

土木学会「コンクリート標準示方書」の改訂について (主にプレストレストコンクリートに関して)

秋 元 泰 輔*

1. ま え が き

これまで使用されてきた土木学会「コンクリート標準示方書」は、昭和 49 年制定〔昭和 55 年版〕のものであり、プレストレストコンクリートについては、26 章に示されていたが、具体的には昭和 53 年に制定された「プレストレストコンクリート標準示方書」(以下 PC 示方書と記す) によることになっていた。

今回改訂された「コンクリート標準示方書」(以下新示方書と記す) の主な改訂内容は、設計面における従来の許容応力度設計法から限界状態設計法への移行や施工面におけるコンクリート早期劣化防止に関する規定、新材料に関する規定などの追加や施工法に関する研究成果などによる規定の改訂、などである。

ここでは主に、プレストレストコンクリートに関する改訂点について述べるが、もともと従来の PC 示方書の制定にあたって、限界状態設計法を導入することが検討された結果、標準示方書の内容の急変に伴う設計実務の混乱を回避するという理由から、全面的な導入でなく、狭い範囲の導入がなされていた。したがって、PC 示方書の内容は、基本的には限界状態設計法の考え方にもとづいており、新示方書のプレストレストコンクリートに関する内容は、大筋において PC 示方書と大差ないものとなっている。

以下、まず PC 示方書と新示方書との目次の対比を示し、次に改訂された内容の概要について述べる。

2. PC 示方書と新示方書との目次の対比

従来の PC 示方書に示されていた各条文が新示方書のどの条文に示されているかをわかりやすくするために、目次の対比を次に示す。

〔従来の PC 示方書〕	〔新示方書〕
1 章 総 則	(設計編)
1.1 適用の範囲	→ 11.1 一 般
1.2 用語の定義	→ 1.2 用語の定義
1.3 記 号	→ 1.3 記 号
2 章 設計基本	
2.1 設計の原則	→ 2.1 設計の目的

* 首都高速道路公団第二建設部設計課長

2.2 安全度の検討方法	→	<ul style="list-style-type: none"> 2.4 設計の原則 2.5 安全係数と修正係数
2.3 プレストレストコンクリートの種別	→	11.3 使用限界状態に対する検討
2.4 設計計算書および設計図	→	2.6 設計計算書
3 章 荷重作用	→	4 章 荷 重
(ただし、3.4 プレストレスト力	→	11.2 プレストレスト力)
4 章 設計計算に関する一般事項		
4.1 断面力の計算	→	5 章 構造解析 (11.1 一般の解説)
4.2 コンクリート	→	3.2 コンクリート
4.3 鋼 材	→	3.3 鋼 材
4.4 断面諸元	→	<ul style="list-style-type: none"> 11.7 応力度の計算 11.4 終局限界状態に対する検討 13.2.3 T形ばりの圧縮突縁の有効幅
5 章 許容応力度による安全度の検討 (詳細は 6. で示す)	→	<ul style="list-style-type: none"> 11.3 使用限界状態に対する検討 7 章 使用限界状態に対する検討 11.6 施工時における検討 11.7 応力度の計算
6 章 破壊に対する安全度の検討 (詳細は 7. で示す)	→	<ul style="list-style-type: none"> 11.4 終局限界状態に対する検討 6 章 終局限界状態に対する検討
7 章 構造細目	→	<ul style="list-style-type: none"> 11.8 構造細目 10章 一般構造細目 13章 部材の設計の各構造細目
8 章 人工軽量コンクリートを用いたプレストレストコンクリートの設計	→	上記 PC 示方書の 1 章～7 章と同様な対応 (施工編)
9 章 材料の品質	→	<ul style="list-style-type: none"> 25.1 総 則 25.2 材 料 3 章 材 料
10章 材料の試験および検査	→	<ul style="list-style-type: none"> 25.10 試 験 13章 品質管理および検査

11章 施工

- 25.3 緊張材の配置
- 25.4 型わくおよび支保工
- 25.5 プレストレッシング
- 25.6 PC グラウトの施工
- 25.7 プレキャスト部材の施工
- 25.8 定着具および部材端部の保護
- 25.9 架 設
- 25.11 工事記録
- その他、施工編の各章

まえがきでも述べているように、新示方書のプレストレストコンクリートに関する内容は、大筋において PC 示方書と大差ないが、上記 PC 示方書のごシックで記された項目を主に、内容の表現方法や一部数値など改訂されている点について以下に概要を述べる。

3. 安全度の検討方法について

部材断面の安全度の検討方法は、PC 示方書 2.2 (1) に示されていた「コンクリートおよび鋼材の応力度が、それぞれの許容応力度以下であることを確かめるとともに、破壊に対して、所要の安全度を有することを確かめることによって行うものとする。」が、新示方書 2.4 (1) では「設計では、構造物または部材がその機能を果たさなくなり、設計目的を満足しなくなるすべての限界状態について検討することを原則とする。また、施工性、維持管理および美観についても考慮するものとする。」となっており、同 (2) では「限界状態は、これを終局限界状態、使用限界状態および疲労限界状態に区分するものとする。」となっている。

すなわち、従来の応力度に対する検討が使用限界状態に対する検討に対応し、破壊に対する安全度の検討が終局限界状態に対する検討に対応している。なお、新示方書では、プレストレッシング直後の状態、等施工時における検討は、使用限界状態に対する検討と区別して、新示方書 11.6 施工時における検討として条文化している。

使用限界状態に対する検討および施工時における検討は、コンクリート部材にプレストレスが導入されているということで、鉄筋コンクリートの場合と異なる特有な事項があるので、それぞれ新示方書 11.3 および 11.6 に条文化されている（後述 6. 参照）が、終局限界状態に対する検討については、大筋において鉄筋コンクリートの場合と同様ということ（後述 5. 参照）で、新示方書 11 章では具体的に示されておらず、新示方書 6 章によることとされている（後述 7. 参照）。

なお、PC 示方書では、疲労に対する検討が明確に示されていないが、新示方書では条文 11.5 に示されてい

る（後述 9. 参照）。

4. プレストレストコンクリートの種別について

従来の PC 示方書 2.3 (1) では、「プレストレストコンクリートは、使用状態におけるコンクリートの曲げひびわれ発生に対する設計条件に基づいて、Ⅰ種、Ⅱ種およびⅢ種に分類する。」とし、解説で次のように示されていた。

（Ⅰ種） ひびわれの発生の確率が非常に小さいプレストレストコンクリートの場合である。従来から用いられているフルプレストレッシングはⅠ種と考えられる。

（Ⅱ種） ひびわれの発生の確率が比較的小さくなるようなプレストレストコンクリートの場合である。従来から用いられているパーシャルプレストレッシングはⅡ種と考えられる。

（Ⅲ種） 使用状態でひびわれが開いた状態となることを許容するプレストレストコンクリートの場合である。

しかし、最近では、用語的にⅢ種をパーシャルプレストレッシングと称したりして混乱しているので、新示方書 11.3.1 (1) では曲げひびわれ限界状態として次のように種別している。

- (i) 曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度が引張応力度にならない限界状態
- (ii) 曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度がコンクリートの設計引張強度を超えない限界状態
- (iii) 曲げひびわれ幅が許容ひびわれ幅を超えない限界状態

同解説には、上記 (i)、(ii) および (iii) に対して、引張応力度発生限界状態、曲げひびわれ発生限界状態および曲げひびわれ幅限界状態と称す場合もあることが示されている。

PC 示方書のⅠ種、Ⅱ種およびⅢ種と上記新示方書の (i)、(ii) および (iii) はそれぞれ対応したものであるが、従来の許容応力度の値、などに相当する具体的な数値、などについては、表現が変わるとともに、若干数値的にも変わっているところがある（後述 6. 参照）。

なお、これらの種別は、PC 示方書 2.3 (2) に示されていた「構造物または部材が受ける荷重作用、周辺の環境条件などに応じて責任技術者がこれを定めなければならない。」という条文については、新示方書でも同様であり、条文 11.3.1 (1) の解説に例を示して説明されている。

たとえば、一般の構造物で、新示方書 7.3.2 の表 7.3.1 に示される環境条件が「一般の環境の場合」（通常

の屋外の場合や土中の場合等で、このほかに「腐食性環境」および「特に厳しい腐食性環境」の場合がある)、正の曲げモーメント領域の部材に対しては、永久荷重作用時に上記(ii)の曲げひびわれ限界状態および変動荷重作用時に上記(iii)の曲げひびわれ限界状態で設計し、負の曲げモーメント領域の部材に対しては、永久荷重作用時に上記(i)の曲げひびわれ限界状態および変動荷重作用時に上記(ii)の曲げひびわれ限界状態で設計する、というような種別の組合せがとられる。

したがって、従来は往々にして構造物全体をⅠ種、Ⅱ種あるいはⅢ種と分類して設計されている例が多かったようであるが、新示方書では、設計者が構造物および各部材の環境条件、荷重作用状態などを考慮して、それぞれの条件に対応した構造物の各部位の曲げひびわれ限界状態を定め、設計する必要がある。

ただし、新示方書 7.3.3 許容ひびわれ幅の表 7.3.2 に示されているように、鋼材の腐食に対する環境条件に対応した PC 鋼材の場合の許容ひびわれ幅は、「一般の環境の場合」のみしか示されていない。これは、「腐食性環境の場合」および「特に厳しい腐食性環境の場合」の PC 鋼材の腐食に対する配慮からであり、逆に、このような環境の場合はプレストレスにより、上記(i)あるいは(ii)の曲げひびわれ限界状態を満足するように設計することが可能であるからである。したがって、プレストレスコンクリートの場合、上記(iii)の曲げひびわれ限界状態で設計可能な場合は、原則として「一般の環境の場合」のみであるということに注意が必要である。

5. 断面力の計算について

コンクリート部材に導入されるプレストレス力について、従来の PC 示方書では、許容応力度に対する検討においては荷重として考えることは示されていたが、破壊に対する安全度の検討においては不明確であった。

新示方書 11.1 一般の解説では「プレストレス力は、一般に、使用限界状態では荷重と考え、終局限界状態ではプレストレス力が消滅するものとして、断面力を求めてよい。ただし、不静定構造物の終局限界状態における断面力は、非線形解析によるか、または、5.2.1 (3) に示されるモーメント再分配(連続ばり、連続スラブ、ラーメン等の支点あるいは節点上の曲げモーメントは、線形解析の値の最大 15% の範囲内で再分配を行ってもよい。その場合、すべての断面の曲げモーメントは再分配する前の値の 70% 以上とする。また、すべての断面における鉄筋比を鈎合鉄筋比の 50% 以下としなければならない)を考慮して求めるのがよい。前者によるプレストレス力は上記と同様に消失するものとしてよいが、後

者の場合には、プレストレス力による不静定力を終局限界状態の断面力に含めなければならない。」と示されている。

したがって、使用限界状態の検討にあたっては、従来どおりに、プレストレス力は荷重と考えてよく、また終局限界状態の検討にあたっては、プレストレス力は消滅するものとし、緊張材は引張主鋼材として、鉄筋コンクリートと同様に耐力を計算すればよい(新示方書 11.4 解説参照)。ただし、不静定構造物の場合の終局限界状態の断面力は、厳密には部材の塑性化まで考えた非線形解析により求める必要があるが、塑性化した部材のじん性の確保、緊張材のせん断力の負担力の計算方法、など十分に検討する必要がある。したがって、上記に示すモーメントの再分配を考慮して断面力を求めてもよいが、この場合はプレストレス力による不静定力を断面力に含めて設計する必要がある。このプレストレス力による不静定力を断面力に含めないと、たとえば 2 径間連続桁の場合のような構造物の設計において、中間支点上の部材の設計が非常に苦しくなる場合も生じるので注意が必要である。

6. 許容応力度による応力度の検討に対して

今回の示方書の改訂によって、許容応力度による安全度の検討という表現が用いられなくなり、PC 示方書 5.1 許容応力度に示されていた数値等が新示方書ではなくなっている。ただし、これまでも述べているように、大筋において新示方書は PC 示方書と大差なく、表現方法などを変えたものなので、どのように変わったかを、まず PC 示方書と新示方書の目次の対比から示し、次に改訂内容の説明を新示方書の目次にしたがって述べる。

6.1 目次の対比

	〔従来の PC 示方書〕	〔新示方書設計編〕
5.1 許容応力度	→	11.3 使用限界状態に対する検討
5.1.1 コンクリートの許容応力度		
(1) 許容曲げ圧縮応力度	→	11.3.1 曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討の(2)(i) 11.6 施工時における検討の(3)
(許容軸圧縮応力度)	→	6.2.1 一般の(1)解説
(2) 許容支圧応力度	→	3.2.2 設計強度の(2)(iv)
(3) 許容曲げ引張応力度	→	11.3.1 曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討の(1) 11.6 施工時における検討の(2)

- (4) 許容斜め引張応力度 → { 11.3.2 せん断およびねじりに対する検討
11.6 施工時における検討の(5) }
- (5) 許容付着応力度 → { 3.2.2 設計強度の(2)(iii)
(10.5.3 鉄筋の定着長)
(10.5.4 基本定着長) }
- 5.1.2 PC 鋼材の許容引張応力度 → { 11.3.1 曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討の(2)(ii)
11.6 施工時における検討の(1) }
- 5.1.3 鉄筋の許容引張応力度 → 7.3.4 曲げひびわれの検討
- 5.2 曲げおよび軸力に対する検討
- 5.2.1 応力度計算上の仮定 → 11.7.1 曲げモーメントおよび軸方向力による応力度の計算
- 5.2.2 応力度の検討 → { 11.3.1 曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討
11.6 施工時における検討 }
- 5.2.3 引張鉄筋の算定 → 11.3.1 曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討の(3)
- 5.3 せん断に対する検討 → { 11.3.2 せん断およびねじりに対する検討
11.6 施工時における検討
11.7.2 せん断力による斜め引張応力度の計算 }

6.2 曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討

(1) 曲げひびわれ限界状態の検討

新示方書 11.3.1 (1) の条文は、曲げモーメントおよび軸方向力に対する曲げひびわれ限界状態の検討が示されている。前述 4. で従来の PC 示方書のプレストレストコンクリートの種別と新示方書の曲げひびわれ限界状態による種別の対応を説明しているの、ここでは従来の PC 示方書に示されている許容応力度の値と新示方書に示されている曲げひびわれ限界状態との関係を次に示す。

[新示方書] [従来の PC 示方書]

(i) の引張応力度となら ↔ I 種の許容曲げ引張応力
ない限界状態 (引張応 度が零
力発生限界状態)

f_{ck}' (kg/cm ²)	f_{td} (kg/cm ²)	↔	σ_{cta} (kg/cm ²)
300	22	↔	20
400	27	↔	25
500	31	↔	30
600	35	↔	35

ここに、 $f_{td}=0.5 f_{ck}'^{2/3}/\gamma_c$ (新示方書 3.2.2 (i) 参照)
 f_{ck}' : コンクリートの設計基準強度
 $\gamma_c=1.0$

(ii) のコンクリートの設 ↔ II 種の許容曲げ引張応力
計引張強度 f_{td} を超え 度 σ_{cta} が上表の値
ない限界状態 (曲げひ
びわれ発生限界状態)

(iii) の許容ひびわれ幅 ↔ III 種の許容曲げ引張応力
 w_a を超えない限界状 度は示されていない。
態 (曲げひびわれ幅限 ただし、PC 示方書 5.
界状態)。曲げひびわ 2.2 応力度の検討の条
れ幅を求める式は、新 文 (3) で次のように示
示方書の式 (7.3.1) に されている。

示され、許容ひびわれ 幅 w_a は表 7.3.2 に 示されている。ただし 解説表 7.3.1 から、付 着ある鋼材の引張応力 度の増加量が「一般の 環境の場合」(前述 4. 参照)で、永久荷重のみ により、1 000 kg/cm² 以下の場合は、曲げひ びわれ幅の検討を省略 することができる。

上記より、新示方書の (i) の曲げひびわれ限界状態の 場合については従来の PC 示方書の I 種の内容と同じで ある。同 (ii) の場合については若干の数値の相違があ るが、ほぼ II 種と同じ内容である。同 (iii) の場合につ いては、上記新示方書側に示されるただし書きより、一 般に従来の PC 示方書の III 種は常に新示方書の (iii) の 曲げひびわれ限界状態を満足しているのがわかる。逆 に、新示方書によると、従来の III 種より設計範囲を広げ ることが可能である。

たとえば、永久荷重による応力度の増加量が 1 100 kg/cm² で、変動荷重による応力度の増加量が 500 kg/cm² の場合 (合計 1 600 kg/cm² の応力度の増加の場合) の 例を次に示す。

曲げひびわれ幅 w は、新示方書の式 (7.3.1) より次 のように求められる (記号の説明は省略する)。

$$w = k_1 \{ 4C + 0.7(C_s - \phi) \} \left\{ \frac{\sigma_{se}}{E_s} \left(\text{または} \frac{\sigma_{pe}}{E_p} \right) + \epsilon_{cs}' \right\}$$

ここでは、引張鉄筋に対しての検討例を示す。PC 鋼 材に対しても同様に検討する必要があるが、ここでは省 略する。

$k_1=1.0$, $\epsilon_{cs}'=150 \times 10^{-6}$ (新示方書 7.3.4 (1) 解説よ り), $\sigma_{se}=1 100 \text{ kg/cm}^2 + k_2 \times 500 \text{ kg/cm}^2 = 1 350 \text{ kg/cm}^2$ (新示方書 7.3.4 (1) の解説より、一般に $k_2=0.5$ とし ている), $E_s=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $C_s=15 \text{ cm}$, $\phi=1.9 \text{ cm}$

(D19) および $C=5\text{ cm}$ とすると、 $w \doteq 0.23\text{ mm}$ となる。一方、許容ひびわれ幅 w_a は新示方書の表 7.3.2 に示される「一般の環境の場合」(前述 4. 参照)、 $w_a = 0.005 C = 0.25\text{ mm}$ となり、 $w \leq w_a$ を満足する。

したがって、上記のような場合、応力度の増加量が $1\,600\text{ kg/cm}^2$ の場合でも設計が可能となるのである。

なお、上記のほかに、従来の PC 示方書には、永久荷重作用時の許容曲げ引張応力度が示されているが、新示方書では、種々の荷重作用に対し、設計者がどの曲げひびわれ限界状態で検討するかを決めればよいことになっているので、対応する条文は示されていない(前述 4. 参照)。したがって、永久荷重作用時に対し、どの曲げひびわれ限界状態で検討するかによって従来と異なる設計となる可能性もあるので十分検討して決める必要がある。

(2) コンクリートの圧縮応力度および PC 鋼材の引張応力度の検討

従来のコンクリートの許容圧縮応力度の値に対し、新示方書の限界値は $0.4 f_{ck}'$ (f_{ck}' は従来の σ_{ck} と同じ) となり、コンクリートが高強度になるほどコンクリートの圧縮応力度を大きくとることができる。新示方書 11.3.1 (2) (i) の解説に示されるように、この限界値は主にクリープひずみが、作用応力による弾性ひずみに比例すると考えられるコンクリート応力度の限界から定められている(新示方書 3.2.9 (1) 解説参照)。なお、許容軸圧縮応力度については、従来の PC 示方書も終局強度設計法に対応した値であるので、新示方書では限界値は示されていないが、終局限界状態に対する検討の条文 6.2.1 (1) により、軸圧縮応力に対して検討すればよいことになっている。

新示方書の緊張材の引張応力度の限界値は、従来の PC 示方書の許容引張応力度 $0.60 \sigma_{pu}$ または $0.75 \sigma_{py}$ に対して、 $0.70 f_{puk}$ (f_{puk} は従来の σ_{pu} と同じ) となり、従来より少し緊張材の引張応力度を大きくとることができる。新示方書 11.3.1 (2) (ii) の解説に示されるように、この限界値は主に PC 鋼材の長時間リラクゼーション試験方法の条件より定められている。

(3) 引張鉄筋の算定

新示方書 11.3.1 (3) に示す条文は、引張鉄筋の算定に関するもので、内容は従来の PC 示方書とほぼ同じである。ただし、新示方書では、引張鋼材の引張応力度の限界値を従来の PC 示方書に示されている鉄筋の許容引張応力度の値に近い $2\,000\text{ kg/cm}^2$ としており、ポストテンション方式の緊張材を引張鋼材とみなす場合にはこの値を $1\,000\text{ kg/cm}^2$ とするようになっている。

なお、従来の PC 示方書には、最小引張鋼材量として

「引張応力の作用するコンクリート面積の 0.5%」という条文が示されていたが、新示方書では式 (11.3.1) より求められる引張鋼材量がこの条文をほぼカバーしているということで削除されている。

6.3 せん断およびねじりに対する検討

せん断およびねじりに対する検討は、新示方書 11.3.2 に示されるように、従来の PC 示方書の考え方と同じで、曲げひびわれ限界状態の検討に対応して条文が示されている。また、コンクリートの斜め引張応力度の限界値は、従来の PC 示方書に示されている許容応力度の値に近い値となるように、コンクリートの設計引張強度に対する係数を求めて条文化されている。

なお、新示方書 11.3.2 (3) におけるただし書きについては、プレストレストコンクリートの場合、傾斜した緊張材の有効引張応力度から求まるせん断力に平行な成分 V_{ped} を考慮して、次式を満足するとき、せん断ひびわれに対する検討を省略してよいことを意味している(記号の説明は省略する)。

$$V_d - V_{ped} \leq V_{cd}$$

また、せん断ひびわれに対する検討が必要な場合でも新示方書(解 7.3.1) 式、(解 7.3.2) 式および(解 7.3.3) 式における $(V_d - V_{cd})$ は、プレストレストコンクリートの場合、 $(V_d - V_{ped} - V_{cd})$ としてよい。

6.4 施工時における検討

従来の PC 示方書におけるプレストレス中および直後の検討について、新示方書では、使用限界状態の検討とは区別して条文 11.6 に示されている。

新示方書の条文の内容は、PC 示方書とほぼ同じであるが、曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討においては、前述 4. の新示方書(ii) の曲げひびわれ限界状態(曲げひびわれ発生限界状態)を満足するのを原則としている点が異なる。したがって、施工時には曲げひびわれの発生を原則として認めていないことになる。これは、施工時に発生させたひびわれ幅を制御することが困難であること、ひびわれの発生による剛性低下を考慮した変形管理が困難であること、およびひびわれが発生した使用限界状態における圧縮域コンクリートの乾燥収縮、クリープ等の挙動が不明確なことによる。

なお、施工時における検討にあたっては、コンクリートの応力度の限界値となるコンクリートの設計引張強度は、検討時点における材令のコンクリート強度より算出されるので注意が必要である。

6.5 応力度の計算その他

応力度の計算については、新示方書 11.7 で示されているが、従来の PC 示方書の内容とほぼ同じである。

その他、使用限界状態に対する検討としては、たわみ

に対する検討があり、新示方書では 11.3.1 (4) および 11.6 (4) に示されており、具体的には新示方書 7.4 変位・変形に対する検討で示されている。また、新示方書 7.5 には振動に対する検討についても示されている。

7. 破壊に対する安全度の検討について

従来の PC 示方書 6 章破壊に対する安全度の検討に示される条文と新示方書に示される条文の関係を目次の対比で次に示す。

- | | | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|---------|---|-------|----|-------|------------|
| | [従来の PC 示方書] | | [新示方書設計編] | | | | |
| 6.1 | 安全係数 | → 2.5 | 安全係数と修正係数 | | | | |
| 6.2 | 曲げおよび軸力に対する破壊安全度の検討 | | | | | | |
| 6.2.1 | 断面耐力の計算 | → 6.2.2 | 設計断面耐力上の仮定 | | | | |
| 6.2.2 | 安全度の検討 | → | <table border="0"> <tr> <td>6.1</td> <td>一般</td> </tr> <tr> <td>6.2.1</td> <td>一般</td> </tr> </table> | 6.1 | 一般 | 6.2.1 | 一般 |
| 6.1 | 一般 | | | | | | |
| 6.2.1 | 一般 | | | | | | |
| | (ただし、同 (2) のいわゆるアンボンド PC の耐力について) | → 11.4 | 終局限界状態に対する検討の解説 | | | | |
| 6.3 | せん断に対する破壊安全度の検討 | | | | | | |
| 6.3.1 | 総則 | → | <table border="0"> <tr> <td>6.3.1</td> <td>一般</td> </tr> <tr> <td>6.3.2</td> <td>棒部材の設計せん断力</td> </tr> </table> | 6.3.1 | 一般 | 6.3.2 | 棒部材の設計せん断力 |
| 6.3.1 | 一般 | | | | | | |
| 6.3.2 | 棒部材の設計せん断力 | | | | | | |
| 6.3.2 | 斜め引張鋼材の計算を必要としないせん断力 | → | 6.3.3 棒部材の設計せん断力 | | | | |
| 6.3.3 | 斜め引張鋼材の算定 | → | 6.3.8 構造細目 | | | | |
| 6.3.4 | 最大せん断力 | | | | | | |

上記の目次の対比でもわかるように、新示方書 11.4 終局限界状態に対する検討の条文では、単に新示方書の「6 章終局限界状態に対する検討によるものとする」と示されているだけである。これは、同解説に示されるように、プレストレストコンクリートも終局限界状態においては、鉄筋コンクリートと同様であることによる（前述 5. 参照）。

新示方書 6 章終局限界状態に対する検討の内容は、用語や記号で異なるところがあるが、ほぼ従来の PC 示方書と同じであるので説明は省略する。ただし、せん断耐力を算出するときに関係する諸数値が若干異なるので、その関連を次に示す。

まず、コンクリートで負担するせん断耐力について示す（記号の説明は省略する）。

(従来の PC 示方書)

$$S_{cd} = 0.40 \sigma_{ctd} b_w d \left(1 + \frac{M_0}{M_d}\right)$$

(新示方書)

$$V_{cd} = 0.9 \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \sqrt[3]{f_{cd}'} b_w d / \gamma_b$$

ここに、 $\beta_d = \sqrt[3]{100/d}$, $\beta_p = \sqrt[3]{100 p_w}$, $\beta_n = \left(1 + \frac{M_0}{M_d}\right)$

$\left(1 + \frac{M_0}{M_d}\right) = 1.0$ とし、 $\sigma_{ctd} = \sigma_{ctk} / \gamma_{mc}$ の σ_{ctk} の値は PC 示方書 表 6.3.1 より求めて、 $\gamma_{mc} = 1.5$ として $S_{cd} / b_w d$ (kg/cm²) の値を求める。また、 $d = 1$ m, $p_w = 0.02$, $\beta_n = 1.0$, $f_{cd}' = f_{ck}' / \gamma_c$ の $\gamma_c = 1.3$ および $\gamma_b = 1.3$ として $V_{cd} / b_w d$ (kg/cm²) の値を求めて、これらの結果を次表に示す。

f_{ck}' (kg/cm ²)	$S_{cd} / b_w d$ (kg/cm ²)	↔	$V_{cd} / b_w d$ (kg/cm ²)
300	5.3	↔	5.3
400	6.4	↔	5.9
500	7.5	↔	6.3
600	8.5	↔	6.8

同表より、上記の条件の場合、コンクリート強度が高強度になるほど、コンクリートで負担するせん断耐力の値が従来より小さくなるのがわかる。

次に、最大せん断力についても同様に示す（記号の説明は省略する）。

(従来の PC 示方書)

$$S_{dmax} = 0.2 \sigma_{cd} b_w d$$

(新示方書)

$$V_{wcd} = 4.0 \sqrt{f_{cd}'} b_w d / \gamma_b$$

ここに、 $\sigma_{cd} = \sigma_{ck} / \gamma_{mc}$, $f_{cd}' = f_{ck}' / \gamma_c$

σ_{ck} と f_{ck}' は同じであり、 $\gamma_{mc} = 1.5$, $\gamma_c = 1.3$ および $\gamma_b = 1.3$ の場合について計算した結果を次表に示す。

f_{ck}' (kg/cm ²)	$S_{dmax} / b_w d$ (kg/cm ²)	↔	$V_{wcd} / b_w d$ (kg/cm ²)
300	40	↔	47
400	53	↔	54
500	67	↔	60
600	80	↔	66

同表からも、コンクリート強度が高強度になるほど最大せん断力の値が従来より小さくなるのがわかる。

なお、従来の PC 示方書では、「緊張材に付着のない場合（アンボンド PC 鋼材を用いた場合）、特別な検討を実施した場合を除いて、断面耐力は付着のある場合の値を 30% 減ずるものとする。」と条文で示されていたが、新示方書では条文に示さずに解説で示している（後述 9. 参照）。

その他、新示方書では、6.3.4 面部材の設計押抜きせん断耐力、6.3.5 面内力を受ける面部材の設計断面力、6.3.6 面内力を受ける面部材の設計耐力および 6.3.7 設計せん断伝達耐力について示されているので、これらの条文に対してプレストレスの影響を考慮し、設計するとのよい。

8. 構造細目について

従来の PC 示方書に示されていた 7.2 鉄筋について

は、新示方書 10 章一般構造細目および同 13 章部材の設計の各構造細目の条文で示されているので、新示方書では 11.8.3 用心鉄筋以外は省略されている。

その他は、従来の PC 示方書の内容とほぼ同じ内容を新示方書でも示しているが、最近のコンクリート早期劣化問題に関連して、緊張材などの配置にあたっては従来より具体的に、施工性を十分考慮するように強調されている。また、かぶりについては新示方書 10.2 において、従来よりかぶり厚を厚くするように示されている。さらに、最小鋼材量について、従来の PC 示方書では、7.2.7 用心鉄筋として「コンクリート全断面積の 0.1% 以上」と示されていたが、新示方書では最小鋼材量の重要性を考え、11.8.2 最小鋼材量として条文化し、「コンクリート全断面積の 0.1% 以上」とし、鋼材としては異形鉄筋およびプレテンション方式の緊張材としている。

9. 設計に関するその他について

新示方書施工編 25.2.6 (従来の PC 示方書 9.10.3) の解説に示されるような利点から、コンクリート部材と付着のないアンボンド PC 鋼材を用いる場合は、新示方書 11.1 (1) 解説に「コンクリート部材との付着のないことによる曲げひびわれ幅の増大、曲げ耐力の減少 (前述 7. 参照)、最小鋼材量、定着具の耐疲労性、等に対して別途検討する必要がある。」と示されているので、十分これらについて検討する必要がある。また、新示方書 11.3.1 (1) (iii) の曲げひびわれ限界状態 (ひびわれ幅限界状態) を採用することができるのは環境条件が「一般の環境の場合」(前述 4. 参照) についてであるが、この場合の設計手法についてはまだ、疲労限界状態に対する検討など、十分解明されているとはいえない点もあるので十分検討して採用するのがよい。なお、ここでいう「十分検討する必要がある」とは、「これらを採用しない方がよい」という意味ではなく、これらについて種々の規定を条文化すると、かえってこれらの採用をさまざまに結果になるおそれがあるからであり、この点誤解のないよう、前向きに検討し、採用されたい。

その他、新示方書 11.5 には疲労限界状態に対する検討が示されているが、一般にはこの検討は省略される。なお、疲労限界状態に対する具体的な検討は、新示方書 8 章疲労限界状態に対する検討で示されている。

10. 材料の品質について

新示方書施工編 25 章では、同 25.1.1 適用の範囲に示されるように、プレストレストコンクリートの施工特有な事項のみについて示されている。したがって、鉄筋コンクリートの施工と同様な事項については、施工編の

他の章によるものとされている。

従来の PC 示方書 9 章に示されている材料の品質については、示方書 25.2 材料で示されており、PC 鋼材のその後の JIS 規格の改定に伴う改訂などや目次構成を若干変えたりしているほかは、ほぼ従来の PC 示方書の内容と同様である。

ただし、新示方書 25.2.5 PC グラウトの品質に関しては次のように改定されている。

(a) コンシステンシー……従来の PC 示方書では、流下時間および沈入値が示されていたが、新示方書ではその数値が示されておらずに、「ダクトの長さおよび形状、施工時期および気温、鋼材の種類およびダクト中にしめる鋼材断面積の割合、などを考慮し、施工に適した値を選ばねばならない。」と条文で示されている。また、従来の PC 示方書にはコンシステンシーの測定方法として、ロート方法 (JA ロートあるいは J ロート) と沈入方法が示されていたが、新示方書ではロート方法のうちの JA ロートによるのを標準とされている。

(b) 膨脹率……数値は従来の PC 示方書と同じ 10% 以下とされているが、ただし書きが新示方書では追加され、「注入完了後の膨脹率は、ブリージングの発生が最大になる時点まで、常にブリージング率を上まわって上昇しなければならない。一般に、攪拌終了後注入完了までの時間は 30 分を標準としてよい。」と条文で示されている。

(c) ブリージング率……従来の PC 示方書では数値が示されていなかったが、新示方書では「3% 以下とする」と条文で示されている。

このように改訂された理由は、新示方書 25.2.5 の解説に示されているように、最近高性能減水剤などの特殊混和材を使用した配合の PC グラウトが使用され始め、従来どおりのコンシステンシーの値を規定しておくのは、よりよい PC グラウト材の使用を阻害することになること、PC グラウトの理想の性状は、注入完了後、ブリージングなどにより空隙が生じないこと、などによる。

したがって、従来どおりの PC グラウトを使用する場合は、従来の PC 示方書に示される品質のものでなければならない。また、上記のように、コンシステンシーの測定は、粘性の低いものから高いものまで広い範囲のコンシステンシーの測定に適しているロート方法のうちの JA ロートを用いる方法を標準としているので注意が必要である。

なお、新材料の PC グラウト材を使用する場合には、グラウト本来の目的である「ダクト内を完全に充填して

緊張材を保護するとともに、部材コンクリートと緊張材とを付着により一体とする」ことを満足する品質のものであることをあらかじめ試験により確かめ、施工中の管理ができるようにコンシステンシー、ブリージング率、膨張率および強度に関する管理基準を定め、その基準にしたがい施工する必要がある。その際の PC グラウト材は、新示方書の条文および解説に示されている品質以上の PC グラウト材でなければならないのは当然である。

11. 施工について

施工については新示方書施工編 25.3 緊張材の配置から 25.11 工事記録まで、ほぼ従来の PC 示方書の目次順に示されており、内容もほぼ同じである。

ただし、PC グラウトの施工の不完全な結果から部材あるいは構造物に損傷を与えている事例が見受けられることから、PC グラウトの施工について次のように改訂されている。

まず、新示方書 25.6.1 一般において、「PC グラウトはプレストレスング終了後、できるだけすみやかに行わなければならない。」という条文が追加されている。

また、同 25.6.3 配合において、「所定のコンシステンシーが得られる範囲内で、単位水量をできるだけ少なくするように決めなければならない。」という条文が追加されている。解説で、一般に $W/C=0.4\sim 0.45$ の配合が得られるが、最近高性能減水剤などの特殊混和剤を使用した場合、作業性は同じでも W/C を 0.35% 程度まで低下させることができるものがあることが示されており、このような新材料の使用も検討して（前述 10. 参照）、品質のよい、しかも作業性のよい PC グラウトを使用して、完全なグラウトを行うようにする必要がある。

新示方書 25.6.5 注入では、解説において、ダクトの途中で頂部があるような場合、注入されたグラウトの流れの状態などについての研究結果などより判明した、排気口を兼ねた流出口の適切な位置や排気口の先には 1m 以上のできるだけ太いパイプを鉛直に取りつけ、押し出されてきたブリージング水をその部分に集めるようにし

てコンクリート部材部にはブリージング水を残さないようにするなど、注入にあたっての新たな注意が追加されている。

新示方書 25.6.6 寒中における施工では、「グラウトの温度は、注入後、少なくとも 5 日間、 5°C 以上に保つことを原則とする。」として、従来の「 5°C 以上に保たなければならない。」から「原則とする」に改訂されている。この理由については、同解説に示されているように、最近使用される高性能減水剤などの特殊混和剤を用いた場合は、必ずしも 5°C 以上 5 日間保たなくてもよいという研究結果が得られたり、日中の気温が 5°C 以上のときにグラウトの注入作業が完了でき、その後のグラウトの温度が 0°C 以上保つことができればよいという研究結果が得られたりしているからである。したがって、あらかじめ試験を行い、十分グラウト本来の目的を達することができることが確かめられて施工される場合以外は、従来どおりに施工しなければならない。

以上のように、PC グラウトの施工に関する改訂のほかに、新示方書 25.9 では架設についての条文が新規に設けられている。同解説に示されているように、プレストレストコンクリート部材は、架設方法によって部材には異なった応力状態が生じ、思わぬ部位にひびわれを生じさせてしまう場合がある。したがって、部材の架設にあたっての注意事項が条文化されたが、条文は原則論的にしか示されていない。具体的な注意事項などについては、種々ある架設工法に示されている内容を十分に検討し、場合によっては架設時に生じる応力に対するプレストレスの導入などの対処を行う必要がある。

なお、全体的に、新示方書では従来の PC 示方書で示されていた「責任技術者が定めなければならない」や「責任技術者の指示に従わなければならない」などの条文が削除されているので、条文の示し方が若干変わっているところがあるが、実質的には変わっていない。

参 考 文 献

- 1) 土木学会「コンクリート標準示方書」の改訂の要点、土木学会コンクリート委員会、土木学会論文集第 366 号/V-4、1986 年 2 月

【昭和 61 年 6 月 11 日受付】