

การวิเคราะห์ทางโครงสร้างของบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน  
ซึ่งมีพื้นบันไดตั้งฉากกันและมีชานพักอยู่ตรงกลาง



นายหาญ แจกไพชยนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

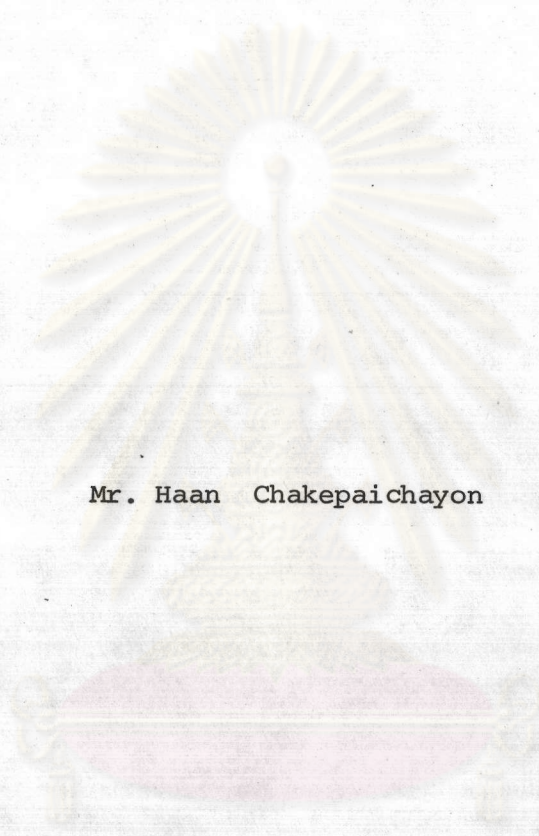
พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-732-2

009101

118170432

A Structural Analysis of Slab-Type Free Standing Staircases Having  
Perpendicular Straight Flights with Intermediate Landing



Mr. Haan Chakepaichayon

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์ทางโครงสร้างของบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน ซึ่งมีพื้น  
บันไดตั้งฉากกันและมีชานพักอยู่ตรงกลาง

โดย      นายทฤษฎี แจกโพชนันต์

ภาควิชา      วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา      รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

*[Handwritten signature]*

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ นูนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

*[Handwritten signature]*

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ล้อมสุวรรณ)

*[Handwritten signature]*

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

*[Handwritten signature]*

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ทางโครงสร้างของบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตัน ซึ่งมี  
พื้นบันไดตั้งฉากกันและมีชานพักอยู่ตรงกลาง

ชื่อ นายหาญ แจกโพชนนค์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2527



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้และประยุกต์วิธีออกแบบโดยประมาณที่ใช้กับ  
บันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันที่ภาพถ่ายบนระนาบราบของพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่างขนานกัน  
มาใช้กับบันไดยื่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันซึ่งมีพื้นบันไดตั้งฉากกันและมีชานพักอยู่ตรงกลาง การวิเคราะห์  
โดยประมาณที่ศึกษามีสองวิธี คือ การจำลองพื้นบันไดและชานพักเป็นชิ้นส่วนมิติเดียวซึ่งประกอบ  
กันเป็นโครงข้อแข็งในสามมิติ และวิธีซึ่งอาศัยการพิจารณาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ร่วมกันของพื้น  
บันไดและชานพัก นอกจากนี้งานวิจัยได้ทดลองแบบจำลองย่อส่วนทำจากแผ่นเหล็กให้รับน้ำหนัก  
บรรทุกกระจายสม่ำเสมอ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้วิธีวิเคราะห์  
ทั้งสองวิธี และควรคำนึงถึงการเคลื่อนที่ทั้งในแนวตั้งและแนวราบของชานพักในการออกแบบ  
หน้าตัด





## กิตติกรรมประกาศ

ในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ทั้งทางภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนจบ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติและ รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ สัมสุวรรณ ที่กรุณาตรวจพร้อมทั้งเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และรองศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ทางทฤษฎี

