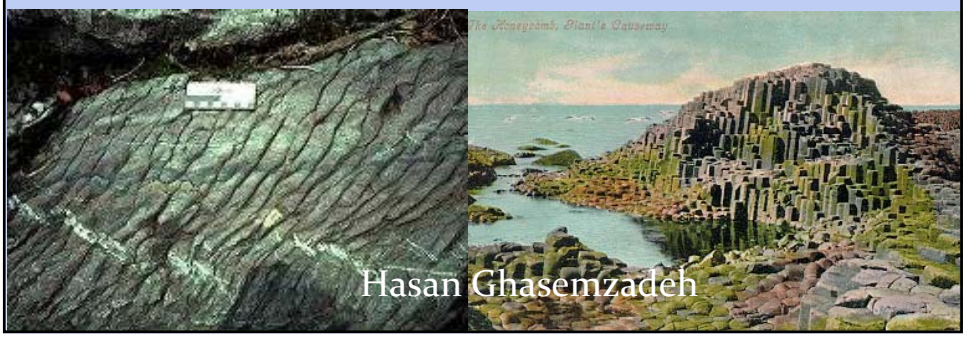
ROCK MECHANICS

صفحات ضعیف در سنگها

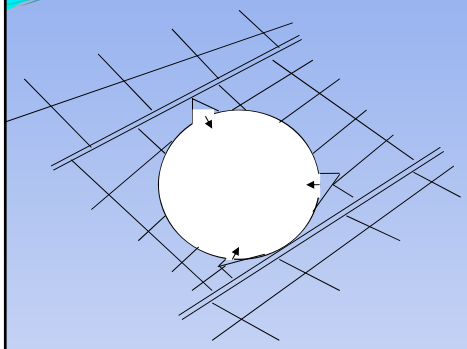


فهرست عناوین و فصول

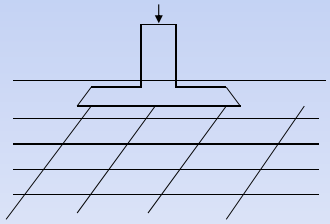
۱- مقدمه
۲- طبقه بندی سنگها
۳- خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ ها
٤- رفتار سنگ ، معیارهای خرابی و شکست
٥- تنش های در جا در سنگ
٦- صفحات ضعیف در سنگها
۷- کاربرد مکانیک سنگ در مهندسی

Dr. Hasan Ghasemzadeh

تاثیرسطوح ناپیوستگی



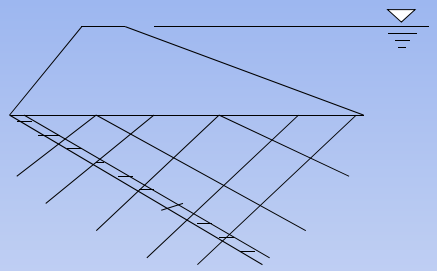
برای مثال در شکل زیر درزه روی مقطع تونل تأثیر گذار است



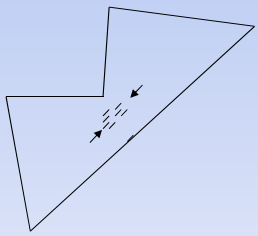
در این پی جابجایی ممکن است بسیار زیاد باشد اگر چه مقاومت سنگ بکر زیاد باشد

Dr. Hasan Ghasemzadeh

تاثیرسطوح ناپیوستگی



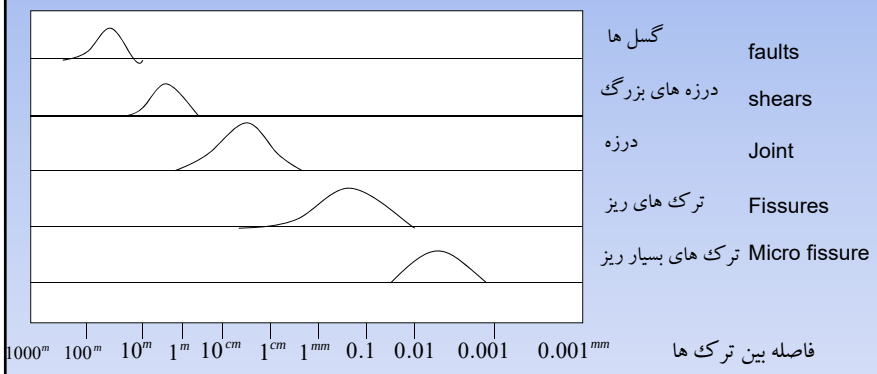
این سد ممکن است از محل درزه نمایش داده شود لغزش نماید



این شیب نیز دارای یک درزه می باشد که ممکن است سطح لغزش از آن عبور کند و کمترین ضریب اطمینان در برابر لغزشی مربوط به این درزه باشد

