

問題

近年、コンクリート構造物に関連する事故により、土木・建築構造物の維持管理の重要性が改めて認識されました。また、コンクリート構造物は人々の生活と密接に関係しており、その維持管理にあたっては、安全性を脅かすような様々な事象を未然に防止するように努めなければなりません。

これらを踏まえて、以下の問に答えなさい。

- [問 1] コンクリート構造物の安全性を低下させる不具合事象について具体的な例を挙げ、その原因と背景について 400 字以内で述べなさい。
- [問 2] 問 1 で挙げた例に対して、その構造物を安全かつ効率的に維持管理するために必要な点検、評価・判定、対策の内容と今後の課題について 600 字以内で述べなさい。

2013 年度・問題 A

解答例

問 1

近年、社会資本である鉄筋コンクリート構造の橋梁から**コンクリート片が剥落**する事故が頻発している。実際に剥落したコンクリートを見ると、断面の薄い壁状構造物では、鉄筋に沿って生じたひび割れが進展したと思われる。また、コンクリート床版では、下部の腐食した鉄筋がむき出しになっており、かぶり部分が剥落したものと考えられる。

剥落の直接的な原因は、**鉄筋の腐食膨張**に伴うかぶりコンクリートの剥がれによるものである。かぶりコンクリートの**中性化**と、**塩化物イオン**による**塩分濃縮**などが原因で、鉄筋の腐食が早まったと推察される。

コンクリートの剥落による**第三者事故**を招いている構造物は、高度経済成長期の昭和 40 年代後半に建設されたものが多い。剥落を招いた背景には、当時の急速施工に伴う技術者の不足や、材料不足のため除塩せずに海砂を用いたこと、かぶり厚さの不足を生じる施工管理などがある。

問 2

コンクリートの剥落は、**第三者に被害**をもたらす可能性が高く、**早期に対策**を講じる必要がある。剥落の恐れがあるコンクリートは**点検**を強化して、**打音検査**などで早く状況を把握し、すでに浮きが生じた箇所は剥落させてしまうことで対応できる。しかし、鉄筋の腐食は進行性的のため、時間の経過とともに次の剥落の危険性が訪れる。

鉄筋の腐食の原因としては、塩化物イオンの高濃度化や、中性化の進行などが考えられる。進行を止めるためには、まず原因を特定し、腐食状況を把握する必要がある。塩化物イオンの分布や中性化の進行状況は「**ドリル法**」などで、また鉄筋の腐食状況は「**自然電位法**」などで把握できる。

重要なのは、今後の**劣化進行の予測**である。往々にして、剥落するのは施工不良などによるかぶり不足の箇所であるため、調査ではかぶり厚さの分布を調べ、これらを**総合的に評価**したうえで、今後を予測しなければならない。

実際の対策は、剥落箇所を除去して現れた鉄筋の状況によって、いくつかの方法から選択することになる。剥落箇所を**断面修復**する方法、塩化物イオンを減少させる**脱塩工法**、中性化を抑制する**表面塗装**や**再アルカリ化工法**があるが、適用に際しては**費用対効果**を考慮して選択することが大切である。

キーワード 1

維持管理の重要性
維持管理の不備、第三者への影響、構造安全性の低下

キーワード 2

安全性を低下させる不具合
塩害、中性化、凍害、アルカリシリカ反応などによる劣化、鋼材の腐食によるコンクリートの剥落

キーワード 3

維持管理に必要な点検、評価・判定、対策
予防保全、日常点検、定期点検、劣化診断、補修・補強



文書作成のポイント

ポイント 1

安全性を脅かす不具合事象
劣化の進行を事前に把握しないと、コンクリート内部の鉄筋が腐食膨張を生じ、かぶりが剥落する事例がある。鉄筋の腐食がさらに進行すると構造物としての安全性も低下する。

ポイント 2

効率的な維持管理
安全性の確保に重要なのは予防保全であり、早期の点検が望ましい。コンクリート内部の鉄筋が腐食する前にその進行を抑えれば、効率的に延命化を図れる。

ポイント 3

必要な点検、評価・判定、対策の提案
構造物の置かれる環境から劣化因子を特定し、その影響を早期に把握するために点検を行う。点検結果を専門家が評価・判定し、延命化のための補修・補強方法を提案するが、実態としては課題が多く、その内容を述べる。

