

(63) ダム基礎岩盤のグラウチング特性に関する一考察（亀裂性岩盤を例に）

建設省土木研究所 ○正会員 永 山 功

建設省関東地方建設局 正会員 吉 永 格 文

1. 概 説

ダム基礎岩盤グラウチングは、ダム基礎岩盤の水理的安定性および遮水性の確保を目的とした岩盤の改良工事であるが、岩盤の透水特性およびグラウチング特性がいまだ十分に解明されていないことから、その設計に際しては多くを経験に頼っているといても過言ではない。このようなことから、基礎岩盤グラウチングの合理的な設計法を確立する上で、岩盤の透水特性およびグラウチング特性を解明することが、現在最も重要な研究課題となっている。本稿では、このうち亀裂性岩盤のグラウチング特性について、Aダムサイトのカーテングラウチングの施工実績を下に考察を行うものとする。

Aダムサイトの岩盤は新第三紀の凝灰角礫岩と閃緑岩からなり、その岩質は極めて堅硬であるが、急峻な谷形状と河道に平行に発達した鉛直な断層系から、河道に平行な鉛直に近い割れ目が発達している。このため、基礎岩盤グラウチングは、パイロット孔から三次孔までが鉛直孔、四次孔以降が斜孔として施工されている。また孔間隔はパイロット孔で12mであり、注入方式は中央挿法を用いている。

2. 基礎岩盤の透水特性、グラウチング特性の総合評価

2.1 ルジオン値、単位セメント注入量の分布特性

基礎岩盤内の割れ目の特性は、ルジオン値 $L_u$ と単位セメント注入量 $C$ によって表わされる。前者は割れ目の幅を、後者は割れ目の広がり（休積）を表わす指標と考えることができる。図-1、2はこれらの頻度分布を対数正規確率用紙に描いたものであるが、特にルジオン値において高い直線性が得られている。そこで以下では統計量としてルジオン値および単位セメント注入量の対数値を考えるものとする。

2.2 グ라우チングによるルジオン値の改良過程

図-3は、各注入回数毎のルジオン値と標準偏差の推移を示したものである。図-3において横軸に平行な直線は図-1において平行な直線群を示すことから、これは大小様々な割れ目が均等に改良されていることを意味している。また図-3において左下がりの直線は図-1において放射状の直線群を表わすことから、これは大きな割れ目から選択的に改良が行われていることを意味している。図-3によれば約0.5 $L_u$ を境として、これ以上では均等な改良、これ以下では大きな割れ目の方から選択的な改良が行われていることがわかる。

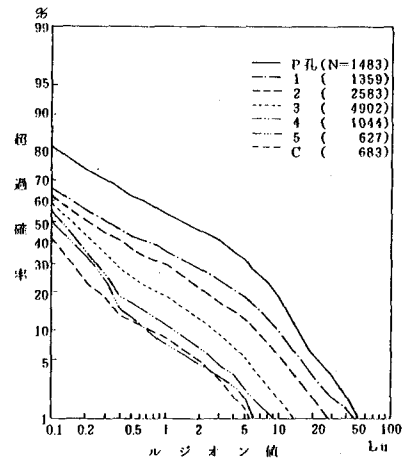


図-1 ルジオン値の頻度分布

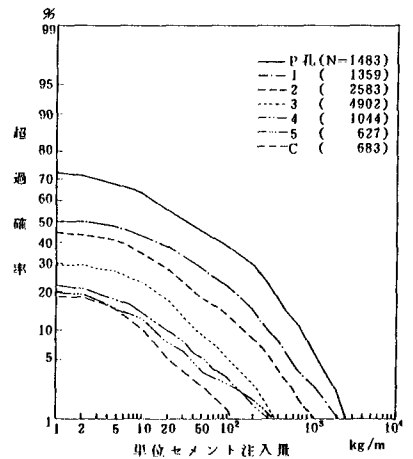


図-2 単位セメント注入量の頻度分布

### 2.3 注入回数毎の単位セメント注入量の変化

図-4 は単位セメント量について同様な検討を行ったものであるが、この場合も約 10 kg/m を境として注入特性に差が生じていることがわかる。

### 2.4 ルジオン値と単位セメント注入量の相関

図-5 は、各注入回数毎のルジオン値と単位セメント注入量の平均値の関係とその推移について示したものである。図によれば、ルジオン値と単位セメント注入量の間には高い直線性が得られ、その回帰式は次式で表わされる。

$$\log C = 1.3 + 1.3 \log Lu \quad (C = 20 Lu^{1.3}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

これより、注入効率  $C/Lu$  はルジオン値の増加とともに増大する傾向にあることがわかる。すなわち、ルジオン値が大きくなるほどグラウトの到達範囲は広がるものと考えられる。

図-5 はルジオン値から単位セメント注入量を回帰したものであるが、基礎岩盤グラウチングを実施するにあたっては、単位セメント注入量から注入後のルジオン値を推定することが重要となる。図-6 は、単位セメント注入量と次の注入回数におけるルジオン値の関係を示したものである。この場合、岩盤内の割れ目の方向等によって改良効果にばらつきが生ずるため、図-5 ほど高い相関性が得られないが、概ね次式で回帰することができる。

$$\log Lu = -0.96 + 0.49 \log C \quad (Lu = 0.11 C^{0.49}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

(1), (2) 式より  $\log C$  を消去すれば、改良過程の漸化式として次式が得られる。

$$\log Lu' = -0.32 + 0.64 \log Lu \quad \dots\dots\dots (3)$$

これより、グラウチングによるルジオン値の改良限界は、平均値で概ね 0.13 Lu と考えられる。また図-3 によれば、この時のルジオン値のばらつきは  $(1/3.5) \times 0.13 \sim 3.5 \times 0.13 Lu$  (68% 確率) と考えられる。

## 3. 注入圧力別にみた基礎岩盤の透水特性、グラウチング特性の評価

### 3.1 単位セメント注入量の頻度分布

単位セメント注入量は注入圧力の関数でもある。そこで注入圧力別に単位セメント注入量の分布を調べた結果、図-2 と同様にその分布は対数正規分布で近似できるといえる。

### 3.2 グ라우チングによるルジオン値の改良過程

図-7 は、注入圧力別にルジオン値の改良過程を示したものである。注入圧力の増加によるルジオン値の改良効果

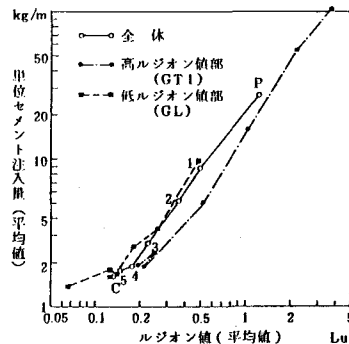


図-5 ルジオン値と単位セメント注入量関係

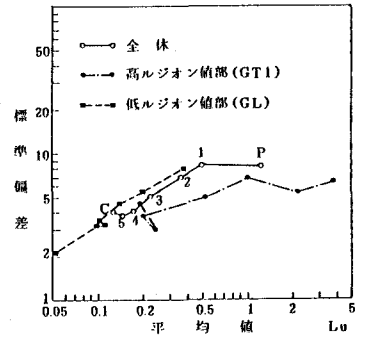


図-3 ルジオン値の改良特性

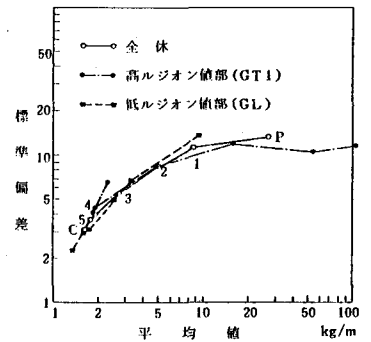


図-4 単位セメント注入量の特長

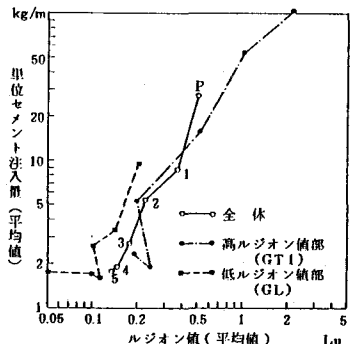


図-6 単位セメント注入量と注入後のルジオン値の関係

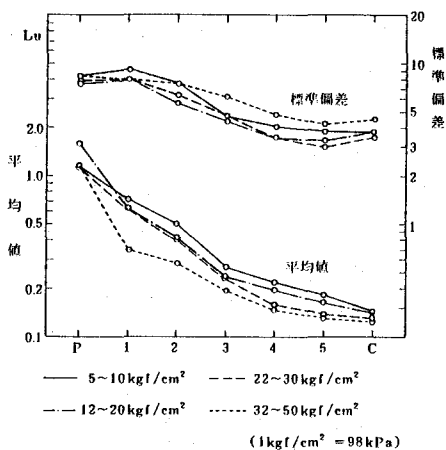


図-7 注入圧力別にみた各注入回数毎のルジオン値の推移

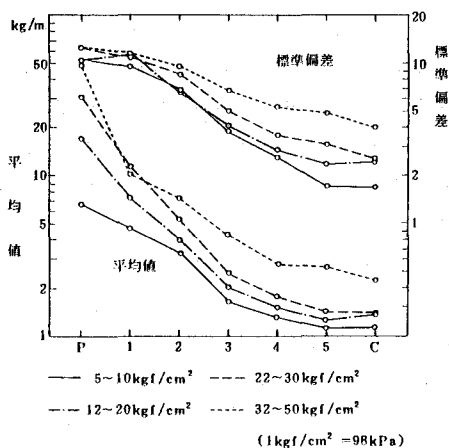


図-9 注入圧力別にみた各注入回数毎の単位セメント注入量の推移

の差は、注入圧力が 32~50 kgf/cm<sup>2</sup> (3136~4900 kPa) の場合を除くと、比較的小さいと考えられる。また、図-8 に示した各注入回数毎のルジオン値の平均値と標準偏差の推移をみても、32~50 kgf/cm<sup>2</sup> (3136~4900 kPa) の場合を除くと、注入圧力の差による改良特性の差はほとんどみられないようである。

### 3.3 回数毎の単位セメント注入量の変化

図-9 は、注入圧力別に各注入回数毎の単位セメント注入量の変化を示したものである。図-7 におけるルジオン値の差が小さかったことを考慮すれば、注入圧力が増加するほど単位セメント注入量は増加することがわかる。図-8 において注入圧力の差によってルジオン値の改良特性にほとんど差が見られないことから、注入圧力の差による単位セメント注入量の差は、グラウトによって充填される割れ目の選択によるのではなく、グラウトの到達範囲に関係しているものと考えられる。また図-10 は各注入回数毎の単位セメント注入量の平均値と標準偏差の推移を示したものであるが、この場合、全ての注入圧力に対してその経路はほぼ同一になっている。

### 3.4 ルジオン値と単位セメント注入量の相関

図-11 は、注入圧力別に各注入回数毎のルジオン値と単位セメント注入量の平均値の関係とその推移について示したものである。図によれば、ルジオン値と単位セメント注入量の間には高い直線性があることがわかる。また、注入圧力が増加するほど単位セメント注入量も増加することがわかる。またこの傾向はルジオン値が大きいほど顕著になっているようである。

図-12 は、単位セメント注入量と次の注入回数におけるルジオン値の関係を示したものである。図-11 と図-12 の回帰式よりルジオン値の改良過程を求めると、各注入圧力に対して次の漸化式が得られる。

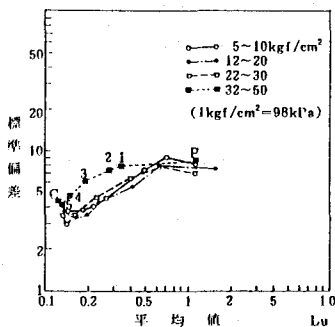


図-8 注入圧力別にみたルジオン値の改良特性

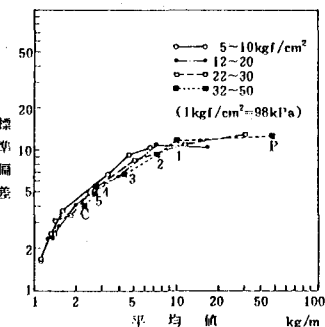


図-10 注入圧力別にみた単位セメント注入量の変化

- ①  $P = 5 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$  (490 ~ 980 kPa) に対して

$$\log Lu' = -0.23 + 0.80 \log Lu$$

- ②  $P = 12 \sim 20 \text{ kgf/cm}^2$  (1176 ~ 1960 kPa) に対して

$$\log Lu' = -0.31 + 0.64 \log Lu$$

- ③  $P = 22 \sim 30 \text{ kgf/cm}^2$  (2156 ~ 2940 kPa) に対して

$$\log Lu' = -0.26 + 0.76 \log Lu$$

- ④  $P = 32 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$  (3136 ~ 4900 kPa) に対して

$$\log Lu' = -0.45 + 0.50 \log Lu$$

また、図-13は④式によるルジオン値の改良過程の計算値と実際のルジオン値の改良過程を比較したものであるが、両者は比較的よい一致を示している。また④式より推定したルジオン値の改良限界は、平均値で0.08~0.13Lu程度であり、注入圧力によって大きな影響を受けないようである。

