

(123) ブラシ型載荷板を利用した岩質材料の一軸圧縮試験

佐賀大学 正会員 石橋孝治

Application of Brush Platen to Uniaxial Compression Testing of Rocklike Materials.

Koji ISHIBASHI, Saga University

Abstract

One of the oldest and at present the most common test of intact rock samples is the uniaxial compression test (UCT). Although this test is extremely simple in concept, there are some factors which significantly affect the test results. Major factors are the specimen geometry, the contacting conditions between specimen and load platens, the rate of loading, the stiffness of the testing machine, and the environmental conditions. The effect of these factors has been studied by many authors.

Many techniques have been adopted to remove frictional restraint of the loaded surfaces of specimen. In this study, the author paid special attention to use of "brush platens [1]". These platens consist of a large number of closely spaced slender steel pins encased in a steel block at one end and bearing against the specimen at the other. Rock model specimens were made of cement mortar, and were cylinders 50 mm in diameter. Three values of strengths were specified as target strengths of rock models. The height-to-diameter ratio of specimen, the types of platens, and brush lengths of brush platens were employed as experimental parameters. The UCTs of rock model specimens were conducted and the deformational and strength behaviours were investigated. From this study, the application of brush platens to UCT of rock specimens, which have unsatisfactory standard/suggested specimen geometry, can be regarded as the suitable method to estimate their strengths.

1. はじめに

一軸圧縮試験法が、岩石の変形特性や強度特性を調べる最も一般的で簡便な試験法であることは衆知の通りである。一軸圧縮試験からは試験結果として弾性係数、ポアソン比、一軸圧縮強度といった岩石の力学的性質を評価するインデックスが得られる。一軸圧縮試験法の概念は非常に簡単であるが、得られる試験結果に大きく影響する要因が幾つかある。主要な要因として、試験片の形状および寸法、圧縮荷重の載荷速度、載荷板の材質と形状、使用する試験機の剛性、試験環境条件などが挙げられる。このため、国内外で多く研究者がこれらの要因に関する研究を行って来ている。このような背景から、一軸圧縮試験法に関する共通の基盤として、例えばわが国においてはJIS M 0302で岩石の強さ試験方法の基準を定め、ISRMでは岩石の一軸圧縮試験法の指針を取りまとめている。

本研究では、試験片と載荷板との間の摩擦問題、いわゆる端面摩擦の問題を取り上げた。端面の摩擦を低減あるいは取り除くために黒鉛や油の塗布、シリコンオイルとテフロンシートの挟み込み、特殊な試験片の使用、特殊な載荷板の使用等が試みられて来た。本研究では特殊な載荷板の使用の試みの範疇に当たるブラシ型載荷板¹⁾に着目した。BROWN らが岩石の一軸圧縮試験に利用した²⁾を参考にしてブラシ型載荷板を製作し、岩石モデルを用いた一軸圧縮試験を実際に行ってその特性と有用性について検討を行った。

2. ブラシ型載荷板

ブラシ型載荷板は細長いスチール製のピンを数多く密に束ね、一端の一部分を堅牢に固定し他端を載荷面とする言わば片持ばりの集合体である。この構造によりブラシ型載荷板の各ピンは、ポアソン効果による試験片載荷面の半径方向変位に追従して変形することが可能となる。これがブラシ型載荷板の端面摩擦解消のメカニズムである。本研究で用いたブラシ型載荷板を図-1に示す。1本のスチールピンは、一辺が3.2mmの正方形断面を有しており、その長さは76mmである。合計400本のスチールピンをスチールブロックで堅牢に固定している。載荷面側となるスチールピンの端部には、繰返し使用に伴う端部の塑性変形を防止するために数mmの範囲で高周波焼き入れを施している。ブラシ部の長さを変えれば、スチールピンのたわみ剛性を変化させることが可能である。

