

フライアッシュと赤ぼくを地盤材料として活用するための固化処理と不溶化処理

九州産業大学 学生会員 井上 雄介

九州産業大学 正会員 林 泰弘

九州産業大学 正会員 松尾 雄治

1. はじめに

フライアッシュはほぼ絶乾状態で発生するため高含水比の土と混合することで土の物理特性や力学特性の改善が期待できる。本研究では火山灰粘性土である赤ぼくの改良を検討した。赤ぼくは含水比が高く、盛土や路床に使用するには改良材が多く必要となり固化処理に伴う重金属の溶出が懸念される。フライアッシュからは重金属である六価クロムが土壤環境基準値を超えて溶出することがあるが、適切な不溶化処理を行うことで課題を解決できると考えた。改良土を盛土や路床に活用できるように一軸圧縮試験と設計 CBR 試験で改良土の力学的特性を評価するとともに、環境省告示 46 号試験で六価クロムの溶出抑制効果を検討した。

2. 対象試料および試験方法

フライアッシュは石炭火力発電所で回収されたものであり最適含水比 28.5%、六価クロム溶出量 0.263(mg/L)、pH=12.14、赤ぼくは熊本県大津町で採取した自然含水比 153.7%、細粒分が 91.2%のものを使用した。固化材は六価クロム溶出量低減型のセメント系固化材、六価クロムの不溶化剤として多硫化カルシウムを混合して改良土を作製した。

改良土の作製において試料のばらつきを避けるためにフライアッシュと赤ぼく、多硫化カルシウムをミキサーで空練りした後に、固化材を混合した。その改良土を密閉した容器に入れて 20±3°Cの恒温庫に 3 日間養生したものを試験試料とした。

盛土や路床の施工時を考慮した実用的なセメント系固化材の最少添加量は 50kg/m³ である。本対象試料にあてはめると最少添加率が 9.75%になるため、添加率を 10%または 15%とした。不溶化剤の添加量は大村ら¹⁾の研究結果からフライアッシュからの六価クロム溶出量が環境基準値以下にするための添加率を 0.2%または 0.4%とした。

改良土の種類は材料の配合割合を表すために $F_{\alpha}R_{\beta_1}G_{\beta_2}C_{\beta_3}$ のように表記する。F はフライアッシュ、R は赤ぼく、G はセメント系固化材、C は多硫化カルシウムと示し、 α はフライアッシュの含水状態で初期状態の含水比 0%を 0、最適含水比に調整したものを opt とする。 $\beta_1 \sim \beta_3$ はフライアッシュの乾燥試料に対する添加率とする。

3. 一軸圧縮試験の方法と試験結果

3 日養生後の試料を直径 5.0cm、高さ 10.0cm のモールドに 3 層に分けて 1Ec で締固めて供試体を作製した。締固め直後もしくは 7 日間恒温庫で密閉養生した供試体を用いて「土の一軸圧縮試験 (JIS A1216:2020)」を行った。供試体は 3 本作製し、その平均値を一軸圧縮強さとした。

一軸圧縮強さと養生日数の関係を図 1 に示す。セメント系固化材を添加することで、添加率の違いによらず、締固め後 7 日間密閉養生した供試体の一軸圧縮強さは締固

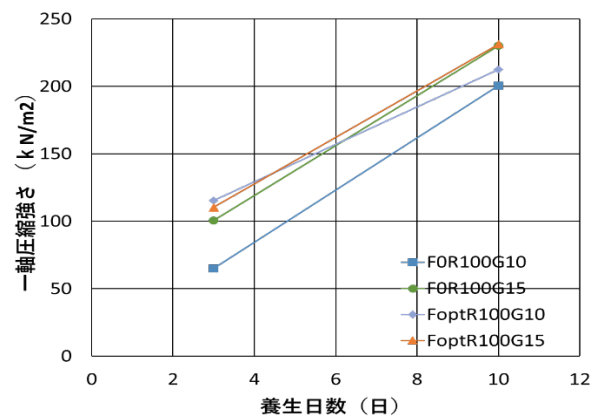


図 1 一軸圧縮強さと養生日数

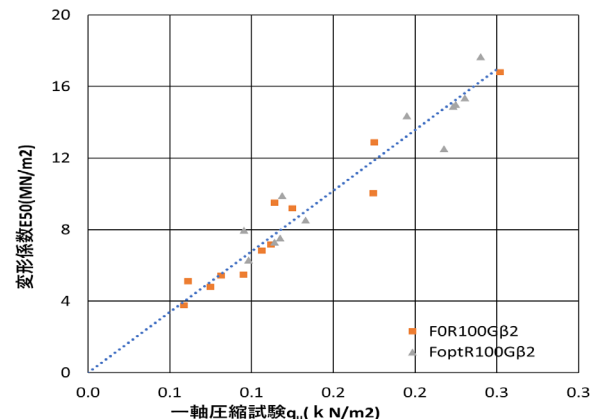


図 2 変形係数と一軸圧縮強さの関係

め直後の 2 倍程度の 200~250kN/m² にまで増加した。フライアッシュの含水比が低く、セメント系固化材の添加率が小さい 7 日後の F₀R₁₀₀G₁₀ の一軸圧縮強さは他の試料と比べて 50kN/m² 程小さい結果になった。フライアッシュの含水比が異なる F₀R₁₀₀G₁₅ と F_{opt}R₁₀₀G₁₅ の一軸圧縮強さはほぼ変わらないが F₀R₁₀₀G₁₅ の供試体は 7 日養生後に供試体が 2 本割れていたため 1 本だけのデータであるが、含水比が低すぎたためであると考えられる。

