

## ผลและวิจารณ์

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมของฐานรากคาน โดยใช่วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM) โดยได้แบ่งกรณีการวิเคราะห์ออกตามคุณสมบัติของดินและคุณสมบัติของฐานราก รายละเอียดในการแบ่งของแต่ละกรณีได้แสดงรายละเอียดไว้ในวิธีการวิจัย คุณสมบัติที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ชนิดของดิน ความแข็งแรงของดิน อัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของฐานราก Roughness of Footing เป็นต้น เมื่อการวิเคราะห์เสร็จสิ้นก็เป็นขั้นตอนของการนำผลที่ได้มาพิจารณา โดยงานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่ค่ากำลังแบกทานของดินเป็นสำคัญ ก็จะนำค่ากำลังแบกทานที่ได้จาก FEM มาเปรียบเทียบกับทฤษฎีหรือสมการที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังศึกษาพฤติกรรมโดยรวมของดินตั้งแต่ในสภาวะเริ่มต้นที่ยังไม่มีน้ำหนักภายนอกมากระทำ หลังจากนั้นเริ่มมีน้ำหนักภายนอกมากระทำจนกระทั่งเกิดการวิบัติของดินขึ้นว่ามีกระบวนการความต่อเนื่องของการวิบัติอย่างไร ดังนั้นในการนำเสนอผลการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก คือ การเปรียบเทียบค่ากำลังแบกทานของดินที่ได้จาก FEM กับสมการกำลังแบกทานของดินโดยทั่วไป พฤติกรรมการวิบัติของดินเนื่องจากการรับน้ำหนักจากฐานรากคาน และลักษณะการเคลื่อนตัวและรูปร่างของระนาบการวิบัติของดินเนื่องจากการรับน้ำหนักจากฐานรากคานแบบ Strip ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. กำลังแบกทานของดินเนื่องจากฐานรากแบบ Strip ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

#### 1.1 กำลังแบกทานของดินเหนียวเนื่องจากฐานรากแบบ Strip

ในการหาค่ากำลังแบกทานของดินเหนียวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะแบ่งกรณีการวิเคราะห์ตามค่ากำลังความแข็งแรงของดิน โดยแบ่งออกเป็น ดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวแข็งปานกลางและดินเหนียวแข็งมาก ส่วนคุณสมบัติของฐานรากจะแบ่งกรณีการวิเคราะห์ตามความกว้างของฐานราก ได้แก่ 1, 2 และ 3 เมตร อัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้างของฐานราก ได้แก่ 0, 0.5, 1, และ 2 และผิวสัมผัสระหว่างฐานรากกับดิน ได้แก่ แบบขรุขระ (Rough) กับแบบราบเรียบ(Smooth) ซึ่งรวมกรณีที่ทำการวิเคราะห์กำลังแบกทานของดินเหนียวทั้งหมดเท่ากับ 72 กรณี จากนั้นพิจารณาค่ากำลังแบกทานของดินจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแบกทานกับการทรุดตัวที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาพร้อมกับ Total Incremental Displacement ของดินใต้ฐานรากด้วย

จากภาพที่ 63-74 จะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังแบกทานของดินกับการทรุดตัว ซึ่งในแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยผลการวิเคราะห์รวม 6 กรณีซึ่งจะเป็นกราฟของดินที่ค่าความแข็งแรงแตกต่างกันและเงื่อนไขของ Roughness of Footing ที่ต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละภาพจะแสดงค่ากำลังแบกทานของดินที่คำนวณได้จากสูตรทั่วไปที่เป็นที่นิยมใช้กันอยู่ ได้แก่ สมการของ Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic และ Fellenius ซึ่งแต่ละสมการก็จะให้ค่าที่แตกต่างกันไปเนื่องจากสมมติฐานที่แตกต่างกัน

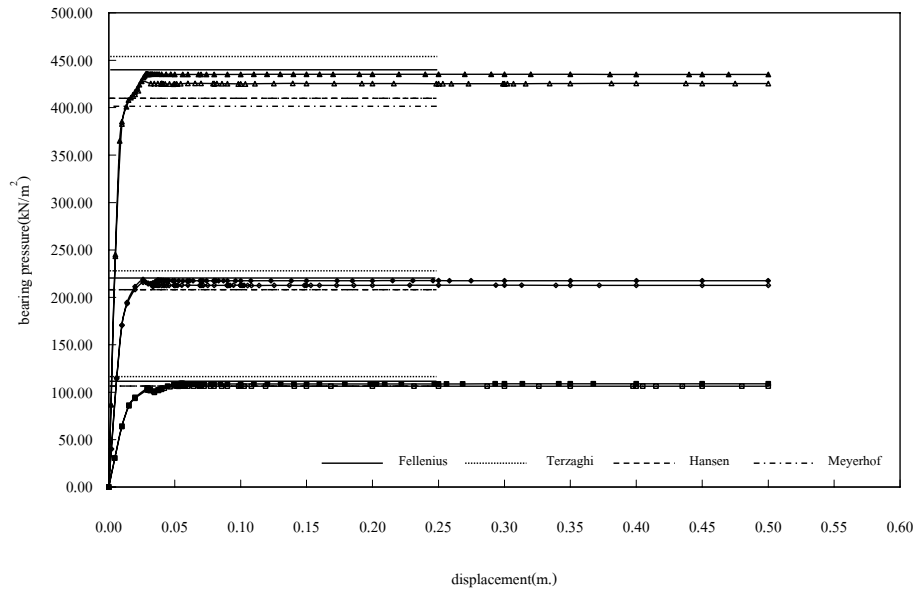
สำหรับดินเหนียว กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังแบกทานของดินกับค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นสามารถพิจารณาแยกออกตามคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ค่าความแข็งแรงของดิน ความกว้างของฐานราก อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของฐานราก ตามลำดับ

สำหรับอิทธิพลของค่าความแข็งแรงของดิน เมื่อดินกำลังแบกทานของดินจะแปรผันตามค่ากำลังความแข็งแรงของดิน รูปร่างของกราฟมีลักษณะที่เหมือนกันแต่จะมีความชันของกราฟในช่วงที่สถานะพลาสติกสูงขึ้นเมื่อดินมีค่าความแข็งแรงของดินมากขึ้นและค่ากำลังแบกทานของดินในสถานะพลาสติกที่สูงขึ้นเมื่อดินมีค่าความแข็งแรงสูงมากขึ้น นั่นคือความชันของกราฟในช่วงพลาสติกและค่ากำลังแบกทานของดินในสถานะพลาสติกสามารถเรียงจากน้อยไปมากได้ดังนี้ คือ ดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวแข็งปานกลาง และดินเหนียวแข็งมาก

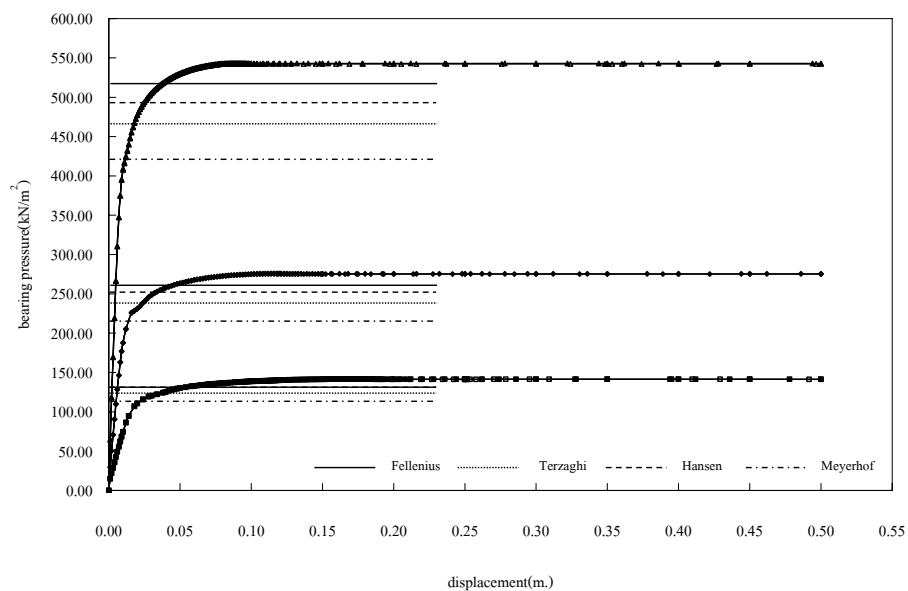
สำหรับอิทธิพลของความกว้างของฐานรากต่อค่ากำลังแบกทานของดิน เมื่อฐานรากมีความกว้างเพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้มีพื้นที่ในการกระจายน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นซึ่งก็จะทำให้มีค่ากำลังแบกทานสูงมากขึ้นไปด้วย และเมื่อฐานรากวางที่ระดับความลึกจากผิวดินมากขึ้น ค่ากำลังแบกทานของดินก็จะสูงมากขึ้นด้วย เนื่องมาจากแรงต้านทานจากดินที่อยู่เหนือระดับของฐานรากมาช่วย และจากภาพที่จะเห็นว่าค่า Roughness of Footing จะมีอิทธิพลต่อค่ากำลังแบกทานของดินกรณีที่ฐานรากวางอยู่ที่ผิวดิน แต่เมื่อฐานรากวางที่ระดับลึกจากผิวดินลงไป ค่า Roughness ก็จะไม่ค่อยมีผลต่อค่ากำลังแบกทานของดิน โดยหากกำหนดให้มีลักษณะแบบ Rough ซึ่งผิวสัมผัสเป็นแบบขรุขระ มีการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นเฉพาะแนวตั้ง ไม่มีการเคลื่อนตัวในแนวราบ ค่ากำลังแบกทานที่ได้ก็จะสูงกว่าการกำหนดให้ผิวสัมผัสเป็นแบบ Smooth ซึ่งเป็นการกำหนดให้ดินใต้ฐานรากเคลื่อนตัวได้ทั้งแนวตั้งและแนวราบซึ่งสามารถที่จะเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ แต่เมื่อฐานรากวางอยู่ที่ระดับลึกลงไปจากระดับผิวดิน ค่า Roughness ก็จะมีอิทธิพลน้อยลงหรือแทบจะไม่มีอิทธิพลเลยเนื่องจากถูกล้อมหรือกดไว้ด้วยดินที่อยู่สูงจากระดับฐานรากไว้ ทำให้เป็นการจำกัดความสามารถในการเคลื่อนตัวของดิน

จากกราฟความสัมพันธ์ทั้ง 72 กรณีของดินเหนียว สามารถที่จะหาค่ากำลังแบกทานของดินได้ โดยจะพิจารณาค่าการทรุดตัวที่ก่อให้เกิดการ yield ของดินหรือดินเริ่มเกิดการวิบัติเป็นจุดแรกหรือดินเริ่มเกิดจุดที่เป็นพลาสติกขึ้น นั่นคือดินที่จุดนั้นมีค่าหน่วยแรงเฉือนสูงกว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินนั่นเอง เมื่อเลยจุดนี้ไปดินก็จะเกิดจุดที่เป็นพลาสติกมากขึ้นเรื่อยๆรวมตัวกันเป็นมวลพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกสภาวะในช่วงนี้ว่า Elasto-Plastic State จนกระทั่งมวลที่เป็นพลาสติกรวมตัวกันเป็นระนาบการวิบัติไปสัมผัสที่ผิวดิน ณ จุดนี้ จะเรียกว่า Limit Equilibrium State คือสภาวะที่มวลดินก่อนที่จะเกิดการวิบัติโดยมวลดินในสภาวะนี้ยังคงอยู่ในสมดุลอยู่ แต่หากเลยจุดนี้ไปดินก็จะเกิดการวิบัติขึ้นอย่างทันทีทันใด หรือเรียกจุดที่เกิดการวิบัตินี้ว่า Collapse Mechanism State ดังนั้นในตารางที่ 18 จะประกอบไปด้วยค่าการทรุดตัว ณ First Local Yield State Limit Equilibrium State และ Collapse Mechanism State แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการกำลังแบกทาน โดยทั่วไปอันได้แก่ สมการของ Fellenius Terzaghi Hansen และ Meyerhof ซึ่งค่าที่ได้จาก FEM ของดินเหนียวจะมีความใกล้เคียงกับสมการของ Fellenius และ Hansen ในช่วง  $D/B < 1$  ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้จะมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่กรณี  $D/B > 1$  ค่าที่ได้จาก FEM ก็มีความใกล้เคียงกับสมการของ Fellenius และ Hansen เช่นกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์

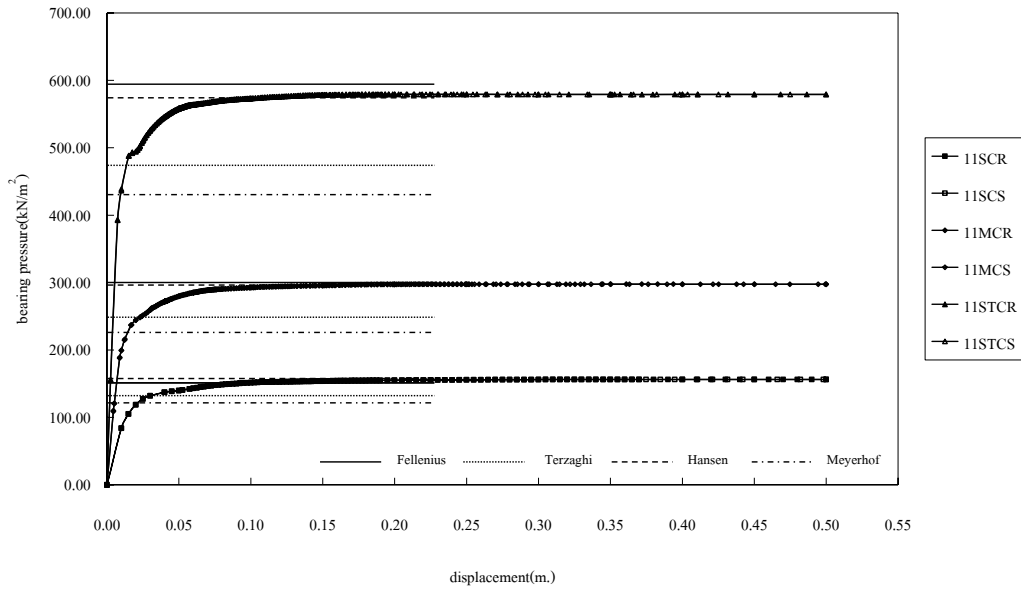
จากภาพของความสัมพันธ์ทั้งหมดสามารถที่จะสรุปภาพรวมตามภาพที่ 78 ได้ว่า ดินเมื่อรับน้ำหนักจากภายนอก ในช่วงแรกหรือที่ค่าการทรุดตัวต่ำดินจะยังคงมีพฤติกรรมเป็นแบบอิลาสติกอยู่ โดยจุดสุดท้ายที่ดินยังคงอยู่ในสภาวะอิลาสติกอยู่คือจุดก่อนที่ดินจะเกิด First Local Yield เทียบได้กับกราฟในช่วงที่ยังเป็นเส้นตรง จากนั้นดินก็จะเริ่มเกิดการวิบัติขึ้นหรือเกิด First Local Yield จุดพลาสติกของดินจะเกิดขึ้นและขยายขนาดมากขึ้นเทียบได้กับกราฟช่วงที่เริ่มจะไม่เป็นเส้นตรง จนกระทั่งเริ่มมีค่าความชันเพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่าความชันของกราฟเกือบที่จะเป็นศูนย์ และเมื่อดินที่เป็นพลาสติกขยายตัวจนกระทั่งไปสัมผัสที่ผิวดินจุดนี้เป็นจุดที่ดินพร้อมที่จะเกิดการวิบัติแล้วแต่ยังคงอยู่ในสภาวะสมดุลอยู่จุดนี้จะเป็นจุดก่อนที่กราฟจะเริ่มมีค่าความชันเท่ากับ 0 หรือ ที่เรียกว่า จุด Limit Equilibrium State หลังจากนั้นเมื่อมีน้ำหนักกระทำมากขึ้นดินก็จะเกิดการวิบัติขึ้นนั่นคือถึงแม้ในกราฟค่าการทรุดตัวที่เกิดจะมากขึ้นแต่ค่ากำลังแบกทานของดินก็จะคงที่ หรือเป็นช่วงที่กราฟจะมีค่าความชันเท่ากับ 0



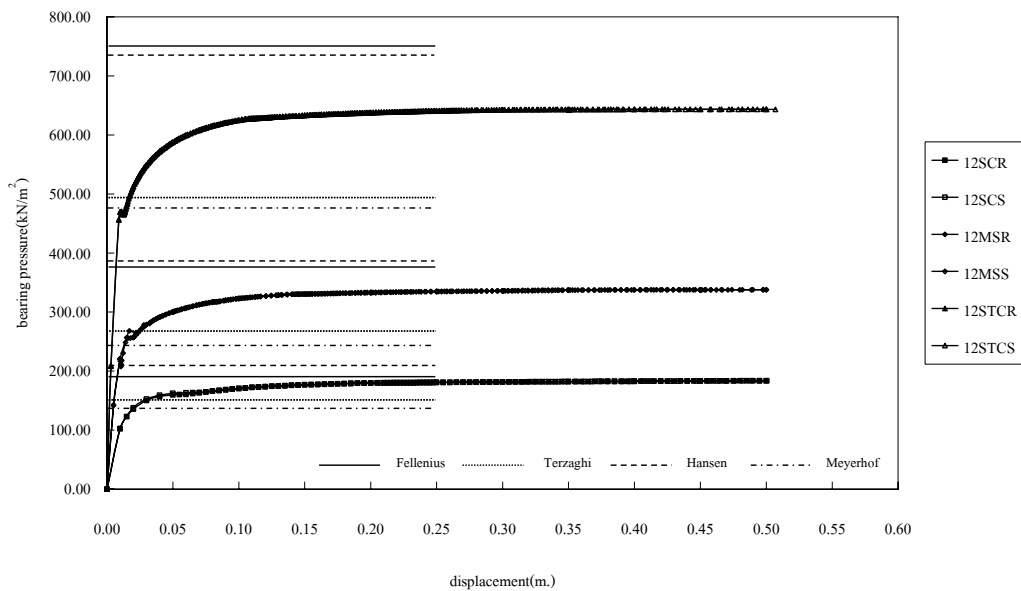
ภาพที่ 63 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0



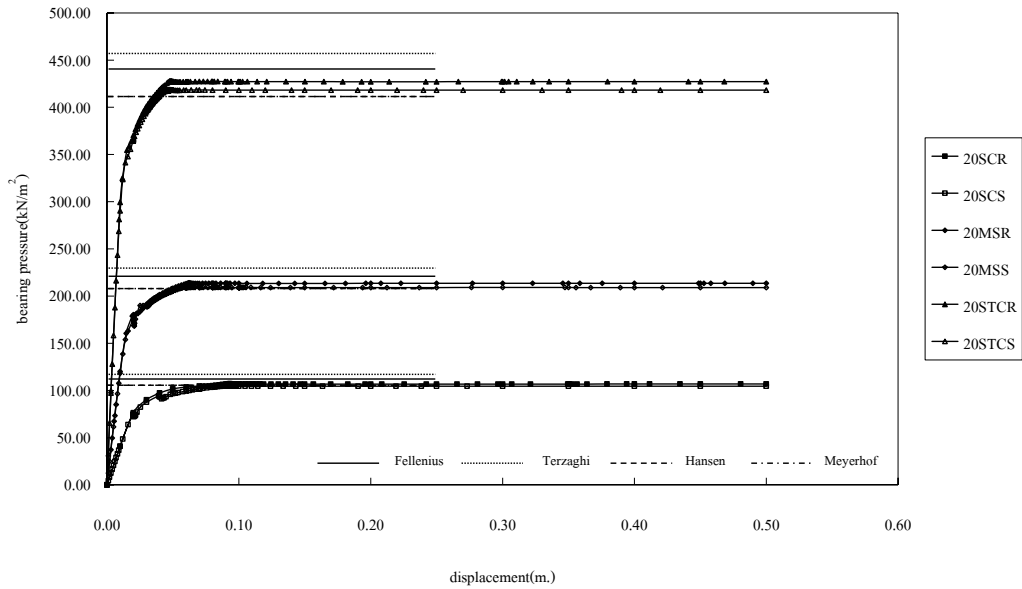
ภาพที่ 64 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียวกรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 0.5



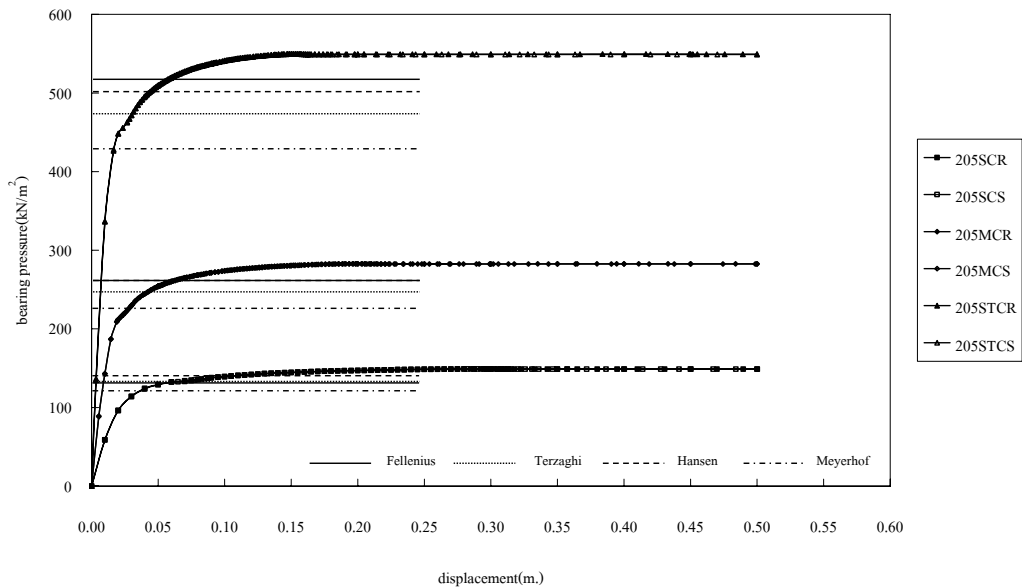
ภาพที่ 65 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 1



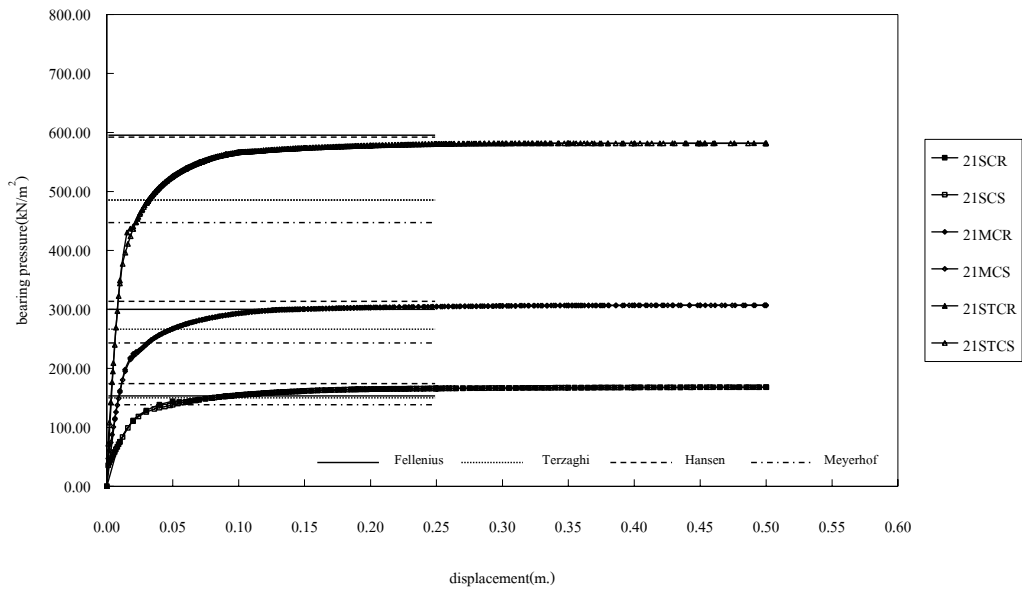
ภาพที่ 66 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 2



