

岩盤の寸法効果—特に強度特性について—

Scale Effects in Rock Masses

吉中 龍之進

Ryunoshin YOHSHINAKA

1. まえがき

岩盤の様々な性質が、対象とする岩盤の大きさに依存することは古くから知られていたと思われる。しかし、その性質を実際に調べてみようとする研究は 1960 年代に入ってからではないかと思われる。特に、1959年に発生したマルバッセ・ダム崩壊の事故原因の究明のために様々の角度から不連続性岩盤の研究が進められて、その一環として岩盤には強い寸法効果があることが明らかにされた。以後、岩盤構造物の安定性評価には、寸法効果の取扱いが極めて重要であることが認識された。そのことを反映した代表的な例が、1960年代初頭の黒部ダムの岩盤試験である。その後、本四連絡橋基礎やその他幾つかの大型構造物建設に絡んで、この問題への取り組みがあったが、最近では数値解析研究に関心が集まり、解析計算の前提となるべき寸法効果のメカニズムとこれに関連する物性評価については依然として多くの課題が残されている。岩盤の寸法効果の問題は、岩盤構造物の安定に直接結びつく問題であり、今後の積極的な取組が必要であろう。

2. ISRMコミッションの貢献

ポルトガルの A.P.Cunhaを委員長とするISRM Commission on Scale Effectの活動は、その活動期間中に、2回の国際ワークショップを開催し、その成果を立派なプロシーディングスとして残した。第1回国際ワークショップは1990年にノルウエーのLeonで、第2回国際ワークショップは1993年にポルトガルのリスボンで開催された。このCommissionは、岩盤の寸法効果の課題を、(1)岩盤の変形・強度の評価、(2)初期地圧の評価、及び、(3)岩盤の浸透性評価の3つを取り上げた。この2回のワークショップでは、課題(1)にややウエイトの偏りがあったが、これも現実の反映であろう。しかし、国際ワークショップで岩盤の寸法効果の現状がほぼ総括されており、ISRMコミッションの果たした貴重な貢献と言える。

3. インタクトロックと岩盤の強度に関する寸法効果

インタクトロックと岩盤は、供試体寸法が大きくなると強度が低下する。このことは良く知られた事実である。しかし、この現象を起こす要素はそれぞれ異なる。前者は、結晶内の傷・マトリックスの間隙の形状と大きさ等の、微視的要因であり、岩盤では目に見える大きさの傷・片理・節理・礫等である。しかし、強度に与える影響は、要素が何であれ与える力学的影響の強さである。このことは、インタクトロックと岩盤に生じる強度低下の生じ方に差がないことで明らかである。以下、代表的なデータで検討する。

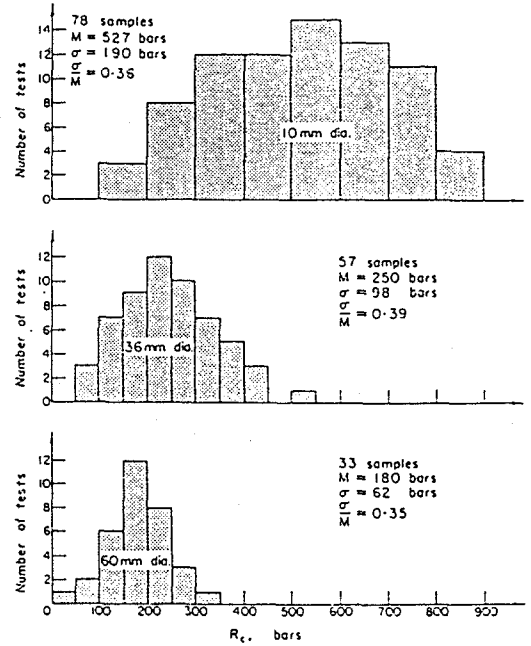
4. 不連続面の強度に関する寸法効果

不連続性岩盤の強度や不連続面がすべり面となる場合の、すべりの検討には不連続面の強度の評価が基本である。寸法効果の要因には様々なものがあるがクリーンな不連続面は、母岩の接触状態と物性であり、粘土等の充填物を持つときは、厚さ・物性・母岩表面の凹凸等が支配的である。以下、データで検討する。

