

【資 料】

諸外国におけるプレストレスト コンクリート規定の比較

土木学会プレストレスト コンクリート委員会

1. 比較に用いられた規定

ベルギー

Instructions relatives au béton précontraint (Bure au SECO) (janvier 1954)

Instructions relatives au béton armé (Institut Belge de Normalisation) (5^e édit 1955)

ドイツ

Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahl-beton-Spannbeton-Richtlinien für Bemessung und Ausführung (DIN 4227) (Octobre 1953)

フランス

Instructions provisoires relatives à l'emploi du béton précontraint (Circulaire No. 141 du Ministère des Travaux publics, des Transports et du Tourisme) (26 Octobre 1953)

イギリス

First report on pre-stressed Concrete (Institution of Structural Engineers) (Sept. 1951)

Code of practice for prestressed Concrete (Texte provisoire)

イタリア

Instructions pour l'emploi des Constructions en béton armé précontraint (Prof. Ing. Giorgic Dardanelli) (Text provisoire)

オランダ

Richtlijnen Voor toelaatbare spanningen en de veiligheids-coëfficiënt bij constructies in Voor gespannen beton (STUVO Texte provisoire) (Novembre 1954)

Voorlepage keuringsvoor chriften voor hoogwaardig staal voor gespannen beton (Cominissie Betonstool) (20 Oct. 1954)

アメリカ

Criteria for prestressed Concrete bridges (U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington) (1954)

2. 比較のために用いる記号

M_d ……死荷重による曲げモーメント

M_l ……活荷重による最大曲げモーメント

$M_{d+l} = M_d + M_l$ ……全荷重による最大曲げモーメント

M_c ……ひびわれ曲げモーメント

M_u ……破壊曲げモーメント

M_{ub} ……破壊曲げモーメント (PC 鋼線の破断による)

M_{uc} ……破壊曲げモーメント (コンクリートの破断による)

σ_{ct}, σ_{ce} ……それぞれプレストレスを与えた直後のプレストレスおよび有効プレストレス

σ_{cd} ……死荷重によるコンクリート応力度

σ_{cl} ……活荷重によるコンクリート応力度

σ_p ……PC 鋼線に作用している引張応力度

σ_{pe} ……PC 鋼線の有効引張応力度

σ_{pb} ……はりが曲げ破壊をおこすとき PC 鋼線に作用している引張応力度

σ_{cu}' ……コンクリートの引張強度

σ_{coc} ……コンクリートの最終強度

σ_{cu} ……コンクリートの圧縮強度

E_c ……コンクリートのヤング係数

φ ……コンクリートのクリープ係数

σ_{pu} ……PC 鋼線の引張強度

h ……けたの全高

d ……けたの有効高さ

ϕ ……PC 鋼線の直径

A ……断面積

3. 材料の品質についての比較

3.1. コンクリートの品質

3.1.1. セメントの最少使用量

フランス……400 kg/m³ (特例なし)

イギリス……375 kg/m³ (プレテンション)

325 kg/m³ (ポストテンション)

3.1.2. コンクリートの最小強度

3.1.2.1. 材令 28 日における最小圧縮強度:

イギリス……420 kg/cm² (立方体強度) (プレテンション)

規定の目的——構造物の強度を確保するためだけでなく、コンクリートの乾燥収縮、クリープ、

による変形を減少させるため。

使用 PC 鋼線が $\phi 5 \text{ mm}$ 以下の場合にはこの値を減少させることができる。

イタリー…… 356 kg/cm^2 (立方体強度)

オランダ…… 200 kg/cm^2 (立方体強度)

3.1.2.2. プレストレスをあたえるときのコンクリート圧縮強度の最小値：

ドイツ……3種のコンクリートについて異なる。

B 300 : 240 kg/cm^2	} (立方体強度)
B 450 : 360 kg/cm^2	
B 600 : 480 kg/cm^2	

コンクリートの圧縮が上記の 50% に達したときに、一部のプレストレスを与えてよい。ただし部材におこる引張応力度は許容引張応力度の 30% をこえてはならない。

イギリス…… 280 kg/cm^2 (立方体強度) (プレテンションング)

アメリカ…… 245 kg/cm^2 (円柱強度)

3.2. PC 鋼線の品質

3.2.1. 降伏点応力度の規定 (永久ヒズミの値)

ベルギー……0.2%	イタリー……0.1%および
ドイツ……0.2%	0.2%
フランス……0.2%	オランダ……0.05%
イギリス……0.1%	アメリカ……0.2%

