

遮水壁構内の水位低下予測式を用いた現場透水試験結果の整理(その1)

(株) 鴻池組 正 進士喜英
 (株) 鴻池組 正 狩野裕之
 近畿基礎工事(株) 性田 学
 近畿基礎工事(株) 植田敏雄

1. はじめに

地盤掘削時の地下水対策に遮水工法が適用される場合がある。遮水工法は施工中の周辺地下水位低下および排水流量を低減できることが利点であるが,"遮水"と言えども遮水壁や排水対象層の上下難透水層からの漏水補給を無視できない。このため,事前に遮水壁透水性などの遮水機能の予測およびこれに対応した排水設備の設計に加えて締切り完了後には遮水機能の確認試験を行い,この結果に基づいた排水管理(低下水位・排水量の管理)を計画する必要がある。このような場合,構内水位低下量と揚水流量の定常状態の関係に基づいて設計することが一般的な考え方であるが,構内が所定の水位に達するに必要な揚水流量と時間の関係も施工管理には必須であり,非定常挙動の把握が要求されるようになってきた。非定常挙動の予測では数値解析の適用が一般的であるがその煩雑さが問題であった。そこで,構内排水時の非定常挙動を表す予測式を開発し遮水性確認試験結果に適用し,その妥当性を評価した。

2. 定常漏水を考慮した予測式

遮水壁締め切り構内の水位低下挙動を扱う数学モデルとして,以下の条件を仮定したモデルを用いた。

- ・漏水は構内外水位差による定常浸透である。
- ・構内貯留は考慮するが,高透水性帯水層を仮定し,揚水による水位変動は構内均一とする。
- ・構外には有意な水位変動は生じない。
- ・構内は被圧状態である。

以上の条件下では,総排水流量 $Q[L^3/T]$ は構内への漏水流量 $q[L^3/T]$ と水位変動による構内貯留(放出)流量の和となる以下の関係式(1)が誘導できる。

$$Q = q + C_A \frac{ds}{dt} \quad (1)$$

ここで, s : 構内外水位差[L], t : 時間[T], C_A : 構内貯留項[L^2]= AS , A : 締め切り部面積[L^2], S : 帯水層貯留係数[-]

また,漏水流量 q は以下の式で表現できるとする。

$$q = as : a = \frac{LK_W D}{d} + \frac{AK_L}{d'} \quad (2)$$

ここで, L : 土留め壁周長[L], A : 締切り面積[L^2], D : 帯水層厚[L], d : 遮水壁厚[L], d' : 難透水層厚[L], K_W : 遮水壁透水係数[L/T], K_L : 難透水層透水係数[L/T]

式(2)を(1)に代入し, s を t の関数とした微分方程式(3)が誘導できる。

$$\frac{ds}{dt} + \frac{a}{C_A} s = \frac{Q}{C_A} \quad (3)$$

式(3)は一般解(4)を持つ¹⁾。

$$s(t) = e^{-\frac{at}{C_A}} \left\{ \frac{Q}{a} e^{\frac{at}{C_A}} + C \right\} \quad (4)$$

ここで, C は定数項である。初期条件に, $t=0, s=s_0$ (初期水位差)を導入しこれを決定すると式(5)となる。

$$s(t) = \frac{Q}{a} + \left(s_0 - \frac{Q}{a} \right) e^{-\frac{at}{C_A}} \quad (5)$$

式(5)は,排水流量 Q の設定によって以下のケースを評価することができる。

- (1) $Q > 0$: 漏水補給のある排水時の低下挙動
- (2) $Q < 0$: 構外漏水のある注水時の上昇挙動
- (3) $Q = 0$: 漏水補給のみによる回復挙動

3. 不圧状態への拡張

予測式(5)は被圧状態想定しているが,不圧状態には式(6)、(7)のように遮水断面高さ D を構内外水位差の関数として扱う。

$$q = a(s)s : a = \frac{LK_W D(s)}{d} + \frac{AK_L}{d'} \quad (6)$$

$$D(s) = H - s/2 \quad (7)$$

ここで, H : 自然水位高さ[L], $a(s)$ および $D(s)$ は s の関数形であることを示す。この条件下での s の解は漸化式(8)で表すことができる。

$$s(t_{i+1}) = s_{i+1} = \frac{Q}{a_i} + \left(s_i - \frac{Q}{a_i} \right) e^{-\frac{a_i \Delta t_i}{C_A}} \quad (8)$$

キーワード: 遮水工法、透水性、排水設計、確認試験、予測式

連絡先: 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 (株)鴻池組 土木本部 技術部 06-6244-3617/3676(FAX)

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (9), \quad a_i = a(s_i) \quad (10)$$

