

วิธีการใช้ไดนามิคคอนเดนเซชันอย่างง่ายในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของโครงสร้างแผ่นบางและ
โครงสร้างเปลือกบาง



นาย สุริยา ทัศนียานนท์

004119

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๖๔

i 1807151X

A SIMPLIFIED DYNAMIC CONDENSATION SCHEME IN DYNAMIC ANALYSIS OF PLATE
AND SHELL STRUCTURES

Mr. Suriya Thusneeyanont

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1981

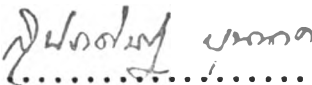
หัวข้อวิทยานิพนธ์ วิธีการใช้ไดนามิคคอน เคน เซชั่นอย่างง่ายในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของ
โครงสร้างแผ่นบาง และโครงสร้างเปลือกบาง

โดย นาย สุริยา ทศนิยานนท์


ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

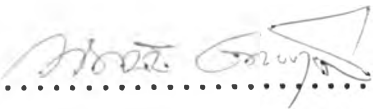
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ นุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ข่อวิเชียร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการใช้ไดนามิคคอนเดนเซชันอย่างง่ายในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของโครงสร้างแผ่นบางและโครงสร้างเปลือกบาง
ชื่อนิสิต	นาย สุริยา ทศนิยานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	๒๕๖๓



บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอวิธีการอย่างง่ายในการลดจำนวนตัวแปรอิสระสำหรับการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของโครงสร้างแผ่นบางและโครงสร้างเปลือกบางโดยการพิจารณาให้การเคลื่อนที่ของจุดข้อต่อบริเวณขอบต่อเฟืองของโครงสร้างย่อยเป็นพิกัดการเคลื่อนที่ประธานซึ่งใช้เป็นพิกัดทั่วไปของโครงสร้างทั้งระบบ พลังงานความเครียดของระบบที่ลดจำนวนตัวแปรแล้วนั้นเขียนให้อยู่ในรูปของพิกัดการเคลื่อนที่ประธานได้โดยการสมมุติว่าความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดการเคลื่อนที่บริวารซึ่งจะถูกลดทิ้งกับพิกัดการเคลื่อนที่ประธานนั้นเหมือนกับความสัมพันธ์ที่ใช้ในวิธีการลดจำนวนตัวแปรทางสถิติมาตรฐาน ส่วนในการหาพลังงานจลน์โดยประมาณของระบบที่ลดจำนวนตัวแปรแล้วนั้น สมมุติว่าความเร็วของจุดข้อต่อบริวารจะหาได้จากการเทียบส่วนเฉลี่ยโดยตรงกับความเร็วของจุดข้อต่อประธานเมื่อพิจารณาว่าโครงสร้างย่อยเปรียบเสมือนเป็นชิ้นส่วนไอโซพารามेटริกใหญ่อันหนึ่ง ด้วยวิธีการดังกล่าวจะสามารถหาเมทริกซ์ของมวลซึ่งลดขนาดได้โดยตรงอย่างง่าย ๆ สมการการเคลื่อนที่ของระบบที่ลดจำนวนตัวแปรแล้วหาได้โดยใช้สมการของลากรางจ์ จากตัวอย่างแสดงผลการคำนวณทางตัวเลขสำหรับการสั่นอิสระและการตอบสนองเมื่อมีแรงภายนอกกระทำโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการใช้วิธีการลดจำนวนตัวแปรอย่างคงตัวแปลง แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของวิธีการที่นำเสนอมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

Thesis Title A Simplified Dynamic Condensation Scheme in Dynamic
 Analysis of Plate and Shell Structures

Name Mr. Suriya Thusneeyanont

Thesis Advisor Associate Professor Panitan Lukkunaprasit, Ph.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1980

