

プレストレストコンクリート橋の海外との技術比較に関する調査研究（その 1）

プレストレストコンクリート橋の海外との技術比較に関する調査研究委員会*

1. はじめに

橋梁の建設コストには、施工方法・材料・工期・発注形態など多くの要因が関わっているが、設計規準は橋梁の仕様を決定するもっとも大きな要因である。設計規準には解析技術のように世界的に共通する部分もあるが、その地域で入手できる材料やこれまでの経験や技術開発を反映した施工技術、あるいは設計荷重に対する考え方などに依存する部分も多く、各国で独自の設計体系が開発され用いられている。そのため、同じ部材を設計した場合でも、日本の規準による設計結果と異なることは珍しくない。本研究では、これら海外規準の調査研究を行い、比較検討を通して日本の規準の合理性や今後の課題を抽出することとした。

本報告は、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会から(財)高速道路調査会へ委託された「プレストレストコンクリート橋の海外との技術比較に関する調査研究」について平成 14 年度から平成 16 年度までの 3 年間の研究結果の概要をまとめたものである。

本稿ではこれを 3 回に分け、その 1 では研究概要と海外規準の概要について、その 2 では主桁の設計結果について、その 3 では床版の設計、工費および総括を報告する。

2. 研究概要

本研究では、標準的なプレストレストコンクリート橋(中央支間長 80 m の 3 径間ラーメン橋)について、主桁と床版の試設計を表 - 1 に示す海外規準および日本の規準にしたがいそれぞれ行った。これは各規準による数量および工費の格差を把握することを目的としたものである。

各国の規準は、その国々の社会情勢や建設環境を鑑みて定められていることはいままでのないが、一つの橋梁をそれぞれの規準で設計し比較した研究は今までにない。したがって試設計においては、荷重側と耐力側に内在するその国の事情を、現地で設計に携わっている研究者や技術者からできるだけヒアリングし、試設計の水準が各国で同程度となるように配慮した。ただし、試設計で設定した幅員構成は日本の道路を想定しており、各国の標準的な幅員構成と異なるため、活荷重強度や設計手法など各国の設計体系を適切に反映できていない部分もあると考えられる。これらを踏まえて、主桁、床版および工費について以下のように検討した。なお、本研究が高速道路橋を対象としたことから、日本の規準は道路橋示方書¹⁾(以下「道示」)と設計要領第二集²⁾(日本道路公団)の両方を使用しており、主桁および床版は PRC 構造と設定した。

主桁の設計では、曲げ・せん断に対する使用限界状態

表 - 1 検討対象の海外規準

規準名	AASHTO LRFD	BS 5400	DIN 1045	BEPL 91
制定年	1998	1990	2001	1992
国名	アメリカ	イギリス	ドイツ	フランス

(道示は設計荷重時)と終局限界状態(道示は終局荷重時)について検討した。さらに、使用限界状態において海外規準がどの程度のひび割れを許容しているのかを検討した。また、終局限界状態では、安全係数が見込まれている道示の荷重係数について海外規準との比較を試みた。このデータは、今後、道示が性能設計に移行するなかで、妥当な荷重係数を決定する際の一助となると考えられる。

床版の設計では、道示だけが設計曲げモーメントの算定規準を与えており、これは FEM 解析に比べて大きめであることが以前から知られている。本研究ではこの設計曲げモーメントを比較するとともに、制限値(道示では許容値)の差異も考慮して、日本の床版設計がどの程度安全側なのかを検討した。そして、耐久性と経済性を考えた床版の設計がどうあるべきかという議論に対しての材料を提供する。

工費の検討では、日本の標準的な単価や経費を設定して積み上げた。一方、海外には日本のように積算基準というものがないため、施工に関する工費は日本で施工したものとして算出した。このため、設計規準の違いによる工費の差だけを抽出することになる。

3. 各国の設計規準

3.1 概要

AASHTO LRFD³⁾(アメリカ)は、1994 年に新たに制定された、部分安全係数に基づいた新しい設計規準である。1994 年の初版の出版後、実設計や研究によって提案されたより高度で正確な設計・解析理論を反映するため、1998 年に第 2 版、2004 年に第 3 版が発刊されている。

BS 5400⁴⁾(イギリス)では限界状態設計法を採用し、Code である BS 5400 とその付属書ともいえる DMRB (Design Manual For Roads and Bridges) から構成されている。本研究では、BS 5400 に加え DMRB についても調査できる範囲で適用することとした。

DIN 1045⁵⁾(ドイツ)では、従来、限界状態設計法をきわめて実用的に規定した包括的安全係数法が用いられてきた。DIN 1045 は、2001 年に大幅な改訂が行われ、部分安全係数法を用いた限界状態設計法に移行している。なお、試設計にあたっては、必要に応じて基幹規準である DIN 1045 以外に DIN 4227 や旧規準を用いた。

BEPL 91⁶⁾(フランス)におけるコンクリート構造物の設

計は、1983年に限界状態設計法によるものが制定され、1992年の改訂を経て、現在に至っている。

3.2 活荷重

海外規準の活荷重一覧を表-2および表-3に示す。同じ欧州においても各規準により活荷重が異なっている。

表-2 活荷重一覧(その1)

