

พฤติกรรมการรับแรงดัดของพื้นแผ่นเหล็กประกอบที่เพิ่ม Perfobond Rib ต้านแรงเฉือน

Behavior of Composite Steel Deck Floor with Perfobond Rib as Shear Connector under Bending

นพดล ชุมวิโรจน์^{1*}, รองศาสตราจารย์ตระกูล อร่ามรักษ์², ศาสตราจารย์ต่อกุล กาญจนาลัย³

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Noppadon20@hotmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, Ph.D

fengtka@ku.ac.th

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, Ph.D

fengtkkc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบพื้นแผ่นเหล็กประกอบได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ในอาคารโครงสร้างเหล็ก โดยคุณสมบัติของแผ่นเหล็กจะเป็นทั้งไม้แบบและเสริมกำลังของพื้น ความสามารถในการรับน้ำหนักของพื้นแผ่นเหล็กประกอบขึ้นอยู่กับความสามารถในการต้านแรงเฉือนระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต เมื่อเกิดการเคลื่อนตัวระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีตทำให้พื้นแผ่นเหล็กประกอบสูญเสียกำลัง การศึกษานี้เป็นวิธีการทดสอบเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านแรงเฉือนของพื้นแผ่นเหล็กประกอบ โดยใช้ตัวต้านแรงเฉือนหรือ Perfobond Rib ยึดติดกับพื้นแผ่นเหล็กประกอบ ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การประสานกันระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีตของพื้นแผ่นเหล็กประกอบปกติ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.20-0.27 เมื่อมีการเพิ่มตัวต้านแรงเฉือนพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การประสานมีค่าอยู่ระหว่าง 0.40-0.55 และพื้นแผ่นเหล็กประกอบสามารถรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นถึง 60 เปอร์เซ็นต์ การเคลื่อนตัวระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีตที่จุดประลัยมีค่าลดลง 50-60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับพื้นแผ่นเหล็กประกอบปกติ และทำให้พื้นแผ่นเหล็กประกอบมีคุณสมบัติดีขึ้น

ABSTRACT

Composite steel deck floor systems are popular extensively in steel structural building. The property of the steel deck is will both of the formwork wood and reinforce of the slab. The ability in taking weight of composite steel deck floor is depend on the ability in shear resisting between the steel deck and the concrete. When be born slip between the steel deck and the concrete make composite steel deck floor are to lose. This study is the method enhances the

* ผู้ติดต่อหลัก (Corresponding author)

ability in shear resistance of composite steel deck floor by enhance shear resistance or Perfobond Rib adhere to with composite steel deck floor. From the result that the integration coefficient value between the steel deck and the concrete of normal composite steel deck floor between 0.20-0.27 when there is increase shear resistance meet that the integration coefficient value between 0.40-0.55 and composite steel deck floor can take the capacity to increase arrive at 60 the percent. The end slip between the steel deck and the concrete that the ultimate are valuable down 50-60 the percent when compare with normal composite steel deck floor and increase quality.

คำสำคัญ: Composite steel deck floor, Steel Deck, Longitudinal shear, Perfobond Rib shear connector.

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบพื้นแผ่นเหล็กประกอบที่ประกอบด้วยแผ่นเหล็ก (Steel deck) กับคอนกรีตได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในระบบโครงสร้างอาคารในปัจจุบัน โดยระบบของพื้นแผ่นเหล็กประกอบจะมีข้อดี 3 อย่าง เมื่อเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete slab) ประการแรกคือ แผ่นเหล็กจะเป็นแม่แบบของพื้นในการเทคอนกรีต ประการที่สอง แผ่นเหล็กจะทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ประการที่สามคือรูปร่างของแผ่นเหล็กสามารถลดปริมาณคอนกรีตได้ถึง 15-30 เป็นเซ็น ซึ่งทำให้น้ำหนักของโครงสร้างลดลง

การถ่ายแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กสามารถทำได้โดยการทำให้แผ่นเหล็กมีปุ่มนูน (Embossments) ขึ้นมา ซึ่งปุ่มนูนนี้จะเป็นตัวทำหน้าที่ยึดแผ่นเหล็กกับคอนกรีตติดกันและสามารถถ่ายแรงเฉือนที่เกิดขึ้นตามแนวนอนได้ โดยแรงยึดเหนี่ยว (Shear bond) มีบทบาทและมีความจำเป็นมากในการต้านการแยกตัวออกจากกันระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต การหาคูณสมบัติของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต จะต้องทำการทดลองแบบ full scale เท่านั้น ประสิทธิภาพของพื้นแผ่นเหล็กประกอบจะขึ้นอยู่กับการประสานกันระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต

งานวิจัยนี้จะเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของแรงยึดเหนี่ยว (Shear bond) โดยการเพิ่มตัวต้านแรงเฉือน (shear key) ที่เรียกว่า Perfobond rib (W.Zellner, (1987)) ให้กับพื้นแผ่นเหล็กประกอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดของพื้นแผ่นเหล็กประกอบและศึกษากำลังการต้านแรงเฉือนตามแนวนอนของพื้นแผ่นเหล็กประกอบ เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพื้นแผ่นเหล็กประกอบ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และเปรียบเทียบกำลังของพื้นประกอบต่างๆ ไปด้วยพื้นแผ่น

เหล็กประกอบที่มีการเพิ่ม Perfobond rib ตามมาตรฐานของ Eurocode 4. (Design of composite Steel and Concrete Structure โดยทำการทดลองแบบ full scale

