CEN 432

การออกแบบคอนกรีตอัดแรง

บทที่ 8 โครงสร้างคอมโพสิต

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

ชนิดของโครงสร้างคอมโพสิตในคอนกรีตอัดแรง

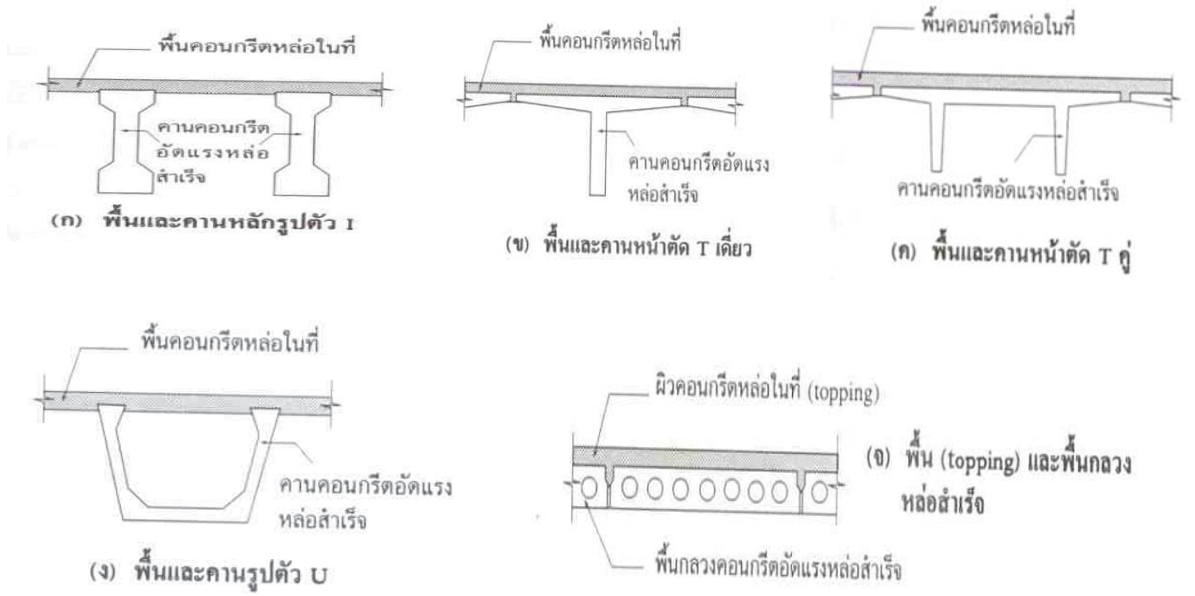
UNDER CONSTRUCTION

โครงสร้างคอมโพสิตในคอนกรีตอัดแรง หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและชิ้นส่วนคอนกรีตชนิดที่รับแรงร่วมกันโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวทั้งสอง ซึ่งจะต้องคำนวณออกมอย่างเหมาะสมเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถรวมกันเป็นคอมโพสิตเท่านั้น

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

ชนิดของโครงสร้างคอมโพสิตในคอนกรีตอัดแรง

UNDER CONSTRUCTION



8.2 ข้อดีของโครงสร้างคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

ก.สมารถลดเวลาในการก่อสร้างได้ทำให้การก่อสร้างดำเนินไปด้วยความสะดวกรวดเร็ว

ข.เนื่องจากชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จเป็นชิ้นส่วนที่ต้องการคอนกรีตกำลังสูงการผลิตจะทำในโรงงานดังนั้นการควบคุมการผลิตจะทำได้ดีกว่าการก่อสร้างหล่อในที่เพราะการผลิตในโรงงานมีเครื่องมือที่พร้อม พื้นที่กว้างขวาง มีการบ่มคอนกรีตที่ดี ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดี คอนกรีตมีกำลังสูงในต้นทุนที่ต่ำ

ค.โครงสร้างคอมโพสิตสามารถใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จเป็นที่รองรับขณะเทพื้นคอนกรีตในที่ดังนั้นทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำค้ำยันและไม้แบบ อีกทั้งไม่เป็นอุปสรรคกีดขวางต่อการเจรจา

ง.พื้นที่คอนกรีตหล่อในที่ที่ทำการเทหลังจากวางชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จจะช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของโครงสร้างแบบช่วงเดียว

8.3 ขั้นตอนการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

โครสร้างคอมโพสิตมี 2 ขั้นตอนหลักในการรับน้ำหนักบรรทุกคือ ขั้นตอนแรกขณะติดตั้งวางชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ การรับน้ำหนักขณะนี้จะรับโดยชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ และขั้นตอนที่สอง คือ เมื่อเทพื้นคอนกรีตหล่อในที่เรียนร้อยแล้วและคอนกรีตแข็งตัว การรับน้ำหนักนั้นจะรับโดยการคอมโพสิต

8.4 การวิเคราะห์และออกแบบคานคอมโพสิตโมเมนต์ดัด

UNDER CONSTRUCTION

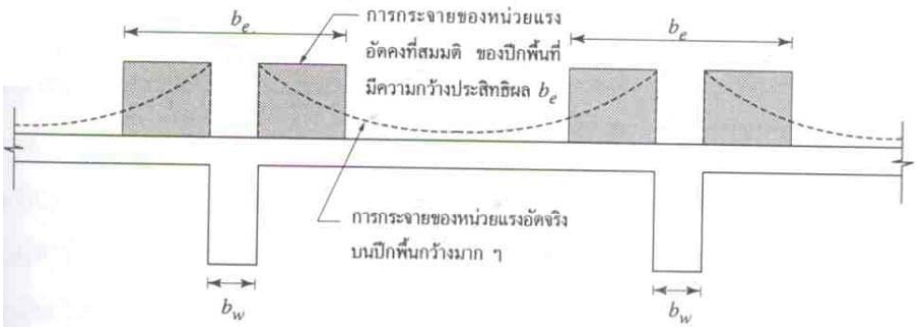
8.4.1 การคำนวณหาหน้าตัดแปลง

$$b_{tr} = b_e \cdot \frac{(E_c)_{slab}}{(E_c)_{precast}} = b_e \cdot n_c$$

$(E_c)_{slab}$	คือ	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตในส่วนของพื้นเททีหลัง
$(E_c)_{precast}$	คือ	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ
n_c	คือ	อัตราส่วนของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตในส่วนของพื้นเททีหลังต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ
b_e	คือ	ความกว้างประสิทธิผลเดิมของคอนกรีตพื้นเททีหลัง
b_{tr}	คือ	ความกว้างเทียบเท่าของคอนกรีตพื้นเททีหลัง