ABSTRACT

This research presents a simple mass condensation scheme for the dynamic analysis of plate and shell structures. The substructure interface nodal displacements are used as generalized coordinates of the reduced system. The strain energy of the reduced system is expressed in terms of the master nodal displacements, by assuming the same transformation between the master and slave displacements as that in the standard static condensation method. In determining the approximate kinetic energy of the reduced system the slave nodal velocities are interpolated from the master nodal velocities by treating the substructure as a macro isoparametric element. This leads to a simple direct method for the determination of the reduced mass matrix. The equations of motion for the reduced system are then derived by applying Lagrange's equations. Numerical examples for free and forced vibration are obtained using the proposed scheme and compared with those calculated by using the consistent condensation scheme. The numerical results show that the accuracy of the proposed method is satisfactory for practical purposes.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความสำเร็จและความเอื้อเฟื้อของผู้มีพระคุณหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนขอกราบ
ขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ ได้แก่ บุพการี คณาจารย์ของผู้เขียนทุกท่าน คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
ซึ่งนอกเหนือจากความกรุณาในการรับเป็นกรรมการสอบแล้ว ท่านยังได้ให้ความเมตตากับผู้เขียน
ตลอดมา โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี
และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ นั้น ทุกสิ่งทุกอย่างที่ท่านได้
ทำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ เป็นสิ่งที่มีคุณค่าสูงสุดสำหรับผู้เขียน

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดจน
ทุก ๆ ท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุรียา ทศนียานนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตารางประกอบ	ฅ
รายการรูปประกอบ	ฉ
สัญลักษณ์	ค
บทที่	
๑ บทนำ	๑
๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	๑
๑.๒ การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	๑
๑.๓ วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย	๓
๑.๔ แนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการวิจัย	๔
๑.๕ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย	๔
๒ หลักการในการแก้ปัญหา	๖
๒.๑ สมการการเคลื่อนที่ของลากรางจ์	๖
๒.๒ พลังงานและงานของระบบที่ประกอบด้วยโครงสร้างย่อย	๗
๒.๓ สมการการเคลื่อนที่ของระบบซึ่งลดจำนวนตัวแปร	๑๑
๒.๔ การพิจารณาหาเมทริกซ์แปลงที่จะนำมาใช้ในการลดขนาด เมทริกซ์	๑๑



บทที่	หน้า
๒.๕ วิธีการที่นำเสนอในการลดขนาดเมทริกซ์ของมวลสำหรับโครงสร้าง แผ่นบางและโครงสร้างเปลือกบาง	๑๔
๒.๖ การหาพิกัดของจุดในระบบพิกัดธรรมชาติเพื่อใช้ในการสร้างเมทริกซ์ แปลงที่ใช้ในการลดขนาดเมทริกซ์ของมวลอย่างง่าย	๑๕
๓ ตัวอย่างแสดงผลการคำนวณทางตัวเลข และการพิจารณาผลลัพธ์	๒๒
๓.๑ การสั้นอิสระของโครงสร้างแผ่นบางรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสรองรับแบบ ธรรมดาที่ขอบทั้งสี่ด้าน	๒๔
๓.๒ การสั้นของโครงสร้างแผ่นบางยี่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	๒๕
๓.๓ การสั้นอิสระของโครงสร้างแผ่นบางยี่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	๒๘
๓.๔ การสั้นอิสระของโครงสร้างหลังคาเปลือกบางโค้งทรงกระบอก	๓๒
๔ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	๓๔
เอกสารอ้างอิง	๓๗
ภาคผนวก ก.	๖๐
ประวัติผู้เขียน	๖๔

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
๑	๓๔
๒.๑	๕๐
๒.๒	๕๑
๓.๑	๕๒
๓.๒	๕๓
๓.๓	๕๔

- ๓.๔ เปรียบเทียบค่าความถี่ไรมิตีและร้อยละของความคลาดเคลื่อน (ในวงเล็บ) สำหรับแบบจำลองต่าง ๆ ของโครงสร้างแผ่นบางยื่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งใช้วิธีลดขนาดเมทริกซ์ของมวลอย่างคงตัวแปลง โดยที่ลดตัวแปรในแนวทแยงของจุดข้อต่อประธานรองรับ เทียบกับแบบจำลองที่ 3-1 ๔๕
- ๓.๕ เปรียบเทียบค่าความถี่ไรมิตีและร้อยละของความคลาดเคลื่อน (ในวงเล็บ) สำหรับแบบจำลองต่าง ๆ ของโครงสร้างแผ่นบางยื่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระหว่างการลดเฉพาะตัวแปรในแนวทแยงกับการลดตัวแปรทุกชนิดของจุดข้อต่อประธานรองรับ เทียบกับแบบจำลองที่ 3-1 ๔๖
- ๔ เปรียบเทียบค่าความถี่มีมิติ (เรเดียน/วินาที) และร้อยละของความคลาดเคลื่อน (ในวงเล็บ) สำหรับแบบจำลองต่าง ๆ ของโครงสร้างหลังคาเปลือกบางโค้งทรงกระบอกโดยเทียบกับแบบจำลองที่ 4-1 ๔๗

