

動的荷重作用下における断面修復部の剥落危険性に関する解析的検討

九州大学大学院 学生会員 ○ 原 紘一郎
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

鉄筋腐食に伴う被りコンクリートの剥落や断面修復部の早期剥落は、剥落片の衝突などで第三者被害を生じる可能性を秘めており、剥落危険箇所の早期発見・対処が必要である。しかし、剥落危険箇所を推定するには、剥落メカニズムや剥落しやすい損傷状況を明らかにしたうえで、その変状を目視や非破壊試験により定量評価しなくてはならないため、非常に難しい問題であり、既往の研究で明らかにされているとは言い難い。そこで、本研究では補修による断面修復部の早期剥落危険性の定量評価を最終的な目標とし、既設部の初期相対湿度を変化させた解析モデルに対して、動的荷重を作用させることで、既設部の初期相対湿度が、断面修復部の剥落危険性に及ぼす影響について、有限要素解析によって検討した。

2. 部材の乾燥収縮に関する解析

2.1. 理論的背景

コンクリート中の湿度移動に関する支配方程式として、Bazant らによって式(1)が提案されている。

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \text{div}[D(H) \cdot \text{grad}(H)] \quad (1)$$

ここで、 H は相対湿度、 $D(H)$ は相対湿度に依存する水分拡散係数を表す。また、水分拡散係数は指数関数を用いて式(2)の様に表現される。

$$D(H) = a \cdot \exp(b \cdot H) \quad (2)$$

ここで、 a および b は実験により求められる値である。さらに、部材と周囲環境の境界面において、以下の式(3)で表わされる、対流境界条件が考えられる。

$$q_s = C_F(H_s - H_a) \quad (3)$$

H_s, H_a はそれぞれ材料境界及び周囲環境の相対湿度であり、 C_F は水分伝達係数を表す。さらに相対湿度変化に伴う乾燥収縮ひずみの変化量は以下の式(4)で表現される。

$$\Delta \varepsilon_{sh} = \alpha_{sh}(H) \cdot \Delta H \quad (4)$$

ε_{sh} は乾燥収縮ひずみ、 ΔH は相対湿度勾配、 $\alpha_{sh}(H)$ は乾燥収縮ひずみに関するハイグラル係数である。

2.2. 乾燥収縮解析

2.2.1. 既往の研究に基づく湿度移動解析

本研究ではまず、既往の研究で Martinola らや、Bolander らが行った部材内部の相対湿度移動解析を行い、自身の解析方法の有用性を確認した。尚、本研究では汎用非線形 FEM 解析ソフトである MSC.Marc 2014 を用いている。図-1 に解析モデルの外観及び寸法を示す。本解析では幾何学的対称性を考慮した 2 次元解析を行い、要素として 4 節点平面応力要素を用いた。また、全ての材料特性及び境界条件は、既往の研究と同様の値を用いている。図-2 に、今回得られた深さ方向の相対湿度分布を示す。Bolander らの既往の研究と同様の結果が得られたことから、自身の解析手法の有用性が確認されたと言える。

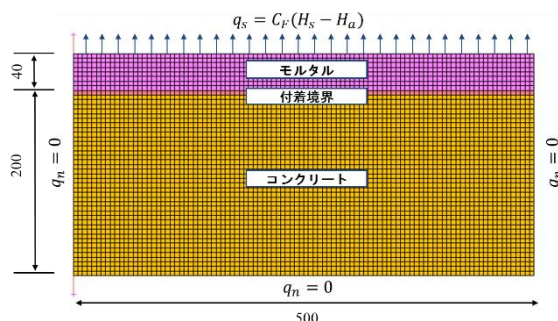


図-1 解析モデル

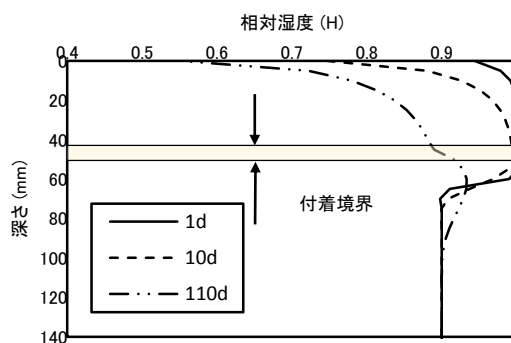


図-2 相対湿度分布

キーワード
連絡先

断面修復工法, 湿度移動解析, 乾燥収縮, 有限要素法
〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 TEL:092-802-3370

2.2.2. 実部材を想定した湿度移動解析

本研究では、モルタルを用いて断面修復が施されたコンクリート部材を想定し、365 日間の湿度移動解析を行い、その後、部材に道路橋示方書記載の T 荷重(20ton)を想定した動的荷重を与えることで、部材の乾燥収縮が加速度応答へ与える影響を評価した。なお、本解析では計算コストの削減を図るため、坪田らの既往の研究を参考に 1/7.5 縮尺の相似則を採用し、加えて部材の幾何学的対称性を考慮している。図-3 に解析モデル、表-2 に解析ケースを示す。なお、全ての材料定数は Martinola ら、Bolander らと同様としている。