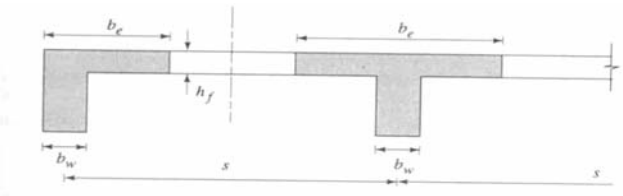
8.4.2 ความกว้างประสิทธิผลของหน้าตัดพื้นเททีหลัง

UNDER CONSTRUCTION



การคำนวณหาความกว้างประสิทธิผลของปีกพื้น

UNDER CONSTRUCTION



	สำหรับปีกข้างเดียว	สำหรับปีกสองข้าง
ACI	b_e = ค่าที่น้อยที่สุดของ $\begin{cases} b_w + 6h_f \\ (b_w + s)/2 \\ b_w + L/12 \end{cases}$	b_e = ค่าที่น้อยที่สุดของ $\begin{cases} b_w + 16h_f \\ s \\ L/4 \end{cases}$
AASHTO	b_e = ค่าที่น้อยที่สุดของ $\begin{cases} b_w + 6h_f \\ (b_w + s)/2 \\ b_w + L/12 \end{cases}$	b_e = ค่าที่น้อยที่สุดของ $\begin{cases} b_w + 12h_f \\ s \\ L/4 \end{cases}$

หมายเหตุ (1) L = ความยาวของช่วงคาน

(2) ถ้าหน้าตัด b_w ไม่คงที่ (เช่นรูปตัว I) b_w ให้ใช้ค่าความกว้างของส่วนที่ติดกับแผ่นพื้น

8.4.3 การวิเคราะห์คานคอมโพสิตทฤษฎีอีลาสติก

UNDER CONSTRUCTION

1) ขั้นตอนการถ่ายแรง

2) ขั้นตอนขณะเทพื้นในที่

ก. ไม่มีค้ำยันรองรับ

ข. มีค้ำรองรับ

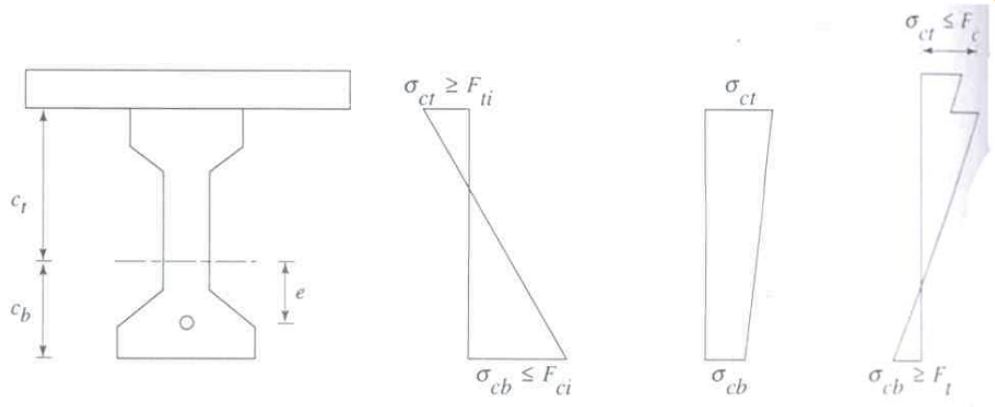
3) ขั้นขณะใช้งาน

ก. ไม่มีค้ำยันรองรับ

ข. มีค้ำรองรับ

8.4.4 การออกแบบคอนคอมโพสิตของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จอัดระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION



(ก) หน้าตัดคาน (ข) หน่วยแรงขณะถ่ายแรง (ค) หน่วยแรงขณะเทพื้นคอนกรีตในที่ (ง) หน่วยแรงขณะใช้งาน

8.4.4 การออกแบบคอนคอมโพสิตของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จอัดระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION

ขณะถ่ายแรง

หน่วยแรงในคอนกรีตที่ผิวบน $\sigma_{ct} = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i e c_t}{I} + \frac{M_G c_t}{I} \geq F_{ti}$

$$\frac{P_i}{A}\left(1 - \frac{Aec_t}{I}\right) + \frac{M_G c_t}{I} \geq F_{ti}$$

จัดรูปใหม่ $$F_{ti} \leq \frac{P_i}{A}\left(1 - \frac{Ae}{Z_t}\right) + \frac{M_G}{Z_t} \quad (8.2)$$

โดยที่ I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดคาน

A คือ พื้นที่ของหน้าตัดคาน

P_i คือ แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงทันทีหลังจากถ่ายแรง

e คือ ระยะเยื้องศูนย์

M_G คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักคาน

Z_t คือ โมดูลัสของหน้าตัดสำหรับผิวบนสุดของคาน $= \frac{I}{c_t}$

ในทำนองเดียวกัน หน่วยแรงในคอนกรีตที่ผิวล่างขณะถ่ายแรง

$$\sigma_{cb} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e c_b}{I} - \frac{M_G c_b}{I} \leq F_{ci}$$

