



บทที่ 2

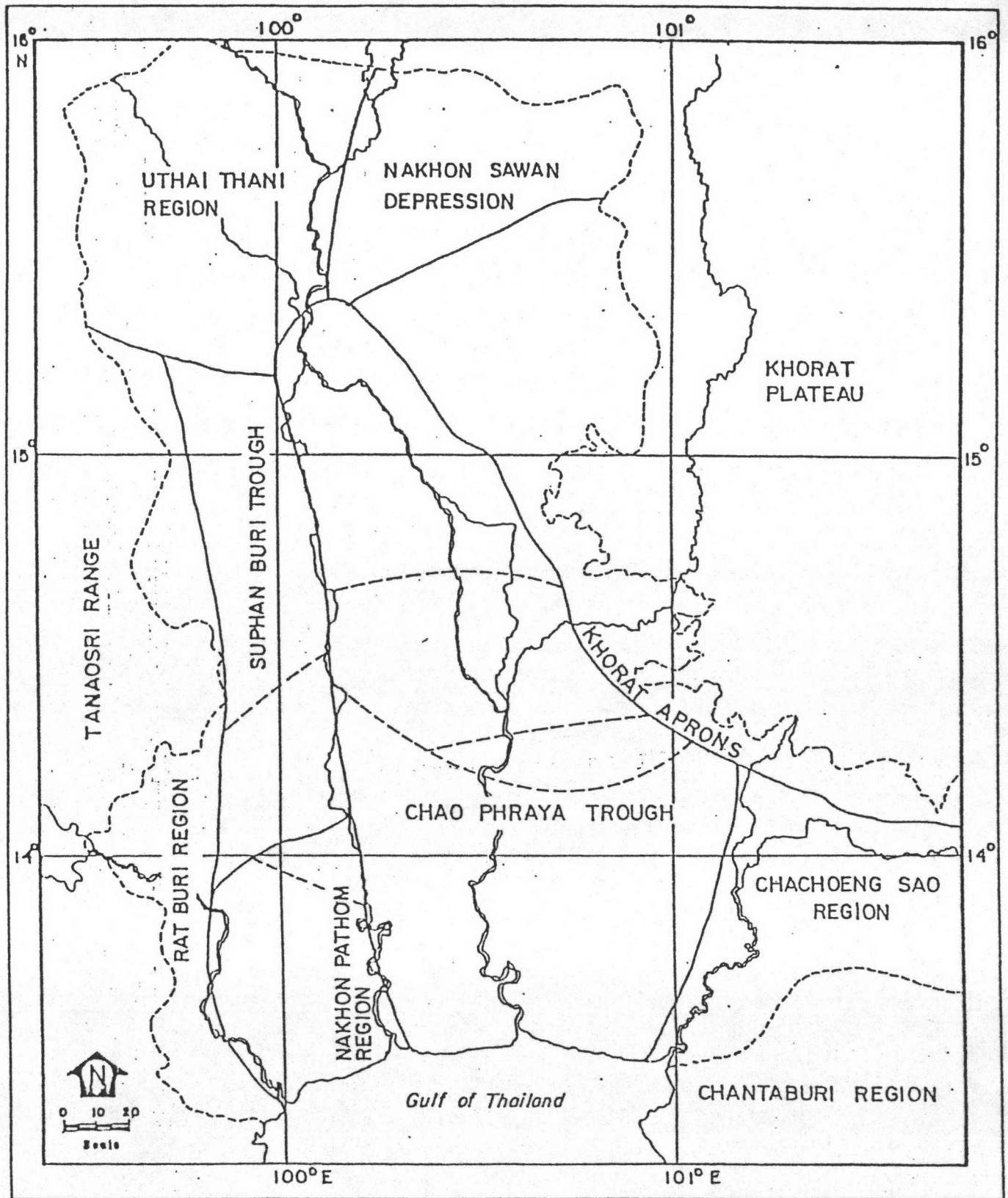
ผลงานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ผลงานวิจัยในอดีต

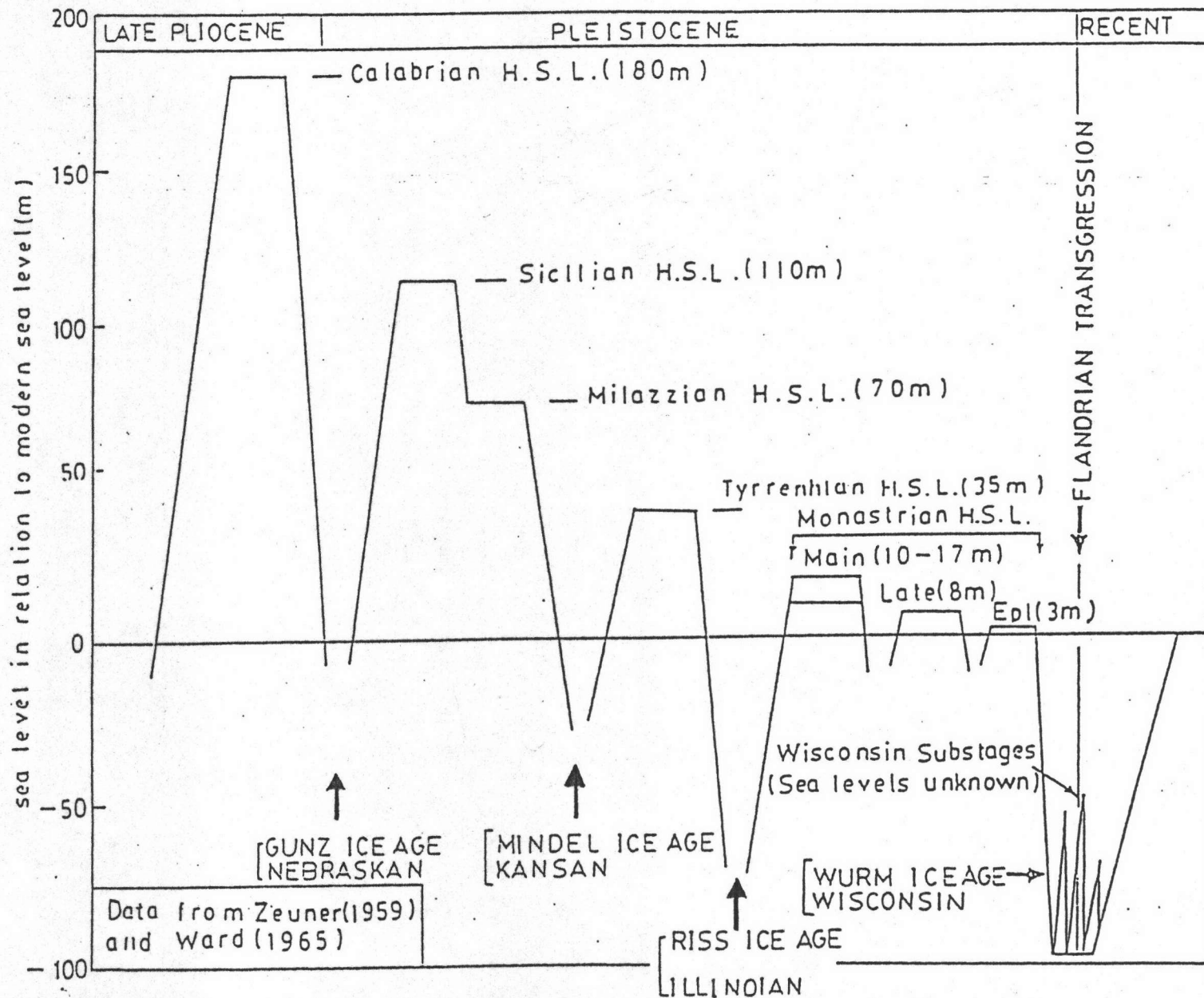
2.1.1 การเกิดขึ้นดินในกรุงเทพมหานคร กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ตอนล่างของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาอยู่ห่างจากที่ราบสูงทางภาคตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 300 กิโลเมตร มาทางอ่าวไทยมีอาณาเขตติดต่อกับเทือกเขาตะนาวศรีทางทิศตะวันตก ที่ราบลุ่มนครสวรรค์ทางทิศเหนือ ที่ราบสูงโคราช และที่ราบจันทบุรีทางทิศตะวันออก และติดต่อกับอ่าวไทยทางทิศใต้ ดังรูปที่ 2.1 ระยะทางโดยเฉลี่ยจากเหนือสุดถึงใต้สุด 250 กิโลเมตร ความกว้าง 200 กิโลเมตร โดยมีพื้นที่ประมาณ 53,400 ตารางกิโลเมตร (AIT 1980)

MUKTABHAN (1966) กล่าวว่า การทับถมของดินในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาเกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกช่วง TERTIARY และการตกตะกอนในวัฏจักรของดิน ALLUVIAL ที่สะสมขึ้นมา การชั้นลงของน้ำทะเลในช่วง QUATERNARY มีผลอย่างมากต่อการทับถมของดินในกรุงเทพฯ (COX 1968) การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในช่วงนี้ แสดงในรูปที่ 2.2 ชั้นดินที่อยู่สลับกันระหว่างดินเหนียวแข็งกับทราย ที่เกิดจากการตกตะกอนแม่น้ำก็เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลด้วย ชั้นดินเหนียวแข็งที่อยู่บนสุดก็ถูกพัดมาโดยลมและน้ำ ก่อนที่จะมีการทับถมของดินเหนียวอ่อนที่ตกตะกอนในน้ำทะเล เมื่อน้ำทะเลลดในช่วงหลัง ๆ หรือการยกของแผ่นดินในตอนปลายช่วง PLEISTOCENE ดินเหนียวอ่อนมีการทับถมจากสภาพแวดล้อมด้วย (MOH 1969) จากขบวนการต่าง ๆ นี้จึงทำให้เป็นเปลือกหนาประมาณ 3-6 เมตร ลึกลงจากผิวดินตามธรรมชาติ ซึ่งความลึกของเปลือกนี้จะเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากแนวที่เกิดขบวนการชะล้างและการสลายตัวที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลาอันยาวนานในบริเวณนั้น (COX 1968)

2.1.2 ลักษณะชั้นดินกรุงเทพมหานคร สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชั้น (MOH.ET.AL 1969, AIT 1981) ดังนี้



รูปที่ 2.1 การแบ่งเขตทาง GEOHYDROLOGIC ของที่ราบลุ่มตอนล่างของ ประเทศไทย (AIT 1980)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลระหว่างช่วงเวลา QUATERNARY PERIOD (COX 1968)

2.1.2.1 ชั้นเปลือกเกิดจากขบวนการสลายตัวจากสภาพแวดล้อม (WEATHERED CRUST) เป็นชั้นดินบนสุดหนาประมาณ 1-4 เมตร ที่ปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำมีสีน้ำตาลอมเหลืองถึงเทาดำ และมีกำลังรับน้ำหนักค่อนข้างสูง มีปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำ

2.1.2.2 ชั้นดินเหนียวอ่อน (SOFT CLAY) มีความหนาประมาณ 10-15 เมตร ความหนาจะมากบริเวณใกล้ทะเลและจะลดลงอย่างมากกับระยะทางที่ห่างจากทะเล มีสีเทาอาจมีเปลือกหอยหรือเศษหินผสมอยู่มีกำลังรับน้ำหนักต่ำ มีปริมาณความชื้นในมวลดินสูง

2.1.2.3 ชั้นดินเหนียวแข็ง (STIFF CLAY) มีความหนาประมาณ 5 เมตร ความหนาจะลดลงในทางตะวันตกและทางเหนือ มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา มีทรายผสมอยู่บางส่วน มีกำลังรับน้ำหนักสูง มีปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำ

2.1.2.4 ชั้นทราย (SAND) มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทาอมเหลือง ขนาดเม็ดปานกลางถึงละเอียด หลังจากความลึกของชั้นทราย จะเป็นชั้นสลับกันระหว่างชั้นดินเหนียวกับชั้นทราย รูปที่ 2.3 แสดงภาพตัดของชั้นดินกรุงเทพฯ

2.1.3 สมบัติดินกรุงเทพฯมหานคร ลักษณะและสมบัติต่าง ๆ ของดินกรุงเทพฯมหานคร มีผู้ทำการวิจัยไว้หลายท่าน พอสรุปได้ดังนี้

2.1.3.1 MUKTABHAN (1966) ทำการวิจัยหาสมบัติของดิน จากข้อมูล 15 หลุมทั่วกรุงเทพฯ โดยหาลักษณะชั้นดินในแนวต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.4 ถึง 2.6 และหาความสัมพันธ์ระหว่าง LIQUID LIMIT กับ PLASTIC INDEX แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

2.1.3.2 ศรีบุญฤทธิ์ (1977) ได้ทำการวิจัยหาสมบัติต่าง ๆ ในรูปของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดินเหนียวอ่อน (SOFT CLAY) และดินเหนียวแข็ง (STIFF CLAY) และหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางการยุบอัดตัวกับสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวในกรุงเทพฯมหานคร แสดงในตารางที่ 2.1 ถึง ตารางที่ 2.3

