

ダム基礎グラウチングの初期注入データの 分析に基づく注入過程の推定

山口 嘉一¹・佐藤 弘行²・阿部 智彦²

¹正会員 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail: yamaguti@pwri.go.jp

²正会員 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

ダムの基礎地盤では遮水性の改良や弱部の補強を目的としてグラウチングが行われる。グラウチングは目に見えない岩盤内での施工であるため、グラウトの注入量や改良状況を正確に把握することは難しい。しかし、近年、任意にグラウトの配合を変更できるシステムが開発され、グラウチングの初期の注入データ等からその後の注入過程が推定できれば、より合理的な注入仕様に変更することが可能になると考えられる。

本研究では、グラウチングの注入過程を表現できる数学モデルを提案し、その定式化を行った。そして、既設ダムのコンソリデーショングラウチングの初期の注入データから注入量、注入時間等の推定を行い、モデル式の妥当性の検証を行った。

Key Words : dam foundation, grouting, mix design, mathematical model

1. はじめに

ダムの基礎地盤では遮水性の改良や弱部の補強を目的としてグラウチングが施工される¹⁾。グラウチングは目に見えない岩盤内での施工であり、また、同一サイトであっても各グラウト注入孔によって、透水性はもちろん、地質や割れ目の性状なども異なり、グラウトの注入量や注入時間、改良状況等を正確に推定することは難しい。

一方で、平成15年に「グラウチング技術指針・同解説」²⁾が改訂され、個々の岩盤性状に応じたより合理的なグラウチングの施工が求められている。海外においては「GIN (Grouting Intensity Number) 理論」³⁾に基づいた単一高濃度のグラウト配合を基本とした注入手法などが提案されている。国内においても、特にグラウトの最適配合に関する研究が積極的に進められており、初期配合を高濃度化し比較的低い圧力で注入することを特徴としている「高濃度－低圧注入型グラウチング工法」⁴⁾などが提案されている。また任意にグラウトの配合を変更できるシステム⁵⁾なども開発され、グラウチングの注入初期の注入データ等からその後の注入過程が推定できれば、より短時間で合理的な注入仕様に変更することが可能になると考えられる。

本研究では、グラウチングの注入過程を表現できる

数学モデルを提案し、その定式化を行った。そして、提案したモデル式を用いて、既設ダムのコンソリデーショングラウチングの初期の注入データから注入量、注入時間等の推定を行い、モデル式の妥当性の検証を行った。

2. 数学モデルの提案と定式化

注入初期のデータからその後のグラウト注入過程を推定するために、グラウトの注入過程を表現できるモデルについて検討を行った。

グラウトの注入モデルに関する既往の研究としては、節理の断面積の変化に着目したモデル⁶⁾が武藤らにより提案されており、透明管供試体による注入試験結果との比較が行われている。

本検討においては、複雑な基礎地盤内でのグラウトの注入現象を統括的に評価することを目指として、できるだけ単純なモデルによってグラウトの注入過程を表現するために、亀裂幅と流量の関係において3乗則が適用できると仮定して、以下に示すモデルを提案した。

$$\frac{Q_t}{P_t} = a(D_0 - \beta t)^3 \frac{1}{\mu} \quad (1)$$

ここで、 t : 注入開始からの時間 (min)

Q_t : t 分後のグラウト注入流量 (L/min/m)

P_t : t 分後のグラウト有効注入圧力 (MPa)
 D_0 : 注入開始前における平均的な亀裂幅 (m)
 μ : セメントミルク粘性/水の粘性
 α : 定数 (亀裂本数により決まる) ($L/min/m^4/0.98MPa$)
 β : 定数 (亀裂充填速度により決まる) (m/min)

この式は、グラウトの注入により亀裂にグラウトが充填され、時間とともに亀裂幅が狭くなり注入量が減少する過程を表現している。式(1)における $(D_0 - \beta t)$ は時間の経過とともに亀裂がセメントミルクにより充填され亀裂幅が狭くなる過程を表している。この式では、グラウトの流れとして層流を仮定している。定数 α は主に注入孔内の亀裂の本数に関係すると考えられる定数であり、 α の値が大きいかほど注入孔内に多くの亀裂が存在することになる。また定数 β はグラウトの充填速度に関係する定数であり、セメントミルク配合や注入流量などによって変化すると考えられ β が大きいほど亀裂の閉塞が早くなる。

