

รูปแบบการแก้ไขปัญหาคาดตัวของถนนบนชั้นดินอ่อนที่อยู่ใต้ทางยกระดับ

PATTERN OF ROAD EMBANKMENT BENEATH ELEVATED ROAD

อำนวยการคดี ทวีลาภ (Amnuaysak Thaveelap)

ตำแหน่งวิศวกรปฐพี บริษัท เรียวเอสเตท คอนซัลแทนท์ จำกัด 39/2 ซอยลาดพร้าว 124 เขต วังทองหลาง กรุงเทพฯ ๑
10310 โทร 0-2934-1468 , 0-2934-1850-2 โทรสาร 0-2934-1469 E-mail : t_ammuyay@yahoo.com

ภัทรารุช วิชพัฒน์ (Pataravuth Vichapatana)

ตำแหน่งวิศวกร 6 การทางพิเศษแห่งประเทศไทย 2380 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ๑ 10900
โทร 0-2579-5380-9 E-mail : vuthprivate@yahoo.com

บทคัดย่อ : พื้นที่กรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียงเป็นพื้นที่ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงทำให้ปัญหาคาดซึ่งเป็นปัญหาทางวิศวกรรมขนส่งมีปริมาณมากตามขนาดของมูลค่าทางเศรษฐกิจ วิธีแก้ปัญหาคาดที่พบในพื้นที่นี้โดยส่วนมากจะใช้การสร้างถนนเพิ่มเส้นทาง แต่บางพื้นที่ไม่สามารถเวนคืนที่ดินได้เนื่องจากที่ดินมีมูลค่าสูงมาก หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องสร้างทางยกระดับเพื่อล้อมถนนเส้นนั้นซึ่งทำให้ปัญหาคาดลดลงได้ระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากพื้นที่นี้ตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนทำให้การทรุดตัวที่แตกต่างกัน (Differential Settlement) ระหว่างถนนกับทางยกระดับซึ่งเป็นปัญหาทางวิศวกรรมปฐพี ดังจะเห็นได้จากพื้นผิวถนนรอบฐานรากของทางยกระดับได้ปรากฏลักษณะเป็นลูกคลื่นทอดขนานไปตามแนวถนนและทางยกระดับ พื้นผิวลักษณะนี้ยากต่อการระบายน้ำและการสัญจร ผู้ขับขี่ต้องเพิ่มความระมัดระวังทำให้การเดินทางใช้เวลามากกว่าปกติ นอกจากนี้รถยนต์ยังเสื่อมสภาพเร็วขึ้นกว่าการขับขี่ในถนนที่มีสภาพดี ซึ่งปัญหาคาดทรุดตัวได้กลายเป็นปัญหาวิศวกรรมขนส่งอีก ปัญหาเหล่านี้เป็นต้นทุนทางเศรษฐกิจของประเทศซึ่งหากบรรเทาปัญหาหรือหาวิธีแก้ไขได้ก็จะเป็นผลดีต่อส่วนรวม โดยบทความนี้ได้เสนอรูปแบบของโครงสร้างถนนและทางยกระดับในรูปแบบใหม่เพื่อแก้ปัญหาคาดทรุดตัวระหว่างโครงสร้างทั้งสอง

ABSTRACT : Bangkok and suburban area have the high economic value. So the traffic problem occurs as seriously as the growth of economic value. The transportation engineering method that always applies for solving the problem is the road embankment construction. However, the road construction is sometimes very expensive because of land acquisition cost. So some road construction agencies must build the elevated road over the existing roadway for alleviating the problem. The differential settlement, the irregular longitudinal profile of roadway, between the existing and elevated road induce other problem in viewpoint of soil and transport engineering. The road user must drive more carefully and also spend more travel time and more operating cost. These problems are the loss of economic cost of the country. Therefore, the reduction of the loss is the solution to improve the whole economic. The aim of this paper is presentation of new pattern of road and elevated road to solve the settlement problem.

KEYWORDS : IRREGULAR LONGITUDINAL PROFILE, SOFT CLAY, ELEVATED ROAD, EMBANKMENT

1. รายละเอียดทั่วไป

พื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑลมีภูมิประเทศที่เอื้อต่อการเกิดแหล่งดินอ่อน เพราะเป็นราบลุ่มขนาดใหญ่ติดกับชายฝั่งทะเลทำให้ดินตะกอนที่พัดจากแม่น้ำเจ้าพระยาสู่อ่าวไทยสามารถถูกน้ำทะเลหนุนกลับมากตะกอนบนแผ่นดินอีกครั้ง (marine deposit) นอกจากนี้พื้นที่นี้ยังเอื้อต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ เนื่องจากกรุงเทพฯ ใกล้กับชายฝั่งทะเลทำให้การขนส่งทางทะเลสะดวก เป็นปัจจัยให้ปริมณฑลเกิดนิคมอุตสาหกรรมมากมาย ในแต่ละปีพื้นที่ดังกล่าวมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจสูงพร้อมกันนั้นมูลค่าที่ดินยังปรับขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การขยายตัวทางเศรษฐกิจในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล ก่อปัญหาการขาดแคลนเส้นทางสัญจรต่อการคมนาคมและขนส่ง ทำให้พื้นที่นี้มีปริมาณการจราจรที่สูงมาก หน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้การเวนคืนเพื่อตัดถนนเพิ่มและหากมีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นก็ใช้วิธีนี้ขยายถนนออกไป การเวนคืนอาจใช้ได้กับหลายพื้นที่ในกรุงเทพฯ และปริมณฑล แต่ในบางพื้นที่มีมูลค่าที่ดินสูงและมีสิ่งปลูกสร้างสำคัญ การเวนคืนอาจไม่คุ้มค่าเพราะเสียค่าใช้จ่ายมาก เพื่อแก้ปัญหานี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เลือกที่จะสร้างทางยกระดับแทนและสร้างค่อมเส้นทางเดิมไว้ เช่นทางยกระดับหน้ามหาวิทยาลัยรามคำแหงเป็นต้น ซึ่งก็สามารถบรรเทาปัญหาจราจรไปได้ระดับหนึ่ง แต่การก่อสร้างลักษณะนี้ก่อปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีขึ้น และปัญหานี้ส่งผลต่อการจราจรบนถนนในกาลต่อมา กล่าวคือโครงสร้างทางวิศวกรรมทั้ง 2 ต่างมีการทรุดตัวที่แตกต่างกัน (Differential Settlement) และสามารถสังเกตการทรุดตัวนี้ได้บริเวณรอบฐานรากของทางยกระดับ ในรูปที่ 1 ซึ่งมีลักษณะลูกคลื่นทอดขนานไปตามแนวลูกคลื่น และแนวทางยกระดับ (Irregular Longitudinal Profile) โดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑลซึ่งตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนจะปรากฏการทรุดตัวเร็วและชัดเจนมาก

เมื่อการทรุดตัวเกิดมากขึ้นจะทำให้ปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีกลายเป็นปัญหาทางวิศวกรรมขนส่งกล่าวคือ พื้นผิวถนนในลักษณะนี้อำนวยต่อภาวะน้ำขังบนผิวถนนซึ่งเป็นอันตรายต่อการขับขี่ยานพาหนะ ทำให้การเดินทางใช้เวลามากกว่าที่ควรจะเป็น โดยนัยนี้ได้ก่อปัญหาทางเศรษฐกิจกล่าวคือ น้ำมันถูกบริโภคเกินความจำเป็น และผู้ใช้เส้นทางก็สูญเสียเวลาซึ่งเป็นสิ่งที่มีมูลค่าอันประเมินมิได้ นอกจากนี้รถยนต์ที่แล่นบนถนนลักษณะนี้

โดยเฉพาะรถยนต์ขนาดเล็กเช่น รถจักรยานยนต์ และสามล้อเครื่อง ยังเสื่อมสภาพเร็วกว่าการแล่นบนถนนที่มีผิวทางปกติ ซึ่งหากบรรเทาปัญหานี้ได้จะเป็นผลดีต่อส่วนรวมทั้งในแง่เศรษฐกิจและสังคม



รูปที่ 1 การทรุดตัวต่างกันระหว่างถนนและทางยกระดับ ณ บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยรามคำแหง

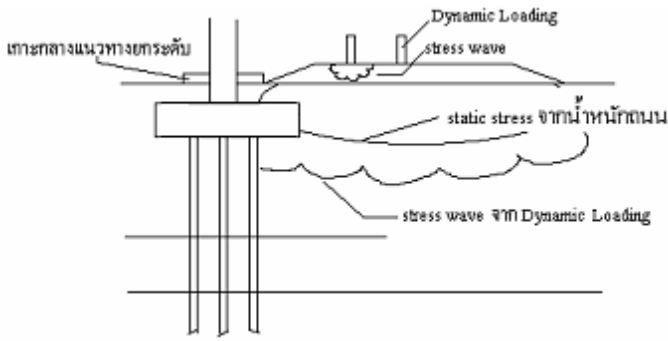


รูปที่ 2 ขยายรอยปริงของทางเท้าได้ทางยกระดับที่แสดงในรูปที่ 1

2. พฤติกรรมทางวิศวกรรมของฐานรากทางของดินถม ที่เกี่ยวข้องกับทางยกระดับ

พฤติกรรมที่เห็นได้ชัดเจนของโครงสร้างทั้ง 2 คือการทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างถนนกับทางยกระดับแสดงในรูปที่ 1 และ 2 โดยสังเกตได้ว่าดินรอบฐานรากของยกระดับยกตัวสูงกว่าถนนมีลักษณะเป็นหลังเต่า พฤติกรรมเช่นนี้เกิดจากกลไกการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างทั้ง 2 สู่ชั้นดินที่เป็นชั้นดินฐานรากต่างกันแสดงในรูปที่ 3 จากรูปชั้นดินอ่อนเป็นชั้นดิน

ส่วนบนรับน้ำหนักจากถนนต่างจากทางยกระดับที่มีฐานรากวางอยู่ในดินที่ลึกลงไปอีก



รูปที่ 3 ลักษณะของฐานรากทางยกระดับ และการกระจายหน่วยแรง (stress) ของถนน

การถ่ายน้ำหนักสู่ดินอ่อนโดยตรงก่อให้เกิดการพังทลายของคันทางโดยเฉพาะเมื่อถนนเปิดการจราจรชั้นดินมีโอกาสพังทลายและทรุดตัวเร็วขึ้นเนื่องจากชั้นดินอ่อนรับหน่วยแรง (Stress) ที่เกิดจากน้ำหนักสัญจรเป็นแรงแบบ Dynamic กระทำต่อชั้นดินในลักษณะของ Stress wave ทำให้แรงดันน้ำในดินอ่อนเพิ่มขึ้นตลอดเวลาและมีการทรุดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะที่ชั้นดินรับน้ำหนักจากถนนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้เมื่อชั้นดินเกิดสภาวะที่ตัวมันเองล้า (Fatigue) อันเป็นผลจาก Dynamic Loading แล้ว ชั้นดินจะทรุดตัวเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็วกว่าเดิมเพราะ ณ สภาวนั้นมันยังเกิดพฤติกรรม shear flow และ/หรือ slippage ร่วมด้วย

และโดยลักษณะทางกายภาพของถนน ซึ่งแรงกระทำต่อชั้นดินเป็นแบบ Strip Loading ทำให้ชั้นดินอ่อนเกิดการเคลื่อนตัวในแนวข้าง การเคลื่อนตัวนี้ได้เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดึงในคันทางซึ่งเป็นเหตุให้คันทางเกิดรอยแตกบริเวณผิวทาง น้ำฝนสามารถซึมผ่านลงไปในโครงสร้างถนนได้ เป็นเหตุให้กำลังของถนนเสื่อมลง [1] พฤติกรรมของถนนข้างต้นหากเกิดขึ้นพร้อมกับการทรุดตัวที่แตกต่างกันของถนนกับทางยกระดับทำให้การทรุดตัวเกิดรุนแรงขึ้น

3. แนวทางการแก้ไข

หัวข้อที่ผ่านมาเป็นภาพรวมของปัญหาของถนนกับทางยกระดับ สำหรับการแก้ไขปัญหในปัจจุบันเน้นการซ่อมแซมถนนและพื้นผิวบริเวณฐานรากของยกระดับเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นการแก้ที่โครงสร้างถนนเพียงอย่างเดียว โดยทั่วไปถนนได้ทางยกระดับเป็นโครงสร้างแบบ Flexible Pavement เพราะมีต้นทุนการ

ก่อสร้าง และซ่อมแซมในแต่ละครั้งต่ำกว่าถนนแบบ Rigid Pavement

สำหรับข้อความข้างต้นหากมองถึงความแข็งแรงของโครงสร้างถนนแล้วก็น่าที่จะกล่าวถึงถนนแบบ Rigid Pavement มีค่าซ่อมแซมต่ำกว่าแบบ Flexible Pavement แต่ความแข็งแรงของโครงสร้างถนนในแบบใดก็มีได้มีส่วนช่วยป้องกันให้ถนนพังทลาย [2] เพราะการพังทลายเกิดจากสาเหตุที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 2

หากมองการแก้ปัญหาการทรุดตัวให้เป็นการแก้ปัญหาแบบองค์รวมก็ควรแก้ไขตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบถนน และทางยกระดับ ซึ่งแบ่งแนวทางการแก้ไขออกเป็น 3 แนวทางดังนี้

1. แนวทางแรกใช้หลักการออกแบบ ให้ถนนถ่ายหน่วยแรงสู่ชั้นดินอ่อนให้น้อยที่สุด ทำให้การทรุดตัวที่แตกต่างกันและการพังทลายมีโอกาสเกิดน้อยลง ด้วยแนวทางนี้ทำได้ด้วยการกดทับล่วงหน้า (Pre-loading) หรือเร่งการทรุดตัวด้วยแถบระบายน้ำในแนวดิ่ง (Pre-fabricated Vertical Drains, PVD) เพื่อเพิ่มกำลังของชั้นดินให้มากขึ้น

นอกจากการเพิ่มกำลังของชั้นดินให้มากขึ้นแล้วการเสริมฐานรากของถนนด้วยเสาเข็ม หรือ การเสริม Soil - cement Column ยังใช้ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะทำให้การทรุดตัวบริเวณต่อม่อทางยกระดับและการพังทลายของถนนเกิดน้อยลง ซึ่งหากจำเป็นต้องเลือกแนวทางนี้ในการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวบทความฉบับนี้ขอเสนอใช้การเพิ่มกำลังของชั้นดินด้วยการเสริม Soil - cement Column เพราะเมื่อเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้วใช้ค่าก่อสร้างและบำรุงรักษาต่ำที่สุด [3]

แนวทางนี้อาจบรรเทาปัญหาได้บ้างแต่หากทำการก่อสร้างต้องให้ขอบคันทางไม่ล้ำเข้าไปในขอบฐานรากของทางยกระดับดังแสดงในรูปที่ 3 หรือก่อสร้างฐานรากทางยกระดับให้มีขนาดแคบลง มิเช่นนั้นจะทำให้ถนนที่ล้ำเข้าไปในต่อม่อทรุดตัวน้อยกว่าถนนส่วนอื่นจนเกิดเป็นหลังเต่า

2. วางผังเมืองให้ถนนกับทางยกระดับไม่ให้มีเส้นทางขนานกัน ซึ่งอาจกระทำได้แต่ท้ายที่สุดผังเมืองก็จะถูกความจำเป็นทางด้านเศรษฐศาสตร์บีบให้มีการสร้างทางยกระดับให้มีเส้นทางดังที่กล่าวมา

3. แนวทางที่สองใช้หลักการออกแบบ โดยอาศัยหลักคิดที่ว่าหากโครงสร้างทั้งสองเกี่ยวข้องกันแล้ว ปัญหาการทรุดตัวของโครงสร้างหนึ่งจะไปกระทบกับโครงสร้างที่เหลือ และความเสียหายจะปรากฏ ณ ตำแหน่งรอยต่อของโครงสร้างทั้งสอง ดังนั้น

หากจะหยุดผลกระทบก็จำต้องแยกทั้งถนนและทางยกระดับให้ออกจากกันอย่างเป็นรูปธรรมมิให้พฤติกรรมของโครงสร้างหนึ่งมากระทบต่อโครงสร้างอื่น ซึ่งหมายถึงต้องสร้างธรรมชาติของถนน ณ บริเวณใกล้ต่อม่อใหม่ โดยให้ถนนมีการทรุดตัวเท่า ๆ กันกับพื้นที่บริเวณอื่น ๆ ของถนนเส้นเดียวกันให้ได้ โดยแนวทางที่สามนี้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของถนนบนชั้นดินอ่อนที่อยู่ใต้ทางยกระดับของบตความลบบนนี้

แต่การที่จะให้โครงสร้างถนนทรุดตัวเท่ากันนั้นในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก เพราะทั้งถนนและทางยกระดับอยู่ติดกันจนหน่วยแรงสามารถกระจายถึงกันได้ หากก่อสร้างถนนให้ห่างจากต่อม่อทางยกระดับก็พอจะบรรเทาปัญหานี้ได้แต่การกระทำเช่นนั้นจะเสียค่าใช้จ่ายจากการเวนคืนเพิ่มขึ้น

การกั้นการกระจายหน่วยแรงทำได้โดยใช้โครงสร้างพิเศษกั้น ณ ตำแหน่งรอยต่อของโครงสร้างทั้งสอง ซึ่งอาจจะคล้ายกับกำแพงกันดิน หรือ เข็มพิค เพื่อกันผลกระทบของหน่วยแรงจากถนนที่ถ่ายสู่ชั้นดินอ่อนส่วนบนและความลึกของฐานรากของทางยกระดับและไม่ยอมให้ต่อม่อของทางยกระดับล้ำเข้าไปใต้ถนน (เปรียบเทียบรูปที่ 3 และ 5) ทั้งนี้

อีกทั้งต้องเปลี่ยนระบบของถนนจากโครงสร้างแบบ Flexible Pavement เป็น Rigid Pavement และต้องมีความแข็งแรงพอสมควร เหตุที่ต้องเปลี่ยนโครงสร้างถนนเพื่อให้ถนนสามารถถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีการทรุดตัวใกล้เคียงกันตลอดทั้งหน้าตัดถนน และเมื่อไม่จำเป็นต้องรื้อโครงสร้างถนนเรื่อย ๆ นั้นหมายถึงผู้ออกแบบสามารถพิจารณาผิวถนนที่ให้อายุการใช้งานใกล้เคียงกันกับโครงสร้างถนนได้

รูปที่ 5 เป็นโครงสร้างถนนที่ถูกจำลองภาพขึ้นมาอย่างคร่าว ๆ เพื่ออธิบายหลักการตามแนวทางที่สามนี้ ส่วนรูปที่ 6 แสดงส่วนขยายของ โครงสร้างที่เป็นรอยต่อของถนนและต่อม่อทางยกระดับ จุดสังเกตของประการหนึ่งของรูปที่ 6 ก็คือสารเคลือบกันการเสียดสี เช่น ยางมะตอย หรือน้ำมันที่มีความหนืดสูง

ความจำเป็นของสารเคลือบคือการป้องกันมิให้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงจำพวกทราย ,กรวด หรือดินถมเข้าไปอุดในรอยต่อนั้น วัสดุที่กล่าวมาทำให้เกิดแรงเสียดทานจากการเคลื่อนตัวลงหรือการทรุดตัวของถนนสูงมาก แรงเสียดทานตัวนี้จะกระทำต่อม่อซึ่งเปรียบเสมือนแรงถูครอบต่อม่อให้มันทรุดตัวลงตามถนนด้วย โดยนัยนี้เปรียบเสมือนแรงเสียดทานไปเชื่อมโครงสร้างทั้งสองเข้าด้วยกันโดยปริยาย ซึ่งขัดกับความ

ตั้งใจที่จะแยกโครงสร้างทั้งสองแบบมิให้มีผลกระทบในเชิงวิศวกรรมต่อกัน

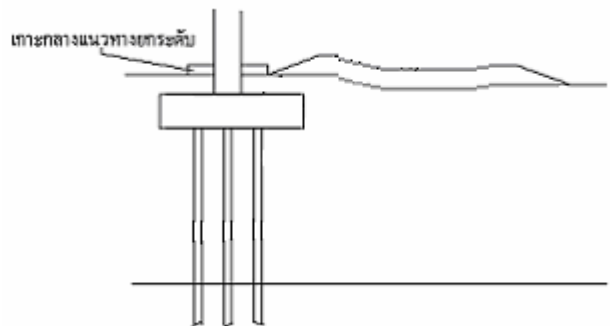
4. ข้อดีและข้อเสียของโครงสร้าง

สำหรับข้อดีเชิงวิศวกรรมได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3 และปัจจุบันได้มีการใช้งานถนนตามรูปแบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 5 นั้นในทางสายเกษตร - นวมินทร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 [4:5] และไม่ปรากฏปัญหาการทรุดตัวใด ๆ หรือปัญหาใด ๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2

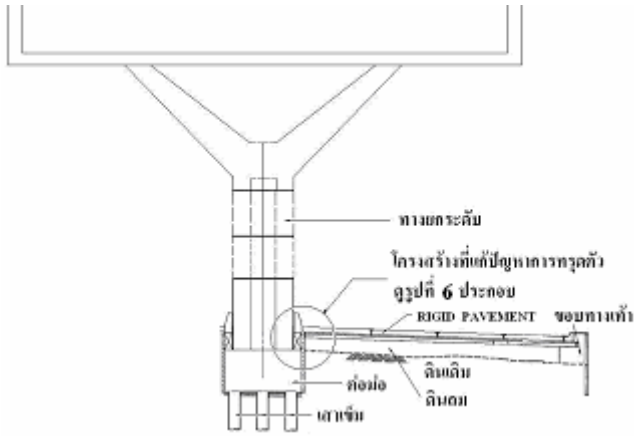
สำหรับข้อเสียในเชิงวิศวกรรมอาจพิจารณาได้จากระยะเวลาและค่าการก่อสร้าง โครงสร้างนี้ใช้ค่าก่อสร้างสูงมากเพราะต้องใช้โครงสร้างทั้งหมดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเวลาก่อสร้างก็คือระยะเวลาที่ให้ถนนคอนกรีตเสริมเหล็กได้กำลังตามมาตรฐานรวมทั้งระยะเวลาก่อสร้างผนังคอนกรีตเสริมเหล็กและรวมระยะเวลาการขุดดินลึกลงไปเพื่อฝังผนังคอนกรีตด้วย

