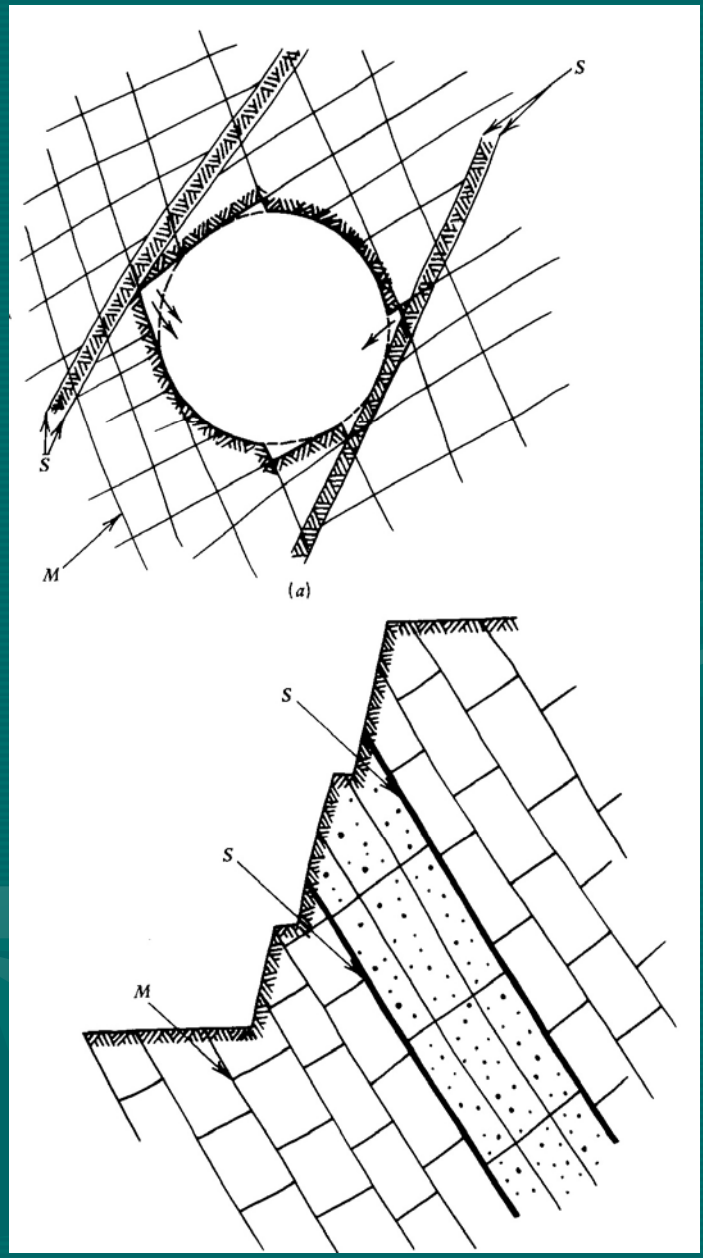
Discontinuities in Rockmass

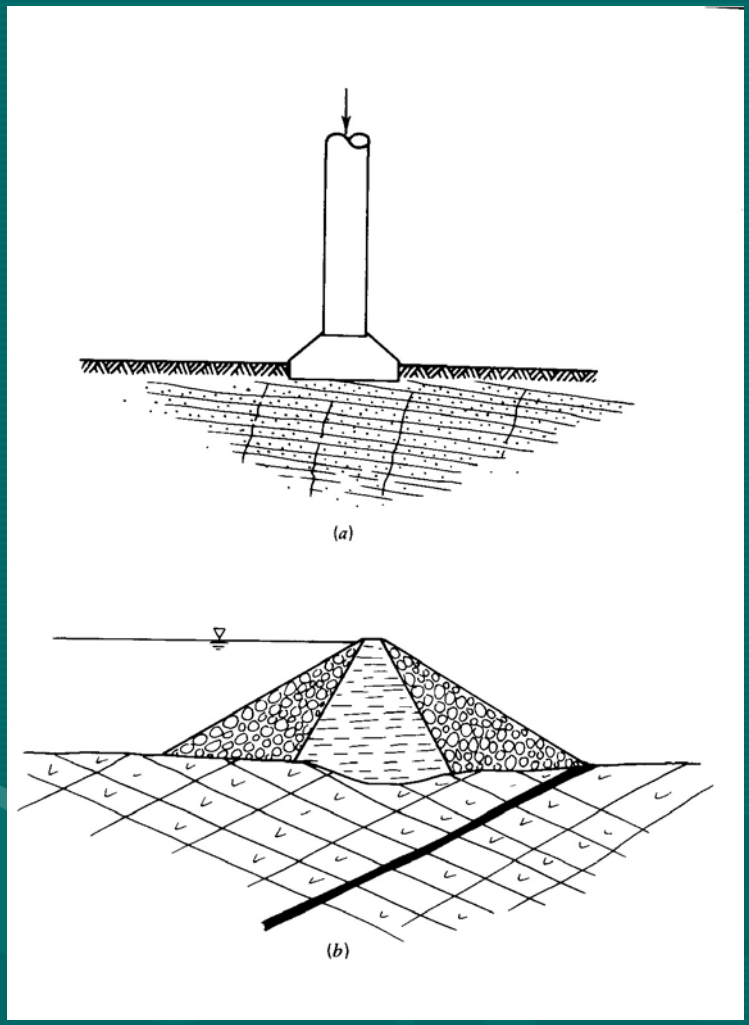
664-324 Fundamentals of Rock Mechanics

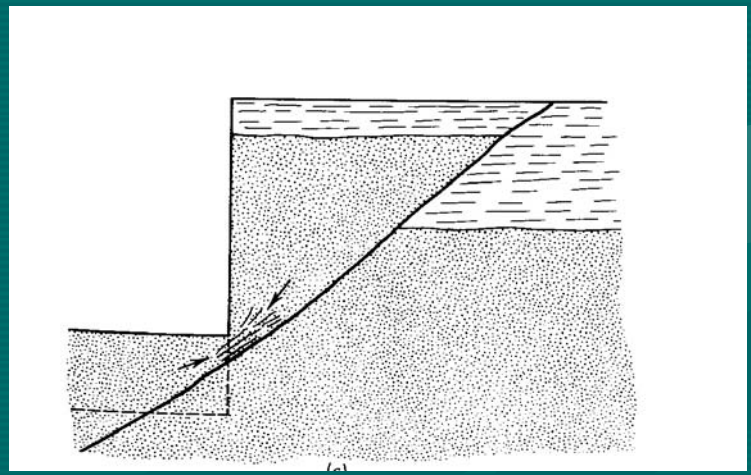
Ladda Wannakao

Associate Professor

2005


S
S
M
(a)
S
S
M


(a)
(b)



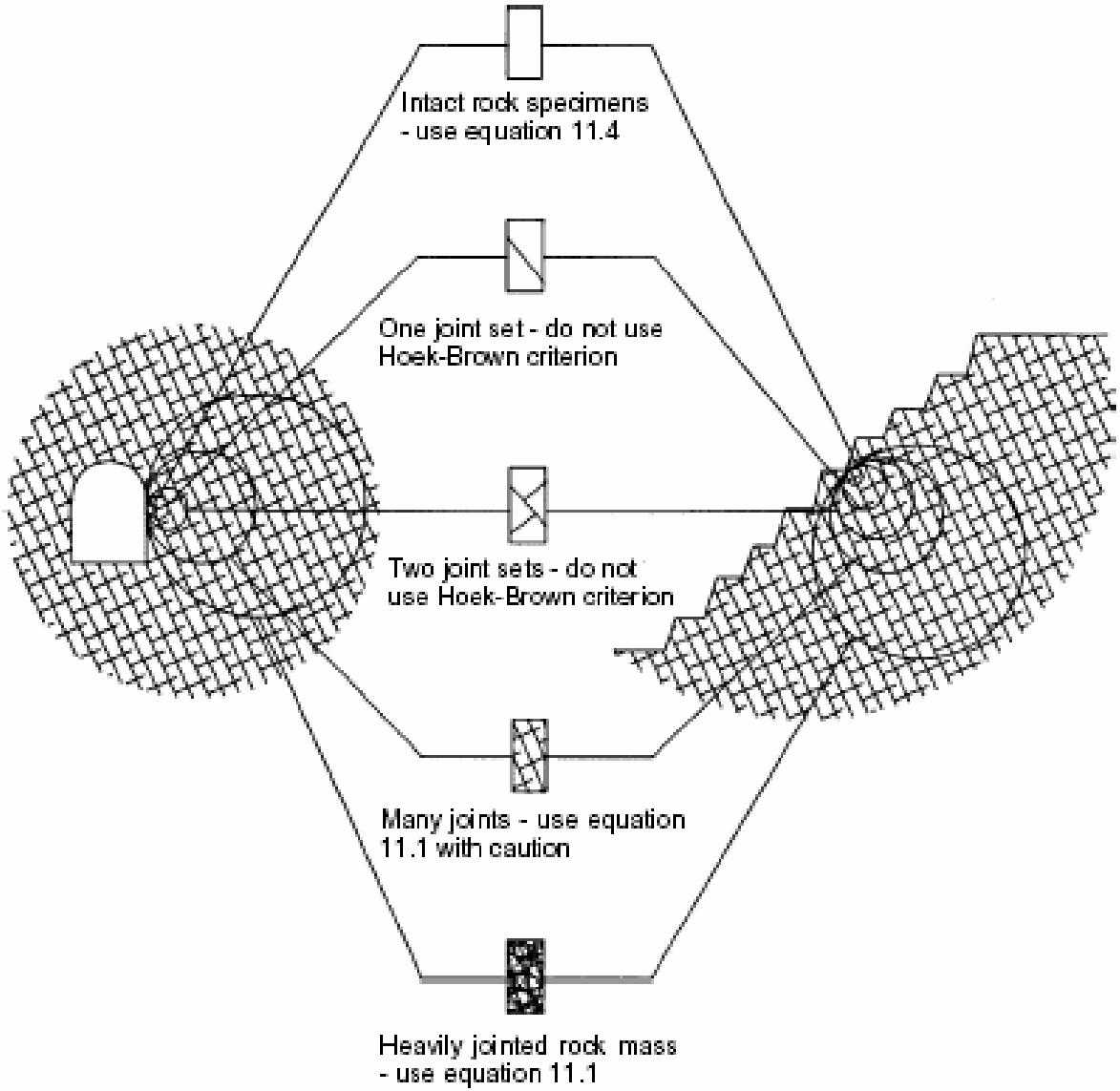


Figure 11.5: Idealised diagram showing the transition from intact to a heavily jointed rock mass with increasing sample size.

ความไม่ต่อเนื่อง

ความไม่ต่อเนื่องในมวลหินหมายถึง

- โครงสร้างที่เป็นชั้นบาง (lamina)
- การวางชั้น (bedding)
- รอยเลื่อน (fault)
- รอยแยก (joint)
- ริ้วขนาน (foliation) ในหินแปร

ความไม่ต่อเนื่องเหล่านี้จะมีผลต่อพฤติกรรมของหิน

รอยแตก (Fissure)

- รอยแตกจะมีขนาดเล็กๆ มักจะอยู่ระหว่างรอยต่อของผลึกแร่ หรือเม็ดแร่ มีขนาดน้อยกว่า 1 ไมครอนจนถึงขนาดมากกว่า 1 มิลลิเมตร รอยแตกจะไม่เหมือนรอยแยก (joint)
- รอยแตกจะมีผลต่อกำลังดึงของหินตามทฤษฎีของกริฟฟิธ

การศึกษาโครงสร้างไม่ต่อเนื่อง

- ชนิด(Type) เช่น ชั้นหิน รอยแยก รอยเลื่อน
- ทิศทางมุมเท (dip direction) มุมเท (dip angle)
- ความยาวของความไม่ต่อเนื่องหากมีการสิ้นสุดของระนาบภายในพื้นที่
- ระยะห่าง (spacing)
- ความกว้างของรอยแตกรอยแยก
- ลักษณะผิวหน้าของระนาบและชนิดและคุณสมบัติของมวลที่แทรกในช่องว่าง (infill material)
- รูปร่างและลักษณะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของระนาบความไม่ต่อเนื่อง