ผู้เขียนขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์ประกอบการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือสำหรับการทดลอง เจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา และ เพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย และ คุณนันทา รัตนกมูท ที่ได้กรุณาช่วย จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุด ผู้เขียนปรารถนาที่จะแสดงความรำลึกถึงพระคุณของบิดาและมารดา ที่ได้ ให้ความสนับสนุนและกำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษาในระดับนี้

หาญ แจกไพชยนต์

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

ข

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ข
รายการตารางประกอบ .....	ญ
รายการรูปประกอบ .....	ฎ
สัญลักษณ์ .....	ด
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 บันไดยี่สิบอิสระแบบแผ่นพื้นคั่นซึ่งมีพื้นบันไดตั้งฉากกัน และมีชานพักอยู่ตรงกลาง .....	1
1.2 ความเป็นมาของปัญหา .....	1
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย .....	2
2. การสำรวจงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง .....	3
3. การวิเคราะห์แบบโครงสร้างข้อแย้งในสามมิติ .....	7
3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ .....	7
3.2 สมมุติฐานในการวิเคราะห์ .....	7
3.3 แกนโคออร์ดิเนตและแรงภายใน .....	8
3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างจำลอง .....	9
3.5 การวิเคราะห์โครงสร้างจำลองภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบปฏิสมมาตร ..	10
3.5.1 ผลของน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสมมาตร เสมอบนพื้นบันไดแบบปฏิสมมาตร .....	11
3.5.2 ผลของน้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสมมาตร เสมอบนชานพักบันไดแบบปฏิสมมาตร .....	15

3.5.3	แรงภายใน โครงสร้างจำลองส่วนบันไดบน เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก แบบปฏิสมมาตร .....	19
3.6	การวิเคราะห์โครงสร้างจำลองภายใต้ น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ บนพื้นบันไดแบบสมมาตร .....	20
3.6.1	แรงภายใน โครงสร้างจำลองส่วนบันไดบน เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก แบบสมมาตร .....	27
4.	การวิเคราะห์แบบแผ่นพื้นทับในสามมิติ .....	29
4.1	สมมุติฐานในการวิเคราะห์ .....	29
4.2	หลักการวิเคราะห์แบบแผ่นพื้นทับ .....	30
4.3	แกนโคออร์ดิเนต และแรงภายใน .....	32
4.4	โครงสร้างหลักภายใต้แรงกระทำจากที่รองรับจินตภาพ .....	33
4.4.1	โครงสร้างหลักภายใต้แรงกระทำจากที่รองรับจินตภาพแบบ ปฏิสมมาตร .....	37
4.4.2	โครงสร้างหลักภายใต้แรงกระทำจากที่รองรับจินตภาพแบบ สมมาตร .....	44
5.	การทดสอบแบบจำลอง ของบันได .....	53
5.1	การสร้างแบบจำลอง ของ "บันได" .....	53
5.2	วัสดุและการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง .....	53
5.3	วิธีการทดลอง .....	55
6.	ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	56
6.1	วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	56
6.2	เปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี .....	57
7.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	59
7.1	สรุปผลการวิจัย .....	59
7.2	ข้อเสนอแนะ เพื่อการศึกษา เพิ่มเติม .....	59



เอกสารอ้างอิง .....	60
ภาคผนวก ก. ....	136
ภาคผนวก ข. ....	139
ประวัติ .....	148



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการตารางประกอบ

หน้า

## ตารางที่

5.1	มติของแบบจำลอง .....	62
5.2	ผลการทดลองกำลังดึงของเหล็กแผ่น .....	63
5.3	รายละเอียดของเกจแบบหน้ามีทิม .....	64
6.1	การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์บิดจากการทดลองกับทฤษฎี .....	65
6.2	การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของแบบจำลอง .....	66
6.3	การเคลื่อนที่ในแนวของแบบจำลอง .....	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่

