

ผลกระทบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างที่มีต่อสเปกตรัมการตอบสนอง
เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร
Effect of Soil-Structure Interaction on The Response Spectra for
Earthquake Resistant Design in Bangkok

สมัชญ์ จันทรสาขา¹, มงคล จิรวรรณเดช¹

Received: April, 2013; Accepted: October, 2013

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง เพื่อนำมาสร้างกราฟการตอบสนองของสเปกตรัม ใช้ในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในกรุงเทพมหานคร ซึ่งรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินเหนียวอ่อนและโครงสร้าง การศึกษาเริ่มต้นด้วยการศึกษาข้อมูลของดินในกรุงเทพมหานคร แล้วทำการแปลงข้อมูลมาเป็นตัวแปรเชิงปฏิสัมพันธ์สำหรับใช้กับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 10 ชั้น ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากนั้นทำการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์เพื่อหาผลตอบสนองของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโครงสร้างอาคารที่มีฐานรากยึดแน่นกับฐานรากสปริงยืดหยุ่นเชิงเส้น ที่รวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง พบว่าอาคารที่มีฐานรากเป็นสปริงให้ผลการเคลื่อนที่ของอาคาร แรงเฉือนและค่าโมเมนต์การพลิกคว่ำของอาคารมากกว่าการพิจารณาอาคารที่มีฐานรากแบบยึดแน่น

คำสำคัญ : ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง , สเปกตรัม, แผ่นดินไหว

¹ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
E - mail : agawin_8@hotmail.com

Abstract

The objection of this article was to study effect of soil-structure interaction on the response spectrum for earthquake resistant design in Bangkok. A 10-storeys reinforced concrete building was selected in this study. The building was modeled as slab-column frame located in Bangkok area where the site condition is soft clay, and it has not been designed for earthquake effect. In this study, nonlinear dynamic analysis was employed. The foundation was modeled as flexible foundation and fixed foundation. The results are compared with the fixed-base condition to demonstrate the effects of soil-structure interaction. It was found that the effect seismic of building with flexible foundation was more than that of building with fixed foundation

Keywords : Earthquake, Response Spectrum ,Soil-Structure Interaction

บทนำ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยสามารถตรวจพบแรงสั่นสะเทือนที่รู้สึกได้จากแผ่นดินไหวที่เกิดตามแนวรอยเลื่อนที่ทางไกลขึ้นหลายครั้ง ผลสำรวจทางธรณีวิทยาพบว่าประเทศไทยมีรอยเลื่อน มีพลังที่สามารถให้กำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ถึง 7 รอยเลื่อน ตามพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันตก ซึ่งสามารถส่งผ่านพลังงานมายังกรุงเทพมหานครได้ แผ่นดินไหวมีผลต่อโครงสร้างในลักษณะที่แตกต่างจากแรงอื่นๆ เช่น แรงลมแรงที่เกิดขึ้นในองค์อาคารจากแผ่นดินไหวเป็นผลจากการที่ฐานของอาคารถูกเคลื่อนตัวออกไป แต่มวลเฉื่อยของอาคารทำให้ส่วนต่างๆ ของอาคารไม่เคลื่อนตัวไปพร้อมกับฐานทันที ผลทำให้เกิดการเสียรูปในองค์อาคารต่างๆ

ดังนั้น บทความนี้ได้ศึกษาผลการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว มีผลกระทบต่ออาคารสูง ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ร่วมกับการพิจารณาถึงผลการเคลื่อนที่ของฐานรากของโครงสร้าง ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์กันกับดินอ่อนที่โครงสร้างนั้นตั้งอยู่ร่วมวิเคราะห์ด้วย การวิเคราะห์ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างในงานฐานรากเข้มนั้นค่อนข้างจะมีความซับซ้อนกว่าฐานรากตื้น การวิเคราะห์จึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้สปริงแทนดิน วิเคราะห์โครงสร้างเสาเข็มที่แทนด้วยสปริงมีข้อดีคือ สามารถประยุกต์ใช้กับสภาพดินหลายๆ ชั้นได้ แบบจำลองอาคารที่ใช้เป็นแบบจำลองโครงสร้างสมมุติสูง 10 ชั้นระบบพื้น-เสา และจำลองดินเป็นสปริงแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น ทำการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของโครงสร้าง เนื่องจากผลของแผ่นดินไหวแบบสเปกตรัม แล้วนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับระหว่างฐานรากแบบยึดแน่นและฐานรากแบบสปริงยืดหยุ่นเชิงเส้น ที่รวมผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง เปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวของอาคาร แรงเฉือนในอาคาร และโมเมนต์การพลิกคว่ำของอาคาร เพื่อให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

