บทที่ 5
การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม (ต่อ)
(การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน)

5.1 บทนำ

การวิเคราะห์ปัญหากรณี LSC จะพิจารณาให้มีการเปลี่ยนแปลงพิกัดโครงข่ายของชิ้นส่วนภายหลังจากเสร็จสิ้นการคำนวณในแต่ละวงรอบของการเพิ่มค่าทรุดตัว (Update Mesh) เนื่องจากสมมติให้ปริมาตรของมวลดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้จะมีการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละชิ้นส่วน เพื่อไม่ให้มีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมให้ และทำการลดขนาดชิ้นส่วนให้มีขนาดเล็กลง รวมทั้งปรับปรุงโครงข่ายชิ้นส่วนขึ้นใหม่ เพื่อให้ได้โครงข่ายชิ้นส่วนที่มีความเหมาะสมสำหรับคำนวณในวงรอบต่อ ๆ ไป สำหรับรายละเอียดต่าง ๆ ในบทนี้จะแสดงถึงตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดินในลักษณะต่าง ๆ อาทิเช่น การวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่อง (Plane Strain Problem) การวิเคราะห์ปัญหาฐานรากวงกลม (Axisymmetric Problem) การวิเคราะห์ปัญหามวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non Homogeneous) การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างวิธี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) เป็นต้น

5.2 ขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดิน

การวิเคราะห์ปัญหามวลดิน ที่ขนาดความกว้างฐานรองรับ B = 2 เมตร โดยโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์เพียงครึ่งหนึ่งของขนาดความกว้างฐานรองรับ B' = 1 เมตร และกำหนดให้ขอบเขตของปัญหา มีความกว้าง 20 เมตร และความลึก 20 เมตร สำหรับปัญหาที่มีค่าอัตราส่วน D/B ไม่เกิน 1 และกำหนดให้มีความกว้าง 20 เมตร และความลึก 25 เมตร สำหรับปัญหาที่มีค่าอัตราส่วน D/B มากกว่า 1 แต่ไม่เกิน 4 และกำหนดให้มีความกว้าง 20 เมตร และความลึก 30 เมตร สำหรับปัญหาที่มีค่าอัตราส่วน D/B มากกว่า 4 ขึ้นไป การเพิ่มอัตราการทรุดตัวของฐานรองรับ $\Delta S/B$ = 0.0005 ดังนั้นค่าการทรุดตัว ΔS เท่ากับ 0.001 เมตรต่อรอบ

คุณสมบัติของมวลดิน : ค่าความเชื่อมแน่นของดิน S_u = 1 kN/m^2, มุมเสียดทานภายในของดิน ϕ และ Dilation angle ψ เท่ากับ 0, ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น E = 500 kN/m^2, ค่าอัตราส่วนปัวซอง ν = 0.495 และ ค่า k_0 = 1 สำหรับค่าคุณสมบัติของมวลดินที่ใช้ในตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ได้ทำการสรุปไว้ในตารางที่ 5.1

การกำหนดขอบเขตของปัญหาภายในแบบจำลองของมวลดิน จะมีผลกระทบต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของมวลดินภายใต้ฐานรองรับ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ค่าขอบเขตที่ความกว้างและความลึกมากเพียงพอ สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาของมวลดิน ทั้งที่เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่เป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด ภายในแบบจำลองของปัญหา

5.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน

การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (LSC) หรือ หลักการของทฤษฎีความเครียดมาก จะหมายถึง การวิเคราะห์ปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงพิกัดโครงข่ายของชิ้นส่วนในแต่ละวงรอบของการเพิ่มค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ อันเนื่องมาจากการพิจารณาให้ปริมาตรของมวลดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา พร้อมทั้งการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน และทำการถ่ายโอนค่าตัวแปรสถานะทุกครั้งภายหลังจากการปรับปรุงขนาดของชิ้นส่วนขึ้นใหม่

5.3.1 **ตัวอย่างที่** 1 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) เริ่มต้นที่ S/B = 0 เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Small Strain (SSC) ที่ค่า D/B ต่าง ๆ โดยกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2 และกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน , γ =17 kN/m^3 ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหา โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve และความสัมพันธ์ระหว่าง Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง โดยสำหรับกรณี LSC จะเริ่มทำการวิเคราะห์ผล โดยให้ค่าการทรุดตัวของฐานรองรับเริ่มต้นที่ค่า S/B=0 หรือบริเวณตำแหน่งผิวดิน และให้สิ้นสุดที่ค่า S/B=1.0 จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์จากกรณี SSC ที่มีค่าอัตราส่วน D/B เท่ากับ 0, 0.075, 0.125, 0.175, 0.25, 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าผลเฉลยระหว่างกรณี LSC และ SSC ที่มีค่า S/B และ D/B เท่ากัน พบว่าเมื่อค่า S/B และ D/B มีค่าเท่ากับ 0.075, 0.125 และ 0.175 ค่าผลเฉลย, Nc จากกรณี LSC และ SSC จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อค่า S/B และ D/B มีค่ามากกว่า 0.175 ขึ้นไป ค่าผลเฉลย, Nc ที่ได้จากกรณี LSC จะให้ค่าที่สูงกว่ากรณี SSC และเมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nc จากกรณี LSC และ SSC พบว่ากราฟมีลักษณะเบนออกจากแนวแกนเชิงเส้น เมื่อค่า SR > 0.175 ขึ้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลต่างของค่า Nc จะยิ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อมวลดินจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี LSC มีการทรุดตัวเพิ่มขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ อาจสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (LSC) จะพิจารณาให้ปริมาตรของมวลดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อฐานรากมีการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้น ก็จะไปแทรกเนื้อที่มวลดินบริเวณใต้ฐานราก และมวลดินบางส่วนก็จะถูกดันขึ้นเหนือผิวดินในลักษณะนูนปูดออกมาก (Soil Heave) ซึ่งจากลักษณะดังกล่าว สำหรับกรณีที่ค่า S/B มีค่าน้อยกว่า 0.175 การเกิด Soil Heave ยังพบว่ามีในปริมาณน้อย หรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย ดังนั้นผลเฉลยที่ได้จากทั้งกรณี SSC และ LSC จึงยังให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อค่า S/B มีค่ามากกว่า 0.175 ขึ้นไป จะพบว่าการเกิด Soil Heave จะเริ่มมีมากขึ้น และแสดงการนูนปูดของมวลดินอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นผลเฉลยที่ได้จากกรณี LSC จึงให้ค่าที่มากกว่ากรณี SSC นอกจากนี้ผลต่างของค่าผลเฉลยดังกล่าวยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในรูปเชิงเส้นเมื่อ S/B มีค่ามากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิด Soil Heave ที่เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

รูปลักษณะการเกิด Soil Heave ของมวลดินสำหรับปัญหาการแทรกในรูปแบบต่าง ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ข

5.3.2 **ตัวอย่างที่** 2 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) สำหรับค่าอัตราส่วน D/B เท่ากับ 0, 3 และ 5 โดยกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหาและคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2 และกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน , γ =17 kN/m^3 ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหา โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) เมื่อ D/B=0, D/B=3 และ D/B=5 ตามลำดับ จากทั้ง 3 กรณีพบว่าค่าผลเฉลย $F_{nct}/(B.S_u)$ ที่คำนวณได้จะไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ เหมือนกรณี SSC แต่จะให้ค่าที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะความลึกของฐานรากที่จมลงดิน (S/B) ซึ่งมีผลมาจากมวลดินด้านนอกที่อยู่ติดกับขอบของฐานรากเกิดการยกตัวเหนือผิวดิน (Soil Heave) อยู่อย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 5.3–รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=0, D/B=3 และ D/B=5 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ พบว่าผลต่างของค่า Bearing Capacity ดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในรูปแบบเชิงเส้น เมื่อ S/B มีค่ามากขึ้น และเมื่อนำกราฟแสดงค่าผลต่างของค่า Bearing Capacity ที่ค่าอัตราส่วน D/B=0, 3 และ 5 มาหาความสัมพันธ์ โดยเขียนให้อยู่ในรูปของตัวแปร S/B และ D/B จะสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta\frac{F_{nct}}{B.S_u} = \left(\frac{F_{nct}}{B.S_u}\right)_{LSC} - \left(\frac{F_{nct}}{B.S_u}\right)_{SSC} \qquad \text{..... (5.1)}$$

$$\Delta\frac{F_{nct}}{B.S_u} = \frac{S}{B}\left[0.1367\left(\frac{D}{B}\right)^{1.763} - 0.0233\left(\frac{D}{B}\right) + \pi\right] \quad \text{..... (5.2)}$$

โดยที่ $\Delta\frac{F_{nct}}{B.S_u}$ คือ ค่าผลต่างของค่า $F_{nct} / B.S_u$ ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง

จากค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานราก $F_{nct} / B.S_u$ สำหรับกรณี SSC ที่แสดงไว้ในสมการที่ 4.1 ในบทที่ 4 ดังนั้นสามารถหาค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานราก $F_{nct} / B.S_u$ สำหรับกรณี LSC ได้จากสมการที่ 5.1 ดังนี้

$$\left(\frac{F_{nct}}{B.S_u}\right)_{LSC} = \left(\frac{F_{nct}}{B.S_u}\right)_{SSC} + \Delta\frac{F_{nct}}{B.S_u} \quad \text{..... (5.3)}$$

$$\left(\frac{F_{nct}}{B.S_u}\right)_{LSC} = (2+\pi)\left(1 + k * Tan^{-1}(D/B)\right) + \frac{S}{B}\left[0.1367\left(\frac{D}{B}\right)^{1.763} - 0.0233\left(\frac{D}{B}\right) + \pi\right] \quad \text{..... (5.4)}$$

ค่าคงที่ k แสดงไว้ดังสมการที่ 4.2 ในบทที่ 4

รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้น สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain กับผลการวิเคราะห์ที่ได้

5.3.3 **ตัวอย่างที่** 3 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) ที่ค่า D/B = 0 เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักสุทธิของฐานราก ระหว่างการวิเคราะห์โดยใช้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน γ =0 kN/m^3 และ γ =17 kN/m^3 ตามลำดับ และกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2 จากรูปที่ 5.7 และ 5.8 แสดงผลของ Unit Weight ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักสุทธิของฐานรากต่อเนื่องกรณี 6 จุดต่อ และ15 จุดต่อตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่ากำลังรับน้ำหนักสุทธิ, q_{net} สำหรับกรณี γ =0 kN/m^3 และ γ =17 kN/m^3 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี Small Strain แต่ค่าผลเฉลย $F_{nct} / (B.S_u)$ ที่คำนวณได้จะไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และจะให้ค่าที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะความลึกของฐานรากที่จมลงดิน (S/B) เนื่องจากมวลดินเกิดการยกตัวเหนือผิวดิน (Soil Heave) อยู่อย่างต่อเนื่อง

การคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักรวมของมวลดิน q_u สำหรับปัญหา Large Strain สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$q_u = q_{nct} + \gamma Z \qquad \text{..... (5.5)}$$

โดยที่ q_{nct} คือ ค่ากำลังรับน้ำหนักสุทธิของมวลดิน

Z คือ ค่าระยะการทรุดตัวของฐานราก วัดจากผิวดิน

จากผลการวิเคราะห์ปัญหาสำหรับ กรณี γ =17 kN/m^3 ค่ากำลังรับน้ำหนักสุทธิของมวลดินq_{net} อ่านค่าได้จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8 และเมื่ออ่านค่า γZ จากแฟ้มข้อมูล "Initial body forces" (ค่าγZ ที่อ่านได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการวิเคราะห์ปัญหากรณี LSC จะมีการทรุดตัวของฐานรากอย่างต่อเนื่อง) ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักรวมของมวลดิน q_u ได้จากสมการที่ 5.5 ดังกล่าว ส่วนกรณี γ =0 kN/m^3 ค่ากำลังรับน้ำหนักรวมของมวลดินจะมีค่าเท่ากับกำลังรับน้ำหนักสุทธิของมวลดิน เนื่องจากค่า γZ มีค่าเท่ากับ 0 kN/m^3

5.3.4 **ตัวอย่างที่** 4 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) ที่ค่าอัตราส่วน D/B=0 สำหรับปัญหาของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งระบบ (Non-Homogeneous) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Small Strain (SSC) โดยกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2 ยกเว้นค่าความเชื่อมแน่นของดิน S_u และค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นE ที่กำหนดให้มีค่า เท่ากับ 1 kN/m^2 และ 500 kN/m^2 ตามลำดับ ที่บริเวณผิวดิน และให้มีค่าเพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้นไปตามความลึกของดิน และกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน , γ =17 kN/m^3 ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหา โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

รูปที่ 5.9-รูปที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบ กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 0.5, 1, 2, 4, 8 และ 16 ผลการวิเคราะห์ที่ได้ สำหรับกรณี SSC จะให้ค่าผลเฉลย, F_{nct}/B ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 5.70, 5.99, 6.64, 7.76, 9.68 และ 12.99 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสอบถาม ผศ.ดร.บุญชัย อุกฤษฎชน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ส่วนกรณี LSC พบว่าค่าผลเฉลยที่ได้จะไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามค่าการทรุดตัวของฐานราก

รูปที่ 5.15-รูปที่ 5.17 แสดงผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 0.5, 1, 2, 4, 8 และ 16 จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ พบว่าผลต่างของค่า Bearing Capacity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้น เมื่อ S/B มีค่ามากขึ้น และเมื่อนำกราฟทั้งหมดสำหรับทุก ๆ ค่า $(\rho.B)/Su_0$ มาหาความสัมพันธ์ โดยเขียนให้อยู่ในรูปของตัวแปร S/B และ $(\rho.B)/Su_0$ จะสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta\frac{F_{nct}}{B.} = \left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{LSC} - \left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{SSC} \quad \text{..... (5.6)}$$

$$\Delta\frac{F_{nct}}{B.} = 20.9847\left(\frac{S}{B}\right)\left(\frac{\rho B}{Su_0}\right)^{0.9715} \quad \text{..... (5.7)}$$

โดยที่ $\Delta\frac{F_{nct}}{B.}$ คือ ค่าผลต่างของค่า F_{nct}/B ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง

จากค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานราก F_{nct}/B สำหรับกรณี SSC ที่แสดงไว้ในสมการที่ 4.6 ในบทที่ 4 ดังนั้นสามารถหาค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานราก F_{nct}/B สำหรับกรณี LSC ได้จากสมการที่ 5.6 ดังนี้

$$\left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{LSC} = \left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{SSC} + \Delta\frac{F_{nct}}{B.} \quad \text{..... (5.8)}$$

$$\left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{LSC} = F\left[(2+\pi).Su_0 + \rho B/4\right] + 20.9847\left(\frac{S}{B}\right)\left(\frac{\rho B}{Su_0}\right)^{0.9715} \quad \text{..... (5.9)}$$

ค่า Correction Factors, F แสดงไว้ดังสมการที่ 4.7 ในบทที่ 4

รูปที่ 5.18-รูปที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain ของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งระบบ ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ = 0.5, 1, 2, 4, 8 และ 16 กับผลการวิเคราะห์ที่ได้

5.3.5 **ตัวอย่างที่** 5 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากวงกลมผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) ที่ค่าอัตราส่วน D/B=0 สำหรับปัญหาของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งระบบ (Non-Homogeneous) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากวงกลมผิวเรียบกรณี Small Strain (SSC) โดยกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2

ยกเว้นค่าความเชื่อมแน่นของดิน S_u และค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น E ที่กำหนดให้มีค่า เท่ากับ 1 kN/m^2 และ 500 kN/m^2 ตามลำดับ ที่บริเวณผิวดิน และให้มีค่าเพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้นไปตามความลึกของดิน และกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน , γ =17 kN/m^3 ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหา โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

รูปที่ 5.20-รูปที่ 5.25 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม ผิวเรียบ กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 0.5, 1, 2, 4, 8 และ 16 ผลการวิเคราะห์ที่ได้ สำหรับกรณี SSC จะให้ค่าผลเฉลย, F_{nct}/B ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 6.09, 6.29, 6.80, 7.50, 8.66 และ 11.27 ตามลำดับ ส่วนกรณี LSC พบว่าค่าผลเฉลยที่ได้จะไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามค่าการทรุดตัวของฐานราก

รูปที่ 5.26-รูปที่ 5.28 แสดงผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากวงกลม กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 0.5, 1, 2, 4, 8 และ 16 จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ พบว่าผลต่างของค่า Bearing Capacity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้น เมื่อ S/B มีค่ามากขึ้น และเมื่อนำกราฟทั้งหมดสำหรับทุก ๆ ค่า $(\rho.B)/Su_0$ มาหาความสัมพันธ์ โดยเขียนให้อยู่ในรูปของตัวแปร S/B และ $(\rho.B)/Su_0$ จะสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta\frac{F_{nct}}{B.} = \left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{LSC} - \left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{SSC} \qquad \text{..... (5.10)}$$

$$\Delta\frac{F_{nct}}{B.} = 26.9632\left(\frac{S}{B}\right)\left(\frac{\rho B}{Su_0}\right)^{0.8596} \qquad \text{..... (5.11)}$$

โดยที่ $\Delta\frac{F_{nct}}{B.}$ คือ ค่าผลต่างของค่า F_{nct}/B ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากวงกลม

5.3.6 **ตัวอย่างที่** 6 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) ที่ค่าอัตราส่วน D/B=0 สำหรับปัญหาของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งระบบ (Non-Homogeneous) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Small Strain (SSC) โดยกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดินดังนี้

- วิเคราะห์ปัญหามวลดินที่ขนาดความกว้างฐานรองรับ B = 10 เมตร โดยโปรแกรมจะวิเคราะห์เพียงครึ่งหนึ่งของความกว้างฐานรองรับ B' = 5 เมตร

- กำหนดขอบเขตของปัญหากว้าง 35 เมตร (ครึ่งหนึ่งของทั้งหมด) และลึก 30 เมตร
- เพิ่มอัตราการทรุดตัวของฐานรองรับ $\Delta S / B$ =0.0005 ดังนั้นค่าการทรุดตัว ΔS เท่ากับ 0.005 เมตรต่อรอบ
- กำหนดค่าคุณสมบัติของมวลดินดังต่อไปนี้ : ค่าความเชื่อมแน่นของดิน , S_{u0} = 1 kN/m^2 ที่บริเวณผิวดิน และให้มีค่าเพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้นจนมีค่าเท่ากับ 61 kN/m^2 ที่ขอบล่างของปัญหา , ค่ามุมเสียดทานภายในของดิน ϕ และ Dilation angle ψ เท่ากับ 0, ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น E เท่ากับ 500 kN/m^2 ที่ผิวดิน และเท่ากับ 30,500 kN/m^2 ที่ขอบล่าง , ค่าอัตราส่วนปัวซอง ν = 0.49
- กำหนดค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน, γ =17 kN/m^3 และโปรแกรมทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

สำหรับค่าขอบเขตของปัญหา และค่าคุณสมบัติของมวลดินดังกล่าว จะกำหนดให้มีความสอดคล้องกับตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องภายในงานวิจัยที่ถูกนำเสนอโดย Hu and Randolph (1998) เพื่อจะใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวโปรแกรมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และให้เป็นที่ยอมรับสำหรับการคำนวณปัญหาฐานรากในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

รูปที่ 5.29 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบ กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B) / Su_0$ เท่ากับ 20 ผลการวิเคราะห์ที่ได้ สำหรับกรณี SSC จะทำการวิเคราะห์จนถึงค่าการทรุดตัวของฐานรองรับเท่ากับ 2.5 เมตร ค่าผลเฉลย, F_{nct} / B ที่ได้ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 18.15 kPa ส่วนกรณี LSC ทำการวิเคราะห์จนถึงค่าการทรุดตัวของฐานรองรับเท่ากับ 4.0 เมตร ซึ่งให้ค่าผลเฉลยที่ตำแหน่งดังกล่าวประมาณ 138.00 kPa และพบว่าค่าผลเฉลยที่ได้จะยังไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามค่าการทรุดตัวของฐานราก และเมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่นำเสนอโดย Hu and Randolph (1998) ซึ่งสำหรับกรณี SSC ให้ค่าผลเฉลย, F_{nct} / B เท่ากับ 22.00 kPa ส่วนกรณี LSC ทำการวิเคราะห์จนถึงค่าการทรุดตัวของฐานรองรับเท่ากับ 2.0 เมตร และให้ค่าผลเฉลยที่ตำแหน่งดังกล่าวประมาณ 85.00 kPa พบว่าค่าผลเฉลยและรูปร่างลักษณะของ Load-Settlement Curve ของทั้งคู่ให้ผลที่ใกล้เคียงและมีความสอดคล้องกัน ซึ่งเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพ ในการคำนวณวิเคราะห์ปัญหามวลดินในสภาพ Non-Homogeneous ของโปรแกรมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นอย่างดี

5.3.7 **ตัวอย่างที่ 7** วิเคราะห์ปัญหาการกดตัวอย่างดิน โดยใช้แท่งกรวยทรงกระบอกปลายแหลมมุม 60 องศา โดยทำการกดจากด้านล่างของชิ้นตัวอย่างขึ้นไปด้านบน และเปรียบ