1.1	บันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันที่ภาพฉายของพื้นบันไดบนและล่าง บนระนาบของชานพักขนานกัน .....	68
1.2	บันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันซึ่งมีพื้นบันไดตั้งฉากกันและมีชานพัก อยู่ตรงกลาง .....	69
1.3	บันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันซึ่งมีพื้นบันไดตั้งฉากกันที่ชานพัก และมีชานพักอยู่ตรงกลาง ในงานวิจัยนี้ .....	70
2.1	โครงสร้างจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เสนอโดย Fuchsteiner ...	71
2.2	โครงสร้างดีเทอร์มิแนนต์ ที่เสนอโดย Sauter .....	72
2.3	โครงสร้างจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เสนอโดย Cusen และ Kuang .....	73
2.4	การจำลองโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์แบบแผ่นพื้นทับ ที่เสนอโดย Liebenberg .....	74
2.5	บันไดยี่นอิสระแบบแผ่นพื้นตันแบบสามช่วงบันได .....	75
3.1	โครงสร้างจำลองทางคณิตศาสตร์และแกนโคออร์ดิเนตหลัก .....	76
3.2	แกนโคออร์ดิเนตรองและแรงภายในที่เป็นบวกของส่วนบันไดบน ...	77
3.3	แกนโคออร์ดิเนตรองและแรงภายในที่เป็นบวกของส่วนบันไดล่าง ...	78
3.4	การแทนผลของแรงกระทำใด ๆ ในรูปของแรงกระทำแบบสมมาตร และปฏิสมมาตร .....	79
3.5	รูปแปลนแสดงแรงภายในและการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นที่จุด A เมื่อรับ น้ำหนักบรรทุกทุกแบบปฏิสมมาตร .....	80
3.6	โครงสร้างจำลองดีเทอร์มิแนนต์ของส่วนบันไดล่าง และตัวไม่รู้ค่า $X_1$ และ $X_2$ .....	81

## รูปที่

3.7	แรงปฏิกิริยา ตัวไม่รู้ค่า และน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ ; $w_F$ บนพื้นบันไดแบบปฏิสมมาตร .....	82
3.8	ตำแหน่งจุด $P_\emptyset$ บนส่วนโค้ง AB และแกนโคออร์ดิเนตรองของจุด $P_\emptyset$ .....	83
3.9	รูปตัดขวางแสดงตำแหน่งจุด $P_{x'}$ บนพื้นบันไดและแกนโคออร์ดิเนตรอง .....	83
3.10	รูปแปลนแสดงปฏิกิริยา ตัวไม่รู้ค่า และน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ ; $w_L$ บนชานพักบันไดแบบปฏิสมมาตร .....	84
3.11	ตำแหน่งจุด $P_\emptyset$ บนส่วนโค้ง AB และแกนโคออร์ดิเนตรองของจุด $P_\emptyset$ .....	85
3.12	รูปตัดขวางแสดงตำแหน่งจุด $P_{x'}$ บนพื้นบันไดและแกนโคออร์ดิเนตรอง .....	85
3.13	แรงภายในส่วนบันไดบน เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบปฏิสมมาตรและแรงภายในจุดคู่สมมาตรในส่วนบันไดล่างเป็นบวก .....	86
3.14	แรงปฏิกิริยา ตัวไม่รู้ค่า และน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ ; $w_L$ บนพื้นบันไดแบบสมมาตร .....	87
3.15	ตำแหน่งจุด $P_\emptyset$ บนส่วนโค้ง AB และแกนโคออร์ดิเนตรองของจุด $P_\emptyset$ .....	88
3.16	รูปตัดขวางแสดงตำแหน่งของจุด $P_{x'}$ บนพื้นบันไดและแกนโคออร์ดิเนตรอง .....	88
3.17	แรงภายในส่วนบันไดบน เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบสมมาตรและแรงภายในจุดคู่สมมาตรในส่วนบันไดล่างเป็นบวก .....	89
4.1	รูปสามมิติ แสดงรายละเอียดของโครงสร้างรอง .....	90
4.2	โครงสร้างรองตัดแปลง .....	91
4.3	โครงสร้างหลัก และแรงภายในพื้นบันไดบน .....	92