問題

我が国のコンクリート構造物の設計、材料、施工技術および関連する規格・基準類などは、社会状況の変化や技術開発の進展により時代とともに変遷し、今日に至っている。表に、戦後復興期から今日までの約60年を3期に区分し、コンクリート構造物をとりまく主な社会情勢とコンクリート技術の変遷を示す。

以下の問に答えなさい。

問1 表を参考にして、①、②、③のそれぞれの時代区分に建設されたコンクリート構造物の耐久性に関連する特徴について合計500字以内で述べなさい。

問2 問1を踏まえて、それぞれの時代区分に建設された公共のコンクリート構造物を今後どう維持管理すべきかについて、診断士としての立場から、あなたの考えを500字以内で述べなさい。

表 コンクリート構造物をとりまく主な社会情勢とコンクリート技術の変遷

時代区分	社会情勢とコンクリート技術
① 1950年代前半～1970年代前半（戦後復興期～高度経済成長期）	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート工事量の増加 ・レディーミクストコンクリートの普及 ・コンクリートポンプの普及
② 1970年代後半～1990年代前半（高度経済成長期以降～安定成長期）	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの耐久性問題 ・高性能なコンクリートに関する技術開発 ・新耐震設計法 ・大量生産、大量消費
③ 1990年代後半以降（安定成長期以降）	<ul style="list-style-type: none"> ・性能照査型設計 ・循環型社会 ・社会基盤ストックの増加（ストック社会） ・大震災の発生

2011年度・問題A

解答例

問1について

戦後の復興期以降、高度経済成長期、安定成長期と、現在に至るまでに社会情勢が変化し、それに応じて建設事情も変化してきた。

① 1950年代前半から1970年代前半においては、急速にコンクリート構造物が築き上げられた。社会資本の必要性からレディーミクストコンクリートの製造が専業として始まり、それに伴いポンプ工法が普及した。急激な整備は、材料の不足や熟練技術者の不足を招き、少なからず品質に問題のある構造物が施工された。

② 1970年代後半から1990年代前半においては、コンクリート構造物の早期劣化が顕在化しはじめ、塩化物イオンの含有量、アルカリシリカ反応の抑制対策などが基準化された。

③ 1990年代後半以降においては、コンクリート構造物の劣化が社会問題に発展し、耐久性が設計で検討されはじめ、維持管理の重要性が認識された。その後、経済の低迷に伴い、新設構造物の構築から維持管理による持続的社会に向けた取り組みが始まった。

問2について

世界的な経済情勢をみても、これからの社会は持続的な発展を遂げなければならない。そのため、これまでの時代に構築された構造物ごとに対策を検討することが望ましい。

まず、①の時代は、コンクリート構造物は永久構造物と考えられていたため、耐久性に関わる対策はあまり考慮されていない。この時代の構造物においては、設計記録、施工記録も不十分な場合が多いので、診断に際しては、劣化因子の浸入状況などの調査が必要となる。また、供用計画を明確にし、更新が望ましい場合もあると考えなければならない。

②の時代のコンクリート構造物は、耐久性に関する認識はできていたものの、設計法においても完成度は必ずしも高くない。材料の変化や施工法の変化に対して、耐久化技術が追いつかず、未成熟な時代である。

その後、③の時代には維持管理が重要視され、コンクリート診断士の制度も立ち上がり、持続的な発展への要求が高くなった。診断士の責務として、最新の技術を駆使して、社会資本整備の費用対効果を考慮し、社会に対する説明責任を果たしながら対応しなければならない。

