

# 亀裂性岩盤模型を用いたグラウトの流動特性試験

## A STUDY ON INJECTION FLOW PROPERTIES OF GROUT USING JOINT NET MODELS OF ROCK MASS

永山 功\*・太田 道男\*\*・西村 義\*\*\*・谷口 正基\*\*\*\*

Isao NAGAYAMA, Michio OHTA, Tadashi NISHIMURA and Masaki TANIGUCHI

Grouting is a principal technique to improve watertightness of foundation rock of dams. Injection flow properties of grout were studied using joint net models of rock mass in a laboratory. Methylcellulose was used as a substitute of cement grout since a series of tests were conducted using the same model. The following conclusions were obtained from the test.

1. Grout flow in a joint net becomes laminar flow or turbulent flow in accordance with concentration of grout and injection pressure. The wider the joints are, the larger the tendency of turbulent flow is.
2. Grout flow is less influenced by its concentration and injection pressure in turbulent flow than in laminar flow.
3. Effective grouting is obtained when the flow of grout is laminar flow in narrow joints and is turbulent flow in wide joints.

### 1 はじめに

ダム基礎岩盤のグラウチングは、自然界に存在する多種多様な岩盤内の亀裂を対象とする工事であるため、その注入仕様は過去の施工実績を参考にして試行錯誤的に決定されているのが現状である。このため、グラウチングの合理的な設計・施工手法の確立が強く望まれている。

本論文は、前年度に発表した論文の続編<sup>1)</sup>として、大小二つの幅の亀裂を組合せた岩盤の亀裂網模型にグラウトを注入し、グラウト濃度、注入圧力がグラウトの流動特性に及ぼす影響を比較検討したものである。

### 2 実験装置および注入材料

#### 2.1 実験装置

今回の実験に用いた亀裂網模型は、図-1に示すように、一辺の長さ約1000mm、厚さ20mmの2枚の亚克力板の間に厚さ5mmの亚克力板100枚を並べ、格子状の亀裂網を表現したものである。亀裂幅は1.2mm、0.3mmの2種類とし、表-1に示すように亀裂配置の異なる模型を3基作製した。また、模型の中央にはグラウトの注入口を設けた。

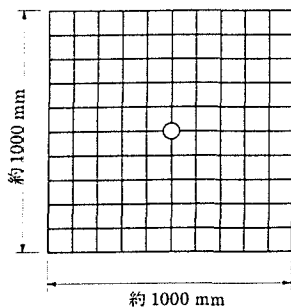
---

\* 正会員 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室 室長

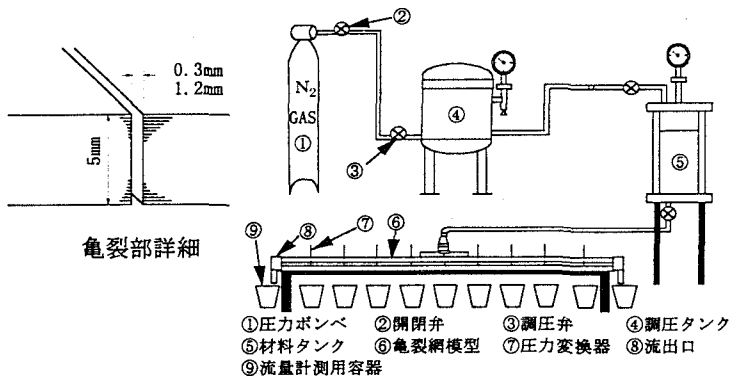
\*\* 正会員 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室 主任研究員

\*\*\* 正会員 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室

\*\*\*\* 正会員 アイ・エル・エス・ニヤリク（株）設計部 前建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室 交流研究員



図－ 1 亀裂網模型



図－ 2 実験装置の概要

表－1 実験ケース

| モデル名                                   | モデル 1                        | モデル 2                   | モデル 3                       |
|----------------------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| グラウト濃度                                 | 0.0 ～ 2.0%                   |                         |                             |
| 注入圧力                                   | 0.2 ～ 5.0kgf/cm <sup>2</sup> |                         |                             |
| 亀裂配置<br>——— 亀裂幅 0.3mm<br>——— 亀裂幅 1.2mm | <p>大小の亀裂の偏った分布をモデル化</p>      | <p>大小の亀裂の均等な分布をモデル化</p> | <p>大小の亀裂の方向性を持った分布をモデル化</p> |

一方、グラウトの注入装置は、図－ 2に示すように、圧力ポンベ、調圧タンク、材料タンクなどから構成される。材料タンク内のグラウトは圧力ポンベ内の窒素ガスで加圧され、亀裂網模型に注入される。この際、調圧タンクによって窒素ガスの圧力を調整し、一定圧力で安定した加圧ができるようになっている。

## 2.2 注入材料

グラウトとして用いた注入材料は、濃度や圧力を変えて同一模型に繰り返し注入を行うことから、水硬性がなく、また広範囲に粘度調整が行えるメチルセルローズ系増粘剤（水中コンクリートの粘度調整に使用されている）の水溶液（以下、疑似グラウトという）を用いることにした。疑似グラウトのみかけの粘度をセメント水溶液の粘度と比較した結果を表－ 2に示す。なお、粘度はB型粘度計を用いて測定した。また、疑似グラウトの粘度変化は混合後8時間経過までほとんど認められなかった。

表－ 2 グラウトの粘度の比較

| メチルセルローズ系<br>増粘剤水溶液 |           | セメント水溶液 |           |
|---------------------|-----------|---------|-----------|
| 濃度                  | 粘度(MPa・s) | 配合      | 粘度(MPa・s) |
| 0%                  | 2         | W/C=∞   | 2         |
| 0.3%                | 5         | W/C=4   | 5         |
| 1%                  | 14        | W/C=2   | 13        |
| 2.5%                | 124       | W/C=1   | 165       |

## 3 実験方法

### 3.1 実験ケース

今回行った実験ケースを表－ 1 に示す。亀裂の配置は、表中に示す 3 つの典型的な配置とした。すなわち、モデル 1 は大小 2 種類の亀裂が偏在して分布する岩盤、モデル 2 は大小 2 種類の亀裂が均等に分布する岩盤、モデル 3 は大小 2 種類の亀裂が方向性を持って分布する岩盤である。なお、各モデルとも大小 2 種類の亀裂の分布比率は等しくなっている。

一方、注入する疑似グラウトの濃度は 0.0～2.0% の範囲で変化させ、注入圧力は 0.2～5.0kgf/cm<sup>2</sup> の範囲で変化させた。

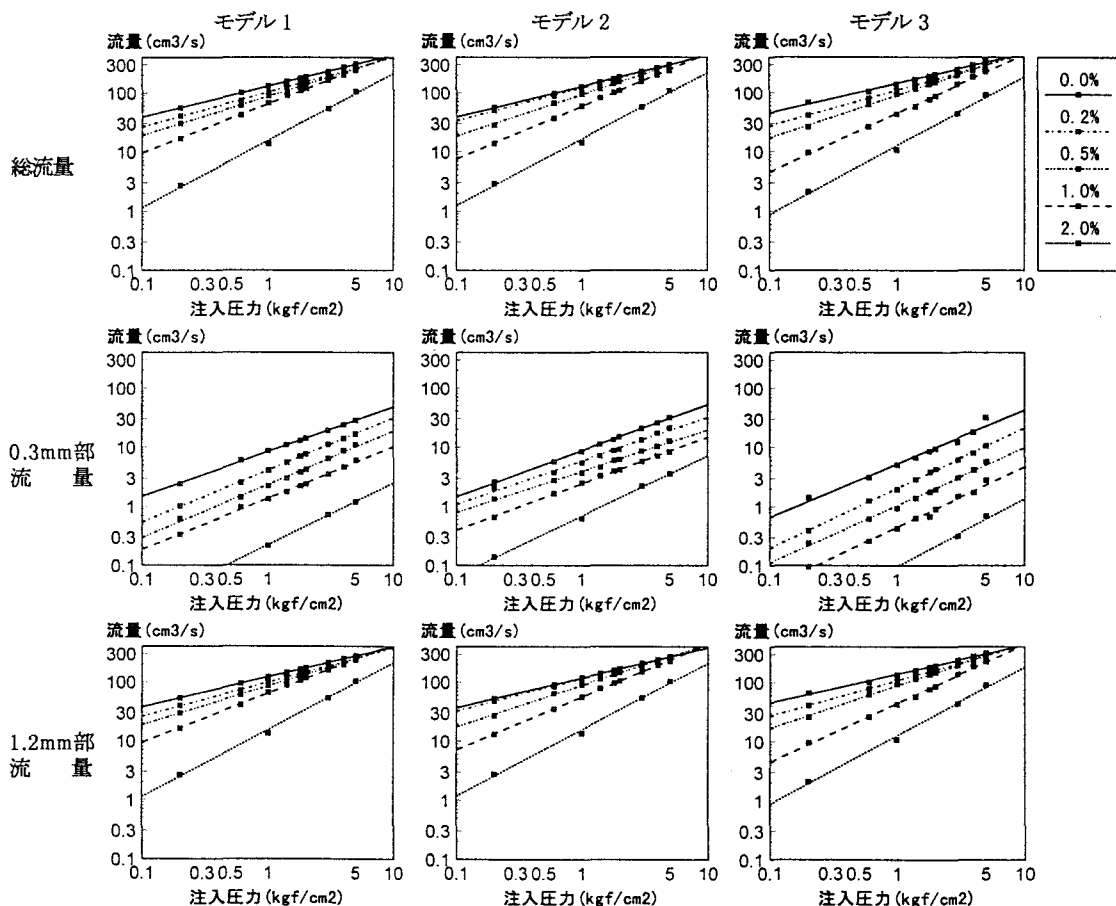
### 3.2 計測方法

疑似グラウトの注入圧力は材料タンクの圧力によって管理した。また、疑似グラウトの（時間あたり）流量は亀裂網模型の外周の各亀裂出口から出てくる疑似グラウトの流出量を測定時間で除して求めた。なお、流量の計測は、疑似グラウトが亀裂網を完全に充填して全ての亀裂出口から疑似グラウトが流出し始めてから開始した。また、実験中の気温、水温の変化はほとんどなかったため、実験時の温度による粘度の補正は特に行わなかった。

## 4 実験結果

### 4.1 疑似グラウトの注入圧力と流量

疑似グラウトの注入圧力と流量の関係を図－ 3 に示す。図によれば、対数表示による疑似グラウトの注入



図－ 3 注入圧力と流量の関係

圧力と流量の関係は高い直線性を示す。その勾配は濃度が高くなるほど大きくなり、より層流に近い流れの状態になっていると考えられる（乱流の場合、流量は注入圧力の 0.5 乗に比例し、層流の場合、流量は注入圧力に比例する）。なお、勾配の変化は 0.3mm の亀裂より 1.2mm の亀裂において顕著であり、層流・乱流の変化は主として 1.2mm の亀裂において生じていると考えられる。

#### 4.2 疑似グラウトの濃度と流量

疑似グラウト濃度と流量の関係を図-4に示す。また、比較のため前年度に実施した亀裂幅を 1.2mm または 0.3mm に統一した亀裂網の実験結果も併せて示す。総流量および亀裂幅 1.2mm の亀裂出口からの流量（以下 1.2mm 部流量という）と濃度の関係は上に凸の曲線を示している。これは、濃度が低い場合、流れが乱流に近くなり、流量の大きさが濃度の変化を受けにくくなっているためと考えられる（したがって、注入圧力が高いほどその傾向が見られる）。これに対し、0.3mm 部流量は下に凸の曲線を示している。これは、低濃度領域で 1.2mm の亀裂にグラウトが相対的に流れにくくなった結果、流量が増加したものと考えられる。

