

デコンボリューション法によるスラグテストの解析

大成建設(株) 正会員 下茂 道人  
 大成建設(株) 正会員 ○文村 賢一  
 核燃料サイクル開発機構 正会員 竹内 竜史

1. はじめに

スラグテストは、単孔井戸試験の一種で、短時間に井戸内の水位を低下（上昇）させた後の水位回復過程から周辺地盤の水利特性を求める試験法である。著者らは、大深度における岩盤の水利特性を把握する目的で、揚水試験の実施が困難な低透水性～難透水岩盤を対象としたスラグテストを実施している。従来、スラグテスト結果の解析には、Hvorslev 法または Cooper らの手法が用いられてきたが、両者の結果に整合性が見られないケースも少なくない。本報では、サイクル機構が幌延町で進めている幌延深地層研究計画の中で実施したスラグテスト結果を用いて、Peres ら<sup>1)</sup>が提唱するデコンボリューション法によるデータの解釈を試み、従来の解析手法との比較および同手法の利点などについて検討した結果を報告する。

2. デコンボリューション法

Peres ら<sup>1)</sup>は、スラグテストの水位  $H$  と定流量揚水試験の水位  $s$  との間に、次の関係が成立することを示した。

$$\frac{H(t_D, C_D)}{H_0} = C_D \frac{\partial s_D}{\partial t_D}(t_D, C_D) \quad (1)$$

ここに、 $H_0$ : スラグテストの初期水位変化量[L],  $s_D$ : 等価な定流量揚水試験の無次元水位低下量 ( $2\pi Ts/Q$ ),  $t_D = Tt/Sr_w^2$ ,  $C_D = C/2\pi Sr_w^2$ ,  $r_w$ : 井戸半径[L],  $T$ : 透水量係数[L<sup>2</sup>/T],  $S$ : 貯留係数[-]である。(1)式の両辺を積分することにより、スラグテスト結果を定流量揚水試験の結果に変換することができる。これを、デコンボリューション法と呼ぶ。等価水位低下量は、

$$s_D(t_D, C_D) = \frac{1}{C_D} \int_0^{t_D} \frac{H(t_D, C_D)}{H_0} d\tau \approx \frac{2\pi T}{CH_0} \sum_i H_i \Delta t_i \quad (2)$$

デリバティブは、(1)式の両辺に  $t_D/C_D$  を乗じて、

$$t_D \partial s_D / \partial t_D = \partial s_D / \partial \ln t_D = (t_D / C_D) H / H_0 \approx \frac{2\pi T}{CH_0} t_i H_i \quad (3)$$

と求められる。(2)式と(3)式により、スラグテストの結果に対して、定流量揚水試験で用いられているデリバティブ法による解析法を適用することが可能となる。また、次式に示す流量正規化法により、井戸内貯留の影響を排除した無次元水位低下量  $s_D'$  が近似的に求められる (Ramey, 1976)。

$$\frac{s_D(t_D, C_D)}{q_D(t_D)} = \frac{s_D(t_D, C_D)}{1 - C_D(ds_D/dt_D)} \approx s_D' \approx \frac{2\pi T}{C(H_0 - H_i)} \sum_i H_i \Delta t_i \quad (4)$$

3. 手法の適用性の検討

図-2, 3に、幌延深地層研究センターのHDB-3孔で行ったスラグテストとパルススラグテスト（注水）の例を示す。試験区間の地質は新第三紀の泥岩である。試験区間長は39.95m（深度GL-201.95m～-241.90m）、孔径

