

グラウチング注入データを用いた閉塞過程の分析(その2)

土木研究所 正会員 山口 嘉一
 土木研究所 正会員 佐藤 弘行
 土木研究所 正会員 西岡 正浩

1. 目的

ダム基礎グラウチングのセメントグラウト配合は、基礎地盤の透水性の指標であるルジオン値 μLu に対して設定される配合切替基準に従っている¹⁾。基礎地盤の透水性に対して貧配合のグラウトの注入では、注入時間の増大につながる一方、富配合のグラウトでは、早期に岩盤亀裂内部で目詰まりを起こし少注入になる懸念がある。近年、注入中のグラウト配合を任意に調節できるシステム(以下、グラウト任意配合変換装置)²⁾³⁾が開発され、注入中の基礎地盤における透水性(粘性変換ルジオン値 μLu ⁴⁾)の変化に応じた配合の調整が可能となり、結果として高効率の注入が実現できる可能

性が高まっている。本研究は、筆者らの既往の研究⁴⁾で示した μLu - Σce 曲線および、 Vce - Σce 曲線を基に、グラウト配合任意変換装置の使用を前提とした配合増加基準と、適性な配合による注入を前提とした Σce の予測方法を検討した。

2. 既往の研究⁴⁾の概要および分析対象データ

既往の研究⁴⁾においては、図-1に示すとおり、 μLu - Σce 曲線の点Bから点Dの区間は、ほぼ直線状を示し、点Bは注入初期の不安定な流量状態が収まった後の安定流量となった時点(以下、 μLu - Σce 曲線の初期勾配変化点)、点Dは急激な閉塞が始まった時点ということを見出した。さらに、セメント注入速度 Vce - Σce 曲線では、急激な閉塞点Dが発生する以前に、勾配変化点Cが発生することを見出している。本研究では、既往の研究⁴⁾で用いた注入データを使用した。データの概要を表-1に、注入仕様を表-2に示す。

3. 急激な閉塞が発生していないデータの分析

一般にグラウトの配合は、水とセメントの質量比 W/C で表される。図-2(a)から図-2(c)に単一配合で注入が完了したデータのうち、急激な閉塞が発生していないデータを選定し、さらに μLu - Σce 曲線の初期勾配変化点から注入終了までのデータを抽出して描いた μLu - Σce 相関図を配合別に示す。各データはほぼ直線状で急激な閉塞が発生しておらず、基礎地盤の透水性に対して適性配合から貧配合の範囲のグラウトによる注入であると考えられる。図-2(a)から図-2(c)の各データの μLu - Σce 曲線を直線で近似させ、配合毎に各勾配 δ の平均値を算出し、切片については、各配合の中間値として図化すると、図-2(d)のとおりとなる。勾配 δ は $-1.24 < \delta < -0.86$ の範囲となり、配合の違いによるばらつきは比較的小さかった。

4. 急激な閉塞が発生した時点の W/C と μLu の相関

図-3に配合切替を含むデータと単一配合データを用いて、急激な閉塞が発生した時点の W/C (以下、 $(W/C)_{RC}$)と

表-1 注入データ概要

(a) 配合切替を含むデータ

Σce (kg/m)	孔番	μLu	Σce (kg/m)	W/C
$\Sigma ce \leq 25$	C12-A42820	9.06	12.5	10-6
	C13-P64200	8.00	15.6	10-6
$25 < \Sigma ce \leq 50$	C10-A41620	5.72	35.3	10-4
	C12-A83620	7.86	31.3	10-4
$50 < \Sigma ce$	C09-P44200	7.16	67.4	10-2
	C10-A84420	8.75	115.9	10-1
	C09-A63620	20.00	99.3	6-2
	C21-A61220	16.56	77.8	6-2

工種: コンソリデーショングラウチング

(b) 単一配合データ

W/C	Σce (kg/m)	急激な閉塞 有り(件) / 無し(件)	計 (件)
10	$1.7 \leq \Sigma ce \leq 10.0$	25 / 7	32
6	$3.2 \leq \Sigma ce \leq 21.4$	9 / 3	12
4	$15.1 \leq \Sigma ce \leq 33.8$	4 / 0	4
合計		38 / 10	48

工種: コンソリデーショングラウチング

表-2 注入仕様

(a) 概要

区間長	5.0(m) $\leq L \leq 5.9$ (m) ^{※1)}
規定注入圧力 (孔口圧力)	$P=0.294$ (MPa)
最大注入速度	$Q \leq 4.0$ (L/min/m)
注入完了基準	$Q \leq 0.2$ (L/min/m) ダマ押し30(min)
注入材料	高炉B種セメント (比重 $\gamma=3.05$)
改良目標値	$\mu Lu \leq 5$

※1) 試験孔の傾斜角度が場所により若干異なるため、この範囲の中でばらつ

(b) 配合切替基準

高炉B種セメント $\gamma=3.05$

配合	規定注入量(L)
W/C	$\mu Lu \leq 10$ $10 < \mu Lu \leq 20$ $20 < \mu Lu$
10	400
6	400 400
4	400 400 400
3	400 400 400
2	600 600 600
1	800 1200 1600
計	3,000 3,000 3,000

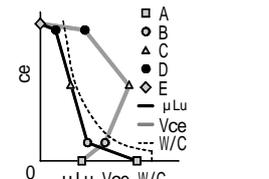


図-1 $\mu Lu, Vce, W/C$ - ce 相関図

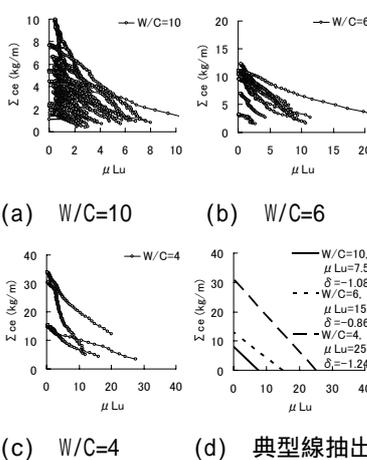


図-2 単一配合 μLu - ce 相関図

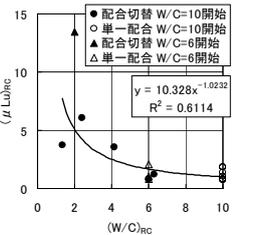


図-3 $(W/C)_{RC}$ - $(\mu Lu)_{RC}$ 相関図

同時点の μLu (以下, $(\mu Lu)_{RC}$)を抽出して描いた $(W/C)_{RC}-(\mu Lu)_{RC}$ 相関図を示す. 6 $(W/C)_{RC}$ の範囲では, $(\mu Lu)_{RC}$ 2 程度と小さいが, これよりも富配合の範囲では $(\mu Lu)_{RC}$ が増加する傾向を示している.

5. 配合増加基準値

本分析では, $\mu Lu-\Sigma ce$ 曲線において急激な閉塞が発生する時点 を遅らせることが, 結果として注入効率の向上につながると考 えて, 分析対象ダムにおいてグラウト任意配合変換装置の使用 を想定した配合増加基準設定の一例を表-3 に示す. 第3章によると, $\mu Lu-\Sigma ce$ 曲線の勾配 δ は W/C に関わらずほ ぼ等しいことから, 注入開始配合は, 従来の配合切替基準に準じて問題が無いと考えられるが, 第4章による と, $W/C < 6$ の範囲では, 急激な閉塞時点でのルジオン値が増大する傾向を示している. 従って, 注入開始配合は, $Lu \leq 10$ の場合は $W/C=10$ とし, $10 < Lu$ の場合は $W/C=6$ とした.

表-3 配合増加基準

注入開始配合	$Lu \leq 10$ $W/C=10$	$10 < Lu$ $W/C=6$
配合増加基準 ^{※)}	$\mu Lu-\Sigma ce$ 曲線の初期勾配変化点Bが発生した後に配合増加を開始し, 配合増加中断基準に達するまで継続する.	
配合増加中断基準 ^{※)}	$V_{ce}-\Sigma ce$ 曲線の勾配変化点Cが表われた場合は配合増加を行わない.	

※) 図-1参照

6. ce の予測方法

図-4に簡易な Σce 予測方法の模式図を示す. 予測方法は, $\mu Lu-\Sigma ce$ 曲線の初期勾配変化点Bを基点として, 基点と時々刻々のデータを直線で延長し, 各切片を時々刻々の Σce の予測値(以下, $(\Sigma ce)_{est}$)としている. $(\Sigma ce)_{est}$ は, 急激な閉塞の発生を考慮しないため, 適性配合を注入した場合の予測値と位置づけることができる.

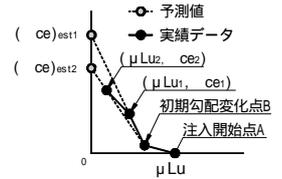
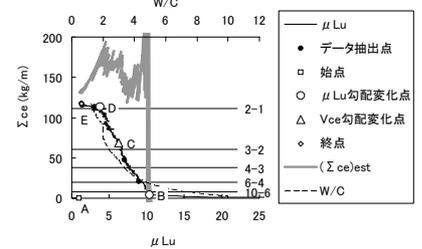


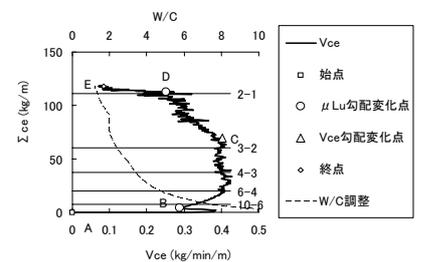
図-4 $(\Sigma ce)_{est}$ の模式図

7. 実績注入データを用いた $(\Sigma ce)_{est}$ と配合増加基準値の検証

図-5に分析結果の一例(C10-A84420)を示す. これは比較的多注入となったデータで, $W/C=10$ から注入を開始し, $W/C=1$ で終了している. $V_{ce}-\Sigma ce$ 曲線の注入中盤部分で勾配変化点C($\mu Lu=6.28, W/C=2.19$)が表れたが, 配合増加を継続した結果, 点D($(\mu Lu)_{RC}=3.75, (W/C)_{RC}=1.33$)の時点で急激に閉塞した. 適性配合による Σce の予測値 $(\Sigma ce)_{est}$ は概ね $150(\text{kg}/\text{m})$ 付近を推移していたが, 点Cが発生した後も配合増加を続けたため, 点Dにおいて基礎地盤の透水性に対して富配合となり $\Sigma ce = 115(\text{kg}/\text{m})$ で完了した.



(a) $\mu Lu-\Sigma ce$ 相関図



(b) $V_{ce}-\Sigma ce$ 相関図

図-5 C10-A84420

8. まとめ

研究の結果, グラウト任意配合変換装置の配合増加基準のうち, 分析対象ダムサイトの注入開始配合は 6 W/C の範囲から Lu に応じて設定することが効果的と考えられ, 配合増加中断基準値については, $V_{ce}-\Sigma ce$ 曲線の勾配変化点 C よりも若干手前の W/C とすることが効果的と考えられる. しかし配合増加中断基準値をこの時点 W/C としても, $(\mu Lu)_{RC}$ と $(W/C)_{RC}$ には相関性があると

考えられるため, 改良目標値に対して配合増加中断基準値の W/C が富配合となる場合は, $(\mu Lu)_{RC}$ が改良目標値より大きくなり, 注入効率が低下する可能性がある. また, 配合増加中断基準値の W/C を過度に貧配合とすると, 結果として注入時間が増大して, 工程が遅延したり不経済となったりすることも考えられる. 合理的な基準値を設定するためには, 各ダムサイトにおいてグラウティング試験施工を実施する必要があり, 規定注入孔間隔と規定注入圧力を考慮して改良目標値を注入孔毎や次数毎に設定し, これに見合う配合増加中断基準値を $(\mu Lu)_{RC}$ と $(W/C)_{RC}$ の相関から見出すという方法が考えられる. 今後は, 配合増加基準の細部について設定方法を検討し, グラウト任意配合変換装置を用いたグラウティング試験を行い, 一連の研究成果を検証したいと考えている.

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター編集: グラウティング技術指針・同解説, pp.37-47, 大成出版社, 2003.
- 2) 前田建設工業(株), 日特建設(株): Multi CO-MIX グラウティング用セメントミルク任意配合変換装置, (財)土木研究センター建設技術審査証明報告書, 2005.
- 3) 関電工業(株), KK 自動グラウティングシステム, ダム技術, No.185, pp.58-61, 2002.
- 4) 山口嘉一, 佐藤弘行, 西岡正浩: グラウティング注入データを用いた閉塞過程の分析, 第43回地盤工学研究発表会(投稿中)