จัดรูปใหม่ $$F_{ci} \geq \frac{P_i}{A}\left(1 + \frac{Ae}{Z_b}\right) - \frac{M_G}{Z_b} \quad (8.3)$$

8.4.4 การออกแบบคอนคอมโพสิตของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จอัดระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION

ขณะเทพื้นคอนกรีตในที่

สมมติว่าขณะเทพื้นคอนกรีตในที่ การสูญเสียแรงดึงได้เกิดขึ้นเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงมีค่าเท่ากับ P_e

หน่วยแรงในคอนกรีตที่ผิวบน $\sigma_{ct} = \frac{P_e}{A} - \frac{P_e e c_t}{I} + \frac{M_G c_t}{I} + \frac{M_S c_t}{I} \leq F_c$

จัดรูปใหม่ $$F_c \geq \frac{P_e}{A}\left(1 - \frac{Ae}{Z_t}\right) + \frac{M_G}{Z_t} + \frac{M_S}{Z_t}$$

ถ้าให้ $P_e = RP_i$ จะได้ว่า $$F_c \geq \frac{RP_i}{A}\left(1 - \frac{Ae}{Z_t}\right) + \frac{M_G}{Z_t} + \frac{M_S}{Z_t} \quad (8.4)$$

หน่วยแรงในคอนกรีตที่ผิวล่าง $\sigma_{cb} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e e c_b}{I} - \frac{M_G c_b}{I} - \frac{M_S c_b}{I} \geq F_t$

จัดรูปใหม่ $$F_t \leq \frac{RP_i}{A}\left(1 + \frac{Ae}{Z_b}\right) - \frac{M_G}{Z_b} - \frac{M_S}{Z_b} \quad (8.5)$$

โดยที่ M_S คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักของพื้น

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

8.4.4 การออกแบบคอนคอมโพสิตของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จอัดระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION

ขณะใช้งาน

น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นในขั้นตอนนี้จะถูกต้านทานโดยระบบคอมโพสิต หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในขั้นตอนนี้หาได้จาก

ที่ผิวบน $$\Delta\sigma_{ct} = \frac{(M'_D + M_L)}{Z'_t} \qquad (8.6)$$

ที่ผิวล่าง $$\Delta\sigma_{cb} = -\frac{(M'_D + M_L)}{Z'_b} \qquad (8.7)$$

โดยที่ $\Delta\sigma_{ct}$ คือ หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่ผิวบนของคานเนื่องจาก M'_D และ M_L

$\Delta\sigma_{cb}$ คือ หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นที่ผิวล่างของคานเนื่องจาก M'_D และ M_L

8.4.4 การออกแบบคอนคอมโพสิตของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จอัดระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION

ดังนั้นหน่วยแรงที่ผิวบนและผิวล่างของคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จขณะใช้งานมีค่าดังต่อไปนี้

ที่ผิวบน $$\sigma_{ct} = \frac{P_e}{A} - \frac{P_e e}{Z_t} + \frac{M_G}{Z_t} + \frac{M_S}{Z_t} + \frac{(M'_D + M_L)}{Z'_t} \le F_c$$

จัดรูปใหม่ $$F_c \ge \frac{RP_i}{A}\left(1 - \frac{Ae}{Z_t}\right) + \frac{M_G}{Z_t} + \frac{M_S}{Z_t} + \frac{(M'_D + M_L)}{Z'_t} \qquad (8.8)$$

ที่ผิวล่าง $$\sigma_{cb} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e e}{Z_b} - \frac{M_G}{Z_b} - \frac{M_S}{Z_b} - \frac{(M'_D + M_L)}{Z'_b} \ge F_t$$

จัดรูปใหม่ $$F_t \le \frac{RP_i}{A}\left(1 + \frac{Ae}{Z_b}\right) - \frac{M_G}{Z_b} - \frac{M_S}{Z_b} - \frac{(M'_D + M_L)}{Z'_b} \qquad (8.9)$$

ถ้ากำหนดให้ $m_t = \frac{Z_t}{Z'_t}$ และ $m_b = \frac{Z_b}{Z'_b}$ สมการที่ 8.8 และ 8.9 จะสามารถเขียนได้ในรูปของสมการที่ 8.10 และ 8.11 ตามลำดับ

$$F_c \ge \frac{RP_i}{A}\left(1 - \frac{Ae}{Z_t}\right) + \frac{M_G}{Z_t} + \frac{M_S}{Z_t} + \frac{m_t(M'_D + M_L)}{Z_t} \qquad (8.10)$$

$$F_t \le \frac{RP_i}{A}\left(1 + \frac{Ae}{Z_b}\right) - \frac{M_G}{Z_b} - \frac{M_S}{Z_b} - \frac{m_b(M'_D + M_L)}{Z_b} \qquad (8.11)$$

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

8.4.4 การออกแบบคอนคอมโพสิตของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จอัดระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

จากสมการที่ 8.2 จะได้ $F_{ti} - \frac{M_G}{(Z_t)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 - \frac{A_{min}e}{(Z_t)_{min}}\right)$ (8.12)

จากสมการที่ 8.10 จะได้

$$\frac{F_c}{R} - \frac{M_G}{R(Z_t)_{min}} - \frac{M_S}{R(Z_t)_{min}} - \frac{m_t(M'_D + M_L)}{R(Z_t)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 - \frac{A_{min}e}{(Z_t)_{min}}\right) \quad (8.13)$$

แก้สมการที่ 8.12 และ 8.13 จะได้

$$(Z_t)_{min} = \frac{(1-R)M_G + M_S + m_t(M'_D + M_L)}{F_c - RF_{ti}} \quad (8.14)$$

8.4.4 การออกแบบคอนคอมโพสิตของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จอัดระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