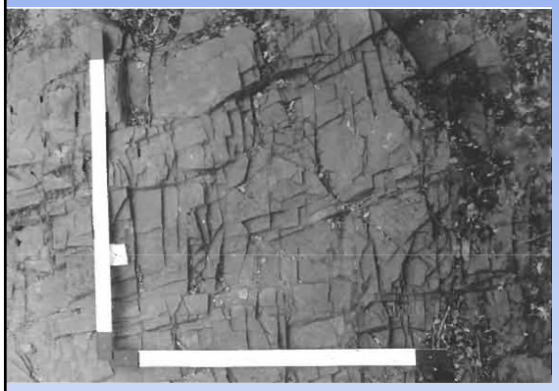
Dr. Hasan Ghasemzadeh

سطوح ناپیوستگی – هیستوگرام



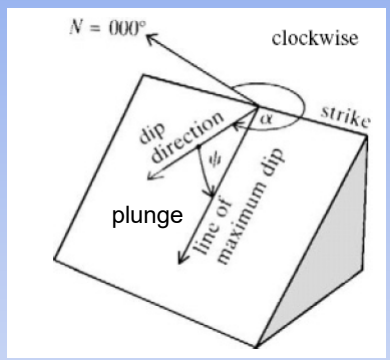
Dr. Hasan Ghasemzadeh

مشخصات درزه



Dr. Hasan Ghasemzadeh

جهت درزه

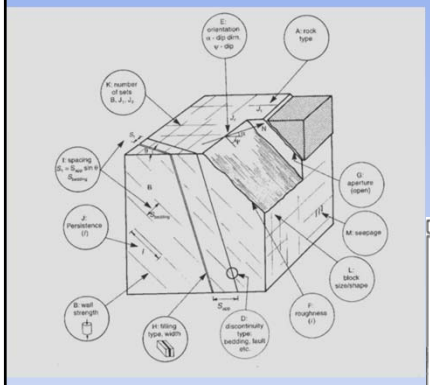


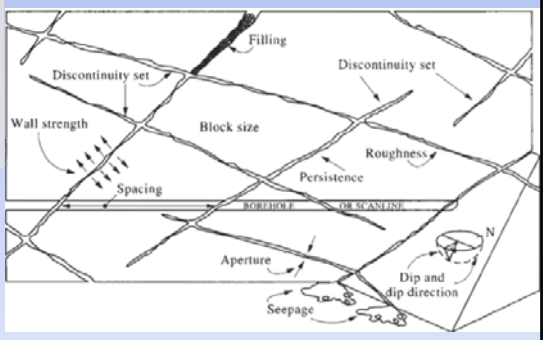
dip direction (three digits)/dip (two digits)

035/70, 290/15

Dr. Hasan Ghasemzadeh

مشخصات درزه





discontinuity frequency, $\lambda = N/L$ m^{-1}

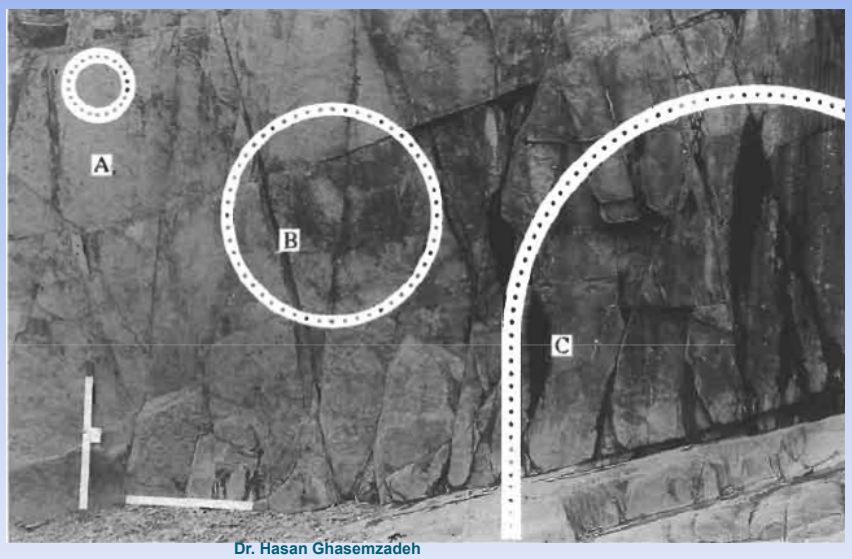
mean spacing, $\bar{x} = L/N$ m.

probability density function.

