

京都大学工学部 正会員 大西 有三

京都大学工学部 正会員 田中 誠

中央復建コンサルタンツ（株） 正会員 張 銘

大阪府 正会員 ○岡部 哲久

1.はじめに 岩盤中の亀裂は、その岩盤の力学的・水理学的挙動に大きな影響を及ぼす。しかしながら、岩盤中の亀裂一枚一枚の力学的・水理学的性質を把握することは困難である。したがって、岩盤中の亀裂を大胆にモデル化することが非常に重要となる。本研究では、不連続性岩盤の等価連続体モデル化手法であるChoの提案するコンプライアンスマトリックス法¹⁾とOda²⁾の提案するクラックテンソル理論によって、不連続性岩盤のモデル化を行い、浸透-変形の連成問題を解析した結果を比較し、その適用性を検討した。

2. 等価連続体モデル化手法 (1) コンプライアンスマトリックス法 Choは、不連続性岩盤を実質部と亀裂群に分け、各亀裂群とそれに含まれる亀裂に挟まれた岩盤実質部との力学的・水理学的性質を亀裂間隔で平均化し、不連続性岩盤を等価な (a) コンプライアンスマトリックス法の解析モデル

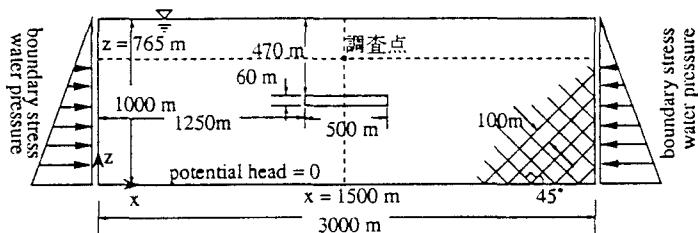
連続体として取り扱い、変位と水圧を基本変数として、亀裂を含む岩盤の支配方程式を導いた。指向性のある亀裂群を含む岩盤の浸透-変形の連成解析は、この支配方程式および境界条件を有限要素法によって離散化し、それより得られた代数方程式を解くことによって行われる。

(2) クラックテンソル理論 Odaは、岩盤に含まれる亀裂の幾何情報（開口幅、大きさ、方向）を統計的に処理し、対象とする体積で平均化することにより、クラックテンソルを求め、それを用いて岩盤の力学的・水理学的性質を表現した。

3. 解析モデル

Fig.1(a)に示すように、鉛直方向に1000m、水平方向に3000mの長方形の領域で、領域の中央に空洞（高さ60m、幅500m）が設けられている。岩盤中には亀裂間隔100mの平行な亀裂の集合が互いに直交しあい、水平面に対して45度の角度をなしている。底面は水平方向、鉛直方向に固定し、側面は水平方向のみ固定する。荷重は自重のみを考える。また、岩盤は水で飽和しており、岩盤中の水圧は静水圧分布としている。z=0mにおいて位置水頭=0mとする。クラッ

(a) コンプライアンスマトリックス法の解析モデル



(b) クラックテンソル理論の解析モデル

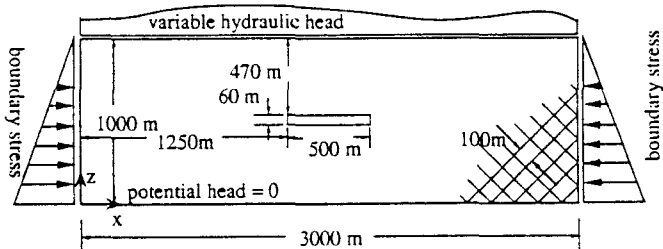


Fig.1 解析モデル

Table 1 解析に用いた物性

物性	
実質部の弾性係数	$E = 6.12 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$
亀裂の鉛直バネ係数	$K_n = 1.02 \times 10^7 \text{ tf/m}^3$
亀裂のせん断バネ係数	$K_s = 1.02 \times 10^6 \text{ tf/m}^3$
ポアソン比	$\nu = 0.23$
単位体積重量	$\gamma = 2.67 \text{ tf/m}^3$
実質部の透水係数	$k = 0.6 \times 10^{-11} \text{ m/s}$
亀裂の透水係数	$k = 0.8 \times 10^{-9} \text{ m/s}$

クテンソル理論に基づく解析モデルはFig.1(b)に示すように水頭がx軸方向に変化し、 $z=0\text{m}$ において位置水頭 $=0\text{m}$ とする。他の条件はコンプライアンスマトリックス法に基づく解析と同様である。解析に用いた物性をTable 1に示す。なおクラックテンソル理論に基づく解析結果は、Kobayashi³⁾によるものを用いた。両手法の結果をFig.1(a)の調査点で比較する。

