

セメントモルタルの亀裂性岩盤への動的注入に関する基礎実験

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
 東京電力（株） 正会員 山本浩志
 株式会社 鴻池組 ○正会員 和田卓也
 株式会社 鴻池組 正会員 平 治

1. はじめに.

我が国の国土は狭く、既に多くのダムを良質の岩盤上に完成させていることもあり、亀裂が発達した高透水なサイトにもダムを建設しなければならない。亀裂が発達した高透水ゾーン（亀裂開口幅0.1～数 μ m）の場合、通常のセメントミルクでグラウチングするには、注入量や注入時間が膨大となり工事費や施工工程からも合理的とはいえない。そのため、セメントミルクに先立ってモルタルを注入し開口亀裂の粗詰めを行い、その後セメントミルクにより改良するモルタルグラウチングを実施した例が報告されている¹⁾。また、STR-IPA Project²⁾や平ら³⁾は、ベントナイトスラリー等のグラウトに脈動を与えた動的注入が効果的であると報告している。そこで、本研究では、動的注入の技術をモルタルに適応し、改良範囲を広げることが可能であるかどうかを検討した。

2. 使用したモルタルの物性.

実験は、普通ポルトランドセメントに豊浦標準砂と川砂を練り混ぜた2種類のモルタルで行った。図-1に試料の粒径加積曲線を示す。モルタルの配合は、セメント：砂=1：1、水セメント比を0.5で注入を行った。試料温度は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に管理した。

3. 加振下におけるモルタルの攪拌抵抗実験.

(1) 攪拌抵抗実験装置と実験方法

モルタルの動的効果の有無を確認するため、大橋ら⁴⁾が開発した加振下でのモルタルの攪拌抵抗実験を行った。モルタルの加振下での特性を把握するために従来の回転粘度計のカップの外側を円周方向（流動方向）に加振する特殊な実験を行った。

実験は、攪拌翼（平板パドル型、径35mm、厚さ2mm、高さ20mm）を用いて、無加振状態と加振下での攪拌抵抗を周波数、攪拌翼の回転数毎に計測した。図-2にモルタル攪拌抵抗実験装置を示す。測定時、モルタルには同じせん断履歴を与え、どの回転数に対しても測定時間を30秒とすることによって、測定値の再現性を高めた。測定値には3回以上の試験の平均値を採用した。

(2) 攪拌抵抗実験結果

モルタル（豊浦標準砂）の角速度と攪拌トルクの関係の各周波数毎の計測結果を図-3に示す。5Hzの周波数をモルタルに加えても無加振状態(0Hz)とほぼ同じ結果が得られた。しかし10Hz以上の周波数を加えたモルタルでは、低速領域で顕著な動的効果が確認された。また、高速時においては無加振状態とほぼ同じ値が計測され、動的効果が表れていないことがわかった。

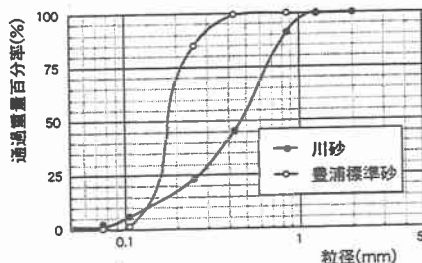


図-1 試料の粒径加積曲線

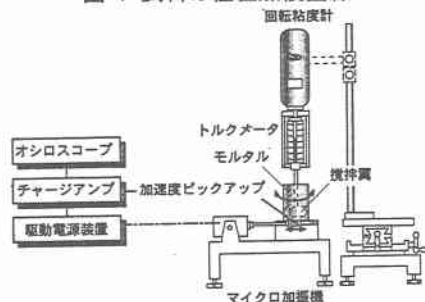


図-2 モルタル攪拌抵抗実験装置

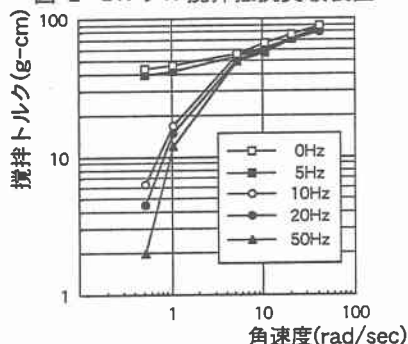


図-3 角速度と攪拌トルクの関係

4. 長尺亀裂モデルを用いたモルタル動的注入実験.

