บทที่ 2

การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอเลเมนต์

2.1 ความนำ

พฤติกรรมของชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงบริเวณสมอยึดเมื่อถูกถ่ายแรงอัดเข้าไป จะทำให้เกิดความเค้นที่ซับซ้อน ซึ่งมิอาจวิเคราะห์ได้โดยง่าย การวิเคราะห์หน่วยแรงของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดโดยคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุ, ตัวแปรหลัก, รูปร่างทางเรขาคณิต และส่วนประกอบของชิ้นส่วน เช่น สมอยึดและท่อร้อยลวดอัดแรง จึงจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยประมาณ ซึ่งให้ค่าที่สามารถยอมรับได้ งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ในการวิเคราะห์ เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อนได้ โดยจำลองสภาพจริงของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดให้เป็นระบบซึ่งประกอบไปด้วยเอเลเมนต์ย่อย ๆ ผลการวิเคราะห์ซึ่งเกิดจากการรวมผลของแต่ละเอเลเมนต์ย่อยเข้าด้วยกัน จะทำให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดภายใต้ตัวแปรที่จะศึกษา

2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดในงานวิจัยนี้ ได้จำลองให้ชิ้นส่วนมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความยาวเป็นสองเท่าของความลึกของหน้าตัดเพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นระเบิดที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเท่ากับความลึกของหน้าตัด โดยกำหนดให้ขนาดแผ่นแบกทานของสมอยึดเป็น 0.6 เท่าของขนาดของบริเวณสมอยึดที่จะพิจารณา ตามการแนะนำของ Rhodes และ Turner [4] ซึ่งเชื่อว่าภายใต้สัดส่วนนี้ ชิ้นส่วนคอนกรีตจะมีแรงเค้นระเบิดสูงสุด และการวิเคราะห์ได้กระทำภายใต้การแปรเปลี่ยนเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวและความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอยึด เพื่อศึกษาผลของตัวแปรเหล่านี้ที่มีต่อการกระจายของความเค้นระเบิด

2.2.1 รูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึด

ลักษณะรูปร่างของสมอยึดที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน มีรูปร่างแตกต่างกันออกไปตามบริษัทผู้ผลิต ซึ่งพัฒนามาจากประสบการณ์และพัฒนาการของแต่ละบริษัท งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึดที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด โดยพิจารณาสมอยึดที่มีกำลังดึงลวดขนาด 100, 180, 250, 400, 550 และ 825 ตัน ซึ่งแต่ละขนาดจะแปรเปลี่ยนความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอยึดตั้งแต่ 2 ถึง 10 องศา โดยประมาณ และยังได้ศึกษากรณีความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอยึดเป็น 0 องศา ในสมอยึดขนาด 180 ตัน อีกด้วย โดยที่ให้พื้นที่ของแผ่นแบกทานและเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายทั้งสองของกรวยร้อยลวดคงที่ในสมอยึดแต่ละขนาด เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายของกรวยร้อยลวดด้านที่ติดกับแผ่นแบกทานจะต้องมีขนาดสอดคล้องกับแม่แรงดึงลวด และเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายอีกข้างหนึ่งก็ต้องสอดคล้องกับจำนวนเส้นลวดอัดแรงที่ใช้กับสมอยึดขนาดนั้น ๆ ส่วนขนาดของแผ่นแบกทานก็ใช้ขนาดที่สอดคล้องกับสมอยึดแต่ละขนาดเช่นเดียวกับที่ใช้กันอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน ซึ่งค่ามิติต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1

