

II-1-5 塩害環境下にあるコンクリート構造物に対して実施される以下の調査項目から1つ選択し、その調査目的を説明せよ。また、選択した項目の調査・試験方法を1つ挙げ、その概要と技術的留意点を述べよ。

①腐食ひび割れ②塩化物イオン含有量③浮き・剥離④鋼材の腐食

解答

1. 調査目的、調査試験方法の概要、技術的留意点

(ア)腐食ひび割れ

- ① 目的：コンクリート表面に発生したひび割れ幅や長さ、方向、密度を調査することで、内部の鉄筋の腐食状態を推測する。
- ② 調査試験方法概要：近接目視により、クラックスケールでのひび割れ幅の計測、メジャー類でのひび割れ長の計測、図化・写真撮影による記録と経過観察
- ③ 技術的留意点：腐食によるひび割れとその他の原因によるひび割れの区分が難しい。特に塩害環境下ではASRと塩害の複合劣化が発生する場合もあることから、ひび割れ幅の大きさや水がかり状況、使用骨材の種類を含めた総合的な調査を行うことが望ましい。

(イ)塩化物イオン含有量

- ① 目的：コンクリート内の塩化物イオン濃度を測定し、鉄筋腐食の可能性や腐食発生時期を推定する。
- ② 調査試験方法概要：小口径コア採取とスライスによる塩化物イオン濃度測定を行う。コアの採取はJISA1107に準じて行い、スライス後微粉碎した資料を用いてJISA1154により塩化物イオン濃度測定を実施する。測定方法には電位差滴定法や吸光光度法などがある。
- ③ 技術的留意点：外来塩分浸透を想定する場合は、コンクリート表面の塩化物イオン濃度も測定する。塩化物イオン含有量を示す場合には、測定対象が全塩化物イオンか可溶性塩化物イオンか、NaClなどの塩かCl元素なのかを明確にする。資料コア採取時に鉄筋を切断しないように慎重に位置を選定する。

(ウ)浮き・剥離

- ① 目的：かぶりコンクリートの浮きや剥離を調査することで、鉄筋腐食範囲の特定と、ひび割れ発生後の鋼材腐食の進行程度を推測する。剥離したかぶりコンクリートの落下による第三者被害を防止する。
- ② 調査試験方法概要：
 1. サーモグラフィー（赤外線）法：物体から放射される赤外線を非接触により検出素子を用いて二次元的に走査し赤外線量を映像として表示する方法。健全部と欠陥部とに生じる温度差（温度変化分布差）を観測し、空洞範囲を推定する。
 2. 弾性波を使用するもの：コンクリート表面に設置した発振子や衝撃入力装置により内部に弾性波を発生させ、内部の空洞や欠陥位置と寸法を測定する方法。超音波法、衝撃弾性波法、打音法などがある。
- ③ 技術的留意点：

1. サーモグラフィー（赤外線）法：測定精度や適用限界が気象条件に左右される。表面の光沢や汚れ、水濡れによる温度差を欠陥と誤認することがある。対象物の形状や立地条件（日射状態）により測定が困難なことがある。欠陥の深さや厚さの推定は難しく、検出深度は50mm程度が限界である。
2. 弾性波使用法：コンクリート品質のばらつき、コンクリート表面の劣化状況、含水状態、鋼材の影響により測定精度が変わる。欠陥の位置（深さ）や大きさにより検出できない場合があるため、必要に応じて削孔などを併用し確認する。打音法は調査者の技量により測定結果に差異が生じる

(エ) 鋼材の腐食

- ① 目的：塩害による鋼材腐食は急速に進行するため、腐食範囲を早期に正確に把握し、耐荷性能や耐久性能の評価を行い具体的な対策を行うために実施する。
- ② 調査試験方法概要：
 1. 自然電位法：鋼材が腐食することにより変化する鋼材表面の電位差から腐食状態を診断する方法。鋼材が腐食しているアノード部は電位が卑側に変化することが多く、この電位を計測する。
 2. 分極抵抗法：コンクリート表面に当てた外部電極から鋼材に微弱な電流を負荷した時に生じる電位（電流）変化量から分極抵抗を求め、鋼材の腐食速度と分極抵抗の逆数が比例関係にあることを利用し鋼材の腐食を推定する。分極抵抗とは鋼材に流入出する電流と鋼材の電位変位の比、電圧/電流で表される。我が国では交流インピーダンス法や交流矩形波電流分極法が主流である。
- ③ 技術的留意点：塩害による腐食特性（塩化物イオン濃度の増加による影響）を理解し、年間を通じた複数回の測定や一年以上の長期測定が望ましい。コンクリート内部の鋼材に対し、測定電流を一様に流すよう留意する。