ここで、仮に限界圧力が発生していなければ、 $t = 0$ において、 $0.98Q_0\mu/P_t$ はルジオン値と等価と考えられるので、注入開始前のルジオン値 Lu_0 は

$$Lu_0 = 0.98\alpha D_0^3 \quad (2)$$

と表せる。つまり、その注入孔の初期のルジオン値を用いることで、 α ないしは D_0 のどちらかの値を求めることが出来る。いま、式(2)から求まる α を式(1)に代入し、さらに式を変形すると式(3)が求められる。つまり注入開始初期のデータから β/D_0 を求めることで、その後の注入過程を推定することが可能になると考えられる。

$$\frac{Q_t}{P_t} = \frac{Lu_0}{0.98} \left(1 - \frac{\beta}{D_0} t\right)^3 \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

3. 検討対象ダム

本検討では既設の重力式コンクリートダムのコンソリデーショングラウチングにおいて注入時に1分ごとに計測された流量、圧力、配合の経時データを用いて分析を行った。表-1に検討ダムの諸元を示す。データの分析は、当検討ダムの中でも比較的初期透水性の高い左岸側5BLのデータを用いた。また、注入チャートの分析を行うにあたり、2ルジオンを下回るような低透水データは注入開始すぐにダメ押し完了となるデータが非常に多いこと、また改良に関して問題となる箇所ではないことを考慮して、2ルジオン以下のデータは分析対象外とした。また、他のデータと大きく注入条件が異なると考えられるデータについても分析対象から外し、最終的に本検討においては全73データについて検討を行った。表-2に検討対象エリアの注入仕様を示す。

なお、以降、実際の注入経時データを用いて時々刻々

表-1 検討対象ダムの諸元

型式	重力式コンクリートダム
堤高	114.0 m
堤長	331.3 m
堤体積	750,000 m ³
地質	中生代白亜紀 中～粗粒花崗岩

表-2 検討対象ダムの注入仕様

項目	左岸斜面部注入仕様（検討対象エリア）																																
改良目標値	5Lu（非超過率 88%）																																
施工時期	堤体コンクリート 3m 以上打設後																																
孔配置	4m 格子中央 1 点（設計 4 次孔）																																
深度	深度（改良範囲）：着岩面より直交方向 5m																																
孔角度	孔角度：左岸方向に 20°（鉛直から）																																
水押し	圧力段階 (MPa)：0.05→0.1→0.15→0.2→0.25→0.3 昇圧速度：0.2MPa/min 以下																																
注入	注入材料：高炉 B 種セメント 注入規定圧力：0.3MPa（口元圧力） 注入規定流量：4L/min/m 注入完了：規定圧力 0.3MPa に達し 注入流量 0.2L/min/m 以下 で 30 分ダメ押しして完了																																
配合切替：																																	
<table><tr><th>配合</th><th>10 ≤ Lu</th><th>10 < Lu ≤ 20</th><th>20 < Lu</th></tr><tr><td>1:10</td><td>400</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>1: 6</td><td>400</td><td>400</td><td>-</td></tr><tr><td>1: 4</td><td>400</td><td>400</td><td>400</td></tr><tr><td>1: 3</td><td>400</td><td>400</td><td>400</td></tr><tr><td>1: 2</td><td>600</td><td>600</td><td>600</td></tr><tr><td>1: 1</td><td>800</td><td>1200</td><td>1600</td></tr><tr><td>計</td><td>3000</td><td>3000</td><td>3000</td></tr></table>		配合	10 ≤ Lu	10 < Lu ≤ 20	20 < Lu	1:10	400	-	-	1: 6	400	400	-	1: 4	400	400	400	1: 3	400	400	400	1: 2	600	600	600	1: 1	800	1200	1600	計	3000	3000	3000
配合	10 ≤ Lu	10 < Lu ≤ 20	20 < Lu																														
1:10	400	-	-																														
1: 6	400	400	-																														
1: 4	400	400	400																														
1: 3	400	400	400																														
1: 2	600	600	600																														
1: 1	800	1200	1600																														
計	3000	3000	3000																														

の注入過程を描いたものを実測注入チャート、また、その流量、圧力、配合などの個々のデータを実測注入チャートデータもしくは実測値と呼び、モデル式により推定した値を用いて時々刻々の注入過程を描いたものを推定注入チャート、また、その流量、圧力、配合などの個々のデータを推定注入チャートデータもしくは推定値と呼ぶこととする。

