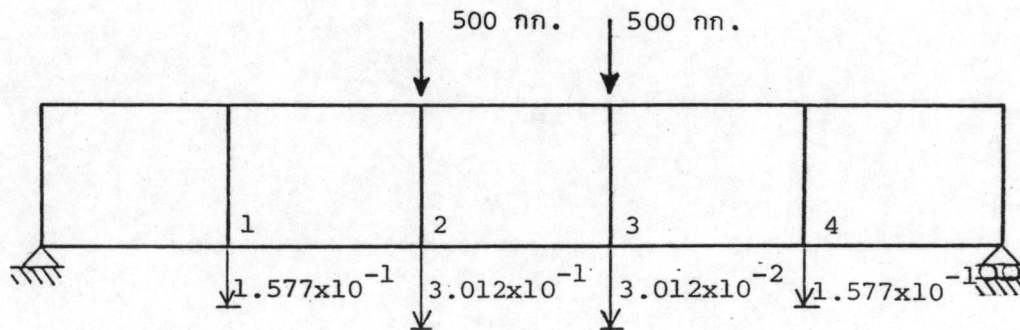
รูปที่ A.2.9 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ชม.) และแรงเฉือนที่ได้จากการคำนวณ



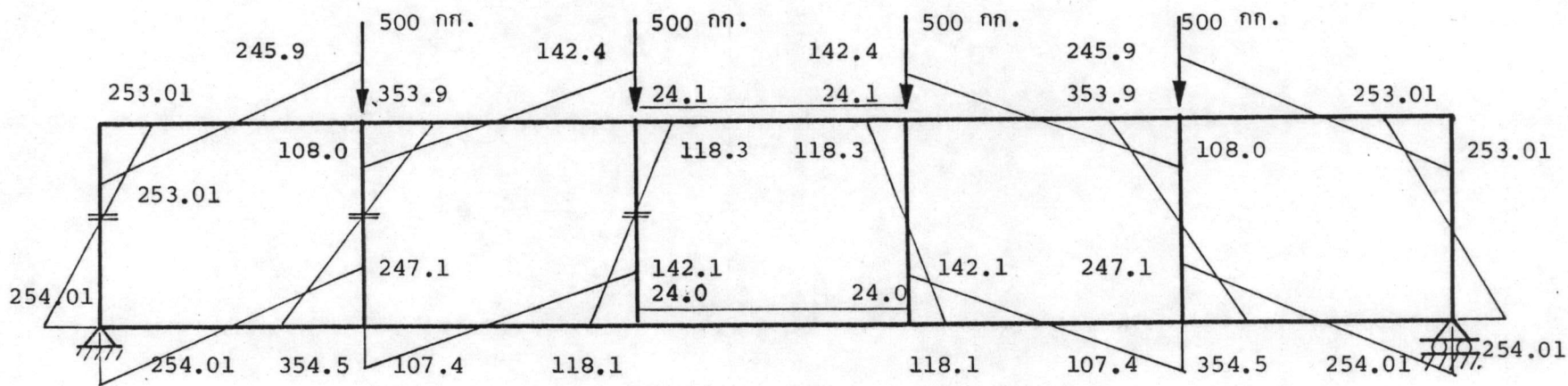
รูปที่ A.2.10 แสดงค่าระยะโก่งเมื่อมีน้ำหนักกระทำตามรูป (ซม.)



