

京都大学大学院 学生員 ○大山 将
 京都大学防災研究所 正 員 嘉門雅史
 京都大学防災研究所 正 員 勝見 武

1. はじめに 土木材料としての碎石は多方面で使用されているが、碎石の生産過程から破砕屑として大量に排出する碎石粉は法的に産業廃棄物としての取扱いが求められている。本研究では碎石粉の建設材料への有効利用を目的として、碎石粉と固化材を粉体（乾燥状態）のまま混合し、加水（浸水）固化させる手法の適用性を検討した。さらに、碎石粉と固化材を粉体のまま混合したものを不織布で作製した袋に詰めて、これを水没させることにより固化させる袋詰め固化の手法を提案、評価した。袋詰め固化は施工性などの利点から潜堤や海中構造物基礎等に用いられる捨石の代替としての適用が考えられる。

2. 試料及び実験方法 本研究で使用した碎石粉は石英斑岩を母岩とするもので、表1にその性質を示す。固化材は主に速硬性のある炭酸アルミネート系塩材料#42（配合比、モル比： $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3:\text{Ca}(\text{OH})_2=50:30:20$ 、以下CAS材と略する）を用いた。

碎石粉の加水固化に関する実験は、碎石粉と固化材を粉体のまま混合して乾燥密度が $1.2\sim 1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 程度になるようにモールドに充填し、その上から $10\sim 20\text{kPa}$ の荷重をかけて試料の体積膨張がある程度拘束した状態で浸水、養生して供試体を作製、一軸圧縮試験や透水試験に供した。

碎石粉の袋詰め固化は $120\times 50\text{cm}$ のспанボンド不織布（東洋紡績製ボランスVN-300）を2つ折りにして両端を縫合して袋を作製し、碎石粉とCAS材を粉体のまま混合したものを 30kg 詰め、残りの一辺を縫合して水槽に水没させて水深 1m で養生させた。一定期間養生後、袋内から固化碎石粉を $5\times 5\times 10\text{cm}$ のブロック状に切り出してこれを一軸圧縮試験用の供試体とした。

表2に加水・袋詰め固化の配合及び養生条件を示す。

3. 加水固化の適用性 変水位透水試験による碎石粉の透水係数は、図1に示すように乾燥密度が $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 以下では $10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ 以上であり、緩詰め状態であれば加水固化させるのに有効な透水性があると考えられる。

図2(a),(b)に加水固化した碎石粉の強度特性を示す。固化材としてセメントを使用した場合は浸水後に収縮が生じるために設定した乾燥密度よりも高くなり、発現強度も材令7日で $2\sim 4\text{MPa}$ となった。CAS材を使用した場合は設定した乾燥密度を保持して固化しており、配合比 $10:2$ の場合材令1日で $0.2\sim 0.4\text{MPa}$ 、材令7日で $0.5\sim 1\text{MPa}$ の一軸圧縮強さを発現しており、強度的には路床、盛土、擁壁裏込め材等への適用が考えられる。

表1 碎石粉の諸元

土粒子密度	ρ_s (g/cm^3)	2.65
液性限界	W_L (%)	14.3
塑性限界	W_p (%)	NP
最適含水比	W_{opt} (%)	13.0
最大乾燥密度	ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.97
粒度組成		
細砂分 ($75\mu\text{m}\sim 0.425\text{mm}$)	(%)	18.8
シルト分 ($5\sim 75\mu\text{m}$)	(%)	70.4
粘土分 ($5\mu\text{m}$ 以下)	(%)	12.8
化学成分		
SiO_2	(%)	65~75
Al_2O_3	(%)	10~15
Fe_2O_3	(%)	3~4
Na_2O	(%)	2~3
K_2O	(%)	1~2
強 熱 減 量	(%)	1.4

表2 加水・袋詰め固化の養生条件

加水 固 化	配合	碎石粉：CAS材=10:2, 7:3, 8:2 碎石粉：モル比=10:2
	養生水	淡水（水道水）
	養生温度	20℃
袋 詰 固 め 化	配合	碎石粉：CAS材=7:3, 8:2
	養生水	淡水（水道水）、海水（人工海水）
	養生温度	14~20℃

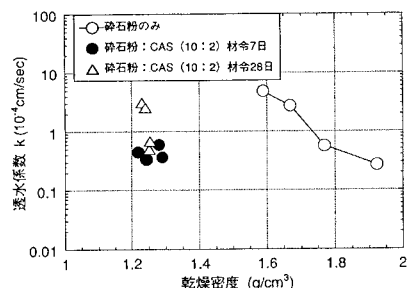


図1 碎石粉の透水係数と乾燥密度

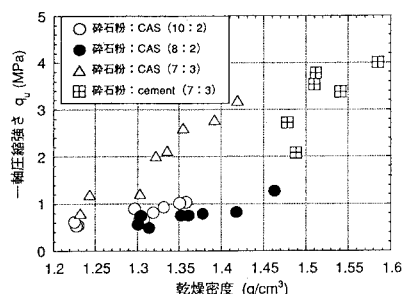


図2(a) 加水固化碎石粉の強度特性（材令7日）

試料が緩く詰まった乾燥密度の低い状態を保持して固化するのは、浸水直後からのCAS材の水和反応による膨張によると考えられる。そこで図3に体積変化を拘束した状態での碎石粉の膨張特性を示す。配合によって膨張圧は異なるがその絶対量は小さく、養生初期で収束する傾向にある。