แต่หากรวมค่าซ่อมแซมตามอายุของถนนเข้าร่วมพิจารณาด้วย ก็จะเกิดการพิจารณาอีกลักษณะหนึ่งคือการพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างถนนแบบเดิมกับการก่อสร้างถนนตามรูปที่ 5

โดยมุ่งประเด็นการเปรียบเทียบว่าถนนแบบใดใช้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด การเปรียบเทียบจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อมีการเก็บข้อมูลค่าซ่อมแซมและก่อสร้างถนนใหม่เมื่อสิ้นอายุการใช้งาน ตลอดจนข้อมูลอุบัติเหตุของถนนทั้ง 2 แบบ คำตอบของการพิจารณาในลักษณะนี้จะเป็นตัวตัดสินความคุ้มค่าของโครงสร้างได้ดีที่สุด ซึ่งหากมีโอกาสเจ้าของบตความก็จะขอแนะนำเสนอในโอกาสต่อไป



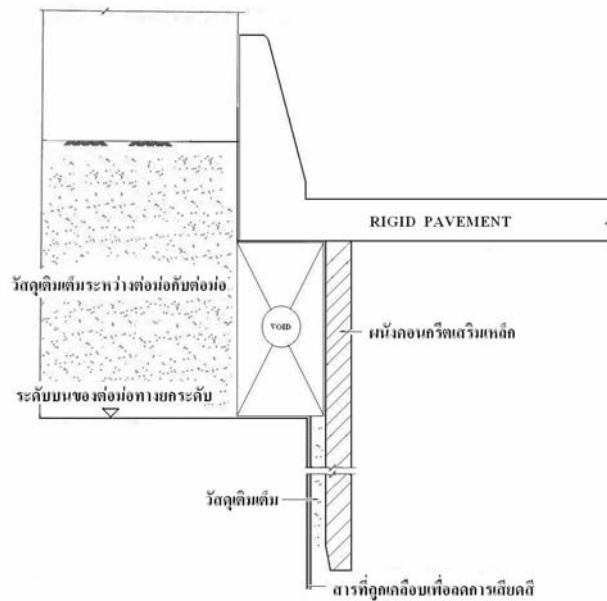
รูปที่ 4 เปรียบเทียบการทรุดตัวตามแนวหน้าตัดถนน



รายงานหลัก, 2540

[5] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, โครงการศึกษา สำรวจออกแบบรายละเอียดและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม ระบบทางด่วนขั้นที่ 3, รายงานฉบับสมบูรณ์-ทบทวน การศึกษาและคัดเลือกแนวเส้นทาง เล่มที่ 6 : แบบรายละเอียดเบื้องต้น, 2540

รูปที่ 5 โครงสร้างถนนที่แก้ปัญหาการทรุดตัวบริเวณทางยกระดับ



รูปที่ 6 ภาพขยายโครงสร้างถนนที่ติดกับบริเวณคอกม่่อทางยกระดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิชาญ กุฬพัฒน์, โครงการศึกษาเพื่อสร้างองค์ความรู้ทฤษฎีขอบเขตความสูงสำหรับออกแบบคันทางบนดินเหนียวอ่อน, ตำราประกอบการเรียนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539
- [2] วิชาญ กุฬพัฒน์, การออกแบบฐานรากบนดินอ่อน, ตำราประกอบการเรียนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536
- [3] อำนวยศักดิ์ ทวีลาภ และ ภัทรารุช วิชพัฒน์, การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อนในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล, โยธาสาร, ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2547
- [4] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, โครงการศึกษา สำรวจออกแบบรายละเอียดและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม ระบบทางด่วนขั้นที่ 3, รายงานฉบับสมบูรณ์-ทบทวน การศึกษาและคัดเลือกแนวเส้นทาง เล่มที่ 1 :