

III-558

復水工法における注水量の時間依存性の評価について

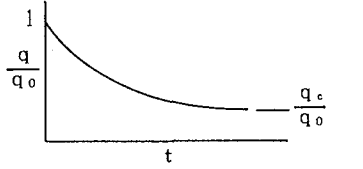
鹿島 技術研究所 正会員 鬼木 剛一 正会員○笹倉 剛

1. はじめに

復水工法により地下水の人工涵養を行う場合、注水量は帯水層内での土粒子配列の変化などにより経時的な減少傾向を示すことが知られているものの、その定量的な予測手法は確立されていないのが現状である。

本報では、成田砂層を対象とした復水工の実施に先立ち、帯水層内での浸透圧による土粒子配列の変化により生じると考えられる注水量の時間依存性を事前に予測することを目的として、注水圧（動水勾配）をパラメーターとした室内透水試験を実施した。試験結果の解析には、佐藤らの示した濁質流入に起因する注水量の時間依存性の基本式¹⁾（以後時間依存性基本式）の適用を試み、さらにこれらの結果をもとに注水量の予測を行い、実測値の比較により予測手法の適用性を検証した。表-1に時間依存性基本式の概要を示す。

表-1 時間依存性基本式の概要

概 要	モデルの一般式	変数の定義
一定濃度の濁質の流入による空隙閉塞に伴う、注水量の減少傾向を表現する数学モデル	$\frac{q}{q_0} = \left(1 - \frac{q_c}{q_0}\right) \times f(K_b, t) + \frac{q_c}{q_0}$ 	q : 時刻 t における注水量 q_0 : 初期注水量 q_c : 恒常注水量（減少後の注水量） K_b : 閉塞係数 （注水量減少速度表現パラメーター） t : 注水開始後の時間 $f(K_b, t)$: 注水量減少傾向の表現関数 （空隙閉塞現象のモデル化方法により下記の4通りに分けられる）
閉塞モデル	: 流路空隙が濁質により完全に閉塞し流路数が累計注入量に応じて減少	
円管拘留モデル	: 濁質の拘留により円管で近似した空隙の径が累計注入量に応じて減少	
平行空隙拘留モデル	: 濁質の拘留により平行空隙で近似した空隙の幅が累計注入量に応じて減少	
表面層モデル	: 累計注入量に応じて濁質が表面にろ層を形成	

2. 室内透水試験概要

試験装置は、図-1に示すように直径 200mm、試料部の長さ 500mmの亚克力性円筒を水平方向にして用いたもので、上下流端水位の調節により任意の動水勾配を与えることができ、またスタンドパイプにより試料内の水頭分布を測定することができる。試料は、現場における復水対象層より採取した細粒分含有率約10%、均等係数 2.8の成田砂を用いた。なお、試験には水道水を脱気した水を使用した。

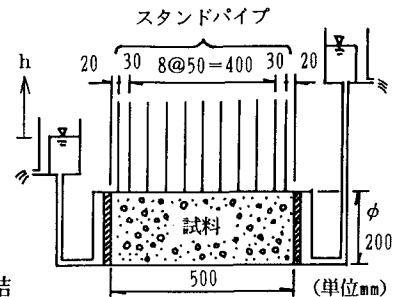
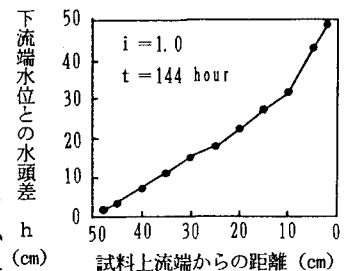


図-1 試験装置の概要

試験手順としては、試料を相対密度が原位置と同じ72%となるように詰め、土粒子配列の変化を生じないと考えられる十分小さい動水勾配0.03における定常注水量（ $q_{0.03}$ ）を測定した後、所定の動水勾配（ $i = 0.5$ 、1.0、2.0、3.0）に上昇させ注水量の経時変化を長期にわたって測定した。試験結果の整理は、各動水勾配（ i ）での注水量（ q ）を、基準注水量 q_0 （ $= q_{0.03} \times i / 0.03$ ）により無次元化した比注水量 q/q_0 により行った。

3. 試験結果及び考察

一例として、動水勾配 1.0、注水開始 144時間後の試料内の水頭分布を図-2に示す。これより、試料上流端近傍で大きな水頭差が生じていることがわかる。これは上流端近傍の試料の細粒分が浸透圧により移動し土粒子配列が変化した結果、該当領域において透水性の低下が生じたことが原因と考えられる。図-2 試料内水頭分布測定結果



そこで、本試験における移動細粒分を時間依存性基本式における濁質とみなし、単位時間当たりの移動細粒分量は一定で、細粒分の移動の終了とともに土粒子配列の変化は終了し注水量が恒常注水量(q_0)に達すると考え、時間依存性基本式を用いて注水量の時間依存性の解析を試みた。

