



รายการอ้างอิง

1. Schlaich, J., Schafer, I., Jennewein, M., "Towards a Consistent Design of Structural Concrete", *PCI Journal*, V.32, No.3, May-June 1987, pp. 74-150.
2. Collins, M.P., and Mitchell, D., "A Rational Approach to Shear Design - The 1984 Canadian Code Provisions", *ACI Journal Proceedings*, V.83, No.6, Nov-Dec. 1986, pp. 925-933.
3. Marti, P., "Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design", *ACI Journal Proceedings*, V.82, No.1, Jan-Feb. 1985, pp. 46-56.
4. Marti, P., "Truss Model in Detailing", *Concrete International : Design & Construction*, V.7, No.12, Dec. 1985, pp. 66-73.
5. Collins, M.P., and Mitchell, D., "Shear and Torsion Design of Prestressed and Nonprestressed Concrete Beams", *PCI Journal*, V.25, No.5, Sep-Oct. 1980, pp. 32-100.
6. Thurlimann, B., "Shear Strength of Reinforced and Prestressed Concrete - CEB Approach", *Concrete Design: U.S. and European Practices*, SP-59, American Concrete Institute, Detroit, 1979, pp 93-115.
7. CEB-FIP, CEB-FIP Model Code 1990, Comite Euro -International Du Beton (CEB), Lansanne 1991
8. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary ACI 318R-89 American Concrete Institute, Detroit Michigan, November 1989, 353pp.
9. Mitchell, D., and Cook, W.D., "Studies of Disturbed Regions near Discontinuities in Reinforced Concrete Members", *ACI Structural Journal*, V.85, No.2, Mar-Apr. 1988, pp. 206-216
10. Mitchell D., and Cook, W.D., "Design of Disturbed Regions", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 533-538.
11. Jirsa, J.O., Breen, J.E., Bergmeister, K., Borton, D., Anderson, R., and Bouadi, H., "Experimental Studies of Node in Strut-and-Tie Model", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 525-532.
12. Schlaich, J., "The Need for Consistent and Translucent Model", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 169-184.
13. Schlaich, J., Schafer, I., Jennewein, M., "Strut-and-Tie Modeling of Structural Concrete", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 235-241.
14. Sundermann, W., and Mutscher, P., "Nonlinear Behaviour of Deep Beam", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp. 385-389.

15. Ramirez, J.A., "Strut-Tie Approach in Higher Strength Concrete Members", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 463-468.
16. Ruckert, K.J., "Design and Analysis with Strut-and-Tie Models - Computer-Aided Methods", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 379-384.
17. Adebar, P., and Zhou, Z., "Bearing Strength of Compressive Struts Confined by Plain Concrete", *ACI Structural Journal*, V.90, No.5, Sep-Oct. 1993, pp. 534-541.
18. Rogowsky, D.M., and MacGregor, J.G., "Design of Reinforced Concrete Deep Beams", *Concrete International : Design & Construction*, V.8, No.8, Aug. 1986, pp. 49-58.
19. MacGregor, J.G., "Dimensioning and Detailing", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 391-409.
20. Marti, P., "Dimensioning and Detailing", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 411-443.
21. Breen, J.E., "Why Structural Concrete?", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 15-25.
22. Adebar, P., Kuchma, D., and Collins, M., "Strut-and-Tie Model for the Design of pile Caps : An Experimental Study", *ACI Structural Journal*, V.87, No.1, Jan-Feb. 1990, pp. 81-92.
23. Bergmeister, K., Breen, J.E., and Jirsa, J.O., "Dimensioning of the Nodes and Development of Reinforcement", IABSE Colloquium "Structural Concrete", Stuttgart April 1991, pp 551-556.
24. Anderson, N., and Ramirez, J.A., "Detailing of Striup Reinforcement", *ACI Structural Journal*, V.86, No.5, Sep-Oct. 1989, pp. 507-515.
25. Johnson, M.K., and Ramirez, J.A., "Minimum Shear Reinforcement in Beams with Higher Strength Concrete", *ACI Structural Journal*, V.86, No.4, Jul-Aug. 1989, pp. 376-382.
26. Reineck, K.H., "Ultimate Shear Force of Structural Concrete Members without Transverse Reinforcement Derived from a Mechanical Model", *ACI Structural Journal*, V.88, No.5, Sep-Oct. 1991, pp. 592-602.
27. Hsu, Thomas T.C., "Softened Truss Model Theory for Shear and Torsion", *ACI Structural Journal*, V.85, No.5, Sep-Oct. 1988, pp. 624-635.
28. Ramirez, J.A., and Breen J.E., "Evaluation of a Modified Truss Model Approach for Beam in Shear" *ACI Structural Journal*, V.88, No.5, Sep-Oct. 1991, pp. 562-571.
29. Regan, P., "Recommendation of Shear and Torsion : A Comparison of ACI and CEB Approachs, SP-59, American Concrete Institute, Detroit 1979, pp159-175.

30. Alshegeir, A., and Ramirez, J.A., "Strut and Tie Approach in Pretensioned Deep Beam", *ACI Structural Journal*, V.89, No.3, May-June. 1992, pp. 296-304.
31. Siao, W.B., "Shear Strength of Short Reinforced Concrete Walls, Corbels, and Deep Beams", *ACI Structural Journal*, V.91, No.2, Mar-Apr. 1994, pp. 123-132.
32. Siao, W.B., "Strut and-Tie Model for Shear Behavior in Deep Beams and Pile Caps Failing in Diagonal Splitting", *ACI Structural Journal*, V.90, No.4, Jul-Aug. 1993, pp. 356-363.
33. Rogowsky, D.M., MacGregor J.G., and Ong, S.Y., "Test of Reinforced Concrete Deep Beams", *ACI Journal Proceedings*, V.83, No.4, Jul-Aug. 1986, pp. 614-623.
34. Ramirez, J.A., Kaufman, M.K., "Re-evaluation of the Ultimate Shear Behavior of High-Strength Concrete Prestressed I-Beam", *ACI Structural Journal*, V.85, No.3, May-June. 1988, pp. 295-303.
35. Park, P., and Pauley, T., *Reinforced Concrete Structure*, John Wiley & Son Inc., New York, 1975, 769pp.
36. Neilson, A., Winter, G., *Design of Concrete Structures*, MacGraw-Hill Inc., Singapore, 1991, 904 pp.
37. สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร, *คอนกรีตเสริมเหล็ก*, พิมพ์ครั้งที่หก พ.ศ. 2527 378 หน้า
38. วัฒนา ธรรมมงคล, อำนวยพานิชกุล, และ วินิต ช่อวิเชียร, *กำลังวัสดุ*, พิมพ์ครั้งที่สี่ พ.ศ. 2527 346 หน้า
39. Collins, M.P., and Mitchell, D., *Prestressed Concrete Structure*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1991, 766 pp.
40. MacGregor, J.G., *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1988, 799 pp.
41. Timoshenko, S.P., and Goodier, J.N., *Theory of Elasticity*, Third Edition, McGraw Hill International Edition 1970, 567 pp.
42. Chandrupatla, T.R., and Belegundu, A.O., *Introduction to Finite Elements in Engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1991, 414 pp.
43. "Design of Deep Girder", *Portland Cement Association*, 1944, 10 pp.
44. ปราโมทย์ เคะชะอำไพ, *ไฟไนท์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*, พิมพ์ครั้งที่หนึ่ง พ.ศ. 2537 ,483 หน้า

ตารางที่ 2.1 แรงดึงตามขวางใต้แผ่นรองรับน้ำหนักกระทำแบบจุด

l_1/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P
0.0	0.523	0.026	0.451	61.00	0.572	0.277
0.1	0.503	0.031	0.466	64.23	0.555	0.241
0.2	0.479	0.040	0.481	67.42	0.542	0.208
0.3	0.454	0.049	0.497	70.60	0.530	0.176
0.4	0.438	0.059	0.503	73.39	0.522	0.149
0.5	0.424	0.065	0.511	76.25	0.515	0.122
0.6	0.414	0.070	0.516	79.03	0.509	0.097
0.7	0.410	0.075	0.515	81.71	0.505	0.073
0.8	0.407	0.078	0.515	84.45	0.502	0.049
0.9	0.407	0.080	0.513	87.21	0.501	0.024
1.0	0.000	0.000	1.000	90.00	0.500	0.000

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า ϵ_1 และกำลังสตรัทคอนกรีตที่มุมเอียงต่างๆ

θ	ϵ_1		f_{ce} / f'_c	
	$\epsilon_x = 0.001$	$\epsilon_x = 0.002$	$\epsilon_x = 0.001$	$\epsilon_x = 0.002$
15	0.0427	0.0577	0.12	0.09
20	0.0236	0.0322	0.21	0.16
25	0.0148	0.0204	0.30	0.23
30	0.0100	0.0140	0.40	0.31
35	0.0071	0.0101	0.50	0.40
40	0.0053	0.0077	0.59	0.48
45	0.0040	0.0060	0.68	0.55
50	0.0031	0.0048	0.75	0.62
55	0.0025	0.0040	0.82	0.68
60	0.0020	0.0033	0.88	0.73
65	0.0017	0.0029	0.93	0.78
70	0.0014	0.0025	0.96	0.81
75	0.0012	0.0023	0.99	0.84

ตารางที่ 3.2 กำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดเมื่อสตรัทมีค่ามุมเอียงต่างๆ

θ	f_{ce} / f'_c	$V / f'_c b z$
15	0.09	0.02
20	0.16	0.05
25	0.23	0.09
30	0.31	0.14
35	0.40	0.19
40	0.48	0.23
45	0.55	0.27
50	0.62	0.30
55	0.68	0.32
60	0.73	0.32
65	0.78	0.30
70	0.81	0.26
75	0.84	0.21

* สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก กำหนดให้ใช้ค่า $\epsilon_x = 0.002$

เมื่อ

$$f_{ce} b z \sin \theta \cos \theta = V$$

ตารางที่ 3.3 แสดงการวิเคราะห์พลังงานสะสมและปริมาตรเหล็กเสริมในแบบจำลองคานตามรูปที่ 3.12

สมมติ คานมีช่วงการเฉือน = 5 ม.

ความกว้างคานเท่ากับ 20 ซม. $b = 20$ ซม.

ความลึกของคอร์ดรับแรงอัดบน $a = 20$ ซม.

ระยะห่างระหว่างคอร์ด $Z = 100$ ซม.

เหล็กเสริม $f_y = 3000$ ksc

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม $A_s = N/f_y$

พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตคอร์ดบน $A_c = b*a = 400$ ซม²

พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตคอร์ดแนวทแยง $A_c = b*z\cos\theta$

พลังงานสะสมในชิ้นส่วนของแบบจำลอง $U = N^2L/2AE$

ปริมาตรเหล็กเสริมที่ต้องการ $V = A_s*L$

Model #2 แบ่งออกเป็น 2 ช่วงๆละ 2.5 ม. สดริทแนวทแยง มีมุมเอียงเท่ากับ 21.80 องศา

ชิ้นส่วน	วัสดุ	แรงภายใน(N)	พื้นที่หน้าตัด(A)	ความยาว(L)	พลังงาน (U)	ปริมาตรเหล็ก	
1	S	2.1E+6	25000	8.33	250.00	4464.29	2083.33
2	S	2.1E+6	50000	16.67	250.00	8928.57	4166.67
3	C	2.6E+5	26927	1856.97	269.27	202.20	
4	C	2.6E+5	26927	1856.97	269.27	202.20	
5	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
6	C	2.6E+5	25000	400.00	250.00	751.20	
รวม						15262.74	6583.33

Model #3 แบ่งออกเป็น 3 ช่วงๆละ 1.666 ม. สดริทแนวทแยง มีมุมเอียงเท่ากับ 31.06 องศา

ชิ้นส่วน	วัสดุ	แรงภายใน(N)	พื้นที่หน้าตัด(A)	ความยาว(L)	พลังงาน (U)	ปริมาตรเหล็ก	
1	S	2.1E+6	16666	5.56	166.66	1983.97	925.85
2	S	2.1E+6	33332	11.11	166.66	3967.94	1851.70
3	S	2.1E+6	49998	16.67	166.66	5951.90	2777.56
4	C	2.6E+5	19439	1715.05	194.39	82.36	
5	C	2.6E+5	19439	1715.05	194.39	82.36	
6	C	2.6E+5	19439	1715.05	194.39	82.36	
7	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33

8	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33	
9	C	2.6E+5	16666	400.00	166.66	222.55		
10	C	2.6E+5	33332	400.00	166.66	890.21		
						รวม	14692.22	6221.78

Model #4 แบ่งออกเป็น 4 ช่วงๆละ 1.25 ม. สดรัทแนวทแยง มีมุมเอียงเท่ากับ 38.66 องศา

ชิ้นส่วน	วัสดุ	แรงภายใน(N)	พื้นที่หน้าตัด(A)	ความยาว(L)	พลังงาน (U)	ปริมาตรเหล็ก	
1	S	2.1E+6	12500	4.17	125.00	520.83	
2	S	2.1E+6	25000	8.33	125.00	1041.67	
3	S	2.1E+6	37500	12.50	125.00	1562.50	
4	S	2.1E+6	50000	16.67	125.00	2083.33	
5	C	2.6E+5	16008	1561.73	160.08	50.51	
6	C	2.6E+5	16008	1561.73	160.08	50.51	
7	C	2.6E+5	16008	1561.73	160.08	50.51	
8	C	2.6E+5	16008	1561.73	160.08	50.51	
9	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	333.33	
10	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	333.33	
11	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	333.33	
12	C	2.6E+5	12500	400.00	125.00	93.90	
13	C	2.6E+5	25000	400.00	125.00	375.60	
14	C	2.6E+5	37500	400.00	125.00	845.10	
					รวม	14820.22	6208.33

Model #5 แบ่งออกเป็น 5 ช่วงๆละ 1.00 ม. สดรัทแนวทแยง มีมุมเอียงเท่ากับ 45 องศา

ชิ้นส่วน	วัสดุ	แรงภายใน(N)	พื้นที่หน้าตัด(A)	ความยาว(L)	พลังงาน (U)	ปริมาตรเหล็ก
1	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	333.33
2	S	2.1E+6	20000	6.67	100.00	666.67
3	S	2.1E+6	30000	10.00	100.00	1000.00
4	S	2.1E+6	40000	13.33	100.00	1333.33
5	S	2.1E+6	50000	16.67	100.00	1666.67
6	C	2.6E+5	14142	1414.21	141.42	38.46
7	C	2.6E+5	14142	1414.21	141.42	38.46
8	C	2.6E+5	14142	1414.21	141.42	38.46

9	C	2.6E+5	14142	1414.21	141.42	38.46		
10	C	2.6E+5	14142	1414.21	141.42	38.46		
11	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33	
12	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33	
13	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33	
14	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33	
15	C	2.6E+5	10000	400.00	100.00	48.08		
16	C	2.6E+5	20000	400.00	100.00	192.31		
17	C	2.6E+5	30000	400.00	100.00	432.69		
18	C	2.6E+5	40000	400.00	100.00	769.23		
						รวม	15206.04	6333.33

Model #6 แบ่งออกเป็น 6 ช่วงๆละ 83.33 ม. สดรัทแนวทแยง มีมุมเอียงเท่ากับ 50.21 องศา

ชิ้นส่วน	วัสดุ	แรงภายใน(N)	พื้นที่หน้าตัด(A)	ความยาว(L)	พลังงาน (U)	ปริมาตรเหล็ก	
1	S	2.1E+6	8333	2.78	83.33	496.03	231.48
2	S	2.1E+6	16667	5.56	83.33	992.06	462.96
3	S	2.1E+6	25000	8.33	83.33	1488.08	694.44
4	S	2.1E+6	33333	11.11	83.33	1984.11	925.92
5	S	2.1E+6	41667	13.89	83.33	2480.14	1157.40
6	S	2.1E+6	50000	16.67	83.33	2976.17	1388.88
7	C	2.6E+5	13015	1280.06	130.15	33.12	
8	C	2.6E+5	13015	1280.06	130.15	33.12	
9	C	2.6E+5	13015	1280.06	130.15	33.12	
10	C	2.6E+5	13015	1280.06	130.15	33.12	
11	C	2.6E+5	13015	1280.06	130.15	33.12	
12	C	2.6E+5	13015	1280.06	130.15	33.12	
13	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
14	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
15	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
16	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
17	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
18	C	2.6E+5	8333	400.00	83.33	27.82	
19	C	2.6E+5	16667	400.00	83.33	111.28	

20	C	2.6E+5	25000	400.00	83.33	250.39	
21	C	2.6E+5	33333	400.00	83.33	445.14	
22	C	2.6E+5	41667	400.00	83.33	695.52	
รวม						15716.88	6527.74

Model #7 แบ่งออกเป็น 7 ช่วงๆละ 71.43 ม. สดรัทแนวทแยง มีมุมเอียงเท่ากับ 54.46 องศา

ชิ้นส่วน	วัสดุ	แรงภายใน(N)	พื้นที่หน้าตัด(A)	ความยาว(L)	พลังงาน (U)	ปริมาตรเหล็ก	
1	S	2.1E+6	7143	2.38	71.43	364.45	170.07
2	S	2.1E+6	14286	4.76	71.43	728.89	340.15
3	S	2.1E+6	21429	7.14	71.43	1093.34	510.22
4	S	2.1E+6	28572	9.52	71.43	1457.78	680.30
5	S	2.1E+6	35715	11.91	71.43	1822.23	850.37
6	S	2.1E+6	42858	14.29	71.43	2186.68	1020.45
7	S	2.1E+6	50001	16.67	71.43	2551.12	1190.52
8	C	2.6E+5	12289	1162.54	122.89	30.70	
9	C	2.6E+5	12289	1162.54	122.89	30.70	
10	C	2.6E+5	12289	1162.54	122.89	30.70	
11	C	2.6E+5	12289	1162.54	122.89	30.70	
12	C	2.6E+5	12289	1162.54	122.89	30.70	
13	C	2.6E+5	12289	1162.54	122.89	30.70	
14	C	2.6E+5	12289	1162.54	122.89	30.70	
15	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
16	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
17	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
18	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
19	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
20	S	2.1E+6	10000	3.33	100.00	714.29	333.33
21	C	2.6E+5	7143	400.00	71.43	17.52	
22	C	2.6E+5	14286	400.00	71.43	70.09	
23	C	2.6E+5	21429	400.00	71.43	157.70	
24	C	2.6E+5	28572	400.00	71.43	280.35	
25	C	2.6E+5	35715	400.00	71.43	438.04	
26	C	2.6E+5	42858	400.00	71.43	630.78	
รวม					16299.61	6762.10	

ตารางที่ 3.4 สรุปพลังงานสะสมและปริมาตรเหล็กที่ต้องการในแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลอง	มุมเอียงสตรัท (องศา)	พลังงานสะสม (กก.-ชม.)	ปริมาตรเหล็กเสริม (ชม. ³)
Model#2	21.80	15262.74	6583.33
Model#3	31.06	14692.22	6221.78
Model#4	38.66	14820.22	6208.33
Model#5	45.00	15206.04	6333.33
Model#6	50.21	15716.88	6527.74
Model#7	54.46	16299.61	6762.10

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่างของแบบจำลองสตรีท-โทของคานเล็ก
กรณีได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน

ก) เมื่อ ความกว้างของจตุรกรรับ $l_1 = l/5$

h/l	t/h	z/l	θ	$C1/Q$	T/Q	C/Q
0.5	0.151	0.338	59.39	0.581	0.296	0.296
0.6	0.137	0.410	63.98	0.556	0.244	0.244
0.7	0.122	0.478	67.28	0.542	0.209	0.209
0.8	0.106	0.536	69.53	0.534	0.187	0.187
0.9	0.093	0.580	70.97	0.529	0.172	0.172
1.0	0.082	0.609	71.81	0.526	0.164	0.164
1.2	0.067	0.632	72.44	0.524	0.158	0.158
1.5	0.054	0.637	72.57	0.524	0.157	0.157

ข) เมื่อ ความกว้างของจตุรกรรับ $l_1 = l/10$

h/l	t/h	z/l	θ	$C1/Q$	T/Q	C/Q
0.5	0.156	0.337	56.24	0.601	0.334	0.334
0.6	0.141	0.408	61.09	0.571	0.276	0.276
0.7	0.124	0.471	64.48	0.554	0.239	0.239
0.8	0.107	0.522	66.68	0.544	0.216	0.216
0.9	0.093	0.556	67.95	0.539	0.203	0.203
1.0	0.084	0.573	68.55	0.537	0.196	0.196
1.2	0.069	0.585	68.95	0.536	0.192	0.192
1.5	0.055	0.585	68.97	0.536	0.192	0.192

ค) เมื่อ ความกว้างของจตุรกรรับ $l_1 = l/20$

h/l	t/h	z/l	θ	$C1/Q$	T/Q	C/Q
0.5	0.157	0.336	54.75	0.612	0.353	0.353
0.6	0.141	0.405	59.63	0.580	0.293	0.293
0.7	0.122	0.467	63.04	0.561	0.254	0.254
0.8	0.106	0.510	65.05	0.551	0.233	0.233
0.9	0.093	0.536	66.09	0.547	0.222	0.222
1.0	0.083	0.549	66.59	0.545	0.216	0.216
1.2	0.069	0.557	66.91	0.544	0.213	0.213
1.5	0.056	0.556	66.86	0.544	0.214	0.214

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่างของแบบจำลองสตรีท-โทของคานเล็ก
กรณีได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง

ก) เมื่อ ความกว้างของจุดรองรับ $l_1 = l/5$

h/l	t/h	z/l	θ	$C1/Q$	T/Q	C/Q
0.5	0.151	0.339	48.49	0.668	0.442	0.442
0.6	0.137	0.410	53.81	0.620	0.366	0.366
0.7	0.122	0.477	57.83	0.591	0.314	0.314
0.8	0.106	0.536	60.76	0.573	0.280	0.280
0.9	0.093	0.580	62.65	0.563	0.259	0.259
1.0	0.082	0.609	63.77	0.557	0.246	0.246
1.2	0.067	0.632	64.61	0.553	0.237	0.237
1.5	0.054	0.637	64.78	0.553	0.235	0.235

ข) เมื่อ ความกว้างของจุดรองรับ $l_1 = l/10$

h/l	t/h	z/l	θ	$C1/Q$	T/Q	C/Q
0.5	0.156	0.337	50.75	0.646	0.408	0.408
0.6	0.141	0.408	55.99	0.603	0.337	0.337
0.7	0.124	0.471	59.74	0.579	0.292	0.292
0.8	0.107	0.522	62.22	0.565	0.263	0.263
0.9	0.093	0.556	63.66	0.558	0.248	0.248
1.0	0.084	0.573	64.35	0.555	0.240	0.240
1.2	0.069	0.585	64.80	0.553	0.235	0.235
1.5	0.056	0.585	64.83	0.552	0.235	0.235

ค) เมื่อ ความกว้างของจุดรองรับ $l_1 = l/20$

h/l	t/h	z/l	θ	$C1/Q$	T/Q	C/Q
0.5	0.157	0.336	52.00	0.634	0.391	0.391
0.6	0.141	0.405	57.07	0.596	0.324	0.324
0.7	0.122	0.467	60.65	0.574	0.281	0.281
0.8	0.106	0.510	62.78	0.562	0.257	0.257
0.9	0.093	0.536	63.90	0.557	0.245	0.245
1.0	0.083	0.549	64.43	0.554	0.239	0.239
1.2	0.069	0.557	64.77	0.553	0.236	0.236
1.5	0.056	0.556	64.72	0.553	0.236	0.236

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่างแบบจำลองสตรีท-ไทของคานลึก
กรณีได้รับน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ผิวบน

ก) เมื่อ $l_2 = l/20$, $l_1 = l/20$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.174	0.107	0.719	36.41	0.842	0.678	0.678
0.6	0.168	0.092	0.740	42.33	0.743	0.549	0.549
0.7	0.156	0.076	0.768	47.80	0.675	0.453	0.453
0.8	0.138	0.058	0.804	52.85	0.627	0.379	0.379
0.9	0.117	0.037	0.847	57.39	0.594	0.320	0.320
1.0	0.098	0.029	0.873	60.82	0.573	0.279	0.279

ข) เมื่อ $l_2 = l/20$, $l_1 = l/10$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.176	0.099	0.725	36.64	0.838	0.672	0.672
0.6	0.168	0.082	0.750	42.69	0.737	0.542	0.542
0.7	0.160	0.064	0.776	48.09	0.672	0.449	0.449
0.8	0.148	0.046	0.807	52.94	0.627	0.378	0.378
0.9	0.131	0.031	0.838	57.13	0.595	0.323	0.323
1.0	0.109	0.025	0.866	60.62	0.574	0.281	0.281

ค) เมื่อ $l_2 = l/20$, $l_1 = l/5$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.177	0.091	0.732	36.89	0.833	0.666	0.666
0.6	0.168	0.075	0.757	42.96	0.734	0.537	0.537
0.7	0.163	0.057	0.780	48.23	0.670	0.447	0.447
0.8	0.156	0.041	0.802	52.78	0.628	0.380	0.380
0.9	0.147	0.031	0.822	56.63	0.599	0.329	0.329
1.0	0.136	0.025	0.839	59.84	0.578	0.291	0.291

ง) เมื่อ $l_2 = l/10$, $l_1 = l/20$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.172	0.117	0.712	36.84	0.834	0.668	0.668
0.6	0.166	0.103	0.731	42.72	0.737	0.541	0.541
0.7	0.154	0.088	0.758	48.16	0.671	0.448	0.448
0.8	0.136	0.072	0.791	53.12	0.625	0.375	0.375
0.9	0.115	0.056	0.828	57.50	0.593	0.319	0.319
1.0	0.097	0.060	0.843	60.60	0.574	0.282	0.282

จ) เมื่อ $l_2 = l/10$, $l_1 = l/10$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.173	0.114	0.713	36.88	0.833	0.666	0.666
0.6	0.167	0.100	0.734	42.83	0.735	0.539	0.539
0.7	0.159	0.084	0.758	48.16	0.671	0.448	0.448
0.8	0.146	0.065	0.789	53.03	0.626	0.376	0.376
0.9	0.129	0.048	0.824	57.35	0.594	0.320	0.320
1.0	0.108	0.037	0.855	60.94	0.572	0.278	0.278

ข) เมื่อ $l_2 = l/10$, $l_1 = l/5$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.174	0.108	0.718	37.08	0.829	0.662	0.662
0.6	0.168	0.093	0.738	43.00	0.733	0.536	0.536
0.7	0.163	0.076	0.761	48.29	0.670	0.446	0.446
0.8	0.156	0.060	0.785	52.88	0.627	0.378	0.378
0.9	0.146	0.047	0.807	56.82	0.597	0.327	0.327
1.0	0.135	0.038	0.827	60.14	0.577	0.287	0.287

ข) เมื่อ $l_2 = l/5$, $l_1 = l/20$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.170	0.130	0.700	37.87	0.815	0.643	0.643
0.6	0.163	0.117	0.720	43.82	0.722	0.521	0.521
0.7	0.152	0.105	0.744	49.15	0.661	0.432	0.432
0.8	0.134	0.092	0.774	53.99	0.618	0.363	0.363
0.9	0.114	0.079	0.807	58.22	0.588	0.310	0.310
1.0	0.097	0.079	0.825	61.38	0.570	0.273	0.273

ข) เมื่อ $l_2 = l/5$, $l_1 = l/10$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.171	0.127	0.702	37.95	0.813	0.641	0.641
0.6	0.167	0.114	0.719	43.80	0.722	0.521	0.521
0.7	0.159	0.100	0.741	49.07	0.662	0.434	0.434
0.8	0.146	0.084	0.770	53.86	0.619	0.365	0.365
0.9	0.128	0.065	0.807	58.21	0.588	0.310	0.310
1.0	0.106	0.050	0.844	61.95	0.567	0.266	0.266

ค) เมื่อ $l_2 = l/5$, $l_1 = l/5$

h/l	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.170	0.122	0.709	38.21	0.808	0.635	0.635
0.6	0.170	0.109	0.722	43.91	0.721	0.519	0.519
0.7	0.161	0.093	0.746	49.24	0.660	0.431	0.431
0.8	0.154	0.077	0.769	53.83	0.619	0.366	0.366
0.9	0.144	0.062	0.794	57.80	0.591	0.315	0.315
1.0	0.132	0.050	0.818	61.17	0.571	0.275	0.275

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่างแบบจำลองสตรีท-ไทของคานเล็ก
กรณีได้รับน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง

ก) เมื่อ $l_2 = l/20$, $l_1 = l/20$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.105	0.355	51.42	0.640	0.399	0.688
0.6	0.083	0.428	60.66	0.574	0.281	0.570
0.7	0.066	0.485	66.87	0.544	0.214	0.502
0.8	0.055	0.523	70.46	0.531	0.177	0.466
0.9	0.047	0.544	72.30	0.525	0.160	0.448
1.0	0.042	0.554	73.16	0.522	0.151	0.440

ข) เมื่อ $l_2 = l/20$, $l_1 = l/10$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.096	0.358	51.92	0.635	0.392	0.680
0.6	0.075	0.433	61.25	0.570	0.274	0.563
0.7	0.059	0.495	67.79	0.540	0.204	0.493
0.8	0.048	0.537	71.73	0.527	0.165	0.454
0.9	0.040	0.563	73.88	0.520	0.145	0.433
1.0	0.034	0.576	74.95	0.518	0.134	0.423

ค) เมื่อ $l_2 = l/20$, $l_1 = l/5$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.087	0.360	52.13	0.633	0.389	0.677
0.6	0.069	0.434	61.37	0.570	0.273	0.562
0.7	0.054	0.499	68.22	0.538	0.200	0.488
0.8	0.043	0.548	72.66	0.524	0.156	0.445
0.9	0.036	0.580	75.22	0.517	0.132	0.421
1.0	0.031	0.595	76.40	0.514	0.121	0.410

จ) เมื่อ $l_2 = l/10$, $l_1 = l/20$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.113	0.351	52.19	0.633	0.388	0.677
0.6	0.092	0.424	61.49	0.569	0.272	0.560
0.7	0.075	0.482	67.79	0.540	0.204	0.493
0.8	0.063	0.520	71.39	0.528	0.168	0.457
0.9	0.054	0.541	73.23	0.522	0.151	0.439
1.0	0.048	0.551	74.11	0.520	0.142	0.431

ข) เมื่อ $l_2 = l/10$, $l_1 = l/10$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.111	0.352	52.30	0.632	0.386	0.675
0.6	0.091	0.426	61.76	0.568	0.269	0.557
0.7	0.073	0.488	68.43	0.538	0.198	0.486
0.8	0.061	0.531	72.42	0.524	0.158	0.447
0.9	0.053	0.557	74.60	0.519	0.138	0.426
1.0	0.046	0.570	75.64	0.516	0.128	0.417

ค) เมื่อ $l_2 = l/10$, $l_1 = l/5$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.104	0.353	52.41	0.631	0.385	0.674
0.6	0.085	0.427	61.86	0.567	0.267	0.556
0.7	0.070	0.493	68.85	0.536	0.193	0.482
0.8	0.058	0.543	73.40	0.522	0.149	0.438
0.9	0.049	0.576	76.11	0.515	0.124	0.412
1.0	0.043	0.596	77.61	0.512	0.110	0.398

ข) เมื่อ $l_2 = l/5$, $l_1 = l/20$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.124	0.347	54.29	0.616	0.359	0.648
0.6	0.105	0.418	63.41	0.559	0.250	0.539
0.7	0.087	0.476	69.84	0.533	0.184	0.472
0.8	0.073	0.518	73.71	0.521	0.146	0.435
0.9	0.063	0.539	75.55	0.516	0.129	0.418
1.0	0.057	0.549	76.40	0.514	0.121	0.410

ข) เมื่อ $l_2 = l/5$, $l_1 = l/10$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.123	0.348	54.38	0.615	0.358	0.647
0.6	0.104	0.420	63.67	0.558	0.247	0.536
0.7	0.086	0.482	70.42	0.531	0.178	0.467
0.8	0.072	0.529	74.71	0.518	0.137	0.425
0.9	0.062	0.556	76.91	0.513	0.116	0.405
1.0	0.055	0.570	77.99	0.511	0.106	0.395

ข) เมื่อ $l_2 = l/5$, $l_1 = l/5$

h/l	t/h	z/l	θ	C_1/P	T/P	C/P
0.5	0.117	0.348	54.41	0.615	0.358	0.647
0.6	0.098	0.422	63.94	0.557	0.245	0.533
0.7	0.082	0.488	71.02	0.529	0.172	0.461
0.8	0.069	0.541	75.72	0.516	0.127	0.416
0.9	0.059	0.575	78.43	0.510	0.102	0.391
1.0	0.052	0.596	79.92	0.508	0.089	0.378

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่างแบบจำลองสตรีท-โทของฐานราก

ก) เมื่อจำลองให้เสาเข็มในระนาบเป็น 2 ต้น

h/D	b/D	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
2.0	1.0	0.163	0.151	0.686	47.65	0.677	0.456	0.456
	1.5	0.155	0.174	0.670	50.00	0.653	0.420	0.420
	2.0	0.146	0.190	0.665	53.04	0.626	0.376	0.376
3.0	1.0	0.141	0.105	0.754	61.07	0.571	0.276	0.276
	1.5	0.126	0.137	0.736	63.01	0.561	0.255	0.255
	2.0	0.114	0.170	0.716	65.03	0.552	0.233	0.233

ข) เมื่อจำลองให้เสาเข็มในระนาบเป็น 3 ต้น

h/D	b/d	t/h	c/h	z/h	θ	C_1/P	T/P	C/P
2.0	1.0	0.184	0.154	0.662	26.41	0.749	0.671	0.671
	1.5	0.181	0.170	0.649	27.44	0.723	0.642	0.642
	2.0	0.179	0.180	0.641	28.79	0.692	0.607	0.607
3.0	1.0	0.204	0.121	0.675	37.20	0.551	0.439	0.439
	1.5	0.199	0.139	0.662	38.47	0.536	0.420	0.420
	2.0	0.194	0.152	0.654	40.07	0.518	0.396	0.396

ค) เมื่อจำลองให้เสาเข็มในระนาบเป็น 4 ต้น

h/D	b/D	t/h	c/h	z/h	θ_1	C_1/P	T_1/P	θ_2	C_2/P	T_2/P	C/P
2.0	1.0	0.170	0.164	0.666	19.93	0.733	0.690	40.33	0.386	0.984	0.984
	1.5	0.167	0.177	0.656	20.72	0.707	0.661	40.85	0.382	0.950	0.950
	2.0	0.163	0.186	0.651	21.63	0.678	0.630	41.73	0.376	0.911	0.911
3.0	1.0	0.168	0.137	0.696	29.06	0.515	0.450	53.86	0.310	0.632	0.632
	1.5	0.165	0.153	0.682	30.03	0.500	0.432	54.15	0.308	0.613	0.613
	2.0	0.161	0.166	0.673	31.16	0.483	0.413	54.76	0.306	0.590	0.590

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กปลอกกับกำลังรับแรงเฉือนเมื่อสครัทมีมุมเอียงต่างๆ

$V/bd f'_c$	$A_v f_y / b s f'_c$					
	25°	30°	35°	40°	45°	ACI
0	0	0	0	0	0	0
0.02	0.010	0.013	0.016	0.019	0.022	0
0.04	0.021	0.026	0.031	0.037	0.044	0.010
0.06	0.031	0.038	0.047	0.056	0.067	0.030
0.08	0.041	0.051	0.062	0.075	0.089	0.050
0.10	0.052	0.064	0.078	0.093	0.111	0.070
0.12	0.062	0.077	0.093	0.112	0.133	0.090
0.14	0.073	0.090	0.109	0.131	0.156	0.110
0.16	0.083	0.103	0.124	0.149	0.178	0.130
0.18	0.093	0.115	0.140	0.168	0.200	0.150
0.20	0.104	0.128	0.156	0.186	0.222	0.170

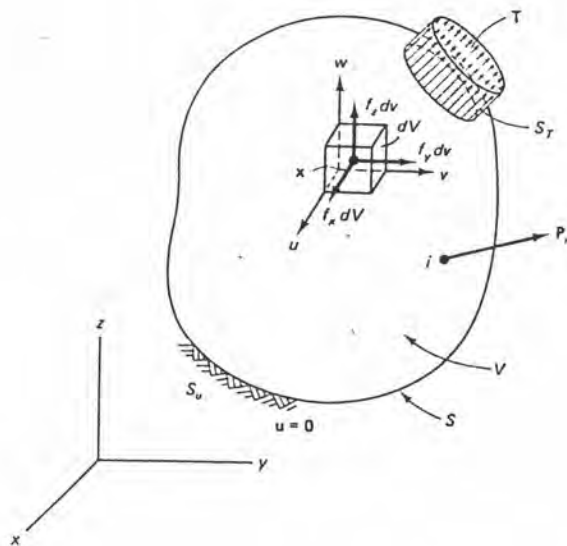
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของคานเหล็กได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน

ก) วิธีการสตรัท-ไท

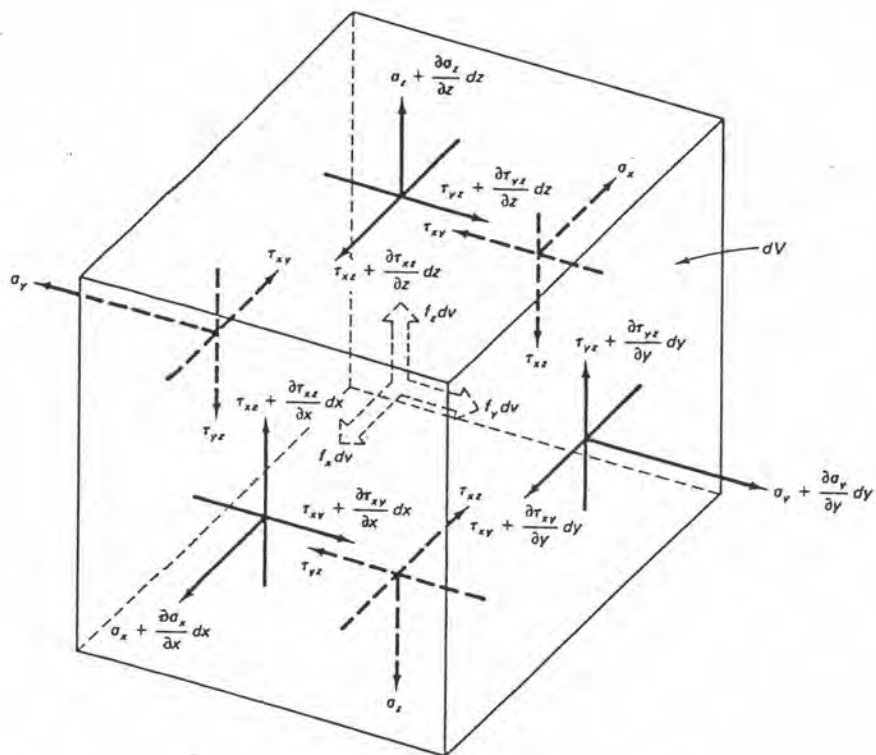
l/h	θ	w	C_1	V_1	V/bdf_c
1	68	26.04	93729	86904	0.161
2	56	27.76	99936	82851	0.153
3	42	28.25	101684	68040	0.126
4	34	27.76	99953	55893	0.104
5	28	27.05	97374	45714	0.085

ข) ACI code

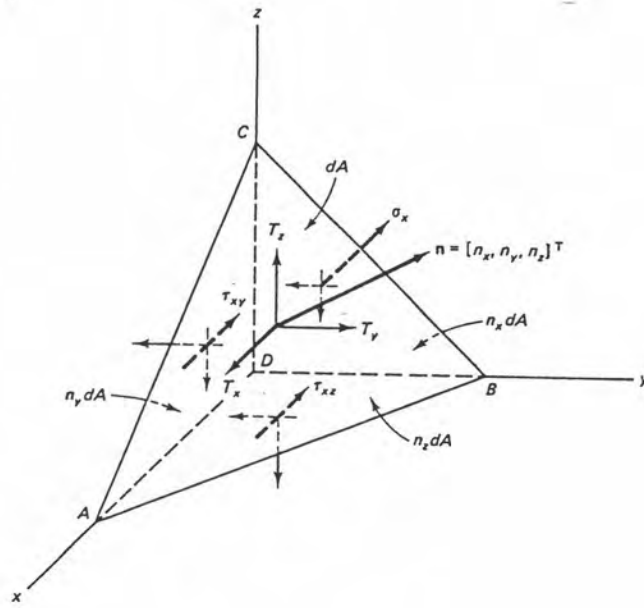
l/h	l_n	V_u	M_u	$M_u/V_u d$	$(3.5-2.5M_u/V_u d)$	V_c	V_1	V_1/bdf_c
1	0.8	0.28	0.086	0.340	2.500	42139	75248	0.139
2	1.8	0.63	0.302	0.532	2.170	37001	58732	0.109
3	2.8	0.98	0.645	0.731	1.672	29237	44751	0.083
4	3.8	1.33	1.116	0.932	1.170	21408	32193	0.060
5	4.8	1.68	1.714	1.133	1.000	18756	27911	0.052



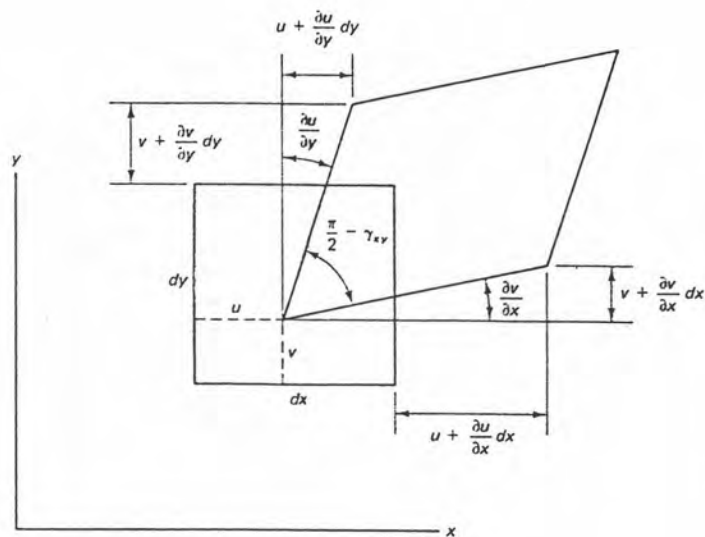
รูปที่ 2.1 วัตถุอีลาสติกสามมิติ



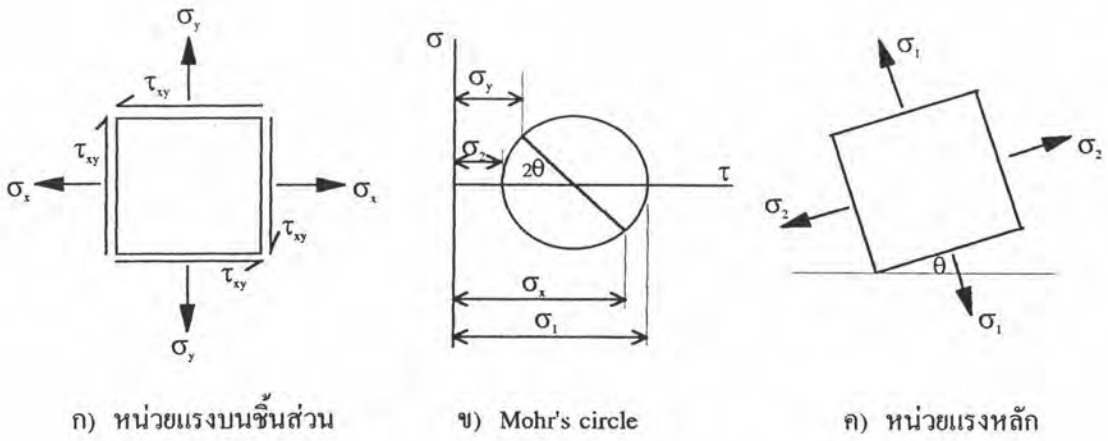
รูปที่ 2.2 สมดุลของชิ้นส่วนสามมิติ



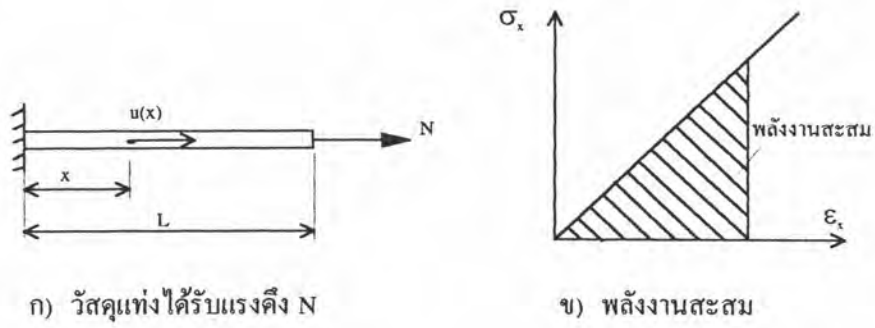
รูปที่ 2.3 ผิวของวัตถุสามมิติ



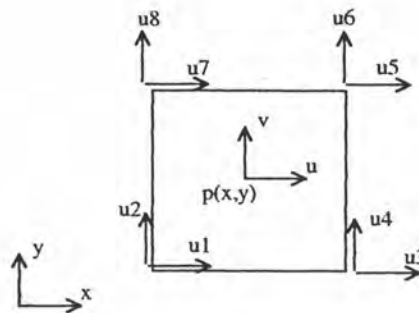
รูปที่ 2.4 การยืดหดตัวของชิ้นส่วน



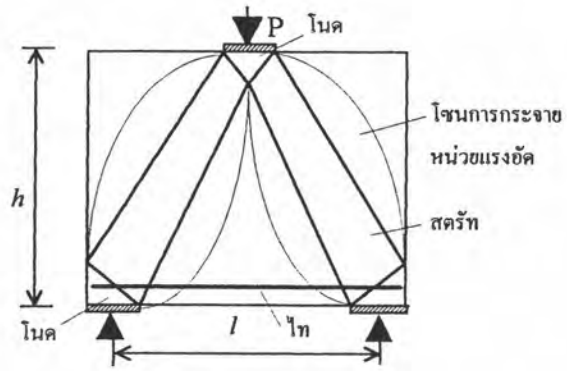
รูปที่ 2.5 หน่วยแรงหลัก



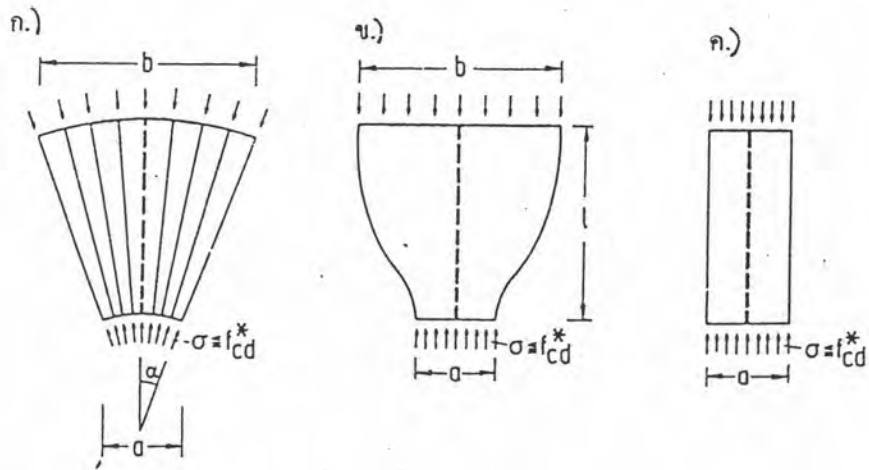
รูปที่ 2.6 พลังงานสะสม



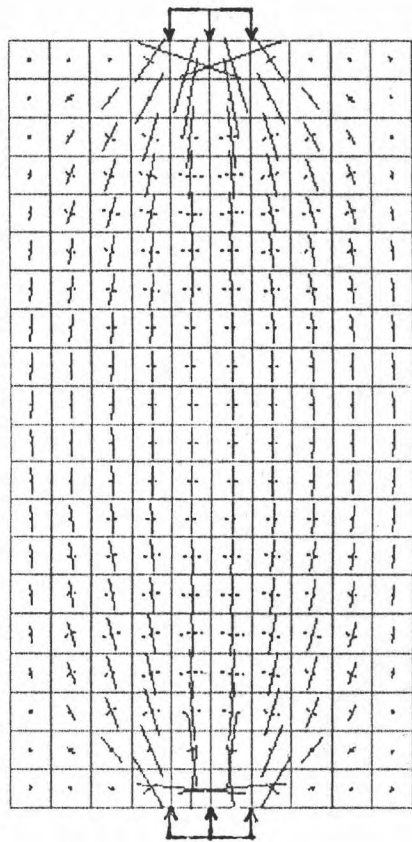
รูปที่ 2.7 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยม(Quadrilateral)



