

砂防ソイルセメントに関するいくつかの知見

砂防エンジニアリング株式会社○中濃 耕司、半田 博幸

1. はじめに

平成14年1月に砂防ソイルセメント活用ガイドライン¹⁾が発表されて以降、砂防事業の中で砂防ソイルセメントも活用が鋭意進められている。しかしながら、砂防ソイルセメントに関するデータの蓄積等が少ないこともあり、種々の点で課題が残されていることが実状である。

本報では、弊社が取り組んできた砂防ソイルセメントの課題に関する知見について報告する。

2. 内部応力に関する課題と検討結果

砂防ソイルセメントの目標強度は内部応力を考慮して設定される。砂防堰堤内に生じる最大応力 σ_d は堤底面の上下流端に現れ、堤体内に生じる最大圧縮応力 σ_{max} は上流または下流端の堤底ののり面勾配(1:n)方向に発生し、簡便式 $(1+n^2) \times \sigma_d$ で算定される²⁾¹⁾とされている。ここで、同式ではのり面勾配の影響を二乗で受けることから、緩い勾配(特に1.0以上)ほど応力が大きくなりやすいこととなり、簡便式による応力の算定は過剰となることが懸念される。

そこで、既往報告結果³⁾を参考に上流のり面1:0.55、天端幅3mとした高さ15mの砂防堰堤において下流のり面を変化させた場合のFEMと簡便式による下流端応力算定結果を図-1～2に示した。これらの図より簡便式による応力算定結果は下流のり面勾配が緩いほど、実際の応力より非常に大きな値を示す傾向が推測される。ただし、その値は 0.4N/mm^2 程度と小さいもので安全率4を考慮しても 1.6N/mm^2 程度の圧縮強度で十分可能であり、内部応力を算定しなくとも内部材料としての目標強度レベルⅢに設定することで実務上差支えないものと判断される。

なお、紙面の関係で割愛したがFEM解析では最大圧縮応力が上下流端以外で発生するケースも認められたが、この値も $0.4 \sim 0.5\text{N/mm}^2$ 程度で下流端もしくは上流端の圧縮応力と著しい差は認められなかった。

3. 引張強度に関する課題と検討結果

砂防ソイルセメントの評価は、一般的に圧縮強度で実施され、その他の強度で評価をされることが少ない。また、目標強度を小さく設定することから、引張やせん断強度なども小さくなることが推測されるが報告事例がない。

そこで、割裂引張試験(JIS A 1113)により砂防ソイルセメントの引張強度の測定を実施し、圧縮強度からの推定の可能性について検証した。図-3には圧縮強度 σ_{28} と引張強度 T_{28} の関係を示すが、両者の関係には $T_{28}=0.1 \sim 0.15 \times \sigma_{28}$ の関係が認められた。ここで、コンクリートでは、一般的に引張強度は圧縮強度の1/10といわれている。今回の試験結果に基づけば、INSEM材でも同様に引張強度は圧縮強度の1/10をみなすことに支障がないものと判断される。ただし、図-3中のINSEM工法はVC値で管理する砂防CSG工法を対象とした試験結果であることに留意されたい。

4. 六価クロム溶出量に関する課題と検討結果

砂防ソイルセメントは、本来良質な河床砂礫を用いることを前提としているが、特に地盤改良をはじめ良質ではない土砂を対象とすることも多くなっている。良質ではない土砂を活用する場合には、発現強度の課題もあるが六価クロムの

