

鉄筋コンクリートの劣化に影響する水の動きを可視化する

鉄筋コンクリートは鉄道の土木構造物などに広く用いられています。例えば、高架橋はおもに鉄筋コンクリートでできていますが、屋外で供用されているため、降雨の影響を受けます。鉄筋コンクリート中の鉄筋は、降雨などの水掛かりによってさびることがあるため、鉄筋位置に水が到達するかどうか、つまり「コンクリートへの水分浸透深さ」が重要となります。ここでは、コンクリートへの水分浸透深さについて、測定手法の事例を紹介するとともに、断面修復箇所への水分浸透や中性子線を用いた測定手法といった最近の研究成果を紹介します。



鈴木 浩明
Hiroaki Suzuki
材料技術研究部
コンクリート材料研究室
副主任研究員



水田 真紀
Maki Mizuta
理化学研究所
光量子工学研究センター
中性子ビーム技術開発チーム
研究員

水と鉄筋コンクリートの関係

橋りょうやトンネルなどの鉄道構造物の材料には、コンクリートが多く用いられています。多くのコンクリート構造物では、中に鉄筋が入っており、コンクリートと鉄筋の組み合わせによって強さを発揮しています。鉄筋は、周囲のコンクリートに守られることでさびるのを防いでいますが、空気中の二酸化炭素や塩化物イオンが鉄筋周辺に到達するとさび始めるとされています¹⁾。実際は上記に加えて、「水掛かり」

の影響を受けることで鉄筋がさびることがあります。実構造物で鉄筋がさびている箇所を調べてみると、その多くが水掛かり箇所であることがわかります。例えば、図1は高架橋の下面に漏水のある箇所で、水掛かり箇所では鉄筋がさびて露出しているのに対し、その隣では鉄筋がさびていない様子が見えます。

水掛かりの影響は、一部の現場技術者の間で経験的に知られていましたが、情報発信や体系的な整理が最近になっ



図1 水掛かり箇所での鉄筋露出²⁾

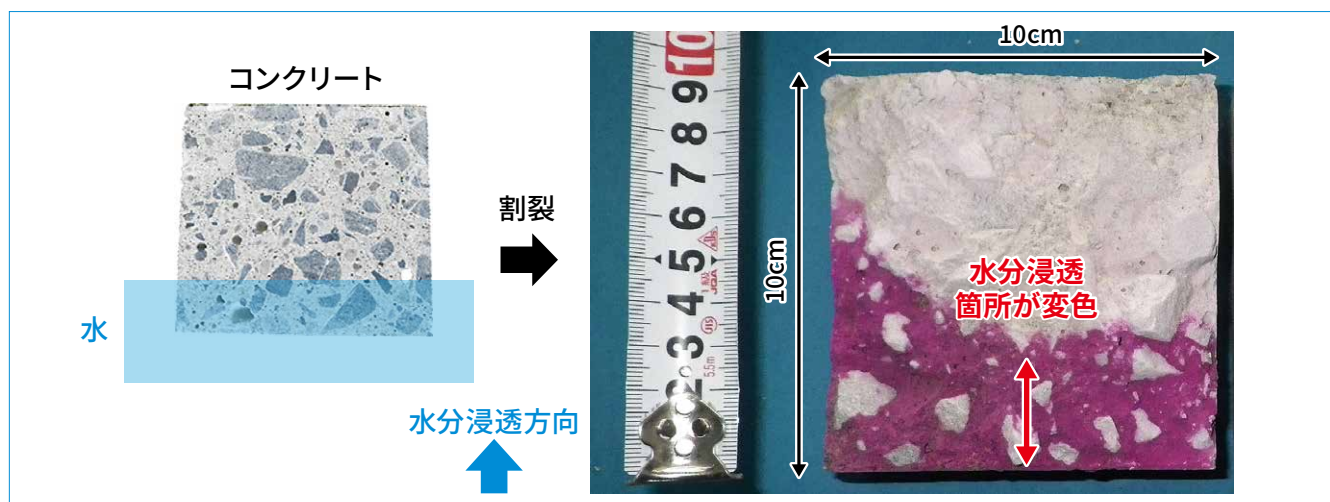


図2 試薬による水分浸透深さ測定例⁴⁾

て行われており³⁾、水掛かりが重要であるという意識が高まっています。

一方、「水掛かり」を受けた場合に鉄筋がさびるかという点必ずしもそうではありません。鉄筋に水が到達しなければ、鉄筋のさびは抑制でき、コンクリート構造物の長寿命化につながると考えられます。ここで、鉄筋に水が到達しないようにするためには、「かぶり」とよばれる鉄筋からコンクリート外面までの厚さを増す対策や、水分の侵入を防止する被覆材をコンクリート表面に施工する対策がありますが、いずれもコストがかかります。また、水分があまり浸透しないコンクリートにはそもそも対策が不要であるため、対策の要否判定が課題となります。この課題を解決するために、水分浸透深さを調べるのが重要であると考えています。

水分浸透深さの調査方法

コンクリートへの水分浸透を知るにはいくつかの方法があります。例えば、コンクリートが黒色に変色した部分の深さを測るというものです。単純に思えますが、水は時間が経つと蒸発してしまい、そこに存在したという証拠が消えてしまうため、測定は必ずしも簡単ではありません。そこで、水道管の

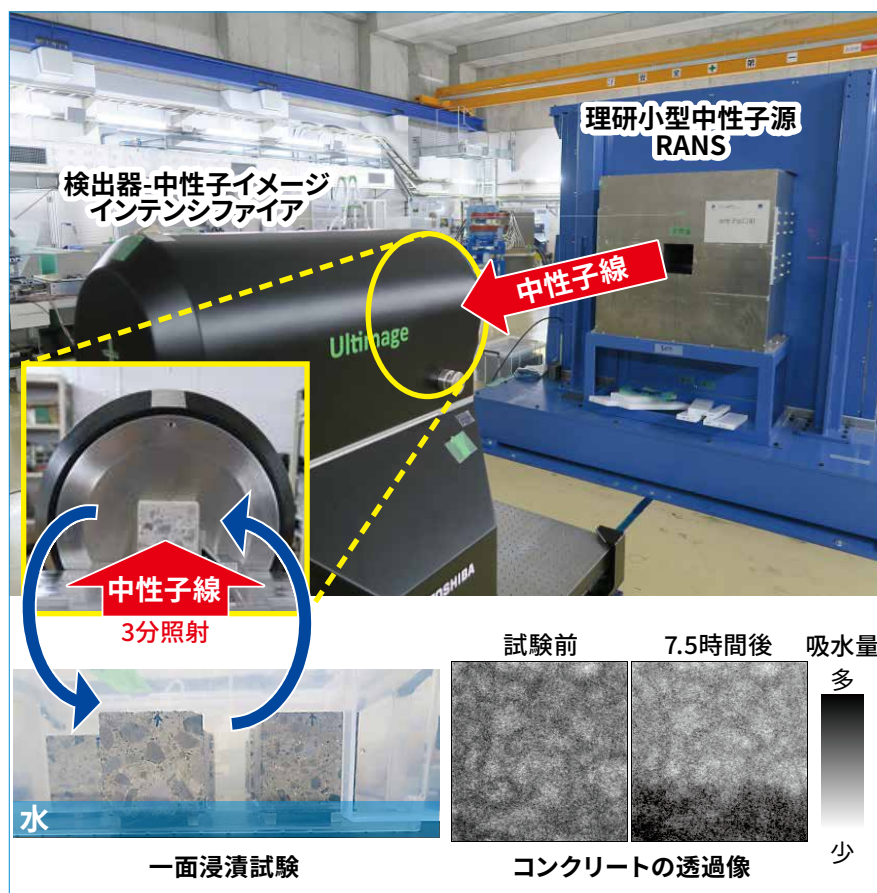


図3 中性子線イメージングの測定例

水漏れ検査などに用いられ、水分により赤色に変色する現像剤をスプレーで噴霧することで水分の浸透深さを測定しています(図2)。

さらに、最近の研究では、コンクリートに浸透した水に含まれる水素に

よって、水分の浸透深さを非破壊で連続的にとらえることが可能な中性子線イメージング⁵⁾を理化学研究所と共同で実施しており、その実施例を図3に示します。上部写真の右側から出た中性子線がコンクリート試験体中を透過、

