

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 55 December 2018)

A Joint Publication of the Japan Iron and Steel Federation and
Japanese Society of Steel Construction
Thai Version

หนังสือ Steel Construction Today & Tomorrow เวอร์ชันภาษาอังกฤษ จะมี
การจัดพิมพ์ปีละ 3 ครั้ง และจะมีการกระจายไปยังผู้บริหาร และบุคลากรของบริษัท
ในกลุ่มอุตสาหกรรม และองค์กรต่างๆ ทั่วโลก วัตถุประสงค์ของหนังสือนี้ คือการ
นำเสนอถึงมาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการโครงสร้างเหล็ก ตัวอย่าง
โครงการก่อสร้างยุคใหม่ เทคโนโลยีงานก่อสร้างอันทันสมัย และหัวข้ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
กับงานก่อสร้างอาคาร และงานวิศวกรรมโยธา

เพื่อให้ผู้อ่านชาวไทย ได้เข้าใจบทความในหนังสือนี้ได้ดียิ่งขึ้น ก็ได้มีการดำเนินการ
จัดเตรียมเวอร์ชันภาษาไทย เพื่อแนบไปกับหนังสือเวอร์ชันภาษาอังกฤษ ในส่วนของรูป
ถ่าย ภาพและตาราง จะแสดงในเวอร์ชันภาษาไทยเฉพาะชื่อภาพและชื่อตาราง ซึ่งควร
ต้องดูเวอร์ชันภาษาอังกฤษประกอบไปด้วยเพื่อความสมบูรณ์ชัดเจนของเนื้อหา
นอกจากนี้หากต้องการอ้างอิงรายละเอียดในเชิงเทคนิค ก็โปรดอ้างอิงจากหนังสือเวอร์
ชันภาษาอังกฤษเป็นหลัก

ฉบับที่ 55 เดือนธันวาคม 2018: สารบัญ

บทความประจำฉบับ: โครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีต

ข้อกำหนดสำหรับสะพานทางหลวง

ผลการศึกษาล่าสุดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีต.....1

สถานะในปัจจุบันของการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงสร้าง CFT.....5

ความเป็นไปได้ของการออกแบบข้อต่อเสากับคานโดยใช้แผ่นไดอะแฟรมด้านนอก.....9

ท่อเหล็กสำหรับงานอาคารและระบบโครงสร้าง CFT.....13

บทความต่อเนื่อง: อาคารโครงสร้างเหล็กแห่งใหม่ในประเทศญี่ปุ่น (3)

HIRAKATA T-SITE.....15

JSSC Operations.....ปกหลัง

หมายเลขหน้าที่กำกับ อ้างอิงนิตยสารฉบับภาษาอังกฤษ ฉบับที่ 55

ฉบับภาษาไทย: ©The Japan Iron and Steel Federation 2018

The Japan Iron and Steel Federation

3-2-10 Nihonbashi-Kayabacho, Chuo-ku, Tokyo 103-0025, Japan

โทรสาร: 81-3-3667-0245

โทรศัพท์ : 81-3-3669-4815

ที่อยู่อีเมล: sunpou@jisf.or.jp

เว็บไซต์: <http://www.jisf.or.jp>

บทความประจำฉบับ

โครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีต

(หน้า 1~4)

: โครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีต (1)

ผลการศึกษาล่าสุดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีต

โดย ศาสตราจารย์ Junichi Sakai มหาวิทยาลัย Fukuoka

บทความต่อไปนี้จะมีการนำเสนอถึงผลการศึกษาในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีต นอกจากนี้ยังได้มีการนำเสนอถึงโครงสร้างรูปแบบใหม่ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าของการก่อสร้างและการพัฒนาการที่ยั่งยืน

ผลการศึกษาในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีต

โครงสร้างวัสดุผสมระหว่างเหล็กและคอนกรีตที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่นประกอบไปด้วยรูปแบบโครงสร้าง 3 ประเภทคือ 1) โครงสร้างเหล็กและคอนกรีต (steel and reinforced concrete structure, SRC) 2) โครงสร้างท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต (concrete-filled steel tube structures, CFT) และ 3) โครงสร้างผสมเสาคอนกรีตเสริมเหล็กและคานเหล็ก (reinforced concrete column-steel beam mixed structures, RC+S) (ดังรูปที่ 1) โครงสร้าง CFT เป็นโครงสร้างที่สามารถนำมาใช้กับงานก่อสร้างได้ทั้งโดยเป็นระบบโครงสร้างวัสดุผสมที่มีการนำองค์ประกอบเหล็กที่ผลิตจากเหล็กกล้าสูงเข้ามาใช้ในงานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอาคารสูง ระบบโครงสร้าง RC+S เป็นระบบที่ผสมผสานระหว่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ให้ความแข็งแรงทนทานต่อการเสียรูป และค้ำคานในเชิงเศรษฐศาสตร์ ผสมผสานกับการใช้คานเหล็กซึ่งสามารถทำโครงสร้างช่วงที่ยาวได้ดีเหมาะกับทางสำนักงาน อาคารเพื่อการพาณิชย์ และอาคารคลังสินค้าที่ต้องการพื้นที่โล่งขนาดใหญ่

จากการสำรวจถึงหัวข้อการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีตในประเทศญี่ปุ่นพบว่าได้มีการศึกษาและตีพิมพ์เป็นเอกสารออกมามากกว่า 102 ฉบับ เฉพาะในส่วนของการวิจัยวัสดุผสมซึ่งได้มีการสรุปไว้ในเอกสารทางเทคนิคในการประชุมประจำปี 2018 ของสถาบันสถาปัตยกรรมแห่งประเทศไทย (Architectural Institute of Japan, AIJ) รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงหัวข้อรายงานผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีตซึ่งจะพบว่าหัวข้อที่นักวิจัยให้ความสนใจเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงสร้าง CFT และ RC+S

แม้ว่าที่ผ่านมาจะมีการศึกษาระบบโครงสร้าง CFT มายมายหลายมิติ เป้าหมายหลักของการศึกษานั้นไปที่การใช้งานเหล็กกำลังสูงพิเศษ เสา CFT รูปกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลกระทบจากดินแผ่นดินไหวคาบยาว และเสาผสมเซสซูลที่มีเหล็กเสริมกำลัง

สำหรับระบบโครงสร้าง RC+S ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบจากเกร็ดวัสดุที่แตกต่างกัน (ที่ระดับความลึกหนึ่งๆ) ของคานที่ติดตั้งทั้งทางด้านซ้ายและทางด้านขวาของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และค่าความเยื้องศูนย์กลางที่แตกต่างกันของจุดศูนย์กลางของคานและศูนย์กลางของเสาอันส่งผลต่อพฤติกรรมของข้อต่อโครงสร้าง นอกจากนี้การศึกษายังได้มีการนำเสนอระบบโครงสร้างผสมระหว่างระบบโครงสร้างเหล็ก ที่นำมาใช้กับแกนกลางโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งยังได้มีการศึกษาถึงผลกระทบจากการนำโครงค้ำยันทางด้านข้างเข้ามาติดตั้งประกอบเพิ่มขึ้นด้วย

ทั้งนี้ ได้มีการศึกษาอยู่บางส่วนเกี่ยวกับระบบโครงสร้าง SRC โดยงานวิจัยหลายฉบับได้มุ่งเน้นไปที่ระบบโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่

สำหรับการศึกษาโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีต (SC) การศึกษาส่วนใหญ่ของระบบ SRC มุ่งเน้นไปที่องค์ประกอบโครงสร้างที่ไม่ต้องมีการนำเหล็กเส้นเสริมกำลังเข้ามาใช้ ตลอดจนการศึกษาถึงพฤติกรรมขององค์ประกอบ ข้อต่อระหว่างคานกับเสา และผนังด้านทานแรงแผ่นดินไหวที่มีองค์ประกอบเหล็กอยู่ด้านในผนังคอนกรีต (concrete encased steel structure, CES) โดยที่ได้มีการผสมเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ไว้ด้วย นอกจากนี้การศึกษายังครอบคลุมถึงคานวัสดุผสมเหล็กคอนกรีตมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งรวมไปถึงคานคอนกรีตวัสดุผสม ตลอดจนเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งจะมีการนำเสนอในรายละเอียดในลำดับถัดไป

และสำหรับจำนวนงานศึกษาวิจัยที่นำเสนอในการประชุมประจำปีของสถาบันสถาปนิกแห่งประเทศไทยญี่ปุ่นในปี 2008 แม้ว่าจำนวนผลงานวิจัยจะลดน้อยลงในภาพรวม แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสลักรับแรงเฉือน และพลาสติกเสริมไฟเบอร์ ก็มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยสำหรับงานก่อสร้างอาคารในประเทศญี่ปุ่น สลักรับแรงเฉือนได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการถ่ายโอนความเค้นระหว่างเหล็กและคอนกรีต ซึ่งส่งผลต่อความกังวลที่จะต้องมีการเพิ่มจำนวนสลักที่นำมาใช้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ถ่ายแรงเฉือนที่เรียกว่า perfobond connector ที่ได้มีการใช้งานในโครงสร้างพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมโยธาทั้งงานก่อสร้างอาคาร

ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของผลการทดสอบการกดและการดึงที่กระทำกับสลักรับแรงเฉือน 3 ประเภทที่ฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตซึ่งประกอบไปด้วย สลัก head สลัก perfobond และสลัก burring ซึ่งแม้การเตรียมตัวอย่างทดสอบของ สลัก head และสลัก perfobond ให้มีกำลังของวัสดุที่ใกล้เคียงกันแล้วก็ตามแต่จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสตีฟเนสของสลัก head มีค่าต่ำกว่าสลัก perfobond นอกจากนี้จากรูปยังแสดงให้เห็นว่าสตีฟเนสและกำลังของสลักรับแรงเฉือนแบบ burring ซึ่งมีการใช้เหล็กแผ่น burring มีค่าที่สูงซึ่งจะมีการพิจารณาสลักรูปแบบนี้มาใช้ในการก่อสร้างจริงมากยิ่งขึ้น

สำหรับในด้านงานวิศวกรรมโครงสร้าง ได้มีการนำพลาสติกเสริมไฟเบอร์ (FRP) เข้ามาใช้ในการก่อสร้าง แต่ก็มีประเด็นเกี่ยวกับราคาก่อสร้างที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นจากการก่อสร้างโดยวิธีนี้ โดยสำหรับงานก่อสร้างอาคารก็ได้มีการจำกัดการใช้งานเฉพาะบางส่วนของโครงสร้างอาคารเท่านั้น แต่อย่างไรก็ดี FRP ก็ให้สมรรถนะที่สูงกว่าวัสดุประเภทอื่นทั้งในด้านน้ำหนักที่ลดลง กำลังและสตีฟเนสที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งเชื่อว่าจะมีการใช้ FRP เพิ่มมากยิ่งขึ้นในอนาคต โดยในปัจจุบันได้มีการศึกษาและมีการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของคาร์บอนไฟเบอร์เสริมพลาสติก (CFRP) ตลอดจนการประยุกต์ใช้ CFRP ในการทำเป็นแผ่นเหล็กต่อหน้าของรอยต่อด้วยสลักเกลียวกำลังสูงที่ถ่ายแรงผ่านผิวสัมผัส

สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวข้องอื่นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงแกนทางด้านทานการโก่งเดาะ แผ่นพื้นวัสดุผสมที่มีส่วนประกอบของไม้ และจุดต่อที่ปลายของเสาเชื่อมท่อเหล็ก

รูปที่ 1 โครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีตที่มีการใช้งานในประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 2 รายงานสรุปผลการศึกษาจำแนกประเภทในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีต (สรุปจากเอกสารทางเทคนิคจากการประชุมประจำปีของสถาบันสถาปนิกแห่งประเทศไทยญี่ปุ่นในปี 2018)

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเลื่อนไถลที่สลักรับแรงเฉือน

พัฒนาการของการศึกษาของคณาจารย์เสาวรสุมเหล็กคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม

ระบบโครงสร้างผสมเหล็กและคอนกรีตเสริมเหล็ก (Steel and reinforced concrete, SRC) เป็นระบบที่ได้มีการพัฒนาขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่นไปทีแรกซึ่งให้ความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวที่สูง อย่างไรก็ตามโครงสร้างที่กล่าวถึงนี้ต้องมีการจัดการตำแหน่งเหล็กเสริมรับงานเทคอนกรีตเข้ามาเพิ่มเติมกิจกรรมต่างๆ ที่ต้องดำเนินการในด้านการแปรรูปโครงสร้างเหล็ก (steel fabrication) ส่งผลทำให้กระบวนการก่อสร้างมีความซับซ้อนและมีแนวโน้มที่จะทำให้ต้นทุนการก่อสร้างสูงขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณการใช้งานโครงสร้างระบบ SRC ลดน้อยลง

ซึ่งจากเป้าหมายที่ได้วางไว้ใน การเพิ่มความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวและการลดจำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้างระบบโครงสร้าง SRC ก็ได้มีการพัฒนาเสาวรสุมเหล็กคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4 คุณลักษณะเชิงพลวัต (dynamic property) ของเสารูปแปดเหลี่ยมนี้เป็นผลมาจากการที่มีคอนกรีตหุ้มอยู่โดยรอบเสาเหล็กที่มีรูปร่างหน้าตัดเหมือนไม้กางเขน (cruciform) อันส่งผลทำให้เกิดพฤติกรรมที่ร็อบคอนกรีตด้วยส่วนของปีกและเอวของเสาเหล็กอันส่งผลทำให้ความสามารถในการต้านทานการคดตัวและความต้านทานต่อการเสียรูปเพิ่มมากยิ่งขึ้น นอกเหนือจากที่กล่าวถึงแล้ว เอวของเสาเหล็กรูปไม้กางเขนยังอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้าตัดเสาซึ่งส่งผลทำให้เสาน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมสามารถรับแรงอัดได้ดีทั้งยังช่วยลดการเสียรูปจากแรงอัดได้เป็นอย่างดีด้วย ยิ่งไปกว่านั้นกำลังต้านทานการคดตัวและสตีฟเนสก็สามารถปรับได้ง่ายโดยการปรับขนาดความหนาและความกว้างของส่วนปีกเสาเหล็กนี้

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงสภาพของคอนกรีตที่ถูกโอบล้อมจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบสม่ำเสมอที่กระทำกับตัวอย่างทดสอบหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม จากที่ปรากฏดังรูปกำลังรับแรงอัดและความสามารถในการต้านทานการเสียรูปของเสาคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมมีค่าที่เพิ่มสูงมากยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเสาคอนกรีตทั่วไป (ซึ่งไม่มีการเสริมกำลัง) ด้วยข้อจำกัดทางด้านการนำเสนอเนื้อหาในนิตยสารที่มีพื้นที่อยู่อย่างจำกัดจึงไม่ได้มีการนำเสนอถึงกระบวนการวิเคราะห์ แต่ก็สามารถเข้าใจจากรูปที่ปรากฏได้ว่าพฤติกรรมการรับแรงอัดของเสาคอนกรีตมีการพัฒนาเพิ่มสูงมากยิ่งขึ้นจากผลของการโอบล้อมคอนกรีตดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงผลการทดสอบเสาเหล็กคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมซึ่งมีแรงในแนวแกนกระทำอย่างสม่ำเสมอและพร้อมกันนี้ก็มีแรงกระทำทางด้านข้างแบบเป็นวงรอบ โดยจากรูปจะเห็นว่าแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนขนาดของโครงเหล็กแต่เสาน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมก็ให้กำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่สูง แนวเส้นที่ปรากฏในรูปแสดงให้เห็นถึงกำลังรับแรงเฉือนของเสาเหล็กคอนกรีตในกรณีที่หน้าตัดเสาเกิดโมเมนต์พลาสติกแบบสมบูรณ์ ซึ่งคำนวณได้ด้วยการพิจารณากำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต จากรูปยังแสดงให้เห็นถึงผลการวิเคราะห์ที่มีการพิจารณาผลจากการโอบล้อมคอนกรีตซึ่งพอจะสรุปได้ว่าผลการทดสอบมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประเมินดังที่ปรากฏในรูป

รูปที่ 7 แสดงจุดต่อเสากับคานของโครงสร้างผสมที่ประกอบขึ้นจากเสาเหล็กคอนกรีตรูปแปดเหลี่ยมและคานเหล็ก จากที่ปรากฏดังรูป รายละเอียดของการเชื่อมต่อที่แผ่นไดอะแฟรมด้านนอกและแผ่นเสริมกำลังในแนวตั้งได้มีการนำเสนอให้มีการนำเข้ามาใช้ เพื่อให้สามารถถ่ายแรงที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อเสาและคานได้ นอกเหนือจากนี้ยังได้มี

การเตรียมตัวอย่างทดสอบจุดต่อเสาเหล็กคอนกรีตรูปแปดเหลี่ยมเข้ากับคานเหล็ก ซึ่งได้มีการทดสอบในสภาพที่เกิดแรงอัดอย่างคงที่ เพื่อรองรับของการเกิดแผ่นดินไหวซึ่งก็ได้มีการใส่แรงเฉือนแบบเป็นวงรอบกระทำที่ปลายทั้งสองด้านของคาน รูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงผลการทดสอบที่ได้

ในการทดสอบ ได้มีการคำนวณออกแบบตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างเพื่อให้จุดต่อเสาและคานสามารถรับกำลังสูงสุดได้ ทั้งนี้ตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างมีความแตกต่างกันที่ตัวอย่างหนึ่งจะมีแผ่นเสริมกำลังในแนวตั้งบริเวณข้อต่อเสาคาน จากผลการทดสอบพบว่าความต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างมีค่าที่ค่อนข้างสูง โดยพบว่าจะมีการฟอร์มตัวของส่วนรับแรงอัดที่บริเวณคอนกรีตตรงข้อต่ออันเนื่องมาจากแผ่นเสริมกำลังในแนวตั้งอันส่งผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนของข้อต่อเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถยืนยันได้จากผลการทดสอบว่าแผ่นเสริมกำลังในแนวตั้งนี้สามารถลดการเสียรูปจากแรงเฉือนที่ข้อต่อได้

สำหรับการติดตั้งเสาเหล็กและคอนกรีตรูปแปดเหลี่ยมนี้ ไม่จำเป็นต้องมีการใช้เหล็กเส้นเสริมกำลังด้วยเหตุที่ปีกเสาเหล็กจะช่วยโอบล้อมคอนกรีต อันส่งผลต่อการลดความซับซ้อนของการก่อสร้างลงได้มาก โดยสำหรับเสาเหล็กคอนกรีตรูปแปดเหลี่ยมนี้จะใช้คอนกรีตปกติซึ่งต่างจากคอนกรีตที่ต้องการการควบคุมคุณภาพที่สูงดังเช่นที่ได้มีการนำมาใช้กับระบบโครงสร้าง CFT โดยในท้ายที่สุดนี้ จะมีการศึกษาการใช้เสาเหล็กคอนกรีตรูปแปดเหลี่ยมในงานก่อสร้างอาคารเดี่ยวและอาคารที่มีความสูงปานกลางต่อไป

รูปที่ 4 เสาเหล็กและคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม

รูปที่ 5 ผลจากการโอบรัดคอนกรีตของเสาเหล็กคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและมุมการหมุนของเสาเหล็กและคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม

รูปที่ 7 จุดต่อของเสาและคานของระบบโครงสร้างผสมระหว่างเสาเหล็กและคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมและคานเหล็ก

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของจุดต่อระหว่างเสาเหล็กคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมกับคานเหล็ก

เป้าหมายที่ท้าทายของการใช้เสาเหล็กคอนกรีตรูปแปดเหลี่ยม

ได้มีการวิเคราะห์ถึงแนวโน้มของการศึกษาระบบโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีตในประเทศญี่ปุ่นโดยอ้างอิงจากผลการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งพบว่านักวิจัยได้ให้ความสำคัญกับระบบโครงสร้างวัสดุผสมนี้ โดยสำหรับระบบเสาเหล็กและคอนกรีตหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมนั้นนอกจากจะช่วยประหยัดแรงงานก่อสร้างแล้วยังสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการรับแรงของโครงสร้างได้เป็นอย่างดี ดังที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น



Junichi Sakai: After receiving the master's degree at the Graduate School of Engineering, Kyushu University in 1989, he became associate professor at the Kyushu University in 2001. He assumed his current position as professor, Department of Architecture, School of Engineering, Fukuoka University in 2007. His specialized field covers structural engineering and steel-concrete composite structures.