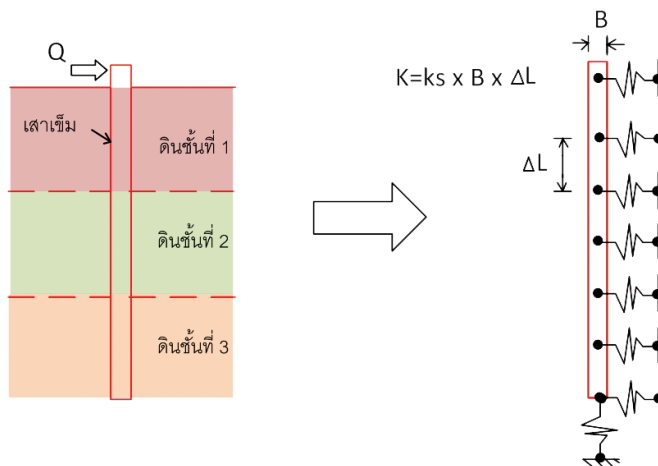
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยทางด้านแผ่นดินไหวในดินเหนียวอ่อนที่ผ่านมา ยังไม่ได้คำนึงถึงผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง เพราะคิดว่าทำให้การสั่นไหวของอาคารลดลง งานวิจัยใหม่อาทิ (วัชรพล และมงคล, 2549; สิริกร, 2552; M. Watherspoon, 2009) ชี้ให้เห็นว่าคลื่นแผ่นดินไหวในดินเหนียวอ่อนซึ่งมีคาบยาวขึ้น อาจทำให้เกิดการสั่นพ้องหรือการตอบสนองมากขึ้น โครงสร้างมีผลต่อการตอบสนองของโครงสร้างอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวในรูปของความถี่ธรรมชาติ การเคลื่อนตัวด้านข้าง แรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง กำลังรับแรงเฉือน และกำลังรับแรงโมเมนต์ของการพลิกคว่ำอาคาร ซึ่งมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ คุณสมบัติของดิน เสาค้ำและฐานรากข้อมูลเหล่านี้ มีความจำเป็นเพื่อใช้ในการพิจารณาผลของความยืดหยุ่นของฐานราก

แบบจำลองฐานราก

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลแบบรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง

การวิเคราะห์ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง โดยใช้แบบจำลองดินเป็นสปริงแบบยืดหยุ่น และสมมติให้ฐานรากของโครงสร้างมีคุณสมบัติเป็นวัตถุแข็งเกร็ง ซึ่งวางบนผิวของดินที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น โดยดินและฐานรากสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวราบเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำ

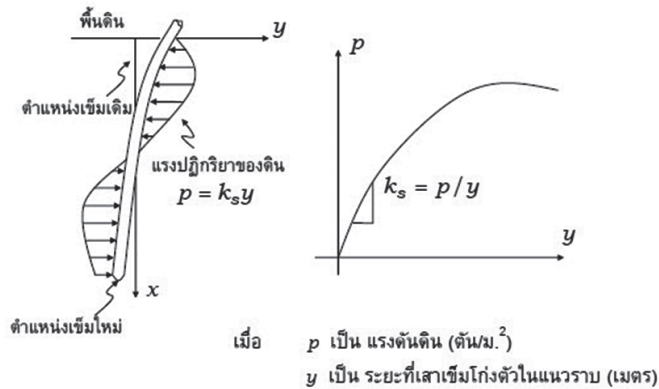


รูปที่ 1 แบบจำลองสปริงแทนชั้นดิน

ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสาค้ำในกรณีที่ต้องรับแรงในแนวราบ คือ ค่าสตีเฟเนสของสปริงที่แทนดินเรียกว่า ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน (Modulus of horizontal subgrade reaction) k_s มีหน่วยเป็นแรง/ปริมาตร เมื่อทราบค่า k_s จะสามารถคำนวณสตีเฟเนสของสปริงของดินได้ดังนี้

