

中性化による橋梁上部コンクリート部材の耐久性について

中日本高速道路(株) 正会員 博士(工学) ○酒井 秀昭

1. はじめに

コンクリート構造の経年化に伴う劣化機構としては、主に中性化・塩害・アルカリシリカ反応および疲労などがある。これらの劣化機構のうち中性化については、二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応することによりコンクリートのpHが低下し、鋼材の腐食が促進され、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材断面の減少を起す現象であり、表面被覆工などの対策を行なわなければ、大気に接するすべてのコンクリート構造に生ずる劣化現象である。

わが国においては、昭和30～40年代のいわゆる高度経済成長期に建設された高速道路などの社会資本に用いられているコンクリート構造物がすでに40年以上経過しており、コンクリートの中性化が進行しているものと推察される。本研究は、高速道路橋のうち鋼連続鈑桁橋RC床版・RC中空床版橋およびPC橋に用いられているコンクリートの中性化深さを計測し、対象構造物の耐久性や今後の新設橋梁の設計上の配慮すべき事項などについて検討を行ったものである。

2. 調査方法

調査は、神奈川県および静岡県に位置する高速道路橋のうち鋼連続鈑桁橋のRC床版下面38橋142箇所、RC中空床版橋の主版下面11橋22箇所、PC橋の主桁下面4橋13箇所を対象として、2000年から2011年間に中性化深さおよび鉄筋かぶりの調査を行った。さらに、RC中空床版橋1箇所において、はつりによる鉄筋腐食状況調査を行った。

中性化深さの調査は、ドリル法（日本非破壊検査協会NDIS3419「ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化試験方法」）に準拠して行い、1箇所あたり3点以上測定しその平均値とした。鉄筋かぶりは、電磁波法により行い、1箇所あたり3点以上測定しその平均値とした。

3. 調査結果

3.1 中性化深さ

中性化深さと経過年数との関係を図-1～3に示す。ただし、図-3に示したPC橋中性化深さについては、ドリル法において2橋4箇所の数値のみしか測定できなかったため、4箇所のデータとした。図-1～3の調査平均は、式(1)により中性化速度係数を算定しその平均値を用いて経過年数との関係を示した。また、図-1～3の算定値は、式(2)に示すコンクリート標準示方書¹⁾に示さ

