

X線CTを用いた側面拘束の有無による円柱供試体内部でのASR膨張過程の比較

近畿大学 正会員 ○麓 隆行
近畿大学大学院 学生会員 菊池慎太郎
近畿大学 非会員 辰巳 貴仁
大阪工業大学 正会員 三方 康弘

1. 目的

劣化した構造物の耐荷性能を評価する際には、構造体内部の劣化の空間的なばらつきが重要となる。アルカリシリカ反応(以下 ASR)による劣化では、反応性骨材表面に生じた生成物が膨張し、内部ひび割れ進展する。その内部ひび割れは、無拘束の場合には空間内に均質に分布するが、拘束された場合、鉄筋の配置や拘束力等によって不均質になると考えられる。しかし、そのひび割れの空間的な特徴は未解明なことも多い。

麓らは、X線 Computed Tomography(CT)を用いた既往の研究¹⁾に基づき、さらに空間的な膨張箇所やひび割れの方向性を分離、計測できる可能性があると考えた。そこで本研究では、反応性細骨材を混合したモルタル円柱供試体の側面拘束有無による内部膨張過程の特徴を、X線CT画像を用いて検討した。

2. 実験概要

水道水(W)、普通ポルトランドセメント(C:密度 3.16g/cm³)、輝石安山岩砕砂(Sr:反応性、表乾密度 2.64g/cm³、吸水率 3.0%)、銅スラグ細骨材(SCu:非反応性、表乾密度 3.47g/cm³、吸水率 0.4%)、硬質砂岩砕砂(Sn:非反応性、表乾密度 2.64g/cm³、吸水率 1.9%)、塩(NaCl)、増粘剤(V)を用いてモルタルを作製した。表1に示すように、反応性細骨材と非反応性細骨材との体積比をペシマムとなる1:1とし、NaClによりアルカリ量をNa₂O等量 8.09kg/m³に調整した。SCuは画像計測の精度改善を目的に、細骨材全体積の30%となる量をSnの一部として置換した。また、ブリーディングを防ぐため、増粘剤を用いた。ミキサによる練混ぜ直後のモルタルフローは183.5mm、質量法で計測した空気量は1.4%であった。

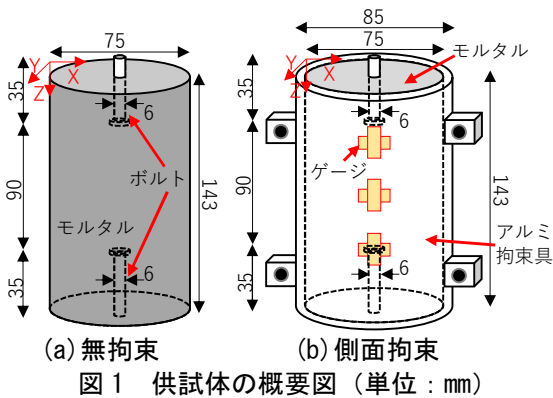
その後、直径75mm、高さ150mmのモルタル円柱供試体を2体作製した。いずれも長さ変化率を測定するため、図1(a)のように上下面に直径6mm、長さ35mmのアルミ製ボルトを、打設時に埋め込んだ。供試体は室温20℃、湿度60%の恒温室内に24時間静置後、脱型して20℃の恒温水槽で28日間養生した。その後、側面拘束の試験体を、図1(b)のように厚さ5mmのアルミ拘束具で側面を覆い、圧力が生じないように4カ所の突起部でネジ止めした。供試体とアルミ拘束具との間には

表1 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)						
		W	C	Sr	SCu	Sn	NaCl	V
45.5	2.18	298	656	652	515	260	8.70	9.84

2重のテフロンシートを挟んだ。2体の供試体は温度40℃、湿度95%以上の恒温恒湿容器で保存し、所定の日数で以降の計測を行った。

計測は、長さ変化率およびX線CT画像を用いた内部変形とした。長さ変化率はJIS A 1129-3を参考に160mmのステンレス製標準棒を用いて図1(a)の無拘束供試体のボルト先端間の距離の変化をダイヤルゲージで計測し、ボルト頭部間の距離(約90mm)を基長として算出した。内部変形計測は、近畿大学所有のX線CT装置で供試体高さ中央から±約37mmの範囲を、管電圧200kV、管電流100μA、積算レート2frames/s、プロジェクション2000枚、銅板2mm、解像度0.0615mmの条件で撮影し、



キーワード アルカリ骨材反応、ひび割れ、X線CT、3次元画像相関法、拘束
連絡先 〒5770082 大阪府東大阪市小若江3-4-1
近畿大学理工学部社会環境工学科 TEL 06-4307-3557

保存前と所定の日数の撮影画像を用いた3次元画像相関法（Digital Volume Correlation, 以下、DVC）により行った。相関領域を 24voxels (1.47mm), その図心間距離を 12voxels (0.74mm) とした。図 1 に示す各軸方向の変位から各軸方向の工学ひずみと、それらを合計した体積ひずみを算出した。

3. 実験結果と考察

図 2 に、長さ変化率の推移を示す。無拘束の場合には膨張量が保存 56 日まで急激に増加した後、緩やかとなった。側面拘束の場合には、無拘束の場合に比べて膨張量の増加は緩やかだが、保存 112 日まで膨張した。

表 2 に、供試体内部のうち、中心軸に沿った XZ (垂直) 断面の各種ひずみ分布を示す。赤色は膨張 (正值) を、青色は収縮 (負値) を示す。体積ひずみでは、側面拘束の有無に拘わらず、保存 28 日では膨張はわずかで差は見られない。保存 56 日では、側面拘束の場合に比べて無拘束の場合に、より膨張量の大きなひずみが多くみられた。保存 112 日ではその差は小さくなったものの、無拘束の場合のほうが明確な網目状の膨張ひずみがみられた。水平方向と垂直方向のひずみ図では、無拘束の場合の膨張に方向性はみられない。側面拘束の場合には、いずれの保存材齢でも水平方向の膨張に比べて、水平ひび割れによる垂直方向の膨張がわずかに小さい傾向にあった。なお、図 3 に示すように保存 112 日では側面拘束の有無に拘わらず、ひずみ値に方向性はほぼないと考えられる。すなわち、側面拘束により水平方向の膨張だけでなく、垂直方向の膨張も拘束され、図 2 のような長さ変化率の差が生じたと考えられる。

4. まとめ

側面拘束を受けた円柱供試体内部では、無拘束の場合に比べて水平および垂直の両方向に ASR 膨張による内部ひずみが緩やかに生じ、長さ変化率が緩やかな膨張を示した。ただし、内部膨張に方向性や特徴はみられなかった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K04221 の助成を受けた。

参考文献

1) 麓隆行他:ASR 模擬供試体内部の膨張計測への X 線 CT 画像を用いた画像相関法の適用性、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.74、V-236 (2019)

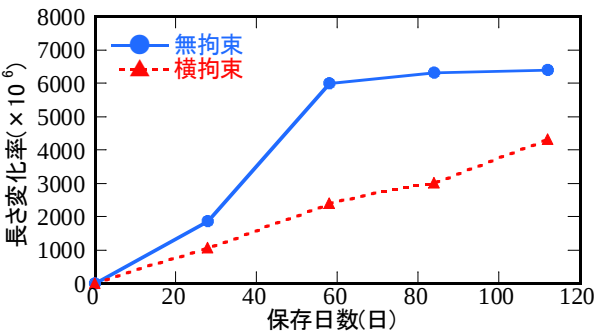


図 2 長さ変化率の変化

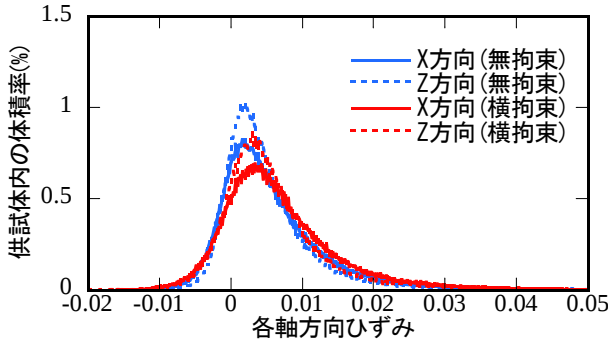


図 3 保存 112 日での X、Z 軸方向ひずみ分布の比較

表 2 供試体中央の XZ (垂直断面)における体積ひずみ、X 方向ひずみ、Z 方向ひずみ分布 (赤: 膨張, 青: 収縮)

種類	無拘束			側面拘束			凡例
	28 日	56 日	112 日	28 日	56 日	112 日	
体積ひずみ							0.08 -0.08
X 方向ひずみ							0.05 -0.05
Z 方向ひずみ							0.05 -0.05