(17) ボアホールジャッキによる岩盤物性の評価

京都大学工学部　正会員　谷本親伯
川崎地質（株）　正会員　○　宮川純一
川崎地質（株）　正会員　結城則行
川崎地質（株）　正会員　飯島利仁

1．はじめに

原位置岩盤の変形特性を調べる試験法として孔内水平載荷試験がある。これは、ボーリング孔内にゾンデを挿入し、直接孔壁を載荷してその変形量を読み取るもので、経済性と簡便さのため、近年その使用頻度が増加している。

孔内水平載荷試験法には、(1)．等変位方式（ボアホールジャッキ）、(2)．等分布荷重方式（ボアホールダイラトメータ）の２タイプがあるが、本文では前者を取り扱う。ボアホールジャッキは、剛性載荷板を介してボーリング孔壁の一部分に、ある方向に加圧する等変位の試験法で、載荷方向に方向性があるため不連続性岩盤の異方性を評価できる。さらに、最大加圧力が大きいため種々の岩盤に適用可能である。これら利点を背景に近年、国内外でその研究が精力的に行われている。すなわち、米国においては放射性廃棄物の地下深部処理に関する試験の一環としてＮＸ borehole jackが用いられており、それに関連した実験的、解析的研究成果や試験法に関する指針が報告されている。[1)2)] 一方、国内においても、実験室及び現場レベルの研究成果が発表されている。[3)4)]

通常、孔内水平載荷試験結果を評価する場合、岩盤を等方均質な線形弾性体と仮定して変形係数（Ｄ）や弾性係数（Ｅ）を算出している。地質情報を参考に、得られた数値を直接もしくは安全率を見込んで低減して設計に反映しているのが現状である。しかしながら、本邦に分布する岩盤で上記した条件に見合うものは極めて稀で、実際には構造運動や風化、変質作用を経て種々の不連続面が発達している。このため、Ｄ，Ｅ値は見かけの変形特性値であり真の岩盤の変形特性値は地質不連続面の影響を考慮に入れた形で評価しなければならない。ボアホールジャッキに関する諸研究もこの観点に立ち進められている。

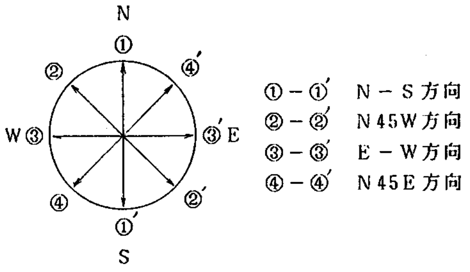
前述したように、ボアホールジャッキは、載荷方向を任意に変えることができるため、載荷位置における不連続面の方向、規模が既知であれば、方向性を有する岩盤の変形特性を明らかにすることができる。そこで、ボアホールテレビによる孔壁観測と組み合わせることによって、不連続面を有する岩盤の変形特性を評価した。本文で報告する内容は、同一サイトで得られた８８の測定データに基づいている。

2．地質概要

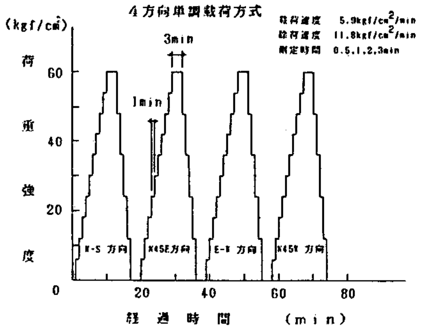
試験サイト付近の地質は、古生代二畳紀～中生代三畳紀に生成された丹波帯のシャールスタイン（輝緑凝灰岩）を基盤層とし、その上位に大阪層群相当層、段丘堆積物、現河床堆積物、崖錐が被覆層として分布する。試験は、このうち基盤を形成するシャールスタインを対象とした。シャールスタインは、全般的に造構運動（褶曲、断層運動）の結果として、亀裂の発達した岩盤状況を呈する。各種試験は、当サイトに数本の鉛直ボーリング孔を削孔して実施した。

3. 測定内容

測定内容を表－1に示す。ボアホールジャッキ試験箇所については、ボアホールテレビにより亀裂を詳細に観察するとともに、岩石実質部分の特性を調べるためサンプルコアを対象にポイントロード試験を実施した。ボアホールジャッキ試験は、図－1、2に示すように同一深度のボーリング孔周で、4方向に単調載荷法で実施した。試験は、降伏値以下の弾性領域内で行っている。なお、試験箇所は調査地を代表し、しかも不連続面がほぼ一組の節理系列を成している区間を選定した。



図－1　載荷方向



図－2　載荷パターン

表－1．測定内容

項　目	目　的	方　法	機　種
ボアホールジャッキ 試験	岩盤の変形特性を把握	多方向載荷試験	高圧型ＫＫＴ
ボアホールテレビ 撮影	載荷区間の亀裂観察	孔壁全周撮影	ＫＢＴ8000
ポイントロード 試験	intact rockの特性把握	ボーリングコアを対象	ＫＰＬ0005