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}.$$

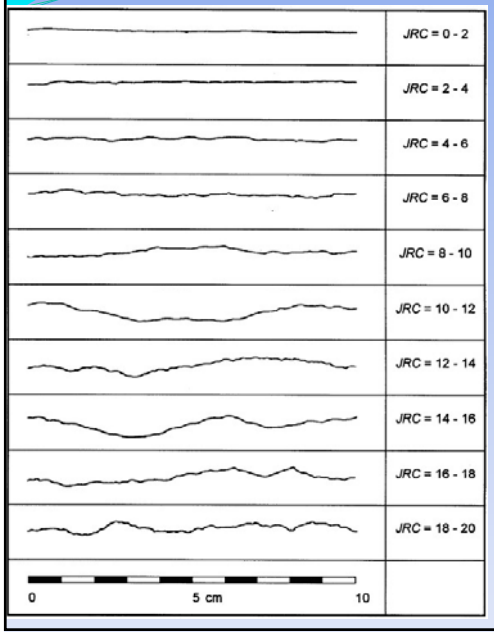
Dr. Hasan Ghasemzadeh

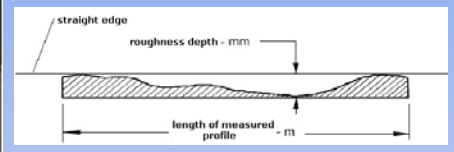
مشخصات درزه- مقیاس



Dr. Hasan Ghasemzadeh

بازشدگی درزه



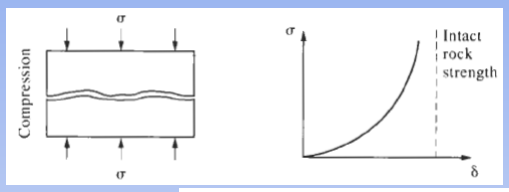


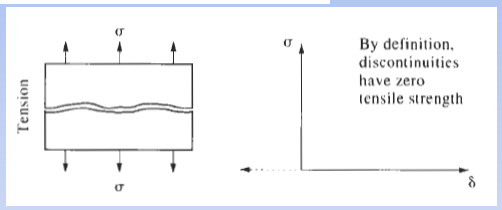
بازشدگی هیدرولیکی e

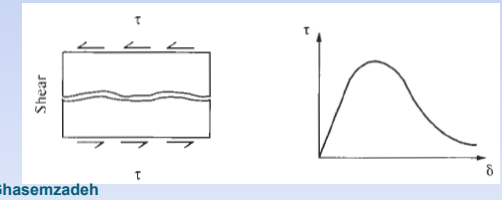
$$e = \frac{w^2}{JRC^{2.5}}$$

بازشدگی مکانیکی w

مقاومت درزه- فشاری، کششی، برشی

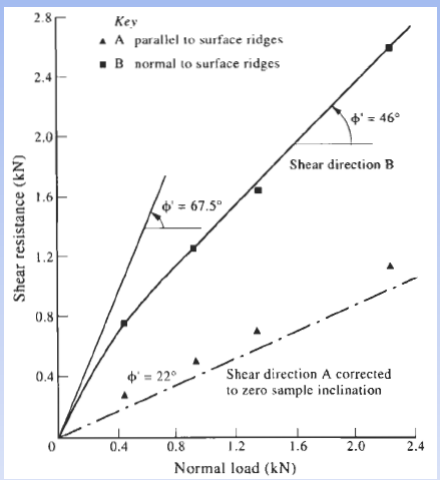


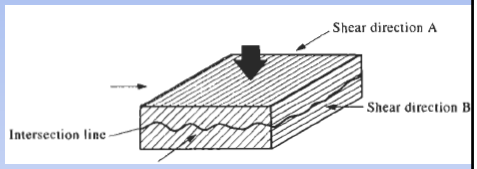




Dr. Hasan Ghasemzadeh

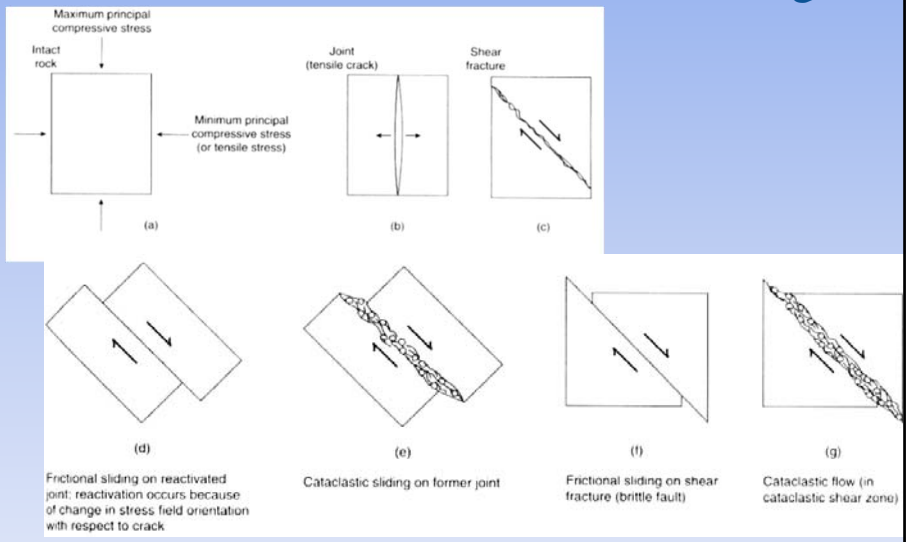
مقاومت درزه – جهت درزه





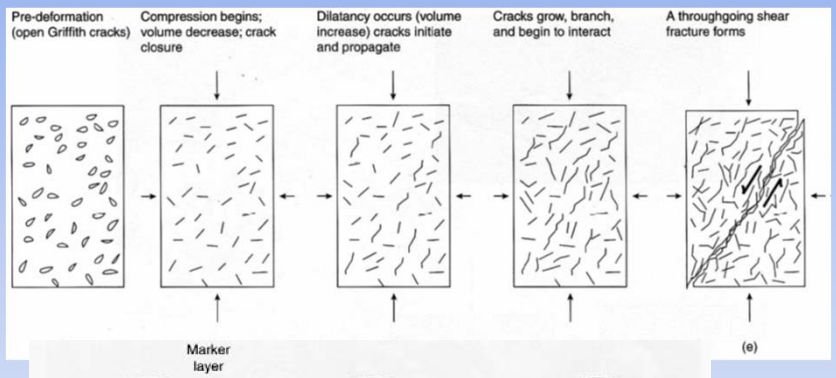
Dr. Hasan Ghasemzadeh

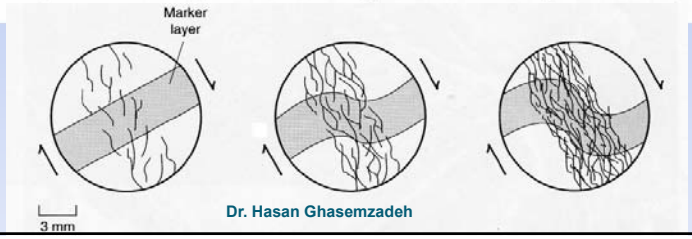
انواع درزه



Dr. Hasan Ghasemzadeh

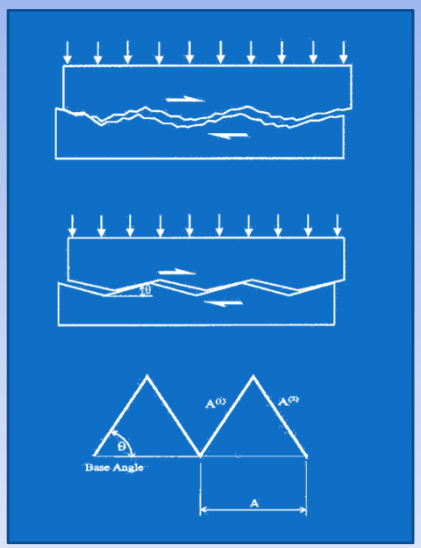
باز شدن درزه