図-1¹⁾

マルパッセ・ダム左岸崩壊部
基盤岩の一軸圧縮強度と寸法
増加に伴う著しい強度低下

- ① 片岩の結晶構造に依存
- ② バラツキと供試体寸法の
の関係及び強度の変化

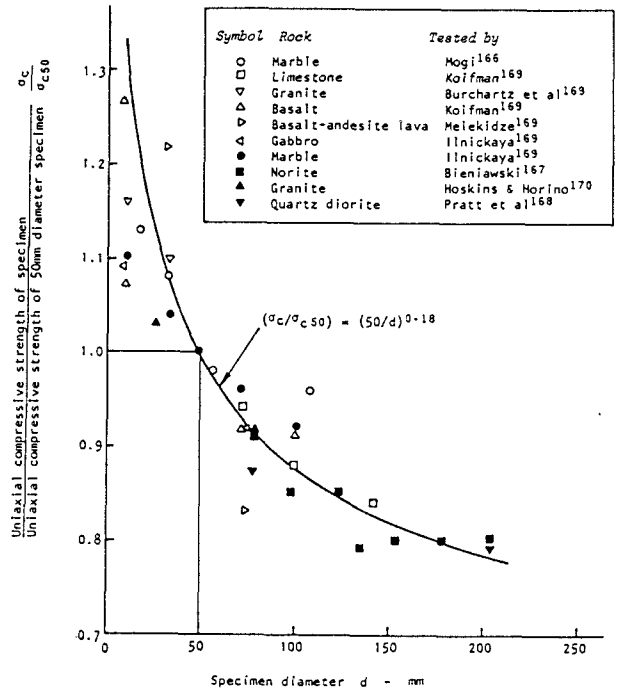


Malpasset M III 2A—Left bank: Scale effect.

図-2²⁾

正規化した関係の一軸圧縮強度の低下
と供試体の直径

- ① 各種のインタクトロック、最大直径
は20cm、正規化は、直径5cm
- ② 岩石の種類、強度の違いに係わらず
同様の強度低下が生じる。

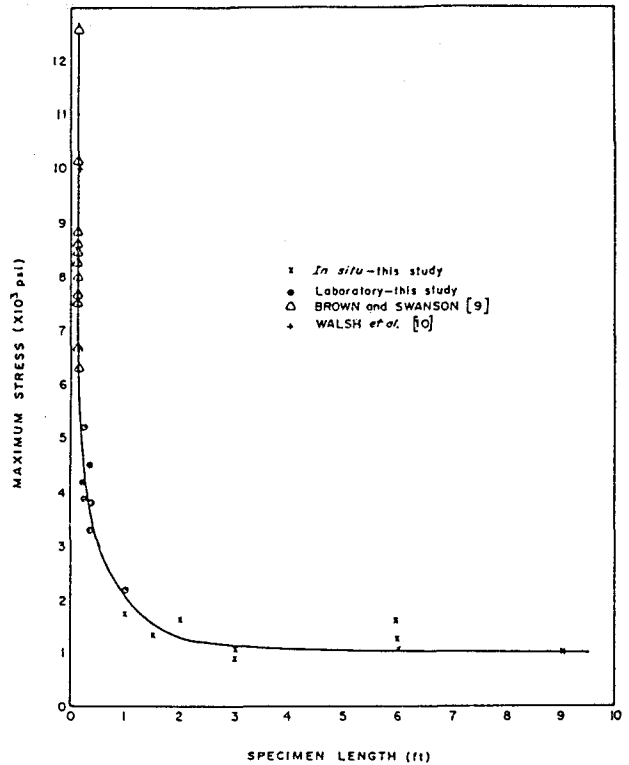


Influence of specimen size upon the strength of intact rock.

図-4³⁾

岩盤サイズの供試体を含む
寸法効果の例 (一軸圧縮強度)

- ① やや風化した石英閃緑岩
間隙率 8~10%
- ② 顕微鏡スケールでは、
微少亀裂組織が特徴的
- ③ 供試体の多くは三角形断面
のプリズム状
- ④ 大型供試体は原位置試験
- ⑤ 最大供試体長さ 2.75 m
- ⑥ 通常寸法供試体強度
313 kgf/cm²
- ⑦ 何れも節理はない。



Maximum stress vs specimen length—Cedar City quartz diorite.