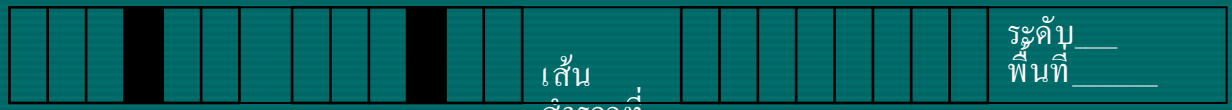
การสำรวจโครงสร้างความไม่ต่อเนื่อง

แผ่นที่ ____

บันทึกโดย_____

วันที่_____

แบริ่งเส้นสำรวจ ทิศมุมเท มุมเท



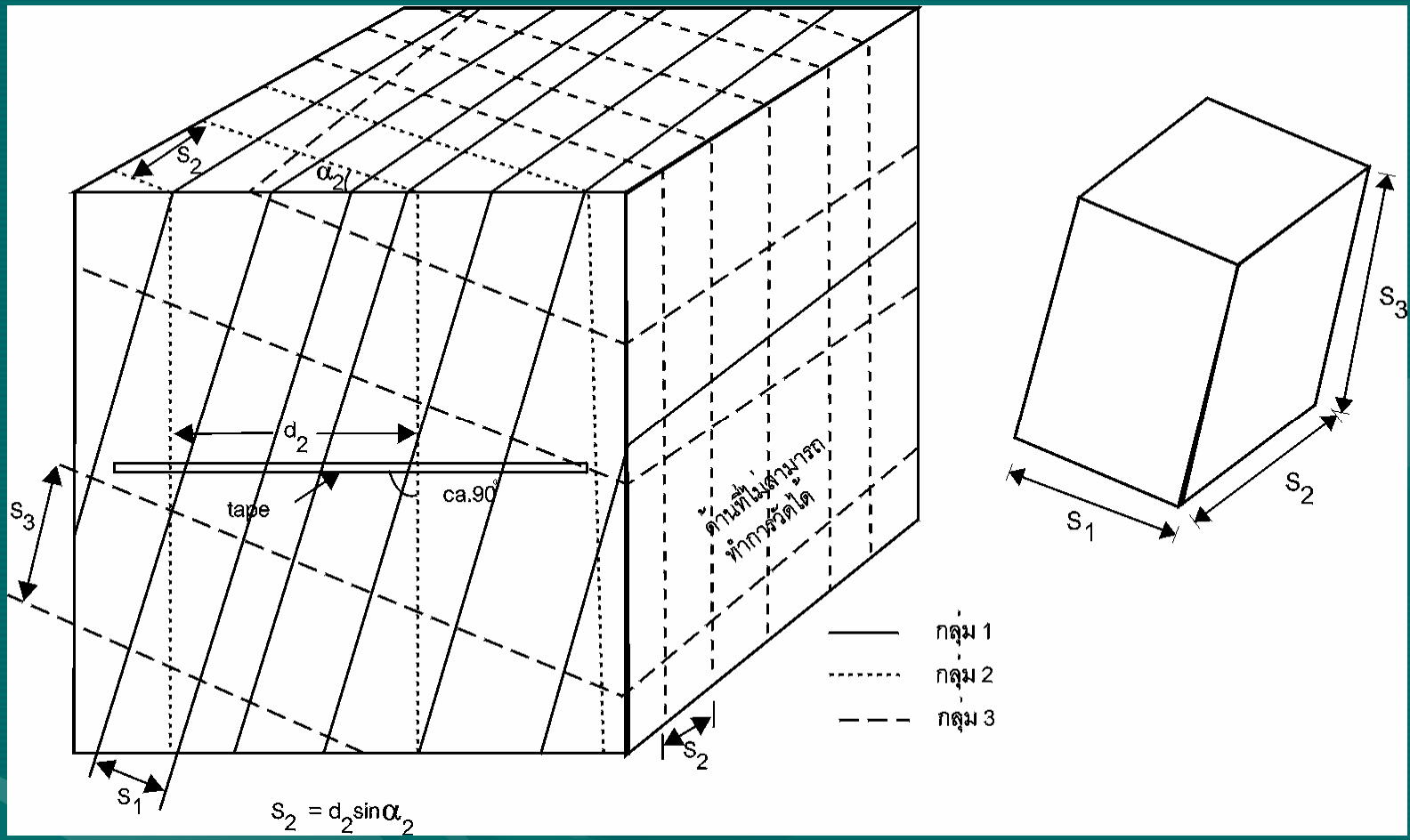
ระยะทาง	ชนิดหิน	โครงสร้าง ชนิด	ทิศมุมเท	มุมเท	รูปเรขาคณิต MD P ยาว ± เหลื่อม สิ้นสุด					ความหนา	วัสดุแทรก	น้ำ	

คำย่อชนิดหิน		ชนิดโครงสร้าง				รูปเรขาคณิต
		SJ	รอยแตกเดี่ยว			P = ระนาบ
		FT	รอยเลื่อน			R = ผิวหยาบขรุขระ
		CT	รอยสัมผัส			S = ผิวเรียบ
						MD = มุมเทน้อยสุด

นำ (W) D= แห้ง W= เปียก F= มีการไหล	การเหลื่อมวัดจากเทประยะ	ระยะสิ้นสุดของระนาบไม่ต่อเนื่อง			
	+ เมื่ออยู่เหนือเทป - เมื่ออยู่ใต้เทปวัดระยะ	H	.>20	R	ในหิน
คำย่อวัสดุแทรก		L	<20	N	ไม่สิ้นสุด
N ไม่มี				E	En Echelon

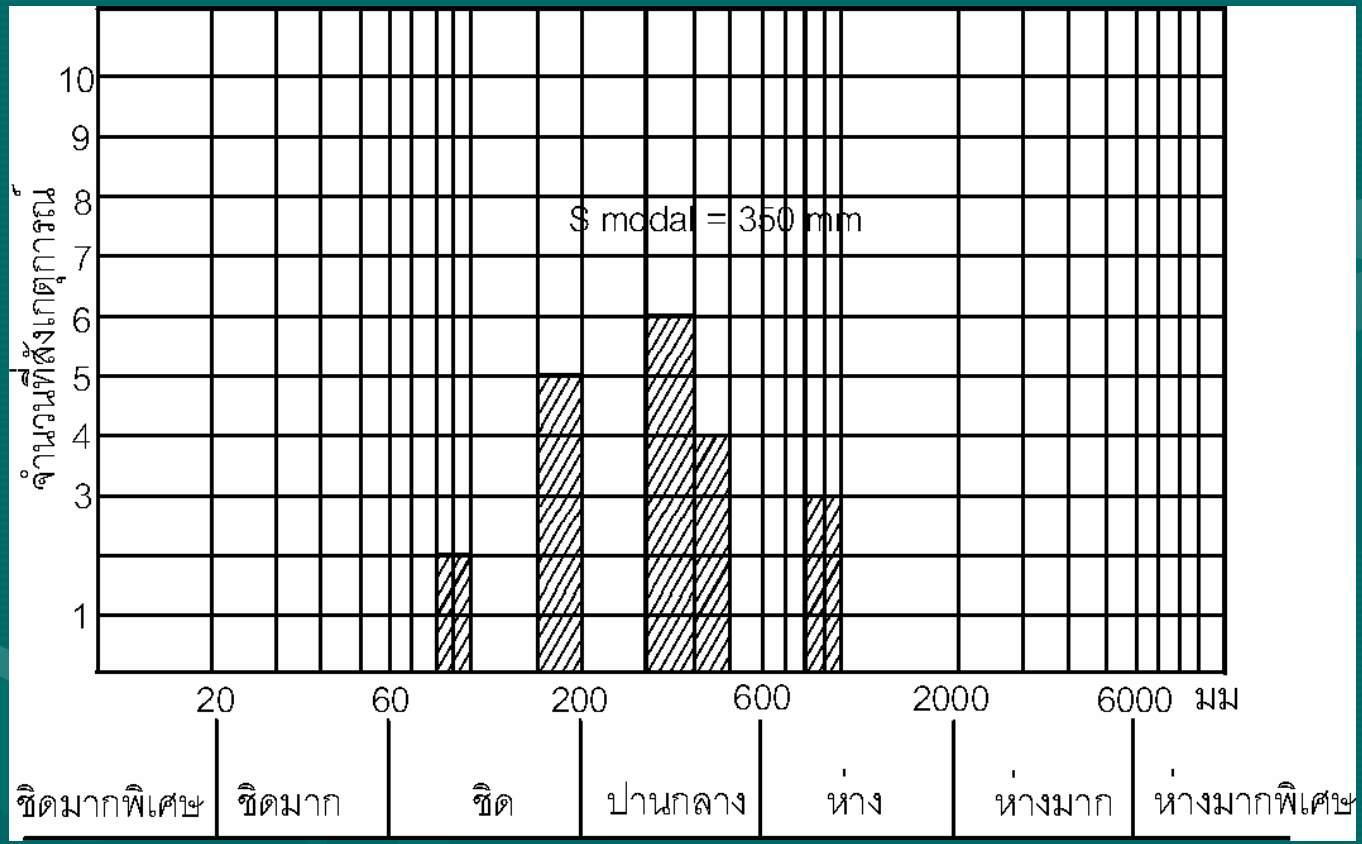
การสำรวจเพื่อสร้างโมเดล

- สำรวจแบบจำกัดพื้นที่
- สำรวจแบบเส้นสำรวจ



การวัดระยะห่างของระนาบไม่ต่อเนื่องโดยวิธีการเส้นสำรวจ (จาก **Brown**, 1981)

ระยะห่าง (spacing)

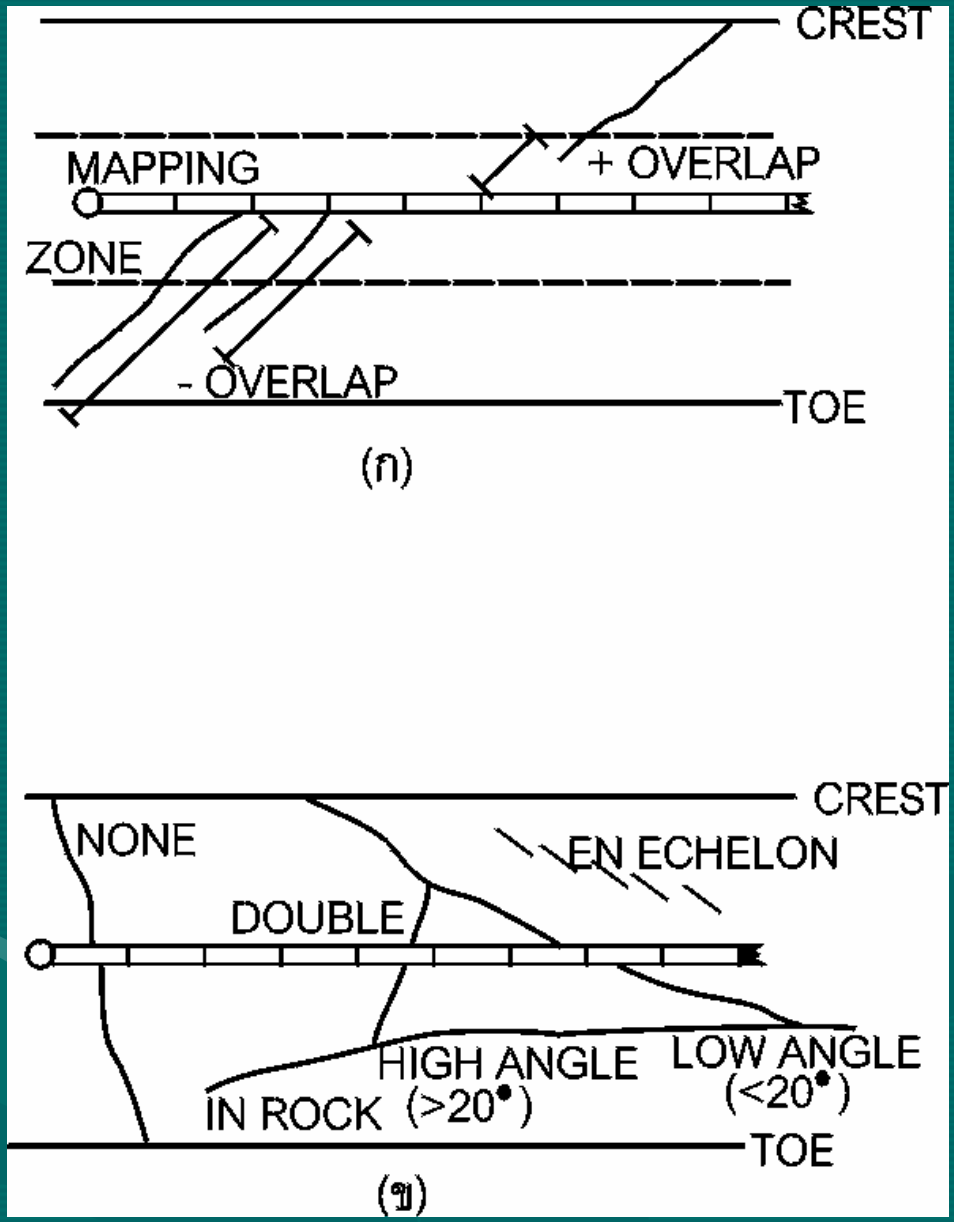


- **การจัดจำแนกขนาดระยะห่างรอยความไม่ต่อเนื่อง (ISRM, 1981)**

ขนาดรอยความไม่ต่อเนื่อง	ระยะห่าง (มม)
ชิดมากพิเศษ	< 20
ชิดมาก	20 - 60
ชิด	60 - 200
ปานกลาง	200 - 600
ห่าง	600 - 2000
ห่างมาก	2000 - 6000
ห่างมากพิเศษ	> 6000

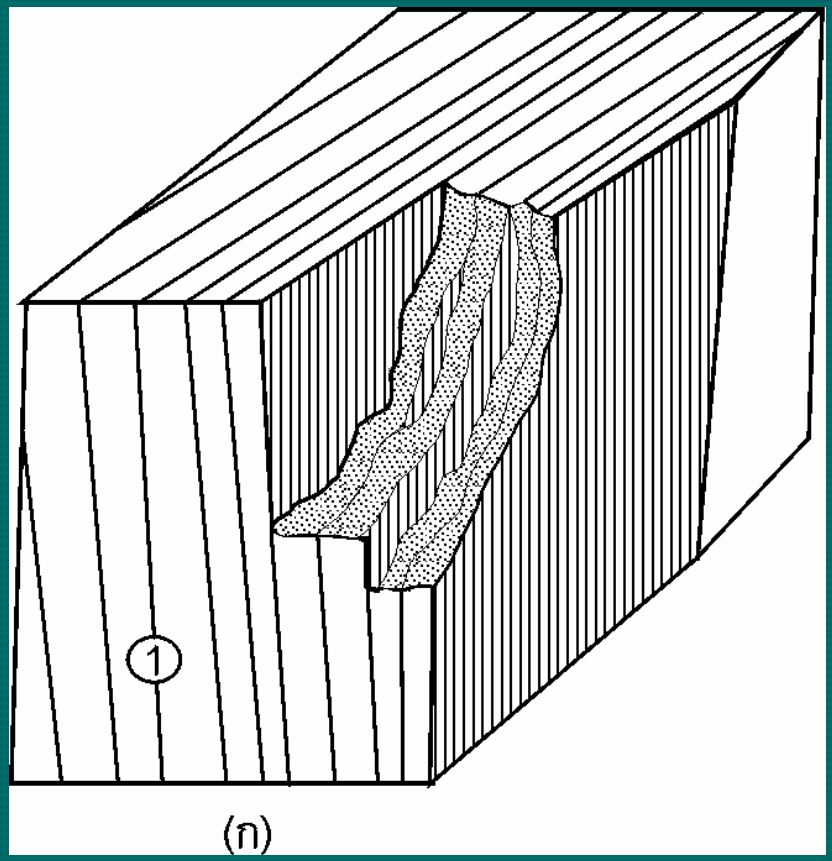
ความสัมพันธ์ ชนิด -ระยะห่างของรอยแยก

- จากการศึกษาของ Schneider (1967)จากเขื่อนสองแห่ง พบว่า
  - รอยเลื่อน มีขนาดตั้งแต่ 10 เมตร – 0.5 กิโลเมตร
  - interlayer slip (shear plane) ขนาด 1-10 มตร
  - รอยแยก 5 เซนติเมตร – 10 เมตร
  - รอยแตก (fissure or crack) 2 มิลลิเมตร – 1 เมตร