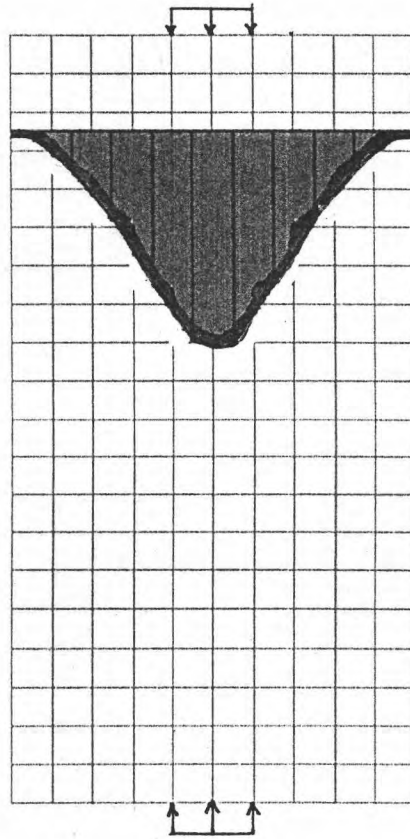
รูปที่ 2.8 องค์ประกอบในแบบจำลองสตรัท-ไท



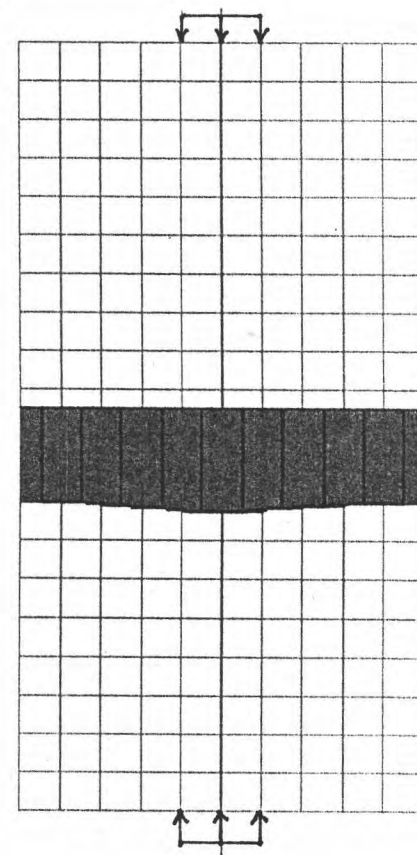
รูปที่ 2.9 ลักษณะพื้นฐานของแรงอัด ก) รูปพัด(fan) ข) รูปขวด(bottle) ค) รูปปริซึม(prism)



ก) หน่วยแรงหลัก

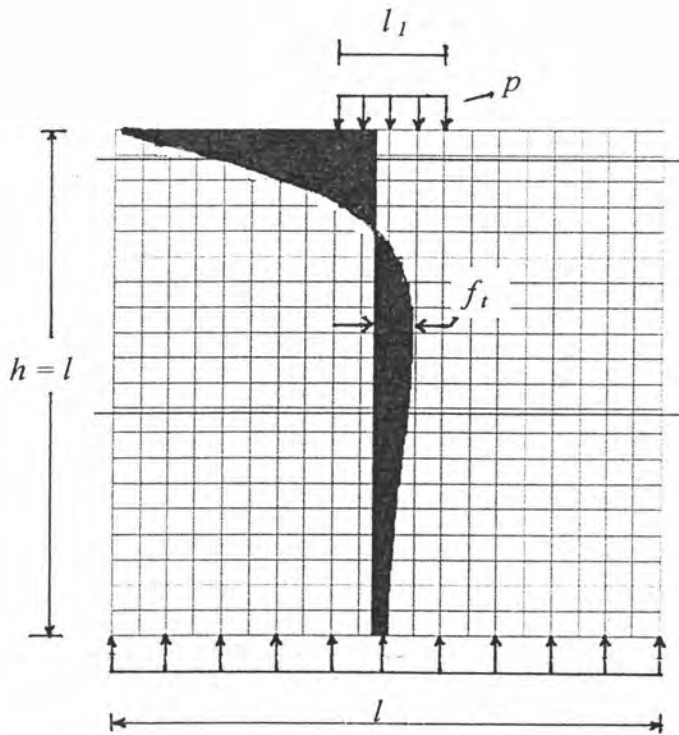


ข) การกระจายของ σ_y

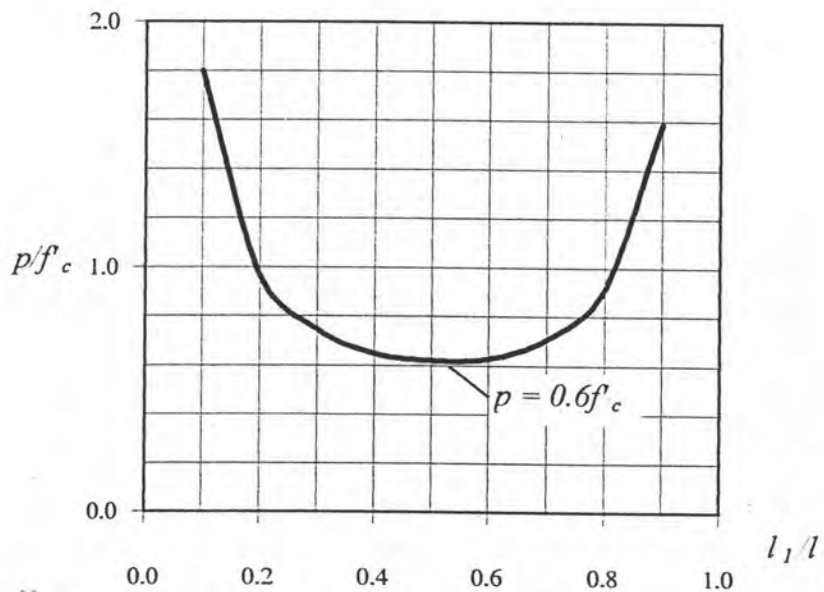


ค) การกระจายของ σ_y ที่ระยะไกล

รูปที่ 2.10 การกระจายหน่วยแรงอัดของสตรัทรูปคอกขวด

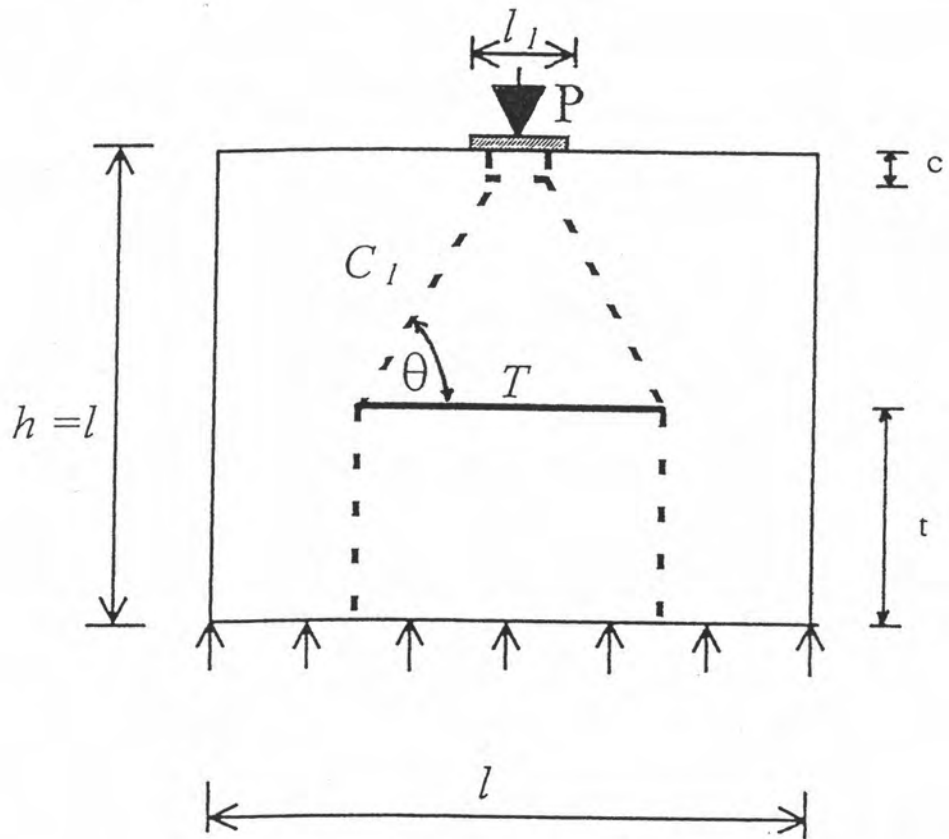


ก) การกระจายของหน่วยแรง σ_x



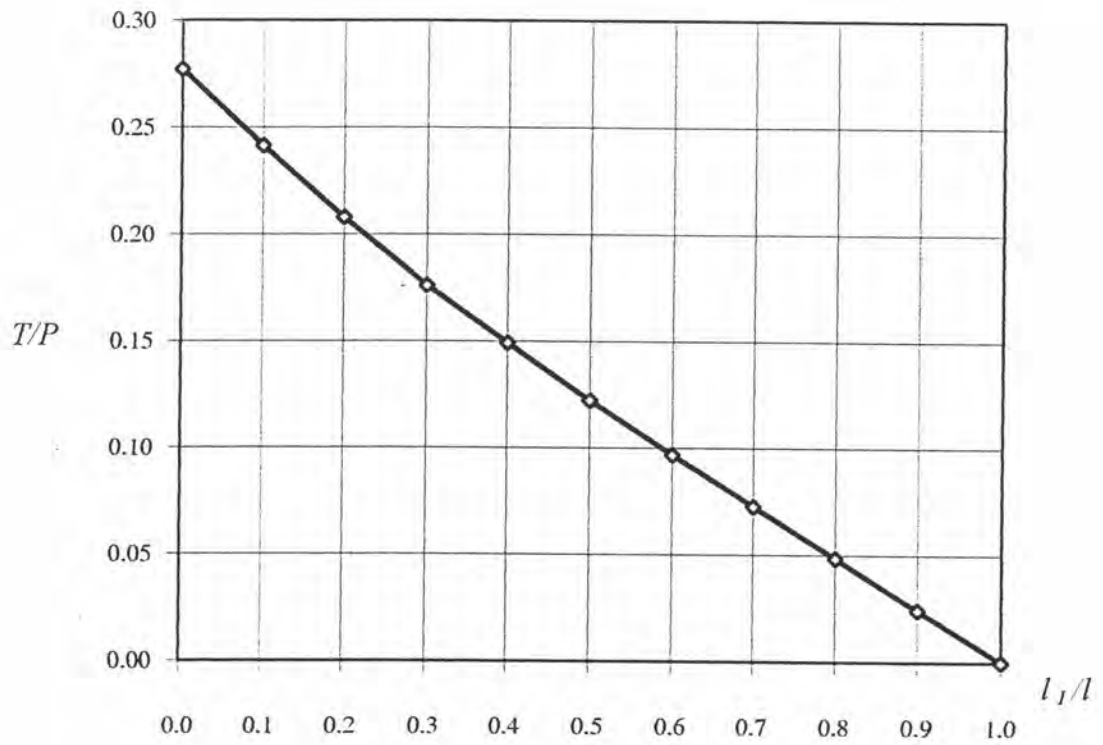
ข) หน่วยแรงได้แผ่นรองรับที่ปลอดภัยสำหรับกรณีไม่ให้เกิดการร้าวในคอนกรีต
เมื่อจำกัดกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต $f_{ct} = f_c/15$

รูปที่ 2.11 หน่วยแรงดึงตามขวางได้นำหนักกระทำแบบจุด

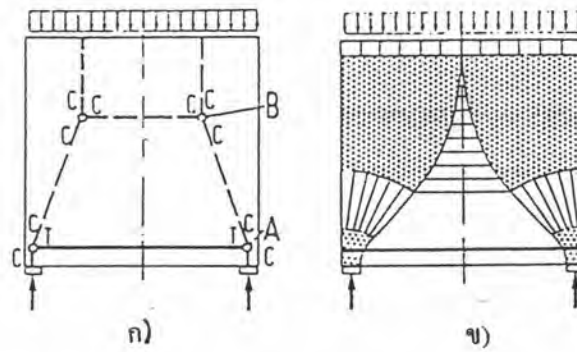


ค) แบบจำลองสตรัท-ไท

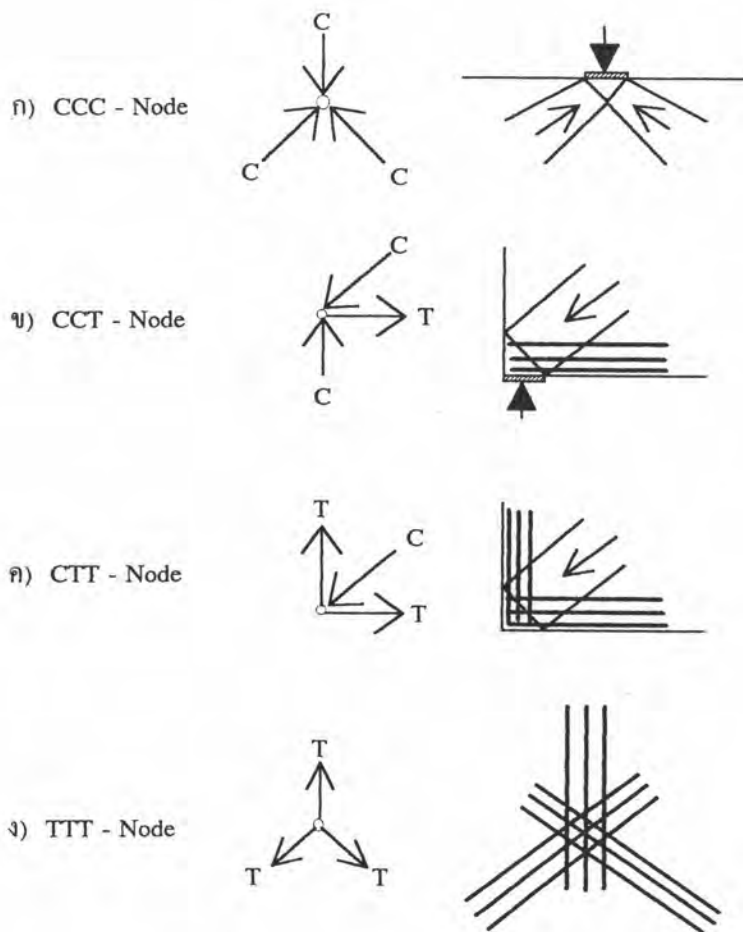
รูปที่ 2.11(ต่อ) หน่วยแรงดึงตามขวางได้น้ำหนักกระทำแบบจุด



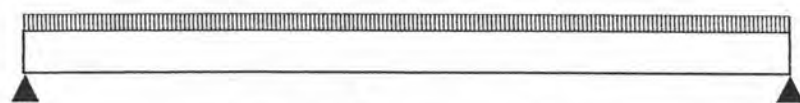
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของขนาดแรงดึงตามขวางในสตรีทกับขนาดแผ่นรองรับ



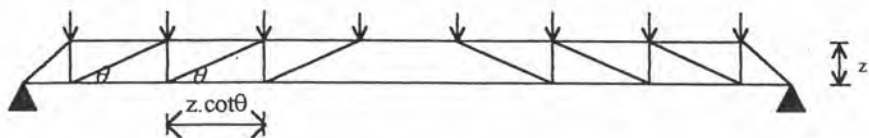
รูปที่ 2.13 คานลึกลงน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ ก) แบบจำลอง ข) บริเวณการกระจายหน่วยแรง



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของโนดแบบต่างๆ

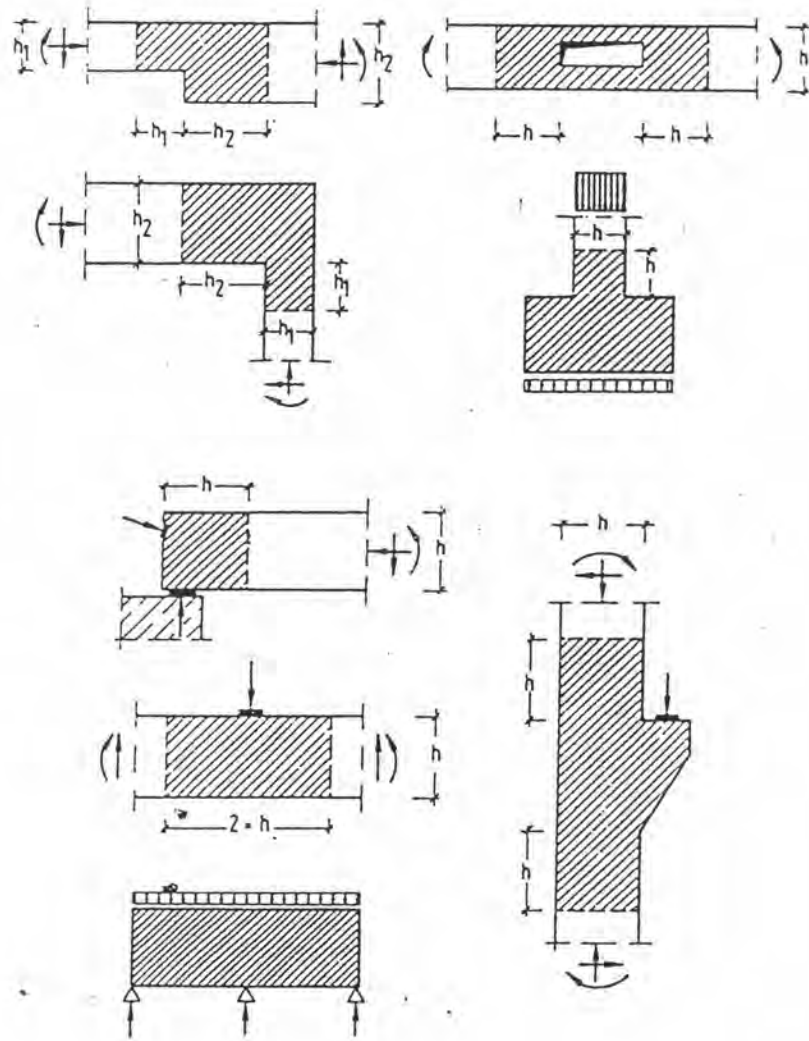


(ก) คานรับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

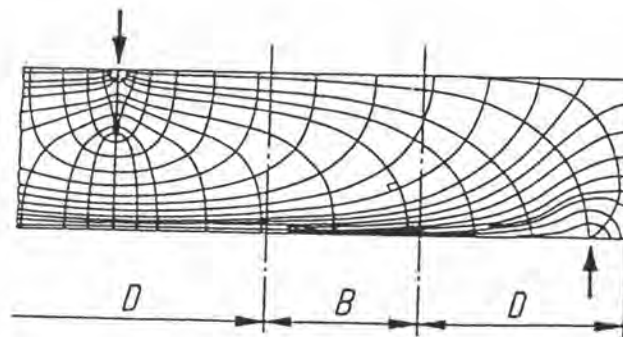


(ข) แบบจำลองสตรัท-ไท

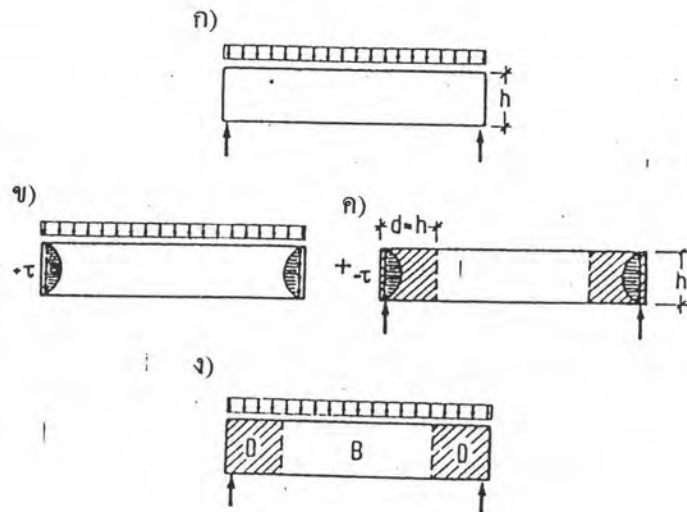
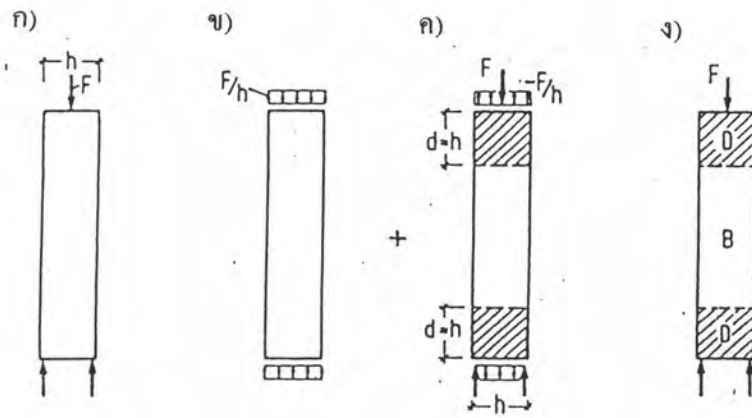
รูปที่ 2.15 แบบจำลองสตรัท-ไท ของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก



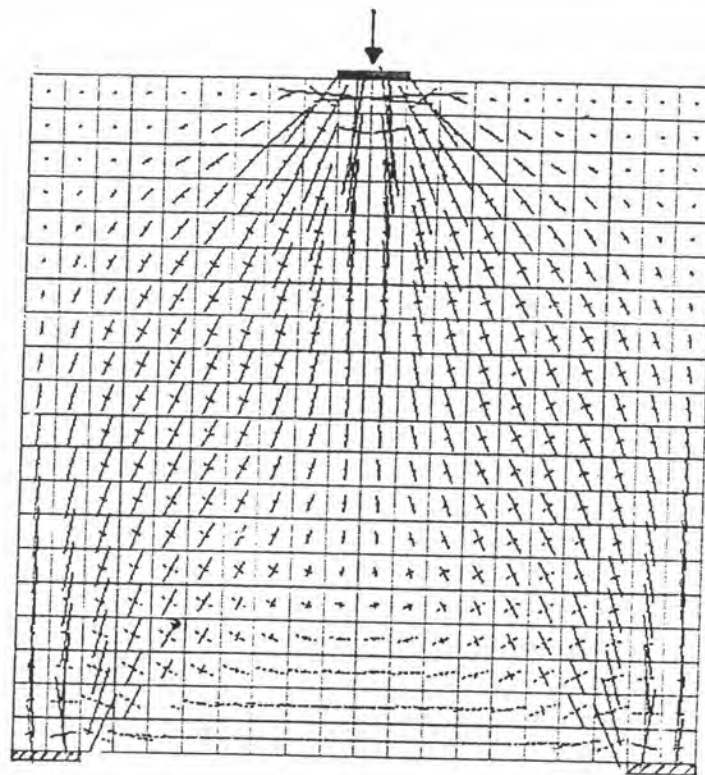
รูปที่ 2.16 แสดงส่วน D-regions (ส่วนที่แฉง)ที่มีการกระจายความเค้นแบบไร้เส้นตรงอันเนื่องมาจาก (ก) ความไม่ต่อเนื่องของรูปร่างชิ้นส่วนนั้น (ข) การได้รับแรงกระทำแบบจุด



รูปที่ 2.17 แสดงแนวทิศทางของหน่วยแรงในส่วน B-regions และส่วน D-regions

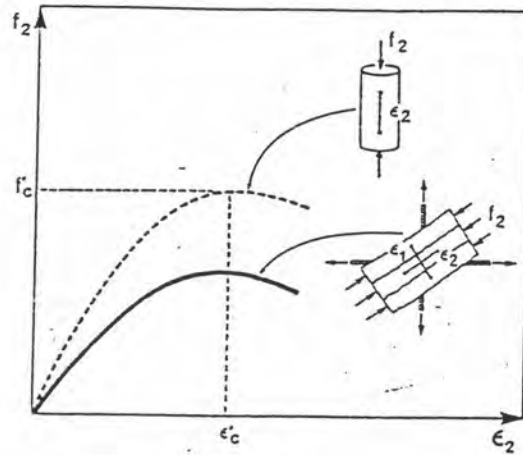


รูปที่ 2.18 แสดงการแบ่งส่วนโครงสร้างออกเป็น B-regions และ D-regions โดยใช้หลักการของ Saint Venent

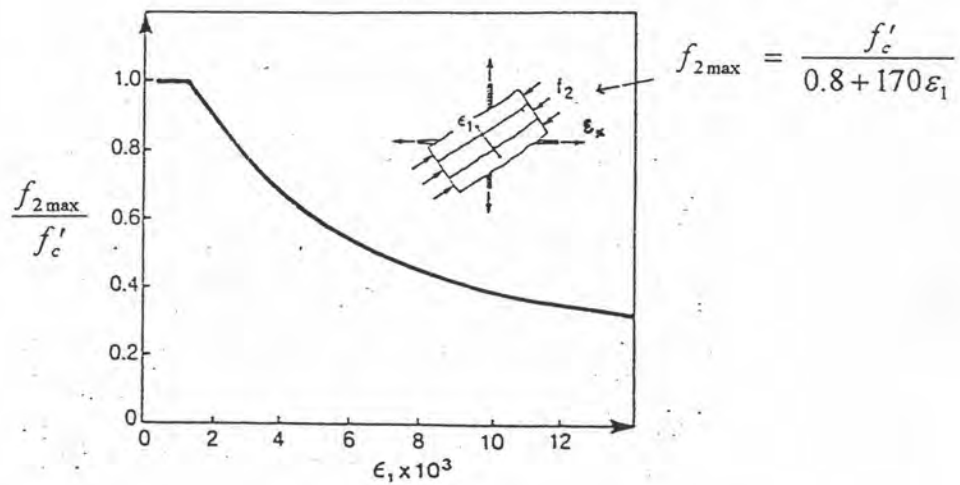


———— หน่วยแรงอัดหลัก
 - - - - - หน่วยแรงดึงหลัก

รูปที่ 2.19 การกระจายของหน่วยแรงหลัก(Principal stress)จากผลของโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์

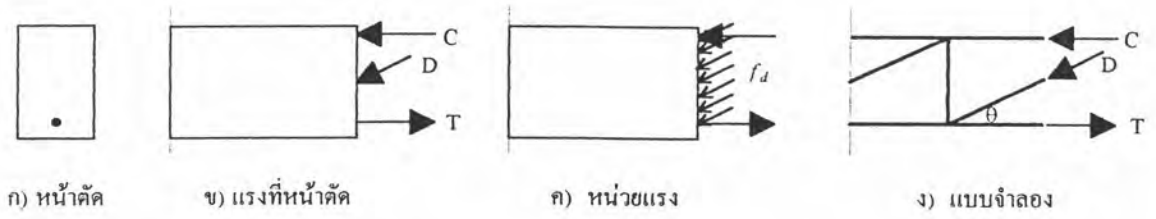


ก) การอ่อนตัวลงของคอนกรีตจากความเครียดดึงตามขวาง(transverse tensile strain)

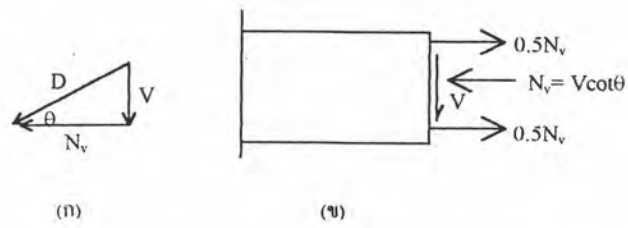


ข) เมื่อความเครียดดึงตามขวาง ϵ_1 เพิ่มขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตยิ่งลดลง

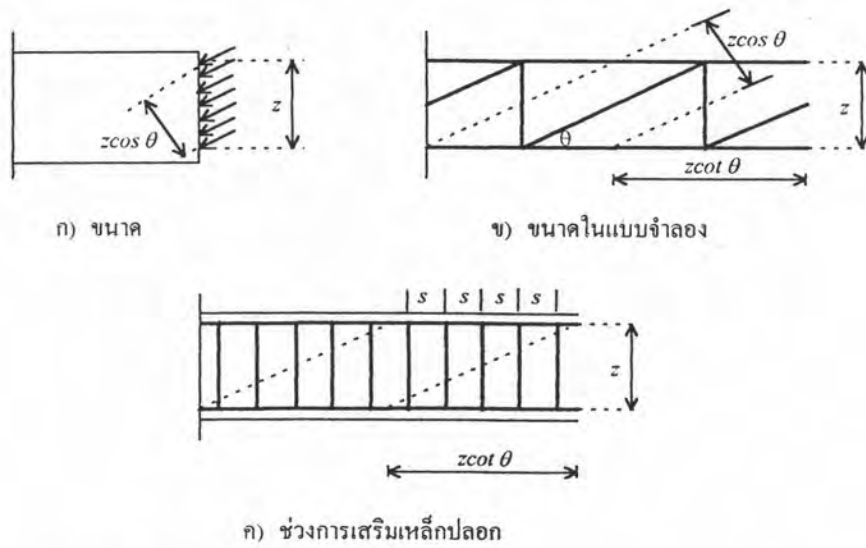
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีตร้าวที่รับแรงอัดแนวทแยง



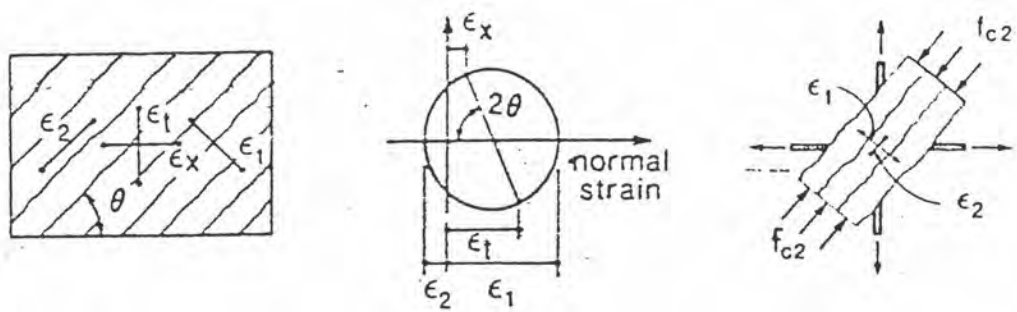
รูปที่ 3.1 สมดุลของแรงที่หน้าตัด



รูปที่ 3.2 แรงดึงในแนวราบจากผลของแรงเฉือนที่หน้าตัด



รูปที่ 3.3 ขนาดสตรัทแนวทแยง และช่วงกว้างของแรงดึงในแนวตั้ง

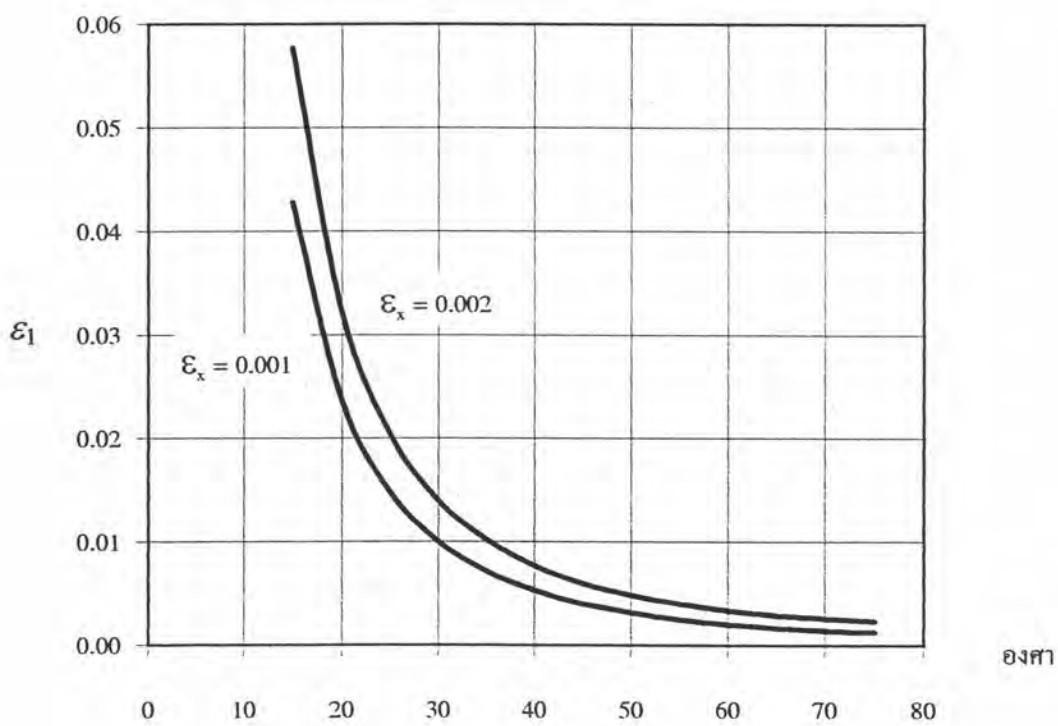


ก) ความเครียด

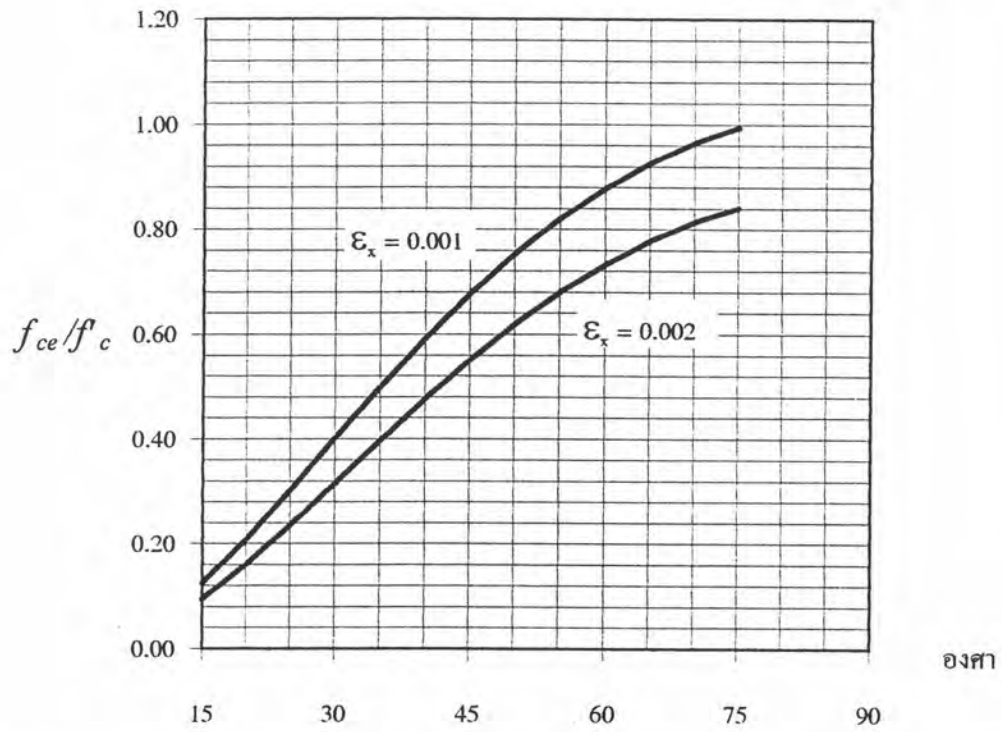
ข) Mohr's Circle

ค) คอนกรีตรับแรงอัดแนวทแยง

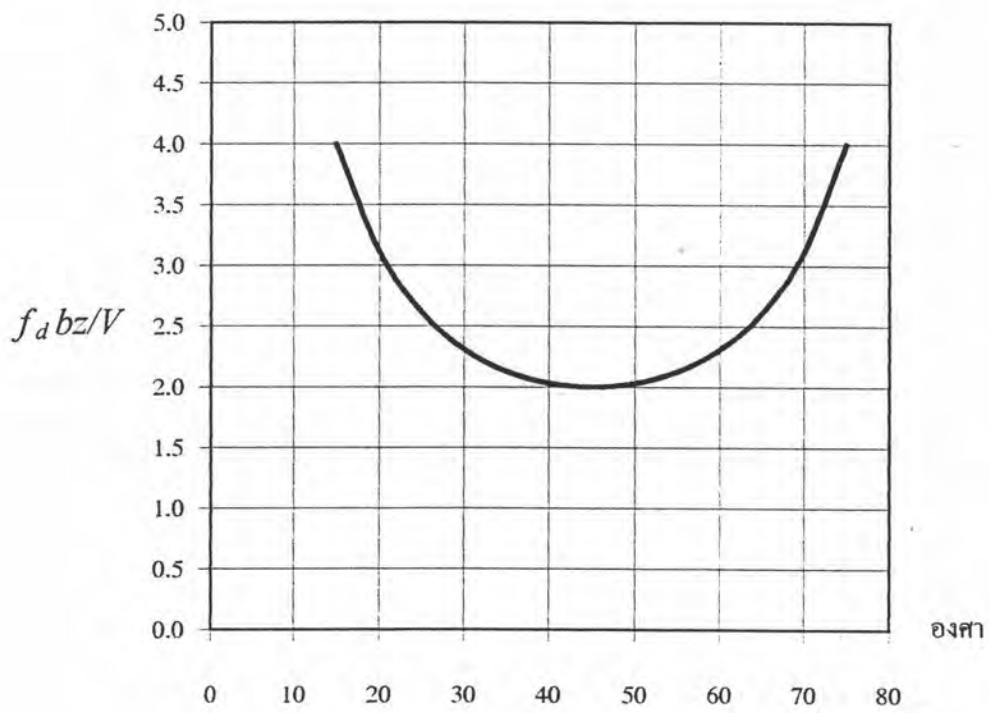
รูปที่ 3.4 ความเครียดในคอนกรีต



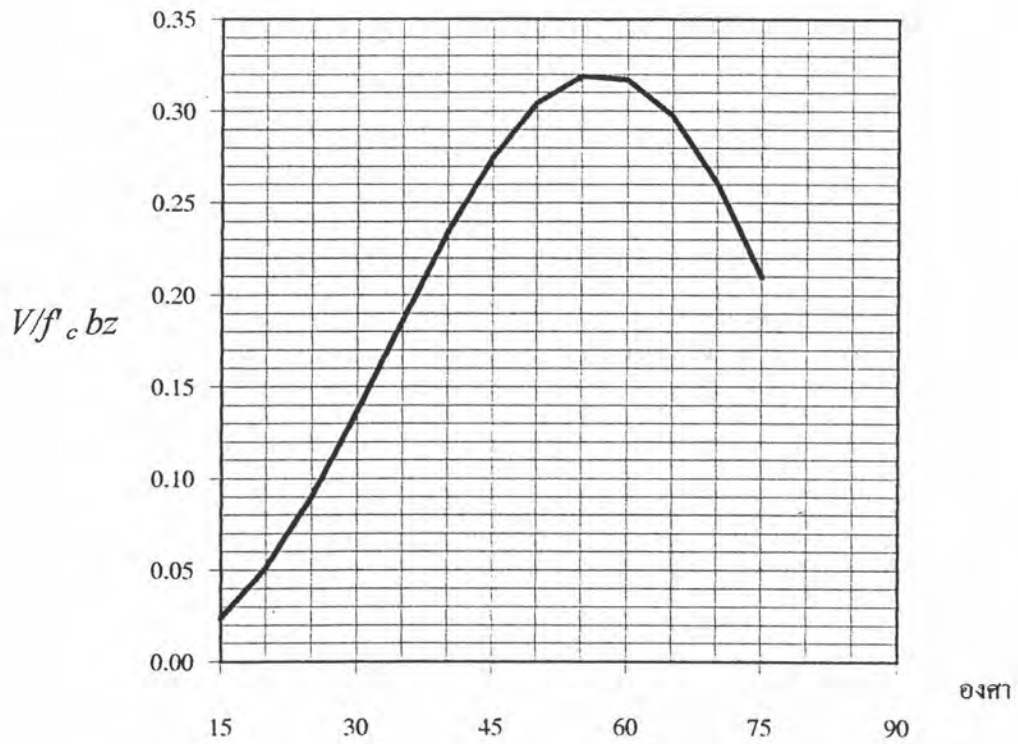
รูปที่ 3.5 ค่าความเค้นค้ำ ϵ_1 เมื่อสตรัทคอนกรีตมีมุมเอียงต่างๆ



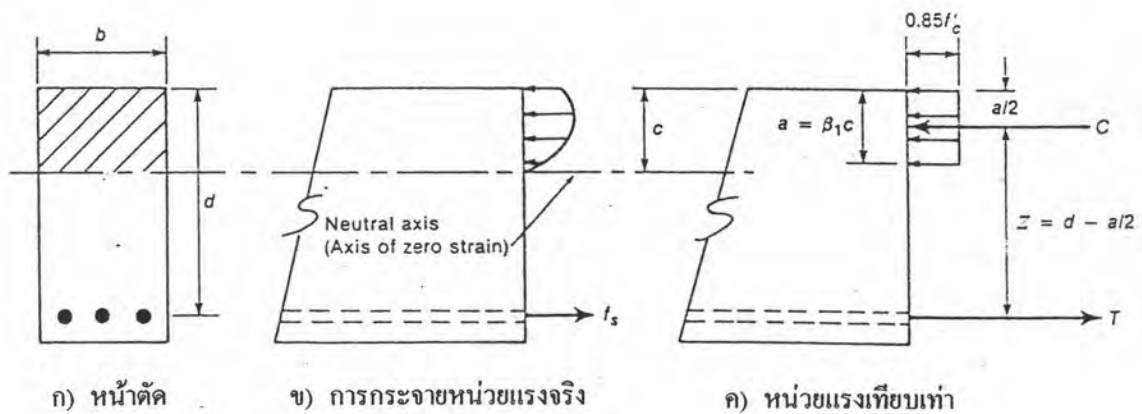
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของสกริปกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแนวทแยง



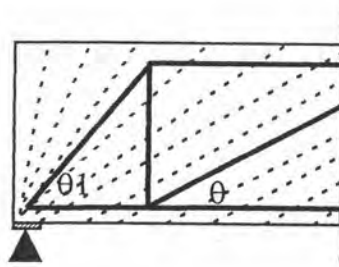
รูปที่ 3.7 หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในสกริปคอนกรีต



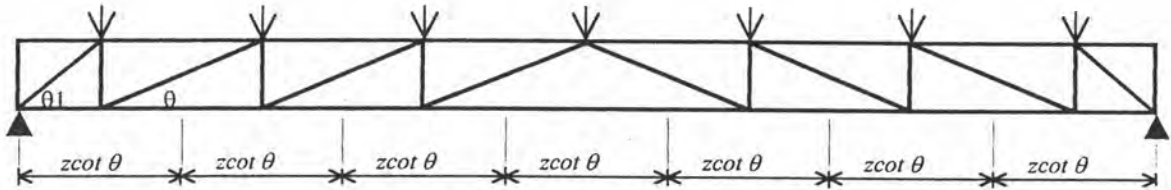
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของสตรัทกับกำลังรับแรงเฉือนที่หน้าตัด



