ความแข็งแรงของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปในการรับแรงด้านข้าง

นายรักษ์ รักไทยดี

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-862-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013547
i 17086280

STRENGTH OF PRECAST HOLLOW CORE CONCRETE PANELS SUBJECTED TO LATERAL LOADS

Mr. Ruck Ruckthaidee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความแข็งแรงของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปในการรับแรงด้านข้าง
โดย	นายรักษ์ รักไทยดี
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน สักคุณะประสิทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความแข็งแรงของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปในการรับแรงด้านข้าง

ชื่อนิสิต นายรักษ์ รักไทยดี

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2528

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

แผ่นคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปสามารถใช้ประกอบกันเป็นผนังของอาคารได้ เพื่อประหยัดเวลาในการก่อสร้างและยังให้ความแข็งแรงทางโครงสร้างเพื่อรับแรงด้านข้าง แต่เนื่องจากรูปหน้าตัดไม่เท่ากันตลอดเหมือนแผ่นคอนกรีตตันทั่ว ๆ ไป อีกทั้งยังมีรอยต่อระหว่างแผ่นที่ใช้วัสดุก่อที่แตกต่างออกไป จึงไม่สามารถวิเคราะห์อย่างง่าย ๆ ได้ และต้องมีการศึกษาหากำลังและพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของผนังโดยใช้ขนาดเท่าของจริงด้วยวิธีการทดสอบและวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนท์เอเลเมนท์ โดยกำหนดให้ผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปบรรจุในโครงข้อแข็ง เมื่อรับแรงกระทำภายนอกทางด้านข้าง จะถ่ายแรงเข้าผนังที่ผิวสัมผัส แรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงข้อแข็งกับผนังกระทำต่อกันด้วยการกระจายแบบสามเหลี่ยม ในการทดสอบจะแทนแรงกระจายรูปสามเหลี่ยมด้วยแรงเสมือนแบบจุดกระทำต่อผนังโดยตรง ตัวอย่างทดสอบเป็นกำแพงกลวงโดยมีความหนา 10 ซม. ส่วนที่กลวงหนา 5 ซม. ผนังทดสอบจะยาวแตกต่างกัน แต่มีความสูงหลังก่อแล้วเท่ากันคือ 250.5 ซม. ทั้งนี้โดยให้สัดส่วนความยาวต่อความสูงมีค่าระหว่าง 0.60-1.40 ผลการทดสอบพบว่า กำลังของกำแพงจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับการแอ่นตัวและความเครียดภายใน การวิบัติจะเกิดขึ้นจากรอยแตกร้าวตามแนวปูนก่อระหว่างแผ่น และการวิบัติจะเกิดขึ้นแบบกระทันหัน ไม่มีสัญญาณเตือนล่วงหน้า การวิบัติจะเกิดจากการเฉือนผ่านรอยปูนก่อ กำลังของกำแพงจึงขึ้นอยู่กับกำลังการยึดเกาะของแนวปูนก่อเป็นสำคัญ ในการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์ให้กำลังการรับแรงด้านข้างของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปสอดคล้องกับผลการทดสอบเป็นอย่างดี และการวิบัติของผนังในการวิเคราะห์ ชี้บ่งออกมาในรูปของแรงเฉือนตามรอยปูนก่อ เช่นเดียวกับผลการทดลอง

กำลังของผนังจากการทดลอง จะวิเคราะห์อย่างง่ายพบว่า กำลังของผนังรับแรงเฉือนจะมีค่าประมาณ 6 ตัน/เมตร หรือ 6 กก/ซม^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

สำหรับกำแพงตาม ACI 318-83 คือ $(0.87\sqrt{f'_c})/1.5$ เมื่อ f'_c คือกำลังของปูนก่ออายุ 28 วัน และค่าตัวคูณ 1.5 จากหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่แกนสะเทินของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเนื่องจากผนังมีแรงกดควบคู่กับแรงทางข้าง จึงอาจคำนวณกำลังด้วยวิธีประมาณจาก $P_h = C\left[\frac{3.48\sqrt{f'_c}\ Lt\ (\frac{L}{H})}{6(\frac{L}{H})-1}\right]$ และการเปลี่ยนรูปร่างทางแนวราบสูงสุด $\Delta_h = \frac{P_h}{(0.09(\frac{L}{H})+0.094)Et}$ ทั้งนี้เมื่อ P_h คือกำลังรับแรงในแนวราบของผนัง (กก) C คือแฟคเตอร์ลดกำลังเนื่องจากคุณภาพฝีมือมีค่าระหว่าง 0.60-0.75 L และ H คือความยาวและความสูงของผนัง (ซม) t คือความหนาหน้าตัดรวม (ซม) Δ_h คือค่าการเปลี่ยนรูปร่างทางแนวราบสูงสุด (ซม) และ E คือโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (กก/ซม^2)

