

石炭灰と礫質土を用いた改良土の長期強度について

中国電力株式会社 正会員 小田 康博

日本国土・戸田建設共同企業体 田中 克哉

日本国土開発株式会社 正会員 ○田代 晃一

1. 概要

島根原子力発電所進入道路のうち一矢・輪谷トンネル間の谷間部は、過去の豪雨時に地山法面が崩壊した経緯があり、自然災害の影響を受けないように新設の接続トンネル工事を実施した(2003 年 2 月竣工).

接続工法には、将来盛土(盛土高約 50m)も考慮してカルバート構築式トンネル工法を採用したが、トンネル本体材料として「リサイクル」と「長期強度安定」等の観点から、既設土捨場の礫質土にジオシード（セメント・石炭灰の混合体）を混合した改良土を採用した. 図－1 にトンネル標準断面図を示す.

本稿では、石炭灰混合による改良土の長期強度について報告する.

2. 改良土の製造・施工について

(1)改良土の仕様

- ・設計基準強度(一軸圧縮強度：91 日強度)は 2 次元 F E M弾性解析結果に基づき 4.0N/mm²とした¹⁾.
- ・配合及び施工方法は、工事に先立ち実施した試験工事結果から表－1 の通り決定した²⁾.

(2)改良土製造プラント

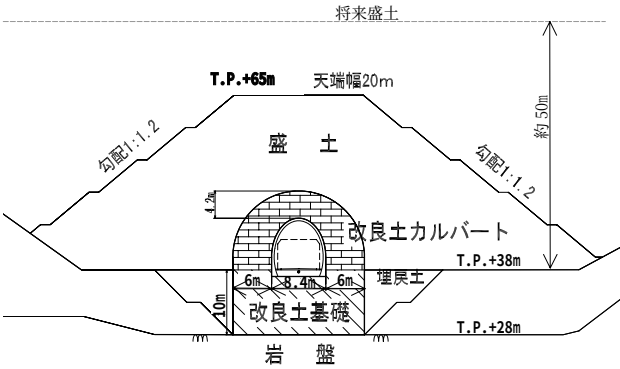
原料土では、礫の形状・割合とも大きく強度発現が期待できないので、自走式破碎機による 1 次破碎 (100 mm以下) 後、回転式破碎混合工法 (ツイスター工法) により 2 次破碎 (50 mm以下) したものを使用した. なお、回転式破碎混合工法とは、円筒内で高速回転する複数のチェーンの打撃力で材料の細粒化と添加材(ジオシード)との均質な混合を同時に行う工法である. 写真－1 に回転式破碎混合機のプラント全景を示す.

(3)改良土盛土

製造された改良土は 27 t ダンプに積み込んで盛立箇所に運搬し、ブルドーザ(D6 級)で敷き均した後、振動ローラで転圧した. 改良土の総製造量は約 2 万 m³, 施工期間は 2001 年 10 月～2002 年 3 月の約 5 ヶ月であった.

3. 長期強度について

当工事の施工管理基準に基づき、一軸圧縮試験(91 日強度)を行ったが、長期強度発現を確認するため一軸圧縮試験(365 日強度)についても実施した.



図－1 トンネル標準断面図

表－1 改良土の配合および施工方法

配合	セメント添加率：8%，石炭灰添加率：20% 含水比：最適含水比＋3%
施工方法	施工機械：190kN 級振動ローラ 転圧回数：8 回，仕上り層厚：20cm



写真－1 回転式破碎混合機プラント全景

キーワード 石炭灰有効利用 長期強度 ポズラン反応 回転式破碎混合工法（ツイスター工法） 改良土

連絡先 〒107-8466 東京都港区赤坂 4－9－9 日本国土開発株式会社施工本部土木部 T E L 03-5410-5750

図-2に、本施工時に採取した改良土供試体の一軸圧縮試験結果（365日強度）と各種セメントを用いたコンクリートの圧縮強度と材令の関係³⁾を示す。改良土は、各種コンクリートと比較して長期強度発現の程度が大きいことが分かる。一方、各種コンクリートでは、91日以降の強度増加は小さく（B種高炉セメントで1.1倍程度）、強度増加は材令1年でほぼ収束している。

試験の結果、改良土の365日強度（サンプル数29本の平均で9.56N/mm²）は、91日強度（サンプル数54本の平均で7.06N/mm²）の1.35倍になっている。91日では、強度安全率（一軸圧縮強度平均値／現場必要強度）が1.02だったが、365日には1.77に増加した。なお、現場必要強度は、圧縮強度の変動係数を考慮し、不良率5%以下となるような安全係数を設計強度に乗じた値である。