4. 検討条件

次に、実際のグラウト注入時の注入経時データに、先に示したモデルに当てはめ、時々刻々のグラウト注入過程が表現できるか、以下の条件のもと検討を行った。

- ① 初期ルジオン値 Lu_0 は、水押し時のルジオン値ではなく、グラウトの注入を開始してから、規定流量もしくは規定圧力に到達するまでの圧力、流量、配合 (粘性) のデータから求めたものを用いた。
- ② 実際の注入では、セメントミルクの粘性は温度によって変化し、また注入時における亀裂内のせん断速度によっても粘性は変化する⁷⁾。本検討ではモデルを単純化するため、粘性はせん断速度、温度によらないこととし、配合切替のみによって変化することとした。
- ③ 注入配合は電子データ上は段階的に急激に切替わることとなっているが、実際の注入においては、配合切替の少し前から次配合のミルクが混入するため、ある程度滑らかに切り替わることとなる。よって、

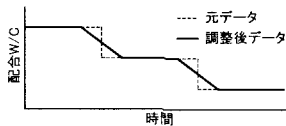


図-1 配合切替模式図

本検討についてもできるだけ実際の注入に近づけるために、実際の配合切替の前後100Lで線形に配合が変化して切替わるように調整した（図-1参照）。

5. 検討結果

(1) パターンの分類

まずはじめに、提案したモデル式がどの程度グラウチングの注入過程を表現できるか確認するために、各ステージごとに以下の手順で比較を行った。

- ① 注入開始直後の流量、圧力、配合（粘性）から初期ルジオン値 Lu_0 を求める。
- ② 提案したモデル式(3)に実際の流量、圧力、配合（粘性）の経時データおよび Lu_0 を用いて最小二乗法により β/D_0 を求める。
- ③ 上記で求めた β/D_0 、 Lu_0 および実際の注入配合（粘性）のデータをモデル式(3)に入力し、時々刻々の Q_i/P_i の推定値を求める。
- ④ 実測注入チャートと推定注入チャートを重ね合わせて、比較を行う。

上記の手順により比較した結果から、そのチャートデータ形状を基に3つのパターンに分類した。パターン分類の模式図と分類結果を表-3に示す。パターンⅠは実測値と推定値が比較的良好に合うパターンであり、約半数のデータがパターンⅠに該当した。パターンⅡは実際の注入データが注入初期において急激に低減するパターンであり、パターンⅢは逆に注入初期の低減が緩やかなパ

表-3 チャートデータ形状によるパターン分類

パターン	チャートデータ形状	ステージ数
Ⅰ		37
Ⅱ		31
Ⅲ		5

全73ステージ

ーンである。各パターンの例を図-2から図-4に示す。

(2) 注入時間および注入量の推定

本論文で提案したモデル式を用いて、注入初期のデータから、注入時間および注入量の推定を行った。推定は、注入初期のデータとして注入開始11分、21分、31分のデータを用いて以下の手順で行った。なお、本検討では簡易的に注入時間および注入量を推定するために、注入初期のデータから求まる Lu_0 と、ある時刻のデータ1点のみから β/D_0 を推定した。

- ① 各注入孔のデータについて、注入初期から求めた Lu_0 および注入開始後11分後、21分後、31分後の実測の Q_i 、 P_i 、 μ のデータをモデル式(3)に入力し β/D_0 を求める。
- ② モデル式(3)に①で求めた β/D_0 および P_i （実測）、 μ （実測）、 Lu_0 の値を代入し、時々刻々の Q_i の推定値を求め、 Q_i の推定チャートを作図する。
- ③ 推定の注入時間は流量の推定チャートにおいて、注入速度が0.2L/min/mになった時間とし、ダム押しとしてさらに30分プラスした時間とした。注入量は毎分の流量（推定値）を注入開始から注入完了まで積算した値とした。

上記の手順により、注入開始11分後、21分後、31分後の実測データから求めた注入時間と注入量の推定値と実

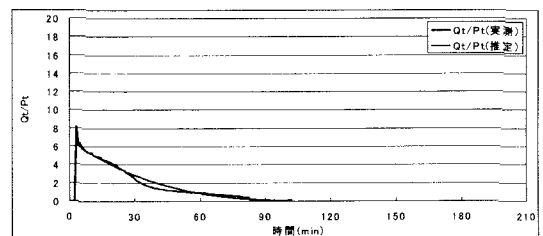


図-2 パターンⅠ 注入チャート比較例 (C05-A43030)