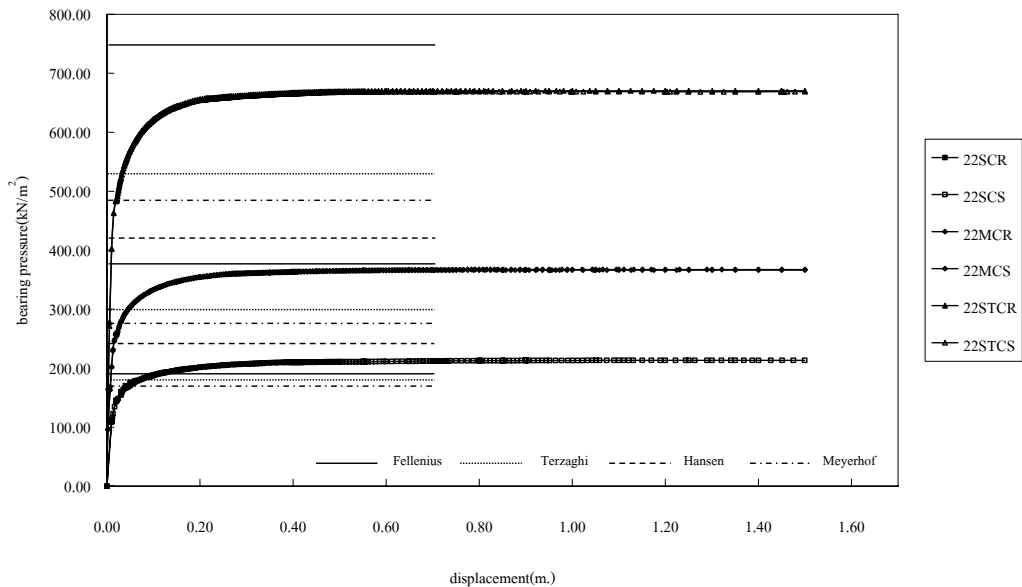
ภาพที่ 67 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียว ธรรมชาติฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0



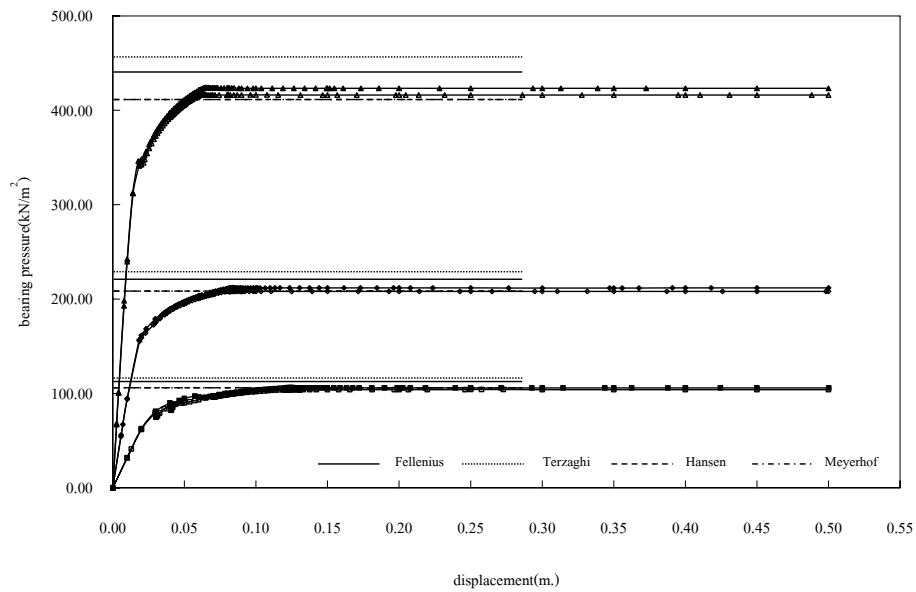
ภาพที่ 68 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียว ธรรมชาติฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0.5



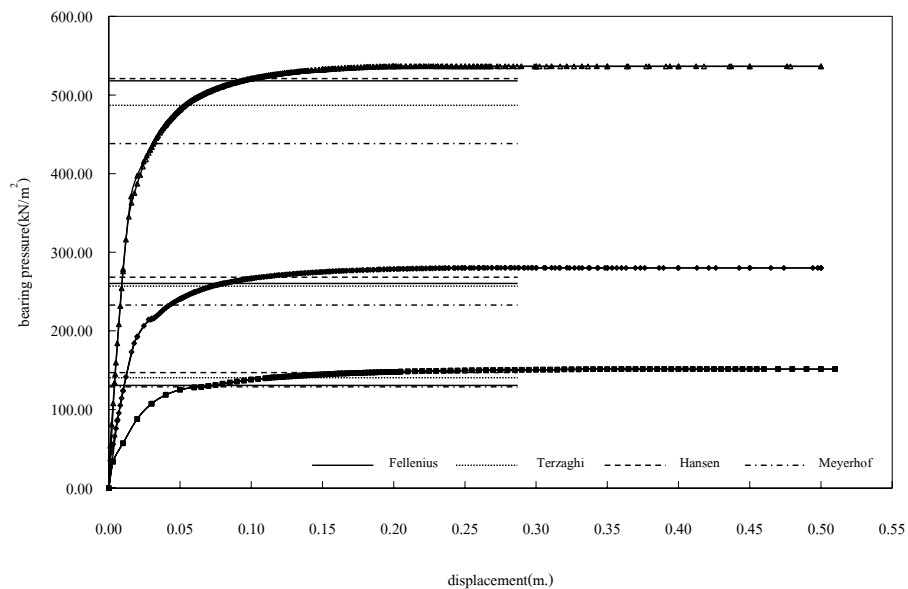
ภาพที่ 69 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียวกรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม.อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 1



ภาพที่ 70 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียวกรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม.อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 2

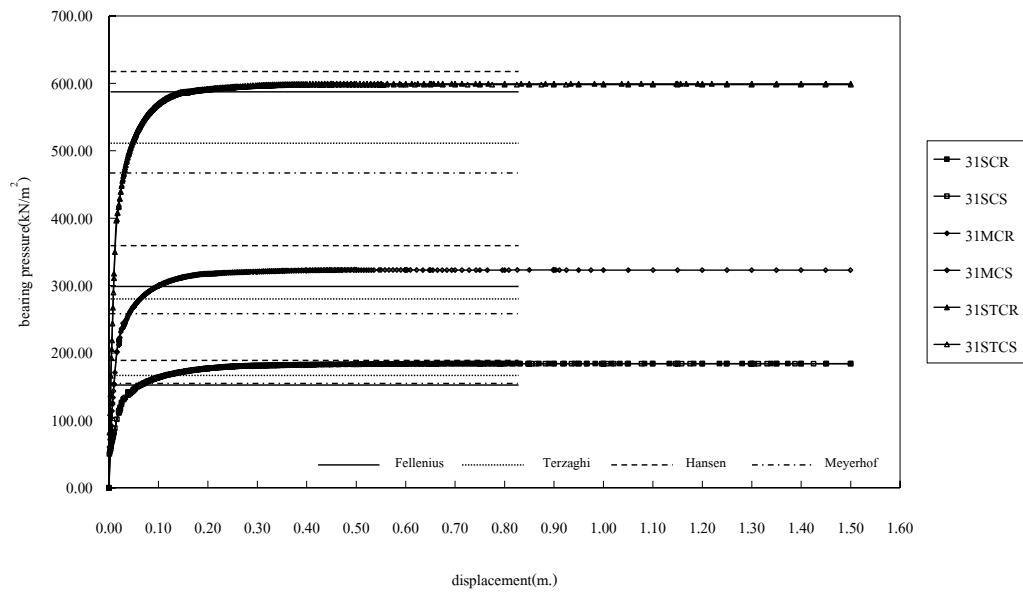


ภาพที่ 71 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 3 ม.อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0

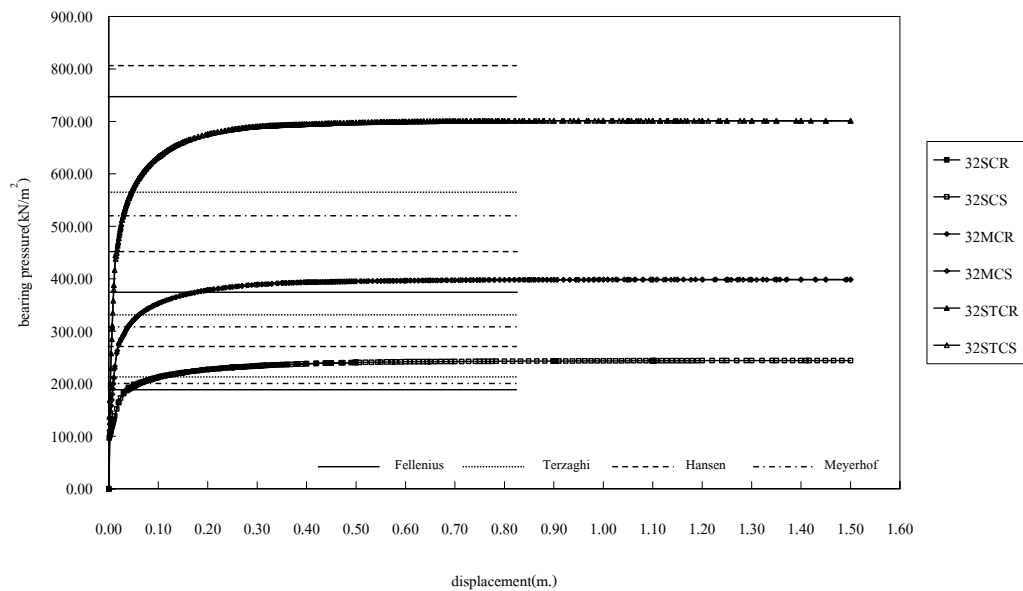


ภาพที่ 72 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียวกรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 3 ม.อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 0.5





ภาพที่ 73 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 3 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 1



ภาพที่ 74 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินเหนียวกรณีฐานราก กว้าง เท่ากับ 3 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 2

ตารางที่ 14 แสดงค่ากำลังแบกทานของดินเหนียวจากไฟไนท์อิเลเมนต์เทียบกับค่ากำลังแบกทานจากสูตรทั่วไป

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure From FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป				
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Fellenius	Terzaghi	Hansen	Meyerhof	Vesic
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
10SCR	0.010	0.050	0.060	108	109	110	114	103	103	103
10SCS	0.010	0.050	0.060	107	106	110	114	103	103	103
10MCR	0.010	0.040	0.040	218	218	220	228	206	206	206
10MCS	0.010	0.040	0.040	212	212	220	228	206	206	206
10STCR	0.005	0.030	0.032	435	436	440	456	411	411	411
10STCS	0.005	0.025	0.027	434	434	440	456	411	411	411
105SCR	0.010	0.180	0.180	142	142	129	122	129	111	111
105SCS	0.005	0.180	0.180	141	141	129	122	129	111	111
105MCR	0.005	0.120	0.120	276	276	259	237	250	214	214
105MCS	0.005	0.120	0.120	275	275	259	237	250	214	214
105STCR	0.005	0.100	0.100	543	543	517	465	492	420	420
105STCS	0.005	0.100	0.100	542	542	517	465	492	420	420

ตารางที่ 14 (ต่อ)

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure From FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการ โดยทั่วไป				
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Fellenius	Terzaghi	Hansen	Meyerhof	Vesic
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
11SCR	0.010	0.360	0.360	156	156	149	130	155	119	119
11SCS	0.010	0.360	0.360	156	156	149	130	155	119	119
11MCR	0.005	0.250	0.250	298	298	297	245	295	223	223
11MCS	0.005	0.250	0.250	298	298	297	245	295	223	223
11STCR	0.005	0.190	0.190	579	579	594	474	573	429	429
11STCS	0.005	0.190	0.190	579	579	594	474	573	429	429
12SCR	0.005	0.700	0.700	184	184	187	146	207	135	135
12SCS	0.005	0.680	0.680	184	184	187	146	207	135	135
12MCR	0.005	0.500	0.500	338	338	374	262	384	240	240
12MCS	0.005	0.490	0.490	338	338	374	262	384	240	240
12STCR	0.005	0.380	0.380	644	644	748	492	735	447	447
12STCS	0.005	0.360	0.360	643	643	748	492	735	447	447

ตารางที่ 14 (ต่อ)

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure From FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป				
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Fellenius	Terzaghi	Hansen	Meyerhof	Vesic
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
20SCR	0.015	0.085	0.097	106	107	110	114	103	103	103
20SCS	0.008	0.085	0.094	104	105	110	114	103	103	103
20MCR	0.010	0.060	0.063	213	214	220	228	206	206	206
20MCS	0.006	0.060	0.061	209	209	220	228	206	206	206
20STCR	0.005	0.050	0.050	427	427	440	456	411	411	411
20STCS	0.004	0.050	0.050	418	418	440	456	411	411	411
205SCR	0.012	0.270	0.300	149	149	129	130	137	119	119
205SCS	0.012	0.270	0.290	149	149	129	130	137	119	119
205MCR	0.010	0.180	0.210	283	283	259	245	259	223	223
205MCS	0.010	0.180	0.210	282	283	259	245	259	223	223
205STCR	0.010	0.150	0.160	550	549	517	474	501	429	429
205STCS	0.010	0.150	0.160	549	549	517	474	501	429	429

ตารางที่ 14 (ต่อ)

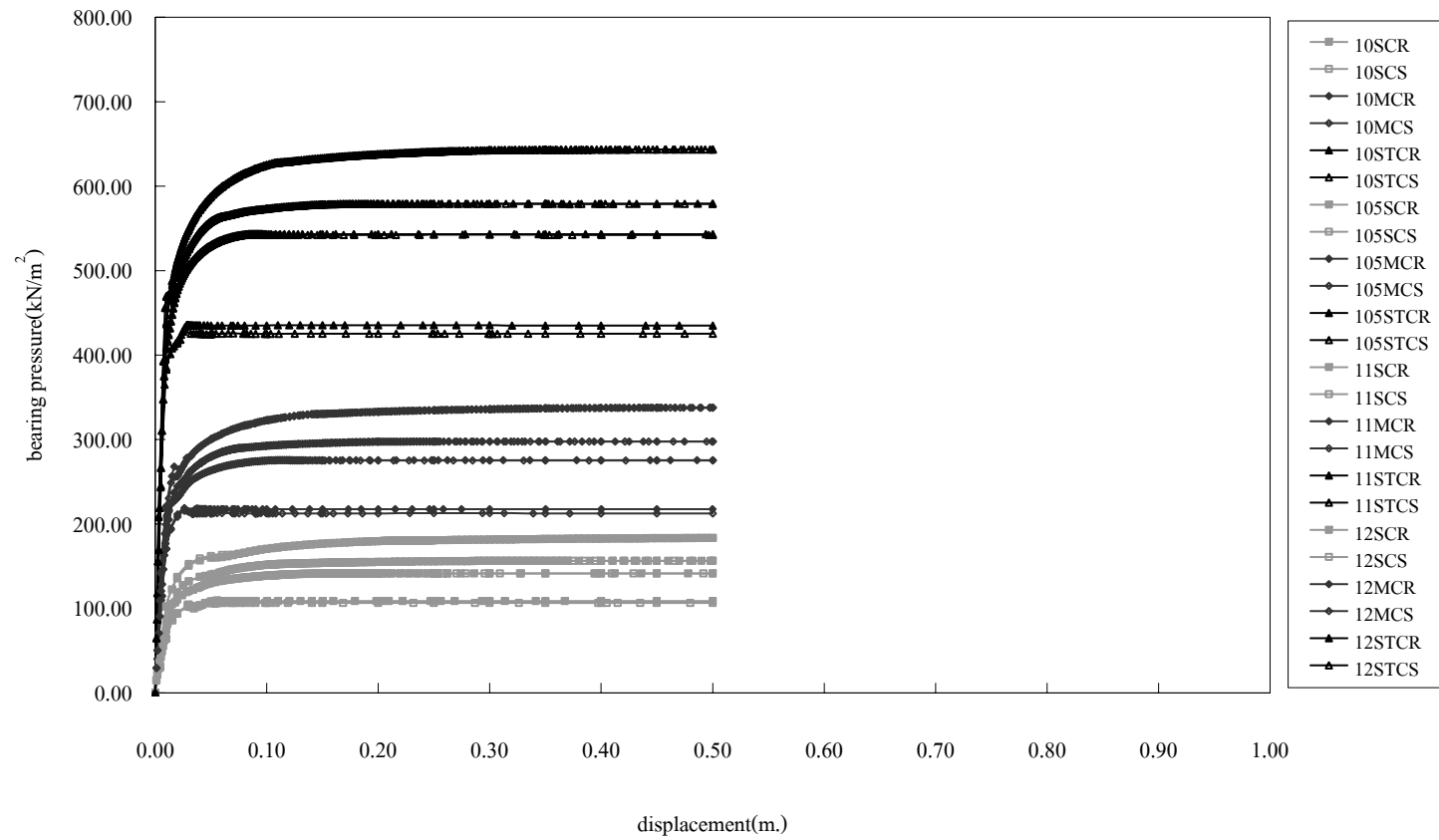
Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure From FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป				
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Fellenius	Terzaghi	Hansen	Meyerhof	Vesic
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
21SCR	0.003	0.600	0.640	168	168	149	146	171	135	135
21SCS	0.003	0.600	0.630	168	168	149	146	171	135	135
21MCR	0.006	0.400	0.470	307	307	297	262	312	240	240
21MCS	0.004	0.400	0.450	307	307	297	262	312	240	240
21STCR	0.005	0.350	0.360	582	582	594	492	591	447	447
21STCS	0.005	0.350	0.360	582	497	594	492	591	447	447
225SCR	0.003	1.150	1.150	214	214	187	178	239	167	167
225SCS	0.003	1.150	1.150	213	213	187	178	239	167	167
225MCR	0.002	0.800	0.800	367	367	374	296	418	274	274
225MCS	0.002	0.800	0.800	366	366	374	296	418	274	274
225STCR	0.003	0.600	0.600	670	670	748	528	771	483	483
225STCS	0.003	0.600	0.600	669	669	748	528	771	483	483

ตารางที่ 14 (ต่อ)

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure From FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป				
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Fellenius	Terzaghi	Hansen	Meyerhof	Vesic
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
30SCR	0.011	0.130	0.130	106	106	110	114	103	103	103
30SCS	0.011	0.130	0.130	104	104	110	114	103	103	103
30MCR	0.007	0.085	0.090	211	212	220	228	206	206	206
30MCS	0.006	0.080	0.085	208	208	220	228	206	206	206
30STCR	0.004	0.065	0.070	424	424	440	456	411	411	411
30STCS	0.004	0.065	0.065	416	416	440	456	411	411	411
305SCR	0.003	0.380	0.400	151	151	129	138	145	127	127
305SCS	0.003	0.380	0.400	151	151	129	138	145	127	127
305MCR	0.006	0.260	0.270	280	280	259	254	267	231	231
305MCS	0.006	0.260	0.270	280	280	259	254	267	231	231
305STCR	0.004	0.200	0.220	536	537	517	483	510	438	438
305STCS	0.004	0.200	0.220	536	536	517	483	510	438	438

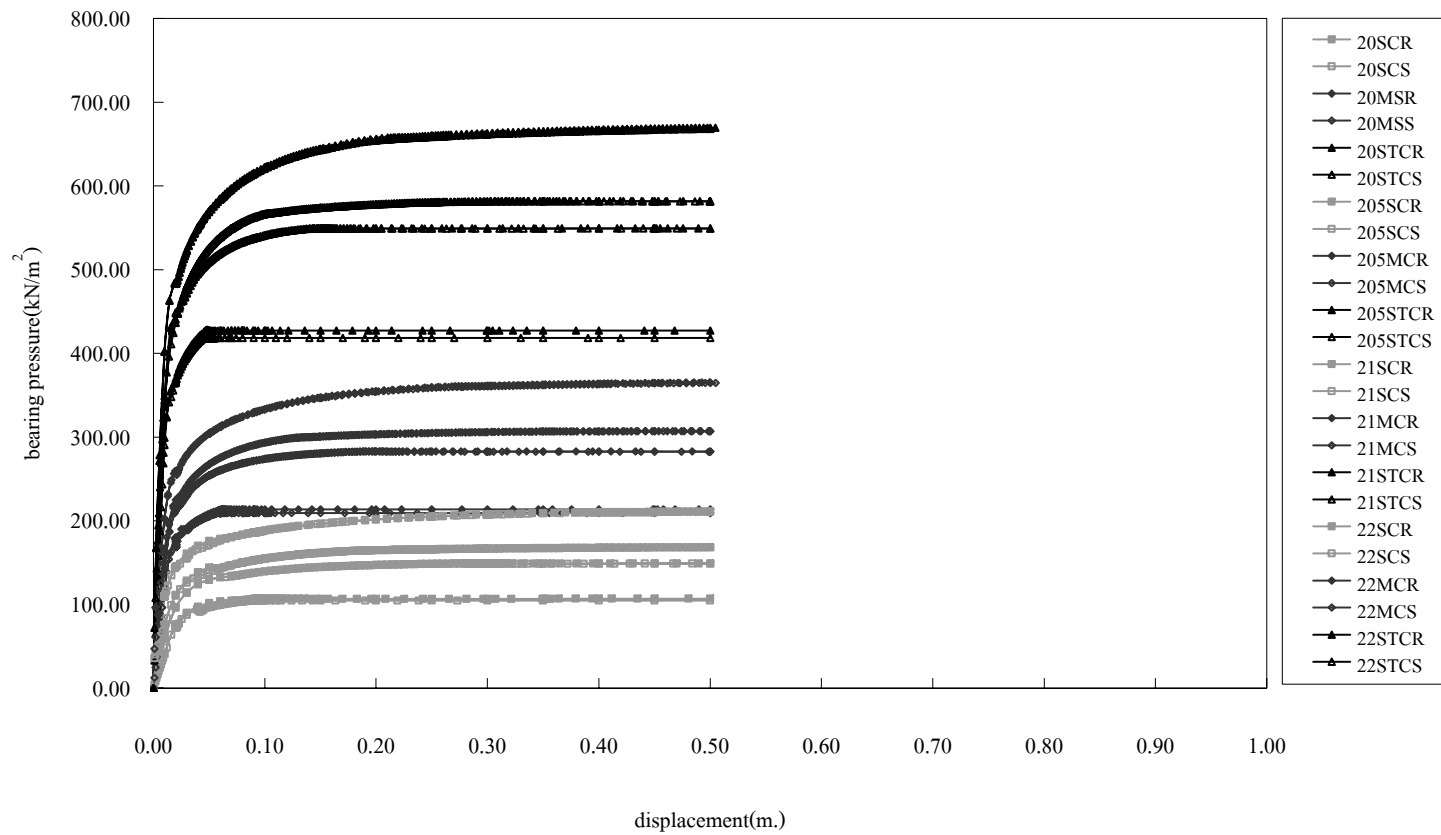
ตารางที่ 14 (ต่อ)

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure From FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการ โดยทั่วไป				
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Fellenius	Terzaghi	Hansen	Meyerhof	Vesic
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
31SCR	0.003	0.790	0.790	184	184	149	162	187	151	151
31SCS	0.003	0.790	0.790	184	184	149	162	187	151	151
31MCR	0.002	0.550	0.550	324	324	297	279	329	257	257
31MCS	0.002	0.550	0.550	323	323	297	279	329	257	257
31STCR	0.003	0.430	0.430	599	599	594	510	609	465	465
31STCS	0.003	0.430	0.430	598	598	594	510	609	465	465
32SCR	0.003	1.410	1.410	244	244	187	210	271	199	199
32SCS	0.003	1.410	1.410	244	244	187	210	271	199	199
32MCR	0.002	0.980	0.980	399	399	374	330	452	308	308
32MCS	0.002	0.980	0.980	398	398	374	330	452	308	308
32STCR	0.002	0.770	0.770	701	701	748	564	807	519	519
32STCS	0.002	0.770	0.770	701	701	748	564	807	519	519

