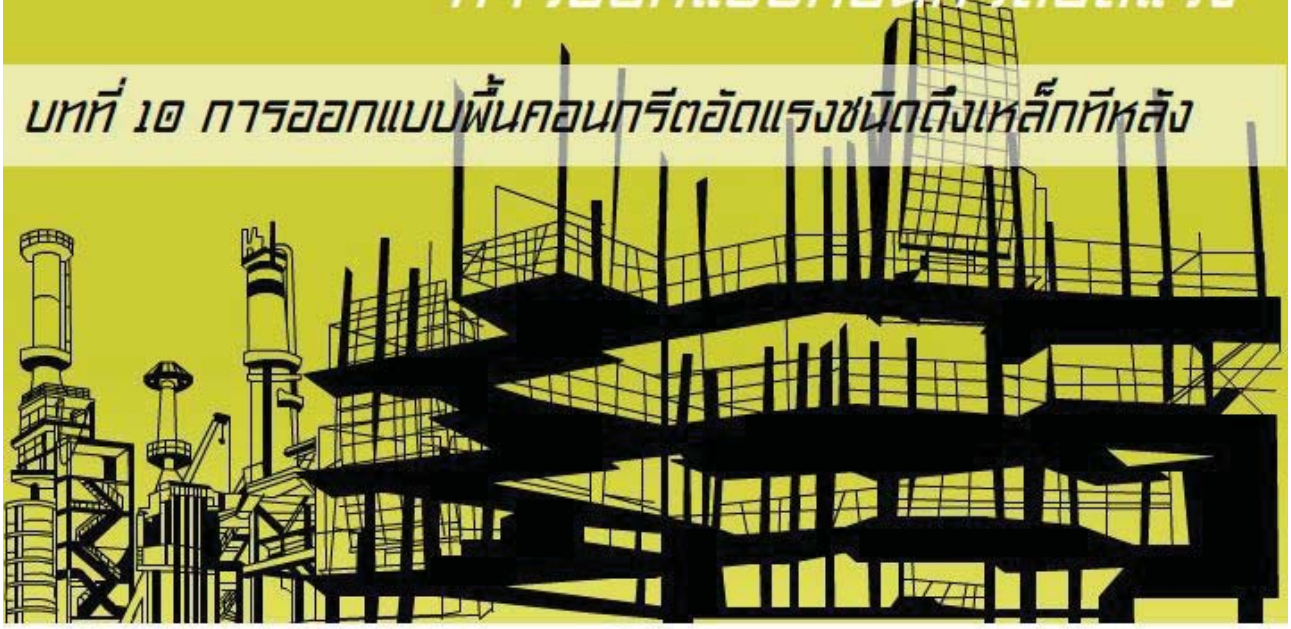
CEN 432

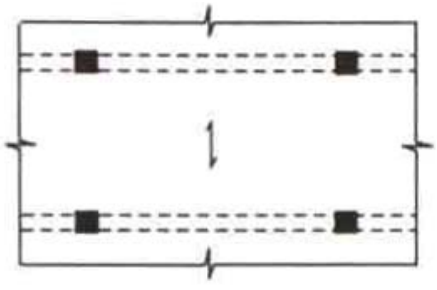
การออกแบบคอนกรีตอัดแรง

บทที่ 10 การออกแบบพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดถึงเหล็กทีหลัง

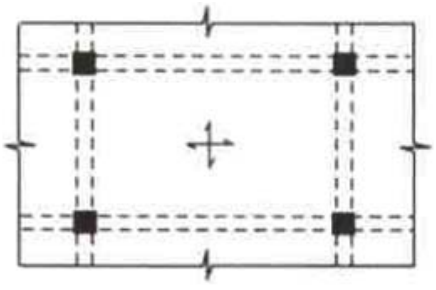


มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ระบบพื้นชนิดต่าง ๆ



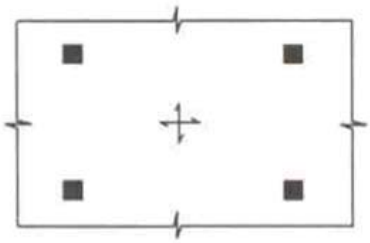
(ก) พื้นทางเดียว



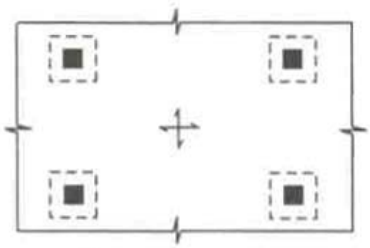
(ข) พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

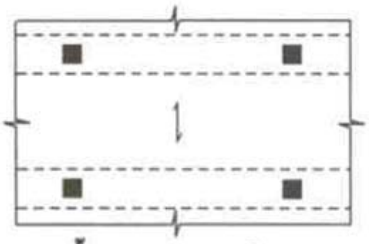
ระบบพื้นชนิดต่างๆ



(ค) พื้นไร้คานท้องเรียบ



(ง) พื้นไร้คานแบบมีแป้นหัวเสา



(จ) พื้นระบบคานกว้าง

10.1 หลักการของการพยุง

$$w_b = \frac{8Py_s}{L^2} \qquad (10.1)$$

โดยที่ P คือ แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง

y_s คือ ระยะตกท้องช้างของโค้งพาราโบล่า

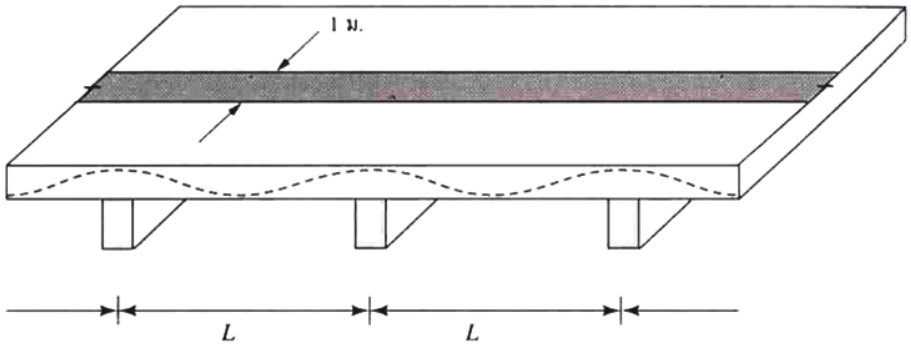
L คือ ความยาวช่วงของแผ่นพื้น

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

10.2 ค่าประมาณของความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง

ชนิดของพื้น	ความยาวช่วงต่อความลึกของพื้น
พื้นทางเดียว	48
พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย	55
พื้นไร้คานท้องเรียบ	45
พื้นไร้คานแบบมีแป้นหัวเสา	50
ความหนาของคานกว้าง	30

