บทที่ 1

บทนำ

บทนำ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความชะลูด(Slenderness)น้อย ใช้วิธีวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (Linear analysis) ก็จะมีความถูกต้องเพียงพอในระดับหนึ่งที่จะสามารถคาดคะเนพฤติกรรมของโครงสร้างนั้นๆได้ แต่สำหรับโครงสร้างที่มีความชะลูดมากแล้ว การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้คงจะไม่เพียงพอ โดยเฉพาะกับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจะมีการแปรเปลี่ยนของค่าสติฟเนสอยู่ตลอดเวลา เพราะฉะนั้นจะต้องใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบอินอิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กมาวิเคราะห์แทนซึ่งจะคำนึงถึงผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometrical nonlinearity)อันเนื่องมาจากการกระจัดของโครงสร้างขณะรับแรงกระทำ ซึ่งมีผลให้เกิดแรงดัด (Bending moment) เพิ่มขึ้นในโครงสร้างและลดความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างลง แรงดัดที่เพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า "ผลอันดับที่สอง" (Secondary effect หรือ P-Δ effect) ที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากแรงดัดที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์แบบทฤษฎีเชิงเส้น (ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์,2536) และเพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องพิจารณาผลกระทบอันเนื่องจากความไม่เชิงเส้นทางวัสดุ(Material nonlinearity) ประกอบกันไปด้วย

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างแบบอินอิลาสติกอันดับสองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่าย(Simplified finite element) โดยการแบ่งย่อยชิ้นส่วนโครงสร้าง(Discrete element) เพื่อจำลองรูปแบบรอยร้าว(Crack pattern) ของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สติฟเนสสร้างจากสมมุติฐานที่ให้ดรรชนีของการดัด(Flexibility index) เป็นแบบพาราโบล่า และรวมการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตเข้าไว้ด้วย ขณะเดียวกันหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและค่าความโค้ง(M-ϕ) เพื่อหาการกระจัดเชิงมุมที่หน้าตัดวิกฤตและนำค่าไปปรับแก้ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุในแต่ละขั้นตอนของการวิเคราะห์ จนได้น้ำหนักบรรทุกวิกฤต.

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ.1978 Tunwa เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นการวิเคราะห์อันดับที่1 โดยวิธีกระทำซ้ำ มีขั้นตอนการพิจารณา 2 ขั้นตอน คือ การคำนวณความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุโดยคำนึงถึง P-M-ϕ Curve ในแต่ละชิ้นส่วนย่อย ผนวกเข้ากับการวิเคราะห์โครงสร้างจากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอกและค่าความโค้ง โดยมีค่าความโค้งเป็นตัวไม่รู้ค่า คำนวณจนกระทั่งแรงในแนวแกนและความโค้งที่ได้ไม่ต่างจากรอบการคำนวณที่ผ่านมา สติฟเนสสร้างจากสมการความสัมพันธ์ของคาน-เสา(Beam-column) ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (Discretized elements) ในแต่ละรอบการคำนวณมีการปรับปรุงสติฟเนสโดยคำนึงถึงการแตกร้าวของหน้าตัด แบบจำลองวัสดุในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย คอนกรีตใช้แบบจำลองของ Hognestad เหล็กเสริมคำนึงถึงกำลังในช่วงดึงแข็ง(work-hardenning) โดยแบ่งเป็นช่วงเส้นตรงย่อย ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ คานต่อเนื่อง โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียว-ชั้นเดียว และสองช่วงคาน-สามชั้น เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ.1979 Seniwongse เสนอการวิจัยการกระจัดของคานและโครงข้อแข็ง คอนกรีตเสริมเหล็กจนถึงจุดประลัย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่1 สติฟเนสสร้างจากแบบจำลองของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยรวมผลในช่วงอินอิลาสติกผ่านสปริงด้านทานการหมุน การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก(Load control method) ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ แบบจำลองวัสดุในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย คอนกรีตใช้แบบจำลองของ Whitney เหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ในงานวิจัยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ประกอบด้วยการจำลองรูปแบบเป็นเส้นตรง 2 เส้น เพื่อแสดงจุดครากและจุดประลัย จุดหมุนพลาสติกกำหนดโดยการกระจัดตำแหน่งเชิงมุมแบบอินอิลาสติกโดยใช้สูตรของ Corley ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียว-ชั้นเดียว และ คานเดียว-สองชั้น เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ.1985 Darvall และ Mendis เสนอการวิจัย อิลาสติก-พลาสติก แบบอ่อนตัวลงในช่วงปลาย(Softening effects)ของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่1 สติฟเนสสร้างจากแบบจำลองของผลการอ่อนตัวในช่วงปลายของโครงสร้าง การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ในงานวิจัยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่

ประกอบด้วยการจำลองเป็นเส้นตรง 3 เส้น เพื่อแสดงจุดคราก จุดเริ่มอ่อนตัวลงและจุดประลัยซึ่งมีค่าโมเมนต์ต่ำกว่าโมเมนต์ที่จุดคราก โดยจุดหมุนพลาสติกและความยาวของจุดหมุนพลาสติกกำหนดโดยสูตรของ Corley และ Sawyer ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานชั้นเดียวและสองชั้นโดยไม่มีการเปรียบเทียบกับงานอื่นๆ

ค.ศ.1987 Pulmono และ Yong Sik Shin เสนอวิธีวิเคราะห์การโก่งของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับน้ำหนักบรรทุกในทันทีทันใด โดยอาศัยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างสติฟเนสของคานด้วยการสมมุติให้ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ความเฉื่อยตลอดความยาวขององค์อาคารของชิ้นส่วนเป็นแบบพาราโบล่า ในขณะที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าวขึ้นเนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ให้ผลได้ดีเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ

ค.ศ.1988 Metwally, Chen เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 2 สติฟเนสสร้างจากสมการความสัมพันธ์ของคาน-เสา ในแต่ละรอบการคำนวณมีการปรับปรุงสติฟเนส จากการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุได้สติฟเนสสัมผัสโดยวิธีผลต่างสืบเนื่องตรงกลาง(Central difference) การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก แบบจำลองของวัสดุประกอบไปด้วย คอนกรีตใช้แบบจำลองของ Soliman และ Yu เหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ในการวิจัยได้พิจารณาถึงความอ่อนตัวของจุดต่อ (Joint flexibility)ร่วมด้วย ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ช่วงคานเดียว-ชั้นเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ.1988 Carol และ Murcia เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นรวมผลของเวลาของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 2 โดยการแบ่งหน้าตัดเป็นชั้นย่อยๆ เพื่อหาคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุ และนำไปปรับปรุงสติฟเนส การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ แบบจำลองของวัสดุในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย คอนกรีตใช้แบบจำลองของ Sargin เหล็กเสริมใช้แบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ เสา คานต่อเนื่องสองช่วง เพื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบหรืองานวิจัยอื่น

ค.ศ.1992 Kim และ Lee เสนอการวิจัยพฤติกรรมขั้นประลัยของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 1 โดยอาศัยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการสร้างสติฟเนสในแต่ละรอบการคำนวณมีการปรับปรุงสติฟเนส โดยพิจารณาค่าความเค้นเพื่อเลือกใช้วิธีการแบ่งหน้าตัดเป็นชั้นย่อยๆหรือไม่ใช้การแบ่งย่อยหน้าตัดในการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุของหน้าตัด การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มการกระจัดของโครงสร้าง(Displacement control method) แบบจำลองของวัสดุในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย คอนกรีตใช้แบบจำลองหลากหลายในช่วงความเค้น-ความเครียดต่างๆ ได้แก่ Hognestad , Fafitis & Shah , Vebo & Ghali และ Otter & Naaman เหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ในงานวิจัยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้ง เพื่อคำนวณหาความยาวของการเกิดจุดหมุนพลาสติกประกอบในสูตรของ Shan ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เป็น โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียว-ชั้นเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ.1993 Rasheed และ Dinno เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 2 อาศัยกลศาสตร์ของวัตถุแข็ง(Mechanics of solid) ในการสร้างสติฟเนสในแต่ละรอบของการคำนวณมีการปรับปรุงสติฟเนสโดยคำนึงถึงตำแหน่งของจุดถ่วงอินอิลาสติก(Inelastic centroid position) ซึ่งแปรผันในชิ้นส่วนของโครงสร้าง การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ ได้แก่ คาน โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียว-ชั้นเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

<u>งานที่ทำในงานวิจัยนี้</u>

งานวิจัยที่จะศึกษาต่อไปนี้เป็นการนำหลักการวิเคราะห์อินอิลาสติกอันดับที่สองจากการสร้างเมตริกซ์สติฟเนสที่คำนึงถึงผลของการแตกร้าวของคอนกรีตในกรณีที่หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมากกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต โดยสมมุติให้ค่าสติฟเนสมีลักษณะแปรเปลี่ยนแบบพาราโบล่าตลอดความยาวขององค์อาคาร โดยนำไปประยุกต์เพื่อการศึกษาพฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งพิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตเนื่องจากผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงตามแนวแกนในสภาวะที่โครงสร้างเกิดการกระจัดไปและความไม่เชิงเส้นทางวัสดุร่วมกัน โดยที่ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุนั้นวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์หน้าตัด(Section analysis)แล้วใช้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีผลต่างสืบเนื่องตรงกลางในการหาค่า EA และ EI เพื่อนำไปปรับปรุงสติฟเนสของโครงสร้างต่อไป และใช้วิธีเพิ่มน้ำหนักขึ้นเรื่อยๆ จนเสถียรภาพของโครงสร้างหมดไป

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กขณะรับน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดวิบัติโดยพิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้าง (Geometric nonlinearity) และความไม่เชิงเส้นทางวัสดุ(Material nonlinearity) โดยคำนึงถึงผลของการโอบรัด(Confinement effects)
2. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนอง
3. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา
4. ผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาและวิจัยขั้นสูงต่อไป

<u>ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย</u>

1. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งในระนาบ 2 มิติ
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียดของคอนกรีตกับความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมที่เหมาะสมและนำมาประยุกต์
3. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. ศึกษา ข้อจำกัด สมมุติฐาน และ วิธีการวิเคราะห์อินอิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
5. ศึกษาวิธีการเชิงตัวเลขเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาและหาผลตอบสนองซึ่งเป็นแนวทางนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
6. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการศึกษาที่ได้เพื่อการวิเคราะห์ดังกล่าว
7. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยอื่นที่ผ่านมาและสรุป

ขอบข่ายการวิจัย

1. หน้าตัดของโครงสร้างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากและสมมาตรกับระนาบ
2. ที่จุดต่อของชิ้นส่วนในโครงสร้างจะต้องเป็นข้อแข็ง(Rigid joint)
3. แรงภายนอกที่กระทำกับโครงสร้างให้เป็นแรงกระทำเป็นจุด(Point load)ที่จุดต่อ
4. แรงภายนอกที่กระทำกับโครงสร้างเป็นแรงสถิตทางเดียว