248489

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

248489

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในแนวราบของ Shear Connector ที่เป็นเหล็กเส้นกลม ในคานเหล็กเชื่อประกอบประสมกับพื้นคอนกรีตอัดแรงรูปแบบกลม

นายศิลกิจ ไทยดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b00253995

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248489

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในแนวราบของ Shear Connector ที่เป็นเหล็กเส้นกลม ในคานเหล็กเชิงประกอบประเภทใช้แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแบบกลวง

นายศักดินะ ไทยลา วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.อานนท์ วงษ์แก้ว)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.อภินัติ อัชกุล)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์)

..... กรรมการ
(ดร.ธีระวุฒิ มูฮำหมัด)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในแนวราบของ Shear Connector ที่เป็นเหล็กเส้นกลมในคานเหล็กเชิงประกอบประเภทใช้แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแบบกลวง
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายศักดินะ ไทยลา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อภินัติ อัชกุล
	ผศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

218489

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของเหล็ก Shear Connector ที่เป็นเหล็กเส้นกลมในคานเหล็กเชิงประกอบกับแผ่นพื้นชนิดคอนกรีตสำเร็จรูปแบบกลวง โดยทำการทดสอบตัวอย่างซึ่งจัดเตรียมตามมาตรฐาน EC4 จำนวน 12 ตัวอย่าง ด้วยวิธีแบบ Push-off ตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นกลม กำลังอัดของคอนกรีตทับหน้า ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป และระยะห่างระหว่างแผ่นพื้น

ผลการทดสอบพบว่าการเลือกใช้ขนาดของ Shear Connector และกำลังอัดของคอนกรีตทับหน้าจะต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือการประยุกต์ใช้เหล็ก DB12 เป็น Shear Connector ควรใช้กับคอนกรีตทับหน้าที่มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 25 MPa เนื่องจาก Shear Connector DB12 จะรับแรงถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าว การใช้คอนกรีตทับหน้ากำลังอัดสูงกว่า 25 MPa ไม่มีผลต่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของ Shear Connector ที่เป็นเหล็ก DB12 สำหรับกรณีต้องใช้กำลังอัดของคอนกรีตทับหน้าสูงกว่า 25 MPaเช่น 28 MPa ควรเพิ่มขนาด Shear Connector เป็น DB16 เพื่อที่จะเพิ่มค่ากำลังรับแรงเฉือนของ Shear Connector ให้สัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีตทับหน้าที่สูงขึ้น การเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปจะส่งผลให้ Shear Connector ยาวขึ้นและมีอัตราส่วนความชะลูดมากขึ้นทำให้เหล็ก Shear Connector เสียรูปมากขึ้นและมีค่ากำลังรับแรงเฉือนลดลง

248189

การเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนที่คำนวณได้จากสมการจากงานวิจัยของ Limwuttigraijirat สมการจากงานวิจัยของ Lam สมการในข้อกำหนดของ AISC และสมการของมาตรฐาน EC4 และ BS5950 พบว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนที่คำนวณได้จากสมการของข้อกำหนด AISC มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบมากจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังรับแรงเฉือน สำหรับการเปรียบเทียบค่าจากการทดสอบกับสมการในงานวิจัยของ Lam และสมการของมาตรฐาน EC4 และ BS5950 ค่าที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ใช้เหล็ก DB12 ส่วนกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากสมการในงานวิจัย Limwuttigraijirat มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้

คำสำคัญ : อุปกรณ์ต้านทานแรงเฉือน / ระยะห่างระหว่างแผ่นพื้น / แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบกลวง / เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต/ การทดสอบแรงกด

Thesis Title	Horizontal Shear Capacity of Reinforcing Steel Bars as Shear Connector in Composite Steel Beam with Precast Concrete Hollow Core Floor Slabs
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Sakdina Thaila
Thesis Advisor	Dr. Aphinat Ashakul
	Asst. Prof. Dr. Sutat Leelataviwat
Program	Master of Engineering
Field of Study	Civil Engineering
Department	Civil Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2554

Abstract

This research presents the shear capacity of reinforcing steel bars as shear connectors in a composite steel beam with precast concrete hollow core slabs. Twelve vertical push-off component tests based on EC4 were carried out with various reinforcing steel bar diameters, in situ concrete strengths, hollow core slab thicknesses and gap widths.