พื้นทางเดียว



พื้นทางเดียว

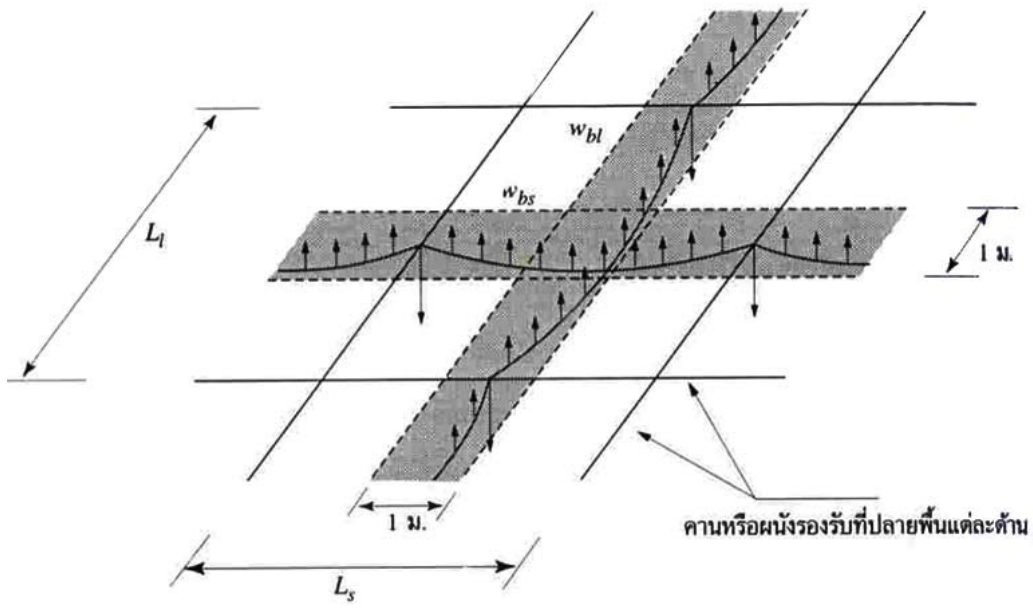
ปริมาณเหล็กเสริมอัดแรงที่คำนวณได้เป็นปริมาณเหล็กเสริมอัดแรงต่อความกว้างแผ่นพื้น 1 เมตร ซึ่งโดยปกติอาจคิดเป็นระยะห่างของการวางเหล็ก (spacing) โดยระยะห่างนี้มาตรฐาน ACI กำหนดไว้ว่าจะต้องไม่เกิน 8 เท่าของความหนาพื้นและไม่เกิน 1.50 เมตร นอกจากนี้มาตรฐาน ACI ยังกำหนดหน่วยแรงอัดเฉลี่ยในพื้นเนื่องจากแรงอัดประสิทธิผล P_e / A_c ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 8.8 กก./ซม.^{2}

10.4 พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย

แผ่นพื้นซึ่งเสริมเหล็กต้านทานการยืดหดตัวด้วยเหล็กกลม เกรด SR 24 ใช้ 0.0025
แผ่นพื้นซึ่งเสริมเหล็กต้านทานการยืดหดตัวด้วยเหล็กข้ออ้อย เกรด SD 30 ใช้ 0.0020 (10.2)
แผ่นพื้นซึ่งเสริมเหล็กต้านทานการยืดหดตัวด้วยเหล็กข้ออ้อย เกรด SD 40 ใช้ 0.0018

เหล็กเสริมต้านทานการยืดหดตัวนี้ ต้องวางเหล็กให้มีระยะห่างไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของแผ่นพื้นและไม่เกิน 30 ซม. ในบางกรณีอาจใช้เหล็กเสริมอัดแรงในทิศทางนี้แทนการวางเหล็กเสริมธรรมดาไม่อัดแรงได้ โดยอัดแรงในทิศทางนี้ให้คอนกรีตมีหน่วยแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 กก.ซม.^{2}

พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย



พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย

$$w_{bs} = \frac{8P_s y_{ss}}{L_s^2} \quad \text{และ} \quad w_{bl} = \frac{8P_l y_{sl}}{L_l^2} \qquad (10.3)$$

โดยที่ P_s และ P_l คือ ปริมาณแรงอัดของเหล็กเสริมอัดแรงต่อความกว้างของพื้น 1 เมตร ในทิศทางสั้นและยาวตามลำดับ

y_{ss} และ y_{sl} คือ ระยะตกท้องช้างของแนวพาราโบล่าในทิศทางสั้นและยาวตามลำดับ

L_s และ L_l คือ ความยาวช่วงของแผ่นพื้นในทิศทางสั้นและยาวตามลำดับ

พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย

แรงพยุงรวม w_b ซึ่งเป็นแรงพยุงต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร หาได้จากผลรวมของ w_{bs} และ w_{bl} คือ

$$w_b = w_{bs} + w_{bl} \qquad (10.4)$$

พื้นสองทางมีที่รองรับที่ปลาย

ในทิศทางสั้น $$\sigma_{cs} = \frac{P_s}{h} \pm \frac{M_s c}{I} \qquad (10.5)$$

ในทิศทางยาว $$\sigma_{cl} = \frac{P_l}{h} \pm \frac{M_l c}{I} \qquad (10.6)$$

โดยที่ σ_{cs}, σ_{cl} คือ หน่วยแรงที่ผิวคอนกรีตในทิศทางสั้นและยาวตามลำดับ

M_s, M_l คือ โมเมนต์ที่เกิดจากผลต่างของน้ำหนักบรรทุกและแรงพยุงของเหล็กเสริมอัดแรงในทิศทางสั้นและยาว ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

10.4.1 การคำนวณหาโมเมนต์ในแผ่นพื้นที่โดยวิธีการใช้สัมประสิทธิ์

การคำนวณหาค่า M_s และ M_l สามารถใช้วิธีของสัมประสิทธิ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของ ว.ส.ท. ปี 2534 ซึ่งมีอยู่ 3 วิธี แต่ในที่นี้จะเลือกใช้วิธีที่ 3 ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยค่าโมเมนต์สามารถหาได้จาก

$$M_s = CwL_s^2$$

$$M_l = CwL_l^2$$

ตารางที่10.2 สัมปสิทธิ์สำหรับโมเมนต์ลบในแผ่นพื้น

$M_{s,neg} = C_{s,neg} \times w \times L_s^2$

$M_{l,neg} = C_{l,neg} \times w \times L_l^2$

w = น้ำหนักกระจายของน้ำหนักคงที่บวกกับน้ำหนักจร

อัตราส่วน $m = \frac{L_s}{L_l}$		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6	กรณีที่ 7	กรณีที่ 8	กรณีที่ 9
		L_s, L_l								
1.00	$C_{s,neg}$		0.045		0.050	0.075	0.071		0.033	0.061
	$C_{l,neg}$		0.045	0.076	0.050			0.071	0.061	0.033
0.95	$C_{s,neg}$		0.050		0.055	0.079	0.075		0.038	0.065
	$C_{l,neg}$		0.041	0.072	0.045			0.067	0.056	0.029
0.90	$C_{s,neg}$		0.055		0.060	0.080	0.079		0.043	0.068
	$C_{l,neg}$		0.037	0.070	0.040			0.062	0.052	0.025
0.85	$C_{s,neg}$		0.060		0.066	0.082	0.083		0.049	0.072
	$C_{l,neg}$		0.031	0.065	0.034			0.057	0.046	0.021

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ตารางที่10.2 สัมปสิทธิ์สำหรับโมเมนต์ลบในแผ่นพื้น

อัตราส่วน $m=\frac{L_s}{L_l}$		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6	กรณีที่ 7	กรณีที่ 8	กรณีที่ 9
0.80	$C_{s,neg}$		0.065		0.071	0.083	0.086		0.055	0.075
	$C_{l,neg}$		0.027	0.061	0.029			0.051	0.041	0.017
0.75	$C_{s,neg}$		0.069		0.076	0.085	0.088		0.061	0.078
	$C_{l,neg}$		0.022	0.056	0.024			0.044	0.036	0.014
0.70	$C_{s,neg}$		0.074		0.081	0.086	0.091		0.068	0.081
	$C_{l,neg}$		0.017	0.050	0.019			0.038	0.029	0.011
0.65	$C_{s,neg}$		0.077		0.085	0.087	0.093		0.074	0.083
	$C_{l,neg}$		0.014	0.043	0.015			0.031	0.024	0.008
0.60	$C_{s,neg}$		0.081		0.089	0.088	0.095		0.080	0.085
	$C_{l,neg}$		0.010	0.035	0.011			0.024	0.018	0.006
0.55	$C_{s,neg}$		0.084		0.092	0.089	0.096		0.085	0.086
	$C_{l,neg}$		0.007	0.028	0.008			0.019	0.014	0.005
0.50	$C_{s,neg}$		0.086		0.094	0.090	0.097		0.089	0.088
	$C_{l,neg}$		0.006	0.022	0.006			0.014	0.010	0.003

