



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

4.1.1 ผลการทดลองหาสมบัติพื้นฐานของดิน

ดินจากหลุมเจาะ DB1, DB2, DB3 ได้ถูกนำมาทดสอบหาค่าสมบัติพื้นฐานและแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยได้ทำการจำแนกชนิดของดินตามแบบ Unified Soil Classification และเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จะทำการแบ่งชั้นดินออกเป็นชั้น ๆ โดยพิจารณาจากชนิดของดินและสมบัติพื้นฐาน ดังแสดงไว้ใน Boring Log รูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 และแสดง Simplified soil profile ในรูปที่ 4.4 โดยแบ่งชั้นดินออกเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นแรกเป็นดินที่ตกตะกอนจากแม่น้ำป่าสักเองมีค่าความชื้นธรรมชาติอยู่ระหว่าง 6 - 14 % ค่าดัชนีพลาสติกซีดีอยู่ระหว่าง 12 - 20 % ค่า Liquid Index อยู่ระหว่าง 0.13 - 0.53 ชั้นที่สอง เป็นชั้นดินแข็งปานกลางคล้ายดินกรุงเทพฯ มีค่าความชื้นธรรมชาติอยู่ระหว่าง 22 - 27 % ค่าดัชนีพลาสติกซีดีอยู่ระหว่าง 14 - 23 % ค่า Liquid Index อยู่ระหว่าง 0.20 - 0.57 ชั้นที่สาม เป็นชั้นดินแข็งคล้ายดินกรุงเทพฯ มีค่าความชื้นธรรมชาติอยู่ระหว่าง 20 - 27 % ค่าดัชนีพลาสติกซีดีอยู่ระหว่าง 35 - 40 % ค่า Liquid Index อยู่ระหว่าง 0.08 - 0.21

เพื่อพิจารณาดินจาก DB1 จะพบว่าในช่วงความลึกจากผิวดินตั้งแต่ 0 - 8 เมตร จะพบว่าชั้นดินเป็นดินเหนียวแข็งปานกลางจนถึงดินเหนียวแข็งมาก มีทรายละเอียดปะปนอยู่บ้าง มีดัชนีพลาสติกซีดี (Plasticity Index, PI) อยู่ระหว่าง 12 - 20% ความหนาแน่นเปียก ประมาณ 2.0 ตันต่อ ลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำตามธรรมชาติ ช่วงความลึกตั้งแต่ 0 - 3.50 เมตร มีค่าต่ำ (10 - 13%) เมื่อลึกลงไปปริมาณน้ำตามธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้น (20 - 30%) เพราะใกล้กับระดับน้ำใต้ดินมากขึ้น ที่ความลึก

PROJECT THESIS BORING NO , DB 1 GROUND ELV+5.840 MSL
 LOCATION BAN SALA LOY DEPTH 10.50 M. GROUND WL+0.540 MSL
 THARUA DATE 25/2/32
 AYUTTAYA

SOIL DRESCRIPTION	DEPTH (M.)	GRAPHIC LOG	METHOD	SAMPLE RECOVERY	PL W _n LL			S _u (t/m ²)			γ _t (t/m ²)
					△	○	□	△ PP	OFV	OFV	
					20	40		2	4	6	
STIFF TO VERY STIFF CLAY, TRACE OF VERY FINE SAND, DARK BROWN (CL)	1.00		ST	[]	△	○	□				○ 1.86
	2.00										
	3.00										
	4.00										
MEDJIM SILTY CLAY, TRACE OF VERY FINE SAND, LIGHT BROWN AND DARK GREY (CL)	5.00		ST	[]	△	○	□				○ 2.02
	6.00										
	7.00										
	8.00										
	9.00										
VERY STIFF CLAY, DARK BROWN (CH)	10.00		ST	[]	△	○	□				○ 2.07
	11.00										
END OF BORING	12.00										
	13.00										
	14.00										
	15.00										

รูปที่ 4.1 ผลการเจาะสำรวจดินหลุมเจาะ DB 1

PROJECT THESIS BORING NO DB 2 GROUND ELV-5.735 MSL
 LOCATION BAN SALA LOY DEPTH 11.50 M. GROUND WL-0.235 MSL
 THARUA DATE 26/2/32
 AYUTTAYA

SOIL DRESCRIPTION	DEPTH (M.)	GHAPIC LOG	METHOD	SAMPLE RECOVERY	PL W _n LL			S _u (t/m ²)			γ _t (t/m ²)	
					△	○	□	△	PP	OFV		
					20	40		2	4	6		
VERY STIFF SILTY CLAY , SOME OF VERY FINE SAND , LIGHT BROWN (CL)	1.00		ST	○ □							> ○	
VERY STIFF SILTY CLAY , TRACE OF VERY FINE SAND , DARK GREY AND BROWN (CL)	2.00		ST	○								1.71
	3.00		ST		△ ○ □							> ○
	4.00		ST		△ ○ □							○ 1.95
MEDIUM SILTY CLAY , TRACE OF VERY FINE SAND , DARK GREY AND BROWN (CL)	5.00			ST		△ ○ □						○
	6.00			ST		△ ○ □						
	7.00			ST		△ ○ □						○ 2.05
	8.00			ST		△ ○ □						
	9.00											
	10.00											
VERY STIFF CLAY , DARK GREY (CL)	11.00			ST		△ ○ □						> ○ 1.98
END OF BORING	12.00											
	13.00											
	14.00											
	15.00											

รูปที่ 4.2 ผลการเจาะสำรวจดินหลุมเจาะ DB 2

PROJECT THESIS BORING NO DB 3 GROUND ELV-5.840 MSL
 LOCATION BAN SALA LOY DEPTH 8.00 M GROUND WL-0.040 MSL
 THARUA
 AYUTTAYA DATE 26/2/32

SOIL DESCRIPTION	DEPTH (M.)	GRAPHIC LOG	METHOD	SAMPLE RECOVERY	PL W _n LL			S _u (t/m ²)			x _t (t/m ²)
					△	○	□	△	PP	OFV	
					20	40		2	4	6	
VERY STIFF SILTY CLAY SOME OF FINE SAND (CL) DARK BROWN	1.00		ST	□	○	□					1.97
	2.00										
MEDIUM SILTY CLAY, TRACE OF VERY FINE SAND, DARK AND DARK BROWN (CH)	3.00		ST	□	○	□					1.94
	4.00										
	5.00										
VERY STIFF CLAY, YELLOWISH BROWN AND LIGHT GREY(CH)	6.00		ST	□	○	□					1.98
	7.00										
END OF BORING	8.00		ST	□	○	□					2.00
	9.00										
	10.00										
	11.00										
	12.00										
	13.00										
	14.00										
	15.00										

หลังจาก 8 เมตร พบว่าชั้นดินเป็นดินเหนียวแข็งมากสีเหลือง มีค่าชั้นพลาสติกซีดีต่ำกว่า 35%

สำหรับชั้นดินของหลุมเจาะ DB2 พบว่าที่ความลึกต้น ๆ 0 - 2.5 m. ปริมาณน้ำตามธรรมชาติจะต่ำมาก ($\approx 6\%$) ปริมาณน้ำตามธรรมชาติจะสูงขึ้นเมื่อความลึกมากขึ้น (22 - 26%) ชั้นดินตั้งแต่ 0 - 4.5 m. จะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งมากมีทรายเป็นละเอียดปะปนอยู่บ้าง ที่ความลึก 4.50 - 10.25 m. ดินจะเริ่มอ่อนตัวลงโดยเป็นดินเหนียวแข็งปานกลางมีทรายเป็นละเอียดปะปนอยู่ ที่ความลึกหลังจาก 10.25 m. ชั้นดินจะเป็นดินเหนียวแข็งมาก ค่าค่าชั้นพลาสติกซีดีตลอดความลึกของหลุมเจาะ จะอยู่ระหว่าง 15 - 23% ค่าความหนาแน่นเปียกของดินจะมีค่าประมาณ 2.0 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

สำหรับชั้นดินของหลุมเจาะ DB3 ช่วงแรกของความลึกของหลุมเจาะ ตั้งแต่ 0 - 4.5 m. ปริมาณน้ำตามธรรมชาติจะมีค่าต่ำมาก ($\approx 13\%$) และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความลึกของหลุมเจาะมากขึ้น ($\approx 25\%$) ดินชั้นนี้เป็นดินเหนียวแข็งมากมีทรายเป็นละเอียดปะปนอยู่ค่อนข้างสูง มีค่าค่าชั้นพลาสติกซีดีประมาณ 20% หลังจากความลึก 4.50 m. ดินจะเป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง มีค่าค่าชั้นพลาสติกซีดีสูงขึ้นเท่ากับ 35 - 40% ค่าความหนาแน่นเปียกมีค่าประมาณ 2.0 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

เมื่อนิยามาชั้นดินของหลุมเจาะทั้งสาม จะพบว่าชั้นดินจะประกอบด้วยดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมากมีทรายเป็นละเอียดปะปนอยู่บ้าง ตกตะกอนอยู่บนชั้นดินเหนียวแข็งมากสีเหลือง โดยที่ชั้นดินเหนียวแข็งมากสีเหลืองอาจจะเป็นชั้นดินเดิมของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก ถูกทับถมจากตะกอนของดินเหนียว และทรายจากการพัดพาของแม่น้ำป่าสัก นิยามาจากความลึกของตะกอนจะลดลงเมื่อห่างจากตลิ่งแม่น้ำมากขึ้น เห็นได้จากที่ DB1 (ใกล้แม่น้ำ) มีความลึกประมาณ 4.00 m. และที่ DB3 มีความลึกประมาณ 3.40 m.

สำหรับระดับน้ำใต้ดินที่ได้จากหลุมเจาะทั้งสาม ทำการสำรวจหลังขุดเจาะ 24 ชม. จะอยู่ที่ความลึก +0.540 MSL, +0.235 MSL, +0.040 MSL สำหรับหลุมเจาะ DB1, DB2 และ DB3 ตามลำดับ (เจาะสำรวจในฤดูแล้ง 26/2/32) ระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักเท่ากับ +0.400 MSL

ผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน ด้วยวิธี Sieve Analysis พบว่าสามารถแบ่งชั้นดินออกได้เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นที่เกิดจากการตกตะกอนของแม่น้ำป่าสัก ซึ่งเป็นดินบริเวณชั้นบน จากความลึก 0.00 - 3.00 m. จะเป็นดินเหนียวมีทรายละเอียดปนอยู่ เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ประมาณ 69 - 83 % เมื่อความลึกประมาณ 3.00 - 6.00 m จะเป็นดินเหนียวที่มีทรายละเอียดปนอยู่มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ประมาณ 57 - 70% ดินชั้นนี้จะมีพวกกรวดสีน้ำตาลแก่ขนาดเล็กปนอยู่ด้วย ซึ่งเป็นอุปสรรคในการแต่งตัวอย่างดิน ดินชั้นที่สองจะเป็นดินเหนียวสีเหลือง มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 90% สำหรับเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ จะดูได้จากตารางที่ 4.1

4.1.2 ผลการทดลองการอัดตัวคายนํ้า 1 มิติ (1-D Consolidation Tests)

ผลการทดลองการอัดตัวคายนํ้า 1 มิติ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 การหาหน่วยแรงสูงสุดในอดีตของดิน (Maximum Past Pressure, σ_{vm}) โดยวิธีของ Casagrande ได้จากการพล็อตกราฟระหว่างความเครียด (Strain) กับ Log ของหน่วยแรงประสิทธิผล จากจุดที่สิ้นสุดการยุบตัวครั้งแรก (End of Primary Consolidation) สำหรับการคองน้ำหนักไว้ที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีตได้ดีกว่าการหาจากกราฟระหว่างความเครียดกับ Log หน่วยแรงประสิทธิผลที่การคองน้ำหนัก 24 ชั่วโมง (Niroath, 2526)

รูปที่ 4.5 แสดงค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีตกับความลึกของดินจากหลุมเจาะทั้งสาม พบว่าดินจากหลุมเจาะ DB1 และ DB3 ค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีตจะเพิ่มขึ้นกับความลึก แต่สำหรับหลุมเจาะ DB2 จะมีค่าลดลงที่ความลึก 7.50 - 8.00 m หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอีก อาจเป็นผลมาจากการตกตะกอนที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณา ค่า OCR ที่คำนวณจากหน่วยแรงประสิทธิผลขณะทำการเจาะสำรวจ (คาดว่าระดับน้ำในได้ดินต่ำสุด) จะพบว่า ดินบริเวณที่ทำการวิจัยนี้เป็นดินประเภท Slightly Overconsolidate Clay มี OCR อยู่ระหว่าง 1.06 - 3.68 ซึ่งค่า OCR จะเปลี่ยนแปลงกับเวลา คาดว่าเกิดจากสาเหตุหลายประการ คือ

BH	ST	DEPTH(M)	USCS GROUP	GRADATION % PASSING					natural water content	ATTERBERG'S LIMIT				TOTAL UNIT WEIGHT t/m^2	SPECIFIC GRAVITY (G_s)	UNDRAINED SHEAR STRENGTH	
				40	60	100	140	200		LL	PL	PI	LI			PP(t/m^2)	F.V.(t/m^2)
1	1	1.50 - 2.00	CL	96.9	95.7	91.6	84.5	83.1	13.8	31.0	11.2	19.8	0.13	1.86		>45	>8.0
	2	3.00 - 3.50							10.32	29.0	17.3	11.7	0.59			>45	>8.0
	3	4.50 - 5.00							23.5	38.2	18.0	19.2	0.27	2.02		22.5	>8.0
	4	6.00 - 6.50	CL	97.3	97.1	95.8	79.7	70.5	23.5	33.5	19.5	14.0	0.30	1.96		13.0	7.4
	5	7.50 - 8.00	GL	98.4	98.2	97.3	87.9	69.7	21.8	31.9	19.3	12.6	0.20	1.96	2.80	13.0	7.5
	6	9.00 - 9.50							20.0	52.6	17.3	35.3	0.08	2.07		31.5	>8.0
2	1	1.00 - 1.50							6.2	21.5						>45	>8.0
	2	2.00 - 2.50							6.9					1.71		>45	>8.0
	3	3.00 - 3.50							24.6	38.0	16.3	21.7	0.38			>45	>8.0
	4	4.50 - 5.00	CL	100.0	99.6	98.9	90.2	89.7	25.2	39.2	16.4	22.8	0.47	1.95		17.5	7.6
	5	5.50 - 6.00	CL	96.0	95.9	95.5	90.7	81.9	26.4	34.6	16.0	18.6	0.55		2.70	12.5	7.1
	6	7.50 - 8.00	CL	96.2	95.6	94.8	80.4	67.8	22.7	30.6	16.3	14.3	0.45	2.05		12.0	7.1
	7	11.00 - 11.50	CL	98.7	98.1	96.6	91.6	88.7	26.4	35.5	14.3	21.2	0.57	1.98		27.5	>8.0
3	1	1.50 - 2.00	CL	99.3	99.1	96.6	80.9	68.9	12.5	34.3	15.2	19.1	0.15	1.97	2.86	40.0	>8.0
	2	3.00 - 3.50	CL	99.3	99.1	99.0	92.9	57.1	14.0	29.3	10.1	19.2	0.20		2.63	25.0	>8.0
	3	4.50 - 5.00	CL	99.3	98.9	98.1	95.1	93.6	26.1	43.9	21.7	22.2	0.20		2.85	15.0	7.8
	4	6.00 - 6.50	CH	96.1	95.9	95.2	93.4	92.9	23.5	54.8	19.2	35.6	0.12	1.98	2.63	30.0	>8.0
	5	7.50 - 8.00	CH	95.9	95.6	95.0	92.7	92.0	26.7	56.0	17.2	38.8	0.21	2.00	2.80	27.5	>8.0

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองตัวอย่างดินจากหลุมเจาะทั้งสาม

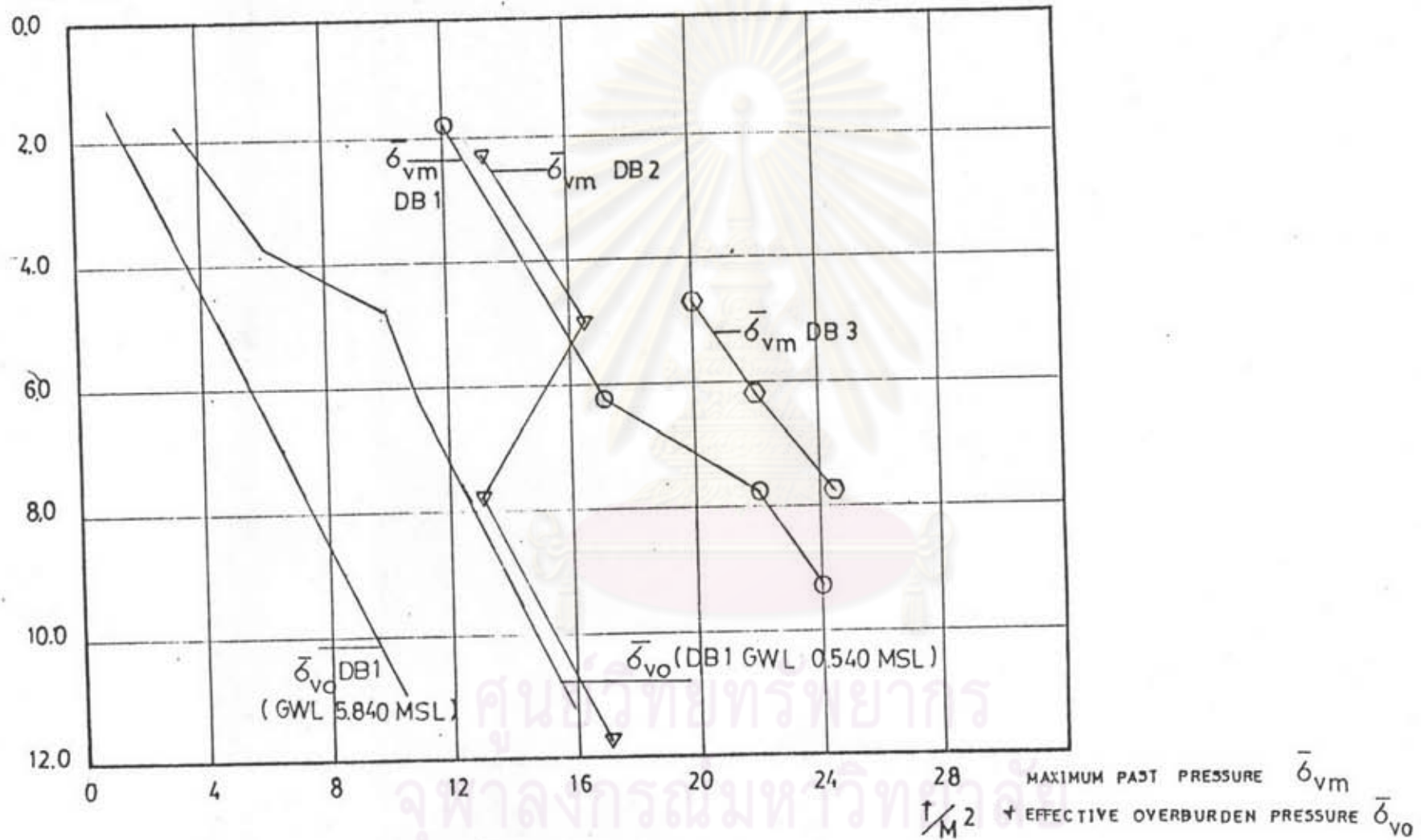
DB	ST	DEPTH (M)	$\bar{\sigma}_{vc}$ (t/m ²)	$\bar{\sigma}_{vm}$ (t/m ²)	OCR	RR	CR	$K_h \times 10^{-7}$ (mm/s)	$K_v \times 10^{-7}$ (mm/s)	k_h/k_v
1	1	1.50 - 2.00	3.26	12.0	3.68	0.0014	0.0830		11.35	
	2	3.00 - 3.50	6.05							
	3	4.50 - 5.00	9.04						0.992	
	4	6.00 - 6.50	11.06	17.0	1.54	0.0378	0.1609			
	5	7.50 - 8.00	12.50	22.0	1.76	0.0425	0.0887			
	6	9.00 - 9.50	14.02	24.0	1.71	0.0036	0.1196		0.229	
2	1	1.00 - 1.50	2.14							
	2	2.00 - 2.50	3.85	13.2	3.43	0.0399	0.0819		4.169	
	3	3.00 - 3.50	5.56							
	4	4.50 - 5.00	8.42	16.5	1.96	0.0437	0.1362	8.821	1.367	6.45
	5	5.50 - 6.00	10.12							
	6	7.50 - 8.00	12.25	13.0	1.06	0.0191	0.0615		3.752	
	7	11.50 - 12.00	15.77	17.0	1.08	0.0604	0.1418	1.192	1.194	1.00
3	1	1.50 - 2.00	3.45							
	2	3.00 - 3.50	6.40							
	3	4.50 - 5.00	9.28	20.0	2.16	0.0331	0.1293			
	4	6.00 - 6.50	11.73	22.0	1.88	0.0306	0.0990		0.341	
	5	7.50 - 8.50	13.22	24.5	1.85	0.0194	0.0798		0.078	