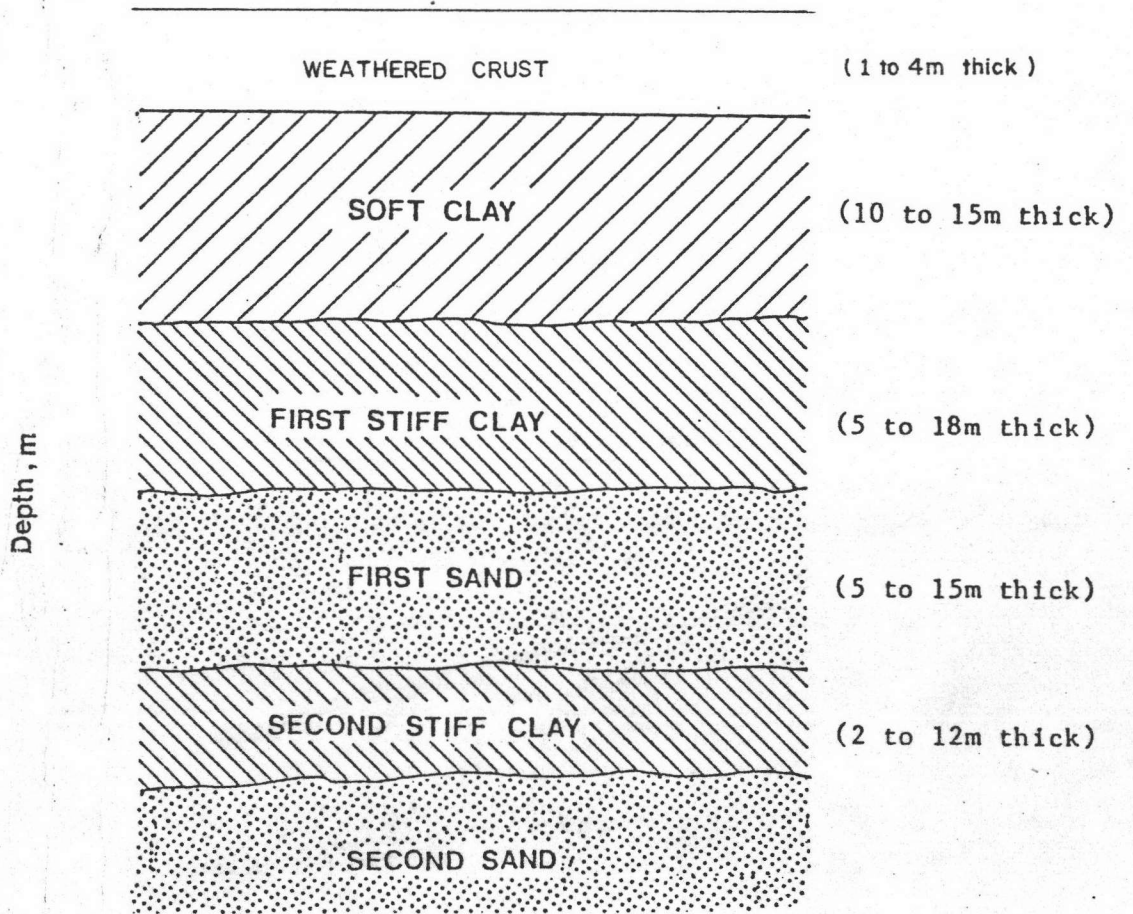
2.1.3.3 TONYAGATE (1978) ได้วิเคราะห์หาสมบัติต่าง ๆ จากข้อมูลดินในกรุงเทพฯ 7 แห่ง ได้แก่บริเวณ AIT, บางกอกน้อย, ปทุมวัน, หนองจุกท่าและป้อมพระจุลฯ จำนวน 68 หลุม และได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และหาความสัมพันธ์ระหว่าง PLASTIC INDEX กับ LIQUID LIMIT ดังตารางที่ 2.4 รวมทั้งแสดงภาพตัดของดินในแนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก แสดงในรูปที่ 2.7

2.1.3.4 TSAI (1982) ทำการรวบรวมข้อมูลจากการวิจัยในอดีต จาก 4 แห่งคือ AIT, หนองจุกท่า, ปทุมวัน และป้อมพระจุลฯ โดยหาค่าอยู่ในรูปค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมบัติพื้นฐาน สมบัติการยุบอัดตัว สมบัติทางกำลัง และสมบัติอื่น เช่น MODULUS OF ELASTICITY, COEFFICIENT OF EARTH PRESSURE AT REST, K_0 และมีการเปรียบเทียบในแต่ละบริเวณดังตารางที่ 2.5

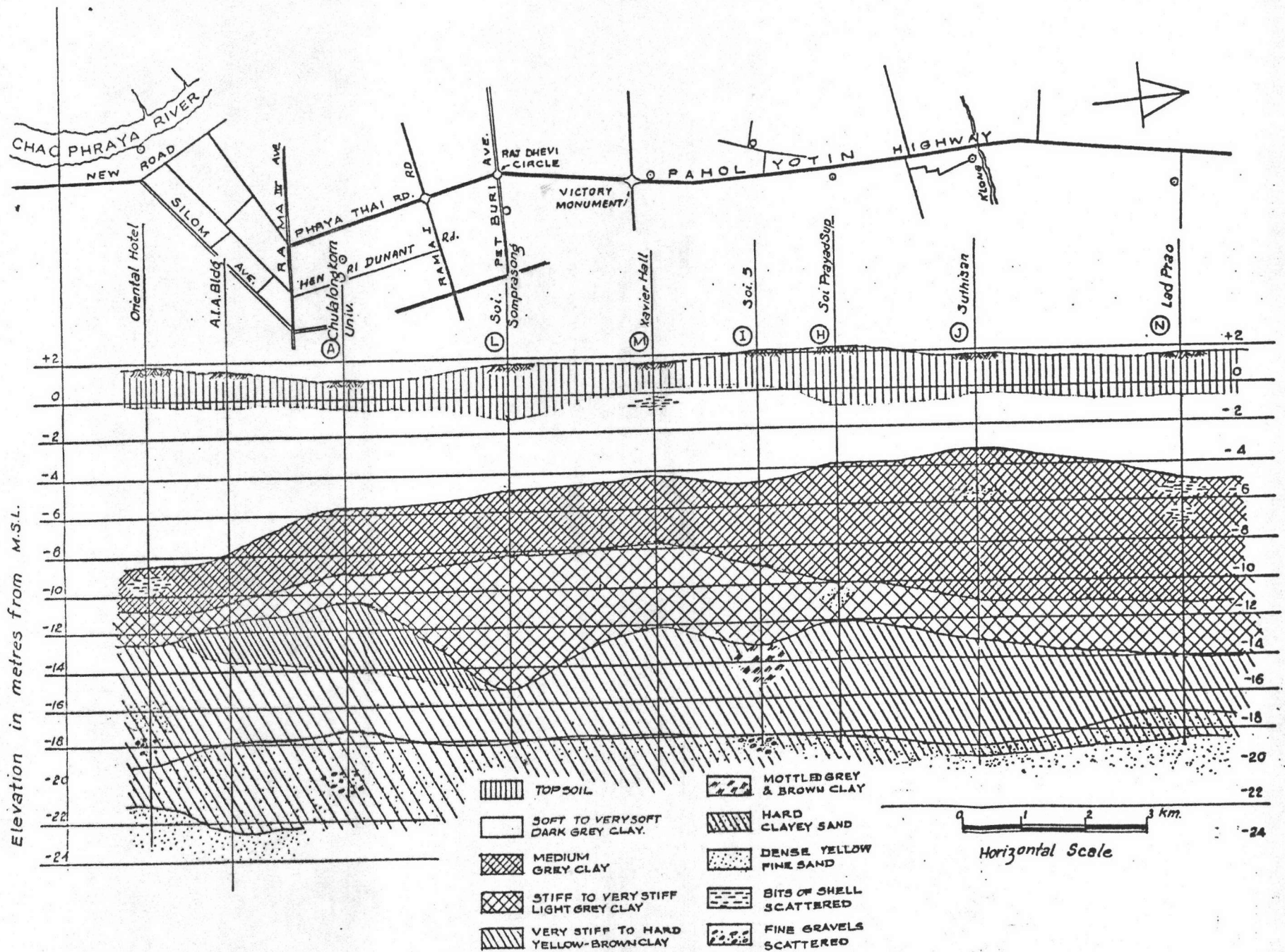
2.1.3.5 PARENTILA (1983) ได้ศึกษาสมบัติของดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง จากข้อมูลหลุมเจาะ 22 หลุมจาก 6 แห่ง ได้แก่ โรงแรมช่างกริล่า บางรัก, ถนนสุขุมวิท ซอย 19, ถนนพระรามสี่, ถนนศรีอยุธยา, ถนนสาทรใต้ และถนนสีลม งานวิจัยนี้เน้นสมบัติทางด้านกำลังและสมบัติการยุบอัดตัวสรุปผลดังตารางที่ 2.6 แล้วยังหาความสัมพันธ์ของ PLASTIC INDEX กับ LIQUID LIMIT ดังตารางที่ 2.4 และหาความสัมพันธ์ของสมบัติพื้นฐานกับสมบัติทางการยุบอัดตัว ดังตารางที่ 2.3

2.1.3.6 TASNEENART (1984) ได้ศึกษาสมบัติพื้นฐานกับสมบัติทางการยุบอัดตัวของดินเหนียวแข็งชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สอง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการวิจัยในอดีต จำนวน 161 หลุม ที่กรุงเทพฯ โดยหาเป็นสมบัติต่าง ๆ ในตารางที่ 2.7 และหาความสัมพันธ์ระหว่าง PI กับ LL ดังตารางที่ 2.4 และหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติพื้นฐาน กับสมบัติทางการยุบอัดตัว ดังตารางที่ 2.3 และหาภาพตัดของชั้นดินกรุงเทพฯแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9

2.1.3.7 สมศักดิ์ (1985) ได้ทำการวิเคราะห์หาสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวแข็งชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองจากหลุมเจาะ 69 หลุม จาก 63 แห่งในกรุงเทพมหานคร และหาความสัมพันธ์ของสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.8 และตารางที่ 2.9