ตารางที่ 10.3 สัมปสิทธิ์สำหรับโมเมนต์บวกในแผ่นพื้นที่คิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่เท่านั้น*

$$M_{s,pos,dl} = C_{s,dl} \times w \times L_s^2$$

$$M_{l,pos,dl} = C_{l,dl} \times w \times L_l^2$$

w = น้ำหนักคงที่แผ่กระจายทั้งหมด

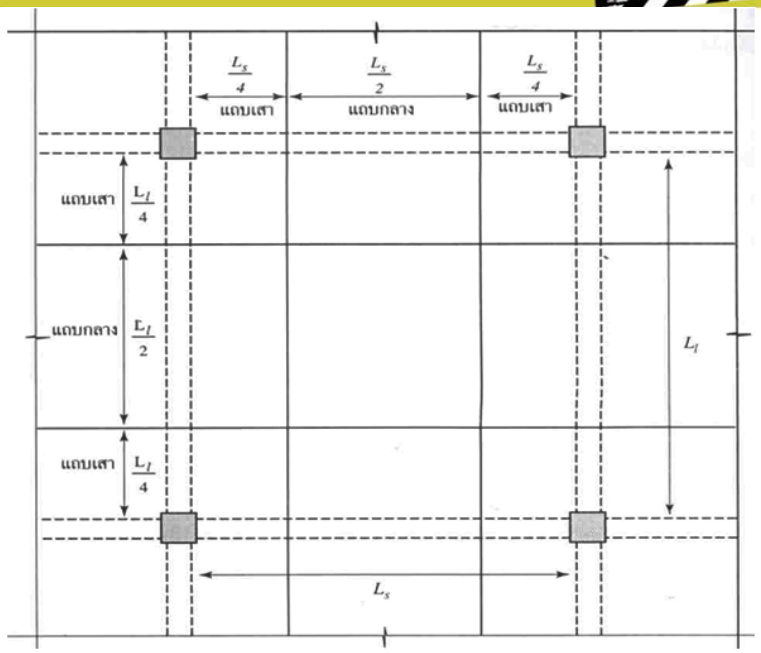
อัตราส่วน $m=\frac{L_s}{L_l}$		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6	กรณีที่ 7	กรณีที่ 8	กรณีที่ 9
1.00	$C_{s,dl}$	0.036	0.018	0.018	0.027	0.027	0.033	0.027	0.020	0.023
	$C_{l,dl}$	0.036	0.018	0.027	0.027	0.018	0.027	0.033	0.023	0.020
0.95	$C_{s,dl}$	0.040	0.020	0.021	0.030	0.028	0.036	0.031	0.022	0.024
	$C_{l,dl}$	0.033	0.016	0.025	0.024	0.015	0.024	0.031	0.021	0.017
0.90	$C_{s,dl}$	0.045	0.022	0.025	0.033	0.029	0.039	0.035	0.025	0.026
	$C_{l,dl}$	0.029	0.014	0.024	0.022	0.013	0.021	0.028	0.019	0.015
0.85	$C_{s,dl}$	0.050	0.024	0.029	0.036	0.031	0.042	0.040	0.029	0.028
	$C_{l,dl}$	0.026	0.012	0.022	0.019	0.011	0.017	0.025	0.017	0.013

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ตารางที่ 10.3 สัมปสิทธิ์สำหรับโมเมนต์บวกในแผ่นพื้นที่คิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่เท่านั้น*

อัตราส่วน $m = \frac{L_s}{L_l}$		กรณีที่ 1 L_l, L_s	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6	กรณีที่ 7	กรณีที่ 8	กรณีที่ 9
0.80	$C_{s.dl}$	0.056	0.026	0.034	0.039	0.032	0.045	0.045	0.032	0.029
	$C_{l.dl}$	0.023	0.011	0.020	0.016	0.009	0.015	0.022	0.015	0.010
0.75	$C_{s.dl}$	0.061	0.028	0.040	0.043	0.033	0.048	0.051	0.036	0.031
	$C_{l.dl}$	0.019	0.009	0.018	0.013	0.007	0.012	0.020	0.013	0.007
0.70	$C_{s.dl}$	0.068	0.030	0.046	0.046	0.035	0.051	0.058	0.040	0.033
	$C_{l.dl}$	0.016	0.007	0.016	0.011	0.005	0.009	0.017	0.011	0.006
0.65	$C_{s.dl}$	0.074	0.032	0.054	0.050	0.036	0.054	0.065	0.044	0.034
	$C_{l.dl}$	0.013	0.006	0.014	0.009	0.004	0.007	0.014	0.009	0.005
0.60	$C_{s.dl}$	0.081	0.034	0.062	0.053	0.037	0.056	0.073	0.048	0.036
	$C_{l.dl}$	0.010	0.004	0.011	0.007	0.003	0.006	0.012	0.007	0.004
0.55	$C_{s.dl}$	0.088	0.035	0.071	0.056	0.038	0.058	0.081	0.052	0.037
	$C_{l.dl}$	0.008	0.003	0.009	0.005	0.002	0.004	0.009	0.005	0.003
0.50	$C_{s.dl}$	0.095	0.037	0.080	0.059	0.039	0.061	0.089	0.056	0.038
	$C_{l.dl}$	0.006	0.002	0.007	0.004	0.001	0.003	0.007	0.004	0.002

ตารางที่ 10.3 สัมปสิทธิ์สำหรับโมเมนต์บวกในแผ่นพื้นที่คิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่เท่านั้น*



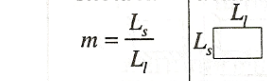
มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ตาราง10.4 สัมปสิทธิ์สำหรับโมเมันต์บวกในแผ่นพื้นคิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุก

$$M_{s,pos,ll} = C_{s,ll} \times w \times L_s^2$$

$$M_{l,pos,ll} = C_{l,ll} \times w \times L_l^2$$

w = น้ำหนักจรที่แผ่กระจายทั้งหมด

อัตราส่วน $m = \frac{L_s}{L_l}$		กรณีที่ 1 	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6	กรณีที่ 7	กรณีที่ 8	กรณีที่ 9
1.00	$C_{s,ll}$	0.036	0.027	0.027	0.032	0.032	0.035	0.032	0.028	0.030
	$C_{l,ll}$	0.036	0.027	0.032	0.032	0.027	0.032	0.035	0.030	0.028
0.95	$C_{s,ll}$	0.040	0.030	0.031	0.035	0.034	0.038	0.036	0.031	0.032
	$C_{l,ll}$	0.033	0.025	0.029	0.029	0.024	0.029	0.032	0.027	0.025
0.90	$C_{s,ll}$	0.045	0.034	0.035	0.039	0.037	0.042	0.040	0.035	0.036
	$C_{l,ll}$	0.029	0.022	0.027	0.026	0.021	0.025	0.029	0.024	0.022
0.85	$C_{s,ll}$	0.050	0.037	0.040	0.043	0.041	0.046	0.045	0.040	0.039
	$C_{l,ll}$	0.026	0.019	0.024	0.023	0.019	0.022	0.026	0.022	0.020

ตาราง10.4 สัมปสิทธิ์สำหรับโมเมันต์บวกในแผ่นพื้นคิดเฉพาะน้ำหนักบรรทุก

อัตราส่วน $m = \frac{L_s}{L_l}$		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6	กรณีที่ 7	กรณีที่ 8	กรณีที่ 9
0.80	$C_{s,ll}$	0.058	0.041	0.045	0.048	0.044	0.051	0.051	0.044	0.042
	$C_{l,ll}$	0.023	0.017	0.022	0.020	0.016	0.019	0.023	0.019	0.017
0.75	$C_{s,ll}$	0.061	0.045	0.051	0.052	0.047	0.055	0.056	0.049	0.046
	$C_{l,ll}$	0.019	0.014	0.019	0.016	0.013	0.016	0.020	0.016	0.013
0.70	$C_{s,ll}$	0.068	0.049	0.057	0.057	0.051	0.060	0.063	0.054	0.050
	$C_{l,ll}$	0.016	0.012	0.016	0.014	0.011	0.013	0.017	0.014	0.011
0.65	$C_{s,ll}$	0.074	0.053	0.064	0.062	0.055	0.064	0.070	0.059	0.054
	$C_{l,ll}$	0.013	0.010	0.014	0.011	0.009	0.010	0.014	0.011	0.009
0.60	$C_{s,ll}$	0.081	0.058	0.071	0.067	0.059	0.068	0.077	0.065	0.059
	$C_{l,ll}$	0.010	0.007	0.011	0.009	0.007	0.008	0.011	0.009	0.007
0.55	$C_{s,ll}$	0.088	0.062	0.080	0.072	0.063	0.073	0.085	0.070	0.063
	$C_{l,ll}$	0.008	0.006	0.009	0.007	0.005	0.006	0.009	0.007	0.006
0.50	$C_{s,ll}$	0.095	0.066	0.088	0.077	0.067	0.078	0.092	0.076	0.067
	$C_{l,ll}$	0.006	0.004	0.007	0.005	0.004	0.005	0.007	0.005	0.004

