

(24) はぎ取り調査における注入後のグラウト侵入形態 と亀裂系および亀裂性状の関係

日本基礎技術(株) ○ 寺戸 康隆 宇部興産(株) 正会員 米田 俊一
(株)ダイヤコンサルタント 春日 明 山口大学 正会員 中川 浩二
川崎地質(株) 結城 則之

Relation between grout passageways and aspects of cracks made grouting easier resulted from open cut surveying after a grouting test

Yasutaka TERADO, Japan Foundation Engineering Co., Ltd.
Akira KASUGA, Dia Consultants Co., Ltd.
Noriyuki YUKI, Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.
Shunichi YONEDA, Ube Industries Co., Ltd.
Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

Even now, there are only a few data on how the grout penetrates through joints or cracks and what aspects of them exist for making grouting easier.

Recently we made an attempt on open cutting the area in the midst of a quarry where a grouting test was provided and investigated the above matter.

The foundation of the area consists predominantly of shales from the Triassic interbedded with sandstones which are more or less deformed and altered especially along the cracks. therefore the foundation is abundant in cracks and clay seams and partly there are several shered zones almost parallel to the formation.

the formation lies almost monoclinically dipping nearly 45° toward the north. Major crack set is divided into two. One is almost parallel to the formation. The other dips vertical and intersects the formation with obtuse degree.

Most of them, especially vertical cracks, are open and quite permeable.

The result of surveying was that the grout tended to penetrate through both or either one of the above two major cracks and then sandstones or shered zones rather took part in limiting penetration of the grout.

1. まえがき

グラウティングあるいは地盤注入は、水資源開発施設およびその基礎の遮水、地下空間における漏水防止、軟質地盤のボーリングや液状化防止等に関する通常技術・工法であり、これまでに数限りない実績や報告がなされているが、グラウトが実際に地盤中の亀裂や間隙にどのような過程を経て侵入し、目的とする水密化一体化が果たされたかについて具体的に取り扱った報告例は希である。これについては、例えば、グラウト自体の密度、粘性等の物性が硬化に至るまでに一様でなく、地下での動きを追跡するセンサー技術が確立されていないため、また、検証のためには実際に地下をはぎ取る必要があり、このために多大の経費をかけ得

でも、これらの現象をはたして把握できるかどうか不確実であり、既に手順として確立されたスプリットスペーシング法に従った施工を通じて実際の効果を確認している、あえてグラウトの挙動を知るまでもないといったことが背景にあったと言うこともできる。しかし、このことは、注入技術というものが不確実な技術という側面をめぐいきれないことにつながる。

最近、ジオトモグラフィ技術が普及するとともに、地下を開削することなくボアホールに探査ゾンデを挿入するだけで、地下の物性情報を広範囲に高い解像度で知ることができつつある。この物性情報が具体的に何を意味するかは今後を待たなければならないが、この技術に応用するためには、例えば、注入技術についてみれば、前述したグラウトのメカニズムの追跡は避けられない。トモグラフィの物性情報と亀裂や間隙を介したグラウトの挙動との相関がつかめれば、トモグラフィ技術によって地盤の解釈、グラウトによる改良効果・改良範囲の予測等を早く手軽に行う道が開けることになる。

筆者らは、トモグラフィ技術開発の一環として、最近、グラウチング試験等を行った範囲をはき取ることを試みた。その結果、当該地盤の地質構造に対して、グラウトがどのような侵入形態をとったかを追跡する中で、亀裂系へのグラウトの嗜好性といったものを知ることができた。以下に、亀裂系および亀裂の性状とグラウトとの関係を中心にして報告することにする。

2. 既往の地質調査およびグラウチング試験の概要

2.1 調査場所周辺の地形地質概要

調査場所は山口県宇部市二股瀬区の厚東川ダム貯水池（小野湖）右岸、標高212.2mに位置する稼行中の採石場の一画であり、地山の被り約70mが既に除去されている。当地区の地質は埴生からENE-WSW 性の走向をもって厚く分布する中生代三畳紀の埴生層群から成る。また、広域的に本層群の地層を切るNE-SW 系の断層が見られる（図-1参照）。

調査場所の埴生層群は頁岩を主体とし、砂岩の薄層を伴う。これらは $N80^{\circ}E \sim E-W$ の走向でN側に 45° 前後で傾斜する単斜構造を形成する。亀裂が発達し、亀裂面の酸化汚染が著しい。特に亀裂面沿いに風化や変質が見られ（砂岩が特に顕著）、掘削によるゆるみ等も加味され、開口亀裂が多く、流入粘土の挟入も見られる。また、層理面に沿って破碎部が挟入する。地山地下水面は現況地盤面下1～3mにあり南部側に傾いている。