II-1-6 鉄筋コンクリート柱が正負交番繰返し水平力を受けた場合の代表的な破壊形態を2つ挙げ、それぞれの特徴を説明せよ。また、その特徴を踏まえて、耐震設計上の留意点を述べよ。

解答

1. 破壊形態と特徴、耐震設計上の留意点

(ア) 曲げ引張破壊

- ① 特徴：コンクリートが圧縮破壊するまでに、降伏点を超える応力が鉄筋に作用することにより、鉄筋が塑性変形し発生する破壊形態。鉄筋降伏後に延性的な挙動を示す。主に柱基部の曲げモーメント最大点において曲げひび割れが水平に発生した後、主鉄筋が降伏し、基部に塑性ヒンジが形成される。その後変形量の増大によりかぶりコンクリートが剥離し塑性ヒンジが拡大する。
- ② 耐震設計上の留意点：鉄筋の座屈や鉄筋内部のコンクリートのはらみ出しによる鉛直耐力の低下や喪失が発生しないように、帯鉄筋を十分に配置する。鉄筋降伏が先行し、かつ鉄筋が破断しないように鉄筋量を考慮する。

(イ) 曲げ圧縮破壊

- ① 特徴：鉄筋の応力が降伏点を超えるまでに、コンクリート圧縮縁ひずみが限界値(例： $\epsilon'_{cu} \leq 0.0035$)に達し、コンクリートが先行破壊する状態。コンクリートが圧壊するため、脆性破壊形態となることが多い。
- ② 耐震設計上の留意点：避けるべき破壊形態であるので、引張鉄筋の降伏より先にコンクリートの圧縮破壊が発生しないよう、過鉄筋にならない鉄筋量とする。

(ウ) せん断破壊 (せん断引張破壊)

- ① 特徴：部材の変形が小さい段階で、せん断力により急激に破壊が進行し耐力を失う形態である。まず柱基部にて曲げひび割れが発生した後、曲げひび割れとせん断ひび割れが進展する柱中央部ではせん断ひび割れが突然発生することがある。その後せん断ひび割れが局所的に発達し、帯鉄筋の降伏や耐荷力の急激な低下を招き脆性的な破壊となる。
- ② 耐震設計上の留意点：避けるべき破壊形態であるので、せん断力に対する補強を帯鉄筋や中間帯鉄筋の配置により実施する。せん断破壊が先行しないように、曲げ耐力を低減する。

Ⅱ-1-7 アルカリシリカ反応に伴うコンクリート構造物の劣化のメカニズムを説明せよ。また、アルカリシリカ反応の抑制対策を1つ挙げ、その概要と技術的課題を述べよ。

解答

1. ASR のメカニズム

(ア)アルカリ骨材反応とは、骨材中の特定の鉱物とコンクリート中のアルカリ性細孔溶液との間の化学反応である。アルカリイオンと骨材に含まれるシリカ鉱物などの反応性鉱物との間に起こる化学反応により生成されるゲル状物質の膨張圧がコンクリートに大きなひび割れを発生させる。

(イ)中性化や塩害と複合的に発生する場合もある。

2. 抑制対策と技術的課題

(ア)対策：低アルカリセメントの使用によるコンクリート中アルカリ総量の抑制。

① 概要：セメントに含まれるアルカリ分がコンクリート中のアルカリ性溶液となり反応性鉱物と反応するため、高炉セメントB種、フライアッシュセメントC種など、アルカリ分の少ない混合セメントを使用する。

② 課題：初期強度の確保が必要。低アルカリセメントは普通ポルトランドセメントに比べて初期強度が小さいため、設計強度発現までの養生を十分に行う必要がある。

(イ)対策：アルカリシリカ反応に対して安全性が確認された骨材を使用する。

① 概要：JISA5308 附属書Aに示す、区分Aの骨材（ASRに対して無害と判定されたもの）を使用する。

② 課題：骨材の正確な選定。国内各地に反応性骨材は分布しているため、鉱物種や産地・品名だけで反応性を判断することは難しい。

(ウ)対策：水掛かりの防止

① 概要：アルカリシリカゲルは吸水膨張し膨張圧が発生、ひび割れが生じる。コンクリート中への水分の浸透がASRの進行に悪影響を及ぼすため、確実な排水処理や表面保護により水掛かりを防止する。