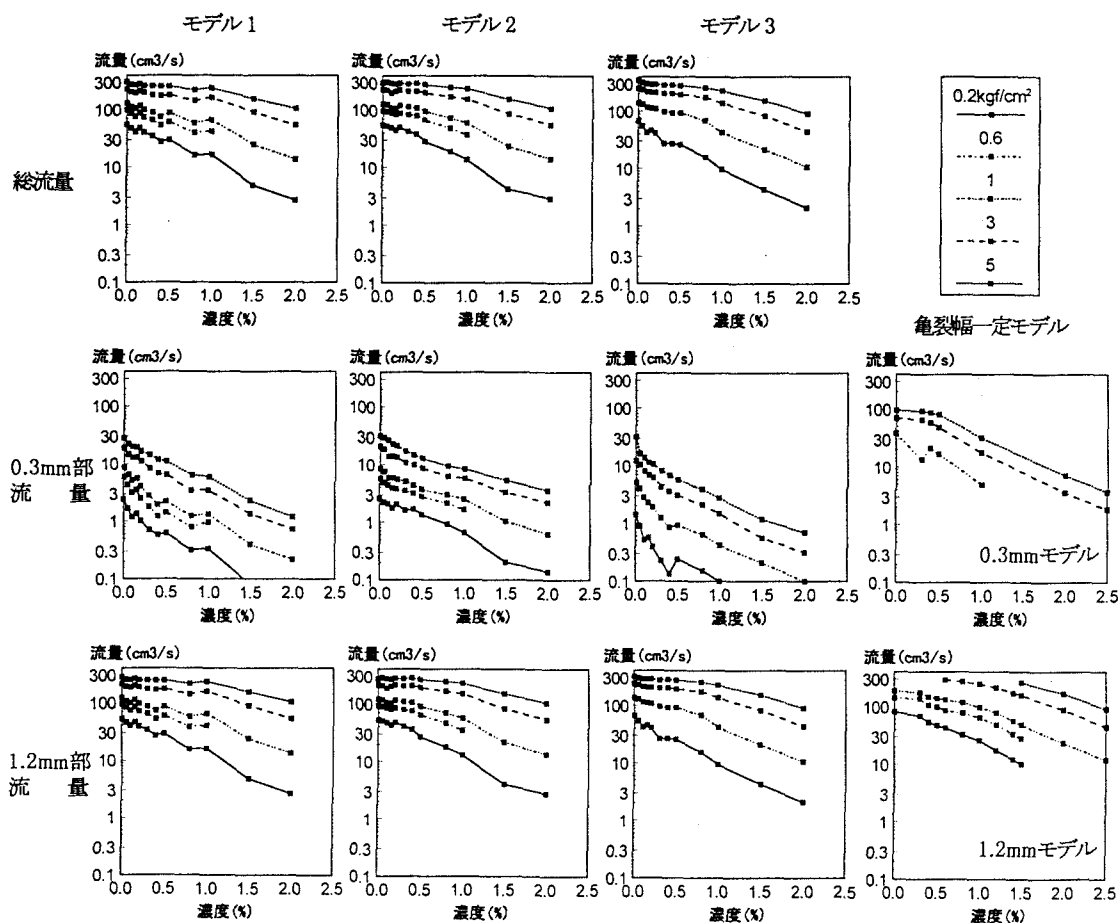
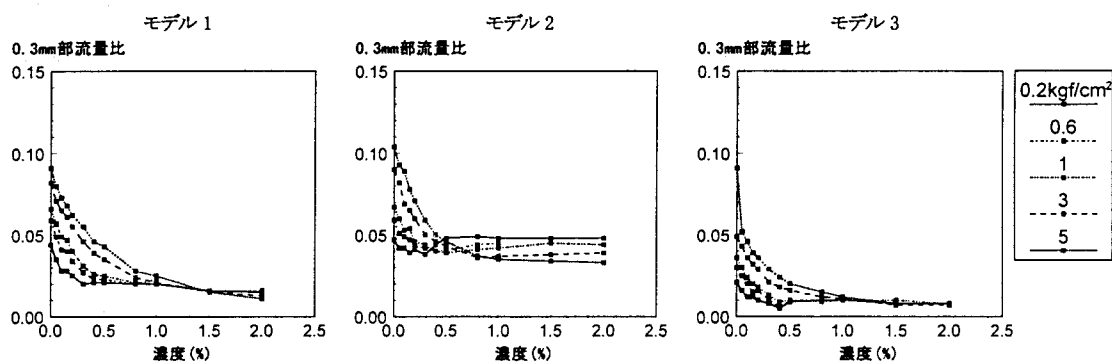