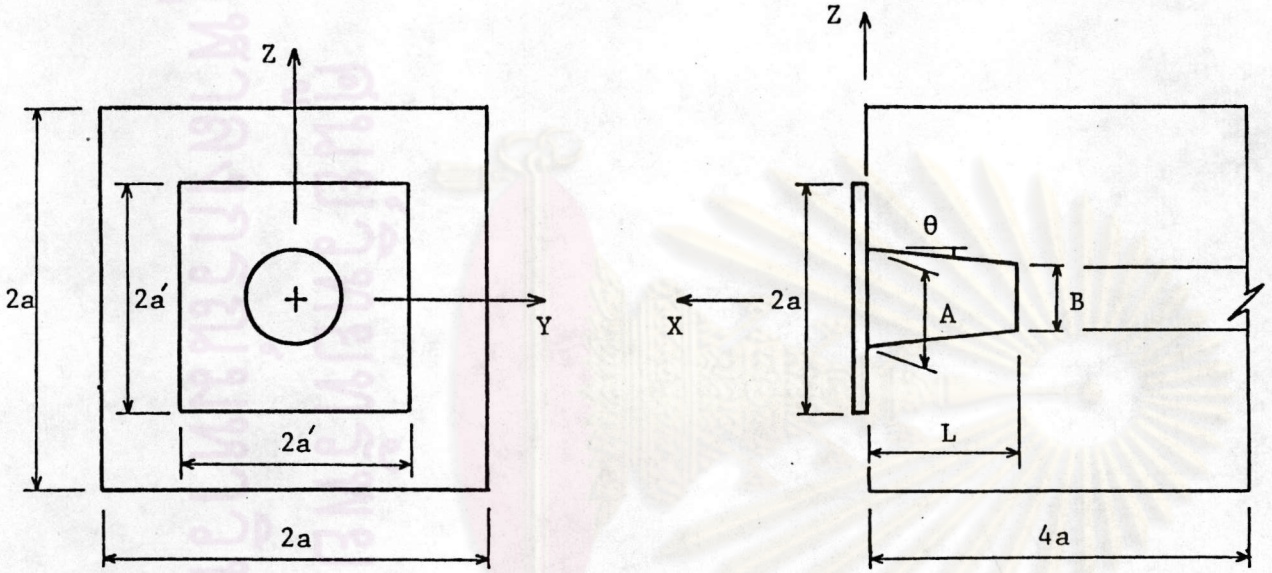
2.2.2 เหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว

ในการออกแบบเหล็กเสริมชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด โดยทั่วไปผู้ออกแบบอาจพิจารณาเสริมเหล็กตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตจำหน่ายสมอยึด ซึ่งได้มาจากประสบการณ์หรือจากผลการทดสอบของ Zeilinski และ Rowe [3] แต่มักมีข้อโต้แย้งภายหลังว่าให้ค่าเหล็กเสริมที่มากเกินจำเป็น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการใช้เหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวในการควบคุมการกระจายของความเค้นระเบิดเพื่อให้ทราบถึงการทำงานปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมในการรับแรงซึ่งเกิดจากการแบกทานของสมอยึด โดยได้แปรเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในแต่ละขนาดของสมอยึด ทำนองเดียวกับการศึกษาผลของความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอยึดดังรายละเอียดในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงผลจากขนาดของเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปลอกเกลียว ซึ่งการวิเคราะห์รายการนี้เป็นการวิเคราะห์ในสมอยึดขนาด 180 ตันเพียงอย่างเดียว ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่ามิติต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์