Dr. Hasan Ghasemzadeh

شبیه سازی درزه



الف) درزه واقعی

ب) درزه مصنوعی با دندانه های منظم

۱) برای درزه صیقلی $\theta = 0$

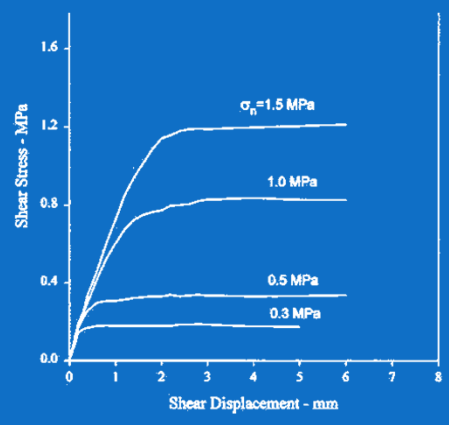
۲) زبری متوسط $\theta = 15$

۳) زبری زیاد $\theta = 30$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

شبیه سازی درزه - مکانیزم های شکست

۱) درزه صیقلی $\theta = 0°$

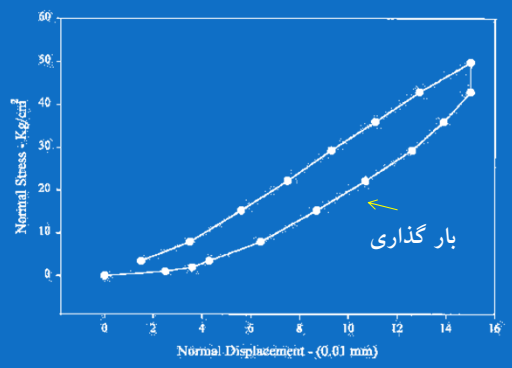


با افزایش تنش نرمال مقاومت برشی افزایش یافته است.

نمودار تنش برشی- کرنش برشی برای دندانه با زاویه صفر درجه.

Dr. Hasan Ghasemzadeh

شبیه سازی درزه - مکانیزم های شکست



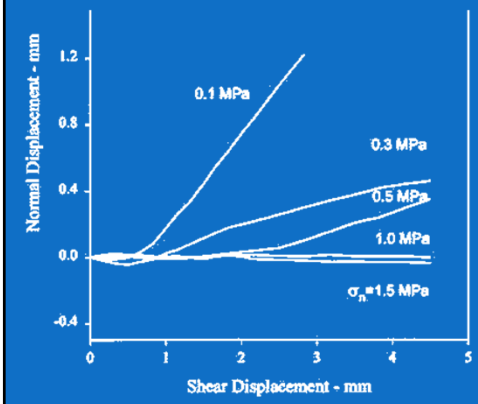
با افزایش تنش نرمال, جابجایی نرمال افزایش یافته و با کاهش تنش نرمال, نیز جابجایی کاهش می یابد.
در مسیر بار گذاری رابطه منحنی شکل بین جابجایی و تنش وجود دارد و در هنگام بار برداری تقریبا خطی است. در نتیجه یک کرنش پلاستیک به جا مانده است.

