มุม
นักออกแบบ
Design Tip

ตอนที่ 26

เรื่อง การคำนวณแก้ไขฐานรากเสาเข็มเยื้องศูนย์

รศ. ดร. อมร พิมานมาศ

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
กรรมการอำนวยการ และ ประธานคณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

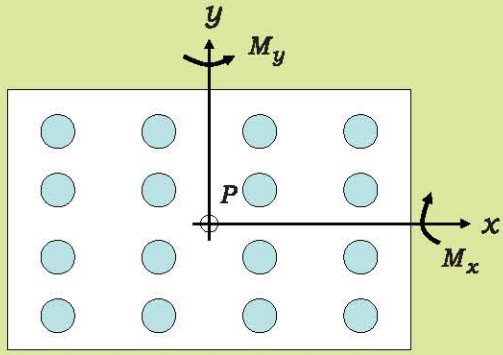
สวัสดีครับ ท่านผู้อ่านทุกท่าน มุมนักออกแบบในตอนนี้ ผมจะขอข้ามเรื่องแผ่นดินไหวไปก่อนนะครับ เพราะตอนนี้ได้ยินแต่เรื่องแผ่นดินไหวจนผู้อ่านหลายท่านอาจจะรู้สึกเอียนๆ กันแล้ว แต่ยังไงเรื่องแผ่นดินไหวก็ยังเป็นเรื่องสำคัญและวิศวกรออกแบบทั้งหลายคงจะต้องศึกษาทำความเข้าใจกันถ่องแท้ เพราะทุกวันนี้มันไม่ได้ไกลตัวเราอีกต่อไปแล้ว แต่ตอนนี้ขอพักเบรกเรื่องแผ่นดินไหวก่อนนะครับ

>> ฉบับนี้ผมจะพูดถึงการคำนวณแก้ไขฐานรากเสาเข็มกันหน่อยนะครับ เพราะดูจะเป็นประเด็นคำถามยอดฮิตที่ผมได้รับมาบ่อยๆ และก็เชื่อว่ามีวิศวกรส่วนใหญ่ก็ยังคำนวณเรื่องนี้กันไม่ค่อยจะถูกต้องเท่าไรนัก ปกตินะครับ ในงานเสาเข็มไม่ว่าจะเป็นเสาเข็มเจาะหรือเสาเข็มตอกก็ตาม ยังไงก็ต้องมีการตอกเยื้องศูนย์กันอยู่แล้ว ซึ่งเป็นเรื่องปกติของงานก่อสร้าง ทีนี้หากมันเยื้องศูนย์เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ เราในฐานะวิศวกรก็อาจจะได้รับการร้องขอให้ช่วยทำรายการคำนวณตรวจสอบว่าที่เข็มเยื้องศูนย์ไปนั้น เสาเข็มยังรับน้ำหนักได้หรือเปล่า ตรงนี้มีหลายประเด็นที่จะต้องว่ากันนะครับ ทั้งกรณีที่เป็นเข็มกลุ่ม และเข็มเดี่ยว มุมนักออกแบบตอนนี้เอาเข็มกลุ่มก่อนนะครับ ตอนถัดๆ ไปเราจะมาว่าเรื่องเข็มเดี่ยวกัน

ประเด็นที่ต้องว่ากันเมื่อเข็มเยื้องศูนย์ไปแล้ว กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มมีปัญหาหรือไม่ และการเยื้องศูนย์ของเสาเข็มอาจทำให้จุดศูนย์ถ่วงของเสาเข็มไม่ตรงกับเสาตอม่ออีกต่อ คราวนี้ก็จะเกิดโมเมนต์ถ่ายเข้าไปเสาตอม่อด้วย หากเหล็กเสริมไม่พอก็ต้องใส่เพิ่มกันจากของเดิม ก่อนอื่นเรามาว่ากันเรื่องการคำนวณแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มกันก่อน ปกติเวลาคำนวณแรงปฏิกิริยาในเสาเข็ม เราจะนิยมใช้สูตรคำนวณอันนี้กันใช่มั้ยครับ เชื่อว่าคุณผู้อ่านคงจะคุ้นตาอยู่และอาจจะได้เคยใช้มาแล้วก็ได้