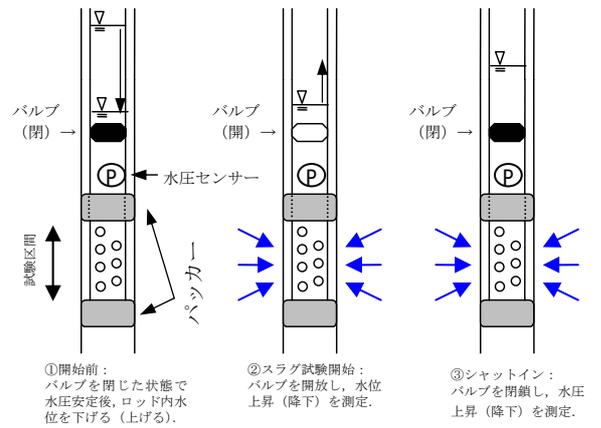


図-1 試験手順

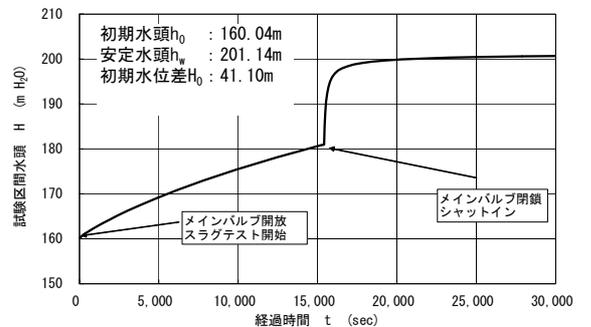


図-2 スラグテストデータ

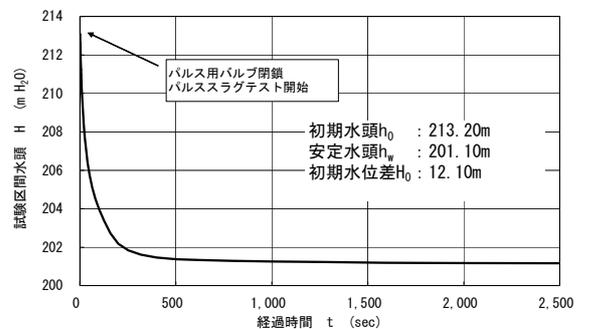


図-3 パルススラグテストデータ

キーワード 水理試験, 岩盤, スラグテスト, 透水係数, 井戸内貯留, データ評価

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 TEL045-814-7237

は 160mm, ケーシングロッド内径( $r_c$ )は 45.1mm, 試験区間体積は  $0.810\text{m}^3$  である. 試験区間はダブルパッカーで隔離した. スラグテストは, 試験区間の水位を安定水位から 41.1m 低下させた直後にバルブを開放し, その後のケーシング内水位の回復を測定した. 試験時間の短縮のため, 約 15,400 秒後にバルブを閉鎖(シャットイン)した. 今回は, シャットイン前のデータのみに着目する. パルススラグテストでは, あらかじめケーシング内の水位を上昇させた後, バルブを瞬間的に開放し, 試験区間の水頭を 12.1m 上昇させた後, 直ちにバルブ閉鎖し, その後の試験区間内の水圧を測定した. スラグテストは開放系の試験であり, パルススラグテストは閉鎖系の試験であるため, 井戸内貯留係数が大きく異なるが, 現象的には類似しており, 通常のスラグテストとしての解釈が可能であると考えられるため, 両試験データにデコンボリューション法を適用して解析した.

図-4, 5 に, (2) 式, (3) 式を適用して求めた, 等価水位低下量とそのデリバティブを示す. 同図中には, Bourdetら(1983)の理論曲線を示したが, スラグテストの結果は, シャットイン直前でも井戸内貯留の影響から完全には抜け切っておらず, マッチング結果の信頼性は高いとはいえない. 一方, パルススラグテストは, 試験後半で, ほぼ平坦なデリバティブが得られておりになっており, 流れは Infinite Acting Flow とみなせる. 図-6, 7 に流量正規化法による解析結果を示す. いずれの試験結果も, 片対数プロット上で, 明瞭な直線部が確認され, 井戸内貯留の影響が排除されたことが伺える. 解析結果(透水量係数)を表-1 にまとめる. 参考に, Hvorslev 法と Cooper 法による解析結果も示す. パルススラグテストの結果は, 片対数曲線状で直線部が現れず, Hvorslev 法の適用が困難であった. デコンボリューション法の結果は, いずれも  $2.3\sim 3.9 \times 10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$  の範囲にあり, 整合性の高い結果が得られた.

5. まとめ

低透水性の泥岩を対象として実施したスラグテストとパルススラグテストの結果をデコンボリューション法により解析した. その結果, 両試験結果とも, 整合性の高い結果が得られた. 特に, 流量正規化法は, 井戸内貯留の影響を排除することにより, 比較的短い期間のデータでも, 透水性の評価が可能であることが示された. 今後, より多くの試験データに適用し, 手法の適用性や適用限界について, さらに検討を進める予定である.