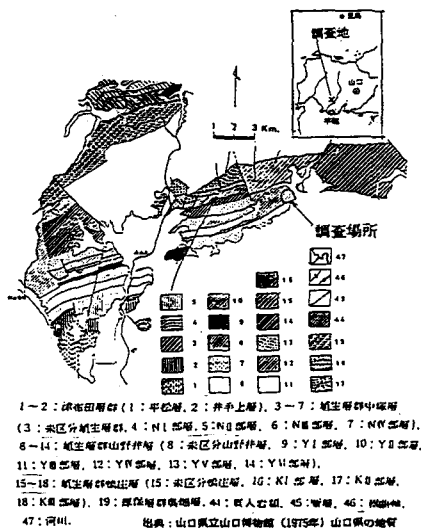


図-1 調査場所周辺の地質概要

2.2 対象地盤の岩質、透水性および注入特性

(1) 岩質および透水性

岩級区分は、破碎部を除けば CH 級からCL級の範囲にあり、全体的にはCL級ないしCM級が多い。透水性は過去のボーリング調査によれば、岩盤のゆるみ、亀裂の開口性、挟入物の有無等に左右され、岩質の良いところは開口亀裂のため却って透水性が非常に大きく（数100Lu 以上）、風化部や破碎部では細粒土による目詰まり等のため透水性は比較的小さい（例えば、10Lu～50Lu）。

(2) 注入特性

過去に実施したグラウチング試験では、工法は二重管ダブルパッカーにより、材料は北部側に高炉セメントB種（緑色顔料混入）、南部側に超微粒子セメント（赤色顔料混入）を使用し（いずれも単孔）、単位注入セメント量は高炉

B 孔が160kg/m、超微粒子孔が177 kg/mであった。改良性については、1m離れたチェック孔によれば、高炉 B 孔が5 ～20Lu程度、超微粒子孔が5 ～10Lu程度以下に低減していた。

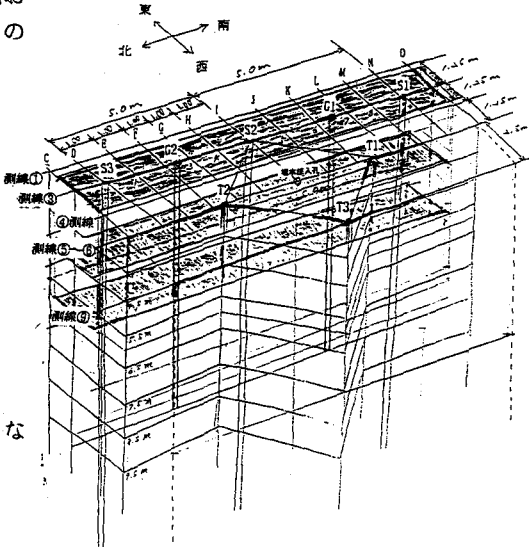
3. はぎ取り調査計画

3.1 座標系と亀裂観察範囲

図-2 に示す座標系に基づき、概してベンチカット方式ではぎ取りを行った。亀裂観察は次に示す平面および断面について行い、三次元的な亀裂やグラウトの分布がつかめるよう配慮した。

表-1 亀裂観察範囲

平面	深度	2.5m	4.5m	6.0m	(ばし、③測線を中心に略東西2m幅)			
	深度	測線	①	③	④	⑤	⑥	T ₂ -T ₃ -T ₁
鉛直断面	2.5～3.5 m		○	○	○	○	○	○
	4.5～5.5 m		○	○	○	△T ₂ -T ₃ 除(		○
	6.5～7.5 m		×	○	○			○
	8.5～9.5 m		×	○	×	△T ₂ -T ₃ 間のみ		×



3.2 観察作業項目

2 m²の範囲で20個程度の亀裂を抽出し、次のような観察を行った。

- (1) 走向、傾斜、幅、長さ
- (2) 挟在物の有無、性状
- (3) グラウト（2種）および顔料（2種）侵入の有無、長さ
- (4) 地層、断層、破碎部等の分布、岩級区分

図-2 はぎ取り調査の座標系

また、グラウトの物性（見掛比重、化学分析、EPMA解析、元素分布等）追跡のためサンプリングした。

4. 各断面の地質およびグラウトの分布

4.1 地質および亀裂の分布

図-3、図-4 はそれぞれ深度4.5mの平面スケッチ、③測線の断面スケッチであり、はぎ取り調査範囲の地質および亀裂の分布を代表させることができる。③測線は調査孔および注入孔のある軸線で略南北方向にある。

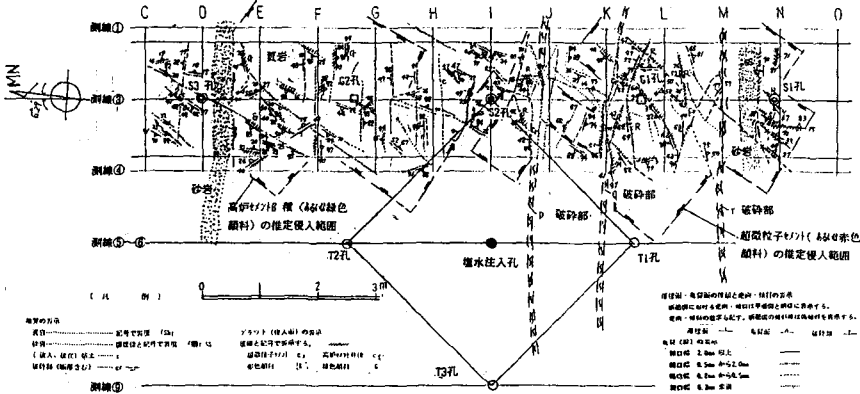


図-3 深度4.5mの平面スケッチ

層理面の走向は略東西方向にあるので、ほぼ真の傾斜角で北側（紙面左側）に傾く。頁岩優勢の中で比較的厚く軟質化した砂岩（20～50cm厚）が北部側と南部側に各1枚分布し、鍵層となる。層理面自体は概して密着しているがこれ沿いの亀裂が数多く分布する。また、層理面に平行して比較的厚い破砕部が3本挟在する（小断層と考えてよく、粘土を伴い、厚さは10～40cm）。これら砂岩と破砕部は、浸透流に対して完全ではないが、開口亀裂性頁岩にくらべ相対的に難透水性の役割を果たす。一方、層理面や破砕部と鈍角で交叉する垂直性の亀裂（形成時期は後）が卓越し、縦断面では南あるいは北側に急角度の見掛け傾斜を示す。

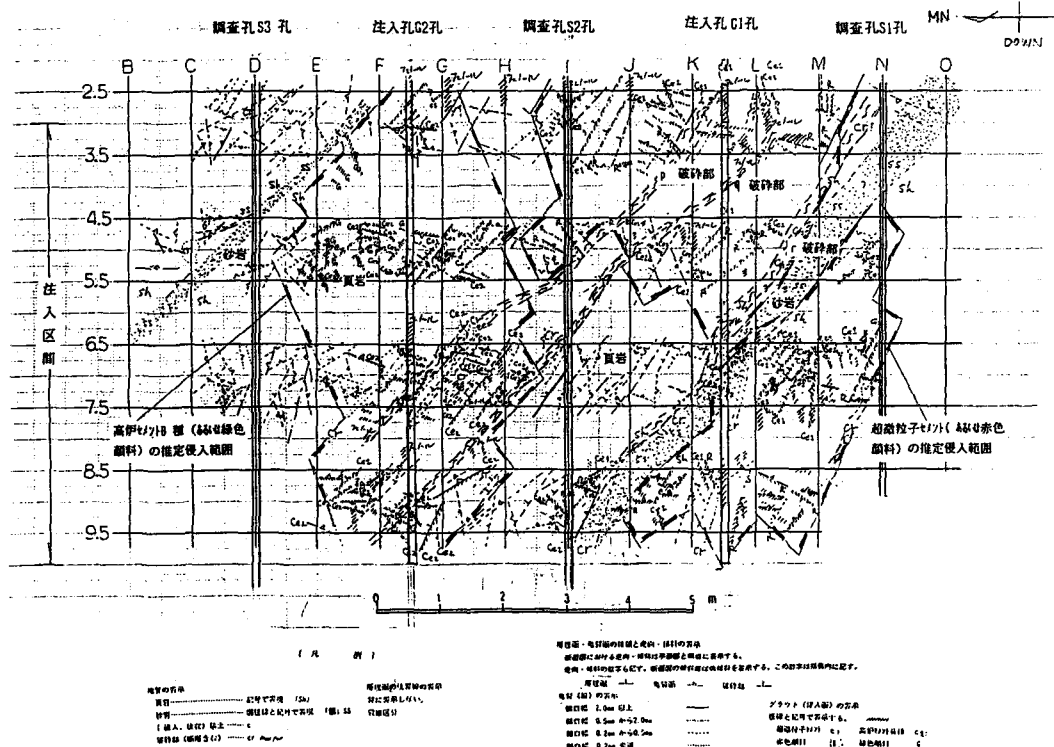


図-4 ③測線の断面スケッチ

4.2 グラウトの分布

図中斜線で示した部分がグラウトが観察された亀裂である。南部は超微粒子セメント（あみ色赤色顔料）が、北部は高炉セメントB種（あみ色緑色顔料）が広範囲に分布する。注入工法をきめ細かな二重管グリッパ工法としたのでグラウトがより多くの亀裂に分布するが、それでも分布箇所は卓越した亀裂に多い。