図-5⁴⁾

岩盤サイズ供試体を含む
寸法効果の総括図
(吉中原図)

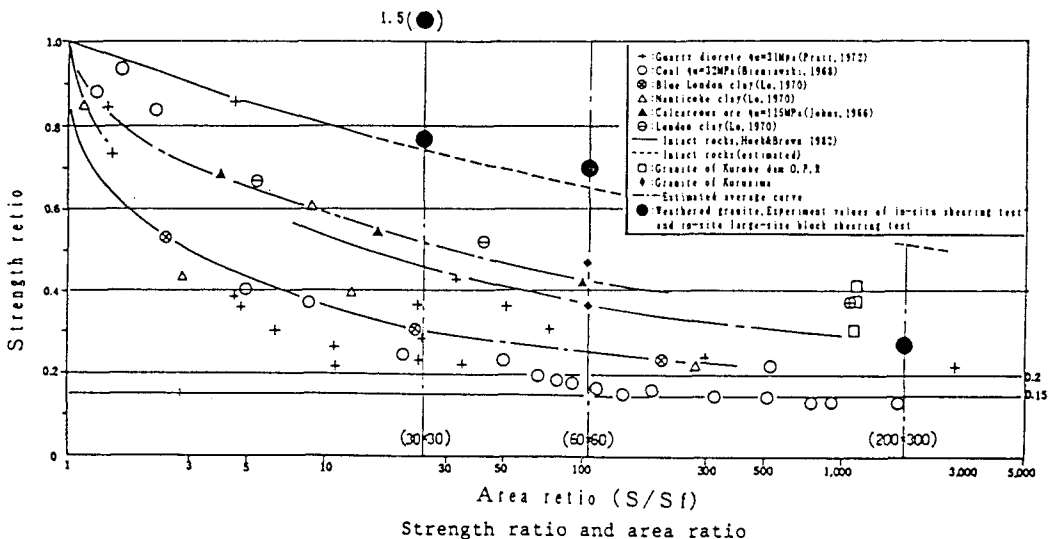
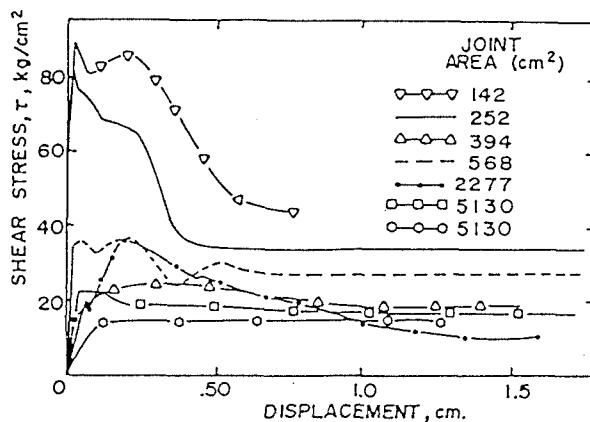


図-6^{5) 6)}

石英閃緑岩の節理の強度特性
室内試験から原位置大型試験
(吉田 淳の考察を追加)

(a) せん断面積の増加に伴う
せん断応力-変位曲線の変化
(原論文の図)