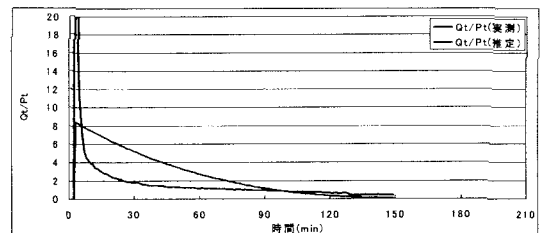


図-3 パターンⅡ 注入チャート比較例 (C05-A53340)

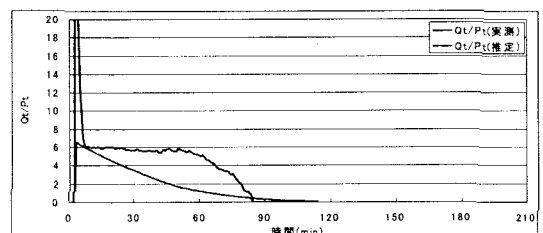


図-4 パターンⅢ 注入チャート比較例 (C05-A32940)

測値の関係を図-5および図-6に示す。プロットは先に分類した3つのパターンごとに色分けしている。また、図-7および図-8に、実測チャートと注入開始11分後、21分後、31分後のデータより推定した推定チャートを重ね合わせた例を示す。図-7は実測チャートと注入開始11分後、21分後、31分後の推定チャートいずれもそれほど差が見られない場合の例であり、図-8は推定する時間により注入量が大きく異なる場合の例である。

注入時間に関しては、全体的に実測値と推定値でばらつきが大きかった。また、注入開始11分のデータから推定したものに比較し、注入開始21分および31分のデータから推定したもののほうが、ばらつきは小さくなる傾向が見られた。パターンごとに見ると、パターンⅠが1対1を示す線上付近に多くのデータが集まっており、比較的良好に推定できていると考えられる。パターンⅡについては、ばらつきはパターンⅠと比べてもそれほど大きくはないが、全体的に実測値に比較し推定値のほうの注入時間が短くなる傾向が見られた。パターンⅢについてはばらつきが最も大きく、あまりよく推定できているとは言えない。

注入量については、どのパターンにおいても、注入開始11分後から推定したデータのばらつきが比較的大きく、それに対し注入開始21分後および31分後のデータから推定したデータについては、ほぼ1対1を示す線上に分布しており、よく推定できていると考えられる。注入開始11分のデータから推定した注入量のばらつきが大きくなっているのは、注入初期において非定常の影響などにより、流量が大きくなるデータが多く見られ、その非定常の影響が収まり安定するのに10分以上要したデータが多かったためであると考えられる。注入開始21分程度になれば、それらの非定常の影響もほぼ収まることから、注入開始21分以降では比較的良好に推定できたと考えられる。また、注入開始21分および31分のデータについて、ほぼ1対1の線上に並んでいるものの、全体的に若干実測値の流量のほうが大きな値となっている。これも、先に示した非定常など影響により初期に流量が大きくなるのが原因と考えられ、そのため実測値のほうが若干注入量が大きくなっていると考えられる。

これらの結果より、本モデル式により、グラウチングの注入時間の推定は若干難しいが、注入量に関しては注

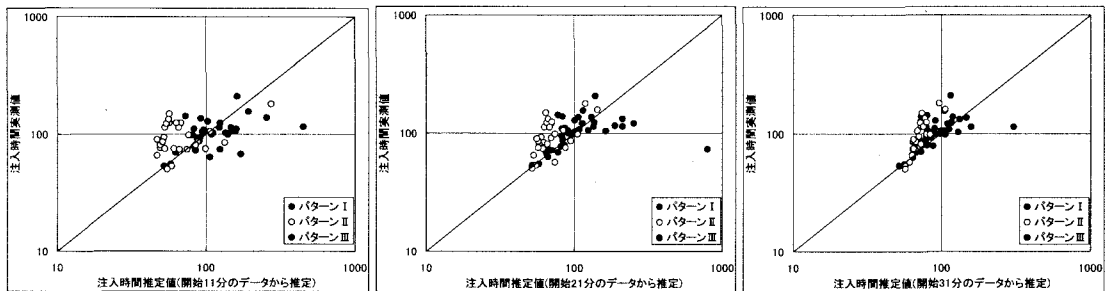


図-5 注入時間の推定値と実測値の関係

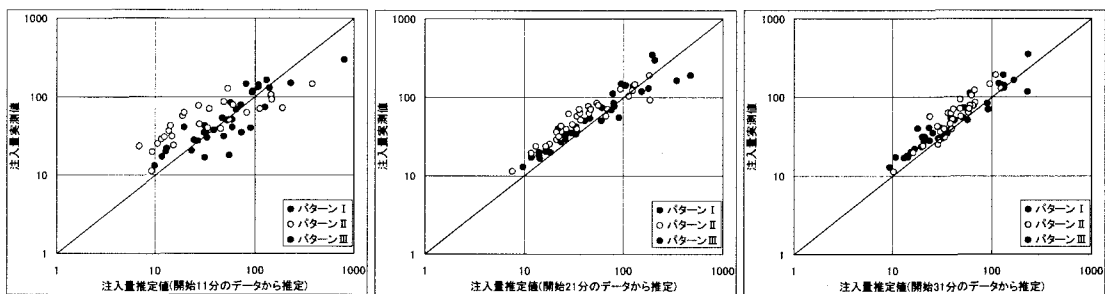


図-6 注入量の推定値と実測値の関係

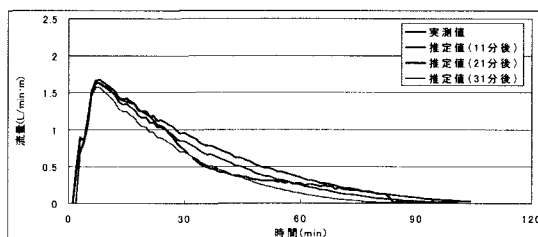


図-7 実測チャートと推定チャートの比較 (C05-A43030)

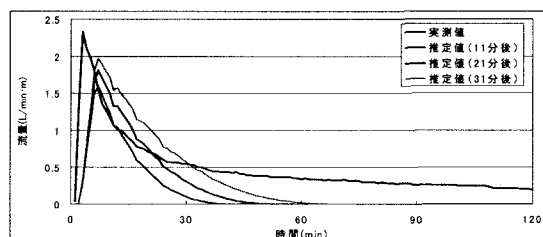


図-8 実測チャートと推定チャートの比較 (C05-A53340)

入開始20分程度以降のデータを用いることで、概ね推定が可能であると考えられる。

6. パターンⅡおよびⅢに関する検討

ここまでの検討により、今回提案したモデル式を用いることで、パターンⅠについては、概ね注入過程が表現でき、注入量もほぼ推定ができたが、パターンⅡおよびⅢの場合は、結果的に注入量の推定はできているが、特に注入過程についてはうまく表現できていないといえない。そこで、本モデル式がパターンⅡおよびⅢについて表現できない理由について考察を行った。

(1) パターンⅡ

経験上、パターンⅡに見られるような注入チャートは、透水性のわりに注入量のあまり多くない岩盤、つまりは水は通すがセメントミルクはあまり通さないとされる、比較的改良の進みにくい、例えば風化してマサ化した砂礫層を含むような岩盤でよく見られる。

これまで、提案したモデル式による検討を行うに当たって、1組のパラメータ ($0.98\alpha D_0^3 (=Lu_0)$, β/D_0) により、注入過程を表現することを検討してきたが、ここでは、注入初期の流量が急速に低減する過程 ($0.98\alpha_1 D_{01}^3$, β_1/D_{01}) と、その後の流量が安定し比較的なだらかに流量が低減する過程 ($0.98\alpha_2 D_{02}^3$, β_2/D_{02}) という2組のパラメータを用いてフィッティングを試みた。パターンⅡに該当した注入チャートに対し、2組のパラメータを用いてフィッティングした例を図-9に示す。なお、この例では、図中に示すように注入開始13分のところで2つの過程に区分している。なお、2つ目の注入過程のフィッティングを行うにあたっては、 Lu_0 ではなく、2つ目の過程の最初のデータを基に、 Lu_0 に相当する $0.98\alpha_2 D_{02}^3$ を計算し用いた。

ここで、仮に $\alpha_1 = \alpha_2$, $\beta_1 = \beta_2$, $D_{01} = D_{02}$ とした場合の、それぞれのケースにおける他のパラメータの値の変化について調べた。例として表-4に図-9に示すチャートにおける値を示すが、パターンⅡに該当したデータについてフィッティングすると、いずれも表-5に示すような大小関係となった。以下、それぞれのパラメータの意

味について考察を行った。

α , β については、注入前半に比べ注入後半に値が小さくなる結果となっている。これは、 α については亀裂の本数に関係すると考えられることから、注入に伴い、開口幅の小さな亀裂から順に閉塞していくことで流量が低減し、 β については亀裂の充填速度を表していることから、亀裂にセメントミルクが充填される速度の変化によって、流量が低減すると考えられる。

D_0 については $\alpha_1 = \alpha_2$ とした場合は $D_{01} > D_{02}$, $\beta_1 = \beta_2$ とした場合は $D_{01} < D_{02}$ という結果となった。この中で特に $D_{01} < D_{02}$ という結果は、 D_0 が注入孔に存在する平均的な亀裂の開口幅であると考ええると、注入中に開口幅が大きくなるということであり、一見矛盾した現象に見える。しかし、本検討において D_0 は注入孔内の平均的な亀裂幅ということで、1つのパラメータしか設定していないが、実際の岩盤においては、当然様々な開口幅を持つ亀裂が存在する。つまり、亀裂幅の狭いものから順に閉塞していくことで ($\alpha_1 > \alpha_2$) 初期の流量の低減が起こり、それらの閉塞が収まり、ある程度亀裂幅の広い亀裂が残った段階で、流量の低減が緩やかになる現象を表していると考えられる。

表-4 パラメータの値 (C05-A42630)

パラメータ	α 一定 ($\alpha_1 = \alpha_2$)	β 一定 ($\beta_1 = \beta_2$)	D_0 一定 ($D_{01} = D_{02}$)
α_1	α_1	$3.6 \times 10^{-3} / \beta_1^3$	$49.0 / D_{01}^3$
β_1	$0.153 \alpha_1^{1/3}$	β_1	$0.0418 D_{01}$
D_{01}	$3.66 \alpha_1^{1/3}$	$240 \beta_1$	D_{01}
α_2	α_1	$1.7 \times 10^{-6} / \beta_1^3$	$7.6 / D_{01}^3$
β_2	$0.012 \alpha_1^{1/3}$	β_1	$0.00614 D_{01}$
D_{02}	$1.96 \alpha_1^{1/3}$	$1629 \beta_1$	D_{01}

表-5 α , β , D_0 の関係 (パターンⅡ)

α 一定	β 一定	D_0 一定
$\alpha_1 = \alpha_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$
$\beta_1 > \beta_2$	$\beta_1 = \beta_2$	$\beta_1 > \beta_2$
$D_{01} > D_{02}$	$D_{01} < D_{02}$	$D_{01} = D_{02}$

表-6 α , β , D_0 の関係 (パターンⅢ)

α 一定	β 一定	D_0 一定
$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$	$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$	$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$
$\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$	$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$	$\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$
$D_{01} < D_{02} < D_{03}$	$D_{01} > D_{02} < D_{03}$	$D_{01} = D_{02} = D_{03}$

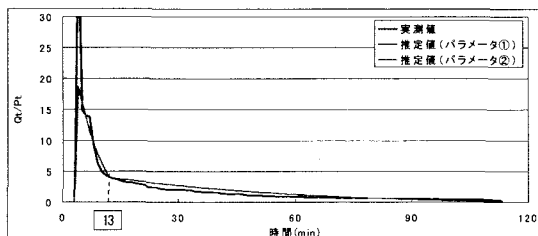


図-9 2組のパラメータによるフィッティング例 (C05-A42630)

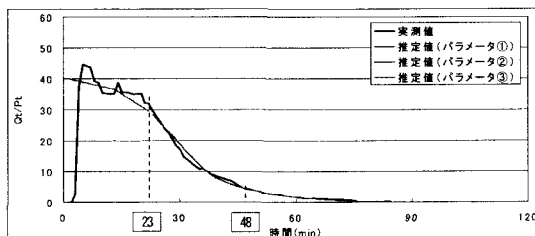


図-10 3組のパラメータによるフィッティング例 (C05-A73740)