Fig. 1 Typical Steel-Concrete Composite Structures in Use in Japan¹⁾

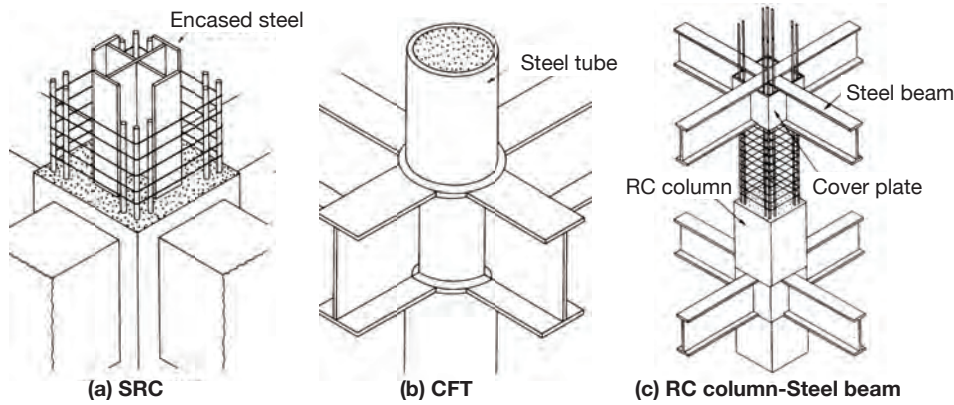
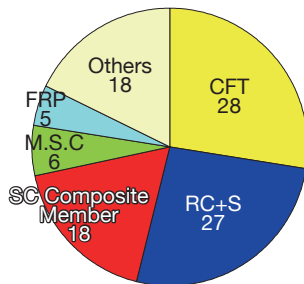


Fig. 2 Breakdown of 102 Study Reports on Steel-Concrete Composite Structures²⁾



CFT: Concrete-filled steel tube
 RC+S: Mixed frame of RC column and steel beam
 M.S.C.: Mechanical shear connector
 FRP: Fiber-reinforced plastics

Total: 102 study reports
 (Summaries of Technical Papers of AIJ Annual Meeting for FY2018)

Fig. 3 Relationship between Load and Slip of Mechanical Shear Connector³⁾

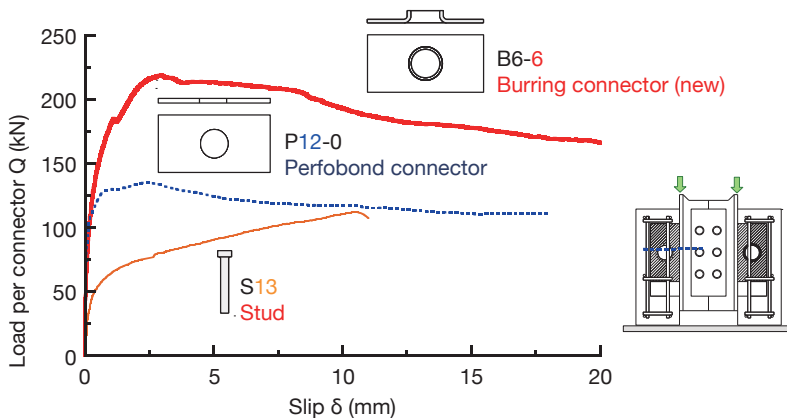


Fig. 4 Cross Section of Octagonal-section SC Column

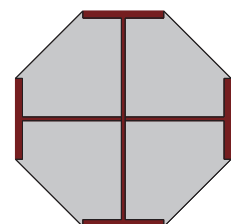


Fig. 5 Concrete-confined Effect of Octagonal-section SC Column Member⁴⁾

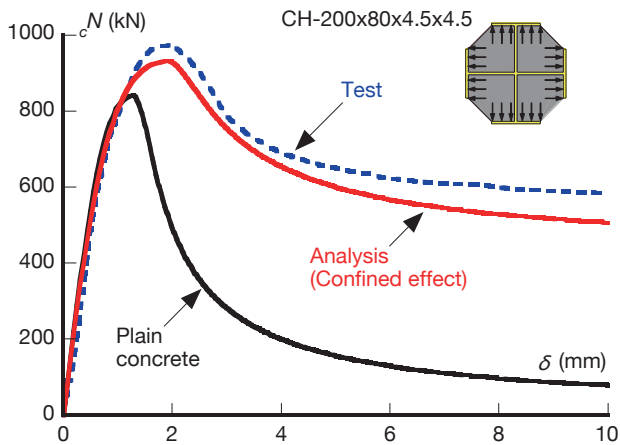


Fig. 6 Relationship between Shear Strength and Rotation Angle of Octagonal-section SC Column Member⁴⁾

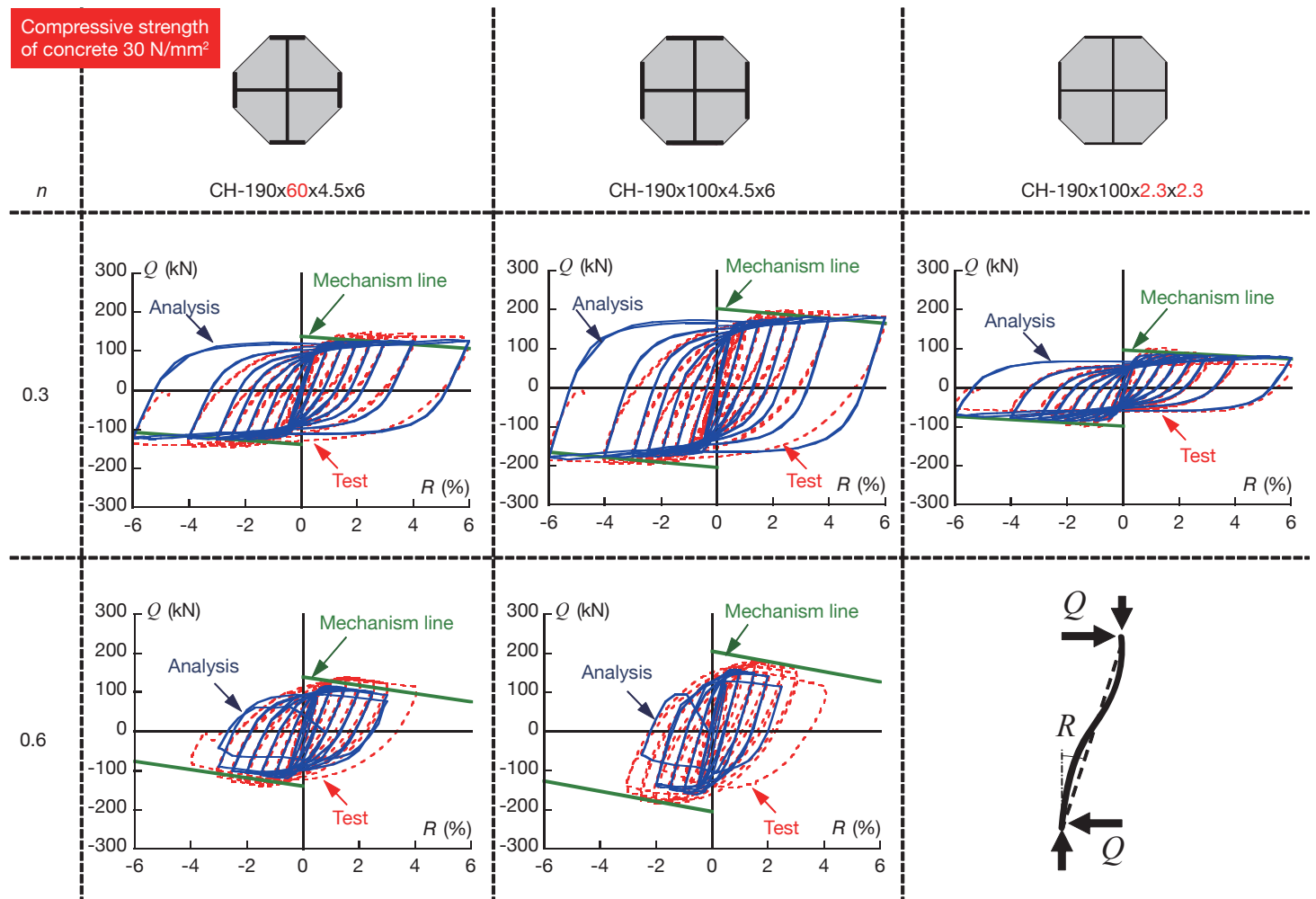


Fig. 7 Column-Beam Connection of Mixed Structure Composed of Octagonal-section SC Column and Steel-frame Beam

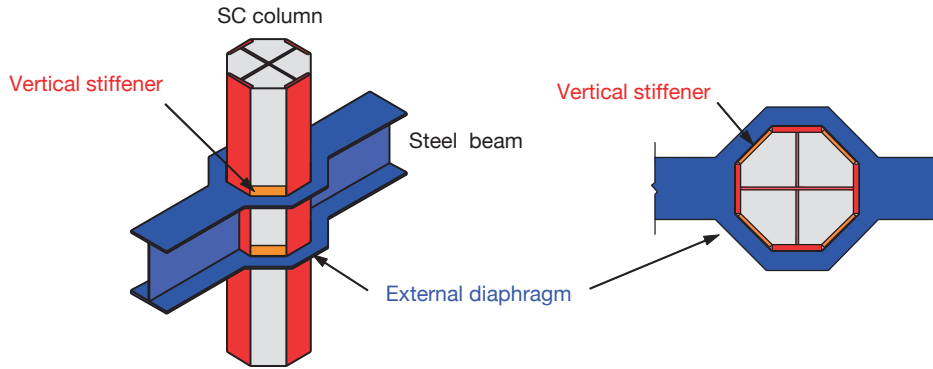
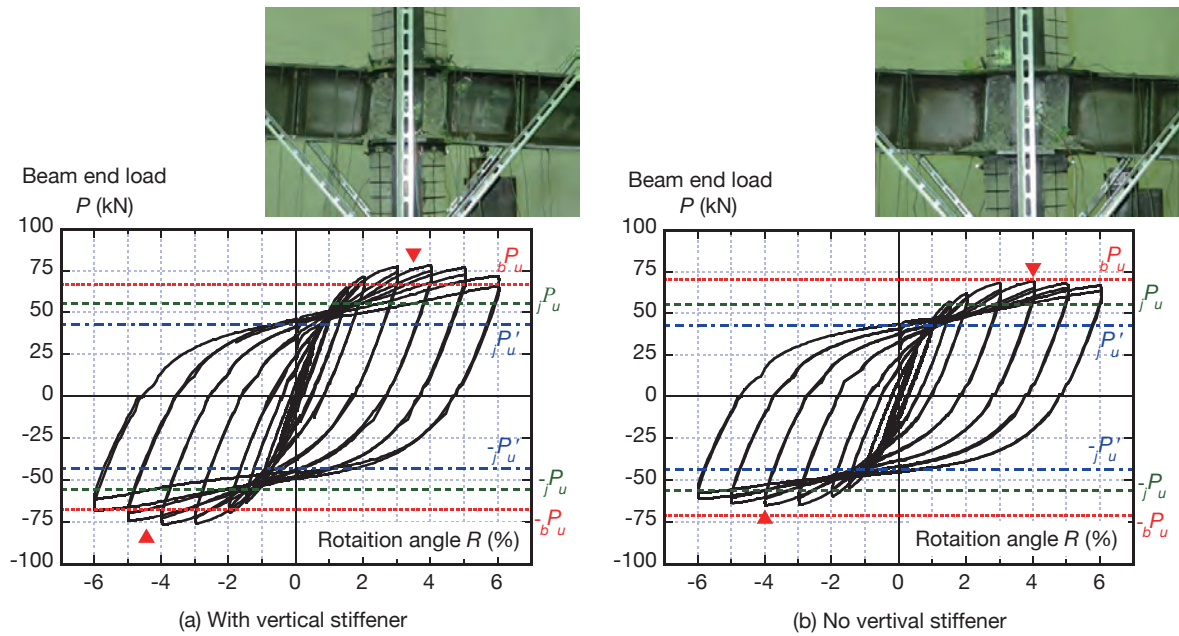


Fig. 8 Relationship between Load and Deformation of Column-Beam Connection Composed of Octagonal-section SC Column and Steel-frame Beam⁶⁾



(หน้า 5~8)

บทความประจำฉบับ: โครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีต (2)

สถานะในปัจจุบันของการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงสร้าง CFT

โดย Keigo Tsuda และ Masae Kido มหาวิทยาลัย Kitakyushu

ระบบโครงสร้างท่อเหล็กกรอกคอนกรีต (Concrete-filled steel tube, CFT) เป็นหนึ่งในระบบโครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีต CFT เป็นระบบที่ให้สมรรถนะทางโครงสร้างที่สูงทั้งในแง่ของการรับแรงและการต้านทานต่อการเสียรูป ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการใช้งานระบบโครงสร้าง CFT ตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษ 1950 และได้มีการนำมาใช้กับอาคารสูงมากมายหลายแห่งกระทั่งปัจจุบัน

รายงานฉบับแรกที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงสร้าง CFT ที่ได้มีการนำเสนอผลงานในประเทศญี่ปุ่น มีชื่อว่า “การทดสอบและการวิเคราะห์แรงที่กระทำให้เกิดโก่งเดาะของอาคารรับแรงอัดระบบ CFT” โดย ศาสตราจารย์ Shizuo Ban และทีมงานในปี 1956 และในปี 1961 ก็ได้มีการศึกษาที่คล้ายกันอีกฉบับออกมาซึ่งมีชื่อว่า “การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการศึกษาแรงในแนวแกนตรงศูนย์กลางของเสา CFT ที่ชะลุด” โดย ศาสตราจารย์ Takeo Naka ศาสตราจารย์ Ben Kato และทีมงาน โดยพบว่า ศาสตราจารย์ Kenji Sakino เป็นท่านแรกที่ได้ยื่นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงสร้าง CFT เป็นท่านแรกในประเทศญี่ปุ่น

โดยสำหรับ “โครงการพัฒนาอาคารชุดพักอาศัยรวมในเขตชุมชนแห่งใหม่” ที่ได้มีการประชาสัมพันธ์โครงการไปตั้งแต่ปี 1985 ตลอดระยะเวลา 5 ปี โดยกระทรวงก่อสร้าง ระบบโครงสร้าง CFT ได้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของอาคารสูงเพื่อการพักอาศัย ในประเด็นนี้ได้มีการศึกษาโดยผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการถึงพฤติกรรมการรับแรงของระบบโครงสร้างเสาคานเพื่อประเมินสมรรถนะทางโครงสร้าง นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษา “ระบบโครงสร้างวัสดุผสม” โดยเป็นงานวิจัยเชิงวิศวกรรมแผ่นดินไหวร่วมระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศญี่ปุ่น โดยเป็นการศึกษาที่มีการดำเนินการตลอดระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี 1993 ซึ่งได้มีการตั้งคณะทำงานร่วมกัน โดยได้มีการวิจัยผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการถึงพฤติกรรมของเสา CFT และจุดต่อคานเข้ากับเสา CFT โดยได้มีการเปลี่ยนกำลังรับแรงของวัสดุ อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา และอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางต่อความหนาของผนังท่อเหล็ก

ในส่วนต่อไปนั้น จะเป็นการนำเสนอแนวโน้มของการศึกษาวิจัยระบบโครงสร้าง

แนวทางในการออกแบบและการประยุกต์ใช้งาน

แนวทางในการออกแบบระบบโครงสร้าง CFT 2 เวอร์ชันล่าสุดได้ถูกตีพิมพ์ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อเสนอแนะในการออกแบบและการก่อสร้างระบบโครงสร้างท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต (ปี 2008) โดยสถาบันสถาปนิกแห่งประเทศไทย (Architectural Institute of Japan, AIJ) และมาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับระบบโครงสร้างท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต (ปี 2012) โดยสมาคมเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่อยู่อาศัยในเขตชุมชน นอกจากนี้ ยังพบว่าได้มีการตีพิมพ์หนังสือ แนวทางการออกแบบโครงสร้างท่อเหล็กกรอกคอนกรีต สำหรับผู้ออกแบบรุ่นใหม่ตลอดจนนักศึกษาในมหาวิทยาลัย โดยสถาบันสถาปนิกแห่งประเทศไทย ญี่ปุ่นอีกด้วย