1.3 ผลงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เอกสารที่จัดพิมพ์โดย Eurocode 4. ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบและการทดสอบพื้นแผ่นเหล็กประกอบ ตัวอย่างข้อกำหนดเช่น แรงยึดเหนี่ยว (bond) ระหว่างแผ่นเหล็กและคอนกรีตไม่ถือว่า มีประสิทธิภาพ ต้องใช้การยึด โดยวิธีต่อไปนี้ (ก) รูปร่างการพับแผ่นเหล็กให้มีส่วนเว้าส่วนนูน (ข) การทำให้แผ่นเหล็กนูนขึ้นหรือยุบลง (ค) การยึดที่ปลาย นอกจากนี้ ความหนาต่ำสุดของคอนกรีตคือ 50 มิลลิเมตร โดยวัดจากด้านบนสุดของแผ่นเหล็ก

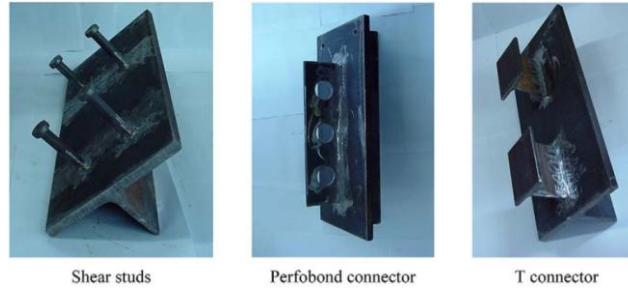
Marimuthu and Seetharaman (2007), ทำการศึกษาลักษณะของ shear bond ด้วยวิธี m-k ของแผ่นเหล็กที่ทำให้เกิดปุ่มนูนขึ้นมาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ ทดสอบแบบ short shear span, long shear span และทดสอบแบบ cyclic load แล้วทำการหาค่า กำลังรับแรงเฉือนตามแนวนอนของพื้นแผ่นเหล็กประกอบโดยใช้วิธี m-k และเปรียบเทียบกับวิธี partial shear connection (PSC) ตามมาตรฐาน Eurocode 4 จากผลการทดสอบพบว่าพฤติกรรมของ แรงยึดเหนี่ยว (Shear Bond) จะขึ้นอยู่กับ shear span โดยรูปแบบของการวิบัติเมื่อทดสอบแบบ short shear span จะเป็นการวิบัติแบบแรงเฉือนและการทดสอบแบบ long shear span วิบัติด้วยแรงดัด

Lam and Qureshi (2008), เป็นการศึกษาการทำนายการต้านแรงเฉือนตามแนวนอนที่มีแผ่นเหล็ก ตามมาตรฐาน Eurocode 4 โดยทำการทดลอง 2 แบบ แบบที่ 1 เป็นแบบ short shear span และแบบที่ 2 เป็นแบบ long shear span ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า รูปแบบของการวิบัติเป็นแบบ shear bond failure ทั้งหมด

Pentti and Ye Sun (1999), เป็นการเสนอแนวทางเพื่อต้องการเพิ่มกำลังการรับแรงเฉือน ซึ่งจากการ วิบัติของพื้นแผ่นเหล็กประกอบจะเกิดจากแรงเฉือนตามแนวนอน โดยทำการทดสอบ push-out โดย เปลี่ยนรูปร่าง ตำแหน่งของปุ่มนูน (embossment) และเปลี่ยนความหนาของแผ่นเหล็กแล้วทำการ ทดสอบจนได้ลักษณะของปุ่มนูนที่เหมาะสมที่สุด นำรูปแบบของปุ่มนูนที่ดีที่สุด ไปทดสอบอีกครั้งโดย เปลี่ยนความหนาของแผ่นเหล็ก จากการทดสอบพบว่า ความลึกของปุ่มนูนจะมีผลมากที่สุดในการรับ แรงเฉือน โดยรูปแบบที่ดีที่สุดของพื้นประกอบสามารถรับกำลังแรงเฉือนตามแนวนอนได้สูงสุดถึง 0.6 N/mm^2

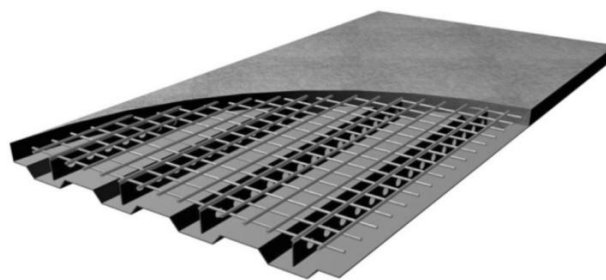
Isabel and Paulo (2004), ได้ทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับการต้านทานแรงเฉือนของตัวต้านแรงเฉือน (Shear key) ในรูปแบบต่างๆ กับคอนกรีตมวลเบา โดยได้แบ่ง shear key ออกเป็น 3 แบบดังนี้ shear stud, perfobond rib และแบบตัวที (T connector) ดังภาพที่ 1.1 และเปรียบเทียบการเคลื่อน

ตัวออกจากกัน (slip) ของตัวอย่าง โดยทำการทดสอบ Push-Out จากการทดสอบพบว่า shear key ที่เป็น perfobond rib เป็นรูปแบบที่ดีที่สุดในการต้านการเคลื่อนตัวของตัวอย่าง