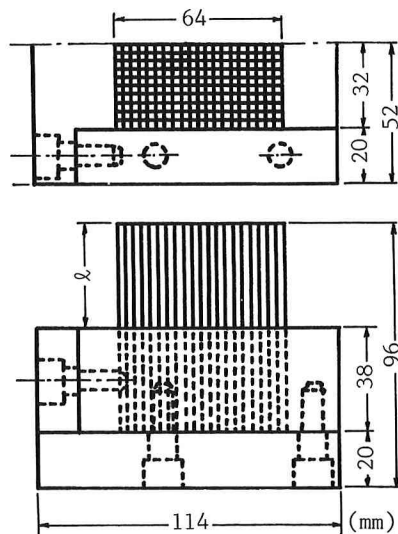


図-1 ブラシ型載荷板の概要

3. 実験方法

本実験のパラメータは、載荷板の種類（剛板型とブラシ型の2種類）、岩石モデルの一軸圧縮強度（高強度、中強度、低強度の3種類）、試験片の高さ直径比（ H/D 、直径 $D=5\text{cm}$ 、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0の6種）とスチールピンのたわみ剛性（ブラシ部の長さ、48mm、38mm、33mm、23mmの4種類）である。実験は2つのシリーズに分けて行った。

岩石モデルはセメントモルタルを用いて作製した。直径30cm、高さ25cmの円柱状のモデル岩塊を、目標強度に応じた配合のセメントモルタルで作製し、材令13週を待って直径5cmのコアを抽出した後、これを所定の H/D を持つ試験片に加工した。使用した一軸圧縮試験機はアムスラー型のモルタル試験機（最大載荷能力196.1kN）であり、毎秒490Nの荷重速度で試験片に圧縮荷重を載荷した。写真-1にブラシ型載荷板を用いた一軸圧縮試験状況を示す。

3-1 シリーズⅠ

本シリーズでは、スチールピンのブラシ部の長さを38mmと一定にして、高強度、中強度、低強度の3種類の岩石モデル試験片に対する一軸圧縮試験を行った。JIS A 1108に基づいて行った材令8週における各目標強度の岩石モデルの一軸圧縮強度は、それぞれ67.8、37.2、14.1 MPaであった。モデル岩塊から抽出し所定の H/D を与えた試験片は、剛板型とブラシ型の各載荷板にそれぞれ7本を供した。

3-2 シリーズⅡ

本シリーズでは、スチールピンのブラシ部の長さを48mmと23mmとに変化させて、中強度、低強度の2種類の岩石モデル試験片に対する一軸圧縮試験を行った。材令13週における各目標強度の岩石モデルの一軸圧縮強度は、それぞれ52.9と11.1 MPaであった。モデル岩塊から抽出し所定の H/D を与えた試験片は、剛板型と2種類のブラシ型載荷板にそれぞれ5本を供した。

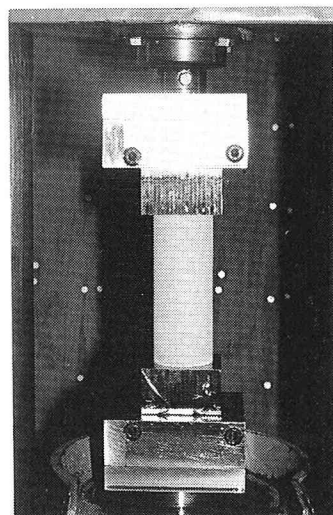


写真-1 ブラシ型載荷板による一軸圧縮試験状況

4. 実験結果

4-1 シリーズⅠ

1) 圧縮強さとH/Dの関係

図-2～4に各強度の試験片の圧縮強さとH/Dの関係を示す。平均値のみに注目すれば、いずれの強さの試験片においても、剛板型載荷板を用いて載荷した場合には、H/Dが1.0以下になると急激に圧縮強さが大きくなる傾向を示している。茂木がWesterly花崗岩 ($\sigma_c \approx 246$ MPa) を用いて行った実験結果³⁾は、H/Dが2.5未満になると圧縮強さが大きくなる傾向を与えている。一方、ブラシ型載荷板を用いて載荷した場合には、H/Dの低下に伴う圧縮強さの急激な変化は見られない。このことから、ブラシ型載荷板の使用が、圧縮強さに及ぼすH/Dの影響を極めて小さくすることを伺い知ることができる。BROWN らがWombeyan大理石 ($\sigma_c \approx 67$ MPa) を用いて行った実験結果²⁾は、より明瞭にこの現象が発現したことを示している。