$$K = k_s \times B \times \Delta L \quad (1)$$

- K_s คือ ค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน
 B คือ ความกว้างของเสาเข็ม
 ΔL คือ ระยะเรียงของสปริง

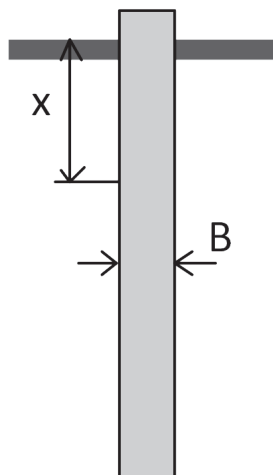


รูปที่ 2 การคำนวณค่าโมดูลัสต้านทานแรงแนวราบของดิน (p-y curve)

ดังนั้นค่า k_s คือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันดินด้านข้างกับระยะที่เสาเข็มโก่งตัวในแนวราบ (p-y curve)

Terzaghi, K (1995) ได้เสนอการคำนวณ k_s สำหรับดินทรายซึ่งมีค่า k_s แปรตามความลึกของชั้นดิน โดยนิยามค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงกดแนวราบ (constant of horizontal subgrade reaction) หรือ n_h โดยพิจารณาที่ความลึกที่จุดต่างๆ (x) และความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม (B)

$$k_s = \frac{n_h x}{B} \quad (2)$$



รูปที่ 3 แบบจำลองสปริงแทนชั้นดิน (Terzaghi)

ในทำนองเดียวกันสำหรับดินเหนียวค่า k_s จะคงที่ตลอดชั้นดิน โดย Davisson, M.T (Davisson, M.T., 1990) ได้เสนอการหาค่าสติฟเนสในส่วนนี้ โดยคิดจากกำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

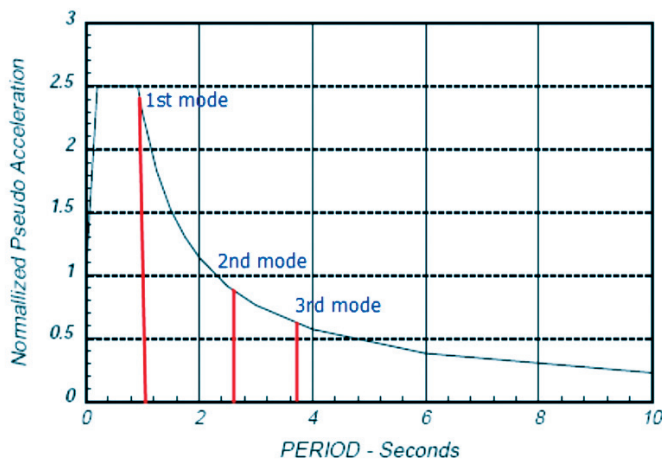
$$k_s = 67 \frac{S_u}{B} \quad (3)$$

ในกรณีที่มิเสาะเข็มมากกว่า 1 ต้น อยู่ในฐานเดียวกันหากเสาะเข็มในฐานเรียงชิดกันเกินไป กำลังของเสาะเข็มแต่ละต้นที่คำนวณได้จะมีกำลังที่ลดลง แต่ถ้าหากระยะเรียงของเสาะเข็มแต่ละต้นมีค่ามากพอประมาณ 6 - 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง เสาะเข็มก็จะรักษากำลังแบบเสาะเดี่ยวไว้ได้

ในส่วนการคำนวณหาค่าสติฟเนสในแนวดิ่ง ค่ารวมได้จากการใช้วิชากลศาสตร์วัสดุในการวิเคราะห์