3.2.2. 引張強度

イタリー…… $\sigma_{pu} \geq 1.1$	} 降伏 点応 力度	…………… 引きぬき加工 …………… 引きぬき、熱 …………… 処理、加工 …………… ロール加工
オランダ…… $\sigma_{pu} \geq 1.43$		
1.18		
1.11		

3.2.3. 伸び

ベルギー……6% (淵長 $8.16 \sqrt{A_p}$)

イタリー…… $2.25\% + 0.25 \phi$ ($\phi = \text{mm}$) (淵長 $50 \text{ mm} - 11.3 \sqrt{A_p}$)

オランダ……引きぬき加工線で 5%, ロール加工線で 6% (淵長 $11.3 \sqrt{A_p}$)

アメリカ……鋼線：3% (淵長 253 mm)
鋼棒：4% (淵長 $22.6 \sqrt{A_p}$)

3.2.4. 屈曲試験

ベルギー……くり返し荷重の作用する場合、直径 6ϕ の心棒の周で 90° を 8 回

フランス……まだ使用したことのない、またはまににしか用いないような PC 鋼線に対しては試験する

イタリー……直径 4ϕ の心棒にたいして 90° を 4 回

オランダ……つぎの直径の心棒にたいして 180° を 1 回

2.5 ϕ ……引きぬき線にたいし

5.0 ϕ ……ロール加工線にたいし

直径 14ϕ の心棒にたいして、

引きぬき線にたいし…… 90° , 25 回

引きぬき熱処理線にたいし…… 90° , 15 回

ロール加工線にたいし…… 90° , 8 回

3.2.5. 疲労試験

イタリー……使用時の応力度が 10 kg/mm^2 以上の変化を生ずる場合には疲労試験をする。10⁶ 回のくり返しにたいして安全率は 2 以上である必要がある。

3.2.6. 直径の公差

イタリー……直径について 2% 以下

オランダ……引きぬき線に対して +4%, -2%, 各任意断面で、4% 以上の変化があつてはならない。

ロール加工線について、断面積で -10%, -2%, 任意の断面ごとの変化は 10% をこえてはならない。

アメリカ……直径について $\pm 0.075 \text{ mm}$

3.2.7. 表面の状態

ドイツ……表面に欠点があつてはならず、浮錆があつてはならない。

イギリス……コンクリート中に埋込まれる PC 鋼線は、表面の油をぬぐい清掃しなければならない。表面の浮錆は許容されないが、表面によくついた錆は望ましいものである。

イタリー……腐食および表面の欠点は許容されない。かわいたぼろでこすつて完全に消えるような酸化は許容される。

オランダ……肉眼で認められるような欠点があつてはならない。表面は清じようであつて、腐食してはならない。

アメリカ……いちじるしい欠点なしに、滑らかな表面であること。

3.2.8. 熱間ロール線

ベルギー……使用禁止

ドイツ……使用可

オランダ……使用可

4. 許容応力度についての比較

4.1. 許容曲げ応力度

4.1.1. プレストレスを与えるときの下縁コンクリートの許容応力度

ベルギー…… $0.36 \sigma_{cu}$ (立方体)

プレストレスを与えてから少なくとも 2 日間、完全に自由となつた桁の全長に沿つて、桁より 5 cm 下方にある支承をそのままにしておく必要がある。特別な工場においてプレキャストされる場合を除いては 160 kg/cm^2 をこえてはならない。

ドイツ……B 300…… $0.47 \sigma_{28}$ (立方体)

B 450…… $0.40 \sigma_{28}$ (立方体)

B 600…… $0.35 \sigma_{28}$ (立方体)

断面が I 型、箱型、の場合には上記の値を約 0.02

σ_{28} だけ減少させる。断面に2方向の曲げモーメントの作用するときは、許容応力度は最大圧縮応力度をうける角で約 0.02 σ_{28} だけ増加できる。

- フランス……0.45 σ_{cu} (立方体)
 イギリス……0.40 σ_{cu} (立方体)
 イタリア……0.42 σ_{cu} (立方体)
 アメリカ……プレテンションにたいし、
 0.60 σ_{cu} (円柱強度)
 ポストテンションにたいし、
 0.55 σ_{cu} (円柱強度)

4.1.2. コンクリートの乾燥収縮、クリープ、PC 鋼線のレラクセーションがおこつたのち設計荷重が作用したときの下縁許容圧縮応力度

ベルギー……0.28 σ_{cu} (立方体)
 工場でプレキャストされた場合を除き 160 kg/cm² 以下でなければならない。

- ドイツ……B 300……0.47 σ_{28} (立方体)
 B 450……0.40 σ_{28} (立方体)
 B 600……0.35 σ_{28} (立方体)