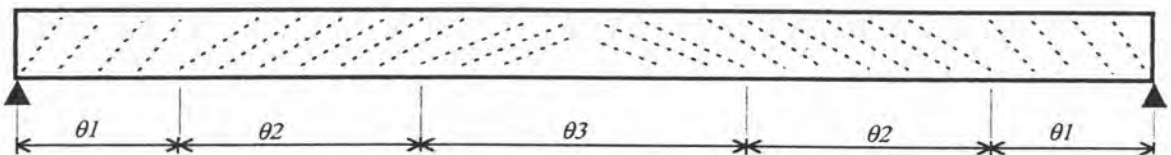
รูปที่ 3.9 หน่วยแรงที่หน้าตัดและการกำหนดระยะระหว่างคอร์คบน-ล่าง (z) ของแบบจำลอง



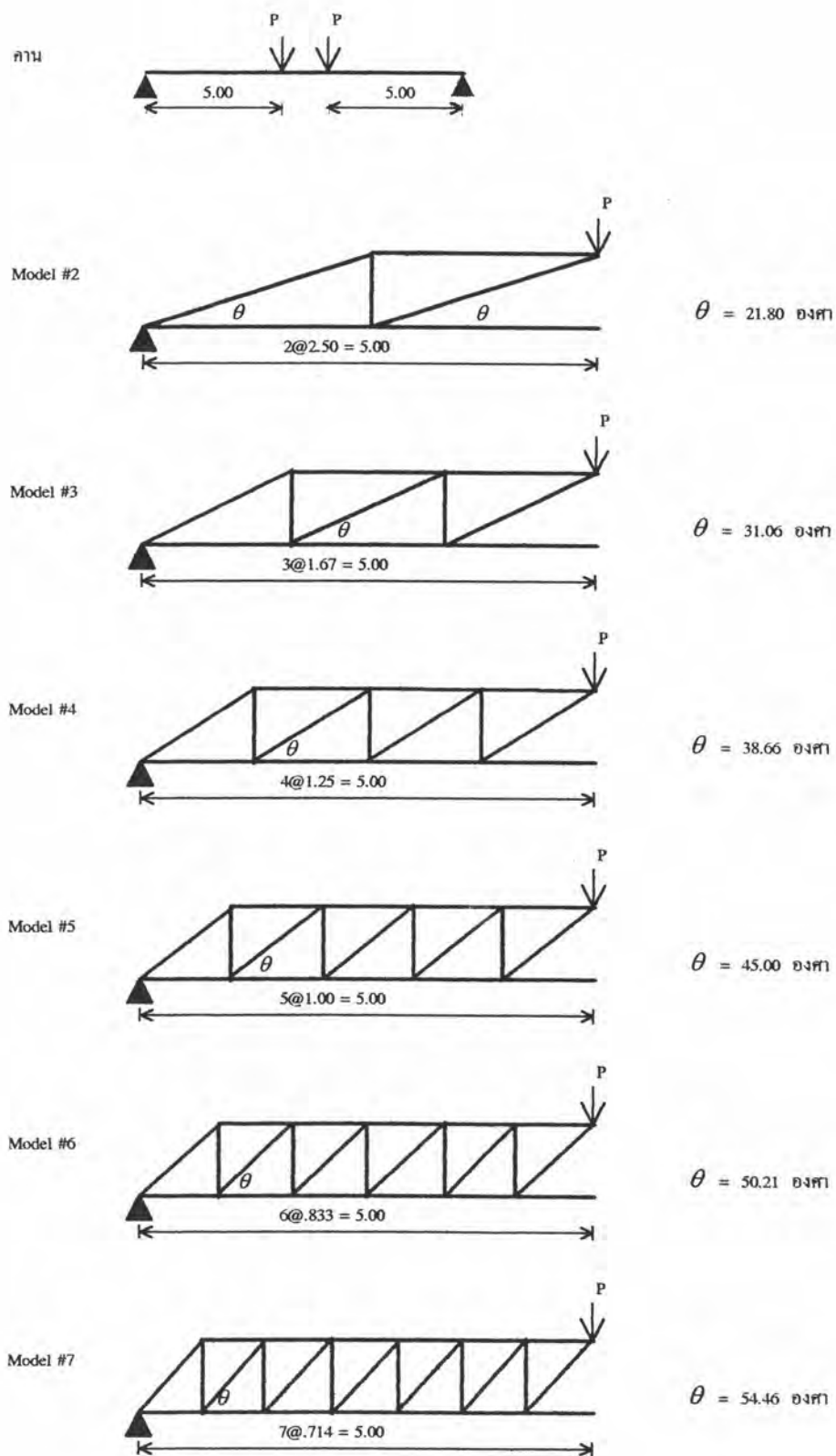
รูปที่ 3.10 การกระจายหน่วยแรงอัดรูปพีคบริเวณจุดรองรับ



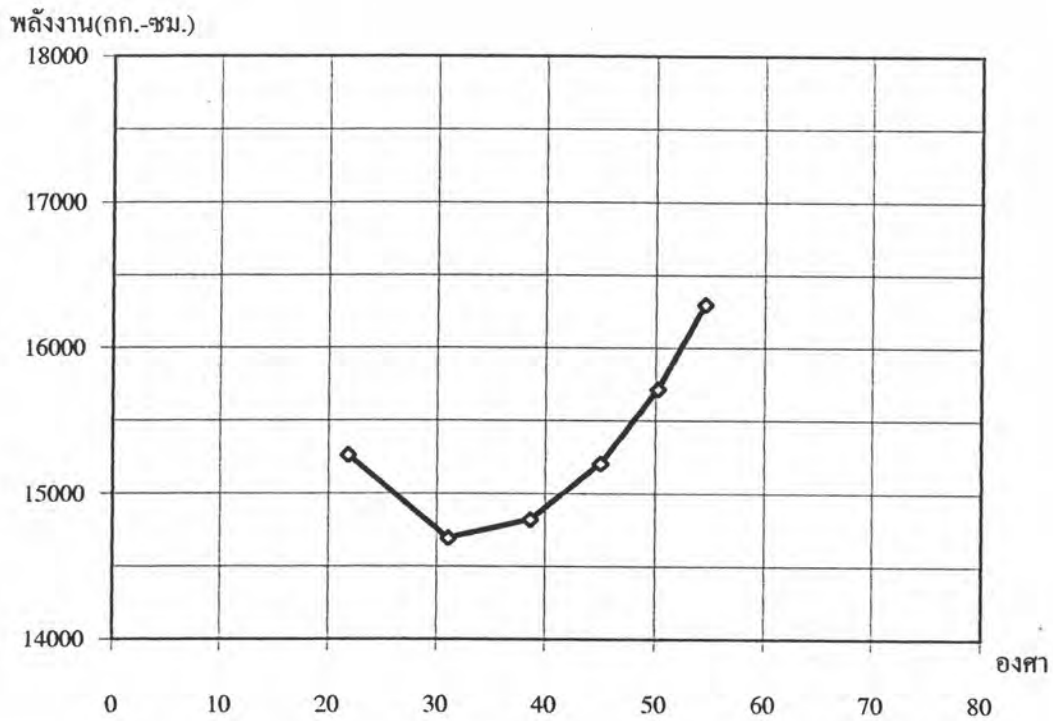
รูปที่ 3.11 แบบจำลองเมื่อกำหนดมุมเอียงของสกรัทที่จุดรองรับ $2 \cot \theta_1 = \cot \theta$



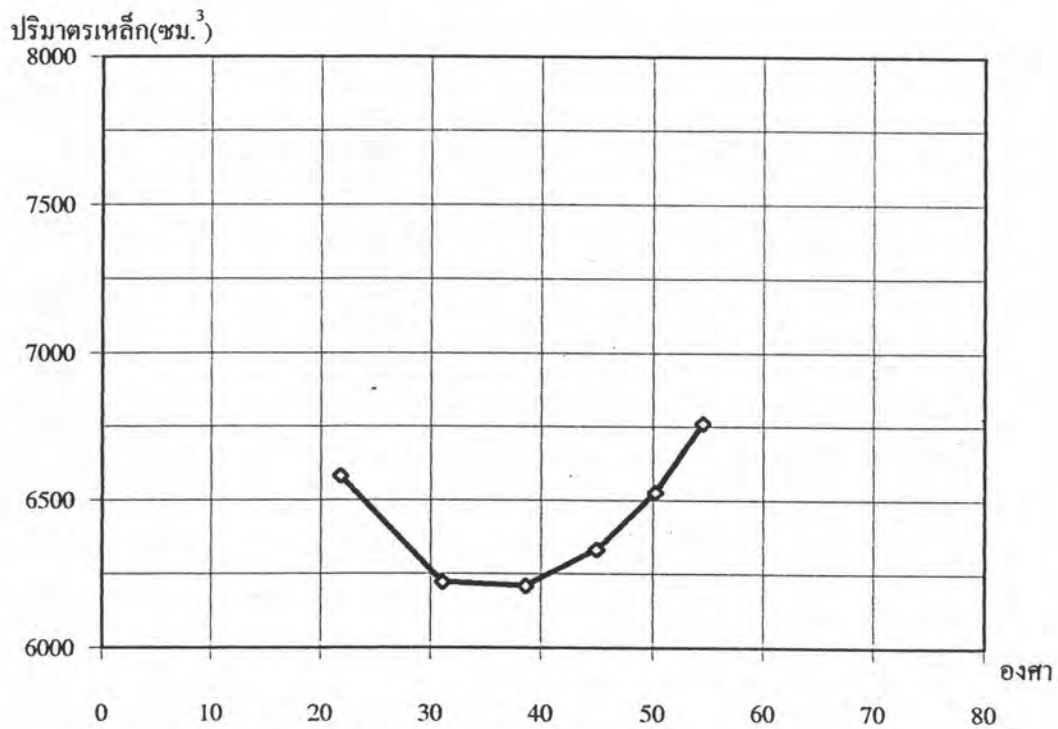
รูปที่ 3.12 การกำหนดมุมเอียงของสกรัทในแต่ละช่วงความยาวตามความเหมาะสม



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างแบบจำลองของกานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดมุมเอียงของสตรัท

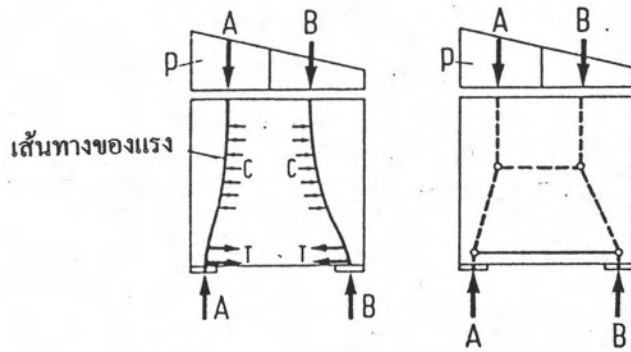


ก) พลังงานสะสมในแบบจำลองที่มุมเอียงของสคริปต์ต่างๆ

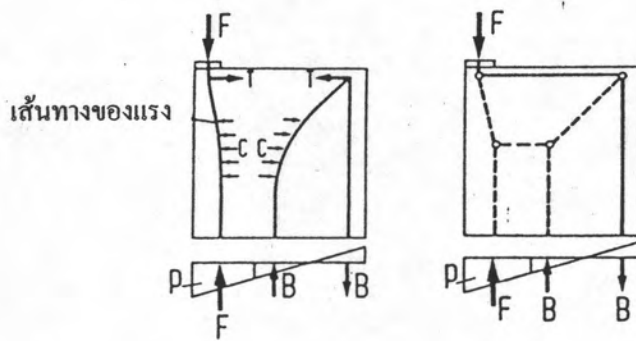


ข) ปริมาตรเหล็กเสริมที่ต้องการในแบบจำลองที่มุมเอียงของสคริปต์ต่างๆ

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการวิเคราะห์พลังงานสะสมต่ำสุดและปริมาตรเหล็กต่ำสุดของแบบจำลอง

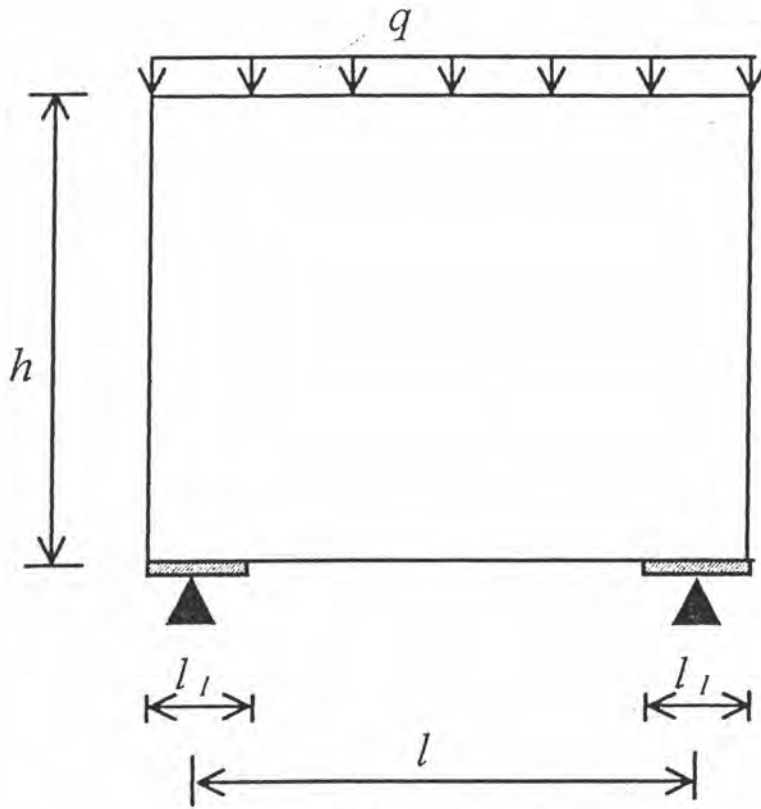


รูปที่ 3.15 เส้นทางการแรงและแบบจำลองสครัท-ไท

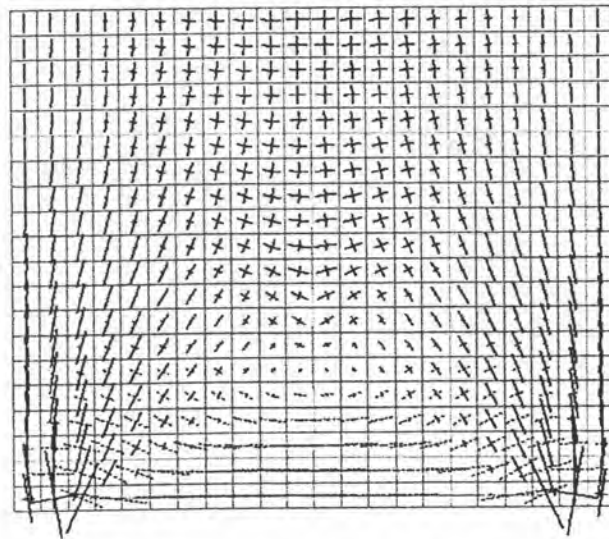


รูปที่ 3.16 เส้นทางการแรงกรณีมีแรงวกกลับ(U-tum)

$$Q = q(l+l_1)$$

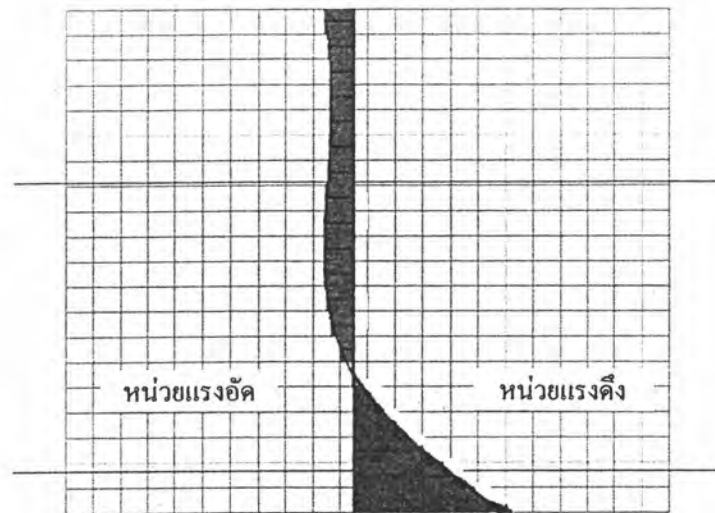


ก) ชั้นส่วนคานลิก

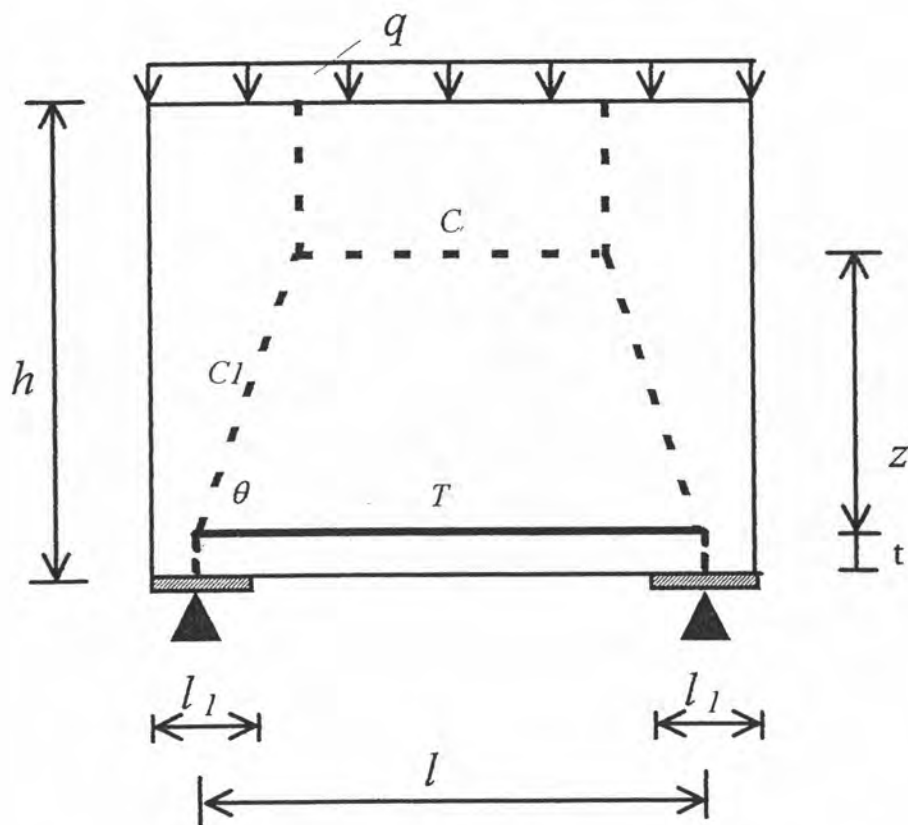


ข) การกระจายของหน่วยแรงหลัก

รูปที่ 3.17 แบบจำลองคานลิกได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่คิวนบน

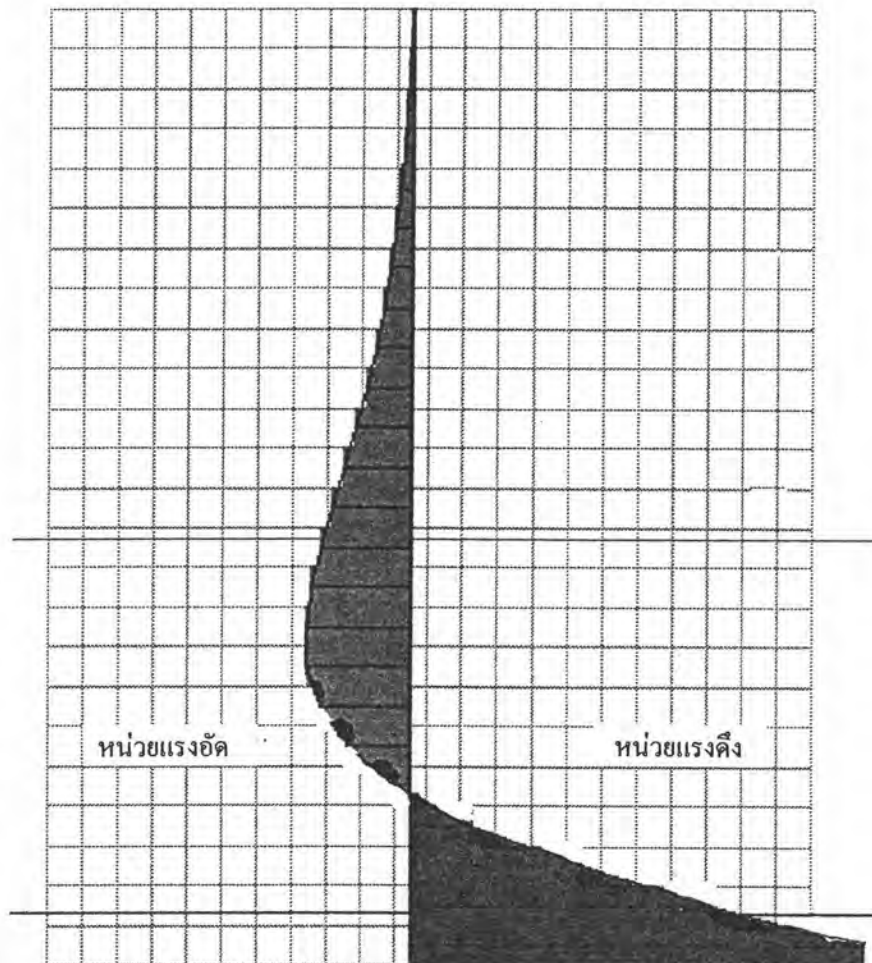


ค) การกระจายของ σ_x ที่หน้าตัดกลางช่วงความยาวคาน

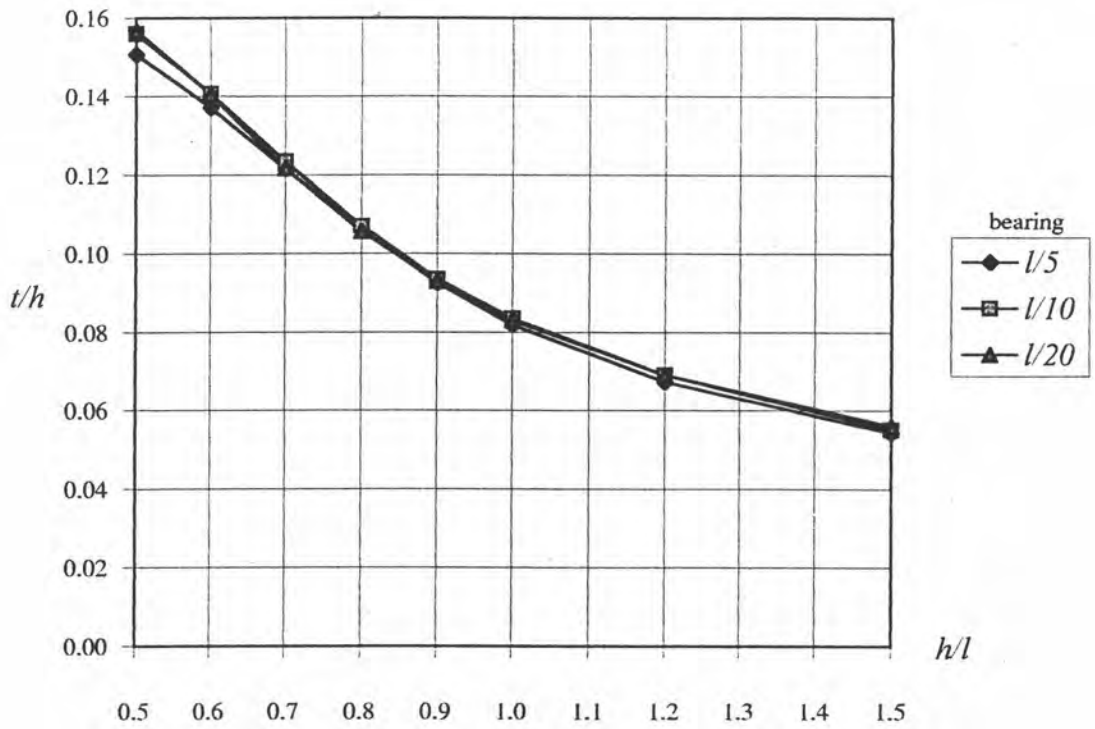


ง) แบบจำลองสครัท-ไท

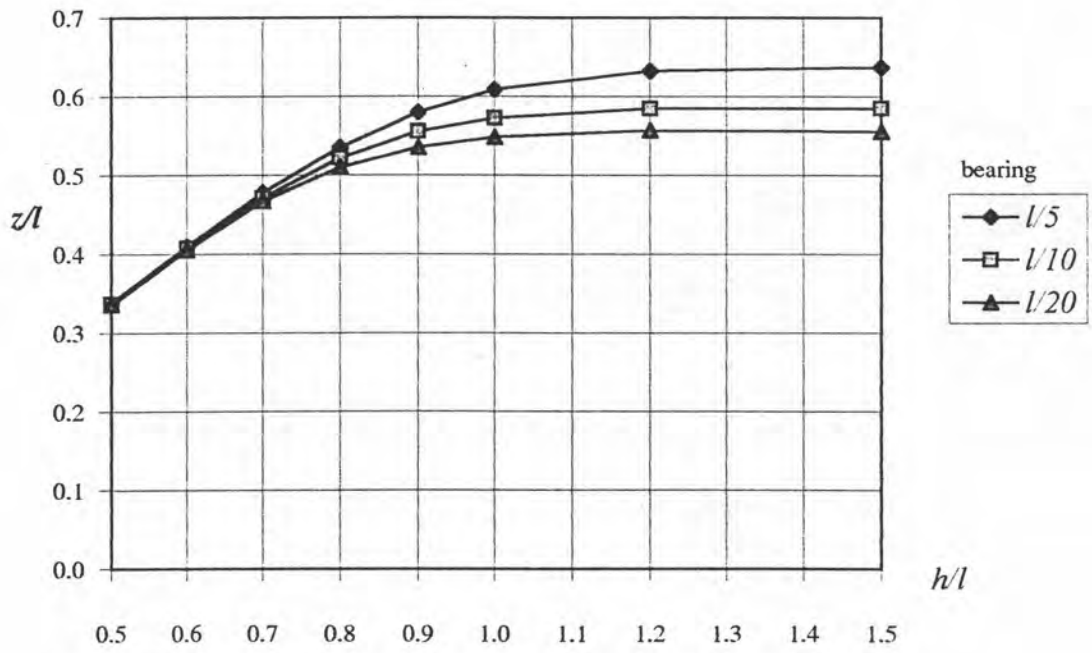
รูปที่ 3.17 (ต่อ) แบบจำลองคานลึกลับได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน



จ) หน่วยแรง σ_x ที่ผิวบนเข้าใกล้ศูนย์เมื่ออัตราส่วน h/l มีค่ามาก

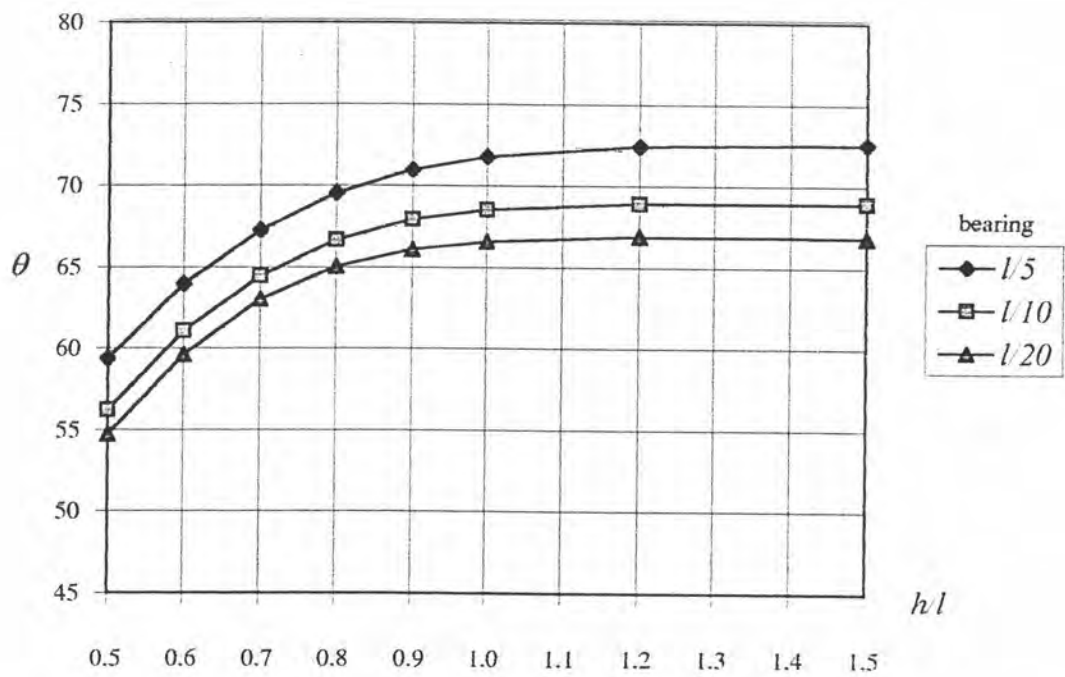


ก) ระยะจากตำแหน่งแรงดึงถึงพัธร์ถึงผิวล่าง



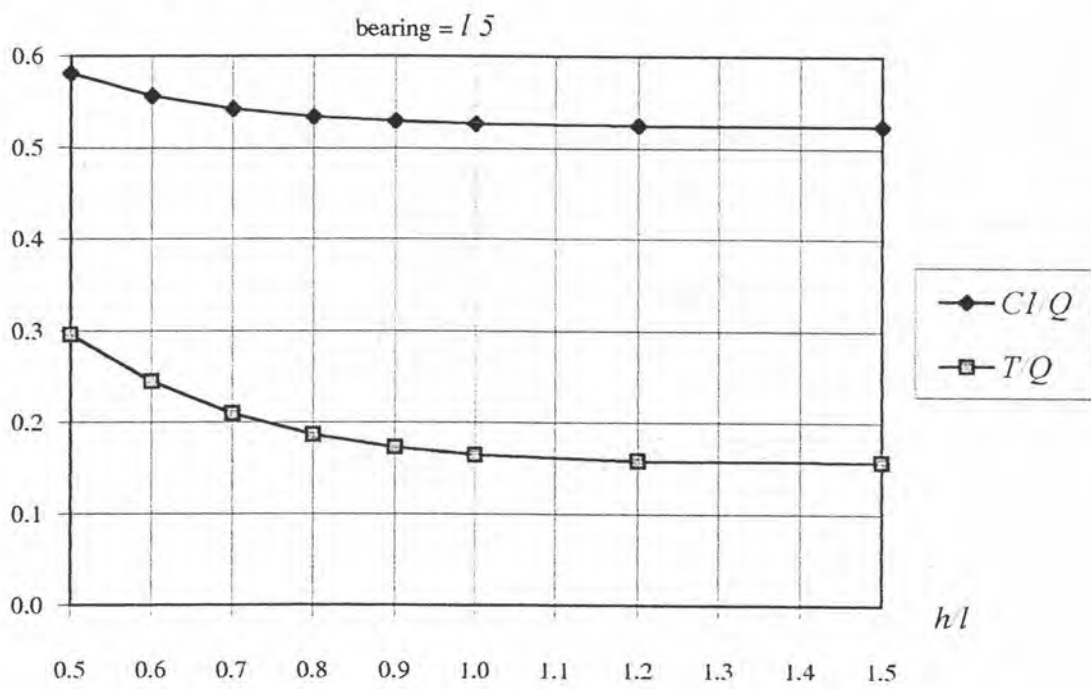
ข) ระยะห่างแกนแรงคู่ควบภายใน

รูปที่ 3.18 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดรูปร่างของแบบจำลองคานเหล็ก (กรณีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน)

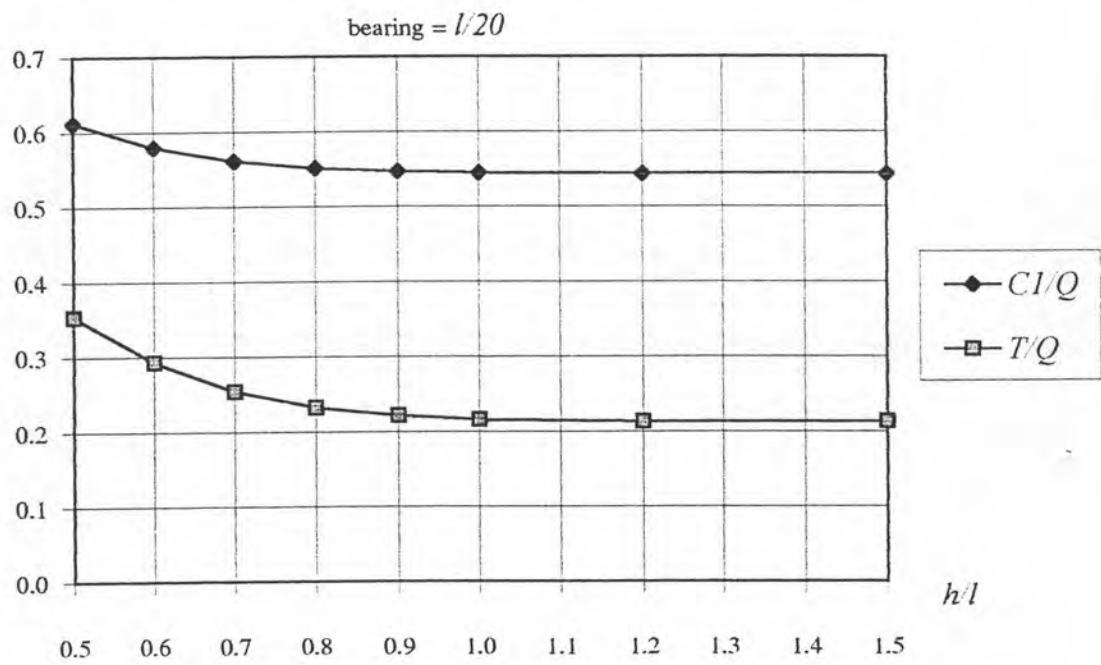
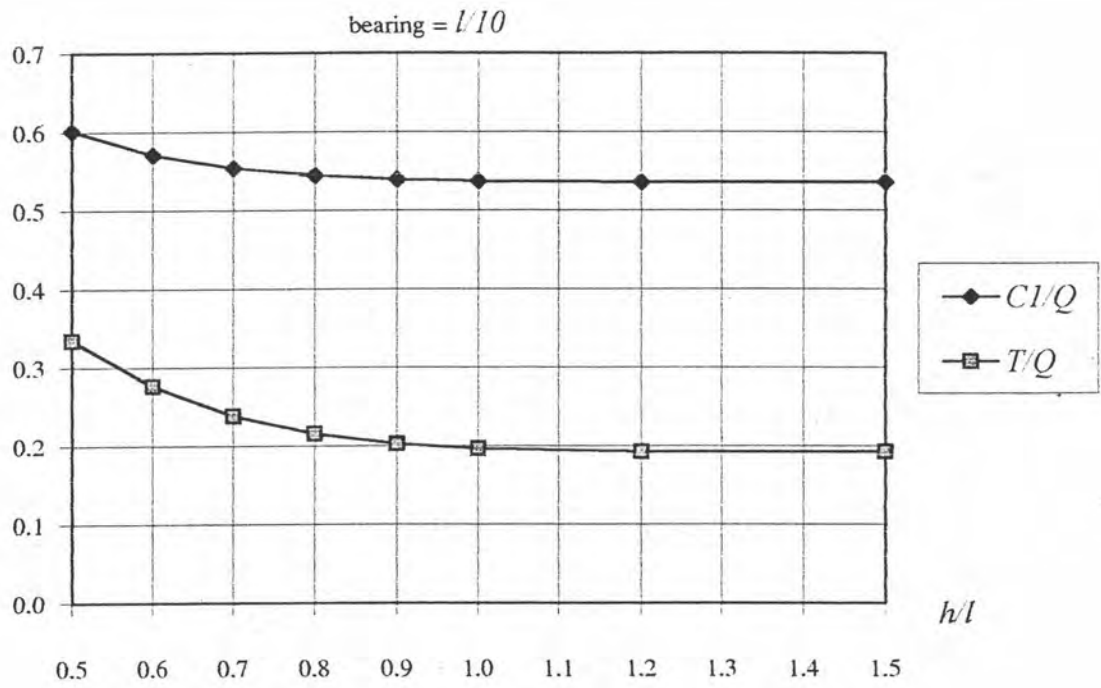


ค) มุมเอียงของสกรัทแนวทแยง

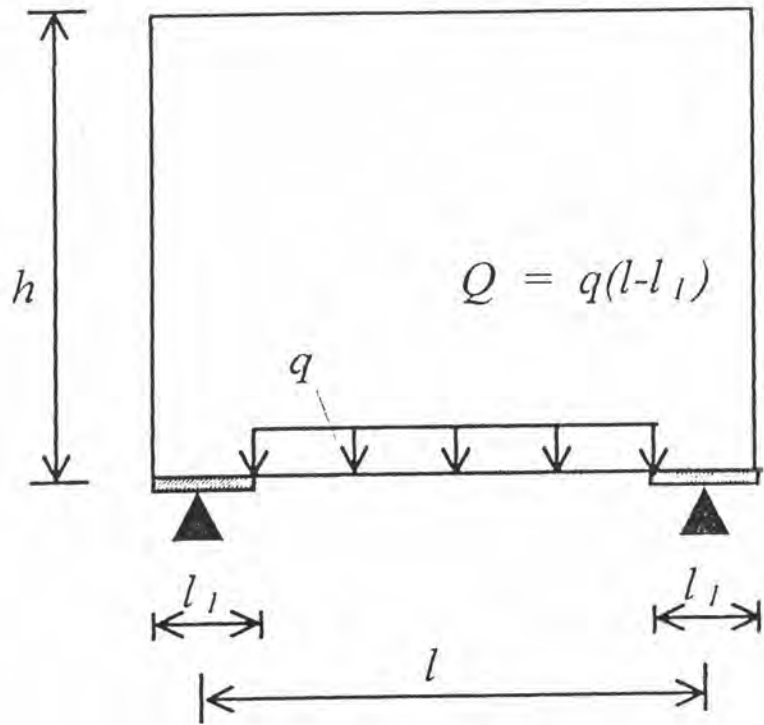
รูปที่ 3.18 (ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดรูปร่างของแบบจำลองคานลิก (กรณีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน)



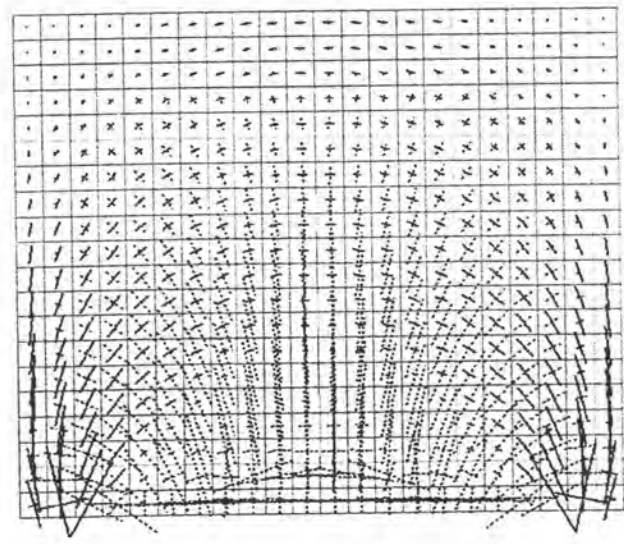
รูปที่ 3.19 แรงภายในแบบจำลอง (กรณีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน)



รูปที่ 3.19 (ต่อ) แรงภายในแบบจำลอง (กรณีนี้น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ผิวบน)

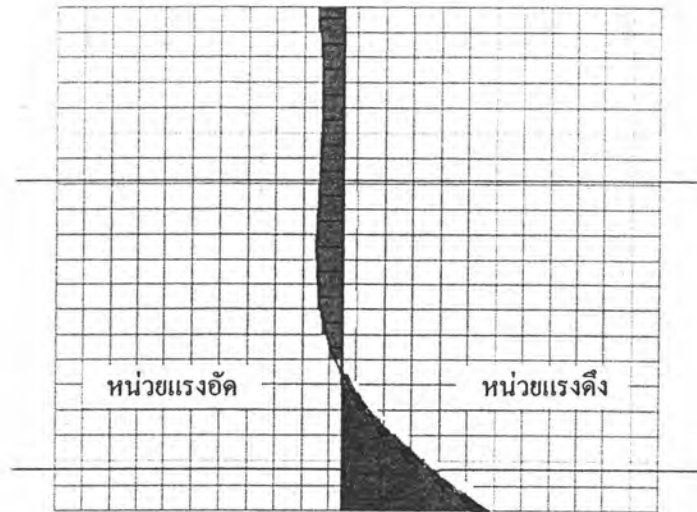


ก) ชิ้นส่วนคานดัด

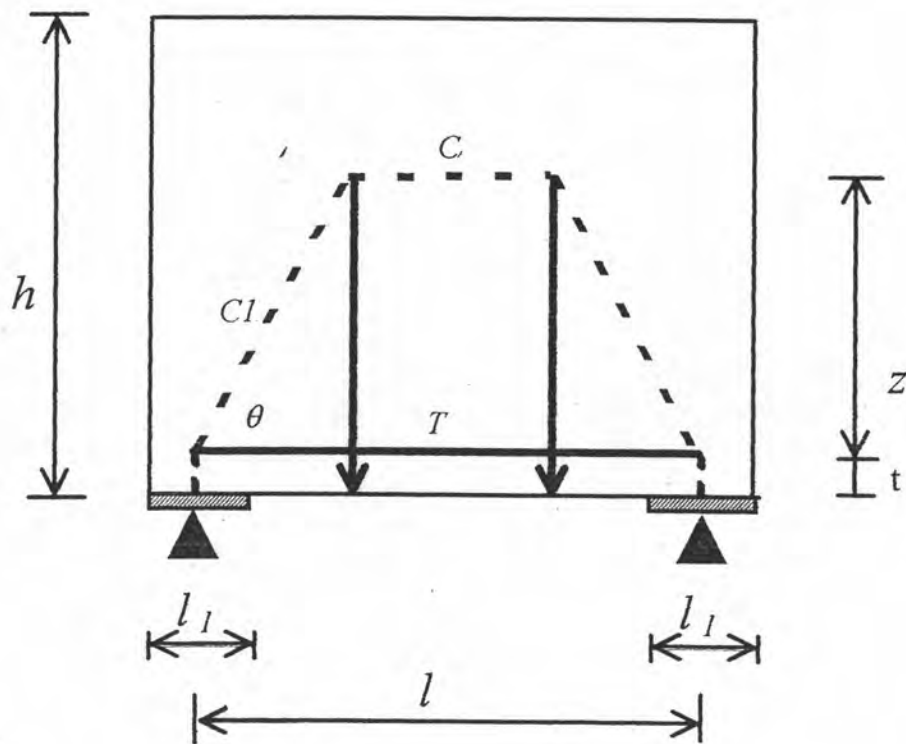


ข) การกระจายของหน่วยแรงหลัก

รูปที่ 3.20 แบบจำลองคานดัดได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง

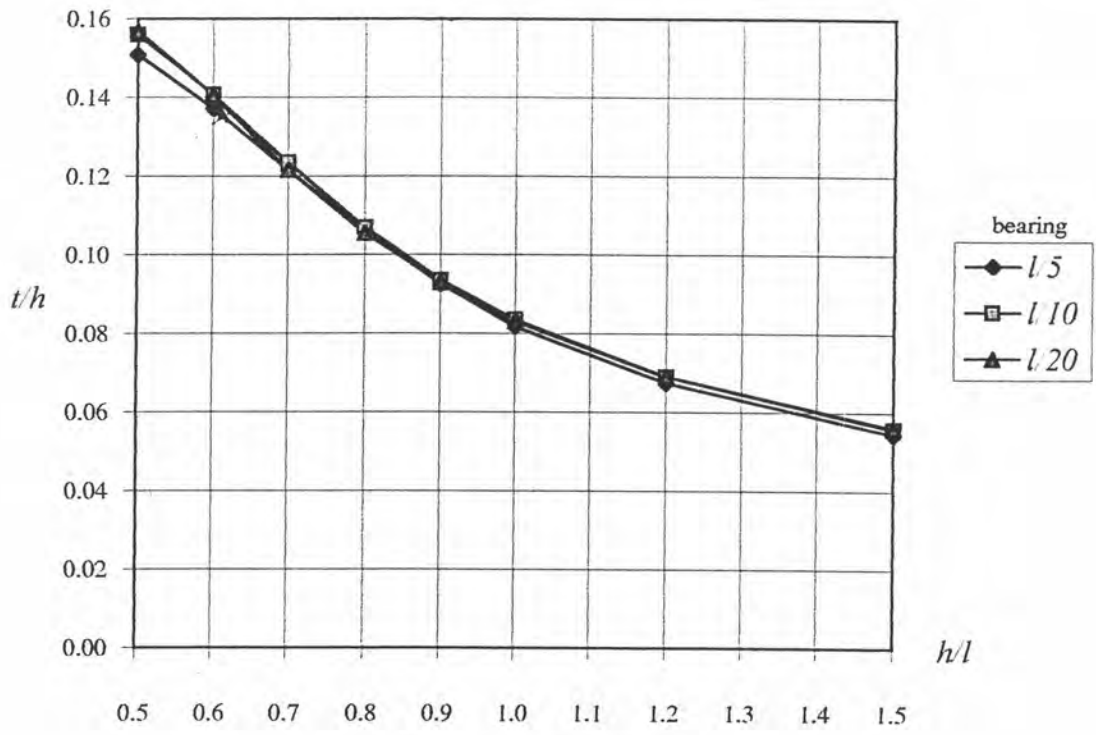


ค) การกระจายของ σ_x ที่หน้าตัดกลางช่วงความยาวคาน

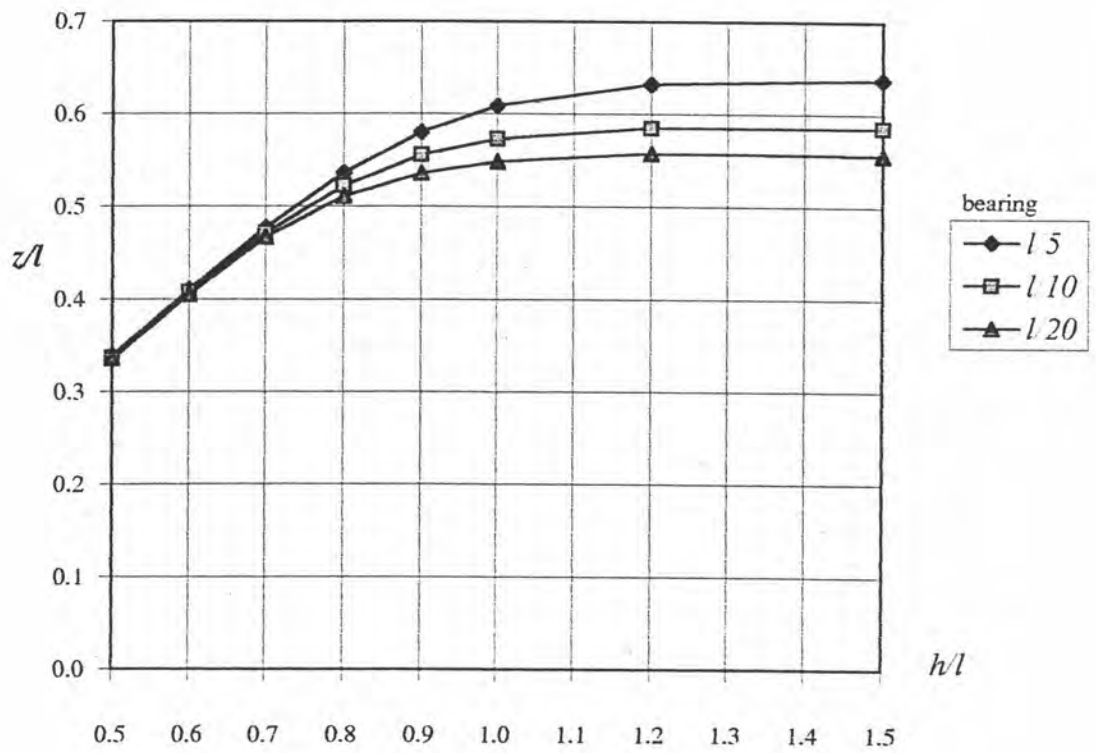


ง) แบบจำลองสตรัท-ไท

รูปที่ 3.20 (ต่อ) แบบจำลองคานกลีได้รับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง

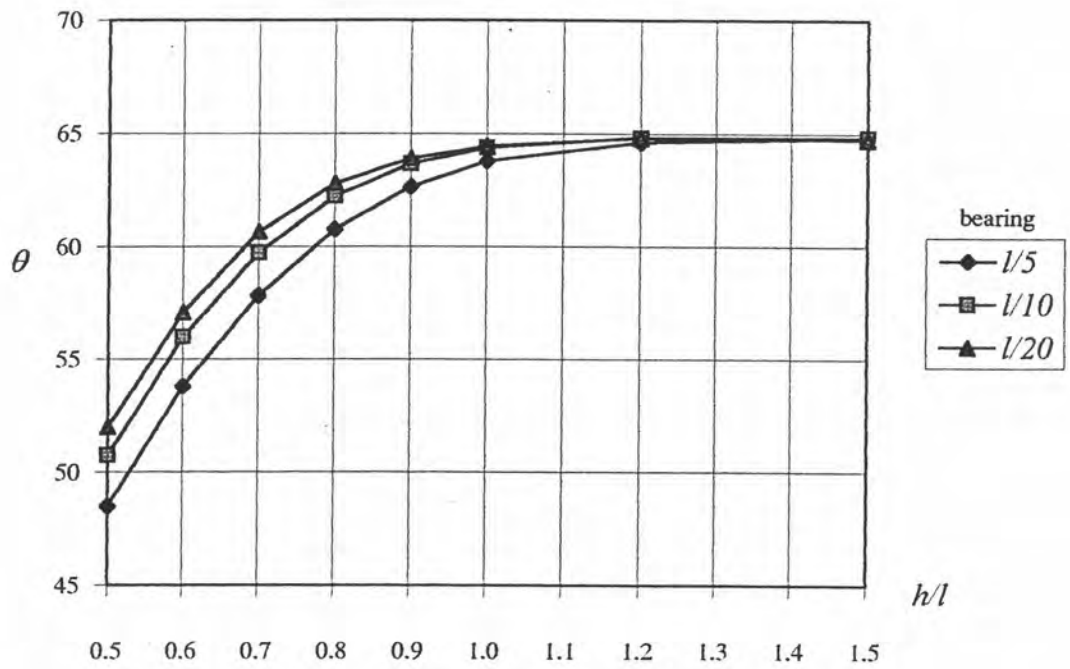


ก) ระยะจากตำแหน่งแรงดึงลัพธ์ถึงผิวล่าง



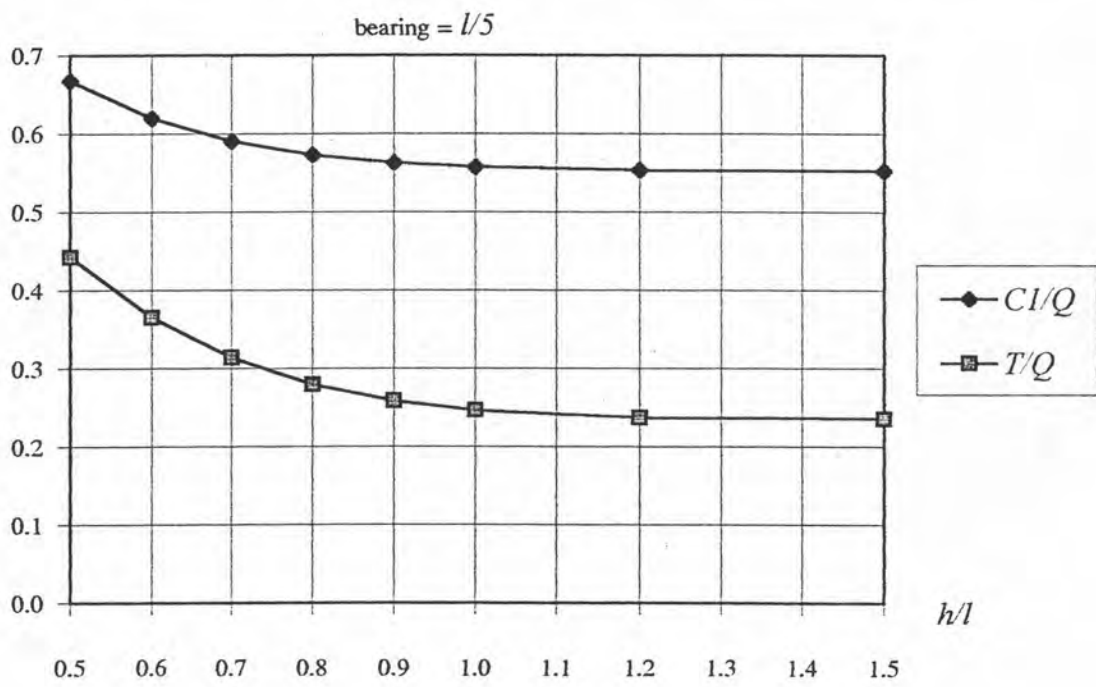
ข) ระยะห่างแกนแรงคู่ควบภายใน

รูปที่ 3.21 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดรูปร่างของแบบจำลองคานลิก (กรณีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง)

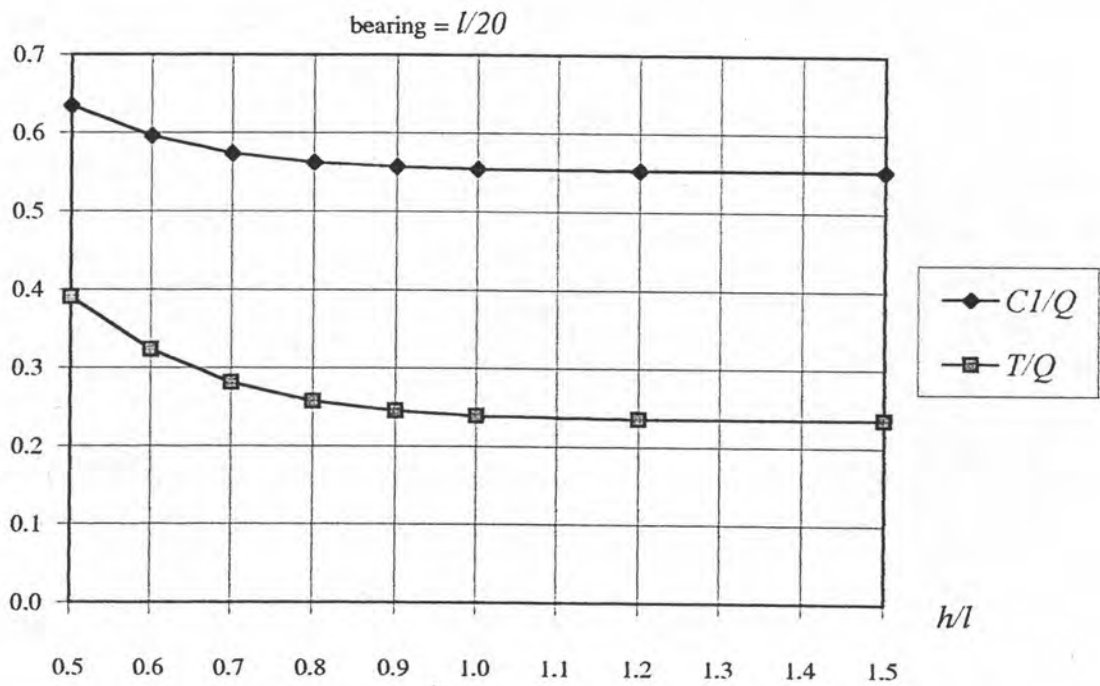
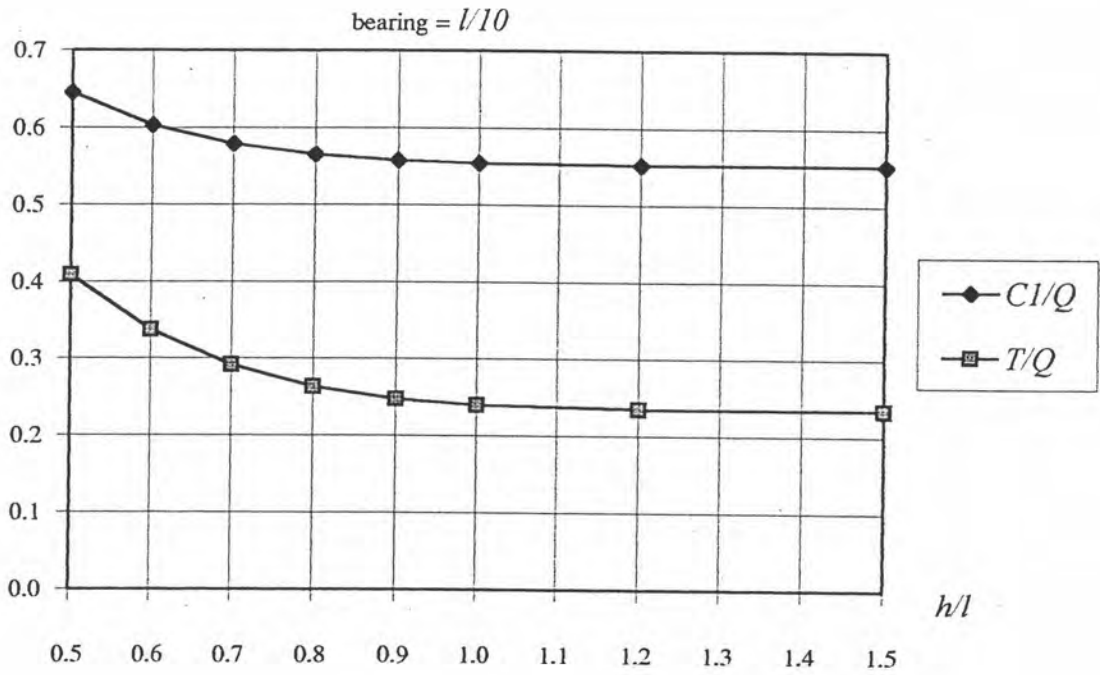


ค) มุมเอียงของสครัทแนวทแยง

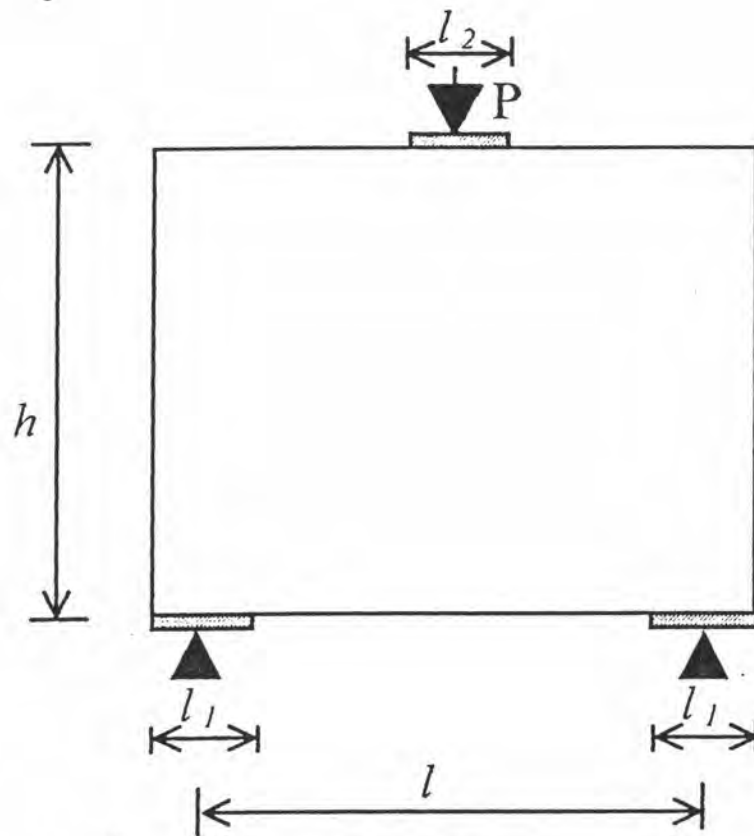
รูปที่ 3.21 (ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดรูปร่างของแบบจำลองคานเหล็ก (กรณีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง)



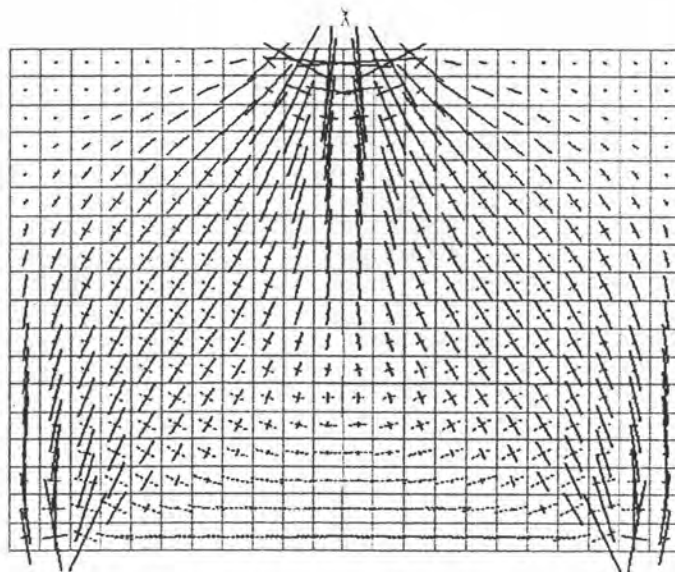
รูปที่ 3.22 แรงภายในแบบจำลอง (กรณีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง)



รูปที่ 3.22 (ต่อ) แรงภายในแบบจำลอง (กรณีน้ำหนักระจายสม่ำเสมอที่ด้านล่าง)

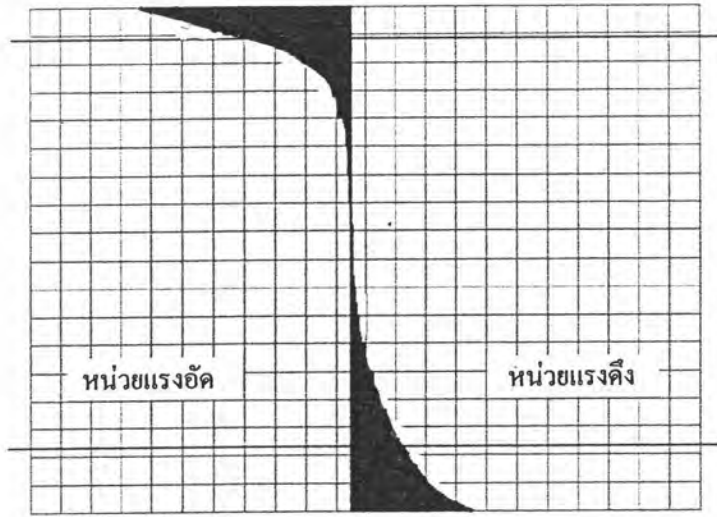


ก) ชิ้นส่วนคานดัด

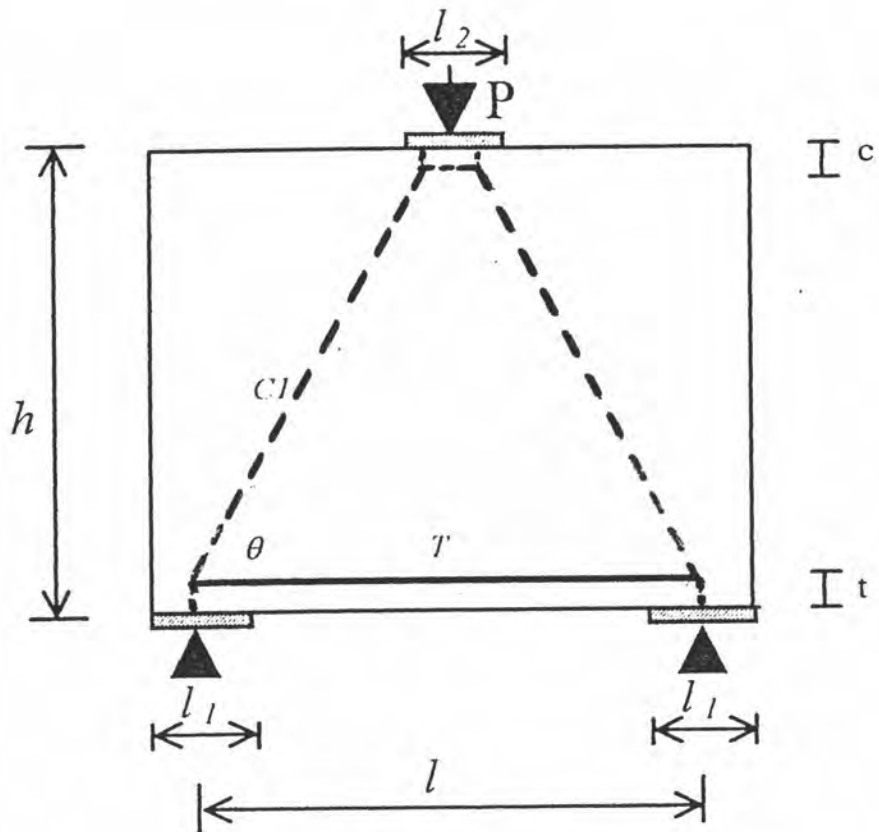


ข) การกระจายของหน่วยแรงหลัก

รูปที่ 3.23 แบบจำลองคานดัดได้รับน้ำหนักแบบจุดกระทำที่ผิวบน

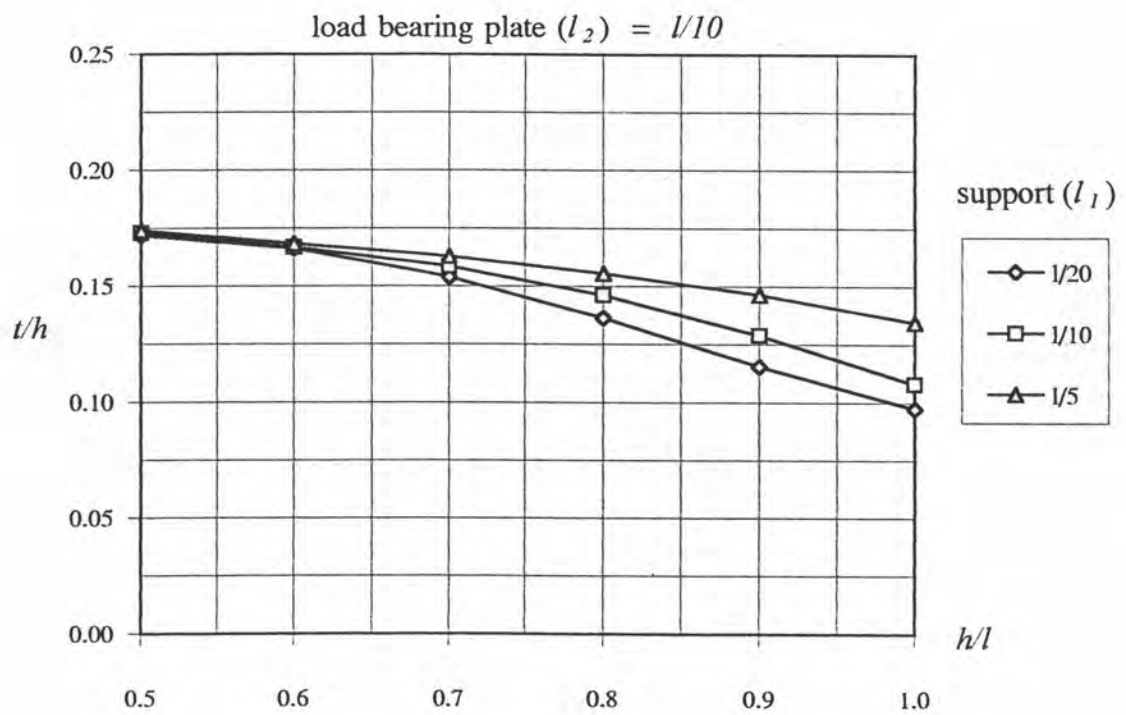
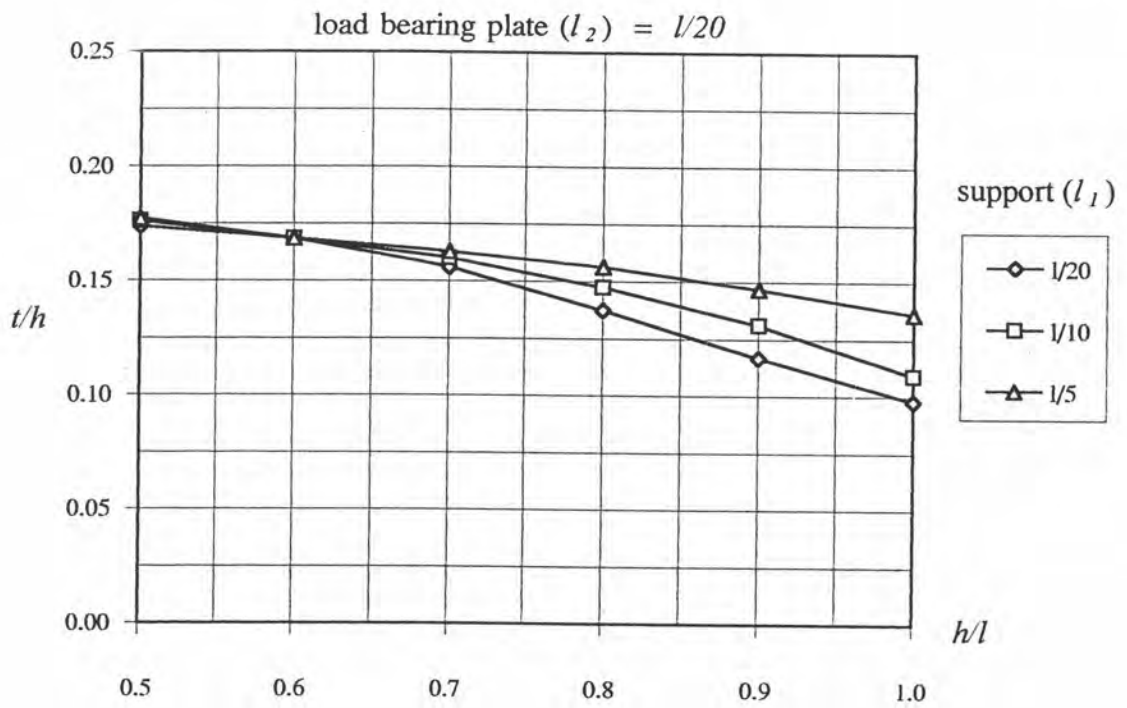


ก) การกระจายของ σ_x ที่หน้าตัดกลางช่วงความยาวคาน

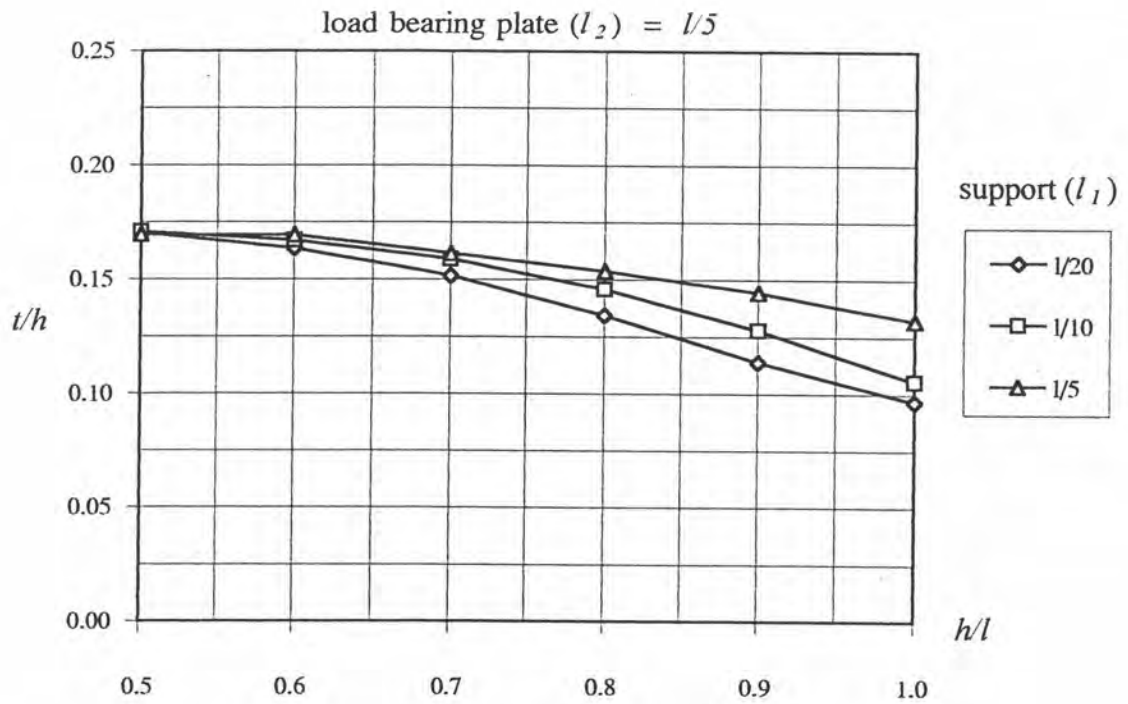


ง) แบบจำลองสตรัท-ไท

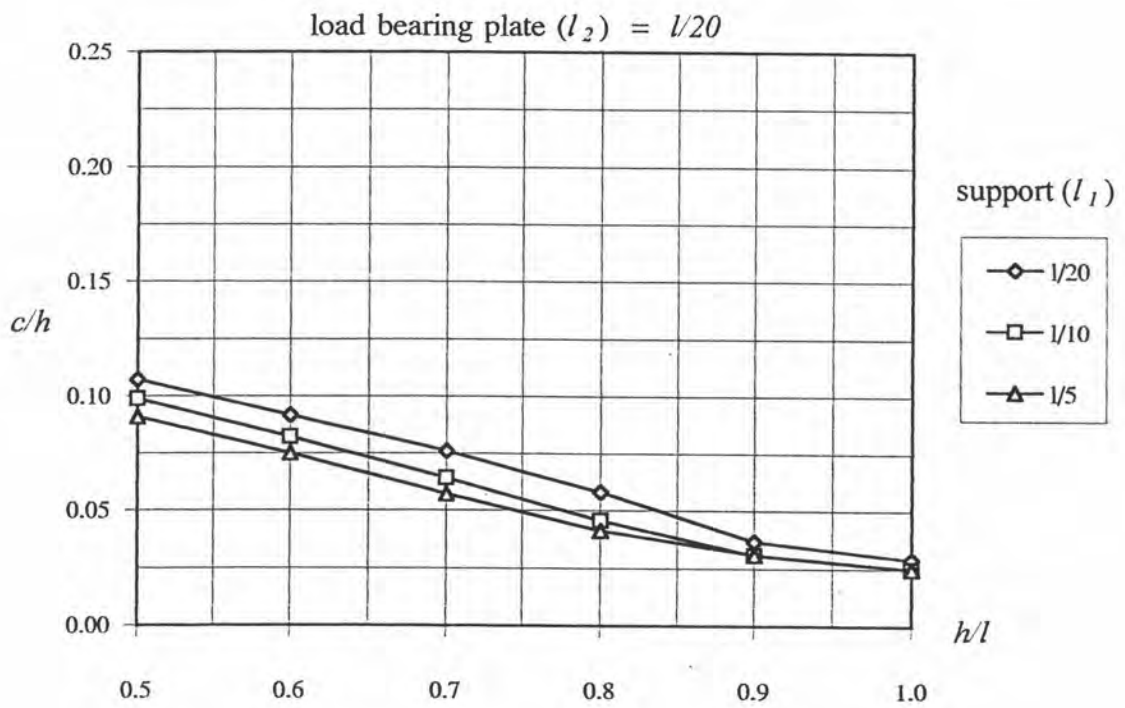
รูปที่ 3.23 (ต่อ) แบบจำลองคานกลีได้รับน้ำหนักแบบจุดกระทำที่ผิวบน



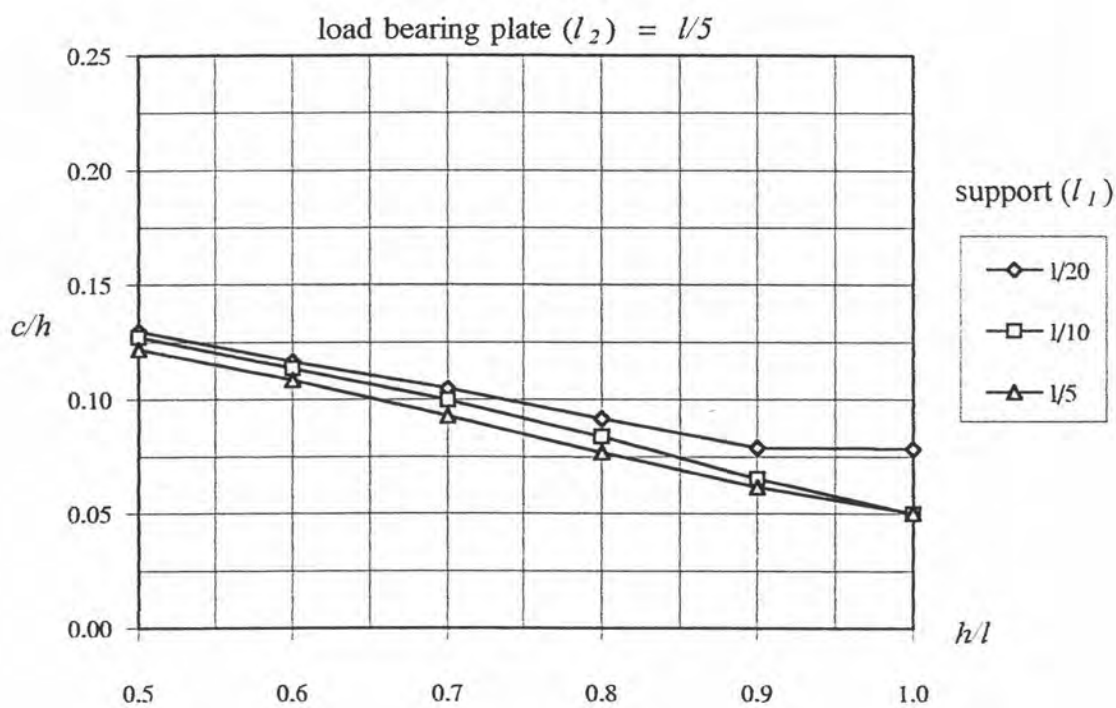
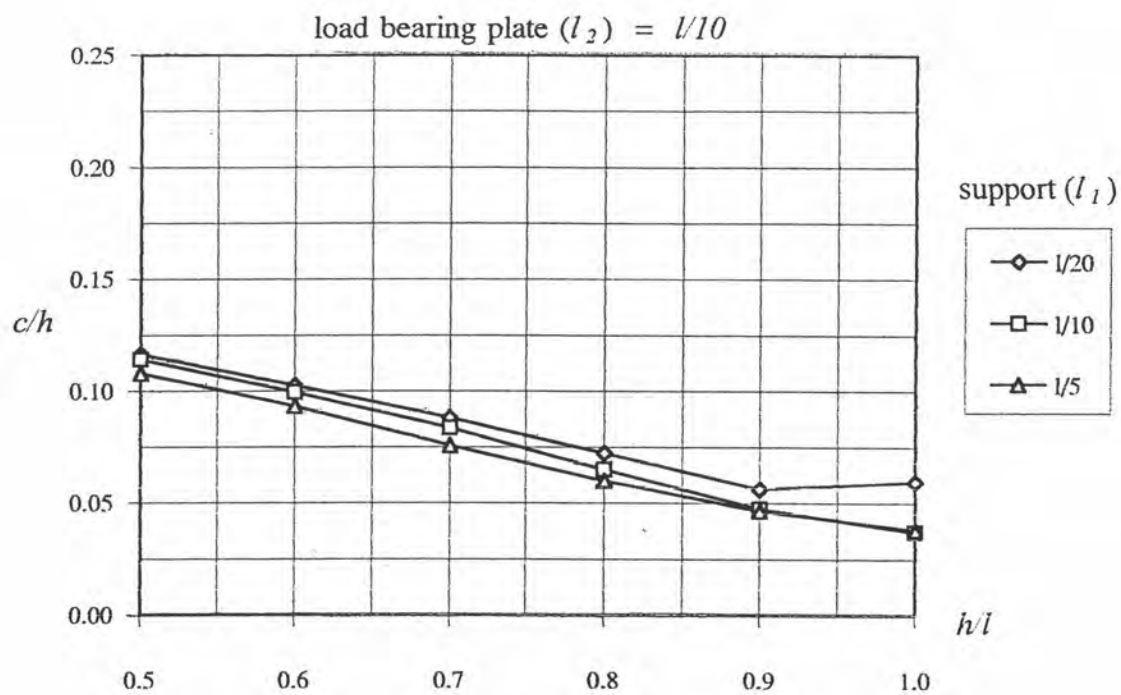
รูปที่ 3.24 ระยะจากตำแหน่งแรงดึงถึงพัธ์ถึงผิวล่าง (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ผิวบน)



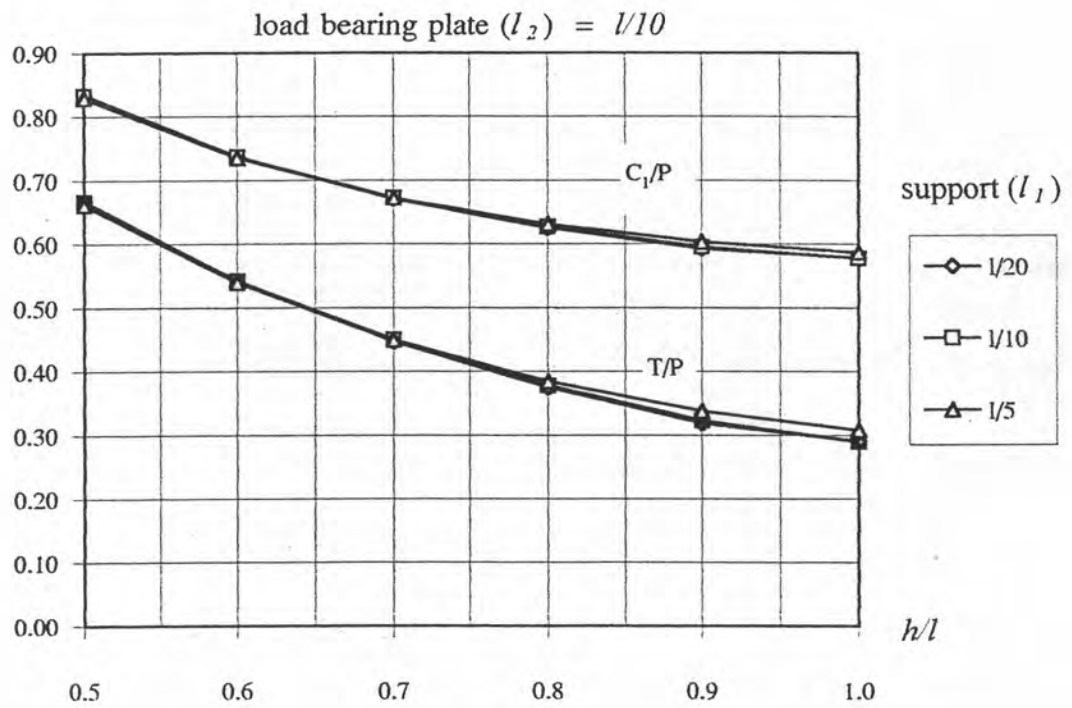
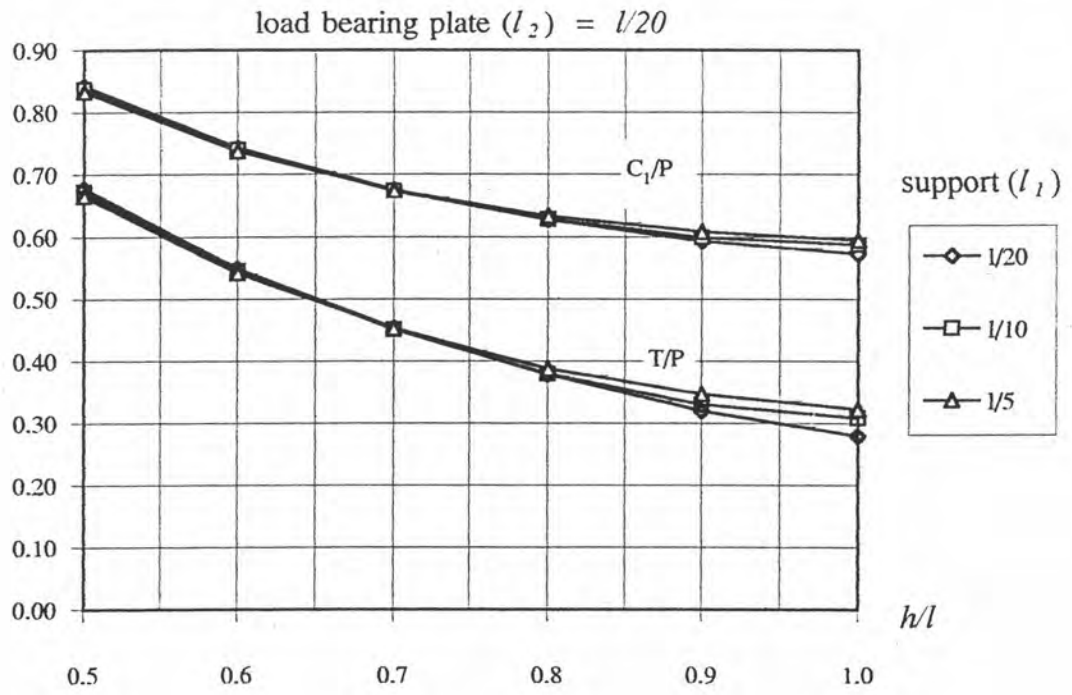
รูปที่ 3.24(ต่อ) ระยะจากตำแหน่งแรงค้ำยันถึงผิวล่าง(กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ผิวบน)



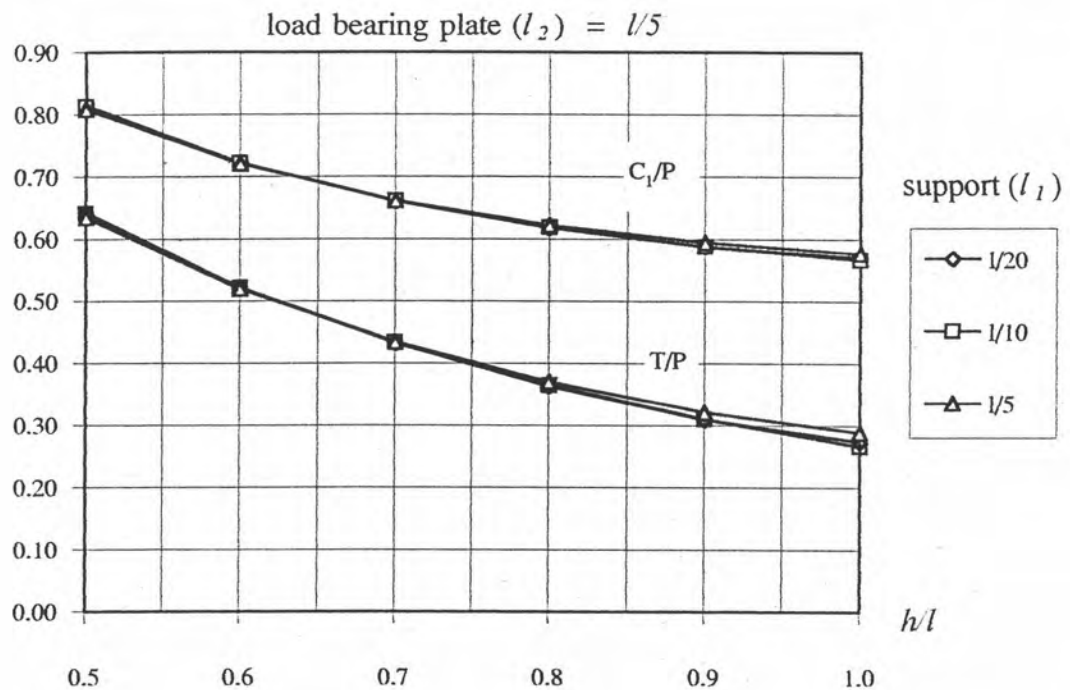
รูปที่ 3.25 ระยะจากตำแหน่งแรงอัดค้ำยันถึงผิวบน(กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ผิวบน)



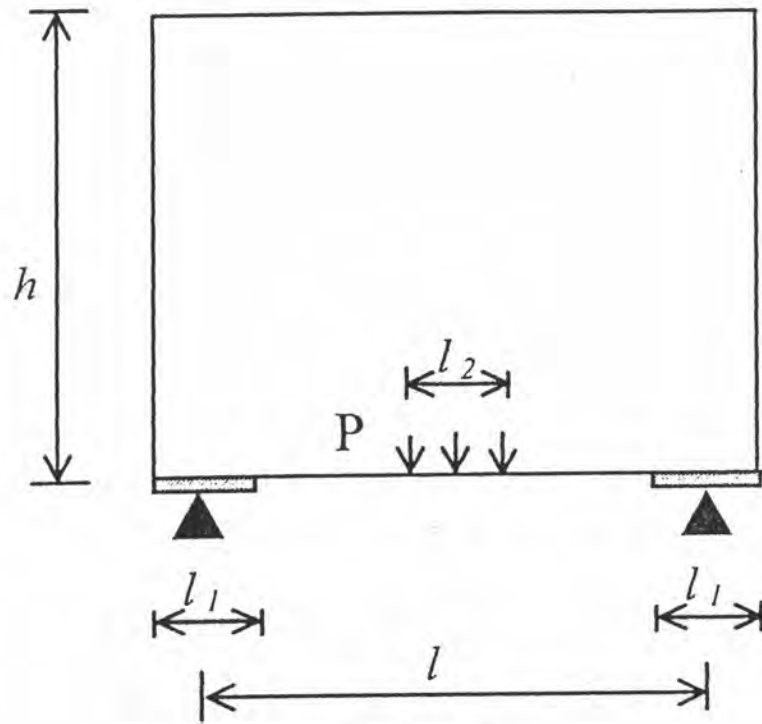
รูปที่ 3.25 (ต่อ) ระยะจากตำแหน่งแรงอัดลัพธ์ถึงผิวบน (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ผิวบน)



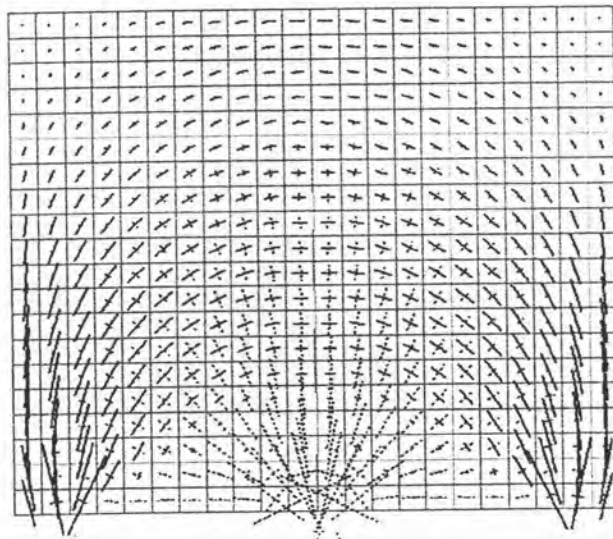
รูปที่ 3.26 แรงภายในแบบจำลอง (กรณีนี้กำหนดกระทำแบบจุดที่ผิวบน)



รูปที่ 3.26 (ต่อ) แรงภายในแบบจำลอง (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่คิวนน)