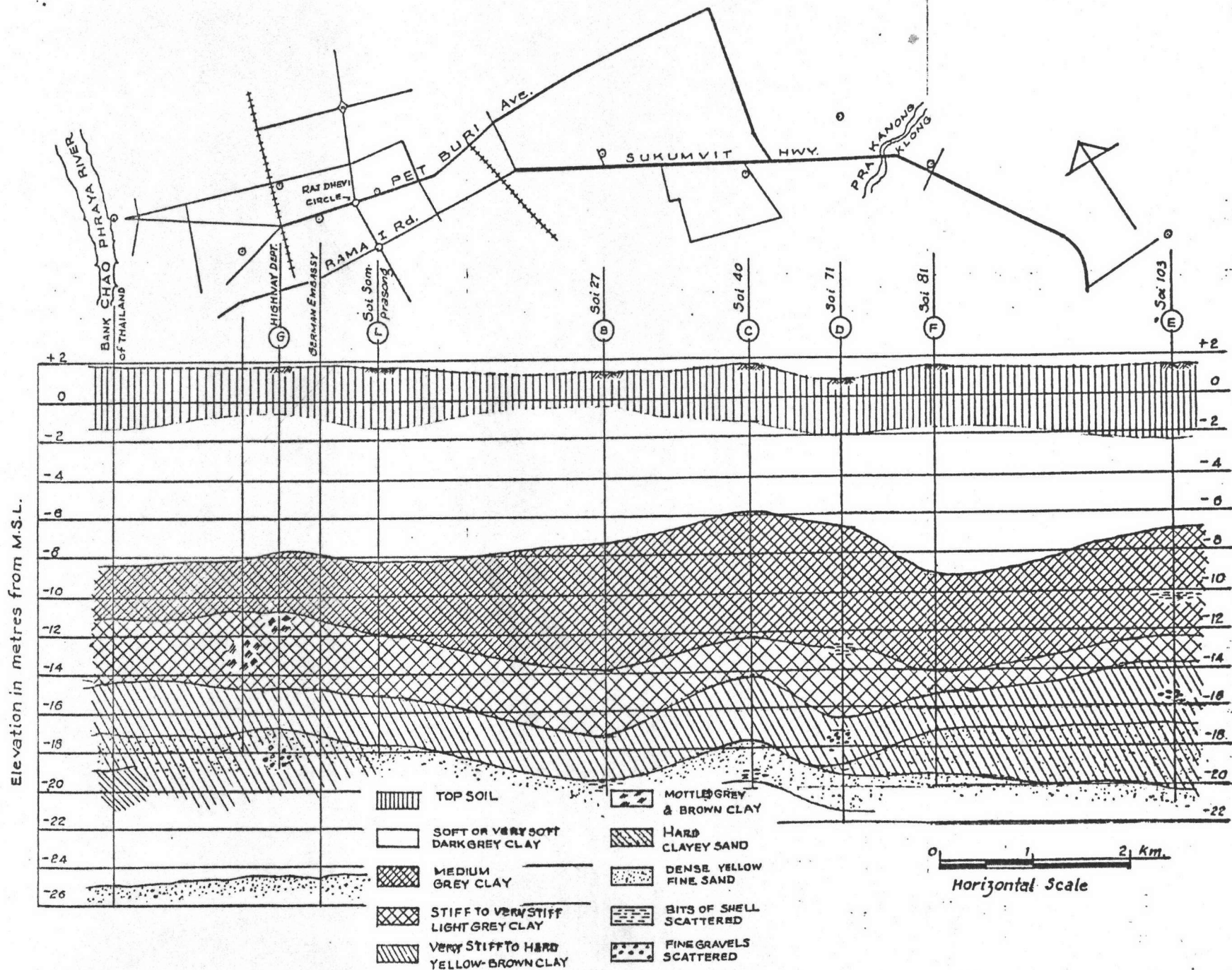


รูปที่ 2.3 แสดงภาพตัดของดินกรุงเทพมหานคร

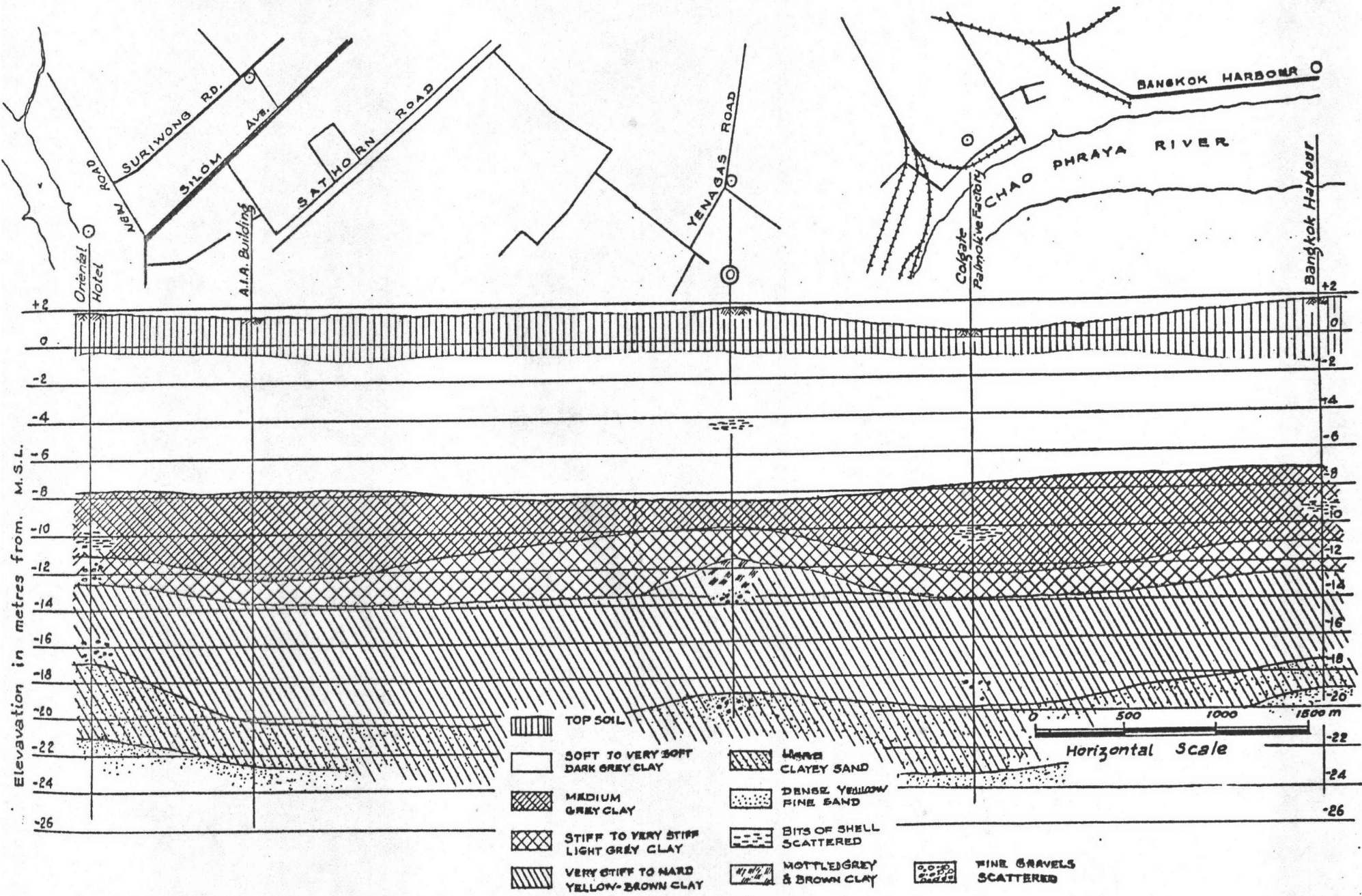


Elevation in metres from M.S.L.

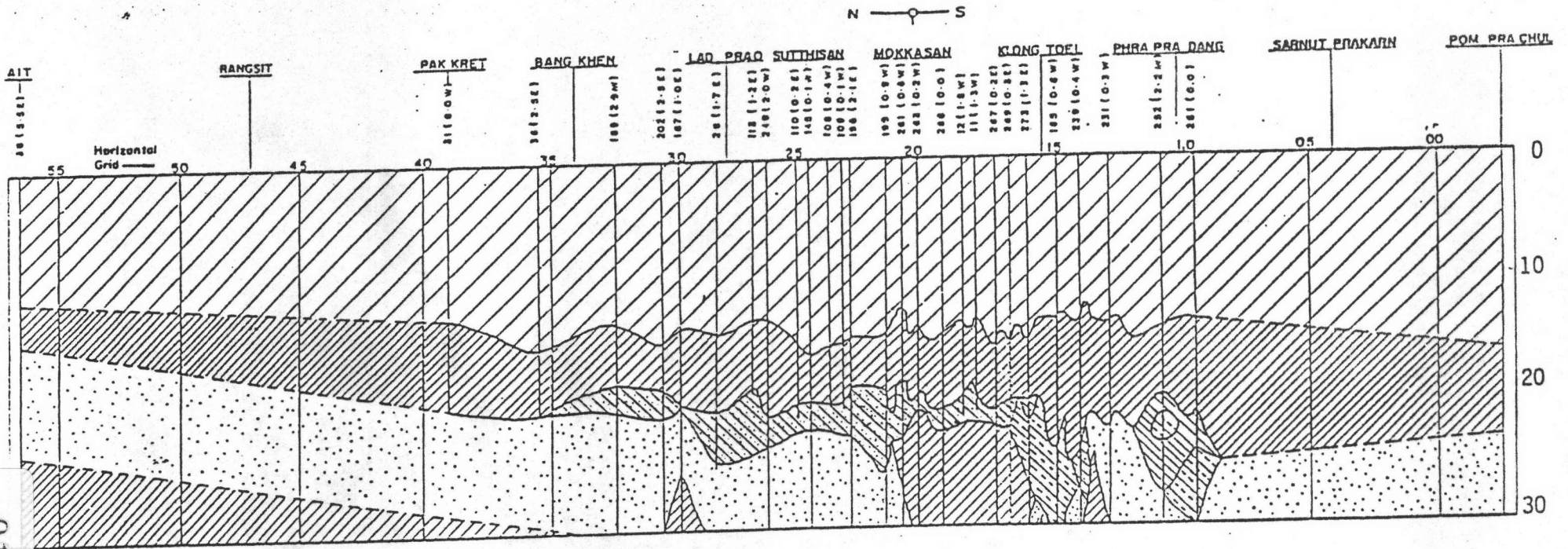
รูปที่ 2.4 แสดงภาพตัดของดินในแนวถนนพหลโยธิน (MUKTABHAN, 1966)



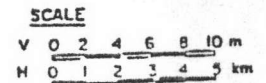
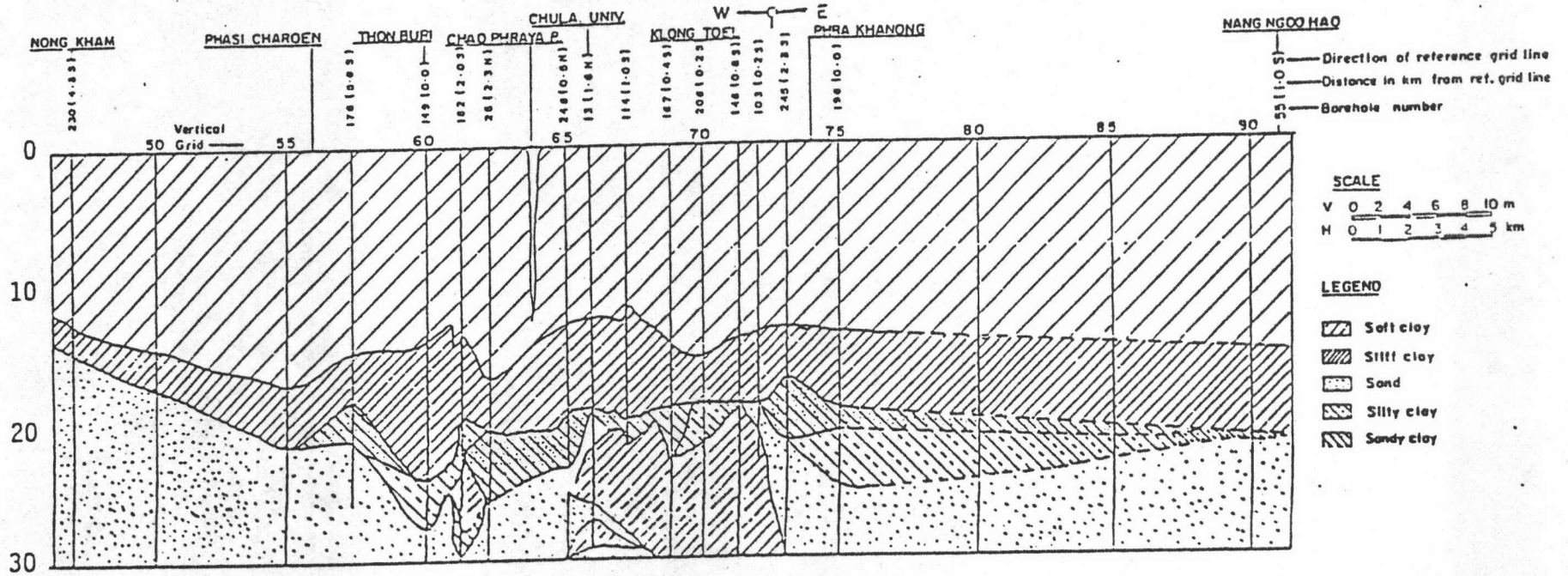
รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดของดินในแนวสุขุมวิท (MUKTABHAN, 1966)



รูปที่ 2.6 แสดงภาพตัดของดินในแนวโรงแรมโอเรียนเต็ลถึงท่าเรือคลองเตย (MUKTABHAN, 1966)

