

第V部門

アルカリ骨材反応の膨張による発生応力解析への均質化法の適用

京都大学工学部 学生員 ○渡邊 亜矢
 京都大学工学研究科 正会員 河野 広隆
 京都大学工学研究科 正会員 服部 篤史
 京都大学工学研究科 正会員 大島 義信

1. はじめに

近年、アルカリ骨材反応（以下、ASR）によるコンクリート中の鉄筋破断が報告されており、ASRのメカニズム解明が必要となっている。ASRは骨材とその周りに生成したゲルの吸水膨張によりコンクリートにひび割れが入るというものであるが、従来の解析では骨材1つ1つのミクロのスケールまで考慮されていないことが多い。骨材レベルのミクロなスケールまで考慮した構造解析もなされているが、試験体レベルの解析が限界で、大きな構造物の解析は不可能である。

一方、均質化法は周期的なミクロ構造をもつ非均質体を、等価な均質体に置き換える方法である。均質化法を使えば、ミクロな性質を考慮したマクロ構造の解析を行うことができ、さらにそのマクロ解析結果からミクロ構造の解析も行うことができる。

本研究はこの均質化法を用いて、ASRを模擬したコンクリートの膨張応力の解析を行った。

2. 解析概要

本研究は(1)均質化、(2)全体構造解析、(3)局所化の3つの解析ステップから成る。全て2次元弾性解析である。

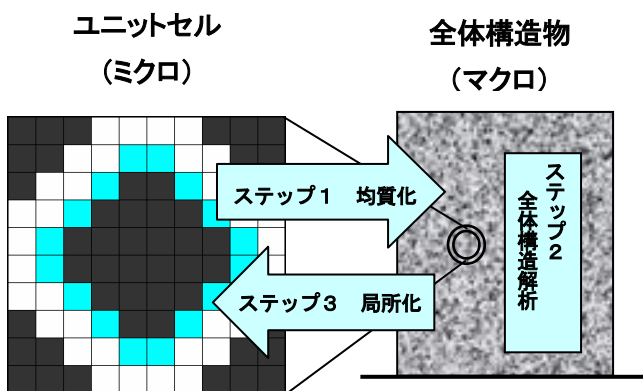


図1 解析ステップ

(1) 均質化

このステップでは、ミクロ構造（ユニットセル）の平均的な物性（均質化弾性係数と均質化膨張係数）を算出する。

ユニットセルの設定は図2の6種類とした。h0は均一なコンクリートとみなしたもので、h1、h2は骨材の周りにゲルを配置し、ゲルを膨張させるもので、h2には異方性をもたせている。h3、h4、h5はメッシュ1マスに骨材1つを配置し、骨材を膨張させるもので、h4、h5では異なる膨張率を設定した。

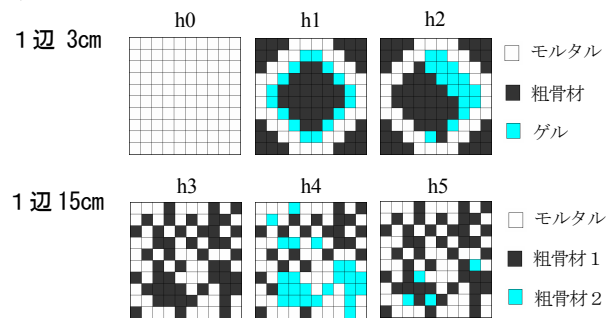


図2 ユニットセル(ミクロ構造)の設定

各材料は表1のように設定し、全てのユニットセル設定の平均値がほぼ等しくなるように設定した。

表1 材料設定

ユニットセル種類	材料名	割合 (%)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	密度 (kg/m ³)	膨張係数 (1/°C)
h0	コンクリート	100	26720.0	0.22	2040	0.0001
h1 h2	モルタル	36	20000.0	0.15	1800	0
	粗骨材	48	40000.0	0.20	2500	0
	ゲル	16	2000.0	0.45	1200	0.0006
	平均		26720.0	0.222	2040	0.000096
h3	モルタル	52	20000.0	0.15	1800	0
	粗骨材	48	34000.0	0.30	2300	0.0002
	平均		26720.0	0.222	2040	0.000096
	平均		26720.0	0.222	2040	0.000096
h4	モルタル	52	20000.0	0.15	1800	0
	粗骨材1	24	34000.0	0.30	2300	0.0001
	粗骨材2	24	34000.0	0.30	2300	0.0003
	平均		26720.0	0.222	2040	0.000096
h5	モルタル	52	20000.0	0.15	1800	0
	粗骨材1	44	34000.0	0.30	2300	0.0001
	粗骨材2	4	34000.0	0.30	2300	0.0013
	平均		26720.0	0.222	2040	0.000096

(2) 全体構造解析

このステップでは、均質化により求めた値を用いて全体構造物を膨張させて応力解析を行う。

構造物の形状は全て一辺 6m の正方形で、拘束のないもの（解析上は中心の 1 点のみ拘束）、一辺拘束、二辺拘束の 3 種を設定した（図 3）。



図 3 全体構造物の設定

A S R がゲルの吸水膨張であることに着目し、膨張量はコンクリート中の水分量に比例すると仮定した。均一な場合、中の方が湿っている場合、周りの方が湿っている場合、など図 4 のように各構造に合わせて数種設定した。

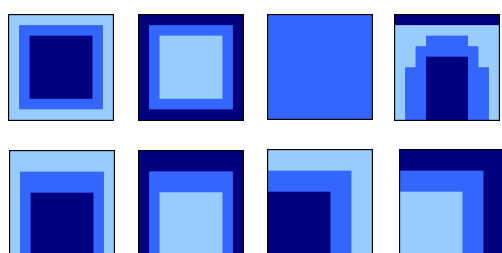


図 4 水分量の仮定（色が濃いほど水分が多い）

(3) 局所化

このステップでは、全体構造解析によって求められた任意の点のマクロひずみの値を用いてユニットセル内での応力分布を求める。図 5 に示す全体構造について、2 つの代表点を取り局所化を行い、ユニットセル内の応力を解析した。

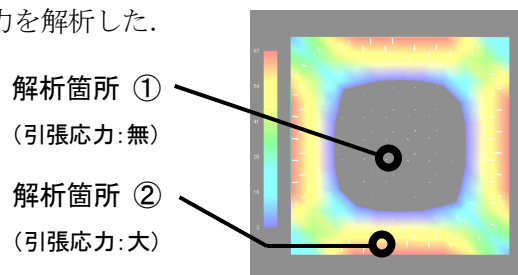


図 5 局所化解析箇所（全体構造内）

3. 解析結果と結論

以下に示す応力分布図は、赤い所ほど引張応力が大きく、黒いところには引張応力がかかっていないことを表している。得られた主な結果は以下の通りである。

同じ構造内では、膨張量の大きい部分では引張応力が小さくなり、膨張量の小さい部分では引張応力が大きくなる。

マイクロ構造の違いは全体構造物の応力分布に多少は影響する（図 6）が、全体構造の拘束条件や水分量に

よる違い（図 7）に比べるとその影響は小さい。

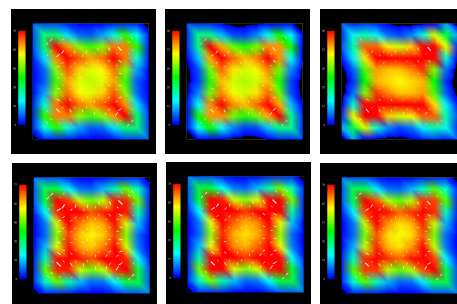


図 6 ミクロ構造の違いによるマクロ応力の変化

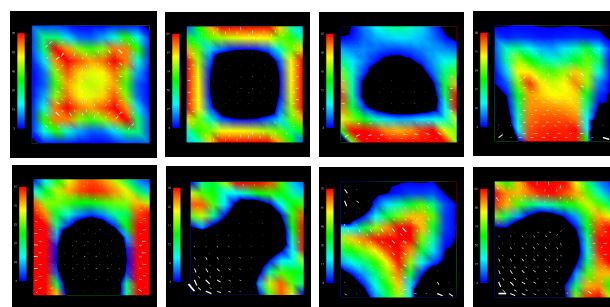


図 7 マクロ構造の違いによるマクロ応力の変化

全体構造では引張が作用しない部分でもマイクロ構造内では引張応力が作用することもある。これはゲルを膨張させた場合に顕著である（表 2 右上）。

表 2 局所化解析によるマイクロ応力分布

ユニットセル	解析箇所①	解析箇所②

均質化法を用いることによって、計算量を大幅に減らせることが確認できた。（今回は有限要素解析の要素数を 4 万分の 1 にできた。）

モデル化さえ適切に行えば、均質化法は今まで考慮されていなかったマイクロな挙動と大きな構造物のマクロな挙動の両方のスケールでの解析が可能である有用なツールであるということが確認できた。

【参考文献】 寺田賢二郎，菊池昇：計算力学レクチャーシリーズ① 均質化法入門，丸善，2003