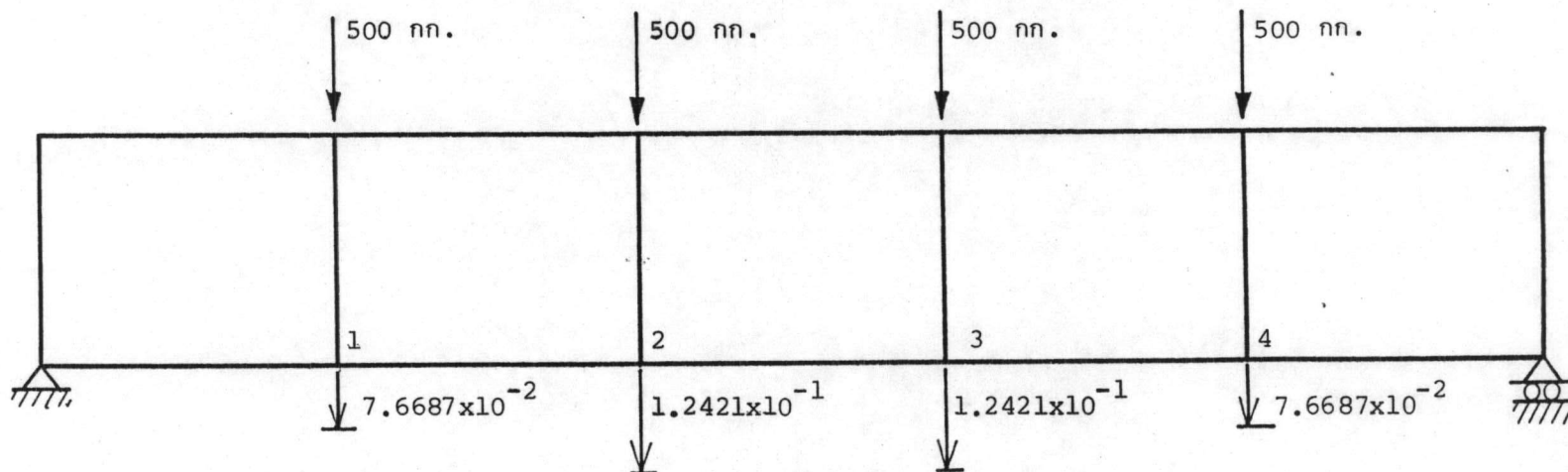
รูปที่ A.2.11 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ซม.) และแรงเฉือนที่ได้จากการคำนวณ



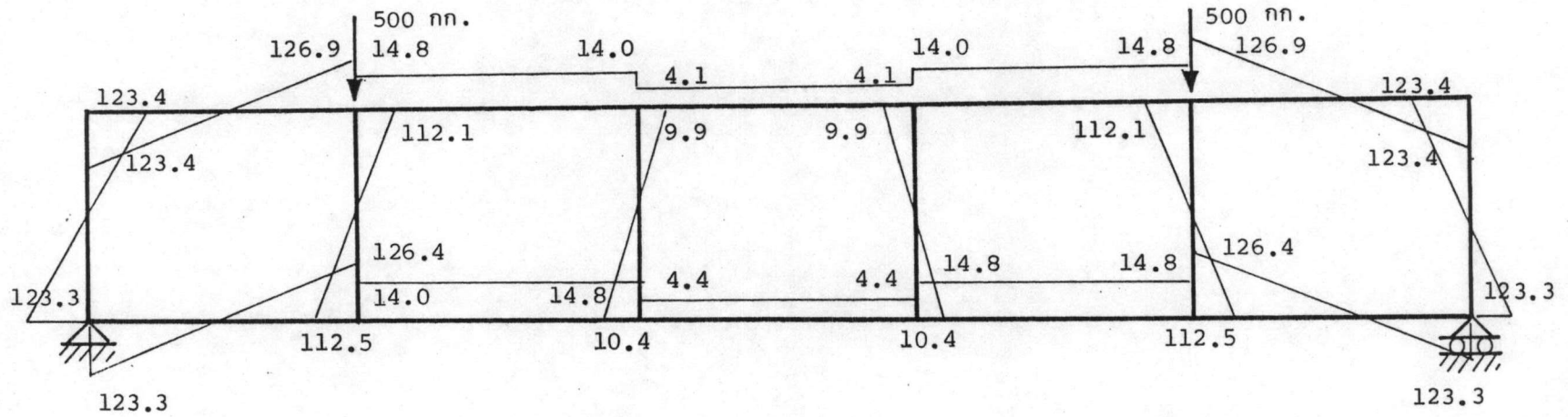
รูปที่ A.2.12 แสดงค่าระยะโก่งเมื่อมีน้ำหนักกระทำตามรูป (ซม.)