$$R = \frac{P}{N} + \frac{M_y x}{\sum x^2} + \frac{M_x y}{\sum y^2}$$

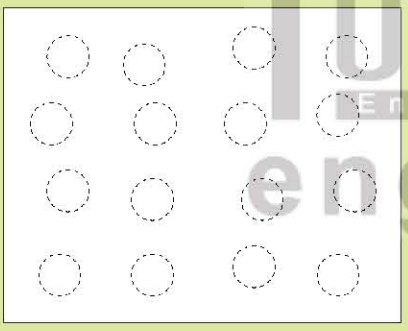
โดย P เป็นแรงกดจากเสาตอม่อ M_x และ M_y เป็นโมเมนต์ดัดจากเสาตอม่อรอบแกน x และแกน y ตามลำดับและ และ x, y เป็นพิกัดของเสาเข็มเทียบกับจุดศูนย์ถ่วง (cg) ของกลุ่มเสาเข็ม



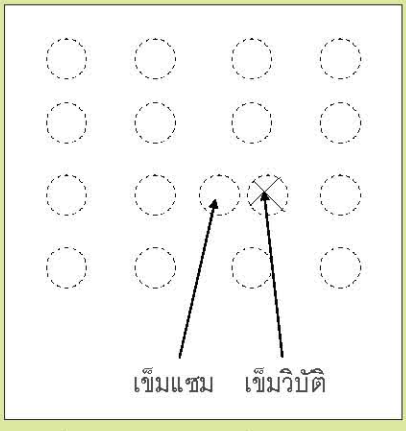
รูป 1 กลุ่มเสาเข็มที่สมมาตร

FUNCIVIL.COM
Engineering Software
enotanatic CLUB & member

สูตรนี้ดูง่ายดีนะครับ แต่ท่านผู้อ่านทราบหรือเปล่าครับว่า สูตรดังกล่าวใช้ได้เฉพาะกรณีที่เสาเข็มจัดวางอย่างสมมาตรเท่านั้นนะครับ ทีนี้หากเสาเข็มมันเยื้องศูนย์ออกไปดังเช่นรูปที่ 2 ก็ย่อมต้องทำให้เสาเข็มไม่มีความสมมาตรอีกต่อไป หรือในกรณีที่เราเจอปัญหาเข็มวิบัติ เช่น ตอกไม่ลง หรือเสาเข็มเสียหายเนื่องจากสาเหตุอะไรก็แล้วแต่ แล้วมีการแก้ไขปัญหาโดยการทำเสาเข็มใหม่แซมเสาเข็มเดิมก็ย่อมทำให้สูญเสียความสมมาตรเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 กลุ่มเสาเข็มที่ไม่สมมาตรเนื่องจากเข็มที่เยื้องศูนย์ออกไป



รูปที่ 3 กลุ่มเสาเข็มที่มีเสาเข็มวิบัติและต้องทำเข็มแซม

คราวนี้ก็ยุ่งละสิครับ เพราะสูตรเดิมตรงนี้มันจะใช้ไม่ได้อีกต่อไปแล้ว ผมเห็นวิศวกรหลายคนยังใช้สูตรเดิมคำนวณแรงปฏิกริยาเสาเข็มกันอยู่ซึ่งผิดนะครับ ที่นี้สูตรที่จะต้องนำมาใช้ก็จะต้องทำการปรับปรุงจากสูตรเดิมดังนี้ครับ

