

均質化法を用いた ASR 膨張の応力解析とひび割れ予測

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

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 ASR 膨張を模擬した解析では骨材 1 つ 1 つのミクロのスケールまでは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現時点では不可能である。

一方、均質化法¹⁾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、ミクロ構造の性質を考慮したマクロ構造の解析を行うことができ、さらにそのマクロ構造の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モデルの膨張応力の解析と、ひび割れ方向の予測を行った。

2. 解析概要

本解析は(1)均質化、(2)全体構造解析、(3)局所化の3ステップから成る。その概念を図1に示す。全て2次元弾性解析である。

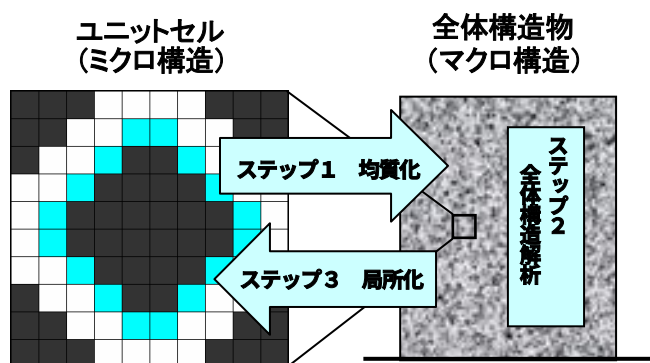


図1 解析ステップ

(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のように、骨材の周りのゲルを膨張させるもの（1辺 3cm のモデル）と、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（1辺 15cm のモデル）とした。いずれも要素数は 10×10 である。



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、各ユニットセル内の面積割合に基づく加重平均値が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	面積割合 (%)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	密度 (kg/m ³)	膨張係数 (1/°C)
3cm	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
15cm	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

(2) 全体構造解析

このステップでは、均質化により求めた平均的な物性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）と一辺のみ拘束したものを設定した（図3）。

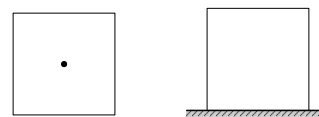


図3 全体構造物の設定

ASR 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。水分量が均一な場合、中の方が湿っている場合、周り

キーワード 均質化法、アルカリ骨材反応、ひび割れ、解析、有限要素法

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL 075-383-3320 FAX 075-383-3324

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。

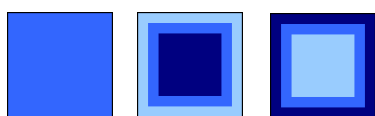


図4 水分量の設定例（色が濃いほど水分が多い）

(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マイクロ応力分布を求める。例えば図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った。

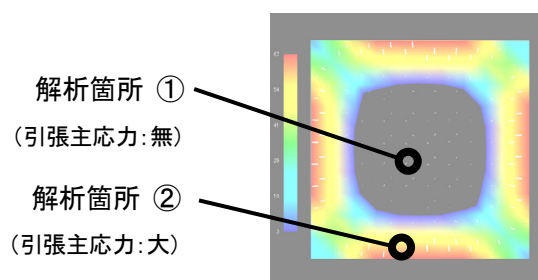


図5 局所化解析箇所（全体構造内）の例

3. 解析結果とその評価

以下に示す応力分布図は、赤い所ほど引張主応力が大きく、黒いところには引張応力が作用していないことを表している。また、最大主応力方向と垂直な方向に、ひび割れ方向を模擬した白線をプロットした。その太さと長さは主応力の大きさに比例している。引張主応力の大きい箇所において、白線の向きにひび割れが発生すると予測した。得られた主な結果は以下の通りである。

(1) 応力分布

・同じ構造内では、膨張量（水分量）の大きい部分には引張主応力ほとんど生じない（図6）。

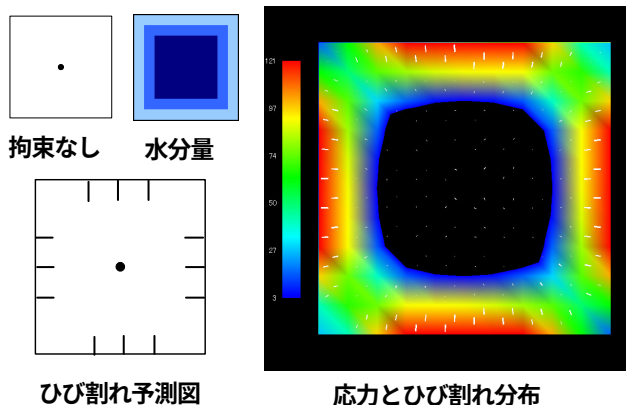


図6 全体構造の応力分布とひび割れ予測

・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が、全体構造の拘束条件や水分量による違いに比べるとその影響は小さい。

・全体構造では引張主応力が作用しない部分（図5の解析箇所①）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）。

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

(2) ひび割れ分布

・全体構造でのひび割れ方向（図5の解析箇所②および図6下部）と、マイクロ構造でのひび割れ方向（表2の解析箇所②）はほぼ一致することが確認できた。

・1辺を拘束し、水分量が均一（図7左）または中心が乾いている場合（図7右）、拘束縁に沿った方向にひび割れが現れた。

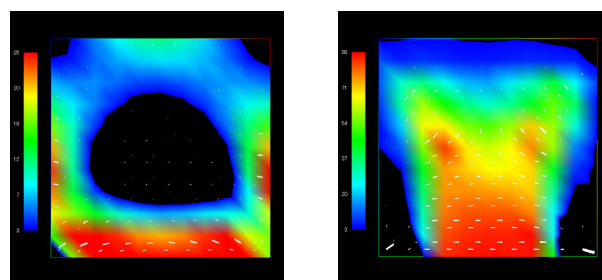


図7 拘束縁に沿ったひび割れ分布

4. まとめ

均質化法は今まで考慮されていなかったマイクロ構造の挙動と大きな構造物のマクロ構造の挙動の両方のスケールでの解析を行うため、計算量を大幅に減らすとともにマイクロ構造内のひび割れを捉えることができる有用なツールであることが確認できた。今後は適切なモデル化が課題である。

【参考文献】 1) 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