

有限要素法による不連続面をもつ岩盤基礎の解析 (岩盤と透水の相互作用)

京都大学工学部 正員 大西 有三
住友商事 正員 〇頼野 尚

1. はじめに

最近、岩盤等の内部を流れる水に対する関心が高まっているが本研究ではジョイント(節理などの岩盤の不連続部を総称してこう呼ぶ)の変形性と、岩石部分の応力との相互作用を考慮に入れて、図-1に示す理想化されたジョイントのある岩盤内の応力と流れの解析を有限要素法をもちいて行った。

2. 計算方法

解析にあたって岩石は弾性で不透水と仮定する。またジョイントは非弾性とし、ジョイント内の水の流れは、Navier-Stokes の式によって近似される非圧縮性粘性流体の層流であると仮定する。ジョイント内の流れは定常流とすると、次の連続の式が導かれる。

$$\frac{\partial}{\partial l} (K_p \frac{\partial h}{\partial l}) = 0 \quad (1)$$

変分原理により(1)式の解は、次の汎関数を最小にする h を求めることと同じである。

$$\Omega(h) = \sum_{m=1}^M \int_{l_m} \frac{1}{2} K_p \left(\frac{\partial h}{\partial l} \right)^2 dl + \sum_{n=1}^N \{ \delta^n \}^T \{ h^n \} \quad (2)$$

$\{ \delta^n \}$; N 境界要素での流れベクトル

$\{ h^n \}$; N 境界要素での水頭ベクトル

(2) 式を h で偏微分し、すべての要素について合計すると次式の流れについての平衡方程式が得られる。

$$[K_p] \{ h \} - \{ Q \} = 0 \quad (3)$$

また岩石構造部についての平衡方程式を書くと、次式になる。 $\{ \delta \}$; 変位ベクトル, $\{ F \}$; 外力ベクトル)

$$[K_g] \{ \delta \} - \{ F \} = 0 \quad (4)$$

(3) 式, (4) 式を書きなおすと

$$\frac{1}{\sigma} [K_g(\delta)] \{ P \} - \{ Q \} = 0 \quad K_g(\delta) \Big|_{\delta=0} = 0 \quad (3')$$

P ; 水の単位体積重量, P ; 水の圧力, Q ; 流量

$$[K_g] \{ \delta \} - \{ F(P) \} = 0 \quad F(P) \Big|_{P=0} \neq 0 \quad (4')$$

ここで、この2つの平衡方程式を反復法で解く。まず $P=0$ の状態を考えて $\{ \delta \}$ を求め、次にこの $\{ \delta \}$ をもちいて $[K_g(\delta)]$ を修正し、(3) 式から水压の第1近似 $\{ P \}$ を求める。この $\{ P \}$ をもちいて $\{ F(P) \}$ を修正し、(4) 式から $\{ \delta \}$ を求める。以下同様に繰り返し、 P が収束するまで計算を行う。

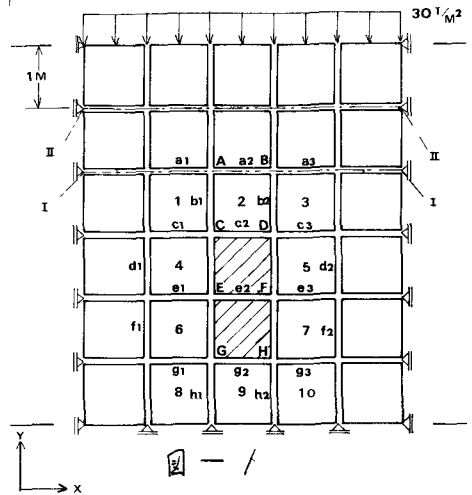
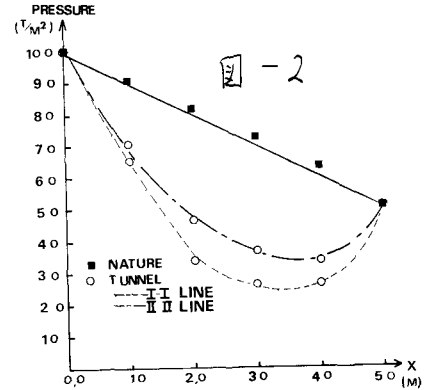


