

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247847

การหาประโยชน์ในค่าขึ้นนอกระบบของโครงการทุนวิจัยการวิเคราะห์แบบไปรษณีย์

นางสาวศศิธร บรรณกุลดิษฐ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

600252409

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247847

การหาแรงในค้ำยันนอกระนาบของโครงข้อหมุนด้วยการวิเคราะห์แบบใช้เชิงเส้น



นางสาว ศศิธร บรรจงกุลลิขิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 0 7 0 4 6 5 0 2 1

DETERMINATION OF FORCE IN LATERAL BRACING OF PLANAR TRUSS
BY NONLINEAR ANALYSIS

Miss Sasithorn Bunjongkullikit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

ศศิธร บรรจงกุลลิขิต : การหาแรงในค้ำยันนอกระนาบของโครงข้อหมุนด้วยการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้น. (DETERMINATION OF FORCE IN LATERAL BRACING OF PLANAR TRUSS BY NONLINEAR ANALYSIS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.วัฒน์ชัย สมิตถากร, 63 หน้า.

247847

วิทยานิพนธ์นี้ ศึกษาการคำนวณหาแรงในค้ำยันนอกระนาบของโครงข้อหมุน ด้วยการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติ ร่วมกับการพิจารณาผลของความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นที่จุดต่อ ทั้งนี้ การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นจะคำนึงถึงผลของการเปลี่ยนรูปของโครงสร้าง และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของโครงสร้างมากกว่าการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น งานวิจัยนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสามกรณีคือ การวิเคราะห์แบบเชิงเส้น การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต และการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทั้งทางเรขาคณิตและทางวัสดุ โดยทำการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาจาวาเพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว และใช้วิธีการของนิวตันราฟสันในการคำนวณหาคำตอบ

ความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นของโครงสร้างเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยากและไม่สามารถกำหนดได้ล่วงหน้า เพราะอาจเกิดขึ้นระหว่างการเตรียมชิ้นส่วนโครงสร้างที่โรงงานหรือระหว่างการก่อสร้าง ส่งผลให้อัตราส่วนปลอดภัยของโครงสร้างลดลง ด้วยเหตุนี้ จึงอาศัยวิธีทางสถิติเข้ามาช่วยสมุ่หารูปแบบความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นที่จุดต่อที่ทำให้เกิดแรงในค้ำยันมากที่สุด ขนาดความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นกำหนดให้มีค่าสูงสุดไม่เกิน $L/500$ ตามมาตรฐาน AISC ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ถ้าโครงสร้างปราศจากความไม่สมบรูณ์ตั้งต้น การคำนวณหาแรงในค้ำยัน ไม่ว่าจะด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นหรือไร้เชิงเส้นจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันน้อยมาก ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาความไม่สมบรูณ์ตั้งต้น แรงในค้ำยันจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20% และ 49% เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเชิงเส้นและไร้เชิงเส้น ตามลำดับ ดังนั้นค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาพร้อมด้วยในการออกแบบโครงสร้างและการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไร้เชิงเส้นจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่า

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา...
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา...
ปีการศึกษา.....2553.....

ลายมือชื่อผู้ผลิต..... ศศิธร ชนงจากกุลลิขิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... ผศ.ดร.วัฒน์ชัย สมิตถากร

5070465021: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : LATERAL BRACING / PLANAR TRUSS / NONLINEAR ANALYSIS / INITIAL IMPERFECTION / JAVA

SASITHORN BUNJONGKULLIKIT: DETERMINATION OF FORCE IN LATERAL BRACING OF PLANAR TRUSS BY NONLINEAR ANALYSIS. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. WATANACHAI SMITTAKORN, Ph.D., 63 pp.

247847

This thesis studies the determination of force in lateral bracing of planar truss by nonlinear analysis in three dimensions. Also, effects of initial imperfection at the connections are investigated. Providing a more accurate result to structural behavior than linear analysis, the nonlinear analysis takes into account the effects of deformed geometry and nonlinear stress-strain relation. Here, three types of analyses are considered: linear, geometric nonlinear and combined geometric and material nonlinear. Employing Newton-Raphson technique in the iteration process, a computer program is developed using Java language.