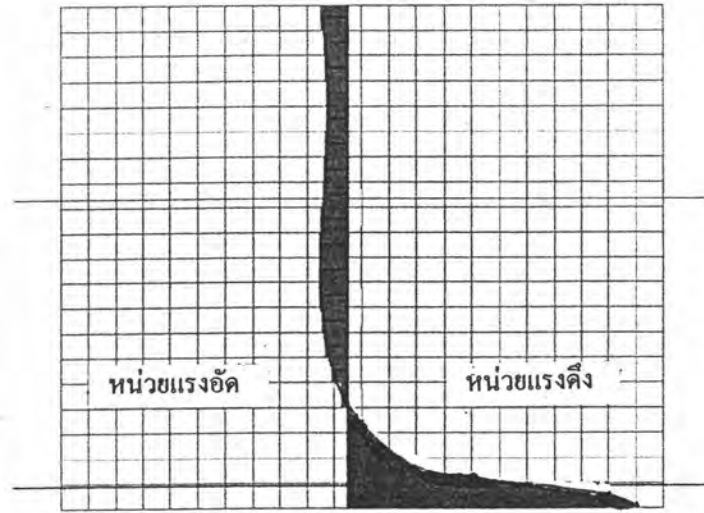


ก) ชิ้นส่วนคานเหล็ก

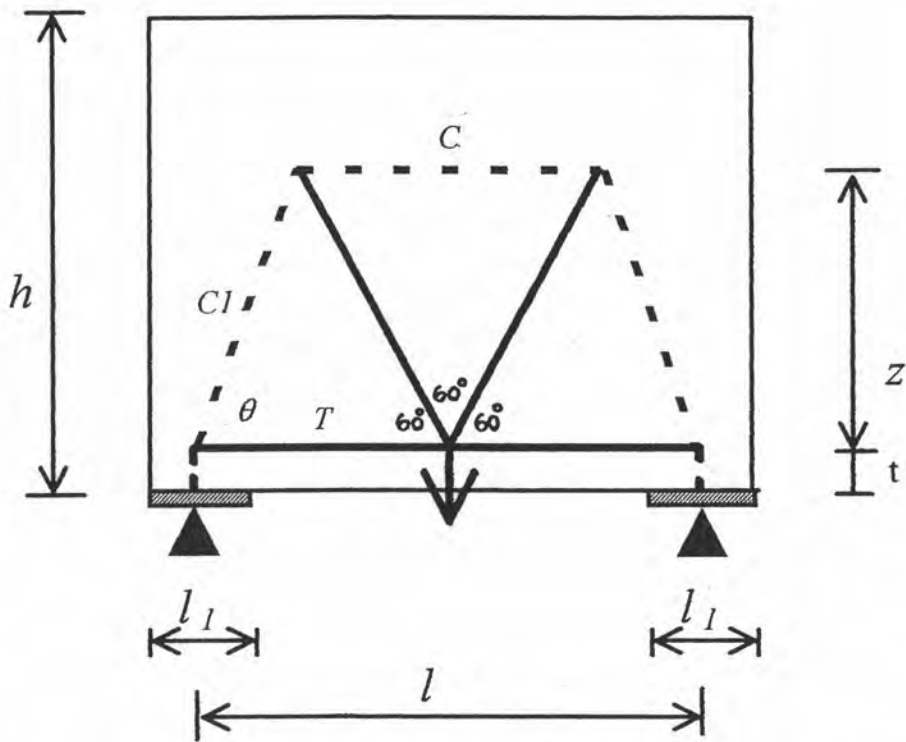


ข) การกระจายของหน่วยแรงหลัก

รูปที่ 3.27 แบบจำลองคานเหล็กได้รับน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง

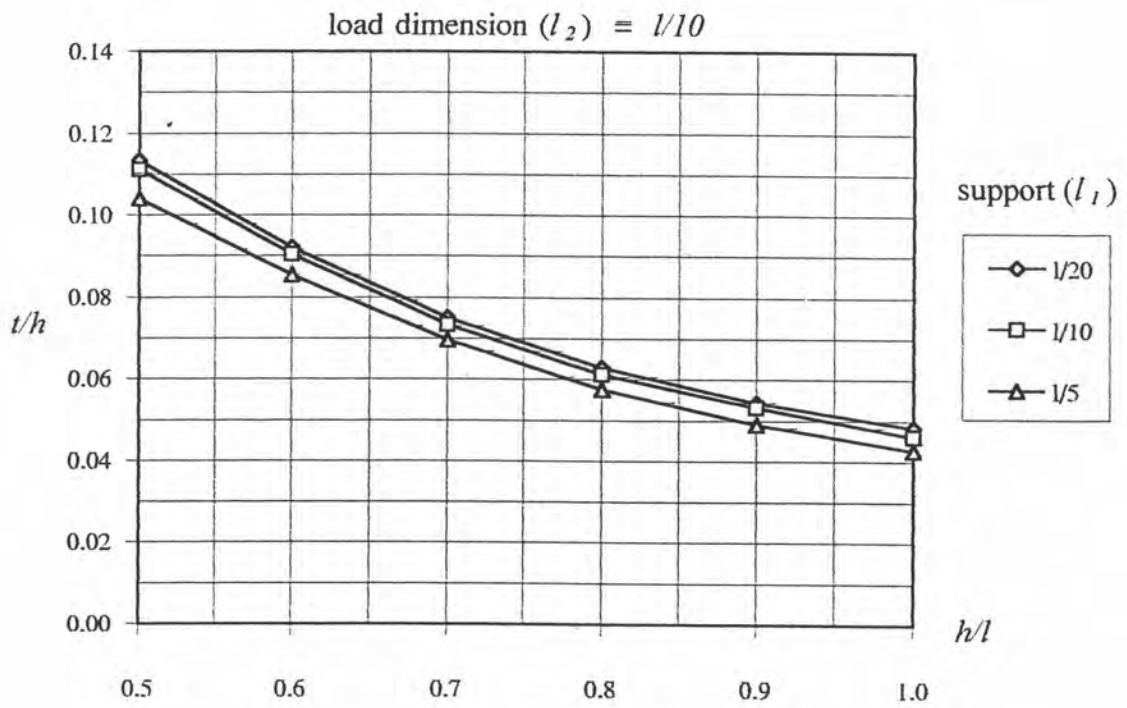
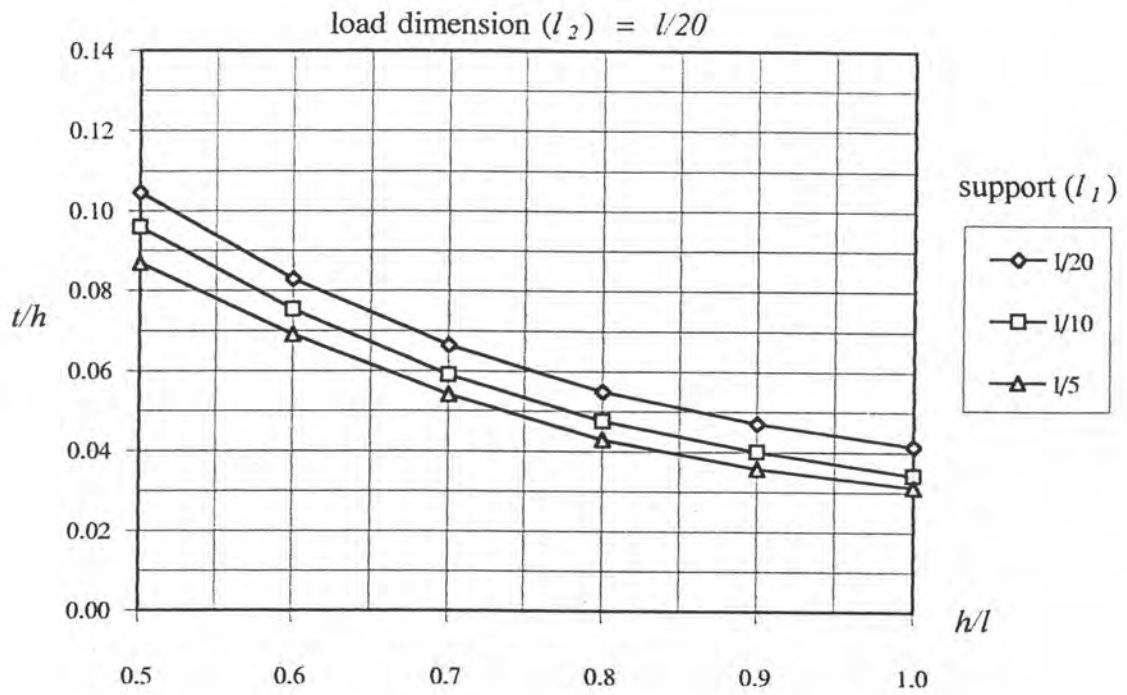


ค) การกระจายของ σ_x ที่หน้าตัดกลางช่วงความยาวคาน

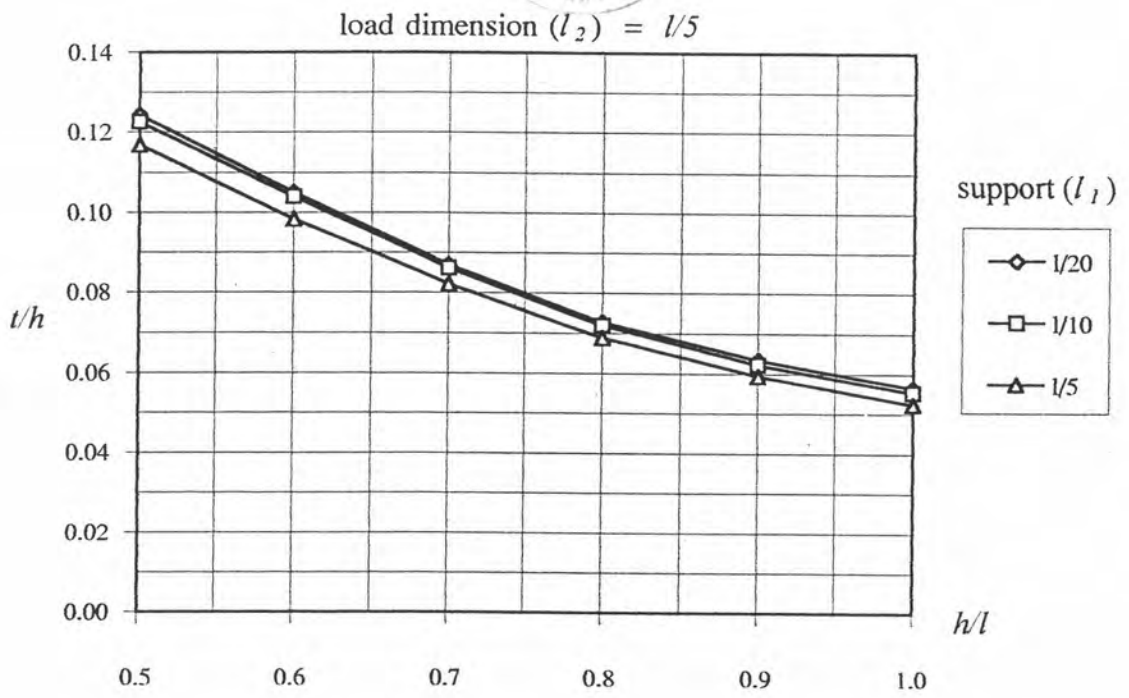


ง) แบบจำลองสตรัท-ไท

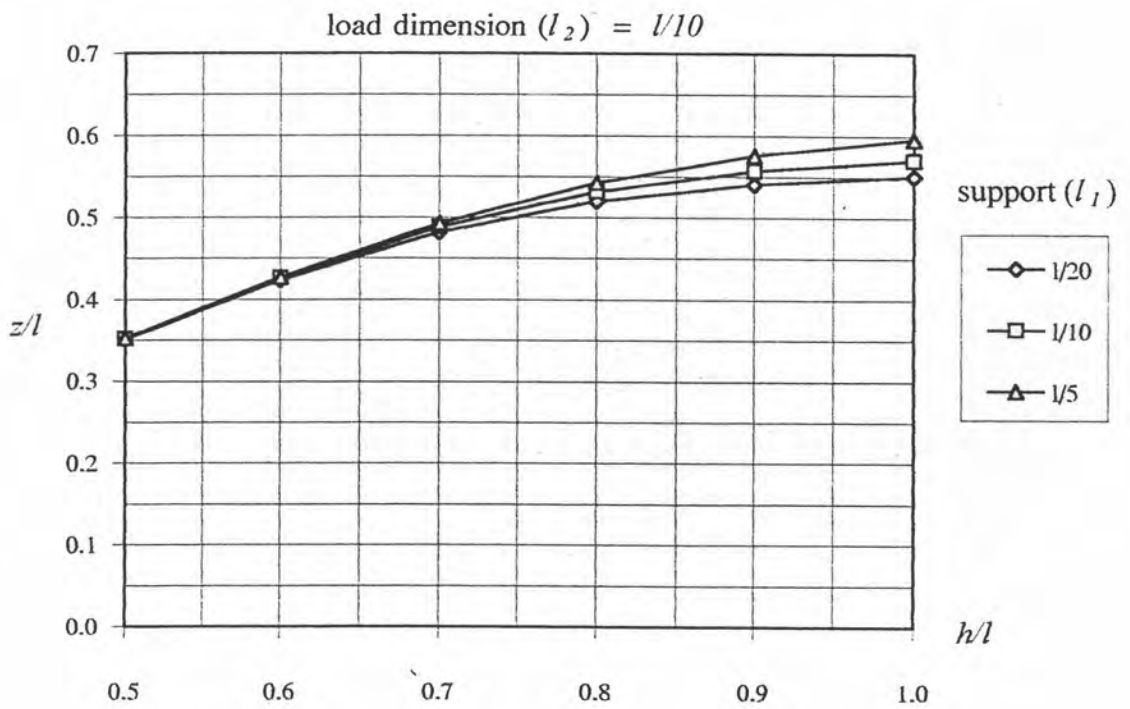
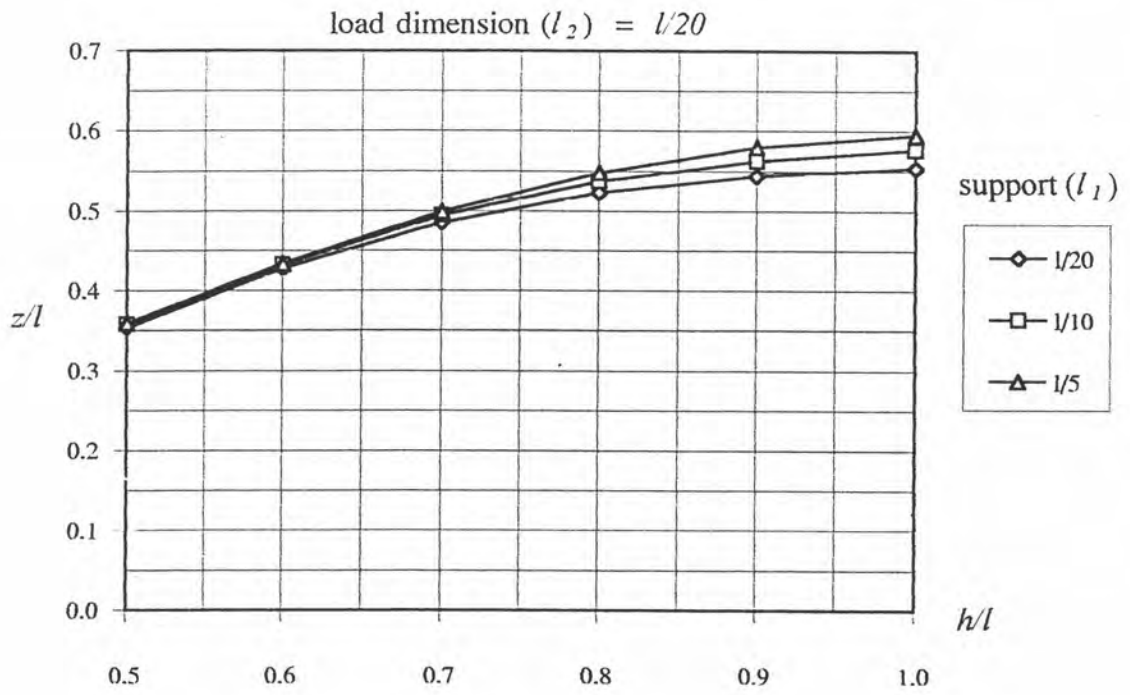
รูปที่ 3.27 (ต่อ) แบบจำลองคานกลีได้รับน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง



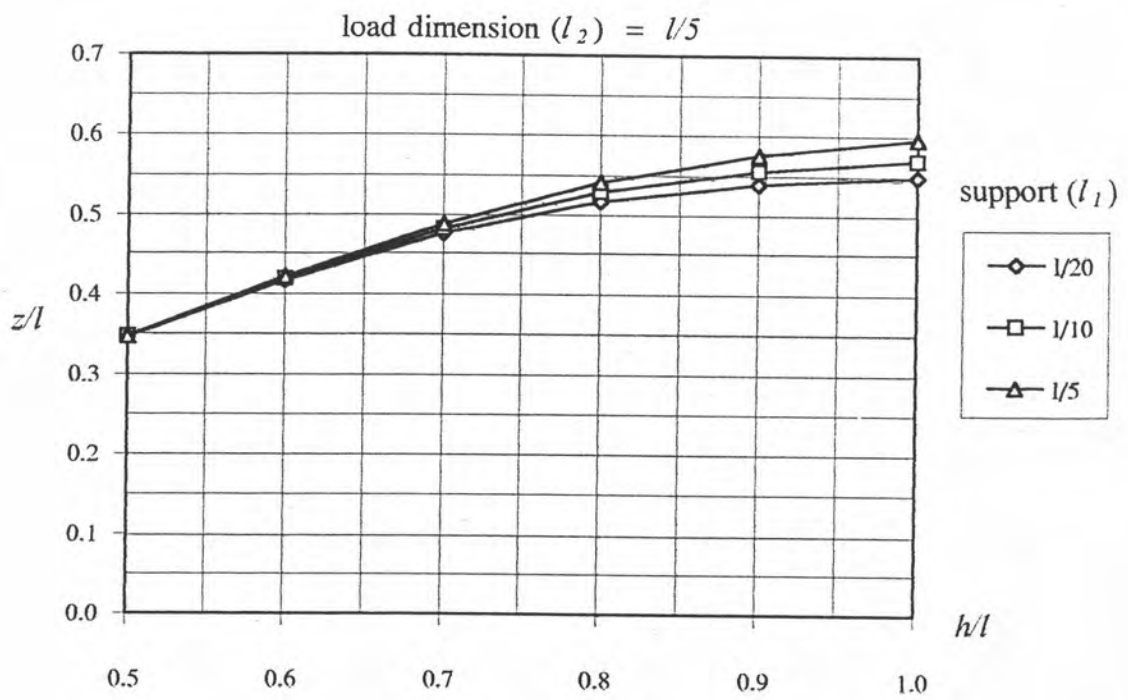
รูปที่ 3.28 ระยะจากตำแหน่งแรงดึงลัพท์ถึงผิวล่าง (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)



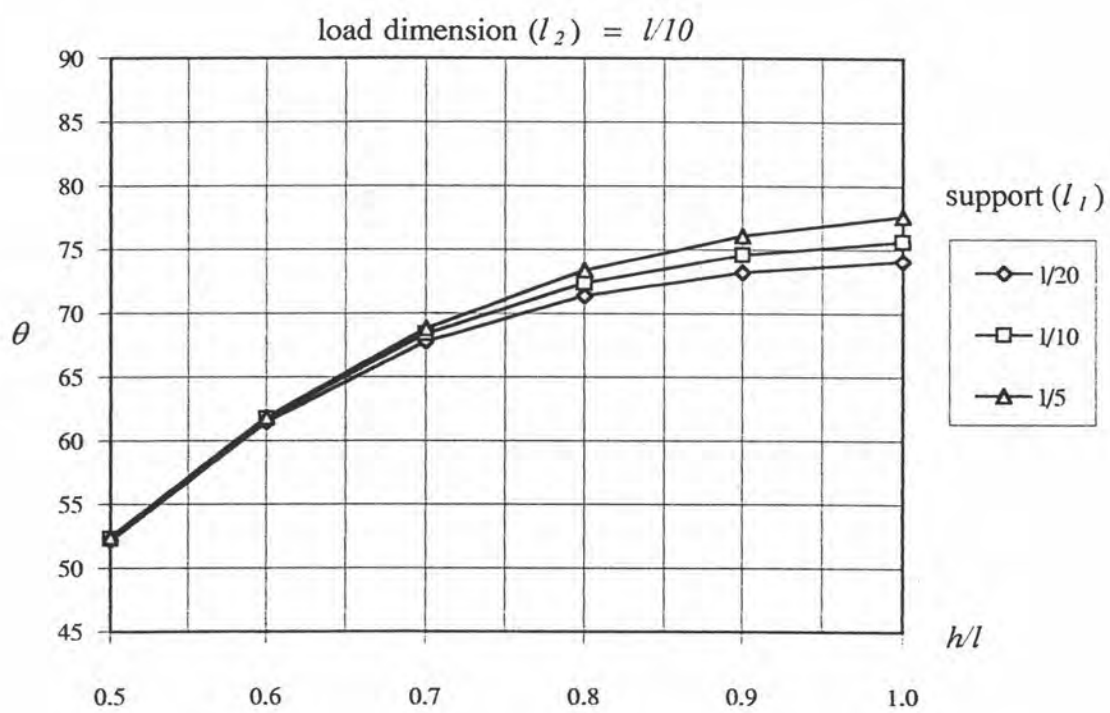
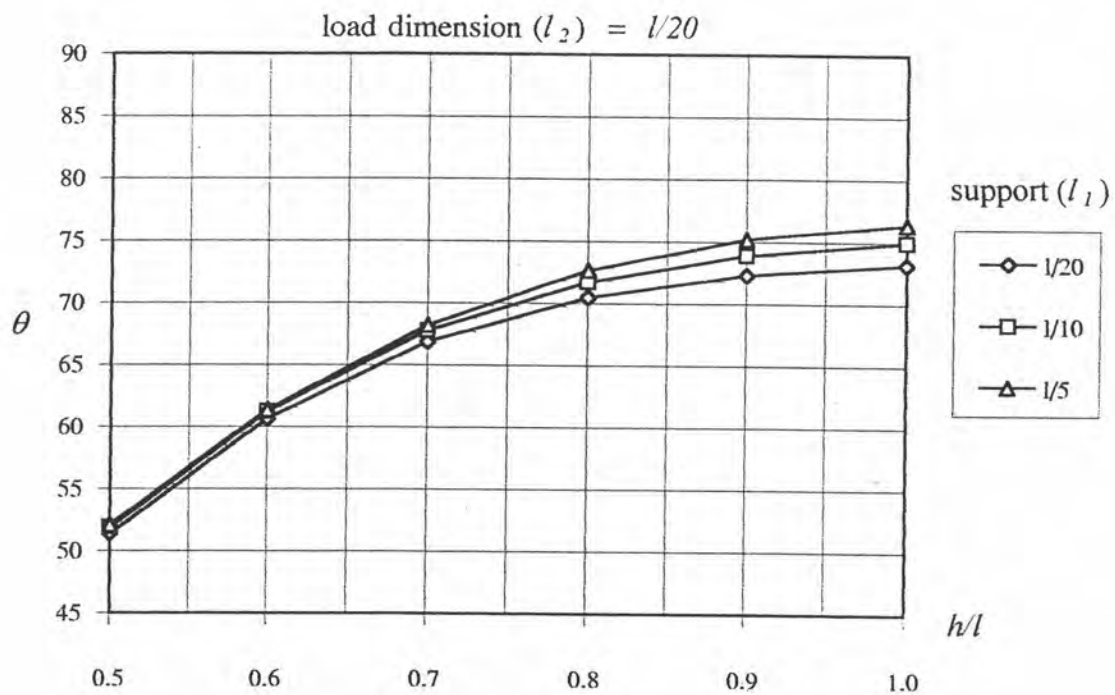
รูปที่ 3.28 (ต่อ) ระยะจากตำแหน่งแรงดึงถึงผิวล่าง (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)



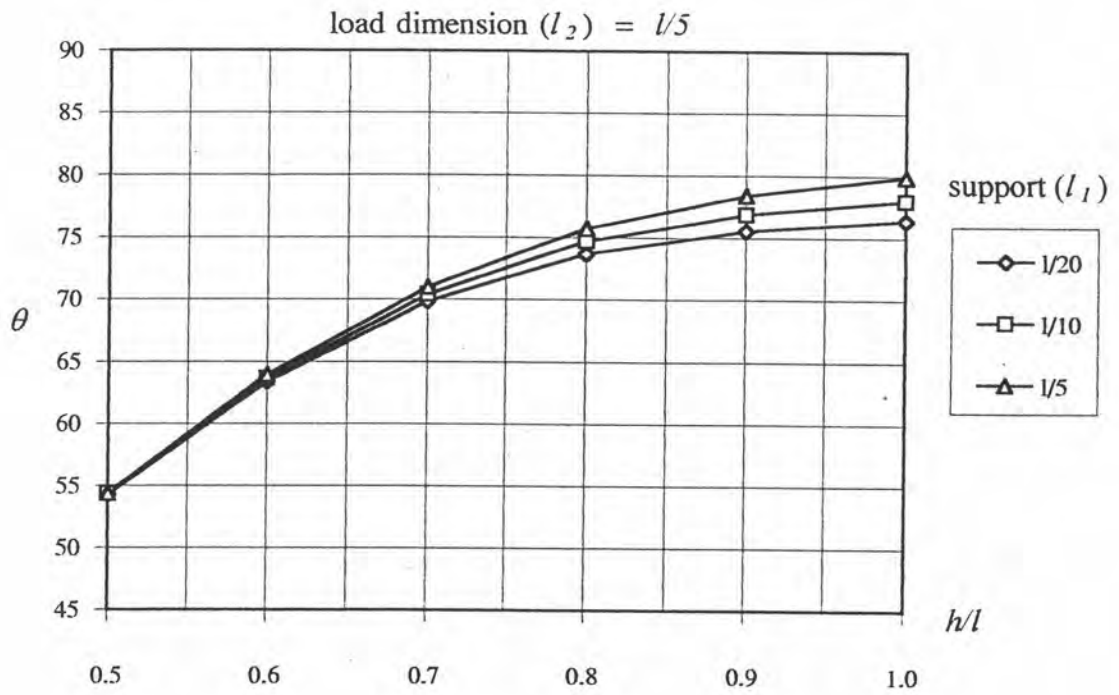
รูปที่ 3.29 ระยะห่างแกนแรงคู่ควบภายใน (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)



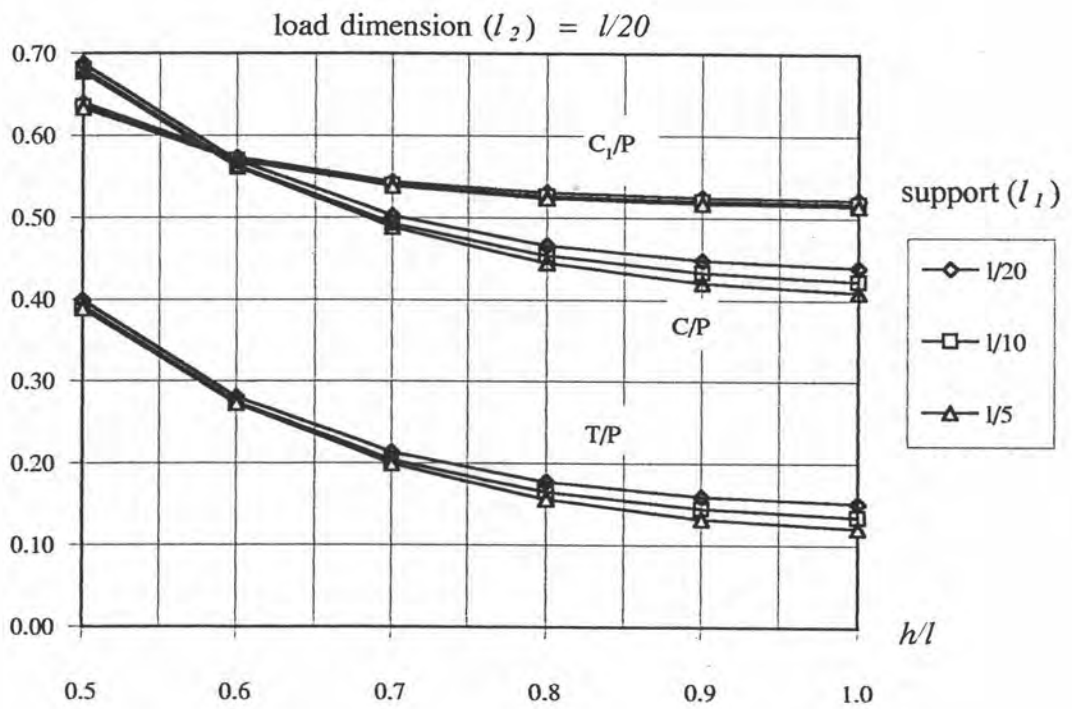
รูปที่ 3.29 (ต่อ) ระยะห่างแกนแรงคู่ควบภายใน (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)



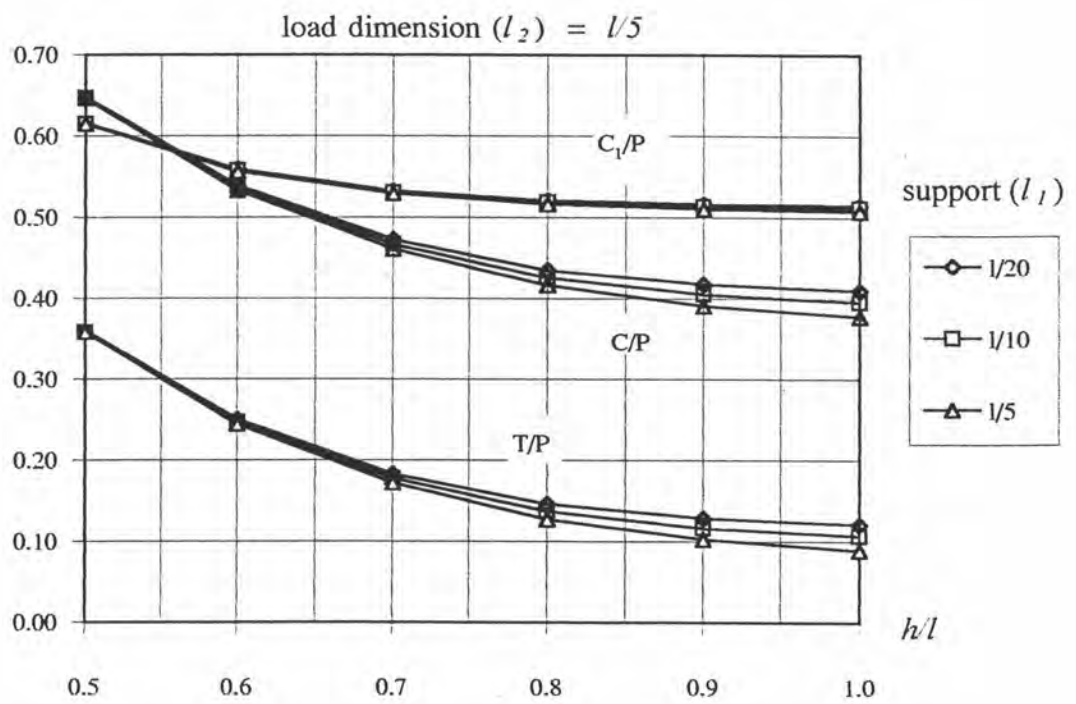
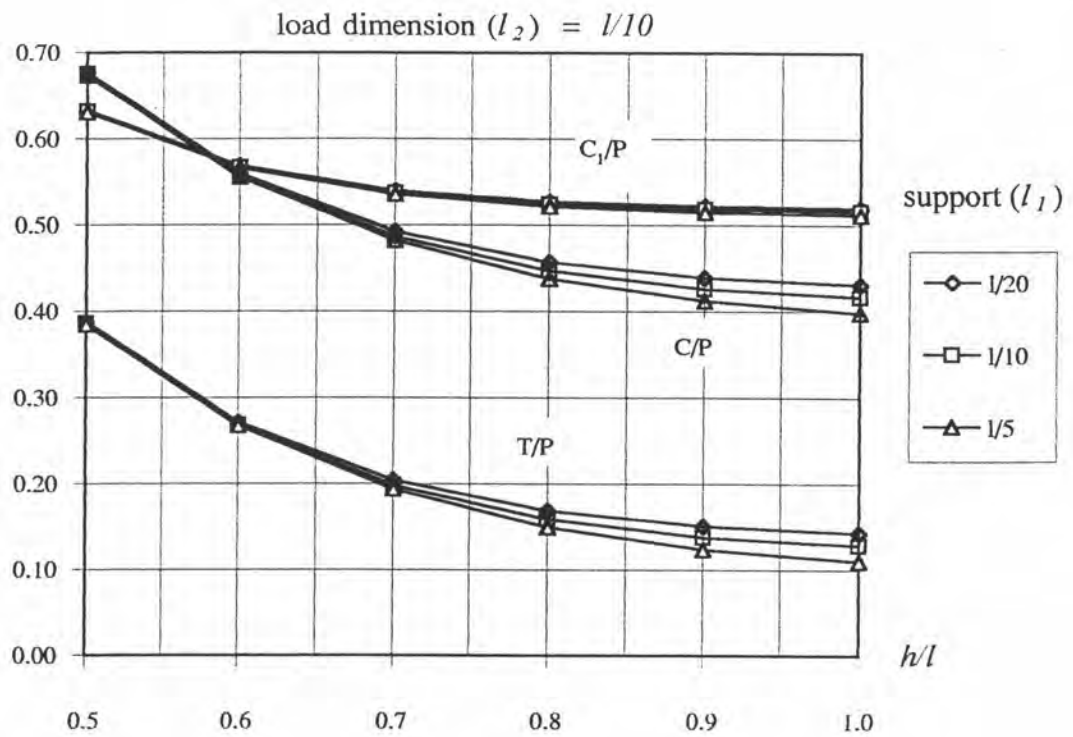
รูปที่ 3.30 มุมเอียงของสตรัทแนวทแยง (กรณีนี้ให้นักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)



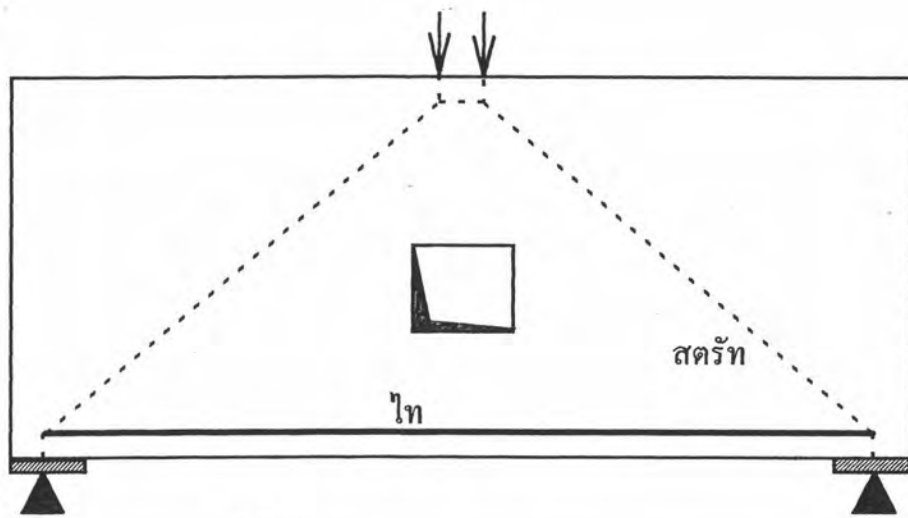
รูปที่ 3.30 (ต่อ) มุมเอียงของสตรัทแนวทแยง (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)



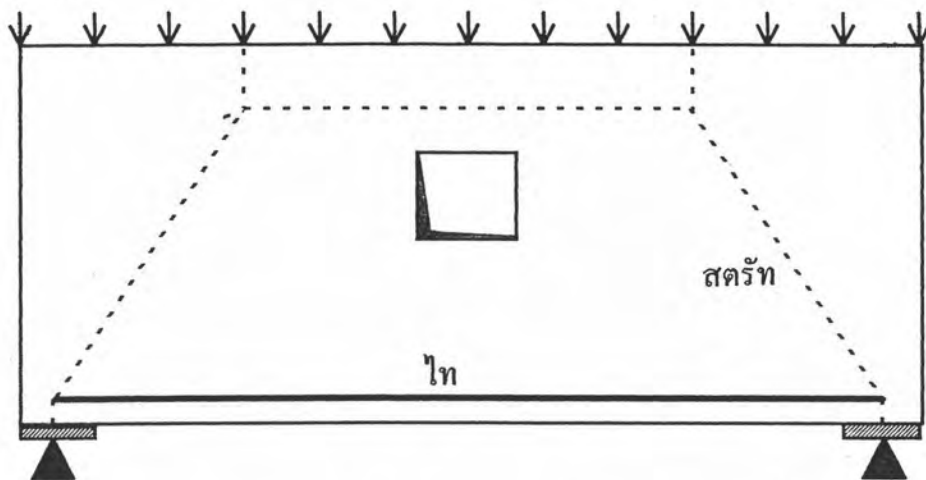
รูปที่ 3.31 แรงภายในแบบจำลอง (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)



รูปที่ 3.31 (ต่อ) แรงภายในแบบจำลอง (กรณีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่ด้านล่าง)

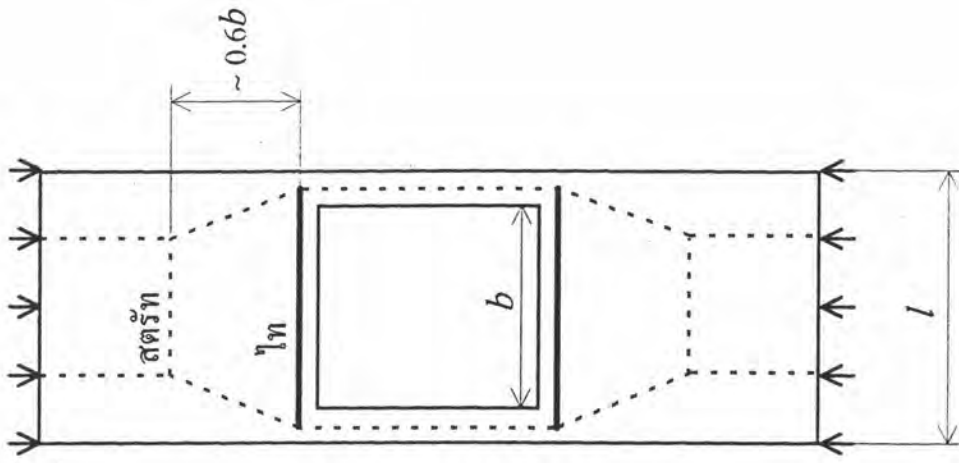


ก) หนักกระทำแบบจุด

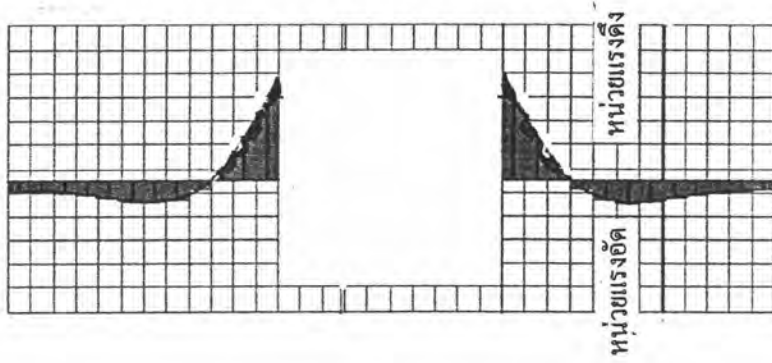


ข) น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

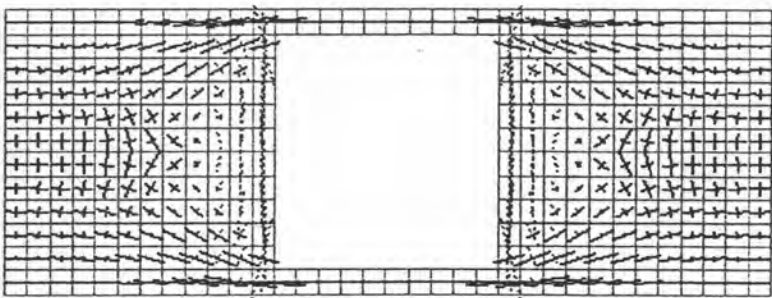
รูปที่ 3.32 กรณีช่องเปิดไม่ขวางเส้นทางของสตรัท