ภาพที่ 1.1 ตัวต้านแรงเฉือน (Shear key) ในรูปแบบต่างๆ

Hyeong-Yeol Kim and Tae-Hyup Kim (2006), ได้ทำการศึกษาพื้นประกอบของสะพานที่มี perfobond rib โดยทำการทดสอบแบบ full-scale ตัวอย่างของการทดสอบมี 10 ตัวอย่างโดย 8 ตัวอย่างจะมีลักษณะดังภาพที่ 1.2 และอีก 2 ตัวอย่างจะเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาโดยมีความยาว 3500 มิลลิเมตร ความหนา 220 มิลลิเมตร เท่ากันทุกตัวอย่าง ในการทดสอบจะเปลี่ยนแปลง shear span ที่ต่างๆ กัน ผลการทดสอบพบว่ากำลังการรับแรงดัดของพื้นประกอบสามารถรับแรงดัดได้มากกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้ถึง 2.5 เท่า และน้ำหนักลดลงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบการดัดแบบ full scale ของตัวอย่างที่เป็นพื้นประกอบนี้ระยะการเคลื่อนตัว (end slip) น้อยมากเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกถึงจุดวิบัติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นประกอบที่ทำการทดสอบนี้มีความเหนียว (Ductile) ดังนั้นพื้นประกอบที่มี perfobond rib สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพื้นประกอบได้ดี



ภาพที่ 1.2 พื้นประกอบของสะพานที่มี perfobond rib

การออกแบบด้วยวิธีการ shear bond (m-k method)

พฤติกรรม Shear bond ของพื้นประกอบแต่ละแบบ จะขึ้นอยู่กับค่า m และ k เมื่อค่า m คือค่าการประสานกันระหว่าง steel deck กับคอนกรีตและ k คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุทั้ง 2

ชนิด จากข้อกำหนดการออกแบบพื้นประกอบตามมาตรฐาน EN 1994-EUROCOD 4 (Design of composite Steel and Concrete Structure) มีสูตรการออกแบบดังนี้

$$V_{l,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left(\frac{mA_p}{bL_s} + k \right) \quad (1)$$

เมื่อ $V_{l,Rd}$ = กำลังการรับแรงเฉือน
 A_p = พื้นที่หน้าตัดของ steel deck
 γ_{vs} = safety factor ใช้ 1.25

จัดสมการที่ (1) ให้อยู่ในรูปแบบของสมการเส้นตรง $y = mx + c$ แล้วนำค่าที่ได้จากการทดลองไปสร้างกราฟเส้นตรงเพื่อหาค่า m และ k ดังสมการที่ (2)

$$\frac{V_{l,Rd}}{bd_p} = \left(\frac{mA_p}{bL_s} + k \right) \quad (2)$$

การออกแบบด้วยวิธีการ Partial shear connection

เป็นการทดสอบแบบ Full scale เพื่อต้องการหากำลังการรับแรงเฉือนตามแวนอนของพื้นประกอบ โดยสามารถคำนวณหากำลังรับแรงเฉือนตามแวนอนได้ดังนี้

$$\tau_{u,test} = \eta_{test} \frac{N_{cf}}{b(L_s + L_o)} \quad (3)$$

กำลังรับแรงเฉือนตามแวนอนลดกำลัง , $\tau_{u,Rk}$

$$\tau_{u,Rk} = 0.9\tau_{u,test} \quad (4)$$

กำลังรับแรงเฉือนตามแวนอนที่ใช้ในการออกแบบ , $\tau_{u,Rd}$

$$\tau_{u,Rd} = \frac{\tau_{u,Rk}}{\gamma_v} \quad (5)$$

เมื่อ η_{test} = Degree of interaction จากการทดสอบ
 $\tau_{u,test}$ = กำลังรับแรงเฉือนตามแวนอนจากการทดสอบ (แรงต่อพื้นที่)

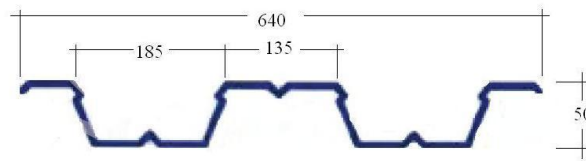
- $\tau_{u,Rk}$ = กำลังรับแรงเฉือนตามแวนอนลดกำลัง (แรงต่อพื้นที่)
- $\tau_{u,Rd}$ = กำลังรับแรงเฉือนตามแวนอนที่ใช้ในการออกแบบ (แรงต่อพื้นที่)
- γ_v = ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย
= 1.25

2. ตัวอย่างพื้นแผ่นเหล็กประกอบ

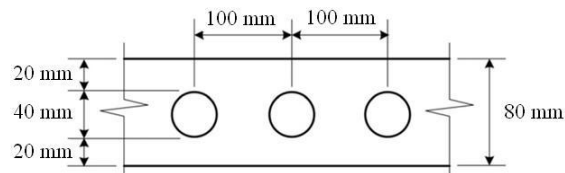
2.1 การเตรียมตัวอย่าง

แผ่นเหล็ก (Steel deck) โดยเลือกผลิตภัณฑ์ D-50W (Lucky) เคลือบ Galvanized หนา 1.00 มิลลิเมตรตัดให้มีรูปร่างดังภาพที่ 2.1 ตัดแผ่นเหล็กบางที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร เป็นตัวต้านแรงเฉือน (Perfobond Rib) ดังภาพที่ นำเหล็กกลม 6 มิลลิเมตรโดยนำมาเชื่อมเป็นเหล็กตะแกรง 150x150 มิลลิเมตร