断面がI型、箱型の場合には、0.02 σ_{28} (立方体) だけ減少させる。断面が2方向の曲げをうける場合、最大圧縮応力度をうける角では許容応力度を 0.02 σ_{28} (立方体) 増加できる。

- フランス……0.40 σ_{cu} (立方体)
 イギリス……0.33 σ_{28} (立方体)
 イタリア……0.32 σ_{28} (立方体)
 オランダ……30 kg/cm² + 0.20 σ_{28} (立方体)
 アメリカ……0.40 σ_{28} (円柱強度)

4.1.3. コンクリートの乾燥収縮、クリープ、PC 鋼線のレラクセーションがおこつたのち設計荷重が作用したときの^上縁許容圧縮応力度

ベルギー……0.28 σ_{cu} (立方体)
 工場でプレキャストされた場合を除き 160 kg/cm² 以下でなければならない。

- ドイツ……B 300……0.37 σ_{28} (立方体)
 B 450……0.31 σ_{28} (立方体)
 B 600……0.27 σ_{28} (立方体)

断面が、I型、箱型の場合には約 0.02 σ_{28} (立方体) だけ減少させる。断面に作用する曲げモーメントが傾斜しているときには、最大圧縮応力度を生ずる角の許容応力度は約 0.02 σ_{28} だけ増加できる。

- フランス……0.28 σ_{cu} (立方体)
 イギリス……0.33 σ_{28} (立方体)
 オランダ……30 kg/cm² + 0.20 σ_{28} (立方体)
 アメリカ……0.40 σ_{28} (円柱供試体強度)

4.2. 定着装置のコンクリートの支承応力度

ベルギー……支承応力度は責任技術者の指示に従つて増加させることができる。

いかなる場合にも、許容曲げ圧縮許容応力度の 1.75 倍を越えてはならない。

ドイツ……支承許容応力度 = $\sigma \sqrt[3]{\frac{A_c}{A_1}}$

$$\sigma = \begin{cases} 0.27 \sigma_{28} & \text{(立方体) B 300} \\ 0.24 \sigma_{28} & \text{(立方体) B 450} \\ 0.22 \sigma_{28} & \text{(立方体) B 600} \end{cases}$$

A_1 = コンクリートと支圧板との支圧面積

A_c = 次の条件に応じて桁の端にえがくコンクリートの最大断面積

- (1) A_c と A_1 との図心は一致させる
- (2) A_c のいずれの寸法も、支圧板のそれぞれ対応する寸法の5倍をこえてはならない。
- (3) 多数の支圧板が接近して配置されているとき A_c に相当する断面は重なつてはならない。

イギリス……許容支圧応力度 0.50 $\sigma_{cu} \sqrt[3]{\frac{A_c}{A_1}}$

A_1 = コンクリートと支圧板との接触面積

A_c = 桁端に^{対称に}えがくことのできる方形のコンクリートの最大断面積

イタリア……許容支圧応力度 0.66 σ_{cu} (立方体) この場合、コンクリートの縁端は、支圧板の支圧面の最小寸法の1/3より小さい支圧板の距離を有する部分があつてはならない。またコンクリート端は適当に鉄筋で補強されていることが必要である。

アメリカ……許容支圧応力度 0.40 $\sigma_{28} \sqrt[3]{\frac{A_c}{A_1}}$

A_1 = コンクリート支圧板との接触面積

A_c = 桁端にえがくことのできる、支圧板とその図心が一致しているコンクリートの最大面積、支圧板の大きさを比例的に拡大してこれをえがく。

いかなる場合にも局部的応力度は σ_{28} をこえてはならない。

4.3. 鉄筋によつて補強されていない場合のコンクリートの許容曲げ引張応力度

ベルギー……(a) プレストレスを与えた直後 0.028 σ_{cu} (立方体) または 15 kg/cm²

(b) 設計荷重の作用するとき 0

ドイツ……(a) すべての死荷重が作用する前の上縁

橋 0.028 σ_{28} その他の構造物

B 300 0.100 σ_{28}

B 450 0.022 σ_{28} 0.085 σ_{28}

B 600 0.020 σ_{28} 0.075 σ_{28}

(b) すべての死荷重の作用後の上縁

橋 0 その他の構造物

0 0

(c) 設計荷重が作用したときの^下縁

橋 0 その他の構造物

0 0

(d) 一時的荷重をも含めて、すべての荷重が作用したときの^下縁

	橋	その他の構造物
B 300	$0.050 \sigma_{28}$	$0.067 \sigma_{28}$
B 450	$0.045 \sigma_{28}$	$0.055 \sigma_{28}$
B 600	$0.042 \sigma_{28}$	$0.050 \sigma_{28}$