สำหรับคุณสมบัติของวัสดุที่มีการระบุให้ใช้กับระบบโครงสร้าง CFT นั้น AIJ ได้แนะนำให้คอนกรีตที่นำมาใช้มีกำลังรับแรงอัดในช่วง $18\sim90\text{ N/mm}^2$ และสำหรับ

เหล็ก ให้ใช้เหล็กที่นำไปแปรรูปเป็นท่อเหล็กที่มีกำลังรับแรงดึงไม่เกิน 590 N/mm^2 และหน่วยแรงดึงที่จุดครากในช่วง $235\sim440\text{ N/mm}^2$ (ตารางที่ 1) หน้าที่ตามมาตรฐานสำหรับระบบโครงสร้าง CFT เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและรูวงกลม (รูปที่ 1) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาวิจัยผ่านคาร์ตทดสอบในห้องปฏิบัติการถึงผลกระทบจากการใช้เหล็กเส้นเสริมกำลังในเสาท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีตอีกด้วย

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดของระบบโครงสร้าง CFT

รูปที่ 1 หน้าตัดเสา CFT

แนวโน้ม ณ ปัจจุบันของการศึกษาของอาคารเสา CFT

• กำลังรับแรงสูงสุดของเสาที่รับแรงในแนวแกน

ข้อเสนอแนะที่ปรากฏในปัจจุบันโดย AIJ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 2 โดยตัวแปรที่บ่งชี้ถึงความชะลุดของเสาที่รับแรงในแนวแกน แสดงด้วย L_e/D โดยที่ L_e เป็นค่าความยาวประสิทธิผล และ D เป็นขนาดมิติความลึกของหน้าตัดเสา โดยสำหรับค่า L_e/D ที่ไม่เกิน 4 จะนิยามว่าเป็นเสาสั้น L_e/D อยู่ในช่วงระหว่าง 4-12 จะนิยามว่าเป็นเสายาวปานกลาง และหาก L_e/D มากกว่า 12 จะเป็นเสายาวชะลุด โดยสมการที่ใช้ในการออกแบบซึ่งเป็นการพิจารณากำลังต้านทานการโก่งเดาะของทั้งเสาเหล็กและเสาคอนกรีตที่เป็นพฤติกรรมโครงสร้างวัสดุผสมจะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนความชะลุดที่กล่าวถึงนี้

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง กำลังของเสาที่คำนวณได้จากข้อเสนอแนะซึ่งเป็นพฤติกรรมร่วมของเสาเหล็กและเสาคอนกรีตต่อการต้านทานการโก่งเดาะเทียบกับกำลังที่คำนวณได้จากข้อเสนอแนะของ AIJ โดยจากรูป ค่า S_y เป็นค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กที่ใช้ทำท่อเหล็ก และ S_g เป็นกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต จากที่แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงที่ได้เสนอไปซึ่งเป็นพฤติกรรมร่วมของเสาเหล็กและเสาคอนกรีตต่อการต้านทานการโก่งเดาะจะสอดคล้องกับกำลังรับแรงที่คำนวณได้จากสมการที่เสนอโดย AIJ ซึ่งได้พิจารณาทั้งเสาที่มีความชะลุดในทุกประเภท

รูปที่ 2 ขอบเขตของเสาสั้น เสายาวปานกลาง และเสายาวชะลุด

รูปที่ 3 กราฟแสดงกำลังรับแรงของเสา

• กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาที่รับแรงในแนวแกนและความเค้นเฉือนจากการตัดตัว

ข้อเสนอแนะในการออกแบบของสถาบันสถาปนิกแห่งประเทศไทยได้มีการนำเสนอสมการที่ใช้ในการออกแบบเสาที่มีความยาวทั้งสามประเภทคือเสาสั้น เสายาวปานกลาง และเสายาวชะลุดดังเช่นในกรณีของการออกแบบของอาคารรับแรงอัด ในปัจจุบันช่วงที่หน้าตัดเสาจะเกิดพฤติกรรมพลาสติกสมบูรณ์ได้จะสามารถแสดงได้ในรูปของค่าเทียบสัดส่วนระหว่าง ค่าอัตราส่วนความชะลุด (L_e) และค่าอัตราส่วนของแรงที่กระทำ (η_y) และค่าอัตราส่วนของโมเมนต์ดัดที่ปลาย (k) ดังแสดงไว้ดังโมเดลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ สรุปออกมาได้เป็นสมการ $n_y \cdot \lambda \cdot c^2 = \alpha(1 + \kappa)$ โดยหากค่า α มีค่าไม่เกิน 0.05 จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและแรงในแนวแกนที่สัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงของเสาดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นระดับที่เสา CFT อาจมีพฤติกรรมถึงระดับพลาสติกสมบูรณ์ โดยในปัจจุบัน วิธีการในการประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสา CFT ที่ไม่สามารถรับน้ำหนักถึงระดับพลาสติกสมบูรณ์ได้นั้นกำลังอยู่

ในช่วงศึกษาวิจัย

สำหรับกรณีของเสา CFT รูปสี่เหลี่ยมที่อาจก่อให้เกิดการแตกร้าวจากการเฉือน ก็พบว่าเมื่อการฉีกการแตกร้าวเกิดขึ้นในกรณีที่อัตราส่วนของแรงเฉือนตลอดช่วงความยาวมีค่าไม่เกิน 1 แต่ก็เป็นที่ทราบทั่วกันว่าพฤติกรรมการรับแรงแบบกลับไปมาเป็นวงรอบของเสา CFT หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีความวิกฤตต่อการเกิดการแตกร้าวแบบเฉือนมากกว่าการเกิดการแตกร้าวแบบคด ซึ่ง ณ ปัจจุบันก็ได้มีการศึกษาถึงการแตกร้าวแบบเฉือนกับเสา CFT รูปวงกลมอยู่ด้วย

รูปที่ 4 ลักษณะของแรงที่กระทำและโมเมนต์โดยแตรม

รูปที่ 5 กราฟแสดงกำลังของเสา

• การศึกษาถึงผลกระทบจากแผ่นดินไหวคาบยาว

มีความเป็นกังวลเกิดขึ้นอย่างมากเกี่ยวกับผลกระทบของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ Nankai ซึ่งอาจเป็นศูนย์กลางของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบกับอาคารสูงที่มีความอ่อนไหวต่อแผ่นดินไหวคาบยาว การศึกษาเกี่ยวกับเสา CFT เพื่อจัดการกับแผ่นดินไหวคาบยาวจึงได้มีการส่งเสริมให้ดำเนินการกันยังแพร่หลาย โดยได้มีการศึกษาถึงวิธีการในการพิจารณาตรวจสอบความปลอดภัยของเสาต่อการเกิดแผ่นดินไหวคาบยาวขึ้นในปี 2013 ภายใต้โครงการ “Building Standard Maintenance Promotion” ของกระทรวงที่ดินโครงสร้างพื้นฐาน การคมนาคมและการท่องเที่ยว (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, MLIT) ซึ่งได้มีการทดสอบสมรรถนะของเสาที่มีแรงที่กระทำแบบเป็นวงรอบซึ่งมีขนาดของแรงที่คงที่ นอกจากนี้ยังอาจจากความสามารถในการรับแรงที่ได้จากการทดสอบ ก็ได้มีการนำเสนอถึงวิธีในการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเสา CFT เมื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองจากการเกิดแผ่นดินไหว

ในขณะเดียวกันก็มีความต้องการที่จะจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบอย่างเป็นระบบ โดยในปี 2015 คณะกรรมการอาคารของสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยก็ได้ประสานงานร่วมกับสมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทยเพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวคาบยาว โดยจัดตั้งเป็นคณะทำงานเพื่อการสำรวจและการศึกษาสมรรถนะของเสาภายใต้การเกิดแผ่นดินไหวคาบยาวซึ่งวางแผนไว้ว่าจะเป็นการศึกษาตลอดช่วงปี 2015 ถึงปี 2017 ระยะเวลารวมทั้งสิ้น 3 ปี

จากการศึกษาตลอดระยะเวลา 3 ปี ซึ่งได้มีการทดสอบเสา CFT มากมายหลายตัวอย่างที่ทำการทดสอบภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวงรอบที่มีขนาดคงที่พร้อมแรงกระทำในแนวแกนที่มีขนาดคงที่ โดยได้มีการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ในการทดสอบประกอบไปด้วย ค่าอัตราส่วนความเค้นต่อความลึกของหน้าตัด (l_u/D) ค่าอัตราส่วนแรงในแนวแกน (n_y) ขนาดของมุมการหมุน (R_0) และรูปร่างของหน้าตัด (สี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลม) ซึ่งได้ผลปรากฏ ณ ปัจจุบันดังต่อไปนี้

การทดสอบได้ดำเนินการภายใต้ลักษณะของแรงที่กระทำดังรูปที่ 6 ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการใส่แรงกระทำกับเสา รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำทางด้านข้างและมุมการหมุนโดยมี 3 กรณีคือ (1) $l_u/D = 14$ $n_y = 0.15$ และ $R_0 = 1.5\%$ (2) $l_u/D = 14$ $n_y = 0.3$ และ $R_0 = 1.5\%$ และ (3) $l_u/D = 14$ $n_y = 0.6$ และ $R_0 = 1\%$ จากรูปแสดงถึงการทดสอบเสาที่เหล็กกลางรูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของแรงที่กระทำทางด้านข้าง (Q_0/Q_{max}) ที่สุดเปลี่ยนมุมและแนวโน้มของความเครียดในแนวแกน ($ev\%$) ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นบริเวณฐานเสาภายหลังจากการทดสอบ ซึ่งเมื่ออัตราส่วนแรงในแนวแกนและขนาดของแรงกระทำ

ทางด้านข้างมีค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้นก็พบว่าน้ำหนักที่กระทำมีค่าลดลงมาก โดยสำหรับแผนการในอนาคตก็จะเป็นการนำเสนอถึงวิธีในการประเมินสมรรถนะการรับแรงที่ลดลงของเสา CFT

รูปที่ 6 ลักษณะของแรงที่กระทำ

ภาพที่ 1 อุปกรณ์ใส่แรงที่กระทำกับเสา CFT

รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำทางด้านข้างกับมุมการหมุน

ภาพที่ 2 บริเวณฐานของเสาภายหลังจากการทดสอบ

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวแกน แรงทางด้านข้างและจำนวนรอบที่กระทำ

• การศึกษาถึงความต้านทานการกระแทก

จากแผ่นดินไหว Great East Japan ที่เกิดขึ้นเมื่อปี 2011 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารหลายแห่งอันเนื่องมาจากคลื่นยักษ์สึนามิได้สร้างความกังวลเป็นอย่างมาก ซึ่งด้วยเสา CFT ที่น่าจะสามารถต้านทานการกระแทกได้ดีจึงได้มีการพัฒนาแนวทางการประเมินความสามารถในการรับแรงกระแทกขึ้น

• เสา CFT ที่มีการใช้เหล็กกำลังสูง

การทดสอบองค์อาคารเสา CFT ที่มีการนำเหล็กกำลังสูงที่มีกำลังรับแรงดึงอยู่ในช่วง $800 \sim 1,000 \text{ N/mm}^2$ อยู่ในขั้นตอนของการดำเนินการ โดยสำหรับการเชื่อมประกอบเสาเชื่อมประกอบรูปกล่องที่ต้องการเชื่อมที่ต้องการควบคุมอย่างละเอียดหากใช้กำลังของลวดเชื่อมที่สูงอันสอดคล้องกันกับวัสดุกำลังสูง โดยในปัจจุบันได้มีการพยายามศึกษาถึงการใช้ลวดเชื่อมที่มีกำลังต่ำกว่ากำลังของวัสดุที่นำมาใช้

การพัฒนาแบบโครงสร้าง CFTที่สามารถให้สมรรถนะทางโครงสร้างที่สูงขึ้น

สำหรับพัฒนาการของระบบโครงสร้าง CFTที่สามารถให้สมรรถนะทางโครงสร้างที่สูงขึ้นได้นั้นเป็นสิ่งที่คาดว่าจะสามารถเกิดขึ้นได้กับการคำนวณออกแบบเสา CFT ซึ่งไม่แต่เฉพาะจะใช้เหล็กกำลังสูงกว่าเหล็กที่ใช้กันอยู่ทั่วไปที่ปรากฏอยู่ในมาตรฐานการออกแบบในปัจจุบันเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงเสาที่มีความผอมเซ่สุดที่มีลักษณะรูปร่างหน้าตาของหน้าตัดแตกต่างกันออกไป อันส่งผลต่อสมรรถนะทางโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นได้



Keigo Tsuda: After finishing the master course at the Graduate School of Kyushu University, he served as research assistant of Kyushu University in 1977 and then as associate professor of Kyushu University. He became professor of the University of Kitakyushu in 2001 and emeritus professor in 2018.



Masae Kido: After finishing the doctoral program at the Graduate School of the University of Kitakyushu, she became lecturer of the University of Kitakyushu in 2007. She assumed her current position as associate professor of the University of Kitakyushu in 2012.

Table 1 Requirements for CFT Structures	
Compressive strength of concrete*	18~90 N/mm ²
Tensile strength of steel*	Smaller than 590 N/mm ²
Yield stress of steel*	235~440 N/mm ²
Ratio of limiting value of width (diameter) to thickness	1.5 times of AIJ steel standard
Ratio of buckling length to section depth	Not longer than 50 for columns
	Not longer than 30 for beam-columns

* AIJ Recommendations

Fig. 1 Cross Sections of CFT Columns

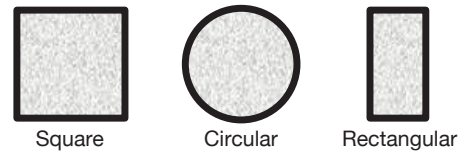


Fig. 2 Range of Short, Intermediate and Slender Columns

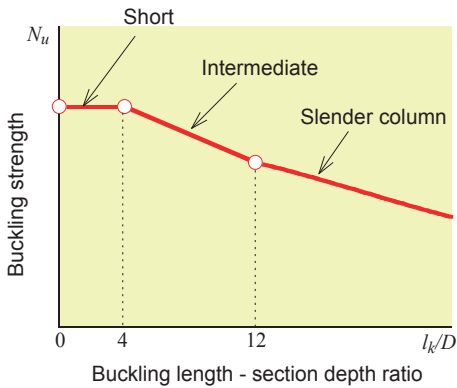


Fig. 3 Column Strength Curves

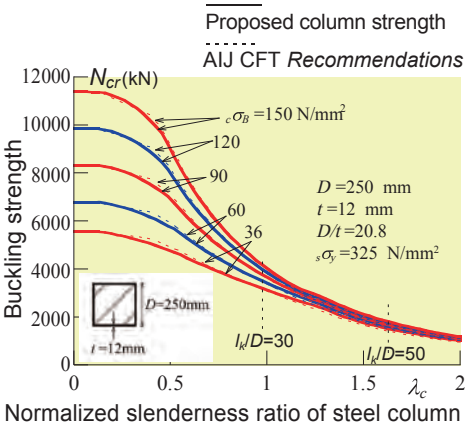


Fig. 4 Loading Conditions and Moment Diagrams

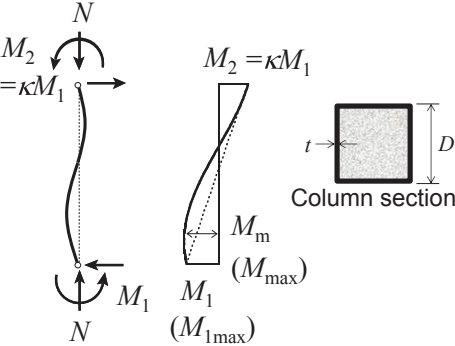


Fig. 5 Column Strength Curves

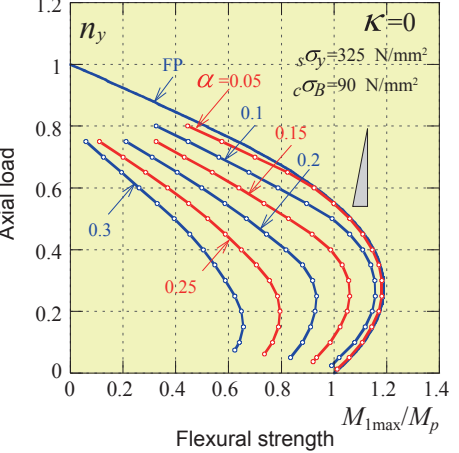


Fig. 6 Loading Conditions

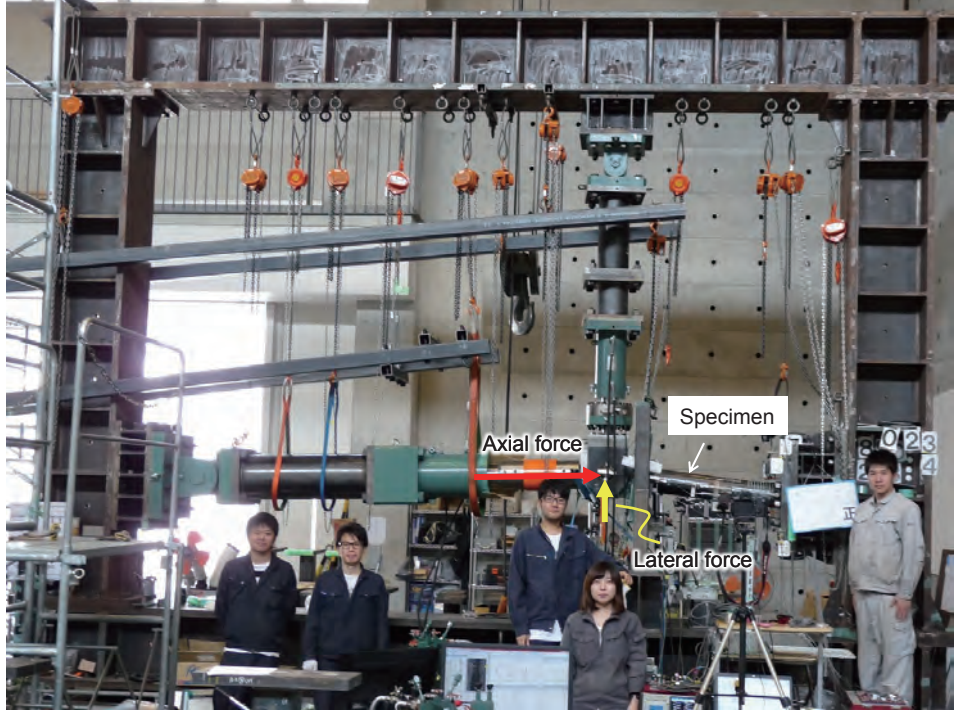
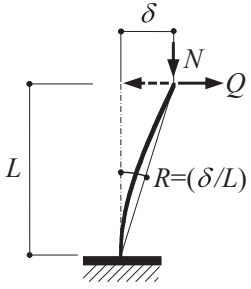