เทียบผลการวิเคราะห์ปัญหาระหว่างกรณี Large Strain (LSC) และ Small Strain (SSC) ค่าขอบเขตของปัญหาและคุณสมบัติของมวลดินกำหนดไว้ดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่ง Cone ทรงกระบอก เท่ากับ 8 มิลลิเมตร โดยโปรแกรมจะวิเคราะห์เพียงครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (4 มิลลิเมตร)
- ขนาดของชิ้นตัวอย่างมวลดิน กว้าง 6.5 เซนติเมตร (ครึ่งหนึ่งของทั้งหมด) และลึก 10 เซนติเมตร
- เพิ่มอัตราการทรุดตัวของฐานรองรับ $\Delta S / B$ =0.0005 ดังนั้นค่าการทรุดตัว ΔS เท่ากับ 0.000004 เมตรต่อรอบ
- กำหนดค่าคุณสมบัติของมวลดินดังต่อไปนี้ : ค่าความเชื่อมแน่นของดิน , S_u = 1 kN/m^2, ค่ามุมเสียดทานภายในของดิน ϕ และ Dilation angle ψ เท่ากับ 0, ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น E เท่ากับ 500 kN/m^2, ค่าอัตราส่วนปัวซอง ν = 0.495
- กำหนดให้มีหน่วยแรงรอบชิ้นตัวอย่าง โดยหน่วยแรงในแนวดิ่ง , σ_v มีค่าเท่ากับ 1.5 Ksc และหน่วยแรงในแนวราบ , $\sigma_h = k_0\sigma_v$ โดยที่ k_0 = 1 และไม่ให้มีผลของหน่วยน้ำหนักของมวลดินเข้ามาเกี่ยวข้อง (γ =0 kN/m^3)
- โปรแกรมทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ วิเคราะห์ปัญหาแบบสองมิติสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric Problem)

สำหรับค่าขอบเขตของปัญหา และค่าคุณสมบัติของมวลดินดังกล่าว จะกำหนดให้มีความสอดคล้องกับ การทดสอบการกดตัวอย่างดินโดยใช้แท่งกรวยทรงกระบอกปลายแหลมมุม 60 องศา ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ชื่อ *"การทดสอบการกดกรวยขนาดเล็กในเครื่องมือแรงอัด 3 แกน"* ทำการศึกษาและวิจัย โดย นาย พลากร พีรภาคย์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการวิเคราะห์จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ปัญหากรวยปลายแหลมในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

รูปที่ 5.30 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของแท่งกรวยทรงกระบอกปลายแหลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ผลการวิเคราะห์ที่ได้ สำหรับกรณี SSC จะให้ค่าผลเฉลย , F_{nct} / B ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 13.45 ส่วนกรณี LSC พบว่าค่าผลเฉลยที่ได้จะไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะการแทรกตัวของแท่งกรวยปลายแหลม

5.3.8 **ตัวอย่างที่** 8 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) ที่ค่า D/B = 0 เพื่อเปรียบเทียบผล ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหาที่มีการปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (with Remeshing) และที่ไม่มีการปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (without Remeshing) โดยกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2 และกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน ,γ =17 kN/m^3 ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหา โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

รูปที่ 5.31 แสดงผลของการปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (Mesh Adaptation) ที่มีต่อค่า Bearing Capacity Factor, N_c จากผลที่ได้ พบว่าการวิเคราะห์ปัญหาที่ไม่มีการปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (without Remeshing) จะให้ค่าผลเฉลยที่มีค่าสูงเกินกว่าความเป็นจริง และเมื่อทำการวิเคราะห์คำนวณไปจนถึงระยะหนึ่ง โปรแกรมก็จะหยุดการทำงาน

การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (Large Strain) หรือ หลักการของทฤษฎีความเครียดมาก โดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาให้ปริมาตรของมวลดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และเกิดการเปลี่ยนแปลงพิกัดโครงข่ายของชิ้นส่วน ในแต่ละวงรอบของการเพิ่มค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ ซึ่งเมื่อโปรแกรมคำนวณไปได้ระยะหนึ่ง จะพบว่าโครงข่ายของชิ้นส่วนเริ่มมีการบิดเบี้ยวเสียรูป และเป็นผลให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องลดน้อยลง ดังนั้นหลักการปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (Mesh Adaptation) สำหรับชิ้นส่วนที่มีการเสียรูปและมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่ยอมให้ จึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ และเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้งาน (Practical Method) สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

5.3.9 **ตัวอย่างที่** 9 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักสุทธิของฐานราก ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหาโดยวางตำแหน่งของฐานรากในระดับความลึกต่าง ๆ ดังนี้

กรณีที่ 1 ฐานรากวางที่ระดับความลึก 1.00 เมตร จากผิวดิน และทำการวิเคราะห์เพิ่มค่าการทรุดตัวอีก 3.00 เมตร จนได้ระดับความลึกที่ 4.00 เมตร

กรณีที่ 2 ฐานรากวางที่ระดับความลึก 1.50 เมตร จากผิวดิน และทำการวิเคราะห์เพิ่มค่าการทรุดตัวอีก 2.50 เมตร จนได้ระดับความลึกที่ 4.00 เมตร

กรณีที่ 3 ฐานรากวางที่ระดับความลึก 2.00 เมตร จากผิวดิน และทำการวิเคราะห์เพิ่มค่าการทรุดตัวอีก 2.00 เมตร จนได้ระดับความลึกที่ 4.00 เมตร

กำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2 และกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน , γ =17 kN/m^3 ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหา โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

รูปที่ 5.32 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) ซึ่งเริ่มต้นวางที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน ผลที่ได้พบว่า ทั้ง 3 กรณีให้ค่าผลเฉลยที่ใกล้เคียงกันและมีค่าลู่เข้าหากัน เมื่อทำการวิเคราะห์จนถึงระดับความลึกเท่า ๆ กัน (ระดับความลึก 4.00 เมตรจากผิวดิน) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (LSC) ตำแหน่งเริ่มต้นของฐานรากจะไม่มีผลต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของมวลดิน เนื่องจากเมื่อทำการวิเคราะห์จนได้ระดับความลึกที่เท่า ๆ กัน ค่ากำลังรับน้ำหนักที่จะก็จะมีค่าเท่ากันด้วย

5.3.10 **ตัวอย่างที่** 10 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากวงกลมผิวเรียบกรณี Large Strain (LSC) ที่ค่าอัตราส่วน D/B=2.5 เพื่อเปรียบเทียบผล ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ค่า $\Delta S / B$ เท่ากับ 0.0005, 0.005 และ 0.01 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานรากวงกลมเท่ากับ 40 เซนติเมตร ดังนั้นค่าการทรุดตัว ΔS เท่ากับ 0.0002, 0.002 และ 0.004 เมตรต่อรอบ ตามลำดับ กำหนดคุณสมบัติของมวลดินตามหัวข้อที่ 5.2 และกำหนดให้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน , γ =17 kN/m^3 ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหา โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

รูปที่ 5.33 แสดงผลของค่า $\Delta S / B$ ที่มีต่อค่า Bearing Capacity Factor, N_c จากผลที่ได้พบว่า เมื่อกำหนดให้ค่า $\Delta S / B$ เท่ากับ 0.005 โปรแกรมจะหยุดการทำงานที่ค่า S/B=0.3 และให้ค่าผลเฉลยที่สูงกว่าความเป็นจริงประมาณ 16% และเมื่อกำหนดให้ค่า $\Delta S / B$ เท่ากับ 0.01 โปรแกรมจะหยุดการทำงานที่ค่า S/B=0.05 และให้ค่าผลเฉลยที่สูงกว่าความเป็นจริงประมาณ 57%

การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (Large Strain) สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอาศัยวิธีประยุกต์ใช้งาน (Practical Method) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความเครียดน้อยในการวิเคราะห์ปัญหามวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัวมาก (Large Deformation) หลักการโดยทั่ว ๆ ไปของวิธีประยุกต์ใช้งานจะประกอบด้วย การเพิ่มขึ้นของค่าความเครียดทีละน้อย ๆ ของวัตถุ (Infinitesimal Strain) และวิเคราะห์ผลเฉลยด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนั้นการกำหนดค่า $\Delta S / B$ จะต้องให้อยู่ในขอบเขตของทฤษฎีความเครียดน้อย และไม่ให้มีค่ามากเกินไป ซึ่งจะทำให้โครงข่ายชิ้นส่วนเกิดการเสียรูปจนไม่สามารถคำนวณต่อไปได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้มีค่า $\Delta S / B$ เท่ากับ 0.0005 ซึ่งเป็นค่าที่มีความเหมาะสมและใช้เป็นหลักในการวิเคราะห์ปัญหามวลดินในลักษณะอื่น ๆ ต่อไป

5.3.11 **ตัวอย่างที่** 11 วิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบที่ค่าอัตราส่วน D/B=0 โดยใช้แบบจำลองดิน Modified Cam-Clay และทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปัญหาระหว่างกรณี Large Strain (LSC) และ Small Strain (SSC) ค่าขอบเขตของปัญหาและคุณสมบัติของมวลดินกำหนดไว้ดังนี้

- วิเคราะห์ปัญหามวลดินที่ขนาดความกว้างฐานรองรับ B = 2 เมตร โดยโปรแกรมจะวิเคราะห์เพียงครึ่งหนึ่งของความกว้างฐานรองรับ B' = 1 เมตร
- กำหนดขอบเขตของปัญหากว้าง 20 เมตร (ครึ่งหนึ่งของทั้งหมด) และลึก 20 เมตร
- เพิ่มอัตราการทรุดตัวของฐานรองรับ $\Delta S / B$ =0.0005 ดังนั้นค่าการทรุดตัว ΔS เท่ากับ 0.001 เมตรต่อรอบ
- กำหนดค่าคุณสมบัติของมวลดินดังต่อไปนี้ : ค่าความเชื่อมแน่นของดิน S_{u0} = 1 kN/m^2, ค่ามุมเสียดทานภายในของดิน ϕ เท่ากับ 23, ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น E เท่ากับ 500 kN/m^2, ค่าอัตราส่วนปัวซอง ν = 0.495, ค่า λ = 0.25 และ ค่า k = 0.05
- กำหนดค่าหน่วยน้ำหนักของมวลดิน, γ =17 kN/m^3 และโปรแกรมทำการคำนวณโดยใช้โครงข่ายของสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลจากกรณีศึกษาดังกล่าว โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ *"Finite Element Code for Soil and Rock Analysis หรือ Plaxis 7.2"* ซึ่งกำหนดให้มีค่าขอบเขตของปัญหา และค่าคุณสมบัติของมวลดิน ที่สอดคล้องกัน และทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้ สำหรับใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของตัวโปรแกรม

รูปที่ 5.34 แสดงการเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่องผิวเรียบกรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ที่ D/B=0 โดยใช้แบบจำลองดิน Modified Cam-Clay จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ พบว่าค่าผลเฉลยสำหรับกรณี Small Strain ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ได้จากโปรแกรม Plaxis 7.2 โดยมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย และกราฟทั้งสองลู่เข้าสู่ค่าคงที่เช่นเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากผลการวิเคราะห์สำหรับกรณี Large Strain ที่ค่าผลเฉลยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ

ตารางที่ 5.1 ค่าคุณสมบัติของมวลดินที่ใช้ในตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ (Large Strain)

ตัวอย่างที่	Homogeneous Case						Non-Homogeneous Case		
	C (kN/m^2)	E (kN/m^2)	ν	ϕ	k_0	γ (kN/m^3)	ρ (kN/m^3)	B (m)	Su_0 (kN/m^2)
1	1	500	0.495	0	1	17	-	-	-
2	1	500	0.495	0	1	17	-	-	-
3	1	500	0.495	0	1	0, 17	-	-	-
4	-	-	0.495	0	1	17	0.25-8	2	1
5	-	-	0.495	0	1	17	0.25-8	2	1
6	-	-	0.49	0	1	17	2	10	1
8	1	500	0.495	0	1	17	-	-	-
9	1	500	0.495	0	1	17	-	-	-
10	1	500	0.495	0	1	17	-	-	-

ตัวอย่างที่	C (kN/m^2)	E (kN/m^2)	ν	ϕ	γ (kN/m^3)	B (mm)	σ_v (Ksc)	σ_h (Ksc)	k_0
7	1	500	0.495	0	0	8	1.5	1.5	1

ตัวอย่างที่	C (kN/m^2)	E (kN/m^2)	ν	ϕ	k_0	γ (kN/m^3)	λ	κ	OCR
11	1	500	0.495	23	1	17	0.25	0.05	1

หมายเหตุ :

ตัวอย่างที่ 1 = ฐานรากต่อเนื่อง เริ่มต้นที่ S/B=0 เปรียบเทียบกับกรณี Small Strain ที่ค่า D/B ต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 2 = ฐานรากต่อเนื่อง ที่ค่า D/B=0, 3 และ 5

ตัวอย่างที่ 3 = ฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=0 เปรียบเทียบระหว่างค่า γ =0 และ 17 kN/m^3

ตัวอย่างที่ 4 = ฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=0 สำหรับกรณี Non-Homogeneous

ตัวอย่างที่ 5 = ฐานรากวงกลม ที่ D/B=0 สำหรับกรณี Non-Homogeneous

ตัวอย่างที่ 6 = ฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=0 (Non-Homogeneous, $\rho B / Su_0$ =20) เปรียบเทียบกับ Randolph

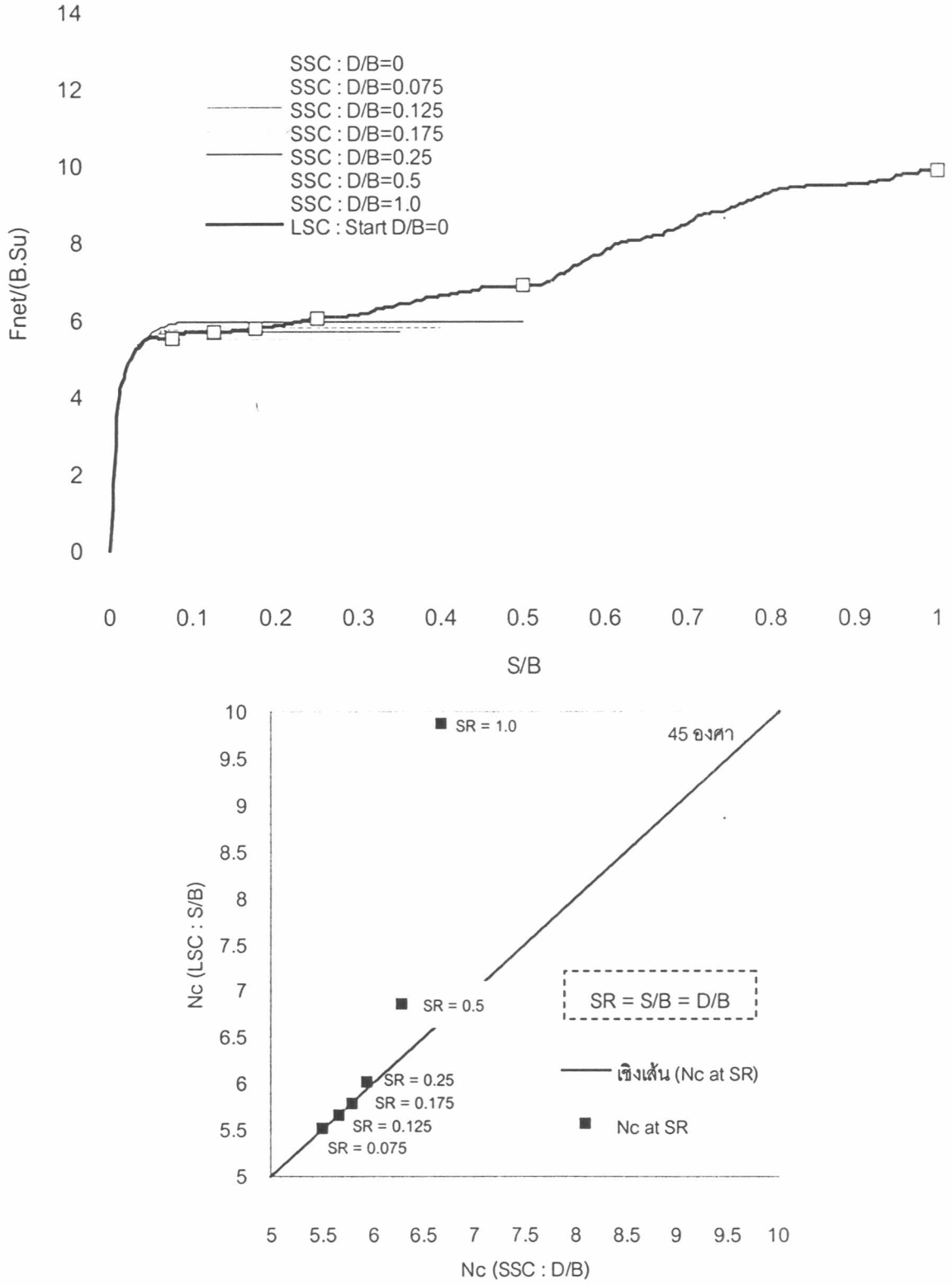
ตัวอย่างที่ 7 = การทดสอบกดตัวอย่างดิน โดยใช้แท่งกรวยทรงกระบอก ปลายแหลมมุม 60 องศา

ตัวอย่างที่ 8 = ฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=0 เพื่อเปรียบเทียบผลของการปรับปรุงโครงข่ายชิ้นส่วน

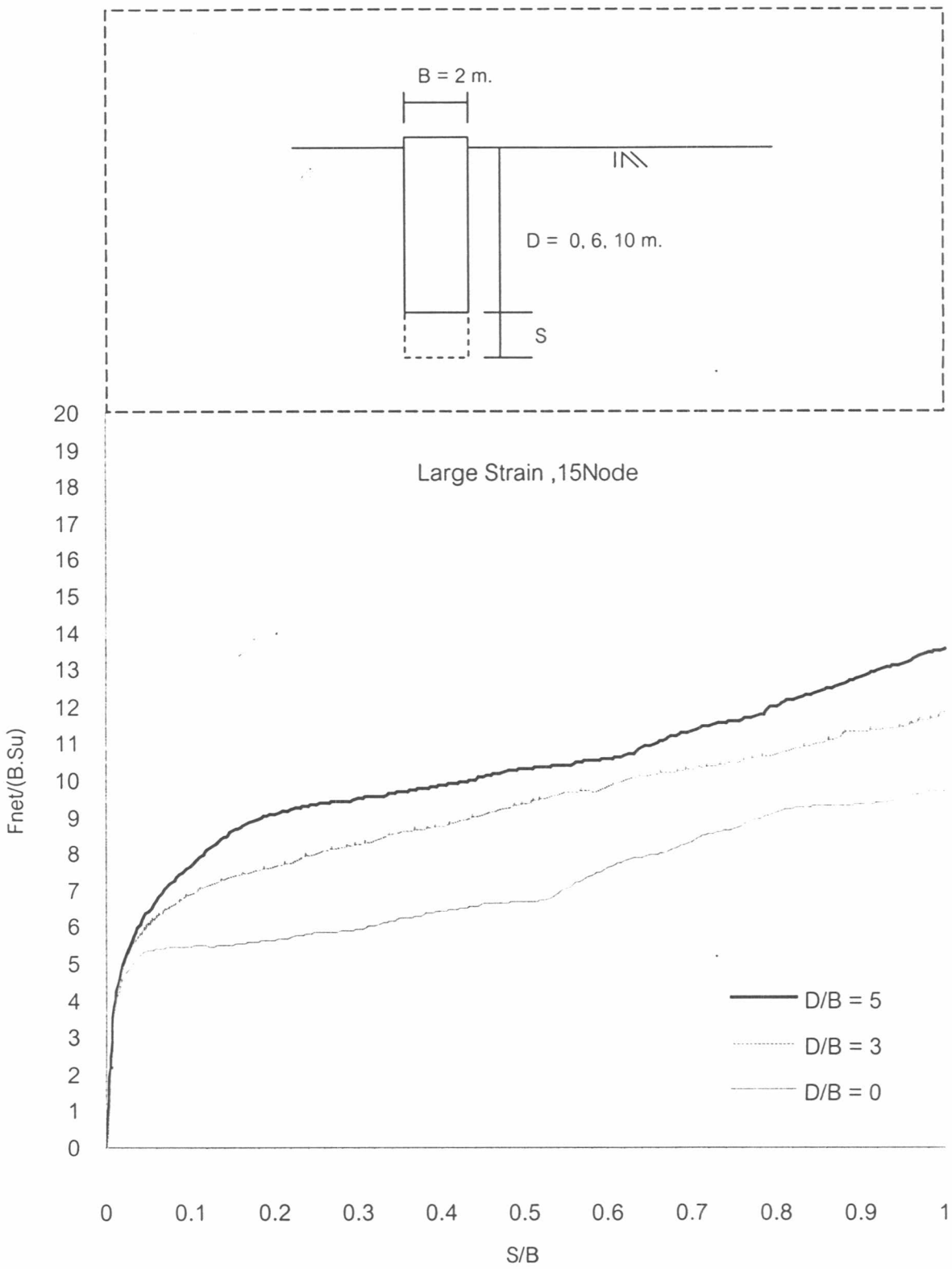
ตัวอย่างที่ 9 = ฐานรากต่อเนื่อง เปรียบเทียบค่าผลเฉลย โดยเริ่มต้นวางฐานรากที่ตำแหน่งความลึกต่าง ๆ กัน

ตัวอย่างที่ 10 = ฐานรากวงกลม ที่ D/B=2.5 เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ค่า $\Delta S / B$ ต่าง ๆ

