

エタノール／ベントナイトスラリーの岩盤注入特性

清水建設 正会員 ○浅田 素之、中島 均
石井 卓、堀内 澄夫

1. 目的

亀裂性岩盤の遮水性改善に、ベントナイト系スラリーの注入が検討されている¹⁾。水を用いてスラリー化したベントナイトは高い粘性となるため、注入範囲、注入粉体量が限定される。エタノールを用いることでベントナイトスラリーの粘性を小さくでき²⁾、注入範囲、注入粉体量を大幅に改善できる。しかし、エタノールベントナイトスラリーを実際の岩盤に注入した例はなく、注入特性は不明であった。

そこで、エタノール／ベントナイトスラリー(BES)とセメントミルク(CM)との岩盤注入特性を比較・検討するため、現場注入試験を実施した。注入量の経時変化について、グラウト材の目詰まりによるモデルを導入して検討した結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 使用材料

ベントナイトはクニミネ工業社製クニゲル V1(国内産 Na ベントナイト、50%粒径 $10\mu\text{m}$)、セメントは宇部三菱セメント社製高炉 B 種(50%粒径 $20\mu\text{m}$)を使用した。エタノールは、変性剤として硫酸アンモニウム 0.8wt%、亜硫酸ナトリウム 0.2wt%を混合した 58wt%水溶液を用いた。

2.2 試験方法

試験場所は、花崗岩を主岩とする地盤とした。注入前に計測した各孔のルジオン値は $0.04\sim 4.73\text{Lu}$ であった。フィルダムにおけるカーテングラウチングの改良目標ルジオン値は $2\sim 5\text{Lu}$ であり、試験地盤はグラウト注入の難しい岩盤といえる。

BES、CM それぞれの材料を、1.5m ずつ離して配置した 6 本の孔(GL-6~8.5m 部分)に注入し、両材料の施工性、遮水性改善効果の比較を行った。図 1 に試験岩盤の断面図と試験孔の配置図を示す。

注入装置は、一般的なダム基礎部のカーテングラウチングに用いられている、流量と圧力を両方制御できる孔口循環システムを用いた。最大注入圧力、注入速度をそれぞれ 300kN/m^2 、 20L/min とし、グラウト材の液固比を $L/S=10$ から段階的に減少させた。 300kN/m^2 の注入圧力により 0.5L/min 以下の注入量が 30 分間続いたところで終了とした。GL0~-6m 部分はカバーロック部と称し、事前に CM を注入しておき、注入区間上部でのグラウト材漏洩を防止した。約 40 日後、注入孔群の中央に設けた試験孔でルジオン試験を実施した。

