

相対湿度や周辺拘束条件が骨材膨張に伴うコンクリートのひび割れ状況 に及ぼす影響に関する解析的検討

九州大学 学生会員 〇岸川 拓郎
九州大学大学院 学生会員 西村 拓真

九州大学大学院 正 会 員 玉井 宏樹
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. はじめに

ASR により損傷したコンクリート構造物や部材を適切に補修・補強していくには、水分、温度、拘束の影響で複雑に生じるひび割れを理解し、そのひび割れによる耐荷性能の低下や破壊挙動の変化を明らかにする必要がある。著者らは、既往の研究において2次元メソスケールモデルを用いたFEM解析を実施し、水分に応じた膨張ひび割れ状況の把握を試みてきた。しかし、2次元では得られる情報量が少ない、また、仮定した膨張作用の根拠が明確でないなど課題を有していた。

そこで、本研究では、それらの課題を解決するために、現象論に基づく膨張作用のモデル化の考案、ならびにFEMに基づく3次元メソスケールモデルの構築を試み、そのモデルを用いた解析を実施した。具体的には、水分流入条件や周辺拘束条件がひび割れに及ぼす影響について基礎的検討を行った。

2. 解析手法及び解析ケース

2.1 解析対象とメソスケールモデル

本研究では、図-1(a)に示す矩形コンクリートブロックを解析対象とし、図-1(b), (c)に示すモルタルと骨材から成る2相の3次元メソスケールモデルを作成し、検討した。本モデルの仮定として、骨材は球形で粗骨材率を25%としてフラー曲線に従うランダム配置とし、4節点四面体要素を用いてメッシュ分割した。仮定した材料特性を表-1に示す。骨材は線形弾性体、モルタルは非線形 Drucker-Prager 則に従う弾塑性体とし、引張域では引張強度に達したらカットオフするモデルを採用し、分散ひび割れモデルによりひび割れを評価した。

2.2 湿気移動及び膨張作用のモデル化

湿気移動では以下の式を離散化して解くことになるが、その際の湿気拡散係数 K は既往研究の実験から逆解析的に決定した $K = 50\text{mm}^2/\text{day}$ を採用した。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = K \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (1)$$

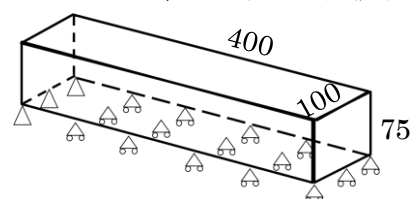
ここに、 P は水蒸気圧(MPa)である。また、ASR におけ

るゲルの生成及びアルカリ量や水分などに応じて生じる膨張を定性的に評価するため、既往の研究を参照し、式(2)で表される体積ひずみを与えることで、骨材膨張を再現することとした。

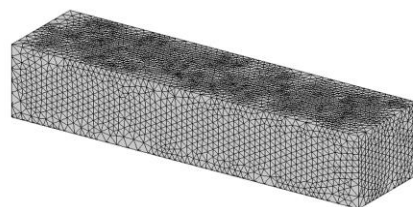
$$\varepsilon_v(\Delta R) = k_{gel} \times \left(\frac{E_{gel}}{E_{agg}} \right) \times T_{pr}(C) \times \Delta R \quad (2)$$

ここで k_{gel} はゲルの膨張性に関する係数であり、 E_{gel}, E_{agg} はそれぞれ ASR ゲルと骨材のヤング率、 $T_{pr}(C)$ はアルカリイオン濃度 C に依存したゲル生成量であり、なお本研究では水分や周辺拘束条件の影響に着目しているため、一定値とした。このことから式(2)の右辺第3項までを一定値とみなし、0.001と仮定した。 ΔR は相対湿度の変化量である。

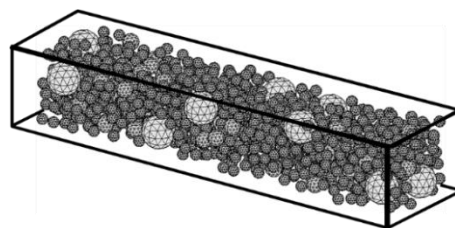
以上を踏まえ、つまり、本解析では、まず、水分の影響を湿気移動解析により解き、その結果として得られる相対湿度と膨張を関係づけ、その膨張ひずみを骨材界面に作用させることで、ひび割れを評価する。



(a)解析対象 (単位:mm)



(b)表面メッシュ図



(c)骨材メッシュ図

図-1 解析モデル

表-1 材料特性

	ヤング 率 (GPa)	ポア ソン 比	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
骨材	70	0.2	—	—
モルタル	30	0.2	30	1.5

2.3 解析ケース

本研究では骨材膨張方法、周辺境界条件の違いがひび割れに及ぼす影響を確認するために、以下の表-2 に示す5 ケースで解析を実施した。

表-2 解析ケース

case	周辺境界条件	膨張方法
1	底面固定	水分依存
2	底面固定	一定膨張
3	左右面固定	一定膨張
4	底面固定,プレストレス 1MPa	一定膨張

3. 解析結果及び考察

3.1 膨張方法の違いによるひび割れ状況の比較

図-2(a)と(b)に、膨張圧を骨材全周一定に作用させた一定膨張と吸水膨張(相対湿度依存の膨張)とのひび割れ状況の比較を示す。一定膨張の場合、全骨材の周辺に一斉にひび割れが生じ、それらが進展・接続する傾向を示した。一方、底面全面からの流入を想定した吸水膨張の場合、縦方向のひび割れが顕著に生じ、一定膨張と明らかに異なる傾向を示した。

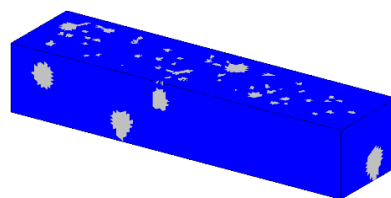
3.2 周辺境界条件の違いによるひび割れ状況の比較

図-2(b)～(d)を比較すると、周辺境界条件によって明らかにひび割れ状況が異なることがわかる。特に、左右からプレストレスの作用を受ける場合、作用方向に沿ったひび割れが卓越することがわかった。これは、実際にPC 桁で見られるひび割れの特徴と同様である。

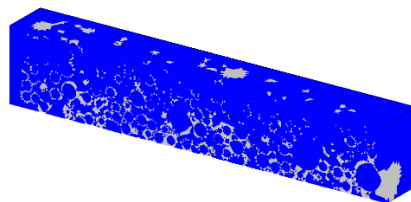
4. 結論、今後の展望

3次元メゾスケールモデルを用いたFEM 解析によって、コンクリート内の骨材膨張によって生じる内部及び表面ひび割れの検討を実施した。その結果、水分流入方向や周辺境界条件によって、発生する内部ひび割れや表面ひび割れの量や方向が異なることが確認できた。

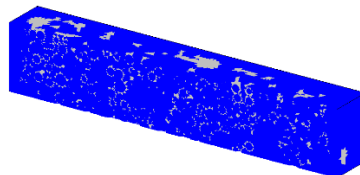
また、プレストレス方向に沿ったひび割れが顕著になるなど実現象と同様の傾向が再現できているが、今後、メゾスケールモデルの妥当性を深く検討していく。



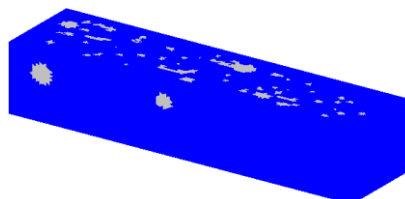
(a) case1(底面固定, 吸水膨張)



(b) case2(底面固定, 一定膨張)



(c) case3(左右面固定, 一定膨張)



(d) case4(底面固定, 一定膨張, プレストレス)

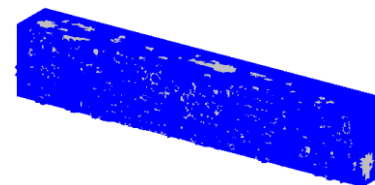
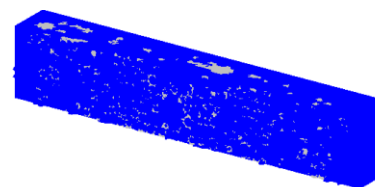


図-2 ひび割れ分布図(灰色部がひび割れ)