

H26

Ⅱ-1-5 塩害を受けたコンクリート構造物を断面修復工法で補修した後、既設コンクリートと断面修復材の境界面で発生する再劣化現象のメカニズムを説明せよ。また、その発生メカニズムを踏まえて、再劣化を発生させないための技術的な留意点を述べよ。

解答

1. 塩害断面修復再劣化のメカニズム

(ア)塩化物イオン濃度が高いコンクリートの除去不足

(イ)既設コンクリートと補修材との塩化物イオン濃度差

- ① 塩化物イオン濃度が高い部分がアノード（腐食域：e-を失う部分）、低い部分がカソード（非腐食域：e-を得る部分）となる

(ウ)マクロセル腐食

- ① マクロセル腐食電流の発生
- ② アノード反応：酸化反応、鉄が電子を失い鉄イオンとなる、電子は鉄筋内でカソード部に移動する
- ③ カソード反応：還元反応、鉄筋表面で電子が水と結合し水酸化物イオンとなる

(エ)境界部での鉄筋腐食発生

- ① 既設部と補修部の境界部において、アノード部で電子を失った鉄イオンが、酸素・水と反応し鉄の水酸化物（錆）が発生する

2. 再劣化させないための技術的な留意点

(ア)塩化物イオン濃度が高いコンクリートを十分に除去する

- ① 全断面修復工法（かぶり・かぶり裏まで十分にはつり取り、断面修復）

(イ)除去が困難な場合は、他工法を併用

- ① 脱塩工法（塩化物イオンの除去、コンクリート表面に陽極材を設置し、コンクリート中のCl⁻イオンを電気泳動により脱塩する）
- ② 再アルカリ化・鉄筋腐食抑制（NO₂⁻など水酸化物イオン注入による鋼材不動態被膜の形成）
- ③ 電気防食工法（鋼材に防食電流を供給し、カソード部とすることで電氣的に腐食を抑制する）

※塩害の予防保全は「潜伏期」「進展期」で実施する。但し、「潜伏期」と「進展期」では補修の要求性能は異なる（コンクリート内の塩化物イオン濃度が異なるため）。「進展期」の濃度は鋼材腐食限界を超えているため、腐食環境を放置せず改善対応（脱塩、不動態被膜の再生など）が必要。

Ⅱ-1-6 寒中コンクリートとして、コンクリート構造物を場所打ちで構築する際に品質を確保する上で打込み及び養生の観点から留意すべき事項を1つずつ挙げ、その留意すべき理由を説明せよ。また、それに対して取るべき対策についてそれぞれ述べよ。

解答

1. 打ち込み時の留意事項と理由、対策

(ア) 打込み1: 練り混ぜ開始から打ち込み完了までの時間をできるだけ短くし、コンクリートの温度低下を防ぐ。

① 理由:

1. コンクリートの温度低下による打設後の凍結防止
2. ポンプ輸送管内でのモルタル分凍結によるトラブル(管内閉塞)の防止
3. コンクリート打設後の凍結発生による品質低下の防止。

② 対策:

1. 打設計画の十分な考慮、待ち時間や作業時間の短縮
2. アジテータドラムの保温、ポンプ輸送管路の保温
3. 打ち込み前の地盤やせき板内部の温水予熱
4. 打設前地盤や型枠せき板内部の冰雪除去

(イ) 打込み2: 打ち込み時のコンクリート温度は、構造物寸法や気象条件を考慮し5~20℃の範囲に保たなければならない。

① 理由:

1. コンクリートの硬化が著しく遅くなる
2. 気温が急に低下した場合に凍結する。
3. 側圧が大きくなり型枠の孕みや破損につながる。
4. ブリージング量が増加し沈降ひび割れが発生する。

② 対策:

1. 打設前のコンクリート温度を加熱・加温により高くする。
2. 打設計画の十分な考慮、待ち時間や作業時間の短縮
3. アジテータドラムの保温、ポンプ輸送管路の保温
4. 打ち込み前の地盤やせき板内部の温水予熱
5. 打設前地盤や型枠せき板内部の冰雪除去

