

材齢3年を経過した模擬ローマコンクリートの力学性状

大成建設(株)技術センター	正会員	○大脇	英司
東京工業大学大学院理工学研究科	正会員	坂井	悦郎
東北大学大学院工学研究科	正会員	久田	真
日本原燃(株)開発設計部	正会員	庭瀬	一仁

1. はじめに

放射性廃棄物の埋設施設など長期耐久性が要求されるコンクリートの性状予測において、ナチュラル・アナログは重要な手法の一つである。土木学会コンクリート委員会ではローマコンクリート調査小委員会を設置して2000年程度経過した古代コンクリートを分析し、成果を公表している¹⁾。このような分析結果と初期の状態に関する推察を組み合わせると、長期間に亘る変質の過程が理解できる。しかしながら、長期間経過した試料から当初の状況を推察することは必ずしも容易ではない。著者らは、現代において入手可能な材料で古代コンクリートの再現を試み、材齢1年までの性状について報告し²⁾、養生期間の確保が重要であることを指摘した。今般、材齢3年までの強度変化と中性化による圧縮強度への影響を確認できたので報告する。

2. 試験方法

試験体の作製や試験の方法は前報と同様である²⁾。表1、表2に示す材料、配合で $\phi 5 \times 10$ cmの円柱供試体を作製した。所定の材齢まで20°Cで封緘養生し、圧縮強度(JSCE-G 505-1999)と静弾性係数(JIS A 1149:2001)を測定した。また、一部の試験体は材齢1年経過後、3年まで20°C-60%RH、CO₂濃度5%の環境で中性化促進養生を行った。促進養生を行った試験体は、強度試験後にフェノールフタレイン=アルコール溶液を用いて内部まで中性化していたことを確認した。化学組成(図3)は材齢373日における試験体の熱分析(TG-DTA)と波長分散型蛍光X線元素分析の結果から求めた。

3. 模擬ローマコンクリートの強度発現

作製した試験体の圧縮強度の発現はポルトランドセメントの場合と比較して緩やかであった。強度は材齢3年で30MPaを超える場合もあった(図1)。既報²⁾で指摘したように凝灰岩を含む配合では強度発現が促進された。しかし、材齢1年以後の強度の増加は認められなかった。凝灰岩を含まず、石炭灰の配合が多い配合#1では強度発現が遅く、材齢1年で約5MPaであったが、以後も強度が増加し、材齢3年では25MPaを超え、凝灰岩を含むペーストの強度を上回った。#1をマトリックスとするモルタルについても同様に材齢1年を超えて強度発現が継続した。

既報では骨材とマトリックスの二相複合材料として静弾性係数を評価した。配合#1のマトリックスと凝灰岩骨材を二相とするモルタル(#6)の場合、二相複合材料として予想される弾性係数より高い値を示した²⁾。材齢3年までの

表1 模擬コンクリートに使用した材料

種類	材料	産地・規格等
結合材	消石灰	葛生産
	石炭灰 (火山灰の代替)	フライアッシュ; II種 JIS A 6201:1999
	凝灰岩粉末	宇都宮産大谷石 粒径0.15mm以下
骨材*	凝灰岩粉砕物	宇都宮産大谷石 FM=2.72
	レンガ粉砕物	FM=2.72
水	水道水	

* ; JIS A 5005:1993 に準じて粒度調整

表2 模擬コンクリートの配合

#	配合割合 (質量比)					
	結合材			骨材		水
	消石灰	石炭灰	凝灰岩	凝灰岩	レンガ	
1	1	2	—	/	/	0.45
2	2	1	—			0.45
3	2	—	1			0.56
4	1	—	2			0.56
5	1	1	1			0.56
6	1	2	—	2	—	0.45
7	1	2	—	—	2	0.45
8	1	2	—	1	1	0.45

キーワード ローマコンクリート, 力学特性, ナチュラル・アナログ, 放射性廃棄物, 長期耐久性

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター 土木技術研究所 TEL 045-814-7226

強度発現の挙動から、実際の#6 のマトリックスの弾性係数は、予測に用いた#1 の弾性係数より高かったことが考察される。既報にて推察した骨材=マトリックス間の反応や、界面や近傍での性状変化について、その具体例としてマトリックスの強度発現の促進が挙げられることが分かった。

古代コンクリートの分類について、文献 3 を参考に化学組成に基づく指標を提案した²⁾。この指標で文献 4 の古代コンクリートを分類し (図 2)、今回の強度試験結果を整理した (図 3)。材齢 1 年までの関係では横軸=0.5 付近に強度に関する最適値が存在するようであったが、強度発現が十分に進行していると考えられる材齢 3 年においては、横軸の値と強度は正の相関を持つことが示された。このように、提案した指標は古代コンクリートに対して有用であることが確認できた。

4. 中性化による強度変化

材齢 1 年経過後に中性化促進養生を開始し、材齢 3 年が経過した試験体の圧縮強度を、初期から材齢 3 年まで 20℃で封緘養生を継続した試験体の圧縮強度に対する割合として図 4 に示す。横軸の値が 0.2 を越えると中性化により大きく強度が損なわれる。図 2 との対比から、古代コンクリートの種類によって初期性能の類推時に注意が必要であることが指摘できる。なお、図 2、図 4 から、ポルトランドセメントでは中性化による強度低下は小さいことが示唆され、一般に中性化促進試験において強度が増加する⁵⁾とされていることと大きく矛盾しない。

5. おわりに

ローマコンクリートを模擬した試験体を用いて、圧縮強度が 30MPa を超える場合があること、凝灰岩の配合は強度発現を促進すること、中性化により大幅な強度低下を生じる場合があることを示した。

また、これらの性状は養生や使用材料、配合に対して現代のセメント、コンクリートと比較して敏感に影響をうけるため、ナチュラル・アナログ等に展開を図る場合には十分な配慮が必要である。

参考文献 1)土木学会コンクリート委員会, 古代ローマコンクリート, コンクリートライブラリー131, 土木学会 (2009). 2)大脇英司ほか, 第 63 回年次学術講演会概要集, 土木学会, CS05-30, 227 (2008). 3) W. Jiang and D. M. Roy, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **333**, 335 (1994). 4) C. A. Langton and D. M. Roy, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **26**, 543 (1994). 5) 日本コンクリート工学協会: 炭酸化研究委員会報告書, 49, 1993.

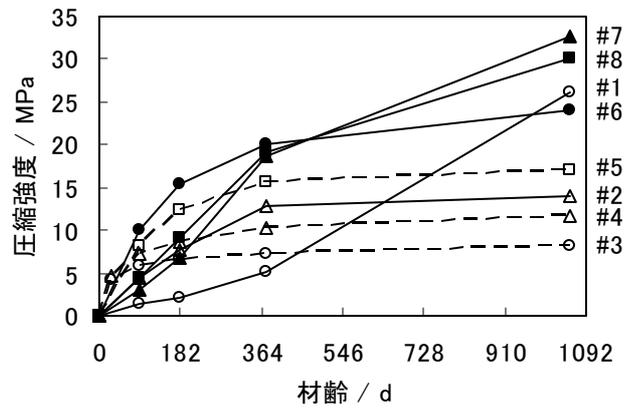


図 1 化学組成と圧縮強度

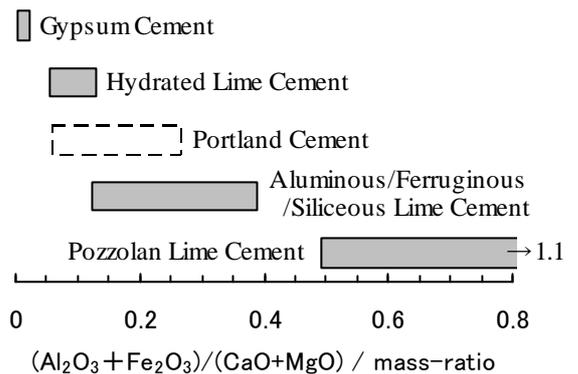


図 2 古代コンクリートの分類

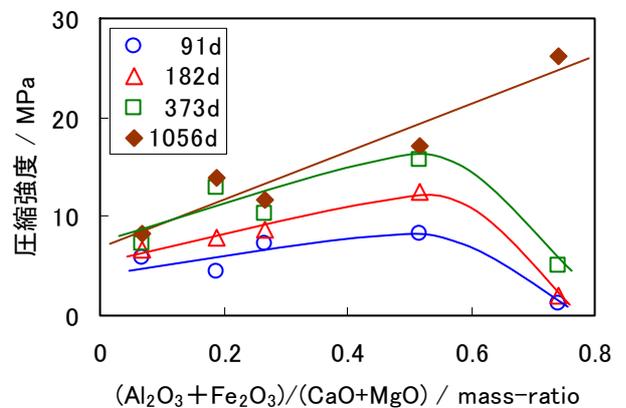


図 3 化学組成と圧縮強度

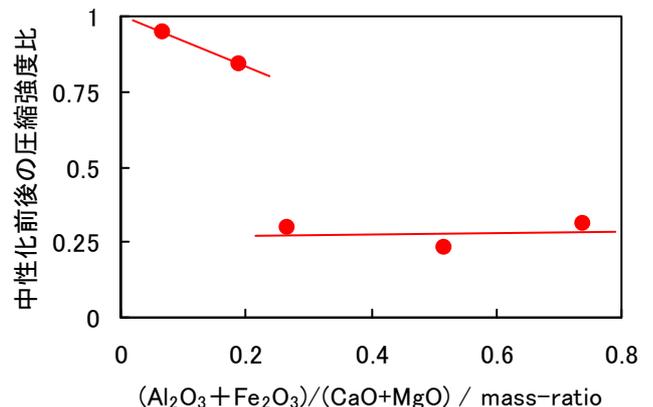


図 4 化学組成と中性化による強度変化