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบ consolidation test



รูปที่ 4.4 Simplify soil Profile ของชั้นดินบริเวณที่สนใจ

DEPTH(M) FROM GROUND



รูปที่ 4.5 หน่วยแรงสูงสุดในอดีตกับความลึกของดินจากหลุมเจาะ DB 1, DB 2, DB 3

1. การขึ้นลงของระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักระหว่างหลังจากการตกตะกอน
2. ผลจากการลดลง ของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) จากการขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดิน หรือจากการกักต่อนเนื่องจากการระเหยน้ำ
3. ผลจากการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงทับถม (Overburden Stress) จากการตกตะกอนของตะกอนในแม่น้ำป่าสัก

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์การซึมผ่านในแนวดิ่งของแต่ละหลุมเจาะจะพบว่า มีค่าลดลงเมื่อความลึกเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวดิ่งและแนวราบของดินที่ความลึกเดียวกัน จะพบว่าสำหรับ DB2 ที่ความลึก 4.50 - 5.00 m ค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านแนวราบมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวดิ่งและมีค่าใกล้เคียงกันที่ความลึก 11.00 - 11.50 m แต่เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวราบสำหรับความลึกทั้งสองแล้ว พิจารณาได้ว่าทิศทางการไหลของน้ำควรมีทิศทางการไหลในแนวราบ

4.1.3 ผลการทดลองไตรแอกเซียล (Triaxial Test Results)

4.1.3.1 ผลการทดลองหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบกด ที่ถูกอัดตัวคายน้ำแบบ K_0 ในสภาพไม่ระบายน้ำ และวัดค่าแรงดันน้ำในโพรงดิน (K_0 -Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement, CK_U - TC Test)

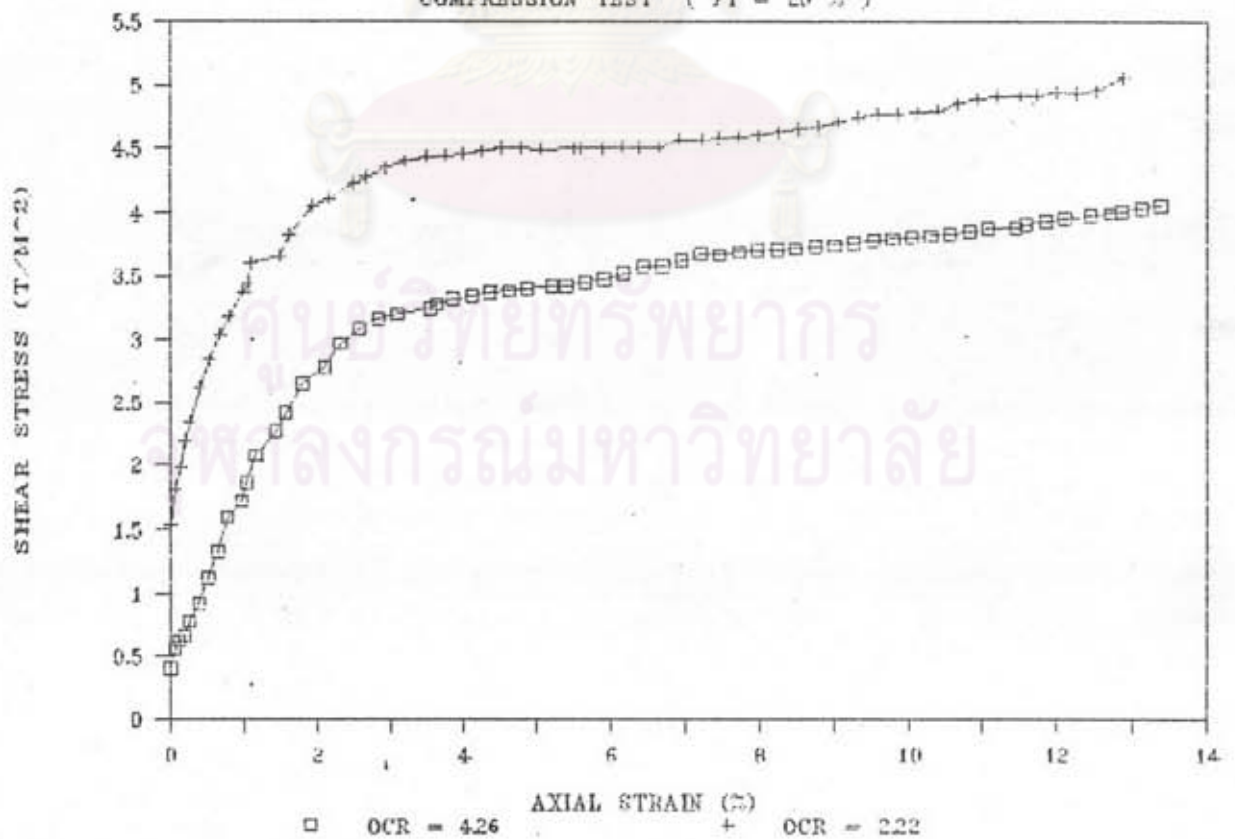
เมื่อพิจารณาดินจากหลุมเจาะ DB3 ซึ่งจะนำมาทำการทดลองจะพบว่า ชั้นดินจะมีค่าดัชนีพลาสติกซิติ (PI%) แตกต่างกัน ดังนั้นการทำการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองชุด คือ ชุดแรกทดลองดินที่ความลึก 4.50 - 5.00 m มีค่า $PI = 23\%$ ส่วนชุดที่สอง ทดลองดินที่ความลึก 6.00 - 6.50 m และ 7.50 - 8.00 m มีค่า PI ระหว่าง 35 - 40%

สำหรับดินที่ความลึก 4.50 - 5.00 m ($PI=23\%$) ได้ทำการทดสอบที่ $OCR = 4.26$ และ 2.22 รูปที่ 4.6 แสดงผลของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) โมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ

CKU TRIAXIAL COMPRESSION TEST (PI = 20%)

OCR	$\bar{\sigma}_{vc}$ (T/M ²)	S_u (T/M ²)	E_{u50} (T/M ²)	$\frac{S_u}{\bar{\sigma}_{vc}}$	$\frac{E_{u50}}{\bar{\sigma}_{vc}}$	A_f
4.26	4.70	3.42	267	0.73	56.8	0.33
2.22	9.00	4.50	473	0.50	50.8	0.58

SHEAR STRESS AND AXIAL STRAIN (%)
COMPRESSION TEST (PI = 20%)



(Undrained Young Modulus) และค่าพารามิเตอร์ A ที่จุดวิกฤติ (A_f)

รูปที่ 4.7 แสดง Normalized Effective Stress Envelope สำหรับดินที่เป็น Overconsolidated ระยะตัดแกนตั้ง หรือ $\bar{\sigma}/\bar{\sigma}_{vm}$ มีค่าเท่ากับ 0.08 และความลาดชันของ Failure Envelope (α_{σ}) มีค่าเท่ากับ 21.8° ($\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0.086$; และ $\phi' = 23.6^\circ$)

สำหรับดินที่ความลึก 6.00 ~ 6.50 m และ 7.50 ~ 8.00 m ($PI = 35 \sim 40\%$) ได้ทำการทดสอบที่ $OCR = 3.60, 2.32, 3.18, 1.25$ ตามลำดับ รูปที่ 4.8 แสดงผลของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ โมดูลัสแบบไม่ระบายน้ำ และพารามิเตอร์ A_f ที่จุดวิกฤติ สำหรับการทดสอบ

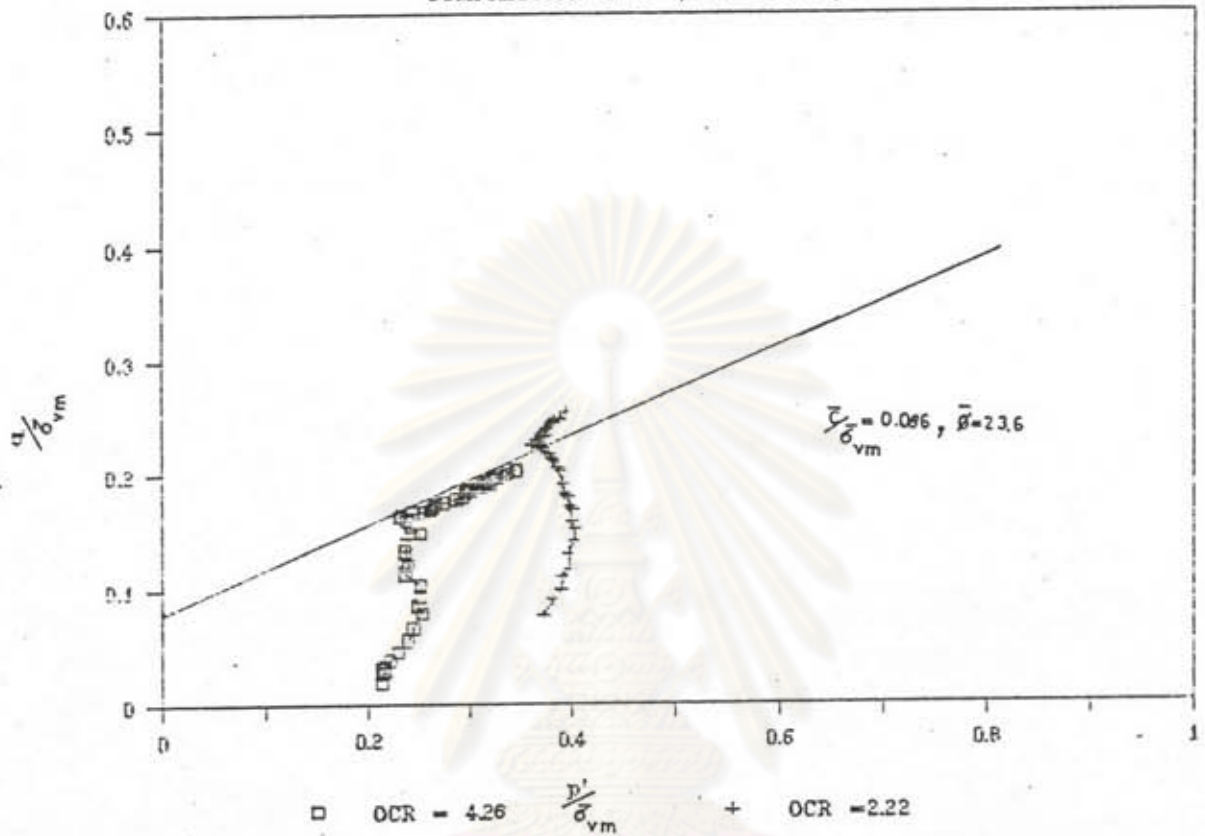
รูปที่ 4.9 แสดง Normalized Effective Stress Envelope สำหรับดินที่เป็น Overconsolidated ระยะตัดแกนตั้ง หรือ $\bar{\sigma}/\bar{\sigma}_{vm}$ มีค่าเท่ากับ 0.08 และความลาดชันของ Failure Envelope (α_{σ}) มีค่าเท่ากับ 14° ($\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0.083$ และ $\phi' = 14.4^\circ$)

4.1.3.2 ผลการทดลองหากลึงรับแรงเฉือนแบบกด ที่ไม่ถูกอัดตัวคายนํ้า ในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test, UUC Test)

การทดลองจะทำกับดินจากหลุมเจาะ DB3 ที่ความลึก 6.00 ~ 6.50 m มีค่าดัชนีพลาสติกซีดี 35% การทดลองครั้งนี้เพื่อตรวจสอบคุณภาพตัวอย่าง รูปที่ 4.10 จะแสดงผลของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบอันเดรน (E_{u50}) ที่ 50% ของหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 286 ตันต่อตารางเมตร ค่า $s_u/\bar{\sigma}_{vo} = 0.29$ (คิดหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งขณะเจาะสำรวจ = 11.13 T/m^2 , $OCR = 1.96$) ค่า $E_{u50}/\bar{\sigma}_{vo} = 24.4$

4.1.3.3 ผลการทดลองหากลึงรับแรงเฉือนแบบดึง ที่ถูกอัดตัวคายนํ้าแบบ K_0 ในสภาพไม่ระบายน้ำ และวัดค่าแรงดันนํ้าในโพรงดิน (K_0 - Consolidated Undrained Triaxial Extension Test with Pore Pressure Measurement, CK.U - TE Test)

NORMALIZED EFFECTIVE STRESS PATH
 COMPRESSION TEST (PI = 20%)



รูปที่ 4.7 Normalized effective stress envelope จากการทดสอบ CK.U TC สำหรับดินหลวม DB 3 ค่า plasticity Index = 20%

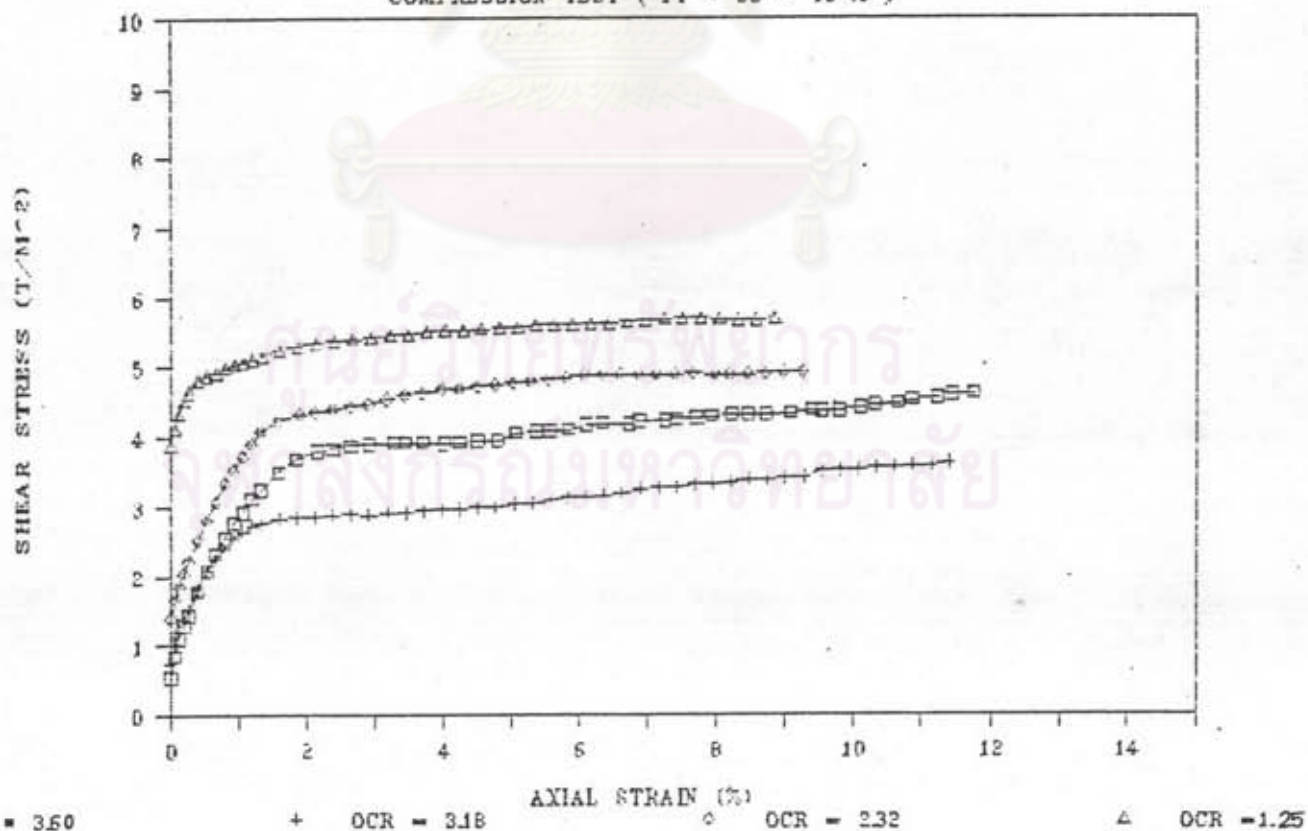
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

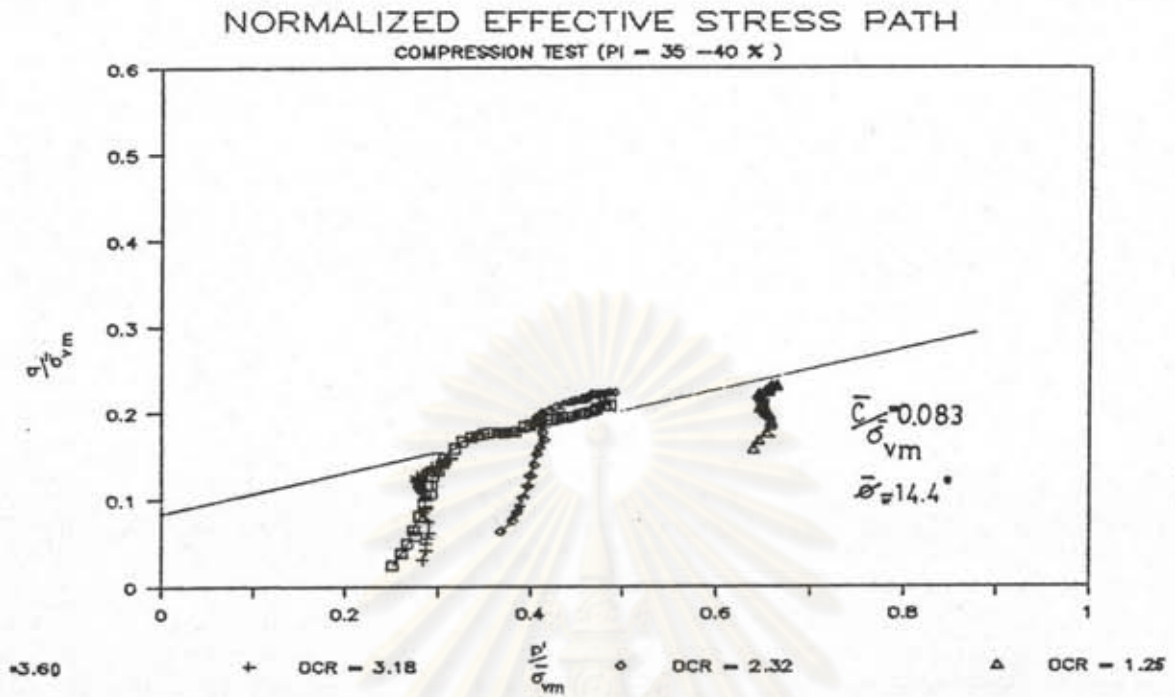
CK.U TC TRIAXIAL COMPRESSION TEST (PI = 35 - 40 %)

OCR	$\bar{\sigma}_{vc}$ (t/m ²)	S_u (t/m ²)	E_{u50} (t/m ²)	$S_u / \bar{\sigma}_{vc}$	$E_{u50} / \bar{\sigma}_{vc}$	A_f
3.60	6.10	3.90	569	0.64	93.27	0.18
3.18	7.70	3.40	499	0.44	64.88	0.45
2.32	9.50	4.67	511	0.49	53.78	0.24
1.25	19.60	5.60	485	0.29	24.74	0.38