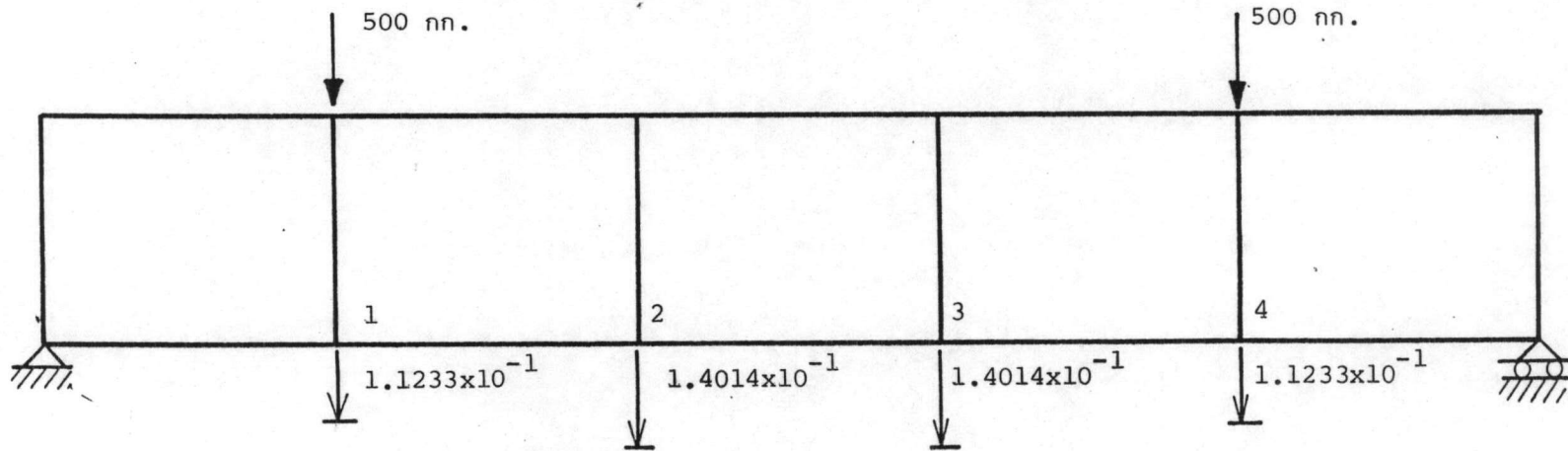
รูปที่ A.3.1 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ม.) ที่ได้จากรีชีแมทริกของโครงสร้างคอนกรีต



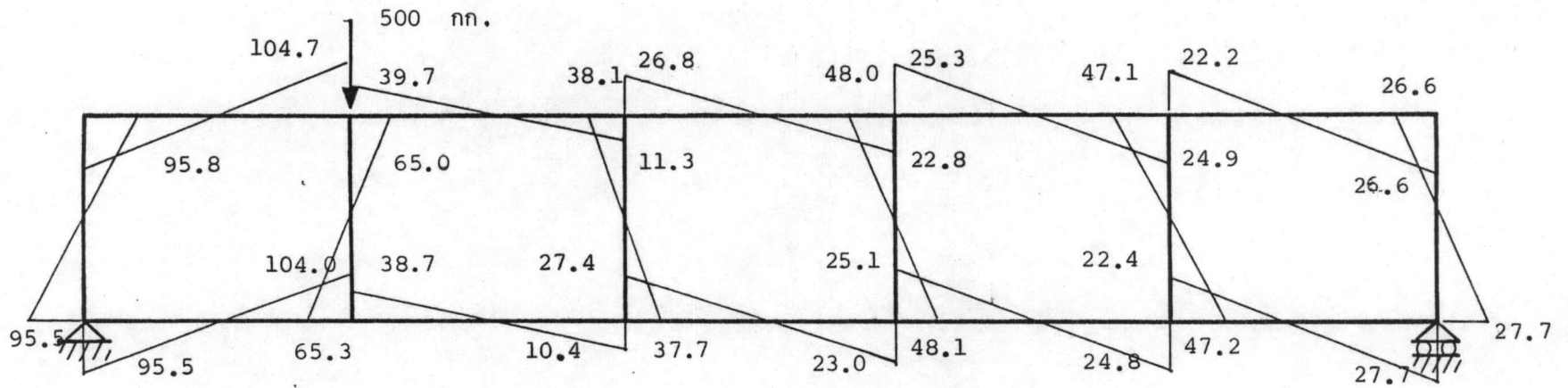
รูปที่ A.3.2 แสดงค่าระยะโก่ง (ซม.) ที่ได้จากรีชีแมทริกของโครงสร้างคอนกรีต