Test results showed that selection of concrete compressive strength and diameter of shear connectors had to be correlated. The application of DB12 as a shear connector should be with concrete with compressive strength of 25 MPa. Use of concrete compressive strength higher than 25 MPa did not increase shear strength of a DB12 shear connector. To increase the shear strength of a shear connector in relation to a higher compressive strength of concrete, application of DB16 as a shear connector should be with concrete with compressive strength of 28 MPa. Increase of slab thickness directly increased slenderness ratio and deformation of shear connectors, which resulted in decrease of shear strength of the connectors.

The shear strength obtained from tests were compared with the values obtained from using equations provided by AISC specification, EC4, BS5950, and Limwuttigraijirat's and Lam's research. It was found that the shear strength calculated from the AISC equation was higher than the test result, while values calculated from Lam's EC4 and BS5950 standard equations were close to those

218189

218189

obtained from tests, especially specimens with DB12. The shear strength calculated from the equation of Limwuttigraijirat was found to be close to the test value the most; therefore, the equation might be applied in practice.

Keywords : Shear Connector / Gap / Hollow core / Reinforcing steel bars / Push-off test

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาของบุคคลและหน่วยงานดังต่อไปนี้ที่กรุณาให้แนวคิด คำแนะนำและสนับสนุนวัสดุที่ใช้ในการทำงานวิจัยตลอดจนความช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ดร. อภินัติ อัชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณกรรมการสอบทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ขอขอบคุณ บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเหล็กรูปพรรณ และบริษัท วงศ์ชัย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนแผ่นพื้นสำเร็จรูป Hollow Core สำหรับใช้ในการทำงานวิจัย

และขอขอบคุณคณะเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ และขอขอบคุณพี่ๆ และ เพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในช่วงระหว่างการทดสอบ และขอขอบคุณ พ่อ แม่ และพี่ๆ ที่ให้กำลังใจและดูแลเอาใจใส่มาตลอดจนถึงวันนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยนี้จะช่วยเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจ และสามารถพัฒนาเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตสำหรับ Shear Connector ในคานเหล็กเชิงประกอบให้ประยุกต์ใช้ได้จริงในอนาคตต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตาราง	ฌ
รายการรูปประกอบ	ฎ
รายการสัญลักษณ์	ฒ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ด

บทที่

1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 กำลังรับแรงเฉือนของ Shear Stud ตามมาตรฐานสากล	4
2.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	5
3. วิธีการทดสอบ	**25**
3.1 วิธีการทดสอบ	25
3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	26
3.3 การทดสอบวัสดุ	28
3.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดสำหรับการทดสอบ Push off	29
4. ผลการทดสอบและอภิปรายผล	**30**
4.1 ผลการทดสอบวัสดุ	30

4. ผลการทดสอบและอภิปรายผล (ต่อ)

4.2 ผลการทดสอบแรงกด (Push off Test) 31

4.3 อภิปรายผลการทดสอบ 33

4.4 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของเหล็ก Shear Connector กับสมการมาตรฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 38

5. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ **47**

5.1 สรุปผลการทดสอบ 47

5.2 ข้อเสนอแนะ 48

เอกสารอ้างอิง **49**

ภาคผนวก **51**

ก. ผลการทดสอบ Push-off 51

ข. ตัวอย่างรายการคำนวณหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของ Shear Connector 113

ค. รูปขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบ 117

ประวัติผู้วิจัย **126**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 ค่ากำลังรับแรงเฉือนของ Shear Stud (kN) ตามมาตรฐาน BS5950 5

