

地盤と構造物の統合熱伝導解析に基づく 通信用マンホール内の乾湿環境の評価と鉄筋腐食予測

コンクリート研究室 渡邊一旭
指導教員 下村 匠

1. はじめに

日本全国には約 70 万個の通信用マンホールが存在し、それらの多くは高度経済成長期に建設されたため、一斉に老朽化しつつある。そのため、計画的に効率よく維持管理してゆくことが求められている。

通信用マンホールの多くは鉄筋コンクリート製であり、供用環境は土中であるため、劣化原因はコンクリート内壁表面への結露によるコンクリート中への水分の浸透による鉄筋の腐食であることが明らかとなっている。そのため、気温や日射の作用から土中のマンホール内の温湿度環境を正確に推定することができれば結露の有無を予測でき、マンホールの鉄筋腐食のリスクを把握することができると考えられる。

そこで本研究では、マンホール内の温度差に起因した結露によるマンホールの劣化予測システムを構築し、マンホールの劣化リスクを適切に評価、効率的な維持管理計画の提案を行うことを目的とする。

2. マンホール内の温度を再現する熱伝導解析法の構築

2.1 熱伝導解析モデル

土中に埋設されたマンホール内温湿度環境を埋設条件と環境条件より推定するため、図-1 のような解析モデルを考え、地盤とマンホールの統合熱伝導解析を行う。マンホールが埋設されている地盤の表面は一般にアスファルトが施工されているため、気温や日射などの外部環境の作用はアスファルト層と地盤を介して、マンホール内温度に影響を与える。各層の熱伝導特性および各層間の熱伝達特性を考慮した非定常 1 次元の熱伝導解析を行うことにより、マンホール内温度の経時変化を予測する。

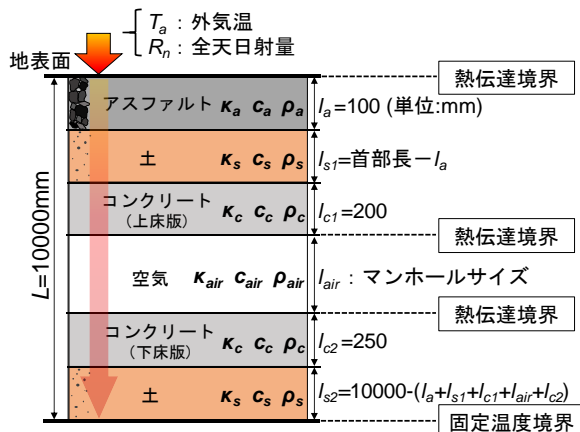


図-1 熱伝導解析モデルの模式図

2.2 解析結果

マンホール内部温度の 1 年間の測定値と解析値の 1 年間の変化を図-2 に示す。解析値は測定値と良好に一致していると考えられる。さらに、構築した熱伝導解析法を用いることにより、全国 21 箇所のマンホールの上床版および内部温度の測定値を良好に再現することができる。

3. マンホール上床版の含水状態の予測

3.1 含水状態予測の概要

熱伝導解析の結果得られた上床版コンクリート表面の温度とマンホール内部の空気の温度から上床版コンクリート表面近傍の相対湿度を算出し、100%を超える結果が得られた場合に結露が発生すると判定した。

マンホール上床版の結露判定の予測結果を基に、既往のコンクリート中の水分移動モデルを用いてマンホール上床版コンクリート中の水分分布を求めた。結露が無い期間は不飽和コンクリート中の乾燥と吸湿モデルを用い、表面に結露が判定された期間は、吸水モデルを用いて結露水のコンクリートへの吸水を計算し、上床版コンクリートの含水状態の経時変化を評価した。

3.2 含水状態の予測結果

図-3 にマンホールの含水状態の解析結果を示す。解析により、マンホール上床版コンクリートの鉄筋位置の表面から 10~30mm 程度では、冬期に飽水に近い湿潤状態となり、夏期に乾燥状態にあるという、マンホールコンクリートの含水状態に関する既往の知見とも概ね一致する傾向が得られた。

4. 鉄筋腐食に影響を及ぼす水の作用に関する実験

4.1 実験概要

マンホール壁の鉄筋コンクリートはかぶりが 20mm と

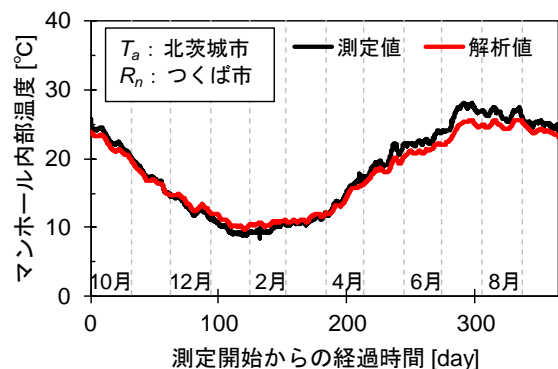


図-2 マンホール内部温度の測定値と解析値の比較

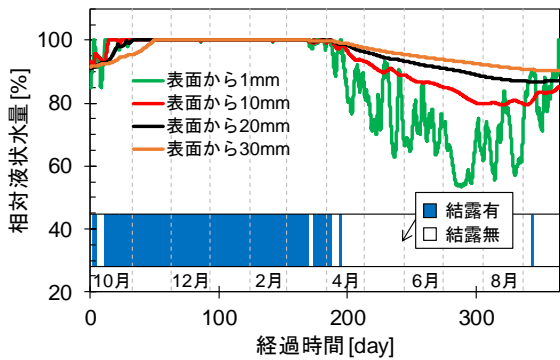


図-3 上床版の含水状態の予測結果

小さいので、コンクリート表面への結露や吸湿およびそれらのその繰返しにより、鉄筋周辺のコンクリートの含水状態が変化し、鉄筋の腐食の発生・進行に影響を及ぼすと考えられる。その影響をモデル化するにあたり基本的な知見を得るために、かぶり小さい RC 供試体および鉄筋単体に様々なパターンの水の作用を与えて室内腐食試験を実施した。

4.2 実験結果

鉄筋コンクリート供試体においては、1年間の試験期間では、鉄筋の腐食反応の進行が確認できなかったため、ここでは鉄筋単体の実験結果について述べる。実験の結果を表-1に示す。RH100%の水分供給条件を適用した試験体と水中に浸漬した試験体では鉄筋表面の腐食性状がことなることが明らかとなった。本実験により、定性的にはあるが、水の作用が鉄筋の腐食の進行に影響を及ぼすこと、水の作用が大きいほど腐食が促進されることが確認できた。

5. マンホールの鉄筋腐食進行予測

5.1 鋼材の腐食モデル

マンホールコンクリート中の鉄筋腐食進行予測は電気化学理論に基づく鋼材の腐食モデルを用いることとした。しかし、既往の鋼材の腐食モデルでは、水分量を考慮した腐食速度を算出できない。そのため本研究では、4章で示した実験結果を考慮し、コンクリート細孔中の水分量を腐食速度に乗じることでコンクリート中の鉄筋の腐食速度とした。また鉄筋近傍の温度はアレニウス則に基づく温度補正係数を設定し、コンクリート中の pH は中性化したコンクリートを仮定し、試行錯誤により定めた。

マンホールは鉄筋の腐食膨張に伴う剥落が発生するため、剥落判定を行い剥落発生後の鉄筋は水溶液中の鉄筋の腐食速度で反応が進行するものとした。

5.2 鉄筋腐食率の解析結果

かぶりコンクリートが剥落しない場合のマンホールの鉄筋腐食率の測定値と解析値の比較を図-4に示す。解析値は全国の測定値を概ね傾向を再現可能であることが考えられる。またかぶりコンクリートの剥落後の測定値に

表-1 鉄筋単体の腐食性状

試験条件	鉄筋の腐食性状
RH50%	
RH100%	
水中	

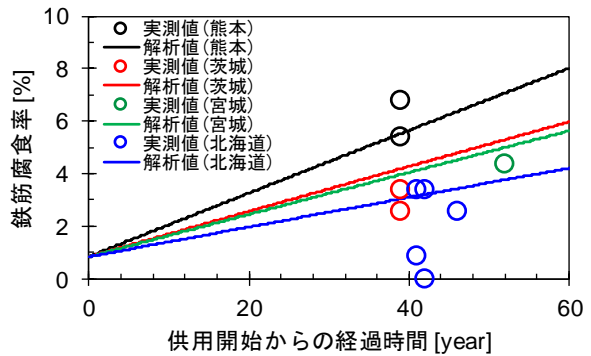


図-4 かぶりが剥落する前のマンホールの鉄筋腐食率の測定値と解析値の比較

ついても、解析によりその傾向を概ね再現できると考えられるが、解析値が測定値を大きく評価する傾向となった。

6. マンホールの維持管理計画の検討

5章までに構築したマンホールの劣化予測システムを用いて、定期点検、50年に一度の更新および劣化予測に基づき補修を実施する維持管理シナリオを考え、それぞれの維持管理コストを算出し比較検討を行った。その結果、劣化予測に基づき剥落前に補修を実施することで、維持管理コストを大きく削減でき、効率的に維持管理できる可能性があることを示した。

7. まとめ

本研究で構築したマンホールの劣化予測システムを用いることにより、全国に様々な首部長で埋設されたマンホールの鉄筋腐食率および剥落発生を概ね予測することが可能となった。また剥落発生から鉄筋腐食速度が急激に大きくなることから、剥落前に補修を実施することで効率的に維持管理することができ、同時に維持管理コストを大きく削減できる可能性があることを示した。

参考文献

- 1) 藤本憲宏, 古川貴之, 永井友康: 通信用マンホール内鉄筋の腐食要因, 土木学会第 72 回年次学術講演会, V-23, pp.475-476, 2017.9
- 2) 藤倉規雄, 岩崎英樹, 福手 勤, 柴田 智, 鈴木崇伸: コンクリート含水状態の季節変動が地中構造物の中性化進行特性に及ぼす影響, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.4, pp.564-576, 2009.12