ผลการทดสอบเปรียบกับพยากรณ์โดยใช้สูตรของ Benjamin และ William ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้พื้นฐานการวิบัติด้วยแรงเฉือนที่รอยต่อ ให้ค่าสอดคล้องกับผลการทดสอบ โดยมีความแตกต่างประมาณ 25 % และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรของ Turnsek, Cacovic และสูตรของเอนก ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้พื้นฐานการวิบัติด้วยหน่วยแรงดึงหลัก จะให้ค่าสูงกว่าประมาณ 16-77 % และ 70-220 % ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นความแตกต่างมากสำหรับการวิเคราะห์โดยพื้นฐานการวิบัติที่หน่วยแรงดึง สืบเนื่องจากการวิบัติของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปแตกต่างออกไปจากกำแพงก่ออิฐตันโดยที่การวิบัติจะเป็นการเฉือนผ่านปูนก่อแทนที่จะเป็นแรงดึงทะแยง

การวิจัยนี้ได้ตรวจสอบเสถียรภาพพบว่า ไม่มีการโก่งเดาะแต่อย่างใด ไม่ว่าจะเพียงเฉพาะส่วนบางของผนังหรือทั้งแผง อีกทั้งในแนวดิ่ง แนวราบและแนวทะแยง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title Strength of Precast Hollow Core Concrete Panels Subjected to Lateral Loads

Name Mr. Ruck Ruckthaidee

Thesis Advisor Associate Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1985

ABSTRACT

Hollow core precast panels are introduced in building construction for time saving in erection and providing lateral stiffness to the Structure. The strength and behavior are quite complicated for analyses due to non-uniform cross-section and different in properties of mortar joint. The objective of this research is to focus on strength and behavior of the wall panel subjected to lateral loading by means of full scale testing and finite element analysis. Four wall panels made of hollow core precast were tested in this program. The test wall panels were kept at constant height of 250.5 cm. and the length were varied to give the ratio of length to height of 0.6 to 1.4. Since the interaction forces between infill and the frame are assumed to be triangular distribution on contact surfaces, equivalent concentrated loads are applied onto the test specimens by hydraulic jacks. Various measurements have been made such as loads, panel displacements, nodal strains, and lateral movement.

The load-deflection curves as well as the load-strain curves are quite typical as straight lines with slightly deformation or strains. Mode of failure is the same in all test specimens as shear bond through mortar joint between the precast panels. The minimum strengths were obtained about 6 ton/m or 6 kg/cm^2. In analysis, the finite element method showed good agreement with the test results, especially, for the

maximum loads, but the deformation from the prediction is relatively lower than that from the tests. The mode of failure is also well agreeable between the analysis and the test.

On the basis of shear strength recommended by ACI 318-83 for wall structure may be taken as $(0.87\sqrt{f'_c})/1.5$ where f'_c is substituted by compressive strength of mortar at age 28 days. The factor of 1.5 is used due to the maximum shearing stress at neutral axis as considered. The horizontal strength of wall panels can be approximately estimated by $P_h = C\left[\frac{3.48\sqrt{f'_c}\ Lt\ (\frac{L}{H})}{6(\frac{L}{H})-1}\right]$ and the maximum horizontal deformation can be calculated as $\Delta_h = \frac{P_h}{Et(0.09(\frac{L}{H})+0.094)}$ where C is a reduction factor due to the workmanship, 0.60-0.75 L and H are length and height of wall panels (cm), respectively t is the wall thickness (cm) and E is the concrete modulus of elasticity (kg/cm^2). The test results compared to the prediction by Benjamin and William are found to be 25 % different. They seems to agree each other since the analysis base on the same principle of shear strength of mortar joint. The predictions by Turnsek and associate, and Anake which analysed on the basis of principal tensile stress are found to be far away from the test results. The discripencies are about 16-77 % different from Turnsek's prediction and about 70-220 % different from Anake's prediction. It should be noticed that the discripencies are due to the mode of failure and also about the panel cross-section. The stability problem are evidently shown that buckling never occur in either each element or the whole panel and also in vertical, horizontal or even diagonal directions.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในขณะทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้กรุณาแก้ไขและตรวจวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ และรองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการใช้โปรแกรมไฟไนท์เอเลเมนท์ และขอขอบพระคุณ คุณเอนก ชมวงษ์ ที่เอื้อเฟื้อให้ยืมโปรแกรมไฟไนท์เอเลเมนท์และพร้อมคู่มือการป้อนข้อมูล

