

บทที่ 5

การคาดคะเนการทรุดตัว

การคาดคะเนการทรุดตัวที่ใช้ในการศึกษามี 5 วิธี ได้แก่ การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Asaoka (1978) การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Terzaghi (1967) การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Broms and Boman (1984) การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Poulos and Davis (1980) และการคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การคาดคะเนการทรุดตัวมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัว

ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัวในแต่ละวิธีมีตัวแปรที่แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับสมมติฐานของแต่ละวิธี ตัวแปรที่ใช้ในวิธีต่างสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัวในแต่ละวิธี

วิธีการคาดคะเน	ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัว
1. Asaoka (1978)	เวลาและค่าการทรุดตัวที่ได้จากการตรวจวัดในสนาม
2. Terzaghi and Peck (1948)	e_0, C_c, C_r, OCR และ c_v
3. Broms (1984)	$Su_{soil}, Su_{col}, Su_{avg}, c_{col}, \phi_{col}, M_{soil}, E_{col}, V_{col}, M_{col}, e_0, C_c, C_r,$ $OCR, k_v, k_h, k_{col}, c_v$ และ c_{vh}
4. Poulos and Davis (1968)	ค่าการทรุดตัวจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม, $E_{col},$ E_{soil}, E'_{soil} และ V'_{soil}
5. ไฟไนต์เอลิเมนต์	$c', \phi', \lambda', K', E'_{top}, V, k_v, k_h$ และ OCR

5.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธี Asaoka (1978)

การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Asaoka (1978) อาศัยข้อมูลการทรุดตัวและเวลาที่ได้จากการตรวจวัดในสนาม ข้อมูลการทรุดตัวและเวลาที่ใช้ในการคำนวณแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเวลาและการทศดูตัวที่ใช้ในการคำนวณการทศดูตัววิธี Asaoka (1978)

กม.	0+800						1+000						1+100					
	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		No.5		No.6			
	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)	pi (ชม.)	pi+1 (ชม.)		
ศูนย์วัดการทศดูตัว																		
เวลา (วัน)																		
0	0.00	2.80	0.00	3.00	0.00	2.45	0.00	2.39	0.00	3.11	0.00	2.95	0.00	3.11	0.00	2.95		
30	2.80	4.75	3.00	4.94	2.45	4.55	2.39	4.79	3.11	5.36	2.95	4.97	3.11	5.36	2.95	4.97		
60	4.75	5.00	4.94	5.80	4.55	5.20	4.79	6.00	5.36	6.00	4.97	6.20	5.36	6.00	4.97	6.20		
90	5.00	5.25	5.80	5.99	5.20	5.35	6.00	6.75	6.00	6.52	6.20	7.10	6.00	6.52	6.20	7.10		
120	5.25	5.41	5.99	6.16	5.35	5.53	6.75	7.53	6.75	6.86	7.10	8.35	6.75	6.86	7.10	8.35		
150	5.41	5.55	6.16	6.22	5.53	5.61	7.53	7.91	7.53	7.08	8.35	8.98	7.53	7.08	8.35	8.98		
180	5.55	5.65	6.22	6.28	5.61	5.63	7.91	8.28	7.91	7.40	8.98	9.57	7.91	7.40	8.98	9.57		
210	5.65	5.75	6.28	6.34	5.63	5.67	8.28	8.50	8.28	7.61	9.57	9.95	8.28	7.61	9.57	9.95		
240	5.75	5.82	6.34	6.42	5.67	5.71	8.50	8.61	8.50	7.71	10.12	10.23	8.50	7.71	10.12	10.23		
270	5.82	5.87	6.42	6.51	5.71	5.79	8.61	8.68	8.61	7.77	10.23	10.29	8.61	7.77	10.23	10.29		
300	5.87	5.91	6.51	6.60	5.79	5.87	8.68	8.70	8.68	7.80	10.29	10.29	8.68	7.80	10.29	10.29		
330	5.91	5.96	6.60	6.68	5.87	5.94	8.70	8.71	8.70	7.81	10.29	10.26	8.70	7.81	10.29	10.26		
360	5.96	6.00	6.68	6.77	5.94	6.02	8.71	8.73	8.71	7.82	10.26	10.27	8.71	7.82	10.26	10.27		
390	6.00	6.05	6.77	6.86	6.02	6.10	8.73	8.75	8.73	7.84	10.27	10.28	8.73	7.84	10.27	10.28		
420	6.05	6.09	6.86	6.95	6.10	6.18	8.75	8.76	8.75	7.85	10.28	10.28	8.75	7.85	10.28	10.28		
450	6.09	6.14	6.95	7.03	6.18	6.25	8.76	8.77	8.76	7.88	10.28	10.29	8.76	7.88	10.28	10.29		
480	6.14	6.18	7.03	7.12	6.25	6.33	8.77	8.78	8.77	7.89	10.29	10.29	8.77	7.89	10.29	10.29		
510	6.18	-	7.12	-	6.33	-	8.78	-	8.78	-	10.29	-	8.78	-	10.29	-		

5.1.2 ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธี Terzaghi (1967)

การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Terzaghi (1967) อาศัยข้อมูลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และจากงานวิจัยในอดีตตัวแปรที่สำคัญมีรายละเอียดดังนี้

ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) และดินเหนียวปานกลาง (Medium Clay) ตัวแปรดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการในแต่ละตำแหน่งที่ทำการศึกษา ตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.3 – 5.5

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าตัวแปรดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว กม. 0+800

Depth (m.)	e_0	C_c	C_r	OCR	c_v (m. ² /days)
8.0-10.0	2.550	0.746	0.187	1.71	0.007344
10.0-11.5	2.505	0.809	0.150	1.23	0.009360
11.5-16.0	2.369	0.619	0.141	1.24	0.007488
16.0-19.0	0.532	0.130	0.030	1.40	0.004752

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าตัวแปรดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว กม. 1+000

Depth (m.)	e_0	C_c	C_r	OCR	c_v (m. ² /days)
8.0-11.5	2.709	0.786	0.214	1.32	0.007488
11.5-13.0	2.485	0.625	0.109	1.15	0.007632
13.0-14.5	2.448	0.751	0.198	1.12	0.006192
14.5-16.0	1.938	0.535	0.119	1.14	0.004608
16.0-19.0	0.532	0.130	0.030	1.40	0.004752

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าตัวแปรดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว กม. 1+100

Depth (m.)	e_0	C_c	C_r	OCR	c_v (m. ² /days)
8.0-11.5	2.680	0.781	0.179	1.32	0.006192
11.5-14.0	2.716	0.777	0.170	1.15	0.006912
14.0-16.0	2.121	0.605	0.164	1.14	0.005328
16.0-19.0	0.532	0.130	0.030	1.40	0.004752

ชั้นดินเหนียวแข็ง ตัวแปรคินที่ใช้ได้จากข้อมูลการเจาะสำรวจดินเบื้องต้นและข้อมูลจากงานวิจัยในอดีตค่า C_c ได้จากค่าเฉลี่ยจากความสัมพันธ์ของคุณสมบัติพื้นฐานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.130 แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงค่า C_c และ CR ของดินเหนียวแข็งจากความสัมพันธ์ของคุณสมบัติพื้นฐาน

ผู้ศึกษา	สมการความสัมพันธ์		C_c	CR
1. Cox (1968)	C_c	$= 0.54 (2.6 w_n - 0.35)$	0.043	0.028
	CR	$= 0.0043 w_n$	0.109	0.071
2. Adikari (1977)	C_c	$= 0.08 + 0.01 w_n$	0.082	0.053
	C_c	$= -0.11 + 0.47 e_0$	0.140	0.091
	C_c	$= -0.014 + 0.1 w_n$	0.003	0.002
	C_c	$= -0.28 + 0.012 LL$	0.307	0.200
3. Parentela (1983)	C_c	$= 0.8602 e_0 - 0.2874$	0.170	0.111
	C_c	$= 0.0200 w_n - 0.2346$	0.095	0.062
4. สมศักดิ์ (2528)	CR	$= 0.012 (PL-13.71)$	0.224	0.146
ค่าเฉลี่ย			0.130	0.085

จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำในห้องปฏิบัติการพบว่าค่าเฉลี่ยของ C_c/C_r มีค่าเท่ากับ 4.311 ผู้วิจัยจึงใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวหาค่า C_r ในชั้นดินเหนียวแข็งได้เท่ากับ 0.030 จากการศึกษาจอม (2543) สามารถหาค่า C_r/C_c เท่ากับ 10 และใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวคำนวณการทรุดตัวของคันทาง

จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำในห้องปฏิบัติการพบว่าค่าเฉลี่ยของ OCR มีค่าเท่ากับ 1.4 ผู้วิจัยจึงใช้ค่า OCR ดังกล่าวในการคำนวณในชั้นดินเหนียวแข็ง จากการศึกษาดินเหนียวแข็งกรุงเทพฯ โดย Parentela (1983) พบว่ามีค่า OCR อยู่ระหว่าง 1.26 – 5.35

จากการศึกษาของ Tonyagate (1978) ได้ศึกษาดินเหนียวแข็งกรุงเทพฯพบว่าค่า c_v มีค่าอยู่ระหว่าง $1 \times 10^{-4} - 10 \times 10^{-4}$ ซม.²/วินาที ผู้วิจัยจึงใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงดังกล่าวเท่ากับ 5.5×10^{-4} ซม.²/วินาที เพื่อใช้ในการคำนวณการทรุดตัว

5.1.3 ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธี Broms (1984)

ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนได้แก่ Su_{soil} , Su_{col} , Su_{avg} , c_{col} , ϕ_{col} , M_{soil} , E_{col} , V_{col} , M_{col} , C_c , C_r , OCR , k_v , k_h , k_{col} , c_v และ c_{vh}

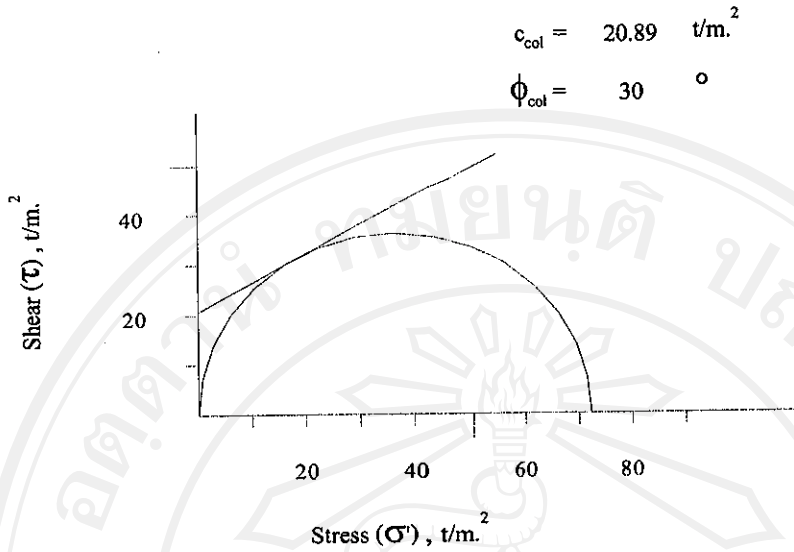
ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียว (Su_{soil}) ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด (Field Vane Shear Test) ของแต่ละตำแหน่งที่ทำการศึกษา ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินผสมซีเมนต์ (Su_{col}) ใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test ในบริเวณที่ทำการศึกษา สามารถแสดงดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงค่า Su_{soil} , Su_{col} และ Su_{avg} จากโครงการที่ศึกษา

กม.	Su_{soil} (ตัน/ตร.ม.)	Su_{col} (ตัน/ตร.ม.)	Su_{avg} (ตัน/ตร.ม.)
0+800	2.01	36.18	6.70
1+000	1.91	36.18	6.62
1+100	1.97	36.18	6.67

ค่ามุมภายในของเสาหินซีเมนต์ (ϕ_{col}) ผู้วิจัยใช้ค่าเท่ากับ 30° ซึ่งนิยมใช้ในการออกแบบ (Broms, 1999) และค่ายึดเหนี่ยวของเสาหินซีเมนต์ (c_{col}) เท่ากับ 20.89 ตัน/ตร.ม. โดยพิจารณาจากแผนภาพสมมุติการวิบัติของดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ (Broms, 1984) โดยใช้ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินผสมซีเมนต์ (Su_{col}) ในการวาดรูปความสัมพันธ์สามารถแสดงดังรูปที่ 5.1

ค่า Compression Modulus ของดิน (M_{col}) สามารถคำนวณได้จาก 150 เท่าของค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ของดินบริเวณรอบเสาเข็มดินซีเมนต์ (Bergado, 1992) แสดงดังตารางที่ 5.8



รูปที่ 5.1 แสดงค่า ϕ_{col} และ C_{col} จากแผนภาพสมมุติการวิบัติของดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์
วิธี Broms (1984)

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินบริเวณรอบเสาเข็มดินซีเมนต์และ
ค่า Compression Modulus ของดิน

กม.	Su_{soil} (ตัน/ตร.ม.)	$M_{soil} = 150 * Su_{soil}$ (ตัน/ตร.ม.)
0+800	2.01	301.5
1+000	1.91	286.5
1+100	1.97	295.5

ค่า Compression Modulus ของเสาเข็มดินซีเมนต์เท่ากับ 5656.956 ตัน/ตร.ม. ได้จากการคำนวณตามสมการ $M_{col} = E_{col} * (1 - V_{col}) / [(1 + V_{col}) * (1 - 2 * V_{col})]$ ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็มดินซีเมนต์ (E_{col}) และค่าอัตราส่วนปริมาตรของ (V_{col}) โดยค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็มดินซีเมนต์เท่ากับ 4724.99 ตัน/ตร.ม. ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากรายงานผลการทดสอบเสาเข็มดินซีเมนต์ในสนาม เนื่องจากเสาเข็มดินซีเมนต์มีลักษณะคล้ายดินเหนียวแข็ง (Broms, 1992) ผู้วิจัยจึงใช้ค่าอัตราส่วนปริมาตรของ (V_{col}) เท่ากับ 0.25 เป็นค่าเฉลี่ยที่แนะนำจาก Budhu (2000)

นอกจากนี้ Pongsakorn (2000) และ Chai (2002) ได้ใช้ในการคำนวณการทรุดตัว ค่าตัวแปรดินที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัวในบริเวณชั้นดินที่ปรับปรุงด้วยเสาเข็มซีเมนต์สรุปได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 สรุปค่า M_{col} , M_{soil} ใช้ในการคำนวณการทรุดตัวในบริเวณชั้นดินที่ปรับปรุงด้วยเสาเข็มซีเมนต์

กม.	M_{col} (ตัน/ตร.ม.)	M_{soil} (ตัน/ตร.ม.)
0+800	5656.956	301.5
1+000	5656.956	286.5
1+100	5656.956	295.5

จากการคำนวณค่า Compression Modulus ของเสาเข็มซีเมนต์โดยใช้ค่า 50 ถึง 100 เท่าของค่า c_{col} หรือ $10Q_{creep,col}/A$ พบว่าค่า M_{col} มีค่าน้อยกว่าค่า E_{col} ซึ่งเป็นค่าไม่เหมาะสมเพราะค่า M_{col} ที่ได้ควรมีค่ามากกว่าค่า E_{col} ค่า Compression Modulus ของเสาเข็มซีเมนต์จากการคำนวณวิธีต่างๆสรุปดังตารางที่ 5.10

ข้อมูลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวสำหรับดินใต้เสาเข็ม ใช้ข้อมูลเช่นเดียวกับวิธี Terzaghi (1967)

ตารางที่ 5.10 แสดงค่า Compression Modulus ของเสาเข็มซีเมนต์จากการคำนวณ

กม.	M_{col} (ตัน/ตร.ม.)			
	$50*c_{col}$	$100*c_{col}$	$E_{col} * (1 - \nu_{col}) / [(1 + \nu_{col}) * (1 - 2*\nu_{col})]$	$10*Q_{creep,col}/A$
0+800	1044.500	2089.000	5656.956	1035.656
1+000	1044.500	2089.000	5656.956	1027.343
1+100	1044.500	2089.000	5656.956	1019.102

การคำนวณอัตราทรุดตัวในส่วนของดินที่ปรับปรุงด้วยเสาเข็มซีเมนต์ ตัวแปรที่ใช้ ได้แก่ k_v , k_h , k_{col} และ c_{vh} งานวิจัยในอดีต (ขงยุทธ (2540), จอม (2543), สมโชค (2545), Pongsakorn (2000), Lorenzo (2001), Chai (2002)) ใช้ค่า k_h เท่ากับ 2 เท่าของ k_v ซึ่งค่า k_v ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงหน่วยแรงที่ใช้ในการ

คำนวณการทรุดตัว ค่าอัตราส่วนระหว่าง k_v/k_{col} ใช้เท่ากับ 1/30 (Lorenzo (2001), Chai (2002) และ สมโชค (2545)) ตัวแปรดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 5.11 ส่วนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการทรุดตัวในส่วนของดินที่อยู่ใต้เสาเข็มซีเมนต์ใช้ข้อมูลเช่นเดียวกับวิธี Terzaghi (1967)

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอัตราการทรุดตัวในส่วนของดินที่ปรับปรุงด้วยเสาเข็มซีเมนต์

กม.	$M_{c,av} = aM_{col} + (1-a)M_{soil}$ (ตัน/ตร.ม.)	k_v (เมตร/วัน)	k_h (เมตร/วัน)	k_{col} (เมตร/วัน)	c_{vh} (ตร.ม./วัน)
0+800	1037.340	2.42E-04	4.83E-04	72.5E-04	0.5010
1+000	1024.401	3.04E-04	6.08E-04	91.2E-04	0.6228
1+100	1032.164	3.31E-04	6.62E-04	99.3E-04	0.6833

5.1.4 ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธี Poulos and Davis (1980)

ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนได้แก่ ค่าการทรุดตัวจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม, E_{col} , E_{soil} , E'_{soil} และ V'_{soil}

จากข้อมูลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มซีเมนต์ บริเวณ กม. 0+546.767 ด้านซ้ายทาง ซึ่งทดสอบเสาเข็มซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 60.0 เซนติเมตร ยาว 12.0 เมตร ด้วยน้ำหนักบรรทุก 20 ตัน ได้ค่าการทรุดตัวในสนามเท่ากับ 15.3 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test ของตัวอย่างดินซีเมนต์จากสนามบริเวณที่ทำการวิจัย สามารถหาค่าโมดูลัสของเสาเข็มดินซีเมนต์ (E_{col}) ได้จากความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4724.99 ตัน/ตร.ม.

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสของดิน (E_{soil}) สภาพไม่ระบายน้ำได้เท่ากับ 466.98 ตัน/ตร.ม. โดยใช้ค่าอัตราส่วนบวมตัวของดิน (V_v) สภาพไม่ระบายน้ำเท่ากับ 0.5 และสามารถคำนวณหาค่าโมดูลัสของดิน (E'_{soil}) สภาพระบายน้ำจากสมการ $E_{soil} = 3 E'_{soil} / [2(1+V'_v)]$ โดยใช้ค่าอัตราส่วนบวมตัวของดิน (V'_v) สภาพระบายน้ำเท่ากับ 0.35 จากค่าเฉลี่ยจากดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวปานกลางที่แนะนำโดย Poulos (1980) สามารถหาค่าโมดูลัสของดิน (E'_{soil}) สภาพระบายน้ำได้เท่ากับ 420.29 ตัน/ตร.ม.

ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัวแสดงดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 สรุปค่าตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธี Poulos and Davis (1980)

การทรุดตัวที่หน้าหน้ากระทำ 20 คืบ	15.3	มม.
E_{col}	4724.99	ตัน/ตร.ม.
E_{soil}	466.98	ตัน/ตร.ม.
E'_{soil}	420.29	ตัน/ตร.ม.
V'_{soil}	0.35	

5.1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้แก่ c' , ϕ' , λ^* , K^* , E'_{ref} , V_u , k_v , k_h และ OCR

ก. ดินที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยซีเมนต์

ค่า c' และ ϕ' ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนในห้องปฏิบัติการของแต่ละตำแหน่งที่ทำการศึกษา

ค่า λ^* และ K^* ของดินเหนียว คำนวณจากความสัมพันธ์ของ C_c , C_r และ V_{ur} ตามคู่มือการใช้โปรแกรมดังตารางที่ 2.11 ซึ่งค่า C_c และ C_r ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำในห้องปฏิบัติการ ใช้ค่า V_{ur} เท่ากับ 0.15 ตามคู่มือการใช้โปรแกรม ค่า λ^* และ K^* ที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังตารางที่ 5.13 – 5.15

ตารางที่ 5.13 แสดงค่า λ^* และ K^* ของดินเหนียวบริเวณ กม. 0+800

Depth (m.)	e	C_c	λ^*	C_r	V_{ur}	K^*
4.5 - 5.0	2.466	0.493	0.0618	0.119	0.15	0.0330
9.0 - 9.5	2.550	0.746	0.0914	0.187	0.15	0.0506
10.5 - 11.0	2.505	0.809	0.1004	0.150	0.15	0.0411
12.0 - 12.5	2.369	0.619	0.0799	0.141	0.15	0.0402
16.0 - 19.0	0.532	0.130	0.0369	0.030	0.15	0.0188

ตารางที่ 5.14 แสดงค่า λ^* และ K^* ของดินเหนียวบริเวณ กม. 1+000

Depth (m.)	e	C_c	λ^*	C_r	V_{ur}	K^*
10.5 - 11.0	2.709	0.786	0.0921	0.214	0.15	0.0554
12.0 - 12.5	2.485	0.625	0.0780	0.109	0.15	0.0301
13.5 - 14.0	2.448	0.751	0.0947	0.198	0.15	0.0552
15.0 - 15.5	1.938	0.535	0.0792	0.119	0.15	0.0389
16.0 - 19.0	0.532	0.130	0.0369	0.030	0.15	0.0188

ตารางที่ 5.15 แสดงค่า λ^* และ K^* ของดินเหนียวบริเวณ กม. 1+100

Depth (m.)	e	C_c	λ^*	C_r	V_{ur}	K^*
6.0 - 6.5	2.890	0.802	0.0896	0.176	0.15	0.0435
10.5 - 11.0	2.680	0.781	0.0923	0.179	0.15	0.0467
12.0 - 12.5	2.716	0.777	0.0909	0.170	0.15	0.0440
15.0 - 15.5	2.121	0.605	0.0843	0.164	0.15	0.0505
16.0 - 19.0	0.532	0.130	0.0369	0.030	0.15	0.0188

ค่า Permeability (k_v) ของชั้นดินเหนียวอ่อนได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงหน่วยแรงที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัว ใช้ $k_h = 2 k_v$ (ยงยุทธ (2540), จอม (2543), สมโชค (2545), Pongsakorn (2000), Lorenzo (2001), Chai (2002)) สำหรับชั้นดินเหนียวแข็งใช้ค่า k_v เท่ากับค่าเฉลี่ยจากผลการศึกษาของ Pongsakorn (2000) และ Lorenzo (2001) ตัวแปรดินแสดงดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 แสดงค่า k_v และ k_h ที่ได้จากการทดสอบในบริเวณที่ทำการศึกษา

กม. 0+800			กม. 1+000			กม. 1+100		
ความลึก	k_v	$k_h = 2 * k_v$	ความลึก	k_v	$k_h = 2 * k_v$	ความลึก	k_v	$k_h = 2 * k_v$
m.	m./day ($\times 10^{-4}$)	m./day ($\times 10^{-4}$)	m.	m./day ($\times 10^{-4}$)	m./day ($\times 10^{-4}$)	m.	m./day ($\times 10^{-4}$)	m./day ($\times 10^{-4}$)
4.5 - 5.0	4.08	8.16	< 10.5	4.82	9.64	6.0 - 6.5	5.55	11.10
9.0 - 9.5	1.29	2.58	10.5 - 11.0	1.26	2.52	10.5 - 11.0	1.07	2.14
10.5 - 11.0	1.88	3.76	12.0 - 12.5	1.05	2.10	12.0 - 12.5	1.18	2.36
12.0 - 12.5	1.17	2.34	13.5 - 14.0	1.03	2.06	15.0 - 15.5	0.77	1.54
16.0-19.0	0.175	0.35	15.0 - 15.5	0.68	1.36	16.0-19.0	0.175	0.35
-	-	-	16.0-19.0	0.175	0.35	-	-	-