図-4 疑似グラウトの濃度と流量の関係

#### 4.3 疑似グラウトの濃度と 0.3mm 部流量比

次に、疑似グラウトの濃度と、0.3mm 部流量の総流量に対する比率（以下、0.3mm 部流量比という）の関係を図-5に示す。図によると、各モデルとも濃度が低く、注入圧力が高いほど 0.3mm 部流量比は大き

くなる傾向にある。これは、濃度が低く、または注入圧力が高くなって 1.2mm の亀裂における乱流域が広がるほど 0.3mm の亀裂にグラウトが流れやすくなるためと考えられる。一方、濃度が高く、または注入圧力が低くなってグラウトの流れが全体に層流状態に近づくと、1.2mm の亀裂と 0.3mm の亀裂を流れる流量の比率は一定の値に収束している。特に、モデル 1 のように 1.2mm の亀裂の流れと 0.3mm の亀裂の流れが独立と考えられるモデルでは、0.3mm 部流量比は平行板間の層流時の流量の理論解 ( $q = \Delta p b^3 / 24 \mu$ 、ここに  $q$  : 奥行き単位長さ当たりの流量、 $\Delta p$  : 圧力勾配、 $b$  : 亀裂幅、 $\mu$  : 粘度) から定まる比率  $0.3^3 / (0.3^3 + 1.2^3) = 0.015$  とよく一致している。なお、1.2mm の亀裂の流れと 0.3mm の亀裂の流れが独立でないモデル 2、モデル 3 では、その収束値は亀裂分布に応じた値を示すが、図によれば、モデル 2 における 0.3mm 部流量比が最も大きくなっている。これは、0.3mm の亀裂と 1.2mm の亀裂が最も均等に分布しているため、それぞれの流れの独立性が小さいためと考えられる。



図－ 5 疑似グラウト濃度と 0.3mm 部流量比の関係

## 5 まとめ

今回の実験では、大小 2 種類の亀裂を組み合わせ配置した 3 種類の亀裂網模型に疑似グラウトを注入し、グラウトの濃度、注入圧力がグラウトの流動特性に及ぼす影響について比較検討した。今回の実験から明らかになった事項をとりまとめると以下のとおりである。

- ① 亀裂内のグラウトは、その濃度または注入圧力によって、層流または乱流状態で流れる。また、亀裂幅が大きいほど乱流状態で流れやすい。
- ② 層流状態に比べて乱流状態では、グラウトの流量は注入圧力や濃度の影響を相対的に受けにくい。
- ③ したがって、幅の大きな亀裂では乱流状態、幅の小さな亀裂では層流状態となるようにグラウトの濃度、注入圧力を設定（薄いグラウトを高い圧力で注入）すれば、幅の小さな亀裂にも効果的にグラウトを注入できる。

## 参考文献

- 1) 永山 功・新高 庸介・谷口 正基：亀裂性岩盤を用いたグラウトの流動特性試験，第 27 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp266～270，1996.1.