## รูปที่

4.4	แสดงแกนโคออร์ดิเนตรองและโคออร์ดิเนตหลัก .....	93
4.5	แสดงแรงภายใน และการเคลื่อนที่ที่เป็นบวกของพื้นบันไดบนใน โครงสร้างหลัก .....	94
4.6	แรงภายในและการเคลื่อนที่ที่เป็นบวกของพื้นบันไดล่างในโครง- สร้างหลัก .....	95
4.7	การพิจารณาภาวะสมดุลย์ของ "บันได" ส่วนชันพักในโครงสร้าง หลัก เมื่อแรงกระทำและแรงภายในมีทิศเป็นบวก .....	96
4.8	การพิจารณาภาวะสมดุลย์ของ "บันได" ส่วนชันพักในโครงสร้าง หลัก เมื่อรับแรงกระทำ แบบปฏิสมมาตร .....	97
4.9	การเคลื่อนที่ของโครงสร้างหลักก่อนการปรับแก้การเคลื่อนที่ .....	98
4.10	เวกเตอร์นอร์มัลของพื้นบันไดบนและพื้นบันไดล่าง .....	99
4.11	ระนาบการเคลื่อนที่ของจุด 0 เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก แบบปฏิสมมาตร .....	100
4.12	การพิจารณาภาวะสมดุลย์ของ "บันได" ส่วนชันพักในโครงสร้าง หลักเมื่อรับแรงกระทำแบบสมมาตร .....	101
4.13	การเคลื่อนที่ของจุดบนแกนสมมาตร เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก แบบสมมาตร .....	102
5.1	แปลนตำแหน่งของ เกจแบบหน้ามีทมิ .....	103
5.2	แปลนตำแหน่งของ เกจวัดความ เกรียวคชนิดไฟฟ้า .....	104
5.3	การแขวนลวดตลิ่งและการบรรทุกน้ำหนัก .....	105
5.4	อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก .....	106
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ตรง ตำแหน่งของ เกจ แบบหน้ามีทมิหมายเลข 6 .....	107
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการเคลื่อนที่ในแนวราบ ตรง ตำแหน่งของ เกจ แบบหน้ามีทมิหมายเลข 12 .....	108

รูปที่

6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดที่วัดได้ของ เกจวัดความเครียดชนิดไฟฟ้าหมายเลข 23 .....	109
6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความเครียดที่วัดได้ของ เกจวัดความเครียดชนิดไฟฟ้าหมายเลข 24 .....	110
6.5	การกระจายของแรงตามแนวแกน ( $S\bar{Y}$ ) ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดบน เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	111
6.6	การกระจายของโมเมนต์คัต $M\bar{x}$ ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบจำลองรับ น้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดบน เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	112
6.7	การกระจายของโมเมนต์คัตในทิศตั้งฉากระนาบของ พื้นบันไดล่าง ( $M\bar{z}$ ) เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันได บน เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	113
6.8	การกระจายของแรงตามแนวแกน ( $S\bar{Y}$ ) ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนชันพัก เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	114
6.9	การกระจายของโมเมนต์คัต $M\bar{x}$ ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบ จำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนชันพัก เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	115
6.10	การกระจายของโมเมนต์คัตในทิศตั้งฉากระนาบของพื้นบันไดล่าง ( $M\bar{z}$ ) เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนชันพัก เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	116
6.11	การกระจายของแรงตามแนวแกน ( $S\bar{Y}$ ) ในพื้นบันไดล่าง เมื่อ แบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดล่าง เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	117
6.12	การกระจายของโมเมนต์คัต $M\bar{x}$ ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบ จำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดล่าง เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> ...	118
6.13	การกระจายของโมเมนต์คัตในทิศตั้งฉากระนาบของพื้นบันได ล่าง ( $M\bar{z}$ ) เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดล่าง เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	119