2.2 ข้อมูลตัวอย่างทดสอบในการศึกษาของ Lam และคณะ 6

2.3 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของ Shear Stud จากการทดสอบและสมการมาตรฐาน BS5950 และ EC4 ในการศึกษาของ Lam และคณะ 9

2.4 ข้อมูลตัวอย่างทดสอบในการศึกษาของ Lam และคณะ 10

2.5 ตัวแปรหลักที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ โดยLam 12

2.6 ตัวแปรที่ใช้ประมวลผลในการศึกษาของ Ellobody และ Young 15

2.7 ข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของ Shear Stud ในการศึกษาของ Limwuttigraijirat 19

2.8 ข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของเหล็กเสริมคอนกรีตในการศึกษาของ Limwuttigraijirat 19

2.9 ผลการทดสอบ Push-out ในการศึกษาของ Limwuttigraijirat 20

2.10 ข้อมูลตัวอย่างทดสอบแบบ Component ในการศึกษาของ Easterling และคณะ 22

2.11 ข้อมูลตัวอย่างทดสอบแบบ Full Scale ในการศึกษาของ Easterling และคณะ 23

3.1 ข้อมูลตัวอย่างการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของ Shear Connector 26

4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตและกำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กเส้น 30

4.2 ผลการทดสอบ Push-off 31

4.3 ค่า Strain ที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบตัวอย่าง 32

4.4 ผลเนื่องจากการเปลี่ยนขนาด Shear Connector 34

4.5 ผลเนื่องจากการเปลี่ยนกำลังอัดของคอนกรีตทับหน้า 35

4.6 ผลเนื่องจากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแผ่นพื้น 36

4.7 ผลเนื่องจากการเปลี่ยนความหนาของแผ่นพื้นสำเร็จรูป 37

4.8 กำลังรับแรงเฉือนของ Shear Connector จากการทดสอบเปรียบเทียบกับการคำนวน 38

ก.1 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง RB9-25-70-HC150 52

ก.2 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB12-25-50-HC100 56

ก.3 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB12-25-70-HC100 59

ก.4 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB12-25-100-HC100 64

ก.5 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB12-28-70-HC100 69

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ก.6 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB16-25-70-HC100 75
ก.7 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB16-28-70-HC100 81
ก.8 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB12-25-70-HC150 86
ก.9 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB12-28-70-HC150 92
ก.10 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB16-25-70-HC150 97
ก.11 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB16-28-70-HC150 101
ก.12 ผลการทดสอบ Push-off สำหรับตัวอย่าง DB16-28-70-HC100* 107

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

1.1 Shear Connector แบบต่าง ๆ 1

1.2 รูปตัดแสดงการเสริมเหล็กของพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปและคานเหล็กรูปพรรณ 2

2.1 รายละเอียดการเตรียมตัวอย่างทดสอบในการศึกษาของ Lam และคณะ 7

2.2 กำลังรับแรงเฉือนของ Shear Stud เทียบกับระยะห่างระหว่างแผ่นพื้นในการศึกษาของ Lam และคณะ 8

2.3 รายละเอียดเหล็กเสริมตามขวางและประเภทของขอบพื้นสำเร็จรูปในการศึกษาของ Lam 11

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อระยะการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบในการศึกษาของ Lam 12

2.5 ตัวอย่างทดสอบวิบัติโดยคอนกรีตทับหน้าในการศึกษาของ Lam 14

2.6 ชนิดของ Steel Sheeting ในการศึกษาของ Ellobody และ Young 17

2.7 ผลเนื่องจากกำลังอัดของคอนกรีตภายใต้พฤติกรรม Load-Slip ของ Shear Stud ในกลุ่มที่ 5 ในการศึกษาของ Ellobody และ Young 18

