

設問Ⅱ-1-3 解答論文

1. 変状のメカニズム

塩害は、コンクリート中の塩化物イオンが鉄筋表面に到達し、不動態被膜を破壊することで鉄筋の腐食を誘発する現象である。鉄筋が腐食すると、体積が膨張し、内部からコンクリートにひび割れを発生させる。このひび割れが、さらに塩化物イオンの浸入を促進するという悪循環を引き起こし、最終的にコンクリート構造物の劣化を進行させる。沿岸部や凍結防止剤が散布される地域で特に顕著に見られる。

2. 調査方法と補修方法

調査方法： 塩害の程度を把握するためには、以下のような調査を行う。

1. **ひび割れ幅の測定：** ひび割れゲージやクラックスケールを用いて、コンクリート表面に発生したひび割れの幅を測定する。
2. **かぶり厚さの測定：** 電磁誘導式のかぶり厚さ計を用いて、鉄筋までのコンクリートの厚さを測定する。
3. **塩化物イオン濃度の測定：** 採取したコンクリートコアを分析し、塩化物イオンの濃度分布を測定する。特に、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が重要となる。
4. **自然電位の測定：** 鉄筋の腐食状況を非破壊で評価するため、自然電位測定を行う。電位の低い部分が腐食の可能性がある箇所と判断される。
5. **鉄筋の腐食度合いの確認：** 実際にコンクリートをはつり取り、鉄筋の錆の状態や断面欠損の有無を直接確認する。

補修方法： 塩害の進行度合いに応じて、以下のような補修方法を選択する。

- **軽微な場合（初期）：** コンクリート表面のひび割れに、エポキシ樹脂などを注入する表面処理やひび割れ補修を行う。また、塩分浸入を抑制するために、表面に吸水防止材を塗布する。
- **中程度の場合（鉄筋腐食開始）：** ひび割れが発生している箇所や、かぶりコンクリートが剥落している箇所をはつり取り、錆を除去した後に防錆処理を施す。その後、断面修復材で埋め戻す。
- **重度の場合（広範囲に劣化）：** 鉄筋の腐食が広範囲に及んでいる場合は、劣化したコンクリートを全てはつり取り、新しいコンクリートで打ち替えを行う。必要に応じて、電気化学的防食工法（電気防食工法や脱塩工法）の適用も検討する。

設問Ⅱ-2-1 解答論文

1. 調査、検討すべき事項

都市近郊の田園地帯に位置する 2 径間連続 PC 橋の鉄筋コンクリート橋脚（高さ 10m、幅 5m、厚さ 2m）の施工において、河川内での作業期間が 7 ヶ月から 4 ヶ月に短縮されたという条件変更を踏まえ、施工時の安全性を確保するために以下の事項を調査、検討する必要がある。

1. **河川の出水・増水リスクの再評価：** 作業期間が短縮された 4 ヶ月間の河川水位の変動パターンを詳細に調査する。特に、近年の気象変動による想定外の増水リスクを再評価し、それに備えた施工計画とする必要がある。具体的には、過去の降雨データや河川管理者の情報を基に、作業期間中の最大想定水位を算定し、それに耐える仮設構造物（締切工、仮栈橋等）の設計を行う。また、万が一の増水に備え、資機材の緊急撤去計画を策定する。
2. **施工プロセスの見直しと安全性評価：** 橋脚の躯体構築を短期間で行うため、コンクリートの打設、養生、型枠解体といった一連のプロセスを見直す必要がある。具体的には、コンクリートの早期強度発現を促進する特殊な配合（高強度コンクリート等）や、養生方法（蒸気養生等）の導入を検討し、強度発現と安全性の両立を図る。また、クレーンによる資機材の揚重作業や高所作業が集中するため、墜落・転落防止策、玉掛け作業の安全管理体制を厳格化する必要がある。
3. **周辺環境への影響と安全対策：** 近隣に学校があるため、工事期間の短縮によって発生する騒音、振動、粉じんの増大が懸念される。これらに対する周辺への影響を最小限に抑えるため、騒音対策（防音シート、低騒音型重機）、振動対策（低振動型工法）、粉じん対策（散水、防じんシート）を強化する。また、通学路の安全を確保するため、交通誘導員の配置や注意喚起看板の設置を徹底する。

2. 業務を進める手順と留意点、工夫

業務を進める手順は以下の通りであり、それぞれの項目に留意点と工夫を盛り込む。

1. **初期調査・情報収集（留意点・工夫）：**
 - **留意点：** 過去の河川データだけでなく、最新の気象予測データや河川管理者の情報（河川工事情報等）を迅速に収集する。
 - **工夫：** 関係者との連携を密にし、リアルタイムでの情報共有体制を構築する。
2. **施工計画の見直し・設計（留意点・工夫）：**
 - **留意点：** 短期施工による安全性への影響を多角的に検討し、特に仮設構造物の安定性や、コンクリートの品質確保に重点を置く。
 - **工夫：** 複数の代替案（例：プレキャスト工法の採用、締切工の見直し）を比較検討し、コスト、安全性、工期を総合的に評価して最適な計画を選定する。

3. 安全対策の策定・周知（留意点・工夫）：

- **留意点：** 変更された施工計画に基づくリスクアセスメントを再度実施し、安全対策を具体化する。
- **工夫：** 全作業員に対し、変更点を詳細に説明する安全教育・KY（危険予知）活動を徹底する。また、周辺住民や学校関係者に対し、工事内容と安全対策について事前に丁寧な説明会を開催する。

4. 施工管理・監視（留意点・工夫）：

- **留意点：** 作業期間が短いため、工程管理を厳格に行い、遅延が発生した際の対応策を事前に準備しておく。
- **工夫：** ドローンやIoTセンサーを活用し、河川水位や仮設構造物の変位を常時監視する体制を構築し、異常を早期に検知できるようにする。

3. 関係者との調整方策

業務を効率的かつ効果的に進めるためには、多様な関係者との調整が不可欠である。特に、以下の方策を講じる。

- **発注者・元請会社との連携強化：** 条件変更による技術的課題やコスト増、工期短縮の必要性を明確に説明し、合意を得る。特に、品質確保と安全対策にかかるコストについては、十分な理解を求める。
- **協力会社との密なコミュニケーション：** 短期施工計画の実現には、協力会社の技術力と理解が不可欠である。計画変更の背景や、新たな技術・工法の導入について丁寧に説明し、現場での意見交換を活発に行うことで、全員が当事者意識を持って安全な施工に臨めるようにする。
- **周辺住民・学校関係者との対話：** 近隣住民や学校関係者には、工事期間の短縮による影響（騒音、振動など）や、それに伴う安全対策を具体的に説明し、理解と協力を求める。定期的な進捗報告や意見聴取の場を設けることで、信頼関係を構築する。

これらの調整を円滑に行うことで、単に工期を短縮するだけでなく、すべての関係者が納得できる安全で高品質な施工を実現することができる。

設問Ⅲ-1 解答論文

1. 計画・設計段階における維持管理上の課題

コンクリート構造物の計画・設計段階において、維持管理の確実性及び容易さに配慮するために、技術者として以下の3つの課題を多面的な観点から抽出する。

観点：技術的観点 課題：コンクリート構造物は、長期にわたる供用期間中に様々な劣化要因（中性化、塩害、ASR など）に曝される。計画・設計段階での耐久性照査が不十分な場合、供用開始後早期に劣化が顕在化する可能性がある。例えば、かぶり厚さの不足や、水セメント比の高いコンクリートの採用は、劣化因子の浸入を容易にし、維持管理コストの増大を招く。また、点検・補修作業が困難な部位（狭隘な空間や高所など）が設計段階で考慮されていない場合、点検作業に特殊な機材や足場が必要となり、コストと時間の増大に繋がる。

観点：経済的観点 課題：構造物のライフサイクルコスト（LCC）を考慮した計画・設計が不十分である。初期建設費を優先するあまり、供用後の維持管理費や補修・更新費が考慮されないケースが見られる。特に、維持管理が困難な構造形式や、特殊な部材を採用した場合、長期的な視点で見ると、初期コストの節減分を大きく上回る維持管理費が発生することが懸念される。技術者は、初期建設費だけでなく、点検、補修、更新、解体に至るまでのトータルコストを評価し、最も経済的な構造形式や部材を提案する必要がある。

観点：環境的観点 課題：建設段階から維持管理、廃棄に至るまでの一連のプロセスにおける環境負荷が十分に考慮されていない。コンクリート構造物の補修や更新工事は、多くのエネルギーと資源を消費し、CO₂排出量や廃棄物の増大に繋がる。計画・設計段階で、耐久性の高い部材や、再利用可能な材料を積極的に採用しない場合、頻繁な補修や更新が必要となり、環境負荷が継続的に発生する。持続可能な社会の実現には、インフラのライフサイクル全体を通じて環境負荷を低減する設計が求められる。

2. 最も重要な課題と解決策

前問で抽出した課題のうち、最も重要と考える課題は、**「技術的観点」で述べた「構造物の計画・設計段階における耐久性照査の不十分さと点検・補修の困難性」**である。

最も重要とした理由：この課題は、構造物の安全性と直結する根本的な問題であるため、最も重要と考える。耐久性や点検・補修の容易さは、初期建設費や維持管理費、ひいては国民の安全にも影響を与える。例えば、設計段階での不備が原因で劣化が早期に進行した場合、大規模な補修が必要となり、多額の費用と労力、そして社会的な損失（交通規制等）が発生する。これを未然に防ぎ、将来にわたる持続的な社会資本の維持に貢献するためには、計画・設計段階での技術的な配慮が不可欠である。

解決策：

1. **高耐久性コンクリートの採用と耐久性照査の高度化：**高炉セメントやフライアッシュセメントなどの混合セメント、または高性能 AE 減水剤を用いて、緻密なコンクリートを設計する。これにより、塩化物イオンや二酸化炭素の浸透を抑制し、劣化を遅らせる。また、設計段階で、塩分浸入予測モデルや中性化深さ予測モデルを用

いて、劣化因子の将来的な浸入速度を定量的に予測し、部材の耐久性を確保する。

2. **維持管理を容易にする構造・部材の採用：** 排水性や水密性の高い構造（例：プレキャスト部材の多用、水密性の高い止水板の採用）とすることで、水の浸入を防ぎ、劣化を抑制する。また、点検を容易にするため、点検歩廊や点検用通路を計画・設計段階から組み込む。さらに、ひび割れや劣化が早期に発見できるよう、点検箇所を限定し、重要な部位には IoT センサーを埋設するなどの工夫を行う。
3. **情報基盤の整備と利活用：** 計画・設計段階から、将来の維持管理に必要な情報を BIM/CIM（Building Information Modeling/Construction Information Modeling）データとして一元的に管理する。コンクリートの配合、打設日、養生方法、材料の履歴といった情報をデジタル化することで、将来の点検や補修計画の立案を効率化し、技術者の経験や勘に頼らない、科学的な維持管理を可能とする。

3. 将来的な懸念事項と対策

前問で示した解決策に関連して、将来的に以下の懸念事項が考えられる。

懸念事項： デジタル技術の進展に伴い、BIM/CIM や IoT センサーといった技術の導入が進む一方で、これらの技術に依存しすぎること、現場で構造物の変状を直接見て判断する**技術者の五感（経験・勘・知識）に基づく診断能力が低下する**可能性がある。また、高度な技術やシステムに維持管理を委ねることで、システムのブラックボックス化が進み、万が一システムが機能不全に陥った場合に、適切な対応ができなくなる恐れがある。さらに、これらのデジタルデータが大量に蓄積されることで、**情報セキュリティリスクが増大する**。

対策：

1. **人材育成と技術継承の再構築：** デジタル技術を活用しつつも、若手技術者に対しては、ベテラン技術者による OJT（On the Job Training）を通じて、実物を見て触れる経験を重視する。また、定期的な勉強会やワークショップを通じて、デジタル技術の原理や、コンクリートの劣化メカニズムを深く理解する機会を提供する。これにより、デジタル技術を道具として使いこなせる技術者を育成する。
2. **システムの冗長化とマニュアル整備：** データ管理システムは冗長化し、万が一のシステムダウンに備える。また、システムに頼らずとも、基本的な点検や補修作業が実施できるよう、詳細なマニュアルを整備し、定期的な訓練を行う。これにより、技術者はどのような状況下でも、構造物の安全を確保できる能力を維持する。
3. **情報セキュリティ対策の強化：** 収集・管理されるインフラデータへの不正アクセスや、データ漏洩を防ぐため、強固なサイバーセキュリティ対策を講じる。アクセス権限の厳格な管理、定期的な脆弱性診断、緊急時の対応計画の策定を徹底することで、データ管理の信頼性を確保する。

これらの対策により、デジタル技術の利点を最大限に享受しつつ、技術者自身の能力を向上させ、持続可能で安全なインフラ社会を構築することができる。