高温履歴を受けたコンクリートの界面損傷の把握

香川大学　賛助会員　○藤村素直　正会員　岡崎慎一郎
茨城大学　正会員　車谷麻緒

１．　はじめに

現在，都市の温暖化に伴い，構造物の周辺をとりまく温度が年々増加傾向にある．このような状況下にあって，セメントの水和熱によって，マスコンクリートなど大断面を有するコンクリート部材の中心温度は80℃を超える場合がある。若材令時に高い温度履歴を受けると，初期強度は高く発現するが，長期強度は低くなることが知られている。硬化後に DEF と呼ばれる遅延エトリンガイトが生成されて，コンクリートを膨張させ，コンクリートに特徴的なひび割れが生じる事例が報告されている．さらに，高温環境下ではセメントペースト部分の自己収縮が卓越し，骨材がその収縮を拘束するため，骨材周りに微細なひび割れが生じる場合がある．

本研究は，80℃レベルの高温履歴を受けるコンクリートの比較的マクロな挙動変化に焦点を当て，特に骨材周辺の損傷の可視化に関する実験を，模擬コンクリート試験体を用い，種々の方法で評価するものである。

２．　模擬コンクリート試験体

高温履歴を受けたコンクリート中の，骨材とセメントペーストとの界面に発生する微細なひび割れの可視化を行うため，本研究では，熱膨張係数が様々に異なる円柱状の模擬骨材を用いて，概ね平面ひずみ状態を再現した試験体を対象に，若材令時に高温履歴を与え，ひび割れの発生性状を可視化した。

円筒状のアルミニウム，ガラス，石灰岩，大理石をそれぞれ 4 本ずつ，模擬骨材として用いたコンクリート試験体（表-1）を作製した。なお，線膨張係数を**表-1** に示す。配合は W/C=50%のセメントペーストとする．供試体は普通ポルトラルセメント(密度 3.16g/cm^3，表面積 3,320cm^2/g)を用いた．

セメントペーストを型枠に打設した後，表面が乾燥するのを待ち，打設面を封緘し，打設から 24 時間後に脱型した後に，20℃一定の養生環境にて水中養生を行った．養生期間は 7 日とし，養生終了後，封緘状態にし，80℃の高温を与えた．

表-1 材料の線膨張係数

セメント	アルミニウム	ガラス	石灰岩	大理石
13	32	7.26	5.9	9.7

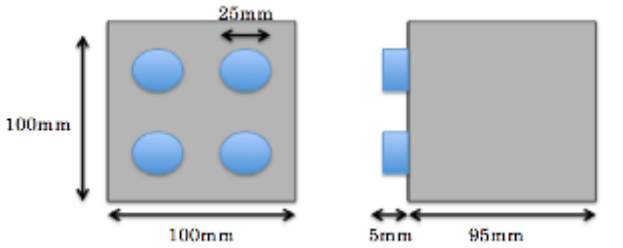

図-1　試験体の寸法

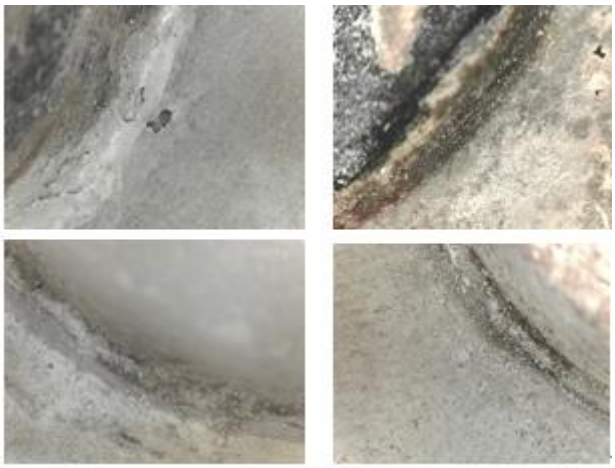

写真-1 骨材界面（左上：アルミ，右上：ガラス，左下：大理石，右下：石灰岩）

３．マイクロスコープによる損傷観察

アルミニウムの線膨張係数は，セメントペーストのそれよりも大きく，高温履歴を受けた場合，骨材の界面からセメントペースト側に向かって応力を受ける。また，それ以外の材料の線膨張係数は，セメントペーストのそれよりも小さく，セメントペースト側から骨材に向かう方向に応力を受ける。

写真-1 に各模擬骨材の骨材界面をマイクロスコープにより撮影したものを示す。いずれも，マイクロスコープでは損傷を確認することはできなかった。

一見，損傷は生じていないので健全であろうと思われるが，線膨張係数の相違は大きな応力を発生させていると考えられ，別のアプローチをとることと

した。

４．画像解析によるひずみ場の測定 [1)]

４．１　概要

本研究では画像相関法に基づく画像解析により，デジタルカメラを用いた画像から，平面のひずみ場を測定することとした。

画像相関法とは，連続して撮影された画像内に測定領域を設定し，測定領域内の輝度値パターンの類似する点を追跡することによって，対象の変形量を 2 次元に測定する手法を指す.

