

犬山地殻変動観測所における降雨時の地殻歪のFEM連成解析

豊橋技術科学大学 学生員○中地厚元、正員 中村俊六、正員 四倉信弘

(株)構造計画研究所 正員 林 保志、名古屋大学理学部 志知龍一

1. はじめに 地震予知などを目的として、非常に精度の高い地殻歪の観測が全国各地で多数行われているが、そうした観測にとって降雨に伴って発生する地殻歪はいわばノイズとなる。本研究は、こうしたノイズを除去するために降雨による地殻歪を解析するモデルを開発しようとするものである。既往のモデルの例としては山内¹⁾によるタンクモデル等が有るが未だ満足すべきレベルには達していない。筆者らは名古屋大学付属の犬山地殻歪観測所の観測データ²⁾に対して種々の解析を試みているものであるが、ここでは2次元FEM連成解析の試みについて中間的な報告をしたい。

2. 従来の解析結果とその問題点 宮本ら³⁾は、地殻歪観測用のトンネルに隣接する谷川の流量を観測し、その流量と渓流水温を小葉竹⁴⁾のタンクモデルに基礎を置いたモデルを用いて解析した。関野ら⁵⁾は、そのタンクモデルでの貯留水深に対応する荷重が図-1のような形で作用するものとして、2次元FEM弾性解析を試み図-2に示すような結果を得た。同図には2つの計算値(破線と実線)が記されているが、実線は弾性解析の結果得られた歪(破線)を α ($=7.8$)倍したものである。同図を見ると、 α 倍された計算値は実測の地殻変動とかなりよく一致している。しかし、子細に見れば実際の地殻歪は計算値よりも遅く急激に立ち上がり計算値よりも長い時間をかけて遅減している。また、その後の計算によって α は降雨毎に異なることが解った。すなわち、線形計算の結果に比較して実測値は一見非線形な挙動を示していると言えよう。筆者らは、こうした従来の検討結果を踏まえて、一見非線形に見える上記の挙動中には降雨に伴う浸透水の分布状況が時間的に

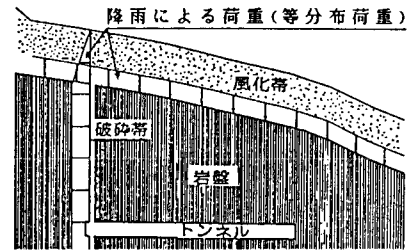


図-1 前報での載荷方法

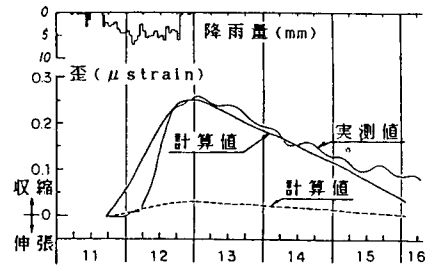


図-2 前報での歪変化の解析結果

変化する結果生じるものもかなり有るものとみて、その定量的把握を試みようとするものである。

3. 連成解析の概要 上記の目的のため降雨に伴う雨水の浸透(間隙水の変化)と応力変形解析を連立させて考えるいわゆる連成解析を試みた。基礎方程式をテンソル表現を用いて示せば式(1)、(2)のようである。

$$[K(\theta) \cdot (\Phi)_{,i}]_{,i} = C(\psi) \frac{\partial \Phi}{\partial t} + S_w \frac{\partial u_{i,i}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [D_{ijkl}(u_{k,i} + u_{i,k}) - \chi \rho_w g(\Phi)]_{,j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} b_i = 0 \quad (2)$$

ここに、 $K(\theta)$:体積含水率 θ に依存する透水係数、 Φ :全水頭、 $C(\psi)$:比水分容量、 S_w :飽和度、 u :変位、 D :弾性定数、 χ :飽和度(または体積含水率)により変化するパラメーター、 ρ_w :水の密度、 g :重力加速度、 ρ :水を含む土粒子の平均密度、 b :物体力、である。

また、FEM要素分割、境界条件及び初期地下水面は図-3のように設定した。地殻歪観測トンネルは同図中の要素31に位置している。要素31の左端の2節点及び左右両側の浸透流に関する境界条件としては圧力境界（圧力が一定で流量が変化する）を設定した。材質値としては地表面の風化帯と岩盤部分の2種に分け表-1の値を用いた。なお、同図に矢印で示した節点流入量としては前述のタンクモデルにおける1段目のタンクから2段目への浸透に相当する量を用いた。