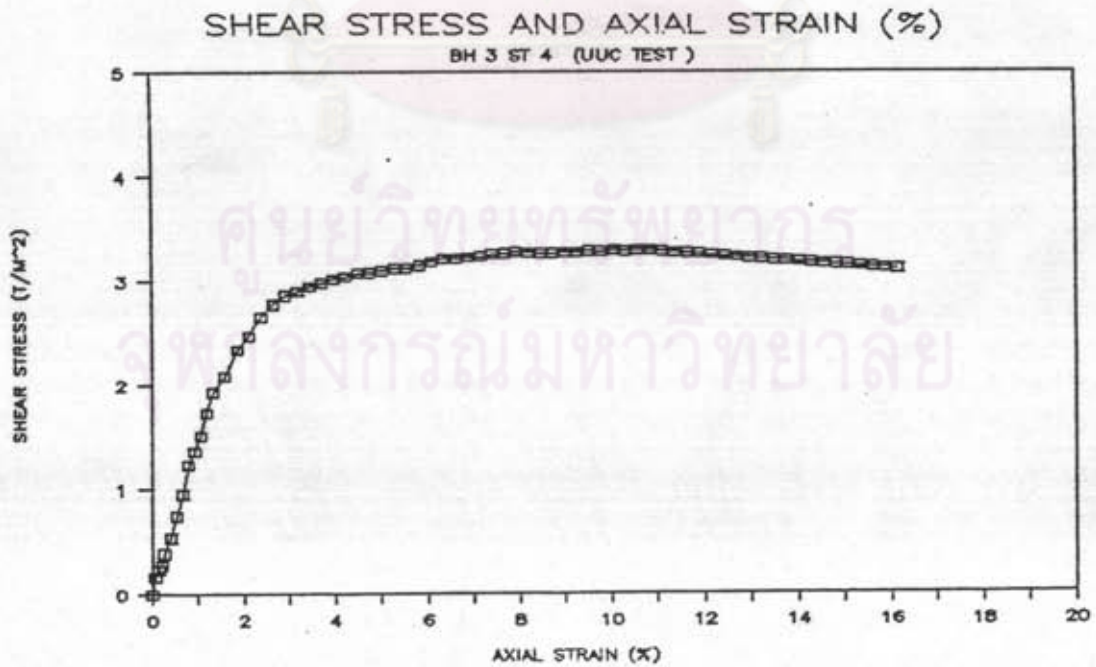
SHEAR STRESS AND AXIAL STRAIN (%)

COMPRESSION TEST (PI = 35 - 40 %)





รูปที่ 4.9 Normalized effective stress envelope สำหรับการทดลอง CK.U TC ของดินจากหลุมเจาะ DB 3 ค่า plasticity Index 35-40%



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนกับค่าความเร็วความหนาแน่น สำหรับการทดสอบ UUC TEST ของดินหลุมเจาะ DB 3 ความลึก 6.0 - 6.50 ม. (PI = 35%)

การทดลองจะทำการทดลองกับดินจากหลุมเจาะ DB1 ที่ ความลึก 4.50 ~ 5.00 m, 6.00 ~ 6.50 m และ 7.50 ~ 8.00 m โดยมีค่าดัชนี พลาสติกซิตีประมาณ 12 ~ 20% โดยทำการทดลองที่ OCR = 3.19, 1.90, 1.20 ตาม ลำดับ

รูปที่ 4.11 แสดงผลของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโมดูลัสยืดหยุ่นแบบ ไม่ระบายน้ำ และค่าพารามิเตอร์ A_c ที่จุดวิกฤติ

รูปที่ 4.12 แสดง Normalized Effective Stress Envelope สำหรับ ดิน Overconsolidated ระยะตัดแกนค้ำ หรือ $\bar{\sigma}/\bar{\sigma}_{vm}$ มีค่าเท่ากับ 0.17 และความ ลาดชันของ Failure Envelope ($\bar{\sigma}_{uc}$) มีค่าเท่ากับ 24.2° ($\bar{c}/\bar{\sigma}_{vm} = 0.186$ และ $\bar{\phi} = 26.7^\circ$)

4.1.3.4 ผลการทดลองหาลำดับรับแรงเฉือนแบบค้ำที่ไม่ถูกอัด ตัวคายน้ำ ในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Triaxial Extension Test, UUE Test)

การทดลองจะทำกับดินจากหลุมเจาะ DB1 ที่ความลึก 7.50 ~ 8.00 m มีค่าดัชนีพลาสติกซิตี 12.6% การทดลองครั้งนี้เช่นเดียวกับการทดลอง UUC Test จุดประสงค์คือ ต้องการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างดิน รูปที่ 4.13 จะ แสดงผลของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบอันเดรน (E_{u50}) ที่ 50% ของหน่วยแรงเฉือนเท่ากับ 173 ตันต่อตารางเมตร ค่า $s_u/\bar{\sigma}_{vo} = 0.25$ (คิดหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวค้ำขณะเจาะสำรวจ = 12.50 T/m², OCR = 1.76) ค่า $E_{u50}/\bar{\sigma}_{vo} = 13.84$

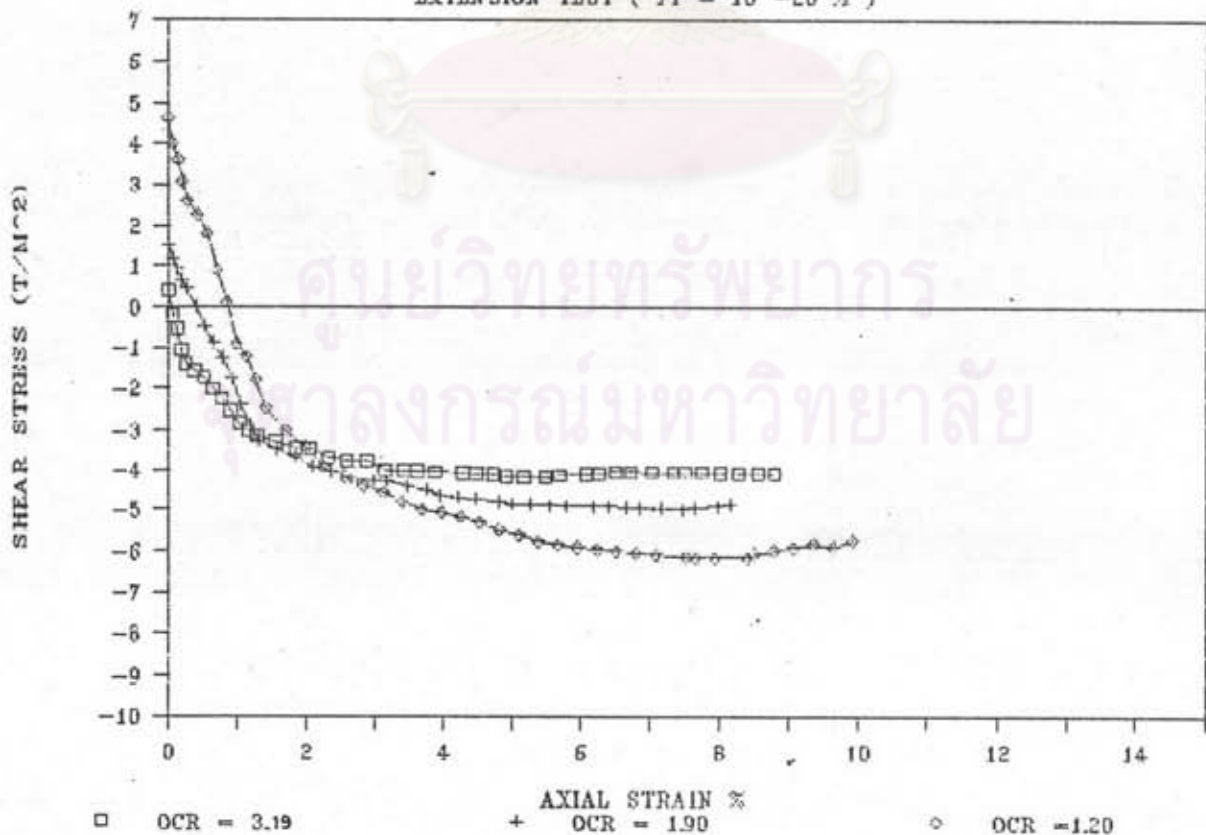
รูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงค่า Undrained Strength Ratio กับ OCR จากการทดสอบ CK_u TC Test และ CK_u TE Test พบว่า ค่า $s_u/\bar{\sigma}_{vo}$ จะ มีค่าสูงขึ้นเมื่อ OCR มีค่ามากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ CK_u TC กับ ผลการ ทดสอบดินกรุงเทพฯ จะเห็นได้ว่าค่า Undrained Strength Ratio ของดินบริเวณที่ทำ การวิจัยจะมีค่าต่ำกว่าดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ สำหรับผลการทดสอบ CK_u TE Test จะ ได้ค่า Undrained Strength Ratio ใกล้เคียงกับผลการทดสอบของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

CKU TRIAXIAL EXTENSION TEST (PI=12-20%)

OCR	$\bar{\sigma}_{vc}$ (t/m ²)	S_u (t/m ²)	E_{u50} (t/m ²)	$S_u/\bar{\sigma}_{vc}$	$E_{u50}/\bar{\sigma}_{vc}$	A_f
3.19	4.70	3.47	1060	0.74	225.0	0.79
1.90	9.00	4.40	708	0.48	78.0	0.88
1.20	18.30	5.50	1102	0.30	60.2	0.92

SHEAR STRESS AND AXIAL STRAIN (%)

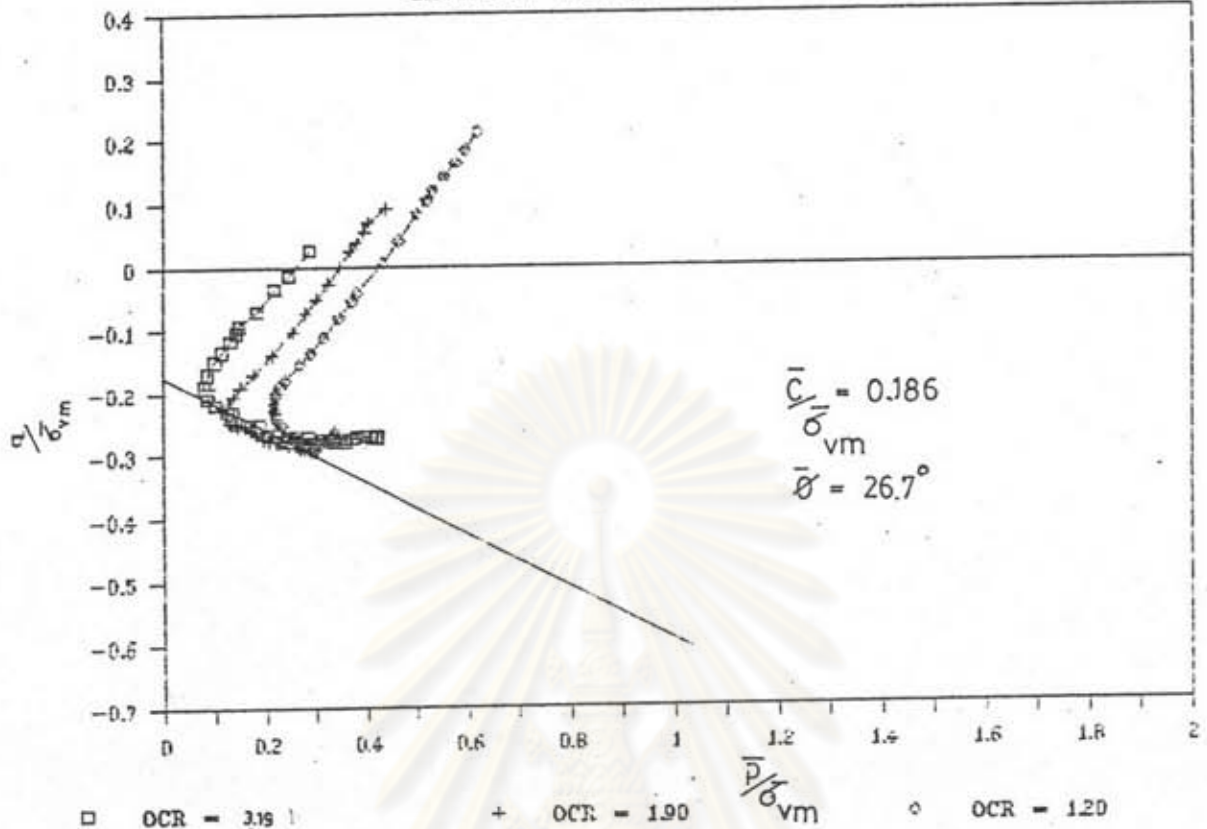
EXTENSION TEST (PI = 10 - 20%)



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบ CK.U TE TEST สำหรับดินหลวม DB 1 ค่า plasticity Index = 12-20%

NORMALIZED EFFECTIVE STRESS PATH

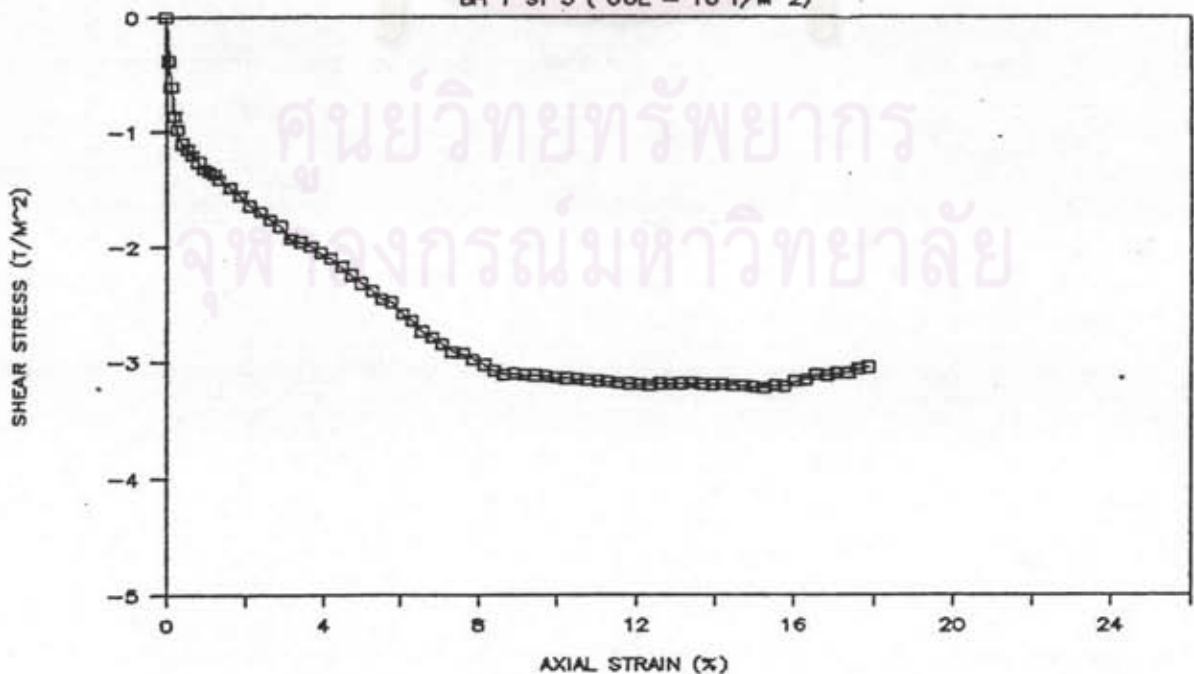
EXTENSION TEST (P1 = 10 - 20 %)



รูปที่ 4.12 Normalized effective stress envelope สำหรับการทดสอบ CK.U TE TEST ของดินจากหลุมเจาะ DB 1 มีค่า plasticity Index = 12-20%

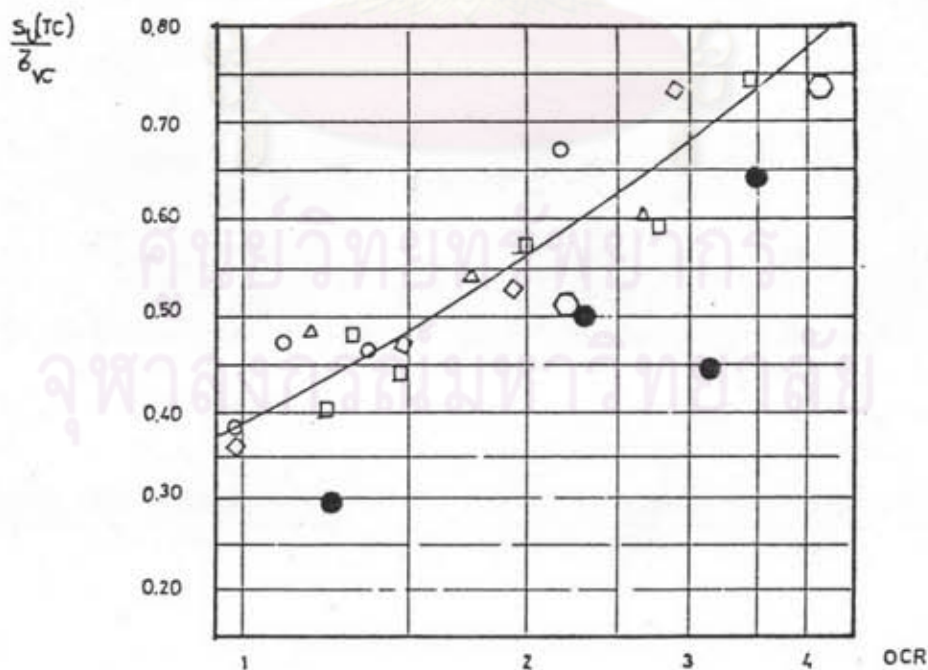
SHEAR STRESS AND AXIAL STRAIN (%)

BH 1 ST 5 (UUE = 10 T/M²)



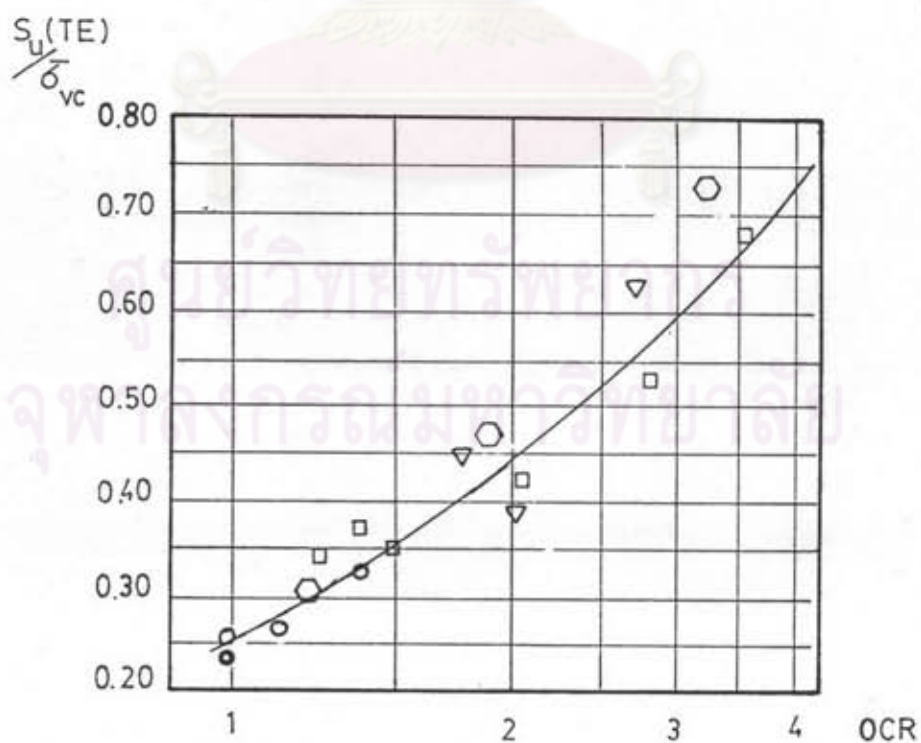
รูปที่ 4.13 ผลกำลังรับแรงเฉือนกับความเครียดตามแนวแกน สำหรับการทดสอบ UUE TEST ของดินจากหลุมเจาะ DB 1 ความลึก 7.50 - 8.00 ม. (P1 = 12.6%)

SYM	NAME	LOCATION	PI (%)	LL (%)	W (%)	IN SITU OCR	TYPE OF TEST
○	RUANDÉJ(1982)	SEE PHAYA BANGKOK	37-39	73-77	68-72	113-114	RECOMPRESSION
◇	DUMRONG(1985)	BANG LUANG BANGKOK	37	64	52-60	2.00	"
△	MOY (1984)	AIT BANGKOK	45-60	90-100	60-90	1.20-2.20	"
□	PINIT (1984)	RATTBURANA BANGKOK	40-50	65-85	60-90	115-135	"
○	TOSSAPORN(1988)	THARUA AYUTTAYA	22	44	26	1.85-216	"
●	TOSSAPORN(1988)	THARUA AYUTTAYA	35-39	54-56	23-27	1.85-216	"



รูปที่ 4.14 ค่า $\frac{s_u}{\bar{\sigma}_{vc}}$ กับ $\log OCR$ จาก CK.U TC TEST สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัยกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