規準名	活荷重																																					
道示 (2001) (日本)	<p>・ T 荷重</p> <p>・ L 荷重</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">荷重</th> <th colspan="6">主載荷重 (幅 5.5m)</th> <th rowspan="2">従載荷重</th> </tr> <tr> <th colspan="2">等分布荷重 P_1</th> <th colspan="2">等分布荷重 P_2</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <td></td> <td>載荷長 D (m)</td> <td>荷重 (kN/m²)</td> <td>曲げせん断</td> <td>荷重 (kN/m²)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 活荷重</td> <td>6</td> <td></td> <td>$L \leq 80$</td> <td>$80 < L \leq 130$</td> <td>$130 < L$</td> <td></td> <td rowspan="2">主載荷重の 50%</td> </tr> <tr> <td>B 活荷重</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>3.5</td> <td>$4.3 - 0.01L$</td> <td>3.0</td> </tr> </tbody> </table>	荷重	主載荷重 (幅 5.5m)						従載荷重	等分布荷重 P_1		等分布荷重 P_2					載荷長 D (m)	荷重 (kN/m ²)	曲げせん断	荷重 (kN/m ²)				A 活荷重	6		$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$130 < L$		主載荷重の 50%	B 活荷重	10	10	12	3.5	$4.3 - 0.01L$	3.0
荷重	主載荷重 (幅 5.5m)						従載荷重																															
	等分布荷重 P_1		等分布荷重 P_2																																			
	載荷長 D (m)	荷重 (kN/m ²)	曲げせん断	荷重 (kN/m ²)																																		
A 活荷重	6		$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$130 < L$		主載荷重の 50%																															
B 活荷重	10	10	12	3.5	$4.3 - 0.01L$	3.0																																
AASHTO LRFD (1998) (アメリカ)	<p>・ Design Truck + Design Lane Load の組合せ、または Design Tandem + Design Lane Load の組合せを載荷する。</p> <p>・ Design Lane load 1車線あたり 9.3 N/mm 橋軸方向全長にわたり等分布 (橋軸直角方向は幅 3.0 m)</p> <p>・ Design Truck</p> <p>Figure 3.6.1.2.1-Characteristics of the Design Truck</p> <p>・ Design Tandem</p> <p>幅員を幅 3.6 m の車線に分け、各車線に上記荷重を載荷する。その際、車線数に応じて荷重強度に補正係数を乗じる。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Number of Loaded Lanes</th> <th>Multiple Presence Factors "m"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>> 3</td> <td>0.65</td> </tr> </tbody> </table> <p>・ 衝撃係数 Design Truck および design Tandem のみに適用する。 床版の継手部 すべての限界状態に対して 1.75 その他の部材 疲労限界状態に対して 1.15 その他の限界状態に対して 1.33</p>	Number of Loaded Lanes	Multiple Presence Factors "m"	1	1.20	2	1.00	3	0.85	> 3	0.65																											
Number of Loaded Lanes	Multiple Presence Factors "m"																																					
1	1.20																																					
2	1.00																																					
3	0.85																																					
> 3	0.65																																					
BS5400 (1990) (イギリス)	<p>・ 載荷方法 一般的な載荷方法は、部材にもっとも不利な荷重状態となるように載荷する。</p> <p>・ 道路主荷重 活荷重の載荷方法と車線とは無関係である。 標準高速道路荷重 正常荷重 (HA) = 等分布荷重 (a) + 線荷重または単一軸重 (b) 異常荷重 (HB) = 特殊重量車</p> <p>・ 等分布荷重 $L \leq 30$ m 30 kN/m $L > 30$ m $151 \times (1/L)^{0.475}$ L ; 載荷長 ※ 2 車線まで HA, その他 HA/3</p> <p>・ 線分布荷重 120 kN/1 車線幅 1m あたりの荷重は車線幅で割って求められる。 ※ 2 車線まで HA, その他 HA/3</p> <p>・ 輪荷重 100 kN = 1.1 N/mm² (設置面積: $\phi 340$, または $\square 300$ mm) 輪荷重の分布幅 (下図参照) アスファルト部 1 : 2 コンクリート部 中立軸まで 1 : 1</p> <p>※ L : 載荷長は着目断面ごとの影響線載荷長</p>																																					

表-3 活荷重一覧 (その2)