次に、ルジオン値の改良過程に与えるグラウトの注入圧力の効果は、④式の右辺の $\log Lu$ の係数、すなわち図-13のグラフの傾きで表わされるが、注入圧力32~50 kgf/cm<sup>2</sup> (3136~4900 kPa) の場合を除いて大きな差は見られず、その効果は比較的小さいと考えられる。

#### 4. 結 論

本結果はAダムサイトの特性を示したものであり、これが普遍的な特性であるかは今後の検討に委ねられるが、結論をまとめれば次のとおりである。

- ① ルジオン値、単位セメント注入量は対数正規分布を示す。  
② ルジオン値が大きい場合、グラウトは大小割れ目に均等に注入されるが、ルジオン値が小さい場

合には大きな割れ目に選択的に注入される。

- ③ 平均値で評価した場合、ルジオン値と単位セメント注入量の対数値の間には高い直線性がある。

- ④ ルジオン値の改良過程は単位セメント注入量から比較的精度よく推定できる。またルジオン値の改良過程は対数値で表わした場合、等比級数で示される。

- ⑤ 注入圧力を高めることによる改良効果は単位セメント注入量の増加に比べて小さい。

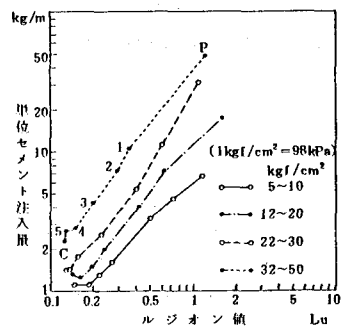


図-11 注入圧力別にみたルジオン値と単位セメント注入量の関係

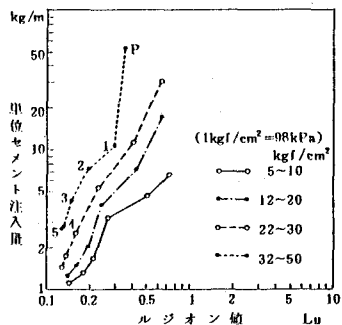


図-12 注入圧力別にみた単位セメント注入量と注入後のルジオン値の関係

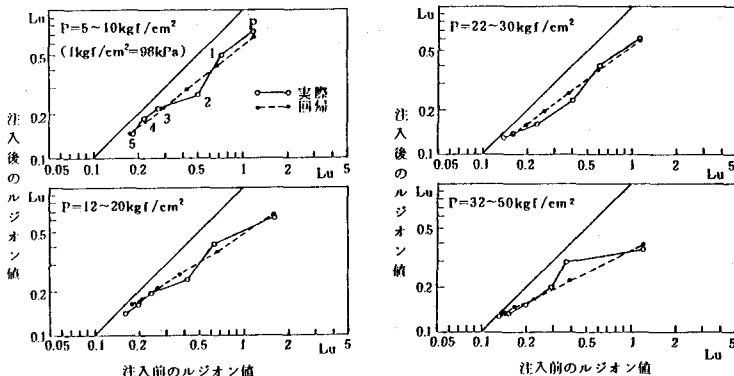


図-13 グラウト注入圧力によるルジオン値の改良効果

(63) Considerations on Characteristics of Grouting for Foundation Rock of the Dam

Ministry of Construction Isao Nagayama

Tadabumi Yoshinaga

Foundation grouting is one of the treatments to improve impermeability of foundation rock of the dam and its stability for piping. Nevertheless many laws which rule the seepage in foundation rock are still unknown and design of foundation grouting depends on experiences. Therefore it is important to understand characteristics of grouting for foundation rock, in order to design foundation grouting properly.

This paper explains characteristics of grouting for foundation rock with cracks based on foundation grouting of the certain dam site. The conclusions of study are as follows :

- 1) Lugeon value (rate of water injection under pressure of 1000 kPa) and amount of grout injection per meter of a grout hole are subject to logarithmic normal distribution.
- 2) Grout is injected into all the cracks uniformly in case that Lugeon value is large. Grout is injected into larger cracks selectively in case that Lugeon value is small.
- 3) There is high linear relation between logarithmic average of Lugeon value and logarithmic average of amount of grout injection per meter of a grout hole.
- 4) The process of improvement of impermeability of foundation rock by grouting is able to be estimated by the amount of grout injection. The process of improvement of impermeability by Lugeon value is subject to the following equation.

$$(\log Lu)_{\text{new}} = -A + B \times (\log Lu)_{\text{old}}$$

- 5) High pressure of grout injection has a little effect on improvement of impermeability compared with amount of grout injection.