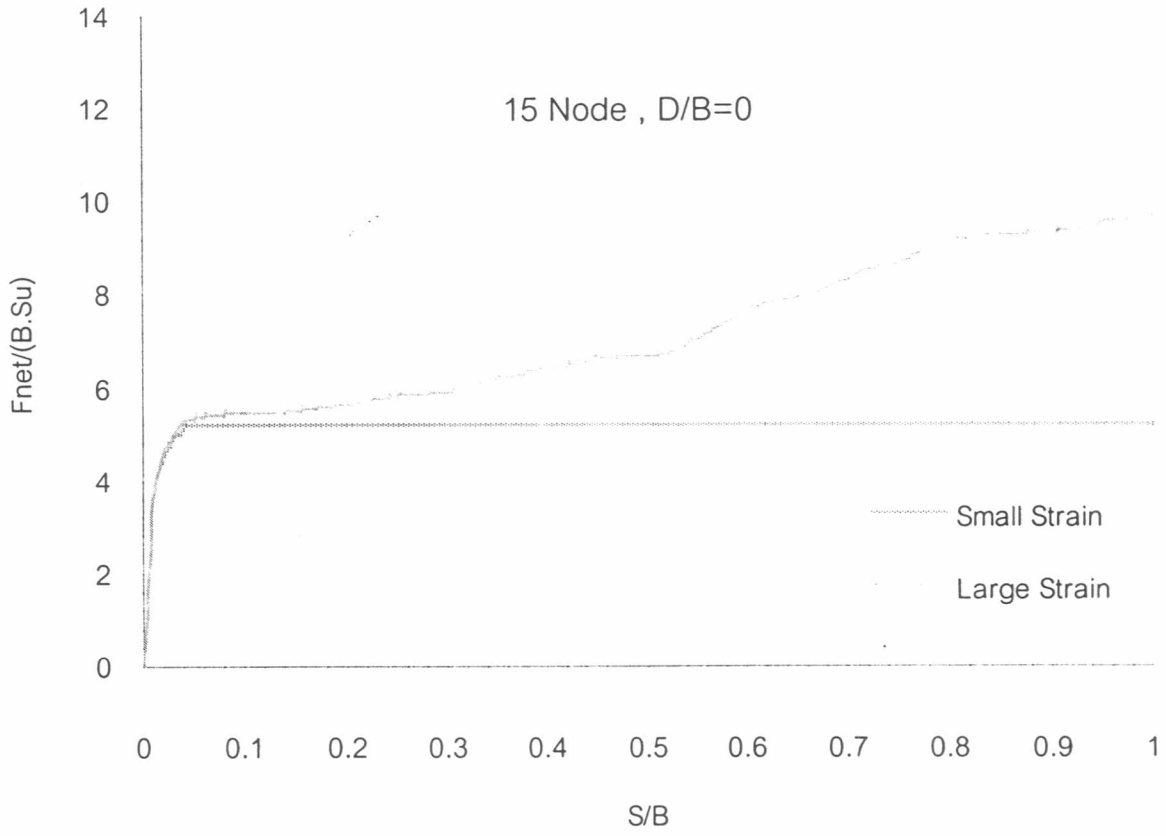
ตัวอย่างที่ 11 = ฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=0 ใช้แบบจำลองดิน Modified Cam-Clay

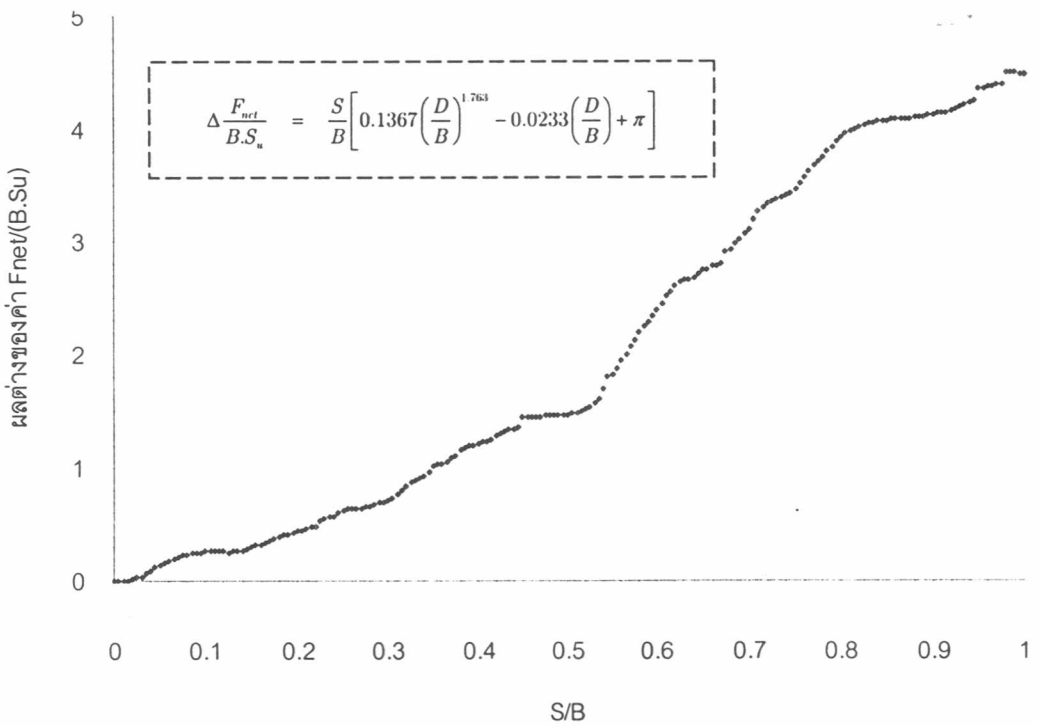


รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve และความสัมพันธ์ระหว่าง Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง

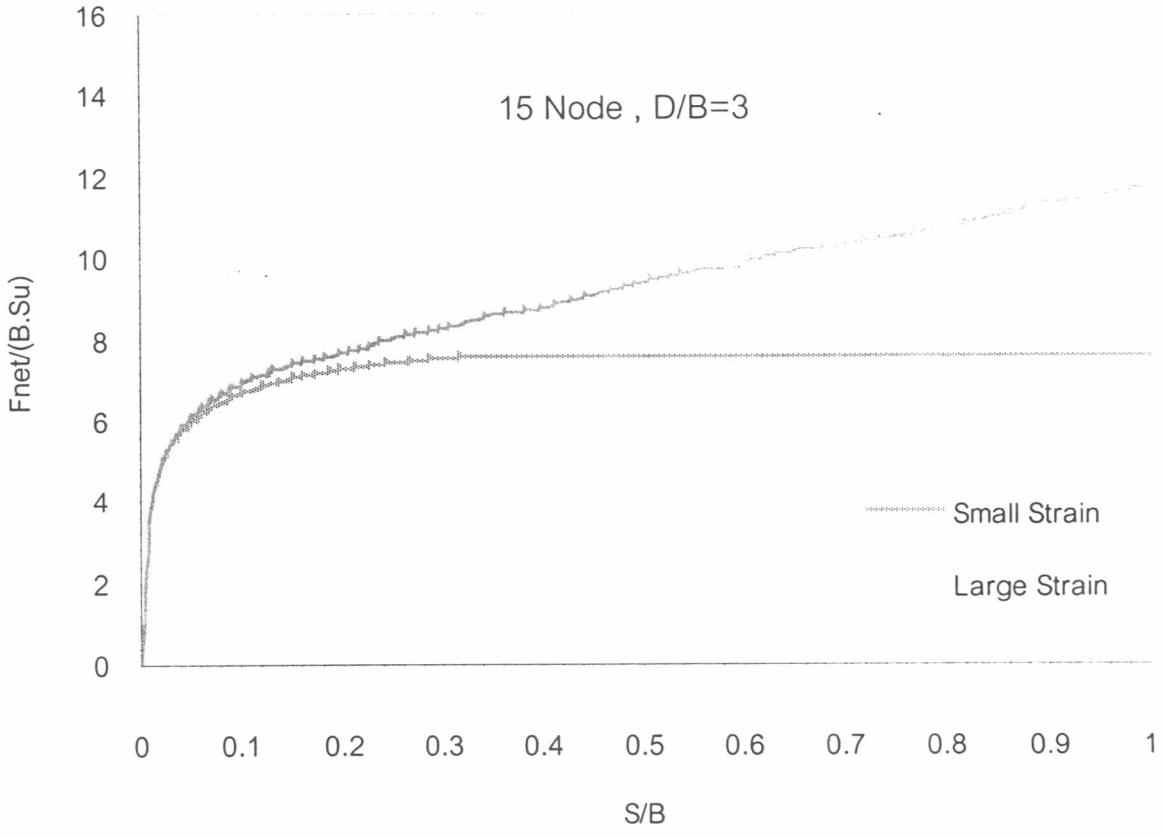


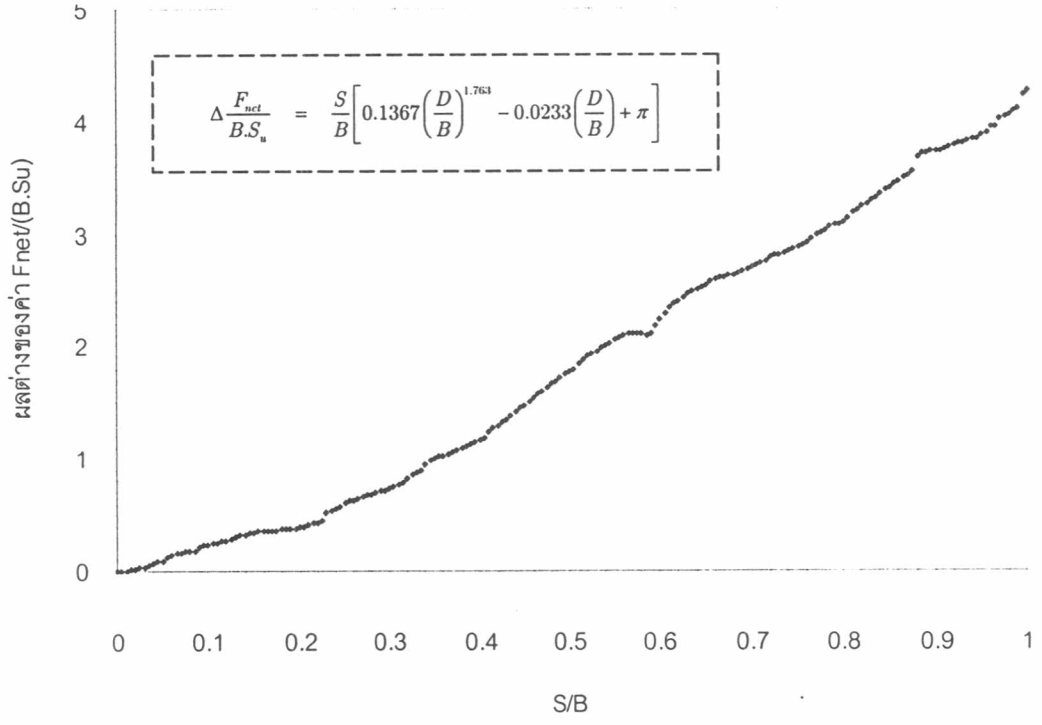
รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) เมื่อ D/B=0, D/B=3 และ D/B=5 ตามลำดับ (γ = 17 kN/m^3)



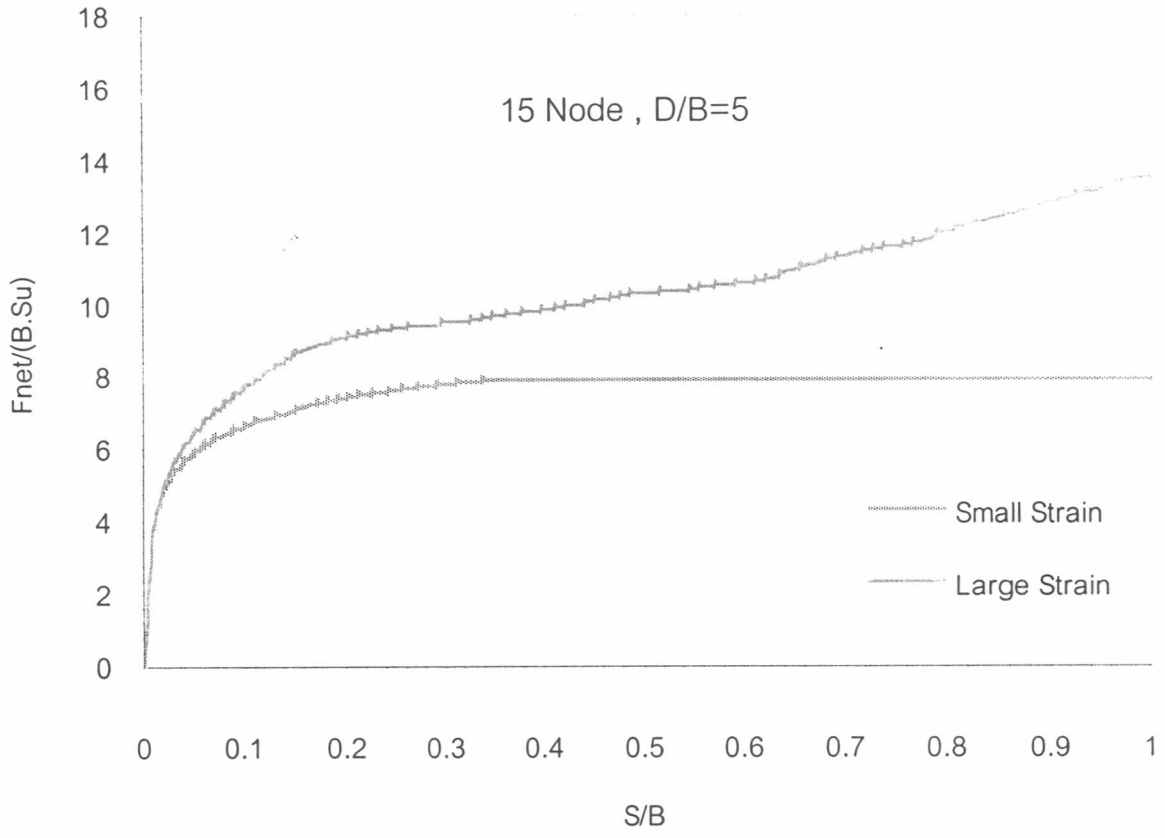


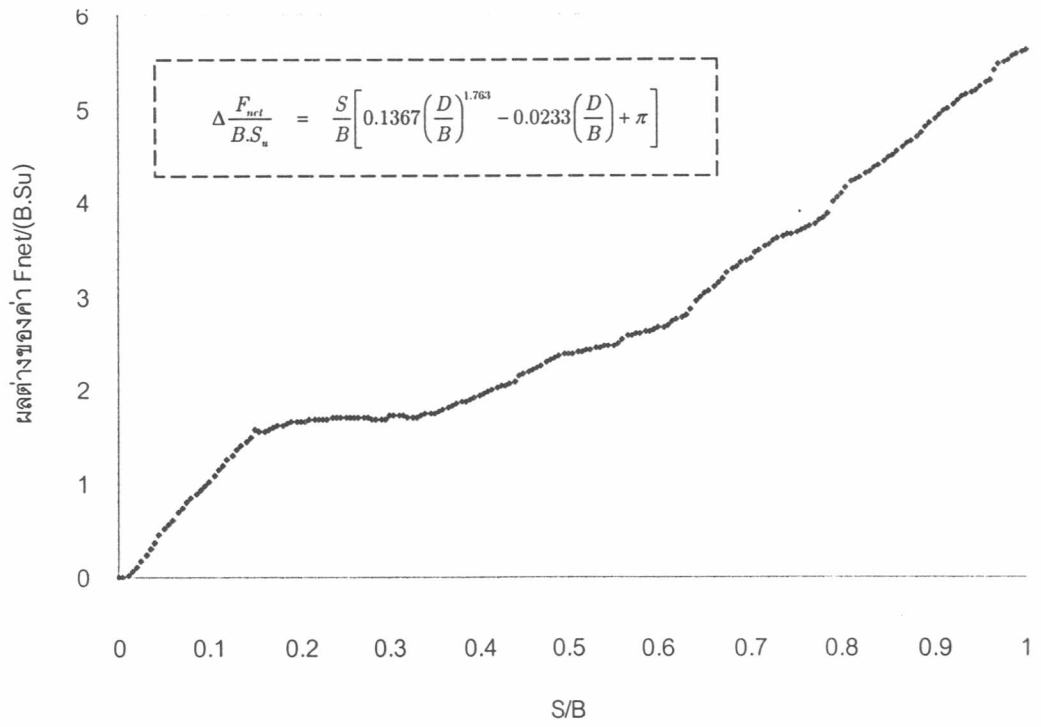
รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=0



