

III-318 岩盤の長期変形性推定の試み

(株)大林組 平間 邦興 桑原 徹
鈴木 健一郎 小山 浩史

1. はじめに

岩盤の変形は、おもに施工中および構造物完成後の短期間について論じられているのが一般である。その後の長期にわたる変形挙動にたいしては、岩盤が本来有する粘性に依存するものと、劣化に伴う経時的な物性変化に依存するものの2つが考えられる。今日、岩盤を対象とする重要構造物の増加にともない、その安全性評価に対して、長期的な変形挙動への言及をも必要とするに至っている。

本報告は、岩盤の長期的な変形挙動のうち、経時的な物性変化に伴う変形に注目したものである。骨材の耐久性などに関する既存のデータを利用し、弾性計算の繰返しにより変形量の絶対値を推定することを試みたので、それについて概説する。

2. 時間的・空間的な物性変化

地下の岩盤が、掘削により露出し、大気と接触する。水の浸出入が自由になる。岩盤が温度変化や水的作用によって破壊され長い年月かかって土壌にまで変化する。所謂風化である。岩石または岩盤の劣化とは、具体的には機械的・化学的風化作用により、岩石の組織が破壊され、又風化生成物が溶脱されることにより空隙や微小クラックが伸展することを意味する。強度や変形特性が、空隙率や微小クラックの相対密度等に依存することは、多くの研究報告からも伺える。見掛け上時間に伴う岩盤の変形も、このように視点を変えることにより、経時的な物性変化に起因するものとして捉えられる。

今、仮に岩盤の劣化状況を表わす内部変数を吸水率 ω に代表させることにしよう。初期吸水率は、中村・石塚の実験結果（図-1）によれば、初期動弾性係数と一意に対応していることがわかる。同一岩種であれば、動弾性係数と強度、動弾性係数と静弾性係数との間には、或る程度の相関性が認められるので、吸水率の経時変化を知ることにより強度や静弾性係数のそれが知れる筈である。吸水率の経時変化を比較的長期にわたり測定した例が中村・石塚による図-2である。図のデータは、48ヵ月の曝露試験結果の一例で、経過時間ごとの吸水率の値を初期吸水率で正規化して整理し直したものである。

風化進行機構に関する研究は、糟谷により野外調査結果としてまとめられている。風化進行の外因としては水分変化、温度較差、乾湿の繰返しが上げられ現象としては、岩盤表層部から深部へと風化が進行していく。従って、岩盤物性の低下は、表層部から深部へ、顕著な不連続部から周辺へと連続的に分布すると考えられる。

3. 解析における物性変化の捉え方

3. 1 初期岩盤物性：掘削前の岩盤は、等方均質な連続体であり、弾性係数は $4 \times 10^5 \text{ t/m}^2$ 、ポアソン比0.25、せん断強度 150 t/m^2 、引張強度 50 t/m^2 、単位体積重量 2.6 t/m^3 破壊包絡線は放物線 $(\tau/\tau_R)^2 = 1 - \sigma/\sigma_t$ を仮定する。概ね C_m 級の岩盤であり、そのままの状態では風化又は劣化はきわめて遅い。*

3. 2 物性低下の開始と速度：物性低下の開始は、微小

(*劣化データは玄武岩のものであるが、物性値は C_m 級岩盤の代表値を用いている)

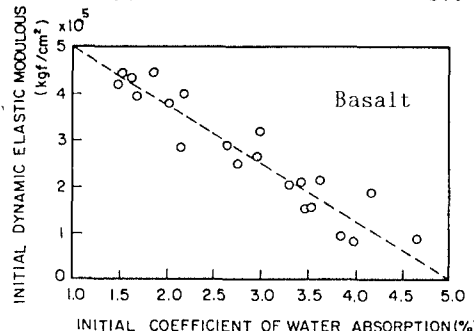


図-1 初期動弾性係数と初期吸水率の関係¹⁾

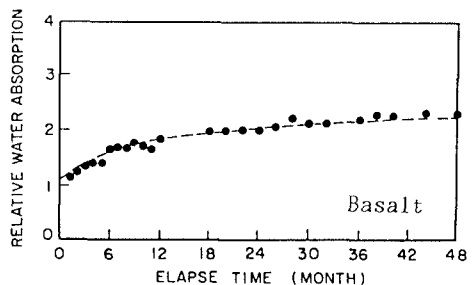


図-2 吸水率の経時変化¹⁾

クラックが或る程度進展して連続性が生じる時点と考え、それを応力状態と破壊包絡線との接近度を示す安全率係数 F_s で規定する。即ち、

$$F_s = (D_{min}/\sigma_1 - \sigma_3/2) / \sigma_1 - \sigma_3/2 < 1.5 \quad \dots\dots(1)$$

