

STEEL CONSTRUCTION

TODAY & TOMORROW

(ฉบับที่ 51 เดือนสิงหาคม 2017)

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

ฉบับภาษาไทย

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

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

ฉบับที่ 51 เดือนสิงหาคม 2017: สารบัญ

หัวข้อหลัก: การพัฒนาปรับปรุงระบบด้านทานแผ่นดินไหวและป้องกันความเสียหายให้กับโครงสร้างฐานราก

มาตรการในการพัฒนาความต้านทานแผ่นดินไหวให้กับนิคมอุตสาหกรรมในบริเวณหน้า อ่าว	1
การป้องกันความเสียหายต่อสะพาน อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ทรายเหลว	4
การประเมินความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็ม	7
การประเมินกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มต่อเหล็กบนชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อ ปรากฏการณ์ทรายเหลว	10
การศึกษาวิธีการประเมินหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มในช่วงการเกิดแผ่นดินไหว - การพัฒนาวิธีการคำนวณออกแบบแบบพหุคูณสำหรับฐานรากเสาเข็มต่อเหล็ก	13

หัวข้อพิเศษ:

การพัฒนาปรับปรุงโครงสร้างสาธารณูปโภคในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ - การเพิ่มขีดความสามารถภายในช่วงการเกิดภัยพิบัติและบทเรียนที่ได้รับจาก แผ่นดินไหว Kumamoto ในปี 2016	16
---	----

การดำเนินการของสมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทย ปกหลัง

หน้าที่จะระบุแสดงตามวารสารฉบับภาษาอังกฤษเล่มที่ 51

ฉบับภาษาไทย: © สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย 2017

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>

หัวข้อหลัก:

การพัฒนาปรับปรุงระบบด้านทานแผ่นดินไหวและป้องกันความเสียหายให้กับโครงสร้างฐานราก

(หน้า 1~3)

มาตรการในการพัฒนาความต้านทานแผ่นดินไหวให้กับนิคมอุตสาหกรรมในบริเวณหน้าอ่าว

โดย Masanori Hamada

ประธาน ศูนย์ลดภัยพิบัติแห่งชาติ

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในอดีต นิคมอุตสาหกรรมหลายแห่งได้เกิดความเสียหายขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการสั่นของพื้นที่เกิดการขยายความรุนแรงขึ้นจากชั้นดินที่อ่อนตลอดจนการเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผลให้เกิดการไหลล้นของน้ำมันในถังอันเกิดจากการสั่นของแผ่นดินไหวคาบยาวและจากการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ ซึ่งทั้งนี้ มีความเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิที่รุนแรงขึ้นในอนาคตอันส่งผลต่อความเสียหายต่อนิคมอุตสาหกรรมและต่อความปลอดภัยของประชาชน รวมไปถึง ความมั่นคงของสังคมตลอดจนระบบเศรษฐกิจทั่วโลก ดังนั้นการพัฒนาปรับปรุงระบบด้านทานแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิของนิคมอุตสาหกรรมจึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนต่อเสถียรภาพของประเทศไทย ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิ

รัฐบาลญี่ปุ่นได้มีดำริริเริ่มโครงการการเสริมกำลังอาคารในนิคมอุตสาหกรรมรอบอ่าวโตเกียว โอเซะ และโอซาก้าตั้งแต่ปี 2014 โดยใช้งบประมาณราว 15,000 ล้านเยน ต่อปีกับกลุ่มอุตสาหกรรมโรงกลั่นน้ำมัน โดยรายงานฉบับนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารนิคมอุตสาหกรรมซึ่งมีสาเหตุจากแผ่นดินไหวที่ผ่านมา และการนำเสนอถึงแนวทางการปรับปรุงเสริมความปลอดภัยในลำดับถัดไป

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารนิคมอุตสาหกรรมซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิ

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารนิคมอุตสาหกรรมซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ดังนี้

● การแตกของถังน้ำมันจากการสั่นไหวของถังอันเนื่องจากการสั่นของพื้นดิน

ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการระเบิดและการเกิดเพลิงไหม้ของถังเก็บก๊าซ LPG ทรงกลม ที่โรงกลั่นน้ำมันแห่งหนึ่งในอ่าวโตเกียว ในเหตุการณ์ Great East Japan Earthquake ในปี 2011 สาเหตุของความเสียหายเกิดจากแผ่นดินไหวที่รุนแรงซึ่งทวีความรุนแรงขึ้นจากชั้นดินที่เกิดจากการถมทะเลที่อ่อนตัว

● การไหลล้นของน้ำมันจากถังเก็บ อันส่งผลต่ออัคคีภัยที่ตามมา

จากที่ได้แสดงในภาพที่ 2 อันเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวโทกาชิ-โอกิในปี 2003 ถังเก็บน้ำมันดิบและแนฟทาได้เกิดเพลิงไหม้ขึ้นอันเนื่องจากการสั่นของถังที่เก็บน้ำมันจนล้นกระฉอก อันเป็นผลมาจากแผ่นดินไหวคาบยาว

● การทรุดตัวและการเอียงของถังเก็บน้ำมันอันเกิดจากปรากฏการณ์ทรายเป็นผลที่เกิดกับพื้นที่รองรับ

ภาพที่ 3 แสดงการเอียงของถังเก็บน้ำมัน อันเกิดจากกำลังรับแรงของพื้นดินที่ลดลงอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ทรายเป็นผล ในช่วงการเกิดแผ่นดินไหวโกเบในปี 1995

● การแตกของท่อส่งก๊าซและท่อน้ำมัน และเสาเข็ม อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ทรายเป็นผลให้เกิดการหลุดตัวอย่างมหาศาล

รูป 1(a) เป็นภาพถ่ายทางอากาศเหนือพื้นที่ก่อสร้างถังในเมืองโกเบ ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวสองวัน จะสังเกตเห็นได้ถึง "ทรายเป็นผล" เกิดขึ้นทั่วบริเวณ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั่วทั้งบริเวณดังกล่าวเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผล (สีเหลืองดังรูป) เกิดแก๊สรั่วไหลอันเนื่องมาจากท่อส่งก๊าซเกิดการแตกรั่ว รูป 1(b) แสดงการเคลื่อนตัวของดินในแนวราบและในแนวตั้งของพื้นดิน บริเวณพื้นที่ก่อสร้างถัง ซึ่งบ่งชี้ว่าแนวผนังเขื่อนกันคลื่นได้เคลื่อนตัวออกไปทางทะเลสูงสุดถึงราว 3.6 เมตร และพื้นที่ก่อสร้างถังโดยรวมขนาด 400*400 เมตร เคลื่อนตัวออกสู่ทะเลราว 2-3 เมตร

● การยกตัวและการถูกขุดพัดไปของถังน้ำมัน

การขุดของคลื่น สึนามิ ได้ขุดพัดพาถังน้ำมันให้ลงสู่ทะเล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดไฟลุกไหม้เป็นวงกว้างในช่วงของการเกิด แผ่นดินไหว East Japan ในปี 2011 ดังแสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 1 การระเบิดและการเกิดเพลิงไหม้ของถัง LPG ทรงกลม (ในช่วงของการเกิดแผ่นดินไหว East Japan ในปี 2011)

ภาพที่ 2 การเกิดไฟไหม้ถังน้ำมันดิบและแนฟทา จากการเกิดแผ่นดินไหวคาบยาว (ในช่วงของการเกิด แผ่นดินไหวโทกาชิ-โอกิ ในปี 2003)

ภาพที่ 3 การเกิดทรุดตัวและเอียงของถังเก็บน้ำมัน จากการเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผล (ในช่วงของการเกิด แผ่นดินไหวโกเบ ในปี 2011)

รูปที่ 1 ปรากฏการณ์ทรายเป็นผลและการทรุดตัวของดิน ณ บริเวณที่เป็นพื้นที่ถมทะเลให้เป็นอ่าวโอซาก้า (ในช่วงของการเกิด แผ่นดินไหวโกเบ ในปี 2011)

ภาพที่ 4 การถูกขุดพัดไปของถังน้ำมันลงสู่ทะเลโดยคลื่นสึนามิ (ในช่วงของการเกิดแผ่นดินไหว East Japan ในปี 2011)

ประมาณการความเสียหายของนิคมอุตสาหกรรมในบริเวณอ่าวโตเกียว

เกาะรอบบริเวณอ่าวโตเกียว มีเกาะหลายแห่งที่เป็นพื้นที่ถมทะเลซึ่งดำเนินการแล้วเสร็จก่อนปี 1964 อันเป็นปีที่เกิดดินไหวนิกายะ ซึ่งเป็นเหตุการณ์แรกที่ทำให้เกิดความเข้าใจถึงปรากฏการณ์ทรายเป็นผล ส่งผลให้เกาะเหล่านี้รวมไปจนถึงกำแพงกันคลื่นไม่มีความสามารถในการต้านทานต่อปรากฏการณ์ทรายเป็นผลต่อเนื่องไปยังระบบวิศวกรรมอื่นๆ รูปที่ 2 แสดง ตัวอย่างการประเมินผลกระทบจากปรากฏการณ์ทรายเป็นผลต่อผนังกันคลื่น และการเคลื่อนตัวของดินในแนวราบ ณ บริเวณเกาะที่เป็นพื้นที่ถมทะเลแห่งหนึ่งในบริเวณอ่าวโตเกียว ในช่วงการเกิดแผ่นดินไหว Northern Tokyo bay ซึ่งเป็นแผ่นดินไหวชั้นรุนแรงที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นอีกในอนาคต โดยคาดการณ์ว่าความหนาของชั้นทรายที่จะเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผลและการเคลื่อนตัวของผนังกันคลื่นในแนวราบจะมีค่าประมาณ 10 เมตร และ 7 เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ บริเวณพื้นที่ถมทะเลรอบอ่าวโตเกียว พบว่ามีถังที่เก็บน้ำมัน ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมัน ก๊าซแรงดันสูง และสารเคมีที่มีพิษ มากกว่า 5,000 ถัง ที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเป็นผลและการเคลื่อนตัวของดินในแนวราบและแนวตั้ง

นอกจากนี้ ยังมียังพบว่ามีถังที่ฝาถังเปิดออกได้สำหรับเก็บน้ำมันดิบ รอบอ่าวโตเกียวกว่า 600 ถัง ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการไหลล้นกระดกออกอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวคาบยาว จากแผ่นดินไหวร่อนนั้นไคตามแนวชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกทางทิศตะวันตกของประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการแผ่กระจายของน้ำมันปริมาณ 22,000 กิโลลิตร อันเนื่องมาจากความเสียหายของถังเก็บจากการเกิดปรากฏการณ์ทรายเหลว และการไหลกระดกออกของน้ำมันอันเกิดจากคลื่นแผ่นดินไหวคาบยาว น้ำมันที่ไหลล้นออกจากบริเวณชายฝั่งทางทิศตะวันออกสู่ทะเลนี้ โดยพบว่าหากน้ำมันไหลลงสู่ทะเลทางทิศตะวันออก จะเคลื่อนตัวไปสู่ชายฝั่งทางทิศตะวันตกภายใน 3 วัน ภายใต้เงื่อนไขความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาทีในช่วงฤดูร้อน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการเดินเรืออันเป็นผลทำให้เกิดกิจกรรมทางเศรษฐกิจในกรุงโตเกียวได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง

รูปที่ 2 การประเมินผลกระทบจากปรากฏการณ์ทรายเหลวอันส่งผลต่อการทรุดตัวของดิน (จากผลของแผ่นดินไหว Northern Tokyo Bay)

รูปที่ 3 การแพร่กระจายของน้ำมันดิบในอ่าวโตเกียว (ช่วงฤดูร้อน ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ในทิศตะวันตกเฉียงใต้)

มาตรการ ในการปรับปรุงความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารและสิ่งก่อสร้างภายในนิคมอุตสาหกรรม

การเสริมกำลังให้กับผนังกันคลื่น ถือเป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้ในการป้องกันความเสียหายให้กับอาคารและสิ่งก่อสร้างภายในนิคมอุตสาหกรรมที่อยู่ไม่ไกลจากแนวผนัง ดังแสดงในรูปที่ 4 มาตรการต่างๆ ทั้งสิ้น 3 มาตรการได้ถูกนำมาใช้ในการป้องกันเสริมกำลังผนังกันคลื่นที่ก่อสร้างไว้เดิม วิธีการแรกเป็นการติดตั้งเข็มพืดชุดใหม่ด้านหลังผนังกันคลื่นเดิม วิธีการที่สองเป็นการปรับปรุงชั้นดินที่รองรับเพื่อบรรเทาปัญหาจากปรากฏการณ์ทรายเหลว และวิธีที่สามเป็นการติดตั้งเข็มพืดเป็นแนวด้านหลังผนังกันคลื่นจำนวนทั้งสิ้น 2 แนว โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ป้องกันการไหลของทรายเหลว โดยได้มีการตรวจสอบประสิทธิภาพของแต่ละวิธี โดยการทดลองภายใต้สภาวะที่เรียกว่า centrifugal

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างของการป้องกันทั้งเก็บน้ำมันเมื่อเกิดปรากฏการณ์ทรายเหลวและคลื่นยักษ์สึนามิ เข็มพืดที่ติดตั้งโดยรอบจะช่วยป้องกันการไหลตัวของทรายเหลวที่อยู่ด้านใต้ซึ่งช่วยลดปัญหาการทรุดตัวและการเอียงของถังเก็บน้ำมัน ท่อเหล็กกลางที่อยู่เหนือพื้นดินจะช่วยป้องกันการชนกระแทกจากสิ่งที่ย่อยมากับคลื่น

รูปที่ 4 การเสริมกำลังให้ผนังกันคลื่นจากทะเล ต่อปรากฏการณ์ทรายเหลวและการทรุดตัวของพื้นดินอันเนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าว

รูปที่ 5 มาตรการป้องกันถังเก็บน้ำมันต่อการเกิดทรายเหลวและคลื่นยักษ์สึนามิ

ข้อเสนอแนะในการต้านทานแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิให้กับนิคมอุตสาหกรรม

ในปี 2013 กระทรวงเศรษฐกิจ การค้า และอุตสาหกรรม (METI) ได้ริเริ่มนโยบายการเสริมความแข็งแกร่งให้กับนิคมอุตสาหกรรมต่อภัยจากแผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิ โดยโรงงานปิโตรเคมีจำนวนทั้งสิ้น 24 แห่ง ที่อยู่ในบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงจากการเกิดแผ่นดินไหวชั้นรุนแรงและคลื่นยักษ์สึนามิในอนาคตอันใกล้ ได้ถูกคัดเลือกเพื่อเข้าร่วมโครงการ (ดังรูปที่ 6)

ผู้เขียนให้คำแนะนำกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งรวมถึงรัฐบาลญี่ปุ่น ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในนิคมอุตสาหกรรมเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิ

ข้อเสนอแนะประการแรกคือนอกเหนือจากการเสริมกำลังให้สิ่งก่อสร้างในนิคมอุตสาหกรรมเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิแล้ว พื้นที่โดยรอบ หรือเกาะที่ได้จากการถมทะเล รวมไปถึงพื้นที่ในทะเลลึกก็ควรจะทำให้มีความสำคัญเช่นกันเนื่องจากภัยพิบัติที่เกิดกับโรงงานแห่งหนึ่งอาจจะขยายตัวไปยังโรงงานข้างเคียงจนส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง แนวทางการดำเนินงานเพื่อบรรลุข้อเสนอแนะดังกล่าวนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความร่วมมือที่เข้มแข็งจากรัฐบาลกลางและรัฐบาลท้องถิ่นของประเทศญี่ปุ่น และสำหรับการป้องกันภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้นกับพื้นที่ในบริเวณโดยรอบมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากภาครัฐ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานขนาดเล็กซึ่งส่วนใหญ่แล้วไม่ได้มีพื้นฐานทางด้านการเงินที่แข็งแกร่งมากนัก

การสื่อสารข้อมูลระหว่างภาครัฐ โรงงานอุตสาหกรรม และประชาชนในพื้นที่ถือเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพในมาตรการต่างๆ ที่ได้เตรียมไว้สำหรับปกป้องชีวิตและทรัพย์สินภายในนิคมอุตสาหกรรมและประชาชนในพื้นที่จากภัยพิบัติอันเกิดจากแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังควรต้องมีการศึกษาผลกระทบจากความเสียหายอันเกิดขึ้นกับนิคมอุตสาหกรรมต่อระบบเศรษฐกิจในภาพรวมของประเทศและของโลก เพื่อประโยชน์ในการกำหนดมาตรการและนโยบายรองรับที่มีประสิทธิภาพต่อไป

รูปที่ 6 การสำรวจและแนวทางการปฏิบัติในการเพิ่มความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิให้กับนิคมอุตสาหกรรม: นโยบายจากกระทรวงเศรษฐกิจการค้า และอุตสาหกรรม (ปี 2013)



Masanori Hamada: After graduating from the Faculty of Science and Engineering, Waseda University, he entered Taisei Corporation in 1968. Then he served as professor of Tokai University and Waseda University, and filled the post of professor emeritus at Waseda University in 2014. He assumed his current position as Chairman of Asian Disaster Reduction Center in 2014.