ここで、添字は時間ステップを示し、式(9)で示す時間間隔を小さく設定し、逐次計算することで水位低下が予測できる。

4. 工事実績との比較

ここでは、建設現場で実施された締切り完了後の遮水性確認試験データを使って、予測式の適用性を評価した。

(1) 試験結果の評価

被圧状態で試験された二現場 A,B の試験結果を予測式(5)による計算水位低下量と比較し、最もよく一致するパラメータ a および C_A を同定した。いずれの帯水層も 10^{-1}cm/sec オーダーの透水係数を示す高透水性地盤である。同定はこれら二つパラメータそれぞれの取り得る範囲内で試行錯誤法で評価し、計算結果と試験結果の残差二乗和が最小となる組み合わせを同定結果とした。各現場の条件および同定結果を表 1 にまとめる。

表 1 確認試験結果の評価

現場	A	B
締切り面積 A (m^2)	8,000	11,000
帯水層厚 D (m)	15.4	15.1
土留壁厚 d (m)	0.85	0.85
土留壁周長 L (m)	435	400
揚水流量 (m^3/min)	1.4	5.4
1) a (m^2/min)	1.07×10^{-1}	5.46×10^{-1}
1) C_A (m^2)	19.84	24.86
1) 比 a/C_A	5.39×10^{-3}	2.19×10^{-2}
1) K_W (cm/sec)	2.27×10^{-5}	1.28×10^{-4}
1) S (-)	2.48×10^{-3}	2.26×10^{-3}
2) 比 a/C_A	2.89×10^{-3}	1.75×10^{-2}
2) a' (m^2/min)	5.73×10^{-2}	4.35×10^{-1}
2) C_A' (m^2)	37.02	31.38
2) K_W' (cm/sec)	1.21×10^{-5}	1.02×10^{-4}
2) S' (-)	4.63×10^{-3}	2.85×10^{-3}

表中、1)：揚水挙動、2)：回復挙動の同定結果をそれぞれ示す(回復挙動からは比 a/C_A のみ評価できる)。また、現場 A の試験水位と同定パラメータによる算定水位を図 1 に示す。表 1 には回復時の比 a/C_A を満たす a' (C_A は揚水時の同定値)、 C_A' (a は揚水時の同定値)を示した。 K_W は全ての漏水は壁から生じるとし、また S は井戸孔内貯留は考慮していないとした時の試算結果である。図 1 に示すように試験結果と同定結果は良好な一致を示している。揚水過程

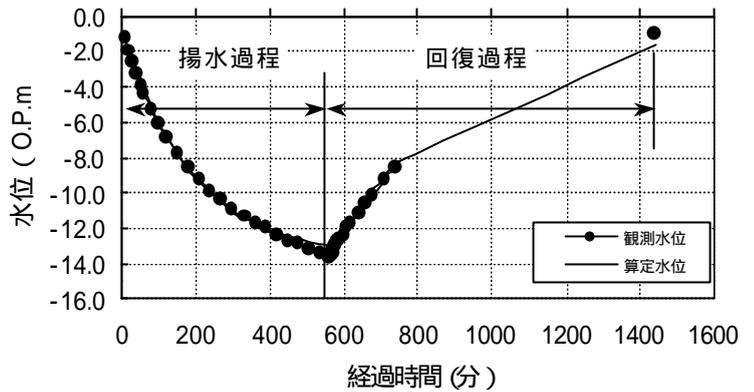


図 1 A 現場確認試験結果と同定計算水位の比較

と回復過程では比 a/C_A は異なるが、通常の揚水試験においても回復試験の結果とは必ずしも一致せず、透水係数で数倍の違いがみられることもあることから試験結果の評価に予測式(5)を用いることは妥当であると判断する。

(2) 施工中の予測

両現場においても施工中の観測データが得られている。ここでは、長期間の揚水後に観測された構内水位低下量と流量が観測されていることから、この試験結果と予測値を比較した。表 2 にこの比較を示す。流量はいずれも数ヶ月以上一定構内水位を保った状態であり定常状態とみなされる。よって、計算流量は表 1 のパラメータ a および a' と構内水位低下量 s の積で与えたものである。

表 2 実測水位/流量と予測値の比較

現場	A	B
実測構内 水位低下量 s (m)	7.45	9.18
実測総排水流量 (m^3/min)	0.2	2.5
計算流量 (m^3/min)	$q=as$	0.798
	$q=a's$	5.01
		0.426
		3.98

揚水/回復時のパラメータ a の差違がみられるものの、計算値と実測値を比較すると、いずれの予測値も実測の 2~4 倍となっている。一般に遮水工法を用いた場合、構内水位を維持すると次第に流量が減少することがあり、このケースも徐々に流量が低減し、漏水層あるいは遮水壁の透水性が減じたような傾向を示している。この問題については現段階では適切な説明はなされていないが、今後は漏水層および壁の貯留特性(非常挙動)を考慮した挙動予測を検討する予定である。

<参考文献>1) 洲内, 網屋, 新応用解析, サイエンス社, 6-7, 1982.