อนึ่ง ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท ซีคอน จำกัด ที่ได้กรุณาให้ทุนวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความร่วมมือช่วยเหลือจนการทดสอบสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รักษ์ รักไทยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ญ

รายการตารางประกอบ ..... ฏ

รายการรูปประกอบ ..... ท

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 บทนำทั่วไป 1

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

1.3 การศึกษาวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎี 6

2.1 พฤติกรรมว่าด้วยผิวสัมผัสระหว่างโครงข้อแข็งกับผนัง 6

2.2 หน่วยแรงภายในของผนัง 10

2.3 ทฤษฎีผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปรับแรงเฉือน 12

2.4 การวิเคราะห์ผนังด้วยวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์ 15

2.5 การเปลี่ยนรูปร่างของผนังบรรจุในโครงข้อแข็ง 18

2.6 พิจารณาการโก่งเดาะของผนังคอนกรีตในการรับแรงด้านข้าง .. 20

2.7 พื้นที่ประสิทธิผลของค้ำยันเสมือนในผนังคอนกรีต 23

บทที่ 3 การทดสอบ 25

3.1 ตัวอย่างทดสอบ 25

3.2 การดำเนินการทดสอบ 26

3.3 การทดสอบผนังคอนกรีตในการรับแรงด้านข้าง 27

3.4 การทดสอบกำลังอัดของแผ่นคอนกรีตกลวง 31

3.5 การทดสอบหาแรงเฉือนของรอยต่อระหว่างปูนก่อกับแผ่นตัวอย่าง . 31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	33
4.1 พฤติกรรมและกำลังของผนังในการรับแรงด้านข้าง ...	33
4.2 การกระจายหน่วยแรงในผนัง	34
4.3 สูตรคำนวณกำลังอย่างง่าย	36
4.4 สติฟเนสของผนังคอนกรีต	42
4.5 การโก่งเดาะของผนังคอนกรีต	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	43
เอกสารอ้างอิง	46
ประวัติผู้เขียน	153

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง $(\frac{L}{H})$ และค่าคงที่ 52-

3.1 แสดงส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้หล่อแผ่นผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป ... 53

3.2 การทดสอบหาหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้หล่อผนัง 53

3.3 การทดสอบหาหน่วยแรงอัดประลัยของปูนก่อยาแนว 54

3.4 แสดงขนาดผนังคอนกรีต CW 54

3.5 แสดงตำแหน่งของแผ่นฟิลม์วัดความเครียดที่ติดบนผนังคอนกรีตทั้ง 4 ... 55

3.6 แสดงระยะการเคลื่อนของผนังทั้ง 4 แผงกับแรงที่วัดได้ก่อนผนังจะวิบัติ .. 56

3.7 แสดงค่าความเครียดบนผนังทดสอบ CW1-CW4 57

3.8 แสดงการหาค่าหน่วยแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ CS1-CS3 59

3.9 แสดงการหาค่าหน่วยแรงเฉือนของรอยต่อระหว่างปูนก่อกับแผ่นตัวอย่าง .. 59

4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของผนังระหว่างผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ 60

4.2 แสดงการหาค่าการโก่งตัวในแนวราบสูงสุดของผนัง 61

4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนท์ 62

4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากเกจไฟฟ้ากับค่าผลการวิเคราะห์ 63

4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยตลอดแนวทะแยงมุมกับค่าที่กลางผนัง 65

4.6 แสดงการหาค่าความเครียดตลอดแนวทะแยงมุมของเกจไฟฟ้า ... 66

4.7 แสดงค่าหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดบนผนังที่จุดวิบัติในผนังทดสอบ ... 68

4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตร Benjamin และ William . 69

4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตร Turnsek และ Cacovic . 70

4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตร เอนก 71

4.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตรคำนวณอย่างง่าย พิจารณาการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน 72

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

4.12 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตรคำนวณอย่างง่าย พิจารณาการวิบัติเนื่องจากแรงดึง 73

4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าสติฟเนสของผนัง 74

4.14 แสดงค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุมที่จุดวิบัติ 75

4.15 แสดงการหาค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุมที่จุดวิบัติ 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

