รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบคานเหล็กที่มีช่องเปิดในแผ่นเอวซึ่งมีระยะห่างสม่ำเสมอตามมาตรฐานAISC

Design of cellular beam based on AISC Standard

คณะนักวิจัย

ผู้วิจัย: ดร. ปฐเมศ ผาณิตพจมาน

อาจารย์พี่เลี้ยง: รศ. ดร. สุชาติ ลิ่มกตัญญู

ที่ปรึกษาโครงการ: ศ. ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก เงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ ENG550149S

บทคัดย่อ

คานเหล็กที่มีช่องเปิดวงกลมซึ่งมีระยะห่างสม่ำเสมอ (Cellular Beam) มีการพัฒนาการออกแบบอย่างกว้างขวางโดยสถาบันการก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก (Steel Construction Institute) ดังเช่น วิธีการออกแบบ SCI P100 และ SCI P355 และการพัฒนาการออกแบบโดยงานวิจัยต่างๆ อย่างไรก็ตามวิธีการออกแบบที่มีการใช้งานในปัจจุบันให้ผลการออกแบบที่เผื่อค่าอย่างมาก และไม่มีการศึกษาการใช้งานร่วมกับมาตรฐาน AISC ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้งานในประเทศไทย ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้จึงเป็นการพัฒนาการออกแบบที่มีประสิทธิภาพและตรวจสอบการใช้งานร่วมกับการออกแบบตามมาตรฐาน AISC ขอบเขตของการศึกษาประกอบด้วยการทำนายการแอ่นตัวของคานซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบการใช้งาน และการออกแบบเชิงกำลังอันได้แก่ การออกแบบการโก่งเดาะของแผ่นเอวระหว่างช่องเปิด (Web post) กำลังต้านทานการดัด กำลังต้านทานการเฉือน และ กำลังต้านทานการดัดแบบ Vierendeel สมการการออกแบบแบบใหม่ได้จากการศึกษาเชิงโครงสร้างและเชิงกลของแบบจำลองไฟไนเอมิเมนต์ของคานเหล็กที่มีช่องเปิดวงกลมซึ่งมีระยะห่างสม่ำเสมอในลักษณะ 3 มิติ การออกแบบที่เสนอได้รับการยืนยันความแม่นยำโดยการเทียบกับผลการทดสอบจากงานวิจัยในอดีต

จากการศึกษาพบว่าผลกระทบจากความเค้นในสตรัทในแผ่นเอวระหว่างช่องเปิดมีผลต่อการแอ่นตัวของคานช่วงสั้นอย่างมากแต่ผลกระทบลดลงเมื่อเป็นคานช่วงยาว จากการศึกษาเชิงสมการความสัมพันธ์สามารถเสนอสมการการแอ่นตัวได้ในรูปสมการเชิงเส้น ซึ่งขึ้นกับสัดส่วนความชะลูดของคาน อัตราส่วนระยะห่างระหว่างช่องเปิด และอัตราส่วนหน้าตัด สำหรับสมการการออกแบบน้ำหนักบรรทุกที่วิบัติโดยการโก่งเดาะที่เสนอ เป็นการปรับใช้แบบจำลองสตรัทในแผ่นเอวระหว่างช่องเปิดอย่างง่าย โดยจากการศึกษาแบบจำลองได้กำหนดความยาวประสิทธิผลสอดคล้องกับผลกระทบจากการยึดรั้งจากหน้าตัดตัวรูปตัวทีและการกระจายความเค้นรอบช่องเปิด ซึ่งแบบจำลองสตรัทของส่วนบนและล่างของแผ่นเอวระหว่างช่องเปิดสามารถใช้ในการแยกคำนวณกำลังต้านทานการโก่งเดาะในรูปแรงเฉือนได้ และในส่วนสุดท้ายโครงการวิจัยได้นำเสนอวิธีการออกแบบซึ่งพิจารณากำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงเฉือน และ กำลังต้านทางการดัดแบบ Vierendeel พร้อมกัน บนพื้นฐานจากความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นแบบกำลังสองของการกระทำร่วมกันจากทั้งสามแรงแบบสัมพัทธ์ ร่วมกับการจัดรูปอย่างง่ายของแรงกระทำทั้งสาม และ การประมาณหน้าตัดและมุมวิกฤติในหน้าตัดตัวที

การออกแบบที่นำเสนอช่วยให้เกิดความสะดวก และเป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเชิงต้นทุนเนื่องจากมีความแม่นยำในการทำนายการแอ่นตัวและน้ำหนักบรรทุกขณะวิบัติ ทั้งนี้ในส่วนของการออกแบบด้านความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสามารถประยุกต์ใช้งานได้กับทั้งมาตรฐานทางยุโรป BS EN 1993-1-1 และ มาตรฐาน ANSI/AISC 360-10

ABSTRACT

Cellular beams are steel beams with regular circular openings along their span. The designs of cellular beams have been developed by the Steel Construction Institute such as SCI P100 and SCI P355 and other researches. However, the available designs provide very conservative results. The designs have not been investigated to apply with AISC standard, normal use in Thailand. The purpose of this study is to develop the cost-effective designs of cellular beams and investigate the application with AISC. Scope of this study include the deflection evaluation used in a serviceability design as well as strength designs such as web-post buckling, beam flexural capacity, beam shear capacity and Vierendeel bending resistance. The new design equations are derived based on structural and mechanical investigation of the three-dimensional finite element analysis of cellular beams. The proposed designs are validated against the experiments in the literature.

Based on the investigations, the strut stress of the web post significantly affects the deflection of the short-span cellular beams but less for the long-span cellular beams. By using the empirical study, the proposed deflection function is a linear function established in terms of the slenderness, opening spacing and cross section ratio. The proposed buckling design equation, prediction of the load at the buckling failure, is adopted based on a simple strut model. Based on the simulation study, an effective length is proposed to incorporate the effects of restraint due to the tee section and the stress variation around the opening. The strut models of the upper and lower parts of the web-post can be separately computed for their buckling shear strength. Last, the proposed design method simultaneously considers the moment capacity, the shear capacity and the Vierendeel bending resistance. The method is derived based on the quadratic nonlinear relationship of the three co-existing normalized interactions, the simplified co-existing actions and the approximated critical section location and angle in the tee sections.

The proposed designs facilitate safe and cost-effective design of cellular beams, due to the accuracy to predict the deflection and the failure load. For the load design, the proposed design can be applied with the EURO code, BS EN 1993-1-1, and AISC standard, ANSI/AISC 360-10.