2.8 การเตรียมตัวอย่างทดสอบในการศึกษาของ Limwuttigraijirat 19

2.9 การเตรียมตัวอย่างทดสอบแบบ Component ในการศึกษาของ Easterling และคณะ 21

1.10 การวางตำแหน่งของ Shear Stud ในการศึกษาของ Easterling และคณะ 22

2.11 การติดตั้ง loading frame ในการศึกษาของ Easterling และคณะ 23

2.12 ตำแหน่งการติดตั้ง Strain Gage ในการศึกษาของ Easterling และคณะ 23

3.1 รายละเอียดตัวอย่างการทดสอบแรงกดตามมาตรฐาน EC4 25

3.2 รูปแบบการเชื่อมเหล็ก Shear Connector 27

3.3 ตำแหน่ง และตัวอย่างการติด Strain Gages แบบเชื่อมพอก 27

3.4 ตำแหน่ง และตัวอย่างการติด Strain Gages แบบที่ดัดเหล็กให้มีส่วนยื่นสำหรับเชื่อมพอก 28

3.5 การประกอบไม้แบบหล่อคอนกรีต 28

3.6 การทดสอบ Push-off โดยใช้ Load Frame 29

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.1 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำ กับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB16-28-70-HC100 33

4.2 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ (P_{test}) และกำลังรับแรงเฉือนจากงานวิจัยของ Lam และคณะ (P_{Lam}) 39

4.3 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ (P_{test}) และกำลังรับแรงเฉือนจากงานวิจัยของ Limwuttigraijirat ($P_{Limwuttigraijirat}$) 31

4.4 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ (P_{test}) และกำลังรับแรงเฉือนจากสมการข้อกำหนด AISC (P_{AISC}) 42

4.5 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ (P_{test}) และกำลังรับแรงเฉือนจากสมการมาตรฐาน EC4 (P_{EC4}) 44

4.6 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ (P_{test}) และกำลังรับแรงเฉือนจากสมการมาตรฐาน BS5950 (P_{BS5950}) 45

ก.1 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง RB9-25-70-HC150 52

ก.2 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง RB9-25-70-HC150 55

ก.3 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB12-25-50-HC100 56

ก.4 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB12-25-50-HC100 58

ก.5 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB12-25-70-HC100 59

ก.6 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB12-25-70-HC100 63

ก.7 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB12-25-100-HC100 64

ก.8 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB12-25-100-HC100 68

ก.9 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB12-28-70-HC100 69

ก.10 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB12-28-70-HC100 74

ก.11 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB16-25-70-HC100 75

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป หน้า

ก.12 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB16-25-70-HC100 80
ก.13 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB16-28-70-HC100 81
ก.14 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB16-28-70-HC100 85
ก.15 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB12-25-70-HC150 86
ก.16 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB12-25-70-HC150 91
ก.17 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB12-28-70-HC150 92
ก.18 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB12-28-70-HC150 96
ก.19 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB16-25-70-HC150 97
ก.20 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB16-25-70-HC150 100
ก.21 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB16-28-70-HC150 101
ก.22 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB16-28-70-HC150 106
ก.23 ตำแหน่งการติด Strain Gage ตัวอย่าง DB16-28-70-HC100* 107
ก.24 ความสัมพันธ์ของค่า Strain และแรงกระทำเทียบกับระยะการเคลื่อนตัว ของตัวอย่าง DB16-28-70-HC100* 112
ข.1 ความยาวรอยเชื่อมของเหล็ก Shear Connector 114
ค.1 เตรียมแผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบกลวง 118
ค.2 ตัดเหล็กรูปพรรณให้ได้ขนาด 118
ค.3 ดัดเหล็ก Shear Connector 119
ค.4 เชื่อมเหล็ก Shear Connector ติดกับคานเหล็กรูปพรรณ 119
ค.5 ติด Strain Gages ที่บริเวณผิวของเหล็ก Shear Connector 120
ค.6 การเข้าแบบหล่อคอนกรีต 120
ค.7 หล่อคอนกรีต 121

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

ค.8 เก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน 121
ค.9 ถอดแบบหล่อเมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด 2 วัน 122
ค.10 บ่มชื้นคอนกรีตอย่างน้อย 7 วัน 122
ค.11 นำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ 123
ค.12 การติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) 123
ค.13 ลักษณะการแตกร้าวของตัวอย่างทดสอบ 124
ค.14 ลักษณะการเสียรูปของเหล็ก Shear Connector 125

