

小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験（４）

—事後調査における室内試験結果—

(株)安藤・間 正会員 ○川久保 昌平
 (株)安藤・間 正会員 千々松 正和
 (国研) 日本原子力研究開発機構 正会員 松井 裕哉
 (国研) 日本原子力研究開発機構 正会員 尾崎 裕介

1. 背景・目的

日本原子力研究開発機構は、瑞浪超深地層研究所における全断面吹付け工法による施工試験の事後調査として、その(3)で報告した施工から1年経過後に埋め戻されたベントナイト混合土のサンプリング及び室内試験を行い、埋め戻し材としての品質を検証した。本報告は、その(3)で示した密度、含水比、細粒分含有率測定及び透水試験等の結果と、それに関する考察をまとめたものである。

2. 室内試験の概要

埋め戻し材は、表-1に示す物理的特性を有するベントナイト、砂を15%、85%の比率で配合された混合土である。この混合土は施工時の試験²⁾によると、含水比 $w = 14 \pm 2\%$ のとき品質及び施工性が最も優れるとされた。細粒分含有率 F_c は、15%のときに最大乾燥密度が得られた。なお、今回使用の砂には細粒分がほとんどないため、 F_c はベントナイト混合率とほぼ等しくなる。透水係数は $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 以下となるよう NUMO が示す母岩（深成岩）の透水係数と有効粘土密度との関係³⁾から、有効粘土密度が $\rho_e > 0.40 \text{Mg/m}^3$ となることが目標とされた。表-2はこれらを目標値としてまとめたものである。室内試験は、文献¹⁾に示す項目と数量で行った。密度・含水比測定は施工時の品質管理手法の検証データ取得のために、細粒分含有率測定はベントナイトの含有量を把握するために行った。透水試験は一般的な土質材料とは異なり低い透水性が想定されたため、低透水材料を対象とする試験方法に従った。メチレンブルー吸着量(MBC)試験は、ベントナイト混合率の簡易測定として実施した。試料は文献¹⁾に示すサンプリング孔(No.1~4)から採取したものである。

3. 室内試験結果

(1) 乾燥密度・含水比 全192試料に対する $w - \rho_d$ 関係を図1に示す。 w は試料の71% (137/192) が $14 \pm 2\%$ にあり、 ρ_d は各エネルギー(図中Ec)における最適含水比を中心に分布していることが確認された。

(2) 細粒分含有率 全192試料の F_c の度数分布を図2に示す。 F_c は試料の96% (185/192) が15%以上であることが確認された。

(3) 透水試験(試験法は文献1)を参照) 本研究での16試料の透水試験結果を既往データ⁴⁾とともに図3に●で示す。透水係数は $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を十分満足し、最大の $1.63 \times 10^{-10} \text{m/s}$ を除けば $1.0 \times 10^{-11} \text{m/s}$ オーダーであった。

表-1 使用材料の物理的特性²⁾

| 種類 | 混合比 (%) | 含水比 (%) | 土粒子密度 (Mg/m ³) |
|--------|---------|---------|----------------------------|
| ベントナイト | 15 | 8.7 | 2.759 |
| 砂 | 85 | 7.4 | 2.674 |
| 混合土全体 | 100 | 7.6 | 2.688 |

表-2 施工時設定目標値²⁾

| 項目 | 目標値 |
|----------|---------------------------------|
| 含水比 w | 12~16% |
| F_c | $\geq 15\%$ |
| ρ_e | $>0.40 \text{Mg/m}^3$ |
| 透水係数 | $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ |

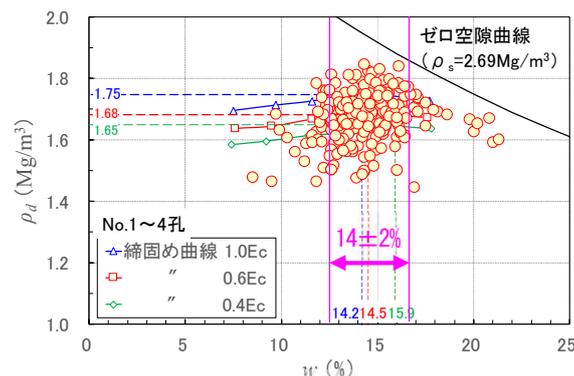


図1 含水比 w - 乾燥密度 ρ_d 関係

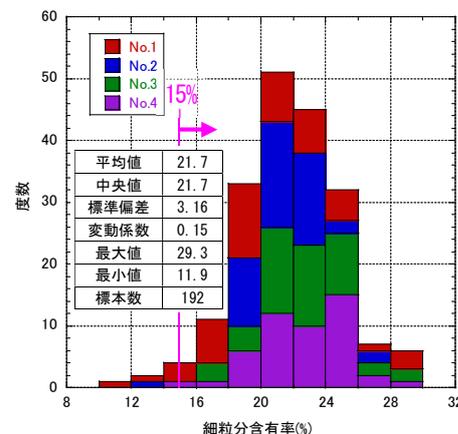


図2 細粒分含有率 F_c の度数分布

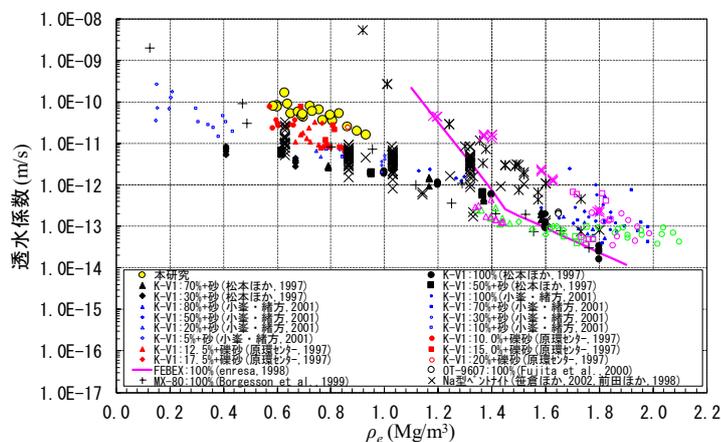


図3 透水試験結果⁴⁾カチ

(4) メチレンブルー吸着量 (MBC) 試験

ベントナイト 100g 当たりのメチレンブルー吸着量 Q_s は次式で求める。

$$Q_s = v_{MB}/m_{dry}$$

ここに、 v_{MB} : ハロー幅 1.5mm のときの 0.01mol/L メチレンブルー溶液の合計添加量 (mL), m_{dry} : 乾燥試料の質量 (g) である。図 4 に No.1 孔を代表として、MBC 試験による F_c の推定分布を細粒分含有率測定結果とともに示す。MBC 試験結果は細粒分含有率測定結果の下限付近にプロットされ、この傾向は他孔でも同様であった。

4. 室内試験結果の考察

(1) 施工時品質の維持

F_c は施工時目標をほぼ満足し、 w も概ね満足していた。なお、 w でばらつき大きいデータのサンプリング箇所は切羽観察記録での湧水箇所とは離れており、直接湧水の影響が及んでいる可能性は低いと判断された。

(2) 採取位置による物性値のばらつき

埋め戻し材は 8 つのセクションに分割して施工された。図 5、図 6 は土留め壁を左端とし縦断面上に試料採取位置を示したものである。 w 及び F_c は設定目標範囲内か否を色分けしており、これらが目標範囲外 (●) となるのは概ね以下の箇所であった。

- ① 土留め壁に近い Sec.7,8 の下半部
 - ② 上下のセクション境界に近い Sec.2,3 上部
 - ③ 各セクション前後の境界付近
 - ④ 水平方向に施工範囲が大きい Sec.2,4 の中間部
- ①は狭隘部での施工の難しさ、②は乾燥による含水比の低下、③、④はリバウンドによる材料分離や連続的施工中での品質変化が考えられる。

(3) 含水比—細粒分含有率の関係

図 7 に w と F_c の関係を示すが、両者には比較的良好な相関が認められることから、品質管理上はいずれかを指標とすればよいと考えられる。また、上記③、④でのリバウンドによる材料分離の結果、相対的な砂分の減少と細粒分 (ベントナイト) の増加に伴い w, F_c が大きくなるものと推定される。