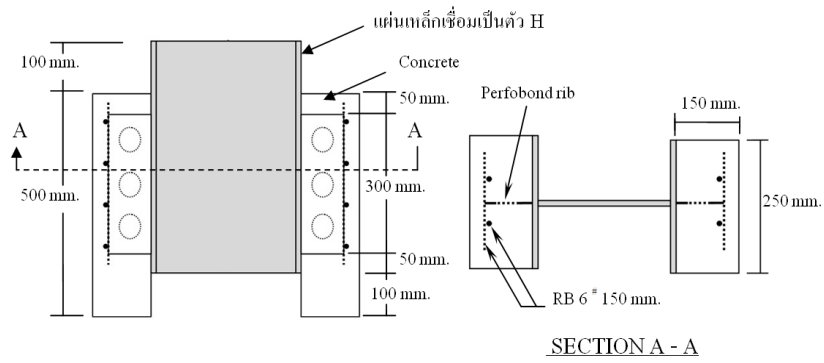
ประกอบแผ่นเหล็กกับเหล็กตะแกรง 150x150 มิลลิเมตร เป็นพื้นแผ่นเหล็กประกอบแบบที่ 1 ดังภาพที่ 2.4 และเชื่อม perfobond rib กับ แผ่นเหล็กและเชื่อมเหล็กตะแกรงเข้ากับ perfobond rib เป็นพื้นแผ่นเหล็กประกอบแบบที่ 2 ดังภาพที่ 2.5



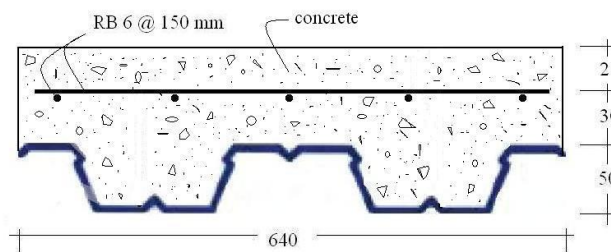
ภาพที่ 2.1 แผ่นเหล็ก (Steel Deck) หนา 1.00 มิลลิเมตร



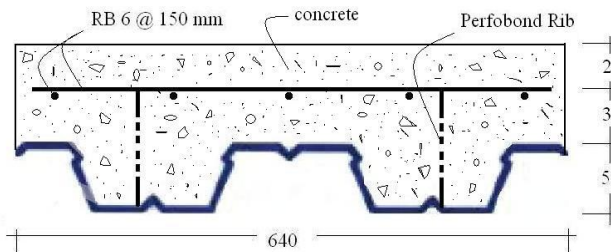
ภาพที่ 2.2 Perfobond Rib



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างการทดสอบ Push-Out



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างการทดสอบการตัดของพื้นแผ่นเหล็กประกอบแบบที่ 1



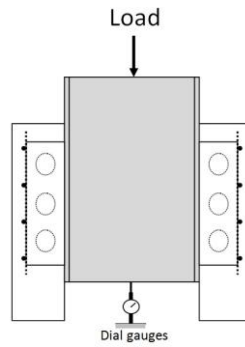
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการทดสอบการตัดของพื้นแผ่นเหล็กประกอบแบบที่ 2 (มี Perfobond Rib)

2.2 ลักษณะการทดสอบ

โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

2.2.1 การทดสอบ Push-Out

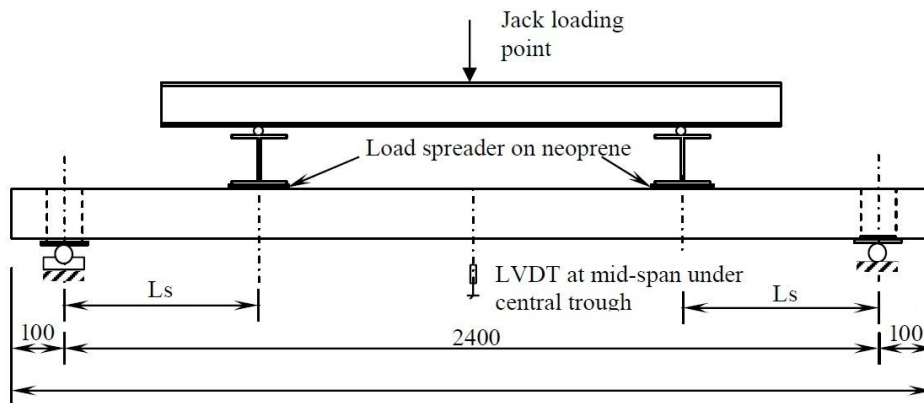
การทดสอบแบบ push-out เป็นการทดสอบแบบควบคุมการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง โดยความเร็วของการเคลื่อนตัวอยู่ที่ความเร็ว 0.03 มิลลิเมตรต่อวินาที



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการทดสอบ Push-Out

2.2.2 การทดสอบรับแรงดัด

นำพื้นแผ่นเหล็กประกอบ ทำการทดสอบการรับแรงดัดแบบสี่จุด (Four-Points Bending Test) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยเพิ่มน้ำหนักสม่ำเสมอจนพื้นประกอบวิบัติ บันทึกค่าการโก่งตัว กับน้ำหนักบรรทุกทุก บันทึกค่าน้ำหนักที่เริ่มเกิดแตกร้าว (Load at first crack)



หน่วย : มิลลิเมตร

ภาพที่ 2.7 ลักษณะการทดสอบการรับแรงดัดแบบสี่จุด (Four-Points Bending Test)

2.3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ



ภาพที่ 2.8 การติดตั้งตัวอย่างและอุปกรณ์การทดสอบ Push-Out



ภาพที่ 2.9 การติดตั้งตัวอย่างและอุปกรณ์การทดสอบรับแรงดัดแบบสี่จุด (Four-Points Bending Test)