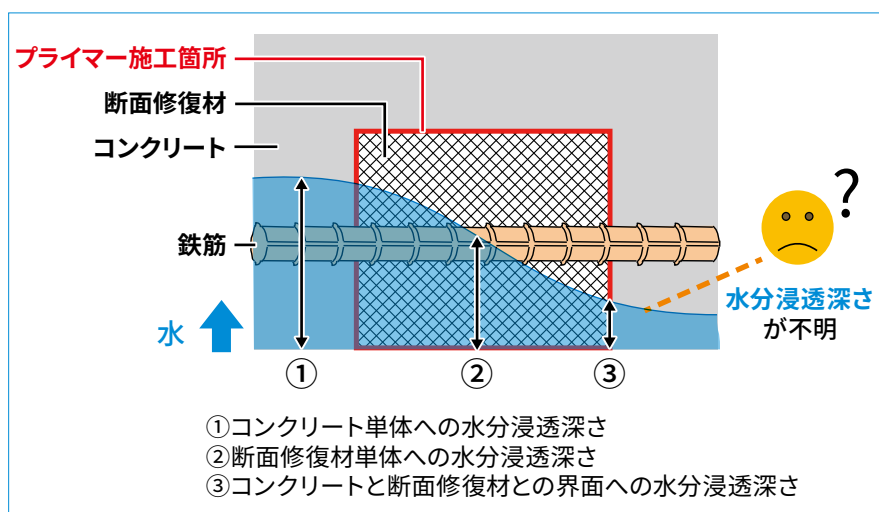


図4 断面修復箇所における水掛かり

もしくは水素によっては散乱され、その程度を上部写真左側の検出器でとらえることでイメージ画像とするものです。ここで、中性子線は放射線の一種で、コンクリート中の骨材に多く含まれるカルシウムやケイ素に対して優れた透過力を示す一方、水素に強く散乱される性質をもつため、コンクリート内部に元々含まれる水分や浸透水分が存在する箇所に陰影がついた透

過像が得られ、透過方向に分布する水素の多少に対応して影の濃さに変化しイメージ画像が得られます。現段階では1～5cm厚のコンクリートに対して、透過度の分布が吸水量分布に相当することが確認されています。

補修箇所における水分浸透

これまでは、コンクリートへの水分浸透について説明しましたが、実構造物の維持管理においては、劣化が発生した場合、その一部で補修が必要となります。劣化は、水掛かりなどの劣化因子がそろった箇所に発生しやすく、断面修復（参照）などの補修箇所には、もともと劣化因子が多くあるため、しばしば再劣化がみられ、再補修が必要となります。そのため、コンクリート単体に加えて、断面修復によって補修された箇所への水分浸透についても検討する必要があります。そこで、図4のような水掛かりを受ける断面修復箇所を模擬した試験体を作製し、中性子線イメージングによって、水の動きを可視化しました。

中性子線イメージングの結果

図5に中性子線イメージングによる断面修復箇所の水の観察結果を示しま

す。黒色と白色のまだらにみえますが、周囲と比べて黒色の箇所は水分が浸透した箇所です。

はじめに、①コンクリート単体では、浸漬時間の経過により徐々に水分が浸透する様子が見られ、24時間では深さ50mm、72時間後には深さ70mmの全体に水分が浸透していることがわかります。ここで、黒色と白色のまだらのうち、白色の箇所はコンクリート中に含まれる骨材です。骨材は簡単に言えば石ころで、一般的な骨材は吸水量が少ないため、周囲と比較して白色となっています。

次に、②断面修復材（有機系）単体ではコンクリート単体と比べて黒色に変色した部分が少ないことから、水分浸透が抑制されていることがわかります。

さらに、断面修復を模擬した③断面修復材（有機系）、④断面修復材（無機系）の結果をみると、コンクリートには水分が浸透しますが、断面修復材には水分が浸透しにくい傾向はそれぞれの単体と同じ傾向でした。また、コンクリートと断面修復材が接合した箇所に着目すると、コンクリート側のみに水分が浸透しており、コンクリートから断面修復材に水がしみ出す様子はみられませんでした。ここで、③断面修復材（有機系）と比べて④断面修復材（無機系）における断面修復材への水分浸透が大きいことから、断面修復材の種類によっても水分の浸透深さが異なることがわかります。

最後に、⑤断面修復材（有機系、プライマーなし）は、コンクリートと断面修復材との間にプライマーの施工を行っていないものですが、プライマーを施工した③断面修復材（有機系）と比べても、コンクリートと断面修復材との界面に、著しい水分浸透が起こっていないことがわかります。プライマーを施工していないため、コンクリート

断面修復

コンクリート構造物の耐久性の回復や向上を目的に、劣化箇所をはとり取り、コンクリートと同等以上の材料で補修すること。ポリマーセメントモルタルやセメントモルタルが補修材料として一般的に用いられ、コンクリートとの付着力を上げるためにプライマーが併用されます。施工方法として、左官工法、吹付け工法、充てん工法があります。また、表面被覆工法など、ほかの補修と併用されます。



吹付け工法による断面修復例

と断面修復材との付着力は低下していると考えられますが、プライマーを施工していなくても、隙間なく断面修復材を施工していれば、弱点となる界面への水分浸透は抑制されることがわかりました。ただし、水圧がかかるような条件では、浸透することも想定されるため注意が必要です⁶⁾。

おわりに

コンクリート構造物は簡単に取り替えることができず、使用量は膨大です。また、その多くが屋外にあるため、降雨の影響を受けます。そして、コンクリート中の鉄筋は、雨水と空気中の酸素の影響で、日々さびようとしています。上記課題に対して研究を行い、コンクリート構造物の維持管理に有効な補修方法など、具体的な対策方法を提案し、コンクリート構造物の長寿命化につなげていきたいと考えています。

RRR

文 献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説【構造物編】コンクリート構造物，丸善出版，2007
- 2) 上田洋：コンクリート構造物への水分浸透の影響を調べる，RRR，Vol.71，No.6，pp.20-23，2014
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，pp.38-47，丸善出版，2018
- 4) 鈴木浩明，上田洋：コンクリートの品質が水分浸透深さの時間依存性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.676-681，2014
- 5) 吉村雄一，水田真紀，久保善司，大竹淑恵，林崎規託：中性子イメージングによるコンクリートへの浸透水分流束評価，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.19，pp.379-384，2019
- 6) 鈴木浩明，水田真紀，上原元樹，大竹淑恵：コンクリートの断面修復部における水分挙動と鉄筋腐食，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，No.1，pp.413-418，2021

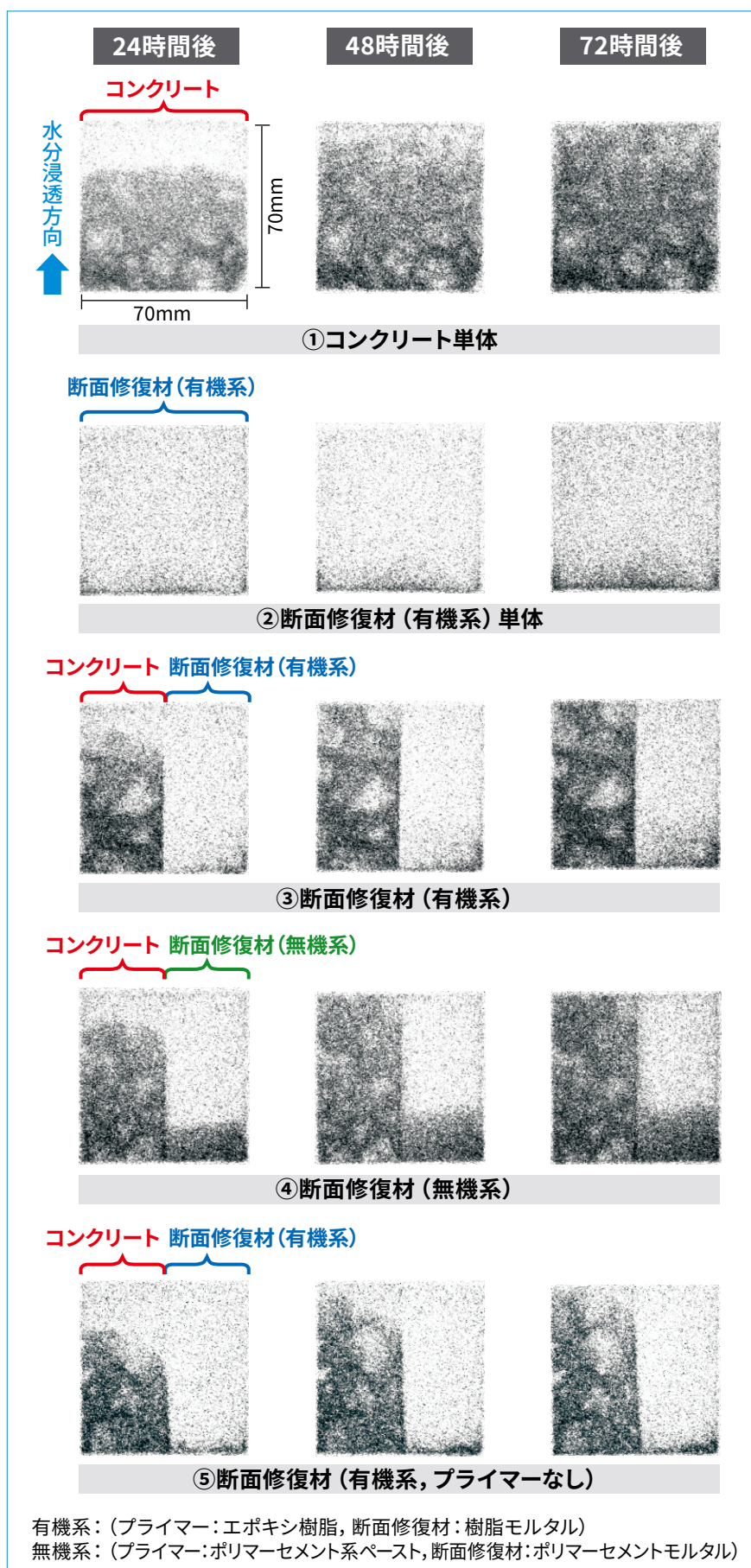


図5 中性子線イメージングによる水の観察結果⁶⁾