

## (63) 岩盤ブロックモデル試験とDDA解析による考察

埼玉大学 吉中 龍之進 吉田 淳  
熊谷組 新井 元 蟻坂 俊英  
鹿島建設(株) 佐々木 猛

Experimental Study on Jointed Rock Mass Model and Consideration  
by Discontinuous Deformation Analysis.

Ryunoshin YOSHINAKA Jun YOSHIDA, Saitama University  
Hajime ARAI Shunei ARISAKA, Kumagai-gumi Co. Ltd.  
Takeshi SASAKI, Kajima Corporation

### Abstract.

The stress-deformation behaviour of discontinuous rock masses fundamentally depends on the complex interaction between joints and rock material. This paper presents the bi-axial compression test results using artificial jointed rock-mass models shown in Fig.1 and some discussion with the calculated results by Discontinuous Deformation Analysis developed by G.H. Shi. The deformation and displacement measured in testing seems to be able to explain by DDA.

### 1. はじめに

不連続性岩盤の変形挙動は本質的に不連続である。このことは岩盤に内在する節理などの不連続面に起因することはよく知られている。このような岩盤の変形挙動を解析するために様々な面からのアプローチがなされている。本研究はこのような岩盤挙動の研究の一貫として行った基礎研究を述べたもので、不連続面でブロック状に分割されたモデル岩盤を用いた実験と解析からなる。解析には、G.H. Shi博士が開発した不連続変形法(DDA)を用いた。理論および解析手法の詳細は文献[1, 2]を参照されたい。

### 2. 岩盤ブロックモデルを用いた2軸載荷試験

不連続性岩盤モデルには、Fig. 1のような不連続面の配置の供試体を用いた。いずれの不連続面も平行なものではなく、貫通する不連続面を1本入れた。供試体は戸室石を気乾状態で用いており、全体の寸法は $40 \times 80 \times 20$ cmである。不連続面はダイヤモンド・カッターで切断した平滑な面と、多数のノミを打ち込んで作成した割裂破壊面の2種類であり、平滑面の基本摩擦角は $40^\circ$ である。

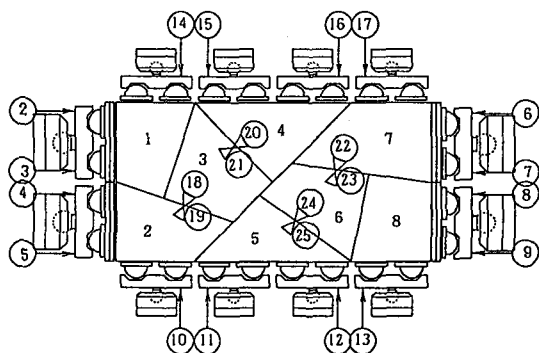


Fig. 1 供試体形状と計測点

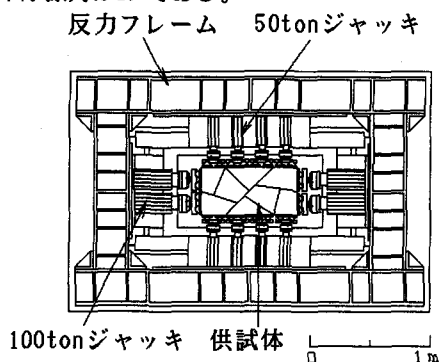


Fig. 2 載荷試験装置

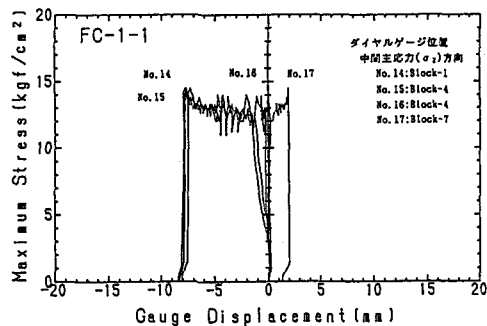
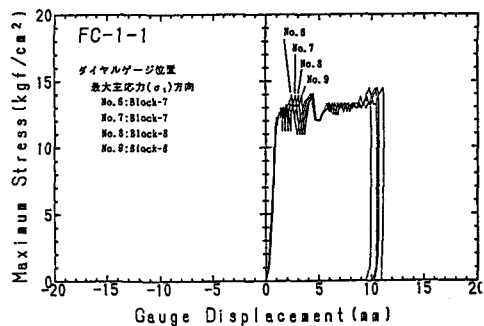
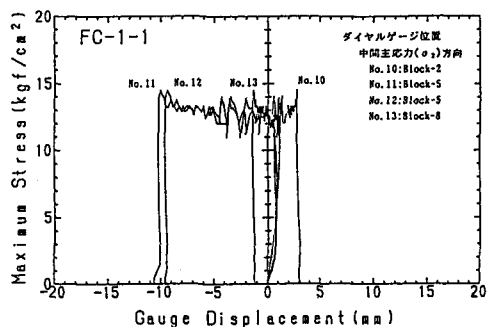
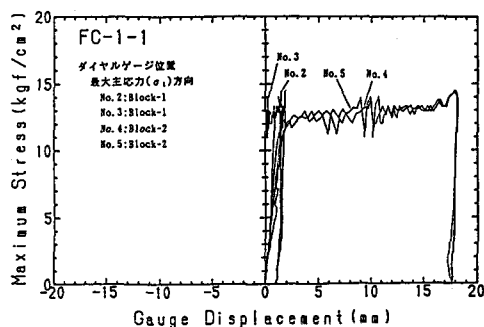


Fig. 3

Fig. 4

載荷はFig. 2のように40cmの面に最大圧縮力を4個のジャッキで加え、長手の80cmの面に拘束圧を8個のジャッキで加えている。拘束圧は一定で、本試験では2 kgf/cm<sup>2</sup>とした。40×80cmの面は拘束圧を加えない自由面である。変位の計測はFig. 1に番号をつけた点で計測した。すなわち供試体端面はダイヤルゲージ(LVDT)、内部表面には不連続面を挟んで亀裂変位計(2方向変位計)を配置した。

Fig. 3～5は平滑な不連続面供試体(FC-1-1)の実験結果を、供試体端面に加えた最大応力と各LVDTによって計測した変位との関係である。図中の番号はFig. 1の変位計と対応している。各測点ごとの挙動の特徴が現れている。長手軸方向は1～2mmの変位で最大強度に達し、以後顕著な塑性変位を示している。

Fig. 6～8は粗い不連続面の供試体(BC-1-1)の実験結果である。顕著なひずみ軟化および全体変位と不連続面のせん断変位の違いが特徴的である。供試体を構成する各ブロックの相対的動きは次節で解析結果と対比して述べる。

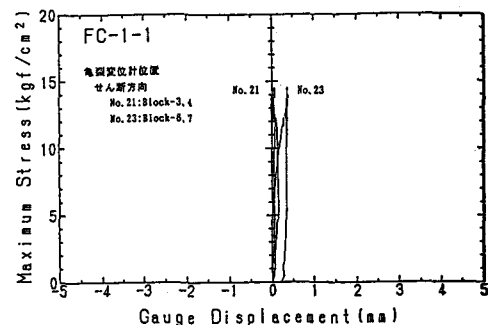
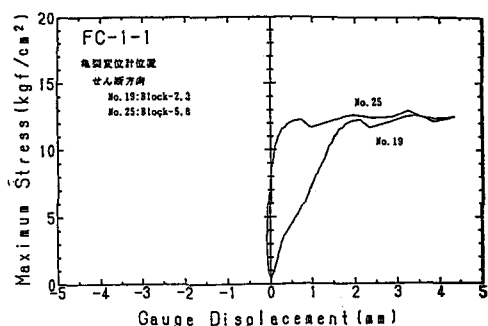


Fig. 5

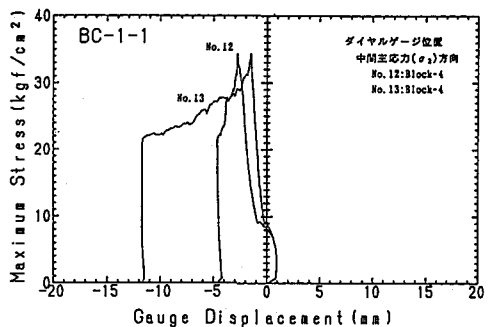
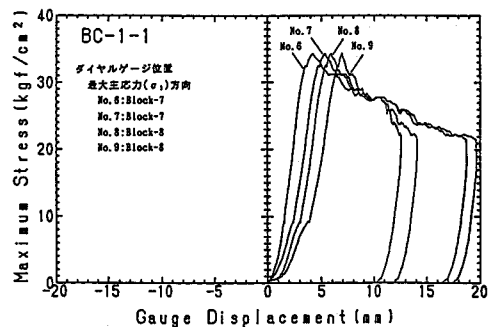
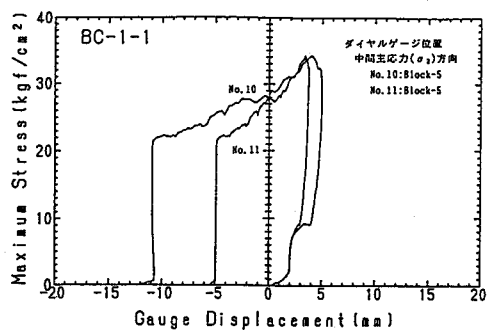
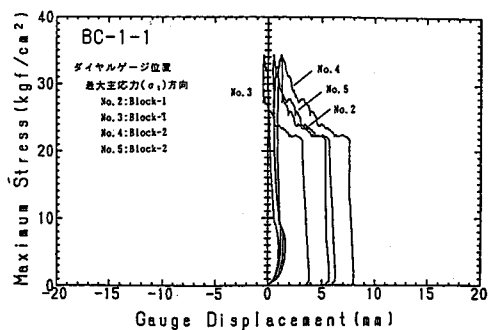