	橋	その他の構造物
B 300	0	$0.100 \sigma_{28}$
B 450	0	$0.085 \sigma_{28}$
B 600	0	$0.075 \sigma_{28}$

フランス……引張応力度は許さない。下縁の最小圧縮応力度はこの縁の最大圧縮応力度の8%以上。

例外：気象条件に対して保護され、またその安全度が、公共の安全に対して大きい影響のない構造物にたいしては、 $0.28 \sigma_{cu}$ の引張応力度まで許容する。

イギリス……引張応力度は許容される。このとき、プレストレスを与えた直後もまた設計荷重の作用するときも同じく引張応力度を許容する。ただし、構造物が水密性であり、または、鋼線の腐食にたいして、特に保護されていることが条件である。

イタリー……(a) プレストレスを与えた直後、 $0.42 \times$ (コンクリートの引張強度) または、 $0.035 \sigma_{cu}$ (立方体)

(b) 設計荷重の作用したとき、 $0.32 \times$ (コンクリート引張強度) または、 $0.027 \sigma_{cu}$ (立方体)

引張応力度は 10 kg/cm^2 をこえてはならない。

プレキャスト ブロックを組合せた場合には引張応力度は許容しない。

オランダ……(a) 構造物建設中： $5 \text{ kg/cm}^2 + 0.010 \sigma_{28}$ (立方体) または 10 kg/cm^2

(b) 設計荷重作用時
死荷重だけのとき、0
活荷重をうけたとき、 $5 \text{ kg/cm}^2 + 0.010 \sigma_{28}$ (立方体) または 10 kg/cm^2

アメリカ……(a) プレストレスをあたえた直後： $0.05 \sigma_{28}$

(b) 設計荷重作用時：0

4.4. 鉄筋によつて補強したときのコンクリート許容曲げ引張応力度

ベルギー……

(a) プレストレスを与えた直後：
 $0.056 \sigma_{cu}$ (立方体) かつ $\sigma_s = 0.9 \sigma_{sy}$
 $0.095 \sigma_{cu}$ (立方体) または 50 kg/cm^2 , $\sigma_s = 0.8 \sigma_{sy}$

(b) 設計荷重作用時：
 $0.028 \sigma_{cu}$ (立方体) かつ $\sigma_s = 0.8 \sigma_{sy}$
 $0.100 \sigma_{cu}$ (立方体) かつ $\sigma_s = 0.6 \sigma_{sy}$

ドイツ……これらの場合は鉄道橋には禁止される。

(a) すべての死荷重が作用する前の上縁

	橋	その他の構造物
B 300	$0.027 \sigma_{28}$	$0.100 \sigma_{28}$
B 450	$0.022 \sigma_{28}$	$0.085 \sigma_{28}$
B 600	$0.020 \sigma_{28}$	$0.075 \sigma_{28}$

(b) すべての死荷重が作用したのちの上縁

(c) 設計荷重作用時下縁

	橋	その他の構造物
B 300	$0.083 \sigma_{28}$	$0.100 \sigma_{28}$
B 450	$0.067 \sigma_{28}$	$0.085 \sigma_{28}$
B 600	$0.058 \sigma_{28}$	$0.075 \sigma_{28}$

(d) 一時的過大荷重を含めて、すべての荷重作用時の下縁

	橋	その他の構造物
B 300	$0.100 \sigma_{28}$	$0.133 \sigma_{28}$
B 450	$0.085 \sigma_{28}$	$0.111 \sigma_{28}$
B 600	$0.075 \sigma_{28}$	$0.100 \sigma_{28}$

断面に作用する曲げモーメントが断面の軸に対して傾斜しているとき、最大引張応力度を生ずる角では15~25%、上記の許容値を増加させることができる。

フランス……構造物の建設中は、一時的に、軸方向力と曲げとをうける鉄筋コンクリートと同様に計算してよい。このとき、プレストレスング実施のとき、一時的に開口したひびわれが閉ぢることに、抵抗するものが何もないという条件と同時に、引張応力度をうけるのに用いられた普通の鉄筋の直径の1/200をこえないひびわれ幅であることが必要である。

イタリー…… 30 kg/cm^2

オランダ…… $10 \text{ kg/cm}^2 + 0.020 \sigma_{28}$ または 20 kg/cm^2

アメリカ…… $0.08 \sigma_{28}$ (円柱供試体強度)