(2) パターンⅢ

基本的にこのパターンは高透水多注入となる岩盤において多く見られるパターンであるが、本検討で用いたデータは比較的少注入のデータが多く、パターンⅢに該当するデータは少なかった。パターンⅢに該当した注入チャートについては、注入初期の比較的緩やかに流量が低減する過程 ($0.98\alpha_1 D_{01}^3$, β_1/D_{01})、流量の低減が大きくなる過程 ($0.98\alpha_2 D_{02}^3$, β_2/D_{02})、さらに再び流量の低減が緩やかとなる過程 ($0.98\alpha_3 D_{03}^3$, β_3/D_{03}) の3組のパラメータを用い、フィッティングを行った。3組のパラメータを用いてフィッティングした例を図-10に示す。なお、この例では、図中に示すように注入開始23分および48分のところで3つの過程に区分している。なお、2つ目および3つ目の注入過程のフィッティングを行うにあたっては、パターンⅡと同様2つ目および3つ目の過程の最初のデータを基に、 $0.98\alpha_2 D_{02}^3$ 、 $0.98\alpha_3 D_{03}^3$ を計算し用いた。その結果、パターンⅢにおいては、基本的に表-4に示す関係が見られた。

パターンⅢについては、パターンⅡで述べた現象の他にも、例えば、配合切替により目詰まりを起こして流量が低減する場合もあれば、注入時の亀裂幅の変化により流れの状態が層流から乱流に変化し流量が低減する場合などもあると考えられる。また、特に β の値は、注入時の流量や配合、圧力、亀裂の状況などによって、様々に変化することが考えられる。

基本的にはパターンⅡ、Ⅲいずれにおいても、1つの要因ではなく、いくつかの要因が複雑に重なり合って、流量の変化が起こると考えられる。

7. まとめ

本論文で提案した数学モデルを用い、既設のコンソリデーショングラウチングの初期の注入データから注入量、

注入時間等の推定を行った結果、注入時間の推定は若干難しいが、注入量に関しては、概ね推定が行えることがわかった。グラウチングの注入過程については、約半数のデータでは1組の α および D_0 の値により、ほぼ注入過程を表現できたが、パターンⅡおよびⅢに該当する注入チャートでは、1組の α および D_0 の値により表現することは難しく、各注入段階において、2組ないしは3組の α および D_0 の値が必要であることがわかった。

本論文では、既設の1ダムのしかもある特定のエリアのデータのみによる検討であり、各ダムにより地質、透水性状等も異なることから、今後は異なった地質、透水性状を示す岩盤のデータについても適用性の分析を行いたい。また、このモデル式を基にし、注入への影響の大きいパラメータの抽出やその要因の分析を行い、より合理的なグラウチングの注入手法などについても検討し、提案していきたい。

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター編集：グラウチング技術指針・同解説，大成出版社，2003。
- 2) G. Lombardi：Selecting the grouting intensity, Hydropower & Dams, Issue 4, 1996。
- 3) 武藤 光，他：高濃度－低圧型グラウチング工法 (HTLP 工法) の提案と検証，ダム工学，Vol. 9, No. 3, pp. 201-214, 1999。
- 4) 関電興業(株)：KK 式自動グラウチングシステム，ダム技術，No. 185, pp. 58-61, 2002。
- 5) 伊藤 節男，他：任意配合注入システムの開発と適用性の確認，土木建設技術シンポジウム 2004 論文集，土木学会，pp. 133-138, 2004。
- 6) 武藤 光，他：節理内流路を模擬した透明管供試体によるグラウト充填メカニズムの実験的研究，ダム工学，Vol. 9, No. 1, pp. 29-38, 1999。
- 7) 谷 智之，内田 善久：セメントミルクの濃度と注入特性の関係について，ダム工学，Vol. 9, No. 3, pp. 175-186, 1999。

ESTIMATION OF DAM FOUNDATION GROUTING PROCESS BASED ON EARLY GROUT INJECTION DATA

Yoshikazu YAMAGUCHI, Hiroyuki SATOH and Tomohiko ABE

In dam rock foundations, the grouting is constructed for the purpose of improvement of the water-tightness and reinforcement of the weak parts. It is difficult that grout takes and improvement situation of the grouting are accurately grasped, because the grouting is constructed in the rock mass where it is not visible. Recently, the research on the optimum mix design of the grout is positively advanced. And, the system which could optionally change the mix design of the grouts has also been developed. It seems to become possible to change the grouting specification for shortening of injection time, if afterwards injection process can be estimated from early injection process data of the grouting.

In this study, we proposed mathematical model, which could express the injection process of the grouting, and we formulated it. Then, we estimated injection time and grout takes, etc. from early injection process data of the consolidation grouting of an existing dam using the proposed model formula, and we examined the validity of the model formula.