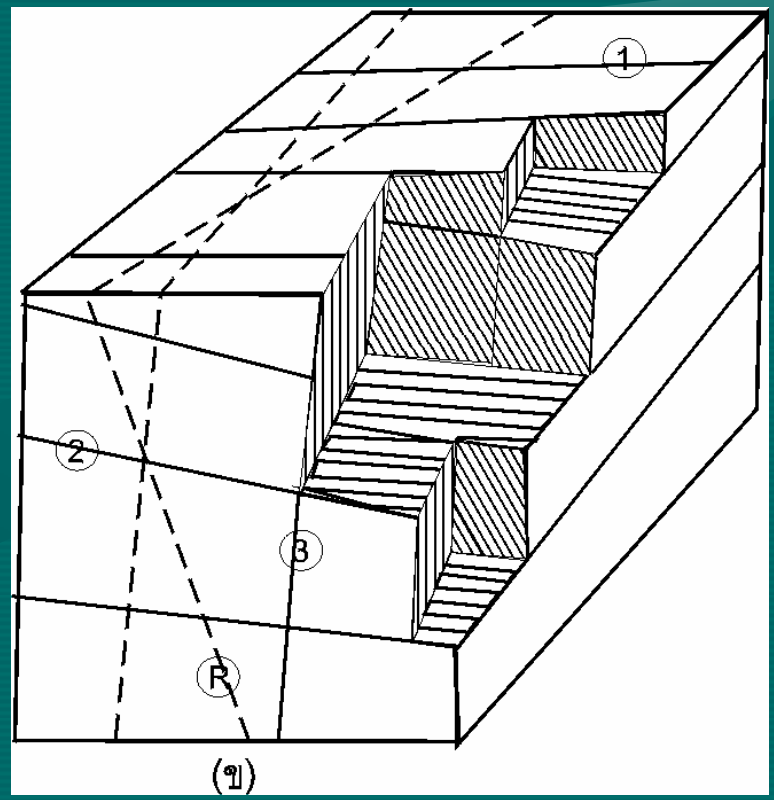


ระยะเหลื่อม

ระยะสิ้นสุด



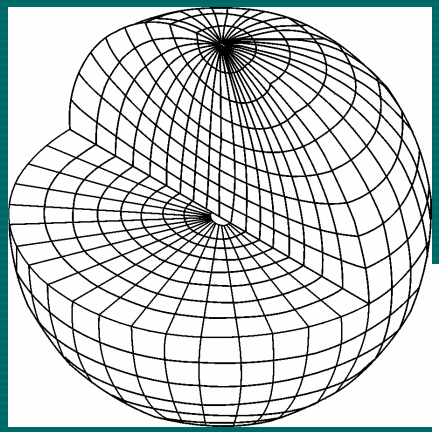
(ก)

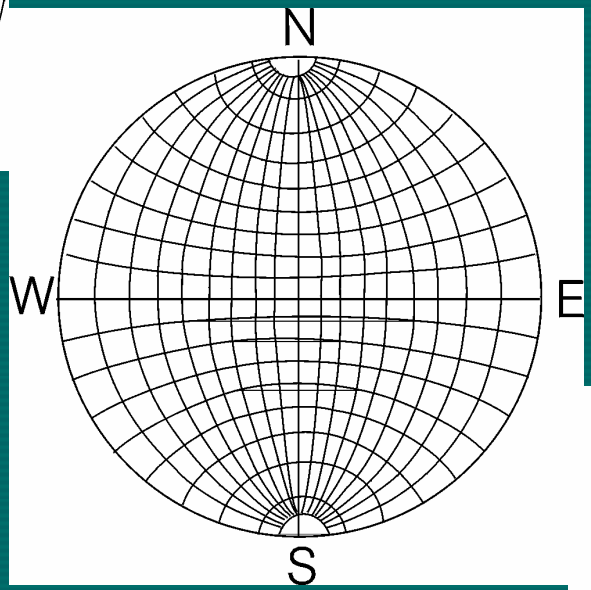


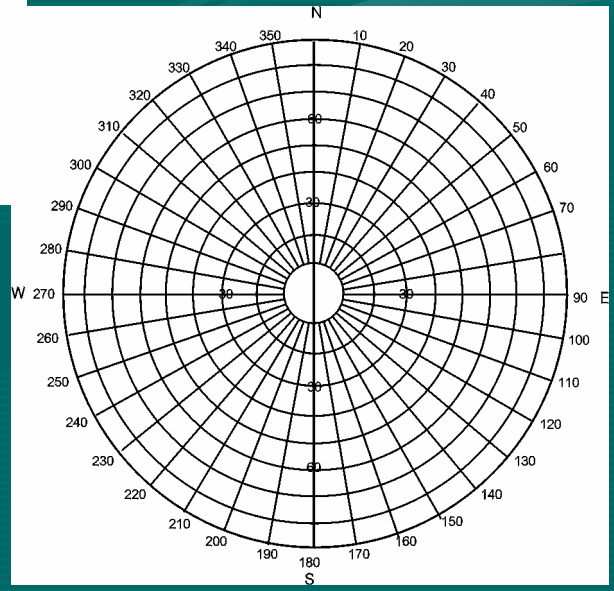
(ข)

การวางตัวของรอยแยก (Joint Orientation)

- การหาการกระจายตัวและทิศทางของรอยแยกจะหาได้จาก การใช้ตาข่ายมิติ ซึ่งอาจใช้ตาข่ายแบบ เมอริเดียน (พล็อตแบบระนาบ) หรือ แบบโพลาร์ (พล็อตแบบจุด)
- ตาข่ายมีสองแบบคือ
  - ตาข่ายแบบมุมเท่า (Wulff net)
  - ตาข่ายแบบพื้นที่เท่า (schmidt net)




N
W
E
S


N
10
20
30
40
50
60
70
80
90
E
100
110
120
130
140
150
160
170
180
S
190
200
210
220
230
240
250
260
W
270
280
290
300
310
320
330
340
350
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350

เครื่องมือใช้ในการนับเพื่อสร้างเส้นชั้นความหนาแน่นของแนวแตกพล็อตในตาข่ายเมอริเดียน

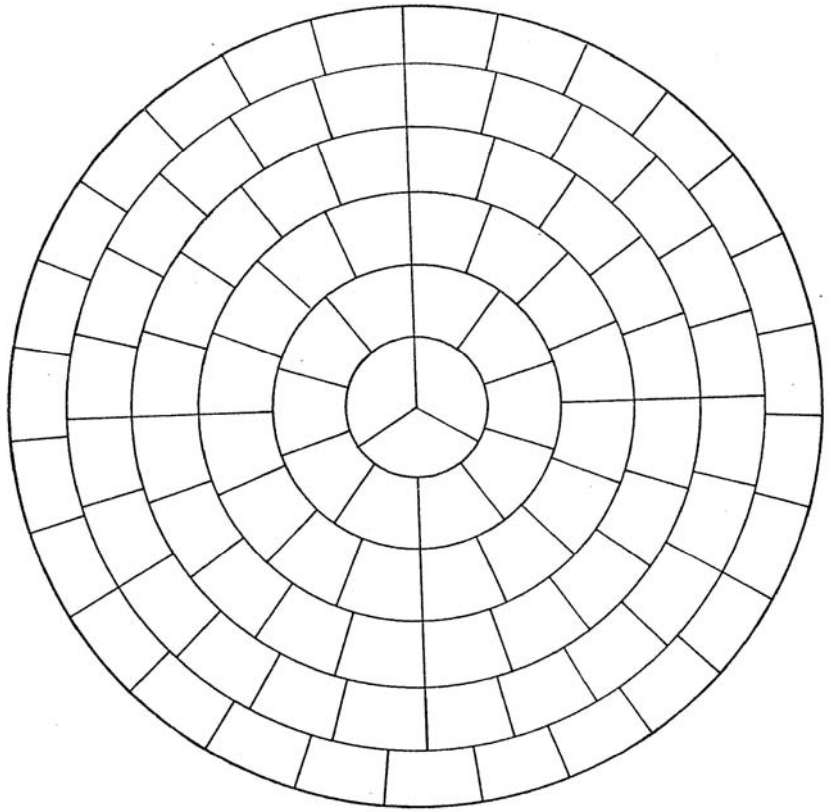


Figure 17 : Denness type B curvilinear cell counting net.

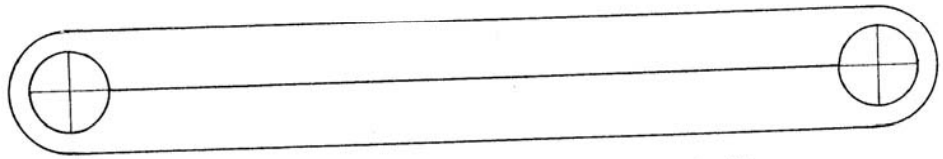
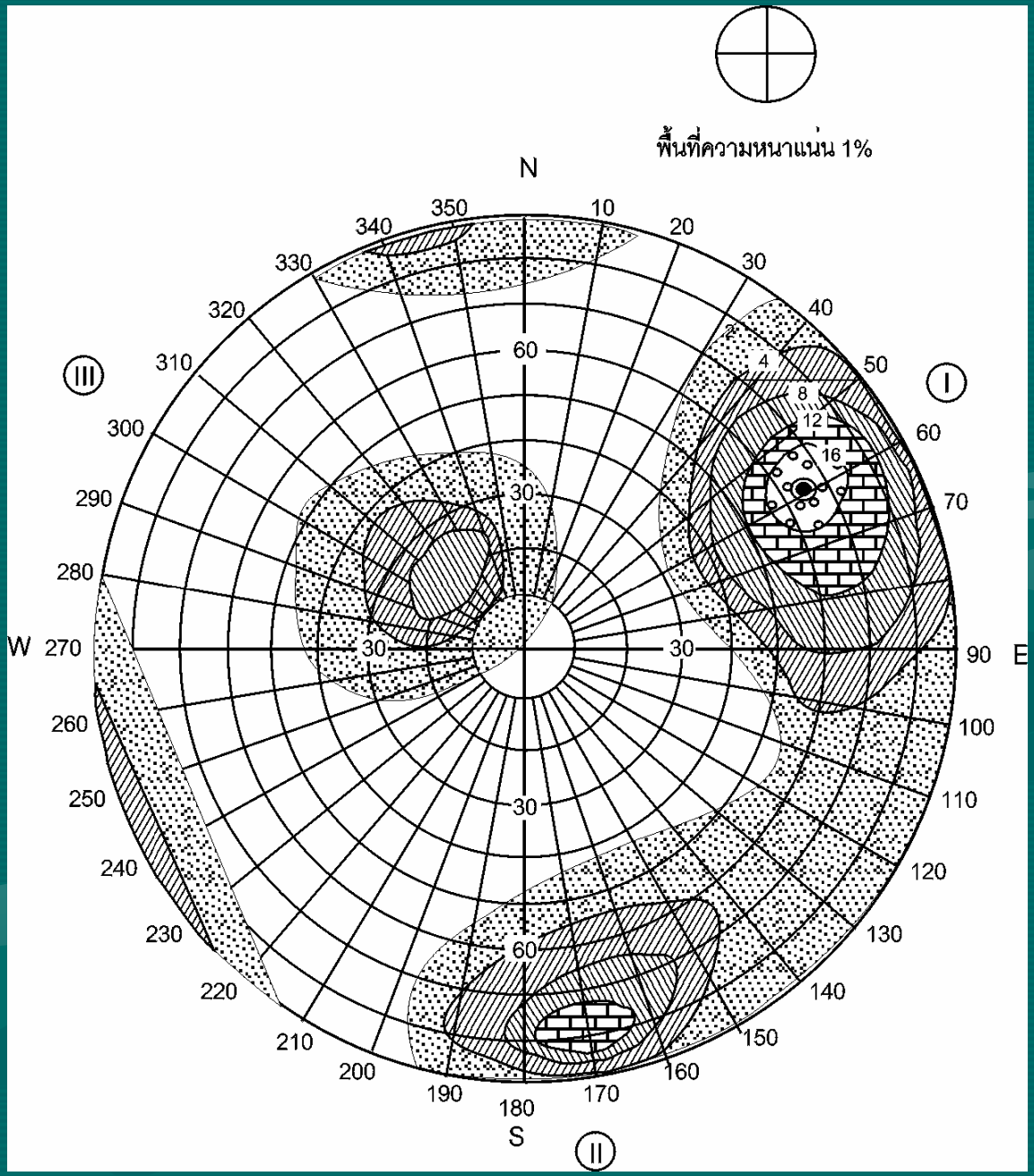


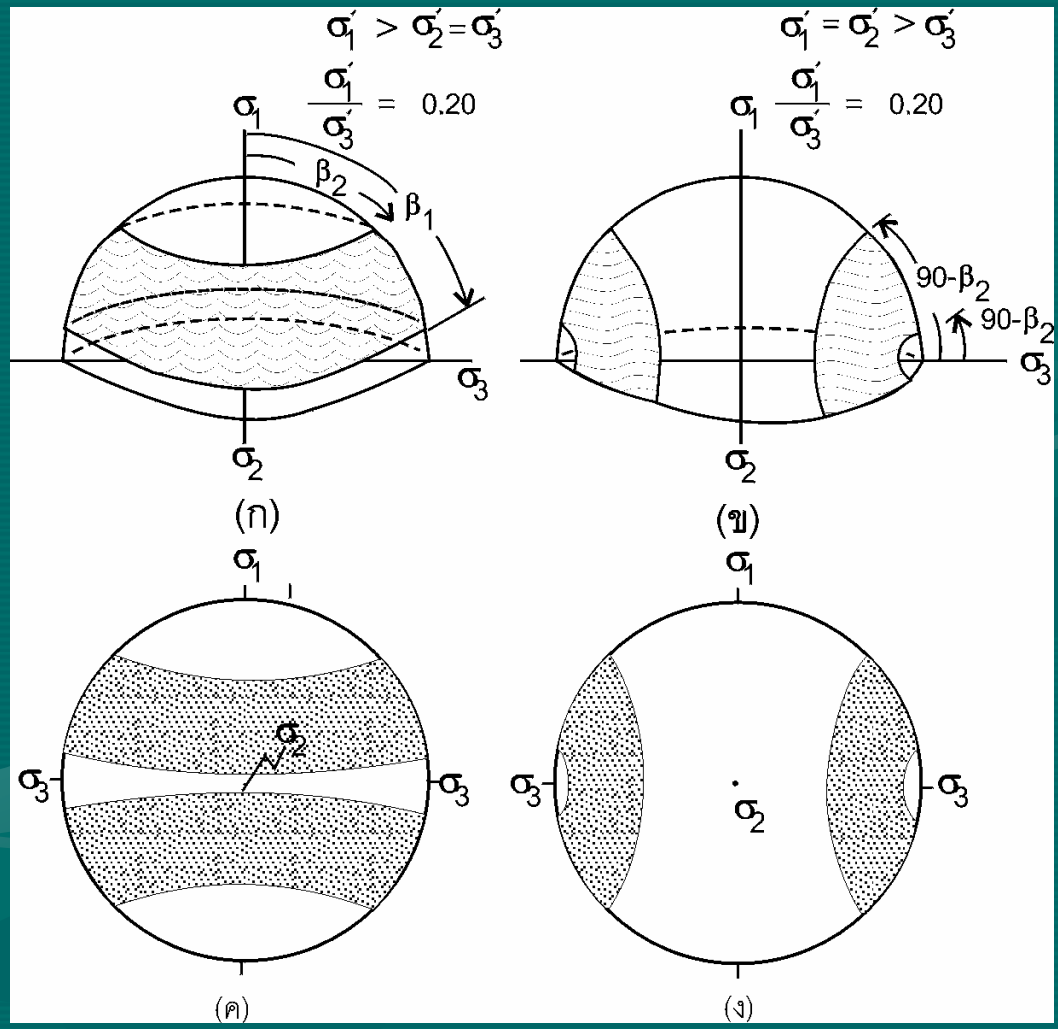
Figure 18 : Counting circles for use in contouring pole plots.


