

III-257 岩盤不連続面の垂直変形に関する実験的考察

埼玉大学 吉中 龍之進 吉田 淳 本山 憲一
 備前谷組 清水 昭男 新井 元 蟻坂 俊英

1. はじめに

不連続性岩盤の変形は、断層・節理・微小亀裂などの地質不連続面の変形によるものが大きい。特に不連続面の垂直変形は岩盤の変形問題だけでなく、岩盤内の浸透流にも大きな影響を与える要素である。本研究では岩盤不連続面の垂直変形特性についてその寸法効果に着目し、実験による検討を行った。

2. 垂直載荷試験

実験に使用した供試体は新鮮な花崗岩(茨城県笠間市産出, 通称 稲田石)による直径5cm, 長さ7cmのボーリングコアである(一軸強度は $\sigma_c = 1370 \text{ kgf/cm}^2$, ヤング率は $E = 5.53 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)。供試体中央部にはノミによる割裂破壊面を作成し、これを人工的なジョイントとした。

ジョイントを持つ岩石供試体に垂直載荷を行うと、図-1のようにきわめて非線形性の強い応力-変位関係が得られる。この時、全体の変形量からインタクトロックの変形量を引いたものをジョイントの垂直変形量とし、それから垂直応力(σ_n)-ジョイント閉塞量(v)関係を求める。

このような垂直変形性を表現するために種々のモデルが提案されているが[1]、本研究では以下に示す双曲線モデルを使用する:

$$\sigma_n = \frac{v}{a + b v} \quad (1)$$

ここで、 a, b は各ジョイントに固有の定数であり、これらから

$$\frac{1}{a} = K_{ni} : \text{初期垂直剛性}, \quad \frac{a}{b} = V_{max} : \text{最大閉塞量}$$

のように変形に関するパラメータが得られる。

垂直応力-閉塞量曲線の一例を図-2に示す。図中の○印が計測値であり、曲線は式(1)を最小自乗近似したものである。

3. 変形性における寸法効果

著者らは同じ花崗岩供試体で不連続面のせん断特性に関する実験を行っている[2]。そこで行った直接せん断試験は所定の一定垂直応力下における試験であり、そのときのデータから 20 kgf/cm^2 までの垂直応力-閉塞量関係が得られている。これらは広い範囲にわたるせん断面積についての試験であり、今回行った5cmコアによる結果と併せて垂直変形における寸法効果について検討した。

図-3はジョイント面積による初期垂直剛性 K_{ni} の変化をプロットしたものである。これより多少のばらつきはあるが、ジョイント面積の増加に伴って K_{ni} が低下する様子がみられる。図-4はジ

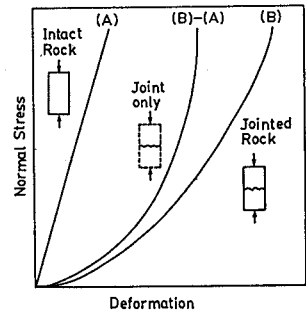


図-1 ジョイント変形量の算定

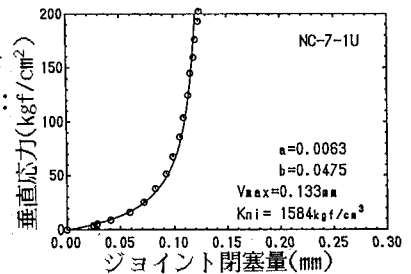


図-2 垂直変形曲線の一例

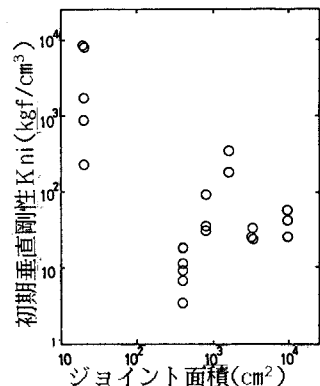


図-3 初期垂直剛性における寸法効果

ジョイント最大閉塞量 V_{max} の変化である。こちらはジョイント面積の大きなものほど、 V_{max} が大きくなっている。

このような結果の得られる理由として、1度開口したジョイントは人工的に作成した割裂破壊面であっても、全てが完全に噛み合っていないことが考えられる。垂直载荷時のジョイント表面の微小asperityの変形および接触面積によるジョイント閉塞についてはいくつかモデル研究が報告されている[3]。これらの研究から、ジョイント面積が大きくなるほど接触面積の割合が減少し、これによって K_{ni} の低下および V_{max} の増加が生じると考えられる。