4.5. 斜張応力度に対するコンクリートの許容引張応力度

ベルギー……(1) 腹鉄筋を用いないとき： $0.0125 \sigma_{cu}$

(2) 許容応力度 1800 kg/cm^2 の腹鉄筋を用いるとき $0.025 \sigma_{cu}$

(3) 許容応力度 1400 kg/cm^2 の腹鉄筋を用いるとき $0.0375 \sigma_{cu}$

ドイツ……設計荷重をうけたときと、破壊荷重をうけたときと、両方にたいして計算する。

(1) 腹鉄筋を用いないとき、

設計荷重をうけたとき 破壊荷重をうけたとき

B 300	8 kg/cm^2	16 kg/cm^2
B 450	9 "	20 "
B 600	10 "	24 "

(2) 腹鉄筋なしで許容される斜張応力度の0.75をこえるすべての斜張応力度にたいして腹鉄筋を用いて、つぎの許容応力度とする。

設計荷重をうけたとき 破壊荷重をうけたとき

B 300	16 kg/cm^2	32 kg/cm^2
B 450	20 "	40 "
B 600	24 "	48 "

フランス…… $\sigma_I > 0.82 \sigma_{II}'$ であれば腹鉄筋を配置する。

σ_I , σ_{II}' は、腹部の任意の点において、主引張応力度と、主圧縮応力度である。

イギリス……曲げによる破壊荷重をうけたとき、腹鉄筋がないならば、 σ_I は $0.5\sigma_{cu}$ をこえてはならない。

- イタリー……(1) 腹鉄筋なしで、 6 kg/cm^2
 (2) 鉄筋の腹鉄筋を配置して、 18 kg/cm^2
 (3) σ_I を 4 kg/cm^2 に減少させるようにプレストレッシングした腹鉄筋のある場合には、 30 kg/cm^2

- オランダ……(1) 腹鉄筋なしで、
 $5 \text{ kg/cm}^2 + 0.01 \sigma_{28}$ または 10 kg/cm^2
 (2) 腹鉄筋を配置して、
 $10 \text{ kg/cm}^2 + 0.02 \sigma_{28}$ または 20 kg/cm^2

- アメリカ……
 (1) 腹鉄筋なしで、
 設計荷重をうけたとき…… $0.03 \sigma_{28}$
 破壊荷重をうけたとき…… $0.08 \sigma_{28}$
 (2) 腹鉄筋を有するときは制限なく、 $0.03 \sigma_{28}$ をコンクリートで、残りを腹鉄筋でうける。
 最大の傾斜引張応力度は支点から $1.5h$ 離れた断面に生ずるものとする。
 腹鉄筋を常に配置するのがよい。この場合の助筋間隔は $0.75h$ をこえないようにし、その断面積は桁断面積の 0.08% 以上とする。

4.6. プレストレッシングのPC鋼線許容引張応力度

ベルギー…… $0.60 \sigma_{pu}$ 、および 0.80σ (降伏点強度)
 これらの数値は荷重による最大引張応力度が、最小引張応力度を 10% 以上こえない場合のみ許容される。

- ドイツ……(1) プレストレスを与えるとき、
 0.80σ (降伏点強度)
 (2) 設計荷重の作用時、
 $0.55 \sigma_{pu}$ 、および 0.75σ (降伏点強度)

摩擦を補償するために M_I の小さい区間においては、 5% の増加を許容する。曲線部分でPC鋼線の外側では 15% の増加を許容する。

- イタリー……(1) プレストレスを与えるとき、
 プレテンショニング $0.95 \sigma_{pu}$ 、および 130 kg/mm^2
 ポストテンショニング $0.85 \sigma_{pu}$ 、および 120 kg/mm^2
 (2) 設計荷重作用時
 プレテンショニング $0.62 \sigma_{pu}$ 、および 105 kg/mm^2
 ポストテンショニング $0.58 \sigma_{pu}$ 、および 90 kg/mm^2

ポストテンショニングの場合PC鋼線の引張応力度は 5% 増加することができる。

- オランダ……(1) プレストレスを与えるとき

$$0.67 \sigma_{pu} \text{ および } \begin{cases} 0.90 \\ 0.80 \\ 0.70 \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \text{冷間引抜き} \\ \text{降伏点} \\ \text{強度} \\ \text{引抜き} \\ \text{硬化加工} \end{array} \right.$$

- (2) 設計荷重作用時 $0.60 \sigma_{pu}$

アメリカ……(1) プレストレスを与えるとき、 $0.80 \sigma_{pu}$

- (2) 設計荷重作用時
 $0.60 \sigma_{pu}$ 、および 0.80 (降伏点強度)