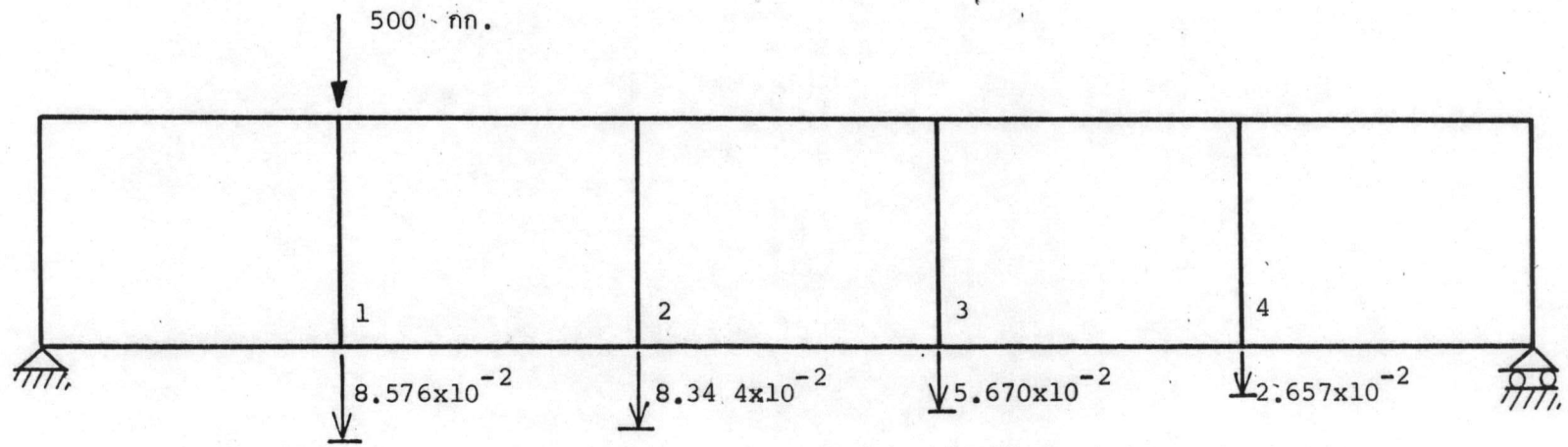
รูปที่ A.3.3 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ม.) ที่ได้จากรีชีแมทริกของโครงสร้างเหล็กกรงที่ 2



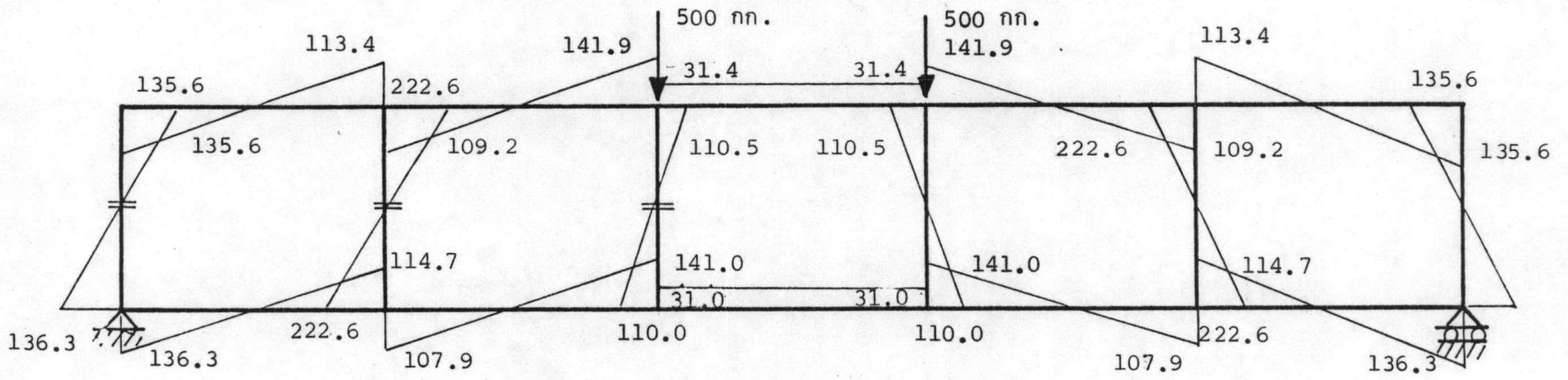
รูปที่ A.3.4 แสดงค่าระยะโก่ง (ซม.) ที่ได้จากรีชีแมทริกของโครงสร้างเหล็กกรงที่ 2



