

## 炭酸ガス含有水を用いた固化材スラリーの性能に関する実験的検討

太平洋セメント(株) 正会員 ○佐々木 幸一、野崎 隆人  
早川 隆之、肥後 康秀

## 1.はじめに

現在、多様な産業分野で CCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)の技術開発が進められており、地盤改良においても CO<sub>2</sub>の利活用技術の開発が望まれる。コンクリート分野では練混ぜ時に CO<sub>2</sub>を供給して微細な炭酸カルシウムを生成させて物性を向上させる技術が存在するが、固化材スラリーにおいて CO<sub>2</sub>の吹込みを行った際の物性については検討例がない。

本検討では CO<sub>2</sub>を吹き込んだ水(以下、炭酸ガス含有水)を練混ぜに用いた固化材スラリーにおける地盤改良材としての基本的な性能の把握を目的とし、改良土の一軸圧縮強さと六価クロム溶出量を測定し、水和の進行に関して分析を行った。

## 2.試験概要

## 2.1 使用材料

本試験に用いた材料について表1に示す。固化材は市販の高有機質土用固化材を用いた。練混ぜ水は上水道水、炭酸水、CO<sub>2</sub>ウルトラファインバブル(CO<sub>2</sub>UFB)水を用いた。炭酸水については、上水道水より家庭用炭酸水製造機を用いて調製し、調製後3分以内に試験に使用した。また、含有気泡径が1μm以下で、経時による破泡が少ない市販のCO<sub>2</sub>UFB水についても検討を行った。なお、炭酸水とCO<sub>2</sub>UFB水について炭酸イオン濃度とpHを電極法で測定し、炭酸イオン濃度はそれぞれ7000ppm、1800ppmであり、pHはそれぞれ3.8と4.1であった。また土壌に関しては、表2に示す通り火山灰質粘性土2種と粘性土1種の計3種を使用した。

## 2.2 試験方法

## (1)試験体作製方法

スラリーは、練混ぜ水と固化材の質量比が1:1になるように調製を行った。土壌への混合は、固化材添加量が土壌A,Bに対して300kg/m<sup>3</sup>、土壌Cは150kg/m<sup>3</sup>となるようにスラリーを添加し、ホバートミキサを用いて行った。その後、所定の材齢まで20°Cで封緘養生を行った。

## (2)測定項目

本試験における測定項目を表3に示す。材齢7日の改良土にて一軸圧縮試験を行い、その後、六価クロム溶出量と改良土懸濁液のpH測定を行った。試験方法は、一軸圧縮試験はJIS A 1216、六価クロム溶出量は環境庁告示46号(平成3年)、pHはJGS0211に準拠した。

また、固化材スラリーの水和物や炭酸カルシウムの生成の確認を目的として、BET比表面積の測定とXRD分析を行った。試料はスラリーの材齢1時間、7日、28日

表1 使用材料

種類	材料および物性
固化材	高有機質土用固化材
練混ぜ水	上水道水
	炭酸水、炭酸濃度 7000ppm、pH 3.8
	CO <sub>2</sub> ウルトラファインバブル水(CO <sub>2</sub> UFB水)、炭酸濃度 1800ppm、pH 4.1、気泡径 50~300nm

表2 使用土壌

名称	土質	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )
土壌A	火山灰質粘性土	127.0	1.37
土壌B	火山灰質粘性土	87.1	1.48
土壌C	粘性土	70.8	1.56

表3 測定項目

測定項目	分析方法
一軸圧縮強さ	JIS A 1216 (土の一軸圧縮試験)に準拠
六価クロム溶出量	環境庁告示46号に準拠
pH	JGS0211(土懸濁液のpH測定試験)に準拠
粉末X線回折(XRD)	水和停止したスラリーを粉末として測定
BET比表面積	水和停止したスラリー粉末を一点法で測定

にてアセトンで水和停止を行い、室温20°C、RH11%環境下でデシケータを用いて、3日間乾燥させたものを用いた。

## 3.結果と考察

## 3.1 一軸圧縮強さ

図1に一軸圧縮試験の結果を示す。土壌AとCにおいて、炭酸ガス含有水を用いた場合には一軸圧縮強さは低下し、CO<sub>2</sub>UFB水と比較して炭酸水の方が強度の低下の度合いが大きかった。

## 3.2 六価クロム溶出量・pHと強度の関係性

表4は炭酸ガス含有水を練混ぜに用いた場合における、上水道水を用いた場合に対する六価クロム溶出量の減少率と、改良土懸濁液のpHを示したものである。炭酸ガス含有水において、六価クロムの溶出量の低減が認められ、特に炭酸水において効果が大きいことが確認された。また、上水道水と比較して一軸圧縮強さが低下して

キーワード 固化材、スラリー、六価クロム、CO<sub>2</sub>、炭酸水、ウルトラファインバブル

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL. 043-498-3905

いるにも関わらず、炭酸ガス含有水を使用することで一定の低減効果が認められた。

また、pHについて土壌AとCでは炭酸ガス含有水を使用した場合に改良土のpHが低下したが、一軸圧縮強さの低下とpHの低下の傾向について明瞭な関係性はみられず、強度低下は必ずしもpHの低下によるものではないと考えられる。