5. 安全率の比較

5.1. ひびわれの安全率

ドイツ……パーシャルプレストレッシングのとき $1.35 M_{d+I}$ の曲げモーメントをうけて生ずるコンクリート引張応力度はこれを鉄筋でうけさせる。フルプレストレッシングの場合にはひびわれ安全度の計算は不要。桁には格子状に鉄筋を配置し、コンクリート容積の 0.3% 以上でなければならない。

気象状態の悪い場合、パーシャルプレストレッシングの場合には M_d にたいして引張応力度を生じてはならない。活荷重の大きい場合(橋、鉄道橋)には $M_d + \frac{1}{2} M_I$ にたいして引張応力度を生じてはならない。

イタリー…… $M_c \geq 1.2 M_{d+I}$

プレキャストブロックを組み合わせた場合の白地の引張強度は 0 とする。

オランダ…… $M_c \geq M_d + 1.33 M_I$

M_c の計算には、コンクリートの引張強度 $= 0.10 \sigma_{cu}$ (立方体) とする。

5.2. 破壊にたいする安全率

ベルギー…… $M_u \geq M_d + 2.5 M_I$ および $M_u \geq 2 M_{d+I}$

M_u の計算

$$M_u = 0.9 A_p \sigma_{pu} d$$

この式が成立するには、フランジの厚さは次の値以上でなければならない。

$$\left(1 - \sqrt{1 - 72 \frac{A_p}{bd}} \right) d$$

ドイツ…… $M_u \geq 1.75 M_{d+I}$

M_u の計算

σ_{pu} と $0.67 \sigma_{28}$ とを組合わせる。

コンクリートの応力-ヒズミ曲線はパラボラとし、 $\epsilon_c = 0.15\%$ からは、応力度は一定で $0.67 \sigma_{28}$ とする。 $\epsilon_{cu} = 0.20\%$ とする。矩形断面の場合には、圧縮応力度の合力は、

$$C_u = 0.5 A_c' \cdot \sigma_{28} = 0.56 x \sigma_{28}$$

とする。作用点は圧縮縁からこの圧縮側の高さの 0.4 の所とする ($0.4x$)。

付着のある場合には、PC鋼線応力度はコンクリートの応力-ヒズミ曲線の関係から求められる。これに反して、付着のない場合、単純支承桁にたいして、

$$\sigma_{pb} = \sigma_{pe} + 1400 \text{ kg/cm}^2$$

鉄筋にたいしては降伏点応力度 σ_{sy} を用いる。

$$\text{フランス} \dots \begin{cases} M_u \geq 1.11 M_d + 2.22 M_l & (\text{PC 鋼線による破壊}) \\ M_u \geq 1.43 M_d + 2.86 M_l & (\text{コンクリートによる破壊}) \end{cases}$$

M_u の計算

PC 鋼線による破壊 $M_u = 0.9 A_p \sigma_{pu} \cdot d$

コンクリートによる破壊

$$M_u = 0.22 b_o d^2 \sigma_{cu} + 0.9(b - b_o) d' d \sigma_{cu} \quad (\text{T型断面 } d' < 0.25 d) \text{ または } 0.22 b_o d^2 \sigma_{cu} \quad (\text{矩形断面または T型断面で } d' > 0.25 d \text{ のとき})$$

ここに、 d' = 圧縮フランジの厚さ

b' = 腹部の幅

b = 圧縮フランジの幅

$$\begin{aligned} \text{イギリス} \dots & \begin{cases} M_u \geq 2 M_{d+l} & (\text{PC 鋼線による破壊}) \\ M_u \geq 2.5 M_{d+l} & (\text{コンクリートによる破壊}) \end{cases} \\ \text{イタリー} \dots & M_u \geq 2 M_{d-l} \text{ および } M_u \geq 1.25 M_c \quad (\text{ひびわれモーメント}) \end{aligned}$$

オランダ $\dots M_u \geq 1.75 M_d + 2.25 M_l$

M_u の計算 $M_u = \sum c(d - 0.1h) A_p \sigma_{pu}$

$c = 0.65$ 付着のないとき

$c = 0.85$ 付着の悪いとき

$c = 1.00$ 付着の完全なとき

アメリカ $\dots M_u \geq M_d + 3 M_l$ および $M_u \geq 2 M_{d-l}$

M_u の計算

$$(A_p)_{cr} = 0.23 \frac{0.8 \sigma_s (\text{円柱})}{\sigma_{pu}} \cdot b d \text{ とおく。}$$