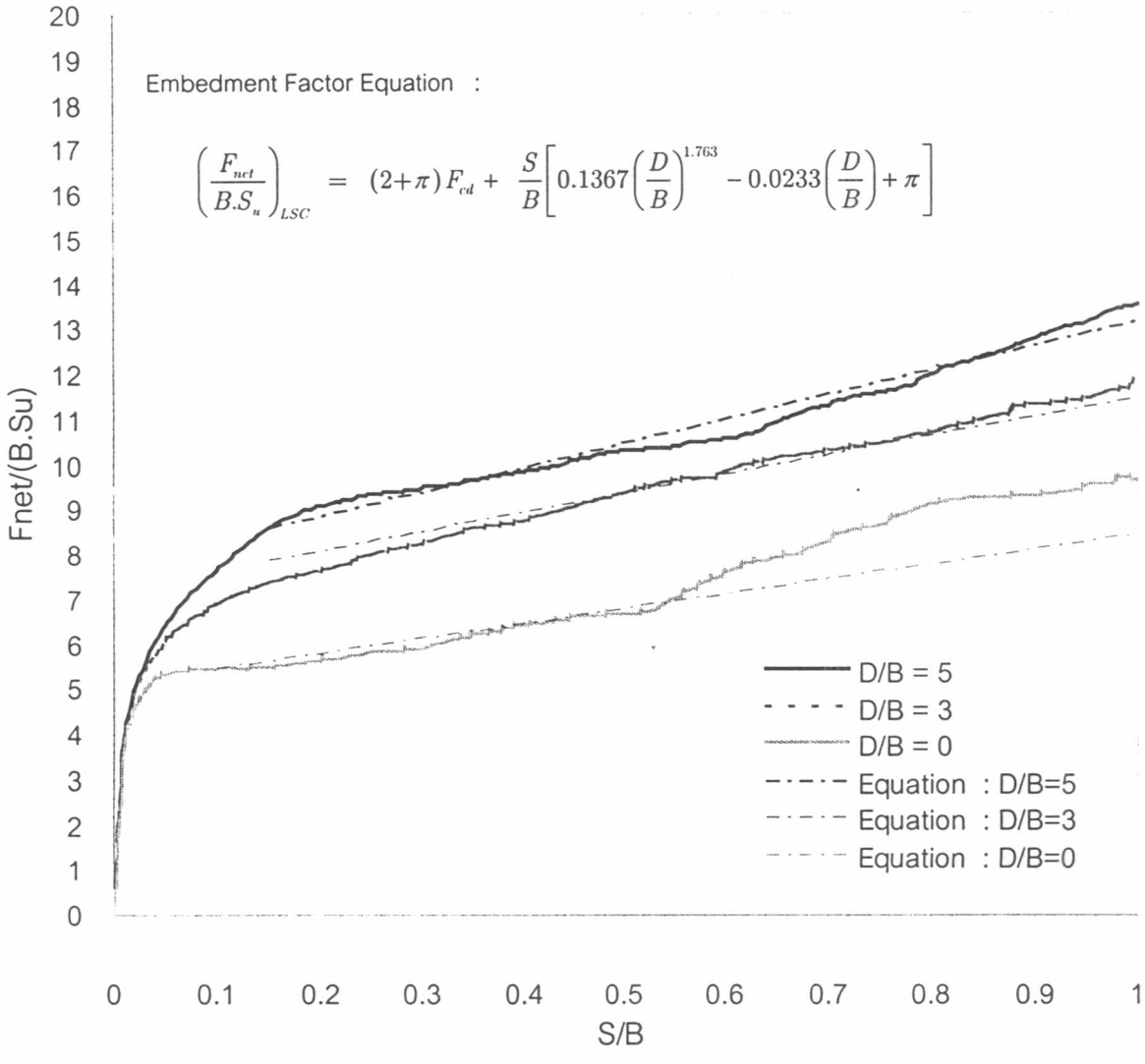


รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=3

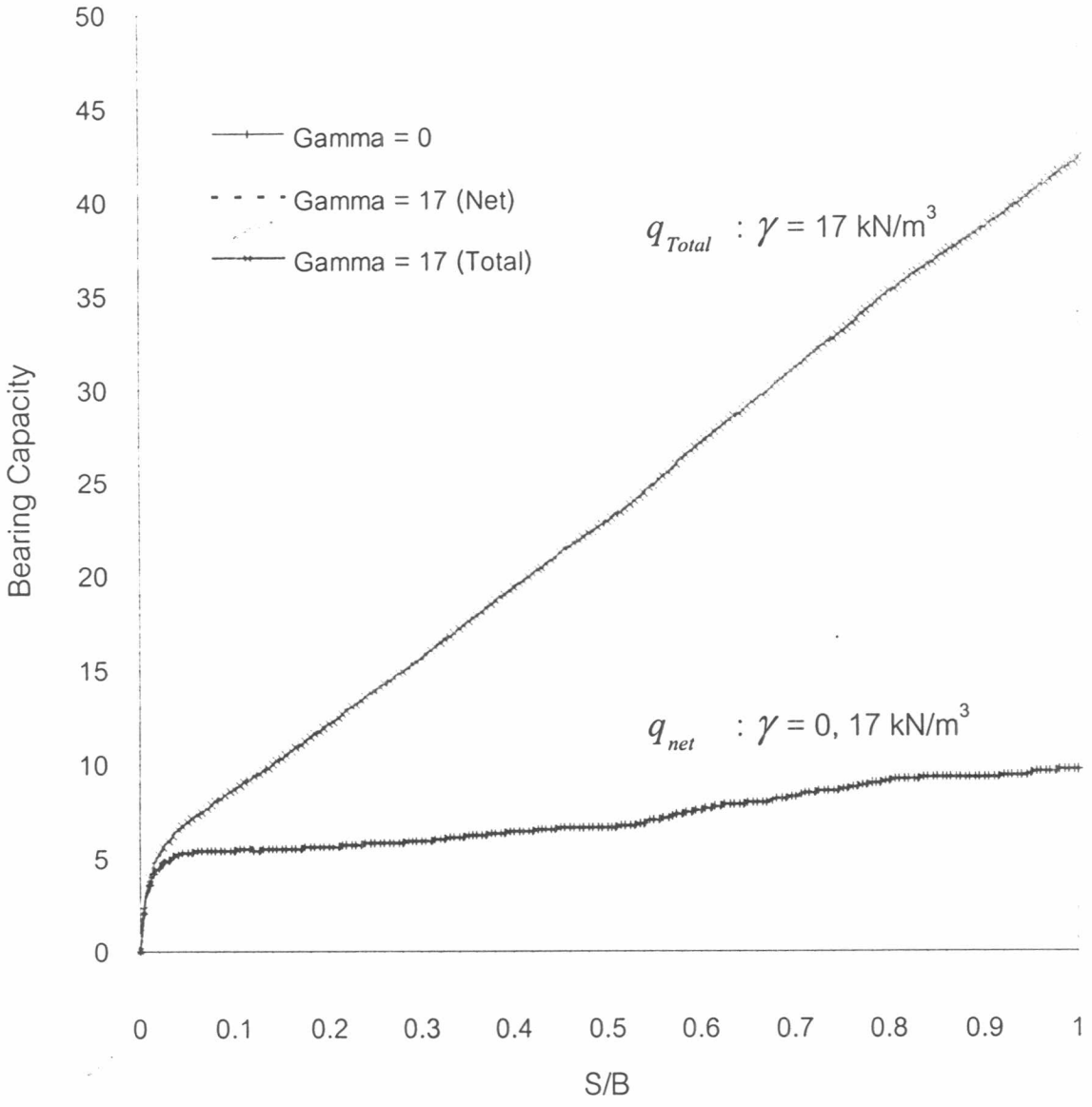




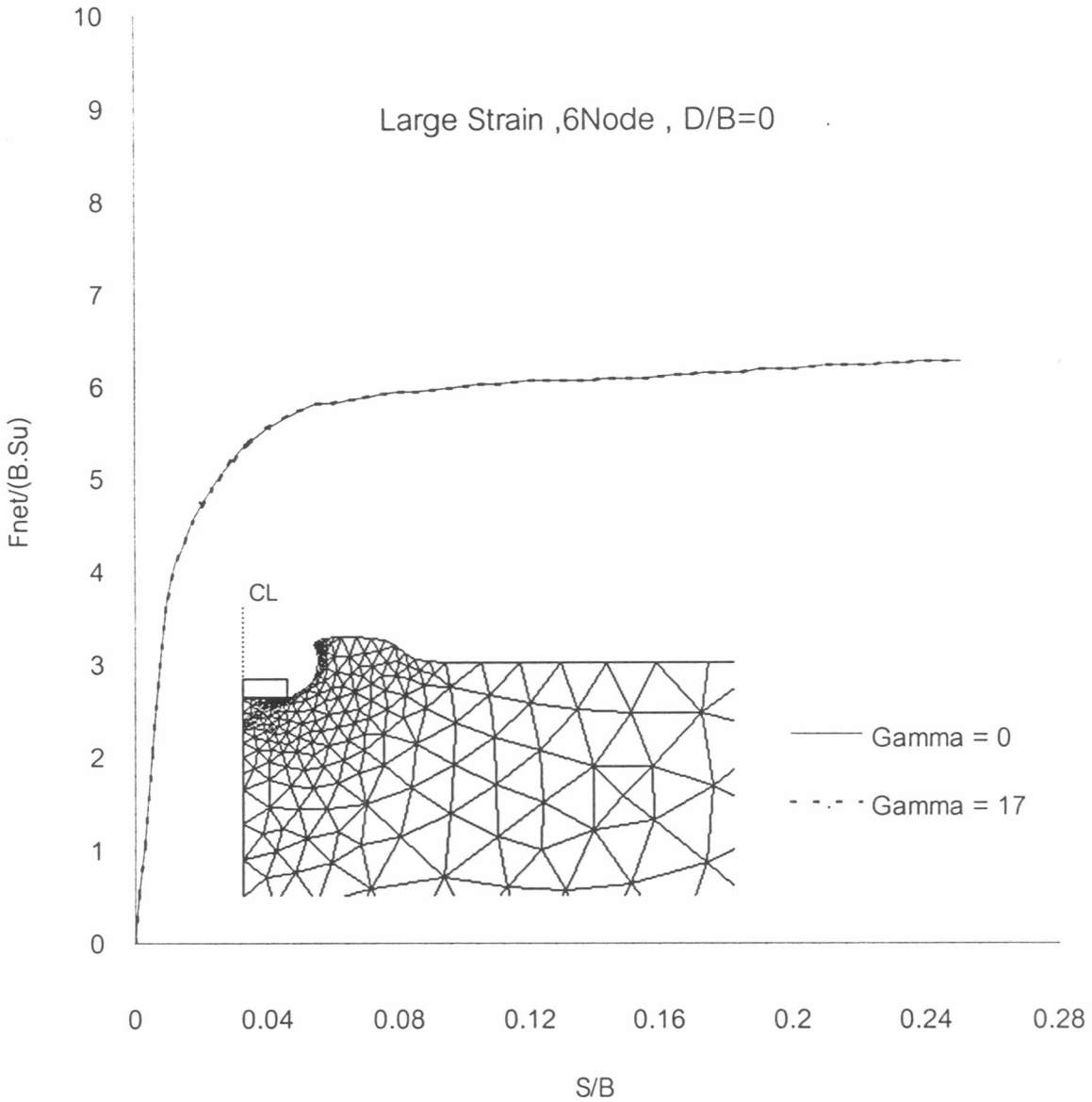
รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ของฐานรากต่อเนื่อง ที่ D/B=5



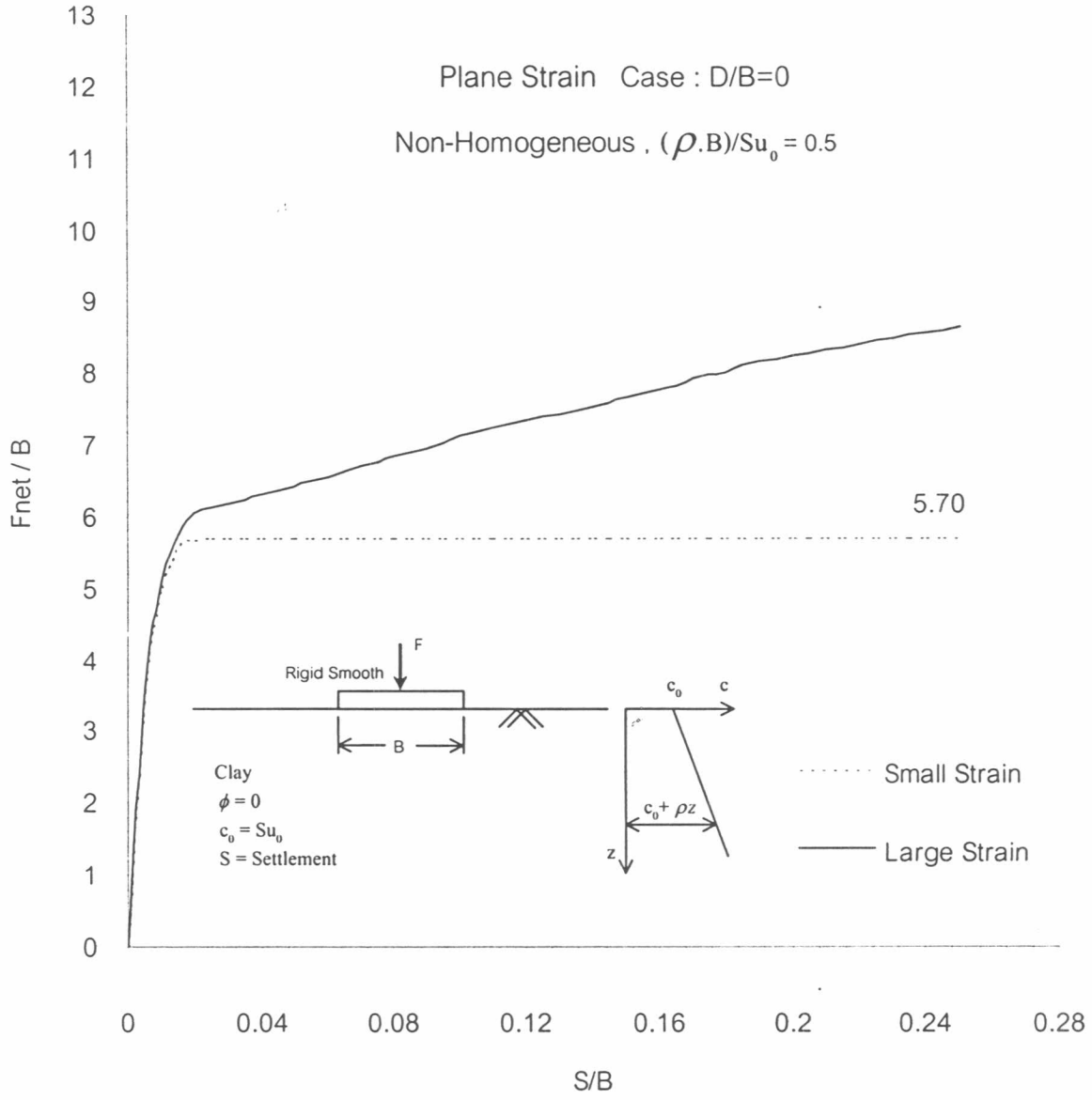
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้น กับผลการวิเคราะห์ที่ได้



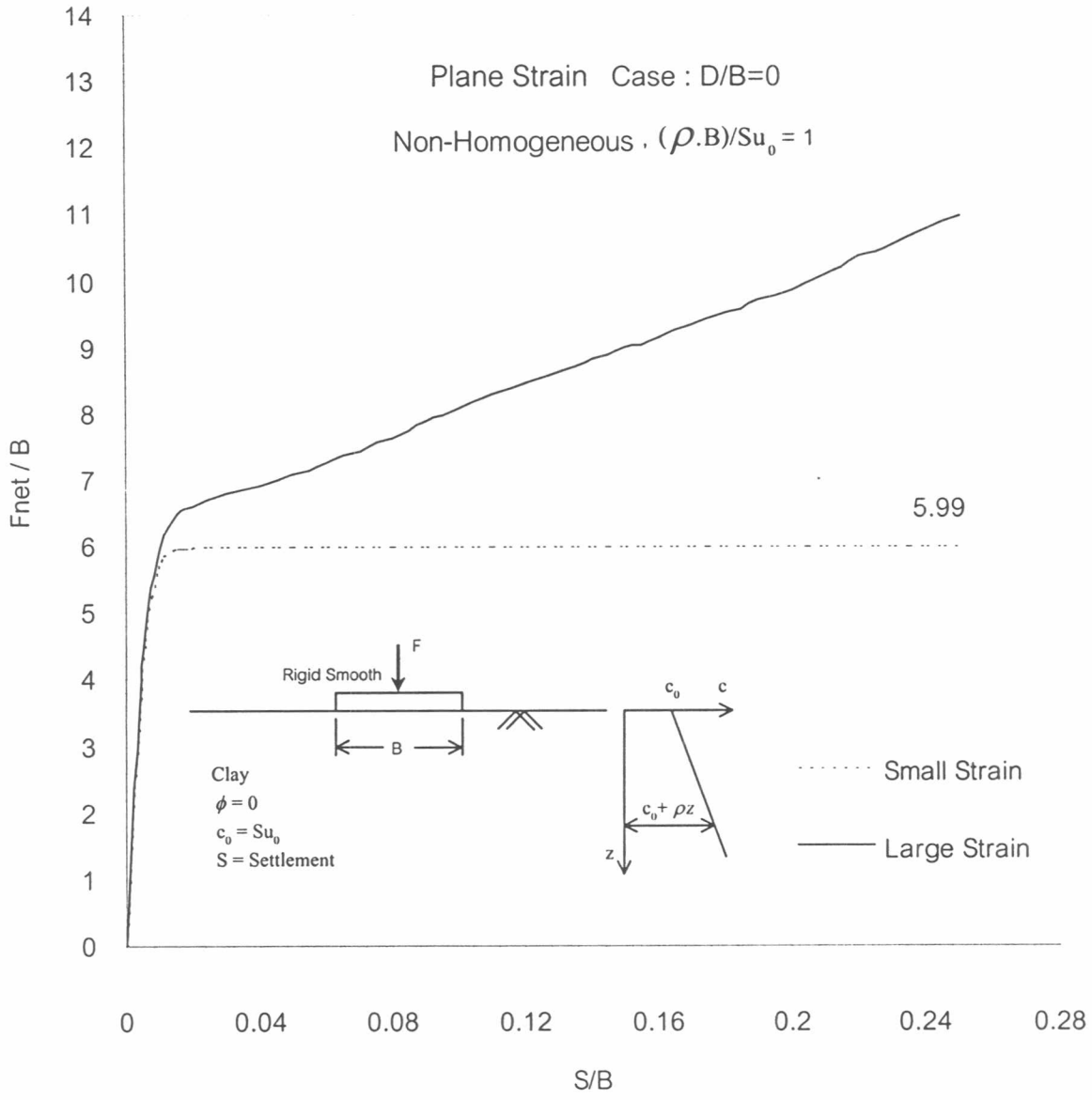
รูปที่ 5.7 ผลของ Unit Weight ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) ที่ D/B=0 (15 Node)



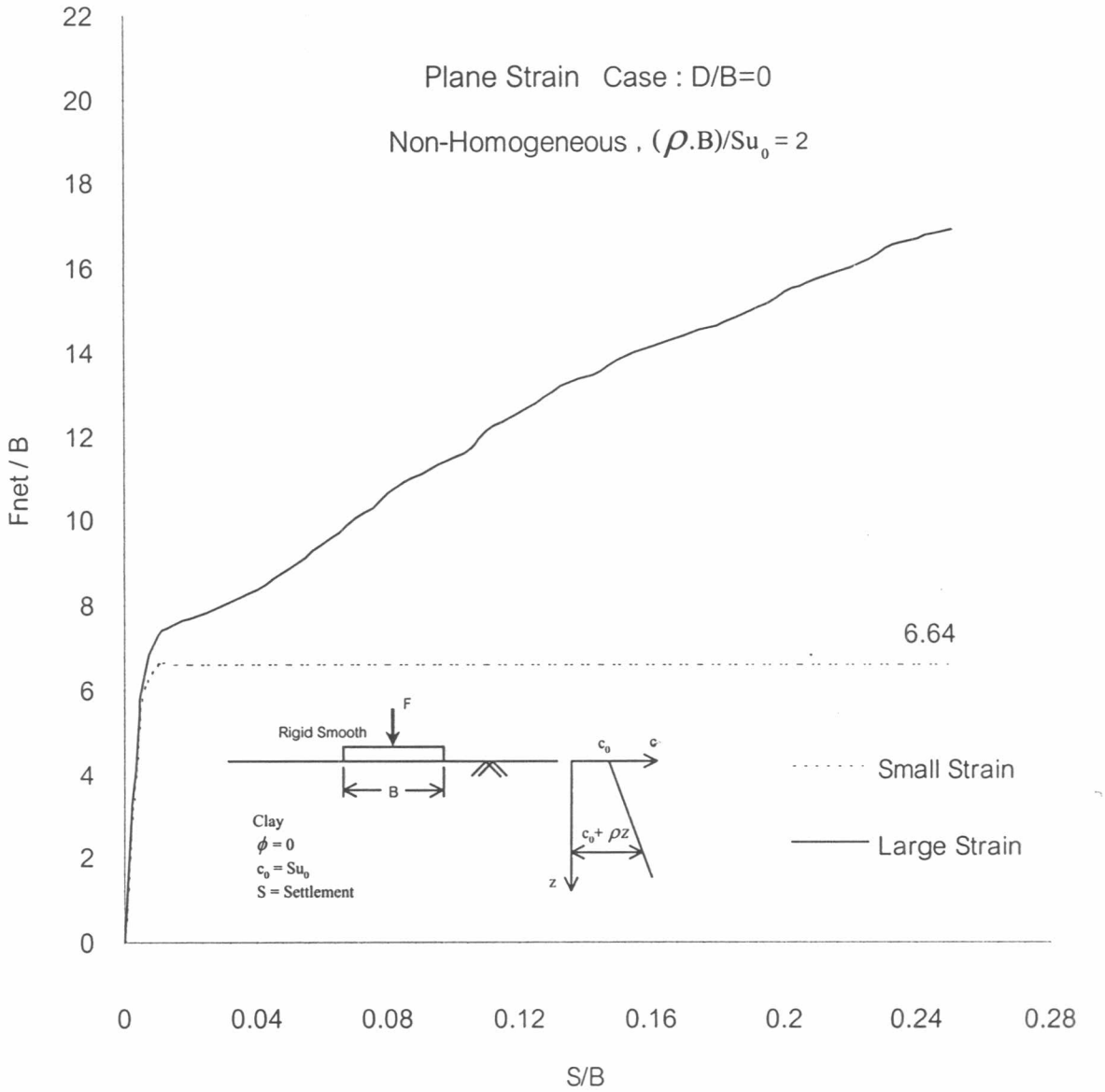
รูปที่ 5.8 ผลของ Unit Weight ที่มีต่อค่ากำลังรับน้ำหนักของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) ที่ D/B=0 (6 Node)



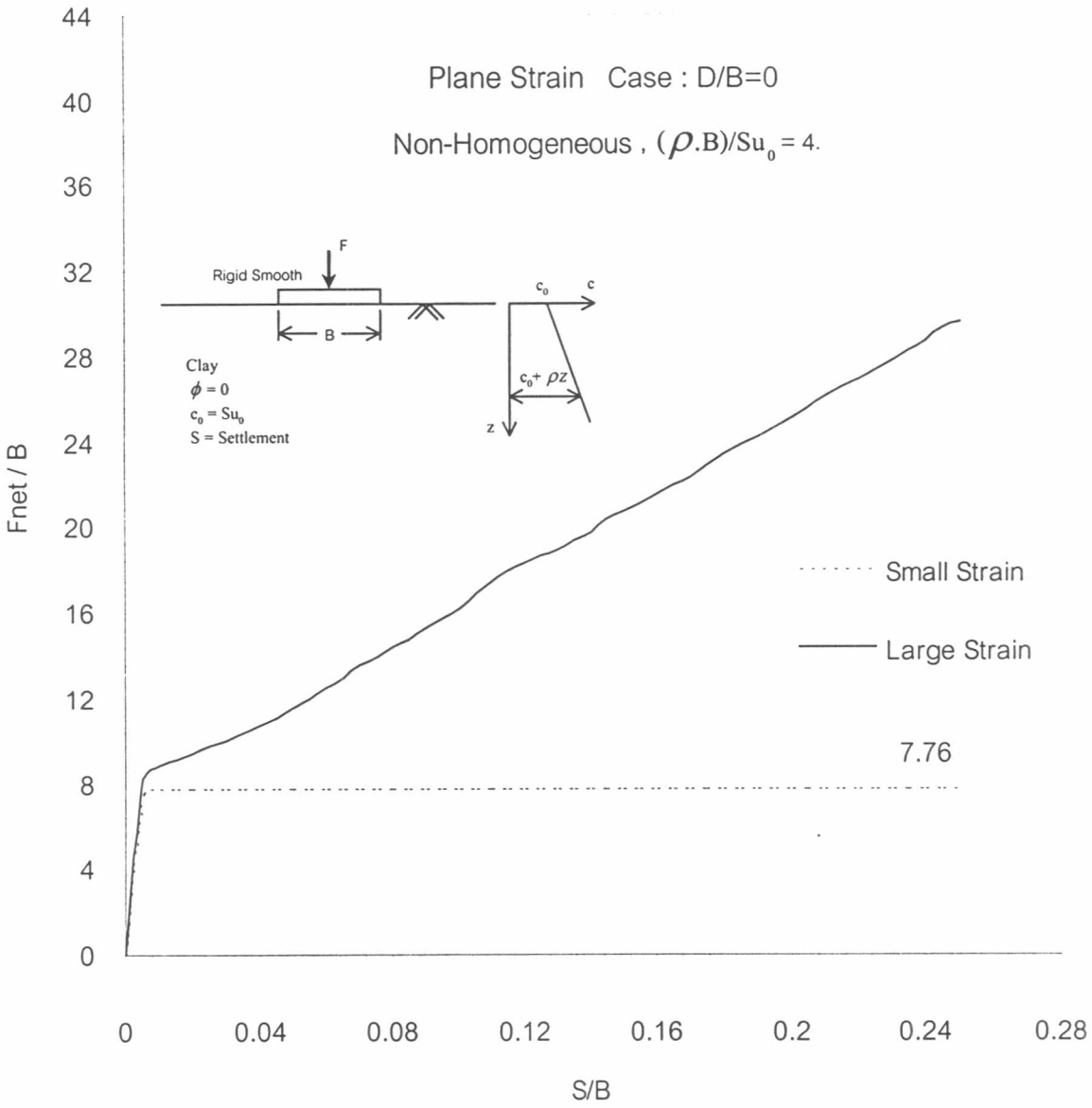
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 0.5$



