บทที่ 6
การวิเคราะห์ผลกระทบต่อเสาเข็ม

6.1 กล่าวนำ

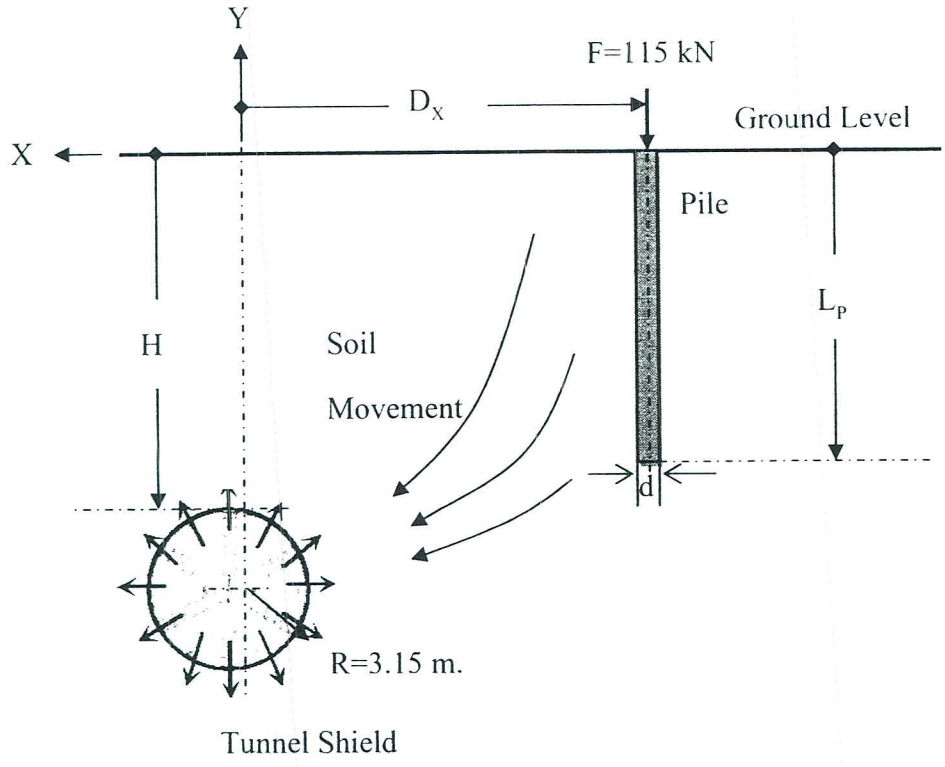
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลกระทบต่อเสาเข็มเดี่ยวที่มีตำแหน่งของปลายเสาเข็มอยู่เหนือยอดของอุโมงค์ เมื่อทำการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินเหนียวอ่อน โดยที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีสองขั้นตอน ทั้งนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์อย่างละเอียดดังนี้

