

画像解析を用いた乾燥収縮ひびわれが生じた模擬コンクリートの圧縮特性評価

大成建設株式会社 正会員 佐藤 克樹
 名古屋大学 正会員 三浦 泰人
 名古屋大学 正会員 中村 光

1. はじめに

乾燥収縮は、セメント系材料の収縮現象で、収縮によってひび割れを誘発する。本研究では、乾燥収縮ひび割れの中でもセメントペーストと骨材の収縮特性の差やコンクリート表面と内部の収縮挙動の差によって引き起こされるひび割れに着目した。このひび割れは骨材とセメントペーストの界面から放射状に伝播することが観察されており¹⁾、弾性係数の低下に関与することが分かっている²⁾。一方、乾燥収縮による圧縮強度の変化は、増加あるいは低下するとした実験結果に分かれており、いまだ議論がなされている。著者らは、力学的に導入したひび割れ³⁾や内部膨張劣化によるひび割れ⁴⁾に伴う強度低下は、主応力方向の圧縮応力伝達経路がひび割れによって制限されることで生じるというメカニズムを提案している。本研究では、Lagierら¹⁾の人工骨材を用いた実験を参考に、乾燥収縮による圧縮特性の変化を画像解析によって評価した。

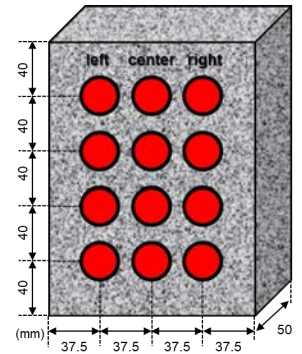


図-1 模擬コンクリート

2. 実験概要

本実験では、骨材の形状やランダムな配置などの影響を排除するために、円柱形の人工骨材を12個配置することで、骨材形状・配置が奥行き方向で変化しない模擬コンクリートを用いた(図-1)。人工骨材と母材モルタルは表-1に示す示方配合で作製した。人工骨材は、低W/Cのモルタルによって作製し、天然骨材の剛性に近づけるために比重の大きい電気炉酸化スラグ細骨材を用いた。各材料の圧縮強度と弾性係数は、それぞれ58.5MPa, 48.9GPa(人工骨材), 51.7MPa, 25.3GPa(母材モルタル)であった。本実験は図-2に示す手順で乾燥条件を設定した。人工骨材を作製後、母材モルタルを打設して模擬コンクリートを作製し、14日間水中養生を行った。乾燥ケース(Dry)では20±1°C, RH30±5%の環境に21, 56日間静置した。比較のため、

表-1 示方配合

	W/C	S/C	W	C	S	AE	HRWRA	AFK-2
人工骨材	0.25	3	141	566	1697	-	5.66	0.14
母材モルタル	0.55	2.5	295	535	1339	5350	-	-

HRWRA、AFK：高性能AE減水剤
 単位：W、C、S：kg/m³ AE、HRWRA、AFK-2：g/m³

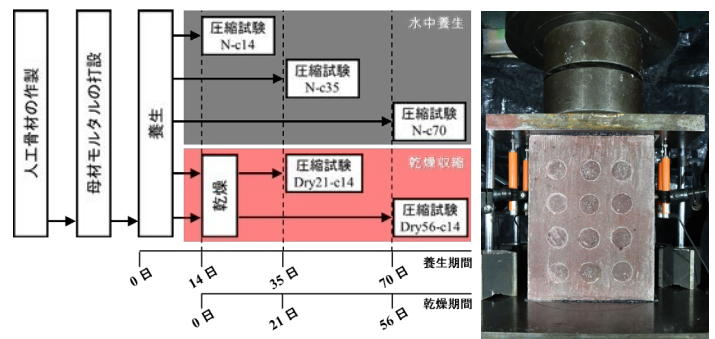


図-2 乾燥手順

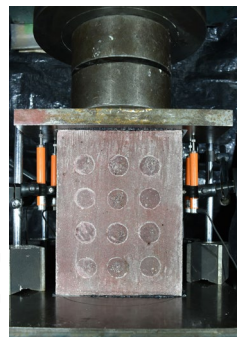


図-3 実験の様子

乾燥期間と対応する期間水中養生を継続させたケース(N)を用意した。所定の乾燥あるいは養生の後、一軸圧縮試験を行い、圧縮強度と弾性係数を測定した。圧縮試験中に試験体の表面を対象に画像相関法(DIC)を行うことで、観測対象面の主ひずみ分布を測定した(図-3)。なお、弾性係数は変位計(LVDT)とDICのそれぞれから算出した。

3. 実験結果

図-4に圧縮強度と弾性係数の時間変化を示す。横軸は養生期間と乾燥期間のそれぞれを示している。乾燥56日(養生70日)の結果を比較すると、圧縮強度は、Nに比べてDryの方が17.7%高いことが確認された。一方、弾性係数はDryの方が16.7%低いことが確認された。これは圧縮強度が増加するとした既往研究⁵⁾と一致する。

4. 乾燥収縮ひび割れの圧縮特性への関与

図-5, 6にDICで観測したN-c70, Dry56-c14の各応力レベルにおける引張, 圧縮主ひずみ分布をそれぞれ示す。

キーワード コンクリート, 乾燥収縮, 人工骨材, DIC, 圧縮強度, 弾性係数

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1(新宿センタービル) TEL 090-3950-1744

N-c70 では、塑性挙動を示し始める応力レベル 34%から微細なひび割れが発生し、人工骨材を繋ぐような縦方向のひび割れが進展する。最終的に荷重方向に人工骨材がない母材モルタルの領域にひび割れが生じることで圧縮強度に至った。一方、Dry では、低応力レベル (26%) で人工骨材を繋ぐ水平、鉛直方向のひび割れや、人工骨材界面の高い圧縮主ひずみが確認できる。これは、乾燥中に人工骨材界面から放射状に進展したひび割れ同士が連結したものであり、界面の高い圧縮主ひずみはこのひび割れに起因すると考えられる。ただし、応力レベルの増加によるひびわれ進展プロセスや破壊プロセスは N と同様であった。

このことから、乾燥収縮による弾性係数の低下は、人工骨材から発生したひび割れが荷重方向の応力伝達経路を制限することや、骨材界面の応力伝達を阻害することが原因と考えられる。一方、圧縮強度が低下しない理由は、乾燥収縮ひび割れが生じたとしても、これが圧縮破壊プロセスに関与しなかったためと考えられる。すなわち、乾燥収縮ひび割れは応力伝達経路を制限するが、内部膨張劣化のように終局時の破壊領域が変化するなど破壊プロセスに影響しなかったため強度低下が生じなかったと考えられる。なお、乾燥過程における圧縮強度の増加は、内部の含水率が高いと強度が 1 割程度低下する⁵⁾ので、養生 14 日の圧縮強度が元々小さかったためと考えられる。

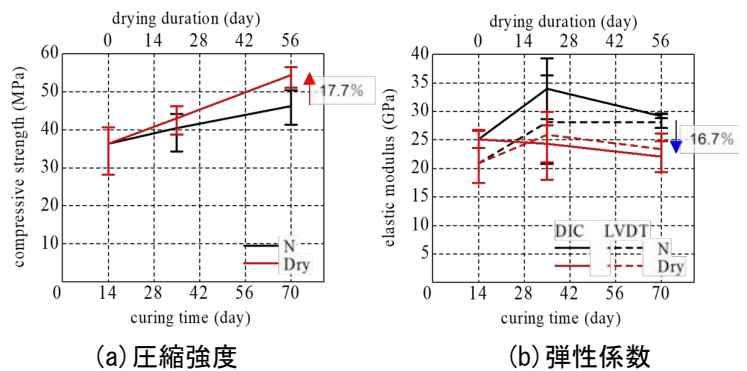
5. まとめ

乾燥収縮ひび割れが生じた模擬コンクリートの圧縮試験結果から、圧縮強度は N に比べて Dry の方が 17.7% 高く、弾性係数は Dry の方が 16.7% 低いことが確認された。画像解析の結果から、乾燥収縮ひび割れは圧縮破壊プロセスには関与し

ないため圧縮強度には影響しないが、応力伝達経路が制限されることで弾性係数を低下させる可能性を示唆した。

参考文献

- 1) Lagier F. et al., (2011): Numerical strategies for prediction of drying cracks in heterogeneous materials: Comparison upon experimental results, *Engineering Structures*, Vol. 33, pp. 920-931.
- 2) Sasano H et al., (2021): Mechanism of drying -induced change in the physical properties of concrete: A mesoscale simulation study, *Cement and Concrete Research*, Vol.143, 106401,
- 3) Miura T. et al., (2020): The role of microcracking on the compressive strength and stiffness of cracked concrete with different crack widths and angles evaluated by DIC, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 114, 103768.
- 4) Miura T. et al., (2022): Mechanism for reduction in compressive properties of cementitious materials in relation to internal crack patterns due to ASR and DEF expansion, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 128, 104441.
- 5) Onoue K. et al., (2012): Reduction mechanism of fatigue strength of concrete under compression due to permeation of liquids, *Construction and Building Materials*, 37, pp.82-92.



(a) 圧縮強度 (b) 弾性係数

図-4 圧縮強度、弾性係数-養生、乾燥期間関係

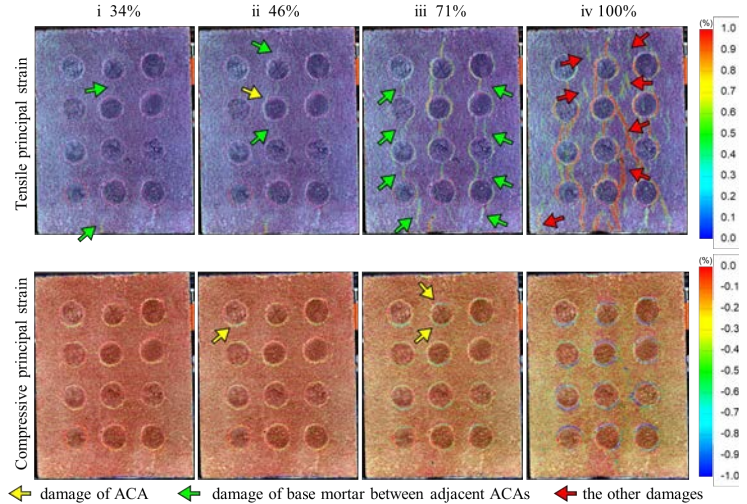


図-5 引張、圧縮主ひずみ分布 (N-c70)

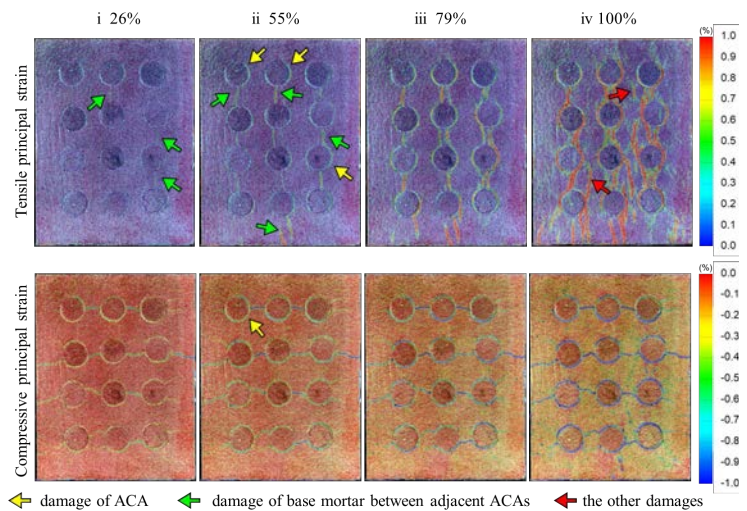


図-6 引張、圧縮主ひずみ分布 (Dry56-c14)