

## マニフォールド法を用いた貯水池内斜面の地すべりの解析

電力中央研究所 正会員 ○小早川博亮, 伊藤洋

**1. はじめに** 岩盤構造物の建設や維持・管理においては、破壊に至るまでの岩盤挙動予測手法を高度化し、設計や対策工法の最適化・合理化に反映させコスト低減を図る必要がある。しかし、連続体としての岩盤構造物の安定性評価手法は、岩盤不連続面のすべり・開口に起因する変位を主体とした実際の大変形を伴う岩盤の破壊挙動や、岩盤不連続面の間隙水圧の変化など、安定性を直接的に支配している現象を必ずしも十分に再現できず、これらの現象に起因した岩盤挙動の予測は困難である。今後これらの現象の適切なモデル化にもとづいた挙動予測手法を開発して最適設計や合理的な安定性評価に反映していくことが望まれている。本報告では、マニフォールド法（以下、MM と呼ぶ）<sup>1)</sup>に間隙水圧の変化を考慮できるように改良を加え、貯水池内斜面の地すべりの解析へ適用した結果について報告する。

**2. MM へ浸透の影響を考慮する方法** MM の基本方程式は(1)式で表される。

$$M\ddot{u}^{t+\Delta t} + C\dot{u}^{t+\Delta t} + Ku^{t+\Delta t} = F^{t+\Delta t} \quad (1)$$

ここに、 $M$ : 質量マトリックス、 $C$ : 減衰マトリックス、 $K$ : 剛性マトリックス、 $F$ : 外力マトリックスを表し、 $u$ は変位を、 $t$ は時間を表す。これに地下水の浸透の影響を考慮するために、図1のフローに示す解析方法へと改良した。これは、浸透流解析<sup>2)</sup>で求める間隙水圧を節点力として与え変形量を求め、変形後の亀裂の開口幅に基づいて各亀裂の透水係数を算定し、浸透流解析を実施するという手順を繰り返すものである。このように浸透問題と応力変形問題を同時に解析する方法は、一般に連成解析と呼ばれるが、ここで提示した解析方法は図2に示す間接連成解析にあたる。MMにおいては、図2(3)に示すように、浸透流解析によって得られる水頭ポテンシャルの勾配の大きさに比例した透水力と呼ばれる物体力を与えて変形問題を解く片連成解析が提案されている<sup>3)</sup>。

### 3. 貯水池内斜面の地すべりの解析

(1)対象とした貯水池内斜面の概要 対象とした斜面は、ダム上流約9kmに位置し、幅約150m、水深約80mの貯水池に面している。斜面の地質断面図を図3に示す。地盤は古第三系の砂岩(Ss)、頁岩(Sh)を基盤として、表層を崖錐堆積物と強風化岩が覆っており、いずれも流れ目構造を呈している。図中のボーリングNo.1, 2に示すように、地表面下30～40m付近の頁岩層最下部にほぼ地層と平行した幅2～3mの破碎帯が認められている。破碎物質のほとんどは岩片・砂状である

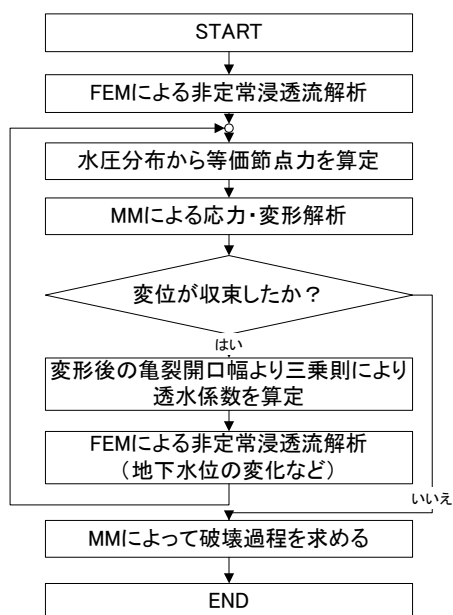
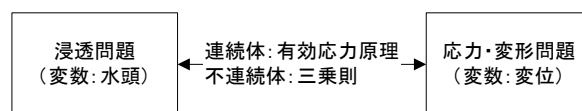
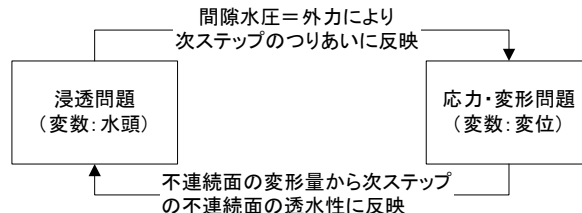