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
๑. แสดงรายละเอียดของโครงสร้างเพื่อประกอบการพิจารณา	๔๘
๑.ก แสดงลักษณะทั่วไปของโครงสร้างซึ่งแบ่งออกเป็นโครงสร้างย่อยและ แต่ละโครงสร้างย่อยประกอบขึ้นด้วยชิ้นส่วนเบื้องต้น	๔๘
๑.ข แสดงโครงสร้างย่อยใด ๆ มีจุด 1, 2, 3 และ 4 เป็นจุดข้อต่อที่ มุมทงสี่ของโครงสร้างย่อย	๔๙
๒. แบบจำลองต่าง ๆ ของโครงสร้างแผ่นบางรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสรองรับแบบ ธรรมชาติที่ขอบทงสี่ด้านแสดงจำนวนตัวแปรอิสระหลังจากการกำหนดสภาพ ขอบเขต (ในวงเล็บ)	๕๐
๒.ก แบบจำลองที่ 1-1	๕๐
๒.ข แบบจำลองที่ 1-2	๕๐
๒.ค แบบจำลองที่ 1A-S และ 1A-C	๕๐
๒.ง แบบจำลองที่ 1AT-S	๕๐
๓. แบบจำลองต่าง ๆ ของโครงสร้างแผ่นบางยี่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแสดงจำนวน ตัวแปรอิสระหลังจากการกำหนดสภาพขอบเขต (ในวงเล็บ)	๕๑
๓.ก แบบจำลองที่ 2-1	๕๑
๓.ข แบบจำลองที่ 2-2	๕๑
๓.ค แบบจำลองที่ 2A-S และ 2A-C	๕๑
๓.ง แบบจำลองที่ 2AT-S และ 2AT-C	๕๑
๓.จ แบบจำลองที่ 2AR-S และ 2AR-C	๕๑
๔. แสดงรูปแบบพิกัดการเคลื่อนที่ลำดับต่าง ๆ จากค่าไอเกนเวคเตอร์สำหรับ พิกัดการเคลื่อนที่เชิงแนวทางขวาง	๕๒
๕. การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ทางขวางของจุดกึ่งกลางที่ปลายยื่นของโครง สร้างแผ่นบางยี่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายใต้แรงกระทำเป็นจุดหันที่หันใดคองที่ .	๕๔

รูปที่

หน้า

๖.	แบบจำลองต่าง ๆ ของโครงสร้างแผ่นบางยื่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสแสดง	
	จำนวนตัวแปรอิสระหลังจากการกำหนดสภาพขอบเขต (ในวงเล็บ)	๕๕
	๖.ก แบบจำลองที่ 3-1	๕๕
	๖.ข แบบจำลองที่ 3-2	๕๕
	๖.ค แบบจำลองที่ 3-3	๕๕
	๖.ง.๑ แบบจำลองที่ 3A-S และ 3A-C	๕๕
	๖.ง.๒ แบบจำลองที่ 3AR-S และ 3AR-C	๕๕
	๖.จ.๑ แบบจำลองที่ 3B-S และ 3B-C	๕๖
	๖.จ.๒ แบบจำลองที่ 3BR-S และ 3BR-C	๕๖
	๖.จ.๓ แบบจำลองที่ 3BT-S และ 3BT-C	๕๖
	๖.ฉ.๑ แบบจำลองที่ 3C-S และ 3C-C	๕๖
	๖.ฉ.๒ แบบจำลองที่ 3CR-S และ 3CR-C	๕๖
	๖.ช.๑ แบบจำลองที่ 3D-S และ 3D-C	๕๖
	๖.ช.๒ แบบจำลองที่ 3DR-S และ 3DR-C	๕๖
๗.	แสดงร้อยละของความคลาดเคลื่อนของความถี่อิสระสำหรับแบบจำลอง	
	ต่าง ๆ ของโครงสร้างแผ่นบางยื่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	๕๗
๘.	แสดงร้อยละของความคลาดเคลื่อนของความถี่อิสระสำหรับแบบจำลอง	
	ต่าง ๆ ของโครงสร้างแผ่นบางยื่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีผลลัพธ์จากเอก-	
	สารอ้างอิงเปรียบเทียบ	๕๘
๙.	โครงสร้างหลังคาเปลือกบางโค้งทรงกระบอก	๕๙
	๙ก. รูปทรงทางเรขาคณิตของโครงสร้าง	๕๙
	๙ข. แบบจำลองที่ 4-1	๕๙
	๙ค. แบบจำลองที่ 4-2	๕๙
	๙ง. แบบจำลองที่ 4A-S และ 4A-C	๕๙
	๙จ. แสดงร้อยละของความคลาดเคลื่อนของความถี่	๕๙

