

個別要素法を用いた原位置岩盤変形試験の数値シミュレーション

(その2: 岩盤不連続面の傾斜角の影響)

長崎大学工学部 学生会員 ○下田翔 長崎大学大学院 学生会員 佐保亮輔
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦
 九州電力(株)土木部 正会員 山上裕也 九州電力(株)土木部 正会員 生貞幸治

1. はじめに

ダムや橋梁、原子力発電所など岩盤を基礎とする構造物の設計を行う場合、岩盤内の不連続面の挙動を含めた基礎岩盤の強度・変形特性を把握しておく必要があり、この評価方法として原位置での岩盤変形試験や岩盤せん断試験が実施されている。ある現場の高角度の不連続面が卓越する岩盤を対象に岩盤変形試験を実施したところ、鉛直载荷と水平载荷で割線弾性係数にあまり差がないという結果が得られている。

ここでは、この試験結果の妥当性を確認するため、個別要素法を用いた岩盤変形試験の数値シミュレーションを実施し、不連続面の傾斜角の影響、すなわち変形特性の異方性に着目し、不連続面の分布性状が岩盤の変形特性に及ぼす影響について詳細に検討する。

2. 対象岩盤¹⁾

対象岩盤は、硬岩に分類される中生代の堆積岩(礫岩)で、不連続面の調査結果によれば、割れ目間隔は 3~10cm(平均約 5cm)で、 60° ~ 90° (平均約 75°)の高角度割れ目が卓越している。そのため、水平载荷での岩盤試験面においては、 0° ~ 30° (平均約 15°)程度の低角度割れ目が卓越することとなる。

一方、力学特性に関して、岩盤基質部については、一軸圧縮試験と圧裂試験から、割れ目については、垂直荷重载荷試験と一面せん断試験結果から表-1(a)、(b)のような特性値が得られている。

3. 解析モデルと解析ケース

本検討で用いる解析モデルは対象岩盤の性状に基づき、図-1 に示すように Set1 と Set2 を配置し、検討ケースとして、Set1 の間隔 t を 3、5、10cm、Set1 の傾斜角 α を 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 、Set1 の間隔 t と Set2 の間隔 b の比 b/t を 2 と固定し、シミュレーションを行った。また、解析用物性値として表-1(a)、(b)に示す諸定数を設定した。なお、参考のため、Set2 を配置せず Set1 のみをモデル化したケース、及び $b/t=1$ 、2、3 と変化させることによる Set2 の密度の違いによる影響も検討することとした。

本検討では、地盤工学会基準に準拠し実施された岩盤変形試験の最大荷重 1.5MPa時の変形挙動を検討対象とし、数値シミュレーションを実施した¹⁾。

4. 解析結果と考察

図-2(a)に、割線弾性係数と傾斜角 α の関係を Set1 傾斜角で整理し、岩盤変形試験結果も合わせて併記したものを示す。これにより、岩盤変形試験の結果は、ばらつきがあるものの、数値シミュレーションの結果 $t=3\sim 10\text{cm}$ の範囲に良く対応しており、数値シミュレーション結果からも、Set1 傾斜角 α の違いによる異方性が顕著ではなく、また、Set1 傾斜角 α が 0° ~ 30° 程度の低角度の方が、高角度に比べ割線弾性係数が若干低下する傾向も岩盤変形試験結果と良く対応する結果となった。この結果は、図-3(a)に示す $\alpha=15^{\circ}$ 及び 75° における変位ベクトル図から分かるように、 $\alpha=15^{\circ}$ のケースにおいては変形が分散され岩盤全体に変位が広がっていることに対して、 $\alpha=75^{\circ}$ のケースにおいては载荷板直下に変形が卓越することによるものであると考えられる。

表-1 力学特性値

(a) 岩盤基質部

項目	値
密度 ρ (g/cm ³)	2.66
静弾性係数 E (MPa)	7.1×10^4
静ポアソン比 ν	0.18
粘着力 c (MPa)	22.3
内部摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)	62.0
引張強度 σ_t (MPa)	10.2

(b) 割れ目

項目	値
垂直剛性 K_n (MPa/mm)	31.78
せん断剛性 K_s (MPa/mm)	3.22
粘着力 c (MPa)	0.027
内部摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)	35.9

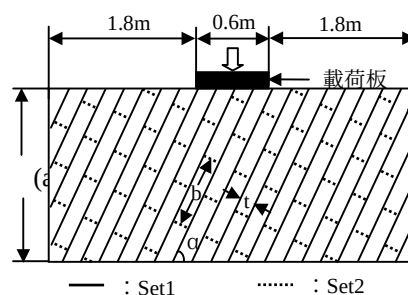


図-1 解析モデル

一方、参考として、図-2(b)に Set1 のみのケースを図-2(a)と同様に整理したものを示す。これにより、Set1 のみのモデルでは全体的に割線弾性係数が大きな値となり、さらに、高角度での異方性の影響が顕著であることがわかった。このことは、図-3(b)に示す $\alpha = 15^\circ$ 及び 75° の変位ベクトル図から分かるように、傾斜角 α が 15° から 75° へと高角度になるにつれて変形が載荷板直下に集中することは $b/t=2$ の結果と同様であるが、 $b/t=2$ においては、傾斜角 α が 75° から 15° になることによる最大変位の増分は 1.06 倍程度であったのに対し、Set1 のみにおいては、2.43 倍となること、また $b/t=2$ と Set1 のみの場合の同じ傾斜角での最大変位を比較すると、 $\alpha = 15^\circ$ では 3.16 倍、 $\alpha = 75^\circ$ では 7.26 倍といった明確な差が認められ、Set2 が岩盤の変形挙動に及ぼす影響は非常に大きいことが明らかとなった。また、図-2(c)に、 $t=10\text{cm}$ と固定し、 $b/t=1, 2, 3$ と変化させることによる Set2 の密度の違いによる影響を整理したものを示す。これより、Set2 の密度が小さくなるにつれて、高角度での異方性の影響が現れることが確認され、このことから、Set2 の密度も岩盤の変形挙動に影響を与えることがわかった。

