

無段階水押し試験の実施事例

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一，○新家拓史

1. はじめに

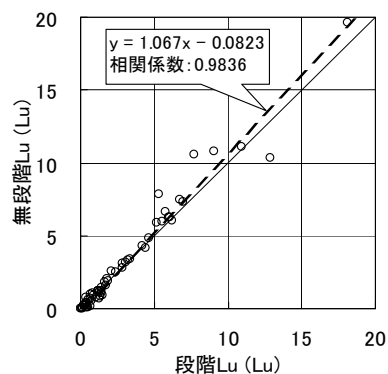
近年、個々のダムサイトの地質条件が多様化するとともに、社会資本整備に対するコスト縮減への社会的要求が高まり、ダム基礎グラウチングについても、所要の止水性を確保したうえで、経済性を追求することが強く求められている。現在、ダム基礎グラウチングのコスト縮減を図るため、グラウチング施工中の透水試験である水押し試験の時間短縮に着目した無段階水押し試験の採用が検討されている^{1), 2)}。本研究では、実ダムにおける無段階水押し試験の実施事例を紹介するとともに、得られた結果から不飽和領域における非定常浸透の影響と考えられる試験結果について、有限要素法を用いた飽和－不飽和浸透流解析による再現を試みた。

2. 無段階水押し試験の比較試験事例

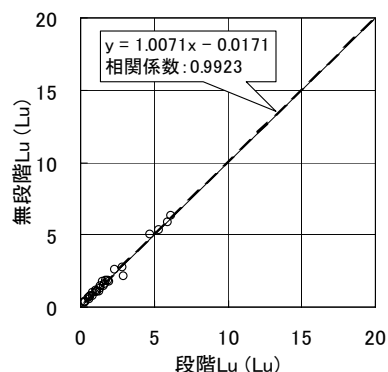
長井ダム（国土交通省東北地方整備局）では、無段階水押し試験の採用にあたり、その妥当性検証のために同一試験区間で段階水押し試験との比較試験を実施している。ダムサイトの地質は花崗閃緑岩が広く分布し、比較試験箇所も同様である。調査時に確認された透水性は深度 40m 程度までが概ね 2～5Lu、それ以深は 2Lu 以下である。試験対象としたのは、カーテングラウチング河床部左岸側 41 ブロックのパイロット孔から 3 次孔までの 8 孔、120 ステージである。比較試験は、試験ブロックを中央で左右に区切り、同じステージで無段階水押し試験を先行する A パターンと段階水押し試験を先行する B パターンの 2 種類を実施し、それぞれのルジオン値を比較している。試験位置および各試験の仕様は参考文献 3) を参照されたい。ここで、最大注入圧力はセメントミルク注入時の規定圧力まで昇圧し、段階水押し試験では設定した各圧力段階において測定時間 5 分で実施した。また、無段階水押し試験を先行する A パターンは、できるだけ限界圧力を発生させずに段階水押し試験と比較するため、3 ステージ以深の最大注入圧力を 1.0MPa とした。注入圧力の圧力上昇速度は 0.1MPa/min とした。

段階水押し試験のルジオン値（以後、段階 Lu とする）と無段階水押し試験のルジオン値（以後、無段階 Lu とする）の比較結果を図-1 に示す。ここで、先行水押し試験において限界圧力の発生が確認された 33 データは、ルジオン値の適切な対比ができないため評価対象から除外し、87 データを使用した。図より、2 パターンの試験順序によって得られるルジオン値は、A パターン、B パターンとも両者のルジオン値の相関は高く、平均的に無段階 Lu が段階 Lu よりもわずかに大きく評価される。また、試験順序による両者の関係に有意な差は見られなかった。