ขนาดมอเตอร์ (ตัน)	2a (ซม.)	2a' (ซม.)	ชุดการวิเคราะห์ที่ 1 รูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึด					ชุดการวิเคราะห์ที่ 2 เหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว								
								เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริม					เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดวงปลอกเกลียว			
									วงปลอกเกลียว		หน้าตัด	p		วงปลอกเกลียว		หน้าตัด	ปริมาณ
			แบบจำลอง	A (ซม.)	B (ซม.)	θ (องศา)	L (ซม.)	แบบจำลอง	D (ซม.)	s (ซม.)	(มม.)	(%)	แบบจำลอง	D (ซม.)	s (ซม.)	(มม.)	
100	26.7	16	C100-4	8.0	5.5	4	17.9	K100SP0	21.6	4	-	0.00					
			C100-6			6	11.9	K100SP6			6	1.31					
			C100-8			8	8.9	K100SP10			10	3.64					
			C100-10			10	7.1	K100SP12			12	5.24					
180	35.0	21	C180-0	9.6	7.1	0	12.5	K180SP0	28.0	5	-	0.00	K180D0	-	5	10	0.00
			C180-2			2	35.8	K180SP10			10	2.24	K180D20	20			0.0314
			C180-4			4	17.9	K180SP12			12	3.23	K180D25	25			0.0251
			C180-6			6	11.9	K180SP16			16	5.75	K180D28	28			0.0224
			C180-8			8	8.9										
			C180-10			10	7.1										
250	41.7	25	C250-2	10.4	7.7	2	38.7	K250SP0	36.6	5	-	0.00					
			C250-4			4	19.3	K250SP10			10	1.72					
			C250-6			6	12.8	K250SP12			12	2.47					
			C250-8			8	9.6	K250SP16			16	4.39					
			C250-10			10	7.7										
400	50.0	30	C400-4	13.5	9.2	4	30.7	K400SP0	42.0	7	-	0.00					
			C400-6			6	20.5	K400SP12			12	1.54					
			C400-8			8	15.3	K400SP16			16	2.74					
			C400-10			10	12.2	K400SP20			20	4.27					
550	68.7	40	C550-4	17.2	11.2	4	42.9	K550SP0	58.6	8	-	0.00					
			C550-6			6	28.6	K550SP16			16	1.72					
			C550-8			8	21.3	K550SP20			20	2.68					
			C550-10			10	17.0	K550SP25			25	4.19					
825	75.0	45	C825-4	20.1	14.2	4	42.2	K825SP0	66.0	10	-	0.00					
			C825-6			6	28.1	K825SP18			16	1.22					
			C825-8			8	21.0	K825SP20			20	1.90					
			C825-10			10	16.7	K825SP25			25	2.97					