Initial imperfection of a structure, occurring during pre-fabrication and installation processes, is usually unavoidable and unpredictable in normal practice. As a result, structural safety factor is reduced. In order to find the maximum force in lateral bracing, a random process is employed for initial imperfection pattern of the structure with the magnitude capped within L/500, according to AISC Specification. Results from case studies indicate that in the absence of initial imperfection, forces in lateral bracing computed by linear and nonlinear analyses have only little difference. In contrast, if initial imperfection is taken into account, the force in lateral bracing will increase approximately 20% and 49% when using linear and nonlinear analyses, respectively. Therefore, initial imperfection is a significant factor to be considered in the design process and the method of nonlinear analysis is necessary.

Department : CIVIL ENGINEERING Student's Signature *Sasithorn Bunjongkullikit*
Field of Study : CIVIL ENGINEERING Advisor's Signature *Watanachai Smittakorn*
Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.วัฒนชัย สมิตถากร อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ตลอดระยะเวลาของการศึกษา โดยท่านได้ให้คำปรึกษาและการสั่งสอน ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งประสบการณ์นอกเหนือจากเนื้อหาที่ ทำการศึกษา ขอกล่าวขอบพระคุณ ผศ.ดร.วัฒนชัย สมิตถากร

และวิทยานิพนธ์นี้จะไม่สามารถลบล้างไปได้หากปราศจากบุคคลดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่มีอวิชาความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ศ.ดร.ธีรพงศ์ เสนอจันทร์มิไชย ผศ.ดร.จรรยา รุ่งอมรรัตน์ และรศ.ดร. พฤทธา ณ นคร ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ International School of Engineering (ISE) ที่เอื้อเพื่อโปรแกรม ANSYS version 12.1 ขอขอบคุณ หน่วยงานบัณฑิต วิทยาลัยและหน่วยงานบัณฑิตภาควิศวกรรมโยธา และคุณ วรรรณา ช้างเกิด อธิการภาคส่วน ประสานงานบัณฑิตศึกษา ในการติดต่อประสานงานระเบียบการจนจบการศึกษา ขอขอบคุณ นาย ณัฐวัช บุญมา และ นางสาว สิริลักษณ์ บรรจงกุลลิขิต ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจจน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนเพื่อนและพี่น้องนิสิตปริญญาโท/เอก สาขาวิศวกรรม โครงสร้างทุกคนที่ร่วมศึกษาเล่าเรียนกันมาจนจบ