もし、 $A_p \leq (A_p)_{cr}$ ならば

$$M_u = 0.9 A_p \sigma_{pu} d$$

もし、 $A_p > (A_p)_{cr}$ ならば

$$M_u = 0.91 \sqrt{A_p (A_p)_{cr}} \sigma_{pu} \cdot d$$

6. プレストレスの減少計算の比較

6.1. コンクリート乾燥収縮

ベルギー \dots 室内に置かれたとき、全収縮量 = $20 \cdot 10^{-5}$

室外に置かれたとき、全収縮量 = $15 \cdot 10^{-5}$

ドイツ \dots 状態	全収縮量	} 部材断面の最小寸法 20~75 cm
水中	0	
湿った空中	$10 \cdot 10^{-5}$	
普通の場合	$20 \cdot 10^{-5}$	
乾燥した空气中	$30 \cdot 10^{-5}$	

ポストテンショニングでプレストレスをあたえたのちの乾燥収縮は、上記の数値につきの係数を乗ずる。

$\sigma_c / \sigma_{c00} = 0.65$	0.9
0.75	0.6
0.85	0.45
1.00	0.30

最小寸法が 20 cm 以下の場合には 25% 増し、75 cm 以上の場合には 25% 減少させる。

フランス \dots それほどマッシュでないと $20 \cdot 10^{-5}$

プレストレスをあたえたのちの最小収縮量 = $10 \cdot 10^{-5}$
イギリス \dots 全収縮量 = $30 \cdot 10^{-5}$

プレストレスをあたえたのちの収縮量 = $20 \cdot 10^{-5}$

イタリー \dots 全収縮量 = $30 \cdot 10^{-5}$

この値は、湿った空中にある場合には減少できる。

オランダ \dots プレストレスをあたえたのちの収縮量
$$\frac{10 \cdot 10^{-5}}{\log(t+2)}$$

t = コンクリート打ちと、プレストレッシングを実施するときの間の日数

アメリカ \dots 全収縮量 = $20 \cdot 10^{-5}$

プレストレスをあたえたのちの収縮量 = $10 \cdot 10^{-5}$

6.2. 弾性ヒズミとクリープ ヒズミ

ベルギー $\dots E_c = 550\,000 \cdot \frac{\sigma_{cu}}{\sigma_{cu} + 225 \text{ kg/cm}^2}$

ドイツ \dots 弾性係数

B 300	$E_c = 300\,000 \text{ kg/cm}^2$
B 450	350 000 "
B 600	400 000 "

クリープ係数 $\varphi = \frac{\text{クリープ度}}{\text{弾性ひずみ度}}$

状態 φ の値

水中	0.50 $k \sim 1.00 k$
湿空中	1.50 $k \sim 2.00 k$
普通の場合	2.00 $k \sim 3.00 k$
乾燥した空中	2.50 $k \sim 4.00 k$

k は、プレストレスをあたえるときのコンクリート強度に関係する。

$\sigma_c / \sigma_{c00} = 0.65$	$k = 1.5$
0.75	1.0
0.85	0.75
1.00	0.50

最小寸法 > 75 cm 10% 減少させる

最小寸法 > 150 cm 20% 減少させる

フランス $\dots E_c = 18\,000 \sqrt{\sigma_{cu}}$ (立方体)

$\varphi = 2$

イギリス $\dots \sigma_{cu} = 280 \text{ kg/cm}^2 \quad E_c = 250 \text{ t/cm}^2$

420 "	330 "
700 "	400 "

クリープ

プレテンショニング $0.60 \cdot 10^{-5} / \text{kg/cm}^2$

ポストテンショニング $0.45 \cdot 10^{-5} / \text{kg/cm}^2$ (材令 2~3 週でプレストレスをあたえるとき)

イタリー $\dots E_c = 350\,000 \text{ kg/cm}^2$ または $18\,000 \sqrt{\sigma_{cu}}$

プレストレスを与えるときのコンクリート材令が 14 日であれば $\varphi = 1.5$

オランダ $\dots E_c = 200\,000 + \frac{1\,000 \sigma_s (\text{立方体})}{3}$

アメリカ $\dots E_c = 350\,000 \text{ kg/cm}^2 \quad \varphi = 2.25$

6.3. PC 鋼線のレラクセーション

フランス \dots 他に規定なき場合は $140 \sim 160 \text{ kg/mm}^2$ の引張強度を有する $\phi 5 \text{ mm}$ PC 鋼線を、 $90 \sim 110 \text{ kg/mm}^2$ で最初引張つた場合 10% とする。

イタリー……プレテンションング 単線 12%
2~3より線 14%

ポストテンションング 平行な鋼線配置 8%
もし、ケーブルを少なくとも8日後に再び引張るならば25%減少できる。

もし、ケーブルを少なくとも2カ月後に再び引張るならば40%減少できる。

オランダ……他に規定なくば、10%

アメリカ……他に規定なくば、4%

6.4. プレストレスの減少値

ベルギー……計算を実施しない場合、 $\sigma_p \geq 80 \text{ kg/mm}^2$ にたいして15%とする。

フランス…… $\Delta \sigma_p = 0.10 \sigma_p + 0.0001 E_p + 2 \frac{E_p}{E_c} \cdot \sigma_c'$

アメリカ…… $\Delta \sigma_p = 0.04 \sigma_p + 4.2 \text{ kg/mm}^2 + 16 \sigma_c'$

プレテンションング

$\Delta \sigma_p = 0.04 \sigma_p + 2.1 \text{ kg/mm}^2 - 11 \sigma_c'$

ポストテンションング

$\sigma_c' = \text{PC 鋼線図心位置のコンクリート応力度}$

7. その他の事項についての比較

7.1. バックリング

ベルギー……付着のあるケーブルによつてプレストレスをあたえるときにはバックリングをおこさない。ケーブルがコンクリート部材内に自由に配置されているとき、プレストレッシング中に桁が彎曲しないことを検討する必要がある。非常に腹部の幅の薄いものは反るようになるから、適当な補剛材をつける必要がある。

ドイツ……付着のあるPC鋼線によつてあたえられる圧縮によつてはバックリングをおこさない。PC鋼線がコンクリート部材で自由であり、ある数カ所の点で結合されているならば、バックリングはこれらの点の間隔に等しい長さの柱について考える。荷重または独立したアバットに対して支持されたジャッキによつて加えられる外力による圧縮にたいしては、バックリングを検討する。

フランス……弾性安定度は検討しなければならない。単純な圧縮によつてバックリングをおこすと考えられる部材にたいしては、オイラー荷重にたいする安全率は少なくとも3とする。荷重の2倍と、風の作用とが作用する仮定のもとで生ずる圧縮力が、オイラーの限界荷重の1/2をこえないことを確かめる。PC鋼線がバックリングの変形の場合に部材によつて引きよせられる場合には、プレストレッシングの圧縮力はバックリングの現象には無関係である。もしPC鋼線が部材と結合されていないときは、応力度の計算において、部材とPC鋼線との相対的移動を考える必要がある。

7.2. 桁のタワミ度

ベルギー……タワミは構造物の使用の目的に不適当なものであつてはならない。

オランダ……設計荷重作用時(活荷重)の計算タワミはスパンの1/500をこえてはならない。

7.3. ケーブルの定着

ベルギー……ポストテンションングの場合、端のブロック長 l は $15 \pi \phi l$ が1本のPC鋼線の引張力 N に少なくとも等しいような長さを有することが必要である。 $(\phi, l$ は cm であり、 N は kg である)

ドイツ……定着装置は、ケーブルの引張力が破壊荷重 $\times 0.57$ に達したとき、普通の許容応力をこえないように寸法を決定する。付着による定着応力度は次の値以下とする。

設計荷重をうけたとき 破壊荷重をうけたとき

B 300 8 kg/cm^2 14 kg/cm^2

B 450 9 " 16 "

B 600 10 " 18 "

この値は、コンクリートが振動で締め固められ、PC鋼線表面の油等を取り去つた場合にだけ用いられる。

フランス……付着による定着の場合、計算上の滑りに対する抵抗は、PC鋼線切断抵抗の1.60倍以上。

オランダ……付着による定着は、 40ϕ 以上の埋込み長さのある場合には完全であると考えられる。また鋼線の破壊荷重に達することができる。

アメリカ……付着による定着は、次の場合に許容される。

$\phi \leq 5 \text{ mm}$ の鋼線

$\left\{ \begin{array}{l} 7 \text{ 本鋼線ケーブルで } \phi_{\text{cable}} \leq 10 \text{ mm} \text{ の場合} \\ \text{PC 鋼線間の中心間隔} \geq 3 \phi \text{ で、また純間隔} \geq 1.5 D \end{array} \right.$

(骨材最大寸法)

7.4. 鋼線の保護

ベルギー……少なくとも30mm以上のモルタル被覆—セメントペーストではなく—は部材コンクリートのモルタルと同じ配合で、施工可能な範囲で水量を減少させる。

被覆が悪気象条件にさらされるときは塗料で保護する。

フランス……型わくとPC鋼線との距離 $\geq 20 \text{ mm}$

海岸構造物にたいして $\geq 35 \text{ mm}$

薄い管、ポール等ではなるときには以上に従わなくてもよい。

アメリカ……

型わくとPC鋼線との距離 $\geq 40 \text{ mm}$ および $\geq \phi$

モルタルによる保護、セメント4+砂3

PC鋼線が被覆されないときは、ガルバナイズされた線を用いる。