ข. ดินคันทาง

การจำลองดินคันทางแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ชั้นทรายถมและวัสดุพื้นผิวทาง จากการทดสอบทรายถมในสนาม ความหนาแน่นเปียกเท่ากับ 2.11 ตัน/ลบ.ม. CBR. มากกว่า 25 % NAVFAC D.M. 7.1 ใช้ค่ามุมเสียดทาน (ϕ') เท่ากับ 38° ค่าแรงยึดเหนี่ยว (c') เท่ากับ 0 กิโลปาสกาล ค่าการซึมได้ k_v และ k_h เท่ากับ 0.432 เมตร/วัน

จากการทดสอบคุณสมบัติของ Subbase, Base Course, และ Asphalt Concrete ในสนาม ความหนาแน่นเปียกเฉลี่ยเท่ากับ 2.316 ตัน/ลบ.ม. CBR. มากกว่า 80 % NAVFAC D.M. 7.1 ใช้ค่ามุมเสียดทาน (ϕ') เท่ากับ 38° ค่าแรงยึดเหนี่ยว (c') เท่ากับ 0 กิโลปาสกาล ค่าการซึมได้ k_v และ k_h เท่ากับ 21.6 เมตร/วัน

ค่า Poisson's ratio (ν) เท่ากับ 0.35 ได้จากค่าเฉลี่ยจากช่วงแนะนำจาก Bowles (1996)

ค่า Modulus (E_s) ของทรายและกรวดแน่น และทรายแน่นเท่ากับ 150 และ 65.5 กิโลปาสกาลซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากช่วงแนะนำจาก Bowles (1996)

ตารางที่ 5.17 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณของวัสดุคันทาง

ชั้นวัสดุ	c' (กิโลปาสกาล)	ϕ'	ν	E_s (กิโลปาสกาล)
1. ทรายถม	0	38	0.35	65.5
2. พื้นผิวทาง	0	38	0.35	150

ก. เสาคินซีเมนต์

ลักษณะการจำลองเป็นแถบเสาคินซีเมนต์ ตัวแปรคินที่ใช้ได้จากคุณสมบัติของเสาคินซีเมนต์ ค่ามุมเสียดทานภายในเท่ากับ 30° (Broms,1999) ค่า Cohesion มีค่าเท่ากับ 208.9 กิโลปาสกาล ได้จากแผนภาพสมมุติค่าการวิบัติของเสาคินซีเมนต์ ตามสมมุติฐานของ Broms (1999) ค่า E_{col} มีค่าเท่ากับ 47141.3 กิโลปาสกาล ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจากการทดสอบ Unconfined Compression Test ค่าการซึมได้ของเสาคินซีเมนต์ใช้เท่ากับ 30 เท่าของค่าการซึมได้ของดิน (Lorenzo (2001) ,Chai (2002) และ สมโชค (2545)) คุณสมบัติของเสาคินซีเมนต์แสดงในตารางที่ 5.18 – 5.20

ตัวแปรที่ใช้ในการคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ $c', \phi', \lambda', K', E'_{top}, V, k_v, k_h$ และ OCR สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.18 – 5.20

ตารางที่ 5.18 แสดงแบบจำลองและค่าแปรผันที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กม. 0+800

Depth (m.)	Description	Model	γ_{wet} kN/m. ³	γ_{dry} kN/m. ³	c' kN/m. ²	ϕ'	λ'	K'	E'_{ref} kN/m. ²	V	k_x m./day	k_y m./day	OCR.
0.0-2.0	Soft Clay	SSM	15.4	8.9	6.17	19.7	0.0618	0.0330	-	-	8.16E-4	4.08E-4	2.11
2.0-8.0	Soft Clay	SSM	15.1	8.0	6.17	19.7	0.0618	0.0330	-	-	8.16E-4	4.08E-4	2.11
8.0-10.0	Soft Clay	SSM	15.3	8.0	6.17	19.7	0.0914	0.0506	-	-	2.58E-4	1.29E-4	1.71
10.0-11.5	Soft Clay	SSM	15.3	8.2	3.58	22.9	0.1004	0.0411	-	-	3.76E-4	1.88E-4	1.23
11.5-16.0	Medium Clay	SSM	15.8	8.6	3.58	22.9	0.0799	0.0402	-	-	2.34E-4	1.17E-4	1.24
16.0-19.0	Stiff Clay	SSM	20.7	17.77	27.7	22.5	0.0369	0.0188	-	-	3.5E-5	1.75E-5	1.40
2.0 (Thick)	Sand	MC	21.1	19.9	0	38	-	-	65500	0.35	0.432	0.432	-
0.5 (Thick)	Surface	MC	23.16	22.68	0	38	-	-	150000	0.35	21.6	21.6	-
12.0 (Long)	Column	MC	15.4	9.1	208.9	30	-	-	47141.3	0.25	72.5E-4	72.5E-4	-

ตารางที่ 5.19 แสดงแบบจำลองและตัวแปรดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กม. 1+000

Depth (m.)	Description	Model	γ_{we} kN/m. ³	γ_{dy} kN/m. ³	c' kN/m. ²	ϕ'	λ^*	κ^*	E'_{ref} kN/m. ²	ν	k_x m./day	k_y m./day	OCR.
0.0-2.0	Soft Clay	SSM	15.2	9.3	1.95	25.6	0.0921	0.0554	-	-	9.64E-4	4.82E-4	2.15
2.0-8.0	Soft Clay	SSM	15.2	8.0	1.95	25.6	0.0921	0.0554	-	-	9.64E-4	4.82E-4	2.15
8.0-11.5	Soft Clay	SSM	15.1	7.9	1.95	25.6	0.0921	0.0554	-	-	2.25E-4	1.26E-4	1.32
11.5-13.0	Medium Clay	SSM	15.2	8.2	1.95	25.6	0.0780	0.0301	-	-	5.78E-4	2.89E-4	1.15
13.0-14.5	Medium Clay	SSM	15.3	8.3	0.66	20.5	0.0947	0.0552	-	-	2.06E-4	1.03E-4	1.12
14.5-16.0	Medium Clay	SSM	15.9	9.3	0.66	20.5	0.0792	0.0389	-	-	1.36E-4	0.68E-4	1.14
16.0-19.0	Stiff Clay	SSM	20.7	17.77	27.7	22.5	0.0369	0.0188	-	-	3.5E-5	1.75E-5	1.40
2.0 (Thick)	Sand	MC	21.1	19.9	0	38	-	-	65500	0.35	0.432	0.432	-
0.5 (Thick)	Surface	MC	23.16	22.68	0	38	-	-	150000	0.35	21.6	21.6	-
12.0 (Long)	Column	MC	15.4	9.1	208.9	30	-	-	47141.3	0.25	91.2E-4	91.2E-4	-

ตารางที่ 5.20 แสดงแบบจำลองและตัวแปรดินที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัววิธีไฟในตอม่อลิเมนต์ กม. 1+100

Depth (m.)	Description	Model	γ_{wet} kN/m. ³	γ_{dry} kN/m. ³	c' kN/m. ²	ϕ'	λ^*	κ^*	E'_{ref} kN/m. ²	V	k_x m./day	k_y m./day	OCR.
0.0-2.0	Soft Clay	SSM	15.2	8.8	3.84	21.3	0.0896	0.0435	-	-	11.10E-4	5.55E-4	2.18
2.0-8.0	Soft Clay	SSM	14.9	7.9	3.84	21.3	0.0896	0.0435	-	-	11.10E-4	5.55E-4	2.18
8.0-11.5	Soft Clay	SSM	15.1	8.0	3.84	21.3	0.0923	0.0467	-	-	2.14E-4	1.07E-4	1.32
11.5-14.0	Medium Clay	SSM	15.3	8.1	3.39	21.1	0.0909	0.0440	-	-	2.36E-4	1.18E-4	1.15
14.0-16.0	Medium Clay	SSM	15.5	8.7	3.39	21.1	0.0843	0.0505	-	-	1.54E-4	0.77E-4	1.14
16.0-19.0	Stiff Clay	SSM	20.7	17.77	27.7	22.5	0.0369	0.0188	-	-	3.5E-5	1.75E-5	1.40
2.0 (Thick)	Sand	MC	21.1	19.9	0	38	-	-	65500	0.35	0.432	0.432	-
0.5 (Thick)	Surface	MC	23.16	22.68	0	38	-	-	150000	0.35	21.6	21.6	-
12.0 (Long)	Column	MC	15.4	9.1	208.9	30	-	-	47141.3	0.25	99.3E-4	99.3E-4	-

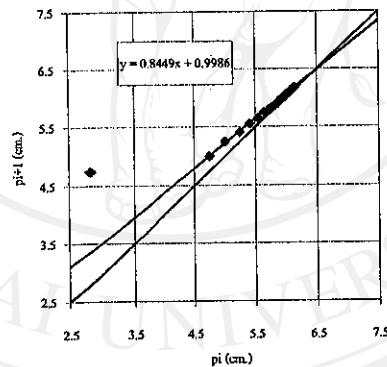
5.2 การคาดคะเนการทรุดตัว

5.2.1 การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Asaoka (1978)

การคาดคะเนการทรุดตัว วิเคราะห์โดยการเขียนรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับเวลาโดยเลือกข้อมูลการทรุดตัวที่เวลาทุกๆ 30 วัน (Δt) มาเขียนรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวที่เวลา t_i กับค่าการทรุดตัวที่เวลา t_{i+1} ($t_i + \Delta t$) แล้วพิจารณาลากเส้นตรงเฉลี่ยผ่านจุดต่างๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความชัน (β_1) ของเส้นตรงและค่าการทรุดตัว (β_0) การทรุดตัวสุดท้ายสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.21 การคาดคะเนการทรุดตัวแสดงดังรูปที่ 5.2 – 5.7

Ti	pi	pi+1	45°
0	0.00	2.80	0
30	2.80	4.75	15
60	4.75	5.00	
90	5.00	5.25	
120	5.25	5.41	
150	5.41	5.55	
180	5.55	5.65	
210	5.65	5.75	
240	5.75	5.82	
270	5.82	5.87	
300	5.87	5.91	
330	5.91	5.96	
360	5.96	6.00	
390	6.00	6.05	
420	6.05	6.09	
450	6.09	6.14	
480	6.14	6.18	
510	6.18	-	

No. 1 Sta. 0+800
 H_d 700 cm. β_1 0.8449
 Δt 30 days β_0 0.9986
 c_v 0.1147 m²/days ρ_{ef} 6.44 cm.

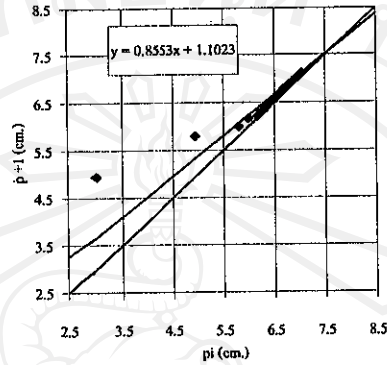


รูปที่ 5.2 การคำนวณค่าการทรุดตัวและค่า $c_{v,field}$ วิธี Asaoka (1978) ของแผ่นวัดการทรุดตัว หมายเลข No.1 (กม. 0+800)

Ti	pi	pi+1	45°
0	0.00	3.00	0
30	3.00	4.94	15
60	4.94	5.80	
90	5.80	5.99	
120	5.99	6.16	
150	6.16	6.22	
180	6.22	6.28	
210	6.28	6.34	
240	6.34	6.42	
270	6.42	6.51	
300	6.51	6.60	
330	6.60	6.68	
360	6.68	6.77	
390	6.77	6.86	
420	6.86	6.95	
450	6.95	7.03	
480	7.03	7.12	
510	7.12	-	

No. 2 Sta. 0+800

H_d 700 cm. β_1 0.8553
 Δt 30 days β_0 1.1023
 c_v 0.1064 m.²/days ρ_{cf} 7.62 cm.

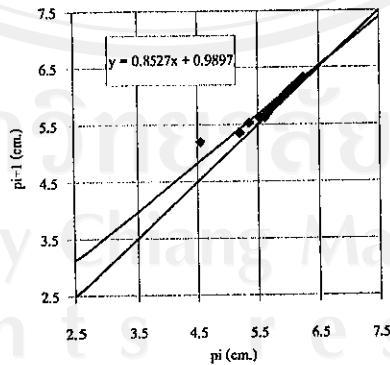


รูปที่ 5.3 การคำนวณค่าการทรุดตัวและค่า $c_{v,field}$ วิธี Asaoka (1978) ของแผ่นวัดการทรุดตัว หมายเลข No.2 (กม. 0+800)

Ti	pi	pi+1	45°
0	0.00	2.45	0
30	2.45	4.55	15
60	4.55	5.20	
90	5.20	5.35	
120	5.35	5.53	
150	5.53	5.61	
180	5.61	5.63	
210	5.63	5.67	
240	5.67	5.71	
270	5.71	5.79	
300	5.79	5.87	
330	5.87	5.94	
360	5.94	6.02	
390	6.02	6.10	
420	6.10	6.18	
450	6.18	6.25	
480	6.25	6.33	
510	6.33	-	

No. 3 Sta. 1+000

H_d 700 cm. β_1 0.8527
 Δt 30 days β_0 0.9897
 c_v 0.1084 m.²/days ρ_{cf} 6.72 cm.

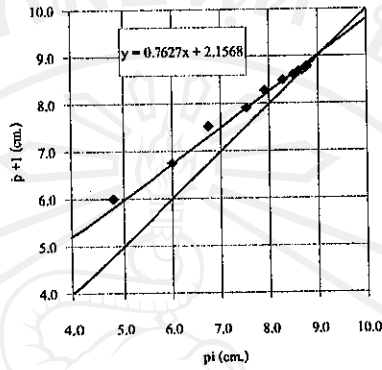


รูปที่ 5.4 การคำนวณค่าการทรุดตัวและค่า $c_{v,field}$ วิธี Asaoka (1978) ของแผ่นวัดการทรุดตัว หมายเลข No.3 (กม. 1+000)

Ti	pi	pi+1	45°
0	0.00	2.39	0
30	2.39	4.79	15
60	4.79	6.00	
90	6.00	6.75	
120	6.75	7.53	
150	7.53	7.91	
180	7.91	8.28	
210	8.28	8.50	
240	8.50	8.61	
270	8.61	8.68	
300	8.68	8.70	
330	8.70	8.71	
360	8.71	8.73	
390	8.73	8.75	
420	8.75	8.76	
450	8.76	8.77	
480	8.77	8.78	
510	8.78	-	

No. 4 Sta. 1+000

H_d 700 cm. β_1 0.7627
 Δt 30 days β_0 2.1568
 c_v 0.1844 m²/days ρ_{ef} 9.09 cm.

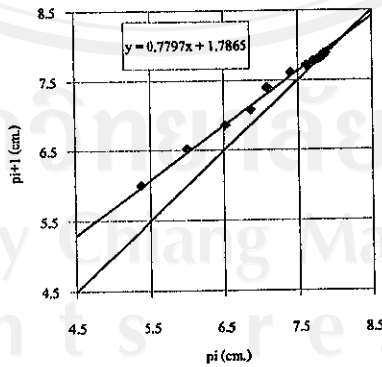


รูปที่ 5.5 การคำนวณค่าการทรุดตัวและค่า $c_{v,field}$ วิธี Asaoka (1978) ของแผ่นวัดการทรุดตัว หมายเลข No.4 (กม. 1+000)

Ti	pi	pi+1	45°
0	0.00	3.11	0
30	3.11	5.36	15
60	5.36	6.00	
90	6.00	6.52	
120	6.52	6.86	
150	6.86	7.08	
180	7.08	7.40	
210	7.40	7.61	
240	7.61	7.71	
270	7.71	7.77	
300	7.77	7.80	
330	7.80	7.81	
360	7.81	7.82	
390	7.82	7.84	
420	7.84	7.85	
450	7.85	7.88	
480	7.88	7.89	
510	7.89	-	

No. 5 Sta. 1+100

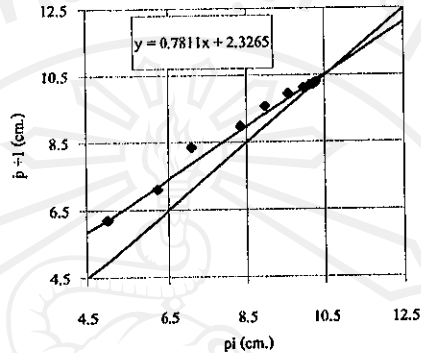
H_d 700 cm. β_1 0.7797
 Δt 30 days β_0 1.7865
 c_v 0.169 m²/days ρ_{ef} 8.11 cm.



รูปที่ 5.6 การคำนวณค่าการทรุดตัวและค่า $c_{v,field}$ วิธี Asaoka (1978) ของแผ่นวัดการทรุดตัว หมายเลข No.5 (กม. 1+100)

Ti	pi	pi+1	45°
0	0.00	2.95	0
30	2.95	4.97	15
60	4.97	6.20	
90	6.20	7.10	
120	7.10	8.35	
150	8.35	8.98	
180	8.98	9.57	
210	9.57	9.95	
240	9.95	10.12	
270	10.12	10.20	
300	10.20	10.23	
330	10.23	10.26	
360	10.26	10.27	
390	10.27	10.28	
420	10.28	10.28	
450	10.28	10.29	
480	10.29	10.29	
510	10.29	-	

No. 6 Sta. 1+100
 H_u 700 cm. β_1 0.7811
 Δt 30 days β_0 2.3265
 c_v 0.1681 cm.²/days ρ_{cf} 10.63 cm.



รูปที่ 5.7 การคำนวณค่าการทรุดตัวและค่า $c_{v,field}$ วิธี Asaoka (1978) ของแผ่นวัดการทรุดตัว หมายเลข No.6 (กม. 1+100)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำในแนวดิ่ง ($c_{v,Field}$) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.22 โดยใช้ระยะทางที่น้ำผ่านเท่ากับ 7.0 เมตร (ระดับต่ำสุดของชั้นดินเหนียวแข็งถึงปลายเสาเข็มดินซีเมนต์) ซึ่งผู้วิจัยมีสมมุติฐานว่าน้ำสามารถซึมผ่านเสาเข็มดินซีเมนต์ได้อย่างรวดเร็ว Broms (1992) และจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินในอดีตดังกล่าว ก. ชั้นดินที่ถัดจากชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) เป็นชั้นดินทรายปนดินเหนียวแน่น-ปานกลาง (Medium Dense Clayey Sand) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ #200 เท่ากับ 49.8 % ผู้วิจัยจึงสมมุติว่าชั้นดินในชั้นนี้เป็นชั้นดินที่ทึบน้ำ

การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Asaoka (1978) เป็นการคาดคะเนที่ให้ผลค่าการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่งของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่พิจารณา ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) มีค่าอยู่ระหว่าง 6.44 – 10.63 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.10 ซม. ค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 6.21 – 10.53 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.92 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ 537 วันกับค่าการทรุดตัวจากสนามพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 100.16 – 102.23 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 101.41 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวแสดงดังตารางที่ 5.21 และ 5.22

ตารางที่ 5.21 แสดงผลการคาดคะเนการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation)

ของแผ่นวัดการทรุดตัววิธี Asaoka (1978)

หมายเลขแผ่นวัดการทรุดตัว	กม.	ค่าการทรุดตัวหลัก (ชม.)
No.1	0+800	6.44
No.2	0+800	7.62
No.3	1+000	6.72
No.4	1+000	9.09
No.5	1+100	8.11
No.6	1+100	10.63
ค่าเฉลี่ย		8.10

ตารางที่ 5.22 แสดงผลการคาดคะเนการทรุดตัวที่ 537 วันของแผ่นวัดการทรุดตัววิธี Asaoka (1978)

หมายเลขแผ่นวัดการทรุดตัว	ค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน			
	คำนวณจาก $c_{v,Lab}$		คำนวณจาก $c_{v,Field}$	
	(ชม.)	เทียบกับสนาม (%)	(ชม.)	เทียบกับสนาม (%)
No.1	1.88	30.32	6.21	100.16
No.2	2.23	30.97	7.27	100.97
No.3	1.92	30.00	6.43	100.47
No.4	2.59	29.43	9.04	102.73
No.5	2.28	28.86	8.05	101.90
No.6	2.99	29.03	10.53	102.23
ค่าเฉลี่ย	2.32	29.77	7.92	101.41

วิธี Asaoka (1978) สามารถวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำในแนวดิ่งในสนาม ($c_{v,Field}$) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.1064 – 0.1844 ตร.ม./วัน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1418 ตร.ม./วัน เมื่อเทียบอัตราส่วนระหว่างค่า $c_{v,Field}$ ต่อค่า $c_{v,Lab}$ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 17.39 – 31.82 เท่า ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.36 เท่า จอม (2543) ได้ค่า $c_{v,Field}$ ต่อค่า $c_{v,Lab}$ มีค่าเท่ากับ 16.04 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำในแนวดิ่ง ($c_{v,Field}$) แสดงดังตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 แสดงผลการคำนวณค่า $c_{v,Field}$ และค่า $c_{v,Field}/c_{v,Lab}$

หมายเลขแผ่น วัดการทรุดตัว	กม.	$c_{v,Lab}$ (m. ² /day)	$c_{v,Field}$ (m. ² /day)	$c_{v,Field}/c_{v,Lab}$
No.1	0+800	0.006120	0.1147	18.74
No.2	0+800	0.006120	0.1064	17.39
No.3	1+000	0.005796	0.1084	18.70
No.4	1+000	0.005796	0.1844	31.82
No.5	1+100	0.005664	0.1690	29.84
No.6	1+100	0.005664	0.1681	29.68
ค่าเฉลี่ย		0.005860	0.1418	24.36

เมื่อใช้ค่า $c_{v,Lab}$ คำนวณระยะเวลาการทรุดหลัก (Primary Consolidation) ที่ 99 % พบว่าใช้เวลาระหว่าง 39.07 – 42.21 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.84 ปี และใช้ค่า $c_{v,Field}$ คำนวณระยะเวลาการทรุดหลักที่ 99 % พบว่าใช้เวลาระหว่าง 1.30 – 2.25 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.78 ปี เมื่อเปรียบเทียบเวลาการทรุดตัวที่ 99 % ระหว่างการคำนวณจาก $c_{v,Lab}$ กับ $c_{v,Field}$ พบว่าเวลาการทรุดตัวที่ 99 % จากการคำนวณโดยใช้ $c_{v,Lab}$ มีระยะเวลานานกว่าการคำนวณจาก $c_{v,Field}$ เท่ากับ 22.9 เท่า ตารางแสดงผลการคำนวณระยะเวลาการทรุดตัวหลักที่ 99 % แสดงดังตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 แสดงระยะเวลาการทรุดตัวหลักที่ 99 % จากการคำนวณของแผ่นวัดการทรุดตัว