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

10.4.2 การโก่งตัวของแผ่นพื้นที่สองทาง

ในการออกแบบแผ่นพื้นที่จะต้องมีการคำนวณการโก่งตัวของแผ่นพื้นเพื่อตรวจสอบไม่ให้เกินค่าการโก่งตัวที่ยอมให้ ระยะทางโก่งตัวสูงสุดที่ยอมให้ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรงของ ว.ส.ท. ปี 2537

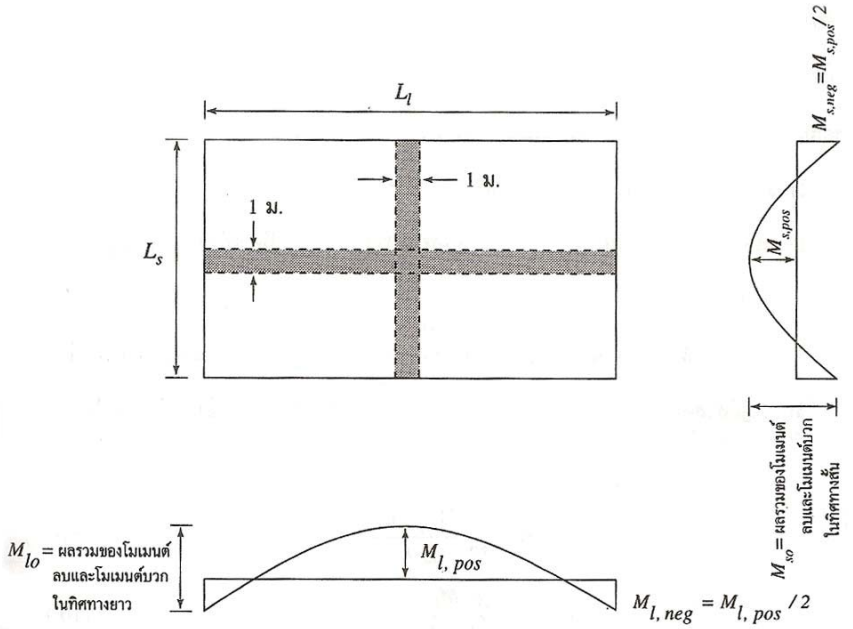
การออกแบบแผ่นพื้นที่คอนกรีตอัดรงในทางปฏิบัติ อาจออกแบบให้แรงพยุงเนื่องจากเหล็กเสริมอัดแรงพอดีเท่ากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมด ดังนั้นขณะที่ยังไม่มีน้ำหนักบรรทุกจรมาก พื้นที่จะเกิดการโก่งตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

แผนภาพโมเมนต์สำหรับการคำนวณค่าการโก่งตัวของแผ่นพื้นสองทาง

ในคานที่มีปลายยึดแน่นทั้งสองข้าง ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ปลายยึด (fixed end moment) มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{12}wL^2$ ถ้าให้ M_o คือ โมเมนต์ที่เกิดจากผลรวมของโมเมนต์ลบและโมเมนต์บวก ซึ่ง M_o มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{8}wL^2$ ดังนั้นโมเมนต์บวกที่เกิดขึ้นที่กึ่งกลางคานจะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{8}wL^2 - \frac{1}{12}wL^2 = \frac{1}{24}wL^2$ ดังนั้นในกรณีของปลายยึดแน่นโมเมนต์ที่กึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{3}M_o$ และโมเมนต์ที่ปลายยึดแน่นมีค่าเท่ากับ $\frac{2}{3}M_o$ แต่สำหรับกรณีของพื้นซึ่งมีที่รองรับที่ปลายพื้นนั้นการยึดแน่นจะไม่ยึดแน่นอย่างเต็มที่ ในสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการโก่งของพื้นจะให้ปลายยึดเพียง 50% เท่านั้น ดังนั้นโมเมนต์ลบที่ปลายแผ่นพื้นจึงมีค่าลดลงจาก $\frac{2}{3}M_o$ เหลือเพียง $\frac{1}{3}M_o$ และโมเมนต์บวกที่กึ่งกลางคานจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $M_o - \frac{1}{3}M_o = \frac{2}{3}M_o$

ค่า $M_{l,pos}$ และ $M_{s,pos}$ หาได้จากตารางที่ 10.4 และสามารถหาค่าการโก่งตัว Δ ได้โดยใช้ทฤษฎีอีลาสติก เช่น ทฤษฎีพื้นที่โมเมนต์ (moment–area theorem) ซึ่งหาค่า Δ ได้จาก

แผนภาพโมเมนต์สำหรับการคำนวณค่าการโก่งตัวของแผ่นพื้นสองทาง



แผนภาพโมเมนต์สำหรับการคำนวณค่าการโก่งตัวของแผ่นพื้นสองทาง

$$\Delta_s = \frac{3}{32}\frac{M_{s,pos}L_s^2}{E_c I_c} \qquad (10.9)$$

$$\Delta_l = \frac{3}{32}\frac{M_{l,pos}L_l^2}{E_c I_c} \qquad (10.10)$$

โดยที่ Δ_s, Δ_l คือ การโก่งตัวที่กึ่งกลางช่วงพื้นในทิศทางสั้นและยาวตามลำดับ

$M_{s,pos}, M_{l,pos}$ คือ โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วงพื้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรในทิศทางสั้นและยาวตามลำดับ สามารถหาได้จากตารางที่ 10.4

L_s, L_l คือ ความยาวของช่วงพื้นในทิศทางสั้นและยาวตามลำดับ

E_c, I_c คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต และโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดคอนกรีตที่มีความกว้าง 1 เมตร ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

10.4.3 โมเมนต์ดัดประลัยของแผ่นพื้นสองทาง

หลังจากออกแบบความหนาของพื้น ปริมาณเหล็กเสริมอัดแรงและแนวเหล็กเสริมอัดแรงในช่วงใช้งานแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบกำลังประลัยของหน้าตัดด้วยโดยที่กำลังในการออกแบบ ϕM_n ต้องมีค่ามากกว่ากำลังที่ต้องการ M_u

$$\phi M_n \geq M_u \qquad (10.11)$$

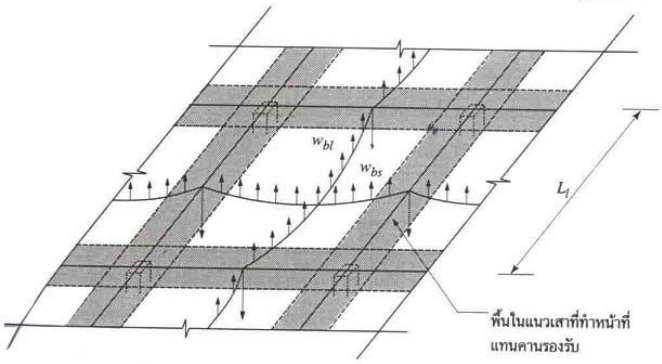
โดยที่ ϕ คือ ตัวคูณลดกำลัง สำหรับโมเมนต์ดัดมีค่าเท่ากับ 0.9