รายการสัญลักษณ์

A_{sc}, A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของ Shear Stud
A_{steel}	=	พื้นที่หน้าตัดของคานเหล็กรูปพรรณ
α_e	=	อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กรูปพรรณและคอนกรีต เท่ากับ E_s / E_c
b_o	=	ความกว้างเฉลี่ยระหว่าง b_1 และ b_2 (ดูรูปที่ 2.11)
d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์ของ Shear Stud
d_p	=	ความหนาของแผ่นพื้นสำเร็จรูป
D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (cm)
	=	ความลึกของคานเหล็กรูปพรรณ
E_c	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (N/mm^2)
E_{cp}	=	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทับหน้าและคอนกรีตสำเร็จรูป (N/mm^2)
E_s	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคานเหล็กรูปพรรณ
$f_c^{'}$	=	กำลังอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอก (N/mm^2)
$f_c^{'}$	=	กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทดสอบคานเหล็กเชิงประกอบ
f_{cp}	=	กำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยระหว่างคอนกรีตทับหน้าและคอนกรีตสำเร็จรูป (N/mm^2)
f_{ct}	=	กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเท่ากับ $0.36\sqrt{f_{cu}}$
f_{cu}	=	กำลังอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอก (N/mm^2)
$f_t^{'}$	=	หน่วยแรงดึงประสิทธิผล (N/mm^2) มีค่าเท่ากับ $A_s f_y / A_c$
f_u, F_u	=	กำลังรับแรงดึงประลัยของ Shear Stud (N/mm^2)
f_y	=	กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริมแนวขวาง
F_{flange}	=	คือแรงในแนวแกนกระทำต่อปีกคานเหล็กรูปพรรณ
g	=	ระยะห่างระหว่างแผ่นพื้น (Gap)
h	=	ความสูงของ Shear Stud
h_p	=	ความสูงของร่อง Profiled Steel Sheeting
h_r	=	ความสูงของหนึ่งร่องของแบบเหล็กหล่อพับ
H_r	=	ความยาวของ Shear Stud หลักจากเชื่อมแล้วเสร็จ
N	=	จำนวนของ Shear Stud ในหนึ่งร่องของ Profiled Steel Sheeting
N_r	=	จำนวนของ Shear Stud ในหนึ่งร่องของแบบเหล็กหล่อพับ
p_r	=	ค่าความเค้นในเหล็กเสริมแนวขวาง
P_u	=	แรงเฉือนประลัยของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (kg)

ρ	=	อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมแนวขวางต่อคอนกรีต
ϕ	=	ขนาดเหล็กเสริมในแนวขวาง
Q_{po}	=	กำลังต้านทานของ Shear Stud
r_1	=	ตัวคูณลดกำลัง Shear Stud
μ	=	ค่าคงที่แรงเสียดทาน เท่ากับ 0.8
w	=	น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน
	=	ความกว้างของแผ่นพื้นสำเร็จรูป
w_r	=	ความกว้างเฉลี่ยในหนึ่งร่องของแบบเหล็กหล่อพับ
γ_m	=	Partial Safety Factor เท่ากับ 1.15

ประมวลศัพท์และคำย่อ

cm	=	centimeter
DB	=	Deformed Bar
HC	=	Hollow Core
kg	=	kilogram
kips	=	kilopound
kN	=	kilo Newton
ksi	=	kilopound per square inch
LVDT	=	Linear Variable Differential Transformer
m	=	meter
mm	=	millimeter
mm^2	=	square millimeter
N/mm	=	Newton per millimeter
N/mm^2	=	Newton per square millimeter
RB	=	Round Bar
SG	=	Strain Gages
SCF	=	Shear Connector Failure
UTM	=	Universal Testing Machine
$\mu\varepsilon$	=	micro strain
VCS	=	Vertical Concrete Splitting