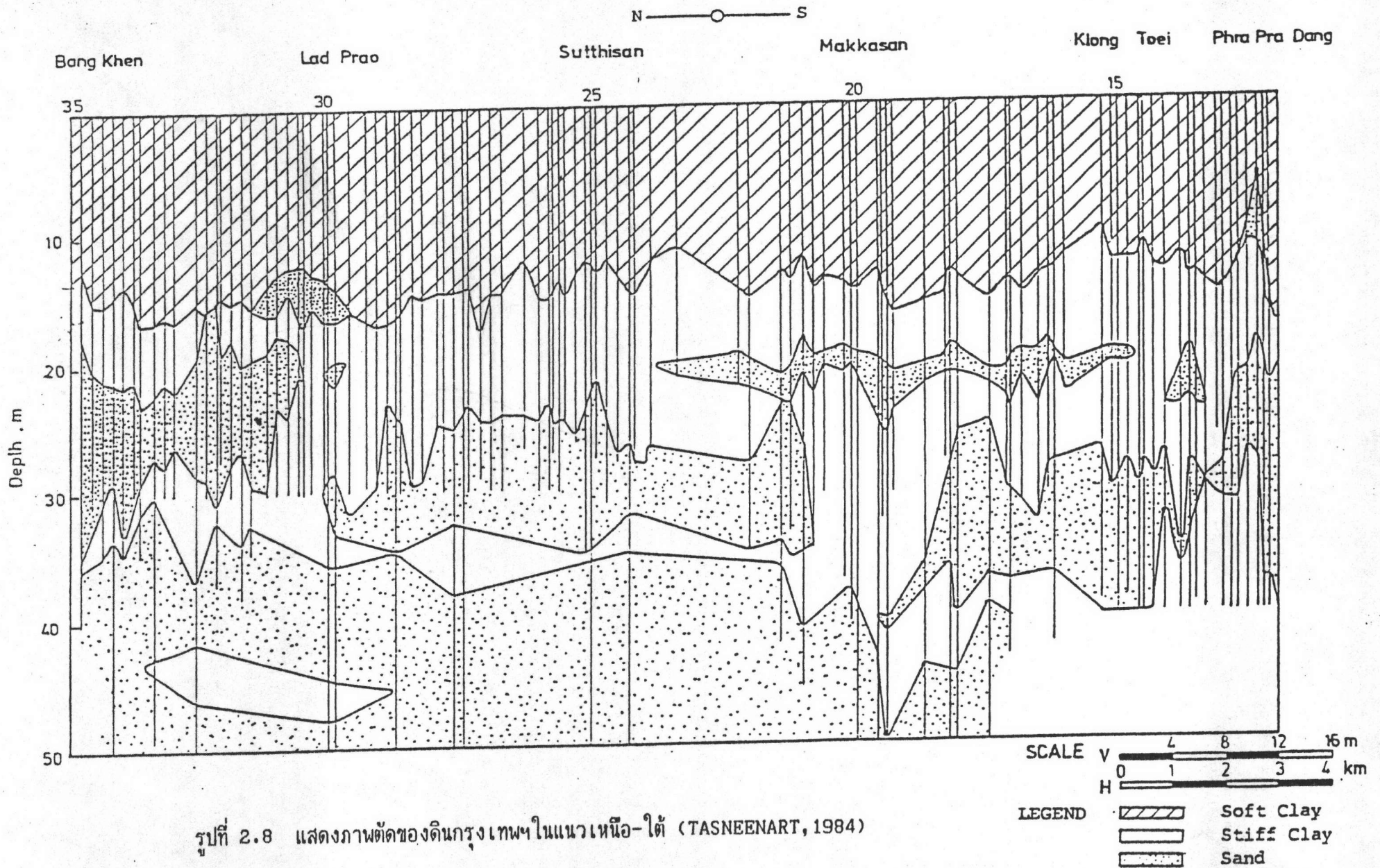


014139

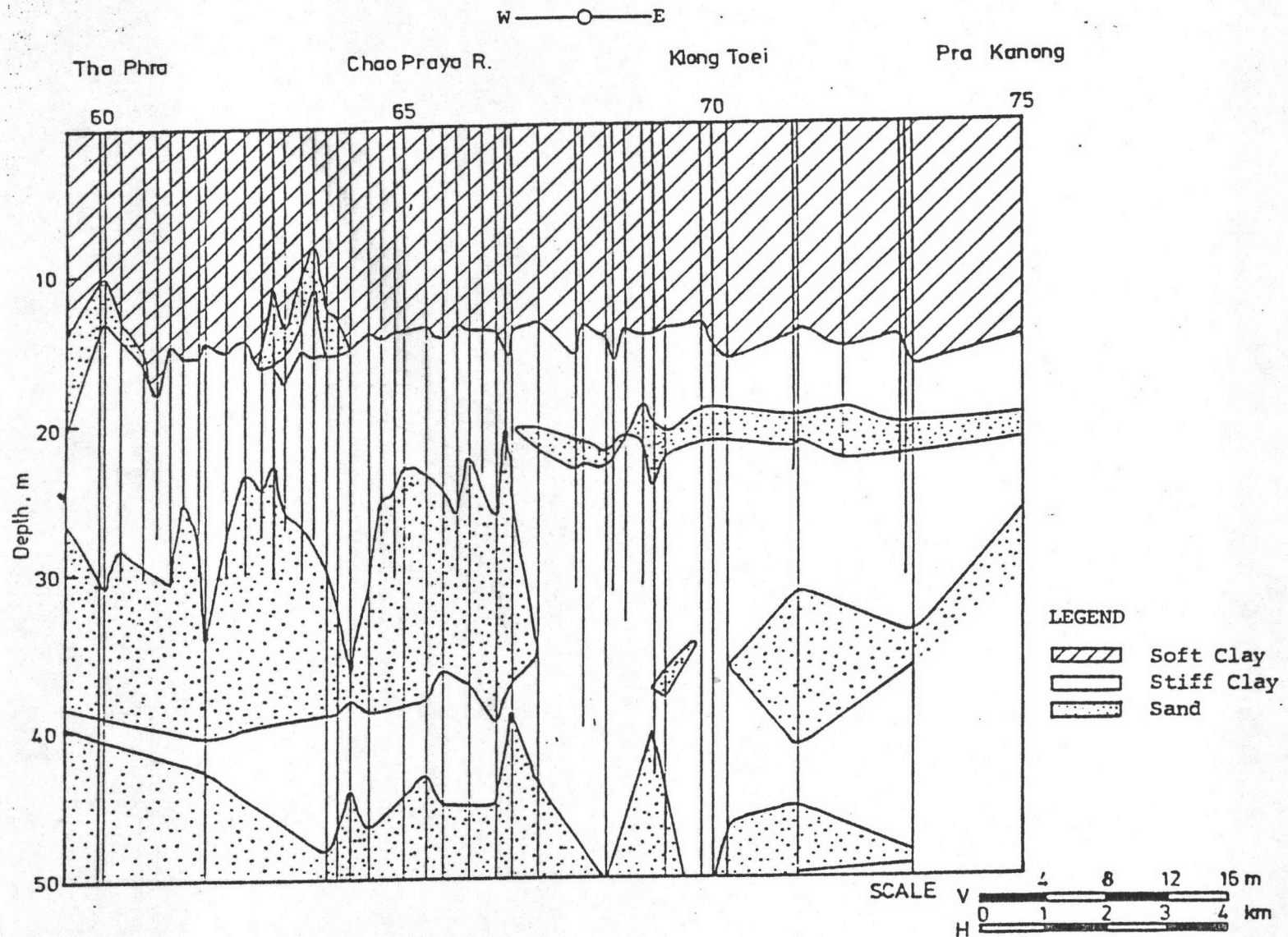


- LEGEND
- Soft clay
 - Silt clay
 - Sand
 - Silty clay
 - Sandy clay

รูปที่ 2.7 แสดงภาพตัดของดินกรุงเทพฯในแนวเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก (TONYAGATE, 1978)



รูปที่ 2.8 แสดงภาพตัดของดินกรุงเทพฯในแนวเหนือ-ใต้ (TASNEENART, 1984)



รูปที่ 2.9 แสดงภาพตัดของดินกรุงเทพฯในแนวตะวันออก-ตะวันตก (TASNEENART, 1984)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ความเบี่ยงเบน มาตรฐาน
NATURAL WATER CONTENT (w_n)%	61.06	11.532
LIQUID LIMIT (w_L)%	63.47	12.821
INITIAL VOID RATIO (e_o)	1.734	.325
LIQUIDITY INDEX (LI)	1.172	.584
SPECIFIC GRAVITY (G)	2.66	.035
UNCONFINED COMPRESSION TEST $k_{sc}(S_{uc})$.313	.198
SENSITIVITY (UNCONFINED) (S_{uc})	2.604	1.867
FIELD VANE SHEAR $k_{sc}(S_{uv})$.272	.155
SENSITIVITY (VANE SHEAR) (S_{uv})	2.585	1.666
COMPRESSION INDEX (c_c)	.805	.304
COMPRESSION RATIO (c_r)	.291	.091

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความลึก 2-14 เมตร (ศรีบุญฤทธิ์ 1977)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ความเบี่ยงเบน มาตรฐาน
NATURAL WATER CONTENT (w_n)%	31.80	12.10
LIQUID LIMIT (w_L)%	49.09	15.10
INITIAL VOID RATIO (e_0)	.896	.322
SPECIFIC GRAVITY (G)	2.67	2.807
UNCONFINED COMPRESSION TEST k _{sc} (Suc)	1.567	.915
COMPRESSION INDEX (c_c)	.304	.215
COMPRESSION RATIO (c_r)	.151	.078

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความลึก 14-25 เมตร (ศรีบุญฤทธิ์ 1977)

สมการถดถอย	r	ชนิดของดิน	ผู้วิจัย
$C_c = -0.08 + 0.01W_n$ $C_c = -0.11 + 0.47e_o$ $C_c = 0.20 + 0.008W_n$ $C_c = 0.21 + 0.008LL$ $C_c = 0.22 + 0.29e_o$ $C_c = -0.014 + 0.01W_n$ $C_c = -0.015 + 0.38e_o$ $C_c = -0.28 + 0.012LL$	0.750 0.790 0.770 0.700 0.770 0.870 0.870 0.760	STIFF CLAY SOFT CLAY ALL CLAY	ADIKARI (1977)
$C_c = -0.965 + 0.029W_n$ $C_c = -0.847 + 0.024LL$ $C_c = -0.941 + 1.057e_o$ $CR = -0.037 + 0.0056W_n$ $CR = -0.013 + 0.00463LL$	0.890 0.680 0.880 0.810 0.630	ALL CLAY	TONYAGATE (1978)
$C_c = -0.2784 + 0.86e_o$ $C_c = -0.2346 + 0.02W_n$	0.872 0.716	SECOND STIFF CLAY	PARENTILA (1983)
$C_c = -0.1593 + 0.514e_o$ $C_c = -0.091 + 0.013W_n$	0.810 0.768	ALL CLAY	ศรัญญูฤทธิ์ (1977)
$C_c = -0.5876 + 0.0217n$ $C_c = -0.5906 + 0.8019e_o$ $C_c = 0.1029 + 0.0087LL$ $CR = -0.013 + 0.047W_n$ $CR = 0.0265 + 0.1788e_o$ $CR = 0.123 + 0.002LL$	0.802 0.811 0.516 0.658 0.689 0.458	SOFT CLAY	TASNEENART (1984)

ตารางที่ 2.3 สรุปสมการถดถอยสำหรับทำนายค่า C_c และ CR ของดินเหนียวกรุงเทพฯ

สมการถดถอย	r	ชนิดดิน	ผู้วิจัย
PI = 0.74LL-9.21	-	SOFT-MEDIUM CLAY	MUKTABHAN(1966)
PI = 0.745LL-9.89	0.968	ALL CLAY	TONYAGATE(1978)
PI = 0.796LL-12.56	0.908	FIRST STIFF CLAY	PARENTILA(1983)
PI = 0.744LL-11.56	0.934	SOFT CLAY	TASNEENART(1984)
PI = 0.725LL-8.69	0.949	FIRST STIFF CLAY	"

ตารางที่ 2.4 แสดงสมการถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่าง PI-LL ของดินกรุงเทพมหานคร

Pro- perties	Unit	AIT	Nong Ngoo Hao	Pathumwan	Pom Prachul
Wn*	%	72-85	100-125	56-65	85-92
Wn**	%	85-70	125-65	65-48	82-62
LL	%	79-95	80-122	58-72	75-110
PL	%	30-34	25-52	26-33	26-40
PI	%	45-63	59-80	34-39	48-70
LI*	-	0.84-0.91	1.05-1.10	0.77-0.78	0.88-0.89
LI**	-	0.91-0.76	1.10-0.92	0.78-0.68	0.88-0.61
eo	-	2.06±0.32	2.99±0.51	1.68±0.38	2.19±0.38
Cc	-	1.11±0.21	1.42±0.49	0.78±0.20	0.87±0.13
Cc	-	0.17±0.04	0.20±0.07	0.14±0.07	0.17±0.06
Pc*	t/m ²	22.6-8.2	4.5-3.5	18.1-10.1	
Pc**	t/m ²	8.2-10.6	3.5-11.8	10.1-15.3	2.34±11.0
Cv	10*cm ² /sec.	1.64±0.59	1.47±0.50	1.86±0.44	2.04±1.05

* Weathered Zone
** Non-weathered Zone

ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางการยุบอัดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร (TSAI 1982)

Properties	Unit	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.
Wn	%	15.3	45.5	26.1	7.6
LL	%	21.2	71.9	49.9	9.7
PL	%	13.7	29.6	22.5	3.9
PI	%	9.0	46.8	27.4	8.6
LI	-	-0.469	0.994	0.159	0.306
rt	t/m ²	1.75	2.77	2.00	0.18
eo	-	0.459	0.910	0.668	0.150
S	%	62.0	100.0	94.2	8.2
CS	-	2.61	2.73	2.66	0.03
Cc	-	0.081	0.541	0.214	0.137
CR	-	0.023	0.325	0.163	0.181
kR	-	0.014	0.053	0.028	0.011
Pmax	t/m ²	51.0	77.0	63.0	0.6
Po	t/m ²	51.0	77.0	63.0	0.6
OCR	-	1.00	1.57	1.02	2.37

ตารางที่ 2.6 แสดงสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางการยุบอัดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร
(PARENTILLA 1983)

Layer	$W_n, \%$	LL, %	PL, %	PI, %	LI	$r_t, t/m^2$
Weathered Clay	30-100	30-90	20-35	15-50	0.2-2.0	1.55-1.90
Soft Clay	40-90	40-90	20-40	20-60	0.2-2.0	1.45-1.75
First Stiff Clay	15-40	25-90	15-40	10-50	-.25-.50	1.80-2.15
Second Stiff Clay	15-35	30-70	15-35	15-45	-.35-.75	1.80-2.25

ตารางที่ 2.7 แสดงสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวกรุงเทพฯ (TASNEENART 1984)

REGRESSION EQUATION	COEFF. OF CORRELATION	
	r	r^2
$e_o = 0.042 (W_n - 8.58)$	0.719	0.517
$C_c = 0.051 (W_n - 23.39)$	0.701	0.496
$RR = 0.0035 (W_n - 22.90)$	0.721	0.520
$CR = 0.012 (PL - 13.71)$	0.815	0.664
$\bar{Q}_{vm} = 9.576 (28.69 - PL)$	-0.700	0.490
$N = 18.718 (2.887 - m_v)$	-0.701	0.491
$C_c = 1.348 (e_o - 0.552)$	0.809	0.654

ตารางที่ 2.8 แสดงสมการถดถอยและสหสัมพันธ์ของดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1 ของ ดินกรุงเทพมหานคร (สมศักดิ์ 1985)

REGRESSION EQUATION	COEFF. OF CORRELATION	
	r	r ²
$e_o = 0.027 (w_n - 0.33)$	0.989	0.978
$c_c = 0.027 (w_n - 14.86)$	0.876	0.767
$c_r = 0.005 (w_n - 17.75)$	0.733	0.537
$CR = 0.012 (w_n - 12.11)$	0.735	0.540
$c_c = 1.082 (e_o - 0.411)$	0.732	0.536

ตารางที่ 2.9 แสดงสมการถดถอยและสหสัมพันธ์ของดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 ของ ดินกรุงเทพมหานคร (สมศักดิ์ 1985)

2.2 ทฤษฎีทางสถิติ

2.2.1 สถิติพื้นฐาน (BASIC STATISTIC)

2.2.1.1 การวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลาง (MEASURE OF CENTRAL TENDENCY) ในการอธิบายถึงข้อมูลใด ๆ จำเป็นที่จะต้องอธิบายสมบัติของข้อมูลสองประการคือ แนวกลางข้อมูลและการกระจาย เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจลักษณะข้อมูลนั้นโดยง่าย แต่ลึกซึ้งเพียงพอ การวัดแนวกลางมีหลายวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือ ค่าเฉลี่ย (MEAN), \bar{X} เป็นค่าปานกลางของทุกค่าในข้อมูล สามารถหาได้ดังนี้

$$\bar{X} = \sum X_i / N \dots \dots \dots (2.1)$$

เมื่อ \bar{X} คือค่าเฉลี่ย
 X_i คือค่าตัวแปรใด ๆ
 N คือจำนวนข้อมูล

2.2.1.2 การวัดการกระจาย (MEASURE OF DISPERSION) ในการแสดงข้อมูลจำเป็นต้องแสดงสมบัติอีกอย่างหนึ่งเพิ่มเติมจากค่าแนวกลางนั่นคือ ค่าแสดงการกระจายหรือความแปรปรวนของข้อมูล การแสดงการกระจายของข้อมูลมีหลายอย่าง เช่น ค่าพิสัย (RANGE) ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรผัน (COEFFICIENT OF VARIATION, CV) ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (AVERAGE DEVIATION), ค่าวาเรียนซ์และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (VARIANCE AND STANDARD DEVIATION)