3. ผลการทดสอบ

3.1 การทดสอบ Push-Out

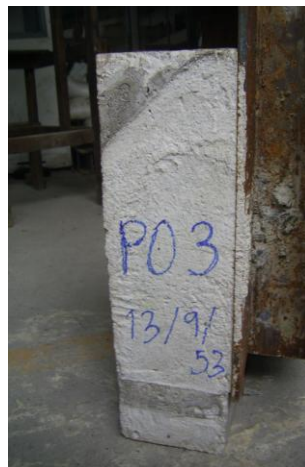
เมื่อทดสอบตัวอย่าง ในช่วงแรกน้ำหนักบรรทุกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งคอนกรีตกับเกิดการเคลื่อนตัวน้ำหนักบรรทุกจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ พร้อมกับการเคลื่อนตัวระหว่างคอนกรีตกับตัวต้านแรงเฉือน (Perfobond Rib) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และภาพที่ 3.3

3.2 การทดสอบรับแรงดัด

น้ำหนักบรรทุกและระยะแอนแผ่นพื้นทุกแผ่นเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกแบบสี่จุด ในช่วงกลางแล้ว มีการแอนตัวเป็นเส้นโค้งครึ่งหนึ่งของฟังก์ชัน Sine ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.2 ซึ่งแสดงการแอนตัวของแผ่นพื้นผสม D-S4

3.2.1 การวิบัติของตัวอย่าง

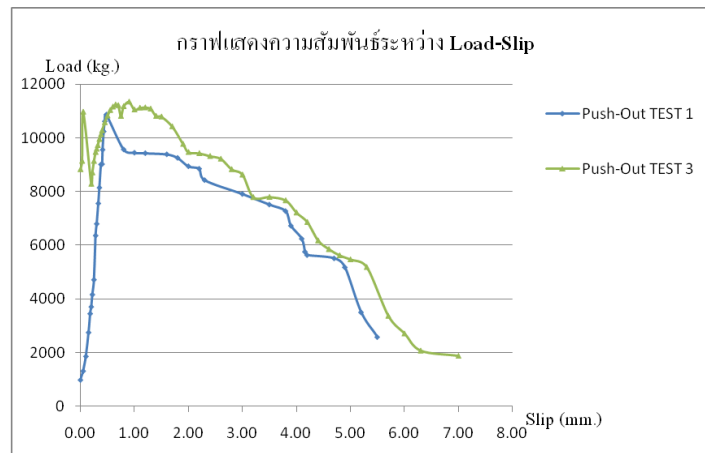
เมื่อแผ่นพื้นรับน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้น จนถึงน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการเคลื่อนตัวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็ก ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การวิบัติของตัวอย่างการในการทดสอบ Push-Out

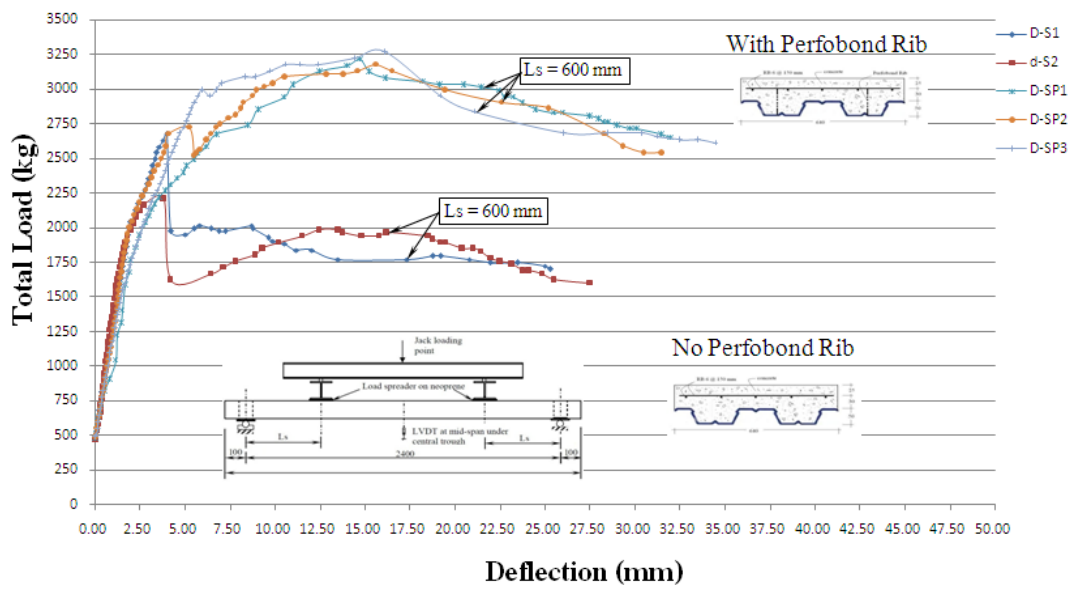


ภาพที่ 3.2 การวิบัติของตัวอย่างการในการทดสอบรับแรงดัดแบบสี่จุด (Four-Points Bending Test)