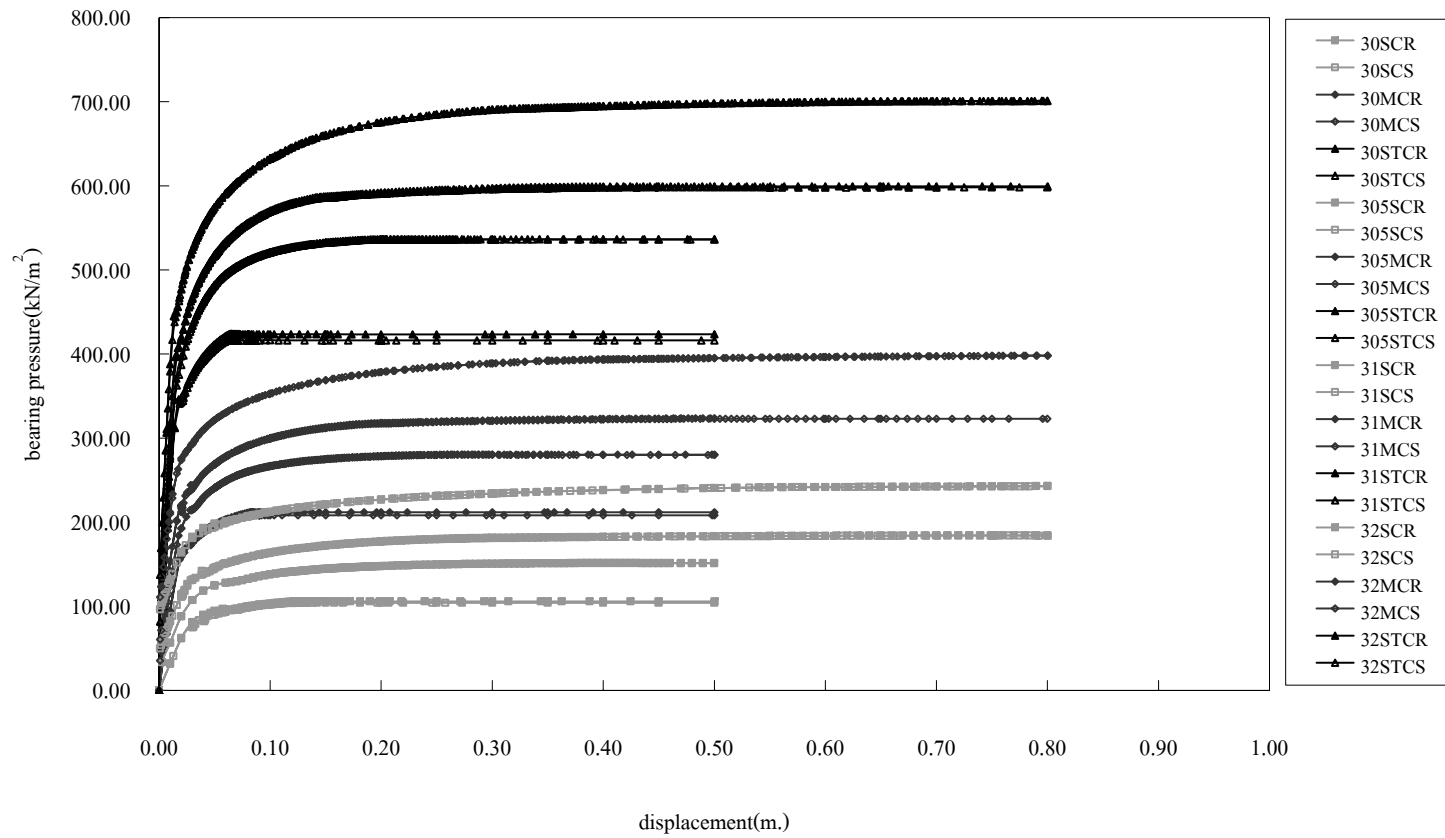


ภาพที่ 75 กราฟการทรุดตัวและค่ากำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานรากกว้าง 1 ม.เปรียบเทียบที่ค่าความแข็งแรงของดินต่างๆและที่ค่า D/B ต่างๆ

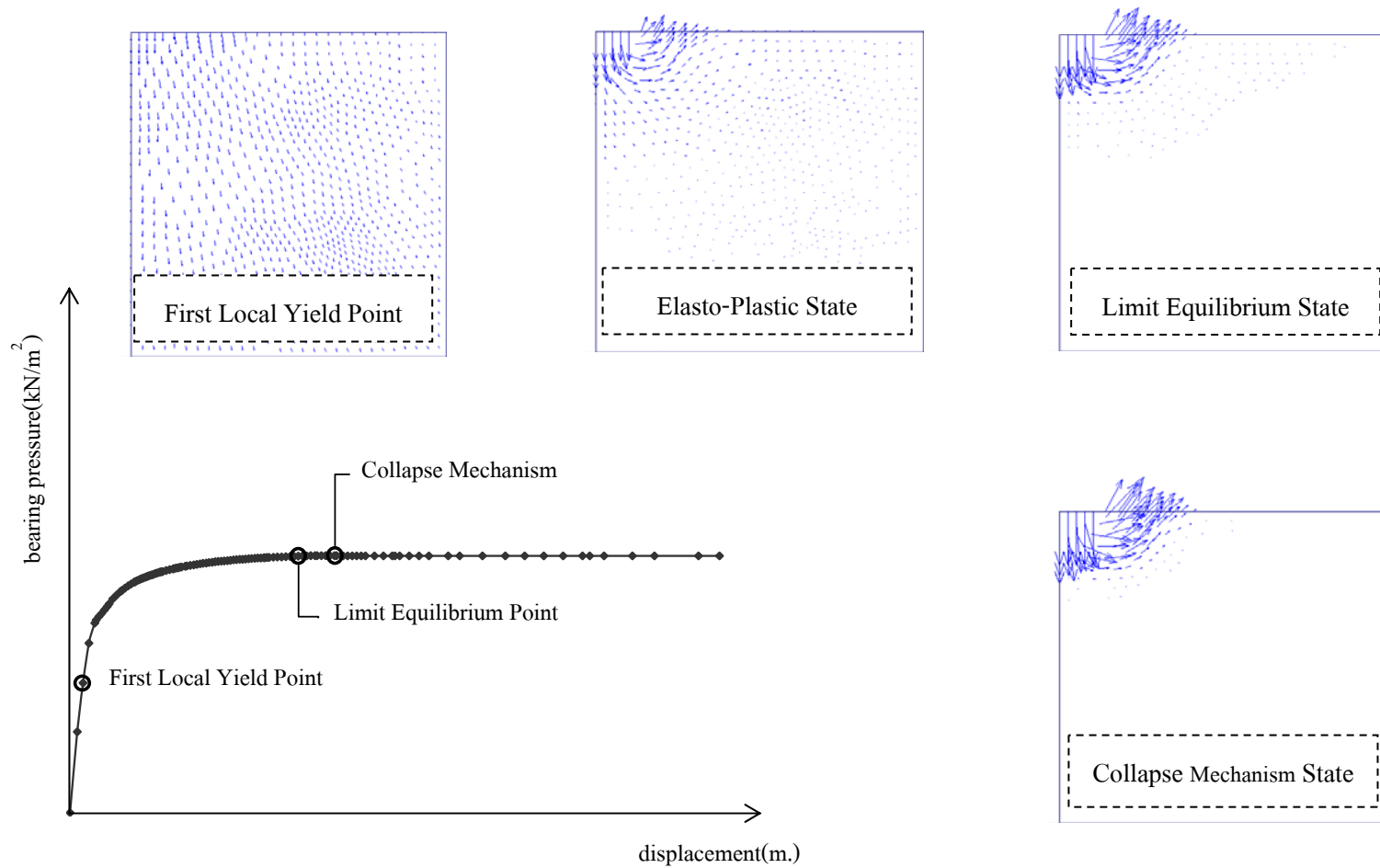




ภาพที่ 76 กราฟการทรุดตัวและค่ากำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานรากกว้าง 2 ม.เปรียบเทียบที่ค่าความแข็งแรงของดินต่างๆและที่ค่า D/B ต่างๆ



ภาพที่ 77 กราฟการทรุดตัวและค่ากำลังแบกทานของดินเหนียว กรณีฐานรากกว้าง 3 ม.เปรียบเทียบที่ค่าความแข็งแรงของดินต่างๆและที่ค่า D/B ต่างๆ



ภาพที่ 78 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวและกำลังแบกทานของดิน ณ แต่ละสถานะของดินเหนียว

## 1.2 กำลังแบกทานของดินทรายเนื่องจากฐานรากแบบ Strip

ในการหาค่ากำลังแบกทานของดินทรายด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ จะแบ่งกรณีการวิเคราะห์ตามค่ากำลังความแข็งแรงของดิน โดยแบ่งออกเป็น ดินทรายหลวม ดินทรายแข็งปานกลาง และดินทรายแข็งมาก ส่วนคุณสมบัติของฐานรากจะแบ่งกรณีการวิเคราะห์ตามความกว้างของฐานราก ได้แก่ 1, 2 และ 3 เมตร อัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้างของฐานราก ได้แก่ 0, 0.5, 1, และ 2 และผิวสัมผัสระหว่างฐานรากกับดิน ได้แก่ แบบขรุขระ (Rough) กับแบบราบเรียบ (Smooth) ซึ่งรวมกรณีที่ทำการวิเคราะห์กำลังแบกทานของดินทรายทั้งหมดเท่ากับ 72 กรณี จากนั้นพิจารณาค่ากำลังแบกทานของดินจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแบกทานกับการทรุดตัวที่เกิดขึ้น โดยพิจารณา ร่วมกับ Total Incremental Displacement ของดินใต้ฐานรากด้วย

จากภาพที่ 79-90 จะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแบกทานของดินกับการทรุดตัว ซึ่งในแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยผลการวิเคราะห์ห้รวม 6 กรณีซึ่งจะเป็นกราฟของดินที่ค่าความแข็งแรงแตกต่างกันและเงื่อนไขของ Roughness of Footing ที่ต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละภาพจะแสดงค่ากำลังแบกทานของดินที่คำนวณได้จากสูตรทั่วไปที่เป็นที่นิยมใช้กันอยู่ ได้แก่ สมการของ Terzaghi, Hansen, Meyerhof และ Vesic ซึ่งแต่ละสมการก็จะให้ค่าที่แตกต่างกันไปเนื่องจากสมมุติฐานที่แตกต่างกัน

สำหรับดินทราย กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแบกทานของดินกับค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นสามารถพิจารณาแยกออกตามคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ค่าความแข็งแรงของดิน ความกว้างของฐานราก อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของฐานราก ตามลำดับ

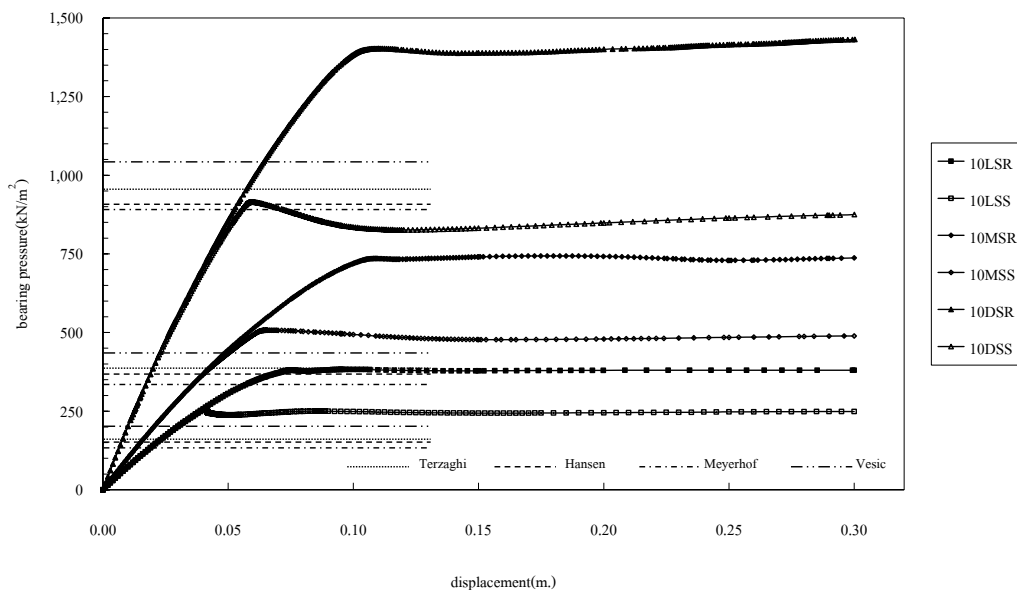
สำหรับอิทธิพลของค่าความแข็งแรงของดิน ค่ากำลังแบกทานของดินจะแปรผันตามค่ากำลังความแข็งแรงของดิน รูปร่างของกราฟมีลักษณะที่เหมือนกันนั่นคือ จะมีความชันของกราฟในช่วงที่สภาวะอิลาสติกสูงขึ้นเมื่อดินมีค่าความแข็งแรงของดินมากขึ้นและค่ากำลังแบกทานของดินจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อดินมีค่าความแข็งแรงสูงมากขึ้น นั่นคือความชันของกราฟในช่วงอิลาสติกและค่ากำลังแบกทานของดินในสภาวะพลาสติกสามารถเรียงจากน้อยไปมากได้ดังนี้ คือ ดินทรายหลวม ดินทรายแข็งปานกลาง และดินทรายแข็งมาก

สำหรับอิทธิพลของความกว้างของฐานรากต่อค่ากำลังแบกทานของดิน เมื่อฐานรากมีความกว้างเพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้มีพื้นที่ในการกระจายน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นซึ่งก็จะทำให้มีค่ากำลังแบกทานสูงมากขึ้นไปด้วย และเมื่อฐานรากวางที่ระดับความลึกจากผิวดินมากขึ้น ค่ากำลังแบกทานของดินก็จะสูงมากขึ้นด้วย เนื่องมาจากแรงต้านทานจากดินที่อยู่เหนือระดับของฐานรากมาช่วย และจากภาพที่จะเห็นว่าค่า Roughness of Footing จะมีอิทธิพลต่อค่ากำลังแบกทานของดินทรายมากกว่าดินเหนียวมาก แต่เมื่อฐานรากวางที่ระดับลึกจากผิวดินลงไป ค่า Roughness ก็จะไม่ค่อยมีผลต่อค่ากำลังแบกทานของดินทรายเช่นเดียวกันกับดินเหนียว

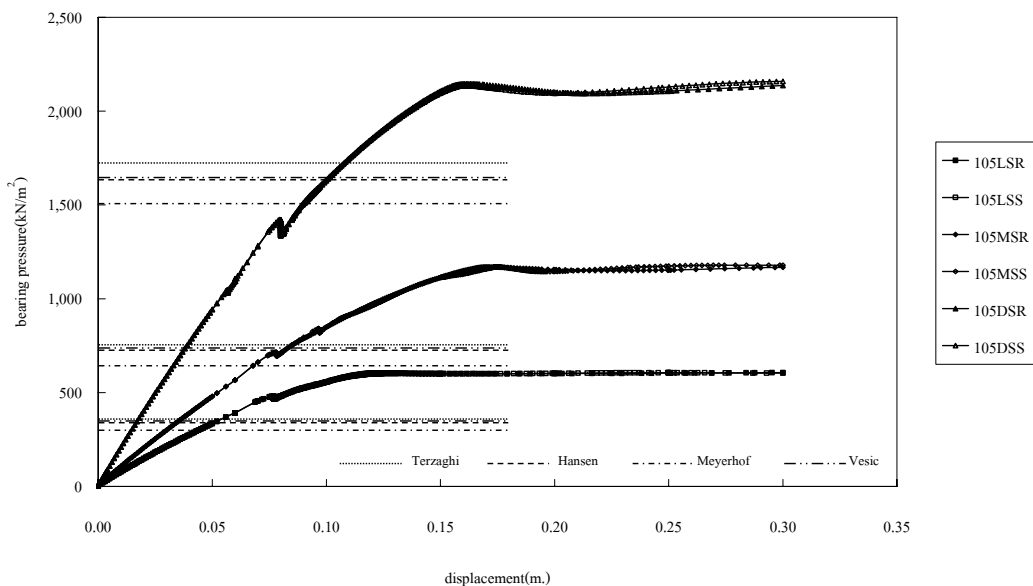
จากกราฟความสัมพันธ์ทั้ง 72 กรณีของดินทราย สามารถที่จะหาค่ากำลังแบกทานของดินได้ โดยจะพิจารณาค่าการทรุดตัวที่ก่อให้เกิดการ yield ของดินหรือดินเริ่มเกิดการวิบัติเป็นจุดแรกหรือดินเริ่มเกิดจุดที่เป็นพลาสติกขึ้น นั่นคือดินที่จุดนั้นมีค่าหน่วยแรงเฉือนสูงกว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินนั่นเอง เมื่อเลยจุดนี้ไปดินก็จะเกิดจุดที่เป็นพลาสติกมากขึ้นเรื่อยๆรวมตัวกันเป็นมวลพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกสภาวะในช่วงนี้ว่า Elasto-Plastic State จนกระทั่งมวลที่เป็นพลาสติกรวมตัวกันเป็นระนาบการวิบัติจนไปสัมผัสที่ผิวดิน ณ จุดนี้ จะเรียกว่า Limit Equilibrium State คือสภาวะที่มวลดินก่อนที่จะเกิดการวิบัติโดยมวลดินในสภาวะนี้ยังคงอยู่ในสมดุลอยู่ แต่หากเลยจุดนี้ไปดินก็จะเกิดการวิบัติขึ้นอย่างทันทีทันใด หรือเรียกจุดที่เกิดการวิบัตินี้ว่า Collapse Mechanism State ดังนั้นในตารางที่ 19 จะประกอบไปด้วยค่าการทรุดตัว ณ First Local Yield State Limit Equilibrium State และ Collapse Mechanism State แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการกำลังแบกทานโดยทั่วไปอันได้แก่ สมการของ Terzaghi , Hansen, Meyerhof และ Vesic ซึ่งค่าที่ได้จาก FEM ของดินทรายจะมีความค่าที่ใกล้เคียงน้อยกว่าดินเหนียว ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์แบบ Associated Flow Rule ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีการกำหนดค่า Angle of Dilatancy ของดินทราย เงื่อนไขนี้จะทำให้การวิเคราะห์ด้วย FEM สามารถทำได้ง่ายที่สุด แต่หากทำการวิเคราะห์แบบ Non-Associated Flow Rule เมื่อดินมีค่า  $\phi$  สูงมากๆจะทำให้การวิเคราะห์ไม่เสถียรหรือเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์สูง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้จะให้ค่ากำลังแบกทานที่สูงกว่าสมการกำลังแบกทานโดยทั่วไป โดยจะใกล้เคียงกับสมการของ Terzaghi และ Vesic ในช่วงที่ค่า  $D/B < 1$  เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้จะมีค่าน้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่  $D/B > 1$  จะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 33 เปอร์เซ็นต์ และที่กรณีฐานรากวางอยู่ที่ผิวดินเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะมีค่าสูงมาก อยู่ที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

จากภาพของความสัมพันธ์ทั้งหมดสามารถที่จะสรุปภาพรวมตามภาพที่ 94 ได้ว่า ดินเมื่อรับน้ำหนักจากภายนอก ในช่วงแรกหรือที่ค่าการทรุดตัวต่ำ ดินจะยังคงมีพฤติกรรมเป็นแบบอีลาสติกอยู่ โดยจุดสุดท้ายที่ดินยังคงอยู่ในสถานะอีลาสติกอยู่คือจุดก่อนที่ดินจะเกิด First Local Yield เทียบได้กับกราฟในช่วงที่ยังเป็นเส้นตรง จากนั้นดินก็จะเริ่มเกิดการวิบัติขึ้นหรือเกิด First Local Yield จุดพลาสติกของดินจะเกิดขึ้นและขยายขนาดมากขึ้นเทียบได้กับกราฟช่วงที่เริ่มจะไม่เป็นเส้นตรงจนกระทั่งเริ่มมีค่าความชันเพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่าความชันของกราฟเกือบที่จะเป็นศูนย์ และเมื่อดินที่เป็นพลาสติกขยายตัวจนกระทั่งไปสัมผัสที่ผิวดินจุดนี้เป็นจุดที่ดินพร้อมที่จะเกิดการวิบัติแล้วแต่ยังคงอยู่ในสถานะสมดุลอยู่จุดนี้จะเป็นจุดก่อนที่กราฟจะเริ่มมีค่าความชันเท่ากับ 0 หรือที่เรียกว่าจุด Limit Equilibrium State หลังจากนั้นเมื่อมีน้ำหนักกระทำมากขึ้นดินก็จะเกิดการวิบัติขึ้น นั่นคือถึงแม้ในกราฟค่าการทรุดตัวที่เกิดจะมากขึ้นแต่ค่ากำลังแบกทานของดินก็จะคงที่ หรือเป็นช่วงที่กราฟจะมีค่าความชันเท่ากับ 0 แต่ลักษณะกราฟของดินทรายจะมีความชันในช่วงที่เป็นอีลาสติกน้อยกว่าดินเหนียวซึ่งจะมีความชันในช่วงอีลาสติกที่สูงมากกว่า

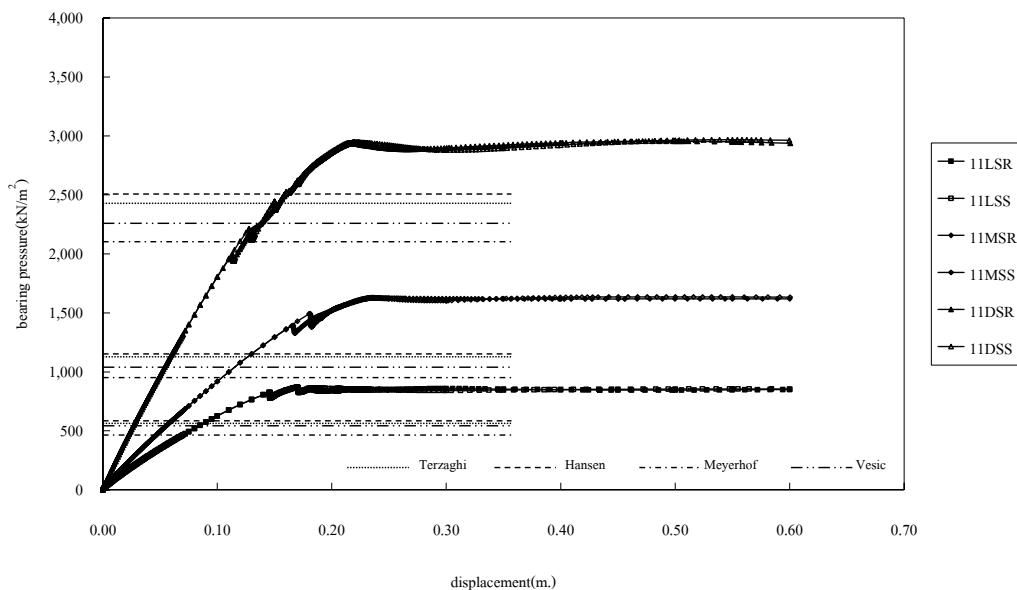
Borst and Vermeer (1984) กล่าวถึง ข้อจำกัดของการวิเคราะห์แบบ Non-Associated Flow Rules โดยที่ข้อจำกัดของการหาค่า Limit Load นั้น เมื่อค่า  $\phi$  มีค่าสูง การวิเคราะห์จะเริ่มมีปัญหา ซึ่งนี่เป็นจุดบกพร่องหรือข้อจำกัดของวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ ซึ่งสามารถที่จะแก้ปัญหาข้อนี้ได้ด้วยการกำหนดค่า Dilatancy Angl,  $\psi$  ซึ่งถือว่าเป็นการวิเคราะห์แบบ Associated Flow Rule โดยกำหนดให้  $\psi = \phi$  ในการวิจัยครั้งนี้ก็พบปัญหานี้เช่นกัน ปัญหาที่พบคือ โปรแกรมไม่สามารถเข้าสู่สู่คำตอบของปัญหาได้ ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมาก และมีขนาดไฟล์ที่ใหญ่มาก ลักษณะของกราฟที่ได้จะไม่คงที่ ไม่สามารถแปลผลได้ ดังนั้น จึงทำการแก้ปัญหาโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Associated Flow Rule โดยกำหนด  $\psi = \phi$



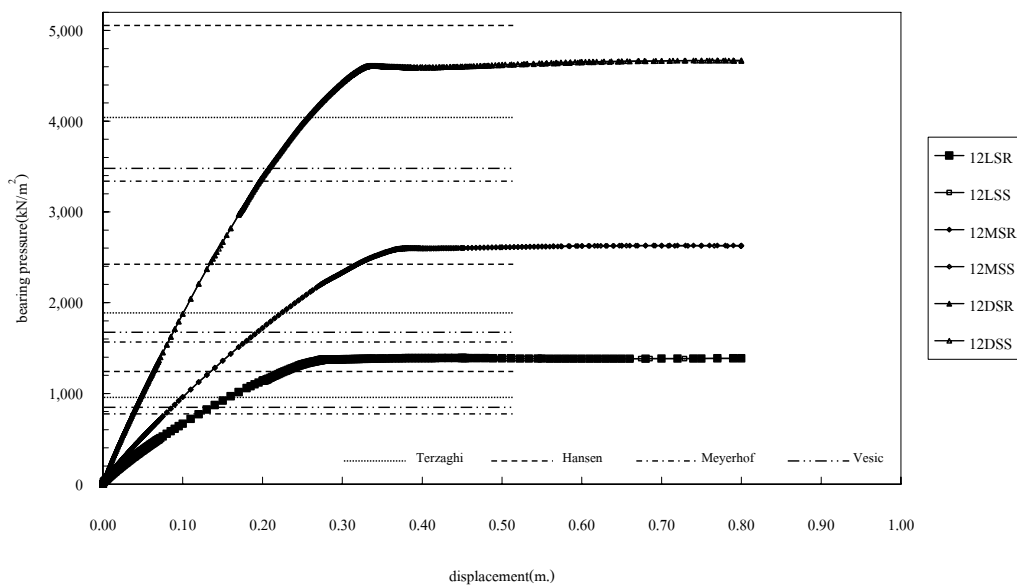
ภาพที่ 79 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานรากกว้าง เท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0



ภาพที่ 80 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานรากกว้างเท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0.5