(1) 注入装置と実験方法

注入供試体は、2枚のスチールプレート間に銅板のスペーサを挟み込み、流路長2.9m流路幅4.0cmの人工亀裂を設定した。所定の圧力でモルタルを注入し、モルタルの注入流量と亀裂内の圧力を測定する。注入は、油圧サーボ制御式注入ポンプを用い、注入圧及び動的条件（振幅、周波数）を一定に保持する圧力制御方式とする。静的注入では、注入供試体へ注入圧力(P_0)を確認しながら手動で調整する。動的注入時には、 P_0 の圧力波形を動ひずみ計を通してオシロスコープに表示し、動的条件（周波数、振幅）を確認して調整する。亀裂開口幅は、豊浦標準砂で1.5mm、川砂で2.5mmで注入を行った。モルタル動的注入実験装置全体図を図-4に示す。実験は、静的注入と周波数 5、10、20 Hzの4種類を静的注入で0.2MPa(2kgf/cm²)、動的注入で0~0.2MPa(1±1kgf/cm²)の注入圧力で注入を行った。攪拌抵抗実験で低速時に動的効果が認められたので、注入圧力は低く設定した。

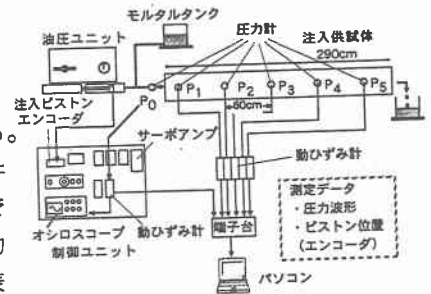


図-4 モルタル動的実験装置

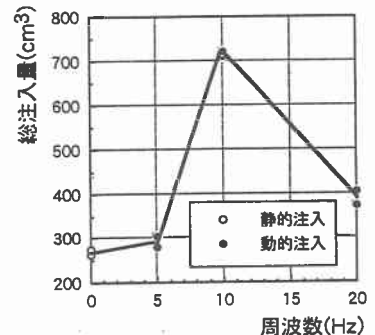


図-5 各周波数での総注入量

(2) モルタル動的注入実験結果

豊浦標準砂のモルタルの周波数と浸潤が停止するまでの総注入量の関係を図-5に示す。図-5より、10Hzで明瞭なピーク値が認められる。静的注入と周波数5Hzを与えた動的注入ではほぼ同じ結果であるが、10Hz以上の周波数では動的の効果がみられた。

また、静的で注入し、浸潤が停止した時点で動的注入（周波数：10Hz）に変化させると更に注入が可能であった。図-6に静的注入から、動的注入に変化させた時の注入流量の経時の変化を示す。図-6より、静的注入で浸潤が停止した後に、動的注入に変化すると、再び注入が可能となっていることがわかる。

注入実験より、モルタルは高粘性であるため、従来の静的注入では困難であったが、今回の注入実験により動的に注入することで広範囲への注入が可能となる事が確認された。尚、以上の実験結果は、全てのケースに対して2~3回実験を行い、その平均値を表している。

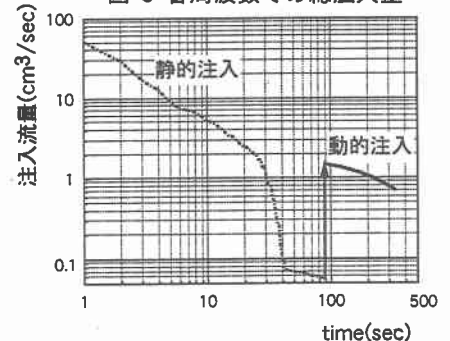


図-6 注入流量の経時の変化

5. おわりに.

本研究では、動的注入の技術をモルタルに適用し、改良範囲を広げることが可能であるかどうかを検討し、動的効果とセメントモルタル動的注入の最適条件を明らかにした。以下に、本研究より得た結論を列挙する。

- (1) 10Hz以上の脈動下ではモルタルの粘性は低下し、流動性が改良される。脈動の効果は特に低速域で表れ、高速時には、脈動の影響はほぼ無いと思われる。
- (2) モルタルを最も広範囲に注入することのできる周波数は10Hzである。
- (3) 静的注入で浸潤が停止した後、注入途中に動的注入に変化させると更なる注入が可能である。

参考文献.

- 1) 丈達俊夫：浦山ダムの技術課題について，ダム工学，Vol.7, No.3, pp.140~151, 1997.
- 2) Borgesson, L., et al.: Final Report of the Rock Sealing Project-vol.1, stripa project, Technical Report, SKB, Stockholm, 1991.
- 3) 平治他：長尺模擬岩盤亀裂への動的注入試験，土木学会第51回年次講演会概要集，pp.640~641, 1996.
- 4) 大橋昭他：加振下によるグラウト材の粘度試験，土木学会第51回年次講演会概要集，pp.638~639, 1996.