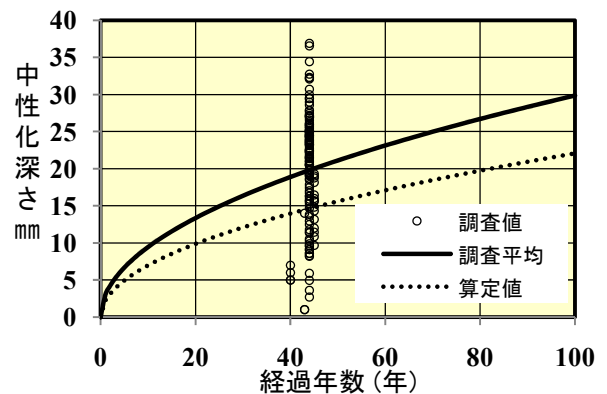


図-1 鋼橋RC床版中性化深さ

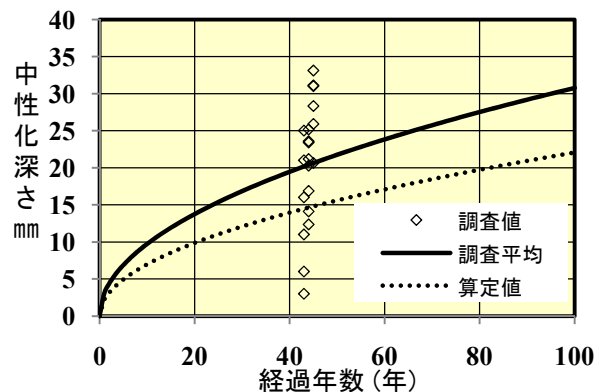


図-2 RC中空床版橋中性化深さ

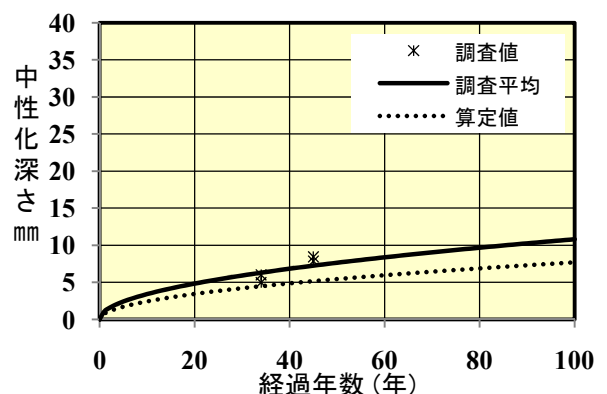


図-3 PC橋中性化深さ

れている参考式に環境作用の程度を示す係数を乾燥環境と想定し、1.6として乗じて算定した。また、有効水結合材比は、RC構造において55%、PC構造において45%と仮定した。

$$\alpha = \frac{y}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

α : 中性化速度係数(mm $\sqrt{年}$)

y : 中性化深さ(mm)

t : 経過年数(年)

$$\alpha = -3.57 + 9.0(W/B) \quad (2)$$

W/B : 有効水結合材比

調査結果から、データのばらつきが大きく中性化速度係数のばらつきも図-4のとおり大きい。RC構造で設計基準強度24MPaで施工されている鋼連続鉄桁橋RC床版およびRC中空床版橋は、設計基準強度40MPaで施工されているPC橋に比べて、中性化の進行がきわめて早いことがわかった。また、式(2)をもとに算定した値と比較して、調査値の平均値が30%程度大きくなっている。

3.2 鉄筋かぶり

調査箇所の鉄筋かぶりおよび中性化深さを図-5に示す。また、鋼連続鉄桁橋RC床版の鉄筋かぶりのばらつきを図-6に示す。

調査結果から、設計時の最小鉄筋かぶり(鋼連続鉄桁橋RC床版30mm、RC中空床版橋およびPC橋35mm)に対して実構造物の鉄筋かぶりの平均値が小さく、鉄筋位置まで中性化している箇所も20%以上あった。

3.3 鉄筋腐食状況調査

RC中空床版橋のうち中性化深さおよび鉄筋かぶりの平均値がともに約26mmの箇所について、かぶり部分のコンクリートを写真-1に示すとおり、はつりによる鉄筋の腐食状況調査を行った。

この結果、主鉄筋は点錆程度の腐食で、配力筋は表面錆がほぼ全体に拡がっている状況が確認された。

3.4 調査結果のまとめ

調査結果から、高速道路橋のうち鋼連続鉄桁橋RC床版・RC中空床版橋およびPC橋に用いられているコンクリートの中性化に関しては、以下に示すことがわかった。

- ①設計基準強度および施工時期が同じコンクリートにおいても、中性化深さのばらつきがきわめて大きくなっており、対象とする橋梁あるいは部位・部材ごとの中性化の進行状況の調査および評価が必要となる。
- ②中性化深さについては、データのばらつきが大きい

