

H28

Ⅱ-1-5 鉄筋コンクリート構造物の主な劣化機構であるアルカリシリカ反応、塩害、中性化の中から2つを選び、それぞれについて劣化メカニズム及び新設構造物に施される対策を説明せよ。

解答

1. 劣化メカニズム

- (ア)アルカリシリカ反応：コンクリート細孔溶液内の水酸化アルカリと、骨材中のアルカリ反応性珪物の化学反応により生じた生成物（アルカリ・シリカゲル）により、生成圧力や吸水膨圧が発生し、コンクリートに幅広のひび割れが生じる現象。
- (イ)塩害：コンクリート内に内在する塩分や飛来塩分の浸透により、鋼材位置の塩化物イオン濃度が上昇し、鋼材発錆限界を超え腐食が発生する。塩化物イオンと鉄との反応により腐食生成物となり体積が膨張し、ひび割れや浮きが発生する。
- (ウ)中性化：コンクリート内に空気中の二酸化炭素が浸入し、セメント水和物（水酸化カルシウム）と結合、炭酸化（炭酸カルシウム化）することでコンクリートの pH が低下し、鋼材表面の不動態被膜が破壊され鉄筋が腐食する。酸素と水の供給により鉄が水酸化第二鉄ほかの腐食生成物となり体積が膨張しひび割れが発生する。

2. 新設構造物での対策

- (ア)アルカリシリカ反応：アルカリ分の少ない混合セメント（高炉セメント、フライアッシュセメント）の使用、使用骨材の試験による ASR の事前確認、水による影響を防ぐため水掛かりの工夫：非開放型伸縮装置、表面保護工の実施。
- (イ)塩害：フレッシュコンクリート内の塩化物含有量規制(0.3kg/m³以下)、化学抵抗性の高い混合セメント（高炉セメント）の使用、表面保護工、防食鉄筋使用（エポキシ樹脂塗装鉄筋、亜鉛メッキ鉄筋）、犠牲陽極防食工（流電陽極工法、外部電源工法）の実施。
- (ウ)中性化：かぶり厚さの確保、コンクリート表面の緻密化（型枠吸水シート、吸水型枠、埋設型枠）、表面保護工、単位水量の削減。

Ⅱ-1-6 港湾構造物等で多く用いられている水中不分離性コンクリートについて、その特徴及び施工上の留意点を述べよ。

解答

1. 水中不分離性コンクリートの特徴

- (ア) 水中不分離性コンクリートは、水中不分離性混和剤を混和することで、コンクリートが水の洗い作用を受けても材料分離しにくい性質を持たせたコンクリート。
- (イ) 流動性が大きく粘性が高いため、材料分離を生じることなく充填性やセルフベリング性を発揮する。
- (ウ) 水中を落下させても分離しにくく、水質汚濁を生じにくい。
- (エ) ブリージングがほとんど生じない。
- (オ) 凝結時間が通常のコンクリートより 5～10 時間遅延する。
- (カ) 乾燥収縮量が大きいため、原則として水中部分に使用する。
- (キ) 耐凍害性が低い。
- (ク) 締固めが困難なため高流動化されスランプフローで流動性が示される。

2. 施工上の留意点

(ア) 配合

- ① 水中不分離性混和剤は、JSCE-D104 に適合したものを使用する。
- ② AE 減水剤等は水中不分離性混和剤と併用しても悪影響のないものを使用する。
- ③ 配合はコンクリートが所要の性能を持つように試験で定める。
- ④ 空気量は 4% 以下とする。

(イ) 施工

- ① 打込みは静水中（流速 5cm/s 以下）とし、水中落下高さは 50cm 以下とする。
- ② 打込みはコンクリートポンプあるいはトレミーを使用し、筒先は先に打ち込まれたコンクリート中に埋め込むのが望ましい。
- ③ 水中流動距離は 5m 以下とする。
- ④ ポンプ圧送負荷が通常と比べて 2～3 倍大きいため、打込み速度は $1/2 \sim 1/3$ になる。これを考慮した打設計画とする。
- ⑤ 型枠に作用する側圧が大きいため、型枠設計は液圧を考慮し、漏出しないよう緊密に組立を行う。
- ⑥ 打設後、コンクリート表面が波浪や流水で洗掘されないよう保護を行う。