4. 解析結果および考察 Fig.2にコンプライアンスマトリックス法に基づく解析結果(0~10年後)を示す。コンプライアンスマトリックス法の特徴として岩盤実質部と亀裂群との間の流体のやり取りを考慮していたが、この結果はそのことをうまく表現している。10年後までは岩盤実質部と亀裂群の水頭の値は開きがあるが、10年後には一致している。すなわち岩盤実質部と亀裂群との間の流体のやり取りが完了したことを意味する。

Fig.3(a),(b)にコンプライアンスマトリックス法(C.M.)とクラックテンソル理論(C.T.)に基づく解析結果を示す。両手法とも水頭の初期条件が異なるので、値は大きく違う(Fig.3(a)参照)が、Fig.2の結果も見ると、まず値が減少し、その後上昇しているといった傾向は同様である。これは、空洞部を設けたことにより排水が行われたため、岩盤中の圧力水頭が減少し、その後岩盤の変形により水頭の値が上昇したものと考えられる。コンプライアンスマトリックス法では、このような一連の現象が非常に速やかに進行している。これは、コンプライアンスマトリックス法では亀裂と実質部との流体のやり取りを考慮しているためであると考えられる。

Fig.3(b)によると、コンプライアンスマトリックス法では沈下が短期間(1~5年)で急激に行われ、その後徐々に変化している。一方、クラックテンソル理論の結果は、前者ほどではないが急激に上昇し、その後沈下し始めている。

5. おわりに 本研究では、2つの手法をモデル岩盤の掘削問題に適用させ、岩盤掘削に伴う浸透-変形の連成解析した結果を比較した。コンプライアンスマトリックス法では、亀裂と岩盤実質部との流体にやり取りを表現していることを確認できた。また、クラックテンソル理論を用いた解析結果よりも、特徴的な現象を比較的短時間で表現していることがわかった。今後、原位置試験や不連続モデルを用いた解析との比較も行う必要がある。

参考文献 1) Cho, T. F.: Continuum and Discrete Modelings of Porous and Jointed Rock, Ph. D. Dissertation, University of Wisconsin Madison, 1988. 2) Oda, M.: Permeability Tensor for Discontinuous Rock Masses, *Géotechnique*, Vol. 35, No. 4, pp. 483-495, 1985. 3) Kobayashi, A.: Numerical Modeling of Mass Transport in Rock Mass, Doctoral Dissertation, Kyoto University, 1992.

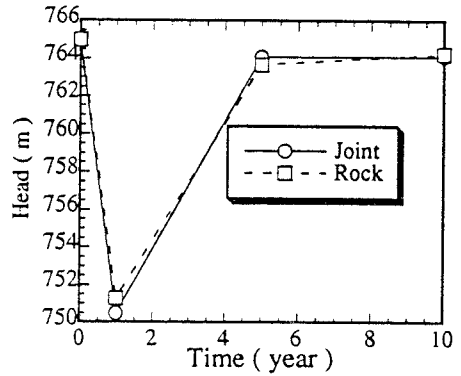


Fig.2 調査点における水頭の時間的変化

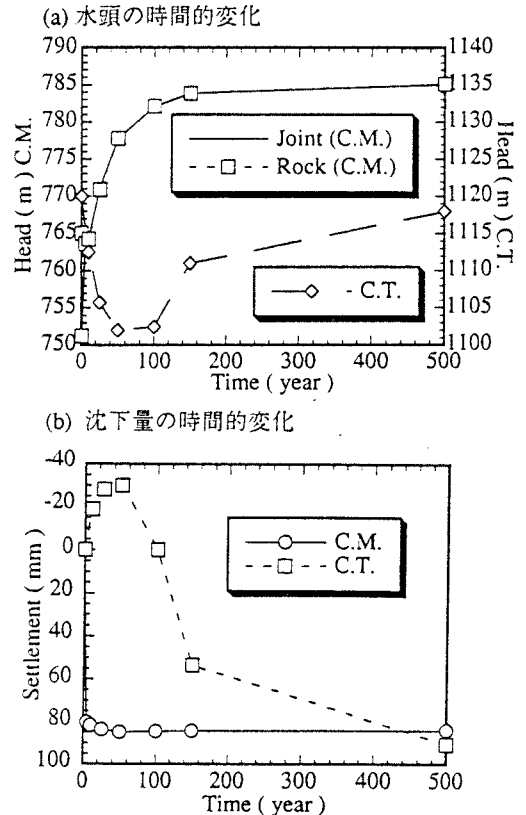


Fig.3 調査点における水頭,沈下量の時間的変化