รูปที่

6.14	การกระจายของแรงตามแนวแกน ( $S\bar{y}$ ) ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดบนและล่าง เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup> .....	120
6.15	การกระจายของโมเมนต์คัต $M\bar{x}$ ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบ จำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดบนและล่าง เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup>	121
6.16	การกระจายของโมเมนต์คัตในทิศตั้งฉากระนาบของพื้นบันได ล่าง ( $M\bar{z}$ ) เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไดบนและล่าง เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup> .....	122
6.17	การกระจายของแรงตามแนวแกน ( $S\bar{y}$ ) ในพื้นบันไดล่าง เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกเต็มพื้นที่ เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup>	123
6.18	การกระจายของโมเมนต์คัต $M\bar{x}$ ในพื้นบันไดล่าง เมื่อ แบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกเต็มพื้นที่ เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup> ...	124
6.19	การกระจายของโมเมนต์คัตในทิศตั้งฉากระนาบของพื้น บันไดล่าง ( $M\bar{z}$ ) เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนักบรรทุกเต็มพื้นที่ เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup> .....	125
6.20	การเคลื่อนที่ในแนวราบของแบบจำลองเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก บนพื้นบันไดบน เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	126
6.21	การเคลื่อนที่ในแนวราบของแบบจำลองเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก บนชานพัก เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	127
6.22	การเคลื่อนที่ในแนวราบของแบบจำลอง เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก บนพื้นบันไดล่าง เท่ากับ 1600 กก./ม. <sup>2</sup> .....	128
6.23	การเคลื่อนที่ในแนวราบของแบบจำลองเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกบน พื้นบันไดบนและล่าง เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup> .....	129
6.24	การเคลื่อนที่ในแนวราบของแบบจำลอง เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก เต็มพื้นที่ เท่ากับ 1400 กก./ม. <sup>2</sup> .....	130

6.25	การทрудตัวของซานพักและพื้นบันไคล่าง เมื่อแบบจำลองรับ น้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไคบน เท่ากับ 1600 กก./ม <sup>2</sup> .....	131
6.26	การทрудตัวของซานพักและพื้นบันไคล่าง เมื่อแบบจำลองรับ น้ำหนักบรรทุกบนซานพัก เท่ากับ 1600 กก./ม <sup>2</sup> .....	132
6.27	การทрудตัวของซานพักและพื้นบันไคล่าง เมื่อแบบจำลองรับ น้ำหนักบรรทุกบนพื้นบันไคล่าง เท่ากับ 1600 กก./ม <sup>2</sup> .....	133
6.28	การทрудตัวของซานพักและพื้นบันไคล่าง เมื่อแบบจำลองรับน้ำหนัก บรรทุกบนพื้นบันไคบนและล่าง เท่ากับ 1400 กก./ม <sup>2</sup> .....	134
6.29	การทрудตัวของซานพัก และพื้นบันไคล่าง เมื่อแบบจำลอง รับน้ำหนักบรรทุกเต็มพื้นที่ เท่ากับ 1400 กก./ม <sup>2</sup> .....	135

