

Ⅲ－7 分布亀裂の進展・連結に注目した材料の強度特性評価に関する実験的研究

東北大学 学生会員 ○篠田 健
正会員 京谷 孝史
フェロー 岸野 佑次

1. はじめに

筆者らは、岩石材料の力学特性と不連続面の分布状況の情報から、岩盤の変形強度特性を定量的に予測評価する方法の研究を進めている¹⁾。

本研究は、その研究のひとつとして、角度および配列を変化させた分布亀裂を有するセメント供試体を用いた一軸圧縮試験を行い、不連続面として分布亀裂を含む材料の力学特性を実験的に把握し検討するものである。

2. 供試体について

図-1に示すような分布開口亀裂を有するセメント供試体に対して一軸圧縮による単調載荷試験および繰り返し載荷試験を行った。供試体の大きさは $140 \times 140 \times 50$ (:mm)で、亀裂の角度と配列を変化させている。基質部のセメントペーストは早強ポルトランドセメントを用い配合条件 $W/C=0.35$ で作成し、室温で1日間静置後、 20°C の恒温水槽内で7日間養生させた。この条件下における円柱供試体の一軸圧縮強度、ヤング率、ポアソン比を表-1に示す。

開口亀裂は、鋼鉄製の薄板により供試体を通すように作成した。その1つの大きさは幅 $10 \times$ 厚さ 0.4 (:mm)である。亀裂角度については、水平からの角度を 22.5° 間隔で $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ まで変化させた5種類とした。これを、格子配列、千鳥配列の2種類と組み合わせ、角度・配列の異なる供試体全10パターンについて試験した。

表-1 セメント供試体の材料物性値

一軸圧縮強度 (MPa)	ヤング率 (MPa)	ポアソン比
63.97	7619	0.1296

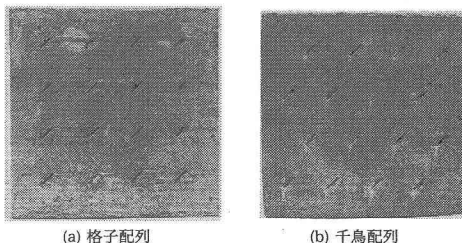


図-1 供試体概要 (亀裂角度 45°)

3. 単調載荷試験について

図-2に亀裂の配置状態の違いによる強度変化の様子を示す。全体的に格子配列の方が強度が大きいことがわかる。格子配列においては全てのケースで載荷軸方向に破壊面が形成された。これは、亀裂間に図-3に示すような柱状構造を形成し、その柱状構造が主に荷重を受け持ったと考えられる。格子配列の場合、セメントという圧縮に強い基質材料の影響が強く出て、亀裂を含む弱い部分の影響が出にくく強度も大きくなったと言える。一方、千鳥配列においては、亀裂が供試体内にまんべんなく分布しているため部分的な脆弱がなく、亀裂による影響がよく現れていると考えられる。

図-2に供試体の示した初期降伏強度および最大強度を示す。格子配列の供試体では、最大強度、初期降伏強度ともに亀裂角度 45° で最大となる傾向を示した。一方、千鳥配列の供試体は、最大強度は 22.5° が最も小さく、以降角度が大きくなるにつれて線形的に大きくなっている。また、初期降伏強度は、 0° から 45° まで徐々に小さくなり、 67.5° および 90° で大きくなっている。これは、千鳥配列でも高角度においては載荷軸方向に破壊面が形成され、柱状構造に近くなるからだと考えられる。また、亀裂角度 0° では、ひび割れが既存亀裂の先端からは発生しないため、せん断方向の力が亀裂間で伝わらず強度が大きくなったと思われる。

図-2では解析による強度予測値も併せて示している。開口亀裂を連続弱層とみなし、均質化法を用いて均質化弾性係数、巨視的破壊基準を求め、さらにそれを用いて両端面を完全拘束し一軸圧縮試験の極限支持力解析を行った。角度の違いによる強度は、千鳥配列における初期降伏強度の実験値と定性的には類似した結果を得られたが、定量的に評価できているとは言い難い。解析ではユニットセル内における微視的破壊によって巨視的破壊基準を決定するためにかかなり安全な評価となつている。解析においては、実験結果から得られた強度の要因についての影響が、把握できていないと言える。