1.1 จุดตัดกลับของพอร์ทอลเฟรม เมื่อรับแรงด้านข้าง 77

1.2 แทนแรงกระทำรูปสามเหลี่ยมด้วยแรงแบบจุด 78

2.1 คานวางบนพื้นอีลาสติกรับแรงดัดและแรงเฉือนที่จุด a 79

2.2 แสดงการ Superposition ของเส้นอีลาสติก 79

2.3 แสดงแรงที่เกิดขึ้นในโครงข้อแข็งของตึกสูงชั้นกลาง ๆ 80

2.4 แสดงการแอ่นตัวของเสาจากมุมต่อคานและเสาถึงกึ่งกลางเสา ... 81

2.5 แสดงแรงปฏิสัมพันธ์ที่ผนังกระทำต่อโครงข้อแข็งเป็นรูปสามเหลี่ยม ... 82

2.6 แสดงพฤติกรรมของแรงที่โครงข้อแข็งกระทำต่อผนัง 82

2.7 พิจารณาหน่วยแรงบนชิ้นส่วนเล็ก ๆ ในโครงสร้างใด ๆ 2 มิติ ... 83

2.8 แสดงหน่วยแรงเฉือนซึ่งประกอบด้วยหน่วยแรงเฉือนโดยตรงกับหน่วยแรงเฉือน เนื่องจากหน่วยแรงกดทับ 84

2.9 แสดงความสัมพันธ์ของ $\frac{\sigma_x}{\tau_{xy}}$ และ $\frac{\sigma_y}{\tau_{xy}}$ เทียบกับสัดส่วน $\frac{L}{H}$ 85

2.10 แสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมไฟไนท์เอเลเมนท์ 86

2.11 แสดงการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในผนังตามวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์ 88

2.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือน 92

2.13 แสดงการเปลี่ยนรูปร่างของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปด้วยการเฉือน .. 92

2.14 เสายาวเมื่อรับแรงกดจะเกิดการโก่งตัว 93

2.15 แสดงหน้าตัดของผนังเพื่อใช้พิจารณาการโก่งเดาะ 94

2.16 แสดงแบบจำลองของตัวค้ำยันเสมือนในผนังคอนกรีตบรรจุในโครงข้อแข็ง .. 95

2.17 แสดงการหาคำการยึดหดตัวของค้ำยันเสมือน 96

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.1 รายละเอียดหน้าตัดของแผ่นผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป 97

3.2 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต 98

3.3 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของปูนก่อ 101

3.4 แสดงขนาดและรูปร่างของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป 103

3.5 การติดตั้งแผ่นคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป 3 ชั้น 105

3.6 ลักษณะของแผ่นผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปหลังจากยาแนวแล้วเสร็จ ... 106

3.7 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบการรับแรงด้านข้างของผนังคอนกรีตกลวง ... 107

3.8 ตำแหน่งการติดตั้งเกจวัดการเปลี่ยนรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ 108

3.9 ตำแหน่งการติดตั้งเกจวัดความเครียดทั้งแบบไฟฟ้าและเชิงกล 109

3.10 การบรรทุกน้ำหนักด้วยแม่แรงไฮดรอลิค 110

3.11 แสดงการวัดค่าการโก่งตัวของผนัง 111

3.12 แสดงรอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตกลวงหลังการวิบัติ 112

3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวดิ่งและค่าการโก่งตัวของผนังทดสอบ .. 116

3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวดิ่งและค่าความเครียดของผนังทดสอบ
CW1 119

3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวดิ่งและค่าความเครียดของผนังทดสอบ
CW2 120

3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวดิ่งและค่าความเครียดของผนังทดสอบ
CW3 122

3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวดิ่งและค่าความเครียดของผนังทดสอบ
CW4 124

3.18 แสดงการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปรับแรงอัด 126

3.19 แสดงลักษณะการวิบัติของแผ่นตัวอย่าง CS1-CS3 127

3.20 การติดตั้งเครื่องมือเพื่อทดสอบหาแรงเฉือนของรอยต่อระหว่างปูนทรายกับแผ่น
คอนกรีตกลวงสำเร็จรูป 128

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่		
3.21	แสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ SS	129
4.1	แสดงการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของผนัง	130
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการโก่งตัวสูงสุดกับสัดส่วน $\frac{L}{H}$ ..	133
4.3	แสดงลักษณะการอัดปูนทรายไม่เต็มหน้าตัดของผนังทดสอบ ..	134
4.4	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW1	135
4.5	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW2	136
4.6	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW3	138
4.7	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW4	140
4.8	ความเครียดวัดในแนวทะแยงมุมตามแนวแรงของผนังทดสอบ ..	141
4.9	แสดงเส้นระดับของหน่วยแรงหลักในผนังทดสอบ	146
4.10	แสดงหน่วยแรงเฉือนที่รอยต่อใกล้แรงกระทำ	150
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยกับสัดส่วนความยาวต่อความสูง	151
4.12	แสดงการเปรียบเทียบค่าสติฟเนสของผนัง	152

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย