

蛍光法によるグラウト浸透状況の調査

浜田 元* 寺田道直* 蛭子清二*
満田守雄** 新田宏基** 古賀成樹***

1. まえがき

近年、地質が良好でない地点にダムが建設される事例が少なくない¹⁾。これに伴い、ダム基礎岩盤の変形性や透水性の改良を目的とするグラウチングがさらに重要となっている。一方、平成14年3月には、グラウチング技術指針(案)・同解説²⁾が改訂された。同指針(案)では、ダムの安全性を損なわないことを前提に、グラウチングの合理化を図ることが求められている。

グラウチングの合理化を図るうえで、改良効果を精度良く把握することは重要である。そのためには、岩盤内の割れ目に対するグラウトの浸透状況、浸透経路や範囲など、割れ目の充填に係る基本的な情報が必要である。また、これを間接的、平均的な評価指標であるルジオン値などと関連付けることにより、改良効果の評価精度の向上が期待できる。

筆者らは、岩盤内の割れ目に対するグラウトの浸透

状況を分析するため、蛍光剤³⁾を添加したグラウチングを行い、グラウト材が充填された割れ目に対し紫外光を照射して観察する新たな手法(以下、蛍光法と呼ぶ)^{4),5)}を開発した。

今回、改良効果に係る基礎的な情報を取得するため、ダムのコンソリデーショングラウチングに蛍光法を適用し調査した。

2. 調査の概要

2.1 地質

調査領域の露頭スケッチを図-1に示す。同図には、注入孔の配置もあわせて示した。岩種は絹状片麻岩で、山側-川側の走向を示す高角度の割れ目や断層(走向はN20-50W、傾斜は70-90°)が発達していた。

2.2 調査方法

先に示した図-1には、注入回数、蛍光剤の色、注入順序を付記した。最初、中央の1次孔から、ピンクの蛍光剤を添加したグラウト材を注入した。続いて外

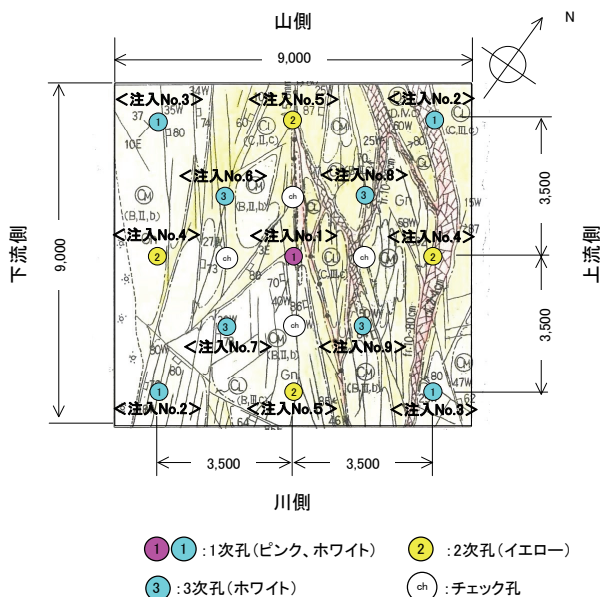


図-1 地質および孔配置

表-1 注入仕様

名称	仕様							
	注入材料 および 注入配合	高炉セメントB種、減水剤:ポズリスNo.70 200%当り						
配合		高炉セメントB種(kg)	ポズリスNo.70(g)	水(%)	備考			
1/8		24	60	192	【比重】 C(セメント)=3.04、 P(ポズリス)=1.25 【添加量(重量比)】 P=C×0.25% 蛍光剤F=C×5%			
1/6		31.6	79	189.5				
1/4		46.2	116	184.7				
1/2		85.9	216	171.6				
1/1	150.5	376	150.2					
初期配合 および 配合切替 基準	換算ルジオン値	配合:C/W				合計		
	Lu	1/8	1/6	1/4	1/2		1/1	
	Lu<10	600%	600%	600%	600%		1600%	4000%
	10≤Lu<20		600%	600%	600%		2200%	4000%
20≤Lu			600%	600%	2800%	4000%		
注入圧力	0.3MPa規定							
注入速度	4.0%/min/m(28.0%/min/st)規定							
同時施工	6.0m以内の隣接孔は禁止							
注入完了	規定圧力で注入速度が0.2%/min/m(1.4%/min/st)以下となり、30分間のため押し注入を行っても注入速度が増加しない場合							