การออกแบบสเปกตรัม

เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว อาคารต่างๆ จะมีการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนแตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือ คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร และปัจจัยประกอบอื่นๆ ดังนั้นผลตอบสนองของอาคารจึงแสดงในรูปของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามคาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงการออกแบบสเปกตรัม

การออกแบบสเปกตรัมเป็นแผนภูมิที่ได้จากการลากเส้นตีกรอบรอบผลวิเคราะห์โดยเฉลี่ยของแผ่นดินไหวจำนวนมาก เพื่อใช้ในการออกแบบ เมื่อนำมาใช้ประกอบกับโหมดการสั่นไหวของโครงสร้างจะมีลักษณะดังรูปที่ 5 จากนั้นจะนำผลตอบสนองของแต่ละโหมดมารวมกัน

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยพ.1302., 2552) กำหนดไว้ พิจารณาที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_s) และคาบการสั่น 1 วินาที (S_1) ได้มาจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยสมมติให้สภาพชั้นดินในทุกๆ พื้นที่เป็นแบบดินแข็งหรือหินที่มีความเร็วคลื่นเฉือนโดยเฉลี่ยในช่วง จากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร เท่ากับ 760 เมตรต่อวินาที

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (4)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (5)$$

เมื่อ

S_{MS} คือ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที

S_{M1} คือ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 1 วินาที

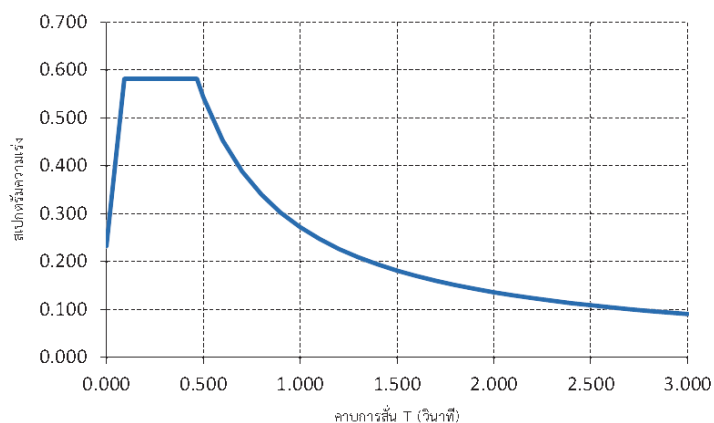
F_a คือ สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ต้องการสำหรับคาบการสั่น 0.2 วินาที

S_s คือ สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ต้องการสำหรับคาบการสั่น 1 วินาที

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_{DS}) และที่คาบการสั่น 1 วินาที (S_{D1})

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (6)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (7)$$

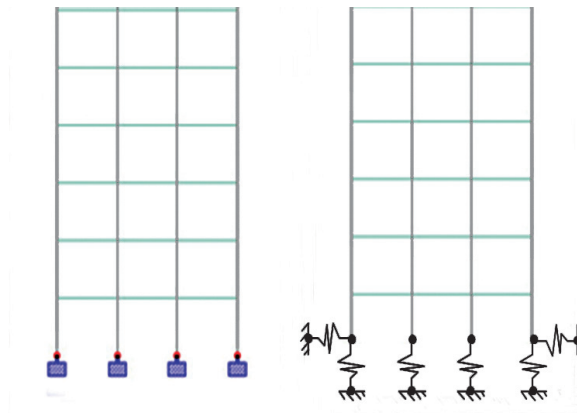


รูปที่ 5 กราฟการตอบสนองของสเปกตรัมที่ใช้ในแบบจำลอง (มยพ.1302)

