

Ⅲ-B384 個別要素法による不連続面物性の同定に関する検討

清水建設技術研究所 正会員 ○若林成樹 多田浩幸

1. はじめに 岩盤挙動評価に個別要素法(UDEC)、MBCやクラックテンソル法などの不連続体解析が盛んに利用されてきている。これらの解析には不連続面の分布モデルや不連続面・岩盤物性に関連する入力定数が必要になるが、調査・試験結果から直接に評価するのが困難な定数も含まれる。そのため、前報^{1,2)}では2次元のUDEC解析を取り上げ、解析値と空洞掘削時の岩盤内変位の計測値との誤差の自乗和を最小にする方法で入力定数である岩盤(ブロック)の弾性係数と不連続面の垂直・せん断剛性を同定した。その際、実際の空洞ではケーブルボルトによる支保がなされているが、簡単のために支保は考慮せずに物性を同定していた。そこで本検討ではケーブルボルトを考慮して物性を同定し、ケーブルボルトの有無による比較を行った結果を報告する。

2. 解析対象および解析モデル 対象としたのは図-1に示す土被り約1,000mの非常に良好な角閃石片麻岩中に掘削された直径40m、高さ57mのドーム型空洞である。解析断面とした空洞中央部付近では①～③の3本の岩盤内変位計が設置されている。また、空洞は全周にわたって3mピッチで長さ8mのケーブルボルトで支保されている。不連続面の分布モデルは前報と同じ図-2を用いた。すなわち、空洞天端と周辺坑道のスケッチから広域にわたって連続していると判断された不連続面はその位置を入力し、他の不連続面はスケッチから平均間隔・分散を算出して密度が同じになるように統計的に不連続面を発生させて作成した。UDEC解析においてケーブルボルト³⁾は図-3に示すようにボルト自体は一軸引張に耐える一次元材として引張降伏力限界としてモデル化され、ボルト/グラウトおよび岩盤間のせん断挙動は粘着力(sbond)、せん断剛性(kbond)で表現される完全弾塑性でモデル化される。石塚ら⁴⁾の室内試験結果に基づいて、ケーブルボルトの引張降伏力は261kN、粘着力=155kN/m、せん断剛性=1.28×10⁵kN/m/mとした。

3. 同定手法 同定する物性値は岩盤の弾性係数、不連続面の垂直・せん断剛性の3種類とし、不連続面の滑りなどは考慮せず弾性とした。初期地圧は既知、物性は解析領域内では均一として取り扱い、掘削と同時に変位計とケーブルボルトが設置されるとして解析した。そして物性をパラメトリックに変化させ、次式の計測値との誤差の自乗和が最小になる物性値を求めた。

$$\text{誤差自乗和} = \sum (\text{解析値} - \text{計測値})^2 \quad \text{----(1)}$$

各物性値の変動範囲は室内試験結果²⁾を参考に次のように定めた。現場から採取したコアの弾性係数は50.3GPaであったので岩盤の弾性係数Eは50,40,30,20GPaとした。採取した不連続面のせん断・垂直載荷試験からせん断剛性Ksは4～50GPa/m、垂直剛性Knは30～102GPa/m、剛性比Kn/Ksは0.6～25であったので、剛性比(Kn/Ks)が1と10の2

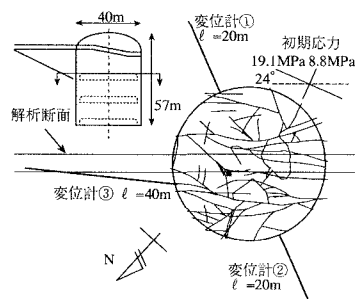
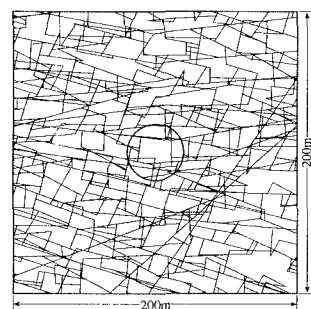
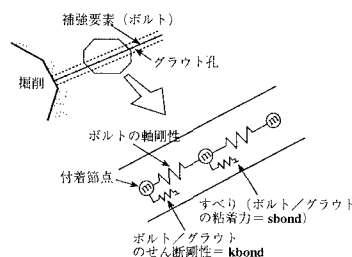


図-1 空洞と変位計の設置位置

図-2 解析に用いた
不連続面分布モデル図-3 ケーブルボルトの
モデル化概念図

個別要素法、同定、ケーブルボルト、せん断剛性、垂直剛性

〒135-8530 東京都江東区越中島3丁目4番地17号 TEL 03-3820-5520 FAX 03-3820-5955

ケースを想定し、 K_n を0.75～100GPa/mの範囲で変化させた。

4. 同定結果 図-4に誤差自乗和と E, K_s, K_n との関係を示す。図中には各 E における最小の誤差自乗和も記した。 E が小さくなると最小誤差となる K_n, K_s は大きくなるが誤差値はさほど変化しない、剛性比が1の方が誤差が少なくなる傾向がある。また、ケーブルボルトを考慮すると最小誤差を示す K_n, K_s は全体的には小さくなる傾向がみられる。しかし、今回の K_n, K_s の変化ピッチではケーブルボルトを考慮してもしなくても $E=30\text{GPa}, K_n=K_s=2.5\text{GPa/m}$ で誤差は最小となり、室内試験結果より大幅に小さい物性が同定された。このときのケーブルボルトの軸力分布を図