สุดท้ายนี้ผู้แต่ง ขอขอบพระคุณ บิดามารดาที่ให้กำเนิดชีวิต ความรัก เลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และให้การศึกษาที่ดี ตั้งแต่เล็กจนโต และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะก่อประโยชน์ ให้แก่ผู้ที่สนใจหรือผู้ทำวิจัยไม่มากก็น้อยในการจุดประกายความคิดและเป็นรากฐานของวิจัยอื่น ต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ปรัชญาวิศวกรรม.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค้ำยัน.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์การคำนวณ.....	9
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
3.1 การวิเคราะห์โครงถักสามมิติแบบเชิงเส้น.....	11
3.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเมตริกซ์.....	11
3.1.2 การหาเมตริกซ์การแปลงพิกัด.....	13
3.1.3 การหาอีลาสติคสติฟเนสเมตริกซ์ขององค์อาคารโครงถักสามมิติ.....	14
3.1.4 การรวมอีลาสติคสติฟเนสเมตริกซ์ขององค์อาคารเป็นอีลาสติคสติฟเนส เมตริกซ์ของโครงสร้าง.....	15
3.2 การวิเคราะห์โครงถักสามมิติแบบไร้เชิงเส้น.....	16
3.2.1 การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต.....	16
3.2.2 การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางวัสดุ.....	17
3.2.3 การวิเคราะห์แบบไร้แบบผสม.....	18
3.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้าง.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพแบบเชิงเส้น.....	19
3.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพแบบไร้เชิงเส้น.....	20
บทที่ 4 ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลข.....	21
4.1 เทคนิคการแก้ระบบสมการแบบไร้เชิงเส้น.....	21
4.2 วิธีการกระทำซ้ำ.....	21
4.3 การตรวจสอบการลู่เข้าของคำตอบของการแก้ระบบสมการแบบไร้เชิงเส้น.....	22
4.4 ตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกัดโนมิติ.....	23
4.5 เทคนิคการแก้ปัญหาการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบไร้เชิงเส้น.....	23
4.6 ระเบียบวิธีการแบ่งครึ่งช่วง.....	23
4.7 เทคนิคการแก้ปัญหาการหาค่าไอเกินเจาะจงวิกฤต.....	24
บทที่ 5 การพัฒนาโปรแกรม.....	26
5.1 บทนำ.....	26
5.2 ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	27
5.2.1 ส่วนป้อนข้อมูล.....	27
5.2.2 ส่วนประมวลผล.....	27
5.2.2.1 แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติ.....	28
5.2.2.2 แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้าง.....	33
5.2.2.3 แผนภูมิสายงานการสุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นของโครงข้อหมุน.....	36
บทที่ 6 ผลการศึกษา.....	37
6.1 โครงข้อหมุนทรงโดม.....	37
6.2 โครงข้อหมุนทรงพีรามิด.....	39
6.3 สะพานลอยโครงข้อหมุน.....	41
6.4 ผลของความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นต่อแรงในค้ำยัน.....	47
6.4.1 ผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น.....	48
6.4.2 ผลการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้น.....	51
6.4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	54
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	54
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
รายการอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก.....	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	63

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าแรงอัดวิกฤตที่วัดได้จากการทดลอง.....	7
6.1	การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกวิกฤต.....	40
6.2	ผลการวิเคราะห์การกระจัดที่โหนด 5 ณ น้ำหนักบรรทุกวิกฤต.....	40
6.3	ผลการวิเคราะห์แรงภายในชิ้นส่วน ณ น้ำหนักบรรทุกวิกฤต.....	40
6.4	ขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนสะพานลอยโครงข้อหมุน.....	41
6.5	ขนาดหน้าตัดค้ำยันที่ปลายชิ้นส่วนต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤต.....	42
6.6	ผลการวิเคราะห์สะพานลอยโครงข้อหมุนที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน.....	43
6.7	ความน่าจะเป็นที่แรงในค้ำยันจากการคิดผลความไม่สมบูรณ์ตั้งต้นจะมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์แบบปกติ.....	53
6.8	การเปรียบเทียบค่าแรงดึงและแรงอัดในค้ำยันจากวิธีการวิเคราะห์แบบต่างๆ....	55

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤติกับค่าสตีเฟนสของค้ำยัน.....	4
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤติกับค่าการเสียรูปและแรงในค้ำยัน.....	5
2.3	เสาที่ถูกค้ำยัน 3 ตำแหน่ง.....	5
2.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการของวินเตอร์กับค่าผลเฉลยแม่นยำ.....	5
2.5	รหัสที่ใช้ออกชนิดของคานสำเร็จรูปที่มีการผลิต.....	6
2.6	แบบจำลองการทดสอบด้านข้าง.....	6
2.7	การติดตั้งค้ำยัน.....	6
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดวิกฤติกับแรงในค้ำยันที่สตีเฟนส 16 lb/in ,32 lb/in	7
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนค้ำยันของเสากับค่าความแข็งแรงในอุดมคติของค้ำยัน.....	8
2.10	แบบจำลองการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติ และ แบบจำลองของวินเตอร์....	8
2.11	ผลการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นสามมิติกับแบบจำลองของวินเตอร์.....	8
2.12	วิธีการ นิวตัน-กราฟสั้น.....	9
2.13	วิธีการ Arc-length method.....	9
2.14	วิธี Incremental method.....	10
2.15	วิธี Standard Newton–Raphson method.....	10
2.16	วิธี Modified Newton-Raphson method.....	10
3.1	แผนภาพวิธีการสตีเฟนสโดยตรง.....	13
3.2	การแปลงพิกัดชิ้นส่วนเป็นระบบพิกัดรวม.....	13
3.3	โครงสร้างตัวอย่างเพื่อแสดงการรวมอิลาสติกสตีเฟนสของโครงสร้าง.....	15
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกับความเครียดแบบ Bi-linear.....	18
3.5	การเปรียบเทียบพฤติกรรมไร้เสถียรภาพแบบเชิงเส้นและไร้เชิงเส้น.....	20
4.1	วิธีแบ่งครึ่งช่วง.....	24
5.1	องค์ประกอบของโปรแกรม.....	26
5.2	ส่วนประกอบของโปรแกรม.....	27
5.3	แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น.....	28
5.4	แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้น.....	39