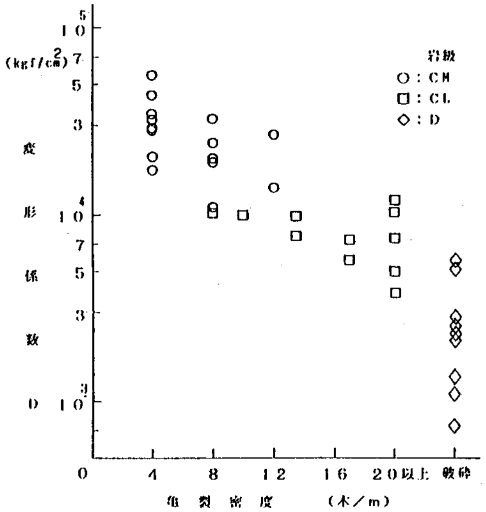
4. 測定結果

① 変形係数に及ぼす亀裂頻度の影響

図－3に変形係数と亀裂頻度の関係を示す。岩盤の変形係数が亀裂頻度の影響を大きく受けていることがわかる。調査地に分布する岩盤の亀裂頻度（亀裂間隔）をボアホールテレビにより調べると概略表－2となる。これは、岩盤の変形係数を決定する時に反映される。

表－2　亀裂頻度

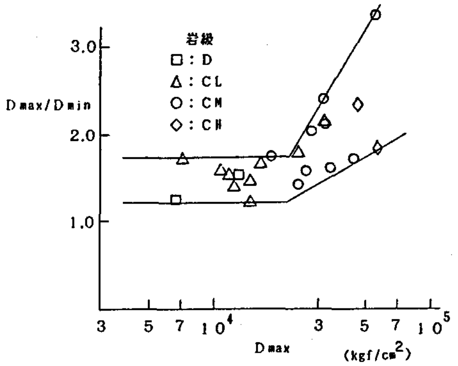
岩盤分類	亀裂密度（本／m）	亀裂間隔（cm）
CM	3~10	10~30
CL	10~30	3~10
D	30 以上（破砕）	3 以下



図－3　変形係数と亀裂頻度の関係

② 岩盤性状と異方性の度合

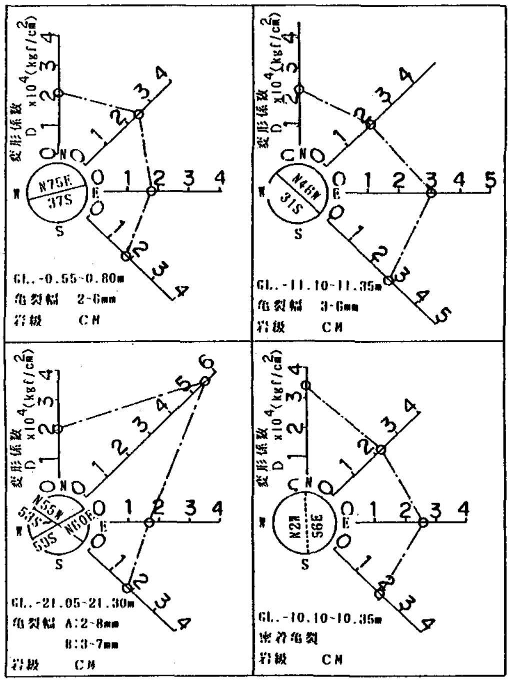
図－４は４方向載荷試験により得られる４つの変形係数の最大値と最小値の比を最大変形係数値に対して整理したものである。これより、Dmax/Dmin=1.2~3.3 となっており、載荷方向による変形係数の差異がかなり明瞭に出ていることがわかる。その度合は、Dmax=20000kgf/cm付近で異なる。すなわち、D値の小さいD、CL級のデータについてみるとDmax/Dmin=1.2~1.7程度であるのに対して、CM、CH 級のデータではDmax/Dmin>1.6 と大きくなっている。これは、岩盤性状により異方性の度合が異なることを示唆しており興味深い。



図－４ Dmax/Dmin~Dmax関係

③ 亀裂の方向と変形係数

亀裂の方向と変形係数の関係を二次元的に示すと図－５となる。変形係数は、走向方向の載荷で最大値をそれと直交する方向の載荷で最小値をとる。 図中の変形係数分布と亀裂方向をみると大略そのような傾向がうかがえる。



図－５ 亀裂方向と変形係数の関係

④ ポイントロードによる岩石実質部の評価

調査地に分布する岩盤は、種々のクラックが発達しているため、室内試験に適したサンプルコアの確保が困難な状況にあった。そこで、岩片状コアでも試験可能なポイントロード試験を適用し、岩石実質部の力学特性を推定した。