### 3.3 水和分析

図2にBET比表面積の測定結果を示す。材齢1時間においては炭酸水が最も比表面積が大きい、材齢1日以降では炭酸水よりも上水道水の方が大きくなった。これは、炭酸ガス含有水にて、接水直後の微細な炭酸カルシウムの発生によって水和物の生成が促され、それに伴って液相中のCa<sup>2+</sup>濃度が低下し材齢1日以降の水和を停滞させた可能性が考えられる。

図3に材齢7日のXRD回折パターンの一部を示す。六価クロムのセメント水和物中への固定メカニズムの一つとして、AFm相とよばれる構造のカルシウムアルミネート水和物では、結晶中でSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とCrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の置換が生じ、高いCrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の固定能を有することが知られている<sup>2)</sup>。図中(a)はカルシウムアルミネート水和物の特徴的な回折ピークが認められる低角側のパターンの一部を示したものである。炭酸水と上水道水のいずれも、AFm相のカルシウムアルミネート水和物としてはモノカーボネートのみが認められたが、ピーク強度の明確な差異は認められなかった。

また、前述のBET比表面積の結果より、液相の炭酸イオンによってカルサイト等の炭酸カルシウムが生成する可能性も考えられたが、図中(b)に示すように、炭酸水を用いた場合でも明瞭なピークは確認できなかった。

紙面の都合上割愛するが、材齢1時間、1日においても練混ぜ水によるXRD回折ピークの明瞭な違いはみられなかった。

以上より、固化材スラリーに炭酸ガス含有水を用いても、生成する水和物については明確な差異は認められなかった。六価クロムの溶出量の低減は、固定能の高い水和物の生成に由来するものではなく、別のメカニズムに依存していると考えられる。

### 4.まとめ

固化材スラリーの練混ぜ水として炭酸ガス含有水を用いたところ、上水道水を使用したものと比較して若干の強度低下と六価クロム溶出量の低減効果が確認された。また、水和分析の結果より、六価クロム溶出量低減効果に関しては、セメント水和物による効果は限定的であることが示唆された。

今後は、固化材スラリーの液相中に占める溶存イオンや土壌のpH・酸化還元電位等の環境条件に関する分析を行い、六価クロム溶出量低減に及ぼすメカニズムの解明を行う。

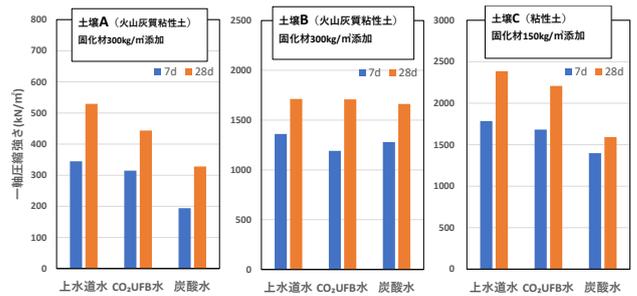


図1 一軸圧縮試験結果

表4 六価クロム溶出量減少率とpH(材齢7日)

	土壌A			土壌B			土壌C		
	上水道水	CO <sub>2</sub> UFB水	炭酸水	上水道水	CO <sub>2</sub> UFB水	炭酸水	上水道水	CO <sub>2</sub> UFB水	炭酸水
六価クロム溶出量	—	-19%	-27%	—	-10%	-13%	—	-6%	-21%
改良土懸濁液pH	11.0	10.9	10.8	11.2	11.0	11.2	12.9	12.0	11.9

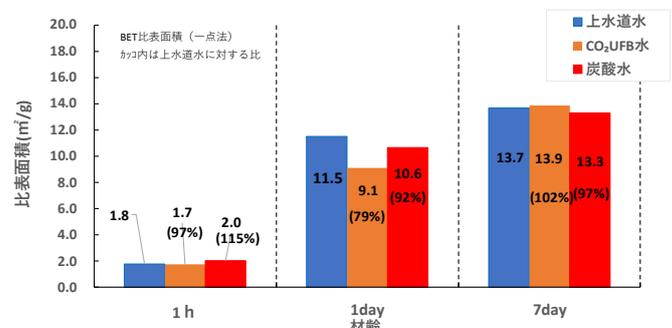
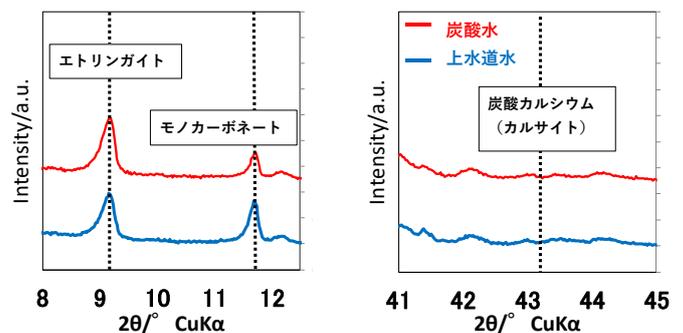


図2 BET比表面積



(a)カルシウムアルミネート水和物 (b)炭酸カルシウム

図3 XRD回折パターン(材齢7日)

### <参考文献>

- Sean Monkman, Mark MacDonald, R. Doug Hooton and Paul Sandberg: Properties and durability of concrete produced using CO<sub>2</sub> as an accelerating admixture, *Cement and Concrete Composites*, Vol.74, pp.218-224, 2016
- 大宅淳一 他: AFm相による六価クロムの固定挙動に及ぼす炭酸カルシウムの影響、セメント・コンクリート論文集、Vol.66, pp.15-21, 2012