ระเบียบวิธีการวิจัย

รายละเอียดอาคารที่ใช้ในการศึกษา

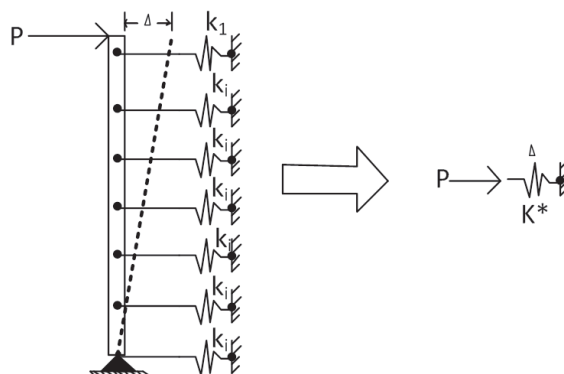
การศึกษาวิเคราะห์ที่ใช้แบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 10 ชั้น เป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติ แบบพื้น-เสา ฐานรากวางบนดินเหนียวอ่อนที่มีการตอบสนองของโครงสร้างทางด้านข้างและแนวตั้ง ซึ่งพิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างที่อยู่บนดิน โดยที่จุดรองรับของโครงสร้างจำลองให้เป็นสปริงแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นทางแกน x และ y แต่ในกรณีแบบจำลองที่ไม่พิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง จะไม่นำแบบจำลองเป็นสปริงที่จุดรองรับมาพิจารณา รวมโดยใช้ฐานรากของโครงสร้างนั้นเป็นจุดรองรับแบบยึดแน่น



รูปที่ 6 ตัวอย่างอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์

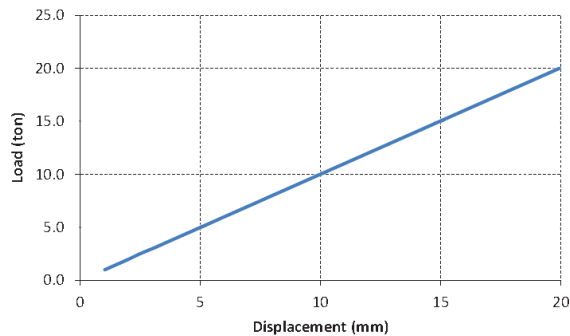
การวิเคราะห์เสาเข็ม

กำหนดให้อาคารในแบบจำลองตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียวในเขตกรุงเทพมหานคร ให้เสาเข็มมีความลึก 20 เมตร จากรูปที่ 7 ของแบบจำลองสปริง ทำการใส่แรงกระทำบนหัวเสาเข็มในแนวด้านข้าง เพิ่มแรงกระทำบนหัวเสาเข็มไปเรื่อยๆ เพื่อหาค่าการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม



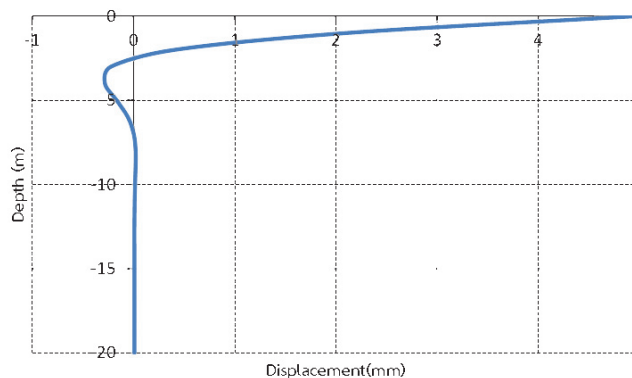
รูปที่ 7 รูปการจำลองชั้นดินสปริงกลุ่มเป็นชั้นดินสปริงเดี่ยว

จำลองดินเป็นสปริงยึดหยุ่นเชิงเส้น โดยใช้สมการที่ (1) สปริงแต่ละตัวอยู่ห่างกัน 1 เมตร ทำการใส่แรงด้านข้าง P ที่ค่าต่างๆ เพื่อหาค่าการเคลื่อนตัวของบริเวณหัวเสาเข็ม (Δ) นำค่า P - Δ มาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 8



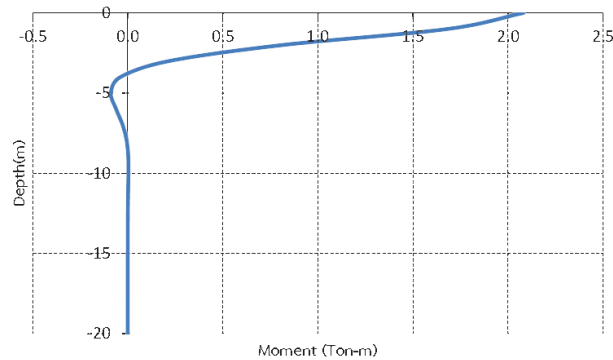
รูปที่ 8 กราฟการเคลื่อนตัวของบริเวณหัวเสาเข็มเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างบริเวณหัวเสาเข็ม

จากรูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างต่อระยะเสาเข็มที่โก่งตัวในแนวด้านข้าง ได้กราฟเส้นตรง ความชันของกราฟที่ได้คือ ค่าสติเฟนเนสของสปริงตัวเดียวที่เกิดจากการรวมสปริงหลายๆ ตัว จากรูปที่ 7



รูปที่ 9 กราฟการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม (แรง 5 ตัน)

การเคลื่อนตัวของเสาเข็มเมื่อทำการยึดบริเวณปลายเสาเข็มเป็นจุดรองรับมีแรงกระทำด้านข้าง บริเวณหัวเสาเข็ม ทำให้บริเวณนี้มีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณส่วนอื่น



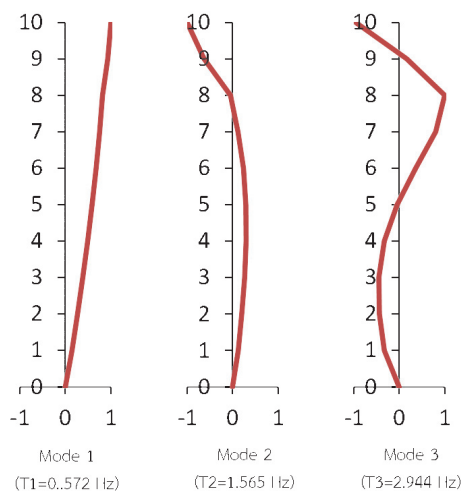
รูปที่ 10 ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม (แรง 5 ตัน)

รูปที่ 10 แรงโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในเสาเข็มมีค่ามากที่สุดบริเวณหัวเสา เพราะฉะนั้นหากต้องการจะออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหวควรพิจารณาบริเวณหัวเสาเข็มให้มาก

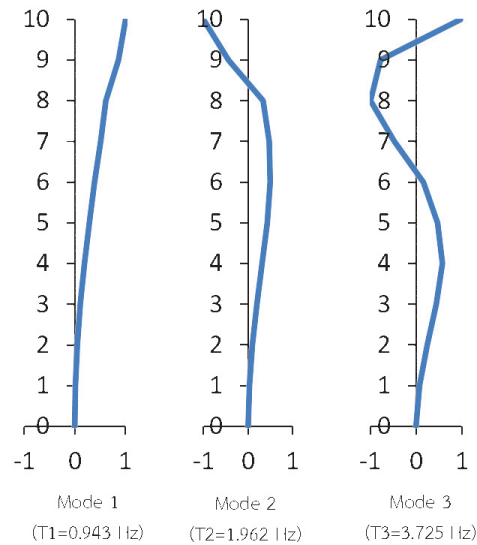
ผลการศึกษา

รูปร่างการสั่นไหวของอาคาร

รูปร่างการสั่นไหวตามธรรมชาติในแต่ละโหมดของโครงสร้างอาคาร (Modal Shape) แสดงรูปทรงการเคลื่อนไหวของระบบฐานรากและโครงสร้างของแต่ละอาคาร ที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่นและจุดรองรับสปริงแบบยืดหยุ่นรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง



รูปที่ 11 รูปร่างการสั่นไหวในโหมดต่าง ๆ ของการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่น