岩盤性状別のポイントロード強度指数Ｉｓを表－３に示す。良好な対応を示していることがわかる。このＩｓより一軸圧縮強度σｃ 及び引張強度σｔ を下記式で推定した。

$$\sigma c = 24 \cdot Is$$
$$\sigma t = 0.9 \cdot Is \qquad (1)$$

表－３ ポイントロード試験結果

岩盤分類	個数	Ｉｓ の平均値（kgf/cm²）{80% 分布範囲}	σｔ の平均値（kgf/cm²）	σｃ の平均値（kgf/cm²）
CH	31	22.1 (8.09~37.8)	19.9	530
CM	12	15.8 (5.78~27.0)	14.2	379
CL	68	5.24(1.92~8.96)	4.46	126
D	34	1.38(0.51~2.36)	1.24	33

5. 測定データの評価

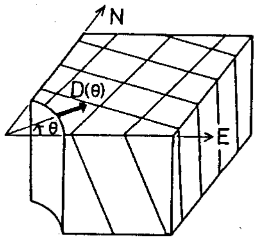
岩盤の変形特性は、岩石実質部分と不連続面の性状に支配される。不連続面間の岩石実質部分は、ヤング率Eとポアソン比νで示される等方均質な線形弾性体とする。不連続面の特性は、各々のジョイントセットに対してその間隔hi及び垂直、せん断剛性Kni,Ksi により表示される。図－6のような規則的かつ等間隔な不連続面を有する岩盤の変形係数D(θ)を下記式で求める。[3)]

$$D(\theta)=\left\{\frac{1}{E}+\sum_{i=1}^{N}\frac{A_3^{(i)}}{h_i}\left[\frac{1}{k_{si}}\left(A_1^{(i)}+A_2^{(i)}\right)+\frac{1}{k_{ni}}A_3^{(i)}\right]\right\}^{-1}$$

$$A_j^{(i)}=\left(a_{j1}^{(i)}\cdot\cos\theta+a_{j2}^{(i)}\cdot\sin\theta\right)^2 \quad (j=1,2,3)$$

$$\left[a_{jk}^{(i)}\right]=\begin{bmatrix}\cos\alpha_i\cdot\cos\beta_i & -\sin\alpha_i\cdot\cos\beta_i & -\sin\beta_i\\ \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & 0\\ \cos\alpha_i\cdot\sin\beta_i & \sin\alpha_i\cdot\sin\beta_i & \cos\beta_i\end{bmatrix} \qquad (2)$$

E：岩石実質部の変形係数（kN／m²）
N：卓越した方向性を呈する節理群の数
i：節理群の群番号　　h_i：節理群 i の平均的な間隔（m）
k_{ni}, k_{si}：節理群 i の垂直剛性，せん断剛性（kN／m³）
α_i，β_i：節理群 i の走向N α_i E，傾斜 β_i SE



図－6　不連続性岩盤モデル

注目すべき節理群を対象にボアホールジャッキ試験を実施することによりD(θ)が得られる。θ方向を変えて得られる複数個の岩盤の変形係数を基にジョイントの剛性Kni, Ksi を逆算することができる。ところで、図－4に示したように異方性が顕著に現れるのはCM、CH 級岩盤であった。データの多いCM 岩盤について不連続面の特性を求めると表－4となる。ただし、表中の岩石のヤング率Eはポイントロード試験結果による推定値である。

これらデータを用いて不連続性岩盤の変形特性を決定することができる。

表－4　不連続面の特性

岩盤分類	Kn (kgf/cm³)	Ks (kgf/cm³)	岩石のヤング率 (kgf/cm²)	不連続面の平均間隔 (cm)
CM	1,500	2,000	100,000	20

参考文献　1)BERNARD AMADEI:THE INFLUENCE OF ROCK MASS FRACTURING ON THE MEASUREMENT OF DEFORMABILITY BY BOREHOLE EXPANSION TESTS　26th US Symposium on Rock Mechanics June 1985
2)W.C.PATRICK,J.L.YOW,Jr.&M.C.AXELROD:OBSERVATIONS OF BOREHOLE DEFORMATION MODULUS VALUES BEFORE AND AFTER EXTENSIVE HEATING OF A GRANITIC ROCK MASS　26th US Symposium on Rock Mechanics June 1985
3)谷本，畠，西尾：不連続面の剛性を考慮したボアホールジャッキ試験結果の評価 第17回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 1985
4)宮川，三木：岩盤を対象とするボアホールジャッキの評価と活用方法 第28回土質工学シンポジウム発表論文集 1983

(17) INTERPRETATION OF ROCK MASS DEFORMABILITY BY BOREHOLE JACK

by Chikaosa TANIMOTO[1], Junich MIYAGAWA[2]
Noriuki YUKI, AND[2] Toshinori IIJIMA[2]

SUMMARI

A number of testing devices are available which measure the deformability of rock masses. Among these,the borehole jack test is much simpler and more economical than a conventional test such as plate bearing test.

The purpose of this paper is to show that the directional character of the deformation modulus of an anisotropic rock mass with a borehole jack ,a borehole TV and a point load testing device. We carried out several field measurements into the base rock consisting of schalstein.

From the result,we represented mechanical properties of joint(or discontinuity) both quantitatively and qualitatively with the model proposed by Duncan and Goodman (1968).

1).Dept.of Civil Engineering,Kyoto University
2).Kawasaki Geological Engineering Co.,Ltd.