*技術研究所 **関西支社土木工事部第2部 ***技術本部土木部

周の1次孔から中央内挿法に従い3次孔まで、原則、
 回数ごとに添加する蛍光剤の色を変えて注入を行った。
 最後にチェック孔を設けた。

注入仕様を表-1に示す。蛍光剤はセメント質量に
 対し5%を添加した。注入深度は7mでこれを1ス
 テージとした。

調査は次の手順で行った。

- ① ボーリング孔を削孔する。コアを採取し、自然光、
 紫外光照射下で観察する
- ② ボアホールテレビジョン（以下、BTV と呼ぶ）を
 用いて自然光、紫外光照射下で孔壁の観察を行う
- ③ 水押し試験、注入を行い、ルジオン値、単位注入
 セメント量を記録する
- ④ これを注入孔ごとに繰り返す。注入完了後、
 チェック孔を対象に、①～③と同じ調査を行う

2.3 蛍光剤および調査機器

蛍光剤の構成成分を表-2に示す。この蛍光剤は、
 蛍光染料を合成樹脂中に固溶体の形で固定化した有機
 蛍光顔料を水中に分散させたもので比重は 1.09 であ
 る。セメントミルクに良く分散し、かつ、アルカリ性
 のセメントミルクに対し変色・脱色し難い。

ボーリング孔壁の観察には、円錐鏡方式のBTVを使
 用した。紫外光照射型BTVの機器構成を図-2に示す。
 同BTVは画像処理ユニット、方位ユニット、プローブ、
 送り装置で構成される。グラウト材が充填された割れ
 目（以下、充填割れ目と呼ぶ）に対しリング状のブ
 ラックライトで紫外光を照射すると、孔壁の充填割れ
 目のみが蛍光色として発光する。充填割れ目が蛍光色
 で発光するため、孔壁での識別は極めて容易であり、
 このような状況をコーンミラーに写し CCD カメラで撮
 影する。

3. 調査結果と分析⁶⁾

3.1 注入実績

ルジオン値と単位注入セメント量の回数ごとの変化
 を図-3に示す。図中では、測定値をプロットし、平
 均値を実線、上限・下限値を破線で結んだ。

図-3から、2次注入の時点までは、ルジオン値、
 単位注入セメント量とも大幅な低減がみられない。ル
 ジオン値の平均は 12Lu 前後、単位注入セメント量の
 平均は 100kg/m 前後であった。一方、3次注入では、

表-2 蛍光剤の構成成分

合成樹脂	メラミン・パラトルエンスルホンアミド・ホル ムアルデヒド重縮合物
蛍光染料	・フルオレセイン ・テトラプロムフルオレセインナトリウムほか
添加剤	・2-ヒドロキシエチル・エーテル ・ポリエチレン・ポリプロピレンオキサイドブ ロックポリマー ・グリセリン
水	

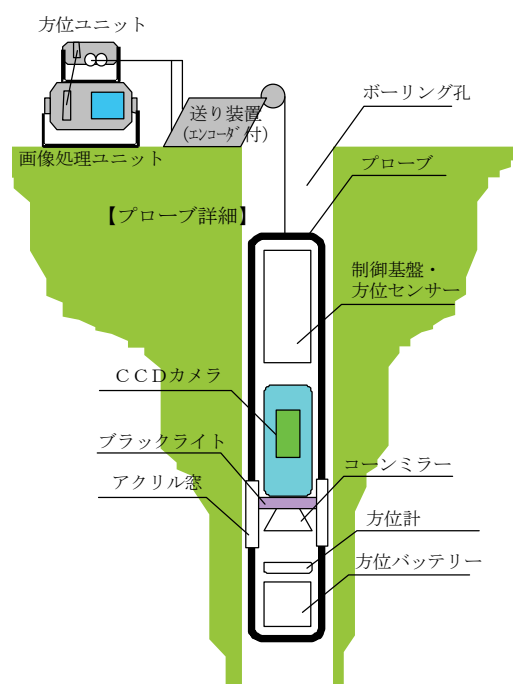


図-2 紫外光照射型BTVの機器構成

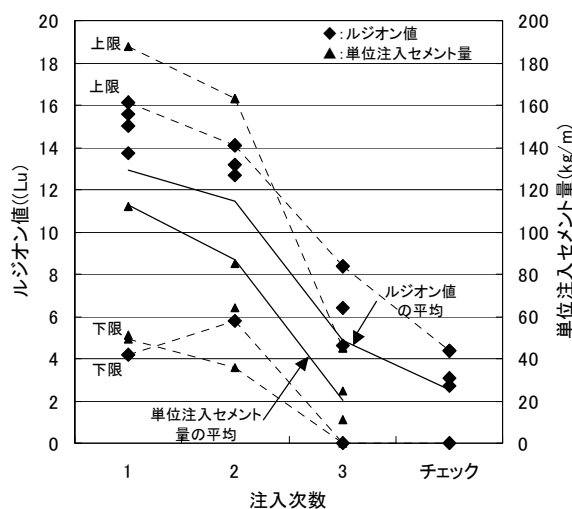


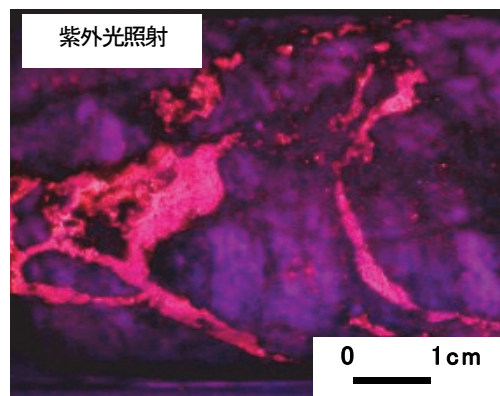
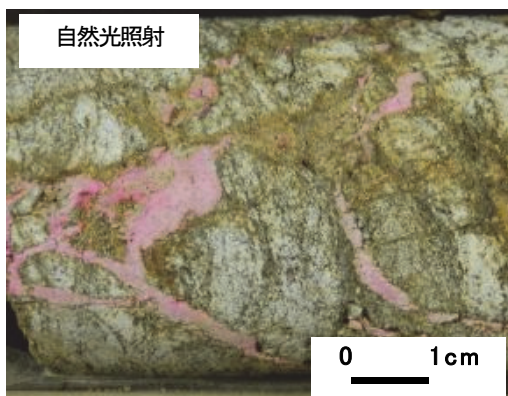
図-3 注入回数ごとのルジオン値、単位注入セメント量の変化

前回数に比べ、ルジオン値、単位注入セメント量とも大幅な低減を示した。平均値は、ルジオン値が 4.9Lu、単位注入セメント量が 20.3kg/m に低下した。

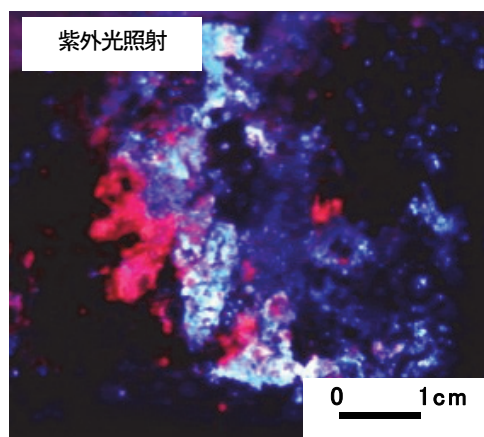
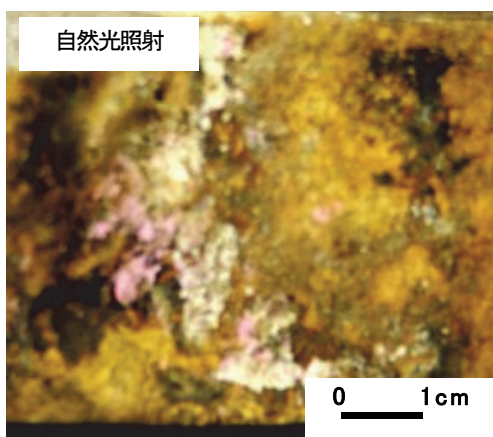
3.2 充填割れ目の特徴

a. 目視観察

コア観察例を写真-1に、BTV による孔壁観察例を



(a) コア周面観察 (ピンク充填)



(b) 割れ目内観察 (ピンク、ホワイト混在)

写真-1 コア観察例

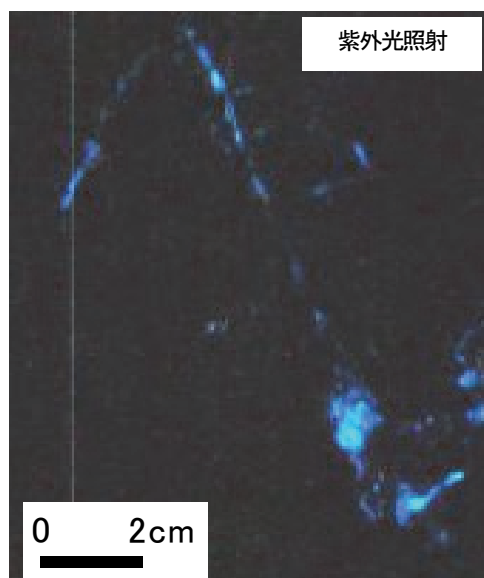
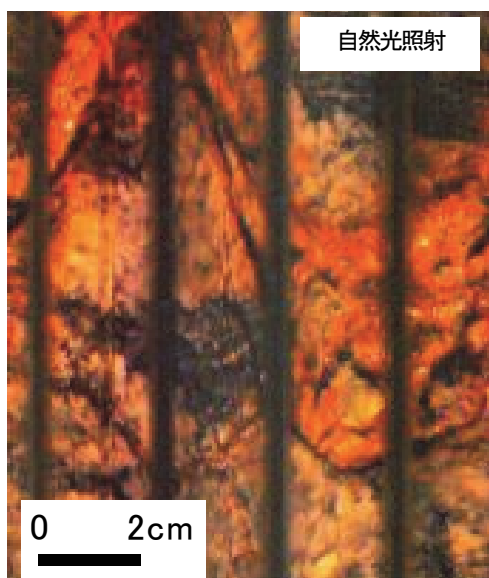


写真-2 BTV による孔壁観察例 (展開画像)

写真-2に示す。それぞれに自然光および紫外光の画像を並べて示した。紫外光の画像の方が、可視光の画像に比べ、割れ目に対するグラウト浸透状況の識別性が非常に高いことがわかる。

コアと孔壁の観察から、107本の充填割れ目を確認した。充填割れ目は大多数(103本)が単色であったが、一部(4本)に2色が混在するものがあった。2色が混在した割れ目は、一度の注入では閉塞にまで至らなかったものと考えられる。このような割れ目は、複数の注入孔よりグラウト材が浸透した割れ目であり、連続性の良い水みちを形成していた可能性がある。

b. 走向・傾斜

割れ目の方向分布を図-4に示す。同図は、割れ目の走向・傾斜をシュミットネットの下半球にステレオ投影したものである。この図には、孔壁で観察したすべての割れ目(以下、孔壁の割れ目と呼ぶ)をプロットしており、その数は960本であった。

図-4から、孔壁の割れ目は、方位がNE-SW系、傾斜が低角度で西落ちの傾向が認められた。一方、充填割れ目は、孔壁の割れ目のような傾向を示しておらず、この図では集中する割れ目の方向が明瞭ではない。

充填割れ目、孔壁の割れ目、露頭の割れ目系に分け

て、方位別および傾斜別の度数分布を図-5に示す。孔壁の割れ目では、方位がNE-SW系で、傾斜が低角度で西落ちのものが多かった。一方、露頭の割れ目系では、方位がNW-SE系で、傾斜が高角度のものが多かった。孔壁の割れ目と露頭の割れ目系とは方位、傾斜の度数分布が異なった。

方向別の度数分布を充填割れ目と孔壁の割れ目とで比較する。大局的にみれば、いずれの割れ目とも、方

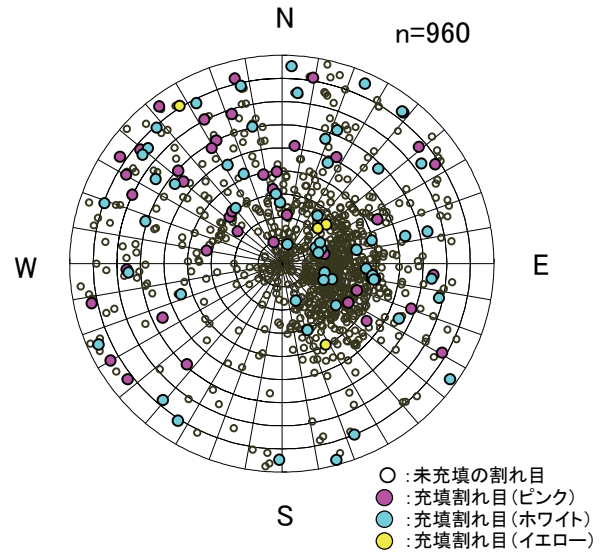


図-4 シュミットネット(下半球投影)

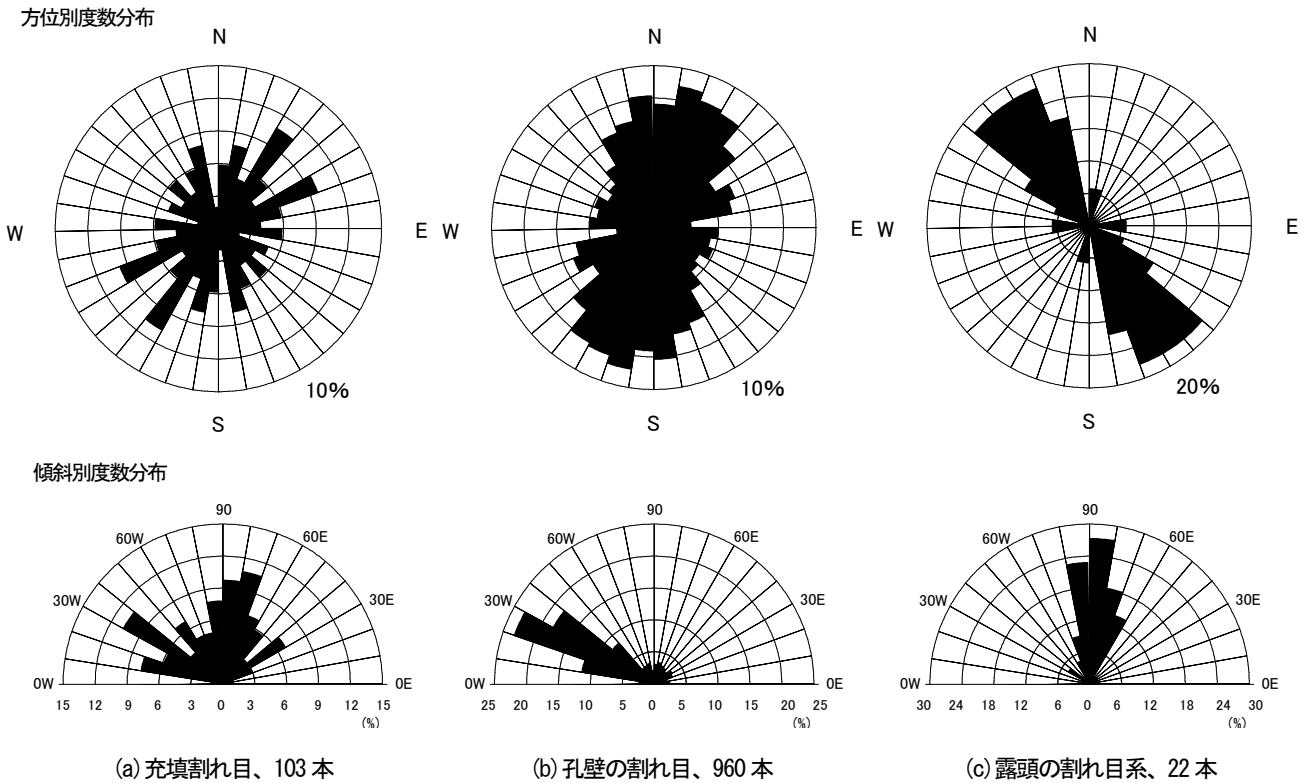


図-5 割れ目の分布

位はNE-SW系、傾斜は低角度で西落ちのものが多かった。岩盤中に多い割れ目の方向に対し、グラウト材が良く浸透したと言える。また、充填割れ目は、孔壁の割れ目に比較して高角度のものの割合が多かった。

3.3 浸透状況の分析

注入の位置と順序、充填割れ目の蛍光色、走向・傾斜をもとに、グラウト材の浸透方向と距離を推定した。推定結果を図-6に示す。同図は、3次元的な浸透経路を平面図に投影し示したものである。図中の色付きの矢印は、グラウト材の蛍光色とその浸透方向、距離を示す。