$$R = \frac{P}{N} + mx + ny$$

โดย m และ n คำนวณจากการแก้สมการ

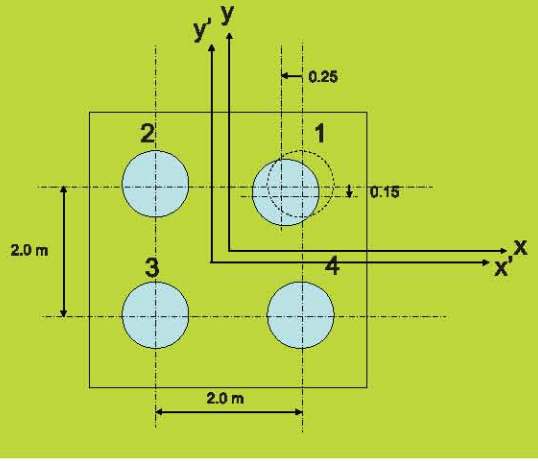
$$m = \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \text{ และ } n = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2}$$

โดยให้

$$I_x = \sum y^2 \quad I_y = \sum x^2 \text{ และ } I_{xy} = \sum xy$$

สูตรหลังนี้จะใช้กับกรณีที่เข็มสมมาตรด้วยก็ได้นะครับ เพราะถ้าเข็มสมมาตรจะได้ I_{xy} = 0 ซึ่งสูตรก็จะลดทอนลงกลายเป็นสูตรแรกที่ทุกคนรู้จักกันดีนั่นเอง สูตรที่สองนี่ดูยุ่งนิดนึงนะครับ แต่จำเป็นต้องทราบเพราะมันจะช่วยเราคำนวณได้เยอะเลย และอย่าลืมนะครับว่าโมเมนต์ที่กดเข้าหาควอดแดรนท์ที่ 1 จะถือว่ามีเครื่องหมายเป็นบวก ส่วนพิกัด x y ของเสาเข็มก็มีเครื่องหมายตามควอดแดรนท์นั้นๆ เลย

ทีนี้ลองมาดูตัวอย่างกันสักหน่อยนะครับ เป็นเสาเข็ม 4 ต้น ที่มีการตอกเสาเข็มต้นเข็มต้นที่ 1 เยื้องศูนย์ไปทางซ้าย 0.25 เมตร และลงข้างล่าง 0.15 ม. ดังในรูปที่ 4 ส่วนเสาเข็มต้นอื่นไม่มีปัญหา เสาเข็มรับแรงกด 100 ตัน โมเมนต์รอบแกน x (M_x) = 10 ตันเมตร และโมเมนต์รอบแกน y (M_y) = 16 ตันเมตร ให้คำนวณแรงปฏิกริยาในเสาเข็ม



TUMCIVIL.COM
engfanatic CLUB & member

ขั้นตอนการคำนวณแรงในเสาเข็มทำได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มเสาเข็มใหม่ที่เยื้องศูนย์

x' = -0.0625 เมตร y' = -0.0375 เมตร เทียบกับจุด (0, 0)

ขั้นที่ 2 คำนวณพิกัดของเสาเข็มใหม่เทียบกับจุดศูนย์ถ่วงใหม่ของเสาเข็ม และค่า $I_x I_y$ และ I_{xy}

Pile	x	y	x^2	y^2	xy
1	0.8125	0.8875	0.660	0.788	0.721
2	-0.9375	1.0375	0.879	1.076	-0.973
3	-0.9375	-0.9625	0.879	0.926	0.902
4	1.0625	-0.9625	1.129	0.926	-1.023
		Sum	3.547	3.717	-0.372

จากตารางจะได้ I_x = 3.717, I_y = 3.547 และ I_{xy} = -0.372

ขั้นที่ 3 คำนวณค่า m และ n ดังนี้

ตรงนี้สำคัญนะครับต้องระวังเพราะหลายคนชอบลืม เพราะแรงกดตอนนี้ไม่ได้อยู่ตรงจุดศูนย์ถ่วงของเสาเข็มแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์รอบแกน x และ y เพิ่มเติมเนื่องจากระยะเยื้องระหว่างแรงกดกับจุดศูนย์ถ่วงของเสาเข็มใหม่ ดังนั้นคำนวณ M_x และ M_y ได้ดังนี้

