



ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการทรุดตัวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1.1. การเลือกใช้แบบจำลองดิน

แบบจำลองดิน ในปัจจุบันนี้มีมากมายหลายแบบด้วยกัน ซึ่งมีความแตกต่างกัน ในการทำนายพฤติกรรมของดิน แบบจำลองที่มีความซับซ้อนสูงส่วนมากต้องการ Parameter ที่ใช้ในการคำนวณมาก เช่นกัน แบบจำลองที่นิยมใช้ในวิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับวิศวกรรมปฐพี สามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

4.1.1.1. Elastic model คือแบบจำลองดินที่จำลองให้ดินเป็นวัสดุแบบอริสติกอย่างเดียวไม่มีจุดคลาก (Yield Point) เกิดขึ้นในมวลดิน

4.1.1.2. Plastic model คือแบบจำลองดินที่จำลองดินให้เป็นวัสดุแบบพลาสติกอย่างเดียว เช่น Rigidly Perfectly Plastic model (RPP)

4.1.1.3. Elasto-plastic Model คือแบบจำลองดินที่จำลองดินให้เป็นทั้งวัสดุแบบอริสติกและแบบพลาสติก ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 แบบดังนี้

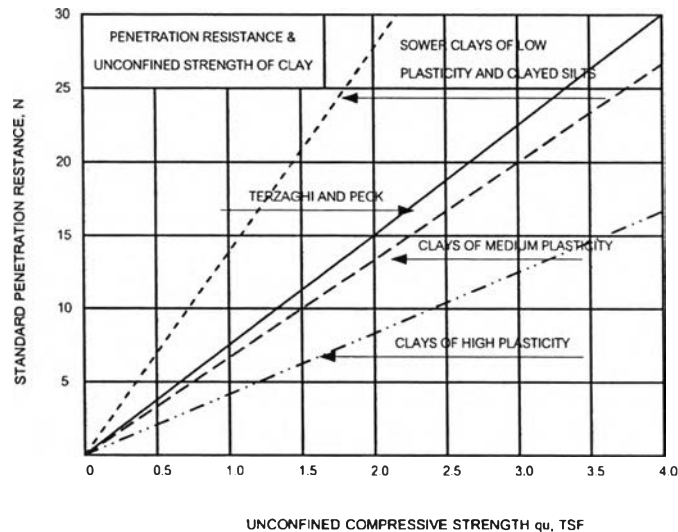
แบบจำลองที่จำลองให้ดินเป็นวัสดุแบบอริสติก ในช่วงที่ความเครียดที่ไม่เกินจุดคลาก และจำลองให้ดินเป็นวัสดุแบบพลาสติก เมื่อความเครียดเกินจุดคลากไปแล้ว เช่น แบบจำลอง Elastic-Perfectly Plastic Model (Mohr Coulomb Model) เป็นแบบจำลองดินที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก ในที่นี้ใช้การวิเคราะห์โดยเลือกแบบจำลองดินเป็น Mohr Coulomb Model

4.1.2. การเลือก Input Parameter

สำหรับแบบจำลองดินของ Elastic-Perfectly Plastic Model (Mohr-Coulomb) เป็นแบบจำลองดินแบบ Elastic-Perfectly Plastic เป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ได้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ สามารถหาได้โดยไม่ต้องใช้เทคนิคขั้นสูงในการเตรียมตัวอย่างทดลอง เหมือนกับแบบจำลองประเภทอื่น ๆ สามารถใช้ได้กับทั้งดินเหนียวและดินทราย แบบจำลองนี้ ต้องการ Input Parameter ทั้งหมดดังนี้

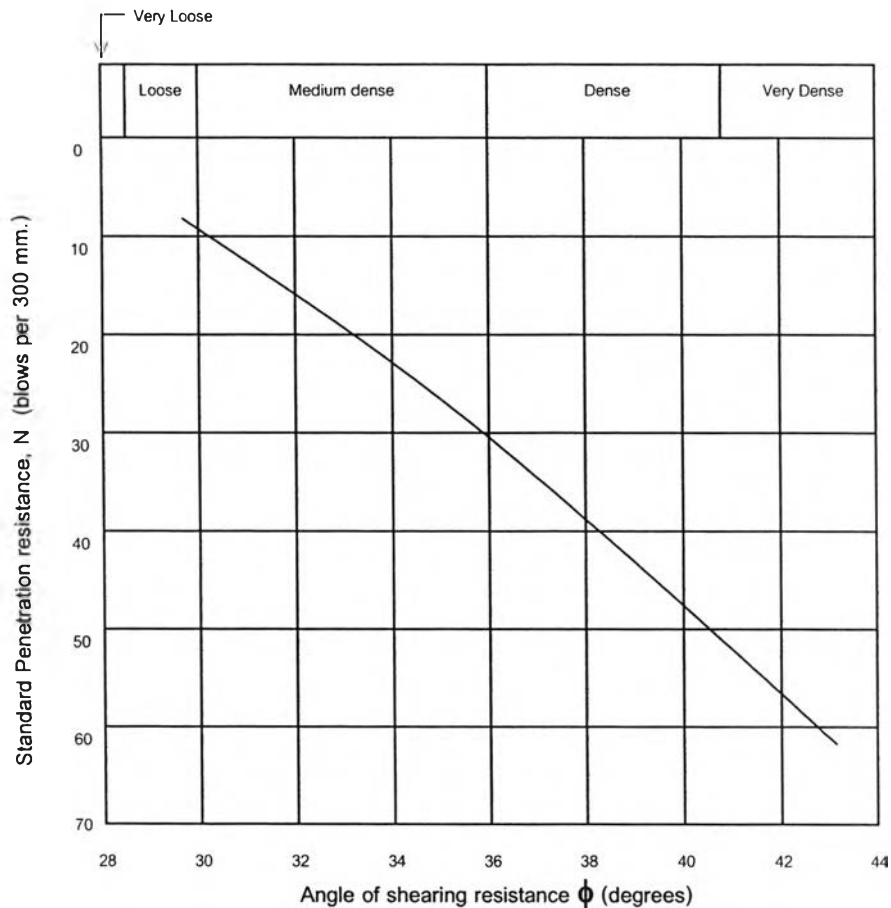
4.1.2.1. กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Undrained Shear Strength)

การหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินสามารถหาได้ จากการทดสอบทะลุทะลวงแบบมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) เป็นการทดสอบหาค่า S_u จากค่า N โดยวิธีประมาณ (empirical) ในดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) ค่า N อาจมีความสัมพันธ์กับ q_u รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ที่เสนอโดย DM-7 ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้สามารถใช้ได้เฉพาะแห่ง



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_u กับ N เสนอโดย DM 7-1

อีกวิธีการหนึ่งสามารถประมาณค่า N จากการทดสอบเพื่อหาค่ามุมด้านทานแรงเฉือน (Friction Angle) ของดินทราย โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Peck Hanson และ Thornburn (1973) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง friction angle of granular soil กับ N – SPT Peck, Hanson and Thorburn, 1973

ในดินเหนียวกรุงเทพฯ ชั้นแรก วีระนันท์ (2526) ได้หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง S_u กับ N และพบว่าความสัมพันธ์ขึ้นกับ วิธีการทดสอบเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นค่าที่ได้ในสนามโดยไม่ต้องปรับแก้ ที่ค่า S_u ดังนี้

$$S_u = 0.685N \text{ (t/m}^2\text{)}$$

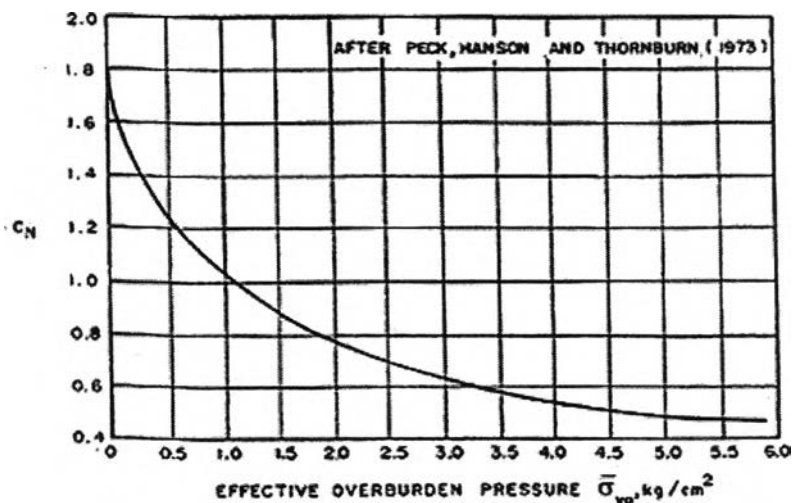
ในการหามุมต้านทานแรงเฉือนประสิทธิผลของชั้นทรายจากค่า N สามารถหาได้โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Peck Hanson และ Thornburn ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยค่า N ที่จะนำไปใช้จะต้องทำการปรับแก้ เนื่องจาก ผลของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ในสภาพธรรมชาติ ($\sigma_{V_0}' = 1 \text{ t/ft}^2$) ในตำแหน่งที่ทำการทดสอบ ดังนี้

$$N' = C_N N$$

โดยที่

C_N เป็นตัวปรับแก้ ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ SPT ภายใต้หน่วยแรงกดดินมาตรฐาน

N คือค่า N จากการทดสอบ SPT



รูปที่ 4.3 ตัวปรับแก้ C_N จากค่า $\bar{\sigma}_{v0}$ สำหรับหาค่า N'

4.1.2.2. สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (K_0)

สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (K_0) จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นพลาสติกของดิน (Plasticity Index, PL) และประวัติหน่วยแรงประสิทธิผลในแรงดึง ซึ่งจะแสดงในรูปของสัดส่วนการอัดแน่นเกินตัว (Over Consolidation Ratio, OCR)

ในงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ชินวุฒิ (2543) ได้วิเคราะห์ในการวิเคราะห์ค่า K_0 ในดินกรุงเทพฯ ได้ค่า K_0 ของดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 0.75 และของดินเหนียวแข็งเท่ากับ 0.65 ตามลำดับ

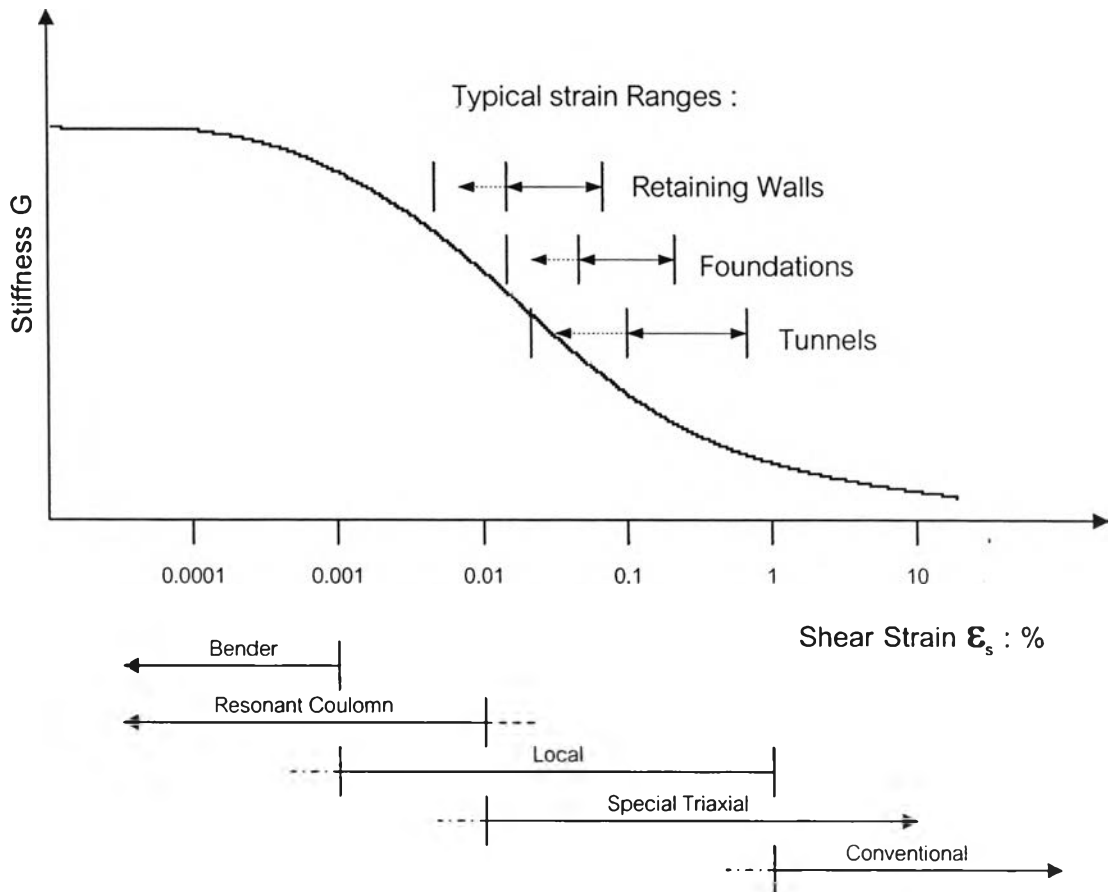
4.1.2.3. ค่าโมดูลัสของดิน (Soil Modulus)

สามารถหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสของดินในสภาพไม่ระบายน้ำของดินเหนียวได้จากการทดสอบ self boring pressure meter ซึ่งในการวิเคราะห์แบบ Shot term โดยใช้ Total Stress Analysis จะใช้ค่าโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ (E_u) โดยที่ค่า E_u จะมีผลต่อค่าโมดูลัสแรงเฉือนของดิน (Shear Modulus) ตามทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Theory) ดังนี้

$$G = \frac{E_u}{2(1+\nu)}$$

- G คือ โมดูลัสแรงเฉือนของดิน
- E คือ โมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำ
- ν คือ อัตราส่วนปริมาตรของของดิน ในสภาพไม่ระบายน้ำ $\nu = 0.5$

Mair (1993) ได้ทำการวิจัยพบว่าค่าโมดูลัสแรงเฉือน (G) จะสัมพันธ์กับ shear strain (ε) ของดิน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะงานก่อสร้าง โดยในงานก่อสร้างค่า ε จะอยู่ระหว่าง 0.1 - 1.0% ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.4 แสดงค่า Stiffness ของดินกับระดับการเสียรูป Mair, 1993

ในงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ชินวุฒิ (2543) ได้วิเคราะห์การทรุดตัว โดยโปรแกรม Finite Element ทำการวิเคราะห์กลับ (Back Analysis) หาค่า E_u/S_u ในดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็งชั้นแรกและเสนอค่า ดังนี้

$$\begin{array}{l} \text{ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)} \\ \text{ดินเหนียวแข็ง (First Stiff Clay)} \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{E_u}{S_u} = 240 \\ \frac{E_u}{S_u} = 480 \end{array}$$

4.2 การทำการวิเคราะห์

4.2.1 ข้อมูลแนวหน้าตัดที่ Station ต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์

หน้าตัดที่ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดิน เลือกใช้ในบริเวณหน้าตัดที่มีการขุดเจาะอุโมงค์ส่งน้ำผ่านสิ่งกีดขวางใต้ดิน โดยเลือกหน้าตัดเพื่อทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินและโครงสร้างใต้ดิน แบ่งออกเป็น 4 บริเวณด้วยกันคือ

- Obstruction บริเวณ Pipe Support ของการประปานครหลวง
- Obstruction บริเวณ Oil pipe line, Fiber optic cable และ รางรถไฟ
- Obstruction บริเวณ North Park Underpass
- Obstruction บริเวณต่อม่อเสาะเชื่อมสะพานดอนเมืองโทลเวย์

สามารถสรุปแนวหน้าตัดและตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์บริเวณ Obstruction ทั้ง 4 จุดได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูล ตำแหน่ง Station ที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูล

ตำแหน่ง Obstruction	แนวหน้าตัดที่ทำการวิเคราะห์	Station
1. Pipe Support	Pipe Support Below Ground	STA 1+949
	Pipe Support Above Ground	STA 1+959 , STA 1+961, STA 1+983, STA 1+985
2. Railway Zone	Fiber Optic Cable	STA 2+076
	Oil Pipe Line	STA 2+078
	Railway	STA 2+115 - STA 2+ 122
3. Underpass	Underpass North park	STA 2+140 , STA2+148
4. Toll way	Toll Way	STA 2+210 - STA 2+216

4.2.2 ข้อมูลดินและข้อมูลสังเกตขวางใต้ดินที่ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Finite Element Method

จากการขุดเจาะสำรวจดินในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแห่งนี้ สามารถนำข้อมูลดินและโครงสร้างใต้ดินที่ได้ มาหาค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ การเคลื่อนตัวของดินและโครงสร้างใต้ดินโดยด้วยวิธี Finite Element Method โดยข้อมูลนั้นถูกแบ่งออกเป็น 4 ชุดข้อมูลด้วยกันคือ

a. บริเวณ Pipe Support (Station 1+949, Station 1+959 , Station 1+961 , Station 1+983 , Station 1+985)

บริเวณ Pipe Support ใช้ข้อมูลดินจากหลุมเจาะ ที่ Station 2+031 เนื่องจากเป็นหลุมเจาะที่อยู่ใกล้เคียงที่สุด มีลักษณะชั้นดินในชั้นแรกส่วนใหญ่เป็นดินถม (Made Ground, Medium or Stiff clay) มีความหนาประมาณ 2 เมตร ในชั้นต่อไปเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft dark grey clay) มีความหนาประมาณ 12 m. ชั้นที่ 3 เป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Stiff silty clay brown) มีความหนาประมาณ 3 เมตร ในชั้นถัดไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Very stiff silty clay brown) มีความหนาประมาณ 2 เมตร ถัดไปเป็นชั้นทรายแน่น (Dense to very dense silty sand) มีความหนาประมาณ 4 – 6 เมตร ในชั้นสุดท้ายเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Silty clay) มีความหนาประมาณ 12 m. สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลดินบริเวณ Pipe Support (Station 1+949, Station 1+959 , Station 1+961 , Station 1+983 , Station 1+985)

Depth	Description	Wn %	γ_t	N-SPT blow/ft	Su kN/m ²	E_{ref} kn/m ²	Poisson ratio	friction angle
			kN/m ³					
0 – 1.8	Medium or Stiff clay	18	18.1	-	20	9420	0.495	0
1.8 - 13.4	Soft dark grey clay	50	16.2	-	13	2943	0.495	0
13.4 - 17	Stiff silty clay brown	25	19.2	17	116.5	54834	0.495	0
17 - 19.3	Very stiff silty clay brown	22	19.6	19	130	61285	0.495	0
19.3 - 28	Dense silty sand	20	19.6	40	-	55500	0.3	33
28 - 40	Silty clay	20	20.6	30	206	96800	0.495	0

ที่บริเวณ Pipe Support มีการขุดเจาะอุโมงค์ส่งน้ำลอดใต้แนวเสาเข็มรับโครงสร้าง Pipe Support โดยแบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณีด้วยกันคือกรณีที่ 1 โครงสร้างบนผิวดิน (Foundation

above ground) และกรณีที่ 2 โครงสร้างใต้ดิน (Foundation below ground) ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element นั้นสามารถสรุปค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 Material properties of the Pipe Support (Above Ground)

Parameter	Unit	Cab beam	Circular Pile	Driven Pile	Composite Segment
Type of behaviour	-	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Normal stiffness (EA)	kN/m	1.2×10^7	5.94×10^6	2.57×10^6	6.85×10^6
Flexural rigidity (EI)	kNm^2/m	3.6×10^5	1.34×10^5	2.63×10^4	4.75×10^4
Equivalent thickness (d)	m	0.6	0.6	0.6	0.156
Weight (w)	kN/m/m	14.12	6.04	2.62	49.27
Poisson's ratio (ν)	-	0.2	0.2	0.2	0.2

ตารางที่ 4.4 Material properties of the Pipe Support (Below Ground)

Parameter	Unit	Cab beam	Driven Pile	Segment composite
Type of behaviour	-	Elastic	Elastic	Elastic
Normal stiffness (EA)	kN/m	4.0×10^7	3.54×10^6	6.85×10^6
Flexural rigidity (EI)	kNm^2/m	1.33×10^7	3.61×10^4	4.75×10^4
Equivalent thickness (d)	m	2	0.35	0.156
Weight (w)	kN/m/m	47.08	3.60	49.27
Poisson's ratio (ν)	-	0.2	0.2	0.2

b. บริเวณ Fiber Optic, Oil Pipe Line and Rail way Embankment (Station 2+076, Station 2+078, Station 2+115 – Station 2+122)

ในบริเวณนี้ใช้ข้อมูลดินจากหลุมเจาะ ที่ Station 2+031 เช่นเดียวกับบริเวณ Pipe support เนื่องจากเป็นหลุมเจาะที่อยู่ใกล้เคียงที่สุด ลักษณะชั้นดินในชั้นแรกเป็นดินถม (Made Ground, Medium or Stiff clay) มีความหนาประมาณ 2 เมตร ในชั้นต่อไปเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft dark grey clay) มีความหนาประมาณ 12 m.อยู่ที่ระดับ 1.8 – 13.4 m. ชั้นที่ 3 เป็นชั้นดินเหนียว

แข็งปานกลาง (Stiff silty clay brown) มีความหนาประมาณ 3 เมตร อยู่ที่ระดับ 13.4 – 17 m. ในชั้นถัดไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Very stiff silty clay brown) มีความหนาประมาณ 2 เมตร อยู่ที่ระดับ 17 – 19.3 m. ถัดไปเป็นชั้นทรายแน่น (Dense to very dense silty sand) มีความหนาประมาณ 4 – 6 เมตร อยู่ที่ระดับ 19.3 - 28 m. ในชั้นสุดท้ายเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Silty clay) มีความหนาประมาณ 12 m. อยู่ที่ระดับ 28 - 40 m. สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลดินบริเวณ Fiber Optic, Oil Pipe Line and Railway Embankment

Depth	Description	Wn %	γ_t	N-SPT blow/ft	Su kN/m ²	E_{ref} kn/m ²	Poisson ratio	friction angle
			kN/m ³					
0 – 1.8	Medium or Stiff clay	18	18.1	-	20	9420	0.495	0
1.8 - 13.4	Soft dark grey clay	50	16.2	-	13	2943	0.495	0
13.4 - 17	Stiff silty clay brown	25	19.2	17	116.5	54834	0.495	0
17 - 19.3	Very stiff silty clay brown	22	19.6	19	130	61285	0.495	0
19.3 – 28	Dense silty sand	20	19.6	40	-	55500	0.3	33
28 - 40	Silty clay	20	20.6	30	206	96800	0.495	0

ที่บริเวณ Fiber Optic, Oil Pipe Line and Railway Embankment มีการขุดเจาะอุโมงค์ส่งน้ำลอดใต้แนวระบบสาธารณูปโภค มีการแบ่งพิจารณาเป็น 3 กรณีด้วยกันคือ กรณีที่แนวอุโมงค์ลอดใต้แนวท่อส่งน้ำมัน สายเคเบิลโทรศัพท์ และรางรถไฟ ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของโครงสร้างที่ทำกรวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6. Material properties of the Fiber Optic, Oil Pipe Line and Railway Embankment

Parameter	Unit	Oil Pipe Line	Fiber Optic	Railway Embankment	Segment Concrete
Type of behaviour	-	Elastic	Elastic	-	Elastic
Normal stiffness (EA)	kN/m	6.33×10^7	5.0×10^7	-	4.48×10^6
Flexural rigidity (EI)	kNm ² /m	1.02×10^8	1.67×10^6	-	8.39×10^3
Equivalent thickness (d)	m	1	1	-	0.15
Weight (w)	kN/m/m	23.52	58.86	-	43.53
Poisson's ratio (ν)	-	0.2	0.2	-	0.2

c. บริเวณทางลอดใต้ทางรถไฟ North Park Underpass (Station 2+140 , Station 2+148)

ในบริเวณนี้ใช้ข้อมูลดินจากหลุมเจาะ ที่ Station 2+031 เช่นเดียวกับกับบริเวณ Pipe support เนื่องจากเป็นหลุมเจาะที่อยู่ใกล้เคียงที่สุด ลักษณะชั้นดินในชั้นแรกเป็นดินถม (Made Ground, Medium or Stiff clay) มีความหนาประมาณ 2 เมตร ในชั้นต่อไปเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft dark grey clay) มีความหนาประมาณ 12 m.อยู่ที่ระดับ 1.8 – 13.4 m. ชั้นที่ 3 เป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Stiff silty clay brown) มีความหนาประมาณ 3 เมตร อยู่ที่ระดับ 13.4 – 17 m. ในชั้นถัดไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Very stiff silty clay brown) มีความหนาประมาณ 2 เมตร อยู่ที่ระดับ 17 – 19.3 m. ถัดไปเป็นชั้นทรายแน่น (Dense to very dense silty sand) มีความหนาประมาณ 4 – 6 เมตร อยู่ที่ระดับ 19.3 - 26 m. ในชั้นสุดท้ายเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (Silty clay) มีความหนาประมาณ 12 m. อยู่ที่ระดับ 26 - 40 m. สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลดินบริเวณ North Park Underpass

Depth	Description	Wn %	γ_t	N-SPT blow/ft	Su kN/m ²	E_{ref} kn/m ²	Poisson ratio	friction angle
			kN/m ³					
0 – 1.8	Medium or Stiff clay	18	18.1	-	20	9420	0.495	0
1.8 - 13.4	Soft dark grey clay	50	16.2	-	13	2943	0.495	0
13.4 - 17	Stiff silty clay brown	25	19.2	17	116.5	54834	0.495	0
17 - 19.3	Very stiff silty clay brown	22	19.6	19	130	61285	0.495	0
19.3 - 26	Dense silty sand	20	19.6	40	-	55500	0.3	33
26 - 40	Silty clay	20	20.6	30	206	96800	0.495	0

ที่บริเวณ North Park Underpass มีการขุดเจาะอุโมงค์ส่งน้ำตัดผ่านแนวเสาเข็ม โครงสร้างทางลอดใต้ทางรถไฟ โดยบริเวณนี้มีการเสริมความแข็งแรงให้กับฐานรากเดิมโดยใช้เทคนิคการทำ Underpinning ซึ่งสามารถสรุปค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์ ได้ดังตารางที่ 4.8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8. Material properties of the Underpass North Park

Parameter	Unit	Cab beam	Rectangle pile	I pile	Steel Segment
Type of behaviour	-	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
Normal stiffness (EA)	kN/m	1.0×10^7	1.86×10^6	8.27×10^5	2.35×10^6
Flexural rigidity (EI)	kNm ² /m	2.09×10^5	7.52×10^3	3.38×10^1	6.32×10^4
Equivalent thickness (<i>d</i>)	m	0.5	0.22	0.15	0.003
Weight (<i>w</i>)	kN/m/m	11.772	1.89	0.51	5.87
Poisson's ratio (<i>U</i>)	-	0.2	0.2	0.288	0.288

d. บริเวณดอนเมืองโทลล์เวย์ (Station 2+210 - Station 2+216)

บริเวณนี้ใช้ข้อมูลดินจากหลุมเจาะ ที่ Station 2+713 ลักษณะชั้นดินในชั้นแรก เป็นดินถม (Made Ground, Laterite soil) มีความหนาประมาณ 2 เมตร ในชั้นต่อไปเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft dark grey clay) มีความหนาประมาณ 12 m. อยู่ในระดับ 2.0 – 14.5 m. ชั้นที่ 3 เป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Stiff silty clay brown) มีความหนาประมาณ 3 เมตร อยู่ในระดับ 14.5 – 18 m. ถัดไปเป็นชั้นทราย (Medium dense silty sand) มีความหนาประมาณ 13 เมตร อยู่ในระดับ 18.0 – 31 m. ในชั้นสุดท้ายเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง (very stiff clay) มีความหนาประมาณ 5 m. อยู่ในระดับ 31 - 36 m. สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลดินบริเวณดอนเมืองโทลล์เวย์

Depth	Description	W _n	γ _t	N-SPT	S _u	E _{ref}	Poisson ratio	friction angle
		%	kN/m ³	blow/ft	kN/m ²	kn/m ²		
0 – 2.0	Fill Material (Laterite)	-	-	-	-	-	-	-
2.0 - 14.5	Soft dark grey clay	60	15.7	20	25	32255	0.495	0
14.5 – 17.8	Stiff silty clay brown	20	17.6	15	102.7	48382	0.495	0
17.8 – 31.2	Dense silty sand	18	19.6	30	-	41712	0.3	33
31.2 – 35.7	Very Stiff silty clay brown	20	18.6	40	274	129021	0.495	0

ที่บริเวณ ดอนเมืองโทลล์เวย์ มีการขุดเจาะอุโมงค์ส่งเข้าใกล้แนวเสาเข็มโครงสร้างทางยกระดับดอนเมืองโทลล์เวย์ ซึ่งสามารถสรุปค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์ได้ ดังตารางที่ 4.10 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10. Material properties of the Tollway

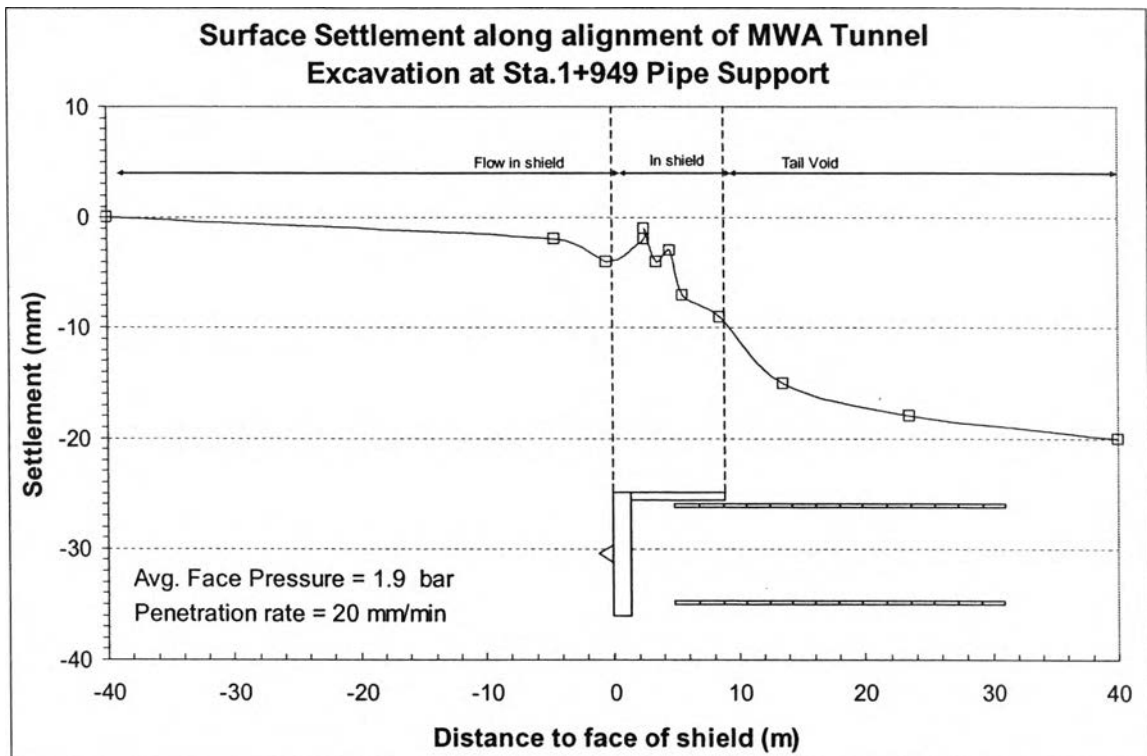
Parameter	Unit	Cab beam	Circular pile	Segment Concrete
Type of behaviour	-	Elastic	Elastic	Elastic
Normal stiffness (EA)	kN/m	3.0×10^7	3.92×10^6	4.48×10^6
Flexural rigidity (EI)	kNm^2/m	5.63×10^6	8.82×10^4	8.39×10^3
Equivalent thickness (d)	m	1.5	0.6	0.15
Weight (w)	kN/m/m	35.31	3.99	43.53
Poisson's ratio (ν)	-	0.2	0.2	0.2

4.3 การวิเคราะห์ผล

4.3.1. ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินบริเวณ Pipe Support

a. บริเวณ Pipe Support (Foundation Below Ground) STA 1+949

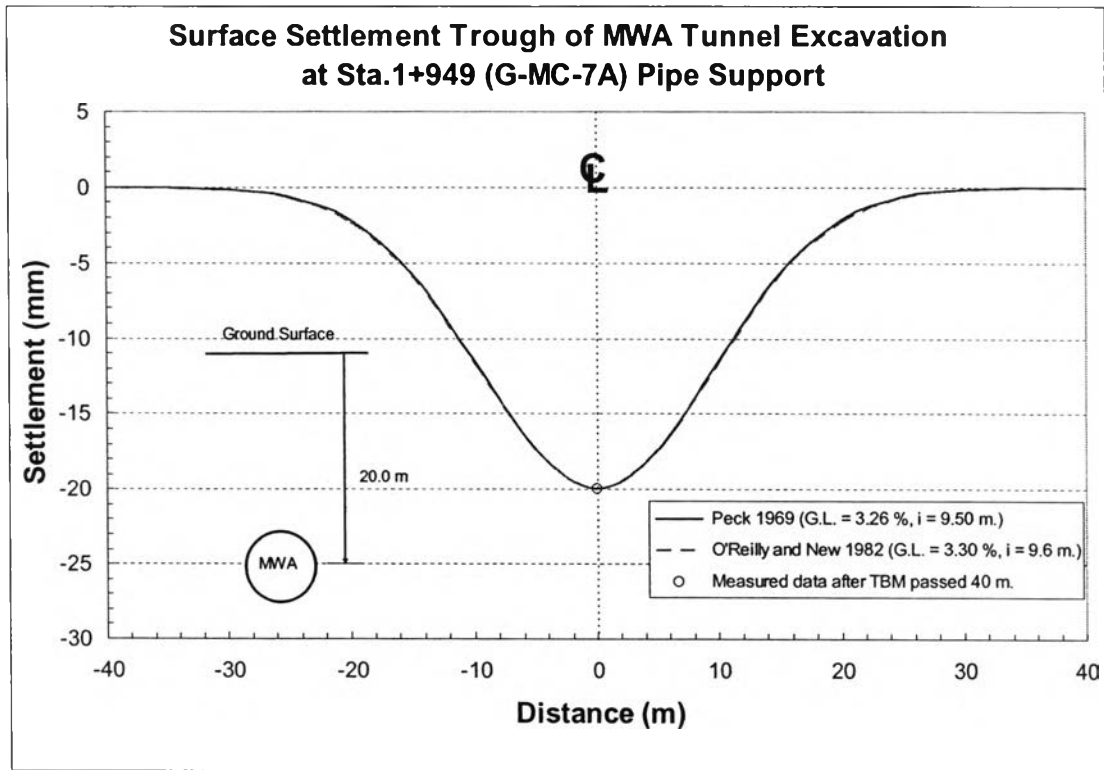
บริเวณ Pipe Support (Foundation Below Ground) ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน 1 จุด ที่ตำแหน่งหน้าตัด Station 1+949 จากผลการตรวจวัดการทรุดตัวของโครงสร้างที่ผิวดิน บริเวณ Pipe Support (Foundation Below Ground) พบว่าสามารถตรวจวัดค่าการทรุดตัวในแนวตั้งที่ผิวดินในสนามสูงสุดได้เท่ากับ 20 mm. ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการตรวจวัดการทรุดตัวในแนวตั้งที่ผิวดินที่บริเวณ Pipe Support (Foundation Below Ground - Station 1+949

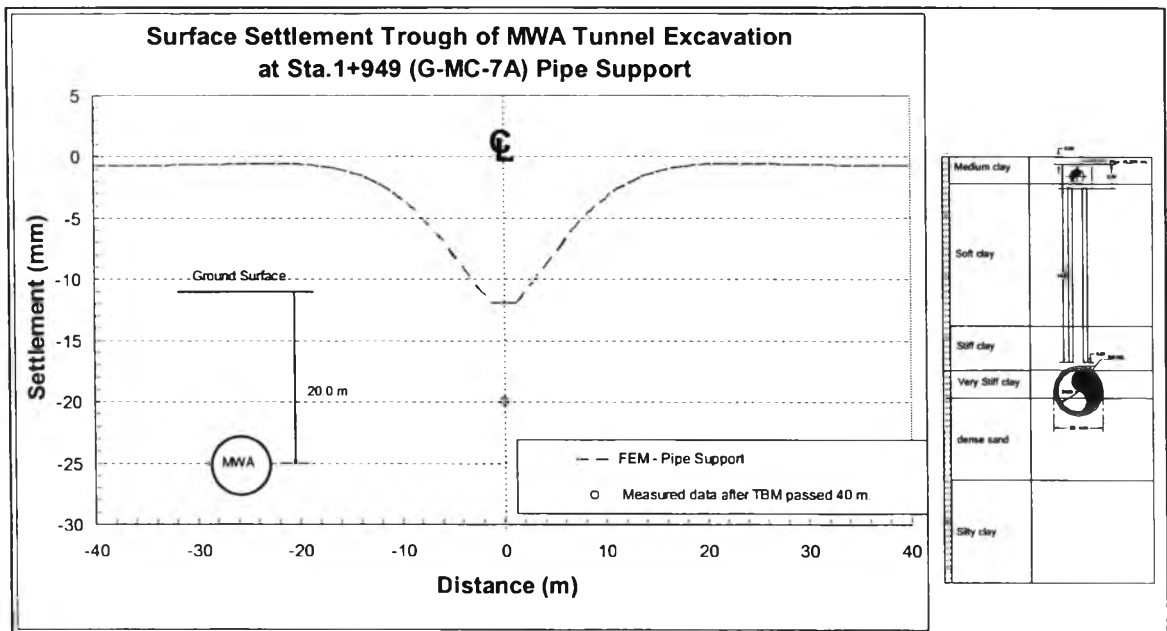
เมื่อนำค่าการทรุดตัวสูงสุดในแนวตั้งที่ผิวดินที่ตรวจวัดได้จากสนาม มา Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การทรุดตัวในแนวตั้งกับตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด จากแนวกึ่งกลาง

อุโมงค์ เราสามารถทราบค่าเปอร์เซ็นต์ Ground Loss ได้โดยการลอง Trial เส้นกราฟโดยใช้สมการของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982 ให้ได้ค่าการทรุดตัวสูงสุดใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริงในสนาม พบว่าสามารถค่าเปอร์เซ็นต์ Ground loss เท่ากับ 3.26% และ 3.30% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ ground loss ที่ได้จากสมการของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของโครงสร้างที่ฝังดิน โดยวิธี Finite Element Method พบว่าสามารถทำนายผลการทรุดตัวสูงสุดของโครงสร้าง Pipe Support (Foundation below Ground) ได้เท่ากับ 11.96 mm. ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดินโดยวิธี Finite Element Method ที่บริเวณ
โครงสร้าง Pipe Support (Foundation below Ground) Station 1+949

จากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดิน โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ สามารถทำนายค่าการทรุดตัวของฐานรากได้สูงสุดเท่ากับ 11.96 mm. เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวของดินที่วัดได้จริงจากสนาม จากเครื่องมือตรวจวัด Ground Settlement Marker ที่ Station 1+949 ซึ่งเกิดการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 20 mm. สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.11 จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าการทรุดที่ตรวจวัดจริงจากสนามนั้นมีค่ามากกว่าที่คำนวณไว้ ซึ่งผลความต่างนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก ความละเอียดในตรวจวัดข้อมูลในสนามมีน้อยเกินไป จำนวนแหล่งข้อมูลในจุดนี้มีการวัดค่าแค่เพียง 1 ตำแหน่งเท่านั้น

สำหรับฐานราก Pipe Support (Foundation Below Ground) ไม่ได้ทำการเสริมฐานรากเพิ่มเติมจากฐานรากเดิมแต่อย่างใด เนื่องจากฐานราก Pipe Support (Foundation Below ground) นั้นทำการออกแบบเพื่อรับแรงดันน้ำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแนวท่อเท่านั้น มิได้ออกแบบเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างท่อส่งน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1200 mm.

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมไฟไนท์อิเลเมนต์และข้อมูลที่วัดได้จากสนาม บริเวณ Pipe Support (Foundation Below Ground)

เครื่องมือตรวจวัด	การวิเคราะห์ (Analysis)	การตรวจวัดจริง (mm.)
	Exiting foundation (mm.)	
Ground Settlement Marker	11.96	20

b. บริเวณ Pipe Support (Foundation Above Ground) STA 1+959 - STA 1+985

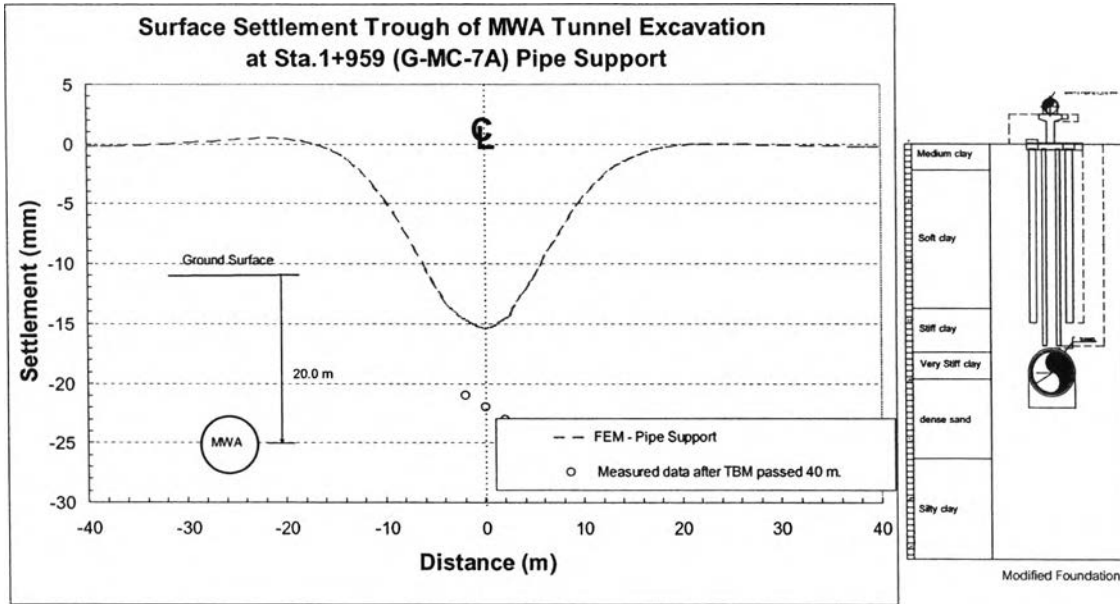
บริเวณ Pipe Support (Foundation Above Ground) ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวของโครงสร้าง Structural Surface Settlement Marker ทั้งสิ้น 4 หน้าตัด ที่ตำแหน่งหน้าตัด Station 1+959, Station 1+961, Station 1+963 และ Station 1+965 โดยแต่ละหน้าตัดทำการวัดค่าของข้อมูลหน้าตัดละ 3 จุด จากผลการตรวจวัดการทรุดตัวของโครงสร้างที่ผิวดินที่บริเวณ Pipe Support (Foundation Below Ground) พบว่าสามารถวัดการเคลื่อนตัวของดินในแนวตั้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 24.67 mm. สรุปค่าผลการตรวจวัดการทรุดตัวในแนวตั้งสูงสุด ที่แนวหน้าตัดทั้ง 4 แสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า Structural Surface Settlement ที่ Pipe Support (Above Ground)

Station	Settlement Max (mm)
Structural Surface Movement at Sta. 1+959	-22.00
Structural Surface Movement at Sta. 1+961	-22.33
Structural Surface Movement at Sta. 1+963	-24.67
Structural Surface Movement at Sta. 1+965	-24.33

ในบริเวณ Pipe Support ที่ตำแหน่งนี้มีการเสริมความแข็งแรงให้กับฐานรากเดิม โดยการเสริมฐานรากเสาเข็มเพิ่มเติม เพื่อช่วยรับน้ำหนักของท่อส่งน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1200 mm. แทนเสาเข็มเดิมในกรณีที่เสาเข็มเดิมเสียหายเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของโครงสร้างที่ผิวดิน โดยวิธี Finite Element Method พบว่าสามารถทำนายผลการทรุดตัวสูงสุดของโครงสร้าง Pipe Support (Foundation Above Ground) ได้เท่ากับ 15.4 mm. ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดินโดยวิธี Finite Element Method ที่บริเวณ
โครงสร้าง Pipe Support (Foundation Above Ground) Station 1+959

ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินโดยใช้โปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์ ค่าการทรุดตัวของฐานรากหลังจากการเสริมความแข็งแรงให้กับฐานราก (modified foundation) แล้ว สามารถทำนายค่าการทรุดตัวของฐานรากได้เท่ากับ 15.4 mm. จากนั้นนำค่ามาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวของดินที่วัดได้จริงจากสนาม จากเครื่องมือตรวจวัด Ground Settlement Marker โดยใช้ข้อมูลที่ 7 วัน หลังการเจาะอุโมงค์ผ่านแนวหน้าตัดที่ 1+959 ซึ่งเกิดการทรุดตัวสูงสุด 24 mm. โดยวัดที่แนวระยะห่างจากฐานรากเดิม 1 m.

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ค่าการทรุดที่ผิวดิน ที่ตรวจวัดได้จริงจากสนามนั้นมีค่ามากกว่าที่คำนวณไว้ ซึ่งผลความต่างนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก ความละเอียดในตรวจวัดข้อมูลในสนามมีไม่มากเพียงพอ จำนวนแหล่งข้อมูลใน 1 หน้าตัดนั้นมีการวัดค่าเพียง 3 จุดเท่านั้น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวติดตั้งแนวคลองจึงไม่สามารถติดตั้งเครื่องมือ Ground Surface Settlement ได้หลายจุดสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์และข้อมูลที่วัดได้จากสนาม บริเวณ Pipe Support (Foundation above Ground)

เครื่องมือตรวจวัด	การวิเคราะห์ (Analysis)	การตรวจวัด
	Modified foundation (mm.)	จริง (mm.)
Structural Settlement Marker	15.4	24

4.3.2. ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินบริเวณ Oil Pipe Line, Fiber Optic and Railway Embankment

แบ่งเป็นผลการวัดการเคลื่อนตัว 3 แบบด้วยกันคือ

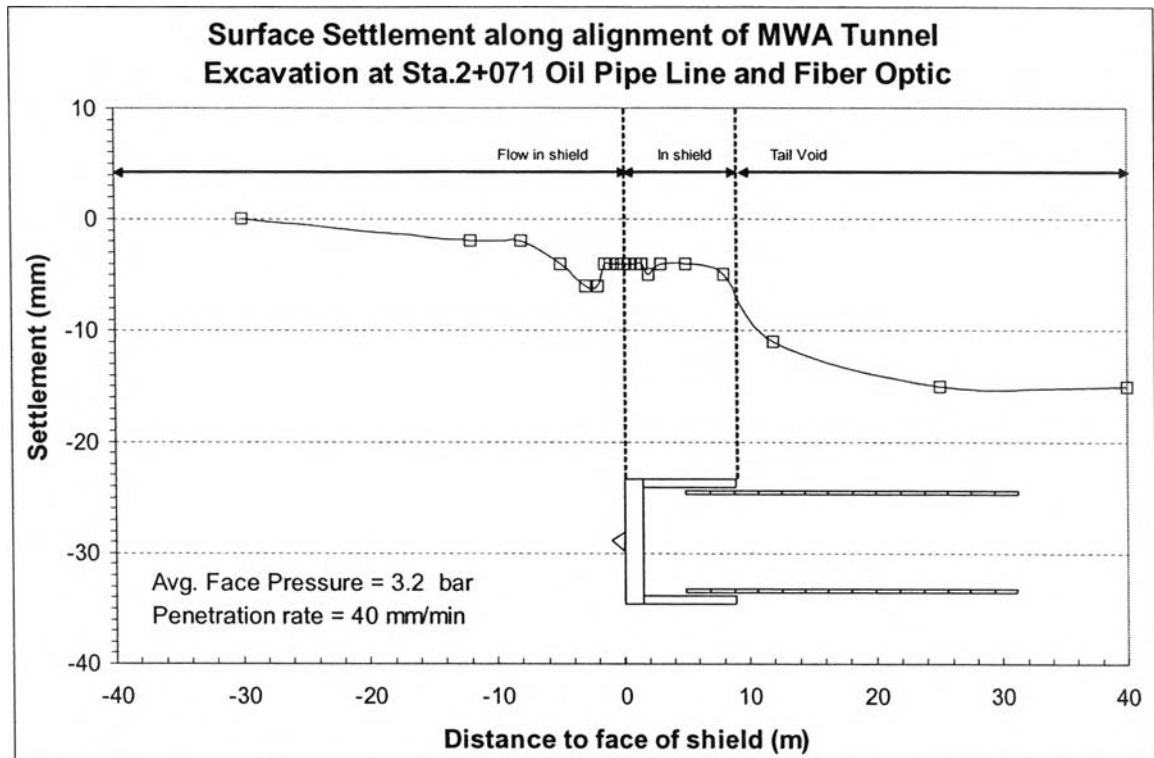
- ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวในแนวตั้งที่ผิวดิน
- ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน
- ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวในแนวตั้งที่ระดับความลึกต่าง ๆ

4.3.2.1 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวในแนวตั้งที่ผิวดิน

a. บริเวณ Oil Pipe line and Fiber Optic (STA 2+076, STA 2+078)

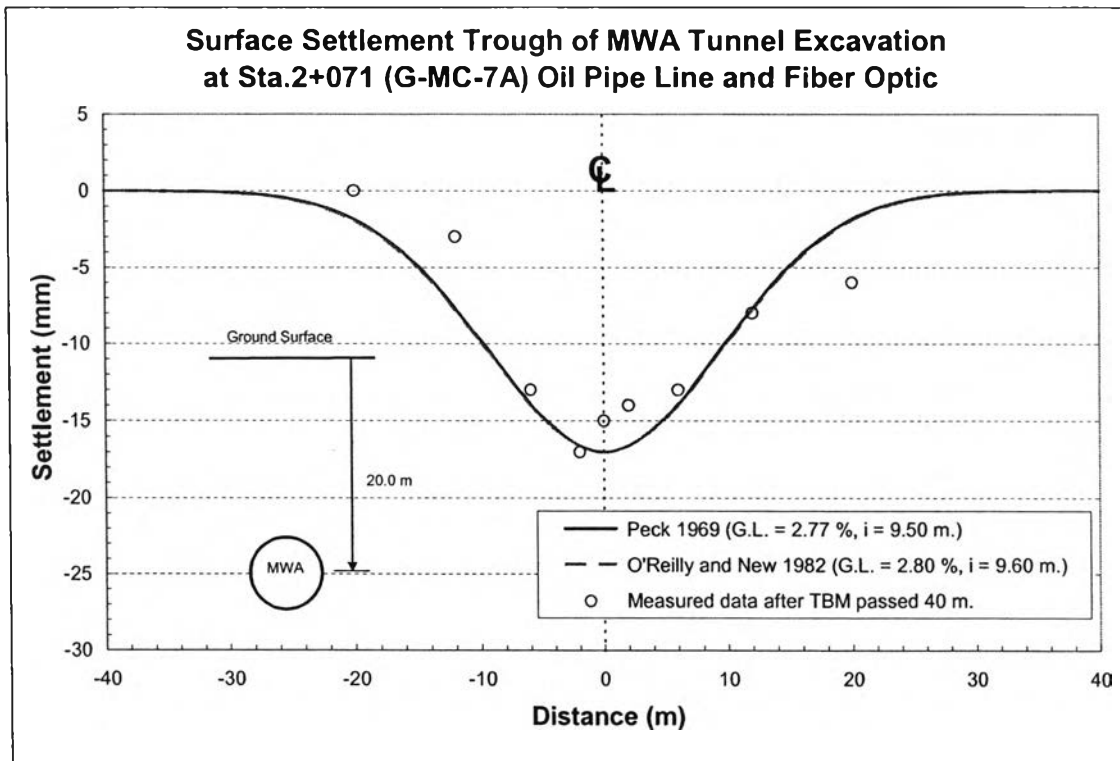
ผลการทรุดตัวในแนวตั้งของผิวดินที่ทำการตรวจวัดจากเครื่องมือวัดการทรุดตัวของดิน Ground Surface Settlement Marker สามารถแบ่งการทรุดตัวออกเป็น 3 ช่วงด้วยกัน ดังรูป 4.9 คือ

- Flow In shield เป็นการทรุดตัวที่เกิดในช่วงแรกก่อนที่หัวเจาะจะถึงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวเอาไว้ โดยจะเกิดการทรุดตัวที่ด้านหน้าหัวเจาะ ที่ระยะประมาณ 30 m. ก่อนหัวเจาะจะถึงตำแหน่งที่ทำการพิจารณา
- In Shield เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วงที่หัวเจาะเคลื่อนมาถึงหน้าตัดที่ทำการตรวจวัดการทรุดตัว จนกระทั่งหัวเจาะเลยไปเป็นระยะเท่ากับความยาวหัวเจาะ ประมาณ 9.4 m.
- Tail Voids เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นช่วงท้ายซึ่งขอบของหัวเจาะได้พ้นจากหน้าตัดที่ทำการพิจารณา ซึ่งบริเวณนี้จะเกิดช่องว่างขึ้นเนื่องจากความหนาของหัวเจาะ ดังแสดงในภาพที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลการตรวจวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน ด้วย Nail Point ที่บริเวณ Station 2+071

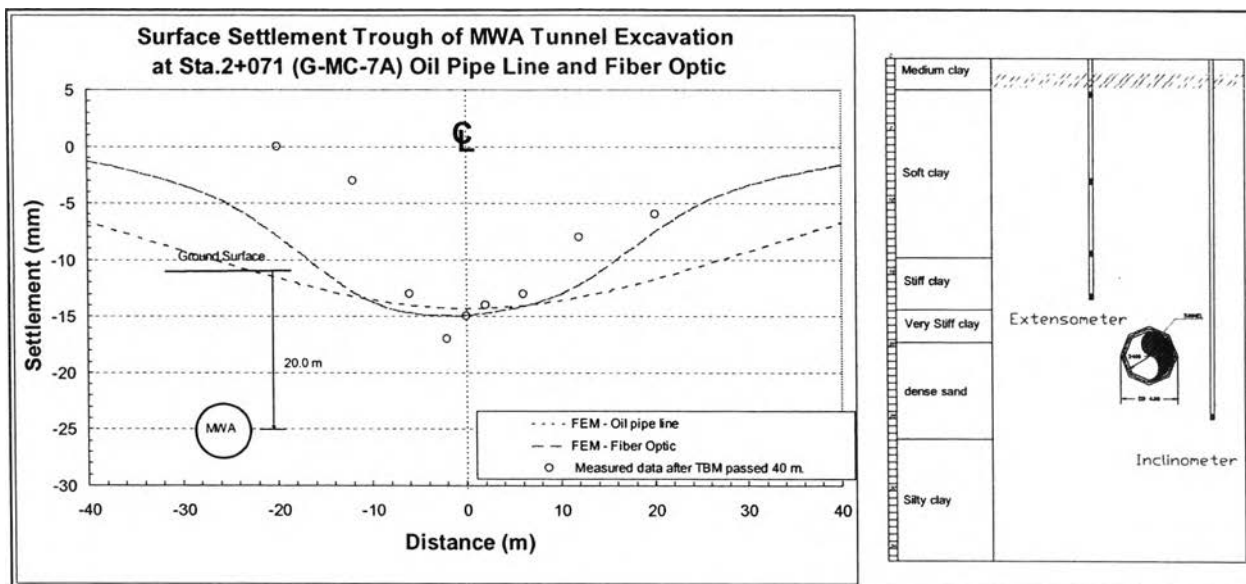
เมื่อนำค่าการทรุดตัวสูงสุดในแนวตั้งที่ผิวดินที่ตรวจวัดได้จากสนาม มา Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การทรุดตัวในแนวตั้งกับตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด จากแนวกึ่งกลางอุโมงค์ เราสามารถทราบค่าเปอร์เซ็นต์ Ground Loss ได้โดยการลอง Trial เส้นกราฟโดยใช้สมการของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982 ให้ได้ค่าการทรุดตัวสูงสุดใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริง ในสนาม พบว่าสามารถค่าเปอร์เซ็นต์ Ground loss เท่ากับ 2.77% และ 2.80% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ ground loss ที่หาได้จากสมการของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของโครงสร้างที่ฝังดิน โดยวิธี Finite Element Method พบว่าสามารถทำนายผลการทรุดตัวสูงสุดของสิ่งกีดขวางแนวอุโมงค์ Oil Pipe Line และ Fiber Optic Cable ได้เท่ากับ 14.29 และ 14.95 mm. ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวของดินที่วัดได้จริงจากสนาม จากเครื่องมือตรวจวัด Nail Point ที่ Station 2 + 071 m. หลังการเจาะอุโมงค์ผ่านแนวหน้าตัดที่ 2 + 071 ซึ่งเกิดการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 18 mm. ดังรูปที่ 4.11

จะเห็นได้ว่า จากการคำนวณและการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของดินบริเวณ Oil pipe line และ Fiber Optic Cable นั้นมีค่าการทรุดตัวที่ต่างกันเล็กน้อย แสดงว่าข้อมูลที่วิเคราะห์ได้นั้นมีความแม่นยำ



รูปที่ 4.11 แสดงค่าการทรุดตัวที่ผิวดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element Method เปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัวในสนามที่บริเวณ Oil Pipe Line และ Fiber Optic cable

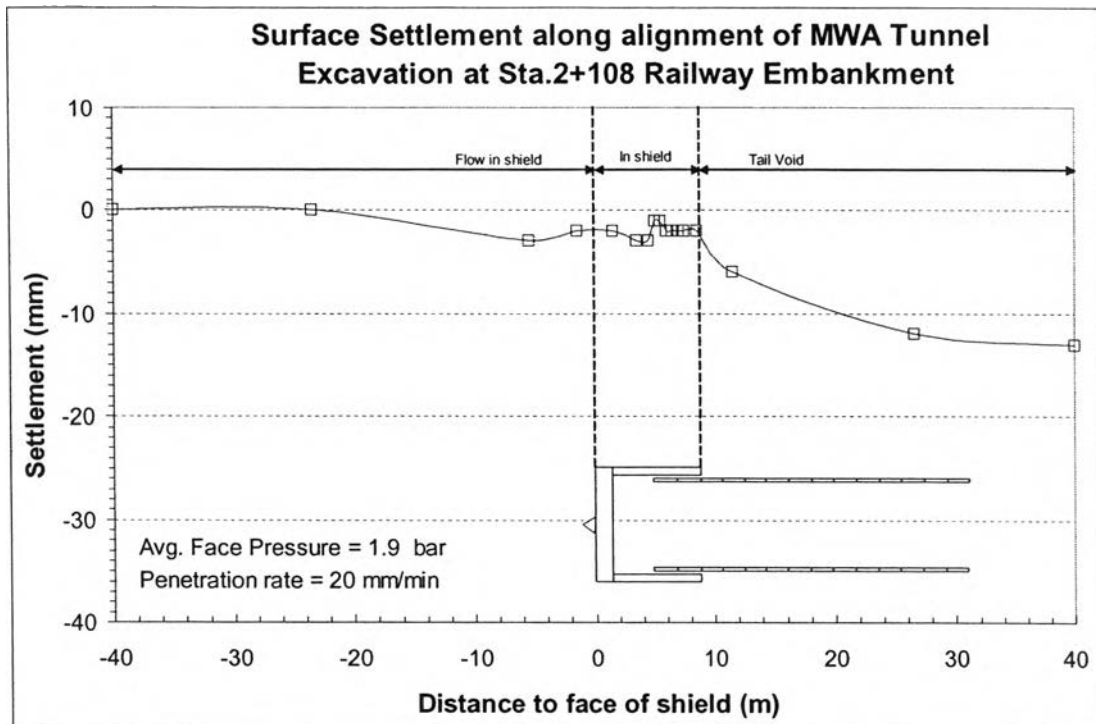
b. บริเวณ Railway Embankment (STA 2+108)

ผลการทรุดตัวในแนวตั้งของผิวดินที่ทำการตรวจวัดจากเครื่องมือวัดการทรุดตัวของดิน Ground Surface Settlement Marker สามารถแบ่งการทรุดตัวออกเป็น 3 ช่วงด้วยกัน ดังรูป 4.12 คือ

- Flow In shield เป็นการทรุดตัวที่เกิดในช่วงแรกก่อนที่หัวเจาะจะถึงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวเอาไว้ โดยจะเกิดการทรุดตัวที่ด้านหน้าหัวเจาะ ที่ระยะประมาณ 30 m. ก่อนหัวเจาะจะถึงตำแหน่งที่ทำการพิจารณา

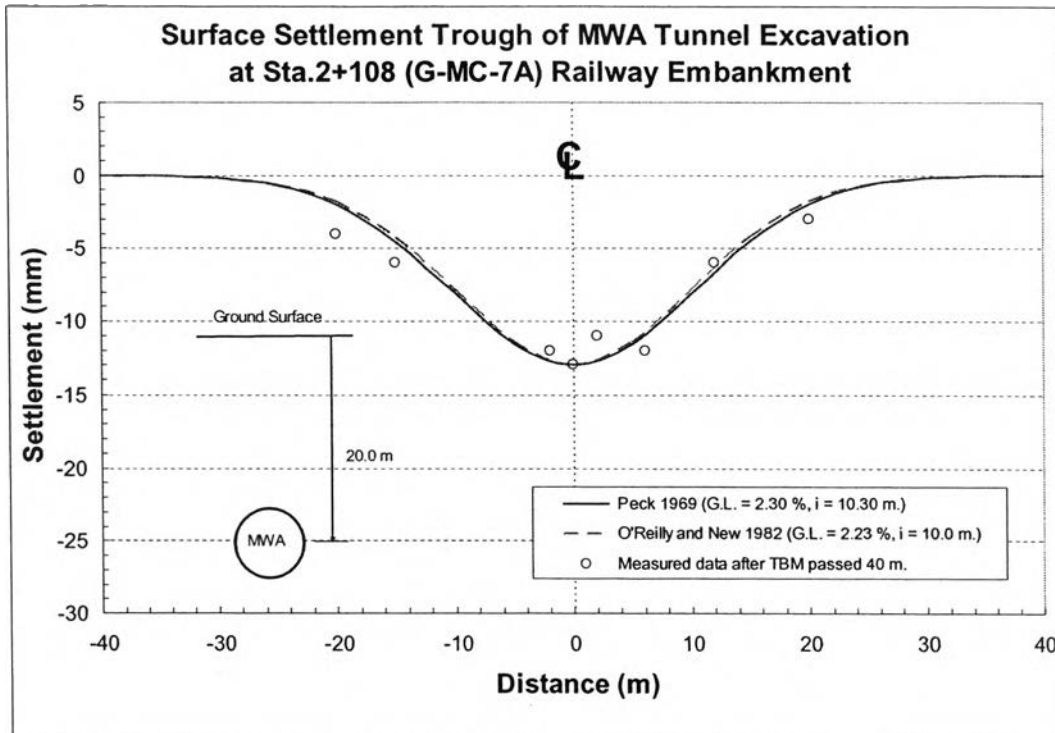
- In Shield เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วงที่หัวเจาะเคลื่อนมาถึงหน้าตัดที่ทำการตรวจวัดการทรุดตัว จนกระทั่งหัวเจาะเลยไปเป็นระยะเท่ากับความยาวหัวเจาะ ประมาณ 9.4 m.

- Tail Voids เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นช่วงท้ายซึ่งขอบของหัวเจาะได้พ้นจากหน้าตัดที่ทำการพิจารณา ซึ่งบริเวณนี้จะเกิดช่องว่างขึ้นเนื่องจากความหนาของหัวเจาะ ดังแสดงในภาพที่ 4.12



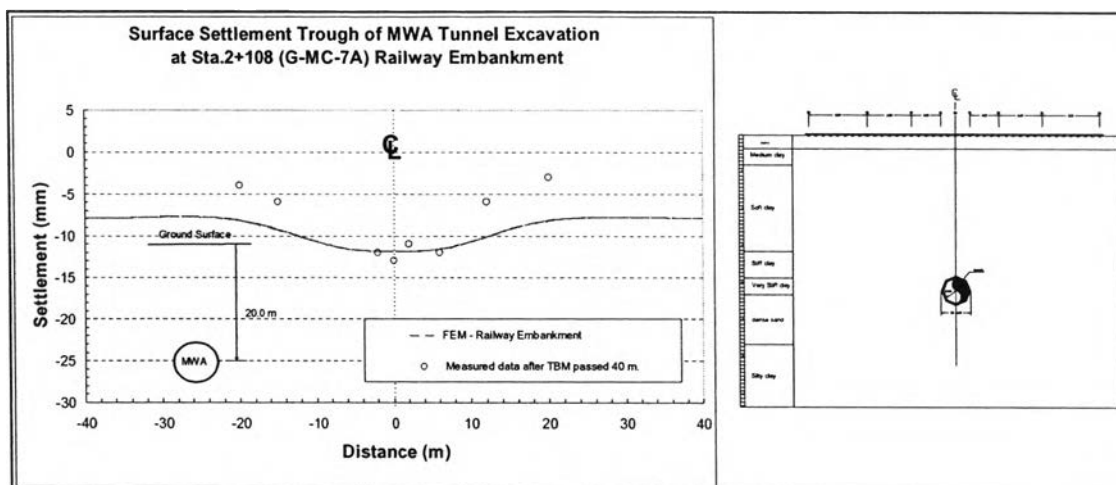
รูปที่ 4.12 ผลการตรวจวัดการทรุดตัวสะสมของผิวดินที่บริเวณ Railway Embankment (Station 2+108)

เมื่อนำค่าการทรุดตัวสูงสุดในแนวตั้งที่ผิวดินที่ตรวจวัดได้จากสนาม มา Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การทรุดตัวในแนวตั้งกับตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด จากแนวกึ่งกลางอุโมงค์ เราสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์ Ground Loss ได้โดยการลอง Trial เส้นกราฟโดยใช้สมการของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982 ให้ได้ค่าการทรุดตัวสูงสุดใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริง ในสนาม พบว่าสามารถค่าเปอร์เซ็นต์ Ground loss เท่ากับ 2.3% และ 2.23% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ ground loss ที่หาได้จากสมการของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982 ที่บริเวณ Station 2+108

การวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้โปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์ สามารถทำนายค่าการทรุดตัวของดินที่บริเวณ Railway Embankment ได้ 13.43 mm. เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวของดินที่วัดได้จากสนาม จากเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดิน Ground Settlement Marker ที่ Station 2 + 108 m. โดยทำการวัดค่าหลังมีการขุดเจาะอุโมงค์ผ่านแนวหน้าตัดที่ 2 + 108 ไปแล้ว 40 m. สามารถวัดการทรุดตัวในแนวตั้งสูงสุดได้เท่ากับ 13 mm. ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงค่าการทรุดตัวที่ผิวดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite element Method เปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัวในสนามของ Railway Embankment ที่บริเวณ Station 2+108

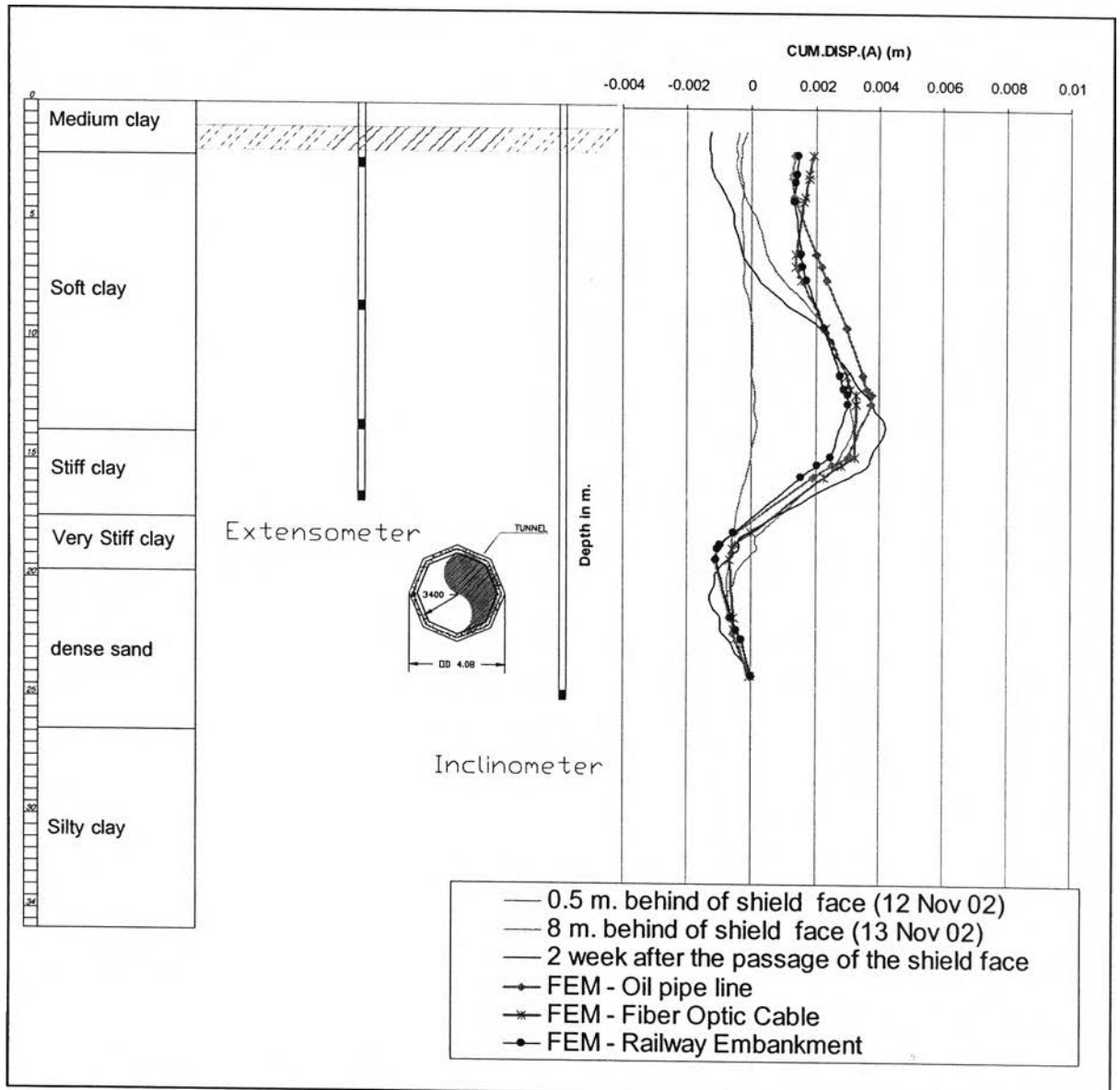
จะเห็นได้จากการทำนายค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นที่ผิวดินโดยวิธี Finite Element Method สามารถทำนายค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นที่ผิวดินได้ใกล้เคียงกับที่วัดได้จริงในสนาม ดังนั้นการทำนายค่าการทรุดตัวในตำแหน่งนี้มีความแม่นยำพอสมควร

4.3.2.2 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน

a. บริเวณ Oil Pipe Line, Fiber Optic and Railway Embankment

ก่อนถึงบริเวณ Oil Pipe Line แนว Fiber Optic Cable และ Railway Embankment มีการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน Inclinator ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ที่หน้าตัด Station 2+071 ผลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน พบว่าสามารถวัดการเคลื่อนตัวของดินได้มากที่สุดที่ระดับความลึก 13.5 m. มีการเคลื่อนตัวออกจากแนวขุดเจาะ 4.16 mm. ที่ระยะเวลาการขุดเจาะผ่านไป 2 สัปดาห์

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element Method พบว่าค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Finite Element Method บริเวณ Oil Pipe Line มีค่าเท่ากับ 3.7 mm. บริเวณ Fiber Optic Cable มีค่าเท่ากับ 3.3 mm. และบริเวณ Railway Embankment มีค่าเท่ากับ 3 mm. และเส้นกราฟยังมีแนวโน้มที่ไปในทิศทางเดียวกันกับผลการตรวจวัดในสนาม ดังรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินนั้นมีผลที่น่าเชื่อถือได้

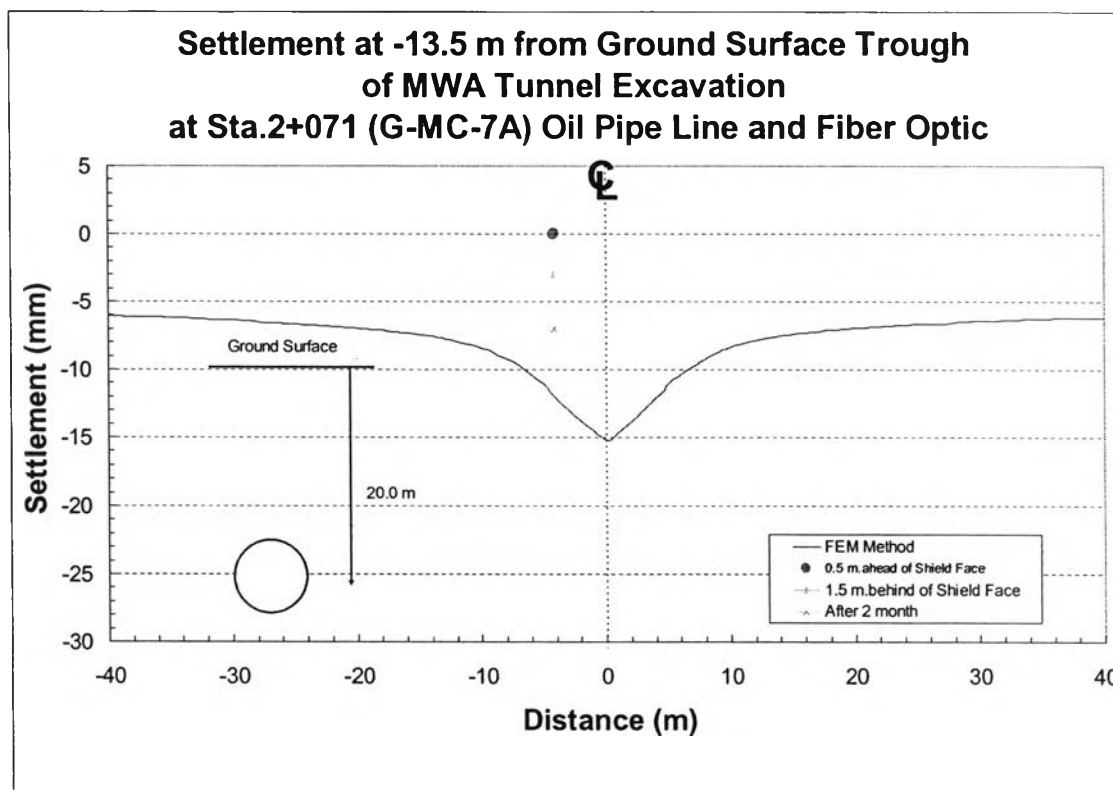


รูปที่ 4.15 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite element Method เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริงในสนามที่บริเวณ Oil Pipe Line, Fiber Optic and Railway Embankment

4.3.2.3 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินในแนวตั้งที่ระดับความลึกต่าง ๆ

a. บริเวณ Oil Pipe line and Fiber Optic (STA 2+076, STA 2+078)

ผลการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ทำการวัดค่าการทรุดตัวได้จาก เครื่องมือ Extensometer สามารถสรุปผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินในแนวตั้ง ณ เวลาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการทำนายค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ระดับความลึกใด ๆ จากผิวดินได้ดังรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาผ่านไปมากขึ้นการทรุดตัวที่ระดับความลึกนั้น ๆ ก็ทรุดตัวมากขึ้นตามลำดับ การทรุดตัวสูงสุดที่วัดได้จากสนามนั้นทำการวัดการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึก 13.5 m. ที่ระยะเวลา 2 เดือนหลังจากหัวเจาะได้เคลื่อนผ่านแนวหน้าตัดที่กำหนดแล้ว สามารถวัดค่าการทรุดตัวได้เท่ากับ 7 mm. ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยกับการทำนายค่าด้วยวิธี Finite Element Method จากการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวสามารถทำนายการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึก 13.5 m. ได้เท่ากับ 12 mm.



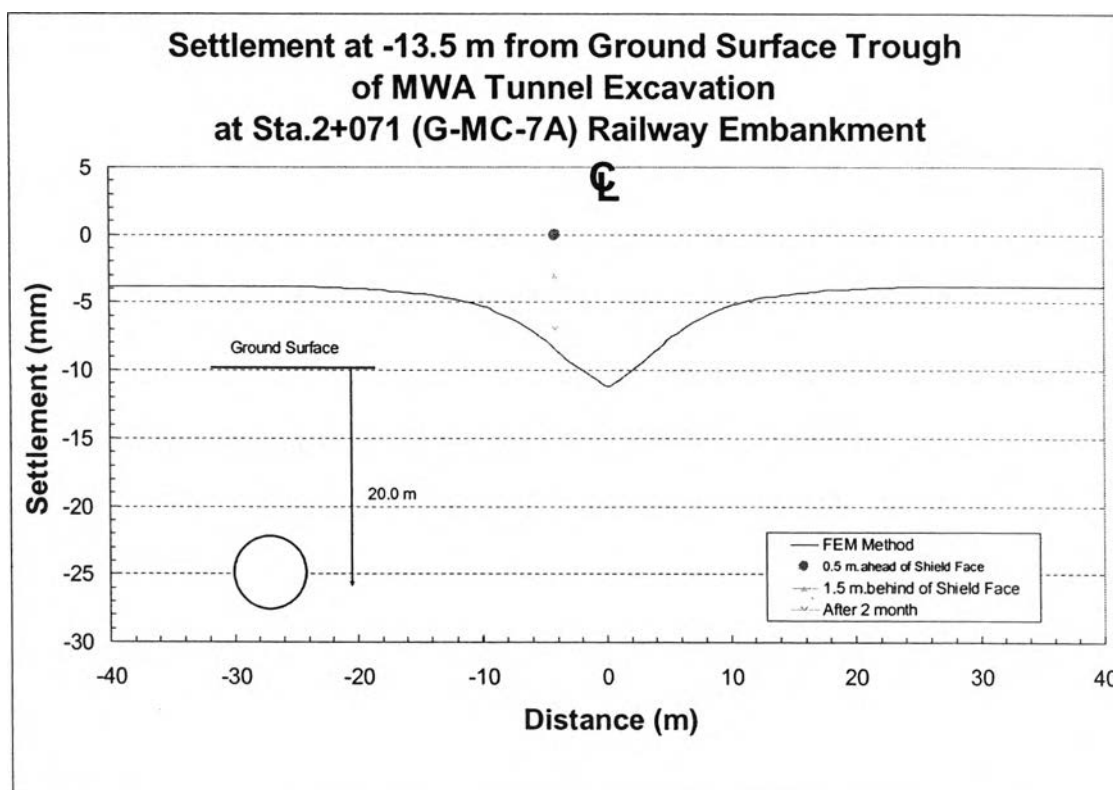
รูปที่ 4.16 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของดินในแนวตั้งที่ระดับความลึก 13.5 m. ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite element Method เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริงในสนามที่บริเวณแนว Oil Pipe Line and Fiber Optic Cable

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้ Extensometer จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Finite Element ในการวิเคราะห์ มีค่าใกล้เคียงกับที่สามารถวัดได้

จริงในสนาม โดยผลการวิเคราะห์จาก Finite Element Method นั้นมีค่ามากกว่าที่ตรวจวัดจริงเล็กน้อย เนื่องจากการเก็บข้อมูลในสนามนั้นมีการเก็บข้อมูลที่ระยะเวลามากที่สุดคือ 2 เดือน หลังจากหัวเจาะผ่านแนวหน้าตัด ซึ่งถ้าตรวจวัดอีกที่ระยะเวลา 3 เดือนน่าจะมีการทรุดตัวที่มากขึ้นอีกเล็กน้อย

b. บริเวณ Railway Embankment (STA 2+108)

ผลการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ทำการวัดค่าการทรุดตัวได้จาก เครื่องมือ Extensometer สามารถสรุปผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง ณ เวลาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการทำนายค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ระดับความลึกใด ๆ จากผิวดินได้ดังรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาผ่านไปมากขึ้นการทรุดตัวที่ระดับความลึกนั้น ๆ ก็ทรุดตัวมากขึ้นตามลำดับ การทรุดตัวสูงสุดที่วัดได้จากสนามนั้นทำการวัดการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึก 13.5 m. ที่ระยะเวลา 2 เดือนหลังจากหัวเจาะได้เคลื่อนผ่านแนวหน้าตัดที่กำหนดแล้ว สามารถวัดค่าการทรุดตัวได้เท่ากับ 7 mm. ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยกับการทำนายค่าด้วยวิธี Finite Element Method จากการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวสามารถทำนายการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึก 13.5 m. ได้เท่ากับ 8 mm.



รูปที่ 4.17 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งที่ระดับความลึก 13.5 m. ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite element Method เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริงในสนามที่บริเวณแนว Railway Embankment

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้ Extensometer จะเห็นได้ว่าจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Finite Element ในการวิเคราะห์ มีค่าใกล้เคียงกับที่สามารถวัดได้จริงในสนาม ดังนั้นที่บริเวณหน้าตัดนี้มีผลการวิเคราะห์ได้แม่นยำพอสมควร

จากการตรวจวัดการเคลื่อนตัว ณ ระดับความลึกต่าง ๆ ณ หน้าตัดทดสอบใด ๆ พบว่าความละเอียดของการตรวจวัดข้อมูลนั้นมีน้อยมาก เนื่องจากมีการติดตั้งอุปกรณ์ Extensometer เพียง 1 จุดทดสอบเท่านั้น

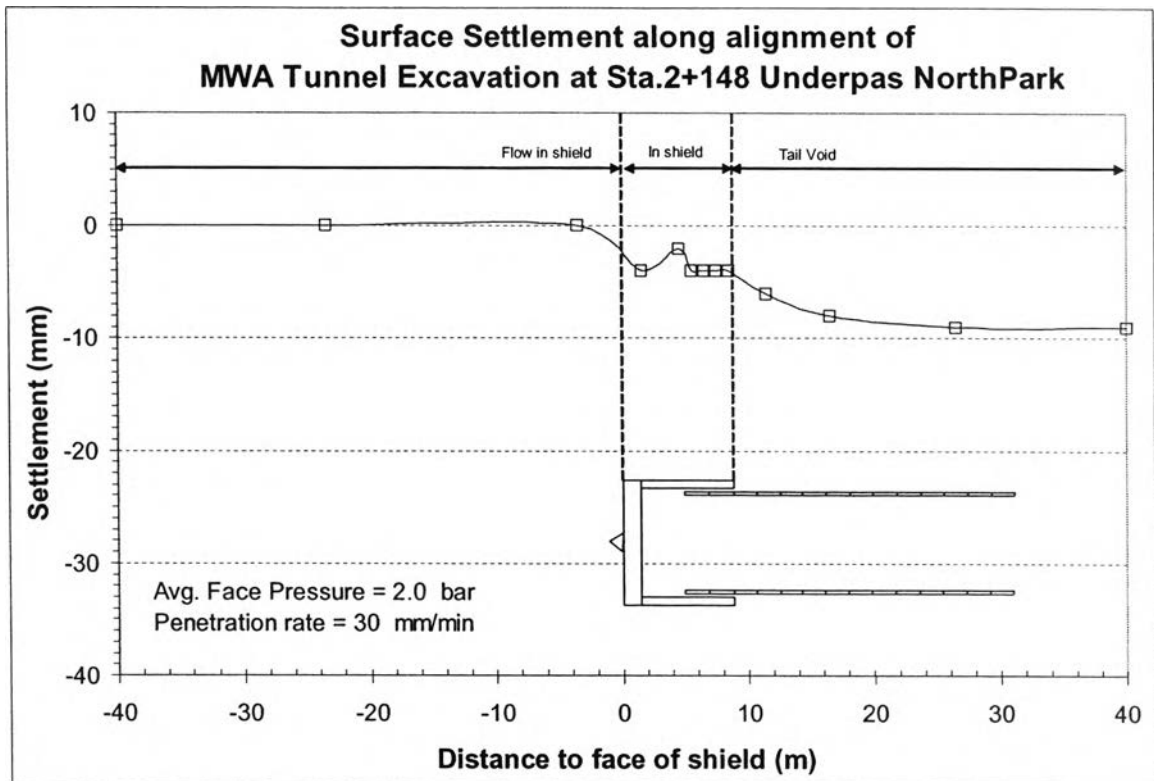
สามารถสรุปผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินบริเวณ Oil Pipe Line, Fiber Optic Cable and Railway Embankment ได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์และข้อมูลที่วัดได้จากสนาม บริเวณ Oil Pipe Line, Fiber Optic and Railway Embankment

เครื่องมือตรวจวัด	ปริมาณการทรุดตัว (มม.)					
	การวิเคราะห์ (Analysis)			การตรวจวัดจริง		
	Oil Pipe Line	Fiber Optic	Railway Embankment	Oil Pipe Line	Fiber Optic	Railway Embankment
Nail Point	14.29	14.95	-	15	15	-
Ground Settlement Marker	-	-	13.43	-	-	13
Inclinometer	3.7	3.3	3	4.16		
Extensometer	12	12	8	7		

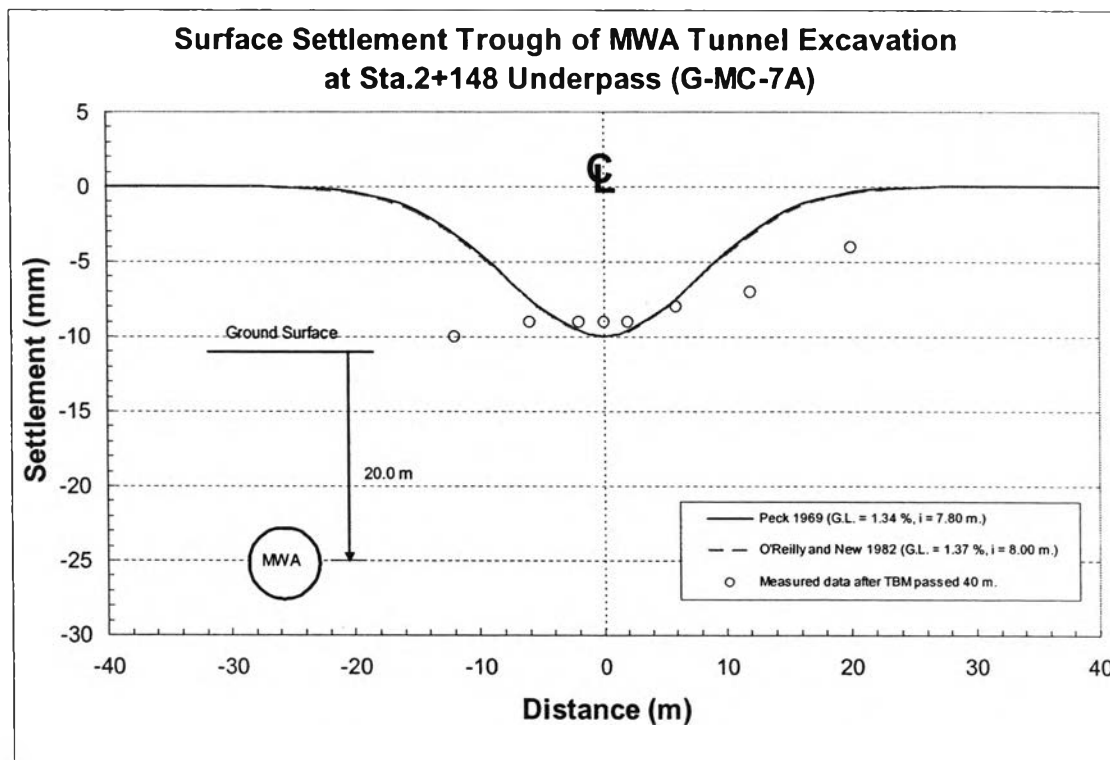
4.3.3. ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินบริเวณ Underpass North park (STA 2+140 – STA 2+148)

บริเวณ Underpass North park ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน 2 จุด ที่ตำแหน่งหน้าตัด Station 2+140 และตำแหน่งหน้าตัดที่ Station 2+148 จากผลการตรวจวัดการทรุดตัวของโครงสร้างที่ผิวดิน บริเวณ Underpass North park พบว่าทรุดตัวสะสมในสนามสูงสุดได้เท่ากับ 20 mm. ดังรูปที่ 4.18



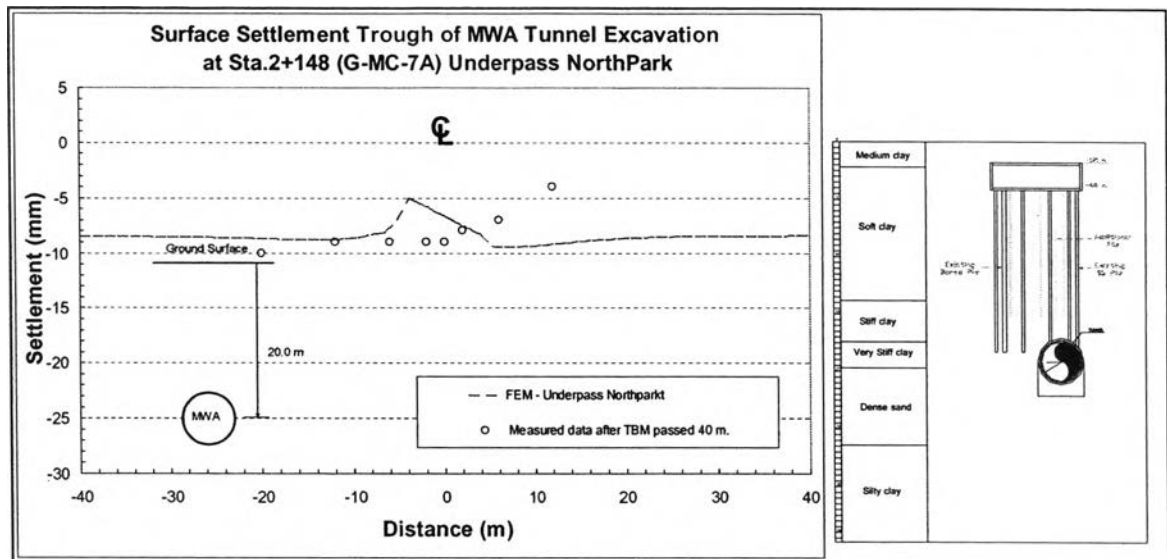
รูปที่ 4.18 ผลการตรวจวัดการทรุดตัวในแนวตั้งที่ผิวดินที่บริเวณ Underpass North Park -
Station 2+148

เมื่อนำค่าการทรุดตัวสูงสุดในแนวตั้งที่ผิวดินที่ตรวจวัดได้จากสนาม มา Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การทรุดตัวในแนวตั้งกับตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด จากแนวกึ่งกลาง อุโมงค์ เราสามารถทราบค่าเปอร์เซ็นต์ Ground Loss ได้โดยการลอง Trial เส้นกราฟโดยใช้สมการ ของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982 ให้ได้ค่าการทรุดตัวสูงสุดใกล้เคียงกับค่าที่ ตรวจวัดจริงในสนาม พบว่าสามารถค่าเปอร์เซ็นต์ Ground loss เท่ากับ 1.34% และ 1.37% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ ground loss ที่ได้จากการของ Peck 1969 และ O'Reilly and New 1982

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของโครงสร้างที่ผิวดิน โดยวิธี Finite Element Method พบว่าสามารถทำนายค่าการทรุดตัวของโครงสร้าง Underpass North park ดังกล่าว ซึ่งสามารถทำนายผลการทรุดตัวของ Underpass North park ได้ 7 mm. จากนั้นนำค่ามาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวของดินที่วัดได้จริงจากสนาม จากเครื่องมือตรวจวัด Ground Surface Settlement ที่ Station 2 + 148 m. หลังการเจาะอุโมงค์ผ่านแนวหน้าตัดที่ 2 + 148 ซึ่งเกิดการทรุดตัวที่ผิวดิน 9 mm. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ทำนายโดยใช้วิธี Finite Element Method ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวสูงสุดที่ผิวดินโดยวิธี Finite Element Method ที่บริเวณ
โครงสร้าง Underpass North Park - Station 2+148

จากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดิน โดยใช้โปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์ สามารถทำนายค่าการทรุดตัวของฐานรากได้สูงสุดเท่ากับ 7 mm. เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวของดินที่วัดได้จริงจากสนาม จากเครื่องมือตรวจวัด Ground Settlement Marker ที่ Station STA 2+148 ซึ่งเกิดการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 9 mm. สามารถสรุปผลการวิเคราะห์นี้ได้ดังตารางที่ 4.8 จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าค่าการทรุดที่ตรวจวัดจริงจากสนามนั้นมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้ จึงแสดงให้เห็นว่าการคำนวณโดยใช้วิธี Finite Element นั้นสามารถใช้ทำนายค่าการทรุดตัวของโครงสร้างได้ดินได้ แต่อย่างไรก็ตาม ความละเอียดในตรวจวัดข้อมูลในสนามนั้นมีน้อยเกินไป จำนวนแหล่งข้อมูลในจุดนี้มีเพียงการวัดการทรุดตัวที่ผิวดินเท่านั้น ไม่มีการวัดการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้างประกอบ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นแนวถนน ไม่สามารถทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวได้หลายตำแหน่ง

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์และข้อมูลที่วัดได้จากสนาม บริเวณ Underpass North park

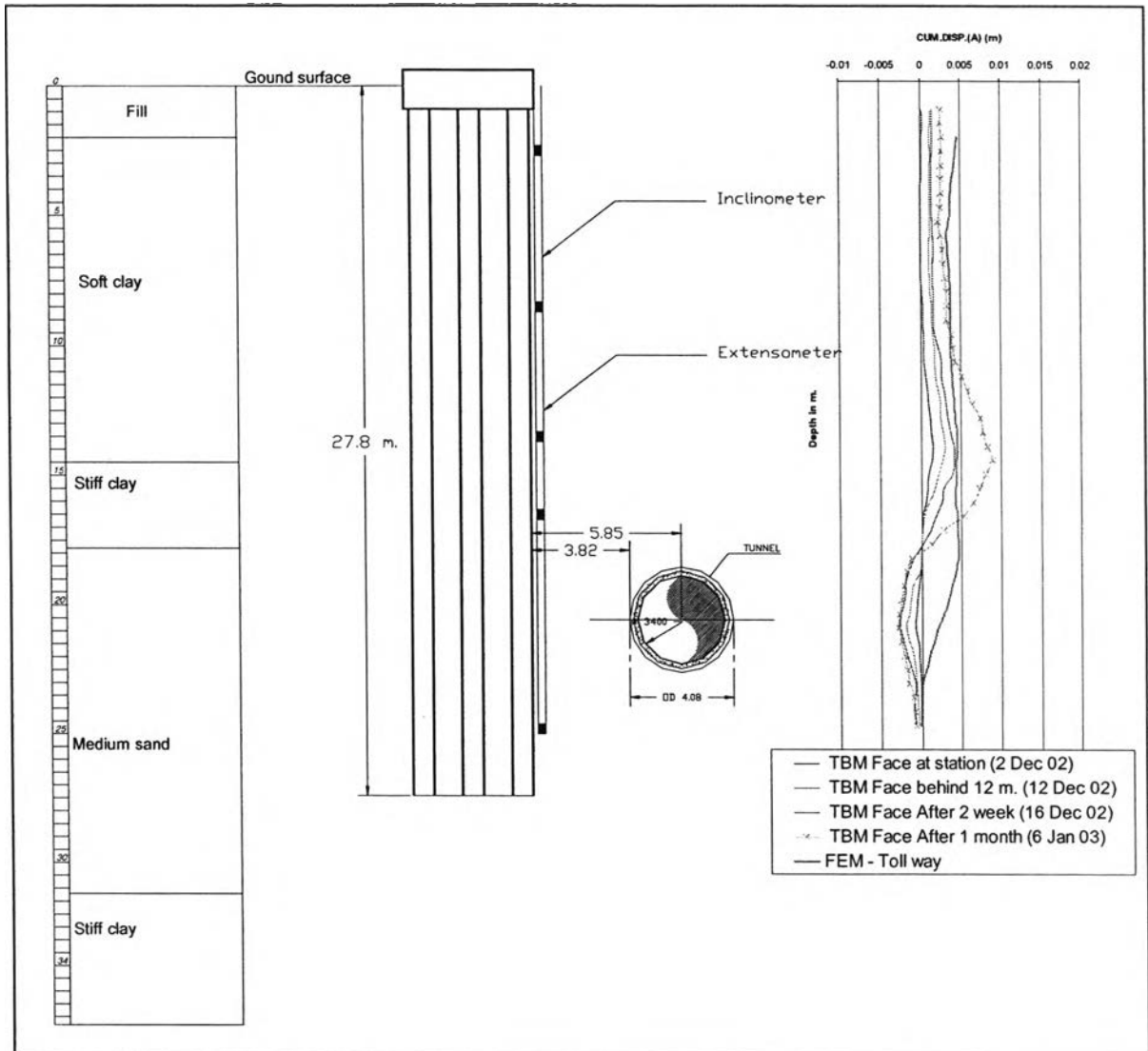
เครื่องมือตรวจวัด	การวิเคราะห์ (Analysis)	การตรวจวัดจริง (mm.)
	Exiting foundation (mm.)	
Ground Settlement Marker	7	9

4.3.4. ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินบริเวณ ตอนเมือง Toll way (STA 2+210 – STA 2+212)

การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินและโครงสร้างใต้ดินบริเวณนี้ ค่อนข้างทำได้ลำบาก เนื่องจากในบริเวณ obstruction ดังกล่าวตั้งอยู่บนเกาะกลางทางยกระดับอุดรภิรมข ซึ่งตั้งอยู่บนถนนวิภาวดีรังสิต บริเวณแนวหน้าตัดนี้จึงไม่สามารถติดตั้ง Ground Settlement Marker ได้ ทำได้เพียงการติดตั้ง Inclinomater และ Extensometer เท่านั้น ซึ่งสามารถสรุปผลการตรวจวัดได้ดังนี้

การตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน Inclinomater สามารถวัดการเคลื่อนตัวของดินได้มากที่สุดที่ระดับความลึก 16.5 m. มีการเคลื่อนตัวออกจากแนวขุดเจาะ 8.9 mm. ที่ระยะเวลาการขุดเจาะผ่านไป 1 เดือน

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element Method พบว่าค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินที่ได้จากวิเคราะห์ด้วย Finite Element Method มีค่าเท่ากับ 4.5 mm. ดังรูปที่ 4.21

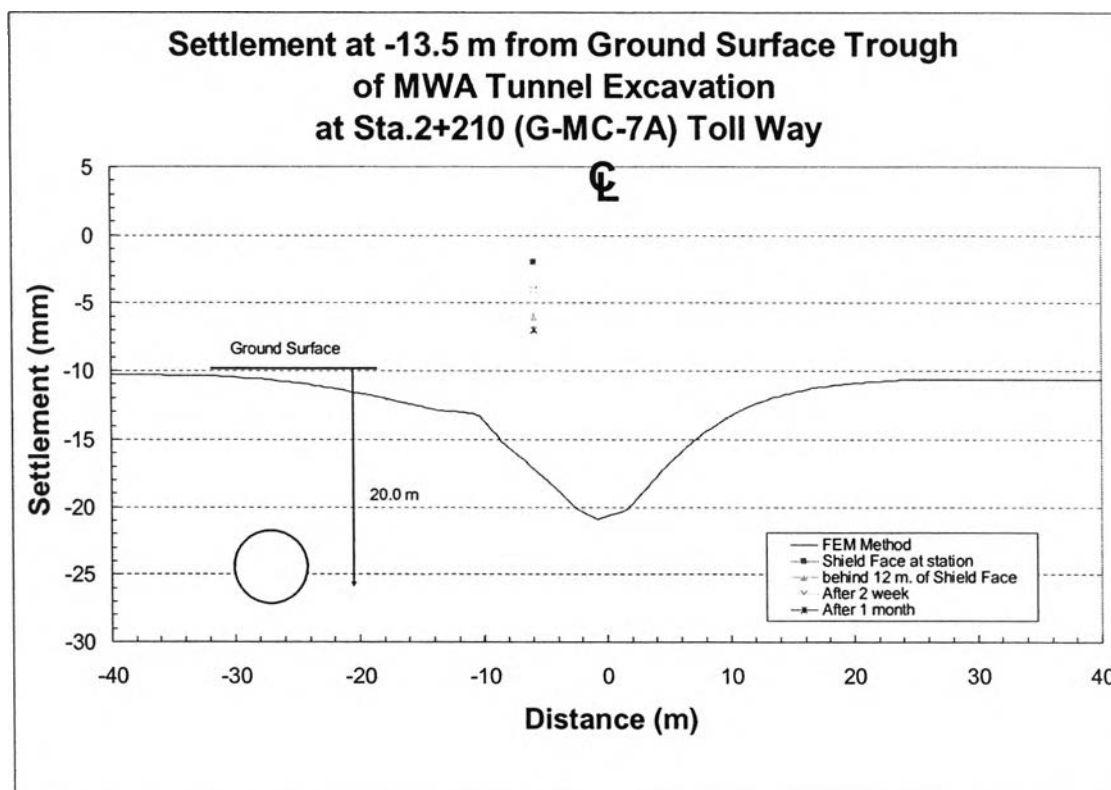


รูปที่ 4.21 แสดงผลการตรวจวัดข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้างบริเวณทางยกระดับดอนเมือง - Station 2+212.8

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้ Inclinometer จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Finite Element ในการวิเคราะห์พบว่าการเคลื่อนตัวน้อยกว่าความเป็นจริง อาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลในสนาม

ผลการวัดหลุดตัวของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ทำการวัดค่าการหลุดตัวได้จาก เครื่องมือ Extensometer สามารถสรุปผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง ณ เวลาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการทำนายค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ระดับความลึกใด ๆ จากผิวดินได้ดังรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาผ่านไปมากขึ้นการหลุดตัวที่ระดับความลึกนั้น ๆ ก็หลุดตัวมากขึ้นตามลำดับ การหลุดตัวสูงสุดที่วัดได้จากสนามนั้นทำการวัดการหลุดตัวของดินที่ระดับความลึก 13.5 m. ที่ระยะเวลา 1

เดือนหลังจากหัวเจาะได้เคลื่อนผ่านแนวหน้าตัดที่กำหนดแล้ว สามารถวัดค่าการทรุดตัวได้เท่ากับ 7 mm. ซึ่งมีค่าแตกต่างกันกับการทำนายค่าด้วยวิธี Finite Element Method จากการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวสามารถทำนายการทรุดตัวของดินที่ระดับความลึก 13.5 m. ได้เท่ากับ 17 mm. ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งที่ระดับความลึก 13.5 m. ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite element Method เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริงในสนามที่บริเวณทางยกระดับดอนเมือง - Station 2+210

การวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้ Extensometer จะเห็นได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Finite Element ในการวิเคราะห์ มีค่ามากกว่าที่สามารถวัดได้จริงในสนาม ซึ่งน่าจะมาจากระยะเวลาการเก็บข้อมูลในสนามมีน้อยเกินไปมีการเก็บข้อมูลแค่เพียง 1 เดือนเท่านั้น

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์และข้อมูลที่วัดได้จากสนาม บริเวณทางยกระดับดอนเมืองโทลล์เวย์

เครื่องมือ ตรวจวัด	ปริมาณการทรุดตัว (มม.)	
	การตรวจวัดจริง	การวิเคราะห์ (Analysis)
Extensometer	7	17
Inclinometer	8.9	4.5

จะเห็นได้ว่า ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดิน บริเวณทางยกระดับดอนเมืองที่วัดได้จริงจากสนามนั้น มีค่าที่แตกต่างจากการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Finite Element Method ค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดินในบริเวณนี้ไม่ดีพอ การติดตั้งเครื่องมือนั้นทำได้ยากเพราะความจำกัดของพื้นที่ และเนื่องจากมีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน ทำให้ค่าการเคลื่อนตัวที่ได้นั้น อาจจะมีได้มีสาเหตุมาจากการเคลื่อนตัวเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์เพียงอย่างเดียว แต่อาจจะมาจากสาเหตุอื่น ๆ อีก