จากสมการที่ 8.3 จะได้ $F_{ci} + \frac{M_G}{(Z_b)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 + \frac{A_{min}e}{(Z_b)_{min}}\right)$ (8.15)

จากสมการที่ 8.11 จะได้

$$\frac{F_t}{R} + \frac{M_G}{R(Z_b)_{min}} + \frac{M_S}{R(Z_b)_{min}} + \frac{m_b(M'_D + M_L)}{R(Z_b)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 + \frac{A_{min}e}{(Z_b)_{min}}\right) \quad (8.16)$$

แก้สมการที่ 8.15 และ 8.16 จะได้

$$(Z_b)_{min} = \frac{(1-R)M_G + M_S + m_b(M'_D + M_L)}{RF_{ci} - F_t} \quad (8.17)$$

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

8.4.5 การออกแบบแรงอัดระยะเยื้องศูนย์ในคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION

$$A\left(F_{ti}-\frac{M_G}{Z_t}\right) \le P_i\left(1-\frac{Ae}{Z_t}\right)$$

หรือ
$$\frac{1}{P_i} \ge \frac{Ae/Z_t-1}{A\left(-F_{ti}+M_G/Z_t\right)}$$

ในทำนองเดียวกันจากสมการที่ 8.3 จัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{1}{P_i} \ge \frac{Ae/Z_b+1}{A\left(F_{ci}+M_G/Z_b\right)}$$

จากสมการที่ 8.10 ถ้าให้ $M'_T = M_G + M_S + m_t\left(M'_D + M_L\right)$ จัดรูปใหม่จะได้

8.4.5 การออกแบบแรงอัดระยะเยื้องศูนย์ในคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบไม่มีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION

$$\frac{1}{P_i} \le \frac{R\left(Ae/Z_t-1\right)}{A\left(-F_c+M'_T/Z_t\right)} \qquad \text{ถ้า} \quad \frac{M'_T}{Z_t} > F_c$$

หรือ
$$\frac{1}{P_i} \ge \frac{R\left(Ae/Z_t-1\right)}{A\left(-F_c+M'_T/Z_t\right)} \qquad \text{ถ้า} \quad \frac{M'_T}{Z_t} < F_c$$

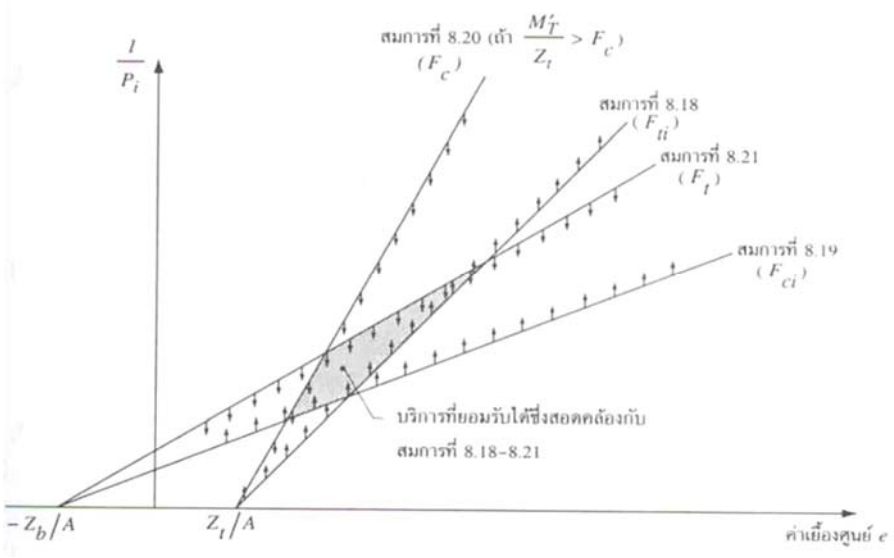
จากสมการที่ 8.11 ถ้าให้ $M'_B = M_G + M_S + m_b\left(M'_D + M_L\right)$ จัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{1}{P_i} \le \frac{R\left(Ae/Z_b+1\right)}{A\left(F_t+M'_B/Z_b\right)}$$

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

แผนภาพแมกเนลสำหรับคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จในระบบคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION



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

8.4.6 การออกแบบคานคอมโพสิตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบมีนั่งร้านค้ำยัง

UNDER CONSTRUCTION

คานคอนกรีตอัดแรงในระบบที่มีนั่งร้านค้ำยันจะแตกต่างจากระบบที่ไม่มีนั่งร้านค้ำยันที่ขั้นตอนการเทพื้นคอนกรีตในที่และขณะใช้งาน เนื่องจากน้ำหนักพื้นคอนกรีตตลาดจนอุปกรณ์ต่างๆ ขณะก่อสร้างถ่ายลงสู่ค้ำยันแทนการถ่ายน้ำหนักลงสู่คอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

ขณะถ่ายแรง

ที่ผิวบน $$F_{ti} \le \frac{P_i}{A}\left(1-\frac{Ae}{Z_t}\right)+\frac{M_G}{Z_t}$$

ที่ผิวล่าง $$F_{ci} \ge \frac{P_i}{A}\left(1+\frac{Ae}{Z_b}\right)-\frac{M_G}{Z_b}$$

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

8.4.6 การออกแบบคานคอมโพสิตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบมีนั่งร้านค้ำยัง

UNDER CONSTRUCTION

ขณะเทพื้นคอนกรีตในที่

การก่อสร้างในระบบมีนั่งร้านค้ำยัน น้ำหนักพื้นคอนกรีตขณะเทคอนกรีตจะถ่ายลงสู่นั่งร้านค้ำยัน ดังนั้นสมการของหน่วยแรงในคอนกรีตคือ

ที่ผิวบน $$\sigma_{ct} = \frac{P_e}{A} - \frac{P_e e c_t}{I} + \frac{M_G c_t}{I} \leq F_c$$