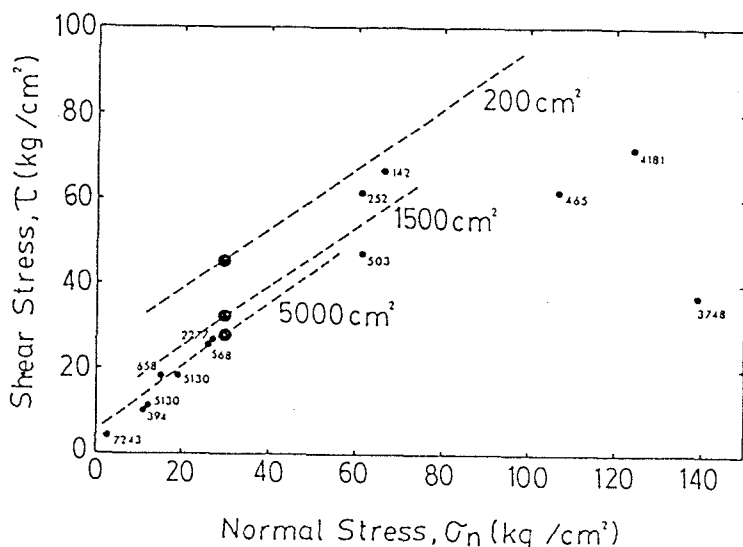


(a) せん断応力-変位関係

(b) 節理面上の垂直応力
とせん断強度関係に対する
せん断面積の影響

(原論文は3本の破壊線のみ
が示されている。破線の
数字は、せん断面積。

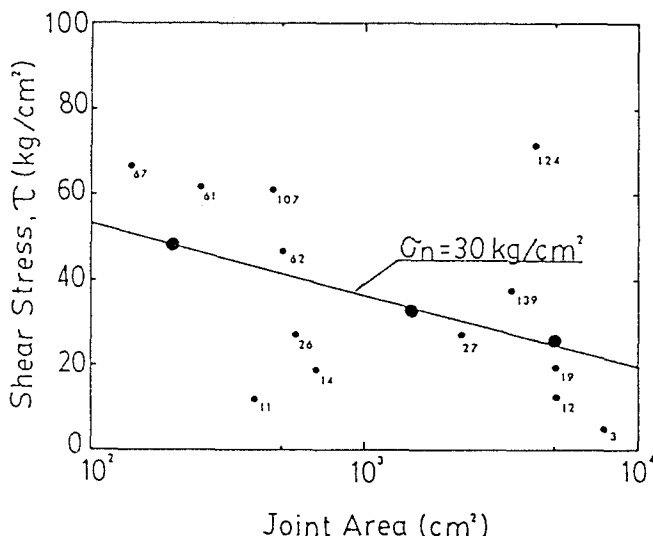
しかし、元の実験の
全データの面積の分布
はバラツキが極めて
大きい。



(b) 垂直応力-せん断応力関係

(c) 垂直応力一定の下でのせん断
面積増大に伴う強度低下

(原論文は、 $\sigma = 30 \text{ kgf/cm}^2$ の
直線のみが示されている。
しかし、実験の全データは
各点に示す数字 (σ) の通り
バラツキが極めて大きい。



(c) 不連続面面積-せん断応力関係

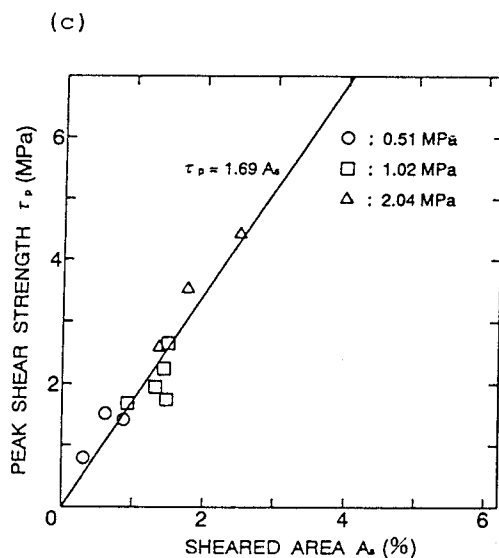
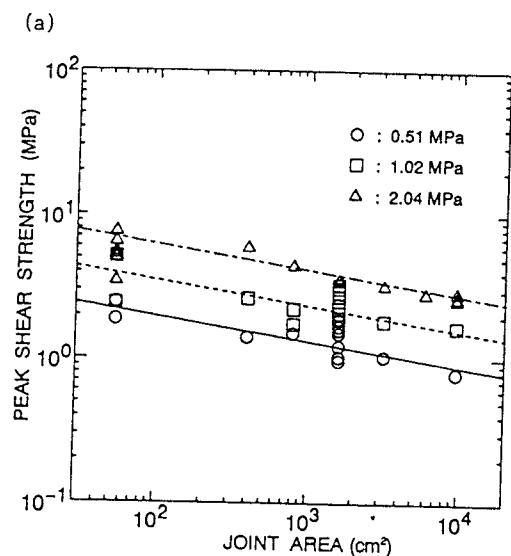
図-7⁷⁾ 花崗岩の人工節理面を用いたせん断強度特性に対するせん断面積の影響

(a) 垂直応力一定の場合、せん断面積の増大に伴うせん断強度の低下 (両対数表現)