Fig. 6

Fig. 7

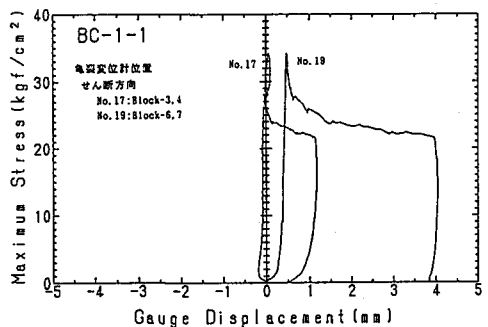
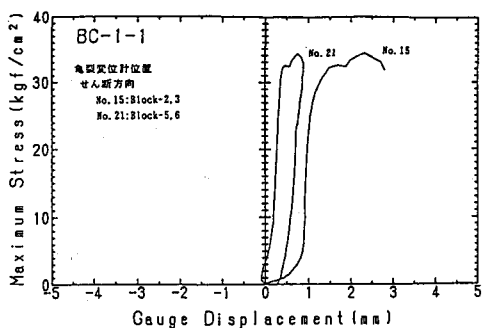


Fig. 8

### 3. 不連続変形法解析による検討

DDA解析モデルはFig. 9に示されており、供試体形状、ピストンジャッキ、球座付き載荷板などの幾何学条件をほぼ模倣したモデルとなっている。解析入力パラメータは各物性試験で求めた値であり、Table. 1に示す。本解析では要素間のすべりについてはMohre-Coulomb則を適用しており、ブロック間の摩擦角は $\phi=40^\circ$  (参考値として $0^\circ$ を加えた)、ピストンジャッキおよび載荷板間は $\phi=0^\circ$ である。またブロックと載荷板との間では $\phi=20^\circ$ であり、これは実験において用いたテフロンシートの摩擦角 $\phi=17^\circ$ に相当している。

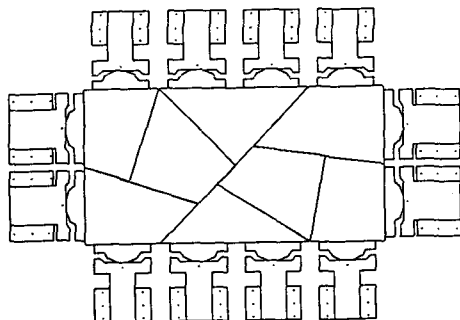


Fig. 9 DDA解析モデル

Table. 1 解析入力パラメータ

|                            | ブロック                | ジャッキ<br>載荷板        |
|----------------------------|---------------------|--------------------|
|                            | 戸室石                 | 鉄                  |
| 弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $1.44 \times 10^4$  | $2.10 \times 10^6$ |
| ポアソン比                      | 0.2                 | 0.3                |
| 単位重量(grf/cm <sup>3</sup> ) | 1.44                |                    |
| 基本摩擦角(°)                   | $0^\circ, 40^\circ$ | $0^\circ$          |

解析結果の一例をFig. 10(a)(b)およびFig. 11(a)(b)に示す。これらのうち、Fig. 10(b)はブロック間などの摩擦をゼロとしたもの、Fig. 11はFig. 10(a)の特徴を拡大するために側圧をゼロとしたものである。図からブロックの変形、主応力の流れが形成され、載荷板とジャッキを含めた不連続変形の状況が読み取れる。左上から右下に向かう主応力の流れが形成されそれをはさむ両サイドのブロックにキープロック状のすべり出しが生じている。