จัดรูปใหม่ $$F_c \geq \frac{RP_i}{A}\left(1 - \frac{Ae}{Z_t}\right) + \frac{M_G}{Z_t}$$

ที่ผิวล่าง $$\sigma_{cb} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e e c_b}{I} - \frac{M_G c_b}{I} \geq F_t$$

จัดรูปใหม่ $$F_t \leq \frac{RP_i}{A}\left(1 + \frac{Ae}{Z_b}\right) - \frac{M_G}{Z_b}$$

8.4.6 การออกแบบคานคอมโพสิตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบมีนั่งร้านค้ำยัง

UNDER CONSTRUCTION

ขณะใช้งาน

ขั้นตอนนี้นั่งร้านค้ำยันต่าง ๆ จะถูกถอดออก ดังนั้นน้ำหนักของพื้นคอนกรีต น้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมอื่น ๆ จะถูกรับโดยระบบคอมโพสิต สมการของหน่วยแรงในคอนกรีตจะเขียนได้ดังนี้

ที่ผิวบน $$\sigma_{ct} = \frac{P_e}{A} - \frac{P_e e}{Z_t} + \frac{M_G}{Z_t} + \frac{M_S + M'_D + M_L}{Z'_t} \leq F_c$$

จัดรูปใหม่ $$F_c \geq \frac{RP_i}{A}\left(1 - \frac{Ae}{Z_t}\right) + \frac{M_G}{Z_t} + \frac{m_t\left(M_S + M'_D + M_L\right)}{Z_t}$$

ที่ผิวล่าง $$\sigma_{cb} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e e}{Z_b} - \frac{M_G}{Z_b} - \frac{M_S + M'_D + M_L}{Z'_b} \geq F_t$$

จัดรูปใหม่ $$F_t \leq \frac{RP_i}{A}\left(1 + \frac{Ae}{Z_b}\right) - \frac{M_G}{Z_b} - \frac{m_b\left(M_S + M'_D + M_L\right)}{Z_b}$$

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

8.4.6 การออกแบบคานคอมโพสิตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบมีนั่งร้านค้ำยัง

UNDER CONSTRUCTION

จากสมการที่ 8.22

$$F_{ti} - \frac{M_G}{(Z_t)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 - \frac{A_{min}e}{(Z_t)_{min}}\right) \quad (8.28)$$

จากสมการที่ 8.26

$$\frac{F_c}{R} - \frac{M_G}{R(Z_t)_{min}} - \frac{m_t(M_S + M'_D + M_L)}{R(Z_t)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 - \frac{A_{min}e}{(Z_t)_{min}}\right) \quad (8.29)$$

แก้สมการที่ 8.28 และ 8.29 จะได้

$$(Z_t)_{min} = \frac{(1-R)M_G + m_t(M_S + M'_D + M_L)}{F_c - RF_{ti}} \quad (8.30)$$

8.4.6 การออกแบบคานคอมโพสิตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบมีนั่งร้านค้ำยัง

UNDER CONSTRUCTION

จากสมการที่ 8.23 จะได้

$$F_{ci} + \frac{M_G}{(Z_b)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 + \frac{A_{min}e}{(Z_b)_{min}}\right) \quad (8.31)$$

จากสมการที่ 8.27 จะได้

$$\frac{F_t}{R} + \frac{M_G}{R(Z_b)_{min}} + \frac{m_b(M_S + M'_D + M_L)}{R(Z_b)_{min}} = \frac{P_i}{A}\left(1 + \frac{A_{min}e}{(Z_b)_{min}}\right) \quad (8.32)$$

แก้สมการที่ 8.31 และ 8.32 จะได้

$$(Z_b)_{min} = \frac{(1-R)M_G + m_b(M_S + M'_D + M_L)}{RF_{ci} - F_t} \quad (8.33)$$

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

8.4.7 การออกแบบแรงอัดและระยะเยื้องศูนย์ในคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จระบบมีนั่งร้านค้ำยัน

UNDER CONSTRUCTION

$$M'_T = M_G + m_t(M_S + M'_D + M_L)$$

$$M'_B = M_G + m_b(M_S + M'_D + M_L)$$

8.5 โมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าวของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

ค่าโมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว คือ ค่าโมเมนต์ที่ทำให้หน่วยแรงดึงที่เกิดที่ผิวคอนกรีตมีค่าเท่ากับโมดูลัสของการแตกหัก สำหรับหน้าตัดคอมโพสิตจะต้องพิจารณาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นโมเมนต์ภายนอกที่ถูกต้านทานโดยหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงเพียงอย่างเดียว โมเมนต์ส่วนที่สองที่เพิ่มเติมจนทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าว จะถูกต้านทานโดยหน้าตัดคอมโพสิต

โมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าวของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

$$M_{cr} = M_p + \Delta M_{cr}$$

โดยที่ $M_p = M_G + M_S$ กรณีไม่มีนั่งร้านค้ำยันขณะเทพื้นคอนกรีตในที่

$= M_G$ กรณีมีนั่งร้านค้ำยันขณะเทพื้นคอนกรีตในที่

ΔM_{cr} คือ โมเมนต์ที่เพิ่มเติมนอกเหนือจาก M_p ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าวซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 8.37

โมเมนต์ที่ทำให้คอนกรีตเริ่มแตกร้าวของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

หน่วยแรงที่ผิวล่างของคอนกรีตที่เริ่มแตกร้าว

$$\sigma_c = -f_r = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e e}{Z_b} - \frac{M_p}{Z_b} - \frac{\Delta M_{cr}}{Z'_b}$$

$$= \frac{RP_i}{A} + \frac{RP_i e}{Z_b} - \frac{M_p}{Z_b} - \frac{m_b \Delta M_{cr}}{Z_b}$$

จัดรูปใหม่

$$\Delta M_{cr} = \frac{1}{m_b}\left(\frac{RP_i Z_b}{A} + RP_i e - M_p + f_r Z_b\right)$$