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.5	แผนภูมิแสดงขั้นตอนย่อย(A),(B)ของการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต	30
5.6	แผนภูมิแสดงขั้นตอนย่อย (A), (B) ของการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางวัสดุ.....	31
5.7	แผนภูมิแสดงขั้นตอนย่อย (A), (B) ของการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นผสม.....	32
5.8	แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบเชิงเส้น.....	33
5.9	แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบไร้เชิงเส้น.....	34
5.10	แผนภูมิสายงานการสุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้น.....	36
6.1	รายละเอียดโครงข้อหมุนทรงโดม.....	37
6.2	ผลการวิเคราะห์โครงข้อหมุนทรงโดมด้วยวิธีการแบบเชิงเส้น ไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต และไร้เชิงเส้นแบบผสม.....	38
6.3	รายละเอียดโครงข้อหมุนทรงพีรามิด.....	39
6.4	รายละเอียดสะพานลอยโครงข้อหมุน.....	41
6.5	การจำลองค้ำยันที่ปลายชิ้นส่วน.....	42
6.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน้าตัดของค้ำยันที่ปลายต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤต...	43
6.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกภายนอกกับการกระจัดสูงสุดที่จุดต่อ	44
6.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกภายนอกกับแรงอัดในค้ำยัน.....	44
6.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกภายนอกกับแรงดึงในค้ำยัน.....	45
6.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกภายนอกกับแรงอัดในโครงถักหลัก...	45
6.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกภายนอกกับแรงดึงในโครงถักหลัก....	45
6.12	รูปร่างการโก่งเดาะแบบเชิงเส้น.....	46
6.13	รูปร่างการโก่งเดาะแบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต.....	46
6.14	รูปร่างการโก่งเดาะแบบไร้เชิงเส้นผสม.....	46
6.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงในค้ำยันกับจำนวนตัวอย่างการสุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้น.....	48
6.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงอัดในค้ำยันกับจำนวนตัวอย่างการสุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้น.....	48
6.17	ค่าแรงดึงในค้ำยันจากการสุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้น 20,000 ตัวอย่าง ด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น.....	49

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.18	ค่าแรงอัดในค้ำยันจากการสูบลำความไม่สมบูรณ์ตั้งต้น 20,000 ตัวอย่าง ด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น.....	50
6.19	ค่าแรงดึงในค้ำยันจากการสูบลำความไม่สมบูรณ์ตั้งต้น 20,000 ตัวอย่าง ด้วยการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้น.....	51
6.20	ค่าแรงอัดในค้ำยันจากการสูบลำความไม่สมบูรณ์ตั้งต้น 20,000 ตัวอย่าง ด้วยการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้น.....	52