พื้นที่ความหนาแน่น 1%
N
S
W
E
I
II
III
10
20
30
40
50
60
70
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350
60
30
30
30
60
2
4
8
12
16

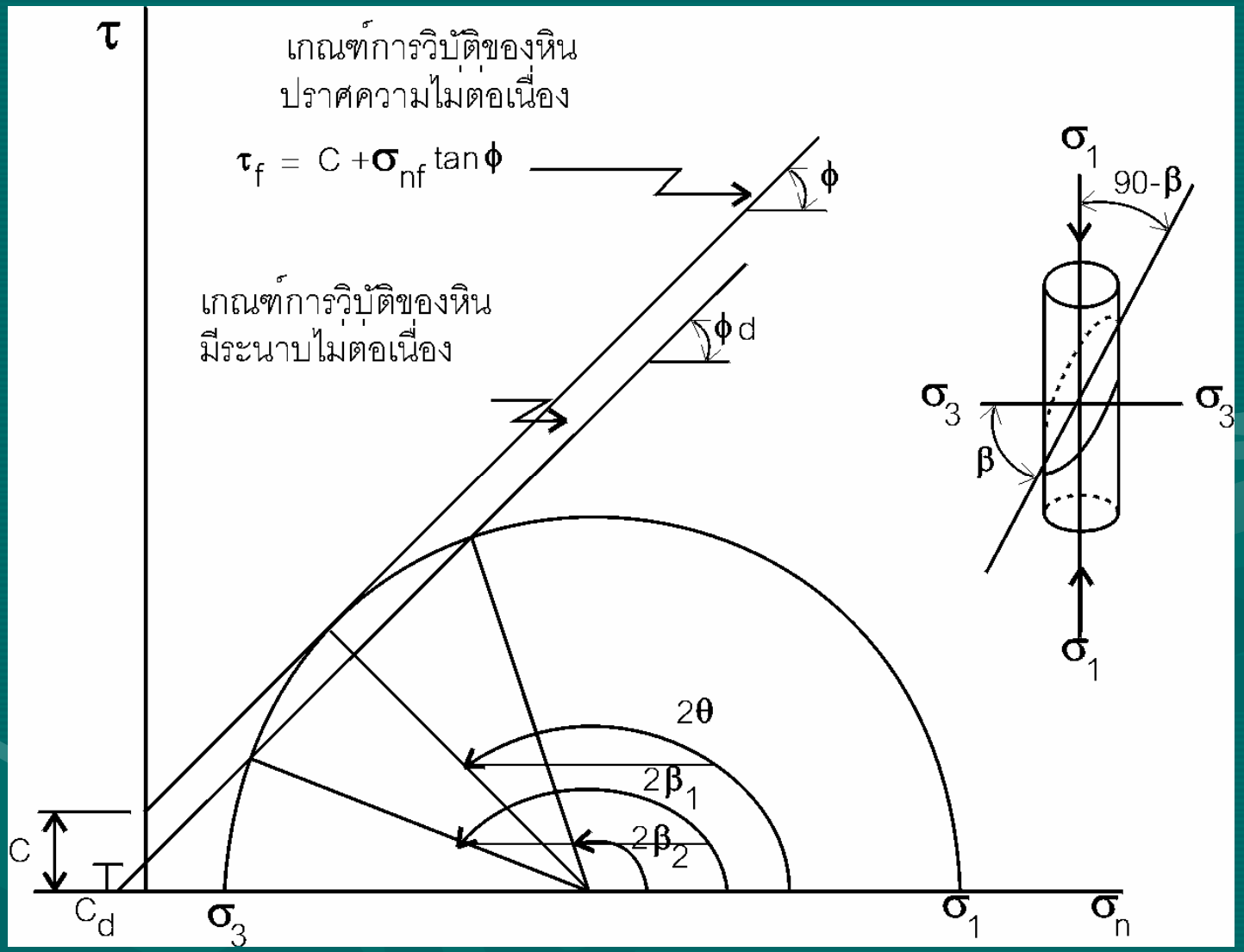
ผลของแนวไม่ต่อเนื่องที่มีต่อพฤติกรรมของหิน

ผลของ ความเค้นหลักค่ากลาง σ_2

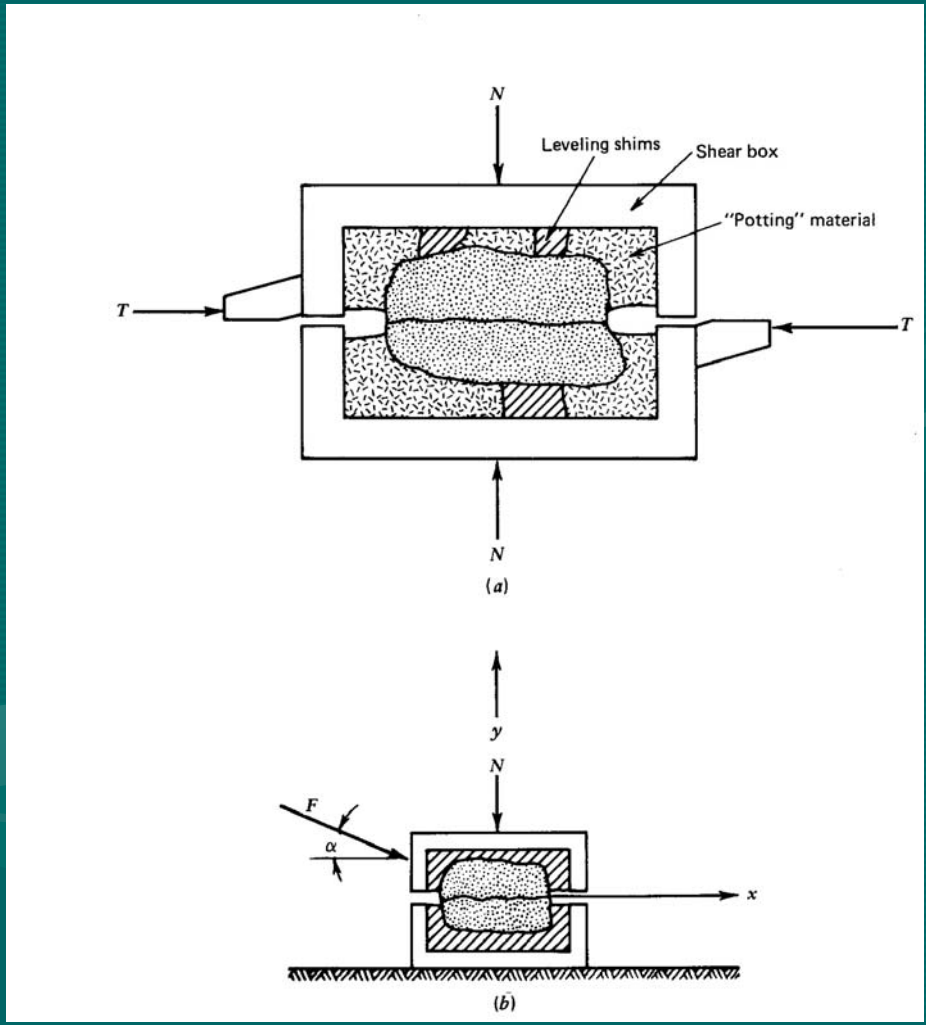
ถ้า $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ แกนของความเค้นปกติบนระนาบที่จะเกิดการวิบัติเลื่อนไถล จะทำมุม β กับ σ_1



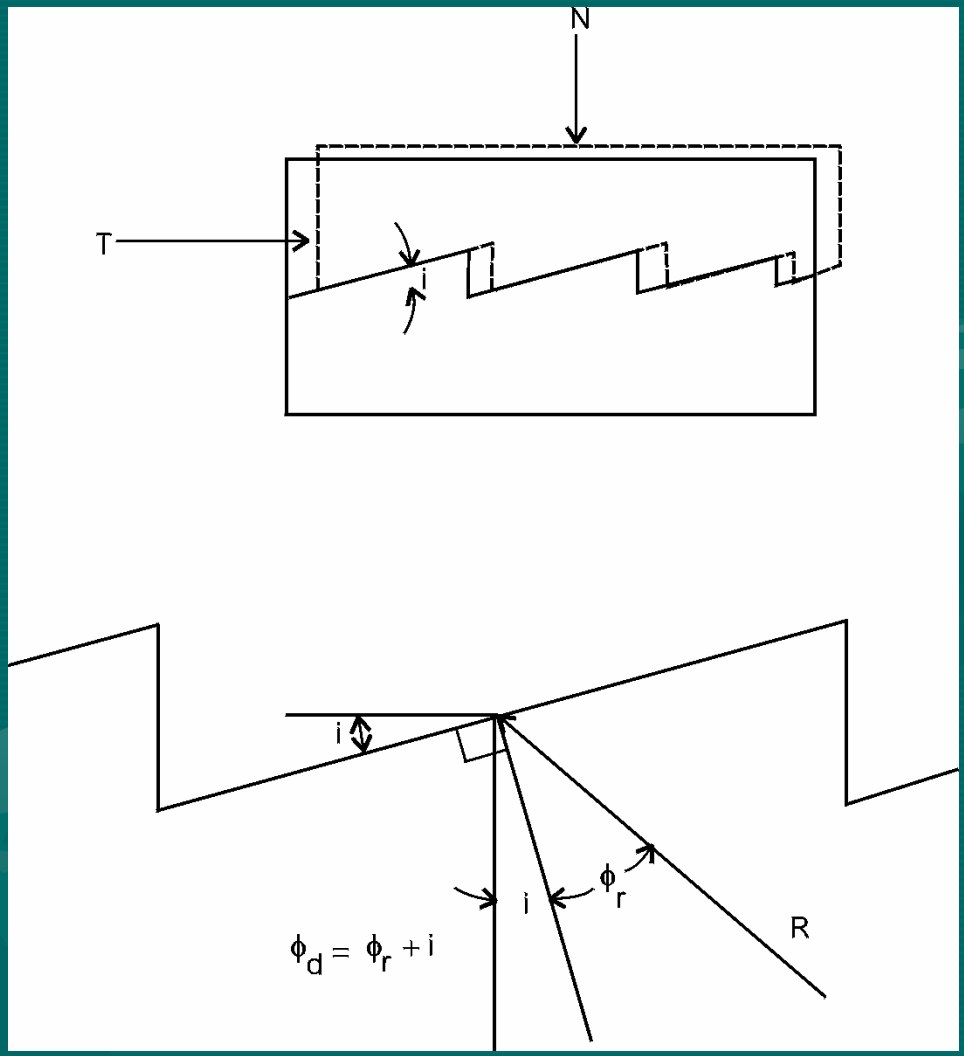
ถ้า $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ แกนของความเค้นปกติบนระนาบที่จะเกิดการวิบัตินั้นทำมุม β ระหว่าง 90- β_1 และ 90- β_2 กับแกน σ_3


τ
เกณฑ์การวิบัติของหิน
ปราศความไม่ต่อเนื่อง
$\tau_f = C + \sigma_{nf} \tan\phi$
ϕ
เกณฑ์การวิบัติของหิน
มีระนาบไม่ต่อเนื่อง
ϕ_d
σ_1
90-β
σ_3
σ_3
β
σ_1
2θ
$2\beta_1$
$2\beta_2$
C
C_d
σ_3
σ_1
σ_n

การทดสอบกำลังเฉือนของรอยแยก



ผลของผิวขรุขระ



เกณฑ์การวิบัติของ Patton

เกณฑ์กำลังเฉือนแบบทวิ

เมื่อความเค้นตั้งฉากมีค่าต่ำ

$$\tau'_d = \sigma'_{nd} \tan\left(\phi_r + i\right)$$

เมื่อความเค้นตั้งฉากมีค่าสูง

$$\tau'_d = c_d + \sigma'_{nd} \tan\phi_r$$

$$\tau'_i = \sigma'_{ni} \tan \phi_r$$

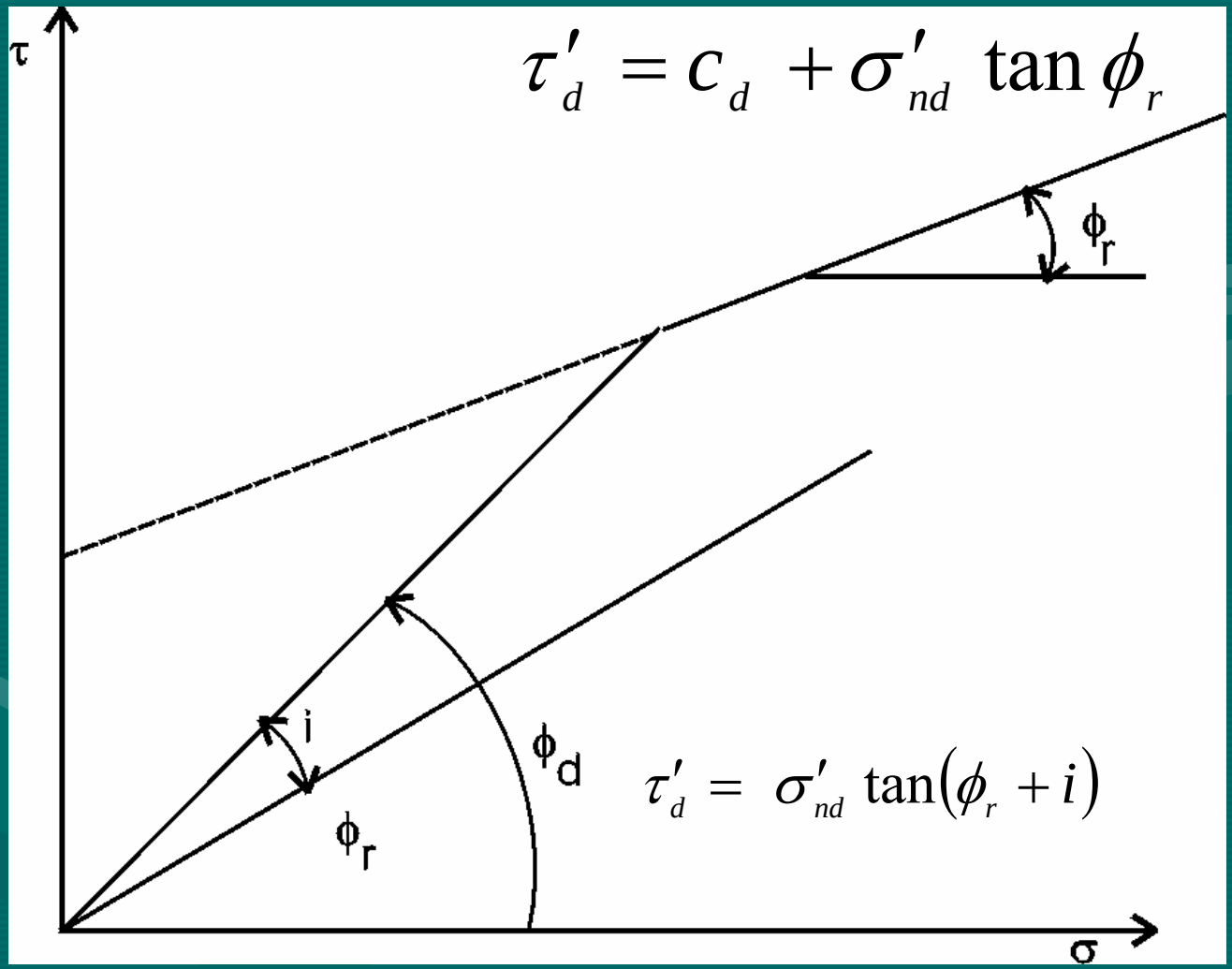
ϕ_r = มุมเสียดทานภายในของผิวเรียบ

$$\tau'_d = \sigma'_{nd} \tan \phi_r$$

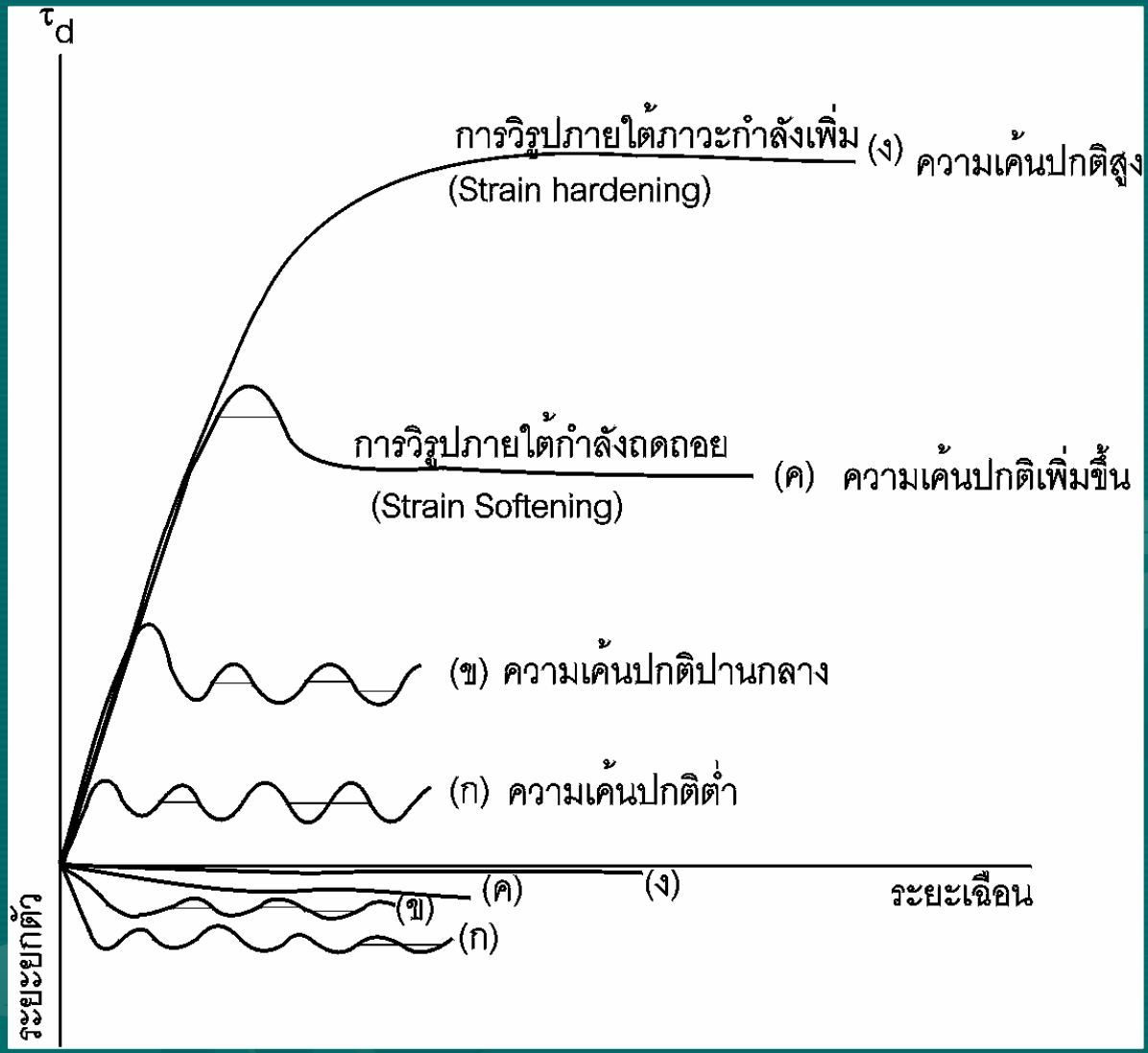
$$\frac{\tau'_d}{\sigma'_{nd}} = \left(\frac{\tau'_i \cos i + \sigma'_{ni} \sin i}{\sigma'_{ni} \cos i - \tau'_i \sin i} \right) = \tan \phi_d$$

$\tan\phi d = \tan(\phi r + i)$

เกณฑ์กำลังเฉือนทวิ (Bilinear shear strength)



Patton

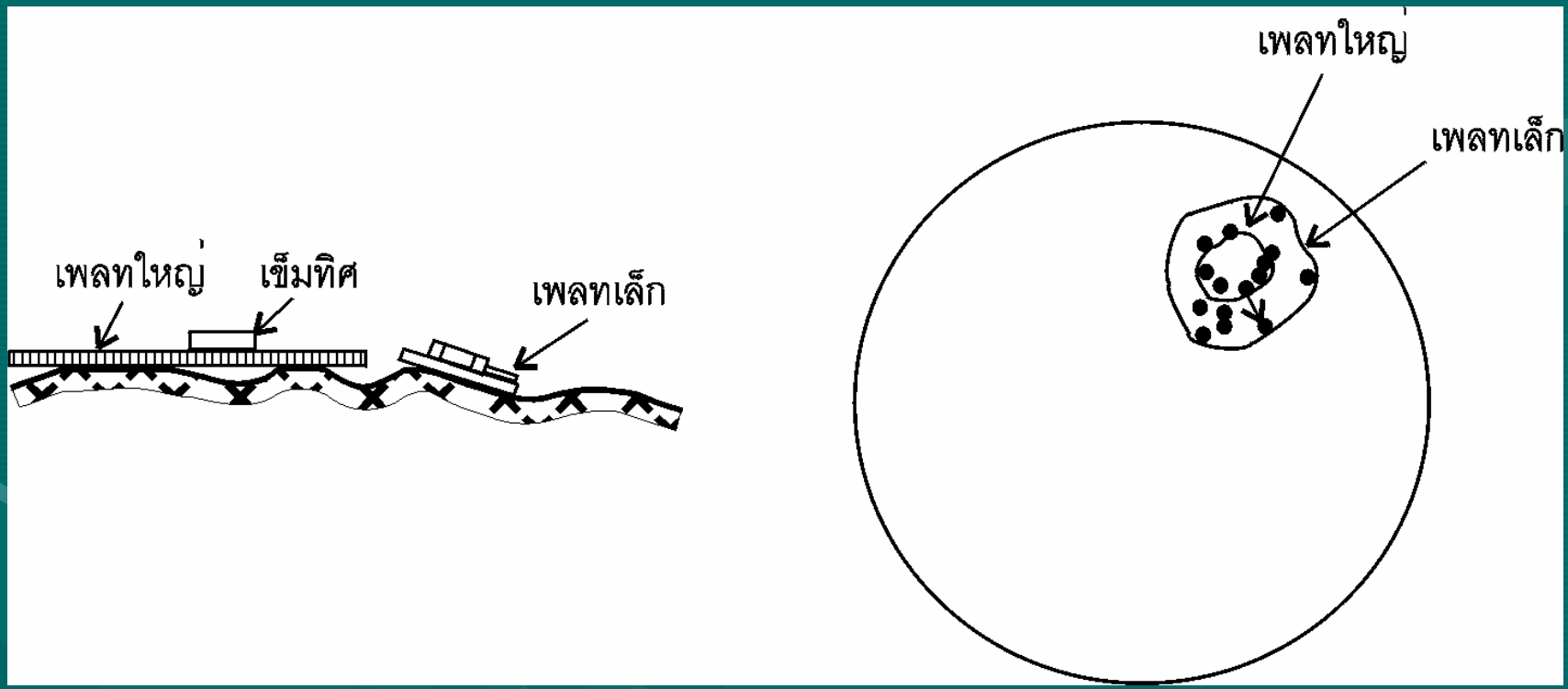


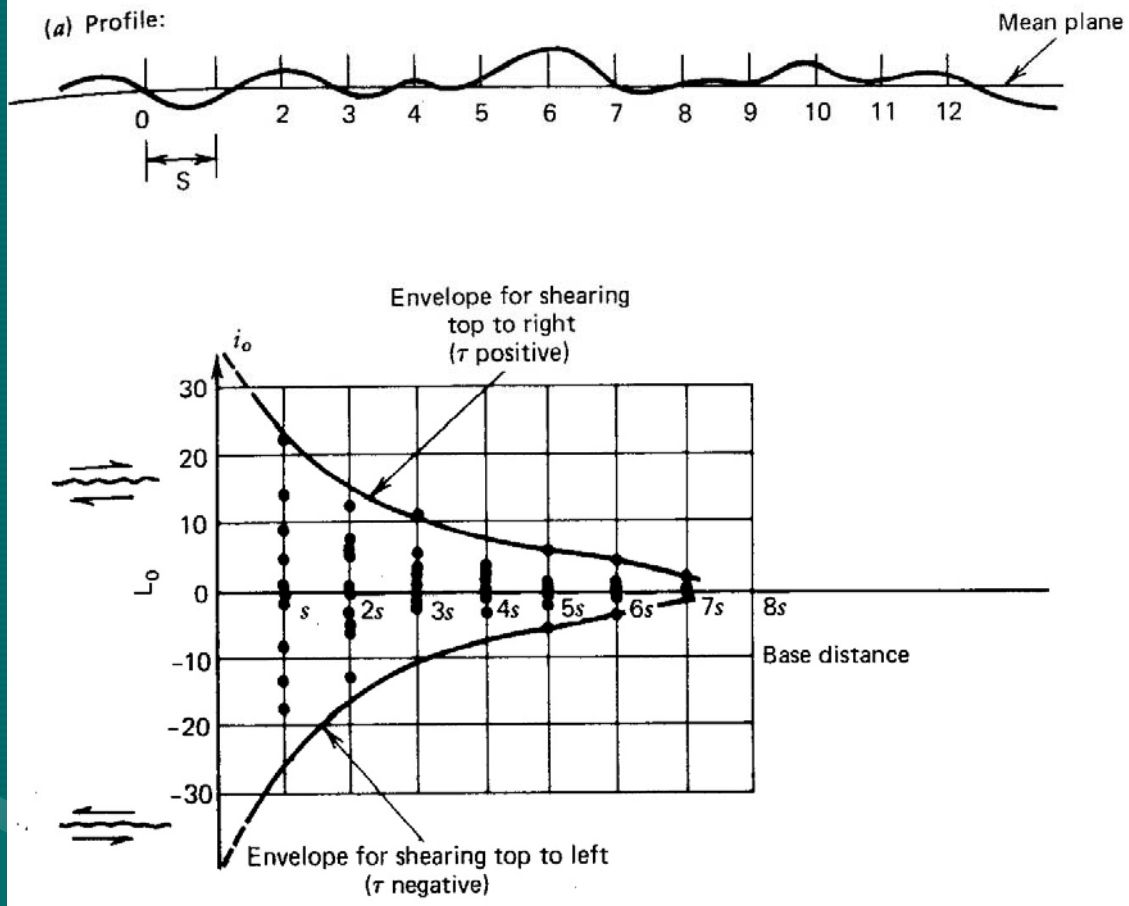
ผลของมุมหยักต่อการวิรูปของหินที่ภาวะความเค้น (ก) ระดับต่ำ (ข) ระดับปานกลาง (ค) ระดับเพิ่มสูง (ง) ระดับสูง

แสดงค่า ϕ_r ของหินและวัสดุแทรกระหว่างระนาบไม่ต่อเนื่อง จาก Hoek (1970)

ชนิดของหิน	ϕ_r	วัสดุแทรก	ϕ_r
หินแกรนิต	31 - 33	ผงรอยเลื่อน	10 - 20
หินปูน	33 - 37	แคลไซต์	20 -27
หินทราย	25 - 34	Breccia	22 - 30
หินควอตไซต์	26 - 34	มวลรวมหิน	40
หินดินดาน	27 - 32	-	-

การหามุมหยัก (i) บนผิวรอยแยก




(a) Profile:
Mean plane
0
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
S
Envelope for shearing top to right (τ positive)
i_o
30
20
10
0
-10
-20
-30
L_o
s
2s
3s
4s
5s
6s
7s
8s
Base distance
Envelope for shearing top to left (τ negative)
(b)

Ladanyi และ Archambault (1969)

$$\tau_d = \frac{\sigma'_{nd}\left(1-a_s\right)\left(d\varepsilon_v/d\varepsilon_s + \tan\phi_r\right)+a_s\tau_f}{1-\left(1-a_s\right)\left(d\varepsilon_v/d\varepsilon_s\right)\tan\phi_r}$$

- a_s = เป็นสัดส่วนของพื้นที่ระนาบไม่ต่อเนื่องที่เฉือนผ่านรอยแยก
- $d\varepsilon_v / d\varepsilon_s$ = อัตราการยกตัว (dilation rate) ที่กำลังเฉือนสูงสุด (peak)
- τ_f = กำลังเฉือนของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง

กำลังเฉือนของมวลหินที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง

เกณฑ์กำหนดการวิบัติของหินตามแนวแตกของ Barton

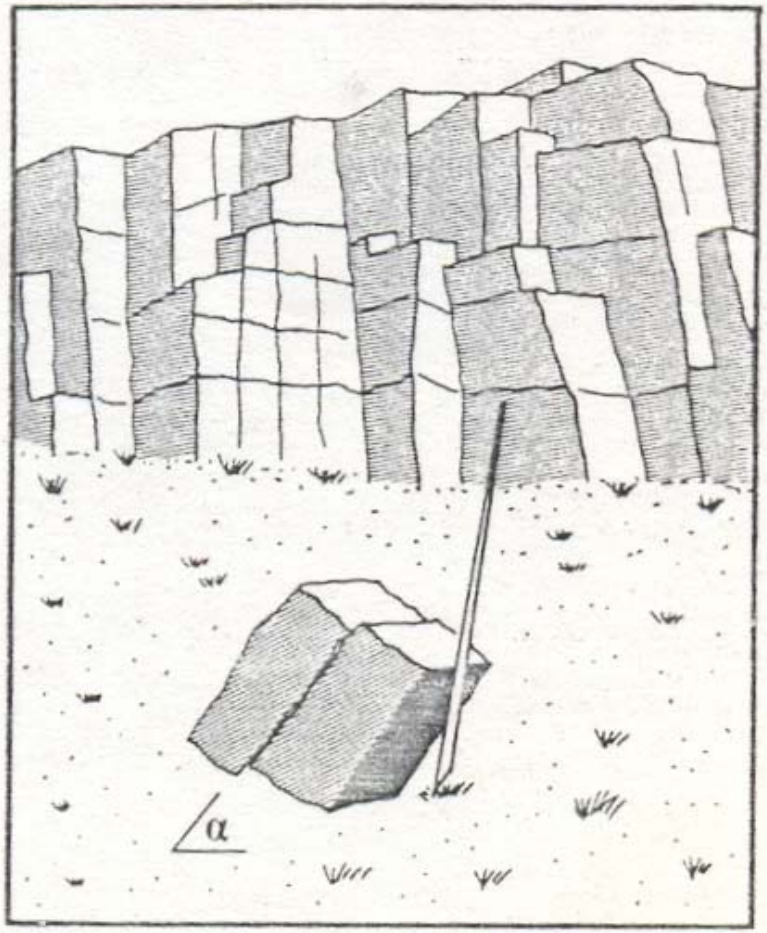
Barton (1973)

$$\tau'_d = \sigma'_{nd} \tan\left[JRC \log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma'_{nd}} \right) + \phi_r \right]$$

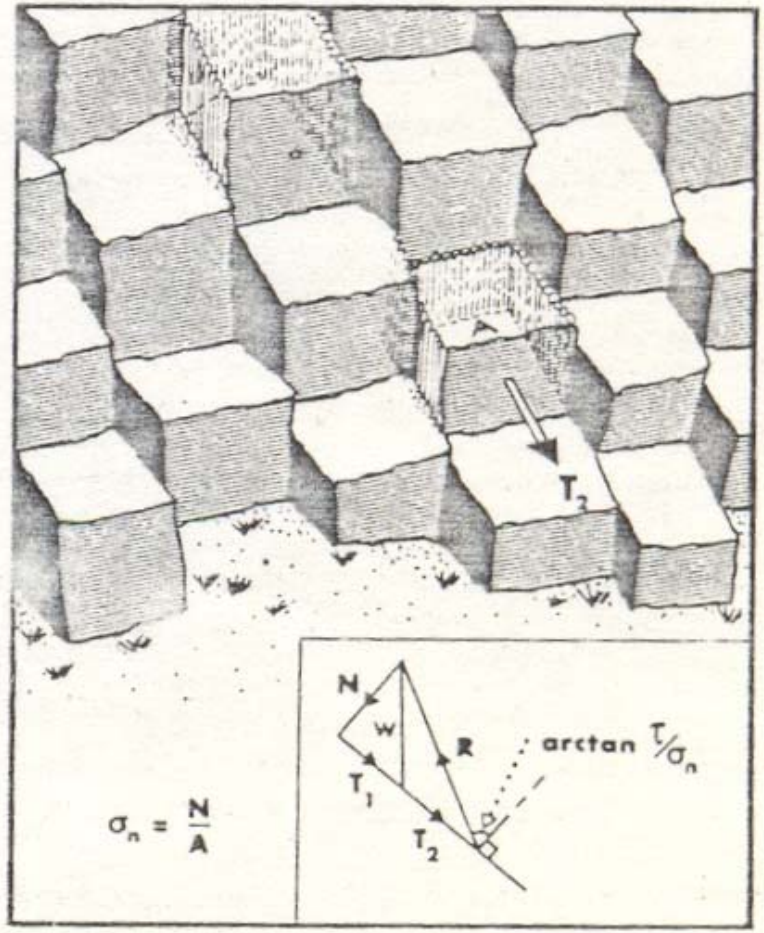
- JRC = สัมประสิทธิความขรุขระของผิวรอยแยก
- JCS = กำลังกดประสิทธิผลของผิวรอยแยก

การหามุมเสียดทานภายในของแนวแตกในมวลหิน

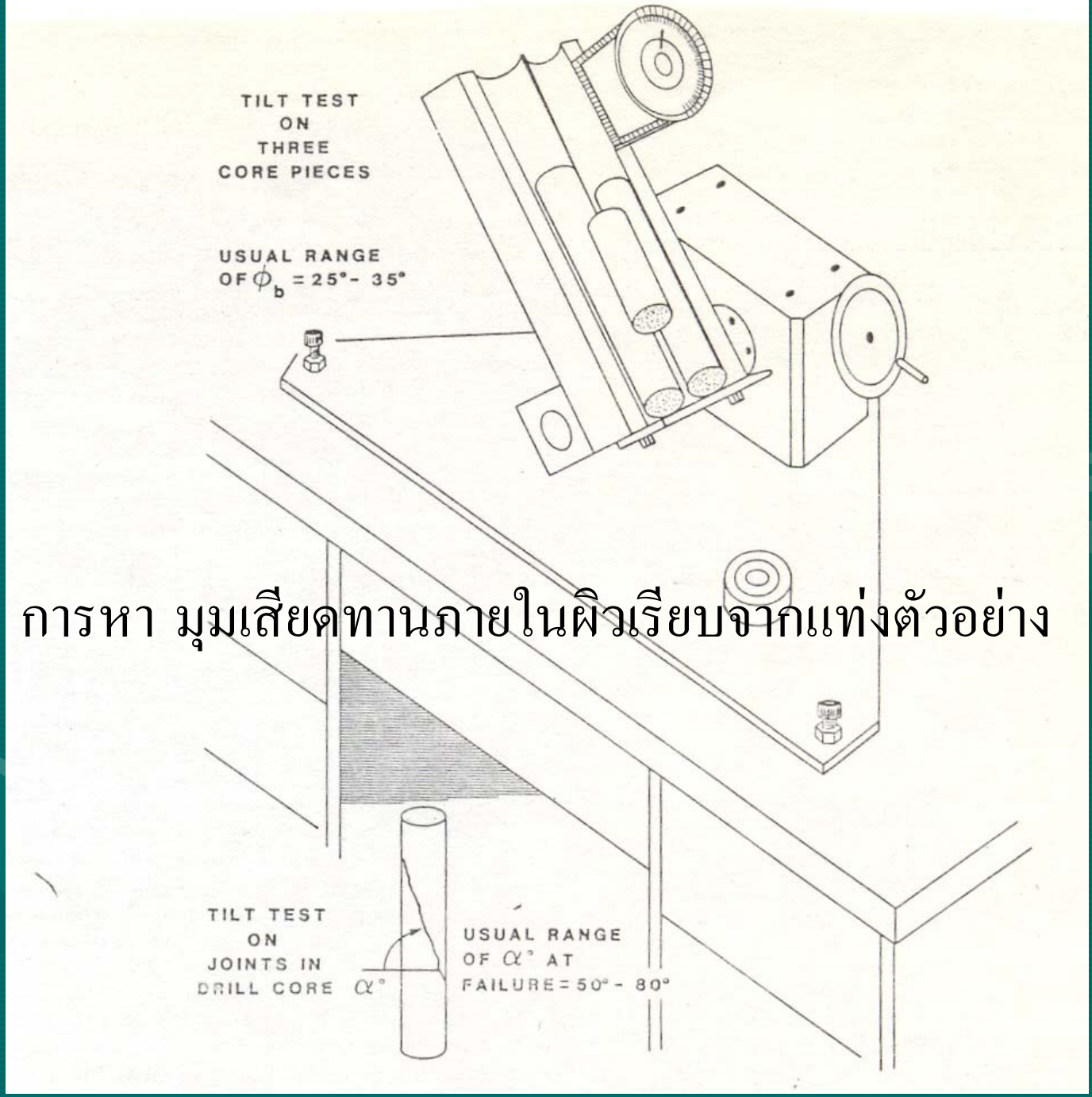
- การทดสอบแบบ tilt test ในสนาม
- การทดสอบแบบ pull test ในสนาม



(a) TILT TEST

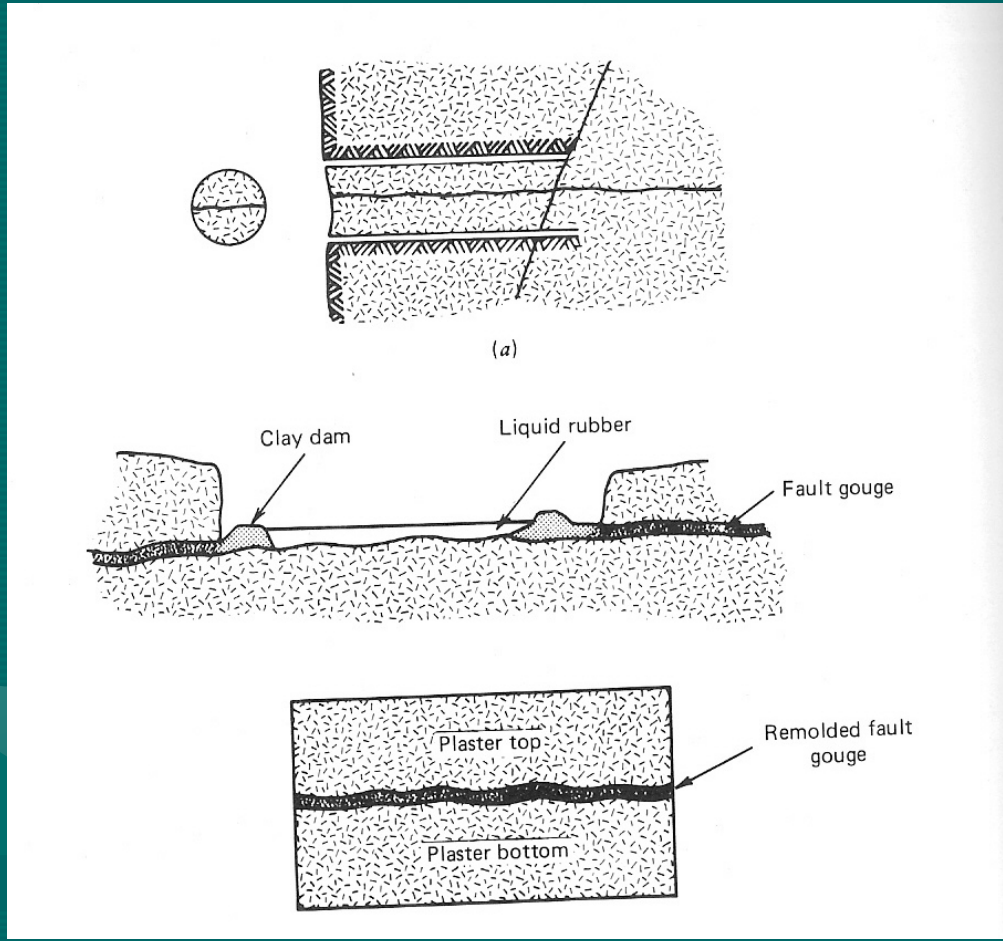


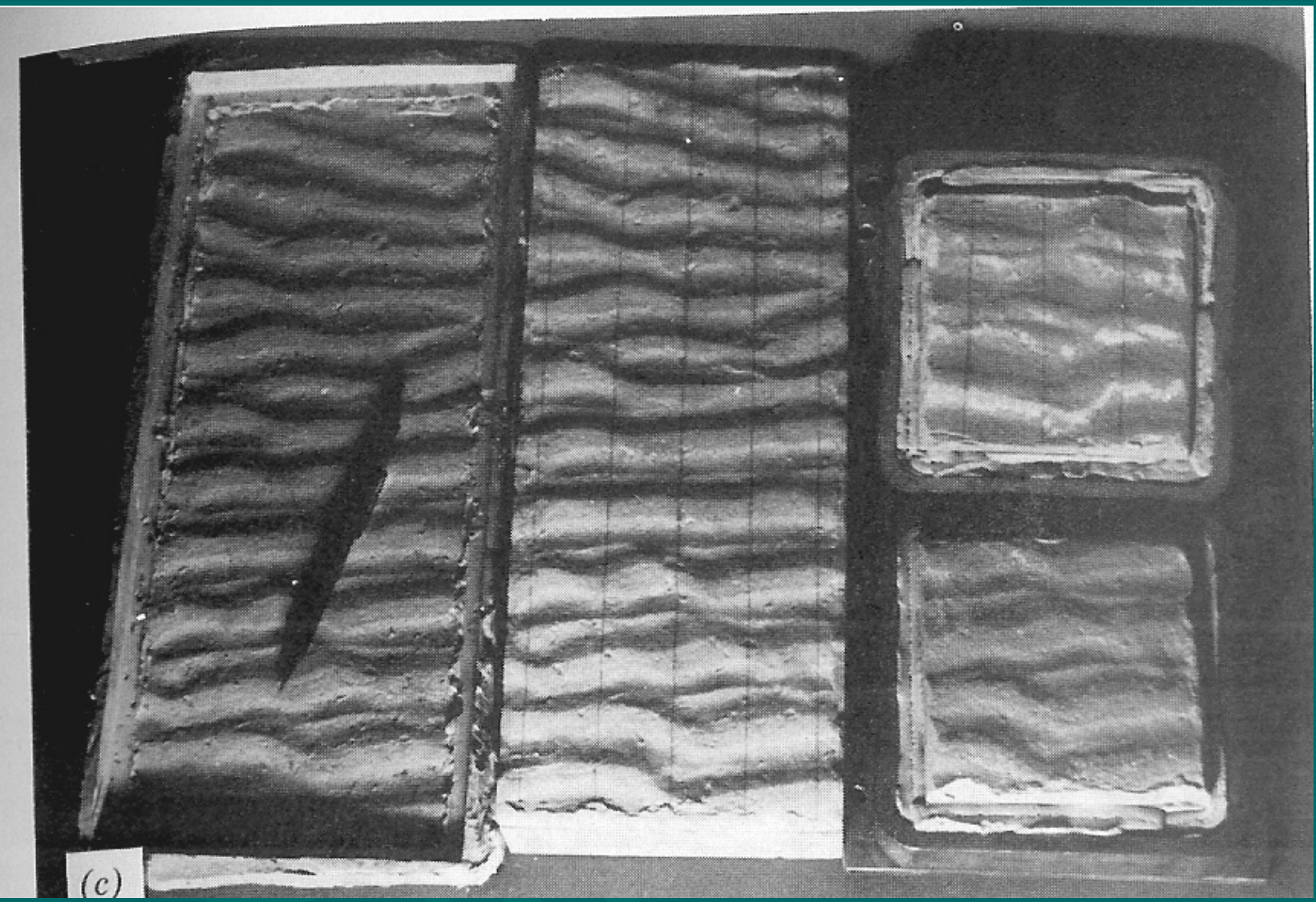
(b) PULL TEST

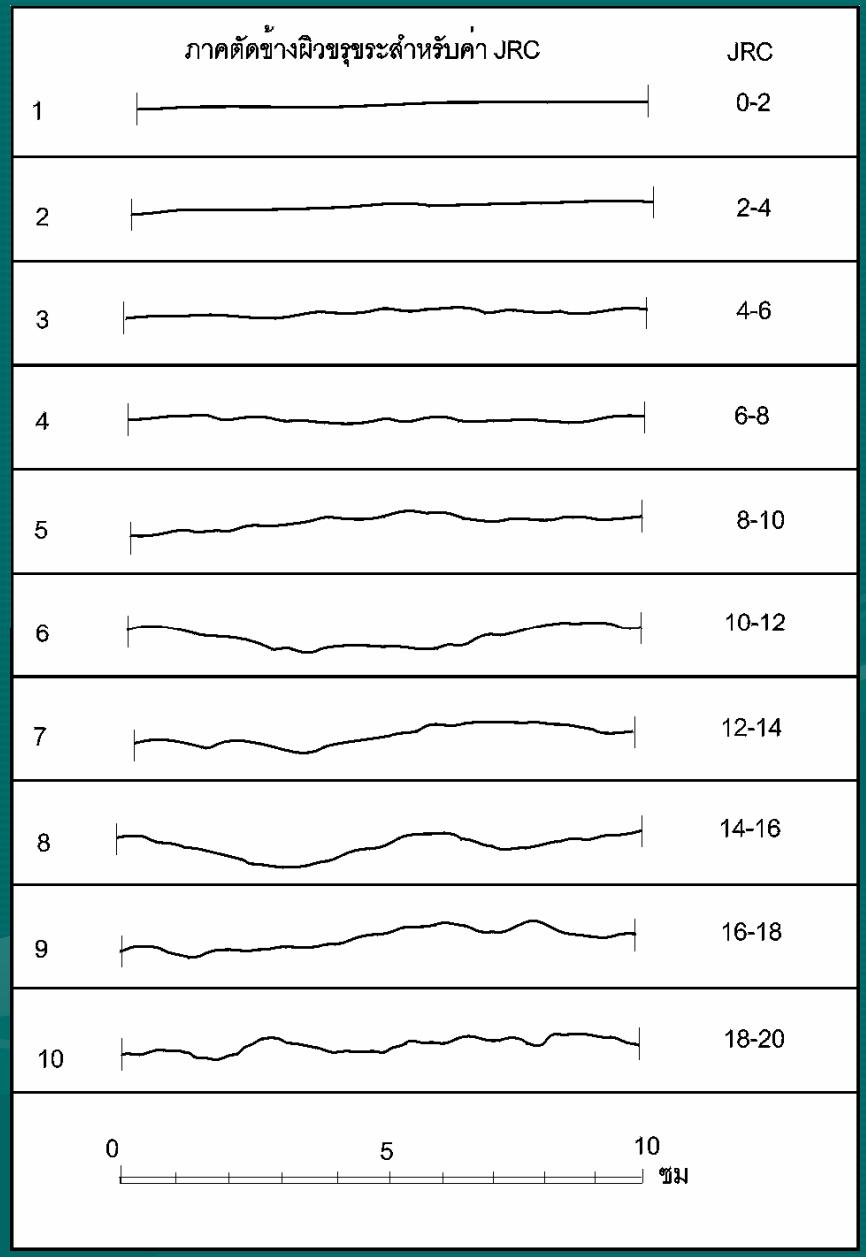


การหา มุมเสียดทานภายในผิวเรียบจากแท่งตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลผิวหน้ารอยแยก




(c)


ภาคตัดข้างผิวขรุขระสำหรับค่า JRC
JRC
1
0-2
2
2-4
3
4-6
4
6-8
5
8-10
6
10-12
7
12-14
8
14-16
9
16-18
10
18-20
0
5
10
ซม

ระดับการผุของมวลหิน

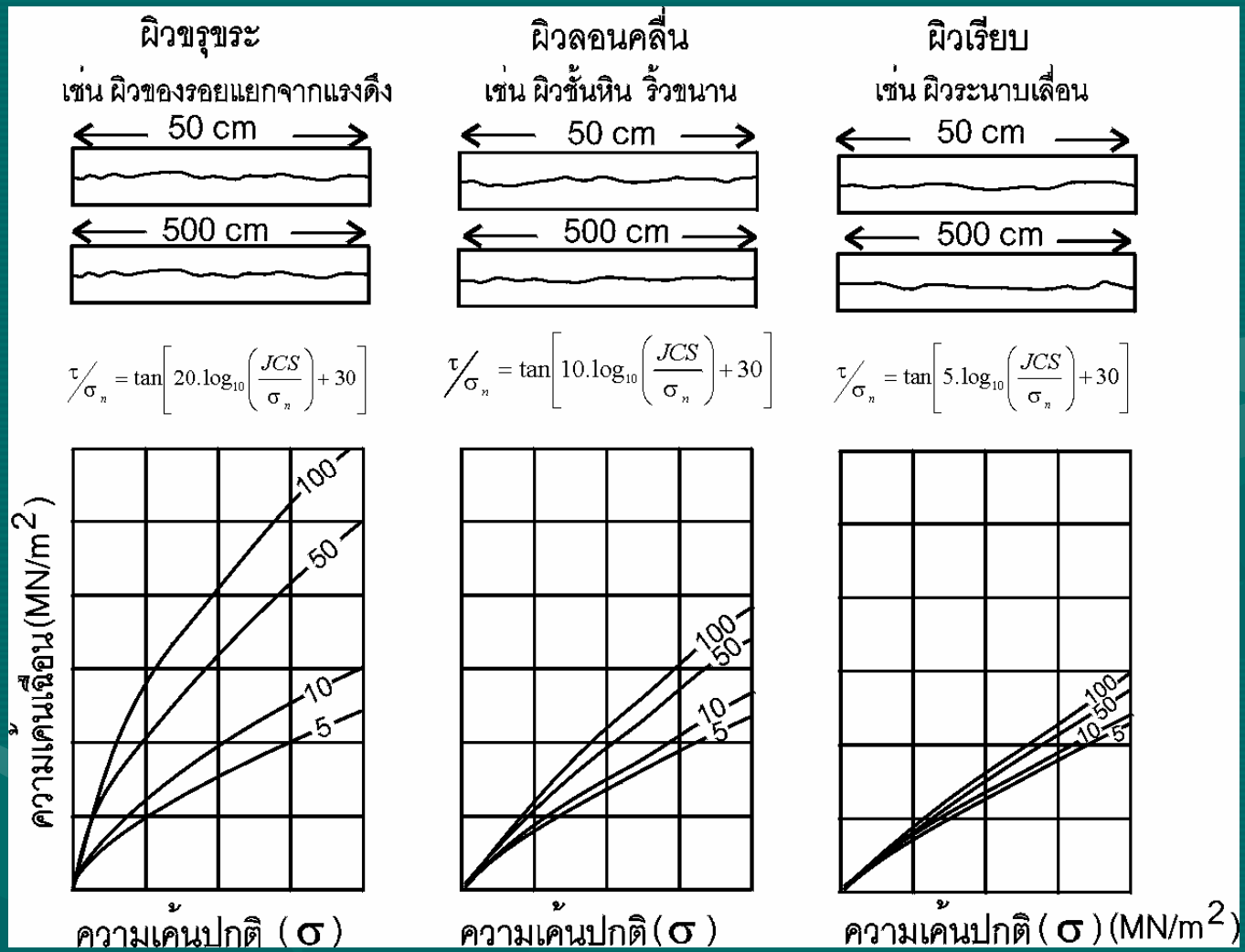
ระดับ	การผุ	รายละเอียด
I	หินสด/หินไม่ผุ	หินไม่มีการผุแต่อาจจะมีการเปลี่ยนสีเล็กน้อยบริเวณที่มีรอยแยก
II	หินผุเล็กน้อย	หินมีการเปลี่ยนสีบริเวณผิวหน้าและตามรอยแตก
III	หินผุปานกลาง	พบเนื้อหินผุมากแต่น้อยกว่าครึ่งของมวล อาจพบแก่นหินสดภายในโครงข่ายการผุตามรอยแยก
IV	หินผุมาก	มากกว่าครึ่งหนึ่งของเนื้อหิน จะมีการผุแบบโครงข่ายโดยเฉพาะรอบ ๆ รอยแตกจะเป็นแก่นหินสดภายในมวลหิน
V	หินผุสมบูรณ์	เนื้อหินทั้งหมดผุเปลี่ยนสภาพกลายเป็นดินแต่ลักษณะโครงสร้างเดิมยังหลงเหลือให้เห็น
VI	ดินเกิดในที่	เนื้อหินผุอย่างสมบูรณ์และโครงสร้างเดิมถูกทำลายอาจมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแต่ไม่มีการเคลื่อน เป็นการผุอยู่ในที่

การทดสอบกำลังอัดของผนังผิวแนวแตก

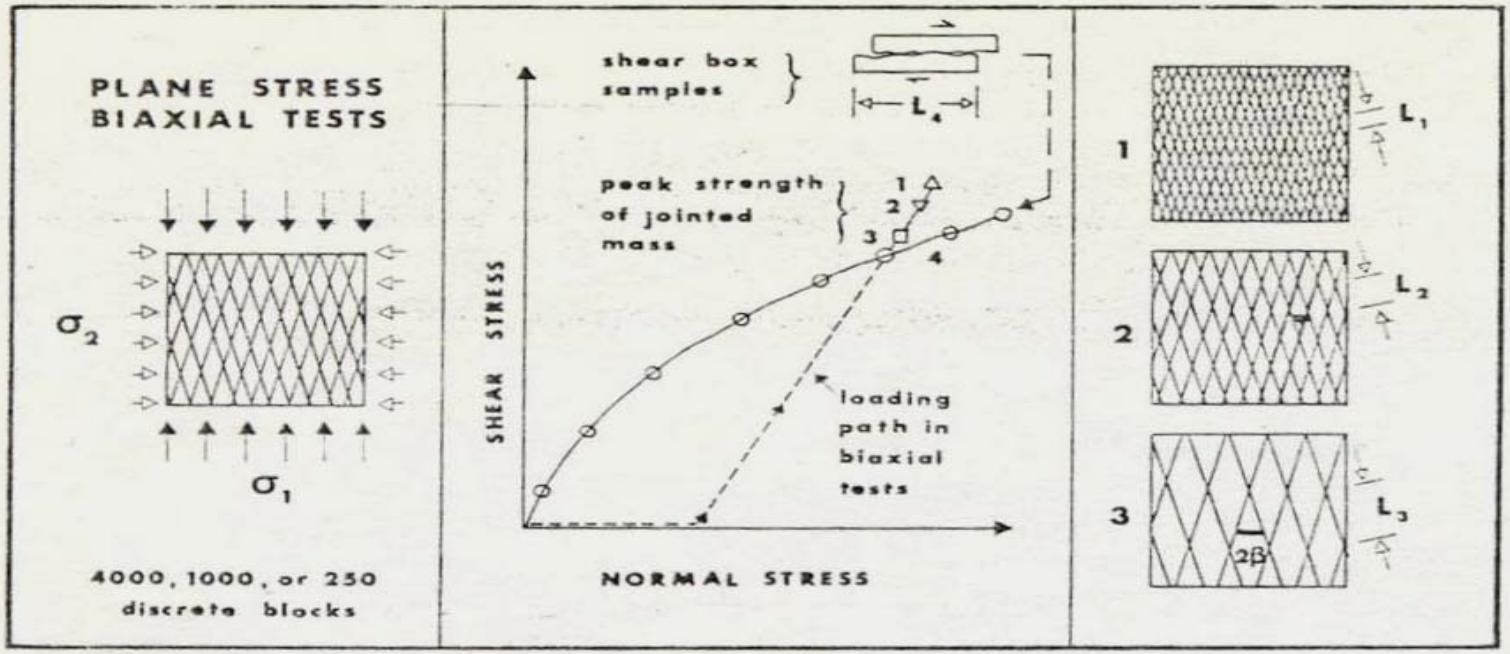
ระดับ	ความแข็ง	การทดสอบ	กำลังอัด (MPa)
R0	Extremely Weak Rock	ใช้นิ้วหัวแม่โป้งกดลงเป็นรอย	0.25-1.0
R1	Very Weak Rock	แตกร่วนเมื่อใช้ปลายค้อนธรณีกระแทกครั้งเดียว หรือลอกผิวได้ด้วยมีด	1.0-5.0
R2	Weak Rock	ลอกผิวได้ด้วยมีดแต่ยากขึ้น มีรอยกดเมื่อกระแทกด้วยปลายค้อนธรณีครั้งเดียว	5.0-25
R3	Medium Strong Rock	ไม่สามารถลอกผิวได้ด้วยมีด หินแตกเมื่อทุบด้วยค้อนเพียงครั้งเดียว	25-50
R4	Strong Rock	สามารถทุบให้แตกได้ด้วยค้อนมากกว่าหนึ่งครั้ง	50-100
R5	Very Strong Rock	หินสามารถทุบให้แตกได้ด้วยค้อนหลายครั้ง	100-250
R6	Extremely Strong Rock	เมื่อทุบด้วยค้อนจะทำให้มีเสก็ดออก	>250

กำลังเฉือนของมวลหินที่มีระนาบไม่ต่อเนื่อง

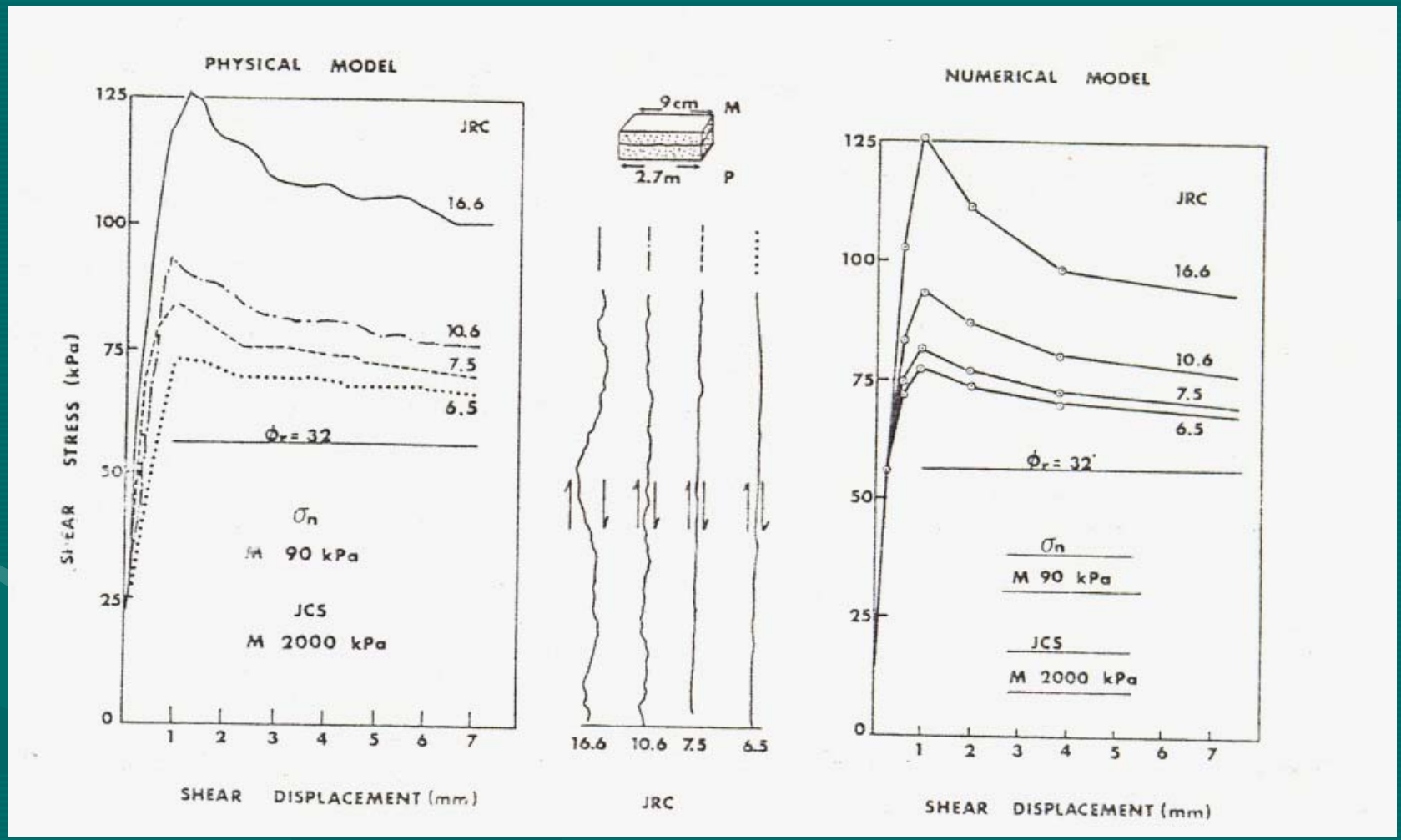
$$\tau_d = c_d + \sigma_{nd} \tan\phi_d$$

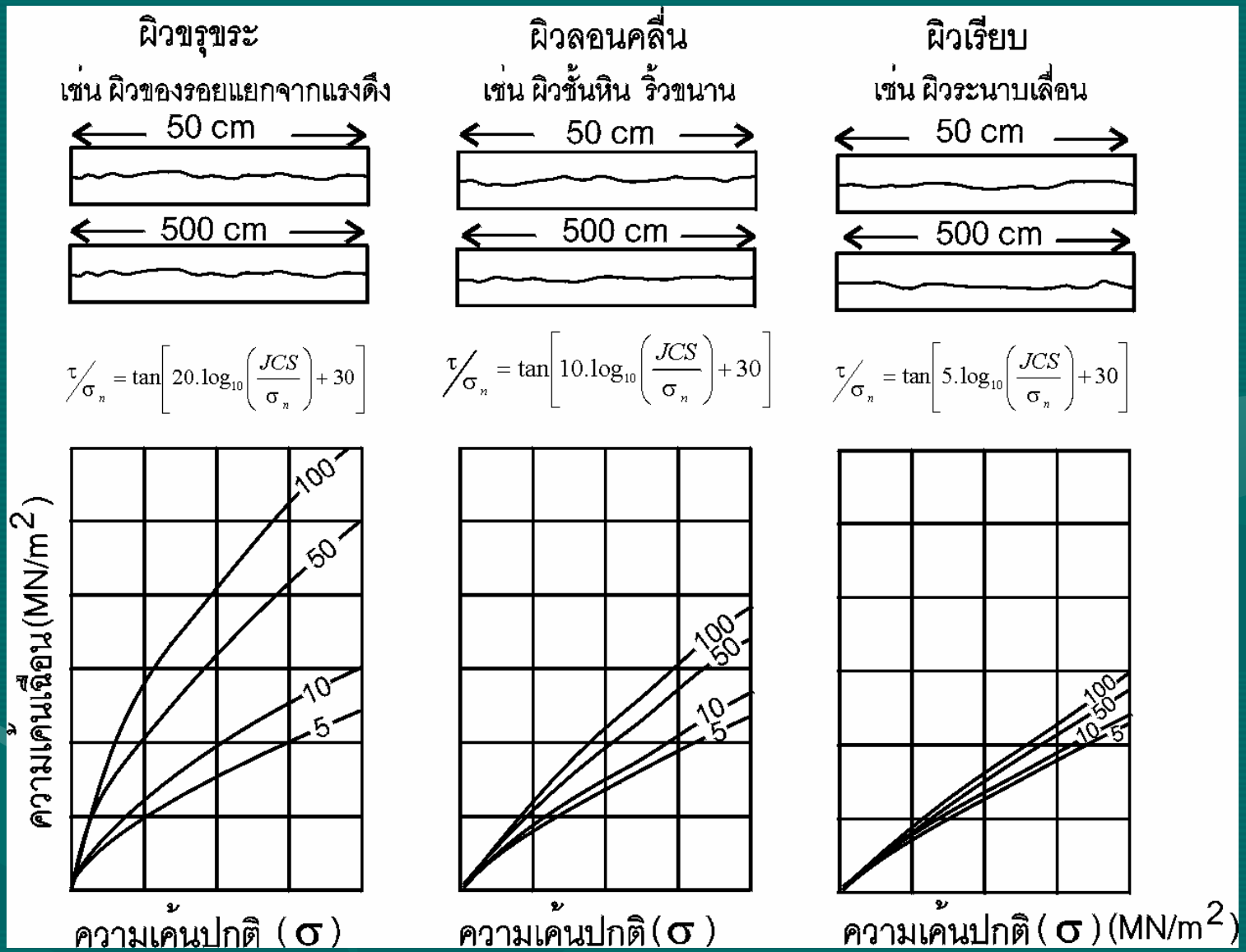

ผิวขรุขระ
เช่น ผิวของรอยแยกจากแรงดึง
50 cm
500 cm
$\tau/\sigma_n = \tan\left[20.\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+30\right]$
ผิวลอนคลื่น
เช่น ผิวชั้นหิน ริ้วขนาน
50 cm
500 cm
$\tau/\sigma_n = \tan\left[10.\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+30\right]$
ผิวเรียบ
เช่น ผิวระนาบเลื่อน
50 cm
500 cm
$\tau/\sigma_n = \tan\left[5.\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+30\right]$
ความเค้นเฉือน (MN/m^2)
100
50
10
5
ความเค้นปกติ (σ)
ความเค้นปกติ (σ)
ความเค้นปกติ (σ) (MN/m^2)

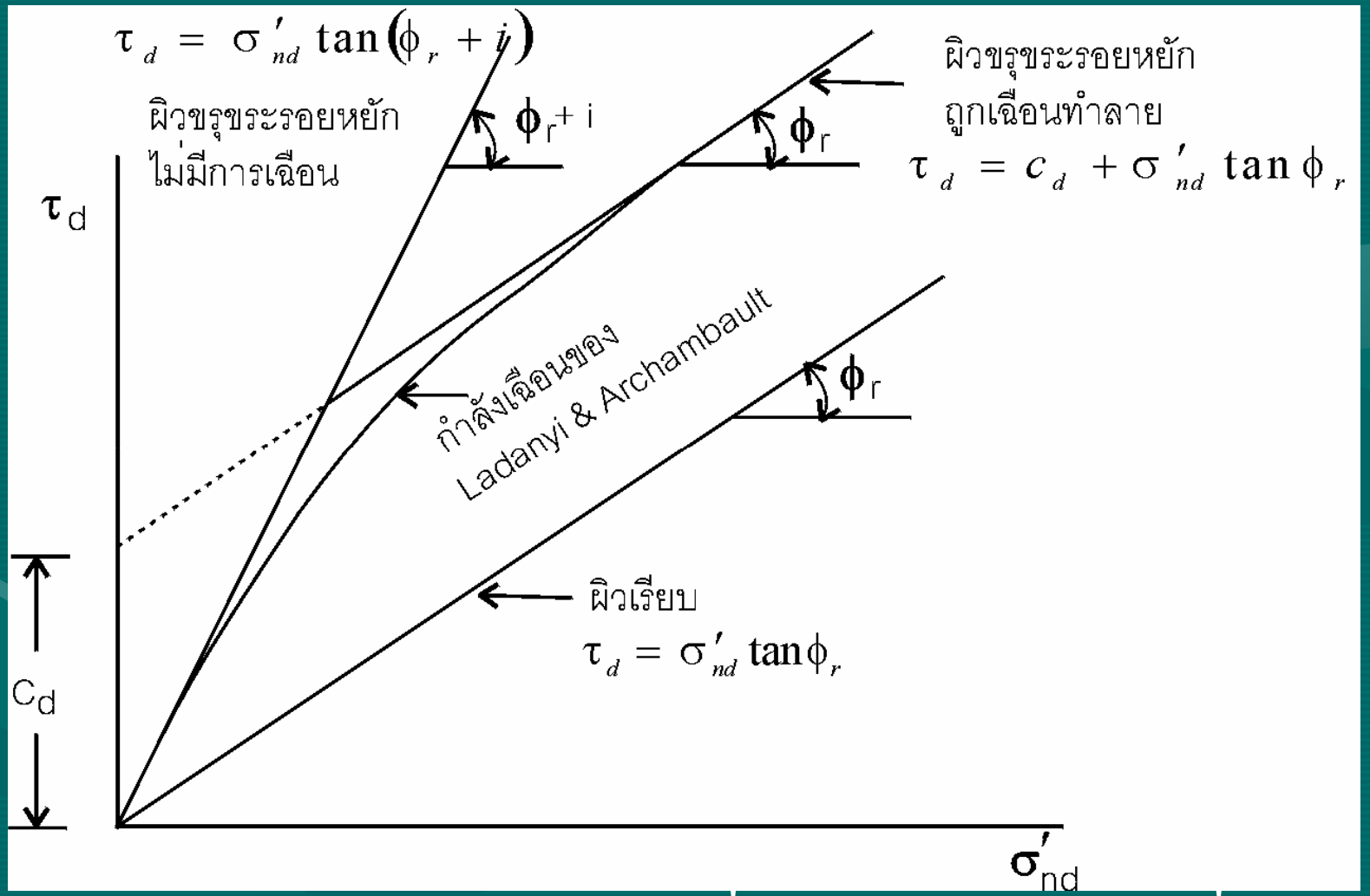
ผลของขนาดตัวอย่างในการทดสอบ



ผลของ ผิวขรุขระที่มีต่อกำลังเฉือน




ผิวขรุขระ
เช่น ผิวของรอยแยกจากแรงดึง
50 cm
500 cm
$\tau/\sigma_n = \tan\left[20.\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+30\right]$
ผิวลอนคลื่น
เช่น ผิวชั้นหิน ริ้วขนาน
50 cm
500 cm
$\tau/\sigma_n = \tan\left[10.\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+30\right]$
ผิวเรียบ
เช่น ผิวระนาบเลื่อน
50 cm
500 cm
$\tau/\sigma_n = \tan\left[5.\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+30\right]$
ความเค้นเฉือน (MN/m^2)
100
50
10
5
ความเค้นปกติ (σ)
ความเค้นปกติ (σ)
ความเค้นปกติ (σ) (MN/m^2)



เกณฑ์กำลังเฉือนของหินที่มีแนวความไม่ต่อเนื่อง