โดยที่ $f_r = 2.0\sqrt{f'_c}$ กก./ซม.^{2}

f'_c คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

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

8.6 โมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

โมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคอมโพสิต สามารถคำนวณได้เหมือนโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดคอนกรีตทั่วไป โดยถือว่ารับแรงที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จและพื้นคอนกรีตเทในที่จะเพียงพอ ดังนั้นความลึกของแกนสะเทินจะมีค่าน้อยและมักอยู่ภายใน

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\geq 1.2M_{cr}$$

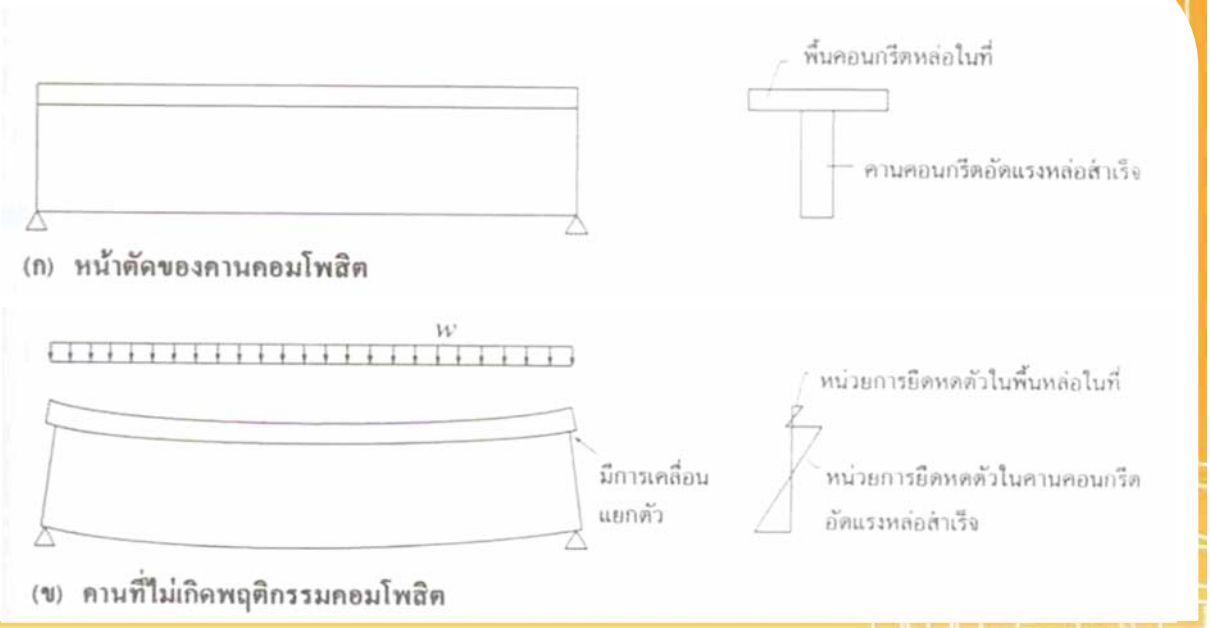
8.7 หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่แนวรอยต่อระหว่างคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จและพื้นหล่อในที่

UNDER CONSTRUCTION

พฤติกรรมคอมโพสิตระหว่างคอนกรีตอัดแรงและพื้นที่คอนกรีตหล่อในทีจะเกิดได้สมบูรณ์ ก็ต่อเมื่อกำลังรับแรงเฉือนที่รอยต่อระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองเพียงพอที่จะไม่เกิดการเคลื่อนที่แยกตัวที่รอยต่อ กำลังรับแรงเฉือนที่รอยต่อของชิ้นส่วนคอมโพสิตนี้จะมีความสำคัญมาก

คานที่เกิดพฤติกรรมคอมโพสิตและคานที่ไม่เกิดพฤติกรรมคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION



คานที่เกิดพฤติกรรมคอมโพสิตและคานที่ไม่เกิดพฤติกรรมคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

ในการออกแบบจะพิจารณาที่จุดประลัยซึ่งขณะนั้นการแตกร้าวเกิดขึ้นที่หน้าตัดพฤติกรรมของคานจะไม่เป็นอีลาสติก ค่าหน่วยแรงเฉือนแนวราบที่รอยต่อหาได้จาก

$$v_{uh} = \frac{V_u}{b_f d_{pc}} \qquad (8.40)$$

โดยที่ v_{uh} คือ หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่รอยต่อที่ต้องการ

V_u คือ แรงเฉือนรวมเพิ่มส่วน (factored total shear force)

b_f คือ ความกว้างของผิวรอยต่อ

d_{pc} คือ ความลึกประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรงสำหรับหน้าตัดคอมโพสิต

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

คานที่เกิดพฤติกรรมคอมโพสิตและคานที่ไม่เกิดพฤติกรรมคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

$$v_h = \frac{\Delta V Q}{I b_f} \qquad (8.39)$$

โดยที่ v_h คือ หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่เกิดขึ้นที่รอยต่อ

ΔV คือ แรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำต่อหน้าตัดคอมโพสิต หลังจากหน้าตัดเป็นระบบคอมโพสิตแล้ว ถ้าขณะเทพื้นหล่อในที่ไม่มีนั่งร้านค้ำยัน ΔV นี้จะคิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมและน้ำหนักบรรทุกจรเท่านั้น แต่ถ้าขณะเทพื้นหล่อในที่มีนั่งร้านค้ำยันรองรับ ΔV นี้จะคิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม น้ำหนักบรรทุกจร และน้ำหนักพื้นคอนกรีตด้วย

Q คือ โมเมนต์ที่หนึ่งของพื้นที่ (first moment of area) ของคอนกรีตพื้นหล่อในที่รอบแกนศูนย์ถ่วงของหน้าตัดคอมโพสิต

