III－471　不連続岩盤における孔内載荷試験の適用に関する基礎的研究

京都大学大学院　学生員　○岸田　潔
京都大学工学部　正　員　谷本　親伯
京都大学工学部　正　員　畠　昭治郎

１．はじめに　安定した岩盤構造物を設計するには、岩盤の力学的挙動・特性を知ることが不可欠である。しかし、実際のフィールドには不連続面が存在し、岩盤自体の力学的特性を複雑にしている。不連続面の力学的特性を評価するパラメータとして垂直剛性k_n，せん断剛性k_sがよく用いられている。これらの値は、ＦＥＭ等の数値解析を行なうのに必要なパラメータである。一般には、k_nは一軸圧縮試験、k_sはせん断試験から求められていた。これらの試験は、普通供試体を取り出して行なうので、手間と費用がかかる。今回は、比較的簡便な孔内載荷試験を用いて、k_n，k_sを求める方法を考え、その適用性・問題点について考察した。

２．孔内載荷試験と問題点　孔内載荷試験は、より手軽で経済的な試験法で、大規模原位置試験では実施困難な劣悪な地形的・地質的条件にも適用できる利点がある。この試験では、変形係数・弾性係数を求めるもので、載荷機構の違いにより等変位方式と等分布荷重方式に大別される。等変位方式は、ジャッキ形式で載荷するもので装置の取扱いが簡単で測定の精度も高いのでよく用いられる[1]。しかし、いくつかの問題点もある。主な問題点は、弾性係数・変形係数を求めるのに用いる算定式に問題がある。一般に算定式には、Goodmanが求めたものを用いている。Goodmanらは、この弾性解を誘導するのに２次元等方弾性体問題としてエアリーの応力関数を用いて求めている。また、境界応力条件は、等分布応力状態として求めている。求められた式は、次の通りである[2]。

$$E\,\mathrm{or}\,D = \frac{d}{2}\,K(\nu,\ \beta)\,\frac{Q}{\overline{u}^{r}} \qquad (1)$$

Ｑ：$Q=2P$　ｄ：孔径　ν：ポアソン比
$\overline{u}^{r}$：半径方向の変位　β：載荷曲率
$K(\nu,\beta)$：載荷曲率とポアソン比による定数

この式の問題点は、変位が半径方向であるのに対して、実際には載荷方向の変位を用いて計算している。また、境界応力条件と、実際の載荷条件に違いがある。この点については、ＦＥＭ解析を用いて検討した。これによると、等分布応力載荷方式②と等変位載荷方式①とでは、変形係数（表１）にも地盤内応力状態[3]にも違いがあることが明らかであった。また、弾性係数を先に決めてＦＥＭ解析により$\Delta P/\Delta u$を求めたのに対し、その$\Delta P/\Delta u$を用いてGoodman式による弾性係数を求めたものを図１に示した。

表１　変形係数の比較

載荷方式	u (m)	P (kN/m²)	弾性係数 (kN/m²)
①	0.00007	9.85	5069.9
①	0.00010	15.70	5656.7
①	0.00013	19.67	5451.6
①	0.00016	24.71	5564.4
②	0.005558	1000	6482.5
②	0.009905	2000	7275.1
②	0.01486	3000	7273.9
②	0.01981	4000	7275.1

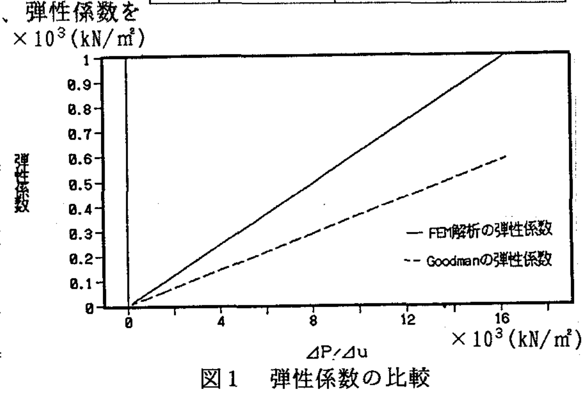

図１　弾性係数の比較

３．変形係数と剛性の関係　実際の岩盤は、不連続面が任意の方向と方位を持ち、しかも複数の節理系が存在するのが普通である。ここでは、３次元不連続性岩盤の変形係数をGoodmanの提案した垂直剛性、せん断剛性を用いてこれらの関係について定式化する。吉中らは[4]、図２のような不連続面が等間隔なモデルを用いて、載荷部分は一軸

