X 線 CT 法を用いた拘束下の ASR 反応性骨材を用いた供試体内部の基礎検討

近畿大学理工学部　学生員　山本　康輔
近畿大学理工学部　正会員　麓　　隆行
大阪工業大学工学部　正会員　三方　康弘
西日本高速道路　正会員　大林　俊介

１．はじめに

アルカリシリカ反応（Alkali silica Reaction：以下 ASR）の生成物が膨張すると，ひび割れが生じ，コンクリートの強度や耐久性が大幅に低下する．その現象は多様な供試体で再現されてきたが，ASR による供試体内部の劣化過程を可視化した事例は少ない．本研究では，X 線 Computed Tomography（CT）装置を用いた手法により，拘束条件の違いがＡＳＲによる供試体内部の変化に及ぼす影響について定期的に把握した．

２．実験概要

表-1 にコンクリートの配合表を示す．細骨材には，川砂（Sn，表乾密度 2.61g/cm^3，吸水率 1.9%，粗粒率 2.64），反応性砕砂（Sr，輝石安山岩，表乾密度 2.67g/cm^3，吸水率 0.8%），砕石（Gn，表乾密度 2.63g/cm^3，吸水率 0.8%）および反応性砕石（Gr，輝石安山岩，表乾密度 2.64g/cm^3，吸水率 0.9%）を用い，ペシマム量となるように細・粗骨材ごとに体積比 1:1 で混合した．

表-1 配合表

W/C (%)	単位量(kg/m^3)						
	W	C	Sn	Sr	Gn	Gr	A
45	163	358	356	365	550	572	46

A：混和剤(AE 減水剤高機能タイプ)

表-2 撮影条件

管電圧 (kV)	管電流 (μA)	積算ﾚｰﾄ (f/s)	ﾌﾟﾛｼﾞｪｸｼｮﾝ数	銅板 (mm)	分解能 (mm)	撮影時間(s)
180	100	2	2000	3	0.123	1000

直径 100mm，高さ 200mm の供試体を 4 体作製した。打設直後に温度 20℃，相対湿度 90%以上の室内で 28 日間養生，脱型後，材齢 30 日まで同環境で養生した．

実験要因として拘束条件は無拘束，軸拘束，横拘束の 3 種類を選定し，さらに軸拘束では，供試体上下面に鋼板を設置し，1.5kN または 3.0kN の圧縮力を上下から与えた後，ネジ棒で鋼板を固定し，合計 4 種類の供試体を製作した．拘束条件を図-1 に示す．また横拘束では，厚さ 15mm のアルミ枠の内側を厚さ 0.1mm のテフロンシートで覆い，供試体の側面からネジで固定した．拘束後の各供試体の超音波伝搬速度を再び計測した後，近畿大学が所有する X 線 CT 装置[1)]で 3 次元画像を取得した．表-2 に撮影条件を示す．なお軸拘束では，X 線 CT 装置に付属した載荷装置で同荷重を再現した状態でネジ棒を取り外して撮影後，再びネジ棒を設置，除荷した．その後，すべての供試体を温度 40℃，相対湿度 95%以上で保存した．約 4 週間に一度，保存容器から取り出し，拘束状態のまま，超音波伝搬速度および X 線 CT 画像の取得を行った．保存開始前の画像と，その後の画像を用いて，画像相関法(Digital Volume Correlation，以下 DVC)を，Correlation Window を一辺約 3mm の立方体，その重心間隔を約 1.5mm として実施した[2)]．計測結果から供試体高さ中央付近の供試体中心と側面との X，Y 方向の各変位差，および鉛直方向に離れた 2 水平面の Z 方向の平均変位差を用いて各軸方向ひずみを算出し，X 方向ひずみと Y 方向ひずみの平均値を水平ひずみ，Z 方向ひずみを垂直ひずみとした．

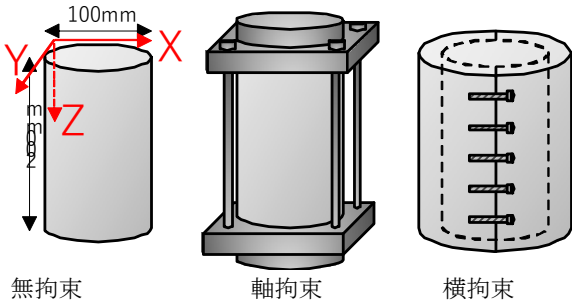

図-1　拘束供試体イメージ

３．実験結果と考察

図-2 に超音波伝播速度の計測結果を示す．最初のプロットは拘束前の結果である．超音波伝播速度は，約 4000m/s と，拘束前との差は見られない．拘束後は，軸拘束を行った場合に 30 日に速度が低下したが，その

キーワード　ASR，コンクリート，拘束，非破壊試験，X 線 CT，画像相関法
連絡先　〒577-8502　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　ＴＥＬ06-4307-3557

© Japan Society of Civil Engineers

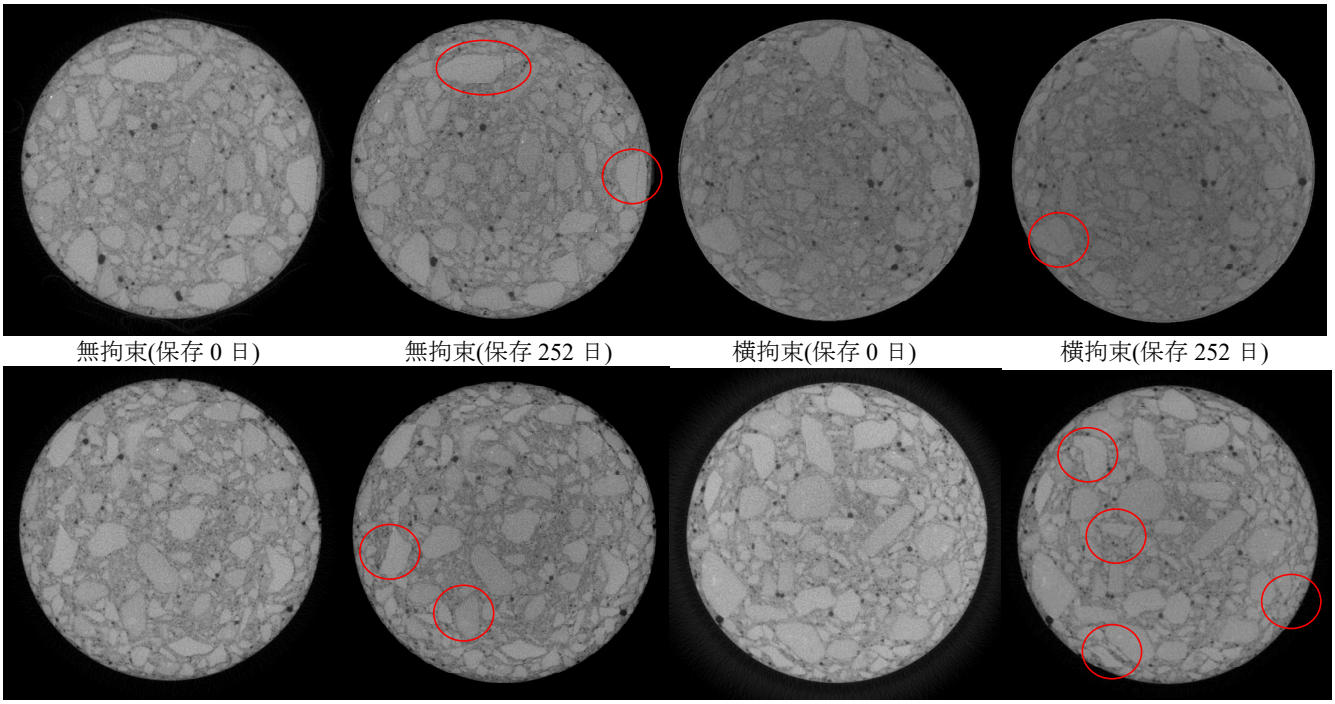

図-3　各供試体で粗骨材等にひび割れが生じた水平断面の保存開始日と 252 日後の比較

後，拘束の有無に関わらず，保存日数の経過による速度の変化はなかった．なお，明確な劣化が見られず，軸拘束供試体の 30 日での速度低下の要因は明らかではない．

表-3 に 252 日時点の DVC による供試体内部の変形計測結果から算出した水平および垂直ひずみの平均値を示す．無拘束の場合，方向にかかわらず，800μ ほどのひずみが生じていた．これに対し，横拘束では，いずれのひずみも小さくなった．軸拘束では，垂直ひずみで圧縮クリープによる収縮が見られた．ただし，拘束圧が大きいほど，収縮ひずみは小さくなった．一方，水平ひずみは，無拘束の場合より減少した．

図-3 に各供試体の X 線 CT 画像から特徴ある水平断面の保存開始日と 252 日後を抽出した．無拘束の場合，側面付近での粗骨材等のひび割れが多く見られた．横拘束や 1.5kN 軸拘束の場合，供試体内部で目立ったひび割れは少なかったが，3.0kN の荷重では断面中心付近でも粗骨材等のひび割れが見られた．

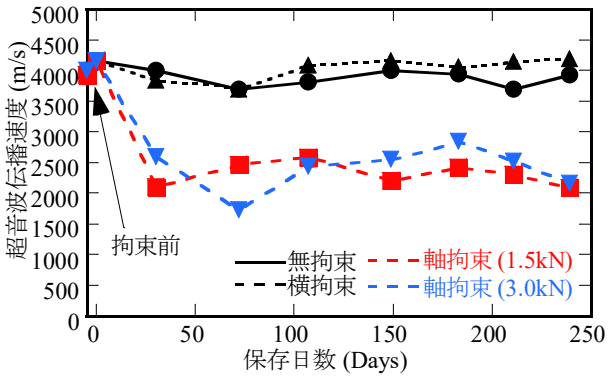

図-2　超音波伝播速度の計測結果

表-3　DVC 結果から算出した供試体内部の軸ひずみ(252 日)

供試体種類	垂直ひずみ ($\times 10^{-6}$)	水平ひずみ ($\times 10^{-6}$)
無拘束	757	890
横拘束	180	-353
軸拘束(1.5kN)	-1202	437
軸拘束(3.0kN)	-677	556

注)正の値は膨張，負の値は収縮を示す．

4．まとめ

円柱供試体内部における初期の ASR 劣化において，無拘束では側面近くで多数のひび割れとともに垂直・水平方向ともに膨張ひずみが計測されるが，横拘束では拘束や摩擦で膨張が妨げられ，ひび割れも膨張ひずみも見られなかった．軸拘束では圧縮クリープによる軸方向の収縮ひずみが生じるが，ASR による膨張が生じた供試体では収縮ひずみが小さい値となった．今後，計測を継続し，推移を報告したい．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 17K06522 の助成を受けたものです。

参考文献 1) 麓隆行: 新しい機構の X 線 CT の開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用，土木学会論文集 E2, Vol. 69, No. 2, pp. 182-191, 2013.

2) Tudisco, E.他: TomoWarp2: A local digital volume correlation code, SoftwareX, Vol.6, pp. 267-270, 2017.

© Japan Society of Civil Engineers