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สัญลักษณ์



- A = พื้นที่หน้าตัดของพื้นบันได
- ds = ความยาวของส่วนย่อย ๆ บนตัวโครงสร้างจำลอง
- E = โมดูลัสของการยืดหยุ่น
- G = โมดูลัสเฉือนของแผ่นพื้น
- $H_l$  = แรงในแนวราบจากที่รองรับจินตภาพของพื้นบันไดล่าง
- $H_u$  = แรงในแนวราบจากที่รองรับจินตภาพของพื้นบันไดบน
- $I\bar{x}_i$  = โมเมนต์ของความเฉื่อยรอบแกน  $\bar{x}$  ของจุด  $i$
- $I\bar{z}$  = โมเมนต์ของความเฉื่อยของหน้าตัดพื้นบันไดรอบแกนตั้งฉากระนาบของพื้นบันได
- J = ค่าคงที่การบิดของพื้นบันได
- $m_i$  = ปริมาณสเกลาร์ (scalar) แสดงทวีคูณของเวกเตอร์นอร์มัลที่ใช้ปรับแก้การเคลื่อนที่ในแบบแผ่นพื้นพับ
- $\{N_1\}$  = เวกเตอร์นอร์มัลของพื้นบันไดบนในระบบแกนหลัก
- $\{N_2\}$  = เวกเตอร์นอร์มัลของพื้นบันไดล่างในระบบแกนหลัก
- P = เวกเตอร์แทนตำแหน่งของจุด P ใด ๆ ในระบบแกนหลัก ก่อนการเคลื่อนที่
- $P'_u$  = เวกเตอร์แทนตำแหน่งของจุด P ใด ๆ เทียบกับพื้นบันไดบนในระบบแกนหลัก หลังปรับแก้การเคลื่อนที่
- $P^{(1)}$  = ค่าโคออร์ดิเนตตามแกน ① ในระบบแกนหลักของจุด P ใด ๆ
- $P'^{(1)}$  = ค่าโคออร์ดิเนตตามแกน ① ในระบบแกนหลักของจุด P ใด ๆ บนรอยตัดระหว่างพื้นบันไดล่างและชานพักหลังปรับแก้การเคลื่อนที่
- $P'^{(1)}_u$  = ค่าโคออร์ดิเนตตามแกน ① ในระบบแกนหลักของจุด P ใด ๆ บนรอยตัดระหว่างพื้นบันไดบนและชานพัก หลังปรับแก้การเคลื่อนที่
- $R_l$  = แรงในแนวตั้งจากที่รองรับจินตภาพของพื้นบันไดล่าง
- $R_u$  = แรงในแนวตั้งจากที่รองรับจินตภาพของพื้นบันไดบน
- $\{R_{ij}\}^{(1)(2)(3)}$  = เมตริกซ์แสดงแรงปฏิกิริยา หรือตัวไม่รู้ค่ากระทำที่จุด  $j$  ในทิศแกนโคออร์ดิเนต ① ② ③ เมื่อพิจารณาที่จุด  $i$

- $R\eta_{ij}, M\eta_{ij}$  = ผลของแรงปฏิกิริยา หรือแรงภายในกระทำที่จุด  $j$  ในทิศของแกน  $\eta$  เมื่อพิจารณาที่จุด  $i$
- $S$  = ความยาวตามแนวแกนของพื้นบันได
- $S^{\textcircled{1}}, M^{\textcircled{1}}$  = แรงภายในและ โมเมนต์ในทิศแกนรอง  $\textcircled{1}$  ของพื้นบันไคล่าง
- $S^{\textcircled{1}}_u, M^{\textcircled{1}}_u$  = แรงภายในและ โมเมนต์ในทิศแกนรอง  $\textcircled{1}$  ของพื้นบันไดบน
- $U$  = พลังงานความเครียด
- $w_f$  = น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอบนพื้นบันได
- $w_l$  = น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอบนชันพัก
- $x'$  = ระยะตามแนว เอียงของพื้นบันไดจากรอยตัดระหว่างพื้นบันไคกับชันพักถึงจุดที่พิจารณา
- $\beta$  = อัตราส่วนระหว่าง โมดูลัส เฌอนต่อโมดูลัสยืดหยุ่น  $\frac{G}{E}$
- $\delta^{\textcircled{1}}_i, \theta^{\textcircled{1}}_i$  = การเคลื่อนที่และการหมุนของหน้าตัดในทิศแกนรอง  $\textcircled{1}$  ของจุด  $i$  บนรอยตัดระหว่างพื้นบันไคล่างและชันพัก
- $\delta^{\textcircled{1}}_u, \theta^{\textcircled{1}}_u$  = การเคลื่อนที่และการหมุนของหน้าตัดในทิศแกนรอง  $\textcircled{1}$  ของจุด  $i$  บนรอยตัดระหว่างพื้นบันไดบนและชันพัก
- $\delta'^{\textcircled{1}}_P$  = การเคลื่อนที่สุทธิของจุด  $P$  บนรอยตัดระหว่างพื้นบันไคและชันพักในทิศของแกนโคออร์ดิเนต  $\textcircled{1}$
- $\{\delta_{Pu}\}$  = เวกเตอร์การเคลื่อนที่ในระบบแกนหลักของจุด  $P$  ใด ๆ เทียบกับพื้นบันไดบน
- $\{\delta_P\}$  = เวกเตอร์การเคลื่อนที่ในระบบแกนหลักของจุด  $P$  ใด ๆ เทียบกับพื้นบันไคล่าง
- $\alpha$  = มุมลาดเอียงของพื้นบันได

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย