

## セメント改良砂における炭酸化が一軸圧縮強さに及ぼす影響

群馬大学大学院 学正会員 ○吉田 智海  
 広島大学大学院 正会員 半井 健一郎

## 1. 目的

ポーラスなセメント系材料は、粗大空隙が多く、単位セメント量が少ないという特徴がある。その代表にセメント改良土やポーラスコンクリートが挙げられる。このうちセメント改良土は、軟弱地盤に対してセメントを添加混合することで、強度向上や沈下、滑り破壊の抑制の効果が期待できる。また長期的な強度増加が多数報告されており<sup>1)</sup>、その要因の一つとしてポゾラン反応が考えられている<sup>2)</sup>。一方、ポーラスコンクリートにおいては、二酸化炭素を吸収することで水和反応以上にセメントペースト中の細孔容積が減少し、圧縮強度が増加することが報告されている<sup>3)</sup>。このことからポーラスな組織構造をもつセメント改良土においても、炭酸化による強度増加が起こると考えられ、その影響の把握が強度発現メカニズムの理解には不可欠である。

そこで本研究では、炭酸化がポーラスなセメント系材料の圧縮強さに与える影響を検討した。豊浦砂を用いたセメント改良砂を作製し、二酸化炭素の供給量を変化させた封緘養生、気中養生、促進養生の3つの環境条件で養生後、一軸圧縮試験を行った。

## 2. 試験概要

## 2.1 供試体概要

配合および養生条件を表-1に示す。使用材料は豊浦砂、普通ポルトランドセメント、水道水とし、W/Cは69%とした。セメント添加率は砂の質量に対して8%、含水比は6%、空隙率は30±1%とした。供試体寸法はφ100×200mmとし、打ち込みは3層に分けて各層をランマーを用いて25回ずつ突固めた。供試体作製後、日本道路公団試験方法に準じ、初期養生として封緘養生6日・水中養生1日・気中養生21日を行った。その後、表-1に示す養生条件で規定材齢まで養生を行った。気中養生は温度20±3℃、相対湿度60±5%、二酸化炭素濃度約0.03%の室内で行い、促進養生は温度20±3℃、相対湿度60±5%、二酸化炭素濃度5%に設定した中性化促進試験機を用いて行った。封緘養生は、本研究との比較として配合条件・供試体作製方法の等しい既往の研

表-1 供試体の配合条件

供試体名	養生方法	材齢	水セメント比	セメント	空隙率	含水率
		日	W/C	添加率	%	%
気-0	初期養生	28	69	8	30±1	6
気-28	初期・気中養生	56				
気-63		91				
気-152		180				
促-7		初期・促進養生				
促-14	42					
促-28	56					
促-63	91					
促-152	180					
封-28	封緘養生	28				
封-180		180				
封-360		360				
封-1095		1095				

究データ<sup>4)</sup>を引用しており、載荷実験前に飽和処理を行った。

## 2.2 一軸圧縮試験

所定の材齢に達した供試体について、炭酸化による強度増加を検証するため、日本工業規格 JIS A1216 を参考に一軸圧縮試験を行った。供試体の強度・変形の一様性の向上を計るため、供試体の上下端面を石膏でキャッピングし試験した。

## 2.3 熱分析試験

一軸圧縮試験後の供試体から厚さ5mmの円盤状に切り出した試料を、90μm以下に微粉碎し、熱分析を行った。測定はN<sub>2</sub>フロー環境下で行い、昇温速度を10℃/minとし、室温から1000℃まで昇温した。熱重量変化により炭酸カルシウムおよび結合水量を算出した。試料中にセメント以外に砂も混在するため、セメントの結合水率を全ての供試体において23%と仮定し、測定より得た炭酸カルシウム量を補正した。測定結果は1000℃でのセメント質量に対する百分率として表した。

## 3. 試験結果

## 3.1 養生条件の違いによる一軸圧縮強度

一軸圧縮試験の経時変化を図-1に示す。封緘養生は、材齢28～1095日にかけて同程度の一軸圧縮強さを示した。これは、既往の研究における<sup>2)</sup>ポゾラン反応による強度増進メカニズムの説明とは異なり、本研究における封緘養生では、長期的な強度増加が生じないことが

キーワード セメント改良砂、ポーラスコンクリート、炭酸化、一軸圧縮強さ、長期材齢

連絡先 〒367-8515 群馬県桐生市天神町1-15-1 群馬大学工学部 TEL0277-30-1613 FAX0277-30-1601

示された。一方、促-28(材齢56日)と気-152(材齢180日)では、気-0(初期養生)と比較してそれぞれ約1.3倍、1.4倍の一軸圧縮強さを示した。このことより、セメント改良砂は炭酸化により強度増加することが示された。しかし促進養生では、促-28(材齢56日)から促-152(材齢180日)にかけて強度低下が確認された。既往の研究<sup>5)</sup>においても、促進養生の様な高濃度の二酸化炭素環境下では、強度増進につながる二酸化炭素反応量は限界があると考えられている。強度が低下する要因としては、セメント水和物である珪酸カルシウム水和物などの分解などが示唆されており、今後の検討課題とする。

二酸化炭素供給量と圧縮強度の変化の関係を図-2に示す。ここで二酸化炭素供給量とは気中・促進養生それぞれの二酸化炭素濃度と供試体ごとの材齢の積で表す。二酸化炭素供給量の多い促進養生では、一軸圧縮強さが緩やかな増加を示したが、気中養生では急激な増加を示した。この要因として既往の研究<sup>3)</sup>より、二酸化炭素濃度によって生成される炭酸カルシウムの結晶状態が異なることが考えられる。

### 3. 2 熱分析結果

熱分析より得た炭酸カルシウムの生成量を図-3に示す。気中・促進養生共に炭酸カルシウムの生成量が初期養生に比べ増加しており、二酸化炭素環境下での炭酸化が確認できた。また、同材齢での気中・促進養生を比較すると、二酸化炭素が高濃度である促進養生のほうが多く炭酸カルシウムが生成されていた。促進養生では、材齢の経過とともに生成量も増加していた。促-152(材齢180日)において、炭酸カルシウムの生成量に比べ強度が促-63(材齢91日)より小さくなった要因として、3.1の考察と同様に炭酸カルシウムの結晶状態が異なる可能性が考えられる。また、図-1より気-28(材齢56日)と気-63(材齢91日)において強度がほぼ等しくなった要因として、炭酸カルシウムの生成量の差が小さくなったことが関係したと考えられる。

### 4. まとめ

セメント改良砂では、ポゾラン反応以外に、二酸化炭素と触れる環境下で炭酸化し、強度が増加することが確認された。また、促進養生に比べ気中養生のほうが二酸化炭素供給量に対する一軸圧縮強さの強度増加が大きい。さらに、二酸化炭素濃度の違いにより炭酸カルシウムの生成量や結晶状態が異なる可能性があり、今後、X線回折分析などを行う予定である。

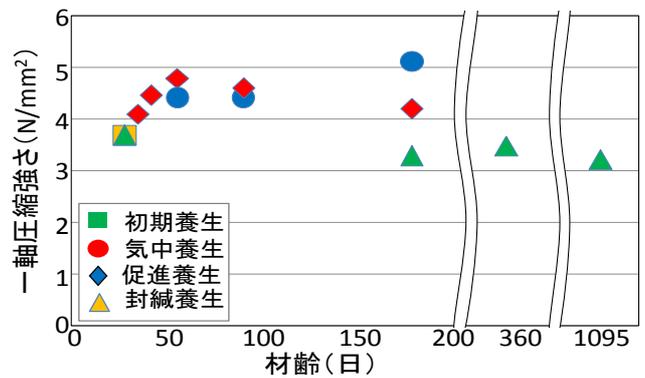


図-1 一軸圧縮強さの経時変化

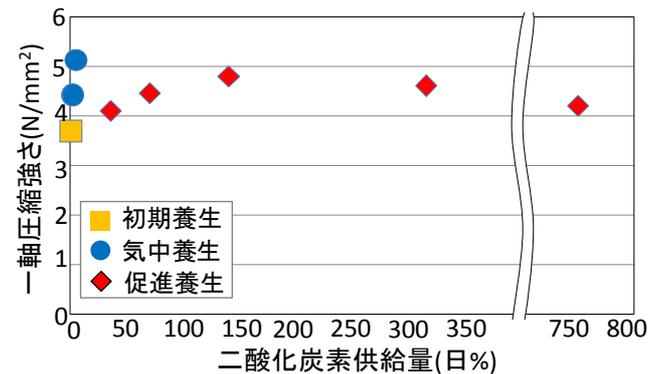


図-2 二酸化炭素供給量と一軸圧縮強さの関係

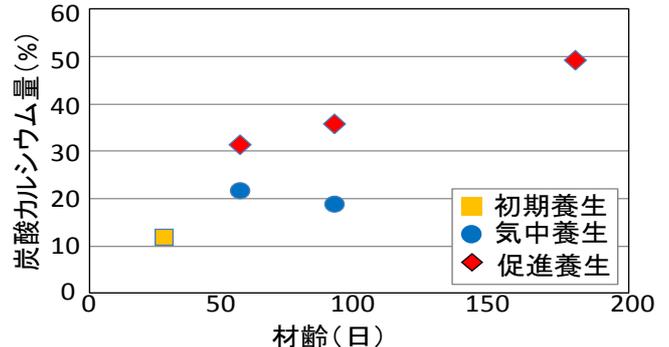


図-3 生成された炭酸カルシウム量

### 参考文献

- 1)三島 信雄ら:安定処理土の強度特性と耐久性に及ぼす影響、日本道路公団試験研究所報告 Vol.32、pp.10-23、1995.
- 2)セメント協会:セメント系固化材による地盤改良マニュアル第3版、pp.27-29、2003.
- 3)島 弘ほか:二酸化炭素ガスを吸収したポーラスコンクリートの圧縮強度と細孔容積、コンクリート工学年次論文集、Vol.17、pp.759-764、1995.
- 4)山田 泰彰ほか:溶脱劣化したセメント改良砂の強度および変形係数の低下における養生日数の影響、地盤工学会関東支部発表会発表講演集、6巻、pp.178-182、2009.
- 5)小川 洋二ほか:炭酸ガスを吸収したポーラスコンクリートの物性、コンクリート工学年次論文集、Vol.15、No.1、pp.531-536、1993.