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดคอมโพสิต

b_f คือ ความกว้างของผิวรอยต่อ (เท่ากับความกว้างที่ผิวบนสุดของคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ)

8.7.1 กำลังของหน้าตัดในการรับหน่วยแรงเฉือนแนวราบ

UNDER CONSTRUCTION

$$\phi v_{nh} \geq v_{uh}$$

โดยที่ ϕ คือ ตัวคูณลดกำลังสำหรับแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ 0.85

v_{uh} คือ หน่วยแรงเฉือนแนวราบที่ต้องการ (หาได้จากสมการที่ 8.40)

v_{nh} คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนแนวราบที่รอยต่อของหน้าตัด มาตรฐาน ACI ได้กำหนดค่าของ v_{nh} ไว้ดังต่อไปนี้

8.7.1 กำลังของหน้าตัดในการรับหน่วยแรงเฉือนแนวราบ

UNDER CONSTRUCTION

5.6 กก./ซม.^{2} สำหรับผิวสัมผัสที่สะอาด ไม่มีฝุ่นผง ผิวถูกตั้งใจทำให้หยาบ ไม่มีเหล็กเสริมผ่านรอยต่อของผิวสัมผัส

5.6 กก./ซม.^{2} สำหรับผิวสัมผัสที่สะอาด ไม่มีฝุ่นผง ผิวไม่ถูกตั้งใจทำให้หยาบ มีเหล็กเสริมปริมาณน้อยที่สุดตามข้อกำหนด (สมการที่ 8.42) ผ่านรอยต่อของผิวสัมผัส

24.6 กก./ซม.^{2} สำหรับผิวสัมผัสที่สะอาด ไม่มีฝุ่นผง ผิวถูกตั้งใจทำให้หยาบ และมีเหล็กเสริมปริมาณต่ำสุดตามข้อกำหนด (สมการที่ 8.42) ผ่านรอยต่อของผิวสัมผัส

8.7.1 กำลังของหน้าตัดในการรับหน่วยแรงเฉือนแนวราบ

UNDER CONSTRUCTION

ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต่ำสุดหาได้จาก

$$(A_v)_{min} = \frac{3.5 b_w s}{f_y} \qquad (8.42)$$

โดยที่ $(A_v)_{min}$ คือ ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนต่ำสุด, ซม.^{2}

b_w คือ ความกว้างที่น้อยที่สุดของคานคอนกรีตอัดแรง, ซม.

s คือ ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมรับแรงเฉือน, ซม.

f_y คือ กำลังคลากของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน, กก./ซม.^{2}

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

8.7.2 การหาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนโดยวิธีแรงเสียดทานเฉือน

UNDER CONSTRUCTION

$$V_{nh}^{*} = \mu A_v f_y$$

โดยที่ V_{nh}^{*} คือ แรงเฉือนแนวราบที่ต้านทานโดยแรงเสียดทาน

A_v คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

f_y คือ กำลังคลากของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเทียบเท่าที่ผิวสัมผัส ในคอนกรีตธรรมดาทั่วไปใช้ $\mu = 1.4$ สำหรับคอนกรีตเทเป็นเนื้อเดียวกันตลอด, $\mu = 1.0$ สำหรับเมื่อเทคอนกรีตพื้นบนผิวคานที่ตั้งใจทำให้หยาบ, $\mu = 0.4$ เมื่อเทคอนกรีตพื้นบนผิวคานที่เรียบ, $\mu = 0.7$ สำหรับเมื่อเทคอนกรีตพื้นบนผิวเหล็ก และถ้าใช้คอนกรีตเบาให้ใช้ 0.75 คูณค่า μ ที่ใช้สำหรับคอนกรีตธรรมดา

8.7.2 การหาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนโดยวิธีแรงเสียดทานเฉือน

UNDER CONSTRUCTION

$$V_{uh}^{*} \leq \phi V_{nh}^{*} \qquad (8.44)$$

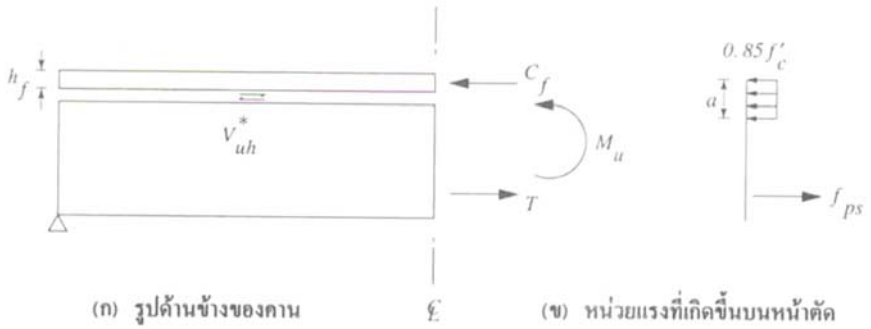
ค่า V_{uh}^{*} นี้เป็นแรงเฉือนแนวราบตามแนวรอยแตกที่รอยต่อ ซึ่งคิดที่ระยะครึ่งหนึ่งของช่วงคานสำหรับคานช่วงเดียว และให้คิดที่ระยะ 0.35 ของช่วงคานสำหรับคานต่อเนื่อง ค่า V_{uh}^{*} เป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเพื่อต้านทานแรง C_f ดังรูปที่ 8.15 ค่า C_f ขึ้นอยู่กับความลึกของหน่วยแรงเทียบเท่า a ดังนั้นค่า V_{uh}^{*} จึงให้ใช้ค่าน้อยของค่าต่อไปนี้

$$V_{uh}^{*} = \text{ค่าที่น้อยของ} \begin{cases} 0.85 f'_c a b_e \\ 0.85 f'_c h_f b_e \end{cases} \qquad (8.45)$$