② 課題：確実な水掛かりの防止。構造物排水設備周りの維持管理、効果的で耐久性のある表面保護工法の選定。

II-1-8 設計基準強度 50~100N/mm² クラスの高強度コンクリートについて、そのフレッシュ時及び硬化後の性質を説明せよ。また、その性質を踏まえて、製造又は施工を行う上での留意点を述べよ。

解答

1. 高強度コンクリートの性質

(ア)フレッシュ時：W/C が小さくセメントペーストの粘性が高いため、通常は流動化コンクリートが用いられることが多い。スランブが大きくても材料分離しにくい。ポンプ圧送抵抗が大きく圧送性が悪い。ブリージングがほとんど生じないため表面仕上げ作業が困難である。プラスチック収縮ひび割れを起こしやすい。

(イ)硬化後：セメントペーストが緻密化するため中性化の進行が遅い。凍結時の表面スケールリングが少なく耐凍害性が高い（適切な空気量管理は必要）。W/C が小さいため乾燥収縮は小さいが自己収縮が大きい。圧縮強度は大きいが引張強度は普通コンクリートと大差がないため脆性が大きい。火災時に表面が爆裂しやすい。

2. 製造、施工上の留意点

(ア)製造

- ① 材料：水和熱を抑えるため発熱の小さいセメントを使用する（中庸熱、低熱セメント）、単位セメント量を少なくするためシリカヒュームや高炉スラグ微粉末を混合した混合セメントを使用する。
- ② 混和材：水和熱を抑制し高強度と高耐久性を得るため、セメント量の削減とワーカビリティの改善のため、シリカヒューム・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。
- ③ 混和剤：W/C を小さくし流動性を高めるため、高性能 AE 減水剤を使用する。
- ④ 材料管理：細骨材表面水量の安定化が重要なため、骨材貯蔵方法に留意する（覆蓋使用、下部の水抜）。表面水量管理頻度も多くする。
- ⑤ 製造管理：練り混ぜ時は粘性が高くミキサにかかる負荷が大きいため、モルタル先練りの実施と 1 バッチ当たり数量の減量（2/3 程度へ減）を行う。

(イ)施工

- ① 運搬：コンクリートポンプ圧送時の圧力損失が通常の 2~4 倍大きいため、圧送試験を行った上で配管口径やポンプ機種選定を行う。
- ② 打込み、締固め：粘性が高いためバイブレーターの振動伝達範囲が狭いので、ワーカビリティに応じた締固めを行う。うち重ねの際にコールドジョイントが発生しやすいため、うち重ね部は特に一体化に注意する。
- ③ 表面仕上げ：夏期は打設面の乾燥が非常に早いため、プラスチック収縮ひび割れが起きやすいので散水または膜養生材の散布を行う。逆に冬期は凝結が遅れ仕上げも遅くなるため、仕上げ時間帯を考慮した打設計画とする。
- ④ 養生：打設完了後のコンクリート面は、散水・噴霧、養生マットやシートの設置、膜養生剤などにより湿潤状態を保つ。

H25

Ⅱ-2-3 社会資本であるコンクリート構造物の長寿命化を図るためには、施工時の初期欠陥を防止することが極めて重要である。夏季は施工時の初期欠陥が起りやすく、特に注意が必要である。こうした状況において、夏季に、高密度配筋となる柱とはりの接合部の施工を行うこととなった。この業務を担当して、コンクリートの製造・運搬、打込み・締固めを行うに当たり、施工時の初期欠陥を防止することを念頭にして、下記の内容について記述せよ。

- (1) 計画段階で検討すべき事項
- (2) 業務を進める手順
- (3) 以下のうち、いずれかの業務を進める際に留意すべき事項
「コンクリートの製造・運搬」、あるいは、「打込み・締固め」