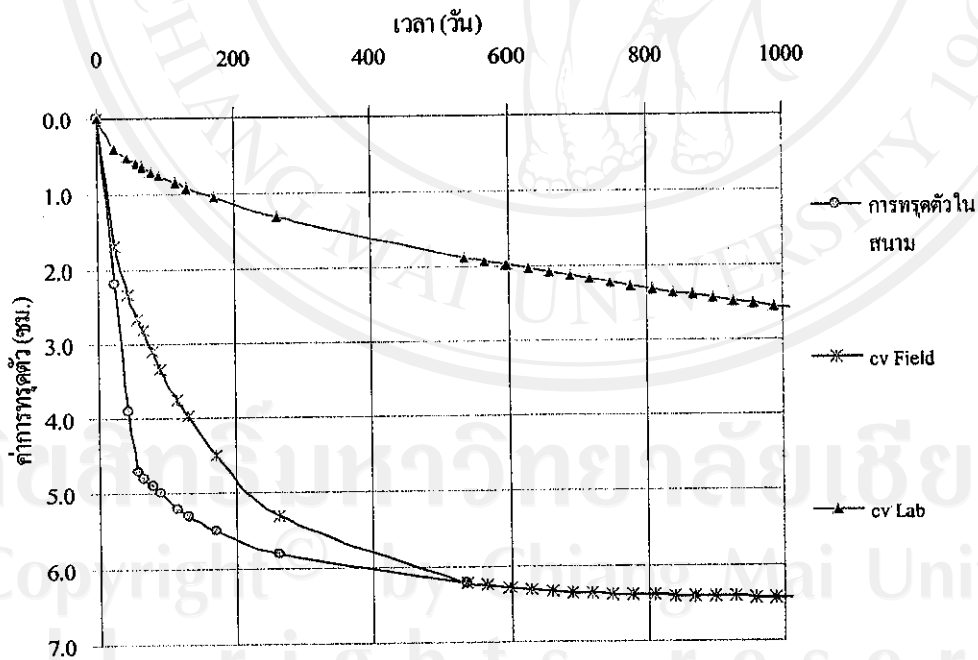
หมายเลข แผ่นวัดการทรุดตัว	ระยะเวลาการทรุดตัวสุดท้าย (ปี)	
	คำนวณจาก $c_{v,Lab}$	คำนวณจาก $c_{v,Field}$
No.1	39.07	2.08
No.2	39.07	2.25
No.3	41.25	2.21
No.4	41.25	1.30
No.5	42.21	1.41
No.6	42.21	1.42
ค่าเฉลี่ย	40.84	1.78

เมื่อนำค่า $c_{v,Field}$ จากการคำนวณภาคเคเนการทรุดตัวตามเวลาและเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดในสนามพบว่าเส้นกราฟการทรุดตัวให้ผลที่ใกล้เคียง และสอดคล้องกับสนามมาก ส่วนการคำนวณจากค่า $c_{v,Lab}$ ให้ผลการคาดคะเนที่น้อยกว่าสนามมาก การทรุดตัวตามเวลาแสดงดังรูปที่ 5.8 – 5.13

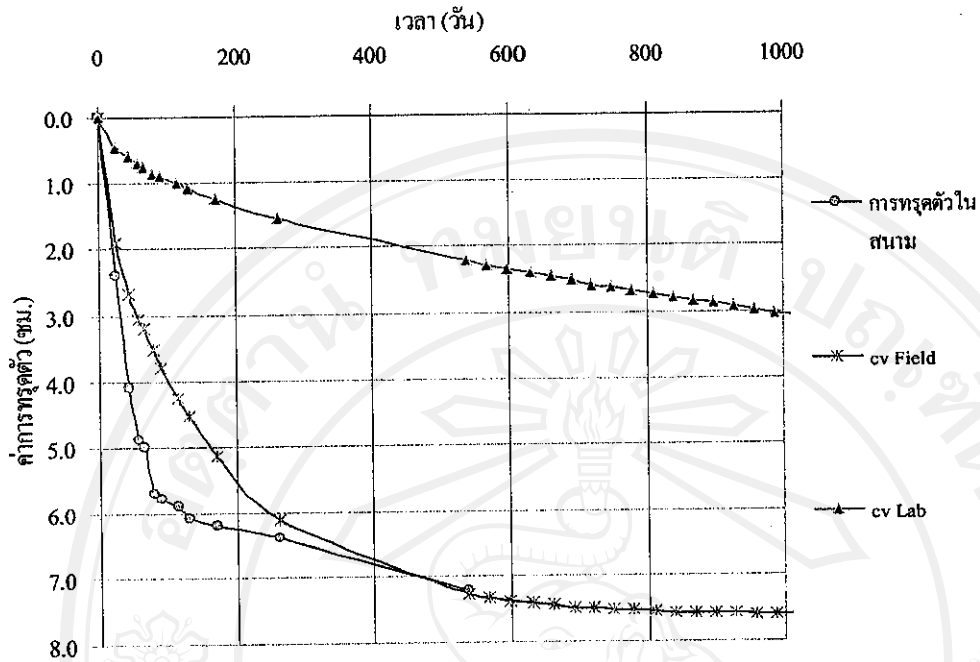
จากผลการคาดคะเนการทรุดตัวที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ในสนามคือการทรุดตัวบริเวณเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ใกล้ทางเท้า (แผ่นวัดการทรุดตัวลำดับที่ 1, 3 และ 5) มีค่าการทรุดตัวที่น้อยกว่าบริเวณเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ใกล้ทางเท้า (แผ่นวัดการทรุดตัวลำดับที่ 2, 4 และ 6)

การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Asaoka (1978) เป็นวิธีที่ให้ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับค่าการทรุดตัวในสนามมากเนื่องจากวิธีการใช้ข้อมูลค่าการทรุดตัวและเวลาในสนามมาวิเคราะห์

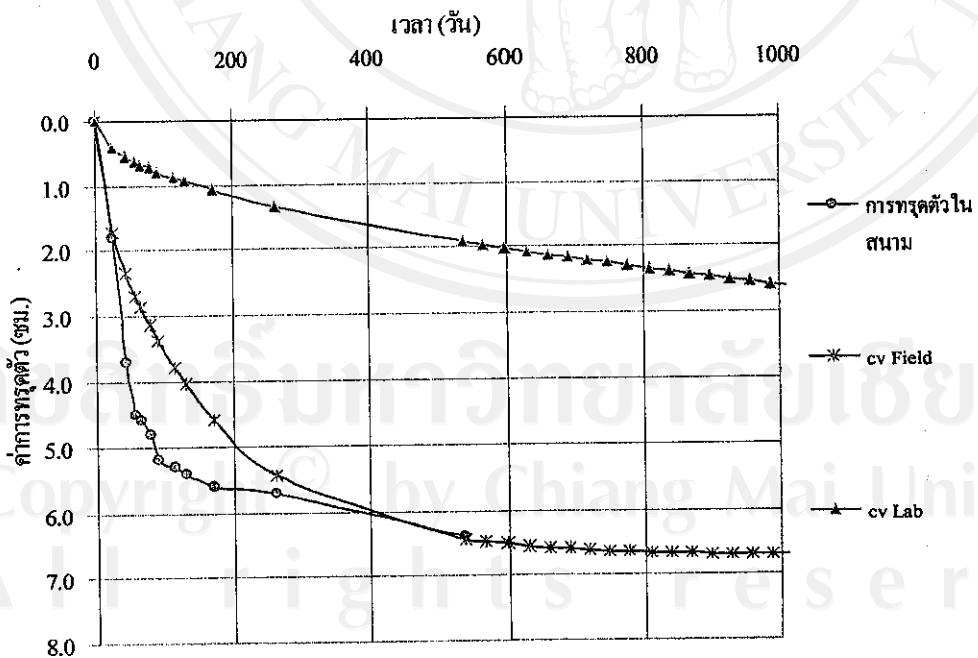
ผู้วิจัยได้วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการทรุดที่เวลาทุกๆ 60 วัน (Δt) มาเขียนรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวที่เวลา t_i กับค่าการทรุดตัวที่เวลา t_{i+1} ($t_i + \Delta t$) พบว่าค่าความสัมพันธ์ (β_i) ของเส้นตรงและค่าการทรุดตัว (β_0) การทรุดตัวสุดท้ายได้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลการทรุดตัวที่เวลาทุกๆ 30 วัน



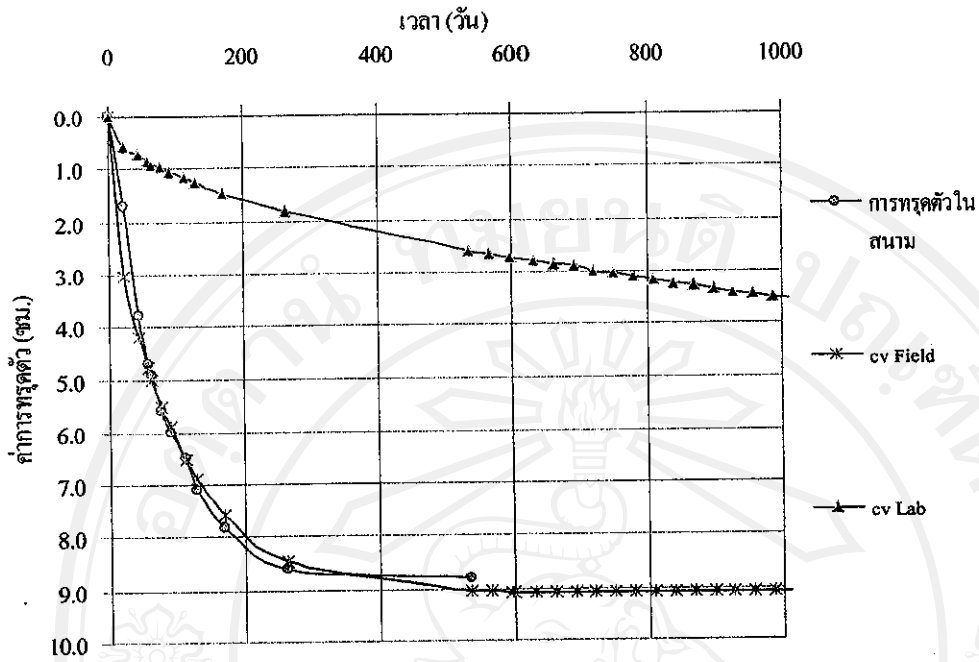
รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Asaoka (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.1 (กม. 0+800)



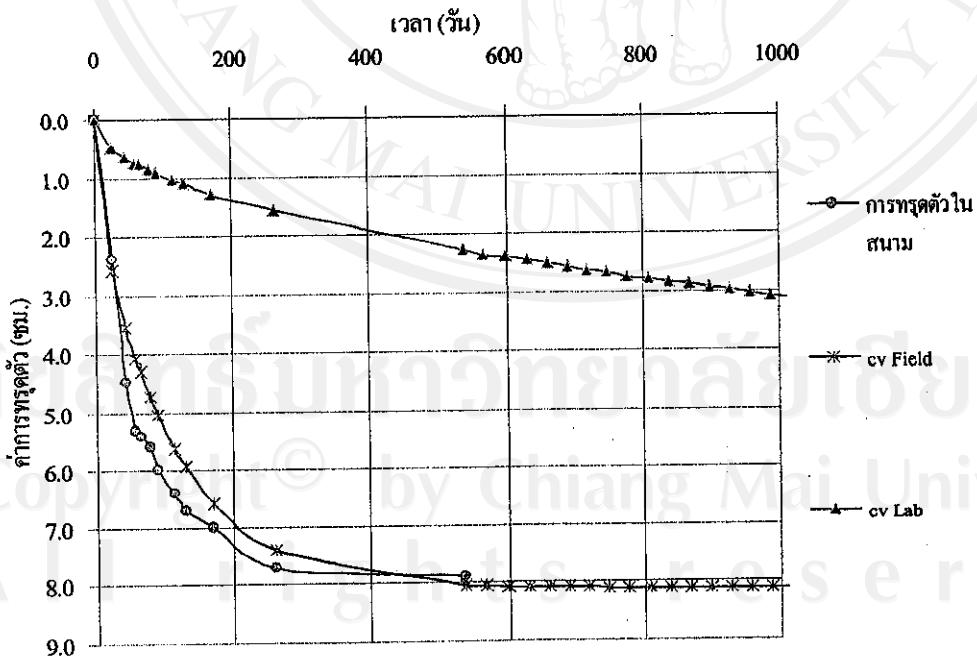
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Asaoka (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.2 (กม. 0+800)



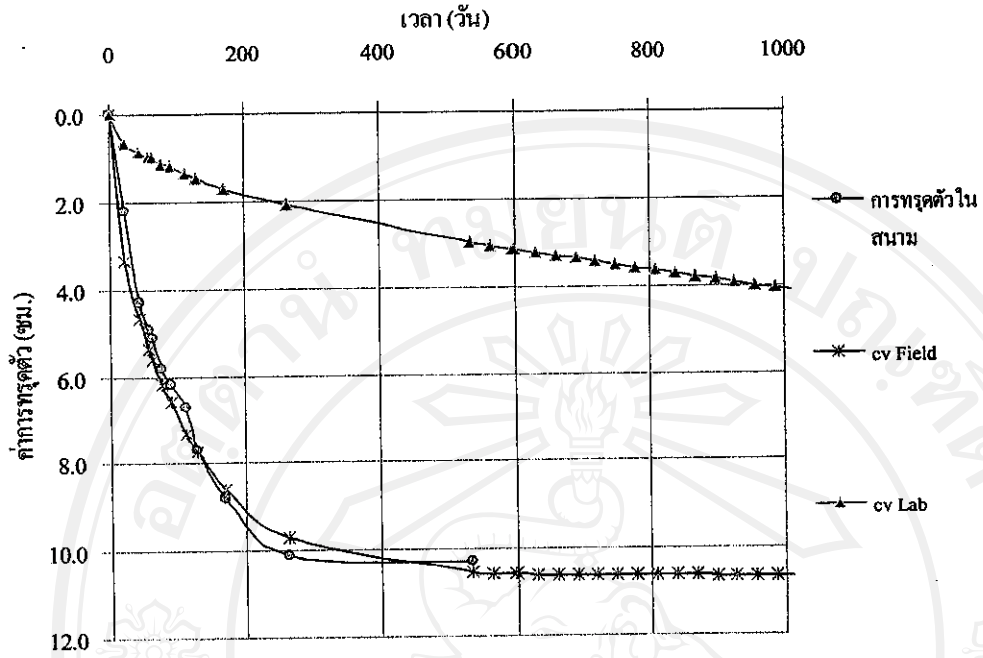
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Asaoka (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.3 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Asaoka (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของ
 แผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.4 (กม. 1+000)



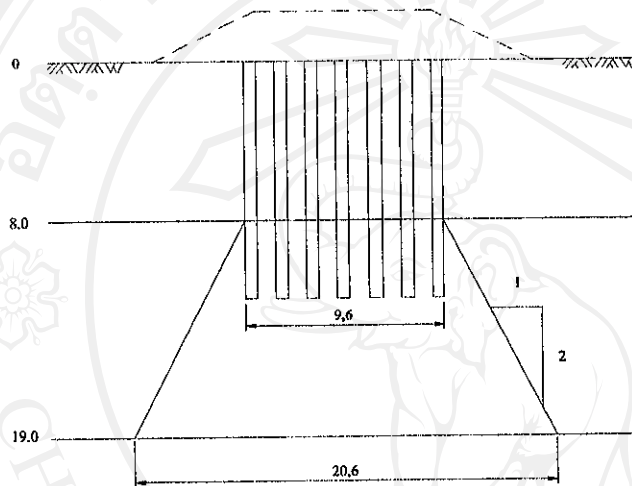
รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Asaoka (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของ
 แผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.5 (กม. 1+100)



รูปที่ 5.13 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Asaoka (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.6 (กม. 1+100)

5.2.2 การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Terzaghi (1967)

วิธีการคาดคะเนการทรุดตัวของ Terzaghi (1967) คำนวณโดยใช้น้ำหนักทั้งหมดของคันทางถ่ายลงบนเสาเข็มกลุ่ม ลักษณะการปรับปรุงด้วยเสาเข็มซีเมนต์เป็นแบบเสาเข็มลอย การพิจารณาหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นใช้วิธี 2 : 1 (แนวตั้ง:แนวนอน) โดยหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นเริ่มกระทำที่ความลึก 8.0 เมตร จากส่วนบนสุดของเสาเข็ม ลักษณะคันทางที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 การพิจารณาหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นวิธี 2 : 1 (แนวตั้ง:แนวนอน) วิธี Terzaghi (1967)

น้ำหนักคันทางได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลการก่อสร้างในสนาม วัสดุโครงสร้างชั้นทาง ได้แก่ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต, หินคลุก, ดินลูกรัง และทรายถม โดยมีน้ำหนักกระทำกับคันทางเท่ากับ 1 ตัน/ตร.ม. (Yongyuth (1998), Pongsakorn (2000) และ จอม (2543)) วัสดุโครงสร้างคันทางและน้ำหนักบรรทุกจร ที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักกระทำต่อกลุ่มเสาเข็มแสดงดังตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 แสดงวัสดุโครงสร้างคันทางและน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักกระทำ
ต่อกลุ่มเสาเข็ม

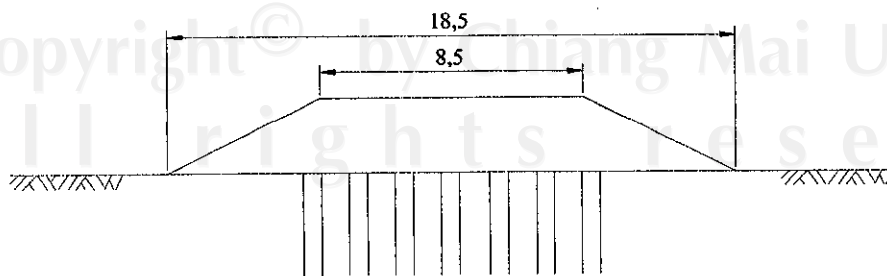
โครงสร้าง	ความหนา (ม.)	หน่วยน้ำหนัก (ตัน/ลบ.ม.)
แอสฟัลต์คอนกรีต	0.1	2.40
หินคลุก	0.2	2.35
ดินลูกรัง	0.2	2.24
ทรายถม	2.0	2.11
น้ำหนักบรรทุก	1.00 ตัน/ตร.ม.	

การคำนวณน้ำหนักของคันทางผู้วิจัยได้พิจารณาเป็น 3 กรณีคือ น้ำหนักกระทำเนื่องจาก
วัสดุคันทางและน้ำหนักบรรทุกในกรณีไม่รวมน้ำหนักของทางเท้าเท่ากับ 121.02 ตัน กรณีรวม
น้ำหนักของทางเท้าเท่ากับ 152.661 ตัน และกรณีน้ำหนักของคันทางลักษณะรูปสี่เหลี่ยมเท่ากับ
90.2 ตัน ลักษณะคันทางทั้ง 3 กรณีแสดงดังรูปที่ 5.15 – 5.17

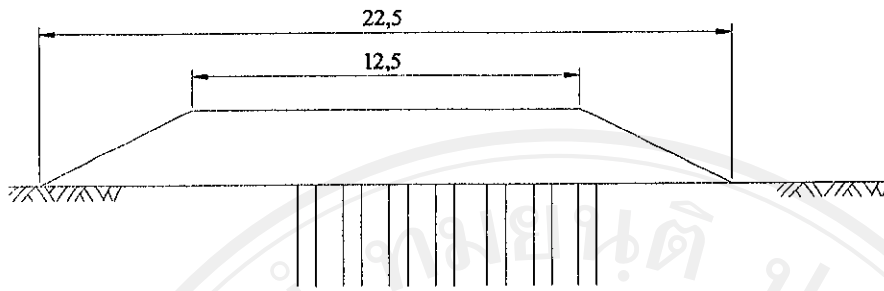
ตารางที่ 5.26 แสดงน้ำหนักกระทำในกรณีต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าการทรุดตัว

น้ำหนักคันทาง	TL. (ตัน)
กรณีน้ำหนักไม่มีทางเท้า	121.011
กรณีน้ำหนักมีทางเท้า	152.661
กรณีน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม	90.200

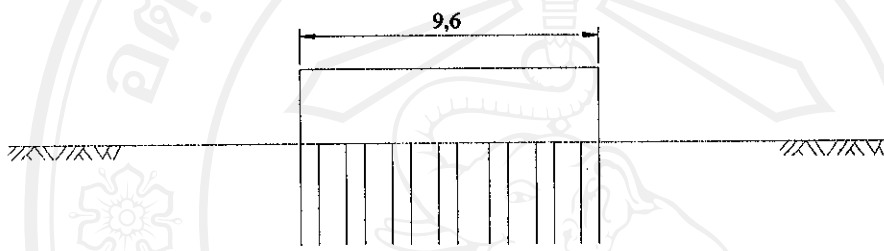
การคำนวณค่าการทรุดตัวผู้วิจัยพิจารณาแบ่งชั้นดินหนา 0.5 เมตร อัตราการทรุดตัวของ
ดินได้ฐานรากคำนวณจากสมการที่ 2.5 การคำนวณการทรุดตัววิธี Terzaghi (1967) แสดงใน
ภาคผนวก จ.