図1 解析のフロー

(1)完全連成: 浸透と応力・変形を同時に解く(有限要素法)



(2)間接連成: 浸透と応力・変形を逐次解く(個別要素法、剛体ばねモデル)



(3)片連成: 浸透の影響を次ステップの応力・変形に反映(マニフォールド法)

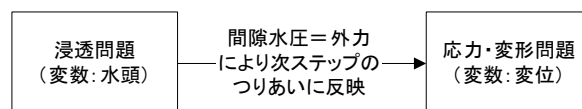


図2 連成概念図

キーワード: 岩盤, マニフォールド法, 応力・浸透連成解析, 地すべり

〒270-1194 我孫子市我孫子 1646, TEL:04-7182-1181, FAX:04-7183-3182, E-mail:h-koba@criepi.denken.or.jp

が、粘土状を示す箇所も認められている。

この斜面の地すべりに対して動態観測や解析が実施されている<sup>4),5)</sup>。一例として図4にS-2伸縮計の変位量と日平均雨量の関係を平均貯水位で分けて示す。地すべりの活動は降雨が多いほど活発になり、また貯水位が低いほど降雨の影響を受けやすいことがわかる。また、同じ斜面に対して実施された安定解析の結果、深部の断層破碎帯を想定すべり面とした場合のすべり安全率は、貯水位変動よりもむしろ降雨に影響されることが明らかにされている。

(2)解析ケース 前述の斜面に対し、地下水位の変動が斜面の安定性に及ぼす影響を検討することを目的として、改良を加えたMMによる解析を行った。解析ケースは地すべりの要因を踏まえ、①降雨がなく貯水位も変動しないとき（以下、常時と呼ぶ）、②貯水位を低下させたとき（貯水位低下時）、③降雨時の3つとした。解析に用いた入力パラメータを表1に示す。なお、解析用の物性値は野崎（1997）に基づいて設定した。

解析は、①常時の場合は自重を载荷したMMによる解析を行い、②貯水位低下時、降雨時には間隙水圧分布の変化を浸透流解析によって評価し、要素ごとにある時刻での浸透力および浮力を求め、それを節点荷重としてMMのブロックに载荷する手順で行った。

(3)解析結果 解析の結果、3つのケース(常時、貯水位低下時、降雨時)ではいずれも変位が収束せずに地すべりの活動が継続する結果を示した。各々のケースの変位に着目して時間との関係を示したものが図5である。すなわち、解析が進むに従って各ケースの変位量の差が「降雨時>貯水位低下時>常時」のように現れ、常時でも地すべりの活動が継続しており、降雨時や貯水位低下時には活発化し、特に降雨時に激しいという傾向を捉えることができた。これは図4の動態観測結果とも傾向が一致しており、解析手法の妥当性を示しているものと考ええる。

4. まとめ 本解析手法は、岩盤構造物の大変形問題に対する浸透を考慮した新しい安定性解析手法であり、今後原位置での計測結果との比較などによる検証や適用実績を積み重ね、より信頼性の高いコードの確立を目指す。