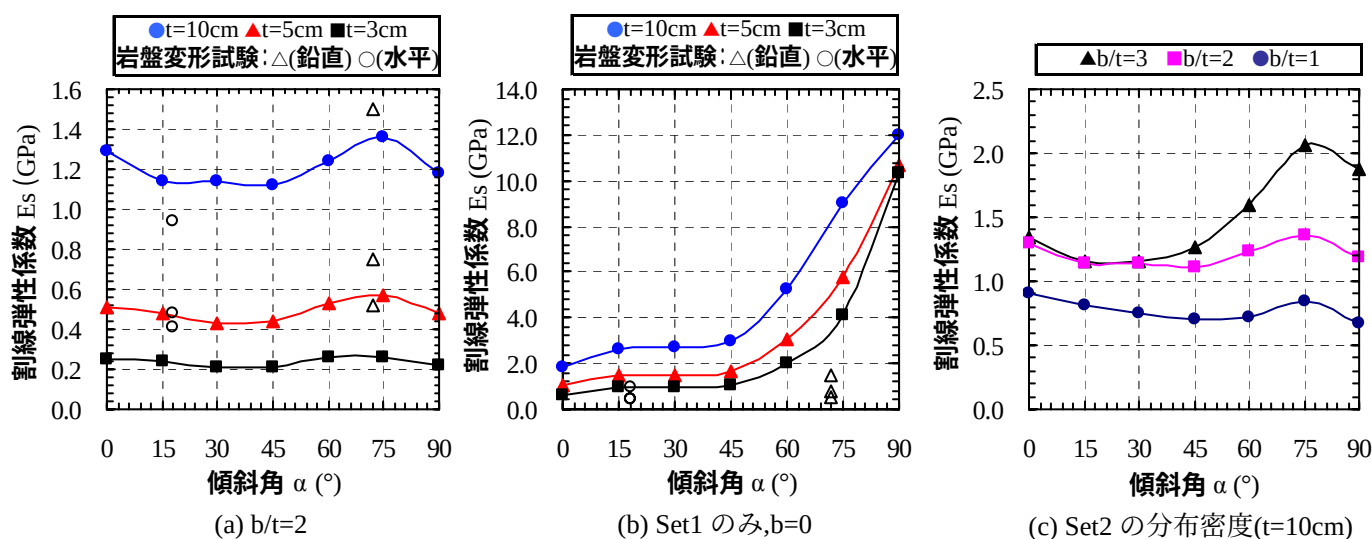


図-2 割線弾性係数に対する傾斜角の影響

5. おわりに

本研究では、現地での詳細な地質調査及び適切な試験方法により得られた力学特性に基づき、対象岩盤のモデル化を行い、岩盤不連続面の傾斜角が岩盤の変形挙動に及ぼす影響を検討した結果、岩盤変形試験結果を精度良くシミュレーションすることができた。このことから、本検討で対象とした傾斜角による顕著な異方性が生じていないという岩盤変形試験の結果は、対象岩盤の不連続面の幾何学的分布や、不連続面および岩盤基質部の力学的特性を適切に反映したものであると判断できる。

【参考文献】

- 1) 佐保亮輔, 李博, 蔣宇静, 棚橋由彦, 山上裕也, 生貞幸治: 個別要素法を用いた原位置岩盤変形試験の数値シミュレーション(その1: 岩盤不連続面の密度の影響), 平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2008

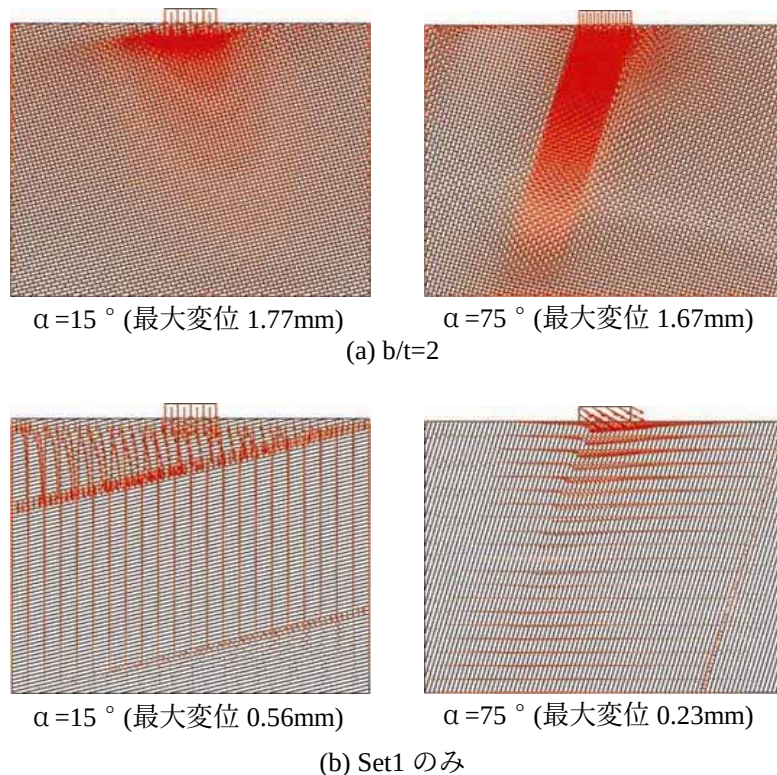


図-3 変位ベクトル図($t=5\text{cm}$)