(ウ) 打込み3: コンクリートの打ち込み時に鉄筋型枠に冰雪が付着してはならない。

① 理由:

1. 冰雪による温度低下
2. 余分な水分の混入による水セメント比の増加
3. 空洞発生の原因となる。

② 対策:

1. 打ち込み前に冰雪を蒸気やバーナーを利用して溶かす。
2. 打ち込み前の地盤やせき板内部の温水予熱

2. 養生時の留意事項と理由、対策

(ア)養生1：コンクリートは打設後初期に凍結しないように保護する。特に風を防ぐ。

① 理由：

1. 初期凍害を受けると強度増進が少なく所定の強度が得られない。
2. 風は水分蒸発と温度低下の原因となる。

② 対策：

1. コンクリート表面の保護、保温を十分に行う（特にかど、端は冷えやすい）。
2. 保温、給熱等の対策を実施する。

(イ)養生2：養生期間は外気温、配合、構造物の種類、部材形状寸法を考慮して定める。

① 理由：

1. 凍結を防ぐための養生は、これらを十分に考慮していないと品質低下につながる恐れがある。

② 対策：

1. 外気温や部材断面寸法等を考慮し、養生方法や期間について十分に検討する。

(ウ)養生3：コンクリートに給熱する場合は、コンクリートが急激に乾燥することや局部的に熱せられることがないようにしなければならない。

① 理由：

1. コンクリートの表面が乾燥しやすく、ひび割れを生じることがある。
2. 局部的な加熱により、温度差が著しくなるとひび割れが生じることがある。

② 対策：

1. 乾燥防止、散水や加温装置の使用（直接温風を当てない）
2. 局部加熱をしない。

Ⅱ-1-7 コンクリート構造物の乾燥収縮ひび割れの発生メカニズムを説明せよ。また、その対策としてコンクリートを低収縮化するための材料又は配(調)合上の手法を 2 つ挙げ、その概要と留意点を述べよ。

解答

1. 乾燥収縮ひび割れ発生のメカニズム

(ア) コンクリートを構成するセメントペーストの乾燥収縮に起因する。

(イ) セメントペースト内の余剰水が蒸発し、メニスカス（表面張力の変化）によりセメントの層状結晶が引き寄せられ収縮する。

(ウ) セメントペーストの収縮と骨材や鉄筋による拘束、既設構造物による外部拘束により生じる引張応力によりひび割れが発生する。

(エ) 厳密に乾燥収縮と自己収縮を区分することは困難である。

2. 低収縮化のための材料、配合上の手法、概要、留意点

(ア) 単位水量を少なくする

① 概要：

1. セメントの硬化と、コンクリートの打設に必要なワーカビリティを確保できる最小の水セメント比とする。余剰水を削減でき、乾燥収縮量を少なくしひび割れを低減できる。

② 留意点：

1. 単位水量を減らすとワーカビリティの確保が困難となる場合は、AE 減水剤や高性能 AE 減水材、流動化剤の使用を検討する。

(イ) 乾燥収縮の大きい材料を使用しない

① 概要：

1. 吸水率の大きい骨材、安定性試験で損失質量の大きい骨材や、ヤング係数の小さい骨材を使用したコンクリートは収縮ひずみが大きくなる傾向がある。

② 留意点：

1. 吸水率の大きな骨材を使用しない。
2. ヤング係数のなるべく大きな骨材を使用する。
3. 安定性の高い骨材を使用する。

Ⅱ-1-8 断面内において鋼とコンクリートが合成された複合構造の例を 1 つ挙げ、その力学的特徴を説明せよ。また、その複合構造における断面破壊に対する照査方法及びその照査の前提となる構造細目について述べよ。ただし、鉄筋コンクリート構造、プレストレストコンクリート構造は除くものとする。

解答

1. 複合構造の例と力学的特徴

(ア)事例：道路橋 単純活荷重合成プレートガーダー橋

(イ)力学的特徴

- ① 合成桁とは、鋼桁とコンクリート床版を機械式ずれ止めで結合し、両者を一体化した構造。桁に作用する曲げ圧縮力の一部を RC 床版が受け持つ。
- ② 圧縮に強いコンクリートと、引張に強い鋼材の材料特性を合理的に活用したもの。
- ③ コンクリート床版を桁の一部と考えているため、通常の鋼桁に比べて約 20%鋼材が節約できる。また桁高を低く抑えることもできる。

2. 断面破壊に対する照査方法と前提となる構造細目

(ア)照査方法

- ① 構造物が設計作用に対して、破壊の限界状態に至らないことを照査する。
- ② 合成桁に作用する曲げモーメントが、桁の曲げ耐力を上回らないこと。
- ③ せん断力に対しては、コンクリート床版部分を無視した鋼桁腹部のせん断耐力を作用せん断力が上回らないこと。

(イ)前提となる構造細目

- ① 接合部の構造は、RC 床版と鋼桁が一体化して荷重を伝達できるようにすること。
- ② 具体的には鋼桁上フランジとコンクリート床版との間のずれ止めが、十分なせん断耐力と変形性能を持つこと。

参考：複合構造は、合成構造と混合構造に大別される。

合成構造：断面が 2 種類以上の構造材料によって構成され、一体として挙動すると見なせる部材（合成部材）により構成された構造。各構造材料の短所を補完し長所を活用する構造。

混合構造：鋼部材やコンクリート部材などの異種部材を接合した構造。曲げモーメント、せん断力が伝達されるように接合して作られた構造。

成立要件：異種材料、異種部材の一体化。接合部での断面力の伝達。

Ⅱ-2-3 コンクリート構造物の劣化損傷は、耐荷力低下等の安全性を損なう場合がある。このような事例として、コンクリート構造の梁部材において、ひび割れから錆汁が確認され、引張鋼材の腐食が懸念される状況を想定し、下記の内容について記述せよ。

- (1) 想定するコンクリート構造物を示し、耐荷力の確認を行うために調査すべき内容
- (2) 想定したコンクリート構造物において、耐荷力の低下レベルを複数想定し、長期的な安全性・供用性に配慮しつつ、損傷発見後から対策実施までに行うべき業務手順とその内容。ただし、更新は含まない。
- (3) 業務を進める際に留意すべき事項

解答

1. 想定するコンクリート構造物と耐荷力の確認を行うために調査すべき内容
 - (ア) 構造物：RC 単純 T 桁橋
 - (イ) 調査内容
 - ① 現存設計図書類：建設年、適用示方書、設計条件、構造、使用材料、点検補修履歴
 - ② 現地調査
 1. 構造物の状態：ひび割れの幅、長さ、範囲、浮き・剥離の有無と範囲、たわみ測定、微破壊・非破壊検査による材料強度の調査
 2. 自然条件：気象条件、自然環境条件（日照、乾湿、地形、場所）
 3. 社会条件：交通量、車種、通行時間帯、周辺土地利用状況
2. 業務手順とその内容
 - (ア) 業務手順 1：耐荷力の低下がほとんどの場合
 - ① 調査：上記調査の実施
 - ② 分析：調査結果の分析（劣化要因および劣化度の判定）
 - ③ 計画：劣化要因と劣化度を踏まえた補修工法の比較選定
 - ④ 設計：詳細設計の実施、施工計画の策定、数量計算および概算工事費算定
 - ⑤ 工事：対策工事の実施
 - (イ) 業務手順 2：耐荷力低下が大きい場合
 - ① 調査：上記調査の実施
 - ② 分析：調査結果の分析（劣化要因および劣化度の判定）
 - ③ 計画：現有耐荷力の算定と耐荷力回復目標の設定、劣化要因と劣化度・回復すべき耐荷力を踏まえた補強工法の比較選定
 - ④ 設計：詳細設計の実施、施工計画の策定、数量計算および概算工事費算定
 - ⑤ 工事：対策工事の実施
3. 業務を進める際に留意すべき事項
 - (ア) 複合劣化への注意
 - ① 塩害と中性化、塩害と凍害、ASR と塩害など複合劣化に注意する
 - ② 複合劣化を含めた、劣化要因に応じた補修工法の選定
 - (イ) 補強・補修工法の選定
 - ① 補強の程度や現有耐荷力に応じた、補強工法の選定
 - ② 死荷重の増加、既存構造物との一体化について留意する
 - ③ 目標供用期間に応じて、補強材料の劣化対策や修繕対策についても留意する

Ⅱ-2-4 設計が完了しているコンクリート構造物において、施工に着手する段階で、施工工期を短縮する必要から、主要な構造部材のプレキャスト化に取り組むことになった。しかしながら、プレキャスト化においては、在来工法時に比べて検討すべき項目が多く存在する。この業務を遂行するに当たり、コンクリート構造物を1つ想定して、下記の内容について記述せよ。

(1) 工期短縮のために想定した構造物のプレキャスト化の範囲と、プレキャスト化計画時に検討すべき事項

(2) 「設計者」若しくは「施工者」の立場から業務を進める手順とその内容

(3) (2)で解答した立場において、業務を進める際に留意すべき事項

解答

1. 構造物のプレキャスト化の範囲と、プレキャスト化計画時に検討すべき事項

(ア) 想定した構造物およびプレキャスト化の範囲

① 現場打ち BOX カルバート排水路、H2.0×B4.0、構造物全てが対象

(イ) 計画時に検討すべき事項

① 搬入経路、使用可能な施工機械

② 仮設ヤード、仮置場の確保

③ Pca 部材の寸法（高さ、長さ）、構造体の分割位置、接合の方法

④ 工期短縮効果：Pca 化による短縮日数の検討

2. 「設計者」の立場から業務を進める手順とその内容

(ア) 手順と内容：

① 調査分析：搬入経路および使用可能機械の調査、効果の分析

② 計画：搬入、施工を考慮した寸法構造の比較決定

③ 設計：詳細設計（作図、構造計算、数量計算）

3. 業務を進める際に留意すべき事項

(ア) 留意事項：

① 接合部分での一体化、作用力等の伝達機構の明確化

② 施工時と完成時の構造系変化の確認と設計への反映

4. 「施工者」の立場から業務を進める手順とその内容

(ア) 手順と内容：

① 調査分析：搬入経路および使用可能機械、製作期間の調査、効果の分析

② 施工計画：製作、搬入、仮置、施工手順を含む施工計画の作成

③ 施工：施工の実施

5. 業務を進める際に留意すべき事項

(ア) 留意事項：

① Pca 部材を現場製作する場合の品質確保

② 接合部分の品質確保

③ 仮設・揚重機の安全（地盤の養生、過負荷防止、転倒・落下防止）

Ⅲ-3 近年、震災復興事業の本格化や東京オリンピック・パラリンピック開催に伴う首都圏の社会資本の大規模更新など、特定の地域における建設需要の増大が見込まれている。一方、他の地域においては、限られた財源の下で必要な社会資本を整備し、また、老朽化する大量の社会資本にも適切に対処していく必要がある。このような状況を考慮し、以下の問いに答えよ。

- (1) 上記のように、特定地域・比較的短期間における急激な市場規模・市場構造の変化等に対応し、コンクリート構造物を建設していくために、検討すべき項目をハード・ソフト両面の多様な観点から記述せよ。
- (2) 上述した検討すべき項目のうち、あなたが重要であるとする技術的課題を1つ挙げ、実現可能な解決策を2つ提示せよ。
- (3) あなたの提示した解決策がもたらす効果を具体的に示すとともに、想定されるリスクやデメリットについて記述せよ。

解答

1. コンクリート構造物を建設していくために検討すべき項目
 - (ア) 人力、能力に頼る建設作業
 - ① 仮設工（足場、型枠、支保工）、配筋・打設・養生 人力作業に頼る部分が多い
 - ② 経験、技能を必要とする（型枠、配筋、打設）
 - (イ) 現地生産、単品最適化
 - ① 個別条件に最適化された構造物、他への転用が難しい
 - (ウ) 作業が現地条件に左右される
 - ① 地形条件、気象条件により作業効率が左右される
2. 技術的課題1つ、実現可能な解決策2つ
 - (ア) 現場作業の削減
 - ① Pca 化の推進
 - ② 資材のユニット化
 - ③ 人力作業への機械力補助（PA スーツ、構内運搬車など）
 - (イ) 全体最適化の推進
 - ① 構造の標準化
 - ② 標準化に基づく Pca 化
3. 具体的な効果と、想定されるリスクやデメリット
 - (ア) Pca 化の推進、資材のユニット化
 - ① 効果：人力や技能に頼る工程の削減、生産性の向上
 - ② リスク、デメリット：初期費用の増加、揚重機設備など新たな機材が必要になる、接合や緊結など新たな技術技能を必要とする。
 - (イ) 全体最適化の推進
 - ① 効果：汎用化によるスケールメリットの発生、設計・施工のパターン化による省力化、資材調達の高速化
 - ② リスク、デメリット：意匠設計の画一化、性能・構造での冗長部分の発生

Ⅲ-4 高度成長期以降に集中的に整備された社会インフラは老朽化が進展し、維持管理上の問題が顕在化している。一方、これに関わる予算や労働力といった資源の投入は今後も困難なことが予測されている。このような状況を考慮し、以下の問いに答えよ。

(1) コンクリート建造物の維持管理の負担を軽減するため、検討すべき項目を多様な観点から記述せよ。ただし、地震などの災害による非常時の維持管理は含まないものとする。

(2) 上述した検討すべき項目のうち、あなたが重要であるとする技術的課題を1つ挙げ、実現可能な解決策を2つ提示せよ。

(3) あなたの提示した解決策がもたらす効果を具体的に示すとともに、想定されるリスクやデメリットについて記述せよ。

解答

1. 維持管理の負担を軽減するために検討すべき項目

(ア) 予防保全の促進

- ① 事後保全では維持費用・時間が大きくなる、社会的影響も大きい
- ② 早期発見、早期対処で費用と影響を抑える
- ③ 規模、重要度により事後保全と予防保全の使い分けも必要

(イ) 点検、診断、修繕の効率化

- ① 点検診断は直接目視が原則、作業に人手と時間と設備が必要
- ② 管理者によっては、点検に費用がかかり修繕に費用が回せない

(ウ) 対象施設の集約・統合による削減

- ① 管理対象が多すぎる
- ② 近接する施設、機能が重複する施設の集約、統合が必要

2. 技術的課題1つ、実現可能な解決策2つ

(ア) 点検、診断、修繕の効率化

- ① 点検の遠隔化、自動化 (UAV やロボット、各種センサーの活用)
- ② 画像診断技術の活用による自動化
- ③ 修繕工事での機械化、ユニット化 (例：RC床版のPca床版への更新)

(イ) 対象施設の集約・統合による削減

- ① 集約統合による管理対象の削減、費用・手間の削減

3. 具体的な効果と、想定されるリスクやデメリット

(ア) 点検の遠隔化、自動化

- ① 効果：知識、技術、経験を有する技術者が少なくても済む、時間と費用の削減、点検者によるバラつきが少なくなる、修繕工事への費用充当が可能になり修繕促進
- ② リスク：初期費用の発生、直接目視技術の低下・喪失、点検診断のブラックボックス化、新技術を使いこなす技術が必要、新たな人材の育成が必要、機械トラブルリスクへの対策