次に、段階 Lu と無段階 Lu の関係を詳細に分析した。ここで、上記分析対象の 87 データのうち、段階 Lu、無段階 Lu とともに改良目標値の 2Lu 以下となった 55 データについては、多少の差があったとしてもダム基礎地盤の透水性を評価するうえで問題にはならないと考え、評価から除外し、32 データを分析対象とした。分析結果を表-1 に示す。表より、段階 Lu と無段階 Lu が同程度（両者の差が 1Lu 未満で、かつ両者の比が 10%未満）となったのは 21 データ（65.6%）であった。また、段階 Lu より無段階 Lu が大きい（両者の差が 1Lu 以上、もしくは両者の比が 1.10 以上）のは 9 データ（28.1%）であった。逆に段階 Lu より無段階 Lu が小さいデータは 2 データ（6.3%）で、これらは、時々刻々の P-Q データ



(a) A パターン



(b) B パターン

図-1 ルジオン値の比較

表-1 ルジオン値の分析結果

評 価		パターン		合 計
		A	B	
分析対象	段階Lu≒無段階Lu	15 (60.0%)	6 (85.7%)	21 (65.6%)
	段階Lu<無段階Lu	9 (36.0%)	0 (0.0%)	9 (28.1%)
	無段階Lu<段階Lu	1 (4.0%)	1 (14.3%)	2 (6.3%)
	計	25	7	32
分析対象外	限界圧力発生により評価不可	2	31	33
	段階Lu、無段階Luともに2Lu以下	35	20	55
合 計		62	58	120

キーワード ダム基礎グラウチング，無段階水押し試験，不飽和－非定常浸透流解析，非定常浸透

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 TEL029-879-6781 E-mail : yamaguti@pwri.go.jp

の分析より注入時の地盤の目詰まりによるものと想定できた。ここで、段階 Lu より無段階 Lu が大きい 9 データのうち、両者の差が 1Lu 以上の 4 データは、全て透水性が 5Lu 以上と比較的高く、改良目標値である 2Lu よりある程度透水性が高い範囲で測定精度が若干低下することは、実務上大きな問題ではない。よって、長井ダムにおける無段階水押し試験は、従来の水押し試験に代わる試験として、十分実用に供することができると考えられる。

3. 浸透流解析による不飽和浸透の影響の検証

試験区間が地下水面上の不飽和領域に位置する場合、主に非定常浸透の影響により透水性を過大に評価してしまう可能性が懸念される。段階水押し試験では、各圧力段階において一般に 5 分間の注入量の定常状態を確認して測定するが、無段階水押し試験は圧力段階を設けず連続的に圧力を上げるため、非定常浸透の影響はより大きいと考えられる。

そこで、長井ダムの比較試験において、地下水位が試験区間上端-1.2m で、段階 Lu より無段階 Lu が大きいと評価された「41-K1-30 孔、2 ステージ」について、同等の条件下で飽和ー不飽和浸透流解析を実施し、現地試験で得られた時々刻々の P-Q データと比較した。

解析モデルを図-2 に示す。対象地盤の透水性は段階水押し試験で得られたルジオン値 (5.76Lu) をもとに、飽和時の透水係数を $5.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ (5Lu 相当) とし、透水性は等方性と仮定した。不飽和浸透特性などの入力物性は、参考文献 3) を参照されたい。試験区間長を 5m、地下水位はステージ上端から -1.2m とした。段階水押し試験の圧力段階は、実際の圧力段階と同じ 0.24 MPa、0.44 MPa、0.64 MPa、0.84 MPa とし、各圧力段階において 5 分間の圧力一定時間を設定した。無段階水押し試験は連続的に 0.84 MPa まで昇圧した。注入圧力の圧力上昇速度は、実施工と同じ 0.10 MPa/min とした。