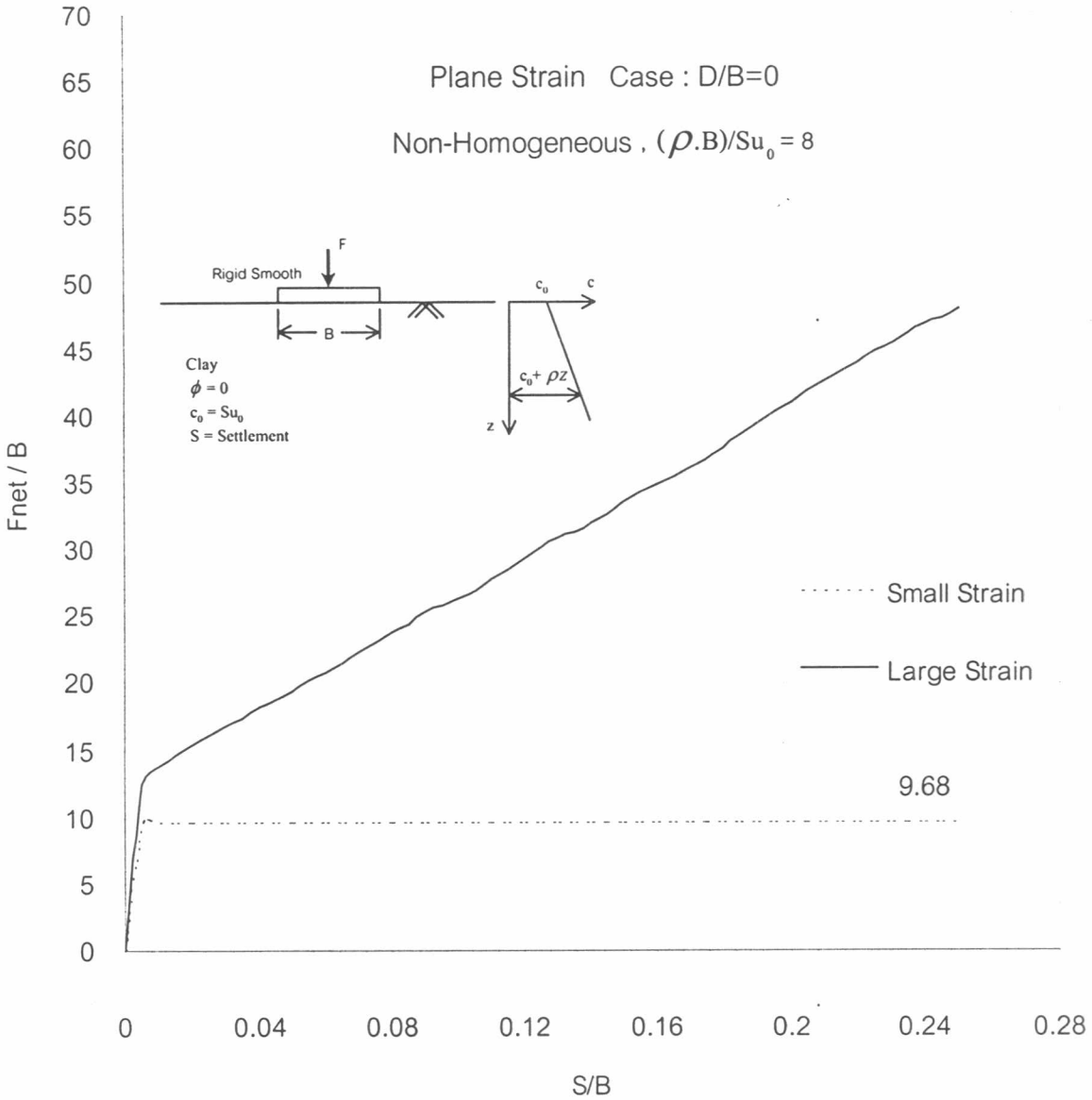
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 1$



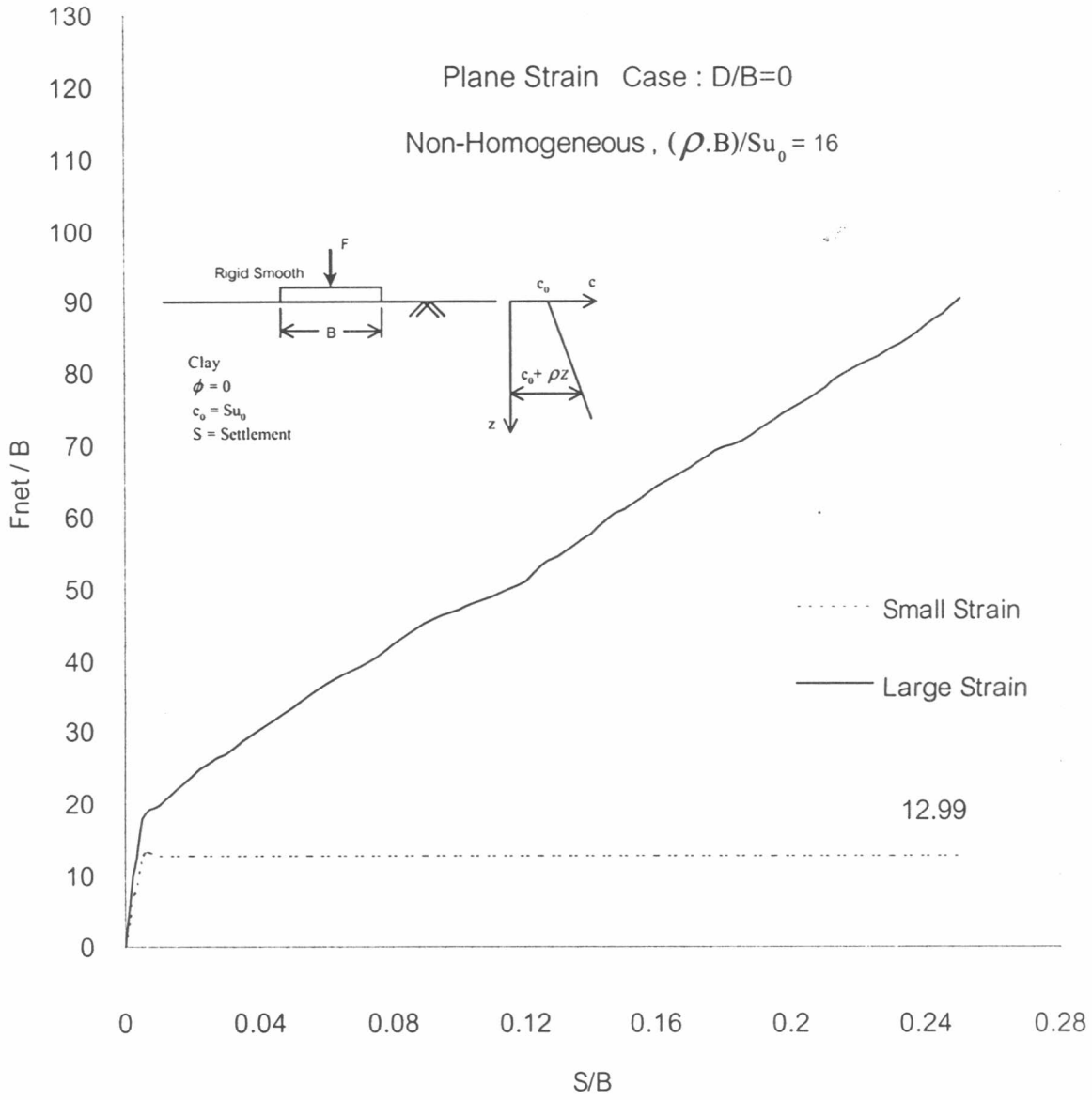
รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 2$



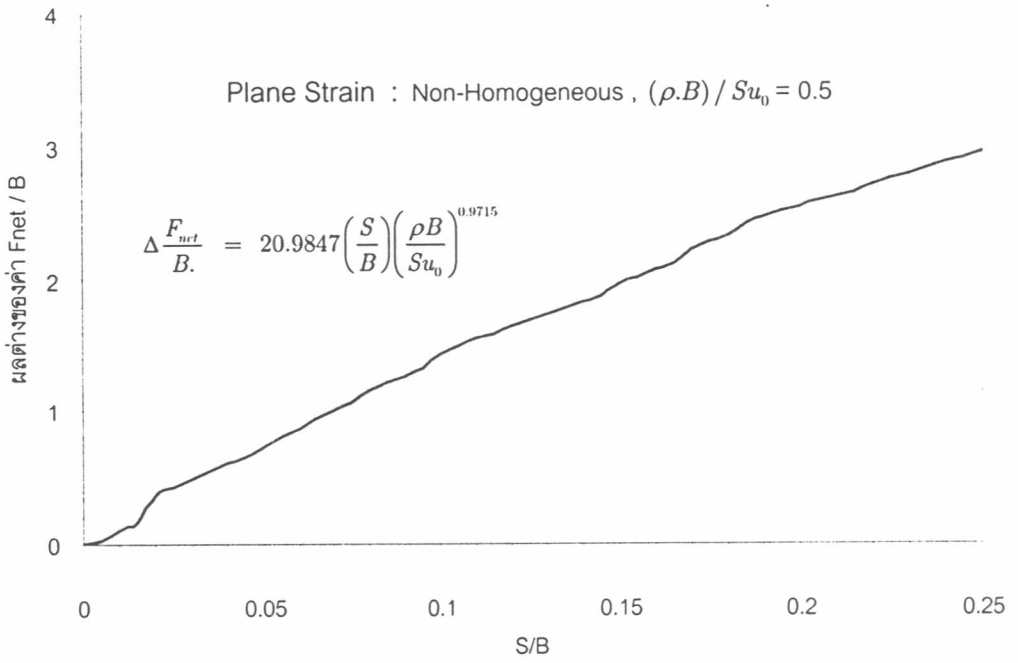
รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 4$

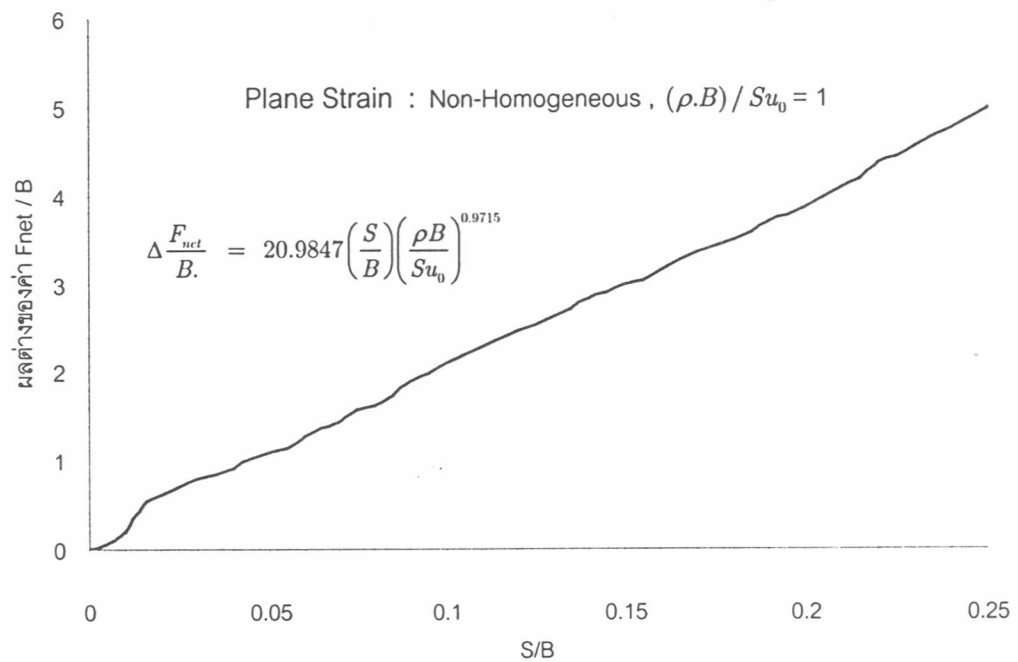


รูปที่ 5.13 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 8$

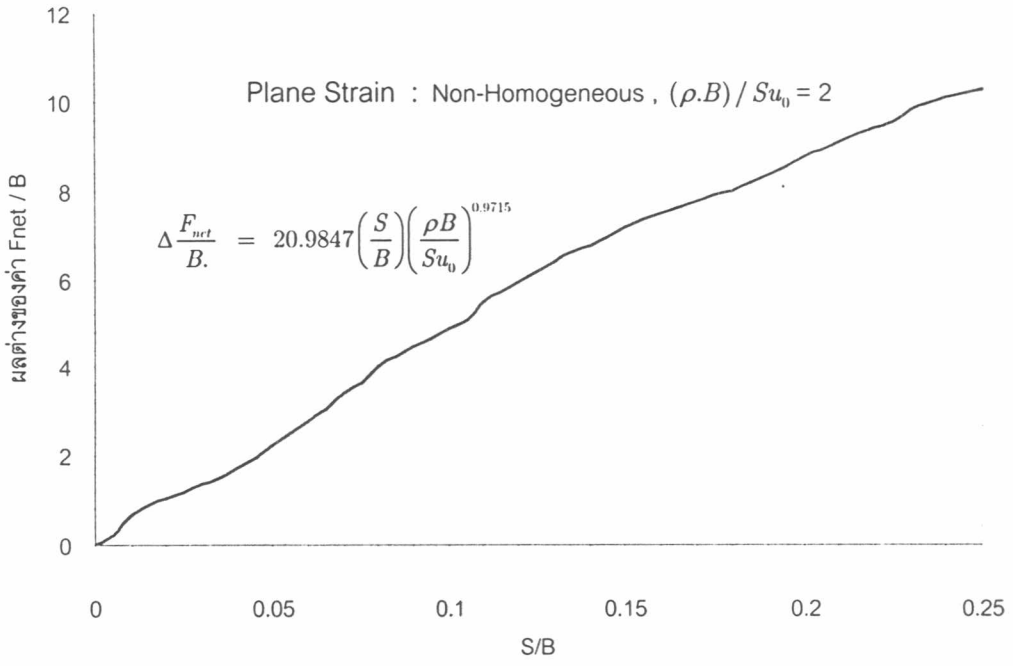


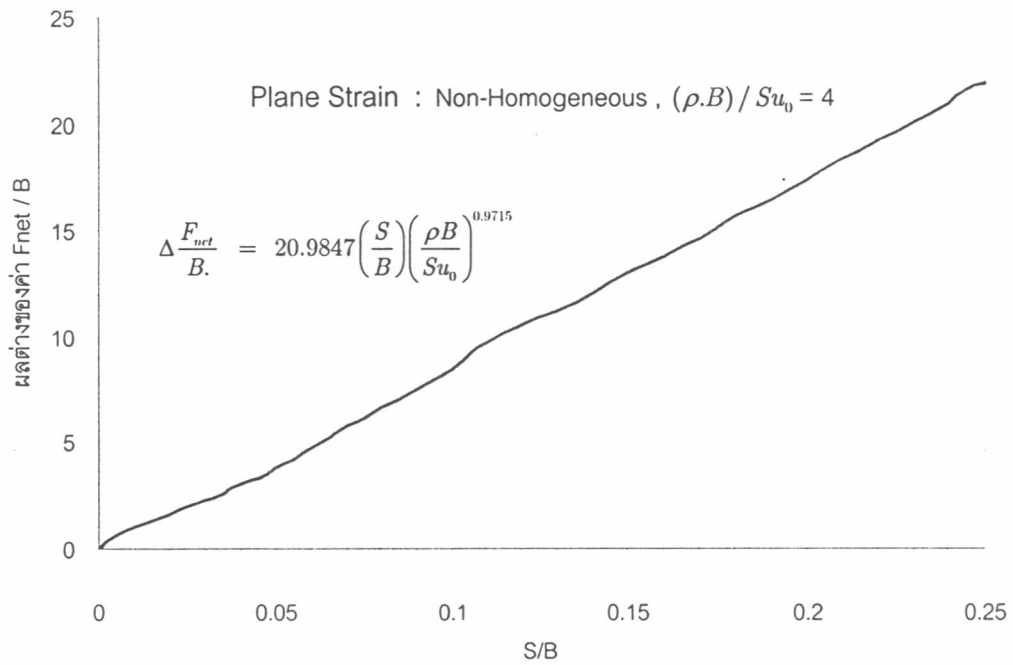
รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 16$



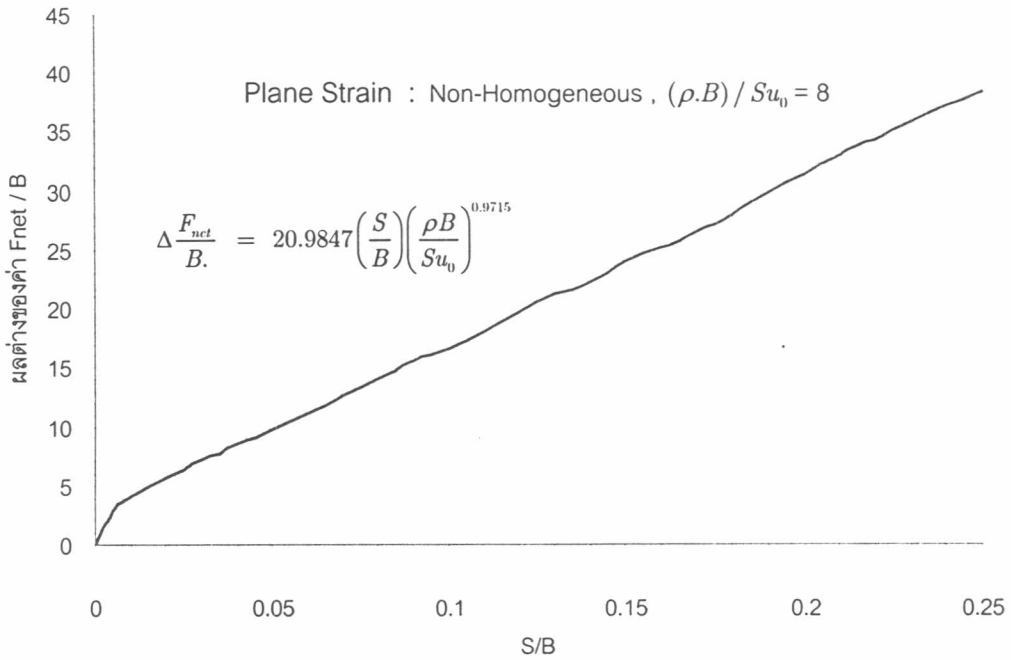


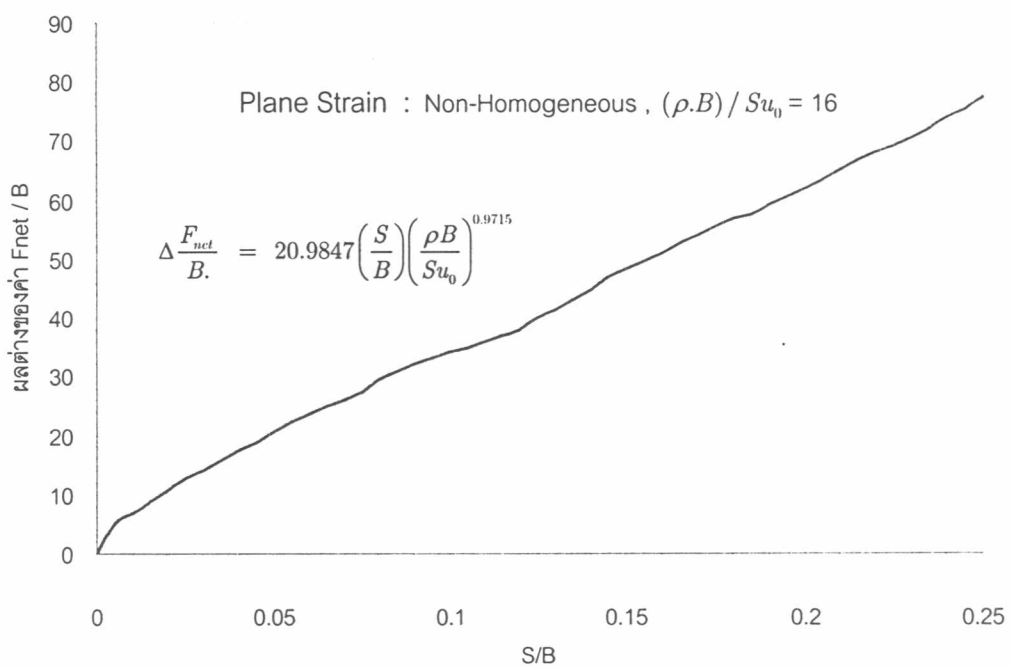
รูปที่ 5.15 ผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ =0.5 และ 1



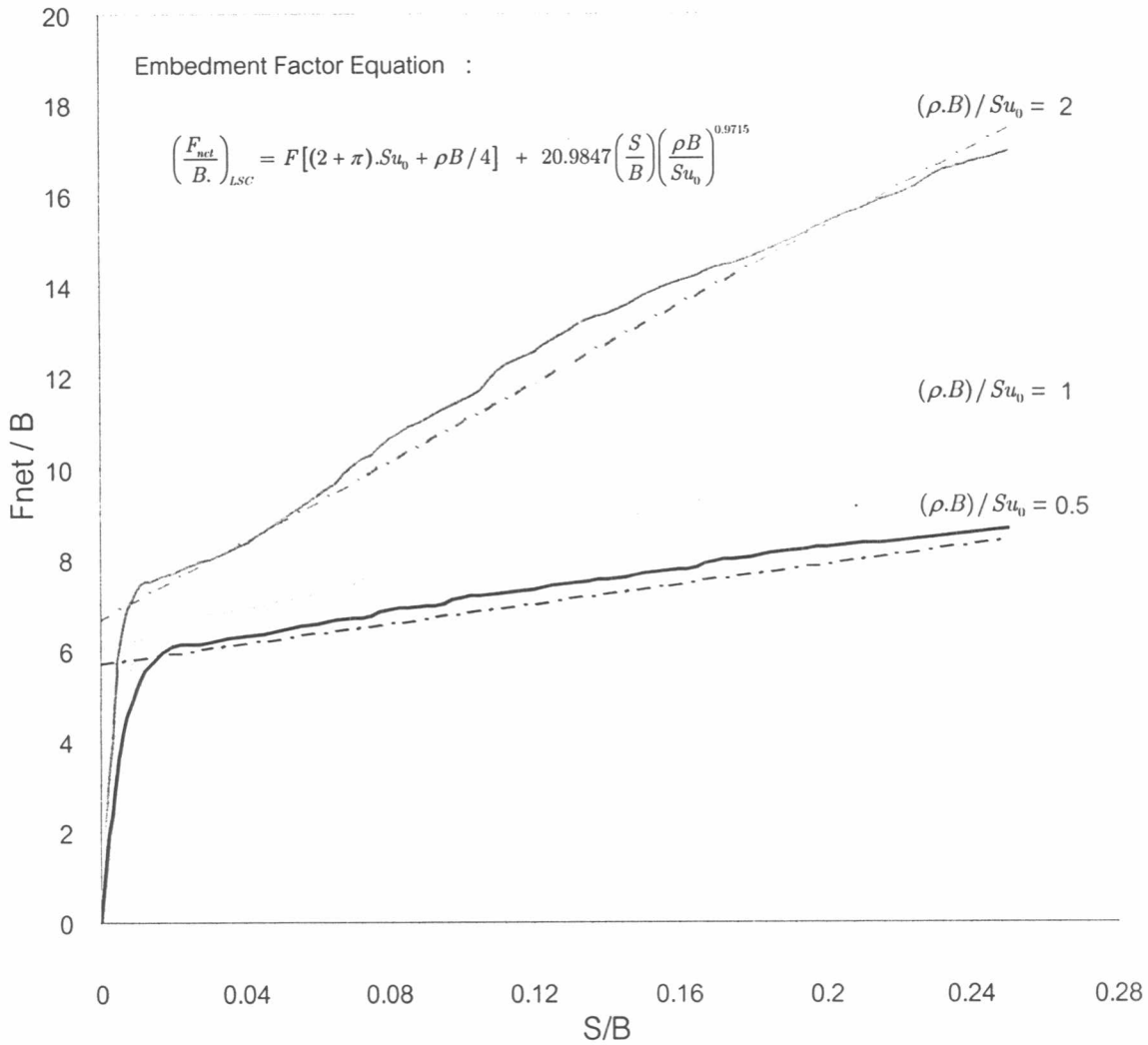


รูปที่ 5.16 ผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ =2 และ 4

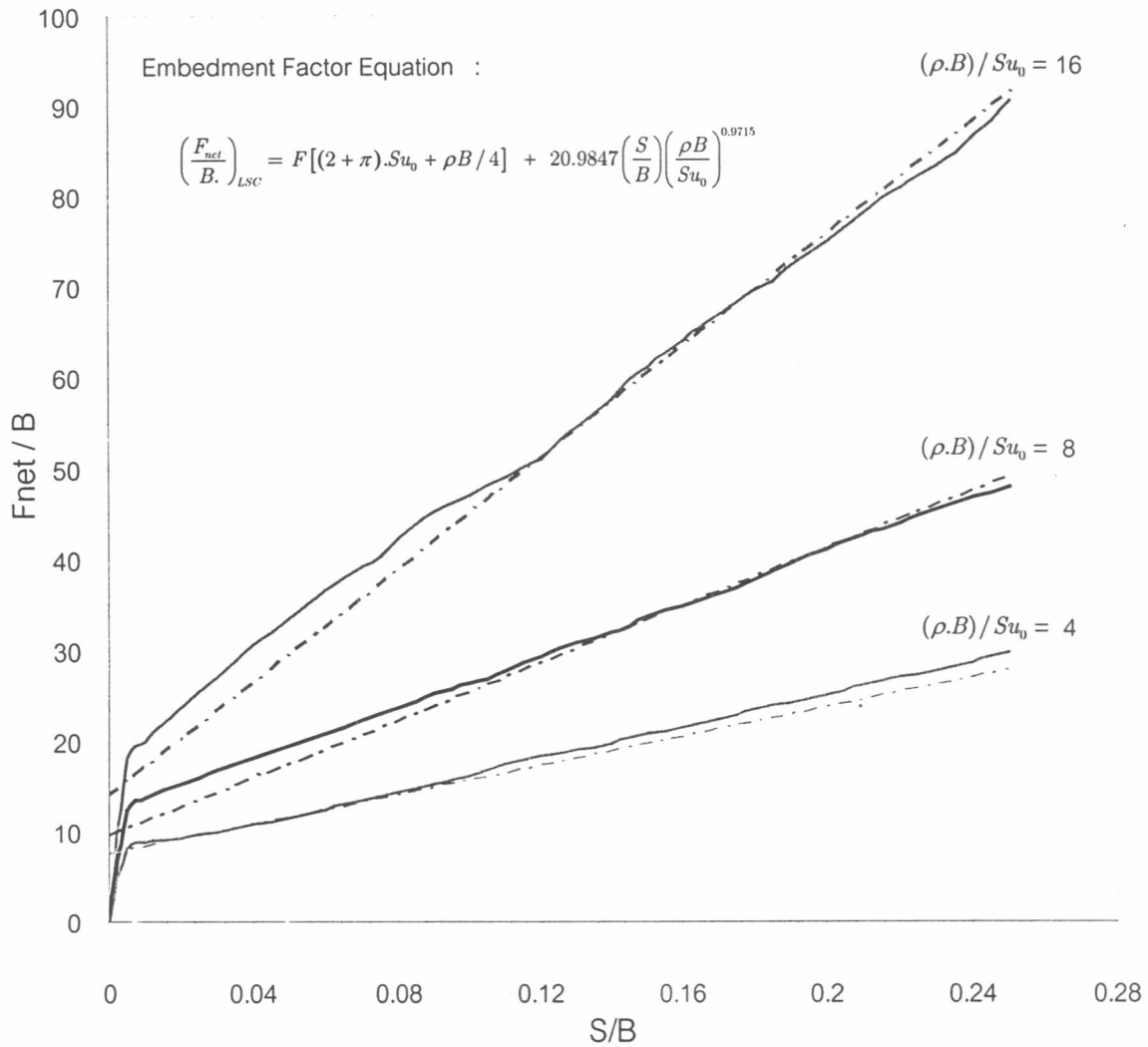




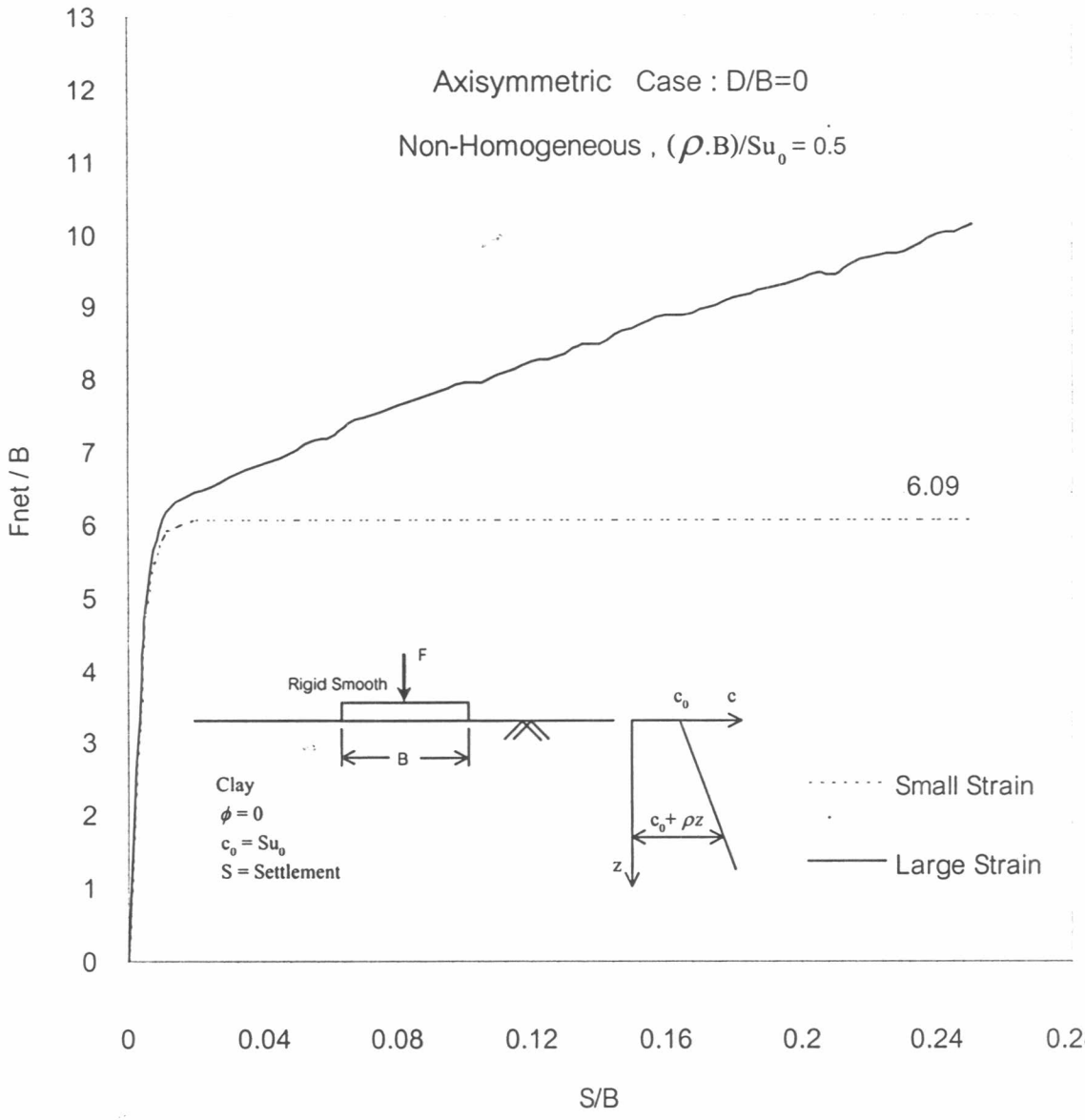
รูปที่ 5.17 ผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ =8 และ 16



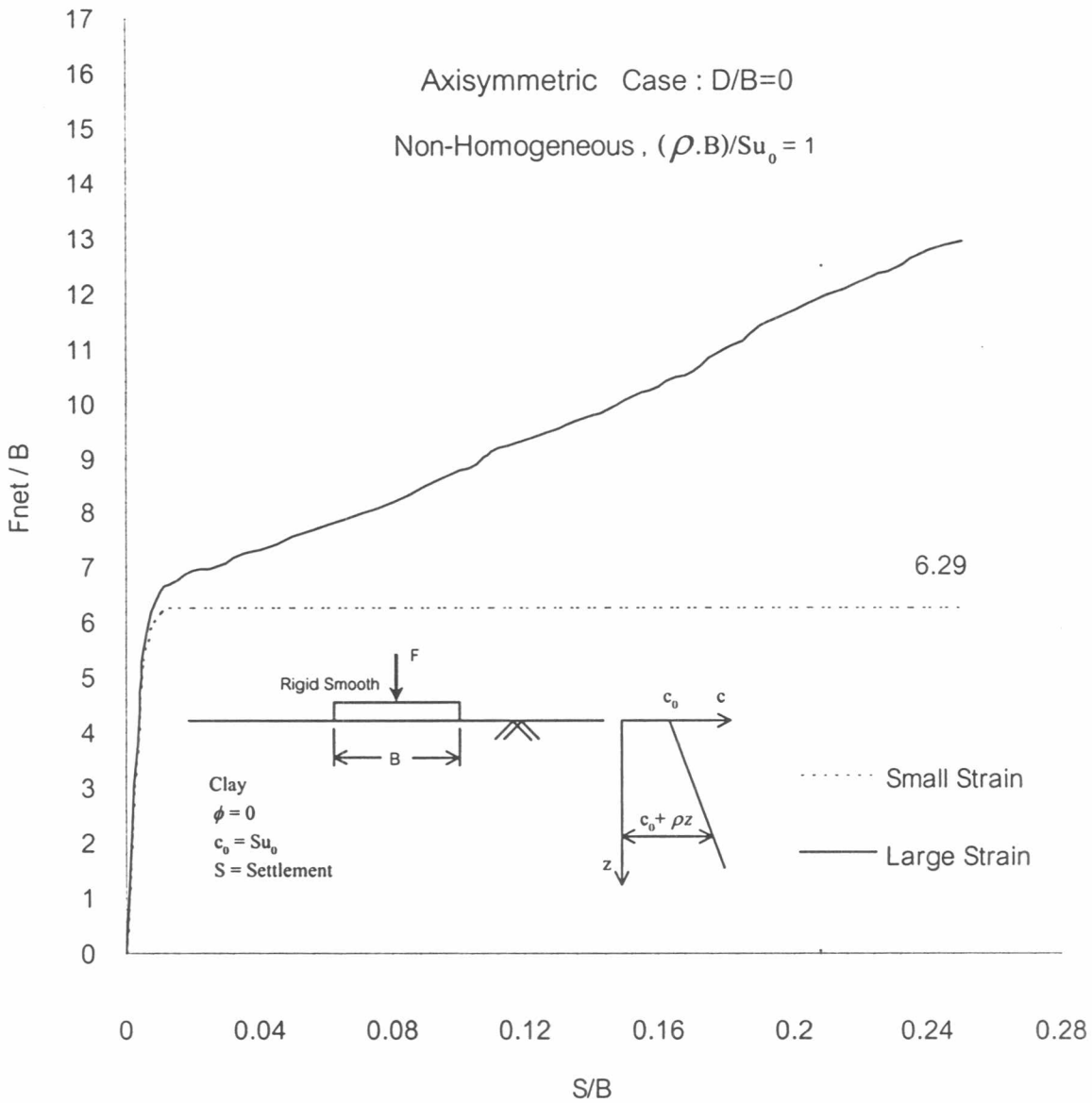
รูปที่ 5.18 การเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้น สำหรับกรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 0.5, 1 และ 2 *กับผลการวิเคราะห์ที่ได้*



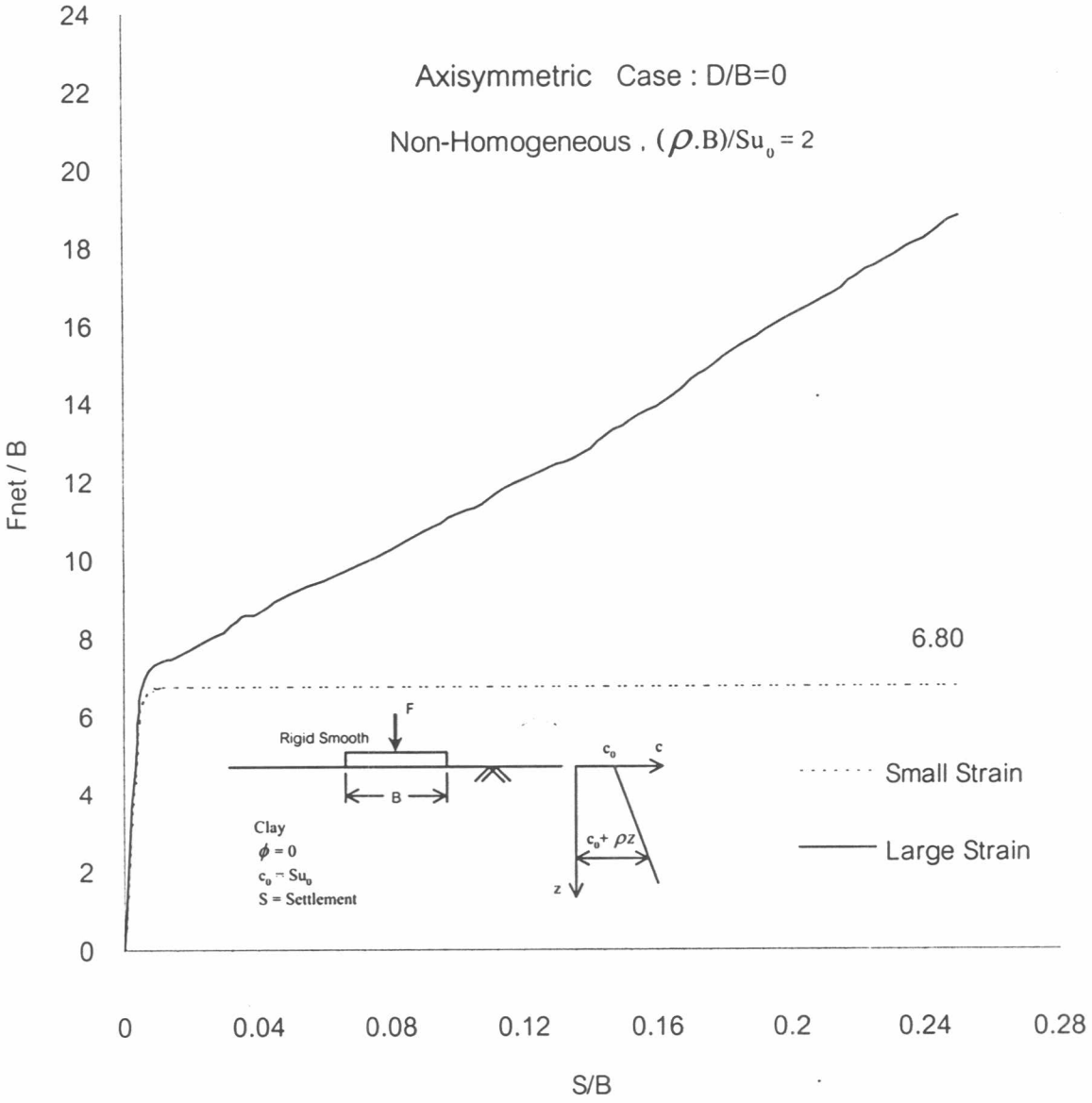
รูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบสมการ Embedment Factor ที่พัฒนาขึ้น สำหรับกรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ เท่ากับ 4, 8 และ 16 *กับผลการวิเคราะห์ที่ได้*



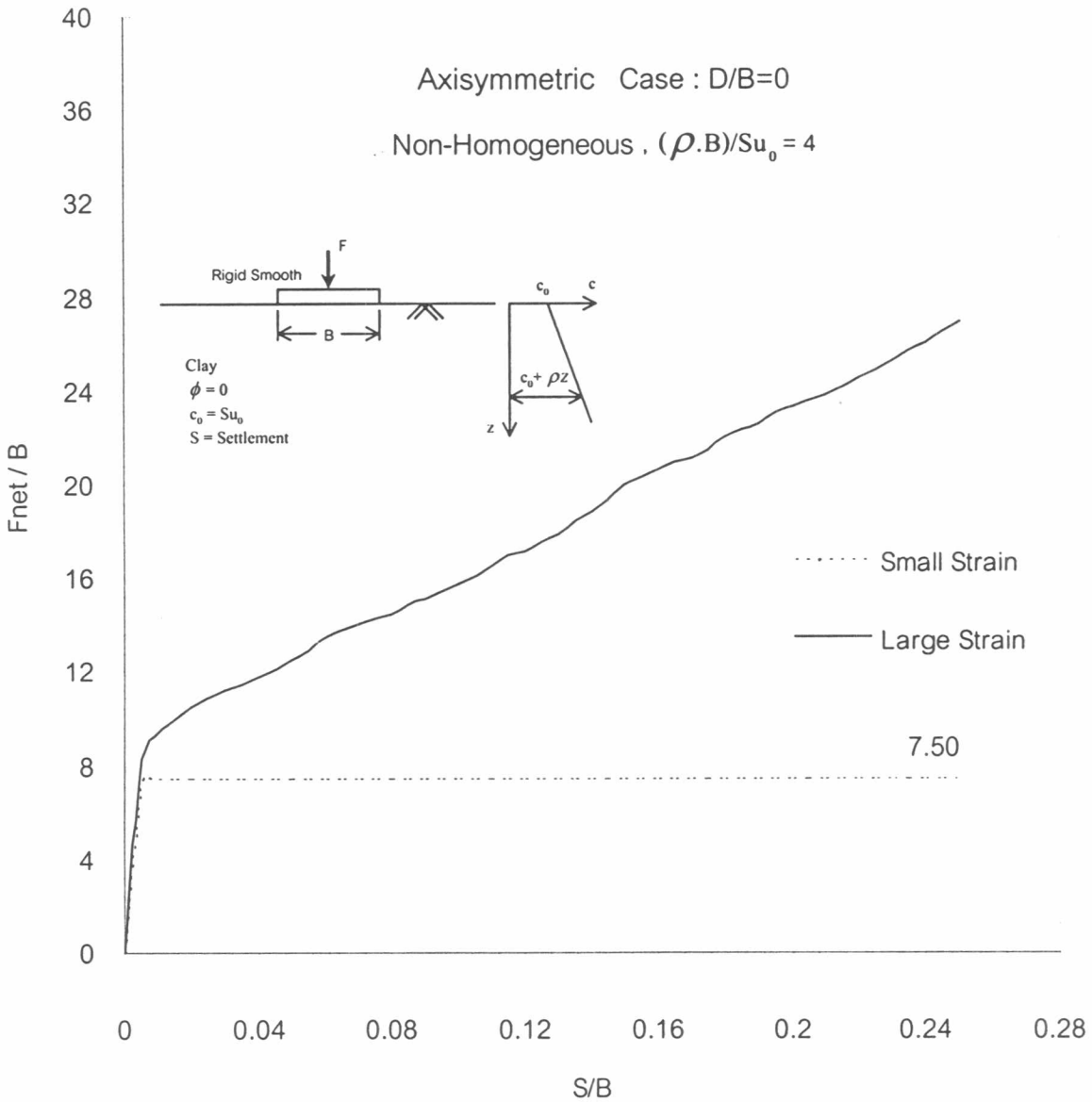
รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 0.5$



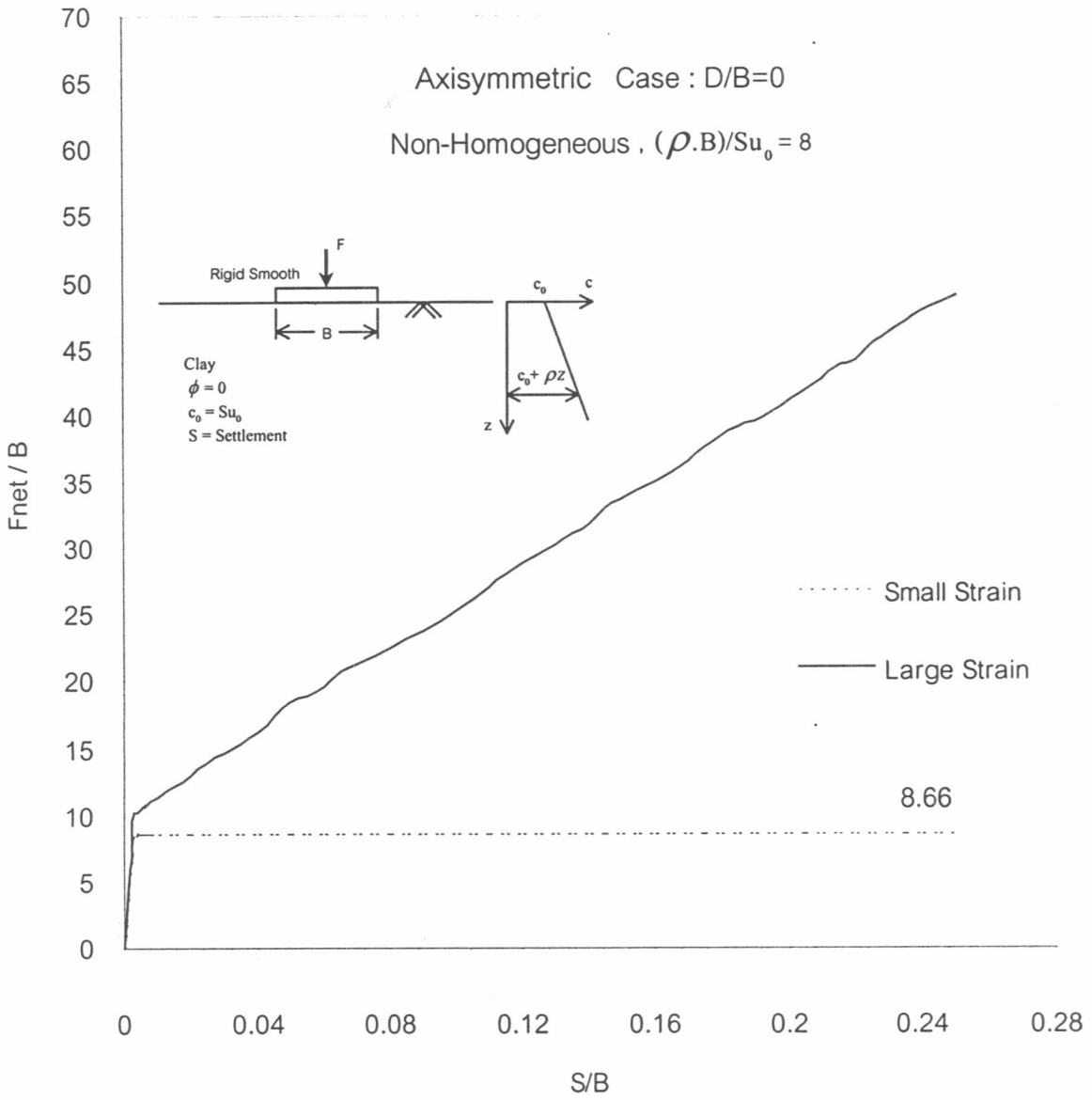
รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 1$



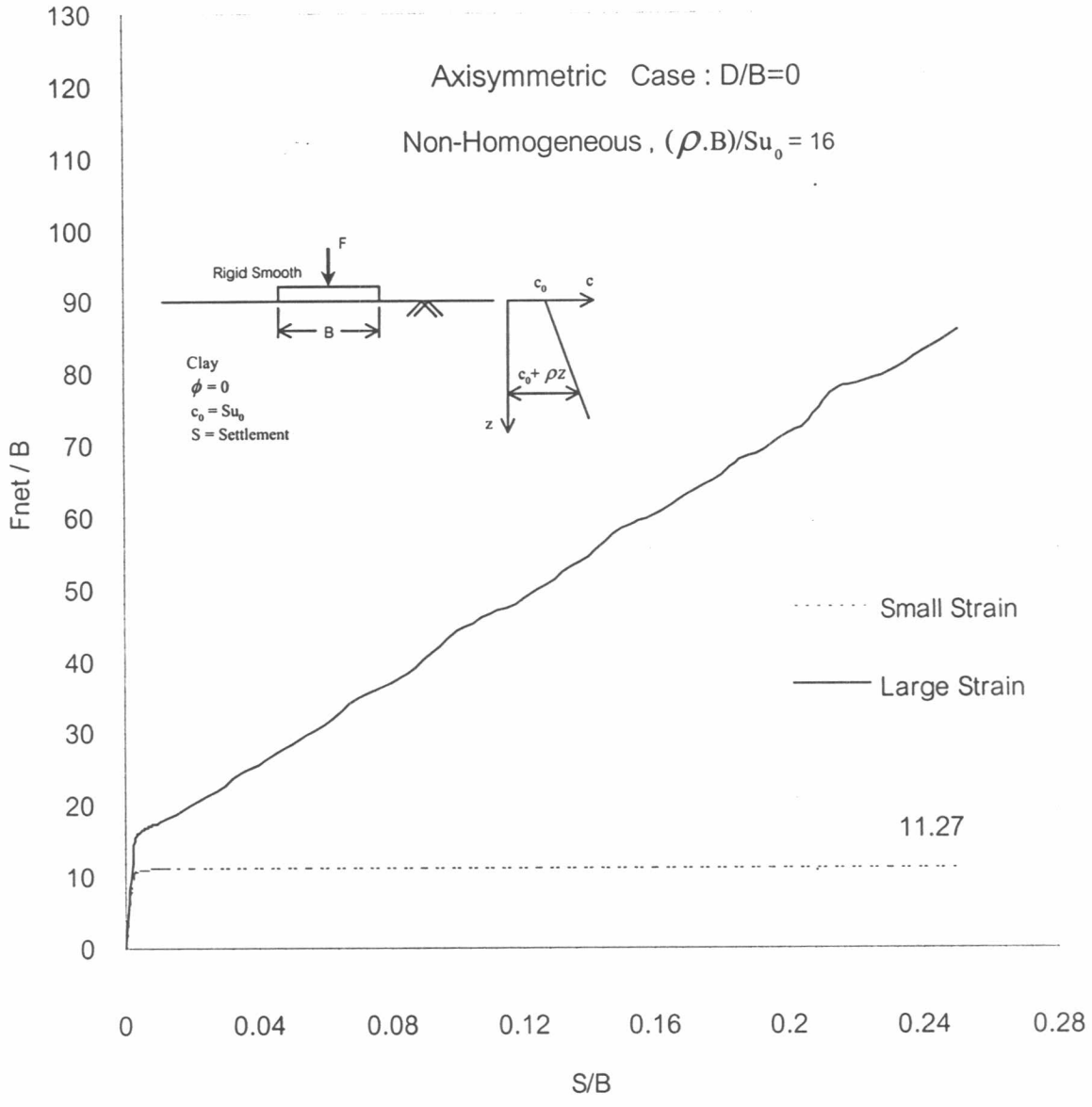
รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 2$



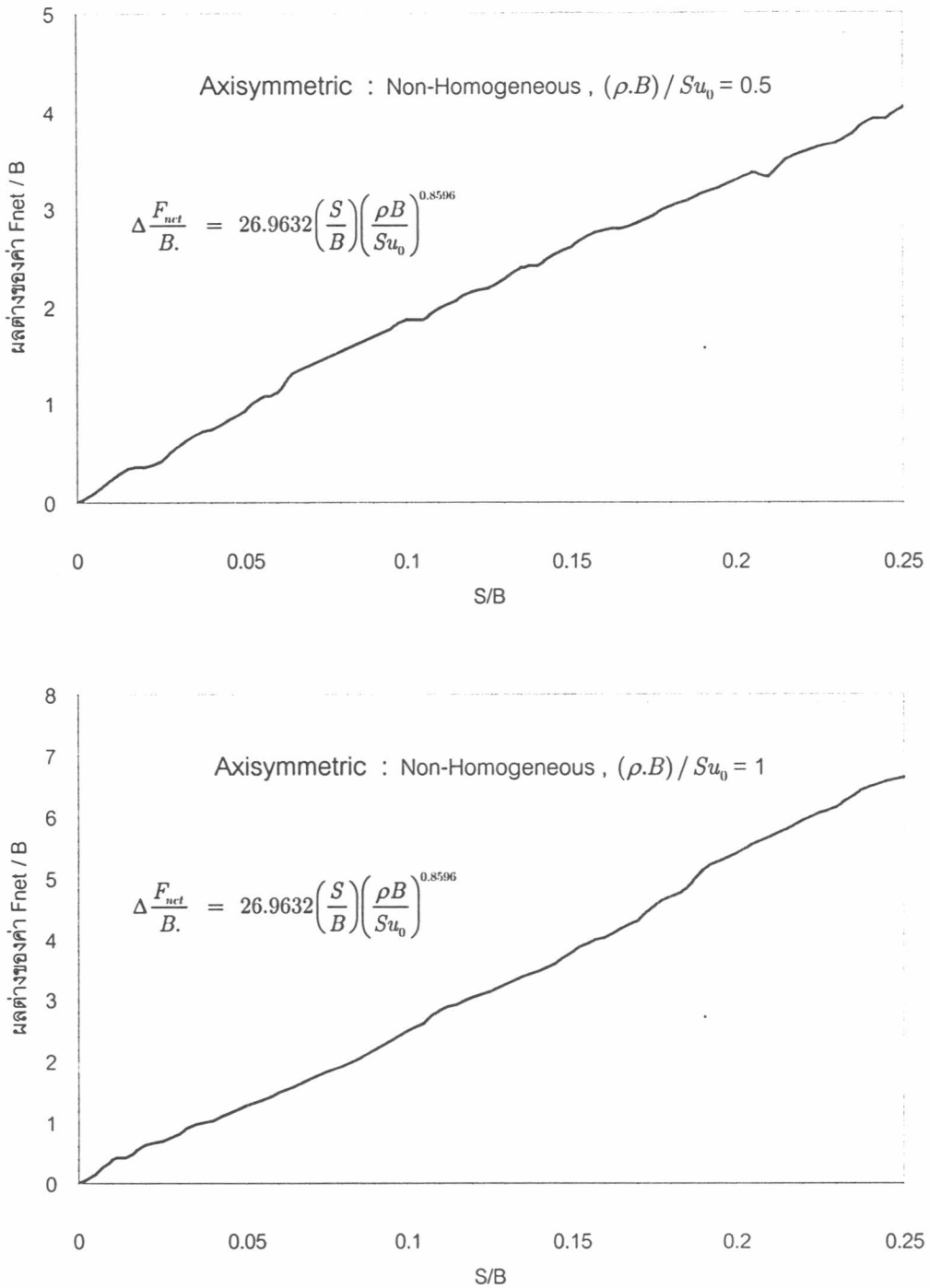
รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 4$



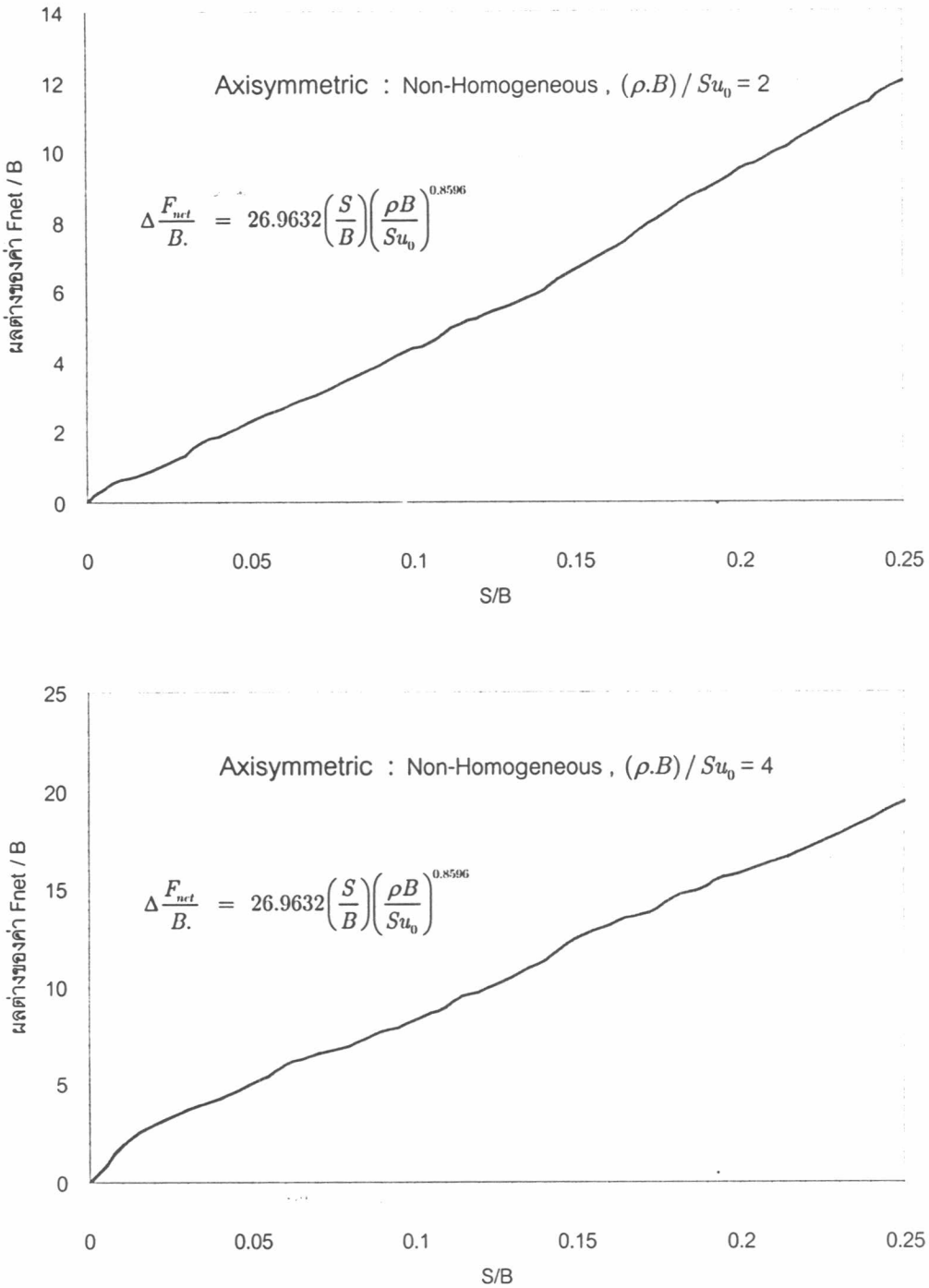
รูปที่ 5.24 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 8$



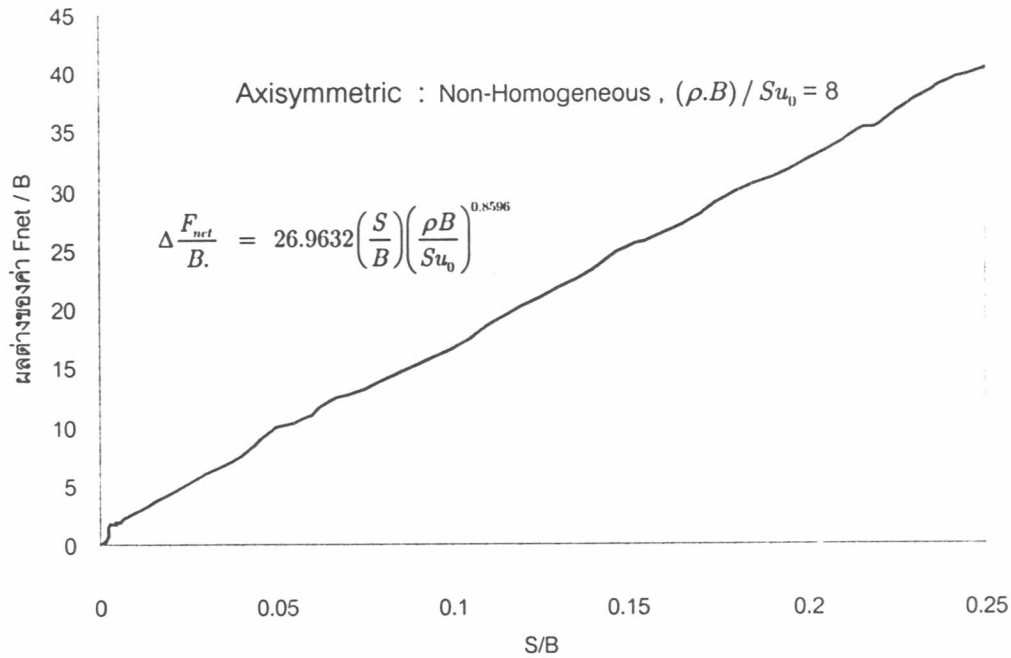
รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากวงกลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 16$

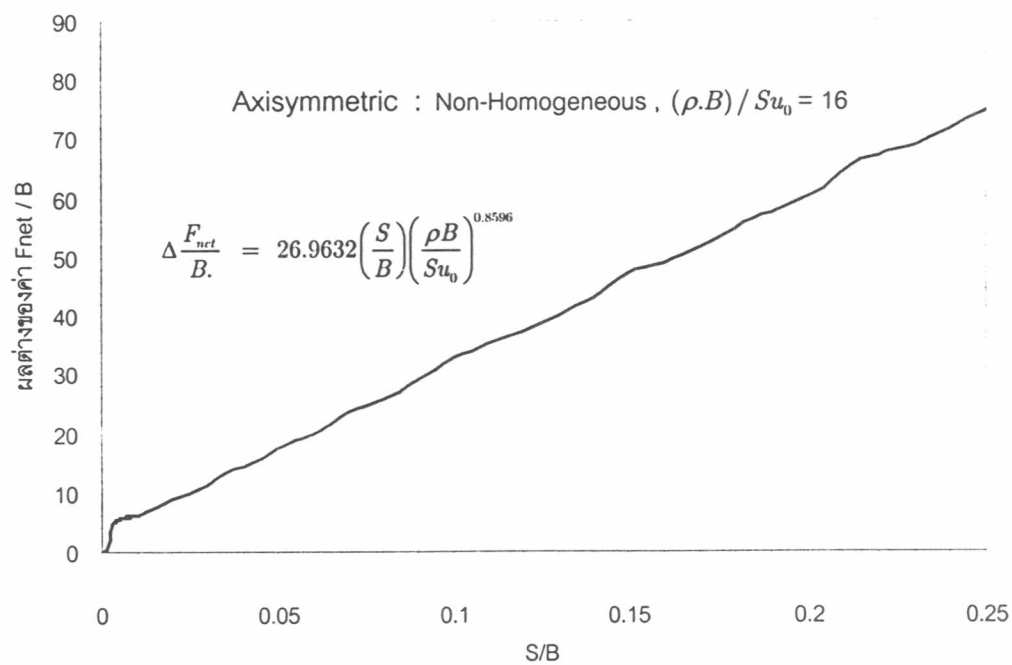


รูปที่ 5.26 ผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากวงกลม กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ =0.5 และ 1

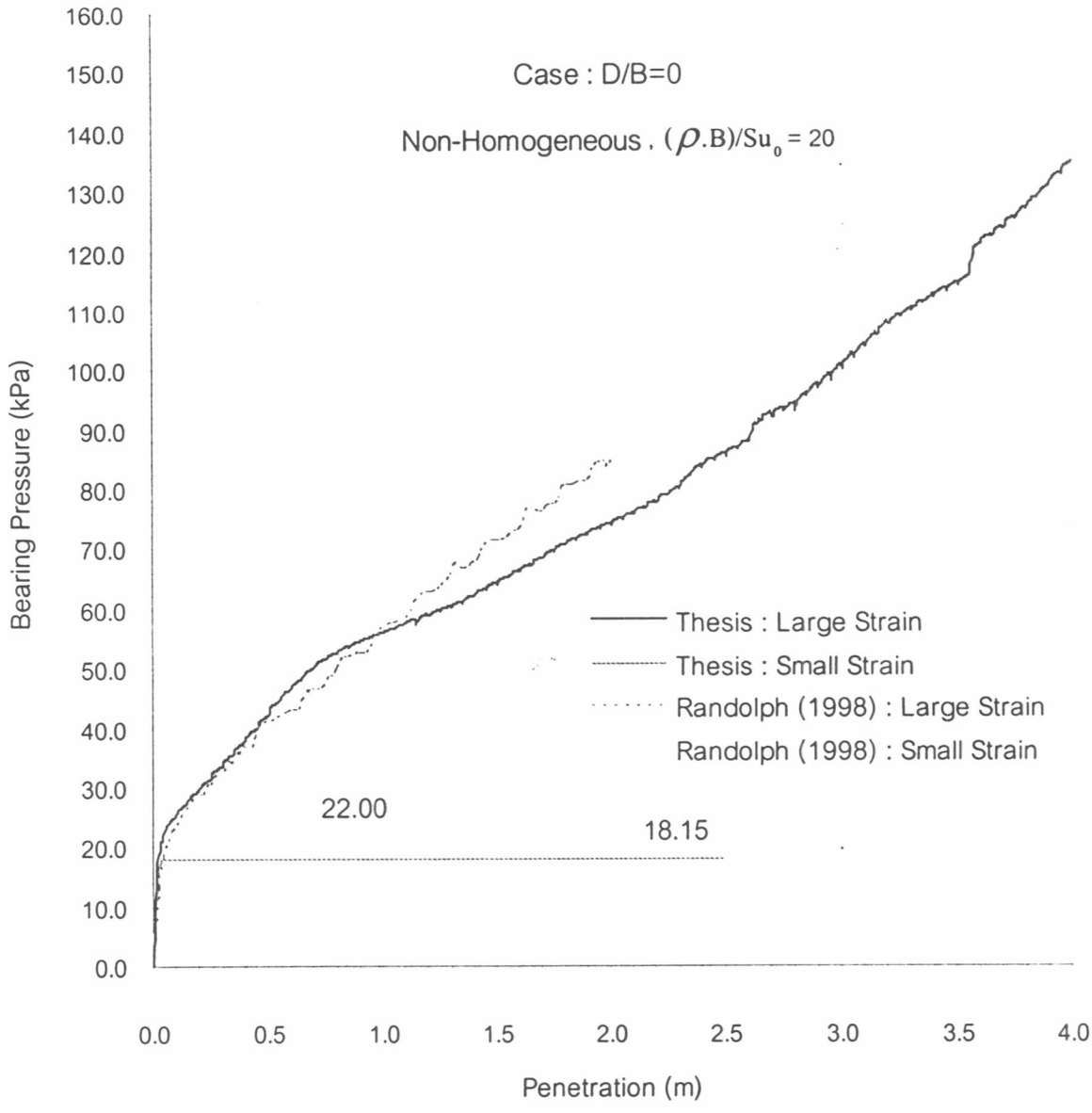


รูปที่ 5.27 ผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากวงกลม กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ =2 และ 4