また、図1に示すように加水固化後の碎石粉の透水係数は乾燥密度が $1.2 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ の間で 10^{-4} cm/sec 前後であり、この範囲の乾燥密度であれば固化処理混合物としては有効な透水性を持つと考えられる。しかし乾燥密度が低ければ発現強度は下がるので、透水性を有する排水性固化碎石粉としての各種建設材料への適用は要求される強度に応じて吟味しなければならない。

4. 袋詰め固化の適用性 袋詰め固化で袋の材料として使用したジオテキスタイル材料である不織布は、碎石粉及び固化材の流出を防ぐ濾過機能、固化のための通水性能を期待したもので、本研究ではそれらが充分に発揮された。また固化材として速硬性のあるCAS材を使用した、水没後2、3分で水槽から引き上げた袋についても袋内の碎石粉は特に外側が固化して全体として固化体となっており、その速硬性の効果が確認できた。CAS材は膨張性も有しており、袋詰め固化には有利な固化材といえる。

図4に袋詰め固化碎石粉の強度特性を示す。試料の混合及び袋内での密度のむらにより発現強度にばらつきが見られるが、材令28日で淡水養生の場合 $0.3 \sim 3 \text{ MPa}$ 、海水養生の場合 $0.2 \sim 2 \text{ MPa}$ の一軸圧縮強さを発現しており、充分な固化効果が確認できた。

図5には養生水のpH傾向を示す。淡水養生の場合pH11まで上昇するが、海水養生の場合はpH9以下で安定している。

実施工では作業性を考えて1袋に詰める碎石粉の量を多くする必要があるが、袋の外側からの固化による透水性の低下や膨張によって袋内部が圧縮され密度が上昇することで袋内部には養生水が行き渡りにくくなることも考えられ、発現強度の不均一性を招く可能性がある。また大量の固化材を水中に投入することになるので周辺水域のpH傾向に注意が必要となり、これらは今後の検討課題である。

5. おわりに 碎石粉の透水性とCAS材の反応性を組み合わせて活用することにより、廃棄物である碎石粉の加水固化処理が可能であることが明らかになった。加水固化処理は施工作業が容易であり、また乾燥密度を低く抑えることによって固化後も有効な透水性を有するので、各種建設材料への有効利用の可能性は高い。また不織布の通水性、濾過機能を活用した碎石粉の袋詰め固化処理は潜堤や海中構造物基礎等へ捨石の代替としての適用が考えられるが、実施工を考えたスケールでの検討が今後の課題である。

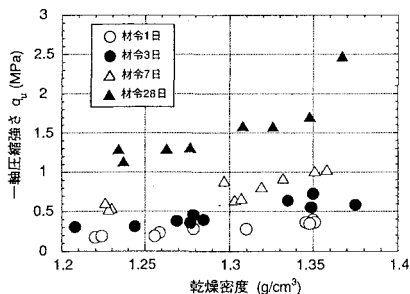


図2(b) 加水固化碎石粉の強度特性
(碎石粉：CAS=10：2)

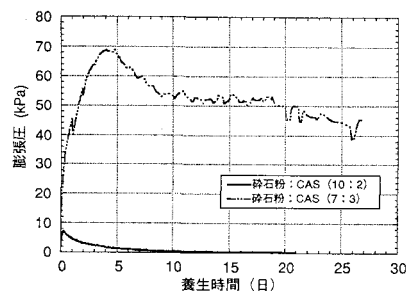


図3 加水固化碎石粉の膨張特性

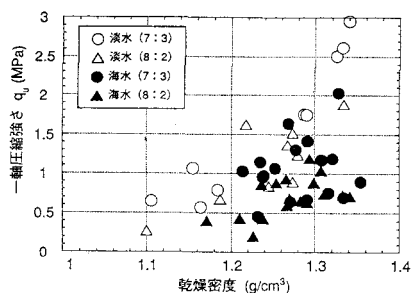


図4 袋詰め固化碎石粉の強度特性 (材令28日)

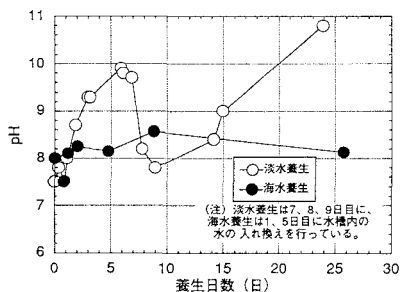


図5 養生水のpH (袋詰め固化碎石粉)