最初に注入したピンクのグラウト材は、水平距離で1.5~4.9m離れた位置まで到達していた。観察した12本のボーリング孔から、ピンクの充填割れ目は49本あり、そのうち38本を山側-川側(NW-SE系)方向の4孔(2次孔、チェック孔)で確認した。3次元的な浸透経路は別にして、ピンクのグラウト材は山側-川側の方向に相対的に良く流れた可能性がある。

ここで、ピンクの充填割れ目の方位別および傾斜別の度数分布を図-7に示す。同図は、49本の充填割れ目のうち、走向・傾斜が特定できた45本の結果を示した。方位別分布から、ピンクの充填割れ目では、上流側-下流側(NE-SW系)方向のものが最も多く、これは露頭の割れ目系と90°前後で交差する。また、傾斜別分布から、同割れ目には高角度のものが多かった。

先に示した図-6から、注入回数ごとの浸透範囲の変化を分析した。注入回数ごとの浸透範囲は注入回数の増加に伴い縮小する傾向を示す。注入回数の増加に伴い、充填割れ目が増加し、浸透方向や距離が順次限定されるため、注入回数ごとの浸透範囲が縮小したと考えられる。

3.4 割れ目充填率と注入実績の関係

注入回数の増加に伴う割れ目充填率、ルジオン値、単位注入セメント量の関係を図-8に示す。割れ目充填率とは、ボーリング孔壁で観察したすべての割れ目の数に対する充填割れ目の割合である。同図から、ルジオン値と単位注入セメント量は注入回数が増えるにつれて大きく低下している。一方、割れ目充填率は、注入回数が2次から3次の間でほとんど変化せず傾向が異なっていた。ルジオン値の低下は3次孔周辺の平均的な改良効果を表している。それに対し、割れ目充填率の変

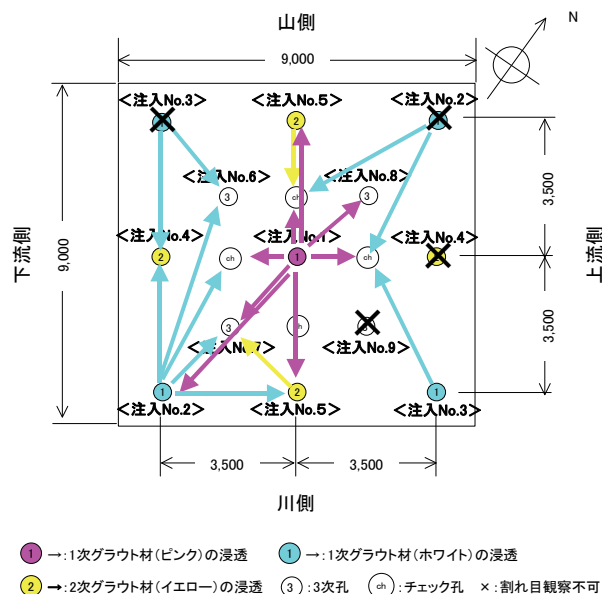


図-6 浸透方向と距離の推定(1、2次注入)