Photo: Tokyo Fire Department



Photo 1 Explosion and fire of 17 spherical LPG tanks (2011 East Japan earthquake)



Photo 2 Fire of crude and naphtha tanks by long-period seismic motion (2003 Tokachi-oki earthquake)

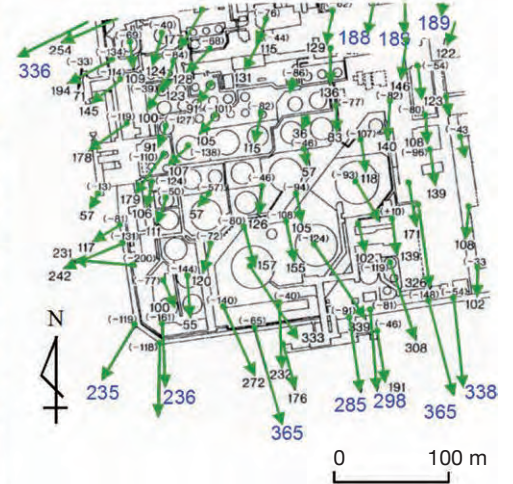


Photo 3 Settlement and inclination of oil product tank by soil liquefaction (1995 Kobe earthquake)

Fig. 1 Soil Liquefaction and Ground Displacement of a Man-made Island Reclaimed from the Osaka Bay (1995 Kobe Earthquake)



(a) Soil liquefaction (The yellow colored ground surface shows the thick deposit by the boiling of liquefied sand)



(b) Ground surface displacements (The vectors show the horizontal displacements, and the numerals in the parentheses are the vertical displacements, unit: cm)



Photo 4 Floating out of oil tanks into the sea by the tsunami (2011 East Japan earthquake)

Fig. 2 Assessment of Soil Liquefaction and Its Induced Ground Displacement (Northern Tokyo Bay Earthquake)

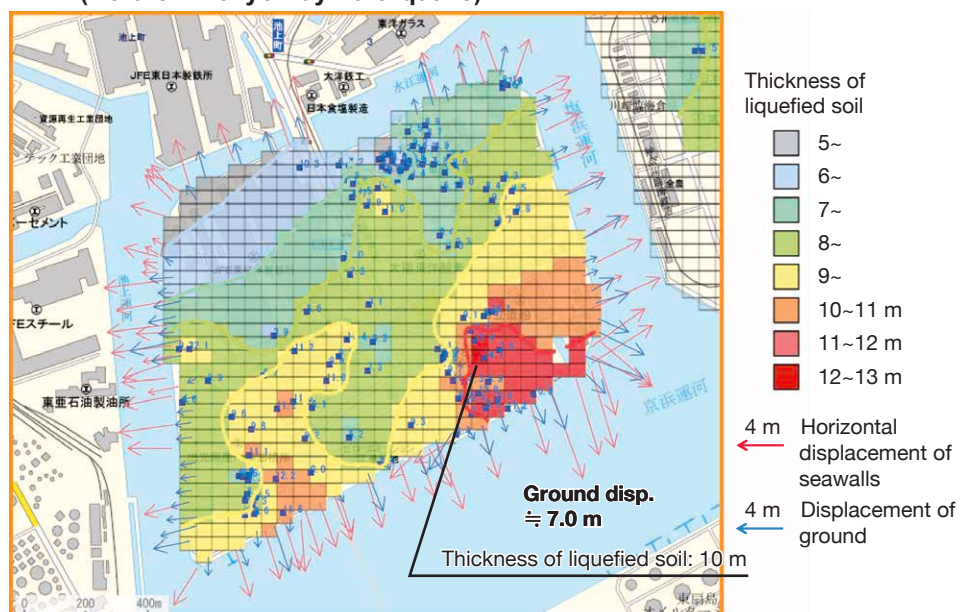


Fig. 3 Diffusion of Crude Oil in Tokyo Bay (summer season, the wind speed of 5.0 m/s in southern-west direction)

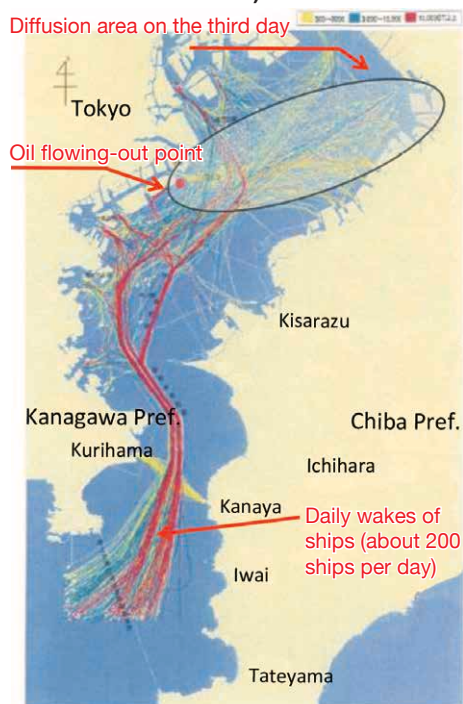


Fig. 4 Reinforcement of Seawalls against Soil Liquefaction and Its-Induced Ground Displacement

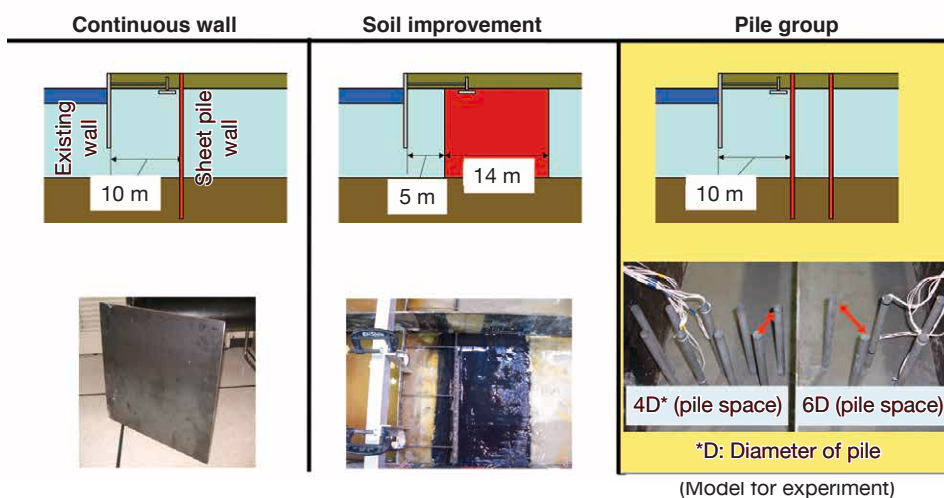


Fig. 5 Measures of Oil Tanks against Soil Liquefaction and Tsunamis

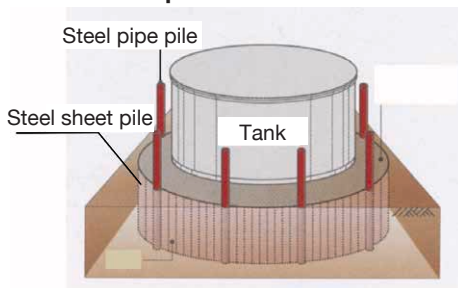
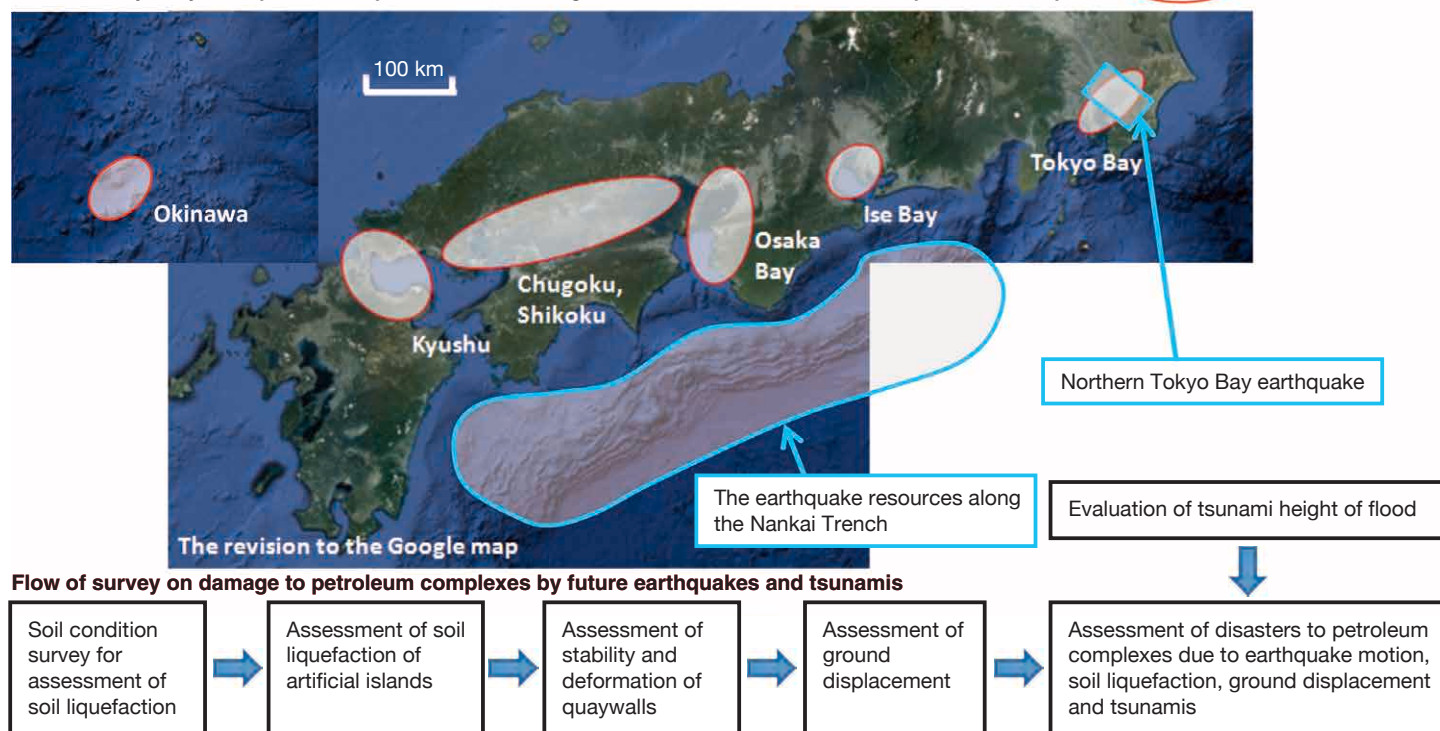


Fig. 6 Survey and Practice of Earthquake and Tsunami Resistance Enhancement of Industrial Complexes—Policy by Ministry of Economy, Trade and Industry (2013~)

Northern Tokyo Bay earthquake, earthquake resources along the Nankai Trench, and location of petroleum complexes (red oval): Industrial complexes



• 24 petroleum industries, 16 billion yen/year (public fund)

(หน้า 4~6)

การป้องกันความเสียหายต่อสะพาน อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ ทรายเป็นผล

- พัฒนาการของวิธีการที่ใช้ประเมินความสามารถในการต้านทาน แผ่นดินไหว และเทคโนโลยีสำหรับต้านแผ่นดินไหวให้กับฐานราก สะพาน -

โดย Toshiaki Nanazawa และ Michio Ohsumi

สถาบันวิจัยงานโยธา

มุ่งหน้าสู่เส้นทางหลวงที่ปลอดภัย

สะพานที่ก่อสร้างบนพื้นดินที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผลจะมีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงเมื่อเกิดแผ่นดินไหว เพื่อให้ระบบโครงสร้างการคมนาคมขนส่งมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแยกระบบการประเมินตรวจสอบความปลอดภัย และหาแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการบรรเทาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวให้กับแต่ละสะพานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถบรรลุถึงแนวทางดังกล่าว ศูนย์การวิจัยและการประเมินทางวิศวกรรมโครงสร้าง หรือ Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research (CAESAR) ซึ่งอยู่ภายใต้สถาบันวิจัยงานโยธา ก็ได้ดำเนินโครงการมาตั้งแต่ปี 2014 โดยมีวัตถุประสงค์ในการที่จะพัฒนากระบวนการตรวจสอบความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวและการพัฒนาเทคโนโลยีต้านทานแผ่นดินไหวให้กับฐานรากของสะพานที่อยู่บนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผล โดยบทความนี้เป็น การนำเสนอถึงสถานะความก้าวหน้าของโครงการดังกล่าว

ขอบเขตการศึกษาวิจัย

- การวิเคราะห์ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่
ในอดีต

ได้มีการดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างความเสียหายต่อสะพานที่ก่อสร้างบนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเป็นผลจำนวนทั้งสิ้น 38 กรณีศึกษา โดยพบว่ารูปแบบความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อระบบต้านทานแผ่นดินไหวของสะพานสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท โดยสำหรับงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญเฉพาะกับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตอม่อรองรับสะพาน ซึ่งพบว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบการคมนาคมขนส่ง โดยทั้งงานวิจัยในอดีตก็มีได้กล่าวถึงมากนัก ซึ่งงานวิจัยนี้ก็ได้มีการดำเนินการทั้งการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตอม่อสะพาน

- ข้อเสนอแนะในการเสริมกำลังโครงสร้างฐานราก

ข้อเสนอแนะในการเสริมกำลังโครงสร้างฐานราก เป็นงานวิจัยที่ได้จัดทำขึ้นร่วมกับสมาคมเข็มท่อเหล็กแห่งประเทศไทย หรือ Japanese Association for Steel Pipe Piles (JASPP) กระบวนการในการเสริมกำลังเป็นการนำเข็มท่อเหล็กและเข็มพืดเข้ามาใช้ในการศึกษาวิจัย ในประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ประสิทธิภาพที่ส่งผลต่อพฤติกรรมโครงสร้างฐานรากเมื่อเกิดแผ่นดินไหว
- ผลกระทบต่อผิวการจราจรในระหว่างเสริมกำลัง
- การประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรที่ใช้กันทั่วไปกับบริเวณที่พื้นที่ทำงานไม่มากนัก เช่น บริเวณใต้คานสะพาน

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างการเสริมกำลังตอม่อสะพาน

ภาพที่ 1 ความเสียหายที่เกิดกับตอม่อสะพานเมื่อพื้นดินโดยรอบเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผล

รูปที่ 1 ตัวอย่างการเสริมกำลังตอม่อสะพาน (ใช้เข็มพืดท่อเหล็กชนิดเชื่อมต่อกันทางด้านข้าง)

- การตรวจสอบพฤติกรรมต้านทานแผ่นดินไหวของฐานรากและ
เทคโนโลยีต้านทานแผ่นดินไหว ด้วยการทดสอบด้วยเครื่องสั่น
(Shaking Table Test)

ในการตรวจสอบเพื่อยืนยันสภาพของพฤติกรรมการเกิดทรายเป็นผลได้ฐานรากของสิ่งก่อสร้างตลอดจนประสิทธิภาพของระบบการเสริมกำลังที่ได้นำเสนอ จำเป็นต้องมีการดำเนินการตรวจสอบพฤติกรรมต่างๆ เหล่านี้บนโต๊ะสั่นขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยงานโยธา ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบบนโต๊ะสั่น

การทดสอบแบ่งเป็นสองกรณีคือ กรณีที่ 1 ตอม่อไม่ได้ถูกออกแบบเพื่อรองรับการเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผล กรณีที่ 5 เป็นกรณีที่มีการติดตั้งเข็มพืดท่อเหล็กที่บริเวณฐานราก (ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 2) การจำลองขนาดตัวอย่างทดสอบย่อขนาดลงเหลือ 1 ใน 10 ส่วนจากขนาดจริง โดยสมมติให้ตอม่อมีความสูง 8 เมตร และชั้นทรายเป็นผลหนา 10 เมตร โดยในการทดสอบได้มีการจำลองคลื่นแผ่นดินไหวไปในทิศทางตามแนวแกนของสะพานและคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการทดสอบเป็นคลื่นที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดงานสะพานทางหลวงของสมาคมการทางแห่งประเทศไทย (Japan Road Association)

ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพของพื้นดินภายหลังจากการสไลด์คลื่นแผ่นดินไหวให้กับตัวอย่างในกรณีที่ 1 จากภาพพบว่าด้านหลังตอม่อมีการเกิดการเคลื่อนตัวน้อยมากแต่ด้านหน้าจะเกิดการเคลื่อนตัวมากจนสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน รูปที่ 3 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำส่วนเกิน (excess pore water pressure) ที่ด้านหลังบริเวณขอบตอม่อ โดยสำหรับทั้งสองกรณีนั้น เมื่ออัตราส่วนแรงดันน้ำส่วนเกินมีค่าเข้าใกล้ 1 ที่บริเวณขอบตอม่อก็จะเกิดปรากฏการณ์ทรายเป็นผลขึ้น โดยปรากฏการณ์ทรายเป็นผลนี้จะเกิดขึ้นบริเวณด้านหลังของตอม่อ

รูปที่ 4 แสดงลักษณะการกระจายของความเครียดจากการตัดตัวของเสาเข็มที่รูปตัด I-I ดังรูปที่ 2 ณ จุดที่ความเครียดจากการตัดตัวของเสาเข็มและการเคลื่อนตัวของตอม่อถึงค่าสูงสุด โดยทั้งสองกรณีหากพิจารณาที่ตำแหน่งหัวเข็มและที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเสาเข็มที่ติดตั้งไว้แล้ว พบว่าความเครียดจากการตัดตัวที่เกิดขึ้นนี้มีค่าเกินกว่าความเครียดที่จุดครากค่อนข้างมาก ในทางกลับกันสำหรับกรณีที่ 5 ด้วยเหตุที่ความเครียดจากการตัดตัวของเสาเข็มท่อเหล็กที่ใช้ในการเสริมกำลังยังคงสภาพอยู่ในช่วงอีลาสติก และกำลังรับแรงเฉือนของท่อเสริมกำลังนี้มีค่าค่อนข้างมาก จึงสามารถประเมินได้ว่าความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวให้กับฐานรากโดยวิธีการดังกล่าวนี้มีความปลอดภัยค่อนข้างสูง

รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนตัวในแนวราบและมุมการหมุนที่ได้ฐานราก โดยทั้งสองกรณีนี้แม้ว่าการเคลื่อนตัวของตอม่อจะไม่ปรากฏว่าแตกต่างกันมากนักแต่หากว่าเสาเข็มเดิมที่ติดตั้งอยู่เกิดการเสียรูปจนเข้าสู่พฤติกรรมพลาสติกพอจะประมาณได้ว่าความแตกต่างของการเคลื่อนตัวจะเกิดขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ

ในอนาคตเพื่อที่จะเข้าใจถึงพฤติกรรมฐานรากภายหลังจากการเปลี่ยนพฤติกรรมเข้าสู่ช่วงพลาสติก การทดสอบด้วยตัวอย่างทดสอบขนาดใหญ่อ่อนขนาดลงเหลือ 1:4.5 จึงได้ถูกวางแผนที่จะดำเนินการในลำดับต่อไป