เปอร์เซนต์เหล็กเสริม (p) = $4A_s/Ds$

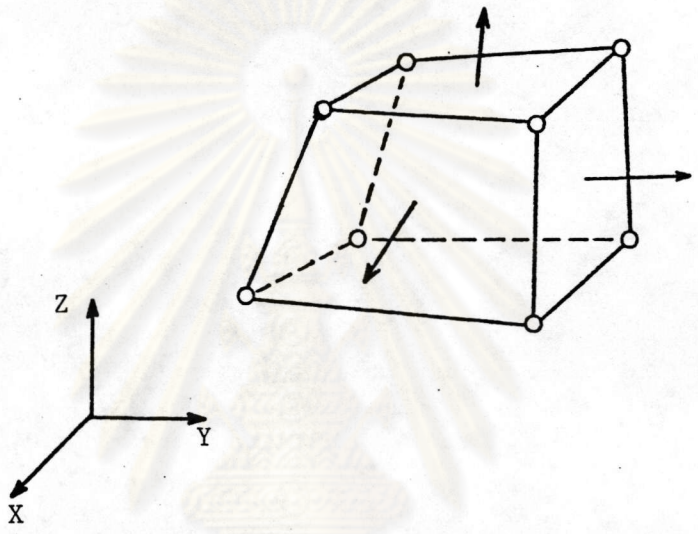


รูปที่ 2.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด

2.3 แบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์

การใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์ในการวิเคราะห์ จะต้องสร้างแบบจำลองซึ่งมีสภาพตรงตามพฤติกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดที่จะทำการวิเคราะห์ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาสรุปได้ว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด เมื่อมีการอัดแรงเข้าไปจะมีสภาพแปรปรวนในทั้งสามมิติ ดังนั้นแบบจำลองที่จะใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของชิ้นส่วนบริเวณนี้จึงจำเป็นที่จะต้องใช้แบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์สามมิติ ซึ่งประกอบไปด้วยเอเลเมนต์ย่อย ๆ ที่มีลักษณะเป็นเอเลเมนต์แบบสามมิติ (Three-dimensional solid element) ซึ่งมี 8 ขั้ว (Node) แต่ละขั้วมีค่าดีกรีความอิสระ (Deegree of freedom) 3 ค่าคือ ค่าการเคลื่อนที่ในแนวแกน x แกน y และ แกน z ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดที่จะพิจารณาจะเห็นว่า หน้าตัดมีลักษณะสมมาตรรอบแกนทั้งสอง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระในคอมพิวเตอร์แบบจำลองที่จะใช้แทนสภาพชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดจึงจำลองให้มีหน้าตัดเพียงหนึ่งในสี่ของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด โดยแบ่งหน้าตัดออกด้วยระนาบ 2 ระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางและตั้งฉากกับด้านของหน้าตัดชิ้นส่วนในทั้ง 2 ทิศทาง แล้วยึดขั้วทุกขั้วบนระนาบทั้งสองมิให้มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบนั้น โดยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ได้มีการคำนึงถึงขนาดของท่อร้อยลวดและกรวยร้อยลวดของสมอยึดด้วย เพื่อให้การจำลองสภาพของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดใกล้เคียงสภาพจริงที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของแบบจำลองออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ประเภทไม่มีเหล็กเสริม แบบจำลองนี้สร้างขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดเมื่อกรวยร้อยลวดมีความลาดเอียงต่าง ๆ กัน โดยแต่ละแบบจำลองจะประกอบไปด้วยเอเลเมนต์สามมิติจำนวน 120 เอเลเมนต์ เชื่อมยึดต่อเนื่องกันที่ขั้วทั้งหมด 220 ขั้ว เอเลเมนต์ทั้ง 120 เอเลเมนต์นี้เกิดจากการแบ่งแบบจำลองออกเป็น 10 ชั้น ด้วยระนาบที่ขนานกับหน้าตัดของแบบจำลอง โดยจำนวนชั้นของเอเลเมนต์จะซอยถี่ในช่วงซึ่งมีระยะเท่ากับความลึกของหน้าตัดเป็นจำนวน 8 ชั้น เพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นระเบิดโดยละเอียด และระยะถัดไปจากนี้จนสุดแบบจำลองจะมีจำนวนชั้นของเอเลเมนต์อีก 2 ชั้น ในแต่ละชั้นของแบบจำลองจะมีเอเลเมนต์จำนวน 12 เอเลเมนต์ซึ่งเกิดจากการแบ่งหน้าตัดออกเป็น 4 ส่วนตามแนวรัศมีโดยให้มุมที่จุดศูนย์กลางเท่ากัน แล้วแต่ละส่วนจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยด้วยส่วนโค้งของวงกลมซึ่งมีจุดศูนย์กลางร่วมกันที่จุดศูนย์กลางของหน้าตัดชิ้นส่วน ยกเว้นที่หน้าตัด



รูปที่ 2.2 เอเลเมนต์แบบสามมิติ (Three-dimensional solid element)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15483

ของแบบจำลองที่วงนอกสุดมีลักษณะและขนาดสอดคล้องกับแผ่นแบกทาน ทั้งนี้เพื่อการใส่แรงกระทำบนหน้าตัดชิ้นส่วนคอนกรีต ดังรูปที่ 2.3

