

水の動きからみた コンクリート構造物のメンテナンス

上田 洋

材料技術研究部(コンクリート材料 研究室長)



うへだ ひろし

はじめに

コンクリート構造物は、「風雨に晒されながら長い期間にわたって使われる」「簡単に取り替ができない」といった特徴があります。現在使われているコンクリート構造物の中には、22世紀になっても使われるものが数多くあるでしょう。このため、コンクリート構造物を使うには適切なメンテナンスが重要であり、実際にこれらの構造物は現場での定期的な検査と必要な箇所の修繕によって守られています。

図1のようなコンクリート構造物の多くは健全ですが、一部には劣化したものもみられます。コンクリート構造物の劣化現象を詳しく調べてみると、その多くに水が関係していることがわかります。劣化を生じる化学反応に、水を必要とするものが多いからです。そこで、ここではこの「水」に着目して、コンクリート構造物のメンテナンスを考えてみます。

コンクリート構造物の劣化と「水」

コンクリート構造物の劣化には様々な種類がありますが、代表的なものとして、中にある鉄筋の腐食があります。特に、かぶり不足と呼ばれる、鉄筋が本来の位置よりもコンクリートの表面側に施工された箇所では、腐食しやすくなります。鉄筋は腐食すると体積が増えるため、その膨張により表面側のコンクリートがはく離し、鉄筋が露出します。

この現象は、コンクリート構造物の安全性にただちに影響することはありませんが、コンクリート片がはがれるため、はく落が問題になる箇所を中心とした対策が必要です。

このような箇所をよく観察すると、図2のようにコンクリートに水がかかる箇所では鉄筋露出をおこしやすいことがわかります。

もっとも、コンクリート構造物は、屋外にあって長期間使われるものですから、水がかかるだけで劣化が進むことはありません。かぶり不足のあるコンクリートや塩化物イオンを含むコンクリート、アルカリシリカ反応性を有する



図1 コンクリート高架橋



図2 かぶり不足による鉄筋露出

コンクリートなど、劣化に繋がる因子を元々もったコンクリートで、かつそのコンクリートに水がかかるような場合に、劣化が進行しやすくなります。

コンクリート構造物への水のかかり方

それでは、コンクリート構造物のどのような箇所に水がかかるのでしょうか。高架橋や橋りょうなどでは、雨や雪の日には水がかかりますが、コンクリートの表面全体が濡れるわけではありません。一番濡れるのは上面ですが、この部分は晴天では乾きやすい箇所でもあります。側面は構造物の形状や風向きなどによって変わり、良く濡れること