สัญลักษณ์

N_j	=	ฟังก์ชันรูปร่างแบบทริแองเกิล
$Q(t)$	=	แรงกระทำจากภายนอกที่ขณะเวลาใด ๆ
T	=	พลังงานจลน์
U	=	พลังงานความเครียด
W	=	งานซึ่งเกิดจากแรงกระทำจากภายนอก
W_d	=	งานเนื่องจากแรงหน่วง
$[C]$	=	เมทริกซ์ของแรงหน่วง
$[K]$	=	สติฟเนสเมทริกซ์
$[M]$	=	เมทริกซ์ของมวล
$[C^*]$	=	เมทริกซ์ของแรงหน่วงที่ลดขนาดแล้ว
$[K^*]$	=	สติฟเนสเมทริกซ์ที่ลดขนาดแล้ว
$[M^*]$	=	เมทริกซ์ของมวลที่ลดขนาดแล้ว
$[F]$	=	เมทริกซ์แปลงเชิงเส้นตรงที่ใช้แปลงเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่
$[\phi]$	=	เมทริกซ์แปลงเชิงเส้นตรงที่ใช้ในการลดขนาดของสติฟเนสเมทริกซ์
$[\Omega]$	=	เมทริกซ์แปลงเชิงเส้นตรงที่ใช้แปลงเวกเตอร์ของความเร่ง
$[\Omega^*]$	=	ส่วนหนึ่งของเมทริกซ์แปลงเชิงเส้นตรงที่ใช้แปลงเวกเตอร์ของความเร่ง
$[\eta]$	=	เมทริกซ์แปลงเชิงเส้นตรงที่ใช้ในการลดขนาดเมทริกซ์ของมวล
$[I]$	=	เมทริกซ์เอกลักษณ์
$[O]$	=	เมทริกซ์ที่สมาชิกทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์
$[T]$	=	เมทริกซ์ย่อยของเมทริกซ์แปลงเชิงเส้นตรงที่ใช้แปลงเวกเตอร์ของความเร่ง
$[\lambda]$	=	เมทริกซ์ไดเรกชันโคซายน์
$\{Q^*\}$	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำภายนอกสำหรับระบบที่ลดจำนวนตัวแปรแล้ว

- $\{q\}$ = เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ที่จุดข้อต่อ
 $\{\dot{q}\}$ = เวกเตอร์ของความเร็วที่จุดข้อต่อ
 $\{\ddot{q}\}$ = เวกเตอร์ของความเร่งที่จุดข้อต่อ
 $\begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{Bmatrix}$ = เวกเตอร์ของพิกัดตำแหน่งในระบบพิกัดประจำตัวของชิ้นส่วน (X', Y', Z')
 $\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix}$ = เวกเตอร์ของพิกัดตำแหน่งในระบบพิกัดร่วมของโครงสร้างทั้งหมด (X, Y, Z)
 (s, t) = พิกัดตำแหน่งของจุดใด ๆ ในระบบพิกัดธรรมชาติ (s, t)
 b = อักษรพ่วงห้อยบ่งชี้ถึงตำแหน่งที่ขบต่อเนื่อง ยกเว้นที่มุมทังสี่ของโครงสร้างย่อย
 c = อักษรพ่วงห้อยบ่งชี้ถึงตำแหน่งที่มุมทังสี่ของโครงสร้างย่อย
 i = อักษรพ่วงห้อยบ่งชี้ถึงลำดับที่ของโครงสร้างย่อย
 j = อักษรพ่วงห้อยบ่งชี้ถึงลำดับที่ของจุดข้อต่อที่มุมทังสี่ของโครงสร้างย่อย
 p = อักษรพ่วงห้อยบ่งชี้ถึงลำดับที่ของจุดข้อต่อบริวาร
 m = อักษรพ่วงห้อยบ่งชี้ถึงสภาวะประธาน
 s = อักษรพ่วงห้อยบ่งชี้ถึงสภาวะบริวาร
 T = อักษรพ่วงแขวนบ่งชี้ถึง เมทริกซ์สับเปลี่ยน