

岩盤不連続面の力学的特性に関する基礎的研究

京都大学工学部 正会員 畠 昭治郎
 京都大学工学部 正会員 谷本 親伯
 京都大学工学部 学生員 ○岸田 潔

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、比較的簡便な孔内载荷試験を用いて、 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. 孔内载荷試験と問題点

孔内载荷試験は、より手軽で経済的な試験法で、大規模原位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、载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、ジャッキ形式で载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⁾。

$$EorD = \frac{d}{2} K(\nu, \beta) \frac{Q}{\bar{u}^r} \quad (1)$$

Q : $Q = 2P$ d : 孔径 ν : ポアソン比
 $\bar{u}^r$: 半径方向の変位 β : 载荷曲率
 $K(\nu, \beta)$: 载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、実際には载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、実際の载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

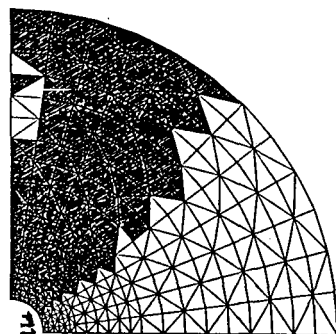


図1 等分布応力载荷方式での地盤内応力状態 (σ_x , 着色部: 引張り領域)

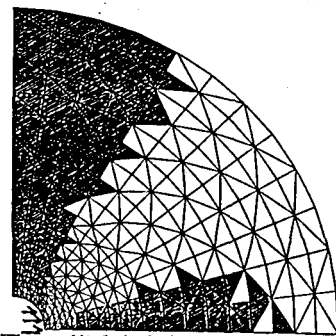


図2 等分布応力载荷方式での地盤内応力状態 (σ_y , 着色部: 引張り領域)

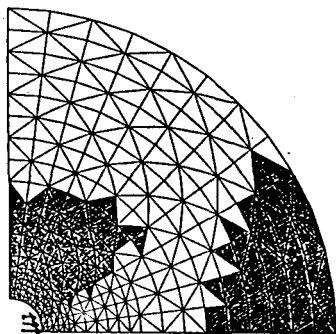


図3 等変位载荷方式での地盤内応力状態 (σ_x , 着色部: 引張り領域)

荷方式のときと等変位載荷方式のときでは、変形係数にも地盤内応力状態にも違いがあること（図1～4）が、明らかであった。

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³⁾、図5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。

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

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

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

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6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 $D(\theta)$ 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 $D(\theta)$ を孔内載荷試験にて測定し、 α, β, h の値はポアホールスキャナーシステムなどに孔内の観測で求め、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。

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。

《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)
- 2) 吉中龍之進, 山辺 正, 加藤 彰, 須藤 繁久：不連続岩盤の強度・変形特性に関する実験的研究 一第37回年次学術講演概要集(1983)

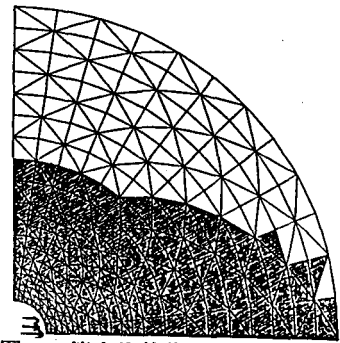


図4 等変位載荷方式での地盤内応力状態 (σ_v , 着色部：引張り領域)

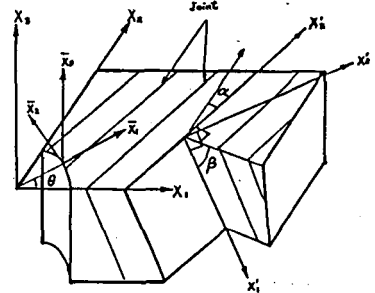


図5 3次元不連続岩盤モデル

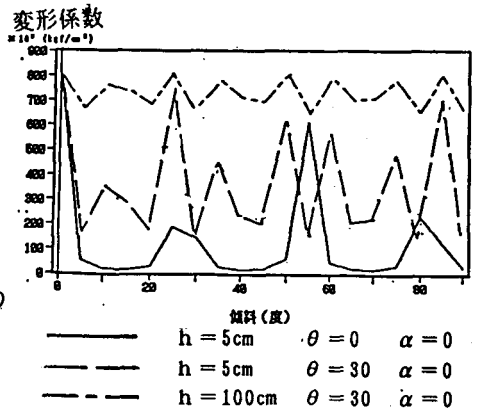


図6 変形係数の変化