微粒分特性による締固め性状及び強度変化に着目した石炭灰の CSG への積極的活用

東京大学大学院　学生会員　○鈴木　雄大
東京大学大学院　フェロー会員　石田　哲也
(一財)ダム技術センター　藤澤　侃彦

１．背景および目的

近年、様々な品質を有する現地発生材を活用した CSG (Cemented Sand and Gravel) がダム及び防潮堤の建設に適用されている[1)]．一方で、石炭灰の新たな有効活用技術として、石炭灰をセメント・水等と混ぜて固化させて作られる石炭灰混合材料が注目されている[2)]．本報では、異なる品質の CSG 材が CSG の締固め性状及び強度特性に与える影響を分析しつつ、石炭灰混合材料の CSG に対する適用可能性を実験的に検討した．

２．実験概要

3 つの異なる現地発生材(N-R, N-H, S と呼称)と石炭灰混合材料の破砕材（K と呼称）を CSG 材としてそれぞれ使用し、40mm を最大粒径とした CSG の標準供試体を打設した．各 CSG 材に対して単位水量と圧縮強度の関係を得る事で、CSG の性状差を評価した．CSG 材は、一般的な配合手法[1)]に則って、0-5mm, 5-10mm, 10-20mm, 20-40mm の粒度幅毎の含有量が、図 1 に示される質量比になるよう配合した．圧縮強度は、材齢 28 日における一軸圧縮試験結果により得た．なお単位セメント量は、現地発生材について 100kg/m^3、材料 K については 60kg/m^3 とした．

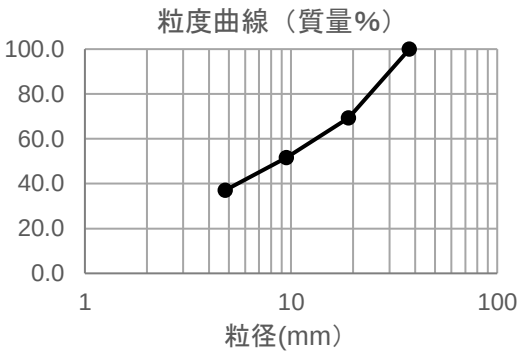

図 1：CSG 材の粒度分布

並行して、CSG の締固め性状に影響しうる物性として、各 CSG 材の 75μm 以下粒径（以下、微粒分と呼称）含有量を JIS A 1204 に示されるふるい試験によって測定するとともに、微粒分の拘束水比について参考文献[3)]を元にした方法によって計測した．CSG 材の微粒分により拘束される（捕捉される）水量の相対比較を行うことで、単位水量と CSG のコンシステンシーの関係を捉えようとしたものである．拘束水比は、湿潤状態の材料をフローコーンに詰め、測定されるフローと含水比を計測することを繰り返し、仮想的にフローがゼロとなるときの含水比として得た．また、単位水量のうち微粒分に捕捉される水量を評価するため、得られた微粒分含有量と拘束水比に基づき、微粒分に捕捉される水の単位体積重量を表す拘束水量を算出した．

さらに石炭灰混合材料の活用手法を検討するため、現地発生材の一部を石炭灰混合材料で置換した CSG の性状変化について評価する実験を行った．具体的には、材料 N-R を用いた CSG を対象に、CSG 材のうち 5mm 以下粒径を材料 K に置きかえた CSG を打設し、石炭灰混合材料による現地発生材置換の有効性を評価した．

３．実験結果

まず、CSG 材毎の単位水量と圧縮強度の関係を図 2 に示す．この結果から、CSG がよく締め固まり最大強度を発揮するときの単位水量が、CSG 材によって異なる様子が確認できる．材料 N-R と N-H では W=160kg/m^3 前後、材料 S は 120kg/m^3、材料 K が 100kg/m^3 において圧縮強度のピーク値を示し、石炭灰混合材料においてその値が最も小さくなっていることが分かった．

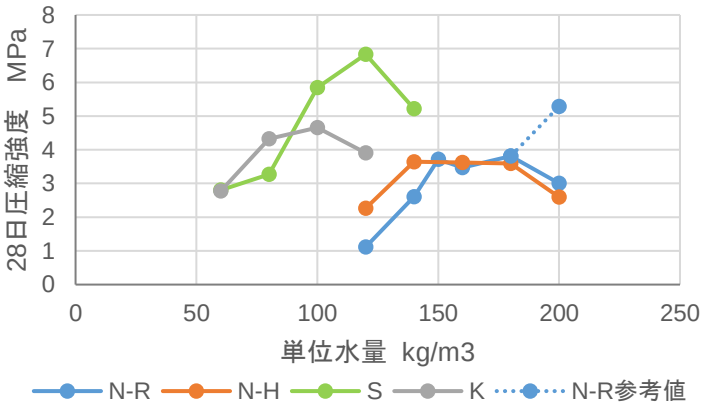

図 2：CSG 材別の単位水量と圧縮強度の関係

キーワード　CSG、CSG 材、石炭灰混合材料、微粒分、拘束水量、締固め
連絡先　〒113-8656　東京都文京区本郷 7-3-1　工学部 1 号館 329 号室　TEL 03-5841-6146