2.2.1.2.1. ค่าวาเรียนซ์และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (VARIANCE AND STANDARD DEVIATION) เป็นค่าที่นิยมใช้กันมาก มีวิธีหาดังนี้

$$\sigma^2 = \sum (X_i - \bar{X})^2 / (N-1) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$= (\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / N) / (N-1) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$SD = \sqrt{\sigma^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$= \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (N-1)}$$

เมื่อ	σ^2	คือค่าวาเรียนซ์
	SD	คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	X_i	คือค่าตัวแปรใด ๆ
	N	คือจำนวนข้อมูล

2.2.1.2.2 สัมประสิทธิ์ความผันแปร
(COEFFICIENT OF VARIATION, CV) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ส่วน
เบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ย

$$CV = SD/\bar{X} \quad (2.5)$$

เมื่อ	CV	คือสัมประสิทธิ์ความผันแปร
	SD	คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	\bar{X}	คือค่าเฉลี่ย

2.2.1.3 การกระจายปกติ (NORMAL DISTRIBUTION)
ลักษณะทั่วไปของการกระจายปกติมีลักษณะดังนี้

2.2.1.3.1 มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ
ความสูงของส่วนโค้งขึ้นอยู่กับปริมาณของวาเรียนซ์ ถ้า σ^2 น้อย ส่วนสูงของ
โค้งมีมาก ดังรูปที่ 2.10 ($\sigma^2_2 > \sigma^2_1$)

2.2.1.3.2 มีแนวโน้มนู่ส่วนกลางที่ส่วน
กลางของโค้ง

2.2.2.3.3 มีลักษณะทางซ้ายและทาง
ขวาเหมือนกัน (SYMMETRY)

2.2.2.3.4 ไม่มีขีดจำกัดทั้งด้านซ้ายและ
ด้านขวา หรือขีดจำกัดที่ $-\infty < X < +\infty$

2.2.1.4 ความกระจายของ STUDENT'S t ค่า t

คำนวณได้จากสมการ

$$t = (\bar{X} - \mu) / S / \sqrt{N} \quad (2.6)$$

$$\text{หรือ } t = (\bar{X} - \mu) / S_{\bar{x}} \quad (2.7)$$

เราคำนวณ t สำหรับแต่ละตัวแทนจากสูตร จะเห็นว่า t คือความแตกต่างระหว่างเฉลี่ยของตัวแทนกับเฉลี่ยของประชากร คิดต่อหน่วยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเฉลี่ย ซึ่งเป็นมาตราที่ใช้กันโดยทั่วไป สำหรับวัดหรือตัดสินความมากน้อยของความแตกต่างระหว่างเฉลี่ย

2.2.1.5 ช่วงเชื่อมั่น (CONFIDENCE INTERVAL) จากกระจายแบบ t นั้น เราจะได้

$$\mu = \bar{X} \pm t S_{\bar{x}} \quad (2.8)$$

ถ้าเราแทนค่า t ที่ได้จากตารางที่ 2.10 และค่า $\bar{X}, S_{\bar{x}}$ จะได้ค่า μ ค่า คือ $L1$ และ $L2$ ซึ่งเรียกว่าเขต (LIMIT) ของความเชื่อมั่น

$L1$ เป็นจำกัดขั้นต่ำ (LOWER LIMIT)

$$L1 = \bar{X} - t S_{\bar{x}}$$

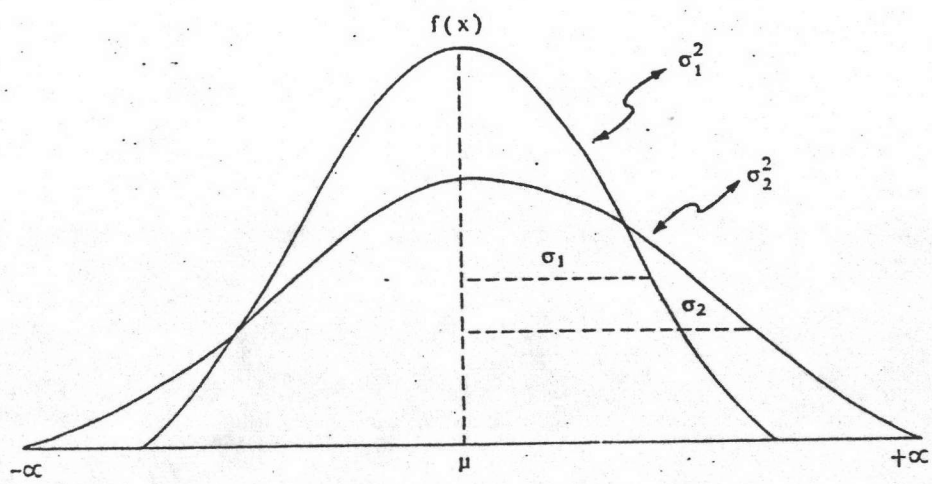
$L2$ เป็นจำกัดขั้นสูง (UPPER LIMIT)

$$L2 = \bar{X} + t S_{\bar{x}}$$

2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ (REGRESSION AND CORRELATION ANALYSIS)

2.2.2.1 การถดถอย (REGRESSION) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการตรวจหา หรือตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตั้งแต่สองชุดขึ้นไป เพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่อไป

2.2.2.1.1 การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดี่ยว (SIMPLE LINEAR REGRESSION) เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวว่ามีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันอย่างไร ในรูปความสัมพันธ์ทาง



รูปที่ 2.10 แสดงเส้นโค้งปกติ

The Distribution of t^* (Two-tailed Tests)

Degrees of Freedom	Probability of a Larger Value. Sign Ignored								
	0.500	0.400	0.200	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001
1	1.000	1.376	3.078	6.314	12.706	25.452	63.657		
2	0.816	1.061	1.886	2.920	4.303	6.205	9.925	14.089	31.598
3	.765	0.978	1.638	2.353	3.182	4.176	5.841	7.453	12.941
4	.741	.941	1.533	2.132	2.776	3.495	4.604	5.598	8.610
5	.727	.920	1.476	2.015	2.571	3.163	4.032	4.773	6.859
6	.718	.906	1.440	1.943	2.447	2.969	3.707	4.317	5.959
7	.711	.896	1.415	1.895	2.365	2.841	3.499	4.029	5.405
8	.706	.889	1.397	1.860	2.306	2.752	3.355	3.832	5.041
9	.703	.883	1.383	1.833	2.262	2.685	3.250	3.690	4.781
10	.700	.879	1.372	1.812	2.228	2.634	3.169	3.581	4.587
11	.697	.876	1.363	1.796	2.201	2.593	3.106	3.497	4.437
12	.695	.873	1.356	1.782	2.179	2.560	3.056	3.428	4.318
13	.694	.870	1.350	1.771	2.160	2.533	3.012	3.372	4.221
14	.692	.868	1.345	1.761	2.145	2.510	2.977	3.326	4.140
15	.691	.866	1.341	1.753	2.131	2.490	2.947	3.286	4.073
16	.690	.865	1.337	1.746	2.120	2.473	2.921	3.252	4.015
17	.689	.863	1.333	1.740	2.110	2.458	2.898	3.222	3.965
18	.688	.862	1.330	1.734	2.101	2.445	2.878	3.197	3.922
19	.688	.861	1.328	1.729	2.093	2.433	2.861	3.174	3.883
20	.687	.860	1.325	1.725	2.086	2.423	2.845	3.153	3.850
21	.686	.859	1.323	1.721	2.080	2.414	2.831	3.135	3.819
22	.686	.858	1.321	1.717	2.074	2.406	2.819	3.119	3.792
23	.685	.858	1.319	1.714	2.069	2.398	2.807	3.104	3.767
24	.685	.857	1.318	1.711	2.064	2.391	2.797	3.090	3.745
25	.684	.856	1.316	1.708	2.060	2.385	2.787	3.078	3.725
26	.684	.856	1.315	1.706	2.056	2.379	2.779	3.067	3.707
27	.684	.855	1.314	1.703	2.052	2.373	2.771	3.056	3.690
28	.683	.855	1.313	1.701	2.048	2.368	2.763	3.047	3.674
29	.683	.854	1.311	1.699	2.045	2.364	2.756	3.038	3.659
30	.683	.854	1.310	1.697	2.042	2.360	2.750	3.030	3.646
35	.682	.852	1.306	1.690	2.030	2.342	2.724	2.996	3.591
40	.681	.851	1.303	1.684	2.021	2.329	2.704	2.971	3.551
45	.680	.850	1.301	1.680	2.014	2.319	2.690	2.952	3.520
50	.680	.849	1.299	1.676	2.008	2.310	2.678	2.937	3.496
55	.679	.849	1.297	1.673	2.004	2.304	2.669	2.925	3.476
60	.679	.848	1.296	1.671	2.000	2.299	2.660	2.915	3.460
70	.678	.847	1.294	1.667	1.994	2.290	2.648	2.899	3.435
80	.678	.847	1.293	1.665	1.989	2.284	2.638	2.887	3.416
90	.678	.846	1.291	1.662	1.986	2.279	2.631	2.878	3.402
100	.677	.846	1.290	1.661	1.982	2.276	2.625	2.871	3.390
120	.677	.845	1.289	1.658	1.980	2.270	2.617	2.860	3.373
∞	.6745	.8416	1.2816	1.6448	1.9600	2.2414	2.5758	2.8070	3.2905

ตารางที่ 2.10 แสดงการกระจายแบบ Student's t

คณิตศาสตร์ ตัวแบบ (MODEL) ของสมการฟังก์ชันคือ

$$Y = a + bX \quad (2.9)$$

โดยที่ a เป็นค่าคงที่ (ส่วนตัดแกน Y)
b เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ (X)

การคำนวณเพื่อหาสมการถดถอยโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดอย่างธรรมดา (ORDINARY LEAST SQUARE METHOD) จะได้ความเชื่อมั่นว่า

$$\hat{Y} = a + bX_i \quad (2.10)$$

โดยที่ $b =$ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ
 $= (\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i / N) / (\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / N)$
 $a =$ ตัวคงที่
 $= \bar{Y} - b\bar{X}$
 $N =$ จำนวนข้อมูล

2.2.2.1.2 ค่าสถิติที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอย ในการวิเคราะห์เชิงสถิติเส้นถดถอยทุกเส้นไม่อาจนำมาประยุกต์กับการทำนายสมการได้หมดจำเป็นต้องคำนวณค่าสถิติอื่น ๆ เพื่อช่วยในการตัดสินใจให้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ค่าสถิติดังกล่าวคือ

2.2.2.1.2.1 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (THE STANDARD ERROR OF ESTIMATE) เป็นค่าที่ใช้จัดการกระจายของข้อมูลไปจากเส้นถดถอยที่คำนวณได้ ซึ่งสามารถหาได้จากรากกำลังสองของความแปรปรวนของการประมาณ (THE STANDARD ERROR OF ESTIMATE) คือ

$$S_{y \cdot x}^2 = (\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2) / (N-2) \quad (2.11)$$

เมื่อ $S_{y \cdot x}^2$ คือความแปรปรวนของการประมาณของค่า Y บน X

$$\text{จะได้ } S_{y..x} = \sqrt{(\Sigma(Y_i - \hat{Y}_i)^2) / (N-2)}$$

เมื่อ $S_{y..x}$ คือความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณ
ของค่า Y บน X

ค่า $S_{y..x}$ สามารถหาได้จากการกระจาย ข้อมูลออกเป็น
หลายส่วนคือ

$$\Sigma(Y_i - \bar{Y})^2 = \Sigma(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \Sigma(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad \dots (2.12)$$

เมื่อ $(Y_i - \bar{Y})^2$ เรียกว่า ผลรวมกำลังสองของการกระจายทั้งหมด
(TOTAL VARIATION OR TOTAL SUM SQUARES)

$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ เรียกว่า ผลรวมกำลังสองของการกระจายที่อธิบายได้
(EXPLAINED VARIATION OR EXPLAINED SUM SQUARES)

$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ เรียกว่า ผลรวมกำลังสองของการกระจายที่อธิบาย
ไม่ได้ (UNEXPLAINED VARIATION OR UNEXPLAINED SUM SQUARES)

$$S_{y..x} = \sqrt{(\Sigma y_i^2 - b \Sigma x_i y_i) / (N-2)} \quad (2.13)$$

$$\text{เมื่อ } \Sigma y_i^2 = \Sigma Y_i - (\Sigma Y_i)^2 / N$$

$$\Sigma x_i y_i = \Sigma X_i Y_i - \Sigma X_i \Sigma Y_i / N$$

2.2.2.1.2.2 สัมประ

สิทธิ์ของตัวกำหนด (COEFFICIENT OF DETERMINATION, r^2) เป็นค่า
อัตราส่วนระหว่างผลรวมกำลังสองของการกระจายที่อธิบายได้กับผลรวมกำลังสอง
ของการกระจายทั้งหมด

$$r^2 = b \Sigma x_i y_i / \Sigma y_i^2 \quad (2.14)$$

$$\text{เมื่อ } \Sigma x_i y_i = \Sigma X_i Y_i - \Sigma X_i \Sigma Y_i / N$$

$$\Sigma y_i^2 = \Sigma Y_i^2 - (\Sigma Y_i)^2 / N$$

ประโยชน์ของค่า r^2 คือเป็นตัววัดความใกล้ชิด
ระหว่างเส้นถดถอยกับค่า Y ดังนี้

- ก. $r^2=1$ ค่า Y จะอยู่บนเส้นถดถอยทุกจุด
 ข. r^2 มีค่ามาก Y จะอยู่ใกล้ชิดกับเส้นถดถอย
 ค. r^2 มีค่าน้อย Y จะอยู่ห่างจากเส้นถดถอย
 ง. $r^2=0$ การกระจายห่างกันกับเส้นถดถอย

มาก หาแนวโน้มที่ถูกต้องไม่ได้

2.2.2.1.2.3 ความ

แปรปรวนของตัวคาดคะเน (VARIATION OF ESTIMATOR) ในทางสถิติตัวคาดคะเน a, b และ \hat{Y} จากสมการ (2.7) นั้น สามารถมีได้หลายค่าตามแต่ตัวอย่างที่สุ่มมา ซึ่งจะมีความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแต่ละค่าแตกต่างกันแล้วแต่ขนาดของประชากรสามารถหาได้ดังนี้

$$s_a^2 = S_{y..x}^2 (1/N + \bar{X}^2 / \sum x_i^2) \quad (2.15)$$

$$s_a = S_{y..x} \sqrt{(1/N + \bar{X}^2 / \sum x_i^2)} \quad (2.16)$$

$$s_b^2 = S_{y..x}^2 / \sum x_i^2 \quad (2.17)$$

$$s_b = S_{y..x} / \sqrt{\sum x_i^2} \quad (2.18)$$

$$s_{\hat{Y}}^2 = S_{y..x}^2 (1/N + x_i^2 / \sum x_i^2) \quad (2.19)$$

$$s_{\hat{Y}} = S_{y..x} \sqrt{(1/N + x_i^2 / \sum x_i^2)} \quad (2.20)$$

เมื่อ s_a^2 , s_b^2 และ $s_{\hat{Y}}^2$ คือความแปรปรวนของตัวคาดคะเน a, b และ \hat{Y} ตามลำดับ

s_a , s_b และ $s_{\hat{Y}}$ คือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวคาดคะเน

2.2.2.1 สหสัมพันธ์ (CORRELATION)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบง่ายคือ แบบเส้นตรงเชิงเดียว (SIMPLE LINEAR CORRELATION ANALYSIS) เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองชุดโดยไม่ต้องหาว่าอะไรเป็นเหตุและอะไรเป็นผลใช้ในการตรวจสอบว่าสมการถดถอยที่ศึกษานั้นเป็นสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยมากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์จะมุ่งสนใจเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (COEFFICIENT OF CORRELATION, r) หาได้จาก

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.21)$$

หรือ

$$r = \frac{(\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i / N)}{\sqrt{[\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / N][\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2 / N]}} \dots\dots\dots (2.22)$$

การตีความหมาย r ค่า r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 สามารถตีความหมายได้ดังนี้ ถ้า r มีค่าเท่ากับ &1 แสดงว่า ข้อมูลทั้งหมดไม่มีส่วนเบี่ยงเบนเลย สามารถลากเส้นตรงผ่านได้ ถ้า r เท่ากับ ศูนย์หมายความว่ากำหนดเส้นถดถอยนั้นใช้ไม่ได้หรือทำนายไม่ได้ ถ้าค่า r มีค่าเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าความสัมพันธ์น้อยมาก (FIT IS POOR) ถ้า r มีค่าใกล้ ± 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์มาก (FIT IS GOOD)

2.3 ทฤษฎีทางวิศวกรรม

2.3.1 สมบัติพื้นฐาน (BASIC PROPERTIES)

2.3.1.1 ชีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก (ATTERBERG'S LIMITS) เป็นวิธีการสำหรับอธิบายปริมาณความชื้นในมวลดินซึ่งจะบ่งบอกถึงสถานะของดินนั้น ประกอบด้วย

2.3.1.1.1 ชีดจำกัดเหลว (LIQUID LIMIT) คือปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินเปลี่ยนสถานะของเหลวเป็นสถานะยืดหยุ่น วิธีการหาปริมาณความชื้นที่นิยมกันโดยใช้เครื่องมือที่คิดค้นโดย CASAGRANDE

2.3.1.1.2 ชีดจำกัดยืดหยุ่น (PLASTIC LIMIT) คือปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินเปลี่ยนสถานะยืดหยุ่นเป็นสถานะกึ่งของแข็ง (SEMISOLID)

2.3.1.1.3 ชีดจำกัดหดตัว (SHRINKAGE LIMIT) คือปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินเปลี่ยนสถานะกึ่งของแข็งเป็นสถานะของแข็ง (SOLID)

รูปที่ 2.11 แสดงปริมาณความชื้นซึ่งอยู่ในสถานะต่าง ๆ ตามขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์กของดินเหนียว ค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก

สำหรับดินที่มีความเหนียวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว และชนิดของ ABSORB CATION

2.3.1.2 PLASTIC INDEX คือผลต่างระหว่างขีดจำกัดเหลวกับขีดจำกัดยึดหยุ่น

$$PI = LL - PL \quad (2.23)$$

เมื่อ PI คือ PLASTIC INDEX

ค่า PI แสดงถึงปริมาณความชื้นในมวลดินที่ยังทำให้ดินคงสภาพ PLASTIC อยู่และแสดงถึงปริมาณของอนุภาคของมวลดินเหนียวในดินนั้น ถ้า PI สูงแสดงว่ามีอนุภาคดินเหนียวอยู่มาก

2.3.1.3 LIQUIDITY INDEX คือ อัตราส่วนระหว่างผลต่างของปริมาณความชื้นในธรรมชาติกับขีดจำกัดยึดหยุ่นกับ PLASTIC INDEX

$$LI = (W_n - PL) / PI \quad (2.24)$$

เมื่อ LI คือ LIQUIDITY INDEX
 W_n คือ ปริมาณความชื้นของดิน

ในดินที่มีความเหนียว (COHESIVE SOIL) ค่า LIQUIDITY INDEX มีความเกี่ยวข้องกับประวัติความเป็นมาของดิน (STRESS HISTORY) ด้วย ค่า LIQUIDITY INDEX เป็นค่าที่บ่งบอกลักษณะของดินได้ดังนี้

ถ้าค่า LI มากกว่า 1 เป็นดินประเภทมีความอ่อนไหวมาก (EXTRA SENSITIVE) มีความอ่อนมากและเป็นประเภท UNDERCONSOLIDATION ซึ่งเป็นดินที่เกิดในสภาวะปกติ เฝ็งจะมีการทับถมหรือตกตะกอนตามธรรมชาติ

ถ้าค่า LI น้อยกว่า 1 และค่า LI มากกว่า 0 เป็นดินประเภท NORMALLY CONSOLIDATION ถึง SLIGHTLY OVERCONSOLIDATION ถ้าค่า LI เข้าใกล้ 0 สถานะของดินจะเฝ็งแข็งและถ้า LI เข้าใกล้ 1 สถานะ

ของดินเริ่มใกล้ของเหลว

ถ้าค่า LI น้อยกว่า 0 แสดงว่าดินมีสภาวะกึ่งของแข็งและเป็นดินประเภท OVERCONSOLIDATION ซึ่งเป็นดินประเภทที่เคยถูกอัดด้วยแรงที่มีค่ามากกว่าในปัจจุบัน

นอกจากนี้ถ้า LIQUIDITY INDEX ยังใช้บ่งบอกถึงกำลังของดินได้ดังตารางที่ 2.11

2.3.1.4 การจำแนกประเภทของดิน (SOIL CLASSIFICATION) เป็นการจำแนกดินออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันซึ่งช่วยในการแก้ปัญหาเรื่องดินอย่างง่ายได้ดี และยังเป็นแนวทางที่ดีสำหรับการตรวจสอบในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับดินนั้นยุ่งยากซับซ้อน การจำแนกดินโดยมากมักอาศัยสมบัติทาง PLASTICITY และขนาดเม็ดดิน (PARTICLE SIZE) การจำแนกที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบคือ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM และ AASHTO ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะแบบ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM ซึ่งวิธีนี้เสนอโดย A. CASAGRANDE ในปี ค.ศ. 1942 โดยที่การจำแนกจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือดินมวลหยาบ (COARSE GRAINED SOIL) และมวลดินละเอียด (FINE GRAINED SOIL) และแบบละเอียดลงไปอีกในแต่ละกลุ่มตามตารางที่ 2.12

2.3.1.5 ปริมาณความชื้น (WATER CONTENT) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำกับน้ำหนักของมวลดิน โดยมากมักคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

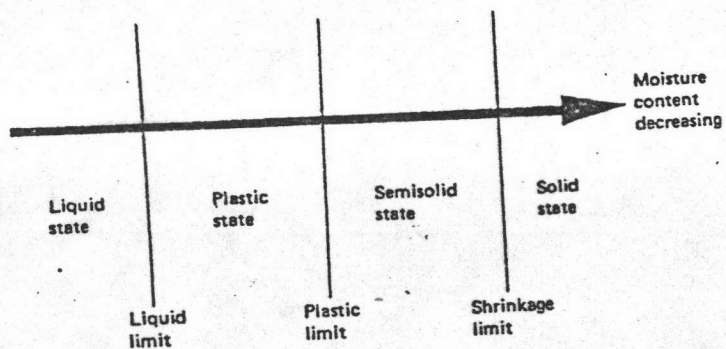
$$W_n = W_w / W_s * 100 \quad (2.25)$$

เมื่อ W_n คือปริมาณความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์
 W_w คือน้ำหนักของน้ำในมวลดิน
 W_s คือน้ำหนักของมวลดิน

2.3.1.6 หน่วยน้ำหนักรวม (TOTAL UNIT WEIGHT) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักทั้งหมดกับปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน

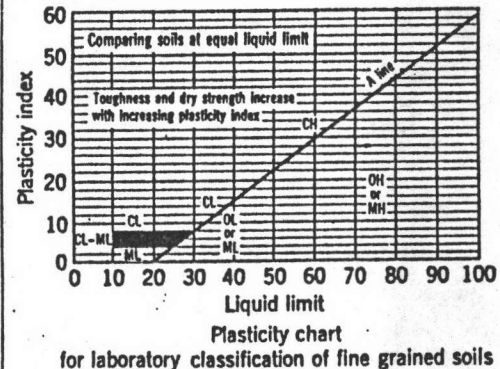
liquidity index	consistency
$LI > 0.75$	very soft
$0.50 < LI < 0.75$	soft
$0.25 < LI < 0.50$	medium stiff
$0 < LI < 0.25$	stiff
$LI < 0$	hard

ตารางที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของ LI กับความแข็งแรงของดินเหนียว



รูปที่ 2.11 แสดงความชื้นเหลวของดินเหนียว

Field Identification Procedures (Excluding particles larger than 75 µm and basing fractions on estimated weights)			Group Symbols ^a	Typical Names	Information Required for Describing Soils	Laboratory Classification Criteria			
Coarse-grained soils More than half of material is larger than 75 µm sieve size ^b	Gravels More than half of coarse fraction is larger than 4 mm sieve size	Clean gravels (little or no fines)	GW	Well graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Give typical name; indicate approximate percentages of sand and gravel; maximum size; angularity, surface condition, and hardness of the coarse grains; local or geologic name and other pertinent descriptive information; and symbols in parentheses For undisturbed soils add information on stratification, degree of compactness, cementation, moisture conditions and drainage characteristics Example: Silty sand, gravelly; about 20% hard, angular gravel particles 12 mm maximum size; rounded and subangular and grains coarse to fine, about 15% non-plastic fines with low dry strength; well compacted and moist in place; alluvial sand; (SM)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for GW Atterberg limits below "A" line, or PI less than 4 Above "A" line with PI between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols Atterberg limits above "A" line, with PI greater than 7 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for SW Atterberg limits below "A" line or PI less than 5 Above "A" line with PI between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols Atterberg limits below "A" line with PI greater than 7 Above "A" line with PI between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols			
		Predominantly one size or a range of sizes with some intermediate sizes missing	GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines					
		Gravels with fines (appreciable amount of fines)	GM	Silty gravels, poorly graded gravel-sand-silt mixtures					
		Plastic fines (for identification procedures, see CL below)	GC	Clayey gravels, poorly graded gravel-sand-clay mixtures					
	Sands More than half of coarse fraction is smaller than 4 mm sieve size	Clean sands (little or no fines)	SW	Well graded sands, gravelly sands, little or no fines					
		Predominantly one size or a range of sizes with some intermediate sizes missing	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines					
		Sands with fines (appreciable amount of fines)	SM	Silty sands, poorly graded sand-silt mixtures					
		Nonplastic fines (for identification procedures, see ML below)	SC	Clayey sands, poorly graded sand-clay mixtures					
		Plastic fines (for identification procedures, see CL below)							
Fine-grained soils More than half of material is smaller than 75 µm sieve size (The 75 µm sieve size is about the smallest particle visible to naked eye)	Identification Procedures on Fraction Smaller than 380 µm Sieve Size								
	Silt and clays liquid limit less than 50	Dry Strength (crushing characteristics)	Dilatancy (reaction to shaking)	Toughness (consistency near plastic limit)		Give typical name; indicate degree and character of plasticity, amount and maximum size of coarse grains; colour in wet condition, odour if any, local or geologic name, and other pertinent descriptive information, and symbol in parentheses For undisturbed soils add information on structure, stratification, consistency in undisturbed and remoulded states, moisture and drainage conditions Example: Clayey silt, brown; slightly plastic; small percentage of fine sand; numerous vertical root holes; firm and dry in place; loess; (ML)	Determine percentages of gravel and sand from grain size curve Depending on percentage of fines (fraction smaller than 75 µm sieve size) coarse grained soils are classified as follows: Less than 5% GW, GP, SW, SP More than 5% GM, GC, SM, SC Borderline cases requiring use of dual symbols		
		None to slight	Quick to slow	None	ML			Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands with slight plasticity	
		Medium to high	None to very slow	Medium	CL			Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
		Slight to medium	Slow	Slight	OL			Organic silts and organic silts-clays of low plasticity	
		Slight to medium	Slow to none	Slight to medium	MH			Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	
		High to very high	None	High	CH			Inorganic clays of high plasticity, fat clays	
	Medium to high	None to very slow	Slight to medium	OH	Organic clays of medium to high plasticity				
	Silt and clays liquid limit greater than 50	Readily identified by colour, odour, spongy feel and frequently by fibrous texture			PI			Peat and other highly organic soils	



ตารางที่ 2.12 แสดงการจำแนกดินระบบ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION

$$\gamma_T = W/V \quad (2.26)$$

การหาหน่วยน้ำหนักของดินที่มีความเหนียวสามารถหาได้ง่าย โดยการเตรียมก้อนตัวอย่าง เป็นกล่องลูกบาศก์แล้วใส่ในภาชนะที่ทราบปริมาตร แล้ววัดปริมาณน้ำที่ก้อนตัวอย่างแทนที่ การหาต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้ตัวอย่างดูดซึมน้ำเข้าไป การหา มักจะทำหลาย ๆ ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ส่วนดินที่ไม่มีความเหนียวการหาหน่วยน้ำหนักเป็นการยาก ดังนั้น เราจึงใช้วิธีกะประมาณ โดยใช้พื้นฐานของการทดสอบในสนาม ดังตารางที่ 2.13 ในตารางแสดงถึงค่าหน่วยน้ำหนักซึ่งอาจนำไปใช้ในกรณีที่ไม่มีการทดสอบ

การหาค่าหน่วยน้ำหนักในการใช้หา OVERBURDEN PRESSURE สำหรับการศึกษารื่อง CONSOLIDATION และใช้ในการกะประมาณค่า BEARING PRESSURE ที่ยอมให้ของดินในแต่ละความลึกและยังใช้ในการหา LATERAL PRESSURE ที่กระทำต่อโครงสร้างลักษณะกำแพง

2.3.1.7 ความถ่วงจำเพาะ (SPECIFIC GRAVITY)

คืออัตราส่วนระหว่างหน่วยน้ำหนักของดินในอากาศกับหน่วยน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ 4 องศาเซลเซียส

$$G = \gamma_s / \gamma_w \quad (2.27)$$

เมื่อ γ_s คือหน่วยน้ำหนักของดิน
 γ_w คือหน่วยน้ำหนักของน้ำที่ 4 องศาเซลเซียส

การหาความถ่วงจำเพาะที่หาในห้องปฏิบัติการเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก จึงไม่ค่อยได้ทดสอบกันประกอบกับค่าความถ่วงจำเพาะของดินมักมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าความถ่วงจำเพาะของดินทั่ว ๆ ไป มีค่าดังแสดงในตารางที่ 2.14

2.3.2 สมบัติทางกำลัง (STRENGTH PROPERTIES)

2.3.2.1 STANDARD PENETRATION TEST การทดสอบโดยวิธีนี้พัฒนาเริ่มต้นโดยบริษัท RAYMOND CONCRETE PILE ทดสอบโดยการตอก

SPLIT SPOON ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขอบนอก 5.1 เซนติเมตร (2 นิ้ว) และเส้นผ่าศูนย์กลางขอบใน 3.5 เซนติเมตร ตามรูปที่ 2.12 ลงไปในดินที่ต้องการทดสอบลึก 46 เซนติเมตร (18 นิ้ว) ลงไปในดินใต้ปลอกเหล็ก (CASING) โดยใช้น้ำหนัก 63.5 กิโลกรัม (140 ปอนด์) ปลอยจากที่สูง 76 เซนติเมตร (30 นิ้ว) แล้วบันทึกจำนวนการตอกทุก ๆ ระยะ 15.2 เซนติเมตร (6 นิ้ว) การนำค่าไปใช้ถือว่า 15.2 ซม. แรกของการตอกมีการรบกวนดินจึงไม่นับจำนวนครั้งของการตอก 15.2 ซม. นี้ จะนับจำนวนครั้งของการตอก 15.2 ซม. ที่สองและที่สามรวมกันเป็นค่า SPT N VALUE ส่วนการนำค่าไปใช้นั้น ในระยะแรก ๆ จะนำค่าที่นับได้จากการตอกไปใช้เลย แต่ต่อมาได้มีการศึกษามากขึ้นก็คิดผลจากสิ่งต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเช่น OVERBURDEN PRESSURE

การปรับแก้ค่า SPT

2.3.2.1.1 ปรับแก้เมื่อทำการทดลองในทรายอิ่มตัวด้วยน้ำเป็นชนิดเม็ดละเอียดหรือเป็นดินตะกอนผสม (FINE OR SILTY, SATURATED SAND) เมื่อค่า SPT N VALUE มีค่าน้อยกว่า 15 เสนอโดย TERZAGHI AND PECK (1967)

$$N = 15 + 1/2(N' - 15) \quad (2.28)$$

2.3.2.1.2 ปรับแก้เนื่องจากผลของ OVERBURDEN PERSSURE การปรับแก้นี้ใช้กับดินที่มีความเหนียวเสนอโดย GIBBS AND HOLTZ (1957)

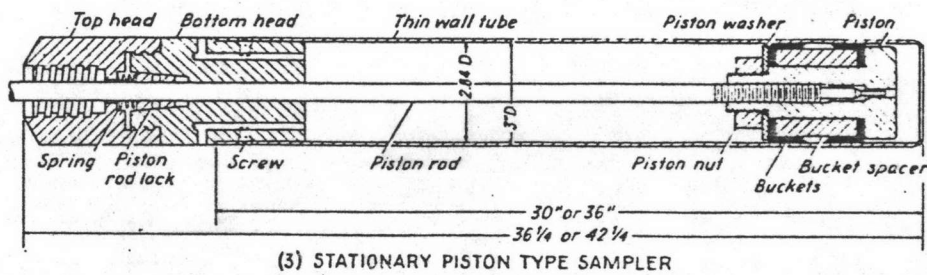
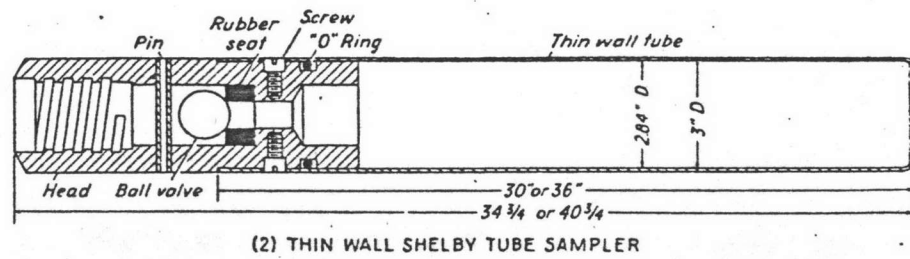
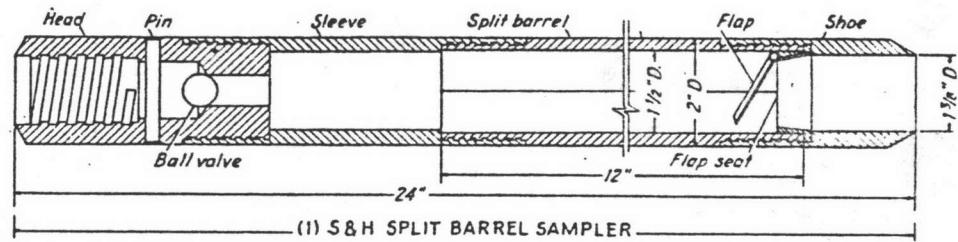
$$N = 35N' / (60 + 7) \quad (2.29)$$

เมื่อ $\sigma_v < 28$ ตันต่อตารางเมตร

N และ N' คือค่า BLOW COUNT ที่ปรับแก้แล้ว และค่าที่วัดได้ตามลำดับ

ตารางที่ 2.15 และตารางที่ 2.16 แสดงความสำคัญของค่า SPT N กับค่าความแข็งแรงของดินเหนียวและดินทราย

2.3.2.2 FIELD VANE SHEAR TEST เป็นวิธีที่ใช้กัน



รูปที่ 2.12 แสดงกระบอกล้ำซีก (SPLIT SPOON)

Description	Very loose	Loose	Medium	Dense	Very dense
Relative density D_r , %	0	0.15	0.35	0.65	0.85 1.00
Standard penetration no. N		5-10	8-15	10-40	20-70 → 35
Approx. angle of internal friction ϕ , °	25-30°	27-32°	30-35°	35-40°	38-43°
Approx. range of moist unit weight γ ,pcf (kN/m ³)	70-100† (11-16)	90-115 (14-18)	110-130 (17-20)	110-140 (17-22)	130-150 (20-23)

ตารางที่ 2.13 แสดงการประมาณค่าหน่วยน้ำหนักของดินทรายตามค่า SPT N VALUE

Soil	G_s
Gravel	2.65-2.68
Sand	2.65-2.68
Silt, inorganic	2.62-2.68
Clay, organic	2.58-2.65
Clay, inorganic	2.68-2.75

ตารางที่ 2.14 แสดงค่า SPECIFIC GRAVITY

penetration resistance, N (blows/ft)	unconfined compressive strength, QU (ksc)	Term use to classify strength
< 2	0.25	very soft
2 - 4	0.25 - 0.50	soft
4 - 8	0.50 - 1.00	medium
8 - 15	1.00 - 2.00	stiff
15 - 30	2.00 - 4.00	very stiff
> 30	> 4.00	hard

ตารางที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของ N กับความแข็งแรงของดินเหนียว (TERZAGHI AND PECK 1967)

penetration resistance, N (blows/ft)	angle of internal friction, ϕ (degree)	relative density
0 - 4	25 - 30	very loose
4 - 10	27 - 32	loose
10 - 30	30 - 35	medium
30 - 50	35 - 40	dense
> 50	38 - 45	very dense

ตารางที่ 2.16 ความสัมพันธ์ของ N กับความแข็งแรงของดินทราย (MEYERHOF 1956)

อย่างกว้างขวางสำหรับหาค่า UNDRAINED SHEAR STRENGTH ของดินที่มีความเหนียวโดยเฉพาะดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็ง และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับดินเหนียวที่มีความอ่อนไหวสูง (SENSITIVE CLAY) ซึ่งยากที่จะหา UNDRAINED SHEAR STRENGTH โดยไม่รบกวนดิน และยังใช้ในการหาค่าความอ่อนไหวด้วย

เครื่องมือ VANE SHEAR TEST ประกอบด้วยใบมีด 4 แฉก และต่อก้านมาที่ผิวดิน ดังรูปที่ 2.13 วิธีการโดยพื้นฐานแล้วประกอบด้วยการดันใบมีดลงในดินที่ระดับความลึกที่ต้องการและหมุนจากผิวดินแล้ววัดแรงบิด (TORSION FORCE) ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็น UNIT SHEARING RESISTANCE โดยการสมมุติว่าการพังของดินเป็นไปตามผิวทรงกระบอก ดังนี้

$$S_u = T_{max} / (\pi(DH/2 + D^2/6)) \quad (2.30)$$

เมื่อ T = TORQUE

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบมีด (VANE)

H = ความสูงของใบมีด (VANE)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่า S_u ที่ได้จากการทดสอบ VANE มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ BJERRUM (1972) เสนอการปรับแก้ค่า S_u ที่ทดสอบได้โดย VANE ดังนี้

$$S_{u(DESIGN)} = \lambda S_{u(VANE)} \quad (2.31)$$

เมื่อ λ : คือ CORRECTION FACTOR มีค่าแปรตามค่า PI ดังรูปที่ 2.14

ในการพิจารณาทดสอบแบบ UNDRAINED ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะขึ้นอยู่กับอัตราความหมุน ดังรูปที่ 2.15

2.3.2.3 POCKET PENETRATION TEST การทดสอบแบบนี้มีพื้นฐานความจริงที่ว่ากำลังรับแรงเฉือนที่วิบัติ (FAILURE) ของดินที่มีความเหนียวภายในฐานรานั้นไม่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของฐานราก รูปที่ 2.16 แสดงเครื่องมือ

POCKET PENETRATION เป็นเครื่องมือสำหรับประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่มีความเหนียวเป็นแบบจุดจะทำที่หลุมเจาะหรือก้นตัวอย่างที่ส่งไปยังห้องปฏิบัติการ การทดสอบจะได้ผลดีเมื่อ PI ของดินที่มีความเหนียวมีค่ามากกว่า 12 ซึ่งถ้าค่า PI มีค่าน้อย หมายถึงมีปริมาณทรายปนอยู่มาก สมบัติทางด้านแรงเสียดทานจะทำให้ SHEAR FAILURE RESISTANCE มีค่ามากกว่าการที่ไม่มีทรายผสม

2.3.2.4 UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH TEST เป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของดินเหนียวอย่างง่ายโดยการกดตัวอย่างดินเหนียวรูปทรงกระบอกทางด้านตั้ง ค่าที่ได้ออกมาในรูปกำลังรับแรงอัดสูงสุดของดินเหนียว (q_u) และสามารถหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบ UNDRAINED จาก $q_u/2$ ค่า q_u สามารถใช้ในการจำแนกชนิดของดินได้โดยแบ่งสภาพความชื้นเหนียวของดินตามตารางที่ 2.17

2.3.3 สมบัติทางการยุบอัดตัว (COMPRESSIBILITY PROPERTIES) เป็นการหาสมบัติการยุบอัดตัวของดินซึ่งได้จากการทดสอบ CONSOLIDATION ค่าที่ใช้ในการพิจารณาการยุบอัดตัวของดินมีดังนี้

2.3.3.1 COMPRESSION INDEX, C_c เป็นค่าของความชันของกราฟระหว่าง e กับ $\log \bar{\sigma}$ สำหรับดิน NORMALLY CONSOLIDATED CLAY ดังรูปที่ 2.17 ค่า C_c สามารถหาได้จาก

$$C_c = \Delta e / \Delta \log \bar{\sigma} \quad (2.32)$$

2.2.3.2 RECOMPRESSION INDEX, C_r เป็นค่าความชันของกราฟระหว่าง e กับ $\log \bar{\sigma}$ สำหรับดิน OVERCONSOLIDATED ช่วงก่อนถึง MAXIMUM PAST PRESSURE ดังรูปที่ 2.17 ค่า C_r สามารถหาได้จาก

$$C_r = \Delta e / \Delta \log \bar{\sigma} \quad (2.33)$$

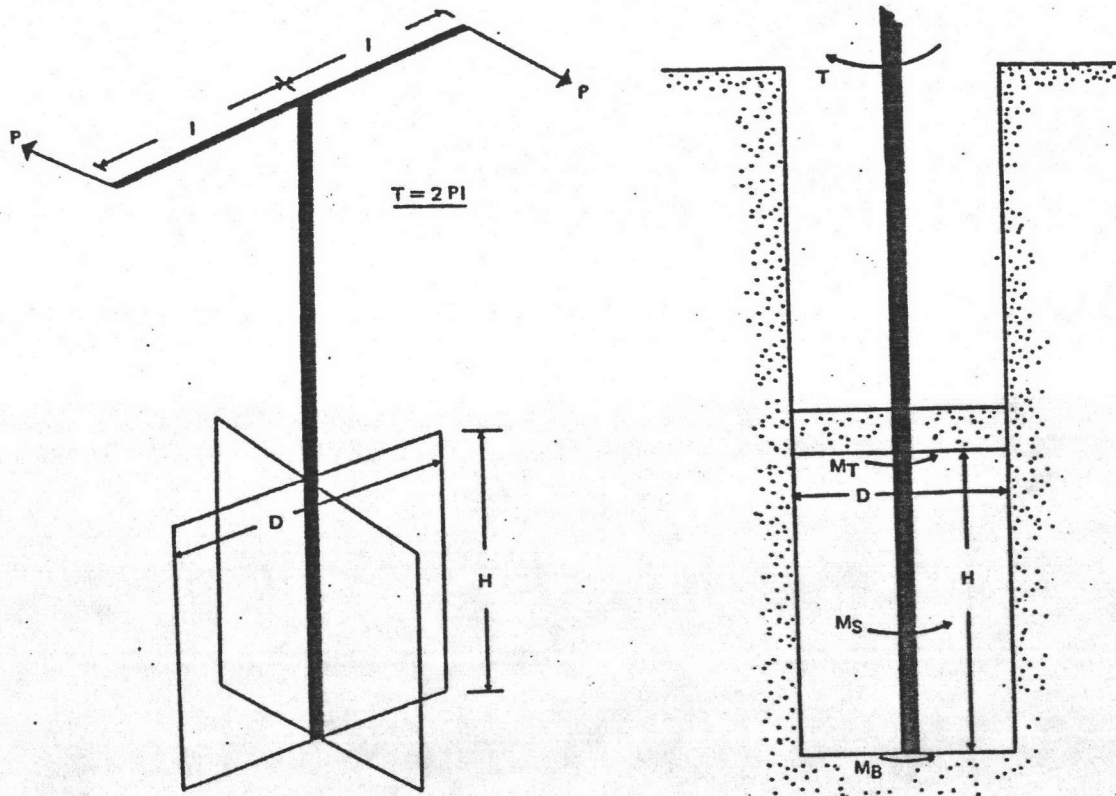
2.3.3.3 COMPRESSION RATIO, C_R เป็นค่าความชันของกราฟระหว่าง e กับ $\log \bar{\sigma}$ สำหรับดิน NORMALLY CONSOLIDATED

CLAY ดังรูปที่ 2.18 ค่า CR สามารถหาได้จาก

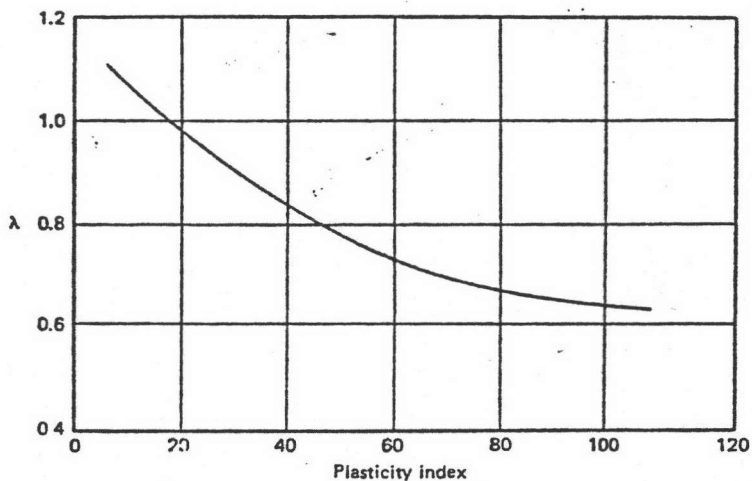
$$CR = \Delta \epsilon / \log \bar{\sigma} \quad (2.34)$$

2.3.3.4 RECOMPRESSION RATIO, RR เป็นค่าความชันของกราฟระหว่าง ϵ กับ $\log \bar{\sigma}$ สำหรับดิน OVERCONSOLIDATED CLAY ช่วงก่อนถึง MAXIMUM PAST PRESSURE ดังรูปที่ 2.18 ค่า RR สามารถหาได้จาก

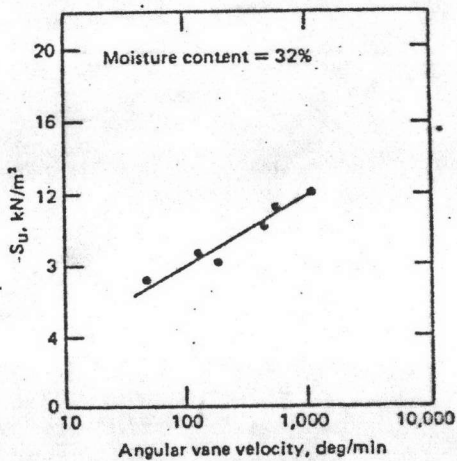
$$RR = \Delta \epsilon / \log \bar{\sigma} \quad (2.35)$$



รูปที่ 2.13 แสดงการทดสอบ VANE SHEAR



รูปที่ 2.14 แสดงค่าปรับแก้สำหรับ VANE SHEAR STRENGTH



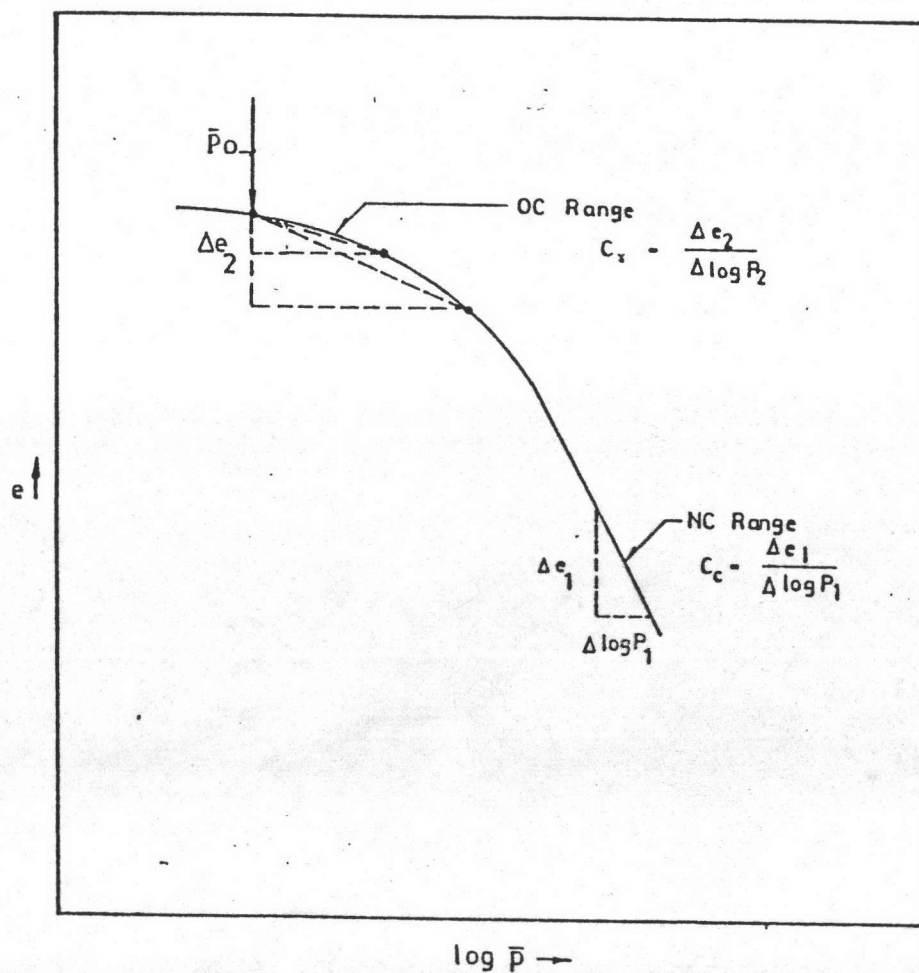
รูปที่ 2.15 แสดงผลของอัตราเร็วของการเฉือน (RATE OF SHEAR)



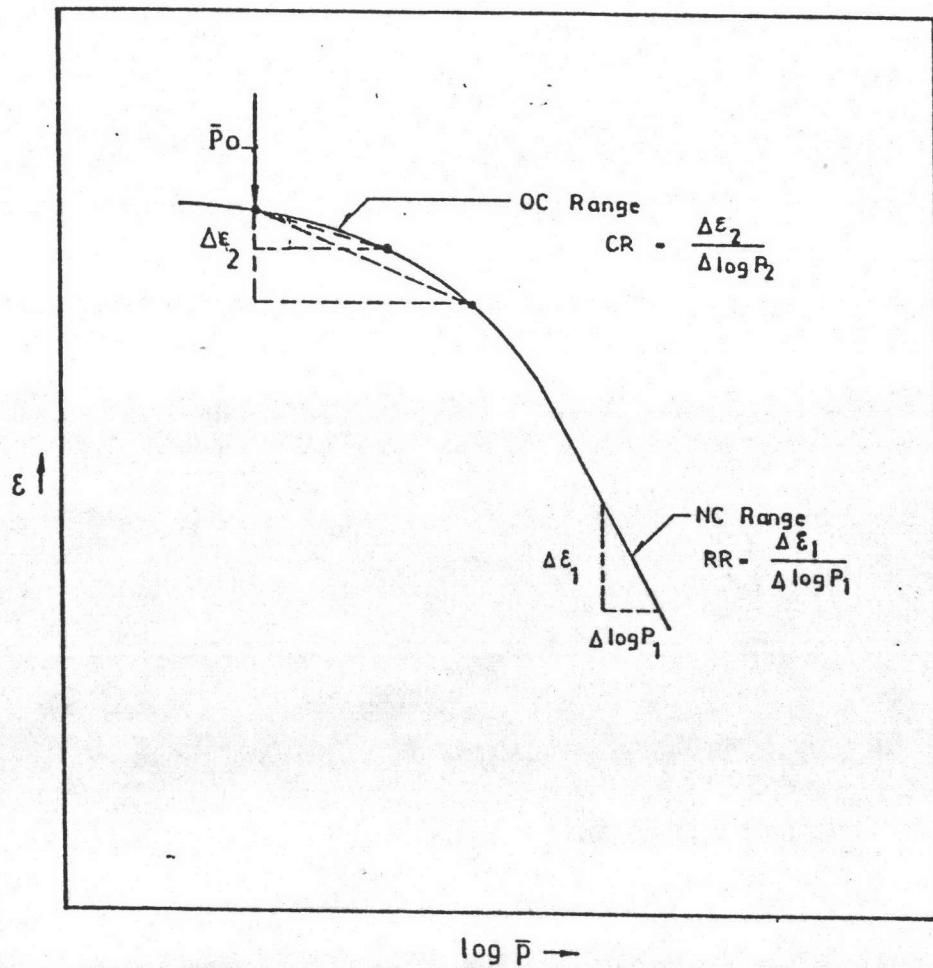
รูปที่ 2.16 แสดงเครื่องมือ POCKET PENETROMETER

Unconfined compressive strength q_u (ksc)	Term use to classify strength
0 - 0.25	very soft
0.25 - 0.50	soft
0.50 - 1.00	medium
1.00 - 2.00	stiff
2.00 - 4.00	very stiff
> 4.00	hard

ตารางที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของ q_u กับความแข็งแรงของดินเหนียว (TERZAGHI AND PECK 1967)



รูปที่ 2.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e กับ $\log P$



รูปที่ 2.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ กับ $\log P$