ภาพที่ 2 ตัวอย่างทดสอบบนโต๊ะสั่น

ตารางที่ 1 กระบวนการของการทดสอบความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของตอม่อ

รูปที่ 2 ลักษณะการจำลองตอม่อ

รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำส่วนเกิน

รูปที่ 4 การกระจายตัวของความเครียดจากการตัดตัวของเสาเข็มเมื่อเกิดผลตอบสนองสูงสุด

รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของการเสียรูปทางด้านข้างและมุมการหมุนที่ฐานราก

● การกำหนดแนวทางการวิเคราะห์ขั้นสูง

โครงการวิจัยร่วมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการวิเคราะห์ได้มีการผลักดันให้เกิดขึ้นร่วมกันระหว่าง CAESAR และสถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียว วัตถุประสงค์หลักคือเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการวิเคราะห์ฐานรากที่อยู่บนชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเหลวผ่านการทดสอบตัวอย่างที่จำลองขึ้นบนโต๊ะสั่น โดยสำหรับวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ได้มีการนำการวิเคราะห์แบบจำลอง finite element ด้วยวิธีไดนามิก 3 มิติ โดยที่ได้มีการจำลองพื้นดินและตอม่อให้เป็น solid element และเสาเข็มให้เป็น beam element (ดังรูปที่ 6)

รูปที่ 6 การวิเคราะห์แบบจำลอง finite element 3 มิติด้วยวิธีไดนามิก สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 (สถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียว)

การเผยแพร่สู่สาธารณะ

CAESAR ได้พยายามอย่างเต็มที่ที่จะนำผลการศึกษากลับมาวิจัยที่ได้รับไปเผยแพร่สู่สาธารณะด้วยแนวทางต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำผลการวิจัยพัฒนาไปสู่มาตรฐานการออกแบบสะพานและข้อมูลสนับสนุนทางเทคนิคในการเสริมกำลังเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว และนำเสนอสู่สาธารณะถึงแนวทางและมาตรการดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนจากสภาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม หรือ Council for Science, Technology and Innovation (CSTI) ภายใต้โปรแกรมส่งเสริมนวัตกรรมเชิงกลยุทธ์ระหว่างกระทรวง หรือ Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) โครงการส่งเสริมความปลอดภัยสาธารณะต่อภัยพิบัติตามธรรมชาติ (สนับสนุนงบประมาณโดย JST) ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสภาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมมา ณ โอกาสนี้



Toshiaki Nanazawa: After finishing the master's course of Graduate School of Engineering, Tohoku University, he entered the Ministry of Construction in 1994. In 2010, he became Researcher at the Public Works Research Institute, and assumed his current position as Chief Researcher at the Public Works Research Institute in 2012.



Michio Ohsumi: After finishing the master's course of Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, he entered the Ministry of Construction in 1996. In 2010, he served as Director of Naniwa National Road Works Office, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. He assumed his current position as Chief Researcher at the Public Works Research Institute in 2016.



Photo 1 Damage to bridge abutment located in the ground where liquefaction occurred²⁾

Fig. 1 Example of Reinforcing Structure for Abutment Foundation (Steel Pipe Sheet Pile Wall: Side-integrated Type)

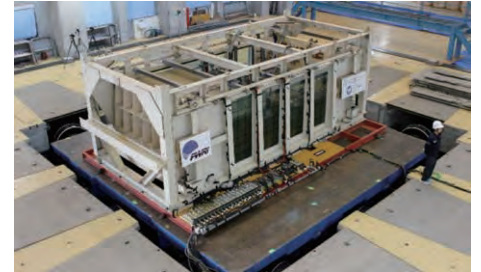
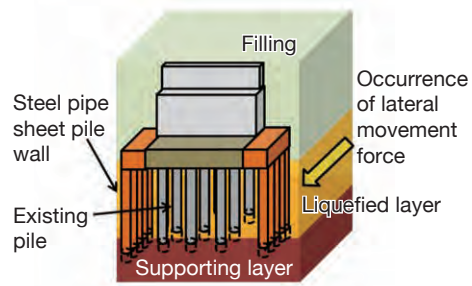


Photo 2 Specimens on the shaking table

Table 1 Test Cases for Seismic Countermeasures for Abutments

Case	Standard applied	Detail of foundation	Countermeasure structure	Configuration of backfill
Case 1	Former standards*	Prefabricated RC pile: φ450 mm 8×3 rows	No countermeasure	River dike
Case 5	Former standards*	Prefabricated RC pile: φ450mm 8 ×3 rows	Steel pipe sheet pile wall: Side-integrated type φ600×8 piles (one side: 4 piles)	River dike

* *Design of Pile Foundations—Guidelines to Design of Substructures of Highway Bridges* (Mar. 1964, Japan Road Association)



Photo 3 Ground deformation after excitation (Case 1)

Fig. 2 Outline of Abutment Model

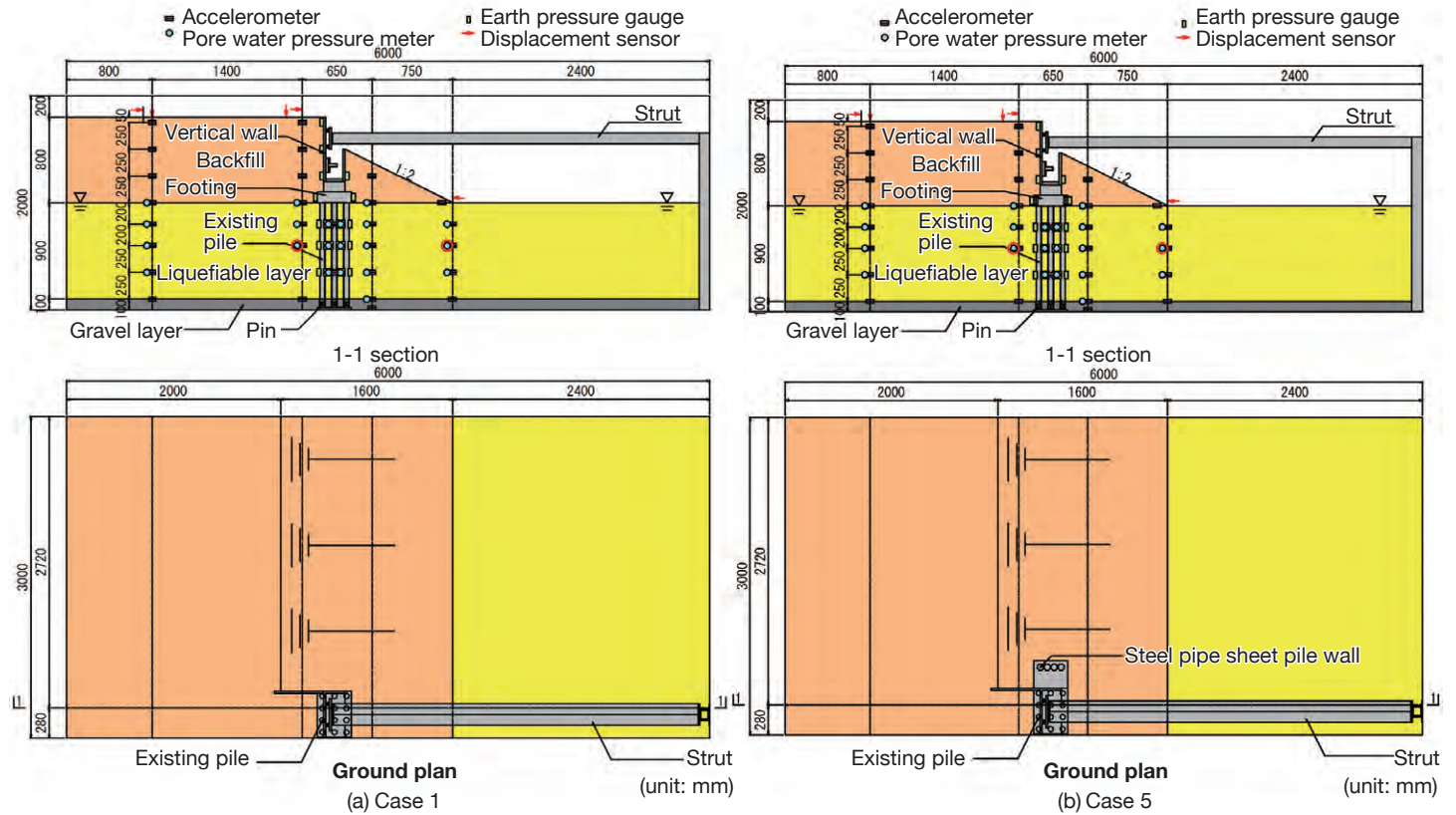


Fig. 3 Secular Change of Excess Pore Water Pressure

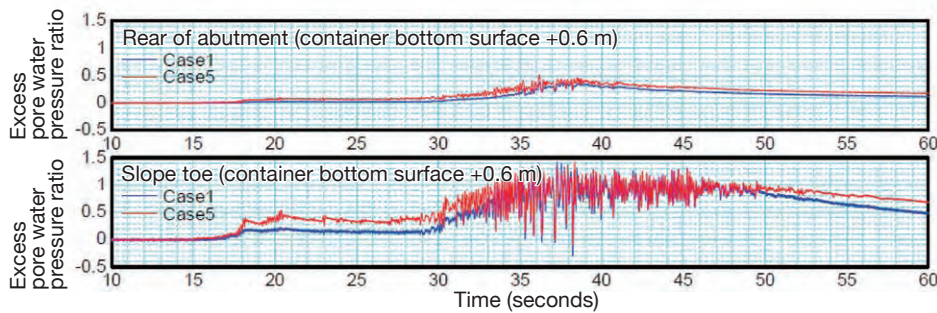


Fig. 4 Distribution of Bending Strains of Pile at the Time of Maximum Response

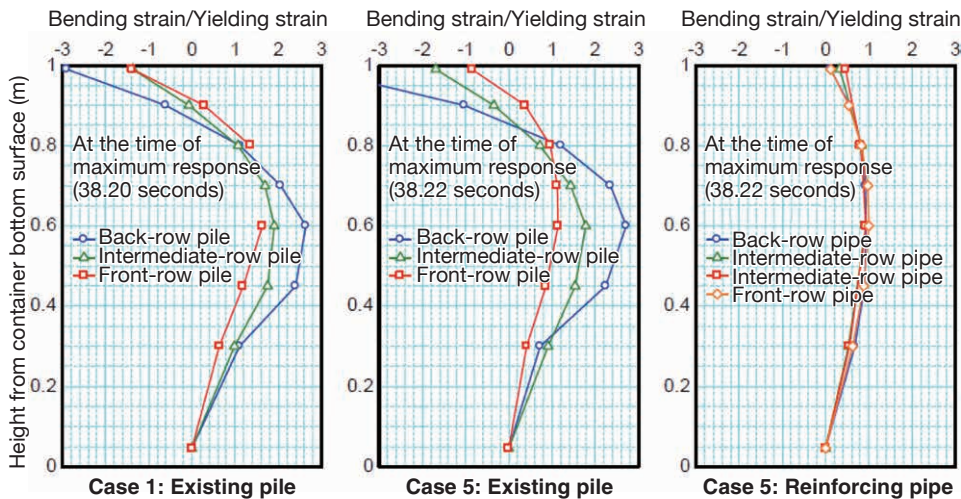


Fig. 5 Secular Change of Lateral Displacement and Rotation Angle at the Bottom of Footing

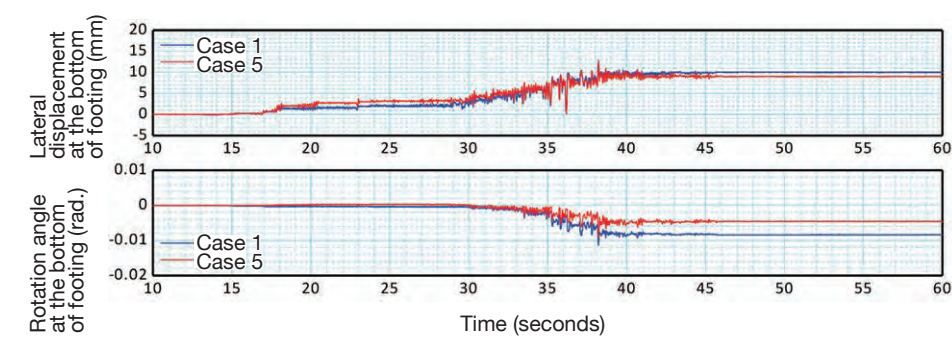
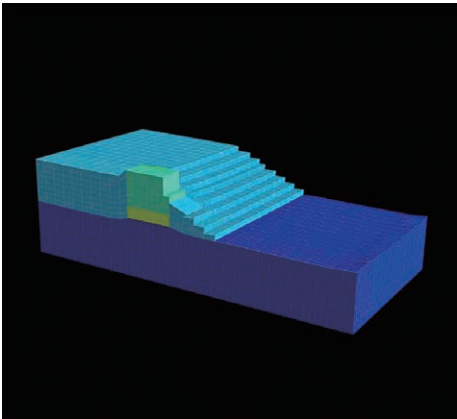


Fig. 6 Dynamic Analysis Using Three-dimensional Finite Element Model in Case 3 (Tokyo Institute of Technology)¹⁾



(หน้า 7~9)

การประเมินความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็ม - แนวทางการพัฒนาวิธีการเพิ่มความแม่นยำในการประเมินด้วย วิธีแรงกระทำแบบไดนามิก -

โดย Takaaki Mizutani

สถาบันวิจัยท่าเรือและอากาศยาน สถาบันเทคโนโลยีแห่งชาติเพื่อเทคโนโลยีการเดินเรือ การ
ท่าเรือ และการอากาศยาน

มุ่งหน้าสู่การประเมินความสามารถการรับแรงกดของเสาเข็มที่มีความ แม่นยำสูง

การประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบตามสมรรถนะ (performance-based design) เป็นมาตรฐานทางเทคนิคที่เป็นที่แพร่หลายสำหรับมาตรฐานสากลทั่วไป ทั้งนี้การออกแบบตามสมรรถนะ และการออกแบบตามความน่าจะเป็น (reliability-based design) ได้มีการนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของ มาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะสำหรับการก่อสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น (Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan) ตั้งแต่ได้มีการปรับแก้มาตรฐานในปี 2007 การใช้วิธีการออกแบบตามความน่าจะเป็น ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการออกแบบโครงสร้างและการพิจารณาความต้านทาน แรงจากแผ่นดินไหวที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็ม (ความต้านทานแรงอัด) ที่มีการระบุอยู่ในมาตรฐานการออกแบบ ยังคงเป็นวิธีการที่ใช้สัดส่วนความปลอดภัย (safety factor) ในการพิจารณา ซึ่งเป็นแนวทางที่ไม่สอดคล้องกับวิธีการสมัยใหม่ที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถพัฒนาวิธีการในการประเมินความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็มโดยมีการพิจารณาความน่าจะเป็นเข้ามาประกอบด้วย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลในเชิงสถิติที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

โดยเพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มเพื่อเป็นข้อมูลในเชิงสถิติ สำหรับใช้ประกอบการพิจารณาการออกแบบตามความน่าจะเป็น อย่างไรก็ตามการทดสอบเสาเข็มที่ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการก่อสร้างและระยะเวลาในการก่อสร้างอันเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการดำเนินการศึกษา อย่างไรก็ตามการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีไดนามิกเป็นวิธีการที่ได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพิ่มมากขึ้นด้วยเหตุที่เป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ซับซ้อน โดยสำหรับการก่อสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างเป็นใช้พียงในประเทศญี่ปุ่นพบว่ามีหลายกรณีที่มีการใช้เสาเข็มท่อเหล็กเข้ามาติดตั้งด้วยการใช้เครื่องตอกไฮดรอลิก ด้วยเป็นวิธีที่มีความคล้อยคลึงกับการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธีไดนามิกเพราะอุปกรณ์ในการตอกเสาเข็มมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับอุปกรณ์การทดสอบ

โดยเพื่อให้เกิดความมั่นใจถึงความแม่นยำในการประเมินความสามารถการรับแรงกดของเสาเข็มโดยการทดสอบด้วยวิธีไดนามิก จึงได้มีการดำเนินการทดสอบเสาเข็มจำนวนมากเพื่อหาแนวทางการประเมินที่เหมาะสมซึ่งสามารถเห็นค่าความแปรปรวนของความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็มและนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการบริหารจัดการการก่อสร้างในส่วนของกรณีติดตั้งเสาเข็ม ซึ่งจะมีการนำเสนอถึงตัวอย่างในลำดับถัดไป

แนวทางการทดสอบการรับน้ำหนักด้วยวิธีไดนามิก

การทดสอบการรับน้ำหนักด้วยวิธีไดนามิกเป็นวิธีการทดสอบที่ใช้กับการก่อสร้าง

สะพานทางหลวงตามแนวชายฝั่ง บริเวณท่าเรือ Mizushima จังหวัด Okayama รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งพื้นที่ทดสอบ และรูปที่ 2 แสดงภาพตัดตามแนวยาวของชั้นดินที่ได้รับก่อนการทดสอบ สะพานแห่งนี้ก่อสร้างข้ามปากแม่น้ำ Takahashi บริเวณท่าเรือ Mizushima มีจำนวนเสาตอม่อทั้งสิ้น 19 ต้น ความยาวสะพานรวม 1,400 เมตร สำหรับชั้นดินที่รองรับนั้น รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของชั้นดินตามแนวยาวของสะพาน โดยจะมีการก่อสร้างชั้นหินกรวด Dg2 เพื่อรองรับเสาเข็มอีกด้วย การทดสอบการรับน้ำหนักด้วยวิธีไดนามิกได้กำหนดนำมาใช้กับเสาเข็มที่ถูกติดตั้งยังตำแหน่งต่างๆ (แสดงกำกับไว้ด้วย P1~P19 ดังรูปที่ 2) ในขณะที่ได้ออกแบบให้ปลายเสาเข็มมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เป็นเสาเข็มที่ปลายเปิด หรือปลายที่มีเหล็กแผ่นมาเชื่อมให้เป็นรูปกากบาท) ตลอดจนกำหนดวันที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต (ให้มีระยะเวลารวมภายหลังจากการติดตั้งเสาเข็มที่ 28 วัน) เสาเข็มมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มิลลิเมตร และมีระยะการตอกลึกที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งของเสาตอม่อ โดยมีระยะความลึกตั้งแต่ 18 เมตรไปจนถึง 24 เมตร