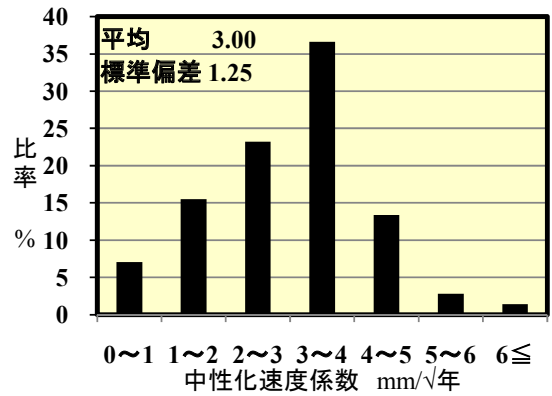


図-4 鋼橋床版中性化速度係数のばらつき

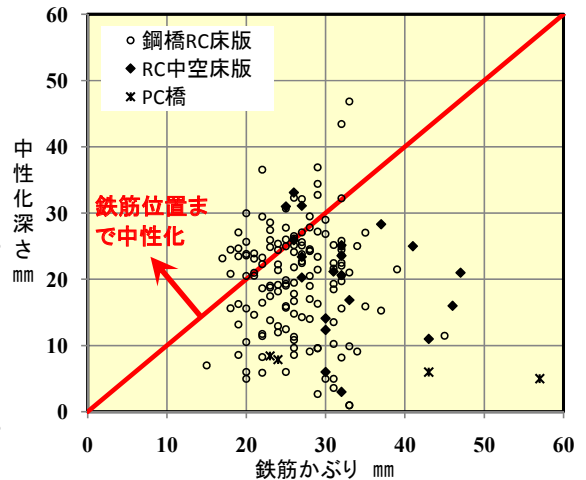


図-5 鉄筋かぶりと中性化深さ

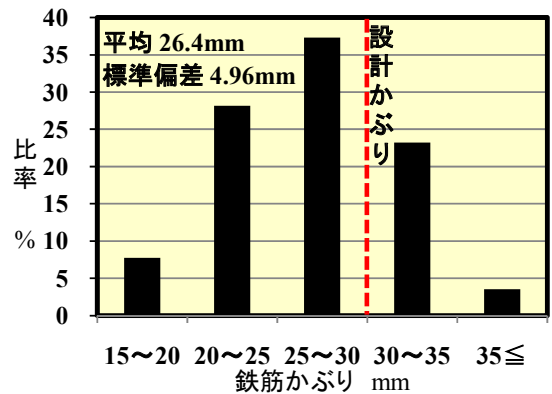


図-6 鋼橋RC床版鉄筋かぶりのばらつき



写真-1 RC中空床版橋の鉄筋腐食状況

RC構造に用いられているコンクリートがPC構造に用いられているコンクリートに比べて大きい。これは、PC構造に用いられているコンクリートのほうが設計基準強度が高いため水結合材比（水セメント比）が小さくなるので、中性化速度係数が小さくなるためと推察される。

③設計時の最小鉄筋かぶりに対して実構造物の鉄筋かぶりの平均値が小さい箇所が多くあり、鉄筋位置まで中性化している箇所も20%以上あった。

④鉄筋位置まで中性化している箇所のはつりによる鉄筋腐食状況調査結果から、鉄筋位置まで中性化している箇所は鉄筋が腐食している可能性が高い。

4. 調査結果の検討

4. 1 今後の経年化に伴う中性化の進行

図-1~3に示した中性化深さの調査結果は、2000年から2011年にかけて実施した調査であるため、式(1)により算定される中性化速度係数を用いて、2012年および40年後となる2052年の中性化深さを算定した。2012年および2052年の中性化深さの予測値と鉄筋かぶりとの関係を図-7, 8に示す。経過年数が約45年となる図-7に示した2012年の予測値においては、鉄筋位置まで中性化している箇所が約27%であるが、さらに40年後となる2052年には約2倍の56%になる。ただし、調査対象とした橋梁のうちPC橋については、経過年数が80年を超える2052年においても、中性化が鉄筋位置まで進行せず特に対策が必要とはならないものと推察される。

鋼連続鉄桁橋 RC床版・RC中空床版橋のコンクリートは、中性化の進行が早く実構造物のかぶりも比較的小さいことから、必要に応じて速やかな対策が必要となるものと推察される。

4. 2 鋼連続鉄桁橋 RC床版の中性化の進行予測

調査対象橋梁のうち調査箇所数が最も多い鋼連続鉄桁橋RC床版の中性化の状況について、式(1)により算定される中性化速度係数を用いて算定した将来の中性化深さ y と鉄筋かぶり c との関係に着目して中性化の進行予測をとりまとめると図-9のとおりとなる。図-9において、「 $(c-y) \leq 0\text{mm}$ 」は中性化が鉄筋位置まで進行して鉄筋が腐食する可能性が高いことを、「 $(c-y)=0\sim 10\text{mm}$ 」は中性化が鋼材腐食発生限界深さ y_{lim} (鉄筋かぶり -10mm と設定)より進行して鉄筋が腐食する可能性があることを、「 $(c-y) > 10\text{mm}$ 」は中性化が鋼材腐食発生限界深さ y_{lim} まで進行しておらず中性化に起因する鉄筋腐食の可能性がないことを意味する。

図-9からわかるように、鉄筋位置まで中性化している箇所数の比率は、経過年数が約45年となる2012年には約30%であるものが40年後の2052年には2倍の約60%に増大しており、経年化により鉄筋が腐食する可能性が大きく高まることがわかる。

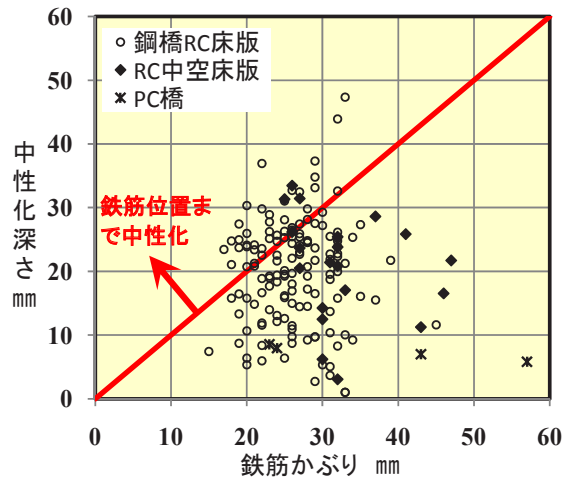


図-7 中性化深さの予測(2012年)

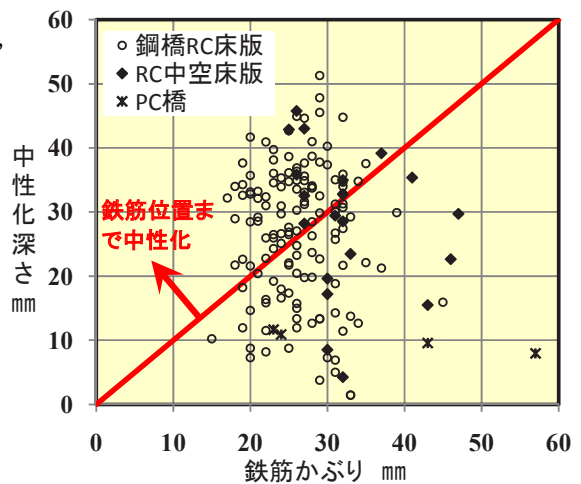


図-8 中性化深さの予測(2052年)

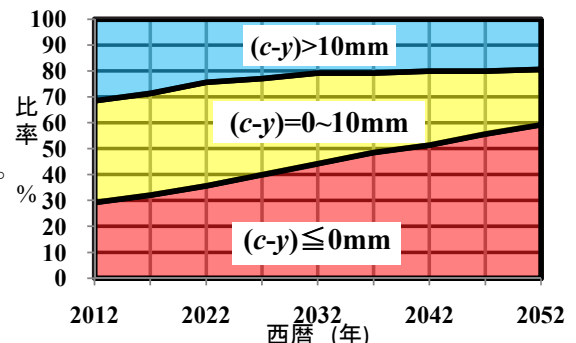


図-9 中性化深さの予測(鋼橋 RC床版)

4. 3 鉄筋かぶりの影響

実構造物の鉄筋かぶりは設計かぶりより小さな値のものが多くあったため、実構造物の鉄筋かぶりが設計かぶりと同じ(30mm)であったものと仮定して、図-9に示した鋼連続鉄桁橋 RC 床版の中性化の進行予測をとりまとめると図-10のとおりとなる。

図-10からわかるように、設計かぶりを遵守していたとしても、経過年数が約45年となる2012年においては8%が鉄筋位置まで中性化し、さらに40年後の2052年には約半数となる46%が鉄筋位置まで中性化することになり、この

設計かぶり30mmでは経年化により鉄筋が腐食する可能性が大きく高まることがわかる。試みに設計かぶりが50mmと仮定して同様な算定を行った場合は、2012年においては鉄筋位置まで中性化する箇所は無く、2052年には約3%が鉄筋位置まで中性化することとなる。したがって、設計耐用期間が長いコンクリート構造においては、設計かぶりの適正な設定と施工時のかぶりの確保が重要となる。

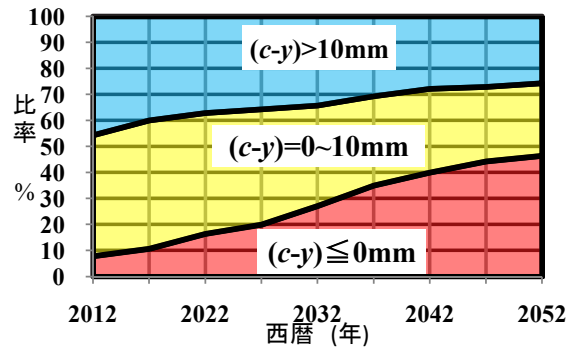


図-10 中性化深さの予測(かぶり 30mm)

5. 今後の課題

5. 1 既設橋のコンクリート構造について

既設橋のコンクリート構造の中性化の進行については、おおむね同じ経過年数で同じ設計基準強度のコンクリートであっても中性化深さのばらつきが大きいので、対象とする橋梁あるいは部位・部材ごとの中性化の進行状況の調査および評価が必要となる。したがって、定期的に中性化深さの調査を行い、その劣化進行の程度について評価する必要がある。

ただし、PC橋は、今回の調査結果からは経過年数が40年程度では、中性化による劣化進行は潜伏期となる。また、経過年数が80年と仮定して試算しても、中性化による劣化進行は潜伏期となり、中性化に起因する鉄筋の腐食は生じないものと推察される。したがって、PC橋は、設計かぶりの確保や適切なコンクリートの施工が行われれば、中性化に対して十分に耐久性がある構造物であることが再確認された。

5. 2 今後建設される橋梁のコンクリート構造について

今回の調査結果から、実構造物の鉄筋かぶりは設計最小かぶりに比べて小さい箇所が多くあったこと、中性化深さの進行は調査箇所ごとのばらつきが大きいことなどから、経過年数が40年程度でも中性化が鉄筋位置まで進行しているものが27%程度あったため、RC構造においては設計かぶりの増大や鉄筋組立て時の位置の検査や非破壊検査の更なる厳密化などの鉄筋位置の品質管理方法などを十分に検討する必要があるものと思料される。また、鋼橋については、RC床版をPC床版に変更し少数鉄桁構造を積極的に採用することなどの構造変更を含めた取り組みも必要になるものと思われる。

6. あとがき

本研究により、橋梁等のコンクリート構造は、経年化に伴いコンクリートの中性化の進行による性能低下が増大するが、昭和30~40年代に建設された橋梁においても中性化が進行しており性能低下の懸念があるため、中性化に着目した調査の必要性が高いことが明らかになった。また、過去に施工された橋梁の施工時のかぶり確保に課題があったことも明らかになった。したがって、今後は、既設橋梁の診断を適切に行うとともに、施工時の品質確保の方法についても十分に検討する必要性が高いものと思われる。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2007.