※水中不分離性コンクリートは「分離しない」のではなく、「分離しにくい」コンクリートであることを十分認識し、適切な施工計画を立てること。

Ⅱ-1-7 鉄筋コンクリートはり部材の曲げ破壊とせん断破壊について、それぞれのメカニズムと特徴を示し、脆性的な破壊を防止するための設計上の留意点を述べよ。

解答

1. メカニズムと特徴（図を使うとわかりやすい）

(ア)曲げ破壊：梁に荷重が作用したとき、曲げモーメントが発生する。曲げモーメントにより変形し、内部には応力と歪みが発生する。通常は、梁上縁は縮み圧縮応力が発生し、梁下縁は伸び引張応力が発生する

- ① 圧縮側はコンクリートが応力を負担する
- ② 引張側は鉄筋が応力を負担する
- ③ 一定の荷重まではコンクリート・鉄筋とも弾性変形し線形挙動を示す
- ④ 曲げモーメントが増大すると、圧縮側のコンクリートは塑性化し非線形挙動に移行する。
- ⑤ 使用限界照査では弾性解析、終局限界照査では塑性解析が用いられる。
- ⑥ 曲げ応力・歪みがコンクリートの耐力を超えると、コンクリートの圧縮破壊が発生する。鉄筋の降伏点を超えると鉄筋の引張破壊が発生する。
- ⑦ 引張破壊はひび割れの発生が応力状態を示すため、危険な状態にあることがわかりやすい。圧縮破壊はぜい性破壊のため好ましくない。

図

(イ)せん断破壊：梁に荷重が作用したとき、せん断力が発生する。単純梁の場合は支点付近で最大せん断力が生じる。

- ① せん断破壊はウェブに斜めひび割れが発生し、急激な破壊となることが多い。
- ② 曲げ破壊と比べて危険であり、望ましくない破壊形態である。

図

2. 脆性的な破壊を防止するための設計上の留意点

(ア)曲げ破壊

- ① ぜい性破壊である圧縮破壊を避ける。
- ② 鉄筋量を釣り合い鉄筋比以下に抑える（過鉄筋を避ける）。
- ③ 圧縮鉄筋を配置し、コンクリートの応力を分散させる。