問題から読み解くキーワード

キーワード
1

高度経済成長期の建設事情を整理

戦後の復興、高度経済成長期、コンクリート工事量の増加、熟練技術者の不足、材料の変化、機械化の波

キーワード
2

耐久性の問題が浮上した時期の整理

コンクリートクライシス、早期劣化問題、高性能コンクリートの開発、新耐震設計法など基準の変遷

キーワード
3

診断士の立場で維持管理を考察

サステナビリティ、性能照査型設計、大震災による被害、防災に対する見解、など



文書作成のポイント

ポイント
1

1950年代前半～70年代前半（大量生産時代）

社会情勢を踏まえ、過去の建設業界が構築した大量の社会資本の課題に触れる。

ポイント
2

早期劣化問題に対する見識

早期劣化問題が浮上したことを受け、維持管理の必要性が叫ばれた。その後の循環型社会などに向けた取り組みに至るまでを説明する。コンクリート診断士が備えるべき知識に基づく見解が望ましい。

ポイント
3

公共コンクリート構造物を維持管理する際の見識

対象は公共構造物。社会資本であることから、維持管理には社会的なコンセンサスが必要。コンクリート診断士に必要な専門知識を踏まえた客観的な視点が重要。

問題

図1に供用後38年が経過した中部地方内陸部に位置する鋼橋の鉄筋コンクリート床版の断面図を示す。表1に橋梁概要および調査結果を、表2にこの橋梁の主な変状および補修・補強の履歴を示す。

写真1は床版を下面から観察した状況である。最近、写真2に示すように舗装面に泥土状のものが含まれた水が噴き出した跡がみられるようになったため、床版上面からコアを抜き、床版内部の状況を観察したところ、写真3の状況であった。

以下の問に合計1000字以内で答えなさい。

【問1】 供用後23年目に上面増厚工法により補強されていたにもかかわらず、その後、床版が再劣化した理由を推定し、これを確認するために必要な調査項目を述べなさい。

【問2】 想定される調査結果を踏まえて、この橋梁を今後50年間供用するためのコンクリート床版に対する対策を立案しなさい。なお、この間、鋼部材については、健全性が保たれるように、対策が施されるものとする。

2013年度・問題B-2

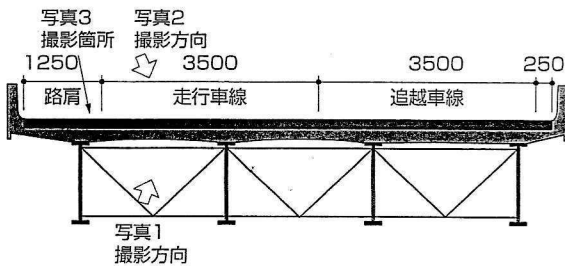


図1 橋梁断面図(上り線)

単位：mm

表2 主な変状および補修・補強の履歴

時期	主な変状		補修・補強の履歴
	床版下面	舗装面	
建設当初	初期欠陥なし	変状なし	—
供用後23年	ひび割れが2方向に進展	変状なし	鋼繊維補強コンクリートによる上面増厚工法を実施
供用後36年	亀甲状のひび割れが急速に進展し、ひび割れからエフロレッセンスが滲出	頻繁にポットホールが発生	舗装の部分補修の繰返し
供用後38年	写真1に示す状況	写真2に示す状況	

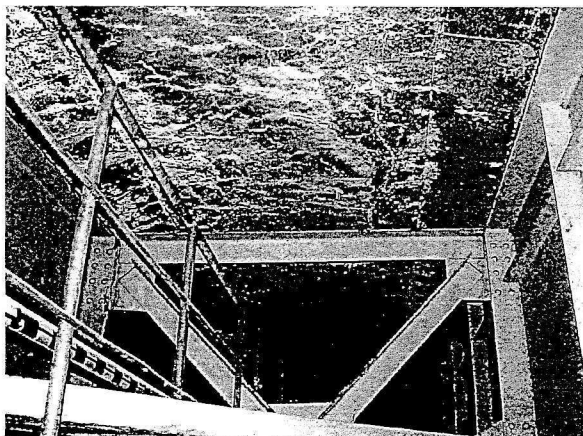


写真1 床版下面の状況(供用後38年)