5. まとめ

施工後 1 年経過時点では透水性の要求性能は十分満足されており、施工時の設定目標値及び施工方法は妥当なものであったといえる。また、 w, F_c は相関があることから、品質管理においてはいずれかを指標とすればよい。MBC 試験は補正係数を導入することでベントナイト混合率を適切に評価することが可能と考える。 w, F_c 等の長期的な変化は数値シミュレーションによる検討が必要となるため、その試行的な検討を含めた埋め戻し材の品質管理上の留意点について、その (5) で述べる。

参考文献

- 1) 松井裕哉, 尾崎裕介他: 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験 (3), 土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, 2021.
- 2) 矢萩良二, 石塚光他: 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験 (1), 土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, VII-164, 2019.
- 3) NUMO: https://www.numo.or.jp/topics/safetycase_setsumei4.pdf, 2016.(参照: 2019 年 2 月 1 日)
- 4) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構, TRU 廃棄物処分技術検討書, pp.3-14, 2005

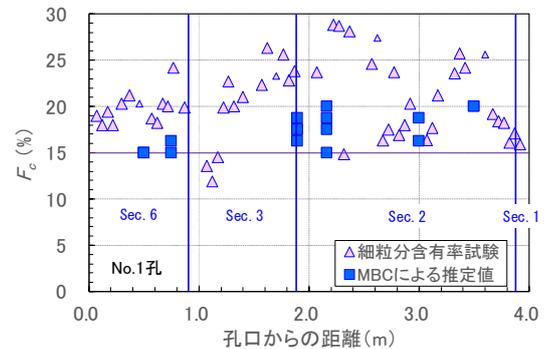


図 4 メチレンブルー・細粒分含有率測定結果

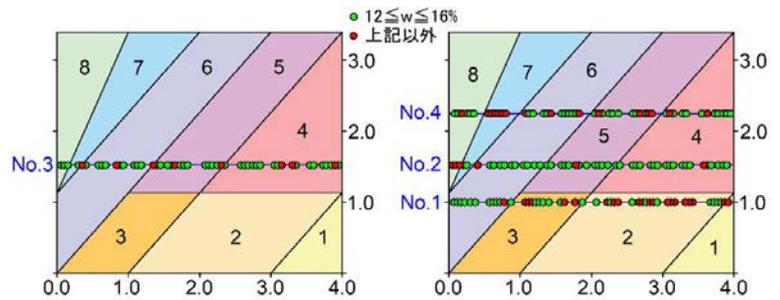


図 5 試料の採取位置と含水比 w

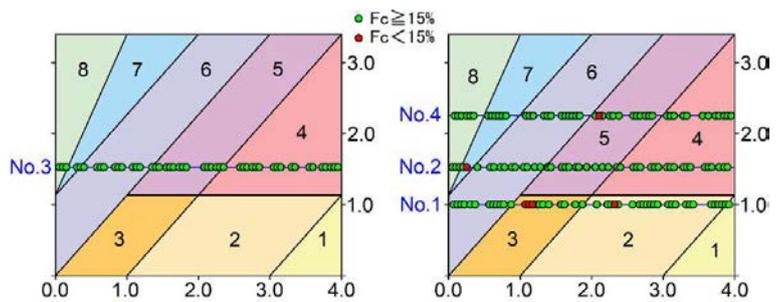


図 6 試料の採取位置と細粒分含有率 F_c

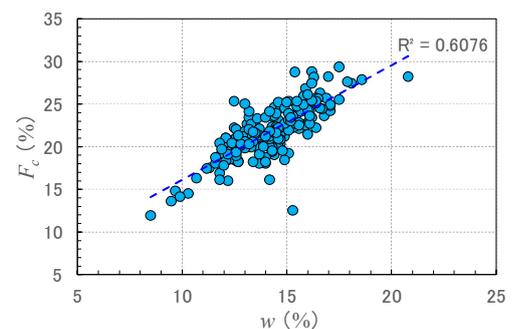


図 7 含水比 w —細粒分含有率 F_c の関係