نمودار جابجایی عمودی- تنش عمودی برای دندانه با زاویه صفر درجه.

Dr. Hasan Ghasemzadeh

شبیه سازی درزه - مکانیزم های شکست

۲) زبری متوسط $\theta = 15°$



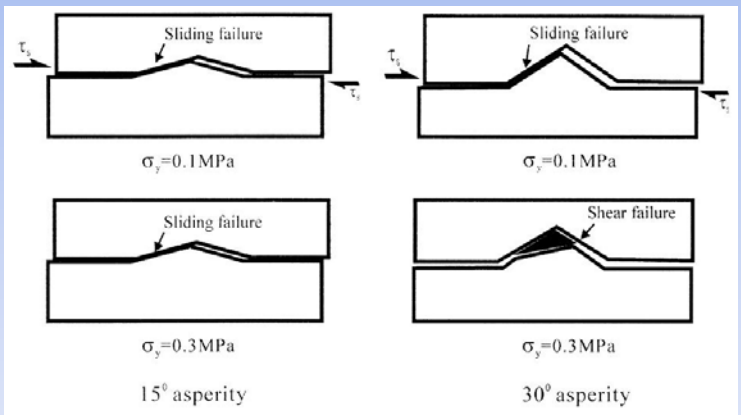
با افزایش تنش نرمال, اتساع کاهش یافته و وقتی تنش نرمال به یک حد خاصی می رسد تغییرات اتساع به صفر نزدیک شده و با زیاد تر شدن تنش قائم اتساع منفی می شود.
این نمودار برای حالت زبری زیاد نیز تکرار می شود.

نمودار جابجایی عمودی- جابجایی برشی برای دندانه با زاویه ۱۵ درجه.

Dr. Hasan Ghasemzadeh

شبیه سازی درزه - مکانیزم های شکست

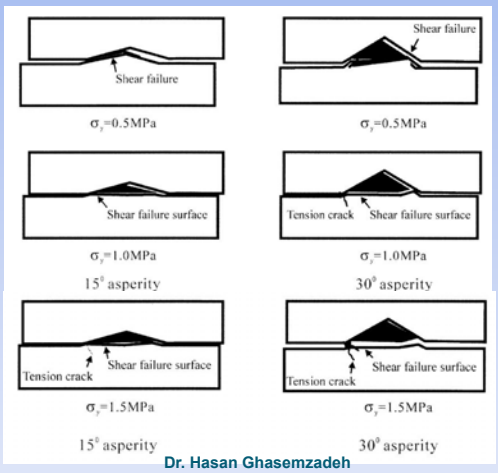
انواع مکانیزم های شکست مشاهده شده در آزمایش برش مستقیم



Dr. Hasan Ghasemzadeh

شبیه سازی درزه - مکانیزم های شکست

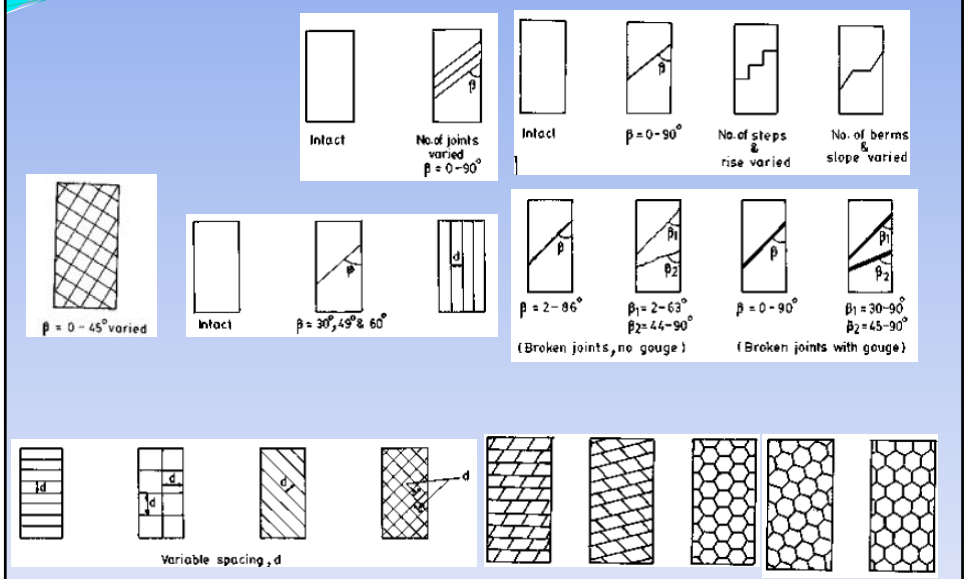
انواع مکانیزم های شکست مشاهده شده در آزمایش برش مستقیم



۱) لغزش
۲) برش
۳) جدا شدگی
٤) ترک خوردگی

Dr. Hasan Ghasemzadeh

strength



strength

Shear strength of geomaterial
Ramamurthy 1993-1994

$$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_3' + \sigma_t} = B\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_3' + \sigma_t}\right)^{\alpha}$$

Shear strength of jointed rock
Ramamurthy 2001

$$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_3'} = B\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_3'}\right)^{\alpha}$$

Hoek and Brown
for intact rock $S_i = 1$
for crushed rock $S_i = 0$

$$\sigma_1' - \sigma_3' = (m_i \sigma_{ci} \sigma_3' + S_i \sigma_{ci}^{\ 2})^{0.5}$$

strength

Comparison of strength parameters for undisturbed clay [16], $\sigma_c = 0.884$ MPa

σ'_3 (MPa)	σ'_1 (MPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/\sigma'_3$	σ_c/σ'_3	B	α	m	s	m when $s = 0$	c' (MPa)	ϕ'^c
0.141	0.74	4.24	6.00	—	—	—	—	3.01		
0.280	1.20	3.28	3.01	2.19	0.37	4.15	−0.18	3.58	0.075	32.40
0.420	1.4	2.33	2.01	1.61	0.54	2.55	0.07	2.71		
0.630	2.15	2.35	1.34	2.19	0.37	4.73	−0.28	4.34		
1.440	3.69	1.56	0.50	1.96	0.43	4.29	−0.21	4.16		
1.860	4.36	1.34	0.45	1.85	0.44	4.06	−0.17	3.98		
2.250	5.07	1.25	0.375	1.85	0.44	4.26	−0.21	4.18		
2.675	5.67	1.12	0.315	1.90	0.45	4.02	−0.16	3.97		
4.507	8.20	0.82	0.187	1.83	0.47	3.60	−0.09	3.58		
6.090	10.42	0.71	0.14	1.83	0.47	3.66	−0.11	3.64	0.20	13.81
Average value				1.80	0.44	3.92	−0.15	3.71		

Comparison of strength parameters for calcareous sand [17], $\sigma_c = 0.6$ MPa and $d_{50} = 1.00$ mm

σ'_3 (MPa)	σ'_1 (MPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/\sigma'_3$	σ_c/σ'_3	B	α	m	s	m when $s = 0$	c' MPa	ϕ'^c
0.1	0.8	7.0	6.00	—	—	—	—	8.16		
0.2	1.3	5.65	3.00	3.73	0.35	12.0	−0.63	10.08	0.067	41.81
0.4	2.08	4.20	1.50	3.67	0.36	12.95	−0.79	11.76		
0.8	3.40	3.25	0.50	3.67	0.36	14.92	−1.12	14.08		
1.6	5.68	2.55	0.375	3.67	0.36	17.95	−1.61	17.34		
3.2	10.24	2.22	0.187	3.78	0.33	26.38	−3.03	25.81		
6.4	19.20	2.00	0.094	4.01	0.31	43.21	−5.84	42.66	0.147	29.33
Average value				3.75	0.34	21.23	−2.17	18.55		

strength

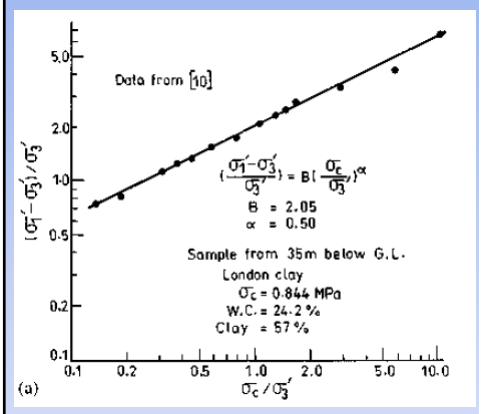
Comparison of strength parameters for sandy clayey gravel [18], gravel = 40%, sand = 29%, fines = 31%, $\sigma_c = 0.20$ MPa and $d_{50} = 1.5$ mm

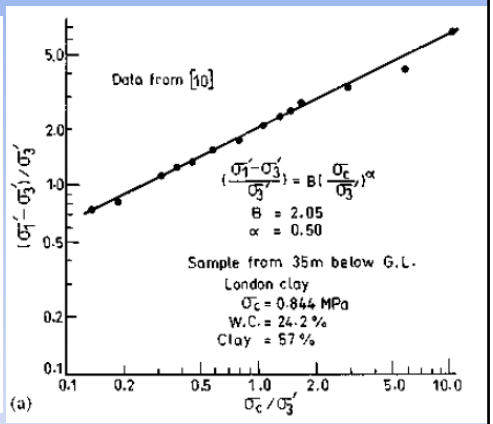
σ'_3 (MPa)	σ'_1 (MPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/\sigma'_3$	σ_c/σ'_3	B	α	m	s	m when $s = 0$	c' (MPa)	ϕ'^c
0.422	0.859	1.04	0.46	—	—	—	—	2.26		
0.88	1.697	0.93	0.23	1.15	0.15	5.20	−6.19	3.70	0.032	17.05
1.76	3.19	0.81	0.11	1.17	0.17	6.92	−9.82	5.81		
2.99	5.316	0.78	0.07	1.15	0.15	21.16	−39.87	9.04		
4.577	8.162	0.78	0.04	1.13	0.12	18.33	−33.90	14.04	0.044	15.94
Average value				1.15	0.14	12.90	−22.44	6.98		

Comparison of strength parameters for crushed basalt [15], $\sigma_c = 1.00$ MPa and $d_{50} = 41$ mm

σ'_3 (MPa)	σ'_1 (MPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/\sigma'_3$	(σ_c/σ'_3)	B	α	m	s	m when $s = 0$	c' (MPa)	ϕ'^c
0.211	1.456	5.90	4.74	—	—	—	—	7.34		
0.986	4.782	3.85	1.01	3.87	0.27	16.39	−1.95	14.61	0.13	38.46
2.957	11.976	3.05	0.34	3.99	0.25	29.05	−4.58	27.50		
4.577	11.863	2.90	0.22	4.12	0.23	40.00	−6.89	38.50	0.34	21.53
Average value				3.99	0.25	28.54	−3.72	21.98		

strength





strength

$$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_3' + \sigma_t} = B\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_3' + \sigma_t}\right)^{\alpha}$$

For intact rock
Ramamurthy 2001

$$\alpha_i = 2/3 \text{ and } B_i = 1.3(\sigma_{ci}/\sigma_t)^{1/3}$$

strength

Comparison of strength parameters for Indiana limestone [25], σ_{ci} = 45.43 MPa and σ_t = 5.56 MPa

σ'_3 (MPa)	σ'_1 (MPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/(\sigma'_3 + \sigma_t)$	$\sigma_{ci}/(\sigma'_3 + \sigma_t)$	B_i	α_i	m_i	s_i	m_i when $s_i = 1$	c' (MPa)	ϕ'°
7.03	67.96	4.83	3.53	—	—	—	—	5.52		
14.06	85.53	3.64	2.26	2.15	0.64	4.46	1.16	4.99	15.93	25.37
21.09	100.76	2.99	1.67	2.15	0.64	4.20	1.20	4.64		
28.12	108.97	2.40	1.32	1.97	0.71	3.00	1.40	3.63		
35.15	123.03	2.15	1.09	2.05	0.68	3.20	1.36	3.66		
42.18	128.88	1.81	0.93	1.92	0.73	2.43	1.49	2.94		
49.21	134.74	1.56	0.81	1.85	0.76	1.92	1.57	2.43		
56.24	142.94	1.40	0.72	1.82	0.77	1.73	1.60	2.21	23.19	11.97
Average value				1.98	0.70	2.99	1.39	3.75		

Comparison of strength parameters for Jhingurda sandstone [24], σ_{ci} = 5.81 MPa and σ_t = 1.26 MPa

σ'_3 (MPa)	σ'_1 (MPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/(\sigma'_3 + \sigma_t)$	$\sigma_{ci}/(\sigma'_3 + \sigma_t)$	B_i	α_i	m_i	s_i	m_i when $s_i = 1$	c' (MPa)	ϕ'°
2.50	13.41	2.90	1.54	—	—	—	—	5.87		
5.00	17.19	1.95	0.93	2.06	0.78	2.03	2.65	3.95	3.91	11.76
7.50	20.21	1.45	0.66	2.03	0.82	1.46	2.89	2.93		
10.00	23.95	1.24	0.51	2.06	0.78	1.73	2.78	2.76		
12.50	26.50	1.02	0.42	2.04	0.80	1.32	2.95	2.23	4.43	7.69
Average value				2.04	0.79	1.63	2.81			

Comparison of strength parameters for quartzitic schist [36], σ_{ci} = 190.0 MPa and σ_t = 29.0 MPa

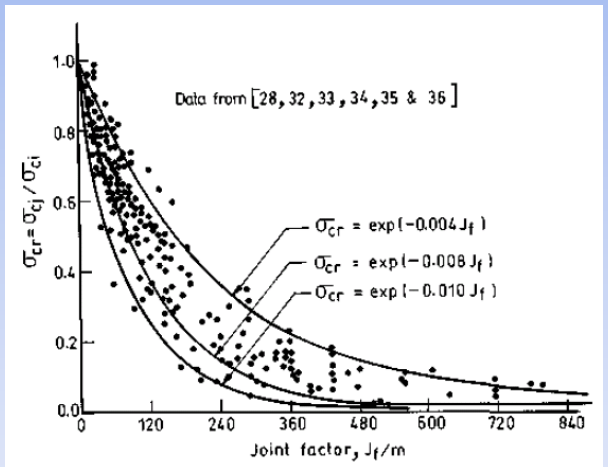
σ'_3 (MPa)	σ'_1 (MPa)	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/(\sigma'_3 + \sigma_t)$	$\sigma_{ci}/(\sigma'_3 + \sigma_t)$	B_i	α_i	m_i	s_i	m_i when $s_i = 1$	c' (MPa)	ϕ'°
5.00	321.0	9.29	5.58	—	—	—	—	67.11		
15.00	360.0	7.84	4.32	2.98	0.66	10.08	2.50	29.00	76.33	36.28
35.00	419.0	6.00	2.96	2.78	0.70	8.35	2.54	16.74		
50.00	428.0	4.78	2.40	2.42	0.78	5.03	2.63	11.24		
100.00	515.0	3.22	1.47	2.38	0.79	4.00	2.66	7.16	108.73	20.03
Average value				2.62	0.73	6.86	2.58	26.25		