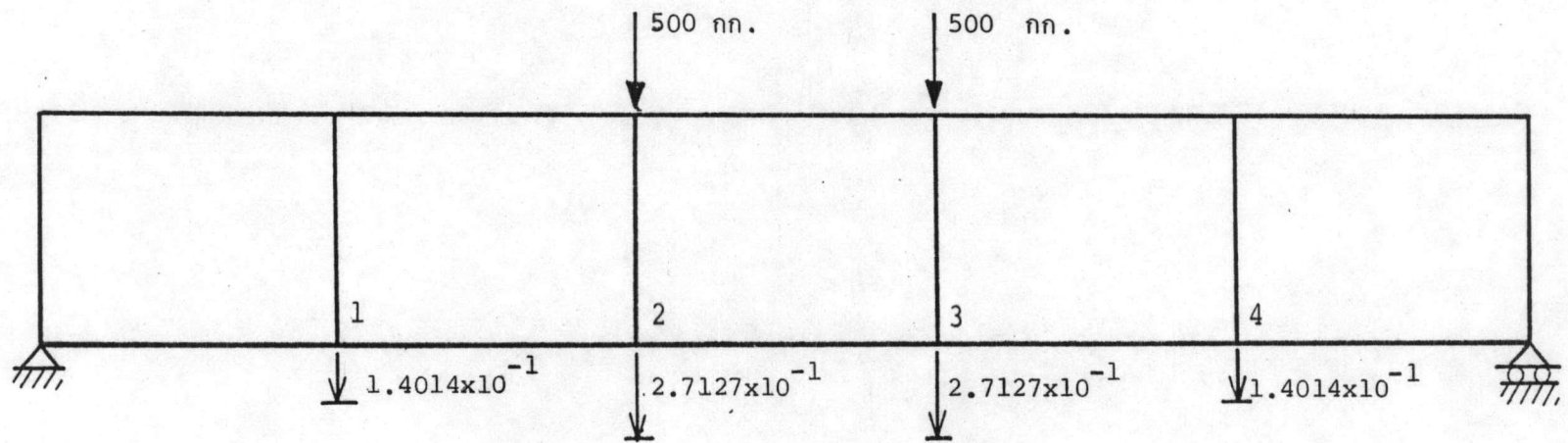
รูปที่ A.3.5 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ซม.) ที่ได้จากรีชีแมทริกของโครงสร้างเหล็กกรณีที่ 3



รูปที่ A.3.6 แสดงค่าระยะโก่ง (ซม.) ที่ได้จากรีชีแมทริกของโครงสร้างเหล็กกรณีที่ 3

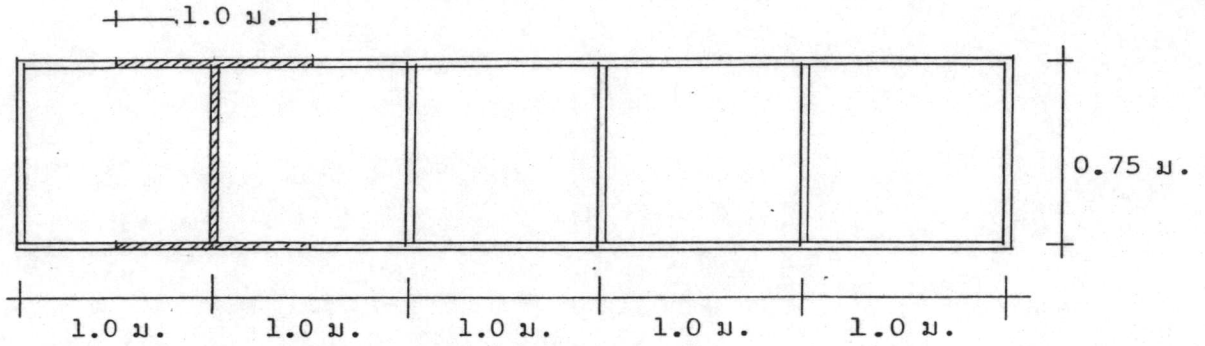


รูปที่ A.3.7 แสดงค่าโมเมนต์ (กก-ม.) ที่ได้จากวิธีแมทริกของโครงสร้างเหล็กกรงสี่ที่ 4