規準名	活荷重																																																																
DIN 1045 (2001) ,4227 (ドイツ)	<p>1) 主車線には、もっとも不利な位置におかれた下表の設計車両荷重を載荷する。</p> <p>2) この車両の前後には、同表に示される橋面活荷重 p_1 が載荷される。</p> <p>3) 主車線以外の車道には、同表にある表面荷重 p_2 を載荷する。</p> <p>4) 群集荷重としては、$p_3 = 5 \text{ kN/m}^2$ を載荷する。ただし、支間が 10 m を超える場合は、以下の式で算出される値を載荷するものとする。</p> $p_3 = 5.5 - 0.05 \cdot L > 4.0 \text{ kN/m}^2 \quad (L : \text{支間長})$ <p>5) 衝撃係数は、以下の式で算出する。</p> $\phi = 1.4 - 0.008 \cdot L_\phi \quad (L_\phi : \text{衝撃係数算出用支間長})$ <p>L_ϕ について</p> <p>a) 直接載荷により計算を行う場合は、一般的には支点間距離を用いる。ただし、片持ち梁の場合は、突出長を用いるものとする。</p> <p>b) 間接載荷により計算を行う場合は、支間長と活荷重載荷端距離のうち、大きい値を用いる。</p> <p>c) 連続桁の場合は、活荷重が載荷される最初の支間長を用いることとする。もし、最小支間長が最大支間の 0.7 倍以上である場合は、全支間の平均値を用いる。</p>																																																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">重量貨物車 (SLW)</th> <th colspan="2">貨物自動車 (LKW)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>橋格 60/30</td> <td>橋格 30/30</td> <td>橋格</td> <td>16/16 12/12 9/9 6/6 3/3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>合計重量</td> <td>kN 160 120 90 60 30</td> </tr> <tr> <td>合計重量 600 kN</td> <td>合計重量 300 kN</td> <td>分布荷重</td> <td>kN/m² 8.9 6.7 5.0 4.0 3.0</td> </tr> <tr> <td>輪荷重 100 kN</td> <td>輪荷重 50 kN</td> <td>前輪</td> <td>輪荷重 kN 30 20 15 10 5</td> </tr> <tr> <td>分布荷重 33.3 kN/m²</td> <td>分布荷重 16.7 kN/m²</td> <td>前輪</td> <td>輪幅 b_1 m 0.26 0.20 0.18 0.14 0.14</td> </tr> <tr> <td>活荷重載荷パターン</td> <td>活荷重載荷パターン</td> <td>後輪</td> <td>輪荷重 kN 50 40 30 20 10</td> </tr> <tr> <td>HS $p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$ SLW 60 3.0</td> <td>HS $p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0</td> <td>後輪</td> <td>輪幅 b_2 m 0.40 0.30 0.26 0.20 0.20</td> </tr> <tr> <td>NS $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0</td> <td>NS $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0</td> <td>軸重</td> <td>輪荷重 kN 110 110 90 60 30</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>軸重</td> <td>輪幅 b_3 m 0.40 0.40 0.30 0.26 0.20</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td colspan="2">活荷重載荷パターン</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>橋格</td> <td>16/16 12/12 9/9 6/6 3/3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>HS p_1 LKW</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>NS p_2 LKW</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>p_1 kN/m²</td> <td>5.4 4.0 4.0 4.0 3.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>p_2 kN/m²</td> <td>3.0 3.0 3.0 2.0 2.0</td> </tr> </tbody> </table>	重量貨物車 (SLW)		貨物自動車 (LKW)		橋格 60/30	橋格 30/30	橋格	16/16 12/12 9/9 6/6 3/3			合計重量	kN 160 120 90 60 30	合計重量 600 kN	合計重量 300 kN	分布荷重	kN/m² 8.9 6.7 5.0 4.0 3.0	輪荷重 100 kN	輪荷重 50 kN	前輪	輪荷重 kN 30 20 15 10 5	分布荷重 33.3 kN/m²	分布荷重 16.7 kN/m²	前輪	輪幅 b_1 m 0.26 0.20 0.18 0.14 0.14	活荷重載荷パターン	活荷重載荷パターン	後輪	輪荷重 kN 50 40 30 20 10	HS $p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$ SLW 60 3.0	HS $p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0	後輪	輪幅 b_2 m 0.40 0.30 0.26 0.20 0.20	NS $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0	NS $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0	軸重	輪荷重 kN 110 110 90 60 30			軸重	輪幅 b_3 m 0.40 0.40 0.30 0.26 0.20			活荷重載荷パターン				橋格	16/16 12/12 9/9 6/6 3/3			HS p_1 LKW	3.0			NS p_2 LKW	3.0			p_1 kN/m²	5.4 4.0 4.0 4.0 3.0			p_2 kN/m²	3.0 3.0 3.0 2.0 2.0
重量貨物車 (SLW)		貨物自動車 (LKW)																																																															
橋格 60/30	橋格 30/30	橋格	16/16 12/12 9/9 6/6 3/3																																																														
		合計重量	kN 160 120 90 60 30																																																														
合計重量 600 kN	合計重量 300 kN	分布荷重	kN/m² 8.9 6.7 5.0 4.0 3.0																																																														
輪荷重 100 kN	輪荷重 50 kN	前輪	輪荷重 kN 30 20 15 10 5																																																														
分布荷重 33.3 kN/m²	分布荷重 16.7 kN/m²	前輪	輪幅 b_1 m 0.26 0.20 0.18 0.14 0.14																																																														
活荷重載荷パターン	活荷重載荷パターン	後輪	輪荷重 kN 50 40 30 20 10																																																														
HS $p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$ SLW 60 3.0	HS $p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0	後輪	輪幅 b_2 m 0.40 0.30 0.26 0.20 0.20																																																														
NS $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0	NS $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ SLW 30 3.0	軸重	輪荷重 kN 110 110 90 60 30																																																														
		軸重	輪幅 b_3 m 0.40 0.40 0.30 0.26 0.20																																																														
		活荷重載荷パターン																																																															
		橋格	16/16 12/12 9/9 6/6 3/3																																																														
		HS p_1 LKW	3.0																																																														
		NS p_2 LKW	3.0																																																														
		p_1 kN/m²	5.4 4.0 4.0 4.0 3.0																																																														
		p_2 kN/m²	3.0 3.0 3.0 2.0 2.0																																																														
BPEL 91 (1992) (フランス)	<p>橋梁の道路規格によって活荷重が異なる。</p> <p>Class 1 $7.0 \text{ m} \leq w \quad \Delta w = 3.5 \text{ m}$</p> <p>Class 2 $5.5 \text{ m} < w < 7.0 \text{ m} \quad \Delta w = 3.0 \text{ m}$</p> <p>Class 3 $w \leq 5.5 \text{ m} \quad \Delta w = 2.75 \text{ m}$</p> <p>$w$: 車道幅員 Δw : 1 車線の幅</p> <p>・ A 活荷重</p> <p>A 活荷重は分布荷重として定義されている。</p> $A(L) = 230 + 36000 / (L + 12) \text{ (kg f/m}^2\text{)} \quad (L > 200 \text{ m})$ <p>($L = 200 \text{ m}$ のとき 400 kg f/m^2)</p> <p>L は橋軸方向の載荷長さ (m) であり、着目位置で曲げモーメントが最大または最小となるように、影響線上で載荷した長さをとる。よって、着目位置および最大時、最小時によって L は異なった値となる。また、車線数および橋梁の道路規格によって活荷重を低減する。ただし、載荷される活荷重が次の値より小さくならない。</p> $a' = (400 - 0.2 L)$ <p>B 活荷重</p> <p>B 活荷重は、日本でいう T 活荷重と同様の荷重である。</p> <p>B 活荷重には次の 3 タイプがある。</p> <p>Bc : トラック荷重。橋軸および橋軸直角方向の検討に使用。</p> <p>Bt : トラック荷重。横方向または規模の小さな橋梁に使用。Class 2 に適用。</p> <p>Br : 単輪荷重。通常は張出し床版の検討に使用。</p> <p>低減係数は載荷したトラックの台数に比例して乗ずること。上記の荷重によって算出された断面力を使用限界状態または終局限界状態での検討に用いる場合は、別途係数を乗ずる必要がある (制定時に比べ荷重が増加したことによる)。</p> <p>使用限界状態の場合 : 1.2 終局限界状態の場合 : 1.07</p>																																																																
	<p>A 活荷重の低減係数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>車線数 N</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>≧ 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Class 1</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.90</td> <td>0.75</td> <td>0.70</td> </tr> <tr> <td>Class 2</td> <td>1.00</td> <td>0.90</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Class 3</td> <td>0.90</td> <td>0.80</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>B 活荷重の低減係数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>荷重数</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>≧ 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Class 1</td> <td>1.20</td> <td>1.10</td> <td>0.95</td> <td>0.80</td> <td>0.70</td> </tr> <tr> <td>Class 2</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Class 3</td> <td>1.00</td> <td>0.80</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>Bc</p> <p>Bt</p> <p>Br</p>	車線数 N	1	2	3	4	≧ 5	Class 1	1.00	1.00	0.90	0.75	0.70	Class 2	1.00	0.90	—	—	—	Class 3	0.90	0.80	—	—	—	荷重数	1	2	3	4	≧ 5	Class 1	1.20	1.10	0.95	0.80	0.70	Class 2	1.00	1.00	—	—	—	Class 3	1.00	0.80	—	—	—																
車線数 N	1	2	3	4	≧ 5																																																												
Class 1	1.00	1.00	0.90	0.75	0.70																																																												
Class 2	1.00	0.90	—	—	—																																																												
Class 3	0.90	0.80	—	—	—																																																												
荷重数	1	2	3	4	≧ 5																																																												
Class 1	1.20	1.10	0.95	0.80	0.70																																																												
Class 2	1.00	1.00	—	—	—																																																												
Class 3	1.00	0.80	—	—	—																																																												

3.3 限界状態の定義と設計耐用年数

海外規準の限界状態に対する定義と設計耐用年数の一覧を表-4 に示す。

許容応力度法を基本とした道示に対し、本研究の対象と

した海外規準においてはすべての国で限界状態が定義されている。

3.4 耐久性に関する規定

コンクリート構造物の設計耐用年数を規定するうえで、

表 - 4 限界状態と設計耐用年数

規準名 国名	道示 (2001) 日本	AASHTO LRFD (1998) アメリカ	BS5400 (1990) イギリス	DIN1045 (2001) ,4227 ドイツ	BPEL91 (1992) フランス
1. 限界状態の定義 (1) 使用限界状態	許容応力度法および強度設計法を基本としており、限界状態の定義はされていない。	使用限界状態は、正規の供用状況における応力、変形、ひび割れ幅の制限を満足しなければならない。 ※正規の供用とは、特別認可車両や 90 km/h 超の風や極端な出来事を除き、洗屈を考慮した状況のことである。	この状態を越えると、公共の利益の損失が予想され、補修作業が要求される。 コンクリート橋に関しては主としてひび割れ制御や応力制限に関係する。	新 DIN 1045-1 で規定されている限界状態は以下のとおり。 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (使用適合性限界状態) 本限界状態を越えれば、耐荷構造物が所定の使用に供されることができなくなる状態で、取り決めた使用条件と使用適合性をひび割れ発生と部材の変形量などを考慮して確保しなければならない。	Etat-limite d'utilisation ou de service (ELS : 使用限界状態) ・構造物の機能性と相容れない変形 (著しい引張り、著しい外見への影響) ・引張部へのひび割れ ・腐食などの損害 ・過度の振動 以上の制限を満足した状態
(2) 疲労限界状態	規定なし	疲労限界状態は、予想される応力範囲の振動数を発生する単一設計荷重の結果から、応力範囲の制限を満足しなければならない。	規定なし	規定なし	規定なし
(3) 終局限界状態	規定なし	終局限界状態は、橋梁が設計寿命中に被ることを予想した(統計的な有意な規定荷重の組合せに対して、局所ならびに全体系双方での強度および安定性が抵抗できることを確かめなければならない)。 終局限界状態では、甚大な被害や構造的損傷が生じる可能性がある。しかし全体的な構造一体性は保たなければならない。	終局限界状態は、構造物あるいは構造物の断面の最大耐力に相当し、構造物の一部もしくは全体が剛体とみなされる際に釣り合いが成立しなくなる場合、および構造物の 1 断面もしくは全体が、後弾性あるいは後座屈挙動により終局強度に達する場合である。 また疲労破壊も含まれる。	Grenzzustände der Tragfähigkeit (耐荷性限界状態) 本限界状態を越えれば、耐荷構造物の十分な安全性が保証されない限界状態。この場合、その機能喪失は構造物全体または、いくつかの部材が短期強度 (Kurzzeitfestigkeit) または疲労強度 (Ermüdung) を上回るか、体位安定性 (Lagesicherheit) が失われることによって起こりうる。	Etat - limite ultime (ELU : 終局限界状態) ・安定性の喪失、 例：構造物の崩壊 ・火災などの形状の変化 ・材料の破壊 ・過度の塑性変形 以上の制限を満足した状態
(4) 偶発限界状態	規定なし	偶発限界状態は、たとえば洗屈を受けた状態で、大地震や洪水や船舶・車両・流氷の衝突時に、橋梁が構造的に残存することを確認する。 偶発限界状態は、再発期間が橋梁の設計寿命より遙かに長いようなきわめて稀な出来事を想定したものである。	規定なし	規定なし	規定なし
2. 設計耐用年数	現状の道路橋示方書では規定なし。 ただし、耐久性に関する事項については、時間の概念が必要であることから 100 年を目安に設定している。	75 年	120 年 ただし、十分に定期的な点検や保守を必要としない訳ではない。	予期する使用期間 (耐久性などは 50 年としている) + 通常の維持管理	120 年