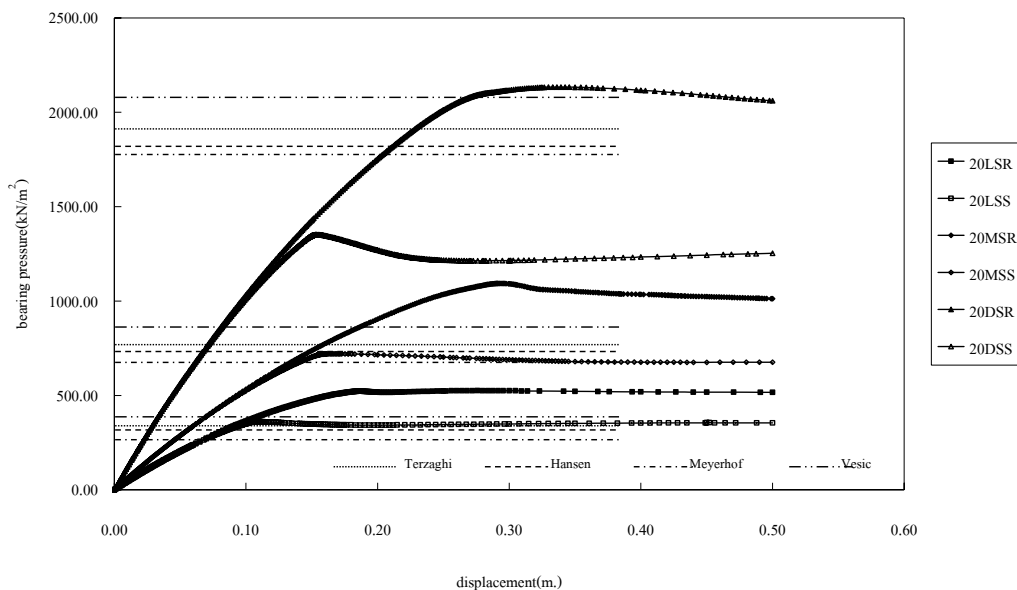


ภาพที่ 81 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 1

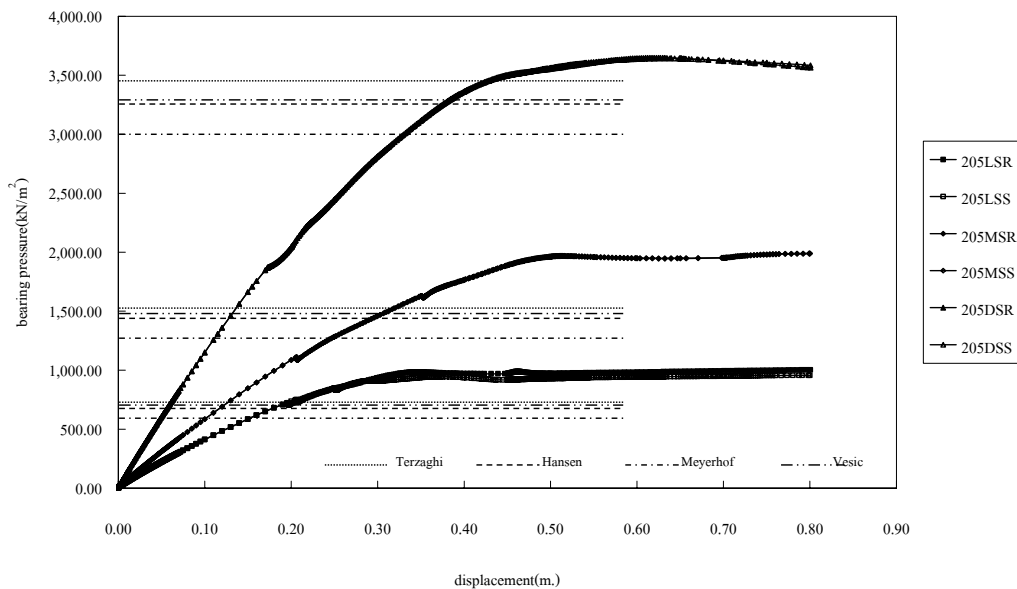


ภาพที่ 82 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 1 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 2

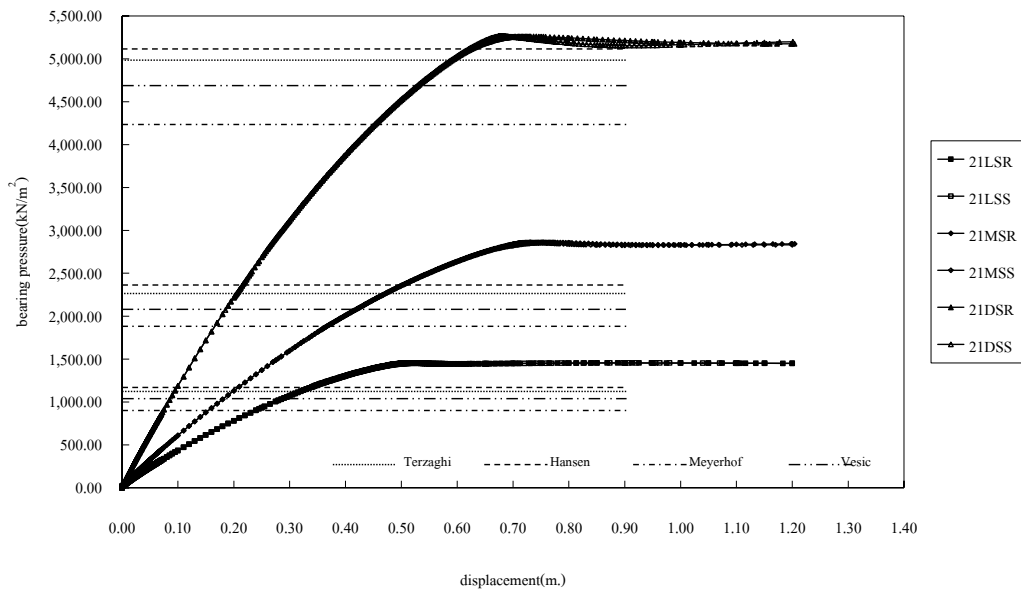




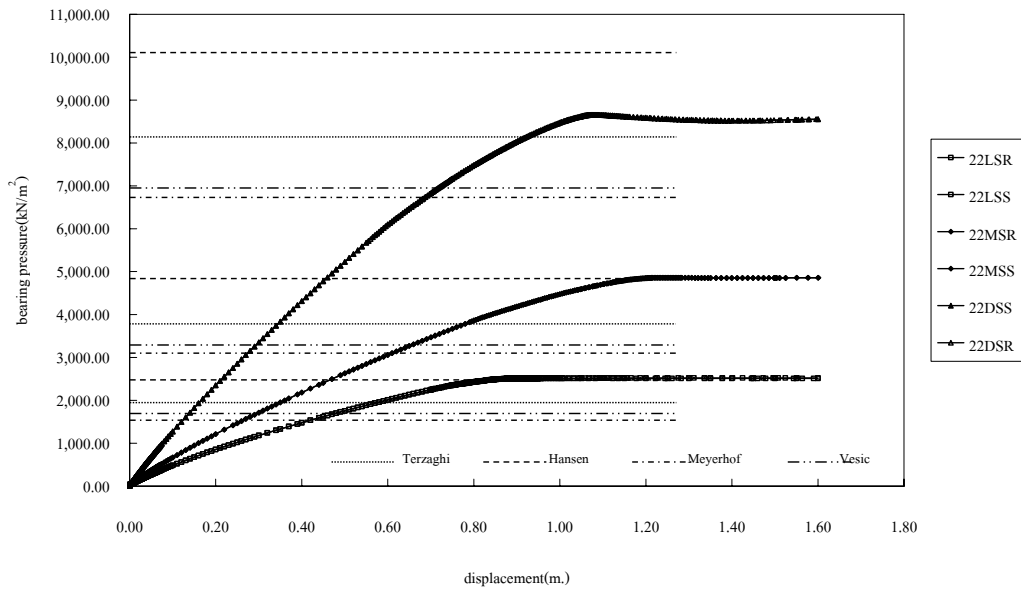
ภาพที่ 83 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0



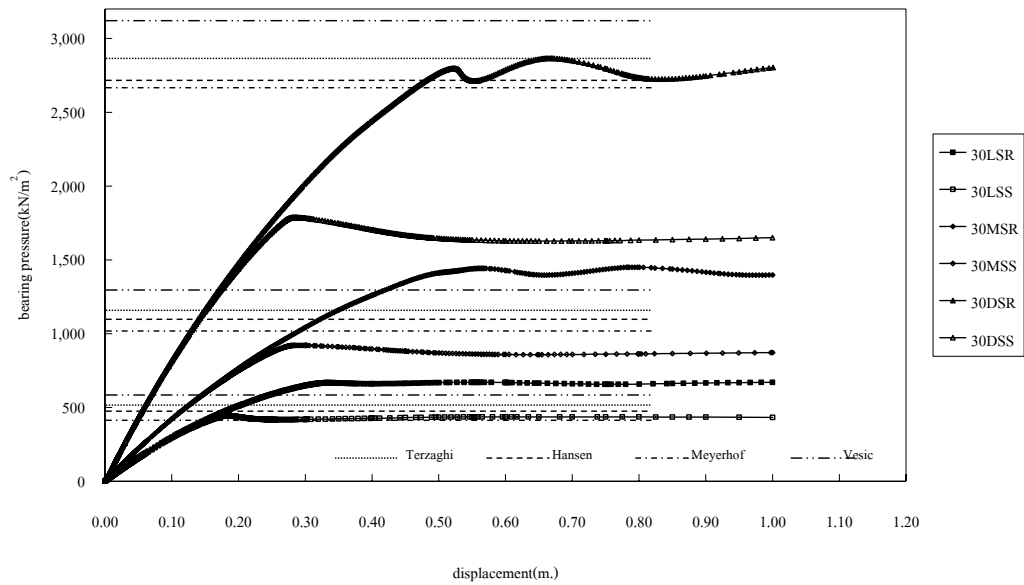
ภาพที่ 84 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0.5



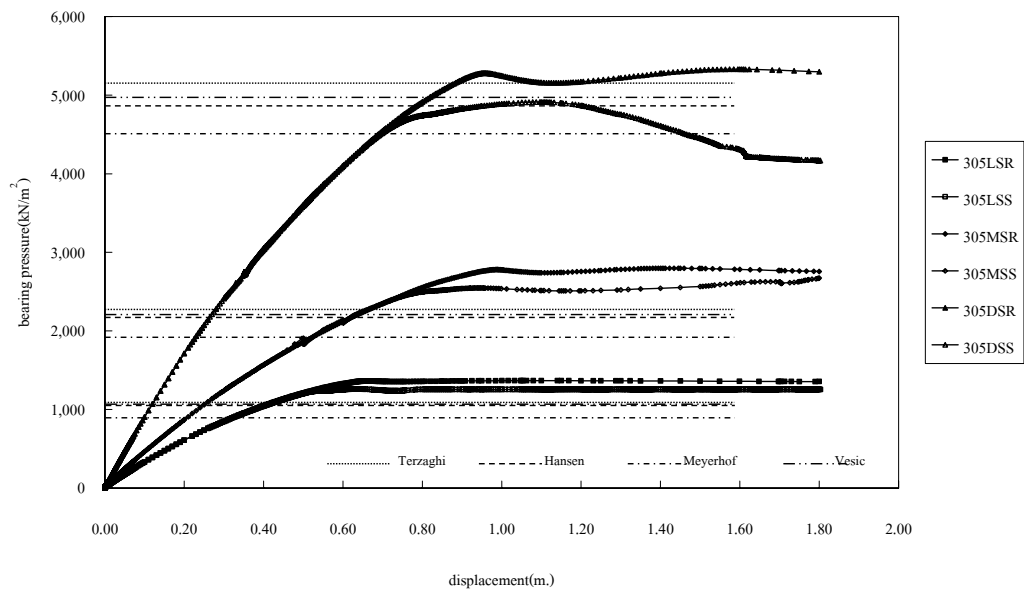
ภาพที่ 85 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 1



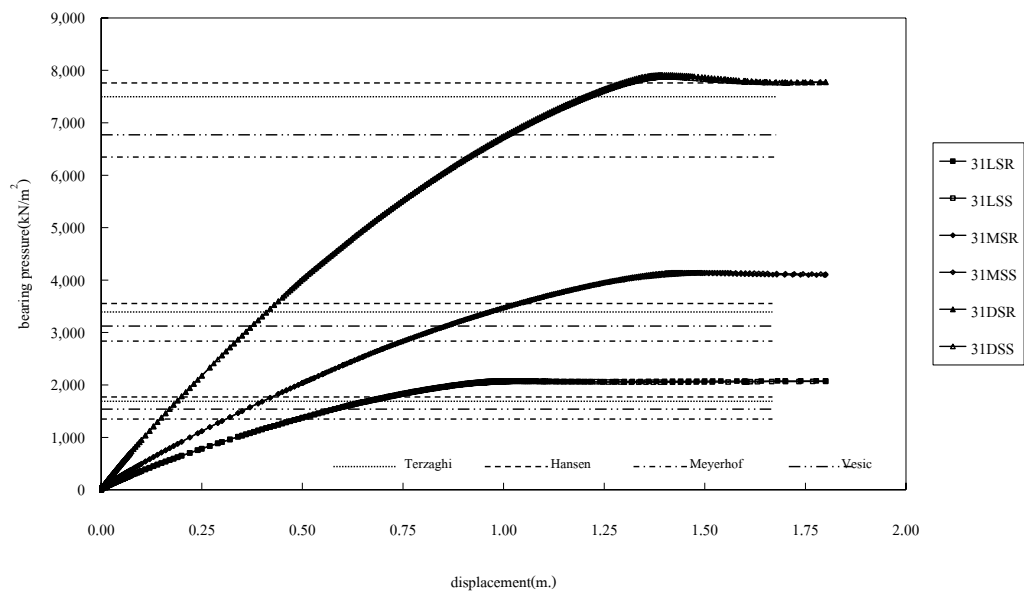
ภาพที่ 86 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 2 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 2



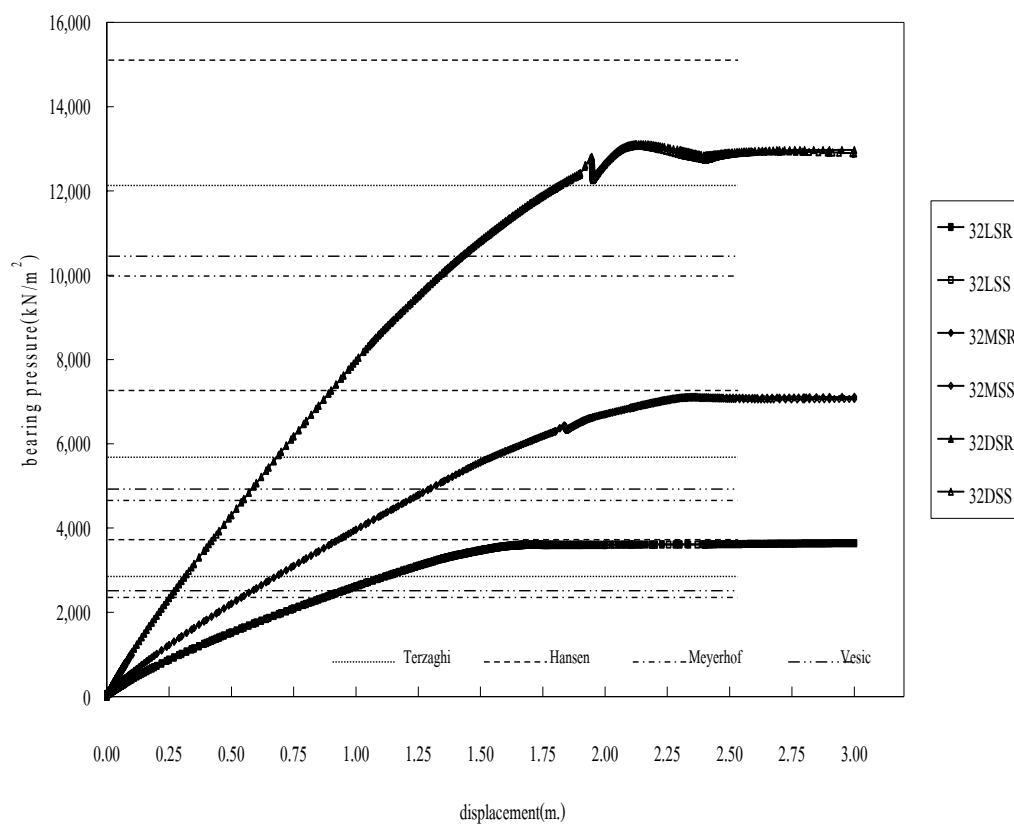
ภาพที่ 87 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 3 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0



ภาพที่ 88 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทรายกรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 3 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0.5



ภาพที่ 89 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 3 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 1



ภาพที่ 90 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวกับกำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานราก กว้างเท่ากับ 3 ม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 2

ตารางที่ 15 แสดงค่ากำลังแบกทานของดินทรายจากไฟไนต์อีลิเมนต์เทียบกับค่ากำลังแบกทานจากสูตรทั่วไป

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure from FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป			
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Terzaghi	Hansen (kN/m <sup>2</sup> )	Meyerhof	Vesic (kN/m <sup>2</sup> )
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	
10LSR	0.002	-	0.075	-	380	167	154	133	190
10LSS	0.003	-	0.042	-	245	167	154	133	190
10MSR	0.002	-	0.130	-	735	382	366	334	432
10MSS	0.002	-	0.064	-	507	382	366	334	432
10DSR	0.001	-	0.110	-	1403	954	906	890	1039
10DSS	0.001	-	0.059	-	915	954	906	890	1039
105LSR	0.001	0.075	0.130	478	603	359	337	290	347
105LSS	0.001	0.066	0.140	425	601	359	337	290	347
105MSR	0.001	0.045	0.170	436	1168	754	718	634	732
105MSS	0.001	0.048	0.200	462	1145	754	718	634	732
105DSR	0.001	0.022	0.160	442	2145	1726	1623	1500	1649
105DSS	0.001	0.023	0.160	461	2137	1726	1623	1500	1649

ตารางที่ 15 (ต่อ)

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure from FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป			
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Terzaghi	Hansen (kN/m <sup>2</sup> )	Meyerhof	Vesic (kN/m <sup>2</sup> )
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	
11LSR	0.001	0.130	0.230	765	845	550	576	446	503
11LSS	0.001	0.130	0.220	766	856	550	576	446	503
11MSR	0.001	0.130	0.240	1152	1627	1127	1175	934	1032
11MSS	0.001	0.130	0.240	1152	1626	1127	1175	934	1032
11DSR	0.001	0.074	0.230	1155	2917	2499	2553	2110	2259
11DSS	0.001	0.076	0.210	882	2916	2499	2553	2110	2259
12LSR	0.001	0.240	0.290	1287	1375	932	1217	759	816
12LSS	0.001	0.240	0.290	1286	1374	932	1217	759	816
12MSR	0.001	0.260	0.380	2120	2600	1872	2404	1533	1631
12MSS	0.001	0.260	0.380	2120	2598	1872	2404	1533	1631
12DSR	0.001	0.180	0.340	3107	4611	4043	5052	3330	3479
12DSS	0.001	0.180	0.340	3107	4609	4043	5052	3330	3479

ตารางที่ 15 (ต่อ)

Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure from FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป			
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Terzaghi	Hansen (kN/m <sup>2</sup> )	Meyerhof	Vesic (kN/m <sup>2</sup> )
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	
20LSR	0.003	-	0.190	-	522	335	307	266	381
20LSS	0.004	-	0.110	-	361	335	307	266	381
20MSR	0.003	-	0.290	-	1093	763	732	669	865
20MSS	0.004	-	0.160	-	719	763	732	669	865
20DSR	0.002	-	0.280	-	2099	1908	1813	1780	2079
20DSS	0.002	-	0.160	-	1347	1908	1813	1780	2079
205LSR	0.002	0.170	0.390	650	973	717	675	579	694
205LSS	0.001	0.180	0.440	681	918	717	675	579	694
205MSR	0.001	0.170	0.510	946	1876	1508	1437	1268	1464
205MSS	0.001	0.170	0.510	946	1966	1508	1437	1268	1464
205DSR	0.001	0.080	0.510	935	3564	3452	3246	3000	3299
205DSS	0.001	0.076	0.510	881	3576	3452	3246	3000	3299



ตารางที่ 15 (ต่อ)

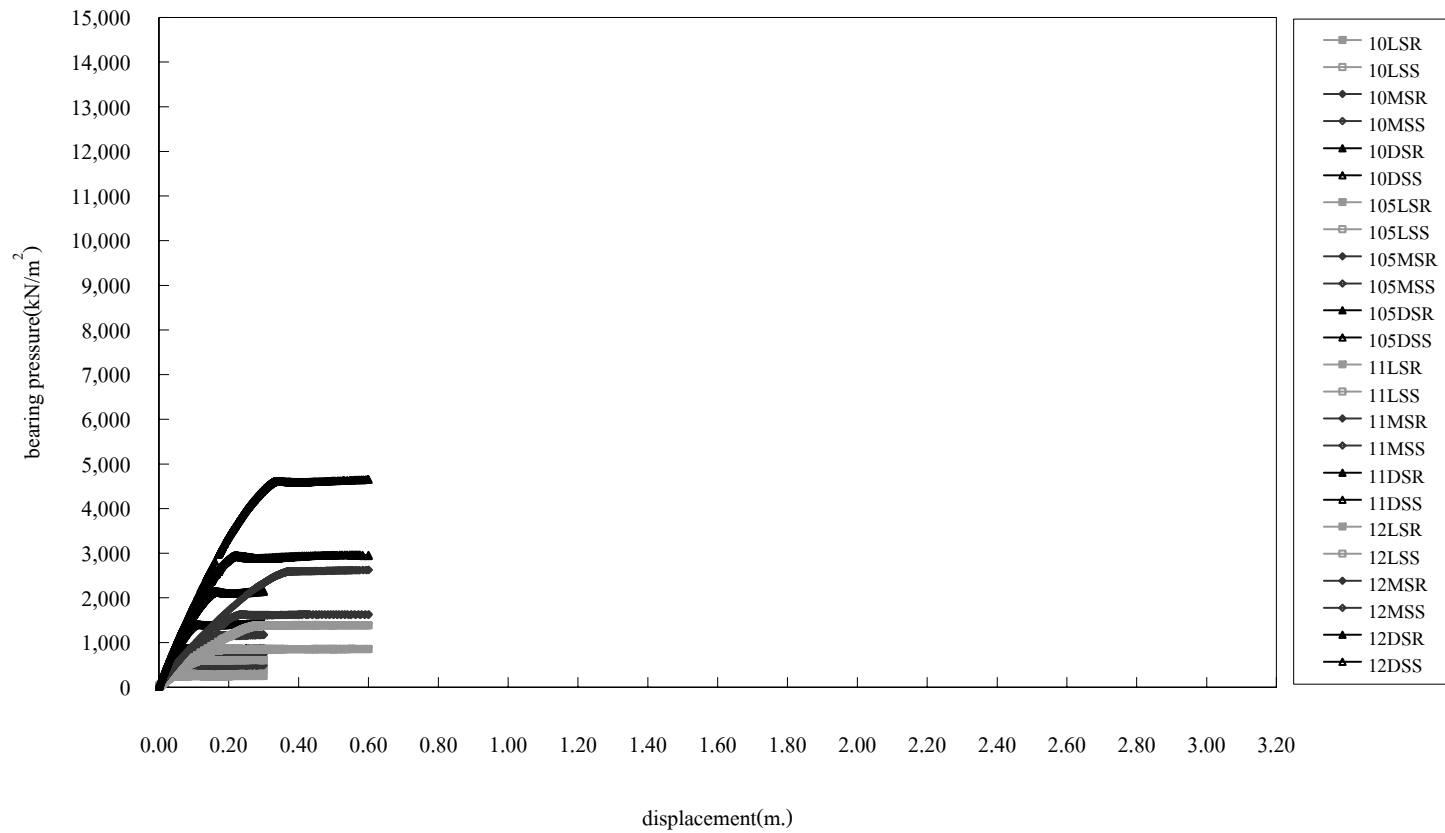
Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure from FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป			
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Terzaghi	Hansen (kN/m <sup>2</sup> )	Meyerhof	Vesic (kN/m <sup>2</sup> )
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	
21LSR	0.001	0.330	0.570	1151	1446	1100	1152	892	1006
21LSS	0.001	0.320	0.550	1125	1447	1100	1152	892	1006
21MSR	0.001	0.340	0.750	1773	2859	2254	2350	1868	2063
21MSS	0.001	0.330	0.730	1729	2859	2254	2350	1868	2063
21DSR	0.001	0.230	0.700	2499	5256	4997	5105	4220	4518
21DSS	0.001	0.230	0.680	2499	5265	4997	5105	4220	4518
22LSR	0.001	0.720	0.940	2289	2510	1865	2434	1518	1632
22LSS	0.001	0.720	0.940	2292	2514	1865	2434	1518	1632
22MSR	0.001	0.770	1.220	3745	4856	3744	4807	3066	3262
22MSS	0.002	0.770	1.230	3745	4857	3744	4807	3066	3262
22DSR	0.001	0.560	1.080	5761	8658	8086	10105	6659	6958
22DSS	0.001	0.550	1.080	5718	8656	8086	10105	6659	6958

ตารางที่ 15 (ต่อ)