参考文献 1) Shi, G. H. (1992): Modeling rock joints and blocks by Manifold method, Proceedings of 33rd U.S. Smp. on rock Mech., A.A.Balkema, pp.639-648, 1992. 2)大西有三, 村上毅(1980): 有限要素法による地盤の応力・変形を考慮した浸透流解析, 土木学会論文報告集, No.298, pp.87-96. 3)大西有三, 大津宏康, 西山哲, 小山倫史 (2001): マニフォールド法による浸透の影響を考慮した不連続性岩盤の応力・変形解析, 第36回地盤工学研究発表会講演集, pp.583-584. 4)溝上建, 永津忠治, 金子和宏(1996): 貯水池内地すべりの発生機構と崩壊時貯水位変動について, 第二届日中地盤環境力学国際学術討論会論文集. 5)野崎隆司(1997): 貯水池周辺岩盤斜面の降雨・貯水位変動時及び地震時安定性のケーススタディ, 電力土木, No.271.

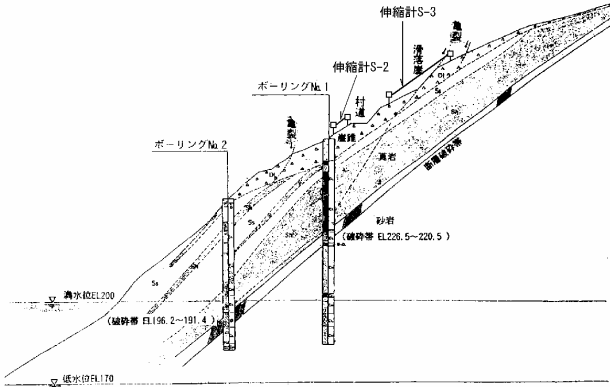


図3 地質断面図

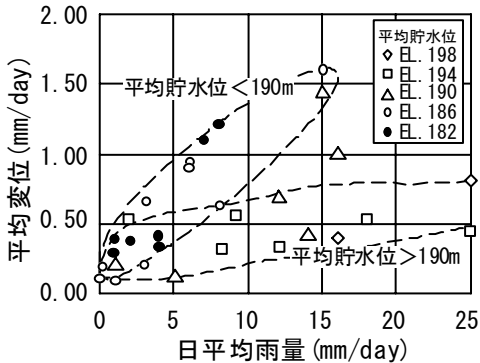


図4 S-2伸縮計の変位と雨量の関係

表1 解析に用いた入力パラメータ

|              |                            |
|--------------|----------------------------|
| ステップ数        | 1000                       |
| 1ステップの時間間隔   | 0.1 日                      |
| 単位体積重量       | 2.3 kN/m <sup>3</sup>      |
| ヤング率E        | 9810 Mpa                   |
| ポアソン比        | 0.30                       |
| 粘着力          | 29.4 MPa                   |
| 内部摩擦角        | 32.5 °                     |
| 最大許容変位比      | 0.0001                     |
| ペナルティ        | 98.1 GPa                   |
| せん断バネ係数      | 98.1 GPa                   |
| 透水係数(砂岩)     | 1.0×10 <sup>-6</sup> m/sec |
| 透水係数(砂・頁岩互層) | 1.0×10 <sup>-4</sup> m/sec |
| 透水係数(断層破碎帯)  | 1.0×10 <sup>-7</sup> m/sec |

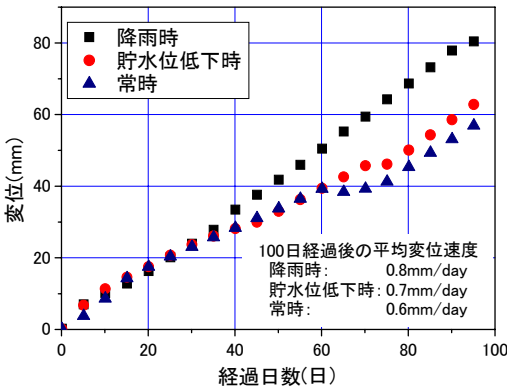


図5 解析ステップと変位量の関係