

ローマコンクリートを模擬した試験体の力学性状の検討

大成建設(株)技術企画部 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

1. はじめに

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、古代コンクリートの分析など、種々の調査を進めている。成果は考古学領域での適用にとどまらず、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手法の検証などへの展開が期待される¹⁾。力学性状の評価は重要だが古代の試料は貴重であり、大きさや数量も限られるため試験機会は多くない。有効な試験の実施のため、現代の材料を対象とする試験法の適用性の確認が必要である。本報告ではローマコンクリートを再現し、力学試験の適用性やコンクリートの特徴について検討した。

2. 材料および配合

Vitruvius の記録²⁾を参考に、表 1 に示す材料でペースト、モルタルを作製した。配合は古代コンクリートに関する分類³⁾を勘案した(図 1、表 2)。

3. 試験方法

土木学会規準(JSCE-G 506-1999)に準じてφ5×10cmの円筒供試体を作製した。所定の材齢まで20℃で封緘養生し、動弾性係数(JIS A 1127:2001)、圧縮強度(JSCE-G 505-1999)、静弾性係数を測定した。静弾性係数はJIS A 1149:2001に従い、応力-ひずみ曲線におけるひずみ量50μmの点と最大応力の1/3の点の間の割線弾性係数を求めた。また、50μmの点と最大応力の1/4の点での割線弾性係数と初期弾性係数も求めた。

化学組成(図 1)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。

4. 模擬試験体の圧縮強度

強度発現は緩やかであったが(図 2)、モルタル試験体では材齢 1 年で 20MPa 程度の強度が得られた。凝灰岩粉末を含む配合では材齢半年程度までの強度発現が早くなる傾向にあった。また、石炭灰を含む配合では材齢 1 年まで強度発現が継続した。古代コンクリートの再現試験では養生期間の確保が重要である。

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

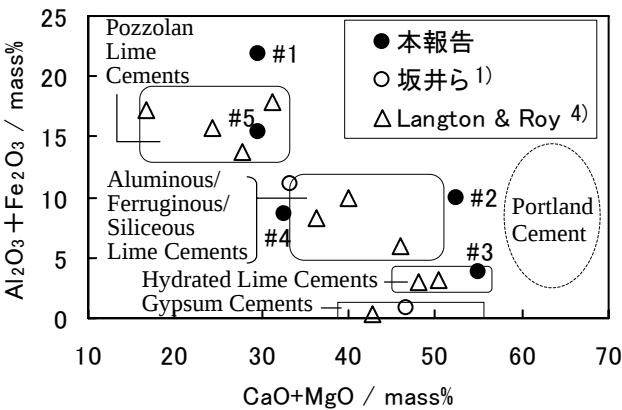


図 1 模擬コンクリートの化学組成
文献 3) の図を再構成

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	—	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 技術企画部 企画室 TEL 045-814-7221

図1を参考に化学組成の指標を定め、圧縮強度との関係を図3に示す。配合が異なると同一材齢であっても水和反応の進行が同様ではないため必ずしも正確な評価ではないが、横軸の値が0.5付近で圧縮強度が高くなる傾向が認められた。図1に示す既往の指標や図3で考案した指標は古代コンクリートを理解する上で有用であると考えられる。

5. 模擬試験体の弾性係数

動弾性係数と静弾性係数の関係を図4に示す。両者は良い相関を示し、その値は最大応力の1/4の点を用いて求めた割線弾性係数とほぼ一致した。圧縮試験による試験体の破損を避けて静弾性係数が推定できることが確認できた。

コンクリートを骨材とマトリックスの二相複合材料として弾性係数を評価するモデルが知られている⁵⁾。弾性係数の上限は並列モデルで、下限値は直列モデルで示されるが、測定結果は上限値より大きく、特に凝灰岩骨材を配合した場合に顕著であった。これは骨材がマトリックスと反応し、界面やその近傍の性状が変化しているものと推察した。

6. 弾性係数と圧縮強度の関係

コンクリートの静弾性係数と圧縮強度の関係を示す式は種々提案されている。式(1)に例を示す⁵⁾。

$$E(\text{GPa}) = a \cdot \rho(\text{g/cm}^3)^{1.5} \cdot \sqrt{\sigma(\text{MPa})} \quad \text{式(1)}$$