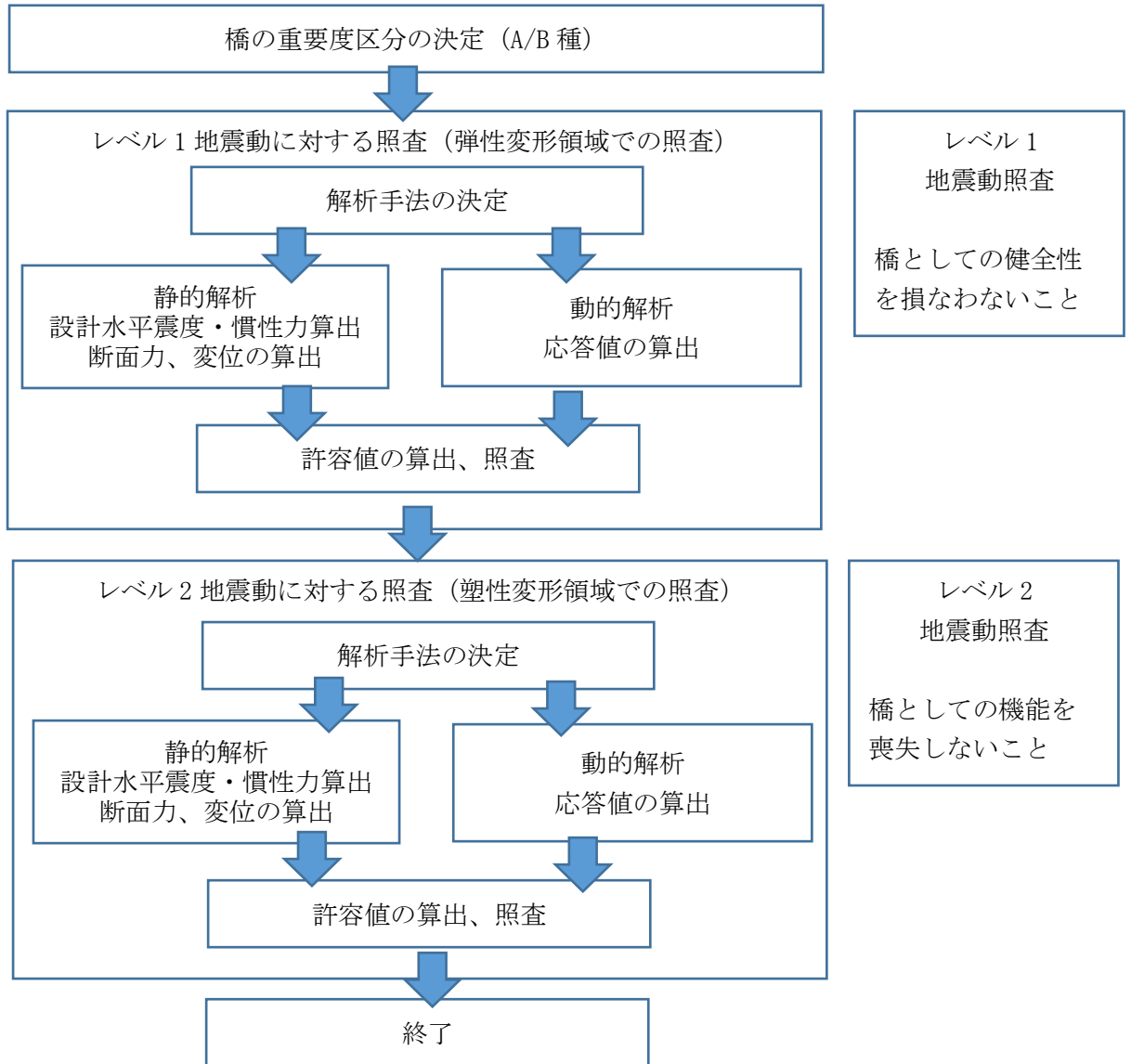
(イ)せん断破壊

- ① 背の高い梁はせん断スパン比が大きいため、せん断破壊対策に留意する。
- ② せん断力の大きさに応じたせん断補強筋（折り曲げ鉄筋、腹鉄筋）を配置する。
- ③ せん断耐力が曲げ耐力を上回るように設計する。
- ④ トラスモデルによるせん断耐力の算定を行い、せん断耐力における靱性確保の観点から、鉄筋の降伏がコンクリートの圧壊より先行するよう設計を行う。

II-1-8 大地震に対する耐震設計が必要なコンクリート構造物の例を 1 つ挙げ、その耐震設計の手順を示し、耐震性能の照査方法を具体的に述べよ。また、耐震設計上の留意点について述べよ。ただし、耐震補強は除くものとする。

解答

1. 構造物の例：橋梁（道路橋）
2. 耐震設計の手順および照査方法



3. 耐震設計上の留意点

- (ア) レベル 2 地震動時に橋脚基部での塑性化を計る場合に、支承部・基礎部の耐力を橋脚基部の終局耐力以上に設定する。
- (イ) 橋脚基部の破壊形態は、曲げ破壊型とする
- (ウ) 橋脚の残留変位が許容値を超えないこと
- (エ) 構造物単体での地震時エネルギーの吸収が困難な場合は、多点固定化やラーメン構造化など、系全体での分散を検討する。

Ⅱ-2-3 コンクリート工事におけるリスク管理を行う上で、想定されるリスクに対するリスク分析や危機回避シナリオの作成など、事前の活動が危機回避の上で有効な手段である。今回あなたが関係する建設現場において、管理用供試体の圧縮強度に強度不足が発生したことを想定して、下記の内容について記述せよ。

- (1) 対象となるコンクリート構造物を仮定し、想定した強度不足の発生状況とその原因や問題点
- (2) 自分の立場と業務を明確にし、発生原因を回避するための再発防止策とその内容
- (3) 再発防止策を進めるに当たり留意すべき事項

解答

1. 対象となるコンクリート構造物：道路盛土内に設置する現場打ち函渠工
2. 強度不足の発生状況と原因、問題点
 - (ア) 工場から出荷されたフレッシュコンクリートの品質のばらつき
 - ① 単位セメント量、W/Cのばらつきによる影響
 - ② 短時間で直接に強度そのものを確認できない
 - (イ) 養生時の水分逸散による養生不足
 - ① 日射、風によるもの
 - ② 必ずしも管理用供試体が構造物強度と一致しない
 - (ウ) 工場からの配達遅延による品質低下
 - ① スランプや空気量の変化、ワーカビリティの低下
 - ② 出荷時に担保された品質が打設時に担保されない
3. 自らの立場と業務：発注者の監督職員、請負者に品質管理を行わせる業務
4. 再発防止策と内容、留意事項
 - (ア) フレッシュコンクリートの品質のばらつき
 - ① 再発防止策：工場での品質管理方法、標準偏差（ σ ）の確認、現地品質確認の強化
 - ② 留意点：スランプ、空気量、X-R管理図での傾向分析により異常があれば早めに工場へ対策を依頼する
 - (イ) 養生不足
 - ① 再発防止策：実構造物の微破壊検査による強度確認、養生条件をそろえる、乾燥・直射の防止
 - ② 留意点：管理用供試体は必ずしも実構造物と同一物ではない
 - (ウ) 配達遅延
 - ① 再発防止策：運搬ルート・時間帯・交通量（混雑度）の確認、見直し、余裕をもった打設・配車計画の策定
 - ② 留意点：遅延防止が困難な場合は工場を変更する、高性能 AE 減水剤の使用、流動化剤の使用

Ⅱ-2-4 供用中のコンクリート構造物において、作用荷重の増大又は外的作用力に起因すると考えられる損傷が発見され、耐荷力の回復又は耐荷力の向上を目的として早期に補強する業務を行うことになった。この業務を担当するに当たり、下記の内容について記述せよ。

(1) 想定したコンクリート構造物とその損傷状況を示し、損傷状態の把握、補強対策のために調査すべき項目

(2) 調査から補強対策実施までの業務手順とその内容。ただし、補強は当該コンクリート構造物を複合構造化して行うものとする。

(3) 複合構造化に当たり設計・施工上留意すべき事項

解答

1. 想定したコンクリート構造物：道路橋 RC単純床版橋
2. 損傷状況：重車両通行による支間中央部下面へのひび割れ発生
3. 調査項目
 - (ア) 現存設計図書への調査（建設年、適用示方書、設計条件、使用材料、構造、施工状況、補修履歴等）
 - (イ) 現地調査
 - ① 構造物の状態：外観、損傷の動き、振動・音・たわみ
 - ② 社会的条件：周辺土地の利用状況、交通量・車種・時間帯
 - ③ 自然環境条件：気象、自然環境（日照、温度、湿度等）
 - ④ 必要に応じて構造物の非破壊検査、微破壊検査の実施
4. 複合構造化による補強の業務手順
 - (ア) 調査：上記調査の実施
 - (イ) 分析：調査内容の分析と診断、要求性能（必要な補強（耐荷力））の検討
 - (ウ) 計画：要求性能、周辺条件、構造物の状態に応じた複合構造化の選定
 - ① FRP（シート、またはプレート）による補強
 - ② 鋼板接着による補強
 - (エ) 設計：詳細設計の実施、施工計画策定、数量算出と概算工事費算出
 - (オ) 工事：補強工事の実施
5. 設計施工上の留意点
 - (ア) コンクリート上縁の圧縮応力度が許容応力度に近い場合や、終局耐力に近い場合は圧縮破壊を起こすおそれがあるので、たわみにより効果を発揮する工法を採用しない。
 - (イ) FRPプレート類を使用する場合は、定着金具が建築限界を侵さないことを確認する。
 - (ウ) 対策後の点検の容易さやメンテナンス性を考慮する。
 - (エ) 補強材と既存構造物との間で、断面力を確実に伝達できる接合方法を採用する。
 - (オ) 工法により材料入手に時間が必要な場合があるので、入荷時期を確認の上施工計画を策定する。

Ⅲ-3 限られた財源の中、建設総投資における社会ストックに対する維持管理費の比率が益々増加する傾向にある。その一方で、建設段階の初期欠陥による供用開始後の早期劣化や計画供用期間中の劣化現象が発生している。したがって、今後建設される社会資本は所定の品質が確保され、長期間供用できるものでなくてはならない。

このような状況を踏まえ、以下の問いに答えよ。

- (1) 今後建設されるコンクリート構造物の品質を確保するために、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. 今後建設されるコンクリート構造物の品質を確保するために、検討すべき項目
 - (ア) 初期欠陥が起こる原因
 - ① 技術技能を持つ従事者の減少（退職、高齢化、新規入職者の減）
 - ② コンクリート工事には経験と技能が必要（施工の質が品質を左右する）
 - ③ 人力に頼る作業が多い（機械化、自動化の遅れ）
 - (イ) 検討すべき項目
 - ① 技能を持つ従事者の確保、育成
 - ② 経験、技能がなくても可能な工法の開発
 - ③ 自動化、機械化の推進
2. 重要であるとする技術的課題（1つ）、実現可能な解決策（2つ）
 - (ア) 労働集約的作業からの脱却
 - ① Pca 化の推進：工場生産、もしくは条件のよい場所で製作した部材の組立のみ現地作業とする、生コン打設を行わない工法
 - ② 全体最適への転換：単品現地生産・部分最適は、条件の異なる他現場で転用が難しい。品質が適正に管理された工場製作パーツの汎用化・ユニット化を進め、基本構造部材を他の現場でも活用可能とする。
 - ③ 現場作業の見える化：ノウハウの形式知化・電子データ化・DB化、ICT機器の活用、BIM/CIM・VR/AR/MRの活用による施工情報の共有、作業者の作業情報の記録
3. 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
 - (ア) 効果：初期品質の確保、施工者の技量に品質が左右されにくい、高品質の構造物構築による安全な長期供用
 - (イ) リスク、デメリット：初期費用の増加、新技術に対応・使う技術技能が必要、導入困難な部分が残る
 - (ウ) リスク対策：LCC/TCでの評価、スケールメリット確保のための普及促進、技術者・技能者教育の推進、技術を持つ者の優遇、技術開発推進による適用範囲の拡大

Ⅲ-4 集中豪雨による土砂災害や河川の氾濫などが多発し、国民の安全安心の観点から、地球的な気候変動がクローズアップされている。気候変動の要因として、地球温暖化に影響が大きい温室効果ガスが挙げられ、特に二酸化炭素排出量の削減が大きな課題となっている。建設分野から排出される二酸化炭素量は全産業の 2 割を超える量と推定されている背景を踏まえ、以下の問いに答えよ。

(1) 建設分野で特にコンクリート建造物の建設から維持管理・解体に至るまでの二酸化炭素量削減を推進する上で、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のもたらす効果やメリット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. Con 建造物の建設・維持管理・解体までの CO₂ 削減を推進する上で、検討すべき項目

(ア) CO₂ 発生要因

- ① セメント生産時に大量の CO₂ が発生：熱エネルギー投入、石灰石 (CaCO₃) 分解時に普通ポルトランドセメントの場合 1t あたり約 800kg の CO₂ を排出する
- ② 建設時の CO₂ 排出：生コン輸送打設、仮設材 (型枠、支保工、足場) 設置解体輸送
- ③ 点検修繕時の交通規制によるもの：点検修繕に時間がかかり、交通規制が長期化、交通渋滞による間接的排出
- ④ 解体時：堅い、重い、大量、取壊し・輸送・再資源化時の CO₂ 排出

(イ) 検討項目

- ① セメント使用量の抑制
- ② 現場作業の削減 (特に仮設材にかかるもの)
- ③ 耐久性の高い建造物の構築

2. 重要であるとする技術的課題 (1 つ)、実現可能な解決策 (2 つ)

(ア) セメント使用量の削減

- ① 混合セメント使用推進 (高炉セメント、フライアッシュセメント)
- ② (超) 高強度コンクリート使用による軽量化、小断面化による使用量削減

(イ) 現場作業の削減

- ① プレキャスト化
- ② 資材のユニット化 (埋設型枠、ユニット鉄筋)

(ウ) 耐久性の高いコンクリートの構築

- ① コンクリート施工・材料の工夫 (低収縮 Con, FRC, 吸水型枠)
- ② 防食鉄筋の使用 (エポキシ樹脂被覆鉄筋、メッキ、ステンレス、非鉄材料)
- ③ 表面保護 (被覆、含浸)

3. 解決策のもたらす効果やメリット、想定されるリスクやデメリット

(ア) 効果：セメント量削減、施工時の輸送量等減、長期間健全使用による CO₂ 削減

(イ) リスク・デメリット：混合セメントは中性化しやすい、初期費用の増加、新材料に潜在する不具合、製作施工に新たな技術や知識が必要、解体時の困難度増加

4. リスク対策

(ア) TC/LCC での評価、技術開発推進、教育の推進、解体しやすい構造の開発