รูปที่ A.3.8 แสดงค่าระยะโก่ง (ซม) ที่ได้จากวิธีแมทริกของโครงสร้างเหล็กกรงสี่ที่ 4

รายการคำนวณหาค่าระยะโก่งสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปแสดงการคำนวณหาค่าน้ำหนักคงที่ของโครงสร้าง

ตามรูป น้ำหนักโครงสร้างคอนกรีต = 77.5 กก.

จากรูปที่ 4.2 น้ำหนักเครื่องมือ (แม่แรง + คานเหล็ก) เฉลี่ย

$$= 25.5 \text{ กก.}$$

น้ำหนักรวม = 103 กก.

คุณสมบัติของหน้าตัดของโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

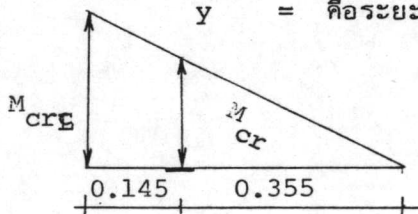
ตามรูปที่ 4.7 มีค่าโมเมนต์ของการแตกร้าว (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y}$$

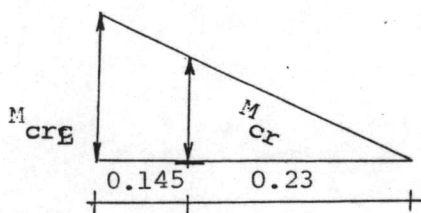
โดยที่ $f_r = 1.99\sqrt{f'c} = 37.55 \text{ กก./ซม.}^2$

I_g = โมเมนต์ของความเฉื่อยของหน้าตัดที่ยังไม่แตกร้าว

y = คือระยะจาก N.A. ถึงผิวนอกสุดของด้านรับแรงดึง



รูปแสดงการหาค่า M_{crE} ของคอร์ด



รูปแสดงการหาค่า M_{crE} ของส่วนโครงสร้าง

ในแนวตั้ง

หน้าตัดที่	1	2	3	4	5
f_r (กก/ซม. ²)	37.55	37.55	37.55	37.55	37.55
I_g (ซม. ⁴)	5200.0	6084.0	4888.5	3039.0	2852.8
y (ซม.)	12.139	12.227	13.408	9.902	10.966
M_{cr} (กก-ม.)	160.85	186.86	136.9	115.24	97.7
M_{crE} (กก-ม.)	262.26	304.7	223.2	162.31	137.6
น้ำหนักบรรทุก	518.3	580.8	943.4	320.8	483.15

ตารางที่แสดงค่าโมเมนต์ของการแตกร้าวของแต่ละหน้าตัด เกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ กัน

ในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ของความเฉือนของหน้าตัดแตกร้าว หาได้จากการแปลงหน้าตัดและโมเมนต์ผลของหน้าตัดของคอนกรีตค้ำรับแรงดึง (cracked transformed section moment of inertia) และคำนวณหาค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยประสิทธิผล (I effective) โดยใช้สูตรตามการแนะนำของ Branson คือ

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g$$

M_{cr} = โมเมนต์ของการแตกร้าว

M_{max} = โมเมนต์มากที่สุดบนหน้าตัดที่รับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการหาค่า I_e