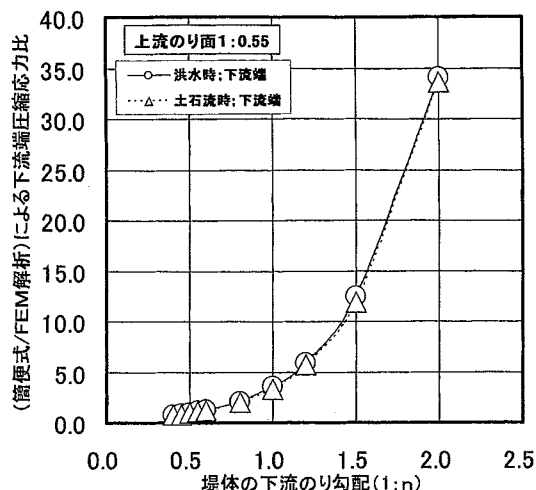


図-1 下流のり面勾配と下流端圧縮応力比

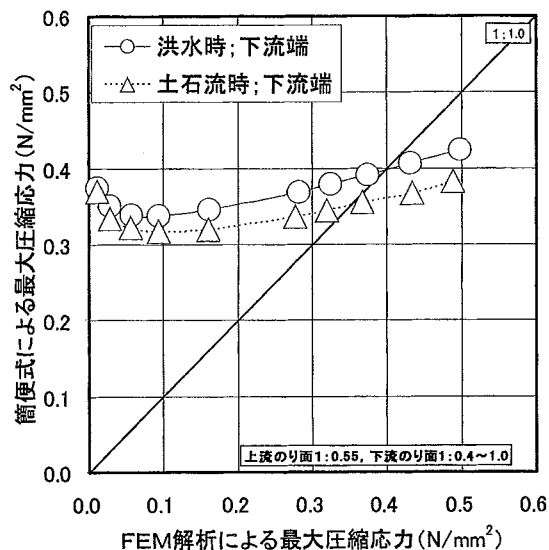


図-2 FEMと簡便式による下流端圧縮応力

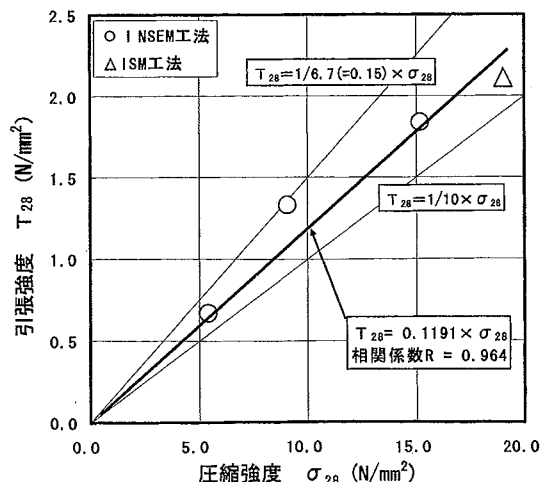


図-3 圧縮強度の引張強度の関係

溶出に関する問題も生じる場合がある。ここで、六価クロムの溶出は、潜在的に現地発生土砂中に含まれる場合とセメントと混合した場合に溶出する場合の2つのケースで問題が考えられるが、砂防ソイルセメント活用時には後者のケースに相当する。

図-4には自然含水比状態でセメント混合時に六価クロムを環境基準値以上溶出した粘性土において、加水することにより六価クロムの溶出量を抑制できた事例を示す。図-4より加水を行い、水和反応を促進することで六価クロムの溶出量を土壤環境基準値以下に抑制できる可能性があることを確認した。この結果の妥当性は、十分な水和反応により六価クロムの溶出が抑制できることはコンクリートで六価クロムの溶出が問題とならないことから容易に類推される。ここで、一般に火山灰質粘性土をはじめ粘性土質で六価クロムの溶出が問題となりやすく、これらの土砂では加水することで施工性が低下することが懸念される。このような条件の場合にはスラリー系の工法の採用が適するものと考えられる。

なお、既往報告⁴⁾によれば、地盤改良等において六価クロムの溶出量が土壤環境基準値を超えても地下水等への溶出事例はないことを付記しておく。

5. CO₂ 排出量に関する課題と検討結果

砂防ソイルセメントは環境負荷の軽減効果が期待できるが、定量的な評価事例は少ない⁵⁾⁶⁾⁷⁾。この要因のひとつに簡易に環境負荷を表す指標を算出する方法が設定されていないことがあげられる。

そこで、既往報告⁶⁾⁷⁾に示された高炉B種セメント使用時のCO₂排出量を相関性の高い単位セメント量で整理するとともに、ポルトランドセメント使用時を仮定してCO₂排出量を算定した結果を図-5に示した。ここで、CO₂排出量の算定は参考文献8)に基づいて実施したものである。図-5よりCO₂排出量は、砂防ソイルセメント、コンクリート問わず、単位セメント量に非常に高い相関性を有することがわかる。図-5では、セメントの種類の影響も大きいことから、CO₂排出量をそれぞれのセメントのCO₂排出原単位（以下、「CO₂原単位」）で除したものを図-6に示す。図-6より、多少のばらつきは有するものの単位セメント量とCO₂排出量/CO₂原単位には高い相関が見られ、砂防ソイルセメントやコンクリートにおけるCO₂排出量の概略値の算定式として次式が提案される。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = 1.3 \times k \times C$$

ここで、k；CO₂排出原単位(kg-CO₂/kg)

C；単位セメント量(kg/m³)

6. おわりに

砂防ソイルセメントは、その優位性、有効性から、砂防事業において今後より積極的な活用が進められることが期待される。しかしながら、より一層の活用を推進するためには、多くの課題が残っていることも事実である。

本報では、砂防ソイルセメントの有効活用に資すると思われるいくつかの知見をとりまとめた。本報は、今後の砂防ソイルセメントの発展に寄与できれば幸いであり、今後も他の課題解決に向け努力する所存である。

参考文献

- 1) 砂防ソイルセメント活用研究会編；「砂防ソイルセメント活用ガイドライン」（平成14年1月）
- 2) (社)日本河川協会編；「改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編Ⅰ」(平成9年10月, p198)
- 3) 野村, 桜井, 岡村, 塚本；「低強度建設材料を使用時の内部応力に関する一検討」(平成13年度砂防学会研究発表会概要集, pp6-7)
- 4) セメント系固化処理土検討委員会；「セメント系固化処理土に関する検討最終報告書(案)」(平成15年6月, <http://www.mlit.go.jp/tec/kankyou/>)
- 5) 網木, 萩原, 中濃, 細川；「砂防CSG工法の環境負荷軽減度に関する検討」(平成16年度砂防学会研究発表会概要集, pp88-89)
- 6) 中村, 筒井, 小出, 栗原, 武澤；「砂防ソイルセメントのCO₂抑制効果について」(平成18年度砂防学会研究発表会概要集, pp206-207)
- 7) (独)土木研究所；「砂防ソイルセメントの材料特性に関する調査」(平成18年8月, pp2-9~19)
- 8) (社)日本建設機械化協会；「建設施工における地球温暖化の手引き」(平成15年7月)

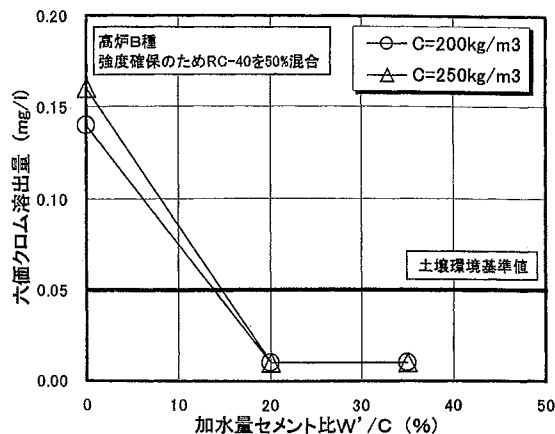


図-4 加水量と六価クロム溶出量の関係

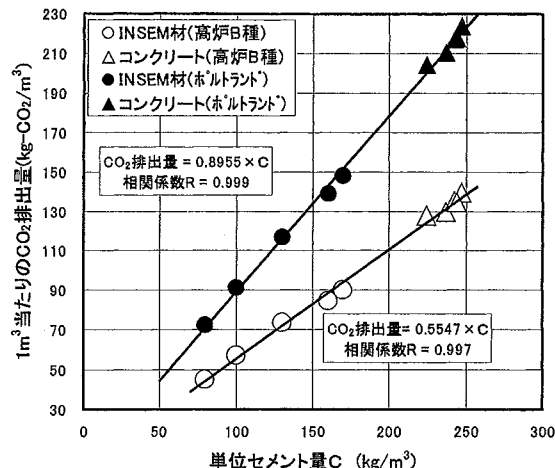


図-5 単位セメント量とCO₂排出量の関係

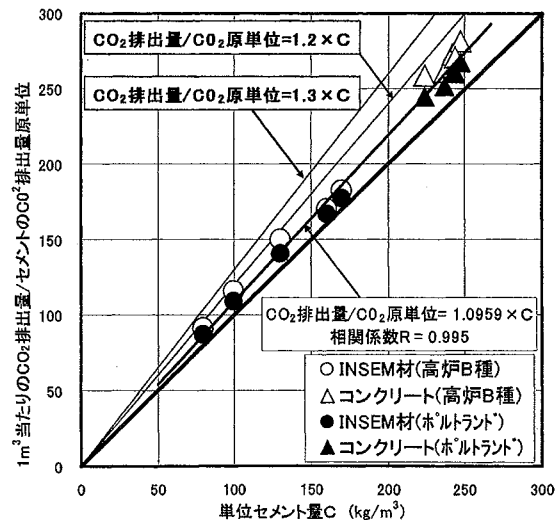


図-6 単位セメント量とCO₂排出量/CO₂原単位