รูปที่ 5.15 แสดงลักษณะคันทางไม่รวมน้ำหนักทางเท้า



รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะคันทางรวมน้ำหน้าทางเท้า



รูปที่ 5.17 แสดงลักษณะคันทางรูปสี่เหลี่ยม

วิธี Terzaghi (1967) เป็นการคาดคะเนที่ให้ผลเป็นค่าการทรุดตัวเฉลี่ยของคันทาง การทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) ของคันทางทั้ง 3 กรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 6.41 – 18.82 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.79 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวสุดท้ายวิธี Terzaghi (1967) กับวิธี Asaoka (1978) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 84.12 – 276.79 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 160.39 %

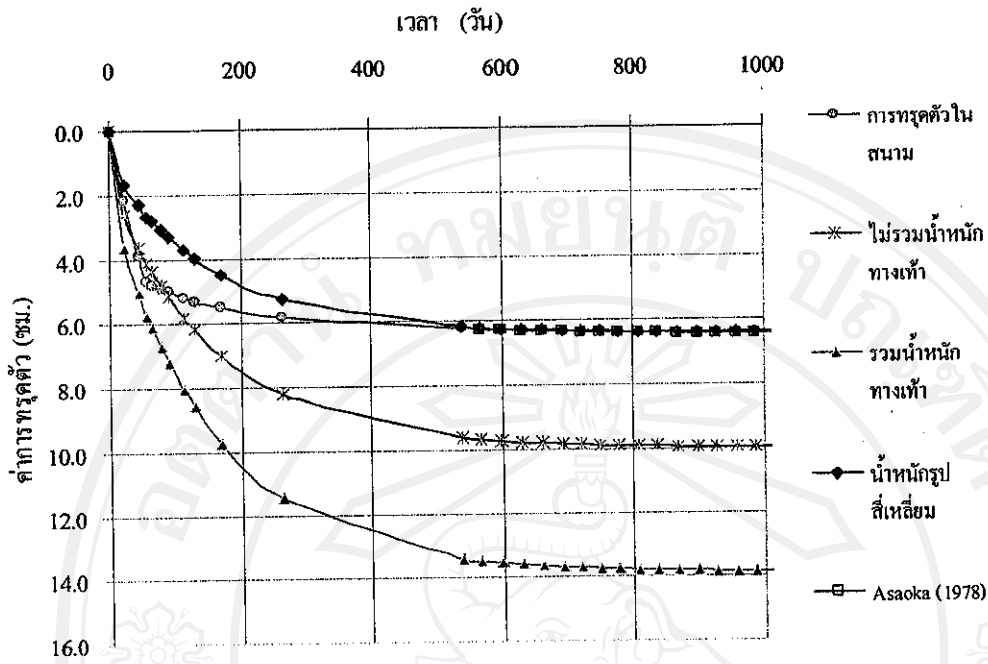
เนื่องจากการคำนวณค่าการทรุดตัวตามเวลาโดยใช้ $c_{v,Lab}$ ได้ค่าการทรุดตัวที่น้อยกว่าในสนามมาก ผู้วิจัยจึงคำนวณค่าการทรุดตัวตามเวลาโดยใช้ $c_{v,Field}$ ในการคำนวณซึ่งค่าการทรุดที่ 537 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 6.18 – 18.67 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.41 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน กับการทรุดตัวในสนามพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 85.00 – 278.3 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 161.55 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัววิธี Terzaghi (1967) แสดงดังตารางที่ 5.27 และ 5.28 ผลการคาดคะเนการทรุดตัวตามเวลาแสดงดังรูปที่ 5.18 – 5.23

ตารางที่ 5.27 แสดงผลค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) วิธี Terzaghi (1967)

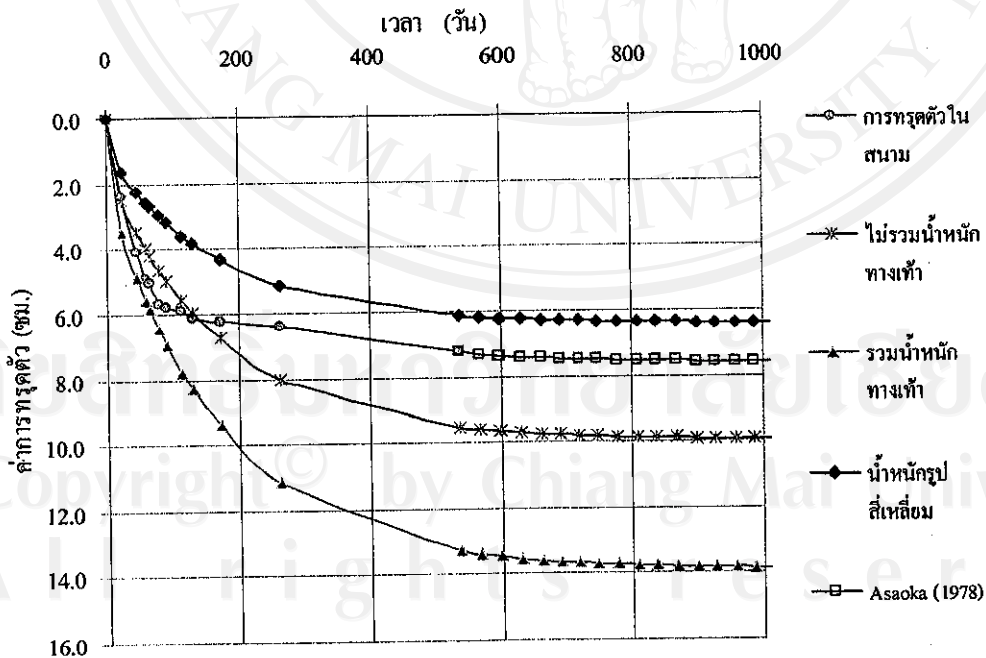
หมายเลข แผ่นวัดการ ทรุดตัว	ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation)					
	ไม่รวมน้ำหนักทางเท้า		รวมน้ำหนักทางเท้า		น้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม	
	(ซม.)	เทียบกับ Asoka (1978) (%)	(ซม.)	เทียบกับ Asoka (1978) (%)	(ซม.)	เทียบกับAsoka (1978) (%)
No.1	9.99	155.12	13.91	215.99	6.41	99.53
No.2	9.99	131.10	13.91	182.55	6.41	84.12
No.3	14.09	209.67	18.60	276.79	9.53	141.82
No.4	14.09	155.01	18.60	204.62	9.53	104.84
No.5	14.17	174.72	18.82	232.06	9.60	118.37
No.6	14.17	133.30	18.82	177.05	9.60	90.31
ค่าเฉลี่ย	12.75	159.82	17.11	214.84	8.51	106.50

ตารางที่ 5.28 แสดงผลค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน วิธี Terzaghi (1967)

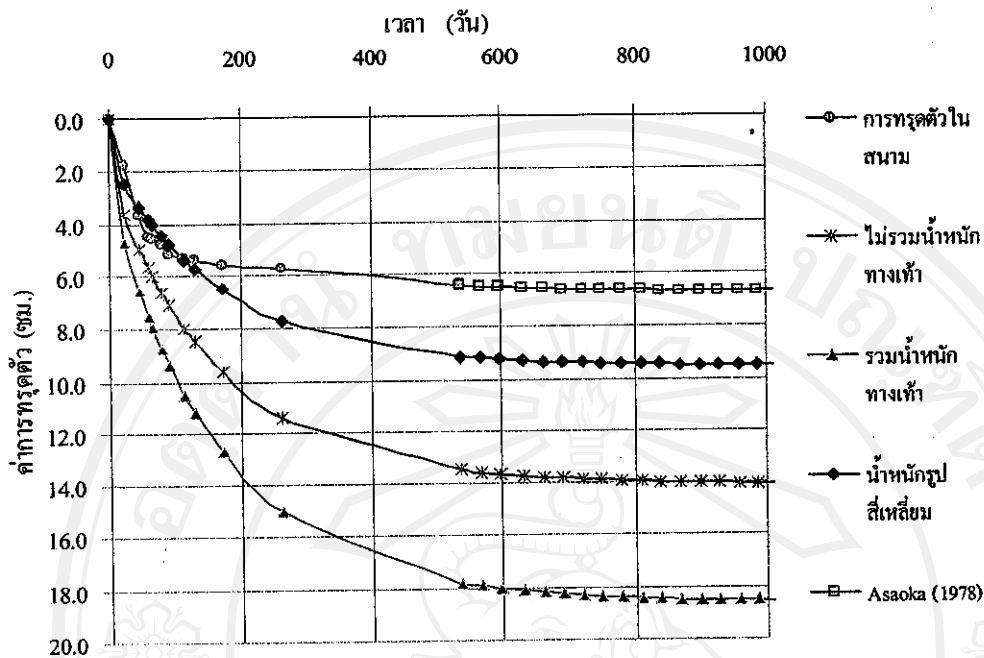
หมายเลข แผ่นวัดการ ทรุดตัว	ค่าการทรุดตัวที่ 337 วัน					
	ไม่รวมน้ำหนักทางเท้า		รวมน้ำหนักทางเท้า		น้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม	
	(ซม.)	เทียบกับ สนาม (%)	(ซม.)	เทียบกับ สนาม (%)	(ซม.)	เทียบกับ สนาม (%)
No.1	9.63	155.32	13.41	216.29	6.18	99.68
No.2	9.53	132.36	13.27	184.31	6.12	85.00
No.3	13.48	210.63	17.80	278.13	9.12	142.50
No.4	13.48	153.18	17.80	202.27	9.12	103.64
No.5	14.06	177.97	18.67	236.33	9.52	120.51
No.6	14.04	136.31	18.65	181.07	9.51	92.33
ค่าเฉลี่ย	12.37	160.96	16.60	216.40	8.26	107.28



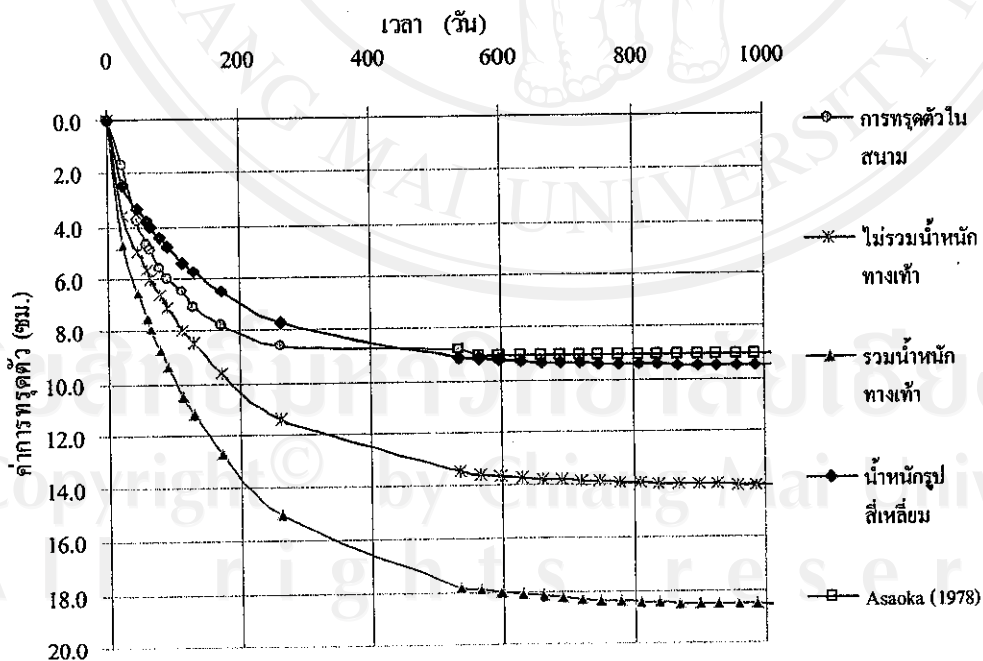
รูปที่ 5.18 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Terzaghi (1967) โดยใช้ $c_{v,Field}$ กับค่าการทรุดตัวจากสนามของแผนวิศวการทรุดตัวหมายเลข No.1 (กม. 0+800)



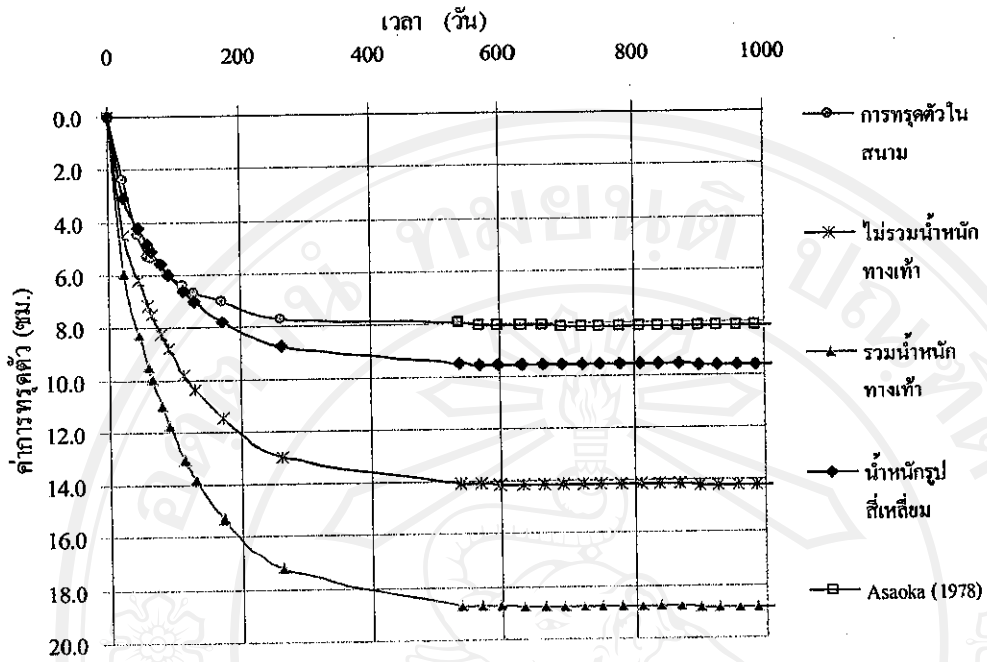
รูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Terzaghi (1967) โดยใช้ $c_{v,Field}$ กับค่าการทรุดตัวจากสนามของแผนวิศวการทรุดตัวหมายเลข No.2 (กม. 0+800)



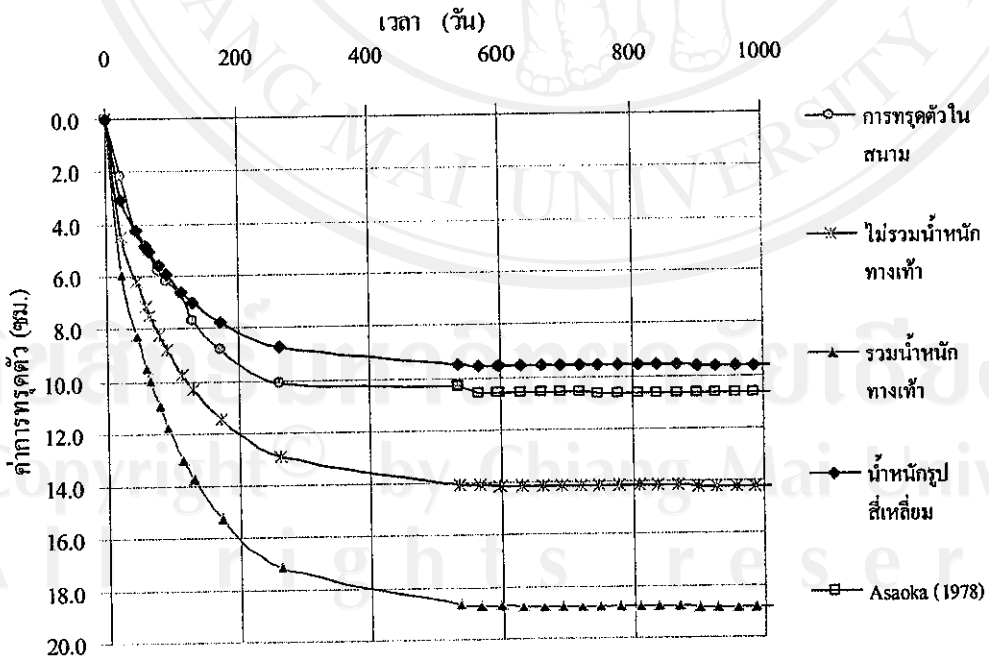
รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Terzaghi (1967) โดยใช้ $c_{v,Field}$ กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.3 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Terzaghi (1967) โดยใช้ $c_{v,Field}$ กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.4 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Terzaghi (1967) โดยใช้ $c_{v,Field}$ กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No. (กม. 1+100)



รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Terzaghi (1967) โดยใช้ $c_{v,Field}$ กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.6 (กม. 1+100)

จากการคำนวณค่าการทรุดตัวของคันทางทั้ง 3 กรณีพบว่าคันทางที่รวมน้ำหนักทางทำให้ค่าการทรุดตัวที่มากที่สุด คันทางลักษณะรูปสี่เหลี่ยมให้ค่าการทรุดตัวน้อยที่สุดและให้ค่าการทรุดตัวสุดท้ายใกล้เคียงกับสนามมากที่สุดมีค่าการทรุดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 8.51 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัวสุดท้ายกับวิธี Asaoka (1978) มีค่าเท่ากับ 106.50 % อย่างไรก็ตามวิธีนี้ให้ผลการทรุดตัวที่มากกว่าสนามมากซึ่งจะมีความปลอดภัยมากถ้าใช้ในการออกแบบ

คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวแข็งที่ใช้ในการคำนวณการทรุดตัว ผู้วิจัยได้ใช้ค่าตัวแปรดินและคุณสมบัติดินต่างๆจากงานวิจัยในอดีต ดังนั้นถ้าต้องการค่าการทรุดตัวที่แท้จริงจำเป็นต้องทดสอบหาค่าคุณสมบัติของดินในชั้นดินเหนียวแข็งแล้วนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัว

ลักษณะของคันทางที่ก่อสร้างในสนาม พบว่าระยะห่างระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์ของคันทางทั้ง 2 มีระยะเท่ากับ 6.4 เมตร เมื่อพิจารณาการคำนวณวิธี Terzaghi (1967) ซึ่งใช้วิธีกระจายของหน่วยแรงตามสมมติฐานเป็น 2:1 (ตั้ง:ราบ) ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 8.0 เมตร สามารถคำนวณระยะของหน่วยแรงที่กระจายออกด้านข้างที่ระดับความลึก 19.0 เมตร ได้เท่ากับ 5.5 เมตร ซึ่งหน่วยแรงที่แผ่กระจายจะซ้อนทับกันอยู่ในส่วนของช่องว่างระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์ ของคันทางทั้ง 2 ดังนั้นในการคำนวณการทรุดตัว จึงไม่นำผลของการซ้อนทับของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นมาคำนวณค่าการทรุดตัว

5.2.3 การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Broms (1984)

การวิเคราะห์การทรุดตัววิธี Broms (1984) แบ่งการคาดคะเนการทรุดตัวเป็น 2 ส่วนคือ การทรุดตัวช่วงที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเสาเข็มซีเมนต์ (Δh_1) และการทรุดตัวของดินใต้เสาเข็ม (Δh_2)

การทรุดตัวช่วงที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเสาเข็มซีเมนต์ (Δh_1) ขึ้นกับค่าการล้า (Creep Limit) ของเสาเข็มซีเมนต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6 และ 2.7

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าการล้า (Creep Strength) ของเสาเข็มซีเมนต์บริเวณที่ศึกษามีค่ามากกว่าน้ำหนักกระทำต่อเสาเข็ม ดังนั้นการคำนวณการทรุดตัวในช่วงของดินที่ปรับปรุงคุณภาพ (Δh_1) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.8

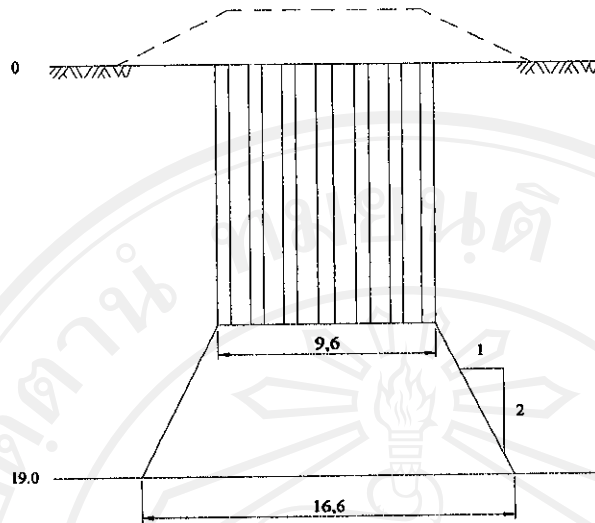
ผู้วิจัยพิจารณาน้ำหนักกระจายที่กระทำต่อกลุ่มของเสาเข็ม เพื่อใช้คาดคะเนการทรุดตัวใน ส่วนของดินที่ปรับปรุงคุณภาพเป็น 3 กรณีคือกรณีที่น้ำหนักกระทำไม่รวมน้ำหนักของทางเท้า เท่ากับ 8.4 ตัน/ตร.ม. กรณีที่น้ำหนักกระทำรวมน้ำหนักของทางเท้าเท่ากับ 10.6 ตัน/ตร.ม. และ กรณีที่น้ำหนักกระทำรูปสี่เหลี่ยมเท่ากับ 6.4 ตัน/ตร.ม. ลักษณะคันทางแสดงดังรูปที่ 5.15 – 5.17 น้ำหนักวัสดุคันทางแสดงดังตารางที่ 5.29

ตารางที่ 5.29 แสดงน้ำหนักกระทำในกรณีต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าการทรุดตัว

น้ำหนักคันทาง	TL. (ตัน)	q (ตัน/ตร.ม.)
กรณีน้ำหนักไม่มีทางเท้า	121.011	8.4
กรณีน้ำหนักมีทางเท้า	152.661	10.6
กรณีน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม	90.200	6.4

การทรุดตัวของดินใต้เสาเข็ม (Δh_2) คำนวณโดยใช้วิธี Terzaghi (1967) ซึ่งการกระจาย หน่วยแรงวิธี Broms (1984) จะเริ่มกระจายหน่วยแรงที่ปลายเสาเข็ม หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นจะใช้วิธี 2:1 (แนวราบ:แนวตั้ง) มีลักษณะดังรูปที่ 5.24

การคำนวณน้ำหนักรวมของคันทางผู้วิจัยได้พิจารณาเป็น 3 กรณีลักษณะเหมือนกับวิธี Terzaghi (1948) คือกรณีน้ำหนักกระทำเนื่องจากวัสดุคันทางและน้ำหนักบรรทุกจรในกรณีไม่รวม น้ำหนักของทางเท้าเท่ากับ 121.02 ตัน กรณีรวมน้ำหนักของทางเท้าเท่ากับ 152.661 ตัน และ กรณีน้ำหนักของคันทางลักษณะรูปสี่เหลี่ยมเท่ากับ 90.2 ตัน



รูปที่ 5.24 แสดงการพิจารณาหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นวิธี 2 : 1 (แนวตั้ง:แนวราบ) วิธี Broms (1684)

อัตราการทรุดตัวคำนวณได้จาก อัตราการทรุดตัวของดินช่วงการปรับปรุงเสาดินซีเมนต์ ร่วมกับอัตราการทรุดตัวของดินบริเวณใต้เสาดินซีเมนต์ โดยอัตราการทรุดตัวของดินช่วงการปรับปรุงเสาดินซีเมนต์คำนวณจากสมการที่ 2.11 การคำนวณการทรุดตัววิธี Broms (1684) แสดงในภาคผนวก ฉ.

วิธี Broms (1984) เป็นการคาดคะเนที่ให้ผลเป็นค่าการทรุดตัวเฉลี่ยของคันทาง ค่าการทรุดตัวที่ได้เกิดจากค่าการทรุดตัวในชั้นดินที่ปรับปรุงด้วยเสาดินซีเมนต์ (Δh_1) กับค่าการทรุดตัวจากชั้นดินใต้เสาดินซีเมนต์ (Δh_2) พบว่าค่าการทรุดตัวในชั้นดินที่ปรับปรุงด้วยเสาดินซีเมนต์ในทุกกรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 7.40 – 12.47 ซม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.89 ซม. คิดเป็น 47.24 – 58.92 % ของผลรวมของค่าการทรุดตัวทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.23 % ค่าการทรุดตัวจากชั้นดินใต้เสาดินซีเมนต์ในทุกกรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 5.16 – 13.87 ซม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.61 ซม. คิดเป็น 41.08 – 52.76 % ของผลรวมของค่าการทรุดตัวทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.77 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวในชั้นดินที่ปรับปรุงด้วยเสาดินซีเมนต์และในชั้นดินใต้เสาดินซีเมนต์แสดงดังตารางที่ 5.30

ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) ของคันทางทั้ง 3 กรณีมีค่าการทรุดตัวอยู่ระหว่าง 12.56 – 26.29 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 19.5 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวสุดท้ายวิธี Broms (1984) กับวิธี Asaoka (1978) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 144.31 – 381.10 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 245.99 % ผลการคาดคะเนค่าการทรุดตัวแสดงดังตารางที่ 5.31

ตารางที่ 5.30 แสดงค่าการทรุดตัวในชั้นดินที่ปรับปรุงด้วยเสาเข็มซีเมนต์และในชั้นดินใต้
เสาเข็มซีเมนต์วิธี Broms (1984)

กม.	ค่าการทรุดตัว (ซม.)								
	กรณีไม่คิดทางเท้า			กรณีคิดทางเท้า			กรณีคิคน้ำหนักสี่เหลี่ยม		
	Δh_1	Δh_2	รวม	Δh_1	Δh_2	รวม	Δh_1	Δh_2	รวม
0+800	9.73	7.57	17.30	12.28	10.07	22.35	7.40	5.16	12.56
1+000	9.88	10.39	20.27	12.47	13.14	25.61	7.51	7.45	14.96
1+100	9.84	10.97	20.81	12.42	13.87	26.29	7.48	7.86	15.34
เฉลี่ย	9.82	9.64	19.46	12.39	12.36	24.75	7.46	6.82	14.29

ตารางที่ 5.31 แสดงผลค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) วิธี Broms (1984)

หมายเลข แผ่นวัด การทรุด ตัว	ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation)						
	Asoka (1978)	ไม่รวมน้ำหนักทางเท้า		รวมน้ำหนักทางเท้า		น้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม	
	(ซม.)	(ซม.)	เทียบกับ Asoka (1978) (%)	(ซม.)	เทียบกับ Asoka (1978) (%)	(ซม.)	เทียบกับ Asoka (1978) (%)
No.1	6.44	17.30	268.63	22.35	347.05	12.56	195.03
No.2	7.62	17.30	227.03	22.35	293.31	12.56	164.83
No.3	6.72	20.27	301.64	25.61	381.10	14.96	222.62
No.4	9.09	20.27	222.99	25.61	281.74	14.96	164.58
No.5	8.11	20.81	256.60	26.29	324.17	15.34	189.15
No.6	10.63	20.81	195.77	26.29	247.32	15.34	144.31
ค่าเฉลี่ย	8.10	19.46	245.44	24.75	312.45	14.29	180.09

ค่าการทรุดที่ 537 วัน จากทุกกรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 12.32 – 26.18 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมี
ค่าเท่ากับ 19.26 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ 537 วันกับการทรุดตัวในสนามพบว่าค่าอยู่
ระหว่าง 147.57 – 309.69 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 252.56 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวที่ 537 วัน วิธี
Broms (1974) แสดงดังตารางที่ 5.32

