

鉄道一般
車両
軌道
構造物
防災
電力
信号通信情報
材料
環境
人間科学
浮上式鉄道

コンクリート構造物への水分浸透の影響を調べる

コンクリート構造物を長寿命化させるためには、その耐久性を知ることが重要ですが、これまでコンクリート構造物の耐久性に大きく影響する『水』については、一部の現場技術者の間で経験的に知られていたものの、理論体系にはほとんど組み込まれていませんでした。この『水』の影響を取り入れた維持管理技術を発展させることで、構造物の実状に合った劣化の進行予測やより適した対策ができるようになると考えています。本特集記事では、その一環として進めているコンクリート構造物への水分浸透について紹介します。



上田 洋
Hiroshi Ueda
材料技術研究部
コンクリート材料研究室
室長
【専門分野】コンクリート工学



飯島 亨
Toru Iijima
材料技術研究部
コンクリート材料研究室
主任研究員
【専門分野】コンクリート工学



鈴木 浩明
Hiroaki Suzuki
材料技術研究部
コンクリート材料研究室
研究員
【専門分野】コンクリート工学

はじめに

コンクリートは、水を吸います。試しに水を少しかけてみると、水がコンクリート中に徐々にしみ込んでいく様子がわかります。ここで紹介する研究は、コンクリートのどの位の深さまで水がしみ込んでいくかを調べたりしているものです。それでは、なぜこのような研究が必要なのでしょう。

鉄筋の腐食

多くのコンクリート構造物では、中に鉄筋と呼ばれる鋼材が入っていて、コンクリートと鉄筋が役割分担をして強さを発揮していますが、鉄筋がさびてしまうと性能をきちんと発揮することができません。鉄筋は、その外側にある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、塩化物イオンや空気中の炭酸ガスがコンクリートに浸透して鉄筋周辺に達したりすると鉄筋はさび始めると言われています¹⁾。

ところが、実際のコンクリート構造物で鉄筋がさびている箇所を調べてみると、その多くは水がかかっている箇所であることがわかってきました(図1)。実際、鉄筋がさびるためには

水や酸素が必要であり、水に着目することが重要です。この考え方は、コンクリート構造物の維持管理などの実務に携わる方の間では昔からしばしば言われてきましたが、最近になって水に着目した情報発信も活発になってきており^{2~4)}、コンクリートの世界が大きく変わろうとしています。

水の浸透

この鉄筋腐食と水との関係にもう少し着目してみますと、二酸化炭素や塩化物イオンなど腐食につながる何らかの因子があった場合に、降雨などでコンクリート中に浸透した水が鉄筋位置に達すると、鉄筋腐食が進みやすくなると考えられます。逆に言えば、水を鉄筋位置まで浸透させないことが、コンクリート構造物を長期的に守るための一つの方策になります(図2)。

そのためにはどうすれば良いのでしょうか。一つは、コンクリートの品質を高めて水が入りにくいものにする事です。もう一つは「かぶり」と呼ばれる、鉄筋の外側に施工するコンクリートの厚さを増すことです。ほかに、水がかからないようにする工夫も必要ですが、



図1 水のかかる箇所での鉄筋露出

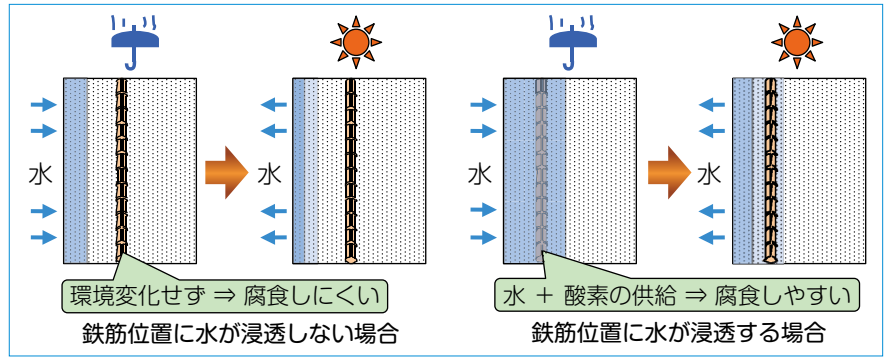


図2 水の浸透と鉄筋腐食



図3 コンクリート構造物への水がかり

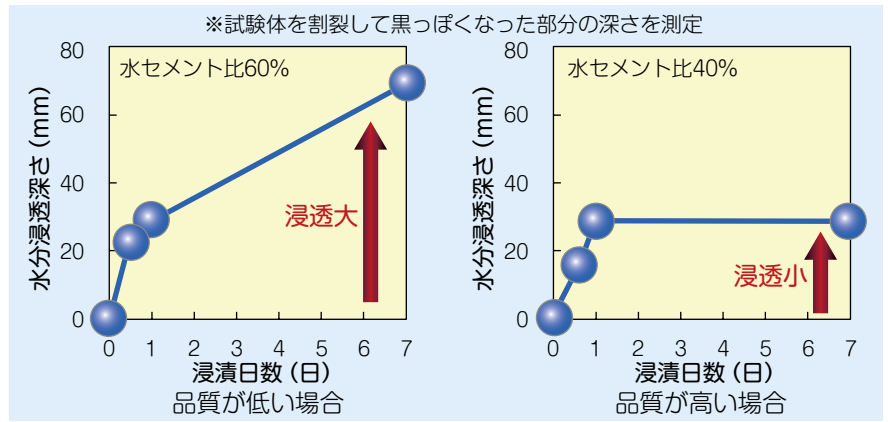


図4 品質による水分浸透深さの違い

屋外で長期間使用するものだけに、少しぐらい水がかかっても問題が起きないようにすることが重要です。

コンクリートの品質を高めるにしても、かぶりを増やすにしても、まず水がどの程度の深さまで入るかがわからないと先に進めません。そこで、色々な方法を用いて水の浸透を調べてみました。なお、水は図1のように桁の端にある隙間から流下したりするほか、雨が吹き込むことで高架下の柱にもかかることがありますので(図3)、水の動きは色々なところで考えないとけません。

水の浸透を調べる方法

コンクリートへの水の浸透を知るにはいくつかの方法がありますが、測定に時間がかかると蒸発して水の状態が変わってしまうこともあり、必ずしも簡単ではありません。コンクリート試料を作製して水に浸し、吸水前後の重

さを測ることで入った水の量を知ることができますが、どの深さまで入ったのかがわかりません。

色々試行した結果、ここではコンクリートを削孔して2本の測定端子を中に入れ、端子間の電気抵抗から含水率を推定する方法を応用し、これらの端子をさまざまな深さに埋め込んだコンクリート試験体を作製して測定することとしました。また、水を吸わせたコンクリートを割ると、水の入った部分が黒っぽく見えることから、この黒っぽい部分の深さを測るといった、ある意味で原始的な方法も合わせて行いました。

水の浸透深さ

コンクリートへの水の浸透を、色々な品質のコンクリートを作製して測定してみました。その一例は図4に示すとおりで、品質が低いと7日間の浸漬で水はコンクリート内部に70mm以

上浸透しますが、品質が高い場合には30mm未滿で浸透が止まる様子がわかります。また、同じ材料を同じ量用いても、その後の養生によって水の浸透深さが大きく変わることもわかりました。最近、現場でもコンクリートの養生が改めて見直されており、耐久性の高いコンクリート構造物の建設につながっていると考えています。

一般的な品質のコンクリートを、測定端子を用いて調べた結果では、図5に示す例のように、最初に深さ10mmの端子が水の到達を検知し、その後に深さ30mmと深さ50mmの端子がそれぞれ順番に水の到達を検知していることがわかります。このコンクリートでは、深さ50mmの端子が水を検知するまでに3日以上かかっており、言い換えれば1~2日程度の水の作用では深さ50mmまでは水が浸透しないことがわかります。