セメントペースト部分は輝度値パターンに特徴がないので，輝度分布に特徴を付与させるためにスプレーを噴霧することで，輝度値パターンのランダム性を高めた。また，撮影時に蛍光灯を使用すると光度にばらつきが生じるため，光度のばらつきが少ない LED ライトを使用した。実験時の様子を**写真-2** に示す。高温履歴を試験体に与えた後，写真-2 のように台に試験体を載せ，デジタルカメラにより画像を撮影した。

４．２　結果

画像解析の結果を写真-3 に示す。鉄を用いた供試体においては明確なひずみを骨材間で確認することができた。マイクロスコープでの検討では，セメントペーストが塑性域であったためひび割れが確認できなかったが，骨材周辺に，骨材間をつなぐような引張ひずみが，高温履歴により生じたことが確認された。

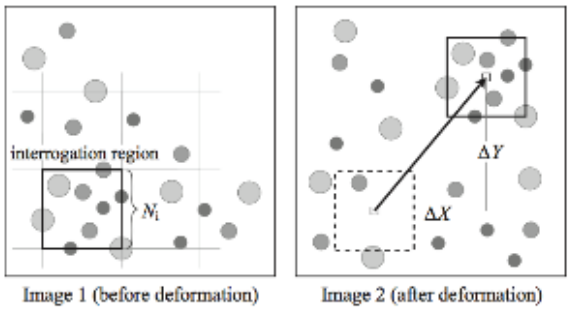

図-2 画像相関法による変形量測定

写真-2　撮影時の様子

鉄の線膨張係数はセメントペーストの線膨張係数よりも小さいがセメントペーストの被りによって引張方向の力がかかったため，ひずみが大きく生じたと考えられる.

５．数値解析による妥当性検証

模擬骨材とセメントペーストとの界面に生じたひずみが妥当であることを，数値解析により検証する。直方体のコンサート試験体から，骨材位置に相当する部分をくりぬき，くりぬいた部分の表面から内側に向かう変位を与えることにより，疑似的に高温作用によって生じるセメントペーストと骨材の膨張の程度の相違を表現した。

破壊力学に基づいた損傷モデルによる有限要素法を用いて計算を実施した。

鉄を用いた供試体では画像解析の結果と同様に骨材間と骨材から外部に向かってひずみを観測した.またガラスを用いた供試体では骨材周辺にひずみを観測し，画像解析とほぼ同様の結果を得ることができた.

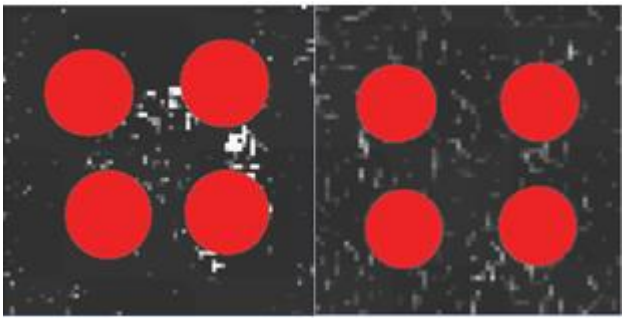

図-3　画像解析の結果の（左：鉄，右：ガラス）

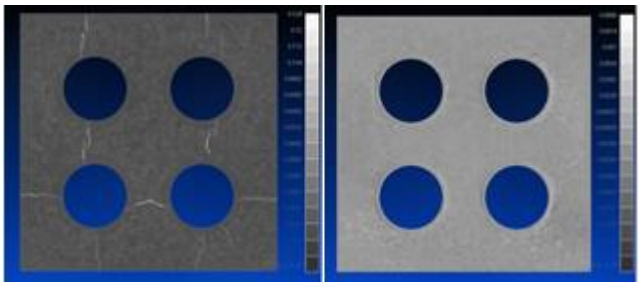

図-4　数値結果（左：鉄，右：ガラス）

参考文献

1)　車谷 麻緒，松浦 遵，根本 忍，呉 智深：コンクリートのひび割れ進展計測のための画像解析手法に関する基礎的研究，土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 70, No. 2, p135-144, 2014.