สัญลักษณ์

- [..] คือสัญลักษณ์ของเมตริกซ์
- {..} คือสัญลักษณ์ของเวกเตอร์
- [..]^T คือสัญลักษณ์ของทรานสโพส
- $\|.. \|_2$ คือค่ายูคลิดีเนียนนอร์ม
- A คือพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร
- {P} คือเวกเตอร์น้ำหนักบรรทุกภายนอก
- [N] คือเมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง
- $[N_0]^T$ คือเมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งที่สภาวะตั้งต้น
- $[N_j]^T$ คือเมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งที่สภาวะอ้างอิง j ใดๆ
- {F} คือเวกเตอร์แรงภายในองค์อาคาร
- $\{F_j\}$ คือเวกเตอร์แรงภายในองค์อาคารที่สภาวะอ้างอิง j ใดๆ
- $[K_E]$ คือเมตริกซ์สติฟเนสยืดหยุ่นเชิงเส้นของระบบพิกัดหลัก
- $[K_T(\epsilon)_j]$ คือสติฟเนสสัมพัทธ์ของโครงสร้างที่เป็นฟังก์ชันของค่าความเครียดที่สภาวะอ้างอิง j ใดๆ
- $[K_E(\epsilon)_j]$ คือสติฟเนสยืดหยุ่นของโครงสร้างที่เป็นฟังก์ชันของค่าความเครียดที่สภาวะอ้างอิง j ใดๆ
- [K] คือเมตริกซ์สติฟเนสยืดหยุ่นเชิงเส้นขององค์อาคาร
- {Δ} คือเวกเตอร์การกระจัดขององค์อาคาร
- {δ} คือเวกเตอร์การกระจัดที่จุดต่อของโครงสร้าง
- l,m,n คือค่าโคไซน์มุมระหว่างระบบพิกัดรวมกับระบบพิกัดเฉพาะแกน x,y,z ตามลำดับ
- L คือค่าความยาวขององค์อาคาร

สัญลักษณ์ (ต่อ)

- L_0 คือค่าความยาวเริ่มต้นขององค์อาคาร
- $\{dP\}$ คือเวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อ
- $[K_r]$ คือเมตริกซ์สติฟเนสสัมผัสน
- $\{d\delta\}$ คือเวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงการกระจัดที่จุดต่อ
- $\{\Delta\delta_j\}$ คือเวกเตอร์การกระจัดที่สภาวะอ้างอิง j ใดๆ
- $[K_G]$ คือจีโอเมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารระบบพิกัดหลัก
- $[K_G]_j$ คือจีโอเมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารระบบพิกัดหลักที่สภาวะอ้างอิง j ใดๆ
- E_1 คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ
- E_2 คือค่าอินอลาสติกโมดูลัสของวัสดุ
- E คือค่าความเครียดขององค์อาคาร
- E_y คือค่าความเครียดขององค์อาคารที่จุดคราก
- λ คือตัวคูณน้ำหนักบรรทุกวิกฤต
- ψ คือโหมดการโก่งเดาะ
- $\{P_{cr}\}$ คือเวกเตอร์น้ำหนักบรรทุกวิกฤตแบบยืดหยุ่น
- $\{P_0\}$ คือเวกเตอร์น้ำหนักบรรทุกภายนอกเริ่มต้น
- $\{R\}$ คือพิกัดของโหนด
- $\{P\}$ คือเวกเตอร์น้ำหนักบรรทุกไม่สมดุล
- E คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้
- x_i, y_i, z_i คือพิกัดของโหนด i แกน x, y, z ตามลำดับ

ศัพท์วิทยาการ

การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต	Geometrically nonlinear analysis
การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางวัสดุ	Material nonlinear analysis
การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นผสม	Combination of nonlinear analysis
เมตริกซ์การแปลงพิกัด	Transformation matrix
จุดขีดจำกัด	Limit point
น้ำหนักบรรทุกวิกฤต	Critical load
การวิเคราะห์เสถียรภาพแบบเชิงเส้น	Linear buckling analysis
การวิเคราะห์เสถียรภาพแบบไร้เชิงเส้น	Nonlinear buckling analysis
ระดับขั้นความเสรี	Degree of freedom
วัสดุเชิงเส้นคู่	Bilinear material
เสถียรภาพ	Stability