次に、H/Dが2.0の場合のみに注目すれば、いずれの強度の試験片の圧縮強さも全体的な傾向をはずれて大きく評価される傾向が見られる。この傾向は使用した載荷板のタイプの違いによらず現れている。BROWN らの実験結果では、剛板型載荷板を用いた場合だけに現れている。JIS M 0302ではH/Dが1.5以下になると圧縮強さに及ぼす影響が大きくなるとして1.8～2.2の範囲が望ましいとしており、この点については別途の検討が必要である。H/Dが2.0以上になると、使用した載荷板のタイプの違いによらず、いずれの強度の試験片の圧縮強さも大差の無い値を与えて

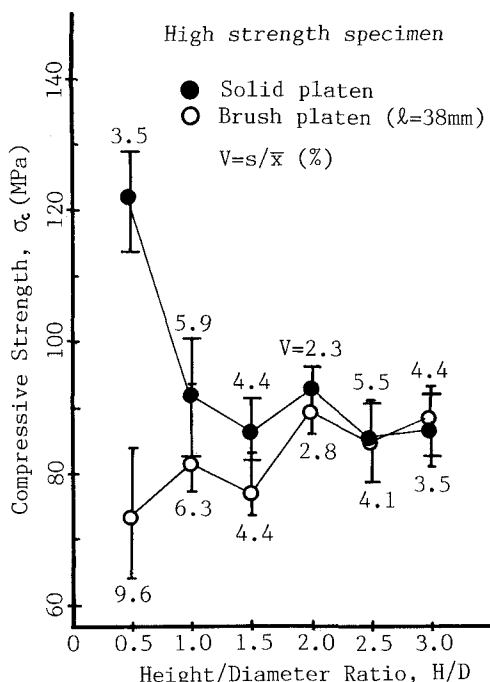


図-2 圧縮強さとH/Dの関係

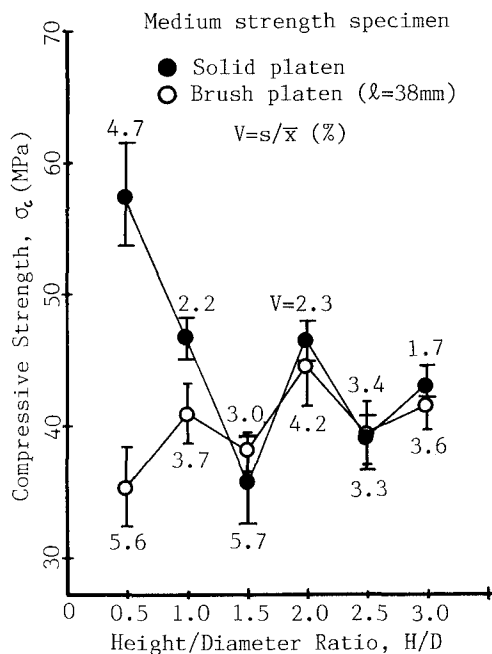


図-3 圧縮強さとH/Dの関係

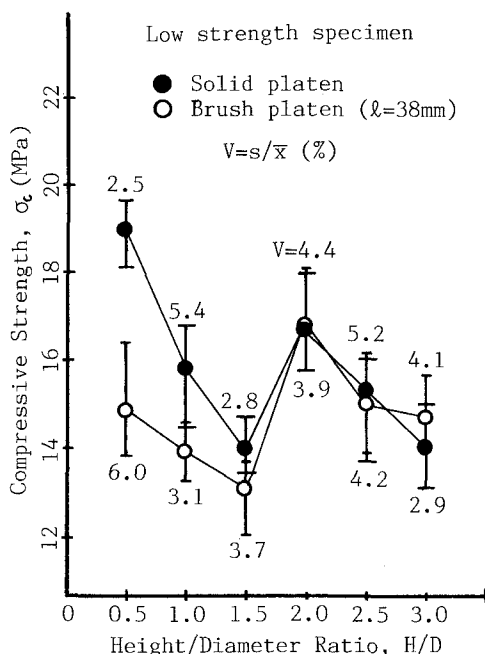


図-4 圧縮強さとH/Dの関係

いる。端面の摩擦が試験片内部の荷重方向応力に及ぼす影響を考えれば、 H/D の小さい試験片の方が大きい試験片よりもその影響の程度が著しくなることから、ブラシ型載荷板の使用は H/D が小さい試験片の試験に著しい効果を発揮するものと考えてよい。