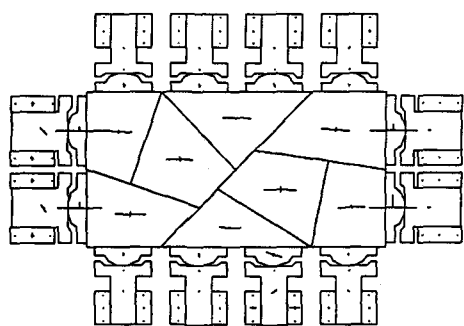
以上の解析結果に対する実験結果はFig. 12(a)(b)(c)のとうりである。図(a)は主軸の圧縮応力が $10.2 \text{ kgf/cm}^2$ で、Fig. 3～5で示したようにこの時点ではまだブロック間のすべりはない。図(b)は $13.95 \text{ kgf/cm}^2$ に達しておりブロック間のすべりが始まっている。図(c)は残留状態までの変位を重ねて描いたものである。実験結果と解析結果の比較から明らかなように両者により一致が見られる。

### 4. まとめ

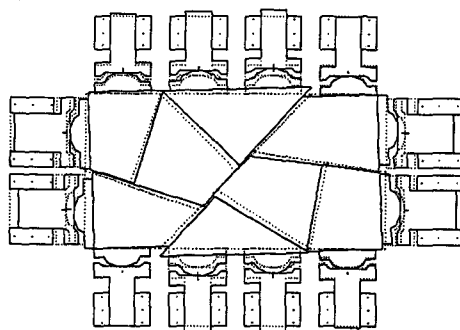
- (1)不連続性岩盤のモデル試験から岩盤全体の変形挙動と内在する不連続面の挙動の関係を求めた。
- (2)複雑に分布する不連続面からなる岩盤の安定性は、内部の最もクリティカルな不連続面の動きで知ることができる。
- (3)DDA解析と実験結果の比較からDDA解析は不連続性岩盤の挙動解析にきわめて有効な手段となりうること、ただし強度評価には若干の改良が必要となることが判った。

### 参考文献

- [1] G.H. Shi (1989): "Block System Modeling by Discontinuous Deformation Analysis." (Univ. California, Berkeley, 1989.)
- [2] 大西有三, 佐々木猛 (1992): "不連続変形法(DDA)とその岩盤工学への適用" (第24回土木学会岩盤力学に関するシンポジウム, 1992.)

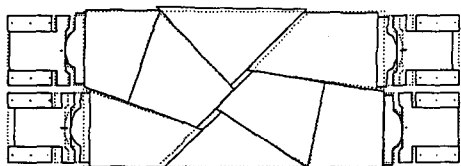


(a)主応力図( $c=0, \phi=40^\circ$ )

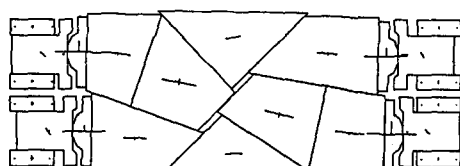


(b)変形図( $c=0, \phi=0^\circ$ )

Fig.10 2軸載荷解析結果



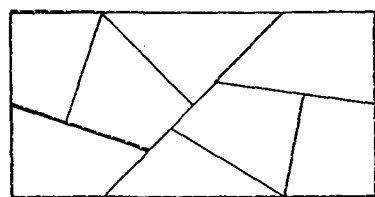
(a)変形図( $c=0, \phi=40^\circ$ )



(b)主応力図( $c=0, \phi=40^\circ$ )

Fig.11 1軸載荷解析結果

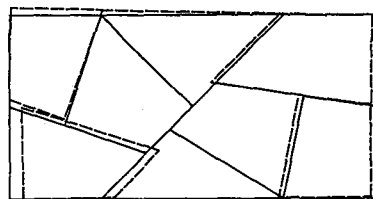
$\sigma_1=10.25 \text{ kgf/cm}^2$  count= 42



0 400mm Displacement Factor= 3.0

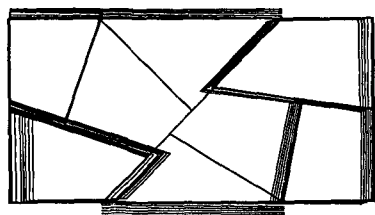
(a)

$\sigma_1=13.95 \text{ kgf/cm}^2$  count= 75



0 400mm Displacement Factor= 3.0

(b)



0 400mm Displacement Factor= 3.0

(c)

Fig.12 LVD Tによるブロック変位  
(変位量は3倍に表示)