M_n คือ โมเมนต์ดัดประลัยระบุของหน้าตัด

M_u คือ โมเมนต์ที่ต้องการซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของโมเมนต์เพิ่มส่วนและโมเมนต์รอง

$$= 1.4M_D + 1.7M_L + M_{sec}$$

พื้นไร้คานเรียบ



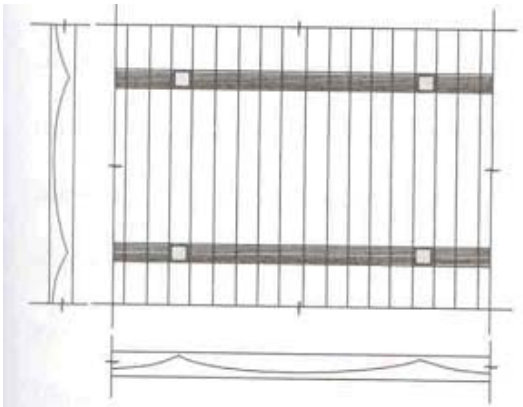
$$w_b = w_{bs} + w_{bl} \qquad (10.12)$$

$$w_b L_s L_l = w_{bs} L_s L_l + w_{bl} L_s L_l \qquad (10.13)$$

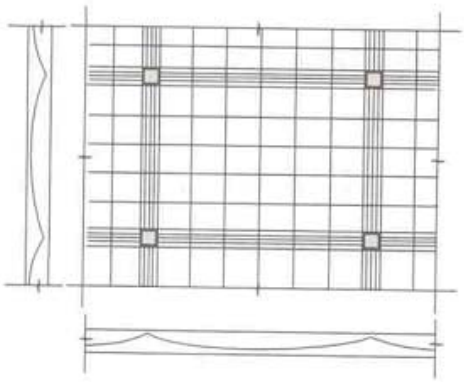
$$w_{bs} L_s L_l + w_{bl} L_s L_l = w_b L_s L_l \qquad (10.14)$$

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

รูปแบบการจัดแนวเหล็กเสริมอัดแรงในแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบ

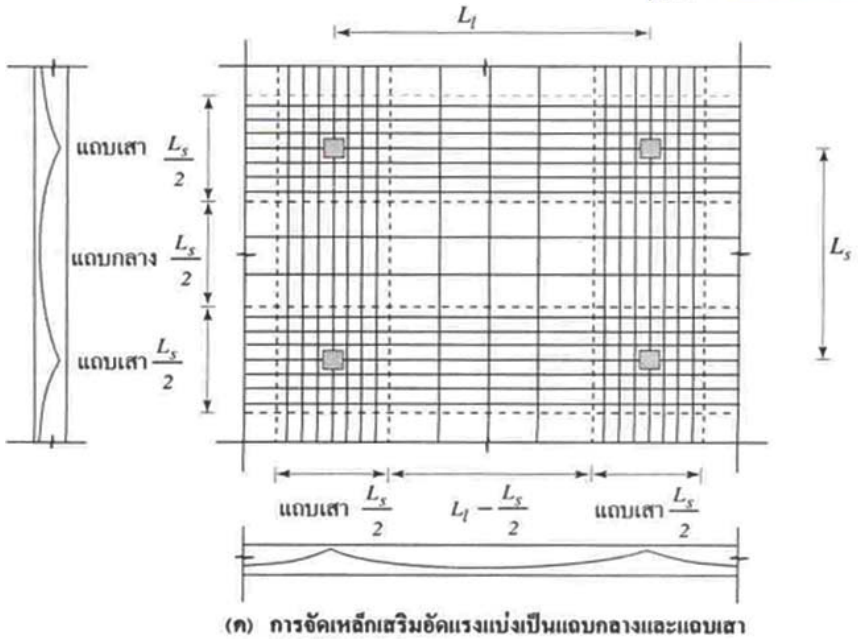


(ก) การจัดเหล็กเสริมอัดแรงกระจายในทิศทางเดียว



(ข) การจัดเหล็กเสริมอัดแรงกระจายในสองทิศทาง

รูปแบบการจัดแนวเหล็กเสริมอัดแรงในแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบ



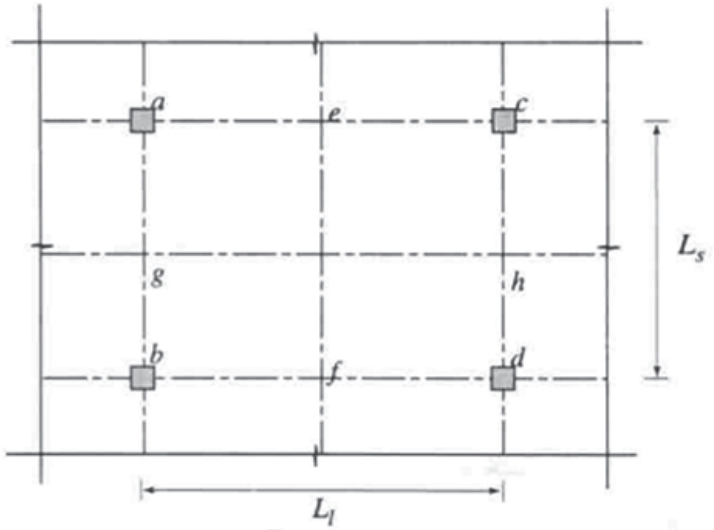
(ค) การจัดเหล็กเสริมอัดแรงแบ่งเป็นแถบกลางและแถบเสา

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

10.5.1 การกระจายของโมเมนต์ในพื้นไร้คาน

ถ้าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อพื้นทีค่าเท่ากับแรงพยุงที่เกิดจากแนวเหล็กเสริมอัดแรงการโก่งตัวของแผ่นพื้นก็จะไม่เกิดขึ้นและจะไม่เกิดโมเมนต์ในพื้น หน่วยแรงในคอนกรีตที่ทำหน้าตัดต่างๆจะเป็นหน่วยแรงอัดสม่ำเสมอ เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นแผ่นพื้นจะเริ่มเกิดการโก่งตัว และโมเมนต์จะเกิดขึ้นบนแผ่นพื้นตำแหน่งต่างๆ การคำนวณโมเมนต์เนื่องจากผลต่างของน้ำหนักบรรทุกและเหล็กเสริมอัดแรง

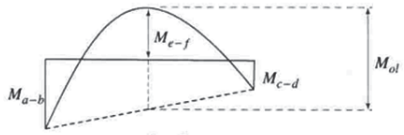
การกระจายของโมเมนต์ในแผ่นพื้นไร้คาน



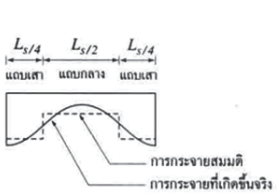
(ก) แผ่นพื้นไร้คานภายใน

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

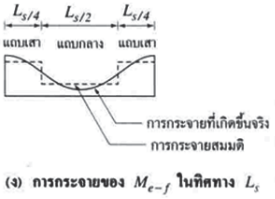
การกระจายของโมเมนต์ในแผ่นพื้นไร้คาน



(ข) โมเมนต์ที่เกิดขึ้นตามทิศทาง L_l



(ค) การกระจายของ M_{a-b} ในทิศทาง L_s



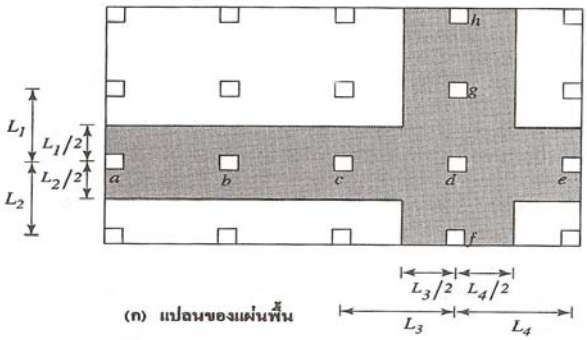
(ง) การกระจายของ M_{e-f} ในทิศทาง L_s

$$\frac{1}{2}(M_{a-b}+M_{c-d})+M_{e-f} = M_{ol} = \frac{1}{8}wL_sL_l^2 \qquad (10.15)$$

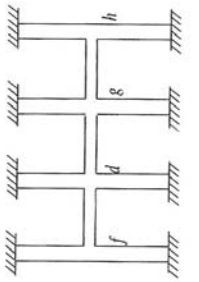
$$\frac{1}{2}(M_{a-c}+M_{b-d})+M_{g-h} = M_{os} = \frac{1}{8}wL_lL_s^2 \qquad (10.16)$$

