

相対湿度と付着特性を考慮した断面修復部のモデル化と その剥落危険性に関する一考察

九州大学 学生会員 ○古賀 智史 九州大学大学院 正 会 員 玉井 宏樹
九州大学大学院 学生会員 原 紘一朗 九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. はじめに

社会インフラの老朽化に伴い、橋梁等の社会基盤施設において断面修復工法を用いた補修が行われている。しかし、補修後のコンクリート構造物において修復部の再劣化に起因する早期剥落事例が報告されており、構造物の強度低下や剥落片の衝突による第三者被害が懸念されている。そこで、本研究では、動的荷重作用下における断面修復部の剥落危険性を定量的に評価するため、既設部の初期相対湿度と既設部と断面修復部の付着強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、これらの条件の違いが断面修復部の剥落危険性に及ぼす影響について、有限要素法解析によって検討した。

2. 湿度移動・応力解析

2.1 理論および概要

本研究では Bazant¹⁾によって提案されているコンクリート中の湿度移動に関する支配方程式である式(1)を有限要素法で離散化して解く。

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

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)で表される対流境界条件が与えられる。

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

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 妥当性確認

既往の研究で Bolander²⁾らが行った部材内部の湿度移動・応力解析を行い、本解析方法の妥当性を確認した。なお、この解析は、既設部の相対湿度や付着強度が乾燥収縮による断面修復部やその周辺の変形状況に及ぼす影響について検討したものである。図-1に解析モデルの外観及び寸法を示す。本解析では対称性を考慮した2分の1モデルで3次元解析を行った。また、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。Bolander²⁾らの既往の研究と同様の結果が得られたことから、自身の解析手法の妥当性が確認できた。

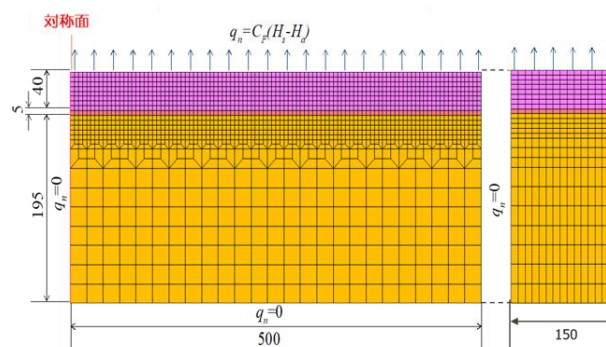


図-1 解析モデル

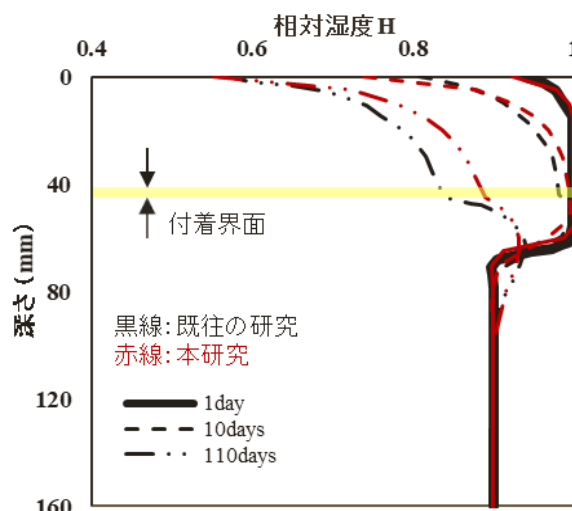


図-2 相対湿度分布

図-3 に湿度移動解析による 110 日後のひび割れ分布 (変形倍率 50 倍) を示す。本解析手法によって付着強度の違いにより、界面からひび割れが生じる場合と断面修復部自体にひび割れが生じる場合を再現できることが確認できた。

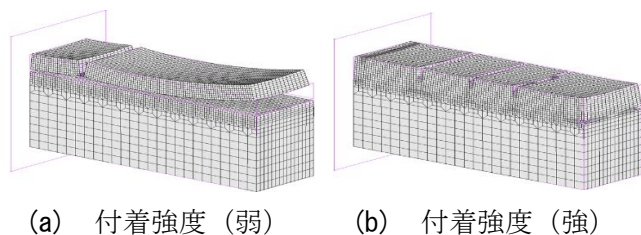


図-3 ひび割れ分布

3 実部材を想定した解析

3.1 解析概要

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、56 日間の湿度移動解析を行い、その後、部材に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。また、部材の幾何学的対称性を考慮した 2 分の 1 モデルで 3 次元解析を行った。図-4 に解析モデル、表-1 に解析ケースを示す。なお、全ての材料定数は Bolander²⁾ら、Martinola³⁾らと同様としている。

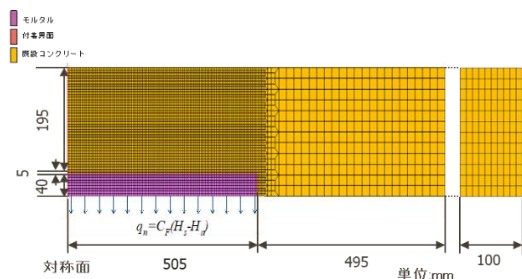


図-4 解析モデル

表-1 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%

3.2 ひび割れ分布と加速度応答

図-6 に、各ケースにおける湿度移動 56 日後のひび割れ分布を示す。変形倍率は 50 倍とした。付着界面が弱く、初期相対湿度が低い場合の方がひび割れの分布が大きく、剥落の危険性が高いと想定される。

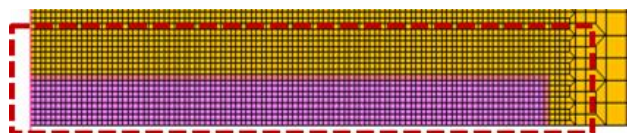


図-5 断面修復部拡大図

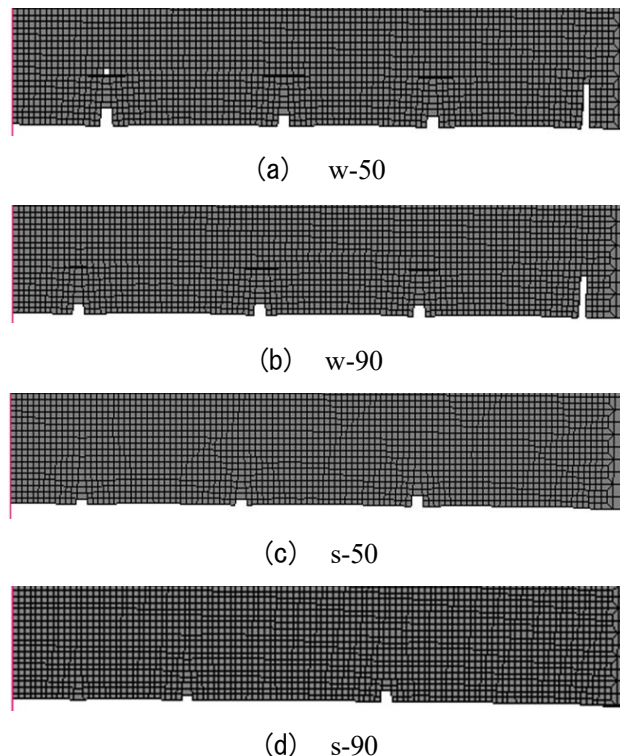


図 6 ひび割れ分布

図-7 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示す。図より、付着界面が弱い場合、初期相対湿度が低い方が加速度の応答が大きく、剥落の危険性が高まることが推察される。

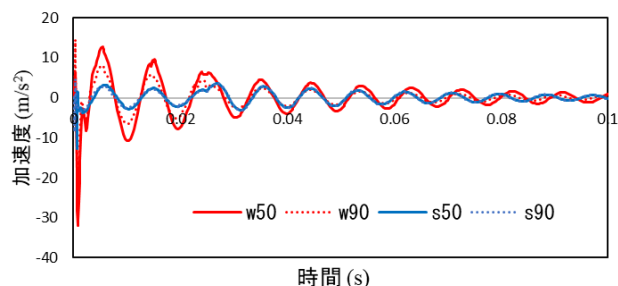


図-7 加速度応答

4. 結論、今後の展望

既設部の初期相対湿度が低く、付着界面の強度が小さいほど断面修復部の剥落危険性が高いことが明らかとなった。今後は、付着強度や荷重条件を変えたモデルの検討など、さらなる定量的評価ができるような解析手法を確立していく必要がある。

参考文献

- (1) Bazant, Z.P. and Najjar, L.J. Drying of concrete as a nonlinear diffusion problem. Cement Concrete Res 1971;1:461-73.
- (2) John E. Bolander Jr., Stefano Berton. Simulation of shrinkage induced cracking in cement composite overlays, Cement & Concrete Composite 26, 2004,861-871
- (3) Martinola G, Wittmann FH. Application of fracture mechanics to optimize repair mortar systems, Proc. Of FRAMCOS-3,AEDIFICATIOPublishers,pp.1481-1492,1995