図 - 1

3. 解析結果および考察

図-1に示す理想化された岩盤に水がある時の状態を掘削(斜線部)した場合と水がない状態で掘削した場合を解析し、比較検討した。図中の数字は岩石、大文字アルファベットはジョイントの交点、小文字アルファベットはジョイントを表わす。水がある場合、境界条件として、図の左側および右側のジョイント部におおの10%, 5%の水圧を想定した。また岩盤の上面と底面では水の出入りはないものとした。あたえた入力データは以下のとおりである。岩石については、ポアソン比0.25、圧縮および引張りのヤング率はおおの7.0×10⁵kg/cm²。ジョイントについては、摩擦角40°、粘着なし、せん断および垂直方向の剛性をおおの4.4×10⁵kg/cm²。初期のジョイントの開きは0.005mとした。ジョイントの構成関係は図-3, 4に示す。図-2は図-1内のI-I線、II-II線に沿う水圧の変化の状態を示す、これから掘削によってその周辺で急激な水圧の変化が起こることがわかる。表-1は図-1のA~H点の流量を示す。これから掘削によって掘削面のジョイントから、多量の湧水が生じることがわかる。特にC点、D点、G点の点に較べて顕著である。表-2は掘削した状態で、水のある場合とない場合のジョイントの応力を示す。応力は応力ひずり関係を正とする。これからわかることは、 σ_1 , σ_2 , σ_3 の垂直方向の応力が水のない場合圧縮であったのが、水が流れる場合引張りに変化している。その結果ジョイントの開きが増える。すなわち水が存在する場合掘削部分の周辺の岩石相互の結合が、水がない場合に較べて、非常に弱くなることかわかる。



	NATURE	TUNNEL
	Q (1×10 ⁻³ m ³)	Q (1×10 ⁻³ m ³)
A	2.925	1.911
B	2.836	2.466
C	3.000	13.840
D	3.000	8.578
E	3.062	7.720
F	3.090	3.835
G	3.100	7.626
H	3.140	3.755

表-1

	WATER			NO WATER		
	Normal Stress (1×10 ⁻³) (t/m)	Tangential Stress (1×10 ⁻³) (t/m)	Fracture Width (1×10 ⁻³) (m)	Normal Stress (1×10 ⁻³) (t/m)	Tangential Stress (1×10 ⁻³) (t/m)	Fracture Width (1×10 ⁻³) (m)
a1	-0.299	-0.312	4.780	-0.448	-0.462	4.744
a2	-0.052	0.095	4.780	-0.097	0.000	4.932
a3	-0.346	0.489	4.772	-0.448	0.462	4.744
b1	-0.032	0.847	4.956	-0.015	0.635	4.987
b2	-0.053	-0.885	4.947	-0.015	-0.635	4.987
c1	-0.480	-0.552	4.703	-0.511	-0.300	4.721
c3	-0.485	0.547	4.720	-0.511	0.300	4.721
d1	0.110	0.000	5.218	-0.026	0.114	4.986
d2	0.034	-0.142	4.989	-0.026	-0.114	4.986
e1	-0.527	-0.028	4.697	-0.543	-0.037	4.725
e3	-0.517	0.066	4.725	-0.543	0.037	4.725
f1	0.106	0.000	5.216	-0.017	-0.210	4.993
f2	0.052	0.000	4.989	-0.017	0.210	4.993
g1	-0.573	0.478	4.701	-0.605	0.132	4.713
g3	-0.558	-0.187	4.728	-0.605	-0.132	4.713
h1	-0.098	-0.510	4.938	-0.038	-0.339	4.981
h2	-0.098	0.428	4.938	-0.038	0.339	4.981

表-2

参考文献

Noorishad, J., P. A. Witherspoon, and T. L. Brekke, 1977, Pub. No 71-6, Univ. of Calif. Berkeley.

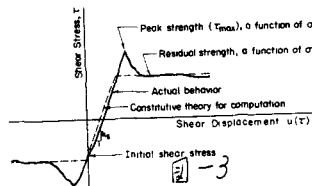


図-3

Goodman, R. E. and Dabo, J., 1972, V. 98, No. SM 4. "Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE,

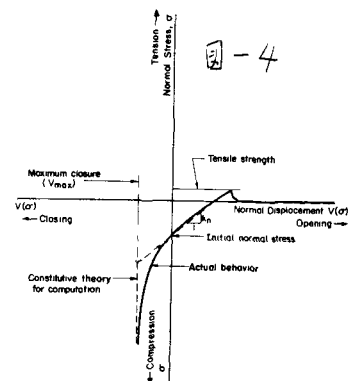


図-4