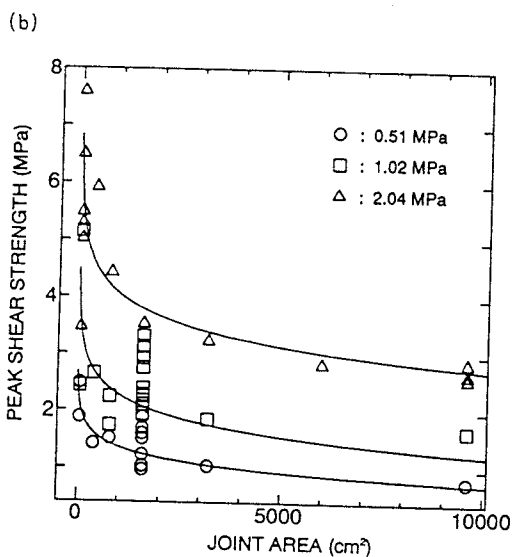
(b) 上記の関係を普通目盛りで表現した場合

(c) せん断強度 (ピーク値) とせん断時に削られた表面粗さ部分の面積比率

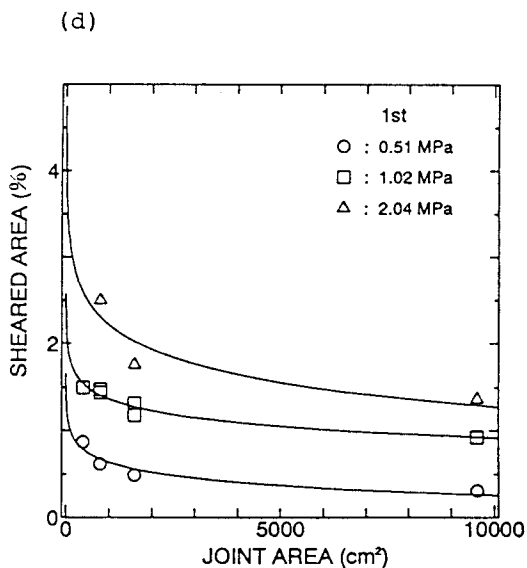
(d) せん断時に削られた粗さ部分の面積比率と全せん断面積の関係。



Relation between the peak shear strength and the sheared area



Relation between peak shear strength and joint area

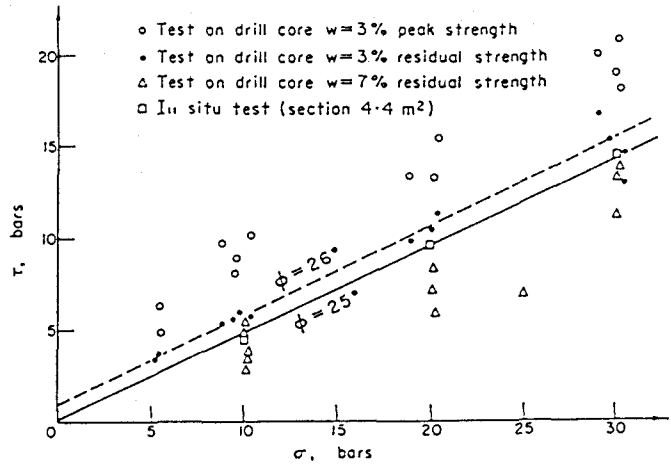


Relation between the shear area and sheared are

図-8¹⁾

石灰岩を切る不連続面の
せん断強度の寸法効果

- ① 泥灰質充填物；厚さ数 cm
- ② ボーリングコア
面積 2000 cm²
- ③ 原位置せん断試験
面積 4.4 m²
- ④ 大寸法では摩擦効果のみ



Results of shear tests of a marlaceous joint *in situ* and in the laboratory.

5. あとがき

岩盤には、その基本的特性として寸法効果がある。岩盤解析や岩盤施工の対象となる岩盤の物性や状態は、スケール（大きさ）で異なる。これは、岩盤に本質的な①大小の構造的（結晶から不連続面まで）、②構成物質の不均質性・異方性に依存している。従って、寸法効果は、インタクトロックの種類、岩盤の種類、構造的で異なっている。

寸法効果のメカニズムの解明は、岩盤物性を正当に評価するための前提条件である。現状では未解明の部分が多い。寸法効果の研究は岩盤力学の基本的課題の1つでもあるので、今後の理論的、実験的及び実証的側面からの研究が望まれる。

6. 参考文献

- 1) Bernaix, J., New laboratory methods of studying the mechanical properties of rocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 6, pp 43-90, 1969.
- 2) Hoek E. and Brown E. T., 岩盤地下空洞の設計と施工, 1982 (小野寺・吉中・斎藤・北川共訳) p 119, 土木工学社 1985
- 3) Pratt H. R., Black A. D., Brown W. S. and Brace W. F., The effect of specimen size on the mechanical properties of unjointed diorite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 9, pp 513-529, 1972.
- 4) Yoshinaka R., Endo T., Nomura N., and Yamagishi K., In-situ loading tests using the large size concrete block for weathered granite, Scale Effects in Rock and Rockmasses, ed. Cunha A. P., pp 191-198, 1993, A. A. Balkema.
- 5) Pratt H. R., Black A. D., and Brace W. F., Friction and deformation of jointed quartz diorite, Proc. 3rd Int. Congr. of ISRM, II-A, pp 306-309, 1974.
- 6) 吉田 淳, 岩盤不連続面の力学特性評価と応用に関する研究, 学位論文, p 48, 1992
- 7) Yoshinaka R., Arisaka S., Sasaki K. and Yoshida J., Mechanism of scale effect in rock joint, Rock Foundation, eds. Yoshinaka and Kikuch, pp 223-228, A. A. Balkema, 1995.