

2017年制定土木学会コンクリート標準示方書 〔設計編〕のPCに関連する改訂概要

永元 直樹*1・渡辺 健*2・濱田 譲*3・下村 匠*4

土木学会より2017年制定コンクリート標準示方書が刊行された。本稿では、このうちプレストレストコンクリートに関連する事項を中心に概説する。全体構成は2012年制定版とほぼ同様であるが、今回の主な改訂事項として「設計と施工と維持管理の連携」、「考える設計」、「過大かぶりと力学特性」、「高強度材料の利用」、「水分浸透に伴う鋼材腐食の照査」、「プレキャストコンクリート編の追加」などがあげられる。

建設産業の生産性向上に資する目的から設計と施工の連携を強化するために設計編の中に使用材料の選定に関わる行為が明記されたとともに、鉄筋の輻輳など施工性の配慮についても記述されている。また、生産性向上に効果的なプレキャストコンクリートについては、〔標準〕に単独の編が新設された。

さらに、耐久性の照査等でかぶりが過大になった場合の問題点と現状の耐力算定手法の適用範囲を明確にしたとともに、耐久性の照査においても現状の実構造物の劣化状況を考慮し、これまでの中性化や塩化物イオンの浸透だけでなく、水分浸透に伴う鋼材腐食に着目した新たな耐久性照査を導入している。

キーワード：過大かぶり、高強度鉄筋、プレキャストコンクリート、鋼材腐食

1. はじめに

土木学会では1931年に鉄筋コンクリート標準示方書を制定し、コンクリートの構造物設計・施工・維持管理に寄与してきた。また、1956年には無筋コンクリート、コンクリート舗装およびダムコンクリートの標準示方書と統合し、「コンクリート標準示方書」を制定するに至っている¹⁾。それ以降、技術の発展や研究の進歩に合わせておよそ5年に一度改訂を行っており、このたび、2018年3月に「2017年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕〔施工編〕」^{2,3)}が出版された。このうち、設計編の主な改訂点は以下のとおりである⁴⁾。

(1) 設計と施工の連携

設計編の中に使用材料の選定に関わる行為を「陽」な形で規定したとともに、設計と施工の連携の観点から、設計から施工への情報伝達手段として設計条件表の記載項目の例を示した。また、施工性への配慮の観点から、鉄筋の輻輳への対応としてコンクリートのスランプを配筋詳細に応じて設定するとともに、バイブレーター挿入への配慮も記述した。

(2) 考える設計

示方書の性能照査体系が普及してきていることを鑑み、構造計画においては建設地点の環境条件やその将来の変化等を考慮し、構造形式、使用材料、施工方法、維持管理性などを総合的に考慮することの重要性を示した。

(3) 過大かぶりと力学性能の照査

耐久性の確保のためにかぶりが過大になった場合、耐荷

メカニズムが変化し現状の耐力算定式が適用できなくなる場合も考えられる。そこで、現状の耐力算定手法の適用範囲を示したとともに、その範囲を超える場合には非線形有限要素解析などによる検討の必要があることを示した。

(4) 高強度材料の利用

2012年制定の示方書⁵⁾ではSD490までの鉄筋を対象としていたが、今回の示方書ではSD490を超える鉄筋を使用した各種の研究成果を考慮し、SD685まで適用範囲とした。

(5) 耐久性の照査

現在のコンクリート構造物において、中性化や塩化物イオンが浸入していない場合であっても雨水などの水分浸透による鋼材腐食現象が散見されている。これに対応するため、既往の塩化物イオン濃度や中性化に伴う鋼材腐食の照査に加え、水分浸透に伴う鋼材腐食の照査を追加した。

(6) プレキャストコンクリート編の追加

前回の示方書まではプレキャストコンクリートはプレストレストコンクリート編の一部として記述されていた。一方、プレキャストコンクリートには鉄筋コンクリート部材もあること、およびプレキャストコンクリートには一般に接合部が存在し、その設計はプレキャストコンクリート特有であることなどを考慮し、べつに編を設けた。

以下本稿では、主に〔設計編〕のうち、プレストレストコンクリート（以下、PCと記す）に関連が深い改訂事項を中心に概説する。

2. 設計編の構成

2017年版の設計編も2012年版と同様、本編と標準によ

*1 Naoki NAGAMOTO：三井住友建設(株) 技術本部 構造技術部

*2 Ken WATANABE：(公財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部

*3 Yuzuru HAMADA：ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 土木設計本部 構造物設計部

*4 Takumi SHIMOMURA：長岡技術科学大学 大学院 工学研究科 環境社会基盤工学専攻 教授

って構成されている。2012年版と2017年版の目次構成の比較を図-1に示す。本編の構成には変更はない。標準においては、前述のようにプレキャストコンクリートに関する編が追加になっている。付属資料としては、2012年版の項目に加え、設計と施工の連携を深化するために設計図に記載する設計条件表の記載事項の例や、構造種別とコンクリートの品質に関する参考例を追加している。また、2011年の東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波の被害を受け今回の改訂作業で議論を重ねてきた津波波力の算定方法とコンクリート構造物の安全照査に関する事例を追加している(図-1)。

3. 構造設計に関する主な改訂内容

3.1 収縮・クリープに関する改訂

標準1編 部材の構造解析「2.2 コンクリートの収縮・クリープ」には構造物の応答値算定時に用いるコンクリートの収縮・クリープの設計値の算定方法が示されている。それぞれの算定方法については2012年版の内容を踏襲している。部材断面の乾燥収縮の進行は外部環境の湿度や温

度ばかりでなく、対象部材断面の大きさや表面積の影響も受ける。このことを考慮するため有効部材厚を考慮した収縮予測式(1)が適用されている。

$$\varepsilon'_{ds}(t, t_0) = \frac{1 - RH/100}{1 - 60/100} \cdot \varepsilon'_{sh, inf} \cdot (t - t_0) \cdot \left(\frac{d}{100}\right)^2 \cdot \beta + (t - t_0) \quad (1)$$

ここに、

- $\varepsilon'_{ds}(t, t_0)$: 部材の乾燥収縮ひずみ
- t, t_0 : コンクリートの材齢および乾燥開始時材齢(日) ($t_0 \geq 3$ 日)
- RH : 構造物の置かれる環境の平均相対湿度(%) ($45\% \leq RH \leq 80\%$)
- d : 有効部材厚(mm)。全面が乾燥面の棒部材の場合、一辺の長さとしてよい。一般的な断面の場合、以下の式により算定してよい
 $d = 4V/S$
- V/S : 体積表面積比(mm)、表面積には外気に接する部分の表面積を用いる

2012年制定示方書 [設計編]

本編 (102 p)

- 1 章 総則
- 2 章 要求性能
- 3 章 構造計画
- 4 章 性能照査の原則
- 5 章 材料の設計値
- 6 章 作用
- 7 章 応答値の算定
- 8 章 耐久性に関する照査
- 9 章 安全性に関する照査
- 10 章 使用性に関する照査
- 11 章 復旧性に関する照査
- 12 章 初期ひび割れに対する照査
- 13 章 鉄筋コンクリートの前提

標準 (404 p)

- 1 編 部材の構造解析
- 2 編 耐久性に関する照査
- 3 編 安全性に関する照査
- 4 編 使用性に関する照査
- 5 編 耐震性に関する照査
- 6 編 温度ひび割れに対する照査
- 7 編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目
- 8 編 プレストレストコンクリート
- 9 編 非線形有限要素解析による照査
- 10 編 ストラット-タイモデルによる設計

付属資料 (105 p)

- 1 編 構造計画事例
- 2 編 構造解析事例
- 3 編 ファイバーモデルを用いたPC橋の長期たわみの解析事例
- 4 編 安全係数とベンチマーク解析

2017年制定示方書 [設計編]

本編 (104 p)

- 1 章 総則
- 2 章 要求性能
- 3 章 構造計画
- 4 章 性能照査の原則
- 5 章 材料
- 6 章 作用
- 7 章 応答値の算定
- 8 章 耐久性に関する照査
- 9 章 安全性に関する照査
- 10 章 使用性に関する照査
- 11 章 復旧性に関する照査
- 12 章 初期ひび割れに対する照査
- 13 章 鉄筋コンクリートの前提

標準 (429p)

- 1 編 部材の構造解析
- 2 編 耐久設計および耐久性に関する照査
- 3 編 安全性に関する照査
- 4 編 使用性に関する照査
- 5 編 耐震設計および耐震性に関する照査
- 6 編 温度ひび割れに対する照査
- 7 編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目
- 8 編 プレストレストコンクリート
- 9 編 プレキャストコンクリート
- 10 編 非線形有限要素解析による性能照査
- 11 編 ストラット-タイモデルによる設計

付属資料 (145 p)

- 1 編 構造計画事例
- 2 編 設計図に記載する設計条件表の記載項目の例
- 3 編 津波波力の算定方法とコンクリート構造物の安全性照査事例
- 4 編 構造種別とコンクリートの品質の参考例
- 5 編 構造解析事例
- 6 編 ファイバーモデルを用いたPC橋の長期たわみの解析事例
- 7 編 安全係数とベンチマーク解析

図-1 2012年制定示方書 [設計編] と 2017年制定示方書 [設計編] との構成の比較

$\epsilon'_{sh,inf}$: 乾燥収縮ひずみの最終値
 β : 乾燥収縮ひずみの経時変化を表す係数

2012年版では、有効部材厚として「断面の平均部材厚を用いてよい。ただし、乾燥面が一面のみで、隣り合う面が乾燥状態にない場合は平均部材厚の2倍とする」という記述があったが、この適用において複雑な断面形状や乾燥条件（たとえば、箱桁の内面と外面および上面の乾燥条件がそれぞれ違う場合）などの対応は不明瞭であった。

そこで、2017年版ではこの有効部材厚の一般的な算定方法を示した。すなわち、収縮予測式の元になった研究成果を紐解くとともに、2007年版の示方書の収縮予測式で用いられていた体積表面積比を用いて、有効部材厚 $d = 4V/S$ (V : 体積, S : 大気に曝される表面積) と表すこととした。有効部材厚をこのように再定義することによりさまざまな断面形状や乾燥状態に対しても算出が容易となる。また、解説内には種々の断面に対する有効部材厚の取り方も図示されている。

ここで、2012年版との有効部材厚の定義の変更による影響を試算した結果を示す。対象構造物は、図-2に示す箱桁断面を有する橋梁とし、単位水量: 175 kg/m³, 水セメント比: 40%などの条件は同一とした。また、相対湿度に関しては、PC箱桁の外部は65%とし、箱桁内部は一般に通気がほとんどなく、内部に湿気を含む空気が滞留していることも多いため湿度を95%と仮定し、桁内外の平均湿度を80%とした。これらの条件のもと、100年間の乾燥収縮ひずみを算出した。

この結果、100年後の乾燥収縮度には大きな違いは見られなかったが、途中の進行曲線に違いにおいて、2017年版の設定のほうが収縮の進行度合いが遅く、その差異は最大で100 μ 程度であった。この値は最終値に対して大きくはないが、建設中に構造系が変化する場合はこの影響が現れることも考えられるため注意を要する。

一方、コンクリートの乾燥収縮には湿度のほか、降雨などの環境作用の影響が大きいことが知られている。式(1)に示される収縮予測式には相対湿度の項が含まれているが、実際の構造物においては、降雨や結露、地盤からの水の供給、日射などの多様な環境作用の影響を直接考慮することはできない。そこで、今回の示方書では、「降雨や日射が部材の収縮ひずみに及ぼす影響を式(1)により簡易的に考慮するには、それらを受けた場合と等価な影響を及ぼす見かけの相対湿度を用いて部材の収縮ひずみの算定を行うのがよい。」との考え方を示した。見かけの相対湿度の試算結果は、構造物の立地環境によって変わり得るが、改訂資料には年平均相対湿度の1.1~1.3倍の値が試算結果として示されている⁴⁾。

なお、クリープについては、予測式やその取扱いなどを含め変更はない。

3.2 せん断耐力に関する改訂 (過大かぶりの影響)

塩害環境などでは一般に、部材のかぶりは主に耐久性の観点から決定されることが多い。一方、かぶりが部材の耐力に与える影響については明確に考えられてこなかった。今回の改訂では、かぶりが過大になることの力学特性

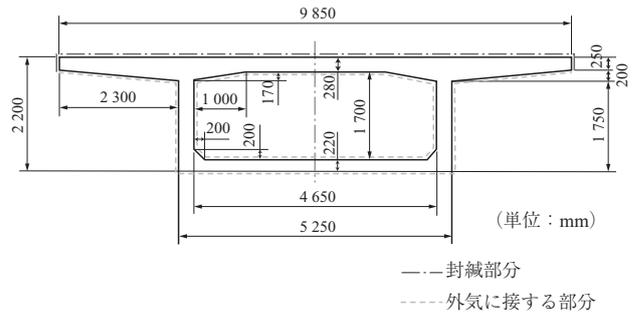


図-2 乾燥収縮量試算の対象断面

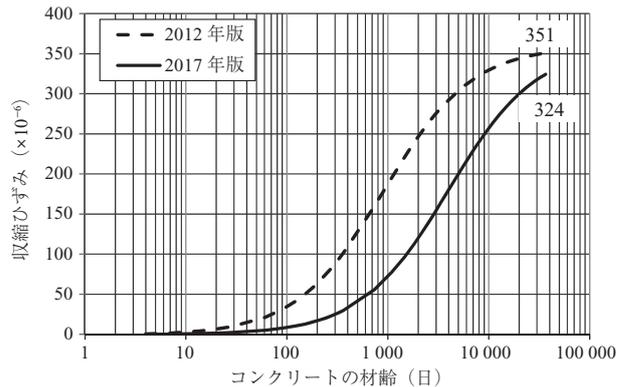


図-2 乾燥収縮進行曲線の違い

に着目した解説が追加された。すなわち、圧縮縁側のかぶりが過大になった場合には斜めひび割れを横切るスターラップ量が減少することにつながるためせん断抵抗が減少することが指摘されている。このため、圧縮縁側のかぶりを部材の有効高さの1/4程度以下とすることが推奨されている。また、せん断耐力の検討については、非線形有限要素解析等での検討も推奨されている。さらに、同時に発刊された「2017年制定コンクリート標準示方書改訂資料」には、この裏づけとなるかぶりを変えたパラメータ解析の結果も示されている⁴⁾。

3.3 SD490を超える異径鉄筋の取扱い

異径鉄筋については、現在のJISではSD490まで規定されているが、過密配筋になる場合に鉄筋量を減らす手段や断面耐力の向上策としてSD490を超える異径鉄筋の適用に関する研究が進んでおり、その適用例も増えてきている。これを受け、今回の改訂では極力SD685まで適用可能となるようにした。

示方書において、鉄筋強度に関する項目として以下があげられる。

- ① 本編 5.3.1 コンクリート強度の付着強度
- ② 本編 5.4.1 鋼材の強度, 5.4.2 鋼材の疲労強度, 5.4.3 鋼材の応力ひずみ関係
- ③ 標準 3編 安全性に関する照査, 2章の各種耐力の算定
- ④ 標準 3編 安全性に関する照査, 3章の疲労強度の算定
- ⑤ 標準 4編 使用性に関する照査, 2章のひび割れ幅や応力度の算定
- ⑥ 標準 4編 使用性に関する照査, 3章の変位・変形の算定
- ⑦ 標準 5編 耐震設計および耐震性に関する照査, 5章の

部材の力学モデル、鋼材の材料モデル

⑧ 標準 7 編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目、2 章の鉄筋曲げ形状

上記のうち、①、⑤、⑥については SD490 までの既往の算定式を SD685 まで拡張してよいこととした。②については、引張強度はもちろんのこと、応力ひずみ関係においても明確な降伏点を有することを確認した。一方、引張強度に対する降伏点強度の比は鉄筋強度が高くなるほど大きくなるため、引張強度に対する降伏強度の比率を 65～80% から 65～85% と修正することで対応した。ただし、今回は繰返し応力下の適用性の確認が十分でなかったため、繰返し荷重下での適用を検討する際には実験等により検討する必要があるとした。

③について、軸方向耐力および曲げ耐力については、これまで SD685 より高強度である PC 鋼材などが適用されているため問題がない。棒部材のせん断耐力については 2012 年版からせん断補強鉄筋として降伏強度 800 N/mm² までを対象としている。一方、せん断伝達耐力、ねじり耐力については十分な知見が得られていないため、SD490 までの強度を用いることとし、それ以上を用いる場合は実験等で検討することとした。

④については、繰返し回数 200 万回より多い実験データが不足していることから、200 万回までのデータにより設定した S-N 曲線の勾配を 200 万回以上にもそのまま用いることで対応可能としている。ただし、この領域では S-N 曲線の勾配を小さく設定することも可能と考えられるため、今後の実験データの蓄積が望まれる。

⑦については、条文や解説に種々の算定式や安全係数が記述されているが、それぞれについて高強度鉄筋の適用範囲を明確に記載した。これにより、SD685 を含む高強度鉄筋の適用性の拡大を図ることとした。

⑧については今回は明確な規定ができなかったため、別途検討することとした。鉄筋強度が高くなると曲げ加工時や曲げ戻し時に破断の可能性が高くなる。このため、強度に応じた新たな規定を整備する必要がある。

3.4 プレキャストコンクリート編の新設

(1) 新設の目的

2012 年版以前の示方書では、プレキャストコンクリート部材の規定はプレストレストコンクリートの中で記述されており、主に PC 橋の桁や柱部材などを念頭に置いた内容が主であった。一方、現在は国土交通省で建設産業の生産性向上の取組みの一環として「コンクリート生産性向上検討委員会」の議論が進んでおり、プレキャスト部材への期待が高まっているとともに、土木学会でも「生産性および品質の向上のためのコンクリート構造物の設計・施工研究会」で品質向上や急速施工の有効な手段としてプレキャスト部材の適用が報告されている。

このような動向を受け、2017 年版示方書においてもプレキャスト部材の適用性を拡大するために新たに編を新設し、PC 橋だけではなく、ボックスカルバートや擁壁などの部材にも広く拡充することを狙った。構成についても設計編の枠組みに添う形で章立てした。ただし、現在のプレ

キャスト部材は用途や形状など非常に多岐にわたっていること、およびプレキャスト部材の特徴である接合部の設計においてもその用途によりさまざまであることなどから、今回の改訂では基本的な事項を記述するにとどまっている。

(2) 設計の基本と接合構造

プレキャストコンクリートに関する設計手法としては、本編同様、性能照査型の設計手法としている。ただし、工場製品の多くは JIS 規格が存在するため、そのような場合はその規格を満足することを基本としている。

接合部についてはプレキャスト部材特有のものである。今回の改訂作業においてもこの事項についての議論が多く交わされたが、前述のように接合構造が数多く存在するとともに、構造物の置かれる環境条件や必要となる要求性能が多岐にわたっていることから、今回は基本事項を示すにとどまったが、接合構造の一例としてこれまで示されていたプレストレスによる接合に加え、機械式継手による接合を追加した。

(3) 薄肉部材の設計

2012 年版の示方書において、曲げひび割れ強度は寸法効果の影響を考慮し、コンクリートの部材高さ h の関数として以下の式 (2)～(4) が規定されているが、この部材高さ h の範囲として、 $h > 0.2 \text{ m}$ となっている。

$$f_{bck} = k_{ob} k_{1b} f_{ik} \quad (2)$$

$$k_{ob} = 1 + \frac{1}{0.85 + 4.5 \left(\frac{h}{l_{ch}} \right)} \quad (3)$$

$$k_{1b} = \frac{0.55}{\sqrt[4]{h}} \quad (\geq 0.4) \quad (4)$$

ここに、 f_{bck} ：コンクリートの曲げひび割れ強度

k_{ob} ：コンクリートの引張軟化特性に起因する引張強度と曲げ強度の関係を表す係数

k_{1b} ：乾燥、水和熱など、その他の原因によるひび割れ強度の低下を表す係数

f_{ik} ：引張強度の特性値

l_{ch} ：特性長さ

一方、国内で市販されているコンクリート 2 次製品には部材高さが 200 mm を下回るものが多く存在する。したがって、現状のプレキャストコンクリートの設計においては、部材高さ 200 mm 以下の薄肉部材の設計における曲げひび割れ強度の設定が課題となっている。そこで、今回の改訂では部材高さが 200 mm 以下の構造に対する上記の式の適用性について検討した。既往の研究⁶⁾では、式 (2) が部材高さ 100 mm までは適用可能であることが示されている。一方、乾燥や水和熱などに起因するひび割れ強度の低下を表す k_{1b} も部材高さの関数として表されているが、この係数の適用範囲については知見が不足していることが判明した。部材厚 200 mm 以下のプレキャスト部材は蒸気養生等を行う可能性が高く k_{1b} は重要な係数である。今回の改訂では適用範囲を変えるには至らなかったが、今後の研究による検証が期待される。

さらに、薄肉部材については最小鉄筋量の考え方や破壊形態の特定などにおいて課題があり、限界状態設計法によ

り構造物の性能照査を行う本示方書の思想に沿った設計法を確立していく必要がある。

(4) 耐久性に関する照査

コンクリート 2 次製品工場で量産されている工場製品は、品質管理の行き届いている工場内で生産されているとともに、量産されるため精度の高い型枠設備が用いられていること、繰返し作業により習熟度が高いことおよび JIS が制定されているものが多いことなどから一般の現場打ちコンクリートに比べて施工精度が高くかぶり誤差も小さいと考えられる。このことを定量的に示すことができれば、プレキャスト部材のかぶりの誤差を一般のコンクリート部材と比べて小さく設定できると考えられる。

そこで、既往の 2 次製品工場におけるかぶりの誤差を調査した。調査対象は 11 社のカルバートボックス 84 体（計測箇所 581 箇所）、3 面水路 15 体（同 63 箇所）および L 型擁壁 36 体（同 172 箇所）、合計 135 体であり計測箇所は合計 816 箇所である。調査結果を表 - 1 に示す。これより、実際のかぶりの目標かぶりに対するばらつきは標準偏差 2.3 mm 程度であり、高い精度で管理されていることがわかった。この結果から非超過確率 90% (1.282σ) のかぶりの誤差は 3 mm 程度といえる（表 - 1）。ただし、このデータは 2 次製品工場すべてを網羅しているわけではないため、今回はかぶりの規定を緩和するには至らなかった。

表 - 1 2 次製品工場におけるかぶりのばらつき

構造物	標準偏差 (σ) (mm)	1.282 σ (mm)
カルバートボックス	2.3	3.0
3 面水路	2.3	3.0
L 型擁壁	2.0	2.6

3.5 プレストレストコンクリート編について

プレストレスを算出する際にコンクリートの収縮、クリープによる減少量を考慮するための設計値として表 - 2 の値が示されている。この値は 2012 年版においてプレレストレストコンクリートの標準的な条件、平均部材厚 300 mm を想定し算出された値である。今回の改訂では、コンクリートの収縮に関する有効部材厚の規定を変更したが、前述のようにその変更による 100 年後の収縮量の違いは小さいことが確認されている。このため、今回の改訂ではこのプレストレス算出時の収縮ひずみ量は変更しないこととした。ただし、有効部材厚やその他の条件が上記の設定と大きく違い、プレストレス力の減少量の算出においてコンクリートの収縮の影響を詳細に検討する必要がある場合には、2017 年版の [標準] 1 編 2.2 コンクリートの収縮・クリープにより算出するのがよいとした。

表 - 2 プレストレスト算出時の収縮およびクリープ係数

	プレストレスを与えたときまたは荷重を 載荷するときのコンクリートの材齢				
	4 ~ 7 日	14 日	28 日	3 ヶ月	1 年
収縮ひずみ (× 10 ⁻⁶)	360	340	330	270	150
クリープ係数	3.1	2.5	2.2	1.8	1.4

3.6 施工編との連携について

今回の改訂では設計と施工の連携に着目し、設計編と施工編での記述の不整合を修正したとともに、土木学会コンクリートライブラリー 148 「コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案」⁷⁾ を受け、施工の合理化に資する設計とするための内容を追記した。主な内容を以下に示す。

(1) 3 次元モデルの活用

国土交通省が進めている CIM (Construction Information Modeling または Management) の活用を念頭に、[本編] 3.3 施工に関する検討において「3 次元または 2 次元の詳細図を作成し鉄筋同士が干渉しないことを確認するのがよい」、4.8 設計図の解説において「鉄筋、シース、アンカーボルト等が錯綜する部分や、部材接合部、支承部等の配筋が密な箇所については、(中略) 三次元または二次元の詳細図を作成し、鉄筋等が干渉しないことやコンクリートの充填性が確保されていることを確認し設計図に含めて保存するのがよい」との記述を追加した。

(2) 機械式継手の活用

鉄筋の先行組立やプレキャストコンクリートの活用を考えた場合、鉄筋の機械式継手の活用が有効となるが、従来の規定では、「継手を同一断面に集めないことを原則とする」とあるため、プレキャスト部材の接合部等への適用が制限されていた。そこで、今回の改訂では、[標準] 7 編 2.6.2 軸方向鉄筋の継手(1)(ii)の条文を修正し、従来同一断面の継手の割合が 1/2 を超える場合は、計算上必要な鉄筋量の 1.25 倍の割増が必要であったが、「施工および検査に起因する信頼度の高い継手を用いる」ことで割増なしに適用できるように変更した。

(3) 機械式定着工法の活用

現状の配筋における構造細目では、中間帯鉄筋などのせん断補強鉄筋の定着は半円形フックなどを用いることが標準となっており、配筋作業が非常に煩雑になっている。この改善策としては機械式定着工法の採用が有効である。そこで、今回の改訂では、[標準] 7 編 2.5.5 横方向鉄筋の定着において、性能や適用範囲が適切に評価されたものを用いる前提で、中間帯鉄筋に標準フックの代替として機械式定着を用いてよいものとした。ただし、塑性ヒンジ部への適用は実験等で確認することとしている。

上記以外にも、薄いスラブにおける鉄筋の基本定着長の規定や面部材でのせん断補強筋の最大間隔の規定も実情に即した形で変更している。

4. 耐久性に関する主な改訂事項

(1) 鋼材腐食に対する照査の概要

今回の耐久性に関する改訂事項のうち、主なものとしては鋼材腐食に関する照査方法の変更がある。2012 年版までの示方書では、コンクリート表面のひび割れ幅が、鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値以下であることを前提に、コンクリートの中性化と塩分浸透に対する検討手法が示されていた。一方、実構造物においては、中性化が進んだコンクリート中でも水分や酸素の供給が乏しい場合には

鋼材腐食の進展が見られなかったり、非常に遅いことが報告されている。このことを考慮し、これまで行われてきた中性化に対する照査に代えて、「設計耐用期間中の中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食深さが、限界値以下であること」を照査することとした。ただし、中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食深さの算定が困難である場合には従来の中性化深さの算出式により、コンクリートの中性化深さが設計耐用期間中に鋼材腐食発生限界深さに達しないことを照査してもよい。

一方、塩分による腐食に対しては、鋼材位置における塩化物イオン濃度と鋼材腐食の関係が明確であり、かつ、腐食発生後の進展が一般に速いことなどから、従来どおり、鋼材位置における塩化物イオン濃度が鋼材腐食限界濃度以下となることを照査することを原則としている。

(2) 鋼材腐食深さの設計値

前述のとおり、今回の改訂では中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対して、鋼材腐食深さが限界値に達しないことを確認することとしている。これは、鋼材の腐食膨張によるコンクリートのひび割れや剥離などの変状を防ぐことを念頭に置いたものである。[本編] 8.2.3 中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査では、以下の式(5)にて照査を行うこととしている。

$$\gamma_i \frac{S_d}{S_{lim}} \leq 1.0 \quad (5)$$

ここに、 γ_i ：構造物係数

S_d ：鋼材腐食深さの設計値 (mm)

S_{lim} ：鋼材腐食深さの限界値 (mm)

鋼材深さの設計値 S_d は、[標準] 3.1.3.2 鋼材深さに対する照査において、以下のように算出することとしている。

$$S_d = \gamma_w \cdot S_{dy} \cdot t \quad (6)$$

$$S_{dy} = 1.9 \cdot 10^{-4} \cdot \exp \{ -0.068 \cdot (c - \Delta c_e)^2 / q_d^2 \} \quad (7)$$

ここに、 S_{dy} ：1年あたりの鋼材腐食深さの設計値(mm/年)

γ_w ：鋼材腐食深さの設計値 S_d のばらつきを考慮した安全係数

t ：中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する耐用年数(年)

c ：かぶり(mm)

Δc_e ：かぶりの施工誤差(mm)

q_d ：コンクリートの水分浸透速度係数の設計値(mm/√時間)

$$q_d = \gamma_c \cdot q_k$$

q_k ：コンクリートの水分浸透速度係数の特性値(mm/√時間)

さらに、コンクリートの水分浸透速度係数の設定方法として、実験あるいは既往のデータの基づき設定するものとしているが、この値はコンクリートの材齢や乾燥状態の影響を強く受けるため、この点に留意して設定することが重要としている。一方、既往の研究成果などから、実験値などが無い場合の予測式として以下が与えられている。

$$q_p = 31.25 \cdot (W/B)^2 \quad (0.40 \leq (W/B) \leq 0.60) \quad (8)$$

ここに、 q_p ：コンクリートの水分浸透速度係数の予測値

W/B ：水結合材比

(3) 鋼材腐食深さの限界値

鋼材腐食深さの限界値 S_{lim} は、鋼材腐食により最初に生じるコンクリートのひび割れや剥離などの変状を防ぐために設定しているが、実際に構造物が置かれている状況はばらつきがあること、および鋼材腐食深さが実際に限界値をえてしまった場合は維持管理上多大な労力を要することなどから、適切な安全率を設定することが必要である。今回は、変状が発生する鋼材腐食深さの1/2を超えないこと、および現状の照査の確実性を考慮して、さらに1.5倍の安全率を見込むこととした。

また、実際の構造物において部材表面ひび割れ発生時の鋼材腐食深さは鉄筋径やかぶり、鉄筋間隔、コンクリート強度などの影響を受けるが、今回は十分な安全率を確保していること、照査の簡便性などからかぶりのみの関数として以下のように設定した⁴⁾。

$$S_{lim} = 3.81 \times 10^{-4} \cdot c \quad (\text{mm}) \quad (9)$$

5. おわりに

本稿では2017年制定土木学会コンクリート標準示方書[設計編]において、プレストレストコンクリート構造物に関連する事項を中心に紹介した。今回の改訂は、おおよそ10年に一度行われる大改訂の間の小改訂の位置づけではあったが、次回の大改訂につながるべくさまざまな議論が行われた。その詳細は改訂資料⁴⁾に詳しい。また、建設産業の生産性向上に資するべく、[標準]にプレキャストコンクリートに関する編を新設したこと、設計と施工と維持管理の連携を推進したこと、および耐久性の照査において、実際の構造物の変状を加味し、水分の浸透による鋼材腐食深さに着目した照査手法を提案したことなども特徴としてあげられる。

なお、このほかにも耐震性に関する事項や初期ひび割れに関する事項および非線形有限要素解析による性能照査などについてもいくつか改訂が行われている。また、2011年の東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波によってコンクリート構造物も甚大な被害を受けたことを受け、津波の影響を適切に評価するためにWGを結成し議論を重ねた結果を付属資料3編として取りまとめている。

このコンクリート標準示方書が高品質で信頼性が高く、かつ施工性・経済性にも優れたコンクリート構造物の実現に貢献することを期待している。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [昭和33年版]，1958.11
- 2) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2018.3
- 3) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，2018.3
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー 149 [2017年制定コンクリート標準示方書改訂資料]，2018.3
- 5) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2013.3
- 6) 内田裕市，六郷恵哲，小柳 治：コンクリートの曲げ強度の寸法効果に関する破壊力学的検討，土木学会論文集，No.442，pp.101-107，1992.
- 7) 土木学会：コンクリートライブラリー 148 [コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案]，2016.12

[2018年3月2日受付]