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

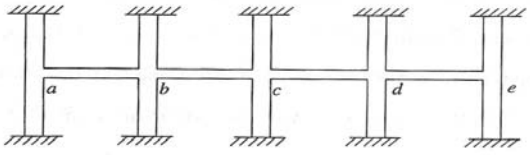
การใช้วิธีโครงสร้างเทียบเท่าสำหรับวิเคราะห์โมเมนต์ในแผ่นพื้นที่ไร้คาน



(ก) แปลนของแผ่นพื้น



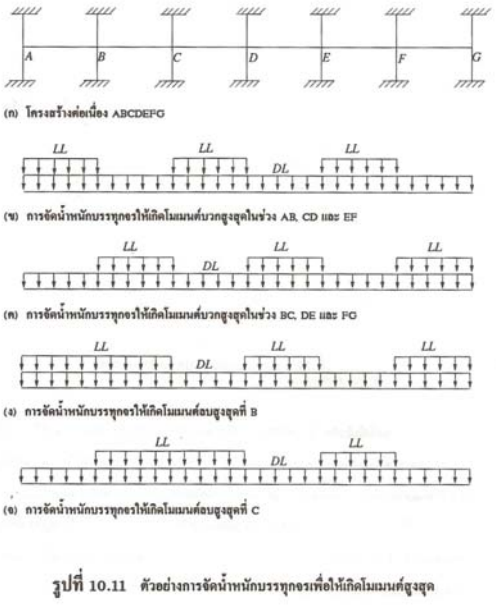
(ค) โครงสร้างเทียบเท่า fdgh



(ข) โครงสร้างเทียบเท่า abcde

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

การใช้วิธีโครงสร้างเทียวเท่าสำหรับวิเคราะห์โมเมนต์ในแผ่นพื้นที่ไร้คาน



(ก) โครงสร้างต่อเนื่อง ABCDEFG

(ข) การจัดน้ำหนักบรรทุกจรให้เกิดโมเมนต์บวกสูงสุดในช่วง AB, CD และ EF

(ค) การจัดน้ำหนักบรรทุกจรให้เกิดโมเมนต์บวกสูงสุดในช่วง BC, DE และ FG

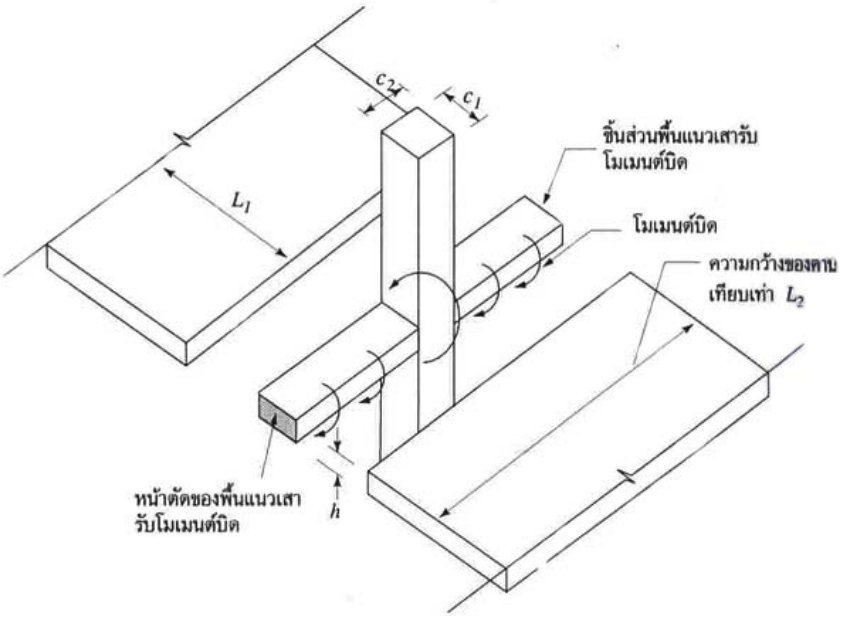
(ง) การจัดน้ำหนักบรรทุกจรให้เกิดโมเมนต์ลบสูงสุดที่ B

(จ) การจัดน้ำหนักบรรทุกจรให้เกิดโมเมนต์ลบสูงสุดที่ C

รูปที่ 10.11 ตัวอย่างการจัดน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อให้เกิดโมเมนต์สูงสุด

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ส่วนประกอบโครงสร้างเทียบเท่า



มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ส่วนประกอบโครงสร้างเทียบเท่า

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t} \qquad (10.17)$$

โดยที่ K_{ec} คือ สติฟเนสการดัดของเสาเทียบเท่า

$\sum K_c$ คือ ผลรวมของสติฟเนสการดัดของเสาส่วนบนและเสาส่วนล่าง มาตรฐาน ACI กำหนดให้ใช้สติฟเนสการดัดของเสา $K_c = \frac{4EI}{L-2h}$ โดยที่ L คือ ระยะระหว่างชั้นถึงชั้นที่พิจารณาและ h คือความหนาของพื้น

K_t คือ สติฟเนสด้านการบิดของแผ่นพื้นแนวเสาในทิศตั้งฉากโดยหาจากสมการที่ 10.18

ส่วนประกอบโครงสร้างเทียบเท่า

$$K_t = \sum \frac{9E_cC}{L_2\left(1-\frac{c_2}{L_2}\right)^3} \qquad (10.18)$$

โดยที่ C คือ ค่าคงที่ของหน้าตัดสำหรับการบิด หาได้จากสมการที่ 10.19

L_2 คือ ความกว้างของคานเทียบเท่า

c_2 คือ ความกว้างของเสาในทิศทางเดียวกับ L_2

$\sum$ ในสมการที่ 10.18 หมายถึง ผลรวมของกรณีที่มีแผ่นพื้น 2 แผ่นในทิศทางที่พิจารณา

$$C = \left(1-0.63\frac{x}{y}\right)\frac{x^3y}{3} \qquad (10.19)$$

โดยที่ x คือ ด้านสั้นของหน้าตัดของพื้นแนวเสารับโมเมนต์บิด (เท่ากับ h)

y คือ ด้านยาวของหน้าตัดของพื้นแนวเสารับโมเมนต์บิด (เท่ากับ c_1)

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ส่วนประกอบโครงสร้างเทียบเท่า

สำหรับค่าสติฟเนสของคานเทียบเท่า K_{es} มาตรฐาน ACI ได้กำหนดให้ใช้เท่ากับ

$$K_{es} = \frac{4EI}{L_1 - c_1/2} \qquad (10.20)$$

โดยที่ L_1 คือ ระยะความยาวช่วงของคานเทียบเท่าโดยวัดจากกึ่งกลางเสา

c_1 คือ ความกว้างของเสาในทิศทางเดียวกับ L_1

ส่วนประกอบโครงสร้างเทียบเท่า

พื้นช่วงเดียว	: 55–60%	ให้แบ่งแก่แถบเสา	ที่เหลือให้แบ่งแก่แถบกลาง
พื้นต่อเนื่อง	: 65–75%	ให้แบ่งแก่แถบเสา	ที่เหลือให้แบ่งแก่แถบกลาง

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

ส่วนประกอบโครงสร้างเทียบเท่า

มาตรฐาน ACI กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตอัดแรงขณะใช้งานสำหรับแผ่นพื้นไร้คาน แตกต่างไปจากโครงสร้างอื่นดังต่อไปนี้

สำหรับหน่วยแรงอัดในคอนกรีต

- หน่วยแรงอัดในคอนกรีตบริเวณโมเมนต์ลบที่หัวเสา $0.30f'_c$
- บริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ใช่บริเวณหัวเสา $0.45f'_c$

สำหรับหน่วยแรงดึงในคอนกรีต

- หน่วยแรงดึงในคอนกรีตบริเวณโมเมนต์บวกที่ไม่มีเหล็กเสริมธรรมดาใด ๆ เสริมอยู่ $0.53\sqrt{f'_c}$
- หน่วยแรงดึงในคอนกรีตบริเวณโมเมนต์บวกที่มีเหล็กเสริมธรรมดาเสริมอยู่ $1.6\sqrt{f'_c}$
- หน่วยแรงดึงในคอนกรีตบริเวณโมเมนต์ลบที่ไม่มีเหล็กเสริมธรรมดาใด ๆ เสริมอยู่ 0
- หน่วยแรงดึงในคอนกรีตบริเวณโมเมนต์ลบที่มีเหล็กเสริมธรรมดาใด ๆ เสริมอยู่ $1.6\sqrt{f'_c}$