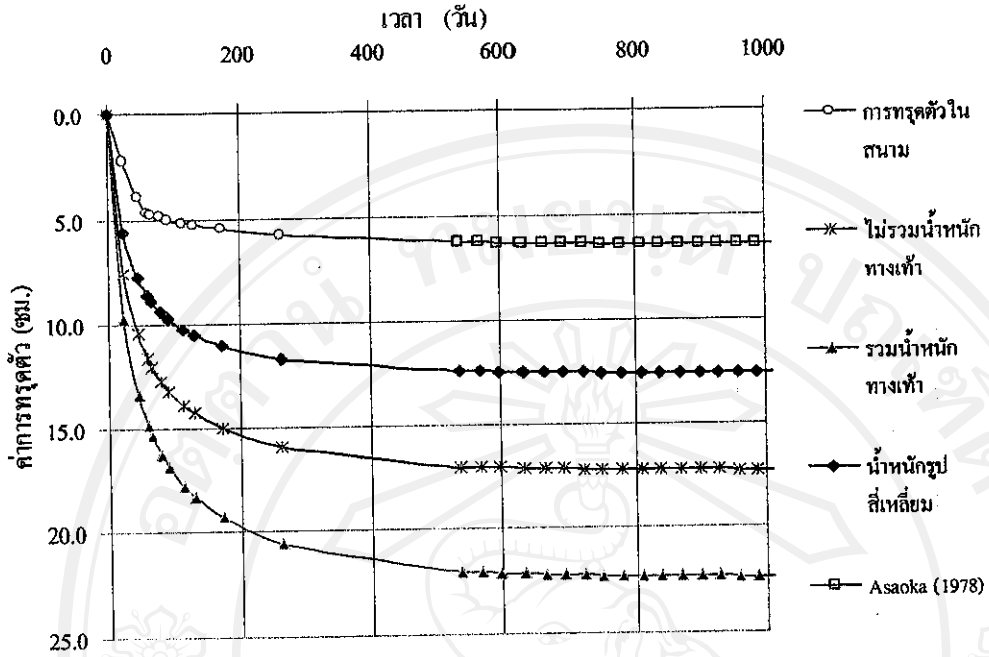
ตารางที่ 5.32 แสดงผลค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน วิธี Broms (1984)

หมายเลข แผ่นวัด การทรุด ตัว	ค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน						
	สนาม	ไม่รวมน้ำหนักทางเท้า		รวมน้ำหนักทางเท้า		น้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม	
	(ซม.)	(ซม.)	เทียบกับ สนาม (%)	(ซม.)	เทียบกับ สนาม (%)	(ซม.)	เทียบกับ สนาม (%)
No.1	6.2	17.03	274.68	21.99	354.68	12.37	199.52
No.2	7.2	16.95	235.42	21.89	304.03	12.32	171.11
No.3	6.4	19.82	309.69	25.04	391.25	14.64	228.75
No.4	8.8	20.21	229.66	25.53	290.11	14.92	169.55
No.5	7.9	20.72	262.28	26.18	331.39	15.28	193.42
No.6	10.3	20.61	200.10	26.04	252.82	15.20	147.57
ค่าเฉลี่ย	7.8	19.22	251.97	24.45	320.71	14.12	184.99

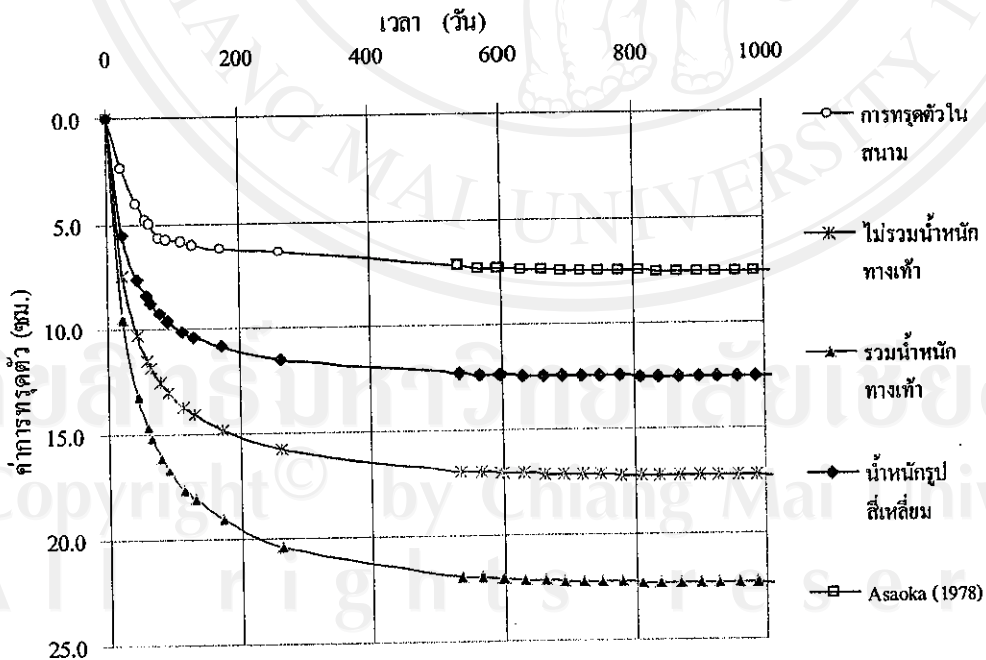
เมื่อใช้ค่า $c_{v,Field}$ คำนวณระยะเวลาการทรุดหลัก (Primary Consolidation) ที่ 99 % พบว่าใช้เวลาเช่นเดียวกับวิธี Asaoka (1978) เนื่องจากระยะเวลาการทรุดตัวขึ้นกับการทรุดตัวในชั้นดินเหนียวที่อยู่ใต้เสาเข็ม ค่าการทรุดตัวตามเวลาแสดงดังรูปที่ 5.25 – 5.30

จากการคำนวณค่าการทรุดตัวของคันทางทั้ง 3 กรณีพบว่าคันทางที่รวมน้ำหนักทางเท้าให้ค่าการทรุดตัวที่มากที่สุด คันทางลักษณะรูปสี่เหลี่ยมให้ค่าการทรุดตัวน้อยที่สุดและคันทางลักษณะรูปสี่เหลี่ยม ให้ค่าการทรุดตัวที่ใกล้เคียงกับสนามมากที่สุดมีค่าการทรุดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 14.29 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัวสุดท้ายวิธี Asaoka (1978) มีค่าเท่ากับ 180.09 % อย่างไรก็ตามวิธีนี้ให้ผลการทรุดตัวที่มากกว่าสนามมากซึ่งจะมีความปลอดภัยมากถ้าใช้ในการออกแบบ

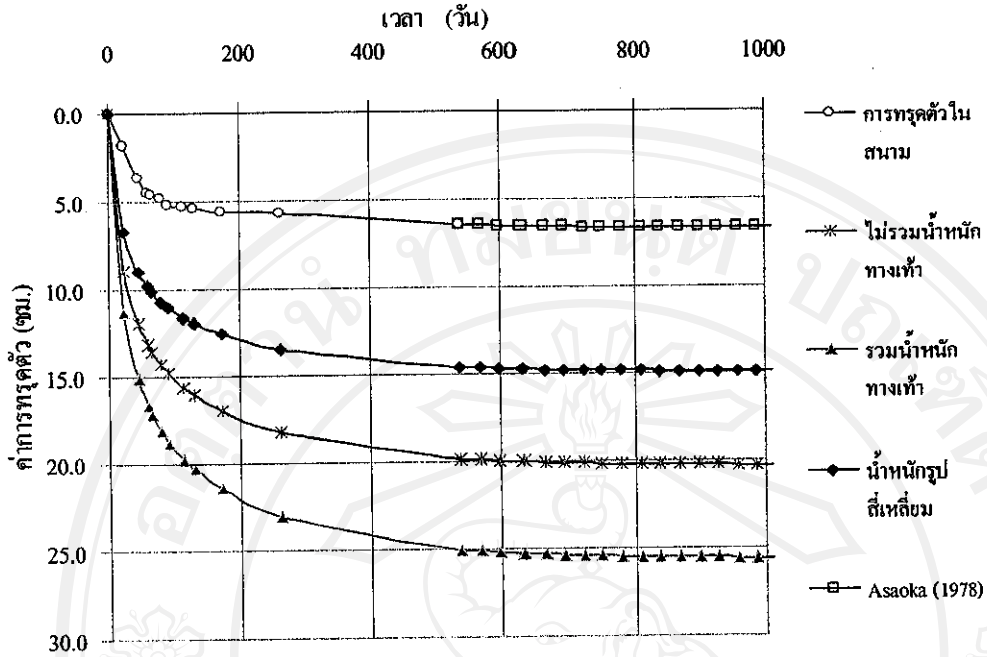
การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Broms (1984) ให้ผลการทรุดตัวที่มากกว่าในสนามประมาณ 2 เท่า ซึ่งสมมุติฐานของ Broms (1984) เป็นผลการทรุดตัวรวมระหว่างค่าการทรุดตัวในช่วงดินที่ปรับปรุงและช่วงดินที่อยู่ใต้เสาเข็ม ถ้าพิจารณาว่าเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ทำการก่อสร้างมีความแข็งแรงมากและน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับเสาเข็มดินซีเมนต์ยังไม่ทำให้เกิดการล้า ในระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวเฉพาะในส่วนของดินที่อยู่ใต้เสาเข็มดินซีเมนต์เพียงอย่างเดียวกับค่าการทรุดตัวในสนามพบว่าได้ค่าการทรุดตัวที่มีความใกล้เคียงกับสนาม



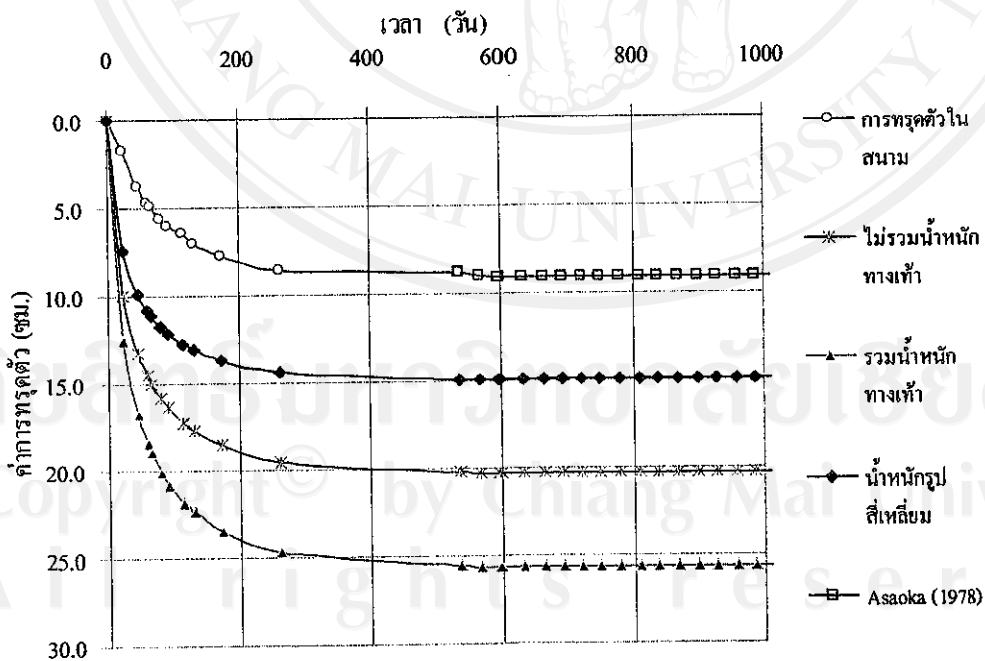
รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Broms (1984) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.1 (กม. 0+800)



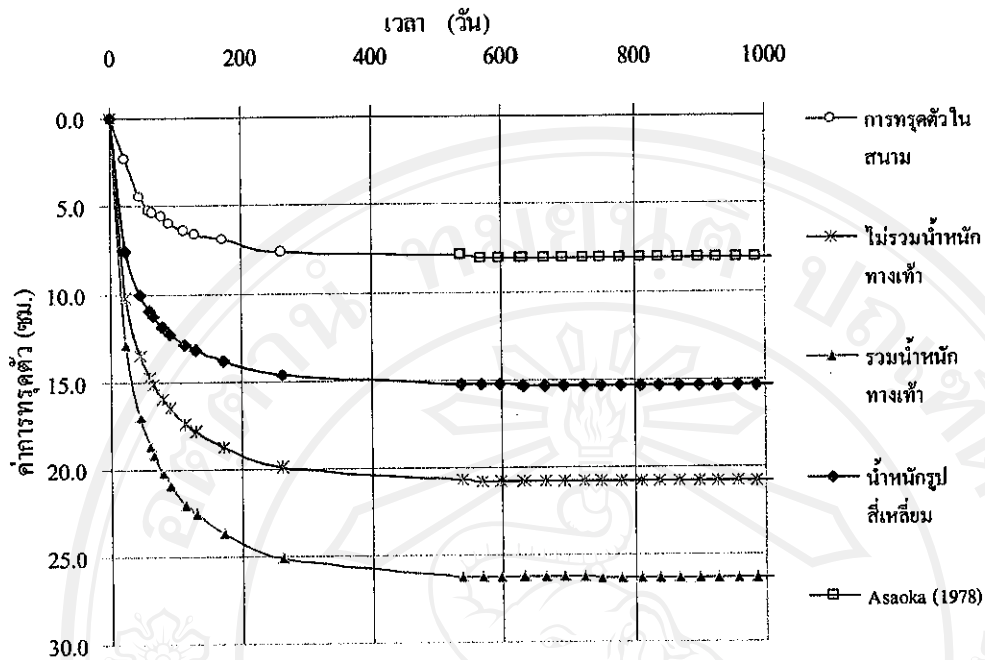
รูปที่ 5.26 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Broms (1984) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.2 (กม. 0+800)



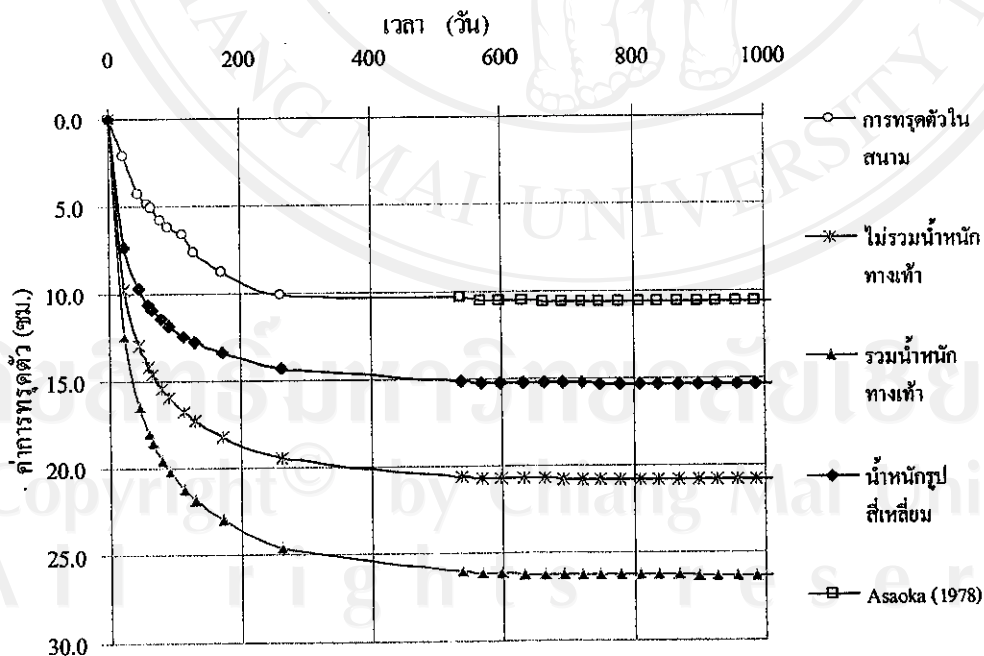
รูปที่ 5.27 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Broms (1984) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.3 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.28 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Broms (1984) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.4 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.29 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Broms (1984) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.5 (กม. 1+100)



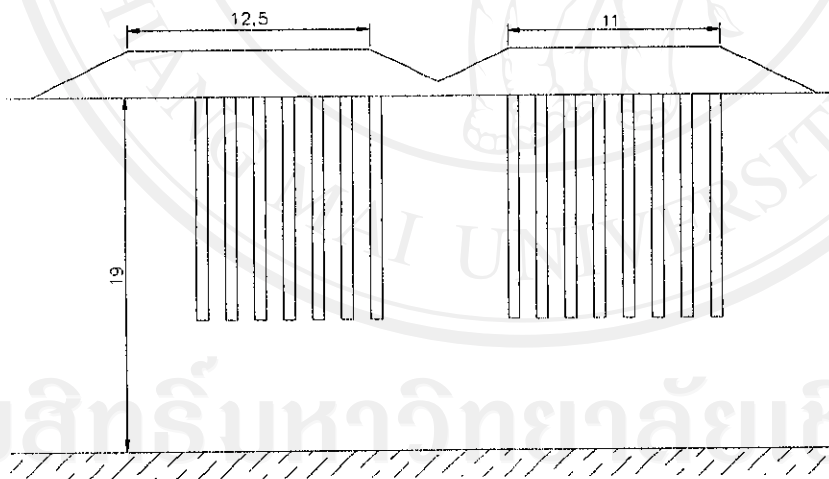
รูปที่ 5.30 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Broms (1984) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.6 (กม. 1+100)

5.2.4 การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Poulos and Davis (1980)

การคำนวณการทรุดตัววิธี Poulos and Davis (1980) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือขั้นตอนแรกเป็นการคำนวณหาค่าโมดูลัสของดิน (E_{soil}') สภาพระบายน้ำ ขั้นตอนต่อมาเป็นการคำนวณการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกระทำ 1 หน่วย และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการคำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มดินเมนต์เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียง

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าโมดูลัสของดิน (E_{soil}) สภาพไม่ระบายน้ำได้จากการแปรข้อมูลจากผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มดินซีเมนต์ (Pile Load Test) ในสนามแล้วคำนวณย้อนกลับตามวิธีของ Poulos and Davis (1980) จากสมการที่ 2.13 ซึ่งผู้วิจัยสมมุติว่าระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มดินซีเมนต์ถือว่าไม่เกิดการล้า (Creep)

แบบจำลองภาคตัดของชั้นดินจะจำลองชั้นดินเหนียวมีความลึกจำกัดเท่ากับ 19.0 เมตร แสดงดังรูปที่ 5.31 การวิเคราะห์ใช้ค่าอัตราส่วนบัวส์ของของดิน (V_u) สภาพไม่ระบายน้ำเท่ากับ 0.5 ตัวแปร 1 ได้จากการปรับแก้ค่าเนื่องจากผลกระทบต่างๆสามารถหาได้จากรูปที่ 2.6 - 2.9 การคำนวณย้อนกลับหาค่าโมดูลัสของดิน (E_{soil}) สภาพไม่ระบายน้ำและค่าโมดูลัสของดิน (E_{soil}') สภาพระบายน้ำแสดงดังภาคผนวก ข.



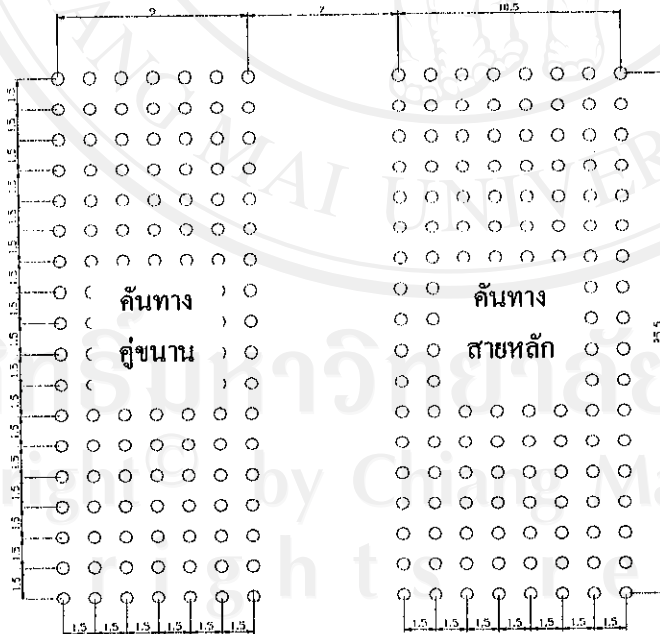
รูปที่ 5.31 แบบจำลองภาคตัดของชั้นดินเหนียวมีความลึกจำกัด 19.0 เมตร

การคำนวณการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกระทำ 1 ตัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13 โดยใช้ค่าโมดูลัสของดิน (E_{soil}) สภาพระบายน้ำเท่ากับ 420.29 ตัน/ตร.ม. สามารถคำนวณการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกระทำ 1 ตัน ได้เท่ากับ 0.0813 ซม./ตัน

การทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์เนื่องจากผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียง สามารถคำนวณจากสมการที่ 2.14 ค่า Interaction Factor ของเสาเข็มสองต้นสามารถประมาณได้จากรูปที่ 2.10 – 2.13 เนื่องจากที่พิจารณามีชั้นดินที่มีความลึกจำกัดเท่ากับ 19.0 เมตร ต้องปรับแก้ค่า Interaction Factor ด้วยค่า N_u สามารถหาได้จากรูปที่ 2.14

น้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างและน้ำหนักจรที่กระทำกับเสาเข็มแต่ละต้นสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของดินทางรวมทั้งน้ำหนักบรรทุกจร โดยมีสมมุติฐานว่าคันทางเป็น Pile Cap มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยม ดังนั้นพื้นที่รับน้ำหนักของเสาเข็มดินซีเมนต์เท่ากับ 1.5 x 1.5 ตร.ม. ตามระยะห่างของเสาเข็มสามารถคำนวณน้ำหนักได้เท่ากับ 14.35 ตัน/ต้น

การพิจารณาระยะอิทธิพลของเสาเข็มข้างเคียงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว จะใช้ระยะไกลสุดเท่ากับ 26.5 เมตร พิจารณาจากรูปที่ 5.32 ซึ่งจะให้ค่าการทรุดตัวของเสาเข็มประมาณ 1.2×10^{-3} ซม. การวิเคราะห์การทรุดตัววิธี Poulos and Davis (1980) แสดงในภาคผนวก ข.