表1 橋梁概要および調査結果

項目	内容	備考	
橋梁概要	<ul style="list-style-type: none"> 形式：3径間連続非合成桁橋 橋長：90m、支間長：30m 	冬季に凍結防止剤として塩化ナトリウムを散布	
調査結果	適用基準	道路橋示方書(昭和47年)	
	床版厚	<ul style="list-style-type: none"> 竣工当初：200mm 上面増厚後：240mm 	
	防水工	<ul style="list-style-type: none"> 竣工当初：防水工無し 上面増厚施工時：防水工無し 	
	交通の状況	<ul style="list-style-type: none"> 交通量：25000台/日 大型車混入率：40% 	今後50年間の交通量は変化しない自動車専用道路として供用
	交通規制の可否	<ul style="list-style-type: none"> 平日は昼夜連続1車線規制可能 交通量の減少する時期を選べば2週間程度の連続通行止め可能 	並行する下り線の対面通行可
	床版コンクリートの全塩化物イオンの量	最大1.0kg/m ³	上部鉄筋位置
床版コンクリートに使用した骨材	アルカリシリカ反応性は「無害」		



写真2 舗装面に泥土状のものが含まれた水が噴き出した跡(供用後38年)



写真3 床版上面からコア抜きした周辺の状況(供用後38年)

問題から読み解くキーワード

キーワード
1

構造物の置かれた環境

中部地方内陸部、冬季に凍結防止剤を散布、供用後 38 年経過

キーワード
2

構造物の諸元

鋼橋の鉄筋コンクリート床版、当初の床版厚 200mm、上面の増し厚 240mm、防水工なし、交通量 2 万 5000 台/日（大型車 40%）

キーワード
3

劣化の状態と対策

泥土状の噴出跡、疲労劣化のひび割れパターン、コアにみる内部損傷、増し厚工法、防水工



文書作成のポイント

ポイント
1

再劣化の原因を推定

構造物の置かれた環境と、構造物の諸元から劣化原因を推定し、当初の劣化に対する補修方法の課題と再劣化の原因を写真などから推定する。

ポイント
2

劣化原因を確認するための調査項目

再劣化の原因を特定するために必要と考えられる調査項目を挙げる。疲労劣化はひび割れのパターンから推定できる。また、疲労劣化は交通量に依存し、水分の存在で劣化の進行は早まる。

ポイント
3

今後 50 年間供用するための対策

今後 50 年間供用するためには、劣化が進む原因を取り除く対策が必要となる。劣化原因を推定するための調査結果から、延命化に必要な補修・補強方法を検討する。疲労劣化に対しては、床版の補強が必要となる。

解答例

問 1

中部地方の内陸部にある鋼橋の床版で、供用 23 年目に上面増し厚工法により補強している。その後 15 年が経過して、床版の下面に、典型的な疲労劣化のひび割れが生じたとみられる。

舗装面の泥土状の物質の吹き出しは、上面から染み込んだ水がひび割れに入り込み、泥土状の物質を噴出させたものと見られる。従って、舗装上面にはひび割れが生じていると推察される。コアの内部観察結果から見ると、泥土状の物質は、既設コンクリートが泥土化したものとも考えられる。

再劣化の原因は、既設床版と増し打ち床版が一体化していないため、十分な曲げ剛性が確保されず、設計通りに外力に抵抗できなかったためと推察される。これは、コアの内部で既設部と増し厚部の縁が切れていることから類推できる。

床版の剛性の不足は、車両走行時の床版の変位測定によって確認できるため、交通量に応じた曲げ剛性の程度を調査する。また、上部鉄筋位置で 1.0 kg/m^3 の塩化物イオン量が確認されていることから、既設床版の下部鉄筋の位置における腐食状態と内部の塩化物イオン含有量を測定する必要がある。

問 2

今後 50 年間供用する対策の立案には、原因の特定が必要となるが、今回の場合、再劣化の原因は疲労劣化と推測される。既設の床版は疲労劣化が進んでいるため、床版としての機能は期待できない。

ただし、増し打ちした鋼繊維補強コンクリートは、現状では健全を保っているものと見られる。また、上部の塩化物イオン含有量から考えると、今後の凍結防止剤による塩化物イオンの浸入を防げば、床版としての機能を期待できる。従って、増し打ち部分にさらに上面増し厚をすることで床版としての疲労抵抗性を回復させ、今後の塩化物イオンの浸入を防止するために防水工を行う。