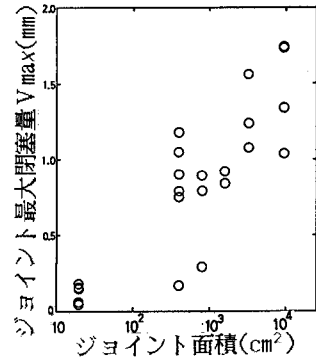


図-4 最大閉塞量における寸法効果

4. 繰り返し载荷による変形性

実際の不連続面は地質構造運動や地下空間の掘削などによって応力の载荷-除荷を繰り返し受けているものと考えられる。これらの影響を考慮するため、繰り返し载荷による変形性について検討した。繰り返し载荷による不連続面の変形は一般に図-5のようなヒステリシスを示す。これらの各载荷-除荷サイクルの変化をモデル・パラメータの変化として表-1に示す。

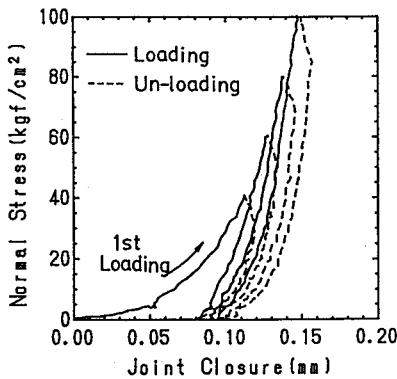


図-5 繰り返し载荷による変形曲線

表-1 各载荷-除荷サイクルのモデル・パラメータ

Cycle	σ_n		a	b	K_{ni}	V_{max}
1st cycle	40	载荷	0.0112	0.0768	892	0.146
		除荷	0.0037	0.0694	2724	0.053
2nd cycle	60	载荷	0.0012	0.0106	8568	0.110
		除荷	0.0034	0.0630	2912	0.054
3rd cycle	80	载荷	0.0013	0.0171	7594	0.077
		除荷	0.0031	0.0506	3254	0.061
4th cycle	100	载荷	0.0016	0.0222	6268	0.072
		除荷	0.0038	0.0545	2666	0.069

繰り返し载荷の挙動として、1回目の载荷において非線形性が強く、2回目以降の载荷はほぼ線形に近くなっている。しかし、2回目以降の载荷においても低応力部では非線形性を示し、この傾向は除荷において著しい。1回目の载荷における非線形性はジョイント表面の微小asperityの進行的な破壊によると考えられ、2回目以降の低応力部での非線形性は接触面積の増減によるものと考えられる。

5. まとめ

垂直変形における寸法効果および繰り返し载荷の実験から、ジョイント表面の微小asperityの変形およびその接触率が不連続面の力学特性に大きな影響を与えていると思われる。今後、この微小asperityによる不連続面のモデル化を行い、せん断変形などについてもそのモデルの適用を試みるつもりである。

6. 参考文献

- [1]Bandis,S.C. Lumsden,A.C. Barton,N.R.(1983):"Fundamentals of Rock Joint Deformation." Int. J. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abstr. Vol.20,pp.249-268
- [2]吉中,吉田,清水,新井,蟻坂(1990):"岩盤不連続面の強度・変形特性の寸法効果に関する研究" 第8回岩の力学国内シンポジウム, 1990, pp.91-96
- [3]Hopkins,D.L. Cook,N.G.W. Myer,L.R.(1987):"Fracture Stiffness and Aperture as a Function of Applied Stress and Contact Geometry." Proc. 28th U.S. sympo. Rock Mech. pp.673-680