รูปที่ 5.32 แสดงเสาเข็มข้างเคียงที่มีอิทธิพลที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว

วิธี Poulos (1980) เป็นการคาดคะเนที่ให้ผลเป็นค่าการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่งของเสาเข็มที่พิจารณาค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) มีค่าอยู่ระหว่าง 6.40 – 8.08 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.33 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) กับวิธี Asaoka (1978) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 68.58 – 125.47 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.90 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) วิธี Poulos (1980) แสดงดังตารางที่ 5.33

ตารางที่ 5.33 ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) วิธี Poulos (1980)

หมายเลขแผ่น วัดการทรุดตัว	ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation)			
	พิจารณาน้ำหนักชั้นของทางคู่ขนาน (1 คันทาง)		พิจารณาน้ำหนักของคันทางคู่ขนาน และคันทางสายหลัก (2 คันทาง)	
	(ซม.)	เทียบกับ Asaoka (1978) (%)	(ซม.)	เทียบกับ Asaoka (1978) (%)
No.1	5.91	91.77	8.08	125.47
No.2	4.93	64.70	6.40	83.99
No.3	5.15	76.64	7.90	117.56
No.4	4.93	54.24	6.40	70.41
No.5	5.15	63.50	7.90	97.41
No.6	5.59	52.59	7.29	68.58
เฉลี่ย	5.28	67.24	7.33	93.90

การคำนวณค่าการทรุดตัวตามเวลาผู้วิจัยใช้ $c_{v,Field}$ คำนวณค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 6.40 – 8.07 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.31 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน กับการทรุดตัวในสนามพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 70.78 – 130.16 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 97.39 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวที่ 537 วัน วิธี Poulos (1980) แสดงดังตารางที่ 5.34

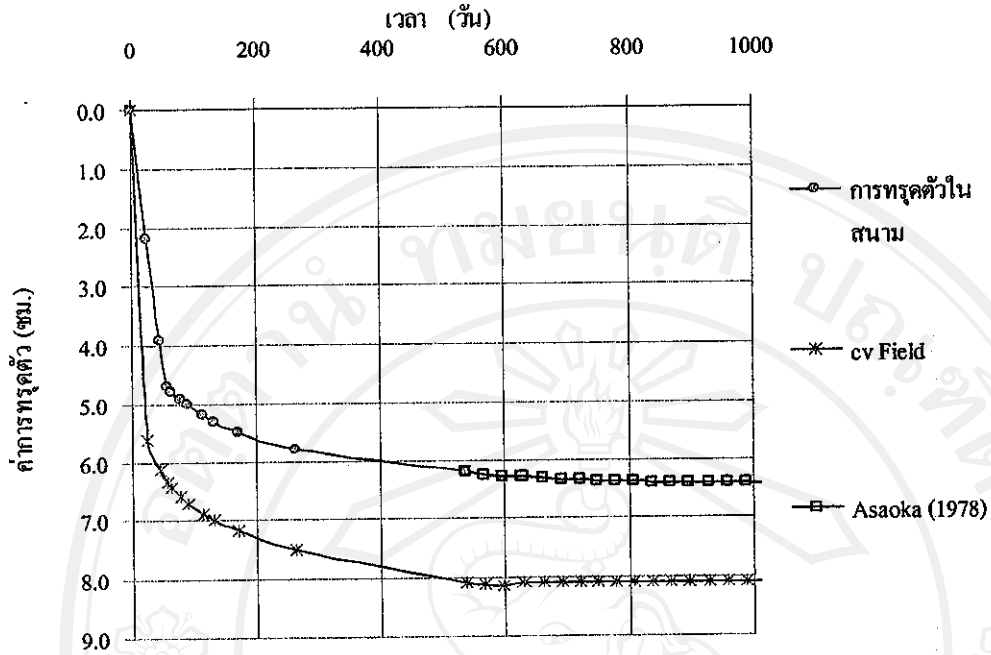
ตารางที่ 5.34 แสดงค่าการทรุดตัวที่ 537 วันที่ได้จากการคำนวณวิธี วิธี Poulos (1980)

หมายเลขแผ่น วัดการทรุดตัว	คำนวณค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน	
	(ซม.)	เทียบกับสนาม (%)
No.1	8.07	130.16
No.2	6.35	88.19
No.3	7.84	122.50
No.4	6.40	72.73
No.5	7.90	100.00
No.6	7.29	70.78
เฉลี่ย	7.31	97.39

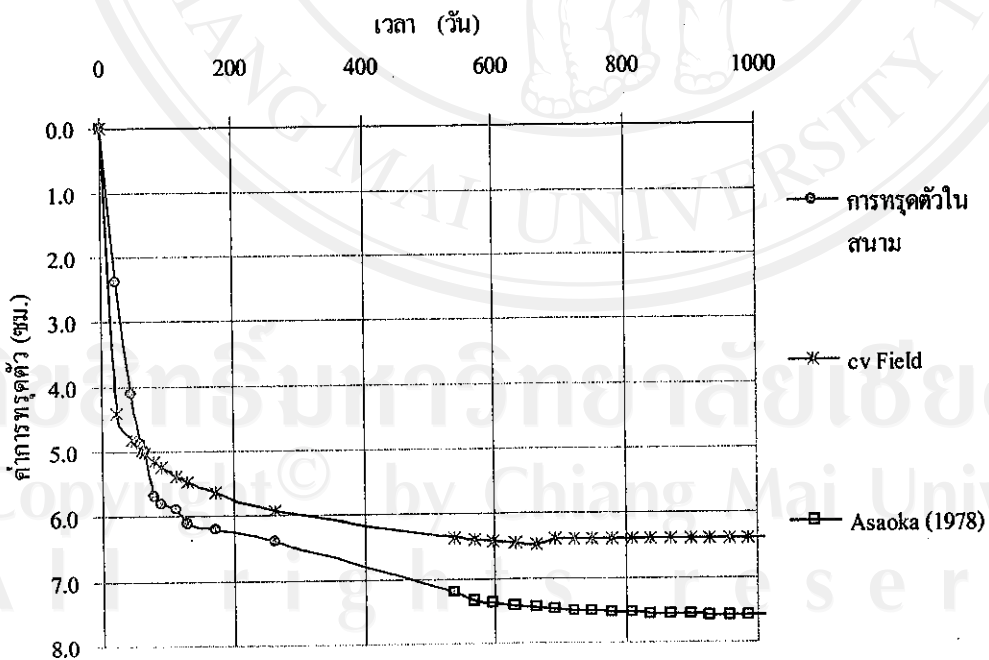
เมื่อใช้ค่า $c_{v,Field}$ คำนวณระยะเวลาการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) ที่ 99 % พบว่าใช้เวลาอยู่ระหว่าง 0.79 – 1.36 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.08 ปี เมื่อเปรียบเทียบเวลาการทรุดตัวที่ 99 % กับวิธี Asaoka (1978) พบว่าเวลาการทรุดตัวที่ 99 % จากวิธี Poulos (1980) เกิดขึ้นเร็วกว่าวิธี Asaoka (1978) ประมาณ 1.6 เท่า ตารางแสดงผลการคำนวณเวลาการทรุดตัวที่ 99 % แสดงดังตารางที่ 5.35 รูปแสดงการทรุดตัวตามเวลาวิธี Poulos (1980) สามารถแสดงดังรูปที่ 5.33 – 5.38

ตารางที่ 5.35 แสดงระยะเวลาการทรุดตัวหลักที่ 99% คำนวณจาก $c_{v,Field}$ วิธี Poulos (1980)

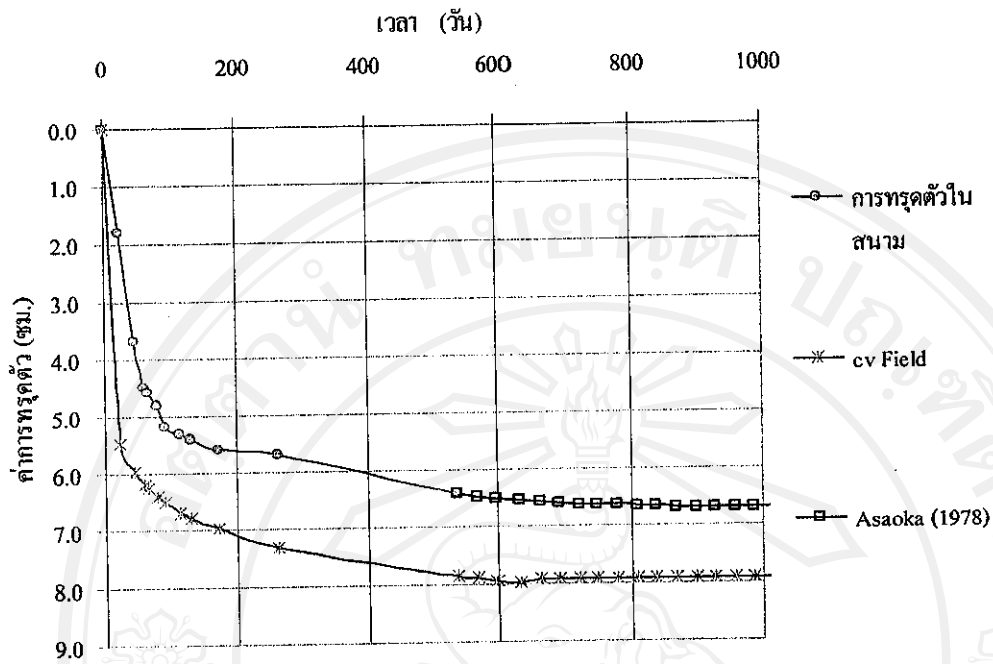
หมายเลข แผ่นวัดการทรุดตัว	ระยะเวลาการทรุดตัวหลักที่ 99% (ปี)	
	วิธี Poulos (1980)	Asaoka (1978)
No.1	1.26	2.08
No.2	1.36	2.25
No.3	1.34	2.21
No.4	0.79	1.30
No.5	0.86	1.41
No.6	0.86	1.42
ค่าเฉลี่ย	1.08	1.78



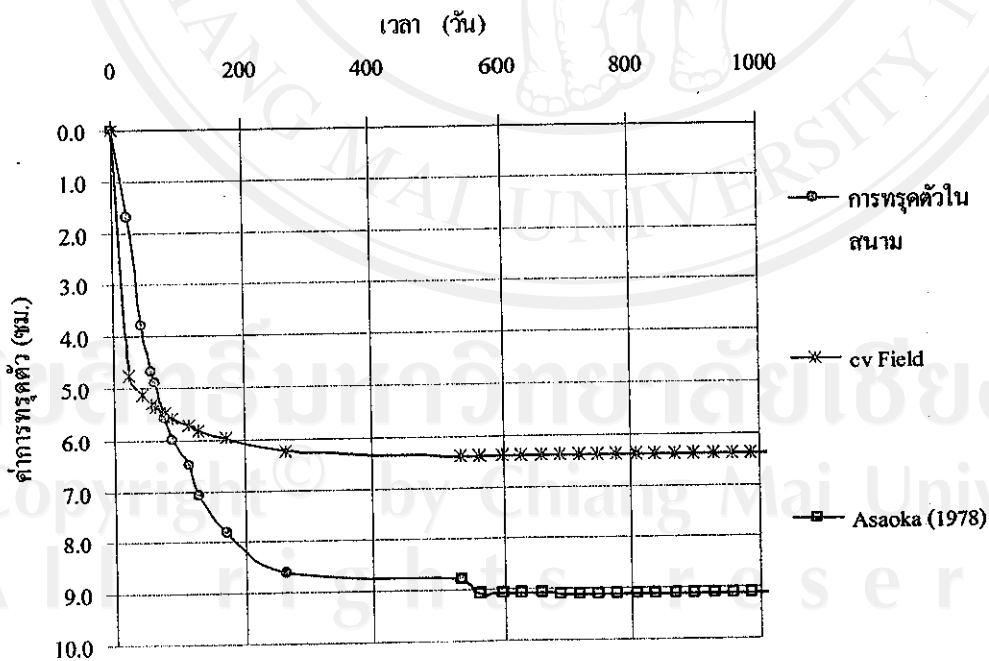
รูปที่ 5.33 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Poulos (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.1 (กม. 0+800)



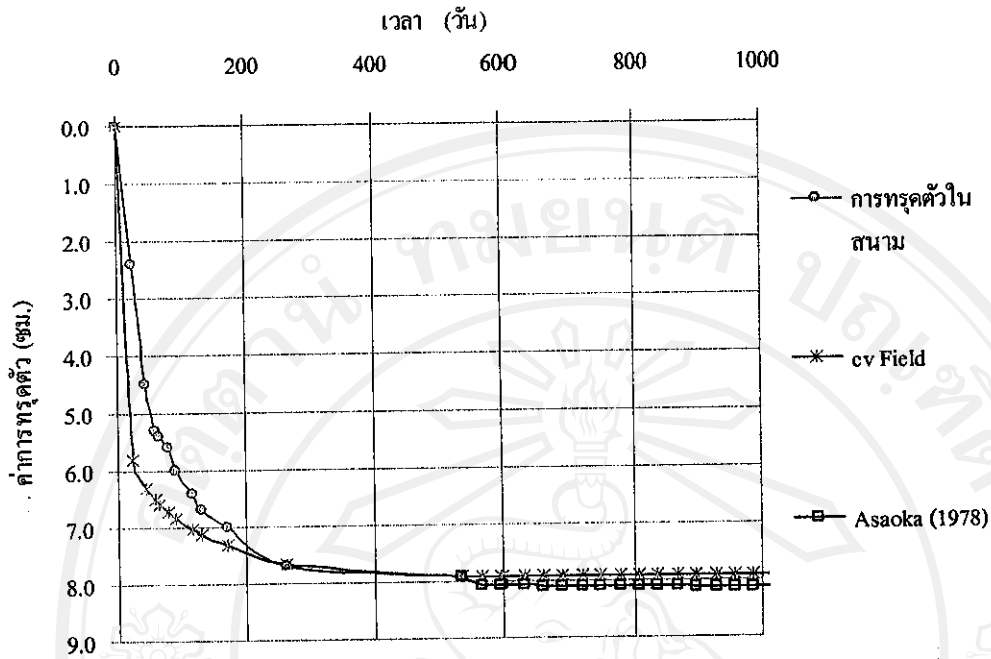
รูปที่ 5.34 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Poulos (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.2 (กม. 0+800)



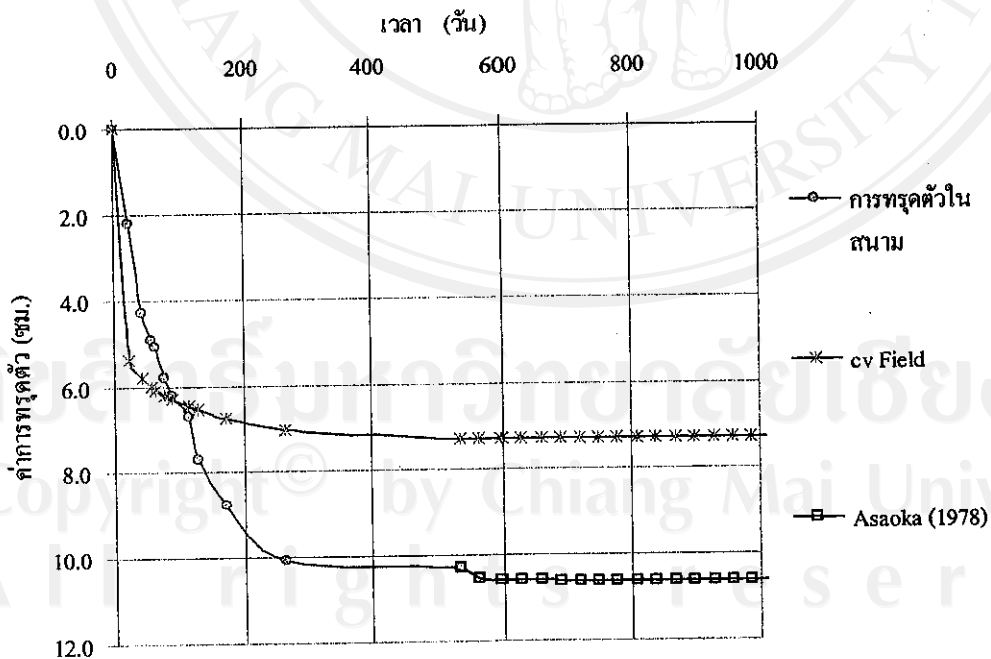
รูปที่ 5.35 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Poulos (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.3 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.36 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Poulos (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.4 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.37 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Poulos (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.5 (กม. 1+100)



รูปที่ 5.38 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธี Poulos (1978) กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.6 (กม. 1+100)

การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Poulos (1980) พบว่าให้ผลการคาดคะเนที่ให้ผลค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับสนามมากอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งให้ผลเฉลี่ยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 % จากค่าเฉลี่ยการทรุดตัวจากสนาม การคาดคะเนการทรุดตัววิธีนี้ใช้ผลค่า E_{soil} จากทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มดินซีเมนต์ในสนาม ซึ่งใช้ผลของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือจึงได้ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับสนาม

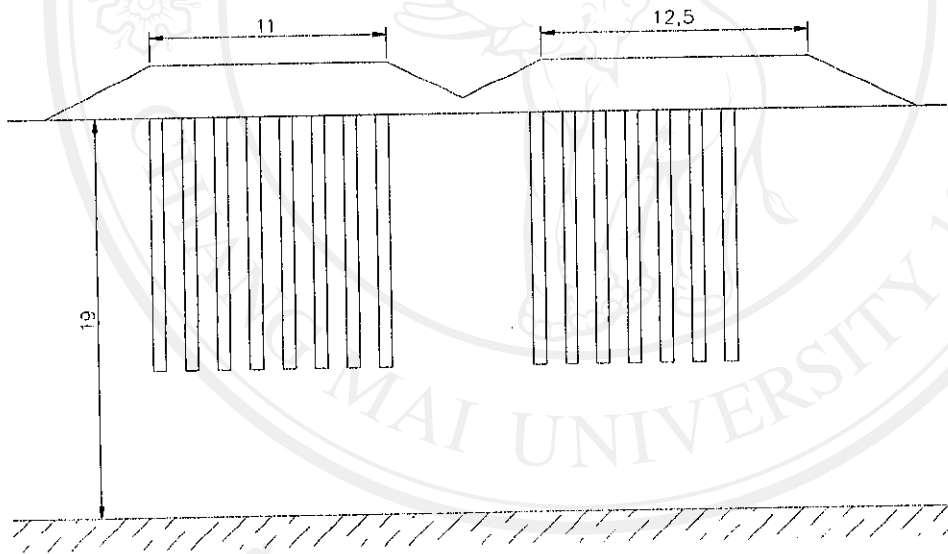
วิธีการคำนวณของ Poulos (1980) พบว่าเสาเข็มดินซีเมนต์บริเวณใกล้ทางเท้ามีการทรุดตัวน้อยกว่าเสาเข็มดินซีเมนต์ที่อยู่ไกลทางเท้าซึ่งไม่สอดคล้องกับการทรุดตัวในสนาม เมื่อพิจารณาพบว่าน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณผู้วิจัย ใช้สมมุติฐานว่าเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากันทุกต้น ดังนั้น การคำนวณการทรุดตัวของเสาเข็มวิธีนี้ควรน่าจะมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้นที่ใกล้ทางเท้ามากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าการทรุดตัวที่สอดคล้องกับการทรุดตัวในสนามและได้ค่าการทรุดตัวที่ใกล้เคียงกับสนามมากขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการคำนวณ โดยพิจารณากลุ่มของเสาเข็มดินซีเมนต์คันทางเดียว (คันทางคู่ขนาน) และพิจารณากลุ่มของเสาเข็มดินซีเมนต์ 2 คันทาง (คันทางคู่ขนานและคันทางสายหลัก) จากการวิเคราะห์พบว่าการคำนวณกรณีพิจารณาใช้น้ำหนักคันทางคู่ขนานและคันทางสายหลักจะได้ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมากกว่า การคำนวณจากการพิจารณาใช้น้ำหนักคันทางคู่ขนานเพียงคันทางเดียวซึ่งได้ค่ามากกว่า 2.05 ซม. หรือเพิ่มขึ้น 38.83 % จากค่าการทรุดตัวที่พิจารณาน้ำหนักคันทางคู่ขนาน ดังนั้นการคำนวณวิธีนี้ควรพิจารณาน้ำหนักของเสาเข็มดินซีเมนต์ใกล้เคียง (คันทางคู่ขนานและคันทางสายหลัก) จึงจะได้ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับการทรุดตัวในสนาม

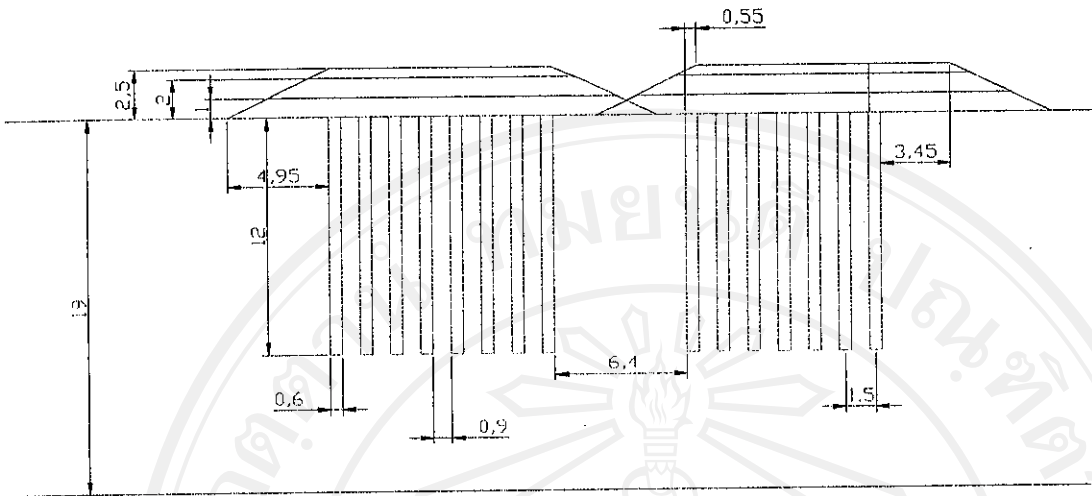
5.2.5 การคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มจาก การจำลองลักษณะคันทาง โดยใช้ สมมุติฐานการจำลองเป็นแบบ Plan Strain Condition ใช้ Element 6 Node ทั้งหมดมี 151 Clusters, 572 Elements และ 1201 Nodes

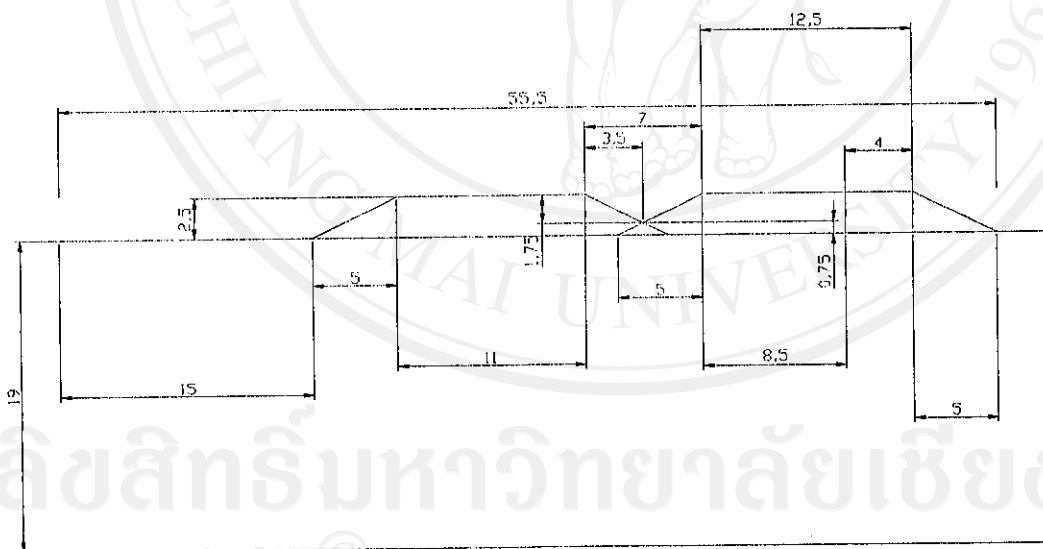
คันทางประกอบด้วย 2 คันทางคือ คันทางสายหลัก (Main Road) และคันทางสายรอง (Frontage Road) มีทางเท้าด้านข้างติดกับคันทางสายรอง (Frontage Road) ความสูงของคันทาง 2.5 เมตร คันทางสายหลัก (Main Road) กว้าง 11.0 เมตร คันทางสายรอง (Frontage Road) กว้าง 8.5 เมตร ทางเท้ากว้าง 4.0 เมตรความชันด้านข้างของคันทางเท่ากับ 2:1 (แนวราบ:แนวตั้ง) ได้ทางเท้าไม่มีการปรับเสถียรภาพดินฐานรากด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ ลักษณะการจำลองดินคันทางแสดง ดังรูปที่ 5.39 – 5.41



