รศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์
ภาควิชาสถาปัตยกรรม

ความสูญเสียในอาคารเมื่อดินทรุดตัว
Damage in Building Due to Subsidence Catastrophe

บทคัดย่อ

ความเสียหายในอาคารอันมีสาเหตุมาจากการทรุดตัวของดินนั้นนับวันจะเป็นปัญหามากขึ้นและบั่นทอนเสถียรภาพของโครงสร้างอาคาร การแก้ไขต้องดำเนินการในทันทีที่สถาปนิกและวิศวกรผู้ชำนาญเริ่มคิดค้นเพื่อการออกแบบอาคารจนถึงขั้นรายละเอียด โดยมุ่งที่จะหลีกเลี่ยงปัญหานั้นแม้ว่าจะไม่สามารถหยุดการทรุดตัวได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของฐานรากอาคาร และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลของชั้นดินและอัตราการทรุดตัวที่ปรับใหม่อยู่ตลอดเวลานั้นค่อนข้างจะเป็นการซับซ้อนและสิ้นเปลือง

Abstract

The damages of building structures might have caused by the changes in stability of the supporting ground. Most of the time the architect and the engineer is lacking of updated subsidence data and experience while the foundation design works of the building are on the way to be performed. However, it is recommended that in order to avoid the damages due to subsidence phenomenon, the detailed design consideration which associated to the soil data is essential although it is considered tedious and costly to acquire for.

บทนำ

ปรากฏการณ์ทรุดตัวของดินอย่างต่อเนื่องส่งผลให้การใช้สอยอาคารติดขัด และยังอาจส่งผลกระทบริดรอนความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลเก่าย้อนหลังไปประมาณ 20 ปีชี้ว่าเกิดการทรุดตัวในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในอัตราเฉลี่ย 5 ถึง 10 เซนติเมตรต่อปีอย่างต่อเนื่องและดูเหมือนว่าจะวิกฤตลงไปตามเวลา นอกจากนี้ปัญหาน้ำท่วมขังในแอ่งดินที่ทรุดตัวลงไปนั้นยิ่งทำให้วิกฤตลงไปอีก ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณในการบูรณะปฏิสังขรณ์โครงสร้างอาคารที่เสียหาย การทรุดตัวของฐานรากอาคารที่เกิดขึ้นตามมาก็ทำให้อาคารสูญเสียความมั่นคง ระบบอุปกรณ์อาคารเกิดชำรุด ท่อขาด อีกทั้งยังทำลายความสง่างามเมื่อร่องรอยแห่งการชำรุดขยายตัวขึ้นจนปรากฏแก่สายตา

บทความฉบับนี้เสนอรูปแบบ (Mode) ของความเสียหายและแนะนำวิธีการออกแบบอาคารที่ถูกต้องเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาหรือบรรเทาความเสียหายอันเนื่องมาจากการทรุดตัวนี้ การออกแบบสถาปัตยกรรมและโครงสร้างของอาคารสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดยิ่งขึ้นในระยะยาวหากสถาปนิกและวิศวกรสามารถนำข้อมูลแห่งการทรุดตัวที่ถูกต้องไปประยุกต์ในการออกแบบ

1. ประวัติความเป็นมาและปัญหา

ดินที่ทรุดตัวอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการต่างระดับในอาคาร สิ่งแวดล้อมรอบอาคารเสื่อมลง (อาทิ เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงและสัตว์เช่น ยุง งู ฯลฯ) น้ำท่วมขังสะสมใต้อาคารนั้นยากแก่การระบายออกแม้จะทำการซ่อม ขุดเจาะและก่อสร้างเสริมองค์อาคารเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขก็ล้วนแต่เป็นงานหนักมากและสิ้นเปลืองงบประมาณอย่างมากและต้องทำบ่อยโดยไม่มีที่สิ้นสุด

2. ความสูญเสียในอาคารเมื่อพื้นดินทรุดตัว

การสำรวจพระที่นั่งอนันตสมาคมตั้งแต่ พ.ศ. 2475 โดยการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาโครงสร้าง คุณสมบัติและรูปหน้าตัดของชั้นดินสำหรับการออกแบบและวางแผนการก่อสร้างพระที่นั่งอนันตสมาคมที่มีฐานรากอยู่บนชั้นดินกรุงเทพมหานครซึ่งมีความสามารถรับน้ำหนักปลอดภัย (Bearing capacity) ต่ำ วัสดุก่อสร้างที่ใช้ส่วนมากเป็นหินอ่อน ระหว่างการก่อสร้างมีการทรุดตัวของโครงสร้าง (Settlement) เกิดขึ้นทางปีกของอาคารด้านหนึ่ง ทำให้ต้องมีการดัดแปลงแก้ไขรูปแบบก่อนที่การก่อสร้างจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ แต่การทรุดตัวก็ยังคงมีต่อไปอีก

เอกสารของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ ในปี พ.ศ. 2518 ระบุว่าการก่อสร้างพระที่นั่งอนันตสมาคมที่มีฐานรากออกแบบไว้แต่เดิมเป็นฐานรากที่พยุงน้ำหนักด้วยเสาเข็มชนิดสั้น แต่ประสบปัญหาฐานรากที่ทรุดตัวไม่เท่ากันและได้เกิดการแตกร้าวที่บริเวณฐานรากและพื้นชั้นที่อยู่ติดดิน ทำให้น้ำใต้ดินซึมเข้าไปสะสมและถ่วงทับฐานราก เป็นการเพิ่มน้ำหนักที่ไม่คาดหมายอีกประมาณ 3 ตันต่อตารางเมตร อัตราการทรุดตัวลงของโครงสร้างในขณะนั้นวัดได้ประมาณ 1 มิลลิเมตรต่อเดือน ได้ทำการแก้ไขเบื้องต้นด้วยการสูบน้ำออกเพื่อบรรเทาปัญหา ในระหว่างการก่อสร้างได้มีการใช้ฐานรากที่ลอยคล้ายโครงสร้างท้องเรือ (Floating foundation) เข้ามาช่วยเสริม

ระบบฐานรากที่ออกแบบไว้แต่เดิม แต่การทรุดตัวก็ยังคงมีต่อไปอีกตามสภาพดินที่ยุบตัวลงอย่างต่อเนื่อง มีการสูบน้ำออกอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งการก่อสร้างแล้วเสร็จ

ฐานรากที่ออกแบบไว้แต่เดิมเป็นการรองรับน้ำหนักด้วยเข็มเจาะชนิด "Compactual displacement" กระทำโดยวิธีการกระทุ้งดินใต้ฐานรากลงด้วยลูกตุ้มขนาดหนัก 2 ตัน ยกสูงประมาณ 4-5 เมตรแล้วปล่อยให้ตกกระทุ้งดินลงเป็นการเจาะนำก่อน จากนั้นทำการฝังปลอกเหล็กขันเกลียวต่อกันลงไปมีความยาวประมาณ 8-10 เมตรมีจำนวน 501 ต้น เจาะตามเส้นแนวยาวไปตามแนวกำแพง แล้วหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กคล้ายกำแพงรับน้ำหนัก (Wall bearing) ที่มีความลึก 5 เมตรซึ่งฝังอยู่ในดินลึก 4 เมตร เมื่อการทรุดตัวของดินดำเนินไป และฐานรากและปลายเสาเข็มที่ออกแบบไว้นั้นหยั่งไม่ถึงชั้นดินทรายชั้นแรกของกรุงเทพมหานครเบื้องล่างจึงเกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน (Uneven settlement) ต่อมาได้มีการเสริมฐานรากชนิดที่มีลักษณะคล้ายโอ่งคว่ำลงจำนวนมาก เรียกว่า "Cellular foundation" เข้ามาเสริมอีก แนวความคิดนี้เป็นภูมิปัญญาการก่อสร้างของไทยที่มีมาตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 4 แห่งราชวงศ์จักรี จากการริเริ่มของพระยาราชการสงครามในสมัยนั้น กล่าวคือได้มีการนำเอาไห และโอ่งดินคว่ำปากลงแล้วใช้ทรายกลบ ดังเช่นการก่อสร้างวัดนิเวศน์ธรรมประวัติภายใต้การกำกับการก่อสร้างโดยกรมพระยานริศรานุวัติวงศ์ การก่อสร้างชนิดนี้มีการประเมินว่าสามารถลดน้ำหนักของตัวฐานลงได้ประมาณร้อยละ 50

น้ำท่วมขัง

พื้นที่ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เช่นบริเวณย่านถนนลาดพร้าว รามคำแหง ในเขตบางกะปิ และเขตลาดกระบังที่มีประชากรหนาแน่น พบว่ามีการทรุดตัวของแผ่นดินมากที่สุด เชื่อว่าเป็นผลสืบเนื่องมาจากการลดระดับของน้ำบาดาลที่เร็วเกินไป และมีการก่อสร้างอาคารอีกทั้งตัดถนนเพิ่มขึ้นมาก เมื่อฝนตกหนักน้ำฝนจะไหลลงมารวมกันในที่ต่ำทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันและน้ำท่วมขัง ส่วนใหญ่มักจะแก้ปัญหาด้วยการถมดินให้สูงขึ้น เพื่อหนีน้ำ แต่การถมดินนั้นเป็นการเพิ่มน้ำหนักกดทับให้กับดินที่อยู่ในชั้นล่าง อัตราการทรุดตัวจึงเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ยังพบว่ามักจะทำการถมดินเพื่อยกระดับพื้นภายในตัวอาคารด้วยโดยไม่ทราบว่าพื้นชั้นนั้นมีคานและเสาอันเป็นโครงสร้างหลักของอาคารนั้นเอง ไม่ใช่พื้นอิสระที่วางบนดิน (Slab ground) จึงเกิดแรงเหนี่ยวรั้งและน้ำหนักทับถมแก่ฐานรากจนเกินขีดปลอดภัยที่ออกแบบไว้แต่เดิม และนำไปสู่การวิบัติของโครงสร้างในที่สุด

น้ำยังพัดเอามวลดินที่เคยบดอัดแน่นอยู่ใต้ฐานรากให้แปรสภาพไป ที่ทรุดตัวตามดินลงไปอยู่แล้วก็จะเพิ่มอัตราการทรุดอย่างฉับพลันขึ้นอีก เป็นการตอกย้ำความเสียหาย โครงสร้างถนนที่ไม่ออกแบบให้มีองศาเอียงลาดเพื่อการระบายน้ำในภาวะปกตินอกจากจะทรุดตัวตามดินลงไปอยู่แล้ว เมื่อมีน้ำท่วมขังก็จะยิ่งเพิ่มความเสียหาย การแก้ไขมักจะทำโดยการถมดินปรับระดับให้สูงขึ้นมาแล้วปรับความลาดเอียงใหม่ จึงนับเป็นการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกลงไปในดินอีกเรื่อยไปโดยไม่สิ้นสุด จึงเปรียบเสมือนปัญหา "งูกินหาง"

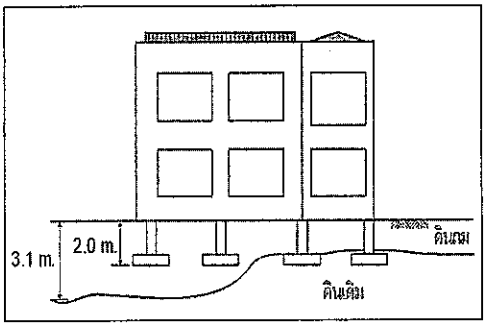
ดินที่ทับถมในพื้นที่ข้างเคียง

มีอาคารเป็นจำนวนมากที่แตกร้าว หรือพังทลายลงเนื่องจากการทับถมของดินในบริเวณข้างเคียง ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันทางด้านข้างของดิน ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันทางด้านข้าง ของดินเหนียว (Kh) สูงถึง 1,040 กิโลกรัมต่อตารางเมตรในความยาว 1 เมตร ในขณะที่ดินทรายมีค่าเท่ากับ 480 กิโลกรัม ต่อตารางเมตรต่อเมตร หากไม่ทำกำแพงกั้นดินไว้ก็จะเสี่ยงต่อการพังทลายของกองดิน แรงดันของน้ำฝนที่ตกลงมาขังอยู่ในกองทรายข้างรั้วก็จะเพิ่มน้ำหนักและแรงดันขึ้นไปอีก น้ำมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันทางด้านข้างสูงถึง 1,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อเมตร เป็นเหตุให้กำแพงพังลงได้ เนื่องจากไม่ได้จัดการระบายน้ำไว้ก่อน การก่อสร้างถังเก็บวัสดุเหลวต่าง ๆ ที่วางถังนั้นบนดินบดอัดก็เป็นต้นเหตุที่สำคัญที่จะก่อปัญหาการเคลื่อนตัวหนีของดินใต้ฐานถังเก็บนั้นโดยรอบทิศทางในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นการก่อสร้างที่ต้องขุดดินออกก่อนเพื่อทำโครงสร้าง เช่น สระว่ายน้ำหรือห้องใต้ดินนั้น หากไม่เตรียมการสร้างกำแพงกันดินไว้ก่อนการขุดก็มักจะทำให้ดินในบริเวณข้างเคียงถล่มเข้ามากลบในเวลาอันรวดเร็วโดยไม่มีสัญญานเตือนล่วงหน้า

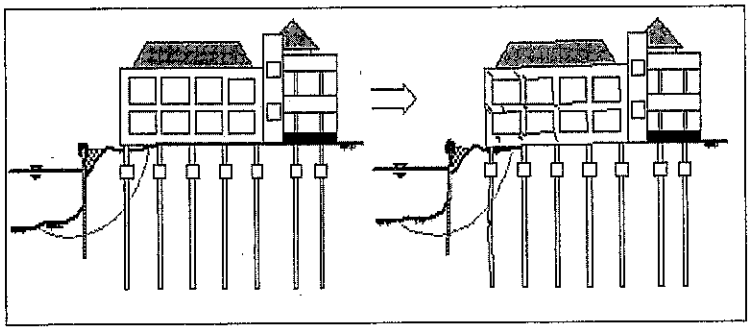
การขึ้นลงของน้ำใต้ดินตามปกติจะมีแรงดันยก (Up-lift force) ของน้ำใต้ดินที่กระทำต่อสระว่ายน้ำหรือรางระบายน้ำจนสามารถก่อความเสียหายต่อโครงสร้างคอนกรีตในอาณาบริเวณนั้นหรือต่ออาคารข้างเคียงได้เช่นกัน อาคารที่มีการออกแบบให้มีการระบายน้ำฝนจากหลังคาหรือดาดฟ้าลงมายังชั้นดินใต้อาคารก็มักเกิดปัญหาเช่นเดียวกันนี้ กล่าวคือเมื่อระบบการระบายน้ำสาธารณะเกิดติดขัดหรือมีน้ำท่วม ปริมาณน้ำทั้งหมดจะท่วมท้นก่อปัญหาอย่างใหญ่หลวง ดินใต้ฐานรากก็จะเสียกำลังแบกทานน้ำหนักลงไปอย่างมาก

การเคลื่อนตัวของดินตามความลาดชัน

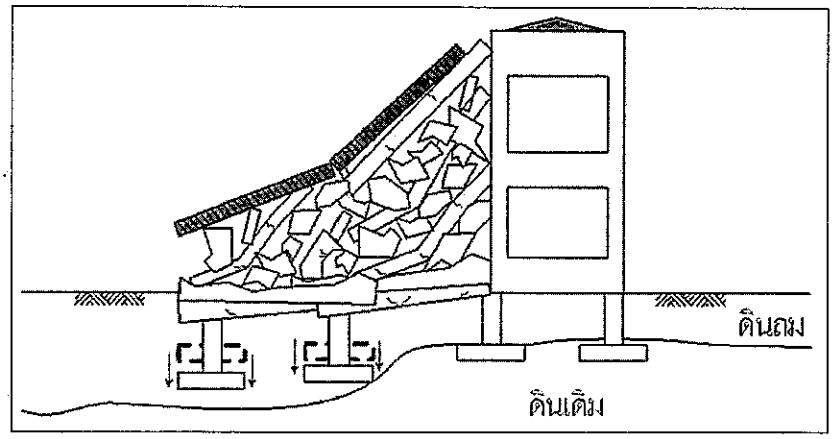
อาคารที่สร้างอยู่ใกล้ตลิ่ง หรือ คู คลอง โดยไม่มีการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันดินพัง เมื่อเวลาผ่านไป ดินบริเวณตลิ่งจะถูกน้ำกัดเซาะออกไป ทำให้มีความลาดชันของตลิ่งสูงมากขึ้นตาม เมื่อระดับน้ำมีการลดลงอย่างรวดเร็วก็จะทำให้ไหล่ลาดของดินเกิดการพังทลาย มวลดินที่พังทลายนี้ หากอยู่ภายในขอบเขตของฐานราก ก็จะส่งผลทำให้เกิดแรงดันดินปริมาณมหาศาลต่อเสาเข็มของอาคารข้างเคียง และทำให้เสาเข็มหักในที่สุด



รูปที่ 1 อาคารที่มีฐานรากอยู่บนชั้นดินที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2 การเคลื่อนตัวด้านข้างของดินเสาเข็มหัก



รูปที่ 3 การพังทลายของอาคารอันเนื่องมาจากฐานรากแผ่ที่วางอยู่บนดินยุบตัว

ดินยุบตัวเมื่อถมไม่แน่น (Collapsible soil)