図-2～4中の数字は各強度の試験片の圧縮強さの変動係数（ V ＝標準偏差／平均値）を示している。全般的に見れば、ブラシ型載荷板を用いた $H/D=0.5$ の場合を除き、変動係数は概ね5%以下であり、載荷板のタイプの違いによる試験結果のばらつきに大差は無いものと考えられる。ブラシ型載荷板を高強度試験片の $H/D=0.5$ の試験に用いた場合の変動係数は、他強度のそれに比べ大きな値を示している。試験片の剛性とスチールピンのたわみ剛性との関係を検討してみる必要がある。

2) 試験片の破壊状況

H/D が1.0～2.5の範囲の試験片においては、剛板型載荷板を用いた場合にはコーン状の小片を生じたり対角線に沿って破断する破壊形式が、ブラシ型載荷板を用いた場合には荷重方向に平行な破断面で破断する破壊形式が数多く観察された。高強度試験片については、剛板型載荷板を用いた場合であっても荷重方向に平行な破断面で破断する破壊形式も観察された。一方、 H/D が3.0となると載荷面近傍が局所的に破断するかたちの破壊を呈した。写真-2に試験片の破壊状況の一例を示す。観察された試験片の破壊の様相の違いから、ブラシ型載荷板の使用により端面摩擦が低減され、試験片内部、特に載荷面近傍の応力の乱れが抑制されることを伺い知ることができる。

4-2 シリーズⅡ

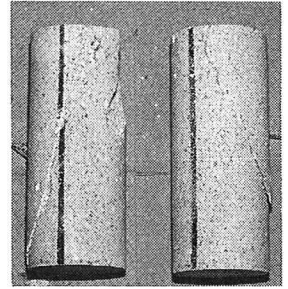
本シリーズはシリーズⅠの実験結果を受けて、特にスチールピンのたわみ剛性と試験片の圧縮強さとの関係を検討するために行った。

1) 圧縮強さと H/D の関係

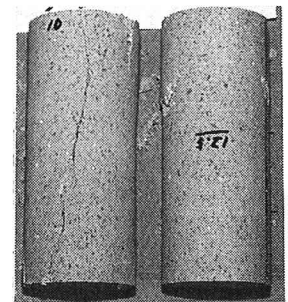
図-5、6に各強度の試験片の圧縮強さと H/D の関係を示す。中強度の試験片においては、ブラシ部の長さが33mm（本実験の中ではスチールピンのたわみ剛性が中位）の場合が、 H/D の全域に渡って比較的変動の少ない関係を与えている。一方、低強度の試験片においては、ブラシ部の長さが49mm（本実験の中ではスチールピンのたわみ剛性が最も小さい）の場合が、比較的変動の少ない関係を示している。一方、圧縮強さの評価値については、ブラシ部の長さが33mmの場合が他のブラシ部の長さの場合に比べ大きな圧縮強さを与える傾向を示している。さらに、本実験シリーズの結果は全般的に、ブラシ型載荷板の使用により圧縮強さが剛板型の使用に比べ小さめに評価される傾向を示している。シリーズⅠの実験結果とは様相が異なり、試験片の強度特性とスチールピンのたわみ剛性の関係を考察し得る結果とは言えない。しかしながら、圧縮強さの変動の傾向から、試験片の圧縮強さに応じたスチールピンのたわみ剛性が存在するものと推察される。

2) 応力～ひずみ曲線

H/D が1.5～2.5の場合についてストレインゲージを



(a) 剛板型載荷板



(b) ブラシ板型載荷板
写真-2 試験片の破壊状況($H/D=2.5$)

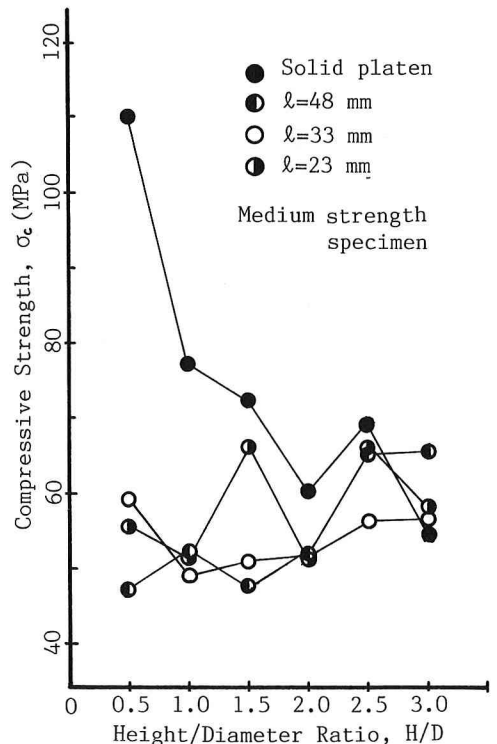


図-5 圧縮強さと H/D の関係

表-1 弾性係数の平均値 ($H/D=1.5\sim 2.5$)