表-1 材質値

	①	②
ヤング係数 (t/m^2)	30000.0	300000.0
ポアソン比	0.25	0.25
土の単位体積重量 (t/m^3)	2.5	2.5
初期地圧比	0.74	0.25
透水係数 ($m/300r$)	0.016	0.000078

4. 結果と考察 計算結果の一例を図-4、

5に示す。図-4中の一点鎖線が今回の計算値である。実測値としての全湧水量とは破碎帯湧水量（主として要素31の左端からトンネル内に湧出している量）に風化帯からと思われる湧水量を加えたものである。図-5は地下水面の計算結果であって、降雨最盛期の9月12日から地下水面がわずかに上昇し始め、14日に一部かなり上昇した後、17日にはほぼ12日の位置に回復している計算結果となっている。

図-4に見る限り今回の計算結果は前報のそれよりもむしろ悪くなっているが、以下の2点が注目される。すなわち、(1)湧水量については初期に増加しているが、その後はほとんど変化しておらず、実際の破碎帯湧水量が降雨の影響を余り受けない点と定性的に類似している。

(2)歪と地下水面の変化を併せて見ると、例えば17日のように、降雨後数日を経て地下水面は回復しても歪は回復していないことが解る。これは不飽和の領域には歪を残留させる形で水分が多量に分布していることを示しているものと思われる。

5. むすび 以上の結果から、もっかの計算結果は決して満足できるものではないが、歪の残留が浸透水の分布の時間的変化によるものではないかとする計算上の狙いには大きな狂いはないと思われる。

【参考文献】1)山内常生:降雨に対する地殻

歪レスポンスのシミュレーション、測地学会誌、27-1、(1981)、2)志知他:犬山における地殻変動の連続観測、測地学会誌、14~19、(1969~1973)、3)宮本他:出水時における河川水温の変動、第27回水講(1983)、4)小葉竹:京大学位論文(1979)、5)関野他:タンクモデルによる・・・、第38回年講、(1983)

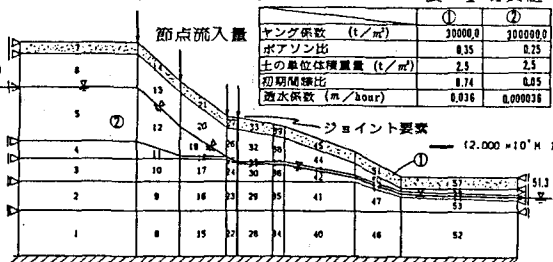


図-3 FEM要素分割および設定条件

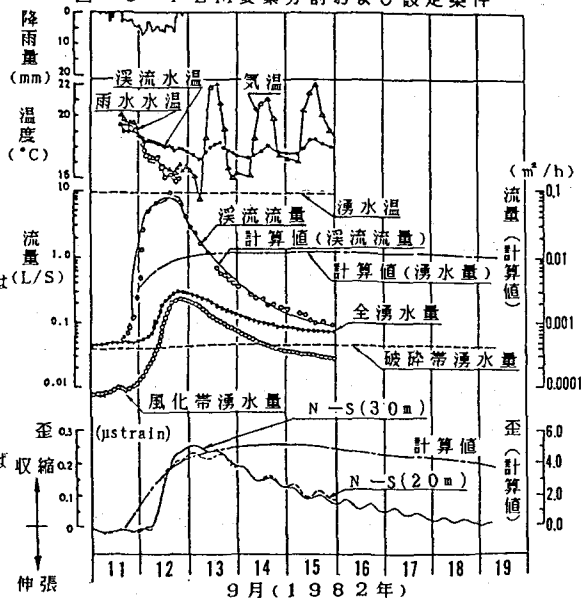


図-4 解析結果

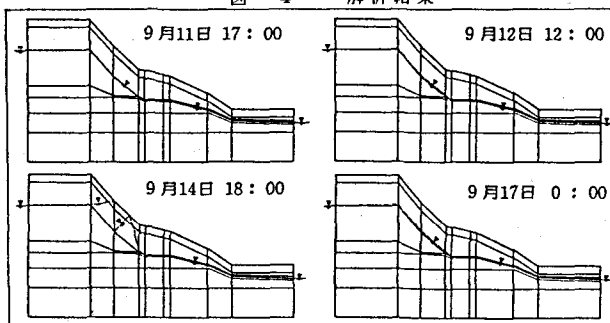


図-5 地下水面形の変化