

立命館大学大学院理工学研究科 学生員○山口直人 学生員 日比野憲太 正会員 鈴木宏信
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1. はじめに

1980 年代初め、阪神高速道路公団の施設に多くの ASR によるコンクリートの劣化が発見された。これを機に本格的な ASR の研究が始まり、コンクリート工学、岩石・鉱物学およびセメント化学の分野において実験的研究が多く行われてきた。しかし、解析的研究は少ないのが現状である。本研究では、実験的研究により得られた結果を用いて ASR によるコンクリートの劣化のシミュレーションを有限要素法により試みた。

2. 解析概要

本解析では任意の断面を解析モデルとし、2 次元弾性問題として、ASR の諸要件や鉄筋比を変え、経時的にコンクリートの内部応力の変化を見て、ASR の劣化機構を経時的に表現できる解析手法の確立を目指した。

3. 解析モデルおよび要素特性

本解析で用いた ASR 解析モデルを図 1 に、構成要素の要素特性を以下に示す。

1)モルタル: 2 次のアイソパラメトリック四辺形要素で表現し、弾性係数は 30GPa 一定とした。2)鉄筋: 2 次のアイソパラメトリック線要素で表現し、弾性係数は 200GPa 一定とした。鉄筋の節点は、モルタルの節点と共有することにより拘束効果を表現した。3)骨材:モルタルと同じ要素を使用し、解析に用いた岩石の力学的特性を表 1 に示す。

4)ASR 要素: ASR の原因となるアルカリシリケートゲルは図 2 に示す四辺形の六節点 2 次要素を用いて表現した。この要素は経時的に変化する膨張ひずみを初期ひずみ問題として取り扱うものとする。膨張ひずみの経時変化として、図 3 の膨張曲線を使用した。ここでは 40℃の膨張曲線以外は参考文献 [2] から仮定したものである。反応性骨材混入率による膨張率の変化は、図 4 に示す反応性骨材混入率係数を図 3 の膨張率に掛け合わせるものとする [2]。本解析では、ASR 要素の膨張特性を①コンクリ

ート表面で実測された図 3 に示すデータを用いる方法、②簡易的にコンクリート表面のひずみが図 3 の実験データと合致するように図 3 の値を 50 倍したデータを用いる方法の 2 ケースで解析を行った。

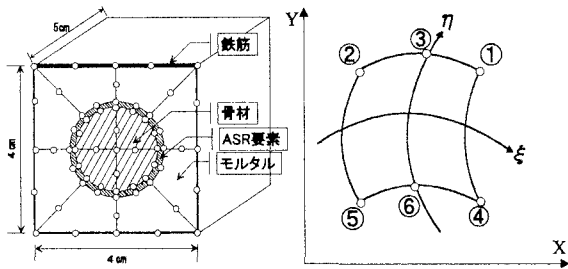


図1 ASR 解析モデル 図2 ASR 要素

表 1 岩石の力学的特性 [1]

岩石の種類	弾性係数 [GPa]	ポアソン比
砂岩	18 (1-100)	0.15 (0.02-0.51)
岩塩	26 (5-44)	0.26 (0.06-0.73)
結晶質石灰岩	60 (17-100)	0.25 (0.06-0.50)
珪岩	62 (11-119)	0.18 (0.10-0.40)

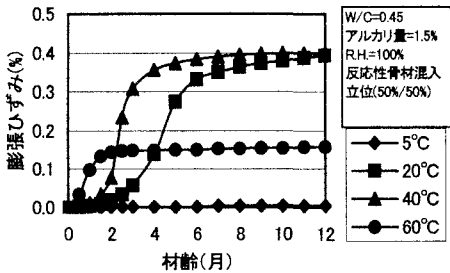


図3 膨張ひずみの経時変化 [2]

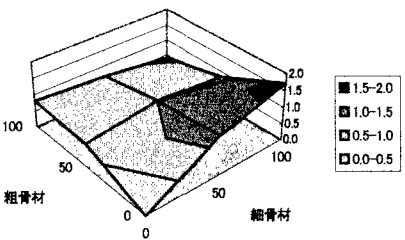


図4 反応性骨材混入率係数 [2]

4. 解析条件

図1に示す解析モデルを図5のように配置し、以下に示す条件を変化させて解析を行った。(i)配筋および骨材配置、(ii)保存温度:5℃, 20℃, 40℃, 60℃、(iii)鉄筋比:0.5%, 1.0%, 2.0%、(iv)鉄筋配置:一軸拘束、二軸拘束、(v)骨材強度および骨材寸法

5. 解析結果および考察

①の膨張特性を用い、鉄筋拘束無し、保存温度 40℃の条件で検討した。主応力図中で主圧縮応力の大きい点を繋ぐと、図6に示す亀甲状の図形となる。これより、主応力分布図から劣化損傷状況を視覚確認することが可能であることが分かる。拘束条件がコンクリートと鉄筋の内部応力へ及ぼす影響を図7, 8に示す。鉄筋による拘束度が大きくなると、コンクリートに生じる応力は増加し、鉄筋応力は減少する。一軸拘束と二軸拘束の影響が少ない結果となっているものの鉄筋による拘束度がコンクリートと鉄筋の応力に及ぼす影響が適切に表現されている。

②の膨張特性を用いて解析条件で解析した結果を図9, 10に示す。解析対象は図5に示す二軸配筋における上端部での応力分布状態とした。材齢3週で引張応力が 3N/mm²を超えておりこの時点でコンクリートにひび割れが生じているものと思われる。鉄筋は、材齢8週で180N/mm²以上となり降伏強度に達している。鉄筋が降伏する材齢が8週と早すぎるものの、ASRによる膨張挙動をうまく表現しているものと考えられる。しかし、本解析は、各要素の弾性域のみを対象とした弾性解析を行っているために、材齢が進行して弾性域を超えた応力状態になると実験結果とは異なる挙動を示す。

6. まとめ

- 1) ASRにより発生する亀甲状の膨張ひび割れをシミュレートすることができた。
- 2) 鉄筋による拘束度がコンクリートや鉄筋に発生する応力に及ぼす影響やその分布を定性的に表現することができた。

[参考文献]

[1] 日本材料学会：岩の力学, pp. 41-42, 1993

[2] 王鉄成, 西林新蔵, 木村厚之, 権赫文：コンクリートの ASR に及ぼす要因のベシマム現象, コンクリート工学年次論文報告集, pp. 929-934, 1993

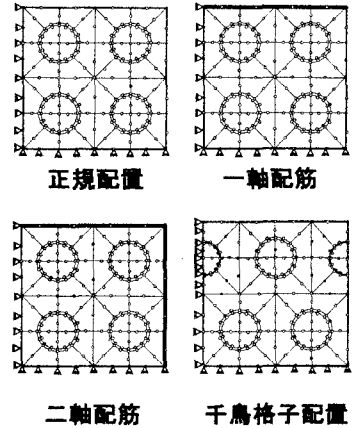


図5 要素配置例

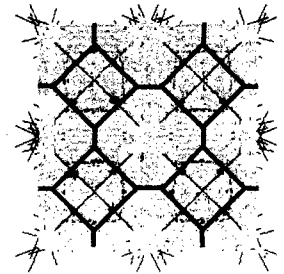


図6 劣化性状

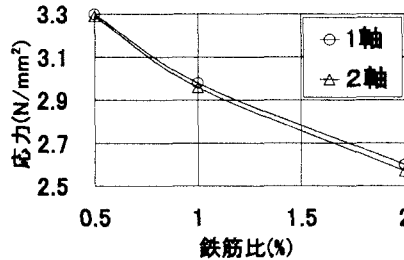


図7 コンクリート応力

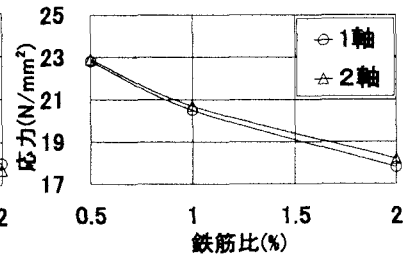


図8 鉄筋応力

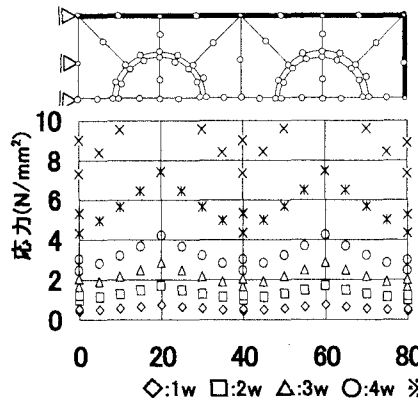


図9 コンクリート応力

(膨張特性②)

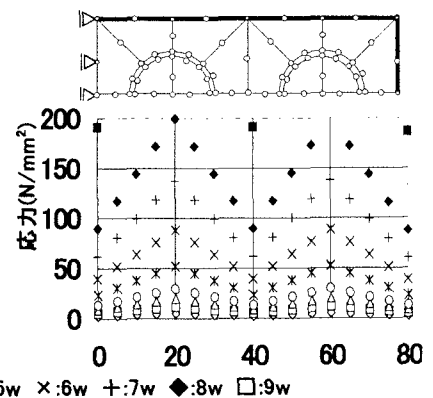


図10 鉄筋応力

(膨張特性②)