I_c = โมเมนต์ของการเฉื่อยประสิทธิผล

I_{cr} = โมเมนต์ของความเฉื่อยของหน้าตัดแตกร้าว

ซึ่งจะให้ค่า I_e ของหน้าตัดต่าง ๆ ที่แต่ละค่าของน้ำหนักบรรทุก ดังนี้

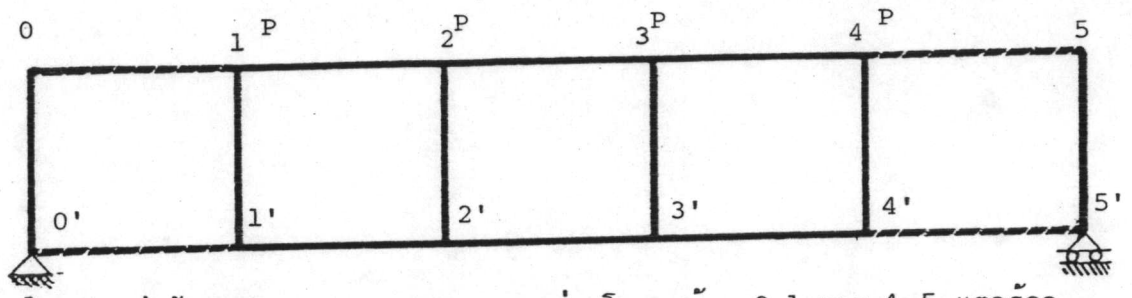
น้ำหนักบรรทุก (กก.)		< 403	403	503	903	1203
I _e ของ หน้าตัดที่ (กก-ม.)	1	5200.0	5200.0	5200.0	2870.2	2556.9
	2	6084.0	6084.0	6084.0	3194.4	2977.1
	3	4888.5	4888.5	4888.5	4888.5	3088.3
	4	3039.0	2250.0	1861.0	1518.3	1477.6
	5	2852.8	2852.8	2626.4	1188.8	1015.6
หน้าตัดที่		1	2	3	4	5
I _{cr} (ชม. ⁴)		2326.9	2827.7	1413.9	1447.2	887.9

ตารางแสดงค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยประสิทธิผลที่แต่ละค่าของน้ำหนักบรรทุก
ของหน้าตัดต่าง ๆ เพื่อคำนวณหาค่าระยะโก่งของจุดต่อ

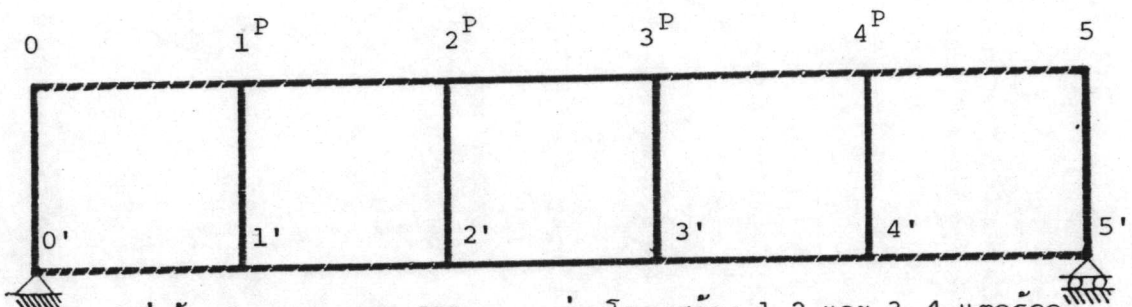
หมายเหตุ จากการคำนวณหาค่าโมเมนต์สมมูลที่น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ โดยใช้ค่า M_{max}
เพื่อหาค่า I_e และแทนค่า I_e ที่ได้ที่แต่ละน้ำหนักบรรทุกแล้วคำนวณ
หาค่าโมเมนต์สมมูลใหม่ พบว่า ค่าโมเมนต์สมมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก
นัก ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาค่าระยะโก่งของแต่ละวิธีการจึงคำนวณหาค่า
 I_e ของแต่ละส่วนโครงสร้างจาก M_{max} ของแต่ละส่วนโครงสร้างที่ได้
โดยไม่คิดผลของการแตกร้าวของโครงสร้าง ซึ่งได้ค่าระยะโก่งที่จุดต่อต่าง ๆ
จากการวิเคราะห์ของแต่ละวิธีการตามตารางที่

ระยะโง่ง (ชม.)		Moment Distribution		Virtual Work		Matrix	
		1=4	2=3	1=4	2=3	1=4	2=3
หน้าทับบรรทุก (กก.)	403	0.0730	0.1103	0.0814	0.1349	0.0745	0.1128
	503	0.1039	0.1525	0.1166	0.1833	0.1057	0.1556
	903	0.2572	0.4244	0.2742	0.4730	0.2539	0.4195
	1203	0.3596	0.6191	0.3817	0.6756	0.3538	0.6076