H/D	HSS			MSS			LSS		
	1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5
S	3.6	3.4	3.4	2.7	1.9	2.1	0.74	0.84	0.93
B1	3.7	3.2	3.3	2.4	1.8	1.9	0.86	0.97	1.0
B2	3.8	3.3	3.4	2.1	1.9	2.1	0.95	0.95	0.94
B3	4.0	3.2	3.2	2.6	1.9	2.1	0.93	0.87	0.92

HSS:High Strength Specimen
MSS:Medium Strength Specimen
LSS:Low Strength Specimen
(Unit: $\times 10^4$ MPa)

S:Solid platen
B1:Brush platen ($\ell=48\text{mm}$)
B2:Brush platen ($\ell=33\text{mm}$)
B3:Brush platen ($\ell=23\text{mm}$)

貼付して応力～ひずみ関係を計測した。使用した載荷板のタイプの違いが応力～ひずみ関係に及ぼす顕著な影響は観察されなかった。応力～ひずみ曲線の描線範囲が H/D が大きくなるにつれて狭くなる傾向を示したが、これは貼付したストレインゲージのゲージ長を60mmと一定としたため、ひずみ計測範囲に対する端面の影響が異なるためと考えられる。導出された弾性係数の平均値を表-1に示す。中強度試験片においては H/D が小さい方がやや大きめの値を与え、剛板型載荷板を使用した場合がブラシ型載荷板を使用した場合よりやや大きめの値を与える傾向があるが、工学的に有意となるような差であると言えない。

4. むすび

ブラシ型載荷板の特性と有用性の検討を行った。試験片の数や試験片自身のばらつき等の問題はあがあるが、本実験の結果はブラシ型載荷板の使用により H/D の変化が圧縮強さに及ぼす影響を著しく緩和することを示している。さらに、試験片の破壊状態の違いを考慮すれば、ブラシ型載荷板が端面の摩擦を低減あるいは解消する機能を有していると言える。基準外寸法の試験片の利用を可能とする意味合いから、試験片の強度特性とスチールピンのたわみ剛性との関係の解明を含め、引き続き検討を行っている。

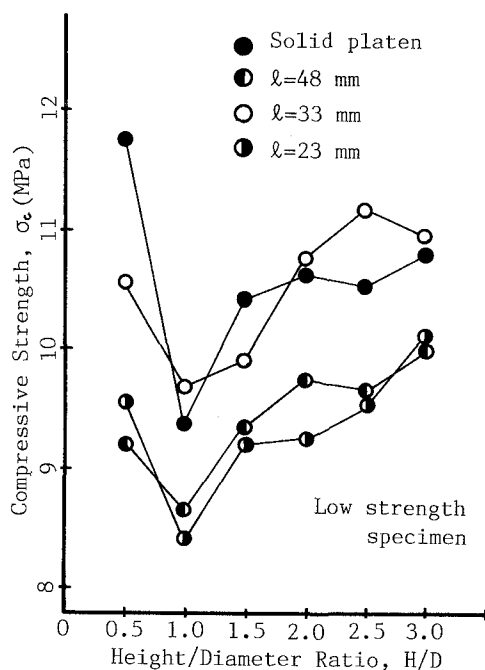


図-6 圧縮強さと H/D の関係

参 考 文 献

- 1) HILSDORF H.: "Die Bestimmung der zweiachsigen Festigkeit von Beton," Deutscher Ausschuss Stahlbeton, 173, 1965
- 2) BROWN, E.T. & GONANO, L.P.: "Improved compression testing technique for soft rock," Geotech. Engg. Div., ASCE, 100, pp.196-199, 1974
- 3) MOGI, K.: "Some precise measurements of fracture strength of rocks under uniform compressive strength," Rock Mech. Eng. Geol., 4, pp41-55, 1966