現場試験に先立ち、BES の流動特性について、二重円筒型回転粘度計を用いて測定した。比較のため、CM と水／ベントナイトスラリー(WBS)についても測定した。

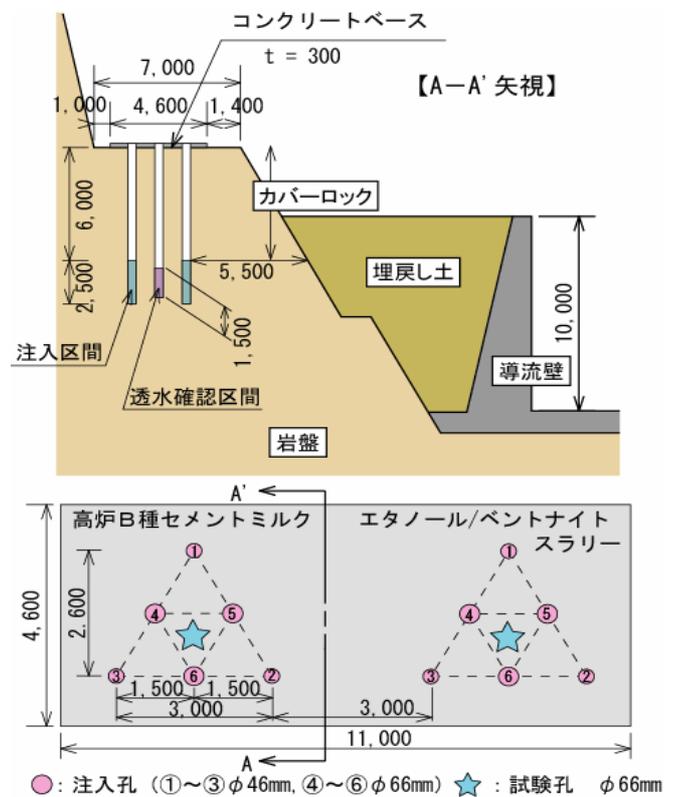


図 1 試験岩盤の断面図と試験孔の配置

キーワード ベントナイト、エタノール、注入、遮水、岩盤

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設技術研究所 TEL 03-3820-5437

3. 試験結果および考察

平行平板亀裂モデルにおける理論透水係数は次式で表される³⁾。

$$k = \frac{\rho g b^2}{12\mu} \quad (1)$$

ここで k :透水係数、 ρ :密度、 g :重力加速度、 b :亀裂幅、 μ :粘度

(1)式より、同じ開口亀裂幅の岩盤亀裂を対象とすれば、注入時間はグラウト材の粘性に比例する。各グラウト材の粘度と液固比との関係を図2に示す。BESの粘度は、CMとほぼ同等の低い粘性を示し、理論的には同等の注入時間で施工できる。一方、BESは、WBSと比べて同じL/Sで1~2桁粘度が低く、理論的には同じグラウチング効果を得るのに1~2桁時間を短縮できるため、エタノールの使用により、ベントナイトスラリーの施工性を大幅に改善可能である。

注入に関して、カーテングラウチングに用いられている一般的な注入装置を用いて問題なく施工することができた。ルジオン値あたりの単位注入粉体量に関して、BESは5.85kg/m/Luと、CM(2.53kg/m/Lu)の2倍以上注入でき、CMより岩盤に注入しやすい傾向が確認できた。注入に要した時間を比べると、CMで平均135分に対して、BESで平均202分であった。

図3にCMのNo.6孔およびBESのNo.4孔での注入量の経時変化を示す。CMはL/S=10、BESはL/S=8とした。注入流量は目詰まりにより経時的に減少しており、この現象に対して懸濁物質の目詰まりによる表面ろ層形成モデルを導入する⁴⁾。

$$\frac{q}{q_0} = \frac{1}{K \sqrt{\frac{1}{K^2} + \frac{2t}{K}}} \quad (2)$$

ここで、 q :注入量、 q_0 : $t=0$ における注入量、 K :閉塞係数

注入初期(0~100分)では、BES、CMとも(2)式で表現できる。閉塞係数はBESで $K=86(1/d)$ 、CMで $K=43(1/d)$ 程度となり、BESはCMに比べて閉塞しやすい傾向がみられた。一方、100分経過後にCMは(2)式との乖離が大きくなる。これは、セメントが固化し始め、目詰まりが促進されるためと考えられる。BESは注入時間が100分を超えても(2)式と整合しており、最終的にはCMより多くの粉体量を注入できた。注入40日後の試験孔でのルジオン値は、CMで0.26Lu、BESで0.26Lu未満となり、遮水性改善効果はBESの方が優れていた。

4. おわりに

エタノール/ベントナイトスラリーは、カーテングラウチングに用いられている一般的な注入装置を用いて問題なく施工できた。グラウト材の注入特性は懸濁物質の表面ろ層形成モデルで表現でき、エタノール/ベントナイトスラリーは固化しないため、セメントミルクを用いる場合に比べてより多くの粉体量を注入できた。

参考文献 1)Pusch, R.: "Waste disposal in rock." Elsevier Science, 1994.

2)浅田他: 清水建設研究報告 74, pp21-32, 2001.

3)西垣他: 土木学会論文集 No.715/III-60, pp311-321, 2002.

4)佐藤他: 土と基礎 36-4(363), 1988.

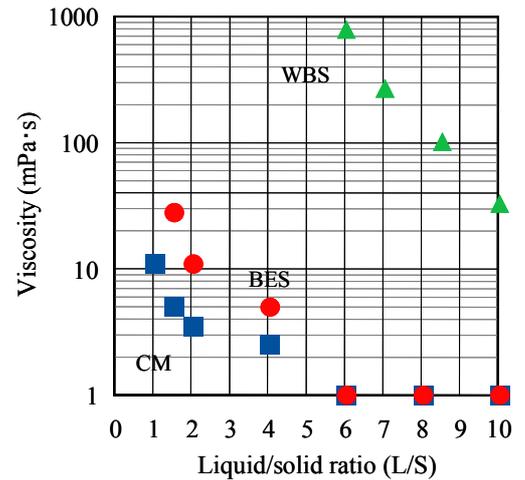


図2 各グラウト材のL/Sと粘性の関係

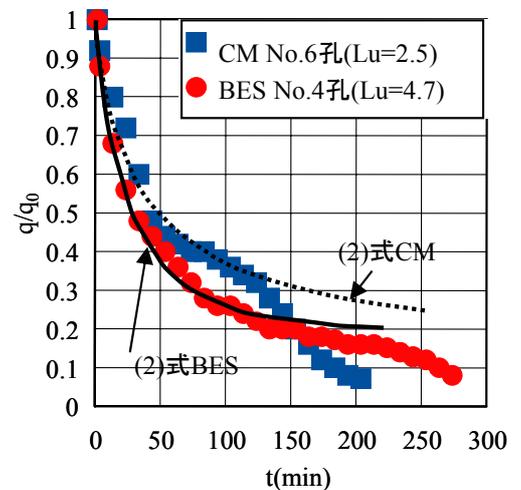


図3 無次元注入量の経時変化