水が入る深さは意外に小さいと思わ

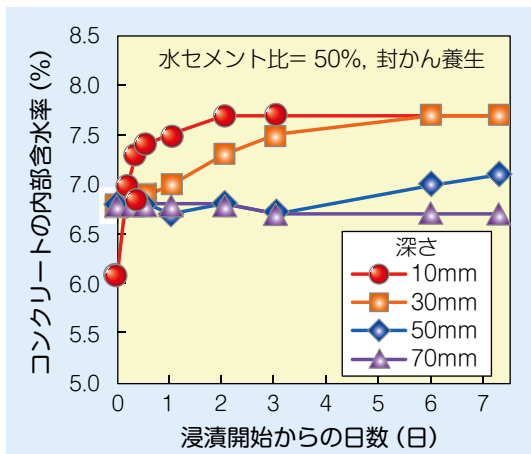


図5 水分浸透試験結果の例

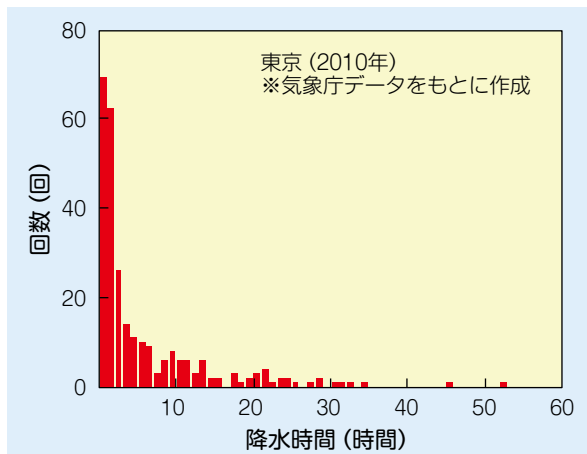


図6 1回の降水での降水時間の分布

れた方も多いのではないのでしょうか。

雨の降る時間

1回の雨はどの位の時間降っているのでしょうか。気象庁がまとめている1時間ごとの降水データを1年分調べてみました(図6)。なお、ここでは降水が一旦中断した場合は、その前後をそれぞれ別の降水としています。その結果、1時間未満といった短時間の降水が一番多く、24時間以上継続する降水は少ないことがわかりました。そうすると、図5のコンクリートでは1回の降水でコンクリートに浸透する水の深さは、数mmから30mm程度になります。もちろん、実際の降水と浸漬試験とでは水のかかり方が違いますが、だいたい感じはつかめます。鉄筋のかぶりはだいたい30~100mm程度で部材の種類や立地などにより異なりますが、実際に鉄筋がさびる箇所は所定のかぶりよりも小さく施工された箇所によくみられ、浸透した水が鉄筋に達している可能性がうかがえます。また、表面付近のコンクリートが重要な役割を果たしていることもわかります。なお、実際には雨が降ったあともしばらく水が回る図1のような箇所では、浸透する水の深さはもっと大きくなります。したがって、このように水が回る箇所⁵⁾により留意することが重要です。

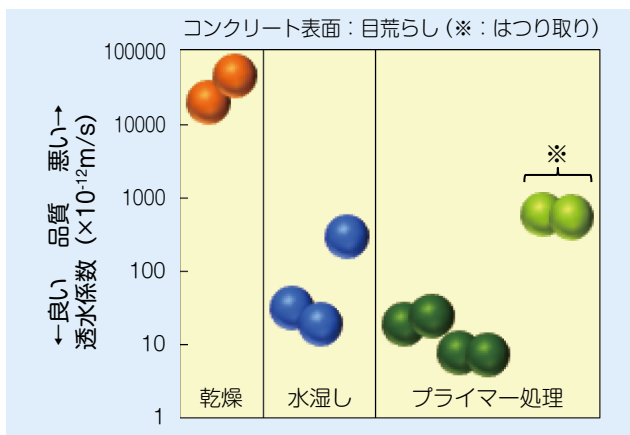


図7 補修材施工前の下地処理が水分移動抑制に及ぼす効果

界面における水の浸透

これまでの説明は、コンクリートく体そのものへの水の浸透ですが、コンクリート同士あるいはコンクリートと断面修復材などの補修材との施工界面などでは状況異なります。以前に行った研究から、このような界面での水分移動抵抗性は全体的に低いことがわかっています⁵⁾。断面修復材は、コンクリート構造物の補修に多く利用されていることから、コンクリートとの界面での水の浸透が抑制されると、補修後の耐久性が大きく向上します。そこで、断面修復材の施工前に行われる下地処理の違いがどの程度影響するかについて調べてみました。

図7はその一例で、断面修復材をコンクリートが乾燥した状態のままや水で湿らせてから施工するよりも、事前にプライマーと呼ばれる材料を塗布することで透水係数が低下し、水分移動

に対する抵抗性が高くなることがわかりました。なお、コンクリートを電動ピックではつり取ると、微細なひび割れの影響で抵抗性が下がる傾向も見られますので、詳細にはさらなる検討が必要ですが、このような補修界面での水の移動を極力防ぐ方法を見出すことは、補修効果を大きく高め、コンクリート構造物の長寿命化に寄与すると考えています。

鉄筋腐食への影響

次に、コンクリートに含まれる水が鉄筋腐食に及ぼす影響について調べてみました。その一例が図8で、コンクリート中に多くの塩化物イオンを含む場合には、コンクリートの含水率が高くなるほど鉄筋の腐食速度が明らかに高くなることがわかります。現在、塩害を受けたコンクリートでは塩化物イオン量を鉄筋腐食進行の指標としています

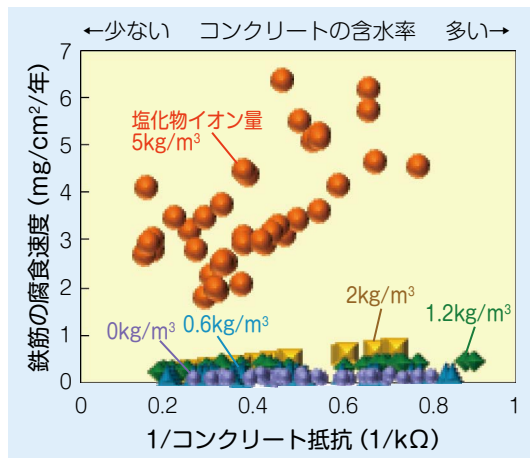


図8 水の存在が鉄筋腐食に及ぼす影響

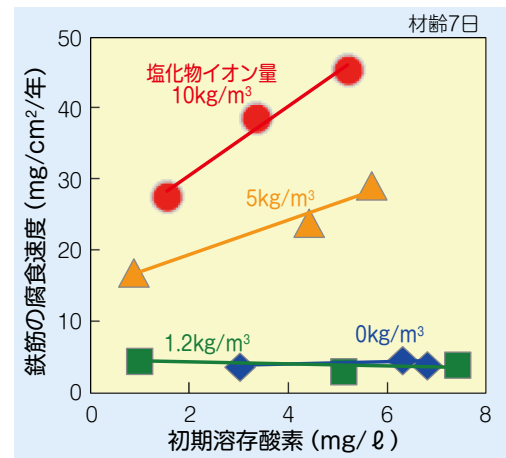


図9 練混ぜ水の溶存酸素量を変えた時の鉄筋腐食速度の違い

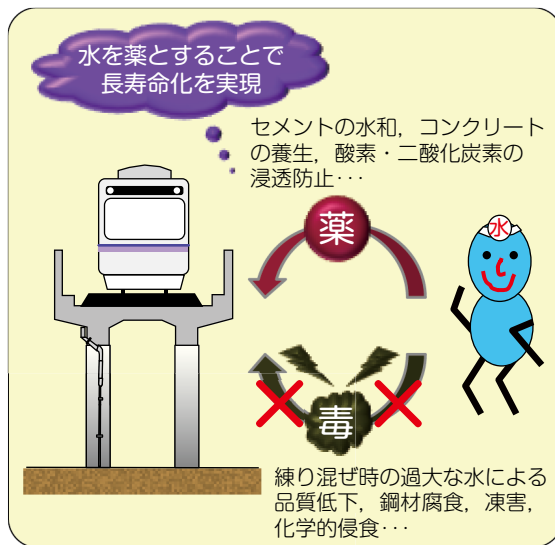


図10 水との付き合い

が、水の状態を取り込むことでより正確な判断につながると考えています。

酸素の影響

コンクリート中の鉄筋腐食は、はじめに触れたように水のほかに酸素の影響も受けます。この時、どのような状態の酸素が影響するのかについてはまだ研究途上ですが、水の中に溶け込んでいる溶存酸素が大きく影響するのではないかと考えています。溶存酸素は、水の中にいる魚が呼吸をするのに使っているもので、水槽で魚を飼う時には溶存酸素がなくならないように泡を送ることも多いと思います。

このように、魚にとっては重要な溶存酸素ですが、鉄筋にとっては腐食につながるものと考えており、溶存酸素

を含む水が鉄筋位置に達することで、腐食を促進していると推定しています。

鉄筋腐食に及ぼす酸素の影響を調べるのは、水の影響を調べるよりもさらに難しいのですが、ここでは基礎的な試験として、セメントを練り混ぜる時に用いる水の溶存酸素量を変えた試験を行いました(図9)。その結果、塩化物イオンを添加したものでは、溶存酸素の多い水を使うことで鉄筋の腐食速度が高くなることがわかります。なお、溶存酸素は時間とともに消費されますので、腐食速度も少しずつ減少しますが、一旦乾燥した後に溶存酸素を含む水が再び供給されると鉄筋腐食も再び進みやすくなります。コンクリートへの水分浸透を知ることで、この溶存酸素の影響もわかるようになって考えています。

おわりに

水の動きを考慮したコンクリート構造物の耐久性に関する研究は、まだまだこれからともいえますが、研究が進むことで、実際に起きている現象を的確に捉えることができるようになり、より適した対策をとることもできるようになると考えています。

コンクリート構造物は、簡単に取り替えることができません。水や酸素の動きに着目した技術を活用し、水を毒としてではなく薬として用いることで(図10)、膨大な量のコンクリート構造物を長寿命化させることにつながっていきたくと考えています。[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編), 丸善, 2007
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編], pp.114-118, 丸善, 2013
- 3) 松田芳範：コンクリートの劣化・損傷に及ぼす水の影響について, コンクリート工学, Vol.51, No.10, pp.814-818, 2013
- 4) 岸利治：コンクリート中への水の浸入の理解と制御, そして活用, コンクリート工学, Vol.51, No.12, pp.989-994, 2013
- 5) 上田洋：水の動きからみたコンクリート構造物のメンテナンス, RRR, Vol.68, No.4, pp.22-25, 2011