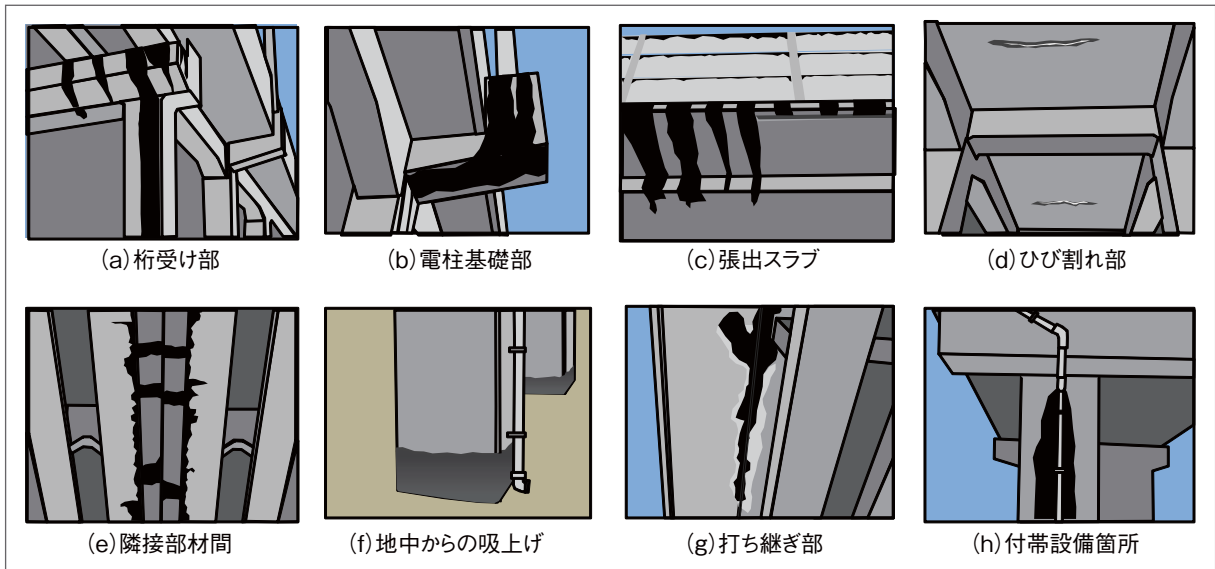


図3 コンクリート構造物における水の回り方の例

もあれば、意外と濡れないこともあります。下面は基本的に水がかからず、雨の日でも乾燥しています。

ただし、コンクリート構造物は複雑な造りになっているため、色々な箇所にも水が回ります。そのため、本来は雨が当たらないような下面でも濡れることがあります。

図3は、コンクリート構造物での水の回り方の例を示したものです。桁受け部や水切りのない電柱の基礎、同じく水切りのない張り出しスラブでは、コンクリート表面に水が回っている例がよく見られます。このほか、地中から水を吸い上げて柱下部が濡れていたり、打継ぎ部から水が滲み出していたりすることもあります。このような箇所でも不足などがあると、鉄筋の腐食に繋がります。

コンクリート内部の水分の分布

コンクリートには微細な空隙があるので、コンクリート表面にかかった水は、この空隙を通じてコンクリート内部に浸透します。また、乾燥時にはコンクリート表面から徐々

に水が蒸発するので、コンクリート内部では水分の分布に偏りが生じます。この分布状態を調べるために、電気抵抗式のコンクリート・モルタル水分計(図4)を用いて様々なコンクリート構造物の水分分布を測定しました。

図5に、測定結果の一例を示します。上部工からの水がかかる測定箇所A,Bでは、含水状態を示すカウントの深さ方向の変化が小さいのに対し、水のかからない測定箇所C,Dでは、表面から深さ50mm程度までの範囲でカウントが小さく、乾燥していることがわかります。逆に言えば、表面の色に大きな違いがあっても、深さ50mm程度よりも内部では含水率に違いがないことになります。他の構造物の測定結果からも、乾燥箇所と上部工から水が回る箇所での違いは、表面から50mm程度までの範囲でした。このことは、鉄筋が表面から50mm程度までの深さにあるか、さらに内側にあるかによって腐食が進む様子が異なることを示していると考えられ、今後研究を進めていきたいと考えています。



図4 水分計による測定

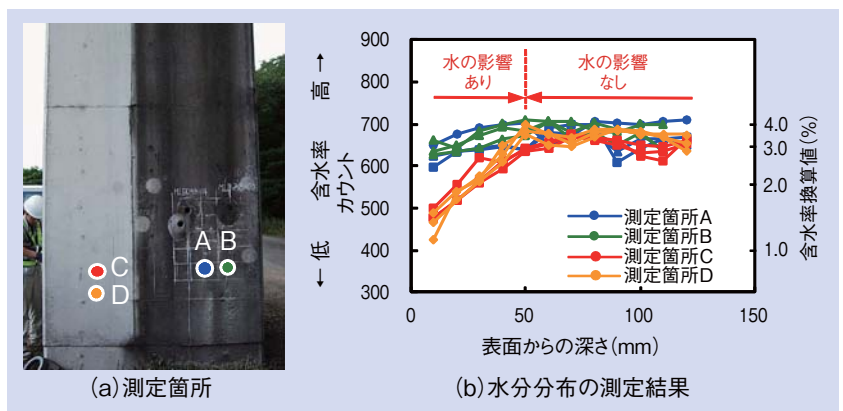


図5 上部工からの水回りの有無による水分分布の違い(その1)

図6に、上部工からの水が回る箇所、雨はかかるが上部工からの水は回らない箇所(雨がかり箇所)、雨のかからない箇所(乾燥箇所)に分けて調べた結果を示します。

上部工からの水が回る箇所では、表面側の含水率がやや高くなっています。これは、測定の20時間ほど前に延べ30mm程度の降雨があったためです。一方、雨がかり箇所の水分分布は乾燥箇所に近く、雨天時に雨がかかっているにもかかわらず表面付近は乾燥していることがわかります。

この違いは、雨がかり箇所では雨が止むと同時に乾燥を開始するのにに対し、上部工からの水が回る箇所では雨が止んでもしばらくの間は水が流れていることによると考えられます。したがって、コンクリート構造物への水の回り方を考える時には、雨がかる箇所と上部工などからの水が回る箇所とを分けて考えることが必要です。コンクリート内部に水が浸透しやすいのは、上部工などからの水が回る箇所です。