รูปที่ 5.39 แสดงลักษณะคันทางที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 5.40 แสดงขนาดและระยะของคั่นทางที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว
วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 5.41 แสดงขนาดและระยะของคั่นทางที่ใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัว
วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ขั้นตอนการคำนวณเริ่มจากการจำลองการก่อสร้างคันทางสายหลัก (Main Road) แล้วทำการก่อสร้างคันทาง กู่ขนาน (Frontage Road) และเปิดการจราจร ด้วยน้ำหนักแผ่กระจาย 1 ตัน/ตร.ม. แล้ววิเคราะห์การทรุดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้น ขั้นตอนการคำนวณประกอบด้วย ขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอนคือ การก่อสร้างและการทรุดตัวในช่วงเวลาที่กำหนด การคำนวณในขั้นตอนหลักสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การก่อสร้าง ขั้นตอนนี้ใช้หาค่าการคำนวณ Plastic Calculation (Load Advancement Ultimate Level) แล้วใส่จำนวนวันที่ทำการก่อสร้างใน Staged Construction หรือ Total Multipliers และทำการใส่ชั้นส่วนที่ก่อสร้างหรือใส่น้ำหนักกระทำตามต้องการในหมวดของ Defile หรือ Multipliers ตามลำดับ

2. การทรุดตัว ขั้นตอนนี้ใช้หาค่าการคำนวณ Consolidation (Automatic) ใส่จำนวนวันใน Ultimate Time Interval หรือถ้าต้องการทราบการทรุดตัวสุดท้ายเลือกการคำนวณเป็น The Minimum Pressure 0.01 kN/m^2

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงดังตารางที่ 5.36 รายละเอียดการวิเคราะห์การทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 5.36 ขั้นตอนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ลำดับที่	ขั้นตอนการคำนวณ	จำนวนวัน
1	ก่อสร้างเสาคอนกรีต	5
2	การอัดตัวคายน้ำ	50
3	ก่อสร้างชั้นทรายถมชั้นที่ 1	5
4	การอัดตัวคายน้ำ	12
5	ก่อสร้างชั้นทรายถมชั้นที่ 2	5
6	การอัดตัวคายน้ำ	8
7	ก่อสร้างชั้นพื้นผิวทาง	44
8	เปิดการจราจรด้วยน้ำหนัก 10 กิโลปาสกาล	-
9	การอัดตัวคายน้ำ	517
10	การอัดตัวคายน้ำจนแรงคั้นน้ำในโพรง มีค่าเท่ากับ 0.01 กิโลปาสกาล	-

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการคาดคะเนที่ให้ผลเป็นค่าการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่งของเสาเข็มที่พิจารณาค่าการทรุดตัวสุดท้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 12.51 – 221.17 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 16.31 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวสุดท้ายกับวิธี Asaoka (1978) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 195.32 – 226.18 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 201.37 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงดังตารางที่ 5.37

ตารางที่ 5.37 ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
(กรณีแบบจำลอง 2 คันทง)

หมายเลขแผ่น วัดการทรุดตัว	ค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation)	
	(ซม.)	เทียบกับวิธี Asaoka (%)
No.1	12.92	200.58
No.2	17.24	226.18
No.3	12.51	186.20
No.4	17.75	195.32
No.5	16.28	200.73
No.6	21.17	199.20
เฉลี่ย	16.31	201.37

ค่าการทรุดที่ 537 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 10.22 – 15.46 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.59 ซม. เมื่อเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทรุดตัวในสนาม พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 150.14 – 188.06 % ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 162.49 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวที่ 537 วัน วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงดังตารางที่ 5.38

เมื่อคำนวณระยะเวลาการทรุดตัวหลักพบว่าใช้เวลาอยู่ระหว่าง 8.40 – 11.01 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.38 ปี เมื่อเปรียบเทียบเวลาการทรุดตัวที่ 99 % กับวิธี Asaoka (1978) โดยใช้ $c_{v,Field}$ พบว่าเวลาการทรุดตัวจากการคำนวณวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้ระยะเวลามากกว่าวิธี Asaoka (1978) เท่ากับ 5.3 เท่า ตารางแสดงผลการคำนวณระยะเวลาการทรุดตัวแสดงดังตารางที่ 5.39 และรูปที่ 5.42 – 5.47 แสดงการทรุดตัวตามเวลาจากการคำนวณวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

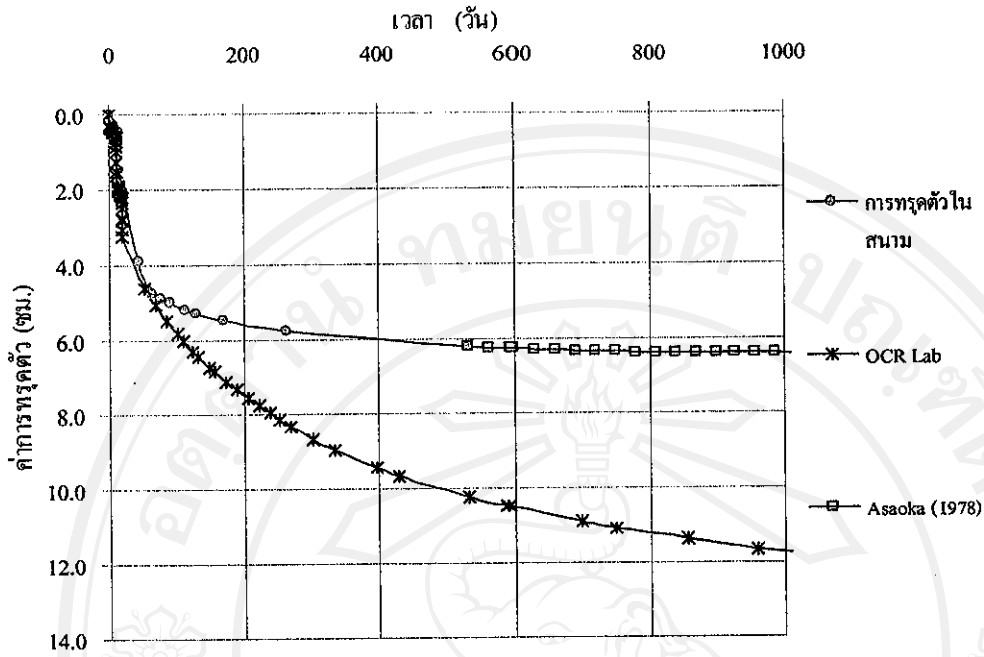
ตารางที่ 5.38 แสดงค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (กรณีแบบจำลอง 2 คันทง)

หมายเลขแผ่น วัดการทรุดตัว	ค่าการทรุดตัวที่ 537 วัน	
	(ซม.)	เทียบกับสนาม (%)
No.1	10.22	164.87
No.2	13.54	188.06
No.3	10.13	158.29
No.4	13.99	158.95
No.5	12.22	154.63
No.6	15.46	150.14
เฉลี่ย	12.59	162.49

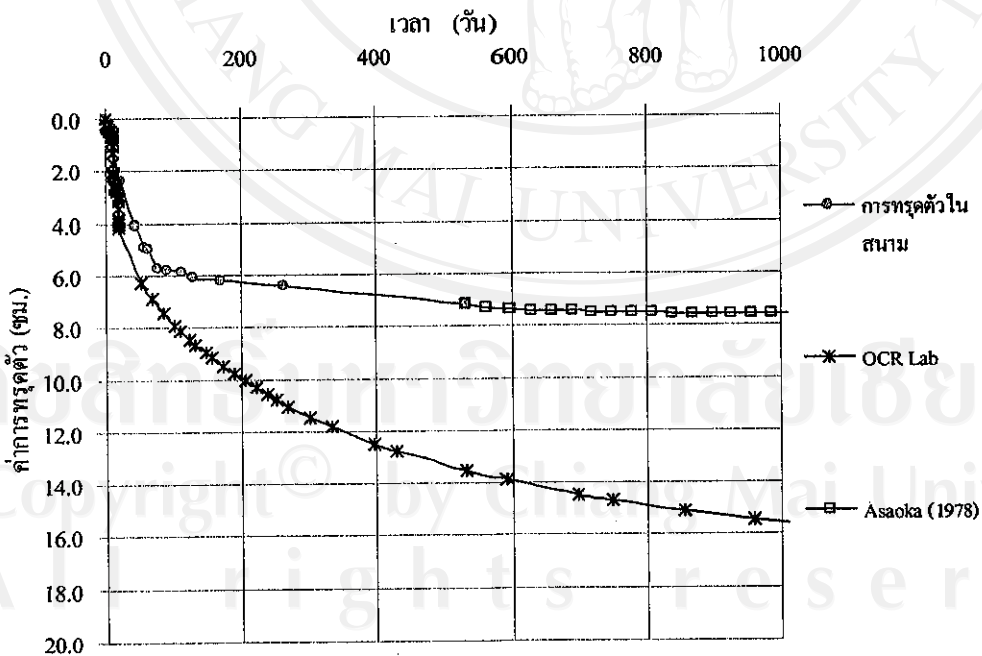
ตารางที่ 5.39 แสดงระยะเวลาการทรุดตัวที่ 99 % วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
(กรณีแบบจำลอง 2 คันทง)

หมายเลข แผ่นวัดการทรุดตัว	ระยะเวลาการทรุดตัว (ปี)	
	วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	วิธี Asaoka (1978) ใช้ $c_{v,Field}$ (99%)
No.1	8.40	2.08
No.2	8.40	2.25
No.3	8.74	2.21
No.4	8.74	1.30
No.5	11.01	1.41
No.6	11.01	1.42
ค่าเฉลี่ย	9.38	1.78

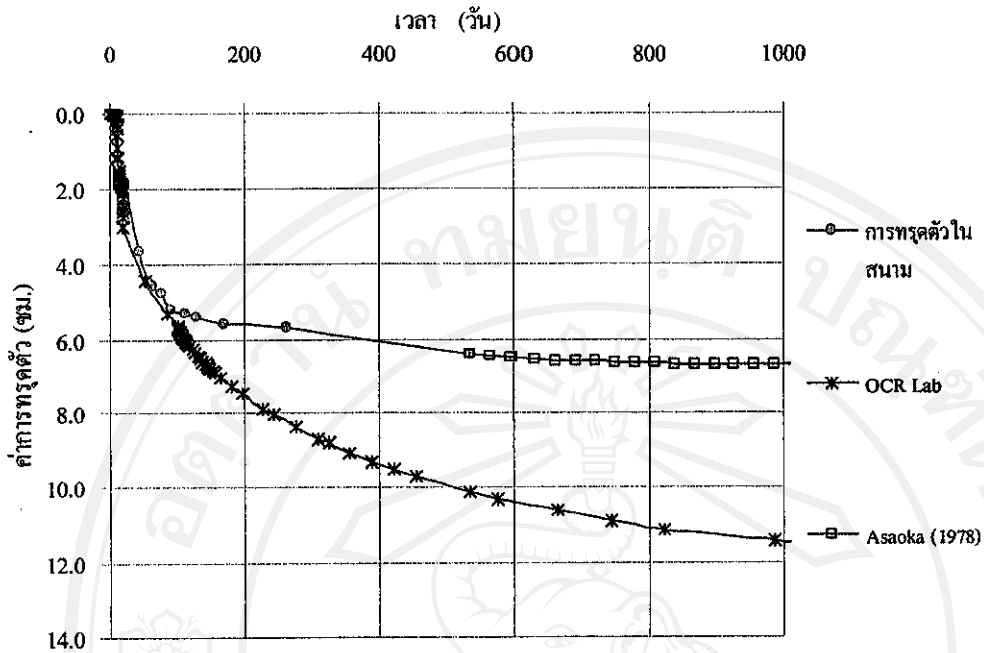
จากรูปที่ 5.42 – 5.47 สังเกตว่าช่วงการก่อสร้าง 100 วันแรก เส้นกราฟการทรุดตัวระหว่างสนามกับค่าจากการคาดคะเนมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อเวลาผ่านไป 300 วัน ค่าการทรุดตัวในสนามมีแนวโน้มการทรุดตัวที่ลดลงและไม่เปลี่ยนแปลงมาก ขณะที่ผลจากการคาดคะเนการทรุดตัวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีการทรุดตัวมากขึ้น



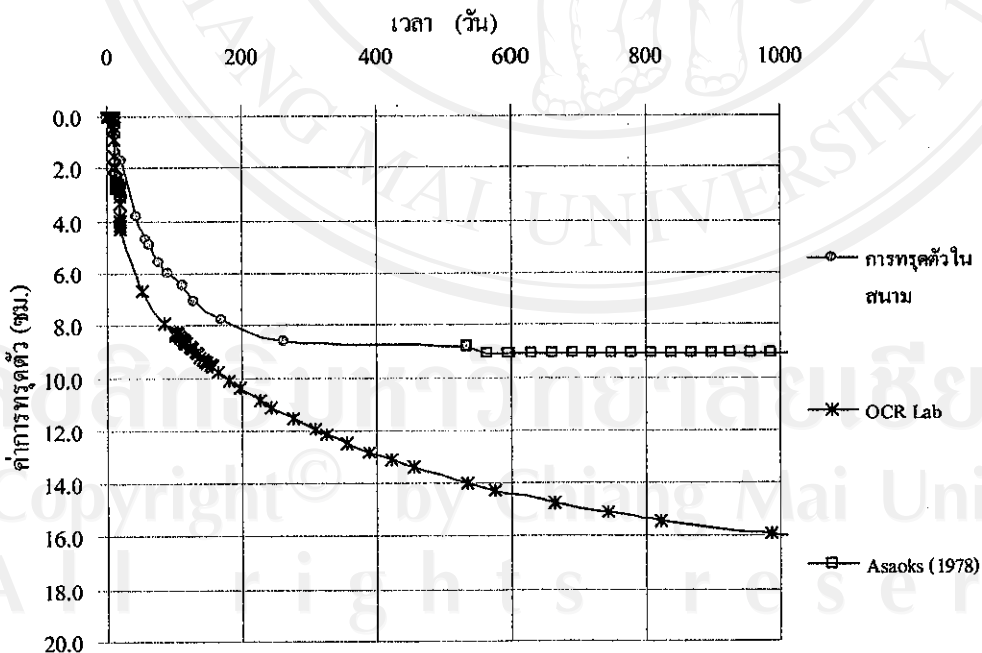
รูปที่ 5.42 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทรุดตัวจากสนามของ
 แผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.1 (กม. 0+800)



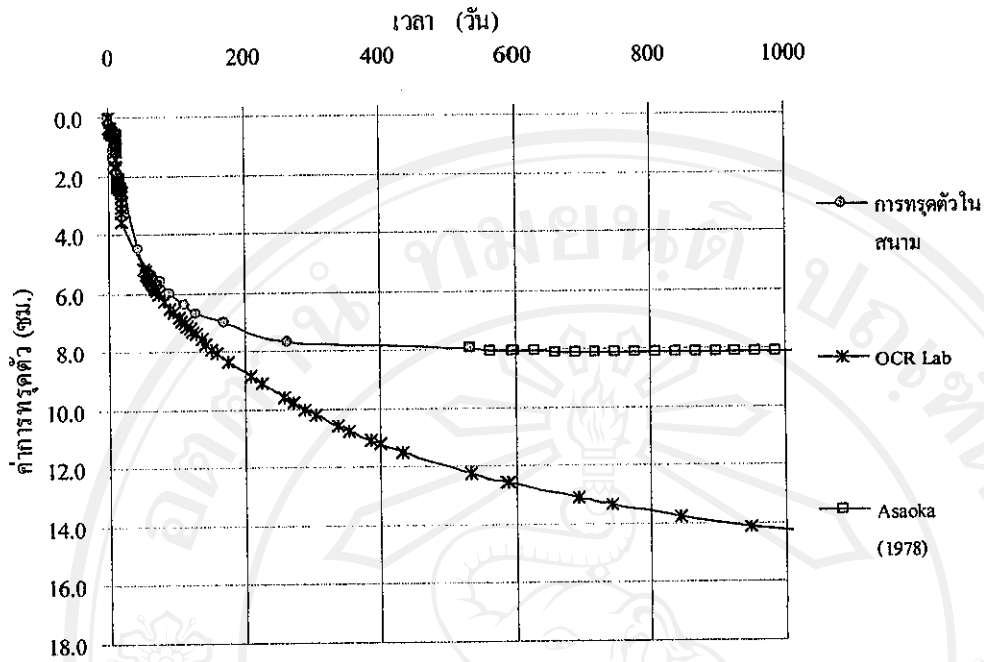
รูปที่ 5.43 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทรุดตัวจากสนามของ
 แผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.2 (กม. 0+800)



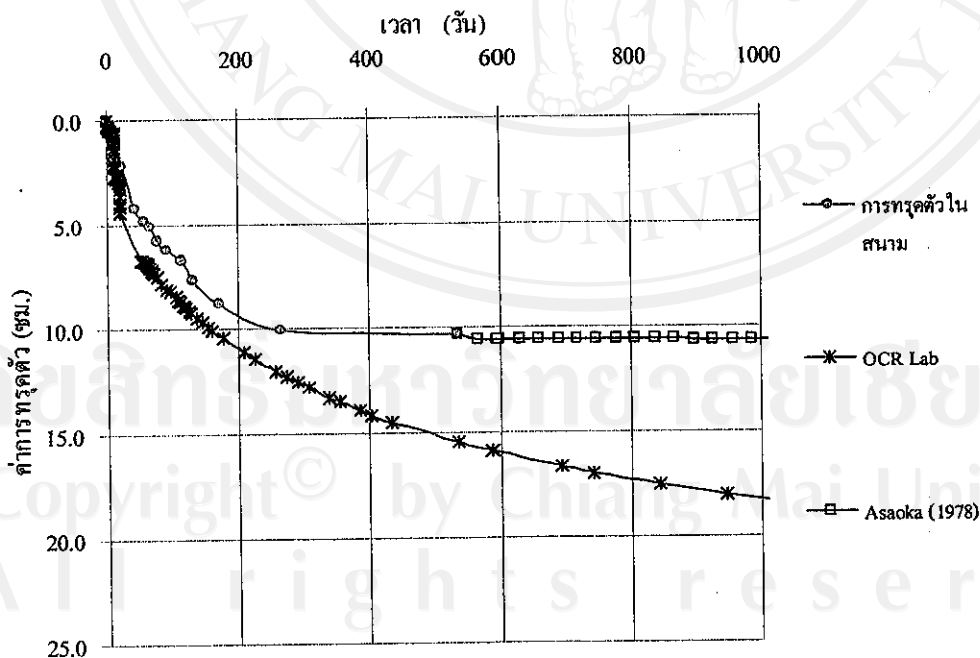
รูปที่ 5.44 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.3 (กม. 1+000)



รูปที่ 5.45 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทรุดตัวจากสนามของแผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.4 (กม. 1+000)

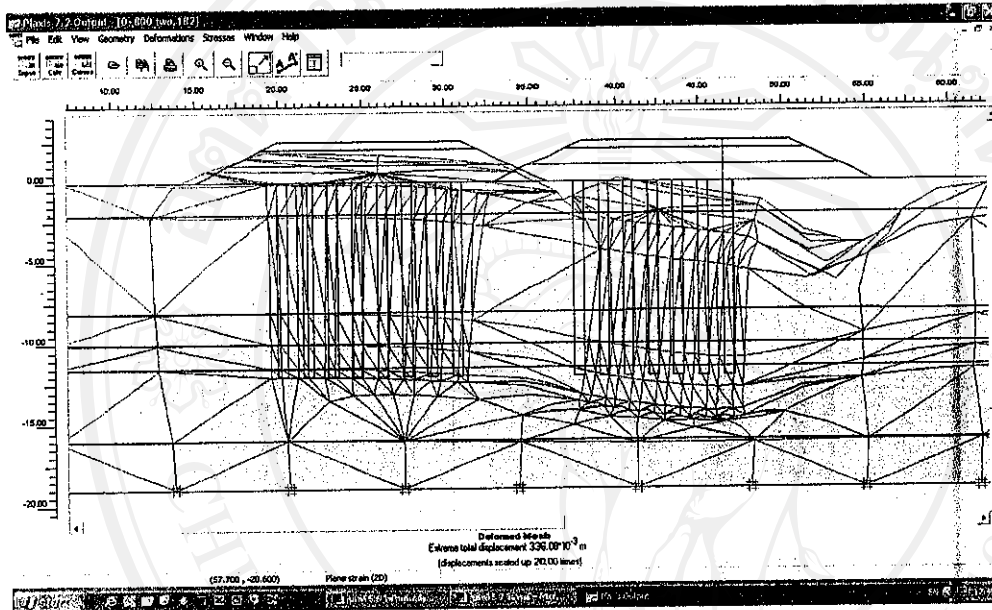


รูปที่ 5.46 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทรุดตัวจากสนามของ
 แผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.5 (กม. 1+100)

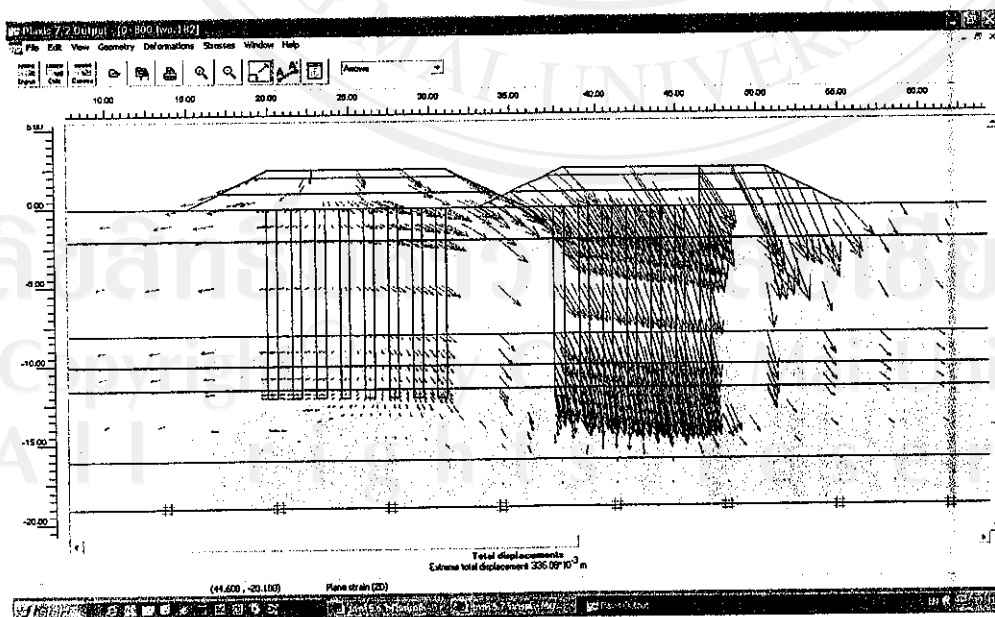


รูปที่ 5.47 การเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวตามเวลาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทรุดตัวจากสนามของ
 แผ่นวัดการทรุดตัวหมายเลข No.6 (กม. 1+100)

จากการวิเคราะห์พบว่าบริเวณแผ่นนวดการหลุดตัวบริเวณใกล้ทางเท้า (หมายเลขที่ No.1, No.3 และ No.5) มีการหลุดตัวที่มากกว่าแผ่นนวดการหลุดตัวบริเวณใกล้ทางเท้า (หมายเลขที่ 2, 4 และ 6) ซึ่งพบว่าบริเวณเสาเข็มที่บริเวณใกล้ทางเท้ามีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักจากโครงสร้างคันทางบริเวณทางเท้า ส่งผลทำให้เกิดการหลุดตัวบริเวณดังกล่าวมากกว่าบริเวณที่ไกลออกไป ลักษณะการเคลื่อนตัวแสดงดังรูปที่ 5.48 – 5.9