4.3 亀裂系および亀裂の性状

図-5は亀裂面の極をシュミットの下半球に投影したコンターダイヤグラムである。これによると、卓越する亀裂は次の2つに集約され、これはグラウトが侵入した亀裂とも密接に関係する。

- (1) 層理面および破砕部に沿う亀裂 —— 代表的走向傾斜 $N80^{\circ} E 45^{\circ} N$
(主要範囲 $E-W \sim N70^{\circ} E, 30^{\circ} \sim 54^{\circ} N$)
- (2) 上記の面を鈍角 (60° 前後) で切る鉛直性の亀裂 —— 代表的走向傾斜 $N20^{\circ} E 85^{\circ} SE$
(主要範囲 $N15^{\circ} E \sim N25^{\circ} E, 80^{\circ} SE \sim 90^{\circ}$)

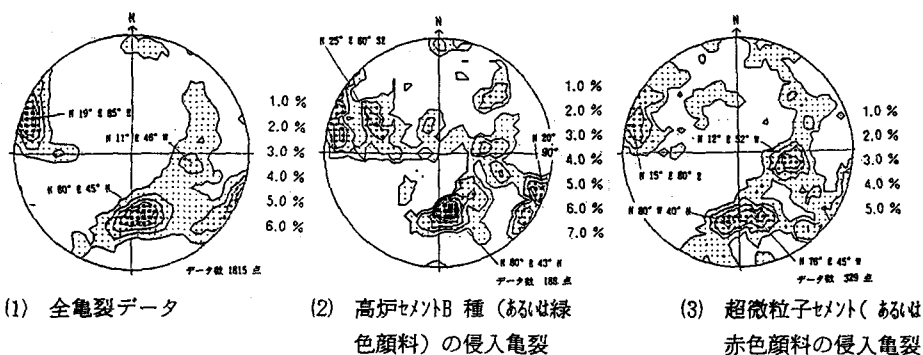


図-5 亀裂面の極をシュミットネットの下半球に投影したコンターダイアグラム

5. グラウトの侵入経路と侵入範囲

グラウトは、前記の層理面および破砕部に沿う亀裂、これを鈍角(60°前後)で切る後生の鉛直性の亀裂および砂岩、破砕部等の比較的難透水体を主要な媒体あるいは経路にして侵入したと言える。図-6はグラウトの侵入経路の概要を示したものである。侵入経路は次のように説明される。層理面および破砕部に沿う亀裂は45°前後の角度をもつため、注入孔と遭遇する確率が高い。また、当地区の砂岩、破砕部等は比較的難透水体であり、グラウト等の流体はこれを貫きにくく、むしろこれらに沿った開口亀裂を通して主に上半部に広がる。この場合これらを切る後生の鉛直性の亀裂は開口性であり、数多いのでグラウトはこれに抜けて高密度に分布する。高炉セメントB種と超微粒子セメントの侵入範囲については、後者の方がより大きな容積をもつことが示される。これは一つには粒度と懸濁性の面で超微粒子セメントの方が優れていると言える。

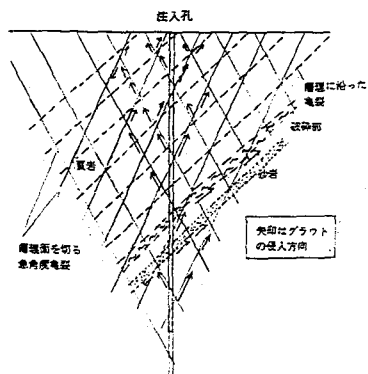


図-6 グラウトの侵入経路の概要

6. あとがき

共同研究者の方で行っている電磁波等のトモグラフィの解析結果と今回の亀裂観察結果を照合すると、有為な関係が見出されている。今回のはぎ取り調査も人的、時間的制約から地質やグラウトの分布を三次元で完全に掌握できず、歯抜け部分が存在する。逆にこの部分についてはトモグラフィ結果を生かして補完することも考えられる。現在、グラウトサンプルの室内分析を実施中であり、この結果が出れば侵入メカニズムの物理化学的裏づけがとれるのではないかと期待している。

本報告は、山口大学、宇部興産(株)、日本基礎技術(株)、(株)ダイコンサルタント、川崎地質(株)および(株)間組との共同研究の成果の一端である。現地調査に当り、山口大学工学部建設工学教室の学生・院生、京都大学工学部中川誠司氏、(株)間組技術研究所第三部の諸氏、(株)ダイコンサルタント井上 誠氏、川崎地質(株)笠井弘幸氏および鈴木敬一氏には協力と示唆に富む意見を得た。ここに記して謝意を表す。

(参考文献)

- 1) 北村孝海、米田俊一、寺戸康隆、登内正治、中川浩二：岩盤レーダー・比抵抗探査による水みちおよびグラウト効果の調査、第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp. 21-25、1991.2