

H27

Ⅱ-1-5 壁状のコンクリート構造物を構築する際に、コンクリートの充填不良が生じる原因を2つ挙げ、それぞれについて、設計又は施工上取るべき具体的な防止対策を述べよ。

解答

道路橋の壁式橋脚を例に説明する

1. 充填不良が生じる原因（2つ）

(ア)過密配筋による締固め不足

- ① 地震時のせん断耐力やじん性の確保のため、帯鉄筋や中間帯鉄筋の配置量が増えた
- ② 同様の理由により軸方向鉄筋の段落とし（鉄筋量削減）が行われなくなった
- ③ 以上の理由により、過密配筋となりコンクリート打設時にバイブレーターの挿入が困難になり、十分な締固めを行うことができなくなる場面が増えた。

(イ)高所からの打込みによる材料分離

- ① 鉄筋量の増加により打設時のポンプ筒先挿入が困難になり、高所からコンクリートを落下させるため、打設中のコンクリートが鉄筋に衝突し分離する。
- ② 高所打設による落下時の衝撃でコンクリートが分離する。
- ③ 分離したコンクリートが空洞や豆板の原因となる。

2. 設計または施工上取るべき具体的な防止策

(ア)過密配筋への対策

- ① 設計：
  1. 鉄筋を大径化し本数を減らしピッチを大きくする
  2. 打設空間の確保が可能な配筋設計とする
  3. 重ね継手を機械継手や溶接継手に変更する
- ② 施工：
  1. バイブレーター形状の変更（径の変更、長尺化）
  2. 型枠外部振動機の使用、
  3. コンクリートの高流動化による自己充填性の向上
  4. 鉄筋の一時部分撤去

(イ)高所打込みへの対策

- ① 設計：打設空間を考慮した、筒先挿入可能箇所の設置
- ② 施工：
  1. 打設方法の工夫（フレキシブルホースの活用、小径縦シュートの使用）により打設高さを低くする
  2. 材料分離を起こしにくい配合（モルタル量の増加）
  3. バイブレーターの挿入を深く確実に行う（器具への目印の設置）

Ⅱ-1-6 コンクリート構造物では施工段階で発生する不具合により構造物の安全性や耐久性が損なわれる場合がある。施工段階で発生するプレストレストコンクリート構造物に特有の不具合を2つ挙げ、それぞれについて、原因と設計又は施工上の防止対策を述べよ。

解答

・PCポステン桁（I桁、T桁）を想定して解答する

1. 施工段階で発生するPC構造物特有の不具合と原因

(ア) 桁下フランジ部のコンクリート充填不良

- ① シース、鉄筋（スターラップ）間にコンクリートが十分に行き渡らない
- ② バイブレーターの挿入が十分にできない
- ③ 空洞や豆板など充填不良の発生

(イ) シース内グラウト充填不良

- ① 桁コンクリート打設時のシースの変形：バイブレーターの接触やシースの移動による変形、それに伴うグラウト充填不良発生
- ② グラウト材のブリージング発生：打設完了後のブリージング水が局部へ集中、蒸発し空洞が発生する

2. 設計・施工上の防止対策

(ア) 桁下フランジ部のコンクリート充填不良

- ① コンクリートの高流動化
- ② 桁断面形状の工夫（形状の単純化）
- ③ シース、鉄筋配置の工夫による施工性の確保（締固め空間の確保）

(イ) シース内グラウト充填不良

- ① ノンブリージングタイプグラウト材の使用
- ② シースへの中間排気口の適切な設置、グラウト排出の確実な確認

※外ケーブル工法の場合は、透明シースの利用によるグラウト充填確認が可能。

II-1-7 コンクリート構造物に発生するひび割れの1つにセメントの水和熱に起因する温度ひび割れがある。外部拘束が卓越する場合の温度ひび割れ発生メカニズムを説明し、そのひび割れを抑制する具体的な方法を2つ挙げ、それぞれについて留意点を述べよ。

解答

1. 外部拘束が卓越する場合の温度ひび割れ発生メカニズム
  - (ア) コンクリートは凝結時に水とセメントの水和反応により発熱する
  - (イ) 水和熱によりコンクリート温度が上昇し膨張する
  - (ウ) コンクリート内部に蓄積された温度が低下し収縮するとき、温度変化の小さい既設構造物により拘束される
  - (エ) 拘束された部分に引張応力が発生し、引張強度を超えるとひび割れが発生する
  - (オ) 例：橋台フーチングに拘束された縦壁に生じる温度ひび割れ
  