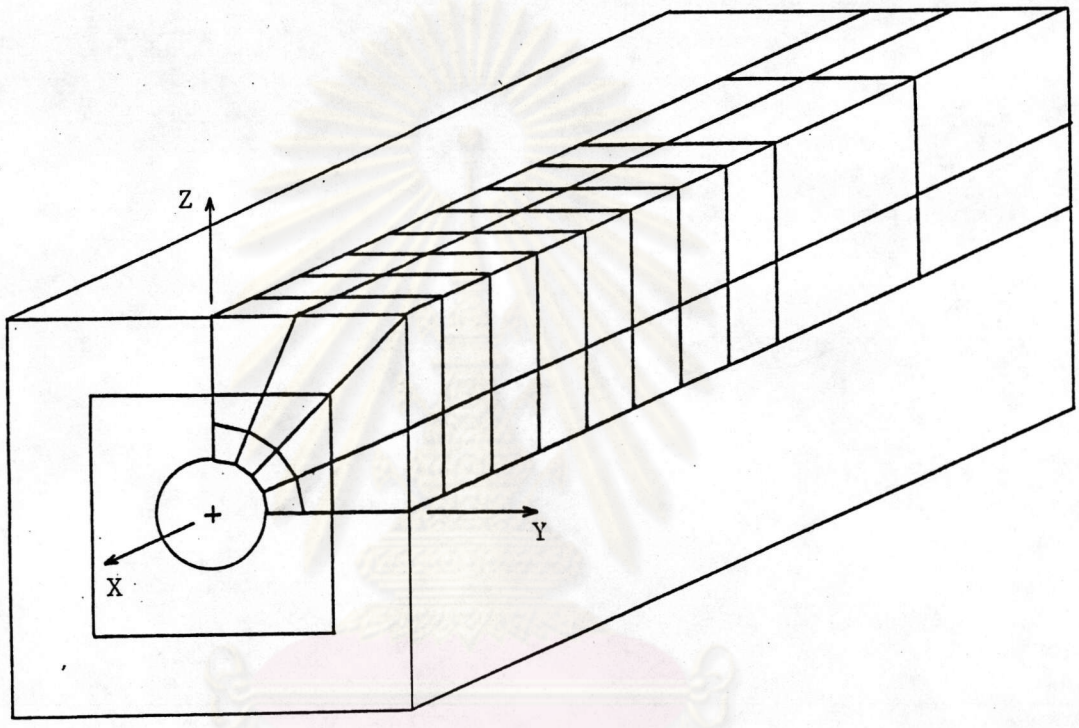
2. ประเภทมีเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว การแบ่งเอเลเมนต์ของแบบจำลองประเภทนี้จะคล้ายกับแบบจำลองประเภทแรก แต่ได้มีการเพิ่มเอเลเมนต์ของเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวในช่วงระยะเท่ากับความลึกของหน้าตัดซึ่งเป็นระยะที่เกิดการกระจายของความเค้นระเบิดขึ้น เพื่อศึกษาผลของเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวที่มีต่อพฤติกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดแต่ต้องเปลี่ยนหน้าตัดของเหล็กเสริมในแบบจำลองให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีพื้นที่เท่าเดิมเนื่องจากแต่ละเอเลเมนต์มีลักษณะเป็นเหลี่ยม และเพิ่มเอเลเมนต์ที่จำเป็นต่อความต่อเนื่องเข้าไปในแบบจำลอง ทำให้จำนวนเอเลเมนต์เพิ่มเป็น 232 เอเลเมนต์และจำนวนชั้วเพิ่มเป็น 360 ชั้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.4

การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAP IV [10] ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ที่มีเอเลเมนต์ให้เลือกใช้หลายชนิดโดยที่มีเอเลเมนต์สามมิติ เป็นหนึ่งในหลาย ๆ ชนิดของเอเลเมนต์เหล่านั้น ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมจะให้ค่าการเคลื่อนที่ของแต่ละชั้วและค่าหน่วยแรงของแต่ละเอเลเมนต์ ทำให้สามารถทราบค่าการกระจายของความเค้นระเบิดได้โดยละเอียด