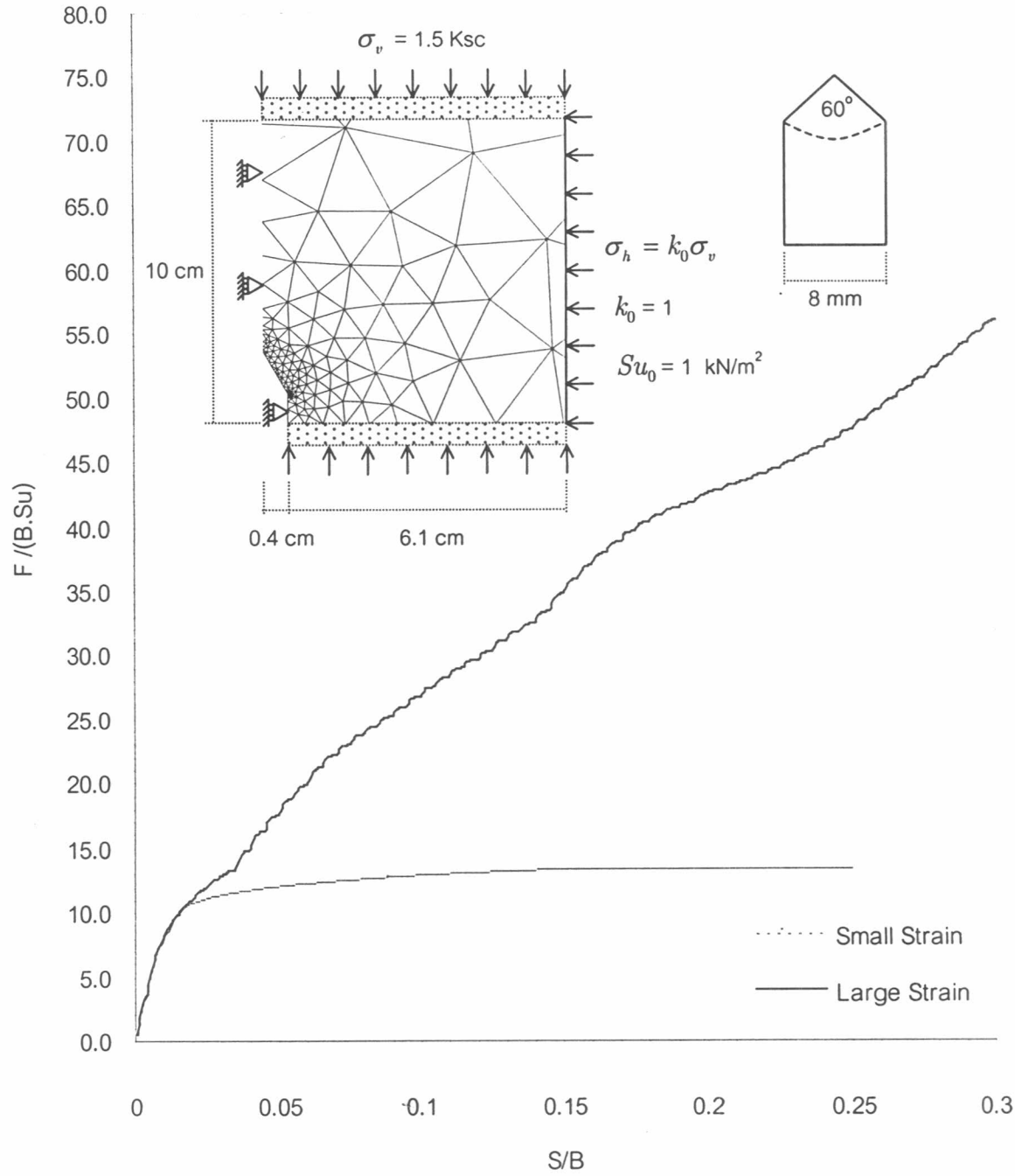




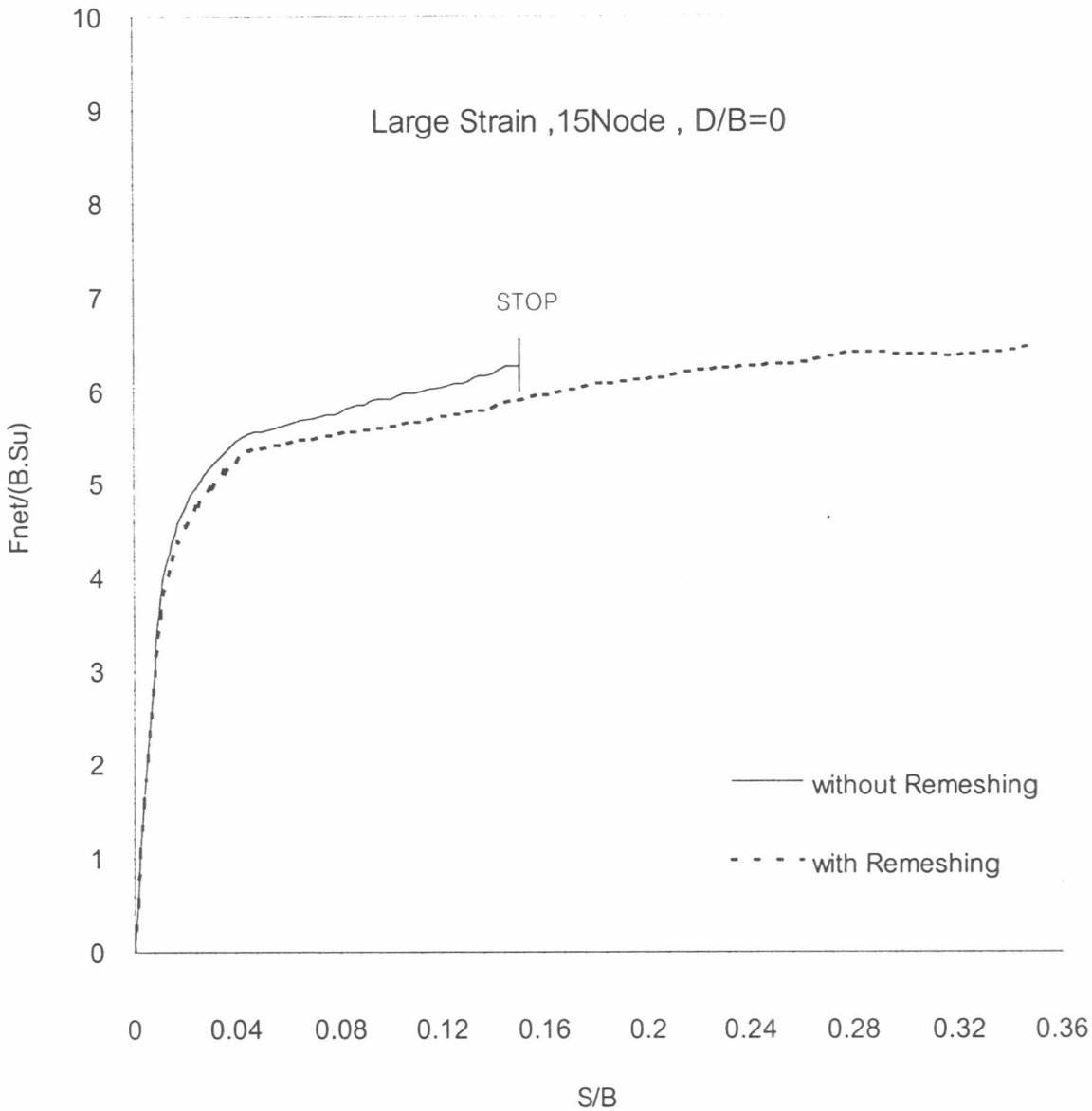
รูปที่ 5.28 ผลต่างของค่า Bearing Capacity ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหา Small Strain และ Large Strain ของฐานรากวงกลม กรณี Non-Homogeneous ที่ค่า $(\rho.B)/Su_0$ =8 และ 16



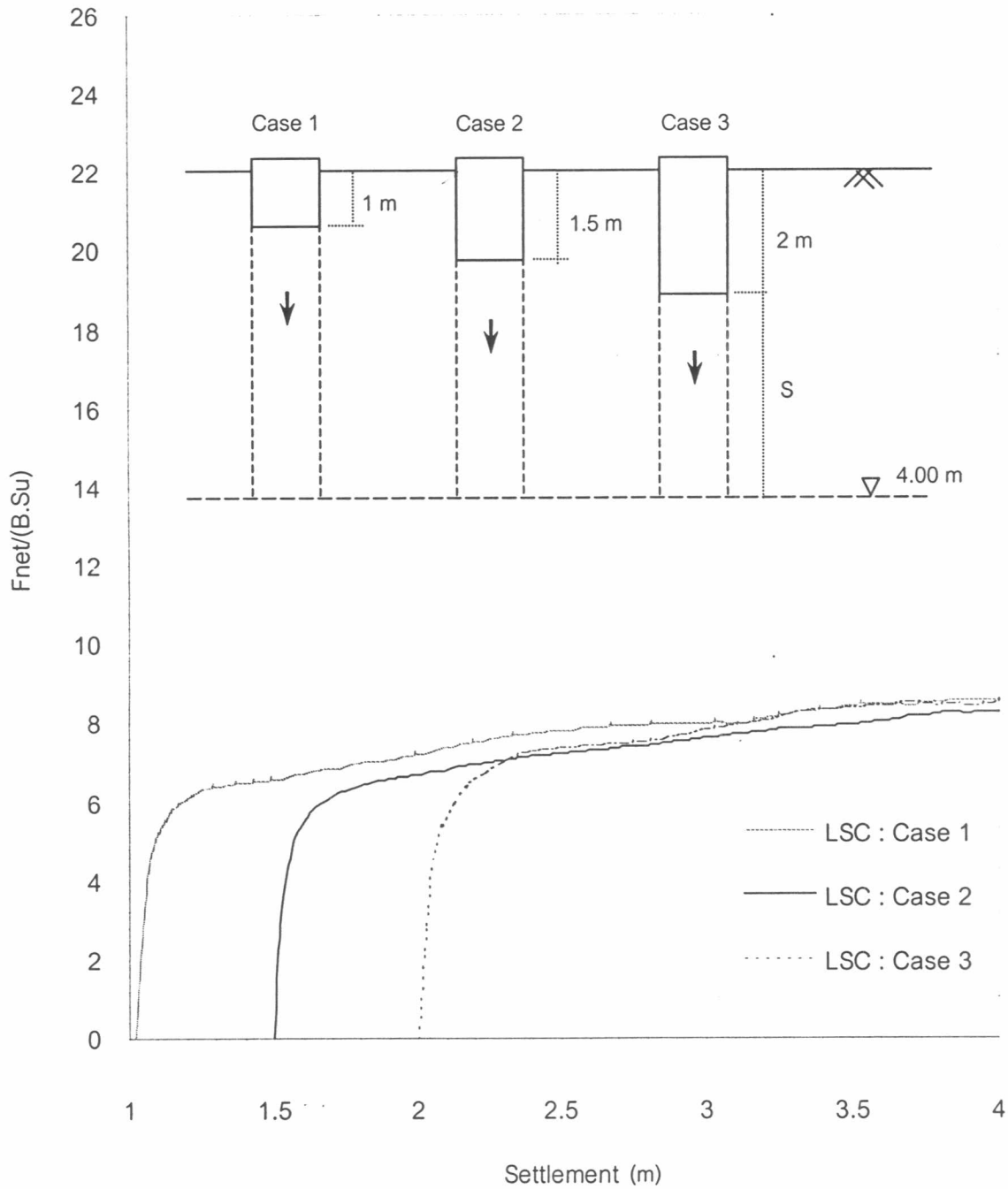
รูปที่ 5.29 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) สำหรับปัญหา Non-Homogeneous โดยมีค่า $(\rho.B)/Su_0 = 20$



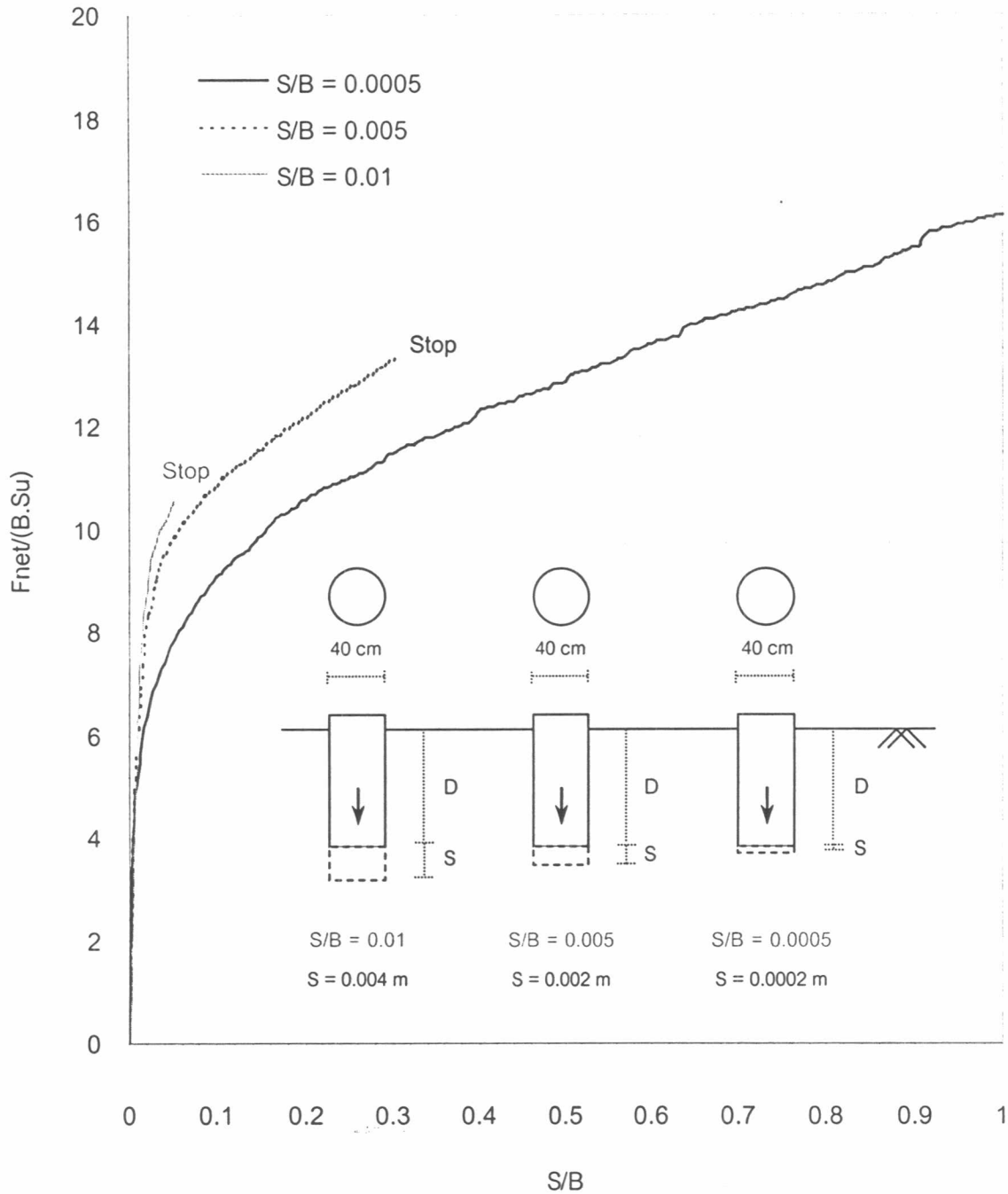
รูปที่ 5.30 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของแท่งกรวยทรงกระบอกปลายแหลม กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC)



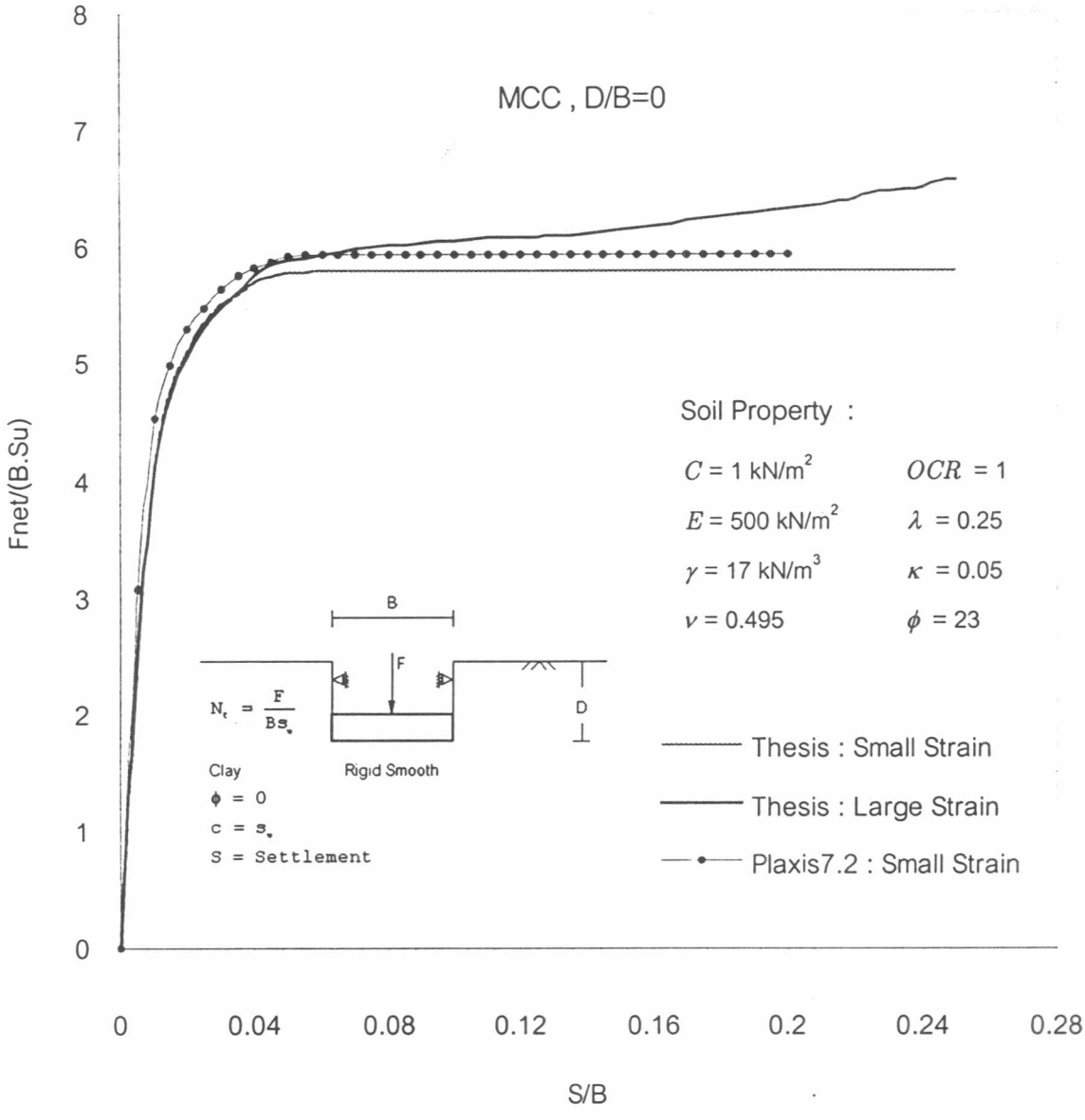
รูปที่ 5.31 ผลของการปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (Mesh Adaptation) ที่มีต่อค่า Bearing Capacity Factor, N_c



รูปที่ 5.32 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain (LSC) ซึ่งเริ่มต้นวางที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5.33 ผลของค่า $\Delta S / B$ ที่มีต่อค่า Bearing Capacity Factor, N_c



รูปที่ 5.34 การเปรียบเทียบ Load-Settlement Curve ของฐานรากต่อเนื่อง กรณี Small Strain (SSC) และ Large Strain (LSC) ที่ D/B=0 โดยใช้แบบจำลองดิน Modified Cam-Clay