次に、各 CSG 材の微粒分含有量と拘束水比、並びに最大強度を与える単位水量の配合において算出された拘束水量を表 1 に示す．ふるい試験の結果からは、微粒分含有量は材料 K,S,N-H,N-R の順で少ないことが分かり、設計上は 5mm 以下粒径として扱われている微粒分の含有量が CSG 材によって異なっていることが確認された．拘束水比の値は、石炭灰混合材料である材料 K において目立ってその値が小さくなっている様子が見られ、現地発生材に比べて捕捉する水の量が少ない材料であることが分かった．また、微粒分含有量と拘束水比から算出される拘束水量の値を、先の CSG 最大強度を与える単位水量と比較すると、拘束水量が単位水量の値を上回り、配合上存在するよりも多くの水を拘束する事になる場合がある．これは、ペーストフローの流動性と振動締固めを行う CSG のコンシステンシーでは、それぞれの確保のために必要な水量が異なり、75μm 以下のペーストフローがゼロとなる水量では振動締固め時に拘束される水量を正しく評価できない事を示している．しかしながら両者の間には、図 3 に示す正の相関関係が認められることから、今回の実験で得られた拘束水量が、CSG の締固めやすさに関係するパラメータであることが確認できた．

表 1：CSG 材別の微粒分含有量と拘束水量

	N-R	N-H	S	K
CSG材75μm以下含有率［質量%］	13.1	10.8	7.1	6.1
単位水量 ［kg/m3］	160	160	120	100
拘束水比［含水比］	87.9	98.2	93.0	68.0
拘束水量 ［kg/m3］	206	179	103	29.9

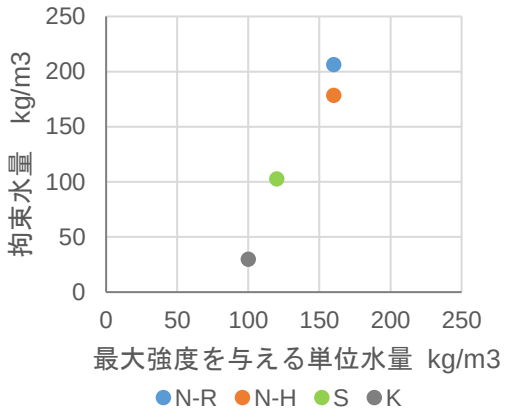

図 3：拘束水量と単位水量の関係

最後に、現地発生材の 5mm 以下粒径を石炭灰混合材料で置換した CSG について、単位水量と圧縮強度の関係をプロットしたものを図 4 に示す．測定結果では、5mm 以下を材料 K に置き換えた CSG（NK と呼称）は、現地発生材のみを用いた場合に比べて、最大強度を与える単位水量が減少し、そこで得られる圧縮強度が増加することが確認された．これは、微粒分を含む 5mm 以下の CSG 材が拘束水量の少ない材料で置換されたことで、少ない単位水量で十分な締固めが行えるようになったこと、またそれにより水セメント比が低下し、セメントペーストの強度が増加したことが要因であると考えられる．

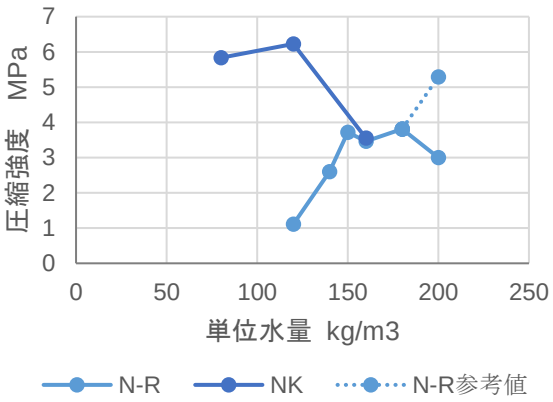

図 4：石炭灰混合材料による CSG 材置換結果

4．まとめ

以上の検討結果から、石炭灰混合材料の破砕材が現地発生材に比べて捕捉される水分量が少ないため、少ない水量で必要なコンシステンシーが得られる CSG 材であることが確認された．またその活用手法として、微粒分を含む細かい粒径の CSG 材として用い、現地発生材と混合して CSG を打設することで、必要な単位水量の減少と強度の増加を見込めることが実験的に示された．

5．謝辞

本研究は、福島県平成 28 年度・地域復興実用化開発等促進事業費補助金「石炭灰系混合材料の CSG 堤防への適用性に関する研究」の助成を受けて実施しました．

6．参考文献

1) 一般財団法人ダム技術センター　『台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料』、2012
2) 一般財団法人石炭エネルギーセンター　『石炭場混合材料有効利用ガイドライン（震災復興資材編）』、2014
3) 岡村甫、前川宏一、小澤一雅　『ハイパフォーマンスコンクリート』、1997