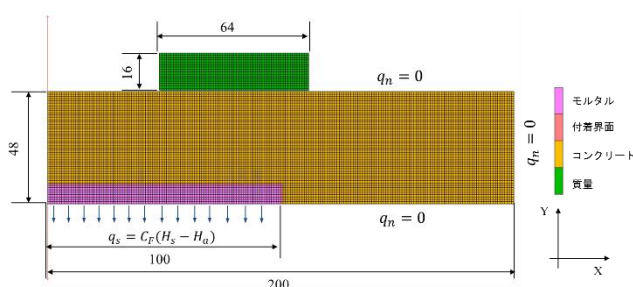


図-3 解析モデル

表-2 解析ケース

case名	付着界面	既設部相対湿度
w-50	weak	50%
w-90		90%
s-50	strong	50%
s-90		90%

2.2.3. 解析結果

(1) 相対湿度移動による最大主歪み分布

図-4 に、各ケースにおける湿度移動 365 日後の最大主歪み分布を示す。コンター図のレンジ最大値は、モルタルのひび割れ発生歪みとし、変形倍率を 50 倍とした。界面の付着強さ毎に分布を比較した場合、初期相対湿度が低い場合の方が、僅かながら歪みが卓越しており、剥落の危険性が高いことが予想される。



図-4.1 断面修復部拡大図

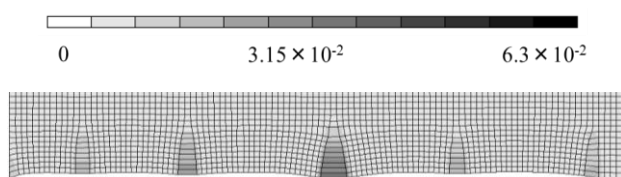


図-4.2 w-50 最大主歪み分布

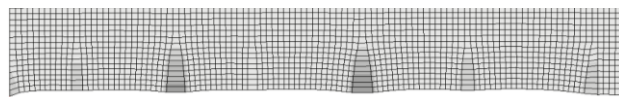


図-4.3 w-90 最大主歪み分布

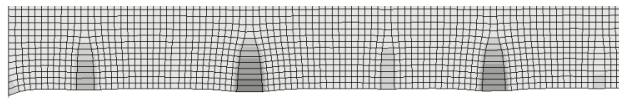


図-4.4 s-50 最大主歪み分布

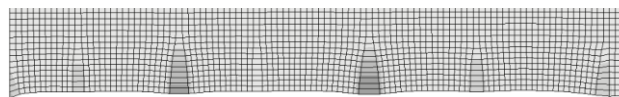


図-4.5 s-90 最大主歪み分布

(2) 修復部中央の加速度応答

図-5 に、モルタル部底面の中央節点における Y 軸方向の加速度応答を、界面の付着強さ毎に示した。2 図より、それぞれの場合において初期相対湿度が低い場合の方が加速度の応答が大きく、部材剛性の劣化が著しいことが予想され、既設部初期相対湿度が場合、剥落の危険性が高まることが推察される。

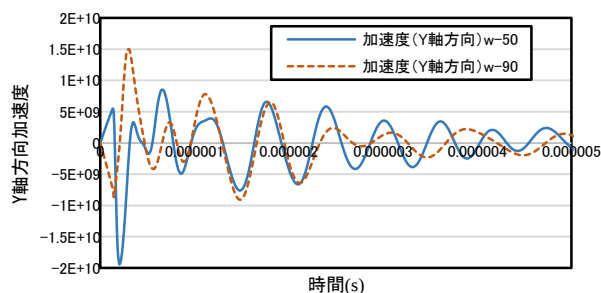


図-5.1 界面の破壊エネルギーが小さい場合

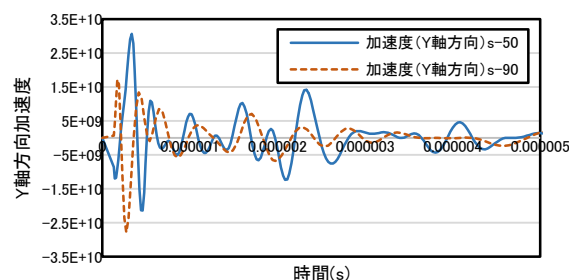


図-5.2 界面の破壊エネルギーが大きい場合

3. 結論及び今後の展望

既設部の初期相対湿度が低いほど、修復部の剥落危険性が高まることが予想されることが定性的に明らかになった。一方で、界面の付着に基づく定量的議論や、相対湿度に対する熱の影響を考慮できていないため、今後、より詳細な評価が出来るようモデル化を工夫したいと考えている。