การวิบัติของฐานรากแผ่ที่วางตัวอยู่บนดินนั้นพบมากในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งดินมีลักษณะของการยึดเกาะของเม็ดดินแบบหลวมๆ คล้ายโครงสร้างรวงผึ้ง (Honey comb structure) มีออกไซด์ของเหล็กเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดิน ดินชนิดนี้เมื่ออยู่ในสภาวะแห้งจะมีความแข็งแรงมาก สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 100 ตัน ต่อตารางเมตร แต่เมื่อสัมผัสน้ำออกไซด์เหล็กที่ยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินจะถูกทำลายลง ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน จนอาจจะลดลงเหลือเพียง 5 ตัน ต่อตารางเมตร ซึ่งก็จะทำให้เกิดการทรุดตัวอย่างฉับพลัน

3. พื้นดินทรุดตัวต่อเนื่อง (Subsidence)

การทรุดตัวของดินที่เห็นได้และยอมรับกันว่าเกิดขึ้นทั่วไปและต่อเนื่องแต่ไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด ปรากฏการณ์นี้พบเห็นได้โดยทั่วไปหากใช้ความสังเกตจะสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ปัจจุบันนี้ยังไม่มีการประเมินอัตราการทรุดตัวที่แน่นอน เนื่องจากใช้เวลาและสิ้นเปลืองงบประมาณมาก และยังไม่มีการคำนวณในตัวเลขอัตราของการทรุดตัวอย่างครบถ้วนทุกพื้นที่ ในขณะที่ผลของปรากฏการณ์นี้มีอิทธิพลต่อความเสื่อมลงของสภาพแวดล้อมของอาคารอีกทั้งต่อโครงสร้างของอาคารเองโดยตรง เราเผชิญปัญหานี้กันมาอย่างยาวนานจนกลายเป็นความเคยชิน นักวิชาการไม่สามารถระบุอย่างชัดเจนว่าธรรมชาติเช่นนี้เกิดจากการเปลี่ยนสภาพเฉพาะของชั้นดินส่วนต้นของเปลือกโลกหรือไม่ และเกิดที่ความลึกเท่าใด

แผ่นดินทรุดเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนตัวลงทางดิ่งของพื้นดินตามธรรมชาติ สาเหตุที่สำคัญอาจจะมาจากการที่อุณหภูมิเปลือกโลกในชั้นต่างๆนั้นยังมีความแตกต่างกันอยู่มาก ทำให้ส่วนของเปลือกโลกนี้เคลื่อนตัวอยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นที่ชั้นดินหรือชั้นหินก็ตาม แผ่นดินทรุดแบ่งออกได้เป็นสองชนิดคือ

1. การทรุดตัวฉับพลัน
2. การทรุดตัวช้าต่อเนื่อง

การทรุดตัวฉับพลัน

มีสาเหตุมาจากความล้มเหลวฉับพลันของชั้นดินที่รองรับโดยตรงเกิดจากการ

กัดเซาะหรือการวิบัติของชั้นดิน มักจะพบในพื้นที่เหมืองร้าง และในพื้นดินที่มีการผุเปื่อยของตอไม้ที่ฝังตัวอยู่ระหว่างชั้นดินและหิน ก่อให้เกิดโพรงใต้พื้นดิน ดินรอบข้างจะเลื่อนลงมาปิดโพรงเหล่านั้น ปรากฏการณ์นี้คล้ายคลึงกับบริเวณดินที่เป็นแหล่งขององค์ประกอบหินปูนและมักมีน้ำใต้ดินที่ไหลผ่าน ชั้นดินนี้เรียกว่าชั้นดินที่ขาดแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless strata)

การขุดเจาะทำการฝังท่อระบายน้ำ อุโมงค์ และห้องใต้ดินของอาคารก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง เนื่องจากมีการขนดินออกในปริมาณที่มาก ดินรอบข้างจะไหลเลื่อนลงไปกลบหลุมเหล่านั้น การทรุดตัวเร็วเกิดขึ้นเป็นปกติเมื่อมีการทำเหมืองที่ต้องทำการเคลื่อนย้ายดิน หิน หรือเศษท่อนไม้เก่าที่ฝังอยู่ในดินออกไปก่อให้เกิดโพรงในดินหรือใต้ชั้นหินที่ทับอยู่ ดินที่เชื่อมโยงกันแน่นอยู่แต่เดิมอยู่ด้านบนของโพรงนั้นแตกสลายตัวลงมาในทางดิ่งเหมือนหลุมที่ยุบลง นับได้ว่าเป็นการทรุดตัวในอาณาบริเวณอันจำกัด การขุดเจาะดินเพื่อการวางระบบระบายน้ำเสียก็ดี การขุดดินทำอุโมงค์หรือห้องใต้ดินในอาคารก็ดี หากว่ามีการนำดินออกไปในปริมาณที่มากกว่าที่นำวัสดุอื่นเข้ามาแทนที่เมื่อใดก็มักจะเกิดเป็นโพรงหรือหลุมขึ้น เราเรียกว่าเป็น "แผ่นดินที่สูญเสีย (Loss ground)" มีการบันทึกไว้ว่าที่มลรัฐ ชิคาโก ดีทรอยต์ คลิฟแลนด์ และอีกหลายแห่งในสหรัฐอเมริกาเคยเป็นแหล่งที่มีที่ซึ่งแผ่นดินที่สูญเสียมากมายนำมาซึ่งปรากฏการณ์แผ่นดินทรุดฉับพลันนำความเสียหายมาสู่อาคารในพื้นที่ใกล้เคียง และต้องทำการยึดโยงส่วนที่เหลืออยู่หรือชลอการทรุดตัวของโครงสร้างอาคาร เป็นงานที่ซับซ้อนและสิ้นเปลืองมาก

การทรุดตัวช้าต่อเนื่อง

มีสาเหตุมาจากการยุบอัดตัวคายน้ำของดินอันมาจากความล้า เกิดจากการควบรวมตัวของดินที่รับแรงกดลงมาในปริมาณมาก ตัวอย่างการทรุดที่เกิดขึ้นในเขต Long Beach ในมลรัฐ California เคยวัดได้ถึง 10 นิ้ว หรือ 25 เซนติเมตรต่อปีในระหว่างปี ค.ศ.1941-1945 และยังคงทรุดต่อเนื่องมาจนปัจจุบันคาดว่าเป็นสาเหตุหลัก การสูบน้ำมันออกจากชั้นหินในปริมาณมากและต่อเนื่องเป็นการลดคุณสมบัติในการรับแรงกดของชั้นหินที่พยุงน้ำมันอยู่ทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลงมาก ชั้นหินจึงยุบตัวดึงเอาดินข้างบนยวบลงมาด้วยเมื่อน้ำมันถูกสูบออกไปเรื่อยๆ ที่ประเทศเม็กซิโกก็มีการบันทึกไว้ว่ามีอัตราการทรุดตัวเช่นเดียวกันนี้ในอัตราหลายนิ้วต่อปี แต่มีร่องรอยและการประเมินว่า มีสาเหตุมาจากการสูบน้ำบาดาลจากชั้นทรายออกไปใช้ทำน้ำประปาอย่างกว้างขวาง ชั้นทรายนั้นไม่ต่อเนื่อง แต่แทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นของดินเหนียวและหินภูเขาไฟทับถมอยู่แต่เดิมเป็นบริเวณกว้าง ปรากฏการณ์แผ่นดินทรุดนี้ไม่สามารถหยุดยั้งได้ ทำได้แต่เพียงออกแบบเผื่อความเสียหายของโครงสร้างไว้ให้เท่านั้น เนื่องจากการควบคุมหรือหยุดยั้งกิจการสูบน้ำหรือน้ำมันออกจากพื้นดินหรือหินทำได้ยาก

ปรากฏการณ์นี้เป็นที่ประจักษ์ว่าไม่สามารถป้องกันได้หากไม่แก้ไขที่ต้นเหตุ การทรุดอย่างต่อเนื่องอาจจะก่อให้เกิดแรงกดทับลงบนชั้นดินและหินในรูปทางกลอื่นๆ ของการซ้ำเติมความเสื่อมสภาพและความเสียหายในวงกว้าง มีการบันทึกความเสียหายของโครงสร้างอ่างเก็บน้ำที่บอดวิลล์ฮิลล์ (Baldwin Hills, Los Angeles) ไว้ว่า ได้มีการสูบเจาะน้ำมันออกไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้รอยเลื่อนเก่าในชั้นหินนั้นเปิดออก ก้าน

สาขาหนึ่งของรอยเลื่อนนั้นพาดผ่านเขื่อนฐานดินเหนียวที่รองรับอ่างเก็บน้ำนั้นอยู่ เมื่อเกิดการเคลื่อนตัวดังกล่าว พื้นและผนังอ่างเก็บน้ำแตกน้ำที่บรรจุอยู่จึงรั่วไหลลงมาเซาะฐานดินที่รองรับซ้ำเติมอีก เมื่อฐานที่รองรับหลวมตัวยวบลงรอยแตกร้าวก็ขยายเป็นรูรั่วขนาดใหญ่ ยังผลให้อ่างเก็บน้ำพังทลายลง

เราสามารถสังเกตเห็นได้จากการครูดลงของดินรอบอาคารบริเวณกำแพงนอกและบริเวณทางขึ้นอาคาร ตามรอยต่อของโครงสร้างที่วางอยู่บนฐานรากที่ตอกเข็มพยุงไว้โดยใช้ความยาวของเสาเข็มไม่เท่ากันทั้ง ๆที่เป็นอาคารเดียวกัน ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากไม่อยู่ในอัตราเดียวกัน บางครั้งสังเกตเห็นได้ว่าอาคารทรุดเอียงและมีการแตกร้าวในส่วนของโครงสร้างที่เปราะ เช่น เสา คานคอนกรีตและกำแพงอิฐก่อ เป็นต้น สำหรับสิ่งปลูกสร้างทางงานวิศวกรรมโยธาจะสังเกตเห็นได้ว่าคอสะพานส่วนที่สร้างเข้ามาชิดกับตอม่อสะพานที่ไม่ได้วางเกยไว้นั้นมีร่องรอยการทรุดลงหนีจากโครงสร้างตัวสะพานลงไปจนต้องได้รับการเสริมยางมะตอยอยู่บ่อย ๆ ปรากฏการณ์นี้บางครั้งทำให้น้ำในท่อประปาไม่ไหลเนื่องจากระดับการลาดเปลี่ยนไป ท่ออาจจะแตกหรือขาด การระบายน้ำติดขัด

การทรุดตัวของดินอย่างช้า ๆ แต่ต่อเนื่องนั้นเป็นปัญหาที่นำความเสียหายมาสู่อาคารและสภาพแวดล้อมที่แนบกับอาคารเรื่อยมา การหยุดยั้งปรากฏการณ์นี้ยังทำไม่ได้แต่การวิจัยถึงต้นเหตุและแก้ปัญหาด้วยการออกแบบโครงสร้างในส่วนนั้นเป็นสิ่งที่อาจปฏิบัติได้แม้ว่าจะสิ้นเปลืองงบประมาณบ้างก็ต้องพิจารณาว่าเป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง

การแตกร้าวและการทรุดตัวของโครงสร้างอาคาร

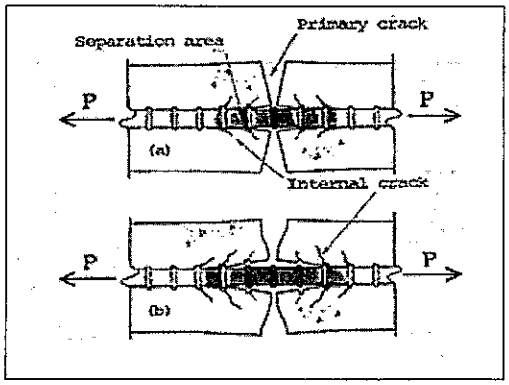
รอยร้าวและการทรุดตัวตามในโครงสร้างเป็นผลที่เกิดจากการทรุดตัวของดิน เป็นสัญญาณเตือนภัยเบื้องต้นที่จะใช้วิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหายุดยั้งอันตรายที่จะตามมา ลักษณะทางกายภาพของรอยแตกร้าวที่พบมากมีดังต่อไปนี้

- การแตกลึกจากผิวคอนกรีตจนถึงเหล็กเสริม
- การแยกตัวของคานและเสาคอนกรีต
- รอยแตกเฉียงในกำแพงและคาน
- รอยแตกเป็นหลุมที่กลางแผ่นพื้น
- รอยแตกบริเวณหัวเสาและโคนเสาและเสาเริ่มหนีศูนย์
- รอยแตกยาวและต่อเนื่องบนพื้นหรือถนนฐานรากจมลึกลงไปทันทีหลังจากใช้งานไปแล้วในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

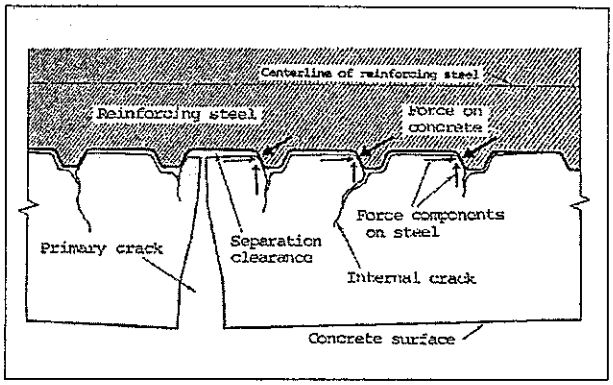
4. การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุร่วม (Mixed process)

การแยกตัวระหว่างคอนกรีตและเหล็กและการเกิดสนิม

เมื่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดการแตกร้าวจนถึงส่วนที่เหล็กเสริมจับตัวกับเนื้อคอนกรีตแน่นอยู่เดิม ความเปลี่ยนแปลงเบื้องแรกที่เกิดขึ้นก็คือเกิดการแยกตัวออกจากกันของวัสดุทั้งสองชนิดนั้นซึ่งแต่เดิมมีการยึดโยงกันแน่น (Bond) อยู่ การสูญเสียการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมนี้เป็นปรากฏการณ์ของการแตกร้าวที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน การแยกผิวกันระหว่างท่อนเหล็กและคอนกรีตเป็นระยะทางยาวประมาณ 10 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมเป็นอย่างน้อย อาจกล่าวได้



รูปที่ 4 ภาพขยายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแตกร้าวภายในและรอยแตกร้าวภายนอก (Suzuki, Srisompong [22], [23])

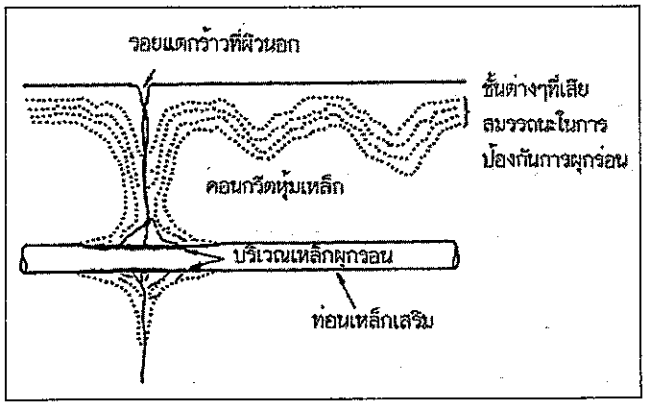


รูปที่ 5 ช่องว่างระหว่างการแยกผิวเหนี่ยวยึดระหว่างเหล็กและคอนกรีต ใกล้บริเวณรอยแตกร้าวภายนอก (Suzuki, Srisompong [22], [23])

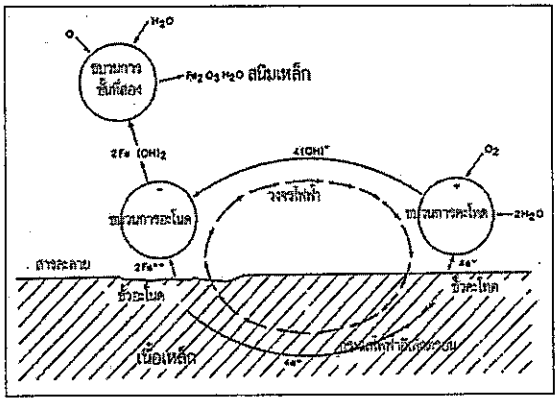
ว่าที่ใดมีการแตกร้าว การสูญเสียการยึดเหนี่ยว (Bond) ระหว่างเหล็กและคอนกรีตจะเกิดขึ้น ณ บริเวณนั้น ยิ่งจะเอื้ออำนวยต่อพฤติกรรมการเพิ่มปริมาณของสนิมเหล็กขึ้นตามเวลา

การเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตสร้างเมื่อรีด (Rolled steel) ถูกผลิตขึ้นในโรงงาน ผิวของเหล็กจะถูกเคลือบไว้ ด้วยผงของออกไซด์ขนาดใหญ่อยู่กระจัดกระจายทั่วไปปกคลุมผิวเหล็กที่รีดแล้วเอาไว้ชั้นหนึ่งก่อน แต่จากการตรวจสอบอย่างละเอียดจะพบว่ามีรอยแตก (Cracking) หรือการหลุดล่อนของสารที่เคลือบไว้ในระดับหนึ่ง ต่อมาเมื่อมีน้ำและออกซิเจนที่อยู่รอบ ๆ ผิวของเหล็กนั้นแทรกซึมเข้ามาสัมผัสก็จะทำปฏิกิริยากับอณูเล็ก ๆ ของเหล็กที่แตกตัวอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือองค์ประกอบทางไฟฟ้าขนาดเล็กเรียกว่า “อิออนของเหล็ก” มีสัญลักษณ์ทางเคมีว่า “Fe++” ดังในรูปที่ 4.5 ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่บริเวณที่อยู่ระหว่างชั้นบาง ๆ ของออกไซด์ที่เคลือบเอาไว้และมีร่องรอยหลุดลอกไปก่อนในชั้นแรกจากนั้นจะลุกลามออกไปบริเวณกว้างในเวลาอันรวดเร็ว

การกัดกร่อนของโลหะใด ๆ เป็นขบวนการที่ผิวของโลหะเหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงเคมี หรือทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical phenomenon) ส่งผลให้ผิวของโลหะนั้นหลุดลอกหายไปทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง และหากมีสิ่งเร้าภายนอกบางอย่างมาเร่งปฏิกิริยา ก็จะเลวร้ายลงไปมากและเร็วขึ้น สิ่งเร้าเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิที่



รูปที่ 6 ลักษณะของการเกิดสนิมบริเวณเหล็กเสริมในคอนกรีต



รูปที่ 7 กระบวนการของการกัดกร่อนโลหะเหล็ก

เพิ่มหรือลดลงเป็นจังหวะ สารเคมีที่มีสภาพเป็นกรด และกระแสไฟฟ้าที่รั่วและพาดผ่านผิวเหล็ก เป็นต้น ขบวนการนี้ทำให้ผิวของโลหะหลุดหายไป เสมือนผิวของอโลหะถูกกัดกร่อน ผลการทำปฏิกิริยาทางเคมีนี้ก่อให้เกิดเป็น "เฟร์รัสไฮดรอกไซด์" ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ ปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไปเมื่อการผุกร่อนมีมากขึ้น แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะต้องมีน้ำ และออกซิเจนประกอบด้วยเสมอ ถ้าขาดตัวหนึ่งตัวใดปฏิกิริยาก็ไม่เกิดขึ้น เหล็กก็จะไม่ผุกร่อน

5. ความเสียหายในรูปแบบอื่น ๆ

การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางเคมี (Chemical deterioration)

เมื่อปรากฏว่าดินในพื้นที่ได้มีการทรุดตัวอยู่แล้ว และยังเกิดน้ำท่วมบ่อย ๆ และมีระดับขึ้นลงที่แตกต่างกันไปในระดับที่สัมผัสกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นค่า"pH" ที่เคยอยู่ที่ระดับ 12-13 ตามปกติจะเปลี่ยนแปลงโดยลดค่าลง ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น จึงเกิดขึ้น เรียกว่าการเกิดคาร์บอเนชั่น (Carbonation) ในคอนกรีต กล่าวคือ ปริมาณก๊าซที่เป็นกรดบางชนิดในอากาศจะซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตและทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายน้ำ ทำให้ความเป็นด่างในคอนกรีตลดลง แผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่เคลือบบนผิวเหล็กจะถูกทำลาย เหล็กเสริมขาดการปกป้อง ผสมร่วมด้วยกับน้ำและออกซิเจนในบรรยากาศ ปฏิกิริยากับคาร์บอเนชั่นจะไม่เกิดขึ้นเมื่อคอนกรีตโครงสร้างนั้นจมอยู่ในน้ำตลอดเวลา ดังนั้นในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังบ่อย ๆ มีลักษณะเปียกสลับแห้งอยู่ตลอดเวลาจะเป็นอันตรายมาก การหลีกเลี่ยงจากน้ำท่วมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นทางที่ดีที่สุด ความเสียหายที่พบได้รองลงไปคือการกัดกร่อนโดยกรด เช่น การกัดกร่อนโดยซัลเฟต เป็นต้น

การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางกล (Mechanical deterioration)

ได้แก่ การขัดสี (Abrasion) การชะด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย (Erosion) และการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ (Cavitations) เป็นต้น

การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางชีวภาพ (Biological deterioration)

ได้แก่ การเสื่อมสภาพโดยตะไคร่ รา รากพืช หรือแบคทีเรียบางประเภท เป็นต้น

6. ผลกระทบที่มีต่อฐานรากโดยตรง (Influences upon foundation)

ปัญหาที่พบบ่อยคือ การทรุดตัวของฐานรากที่ไม่เท่ากัน (Uneven settlement) ของฐานรากอันเกิดจากแรงเสียดทานผิวกลับทิศทาง (Negative skin - friction) ของเสาเข็ม ก่อให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากการดึงรั้งโครงสร้างส่วนที่แบกอยู่ ในจุดที่อ่อนมากเหล่านั้นลงมาในแนวดิ่งอย่างต่อเนื่อง หากไม่แก้ไขทันเวลาอาคารจะวิบัติลงได้ การต่อเติมอาคารพาณิชย์พักอาศัยสูง 3-4 ชั้น โดยการตอกเสาเข็มพยุงฐานรากใหม่ที่สั้นกว่าเสาเข็มเดิมเป็นตัวอย่างที่เห็นได้ทั่วไป ที่มักจะใช้เข็มฝืดที่มีขนาดเล็กและสั้น เนื่องจากอุปสรรคความไม่สะดวกในการนำเข็มเข้าถึงหน่วยก่อสร้างเป็นสำคัญ ดินที่ยุบตัวตามธรรมชาติจะค่อย ๆ ฉุดลากเสาเข็มลงมาทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง ที่สุดเกิดรอยแตกร้าวทั่วไปเฉพาะอย่างยิ่งตรงรอยต่อระหว่างส่วนต่อเติมกับของเก่าดังที่เป็นปัญหา

อย่างกว้างขวางอยู่ในปัจจุบันนี้ การทรุดตัวเช่นที่กล่าวนี้เรียกว่า "การทรุดเอียง" เนื่องจากการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันระหว่างของเก่ากับใหม่ ในเขตที่มีอัตราแผ่นดินทรุดที่รุนแรงนั้น การทรุดและร่องรอยการแตกร้าวและความเสียหายจะปรากฏให้เห็นชัดเจนและล่อแหลมต่ออันตราย ที่เข้าใจได้แน่ชัดก็คือ แม้ว่าแผ่นดินทรุดจะเกิดขึ้นทั่วถึงกันหมดแต่เสาเข็มเก่าที่ทำไว้มักจะหยั่งปลายลงไปถึงชั้นดินทรายเบื้องล่างอยู่ในภาวะปกติในขณะที่ฐานรากใหม่นั้นลอยอยู่ในท่ามกลางดินที่ทรุดอยู่อย่างเต็มตัว

แรงเสียดทานผิวกลับทิศทาง (Negative skin- friction)

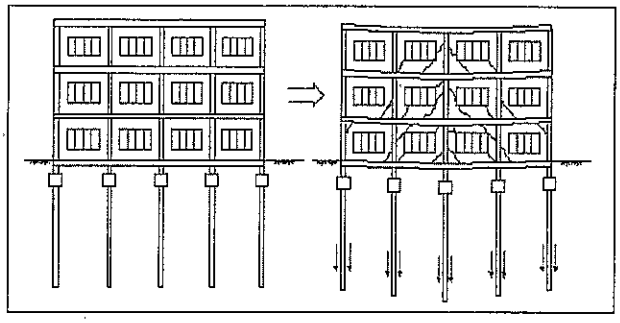
การออกแบบโดยกำหนดให้ฐานรากถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากอาคารลงมายังเสาเข็มที่มีปลายเข็มหยั่งลงไปลึกถึงชั้นดินทรายแข็งในขณะที่พื้นแวดล้อมอาคารพึ่งพิงการพยุงน้ำหนักด้วยการบดอัดดินเท่านั้น หรือด้วยเข็มเสียดทานเท่านั้นซึ่งยังคงอยู่ในภาวการณ์ยุบตัวสูง ในหลายกรณีพบว่าแรงเสียดทานของเสาเข็มนั้นหายไป กลายเป็นแรงถอดเสาเข็มลงแนวดิ่ง หรือแรงเสียดทานผิวกลับทิศทางขึ้น ซึ่งจะฉุดเสาเข็มให้จมลงและหลุดจากแป้นฐานรากในที่สุด ในขั้นนี้แม้ว่าจะมีความพยายามในการบดอัดดินอีก หรือแม้แต่การจำกัดล้อมบริเวณฐานรากไว้ด้วยเข็มพืดก็ไม่ทันการ เสาเข็มในกรณีนี้จึงรับน้ำหนักได้ไม่ครบตามพิกัดที่คาดหมายไว้

ในกรณีที่มีการก่อสร้างที่ข้างเคียงเกิดขึ้นและกำลังทำการขุดลอกดินบริเวณข้างเคียงออกด้วยแล้ว ฐานรากในส่วนที่ล่อแหลมอยู่แล้วจะเคลื่อนตัวตามไป เกิดแรงดัดในเสาเข็มขึ้นมาทำให้เสาเข็มโก่ง และแตกร้าวในที่สุดหากแก้ไขไม่ทันเวลาโครงสร้างอาคารอาจเสียหาย

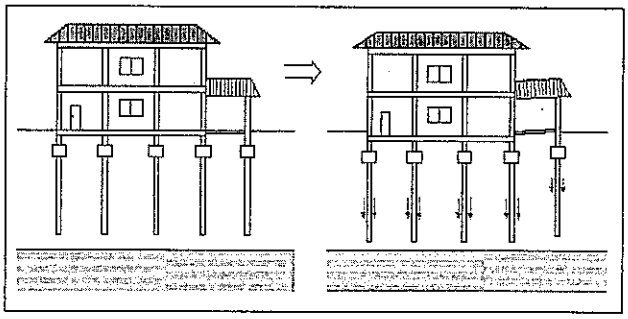
การทรุดตัวของฐานรากที่ไม่เท่ากัน (เสาเข็มที่ตอกอยู่ในชั้นดินอ่อน)

การคำนวณเสาเข็ม เสาเข็มที่รับน้ำหนักแตกต่างกันมาก การทรุดตัวของเสาเข็มในแต่ละต้นก็จะแตกต่างกันมากตามไปด้วย ตัวอย่างกรณีนี้ เช่น อาคารพาณิชย์ที่มีการก่อสร้างเป็นแถวยาวหลาย ๆ ห้องติดกันแต่ใช้เสาเข็มเดี่ยวเป็นฐานรากเหมือนกันทุกฐาน โดยที่ปลายเสาเข็มไม่ได้หยั่งลงไปในชั้นดินแข็ง ซึ่งจะทำให้แนวอาคารชุดดังกล่าวเกิดปัญหาการทรุดตัวแอ่นกลาง เนื่องจากเสาเข็มที่ตรงกลางมีค่ามากกว่าที่บริเวณริมนั่นเอง กรณีตัวอย่างอีกกรณีก็คือ การก่อสร้างบ้านเดี่ยว 2 ชั้น ที่มีโรงจอดรถอยู่ด้านหน้าบ้าน โดยใช้เสาเข็มสั้นยาวเท่ากันทั้งหมด เมื่อเวลาผ่านไปโรงจอดรถจะเกิดการทรุดตัวน้อยกว่าบ้าน ทำให้เกิดปัญหาการทรุดตัวไม่เท่ากันตามมา มักมีการบ่งชี้ในชั้นแรกที่ผนังก่ออิฐหรือบล็อก หรือแม้แต่ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนโดยร้าวเป็นเส้นทแยงมุมประมาณ 45 องศากับแนวราบรอยร้าวจะกว้างขึ้นในที่สุดจะเกิดการวิบัติที่โครงสร้างตรงรอยเชื่อมต่อระหว่างคานกับเสา หรือที่หัวเสามักจะพบมากในบริเวณก่อสร้างที่มีชั้นดินอ่อนอยู่เหนือชั้นดินแข็ง

การออกแบบฐานรากให้มีการทรุดตัวไปพร้อมกับดินอย่างเท่าเทียมกันทุกจุดในอาคารเป็นงานที่ยาก แต่ที่ยากยิ่งกว่าอื่นใดก็คือการใช้ฐานรากที่ตอกเข็มพยุงน้ำหนักต่างในอาคาร ตัวแปรในขนาดความยาวของเสาเข็มตลอดจนขนาดของฐานรากมีส่วนที่จะส่งผลแห่งความแตกต่างมายังอัตราการทรุดตัวของฐานราก การออกแบบที่หวังผลมากที่สุดคือการออกแบบให้ฐานรากมีการทรุดตัวใกล้เคียงกันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้



รูปที่ 8 การทรุดตัวของอาคารเมื่อเสาเข็มสั้นและอยู่ในชั้นดินอ่อน



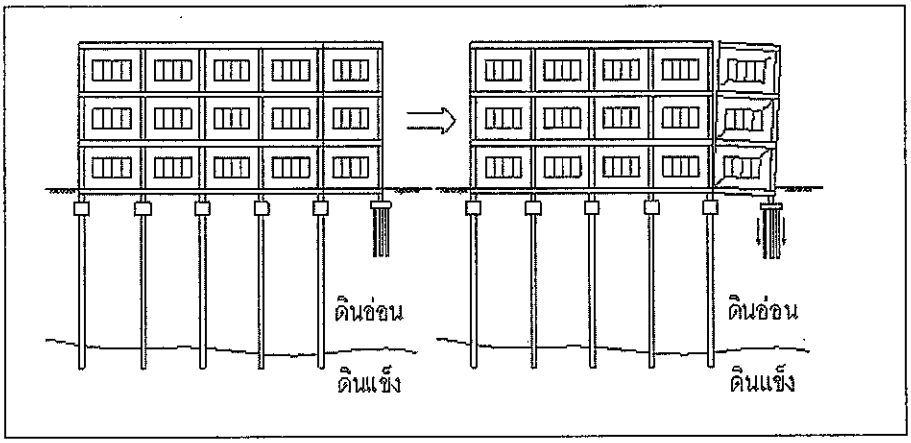
รูปที่ 9 การทรุดตัวของอาคารอันเนื่องมาจากเสาเข็มแบกรับน้ำหนักมากเกินไปเป็นบางส่วน

โดยจะต้องทำการคำนวณน้ำหนักและการคาดคะเนน้ำหนักที่ละฐานรากโดยไม่คัดลอกผลการคำนวณไปใช้ร่วมกันต่างตำแหน่ง ก่อนการคำนวณออกแบบฐานรากจึงควรมีการเจาะสำรวจดิน (Boring test) ก่อนทุกกรณี

บางครั้งพบว่ามีตาน้ำใต้ฐานรากบางฐานหรืออาจเคยเป็นคูหรือบ่อน้ำมาก่อน หรือทั้งบริเวณก่อสร้างเคยเป็นที่ลุ่มมาก่อน มีการปล่อยให้มีน้ำขังอยู่ในที่เดียวกันเป็นเวลานาน ดินตรงบริเวณนั้นจึงอ่อนกว่าที่ข้างเคียง ดินถมใหม่ก็เป็นปัญหาที่เห็นได้ชัดเจน การทรุดหรือยุบตัวของดินถมใหม่จะฉุดฐานราก และเสาเข็มลงไปตามทางดิ่ง ซึ่งอาจทำให้เข็มหลุดออกจากฐานรากได้

การต่อเติมอาคารที่ยังติดรั้งอยู่กับอาคารเดิม

การต่อเติมอาคารที่ยังติดรั้งอยู่กับอาคารเดิมเป็นไปได้ 2 กรณี คือ กรณีที่เสาเข็มของอาคารใหม่สั้นกว่าเสาเข็มของอาคารเดิมทำการก่อสร้างต่อเติมโดยที่ไม่ได้ทำการตัดแยกโครงสร้างออกจากกัน หรือในกรณีที่ทำการตัดแยกโครงสร้างแล้วแต่ทำผิดวิธี ซึ่งก็จะส่งผลทำให้เกิดปัญหาการทรุดตัวไม่เท่ากันตามมาทั้งสองกรณี วิบัติส่อเค้าลงมาที่เกิดรอยร้าวเป็นเส้นทแยงมุมทำมุมประมาณ 45 องศา มีรอยร้าวหักตรงบริเวณรอยต่อเสากับคาน ความยาวและความกว้างของรอยร้าวจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตราบเท่าที่ยังไม่มีการแก้ไข



รูปที่ 10 การต่อเติมอาคารโดยใช้เสาเข็ม

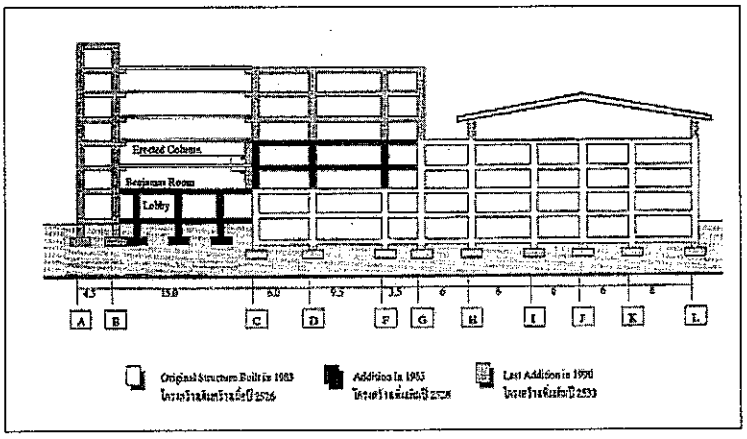
ตัวอย่างฐานรากของอาคารที่ทรุดตัว

โรงแรมรอยัลพลาซ่าพังทลาย

จากการสำรวจและวิเคราะห์เหตุการณ์โศกนาฏกรรมอาคารโรงแรมรอยัลพลาซ่าพังทลายที่จังหวัดนครราชสีมาเมื่อวันที่ 13 สิงหาคม 2536 พบว่าเกิดจากน้ำหนักของมวลภายในอาคารเองที่พังถล่มลงตามแนวดิ่ง ทับถมกันลงมาเป็นทอดๆ โดยมีการเอียงล้มในอัตราน้อยมากเนื่องจากการยึดรั้งของส่วนอาคารที่ยังมีความมั่นคงเหลืออยู่ ในหนังสือบันทึกของอธิบดีกรมโยธาธิการรายงานสรุปผลว่าการพังทลายลงนั้นมีสาเหตุหลักมาจากการต่อเติมเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในจุดที่เกินความสามารถที่เสาชั้นล่างจะรับได้ และได้ตัดประเด็นปัญหาที่คาดว่าเป็นการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของฐานรากในบริเวณนั้นออกไปการเจาะสำรวจดินในบริเวณที่เกิดเหตุพบว่า ที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร ซึ่งเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับระดับฐานรากจริงนั้นเป็นชั้นดินที่มีความแน่นมากและสามารถรับน้ำหนักฐานรากได้ดีก็ตาม แต่ในจุดที่เกิดการวิบัติจริงนั้นพบว่าฐานรากแผ่ที่ไม่ได้พึ่งพาเสาเข็มในตำแหน่ง C-3 มีขนาด 3.20 x 3.20 เมตร ซึ่งไม่ตรงกับแบบที่ได้รับอนุญาตให้ก่อสร้าง ทางผู้เชี่ยวชาญได้ตัดประเด็นของการทรุดตัวของฐานราก แต่การวิเคราะห์เพื่อการนำหลักฐานมาพิสูจน์ว่าดินที่พยุงน้ำหนักฐานรากอยู่นั้นไม่เคลื่อนตัวลงเป็นเรื่องทำได้ยาก ในทางวิศวกรรมสำรวจ ประเด็นนี้หากจะนำมาพิจารณาอีกครั้งอาจจะสามารถแทรกแนวความคิดได้เพิ่มเติมว่า หากจะเกิดมีการทรุดตัวของดินในบริเวณนั้นแต่เป็นเพียงเล็กน้อยที่เกิดต่อเนื่องมานับตั้งแต่วันที่การก่อสร้างฐานราก ณ จุดวิบัตินั้น (ตำแหน่ง C-3) แล้วเสร็จอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการฉุดดึงของเสาและตอม่อในจุดนั้นลงมาอย่างต่อเนื่องอยู่แล้ว ตั้งแต่เริ่มต้นใช้อาคารมา การฉุดรั้งอาจจะเป็นเหตุให้คานชั้นบนสุดนั้นวิบัติลงก่อนที่จะเกิดพังถล่มลงมาตามแนวดิ่งทับถมกันลงมาเป็นทอดๆ ตามการรายงานนั้นทำให้ต้องคำนึงถึงปัญหาในพื้นที่ๆ ดินมีความสามารถในการรองรับน้ำหนักต่ำกว่าบริเวณที่เกิดเหตุคือ จังหวัดนครราชสีมา ว่าจะต้องเข้มงวดเรื่องการออกแบบฐานรากเพียงใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

โครงสร้างพื้นและบันไดชำรุด

แผ่นพื้นและบันไดที่วางบนดินนั้นพึ่งพาคุณสมบัติในการรับน้ำหนักของดินโดยตรง ในการก่อสร้างทั่วไปไม่นิยมการต่อพ่วงโครงสร้างพื้นรอบอาคารเข้าสู่โครงสร้างหลักเพื่อการประหยัดงบการก่อสร้าง แต่ภายหลังพบว่าต้องสิ้นงบประมาณในการแก้ไขโครงสร้างมากกว่าที่ประหยัดไปอีกหลายเท่าตัว การวางแผ่นพื้น บันได หรือทางลาดเข้าสู่อาคารนั้น



รูปที่ 11 การต่อเติมอาคารโรงแรมรอยัลพลาซ่าที่ไม่ได้เพิ่มฐานราก

หากทำการตัดแยกจากกันเมื่อดินทรุดตัว และเวลาผ่านไปก็สามารถเห็นความแตกต่างในระดับได้อย่างชัดเจนแต่ไม่ก่อให้เกิดการแตกร้าวในโครงสร้างเนื่องจากไม่

เหนี่ยวรั้งกัน ในกรณีที่เป็นแผ่นพื้นลาดเอียงหากมีการพาดปลายข้างหนึ่งไว้บนโครงสร้างอาคารหลักก็ควรเป็นการทำพาดชนิดอิสระไม่เชื่อมโยงสนิทด้วยการเสริมเหล็กสอดเข้าหากันในลักษณะของการฝังเสมอ (Anchorage)

ตัวอย่าง การพัดพาของน้ำในดินทำให้ฐานรากเสียกำลัง

การทรุดตัวอย่างช้า ๆ เกิดจากการยุบตัวคายน้ำของดินเมื่อดินถูกกดอัดมากและอย่างต่อเนื่องมีการบันทึกว่ามีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่องในอัตรา 25 ซม. ต่อปีที่เขตลองบีช ในมลรัฐคาลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ในระหว่างช่วงปี ค.ศ. 1941-1945 การวิเคราะห์สาเหตุและความรุนแรงระบุว่าเป็นผลสืบเนื่องมาจากการทำการขุดเจาะน้ำมันจนถึงชั้นสะสมของน้ำมันถึงในชั้นหินในเขตนั้น ๆ โดยตรง ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายคลึงกันขึ้นที่เมืองซิโกซิตี้ ซึ่งถูกบันทึกว่ามีการทรุดตัวมากถึง "ปีละหลายนิ้ว" แต่ที่นี่นั้นมีสาเหตุมาจากการขุดเจาะน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้จากชั้นทรายที่อยู่ใต้ชั้นดินลงไป และอยู่ในลักษณะที่ซับซ้อนอยู่กับชั้นดินเหนียวภูเขาไฟข้างใต้นั้น จึงได้มีการเสนอแนะกันว่าวิถีทางเดียวที่จะทำการหยุดยั้งได้ก็คือ การระงับยับยั้งกิจการหรือธุรกิจที่กล่าวข้างต้นลงปรากฏการณ์นี้เป็นที่ประจักษ์ว่าไม่สามารถป้องกันได้หากไม่แก้ไขที่ต้นเหตุ การทรุดตัวอย่างต่อเนื่องอาจจะก่อให้เกิดแรงกดทับลงบนชั้นดินและหินในรูปทางกลอื่น ๆ ของการซ้ำเติมความเสื่อมสภาพและความเสียหายในวงกว้าง มีการบันทึกความเสียหายของโครงสร้างอ่างเก็บน้ำที่ Baldwin Hill Los Angeles ไว้ว่า ได้มีการสูบเจาะน้ำมันออกไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้รอยเลื่อนเก่าในชั้นหินนั้นเปิดออกก้านสาขาหนึ่งของรอยเลื่อนนั้นพาดผ่านเขื่อนฐานดินเหนียวที่รองรับอ่างเก็บน้ำนั้นอยู่ เมื่อเกิดการเคลื่อนตัวดังกล่าวทำให้พื้นและผนังอ่างเก็บน้ำแตก น้ำที่บรรจุอยู่จึงรั่วไหลมาเซาะฐานดินที่รองรับซ้ำเติมอีก เมื่อฐานที่รองรับยวบลงรอยแตกร้าวที่ขยายตัวกลายเป็นรูรั่วขนาดใหญ่ และยังผลให้อ่างเก็บน้ำวิบัติจนใช้การไม่ได้

น้ำที่ไหลเข้าในชั้นทราย

เสาเข็มเจาะในระบบขุดเจาะแห้งไม่ต้องการให้มีน้ำเข้ามาท่วมขังในหลุมเจาะ แต่ในการทำงานจริงเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้ เมื่อเจาะลึกลงไปบางครั้งพบธารน้ำไหลที่มักอยู่ในชั้นดินทรายที่ปลายเข็มต้องหยั่งลงถึงทำให้ทรายฟุ้งและหลวมตัวไม่แน่นดังเดิม ทำให้เสาเข็มที่หล่อลงมามีโพรงในลำต้นและเสาเข็มทั้งต้นจะไหลลงไปด้วยน้ำหนักตัวเอง สามารถทำการอย่างง่าย ๆ ด้วยการนำแท่งดินสอมาปักลงในแก้วพลาสติกที่ใส่ทรายที่แห้งไว้สักค่อนแก้วจากนั้นปักปลายดินสอที่เหลาแล้วลงไปในแก้ว เม็ดทรายจะกลิ้งหนีออกจากหลุมในขณะที่แท่งดินสอถูกกดลง หากกดดินสอลงไปอีกจนรู้สึกว่าแน่นมากจนกดไม่ลงจึงหยุดกด จากนั้นเจาะรูระบายน้ำเล็ก ๆ ที่ก้นแก้วแล้วเทน้ำลงไปในแก้วทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง จะเห็นว่าดินสอเลื่อนไหลหนีลงไปได้อีกจากตำแหน่งที่หยุดกดอยู่เดิม