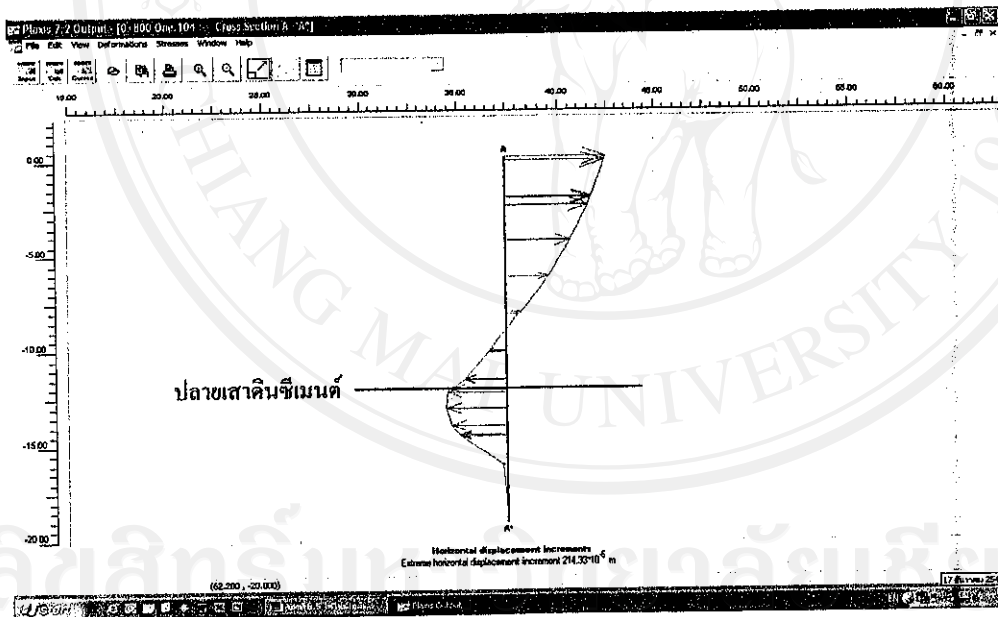


รูปที่ 5.48 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของโครงข่ายจากการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

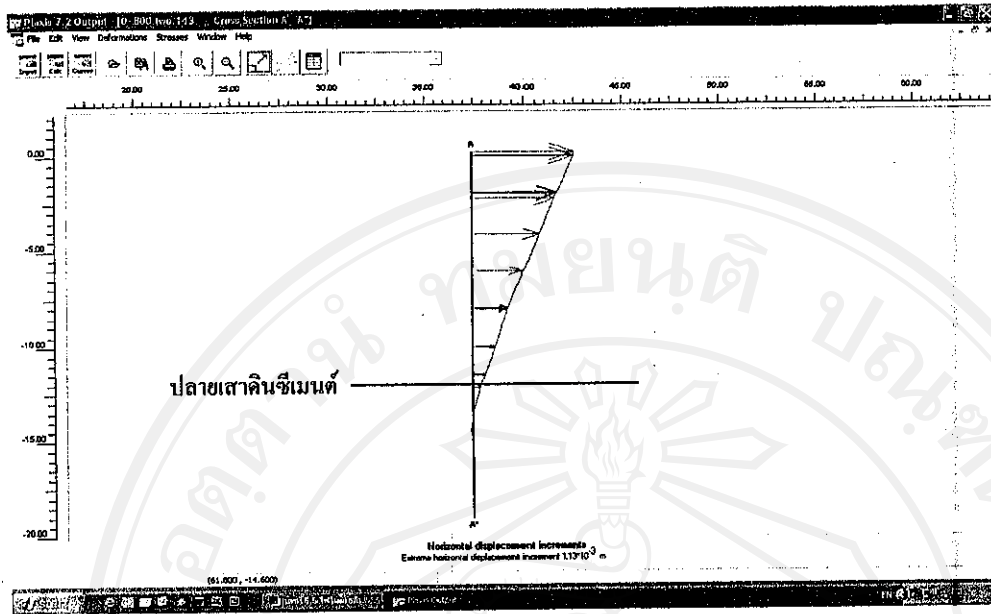


รูปที่ 5.49 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของคันทางจากการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

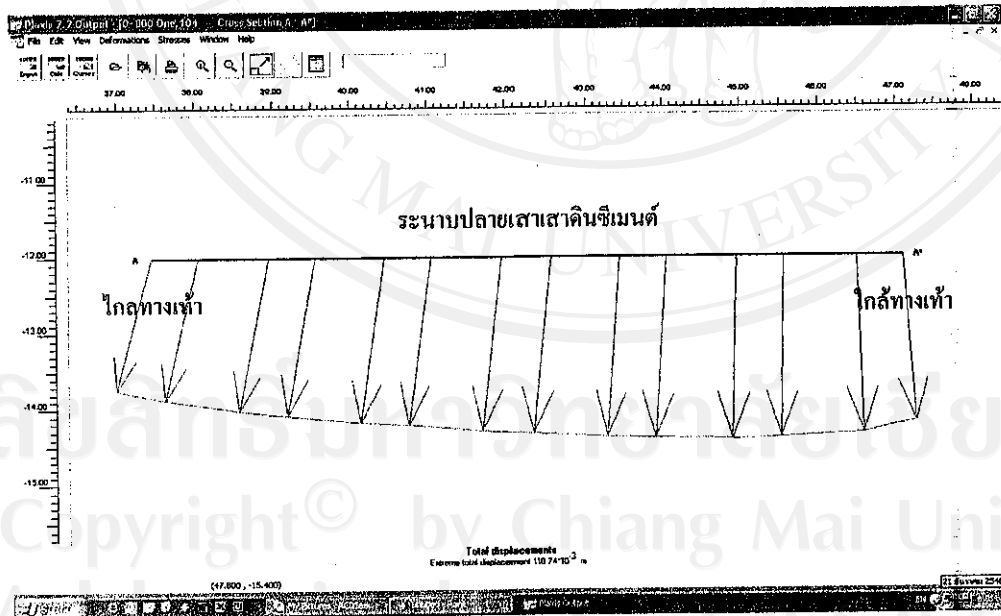
ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวโดยใช้แบบจำลองคันทงคู่ขนาน (Frontage Road) เพียงคันทงเดียวผลการคาดคะเนพบว่า ค่าการทรุดตัวของแผ่นวัดการทรุดตัวบริเวณใกล้ทางเท้า (No. 2, No.4 และ No.6) จะได้ค่าการทรุดตัวที่น้อยกว่าการวิเคราะห์ที่ใช้แบบจำลอง 2 คันทง และค่าการทรุดตัวของแผ่นวัดการทรุดตัวที่อยู่ไกลทางเท้า (No.1, No.3 และ No.5) จะให้ผลค่าการทรุดตัวที่มากกว่าแบบจำลองที่ใช้ 2 คันทง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า บริเวณคันทงได้เสาคินซีเมนต์ของแบบจำลองคันทงเดี่ยวบริเวณใกล้ทางเท้า มีการเคลื่อนตัวด้านข้างมากกว่าบริเวณไกลทางเท้า และเมื่อพิจารณาแบบจำลอง 2 คันทงซึ่งบริเวณคันทงได้คันทงมีเสาคินซีเมนต์ของคันทงสายหลักด้านคันทงไม่ให้มีการเคลื่อนตัวด้านข้าง จึงทำให้มีการทรุดตัวที่ลดลง ส่วนในบริเวณแผ่นวัดการทรุดตัวที่อยู่ใกล้ทางเท้า เกิดการเคลื่อนตัวของคันทงได้เสาคินซีเมนต์ซึ่งบริเวณนี้ไม่มีเสาคินซีเมนต์ด้านทานการเคลื่อนตัว จึงทำให้มีการทรุดตัวที่มากกว่านอกจากนี้ น้ำหนักกดทับจากทางเท้าด้านบนไม่มีเสาคินซีเมนต์อยู่ด้านใต้จึงทำให้มีการทรุดตัวมากขึ้น ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้างแสดงดังรูปที่ 5.50 – 5.53



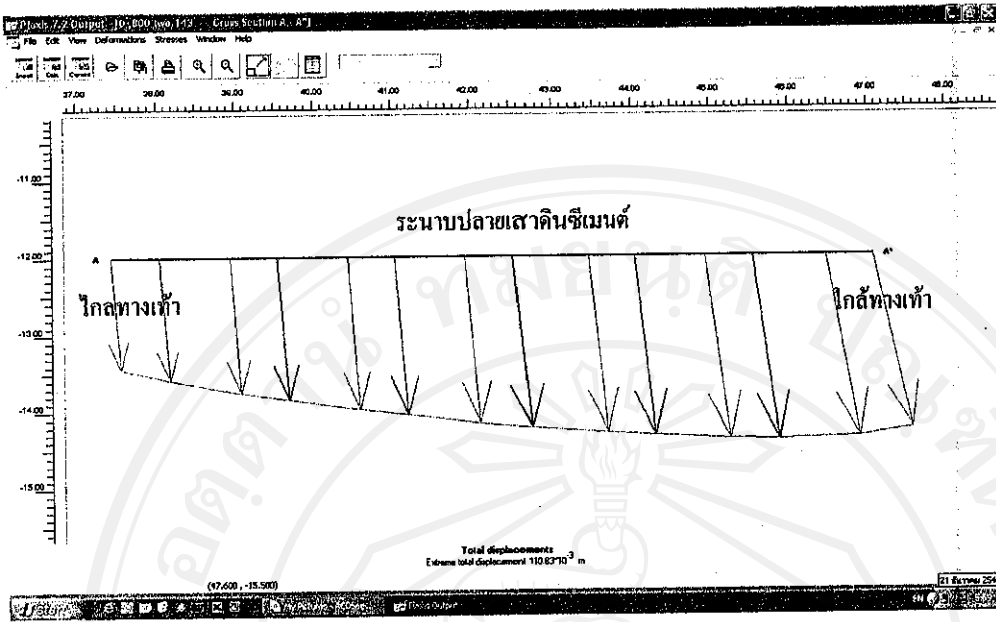
รูปที่ 5.50 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบของเสาเข็มคันทงได้คันทงริมสุด บริเวณใกล้ทางเท้าของคันทงคู่ขนาน (Frontage Road) คำนวณโดยใช้แบบจำลองคันทงเดี่ยว



รูปที่ 5.51 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบของเสาเข็มดินซีเมนต์ต้นริมสุด บริเวณไถลทางเท้าของคันทางคู่ขนาน (Frontage Road) คำนวณ โดยใช้แบบจำลอง 2 คันทาง



รูปที่ 5.52 แสดงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นบริเวณปลายเสาเข็มดินซีเมนต์ของคันทางคู่ขนาน (Frontage Road) คำนวณ โดยใช้แบบจำลองคันทางเดียว



รูปที่ 5.53 แสดงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นบริเวณปลายเสาเข็มดินซีเมนต์ของคันทงคู่ขนาน (Frontage Road) คำนวณโดยใช้แบบจำลอง 2 คันทง

เมื่อพิจารณาผลการคาดคะเนการทรุดตัวหลักระหว่างแบบจำลองคันทงเดี่ยว และแบบจำลองแบบ 2 คันทงให้ผลแตกต่างกันไม่มากและให้ผลมีแนวโน้มตามกัน นอกจากนี้การคาดคะเนให้ผลที่มีค่ามากกว่าการทรุดตัวในสนามมาก ผลการคาดคะเนแสดงดังตารางที่ 5.40

ตารางที่ 5.40 แสดงค่าการทรุดตัวโดยใช้แบบจำลองคันทงเดี่ยวและ 2 คันทง

แผ่นวัด การทรุดตัว	ค่าการทรุดตัวหลัก (ซม.)		
	Asaoka (1978)	คันทงเดี่ยว	2 คันทง
No.1	6.2	13.92	12.92
No.2	7.2	16.63	17.24
No.3	6.4	13.36	12.51
No.4	8.8	16.40	17.75
No.5	7.9	18.47	16.28
No.6	10.3	20.69	21.17
ค่าเฉลี่ย	7.8	16.58	16.31

ผลการวิเคราะห์การทรุดตัว ในช่วงของเสาเข็มดินซีเมนต์พบว่าการทรุดตัวอยู่ในช่วง 1.96 – 4.35 ซม. ค่าเฉลี่ยในทุกกรณีเท่ากับ 2.84 ซม. คิดเป็นร้อยละ 10.97 – 25.22 % ของการทรุดตัวที่เกิดขึ้นและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.1 % ส่วนการทรุดตัวในส่วนของคินใต้เสาเข็มดินซีเมนต์ในทุกกรณีพบว่ามีค่าการทรุดตัวอยู่ในช่วงระหว่าง 10.42 – 18.85 ซม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.47 ซม. ของการทรุดตัวที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ 74.78 – 89.03 % ของการทรุดตัวที่เกิดขึ้นและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.59 % ผลการคาดคะเนการทรุดตัวในช่วงของเสาเข็มดินซีเมนต์และในส่วนของคินใต้เสาเข็มดินซีเมนต์แสดงดังตารางที่ 5.42

ตารางที่ 5.41 แสดงค่าการทรุดตัวในช่วงของคินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์และคินใต้เสาเข็มดินซีเมนต์

แผ่นวัด การทรุดตัว	ค่าการทรุดตัว (ซม.)	
	ช่วงคินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์	คินใต้เสาเข็มดินซีเมนต์
No.1	1.96	10.96
No.2	4.35	12.89
No.3	2.09	10.42
No.4	4.16	13.60
No.5	2.16	14.12
No.6	2.32	18.85
ค่าเฉลี่ย	2.84	13.47

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลจากหน่วยแรงประสิทธิผลบริเวณ กม. 0+800 พบว่าก่อนก่อสร้างชั้นทรายถมหน่วยแรงประสิทธิผลด้านล่างของเสาเข็มดินซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.1 กิโลปาสกาล และหลังจากการสิ้นสุดการทรุดตัวหลัก พบว่าหน่วยแรงประสิทธิผลบริเวณส่วนทางด้านบนเสาเข็มและด้านล่างเสาเข็มมีค่าเฉลี่ยเป็น 160.0 และ 197.9 กิโลปาสกาล เมื่อพิจารณาหน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่มขึ้นบริเวณปลายด้านล่างของเสาเข็มควรมีเท่ากับ 131.8 กิโลปาสกาล จากการวิเคราะห์ พบว่ามีหน่วยแรงประสิทธิผลกระจายหายไปในช่วงบริเวณของคินที่ปรับปรุงคุณภาพมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.2 กิโลปาสกาล หรือ 21.4 % ของทั้งหมด ผลค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ยจากการคำนวณบริเวณ กม. 0+800 แสดงดังตารางที่ 5.43

ตารางที่ 5.42 แสดงค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ยจากการคำนวณบริเวณ กม. 0+800

หน่วยแรงประสิทธิผล (กิโลปาสกาล)	
ด้านล่างเสาเข็ม ⁺	66.1
บนเสาเข็ม [*]	160.0
ด้านล่างเสาเข็ม [*]	197.9
มีหน่วยแรงเพิ่มขึ้นที่ปลายด้านล่าง [*]	131.8 (100 %)
หน่วยแรงหายไปในช่วงเสาเข็ม [*]	28.2 (21.4 %)

หมายเหตุ + ก่อนเริ่มก่อสร้างชั้นทรายถม, * สิ้นสุดการทรุดตัวหลัก

ผู้วิจัยได้พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการทรุดตัวของกันทางพบว่าเมื่อเปลี่ยนค่า OCR สามารถทำให้ค่าการทรุดตัวลดลง ผู้วิจัยได้ทดลองเปลี่ยนค่า OCR ในชั้นดินที่มีระดับความลึกต่ำกว่า 8.0 เมตรเป็น 1.3, 1.5 และ 1.7 เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าค่าการทรุดตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 14.71, 11.07 และ 9.15 ซม. หรือ 182.70, 137.5 และ 113.6% ของค่าการทรุดตัวในสนามตามลำดับ เห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนค่า OCR เพิ่มขึ้นในช่วง 1.3 - 1.7 ทำให้ค่าการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับสนามมากขึ้น เมื่อพิจารณาข้อมูลดินในอดีตช่วงระดับความลึกต่ำกว่า 8 เมตรพบว่าค่า OCR ที่ค่าอยู่ระหว่าง 1.3 - 1.7 ดังนั้นค่า OCR มีผลต่อการคาดคะเนการทรุดตัวในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่า OCR เท่ากับ 1.7 ให้ค่าการทรุดตัวที่มีความใกล้เคียงกับสนามมากที่สุด รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.

5.3 วิจัยผลกระทบการคาดคะเนการทรุดตัว

การวิเคราะห์การทรุดตัววิธี Terzaghi (1967) และ Broms (1975) ค่าการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้เป็นการทรุดตัวเฉลี่ยของคันทาง วิธี Poulos (1980) Asaoka (1978) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้เป็นการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์ในแต่ละตำแหน่ง จากการวิเคราะห์พบว่าวิธี Broms (1975) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ให้ผลการคาดคะเนการทรุดตัวมีค่าที่สูงมากกว่า 180 % ส่วนวิธี Asaoka (1978) วิธี Terzaghi (1967) กรณีน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยมและวิธี Poulos (1980) ให้ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับสนามมีผลแตกต่างจากสนามประมาณ 6 %

การเลือกวิธีการคาดคะเนการทรุดตัวเพื่อให้ผลที่แม่นยำ ควรเลือก Asaoka (1978) วิธี Poulos (1980) และวิธี Terzaghi (1967) กรณีน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม แต่ถ้าต้องการคาดคะเนการทรุดตัวที่ให้ผลที่มีความปลอดภัยสูงมากควรเลือกใช้วิธี Broms (1975) กรณีน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยม และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Asaoka (1978) เป็นวิธีที่ให้ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับค่าการทรุดตัวในสนามมากเนื่องมาจากวิธีการใช้ข้อมูลการทรุดตัวและเวลาในสนามมาวิเคราะห์

การคาดคะเนอัตราการทรุดตัว โดยทั่วไปใช้ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ($c_{v,Lab}$) จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อใช้ค่า $c_{v,Lab}$ มาคำนวณ ผลที่ได้มีอัตราการทรุดตัวน้อยกว่าสนามมาก วิธีการของ Asaoka (1978) สามารถคำนวณย้อนกลับหาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำในสนาม ($c_{v,Field}$) ได้ ซึ่งจากงานวิจัยสามารถคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างค่า $c_{v,Field}$ ต่อ ค่า $c_{v,Lab}$ ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.36 เท่า และเมื่อนำค่า $c_{v,Field}$ มาใช้ในการคาดคะเนอัตราการทรุดตัวกับวิธีต่างๆพบว่าให้ผลอัตราการทรุดตัวที่ใกล้เคียงกับสนามมาก

การคาดคะเนการทรุดตัว Terzaghi (1967) กรณีน้ำหนักรูปสี่เหลี่ยมซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทรุดตัวในสนามมาก ซึ่งมีค่าการทรุดตัวมากกว่าในสนามประมาณ 6 % วิธีการนี้เป็นวิธีการคาดคะเนการทรุดตัวที่สะดวก รวดเร็วและเป็นวิธีการที่คุ้นเคย

การคาดคะเนการทรุดตัววิธี Broms (1984) ให้ผลการทรุดตัวมากกว่าในสนามมากประมาณ 80 % เนื่องจากการทรุดตัวประกอบด้วยทรุดตัวในส่วนของดินที่ปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ และดินใต้เสาเข็มดินซีเมนต์ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าในส่วน of เสาเข็มดินซีเมนต์มีการทรุดตัวเป็น 22.47 % จากการทรุดตัวทั้งหมด ซึ่งผลการวิเคราะห์วิธี Broms (1984) มีค่าการทรุดตัวในส่วน of ดินที่ปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์เท่ากับ 51.23 % จากการทรุดตัวทั้งหมด ซึ่งน่าจะเป็นค่าที่มากเกินไป ดังนั้นวิธีนี้ควรลดค่าการทรุดตัวในส่วน of เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อให้ค่าการทรุดตัวที่ใกล้เคียงกับสนามมากขึ้น นอกจากนี้ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลที่ส่งถ่ายลงบนเสาเข็มดินซีเมนต์เนื่องจากน้ำหนักดินคันทาง จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

พบว่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่ส่งถ่ายลงปลายเสาเข็มด้านล่างมีค่าลดลงประมาณ 21.4 % ซึ่งจากการคาดคะเนการทรุดตัววิธี Broms (1984) มีสมมุติฐานว่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่อยู่ด้านบนส่งถ่ายลงมาที่ปลายด้านล่างของเสาเข็มซีเมนต์ทั้งหมด ดังนั้นถ้าจะให้ผลการคาดคะเนมีค่าที่ใกล้เคียงกับสนามมากยิ่งขึ้น ควรลดหน่วยแรงประสิทธิผลที่ปลายด้านล่างของเสาเข็มซีเมนต์

ตารางที่ 5.43 แสดงค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) จากการคาดคะเนวิธีต่างๆ

วิธีการคาดคะเน	การทรุดตัวหลัก (ซม.)						
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	ค่าเฉลี่ย
Asaoka (1978)	6.44	7.62	6.72	9.09	8.11	10.63	8.10
Terzaghi (1967) รูปสี่เหลี่ยม	6.41	6.41	9.53	9.53	9.60	9.60	8.51
Broms (1974) รูปสี่เหลี่ยม	12.56	12.56	14.96	14.96	15.34	15.34	14.29
Poulos (1980)	8.08	6.40	7.90	6.40	7.90	7.29	7.33
ไฟไนต์เอลิเมนต์	12.92	17.24	12.51	17.75	16.28	21.17	16.31

ตารางที่ 5.45 แสดงการเปรียบเทียบค่าการทรุดตัวหลัก (Primary Consolidation) จากการคาดคะเนวิธีต่างๆกับวิธี Asaoka (1978)

วิธีการคาดคะเน	การทรุดตัวหลัก (ซม.)						
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	ค่าเฉลี่ย
Asaoka (1978)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Terzaghi (1967) รูปสี่เหลี่ยม	99.50	84.10	141.80	104.80	118.40	90.30	106.48
Broms (1974) รูปสี่เหลี่ยม	195.00	164.80	222.60	164.60	189.10	144.30	180.07
Poulos (1980)	125.50	84.00	117.60	70.40	97.40	68.60	93.92
ไฟไนต์เอลิเมนต์	200.60	226.20	186.20	195.30	200.70	199.20	201.37

วิธี Poulos (1980) ให้ผลการทรุดตัวเฉลี่ยมีความใกล้เคียงกับสนามมากที่สุดซึ่งได้ค่าการทรุดตัวน้อยกว่าในสนามประมาณ 6 % การพิจารณาผลกระทบของคันทางด้านข้าง วิธี Poulos (1980) พบว่าคันทางด้านข้างมีผลทำให้เกิดการทรุดตัวเพิ่มขึ้น 38.83 % ดังนั้นการคำนวณวิธีนี้ควรพิจารณาผลกระทบของคันทางใกล้เคียง จึงจะได้ผลการคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับการทรุดตัวในสนาม

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แม้ว่าจะให้ผลการคาดคะเนการทรุดตัวที่มีค่ามากกว่าในสนามประมาณ 2 เท่า แต่เป็นวิธีการที่แสดงถึงพฤติกรรมหลายอย่างที่วิธีการอื่น ๆ ไม่มี เช่นการทรุดตัวบริเวณเสาเข็มดินซีเมนต์ที่อยู่ใกล้ทางเท้าซึ่งมีการทรุดตัวที่มากกว่าบริเวณกึ่งกลางของคันทาง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากน้ำหนักบริเวณทางเท้ากดทับ ส่งผลให้บริเวณเสาเข็มดินซีเมนต์ที่อยู่บริเวณใกล้ทางเท้าเกิดการทรุดตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้ตรวจวัดในสนาม

นอกจากนี้ตัวแปรที่มีผลต่อการคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือค่า OCR ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการคาดคะเนการทรุดตัววิธีไฟไนต์เอลิเมนต์น่าจะให้ผลที่มีค่าใกล้เคียงกับสนาม เมื่อพิจารณาการเก็บตัวอย่างดินในสนามพบว่าใช้กระบอบบางปลายเปิดในการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งอาจมีผลต่อการรบกวนดินและอาจทำให้การหาค่า OCR มีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างดินเพื่อให้ตัวอย่างถูกรบกวนน้อยที่สุดควรใช้กระบอบเก็บตัวอย่างแบบลูกสูบ