ค) แบบจำลองเสาเข็ม-เสา

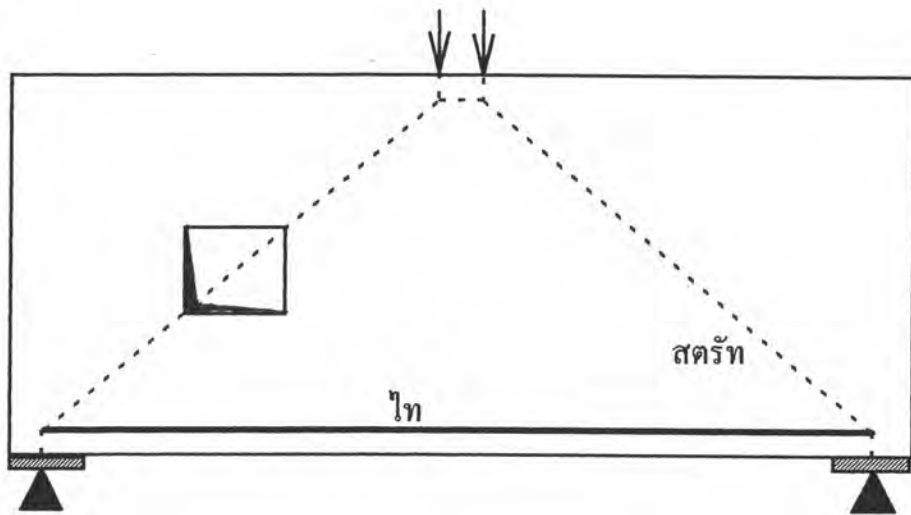


ข) หน่วยแรง σ_x

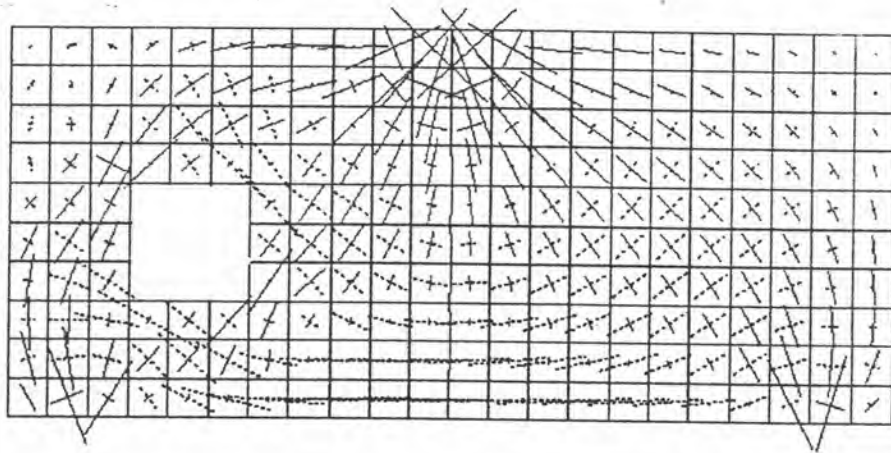


ค) การกระจายของหน่วยแรงหลัก

รูปที่ 3.33 แบบจำลองพื้นฐานกรณีโครงสร้างมีช่องเปิด

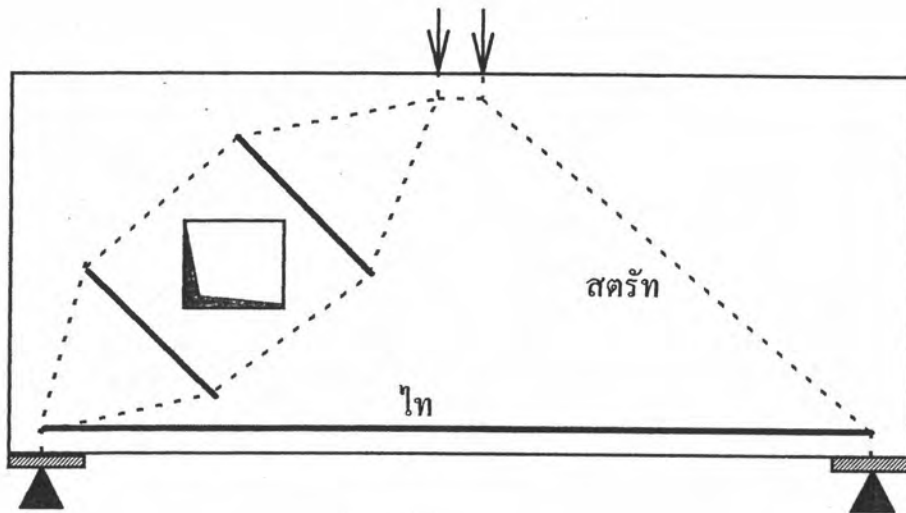


ก) ช่องเปิดขวางแนวของสตรัท

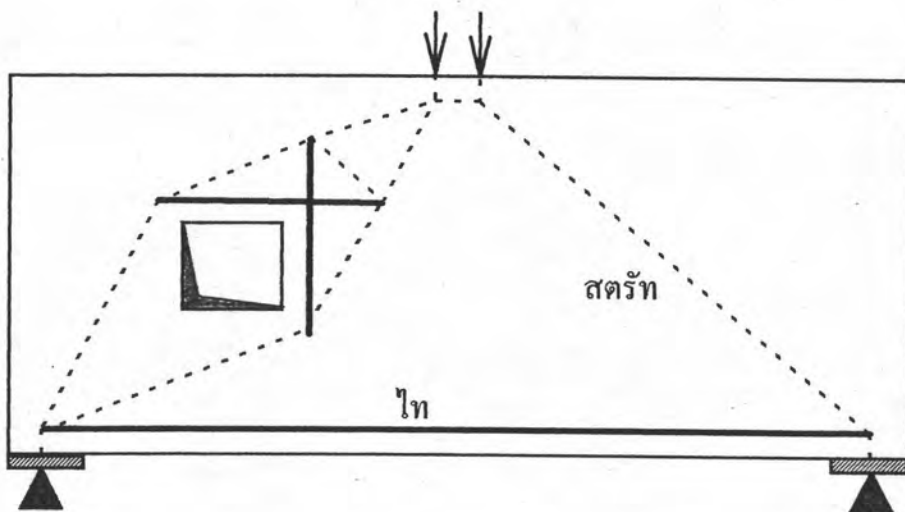


ข) การกระจายหน่วยแรงหลัก

รูปที่ 3.34 กรณีช่องเปิดขวางแนวสตรัทที่พุ่งสู่รองรับ

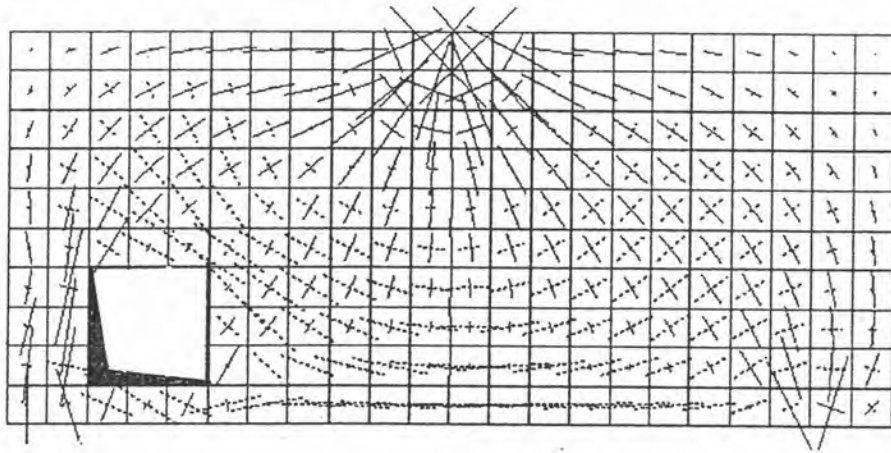


ค) แบบจำลอง

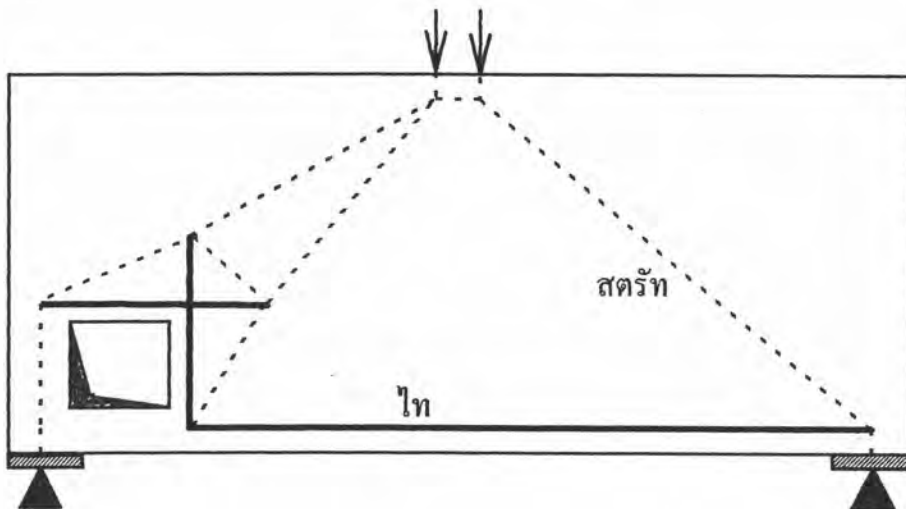


ง) แบบจำลองเมื่อวางไทขนานกับขอบของช่องเปิด

รูปที่ 3.34 (ต่อ) กรณีช่องเปิดขวางแนวของสตรัทที่พุ่งสู่รองรับ

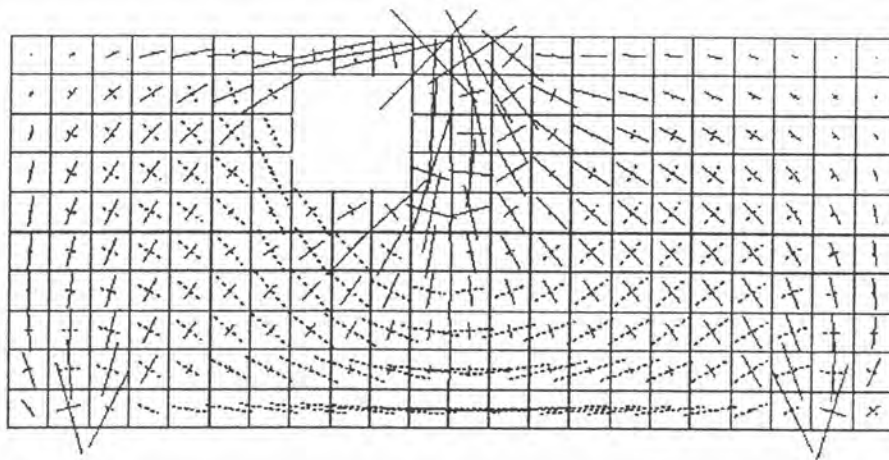


ก) การกระจายหน่วยแรงหลัก

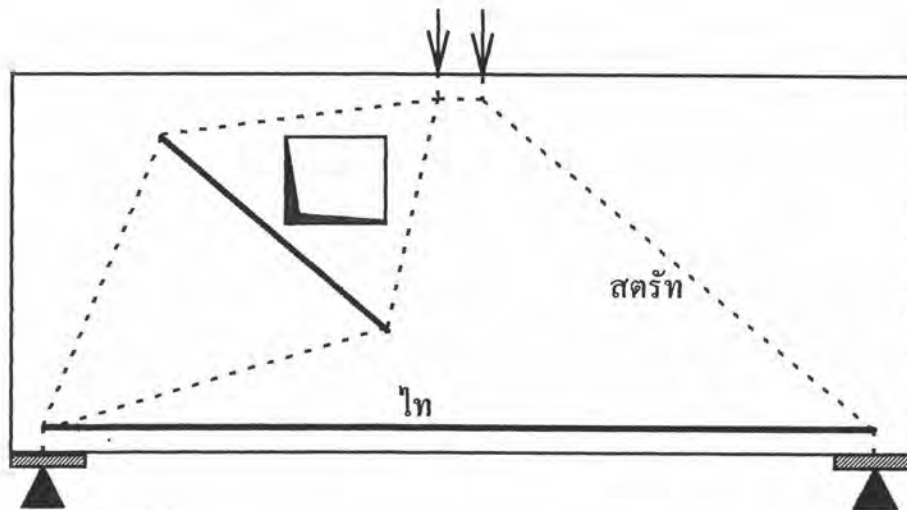


ข) แบบจำลอง

รูปที่ 3.35 เมื่อตำแหน่งช่องเปิดอยู่ที่มุมล่าง

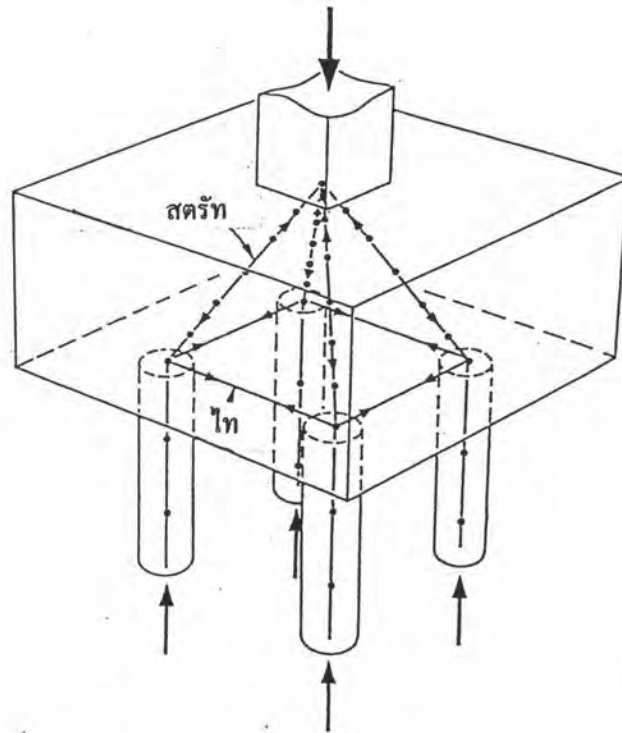


ก) การกระจายของหน่วยแรงหลัก

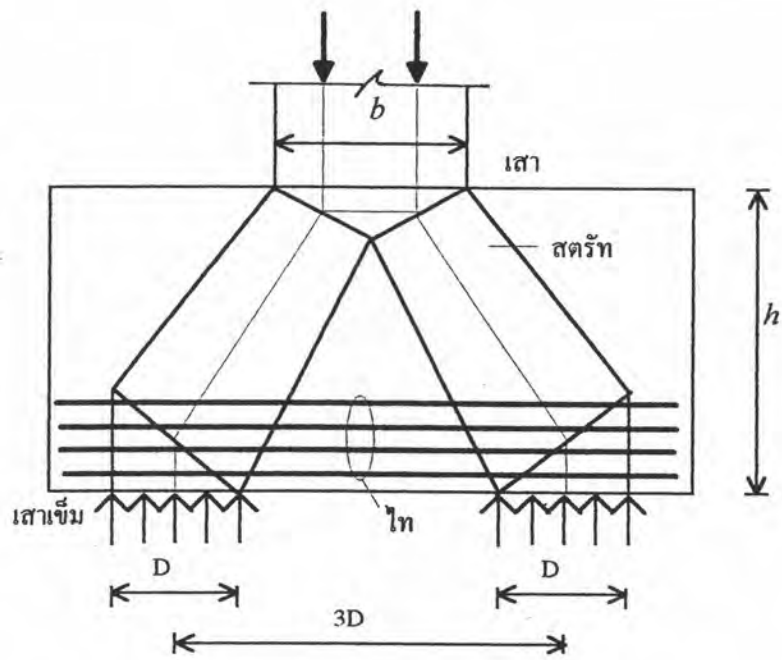


ข) แบบจำลอง

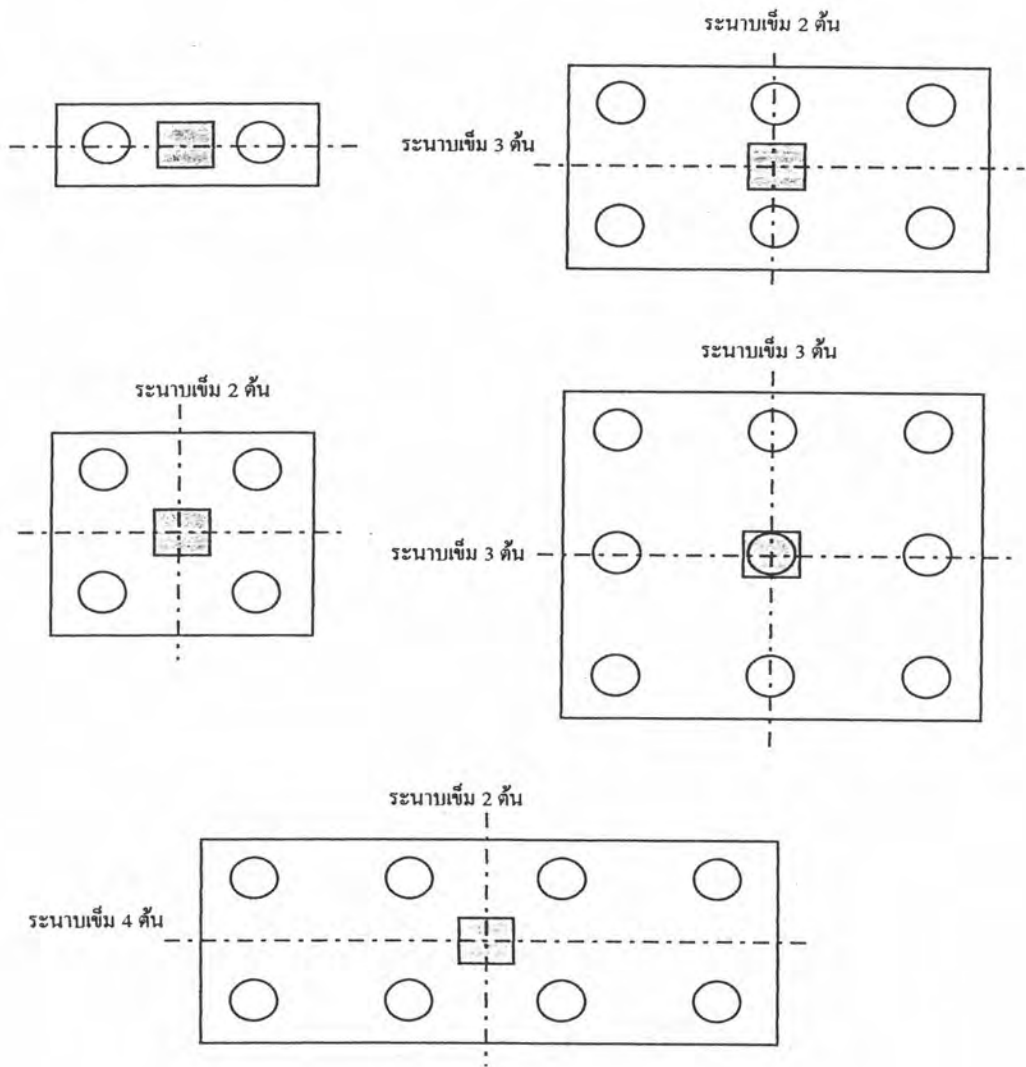
รูปที่ 3.36 เมื่อตำแหน่งช่องเปิดอยู่ใกล้กับน้ำหนักค้ำบน



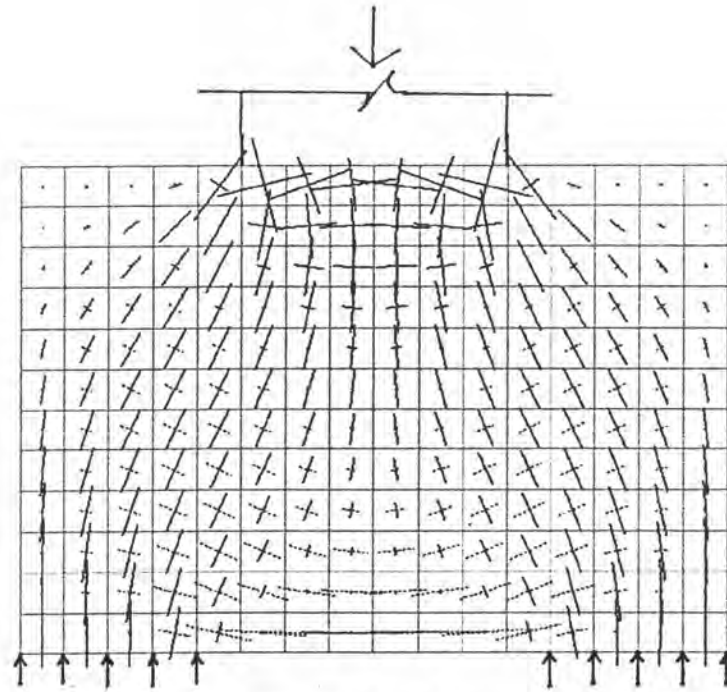
รูปที่ 3.37 แบบจำลองสามมิติของการส่งถ่ายแรงภายในฐานราก



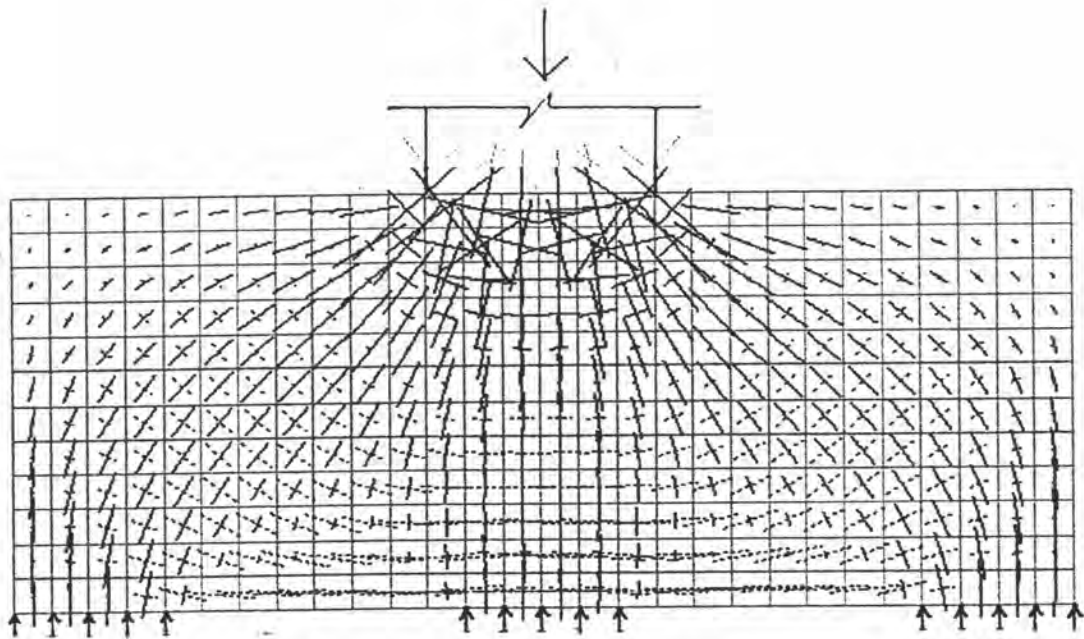
รูปที่ 3.38 แบบจำลองสตรัท-โทของฐานรากเมื่อพิจารณาแบบสองมิติ