6.2 วิธีการวิเคราะห์

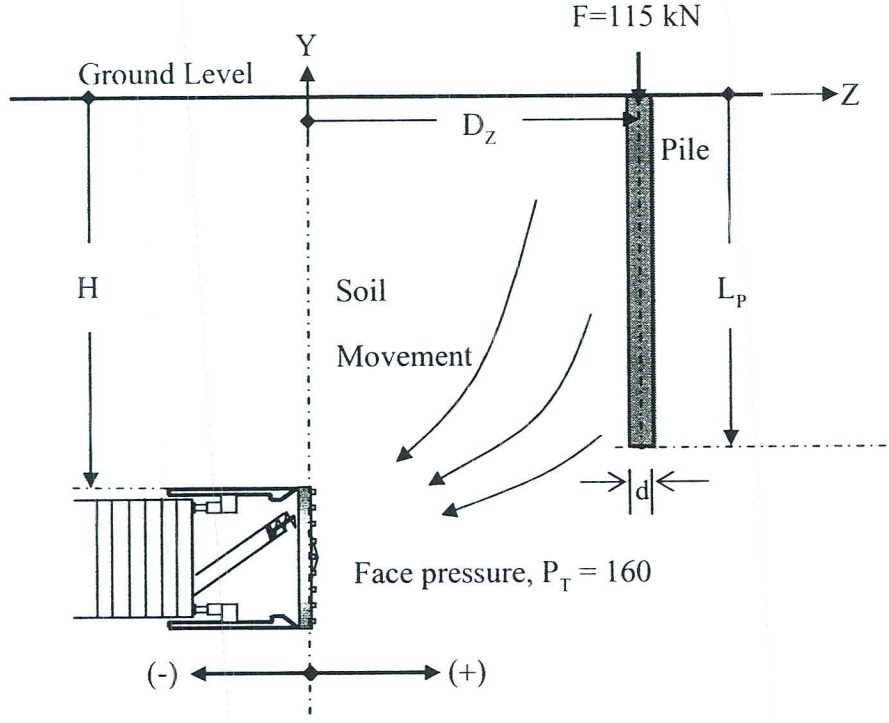
การวิเคราะห์จะใช้วิธีสองขั้นตอนซึ่งจะประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือ 1) ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินทั้งแนวขวางและการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง 2) นำค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อเสาเข็มด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ 3 มิติ โดยที่พฤติกรรมของดินจะถูกจำลองโดยใช้ทฤษฎีของมอร์-คูลอมบ์ และ รูปที่ 6.1 และ 6.2 แสดงปัญหาที่ทำการวิเคราะห์เมื่อ D_Z คือระยะห่างจากหน้าหัวเจาะอุโมงค์ถึงศูนย์กลางของเสาเข็มตามแนวยาว ซึ่งมีค่าเป็นบวกเมื่อเสาเข็มมีตำแหน่งอยู่ด้านหน้าของหัวเจาะ และมีค่าเป็นลบเมื่อเสาเข็มมีตำแหน่งอยู่ด้านหลังของหัวเจาะ และ D_X คือระยะห่างจากศูนย์กลางของเสาเข็มถึงศูนย์กลางของหัวเจาะตามแนวขวาง ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าแรงดันด้านหน้าหัวเจาะ P_T จะน้อยกว่าค่าแรงดันของดิน P_E และตำแหน่งของปลายเสาเข็ม L_P จะไม่เกินยอดอุโมงค์เท่านั้น

6.2.1 หัวเจาะอุโมงค์

หัวเจาะที่ใช้วิเคราะห์จะเป็นหัวเจาะแบบปรับแรงดันดินสมดุลที่เหมาะสำหรับขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินเหนียวอ่อน ที่ใช้ในการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ซึ่งตำแหน่งของอุโมงค์ห่างจากผิวดินคงที่ H เท่ากับ 17.5 เมตร รัศมีของหัวเจาะอุโมงค์ R เท่ากับ 3.15 เมตร แรงดันด้านหน้าหัวเจาะเฉลี่ยเท่ากับ 160 กิโลปาสคาล รายละเอียดของหัวเจาะดังแสดงในหัวข้อที่ 5.3



รูปที่ 6.1 ปัญหาที่ทำการวิเคราะห์เมื่อพิจารณาทางแนวขวาง



รูปที่ 6.2 ปัญหาที่ทำการวิเคราะห์เมื่อพิจารณาทางแนวยาว

6.2.2 เสาเข็ม

เสาเข็มที่วิเคราะห์เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงที่มีรูปร่างหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส มีขนาดความกว้างของหน้าตัด d เท่ากับ 0.3 เมตร ที่นิยมใช้ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.4 และตารางที่ 6.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของเสาเข็ม ในขั้นตอนการวิเคราะห์เสาเข็มจะรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 115 kN

ตารางที่ 6.1 ค่าพารามิเตอร์ของเสาเข็มที่ใช้ในการวิเคราะห์

Parameter					
A_p (m^2)	d (m)	L_p (m)	E_p (kN/m^2)	I_p (m^4)	ν_p
0.09	0.3	9/12/15	27,749,478	7E-04	0.17

เมื่อ A_p คือ พื้นที่หน้าตัด, d คือ ขนาดความกว้าง, L_p ระยะความยาวเสาเข็มจากผิวดินถึงปลายเสาเข็ม ,E_p คือค่าอิลาสติกโมดูลัส, I_p คือค่าโมเมนต์อินเนอเชีย และ ν_p คือค่าอัตราส่วนปัวซอง

6.2.3 ชั้นดินและแรงดันน้ำใต้ดิน

สภาพทางธรณีวิทยาของชั้นดินและแรงดันน้ำใต้ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ข้อมูลจากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคลตามซึ่งสามารถแบ่งชั้นดินออกเป็น 6 ประเภทโดยมีค่าพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 6.2 นอกจากนี้แรงดันน้ำใต้ดิน (Ground water pressure) ก็มีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ แรงดันน้ำใต้ดินที่ความลึกตั้งแต่ 6 เมตรจากผิวดินลงไป แรงดันน้ำมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (non-hydrostatic) ในการวิเคราะห์จะใช้แรงดันน้ำใต้ดินโดยทั่วไปในชั้นดินกรุงเทพมหานคร รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อ 5.2.2

ตารางที่ 6.2 ค่าพารามิเตอร์ของชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

Parameter	Type of soil					
	Made Ground	Soft Clay	Stiff Clay	1st Sand	Hard Clay	2nd Sand
Depth (m)	0 - 1	1-15	15-25	25-36	36-43	43-50
Thickness (m)	1	14	10	11	7	7
γ (kN/m^3)	19	16	19	20	20	20
C (kN/m^2)	0	15	100	0	195	0
E_{ur} (kN/m^2)	5,000	8,500	53,000	70,000	98,700	80,000
ν	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
K_0	0.7	0.75	0.65	0.5	0.8	0.5
ϕ (degree)	25	23	26	36	23	40
K (m/day)	-	3.0E-09	1.0E-09	1.0E-07	2.0E-09	-

เมื่อ γ คือค่าหน่วยน้ำหนัก, c คือค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยว, E_u คือค่าอิลาสติกโมดูลัส, ν คืออัตราส่วนปัวซอง, K_0 คือค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินทางด้านข้าง, ϕ คือค่ามุมเสียดทานภายในของทราย, และ k คือค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ

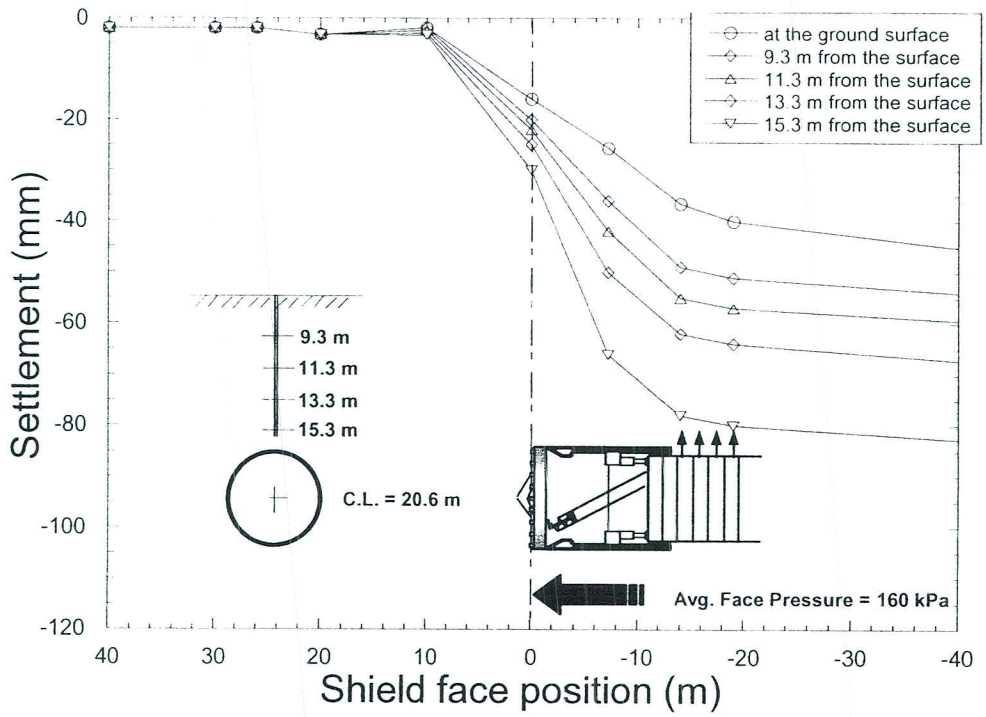
6.2.4 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1) คำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวของดินจากการขุดเจาะอุโมงค์
2) นำค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ไปทำการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีไฟไนต์-อิลิเมนต์ 3 มิติ เพื่อใช้หาพฤติกรรมการตอบสนองของเสาเข็มจากการขุดเจาะอุโมงค์

6.2.4.1 การวิเคราะห์ขั้นตอนที่ 1

การวิเคราะห์จะเป็นการหาค่าการเคลื่อนตัวของดินทางแนวขวางและการเคลื่อนตัวทางแนวยาว โดยที่ขั้นตอนแรกจะใช้ค่าการเคลื่อนตัวของดินทางแนวยาวที่วัดได้จากการก่อสร้างอุโมงค์โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล ดังรูปที่ 6.3 เพื่อใช้หาค่าการเคลื่อนตัวของดินทางขวางและทางด้านข้าง ค่าการเคลื่อนตัวของดินทางแนวยาวในช่วงระหว่างที่ไม่มีการตรวจวัดจะทำการหาค่าโดยการเปรียบเทียบสัดส่วนเส้นตรง



รูปที่ 6.3 การทรุดตัวทางแนวยาวเมื่อหัวเจาะทำการขุดเจาะผ่านที่ระยะต่างๆ

การคำนวณค่าการเคลื่อนตัวที่ผิวดินทางขวาง (Surface settlement) จะใช้วิธี Empirical - solution ที่เสนอโดย Peck (1969) ดังสมการ 6.1 ค่า i สามารถหาได้จากรูปที่ 6.4

$$S = S_{max}\ exp\ (-x^2/2i^2) \tag{6.1}$$

ค่าการเคลื่อนตัวใต้ผิวดินทางขวางที่ระดับต่างๆใต้ผิวดิน (Subsurface settlement) S_Z สามารถหาค่าได้จากสมการ 6.1 เช่นเดียวกัน ตามที่เสนอโดย Mair et al. (1993) และค่า i จะต้องทำการหาค่าจากสมการ 6.2 และ 6.3

$$i = k\ (Z_0\text{-}Z) \tag{6.2}$$

$$k = [0.175+0.325(1\text{-}Z/Z_0)]\ /\ (1\text{-}Z/Z_0) \tag{6.3}$$

การเคลื่อนตัวด้านข้างของดินจะใช้สมการ 6.4 ที่เสนอโดย Norgrove et al. (1979)

$$S_X = (x/Z_0)\ S_Z \tag{6.4}$$

เมื่อ

S คือค่าการทรุดตัวที่ผิวดินทางแนวขวางที่ระยะ x ใดๆจากศูนย์กลางของอุโมงค์

S_{max} คือค่าการทรุดตัวที่ผิวดินสูงสุดที่ $x = 0$

S_Z คือค่าการเคลื่อนตัวใต้ผิวดินทางแนวขวางที่ระยะ x ใดๆจากศูนย์กลางของอุโมงค์

S_X คือค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน

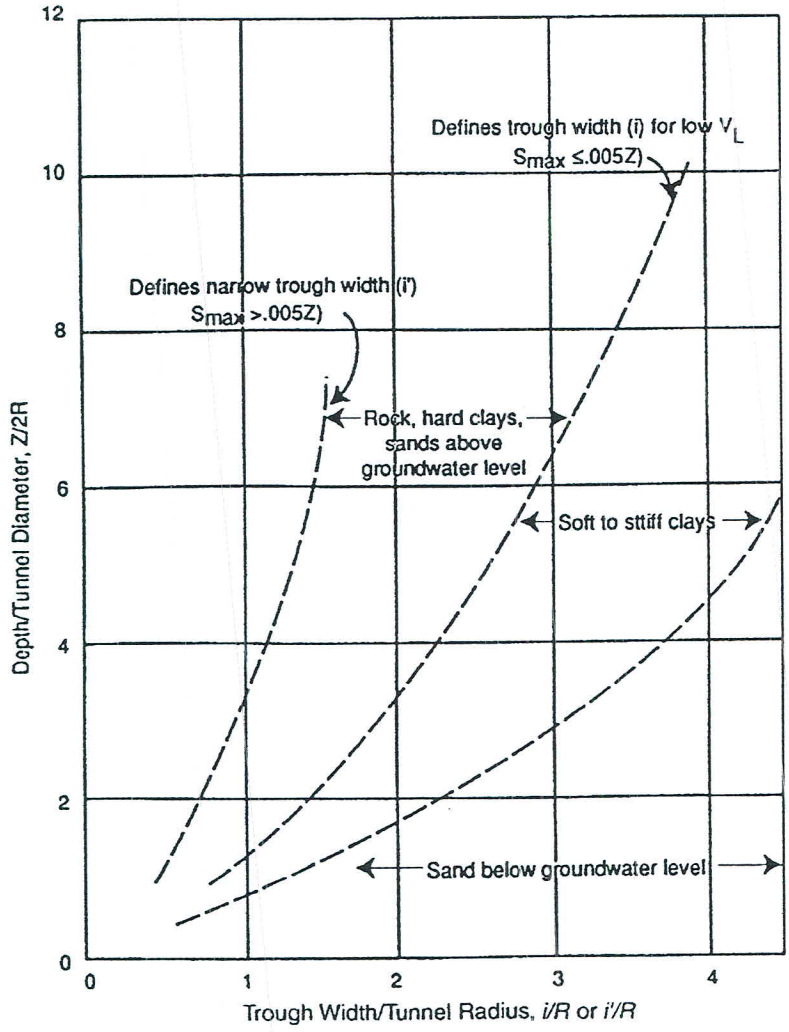
i คือระยะจากจุดศูนย์กลางอุโมงค์ถึงจุดโค้งกลับของแนวการทรุดตัว (Inflection point)

x คือระยะห่างจากศูนย์กลางของอุโมงค์ถึงตำแหน่งที่พิจารณา

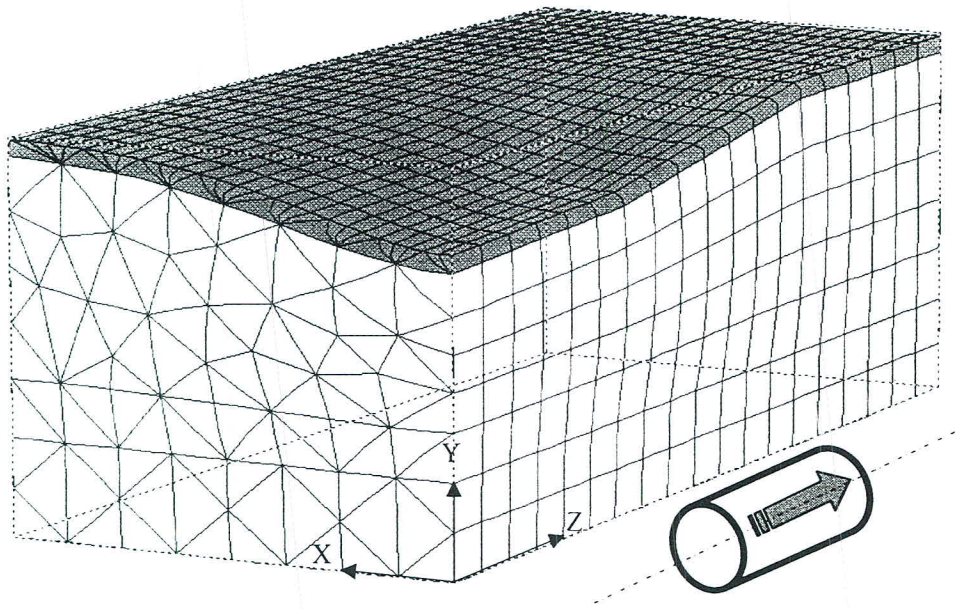
Z_0 คือระยะจากผิวดินถึงศูนย์กลางของอุโมงค์