一軸圧縮強さと変形係数の関係をフライアッシュの含水状態で分けて整理したものを図 2 に示す。F₀R₁₀₀G₁₀ と F₀R₁₀₀G₁₅ は E₅₀=67.4q_u、F_{opt}R₁₀₀G₁₀ と F_{opt}R₁₀₀G₁₅ は E₅₀=67.9q_u で違いがみられなかった。一般的な自然粘性土は E₅₀=105q_u といわれていることから、今回の試験試料は自然粘性土に比べ一軸圧縮強さに対して変形係数がやや小さい値を示している。

4. 設計 CBR 試験の方法と試験結果

改良土を路床として用いることを想定して設計 CBR 試験 (JIS A 1211:2020) を行った。3 日養生後の試料を締固め、4 日間吸水膨張試験後に貫入試験を行った。F₀R₁₀₀G₁₀ の貫入試験時の含水比は 33.0%、CBR 値は 38.1%であった。一方、F_{opt}R₁₀₀G₁₀ の含水比は 63.9%であり CBR 値は 1.86%であった。後者はフライアッシュの含水比が高いために十分な改良効果が得られずオーバーコンパクションを起こしたものと考えられる。

5. 環告 46 号試験の方法と試験結果

環告 46 号試験に基づき検液を作製し、HACH 社の吸光度計を用いて六価クロム溶出濃度を測定した。六価クロム溶出濃度とセメント系固化材添加率の関係を図 3 に示した。六価クロム溶出濃度は土壤環境基準を超過し、セメント系固化材の添加率によらず F₀R₁₀₀G_{β2} > F_{opt}R₁₀₀G_{β2} であった。フライアッシュの含水比が高くなることでセメント固化による不溶化効果が低下して六価クロム溶出濃度が多くなると考える。

次に多硫化カルシウムを添加した影響を説明する。セメント系固化材添加率が 15% の F₀R₁₀₀G₁₅C_{β3} や F_{opt}R₁₀₀G₁₅C_{β3} はセメント系固化材添加率が 10% の F₀R₁₀₀G₀C_{β3} や F_{opt}R₁₀₀G₀C_{β3} に比べて六価クロム溶出濃度が低下している。セメント系固化材と多硫化カルシウムの相乗効果で六価クロム溶出抑制効果が大きくなったと考える。

6. まとめ

一軸圧縮強さはフライアッシュの含水比を最適含水比に調整した試料が適しており、設計 CBR はフライアッシュ乾燥状態のままの試料が適していることが分かった。セメント系固化材が十分に入っている試料は多硫化カルシウムの添加量が多くなるにつれて、六価クロム溶出濃度を抑制することができた。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 20K04690 の助成を受けて実施した研究の一部である。

参考文献 1) 大村ら：バッチ試験とカラム通水試験によるフライアッシュ混合土からの六価クロム溶出抑制効果の評価、令和 3 年度土木学会西部支部研究発表会、pp377-378,2022.3

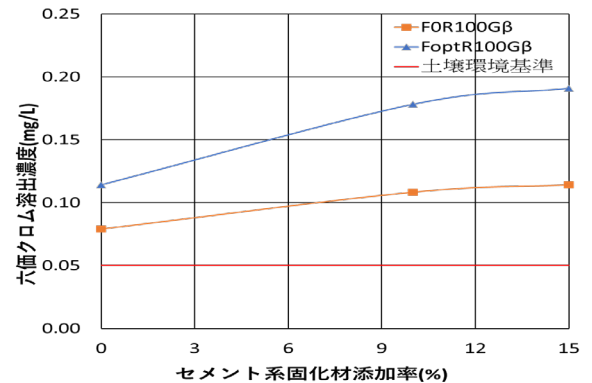


図 3 六価クロム溶出濃度とセメント系固化材添加量の関係

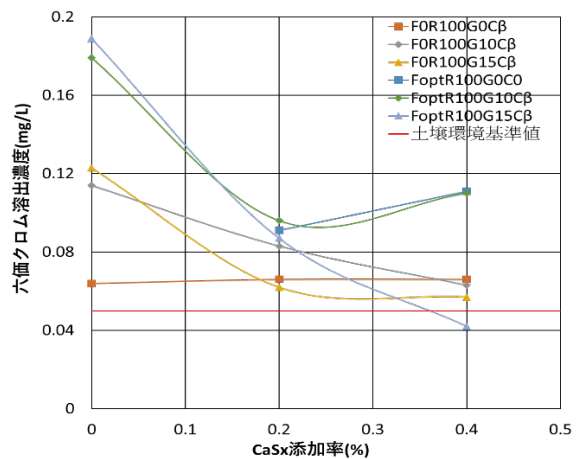


図 4 六価クロム溶出濃度と多硫化カルシウム添加量の関係