施工結果として得られた P-Q 曲線と解析結果として得られた P-Q 曲線を図-3 に示す。また、それぞれの結果から得られたルジオン値を表-2 に示す。これらより、解析結果として得られた P-Q 曲線は、概ね施工結果の P-Q 曲線と似かよった形状を示し、不飽和地盤における段階水押し試験と無段階水押し試験の違いが表現できていると判断する。また、得られたルジオン値は若干の違いはあるものの、無段階 Lu と段階 Lu の比は、施工結果が 1.15 に対し解析結果が 1.10 とほぼ同程度の値が得られている。以上より、実施工における不飽和領域における無段階水押し試験の注入状況を飽和ー不飽和浸透流解析によりある程度再現できることがわかった。

4. まとめ

本研究では、長井ダムで実施した段階水押し試験と無段階水押し試験の比較試験の結果を整理し、両者のルジオン値はほぼ同程度の結果が得られ、無段階水押し試験は十分実用に供することがわかった。また、試験結果のうち、地下水面上の不飽和地盤における施工結果について、浸透流解析により注入状況を概ね再現できた。なお、筆者らがこれまで指摘しているように⁴⁾、軟岩地盤のように注入圧力を低めに設定しなければならない地盤の不飽和領域で無段階水押し試験を実施すると、得られる透水性は実際よりもかなり大きくなるのが想定されるため、採用にあたっては十分な検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 永山 功、吉田 等、宮内茂行、名波義昭、井川貴史：基礎岩盤グラウチングにおける水押し試験の合理化の試み、ダム技術、No.176、pp.3-12、2001.5.
- 2) 川地 悟、佐藤 英一、浅井 俊光、山口 昌広、加藤 慎一郎：徳山ダムの基礎処理工（カーテングラウチング）における施工合理化の取り組み、ダム技術、No.233、pp.51-65、2006.2.
- 3) 山口嘉一、新家拓史：無段階水押し試験による不飽和地盤の透水性評価、ダム工学（投稿中）
- 4) 独立行政法人土木研究所水工研究グループダム構造物チーム：無段階水押し試験実施にあたっての留意点、ダム技術、No.234、pp.78-82、2006.3.

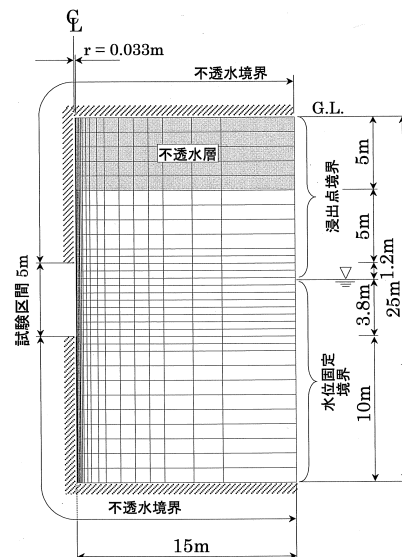
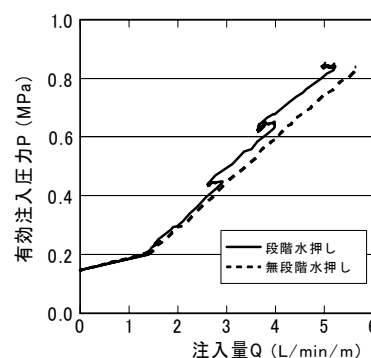
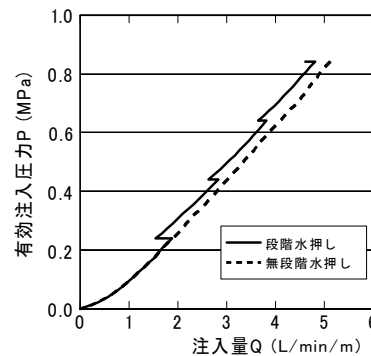


図-2 解析モデル



(a) 施工結果



(b) 解析結果

図-3 施工結果と解析結果の P-Q 曲線の比較

表-2 施工結果と解析結果のルジオン値の比較

	施工結果	解析結果
無段階Lu	6.63	5.87
段階Lu	5.76	5.32
無段階Lu/段階Lu	1.15	1.10