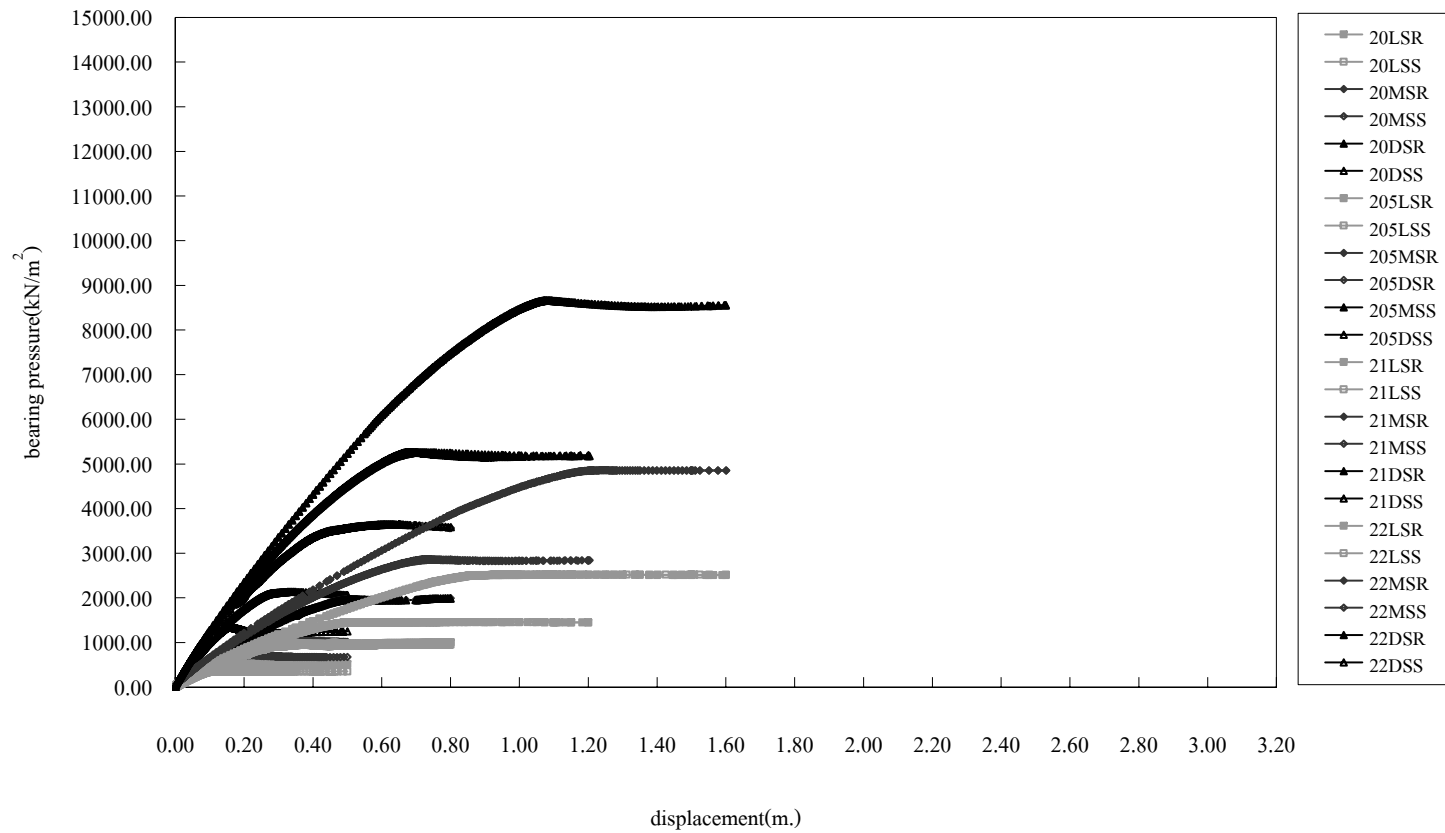
Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure from FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป			
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Terzaghi	Hansen (kN/m <sup>2</sup> )	Meyerhof	Vesic (kN/m <sup>2</sup> )
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	
30LSR	0.002	-	0.330	-	666	502	461	400	571
30LSS	0.003	-	0.210	-	429	502	461	400	571
30MSR	0.003	-	0.520	-	1413	1145	1099	1003	1297
30MSS	0.003	-	0.280	-	919	1145	1099	1003	1297
30DSR	0.002	-	0.520	-	2796	2861	2719	2670	3118
30DSS	0.003	-	0.280	-	1786	2861	2719	2670	3118
305LSR	0.001	0.280	0.690	803	1357	1076	1012	869	1040
305LSS	0.001	0.280	0.630	803	1259	1076	1012	869	1040
305MSR	0.001	0.280	0.990	1171	2779	2263	2155	1902	2196
305MSS	0.001	0.290	0.920	1207	2544	2263	2155	1902	2196
305DSR	0.001	0.210	0.960	1787	5281	5178	4868	4500	4948
305DSS	0.001	0.220	0.900	1863	4830	5178	4868	4500	4948

ตารางที่ 15 (ต่อ)

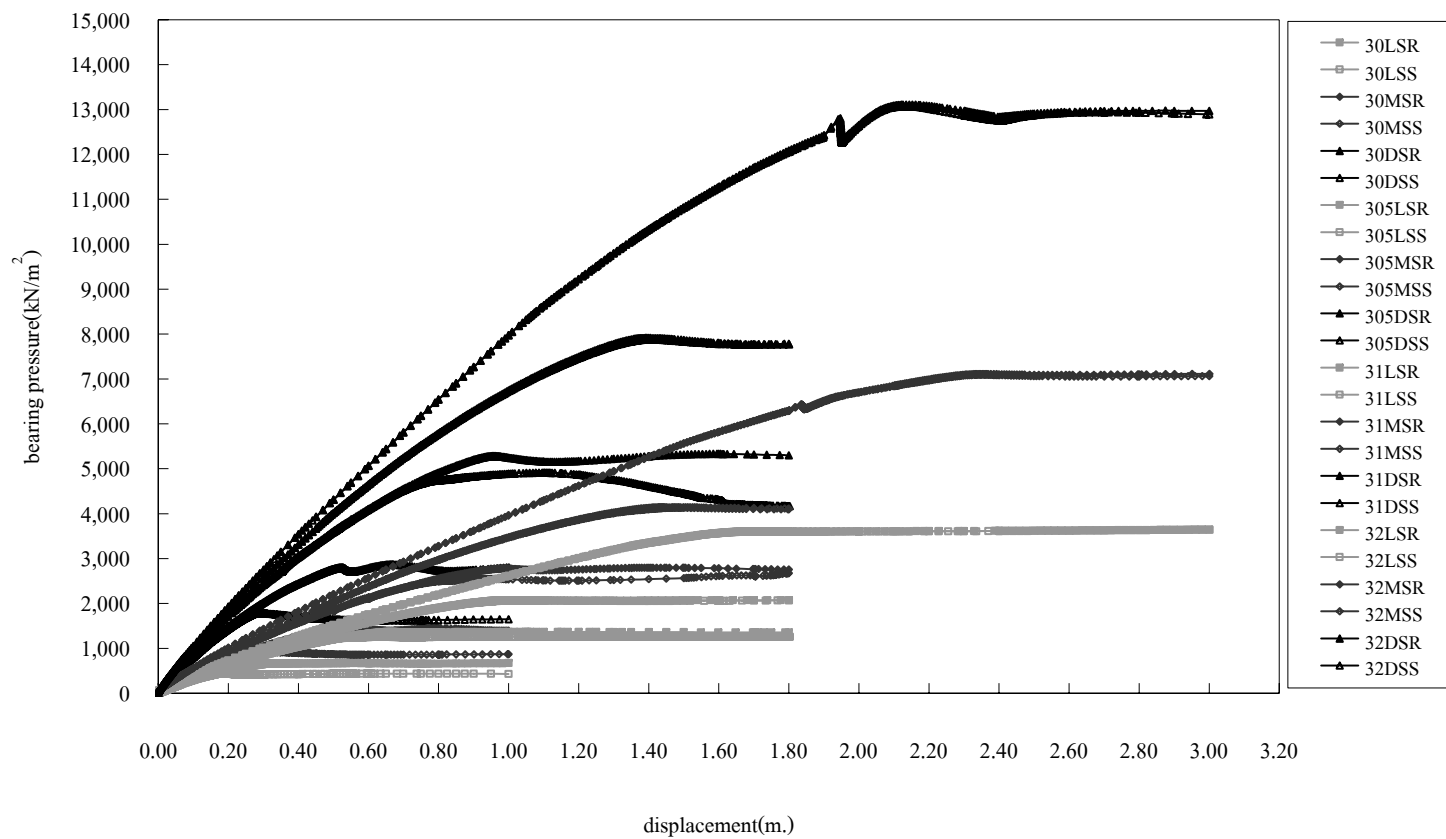
Analysis	Displacement from FEM (m.)			Bearing Pressure from FEM (kN/m <sup>2</sup> )		ค่ากำลังแบกทานของดินจากสมการโดยทั่วไป			
	At First	At Limit	At Collapse	At Limit	At Collapse	Terzaghi	Hansen (kN/m <sup>2</sup> )	Meyerhof	Vesic (kN/m <sup>2</sup> )
	Local Yield	Equilibrium	State	Equilibrium	State	(kN/m <sup>2</sup> )		(kN/m <sup>2</sup> )	
31LSR	0.001	0.580	1.000	1537	2072	1650	1728	1338	1510
31LSS	0.001	0.590	1.030	1557	2069	1650	1728	1338	1510
31MSR	0.002	0.630	1.430	2472	4147	3380	3525	2801	3095
31MSS	0.001	0.620	1.480	2438	4137	3380	3525	2801	3095
31DSR	0.001	0.420	1.380	3452	7908	7496	7658	6330	6778
31DSS	0.001	0.440	1.390	3596	7877	7496	7658	6330	6778
32LSR	0.001	1.320	1.710	3227	3606	2797	3652	2276	2448
32LSS	0.002	1.330	1.700	3250	3602	2797	3652	2276	2448
32MSR	0.002	1.440	2.400	5400	7105	5616	7211	4599	4893
32MSS	0.002	1.400	2.400	5261	7086	5616	7211	4599	4893
32DSR	0.001	0.990	2.500	7905	12909	12130	15157	9989	10437
32DSS	0.001	1.010	2.600	8044	12927	12130	15157	9989	10437



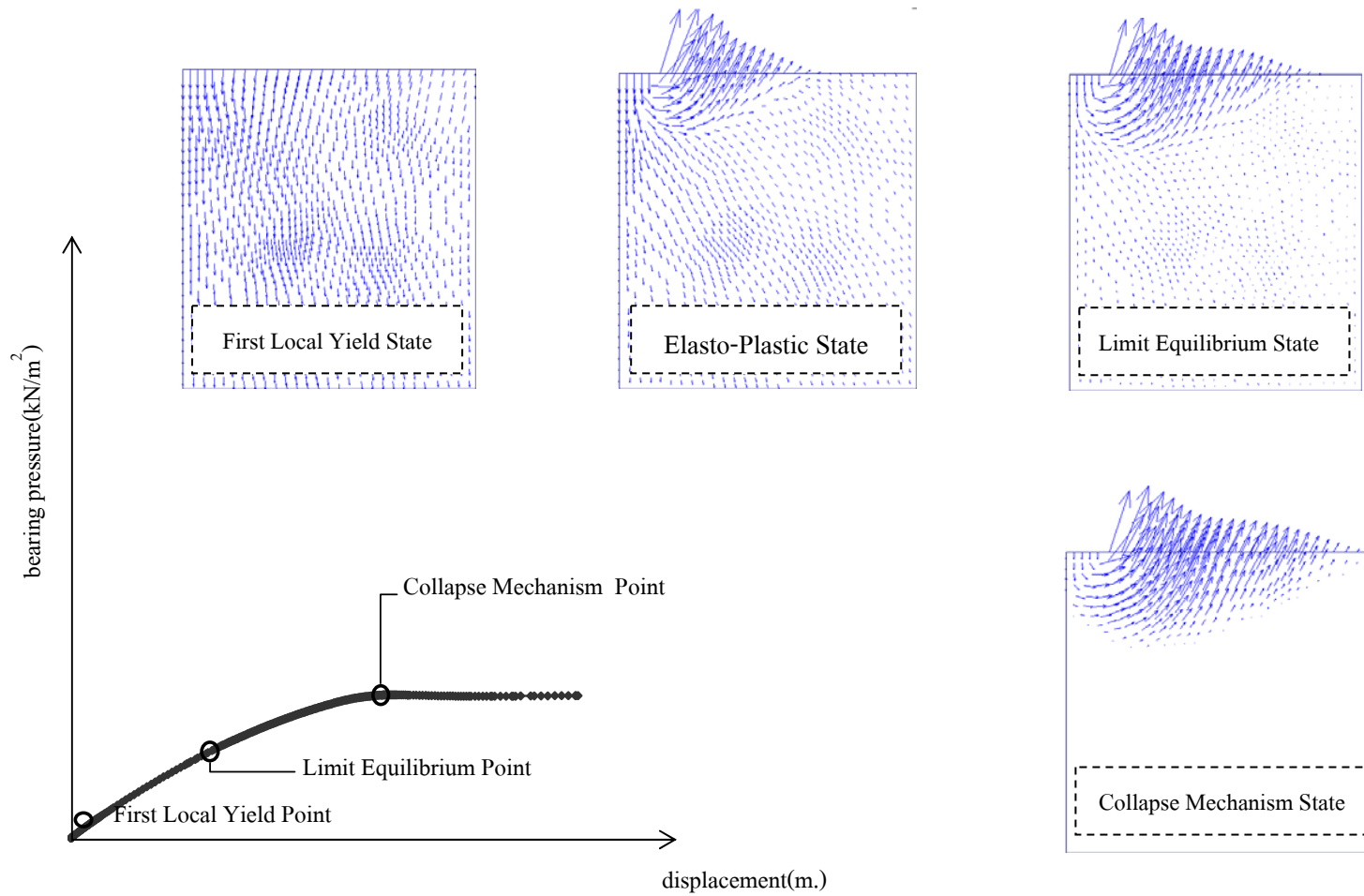
ภาพที่ 91 กราฟการทรุดตัวและค่ากำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานรากกว้าง 1 ม.เปรียบเทียบที่ค่าความแข็งแรงของดินต่างๆและที่ค่า D/B ต่างๆ



ภาพที่ 92 กราฟการทรุดตัวและค่ากำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานรากกว้าง 2 ม.เปรียบเทียบที่ค่าความแข็งแรงของดินต่างๆและที่ค่า D/B ต่างๆ



ภาพที่ 93 กราฟการทรุดตัวและค่ากำลังแบกทานของดินทราย กรณีฐานรากกว้าง 3 ม.เปรียบเทียบที่ค่าความแข็งแรงของดินต่างๆและที่ค่า D/B ต่างๆ



ภาพที่ 94 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวและกำลังแบกทานของดิน ณ แต่ละสถานะของดินเหนียว

## 2. พฤติกรรมการวิบัติของดินเนื่องจากการรับน้ำหนักจากฐานรากดิน

จากผลการวิเคราะห์ทั้งของกรณีดินเหนียวและดินทราย สามารถที่จะอธิบายพฤติกรรมของดินในการรับน้ำหนักจากฐานรากดินแบบ Strip ได้ โดยสามารถที่จะแบ่งพฤติกรรมที่เกิดขึ้นออกเป็นสภาวะในช่วงต่างๆ อดอาจ(2548) และ ก้องรัฐ(2547) ได้เสนอการแบ่งพฤติกรรมการรับน้ำหนักของดินออกเป็น 5 สภาวะ คำจำกัดความของแต่ละสภาวะมีดังนี้ คือ

### 2.1 สภาวะที่ Fully Elastic State

สภาวะที่ดินคงอยู่ในสภาวะอิลาสติกหรือสภาวะเริ่มต้นที่ดินยังไม่มีน้ำหนักจากภายนอกมากระทำจนเริ่มมีน้ำหนักภายนอกมากระทำจนถึงค่าหนึ่งที่ทำให้หน่วยแรงเฉือน (Shearing Stress,  $\tau$ ) ที่เกิดขึ้นในดินทุกจุดยังเกิดขึ้นต่ำกว่ากำลังเฉือน (Shearing Strength,  $\tau_f$ ) ของดิน หรือ  $\tau / \tau_f$  มีค่าประมาณ 1 สภาวะนี้เรียกว่า “Fully Elastic State”

### 2.2 สภาวะที่ First Local Failure State

สภาวะที่มีน้ำหนักภายนอกกระทำจนกระทั่งมีตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในมวลดินที่เกิด Shearing Stress สูงเท่ากับ Shearing Strength (หรือ  $\tau / \tau_f$  มีค่าประมาณ 1) สภาวะนี้เรียกว่า “First Local Failure State” ณ สภาวะนี้เนื้อดินบางแห่งจะเริ่มเป็น “Plastic” เหตุผลที่เนื้อดินบางส่วนเริ่มเป็นพลาสติกก็เนื่องมาจากมี Shearing Stress สูงกว่า Shearing Strength ตามที่กล่าวมาข้างต้นนั่นเอง สามารถอธิบายในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Shearing Stress ต่อ Shearing Strength ได้โดยหากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหนึ่งหมายความว่ามวลดินอยู่ในสภาวะอิลาสติก แต่หากค่าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าเท่ากับหนึ่งจะหมายความว่ามวลดินจุดนั้นเกิดการวิบัติหรือมีสภาพเป็นพลาสติกแล้วนั่นเอง

### 2.3 สภาวะที่ Elasto-Plastic State

สภาวะที่มีน้ำหนักภายนอกกระทำมากขึ้นเรื่อย ทำให้ดินที่อยู่ในสภาพพลาสติกหรือ Plastic Zone ขยายตัวออก แต่ยังคงถูกห่อหุ้มไว้ด้วย Elastic Zone หรือมวลดินที่ยังอยู่ในสภาวะ



อีลาสติกอยู่ โดยขนาดของ Plastic Zone หรือ Local Failure Area ขยายตัวตามขนาดของน้ำหนักที่กระทำ สถานะนี้เรียกว่า “Elasto-Plastic State”

#### 2.4 สถานะที่ Limit Equilibrium State

สถานะที่ยังคงมีน้ำหนักมากระทำมากยิ่งขึ้น มวลดินในสถานะพลาสติกหรือ Plastic Zone ขยายตัวจนกระทั่งไปสัมผัสที่ผิวดิน ซึ่งเป็นการก่อตัวของระนาบการวิบัติของดินอย่างสมบูรณ์ ณ สถานะนี้เรียกว่า “Limit Equilibrium State” ระบบยังคงอยู่ในสมดุล

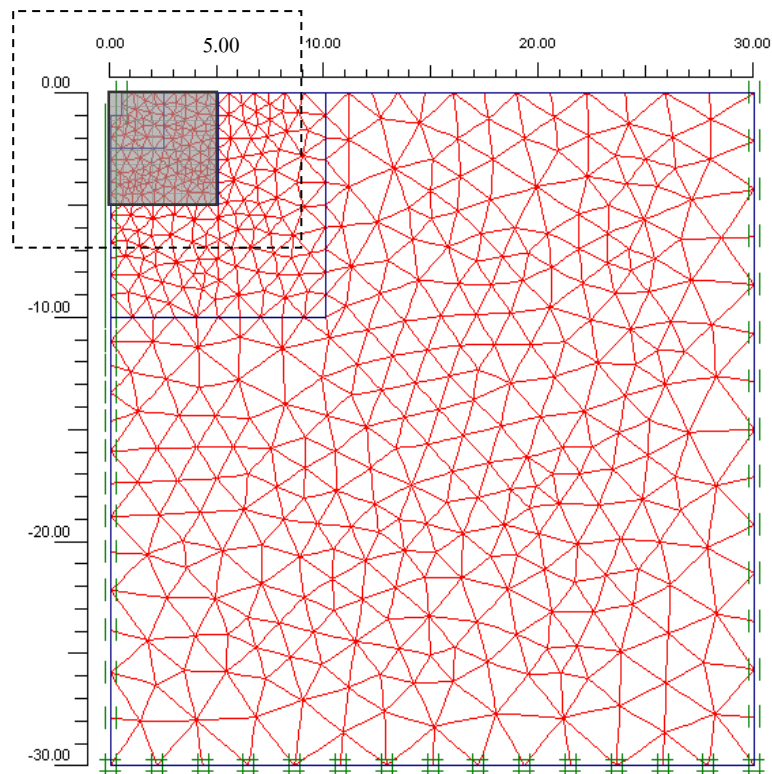
#### 2.5 สถานะที่ Collapse Mechanism State

สถานะที่เมื่อเพิ่มน้ำหนักที่มากกระทำเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจากจุดสถานะ Limit Equilibrium State ระบบก็จะไม่อยู่ในสมดุลและจะเกิดการเคลื่อนตัวอย่างทันทีทันใดของดินเกิดการวิบัติขึ้นอย่างทันทีทันใด ณ สถานะนี้เรียกว่า “Collapse Mechanism State”

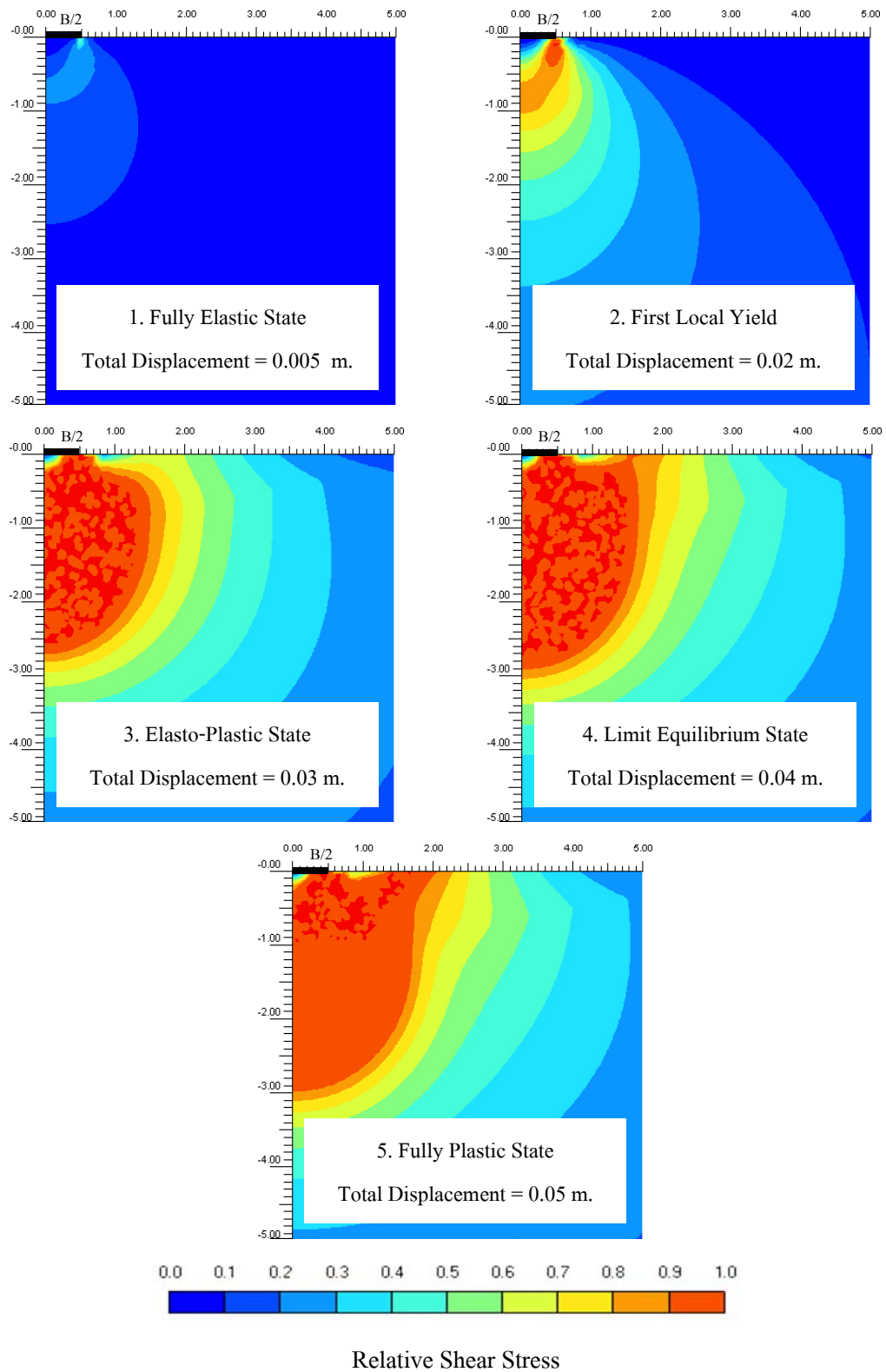
สำหรับพฤติกรรมของฐานรากที่วางอยู่บนผิวดิน ( $D/B = 0$ ) เมื่อมีน้ำหนักภายนอกมากระทำจะทำให้เกิดหน่วยแรงที่ขอบของฐานรากสูงมาก ทำให้มวลดินที่ขอบของฐานรากเกิดการวิบัติก่อนเป็นจุดแรก ซึ่งแตกต่างไปพฤติกรรมของฐานรากแบบ Perfectly Flexible ซึ่งจะเกิดการวิบัติที่ใต้ฐานรากเป็นจุดแรก จากนั้นดินที่วิบัติจะขยายขนาดมากขึ้นกลายเป็น Plastic Zone ที่ใหญ่ขึ้น โดยจากขอบของฐานรากจะขยายไปที่ใต้ฐานรากจากนั้นจะขยายตัวมากขึ้นจนไปสัมผัสที่ผิวดิน ซึ่งที่จุดนี้จะเกิดระนาบการวิบัติขึ้น จุดนี้จะเป็นจุดที่เรียกว่า Limit Equilibrium State หากพิจารณาผลในรูปของ Relative Shear Stress ( $\tau / \tau_f$ ) กับ Total Incremental Displacement จะทำให้เห็นภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นว่าเมื่อระนาบการวิบัติมาสัมผัสที่ผิวดิน การเคลื่อนตัวของดินที่อยู่ในระนาบการวิบัติเริ่มที่จะเคลื่อนที่แตกต่างกับมวลดินที่อยู่นอกการวิบัติ หลังจากนั้นเมื่อเลยจุดนี้ไปการเคลื่อนตัวของดินภายในระนาบการวิบัติก็จะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 96 ซึ่งเป็นรูปของ Relative Shear Stress ที่สถานะทั้ง 5 สถานะของฐานรากที่วางอยู่บนผิวดินและภาพที่ 98 เป็นภาพของเวกเตอร์ Total Incremental Displacement ที่สถานะทั้ง 5 สถานะของฐานรากที่วางอยู่บนผิวดินเช่นกัน

สำหรับพฤติกรรมของฐานรากที่วางอยู่ที่ระดับต่ำกว่าผิวดิน( $D/B > 0$ ) เมื่อมีน้ำหนักภายนอกมากระทำหน่วยแรงที่ขอบของฐานรากจะมีค่าสูงมาก ดินที่ขอบของฐานรากจะเกิดการวิบัติก่อนเป็นจุดแรก จากนั้น Plastic Zone ที่เกิดขึ้นก็จะขยายตัวมากขึ้นจนกระทั่งขยายตัวไปสัมผัสกับผิวดิน พฤติกรรมการวิบัติจะเกิดขึ้นคล้ายคลึงกันกับกรณีที่ฐานรากวางอยู่ที่ผิวดิน ดังแสดงในภาพที่ 97 และภาพที่ 99 เป็นภาพของเวกเตอร์ Total Incremental Displacement

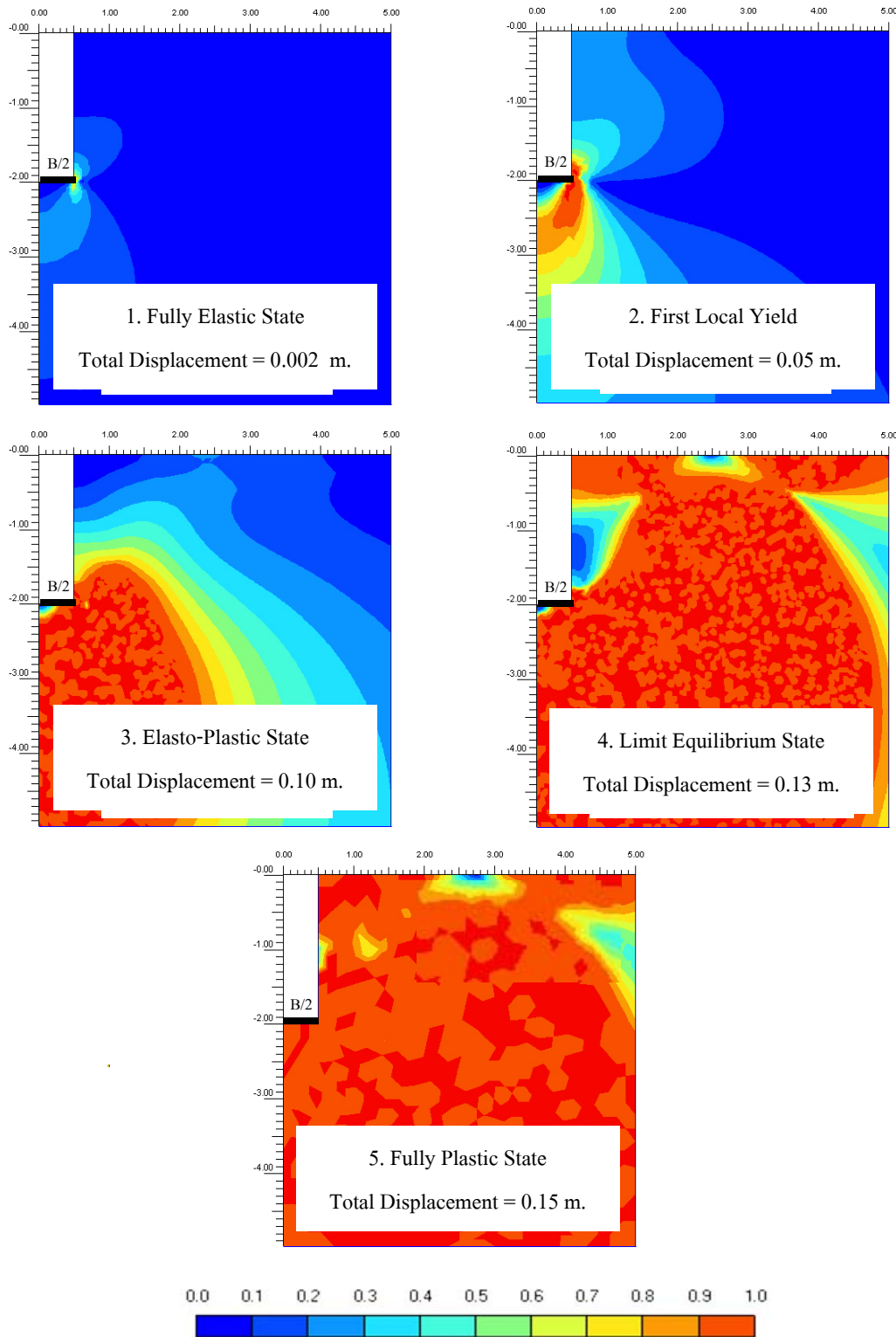
เนื่องจากขนาดของปัญหาที่ใช้คือ 30 เมตรดังภาพที่ ในการพิจารณาเวกเตอร์และผลการวิเคราะห์จะมีขนาดเล็กมาก หากจะพิจารณาภาพให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นจึงต้องทำการขยายภาพดังนั้นรูปที่จะนำเสนอในงานวิจัยครั้งนี้จะนำเสนอที่ความกว้าง 5 เมตรและความลึก 5 เมตร



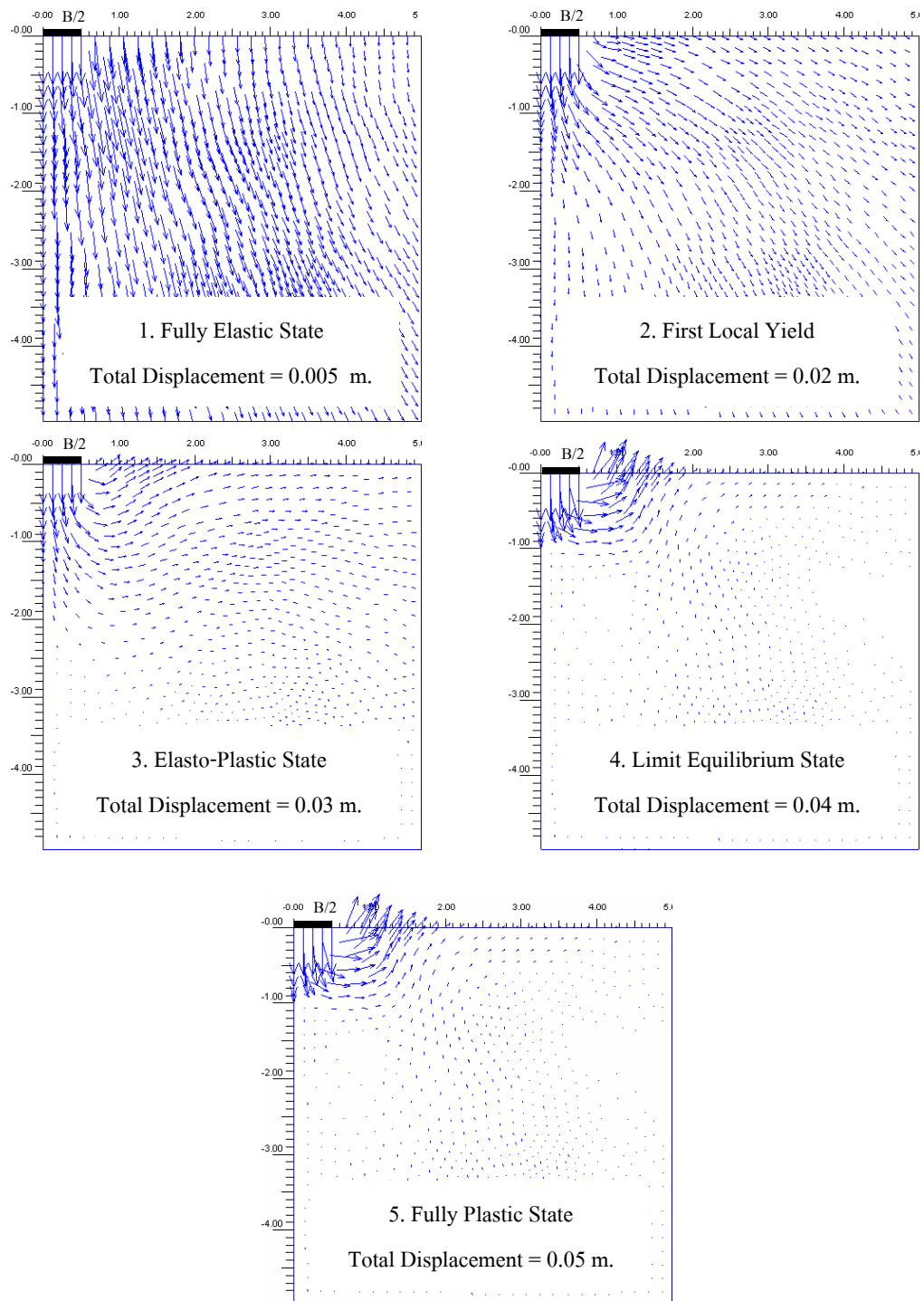
ภาพที่ 95 การขยายภาพเพื่อใช้ในการนำเสนอในงานวิจัยครั้งนี้



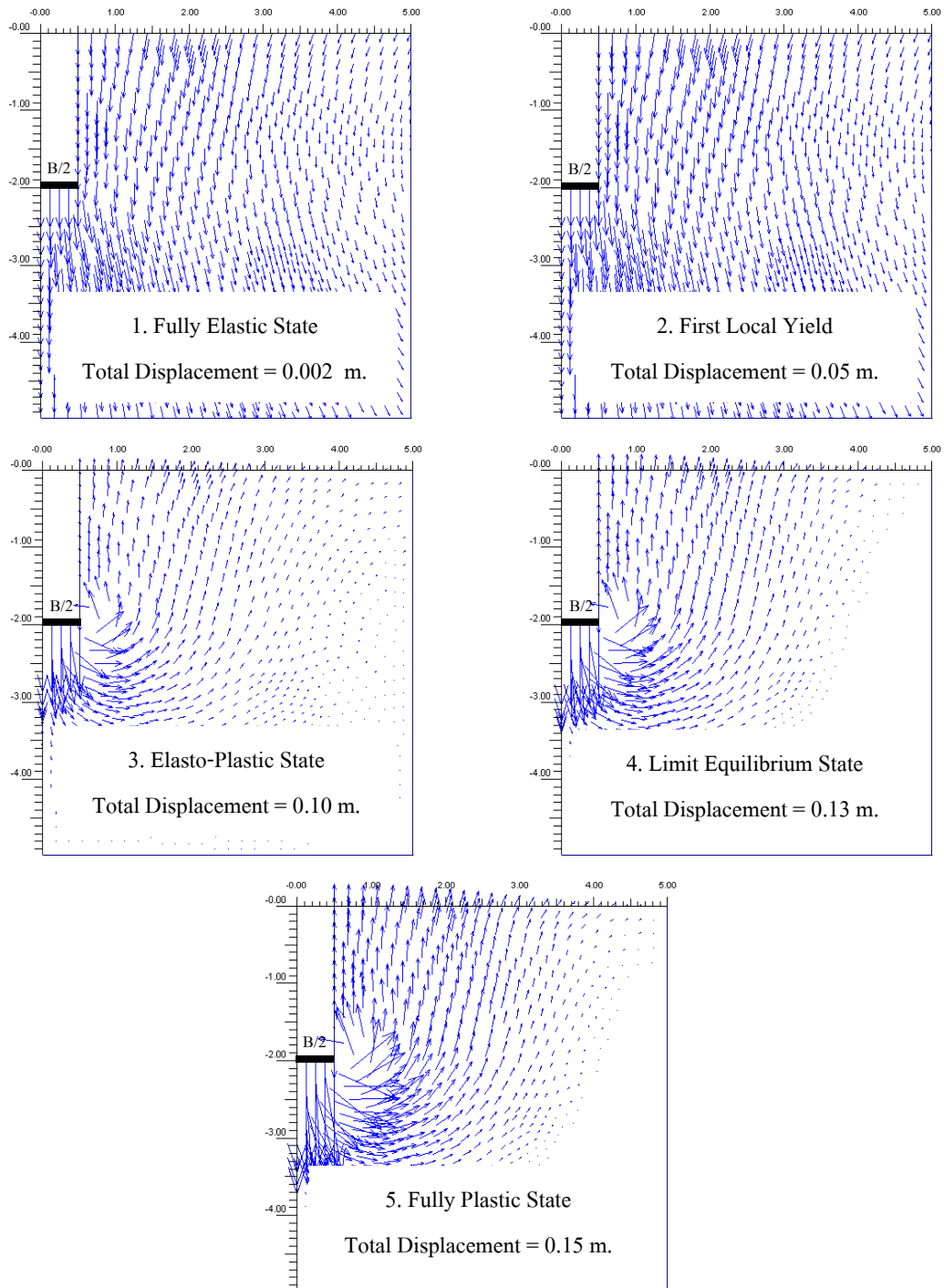
ภาพที่ 96 Relative Shear Stress ที่สภาวะต่างๆ ของดิน กรณีที่  $D/B = 0$



ภาพที่ 97 Relative Shear Stress ที่สภาวะต่างๆของดิน กรณีที่  $D/B > 0$



ภาพที่ 98 เวกเตอร์ Total Incremental Displacement ของดินที่สภาวะต่างๆ กรณี  $D/B = 0$



ภาพที่ 99 เวกเตอร์ Total Incremental Displacement ของดินที่สภาวะต่างๆ กรณี  $D/B > 0$

### 3. ลักษณะการเคลื่อนตัวและรูปร่างของระนาบการวิบัติของดินเนื่องจากการรับน้ำหนักจากฐาน

#### รากแบบ strip

จากการพิจารณาแบ่งกรณีศึกษาออกตามคุณสมบัติของฐานรากและคุณสมบัติของดิน ทำให้เห็นลักษณะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยจะแยกผลของการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นตามการวางตัวของฐานราก นั่นคือ ฐานรากที่วางที่ผิวดินและกรณีที่ฐานรากวางอยู่ที่ระดับต่ำจากผิวดิน

#### 3.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินที่ $D/B = 0$

งานวิจัยครั้งนี้ได้จำลองพฤติกรรมการรับน้ำหนักของฐานราก โดยกำหนดการใส่รน้ำหนักแบบใช้การเคลื่อนตัวเป็นตัวควบคุม(Displacement Control) โดยเป็นการกำหนดให้ทุกๆจุดใต้ฐานรากเกิดการทรุดตัวที่เท่ากัน(Prescribed Displacement) โดยเพิ่มการทรุดตัวจนกระทั่งดินเกิดการวิบัติ อิทธิพลที่มีผลต่อลักษณะการเคลื่อนตัวได้แก่ค่า Roughness of Footing และ  $D/B$  ซึ่งสามารถที่จะอธิบายได้ดังนี้

การที่กำหนดค่า Roughness of Footing ซึ่งได้แก่ Rough และ Smooth เป็นการกำหนดลักษณะการเคลื่อนตัวของดินใต้ฐานราก สำหรับกรณีที่กำหนดเป็น Rough จะเป็นการกำหนดให้ดินใต้ฐานรากมีการเคลื่อนตัวได้เฉพาะแนวตั้งเท่านั้น ไม่มีการเคลื่อนตัวทางแนวราบ ส่วนกรณีที่กำหนดเป็น Smooth จะเป็นการกำหนดให้ดินใต้ฐานรากสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้ทั้งทางแนวตั้งและแนวราบ หน่วยแรงเฉือนใต้ฐานรากมีค่าเท่ากับศูนย์เสมือนมีลูกกลิ้งอยู่ที่รอยต่อระหว่างฐานรากกับดินนั่นเอง มวลดินสามารถเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ

สำหรับกรณีที่ฐานรากวางอยู่บนผิวดินโดยตรงหรือ  $D/B = 0$  การเคลื่อนตัวของดินจะมีความแตกต่างกันเมื่อมีการกำหนดค่า Roughness of Footing ที่แตกต่างกัน กรณีที่บังคับให้มีการเคลื่อนตัวได้เฉพาะในแนวตั้งนั้นคือผิวสัมผัสระหว่างฐานรากกับดินเป็นแบบ Rough การเคลื่อนตัวจะลงไปในระดับที่มีความลึกมากกว่า และจะมีการเคลื่อนตัวหรือการบวมตัวของดินที่บริเวณถัดจากขอบของฐานรากน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการบังคับให้ดินใต้ฐานรากเกิดการเคลื่อนตัวได้เฉพาะในแนวตั้ง ซึ่งดินจะเคลื่อนตัวลงไปดันดินด้านล่างให้เคลื่อนตัวขึ้นมาด้านบนจนกระทั่งเกิดการวิบัติ การเคลื่อนตัวของดินที่ขอบของฐานรากจะมีน้อย แต่หากกำหนดค่า Roughness of Footing เป็น Smooth

การเคลื่อนตัวสามารถเกิดขึ้นได้อย่างอิสระ เมื่อมีการรับน้ำหนักดินใต้ฐานรากจะเกิดการเคลื่อนตัว ทั้งทางแนวดิ่งและทางแนวราบ ดินส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ลงด้านล่างแล้วดันให้ดินด้านล่างเคลื่อนตัว ขึ้นมาด้านบน แต่ดินส่วนหนึ่งก็จะเคลื่อนตัวหนีออกไปทางด้านข้างของฐานรากซึ่งการเคลื่อนตัวจะ ลงไปเล็กน้อยกว่า หากพิจารณาจากภาพที่ 100 และภาพที่ 101 จะเห็นว่าเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของดิน ได้กึ่งกลางฐานรากจะเคลื่อนที่ลงแนวดิ่ง อีกส่วนหนึ่งที่เหลือจะเริ่มเคลื่อนที่ออกมาทางด้านข้าง ทางด้านขอบของฐานราก การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเกิดการวิบัติจะเกิดขึ้นใน ระดับที่ตื้นมากกว่ากรณี Rough

ในภาพที่ 100 เป็นภาพแสดงการเปรียบเทียบการเคลื่อนตัว ณ จุดวิบัติ ระหว่างการ กำหนด Roughness of Footing เป็นแบบ Rough และ Smooth ของดินทราย จะเห็นว่ากรณีกำหนดให้ Roughness of Footing เป็นแบบ Rough ดินจะเคลื่อนตัวลงไปในระดับที่ลึกมากกว่าและมีการเคลื่อนตัว ขึ้นทางด้านขอบของฐานรากน้อยกว่าแบบ Smooth เช่นเดียวกันกับภาพที่ 101 ที่เป็นภาพแสดงการ เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของดิน ณ จุดวิบัติของดินเหนียว กรณีกำหนดให้ Roughness of Footing เป็นแบบ Rough ดินเหนียวจะเคลื่อนตัวลงไปในระดับที่ลึกมากกว่าและมีการเคลื่อนตัวขึ้นของดิน บริเวณด้านข้างของฐานรากน้อยกว่าแบบ Smooth ภาพที่ 102 แสดงเวกเตอร์การเคลื่อนตัวและภาพ ที่ 106 เป็นภาพแสดง Total Incremental Displacement ของฐานรากที่วางที่ระดับผิวดิน( $D/B=0$ )

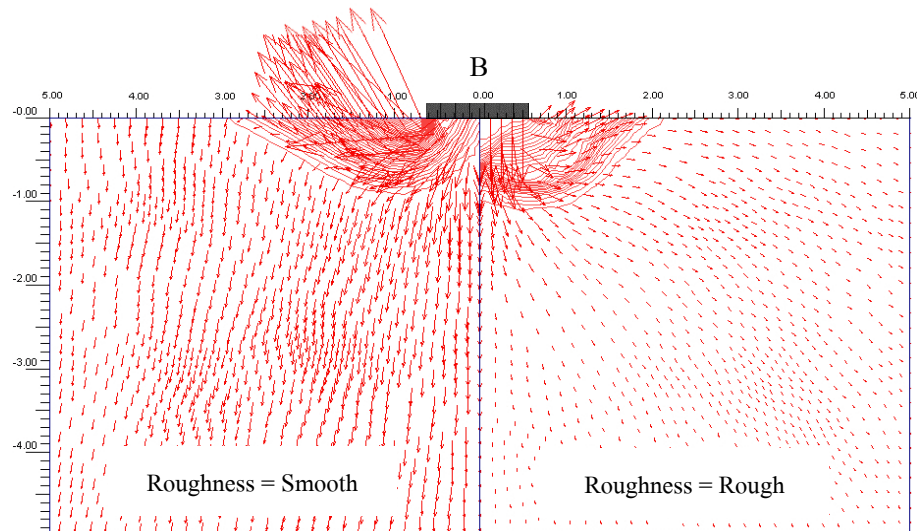
### 3.2 ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินที่ $D/B > 0$

สำหรับกรณีพื้นฐานรากวางอยู่ลึกจากผิวดินที่ระดับใดๆลักษณะการเคลื่อนตัวของมวล ดินใต้ฐานรากคล้ายคลึงกันกับกรณีพื้นฐานรากวางอยู่บนผิวดิน นั่นคือการเคลื่อนตัวของดินใต้ฐานราก กรณี Roughness of Footing เป็น Rough จะมีการเคลื่อนตัวเฉพาะแนวดิ่งการเคลื่อนตัวจะลงไป ในระดับที่ลึกมากกว่ากรณีของ Smooth เนื่องจากกรณีหลังดินสามารถที่จะเคลื่อนตัวหนีออกไปทาง ด้านข้างได้ การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระดับที่ตื้นน้อยกว่า แต่เนื่องจากการที่ฐานรากวางอยู่ลึก จากระดับผิวดิน การเคลื่อนตัวจะเกิดขึ้นมากบริเวณใต้ฐานรากเมื่อเทียบกับการเคลื่อนตัวไปสู่ที่ผิวดิน หากความลึกยังมีค่าสูงมากขึ้นหรือ  $D/B$  มีค่ามากกว่าศูนย์มากขึ้น การเคลื่อนตัวของดินขึ้นสู่ผิวดินด้านบ้านจะมีค่าน้อยมาก การเคลื่อนตัวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นมากอยู่บริเวณที่ฐานรากวางอยู่

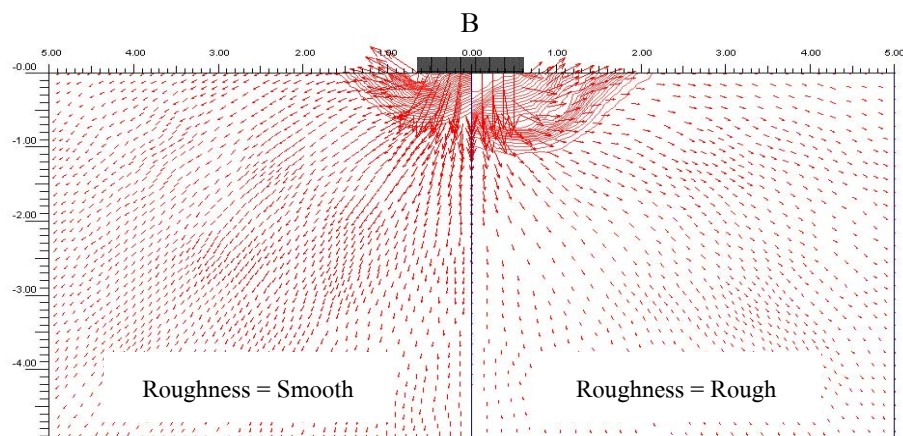
ส่วนอิทธิพลเนื่องจากการกำหนดค่า Roughness of Footing นั้นจะไม่ค่อยมีผลต่อการ เคลื่อนตัวโดยดินใต้ฐานรากยังคงมีการเคลื่อนตัวตามที่เงื่อนไขกำหนดที่ไม่สามารถที่จะเคลื่อนตัว



