

Ⅲ-B417

個別要素法の入力物性値の同定に関する検討

清水建設技術研究所 ○若林成樹 石塚与志雄 多田浩幸

1. はじめに 岩盤挙動評価に個別要素法（UDE C）、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、実測し難い定数や試験結果から直接に評価できない定数も含まれる。不連続体解析が適用されるのは大規模な岩盤空洞の場合が多く、事前に調査坑や作業坑で各種計測が行われる。その計測結果から入力定数を同定し以後の挙動予測ができれば非常に有効である。例えば清水ら¹⁾は個別要素法で各ブロックの3点の計測変位から最終変形量を推定したり、日比野ら²⁾は解析値と計測値との誤差の自乗和が最小になるようにMBC解析の各種入力定数を同定したり、山辺ら³⁾はカルマンフィルターを用いて不連続面物性を逆解析で求める方法を提案している。本報告では計測値と解析値との誤差の自乗和を最小にする方法で2次元のUDE C解析に必要な岩盤（ブロック）と不連続面の物性同定を試みた結果を述べる。

2. UDECによる物性同定方法 UDEC解析に必要なのは不連続面の分布モデル、岩盤（ブロック）物性と不連続面物性である。分布モデルは不連続面調査結果に基づいて作成するが、全ての不連続面をモデルに取り込めるわけではない。また、2次元モデルでは不連続面の走向・傾斜をいずれかしか表現できないなどの限界がある。これらは岩盤や不連続面物性に影響するが、各種試験結果から物性のスケール効果を踏まえた上で評価するのは困難である。そこで岩盤と不連続面の物性をパラメトリックに変化させた解析を行い、次式に示す計測値との誤差の自乗和が最小になるような物性値を求めることにした。

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

簡単のため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、解析領域内では均一とする。また、初期地圧は既知として取り扱う。

3. 岩盤内変位を利用した物性同定例 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。空洞周辺には①～③の3本の岩盤内変位計が設置されている。解析は空洞中央部付近の断面で実施した。不連続面の分布モデルは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。ブロックを形成しない不完全な不連続面を削除して作成した分布モデルを図-2に示す。

現場から採取したボーリングコアの室内試験結果から弾性係数Eは5.03GPaであった。不連続面は図-3に示すような垂直変形挙動を示し、採取時の乱れや初期地圧を考慮して3回目の15～0MPaの除荷時の割線から垂直剛性Knとして108

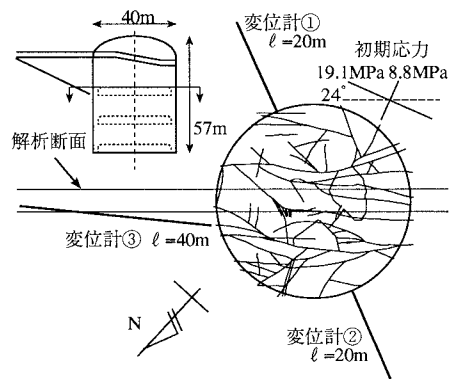


図-1 空洞と変位計の設置位置

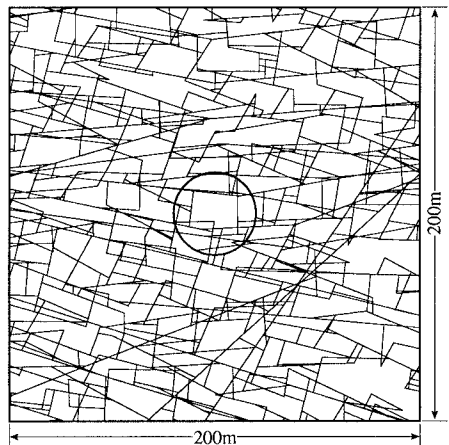


図-2 解析に用いた不連続面分布モデル

個別要素法、同定、弾性係数、せん断剛性、垂直剛性

～297GPa/mを得た。せん断剛性 K_s はBandisら⁴⁾の剛性比(K_n/K_s)と垂直応力との関係を考慮して垂直剛性 K_n と等しい場合と1/10の場合を想定する。試験結果を参考に岩盤の弾性係数 E を10～50GPa、垂直剛性 K_n を0.75～100 GPa/mの範囲で変化させて解析した。なお、実空洞ではケーブルボルト、ロックボルト、吹き付けによる支保がなされているがここでは考慮しなかった。

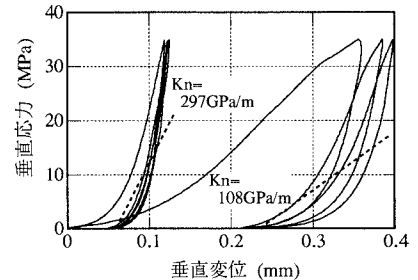
図－4に誤差自乗和と E, K_s, K_n との関係を示す。図中には各 E における最小の誤差自乗和も記した。 $K_s=K_n$ の場合、 E が50～30GPaと変化しても同じ2.5GPa/mで最小となる。 $K_s=K_n/10$ の場合、 E によって最小となる K_s, K_n は変化するが、最小誤差値は2477～2669 mm^2 とほぼ同じ値となる。このように最小誤差値に及ぼす E の影響は小さく、不連続面物性の方が大きく影響し、近似的に E としてコアの弾性係数を用いても大差はない。すべての場合で誤差が最小となるのは $K_s=K_n=2.5\text{GPa/m}$ 、 $E=30\text{GPa}$ とした場合である。このときの変位計①～③の計測値と解析値の比較を図－5に示す。変位計②は解析値と計測値はほぼ一致するが①では解析値が計測値より小さく、逆に③では解析値の方が大きくなっている。

4. 考察 同定された不連続面の物性値が室内試験から得られた物性値に比べて小さくなるのは分布モデルに取り込まれなかった不連続面の影響、2次元化の影響、スケール効果によると考えられる。また、計測値と解析値がかならずしも一致しないのは分布モデルと均一物性に起因している。実際には変位計①付近では分布モデルに比べて不連続面密度が高いか不連続面の物性が小さいこと、変位計③付近では逆の状況にあることが想定される。これを修正すればさらに一致すると考えられる。

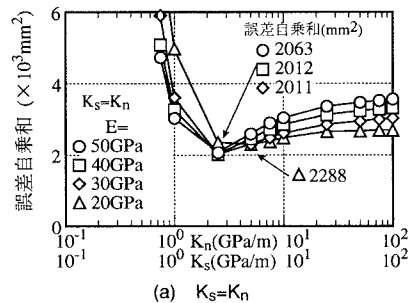
5. まとめ 岩盤・不連続面物性をパラメトリックに変化させ、解析値と計測値との誤差の自乗和を最小にする方法で物性の同定を行った。その結果、次のことが得られた。①誤差に及ぼす弾性係数の影響は小さく、不連続面の物性の方が大きく影響する。近似的に岩盤の弾性係数にコアの物性を用いても自乗誤差には大差は無い。②同定された岩盤の弾性係数は30GPa、不連続面のせん断・垂直剛性は2.5GPa/mであった。不連続面の物性はモデルに取り込まれなかった不連続面の影響、2次元化の影響、スケール効果によって室内試験結果よりも小さくなる。

非常に簡便な方法であるが本手法により計測結果から概略物性を想定し、モデルに修正を加えることで今後の挙動予測に非常に有効と考えられる。今後は支保も考慮した解析を行うとともに他現場の計測データを用いた検討を進める予定である。

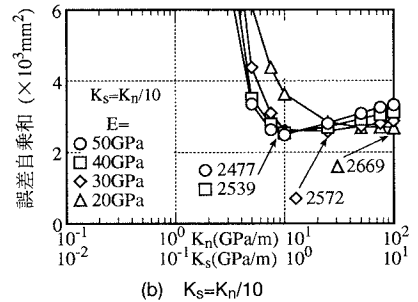
【参考文献】 1)清水則一、垣原裕、寺戸秀和、中川浩二：不連続性岩盤の挙動予測のための計測変位を用いた一逆解析法、土木学会論文集No.547/Ⅲ-36、pp11-22、1996。 2)日比野繁信、吉田秀典、堀井秀之、工藤奎吾：トンネル掘削時の計測結果を用いたMBC解析における解析パラメータの同定方法、第28回岩盤力学に関するシンポジウム、pp63-67、1997。 3)山辺正、松本卓也、大矢敏雄：岩盤掘削における力学パラメータの逆解析に関する研究、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-B、pp356-357、1997。 4)S.C.Bandis, A.C.Lumsden and N.R.Barton：Fundamentals of rock joint deformation, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.20, No.6, pp249-268, 1983。



図－3 不連続面の垂直変形挙動

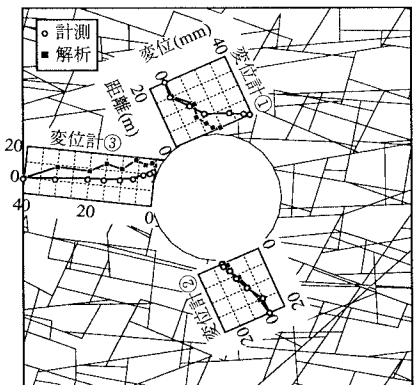


(a) $K_s=K_n$



(b) $K_s=K_n/10$

図－4 誤差の自乗和



図－5 解析結果と計測値との比較