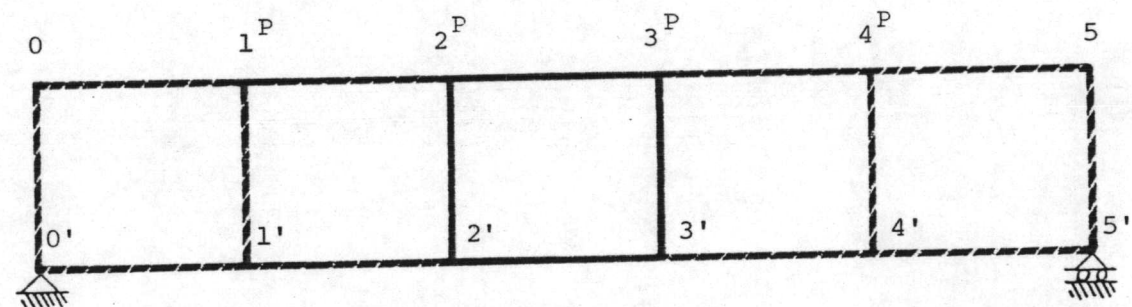
ตารางแสดงค่าระยะโง่งเมื่อคิดค่า I_e ของแต่ละการวิเคราะห์ทางทฤษฎี



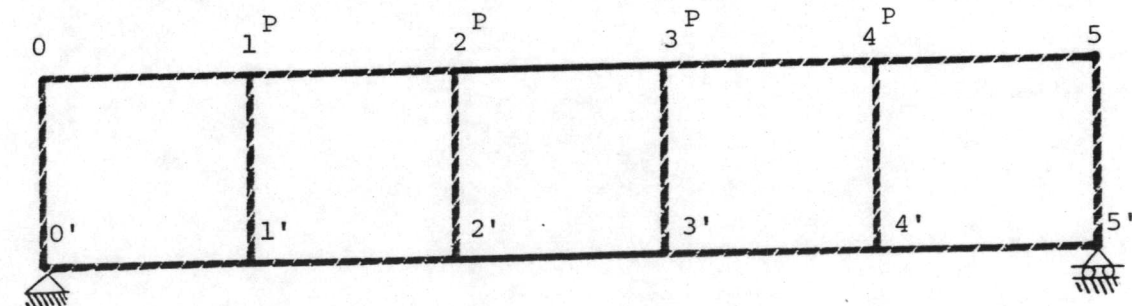
a) เมื่อน้ำหนักบรรทุก $P = 403$ กก. ส่วนโครงสร้าง 0,1 และ 4,5 แตกร้าว



b) เมื่อน้ำหนักบรรทุก $P = 503$ กก. ส่วนโครงสร้าง 1,2 และ 3,4 แตกร้าว



c) เมื่อน้ำหนักบรรทุก $P = 903$ กก. ส่วนโครงสร้าง 0,0' 1,1' 4,4' และ 5,5' แตกร้าว



d) เมื่อน้ำหนักบรรทุก $P = 1203$ กก. ส่วนโครงสร้าง 2,2' และ 3,3' แตกร้าว

รูปที่ B.4.1 แสดงลักษณะการแตกร้าวของส่วนโครงสร้างตามคุณสมบัติหน้าตัดทางทฤษฎีที่ใช้หาค่าโมเมนต์ความเฉือนประสิทธิผลเพื่อหาระยะโก่งของจุดต่อที่น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ของโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

Flow Chart

Displacement Method

Load a.

Trans a a^T

Load k

Mult k a.

Mult $a^T k a$ Kinvert K K^{-1}

Load R.

Mult $K^{-1} R$ r

Print r

Mult a r v

Mult kv s

Print S.

By Program CAL

Load Joint coordinate

Print Load Joint Coordinate

Load Boundary Condition

Load Beam Property

Load จุดต่อของ member i,j,k

ADDSF, K.

Print K.

Load น้ำหนักกระทำ

Solve ค่า displacement r.

Print displacement r.

คำนวณหาค่าแรง

Print แรง

ประวัติการศึกษา

นายอดิศร บรรเทิงไพบูลย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สาขาวิชา
วิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2520