解答

1. 計画段階で検討すべき事項
 - (ア) 考えられる初期欠陥の想定
 - ① スランプ低下による充填不良（空洞、豆板）の発生
 - ② 高密度配筋による充填不良発生
 - ③ 打ち重ね部での水分逸散によるコールドジョイント発生
 - ④ 表面乾燥によるプラスチック収縮ひび割れ
 - (イ) 作業時間帯、運搬経路の検討
 - ① 周辺条件や道路条件による作業可能日、時間帯、時間、日打設量の検討
 - ② 生コン搬入経路、台数、待ち時間の検討
 - (ウ) 上記2つを付与条件とした初期欠陥対策手段の検討
 - ① 流動性の確保（スランプロスの見込み、流動化の要不要）
 - ② 打設手順の検討
 - (エ) 作業人員、機械器具の検討
 - ① 人員数、機械器具数
 - ② ポンプ、作業人員、締固め器具類の配置
 - (オ) 施工品質確認手段の検討
 - (カ) 養生方法と期間の検討
2. 業務を進める手順
 - (ア) 調査：現地状況調査、作業条件の確認
 - (イ) 分析、評価：考えられる初期欠陥の分析と評価
 - (ウ) 計画：対策の検討、施工計画立案（内外の利害関係調整を含む）
 - (エ) 施工：人員、資機材の手配、施工の実施
3. いずれかの業務を進める際に留意すべき事項
 - (ア) コンクリートの製造・運搬
 - ① ワーカービリティの確保：単位水量を抑え、ワーカービリティを確保するために AE 減水剤や高性能 AE 減水剤を使用する。遅延型が望ましい。
 - ② 製造時の温度上昇防止：骨材、練り混ぜ水の温度上昇を防止し、凝結が早くなるのを防ぐ。（材料保管時の直射防止、練り混ぜ水の冷却、練り混ぜ後の冷却）
 - ③ 運搬時の温度上昇防止：アジテータ車ドラムの遮熱、ポンプ管路への直射防止、運

搬時間や待ち時間の短縮。

(イ) 打込み・締固め

- ① 打設時間帯の選定：日中の作業を避け、高温、直射による影響を避ける
- ② ワークアビリティの確保：必要に応じて流動化剤を使用する。
- ③ 打設面や型枠内での対策：散水による湿潤化、温度上昇防止。
- ④ 打込み時間の短縮：練り混ぜ開始から打設完了までを1.5時間以内とする。
- ⑤ 過密配筋区域での作業空間確保：可能であれば鉄筋の取外しを行い、作業空間を確保する

Ⅱ-2-4 既設構造物の中には、材料劣化は生じていないが、既存不適格であるものが存在する。このような構造物の適切な補強設計を行うためには、詳細な情報が必要となるが、建設後数十年を超える構造物では、設計図書(図面・計算書等)が残っていない場合がある。こうした状況において、設計図書のないコンクリート構造物の耐荷又は耐震のいずれかの補強設計を行うこととなった。この業務を担当者として進めるに当たり、既存不適格である構造物を1つ想定し、下記の内容について記述せよ。

- (1) 業務を行うに当たって調査すべき事項
- (2) 構造物の現状の性能評価と補強設計の手順
- (3) 合理的な補強設計とするために留意すべき事項

解答

○想定する構造物：道路橋 壁式鉄筋コンクリート橋脚の耐震化設計

1. 業務を行うに当たって調査すべき事項
 - (ア) 竣工年度：橋名板、橋歴板、意匠からの推測、周辺住民への聴き取り、市町村誌の調査
 - (イ) 構造形式と寸法：上部工・下部工の構造形式、形状寸法(L, H, Wほか)、配筋状況、使用材料・材質、基礎形式、支承構造、附属施設や添加物の種類と構造
 - (ウ) 周辺条件：河川の状態、既往最高水位、河川占用の状況、地形地質、気象条件、取り付け道路の構造
 - (エ) 社会的条件：周辺の土地利用状況、交通量(車種、混雑の程度と時間帯、歩行者自転車交通状況)
 - (オ) 地震被災履歴：過去に受けた地震被害の有無、程度、補修補強履歴
 - (カ) 構造物の劣化状況：対象施設の劣化状況と補修履歴
2. 構造物の現状の性能評価と補強設計の手順
 - (ア) 現地調査・計測
 - ① 詳細な寸法計測、劣化状況の目視調査
 - ② 非破壊検査・微破壊検査による材料強度および鉄筋量の推定
 - (イ) 分析、評価
 - ① 竣工年度から適用示方書・設計条件を推定し復元設計を実施する
 - ② 現行示方書に則った照査を行い、現有耐震性能の評価と不足する耐力の算定を行う
 - ③ 劣化が判明した部分については劣化状況を考慮する
 - (ウ) 計画
 - ① 現地調査に基づく制約条件の整理
 - ② 補強工法の比較検討、選定(初期費用、性能、施工性、制約条件への適合性、LCC等を総合的に比較する)
 - (エ) 設計
 - ① 補強詳細設計の実施(構造計算、詳細設計図作成、仮設・施工計画の策定)
 - ② 数量および概算工事費の算出
3. 合理的な補強設計とするために留意すべき事項
 - (ア) 構造全体の補強バランスを考慮する
 - ① 既存不適格である構造物に対して、部分的な補強を行うと構造系全体としての強度がアンバランスな状態となり、弱点に負荷が集中する恐れがある。地震力の分散化

など系全体での耐震性能が確保できるよう考慮する。

(イ) 今後の供用予定期間を踏まえた補強とする

- ① 補強対策後の構造物の予定供用期間に応じた補強対策を計画し、供用期間中の LCC が最小化できるように配慮する。

※「材料劣化は生じていない」ことに注意する。

Ⅲ-3 近年の建設投資の急激な減少に伴い、建設業界の就業者数は年々減少しており、また、就業者の高齢化や若年入職者の減少から、現場では生産性の低下が懸念されている。一方、今後増加する社会資本の大規模更新や、震災復興事業の本格化等に対応するため、さらなる生産性の向上が求められている。このような状況を考慮して、以下の問いに答えよ。

- (1) コンクリート構造物の建設において、生産性を向上するために検討すべき項目を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、あなたがコンクリートの技術士として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、想定されるリスクについて記述せよ。

解答

1. 生産性を向上するために検討すべき項目
 - (ア) 現場作業の削減
 - ① 仮設工の削減（支保工、足場工、型枠工）
 - ② 鉄筋組立作業の削減
 - ③ コンクリート打設作業の削減
 - ④ 養生手間の削減
 - (イ) 地形条件、気象条件に左右されにくい工法
 - ① 降雨、強風下では現場作業が困難
 - ② 地形的に大規模な仮設工が必要な場合に時間と費用が掛かる
 - (ウ) 高い技能や経験を必要としない工法
 - ① 労務者の高齢化、退職により高い技能を持つ人材が減少
 - ② 他産業と比べ就労環境や労働条件が悪いため、新規入職者が少ない
 - ③ 高い技能や経験を持つ労務者が育たない
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 部分最適から全体最適への転換
3. 効果と想定されるリスク
 - (ア) 効果
 - ① 現場作業の削減による省力化、機械化、従事者負担の軽減
 - ② 現場作業削減に伴う就労環境の改善、労働災害の防止
 - ③ 初期欠陥の予防、品質の改善
 - (イ) リスク
 - ① 初期費用が高くなる
 - ② Pca 化により、接合や緊張など別の専門技術が必要になる
 - ③ 全体最適を導入した場合、設計の自由度が制限される

Ⅲ-4 我が国の社会資本の多くは、高度経済成長期に整備され、今後、急速に社会資本の老朽化が進むことが予想されている。しかしながら、社会資本への大規模な投資を持続的に行うことは期待できない状況にある。このような状況を考慮して、以下の問いに答えよ。

- (1) 既存ストックとしてのコンクリート構造物の延命化を図るために、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、あなたがコンクリートの技術士として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、想定されるリスクについて記述せよ。

解答

1. 延命化を図るために検討すべき項目
 - (ア) 点検診断の効率化
 - ① 点検・診断に費用と時間がかかる（直接目視が原則）
 - ② 点検診断に知識と経験が必要
 - ③ 点検診断に費用がかかり、修繕に回せない
 - (イ) 効果的な延命化（修繕）の実施
 - ① ストック数が多い
 - ② 供用状態や周辺条件がさまざま、一律の対応は困難
 - ③ 劣化が進んでからの修繕は費用と時間がかかる
 - (ウ) 修繕技術の開発
 - ① 条件が悪い中での作業（狭い、供用中、小規模）
 - ② 手作業に頼る工種が多い
 - ③ 技術者や作業者の経験に頼る部分が多い
2. 技術的課題1つ、実現可能な解決策2つ
 - (ア) 効果的な延命化（修繕）の実施
 - ① 予防保全の推進、事後保全との併用
 - ② LCCを考慮した修繕の実施
3. 効果と想定されるリスク
 - (ア) 効果
 - ① 劣化が進行する前の延命化、LCCの低減
 - ② 事後保全との併用による集中と選択の実現
 - ③ 破損による社会的影響の低減
 - (イ) リスク
 - ① 点検・診断の精度により保全計画対象となる施設が左右される
 - (ウ) リスク対策
 - ① 精度の高い点検・診断の実施