

(III-16) 岩盤の透水性状を考慮した効果的な注入方法について

前田建設工業（株） 正会員 伊藤節男
建設省土木研究所 正会員 吉田等
水資源開発公団戸倉ダム建設所 正会員 宮内茂行

1. 研究目的

近年、ダム基礎岩盤として地質的に良好な地点は少なくなり、ダム基礎岩盤の基礎処理工法、とりわけグラウチングの施工の重要性が増している。しかし、グラウチングは設計、施工において経験に頼らざるを得ない点が多く、このため基礎地盤の地質条件が厳しくなるにつれて施工範囲および施工数量が増大する傾向にある。そこでグラウチングのメカニズムを解明し、より効率的なグラウチングを実施することで、ダム工事全体の合理的な施工への足掛かりになるものとする。

ダム基礎グラウチングの目的は基礎岩盤の力学的性質の改良および基礎岩盤内の止水性の改良にある。本研究では基礎岩盤の止水性の改良に着目し、既設ダムの注入データを分析し、対象岩盤に見合った注入方法の決定について考察した。

2. 注入データの分析

グラウチングは削孔－透水－注入の過程を繰り返しながら地盤を改良する工法である。地盤の透水性は透水試験におけるルジオン値によって算定され、ルジオン値が改良目標値に達すればグラウチングを終了する。また、注入は地盤の透水性と事前調査によって設定された注入仕様をもとに注入圧力と注入流量を制御しながらセメントミルクを地盤に注入する。注入状況（注入量、圧力、配合、時間等）は注入データとして記録され、注入効果の判定とより効果的な注入方法を決定する資料として使用される。

本研究ではカーテングラウチングのパイロット孔の注入データを用いて効果的な注入方法について分析した。ここで分析にあたり以下のデータは対象外とした。（１）複数回の注入データ（２）施工中のトラブル発生データ（３）注入流量の不規則かつ異常な変動のあるデータ

まず、注入データを注入形状（注入流量と注入時間の関係）に着目して図1に示すタイプに大まかに分類した。

- S字型 安定流量で注入後徐々に流量減少し閉塞する注入
- 上凸型 安定流量で注入後流量減少とともに閉塞する注入
- 緩速型 低流量で注入され流量が直線的に減少し閉塞する注入
- 逆S字型 急激な流量増減を経て安定流量で注入後徐々に流量減少し閉塞する注入
- 下凸型 急激な流量増減後徐々に流量減少し閉塞する注入

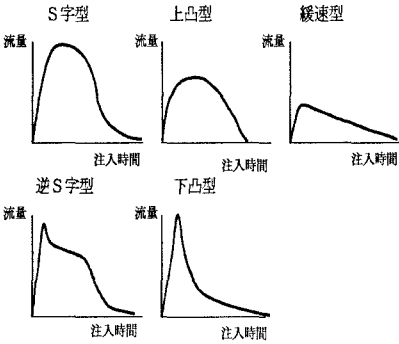


図1 注入形状の模式図

分類した注入形状毎の注入特性を表1に示す。ここで、グラウチングリティとは地盤の透水性に対する改良度合、注入効率とは注入時間に

表1 注入形状毎の注入特性（低濃度注入）

データ数、限界圧力発生数以外は平均値

	データ数	ルジオン値	単注セメント量 kgf/m	注入量 ℓ	注入時間 min	規定圧 kgf/cm2	限界圧力 発生数	グラウチングリティ Ce/Lu	注入効率 Ce/T	P/Lu
S字型	4	1.5	19.8	933	211	18.3	1	15.8	0.094	15.2
上凸型	13	1.7	20.1	918	186	19.8	3	18.3	0.104	23.8
緩速型	31	1.0	6.5	337	202	12.0	1	9.4	0.032	23.2
逆S字型	21	1.8	21.5	971	202	18.2	3	19.6	0.102	28.1
下凸型	54	2.9	20.0	913	228	13.5	14	9.4	0.086	7.4