表 - 5 かぶりと配合一覧 (その 1)

規準名	かぶり			配合等				
道示 (2001) (日本)	最小かぶり (mm)			想定している水セメント比				
	部材の種類	床版、地覆、高欄、支間 10 m 以下の床版橋	桁 工場で作成されるプレストレストコンクリート構造 左記以外の桁および支間が 10 m をこえる床版橋	構造	(1) 工場で製作されるプレストレストコンクリート構造	(2) (1) 以外のプレストレストコンクリート構造	(3) 鉄筋コンクリート構造	
	最小かぶり	30	25	35	想定している水セメント比	36 %	43 %	50 %
	塩害の影響の度合	塩害の影響による最小かぶり (mm)						
	構造 対策区分	(1) 工場で製作されるプレストレストコンクリート構造	(2) (1) 以外のプレストレストコンクリート構造	(3) 鉄筋コンクリート構造				
影響が激しい	S	70 ※						
影響を受ける	I	50	70	70				
	II	35	50	50				
	III							
影響を受けない	6.6.1「鋼材のかぶり」による							
※塗装鉄筋の使用またはコンクリート塗装を併用								
塩害の影響地域								
地域区分	地域	沿岸線からの距離		塩害の影響度合と対策区分				
A	沖縄県	海上部および沿岸線から 100 m まで		S	影響が激しい			
		100 m をこえて 300 m まで		I	影響を受ける			
B	道示に示す地域	海上部および沿岸線から 100 m まで		S	影響が激しい			
		100 m をこえて 300 m まで		I	影響を受ける			
C	上記以外の地域	海上部および沿岸線から 20 m まで		S	影響が激しい			
		20 m をこえて 50 m まで		I	影響を受ける			
		50 m をこえて 100 m まで		II	影響を受ける			
		100 m をこえて 200 m まで		III				

表 - 6 かぶりと配合一覧 (その2)