また、変形係数は91日では4000(MPa)だったが、365日では4860(MPa)となった。改良土の変形係数(E)と一軸圧縮強度(qu)の関係は、91日では $E = 570qu$ 、365日では $E = 510qu$ となるが、これは、セメント系深層混合処理工法と同程度であった（ $E = 400 \sim 600qu$ ⁴⁾）。

このように、コンクリート材料と比較して改良土の強度増加が長期的に発現するのは、改良土中でポズラン反応が持続しているためと考えられる。ポズラン反応は、セメントの水和反応によって生じる $Ca(OH)_2$ と可溶性のシリカ質(SiO_2)や Al_2O_3 などが結合して起こる。ポズラン反応持続性の理由は、改良土の密度($\rho_d=1.9g/cm^3$ 程度)はコンクリート(2.3g/cm³)と比較して小さく、空隙孔・空隙率が比較的大きいことから、反応率が小さいためと考えられる⁵⁾。

使用した石炭灰の化学成分を図-3に示すが、シリカ質を多く含んでいることが分かる。なお、石炭灰の比表面積は3260(cm²/g)であった。

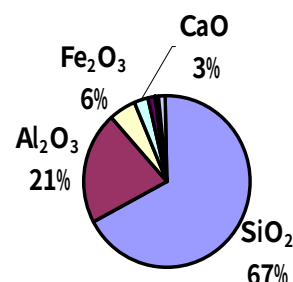


図-3 使用した石炭灰の化学成分

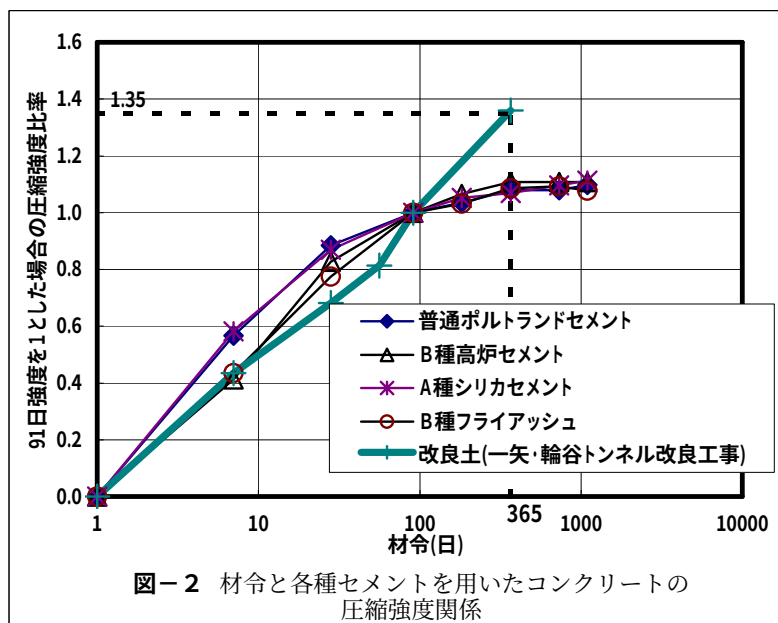


図-2 材令と各種セメントを用いたコンクリートの圧縮強度関係

4. まとめ

一般的に、改良土の施工では、試験施工により強度発現を確認後、本体工事を行う事例が多いが、工程上の制約から比較的短期の強度(7日 or 28日強度)を使用しているのが実態である。

今回の事例では、石炭灰を混合した改良土について長期強度発現が大きく、石炭灰利用の有効性が確認できた。今後、類似工事での参考になれば幸いである。

また、将来的に類似施工例によるデータ蓄積・分析がなされれば、石炭灰を利用した改良土の長期強度推定の精度も向上し、より合理的な設計も可能になるものと期待する。

参考文献

- カルバート構築式トンネル工法の設計・施工 小田ほか3名 第57回土木学会年次学術講演会 III-286
- カルバート構築式トンネル工法の改良土試験施工 田代ほか4名 第57回土木学会年次学術講演会 III-288
- 岡田 清 六車 熙 コンクリート工学ハンドブック 朝倉書店 p.344-345
- 深層混合処理工法技術マニュアル (財)沿岸開発技術センター 平成11年4月 p135
- 「セメント硬化体研究委員会報告書」 (社)セメント協会 2001年5月 p55-59