なお、すでに塩化物イオンが浸入していることや、既設床版の疲労劣化の状態を考えると、今後の点検を継続し、必要に応じて床版の打ち替えを行うことも想定しておく。補強による費用と打ち替えによる費用とを、今後 50 年を想定したライフサイクルコストの観点から判断しなければならないが、この場合は、鋼繊維補強コンクリートの健全性から考えて、さらなる増し打ち工法を選択すべきだと思われる。

問題

図1に示す供用後37年経過した鉄筋コンクリートラーメン高架橋において、高架下に積み上げられた発泡スチロールが燃焼する火災が発生した。消防への通報から鎮火までは1時間程度であった。

柱部の損傷の状況は写真1に示すとおりであり、コンクリートは、最大で深さ30mmまでピンク色に変色していた。書類調査の結果、設計かぶり(厚さ)は40mm、コンクリートの設計基準強度は24N/mm²であった。

以下の問に合計1000字以内で答えなさい。

[問1] 写真1に示す柱部の状況を基に、火害の程度を診断しなさい。また、これを確認するために必要な調査項目を述べなさい。

[問2] 問1の調査によって、劣化程度が小さいと判断された場合と、劣化程度が大きいと判断された場合それぞれについて、調査結果の概要と今後50年間供用するための補修・補強計画を立案しなさい。

2013年度・問題B-3

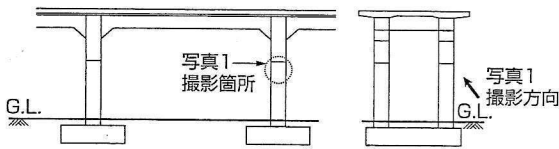


図1 鉄筋コンクリートラーメン高架橋



写真1 柱部の状況

問題から読み解くキーワード

- キーワード 1** 構造物の置かれた環境
高架橋下の発泡スチロールの燃焼による火災、鎮火まで1時間程度
- キーワード 2** 構造物の諸元
鉄筋コンクリートラーメン高架橋、設計かぶり厚さ40mm、設計基準強度24N/mm²
- キーワード 3** 劣化の原因調査、補修・補強対策
供用後37年経過、最大深さ30mmまでピンク色に変色、かぶりコンクリートの剥落



文書作成のポイント

- ポイント 1** コンクリート柱の変状と劣化程度把握のための調査項目
表面から30mmまでがピンクに変色していることから、受熱温度が300~600℃程度と推定し、その温度下でのコンクリートの性能低下、鉄筋の性能低下を推測する。そのための調査項目として、コア強度、鉄筋の引張強度、コンクリートの中性化深さの測定を提案する。
- ポイント 2** 劣化が小さいと判断された場合の補修・補強計画
調査の結果、劣化の程度が小さい場合、ある程度コンクリートの性能は回復し、鉄筋の強度も性能低下までは至っていない可能性が高い。その場合は、かぶり部分の中性化の抑制を提案する。
- ポイント 3** 劣化が大きいと判断された場合の補修・補強計画
調査の結果、劣化の程度が大きい場合は、コンクリートの強度が低下し、内部まで中性化が進んでいると考えられる。この場合、コンクリートの強度回復は期待できないため、火害を受けた箇所をはり取り、断面の修復を提案する。

解答例

問1

火害を受け、コンクリートは表面から30mmの深さまでピンク色に変色している。しかし、1時間で鎮火したため、コンクリートの熱伝導率から考えると、内部まで高温にさらされたとは考えにくい。表面のみが短時間の高熱を受けたものと推察される。

ピンク色に変色していたことから、300~600℃の熱を受けたとみられ、コンクリートの強度低下の目安である500℃を超えていた可能性を示している。なお、鋼材については強度低下の目安が600℃のため、強度は低下していないと考えられる。また、設計基準強度が24N/mm²であることから爆裂は生じていない可能性が高く、写真からも確認できる。さらに、写真では隅角部の鉄筋が表面に現れている。これは、隅角部が高熱を受けたことで、鉄筋とコンクリートとの間に熱膨張差が生じ、厚さ40mmのかぶりの剥落を招いたものと考えられる。

火害の影響を確認する調査項目としては、中性化深さ、リバウンドハンマーによる表面硬度、コアによる強度およびヤング係数の確認、隅角部の鉄筋の引張試験が必要である。

問2

調査結果から見ると、火災がコンクリートの性能に及ぼした影響は小さいと考えられる。ただし、試験で鉄筋の強度不足が確認された場合は、新たな鉄筋に差し替えて断面修復をする必要がある。どの程度の深さまでコンクリートをはり取るかは、中性化の程度によるが、建設後37年の経過と見なせる中性化深さを推定し、それより深くなければ火害を受けた部分を修復するだけでよい。なお、今後50年間の供用を考えると、火害を受けた範囲には、断面修復による中性化の抑制対策が必要と考えられる。

火害の程度が小さい場合、鉄筋の強度は火災の影響を受けていないと考えられる。また、中性化の程度がかぶり部分のみであれば、中性化抑制のための表面塗装などで延命化を図る方法が適当である。その場合、コンクリート表面からの中性化深さを確認し、今後の中性化速度から50年間の中性化深さを予測する。

なお、現状では火害を受けて乾燥状態にあるが、部材の置かれた環境から考えると、適度な水分の供給があることも考えられる。数年ごとに点検を行い、必要に応じて補修を検討することが望ましい。

問題

写真1は、積雪寒冷地内陸部の幹線道路にある1978年に建設された橋梁のRC橋脚の状況を示したものである。

RC橋脚は、写真2に示すように過去に補修を実施した形跡があるが、再劣化が進行している。また、写真3に示すように未補修部分においても劣化が進行している。写真1に示したA、写真3に示したBおよびCの各部分から採取したコンクリートコアについて、全塩化物イオン濃度を測定した結果を図1に示す。また、RC橋脚に関するデータを表1に示す。

以下の問に答えなさい。

- 問1 RC橋脚張出し部先端(写真2の破線で囲まれた範囲)およびRC橋脚側面部(写真3)に見られる変状について、それぞれの原因を推定し、そのように考えた理由について、500字以内で述べなさい。
- 問2 問1を踏まえて、このRC橋脚を今後30年供用するために、実施すべき調査と対策について、500字以内で述べなさい。

2011年度・問題B-2

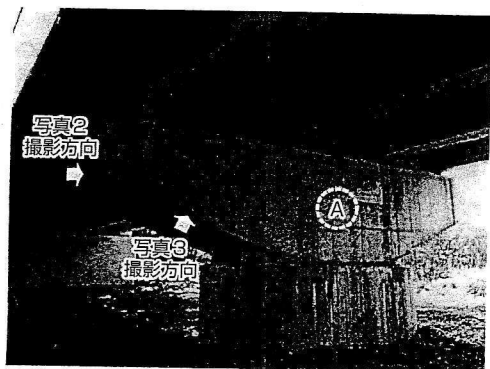


写真1 対象RC橋脚の全景

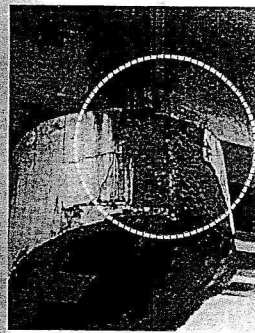


写真2 RC橋脚張出し先端部の状況

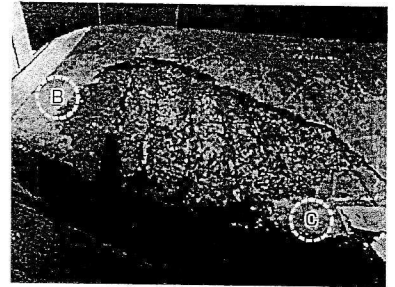


写真3 RC橋脚側面部(未補修部)の状況

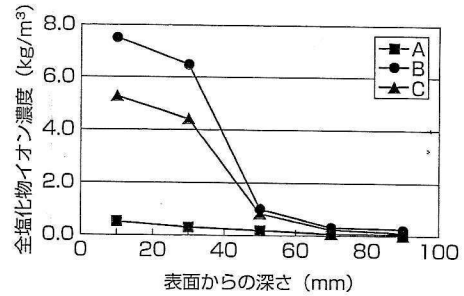


図1 A、B、Cの位置における全塩化物イオン濃度の測定結果

表1 RC橋脚に関するデータ

コンクリートの諸元	設計基準強度：24N/mm ² 水セメント比：55% セメント：普通ポルトランドセメント 骨材：アルカリシリカ反応性がないことを確認している
かぶり(厚さ)調査結果	35~45mm

問題から読み解くキーワード

- キーワード1** 劣化の主要原因を推定
構造物の周りの環境から凍害や塩害を想定。凍害はスケーリング、塩害は鉄筋の腐食に影響
- キーワード2** データを読み取る
凍害と塩害の影響因子をデータから読み取る。塩化物イオンの浸入深さ、中性化深さが鉄筋の腐食に影響
- キーワード3** 補修は今後の供用計画から判断
今後30年間の供用。中性化した箇所、浸入した塩化物イオンへの対処を考慮

文書作成のポイント

- ポイント1** 写真から劣化の主要原因を推察
劣化の状況は劣化因子がどのように作用したかで異なる。積雪寒冷地であれば、内陸部といえども凍結防止剤が使われ、塩害や凍害が生じる。水の存在がそれらの劣化状況に影響する。凍害は水分の供給が多いと激しくなると理解しておきたい。
- ポイント2** 原因を特定するための詳細計画
写真と与えられたデータだけでは判断できない情報を、詳細調査で補うことを提案する。補修は、主要原因に関係する部分だけでなく、どの範囲までを対象にするかが重要になる。
- ポイント3** 今後の供用計画から補修を判断
補修方法と材料は、補修効果の継続性が重要となる。さらに、補修と同時に劣化因子のさらなる浸入を防ぐ提案が必要である。

解答例

問1について

橋脚張り出し部は、凍害を受けスケーリングを生じているとみなされる。この橋は積雪寒冷地内陸部の幹線道路に架かっており、路面にまかれた凍結防止剤が桁の継ぎ目から橋脚部に流れ込んだ可能性が高い。さらに建設時期が1978年であることから、十分に凍結融解作用の繰り返しを受けていると判断できる。橋脚張り出し部の先端は過去に補修した形跡があり、その部分が剥落している。つまり、凍結防止剤の塩化物イオンの浸入と凍害の複合劣化と考えられる。

橋脚側面部は、凍結防止剤の影響から鉄筋が腐食し、その腐食膨張によりかぶりコンクリートが剥落したものと考えることができる。写真では剥落部分に鉄筋の腐食跡が見られること、塩化物イオン濃度の調査結果から剥落部分の塩化物イオン濃度が腐食限界の塩化物イオン濃度をはるかに超えていることを、その理由として挙げたい。かぶり厚さは35~45mmであり、普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比55%のコンクリートでは中性化の可能性が小さいと判断できるので、原因は塩害と推定できる。

問2について

この橋脚は今後30年間の供用が計画されている。そのため、まずは詳細調査が必要になる。変状の原因をより明確に把握し、補修の範囲を定めるためだ。

今回の調査では中性化深さが未確認であるため、中性化の程度を調査する。これによって、変状の原因はほぼ特定でき、再劣化を防ぐ対策を立てられる。

補修の範囲を定めるには、塩化物イオンの濃度が橋脚全体にどのように分布しているかを調査し、今後の腐食の可能性を判断しなければならない。鉄筋が現状でどこまで腐食しているのかを自然電位法で調査することも必要になる。腐食の進行の把握は、構造安全性を判断するうえで重要だ。結果によっては、鉄筋をはり取った後に補強筋や断面修復の工事をした方がよい場合もある。

写真からは、変状が全体に生じている可能性は少ないとみられるが、凍結防止剤が飛散している可能性は高い。内部の塩化物イオンの濃度もよるが、今後30年間の供用を踏まえると、脱塩工法の実施についても検討しておきたい。補修時には、散布された凍結防止剤が橋脚に流れないような措置を講じておくのが賢明である。