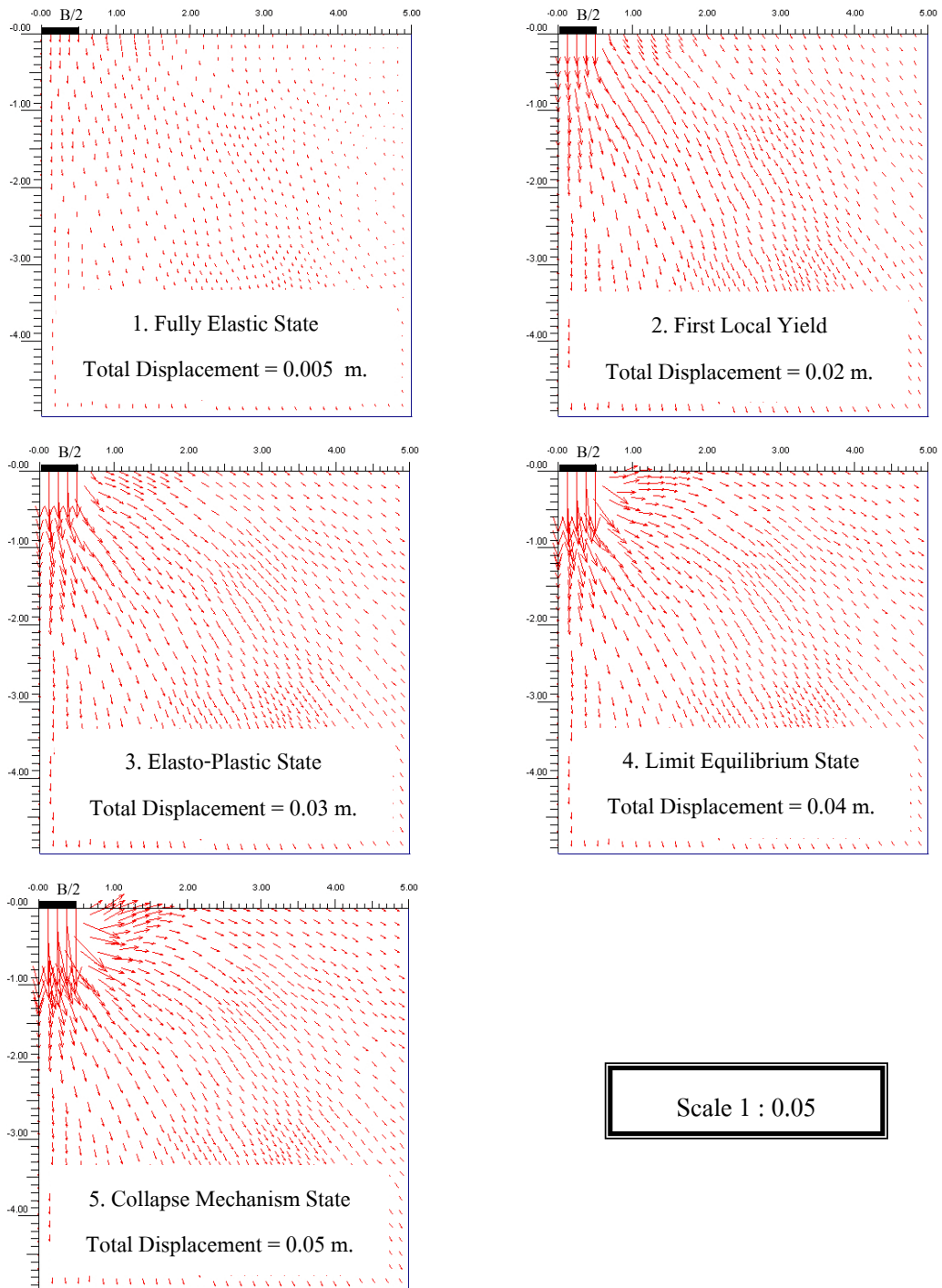
ได้อย่างกรณีพื้นฐานวางอยู่บนผิวดินเนื่องด้วยถูกกดทับหรือล้อมไว้ด้วยดินที่อยู่สูงจากระดับของฐานรากเอาไว้ ทำให้การกำหนดค่า Roughness of Footing นั้นไม่ค่อยมีผลต่อการเคลื่อนตัวของดิน ส่วนในภาพที่ 103-105 เป็นภาพเวกเตอร์การเคลื่อนตัวของดินและภาพที่ 107-109 แสดง Total Incremental Displacement ของดินใต้ฐานราก กรณีพื้นฐานที่วางต่ำจากระดับผิวดินที่ความลึกใดๆ ( $D/B > 0$ )



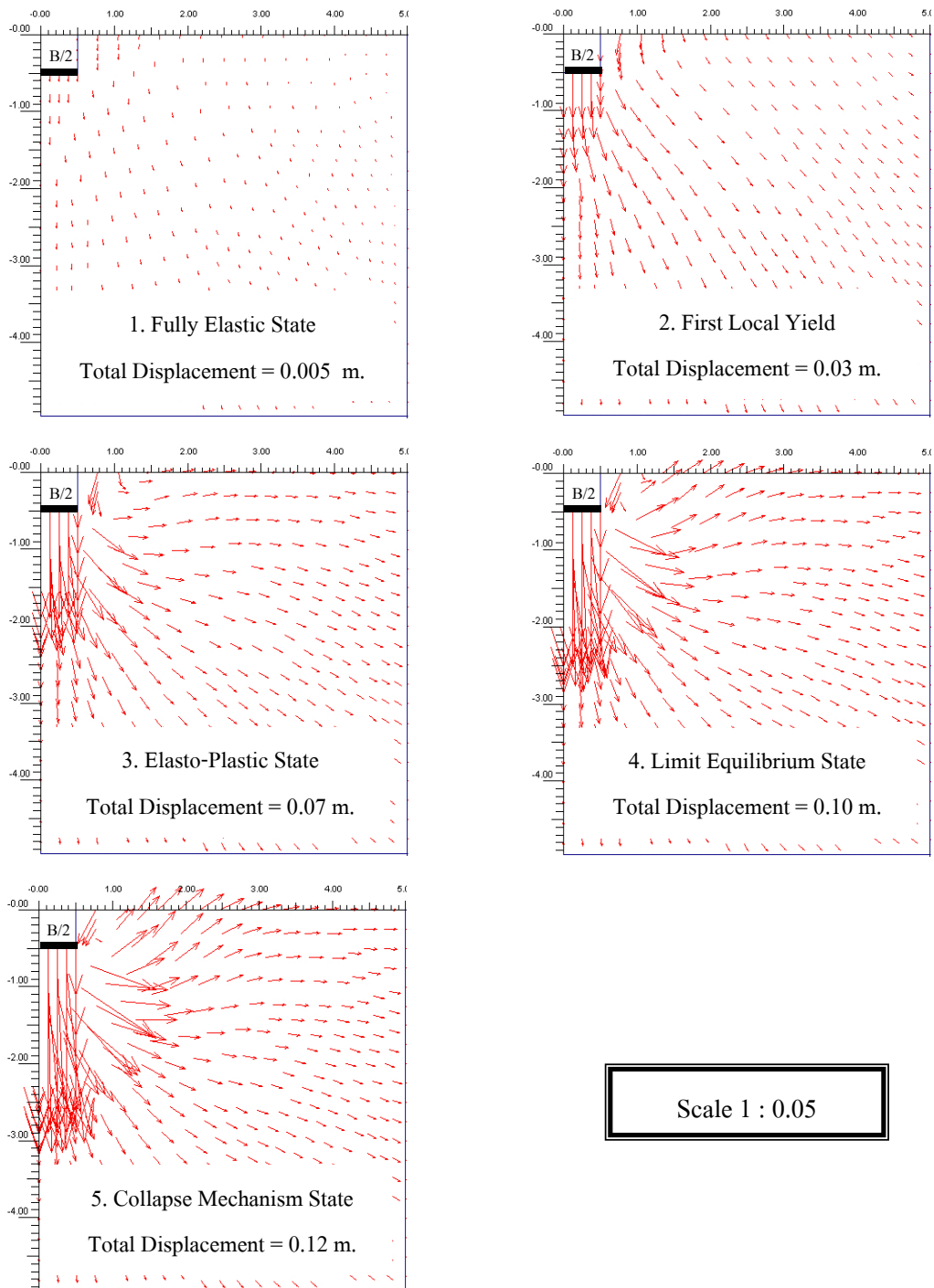
ภาพที่ 100 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของดินทรายใต้ฐานราก ณ จุดวิบัติ ระหว่างค่า Roughness ของฐานรากแบบ Rough กับ Smooth (กรณีดิน = Loose Sand,  $B = 1$  ม.,  $D/B = 0$ )



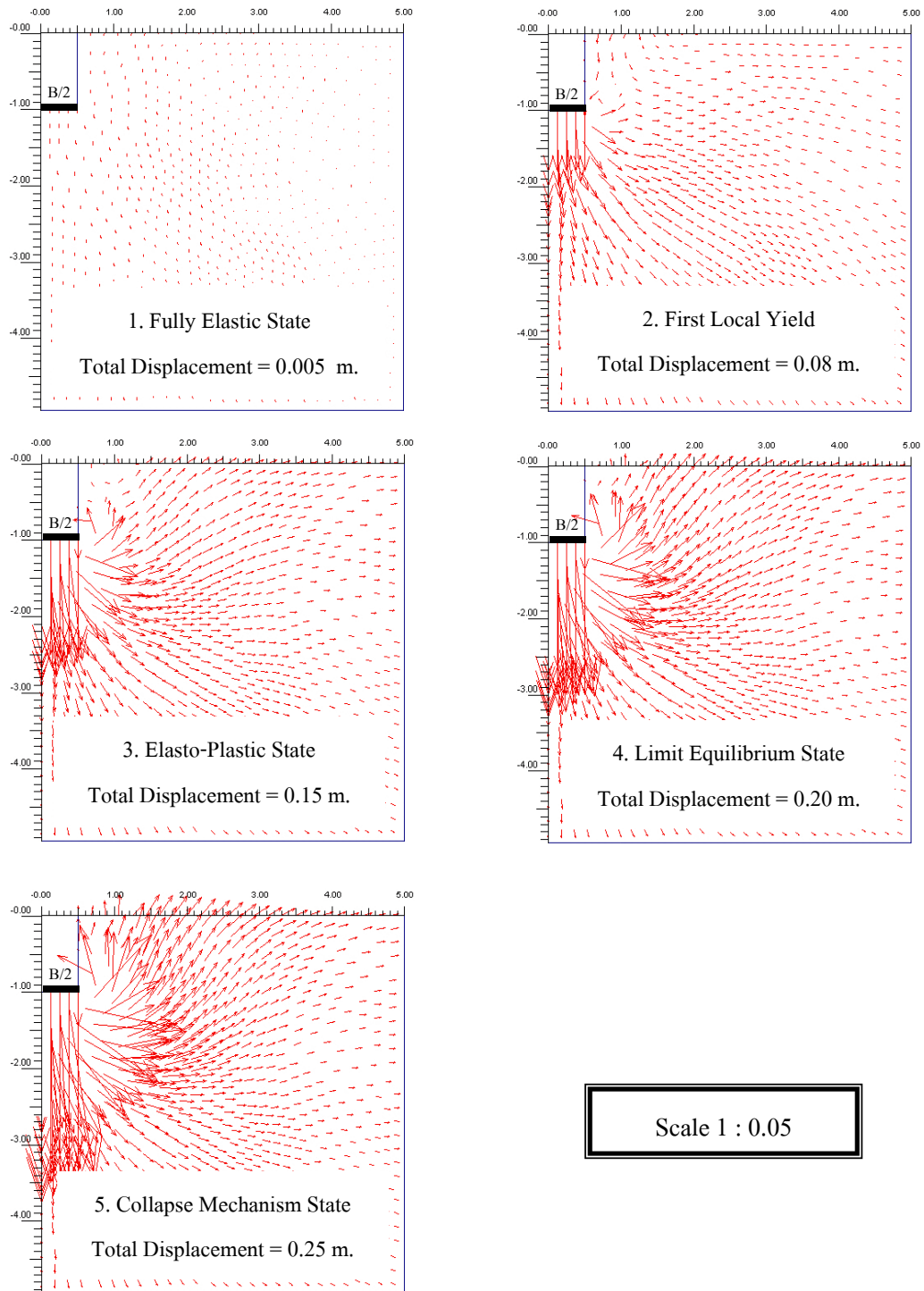
ภาพที่ 101 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของดินเหนียวใต้ฐานราก ณ จุดวิบัติ ระหว่างค่า Roughness ของฐานรากแบบ Rough กับ Smooth (กรณีดิน = Soft Clay,  $B = 1$  ม.,  $D/B = 0$ )



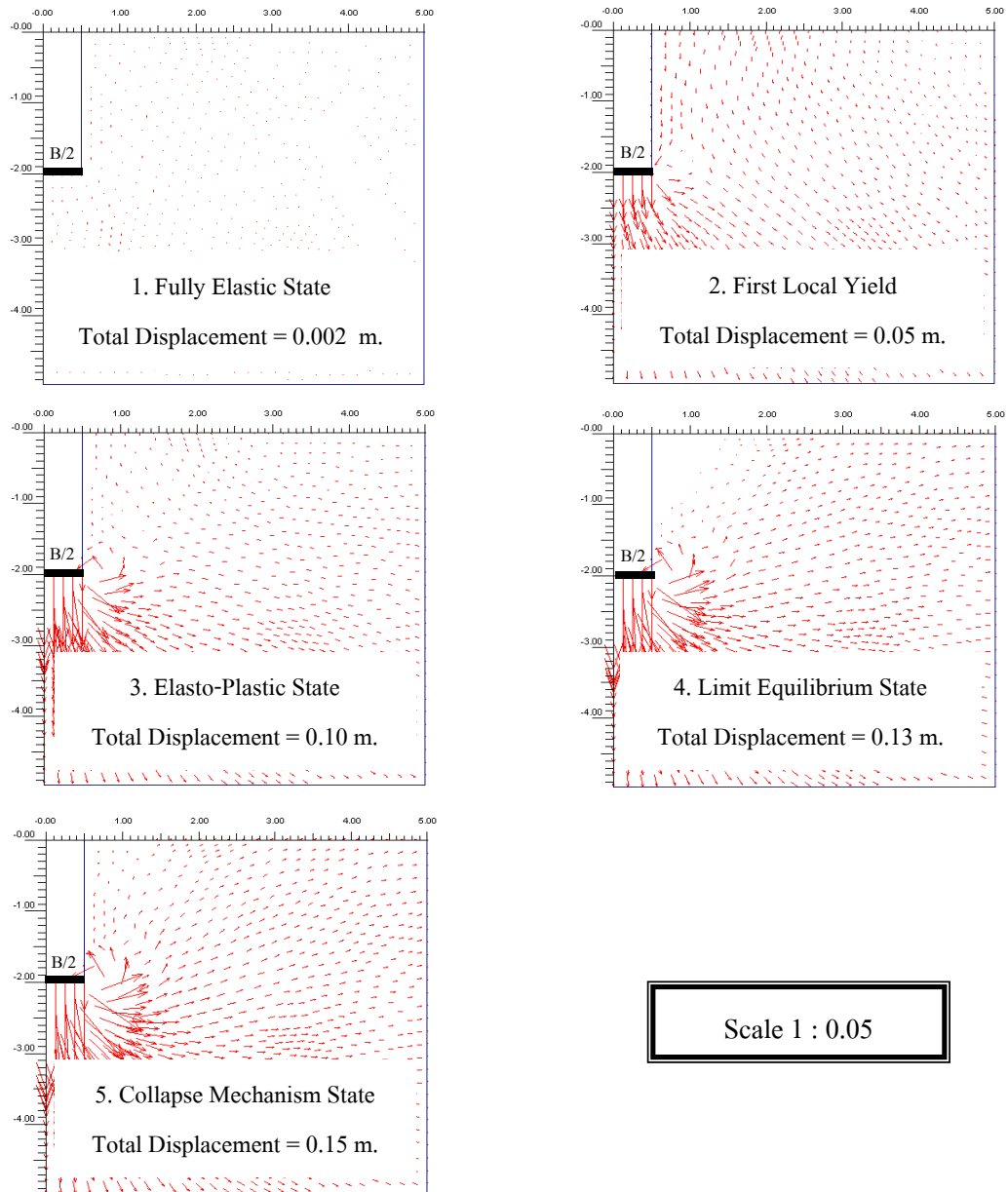
ภาพที่ 102 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวของ Medium Clay ที่สภาวะต่างๆ กรณีที่  $D/B = 0$



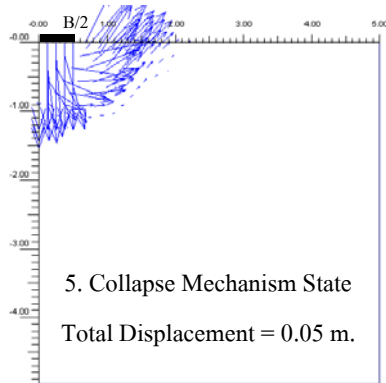
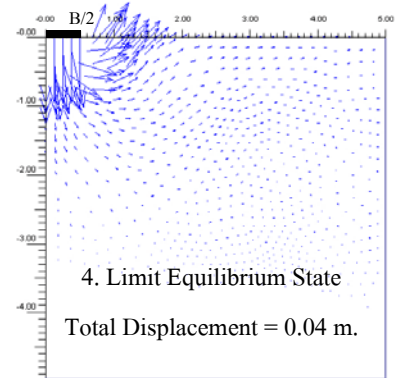
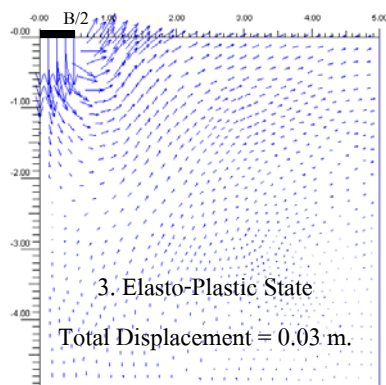
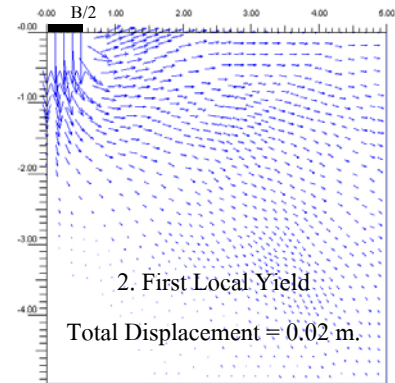
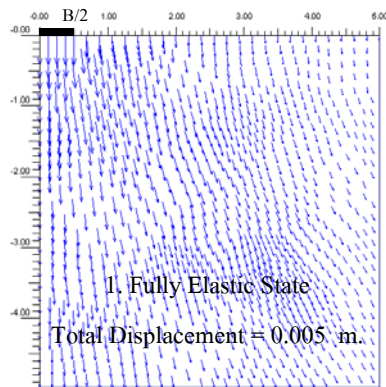
ภาพที่ 103 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวของ Medium Clay ที่สภาวะต่างๆ กรณีที่  $D/B = 0.5$



ภาพที่ 104 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวของ Medium Clay ที่สภาวะต่างๆ กรณีที่  $D/B = 1$

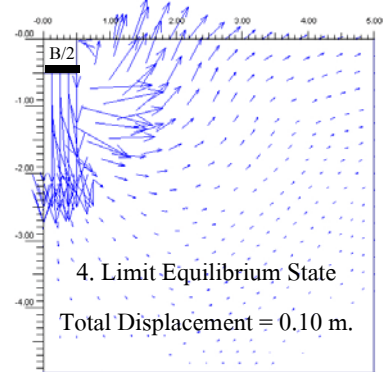
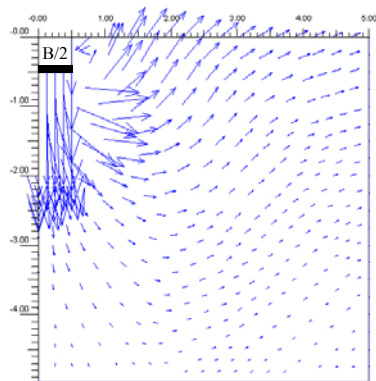
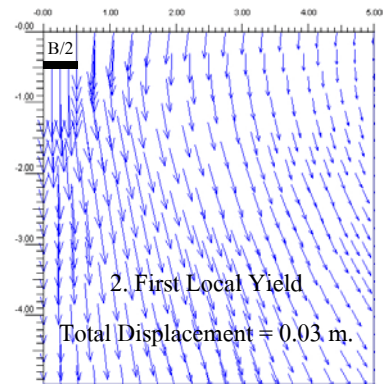
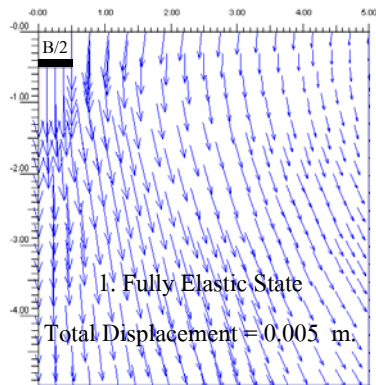


ภาพที่ 105 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวของ Medium Clay ที่สภาวะต่างๆ กรณีที่  $D/B = 2$



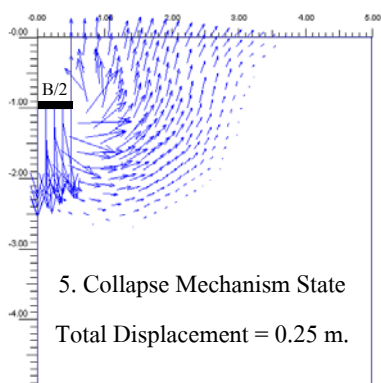
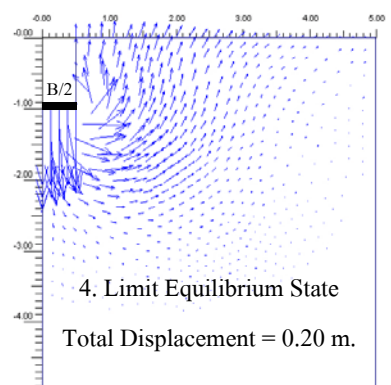
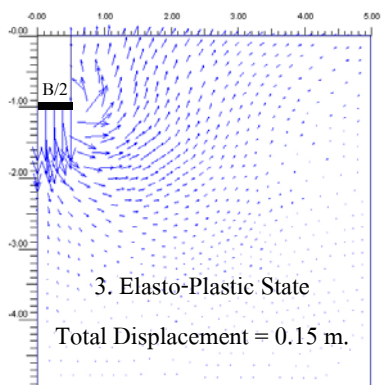
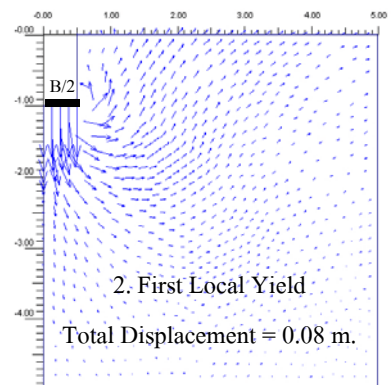
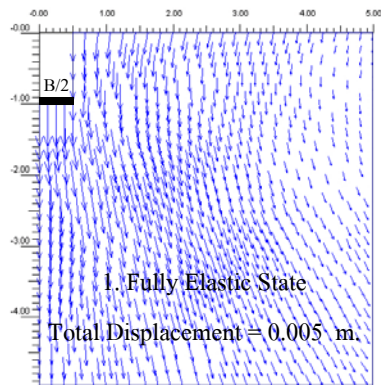
Scale 1 : 0.05

