

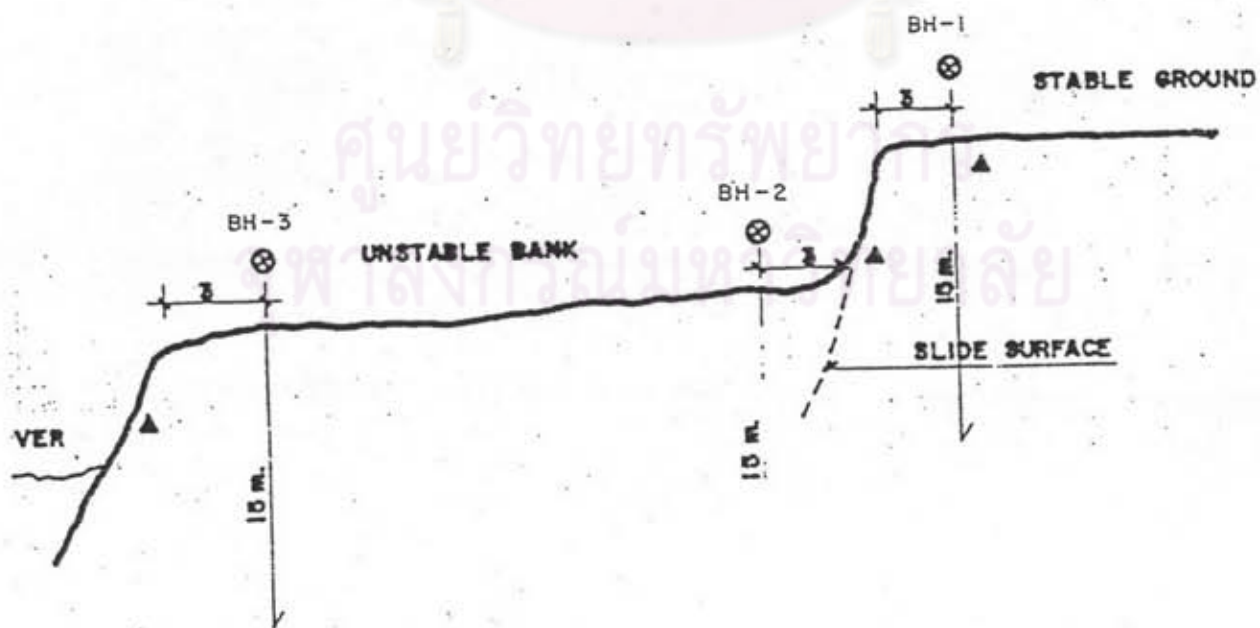
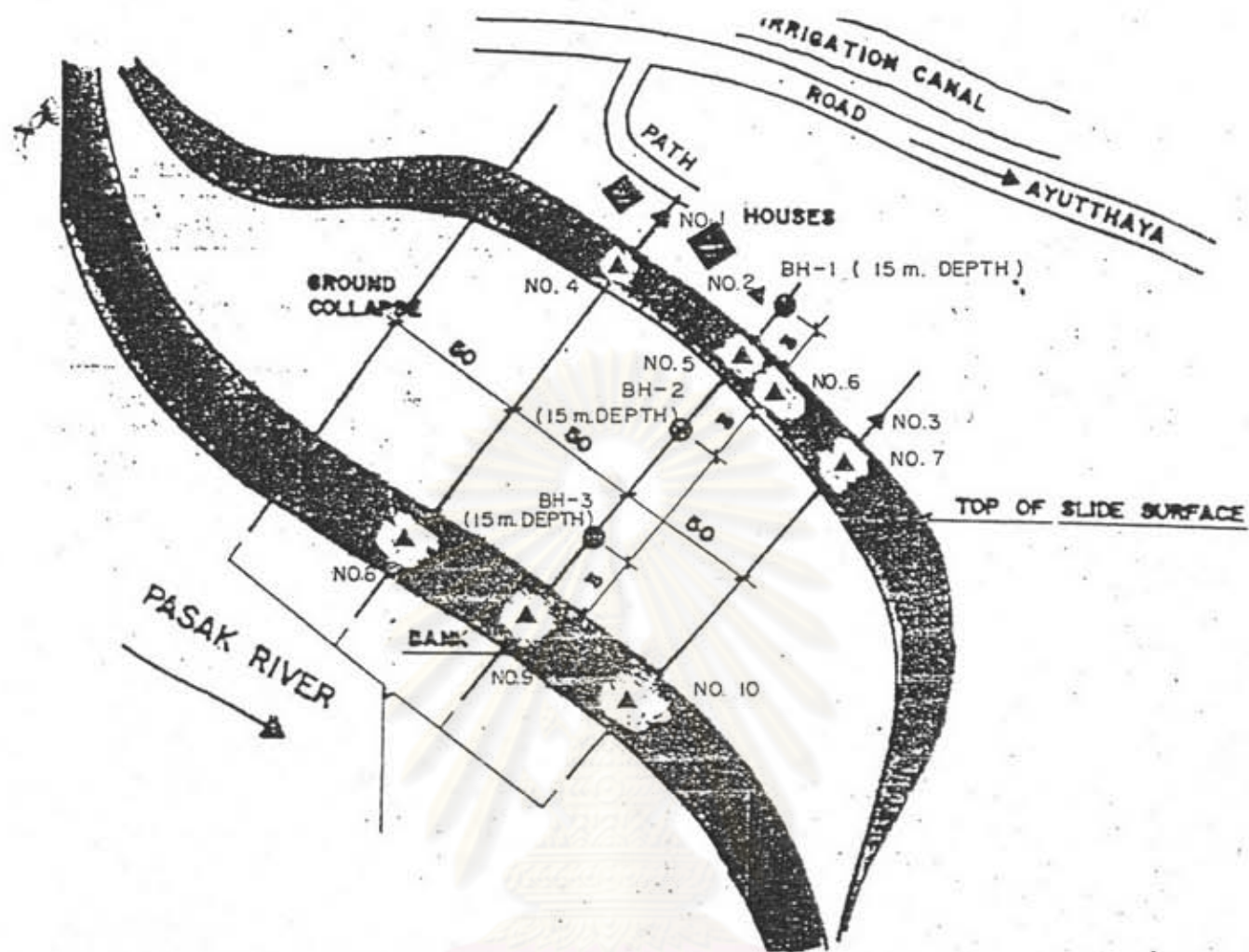


### บทที่ 3

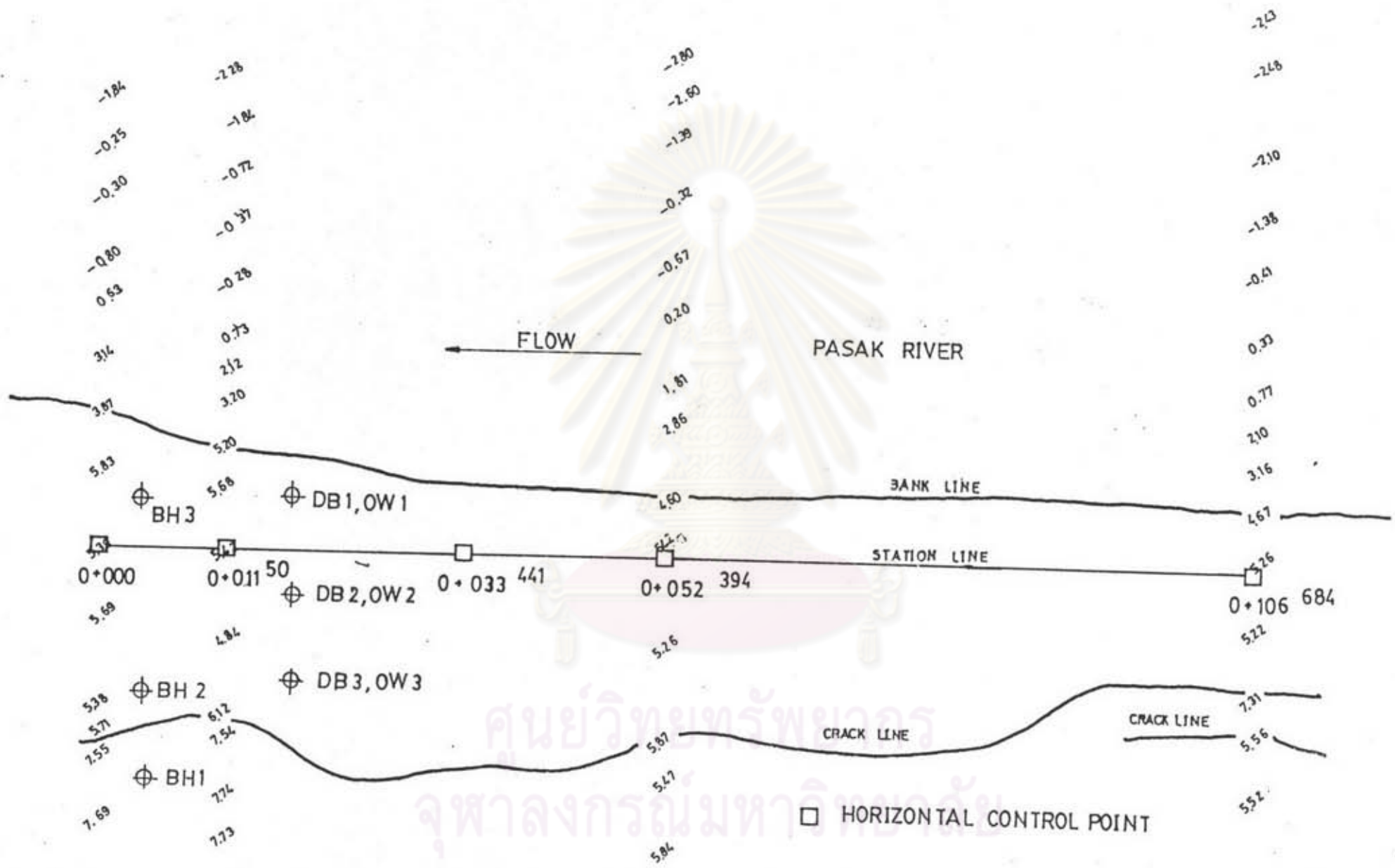
#### การทดลองและการวิจัย

การศึกษาถึงการพังทลายของตลิ่งแม่น้ำป่าสักบริเวณวัดศาลาลอยนี้ จำเป็นจะต้องตรวจสอบทั้งปัญหาทางด้านเสถียรภาพ ตัวประกอบสำคัญในการที่จะใช้วิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพคือ ค่าสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดิน ตลอดจนสมบัติพื้นฐานและความหนาแน่นของดินบริเวณนี้ อีกทั้งยังทำการตรวจสอบพฤติกรรมทางด้าน Normalized Behavior ของดินบริเวณนี้ จึงดำเนินการวิจัยต่อไปนี้

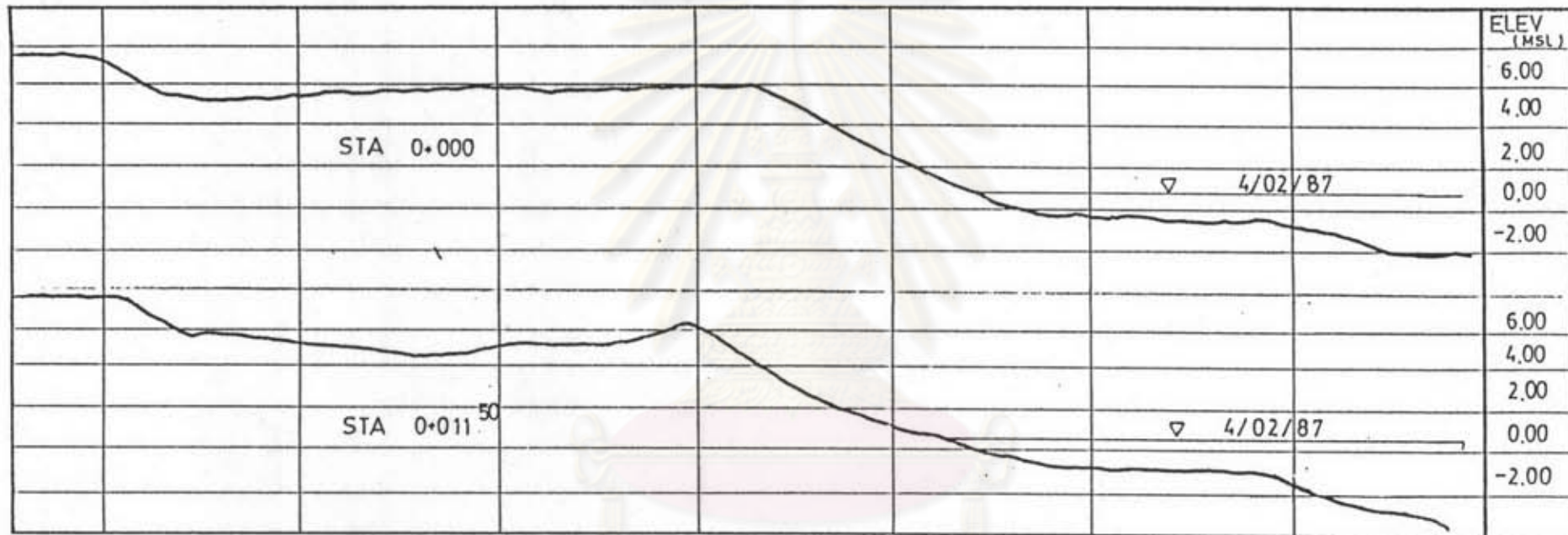
1. หาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอั้นเดรน (Undrained Shear Strength;  $s_u$ ) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำแบบหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis) ในกรณีที่พิจารณาว่าการวิบัติ อยู่ในลักษณะที่ไม่ระบายน้ำ
2. หาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบเดรน (Drained Shear Strength;  $c, \phi$ ) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาแบบหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis)
3. หาค่าสมบัติพื้นฐานของดินบริเวณที่ทำการวิจัย เพื่อจำแนกชนิดของดิน เพื่อนำมาหาค่าสมบัติทางด้าน Normalized Behavior
4. ห้อัตราส่วนปลอดภัยทางด้านเสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำทั้งในไ้ดูหาระยะสั้น (Short Term Condition) และไ้ดูหาระยะยาว (Long Term Condition)
5. คาดคะเนถึงสาเหตุของการวิบัติของตลิ่งแม่น้ำบริเวณที่สนใจนี้พร้อมทั้งตรวจสอบอัตราส่วนปลอดภัยของตลิ่งแม่น้ำ



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งหลุมเจาะของบริษัท KEC

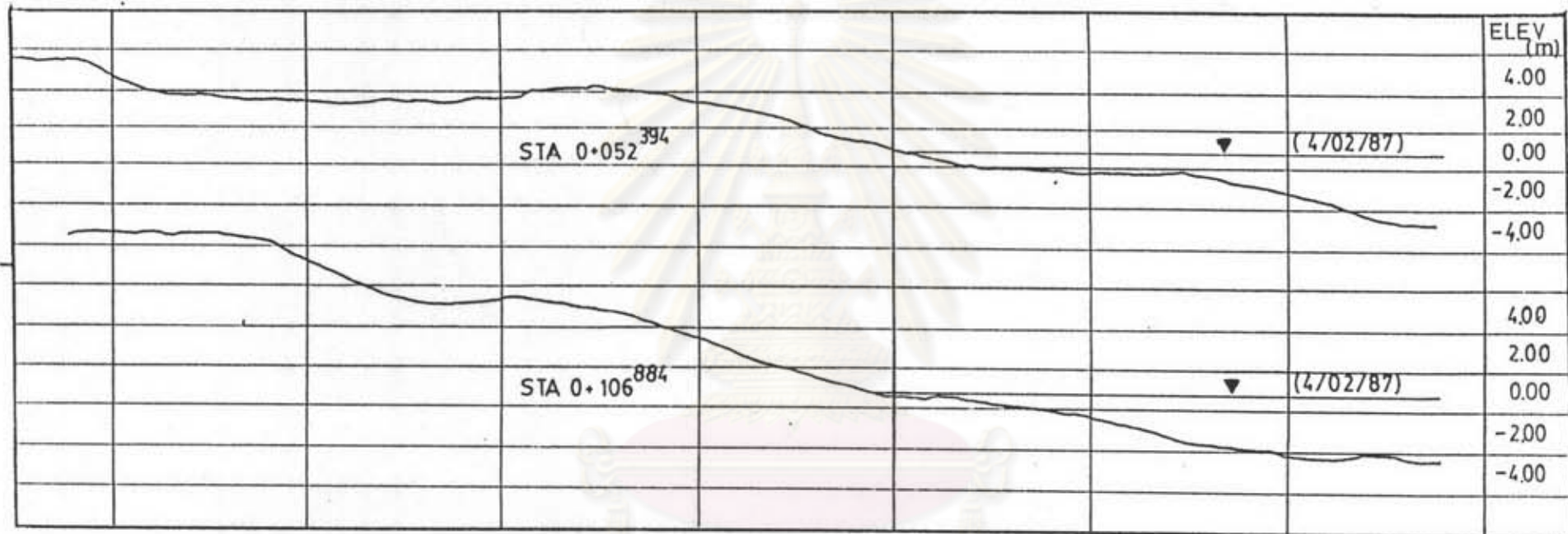


รูปที่ 3.2 ตำแหน่งหลุมเจาะของบริษัท KEC และตำแหน่งรูปร่างหน้าตัด



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 รูปที่ 3.3 รูปร่างหน้าตัดสิ่งที sta 0+000 และ sta 0+011.50  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.3 (ต่อ) รูปร่างหน้าตัดคดโค้งที่ sta 0+052.394 และ sta 0+106.884

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.1 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง

#### 3.1.1 สถานที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง

บริเวณที่ทำการศึกษาวัดตั้งนี้เป็นตลิ่งแม่น้ำป่าสัก บริเวณวัดศาลาลอย ตำบลบ้านศาลาลอย อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา บริษัท K Engineering Consultant Co.,Ltd. ได้ทำการสำรวจหารูปร่างหน้าตัดของดินบริเวณพื้นที่ที่เกิดการวิบัติ และได้ทำการเจาะสำรวจดินบริเวณที่สนใจไว้จำนวน 3 หลุมเจาะ ดังปรากฏในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งแสดงตำแหน่งของหลุมเจาะและตำแหน่งของรูปร่างหน้าตัดของบริเวณที่สนใจ ส่วนรูปที่ 3.3 แสดงรูปร่างหน้าตัดของบริเวณที่สนใจ ซึ่งเกิดการวิบัติไปแล้ว บริษัท K. Engineering Co.,Ltd. ได้ทำการเจาะสำรวจดินทั้งในบริเวณที่เกิดการวิบัติและบริเวณที่ไม่เกิดการวิบัติ โดยทำการเจาะสำรวจหลุมละ 15 เมตร โดยหลุมที่ 1 อยู่นอกบริเวณที่เกิดการวิบัติ ส่วนหลุมที่ 2 และ 3 ทำการเจาะสำรวจในบริเวณที่เกิดการวิบัติ ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจและทดสอบของบริษัท K. Engineering Consultants Co.,Ltd. สำหรับหลุมเจาะทั้งสามประกอบด้วย ค่า Standard Penetration, ค่า Atterberg's Limits, ค่าความชื้นตามธรรมชาติ ( $w_n\%$ ) และค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบด้วย Pocket Penetrometer และความหนาแน่นรวมของตัวอย่างดิน ซึ่งปรากฏในตารางที่ 3.1

จากข้อมูลของบริษัท K. Engineering Consultant Co., Ltd. จะพบว่า ในบริเวณที่เกิดการวิบัติชั้นดินตั้งแต่ 0~4 เมตร ประกอบด้วย ดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay, Medium Plasticity Trace of Very Fine Sand (CL)) มีค่าดัชนีพลาสติกซิตี (PI%) ประมาณ 15% และชั้นดินตั้งแต่ 4~15 เมตร จะประกอบด้วย ดินเหนียวแข็งปานกลางและแข็งมาก (Medium to Stiff Clay) มีค่าดัชนีพลาสติกซิตี ประมาณ 15~40% เมื่อพิจารณารูปร่างหน้าตัดของบริเวณที่เกิดการวิบัติ จะพบว่า ความลาดเอียงของตลิ่งประมาณ 10~25° มีความสูงของตลิ่งประมาณ 8~10 เมตร และความกว้างของการเลื่อนไถล ประมาณ 20-30 เมตร และการเลื่อนไถลมีแนวยาว ประมาณ 500 เมตร

K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

BORING LOG		BORING NO. BH-1		GROUND ELEV.(m.) 7.686 MSL				
PROJECT 2nd INLAND WATERWAYS-PASAK RIVER		DEPTH (m.) 15.45		OBSERVED WL (m.) NOT FOUND				
LOCATION BAN SALA LOY, THA RUF.		COORD. N 1,606,662.233		DATE STARTED 14/2/87				
		E 683,732.883		DATE FINISHED 14/2/87				
SOIL DESCRIPTION	DEPTH (m.)	GRAPHIC LOG	METHOD	SAMPLING & RECOVERY	SPT - N (blows/ft)	PL W <sub>n</sub> LL (%)	S <sub>u</sub> (t/m <sup>2</sup> )	γ <sub>1</sub> (t/m <sup>3</sup> )
					10 20 30 40	20 40 60 80	○ UCT △ PP X FVT □ TV	1.6 1.8 2.0
STIFF CLAY, MEDIUM PLASTICITY, DARK BROWN AND DARK GREY, TRACE OF FINE SAND (CL)	1		PA		8			
	2		SS 1		11			
			PA					
3.00	3		SS 2		11			
			PA					
		SS 3		18				
STIFF TO VERY STIFF CLAY, HIGH PLASTICITY, GREY, BROWN AND YELLOWISH BROWN (CH)	4		PA		11			
	5		SS 4		14			
			PA					
	6		SS 5		15			
			PA					
	7		SS 6		15			
			PA					
	8		SS 7		13			
			PA					
	9		SS 8		20			
			PA					
	10		SS 9		18			
			PA					
	11		SS 10		14			
			PA					
12		SS 11		18				
		PA						
13		SS 12		23				
		PA						
14		SS 13		28				
		PA						
15		SS 14		23				
		PA						
15.45		SS 15		28				
END OF BORING								

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจากการเจาะสำรวจและทดสอบของบริษัท KEC



## K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

BORING LOG		BORING NO. BH-2		GROUND ELEV.(m.) 5.283MSL													
PROJECT 2nd INLAND WATERWAYS-PASAK RIVER		DEPTH (m.) 15.45		OBSERVED WL (m.) -13.75													
LOCATION BAN SALA LOY, THA RUA		COORD. N 1,606,669.208		DATE STARTED 5/2/87													
		E 683,727.980		DATE FINISHED 5/2/87													
SOIL DESCRIPTION	DEPTH (m.)	GRAPHIC LOG	METHOD	SAMPLING RECOVERY	SPT - N (blows / ft)			PL W <sub>n</sub> LL (%)			S <sub>u</sub> (t/m <sup>2</sup> )				γ <sub>1</sub> (t/m <sup>3</sup> )		
					10	20	30	40	20	40	60	80	5	10	15	20	1.6
MEDIUM CLAY, MEDIUM PLASTICITY, TRACE OF FINE SAND, DARK GREY AND DARK BROWN  (CL)	1		SS 1	4													
	2		ST 1														
	3		SS 2	5													
	4		ST 2														
	5		ST 3														
	6		SS 3	12													
	7		SS 4	17													
	8		SS 5	20													
	9		SS 6	12													
	10		SS 7	12													
	11		SS 8	16													
	12		SS 9	24													
	13		SS 10	23													
	14		SS 11	27													
	15		SS 12	31													
	15.45		SS 13	32													
END OF BORING	16																
	17																



K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

BORING LOG

PROJECT 2nd INLAND WATERWAYS-PASAK RIVER  
 LOCATION BAN SALA LOY, THA RUA

BORING NO. BH-3  
 DEPTH (m.) 15.45  
 COORD. N 1,606,686.237  
E 683,717.682

GROUND ELEV.(m.) 5.558 MS1  
 OBSERVED WL (m.) 5.80  
 DATE STARTED 6/2/87  
 DATE FINISHED 6/2/87

SOIL DESCRIPTION	DEPTH (m.)	GRAPHIC LOG	METHOD SAMPLING & RECOVERY	SPT - N (blows / ft)				PL W <sub>n</sub> LL (%)			S <sub>u</sub> (t/m <sup>2</sup> )				γ <sub>t</sub> (t/m <sup>3</sup> )		
				10	20	30	40	20	40	60	80	5	10	15	20	1.6	1.8
MEDIUM FINE SANDY CLAY, DARK BROWN	1.50		SS 1	5													
SOFT TO MEDIUM CLAY WITH FINE SAND, LOW TO MEDIUM PLASTICITY, DARK BROWN (CL)	2		SS 2	7													
	3		ST 1														
	4		SS 3	2													
	5		SS 4	5													
	6		SS 5	6													
	7	8.00		SS 6	6												
STIFF CLAY TRACE OF FINE SAND, DARK GREY, BROWN (CL)	9.00		SS 7	11													
STIFF TO VERY STIFF CLAY, HIGH PLASTICITY, GREY, DARK BROWN AND YELLOWISH BROWN (CH)	9		SS 8	16													
	10		SS 9	22													
	11		SS 10	14													
	12		SS 11	16													
	13		SS 12	10													
	14		SS 13	20													
	15	15.45		SS 14	25												
	END OF BORING																

## K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

## SUMMARY OF TEST RESULTS

2 ND. INLAND WATERWAYS  
Project : PASAK RIVER  
Location : BAN SALA LOY, THA RUA

Boring No. : BH-1  
Depth (m) : 15.45  
Coord. : N 1,606,662.233  
E 683,732.883

Ground elev.(m) : 7.686MSL  
Observed vl(m) : NOT FOUND  
Field works : FEB.4,87  
Lab. tests : FEB.5-9,87

Made by : HAKONG P.  
Date : FEB.9,87  
Checked by : WITDORN S.  
Date : FEB.19,87

Sample No.	Depth (m)		USCS group	Gradation (% passing sieve)				Natural water content (%)	Atterberg's limits (%) & indices				Total unit weight (t/m <sup>3</sup> )	Undrained shear strength(t/m <sup>2</sup> )		SPT-N (blows/ft)
	From	To		#4	#10	#40	#200		LL	PL	PI	LI		PF	UC	
SS-1	1.00	1.45	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	8
SS-2	2.00	2.45	CL	-	-	-	23	39	19	20	0.20	1.97	17.50	-	11	
SS-3	3.00	3.45	-	-	-	-	24	-	-	-	-	1.93	10.00	-	10	
SS-4	4.00	4.45	CH	-	-	-	33	58	26	32	0.22	1.92	10.00	-	11	
SS-5	5.00	5.45	-	-	-	-	31	-	-	-	-	1.92	12.50	-	14	
SS-6	6.00	6.45	CH	-	-	-	31	55	25	29	0.11	1.91	15.00	-	15	
SS-7	7.00	7.45	-	-	-	-	23	-	-	-	-	2.07	15.00	-	13	
SS-8	8.00	8.45	CL	-	-	-	22	49	22	27	0.09	2.05	17.50	-	20	
SS-9	9.00	9.45	-	-	-	-	23	-	-	-	-	2.04	18.75	-	18	
SS-10	10.00	10.45	CH	-	-	-	29	56	24	32	0.16	1.96	15.00	-	14	
SS-11	11.00	11.45	-	-	-	-	29	-	-	-	-	1.97	17.50	-	18	
SS-12	12.00	12.45	CH	-	-	-	27	63	28	35	0.03	2.00	22.50	-	23	
SS-13	13.00	13.45	-	-	-	-	25	-	-	-	-	2.04	-	-	28	
SS-14	14.00	14.45	CH	-	-	-	26	55	25	30	0.03	2.00	-	-	23	
SS-15	15.00	15.45	-	-	-	-	24	-	-	-	-	2.04	-	-	28	

## K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

## SUMMARY OF TEST RESULTS

2 ND. INLAND WATERWAYS  
Project : PASAK RIVER  
Location : BAN SALA LOY, THA RUA

Boring No. : BH-2  
Depth (m) : 15.45  
Coord. : N 1,606,669.208  
E 683,727.980

Ground elev.(m) : 5.283MSL  
Observed vl(m) : -13.75  
Field works : FEB.5,87  
Lab. tests : FEB.6-10,87

Made by : HAKONG P.  
Date : FEB.10,87  
Checked by : WITDORN S.  
Date : FEB.19,87

Sample No.	Depth (m)		USCS group	Gradation (% passing sieve)				Natural water content (%)	Atterberg's limits (%) & indices				Total unit weight (t/m <sup>3</sup> )	Undrained shear strength(t/m <sup>2</sup> )		SPT-N (blows/ft)
	From	To		#4	#10	#40	#200		LL	PL	PI	LI		PF	UC	
SS-1	1.00	1.45	CL	-	-	-	12	37	22	15	-0.67	1.95	22.45	-	4	
SS-2	2.00	2.45	-	-	-	-	24	-	-	-	-	1.93	7.25	-	-	
SS-3	2.50	2.95	CL	-	-	-	27	37	20	14	0.29	-	5.00	-	5	
SS-4	3.00	3.50	CL	-	-	-	25	39	20	19	0.26	1.92	0.75	-	-	
SS-5	4.00	4.45	CH	-	-	-	25	60	26	34	-0.03	1.95	11.25	-	-	
SS-6	5.00	5.45	-	-	-	-	21	-	-	-	-	2.04	11.25	-	12	
SS-7	6.00	6.45	CH	-	-	-	24	64	28	36	-0.11	1.97	16.25	-	17	
SS-8	7.00	7.45	-	-	-	-	20	-	-	-	-	2.06	21.25	-	20	
SS-9	8.00	8.45	CH	-	-	-	26	65	27	38	-0.03	1.94	11.25	-	12	
SS-10	9.00	9.45	-	-	-	-	26	-	-	-	-	1.99	12.50	-	12	
SS-11	10.00	10.45	CH	-	-	-	25	63	27	36	-0.05	1.97	21.25	-	16	
SS-12	11.00	11.45	-	-	-	-	23	-	-	-	-	2.01	22.50	-	24	
SS-13	12.00	12.45	CH	-	-	-	23	60	28	32	-0.16	2.02	-	-	23	
SS-14	13.00	13.45	-	-	-	-	21	-	-	-	-	2.03	-	-	27	
SS-15	14.00	14.45	CH	-	-	-	22	61	29	32	-0.22	2.05	-	-	31	
SS-16	15.00	15.45	-	-	-	-	21	-	-	-	-	2.05	-	-	32	



## K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

## SUMMARY OF TEST RESULTS

2 ND. INLAND WATERWAYS  
Project : PASAK RIVER  
Location : BAN SALA LOY, THA RUA

Boring No. : BH-3  
Depth (m) : 15.45  
Coord. :  
N 1,606,686.237  
E 683,717.682

Ground elev.(m): 5.558 MSL  
Observed w(%) : -5.80  
Field works : FEB.6,87  
Lab. tests : FEB.10-13,87

Made by : NARONG P.  
Date : FEB.13,87  
Checked by : WITOON S.  
Date : FEB.19,87

Sample No.	Depth (m)		USCS group	Gradation (% passing sieve)				Natural water content (%)	Atterberg's limits (%) & indices				Total unit weight (t/m <sup>3</sup> )	Undrained shear strength(t/m <sup>2</sup> )		SPT-N (blows/ft)
	From	To		#4	#10	#40	#200		LL	PL	PI	LI		PP	UC	
SS-1	1.00	1.45	CL	100	100	100	64	9	-	-	-	-	-	-	-	5
SS-2	2.00	2.45	CL	-	-	-	-	14	33	10	15	-0.27	-	-	-	7
CT-1	3.00	3.45	CL	100	99	99	90	20	31	15	16	0.31	1.97	-	-	-
SS-3	4.00	4.45	CL	100	99	98	83	24	-	-	-	-	-	-	-	2
SS-4	5.00	5.45	CL	100	98	97	35	7	-	-	-	-	-	-	-	5
SS-5	6.00	6.45	CL	100	100	100	77	22	-	-	-	-	-	-	-	6
SS-6	7.00	7.45	CL	100	100	99	89	24	26	15	11	0.82	-	5.00	-	6
SS-7	8.00	8.45	CL	-	-	-	-	25	36	18	18	0.39	2.04	11.25	-	11
SS-8	9.00	9.45	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-	2.03	12.50	-	16
SS-9	10.00	10.45	CH	-	-	-	-	25	51	24	27	0.04	2.00	15.00	-	22
SS-10	11.00	11.45	-	-	-	-	-	35	-	-	-	-	1.99	12.50	-	14
SS-11	12.00	12.45	CH	-	-	-	-	29	57	29	28	0.00	2.04	15.00	-	16
SS-12	13.00	13.45	CH	-	-	-	-	35	52	24	28	0.39	1.93	5.00	-	10
SS-13	14.00	14.45	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	1.97	13.75	-	20
SS-14	15.00	15.45	CH	-	-	-	-	26	56	25	31	0.03	1.94	-	-	25

## K. ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

## SUMMARY OF TEST RESULTS

2 ND. INLAND WATERWAYS  
Project : PASAK RIVER  
Location : BAN SALA LOY, THA RUA

Boring No. :  
Depth (m) :  
Coord. :  
Lab. tests : FEB.6-10,87

Ground elev.(m):  
Observed w(%) :  
Field works :  
Date : FEB.13,87  
Checked by : WITOON S.  
Date : FEB.19,87

Sample No.	Depth (m)		USCS group	Gradation (% passing sieve)				Natural water content (%)	Atterberg's limits (%) & indices				Total unit weight (t/m <sup>3</sup> )	Undrained shear strength(t/m <sup>2</sup> )		SPT-N (blows/ft)
	From	To		#4	#10	#40	#200		LL	PL	PI	LI		PP	UC	
SUPERFICIAL SAMPLES																
1	0.50	-	CL	-	-	-	-	19	47	22	25	0.12	-	-	-	-
2	0.50	-	CL	-	-	-	-	16	35	22	13	-0.46	-	-	-	-
3	0.50	-	CL	-	-	-	-	18	37	23	14	-0.36	-	-	-	-
4	0.50	-	CL	-	-	-	-	16	47	24	23	-0.35	-	-	-	-
5	0.50	-	CL	100	99	99	70	10	35	20	15	-0.67	-	-	-	-
6	0.50	-	SM	100	100	100	44	4	NON PLASTIC				-	-	-	-
7	0.50	-	CL	100	100	100	90	14	50	19	17	-0.29	-	-	-	-
8	0.50	-	CL	100	100	98	93	18	47	24	23	-0.26	-	-	-	-
9	0.50	-	CL	100	100	100	75	15	36	21	15	-0.40	-	-	-	-
10	0.50	-	CL	100	100	100	85	14	34	20	14	-0.43	-	-	-	-

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)



เมื่อพิจารณาข้อมูลดินและรูปร่างหน้าตัดของบริษัท K. Engineering Consultant Co., Ltd. จะพบว่าชั้นดินมีความแปรปรวน เมื่อระยะห่างจากแม่น้ำต่างกัน ซึ่งประกอบไปด้วย ดินเหนียวแข็งปานกลาง หนาประมาณ 4-8 เมตร ตกตะกอนอยู่บนดินเหนียวแข็งสีเหลือง วิจารณ์ได้ว่าดินเหนียวแข็งปานกลางอาจเกิดจากตกตะกอนของดินจากแม่น้ำป่าสักเอง เพราะความหนาของชั้นดินลดลงเมื่อระยะทางห่างจากตลิ่งแม่น้ำมากขึ้น ดังนั้นในการเจาะเก็บตัวอย่างดิน จะเก็บตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 3 หลุม โดยความลึกของแต่ละหลุมเจาะ จะเก็บตัวอย่างของชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง ซึ่งมีความลึกจากระดับผิวดินประมาณ 6-10 เมตร เพราะเมื่อวิเคราะห์เบื้องต้นและพิจารณาจากรอยวิบัติที่เกิดขึ้น ทำให้มั่นใจได้ว่ารอยผิวของการวิบัติ (Failure Surface) ไม่สามารถลึกลงไปถึงชั้นดินแข็งชั้นล่างได้ (Stiff Clay) โดยที่แนวของรอยผิวของวิบัติห่างจากตลิ่งแม่น้ำ 20~30 เมตร

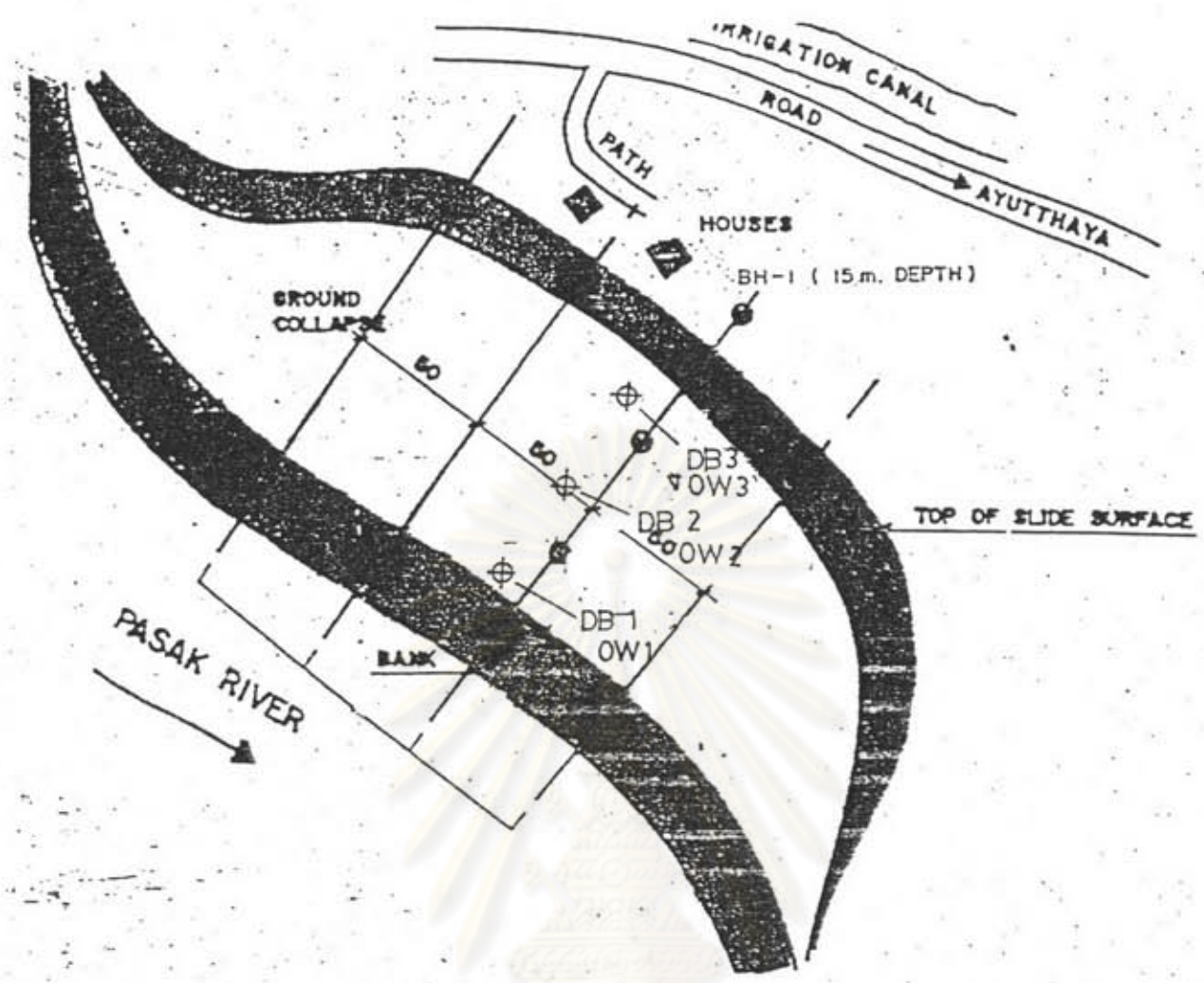
ตำแหน่งที่ทำการเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวน (Undisturbed sample) คือ DB1, DB2 และ DB3 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยที่ DB1 จะอยู่ใกล้เคียงกับตลิ่งแม่น้ำและใกล้เคียงกับ BH3 ของการเจาะสำรวจของ บริษัท

K. Engineering Consultant Co., Ltd. ส่วน DB2 และ DB3 จะห่างจากตลิ่งแม่น้ำออกมา และห่างจาก DB1 8 เมตร และ 16 เมตร ตามลำดับ การที่เจาะเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวน (Undisturbed Sample) ถึง 3 หลุมเจาะ เพื่อพิจารณาถึงการแปรเปลี่ยนทางด้านสมบัติกำลังรับแรงเฉือน และ ประวัติหน่วยแรง (Stress History) ของดิน

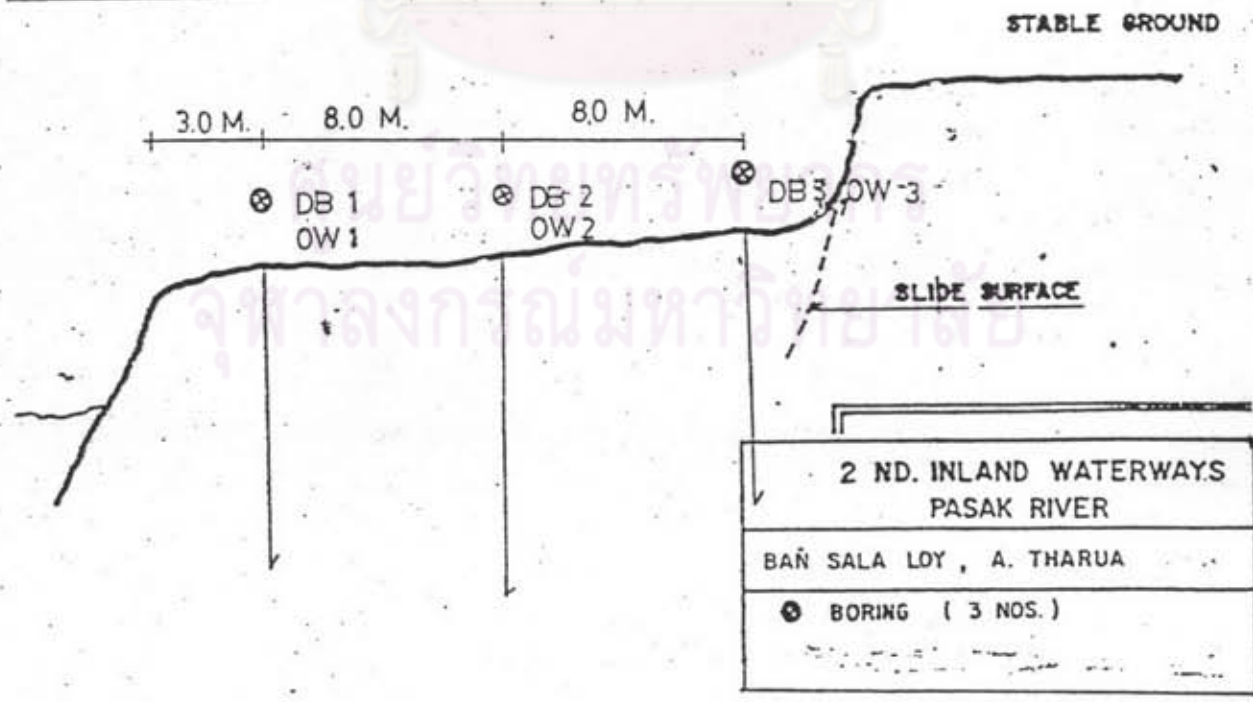
เมื่อพิจารณาดำเนินการของหลุมเจาะทั้งสาม (DB1, DB2, DB3) พบว่าควรทำการทดสอบตัวอย่างดิน สำหรับ DB1 แบบ Extension Test, DB2 แบบ Direct Shear Test และ DB3 แบบ Compression Test

### 3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อให้ได้ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนน้อย และสามารถนำตัวอย่างดินที่ได้มาทำการทดสอบหาค่าความซึมผ่านของน้ำในแนวราบ จึงทำการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกยาง (Shelby Tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 นิ้ว ยาวประมาณ 60 เซนติเมตร โดยทำการเจาะดินโดยใช้การฉีดล้าง (Wash Boring)



**CROSS SECTION**



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งหลุมเจาะที่ทำการเจาะสำรวจ (DB1, DB2, DB3)



จนถึงระดับก่อนเก็บตัวอย่างแล้วทำการกดกระบอกบางลงไปในดินให้เข้ามาอยู่ในกระบอกประมาณ 50 เซ็นติเมตร แล้วทำการหมุนก้านเจาะให้เดือนดินที่ปลายกระบอกบาง ในการเจาะสำรวจพบว่าบางที่ไม่สามารถกดกระบอกบางลงไปในดินได้ (ทำการเจาะสำรวจในฤดูแล้ง) จึงทำการตอกกระบอกบาง จากนั้นจะนำกระบอกบางขึ้นมาจากหลุม และทำการทดสอบหาแรงเฉือนแบบอันเดรน โดยใช้ Pocket Penetrometer แล้วนำฟารานินเคลือบที่หัวและท้ายกระบอกบาง พร้อมทั้งเขียนคำอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของตัวอย่างที่เก็บและปิดไว้กับกระบอกบาง สำหรับตำแหน่งหลุมเจาะแสดงในรูปที่ 3.4

หลังจากเก็บตัวอย่างดินได้ครบเรียบร้อยแล้ว นำกลับมาเก็บที่ห้องทดลองปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย โดยทำการดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกบาง ตัดหัวและท้ายออกประมาณ 5-10 เซ็นติเมตร แล้วตัดแบ่งออกเป็นก้อนโดยที่แต่ละก้อนยาวประมาณ 10 เซ็นติเมตร ทำการห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมบาง (Aluminium Foil) และเคลือบด้วยฟารานินให้มิดชิดรวมทั้งปิดฉลากตัวอย่างดิน บอกความลึก และตำแหน่งของหลุมเจาะ แล้วนำเข้าไปเก็บไว้ในห้องควบคุมความชื้น

### 3.2 การทดสอบ และการเก็บข้อมูลในสนาม

#### 3.2.1 การทดสอบ Field Vane Shear Test

การทดสอบ Field Vane Shear Test เป็นการทดสอบเพื่อวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (Undrain Shear Strength,  $S_u$ ) ในสนาม ซึ่งสามารถนำค่าแรงเฉือนที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

โดยปกติแล้วการทดสอบ Field Vane Shear Test จะกระทำที่บริเวณข้างหลุมเจาะ โดยที่รูปร่างของเครื่องมือจะปรากฏอยู่ในรูปที่ 3.5 (ก) โดยมีอัตราส่วนของความสูงต่อความยาวของใบ Vane ประมาณ 2 : 1 และส่วนปลายจะเป็นลักษณะสี่เหลี่ยม (Squared End) วิธีการในการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนจะทำได้โดยดันใบมีดลงไปในดิน จนถึงระดับความลึกที่ต้องการ และหมุนก้านใบมีดบนผิวดินแล้ววัดแรงบิด (Torsion Force) ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็น Unit Shear Resistance โดยสมมติการนั่งของดิน



เป็นไปตามผิวของกระบอก ดังนี้

$$s_u = T_{max} / \pi (DH/2 - D^3/6) \quad 3.1$$

โดยที่  $s_u$  = กำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน

$T$  = Torque

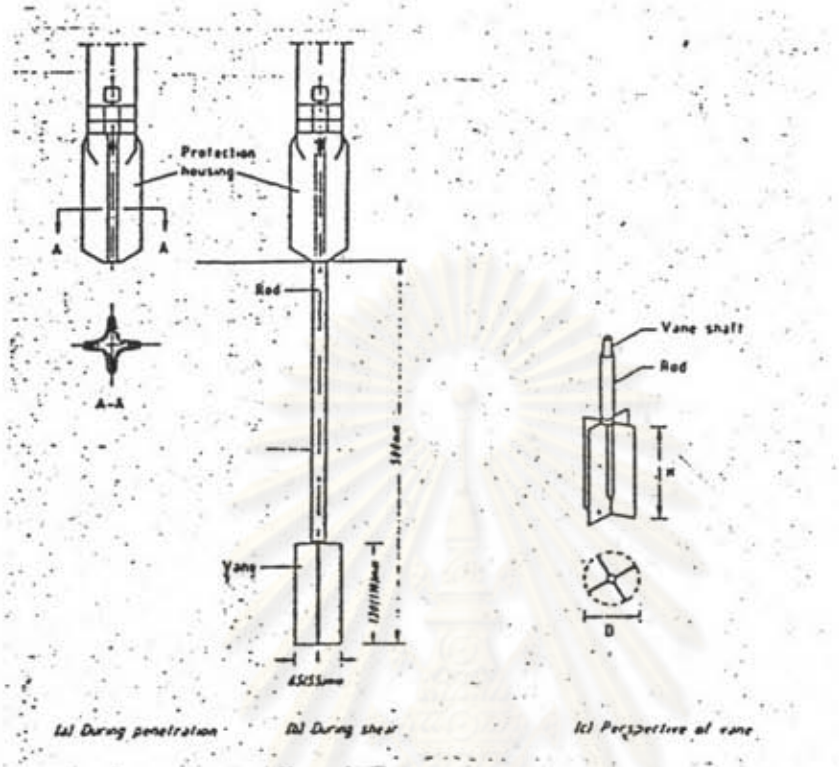
$D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบมีด Vane

$H$  = ความสูงของใบมีด Vane

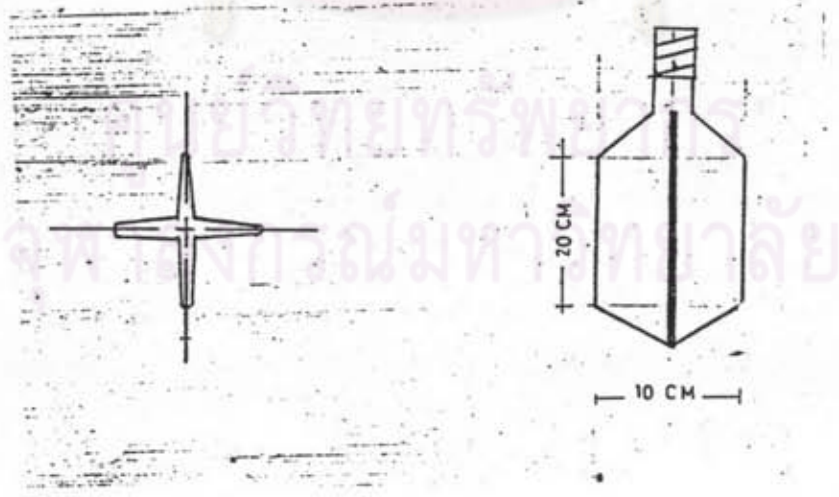
แต่จากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบ Vane Shear Test โดยทำการทดสอบในหลุมเจาะ โดยลักษณะของใบมีด (Vane) เป็นปลายแหลม (ดังรูปที่ 3.5 (ข)) ซึ่งอาจจะให้ผลค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนที่ได้จากการทดสอบเป็นค่าที่ไม่สามารถเปรียบเทียบกับการทำ Vane Shear Test แบบที่กระทำนอกหลุมเจาะได้ จากการที่ทำการเจาะสำรวจในฤดูแล้ง ซึ่งดินมีค่าความชื้นตามธรรมชาติ ( $w_n\%$ ) ต่ำมาก ทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ทดสอบออกมาสูงกว่า  $8 \text{ T/m}^2$  ทำให้ไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนได้ เพราะเครื่องมือในการวัดกำลังรับแรงเฉือนของ Vane Shear Test ที่มีอยู่วัดได้สูงเพียง  $8 \text{ T/m}^2$  เท่านั้น ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนจากการทำสอบ Vane Shear Test กับความลึก ปรากฏอยู่ในตารางที่ 4.1

### 3.2.2 การวัดระดับน้ำใต้ดิน

ในการเจาะสำรวจได้ทำการติดตั้ง Observation Well ในหลุมเจาะทั้งสาม เพื่อทำการเจาะสำรวจเรียบร้อยแล้ว Observation Well จะเป็นท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว เจาะรูตลอดความยาว ติดตั้งให้ปลาย Observation Well อยู่ต่ำกว่าความลึกของระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด จุดประสงค์ในการติดตั้ง Observation Well เพื่อที่จะสามารถทราบระดับน้ำใต้ดินที่ฤดูกาลต่าง ๆ เพื่อนำมาเขียนตาข่ายการไหล (Flow Net) สำหรับข้อมูลระดับน้ำใต้ดินกับเวลาจะปรากฏอยู่ในตารางที่ 3.2 ตำแหน่งของ Observation Well แสดงอยู่ในรูปที่ 3.4 สาเหตุที่ทำการวัดข้อมูลได้เพียงประมาณ



รูปที่ 3.5 (ก) เครื่องมือทดสอบ FIELD VANE SHEAR TEST.



รูปที่ 3.5 (ข) เครื่องมือทดสอบ FIELD VANE SHEAR TEST แบบปลายแหลม

TABLE 3.2 DATA OF WATER LEVEL IN OBSERVATION WELL (MSL)

DATE	OW1	OW2	OW3	NOTE
26/3/32	0.69	0.51	0.39	
27/3/32	0.64	0.56	0.34	
28/3/32	0.49	0.36	0.19	
29/3/32	0.34	0.26	0.14	
30/3/32	0.49	0.26	0.09	
31/3/32	0.44	0.21	0.14	
1/4/32	0.44	0.26	0.14	
2/4/32	0.39	0.21	-0.01	
3/4/32	0.34	0.16	0.04	
4/4/32	0.29	0.11	-0.07	
5/4/32	0.29	0.11	0.09	
6/4/32	0.19	0.11	0.04	
7/4/32	0.24	0.11	-0.11	
8/4/32	0.14	0.01	-0.06	
9/4/32	0.14	-0.04	-0.06	
10/4/32	0.19	0.01	-0.16	
11/4/32	0.24	0.01	-0.16	
12/4/32	0.24	-0.04	-0.26	
13/4/32	0.34	0.06	-0.06	
14/4/32	0.39	0.06	-0.11	
15/4/32	0.19	0.01	-0.21	
16/4/32	0.44	0.21	0.14	
17/4/32	0.19	0.01	-0.21	
18/4/32	0.24	0.11	-0.06	
19/4/32	0.19	0.11	0.04	
20/4/32	-0.01	-0.14	-0.26	
21/4/32	0.19	0.01	-0.16	
22/4/32	0.14	-0.19	-0.51	
23/4/32	0.19	0.01	0.04	
24/4/32	-0.01	-0.09	-0.26	
25/4/32	-0.26	-0.39	-0.41	
26/4/32	-0.26	-0.34	-0.36	
27/4/32	-0.21	-0.34	-0.51	
28/4/32	-0.21	-0.39	0.04	
29/4/32	-0.21	-0.59	-0.51	
30/4/32	-0.16	-0.34	-0.51	
1/5/32	0.29	0.00	-0.16	
2/5/32	-0.31	-0.59	-0.51	
3/5/32	-0.26	-0.74	-0.71	
4/5/32	-0.26	-0.74	-0.71	
5/5/32	0.29	0.00	-0.51	
6/5/32	-0.26	-0.59	-0.71	
7/5/32	-0.31	0.00	-0.16	
8/5/32	0.29	0.26	-0.71	
9/5/32	0.29	0.00	-0.16	
10/5/32	-0.31	-0.59	-0.51	
11/5/32	-0.26	-0.74	-0.71	
12/5/32	0.29	0.00	-0.51	
13/5/32	-0.31	-0.74	-0.51	
14/5/32	0.29	0.00	-0.71	
15/5/32	-0.26	-0.74	-0.16	



2 เดือน เพราะหลังจากนั้นท่อนิววีซีหาย ทำให้ไม่สามารถวัดระดับน้ำใต้ดินได้

### 3.3 การทดลองหาสมบัติพื้นฐาน

การทดลองหาสมบัติพื้นฐานเหล่านี้ จะใช้เพื่อจำแนกชนิดของดินได้ชัดเจน ง่ายต่อการอ้างอิง และใช้เพื่อวิเคราะห์ประกอบการทดลอง การทดลองหาสมบัติพื้นฐานประกอบด้วยการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Moisture Content)
2. Atterberg Limit
3. ความหนาแน่นรวม (Wet Unit Weight)
4. การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)
5. ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity Test)

วิธีการทดสอบหาคสมบัติพื้นฐานของดินที่ทำการวิจัย ได้ทำตามขั้นตอนในหนังสือ Soil Testing For Engineering (Lambe, 1951)

หลังจากทราบค่าความหนาแน่น และระดับน้ำใต้ดินในฤดูกาลต่าง ๆ แล้ว ทำให้สามารถทราบค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง ตามธรรมชาติของดินได้ ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการหาค่าประวัติหน่วยแรง (Stress History) เมื่อทราบค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีต ( $\sigma_{vm}$ ) จากหัวข้อ 3.4 และผลการทดลองเหล่านี้จะใช้เป็นพื้นฐานนำไปสู่การหาค่ากำลังรับแรงเฉือน

### 3.4 การทดลองการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ (One Dimension Consolidation Tests)

การทดลองอัดตัวคายน้ำนี้จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การทดลองในแนวดิ่ง โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อหาหน่วยแรงสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure,  $\sigma_{vm}$ ) และสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ (Coefficient of Permeability,  $k_v$ ) และการทดลองในแนวราบ เพื่อหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในแนวราบ ( $k_h$ ) เพื่อเปรียบเทียบ

ความสามารถในการซึมผ่านของดินในแนวราบและแนวตั้ง การทดลองนี้จะทำตามมาตรฐาน ASTM D 2435 - 65 T โดยใช้เครื่องมือแบบ Lever Arm (Lever Arm Type Consolidometer) Container ใช้ตัวอย่างขนาด 2.5 นิ้ว เป็นแบบยึดแน่น (Fixed Ring Container) การเพิ่มน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นทีละเท่า (Load Increment Ratio = 1.0) โดยใช้ช่วงเวลาในการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 24 ชม. (Load Increment Duration = 24 hr) การหาหน่วยแรงสูงสุดในอดีตโดยวิธี Casagrande (1936)

ส่วนการหาลัมประสิทธิ์การซึมผ่าน จะพิจารณาในช่วงของหน่วยแรงในแนวตั้งตามธรรมชาติ โดยทราบค่า Coefficient of Consolidation ( $C_v$ ) จากการทดสอบ One Dimensional Consolidation Test ดังสมการที่ 3.2

$$k_v = C_v \Delta e \gamma_w / \Delta \sigma (1 + e_{av}) \quad 3.2$$

โดยที่  $k_v$  = Coefficient of Permeability ในแนวตั้ง

$C_v$  = Coefficient of Consolidation

$\Delta e$  = Change of Void Ratio

$\Delta \sigma$  = Change of effective Stress

$e_{av}$  = Average of Void Ratio

$\gamma_w$  = Unit Weight of Water

### 3.5 การทดลองไตรแอกเซียล (Triaxial Test)

การทดลองไตรแอกเซียล เป็นการทดลองเพื่อใช้ในการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ประกอบด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไตรแอกเซียล (Bishop Type Triaxial Cell) ผลิตโดย Wykeham Farrance Engineering Ltd. Slough, England เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนมาก เพราะสามารถหาค่ากำลังรับแรงเฉือนได้ทั้งแบบกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรน (Undrained Shear Strength,  $S_u$ ) และกำลัง

รับแรงเฉือนแบบเดรน (Effective Shear Strength,  $\bar{c}, \bar{s}$ ) พร้อมกัน สามารถควบคุมแรงดันได้หลายทิศทาง เครื่องนี้ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ Triaxial Cell ซึ่งจะต่อเข้ากับแผงวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change Measurement) ความดันกลับในตัวอย่างดิน (Back Pressure) และความดันในเซลล์ (Cell Pressure) ความดันของระบบจะควบคุมให้คงที่ โดยใช้ระบบสมดุลย์ของปรอท (Self Compensating Mercury Column System) เครื่องแปลงกำลัง (Transducer) และเครื่องอ่านความดันเป็นตัวเลข (Digital Transducer) สำหรับใช้วัดความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure) นอกจากนั้นยังมีโครงเหล็กแขวน (Steel Frame Hanger) ใช้สำหรับวางน้ำหนักคงที่ (Dead Weight) และเกจ (Dial Gauge) ใช้ในการวัดการยุบตัวของตัวอย่างดิน

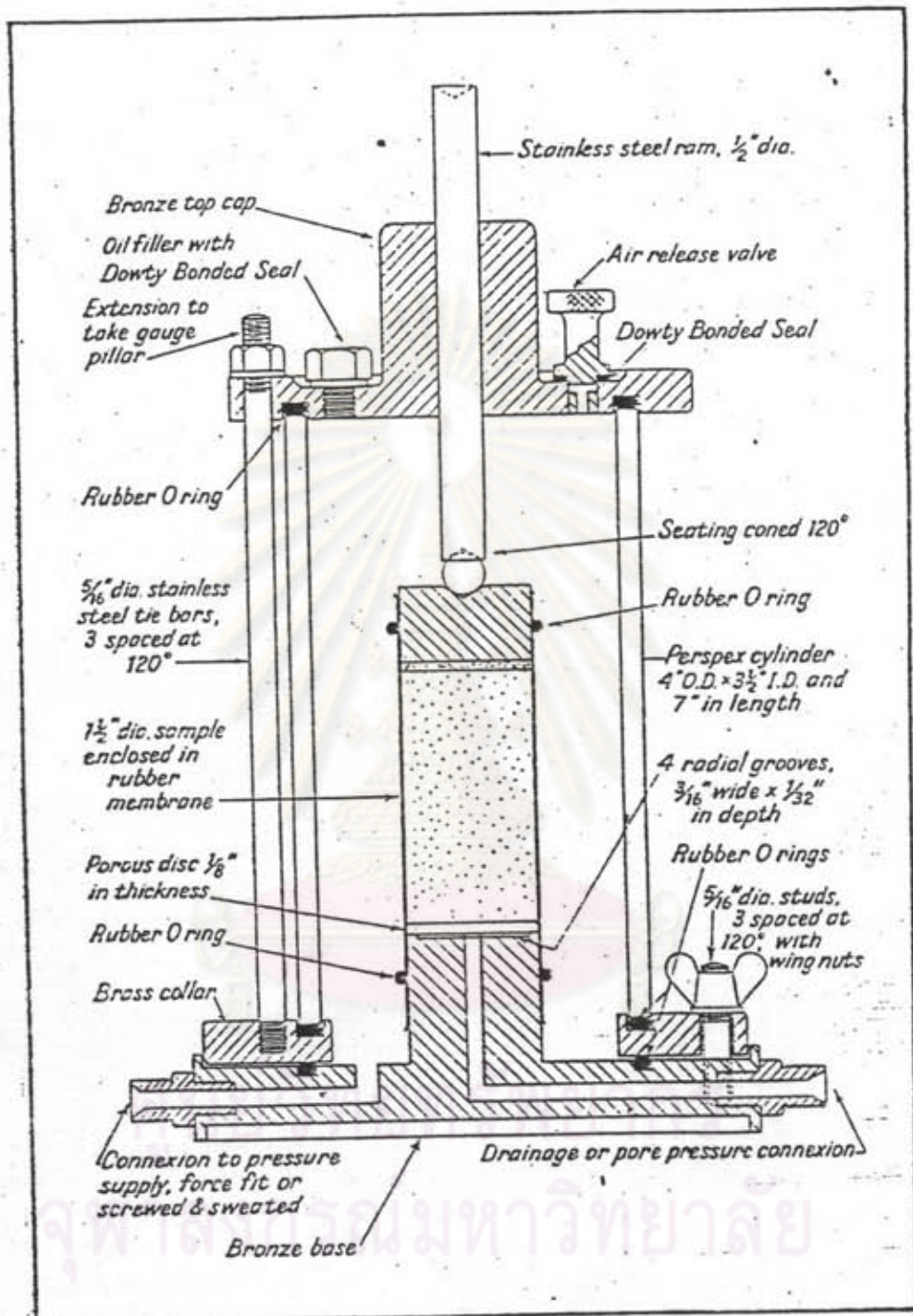
Triaxial Cell ประกอบด้วยฐาน (Base) รูปทรงกระบอกและส่วนบน (The Removable Cylinder and Top Cap) ก้านกดตัวอย่างดิน (Loading Ram) แผ่นถ้ำน้ำหนัก (Top Cap) และถุงยางอนามัย (Rubber Membrane) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบครั้งนี้ ใช้ตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 นิ้ว ความสูงประมาณ 2.80 นิ้ว โดยที่อัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.0 รายละเอียดการทดลองไตรแอกเซียล มีดังต่อไปนี้

### 3.5.1 การจัดตัวอย่างเข้าที่ทดสอบ (Set-up of Specimen)

ก่อนที่จัดตัวอย่างวางบนฐานของไตรแอกเซียล ต้องตรวจสอบดูว่าฐานของเซลล์และสายต่อจากฐานทุก ๆ สายมีน้ำเต็ม น้ำในระบบจะต้องเป็นน้ำที่ถูกต้องและไล่ฟองอากาศออกแล้ว จากนั้นวางหินพรุน (Porous Stone) ที่ถมตัวด้วยน้ำมันแห้งตัวอย่าง ปิดหินพรุนด้วยกระดาษกรองเปียกน้ำ ตั้งตัวอย่างและวาง Top Cap ลงบนตัวอย่าง

สำหรับตัวอย่างดินที่รับแรงกดพันรอบตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง ตัดเป็นริ้วตามแนวดิ่ง 8 ชั้น กว้างชั้นละ ๕ นิ้ว เว้น ๕ นิ้ว ยาว 3๕ นิ้ว (โดยใช้กระดาษกรองขนาดเดียวกับ Whatman; No.54) สำหรับการทดสอบด้วยการตั้งตัวอย่าง จะพันกระดาษกรองเป็นเกลียวรอบตัวอย่างเพื่อลดแรงดึงที่กระดาษกรองจะรับได้ และส่วนปลายของกระดาษกรองจะต้องทาบติดกับหินพรุนเพื่อที่จะเร่งอัตราเร็วในการอัดตัวคายน้ำ





รูปที่ 3.6

เครื่องทดสอบไตรแอกเซียล

(Consolidation) และควบคุมการกระจายความดันน้ำในตัวอย่างสม่ำเสมอโดยเร็ว

ใช้ยางอนามัย (Rubber Membrane) สวมทับตัวอย่าง 2 ชั้น เพื่อแยกตัวอย่างออกจากน้ำในเซลล์ ใช้ยางกลม (O - Ring) รัศมีบนและส่วนล่างของตัวอย่าง เพื่อป้องกันน้ำในเซลล์ย้อนขึ้นมา วางกระบอกเซลล์ลงบนฐานของเครื่อง ไตรแอกเซียล และยึดเข้ากับฐานด้วยสลักแบริดแบบยาว เติมน้ำจนเกือบเต็มเซลล์ และเติมน้ำมัน เครื่องเกรด 140 ในช่องว่างส่วนที่เหลือ เพื่อลดการรั่วซึมตรงรอยต่อรอบ ๆ ก้านส่งถ่ายน้ำหนัก และใช้เป็นตัวหล่อลื่นก้านส่งถ่ายน้ำหนักอีกด้วย เปิดรูอากาศและเปิดน้ำเข้าจนน้ำมันล้นออก จากนั้นก็ปิดรูอากาศเสีย จะทำให้มั่นใจได้ว่าไม่มีฟองอากาศอยู่ในเซลล์

3.5.2 การทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation of Specimen)

เพื่อที่จะแน่ใจได้ว่าตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ และป้องกันการเกิดความดันน้ำกลับของในตัวอย่าง จะใช้ Back Pressure = 2.00 กก/ซม<sup>2</sup> กระทำต่อตัวอย่างไว้ อย่างน้อย 24 ชม. ในการที่จะให้ตัวอย่างรับความดันดังกล่าว จะต้องค่อย ๆ เพิ่มความดันเซลล์ (Cell Pressure) และความดันในตัวอย่าง (Back Pressure) ด้วย บั้มมืออย่างช้า ๆ และสลับกันอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มความดันเซลล์ก่อนเสมอ การเพิ่มความดันจะใช้ความเร็วประมาณ 0.2 กก/ซม<sup>2</sup> ต่อนาที เพื่อให้เกิดการรบกวนตัวอย่างน้อยที่สุดระหว่างการเพิ่มความดัน เพื่อป้องกันการบวมหรือบวมตัวของตัวอย่าง ควรที่จะให้ความดันเซลล์มากกว่าความดันน้ำในตัวอย่าง ประมาณ 0.05 - 0.15 กก/ซม<sup>2</sup>

เมื่อวัดความดันเซลล์ ( $\sigma_v$ ) และความดันน้ำในตัวอย่างได้ระดับตามที่ต้องการแล้ว จัดเครื่องวัดการยุบตัว (Strain Indicator) เข้าที่ ปรับระดับก้านส่งผ่านน้ำหนัก (Loading Ram) และ Top Cap พอดี บันทึกค่าแรกของระยะนี้ไว้ แล้วจึงโอนสายให้ระบบความดันคงที่ด้วยปรอทเข้ากับน้ำในเซลล์อีกชุดหนึ่ง และสายความดันน้ำในตัวอย่าง ต่อเข้าด้านล่างตัวอย่างอีกชุดหนึ่ง

ปริมาตรของน้ำที่คายน้อออกหรือไหลเข้าตัวอย่าง สามารถวัดได้จากระบบการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำของตัวอย่าง (Volume Change Measurement System)

ก่อนทำการอัดตัวคายน้ำจำเป็นต้องทดสอบการอึดตัวด้วยน้ำก่อน โดย  
 บีควาล์วระบายน้ำที่ฐานของเครื่องมือไตรแอกเซียล แล้วเพิ่มแรงดันเซลล์ จะทำให้เกิดความ  
 ดันน้ำระหว่างเม็ดดินตามขึ้นมา พิจารณาค่าความดันน้ำในโพรงเพิ่ม (Excess Pore  
 Pressure) กับค่าความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจากความดันในเซลล์เดิม ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของค่า  
 "B" พารามิเตอร์ ของ Skempton ถ้าค่า "B" มากกว่า 0.95 จะถือว่าตัวอย่างอึดตัว  
 ด้วยน้ำ ในกรณีที่น้อยกว่านี้ แสดงว่าตัวอย่างยังไม่อึดตัวด้วยน้ำ จะต้องให้ตัวอย่างอยู่ใน  
 สภาพที่ทำให้อึดน้ำอีก 24 ชั่วโมง เมื่อเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการต่อไปได้

ค่า "B" หาได้โดยใช้หลักการความดันน้ำในโพรงดินของ

Skempton (1954)

$$\Delta u = B [ \Delta \sigma_v + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_2) ] \quad 3.3$$

เพิ่มความดันน้ำในเซลล์  $\Delta \sigma_1 = \Delta \sigma_2 = \Delta \sigma_3$

$$\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_2 = 0 \quad 3.4$$

ดังนั้น  $B = \Delta u / \Delta \sigma_3$

เมื่อ  $\Delta u$  คือ ความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้น (Excess Pore Pressure)

$\Delta \sigma_3$  คือ ความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

### 3.5.3 การอัดตัวคายน้ำของตัวอย่าง (Consolidation Specimen)

เพื่อที่จะให้การอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างเป็นไปเหมือนกับที่เกิดขึ้น  
 จริงในสนาม ซึ่งเกิดขึ้นแบบแอนไอโซโทรปี (Anisotropic Consolidation) เพื่อ  
 ป้องกันการวิบัติของตัวอย่างในระหว่างการอัดตัวคายน้ำ จึงแบ่งช่วงการอัดตัวคายน้ำของ  
 ตัวอย่างออกเป็น 2 ช่วง คือ

#### 3.5.3.1 การอัดตัวคายน้ำแบบไอโซโทรปี (Isotropic



Consolidation) เมื่อตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วจะปิดวาล์วเส้นทางของ Back Pressure ก่อน แล้วเพิ่มความดันเซลล์จนได้ระดับที่ต้องการ โดยใช้ปั๊มมือเพิ่มความดันแล้วค่อยปรับวาล์วให้ระบบความดันคงที่ด้วยระบบปรอทที่ต่อเข้ากับเซลล์ โดยใช้ความดันเซลล์ในการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซโทรปีเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบ ( $\sigma_{ho}$ ) การอัดตัวคายน้ำจะเริ่มขึ้นเมื่อทำการเปิดวาล์วเส้นทาง Back Pressure ปล่อยให้เกิดการอัดตัวคายน้ำในสถานะนี้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ค่ายุบตัวในแนวดิ่งของตัวอย่างหาได้จากผลต่างของค่าสุดท้ายที่อ่านได้จากเครื่องวัดการยุบตัว (Strain Indicator) กับค่าแรกก่อนทำการอัดตัวคายน้ำ ส่วนปริมาตรของน้ำที่ถูกบีบออกมาระหว่างการอัดตัวคายน้ำวัดได้จากระบบการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ถ้าหน่วยแรงในการอัดตัวคายน้ำมีค่าน้อยกว่า  $1 \text{ กก/ซม}^2$  จะเพิ่มหน่วยแรงในทีละเดียว แต่ถ้าหน่วยแรงที่ใช้มากกว่านี้ควรทำการเพิ่มหน่วยแรงเป็นช่วง ๆ ละ  $1 \text{ กก/ซม}^2$  เพื่อลดความกระทบกระเทือนต่อตัวอย่าง

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างภายหลังจากการอัดตัวคายน้ำ ( $A_u$ )

$$A_u = (V_o - \Delta V_u) / (L_o - \Delta L_u) \quad 3.5$$

โดยที่  $A_u$  = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างภายหลังการอัดตัวคายน้ำ

$V_o$  = ปริมาตรของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

$\Delta V_u$  = ปริมาตรของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลง

$L_o$  = ความสูงของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

$\Delta L_u$  = ค่าการยุบตัวของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลง

### 3.5.3.2 การอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซโทรปี (Anisotropic

Consolidation)

คอนแรกจะต้องทำการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซโทรปีก่อนแล้ว จึงอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซโทรปี โดยใช้  $K_o$  Condition ในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นการจำลอง

หน่วยแรงประสิทธิผลในสภาพธรรมชาติ (In Situ Effective Stress Condition)  
โดยให้

$$\sigma_{ho} = \text{Cell Pressure} - \text{Back Pressure (Isotropic Condition)} \quad 3.6$$

$$\sigma_{vo} = \sigma_{ho} + \Delta\sigma_{vo} \quad 3.7$$

$$\Delta\sigma_{vo} = \sigma_{vo} - \sigma_{ho} + (\text{น้ำหนักสมมูลย์แรงดันเซลล์})/A_c \quad 3.8$$

การอัดตัวคายนํ้าแบบนี้ จำเป็นต้องใช้น้ำหนักสมมูลย์กับแรงดันเซลล์ ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ตกลงในแนวดิ่ง เพื่อให้สมมูลย์กับแรงดันเซลล์ (Cell Pressure) และแรงเฉียดทานของก้านส่งถ่านํ้าหนัก (Loading Ram) โดยที่จำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักคงที่ที่สมมูลย์กับ Cell Pressure ก่อนที่จะทำการทดสอบ ดังปรากฏอยู่ในรูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ของความดันเซลล์กับน้ำหนักคงที่ที่สมมูลย์กับความดันเซลล์นั้น

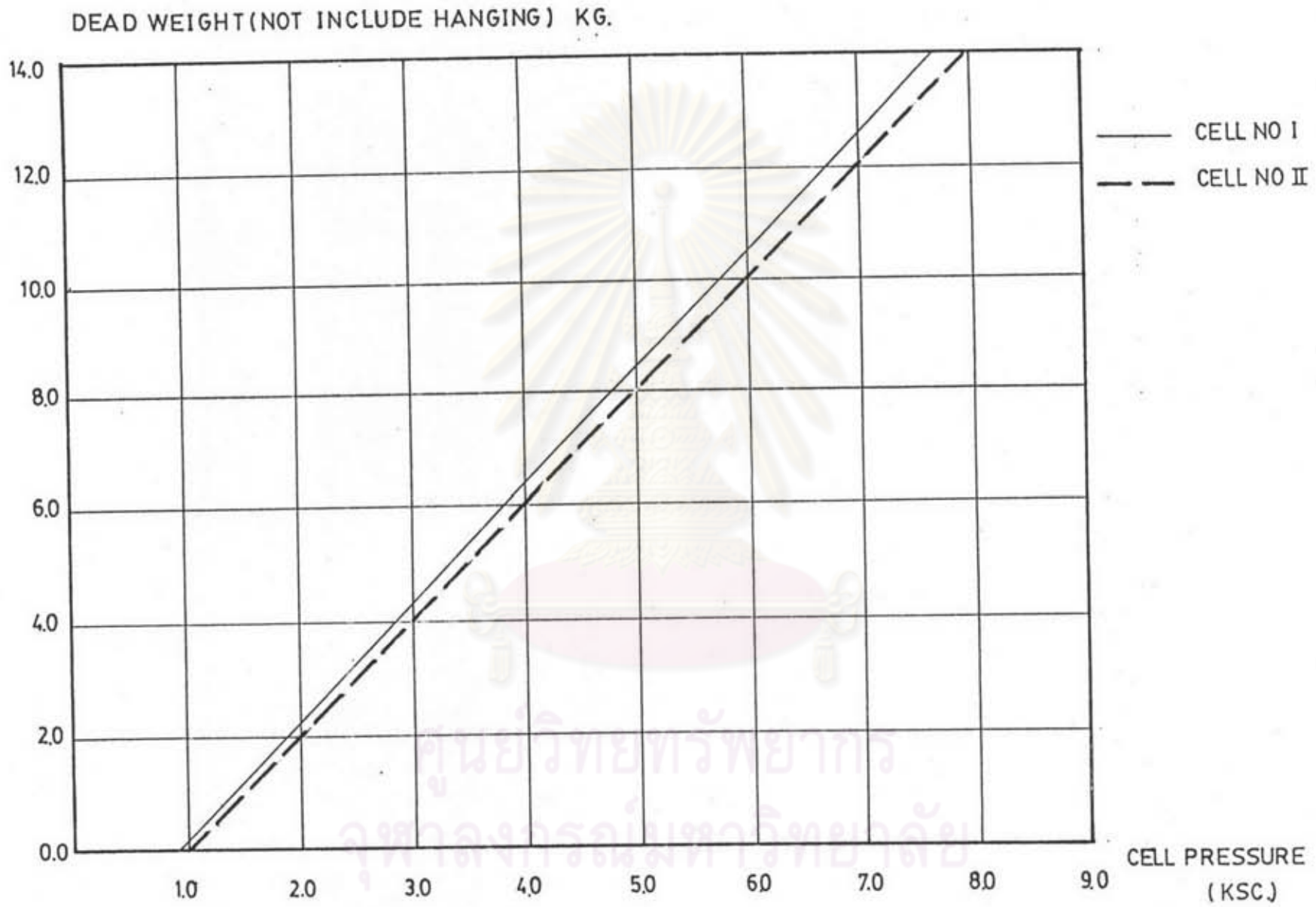
จากค่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่ต้องการ เพื่อให้เกิด  $K_o$  Condition ทำให้ทราบน้ำหนักที่ต้องกดลงบนตัวอย่างได้จาก

$$L1 = (1 - K_o) \sigma_{vo} A_c \quad 3.9$$

โดยที่

- $L1$  = น้ำหนักสำหรับกดบนตัวอย่างเพื่ออัดตัวคายนํ้า
- $K_o$  = สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างของดิน
- $\sigma_{vo}$  = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง สำหรับการอัดตัวคายนํ้า
- $A_c$  = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง

สำหรับขั้นตอนการอัดตัวคายนํ้าแบบแอนไอโซโทรปี้ จะทำการอัดตัวคายนํ้าไว้ 48 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด Aging ขึ้นในตัวอย่างดิน ดังนั้นระบบหน่วยแรงในตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ทางเค้นของหน่วยแรงประสิทธิผลจะวิ่งไปตาม  $+p$  (อัดตัวคายนํ้าแบบไอโซโทรปี้) ช่วงต่อมาจะวิ่งเข้าหาจุด  $+p_o, +q_o$  บนเส้นตรง  $K_o$  ( $K_o$  Line) (อัดตัวคายนํ้าแบบแอนไอโซโทรปี้)



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเซลล์กับน้ำหนักคงที่สมดุล



สำหรับการทดสอบแบบดึงตัวอย่าง (Extension Test) จะต้องต่ออุปกรณ์เฉพาะ  
 ดังรูปที่ 3.8 คือ

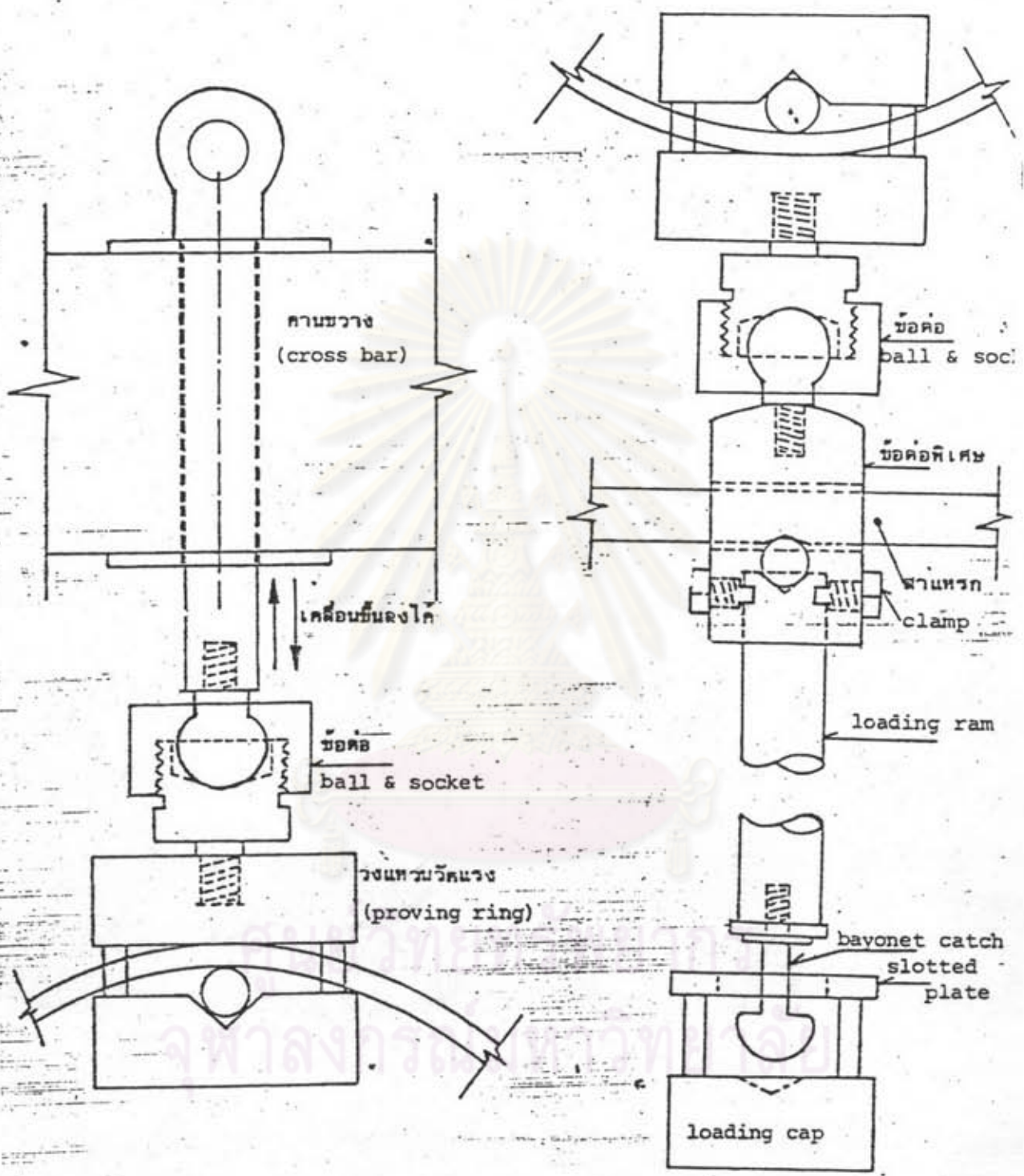
1. ต่อ Bayonet Catch ติดไว้ด้านล่างของก้านส่งถ่ายน้ำหนัก
2. ใช้ Loading Cap แบบที่ติดกับ Slotted Plate  
 (ชุดเดียวกับ Bayonet Catch)
3. ใช้ข้อต่อสำหรับดึงก้านส่งถ่ายน้ำหนักขึ้น ต่อกับส่วนล่าง  
 ของวงแหวนวัดแรง
4. ใช้ก้านหิ้ววงแหวนวัดแรง สำหรับแขวนวงแหวนวัดแรง  
 อย่างมั่นคง
5. ใช้คาน (Cross Beam) ที่ออกแบบไว้สำหรับแขวน  
 วงแหวนวัดแรงอย่างมั่นคง

วิธีการเตรียมตัวอย่างและอัดตัวคายนํ้า เหมือนกับการทดลองแบบกด  
 (Compression Test) สำหรับรายละเอียดการประกอบเครื่องมือ ดูได้จากรูปที่ 3.8

#### 3.5.4 การเพิ่มแรงเฉือนกระทำต่อตัวอย่าง

3.5.4.1 การทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบกด ที่ถูกอัดตัวคายนํ้า  
 แบบ  $K_0$  ในสภาพไม่ระบายน้ำ และวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน ( $K_0$  Consolidated  
 Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement,  
 CU - TC Test)

การทดลองอันนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบกด  
 ในสภาพไม่ระบายน้ำ และหาค่า  $\sigma$  และ  $c$  ไปพร้อมกัน เพื่อนำผลการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ  
 ที่ได้ไปหา Normalized Behavior ของดิน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพ  
 การทดลองจะเริ่มจากการอัดตัวคายนํ้า แบบ  $K_0$  ที่ OCR ที่ต้องการ โดย  
 เลือกที่ In Situ Test 1 ตัว ส่วนที่เหลือจะกระทำที่ OCR ต่าง ๆ โดยเลือก OCR ต่ำเพื่อ  
 ลดการผิดผลาดของการทดลอง ทำการทดลองแบบ Recompression Test ทำการเพิ่มหน่วยแรง  
 ในแนวตั้ง ด้วยอัตราความเครียด 1.3% ต่อชั่วโมง เพื่อวัดค่าความดันน้ำในโพรงดินได้ดี ในสภาพอันเดรน  
 โดยการเฉือนตัวอย่างจะบิดควาล้ระบายน้ำ (Back Pressure) ทำการทดลองจนดินเกิดการวิบัติ



รูปที่ 3.8

รายละเอียดการประกอบเครื่องมือสำหรับการทดสอบตัวอย่างแบบดึง

- ก. ส่วนบนสุด แสดงการต่อวงแหวนวัดแรงกับคานขวาง
- ข. การต่อวงแหวนวัดแรงกับก้านส่งถ่ายน้ำหนักและก้านส่งถ่ายน้ำหนักต่อกับชุดดึงตัวอย่าง

(ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างดินจากหลุม DB3) บันทึกค่าหน่วยแรงในแนวตั้ง และความดันน้ำในโพรงเพิ่มเติมตลอดการทดลอง

3.5.4.2 การทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบคิง ที่ถูกอัดตัวคายน้ำ  
แบบ  $K_0$  ในสภาพไม่ระบายน้ำ และวัดค่าความดันน้ำในโพรงดิน ( $K_0$  - Consolidated  
 Undrained Triaxial Extension Test with Pore Pressure Measurement,  
 CK.U - TE Test)

การทดลองอันนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบคิงในสภาพไม่ระบายน้ำพร้อมกัน เพื่อนำผลที่ได้ไปพลอตในรูปแบบของ Normalized Behavior เพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพ

การทดลองจะเหมือนกับการทดสอบ CK.U TC Test โดยเริ่มจากการอัดตัวคายน้ำแบบ  $K_0$  Test ที่ OCR ที่ต้องการ การเฉือนตัวอย่างจะทำได้โดยลดระดับฐานของเซลล์ลงมาด้วยอัตราความเครียดคงที่ 1.3% ต่อชั่วโมง เมื่อชุดน้ำหนักคงที่ล่อนตัวอย่าง สังเกตได้จากวงแหวนวัดแรงมีค่าคงที่ จะต้องเลื่อนฐานเซลล์ลงมาอีกเป็นระยะจาก Bayonet Catch ถึง Slotted Plate ของ Top Cap แล้วจึงทำการทดสอบต่อไปได้ ทำการทดสอบจนถึงค่าสูงสุดของกำลังรับแรงเฉือน หรือตัวอย่างเกิดการวิบัติ (รูปที่ 3.8 สำหรับเครื่องมือติดตั้งสำหรับการคิงตัวอย่าง) ทำการทดสอบตัวอย่างดินหลุม DB1

สำหรับการทดสอบทั้ง CK.U TC Test และ CK.U TE Test มีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณของตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้สมบัติพื้นฐานของดิน (Atterberg's Limit) เป็นตัวแบ่งกลุ่มของการหาค่ากำลังรับแรงเฉือน โดยใช้การพลอตแบบ Normalized Behavior

3.5.5.3 การทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบกด ที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำ  
ด้วยเครื่องไตรแอกเซียลในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Triaxial  
 Compression Test, UUC Test)

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองที่กระทำกับตัวอย่างที่ได้จากหลุม DB3 โดยใช้ความดันเซลล์ เท่ากับหน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามธรรมชาติ (Total Overburden Pressure,  $\sigma_v$ ) ใช้อัตราความเครียดในการกดตัวอย่างประมาณ 15% ต่อชั่วโมง ผลการ



ทดลองเพื่อนำไปใช้ตรวจสอบผลการทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ จากการทดสอบ  
CK<sub>u</sub> Test

3.5.4.4 การทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบคิง ที่ไม่ถูกอัดตัว  
คายน้ำ ด้วยเครื่องไตรแอกเซียลในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained  
Triaxial Extension Test, UUE Test)

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองที่กระทำกับตัวอย่างที่ได้  
จากหลุม DB1 โดยใช้ความดันเซลล์ เท่ากับหน่วยแรงรวมในแนวตั้งตามธรรมชาติ (Total  
Overburden Pressure  $\sigma_{vo}$ ) ใช้อัตราความเครียดในการคิงตัวอย่างประมาณ 15%  
ต่อชั่วโมง ผลการทดลองนำไปตรวจสอบผลการทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ  
จากการทดสอบ CK<sub>u</sub> TE Test การทดสอบนี้ต้องใช้น้ำหนักคงที่ให้สมมูลกับแรงดันเซลล์ด้วย

3.5.4.5 การทดลองหาค่า  $K_0$  In Situ โดยวิธี Allowable  
Deviator Stress Testing Method (ADSTM)

การทดลองหาค่า  $K_0$  In Situ นี้เพื่อตรวจสอบว่า  
ดินบริเวณที่สนใจสามารถหาค่า  $K_0$  จากสมการความสัมพันธ์ต่างที่มีอยู่หรือไม่ โดยเลือกทำ  
การทดลองวิธี ADSTM เสนอวิธีการโดย Chang et al (1977) เหมาะสำหรับดินที่  
เป็น Normally Consolidated Clay และ Slightly Overconsolidated Clay

การทดลองจะเริ่มโดยทำการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซโทปิค  
(Isotropic Consolidation) ด้วยหน่วยแรงที่ต่ำกว่าหน่วยแรงในแนวราบธรรมชาติ ( $\sigma_{ho}$ )  
และคิดว่าหน้าตัดของตัวอย่างหลังจากการอัดตัวคายน้ำ (Crosssectional Area After  
Initial Consolidation) เท่ากับหน้าตัดตัวอย่างภายใต้การอัดตัวคายน้ำแบบ  $K_0$  เมื่อ  
ตัวอย่างอยู่ภายใต้สมมูลของหน่วยแรงในธรรมชาติ (In Situ Stress)

ค่า  $K_0$  ที่หาจากกรณี  $\sigma_{hc} \neq \sigma_{ho}$  จะแตกต่างจากกรณีที่  $\sigma_{hc} = \sigma_{ho}$   
แต่ผลการทดลองจะเชื่อถือในกรณีที่ทำหน่วยแรงในการอัดตัวคายน้ำตอนต้น (Isotropic  
Consolidation Stress) มีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับค่าหน่วยแรงในแนวราบตาม  
ธรรมชาติ (In Situ Horizontal Stress,  $\sigma_{ho}$ ) (Chang et al, 1977)

สำหรับรายละเอียดในการทดลองได้ถูกกล่าวไว้แล้ว ในวิทยานิพนธ์ของ  
ไพบูลย์ (2527)

### 3.5 การทดสอบ Direct Shear Test แบบ Drained Test (Slow Test)

การทดสอบนี้จะกระทำกับตัวอย่างดินหลวม DB2, DB3 ที่คิดว่ารอยวิบัติผ่าน และตัวอย่างดินหลวม DB1 บริเวณความลึกตื้น ๆ เพราะการเก็บตัวอย่างจะทำในฤดูแล้ง ทำให้เมื่อดันตัวอย่างดินออกจากกระบอก ดินจะแตกร่วนหมด ทำให้ไม่สามารถตั้งตัวอย่าง เพื่อกลึงในการที่จะทำการทดลองแบบไตรแอกเซียลได้ การทดสอบจะกระทำตามมาตรฐาน ASTM D3080 - 72

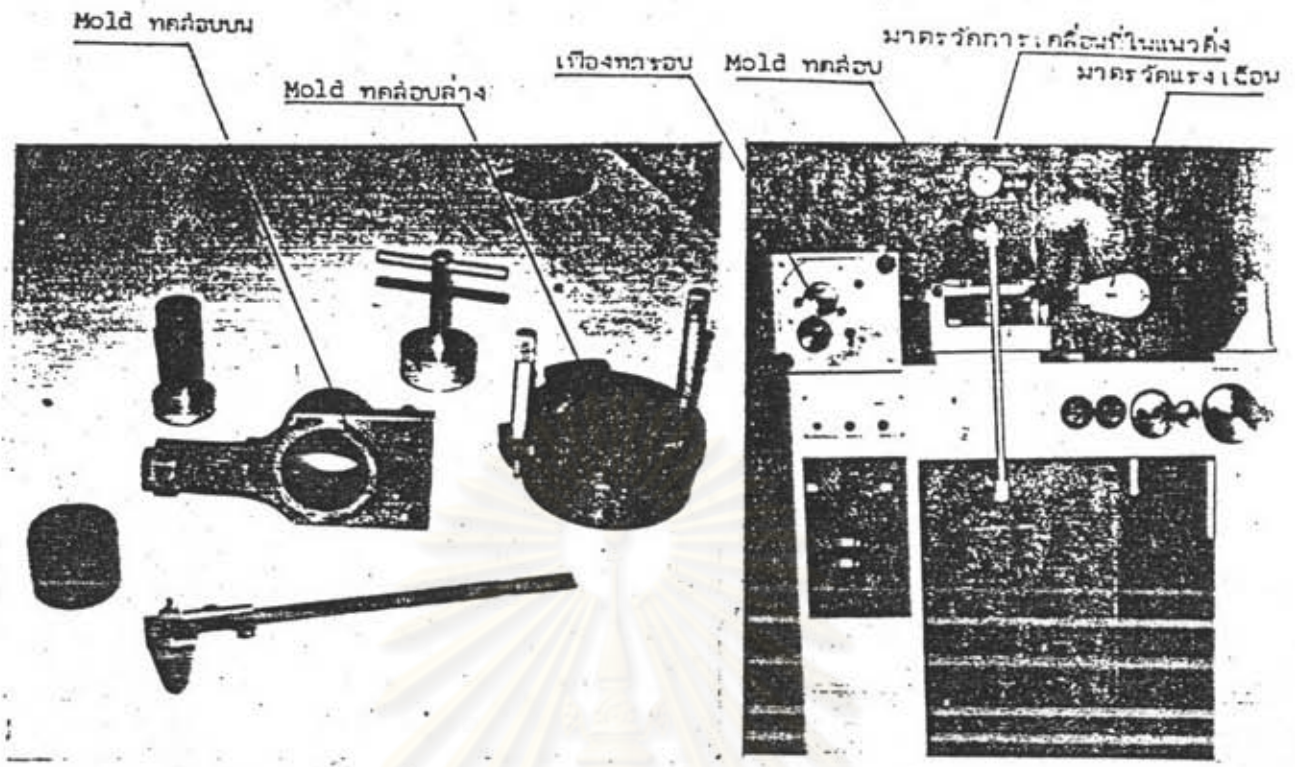
การทดสอบ Direct Shear Test กระทำเพื่อหากำลังรับแรงเฉือนแบบ ระบายน้ำของตัวอย่างดิน โดยใช้ Mold กลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. สูงประมาณ 4.29 ซม. ใช้น้ำหนักกดในแนวตั้ง (Normal Load) รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่าง ดินใน Mold โดยควบคุมความหนาแน่นของตัวอย่าง แล้ววาง Mold ลงบนฐานของ เครื่องทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วทำการอัดตัวคายน้ำโดยใช้น้ำหนักกดในแนวตั้งต่าง ๆ กัน ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง ทำการเฉือนตัวอย่างโดยการเลื่อน Mold ส่วนล่างของตัวอย่าง ใ้ช่วงแหว่งวัดแรงที่ต้านการเคลื่อนตัวของดิน (Shear Force) สำหรับการทดสอบนี้เป็น การทดสอบแบบระบายน้ำ อัตราการเฉือนตัวอย่างคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคาย น้ำของดิน (Coefficient of Consolidation) ที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ 1 มิติ (Bishop, 1951)

$$U \% = 1 - h^2 / 7C_v t_r \quad 3.7$$

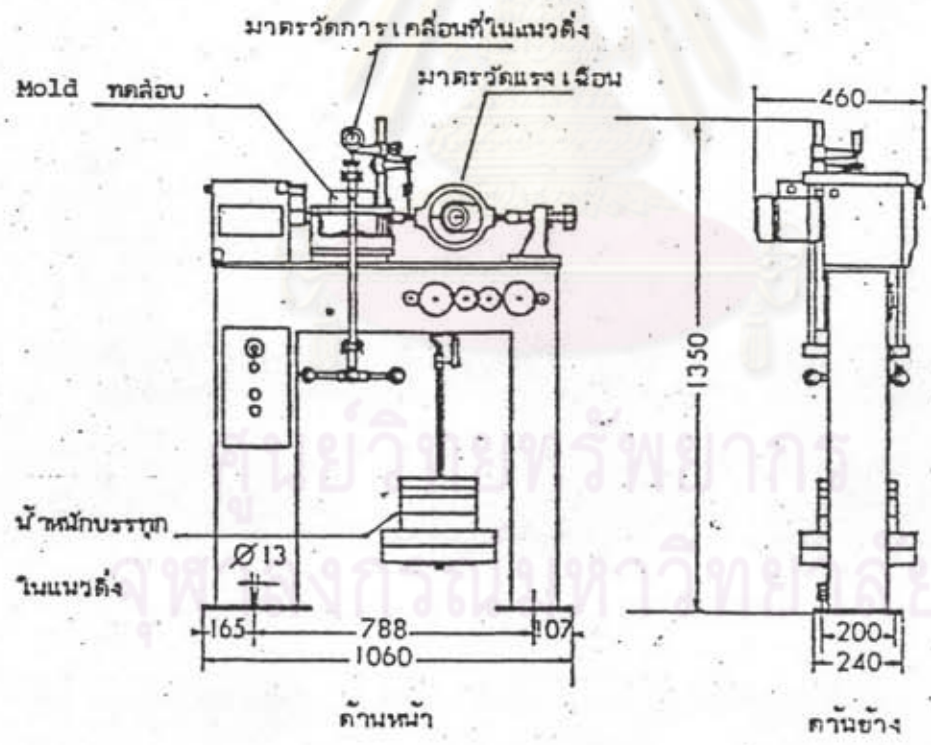
โดยที่  $U \% =$  ค่าเฉลี่ยของการกระจายความดันน้ำในโพรงดิน

(Average Degree of Dissipation of Pore Water Pressure) โดยคิดที่ 95%





(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 เครื่องมือทดสอบ DIRECT SHEAR ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและเบื่องทดสอบ  
 ก. MOLD และ มอเตอร์ไฟฟ้า  
 ข. ภาพลายเส้นแสดงรายละเอียดของเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้า สำหรับการทดสอบ DIRECT SHEAR



$h^2$  = ความสูงของตัวอย่าง  
 $C_v$  = สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of Consolidation)

$t_f$  = เวลาที่ใช้ในการวิบัติ (Time of Failure)

$\eta$  = แฟคเตอร์สำหรับทิศทางการระบายน้ำ  
 = 3.0 สำหรับการระบายน้ำ 2 ทิศทางค้ำบนกับด้านล่าง

อัตราการเฉือนที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ เท่ากับ 0.02 มม/นาที (ใช้เวลาในการเฉือนประมาณ 5 - 6 ชั่วโมง) สำหรับการทดสอบ Direct Shear Test เป็นการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนที่สะดวกกว่าการทดสอบแบบไตรแอกเซียล แต่การทดลอง Direct Shear Test มีข้อเสียเปรียบบางประการ คือ

1. ระนาบวิบัติของตัวอย่าง (Failure Plane) ที่เกิดขึ้นไม่ใช่ระนาบวิบัติตามธรรมชาติ เพราะถูกกำหนดโดยรูปร่างของเครื่องมือทดสอบ ข้อเสียเปรียบอันนี้ปรากฏชัดสำหรับการทดสอบแบบระบายน้ำ

2. จะเกิดการบิดเบี้ยวของตัวอย่าง (Distortion) โดยไม่ทราบความหนาของดิน ค่าความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นบริเวณนี้ ที่หาจากความต้านทานแรงเฉือนจะไม่เท่ากับที่หาจากการเคลื่อนตัวของเครื่องมือ หากด้วยความหนาของตัวอย่าง ดังนั้นทำให้ไม่สามารถที่จะทราบรูปร่างที่แท้จริงของความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด และหน่วยแรงที่ได้สำหรับการทดสอบ Direct Shear Test

3. สำหรับการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Test, Q Test) ไม่สามารถควบคุมการระบายน้ำของตัวอย่างดินได้อย่างแท้จริง

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณการเจาะสำรวจดิน และการทดสอบดินในภาคสนามและในห้องทดลอง

TYPE OF TEST	NO. OF SAMPLE	CELL PRESSURE T/M2 OR NORMAL PRESSURE	LAB PRODUCED OCR	BORING NO	DEPTH (M.)
UUC	UUC1	11.13	1.96	3	6.00-6.50
UUE	UUE1	12.50	1.76	1	7.50-8.00
CKU TC	CKUC1	4.70	4.26	3	4.50-5.00
	CKUC2	9.00	2.22	3	4.50-5.00
	CKUC3	6.10	3.60	3	6.00-6.50
	CKUC4	7.70	3.18	3	7.50-8.00
	CKUC5	9.50	2.32	3	6.00-6.50
	CKUC6	19.60	1.25	3	7.50-8.00
CKU TE	CKUE1	4.70	3.19	1	4.50-5.00
	CKUE2	9.00	1.90	1	6.00-6.50
	CKUE3	18.30	1.20	1	7.50-8.00
DRAINED DIRECT SHEAR	DDT1	2.0, 4.0, 6.0		3	1.50-2.00
	DDT2	8.0, 12.3, 16.0		2	7.50-8.00

ตารางที่ 3.8 ปริมาณการทดสอบตัวอย่างดิน