4. 繰り返し載荷試験について

分布亀裂を含む材料の破壊課程を分析、検討するために、一軸圧縮による繰り返し載荷試験を行い、載荷変位とエネルギー消散の関係を調べた。

繰り返し載荷試験では、載荷変位速度を 0.10mm/min と

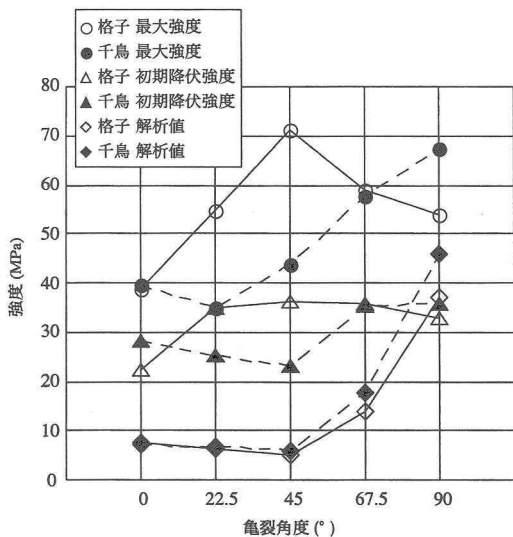


図-2 強度と亀裂角度の関係

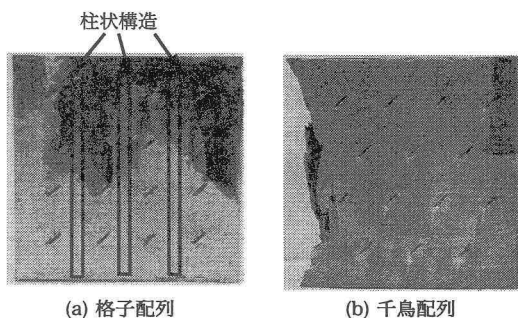


図-3 破壊後の供試体例 (亀裂角度 45°)

して、荷重変位を 0.25mm 刻みで 1.50mm まで増加させながら、荷重・除荷を 6 サイクル行った。試験機と供試体の接触面にはグリスを塗布し、端面摩擦抵抗による影響を軽減するよう工夫した。

各サイクルごとの荷重-変位関係をまとめた一例を図-4 に示す。4 サイクル目あたりから荷重曲線と除荷曲線に開きが見られエネルギー消散の様子が顕著にわかる。図-5 に、供試体が吸収したエネルギーについて、荷重-変位曲線における荷重曲線と除荷曲線および x 軸が囲む面積を各サイクルごとに計算しまとめた。亀裂角度の違いによって、それぞれの消散エネルギーが異なることがわかった。また、4 サイクル目あたりから急激に消散エネルギーが増加しており、亀裂の配置条件が供試体の力学特性に影響を及ぼすことがわかった。また、このプロットは指数関数によって高精度で近似できた。

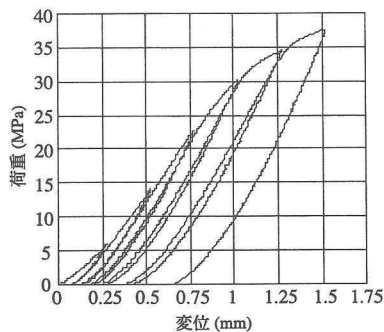


図-4 荷重-変位曲線例 (格子 45°)

回帰曲線式

格子 22.5°	$y = 5.98 \times 10^{-7} e^{394x}$	R = 0.998
千鳥 22.5°	$y = 7.33 \times 10^{-7} e^{377x}$	R = 0.997
格子 45°	$y = 9.95 \times 10^{-7} e^{379x}$	R = 0.994
千鳥 45°	$y = 7.05 \times 10^{-7} e^{416x}$	R = 0.995
格子 67.5°	$y = 7.56 \times 10^{-7} e^{393x}$	R = 0.998
千鳥 67.5°	$y = 8.43 \times 10^{-7} e^{389x}$	R = 0.987

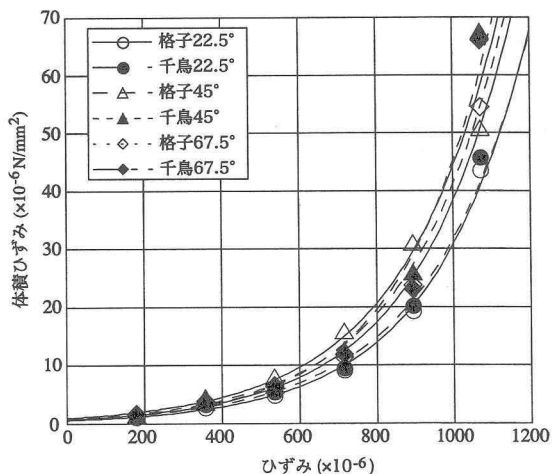


図-5 供試体が吸収したエネルギー

5. おわりに

本研究により、分布亀裂を含む供試体は亀裂の配置条件によってひび割れが発生・進展する傾向が様々で、それに伴い破壊の様子が異なり、その力学特性に影響していることがわかった。また、繰り返し荷重試験において、変位を線形的に増加させた場合、供試体が吸収したエネルギーは指数関数でよく近似でき、荷重変位とエネルギー消散の関係から強度特性を評価することが可能となると期待される。

参考文献

- 1) 京谷孝史, 欧陽立珠, 寺田賢二郎: 岩石の力学特性と不連続面画像情報による岩盤の変形強度特性評価, 土木学会論文集, 第 631 号/III-48, pp.131-150, 1999.