表面の被覆による水の閉じ込め

劣化したコンクリート構造物では、必要により補修などの対策がとられます。この対策技術を発展させることが、コンクリート構造物のメンテナンスに重要です。そこで、一般的な補修方法である断面修復(劣化した部分を除去し補修材で修復する方法)と表面被覆(塩分などが浸透しないようにコンクリート表面を塗膜などで覆う方法)についても、水の回り方に着目して考えてみます。

図7は、海岸沿いにおいて塩分の浸透で劣化した桁の下の部分に対して、断面修復および表面被覆をした後の水分分布を調べた結果の例です。桁の上部側からの水が回る箇所では、深さ10~80mm付近のカウントが深さ100~130mm付近よりも高く、表面側(桁下面側)に水が溜まっていることがわかります。これは、通常は桁下面から外部に排出される水が、表面被覆材によって閉じ込められコンクリート中に滞留したためです。この例では、鉄筋付近の塩化物イオンを不活性化させる対策がとられていますが、水が滞留している箇所に鉄筋があることから、通常の断面修復では再劣化を生じるおそれがあります。

この水は、図3(e)に示したような形態で桁上部から回り、これが表面被覆材の中に入り、さらにコンクリートと

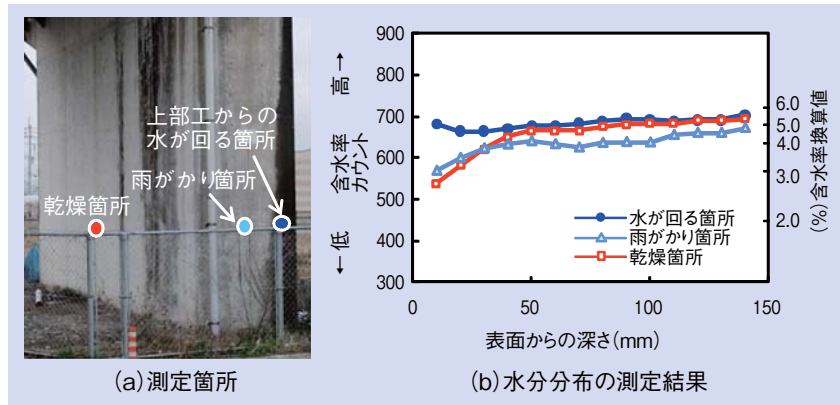


図6 上部工からの水回りの有無による水分分布の違い(その2)

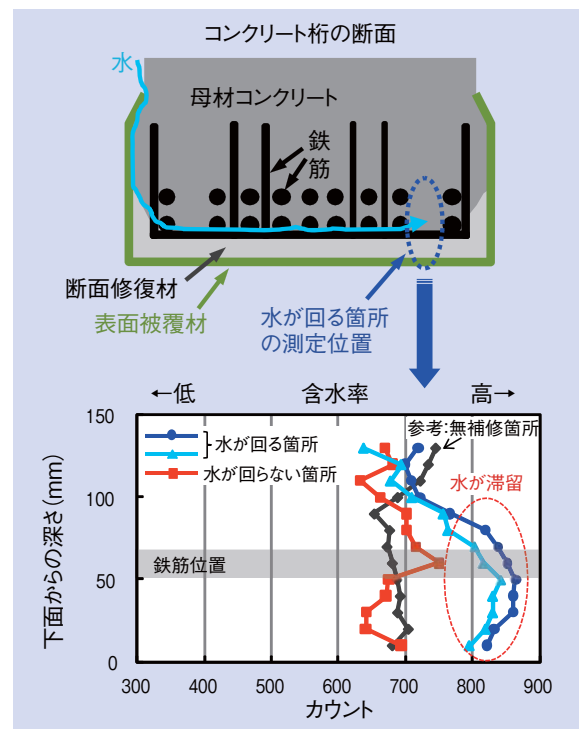


図7 コンクリートと補修材との界面への水の浸透と表面被覆材による水の滞留

断面修復材との間を浸透してきたものです。

表面被覆は、外部からの水や二酸化炭素、塩化物イオンの浸透を防ぐために有効な補修方法ですが、別の経路で水が浸透する時にはその排出を妨げることもなりますので、これらのメリットとデメリットとを踏まえた適材適所での使用が必要です。

コンクリートと補修材との界面への水の浸透

図7の例では、断面修復材とコンクリートとの界面に水が浸透していました。そこで、これらの界面の性状について考えてみます。

コンクリートの下面から種々の断面修復材を吹き付け



図8 断面修復材の吹き付け施工

施工した試験体（図8）を切り出して、その背面側に水を入れる実験をしました。この時の試験体の厚さは、50～70mm程度です。その結果、多くの試験体では図9に示すように界面から水が滲み出し、この部分で水が浸透しやすいことがわかりました。

この界面を含むようにしてコンクリートコア試料を採取し、透水係数を測定したところ、水の浸透しやすさはコンクリート単体と比べて最大で100倍以上に達するものもわかりました。実構造物でも、界面から水が浸透することで鉄筋腐食を生じる例は多くみられます。今後、このような界面において水が浸透しにくい補修技術の開発が期待されますが、当面は界面に水が浸透しやすいことを認識し、水が回る部位の補修では鉄筋背面までコンクリートを除去するなど、界面に鉄筋が来ないように対処が有効です。

水は毒にも薬にもなる

これまで、コンクリートの劣化に水が大きく影響するとの視点で述べてきました。いわば、水は『毒』であるといえます。ところが、コンクリートは水によって助けられること、言ってみれば水が『薬』になることもあります。

例えば、水がないとコンクリートは固まりませんし、固まった後も水がかかることによって「良い養生」がなされ、高品質なコンクリートになります。

表1に、コンクリート構造物にとって水が『毒』になる例と『薬』になる例を示します。例えば、水は鉄筋腐食を

表1 コンクリートと水との関係

水が『毒』になる例	<ul style="list-style-type: none"> 練り混ぜ時の過大な水量による品質低下 鋼材腐食 凍害 アルカリシリカ反応・化学的侵食 など
水が『薬』になる例	<ul style="list-style-type: none"> セメントの水和 コンクリートの養生 酸素の浸透防止 二酸化炭素の浸透防止 付着した塩化物イオンの洗い流し など

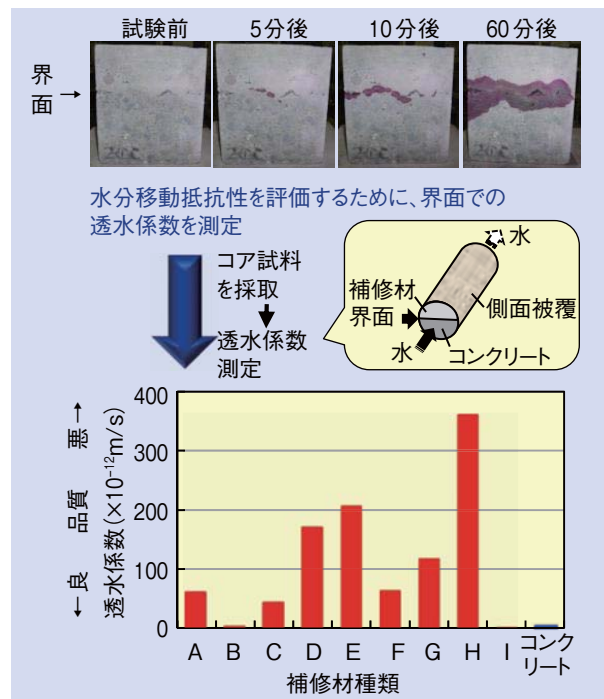


図9 コンクリートと補修材との界面での水分移動抵抗性

誘発する方向に働きますが、常に水に浸っている部位では腐食反応の進行に必要な酸素が供給されないため、鉄筋腐食はほとんど生じません。海岸沿いのコンクリート構造物では、コンクリートに塩化物イオンが浸透して鉄筋腐食に繋がりますが、雨のかかる箇所では付着した塩化物イオンが洗い流されることによって、塩化物イオンが浸透しにくくなるともいえます。図7の例もそうですが、塩害は桁下面など雨のかからない箇所で目立ちます。

この『毒』と『薬』との関係は、まだ十分に整理されていませんが、この関係をより明確にすることによって、『毒』を排し『薬』を活用するメンテナンスができるようになると考えています。

おわりに

良い設計、良い材料、良い施工で造られたコンクリート構造物では、水がかかってもかからなくても一般に劣化を生じないので、必ずしも全てのコンクリート構造物において水の動きを考える必要はありません。ただ、水の動きに着目していくことで、劣化に繋がる因子を持っているようなハンデを背負ったコンクリート構造物に対しても、うまく付き合いながら健全に使用することが可能になります。

そして、水の動きに着目した適切なメンテナンスをすることにより、例えば100年を経過したコンクリート構造物でも、あと100年以上健全に使うことができるようになると考えています。RRR