รูปที่ 3.39 การแบ่งระนาบเพื่อสร้างแบบจำลองสตรัท-ไทในสองทิศทาง

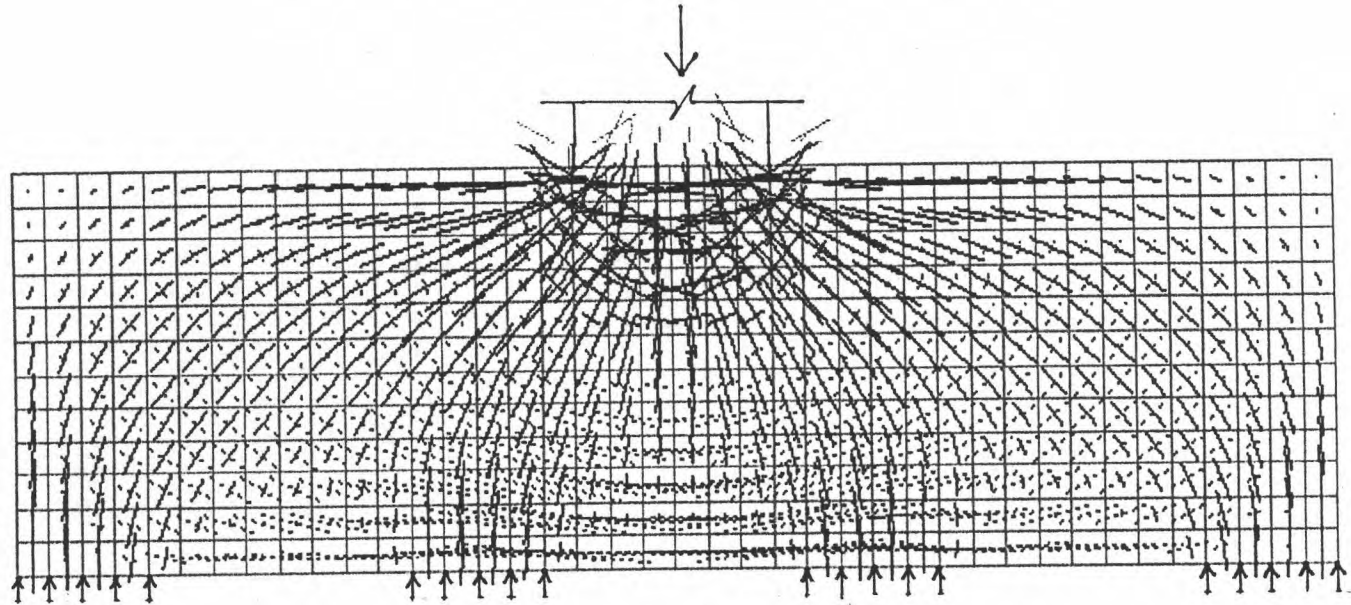


ก) ระบายที่มีชั้น 2 ชั้น



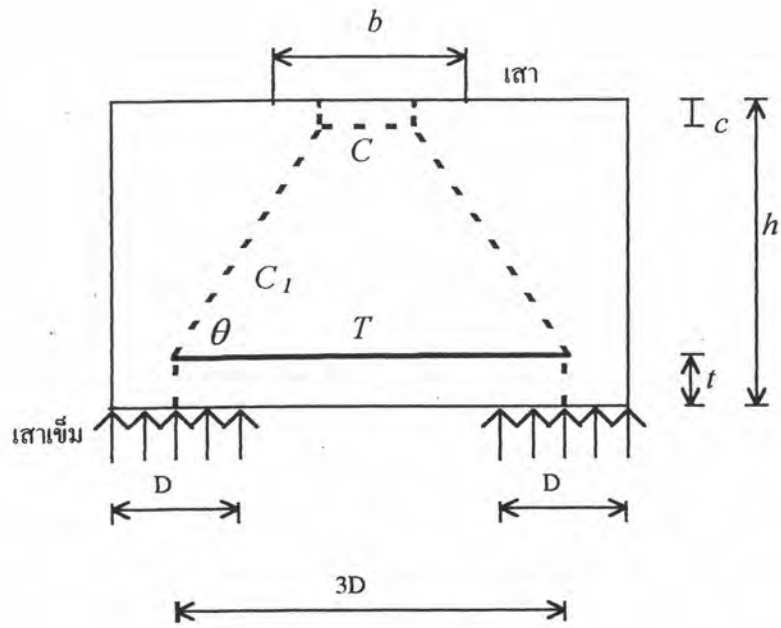
ข) ระบายที่มีชั้น 3 ชั้น

รูปที่ 3.40 การกระจายของหน่วยแรงหลัก

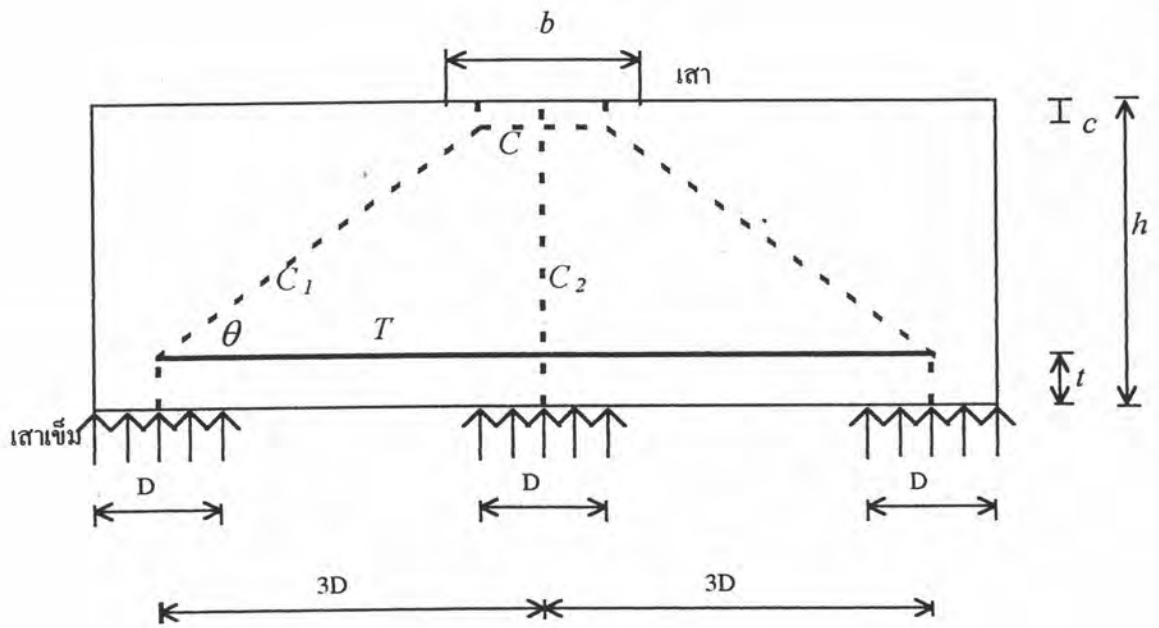


ค) ระนาบที่มีชั้น 4 ชั้น

รูปที่ 3.40 (ต่อ) การกระจายของหน่วยแรงหลัก

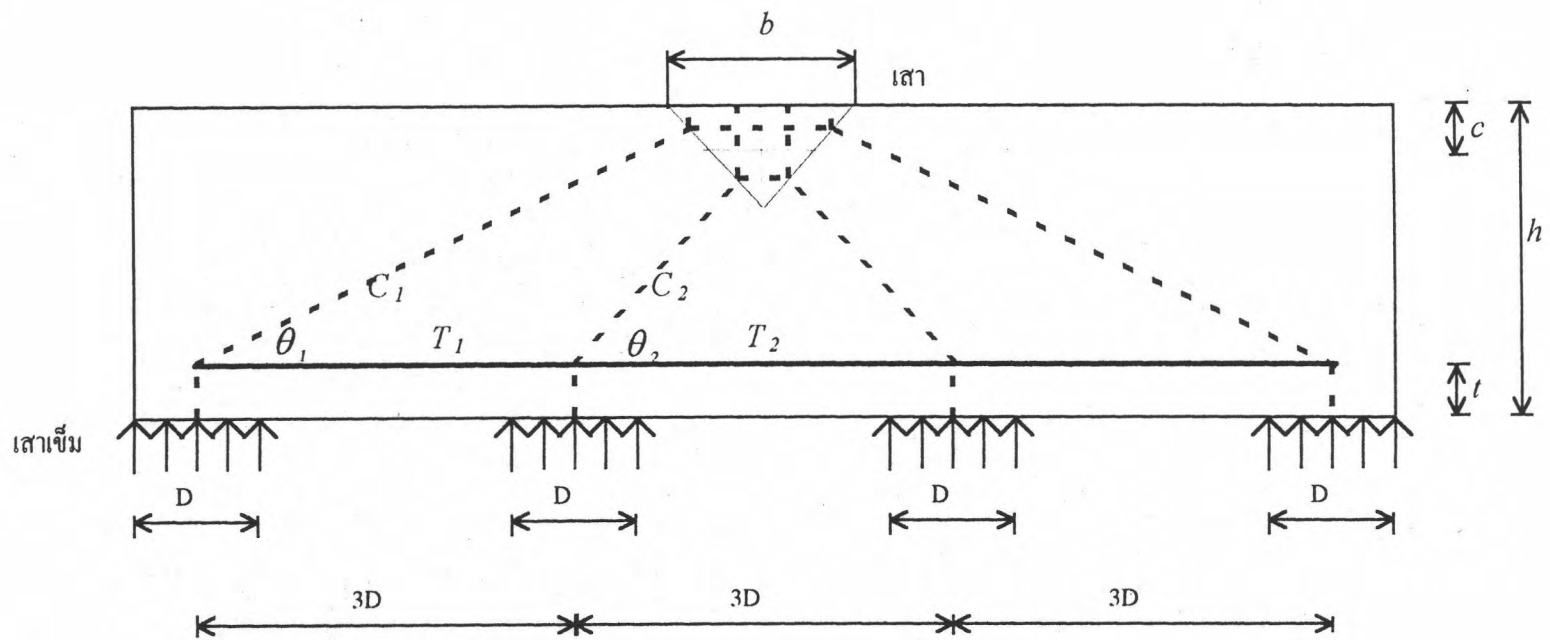


ก) ระบายที่มีเข็ม 2 ต้น



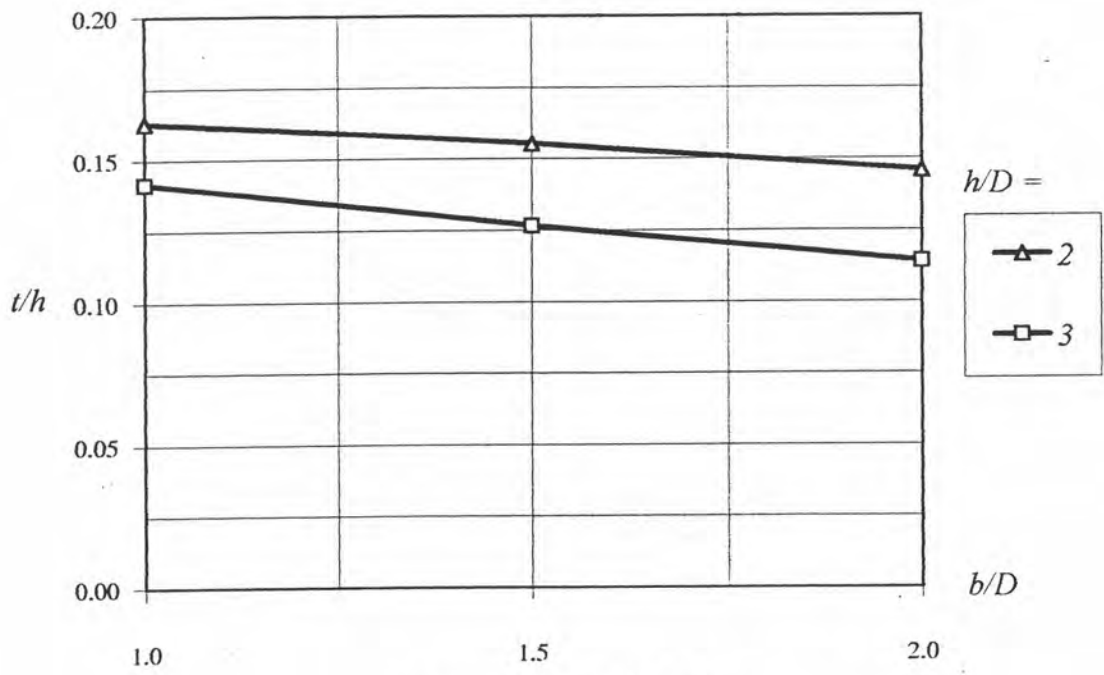
ข) ระบายที่มีเข็ม 3 ต้น

รูปที่ 3.41 แบบจำลองสตรัท-ไทของฐานราก

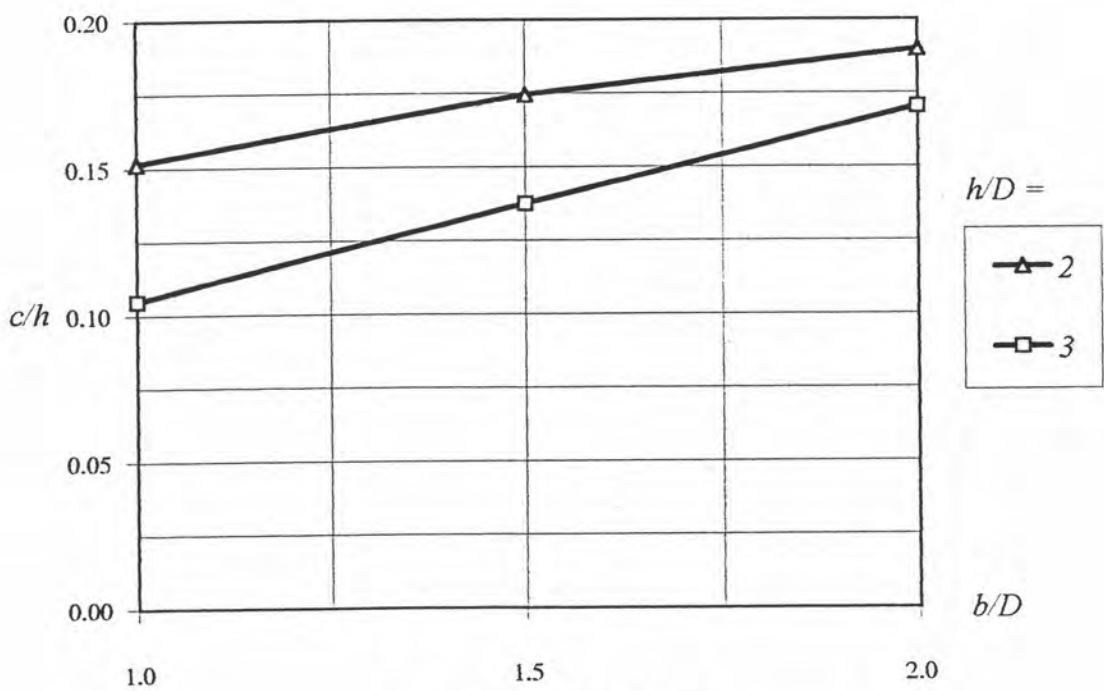


ค) ระนาบที่มีเข็ม 4 ต้น

รูปที่ 3.41(ต่อ) แบบจำลองสถิตย-ไทของฐานราก

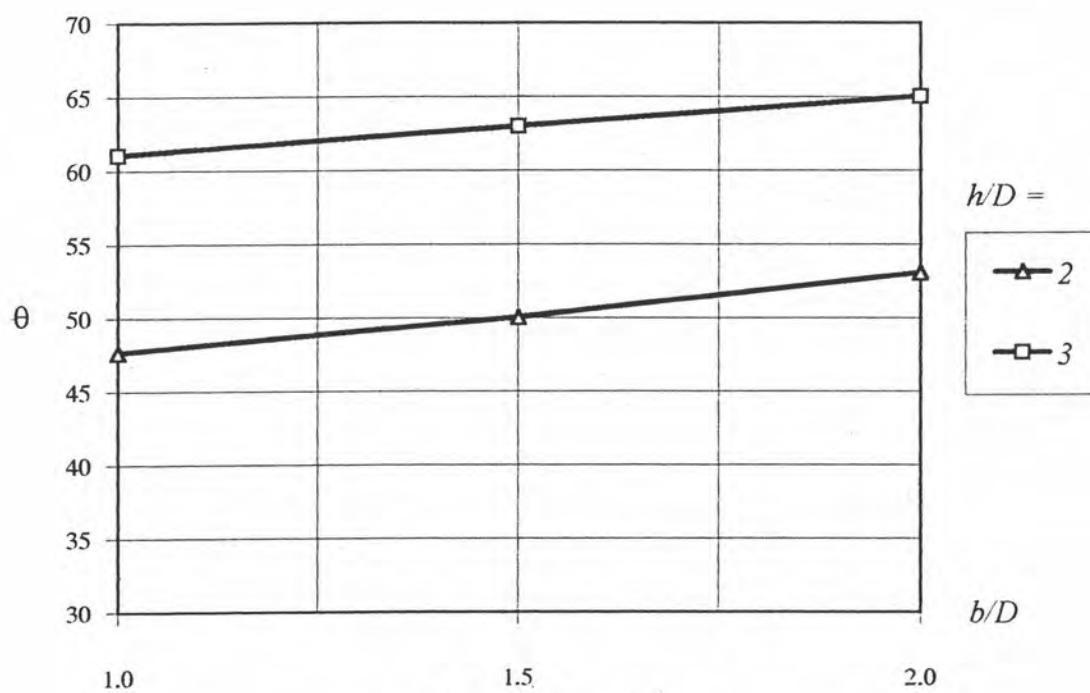


ก) ตำแหน่งแรงค้ำยันถึงผิวล่าง

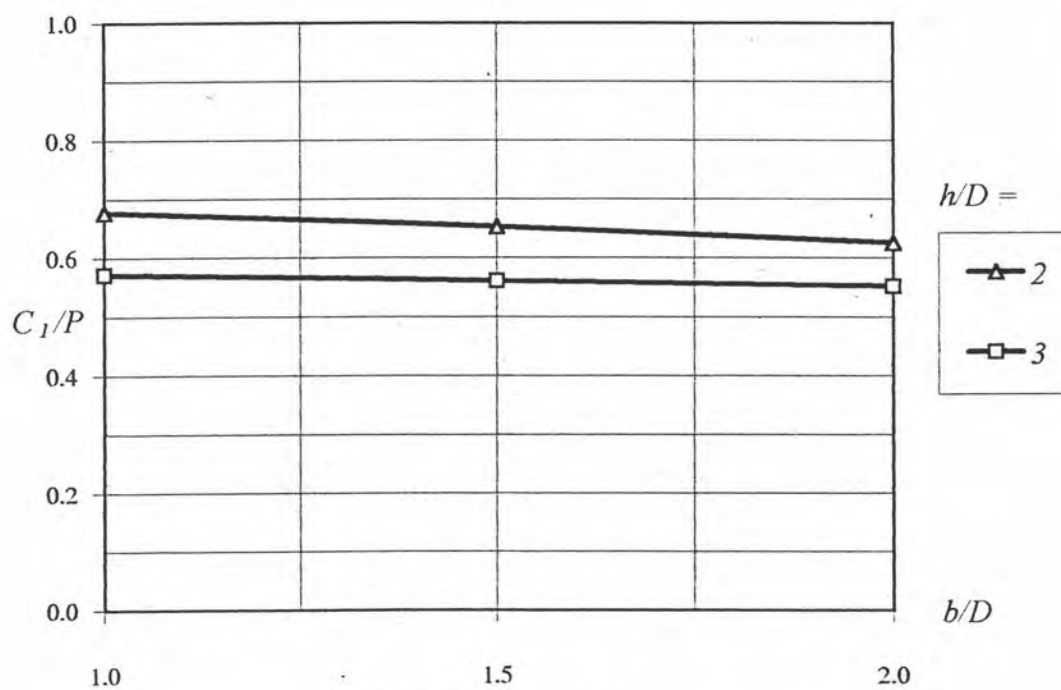


ข) ตำแหน่งแรงยึดค้ำยันถึงผิวบน

รูปที่ 3.42 พารามิเตอร์ของกรณีระนาบที่เข็ม 2 ต้น

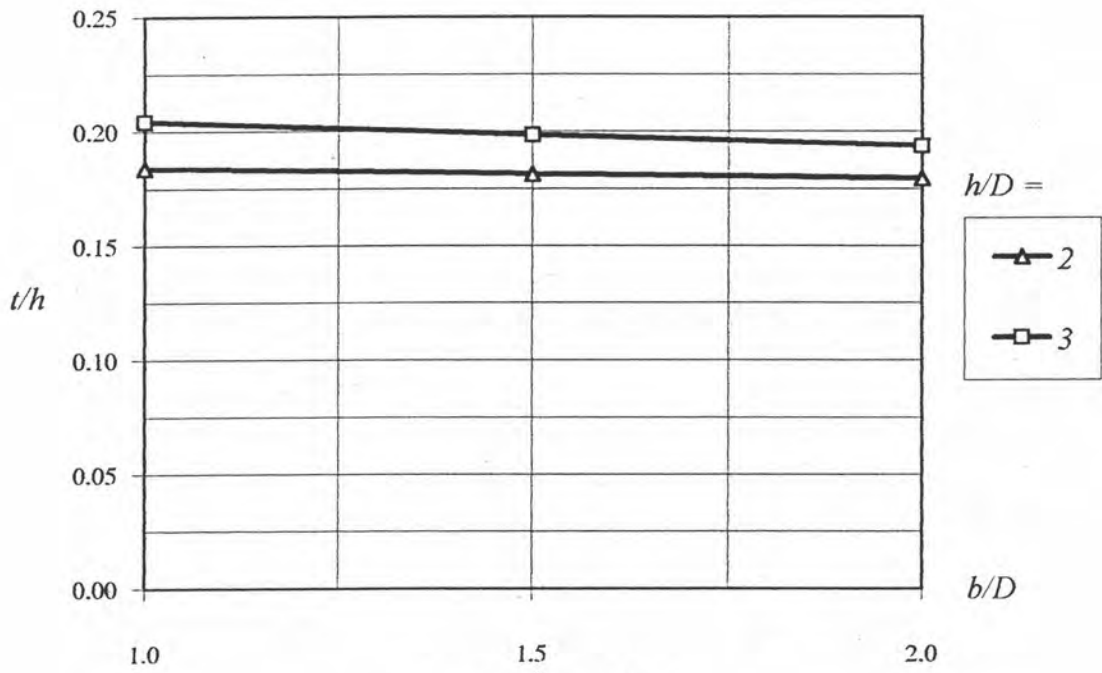


ค) มุมเอียงของสตรัทแนวทแยง

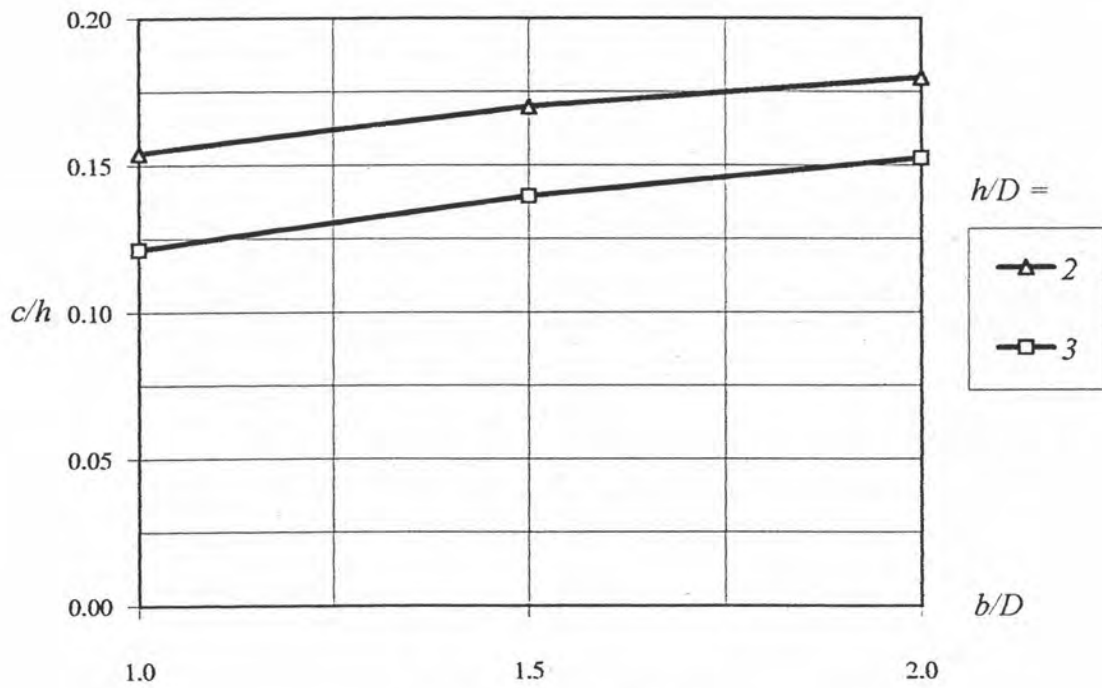


ง) แรงภายในแบบจำลอง

รูปที่ 3.42(ต่อ) พารามิเตอร์ของกรณีระนาบที่เข็ม 2 คัน

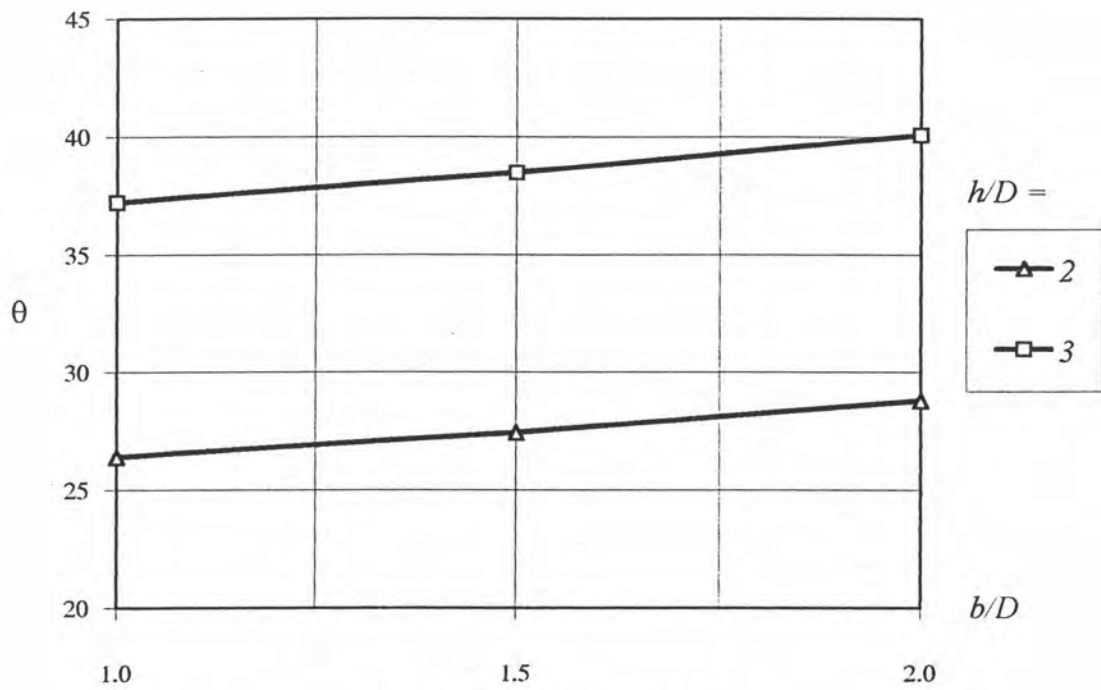


ก) ตำแหน่งแรงดึงลัพธ์ถึงผิวล่าง

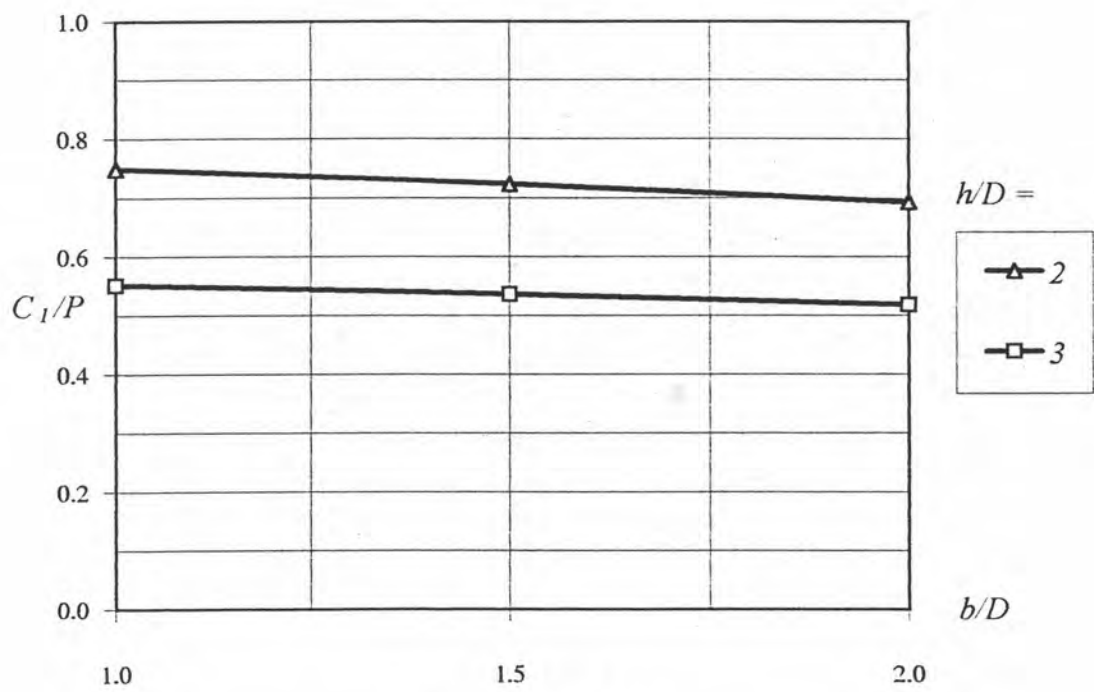


ข) ตำแหน่งแรงอัดลัพธ์ถึงผิวบน

รูปที่ 3.43 พารามิเตอร์ของกรณีระนาบที่เข็ม 3 คัน

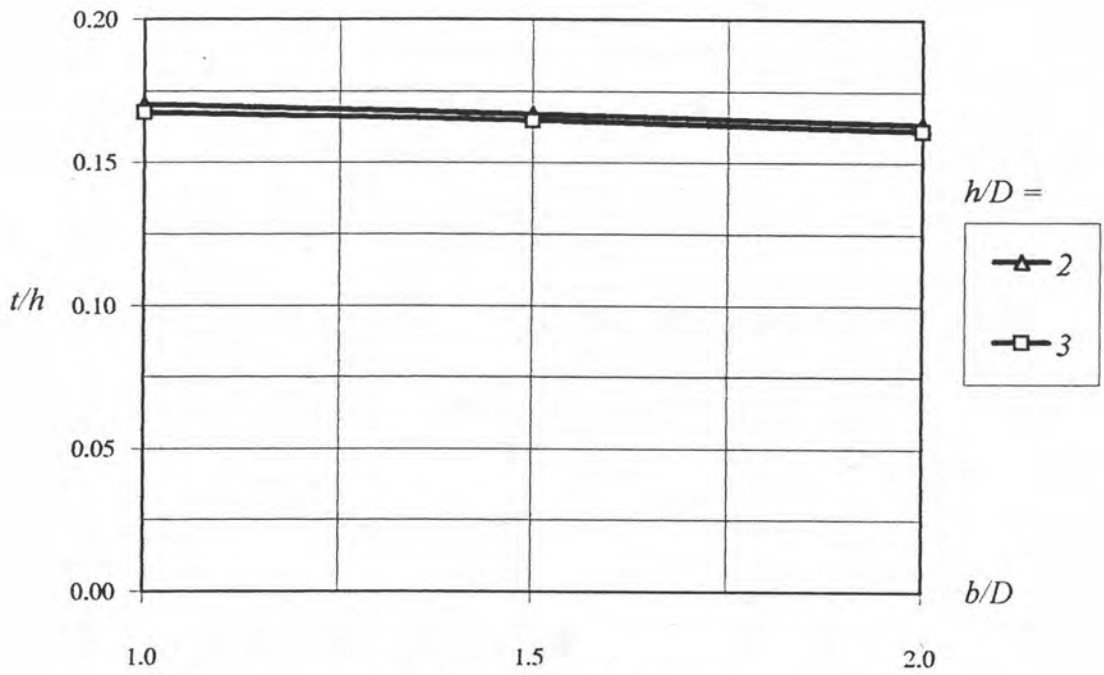


ก) มุมเอียงของสตรัทแนวทแยง

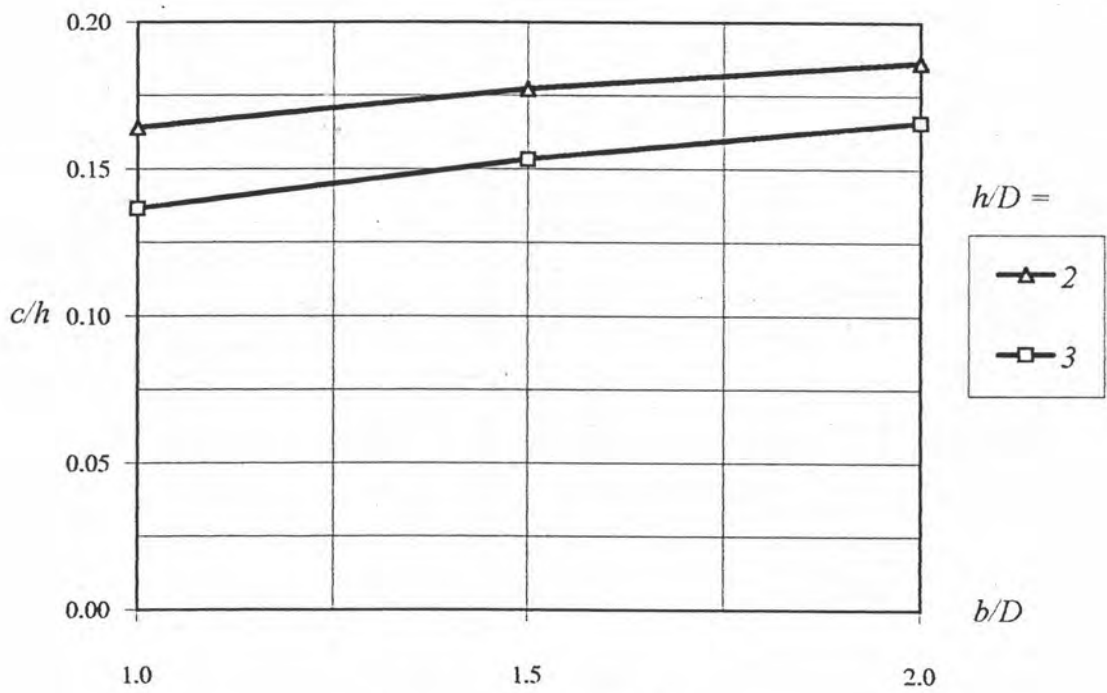


ง) แรงภายในแบบจำลอง

รูปที่ 3.43 (ต่อ) พารามิเตอร์ของกรณีระนาบที่เข็ม 3 คั่น

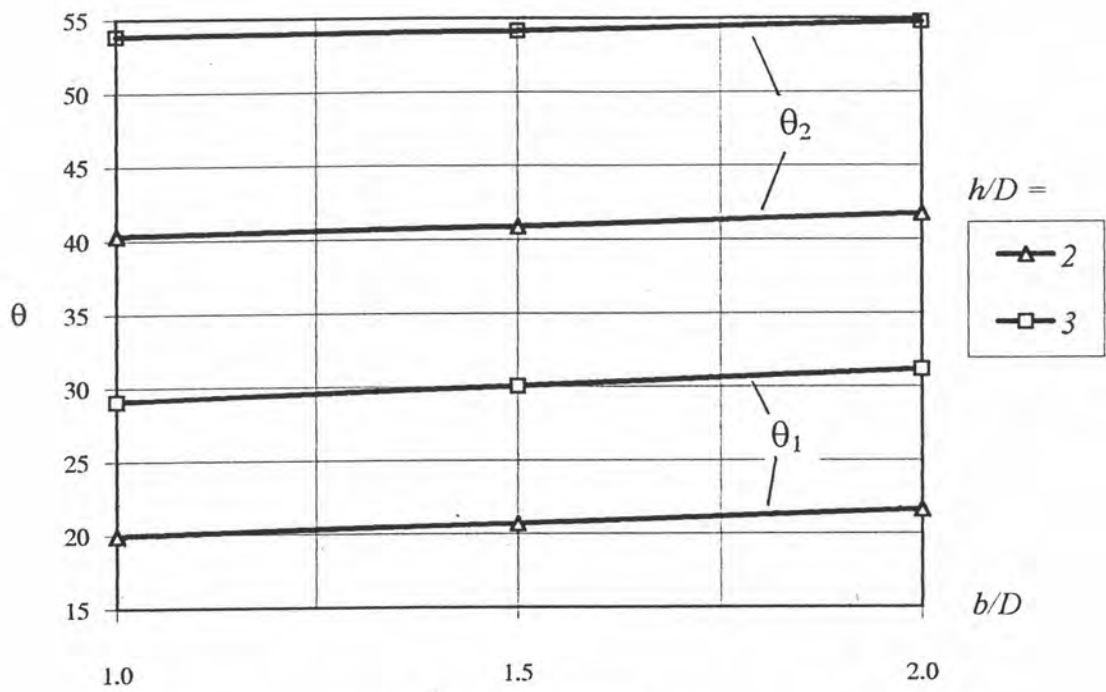


ก) ตำแหน่งแรงดึงลัพธ์ถึงผิวล่าง

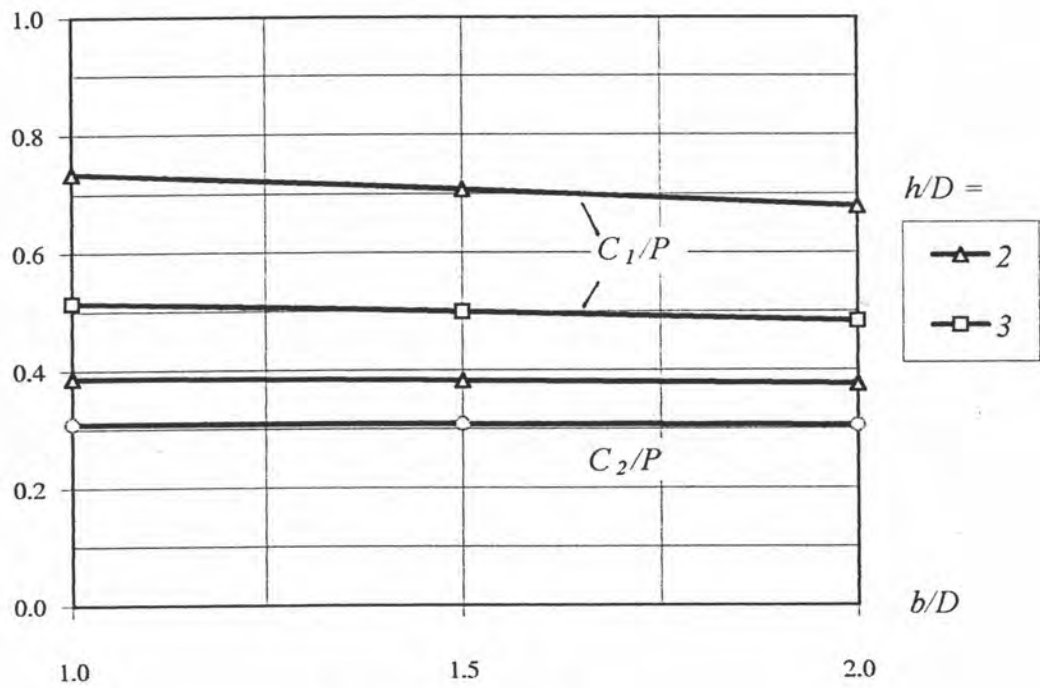


ข) ตำแหน่งแรงอัดลัพธ์ถึงผิวบน

รูปที่ 3.44 พารามิเตอร์ของกรณีระนาบที่เข็ม 4 ต้น

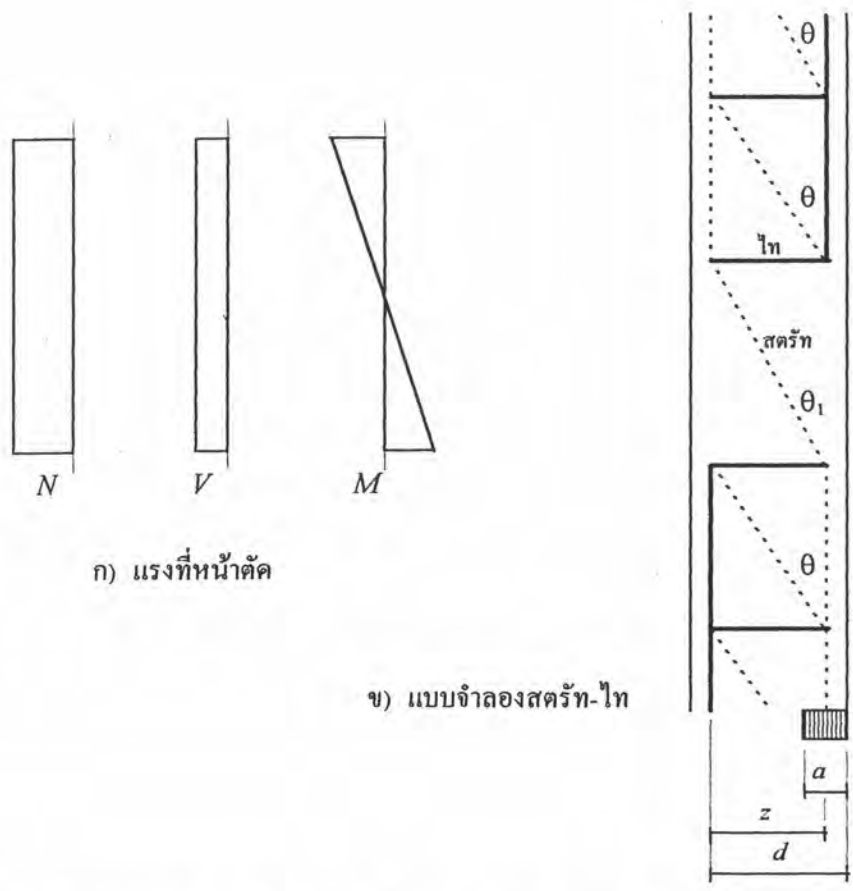


ค) มุมเอียงของสตรัทแนวทแยง

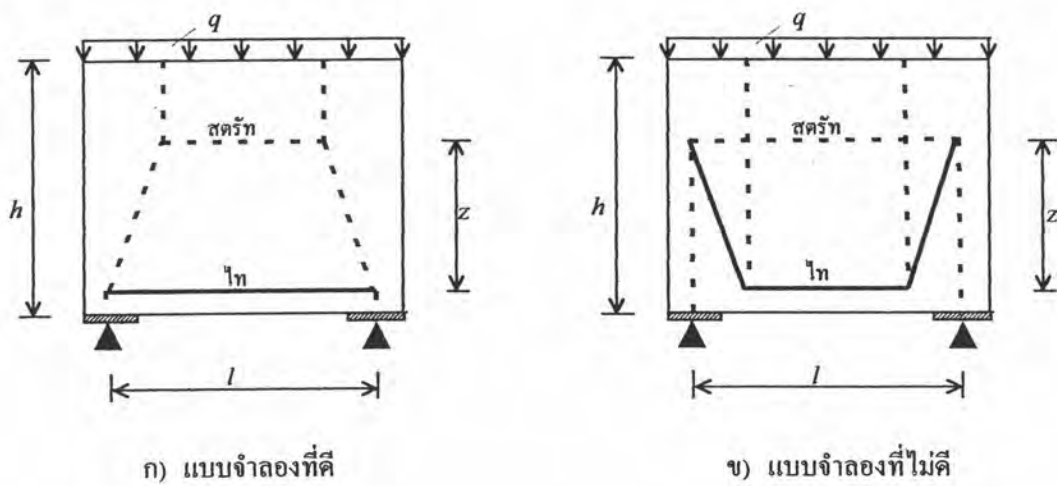


ง) แรงภายในแบบจำลอง

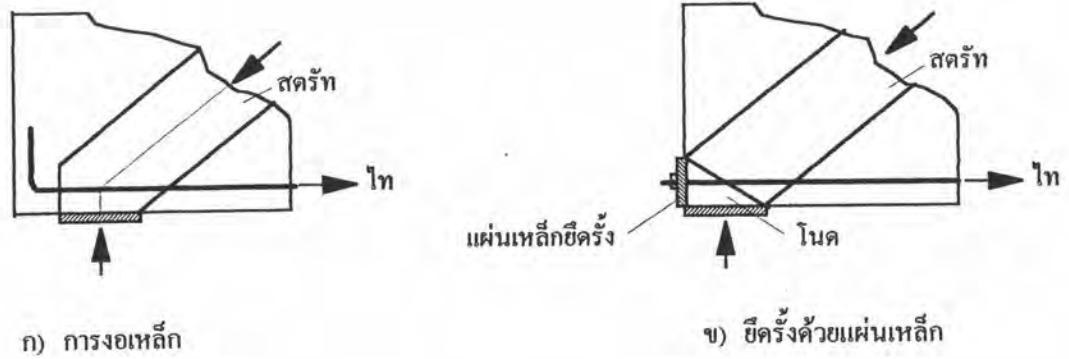
รูปที่ 3.44 (ต่อ) พารามิเตอร์ของกรณีระนาบที่เข็ม 4 ต้น



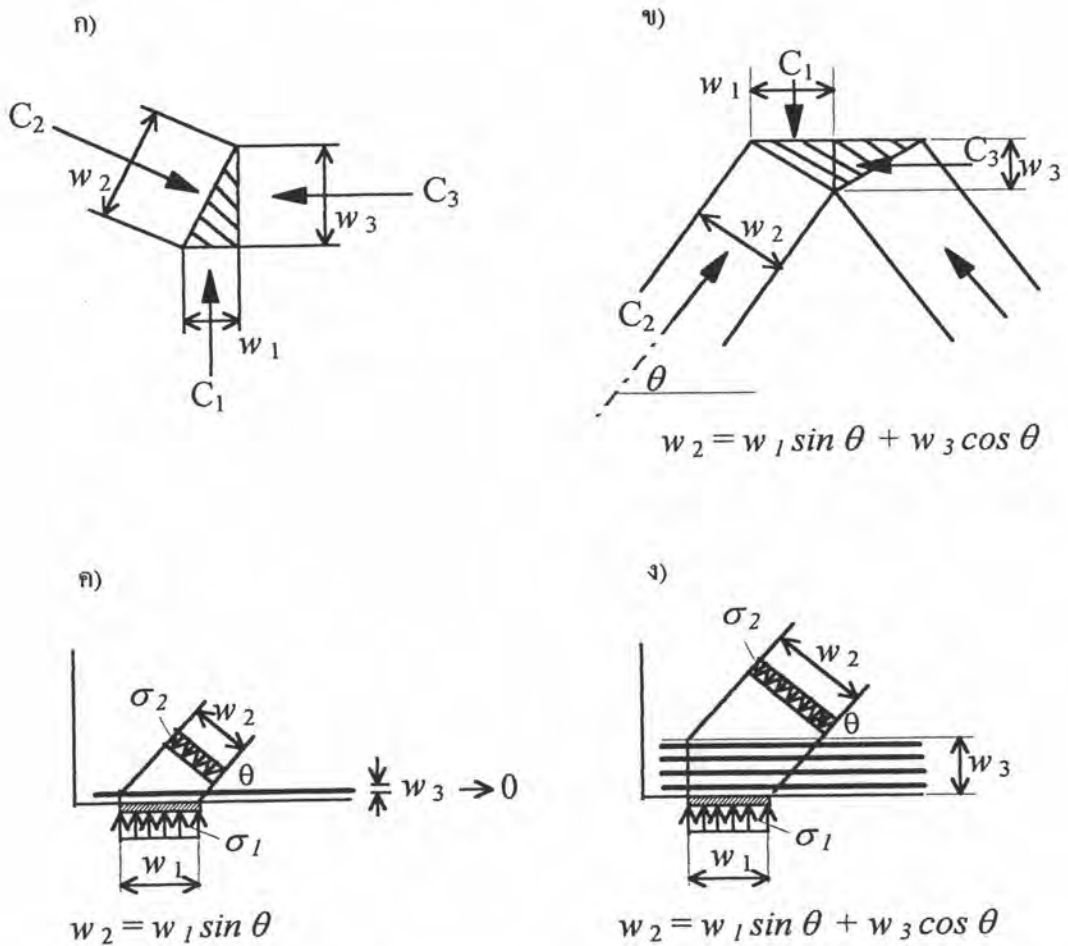
รูปที่ 3.45 แบบจำลองสตรัท-ไทของเสาที่มีแรงอัดตามแกน, แรงเฉือนและโมเมนต์คด



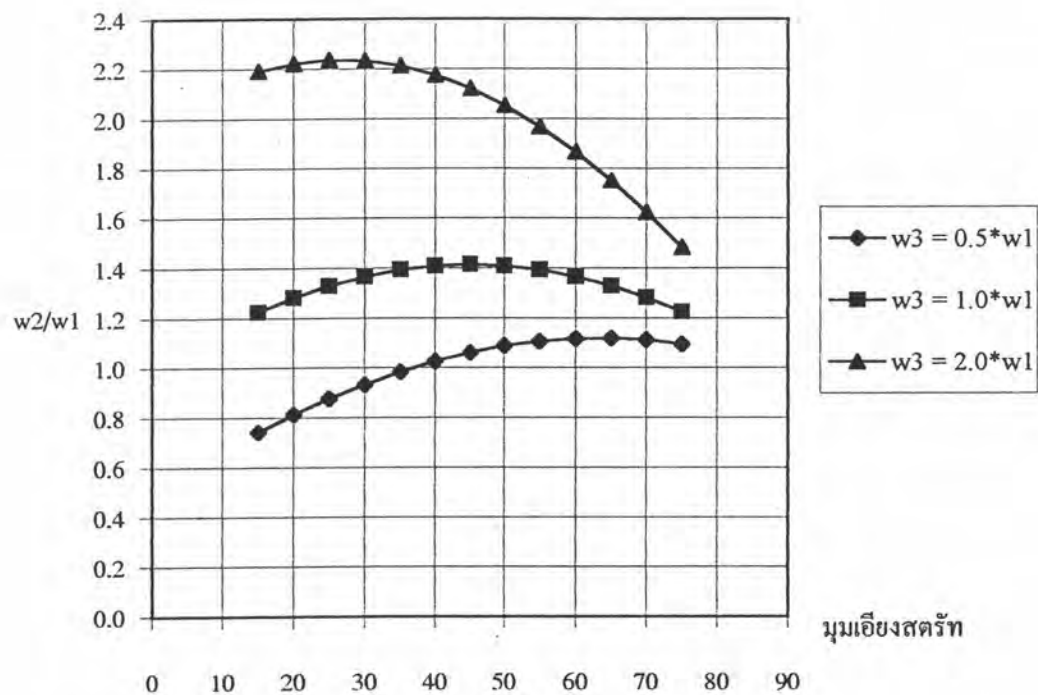
รูปที่ 3.46 แบบจำลองที่ดีมีระยะของไทสั้นกว่าแบบจำลองที่ไม่ดี



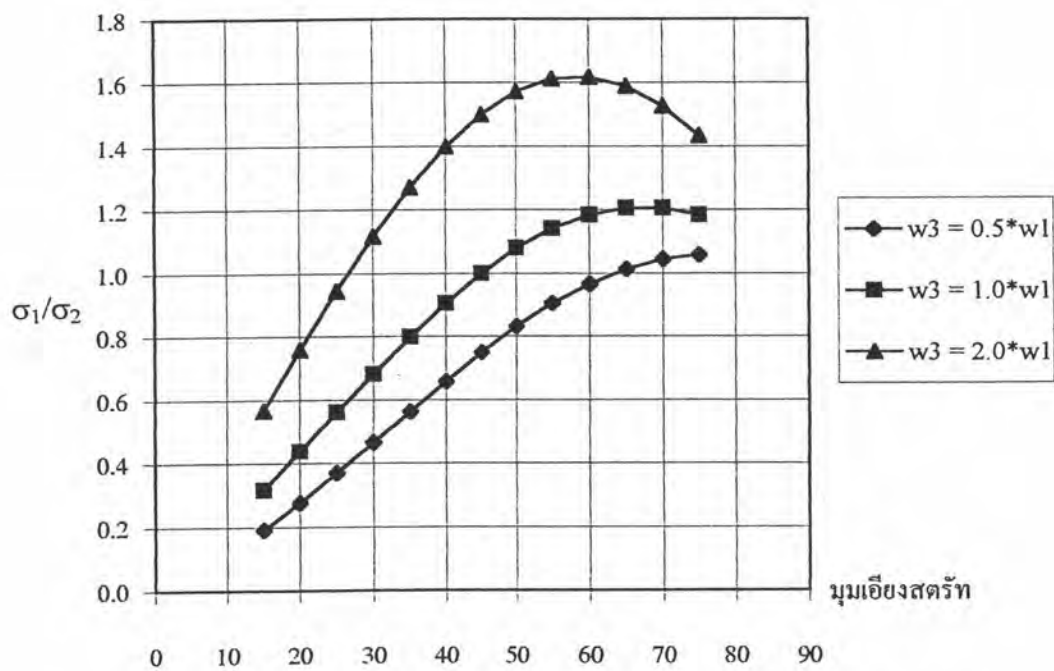
รูปที่ 4.1 การยึดตรึงของเหล็กตามยาว



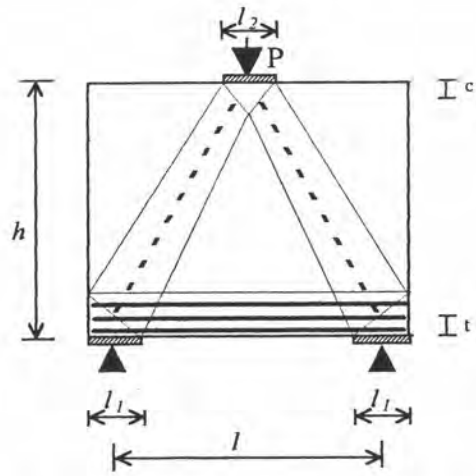
รูปที่ 4.2 ขนาดของสตรัทและ โนด ก), ข) CCC-Node ค) CCT-Node เรียงเหล็กเสริมชั้นเดียว
ง) เรียงเหล็กเสริมหลายชั้น



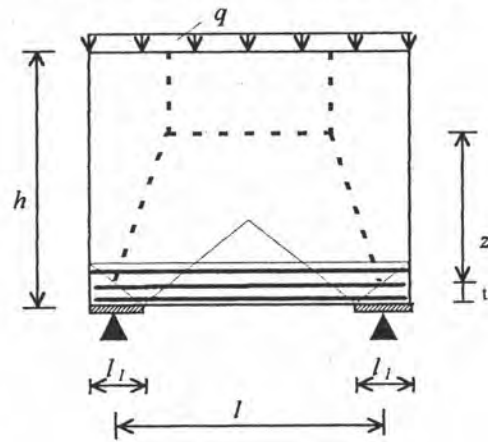
รูปที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนความกว้างของสตรัทต่อความกว้างจุดรองรับ



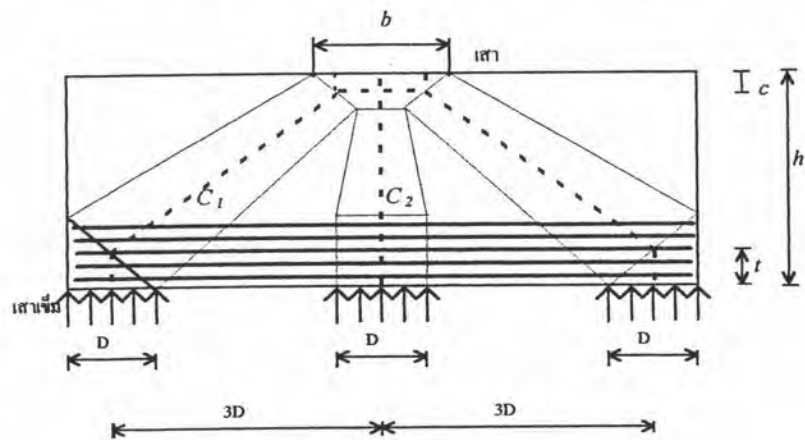
รูปที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนของหน่วยแรงอัดบริเวณจุดรองรับต่อหน่วยแรงอัดในสตรัท.



ก) คานล็กได้รับน้ำหนักกระทำแบบจุด

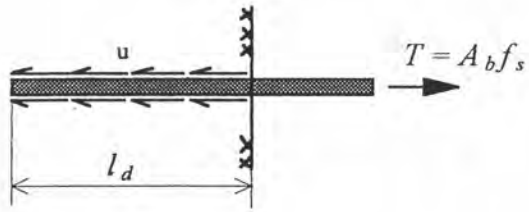


ข) คานล็กมีน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

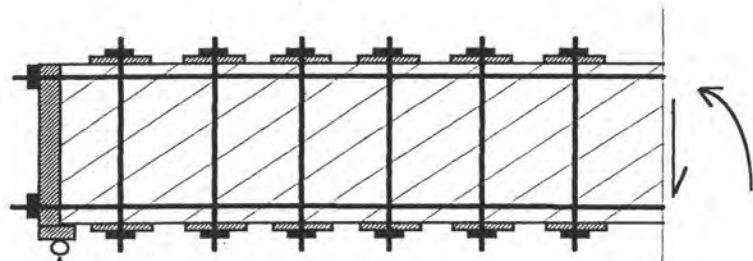


ค) ฐานรากที่จำลองว่ามีเข็ม 3 ต้นในระนาบ

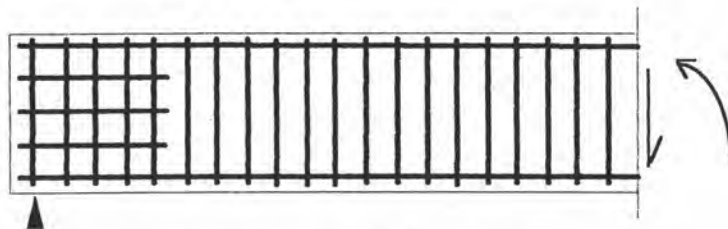
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างแสดงขนาดในแบบจำลอง



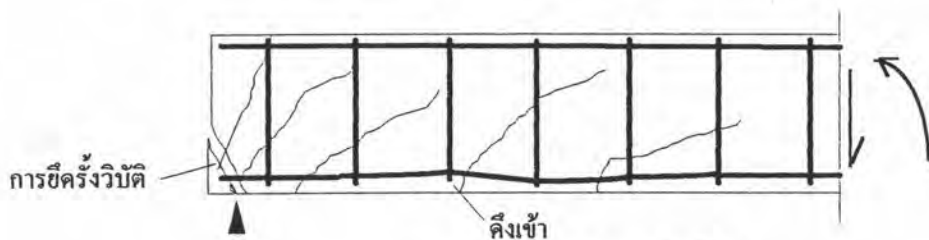
รูปที่ 4.6 ระยะยึดตรึงของเหล็กเสริม



ก) ฟังก์ชันการเสริมเหล็กที่สอดคล้องกับแบบจำลอง

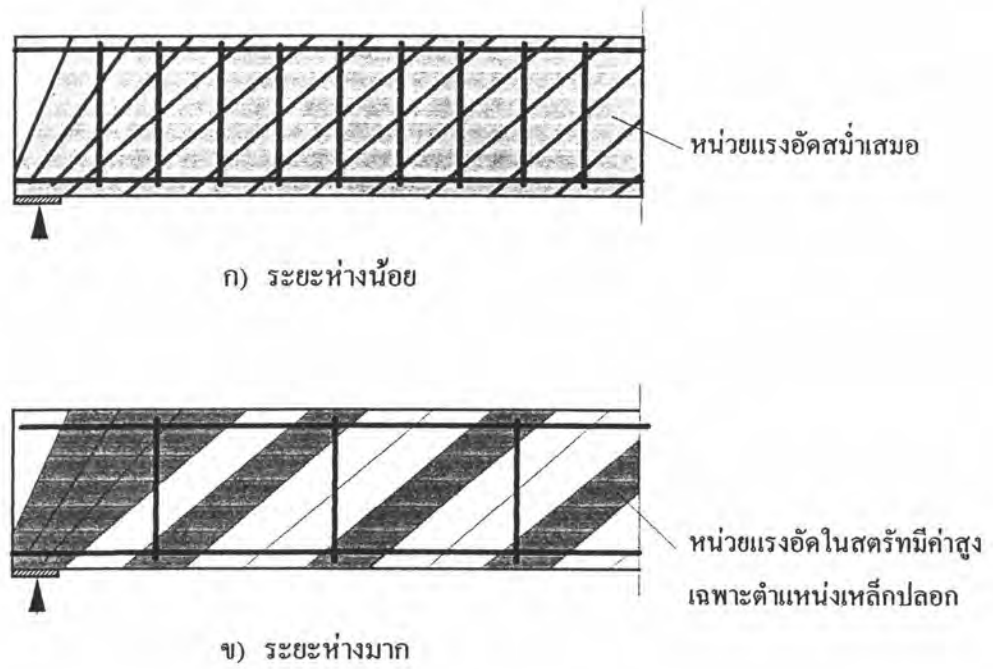


ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กที่เหมาะสม

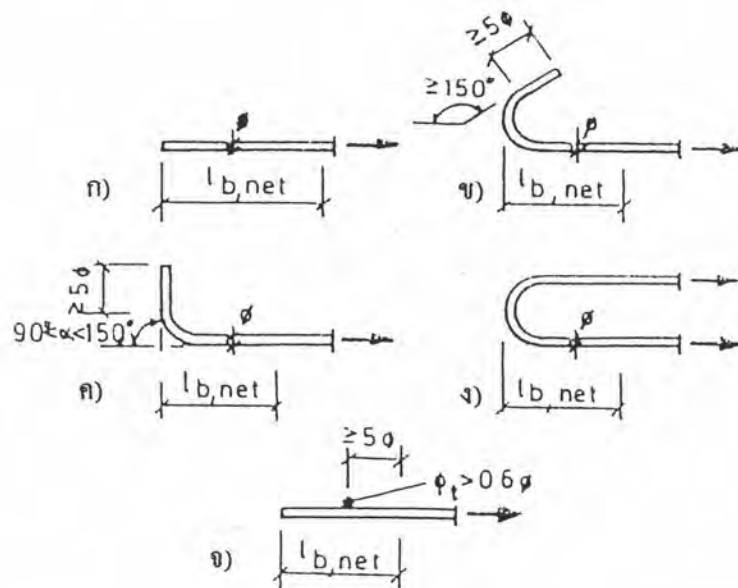


ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กที่ไม่ดี

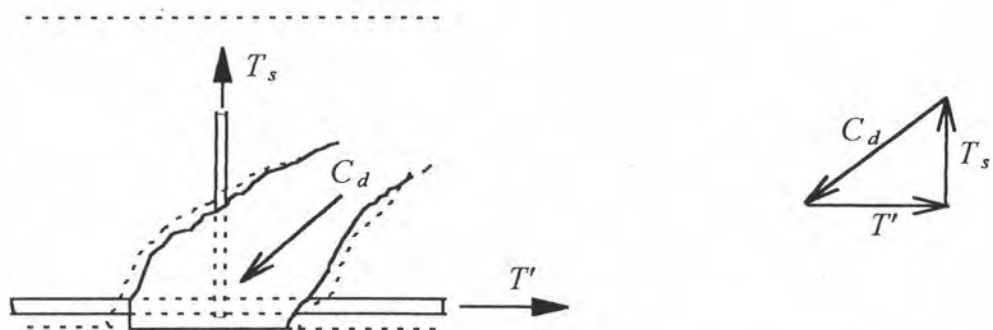
รูปที่ 4.7 รายละเอียดการเสริมเหล็ก



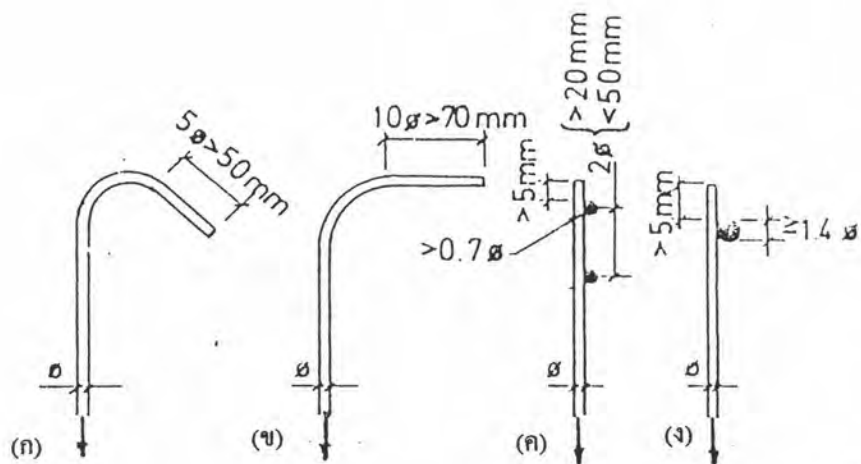
รูปที่ 4.8 การใส่เหล็กปลอกมีระยะห่างมาก



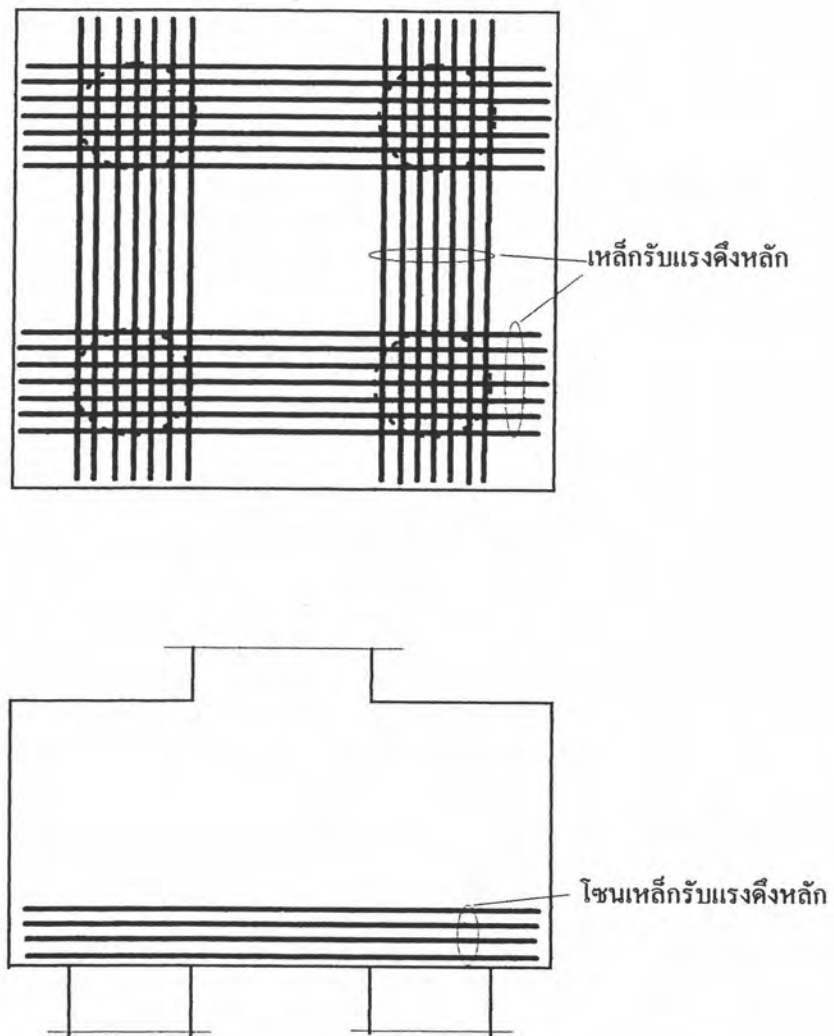
รูปที่ 4.9 รายละเอียดการยึดรั้งของเหล็กตามยาว(CEB Model Code)



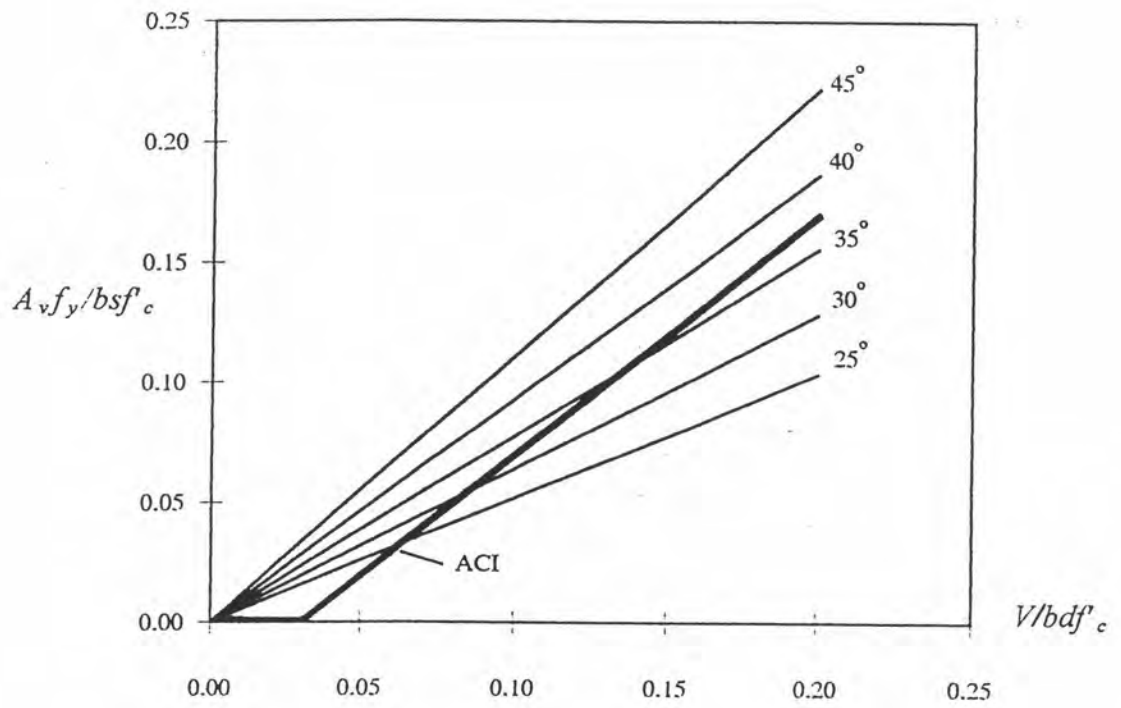
รูปที่ 4.10 จุดที่แรงมาพบกันบริเวณส่วนล่างของเหล็กปลอก



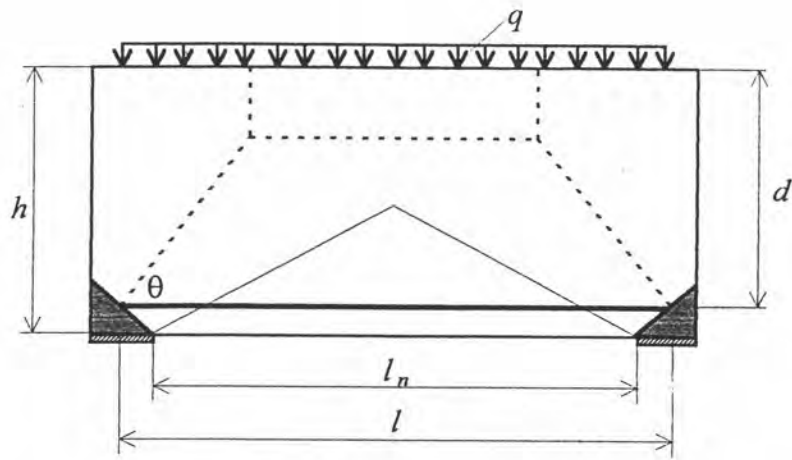
รูปที่ 4.11 รายละเอียดการยึดเรียงของเหล็กปลอก(CEB Model Code)



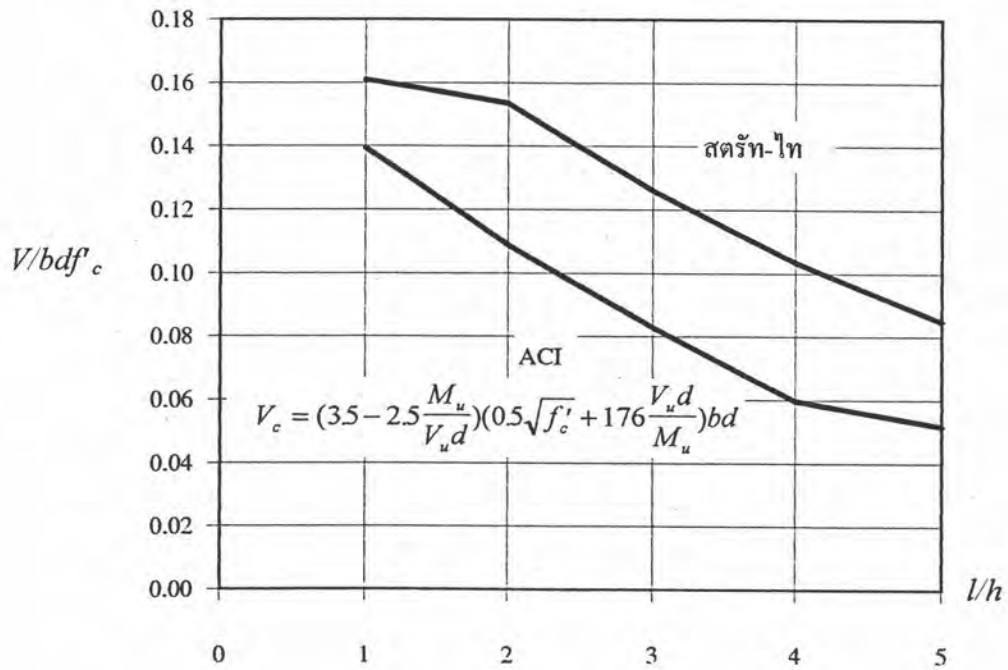
รูปที่ 4.14 เหล็กเสริมในฐานรากกระจายอยู่บนหัวเสาเข็ม