ภาพที่ 106 Total Incremental Displacement ของ Medium Clay กรณีที่  $D/B = 0$



Scale 1 : 0.05

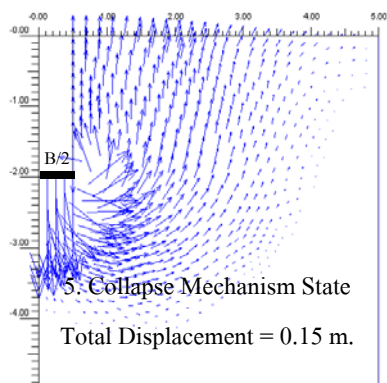
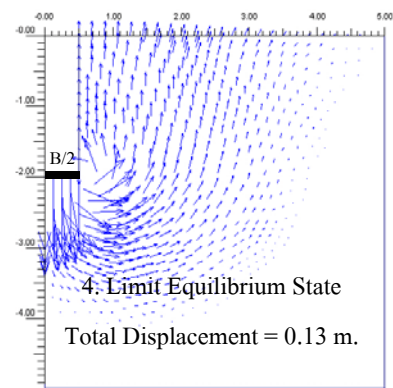
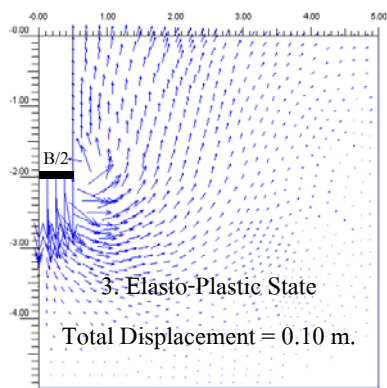
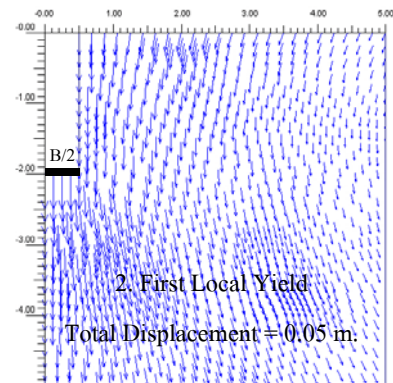
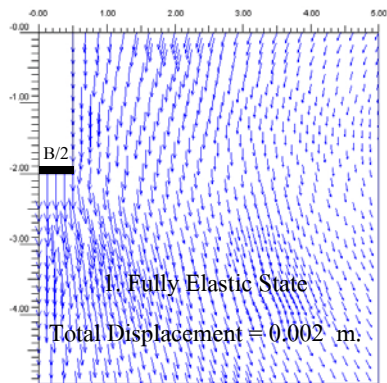
ภาพที่ 107 Total Incremental Displacement ของ Medium Clay กรณีที่  $D/B = 0.5$



Scale 1 : 0.05

ภาพที่ 108 Total Incremental Displacement ของ Medium Clay กรณีที่  $D/B = 1$





Scale 1 : 0.05

ภาพที่ 109 Total Incremental Displacement ของ Medium Clay กรณีที่  $D/B = 2$

### 3.3 รูปร่างของระนาบการวิบัติของดินเนื่องจากการรับน้ำหนักจากฐานรากแบบ Strip

เมื่อดินได้รับน้ำหนักจนกระทั่งเกิดการวิบัติ ซึ่งพฤติกรรมของดินที่เกิดการวิบัติได้มีหลายคนที่ได้ทำการตั้งสมมุติฐานไว้ พฤติกรรมการวิบัติสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้ คือ Hill Mechanism, Prandtl Mechanism และ Terzaghi Mechanism โดยแต่พฤติกรรมจะพิจารณาแบ่งมวลดินที่วิบัติออกเป็นสามส่วนเหมือนกัน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมใต้ฐานรากโดยมุมของสามเหลี่ยมจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป ดินส่วนนี้จะเคลื่อนตัวลงด้านล่าง ส่วนที่สองจะมีรูปร่างเป็นรูป Log-Spiral และส่วนที่สามจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเช่นกันแต่จะมีการเคลื่อนตัวไปด้านบน โดยแต่ละพฤติกรรมจะมีความแตกต่างกันที่มุมภายในรูปสี่เหลี่ยมและจำนวนรูปสี่เหลี่ยมใต้ฐานราก ตามรายละเอียดที่ได้กล่าวในส่วนของการตรวจเอกสาร ดังนั้น เมื่อนำผลการวิเคราะห์จาก FEM มาทำการเปรียบเทียบกับพฤติกรรมการวิบัติ สามารถที่จะอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

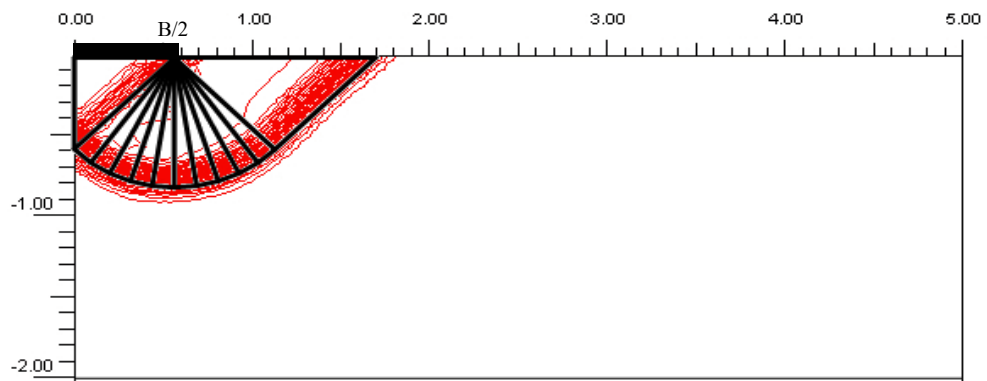
#### 3.3.1 รูปร่างของระนาบการวิบัติของดินกรณี $D/B = 0$

จากผลของการเคลื่อนตัวของดินกรณีพื้นฐานวางอยู่ที่ผิวดินจะเห็นว่า ดินใต้ฐานรากจะเคลื่อนตัวลง จากนั้นจะเคลื่อนตัวดันให้ดินเคลื่อนที่ขึ้นไปทีผิวดิน จนกระทั่งเกิดการวิบัติ สำหรับรูปร่างการวิบัติจะคล้ายคลึงกับสมมุติฐานของ Prandtl มากที่สุด โดยสมมุติฐานของ Prandtl กำหนดให้มุมของรูปสี่เหลี่ยมใต้ฐานรากมีค่าเท่ากับ  $45+(\phi/2)$  ในทุกความกว้างของฐานราก แต่อิทธิพลเนื่องจากค่า Roughness of Footing มีผลต่อรูปร่างการวิบัติของมวลดิน โดยกรณีของ Rough จะมีการเคลื่อนตัวลงในระดับที่ลึกและกว้างมากกว่ากรณีของ Smooth ซึ่งทำให้ระนาบของการวิบัติที่เกิดมีระดับความลึกและความกว้างมากกว่าอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 110-115

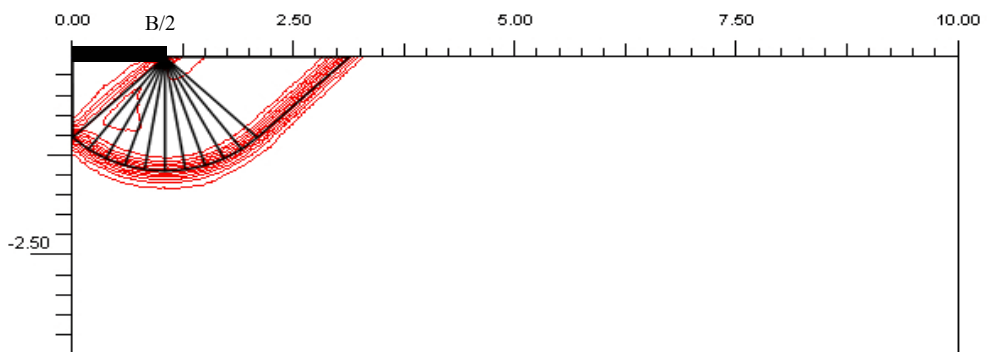
#### 3.3.2 รูปร่างของระนาบการวิบัติของดินกรณี $D/B > 0$

สำหรับกรณีรูปร่างของระนาบการวิบัติจะแตกต่างไปจากกรณีของฐานรากที่วางอยู่ที่ผิวดิน การเคลื่อนตัวของดินจะเริ่มจากดินใต้ฐานรากเคลื่อนตัวลงเนื่องจากถูกบังคับด้วยฐานราก จากนั้นดินจะพยายามเคลื่อนที่ไปด้านข้างฐานรากและดันให้ดินเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนจนกระทั่งเกิดการวิบัติ แต่เมื่อฐานรากวางอยู่ที่ระดับลึกมากขึ้น การที่ดินจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนจะน้อยลง เนื่องจากถูกกดทับไว้ด้วยดินที่อยู่ระดับฐานราก หากพิจารณาจากภาพที่ 116-117 จะเห็นว่าระนาบการวิบัติจะเกิดจะไม่ชัดเจนเหมือนกับกรณีพื้นฐานวางอยู่ที่ผิวดิน แต่ยังคงเกิดรูปสี่เหลี่ยมที่

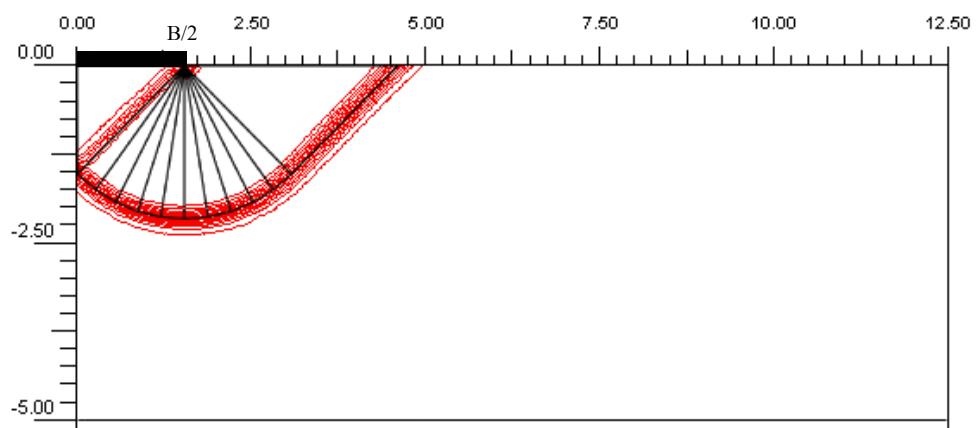
ได้ฐานราก จากนั้นจะมีลักษณะเป็นรูป Log-Spiral เชื่อมต่อระหว่างรูปสี่เหลี่ยมจนสัมผัสกับ  
ผิวดิน



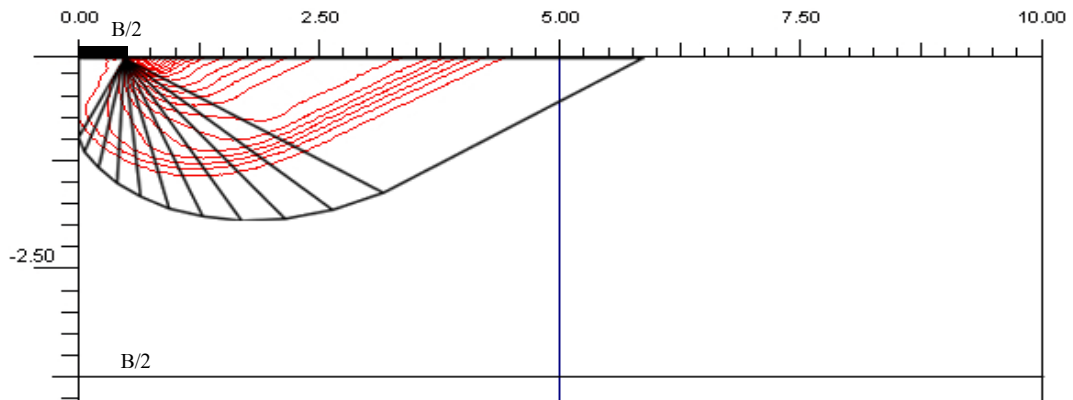
ภาพที่ 110 เปรียบเทียบระนาบการวิบัติของดินเหนียวระหว่าง FEM กับ Prandtl Mechanism  
กรณีฐานรากกว้าง 1 เมตร



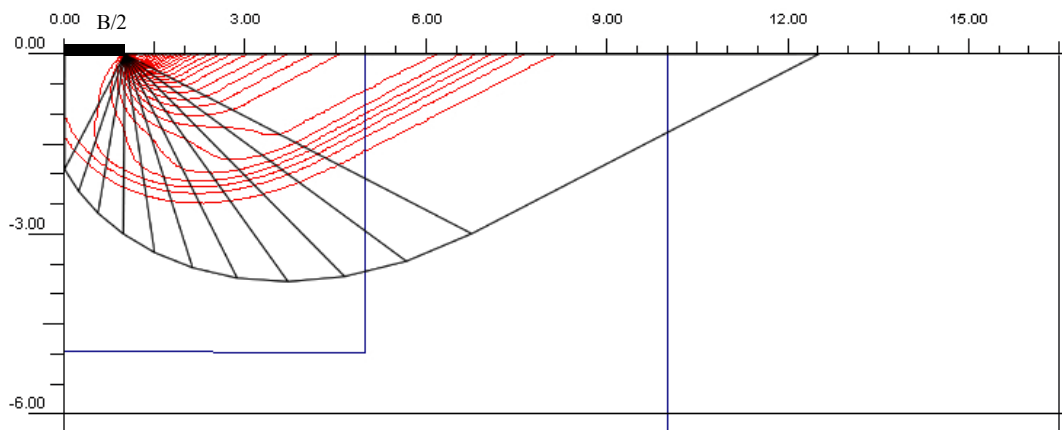
ภาพที่ 111 เปรียบเทียบระนาบการวิบัติของดินเหนียวระหว่าง FEM กับ Prandtl Mechanism  
กรณีฐานรากกว้าง 2 เมตร



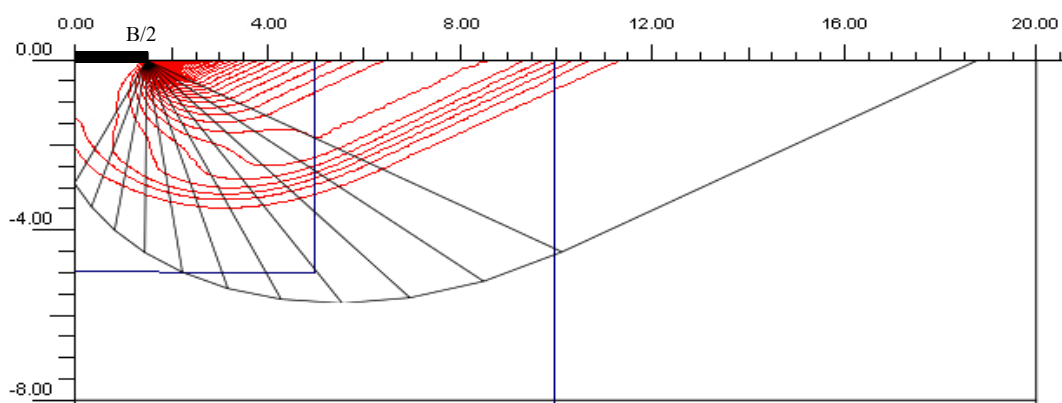
ภาพที่ 112 เปรียบเทียบระนาบการวิบัติของดินเหนียวระหว่าง FEM กับ Prandtl Mechanism  
กรณีฐานรากกว้าง 3 เมตร



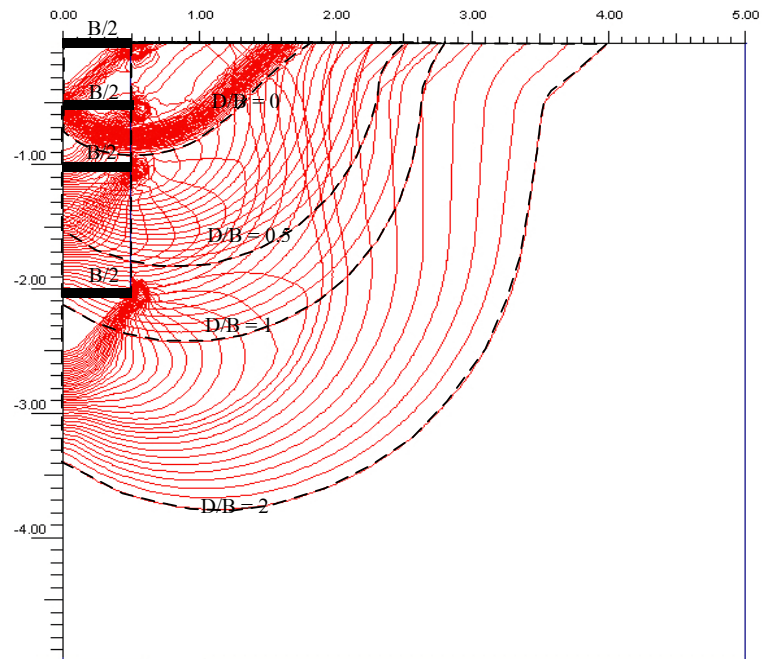
ภาพที่ 113 เปรียบเทียบระนาบการวิบัติของดินทรายระหว่างที่ได้จาก FEM กับสมมุติฐานของ Prandtl ที่ฐานรากกว้าง 1 เมตร



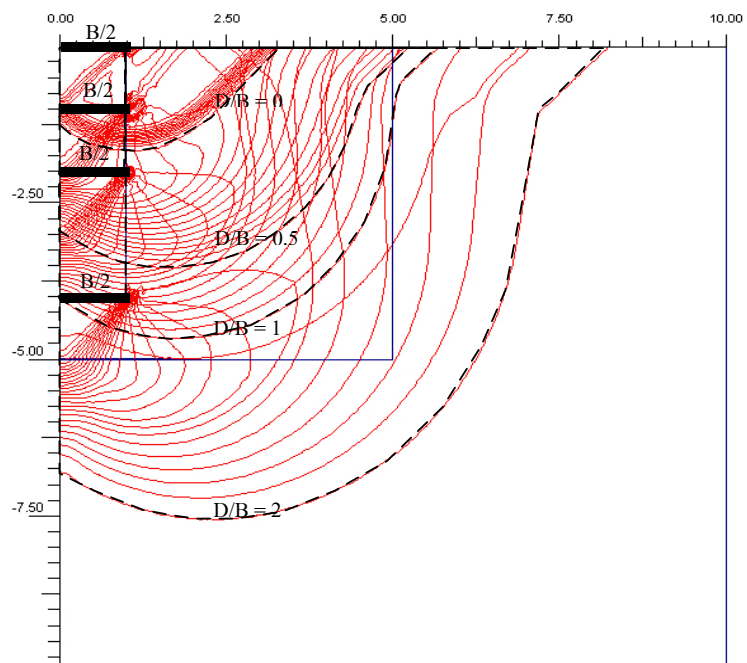
ภาพที่ 114 เปรียบเทียบระนาบการวิบัติของดินทรายระหว่างที่ได้จาก FEM กับสมมุติฐานของ Prandtl ที่ฐานรากกว้าง 2 เมตร



ภาพที่ 115 เปรียบเทียบระนาบการวิบัติของดินทรายระหว่างที่ได้จาก FEM กับสมมุติฐานของ Prandtl ที่ฐานรากกว้าง 3

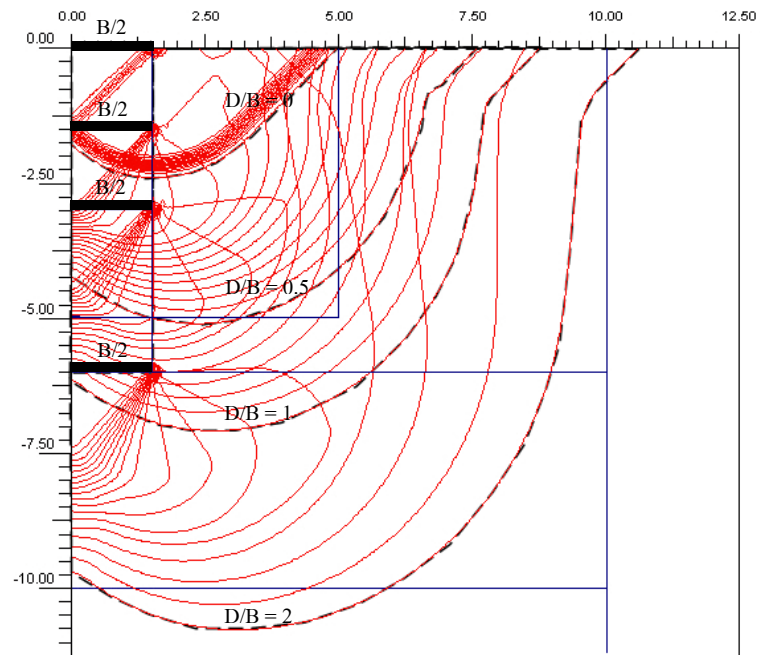


a. ระบายการวิบัติของฐานรากกว้าง 1 ม. ( $B = 1$ )



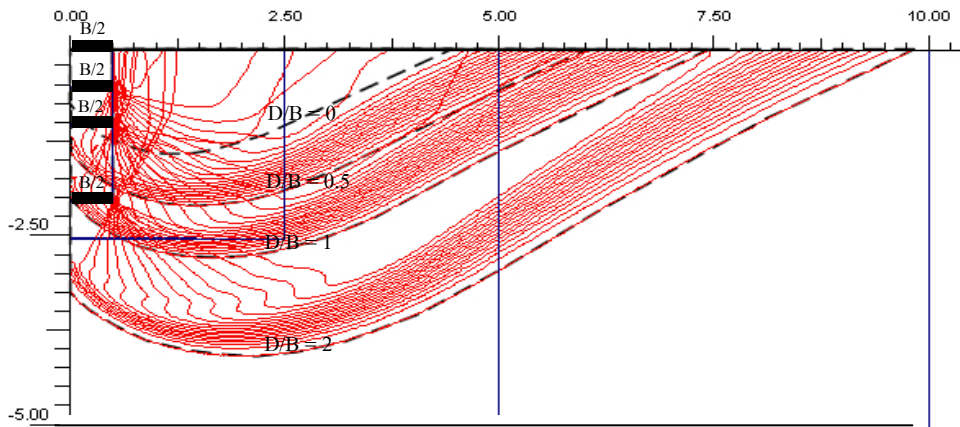
b. ระบายการวิบัติของฐานรากกว้าง 1 ม. ( $B = 1$ )

ภาพที่ 116 ระบายการวิบัติของดินเหนียวจาก FEM ที่ความกว้างฐานราก 1 ม., 2 ม. และ 3 ม.

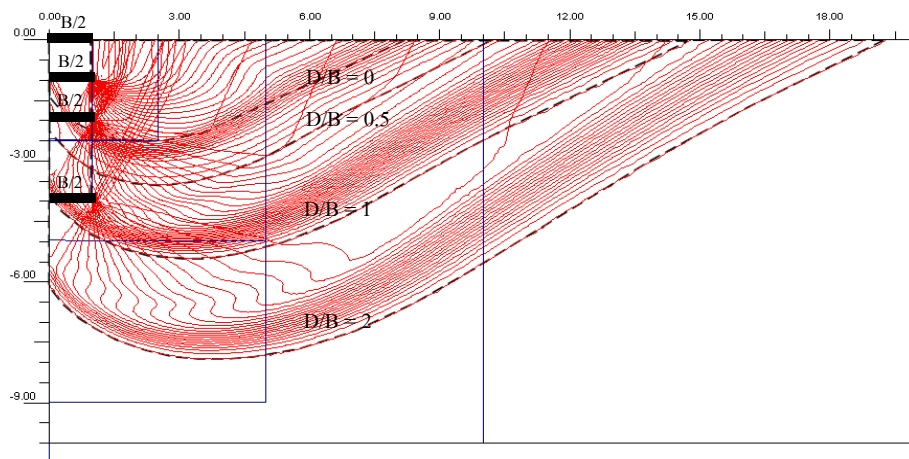


c. ระยะเวลาการวิบัติของฐานรากกว้าง 1 ม. ( $B = 1$ )

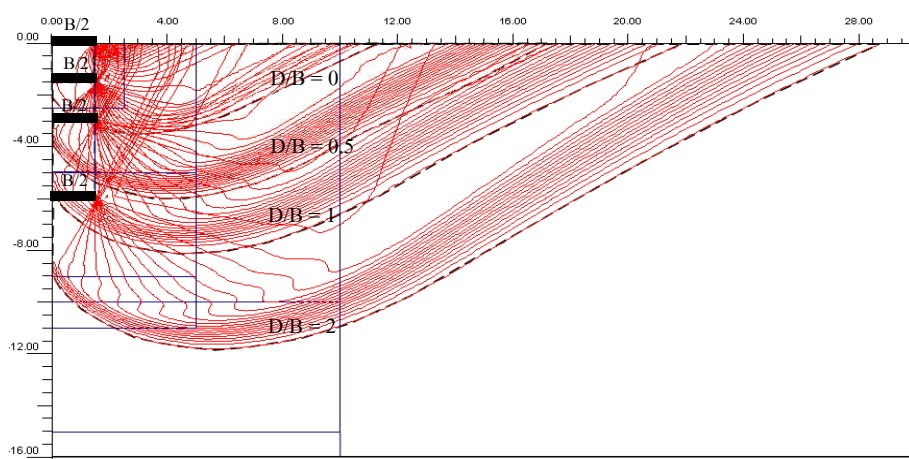
ภาพที่ 116 (ต่อ)



a. ระยะเวลาการวิบัติของฐานรากกว้าง 1 ม. ( $B = 1$ )



b. ระยะเวลาการวิบัติของฐานรากกว้าง 1 ม. ( $B = 1$ )



c. ระยะเวลาการวิบัติของฐานรากกว้าง 1 ม. ( $B = 1$ )

ภาพที่ 117 ระยะเวลาการวิบัติของดินทรายจาก FEM ที่ความกว้างฐานราก 1 ม., 2 ม. และ 3 ม.