

コンクリート中の含水率とかぶり鉄筋の腐食速度に及ぼす影響

東急建設株式会社 技術研究所 土木研究グループ 正会員 ○前原 聡
芝浦工業大学 工学部 土木工学科 正会員 伊代田岳史

1. はじめに

中性化によるコンクリート構造物の劣化では、雨掛かりなどによる水分供給がある箇所において、かぶりコンクリートの剥離・剥落が顕著になることが実務的に認識されている。これは、中性化の進行のみに着目すると、湿潤状態にある方が中性化の進行は遅いものの、水分と酸素の供給が多い条件ほど、鉄筋の腐食が速くなることが影響していると考えられる。

ここで、実構造物を対象とした既往の研究¹⁾によると雨掛かりがある場合のコンクリート中の含水率は、表層からの50mm程度以深では外部環境の影響は少なく、含水率の変動は小さいことが示されている。これより、雨掛かりによってコンクリート表層が湿潤状態となると、表層の水分がコンクリート内部に浸透するまでに時間を要すること、乾燥状態でコンクリート表層から水分が逸散することで、表層と内部では含水率が異なることが考えられる。つまり、雨掛かりの有無とかぶりの大小によって、コンクリート中の含水率分布が異なり、鉄筋腐食のし易さも変化すると考える。そこで、本研究では実構造物の腐食した鉄筋を調査することで、雨掛かりの有無を模擬した際のコンクリート中の含水率分布を把握するとともに、かぶりの大小が鉄筋の腐食速度に及ぼす影響を検討した。

2. 調査概要

2.1 対象構造物

対象構造物は、腐食生成物の体積膨張倍率と腐食の偏りに着目した既報²⁾と同じA高架橋およびB高架橋と、さらに今回、C高架橋からスラブの一部を切出して、保管していた試験体を追加した。C高架橋スラブ試験体は、B高架橋に隣接しているC高架橋から供用年数87年時に1m×1m程度切出して、雨掛かりのないように養生して保管していたものである。C高架橋におけるかぶりは概ね25~30mm、中性化深さは63.8mmであり、鉄筋背面まで中性化が進行している状況であった。

2.2 コンクリート中の含水率に関する調査方法

コンクリート中の含水率分布の違いを把握するために、A高架橋およびC高架橋より切出したスラブ試験体を対象に調査した。含水率の測定は、電気抵抗式の測定器を用いて行った。含水率の測定にあたってはφ6mm、長さ70mm程度の削孔穴を30mm間隔で3箇所設け、そこに電極(長さ約15mm)を挿入してコンクリート表面から深さ10mm毎の含水率を測定する手法³⁾を参考とした。測定時における環境条件は、A高架橋のスラブ試験体では、試験体を屋内にて7日間以上静置して乾燥させた状態と、乾燥状態で測定した後に、雨掛かりの状態を模擬するため、コンクリート表面を1日および3日間湿潤状態とした条件で行った。

2.3 鉄筋の腐食速度に関する調査方法

A, B, C高架橋のスラブ試験体より、腐食した鉄筋を採取し、それらの断面減少量から腐食速度を求めた。表1に分析試料とする鉄筋の径、かぶりおよび中性化深さを示す。鉄筋は長さ80mm程度に切断し、表面に付着したコンクリートを可能な限り除去した。その後、60℃の10%クエン酸二アンモニウム水溶液に12時間以上浸漬させ、腐食生成物を除去した。そして、腐食生成物除去後の鉄筋重量と長さを計測し、それぞれの鉄筋の単位長さあたりの重量を求めた。なお、既報²⁾において、A-2およびB-1は光学顕微鏡による断面観察を実施し、断面減少量を求めている。A-2およびB-1の断面減少量と単位長さ重量の関係を用いて、今回、調査したそれぞれの鉄筋の断面減少量を求めた。表1に断面減少量の結果をあわせて示す。

表1 分析試料の概要

分析試料	経過年数 雨掛かりの有無	鉄筋径 (mm)	中性化 深さ (mm)	かぶり (mm)	断面 減少量 (mm ²)
A-2	A高架橋 45年間 雨掛かりなし その後、 スラブ試験体と して切出した 10年間 雨掛かりあり	φ8	42.1	8.1	2.36 [※]
A-3			42.1	8.8	2.95
A-4			42.1	20.1	1.35
A-5			42.1	20.1	1.54
A-6			50.8	4.3	2.89
A-7			50.8	17.7	1.86
A-8			50.8	36.0	1.97
A-9			57.1	36.0	1.83
B-1			B高架橋 32年間 雨掛かりなし	φ19	52.4
C-1	C高架橋 87年間 雨掛かりなし	63.8	25.0		3.26
C-2		63.8	25.0		4.21
C-3		63.8	25.0		4.45
C-4		63.8	26.0		3.06
C-5		63.8	27.0		4.58

※断面観察により求めた断面減少量

キーワード: 中性化, 腐食速度, 含水率, 雨掛かり

連絡先: 〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1 東急建設(株) 技術研究所土木研究グループ Tel:042-763-9507

3. 調査結果および考察

3.1 コンクリート中の含水率分布

図1にコンクリート表面からの深さ方向の含水率分布を示す。A高架橋およびC高架橋の乾燥状態における表層と内部では、表層のほうが乾燥の影響を受けるため、含水率は1~2%程度小さくなった。また、A高架橋では、コンクリート表面から10~50mmの範囲の含水率は3~5%であるのに対して、C高架橋では含水率が2~4%と雨掛かりのないほうが、全体的に含水率が小さくなる傾向を示した。

次に、A高架橋において、湿潤状態を1日間保つことで、コンクリート表面から10~20mmの範囲の含水率が大きくなり、コンクリート内部と同程度の含水率となった。さらに、3日間湿潤状態を保つとコンクリート表面から10~20mmの範囲の含水率は、コンクリート内部の含水率よりも大きくなった。ただし、3日間湿潤状態を保つことで含水率が変動する範囲はコンクリート表面から40mm程度の範囲であり、コンクリート表面から50mm以深における含水率の変動は小さかった。

3.2 腐食速度の算出

断面減少量を求めた鉄筋は、かぶりおよび中性化深さがそれぞれ異なることから、腐食期間が違うと想定される。そこで、図2に示す中性化による鉄筋腐食の進展機構を設定した。

潜伏期において、中性化の進行に伴い中性化残りが10mmとなった時点において鉄筋腐食が開始するとした。ただし、その時点においては、鉄筋のかぶり側が腐食対象範囲となり、鉄筋の背面側は、腐食しないと考えられる。中性化が進展し、中性化深さがかぶりと鉄筋直径の和-10mm (C+D-10) となった時点で腐食対象範囲が鉄筋全周となると仮定した。

そして、腐食が開始した後の進展期では、雨掛かりの有無により腐食速度が異なると想定した。まず、B-1, C-1~C-5において、雨掛かりのない場合の断面方向の腐食速度を算出した。B, C高架橋の経過年数と中性化深さから中性化の進行を想定し、経過年数期間における腐食対象範囲の累計を式(1a) (1b) (1c)を用いて求めた。

その腐食対象範囲の累計に鉄筋断面方向の腐食速度 dr/dt を乗ずることで鉄筋の断面減少量となる。そこで、調査結果の断面減少量および式(2)により腐食速度 dr/dt を求めた。図3に断面方向の腐食速度の算出結果を示す。雨掛かりのないB, C高架橋における鉄筋の腐食速度は、 $0.7 \sim 1.4 \times 10^{-3}(\text{mm}/\text{年})$ となった。次に、A高架橋から採取した鉄筋は、45年間は雨掛かりがない環境で、スラブ試験体を切出してから10年間において雨掛かりのある環境で腐食したものである。そこで、雨掛かりのない45年間では、B-1, C-1~C-5から求めた腐食速度の平均値 $1.0 \times 10^{-3}(\text{mm}/\text{年})$ として、その後の雨掛かりのある環境下での腐食速度を求めた。A-2~A-9の腐食速度は、 $1.4 \sim 5.2 \times 10^{-3}(\text{mm}/\text{年})$ となり、雨掛かりのない場合よりも大きくなった。さらに、雨掛かりのある場合は、かぶりが小さいほど腐食速度が大きくなる傾向を示した。

4. まとめ

コンクリートの含水率分布と腐食速度の関係を検討した結果から、雨掛かりがある場合、水分供給による乾湿繰り返しの影響を受け、含水率の変動はコンクリート表面のほうが大きくなる。そのことで、鉄筋の腐食速度もコンクリート表面のほうが大きくなるものとする。今後、雨掛かりの有無の違いによる腐食速度を定式化することで、中性化による鉄筋腐食の劣化予測や現状の劣化程度の把握を合理的に行うことが可能と考える。

参考文献

- 1) 玉井謙, 上田洋: 外部環境がコンクリート構造物内部の含水状態に与える影響, 土木学会第64回年次学術講演会, V-215, pp.427-428, 2009.
- 2) 前原聡, 伊代田岳史: 中性化により腐食した鉄筋の詳細分析, 土木学会第71回年次学術講演会, V-412, pp.823-824, 2016.
- 3) 森永繁: 鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究, 東京大学博士論文, 1986.
- 4) 鳥取誠一: 鉄筋腐食に関する暴露試験等に基づいたコンクリート構造物の劣化予測, 京都大学博士論文, 2003.

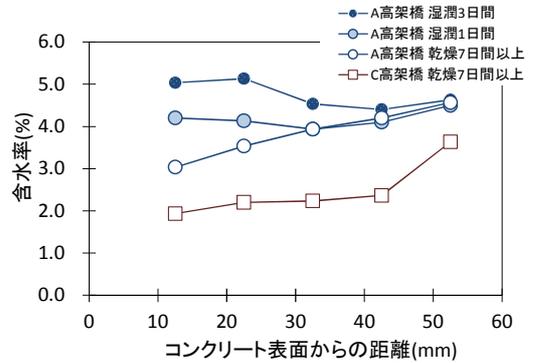


図1 コンクリート表面からの含水率分布

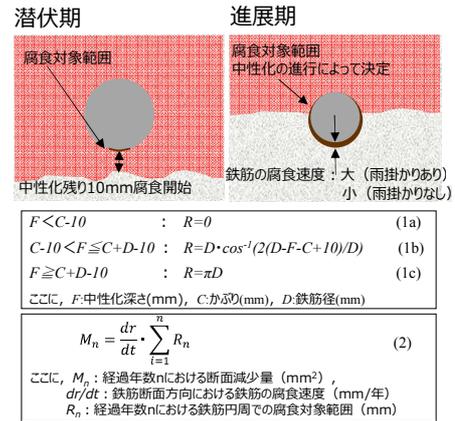


図2 中性化による鉄筋腐食の進展機構

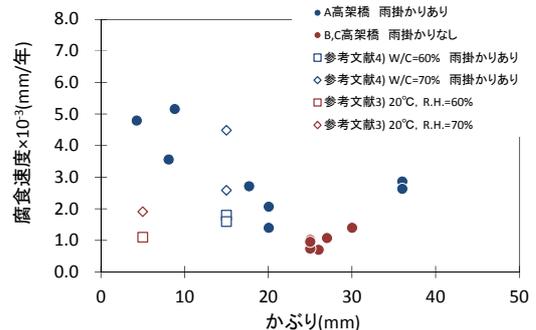


図3 鉄筋の腐食速度とかぶりの関係