10.5.3 โมเมนต์ปละลัยของแผ่นพื้นไรคานท้องเรียบ

การตรวจสอบกำลังตัดประลัยในแผ่นพื้นไรคานเหมือนกันกับแผ่นพื้นสองทางกำลังต้านภายในโมเมนต์ตัดภายในหน้าตัด ต้องมีค่ามากกว่ากำลังต้านทานที่ต้องการโมเมนต์ เนื่องจากกำลังบรรทุกคงที่ และโมเมนต์รองสามารถหาได้จากการคำนวณโมเมนต์สุทธิเนื่องจากการแรงอัด ซึ่งได้มาจากวิธีโครงสร้างเทียบเท่าและหลักการแรงพยุง จากนั้นหักโมเมนต์สุทธิที่คำนวณออกด้วยโมเมนต์หลักก็จะได้ค่าโมเมนต์รอง

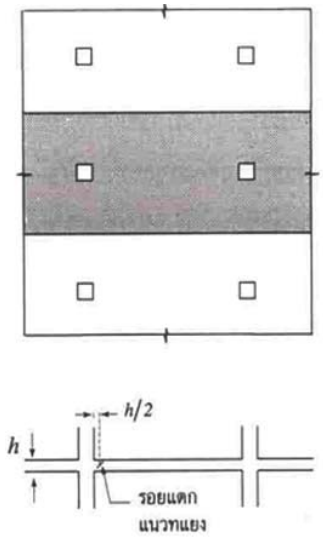
10.5.4 แรงเฉือนในแผ่นพื้นไรคานท้องเรียบ

ในการออกแบบแผ่นพื้นไรคานท้องเรียบอาจพบว่าหลายครั้งผลของแรงเฉือนมีความสำคัญต่อการออกแบบ น้ำหนักบรรทุกแผ่นพื้นที่ไร้คานจะถ่ายจากพื้นไปสู่เสาโดยตรงทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนที่สูงมาก บริเวณหัวเสาแรงเฉือนที่ต้องการตรวจสอบคือ

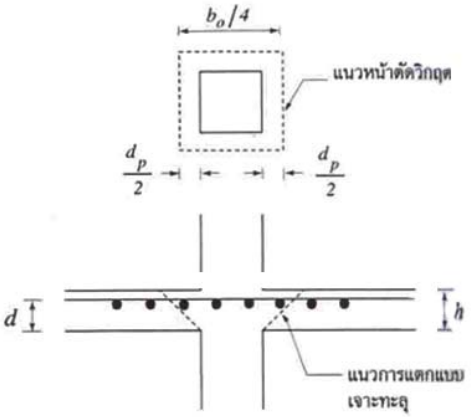
ก) แรงเฉือนแบบคานกว้าง

ข) แรงเฉือนเจาะทะลุ

การแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนแบบต่างๆ



(ก) การแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนแบบคานกว้าง



(ข) การแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ

การแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนแบบต่างๆ

$$V_c = \left(0.93\sqrt{f'_c} + 0.3 f_{pc}\right) b_o d_p + V_p \qquad (10.22)$$

โดยที่ b_o คือ เส้นรอบรูปของหน้าตัดวิกฤต

f_{pc} คือ ค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงอัดที่ศูนย์กลางหน้าตัดคอนกรีตทั้งสองทิศทาง

V_p คือ แรงประกอบย่อยในแนวดิ่งของแรงอัดประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรงที่ผ่านเส้นรอบรูปหน้าตัดวิกฤต (V_p อาจใช้ค่าเท่ากับศูนย์ได้เนื่องจากแผ่นพื้นมีความหนาน้อย มุมเอียงของเหล็กเสริมอัดแรงจึงมีค่าน้อย)

การแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนแบบต่างๆ

สมการที่ 10.22 จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ

1. ไม่มีหน้าตัดเสาส่วนใดอยู่ใกล้ขอบพื้นที่ไม่ต่อเนื่องเกินกว่า 4h
2. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตต้องมีค่าไม่เกิน 350 กก./ซม.^{2}
3. หน่วยแรงอัดที่ศูนย์กลางของหน้าตัด f_{pc} ในแต่ละทิศทางต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 8.8 กก./ซม.^{2} และต้องมีค่าไม่มากกว่า 35 กก./ซม.^{2}

ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ให้ใช้สมการของ V_c สำหรับแรงเฉือนแบบเจาะทะลุจากสมการที่ 10.23

$$V_c = 0.53\left(1 + 2/\beta_c\right)\sqrt{f'_c} b_o d_p \le 1.06\sqrt{f'_c} b_o d_p \qquad (10.23)$$

โดยที่ β_c คือ อัตราส่วนของด้านยาวต่อด้านสั้นของเสา

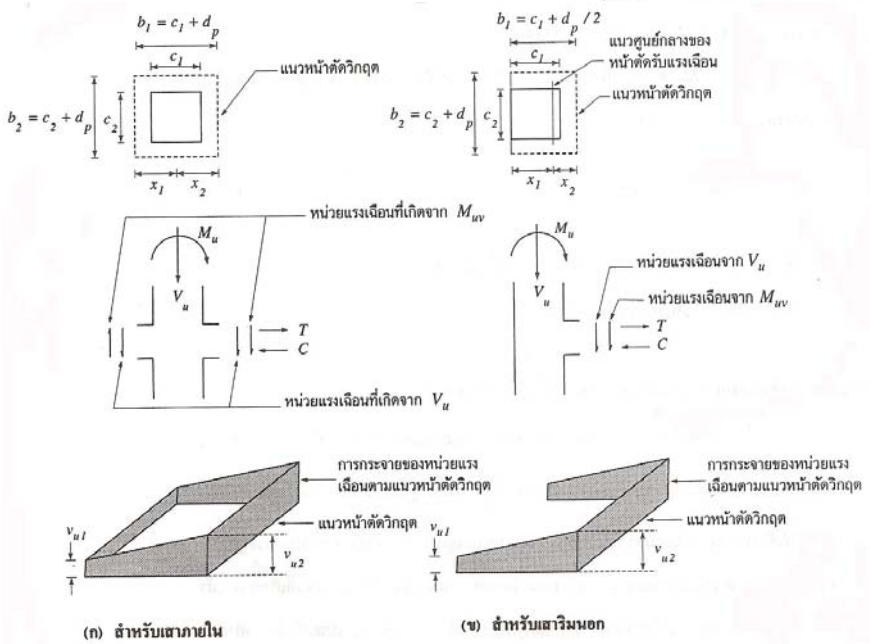
b_o คือ เส้นรอบรูปของแนวหน้าตัดวิกฤต

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

10.5.5 พฤติกรรมการถ่านโมเมนต์จากแผ่นพื้นไร้คานลงสู่เสา

การตรวจสอบนี้หน่วยแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ จะสมมติว่าหน่วยแรงเฉือนบริเวณหน้าตัดวิกฤตที่ห่างจากเสาทั้งสี่ด้านเป็นหน่วยแรงเฉือนสม่ำเสมอแต่ในกรณีที่ต้องมีการถ่ายโมเมนต์จำนวนพอสมควรจากพื้นลงสู่เสา จะพบว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดรอบเสาไม่เท่ากันโดยตลอด

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงเฉือนและโมเมนต์จากพื้นไรคานลงสู่เสา



แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงเฉือนและโมเมนต์จากพื้นไรคานลงสู่เสา

$$v_{u1} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{M_{uv}x_1}{J_c} \qquad (10.24)$$

$$v_{u2} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{M_{uv}x_2}{J_c} \qquad (10.25)$$