กระบวนการที่ใช้ในการทดสอบอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบตามสมาคมปฐพีแห่งประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดไว้ คลื่นที่เข้ามากระทำได้มีการพิจารณาด้วยการใช้ CAPWAP และใช้ PDA ในการคำนวณความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็ม ภาพที่ 1 แสดงสภาพการทดสอบการรับน้ำหนักแบบไดนามิก และภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งเซ็นเซอร์บนเสาเข็มที่จะทดสอบ (รูปตัดที่วงด้วยเส้นสีขาว) โดยสำหรับสภาพทั่วไปในการทดสอบสามารถอ้างอิงได้จากบทความที่อ้างอิง

รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของบริเวณที่จะทดสอบ

รูปที่ 2 ภาพตัดของชั้นดิน

ภาพที่ 1 สภาพการทดสอบการรับน้ำหนักแบบไดนามิก

ภาพที่ 2 สภาพการทดสอบ ณ ตำแหน่งที่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ปลายเสาเข็ม

การประมวลผลความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็ม

ผลการทดสอบการรับน้ำหนักแบบไดนามิกจากตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 53 ตัวอย่าง ได้มีการนำไปประมวลผลในเชิงสถิติ ในลำดับถัดไปจากเป็นการนำเสนอถึงการประมวลผลความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็ม

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มที่เป็นไปตามตำแหน่งของตอม่อ เมื่อพิจารณาจากรูปจะเห็นว่าความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มแต่ละต้นจะมีการกระจายตัวและความแปรปรวนในระดับหนึ่ง ถึงแม้ว่าเสาเข็มแต่ละต้นจะติดตั้งในชั้นดินเดียวกัน โดยหากพิจารณาจากข้อมูลที่ได้รับจะพบว่าลักษณะปลายเสาเข็มและจำนวนวันที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันที่ตำแหน่งตอม่อเดียวกัน (รูปที่ 3) ความสามารถในการรับแรงเสาเข็มไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ข้อมูลทางสถิติที่ได้รับจากการทดสอบได้ถูกจัดหมวดหมู่ให้เป็นไปตามลักษณะทั่วไปของการทดสอบและแสดงผลดังตารางที่ 1 จากที่ปรากฏในตารางพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (C.V.) มีค่าไม่เกิน 20% หากพิจารณาภาพรวมการทดสอบทั้งหมด และมีค่าไม่เกิน 10% เมื่อพิจารณาเฉพาะเสาเข็มที่ตอม่อตัวหนึ่งๆ

ผลการทดสอบที่ได้พบว่าความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบ จะสัมพันธ์กับค่าหนึ่งซึ่งจะนำไปใช้ในการหาสัดส่วนความปลอดภัย (safety factor) หากเจาะจงลงไปในรายละเอียดเพิ่มเติม จะสรุปได้ว่าตัวคุณความต้านทานที่ใช้ในการออกแบบตามความเชื่อมั่นจะมีค่าที่เพิ่มขึ้น (ลดการเผื่อลง) หากมีการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ซึ่งทำให้สามารถออกแบบได้อย่างประหยัดขึ้นเมื่อเทียบกับการออกแบบโดยวิธีปกติทั่วไป ซึ่งในท้ายที่สุดผลงานวิจัยที่ได้ก็จะมีการพิจารณานำไปใช้ในการปรับปรุงมาตรฐานเชิงเทคนิคสำหรับท่าเรือและอาคารริมชายฝั่งต่อไป

รูปที่ 3 ความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มที่ได้รับจากการทดสอบการรับน้ำหนักด้วยวิธีไดนามิก

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถิติแสดงความสามารถในการรับแรงของเสาเข็ม

การประยุกต์ใช้ผลการทดสอบการรับน้ำหนักโดยวิธีไดนามิกสำหรับการบริหารจัดการงานเสาเข็ม

เมื่อมีการติดตั้งเสาเข็มต่อหลักโดยวิธีการตอกเข็มสำหรับการก่อสร้างท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น โดยในหลายกรณีนั้นได้มีการพิจารณาการติดตั้งเสาเข็มด้วยการใช้หลักการคำนวณของ Hiley โดยเป้าหมายของการคำนวณดังกล่าวนี้เพื่อการประเมินไม่แต่เฉพาะแรงต้านที่เกิดขึ้นจากผลของการตอกเข็มแต่ปริมาณการสะท้อนกลับเมื่อตอกเข็มเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความสามารถในการต้านทานแรงกดของเสาเข็มซึ่งให้ความมั่นใจที่ค่อนข้างต่ำ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการเสนอให้มีการปรับแก้สมการ Hiley ด้วยการใช้ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดของเสาเข็มซึ่งได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักโดยวิธีไดนามิก

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็มที่ได้รับจากการทดสอบหรือวิธีไดนามิก R_t และความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็มที่คำนวณจากสมการ Hiley R_{th} โดยจากรูปจะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้รับจากผลการทดสอบการรับน้ำหนักและจากการคำนวณตามสมการ Hiley พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (R_t/R_{th}) มีค่าเกินกว่า 20% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่แปรปรวนค่อนข้างมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าการนำสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนไปใช้กับการพิจารณาเสาต่อม่อสะพานจะทำให้ค่อนข้างยาก

ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาถึงการผลทดสอบเสาเข็มที่ต่อม่อหนึ่งๆ พบว่าจะมีข้อมูลจำนวนมากดังปรากฏในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนปรับค่า กับเสาเข็มที่ต่อม่อที่มีลักษณะเดียวกันได้ หรืออาจกล่าวได้ว่า ในกรณีที่ได้มีการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ก็มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนัก สำหรับการบริหารจัดการงานเสาเข็มได้อย่างมั่นใจ

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบการรับน้ำหนักหรือวิธีไดนามิกกับผลจากการคำนวณด้วยการใช้สมการ Hiley

การพัฒนาวิธีการทดสอบเสาเข็ม

สำหรับบทความนี้ได้มีการนำเสนอถึงวิธีการต่างๆ มากมายในการพัฒนาความมั่นใจในการประเมินความสามารถการรับแรงกดของเสาเข็ม และการจัดการงานเข็มด้วยการใช้ข้อมูลการทดสอบซึ่งจะนำไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานเทคนิคสำหรับท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่นต่อไป โดยเพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นใจของการดำเนินการ มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลจำนวนมากที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็ม และถึงแม้ว่าเราจะสามารถเพิ่มความมั่นใจในการประเมินความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็มได้ก็ตาม แต่เราต้องไม่ลืมว่าไม่มีวิธีการอื่นใดที่จะสามารถยืนยันความสามารถในการรับแรงกดของเสาเข็มได้ดีเท่ากับการทดสอบการรับน้ำหนักจริง ณ ตำแหน่งที่ตอกเข็มจริง

ทั้งนี้พัฒนาการของการทดสอบยกตัวอย่างเช่นการทดสอบการรับน้ำหนักจริงด้วยวิธีไดนามิกจะช่วยให้งานออกแบบและก่อสร้างเสาเข็มทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อันส่งผลให้การทดสอบโดยวิธีดังกล่าวหรือวิธีการอื่นที่ไม่ซับซ้อนจะได้รับความ

นิยมมากยิ่งขึ้น

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นงานก่อสร้างสะพาน Kurashiki Minato (เปิดให้บริการในเดือนมีนาคม 2017) ซึ่งจากรูปยังอยู่ในขั้นตอนของการดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งทั้งนี้ได้มีการนำการทดสอบความสามารถการรับน้ำหนักโดยวิธีไดนามิกเข้ามาใช้ในโครงการด้วย

ภาพที่ 3 สะพาน Kurashiki Minato ที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง โดยเปิดให้บริการในเดือนมีนาคม 2017

Fig. 1 Location of Testing Site

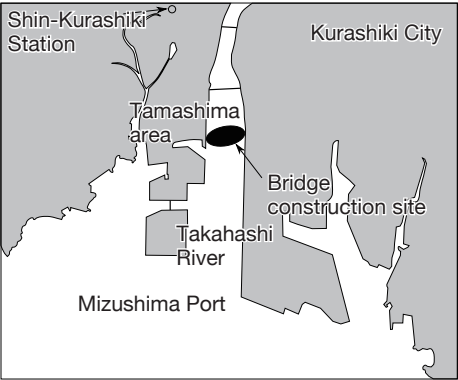


Fig. 2 Longitudinal Profile of Soil

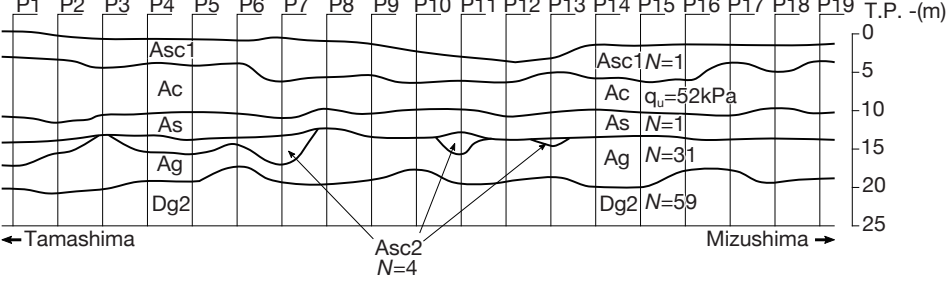


Photo 1 Condition of dynamic loading testing



Photo 2 Condition in which sensors are pasted on test pile

Fig. 3 Pile Point Resistance Obtained from Dynamic Loading Tests

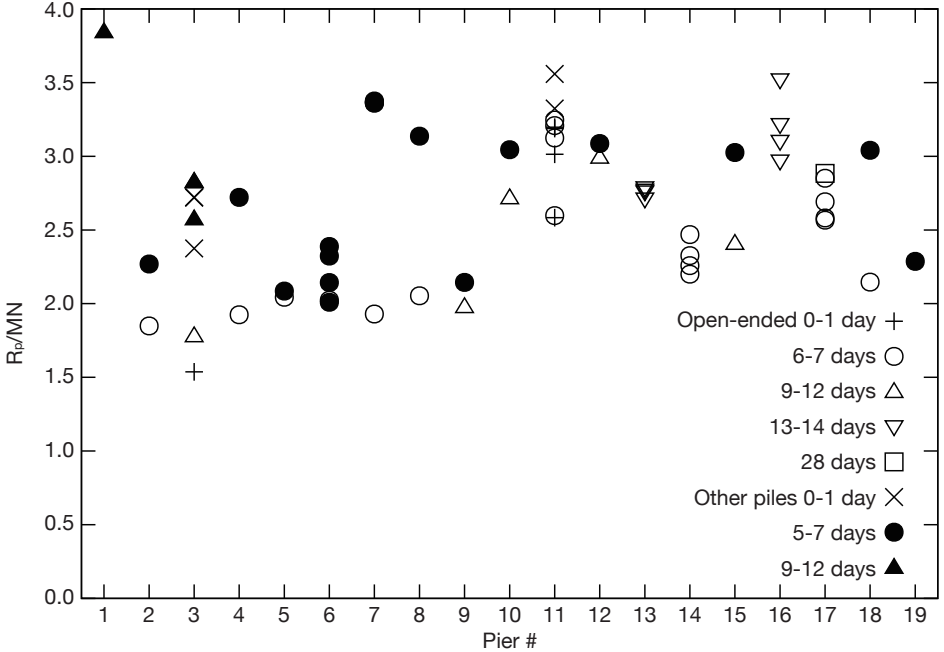


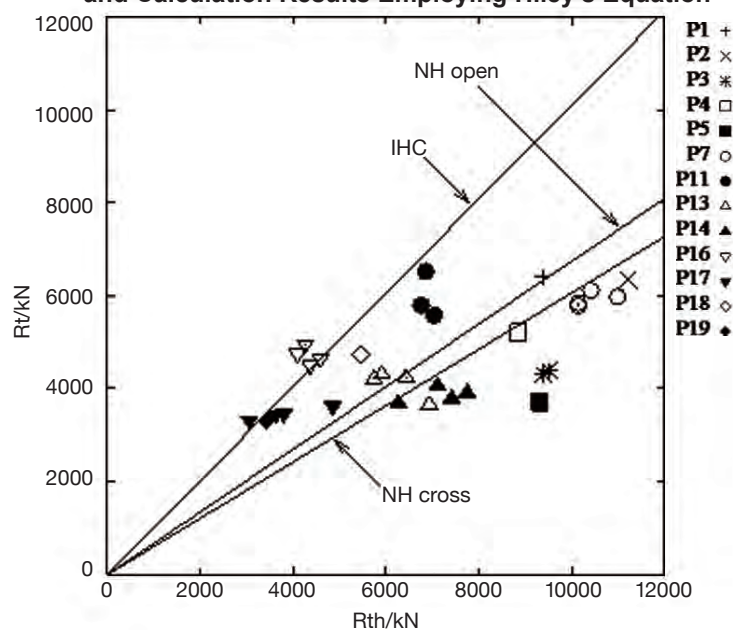
Table 1 Statistical Amount of Pile Point Resistance

Pier #	Pile type	Curing days	Sample size	Mean (kN)	C.V. (%)	Standard error
All	All cases	All cases	53	2650	19.2	69.9
All	Open-ended	All cases	33	2570	18.4	82.2
All	Cross-shaped	All cases	20	2790	19.6	122
11	Open-ended	6	4	3040	9.93	151
14	Open-ended	7	4	2310	5.02	58.0
17	Open-ended	6	4	2670	4.91	65.5
13	Open-ended	14	4	2760	1.18	16.4
16	Open-ended	14	4	3200	7.34	118
6	Cross-shaped	6	4	2220	7.75	86.0
7	Cross-shaped	6	4	3370	0.190	3.20



Photo 3 The Kurashiki Minato Bridge under construction at the testing site was completed and opened to traffic in March 2017 (foreground)

Fig. 4 Comparison between Dynamic Loading Test Results and Calculation Results Employing Hiley's Equation



(หน้า 10~12)

การประเมินกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มต่อเหล็กบนชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเหลว

โดย Yoshihiro Kimura

อาจารย์ มหาวิทยาลัย Tohoku

รายละเอียดเกี่ยวกับปรากฏการณ์โก่งเดาะแบบไดนามิกของเสาเข็ม

ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว Great East Japan Earthquake ในปี 2011 ได้เกิดปรากฏการณ์ทรายเหลวเป็นบริเวณกว้างในพื้นที่ชายฝั่งอาโอโมริซึ่งอยู่ห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวมากกว่า 500 กิโลเมตร ส่งผลทำให้อาคารจำนวนมากได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากการเอียงเพราะเกิดการทรุดตัวขึ้น และในขณะเดียวกันนั้นอาคารสูงเป็นจำนวนมากก็เกิดการสั่นส่ายตัวอย่างรุนแรง โดยมีระยะการสั่นส่ายตัวในแนวราบที่ระดับชั้นบนๆ ของอาคาร 2-3 เมตร นอกจากนี้ยังเกิดโมเมนต์พลิกคว่ำกับอาคารสูงที่กล่าวถึงอันเนื่องจากแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นซึ่งมากกว่าแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นกับอาคารเตี้ยและอาคารสูงปานกลาง 2-3 เท่า ซึ่งหมายความว่าอาจเกิดแรงในแนวแกนกลับทิศ (reversed axial force) ซึ่งไม่ได้คาดการณ์เอาไว้ในช่วงของการออกแบบกระทำกับเสาเข็มของฐานรากของอาคารสูง

สำหรับบริเวณริมชายฝั่งของเมืองใหญ่ๆ ได้มีการก่อสร้างอาคารสูงบนพื้นที่ถมทะเลตลอดจนพื้นที่ดินอ่อนใกล้แม่น้ำ โดยหากอาคารเหล่านี้ได้รับแรงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่มีลักษณะของคลื่นเป็นคาบช่วงยาวดังเช่นกรณีที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ก็จะมีผลให้เกิดปรากฏการณ์สั่นพ้อง หรือกำทอน (resonance) ขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดแรงในแนวแกนกลับทิศกระทำกับเสาเข็ม (ดังรูปที่ 1) และเมื่อเสาเข็มซึ่งติดตั้งอยู่บนชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเหลวเกิดสูญเสียเสถียรภาพในแนวราบอันเนื่องมาจากการขึ้นดินเกิดปรากฏการณ์ทรายเหลว โอกาสที่เสาเข็มจะเกิดการโก่งเดาะแบบดัด ก็จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากตามไปด้วย

งานวิจัยฉบับนี้ได้มีการศึกษาถึงพฤติกรรมการโก่งเดาะแบบดัดของเสาเข็มต่อเหล็กที่รองรับอาคารสูงซึ่งก่อสร้างอยู่บนชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเหลวเมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น โดยการทดสอบด้วยการใส่แรงแบบ centrifugal ตลอดจนนำเสนอถึงการประเมินความแข็งแรงหรือความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มโดยการใช้อุปกรณ์การโก่งเดาะที่ได้มีการปรับค่าสเกลแล้ว

รูปที่ 1 หลักการการโก่งเดาะแบบดัด ของเสาเข็มต่อเหล็กในชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเหลว

การศึกษาพฤติกรรมเสาเข็มต่อเหล็กที่รองรับอาคารสูงที่อยู่บนชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อปรากฏการณ์ทรายเหลว ด้วยแรงกระทำเข้าสู่ศูนย์กลาง (centrifugal loading)

ตัวอย่างหรือโมเดลที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยโครงสร้างส่วนบน เสาเข็มต่อเหล็ก และชั้นดิน โดยมีขนาดมิติและตำแหน่งที่กัก ดังแสดงในรูปที่ 2 ความยาวของเสาเข็มของตัวอย่างมีความยาวทั้งสิ้น 265 มิลลิเมตร (อ้างอิงขนาดความยาวจริงที่ 10.6 เมตร) ลักษณะของการทดสอบได้มีการใส่แรงในแนวแกนให้กลับเสาเข็มเหมือนดังเช่นพฤติกรรมจริง The plate spring length of the superstructure คลื่นแรงแผ่นดินไหว และค่าสูงสุด (ดังตารางที่ 1) ตัวอย่างของชั้นดินได้ถูกเตรียมโดยวิธีการสร้างโพรงอากาศด้วยการใช้สารซิลิกาจาก Toyoura แบบแห้ง และเพื่อให้ดินมีสภาพอิ่มตัวก็ได้มีการใช้สารละลาย Metolose (เซลลูโลสที่มีน้ำไว้ประจุเป็นตัวทำลาย)

ซึ่งปรับให้มีความหนืดราว 40 เท่า ของความหนืดของน้ำ

มีการสร้างคลื่นที่เข้ามากระทำ 2 ค่า ที่เป็นเสมือนคลื่นแผ่นดินไหว ที่กระทำที่แนวชายฝั่ง และคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้จาก Urayasu อันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว Great East Japan ในปี 2011 การทดสอบด้วยแรงกระทำเข้าสู่ศูนย์กลาง (centrifugal loading experiment) ได้ดำเนินการ ณ 40g site โดยการใช้อุปกรณ์ทดสอบจากสถาบันวิจัยเพื่อป้องกันภัยพิบัติของมหาวิทยาลัยเกียวโต (ดังภาพที่ 1)

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของการทดสอบด้วยแรงกระทำเข้าสู่ศูนย์กลางมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปคือ (a) ความเร่งตอบสนองของโครงสร้างส่วนบน (b) ผลตอบสนองของสัดส่วนอัตราแรงดันน้ำใต้ดินส่วนเกิน (c) ผลตอบสนองของแรงที่กระทำกับเสาเข็ม และ (d) ผลตอบสนองของความเครียดจากการดัดตัวของเสาเข็ม

จากรูป 3-(b) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเกจวัดแรงดันน้ำใต้ดินที่ติดตั้ง ณ ความลึก 3 ระดับ ในชั้นที่เกิดปรากฏการณ์ทรายเหลวทั้งชั้น ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงราววินาทีที่ 16 จากรูป 3-(c) แรงกระทำสูงสุดที่เสาเข็มเพิ่มสูงขึ้นถึง 1,582 กิโลนิวตันในช่วงวินาทีที่ 22 (ค่าการโก่งเดาะจากการดัดตัวที่ราว 307 กิโลนิวตันอันเนื่องมาจากการตอบสนองของโครงสร้างส่วนบน) จากรูป 3-(d) พิจารณาความเครียดจากการดัดตัวของหัวเสาเข็มพบว่าความเครียดจากการดัดตัวที่เพิ่มขึ้นนั้นเพิ่มไปถึงระดับค่าสูงสุดราววินาทีที่ 21 หลังจากนั้นความเครียดจากการดัดตัวแสดงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุดที่เสาเข็มสามารถรับได้ ณ วินาทีที่ 26 ส่งผลให้เสาเข็มเกิดการวิบัติขึ้น

ภาพที่ 2 แสดงสภาพของการเสียรูป ณ จุดสุดท้ายของตัวอย่างเสาเข็มทดสอบพบว่าเสาเข็มต่อเหล็กเกิดการเสียรูปอันเนื่องจากการปรับตัวค่อนข้างมากและหน้าตัดของเสาเข็มเกิดการครากขึ้น โดยไม่มีผลอันเนื่องมาจากความยาวของแผ่นสปริงโครงสร้างส่วนบนและความแตกต่างของความหนาแน่นสัมพัทธ์ของชั้นดิน

จากผลการทดสอบในช่วงต้นแสดงให้เห็นว่าเสาเข็มต่อเหล็กที่รองรับอาคารมีความเสี่ยงต่อการวิบัติอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ทรายเหลวที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

รูปที่ 2 ตัวอย่างทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์วัด

รูปที่ 3 ผลตอบสนองเชิงประวัติเวลาของกรณีทดสอบที่ 1-1

ภาพที่ 1 อุปกรณ์การทดสอบที่สามารถใส่แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง

ภาพที่ 2 การเสียรูปจากการปรับตัวของเสาเข็ม

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบ

การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มต่อเหล็ก

เพื่อให้สามารถประเมินหาความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มต่อเหล็กในช่วงของการเกิดการโก่งเดาะแบบไดนามิกได้นั้น ลำดับแรกต้องมีการพิจารณาสมการสำหรับการคำนวณแรงโก่งเดาะที่เสาเข็มต่อเหล็กที่รับแรงตามแนวแกนซึ่งติดตั้งอยู่ในชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ทรายเหลวสามารถรับได้ โดยใช้หลักของความแปรปรวนโดยวิธีกำลังงาน ลำดับต่อมาพิจารณาอัตราส่วนความละเอียดเทียบเท่าแบบปรับค่าจากสมการการคำนวณแรงวิกฤตจากการโก่งเดาะแบบดัดในช่วงอิลาสติกเพื่อใช้ในการประเมินหาความสามารถในการรับแรงสูงสุด

หลังจากนั้นจึงทำการประเมินหาความสามารถในการรับแรงวิกฤตของพฤติกรรมการโก่งเดาะแบบดัดของเสาเข็มต่อเหล็กซึ่งได้มีการใช้อัตราส่วนความละเอียดเทียบเท่าแบบปรับค่าเข้ามาประกอบ ด้วยการใช้กราฟการโก่งเดาะ (ดังรูปที่ 4) อันได้จากการ

วิเคราะห์การเสียรูปขนาดใหญ่ของวัสดุแบบอีลาสติก-พลาสติกโดยวิธี finite element ควบคุมไปกับการทดสอบการใส่แรงเข้าสู่ศูนย์กลางดังที่ได้นำเสนอข้างต้น นอกเหนือจากนั้นแล้วในการประเมินหาความสามารถในการรับแรงสูงสุดข้างต้นก็ได้มีการวิเคราะห์แบบจำลองคอมพิวเตอร์ของเสาเข็มท่อเหล็กเดี่ยวๆ และเสาเข็มท่อเหล็กที่ติดตั้งร่วมกับโครงสร้างส่วนบน เข้ามาประกอบผลการทดสอบตัวอย่างที่มีการใส่แรงเข้าสู่ศูนย์กลางด้วย

โดยจากการวิเคราะห์และการประเมินที่ได้กล่าวถึงทั้งหมดในครั้งต้นพบว่าเส้นกราฟหน่วยแรงดัดที่พิจารณาอัตราส่วนความชะลุดเทียบเท่าแบบปรับค่าสามารถนำมาใช้เป็นขีดจำกัดล่าง (lower limit) ในการประเมินความสามารถในการรับการโก่งเดาะแบบไดนามิก

นอกจากนี้ดังแสดงในรูปที่ 5 ยังได้มีการประเมินหาความสามารถในการรับแรงสูงสุดของเสาเข็มท่อเหล็กที่ติดตั้งในชั้นดินที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ทรายเหลวซึ่งได้รับทั้งแรงในแนวราบและแรงอัดควบคู่กันไปด้วย แกนในแนวดังแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนแรงอัดสูงสุดต่อความสามารถในการรับแรงอัดของการโก่งเดาะแบบอีลาสติก-พลาสติกที่ได้จากกราฟหน่วยแรงโก่งเดาะในรูปที่ 4 ในขณะที่แกนในแนวนอนแสดงอัตราส่วนของโมเมนต์ดัดสูงสุดต่อความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ระดับพลาสติก

กราฟที่แสดงดังรูปแสดงให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ของโมเมนต์และแรงในแนวแกน ซึ่งเป็นค่าที่ยอมให้ใช้ในการออกแบบตามคู่มือที่ปรากฏในประเทศญี่ปุ่น โดยความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดจะหาได้จากผลการวิจัยในปัจจุบัน สัญลักษณ์ + แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของเสาเข็มท่อเดี่ยว และในอีกเส้นกราฟเป็นผลการทดสอบด้วยแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง โดยเป็นการพิจารณาค่า ผลตอบสนองประวัติเวลาของเสาเข็มจนกระทั่งเกิดการวิบัติโดยพิจารณาจากแนวทางการออกแบบและผลการทดสอบที่ได้รับ ทั้งนี้เส้นครีปส์เขียวเป็นค่าแรงในแนวแกนและโมเมนต์ดัดในกรณีที่พบว่าค่าความเครียดที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นสูงถึงระดับความเครียดจากการดัดสูงสุดซึ่งวัดได้จากเกจวัดค่าความเครียดที่ติดอยู่ที่หัวเสาเข็ม ในขณะที่เส้นสีแดงเป็นค่าแรงในแนวแกนและค่าโมเมนต์ดัดของกรณีที่ได้จากการคำนวณค่าความเครียดจากการดัดตัวสูงสุด (อ้างอิงรูปที่ 5)

ความสามารถในการรับน้ำหนักในกรณีที่ความเครียดที่เพิ่มขึ้นจากการดัดตัวสูงสุด (เส้นสีเขียว) นั้นพบว่าจะอยู่ภายในแนวเส้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์และแรงในแนวแกนที่ยอมให้ใช้ในการออกแบบ รักพบว่าความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดในกรณีที่ความเครียดที่เพิ่มขึ้นจากการดัดตัวสูงสุด (เส้นแดง) พบว่าจะอยู่ภายในแนวเส้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์และแรงในแนวแกนสูงสุดที่ได้จากผลงานวิจัยทดสอบหรืออาจสรุปในท้ายที่สุดได้ว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มท่อเหล็กที่ใช้ในการออกแบบ และความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดนั้น สามารถที่จะประเมินได้โดยใช้กราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และแรงในแนวแกนที่ใช้ในการออกแบบ

รูปที่ 4 ความสามารถในการต้านทานการโก่งเดาะแบบไดนามิกและเส้นกราฟแสดงหน่วยแรงการโก่งเดาะ

รูปที่ 5 การประเมินแรงในแนวแกนและโมเมนต์ดัดของเสาเข็มโดยการใช้เส้นกราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดแรงในแนวแกน และเส้นกราฟความแข็งแรงสูงสุด



Yoshihiro Kimura: After finishing the doctor's course at the Tokyo Institute of Technology in 1995, he served as professor at the Nagasaki University and the Tohoku University. He assumed his current position as Professor, Tohoku University (New Industry Creation Hatchery Center) in 2012. Among his recent awarding are Paper Awards of JSSC (Japanese Society of Steel Construction) 2009, 2014, Best Paper Award and Keynote Paper Award of GEOMATE 2012, 2016 and The Prize of AIJ (Architectural Institute of Japan) 2017.

Fig. 1 Concept for Flexural Buckling of Steel Pile in Liquefied Soil

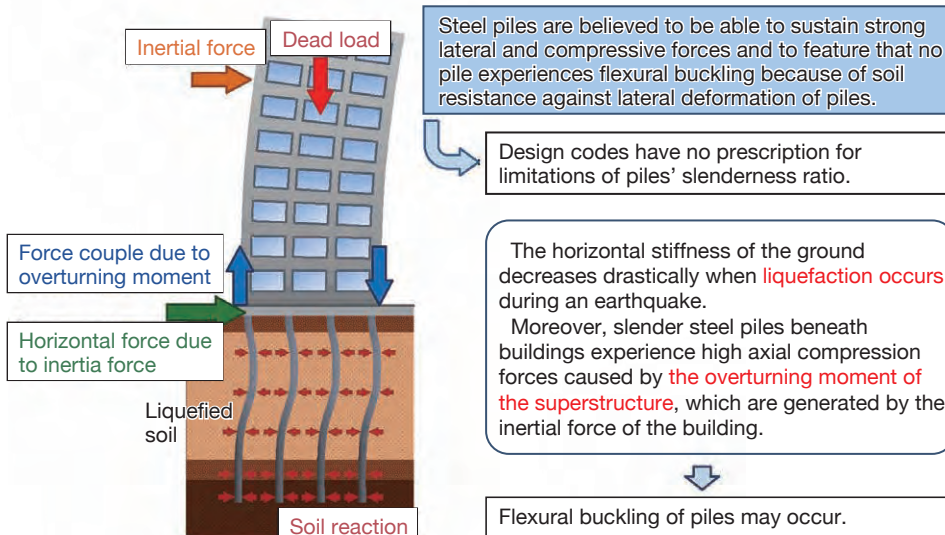


Fig. 2 Specimen and Instrumentation

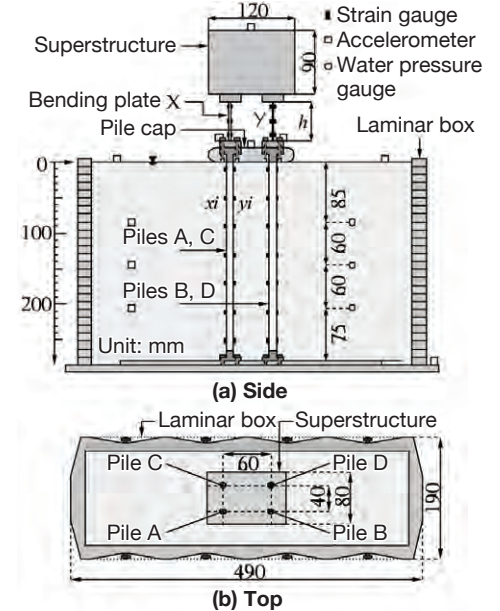


Table 1 Specimen Parameters

Specimen	Initial axial force, N_o (kN) (N_o/N_y)	Plate length h (mm)	Relative density Dr (%)	Input wave	Maximum input wave (m/s ²)	
Case1-1	1275 (0.33)	35	30	Coastal wave	4.5	
Case1-2			60			
Case1-3		55	30		3.0	
Case1-4		70	60			
Case1-5						
Case1-6	856 (0.33)	35	30	Coastal wave	4.5	
Case1-7	1275 (0.49)				45	45
Case1-8				Urayasu wave		
Case1-9		45	Coastal wave	3.0		
Case1-10		35				

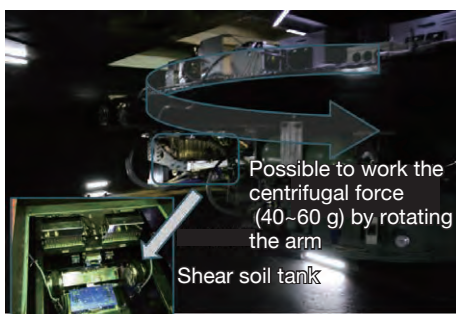


Photo 1 Centrifugal loading apparatus



Photo 2 Bending deformation of piles

Fig. 3 Response Time History of Case 1-1

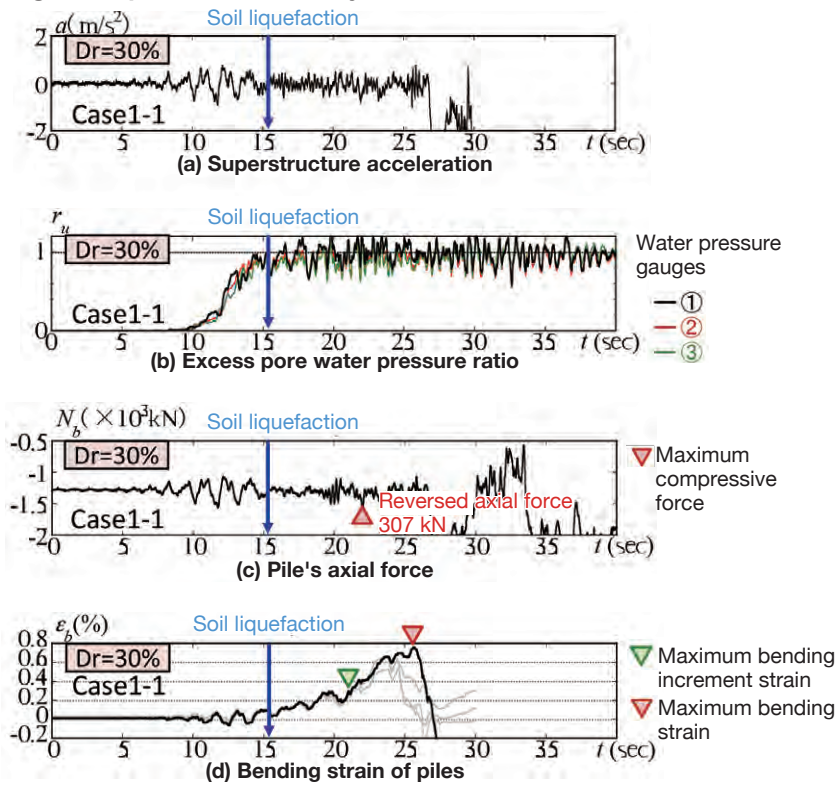


Fig. 4 Dynamic Buckling Strength and Buckling Stress Curves

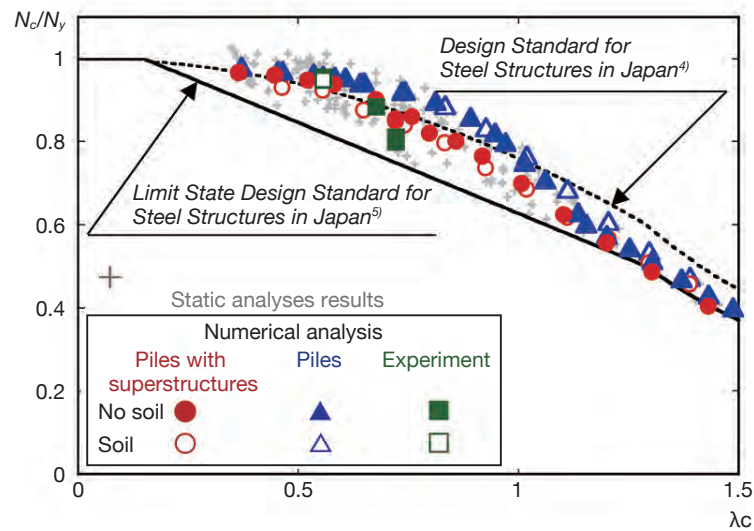
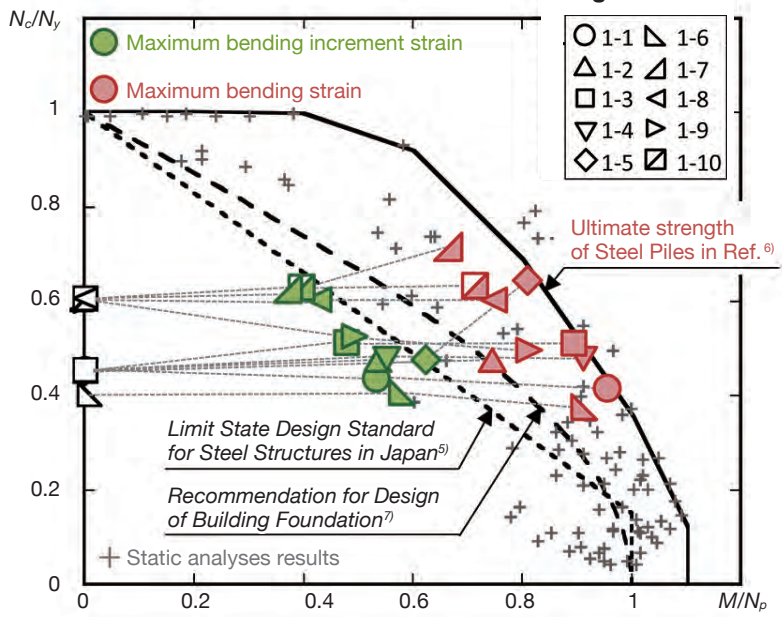