2. ひび割れ抑制の方法と留意点 (2つ)
  - (ア) コンクリートの温度上昇を抑え膨張を抑制する
    - ① 中庸熱、低熱セメントなど発熱量の小さいセメントを使用する。早期強度が小さいため、湿潤養生を十分に行うこと。
    - ② セメント使用量を抑制し、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末などの混和材を使用する。高炉スラグ微粉末は自己収縮が大きくなるので注意する。
    - ③ コンクリートの冷却
      1. プレクーリング (骨材、練り混ぜ水、フレッシュコンクリートの冷却)：対応可能か工場に事前確認が必要、運搬時間の確認が必要、別途設備が必要 (量が少ないと不経済)
      2. パイプクーリング (コンクリート内に鋼管を設置、冷却水循環による冷却)：マスコンクリート向き、設備が必要、小規模工事には不向き
  - (イ) ひび割れを集中管理または分散させる
    - ① 目地間隔の考慮、ひび割れ誘発目地の設置：目地位置の十分な検討が必要 (外観上、構造上問題が生じない位置)、ひび割れ誘発目地が劣化因子の浸入経路とならないよう構造や配筋の検討を行う。
    - ② かぶり部へのひび割れ抑制シート設置、用心鉄筋配置、繊維補強コンクリート使用による分散化：事前に効果の確認が必要、設置位置・スペースの検討、費用対効果の確認。

**※温度ひび割れ抑制方法**

- 温度上昇抑制
- 1) 水和発熱を抑える
  - 2) 冷却する

- ひび割れの管理
- 1) 発生応力を抑える
  - 2) ひび割れを分散する

II-1-8 コンクリート構造物の電気化学的補修工法の例を2つ挙げ、その概要を説明せよ。また、それぞれの工法について、劣化したコンクリート構造物に適用する際の設計又は施工上の留意点を述べよ。

解答

1. 電気化学的補修工法の例と概要 (2つ)

(ア) 電気防食工法

- ① 概要：鉄筋腐食は、鋼材表面の電位に高低差が生じることで、アノード部（陽極）とカソード部（陰極）が生まれ、腐食電流によりアノード部が腐食する。腐食電流の発生を抑えるために、コンクリート表面に鉄より電氣的に卑な陽極材（亜鉛、アルミニウム、チタン等）を設置し、鉄筋をカソード部（陰極）とし防食電流を供給する方法。
- ② 電源の有無により、外部電源方式と流電陽極方式がある。

(イ) 脱塩工法

- ① 概要：コンクリート表面に電解液（水酸化カルシウムやホウ酸リチウム）を含んだアノード部（陽極）を設置し、鉄筋をカソード部（陰極）として電流を流し、コンクリート中の塩化物イオンをコンクリート外へ電気泳動することで除去する工法。

2. 設計施工上の留意点

(ア) 電気防食工法

- ① 流電陽極方式は陽極材が消耗するため定期的（10～15年）な交換が必要。
- ② 電気回路を確実に組むこと。短絡がないことと、確実な通電を確認する。
- ③ 常時通電する必要があるため、定期的な監視を行うこと。

(イ) 脱塩工法

- ① 鉄筋周辺にアルカリ金属イオン（Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>など）が集まるため、ASRの恐れがある場合には使用してはならない。
- ② PC構造物に適用する場合は、PC鋼材に水素脆化が生じる恐れがあるので、通電は断続的に行い水素を逸散させること。
- ③ 通電に伴い、鉄筋周辺へアルカリ金属イオンが集まりセメントペーストが軟化する恐れがあるため、長期通電を避ける。通電期間は最大でも8週間程度とする。
- ④ 脱塩後に再度塩化物イオンの浸入が考えられる場合は、表面保護等の対策を行う。

※電気化学的補修工法とは、コンクリート内の鋼材腐食の原因である腐食電流の抑制・消失により鋼材腐食を抑制する方法。

※脱塩、電気防食、再アルカリがある

※アノード：酸化（電子が奪われる）側

カソード：還元（電子を受け取る）側

○電位の高低ではないので注意！

H27

Ⅱ-2-3 既設のコンクリート構造物を活用し、新たに部材や構造物を増設又は増築して一体化する改修工事の設計に取り組むことになった。このような事例として、耐震設計が必要な既設コンクリート構造物の工事計画を1つ想定して、この業務を遂行するに当たり、下記の内容について記述せよ。

- (1) 想定した工事計画と耐震設計を行うために調査すべき項目
- (2) 耐震設計に関する業務手順とその内容
- (3) 合理的な耐震設計とするために留意すべき事項

解答

1. 想定した工事計画
  - (ア) 道路橋 2径間単純桁橋の連続桁化による耐震化工事
  - (イ) 橋長 60m (30m×2)
2. 耐震設計を行うために調査すべき項目
  - (ア) 既存設計図書 of 調査
    - ① 設計年次、適用示方書、設計荷重、使用材料と強度、寸法・構造・配筋、施工方法
    - ② 補修補強履歴の確認
    - ③ 周辺地盤の状態、地質、地下水位、土質試験結果の確認
  - (イ) 物理的環境調査
    - ① 周辺環境調査 (気象条件、排水、河川、生物)
    - ② 劣化状況、補修跡の調査
    - ③ 必要に応じて非破壊検査や微破壊検査の実施
  - (ウ) 社会的環境調査
    - ① 交通量、通行車両区分、時間帯
    - ② 社会的環境、土地利用状況
3. 業務手順とその内容
  - (ア) 調査：上記項目の調査
  - (イ) 分析、評価
    - ① 現有耐震性能の評価
    - ② 制約条件や付与条件の確認、適用基準の選定
  - (ウ) 計画
    - ① 目標性能の設定
    - ② 目標性能を踏まえた耐震化手法の比較検討、工法選定
  - (エ) 設計
    - ① 選定工法による構造計算
    - ② 詳細設計図面作成
    - ③ 仮設・施工計画策定、数量算出、概算工事費の算定
4. 留意すべき事項
  - (ア) 目標供用期間に応じた構造・工法の選定
  - (イ) LCCを校了した設計
  - (ウ) 補強後の構造系変化に対する十分な考慮

Ⅱ-2-4 経年劣化によるかぶりコンクリートの剥離・剥落で鉄筋が露出したコンクリート構造物において、補修対策を行うものとして、以下の問いに答えよ。

(1)剥離・剥落の原因として考えられるものを2つ挙げ、それぞれについて原因の特定と補修対策を行うために調査すべき内容を記述せよ。

(2)調査から対策実施までの業務手順とその内容を記述せよ。

(3)業務を進める際に留意すべき事項を記述せよ。

解答

1. 剥離・剥落の原因（2つ）と調査すべき内容

(ア)コンクリートの中性化：空気中の二酸化炭素の浸入によりコンクリート内の水酸化カルシウムが炭酸化しアルカリ分を喪失、鉄筋の不動態皮膜が破壊され腐食する現象

① 調査すべき内容：表面から内部へ進行するため、中性化の深さを調査する

② ドリル法：ドリルで削孔し削孔クズにフェノールフタレイン溶液を噴射し着色の有無と削孔深さを計測する

③ コア採取法：小口径コアを採取し、ただちにフェノールフタレイン溶液を噴射し表面から着色部分までの長さにより中性化深さを計測する

(イ)塩害：コンクリートに内在もしくは外来塩分の浸入により、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が上昇し鋼材腐食限界濃度を超え、鉄筋が腐食する現象

① 調査すべき内容：コンクリート中の塩化物イオン濃度と位置を調査する

② コア抜きスライス法：小口径コアを採取し、スライスしそれぞれの塩化物イオン濃度を測定することで塩害の進行度を測る

2. 業務手順とその内容

(ア)調査

① 既存設計図書の調査

1. 設計年次、適用示方書、設計荷重、使用材料と強度、細部構造、施工方法
2. 補修補強履歴の確認

② 現地状況調査

1. 周辺環境調査（自然気象条件、排水、河川、生物、人為的条件）
2. 劣化状況、補修跡の調査
3. 必要に応じて非破壊検査や微破壊検査の実施

③ 利用状況調査

1. 交通量、通行車両区分、時間帯、社会的環境、土地利用状況

(イ)分析、評価

① 調査結果の分析、劣化要因の判定

② 制約条件、付与条件の確認

(ウ)計画

① 目標性能の設定

② 補修方法の比較検討、工法選定

(エ)設計

① 選定補修工法での構造計算の実施

② 詳細設計の実施、仮設・施工計画策定

③ 数量計算と概算工事費算出

(オ)施工

- ① 利害関係者・機関との協議
  - ② 補修工事の実施
3. 留意すべき事項
- (ア) 複合劣化に注意する
  - (イ) 間接的な劣化誘発要因（水掛かり、飛沫など）の確認を行う
  - (ウ) 劣化部分の除去や、既設鉄筋の防食が不十分な場合には再劣化が早期に発生する恐れがある
  - (エ) 劣化要因の判定を誤ると、補修による新たな劣化や劣化促進を招く恐れがある
  - (オ) 利害関係者との協議は、計画段階から実施し、手戻りを防止する

Ⅲ-3 東日本大震災から4年以上が経過し、復興事業が各地で進められているものの、入札不調、工事進捗や予算執行の問題等から復興工事の遅れが目立っている。このような中で、復興事業に影響のある社会的背景を考慮し、以下の問いに答えよ。

- (1) 復興工事が遅れている現状を踏まえ、特にコンクリート構造物の建設を加速する上で検討すべき項目を、建設分野に携わる技術者としてハード・ソフト両面の多様な観点から述べよ。
- (2) 上述した項目のうち、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) あなたが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の建設を加速する上で検討すべき項目
  - (ア) 人員不足への対応 (→Pca化、ユニット化による省力化)
    - ① 人員の不足、労務単価の高騰
    - ② 仮設工の削減(支保工、足場工、型枠工)が必要
    - ③ 現場作業の削減(コンクリート打設、鉄筋組立)が必要
  - (イ) 廃棄物処理、資機材入手難への対応 (→リサイクル材の活用(骨材))
    - ① 新材の不足
    - ② 災害廃棄物や取壊し殻の処分先が確保できない
  - (ウ) 住民説明、他事業との調整 (→3Dモデル等による説明、協議)
    - ① 住民に理解しやすい、効果的な説明ができない
    - ② 他事業が関連する場合の調整不足
2. 技術的課題(1つ)と解決策(2つ)
  - (ア) コンクリート工事の省力化
    - ① Pca化
    - ② ユニット化
  - (イ) 視覚的に理解しやすい情報提示、情報交換
    - ① 3D化
    - ② BIM/CIM活用
3. 解決策の効果とリスク、デメリット
  - (ア) Pca化、ユニット化
    - ① 効果：経験が少ない人員の活用、少人数での建設作業
    - ② リスク、デメリット：材料費が高い、接合・緊結に新たな技術が必要、突発的な寸法形状変更に対応できない
  - (イ) 3D、BIM/CIM活用
    - ① 効果：わかりやすい説明、3D-4Dでの説明、構造物干渉等の事前確認
    - ② リスク、デメリット：使いこなす人材が必要、データ作成に費用・時間が必要、初期投資が必要



Ⅲ-4 現在整備されている社会資本の多くは、整備の時期や各々が有する機能、設置環境が異なる他、劣化や損傷の状態もさまざまに時々刻々変化している。こうした既存ストックを今後も有効に活用するためには、劣化や損傷といった変状を早期に発見・診断し、その結果に基づいて的確に対策を行い、これらの履歴等を記録して次の点検・診断に活用するという維持管理の業務サイクルの実施が必要となる。このような状況を考慮し、以下の問いに答えよ。

(1) コンクリート構造物において、維持管理の業務サイクルを実施するために検討すべき項目を、建設分野に携わる技術者として多様な観点から記述せよ。

(2) 上述した項目のうち、あなたが重要であると考えられる技術的課題を1つ挙げ、実現可能な解決策を2つ提示せよ。

(3) あなたが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. 維持管理の業務サイクルを実施するために検討すべき項目
  - (ア) 将来の維持管理費用の抑制：30年後に更新費用が倍増するおそれ
  - (イ) 点検診断記録の活用：紙データ主体、フォーマットの違いのため活用できていない
  - (ウ) 管理者間のメンテナンスデータ共有
  - (エ) メンテナンスの見える化
2. 技術的課題（1つ）と解決策（2つ）
  - (ア) 予防保全の推進
    - ① 施設の統合・集約による対象数の削減
    - ② 予防保全と事後保全の使い分け
  - (イ) メンテナンスデータの利活用推進
    - ① 管理主体間の連携：メンテナンス会議、広域連携、地域一括発注
    - ② デジタルデータ化と共有化：データフォーマット、形式の統一、インフラデータプラットフォーム（データ基盤）の構築、データベース共有
3. 解決策の効果とリスク、デメリット
  - (ア) 施設の統合・集約による対象数の削減
    - ① 効果：対象数の減による費用・手間の削減、予防保全が推進可能となる
    - ② リスク・デメリット：冗長化・多重化ができなくなる
  - (イ) デジタルデータ化と共有化
    - ① 効果：データ共有によるノウハウの活用、小規模管理者への支援、防災への活用
    - ② リスク・デメリット：システム構築費用、ランニングコストが必要、ハッキング等への対策