2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

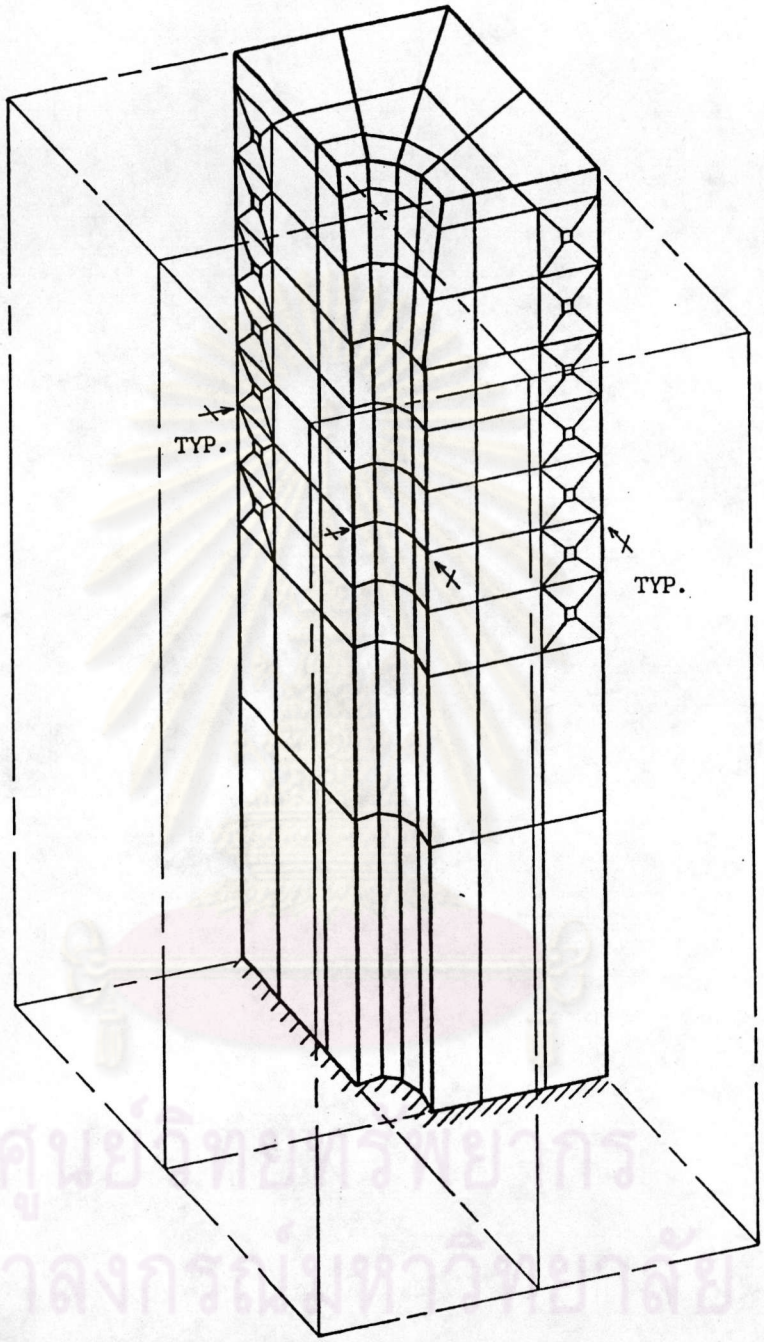
เนื่องจากคอนกรีตเกิดจากการผสมของวัสดุผสมหยาบโดยมีวัสดุผสมละเอียดแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของวัสดุผสมหยาบและมีน้ำซีเมนต์เป็นตัวประสานแทรกอยู่เต็มระหว่างช่องว่างของวัสดุผสมละเอียดกับวัสดุผสมหยาบให้ยึดติดกันแน่น ในการวิเคราะห์จึงได้ถือเสมือนว่าคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นวัสดุเนื้อเดียวที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอทุกทิศทางและเป็นไปตามทฤษฎีอีลาสติกเชิงเส้น (Linearly elastic, isotropic and homogeneous materials) โดยมีค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม.^{2})	อัตราส่วนปัวซอง
คอนกรีต	304,200	0.16
เหล็กเสริม	2,040,000	0.30



รูปที่ 2.3 แบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์สำหรับชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์สำหรับชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด
ประเภทมีเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนทางด้านคุณสมบัติของสมอยึด เนื่องจากเป็นการศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดในช่วงอีลาสติกเชิงเส้น ซึ่งสมอยึดแทบจะไม่มีการเปลี่ยนรูปไปเลย จึงถือเสมือนว่าสมอยึดเป็นวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid body) ดังนั้นแรงที่ถ่ายจากสมอยึดสู่คอนกรีตจึงแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะเป็นแรงดันกระทำบนพื้นที่แบกทานของชิ้นส่วนคอนกรีต อีกส่วนหนึ่งจะกระจายเข้าตามผิวสัมผัสของกรวยร้อยลวดสมอยึด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย