

R04 9-2 鋼構造及びコンクリート「選択科目 II」

II 次の2問題 (II-1, II-2) について解答せよ。(問題ごとに答案用紙を替えること。)

II-1 次の4設問 (II-1-1～II-1-4) のうち1設問を選び解答せよ。(緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し, 答案用紙1枚にまとめよ。)

II-1-1 鋼構造物の主部材における主な損傷は, 腐食による断面減少, 疲労き裂, 変形がある。これらの中から損傷を1つ選択し, 主部材の損傷箇所を特定したうえで, その損傷に対する補修が必要と判断された場合, 代表的な補修方法及び設計と施工における留意点を説明せよ。

～省略～

II-1-2 供用期間中の鋼部材に生じるき裂の部位と種類を1つ示し, それを検出するための非破壊検査について, 浸透探傷試験, 磁粉探傷試験, 渦流探傷試験, 超音波探傷試験の中から2つを選択し概要と特徴を述べよ。

～省略～

II-1-3 プレキャスト工法を用いたコンクリート構造物の事例を1つ挙げ、設計上の留意点を2つ示し、それぞれについて対策を述べよ。ただし、事例として側溝等の小型コンクリート構造物は除くものとする。

解答

### 1. 事例

道路横断構造物、排水用ボックスカルバート、B4.0m×H2.0m、L=20m

1ブロック長1.5m、1ブロックを2分割して製作する

### 2. 設計上の留意点と対策

#### 1)-1 留意点：製作・施工時と供用時の構造系の変化への対応

プレキャスト部材の製作・施工時と供用時とで構造系が変化し、断面力（せん断力、軸力、曲げモーメント）の大きさや最大値の発生位置が変わる場合がある。上記事例では、コの字型に製作した部材を口の字に組み合わせ供用した際、接合方法によっては接合部で大きな曲げモーメントが生じる可能性がある。

1)-2 対策：構造系の変化を十分考慮した、部材厚さの設定と配筋量の決定を行い、断面耐力の確保を行う。接合方法を考慮し接合部分の荷重伝達性能を決定し、供用時の構造解析を実施する。施工時の部材吊り下げ位置の選定においても、施工時と供用時の構造系変化を考慮する。

#### 2)-1 留意点：部材接合部での要求性能の確保

偏荷重の有無、水密性の要不要、地盤条件による不同沈下への対応など、構造物の供用条件や荷重状態、周辺条件を十分考慮し、部材接合部での要求性能を確保する必要がある。

#### 2)-2 対策：供用条件等に応じた要求性能の設定と設計の実施

接合部の形状や材質、接合方法については、要求性能を適切に設定した上で、応力の伝達や止水性、耐久性、施工性を十分に考慮し設計を行う。接合部は主荷重による断面力や荷重による変動が小さいところに設けるのが望ましい。

#### 3)-1 留意点：施工性の確保

構造物設置箇所の周辺条件（地理的条件や社会条件）により、施工方法や部材搬入方法が制限される場合がある。

#### 3)-2 対策：適切な部材寸法、形状の設定

周辺条件を十分に考慮し、施工性を確保した部材形状・寸法を設定する。接合部を荷重による影響をうけやすい箇所に設けざるをえない場合もあり、その場合は接合部の構造形状・材質・接合方法について十分に検討を行う。

参考資料：コンクリート標準示方書（設計編）2012：土木学会

※コンクリートライブラリ 158 プレキャストコンクリートを用いた構造物の構造計画・設計・製造・施工・維持管理指針（案） 2021/3 が土木学会より刊行されています。

II-1-4 寒中コンクリートとして施工する気象条件について概説し、コンクリート構造物の品質を確保するうえで留意すべき事項を施工計画、品質、材料、配（調）合、練混ぜ、運搬及び打込み、養生、型枠及び支保工、品質管理から2項目を選んで示し、それぞれに対する対策を述べよ。

解答

1. 寒中コンクリートとして施工する気象条件

日平均気温が4℃以下になることが予想される場合。凝結・硬化が著しく遅延し、コンクリートが凍結する恐れがある。

2. 品質を確保する上での留意事項

1) 施工計画

打設中のコンクリート温度低下や打設後の初期凍害を防止するため、作業時間帯、資機材の配置、作業員の配置など適切な作業計画を立案する。

初期凍害対策として、保温養生・給熱養生を計画し実施する。

作業中はコンクリート温度や雰囲気温度を測定し、品質低下のおそれがある場合は施工計画を変更し適切な対策を講じる。

2) 品質

凝結硬化の初期に凍結させない。

養生終了後、想定される凍結融解作用に対して十分な抵抗性を持たせる。

工事中の各段階で予想される荷重に対して十分な強度を持たせる。

3) 材料

セメントは早強ポルトランドセメントまたは普通ポルトランドセメントを用いる。

凍結、氷雪の混入した骨材はそのまま使用しない。

混和材は低温で使用した場合でも安定した品質のコンクリートが得られるものを選定する。

材料を加熱する場合は水または骨材を加熱する。セメントは直接加熱してはならない。

4) 配合

初期凍害を防止するため、単位水量はワーカビリティが保てる範囲内でできるだけ少なくする。

5) 練り混ぜ

コンクリートの練り上がり温度は、打ち込み時に所定の温度が得られるように定める。

加熱した材料を用いる場合は、セメントが急結しないよう投入順序を定める。

コンクリートの練り上がり温度はバッチ毎の変動を極力抑えるよう管理する。

6) 運搬及び打込み

練り混ぜ開始から打ち込むまでの時間をできるだけ短くし、保温対策を講じてコンクリートの温度低下を防ぐ。

打ち込み時のコンクリート温度は、構造物断面寸法や気象条件を考慮し5～20℃の範囲に保つ。

打ち込み時に鉄筋や型枠に氷雪が付着してはならない。

打継目のコンクリートが凍結している場合には、適切な方法で溶かした後に打ち込む。

打ち込まれたコンクリートは露出面が長時間外気にさらされないようにする。

## 7) 養生

養生方法、期間は、外気温、配合、構造物の種類、部材形状寸法を考慮し定める。

コンクリート打込み後の初期凍結しないように十分に保護する。特に風を防ぐ。

厳しい気象作用を受けるコンクリートは、初期凍害を防止できる強度が得られるまでコンクリートの温度を5℃以上に保ち、さらに2日間は0℃以上に保つ。

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したり局部的に熱せられたりしないこと。

コンクリートは施工中の予想される荷重に対して十分な強度が得られるまで養生すること。

保温養生、給熱養生を終了する場合は、コンクリートの急激な温度低下を起こさないこと。

## 8) 型枠及び支保工

型枠は保温性のよいもの（木製型枠、発泡樹脂の組み合わせ）を使用する。

型枠に作用する側圧はコンクリート温度を考慮し設定する。

支保工の基礎は地盤の凍上や凍結地盤の融解による変位を生じないようにする。

型枠の取り外しはコンクリートの温度を急激に低下させないように行う。

型枠及び支保工の取り外し時期は、適切な方法で判断する。

## 9) 品質管理

初期凍害を防止するため、コンクリート温度や雰囲気温度の測定を行う。

コンクリートの養生においては、供試体の状況と現場の状況が一致しない場合があるので、必要に応じて構造物のコンクリート温度を測定し積算温度から強度を推定する。

コンクリート標準示方書（施工編）2012：土木学会

コンクリート技術の要点' 20：日本コンクリート工学会

II-2 次の2設問（II-2-1, II-2-2）のうち1設問を選び解答せよ。（青色の答案用紙に解答設問番号を明記し、答案用紙2枚を用いてまとめよ。）

II-2-1 近年、想定を超える自然災害により、インフラ構造物に被害が生じる事例が増加している。今後、新設構造物の設計、既設構造物の補強設計、施工計画等を行う際に、設計荷重を超える自然現象の外力（超過外力）が作用したとしても、損傷を制御し、構造物として必要な性能を確保するために、冗長性の確保や災害後の復旧性に配慮することが求められる。あなたが鋼構造物及びコンクリート構造物を担当する技術者として業務を行うに当たり、下記の内容について記述せよ。

(1) 対象とする構造物と自然災害を設定し、超過外力に対する冗長性の確保や災害後の復旧性を考慮した調査、構造検討すべき事項とその技術的内容について説明せよ。

(2) 業務を進める手順を列挙して、それぞれの項目ごとに留意すべき点、工夫を要する点を述べよ。

(3) 業務を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

解答

構造物の管理者の立場で解答する。

1. 対象とする構造物と自然災害、調査検討すべき事項

1) 構造物：道路橋、3径間連続鋼箱桁橋のRC橋脚耐震補強設計

2) 自然災害：地震、震度6強以上、設計水平震度1.40（レベル2）

3) 調査検討すべき事項

- ・架橋地点の環境条件や供用条件（地形、地質、施設の重要度、利用状況）
- ・設計図書等（適用示方書、設計条件、使用材料、設計図面、工事管理資料）
- ・維持管理状況（点検結果、劣化度、補修履歴）

4) 冗長性、復旧性

- ・繰り返し強い地震動が作用しても、靱性が高く倒壊しないこと。
- ・橋脚基部で塑性破壊し、柱中間部などその他の部位でせん断破壊を起こさないこと。

2. 業務を進める手順と留意事項

1) 調査：上で挙げた調査事項の調査を行う。適用示方書が明確でない場合は、構造形状や意匠などから推定する。強度が不明な場合は微破壊検査も併用する。劣化状況も調査し、耐震性能評価や補強工法選定の際の参考とする。主鉄筋の段落としの有無、帯鉄筋の量とフック形状を確認する。

2) 診断評価：補強に必要な耐力算定のため、現状での耐震性能を評価する。劣化状況も必要に応じて反映させる。

3) 補強計画立案：補強後の耐震性能確保のために、適用可能な補強工法を複数選定し比較検討を行う。初期費用だけでなく、施工性や維持管理費用、耐用年数を含めた検討を行う。

4) 詳細設計：選定した工法による詳細設計を実施する。橋脚柱部の補強設計だけでなく、支承の免震化や変位制限装置の設置など、構造系全体で耐震性能を確保可能な設計を行う。巻立を行う場合は河積阻害（阻害率の増加）に注意する。

### 3. 関係者との調整方策

1) 関係者：道路管理者（自組織）、交通管理者、河川管理者、漁業者、道路利用者、周辺住民、受託者

#### 2) 調整方策

- ・利害関係者との調整は、上流工程（調査段階）から積極的に実施する。
- ・関係者の技術理解度に応じた説明（プレゼンテーション）を行う。
- ・ネガティブ情報（通行規制、占用、騒音振動の発生、施設形状の変更）の提供など、リスクコミュニケーションの実施を怠らないこと。

II-2-2 老朽化した地上構造物の健全性を評価するに当たり、点検困難部の損傷程度を推定することになった。ここで、点検困難部とは、接近し肉眼で、点検できない狭隘部（足場を設置すれば損傷を直接目視できるなど容易に点検できる箇所や部材を除く）や直接目視では損傷を点検できない密閉部、表面被覆された部材などの不可視部をいう。

この業務を担当責任者として進めるに当たり、下記の内容について記述せよ。

(1) 点検困難部の具体事例と想定される損傷を挙げ、その損傷程度を推定し、地上構造物の健全性を評価するために調査、検討すべき事項とその内容について説明せよ。

(2) 業務を進める手順を列挙して、それぞれの項目ごとに留意すべき点、工夫を要する点を述べよ。

(3) 業務を効率的、効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

## 解答

構造物の管理者の立場で解答する。

### 1. 点検困難部位の具体事例と想定される損傷、調査検討事項

1) 具体事例：RC 単純床版橋の支承部（狭隘部）

2) 想定される損傷：支承部のコンクリート破損やゴム支承の劣化、支承アンカーの腐食などによる支承機能障害、床版端部や端部床版下面のひび割れ

3) 調査検討すべき事項と内容

- ・ 架橋地点の環境条件や供用条件（地形、気象、日照、施設重要度、利用状況）
- ・ 設計図書等（適用示方書、設計条件、使用材料、設計図面、工事管理資料）
- ・ 狭隘度（寸法構造、狭隘部分へのアクセス方法、適用可能な調査方法）
- ・ 維持管理状況（点検補修履歴、劣化度、漏水や水掛かりの有無、土砂堆積の有無）

### 2. 業務を進める手順と留意事項

1) 書類調査：設計図書、完成図書、工事管理資料、点検資料により、設計条件や寸法構造、使用材料、施工状況、維持管理状況及び補修履歴に関する調査を行う。図面類で構造や材料が確認できない場合は、同年代に構築された類似構造物を参考に想定する。

2) 現地調査：設計図書類を参照の上、現地調査を実施する。供用状態、寸法構造、可視部の劣化や変形など外観上の変化、環境作用の有無、音や振動の有無、伸縮継手からの漏水や水掛かりの有無、桁座への滞水や土砂堆積の有無、白華現象や錆汁の有無、狭隘部の調査に使用可能な機材の大きさや形状を調査する。狭隘部調査を行う際の清掃作業（土砂や雑草、コケ類の除去）の要否も調査すること。

3) 狭隘部調査方法の検討、決定：現地調査結果に基づき、狭隘部調査の方法を検討決定する。調査に電源が必要な場合は確保手段も検討する。

4) 損傷調査の実施：決定した調査方法により、狭隘部調査を実施する。路面側から調査箇所にアクセスする場合は、交通制御方法や調査時間帯に留意する。機器による間接目視のため、調査位置のずれに注意する。

5) 損傷と劣化度の推定：調査結果を元に損傷と劣化度を推定する。機器撮影画像を元に診断するため、直接目視可能な部分の撮影画像と対比し実施する。

### 3. 関係者との調整方策

1) 関係者：道路管理者（自組織）、交通管理者、河川管理者、漁業者、道路利用者、周辺住民、受託者

#### 2) 調整方策

- ・利害関係者との調整は、上流工程（調査段階）から積極的に実施する。
- ・関係者の技術理解度に応じた説明（プレゼンテーション）を行う。
- ・ネガティブ情報（通行規制、占用、夜間作業、作業時の音や振動の有無）の提供など、リスクコミュニケーションの実施を怠らないこと。

R05 9-2 鋼構造及びコンクリート「選択科目 III」

III 次の2問題(III-1, III-2)のうち1問題を選び解答せよ。(赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し、答案用紙3枚を用いてまとめよ。)

III-1 我が国の生産年齢人口は1995年をピークに減少局面に突入しており、建設業就業者数も減少の一途を辿っている。今後10年間には、熟練技術者の大量離職も見込まれていることから、継続的な技術・技能の伝承を図るとともに、次世代を担う技術者の育成を行っていく必要がある。このような状況を踏まえ、以下の問いに答えよ。

(1) 今後、減少していく熟練技術者の技術・技能、建設業界として培ってきた技術を伝承するとともに、次世代の技術者の育成を図っていくうえでの課題を、鋼構造及びコンクリートの技術者として多面的な観点から3つ抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、その課題の内容を示せ。

(2) 前問(1)で抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を、専門技術用語を交えて示せ。

(3) 前問(2)で示したすべての解決策を実行しても新たに生じうるリスクとそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。

解答

1. 技術伝承と次世代技術者育成上の課題

1) 技術伝承の機会確保

伝承、育成の機会確保の観点から述べる。国内ではリニア中央新幹線や都市部での再開発などのプロジェクトは稼働中ではあるが、大型構造物や長大橋などの技術活用が少なくなっている。また国内投資にも選択と集中による偏りがあり地域差も生まれている。さらに老朽化インフラ対策と維持管理フェーズへの移行もあり、技術継承と育成の場が減りつつある。インフラ海外展開の推進や維持フェーズでの技術継承、新規国内プロジェクトでのOJT等、技術継承の機会確保が必要である。

2) 熟練技術、技能の見える化

確実かつ短期間で技術継承・育成の観点から述べる。建設工事は経験工学といわれており、また生産工程で人手に頼る部分が多く残っている。コンクリート工においては、型枠設置から鉄筋加工組立、コンクリート打設、養生に至るまで多くを技能者の手作業に頼っており、各プロセスでのノウハウや技術は実際に作業に従事することで培われている。技術技能を継承するにはOJTによる実地教育が主体であるが、ベテランの持つ技術等が可視化できていないため、習得に時間がかかるばかりでなく、ベテランの退職により保有技術が喪失する恐れもある。ベテラン技術者・技能者の持つ豊富な技術技能を見える化し、継承と育成を行う必要がある。

3) 生産性向上による就労環境改善と担い手の確保

次世代を担う技術者確保の観点から述べる。建設事業は現地単品生産であり、屋外での作業が主体となるため、気象条件や地形等の外部要因の影響を受けやすい。また作り置きができないため製造業等他産業に比べて生産性も低い。このことが長時間労働やまとまった休暇が取りにくい等の就労条件の悪さにもつながっており、若年層の新規入職者確保が困難となり技術継承と育成を阻んでいる。

生産性を向上し就労条件を改善することで担い手を確保する必要がある。

## 2. 最も重要と考える課題と複数の解決策

上記2)で挙げた「熟練技術・技能の見える化」を最重要課題とし、複数の解決策を述べる。

### 1) 暗黙知の形式知化（見える化）

ベテラン技術者・技能者が暗黙知としている技術をイメージ化・数値化し、誰にでも認識できる形にして継承育成を図る。具体的には次のとおりである。

①動作のモーションキャプチャー技術による映像化：鉄筋の加工組立作業やコンクリートの打設締固め作業の様子を撮影し、デジタルイメージ化するとともに、ポイントとなる箇所については数値化も図る。デジタルイメージをゴーグル型ディスプレイやタブレット端末でAR技術等によりホログラフィック化し、見える化することで現場での活用が可能となる。

### 2) 技術技能のデータベース化

デジタルイメージ化した技術技能をデータベース化しクラウドを介して現場からアクセス可能とする。ノウハウをDB化するだけでなく、誰がどのような技術を保有しているかの「Know Who」もあわせてDB化することで、バーチャルだけではなくリアルでの継承にもつなげていくことが可能となる。

## 3. 新たに生じうるリスクとその対策

### 1) 機器への依存

デジタル機器を活用し、手元で技術が利用可能となる反面、技術者自らが考えて判断する能力が低下してしまい、デジタルデバイスなしでは作業に従事できなくなるおそれがある。

### 2) 全体的、俯瞰的な視点の喪失

今、手元で行っている作業だけに注力・集中してしまい、作業工程全体を俯瞰的にとらえる視点を喪失する恐れがある。

### 3) 上記リスクへの対策

①リアルとバーチャルの使い分け：詳細な作業ノウハウはバーチャルで、全体的な視点による考え方などはリアルで指導するなど、場面により使い分けを行う。

②メンター制度の活用：ノウハウを持つ人材をメンターとし新規入職者の教育を行う。この時にもリアルとバーチャルの使い分けを意識する。

以上

III-2 建設業では建設技術者の不足や高齢化が深刻な課題であり、業務の効率化が進められている。また、長時間労働是正に向けた働き方改革を進めるうえでも業務の効率化が求められている。このような状況を踏まえ、以下の問いに答えよ。

(1) 省力化や働き方改革等に向けた鋼構造物又はコンクリート構造物の調査、設計、製作、施工、維持管理の業務効率化の取組における技術的課題を、技術者として多面的な観点から3つ抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、その課題の内容を示せ。

(2) 前問(1)で抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、これを最も重要とした理由を述べよ。その課題に対する複数の解決策を、専門技術用語を交えて示せ。

(3) 前問(2)で示した解決策に関連して新たに浮かび上がってくる将来的な懸念事項とそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。

## 1. 構造物に関する業務効率化の取組における課題

### 1) 省力化を見据えた設計の採用

設計の観点から述べる。土木構造物は現地生産・単品注文生産のため、コンクリート構造物の設計においても、構造物が設置される現地条件に最適化した設計を行うため、同じ設計を他の現場でそのまま流用することができず設計の汎用化が難しい。また地震や気象現象の激甚化への対応や、各種劣化要因への対応など要求性能も高度化し、鉄筋量の増加による過密配筋や構造の複雑化が起こっている。汎用化できないうえに施工しにくい設計が増加しているため、設計段階から省力化を見据えた取組が必要である。

### 2) 施工の省力化、自動化の推進

施工の観点から述べる。土木構造物は現地での注文生産のため、作り置きができない。足場支保工・型枠工の仮設工から始まり、鉄筋工、コンクリート打設・養生など人手に頼る作業が多く、かつ熟練を要する。またフレッシュコンクリートは外部環境の影響を受けやすく気象条件により作業制約があり、特性を理解し取り扱わなければならない。施工プロセスでの省力化や自動化の推進が必要である。

### 3) 維持管理段階での省力化

維持管理の観点から述べる。構造物の維持管理は調査・診断・修繕という段階を経るが、調査においては直接目視による場合が多く、時間がかかる上に慣れが必要である。診断においては劣化に関する知識と経験を要する上に、複合劣化が生じている場合には相当の熟練度が求められる。修繕は狭小部で手作業に頼らざるを得ず、供用中の場合は作業時間の制約も受ける。維持管理のプロセスでの省力化が必要である。

## 2. 最も重要と考える課題と複数の解決策

上記2)で挙げた「施工の省力化、自動化の推進」を最重要課題とする。その理由は建設業における業務効率化には施工段階での対策が最も効果的と考えるため、施工プロセスでの複数の解決策を述べる。

### 1) 鉄筋工における省力化

鉄筋工は、切断・曲げ加工・搬入・組立・結束まで多くを人手に頼るため、予め鉄筋をユニット化・

ブロック化することで現地での作業を大幅に減らすことができる。重ね継手に代わる機械式継手の採用も省力化に貢献する。

#### 2) コンクリートの高流動化

コンクリートの打設・締固め作業は、時間がかかるだけでなくコンクリート構造物の品質にも大きく影響する。コンクリートを高流動化することで過密配筋となった型枠内への充填作業を大幅に省力化できるとともに、品質確保も可能となる。コンクリート内に鋼繊維を混合し繊維補強コンクリート化することで、鉄筋を省略することも可能になり大幅な省力化となる。

#### 3) プレキャスト化

コンクリート構造物を工場製作しPca化することで、現場作業を大幅に削減することが可能となる。工場製作のため現場での品質管理も省力化できる。

#### 4) パワーアシストスーツやロボットの導入

重量物取扱作業や鉄筋組立作業従事者がパワーアシストスーツを着用することや、資材運搬補助ロボットや鉄筋結束ロボット、こて仕上げロボットを導入することで、肉体的負担を軽減し効率化につながる。

### 3. 解決策の将来的な懸念事項とその対策

#### 1) ランニングコストの発生

新しい機器やロボット類を導入した場合は、これらの維持更新費用が必要になってくる。

##### ○対策

技術開発の推進による汎用化・一般化（裾野の拡大）と低価格化。新技術を導入した場合の工事価格への適切な反映。

#### 2) 内在する不具合の顕在化

汎用化していない機器類や高度化した機器には、表面化していない不具合や、複雑化に伴う未知のエラーを要因とする暴走等の恐れがある。また鋼繊維補強材などの材料は長期特性が明確でない。

##### ○対策

機器類や材料の技術開発推進と研究・試験の実施により、信頼性を向上させる。

以上