圧縮状態と仮定し次のように定式化を行なった。

$$D(\theta) = \left[\frac{1}{E} + \frac{A_3}{h}\left\{\frac{1}{k_s}(A_1+A_2) + \frac{1}{k_n}A_3\right\}\right]^{-1} \qquad (2)$$

$$A_i = (S_{i1}\cos\theta + S_{i2}\sin\theta)^2 \qquad (i=1,2,3,)$$

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\beta & -\sin\alpha\cos\beta & -\sin\beta \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ \cos\alpha\sin\beta & -\sin\alpha\sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix}$$

この式に、実験で求めたＥ，k_n，k_s を入れて変形係数の変化を見たものが図３である。ここに示されているものはごく一部であるが、明らかに不連続面の方向・方位により変形係数Ｄ（θ）が変化することが明らかであることがわかった。この図より逆に、少なくとも２方向における変形係数Ｄ（θ）を孔内載荷試験にて測定し、α，β，hの値はボアホールスキャナーシステム等の孔内の観測で求め、また岩の種類からおおむね弾性係数を推測できるなら、(2)式を未知数がk_n，k_sの２元連立１次方程式に書き換えることができ、これを解けばk_n，k_s を推定することができる。

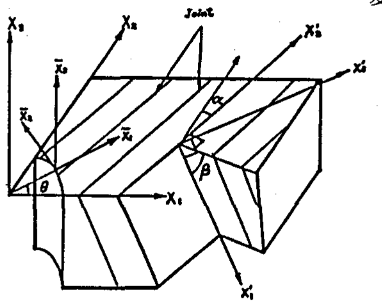

図２　３次元不連続岩盤モデル

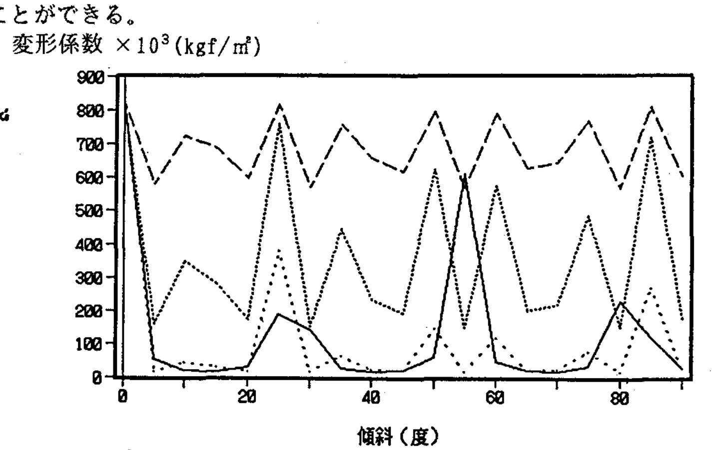

図３　変形係数の変化

4．まとめ　孔内載荷試験を多方向載荷で行なえば、得られた変形係数から不連続面における剛性を推定することが可能であることがわかった。しかしそのためには、Goodmanの算定式よりより正確なものが必要となる。また今後の課題としては、(2)式でk_n，k_sが推定できるとしたが、実験から求めたk_n，k_sとの比較をし、その問題点を確認していかなければならない。

《参考文献》

１）土木学会編：孔内載荷試験法の現状と課題

２）E.Goodman,Tran K,Van and Francois E,Heuze:MEASUREMENT OF ROCK DEFORMABILITY IN BOREHOLES , 10th U.S.Sympo. on Rock Mech.(1968)

３）畠，谷本，岸田：岩盤不連続面の力学的特性に関する基礎的研究　－平成２年度関西支部年次学術講演会概要集

４）吉中，山辺，加藤，須藤：不連続岩盤の強度・変形特性に関する実験的研究　－第37回年次学術講演概要集(1983)