SYM	NAME	LOCATION	PI (%)	LL (%)	W (%)	IN SITU OCR	TYPE OF TEST
○	RUANDEJ (1982)	SEE PHAYA BANGKOK	37-39	73-77	68-72	1.13-1.40	RECOMPRESSION
▽	MOY (1984)	AIT BANGKOK	45-60	90-100	60-90	1.20-2.20	
□	PINIT (1984)	RATBURANA BANGKOK	40-50	65-85	60-90	1.15-3.50	
○	TOSSAPORN (1988)	THARUA AYUTAYA	12-20	31-38	21-24	1.51-1.71	



รูปที่ 4.15 ค่า s_u/σ_{vc} กับ $\log OCR$ จาก CK.U TE TEST สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัยกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

รูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มขึ้นกับค่าความเครียดตามแนวแกน จากการทดสอบ CK_U TC Test สำหรับดินที่มี $PI = 12 \sim 20\%$ ตามลำดับ

รูปที่ 4.18 แสดงค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มขึ้นกับค่าความเครียดตามแนวแกน สำหรับการทดสอบ CK_U TE Test สำหรับดินที่มี $PI = 12 \sim 20\%$

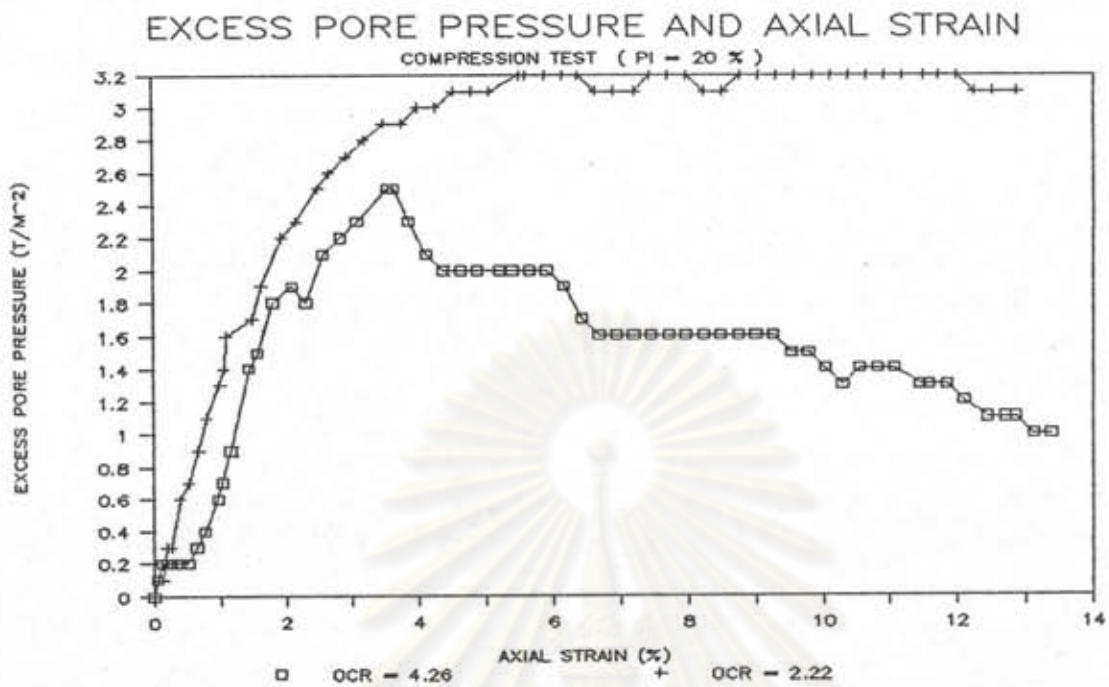
รูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงค่า A_f กับ $\log OCR$ สำหรับการทดสอบ CK_U TC Test และ CK_U TE Test พบว่า ค่า A_f จะลดลงเมื่อ OCR สูงขึ้นจากการลดลงของ Pore Pressure Parameter (A_f) นี้เป็นสาเหตุให้ Undrained Strength Ratio จะมีค่ามากขึ้นเมื่อดินยังมีค่า OCR สูงขึ้น (Kouissouf and Ladd, 1985)

รูปที่ 4.21 และ 4.22 แสดงค่า $E_{50/\sigma_{vc}}$ กับ $\log OCR$ สำหรับการทดสอบ CK_U TC Test และ CK_U TE Test จะพบว่าค่า $E_{50/\sigma_{vc}}$ มีค่าสูงขึ้นเมื่อ OCR สูงขึ้น

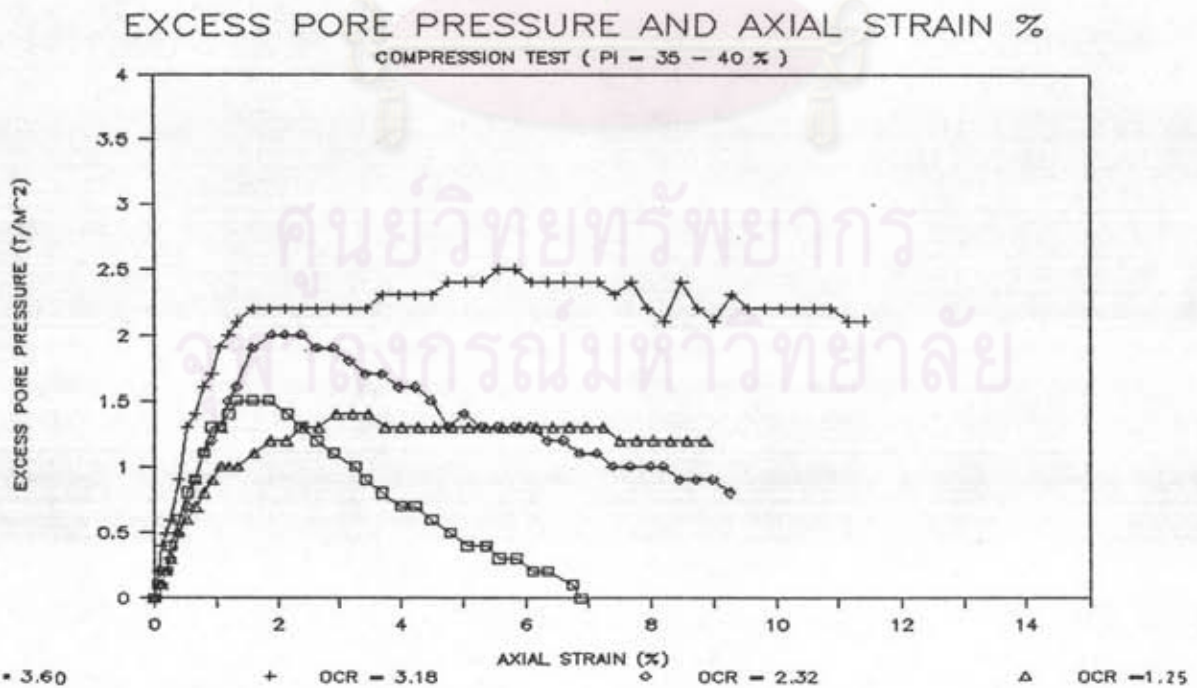
เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Undrained Strength Ratio สำหรับการทดสอบ CK_U TC Test กับ CK_U TE Test สำหรับดินที่มี $PI = 14 \sim 20\%$ จะพบว่า ค่า $S_u(TC)/S_u(TE)$ ประมาณ 1.0 ซึ่งแตกต่างจากดินกรุงเทพ (Bangkok Clay) จะมีค่า $S_u(TC)/S_u(TE) = 1.75$ (Larsson; 1980) (Mayne และ Holtz; 1985) กล่าวว่าการอัตราส่วนกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำสำหรับการทดสอบแบบดึงต่อแบบกด (Undrained Strength in Extension to Compression, K_u) จะมีค่า $0.5 < K_u < 1.0$ สำหรับดินประเภท Overconsolidated Clay

ค่าอัตราส่วนของมุมเสียดทานภายในประสิทธิผล (ϕ) สำหรับการทดสอบแบบดึงและแบบกดสำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัยที่มีค่า $PI = 12 \sim 20\%$ จะมีค่า $\phi(TE) / \phi(TC) = 1.13$ Mayne และ Holtz (1985) กล่าวว่า ค่าอัตราส่วนของมุมเสียดทานภายในแบบดึงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 1.5 เท่าสำหรับการทดสอบแบบกด

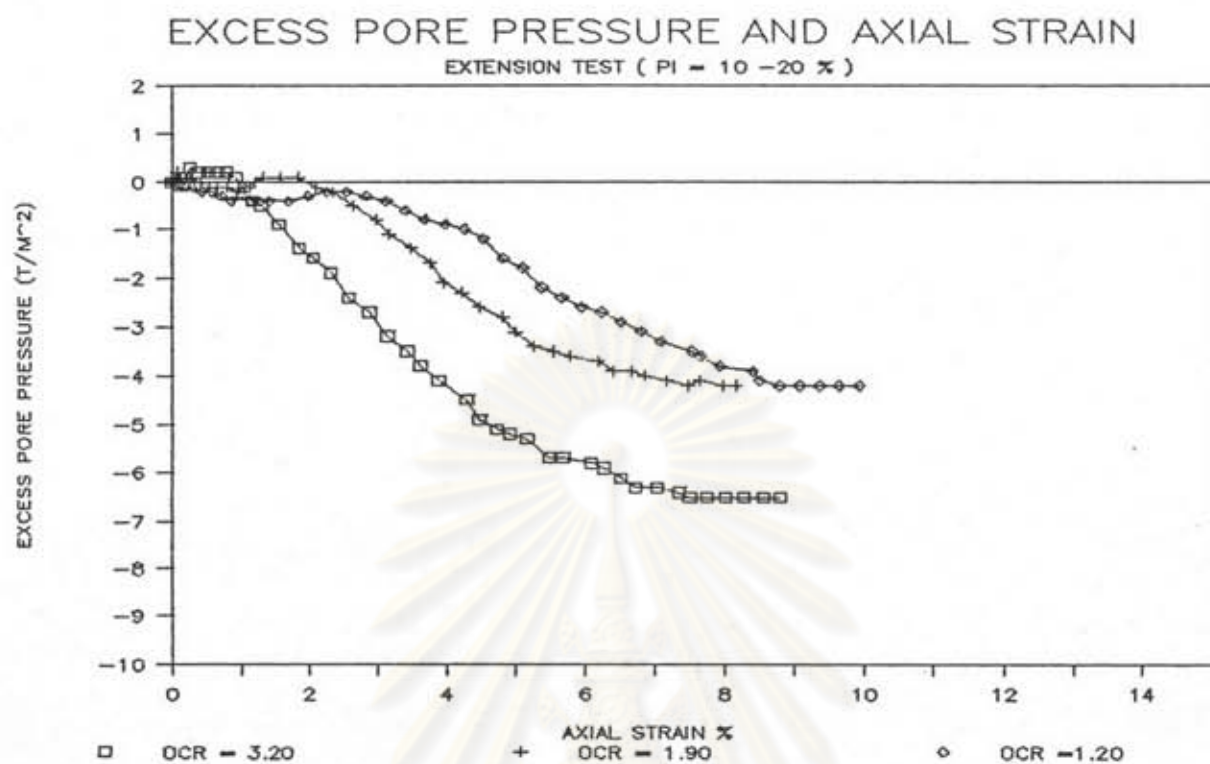
อย่างไรก็ดีไม่สามารถยืนยันผลการทดสอบให้เป็นที่น่าพอใจได้ เนื่องจากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยมีค่อนข้างจำกัด



รูปที่ 4.16 ค่าแรงค้ำน้ำในโพรงเพิ่มขึ้นกับความเครียดตามแนวแกน สำหรับการทดสอบ
CHK.P TC TEST สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB3 (PI = 20%)

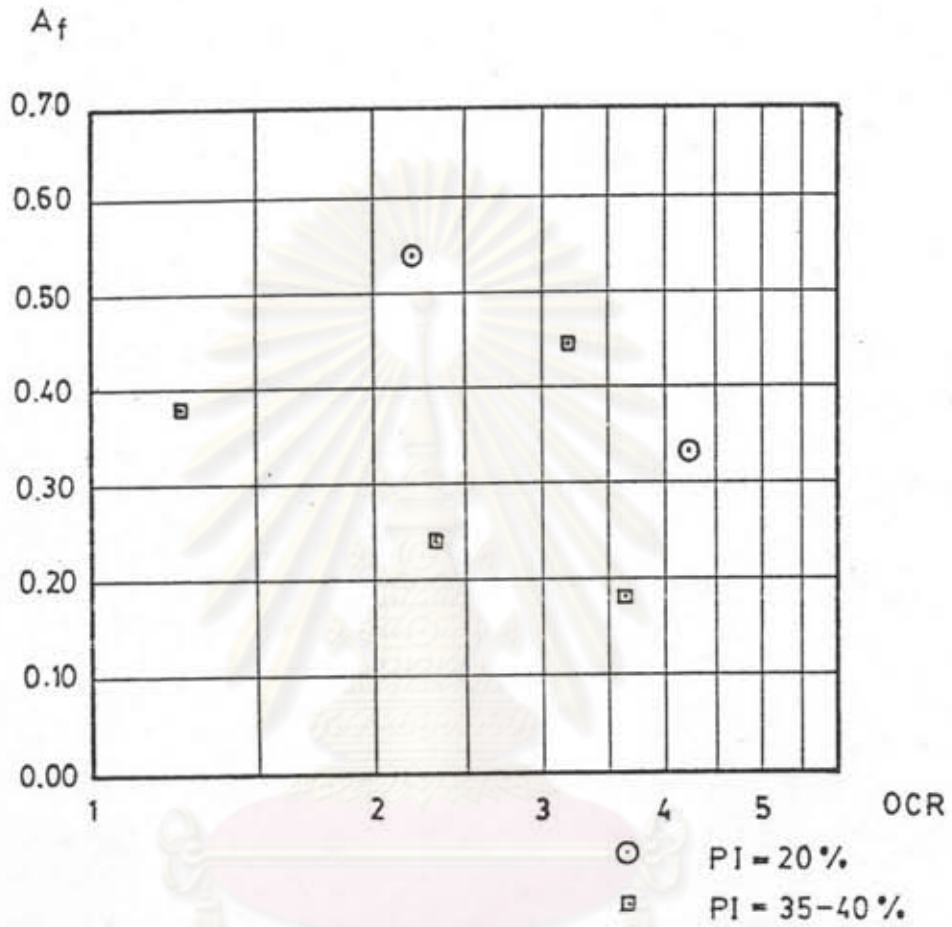


รูปที่ 4.17 ค่าแรงค้ำน้ำในโพรงเพิ่มขึ้นกับความเครียดตามแนวแกน สำหรับการทดสอบ
CHK.P TC TEST สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB3 (PI = 35 ~ 40%)



รูปที่ 4.18 ค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มขึ้นกับความเครียดตามแนวแกน สำหรับการทดสอบ
CK.U TE TEST สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB1 (PI = 10 ~ 20 %)

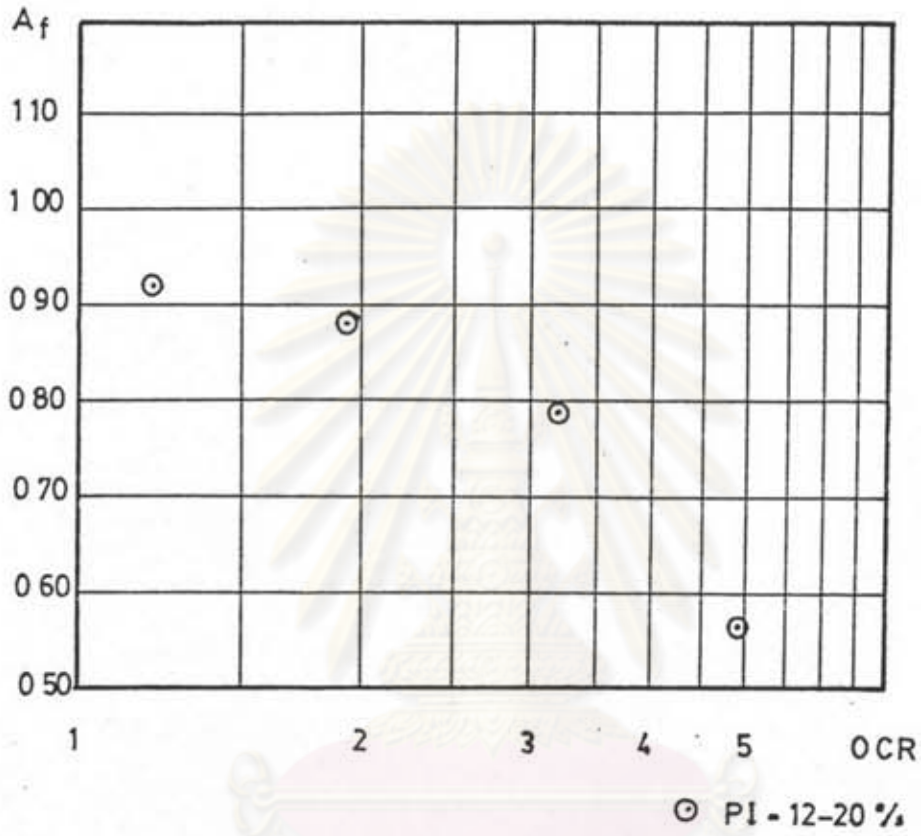
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19

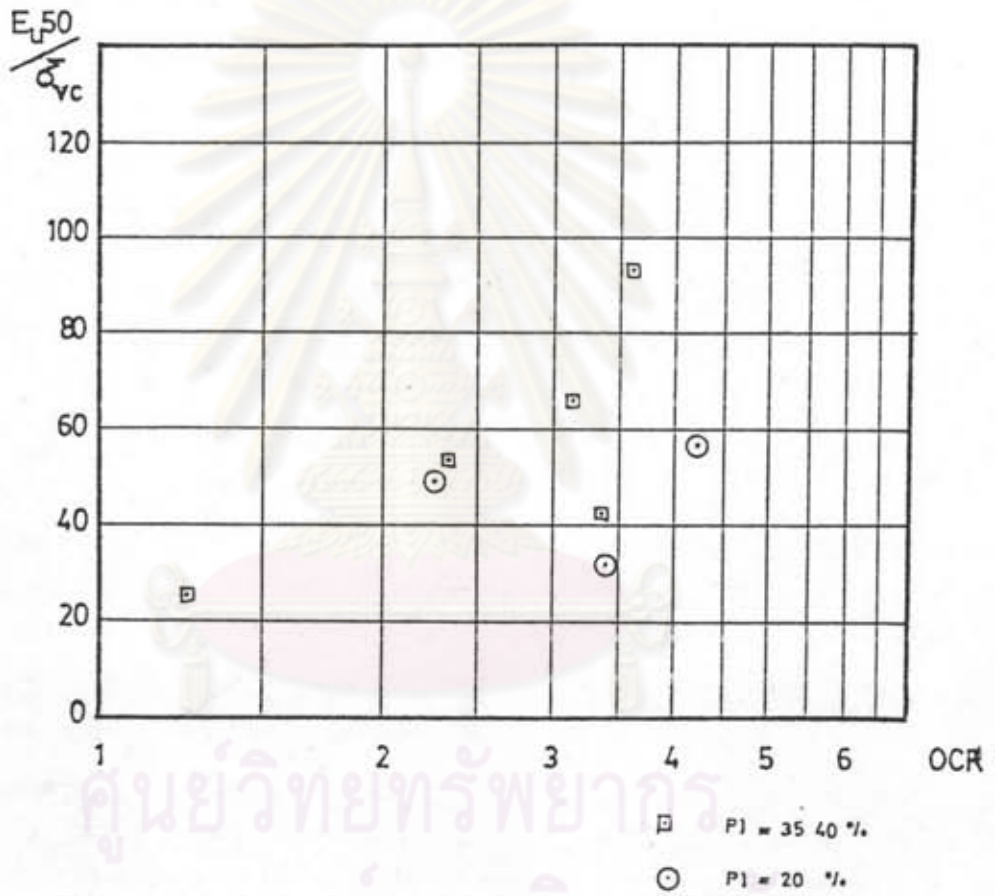
A_f กับ $\log OCR$ จาก CK.U TC TEST สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB 3 ทดสอบโดยวิธี recompression Test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