Z คือระยะห่างใดๆ จากผิวดินแต่ไม่เกินยอดอุโมงค์

เมื่อนำค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ได้จากสมการข้างต้นดังกล่าว มาทำการจำลองและวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ 3 มิติจะได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของอุโมงค์กับค่า Trough width parameter (i)



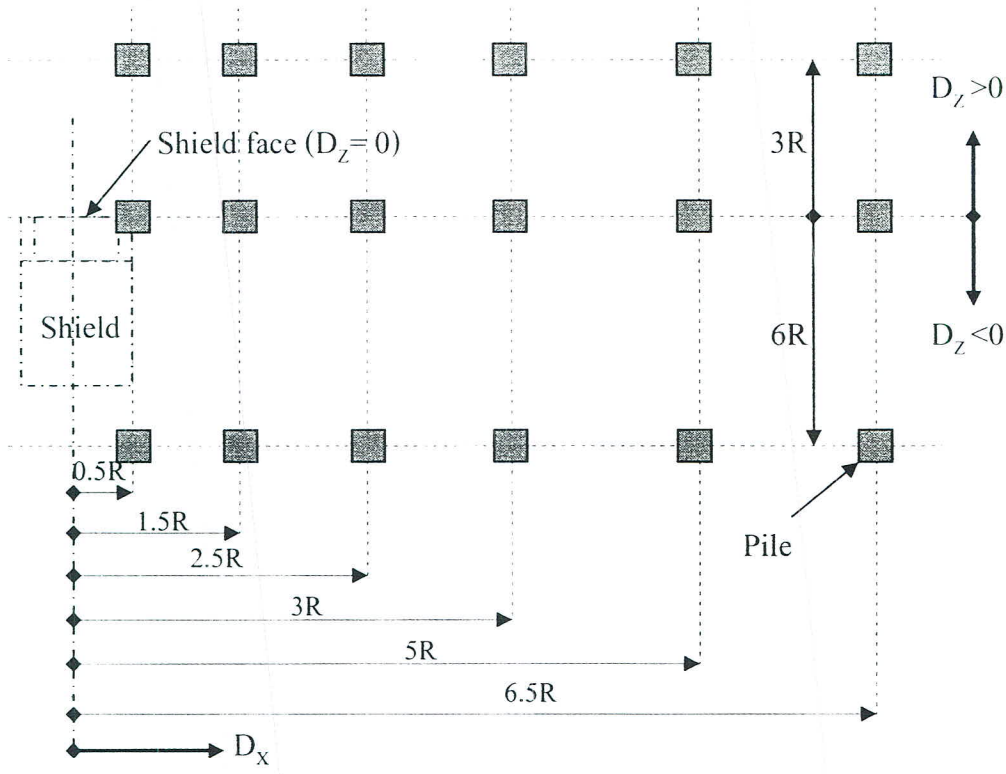
ภาพที่ 6.5 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของดิน

6.2.4.2 การวิเคราะห์ขั้นตอนที่ 2

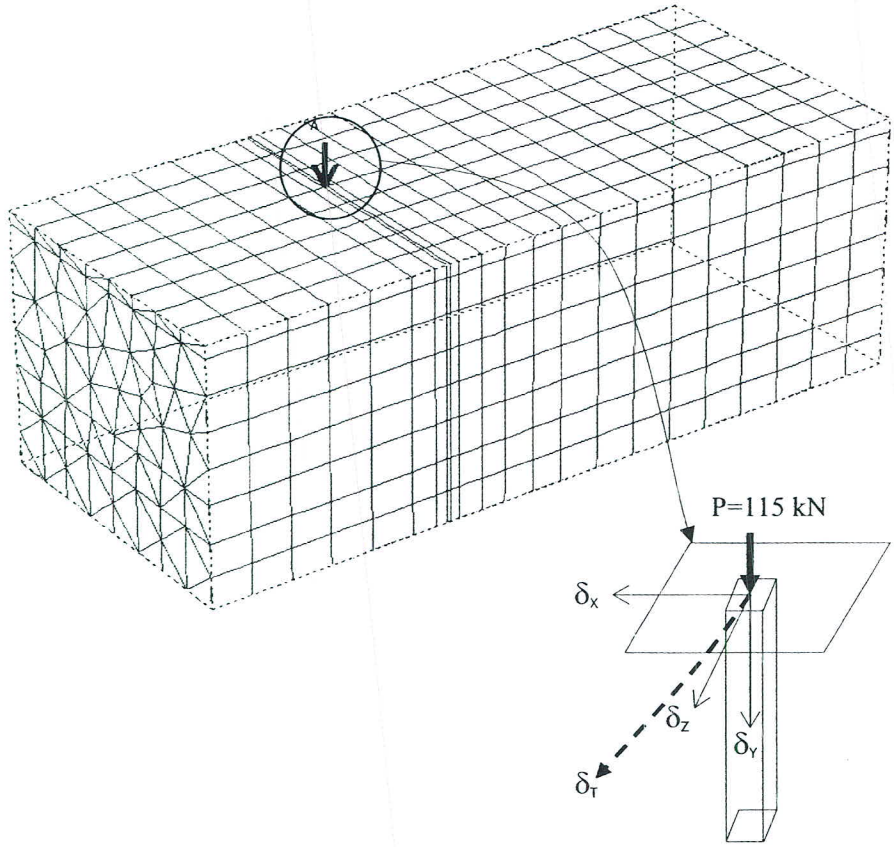
ในการวิเคราะห์ขั้นตอนที่ 2 จะนำค่าการเคลื่อนตัวของดินที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อเสาเข็มด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ 3 มิติ ซึ่งในการวิเคราะห์เสาเข็มจะมีตำแหน่งปลายเสาเข็มจากผิวดิน L_pที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 ตำแหน่งคือ 9, 12 และ 15 เมตร พร้อมทั้งมีระยะห่างจากด้านหน้าหัวเจาะถึงศูนย์กลางของเสาเข็ม D_Z และระยะห่างจากศูนย์กลางของอุโมงค์ถึงศูนย์กลางของเสาเข็ม D_X แสดงดังรูปที่ 6.6 รายละเอียดวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์แสดงในหัวข้อ 5.5

รูปที่ 6.7 จะแสดง Three dimension finite element mesh โดยที่ขนาดในทิศทางแกน X และ Y เท่ากับ 10R และขนาดในทิศทาง Z มีขนาดเท่ากับ 20R โดยในการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้คือ

- ขั้นตอนแรกจะเป็นกรณีที่เสาเข็มฝังอยู่ในชั้นดินและรับน้ำหนักบรรทุกจากภายนอกที่กระทำที่หัวเสาเข็ม
- ขั้นตอนต่อมาเป็นกรณีที่ดินเกิดการเคลื่อนตัวและกระทำต่อเสาเข็ม



รูปที่ 6.6 ตำแหน่งของเสาเข็มที่ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 6.7 Three dimension finite element mesh