โดยที่ A_c คือ พื้นที่ของหน้าตัดวิกฤตรับแรงเฉือน มีค่าเท่ากับ $(2b_1 + b_2)d_p$ สำหรับเสาภายในและมีค่าเท่ากับ $(2b_1 + b_2)d_p$ สำหรับเสาริมนอก

x_1, x_2 คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือนถึงตำแหน่งที่พิจารณา

J_c คือ โพลาร์โมเมนต์อินเนอร์เชีย (polar moment of inertia) ของหน้าตัดวิกฤต

โดยที่ J_c หาได้จาก

สำหรับเสาภายใน

$$J_c = \frac{b_1^3 d_p}{6} + \frac{b_1 d_p^3}{6} + \frac{b_2 b_1^2 d_p}{2} \qquad (10.26)$$

สำหรับเสาริมนอก

$$J_c = \frac{b_1 d_p^3}{6} + \frac{2}{3}\left(x_1^3 + x_2^3\right)d_p + b_2 x_2^2 d_p \qquad (10.27)$$

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงเฉือนและโมเมนต์จากพื้นไรคานลงสู่เสา

M_{uv} ในสมการที่ 10.24 และ 10.25 เป็นโมเมนต์ที่ถ่ายผ่านโมเมนต์ของแรงเฉือนมีค่าเท่ากับผลต่างของโมเมนต์ทั้งหมดที่ถ่ายจากพื้นสู่เสา M_u กับโมเมนต์ที่ถ่ายผ่านลักษณะโมเมนต์ดัด M_{ub}

$$M_{uv} = M_u - M_{ub} \qquad (10.28)$$

โดยที่

$$M_{ub} = \frac{M_u}{1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \qquad (10.29)$$

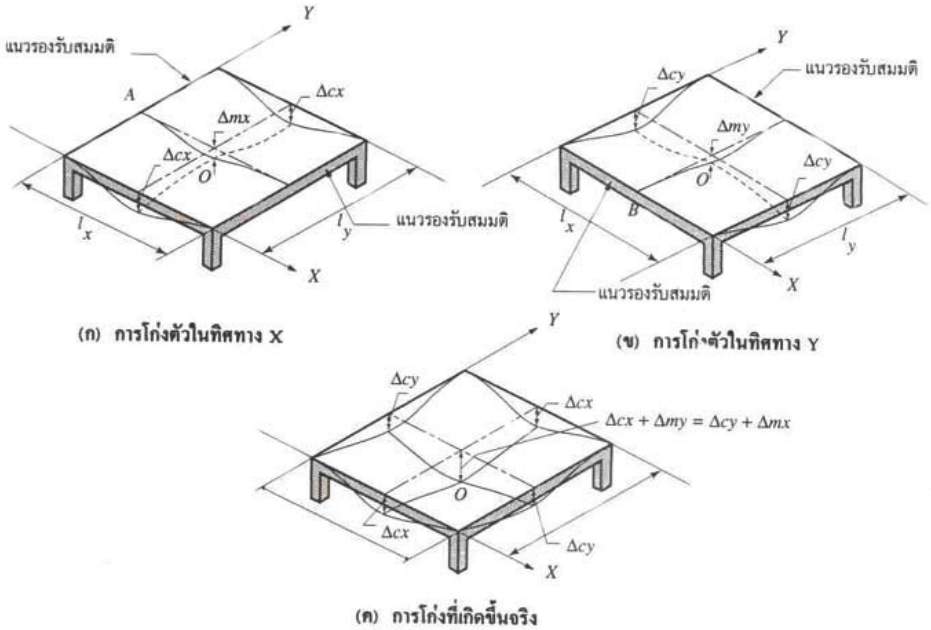
มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงเฉือนและโมเมนต์จากพื้นไรคานลงสู่เสา

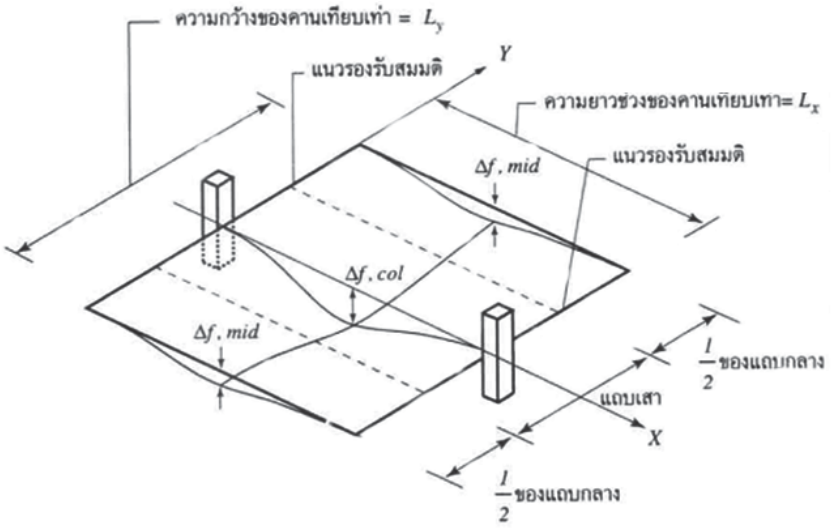
$$v_c = 0.93\sqrt{f'_c} + 0.3 f_{pc} \qquad (10.30)$$

$$v_c = 0.53(1 + 2/\beta_c)\sqrt{f'_c} \le 1.06\sqrt{f'_c} \qquad (10.31)$$

10.5.6 การโก่งตัวของแผ่นพื้นไรคานท้องเรียบ



การโก่งตัวของคานเทียบเท่าในทิศทาง X



การโก่งตัวของคานเทียบเท่าในทิศทาง X

ถ้าสมมติว่าที่รองรับสมมติเป็นปลายยึดแน่น การโก่งตัวที่กึ่งกลางคานเทียบเท่า Δ_f หาได้จาก

$$\Delta_f = \frac{wL_x^4}{384E_cI_{panel}} \qquad (10.33)$$

โดยที่ w คือ น้ำหนักบรรทุกต่อความยาว 1 เมตร ของช่วงความยาว L_x

I_{panel} คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของคานเทียบเท่า ซึ่งมีความกว้างเท่ากับ L_y

การโก่งตัวของคานเทียบเท่าในทิศทาง X

$$\Delta_{f,col} = \Delta_f \times \left(\frac{M_{col}}{E_c I_{col}} \Big/ \frac{M_{panel}}{E_c I_{panel}} \right) \quad (10.34)$$

$$\Delta_{f,mid} = \Delta_f \times \left(\frac{M_{mid}}{E_c I_{mid}} \Big/ \frac{M_{panel}}{E_c I_{panel}} \right) \quad (10.35)$$

โดยที่ $M_{panel}, M_{col}, M_{mid}$ คือ โมเมนต์ของคานเทียบเท่า ของแถบเสา และของแถบกลางตามลำดับ

$I_{panel}, I_{col}, I_{mid}$ คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของคานเทียบเท่า ของแถบเสา และของแถบกลางตามลำดับ

การโก่งตัวของคานเทียบเท่าในทิศทาง X

$$\Delta_{col} = \Delta_{f,col} + \Delta_{\theta 1} + \Delta_{\theta 2} \quad (10.36)$$

$$\Delta_{mid} = \Delta_{f,mid} + \Delta_{\theta 1} + \Delta_{\theta 2} \quad (10.37)$$

โดยที่ $\Delta_{\theta 1}, \Delta_{\theta 2}$ คือ การโก่งตัวที่กึ่งกลางพื้นอันเนื่องมาจากมุมบิดของแนวรองรับแต่ละข้าง โดยหาได้จากสมการที่ 10.38

$$\Delta_\theta = \frac{M_{net} \cdot L}{8 K_{ec}} \quad (10.38)$$

โดยที่ M_{net} คือ ผลต่างของโมเมนต์ในพื้นทั้งสองข้างของเสา ในทิศทางที่พิจารณา

L คือ ความยาวช่วงของคานเทียบเท่า ในทิศทางที่พิจารณา

K_{ec} คือ สติฟเนสของเสาเทียบเท่า สามารถหาได้จากสมการที่ 10.17

มหาวิทยาลัยรังสิต http://www.rsu.ac.th
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน หลักหก ปทุมธานี 12000