Photo 1 CFT column loading apparatus

Fig. 7 Relationship between Lateral Load and Rotation Angle

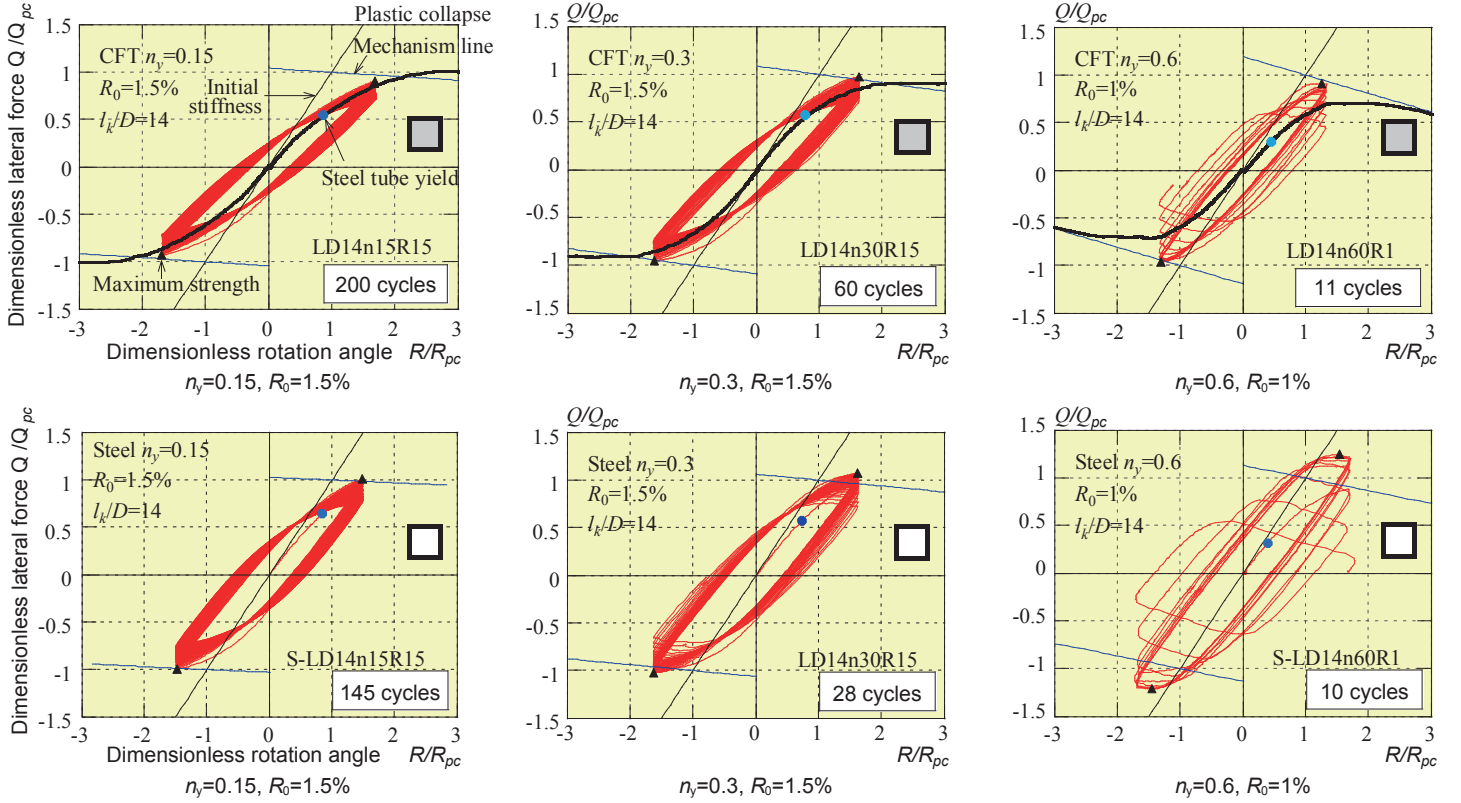
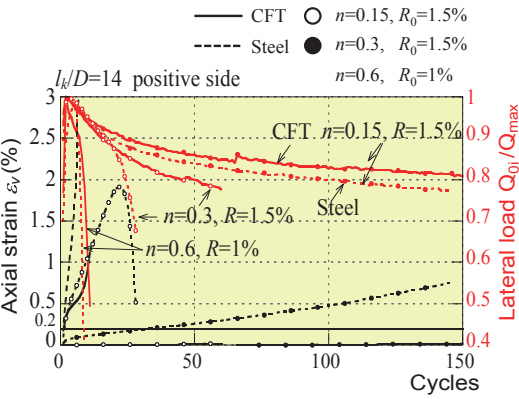
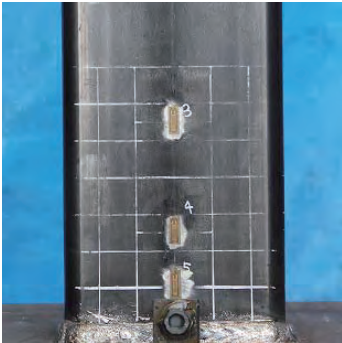


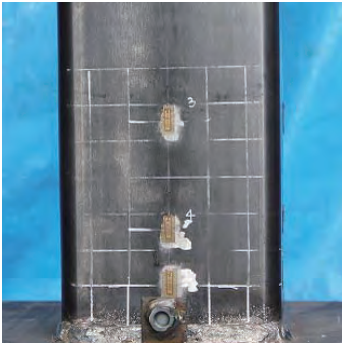
Fig. 8 Relationship between the Axial Strain, Lateral Load and the Number of Cycles



$n_y=0.15, R_0=1.5\%$



$n_y=0.3, R_0=1.5\%$



$n_y=0.6, R_0=1\%$



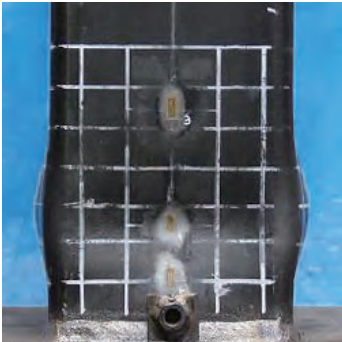
CFT



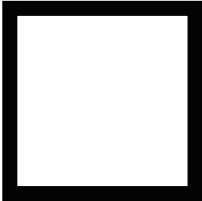
$n_y=0.15, R_0=1.5\%$



$n_y=0.3, R_0=1.5\%$



$n_y=0.6, R_0=1\%$



Steel

Photo 2 Column bases after testing

บทความประจำฉบับ: โครงสร้างวัสดุผสมเหล็กคอนกรีต (3)

ความเป็นไปได้ของการออกแบบข้อต่อเสากับคานโดยใช้แผ่น โตะแฟรมด้านนอก

โดย ศาสตราจารย์ Tsuyoshi Tanaka มหาวิทยาลัย Kobe

ข้อต่อเสากับคานโดยใช้แผ่นโตะแฟรมด้านนอก

หนึ่งในวิธีการที่ใช้ในการต่อท่อเหลี่ยมหรือท่อกลมเข้ากับคานเหล็กรูปตัว H คือ การใช้แผ่นโตะแฟรมด้านนอก (exterior diaphragm-type connection) ดังแสดงในรูปที่ 1 ข้อต่อเสากับคานโดยใช้แผ่นโตะแฟรมด้านนอกนี้จะไม่มีการจัดวางให้แผ่นโตะแฟรมเข้าไปอยู่ด้านในของเสาน้ำตกรูปกล่องแต่จะจัดวางให้อ้อมผนังด้านนอกของเสารูปกล่องเพื่อช่วยในการถ่ายความเค้นจากการดัดตัวไปยังเสา

สำหรับข้อต่อที่แผ่นโตะแฟรมตัดผ่านเสา (through diaphragm-type connection) มีความจำเป็นที่จะต้องตัดเสา ณ ตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งโตะแฟรมแล้วประกอบกลับเข้ามาด้วยการเชื่อม ในทางกลับกันข้อต่อแบบที่มีการติดตั้งแผ่นโตะแฟรมด้านนอก เป็นรูปแบบที่ไม่ต้องตัดเสาซึ่งเป็นการลดปริมาณงานแปรรูปบริเวณตำแหน่งดังกล่าวลง และสำหรับข้อต่อแบบติดตั้งแผ่นโตะแฟรมด้านนอกนั้นพบว่าจะมีการเกิดการเสียรูปเฉพาะที่ (ในทิศทางนอกระนาบผนังท่อเหล็ก) เกิดขึ้นที่เมื่อทำการเชื่อมต่อแผ่นโตะแฟรมดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งหากต้องการให้สตีฟเนสและกำลังของข้อต่อมีค่าตามที่ต้องการ ก็มีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบรายละเอียดของแผ่นโตะแฟรม ทั้งรูปร่างและขนาดมิติของแผ่นโตะแฟรม

นอกจากนี้ สำหรับข้อต่อแบบแผ่นโตะแฟรมตัดผ่านเสา ก็สามารถทำการเชื่อมแบบซึมลึกเต็มความหนา (full penetration welding) โดยเป็นการเชื่อมในแนวราบในทิศทาง (flat position) แต่สำหรับข้อต่อแบบติดตั้งโตะแฟรมภายนอกนั้น ด้วยเหตุที่จะต้องมีการเชื่อมในสภาพที่เสาวางตัวอยู่ในแนวนอน จึงต้องมีการทำการเชื่อมไม่เฉพาะที่จุดต่อระหว่างเสากับแผ่นโตะแฟรมเท่านั้น แต่ยังต้องทำการเชื่อมต่อที่จุดต่อระหว่างแผ่นโตะแฟรมกับคาน โดยทำการเชื่อมในแนวราบ (horizontal position) นอกจากนี้ในกรณีที่ความลึกของคานมีค่ามากยิ่งขึ้น ก็มีความเสี่ยงที่จะส่งผลต่อการติดตั้งองค์อาคารที่อยู่รอบนอก ตลอดจนพื้นที่สำหรับการเดินท่อก็อาจเป็นอุปสรรคได้

ด้วยเหตุผลหลายประการดังกล่าว ข้อต่อที่ติดตั้งโตะแฟรมแบบตัดผ่านเสาจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากกว่าข้อต่อที่ติดตั้งโตะแฟรมด้านนอก

รูปที่ 1 ข้อต่อเสากับคาน

รูปที่ 2 การเสียรูปเฉพาะที่ ที่บริเวณจุดที่เสาดัดเข้ากับคาน

กำลังที่สูงของเสาและกระบวนการในการเชื่อม

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์เหล็กกำลังสูงได้มีการนำมาใช้ในโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่หลายโครงการ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เหล็กกำลังสูงพิเศษที่มีกำลังรับแรงดึง 780 N/mm^2 (H-SA700) ก็ได้มีการพัฒนาและเริ่มมีการใช้งานกันเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน นอกจากนี้ก็ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เหล็กที่มีกำลังสูงขึ้นจากเดิมเพื่อสนองต่อความต้องการอาคารที่สูงมากยิ่งขึ้นหรืออาคารที่มีช่วงกว้างมากยิ่งขึ้น อันเป็นการสนองตอบต่อความต้องการที่ไร้ขีดจำกัดของผู้ออกแบบ โดยเป็นที่คาดการณ์ว่าผลิตภัณฑ์เหล็กกำลังสูงยิ่งขึ้นนี้จะส่งผลให้เกิดการสร้างสรรคผลงานทางสถาปัตยกรรมที่หลากหลายตลอดจนความปลอดภัยของโครงสร้างเมื่อเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

สำหรับการใช้งานผลิตภัณฑ์เหล็กที่มีกำลังรับแรงดึง 780 N/mm^2 ที่ใช้กับงานโครงสร้างอาคารนั้น นับได้ว่ามีข้อดีมากมายหลายประการแต่อย่างไรก็ดีเมื่อทำการตรวจสอบถึงรายละเอียดในการนำผลิตภัณฑ์เหล็กที่มีกำลังรับแรงดึงสูงถึงขนาด 780 N/mm^2 ไปใช้งานก็พบว่ากระบวนการเชื่อมถือเป็นอุปสรรคที่สำคัญยิ่งต่อการนำเหล็กที่มีกำลังสูงพิเศษไปใช้ ในการยืนยันว่ารอยเชื่อมมีกำลังสูงกว่าเหล็กกำลังสูงพิเศษ 780 N/mm^2 เป็นสิ่งที่ทำได้ยากยิ่งในทางปฏิบัติจริงซึ่งส่งผลต่อค่าก่อสร้างที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

เมื่อต้องนำผลิตภัณฑ์เหล็กกำลังสูงพิเศษ 780 N/mm^2 เข้ามาใช้ในการทำเสาอาคารและเหล็กกำลังสูงปกติทั่วไปที่มีกำลังรับแรงดึงไม่เกิน 590 N/mm^2 ในการใช้ทำเป็นคาน โตะแฟรม ตลอดจนส่วนประกอบอื่นๆ เมื่อได้มีการติดตั้งโตะแฟรมภายนอกก็มีความจำเป็นที่จะต้องเชื่อมเสาเพื่อประกอบเป็นข้อต่อเสากับคานอีก

ณ ปัจจุบันในประเทศญี่ปุ่นด้วยสาเหตุที่วิศวกรผู้ชำนาญงานเชื่อมเป็นที่ขาดแคลนในตลาดแรงงาน จึงได้มีการพัฒนาวิธีการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์เข้ามาใช้งานเชื่อมเสากับคาน โตะแฟรม จึงส่งผลทำให้การเชื่อมเสากับคานโตะแฟรมในท่าราบด้วยหุ่นยนต์ได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น ในท้ายที่สุดนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าด้วยวิวัฒนาการของการเชื่อมที่ก้าวหน้ายิ่งขึ้นนี้จึงน่าจะส่งผลทำให้การใช้ข้อต่อที่ติดตั้งโตะแฟรมด้านนอกเป็นที่นิยมมากยิ่งขึ้น

เสา CFT และการเสียรูปเฉพาะที่

จากที่ได้นำเสนอไปข้างต้น โดยเหตุที่การเสียรูปเฉพาะที่ (local deformation) จะเกิดขึ้นกับข้อต่อเสาคานที่โตะแฟรมติดตั้งด้านนอก ซึ่งมีหลายกรณีที่ข้อต่อเสาคานดังกล่าวนี้ไม่อาจจะพิจารณาได้ว่าเป็นข้อต่อแบบแข็ง (rigid connection) ซึ่งแม้ว่ากำลังรับแรงจะเพิ่มขึ้นจากการนำเหล็กกำลังสูงพิเศษเข้ามาใช้ แต่อย่างไรก็ดีความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่เฉพาะจุด (local stiffness) ก็ไม่ได้เพิ่มขึ้น โดยสำหรับข้อต่อที่โตะแฟรมถูกติดตั้งอยู่ภายนอก จะเป็นรูปแบบที่สามารถอำนวยความสะดวกให้คอนกรีตสามารถเต็มเข้าไปด้านในของท่อเหล็กได้ง่ายและสมบูรณ์ ดังนั้นแล้วการเสียรูปเฉพาะที่จึงสามารถจะรับได้ด้วยการเติมคอนกรีตเข้าไปในเสาเพื่อเหล็กให้เป็นระบบเสา CFT

การทดสอบโครงสร้าง

• ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้มีการเตรียมโดยการต่อเสาท่อเหล็กกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 300 ความหนา 12 มิลลิเมตร) ซึ่งผลิตด้วยการกดขึ้นรูป (press forming) เหล็กแผ่นที่มีกำลังรับแรงดึง 780 N/mm^2 (H-SA700) ต่อเข้ากับคานเหล็กรูปตัวเอชกำลังรับแรงดึง 490 N/mm^2 (ความลึก 400 ความกว้างปีก 150 ความหนาปีก 16 และความหนาเอว 9 มิลลิเมตร เกรด SN490B) โดยใช้การต่อระบบแผ่นโตะแฟรมอยู่ภายนอก ซึ่งได้มีการดำเนินการทดสอบโดยผลการทดสอบมีดังนี้:

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการต่อคานเข้ากับเสา ความความลึกของแผ่นโตะแฟรม (h_p) มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตรและความหนา (t_p) มีค่าเท่ากับ 16 มิลลิเมตร การเชื่อมแผ่นโตะแฟรมเข้ากับท่อเหล็ก ใช้การเชื่อมพอกแบบพิเศษโดยการท่ามุม 60° ดังแสดงในรูป รูปแบบการเชื่อมเป็นการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คลุม (CO_2 welding) โดยใช้ลวดเชื่อม YGW18 ที่ใช้กับการเชื่อมเหล็กเกรดที่มีกำลังรับแรงดึง 490 N/mm^2

การทดสอบได้มีการดำเนินการโดยแบ่งเป็นสองกรณีคือ กรณีที่ใช้ท่อเหล็กกลม

(CHS) ตัวอย่างทดสอบ TD-16/H และการใช้ท่อกรอกด้วยคอนกรีต (CFT) ตัวอย่างทดสอบ TD-16/C กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มีค่า 24 MPa โดยใช้หินที่มีขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 20 มิลลิเมตรเป็นวัสดุมวลรวมสำหรับผสมคอนกรีต

รูปที่ 3 ตัวอย่างการทดสอบ

• การใส่แรงและการวัด

ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4 ปลายด้านหนึ่งของเสาท่อเหล็กต่อเข้ากับตัวจับยึดที่หมุนและปลายอีกด้านต่อเข้ากับตัวจับยึดที่หมุนที่สามารถเลื่อนไถลได้ โดยที่มีการใส่แรงแบบกลับไปกลับมาเป็นวงรอบโดยสามารถเพิ่มแรงที่กระทำมากขึ้น ด้วยการใช้แม่แรงไฮดรอลิกซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของคาน

มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดการเสียรูปในบริเวณข้อต่อเพื่อวัดการเสียรูปเฉพาะที่ (ϵ_q) การเสียรูปของคาน (ϵ_q) และการเสียรูปรวม $\tau q (= \epsilon_q + \epsilon_q)$ ซึ่งเป็นการรวมผลของการเสียรูปเฉพาะที่และการเสียรูปของคานเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 5

แรงที่กระทำเป็นวงรอบกำหนดไว้ที่ $\pm 6q_p$, $\pm 2q_p$, $\pm 4q_p$, $\pm 6q_p$ และ $\pm 8q_p$ สำหรับการหา τq ซึ่งต้องมีการกำหนดมุมการเสียรูปพลาสติก (ϵ_{p_p}) ที่สัมพันธ์กับกำลังรับแรงรวมแบบพลาสติกของคาน (ϵ_{p_p}) และแรงที่กระทำแบบเป็นวงรอบดังที่แสดงข้างต้นจะกระทำจำนวนทั้งสิ้นสองครั้งกับตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้

รูปที่ 4 ตัวอย่างทดสอบและการเตรียมการทดสอบ

รูปที่ 5 การเสียรูปของคานโดยรวม (τq) การเสียรูปเฉพาะที่ (ϵ_q) และการเสียรูปของคาน (ϵ_q)

• ผลการทดสอบ

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำที่ปลายคาน (P) ของตัวอย่างทั้งสองตัวอย่าง กับค่าการเสียรูปของคานโดยรวม (τq) การเสียรูปเฉพาะที่ (ϵ_q) และการเสียรูปของคาน (ϵ_q) เส้นประดังรูปแสดงค่าสถิติของคานระดับพลาสติก ที่ได้จากการคำนวณ และกำลังรับแรงรวมแบบพลาสติกของคาน (ϵ_{p_p}) ผลการทดสอบตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างแสดงได้ดังนี้:

ตัวอย่าง TD-16/H ซึ่งเป็นการทดสอบเสาท่อเหล็กกลวงทรงกลม พบว่าจะมีการเกิดการครากเฉพาะที่ก่อนเป็นอันดับแรก และเมื่อใส่แล้วแรงกระทำเพิ่มขึ้นพบว่าคานจะมีการเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสติกเมื่อจำนวนรอบของแรงมีค่า $\pm 4q_p$ และเมื่อจำนวนรอบมีค่า $\pm 2q_p$ พบว่ามีการแตกแบบเหนียวเกิดขึ้นที่มุมของหน้าตัดเสาที่อยู่ด้านใน และเมื่อใส่แรงที่จำนวนรอบ $-6q_p$ ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเกิดการแตกร้าวขึ้นในแนวทแยงกับด้านที่ติดตั้งแผ่นไดอะแฟรม อันส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการรับแรงอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับตัวอย่างหมายเลข TD-16/C ซึ่งเป็นเสาท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต (CFT) พบว่าจะเกิดการครากเฉพาะที่และการครากของคานพร้อมกันไปเมื่อมีการใส่แรง ณ จำนวนรอบ $\pm 2q_p$ โดยหลังจากนั้นการเสียรูปแบบพลาสติกของคานจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และ ณ จำนวนรอบ $\pm 4q_p$ จะเกิดการแตกร้าวแบบเหนียวขึ้นที่ขอบมุมด้านใน และ ณ จำนวนรอบ $-8q_p$ ภายหลังจากที่พบการแตกร้าวเกิดขึ้นในแนวเฉียงกับด้านที่มีแผ่นไดอะแฟรม ไดอะแฟรมจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวขึ้น ทั้งนี้การโก่งเดาะเฉพาะที่ของคานจะเกิดขึ้นเมื่อจำนวนรอบของแรงมีค่า $\pm 4q_p$

จากผลการทดสอบเมื่อนำผลการทดสอบที่ได้ระหว่างตัวอย่าง TD-16/H และ

TD-16/C พบว่าค่าสถิติเฉพาะที่ของตัวอย่าง TD-16/C มีค่าเพิ่มขึ้นราว 1.7 เท่าจากการที่กรอกคอนกรีตเข้าไป และพบว่าความเหนียวของคานมีค่าเพิ่มสูงขึ้น รูปที่ 8 แสดงให้เห็นเส้นกราฟความสัมพันธ์ $P-\tau q$ ในทิศทางบวก โดยแปลงให้เป็นค่าอะไรหน่วยในรูปของ ϵ_{p_p} และ ϵ_{p_p} ค่าสถิติในระดับอิลาสติก ดังความสัมพันธ์ระหว่าง P และ τq จะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าการเกิดการต่อแบบปลายตรงแน่นราว 12% อันเนื่องมาจากผลของคอนกรีตที่กรอกเข้าไปด้านใน ดังนั้นแล้วจึงเป็นที่ทราบกันว่าพฤติกรรมแบบอิลาสติก-พลาสติก และความสามารถต้านทานการเสียรูปแบบพลาสติกจะมีค่าใกล้เคียงกับรูปแบบการต่อเสาคานแบบตรงแน่น

รูปที่ 6 กราฟแสดงแรงและการเสียรูป

รูปที่ 7 การแตกร้าวของไดอะแฟรม

รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ทางโครงสร้าง

ศักยภาพของข้อต่อเสาคานแบบติดตั้งแผ่นไดอะแฟรมด้านนอก

ข้อต่อที่ใช้การติดตั้งแผ่นไดอะแฟรมด้านนอกเป็นรูปแบบดั้งเดิมที่ใช้กันทั่วไปในประเทศญี่ปุ่น รูปแบบการตอแบบนี้นับได้ว่ามีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการใช้กับเสาท่อเหล็กที่ผลิตขึ้นจากเหล็กกล้าสูงพิเศษ ในกรณีที่มีการพัฒนาการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์สำหรับการเชื่อมในท่าราบในอนาคต แนะนำว่าควรจะใช้ข้อต่อระบบแผ่นไดอะแฟรมติดตั้งด้านนอกจะดีกว่ารูปแบบอื่น



Tsuyoshi Tanaka: After receiving master's degree at the Graduate School of Engineering, Kobe University, he entered Asanuma Corporation in 1985. He became associate professor at the Kobe University in 1999. He assumed his current position as professor at the Architecture, Faculty of Engineering of Kobe University in 2010. His specialized field covers structural engineering and steel structures.

Fig. 1 Column to Beam Connection Stiffened by Exterior Diaphragms

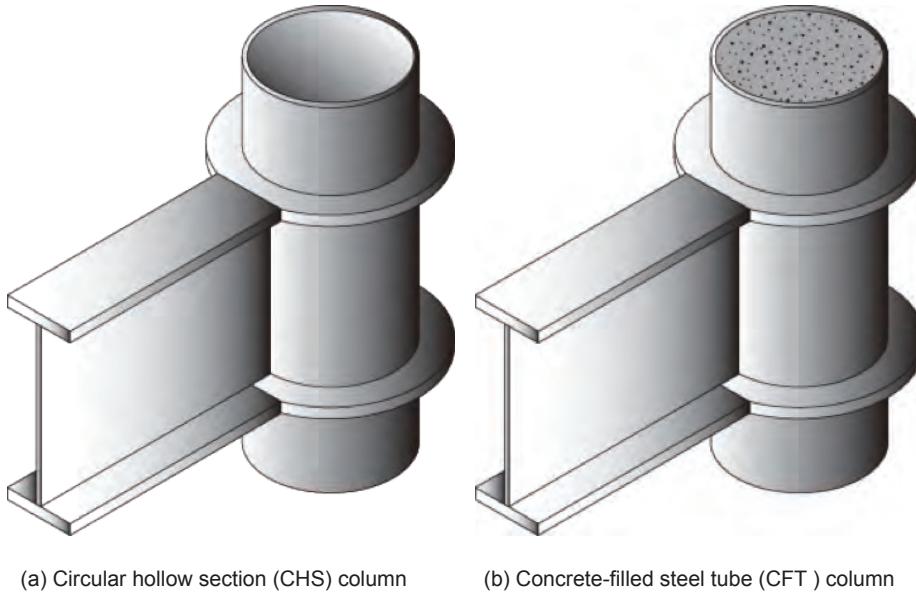


Fig. 2 Local Deformation at Column to Beam Connection

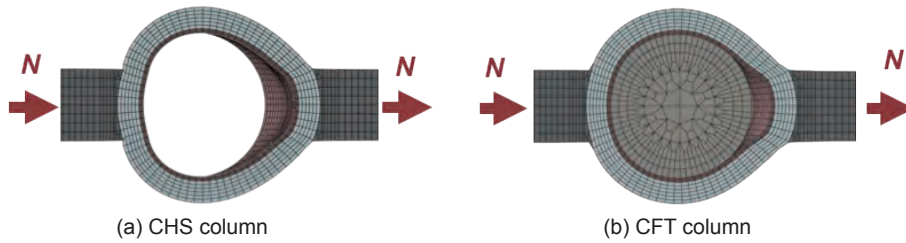


Fig. 3 Test Specimen (unit: mm)

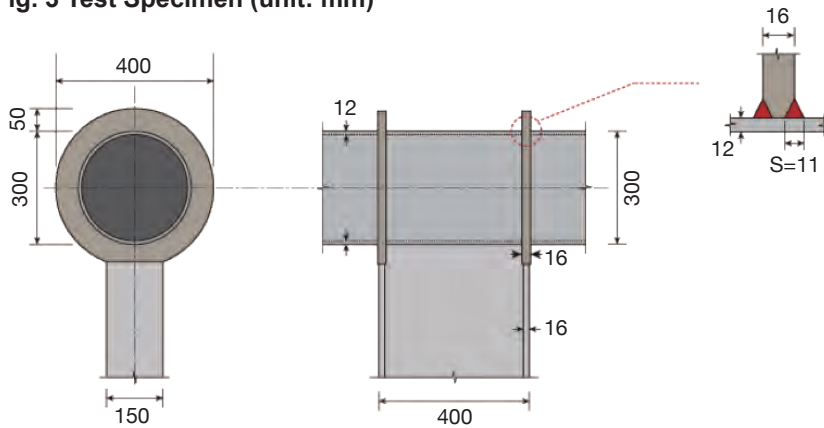


Fig. 4 Specimen and Test Setup

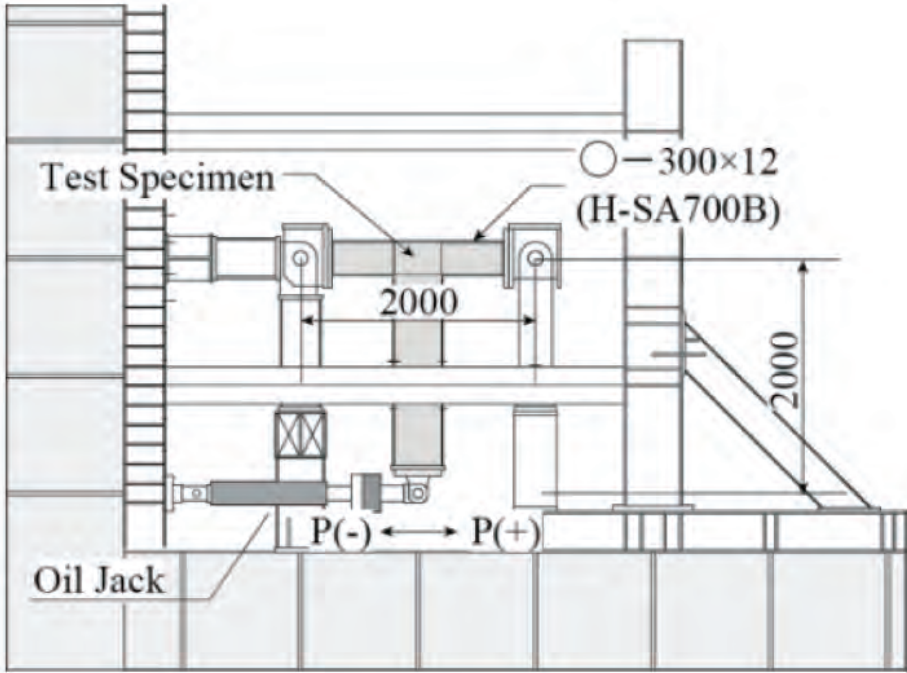


Fig. 5 Total Beam Deformation $\tau\theta$, Local Deformation $L\theta$ and Beam Deformation $B\theta$

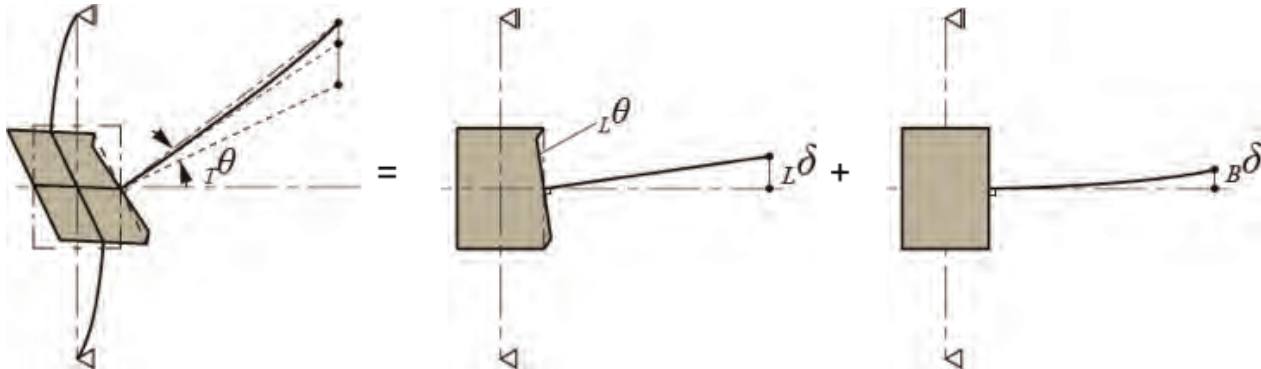


Fig. 6 Load-Deformation Curves

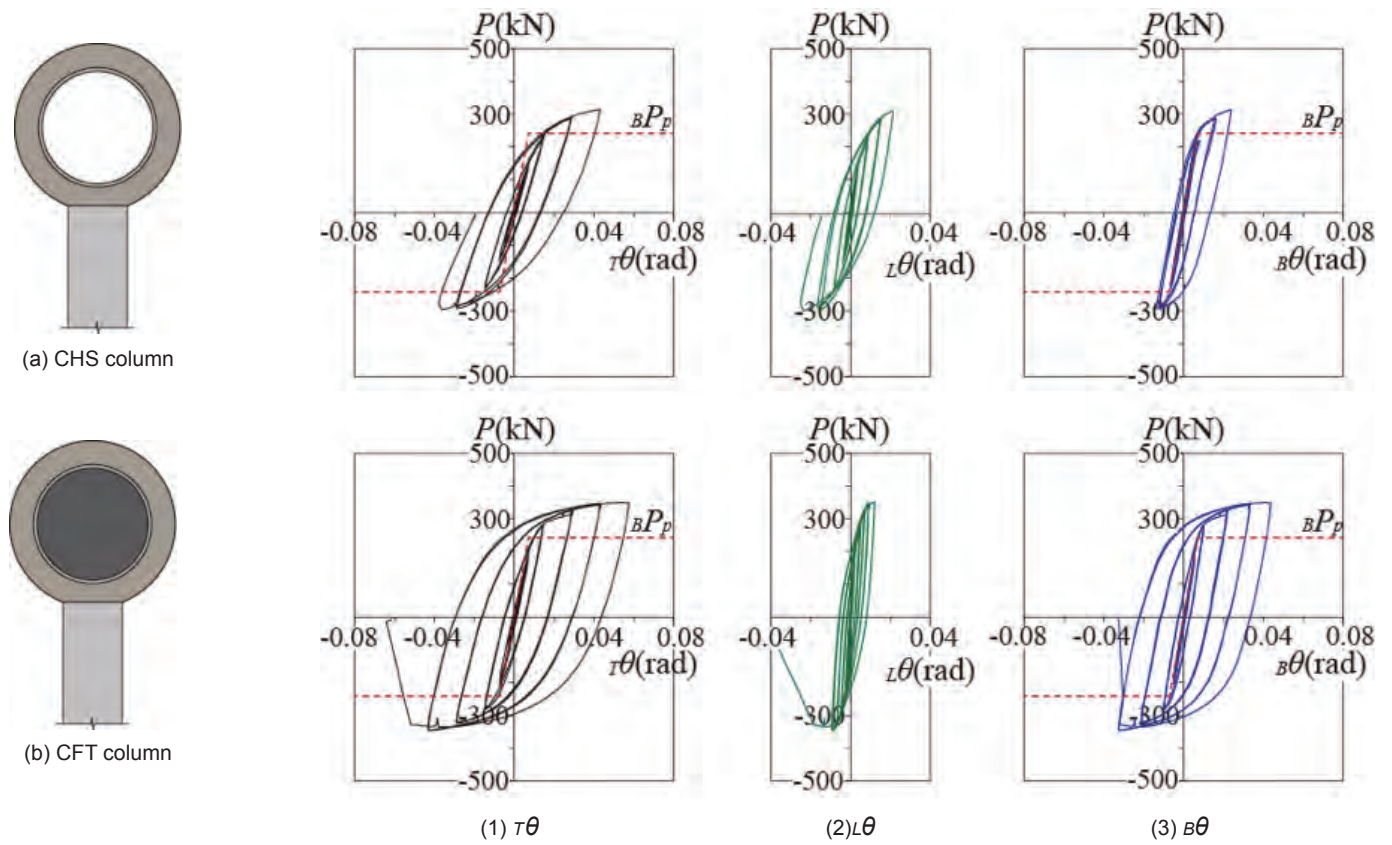
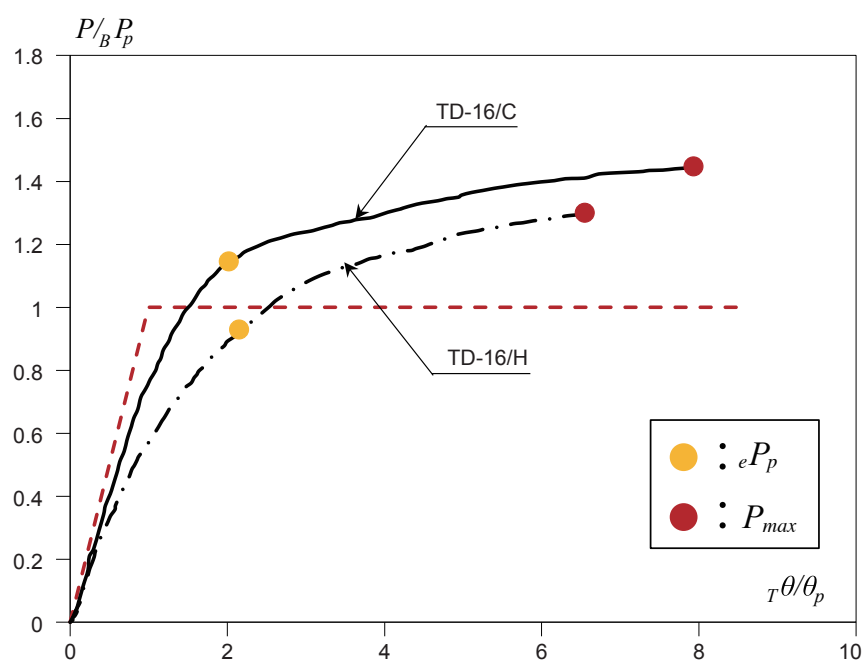


Fig. 7 Fracture of Diaphragm



Fig. 8 Skelton Curves



(หน้า 13~14)

บทความประจำฉบับ: โครงสร้างวัสดุผสมเหล็กและคอนกรีต (4)

ท่อเหล็กสำหรับงานอาคารและระบบโครงสร้าง CFT

โดย คณะกรรมการส่งเสริมการตลาดต่างประเทศ

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ BCR BCP สำหรับท่อเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขึ้นรูปเย็น

ท่อเหล็กขึ้นรูปเย็นนิยมนำมาใช้เป็นเสาอาคารโครงสร้างเหล็กในประเทศญี่ปุ่น มากกว่าผลิตภัณฑ์เหล็กโครงสร้างประเภทอื่น กระบวนการในการผลิตสามารถทำได้ทั้งวิธีการรีดขึ้นรูป (roll forming เรียกผลิตภัณฑ์ว่า BCR) และวิธีการกดทับขึ้นรูป (press forming เรียกผลิตภัณฑ์ว่า BCP) ซึ่งกระบวนการในการผลิตแสดงไว้ดังรูปที่ 1

ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ BCR และ BCP ต่างก็ได้เป็นมาตรฐานที่ระบุในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (JIS) แต่อย่างไรก็ดีผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้มีระบุในมาตรฐาน MDCR (มาตรฐานผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับก่อสร้างอาคาร) ตีพิมพ์โดยสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (Japan Iron and Steel Federation, JISF) และอนุญาตให้มีการนำมาใช้กับงานก่อสร้างอาคารได้ โดยกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การคมนาคม และการท่องเที่ยวของประเทศญี่ปุ่น (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan, MLIT)

ขนาดของหน้าตัด สำหรับ BCR คือ 200×6 mm~550×25 mm และสำหรับ BCP 200×6 mm~1,000×40 mm

ส่วนประกอบทางเคมีแสดงไว้ดังตารางที่ 1 ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2 โดยสำหรับ BCP235 และ BCP325 ก็จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเกรดตรงกับเหล็กแผ่นเกรด SN400 และ SN490 ตามลำดับ ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงกล เช่น หน่วยแรงดึงที่จุดคราก ดังเช่น เหล็ก SN ที่ระบุในมาตรฐาน JIS (เหล็กที่ร้อนสำหรับงานโครงสร้างอาคาร) ค่าความสามารถในการดูดซับพลังงาน Charpy กำหนดไว้ ไม่ต่ำกว่า 27J ที่ 0°C สำหรับท่อที่ผนังมีความหนาเกินกว่า 12 มิลลิเมตรตั้งระบุไว้ในผลิตภัณฑ์ชั้นคุณภาพ SN

สำหรับ BCP325T ต้องการให้มีความแรงที่บริเวณขอบมุมของท่อ ที่ต้องผ่านกรรมวิธีในการผลิตดัดขึ้นผลิตภัณฑ์ชั้นคุณภาพ SN ก็เพียงจะได้รับการอนุมัติให้ใช้ โดยกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การคมนาคม และการท่องเที่ยวของประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 1 กระบวนการผลิต BCR และ BCP

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี ของ BCR และ BCP

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงกล ของ BCR และ BCP

เหล็กแผ่นสำหรับเสาท่อเหลี่ยมเชื่อมประกอบรูปกล่อง

เสาท่อเหลี่ยมรูปกล่องที่มีการเชื่อมประกอบจากเหล็กแผ่น ได้มีการนำเข้ามาใช้กับโครงสร้างท่อเหล็กกรอกคอนกรีต (concrete-filled steel tube, CFT) ในประเทศญี่ปุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโครงสร้างอาคารสูงที่ขนาดของเสาใหญ่เกินกว่าขนาดของ BCP และ BCR ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กแผ่นสำหรับงานอาคาร

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเหล็กกำลังสูงที่มีกำลังรับแรงดึง 780 N/mm² (ชั้นคุณภาพ H-SA700) และ 590 N/mm² (ชั้นคุณภาพ SA440) โดยมาตรฐานวัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวก็ได้มีการตีพิมพ์โดยสมาพันธ์เหล็กและ

เหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ในชั้นคุณภาพ H-SA700 และ SA440 ตามลำดับ ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กแผ่นสำหรับระบบโครงสร้าง CFT ค่าสมมูลคาร์บอน (carbon equivalent, C_{eq}) ได้กำหนดเกณฑ์ไว้ไม่ให้มีค่าสูงเพื่ออำนวยความสะดวกในการเชื่อมเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าเหล็กแผ่นจะหนาถึง 100 มิลลิเมตรก็ตาม

สำหรับ SA440 ก็ได้มีการกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของกำลังที่จุดครากและกำลังรับแรงดึงให้อยู่ในช่วงที่ไม่ห่างกันมากนัก นอกเหนือจากนี้ค่าอัตราส่วนคราก (yield ratio) ได้กำหนดเกณฑ์สูงสุดไว้ไม่ให้เกินกว่า 80% ส่งผลให้เหล็กเกรด SA440 เป็นเหล็กที่มีสมรรถนะสูง เหมาะกับการนำไปใช้ในงานก่อสร้างอาคารที่ต้องการความทนทานต่อการเกิดแผ่นดินไหว ในทางกลับกัน เหล็กชั้นคุณภาพ H-SA700 จะมีค่าอัตราส่วนคราก (yield ratio) ที่สูง จึงต้องควบคุมการใช้งานเหล็กชั้นคุณภาพดังกล่าวไปใช้กับองค์อาคารที่อยู่ในสถานะเฝ้าระวังเท่านั้น แม้ว่าจะต้องรองรับต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ก็ตาม

รูปที่ 2 โครงสร้างท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต Concrete-filled Steel Tube (CFT)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กแผ่นสำหรับใช้กับ CFT

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กแผ่นสำหรับใช้กับ CFT

Table 1 Chemical Composition of BCR and BCP Materials (%)

Type designation	Material standard	Symbol	Thickness mm Min/Max	C Max	Si Max	Mn Min/Max	P Max	S Max	N ¹⁾ Max	Ceq ²⁾ Max	Pcm ³⁾ Max
400 N/mm ² grade	MDCR0002-2017	BCR295	6/22	0.20	0.35	/1.40	0.030	0.015	0.006 ²⁾	0.36	0.26
	MDCR0003-2017	BCP235	6/40	0.20	0.35	0.60 /1.40	0.030	0.015	0.006 ²⁾	0.36	0.26
		BCP325	6/40	0.18	0.55	/1.60	0.030	0.015	0.006 ²⁾	0.44	0.29
490 N/mm ² grade	MDCR0012-2014	BCP325T	6/40	0.18	0.55	/1.60	0.020	0.005	0.006 ²⁾	0.44	0.29

Notes:1) In case when elements to fix N, such as Al, are added and inclusion of solid-solution type N is 0.006% or below, total inclusion of N can be increased up to 0.009%.

2) Ceq = $C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

3) Pcm = $C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$; Applied in place of Ceq according to the agreement between supplier and purchaser.

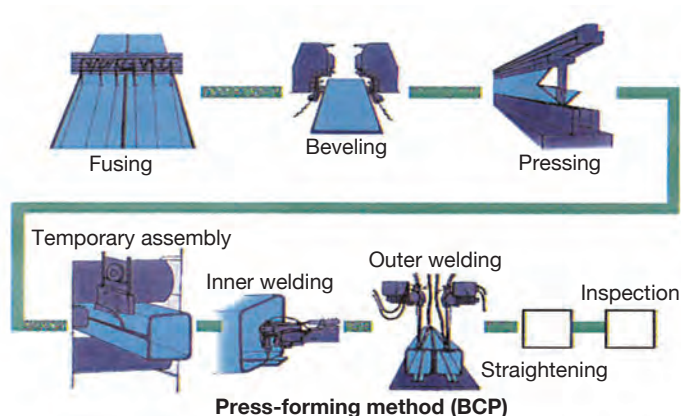
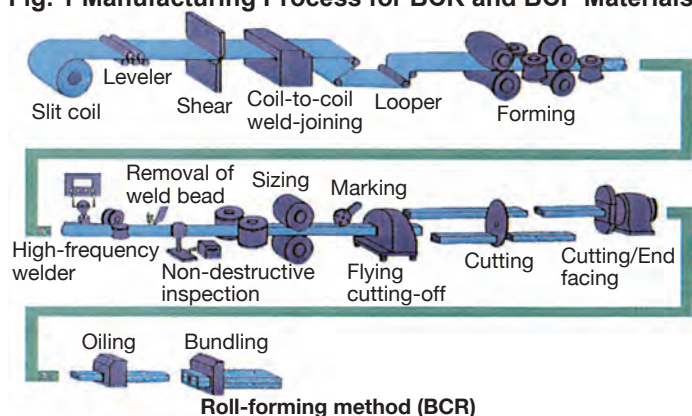
Table 2 Mechanical Properties of BCR and BCP Materials

Type designation	Material standard	Symbol	Thickness mm Min/Max	Yield point or strength N/mm ² Min/Max		Tensile strength Min/Max	Yield ratio % Max		Elongation % Min		Charpy impact test; Absorbed energy J Min (0°C)
				t<12 mm	12≤t		t<12 mm	12≤t	t≤16 mm	16<t	
400 N/mm ² grade	MDCR0002-2017	BCR295	6/22	295/	295/445	400/550	-	90	23 ¹⁾	27 ¹⁾	27 ²⁾
	MDCR0003-2017	BCP235	6/40	235/	235/355	400/510	-	80	18	22	27 ²⁾
		BCP325	6/40	325/	335/445	490/610	-	80	17	21	27 ²⁾
490 N/mm ² grade	MDCR0012-2014	BCP325T	6/40	325/	335/445	490/610	-	80	17	21	70 ^{2), 3)}

Notes:1) JIS No.5 test piece (tube axial direction); No.1A test piece for others

2) Applied for wall thicknesses of over 12 mm and average value of 3 test pieces

3) Applied for both plain/corner parts

Fig. 1 Manufacturing Process for BCR and BCP Materials

**Fig. 2 Concrete-filled Steel Tube (CFT)
Square Column Structure**

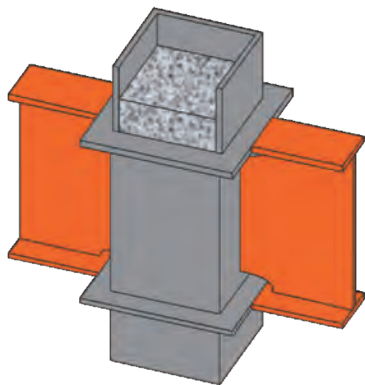


Table 3 Mechanical Properties of Steel Plates for CFTs

Designation	Thickness (mm) Min/Max	Yield point or proof stress		Tensile strength (N/mm ²) Min/Max	Yield ratio (%) Max	Tensile test			Impact test		Through-thickness tensile test (%) min	
		Elongation				Test temp. (°C)	Charpy absorbed energy (J) Min	Ave. of 3 tests Each value				
		Thickness (mm)	(%)							Test specimen		
H-SA700A	6/50	-	700/900	780/1000	98	6≤t≤20	16	No.5	0	47 ¹⁾	-	-
						20≤t≤50	16	No.4				
							24	No.5				
H-SA700B	6/50	-	700/900	780/1000	98	6≤t≤20	16	No.5	-20	47 ¹⁾	-	-
						20≤t≤50	16	No.4				
							24	No.5				
SA440-B Grade 60	19/100	-	440/540	590/740	80	t≤50 40<t	20 26	No.4 No.5	0	47 ¹⁾	-	-
SA440-C Grade 60	19/100	-	440/540	590/740	80				0	47 ¹⁾	25	15
SN490B (Grade 50)	6/100	t<12 12≤t≤40 40<t	325/ 325/455 295/415	490/610	80	6≤t≤16 16<t≤50 40<t	17 21 23	No.1A No.1A No.4	0	27 ¹⁾	-	-
SN490C (Grade 50)	16/100	-	325/455	490/610	80				0	27 ¹⁾	25	15

Note:1) Applied for wall thicknesses of over 12 mm and average value of 3 test pieces

Table 4 Chemical Composition of Steel Plates for CFTs (unit: wt%)

Designation	Thickness (mm) Min/Max	C		Si	Mn	P	S	Ceq ¹⁾ Max			Pcm ²⁾ Max		
		Thickness (mm)	Max	Min/ Max	Max	Max	Max	t≤40	40<t≤50	50<t	t≤40	40<t≤50	50<t
H-SA700A	6/50	-	0.25	/0.55	2.00	0.030	0.015	0.65			0.32		
H-SA700B	6/50	-	0.25	/0.55	2.00	0.025	0.015	0.60			0.30		
SA440-B Grade 60	19/100	-	0.18	/0.55	1.60	0.030	0.008	0.44	0.47		0.28	0.30	
SA440-C Grade 60	19/100	-	0.18	/0.55	1.60	0.020	0.008	0.44	0.47		0.28	0.30	
SN490B (Grade 50)	6/100	t≤50 50<t	0.18 0.20	/0.55	1.60	0.030	0.015	0.44	0.46		0.29		
SN490C (Grade 50)	16/100			/0.55	1.60	0.020	0.008	0.44	0.46		0.29		

Notes:1) Ceq = C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

2) Pcm = C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B; Applied in place of Ceq according to the agreement between supplier and purchaser.

(หน้า 15~18)

บทความต่อเนื่อง: อาคารโครงสร้างเหล็กแห่งใหม่ในประเทศญี่ปุ่น (3)

HIRAKATA T-SITE

- สร้างจากอาคารรูปกล่องที่ยื่นออกมา ที่ช่วยแสดงความโดดเด่นของเปลือกอาคาร และช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว -

โดย Takenaka Corporation

HIRAKATA T-SITE เป็นโครงการที่ได้รับการพัฒนาเพื่อธุรกิจการค้า ที่ประกอบไปด้วยรูปแบบของการบริการที่หลากหลาย โดยเปิดที่หน้าสถานี Hirakata ในเมือง Osaka ในปี 2017 โดยมีลักษณะทางโครงสร้างที่โดดเด่นอันเนื่องมาจากเปลือกอาคารที่เป็นกระจก ที่สามารถเปิดได้กว้างในทิศทางที่หันเข้าหาถนน ประกอบกับลักษณะของอาคารที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างรูปกล่องที่ยื่นออกมา และมีพื้นที่โถงที่ให้ความรู้สึกสบายอยู่ภายในตัวอาคาร (ภาพที่ 1)

ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทันสมัยจำนวนมากเพื่ออำนวยความสะดวกให้การใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มความแข็งแรงทางโครงสร้าง หนึ่งในอุปกรณ์ที่กล่าวถึงคือผนังเหล็กแผ่นลอนต้านทานแผ่นดินไหวและโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวรูปกล่อง ลักษณะทางโครงสร้างของ HIRAKATA T-SITE มีดังนี้:

ภาพที่ 1 HIRAKATA T-SITE ที่มีโครงสร้างรูปกล่องที่ยื่นออกมา

มุ่งสู่การสร้างสรรคให้เป็นห้องรับแขกของชุมชนที่มีบรรยากาศสบาย

HIRAKATA T-SITE สร้างอยู่บนพื้นที่ที่ถัดออกมาจากสถานีรถไฟซึ่งเป็น “โครงการที่อยู่ในเขตพื้นที่สถานีรถไฟ” แบบปกติที่เห็นได้ทั่วไปในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งในแง่ของสินค้าที่นำมาจำหน่ายก็อาจจะไม่เทียบเท่ากับสินค้าที่อยู่ในห้างสรรพสินค้าในใจกลางเมือง และนอกจากนี้หากพิจารณาในแง่ของชีวิตประจำวันของผู้ที่เข้ามาใช้บริการแล้ว สถานที่แห่งนี้จะให้ความสะดวกสบายที่น้อยกว่าร้านจำหน่ายสินค้าและภัตตาคารที่เปิดอยู่ริมถนนสายหลัก และหากไม่นับถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการเชื่อมต่อกับสถานีรถไฟ อันเนื่องมาจากพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้แล้วอันส่งผลให้มีผู้ใช้บริการที่ผ่านมาผ่านไปเป็นจำนวนมาก แต่ความน่าสนใจในแง่ของพื้นที่การค้าก็จะปรากฏให้เห็นไม่มากนัก

ซึ่งด้วยสาเหตุต่างๆ ดังที่กล่าวถึงนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ใช้บริการอาคารที่ตั้งอยู่หน้าสถานี Hirakata ซึ่งเป็นถนนที่มีชื่อเสียงด้านการจำหน่ายหนังสือโดยมีร้านหนังสือ Tsutaya ตั้งอยู่ตรงเช่น DAIKANYAMA T-SITE ในเมืองโตเกียว

ในการพัฒนาพื้นที่โดยรอบสถานีรถไฟ ได้มีการพิจารณาว่าการปรับปรุงพื้นที่ HIRAKATA T-SITE ให้เป็นถนนแห่งหนังสือนั้นก็ยังไม่เพียงพอ แต่ยังควรส่งเสริมให้ชุมชนโดยรอบได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอันเป็นการเน้นย้ำถึงการเพิ่มคุณภาพชีวิตของคนในชุมชน นอกจากนี้ ยังเชื่อมั่นว่าพื้นที่แห่งนี้จะสร้างคุณค่าให้กับสังคมเพิ่มมากขึ้น โดยการพัฒนาให้เป็น “ห้องรับแขกของชุมชน” ที่ช่วยให้คนในชุมชน มาใช้ชีวิตร่วมกันได้อย่างอิสระ

องค์ประกอบของอาคาร

ร้านหนังสือ Tsutaya ได้เปิดให้บริการจำหน่ายหนังสือในอาคารในฐานะที่เป็นผู้เช่าพื้นที่ โดยในปัจจุบัน HIRAKATA T-SITE เป็นร้านค้าที่มีลักษณะรูปแบบเหมือน

อาคารจำนวน 9 ชั้น ซึ่งเป็นที่แรกที่เปิดร้านหนังสือ Tsutaya ด้วยเหตุดังกล่าว แบบแปลนของอาคารจึงต้องตอบโจทย์ถึงการจัดผังถนนแห่งหนังสือให้เชื่อมต่อกับพื้นที่อาคารชั้นบนและพื้นที่อาคารชั้นล่าง ตลอดจนการเชื่อมต่อกับถนนแห่งหนังสือกับถนนอื่นๆ และนอกจากนี้เปลือกอาคารที่หันไปทางอาคารสถานีรถไฟทั้งหมดทำด้วยผนังกระจกเพื่อสะท้อนให้เห็นถึงบรรยากาศที่ครึกครื้นภายในอาคารให้ส่งต่อไปสู่ภายนอกอาคาร (ภาพที่ 2)

ในอาคาร HIRAKATA T-SITE แต่ละส่วนของอาคารจะถูกมองเป็นก้อน ซึ่งจะไม่จัดวางให้อยู่ในแนวทิศตั้งขึ้นเหมือนอาคารปกติ แต่จะให้มีการขยับยื่นออกมาดังเช่นตัวบล็อกต่อ Jenga โดยในทางปฏิบัติได้มีการออกแบบพื้นที่โถงสองชั้น โดยสำหรับด้านหน้าสถานีจะมีโครงสร้างรูปกล่องจำนวน 7 กล่องยื่นออกมา โครงสร้างรูปกล่องจำนวน 3 กล่องที่ถูกจัดวางอยู่บนชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ประกอบไปด้วยพื้นที่โถง 2 ชั้น และผนังภายนอกทั้งหมดเป็นผนังกระจก โครงสร้างรูปกล่องยื่นออกมาหน้าสถานีราว 5 เมตร มีความสูงราว 8.5 เมตร และมีความกว้างราว 7.5 เมตร โดยที่ชั้นวางหนังสือถูกจัดเรียงให้ติดผนังตลอดถึงแนวความสูงฝ้าเพดานซึ่งสะท้อนต่อความเชื่อมโยงของชั้นล่างและชั้นบน (ภาพที่ 3)

หากมองรูปตัด โถงอาคารสองชั้นทุกจัดวางในรูปแบบที่สลับสับหว่างกับด้านข้างของสถานี และอีกด้านหนึ่งของสถานีเพื่อสะท้อนให้เห็นถึงพื้นที่ด้านในของทุกชั้นนั้นเชื่อมต่อกัน (รูปที่ 1)

พื้นที่โถงทุกแห่งอาจจะมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากนัก แต่การเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่โถงส่งผลให้เกิดความรู้สึกที่เชื่อมต่อกันกระทั่งในช่วงของการก่อสร้าง การจัดแปลนทางโครงสร้างของ HIRAKATA T-SITE มุ่งเน้นให้ผู้เข้ามาใช้อาคารทุกคนมีความรู้สึกเสมือนว่าอยู่ในห้องรับแขกหรืออยู่ในบ้านไม่ว่าจะใช้งานอยู่ในส่วนใดของ HIRAKATA T-SITE ก็ตาม

ภาพที่ 2 ความครึกครื้นด้านในของ HIRAKATA T-SITE ที่สะท้อนออกสู่พื้นที่หน้าสถานี

ภาพที่ 3 ภาพมองลงมายังโถงทางเข้าชั้นล่างจากชั้นที่ 3

รูปที่ 1 แบบแสดงภาพตัด

แนวคิดการออกแบบรูปลักษณ์ภายนอกของอาคาร

โดยทั่วไปในงานก่อสร้างอาคารในเชิงพาณิชย์ในบริเวณที่ดินมีราคาสูง ด้วยเหตุที่มีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบให้มีพื้นที่ใช้สอยได้เต็มพื้นที่ก่อสร้าง อาคารที่มีผนังอาคารกว้างและแบนเรียบมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง สำหรับโครงการแห่งนี้พื้นที่ชั้นหลังคาหลายตำแหน่งจะปรากฏอยู่บริเวณด้านข้างที่ปะทะกับด้านหน้าของสถานี อันเนื่องมาจากการจัดวางตำแหน่งของโครงสร้างรูปกล่องที่วางสลับกัน

สำหรับพื้นที่ลานชั้นหลังคา ที่ใช้เป็นพื้นที่เล่นสำหรับเด็กและพื้นที่ร้านอาหารและคาเฟ่ ก็ได้พยายามออกแบบให้อยู่ด้านหน้าปะทะกับสถานีรถไฟ เพื่อให้เป็นส่วนที่คนสามารถมาพบปะเจอกันได้ ซึ่งการจัดพื้นที่ในลักษณะนี้มีความจำเป็น ที่บริเวณลานจะสามารถมองเห็นได้จากร้านของพื้นที่ข้างเคียงอันส่งผลทำให้สายตาของผู้คนที่มิวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันเกิดการประสานมองเห็นซึ่งกันและกัน อันส่งผลต่อความรู้สึกถึงความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล ซึ่งหากลานดังกล่าวถูกจัดวางเป็นแนวเส้นตรงตามทิศทางของพลาซ่า ความต้องการที่จะทำให้เกิดความเชื่อมโยงดังกล่าวก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ แนวคิดของการออกแบบในส่วนนี้คือกลุ่มคนที่หลากหลายสามารถที่จะมองเห็นซึ่งกันและกันอย่างลงตัว

บริเวณด้านในของโครงสร้างรูปกล่องที่ยื่นออกมาจะใช้เป็น “ห้องรับแขกชุมชน” และด้านนอกของโครงสร้างรูปกล่องก็จะเป็นผนังของพลาซ่าด้านหน้าสถานีรถไฟ หรือ อาจกล่าวได้ว่า อาคารของ HIRAKATA T-SITE ก็จะกลมกลืนเป็นส่วนหนึ่งของพลาซ่าด้านหน้าสถานีรถไฟ

ด้านในของอาคาร

ด้วยเหตุที่ความต้องการหลักในการก่อสร้างโครงการนี้คือการสร้าง ห้องรับแขกชุมชนที่มีบรรยากาศผ่อนคลาย ดังนั้นการกำหนดขนาดพื้นที่ของอาคารแต่ละแห่งจึงมีความสำคัญยิ่ง โดยสำหรับการออกแบบพื้นที่พักผ่อนดังกล่าว ต้องพิจารณาคำนึงถึงผู้ใช้อาคารและหนังสือที่จะนำเข้ามา อันส่งผลให้ขนาดขององค์อาคารโครงสร้างมีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกแปลกออกไปจากเดิม ตัวอย่างเช่นเมื่อขนาดของเสาที่บริเวณถนนแห่งหนังสือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร ตัวโครงสร้างจะลดความมีเสถียรภาพลง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว เราพิจารณาว่า ถ้าหากแกนของอาคารด้านทิศตะวันออกและโครงสร้างรูปกล่องในทิศตะวันตกถูกออกแบบให้เป็นระบบรับแรงด้านข้าง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาที่จะลดขนาดลงเหลือไม่เกิน 300 มิลลิเมตร ด้วยเหตุที่ได้มีการจ่ายแลกทั้งด้านข้างออกไปแต่เพียงแรงอัดในเสา และท้ายที่สุดด้วยความพยายามของวิศวกรโครงสร้างก็สามารถออกแบบให้เสามีขนาดเหลือเพียง 267.4 มิลลิเมตร

แปลนโครงสร้าง

แนวคิดหลักในการออกแบบ HIRAKATA T-SITE คือ “การสร้างห้องรับแขกชุมชนที่มีบรรยากาศผ่อนคลาย” ผู้ออกแบบโครงสร้างมีความเข้าใจแนวคิดหลักว่าจะต้องเป็น “การสร้างพื้นที่ชุมชนที่ปลอดภัย” โดยทั้งนี้อาคารจำนวนมากหลายแห่งที่แสดงออกถึงความรู้สึกที่ปลอดภัยด้วยการใช้ระบบโครงสร้างขนาดใหญ่แต่สำหรับโครงการ HIRAKATA T-SITE นี้ทางผู้ออกแบบคิดว่าไม่น่าจะมีความเหมาะสมในแนวทางปฏิบัติดังกล่าว โดยเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ที่ให้ความรู้สึกสบาย ผ่อนคลาย และปลอดภัยแล้ว ก็ไม่ควรจะเปิดให้โครงสร้างอาคารให้เปิดสู่ด้านนอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์อาคารที่มีความบางและผอมชะลูด

ในแง่ของความปลอดภัยทั้งโครงสร้างเข้าของโครงการต้องการความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่สูงต้องการให้ความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวของ HIRAKATA T-SITE นี้มีค่าเป็น 1.25 เท่าของค่าที่ได้ระบุไว้ในกฎหมายควบคุมอาคารของประเทศญี่ปุ่น และเพื่อให้สามารถบรรลุถึงสมรรถนะที่ต้องการทั้งความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว ในขณะที่สามารถอำนวยให้พื้นที่โรงมีความโปร่งโล่ง ผู้ใช้งานรู้สึกสบาย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมแบบแปลนโครงสร้างที่มีการจัดวางองค์อาคารเพื่ออำนวยให้เกิดการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์เป็นจำนวนมากให้กับตัวอาคาร ตัวอย่างเช่นในงานติดตั้งเปลือกอาคาร และนอกเหนือจากจะได้มีการนำองค์อาคารที่มีความชะลูดเข้ามาใช้แล้ว ก็ยังมีอุปกรณ์บางอย่างที่นำเข้ามาใช้เพื่อทำให้องค์อาคารที่มีความชะลูดดังกล่าวนี้สามารถต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย

ระบบต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวที่นำมาใช้เป็นระบบผนังต้านทานแรงซึ่งมีการนำเหล็กแผ่นลอนเข้ามาใช้ซึ่งติดตั้งบริเวณด้านแกนของอาคาร (building core) โดยแม้ว่าผนังจะเกิดการเสียรูปแบบพลาสติกในระหว่างที่เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการต้านทานการล้าของระบบดังกล่าวจะค่อนข้างสูง ดังนั้นระบบที่นำมาใช้นี้จึงทำหน้าที่เป็นเหมือนองค์อาคารควบคุมการตอบสนองที่ช่วยลด

พลังงานที่เกิดจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อตัวอาคารได้เป็นอย่างดี

ส่วนประกอบสำหรับต้านทานแผ่นดินไหว

ผนังเหล็กแผ่นลอนต้านทานแผ่นดินไหวได้ถูกนำมาติดตั้งไว้ที่แกนอาคาร แต่อย่างไรก็ตามองค์อาคารที่ปะทะกับลานสถานีซึ่งเปิดกว้างภายนอกก็แทบจะไม่มอุปกรณ์ต้านทานแผ่นดินไหวติดตั้งอยู่เลย ซึ่งส่งผลให้องค์อาคารมีความเสี่ยงต่อการบิดตัวอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวได้ ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้มีการตรวจสอบพบว่าการเยื้องศูนย์ที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถลดทอนลงได้บ้างจากโครงสร้างรูปกล่องที่ยื่นออกมา หากดำเนินการปรับปรุงให้เป็นส่วนที่รับแรงแผ่นดินไหว ซึ่งทำได้โดยการเสริมเสาและคานไปที่แผ่นเปลือกด้านนอกของโครงสร้างรูปกล่อง (ภาพที่ 4)

นอกจากนี้ และมีการติดตั้งอุปกรณ์บางชนิดเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการเสียรูปให้กับโครงสร้างรูปกล่องซึ่งประกอบไปด้วยการติดตั้งเสาท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต (CFT) ให้กับเสาที่รองรับโครงสร้างรูปกล่อง และการเพิ่มขนาดของคานที่อยู่รอบนอกของตัวอาคาร (รูปที่ 2)

จากที่ได้ดำเนินการไปนี้ส่งผลให้สามารถลดผลกระทบจากการเยื้องศูนย์ของอาคารในภาพรวม โดยไม่ต้องมีการติดตั้งองค์อาคารแกนแข็งที่ด้านหน้าของตัวอาคารฝั่งลานหน้าสถานี ด้วยการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างรูปกล่อง

ความกว้าง aspect ของโครงภายนอกรวมวัสดุปิดมีขนาด 400 มิลลิเมตร และเพื่อให้สามารถติดตั้งเสาและคานให้อยู่ภายในความกว้างนี้ได้ จะมีความจำเป็นที่จะต้องจำกัดขนาดความกว้างของเสาและคานให้ไม่เกิน 300 มิลลิเมตรสำหรับด้านที่อยู่ติดกับผนังและไม่เกิน 330 มิลลิเมตรสำหรับด้านที่อยู่ติดกับพื้น ซึ่งเป็นอุปสรรคที่สำคัญในแง่ของการออกแบบโครงสร้าง

ความกว้าง aspect ของแผ่นเป็นสิ่งสำคัญต่อการพิจารณาพื้นที่รูปกล่องของโรงรูปกล่อง 2 ชั้น โดยหากความกว้าง aspect มีค่าเกินกว่า 400 มิลลิเมตรก็จะไม่สามารถจัดวางโครงสร้างได้พอดีกับโรงอาคารนั้นส่งผลต่อความรู้สึกของการใช้อาคาร ซึ่งจำเป็นจะต้องกำชับให้ทีมผู้ออกแบบโครงสร้างไม่ระบุขนาดที่เกินกว่า 400 มิลลิเมตร

ซึ่งเมื่อกำหนดขนาดเสาที่ 300 มิลลิเมตรดังที่กล่าวถึงแล้วสิ่งที่สามารถดำเนินการได้ก็คือการจัดวางตำแหน่งเสาให้สามารถรองรับโครงสร้างโรงอาคารรูปกล่องที่อยู่ด้านบนให้ได้ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยให้มากยิ่งขึ้นแม้ว่าจะเพียงเล็กน้อยก็ตาม อุปกรณ์ที่สามารถอำนวยความสะดวกความปลอดภัยเช่น อุปกรณ์ช่วยติดตั้งเสา ก็มีการนำมาใช้ในโครงการนี้

ภาพที่ 4 การก่อสร้างโดยโครงสร้างเหล็ก

รูปที่ 2 การจัดวางตำแหน่งองค์อาคารโครงสร้างเหล็ก

การใช้ท่อเหล็กไร้ตะเข็บสำหรับทำเป็นเสา

ได้มีการพิจารณานำเสาท่อเหล็กกลมมาใช้เป็นเสาอาคาร ด้วยเหตุที่ระบบดังกล่าวจะไม่กระทบกับความสามารถในการรับน้ำหนักทั้งโครงสร้าง แต่ยังให้ความรู้สึกของความโปร่งโล่งอันส่งผลทำให้ผู้ที่ผ่านไปผ่านมาเกิดความรู้สึกปลอดภัย และด้วยเหตุที่ต้องมีการออกแบบให้ท่อเหล็กมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ จึงได้มีการนำท่อเหล็กแบบไร้ตะเข็บเข้ามาใช้ เส้นผ่าศูนย์กลางของบอกระบบไว้ที่ 267.4 มิลลิเมตรใช้กับทุกชั้น และผนังของเสาท่อเหล็กที่รองรับน้ำหนักที่มากที่สุดที่ชั้นล่างสุดมีความหนา 55 มิลลิเมตร และด้วยเหตุที่เป็นท่อเหล็กไร้ตะเข็บจึงไม่ปรากฏร่องรอยของการเชื่อมซึ่งมีความปลอดภัยสำหรับการนำมาใช้ในงานโครงสร้าง

โดยทั่วไปในการผลิตท่อเหล็กกลมนั้น จะเป็นการผลิตมาจากเหล็กแผ่นที่ดัดขึ้นรูป แล้วนำมาต่อที่ปลายเข้าด้วยกันด้วยการเชื่อม โดยสำหรับกรณีของการผลิตท่อด้วยเหล็กแผ่นที่มีความหนาค่อนข้างมาก การดัดและการเชื่อมประกอบเข้าด้วยกันจะทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นการผลิตท่อที่หนาแต่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่มากนักจะทำให้ยากมาก แต่ในทางกลับกันท่อเหล็กไร้ตะเข็บจะผลิตด้วยวิธีการทะลวงที่ศูนย์กลางของเหล็กแท่งเล็ก (billet) ที่ถูกเผาให้ร้อนซึ่งทำให้ไม่มีร่องรอยใดๆ ที่ผิว ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าท่อเหล็กไร้ตะเข็บมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งกับการนำมาใช้เป็นเสา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการท่อที่มีความหนาอย่างมากแต่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่มากนัก

ท่อเหล็กไร้ตะเข็บที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและมีความหนาที่ต้องการสำหรับการใช้ในโครงการนี้นั้น ไม่มีผลิตโดยโรงงานผู้ผลิตเหล็กและจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด แต่อย่างไรก็ดีได้มีการเจรจาพูดคุยกับผู้ผลิตรายหนึ่งซึ่งยินดีที่จะผลิตให้ตลอดจนได้มีการเจรจาพูดคุยกับผู้โรงงานผู้แปรรูปรายหนึ่งในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อด้วยการเชื่อมสำหรับท่อที่มีผนังที่หนาเป็นพิเศษอันส่งผลทำให้สามารถดำเนินโครงการได้อย่างประสบความสำเร็จ (ดังภาพที่ 5-6 รูปที่ 3)

สำหรับอุปกรณ์อื่นที่ได้รับการนำเข้ามาใช้ในงานก่อสร้างอาคารแห่งนี้ก็คือการประกอบติดตั้งเหล็กกรุพรรณรูปตัวเอชเข้ากับท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการใช้กันทั่วไป

ภาพที่ 5 การใช้ท่อเหล็กไร้ตะเข็บผนังหนาสำหรับเป็นเสา

ภาพที่ 6 อาคารโครงสร้างเหล็กที่มีการใช้ท่อเหล็กไร้ตะเข็บ

รูปที่ 3 การจัดวางตำแหน่งขององค์อาคารโครงสร้างเหล็กที่ขึ้นสี่ของตัวอาคาร

การเตรียมการสำหรับโครงสร้างเหล็กในอาคาร

ได้มีการพิจารณาว่าเสากลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 267.4 มิลลิเมตรที่ใช้ในงานก่อสร้างโครงการ HIRAKATA T-SITE ไม่สามารถที่จะก่อสร้างด้วยระบบคอนกรีตเสริมเหล็กได้ง่าย หรืออาจกล่าวได้ว่าการนำเหล็กเข้ามาใช้ จะเป็นประโยชน์ในงานก่อสร้างแม้ว่าขนาดที่จะนำเข้ามาใช้ได้นั้นมีข้อจำกัดที่ค่อนข้างมาก แต่อีกมุมหนึ่งเมื่อได้มีการนำองค์อาคารโครงสร้างเหล็กที่มีความละเอียดเข้ามาใช้จะมีบางครั้งที่พบว่ามีความหนามากกว่าที่คาดอันเนื่องมาจากการเคลือบป้องกันผิวเพื่อต้านทานอ็อกซิไดส์ซึ่งอาจจะทำให้ความสวยงามของโครงสร้างลดลงจนไม่เป็นที่น่าพอใจ

สำหรับผลิตภัณฑ์เหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปนั้นเหล็กกรุพรรณรูปตัวเอช ที่มีความกว้างของปีกที่มากหรืออาจจะน้อยก็ตามจะสามารถหาได้ทั่วไปในท้องตลาด มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตเหล็กเชื่อมประกอบรูปกล่องสำหรับใช้กับงานนี้ซึ่งยังทำให้องค์อาคารโครงสร้างเหล็กยังมีขนาดที่เหมาะสม นับเป็นความน่าสนใจอีกประการหนึ่งสำหรับการนำเหล็กเข้ามาใช้โดยการปรับขนาด เพื่อให้สามารถนำเหล็กมาเป็นส่วนหนึ่งของการนำเสนอในเชิงสถาปัตยกรรมซึ่งนับได้ว่ามีความสำคัญยิ่งสำหรับการออกแบบในปัจจุบัน

คณะทำงานได้ดำเนินการศึกษาถึงสมรรถนะของแผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อนไปทำการพิจารณาประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยการเปรียบเทียบต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างสะพาน 2 สะพาน โดยสะพานแรกมีการใช้แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อนและอีกสะพานไม่ได้มีการใช้แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อน นอกไปจากนั้นแล้วยังได้มีการนำเสนอถึงผลการทดสอบเพื่อยืนยันถึงสมรรถนะในการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นพื้นดังกล่าวด้วย

ภาพรวมโครงการ HIRAKATA T-SITE

ที่ตั้งโครงการ: Okahigashicho, Hirakata, Osaka

เจ้าของโครงการ: SO-TWO Inc. (representative land owner)

การใช้งานหลัก: ร้านค้า ภัตตาคาร ธนาคาร พื้นที่จอดรถ

พื้นที่: ขนาดพื้นที่ 2,723.59 m²; พื้นที่ตัวอาคาร 2,494.07 m²; พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 17,533.44 m²

ระบบโครงสร้าง: โครงสร้างเหล็ก บางส่วนเป็นระบบ SRC

จำนวนชั้น: 9 ชั้น พร้อมชั้นใต้ดิน 1 ชั้น

ความสูงที่จุดสูง: 39,830 mm

สถาปนิก มัณฑนากร: Takenaka Corporation

มัณฑนากรสำหรับ TSUTAYA BOOKS: CCC Design Company, Takenaka Corporation

การออกแบบแสงสว่าง: Uchihara Creative Lighting Design Inc.

ป้าย: Nippon Design Center, Inc.

กราฟิกดีไซน์: Hiromura Design Office

ผ้าใบ: Studio Akane Moriyama

ผู้รับเหมาก่อสร้าง: JV of Takenaka Corporation and Maeda Corporation

ช่วงเวลาที่ใช้ในการออกแบบ: มิถุนายน 2013 ถึง ธันวาคม 2014

ช่วงเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างรวม: 2015 ถึง กุมภาพันธ์ 2016



Photo 1 HIRAKATA T-SITE featuring protruding box structures



Photo 2 Bustling inside the HIRAKATA T-SITE overflowing into the plaza in front of the station



Photo 3 Looking down the first-floor atrium entrance from the third floor

Fig. 1 Sectional Drawing

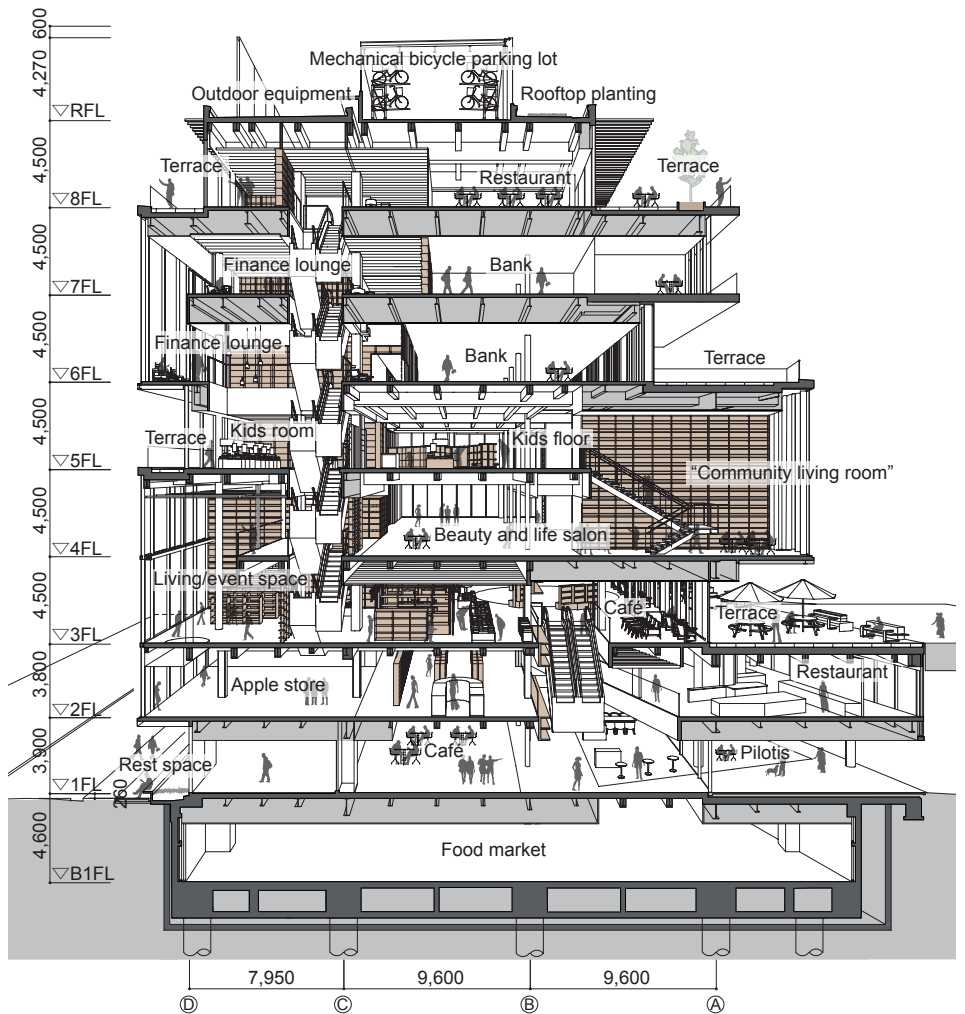


PHOTO: TAKENAKA CORPORATION



Photo 4 Steel structure construction

Fig. 2 Arrangement of Steel Frame Members

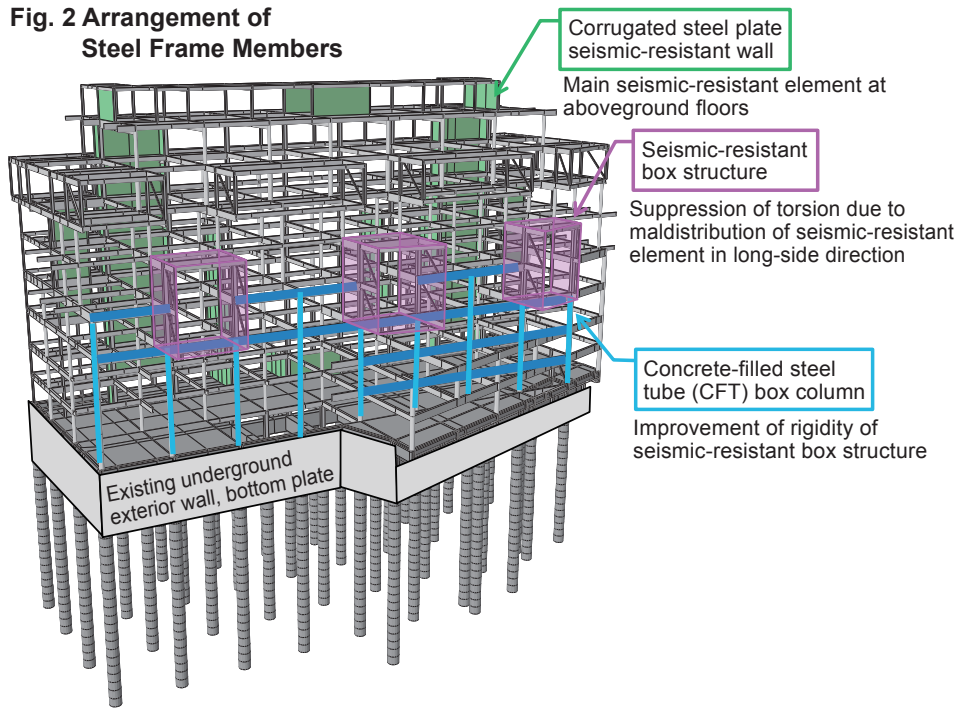


PHOTO: TAKENAKA CORPORATION



Photo 5 Heavy-wall seamless steel tube used as column

Fig. 3 Arrangement of Steel Structural Members at Fourth Floor

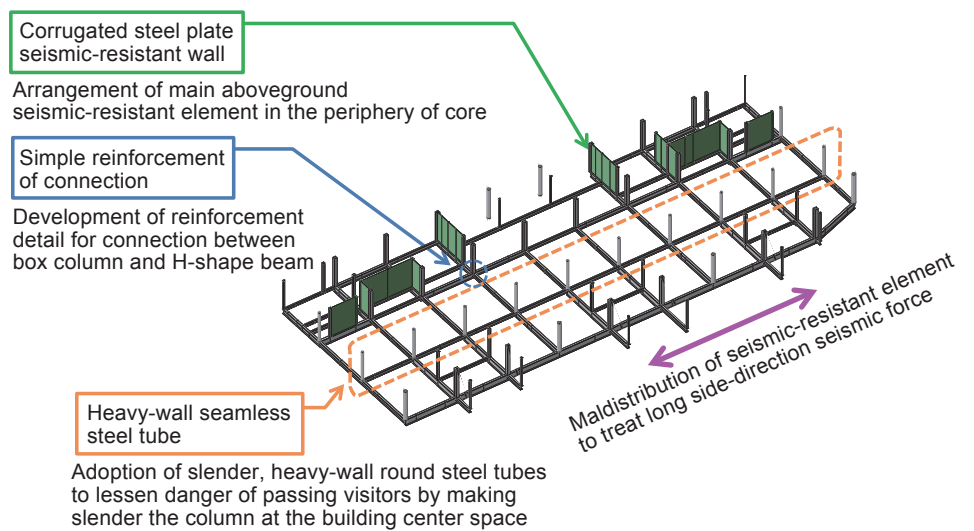


PHOTO: TAKENAKA CORPORATION



Photo 6 Building structure employing heavy-wall seamless steel tube

(ปกหลัง)

การปฏิบัติงานของสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย การสนับสนุนกิจกรรมการอบรมเชิงปฏิบัติการด้านโครงสร้าง เหล็กในกรุงเทพมหานคร

การอบรมเชิงปฏิบัติการด้านโครงสร้างเหล็กที่กรุงเทพมหานครได้มีการจัดขึ้นในวันที่ 19 กรกฎาคม 2018 กิจกรรมนี้ทางกระทรวงโยธาธิการและการเคหะของประเทศอินโดนีเซีย (Ministry of Public Works and Housing, PUPR) เป็นเจ้าภาพ จัดขึ้นโดยมีสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF) และสมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทย (JSSC) ได้มีส่วนร่วมในฐานะผู้สนับสนุน

จำนวนผู้เข้าร่วมกิจกรรมทั้งสิ้นมีมากกว่า 60 คนโดยทั้งหมดนี้นั้นมาจากทั้งหน่วยงานราชการ ภาคอุตสาหกรรม และมหาวิทยาลัย โดยในช่วงเริ่มต้นเป็นการกล่าวเปิดงานโดย รัฐมนตรีกระทรวงเศรษฐกิจของสถานทูตญี่ปุ่นในประเทศอินโดนีเซียและอธิบดี Syarif จากกรมก่อสร้าง สังกัด PURR จากนั้นเป็นการบรรยายในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างหรือโครงสร้างเหล็กโดยจากทางวิทยากรชาวญี่ปุ่นและอินโดนีเซีย ในการนี้ PURR ได้แสดงถึงความตั้งใจที่จะก่อตั้งสมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทยอินโดนีเซีย (ISSC) โดยการรวบรวมผู้ที่เกี่ยวข้องในกลุ่มเหล็กและเหล็กกล้าจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในประเทศอินโดนีเซีย ในการนี้ JSSC ก็ได้แสดงความตั้งใจที่จะมีส่วนร่วมในการผลักดันให้เกิดผลตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

โดยกระทรวงเศรษฐกิจ การค้า และการอุตสาหกรรมของประเทศไทย (METI) ได้มีการส่งเสริมผลักดันให้เกิด “โครงการสร้างเสริมทรัพยากรบุคคลสำหรับเทคโนโลยีการใช้เหล็กในการป้องกันภัยพิบัติในประเทศอินโดนีเซีย” โดยเป็นโครงการสามปีตั้งแต่ปี 2014 ซึ่งหลังจากนี้ทั้ง JISF และ JSSC ก็ได้ร่วมกันสนับสนุนในโครงการหลายโครงการที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กในประเทศอินโดนีเซีย โดยเพื่อเป็นการเชื่อมต่อกับโครงการนี้ ทั้ง JISF และ JSSC ก็ได้ให้คำแนะนำและให้ความร่วมมือกับ PURR ตลอดจนหน่วยงานอื่นๆในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการก่อตั้ง ISSC

นอกจากที่ได้กล่าวถึงไปทั้งหมดแล้ว ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เข้าเยี่ยมชมสถาบันวิทยาศาสตร์วัสดุแห่งชาติ หรือ National Institute for Material Science ใจพิสุทธิ์ เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีการส่งเสริมในด้านเทคโนโลยีวัสดุสำหรับงานโครงสร้างเทคโนโลยีวัสดุกำลังสูงและด้านทอแผ่นดินไหว

(ภาพ) กิจกรรมการอบรมเชิงปฏิบัติการด้านโครงสร้างเหล็กในกรุงเทพมหานคร

การบรรยายในงานสัมมนาวิชาการของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ตะวันออกเฉียงใต้

งานสัมมนาวิชาการและการแสดงนิทรรศการของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยตะวันออกเฉียงใต้ (South East Asia Iron and Steel Institute, SEASI) ได้จัดขึ้นในช่วงระหว่างวันที่ 25 ถึง 28 พฤษภาคม 2018 ที่โรงแรม Ritz-Carlton Jakarta ในประเทศอินโดนีเซียโดยในงานนี้สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF) ได้ส่ง นาย Kenichiro Fujimoto ประธานคณะกรรมการยุทธศาสตร์สิ่งแวดล้อมนานาชาติของสมาพันธ์ฯ (มาจากฝ่ายสิ่งแวดล้อม บริษัท Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

ในการบรรยายในตอน 10B การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ในวันที่ 3 ของงานสัมมนาวิชาการโดยสำหรับหัวข้อการสัมมนาชื่อว่า “Steel’s Competitiveness from

the Environmental Perspective” โดยได้นำเสนอถึงแนวคิดของอุตสาหกรรมเหล็กของประเทศญี่ปุ่นในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยการใช้เทคโนโลยีที่ช่วยในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก็ยังได้อธิบายว่าเหล็กเป็นวัสดุที่มีสมรรถนะสูงในแง่ของการใช้งานและการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต งานสัมมนาของท่านได้เป็นที่สนใจแก่ผู้เข้าฟังและสื่อจากประเทศญี่ปุ่นเป็นจำนวนมาก

(ภาพ) งานสัมมนาที่นำเสนอโดยนาย Kenichiro Fujimoto ประธานคณะกรรมการยุทธศาสตร์สิ่งแวดล้อมนานาชาติของ JISF