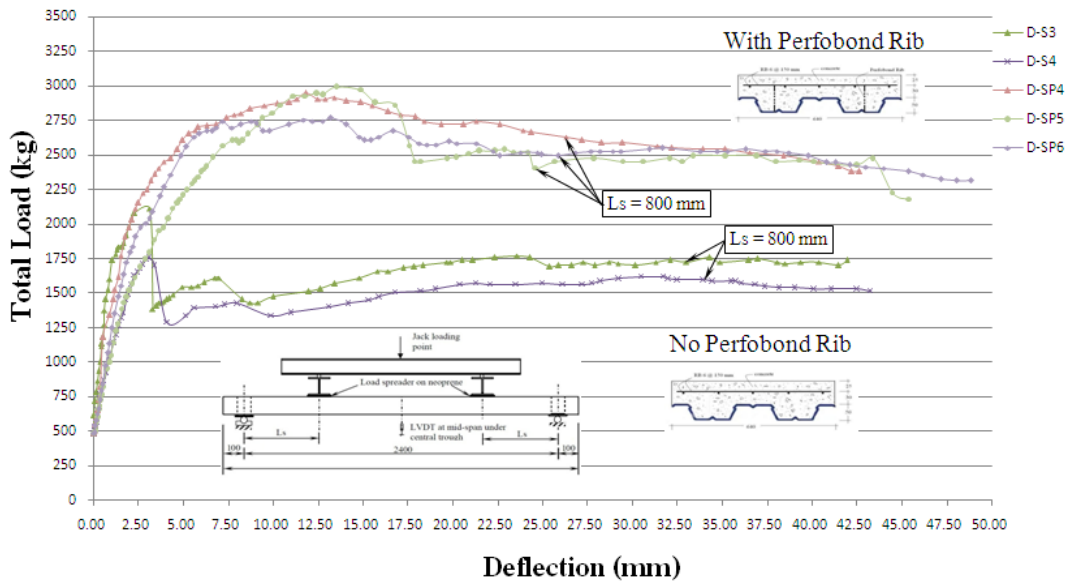
ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักบรรทุกกับการเคลื่อนตัวของคอนกรีต

Load -Deflection curve



ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ Ls = 600 มิลลิเมตร

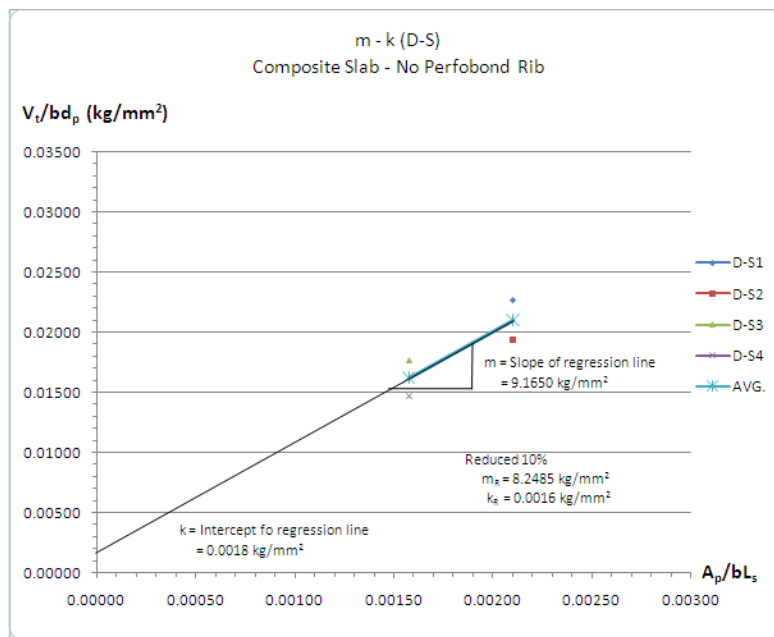
Load -Deflection curve



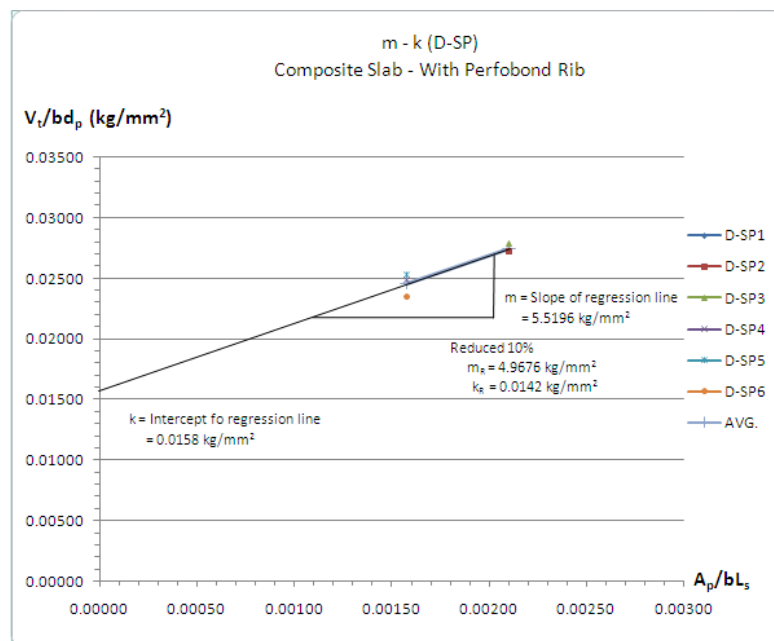
ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ $L_s = 800$ มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบพื้นแผ่นเหล็กประกอบทั้งหมด