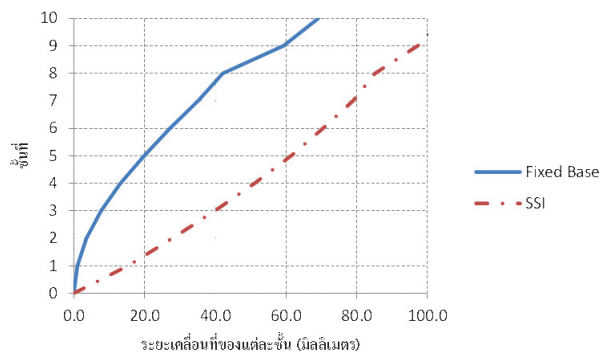


รูปที่ 12 รูปร่างการสั่นไหวในโหมดต่างๆของการวิเคราะห์โครงสร้างที่รวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์รูปร่างการสั่นไหวในโหมดต่างๆ เนื่องจากแรงพลศาสตร์ที่มากกระทำต่ออาคารพบว่า อาคารมีการสั่นไหวในรูปแบบต่างๆ ที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับความถี่ธรรมชาติมากหรือน้อย โดยอาคารที่มีฐานรากสปริงแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น มีความถี่ธรรมชาติมากกว่าฐานรากที่เป็นแบบยึดแน่น

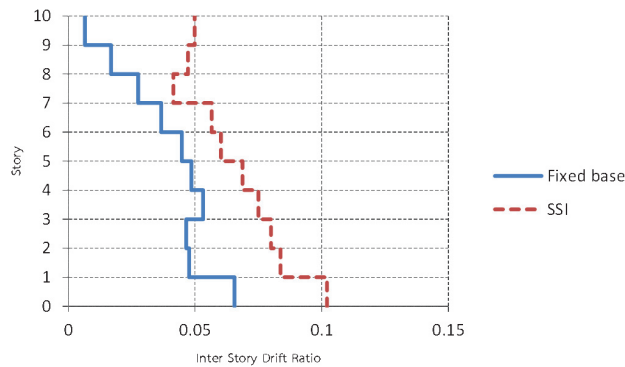
การเคลื่อนที่ของโครงสร้าง

ระยะการเคลื่อนที่ของแต่ละชั้น (floor level displacement) จากผลของแผ่นดินไหวที่มากกระทำพบว่า โครงสร้างอาคารที่มีฐานรากเป็นสปริงแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง มีการเคลื่อนที่ของอาคารโดยเฉลี่ยในแต่ละชั้นมากกว่าการวิเคราะห์แบบให้ฐานรากอาคารเป็นแบบยึดแน่น



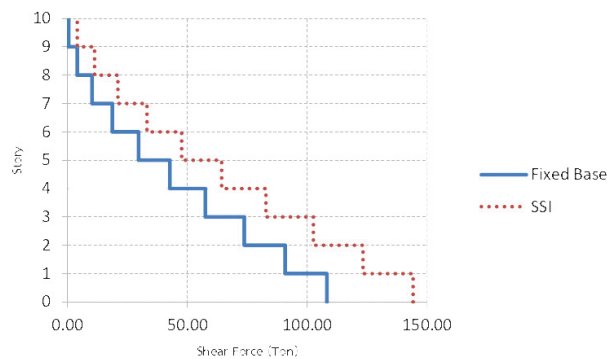
รูปที่ 13 ระยะการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น

โครงสร้างที่พิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง มีค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างมากกว่าโครงสร้างที่ใช้ฐานรากแบบยึดแน่น โดยสังเกตได้จากชั้นบนสุดของอาคาร



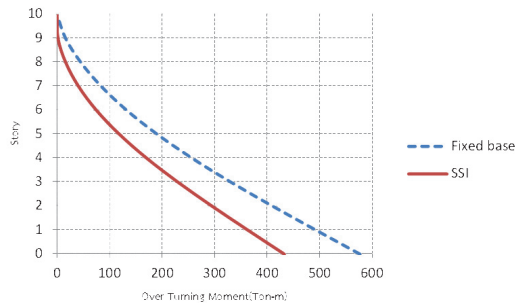
รูปที่ 14 ดัชนีการเคลื่อนที่ระหว่างชั้น (%)

เมื่อพิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างในอาคารแบบจำลองคอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ชั้น อาคารมีการเคลื่อนตัวมากกว่าอาคารที่ไม่ได้คิดผลนี้ เนื่องจากบริเวณฐานรากของอาคารคิดผลของดิน