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

แรงเฉือนแนวราบที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างผิวคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จและพื้นหล่อในที่ที่

UNDER CONSTRUCTION



(ก) รูปด้านข้างของคาน (ข) หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด

$$V^*_{uh} = C_f = 0.85f'_c ab_e \quad \text{ถ้า} \quad a < h_f$$
$$= 0.85f'_c h_f b_e \quad \text{ถ้า} \quad a > h_f$$

แรงเฉือนแนวราบที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างผิวคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จและพื้นหล่อในที่ที่

UNDER CONSTRUCTION

จากสมการที่ 8.43 และ 8.44 สามารถจัดรูปได้ดังนี้

$$A_v \geq \frac{V^*_{uh}}{\phi f_y \mu} \qquad (8.46)$$

โดย V^*_{uh} หาได้จากสมการที่ 8.45 ปริมาณเหล็กเสริม A_v ที่ได้จากสมการที่ 8.46 นี้จะต้องวางเรียงให้ระยะห่างสม่ำเสมอตลอดระยะช่วงที่ใช้ในการคำนวณ V^*_{uh}

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

8.8 กำลังเฉือนประลัยในแนวดิ่งของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

การวิเคราะห์และออกแบบสำหรับแรงเฉือนของหน้าตัดคามคอมโพสิตจะคล้ายกับการวิเคราะห์และออกแบบสำหรับแรงเฉือนแลการออกแบบสำหรับแรงเฉือนของหน้าตัดธรรมดาทั่วไป กำลังแรงเฉือนประลัยของหน้าตัดมีค่าเท่ากับค่าที่น้อยระหว่าง กำลังต้านทานแรงเฉือนกรณีการแตกร้าวเนื่องจากผลร่วมของแรงเฉือนและโมเม้นต์ดัด V_{ci} และกำลังต้านทานแรงเฉือนกรณีการแตกร้าวเนื่องจากผลของแรงเฉือนในตัวแกน V_{cw} โดย V_{ci} และ V_{cw} สามารถหาได้จากสมการที่ 8.47 และ 8.48 ตามลำดับ

8.8 กำลังเฉือนประลัยในแนวดิ่งของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c}\,b_w d_p + V_d + \frac{\Delta V_i \Delta M_{cr}}{\Delta M_{max}}$$

โดยที่ f'_c คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตในส่วนของคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ, กก./ซม.^{2}

b_w คือ ความกว้างที่น้อยที่สุดของคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ, ซม.

d_p คือ ระยะจากผิวบนสุดของพื้นหล่อในที่ถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมอัดแรง แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.8 h โดยที่ h เป็นความลึกทั้งหมดของหน้าตัดคอมโพสิต, ซม.

V_d คือ แรงเฉือนที่หน้าตัดที่พิจารณา เนื่องจากน้ำหนักของคานเอง และน้ำหนักคงที่อื่น ๆ ที่กระทำต่อคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จขณะเทพื้น, กก.

ΔV_i คือ แรงเฉือนเพิ่มส่วน (factored shear) ที่หน้าตัดที่พิจารณา เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมและน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำหลังจากระบบคอมโพสิตเกิดขึ้นแล้ว, กก.

ΔM_{max} คือ โมเมนต์เพิ่มส่วน (factored moment) ที่หน้าตัดที่พิจารณา เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติมและน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำหลังจากระบบคอมโพสิตเกิดขึ้นแล้ว, กก.-ซม.

ΔM_{cr} คือ ค่าโมเมนต์เพิ่มเติมที่กระทำต่อหน้าตัดคอมโพสิต จนทำให้เกิดการแตกร้าวที่หน้าตัดที่พิจารณาหลังจากระบบคอมโพสิตเกิดขึ้นแล้ว, กก.-ซม., ซึ่งหาได้จากสมการที่ 8.37

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

8.8 กำลังเฉือนประลัยในแนวดิ่งของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

กำลังต้านทานแรงเฉือนกรณีการแตกร้าวเนื่องจากผลของแรงเฉือนในตัวแกน

$$V_{cw} = \left(0.93\sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc}\right)b_w d_p + V_p \qquad (8.48)$$

โดยที่ f_{pc} คือ หน่วยแรงอัดเนื่องจากการอัดแรงและน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จขณะเทพื้น ที่ตำแหน่งศูนย์ถ่วงของหน้าตัดคอมโพสิต (ในกรณีที่จุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดอยู่ภายในแผ่นพื้น ให้คิดหน่วยแรงอัดที่รอยต่อระหว่างพื้นกับคาน) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 8.49, กก./ซม.^{2}

V_p คือ แรงประกอบย่อยแนวดิ่งของแรงอัดในเหล็กเสริมอัดแรงที่หน้าตัดที่พิจารณาซึ่งมีค่าเท่ากับ $P_e \sin\alpha$ หรือ $P_e\alpha$, กก.

8.8 กำลังเฉือนประลัยในแนวดิ่งของหน้าตัดคอมโพสิต

UNDER CONSTRUCTION

ถ้าให้ y' เป็นระยะระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จและจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดคอมโพสิต ค่าของ f_{pc} จะหาได้จาก

$$f_{pc} = \frac{RP_i}{A} - \frac{RP_i e y'}{I} + \frac{M_p y'}{I} \qquad (8.49)$$

โดยที่ e คือ ระยะเยื้องศูนย์ของแนวเหล็กเสริมอัดแรงเทียบกับจุดศูนย์ถ่วงของคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

M_p คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จขณะเทพื้น โดย $M_p = M_G + M_S$ กรณีไม่มีนั่งร้านค้ำยัน และ $M_p = M_G$ กรณีมีนั่งร้านค้ำยัน (M_G คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักของคานคอนกรีตอัดแรง และ M_S คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักของพื้นคอนกรีตเทในที่)

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