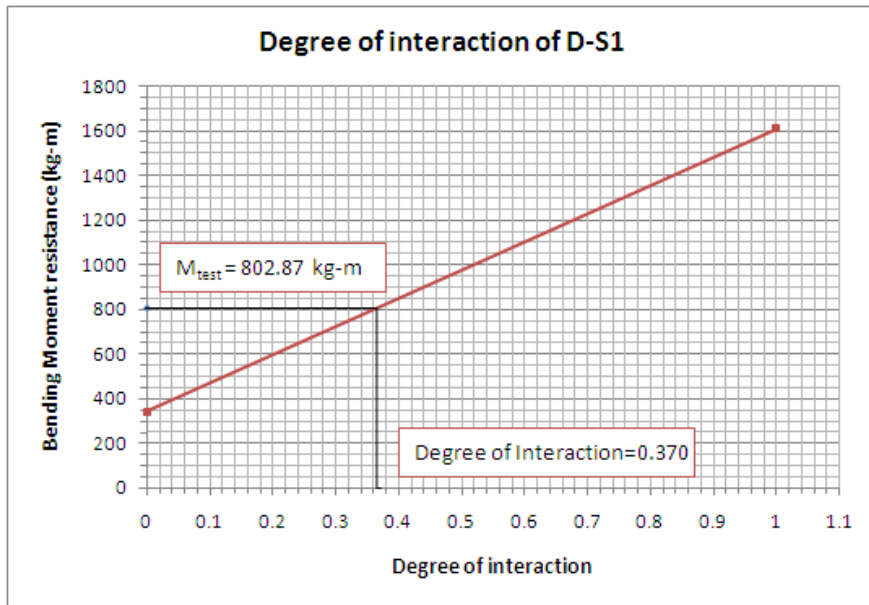
Specimen ID	Shear Ratio (Ls)	Cracking Load (kg)	Yield Load (kg)	Ultimate Load (kg)	Vertical Displacement (mm)	End-Slip At Ultimate Load (mm)	Failure Mode
D-S1	L/4	2670.0	No	2676.2	3.96	13	Shear Bond
D-S2	L/4	2200.0	No	2212.4	3.80	12	Shear Bond
D-S3	L/3	2075.0	No	2110.8	3.15	11	Shear Bond
D-S4	L/3	1750.0	No	1755.6	3.10	12	Shear Bond
D-SP1	L/4	2800.0	No	3216.9	14.75	6	Shear Bond
D-SP2	L/4	2725.0	No	3178.6	15.60	6	Shear Bond
D-SP3	L/4	3000.0	No	3270.0	16.10	4	Shear Bond
D-SP4	L/3	2750.0	No	2949.5	11.80	5	Shear Bond
D-SP5	L/3	2600.0	No	2994.2	13.55	4	Shear Bond
D-SP6	L/3	2750.0	No	2767.0	13.20	5	Shear Bond



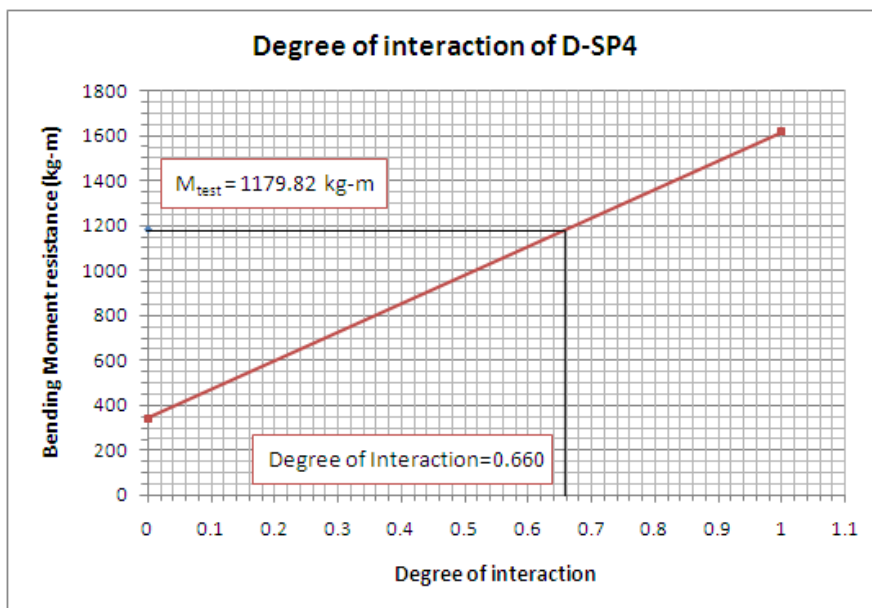
ภาพที่ 3.6 กราฟแสดงการหาค่า m , k ของตัวอย่างพื้นแผ่นเหล็กประกอบแบบที่ 1



ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงการหาค่า m , k ของตัวอย่างพื้นแผ่นเหล็กประกอบแบบที่ 2



ภาพที่ 3.8 กราฟตัวอย่างแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การประสานกันของตัวอย่างแผ่นพื้นแบบที่ 1



ภาพที่ 3.8 กราฟตัวอย่างแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การประสานกันของตัวอย่างแผ่นพื้นแบบที่ 1

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การประสานกันระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต

Group	Slab No.	Shear Span (mm)	M_{test} (kg-m)	M_u (kg-m)	Degree of Interaction
No Perfobond	D-S1	600	802.87	1613.7	0.370
	D-S2	600	663.73	1563.5	0.270
	D-S3	800	844.34	1633.2	0.395
	D-S4	800	702.26	1636.9	0.285
		Avg.			0.330
With Perfobond	D-SP1	600	965.08	1616.5	0.495
	D-SP2	600	953.58	1597.0	0.490
	D-SP3	600	980.99	1601.6	0.510
	D-SP4	800	1179.82	1621.6	0.660
	D-SP5	800	1197.68	1618.3	0.675
	D-SP6	800	1106.80	1614.6	0.605
		Avg.			0.573

ตารางที่ 3.3 การออกแบบพื้นแผ่นเหล็กประกอบด้วยวิธี m - k

Group	Slab No.	Span Length (mm)	Width (mm)	Depth (mm)	Design Load (kg/m ²)	Dead Load (kg/m ²)	Live Load (kg/m ²)
No Perfobond	D-S1	2400	640	117.10	1164.74	316.97	847.77
	D-S2	2400	640	114.40	1130.60	309.80	820.79
	D-S3	2400	640	117.25	1166.64	317.37	849.27
	D-S4	2400	640	116.20	1153.36	314.58	838.78
		Avg.		116.24	1153.84	314.68	839.15
With Perfobond	D-SP1	2400	640	116.45	1503.98	315.24	1188.73
	D-SP2	2400	640	118.15	1534.93	319.75	1212.18
	D-SP3	2400	640	118.35	1535.22	320.28	1214.94
	D-SP4	2400	640	117.50	1521.24	318.03	1203.22
	D-SP5	2400	640	117.35	1518.78	317.63	1201.15
	D-SP6	2400	640	117.15	1515.49	317.10	1198.39
		Avg.		117.49	1521.61	318.01	1203.10

4. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยนี้พบว่า

4.1 การแอนตัวของแผ่นพื้นผสมบนที่รองรับแบบเรียบง่าย มีลักษณะเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นโค้ง sine function การวิบัติของตัวอย่างทั้งหมดเกิดจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต ในการทดสอบพบว่าแผ่นเหล็กยังไม่ถึงจุดคราก

4.2 จากการเพิ่มตัวต้านแรงเฉือนพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การประสานกันระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต เพิ่มขึ้นจาก 0.33 เป็น 0.57

4.3 กำลังในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 1153 กิโลกรัมต่อตารางเมตรเป็น 1521 กิโลกรัมต่อตารางเมตร คิดเป็น 32 เปอร์เซ็นต์

4.4 ในการเพิ่มตัวต้านแรงเฉือนให้กับพื้นแผ่นเหล็กประกอบทำให้รูปแบบการวิบัติเปลี่ยนจากแบบเปราะเป็นแบบเหนียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ตัวต้านแรงเฉือนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบพื้นแผ่นเหล็กประกอบได้

5. ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

5.1 พื้นแผ่นเหล็กประกอบที่ทำการทดสอบพบว่าแผ่นเหล็กที่นำมาใช้ยังไม่ถึงจุดคราก เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด แสดงว่าพื้นแผ่นเหล็กประกอบวิบัติเนื่องด้วยการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว ในการทดสอบครั้งต่อไปอาจเปลี่ยนตัวต้านแรงเฉือนได้

5.2 การเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นเหล็กและคอนกรีตในการทดสอบนี้สามารถเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต และเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้น การทดสอบครั้งต่อไปควรทดลองใช้วิธีอื่น ๆ เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีต

5.3 ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า พื้นแผ่นเหล็กประกอบที่เพิ่มตัวต้านแรงเฉือน (Perfobond rib) สามารถเพิ่มกำลังของพื้นแผ่นเหล็กประกอบได้มากและสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารอ้างอิง

คณะอนุกรรมการสาขาโครงสร้างเหล็ก , 2540. การออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ เขียวศิริพิพัฒน์, สมจิตต์ พุกษ์มหาชัยกุล, พัฒนิก สาตราภักย์. พฤติกรรมของพื้นผสมภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสองเส้น. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ, กรุงเทพฯ.

- D. Lam, and Qureshi, J. 2008. Prediction of longitudinal shear resistance of composite slabs with profile sheeting to Eurocode 4. In: The Regency Steel Asia International Symposium on innovations in structural steel, RSA-ISISS 2008, 1 December, 2008, Singapore.
- E. C. Oguejiofort, M. U. Hosaint, 1995. NUMERICAL ANALYSIS OF PUSH-OUT SPECIMENS WITH PERFOBOND RIB CONNECTORS. Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, SK, Canada pp. 617-624.
- Eurocode 4, Design of composite steel and concrete structures, Part 1.1.General rules and rules for buildings.
- Hyeong Yeol Kim, Tae-Hyup Kim, 2006. Structural Performance of Steel-concrete Composite Deck for Steel-box Girder Bridges. KSCE Journal of Civil Engineering, pp. 357-363.
- Hyeong Yeol Kim, Youn-Ju Jeong, 2006. Experimental investigation on behaviour of steel-concrete composite bridge decks with perfobond ribs. Structure Research Department, Korea Institute of Construction Technology, pp.463-471.
- Isabel Valente, Paulo J.S. Cruz, 2004. Experimental analysis of Perfobond shear connection between steel and lightweight concrete. Civil Engineering Department, University of Minho, Azurem, Guimaraes, Portugal pp.465-479.
- Michel Crisinel, Frederic Marimon, 2004. A new simplified method for the design of composite slabs. Steel Structures Lab (ICOM)-Construction Metallique, Ecole polytechnique fe'de'rale de Lausanne (EPFL), Lausanne CH-1015, Switzerland, pp. 481-491.
- Pentti Makelainen, Ye Sun, 1999. The longitudinal shear behaviour of a new steel sheeting profile for composite floor slabs. Laboratory of Steel Structures, Helsinki University of Technology, P.O.Box 2100, FIN-02015 HUT, Helsinki, Finland pp.117-128.
- Redzuan Abdullah, 2007. QUASI-STATIC ANALYSIS OF COMPOSITE SLAB. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, pp.91-103.
- Redzuan Abdullah, W. Samuel Easterling, 2009. New evaluation and modeling procedure for horizontal shear bond in composite slabs. Department of Structures and Materials, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai, Johor, Malaysia, pp.891-899.
- Sebastiao A.L. de Andrade, 2004. Standardized composite slab systems for building constructions. Civil Engineering Department, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brazil pp. 493-524.
- V. Marimuthu, S. Seetharaman, 2007. Experimental studies on composite deck slabs to determine the shear-bond characteristic (m-k) values of the embossed profiled sheet.

Structural Engineering Research Centre, CSIR Campus, Chennai - 600 113, India,
pp.791-803.

Youn Ju Jeong, Hyeong Yeol Kim, 2005. Steel-Concrete Interface Behavior and Analysis for Push-Out. KSCE Journal of Civil Engineering, pp. 119-124.