ในฐานรากชนิดตื้น (Hollow foundation) นั้น น้ำเป็นสาเหตุของการทรุดตัวที่สำคัญโดยทั่วไปพบว่ารางระบายรอบอาคารเกิดการอุดตันและชำรุดทำให้น้ำไหลเข้าไปใต้อาคารตลอดเวลาดินที่เคยถูกบดอัดแน่นรองรับฐานรากอยู่นั้นอยู่ในสภาพชุ่มน้ำหรือถูกพัดพาออกไปทีละน้อยและมีกำลังแบกทานลดลงจนในที่สุดจะอยู่ในภาวะแขวนลอยหิ้วอยู่ในระบบโครงสร้างรวม และจำเป็นต้องแก้ไขเป็นการเร่งด่วน

7. ความเสียหายที่เกิดต่อระบบอุปกรณ์อาคาร

งานระบบอุปกรณ์อาคารก็ได้รับผลกระทบตามไปด้วยพร้อม ๆ กับโครงสร้างอาคารต้องซ่อมแซมบ่อย ๆ ทำให้สูญเสียงบประมาณอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ความเสียหายที่เกิดต่อระบบอุปกรณ์อาคารสามารถประมวลได้ในระบบหลักต่อไปนี้

- ระบบประปาและสุขาภิบาล
- ระบบบำบัดน้ำเสีย
- ระบบไฟฟ้าและการปรับอากาศ
- ห้องเครื่องและอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ถนนและลานวิ่งของเครื่องบิน
- ระบบป้องกันน้ำท่วมและการรั่วซึมสำหรับห้องใต้ดินและห้องมั่นคง

8. บทสรุป

การแปรสภาพทางกายภาพของอาคารมีแนวโน้มที่จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนสภาพของสิ่งแวดล้อมที่อยู่ใกล้อาคารที่สุด ดินที่พยุงอาคารอยู่นั้นไม่คงสภาพในทางกายภาพ ดินเปลี่ยนสภาวะไปตามเวลาและการใช้งานของมนุษย์ การศึกษาและสืบค้นค่าการทรุดตัวของดินในสภาวะปัจจุบันเป็นสิ่งที่จำเป็นยิ่งในศาสตร์ของการออกแบบอาคาร งบประมาณในการซ่อมความเสียหายในระยะยาวจะมีความสิ้นเปลืองมากกว่าค่าการออกแบบทางสถาปัตยกรรมในทางระดับดินในทุกระบบรวมกัน

การควบคุมปริมาณการใช้น้ำและการระบายน้ำที่รวดเร็ว ช่วยแบ่งเบาความเสียหายอันเกิดจากน้ำท่วมขังบนดิน ในขณะที่การควบคุมปริมาณขุดเจาะน้ำบาดาลรอเวลาให้น้ำซึมเข้ามาแทนที่ก่อนการขุดใช้ มีแนวโน้มว่าจะบรรเทาปัญหาการทรุดของพื้นดินในระยะยาวและต่อเนื่องได้

การทรุดของดินอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดการทรุดตัว หรือเอียงทรุดของระบบฐานราก และมีความเป็นไปได้อย่างสูงว่าจะริดรอนอายุ (Durability) ของอาคาร ความเสียหายในทุกส่วนและองค์ประกอบของอาคารอาจจะบรรเทาลงได้หากการออกแบบอาคารมีการวางแผนและนโยบายที่จะประเมินค่าของการเปลี่ยนแปลงสภาวะไว้ก่อนล่วงหน้า ทั้งนี้ตัวเลขและข้อมูลที่ได้ปรับปรุงให้ใหม่อยู่เสมอจะทำให้สามารถแก้ไขได้ตรงประเด็นปัญหามากขึ้น

ฐานรากของอาคารเป็นส่วนประกอบที่ซ่อนเร้นจากสายตาและเป็นส่วนประกอบที่ทำงานหนักที่สุดในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะของดินขึ้นอย่างต่อเนื่อง และความมั่นคงอีกทั้งอายุของอาคารน่าจะขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของฐานรากนี้เป็นสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

[1] อรุณ ชัยเสรี "การวิบัติของอาคาร สาเหตุ และการแก้ไข" วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ มิถุนายน 2538

[2] สมชาย ศรีสมพงษ์, "โครงสร้างต้านทานแรงอัดและยุทธวิธีในงานออกแบบสถาปัตยกรรม", พ.ศ. 2547

[3] สมชาย ศรีสมพงษ์, "คอนกรีตอัดแรงสำหรับอาคารระบบอุตสาหกรรม," คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2544

[4] Kanjanavanit R.,"Investigation of the Settlement of Kian Gwan Building & Underpinning", Proceeding of the Regional Conference on Tall Building, Bangkok, 1974.

[5] Prentis, E.A., & White, L., Underpinning 2nd Edition. (New York, Columbia University Press 1950) Peck, Hansen & Thornburg., Foundation Engineering., Willey 1959.

[6] Durability of Concrete, E.I.T. Committee of Concrete and Materials Research, Division of Civil Engineering, Bangkok, Thailand, August 2000.

[7] Comity Euro-International Du Beton (CEB), Durable Concrete Structures CEB Design Guide, 2nd Edition, 1989

[8] Al-Amoudi, O.S.B.,"Mechanics of Sulfate Attack in Plain and Blended Cement: a Review", Proceeding of the International Seminar, 7 September 1999, University of Dundee, Scotland, UK, pp.247-260

[9] American Concretely Institute, ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete", ACI201.2R-92, 1992

[10] Mays, G., Durability of Concrete Structures: Investigation, Repair, Protection, 1st Edition, E&FN Spon, 1992, pp.31-32

[11] Wongtanakitchareon, T.,"A Study of Deterioration of RC Structures in Central and Seaside Areas of Thailand", A Master thesis submitted to Asian Institute of Technology, 1999

[12] Balasubramaniam, A.S., et.al. (1989) Excavations in Bangkok Sub-Soils, Thirteenth South-East Asian Geotechnical Conference, AIT

[13] Bell, F.G., (1983) Fundamentals of Engineering Geology, Butterworths and Co. (Publishers) Ltd., London

[14] Dolan, R. and Goodell, H.G. (1986) Sinking Cities,American Scientist Journal, Volume 74, pp.38-47

[15] Johnson, R.B. and De Graff, J.V. (1988) Principles of Engineering Geology, John Wiley & Sons, New York

[16] Linsley, R.K., Jr., Kohler, M.A., and J.L.H.Paulkus (1988) Hydrology for Engineers, McGraw-Hill Ltd., London

[17] Selbu, M.J. (1985) Earth's Changing Surface, Clarendon Press, Oxford

[18] Tangchawal S. (1990) Effects of Moisture and Mineralogy on Swelling and Strength Reduction, Sixth International IAEG Congress, Amsterdam

[19] George B.S., George F.S., (1970) Soil Mechanics and Foundations, third edition, The Macmillan Co., Collier- Macmillan Ltd., London

[20] Broms, B.B., "Crack Width and Crack Spacing in Reinforced Concrete Members," J.ACI. Proc. Vol.62, No.10, 1965

[21] Suzuki, K., Ohno, Y. and Srisompong, S., Experimental Study on Internal Cracking of Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Part 1: Examination of Double Injection Technique," Proc.AIJ.1985

[22] Suzuki, K., Ohno, Y. and Srisompong, S., "Experimental Study on Internal Cracking of Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Part 2: Internal Cracking Characteristics," Proc.AIJ.1985

[23] Srisompong, S, Investigation of Internal Cracking in Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Ph.D. thesis submitted to the Graduate School, Faculty of Engineering, Osaka University, Japan, 1985

[24] Goto, Y., Cracks Formed in Concrete around Deformed Tension Bars, J.ACI, Proc.Vol 68, No.4, Apr. 1971

[25] Beeby, A.W., Concrete in the Oceans, Report No. 1 Cement & Concrete Association. 1978

[26] Lutz, L.A. and Gergly, P., Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bars in Concrete, J.ACI, No.62-64, Nov.1967

[27] Goto, Y., and Otsuka, K., Experimental Studies on Cracks Formed in Concrete around Deformed Tension Bars, Proc. JSCE No.294, Feb 1980 (in Japanese)

ประวัติผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์

สถ.บ. 1968

M.Eng (Architectural Engineering), Osaka University, 1973

D.Eng (Architectural Engineering), Osaka University, 1985

วิศวกรโยธา : Ohbayashi Corp.Ltd. (บ.นันทวัน จำกัด), กรุงเทพมหานคร 1973 - 1977

วิศวกรโยธา : Sumitomo Construction Co.Ltd. Thai-Sumicon Co.Ltd. กรุงเทพมหานคร 1977 - 1978

ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ระดับ 9 สังกัดภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง