

京都大学工学部 学生員 ○ 新明 克洋

京都大学工学部 正会員 谷本 親伯 岸田 潔

1. はじめに 地下構造物を設計・施工する際には様々な原位置調査が行われる。岩盤の変形特性を把握する調査として平板載荷試験や孔内載荷試験等がある。現在、これらの試験によって得られる力学定数をもとに空洞掘削の数値解析が行なわれている。しかしながら、原位置載荷試験で得られる力学定数は載荷地点近傍の変形特性を表したものであり、大規模地下空洞建設対象領域全てを評価するには、多数の試験を行わなければならない、現実的には不可能である。一方、空洞掘削の数値解析を行うには、対象領域内において出来る限り実地盤の状況を反映した物性の評価が必要となる。そこで本研究では、広範囲な原位置特性を示す弾性波ジオトモグラフィー・き裂頻度分布調査結果と力学定数の比較・検討を行い、その関係から孔内載荷試験を実施していない領域の力学定数の推定を試みる。また、これらの比較結果から得られる推定値と実測値の相関性を弾性波速度とき裂頻度に着目した考察を行い、弾性波速度とき裂頻度による岩盤の分類を提案する。

2. 力学定数と弾性波速度・弾性波減衰およびき裂頻度との比較 本研究では、ボーリング孔においてGoodman型孔内載荷試験を実施し、得られた荷重変位曲線から力学定数を求める。試験は、4サイクルの繰り返し載荷方式で行い、各サイクル毎に変形係数・弾性係数・永久変形係数を求めた[1]。

同じボーリング孔を用いて孔間弾性波探査を行い、ジオトモグラフィー法により弾性波速度および弾性波減衰の分布を求めた[2]。また、ボーリング孔壁観察によりき裂の走向・傾斜を観測し、その情報をもとにボーリング孔間のき裂頻度分布を求めた[3]。

これらの結果をもとに、載荷試験の行われた地点の弾性波速度・き裂頻度及び弾性波減衰と孔内載荷試験で得られる力学定数との比較を行った。

図1～3に、弾性波速度、き裂頻度、弾性波減衰と変形係数の比較結果を示す。図1より、弾性波速度の大きい地点では、変形係数が大きいことが確認できる。図2は、き裂頻度が大きい地点の変形係数は小さいという傾向が見られる。一般に言われている変形性と弾性波速度・き裂頻度の相関性を確認できた。また、図3から弾性波減衰の大きい地点ほど変形性が小さいという傾向が見られる。

荷重レベル毎に、変形係数と弾性波速度・き裂頻度・弾性波減衰の各々の関係を線形近似した。どの比較結果も近似直線の傾きは荷重レベルが上がるにつれ大きくなる傾向が見られる。この近似した直線により、弾性波速度、き裂頻度および弾性波減衰の値から、孔内載荷試験の行われていない地点の変形係数を推定することができる。つまり、弾性波速度分布に図1の直線の式を適用することにより、ボーリング孔間の変形係数の分布を求めることができる。弾性波速度分布より求めた変形係数（荷重レベル2.02[MPa]）の分布を図4に示す。一方、近似直線と実測

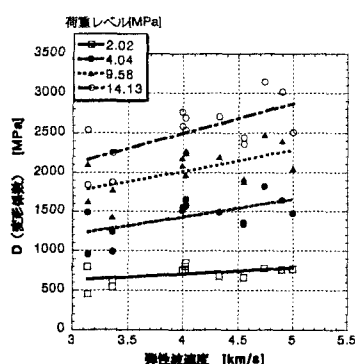


図1 変形係数と弾性波速度の関係

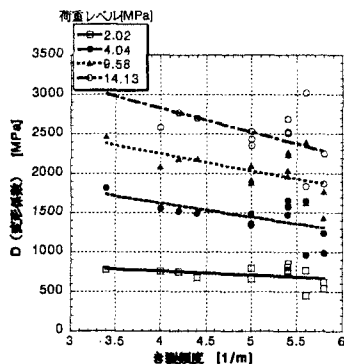


図2 変形係数とき裂頻度との関係

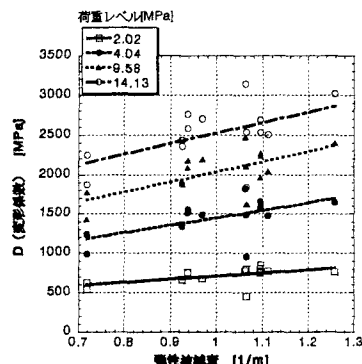


図3 変形係数と弾性波減衰の関係

値の差が大きく、相関性の低い領域も存在する。例えば、図1の線形近似した直線と実測値が大きく離れる地点は、弾性波速度の小さい地点に見られる。図2では、実測値と近似直線が大きく離れる地点は、き裂頻度の大きい地点で見られる。このように近似直線から推定値を求める際には、実測値と大きく離れる領域もあり注意が必要である。

3. 弾性波速度とき裂頻度による岩盤の分類 近似直線から得られる推定値と実測値が大きく離れる領域の特徴を把握するために、本研究では弾性波速度とき裂頻度による岩盤分類を提案する(図5)。一軸圧縮状態およびせん断状態での岩盤不連続面の弾性波伝播実験から、弾性波速度について次のような知見が得られている[4]。

弾性波伝播速度はき裂が密着するにしたがい上昇する。つまり、き裂開口幅に依存する。また、不連続面のあらさ(ラフネス)には依存しない。つまり弾性波速度は、き裂の開口幅を反映するパラメータとすることが出来る。この知見より、例えば分類Ⅱの領域は、密着したき裂が数多く存在する領域であるということが出来る。

4. 分類ごとの推定値と実測値の比較 線形回帰し決定した一次関数を用いて、弾性波速度より推定した変形係数が、どの程度実測値とばらつきがあるかを知るために推定値を実測値で除したものを岩盤分類ごとに分け、ヒストグラムにした(図6~図7)。推定値/実測値の分布が1に近いほど、実測値に近い値を推定していることになる。また、1より大きいものは変形性を小さく推定したことになり、1より小さい部分は変形性を大きく推定したことになる。

Vに分類される領域の推定値/実測値は、他の領域に比べてばらつきが大きい。この領域では変形係数を実測値よりも大きく推定する例が多く、推定値と実測値との比が1.5を越えるような場合もある。この領域は、き裂が多く密着していない領域であり、このき裂の状態がばらつきや、変形性を小さく見積もってしまう原因であると考えられる。すなわち、き裂が卓越し、その変形挙動を複雑なものとしている領域である。このような領域では、き裂の性状を反映する弾性波減衰まで考慮して力学定数の推定を行う必要があると考える。

ここでは分類ⅠとⅤの例のみを示したが、Ⅴ以外の領域ではⅠ同様に解析値/推定値は0.8~1.2の範囲に収まっており、妥当な推定値が得られている。

5. おわりに ボーリング孔間の変形係数の分布は、弾性波ジオトモグラフィ・き裂頻度分布図に線形近似した直線を適用することにより求めることが出来る。この際には、本研究で用いた分類Ⅴの地点の変形性を小さく見積もる傾向があり、推定値/実測値のばらつきも大きい。分類Ⅴの地点の力学定数を推定する場合、き裂特性を詳細に考察する必要がある。

参考文献

[1]Tanimoto, C., et al., Eurock 93, pp.727-734, Balkema, 1993. [2]Tanimoto, C., et al., Proc. of the 1994 ISRM Int'l Symp., pp.195-206, 1994. [3]谷本親伯他, 第30回土質工学研究発表会発表講演集, pp.1199-1202, 1995. [4]Tanimoto, C. & Kishida, K., Rock Mechanics (Nelson & Laubach (eds)), pp.147-155, 1994.

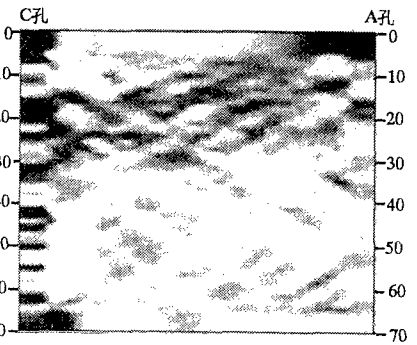


図4 ボーリング孔間の変形係数の分布
(荷重レベル2.02[MPa])

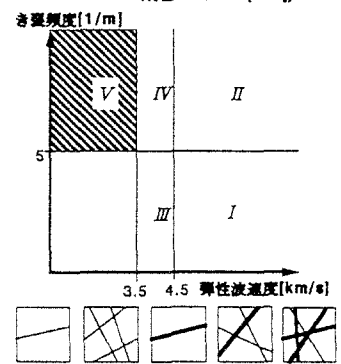


図5 き裂頻度と弾性波速度を用いた岩盤の分類

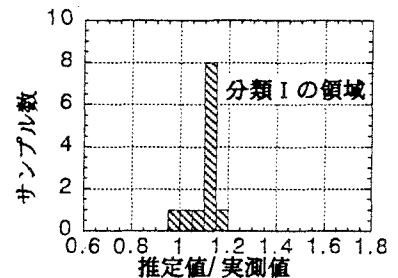


図6 弾性波速度による推定結果(分類Ⅰ)

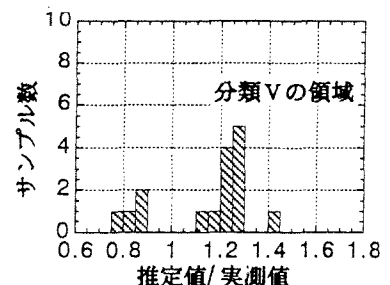


図7 弾性波速度による推定結果(分類Ⅴ)