Fig. 5 Estimation of Axial Force and Bending Moment of Piles Using M-N Interaction Curves and Ultimate Strength Curves



(หน้า 13~15)

การศึกษาวิธีการประเมินหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มในช่วงการเกิดแผ่นดินไหว

- การพัฒนาวิธีการคำนวณออกแบบแบบทุติยภูมิสำหรับฐานราก

เสาเข็มท่อเหล็ก -

โดย Katsuichirou Hijikata

อาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี Shibaura

เป้าหมายของการศึกษา

ในงานก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างสำหรับอุตสาหกรรมพลังงานและสิ่งปลูกสร้างอื่นที่มีความสำคัญใกล้เคียงกัน ได้มีการนำเสาเข็มท่อเหล็กเข้ามาใช้เพิ่มมากยิ่งขึ้นเนื่องจากมีความแข็งแรงสูงและให้ความสามารถในการรับน้ำหนักที่ดี โดยสำหรับการออกแบบเสาเข็มเพื่อรองรับสิ่งปลูกสร้างที่สำคัญเหล่านี้ให้ต้านทานต่อแผ่นดินไหวได้นั้น มีความจำเป็นอยู่ที่จะต้องตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้งานเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวทั้งสองระดับคือ (1) แผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงในระดับที่มีโอกาสเกิดได้หนึ่งถึงสองครั้งตลอดอายุการใช้งานของสิ่งปลูกสร้าง และ (2) แผ่นดินไหวขั้นรุนแรงที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ยาก และสำหรับการตรวจสอบความปลอดภัยของสิ่งปลูกสร้างเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวระดับที่สองมีความจำเป็นต้องพิจารณาความแข็งแรงที่ขีดจำกัดสูงสุด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการประเมินพฤติกรรมในช่วง nonlinear ที่เกิดขึ้นจากการเสียรูปขนาดใหญ่ของทั้งพื้นดินและเสาเข็ม แต่อย่างไรก็ดี ณ ปัจจุบันนี้ยังอาจกล่าวได้ว่าวิธีการที่ใช้ในการประเมินยังไม่ได้มีการพัฒนาจนสมบูรณ์ การศึกษาในครั้งนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาวิธีการในการประเมินหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มระหว่างเกิดแผ่นดินไหวตลอดจนผลตอบแทนของโครงสร้างจากแผ่นดินไหวด้วยวิธี seismic response analysis

องค์ประกอบของแบบจำลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์

- แนวทางการวิเคราะห์ด้วยวิธี seismic response analysis

รูปที่ 1 แสดงแนวทางการวิเคราะห์สำหรับการศึกษาในโครงการนี้ ด้วยวิธี seismic response analysis สำหรับกลุ่มเสาเข็ม หรือเรียกกันทั่ววิธี EENA-Multi-PILE วิธีการนี้ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่สามารถที่จะประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นดิน เสาเข็มกลุ่ม และโครงสร้างโดยรวมได้ โดยสำหรับเสาเข็มกลุ่มจะเป็นการจำลองเสาเข็มแต่ละต้นในลักษณะที่เป็น beam element ซึ่งมีสปริงในแนวราบที่สะท้อนแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากดินที่อยู่โดยรอบเสาเข็ม

สปริงที่อยู่ในแนวราบในแบบจำลองนี้ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อพื้นดินในสภาพที่เป็น nonlinear อันเกิดจากการเสียรูปขนาดใหญ่ของเสาเข็มได้ การสั่นของพื้นดินที่มีความลึกตำแหน่งต่างๆ จะถูกคำนวณขึ้น และผลตอบแทนของเสาเข็มก็จะสามารถคำนวณได้จากค่าการสั่นของพื้นดินที่คำนวณไว้นี้ โดยสำหรับพฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่มจะมีผลที่เกิดขึ้นไปมาระหว่างเสาเข็มและพื้นดิน อันมีผลทำให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มต้นที่อยู่ด้านใน (ด้านหลัง) มีค่ามากกว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มต้นที่อยู่ด้านหน้า พิจารณาอ้างอิงจากแนวการสั่นไหวของพื้นดิน

และสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่เรียกว่า EENA-Multi-PILE นั้น จะมีการพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มที่แตกต่างกันตามตำแหน่งของเสาเข็มแต่ละต้น ด้วยการใส่สปริงในแบบจำลอง ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันตามเสาเข็มแต่ละต้น

- การศึกษาพฤติกรรมของดินรอบเสาเข็มที่มีลักษณะเหมือนสปริง

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของสปริงจำลองที่กล่าวถึงซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงพฤติกรรมของดินที่อยู่โดยรอบเสาเข็มนี้ ได้มีการนำวิธีที่เรียกว่า Kishida-Nakai เข้ามาใช้ในการศึกษา โดยสำหรับวิธีการศึกษานั้น ได้มีการประเมินความแข็งแรงของพื้นดินที่อยู่รอบเสาเข็มด้วยการประยุกต์ใช้ Francis ground spring โดยค่าโมดูลัสการเสียรูปได้ถูกกำหนดมาเป็นค่าตั้งต้น และได้มีการคำนวณค่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดของดิน หรือ Pmax ด้วยสมการที่เรียกว่า "wedge formula"

สำหรับการคำนวณโดยวิธี Kishida-Nakai นั้น ได้มีการนำผลการตรวจวัดคลื่นอัตราสติกจากวิธีการที่เรียกว่า PS logging เข้ามาใช้ในการคำนวณหาพฤติกรรมของชั้นดินแบบไดนามิกได้อย่างแม่นยำ และคำนวณหาค่าโมดูลัสการเสียรูปของดินสำหรับการพิจารณา Francis ground spring (อ้างอิง Design Standards of Railway Structures and Commentaries - Foundation Structures) โดย

"ค่าโมดูลัสการเสียรูปของดินที่มีค่าประมาณ E50 (ค่าความแข็งแรงที่ตำแหน่ง 50% ของหน่วยแรงสูงสุด) มีค่าเท่ากับ $0.1 \times$ โมดูลัสการเสียรูปที่ได้จาก PS logging"

หากพิจารณากลุ่มเสาเข็ม เป็นที่เข้าใจกันดีว่าความแข็งแรงของเสาเข็มจะลดลงอันเนื่องมาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นระหว่างเสาเข็มด้วยกันเอง หรือเรียกว่าเป็นปรากฏการณ์เสาเข็มกลุ่ม โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถประเมินได้โดยการใช้สมการสัมประสิทธิ์เสาเข็มกลุ่ม ซึ่งหาได้จาก (1) การใช้สมการประมาณ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และ (2) การใช้สมการที่แทนค่าสัมประสิทธิ์เสาเข็มกลุ่มซึ่งได้จากการวิเคราะห์แบบ nonlinear สามมิติซึ่งดำเนินการกับเสาเข็มกลุ่มที่หน้างานก่อสร้างจริง โดยสำหรับสมการนี้ N แสดงถึงจำนวนเสาเข็ม B แสดงถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม และ S แสดงถึงระยะห่างระหว่างเสาเข็ม

$$e = \frac{\text{Pile head rigidity of pile group}}{\text{No. of piles} \times \text{Pile head rigidity of single pile}} \dots\dots\dots (1)$$

$$e = 1/N^{B/S} + 0.2 \quad (e \leq 1.0) \dots\dots\dots (2)$$

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์เสาเข็มกลุ่มที่ได้จากสมการ (2) และได้จากผลการวิเคราะห์แบบ nonlinear สามมิติในกรณีที่มีค่า S/B = 2.5 จากรูปจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์เสาเข็มกลุ่มที่ได้จากสมการ (2) มีลักษณะที่ซ้อนทับสอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยที่ปรากฏ

นอกจากนี้ยังพบว่าความแตกต่างของค่าแรงปฏิกิริยาของดินสูงสุด หรือ Pmax ขึ้นกับตำแหน่งของเสาเข็ม ซึ่งหากพิจารณาเสาเข็มกลุ่มที่มีการจัดวางเสาเข็มให้ห่างกันและเรียงตัวกันแบบจัตุรัส โดยอ้างอิงผลการวิเคราะห์เสาเข็มกลุ่มแบบ nonlinear สามมิติ ก็สามารถใช้สมการที่ (3) ในการคำนวณได้โดยค่า h แสดงถึงแรงปฏิกิริยามาตรฐาน ซึ่งหากพิจารณาวิธีการประเมินดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าจะสามารถประเมินหาค่าความแตกต่างของของ Pmax ของเสาเข็มที่อยู่ด้านหลังตามแนวทิศทางการสั่นและของ Pmax ของเสาเข็มที่อยู่ด้านหน้า

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการประเมินค่า h

$$\eta = \frac{\text{Pmax of respective pile position of pile group}}{\text{Pmax of single pile}} \dots\dots\dots (3)$$

● พฤติกรรมแบบจำลองสปริงของดินรอบเสาเข็ม

จากข้อมูลในข้างต้นแบบจำลองสปริงของดินรอบเสาเข็มนำเสนอไว้ในรูปที่ 4 และการประเมินขึ้นกับเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้:

- เส้นกราฟของเสาเข็มตันเดี่ยวสามารถหาได้จากวิธีการคำนวณ Kishida-Nakai โดยพิจารณาปรับค่าลักษณะกลุ่มเสาเข็มด้วย ξ และ h
- ค่าโมดูลัสการเสียรูปสำหรับ Francis ground spring ใช้ค่า 0.1'EPS ซึ่งหาได้จาก PS logging
- ปรับค่าความแข็งแรงของแบบจำลองสปริงของดินสำหรับกลุ่มเสาเข็มให้ลดลงด้วยการใช้สมการ $\xi = (1/N^{B/5} + 0.2)^{4/3}$
- ตำแหน่งของเสาเข็มในกลุ่มเสาเข็มที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่า Pmax แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากสมการประเมินค่า h สำหรับกลุ่มเสาเข็มที่เหมือนกัน ค่า Pmax จะมีค่าแตกต่างกันตามทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นแผ่นดินไหว: ค่าที่เกิดกับเสาเข็มที่อยู่ด้านใน ($h+$) และเสาเข็มที่อยู่ด้านหน้า ($h-$)

รูปที่ 1 แนวทางการวิเคราะห์โดยวิธี EENA-Multi-PILE

รูปที่ 2 สมการที่ใช้ประเมินสัมประสิทธิ์เสาเข็มกลุ่ม ($S/B = 2.5$)

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน h ที่ได้จากสมการคำนวณ และจากผลการวิเคราะห์สามมิติ

รูปที่ 4 เส้นกราฟที่พิจารณาผลกระทบของเสาเข็มกลุ่ม

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี EENA-Multi-PILE

การวิเคราะห์ผลตอบสนองจากแผ่นดินไหวของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างในอุตสาหกรรมพลังงานที่ก่อสร้างด้วยโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความสูง 8 เมตร อาคารแห่งนี้ตั้งอยู่บนฐานรากที่ทำจากเสาเข็มท่อเหล็กจำนวน 25 ต้นเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร จัดวางเรียงตัวเป็นจัตุรัส โดยมีอัตราส่วน $S/B = 3.3$ ชั้นดินมีลักษณะเป็นทราย โดยชั้นที่อยู่ติดผิวดินหนา 22 เมตรและมีค่า V_s รว 200 เมตรต่อวินาที และอีกชั้นเป็นชั้นดินแข็งที่รองรับเสาเข็ม

โดยสำหรับแรงที่เกิดขึ้นจากการสั่นไหวของพื้นดินนั้น ได้มีการนำคลื่น Ofunato-bochi-S ที่เกิดขึ้นในช่วงการเกิดแผ่นดินไหว Miyagiken-Oki (1978.6.12) ซึ่งสำรวจโดยสถาบันวิจัยท่าเรือและท่าอากาศยาน: หน่วยศึกษาแผ่นดินไหวขั้นรุนแรงที่กระทำกับท่าเรือ/พื้นที่แนวชายฝั่ง

รูปที่ 5 แสดงแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์สูงสุดตามลำดับสำหรับเสาเข็มต้นกลางและต้นมุม โดยหากพิจารณาจากรูปจะสามารถยืนยันได้ว่าค่า Moment แตกต่างไปตามตำแหน่งของเสาเข็ม

การประเมินหน่วยแรงของเสาเข็มที่เหมาะสมด้วยวิธี EENA-Multi-PILE

จากการศึกษาในครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการคำนวณผลตอบสนองจากแผ่นดินไหว หรือ EENA-Multi-PILE สำหรับฐานรากเสาเข็มกลุ่ม

วิธีการนี้สามารถนำมาใช้ในการประเมินหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มและ

ผลตอบสนองต่อโครงสร้างได้อย่างเหมาะสม โดยในอนาคตคณะผู้วิจัยมีแผนการที่จะดำเนินการศึกษาในรายละเอียดที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องต่อไป

รูปที่ 5 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับเสาเข็มซึ่งประเมินด้วยวิธี EENA-Multi-PILE



Katsuichirou Hijikata: He graduated from the Department of Architecture of Graduate School of Engineering, The University of Tokyo in 1981, and in 1991 received a doctor's degree (engineering) from The University of Tokyo. He assumed his current position as professor at the Department of Architecture and Building Engineering, Shibaura Institute of Technology in 2013.

Fig. 1 Outline of EENA-Multi-PILE (Seismic Response Analysis Method)

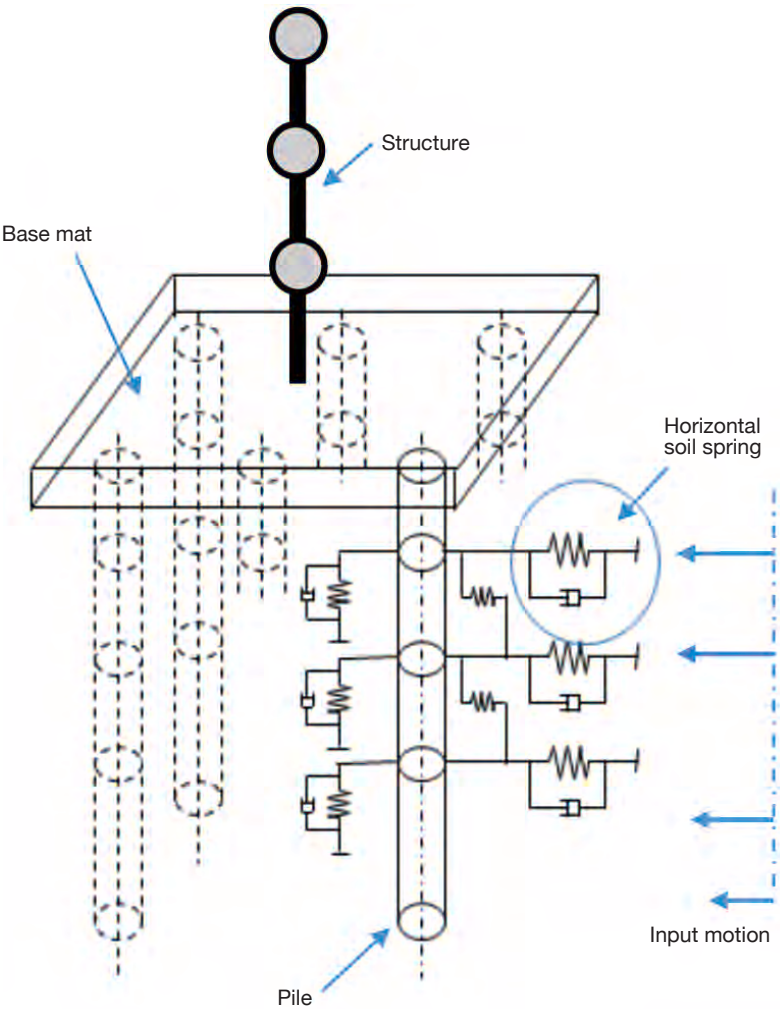


Fig. 2 Evaluation Formula for Pile Group Coefficient (S/B=2.5)