ただし、 E ; 静弾性係数, a ; 定数, ρ ; 密度, σ ; 圧縮強度。

試験結果から最適化を行い $a = 0.78$, 相関係数: 0.88 を得た。既往の方法を基に弾性係数から圧縮強度を推定することができるものと思われる。

7. まとめ

ローマコンクリートを模擬した試験体を用いて既往の力学試験方法について適用性などを検討した。現代のコンクリートに対する試験法や評価法が適用できたが、骨材とマトリックスとの相互作用に注意が必要であること、再現試験の際には十分な養生期間が必要であることが指摘された。

謝辞: 貴重な議論をいただきました日本原燃株式会社庭瀬一仁氏、土木学会コンクリート委員会ローマコンクリート調査小委員会(委員長: 東京工業大学坂井悦郎教授)の皆様に感謝いたします。

参考文献 1) 坂井悦郎ほか, *J. Soc. Inorganic Mat., Jpn.*, **14**, 146(2007). 2) 森田慶一訳注, "ウィトルーウィウス建築書", 東海大学出版会(1979). 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) 岡田清・六車照編, "コンクリート工学ハンドブック", 466-467, 朝倉書店(1981).

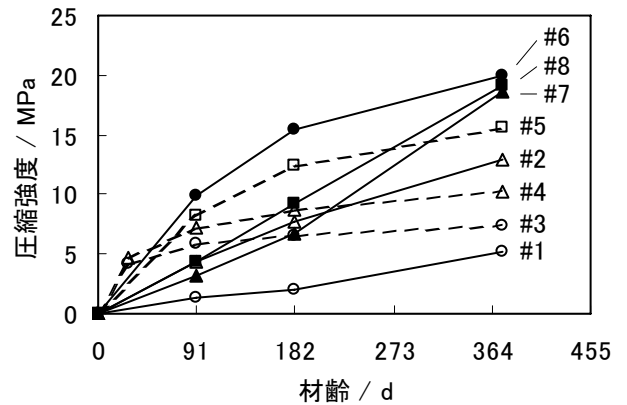


図2 圧縮強度の発現性

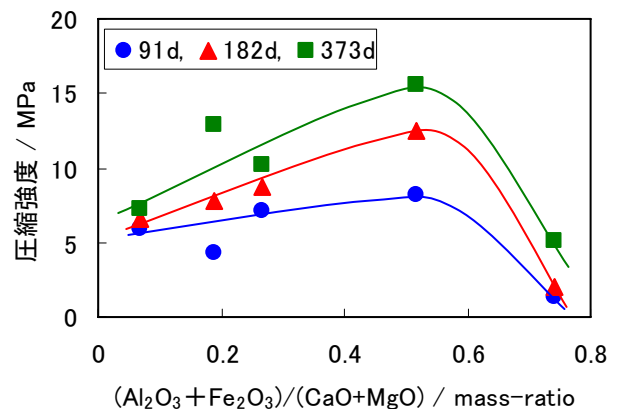


図3 化学組成と圧縮強度

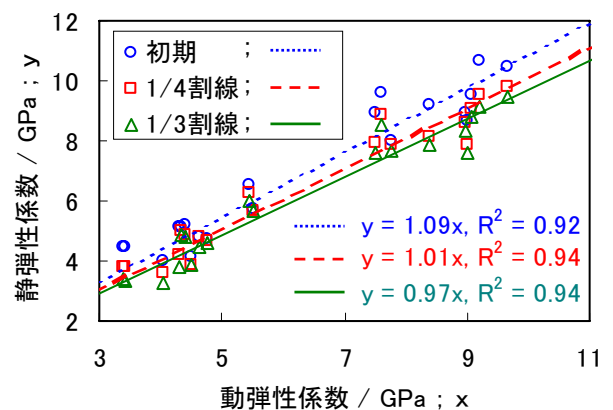


図4 動弾性係数と静弾性係数

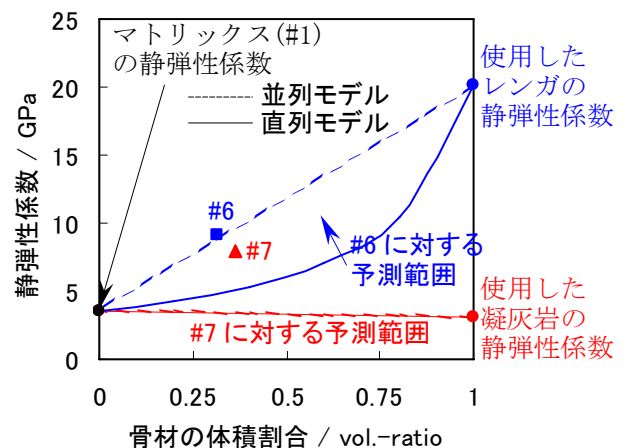


図5 複合体モデルと静弾性係数