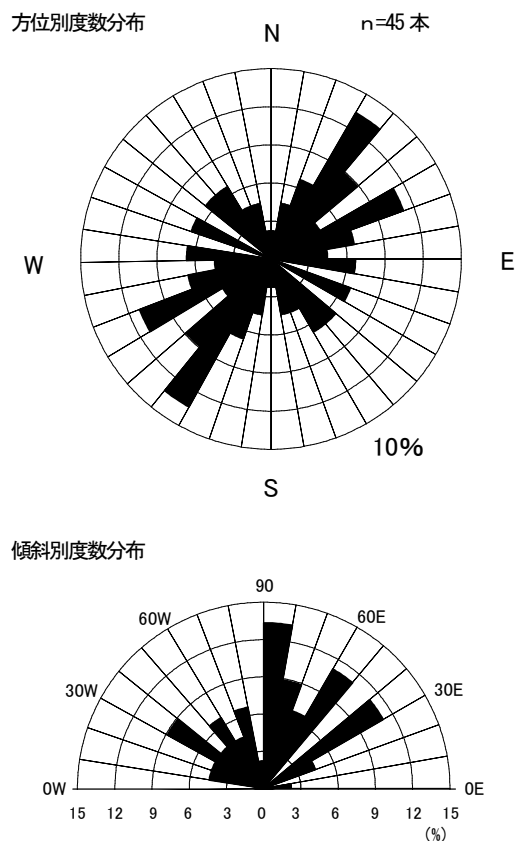
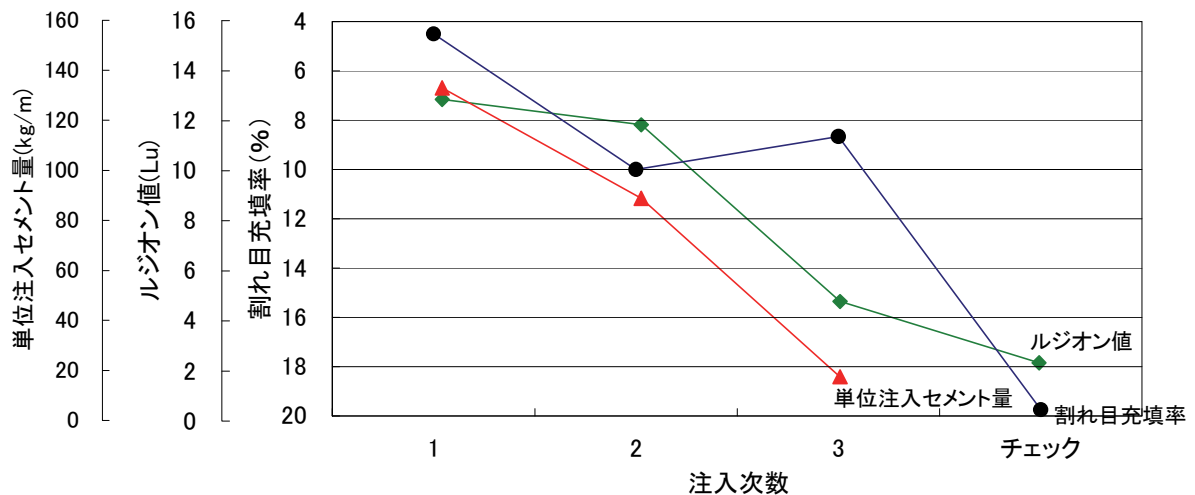


図-7 ピンクの充填割れ目の分布

化は3次孔壁位置の改良状態を表している。2次のグラウト材は、3次孔の方向に浸透しルジオン値は低下したが3次孔壁にまでは到達せず、割れ目充填率が低下しなかったと推察される。



図一 8 回数ごとの割れ目充填率、ルジオン値、単位注入セメント量の平均値の変化

4. あとがき

ダムのコソリデーショングラウチングに蛍光法を適用した。その結果、岩盤内の割れ目に対するグラウトの浸透状況を直接観察することができた。グラウトの浸透方向と距離、割れ目に対するグラウトの方向別の選択性などが明らかになり、グラウトの浸透メカニズムに係る基礎的な情報を取得できた。また、新たな指標として、割れ目充填率を導入し、この指標がグラウトによる改良効果の評価に寄与できる可能性を示した。最後に、奈良県大和川水系ダム建設事務所の関係各位には調査に際し種々の協力をいただいた。記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 松本徳久、「ダム新技術、地盤工学会誌・土と基礎」、Vol. 47、No. 3、pp. 1～4、1999. 3
- 2) (財)国土技術研究センター、「改訂「グラウチング技術指針(案)・同解説」、2002. 3
- 3) 宮原貞泰、「有機蛍光顔料、色材」、Vol. 58、No. 2、pp. 73～79、1985
- 4) 寺田道直・岩本容昭・西山孝・陳友晴、「蛍光法によるグラウト浸透状況の可視化、地盤工学会誌・土と基礎」、Vol. 47、No. 3、pp. 29～32、1999. 3
- 5) 寺田道直・浜田元・西山孝、「蛍光法による亀裂性岩盤のグラウト浸透状況の可視化、亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集」、pp. 171～178、2001

- 6) 浜田元・蛭子清二・満田守雄・寺田道直、「蛍光法によるグラウト浸透状況の調査、ダム工学会第 15 回研究発表会講演集」、pp. 4～6、2004. 11