なる状態において岩盤を構成する岩石中に劣化が進展するような微小クラックの連結が生ずると考える。このクラック中に水が侵入して水和作用が促進されるものである。低下開始後の低下速度は、図-1及び2のデータをもとに次のように決定する。即ち、①吸水率の経時変化を（図-2）を適当な時間の関数で表わす。②動弾性係数と吸水率の線型関係（図-1）より、動弾性係数の経時変化を定式化する。

③弾性係数及びせん断強度、引張強度の変化率は動弾性係数のそれと等しいとして低下させる。ここでは、①の過程で4要素流体型のクリープ構成式を用いて、吸水率の経時変化を近似し（図-2の破線）物性の低下率を次のような時間の関数で置き換えた。

$$\frac{E}{E_0} \cdot \frac{\sigma_t}{\sigma_{t0}} \cdot \frac{\tau_R}{\tau_{R0}} = 1 - 0.257(1 - e^{-t/180}) - 1.35 \times 10^{-4}t \quad (t: \text{日}) \quad \dots\dots(2)$$

3. 3 物性低下の分布：物性の分布は、有限要素毎に考えるものである。掘削解析によって $F_s < 1.5$ となった要素に対して(2)式で得られる物性を対応させる。 F_s の値により変形係数を連続的に変化させることも考えられるが、ここでは $F_s \geq 1.5$ と $F_s < 1.5$ に分け、 $F_s < 1.5$ となった要素については次の段階において物性を低下させる。

4. 解析結果の一例

物性変化の捉え方が主題であるので、ここでは簡単に掘削解析を行なった例を示すこととする。計算の流れは、まず初期物性値を用いた均質な岩盤の掘削解析を行なう。その結果から、 $F_s < 1.5$ の要素について物性を(2)式にしたがって低下させる。 n 年後の挙動を知るために局所的に物性の低下した岩盤に対して再び掘削解析を行なう。 n' 年後($n' > n$)の挙動を推定するには、 n 年後における解析結果から $F_s < 1.5$ の領域に対して物性を低下させた後に同様な解析を逐次行なっていく。ここでは、48ヵ月間の挙動を2, 4, 8, 16, 32ヵ月後の結果から順次推定していった。図-3に $F_s < 1.5$ の分布を示した。

(a)は掘削直後(b)は32ヵ月後のものである。劣化の進行が、表層から深部へと広がっていく状況が表現されている。また、図-4は掘削直後から48ヵ月間に生ずる変形量をベクトルで示したものである。表層の3点に注目して、変形の進行を時間に対してプロットしたのが図-5である。岩盤の風化に依存する変形を時間に依存した形で表現することができた。

5. おわりに

既存のデータからは、図-5の結果を外挿可能な期間に対して推定するに留まる。さらに長期の岩盤の変形量を推定し、構造物へのその影響を評価するという場合、岩盤構造物の長期的な調査と、劣化促進試験とを実際の現象との時間的な対応を考えることで推定が可能になると考えられる。

(参考文献) 1). 中村・石塚：岩石の耐久性試験の比較、応用地質25巻4号, pp 21 to 31, (1984)

2). 糟谷：各種岩石の風化進行機構・風化進行速度に関する研究、電力中央研究所報告381038, (1982)

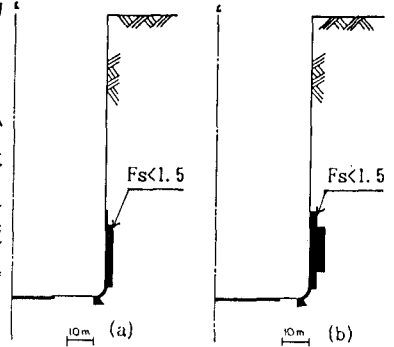


図-3 $F_s < 1.5$ の分布
掘削直後(a) 32ヵ月後(b)

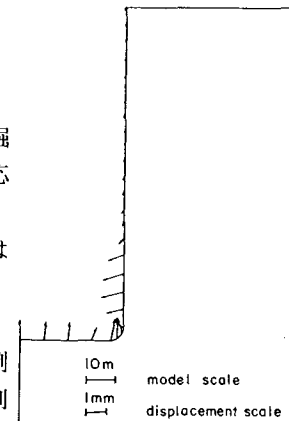


図-4 48ヵ月間の
風化による変形

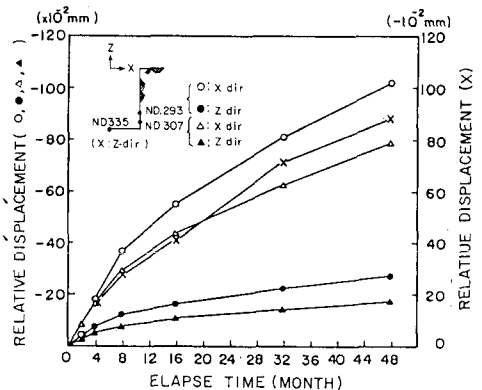


図-5 各点における変形の経時変化