$$M_x = 10 + 100(0.0375) = 13.75 \quad \text{ตัน-เมตร}$$

$$M_x = 16 + 100(0.0625) = 22.25 \quad \text{ตัน-เมตร}$$

$$m = \frac{22.25(3.717) - 13.75(-0.372)}{3.717(3.547) - (-0.372)^2} = 6.731$$

$$n = \frac{13.75(3.547) - 22.25(-0.372)}{3.717(3.547) - (-0.372)^2} = 4.373$$

ขั้นที่ 4 คำนวณแรงปฏิกิริยาในเสาเข็มได้ดังนี้

เข็มต้นที่ 1: $R_1 = \frac{100}{4} + 6.731(0.8125) + 4.373(0.8875) = 34.35$ ตัน

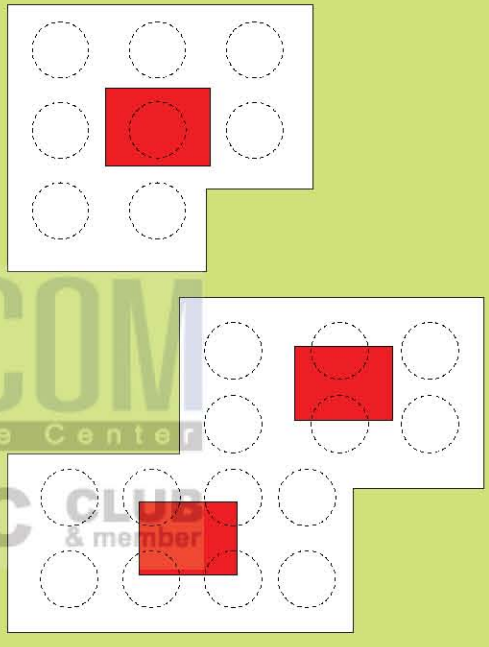
เข็มต้นที่ 2: $R_2 = \frac{100}{4} + 6.731(-0.9375) + 4.373(1.0375) = 23.22$ ตัน

เข็มต้นที่ 3: $R_3 = \frac{100}{4} + 6.731(-0.9375) + 4.373(-0.9625) = 14.48$ ตัน

เข็มต้นที่ 4: $R_4 = \frac{100}{4} + 6.731(1.0625) + 4.373(-0.9625) = 27.94$ ตัน

ลองตรวจสอบดูนะครับ $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$ = 100 ตัน OK.

สูตรดังกล่าวนี้มีประโยชน์อย่างมากครับ วิศวกรผู้ออกแบบควรนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาฐานรากของท่าน นอกจากนี้สูตรที่ผมให้ไปนี้ยังนำมาวิเคราะห์ฐานรากเสาเข็มแบบแปลกๆ ดังรูป 4 ได้ด้วย น่าสนใจนะครับ แล้วเดี๋ยวผมจะเอาการวิเคราะห์ฐานรากลักษณะนี้มาอธิบายให้ฟังในตอนหลังๆ กัน



รูป 3 ฐานรากเสาเข็มแบบไม่สม่ำเสมอ

สัปดาห์หน้าเรามาว่าปัญหาการตอกเสาเข็มแซมกันนะครับ ซึ่งก็ใช้หลักการเดียวกัน แล้วยังมีตัวอย่างเสาเข็ม 3 ต้น ซึ่งอาจไม่หมูอย่างที่คิดกันแล้วก็ยังมีเรื่องการแก้ไขเสาเข็มเดี่ยวอีกละครับ ตามติดด้วยกลุ่มเสาเข็มที่จัดวางแบบไม่สมมาตร ซึ่งผมจะว่าให้ครบชุดเลยทีเดียว ติดตามตอนต่อไป ฉบับหน้านะครับ ฉบับนี้ขอลาไปก่อน สวัสดีครับ...

TUMCIVIL.COM Engineering Software Center engfanatic CLUB & member