参考文献

- 1) Peres, A.M. et al., A New Analysis Procedure for Determining Aquifer Properties From Slug Test Data, Water Resour. Res., 25(7), 1989. 2) Ramey, H. J., Jr., Verification of the Gladfelter-Tracy-Wilsey Concept For Wellbore Storage Dominated Transient Pressures During Production, J. Can. Pet. Tech., 15(2), 84, 1976.

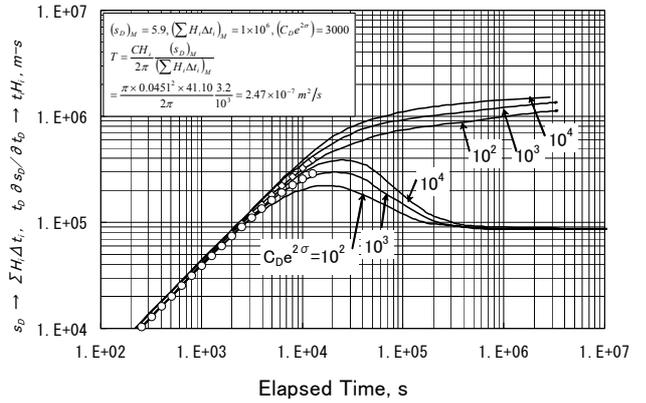


図-4 デリバティブ法によるスラグテスト解析結果

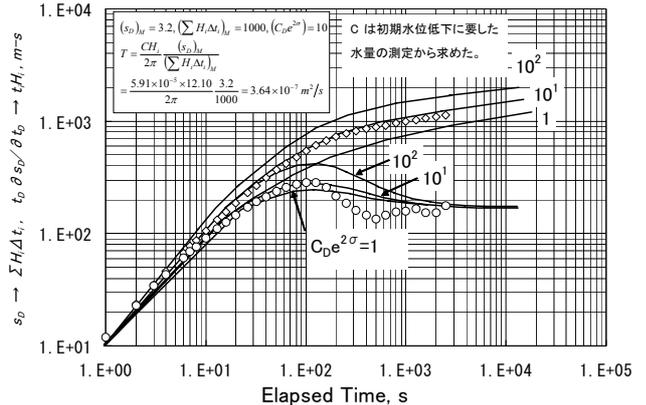


図-5 デリバティブ法によるパルススラグテスト解析結果

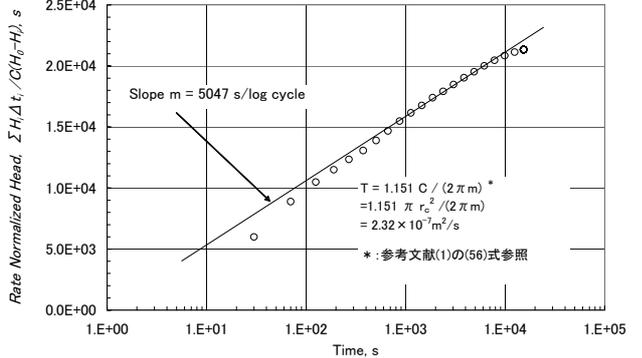


図-6 流量正規化法によるスラグテスト解析結果

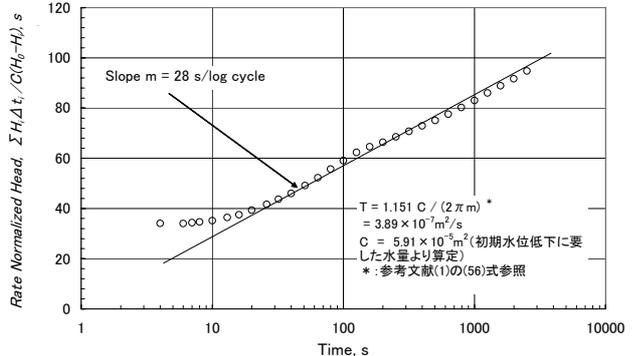


図-7 流量正規化法によるパルススラグテスト解析結果

表-1 解析結果のまとめ (透水量係数)

解析手法		スラグテスト	パルステスト
デコンボリューション法	デリバティブ法	$2.47 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$3.64 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
	流量正規化法	$2.32 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$3.89 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
従来手法	Hvorslev法	$2.75 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	解析不能
	Cooper法	$2.81 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$3.46 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$