strength

For jointed rock
Ramamurthy 2001

$$\sigma_{cj}/\sigma_{ci} = \exp[-0.008 J_f]$$

J_f : joint factor



strength

jointed rock
Ramamurthy 2001

$$\sigma_{cj}/\sigma_{ci} = \exp[-0.008J_f]$$

joint factor

$$J_f = J_n/rn$$

J_n is the joint frequency, i.e. number of joints per metre depth of rock in the direction of loading/major principal stress, n a coefficient for the effect of joint inclination,

r : frictional coefficient on the sliding joint or joint set

strength

Values of n for different joint inclination $\beta°$

Values of n

Type of anisotropy

β (°)	U-shaped	Shoulder-shaped
0	0.82	0.85
10	0.46	0.60
20	0.11	0.20
30	0.05	0.06
40	0.09	0.12
50	0.30	0.45
60	0.46	0.80
70	0.64	0.90
80	0.82	0.95
90	0.95	0.98

strength

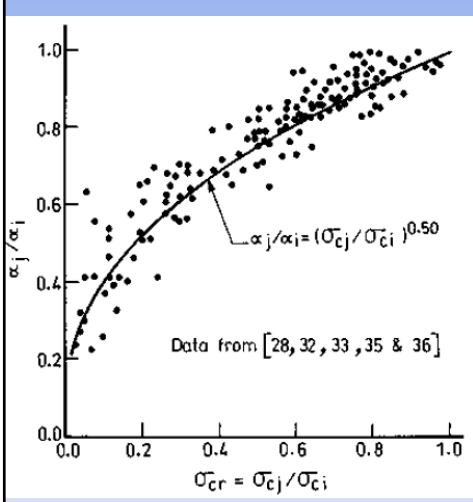
Strength of jointed rock
Ramamurthy 2001

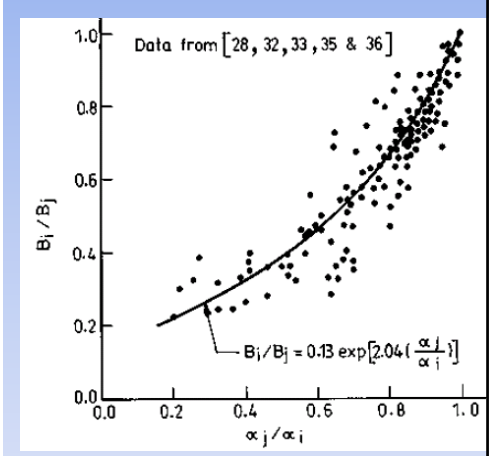
$$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_3'} = B_j \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_3'} \right)^{\alpha_j}$$

$$\frac{\alpha_i}{\alpha_j} = \left(\frac{\sigma_{cj}}{\sigma_{ci}} \right)^{0.5}$$

$$\frac{B_i}{B_j} = 0.13 \exp(2.04 \frac{\alpha_j}{\alpha_i})$$

strength

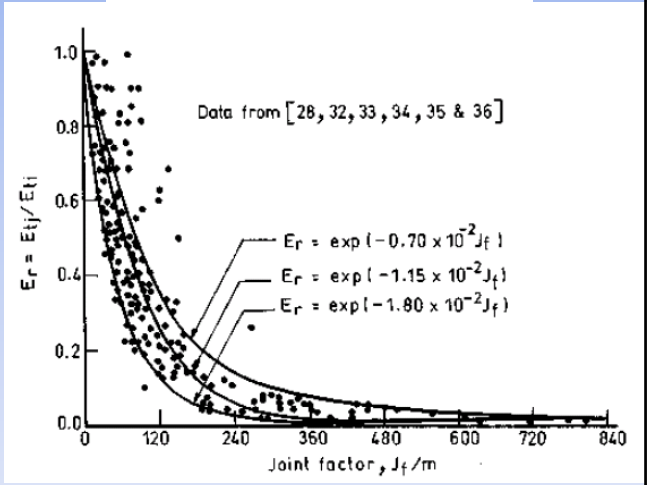




strength

Modulus of jointed rock
Ramamurthy 2001

$$E_{tj}/E_{ti} = \exp(-1.15 \times 10^{-2} J_f)$$



Strain at failure

$$\varepsilon_{aj} = 50(M_{rj})^{-0.75}$$

$$M_{rj} = E_{tj}/\sigma_{cj}$$