รูปที่ 15 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นพบว่า แรงเฉือนเกิดมากที่สุดบริเวณชั้นล่างของอาคาร โดยอาคารที่ฐานรากเป็นสปริงแบบยึดหยุ่นเชิงเส้นรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง มีแรงเกิดขึ้นมากกว่าฐานรากแบบยึดแน่น



รูปที่ 16 Over Turning Moment

ค่าโมเมนต์ของการพลิกคว่ำของฐานรากแบบสปริงยืดหยุ่นเชิงเส้นที่รวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง มีค่ามากกว่าฐานรากแบบยึดแน่น เมื่อเอาค่ามาคิดหาสัดส่วนความปลอดภัยได้ 1.8 ซึ่งมากกว่า 1.5 สามารถใช้ได้ แต่วิศวกรที่นำไปออกแบบควรมีความละเอียดในส่วนนี้ให้มาก

บทสรุป

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างอาคารสูง เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีการตอบสนองของสเปกตรัม พบว่าเมื่อพิจารณาโครงสร้างที่มีฐานรากจำลองสปริงยืดหยุ่นเชิงเส้นรวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างเข้าไป ให้ผลการเคลื่อนที่ของอาคาร แรงเฉือนและค่าโมเมนต์การพลิกคว่ำของอาคารมากกว่าการพิจารณาแบบให้โครงสร้างมีฐานรากแบบยึดแน่น

อาคารที่คิดผลของดินมีการเคลื่อนตัวมากกว่าอาคารที่ไม่คิดผลของดิน เนื่องจาก เมื่อแรงแผ่นดินไหวที่ส่งผ่านมาจะทำให้ฐานรากของอาคารเคลื่อนตัวไปด้วย เมื่อฐานรากของอาคารเคลื่อนตัวอาคารที่ตั้งอยู่ส่วนบนจึงเกิดการเคลื่อนตัวตามมากกว่าฐานรากที่ยึดแน่นไว้

ดังนั้นจากผลการศึกษานี้ แสดงว่าการวิเคราะห์แรงจากแผ่นดินไหวที่มากกระทำกับโครงสร้างอาคารสูง ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียวอ่อน โดยเฉพาะเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ควรจะพิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างอาคารร่วมด้วย เพราะผลการวิเคราะห์ที่ออกมาพบว่าอาคารมีการโยกตัวมากกว่าที่วิเคราะห์แบบให้ฐานรากยึดแน่น ทำให้อาคารมีประสิทธิภาพในการต้านทานแผ่นดินไหวที่มากกระทำลดลงจากที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอาจส่งผลให้อาคารสูงที่ไม่ได้พิจารณาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างนั้นเกิดความเสียหายหรืออาจพังทลายลงได้

กิตติกรรมประกาศ

บทความเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้ของอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ท่านอาจารย์มงคล จิรวัชรเดช และอาจารย์ในสาขาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ชี้แนะในการศึกษาค้นคว้า แนะนำขั้นตอนและวิธีจัดทำบทความจนสำเร็จลงด้วยดี กระผมจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน และสมาชิกในกลุ่มที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำโครงการครั้งนี้จนกระทั่งประสบความสำเร็จด้วยดี

บรรณานุกรม

- ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. (2543). กฎกระทรวงฉบับที่ 49 กับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา แห่งชาติครั้งที่ 6. หน้า STR 174-185
- มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยพ.1302. (2552). กรมโยธาธิการ และผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.
- วัชรพล เบ้าเจริญ และมงคล จิรวชิรเดช. (2549). ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างสำหรับการออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร NCCE11. จังหวัดภูเก็ต
- อมร พิมานมาศ, ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด และปรีดา ไชยมหาวัน. (2552) การออกแบบฐานรากเสาเข็มรับแรงแผ่นดินไหว.
- Liam M. Watherspoon. (2009). Integrated Modeling of Structure-Foundation Systems. Department of Civil and Environmental Engineering, the University of Auckland.
- Terzaghi, K. (1995). Evaluation of Coefficient of Subgrade Reaction. Geotechnique. 5(4). pp 297-326.
- Davisson, M.T. (1990). BRD Vibratory Driving Formula. Foudation Facts. Vol. VI, No 1. pp 9-11.