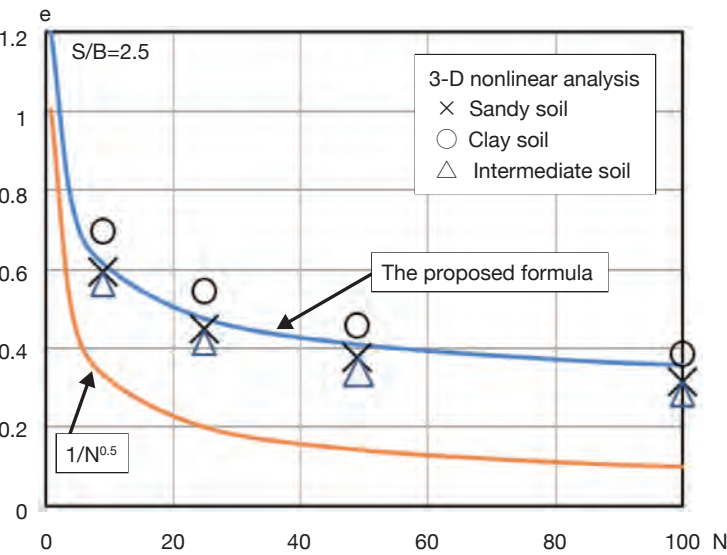


Fig. 3 Comparison of Standardized Coefficient η between Proposed Evaluation Formula and 3-D Analysis

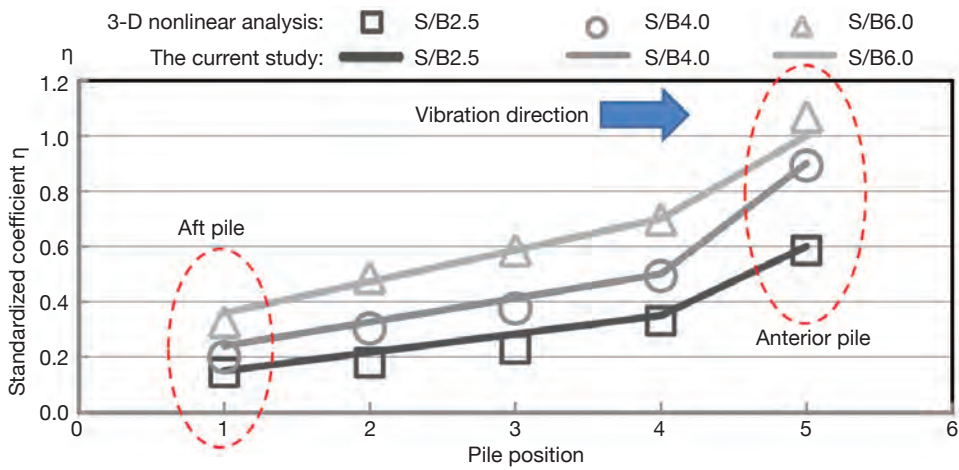


Fig. 4 Skeleton Curve Considering Group Effects of Piles

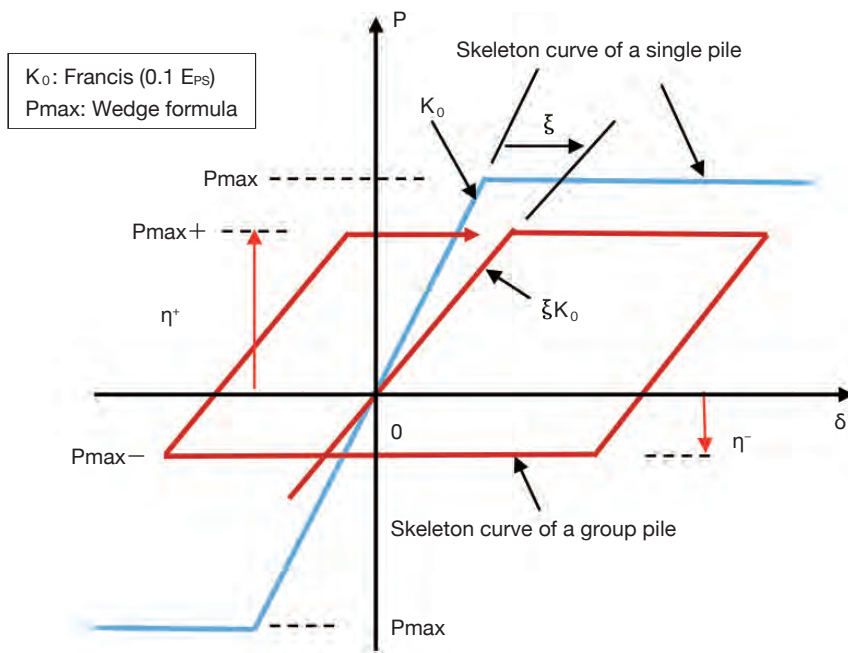
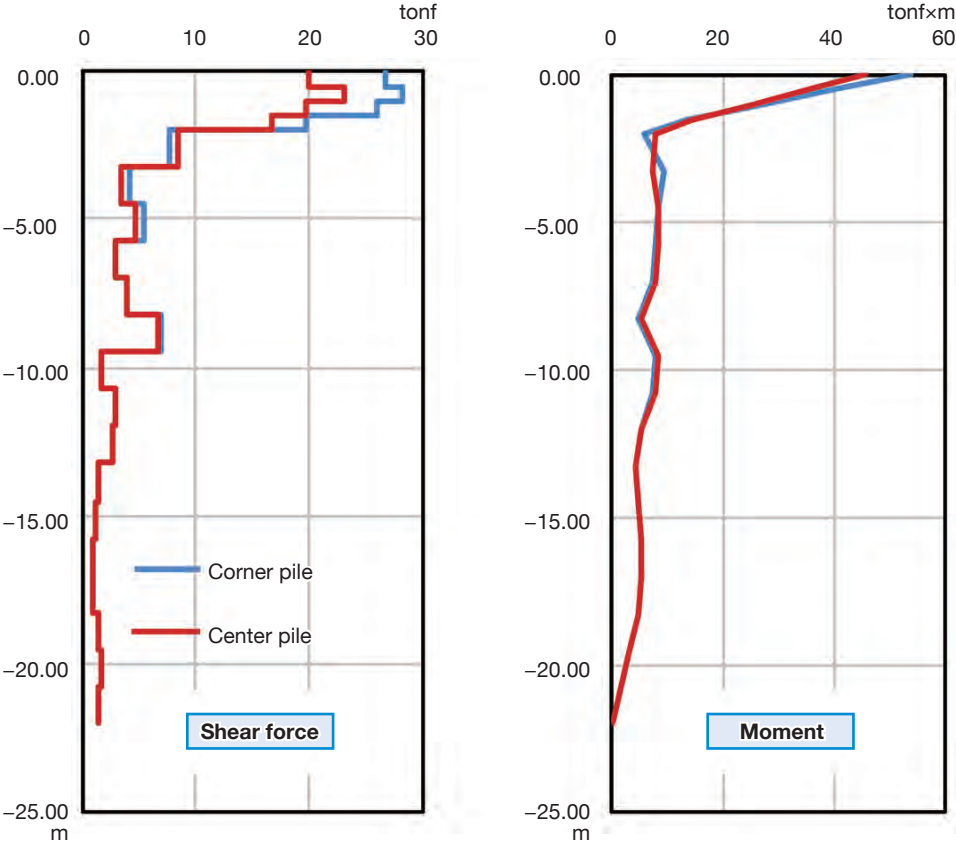


Fig. 5 Stress of Piles Evaluated Using EENA-Multi-PILE



(หน้า 16~18)

หัวข้อพิเศษ

การพัฒนาปรับปรุงโครงสร้างสาธารณูปโภคในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ

- การเพิ่มขีดความสามารถภายในช่วงการเกิดภัยพิบัติและบทเรียนที่ได้รับจากแผ่นดินไหว Kumamoto ในปี 2016 -

โดย Yoshiaki Kawata

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ความปลอดภัยแก่สังคม มหาวิทยาลัย Kansai

สถานภาพของระบบโครงสร้างสาธารณูปโภคที่เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว Kumamoto ล่าสุด

เมื่อเกิดภัยพิบัติขึ้นมาตรการสำคัญที่สุดคือการฟื้นฟูและการก่อสร้างแก้ไขสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับความเสียหายไม่สามารถกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างปลอดภัย รูปที่ 1 แสดงให้เห็นภาพของระบบโครงสร้างสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อชีวิตของผู้คนในสังคมเช่นโครงสร้างเพื่อการสื่อสาร การขนส่ง การให้บริการสาธารณะ และการเงิน

สำหรับแผ่นดินไหว Kumamoto ที่เกิดขึ้นล่าสุดที่เกิดขึ้นในเดือนมีนาคม 2016 หลายภาคส่วนได้แสดงความเป็นกังวลเกี่ยวกับระบบการขนส่ง โดยอ้างอิงถึงจากมาตรการเยียวยาให้กับผู้ประสบภัยอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว Great East Japan ในเดือนมีนาคมปี 2011 ในคราวนี้ รัฐบาลญี่ปุ่นได้ขยายความช่วยเหลือโดยการมอบอาหารจำนวน 2.62 ล้านชุดไปยังเมือง Tosu จังหวัด Saga ซึ่งอยู่ถัดจากจังหวัด Kumamoto ซึ่งจากแผนการที่เตรียมไว้นั้นอาหารและของยังชีพเหล่านี้จะต้องถูกส่งออกไปจากเมือง Tosu ไปยังสถานที่อพยพราว 85 แห่งในจังหวัด Kumamoto ด้วยวิธีการขนส่งปกติทางถนน แต่อย่างไรก็ดีแผนการดังกล่าวก็ไม่ราบรื่นอันเนื่องมาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการจราจรที่ติดขัดบนท้องถนน

สาเหตุสำคัญที่สุดที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว เกิดขึ้นจากทางด่วนที่เชื่อมต่อกับพื้นที่ทางทิศเหนือไปยังทิศใต้ และอุโมงค์ที่เชื่อมต่อจากพื้นที่ทางทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกนั้นได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงจนส่งผลให้เกิดการปิดการจราจรในบางพื้นที่ โครงข่ายทางหลวงบาง ถูกตัดขาดสะพานบางแห่งได้รับความเสียหายอันเนื่องจากการพังถล่มของเชิงลาดบริเวณภูเขาไฟ Aso ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัด Kumamoto (ดังภาพที่ 1) ปัจจุบันดังกล่าวเป็นอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลต่อมาตรการการบรรเทาสาธารณภัยอันเนื่องมาจากภัยพิบัติขั้นรุนแรงที่ได้เตรียมการเอาไว้

นอกจากนี้ ในช่วงของเหตุการณ์แผ่นดินไหว การจราจรตามท้องถนนทั่วไป และระบบ GPS ที่ติดมากับรถจะยังสามารถใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตามภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวการจราจรติดขัดมากกว่าคาดการณ์เอาไว้ ส่งผลให้รถบรรทุกที่บรรทุกของยังชีพที่เตรียมไว้นั้นไม่สามารถขนส่งตามกำหนดเวลาเนื่องจากสภาพการจราจรที่ติดขัดบนท้องถนนที่ยาวนาน

รูปที่ 1 ระบบโครงสร้างสาธารณูปโภคประเภทต่างๆ

ภาพที่ 1 การให้บริการให้บริการเส้นทางหลวงหมายเลข 57 และหมายเลข 325 และทางรถไฟ Hohi-honsen ในช่วงของการเกิดแผ่นดินไหว Kumamoto

หลักในการสร้างภูมิคุ้มกันและบรรเทาผลกระทบจากภัยพิบัติ และการคาดการณ์ถึงเหตุการณ์ความเสียหายขั้นรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น

คำว่า "การสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัติ (disaster resilience)" ได้ถูกแปลความโดยรัฐบาลญี่ปุ่น ไปเป็น "Building National Resilience" ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมนัก โดยคำว่า การสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัตินี้มีทั้งสิ้น 8 ความหมาย และมีบริบทโดยรอบที่ค่อนข้างกว้างซึ่งรวมถึงการปรับปรุงระบบโครงสร้างสาธารณูปโภคในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อภัยพิบัติ รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบทั้งแปดส่วนที่ครอบคลุมความหมายดังกล่าว

ทั้งนี้สิ่งที่สำคัญคือแนวทางการดำเนินการเพื่อทำให้องค์ประกอบทั้ง 8 ส่วนมีความครบถ้วนสมบูรณ์ ซึ่งหากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง สามารถถูกจัดการให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ก็จะกล่าวได้ว่า การสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัตินั้นมีความสมบูรณ์บางส่วน แต่หากองค์ประกอบทั้ง 8 ส่วนสามารถถูกจัดการให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ ก็จะกล่าวได้ว่าการสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัตินั้นมีความครบถ้วนบริบูรณ์ โดยในการประเมินคุณค่าที่ได้รับจะดำเนินการในรูปของ สัดส่วนระหว่างคุณประโยชน์ที่ได้รับต่อค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปในการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องประเมินประโยชน์ของโครงสร้างพื้นฐานในมิติอื่นๆ ทั้ง 8 มิติด้วย

นอกเหนือจากนั้นแล้วมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความตระหนักว่าประเทศญี่ปุ่นนั้นได้ก้าวเข้าสู่บริบทใหม่ของการสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัติ ในส่วนของภัยพิบัติจากพายุฝนและน้ำท่วม ลักษณะของพายุไต้ฝุ่นและพายุฝนได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อน ลักษณะหรือรูปแบบของการเกิดแผ่นดินไหวก็มีความเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน

ถึงแม้ว่าความเปลี่ยนแปลงที่กล่าวถึงนี้จะยังไม่มีความสัมพันธ์กับเวลา แต่ยังมีปัจจัยหลายประการที่ยังไม่ชัดเจนนักถึงปรากฏการณ์การเกิดแผ่นดินไหวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งในทุกครั้งที่มีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นก็มักจะมีความถี่สูงใหม่ ๆ เกิดขึ้นตามมาด้วย ตัวอย่างเช่นในกรณีการเกิดแผ่นดินไหว Kumamoto ได้พบว่ามีการเกิดอาฟเตอร์ช็อกที่มีความรุนแรงในระดับ 1+ ตามเกณฑ์วัดความรุนแรงของประเทศญี่ปุ่นโดยเกิดขึ้นถึงราว 4,200 ครั้ง ตลอดปีที่เกิดการสั่นไหวรุนแรงที่สุด ที่ได้เกิดขึ้นในวันที่ 16 เมษายน 2016 ซึ่งสาเหตุว่าทำไมถึงมีการสั่นจำนวนครั้งมากขนาดนั้นก็ยังไม่อาจจะทราบได้ และก็เชื่อได้ว่าจะมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งต่อไปที่มีเรื่องราวใหม่ๆ เกิดขึ้นตามมา

จากเหตุการณ์ทั้งหมดที่กล่าวถึง ก็มีคำถามว่าเราควรจะปรับปรุงโครงสร้างสาธารณูปโภคในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติอย่างไรให้มีประสิทธิภาพ มาตรการต่างๆ ในการจัดการกับประเด็นที่กล่าวถึงได้แสดงในรูปที่ 3

อันดับแรกในการสร้างภูมิคุ้มกันต่อภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้น มาตรการต่างๆ ในการป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้างสาธารณูปโภคอันเกิดจากภัยพิบัติ ควรจะต้องมีการดำเนินการอย่างเคร่งครัด โดยเพื่อให้สามารถบรรลุถึงวัตถุประสงค์ดังกล่าว ก็จะต้องส่งเสริมหลักการของการสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัติ ซึ่งเป็นสิ่งที่ได้เรียนรู้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Great East Japan Earthquake ในปี 2011

หลักการของการสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัตินั้นในท้ายที่สุดแล้วเป็นสิ่งที่เตรียมการไว้เนื่องจากการเชื่อมโยงของมิติต่างๆ ในโลก เช่นทั้งกองทุนการเงินระหว่างประเทศ และธนาคารโลกยินดีที่จะให้การสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศที่กำลังพัฒนาเพื่อสนับสนุนการสร้างภูมิคุ้มกันจากภัยพิบัติ เหตุผลที่สำคัญคือ แม้ว่าระบบเศรษฐกิจจะพัฒนาขึ้นจากการสนับสนุนขององค์กรเหล่านี้แต่ปัญหาที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขก็ยังซ่อนเร้นอยู่ กล่าวคืองบประมาณสนับสนุนจะไร้ซึ่งความหมายในที่สุดเมื่อเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติขึ้น

ในการป้องกันปัญหาดังกล่าว ควรต้องให้ความสำคัญกับการพิจารณางบประมาณ เพื่อลดผลกระทบจากภัยพิบัติตั้งแต่ขั้นตอนของการวางแผน ได้มีการนำเสนอในระดับนานาชาติว่างบประมาณลงทุน 1 ดอลลาร์ในการป้องกันภัยพิบัติจะก่อให้เกิดประโยชน์ เป็นผลกำไรเป็นมูลค่า 6 ดอลลาร์

นอกเหนือจากนั้นแล้วก็มีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดเสวนาโดยชักชวนผู้ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาปรับปรุงระบบสาธารณสุขโลก เพื่อหาหรือถึงเหตุการณ์ภัยพิบัติที่มีโอกาสเกิดอย่างรุนแรงที่สุดรวมไปจนถึงการ ระงับหรือบรรเทาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ได้ดังกล่าว ตัวอย่างเช่น การทำประกันภัย ซึ่งเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายที่กล่าวถึงก็มีความจำเป็นที่จะต้องประเมินความเสี่ยงออกมาอย่างเป็นรูปธรรม

ในท้ายที่สุดนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องประสานกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ในการแบ่งปันข้อมูลด้านความเสี่ยง ตลอดจนการประเมินระดับความเสี่ยงภายหลังจากการนำมาตรการป้องกันภัยพิบัติเข้ามาใช้เพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของชุมชนและสังคมต่อไป

รูปที่ 2 อะไรคือ "การสร้างภูมิคุ้มกันต่อภัยพิบัติ"

รูปที่ 3 การให้คำปรึกษาก่อนการพัฒนาและปรับปรุงระบบสาธารณสุขโลกในบริเวณพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ

หลักการที่จำเป็นสำหรับการปรับปรุงระบบสาธารณสุขโลกในบริเวณที่เกิดภัยพิบัติต่อเนื่อง

มาตรการดังต่อไปนี้เป็นสิ่งจำเป็น สำหรับการคงสภาพการใช้งานของแนวเส้นทางด่วนในบริเวณพื้นที่ภูเขาไฟหรือในบริเวณพื้นที่เสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิเมื่อเกิดแผ่นดินไหวดังเช่นที่ได้เกิดขึ้นในช่วงเหตุการณ์แผ่นดินไหว Kumamoto:

- สมมุติฐานที่เกี่ยวกับระดับความรุนแรงจากภัยพิบัติ เช่นความเสียหายต่อพื้นที่ตามแนวเส้นทางที่มีโอกาสเกิดได้มาก
- การเปลี่ยนแปลงเส้นทางการขนส่งในกรณีที่เกิดความเสียหายคันรุนแรงขึ้น
- การเตรียมการในกรณีที่เกิดภัยพิบัติระดับปานกลางถึงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น การเพิ่มจุดเชื่อมต่อสถานีขนส่ง การแยกเส้นทางขาเข้าและขาออก การติดตั้งถนนชั่วคราวในกรณีภัยพิบัติฉุกเฉิน
- การก่อสร้างถนนเส้นใหม่ที่มีช่องจราจรหลายช่องเพื่อทดแทนเส้นทางหลวงที่มีอยู่เดิม พร้อมไปกับการบำรุงรักษาและการจัดการถนนเส้นใหม่และเส้นที่มีอยู่เดิม โดยมีมาตรการรองรับที่สอดคล้องกัน

โดยสำหรับในบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดภัยพิบัติ มาตรการทั้งหมดข้างต้นเป็นสิ่งจำเป็นที่จะรักษาระดับการให้บริการและสมรรถนะในการขนส่งในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติม อ้างถึงรูปที่ 4)

รูปที่ 5 แสดงวิธีการปรับปรุงระบบสาธารณสุขโลกพื้นฐานบนสมมติฐานที่ว่าภัยพิบัติขั้นรุนแรงจะเกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหวในบริเวณกรุงโตเกียว และการเกิดแผ่นดินไหวขนาดยักษ์รอนันไค (Nankai Trough mega earthquake) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ โดยหากภัยพิบัติดังกล่าวเกิดขึ้นก็เป็นที่ยอมรับกันว่ากฎระเบียบข้อบังคับด้านการบรรเทาสาธารณภัยที่บังคับใช้มากกว่า 70 ปีจะล้มเหลว กฎระเบียบข้อบังคับที่กล่าวถึงนี้ได้รับบุลถึงมาตรการที่รัฐบาลหรือเทศบาลท้องถิ่นจะนำมาใช้กับคนที่พักอยู่ชั่วคราวในสถานที่หลบภัยภายหลังจากการเกิดภัยพิบัติขนาดใหญ่ ซึ่งไม่ได้สนองตอบบริบทที่มีความเป็นกังวลที่กล่าวถึงในบทความนี้

เมื่อเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติขั้นรุนแรงขึ้น การฟื้นฟูสิ่งก่อสร้างเดิมและงานก่อสร้างใหม่เพื่อทดแทนของเดิมที่เสียหายมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งในหลายกรณีจะพบว่าทรัพยากรบุคคลและงบประมาณสนับสนุนมีไม่เพียงพอ แม้ว่าโอกาสในการเกิดภัยพิบัติขั้นรุนแรงดังกล่าวว่าจะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้นี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการแนะนำมาตรการช่วยเหลือตัวเอง มาตรการช่วยเหลือเพื่อน หรือการช่วยเหลือจากภาคอุตสาหกรรมอย่างสม่ำเสมอ โดยพึงตระหนักไว้ว่าไม่ควรที่จะพึ่งพิงการสนับสนุนหรือการช่วยเหลือจากภาครัฐแต่เพียงอย่างเดียว

จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น การสร้างภูมิคุ้มกันต่อภัยพิบัติเป็นแนวคิดที่อยู่บนพื้นฐานว่า ภัยพิบัติจะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยในท้ายที่สุดแล้วมีความจำเป็นที่จะต้องประเมินความเสี่ยงต่อภัยพิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่เกิดภัยพิบัติอย่างต่อเนื่องในอดีต นอกจากนี้แนวทางที่สำคัญอีกประการคือต้องจัดปัญหาขอขวดกีดขัดขวางการกีดกันจัดการระบบโครงสร้างสาธารณสุขโลกภายหลังจากการเกิดภัยพิบัติ

ภาพที่ 4 ตัวอย่างของการเสริมกำลังให้กับทางด่วนในบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ เช่นเขตพื้นที่ภูเขาไฟ และเขตพื้นที่เสี่ยงต่อภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิ

ภาพที่ 5 แนวทางในการปรับปรุงระบบโครงสร้างสาธารณสุขโลกบนสมมติฐานว่าเกิดภัยพิบัติระดับชาติขั้นรุนแรง



Yoshiaki Kawata: After finishing the doctor's course at the Graduate School of Engineering, Kyoto University in 1971, he became Professor in 1993 and Director of Disaster Prevention Research Institute in 2005, Kyoto University. He assumed his current position as Director of Research Center for Societal Safety Science, Kansai University in 2012.

Fig. 1 Kinds of Social Infrastructure (once suffered from disasters, social functions come to a standstill.)

The following items are cited as social infrastructure:

● **Lifelines (critical infrastructure)**

Electricity, gas, waterworks, sewage, garbage, fossil fuel, transport (expressway, ordinary road, railway and air route)

● **Communications**

Communication (telephone, Internet), broadcasting, social network service

● **Logistics**

Supply of food, water and daily necessities

● **Public service**

Education, medical treatment, administration, crime prevention

● **Financial service**

Electronic transactions

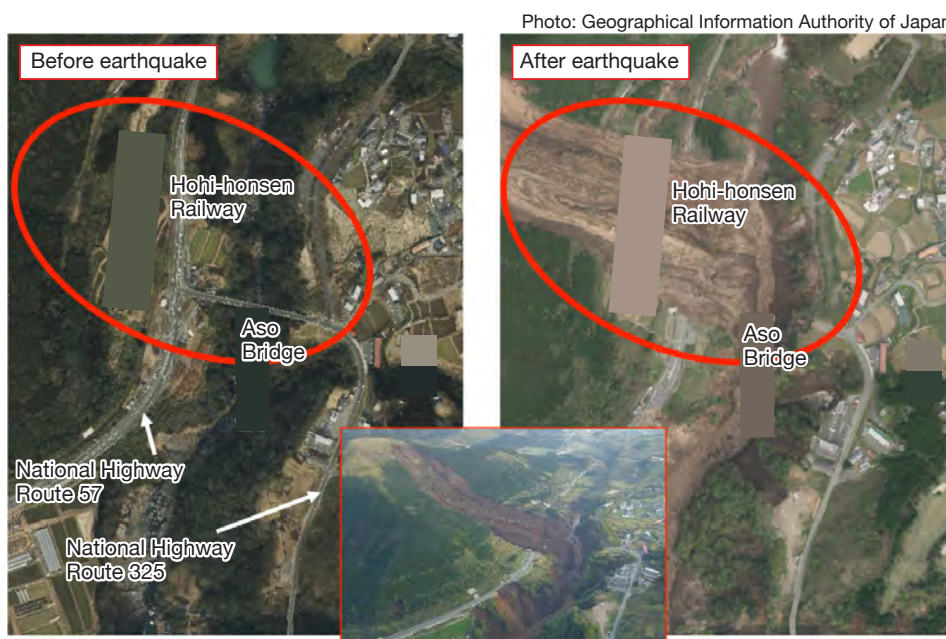


Photo 1 Suspension of traffic services at National Highway Routes 57 and 325 and Hohi-honsen Railway during Kumamoto Earthquake

Fig. 2 What Is “Disaster Resilience”?

“Disaster resilience” means not only the disaster control that reduces damages but an earlier recovery from disasters. The resilience relates to the following eight specific terms.

Flexibility	Responsiveness
Adaptability	Redundancy
Innovation	Rapidity
Robustness	Resourcefulness

Fig. 3 Prior Consultations Required for Promoting Social Infrastructure Improvement in Disaster-prone Areas

- In the disaster resilience conceived by assuming that disasters will occur, disaster-preventive measures aiming to improve social infrastructure are implemented right from the start of the planning stage (mainstreaming of disaster reduction).
- Not only the worst damage scenario but also all the scenarios of damages that are likely to occur are extracted to prepare specific damage images (scenario writing).
- Examinations are made of how a risk can be avoided, mitigated or passed to, for example, insurance (quantification of risks).
- A roundtable conference is held with the participation of all stakeholders to share risk information and to guarantee the sustainable development of local communities (identification of risks).

Fig. 4 Example of Expressway Reinforcement in Areas Vulnerable to Disasters such as Volcanic Area and Tsunami Attacking Area

- ➡ The scale of ground damages and other disasters that are likely to occur is assumed.
- ➡ When large-scale disasters occur, the transportation route is changed.
- ➡ When medium- and small-scale disasters occur, transition section is provided.
To illustrate: increase of interchanges, passing separation of the in and out bound lanes, advance installation of temporary roads on the assumption of disaster occurrence
- ➡ Instead of expressways, ordinary roads with plural routes are newly constructed to substitute for expressways.
- ➡ These newly-constructed roads and the ordinary roads with back-up functions are maintained and managed in a compatible system.

Fig. 5 How to Improve Social Infrastructure on the Assumption of National Crisis-scale Disasters

- 1 The spirit of the Disaster Relief Act established 70 years ago has failed, and when disasters occur, it is no longer the times in which all these disasters are restored by the use of public assistance.
- 2 Even if restoration of great disasters are planned by the use of public assistance, all of financial resources, human resources and information are entirely scarce.
- 3 However, national crisis-scale disasters will certainly occur in the near future.
- 4 Given such situations, a mechanism for applying self-help, mutual assistance and industry assistance (enterprise cooperation) systems should be routinely introduced in the improvement of social infrastructure.
- 5 Disaster resilience denotes a measure devised on the assumption of disaster occurrence.
- 6 It is indispensable to evaluate disaster risks especially in areas frequently attacked by disasters and vulnerable to disasters.
- 7 During disaster attacks, it is necessary to dispel the bottlenecks that lead to hindrance in management of social infrastructure facilities.
- 8 If these bottlenecks are to be dispelled, it is necessary to promote tie-ups and coordination among related administrative organs, but at the current stage it is nearly impossible to promote them and further new financial resources are unavailable.
- 9 It is therefore inevitable that those who will benefit should, as a basic principle, bear the expense to dispel the bottlenecks.
- 10 For expressways responsible for logistics in particular, it is inevitable to extend an industry assistance (private enterprise cooperation), but the current toll system is very political. To this end, a new benefit/cost concept is introduced.
- 11 The above can also be applied to the case of home delivery services in which highways are utilized as a virtual warehouse (because the road of an area equivalent to the size of a truck is occupied by a truck).
- 12 Further, because the delivery tax for light oil is cheaper than that for gasoline (a policy peculiar to Japan), truck transport becomes profitable in terms of cost.
- 13 An extremely high dependence (maldistribution) of logistics on highway transport offers a great risk during disasters.
- 14 It is necessary to change the policy so that the logistics be appropriately shifted to aviation, railway and shipping transport (uniform sharing of transport cost). However, the current application condition does not conform to a move to improve social infrastructure (ship transport particularly by means of coastal shipping is in a slump).
- 15 Currently, the increased cost required to pursue convenience is covered by an increased transport volume. It is necessary for us to recognize that this situation ultimately brings about an excess over-concentration in Tokyo.

(ปกหลัง)

การปฏิบัติงานของสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย

กิจกรรม 2 กิจกรรมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่นและประเทศไทย

จากข้อตกลงความร่วมมือความเป็นหุ้นส่วนทางเศรษฐกิจระหว่างไทย-ญี่ปุ่น ในด้านงานเหล็ก สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF) ร่วมกับสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (ISIT) ได้ร่วมกันจัดกิจกรรม 2 กิจกรรมขึ้นในช่วงต้นปี 2017 ที่ประเทศญี่ปุ่น

● โปรแกรมสำหรับการศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างมาตรฐานงานเหล็กตลอดจนกฎระเบียบหรือข้อบังคับทางด้านเทคโนโลยี

เพื่อเป็นการเสริมสร้างศักยภาพในการร่างและรับรองมาตรฐานในประเทศไทย ตลอดจนการส่งเสริมการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กสมรรถนะสูงในด้านการก่อสร้างสะพาน JISF ได้มีการจัดกิจกรรมสองกิจกรรมตลอดระยะเวลาห้าวันเริ่มตั้งแต่วันที่ 6 มีนาคม 2017: การบรรยายและการศึกษาดูงานที่โรงงานขึ้นรูปโครงสร้างเหล็กของ Tokyo Tekkotsu Kyoryo สถาบันวิทยาศาสตร์วัสดุแห่งชาติ

ทั้งนี้ มีจำนวนผู้เข้าร่วมกิจกรรมทั้งสิ้น 16 ท่านซึ่งประกอบไปด้วยผู้แทนจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ผู้แทนจากกรมทางหลวงชนบท ผู้แทนจากกรมทางหลวง ตลอดจนผู้แทนจากบริษัทเหล็กในประเทศไทย โดยผู้แทนจากประเทศไทยทั้งหมดที่กล่าวถึงนี้ได้แสดงความชื่นชมและความพึงพอใจต่อเนื้อหาของกิจกรรมเป็นอย่างมากทั้งในส่วนของการบรรยายและการศึกษาดูงานนอกสถานที่ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์เหล็กและการประยุกต์ใช้ของประเทศญี่ปุ่น ตลอดจนประโยชน์ของการนำผลิตภัณฑ์เหล็กไปใช้ในงานก่อสร้างสะพาน

ภาพถ่าย: ภาพการจัดกิจกรรมส่งเสริมความเชื่อมโยงระหว่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์เหล็กตลอดจนกฎระเบียบหรือข้อบังคับทางด้านเทคโนโลยี

● โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการควบคุมความปลอดภัย

ตลอดระยะเวลา 10 วันเริ่มตั้งแต่วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2017 JISF ได้จัดกิจกรรมเพื่อหารือถึงมุมมองที่หลากหลายอันเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศญี่ปุ่น: หลักแนวคิด monodzukuri (การพัฒนาผลิตภัณฑ์) การควบคุมอุปกรณ์ การควบคุมต้นทุน การลดต้นทุน และแนวทางการจัดการสุขภาพและความปลอดภัยในโรงงาน ตลอดจนบริษัทอื่นๆ ที่อยู่ในบริเวณพื้นที่การผลิตในโรงงาน โดยนอกเหนือจากการบรรยายแล้วยังมีการจัดการศึกษาดูงานนอกสถานที่ โดยมีวิศวกรจากโรงงานผู้ผลิตเหล็กในประเทศไทยจำนวน 10 ท่านเข้าร่วมกิจกรรม

ในช่วงสัปดาห์ที่สองได้มีการจัดดูงานจำนวนทั้งสิ้น 2 วัน ณ โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในบริเวณเขต Kita-Kyushu ซึ่งผู้เข้าร่วมกิจกรรมก็ได้รับประสบการณ์ในการเข้าถึงพื้นที่การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่นและในที่สุดท้ายได้มีการจัดเสวนากลุ่มตลอดจนการประชุมเพื่อสรุปถึงสิ่งที่ได้รับจากโปรแกรมดังกล่าว

การจัดอบรมสัมมนาด้านโครงสร้างเหล็กครั้งที่ 4 ที่ประเทศกัมพูชา

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยได้มีการจัดอบรมสัมมนาภายใต้หัวข้อ "เทคโนโลยีล่าสุดสำหรับงานโครงสร้างเหล็ก 2016" ที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย เมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2016 โดยเป็นความร่วมมือกันระหว่างกระทรวงโยธาธิการและการขนส่งของประเทศกัมพูชา และสถาบันเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยซึ่งได้รับการสนับสนุนจากการจัดงานจากสถานทูตญี่ปุ่นประจำประเทศกัมพูชา JICA สำนักงานกัมพูชา JETRO พนมเปญ และสมาคมธุรกิจชาวญี่ปุ่นแห่งประเทศไทย

ได้มีการกล่าวเปิดงานอบรมสัมมนาโดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงโยธาธิการและการขนส่ง ตลอดจนแขกผู้มีเกียรติอีกหลายท่าน กิจกรรมภายหลังจากการกล่าวเปิดงานประกอบไปด้วยการบรรยาย 5 หัวข้อในส่วนที่เกี่ยวข้องกับท่าเรือและชายฝั่ง การก่อสร้างสะพานและอาคารโดยผู้เชี่ยวชาญจากทั้งประเทศกัมพูชาและประเทศญี่ปุ่นโดยมีผู้เชี่ยวชาญเข้าร่วมกิจกรรมราว 160 ท่าน ซึ่งเป็นทั้งวิศวกรและนักศึกษามหาวิทยาลัยในประเทศกัมพูชา กิจกรรมภายหลังจากการบรรยายได้มีการจัดประชุมกลุ่มย่อยระหว่างบุคลากรหลักของทั้งสองประเทศเพื่อแลกเปลี่ยนทัศนะและมุมมองที่เกี่ยวข้องกับการใช้โครงสร้างเหล็กในประเทศกัมพูชา ตลอดจนมีการเกริ่นถึงระบบการให้การสนับสนุนนักศึกษาในมหาวิทยาลัยของประเทศญี่ปุ่น

การอบรมสัมมนานี้ ได้จัดขึ้นเป็นครั้งที่ 4 โดยมีการจัดในครั้งก่อนๆ ในปี 2012 2014 และ 2015.

ภาพ: การจัดอบรมสัมมนาด้านงานโครงสร้างเหล็กครั้งที่ 4 ในประเทศกัมพูชา



Scenes of the Program for Linkage between Steel Standards and Techno-logical Regulation/Code



Scenes of the Fourth Steel Structure Conference in Cambodia