動水勾配 1.0 の場合の試験結果及び解析結果を図-3に示す。これによると注水開始後50時間程度までの初期においては平行空隙拘留モデルが、それ以降においては閉塞モデルがそれぞれ測定結果と良い一致を示している。これは、細粒分の移動に伴い空隙の減少形態が拘留から閉塞へと変化したことによると考えることができる。従って、細粒分の移動を伴う注水量の時間依存性の評価は時間依存性基本式により可能であり、また実施工時において長期の注水量の予測を行う場合には、注水量減少傾向の表現関数として閉塞モデルを用いれば良いと考えられる。

そこで、閉塞モデルを適用して動水勾配の異なる他の試験ケースを解析し、動水勾配と注水量の時間依存性表現パラメーター(恒常比注水量 q_0/q_0 、閉塞係数 K_b)の関係として整理した結果を図-4に示す。これより、恒常比注水量は動水勾配の増加に伴って低下し、動水勾配が 3.0 の場合には注水量が基準注水量(q_0)の約4分の1まで低下すること、また閉塞係数(K_b)は動水勾配の増加とともに大きな値となる、すなわち減少速度が大きくなるなどがわかる。

4. 復水時の注水量の予測

室内透水試験データを時間依存性基本式により解析した結果を用いて、原位置における復水時の注水量の時間依存性の予測を試みた。地盤モデルは図-5に示す通りで、予測は次の手順で行った。まず、Richardtの式により求めた影響半径をもとに、復水時に帯水層の透水性が最も低下すると考えられる動水勾配が最大となる位置、すなわち復水井近傍での動水勾配 i_{max} を算定する。次に、その i_{max} に対応する恒常比注水量 q_0/q_0 及び閉塞係数 K_b を図-4より求め、時間依存性基本式により注水量の予測を行う。

閉塞モデルによる注水量の予測値及び実測値を図-6に合わせて示す。閉塞モデルは長期の予測に適切なモデルであることから、復水開始後初期の非定常状態においては注水量の減少速度に若干の違いが両者に認められるものの、長期的には概ね一致しているといえる。したがって、本予測手法により注水量の時間依存性をほぼ評価できると考えられる。

5. おわりに

以上の検討より、注水圧をパラメーターとした室内透水試験結果を時間依存性基本式を用いて解析することにより、細粒分の移動を生じる場合の復水時の注水量の時間依存性の予測がほぼ可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 佐藤邦明、伊藤洋：岩盤内浸透流の時間依存と目詰り機構、土と基礎、No. 1780、pp21~25、1988. 4

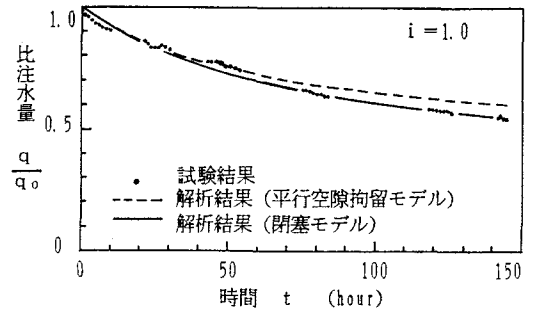


図-3 空隙閉塞モデルによる試験結果の解析例

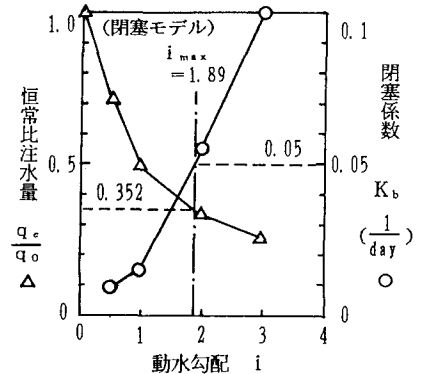


図-4 動水勾配と時間依存性表現パラメーターの関係

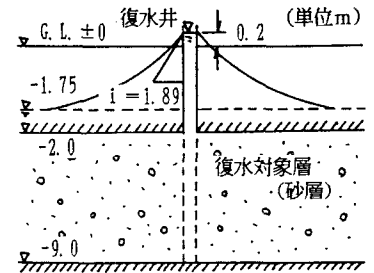


図-5 地盤モデル

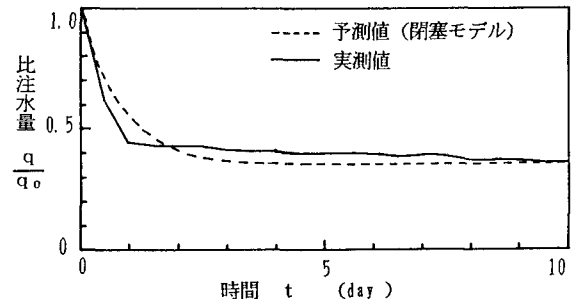


図-6 注水量の予測値と実測値の比較