規準名	かぶり	配合等																																																																																													
AASHTO LRFD (1998) (アメリカ)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>状 況</th> <th>かぶり (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>塩水に直接暴露される場合</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>地盤に打設される場合</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>沿岸</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>凍結防止剤に暴露される場合</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>床版表面がスタッドタイまたはチェーンにより摩耗される場合</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>上記以外の外部</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>上記以外の内部</td> <td></td> </tr> <tr> <td>・ D 35 までの鉄筋</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>・ D 45 および D 55 の鉄筋</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>場所打ち版下側</td> <td></td> </tr> <tr> <td>・ D 35 までの鉄筋</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>・ D 45 および D 55 の鉄筋</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> <p>プレテンション PC 鋼より線、定着具、鉄筋および PC 鋼より線の機械式継手のかぶりは鉄筋と同様とする。 ポストテンション方式の金属シースのかぶりは以下を下回ってはならない。 ①指定された主鉄筋のかぶり厚 ②シース径の 0.5 倍 ③表に示す値 エポキシ樹脂塗装で防食した鉄筋も含め、主鉄筋の最小かぶりは 25 mm とする。</p>	状 況	かぶり (mm)	塩水に直接暴露される場合	100	地盤に打設される場合	75	沿岸	75	凍結防止剤に暴露される場合	60	床版表面がスタッドタイまたはチェーンにより摩耗される場合	60	上記以外の外部	50	上記以外の内部		・ D 35 までの鉄筋	40	・ D 45 および D 55 の鉄筋	50	場所打ち版下側		・ D 35 までの鉄筋	25	・ D 45 および D 55 の鉄筋	50	<p>・左表のかぶり厚に対し、水セメント比：W/C による修正係数を用いる。 ① $W/C \leq 0.40$ のとき修正係数 = 0.8 ② $W/C \geq 0.50$ のとき修正係数 = 1.2 ・アルカリ・シリカ反応性骨材の使用禁止</p> <p>耐久性を確保するために必要な要件は契約図書にて指示するものとし、下記に該当する部分を明示しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ AE 剤 ・エポキシ樹脂塗装鉄筋または亜鉛メッキ鉄筋 ・特殊なコンクリート混和材 ・特殊な養生 ・コンクリートが塩水あるいは硫酸塩を含む土または水に暴露される場合 																																																																			
	状 況	かぶり (mm)																																																																																													
塩水に直接暴露される場合	100																																																																																														
地盤に打設される場合	75																																																																																														
沿岸	75																																																																																														
凍結防止剤に暴露される場合	60																																																																																														
床版表面がスタッドタイまたはチェーンにより摩耗される場合	60																																																																																														
上記以外の外部	50																																																																																														
上記以外の内部																																																																																															
・ D 35 までの鉄筋	40																																																																																														
・ D 45 および D 55 の鉄筋	50																																																																																														
場所打ち版下側																																																																																															
・ D 35 までの鉄筋	25																																																																																														
・ D 45 および D 55 の鉄筋	50																																																																																														
BS 5400 (1990) (イギリス)	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">環境条件</th> <th colspan="4">公称かぶり</th> </tr> <tr> <th colspan="4">コンクリート強度</th> </tr> <tr> <th>25</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>≥ 50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Extreme すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>65 *</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>Very Severe 解氷剤や塩水噴霧の影響を受ける面</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>50 *</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Severe 激しい雨あるいは乾湿繰返しを受ける面</td> <td>N/A</td> <td>45 *</td> <td>35</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Moderate 地表面より上方に位置し雨、解氷剤ならびに塩水噴霧に対して十分保護されている面 pH 4.5 以上の水中にあるコンクリート</td> <td>45</td> <td>35</td> <td>30</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ AE コンクリートのみ</p> <p>付着のある緊張材に対するかぶりは、鉄筋に対するものと同一とする。 ダクトに対する最小かぶりは、50 mm とする。</p>	環境条件	公称かぶり				コンクリート強度				25	30	40	≥ 50	Extreme すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	N/A	N/A	65 *	55	Very Severe 解氷剤や塩水噴霧の影響を受ける面	N/A	N/A	50 *	40	Severe 激しい雨あるいは乾湿繰返しを受ける面	N/A	45 *	35	30	Moderate 地表面より上方に位置し雨、解氷剤ならびに塩水噴霧に対して十分保護されている面 pH 4.5 以上の水中にあるコンクリート	45	35	30	25	<p>コンクリートの耐久性を保證する最小セメント量 (kg/m³)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">環境条件</th> <th colspan="2">PC</th> <th colspan="2">RC</th> </tr> <tr> <th colspan="2">骨材の最大寸法</th> <th colspan="2">骨材の最大寸法</th> </tr> <tr> <th>40 mm</th> <th>20 mm</th> <th>40 mm</th> <th>20 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Moderate 激しい雨および凍結から保護されている面 (1)防水層による保護 (2)構造物内面 (3)埋設コンクリートおよび常時水中にあるコンクリート</td> <td>300</td> <td>300</td> <td>260</td> <td>290</td> </tr> <tr> <td>Severe (1)構造物下面 (2)激しい雨、乾湿繰返しを受ける面</td> <td>300</td> <td>300</td> <td>260</td> <td>290</td> </tr> <tr> <td>Very Severe (1)解氷剤および飛沫の影響を受ける面 (2)すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面</td> <td>320</td> <td>360</td> <td>320</td> <td>360</td> </tr> </tbody> </table> <p>最大水セメント比を規定した場合のコンクリートの耐久性を保證する最小セメント量 (kg/m³)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">環境条件</th> <th colspan="2">PC</th> <th colspan="2">RC</th> <th rowspan="3">最大水セメント比</th> </tr> <tr> <th colspan="2">骨材の最大寸法</th> <th colspan="2">骨材の最大寸法</th> </tr> <tr> <th>40 mm</th> <th>20 mm</th> <th>40 mm</th> <th>20 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Moderate 激しい雨および凍結から保護されている面 (1)防水層による保護 (2)構造物内面 (3)埋設コンクリートおよび常時水中にあるコンクリート</td> <td>300</td> <td>300</td> <td>240</td> <td>290</td> <td>55 %</td> </tr> <tr> <td>Severe (1)構造物下面 (2)激しい雨、乾湿繰返しを受ける面</td> <td>300</td> <td>300</td> <td>240</td> <td>260</td> <td>55 %</td> </tr> <tr> <td>Very Severe (1)解氷剤および飛沫の影響を受ける面 (2)すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面</td> <td>300</td> <td>330</td> <td>290</td> <td>330</td> <td>45 %</td> </tr> </tbody> </table>	環境条件	PC		RC		骨材の最大寸法		骨材の最大寸法		40 mm	20 mm	40 mm	20 mm	Moderate 激しい雨および凍結から保護されている面 (1)防水層による保護 (2)構造物内面 (3)埋設コンクリートおよび常時水中にあるコンクリート	300	300	260	290	Severe (1)構造物下面 (2)激しい雨、乾湿繰返しを受ける面	300	300	260	290	Very Severe (1)解氷剤および飛沫の影響を受ける面 (2)すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	320	360	320	360	環境条件	PC		RC		最大水セメント比	骨材の最大寸法		骨材の最大寸法		40 mm	20 mm	40 mm	20 mm	Moderate 激しい雨および凍結から保護されている面 (1)防水層による保護 (2)構造物内面 (3)埋設コンクリートおよび常時水中にあるコンクリート	300	300	240	290	55 %	Severe (1)構造物下面 (2)激しい雨、乾湿繰返しを受ける面	300	300	240	260	55 %	Very Severe (1)解氷剤および飛沫の影響を受ける面 (2)すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	300	330	290	330	45 %
環境条件	公称かぶり																																																																																														
	コンクリート強度																																																																																														
	25	30	40	≥ 50																																																																																											
Extreme すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	N/A	N/A	65 *	55																																																																																											
Very Severe 解氷剤や塩水噴霧の影響を受ける面	N/A	N/A	50 *	40																																																																																											
Severe 激しい雨あるいは乾湿繰返しを受ける面	N/A	45 *	35	30																																																																																											
Moderate 地表面より上方に位置し雨、解氷剤ならびに塩水噴霧に対して十分保護されている面 pH 4.5 以上の水中にあるコンクリート	45	35	30	25																																																																																											
環境条件	PC		RC																																																																																												
	骨材の最大寸法		骨材の最大寸法																																																																																												
	40 mm	20 mm	40 mm	20 mm																																																																																											
Moderate 激しい雨および凍結から保護されている面 (1)防水層による保護 (2)構造物内面 (3)埋設コンクリートおよび常時水中にあるコンクリート	300	300	260	290																																																																																											
Severe (1)構造物下面 (2)激しい雨、乾湿繰返しを受ける面	300	300	260	290																																																																																											
Very Severe (1)解氷剤および飛沫の影響を受ける面 (2)すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	320	360	320	360																																																																																											
環境条件	PC		RC		最大水セメント比																																																																																										
	骨材の最大寸法		骨材の最大寸法																																																																																												
	40 mm	20 mm	40 mm	20 mm																																																																																											
Moderate 激しい雨および凍結から保護されている面 (1)防水層による保護 (2)構造物内面 (3)埋設コンクリートおよび常時水中にあるコンクリート	300	300	240	290	55 %																																																																																										
Severe (1)構造物下面 (2)激しい雨、乾湿繰返しを受ける面	300	300	240	260	55 %																																																																																										
Very Severe (1)解氷剤および飛沫の影響を受ける面 (2)すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	300	330	290	330	45 %																																																																																										

必要となる耐久性に関する事項として、コンクリートのかぶりと配合についての規定を表 - 5、表 - 6 および表 - 7 に示す。

3.5 設計で照査すべき項目

ここでは主に、主桁の設計に対して照査すべき項目について述べる。

AASHTO LRFD では、終局限界状態については、主桁の破壊に対する照査を曲げおよびせん断に関して行う。また使用限界状態については、曲げに関する照査を行う。

BS 5400 では各限界状態に対し、荷重係数や安全係数に基づいて作用側と抵抗側をそれぞれ算出し、抵抗側 ≥ 作用側を満たすことにより安全性を評価する。

DIN 1045 では、耐荷性限界状態には、主桁の破壊に対す

る照査を曲げおよびせん断に関して行い、使用適合性限界状態には、ひび割れ幅制御による曲げに関する照査を行う。

BPEL 91 では、終局限界状態には、主桁の破壊に対する照査を曲げおよびせん断に関して行い、使用限界状態には、コンクリートの引張応力制御による曲げおよびせん断に関する照査を行う。

3.6 各限界状態における照査項目毎の照査方法

海外規準の照査方法を表 - 8 に、制限値の一覧を表 - 9 および表 - 10 に示す。

1) AASHTO LRFD

① 使用限界状態

曲げに対する検討は、PC 部材および PRC 部材に区分された照査方法が規定されている。

表 - 7 かぶりと配合一覧 (その 3)

規準名	かぶり	配合率																																																							
DIN 1045 (2001) , 4227 (ドイツ)	<p>防食と附着のための最小かぶり (DIN1045 表 - 10) (mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>鉄筋径</th> <th>最小かぶり</th> <th>標準かぶり</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">密閉空間の部材 湿気の影響を受けない部材</td> <td>12 まで</td> <td>10</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>14,16</td> <td>15</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>20</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>25</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">外気に触れる部材 水中・土中の部材</td> <td>28</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>20 まで</td> <td>20</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>25</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">屋外の部材 化学作用を若干受ける部材 激しい腐食作用を受ける部材</td> <td>28</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>25 まで</td> <td>25</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td></td> <td>28 まで</td> <td>40</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> <p>最小かぶりを確保するため、設計施工では表 - 10 の標準かぶりとする。最小かぶりとの許容誤差は 1 cm である。 (DIN1045 13.2.1 (3))</p> <p>表 - 10 以上の値が必要な場合は、かぶりはスペーサーを密に配置することを前提に、表 - 1 を適用してもよい。 (DIN1075 4)</p> <p>最小かぶり (DIN 1075 表 - 1)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">場所打ち、プレキャスト部材 コンクリートかぶり (cm)</th> </tr> <tr> <th>一般</th> <th>特殊な条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>一般</td> <td>3.0</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>床版上面</td> <td>3.5</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>土・水の接触面</td> <td>4.0</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>工場製プレキャスト部材は、0.5 cm 減じてよい。</p>		鉄筋径	最小かぶり	標準かぶり	密閉空間の部材 湿気の影響を受けない部材	12 まで	10	20	14,16	15	25	20	20	30	25	25	35	外気に触れる部材 水中・土中の部材	28	30	40	20 まで	20	30	25	25	35	屋外の部材 化学作用を若干受ける部材 激しい腐食作用を受ける部材	28	30	40	25 まで	25	35	28	30	40		28 まで	40	50		場所打ち、プレキャスト部材 コンクリートかぶり (cm)		一般	特殊な条件	一般	3.0	3.5	床版上面	3.5	4.0	土・水の接触面	4.0	5.0	<p>練混ぜ水に含まれる塩化物含有量は、600 mg/L (Cl-) を越えてはならない。また、海水や塩分を含有する水を使用してはならない。 (DIN 4227 Part 1 3.1.1 (3))</p> <p>骨材は、塩化物含有量が 0.02 % (体積) 以下のものを使用する。 (DIN 4227 Part 1 3.1.2 (2))</p> <p>添加物は使用すべきではない。 (DIN 4227 Part 1 3.1.2 (4))</p>
		鉄筋径	最小かぶり	標準かぶり																																																					
密閉空間の部材 湿気の影響を受けない部材	12 まで	10	20																																																						
	14,16	15	25																																																						
	20	20	30																																																						
	25	25	35																																																						
外気に触れる部材 水中・土中の部材	28	30	40																																																						
	20 まで	20	30																																																						
	25	25	35																																																						
屋外の部材 化学作用を若干受ける部材 激しい腐食作用を受ける部材	28	30	40																																																						
	25 まで	25	35																																																						
	28	30	40																																																						
	28 まで	40	50																																																						
	場所打ち、プレキャスト部材 コンクリートかぶり (cm)																																																								
	一般	特殊な条件																																																							
一般	3.0	3.5																																																							
床版上面	3.5	4.0																																																							
土・水の接触面	4.0	5.0																																																							
BPEL91 (1992) (フランス)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>状況</th> <th>かぶり (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>表面が保護されている場合</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>標準</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>厳しい環境下</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>MAX (3 a / 4 ; φ ; d) a ; 鉄筋の水平方向距離 (鉄筋径) φ ; 最大骨材寸法 (< 80 mm)</p>	状況	かぶり (cm)	表面が保護されている場合	3.0	標準	4.0	厳しい環境下	5.0	<p>単位セメント量 RC 部材 350 ~ 400 kg/m³ PC 部材 ~ 500 kg/m³ 水セメント比 40 %程度</p>																																															
状況	かぶり (cm)																																																								
表面が保護されている場合	3.0																																																								
標準	4.0																																																								
厳しい環境下	5.0																																																								

PC 部材では、コンクリートの引張応力度が制限され、PRC 部材では、コンクリートの引張応力度がひび割れ発生応力を超えた部分について照査される。PRC 部材のひび割れ幅は、鉄筋応力度を制限することで照査している。

せん断に対する照査は終局限界状態における規定が記されているのみであり、使用限界状態に対する照査項目はとくに規定されていない。

② 終局限界状態

終局限界状態における曲げおよびせん断の照査式は以下のとおりである。

$$\sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot Q_i \leq \phi \cdot R_n = R_r$$

ここに、

γ_i : 荷重係数 Q_i : 荷重による断面力, 応力

ϕ : 抵抗係数 R_n : 見かけの耐力

η_i : 荷重修正係数 R_r : 抵抗係数倍された耐力 (= ϕR_n)

曲げ破壊に対する検討は、破壊抵抗モーメントが終局荷重時モーメントおよび 1.2 倍されたひび割れ発生モーメントを上まわることを照査する。

せん断に対する検討は、作用せん断力に対するせん断耐力を照査することを基本としており、せん断耐力は修正圧縮場理論に基づき、コンクリートとせん断鋼材がそれぞれ負担できるせん断力の合計に抵抗低減係数を乗じたものとして算出する。

2) BS 5400

① 使用限界状態

曲げに対する検討は、Class 1 = フルプレストレス、Class 2 = ひび割れ発生限界、Class 3 = ひび割れ幅制御の 3 つに分類され、全断面有効の仮想曲げ引張応力度により縁応力制限を行って照査する。ただし RC 断面計算や外ケーブルを用いた Class 3 部材に関しては、曲げひび割れ幅を算出し照査する。

せん断に対しては、BS 5400 においても照査項目を規定していない。

② 終局限界状態

曲げ耐力算出における等価応力ブロックは $0.4 \cdot f_{cw}$ とすることが特徴的であり、平面保持の仮定やコンクリートの引張領域を無視することなどは道示と同様である。

せん断耐力算出時のコンクリートが負担できるせん断力は、破壊形態によりせん断破壊先行型と曲げ破壊先行型に分けられ、おのおの算定式を規定している。

3) DIN 1045

① 使用適合性限界状態

使用適合性限界状態の照査は、構造物の要求レベルに合わせたひび割れ幅の制限によって行う。一般に高速道路橋では、「高頻度」の荷重組合せ時 (活荷重作用時) に対してひび割れ幅 0.2 mm で制限する (要求レベル C)。

表 - 8 照査方法

規準名	曲げに対して			せん断に対して																															
	使用限界状態	終局限界状態	使用限界状態	終局限界状態																															
道示 (2001) (日本)	<p>・ 曲げ圧縮応力度の制限値 ($\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$)</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>プレストレッティング直後</td> <td>設計荷重時</td> <td>架設時 (割増考慮)</td> </tr> <tr> <td>曲げ圧縮応力度</td> <td>19.0</td> <td>14.0</td> <td>17.5</td> </tr> <tr> <td>軸圧縮応力度</td> <td>14.5</td> <td>11.0</td> <td>13.8</td> </tr> </table> <p>・ 架設時の曲げ引張応力度の制限値 上線く 1.0 N/mm^2 下線くひび割れ発生限界 ($f_{ck} = k_{oe} \cdot k_{ib} \cdot f_{ck}$)</p> <p>・ 完成時の引張線に対し、曲げひび割れに対する制限を照査</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>永久荷重時</td> <td>変動荷重時</td> </tr> <tr> <td>主桁上縁ひび割れ発生限界</td> <td>ひび割れ幅制御</td> <td>ひび割れ幅制御</td> </tr> <tr> <td>主桁下縁ひび割れ発生限界</td> <td>ひび割れ幅制御</td> <td>ひび割れ幅制御</td> </tr> </table> <p>曲げひび割れ幅 $w = 1.1 k_1 k_2 k_3 [4c + 0.7(c-\phi)] \left[\frac{\sigma_c}{E_c} + \epsilon_{cs} \right]$</p> <p>※ただし、曲げひび割れ幅算定式は【2002年制定】コンクリート標準示方書【構造性能照査編】に準ずる。</p>		プレストレッティング直後	設計荷重時	架設時 (割増考慮)	曲げ圧縮応力度	19.0	14.0	17.5	軸圧縮応力度	14.5	11.0	13.8		永久荷重時	変動荷重時	主桁上縁ひび割れ発生限界	ひび割れ幅制御	ひび割れ幅制御	主桁下縁ひび割れ発生限界	ひび割れ幅制御	ひび割れ幅制御	<p>曲げ破壊安全度による照査 破壊抵抗曲げモーメント \geq 終局曲げモーメント</p>  <p>(a) 部材寸法 (b) ひずみ分布 (c) 応力度分布</p> $M_u = C \cdot y_1 + T \cdot y_2$	<p>・ 許容引張応力度による照査 (N/mm²)</p> <table border="1"> <tr> <td>コンクリート設計基準強度</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>活荷重および衝撃以外の主荷重</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>衝撃荷重および地震の影響を考慮しない荷重の組合せ</td> <td>2.0</td> </tr> </table> <p>せん断のみまたはねじりモーメントのみを考慮する場合</p> <p>せん断のみまたはねじりモーメントのみを考慮する場合</p> $\sigma_1 = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_c + \sigma_s) - \sqrt{(\sigma_c - \sigma_s)^2 + 4\tau^2} \right\}$	コンクリート設計基準強度	40	活荷重および衝撃以外の主荷重	1.0	衝撃荷重および地震の影響を考慮しない荷重の組合せ	2.0	<p>・ 平均せん断応力度の最大値の照査 (N/mm²)</p> <table border="1"> <tr> <td>設計基準強度</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>コンクリートの平均せん断応力度の最大値</td> <td>5.3</td> </tr> </table> <p>・ 斜引張破壊に対する耐力の照査</p> $S_{us} = S_c + S_s + S_p$ $S_c = k \cdot \tau_c \cdot b_w \cdot d$ $S_s = \sum \frac{A_w \cdot \sigma_s \cdot d (\sin \theta + \cos \theta)}{1.15 \alpha}$ $S_p = A_p \cdot \sigma_{pe} \cdot \sin \alpha$	設計基準強度	40	コンクリートの平均せん断応力度の最大値	5.3
	プレストレッティング直後	設計荷重時	架設時 (割増考慮)																																
曲げ圧縮応力度	19.0	14.0	17.5																																
軸圧縮応力度	14.5	11.0	13.8																																
	永久荷重時	変動荷重時																																	
主桁上縁ひび割れ発生限界	ひび割れ幅制御	ひび割れ幅制御																																	
主桁下縁ひび割れ発生限界	ひび割れ幅制御	ひび割れ幅制御																																	
コンクリート設計基準強度	40																																		
活荷重および衝撃以外の主荷重	1.0																																		
衝撃荷重および地震の影響を考慮しない荷重の組合せ	2.0																																		
設計基準強度	40																																		
コンクリートの平均せん断応力度の最大値	5.3																																		
AASHTO LRFD (1998) (アメリカ)	<p>①コンクリートの圧縮応力度・引張応力度の照査</p> <p>②PRC 部材の照査では、コンクリートの引張応力度がひび割れ発生応力を越えた部分について照査する。ひび割れ幅は、鉄筋応力度を制限することで照査している。</p>	<p>①破壊抵抗モーメント > 終局荷重時モーメント</p> <p>②破壊抵抗モーメント > 1.2 × ひび割れ発生モーメントであることを照査する。</p>	とくに検討なし。	<p>①修正圧縮場理論により照査を行う。</p> <p>②ウェブ厚は平均せん断応力度により決定する。</p> <p>③鉄筋量は、ひび割れ角度を算出してひずみを求める。</p>																															
BS5400 (1990) イギリス	<p>“曲げひび割れ幅”による照査(間接的に緑応力で照査を行う)</p> <p>● Class 1 : 引張応力度発生限界 (プレ導入時および架設時は引張応力度 $\leq 1.0 \text{ N/mm}^2$)</p> <p>● Class 2 : ひび割れ発生限界 (プレテンション部材: $0.45 \sqrt{f_{ck}}$) (ポストテンション部材: $0.45 \sqrt{f_{ck}} \times 80\% = 0.36 \sqrt{f_{ck}}$)</p> <p>● Class 3 : ひび割れ幅制御 (全断面有効とした緑応力により間接的に制御)</p> <table border="1"> <tr> <th>環境条件</th> <th>設計ひび割れ幅 (mm)</th> </tr> <tr> <td>Extreme ・ すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td>Very Severe ・ 融凍剤や塩水噴霧を受ける面</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>Severe ・ 激しい雨、乾燥を繰り返す面</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>Moderate ・ 地表面より上方に位置し、激しい雨、融凍剤および塩水噴霧に対して保護される面 ・ pH 4.5 以上の水中にあるコンクリート</td> <td>0.25</td> </tr> </table>	環境条件	設計ひび割れ幅 (mm)	Extreme ・ すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	0.10	Very Severe ・ 融凍剤や塩水噴霧を受ける面	0.15	Severe ・ 激しい雨、乾燥を繰り返す面	0.25	Moderate ・ 地表面より上方に位置し、激しい雨、融凍剤および塩水噴霧に対して保護される面 ・ pH 4.5 以上の水中にあるコンクリート	0.25	<p>“曲げ破壊安全度”による照査</p> $M_u = f_{pc} \cdot A_{pc} \cdot (d - 0.5x)$ $A_{pc} \cdot f_{pc} = 0.4 f_{ck} \cdot A_c$ $f_{pc} : \text{破壊時の緊張材応力}$ 	とくに検討なし。	