キーワード：基礎処理グラウチング、施工の効率化、注入圧力、ゴンペルツ曲線

連絡先：〒179-8903 東京都練馬区高松 5-8 TEL03-5372-4760 FAX03-5372-4766

対する改良効率を表すものとする。表 1 より注入形状毎に以下の注入特性が確認された。

- ・グラウタビリティ、注入効率が良好な注入は S 字型、上凸型である。この形状は注入初期において流量が上凸型になりミルクが効果的に岩盤に充填され、その後注入孔遠方より閉塞していく注入である。
- ・緩速型の注入は流量減少が緩慢であり、薄い配合のまま長時間注入され、不経済な注入である。
- ・逆 S 字型の注入は注入初期に流量の急変があるが、グラウタビリティ、注入効率とも良好である。
- ・下凸型の注入は全体に占める割合が多く、グラウタビリティ、注入効率とも劣る。これは設定した注入圧力が低く注入初期において注入孔周辺での一時的な閉塞が生じ、その後注入孔の遠方に徐々に浸透し、注入時間が長くなっているものと考えられる。

以上より、注入形状の違いは岩盤の特性に起因すると考えられるが、とりわけ注入圧力が大きく影響する。つまり、岩盤に見合った注入圧力を選定することで効果的な注入を実現することが可能となる。

3. 注入データの数値化

次ぎに成長曲線を用いてこれらの形状を数値的に模擬し、そのパラメーターの動向を確認することで効果的な注入方法について考察する。

成長曲線（ゴンペルツ曲線）は $Q = \gamma \exp(-\alpha \exp(-\beta t))$ (1)

式 (1) の Q を注入量 (ℓ/min)、t を注入時間 (min) とした場合、α を圧力係数、β を濃度係数、γ を初期注入量係数と仮定する。式 (1) に既設ダムの注入データを適用し、パラメーター α、β、γ を 3 点推定法により推定した。図 2 に代表的な推定曲線図を示し、

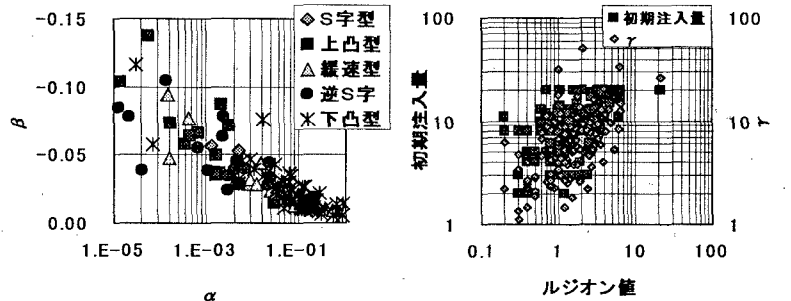
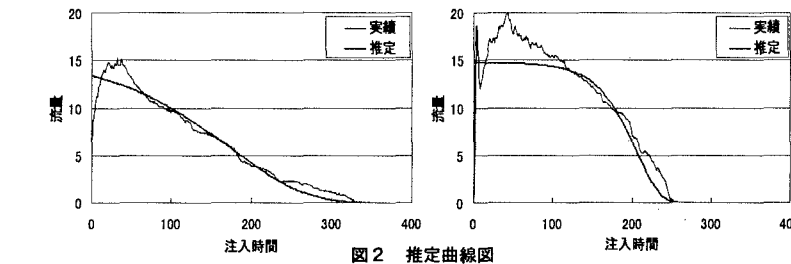


図 3、表 2 に推定パラメータの特性を示す。これより以下のことが確認された。

- ・圧力係数 α の変動幅に対して濃度係数 β の変動幅が小さい。これは注入圧力が注入形状を規定する要素であることを示す。
- ・圧力係数 α は注入圧力と反比例の関係があり、下凸型は圧力係数 α が大きく、低圧力になっている。
- ・初期注入量係数 γ はルジオン値と相関がある。

以上より、ゴンペルツ曲線を使用して注入データを数値化し、そのパラメーターの動向を検討することで注入特性をある程度予想することができた。今後、パラメーター α、β、γ の実データとの対応が検証できれば、パラメトリックスタディにより効果的な注入方法を検討することが可能となる。

4. まとめ

既設ダムの注入データをその形状により分類し、各形状毎の注入特性を確認した。さらに注入データをゴンペルツ曲線により数値化することで注入特性を表現した。これより注入圧力は注入形状に支配的であり、注入圧力をうまく設定することで効果的な注入を達成することが可能であることが確認された。

<参考文献> 養谷千風彦：回帰分析のはなし、東京図書株式会社、1985 年 10 月