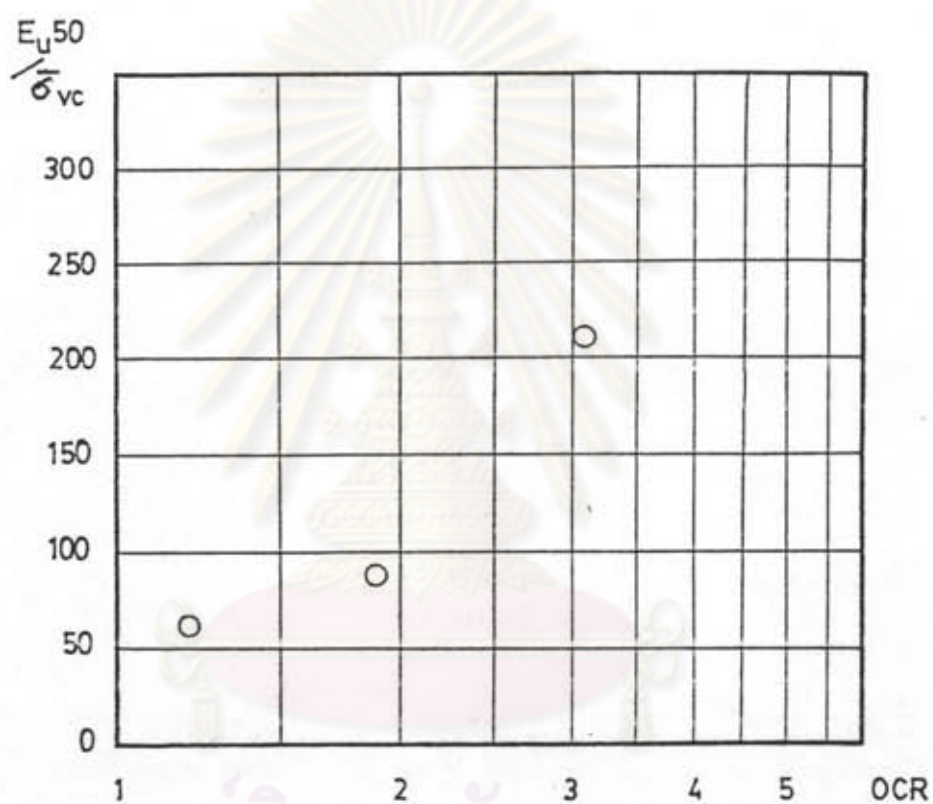


รูปที่ 4.20 Af กับ log OCR จาก CK.U TE TEST สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB 1 ทดสอบ โดยวิธี Recompression Test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 E_u / σ_{vc} กับ $\log OCR$ จาก CKUB TC TEST สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB 3
 ทดสอบโดยวิธี Recompression Test



รูปที่ 4.22 E_{u50} / σ_{vc} กับ \log OCR จาก CK.U TE TEST สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB 1 ทดสอบโดยวิธี Recompression TEST

4.1.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนจาก Drained Direct Shear Test

การทดลองทำกับดินหลุมเจาะ DB3 ที่ความลึก 1.50 ~ 2.00 m ซึ่งมีค่าดัชนีพลาสติกซีดีเท่ากับ 19.1% การทดสอบใช้ Normal Stress เท่ากับ 0.20 Ksc, 0.40 Ksc และ 0.60 Ksc รูปที่ 4.23 แสดงค่า Shear Stress กับ Horizontal Displacement และรูปที่ 4.24 แสดงค่า Shear Stress กับ Normal Stress จะพบว่าดินที่นำมาทดสอบมี ค่า $c = 0$ และ $\delta = 40^\circ$

สำหรับดินจากหลุมเจาะ DB2 ที่ความลึก 7.50 - 8.00m. ซึ่งมีค่าดัชนีพลาสติกซีดีเท่ากับ 14.3% การทดสอบใช้ Normal Stress เท่ากับ 0.80 ksc, 1.23 Ksc และ 1.60 ksc รูปที่ 4.25 แสดงค่า Shear Stress กับ Horizontal Displacement และรูปที่ 4.26 แสดงค่า Shear Stress กับ Normal Stress จะพบว่าดินที่นำมาทำการทดสอบ มีค่า $c = 0$ และ $\delta = 40^\circ$

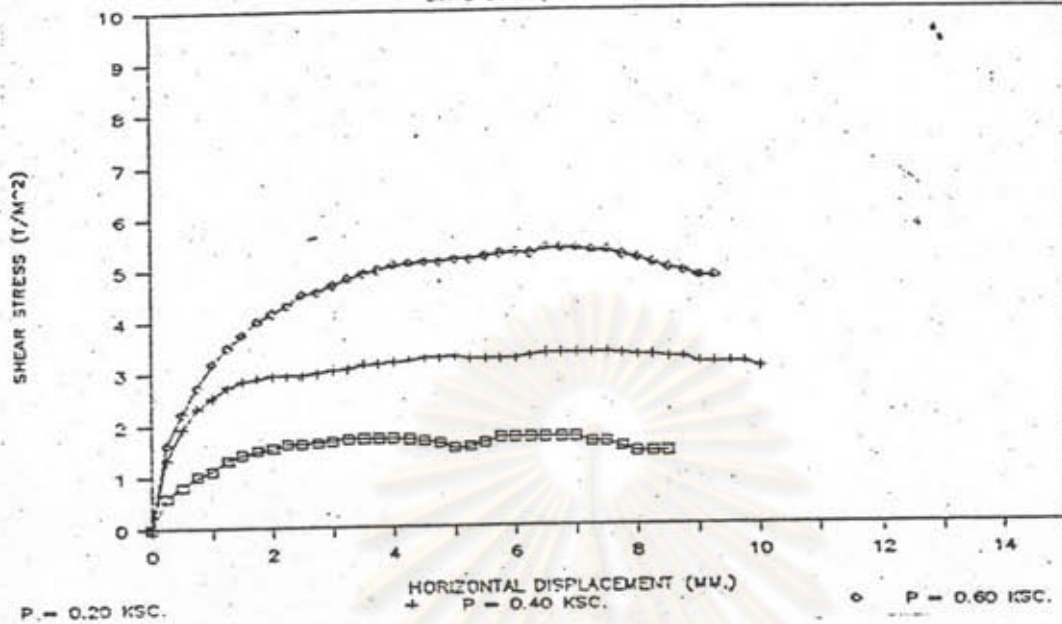
4.2.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก

สำหรับตลิ่งแม่น้ำป่าสักพิจารณาได้ว่าเป็นคันดินธรรมชาติ (Natural Slope) เมื่อพิจารณาชั้นดินบริเวณบ้านศาลาลอยแล้ว พบว่า มีชั้นดินแข็งปานกลาง (Medium Silty Clay) หนาประมาณ 4 ~ 8 เมตร ตกตะกอนอยู่บนชั้นดินเหนียวแข็งสีเหลือง หรือสีน้ำตาลเข้ม (Yellowish or Dark Grey Clay) พิจารณาได้ว่าเป็นดินแข็งปานกลางเกิดจากการตกตะกอนของดินจากแม่น้ำป่าสักเอง เพราะความหนาของชั้นดินลดลงเมื่อระยะทางห่างจากตลิ่งแม่น้ำมากขึ้น

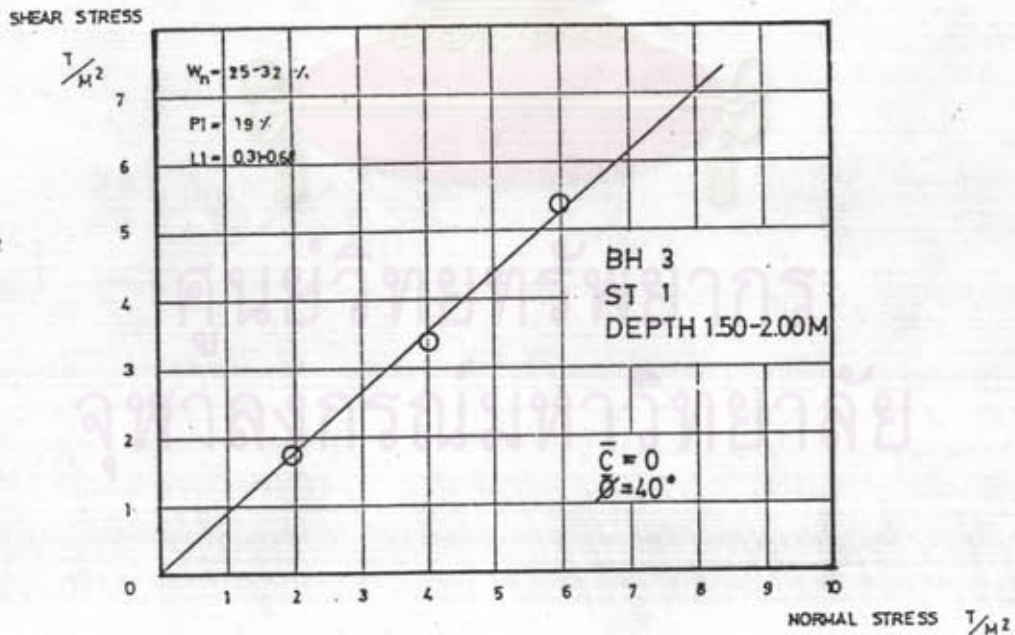
เมื่อตรวจสอบข้อมูลจากกรมเจ้าท่า และชาวบ้านบริเวณที่เกิดการวิบัติแล้วพบว่า การวิบัติเกิดขึ้นหลังจากที่กรมเจ้าท่าได้ขุดลอกแม่น้ำ ดังนั้นจะกระทำการวิเคราะห์เสถียรภาพเป็น 3 กรณีด้วยกัน คือ

1. ก่อนการวิบัติและก่อนการขุดลอกแม่น้ำ (Before Failure and Before Excavation)
2. ก่อนการวิบัติและหลังการขุดลอกแม่น้ำ (Before Failure and After Excavation)

SHEAR STRESS AND HORIZONTAL DISPLACEMENT
BH 3 ST 1 (1.50 - 2.00 M.)



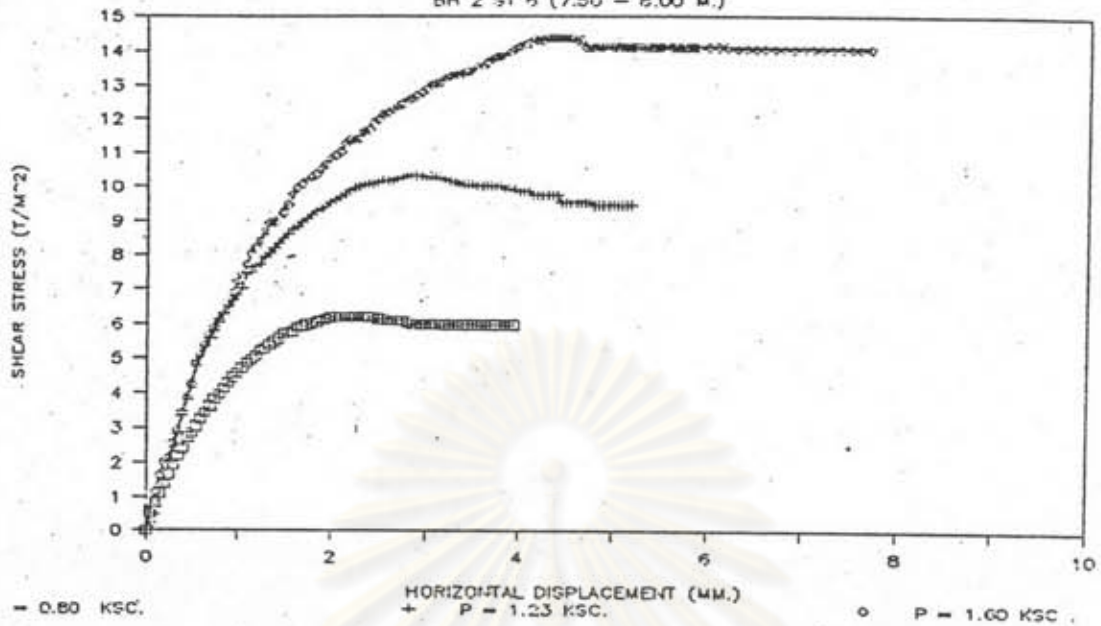
รูปที่ 4.23 ค่า Shear stress กับ Horizontal displacement ของดินหลุมเจาะ DB 3 ความลึก 1.50-2.00 ม.



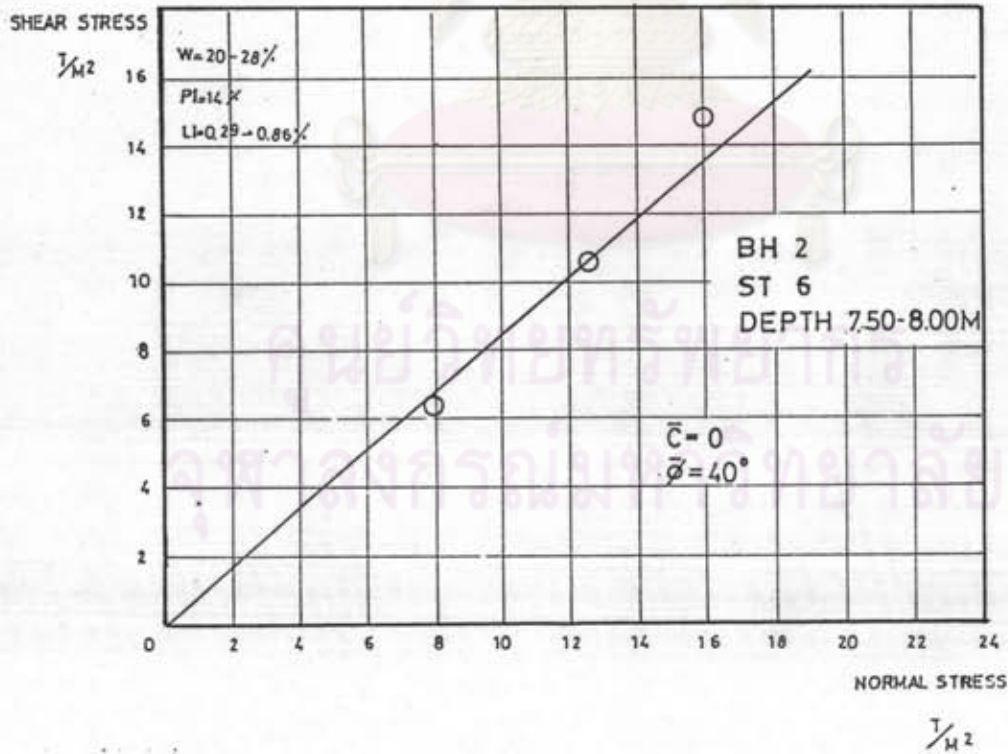
รูปที่ 4.24 ค่า Shear stress กับ Normal stress ของดินหลุมเจาะ DB3 ความลึก 1.50-2.00 ม. เป็น overconsolidated clay

SHEAR STRESS AND HORIZONTAL DISPLACEMENT

BH 2 ST 6 (7.50 - 8.00 M.)



รูปที่ 4.25 ค่า Shear stress กับ Horizontal displacement สำหรับดินหลุมเจาะ DB 2 ความลึก 7.50 - 8.00 m.



รูปที่ 4.26 ค่า Shear stress กับ Normal stress ของดินหลุมเจาะ DB2 ความลึก 7.50-8.00 m. ดิน overconsolidated clay

3. หลังการวิบัติและหลังจากการขุดลอกแม่น้ำ (After Failure and After Excavation)

โดยจะทำการพิจารณาตามฤดูกาลธรรมชาติ โดยเลือกวิธีในการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับปัญหาที่เกิดขึ้น คือ

4.2.1.1 กรณีปัญหาระยะยาว (Long term condition)

จากการพิจารณาระดับน้ำในแม่น้ำป่าสัก โดยอาศัยข้อมูลของระดับแม่น้ำป่าสักจากปี 2528-2532 จากกรมเจ้าท่า (ตั้งปรากฏอยู่ในภาคผนวก ข) พบว่ามีความแตกต่างสำหรับฤดูฝนและฤดูแล้ง ดังนั้นการวิเคราะห์เสถียรภาพของกรณีปัญหาระยะยาว จึงพิจารณาค่าระดับน้ำในแม่น้ำป่าสัก จากค่าต่ำสุดของฤดูฝนและค่าต่ำสุดของฤดูแล้ง จากการที่ไม่สามารถทราบค่าระดับน้ำใต้ดินในฤดูฝน จากปัญหาที่กล่าวมาแล้ว จึงจำเป็นต้องแยกพิจารณาเสถียรภาพในฤดูฝนออกเป็น 2 กรณีคือ

1. พิจารณาระดับน้ำใต้ดินไม่ลดลงตามระดับน้ำแม่น้ำป่าสัก

พิจารณาเสถียรภาพในฤดูฝน โดยคิดวาระดับน้ำใต้ดินเท่ากับระดับน้ำสูงสุดในแม่น้ำป่าสักในฤดูฝน จากข้อมูลระดับน้ำแม่น้ำป่าสักที่มีอยู่พบว่าในปี 2530 ระดับน้ำในฤดูฝนสูงสุดเท่ากับ 8.27 MSL ซึ่งท่วมคันดิน พิจารณาว่าในกรณีระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักลดลง น้ำที่ท่วมอยู่บนคันดินจะไหลตามลงมา แต่ระดับน้ำใต้ดินในคันดินยังไม่ลดลงตาม (พิจารณาว่าน้ำไหลออกไม่ทัน) จึงใช้ระดับน้ำในคันดินสูงสุดในฤดูฝนเท่ากับ 7.60 MSL ซึ่งเป็นระดับน้ำที่ท่วมหลังคันดินพอดี ส่วนระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักจะใช้ค่าระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักในฤดูฝนเท่ากับ 1.95 MSL พิจารณาว่าการเคลื่อนตัวของคันดินเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (drained condition) พิจารณาการไหลของน้ำใต้ดินเป็นแบบ Steady seepage หาค่าแรงดันน้ำในโพรงดินจากตาข่ายการไหล (flow net) การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินใช้วิธีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress analysis)

2. พิจารณาระดับน้ำใต้ดินลดลงตามระดับน้ำแม่น้ำป่าสัก พิจารณาเสถียรภาพในฤดูฝน โดยคิดวาระดับน้ำใต้ดินเท่ากับระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักในฤดูฝนเท่ากับ 1.95 MSL (พิจารณาว่าน้ำไหลออกทัน) ระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักใช้ระดับน้ำต่ำ

สุดของฤดูฝนที่มีอยู่เท่ากับ 1.95 MSL นิยามการเคลื่อนตัวของคันดินเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (drained condition) นิยามว่าไม่มีการไหลของน้ำใต้ดิน ค่าแรงดันน้ำในโพรงดินหาจากกรณี Hydrostatic condition การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินใช้วิธีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress analysis)

ส่วนการวิเคราะห์เสถียรภาพในฤดูแล้งสำหรับกรณีของปัญหาระยะยาว จากการทำไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินในฤดูแล้งกับระดับน้ำแม่น้ำป่าสัก เพราะช่วงที่ทำการวัดระดับน้ำใต้ดินจาก Observation well กรมเจ้าท่ามิได้ทำการวัดระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักเนื่องจากมีปัญหาเรื่องการจ้างแรงงาน ดังนั้นแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณีดังเช่นฤดูฝน คือ

1. นิยามระดับน้ำใต้ดินไม่ลดลงตามระดับน้ำแม่น้ำป่าสัก นิยามเสถียรภาพในฤดูแล้ง โดยคิดวาระดับน้ำใต้ดินเท่ากับระดับน้ำสูงสุดในแม่น้ำป่าสักในฤดูแล้งเท่ากับ 2.35 MSL ส่วนระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักในฤดูแล้ง เท่ากับ -0.40 MSL นิยามว่าการเคลื่อนตัวของคันดินเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (Drained condition) นิยามการไหลของน้ำใต้ดินเป็นแบบ steady seepage หาค่าแรงดันน้ำในโพรงดินจากตาข่ายการไหล (flow net) การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินใช้วิธีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress analysis)

2. นิยามวาระดับน้ำใต้ดินลดลงตามระดับน้ำแม่น้ำป่าสัก นิยามเสถียรภาพในฤดูแล้ง โดยคิดวาระดับน้ำใต้ดินเท่ากับระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักในฤดูแล้งเท่ากับ -0.40 MSL (นิยามว่าน้ำไหลออกทัน) ระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักใช้ระดับน้ำต่ำสุดของฤดูฝนที่มีอยู่เท่ากับ -0.40 MSL นิยามการเคลื่อนตัวของคันดินเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (drained condition) นิยามว่าไม่มีการไหลของน้ำใต้ดิน ค่าแรงดันน้ำในโพรงดินหาจากกรณี Hydrostatic condition การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินใช้วิธีหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress analysis)

4.2.1.2. กรณีมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว

(Rapid drawdown) เนื่องจากดินบริเวณนี้มีความซึมได้ต่ำ (Low permeability) และสมมติให้การเคลื่อนตัวของคันดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การวิเคราะห์เสถียรภาพ

พิจารณาว่าเวลาที่ใช้ในการอัดตัวคายน้ำของดินจะมากกว่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Consolidation time much larger than draw down time) จากข้อจำกัดเรื่องการคาดคะเนแรงดันน้ำในโพรงดิน (pore pressure) ในการวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถพิจารณาในกรณีหน่วยแรงประสิทธิผลได้ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีหน่วยแรงรวมเพราะไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มจากผลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและคันดินจะเคลื่อนตัวในลักษณะไม่ระบายน้ำ (Undrained condition)

พิจารณาว่าการขึ้นของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว จะเกิดขึ้นทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ระดับน้ำฤดูฝนจะเปลี่ยนแปลงจากระดับน้ำสูงสุดของฤดูฝนประมาณ 6.30 m และระดับน้ำฤดูแล้งจะเปลี่ยนแปลงจากระดับน้ำสูงสุดของฤดูแล้งประมาณ 2.75 m

จึงทำการวิเคราะห์เสถียรภาพสำหรับฤดูฝน โดยที่ระดับน้ำใต้ดินในฤดูฝนเท่ากับ 7.60 MSL (อยู่บริเวณหลังคันดินพอดิ) และระดับน้ำป่าสักเท่ากับ 1.95 MSL สำหรับฤดูแล้ง ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพ กรณีระดับน้ำใต้ดินสูงสุดของฤดูแล้งเท่ากับ 2.35 MSL และระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักเท่ากับ -0.40 MSL

4.2.1.3. กรณีของการขุดลอกแม่น้ำ (Dredging of River)

ผลของการขุดลอกแม่น้ำจะทำให้รูปร่างของตลิ่งแม่น้ำเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะเป็นผลทำให้เกิดการวิบัติได้ การขุดลอกแม่น้ำป่าสักบริเวณนี้ จากการตรวจสอบจากกรมเจ้าท่า จะทำการขุดลอกแม่น้ำโดยทำการขุดลอกลงไปลึกประมาณ 2.50 m ดังนั้นรูปร่างของตลิ่งแม่น้ำป่าสักจะเปลี่ยนไปดังปรากฏในรูปที่ 4.27

จากการพิจารณาว่าทำการขุดลอกแม่น้ำในฤดูแล้ง จึงใช้ระดับน้ำใต้ดินในฤดูแล้งเท่ากับ 2.35 MSL ส่วนระดับน้ำของแม่น้ำป่าสักฤดูแล้งเท่ากับ -0.40 MSL พิจารณาว่าการเคลื่อนตัวของคันดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในลักษณะไม่ระบายน้ำ ดังนั้นการตรวจสอบเสถียรภาพจะใช้วิธีหน่วยแรงรวม (Total stress analysis) ในการวิเคราะห์ปัญหา เพราะไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่ม

4.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ ประกอบด้วย

4.2.2.1 รูปร่างของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก ได้จากการทำการสำรวจรูปร่างหน้าตัดบริเวณที่สนใจ จากบริษัท K Engineering Consultants Co., Ltd. จาก

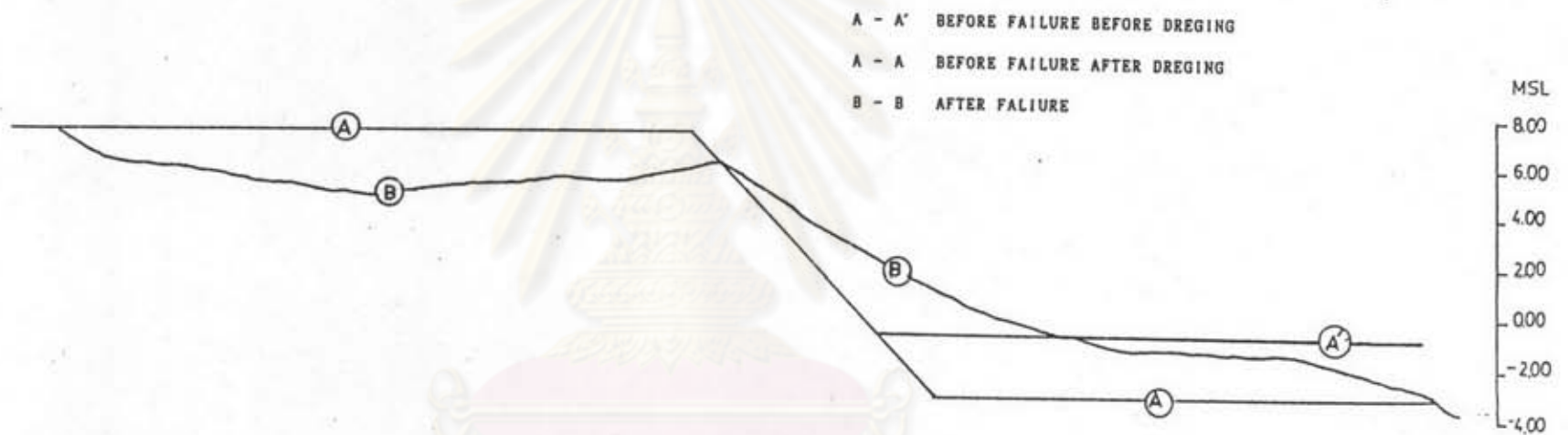
รูปร่างหน้าตัดที่ทราบเป็นรูปร่างหลังจากการวิบัติไปแล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสมมติรูปร่างหน้าตัดก่อนการวิบัติ โดยคิดว่าปริมาณดินที่หายไปด้านบนเท่ากับปริมาณดินด้านหน้าคันดิน ดังรูปที่ 4.27

4.2.2.2 ค่าความหนาแน่นของดิน ได้จากความหนาแน่นในห้องทดลอง จากตารางที่ 4.1

4.2.2.3 ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน จะเลือกใช้ตามชั้นดินโดยใช้สมบัติพื้นฐานเป็นตัวจำแนก โดยแบ่งจากค่าดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index) เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่ง มีค่า $PI = 12 \sim 20\%$ กลุ่มที่สอง มีค่า $PI = 35 \sim 40\%$

สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพก่อนการวิบัติ (before failure) จะใช้กำลังรับแรงเฉือนสูงสุด (Peak strength) ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ จากการที่ไม่สามารถใช้กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ CK_c TC TEST และ CK_c TE TEST ให้สอดคล้องกับหน่วยแรงสามารถทำให้เกิดการวิบัติที่สอดคล้องกับการวิบัติดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4.3. สำหรับแต่ละ slices ในการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบวิธี Bishop's simplified method ได้ แต่เมื่อนิยามเรื่อง Strength anisotropy ของดินบริเวณที่ทำการวิจัยจะพบว่าผลของ Strength anisotropy มีไม่มากนัก และ OCR ของดินบริเวณที่ทำการวิจัยค่อนข้างสูง ดังนั้นสำหรับดินที่มี $PI=12-23\%$ ใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงเฉือนทั้งแบบระบายน้ำและแบบไม่ระบายน้ำจากการทดสอบ CK_c TC TEST และ CK_c TE TEST ส่วนดินที่มี $PI=35-40\%$ ใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ CK_c TC TEST ทั้งแบบระบายน้ำและแบบไม่ระบายน้ำ

เมื่อนิยามเรื่อง Stress history ของดินเมื่อระยะทางห่างจากตลิ่งแม่น้ำมากขึ้น จะพบว่า ค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีต (σ_{vm}) จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่ความลึกเดียวกัน เมื่อระยะทางห่างจากตลิ่งแม่น้ำต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแบ่งชั้นดินที่ทำการวิจัยให้ละเอียดตามแนวราบ โดยแบ่งชั้นดินตามแนวราบออกตามหลุมเจาะ และเลือกใช้ค่าหน่วยแรงสูงสุดในอดีต (σ_{vm}) ที่ความลึกใดๆ จากหลุมเจาะที่อยู่ใกล้กับชั้นดินที่ต้องการวิเคราะห์มากที่สุด เช่นเดียวกับหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำประสิทธิผล (σ_{vc}) ของดิน ที่ความลึกใดๆ จะเลือกใช้เช่นเดียวกับการเลือกหน่วยแรงสูงสุดในอดีต โดยนิยามระดับน้ำใต้ดินแล้วแต่กรณีของการวิเคราะห์



รูปที่ 4.27 รูปร่างตลิ่งแม่น้ำป่าสักบริเวณที่สนใจก่อนการขุดลอกและหลังการขุดลอก
 โดยสมมติปริมาณดินหน้าคันดินเท่ากับปริมาณดินที่หายไปด้านบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ในกรณีวิเคราะห์หน่วยแรงรวม (Total stress analysis) จะใช้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ จาก Normalized shear strength โดยจำแนกตามดัชนีแลลาติกซิตี แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

สำหรับดินที่มี $PI = 12 \sim 23$ % จะใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่จุดสูงสุด (Peak Strength) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงเฉือนจากกราฟ $(s_u / \bar{\sigma}_{vc}) (TC)$ กับ $\log OCR$ จากรูปที่ 4.14 สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัย กับกำลังรับแรงเฉือนจากกราฟ $(s_u / \bar{\sigma}_{vc}) (TE)$ กับ $\log OCR$ จากรูปที่ 4.15 สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัย $s_{u, av} = (s_u (TC) + s_u (TE)) / 2$ โดยพิจารณา OCR จากหน่วยแรงสูงสุดในอดีตและหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำประสิทธิผลคงที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับดินที่มี $PI = 35 \sim 40$ % จะใช้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจากกราฟ $(s_u / \bar{\sigma}_{vc}) (TC)$ กับ $\log OCR$ จากรูปที่ 4.14 สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัย โดยพิจารณา OCR จากหน่วยแรงสูงสุดในอดีตและหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำประสิทธิผลคงที่ได้กล่าวมาแล้ว

2. ในกรณีวิเคราะห์หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress analysis) จะใช้กำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำจาก Normalized effective stress envelope.

สำหรับดินที่มี $PI = 12 \sim 23$ % ใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบดินที่มี $PI = 12 \sim 20$ % โดยใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำจากการทดสอบ CK. U TC TEST และ CK. U TE TEST ($\bar{\sigma}_{av} = (\bar{\sigma}_{TC} + \bar{\sigma}_{TE}) / 2$;

$$\bar{\sigma}_{av} = (\bar{\sigma}_{TC} + \bar{\sigma}_{TE}) / 2$$

สำหรับการทดสอบ CK. U TC TEST พบว่าค่า $\bar{c} / \bar{\sigma}_{vm} = 0.086$ และ

$$\delta = 23.6^\circ \quad (\bar{c} / \bar{\sigma}_{vm} = 0.08, \alpha_{oc} = 21.8^\circ)$$

สำหรับการทดสอบ CK. U TE TEST พบว่าค่า $\bar{c} / \bar{\sigma}_{vm} = 0.186$ และ

$$\delta = 26.7^\circ \quad (\bar{c} / \bar{\sigma}_{vm} = 0.186, \alpha_{oc} = 24.2^\circ)$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำสำหรับดินที่มี $PI = 12 - 20$ % เท่ากับ $(\bar{c} / \bar{\sigma}_{vm})_{av} = 0.14$ และ $\delta_{av} = 25.2^\circ$ การเลือกใช้ค่า $\bar{\sigma}_{vm}$ จะพิจารณาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับดินที่มี $PI=35-40\%$ ใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำจากการทดสอบ CK.U TC TEST ที่ทดสอบกับดินที่มี $PI=35-40\%$ โดยที่ $c/\sigma_{vm} = 0.082$ และ $\delta = 14.4^\circ$ ($c/\sigma_{vm} = 0.080$, $\delta_{oo} = 14.0^\circ$) โดยพิจารณา σ_{vm} ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.2.2.4 แรงดันน้ำในโพรงดิน ใช้สำหรับกรณีวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล โดยคำนวณแยกแล้วแต่กรณีของการวิเคราะห์

4.2.2.5 ระดับน้ำแม่น้ำป่าสัก ใช้ข้อมูลระดับน้ำในแม่น้ำป่าสัก สำหรับฤดูกาลต่าง ๆ จากกรมเจ้าท่า ดังปรากฏในภาคผนวก ข.

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงเฉือนของดินทั้งแบบระบายน้ำและแบบไม่ระบายน้ำ จะพบว่ามีค่ามากขึ้นเมื่อความลึกจากผิวดินมากขึ้น (Shear strength increased with depth) ดังนั้นการวิเคราะห์เสถียรภาพจึงเลือกใช้วิธี Bishop's Simplified Method และ Circular arc failure โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

ตารางที่ 4.3 สรุปถึงการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสัก สำหรับแต่ละกรณี

สำหรับการแบ่งชั้นดินและการเลือกใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะเลือกใช้ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.2.3. สำหรับที่มาของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แต่ละกรณีจะปรากฏอยู่ในภาคผนวก ง.

กรณีที่ 1. วิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักก่อนการวิบัติในฤดูฝน โดยพิจารณาว่าเป็นกรณีของปัญหาระยะยาว ระดับน้ำใต้ดินไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำป่าสัก พิจารณาว่ามีการไหลแบบ Steady seepage หาค่าแรงดันน้ำในโพรงดินจากตาข่ายการไหล (flow net) ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับ 7.60 MSL และระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักฤดูฝนเท่ากับ 1.95 MSL พิจารณาว่าคันดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (drained condition) วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงประสิทธิผลพบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety) เท่ากับ 1.86 ดังปรากฏในรูปที่ 4.28

กรณีที่ 2. วิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักก่อนการวิบัติในฤดูฝน โดยพิจารณาว่าเป็นกรณีของปัญหาระยะยาว ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักในฤดูฝนเท่ากับ 1.95 MSL พิจารณาว่าไม่มีการไหลของน้ำใต้ดิน ค่าแรงดันน้ำในโพรงดิน

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพก่อนการขุดดินแต่ละกรณี
โดยวิธี Bishop's Simplified Method

CASE	CONDITION	SEASON	GWL (MSL)	WL (MSL)	F.S. _{min}	NOTE
1	Long term	Rainy	7.60	1.95	1.86	ESA
2	Long term	Rainy	1.95	1.95	2.04	ESA
3	Long term	Dry	2.35	-0.40	1.75	ESA
4	Long term	Dry	-0.40	-0.40	1.74	ESA
5	Rapid draw down	Rainy	7.60	1.95	1.45	TSA*
6	Rapid draw down	Dry	2.35	-0.40	1.32	TSA*
7	Rapid draw down	Dry	2.35	-0.40	1.21	TSA*
	with dredging 2.5 m.					
	Rapid draw down	Dry	2.35	-0.40	1.13	TSA**
	with dredging 2.5 m.					

$$* \quad S_u = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_r}{2} \quad ** \quad \tau_{ff} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_r \cos \phi}{2}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากจากวิธี Hydrostatic condition พิจารณาว่าคันดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (drained condition) วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงประสิทธิผล พบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety) เท่ากับ 2.04 ดังปรากฏในรูปที่ 4.29

กรณีที่ 3. วิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักก่อนการขุดในฤดูแล้ง โดยพิจารณาว่าเป็นกรณีของปัญหาระยะยาว ระดับน้ำใต้ดินไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำป่าสัก พิจารณาว่ามีการไหลแบบ Steady seepage หากค่าแรงดันน้ำในโพรงดินจากตาข่ายการไหล (flow net) ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับ 2.35 MSL และระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักฤดูแล้ง เท่ากับ -0.40 MSL พิจารณาว่าคันดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (drained condition) วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงประสิทธิผล พบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety) เท่ากับ 1.75 ดังปรากฏในรูปที่ 4.30

กรณีที่ 4. วิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักก่อนการขุดในฤดูแล้ง โดยพิจารณาว่าเป็นกรณีของปัญหาระยะยาว ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสัก ในฤดูแล้งเท่ากับ -0.40 MSL พิจารณาว่าไม่มีการไหลของน้ำใต้ดิน ค่าแรงดันน้ำในโพรงดิน หากจากวิธี Hydrostatic condition พิจารณาว่าคันดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ในลักษณะระบายน้ำ (drained condition) วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงประสิทธิผล พบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety) เท่ากับ 1.74 ดังปรากฏในรูปที่ 4.31

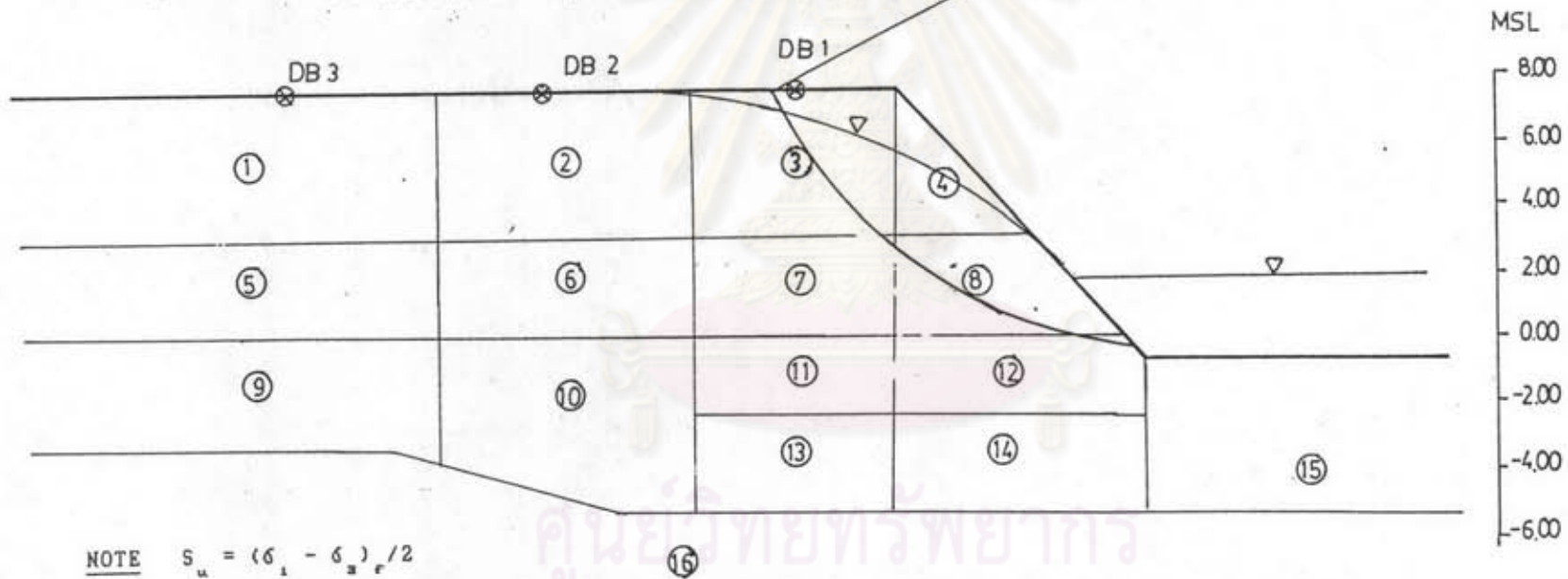
กรณีที่ 5 และ 6. วิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักก่อนการขุดในฤดูแล้งและฤดูแล้งสำหรับกรณีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว สมมติให้คันดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว สำหรับฤดูแล้ง ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับ 7.60 MSL ระดับน้ำต่ำสุดฤดูแล้งในแม่น้ำป่าสักเท่ากับ 1.95 MSL สำหรับฤดูแล้ง ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับ 2.35 MSL และระดับน้ำต่ำสุดฤดูแล้งในแม่น้ำป่าสักเท่ากับ -0.40 MSL วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงรวม พบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety) เท่ากับ 1.45 สำหรับฤดูแล้ง และ 1.32 สำหรับฤดูแล้งตามลำดับ ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ

กรณี 7. วิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักก่อนการขุดลอกและหลังจากการขุดลอกแม่น้ำในฤดูแล้ง โดยพิจารณาเช่นเดียวกับกรณี 6 แต่ผลจากการขุดลอกแม่น้ำจะทำให้รูปร่างของคันดินเปลี่ยนแปลงไป ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับ 2.35 MSL และระดับน้ำต่ำสุดในแม่น้ำป่าสักเท่ากับ -0.40 MSL วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงรวม ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Critical Factor of Safety) เท่ากับ 1.21 ดังรูปที่ 4.34

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำป่าสักทั้ง 7 กรณี จะพบว่า กรณีที่ 6 และกรณีที่ 7 จะเป็นกรณีที่ค่อนข้างวิกฤติ ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.32 และ 1.21 โดยพิจารณาได้ว่า ในช่วงฤดูแล้งระดับน้ำแม่น้ำป่าสักมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 2.75 ม. การวิเคราะห์เสถียรภาพในกรณีนี้จะเป็กรณีของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดของตลิ่งแม่น้ำ จากการขุดลอกแม่น้ำ จะทำให้อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.21 เมื่อทำการตรวจสอบเสถียรภาพกรณี 7 โดยหาค่ากำลังรับแรงเฉือนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ จากค่าเฉลี่ยของการทดสอบ CK_u TC กับ CK_u TE และ $\sigma_{cr} = ((\sigma_c - \sigma_u)_c / 2) \cos \delta$ จะพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.13 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย รูปที่ 4.35 แสดงรอยผิวนของการวิบัติ คาดว่ากรณีของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็วในฤดูแล้งหลังการขุดลอกแม่น้ำ เป็นสาเหตุของการวิบัติของตลิ่งแม่น้ำในบริเวณที่ทำการวิจัยนี้

จากการตรวจสอบบริเวณที่เกิดการวิบัติ จะพบว่ารอยผิวนการวิบัติที่ปรากฏในสนาม ไม่สอดคล้องกับรอยผิวนการวิบัติที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงทำการคำนวณเสถียรภาพของตลิ่งแม่น้ำบริเวณที่ทำการวิจัยนี้ โดยใช้วิธี wedge method สำหรับกรณีที่ 7 ซึ่งเป็นกรณีที่วิกฤติที่สุด คาดว่าอาจเป็นสาเหตุของการพังทลายของตลิ่งบริเวณที่ทำการวิจัย โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ปรากฏอยู่ในภาคผนวก ค โดยเลือกใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุด (Peak Strength) โดยพิจารณาลักษณะการวิบัติของดินจากรอยผิวนการวิบัติที่หน่วยแรงสามารถทำให้เกิดการวิบัติสอดคล้องกับการทดสอบ พิจารณาค่า OCR จากหน่วยแรงสูงสุดในอดีต (σ_{vm}) จากหลุมเจาะที่ใกล้กับ wedge ที่วิเคราะห์มากที่สุดและพิจารณาค่าหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำประสิทธิผล (σ_{vc}) ที่ระดับน้ำใต้ดินเท่ากับ 2.35 MSL เลือกค่ากำลังรับแรงเฉือนดังต่อไปนี้

SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
r_c (t/m ²)	1.98	1.71	1.86	1.86	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
c (t/m ²)	2.35	1.81	1.75	1.75	3.02	2.10	2.35	2.35	2.14	2.78	3.22	3.22	2.16	2.16	2.16	2.40
ϕ (°)	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	14.4	25.2	25.2	25.2	14.4	14.4	14.4	37.0



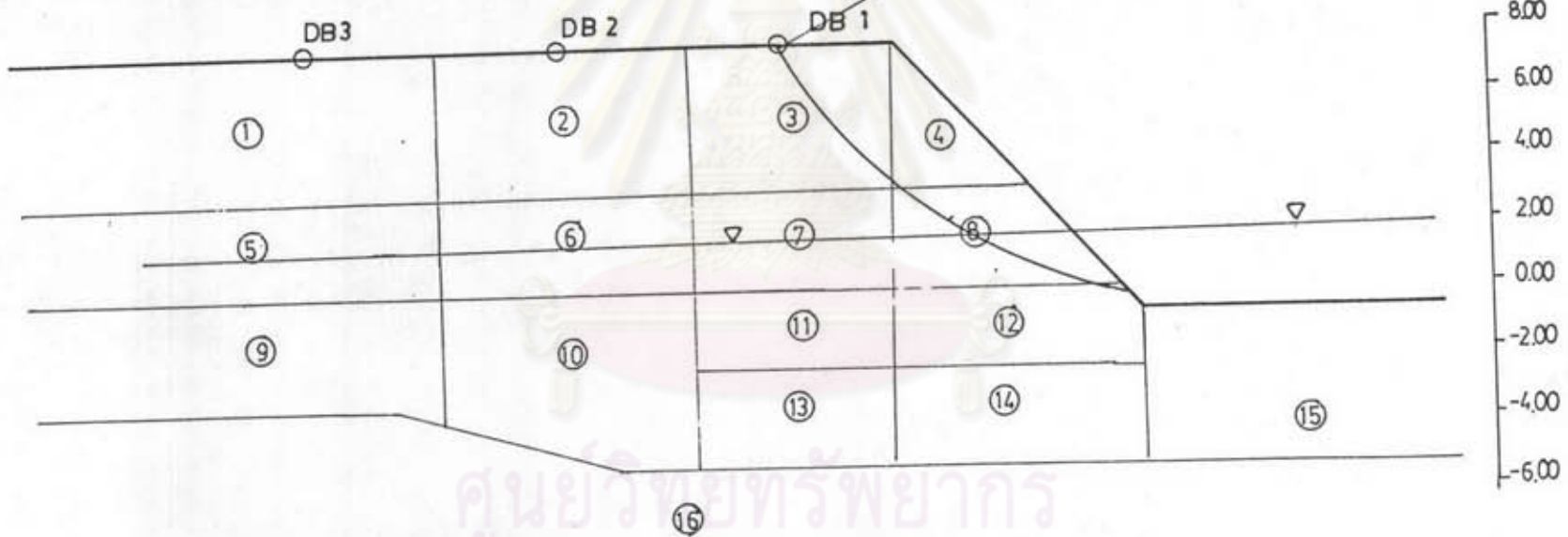
NOTE $s_u = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$

VERTICAL SCALE = HORIZONTAL SCALE

⊗ SOIL NO.

รูปที่ 4.28 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop's Simplified method
กรณีที่ 1

SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
γ_c (t/m ³)	1.98	1.71	1.86	1.86	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
\bar{c} (t/m ³)	2.35	1.81	1.75	1.75	3.02	2.10	2.35	2.35	2.14	2.78	3.22	3.22	2.16	2.16	2.16	2.40
ϕ (°)	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	14.4	25.2	25.2	25.2	14.4	14.4	14.4	37.0



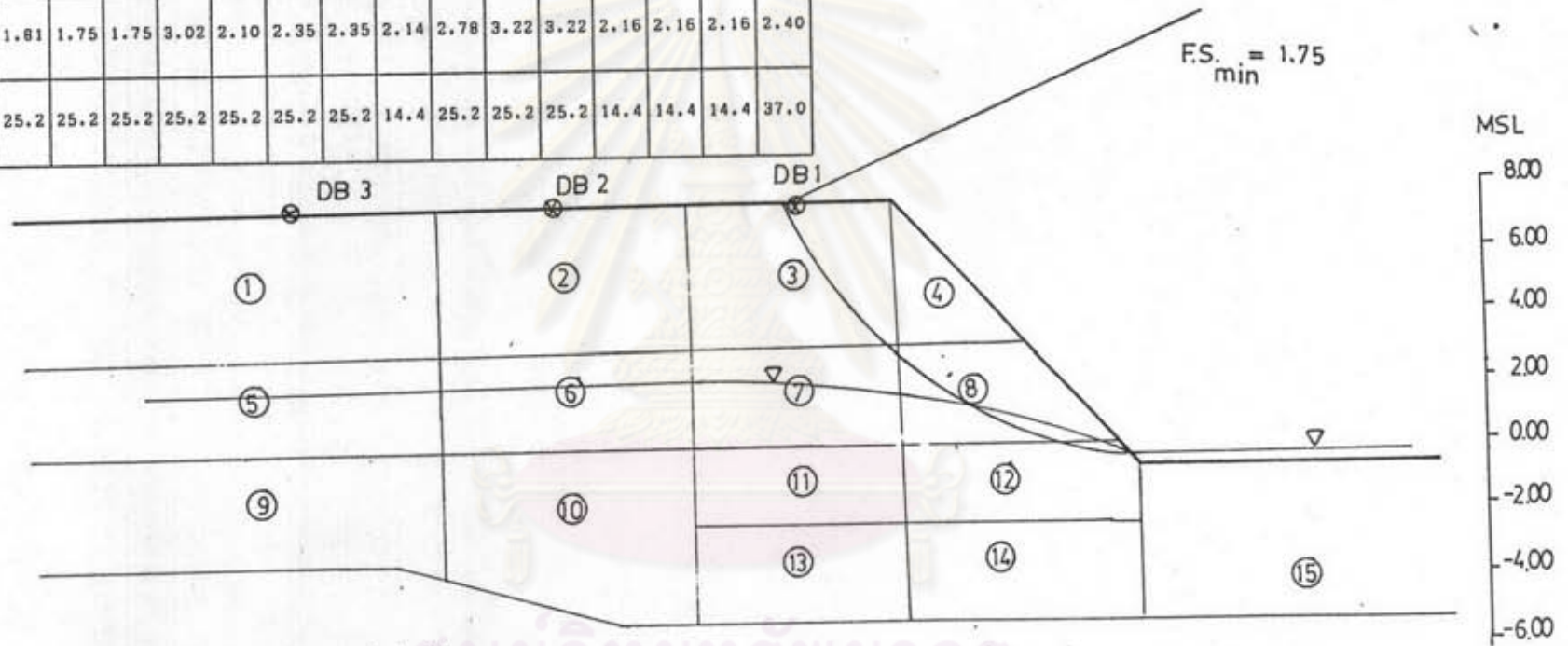
NOTE $s_u = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$

VERTICAL SCALE = HORIZONTAL SCALE

⊗ SOIL NO.

รูปที่ 4.29 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop's Simplified method กรณีที่ 2

SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
γ_c (t/m ³)	1.98	1.71	1.86	1.86	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
c (t/m ²)	2.35	1.81	1.75	1.75	3.02	2.10	2.35	2.35	2.14	2.78	3.22	3.22	2.16	2.16	2.16	2.40
ϕ (°)	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	14.4	25.2	25.2	25.2	14.4	14.4	14.4	37.0



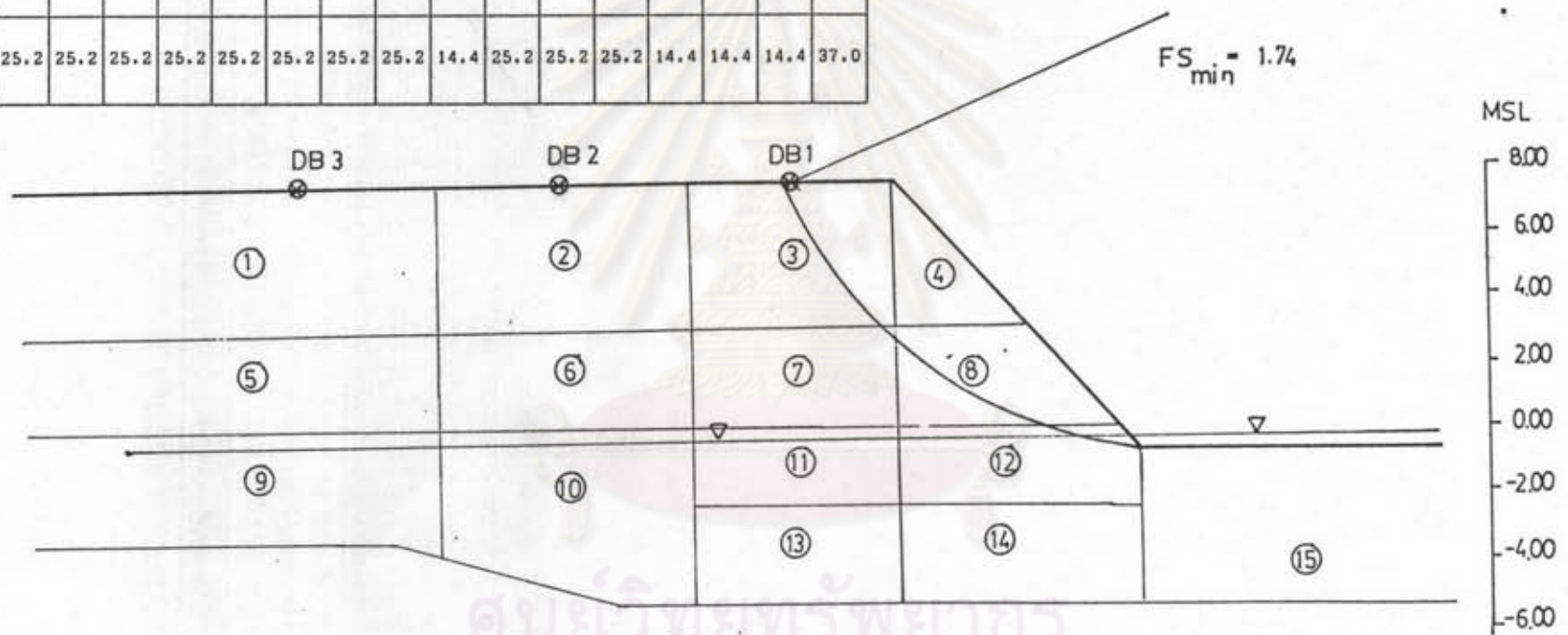
NOTE $s_u = (\sigma_1 - \sigma_3)_c / 2$

VERTICAL SCALE = HORIZONTAL SCALE

⊗ SOIL NO.

รูปที่ 4.30 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop's Simplified method
กรณีที่ 3

SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
γ (t/m ³)	1.98	1.71	1.86	1.86	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
c (t/m ²)	2.35	1.81	1.75	1.75	3.02	2.10	2.35	2.35	2.14	2.78	3.22	3.22	2.16	2.16	2.16	2.40
ϕ (°)	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	14.4	25.2	25.2	25.2	14.4	14.4	14.4	37.0



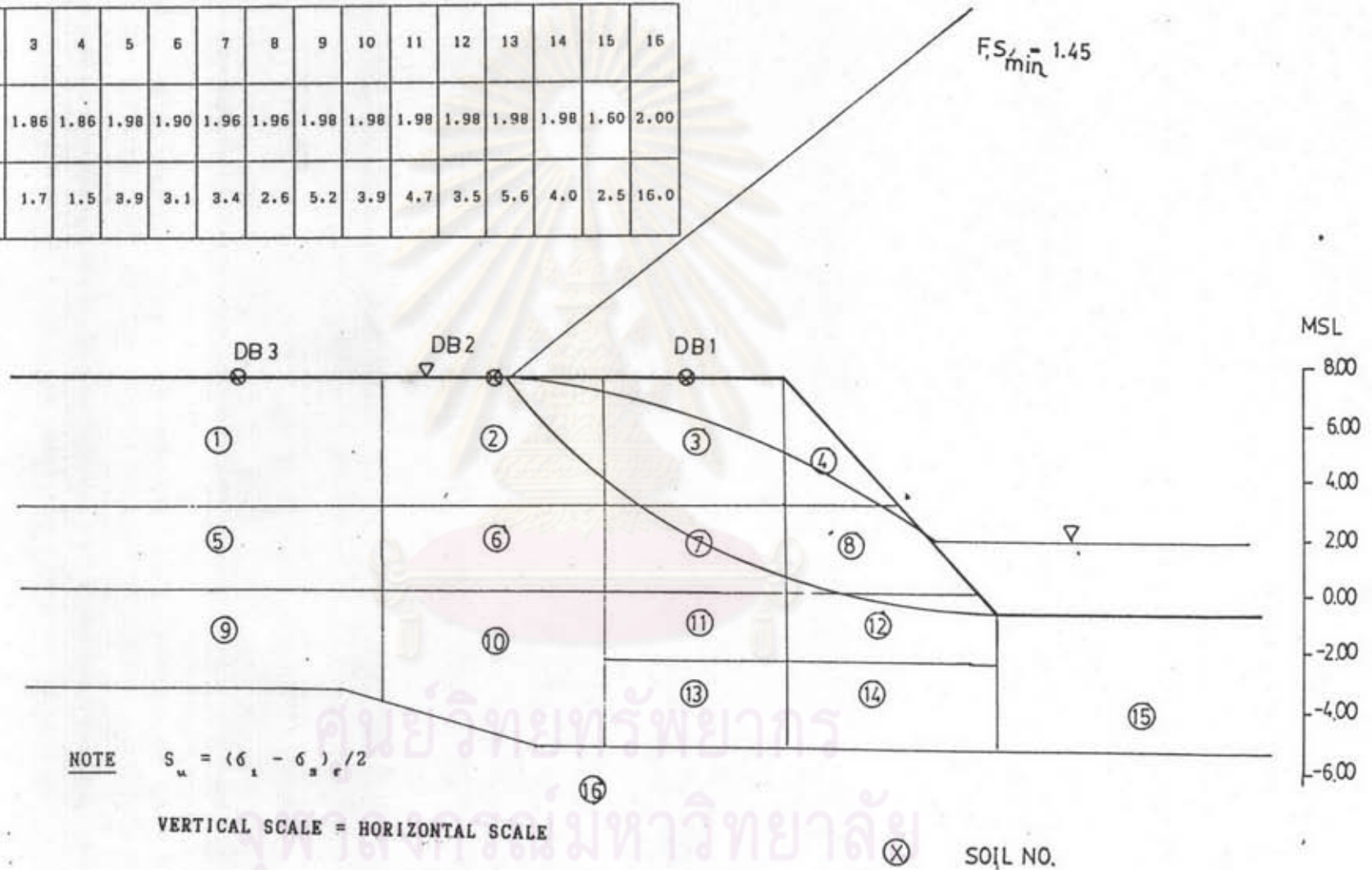
NOTE $s_u = (\sigma_1 - \sigma_3)_r / 2$

VERTICAL SCALE = HORIZONTAL SCALE

⊗ SOIL NO.

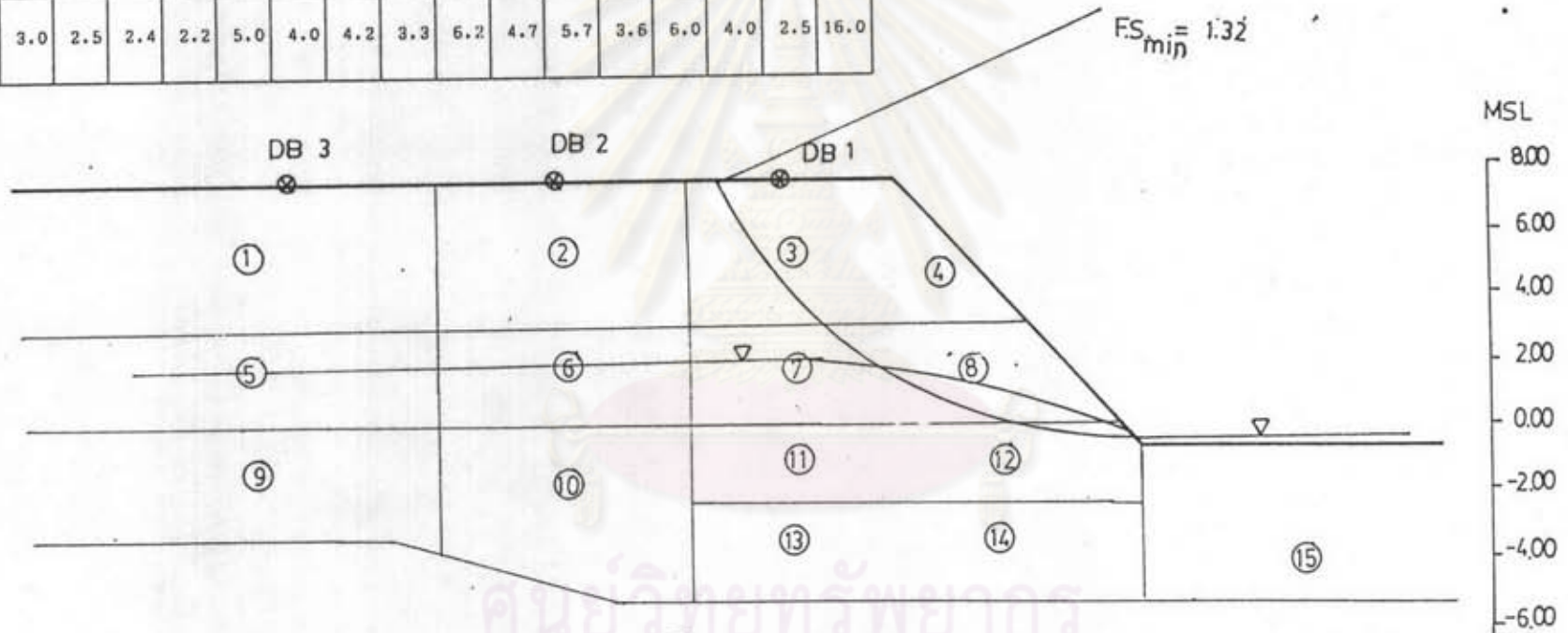
รูปที่ 4.31 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop's Simplified method
กรณีที่ 4

SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
r_c (t/m ²)	1.98	1.71	1.86	1.86	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
S_u (t/m ²)	2.2	1.7	1.7	1.5	3.9	3.1	3.4	2.6	5.2	3.9	4.7	3.5	5.6	4.0	2.5	16.0



รูปที่ 4.32 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop's Simplified method กรณีที่ 5

SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
r_u (t/m ²)	1.98	1.71	1.86	1.86	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
S_u (t/m ²)	3.0	2.5	2.4	2.2	5.0	4.0	4.2	3.3	6.2	4.7	5.7	3.6	6.0	4.0	2.5	16.0



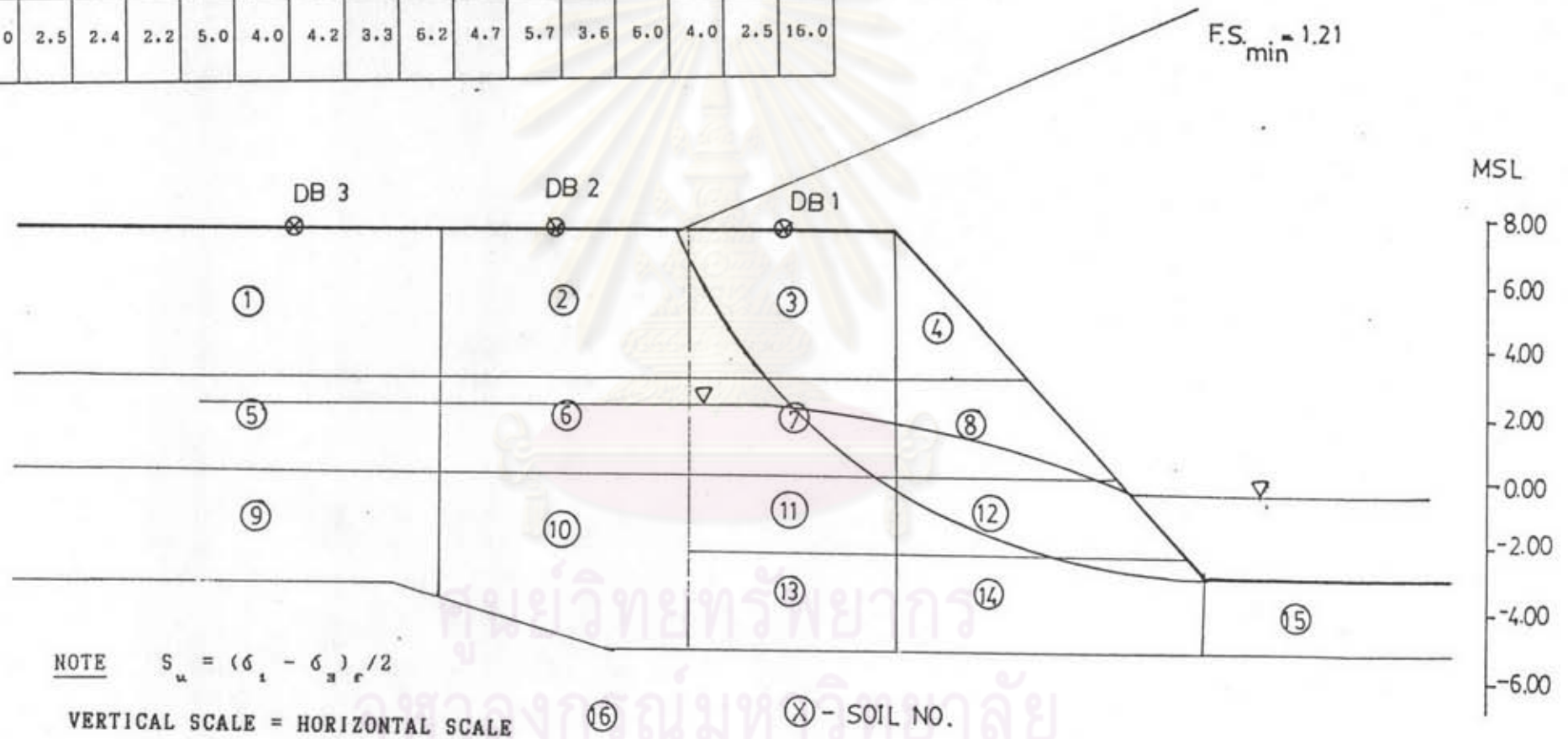
NOTE $S_u = (\sigma_1 - \sigma_3)_r / 2$

VERTICAL SCALE = HORIZONTAL SCALE

⊗ SOIL NO.

รูปที่ 4.33 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop's Simplified method กรณีที่ 6

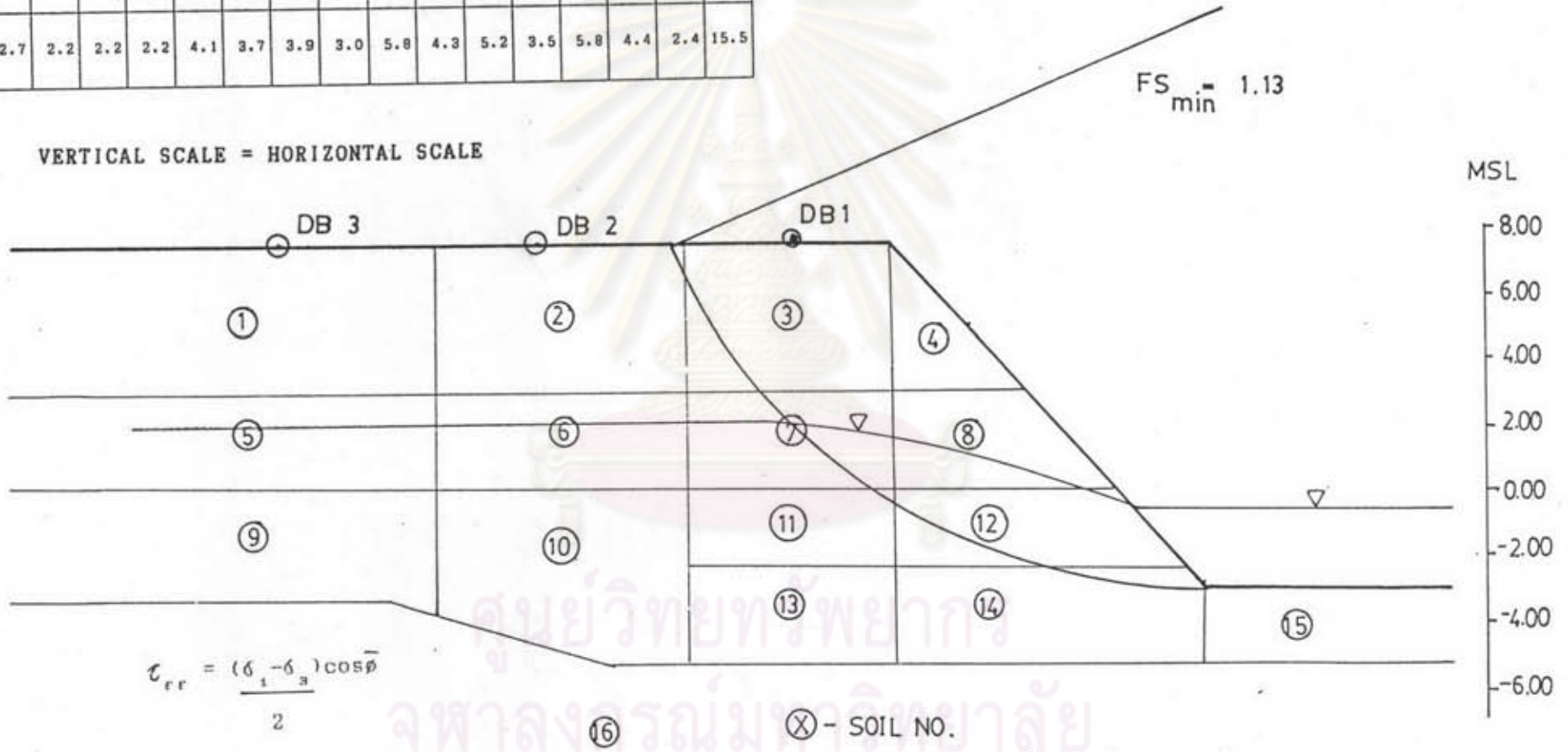
SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
r_c (t/m ³)	1.98	1.71	1.85	1.85	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
s_u (t/m ²)	3.0	2.5	2.4	2.2	5.0	4.0	4.2	3.3	6.2	4.7	5.7	3.6	6.0	4.0	2.5	16.0



รูปที่ 4.34 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop's Simplified method
กรณี 7

SOIL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
r_u (t/m ³)	1.98	1.71	1.85	1.86	1.98	1.90	1.96	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.60	2.00
C_{ff} (t/m ²)	2.7	2.2	2.2	2.2	4.1	3.7	3.9	3.0	5.8	4.3	5.2	3.5	5.8	4.4	2.4	15.5

VERTICAL SCALE = HORIZONTAL SCALE



รูปที่ 4.35 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Bishop simplified method กรณีที่ 7

จากการที่ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธีหน่วยแรงรวม (Total stress analysis) จะใช้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำจาก Normalized shear strength โดยจำแนกตามค่าดัชนีแลสติกซิตี

1. กำลังรับแรงเฉือนบริเวณรอยผิวดการวิบัติ ของ Active Wedge ใช้กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ $\overline{CK.U}$ TC TEST

สำหรับดินที่มี $PI=12-23\%$ จะใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากกราฟ $(s_u/\bar{\sigma}_{vc})(TC)$ กับ $\log OCR$ สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัยที่ทดสอบกับดินที่มี $PI=12-20\%$ จากรูปที่ 4.14 และสำหรับดินที่มี $PI=35-40\%$ จะใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากกราฟ $(s_u/\bar{\sigma}_{vc})(TC)$ กับ $\log OCR$ ที่ทดสอบกับดินที่มี $PI=35-40\%$ จากรูปที่ 4.14 โดยที่ $\tau_{cr} = ((\sigma_1 - \sigma_3)_r / 2) \cos \delta$

2. กำลังรับแรงเฉือนบริเวณรอยผิวดการวิบัติของ Passive Wedge ใช้กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ $\overline{CK.U}$ TE TEST

สำหรับดินที่มี $PI = 12 \sim 23 \%$ จะใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนจากกราฟ $(s_u/\bar{\sigma}_{vc})(TE)$ กับ $\log OCR$ สำหรับดินบริเวณที่ทำการวิจัยที่ทดสอบกับดินที่มี $PI = 12 \sim 20 \%$ จากรูปที่ 4.15 และสำหรับดินที่มี $PI = 35 \sim 40 \%$ จะใช้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ จากกราฟ $(s_u/\bar{\sigma}_{vc})(TC)$ กับ $\log OCR$ จากการทดสอบ $\overline{CK.U}$ TC TEST เนื่องจากปริมาณตัวอย่างที่ทดสอบมีจำกัด ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลแสดงว่าดินมีคุณสมบัติทางด้าน anisotropy ไม่มากนัก โดยที่ $\tau_{cr} = ((\sigma_1 - \sigma_3)_r / 2) \cos \delta$

3. กำลังรับแรงเฉือนบริเวณรอยผิวดการวิบัติของ Central Wedge ใช้กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ $\overline{CK.U}$ TC TEST แทนกำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบ DSS TEST ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลแสดงว่าดินมีคุณสมบัติทางด้าน anisotropy ไม่มากนัก โดยที่ $\tau_{cr} = ((\sigma_1 - \sigma_3)_r / 2) \cos \delta$

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพ ด้วยวิธี Wedge method จะพบว่าในกรณีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็ว โดยที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ 2.35 MSL และระดับน้ำในแม่น้ำป่าสักต่ำสุดในฤดูแล้งเท่ากับ -0.40 MSL วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธี Wedge analysis พิจารณาว่าดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว วิเคราะห์โดยวิธีหน่วยแรงรวม จะให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.03 รูปที่ 4.36 แสดงรอยผิวดการวิบัติ จะเห็น

ได้ว่ารอยผิวนการวิบัติยังไม่สอดคล้องกับรอยผิวนการวิบัติที่เกิดขึ้นจริงในสนาม

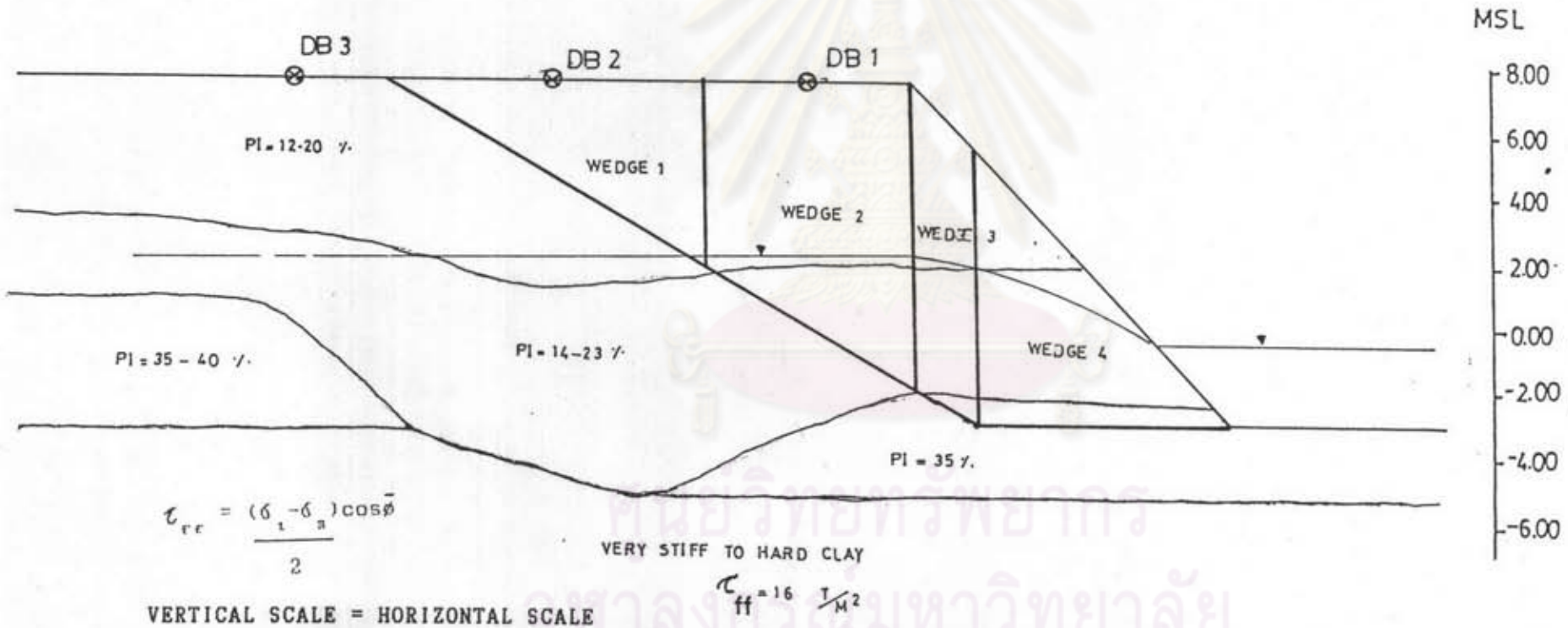
เมื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพ ด้วยวิธี wedge method ในกรณีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอย่างรวดเร็วของฤดูแล้ง ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ 2.35 MSL และระดับน้ำในปากก่ต่ำสุดของฤดูแล้ง เท่ากับ -0.40 MSL วิเคราะห์เสถียรภาพโดยวิธี wedge method นิยามว่าดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว วิเคราะห์โดยวิธีหน่วยแรงรวม กำหนดให้ รอยผิวนการวิบัติเริ่มต้นที่บริเวณรอยผิวนการวิบัติที่ปรากฏในสนาม จะให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด เท่ากับ 1.20 รูปที่ 4.37 แสดงรอยผิวนการวิบัติ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

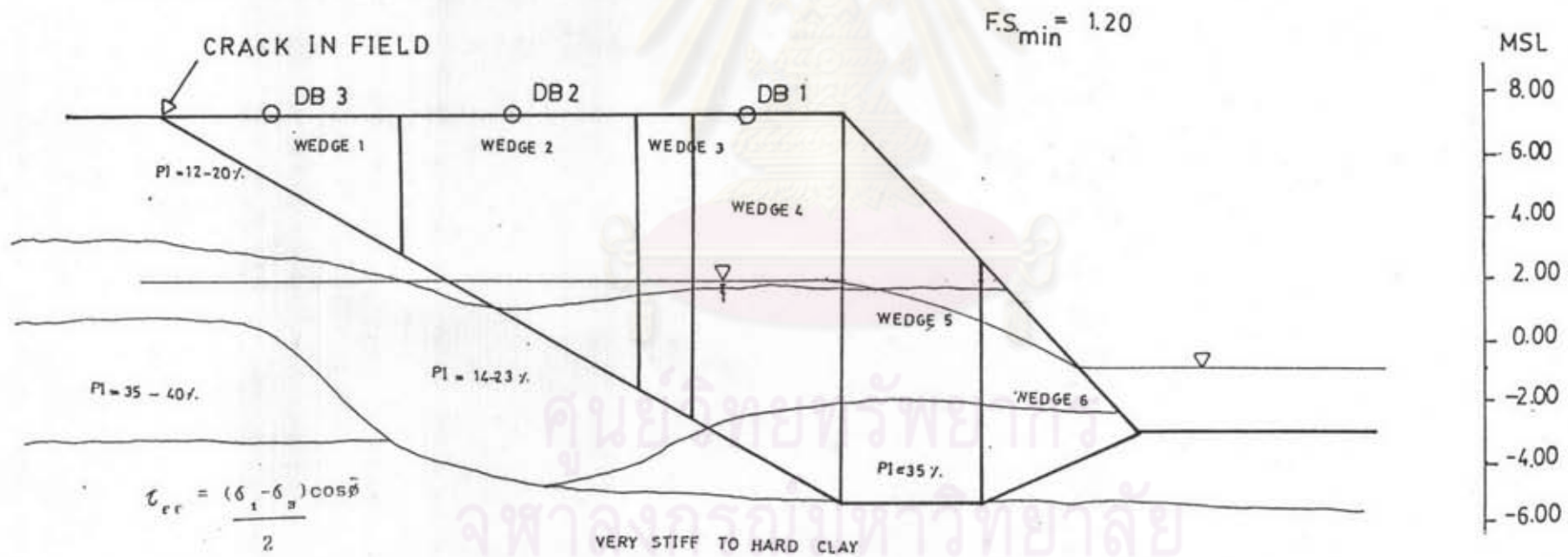
WEDGE	DB	PI	τ_{ff}	$C_{ff} \frac{1}{M^2}$	NOTE
1	2	12-23	1.97	2.4	CKU-TC
2	1	35-40	1.97	4.4	CKU-TC
3	1	35-40	1.98	5.0	CKU-TC
4	1	35-40	1.98	3.3	CKU-TC

$FS_{min} = 1.03$



รูปที่ 4.36 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี Wedge method กรณีที่ 7

WEDGE	DB	PI%	r_u (t/m ³)	c_{ff} (t/m ²)	NOTE
1	3	12~23	1.97	2.8	CK.U TC
2	2	12~23	1.97	4.0	CK.U TC
3	1	12~23	1.98	5.6	CK.U TC
4	1	35~40	1.98	5.8	CK.U TC
5	1	35~40	1.98	5.6	CK.U TC
6	1	35~40	1.98	2.7	CK.U TC



รูปที่ 4.37 การวิเคราะห์เสถียรภาพ วิธี wedge method กรณีที่ 7
โดยกำหนดรอยผิวดการวิบัติเริ่มต้นที่รอยผิวดการวิบัติที่ปรากฏในสนาม