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กปลอกกับกำลังรับแรงเฉือนเมื่ออัตรามุมเอียงต่างๆ



ก) คานลึกรับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

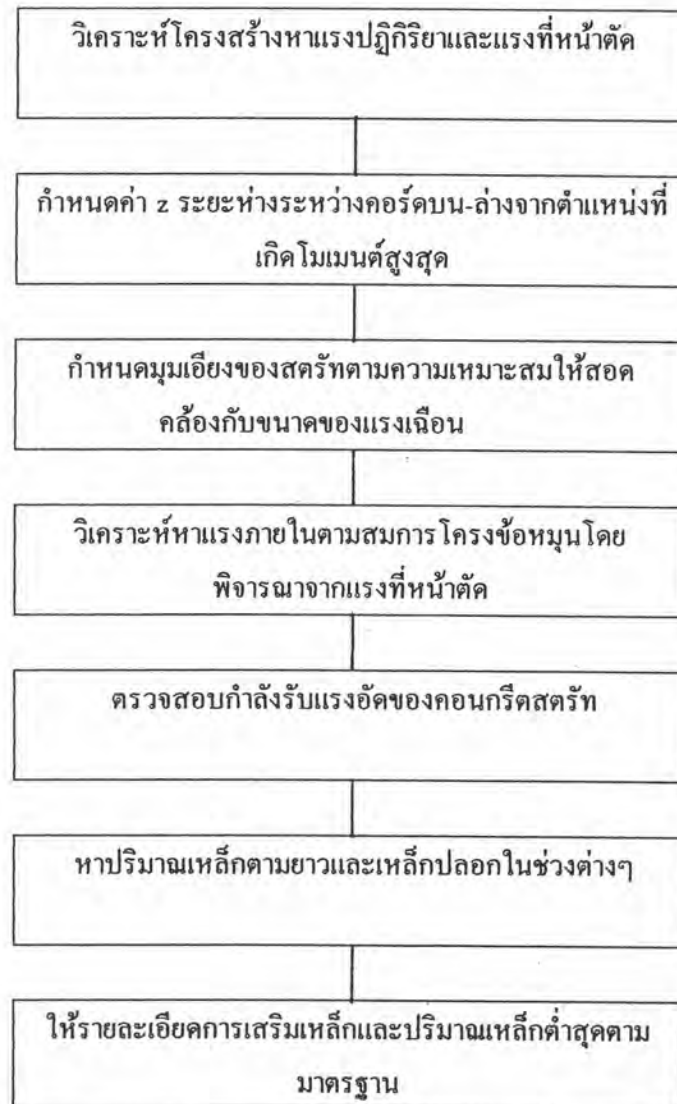


ข) กราฟเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือน

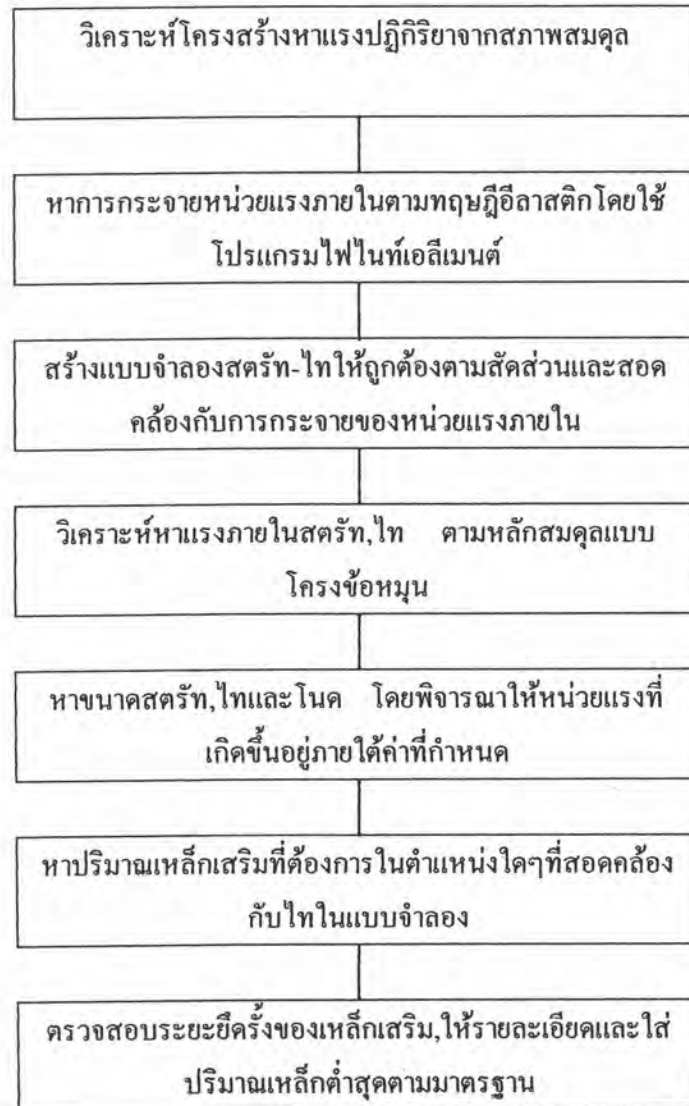
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของคานลึกรับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

ขั้นตอนการออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยแบบจำลองสตรัท-ไท

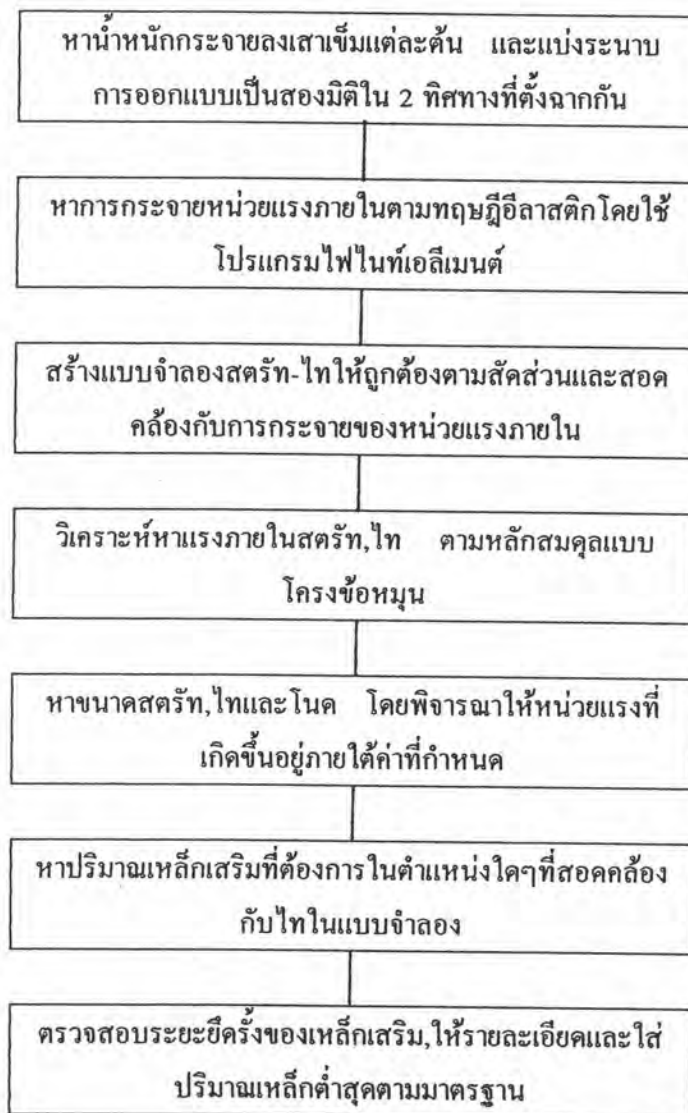
ขั้นตอนการออกแบบส่วน B-regions (คาน,เสา)



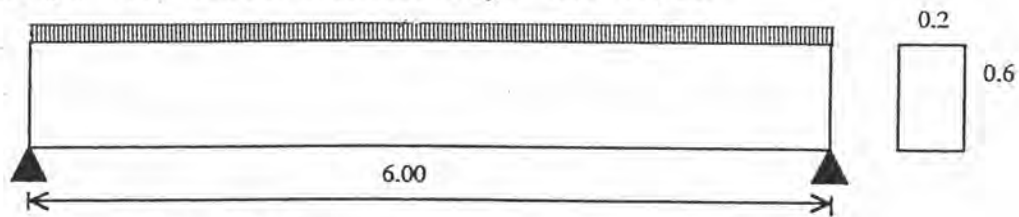
ขั้นตอนการออกแบบส่วน D-regions (คานเล็ก)



ขั้นตอนการออกแบบส่วน D-regions (ฐานราก)



ตัวอย่าง ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กยาว 6 เมตร หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 20x60 ซม. รับน้ำหนักจรแบบแผ่ 1500 กก./ม. และน้ำหนักคงที่แบบแผ่ 1300 กก./ม. กำหนดให้คอนกรีตมีกำลังอัดประลัย $f'_c = 300$ กก./ซม.² และเหล็กเสริม $f_y = 4000$ กก./ซม.²



วิธีการสครัท-ไทจะใช้มาตรฐานการออกแบบตาม CEB Code
กำหนดแฟกเตอร์คูณสำหรับแปลงเป็นน้ำหนักประลัย

$$U = 1.35D + 1.5L$$

และตัวหารเพื่อลดกำลังของวัสดุ (Partial Safety Factor)

$$\begin{aligned} \gamma_M &= 1.5 && \text{สำหรับคอนกรีต} \\ &= 1.15 && \text{สำหรับเหล็กเสริม} \end{aligned}$$

1) หาน้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ

$$\begin{aligned} q_u &= 1.35(1300) + 1.5(1500) \\ &= 4005 \quad \text{กก./ม.} \end{aligned}$$

2) กำลังวัสดุที่ใช้ออกแบบ

$$\begin{aligned} \text{คอนกรีต} \quad f_{cd} &= f'_c / \gamma_M = 300 / 1.5 = 200 \quad \text{กก./ซม.}^2 \\ \text{เหล็กเสริม} \quad f_{yd} &= f_y / \gamma_M = 4000 / 1.15 = 3478 \quad \text{กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

3) วิเคราะห์หาแรงที่หน้าตัด

$$\begin{aligned} M_{\max} &= w l^2 / 8 = 4005 \times 6^2 / 8 = 18023 \quad \text{กก.-ม.} \\ V_{\max} &= w l / 2 = 4005 \times 6 / 2 = 12015 \quad \text{กก.-ม.} \end{aligned}$$

4) หาระยะห่างระหว่างกอร์ด (z) จากตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์ค้ดสูงสุด

$$z = (d - a/2)$$

กำหนด $d = 55$ ซม.

$$\text{แรงที่เกิดขึ้นในกอร์ดรับแรงอัด} \quad C = M/z = 18023 \times 100 / (55 - a/2) \quad (1)$$

$$\text{แรงต้านทานในกอร์ดรับแรงอัด} \quad C_R = f^*_{cd} a b \quad (2)$$

CEB จำกัดค่ากำลังของสครัทคอนกรีตที่ไม่ร้าว

$$f^*_{cd} = 0.85 [1 - f^2 / 2500] f_{cd}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.85[1-300/2500]200 \\
 &= 150 \quad \text{กก./ซม}^2 \\
 \text{ดังนั้นจากสมการ (2)} \quad C_R &= (150)a(20) \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$(1) = (3)$$

$$18023 \times 100 / (55 - a/2) = 3000a$$

$$a = 12.3 \quad \text{ซม.}$$

$$\text{และ } z = (55 - 12.3/2) = 48.85 \quad \text{ซม.}$$

5) กำหนดมุมเอียงของสตรัทแนวทแยง = 35 องศา (เพื่อการประหยัดเหล็กเสริม)

6) ตรวจสอบกำลังของคอนกรีตรับแรงอัดแนวทแยง

CEB จำกัดค่ากำลังของสตรัทคอนกรีตที่ร้าว

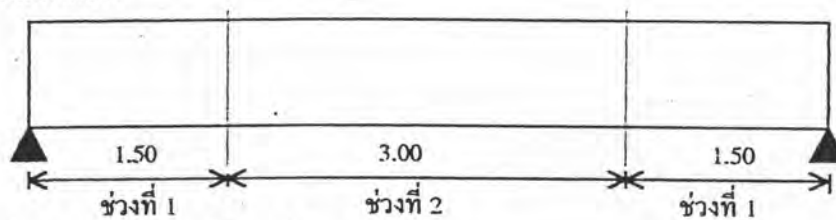
$$\begin{aligned}
 f_{cd}^* &= 0.65[1 - f' / 2500] f_{cd} \\
 &= 0.65[1 - 300 / 2500] 200 \\
 &= 114.4 \quad \text{กก./ซม}^2
 \end{aligned}$$

หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}
 f_d &= V / bz \sin \theta \cos \theta \\
 &= 12015 / (20 \times 49 \times \sin 35 \cos 35) \\
 &= 26 \quad \text{กก./ซม}^2 < 114.4
 \end{aligned}$$

OK

7) ปริมาณเหล็กตามยาว



ช่วงที่ 1 แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{M}{z} + \frac{V \cot \theta}{2} \\
 &= \frac{13517 \times 100}{49} + \frac{6008 \cot \theta}{2} \\
 &= 27585 + 4290 \\
 &= 31875
 \end{aligned}$$

ปริมาณเหล็ก

$$A_s = T / f_{yd}$$

$$= 31875/3478$$

$$= 9.16 \text{ ซม.}^2$$

ช่วงที่ 2 แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้น

$$T = \frac{M}{z}$$

$$= \frac{18023 \times 100}{49}$$

$$= 36782$$

ปริมาณเหล็ก

$$A_s = T/f_{yd}$$

$$= 36782/3478$$

$$= 10.57 \text{ ซม.}^2$$

8) ปริมาณเหล็กปลอก

ช่วงที่ 1 แรงเฉือนสูงสุด $V = 12015$ กก.

เลือกเหล็กปลอกขนาด 9 มม. 2 ขา $f_{yd} = 1200/1.15 = 1043$ กก./ซม.²

$$\frac{A_v f_{yd} z \cot \theta}{s} = V$$

$$s = \frac{A_v f_{yd} z \cot \theta}{V}$$

$$= \frac{2 \times 0.64 \times 1043 \times 49 \cot 35}{12015}$$

$$= 7.8 \text{ ซม.}$$

ช่วงที่ 2 แรงเฉือนสูงสุด $V = 6008$ กก.

เลือกเหล็กปลอกขนาด 9 มม. 2 ขา $f_{yd} = 1200/1.15 = 1043$ กก./ซม.²

$$s = \frac{A_v f_{yd} z \cot \theta}{V}$$

$$= \frac{2 \times 0.64 \times 1043 \times 49 \cot 35}{6008}$$

$$= 15.6 \text{ ซม.}$$

เปรียบเทียบกับ ACI Code

ACI กำหนดแฟกเตอร์คูณสำหรับแปลงเป็นน้ำหนักประลัย

$$U = 1.4D + 1.7L$$

$$\begin{aligned} \text{และกำหนดค่า } \phi &= 0.90 && \text{สำหรับการดัด} \\ &= 0.85 && \text{สำหรับการเฉือน} \end{aligned}$$

1) น้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ

$$\begin{aligned} q_u &= 1.4(1300) + 1.7(1500) \\ &= 4370 \quad \text{กก./ม.} \end{aligned}$$

2) วิเคราะห์หาแรงที่หน้าค้ำ

$$\begin{aligned} M_{\max} &= wl^2/8 = 4370 \times 6^2 / 8 = 19665 \quad \text{กก.-ม.} \\ V_{\max} &= wl/2 = 4370 \times 6 / 2 = 13110 \quad \text{กก.-ม.} \end{aligned}$$

3) ปริมาณเหล็กตามยาว

ช่วงที่ 1

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{M}{\phi f_y j d} \\ &= \frac{14748 \times 100}{0.9 \times 4000 \times 49} \\ &= 8.36 \end{aligned}$$

ช่วงที่ 2

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{19665 \times 100}{0.9 \times 4000 \times 49} \\ &= 11.15 \end{aligned}$$

4) ปริมาณเหล็กปลอก

$$\begin{aligned} V_u &< \phi V_n \\ V_n &= V_c + V_s \\ \phi V_c &= 0.85 \times 0.53 \sqrt{f'_c} b d = 8583 \quad \text{กก.} \end{aligned}$$

ช่วงที่ 1

$$\begin{aligned} \frac{\phi A_s f_y d}{s} &= V_u - \phi V_c \\ s &= \frac{0.85 \times 2 \times 0.64(1200)(55)}{(13110 - 8583)} = 15.86 \quad \text{ซม.} \end{aligned}$$

ช่วงที่ 2

$$V_u = 6555 < \phi V_c$$

ใส่ปริมาณเหล็กต่ำสุดตามมาตรฐาน

$$s_{\max} = \frac{A_v}{0.0015b} = \frac{2 \times 0.64}{0.0015 \times 20} = 42 \text{ ซม.}$$

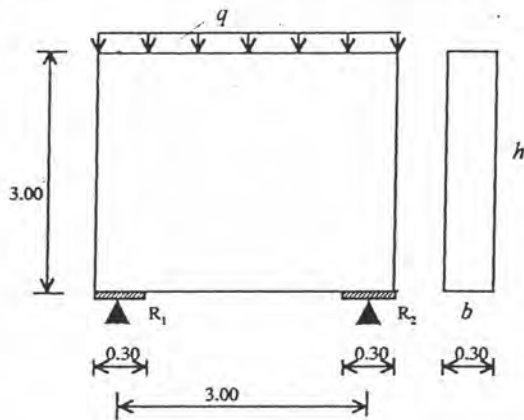
ใช้ระยะเท่ากับ $d/2 = 55/2 = 27.5$ ซม.

ตารางเปรียบเทียบปริมาณเหล็กระหว่างวิธีการสตรัท-ไทกับ ACI Code

ช่วงการออกแบบ	วิธีการ	เหล็กปลอก	เหล็กตามยาว
ช่วงที่ 1	สตรัท-ไท	Ø9 มม.@ 7.8 ซม.	9.16 ซม. ²
	ACI	Ø9 มม.@ 15.8 ซม.	8.36 ซม. ²
ช่วงที่ 2	สตรัท-ไท	Ø9 มม.@ 15.6 ซม.	10.57 ซม. ²
	ACI	Ø9 มม.@ 27.5 ซม.	11.15 ซม. ²

หมายเหตุ - ปริมาณเหล็กปลอกตามวิธีการสตรัท-ไทมากกว่า ACI เนื่องจากของ ACI คิดผลของหน้าตัดคอนกรีต V_c ช่วยในการแบกรับแรงเฉือนด้วย

ตัวอย่าง ออกแบบคานลึกรับน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอที่ด้านบนด้วยวิธีการสตรัท-ไท



น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ LL = 20 ตัน/ม.
DL = 25 ตัน/ม.
ขนาดจตุรกรรับ = 30x30 ซม.
คอนกรีต $f_c = 300$ กก./ซม.²
เหล็กเสริม $f_y = 4000$ กก./ซม.²

1) น้ำหนักประลัยที่ใช้ในการออกแบบ

$$q_u = 1.35(25) + 1.5(20)$$

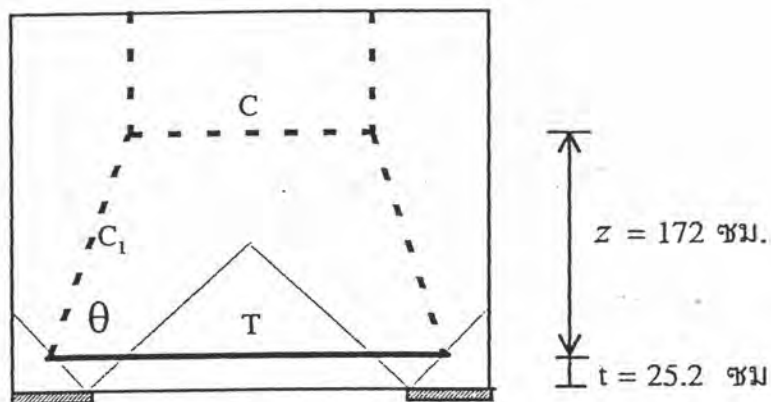
$$= 63.75 \quad \text{ตัน/ม.}$$

2) หาแรงปฏิกิริยาจากสมดุลของแรงภายนอก

$$\text{แรงปฏิกิริยา } R_1 = 63.75 \times 3.3 / 2 = 105.187 \quad \text{ตัน}$$

$$R_2 = 63.75 \times 3.3 / 2 = 105.187 \quad \text{ตัน}$$

3) สร้างแบบจำลองสตรัท-ไท โดยพิจารณาจากการกระจายหน่วยแรงภายในตามทฤษฎีอีลาสติก ซึ่งสามารถหาดำแหน่งของแรงลัพธ์ C, T และค่ามุมเอียงของสตรัท θ ได้ดังรูป



$$\theta = 68.55 \text{ องศา}$$

4) วิเคราะห์หาแรงในสตรัทและไท

$$C_1 = R_1/\sin\theta = 105.187/\sin 68.55^\circ = 113.015 \text{ ตัน}$$

$$C = T = C_1 \cos\theta = 113.015 \cos 68.55^\circ = 41.328 \text{ ตัน}$$

5) ตรวจสอบกำลังอัด

ตรวจสอบกำลังของคอนกรีตได้แผ่นรองรับ

$$\text{พื้นที่แผ่นรองรับ} = 30 \times 30 = 900 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{หน่วยแรงที่เกิดขึ้น} = R_1/900 = 105187/900 = 116 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{CEB จำกัดกำลังของโนด } f_{cd}^* = 0.85[1-f_c/2500]f_{cd} \quad ; \quad f_{cd} = f_c \gamma_M$$

$$\text{ดังนั้นกำลังของโนด } f_{cd}^* = 0.85[1-300/2500]200 = 150 > 116 \quad \text{OK}$$

ตรวจสอบกำลังของสตรัทที่ผิวสัมผัสกับโนดล่าง

$$\text{ความกว้างของสตรัทที่ผิวโนด } w_2 = 30 \sin 68.55^\circ + 50.4 \cos 68.55^\circ$$

$$= 46.35 \text{ ซม.}$$

$$\text{หน่วยแรงอัดในสตรัท} = C_1/(46.35 \times 30) = 81.28 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{กำลังของสตรัทร้าว } f_{cd}^* = 0.65[1-f_c/2500]f_{cd} = 114.4 \text{ กก./ซม.}^2 \quad \text{OK}$$

6) ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ

$$A_s = T/f_{yd}$$

$$= 41328/(4000/1.15)$$

$$= 11.88 \text{ ซม.}^2$$

ใช้เหล็ก 8เส้น 16 มม.

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} = 16 \text{ ซม.}^2$$

OK

7) ตรวจสอบระยะยึดรั้ง

$$l_{b,net} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_b (A_{s,cal}/A_{s,ef}) > l_{b,min}$$

$$l_b = (\phi/4) * f_{yd}/f_{bd} \quad ; \quad f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} = (2.25 * 0.7 * 1) (0.44 * 300^{2/3}) / 1.5 = 20.7$$

$$\text{ดังนั้น } l_b = (1.6/4) * (3478)/20.7 = 67.21$$

$$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 = 0.7 \quad , \quad A_{s,cal} = 11.88 \text{ ซม.}^2 \quad , \quad A_{s,ef} = 16 \text{ ซม.}^2$$

$$l_{b,min} = 0.3 \cdot l_b = 0.3 \cdot 64.21 = 20.16 \text{ ซม.}$$

$$l_{b,net} = 0.7 \cdot 67.21 \cdot (11.88/16) = 22.5 \text{ ซม.}$$

8) ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด

ACI กำหนดปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดกระจายที่ผิวทั้งสองด้านทั้งในทิศทางตามยาวและตามขวางไว้ดังนี้ เมื่อกำหนดระยะห่าง s_v และ s_h เท่ากับ 20 ซม.

$$\text{Minimum } A_v = 0.0015 b s_v = 0.0015 \times 30 \times 20 = 0.9 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{Minimum } A_{vh} = 0.0025 b s_{vh} = 0.0025 \times 30 \times 20 = 1.5 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{ใช้เหล็กขนาด 12 มม. } A_s = 2 \times 1.13 = 2.66 \text{ ซม.}^2 \text{ ทั้งแนวดิ่งและแนวนอน OK}$$

เปรียบเทียบกับ ACI Code

1) น้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ

$$\begin{aligned} q_u &= 1.4(25) + 1.7(20) \\ &= 69 \text{ กก./ม.} \end{aligned}$$

2) วิเคราะห์หาแรงที่หน้าคัต

$$\begin{aligned} M_{max} &= 113.85 \times 1.5 - 69 \times 1.65^2 / 2 \\ &= 76.85 \text{ กก.-ม.} \end{aligned}$$

3) ปริมาณเหล็กตามยาว (กำหนดให้เหล็กเสริมกระจายอยู่ในโซนที่เกิดหน่วยแรงดึง)

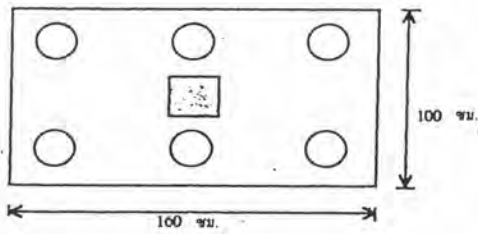
$$\text{สมมติค่า } j = 0.9 \text{ ดังนั้น } jd = 0.9 \times 274.8 = 247.32 \text{ ซม.}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{M}{\phi f_y jd} \\ &= \frac{76850 \times 100}{0.9 \times 4000 \times 247.32} \\ &= 8.63 \text{ ซม.}^2 \end{aligned}$$

ตารางเปรียบเทียบปริมาณเหล็กตามยาว

วิธีการ	ปริมาณเหล็กตามยาว
สตรีท-ไท	11.88 ซม. ²
ACI	8.63 ซม. ²

ตัวอย่าง ออกแบบฐานราก



รับน้ำหนักจากเสา LL = 25 ตัน/ม.

DL = 27.78 ตัน/ม.

ขนาดเสา = 30x30 ซม.

ขนาดเสาเข็ม = $\varnothing = 20$ ซม.

คอนกรีต $f'_c = 300$ กก./ซม.²

เหล็กเสริม $f_y = 4000$ กก./ซม.²

1) น้ำหนักประลัยที่ใช้ในการออกแบบ $P_u = 1.35(27.78) + 1.5(25) = 27$ ตัน

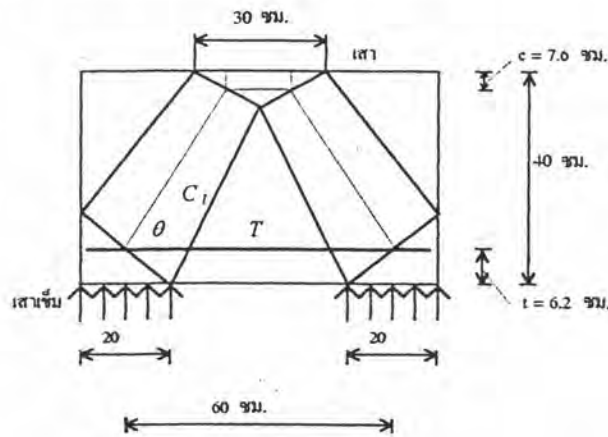
2) หาน้ำหนักกระจายลงเสาเข็มแต่ละต้น = $75/6 = 12.5$ ตัน/ต้น

กำหนดฐานรากหนา 40 ซม.

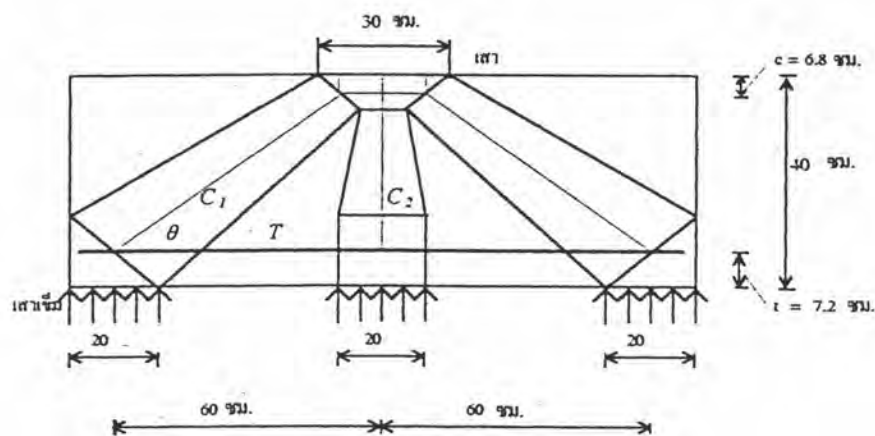
3) พิจารณารูปร่างของแบบจำลองสตรัท-ไทในลักษณะ 2 มิติ โดยแยกเป็นสองกรณีคือ

แบบจำลองที่ 1 ระบุว่าสมมติว่ามีเสาเข็ม 2 ต้น

แบบจำลองที่ 2 ระบุว่าสมมติว่ามีเสาเข็ม 3 ต้น



แบบจำลองที่ 1 สมมติเป็นแบบสองเสาเข็ม



แบบจำลองที่ 2 สมมติเป็นแบบสามเสาเข็ม

พิจารณาแบบจำลองที่ 1

3) หาแรงในแบบจำลอง

$$\text{สลรัท} \quad C_1 = P/2\sin\theta = 75/2\sin 50^\circ = 48.953 \quad \text{ตัน}$$

$$\text{ไท} \quad T = C_1\cos\theta = 48.953\cos 50^\circ = 31.466 \quad \text{ตัน}$$

4) ตรวจสอบกำลังที่โนด

โนดบน

$$\begin{aligned} \text{- หน่วยแรงต้านทาน} \quad f_{cd}^* &= 0.85[1-f_c/2500]f_{cd} \quad ; \quad f_{cd} = f_c' \gamma_M \\ &= 150 \quad \text{กก./ชม}^2 \end{aligned}$$

$$\text{- หน่วยแรงกดจากเสา} = 75000/900 = 83.33 < f_{cd}^* \quad \text{OK}$$

$$\text{- ความลึกของโนด} = 15.2 \quad \text{ชม.}$$

$$\text{แรงอัดแนวราบ} = C_1\cos\theta = 31.466 \quad \text{ตัน}$$

$$\text{แรงต้านทาน} \quad f_{cd}^*ab = 150(15.2)(30) = 68.400 \quad \text{ตัน} \quad \text{OK}$$

- ขนาดกว้างของสลรัทที่จุดสัมผัสกับโนด

$$w = 15\sin 50^\circ + 15.2\cos 50^\circ = 21.26 \quad \text{ชม.}$$

$$\text{แรงต้านทาน} = f_{cd}^*wb = 150(21.26)(30) = 95.670 \quad \text{ตัน} \quad \text{OK}$$

โนดล่าง

- ขนาดความกว้างของสลรัทที่จุดสัมผัสกับโนด

$$w = 20\sin 50^\circ + 12.4\cos 50^\circ = 23.29 \quad \text{ชม.}$$

เนื่องจากมีเสาเข็ม 3 ต้นซ้อนอยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นแรงจากสลรัทที่สัมผัสกับโนด

$$= 48.953/3 = 16.318 \quad \text{ตัน}$$

หน่วยแรงต้านทาน(กรณีโนดมีเหล็กเสริมรับแรงดึงพาดผ่าน)

$$f_{cd}^* = 0.65[1-f_c/2500]f_{cd} = 114.4 \quad \text{กก./ชม}^2$$

$$\text{แรงต้านทาน} \quad f_{cd}^*wb = 114.4(23.29)(20) = 53.287 \quad \text{ตัน} \quad \text{OK}$$

5) ปริมาณเหล็กเสริม

$$T = 31.466 \quad \text{ตัน}$$

$$A_s = T/f_{yd} = 31466/3478 = 9.05 \quad \text{ชม.}^2$$

$$\text{ใช้ } 8\emptyset 16 \text{ มม.} \quad A_s = 16.08 \quad \text{ชม.}^2 \quad \text{OK}$$

6) ระยะยึดค้ำ (CEB Code)

$$l_{b,net} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_b (A_{s,cal} / A_{s,ef}) > l_{b,min}$$

$$l_b = (\phi/4) * f_{yd} / f_{bd} ; f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} = (2.25 * 0.7 * 1) (0.44 * 300^{2/3}) / 1.5 = 20.7$$

$$\text{ดังนั้น } l_b = (1.6/4) * (3478) / 20.7 = 67.21$$

$$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 = 0.7 , A_{s,cal} = 9.05 \text{ ซม.}^2 , A_{s,ef} = 16.08 \text{ ซม.}^2$$

$$l_{b,min} = 0.3 * l_b = 0.3 * 67.21 = 20.16 \text{ ซม.}$$

$$l_{b,net} = 0.7 * 67.21 * (9.05 / 16.08) = 26.47 \text{ ซม.}$$

พิจารณาแบบจำลองที่ 2

7) หาแรงในแบบจำลอง

$$\text{สลรัท } C_1 = P/3 \sin \theta = 75/3 \sin 27.44^\circ = 54.251 \text{ ตัน}$$

$$C_2 = P/3 = 25 \text{ ตัน}$$

$$\text{ไท } T = C_1 \cos \theta = 54.251 \cos 27.44^\circ = 48.146 \text{ ตัน}$$

8) ตรวจสอบกำลังที่โนด

โนดบน

$$\begin{aligned} \text{- หน่วยแรงค้ำทาน } f_{cd}^* &= 0.85 [1 - f_{cd} / 2500] f_{cd} ; f_{cd} = f_{cd} / \gamma_m \\ &= 150 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$\text{- ความลึกของโนด} = 13.6 \text{ ซม.}$$

$$\text{แรงอัดแนวราบ} = C_1 \cos \theta = 48.146 \text{ ตัน}$$

$$\text{แรงค้ำทาน } f_{cd}^* ab = 150 (13.6) (30) = 61.200 \text{ ตัน} \quad \text{OK}$$

- ขนาดกว้างของสลรัทที่จุดสัมผัสกับโนด

$$w = 10 \sin 27.44^\circ + 13.6 \cos 27.44^\circ = 16.68 \text{ ซม.}$$

$$\text{แรงค้ำทาน} = f_{cd}^* wb = 150 (16.68) (30) = 75.060 \text{ ตัน} \quad \text{OK}$$

โนดล่าง

- ขนาดความกว้างของสลรัทที่จุดสัมผัสกับโนด

$$w = 20 \sin 27.44^\circ + 14.4 \cos 27.44^\circ = 22 \text{ ซม.}$$

เนื่องจากมีเสาเข็ม 2 ต้นซ้อนอยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นแรงจากสลรัทที่สัมผัสกับโนด

$$= 54.251 / 2 = 27.126 \text{ ตัน}$$

หน่วยแรงค้ำทาน (กรณีโนดมีเหล็กเสริมรับแรงดึงพาดผ่าน)

$$f_{cd}^* = 0.65[1 - f_c'/2500]f_{cd} = 114.4 \text{ กก/ซม}^2$$

แรงต้านทาน $f_{cd}^*wb = 114.4(22)(20) = 50.336 \text{ ตัน} > 27.127 \text{ OK}$

9) ปริมาณเหล็กเสริม

$$T = 48.147 \text{ ตัน}$$

$$A_s = T/f_{yd} = 48147/3478 = 13.84 \text{ ซม.}^2$$

ใช้ 10Ø16 มม. $A_s = 20.10 \text{ ซม.}^2 \text{ OK}$

10) ระยะยึดรั้ง

$$l_{b,net} = 0.7*67.21*(13.84/20.10) = 32.39 \text{ ซม.}$$

เปรียบเทียบกับ ACI Code

1) น้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ

$$P_u = 1.4(27.78) + 1.7(25)$$

$$= 81.392 \text{ ตัน}$$

2) น้ำหนักกระจายลงสู่เสาเข็มแต่ละต้น = $81.392/6 = 13.56 \text{ ตัน}$

3) โมเมนต์ที่หน้าตัด

ด้านสั้น $M_{max} = 3 \times 13.56 \times (0.30 - 0.15) = 6.102 \text{ ตัน-เมตร}$

$$A_s = \frac{M}{\phi f_y j d}$$

$$= \frac{6102 \times 100}{0.9 \times 4000 \times 0.9(35)}$$

$$= 5.38$$

ด้านยาว $M_{max} = 2 \times 13.56 \times (0.60 - 0.15) = 12.204 \text{ ตัน-เมตร}$

$$A_s = \frac{M}{\phi f_y j d}$$

$$= \frac{12204 \times 100}{0.9 \times 4000 \times 0.9(35)}$$

$$= 10.76$$

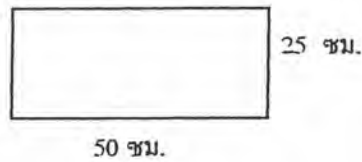
ตารางเปรียบเทียบ

วิธีการ	ปริมาณเหล็กตามยาว		การจัดเรียง
	ด้านสั้น	ด้านยาว	
สตรัท-ไท	9.05	13.87	กระจายอยู่บนหัวเสาเข็ม
ACI	5.38	10.76	กระจายตลอดทั้งหน้าตัด

ตัวอย่าง ออกแบบเสารับน้ำหนักตามแกน, แรงเฉือนและโมเมนต์คัต

น้ำหนักจร = 14 ตัน, โมเมนต์คัตจากน้ำหนักจร = 5 ตัน-เมตร

น้ำหนักคงที่ = 14 ตัน, โมเมนต์คัตจากน้ำหนักคงที่ = 5.5 ตัน-เมตร



คอนกรีต $f'_c = 300$ กก./ซม.²

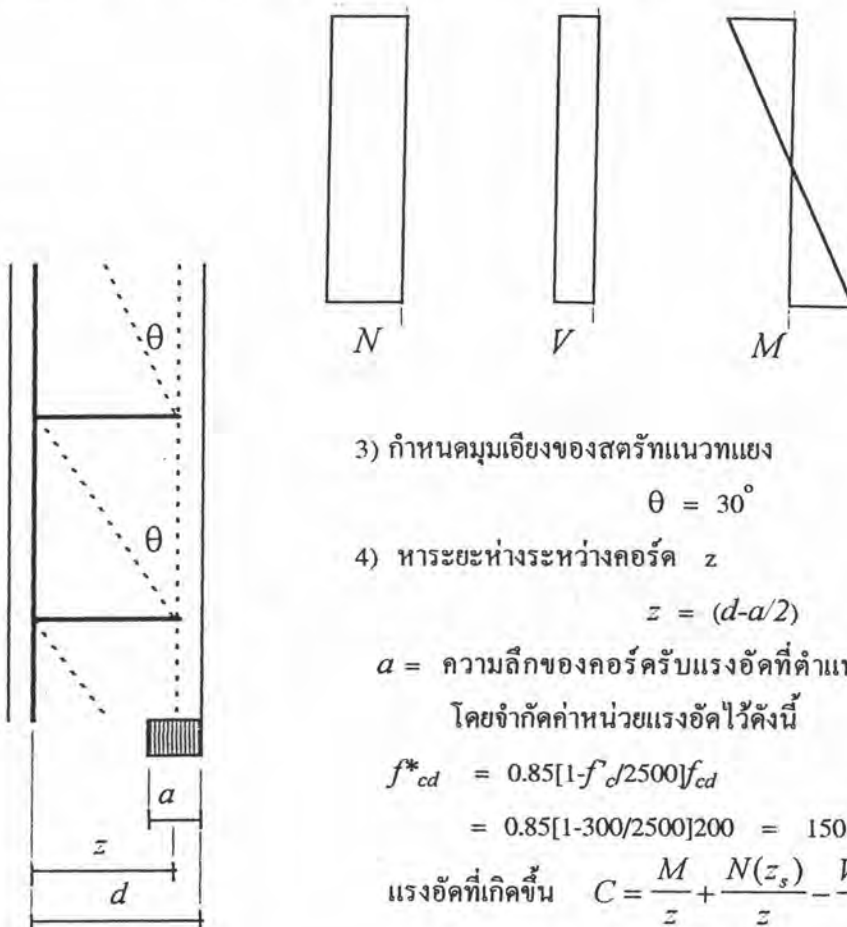
เหล็กเสริม $f_y = 4000$ กก./ซม.²

1) น้ำหนักประลัยที่ใช้ในการออกแบบ

$$P_u = 1.35(14) + 1.5(14) = 40 \quad \text{ตัน}$$

$$M_u = 1.35(5.5) + 1.5(5) = 15 \quad \text{ตัน}$$

2) พิจารณาแรงที่หน้าคัต N, V, M ตลอดช่วงความสูงของเสา



3) กำหนดมุมเอียงของสรีรภาพแนวทแยง

$$\theta = 30^\circ$$

4) หาระยะห่างระหว่างคอร์ค z

$$z = (d-a/2)$$

a = ความลึกของคอร์ครับแรงอัดที่ตำแหน่งโมเมนต์คัตสูงสุด
โดยจำกัดค่าหน่วยแรงอัดไว้ดังนี้

$$f_{cd}^* = 0.85[1 - f' / 2500]f_{cd}$$

$$= 0.85[1 - 300/2500]200 = 150 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

$$\text{แรงอัดที่เกิดขึ้น} \quad C = \frac{M}{z} + \frac{N(z_s)}{z} - \frac{V \cot \theta}{2} \quad (1)$$

$$\text{แรงต้านทาน} \quad C_R = f_{cd}^* ab \quad (2)$$

$$\text{กำหนด} \quad d = 42.5 \quad ; \quad z = (42.5 - a/2)$$

$$z_s = (25 - 7.5) = 17.5 \quad \text{ซม. (ระยะจากแนวแรง N ถึงแนวเหล็กเสริมรับแรงดึง)}$$

(1) = (2)

$$\begin{aligned} \frac{150ab}{1000} &= \frac{1500}{(42.5 - a/2)} + \frac{40(17.5)}{(42.5 - a/2)} - \frac{7.5 \cot 30^\circ}{2} \\ 3.75a &= \frac{2200}{(42.5 - a/2)} - 6.495 \\ 1.875a^2 - 156.127a + 1923.963 &= 0 \\ a &= \frac{156.127 \pm \sqrt{(156.127)^2 - 4(1.875)(1923.963)}}{2(1.875)} \\ &= 15.04 \quad \text{ชม.} \end{aligned}$$

$$z = 42.5 - 15.04/2 = 34.98 \quad \text{ชม.}$$

แทนค่าในสมการ (1) $C = 56.40$ ตันแรงต้านทานในสมการ (2) $C_R = (150/1000)(15.04)(25) = 56.40$ ตัน OK

5) แรงในคอร์ดรับแรงดึง

$$\begin{aligned} T &= \frac{M}{z} - \frac{N(z - z_s)}{z} + \frac{V \cot \theta}{2} \\ &= \frac{1500}{34.98} - \frac{40(34.98 - 17.5)}{34.98} + \frac{7.5 \cot 30^\circ}{2} \\ &= 29.39 \end{aligned}$$

ปริมาณเหล็กเสริม $A_s = T/f_{yd} = 29390/3478 = 8.45$ ชม²ใช้เหล็ก 4Ø 20 มม. พื้นที่หน้าตัด = 12.56 ชม² OK

6) แรงอัดในคอร์ดแนวทะแยง

$$\begin{aligned} D &= V/\sin \theta \\ &= 7.5/\sin 30^\circ = 15 \quad \text{ตัน} \end{aligned}$$

ดังนั้นหน่วยแรงอัด $f_d = D/(bz \cos 30^\circ)$
 $= 15000/(25 \times 34.98 \cos 30^\circ) = 19.81$ กก./ชม²

หน่วยแรงต้านทาน

$$f_{cd}^* = 0.65[1 - f_d/2500]f_{cd} = 114.4 \quad \text{กก./ชม}^2 \quad \text{OK}$$

7) แรงในคอร์ดรับแรงดึงแนวขวาง (เหล็กปลอก) = V แรงต้านจากเหล็กปลอก $\frac{A_v f_v z \cot \theta}{s} = V$ เลือกเหล็กปลอกขนาด 9 มม. (4 ขา) $f_{yd} = 1200/1.15 = 1043$ กก./ชม²

$$s = \frac{(4 \times 0.64)(1043)34.98 \cot 30^\circ}{7500}$$

$$= 22.27 \quad \text{ซม.}$$

เปรียบเทียบกับ ACI Code

1) น้ำหนักและโมเมนต์ประลัย

$$P_u = 1.4(14) + 1.7(14) = 43.4 \quad \text{ตัน}$$

$$M_u = 1.4(5.5) + 1.7(5) = 16.2 \quad \text{ตัน-เมตร}$$

$$P_u/\phi = 43.4/0.7 = 62 \quad \text{ตัน}$$

$$M_u/\phi = 16.2/0.7 = 23 \quad \text{ตัน-เมตร}$$

2) จากสมการสมดุลของแรงที่หน้าตัด

$$P_u/\phi = 0.85f'_c ab - A_s f_y \quad (1)$$

และโมเมนต์รอบแนวเหล็กเสริม

$$(P_u/\phi)(z_s) + M_u/\phi = 0.85f'_c ab(d-0.5a) \quad (2)$$

$$(62 \times 17.5 + 2300) \times 10^3 = 0.85 \times 300 \times 25a(42.5 - 0.5a)$$

$$a = 15.18 \quad \text{ซม.}$$

แทนค่า a ใน (1)

$$6200 = 0.85 \times 300 \times 15.18 \times 25 - A_s 4000$$

$$A_s = 8.69 \quad \text{ซม}^2$$

ตารางเปรียบเทียบปริมาณเหล็กรับแรงดึง

วิธีการ	ปริมาณเหล็กรับแรงดึง
สครัท-ไท	8.45 ซม ²
ACI	8.69 ซม ²



ประวัติผู้เขียน

นายสุภัค คุณวิริยะ เกิดเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2511 ที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2533 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรโยธาที่บริษัทอิตาเลียน-ไทยฯ และได้เข้าศึกษาต่อในชั้นปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2534