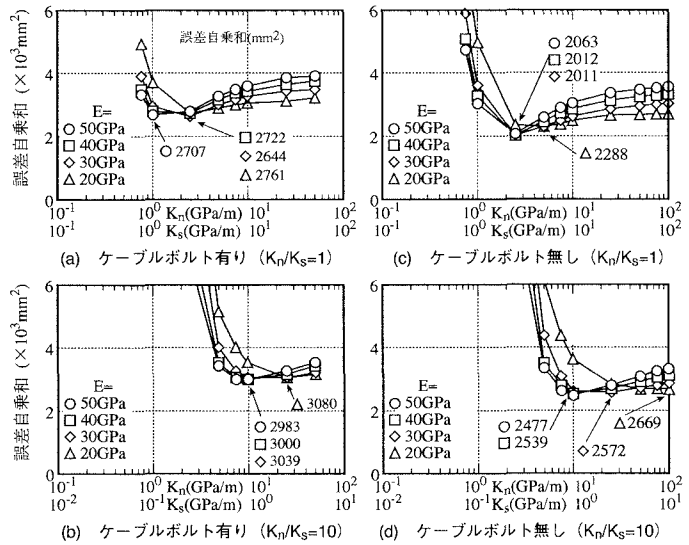


図-4 誤差の自乗和

ー5に、変位計の計測値と解析値との比較を図-6に示す。ケーブルボルトは不連続面を横切るところで大きな軸力が発生し、最大で約90kNとなっている。解析変位はケーブルボルトを考慮した場合もしない場合も変位計②が計測値と最も一致するが①では小さく、逆に③では大きくなっている。ケーブルボルトを考慮すると変形が全体に抑制され、変位計③は計測値に近づくが、逆に変位計①、②では離れる結果となっている。

5. まとめ ケーブルボルトを考慮すると同定される不連続面の垂直・せん断剛性は考慮しない場合に比べて小さくなる傾向が確認された。しかし、今回の物性の変化ピッチではケーブルボルトを考慮してもしなくても、 $E=30\text{GPa}, K_n=K_s=2.5\text{GPa/m}$ で誤差が最小となった。ケーブルボルトを考慮すると変形が全体に抑制され、考慮しない場合に比べて計測値に近づく解析変位もあるが、逆に離れるものもあるため、今回の K_n, K_s の変化ピッチでは最小誤差となる物性値は変化しなかったと考えられる。また、同定された物性値が室内試験結果より大幅に小さいのはモデル化されなかった不連続面の影響やスケール効果の影響と考えられる。今後は物性の不均一性や不連続面モデルの修正も考慮して掘削段階ごとに物性同定と予測解析を組み合わせることで精度の向上を図りたい。

【参考文献】 1)若林成樹、石塚与志雄、多田浩幸：個別要素法の入力物性値の同定に関する検討、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-B、pp834-835、1998。 2)若林成樹、多田浩幸：不連続性岩盤解析の力学パラメータの同定に関する検討、第29回岩盤力学に関するシンポジウム、pp201-205、1999。 3)Itasca Consulting Group Inc.: UDEC Version 3.0 Manual, 1996。 4)石塚与志雄、安部透：ケーブルボルトの付着抵抗特性と解析モデルに関する研究、トンネル工学研究論文・報告集、第7巻、pp7-14、1997。

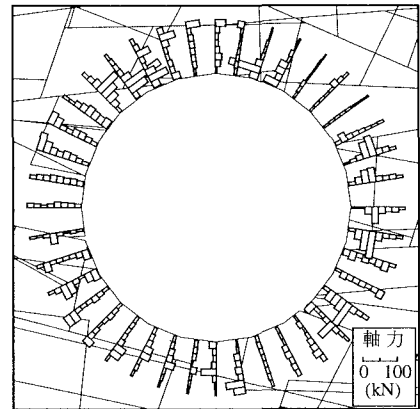


図-5 ケーブルボルトの軸力

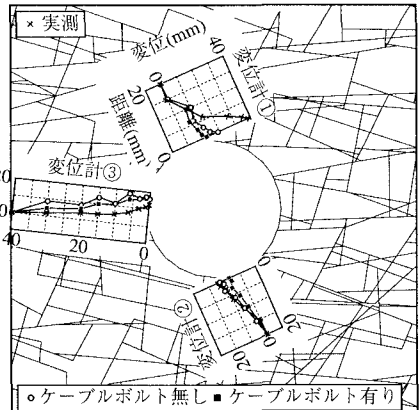


図-6 解析結果と計測値との比較