<p>“せん断破壊安全度”による照査(タイプ 1, 2 のうち小さい方を限界状態とする)</p> <p>● タイプ 1 : せん断ひび割れ先行</p> $V_{cr} = 0.67 bh (f_t^2 + f_{cp} \cdot f_t)^{1/2}$ <p>f_t : コンクリートの引張強度 f_{cp} : プレストレスによる圧縮強度</p> <p>● タイプ 2 : 曲げひび割れ先行</p> $V_{cr} = 0.037 b \cdot d \cdot f_{ck}^{3/2} + V (M_t / M)$ <p>f_{ck} : コンクリートの特性強度 V : 検討断面でのせん断力 M_t : ひび割れ発生曲げモーメント M : 検討断面での曲げモーメント</p> <p>● 最小せん断鉄筋 V_{s-min} = 0.4 N/mm^2</p> <p>A_{sv} : せん断鉄筋の断面積 f_{yv} : スターラップの特性強度 sv : 配置間隔</p> <p>● せん断鉄筋 V_s</p> $V_s = (A_{sv} \cdot 0.87 f_{yv} \cdot d) / sv$																					
環境条件	設計ひび割れ幅 (mm)																																		
Extreme ・ すりへりを伴う海水や pH 4.5 以下の酸性水の影響を受ける面	0.10																																		
Very Severe ・ 融凍剤や塩水噴霧を受ける面	0.15																																		
Severe ・ 激しい雨、乾燥を繰り返す面	0.25																																		
Moderate ・ 地表面より上方に位置し、激しい雨、融凍剤および塩水噴霧に対して保護される面 ・ pH 4.5 以上の水中にあるコンクリート	0.25																																		
DIN1045 (2001) 4227 (ドイツ)	<p>● 永久荷重時 死 + 0.2 × 活 + 0.9 × プレの状態でのプレストレス</p> <p>● 変動荷重時</p> <ul style="list-style-type: none"> 許容引張応力度の 85% 以内 $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ の場合 $\sigma_s = 0.85 \times 2.5 = 2.125 \text{ N/mm}^2$ ひび割れ幅制御: 0.2 mm <p>①簡略化した照査方法 ②ひび割れ幅を直接算出する方法の 2 通りの照査方法がある。</p>	<p>作用力による断面力と、吸収可能な部材の断面力を対比する。</p> <p>曲げモーメント算出時の仮定は、</p> <ul style="list-style-type: none"> 断面は線形ひずみ分布 コンクリートの引張強度は無視 コンクリートと、鉄筋、PC 鋼材は完全付着 コンクリート、鉄筋、PC 鋼材の応力-ひずみ関係は、単純化モデル 	とくに検討なし。	作用するせん断力が、せん断補強鉄筋の耐力によって制限される部材抵抗力以下であることを照査する。																															
BPCL91 (1992) (フランス)	<p>各荷重組み合わせに対し、合成曲げ応力度を算出。圧縮、引張それぞれについて応力度の制限値内にあることを確認。</p> <p>引張応力度が発生している断面については、引張鉄筋量を算出。</p> <p>引張鉄筋量</p> $A_s = \frac{Bt}{1000} + \frac{Nbt}{f_c} \cdot \frac{f_{tj}}{a_s}$ <p>A_s : 必要引張鉄筋量 Bt : コンクリートの応力度が引張の領域断面積 Nbt : コンクリートに発生している引張力 f_{tj} : $= 0.6 + 0.06 \times f_c$ f_c : 鉄筋の降伏点 a_s : コンクリートの応力度</p>	<p>破壊抵抗曲げモーメントの照査</p> <p>力の釣り合い条件とひずみの適合条件から、曲げモーメントの釣り合い条件を満足する式により、破壊抵抗曲げモーメントを算出する。</p> $M_{lim} = -Fb \times Z - A_s \cdot \sigma_s (d' - d'p)$	<p>レザール効果を考慮したせん断力により以下の照査を行う。</p> <p>設計荷重時のせん断検討式</p> <ul style="list-style-type: none"> 引張主応力 $\tau^2 - \sigma_x \cdot \sigma_t \leq 0.4 f_{tj} \{ f_{tj} + 2(\sigma_x + \sigma_t) / 3 \}$ 圧縮主応力 $\tau^2 - \sigma_x \cdot \sigma_t \leq 2 \{ 0.6 f_{tj} - \sigma_x - \sigma_t \} \{ f_{tj} + 2(\sigma_x + \sigma_t) / 3 \} f_{tj} / f_c$ (設計基準強度 = 40 MPa, $\sigma_x = 4 \sim 5 \text{ MPa}$ の時 制限値 $2.6 \sim 2.8 \text{ MPa}$) <p>σ_x ; 斜引張応力度算出位置における斜方向応力度とせん断鋼棒プレストレス力によって生じる軸方向力の合成応力度 σ_t ; せん断鋼棒のプレストレス力によって生じる鉛直方向応力</p>	<p>応力度照査と鉄筋量の算出を行う。</p> <p>終局荷重時のせん断検討式</p> $\tau_{adm} \leq 0.85 f_{tj} \sin 2\beta_0 / 3 \gamma_s$ $\tan 2\beta_0 = 2 \tau_0 / (\sigma_u - \sigma_w)$ <p>ただし、$\beta_0 > 30^\circ$ (ウェブの場合) $\beta_0 = 45^\circ$ (ウェブ以外の場合)</p> <p>せん断から必要な鉄筋量</p> $(A_s \cdot f_s) / (b \cdot s \cdot \gamma_s) \geq (\tau_u - f_s / 3) \tan \beta$ <p>よって、 $A_s / s \geq (\tau_u - f_s / 3) \tan \beta \times \gamma_s / f_s \times b$</p> <p>最小鉄筋量</p> $(A_s \cdot f_s) / (b \cdot s \cdot \gamma_s) \cdot \sin \alpha + F_{tu} / (b \cdot s) \cdot \sin \alpha \geq 0.4 \text{ MPa}$ <p>$\alpha = 90^\circ, \alpha = 0^\circ$ のとき、 $A_s / s \geq 0.4 \times \gamma_s / f_s \times b$</p>																															

表 - 9 制限値一覧 (その1)

規準名	コンクリート	鋼材 (PC 鋼材, 鉄筋)		
道示 (2001) (日本)	プレストレストコンクリート構造に対する許容圧縮応力度 (N/mm ²)			
	コンクリートの設計基準強度			
	40			
	応力度の種類			
	プレステッ シング直後	曲げ圧縮応力度	1) 長方形断面の場合 19.0 2) T形および箱形断面の場合 18.0	
		3) 軸圧縮応力度	14.5	
	その他	曲げ圧縮応力度	4) 長方形断面の場合 15.0 5) T形および箱形断面の場合 14.0	
		6) 軸圧縮応力度	11.0	
	平均せん断応力度の制限値 (N/mm ²)			
	コンクリートの設計基準強度			
40				
コンクリートが負担できる平均せん断応力度				
0.55				
コンクリートの平均せん断応力度の最大値				
5.3				
プレストレストコンクリート構造に対する許容斜引張応力度 (N/mm ²)				
コンクリートの設計基準強度				
40				
応力度の種類				
活荷重および衝撃以外の主 荷重	1) せん断力のみまたはねじりモーメントのみを考慮する場合	1.0		
衝撃荷重または地震の影響 を考慮しない荷重の組合せ	2) せん断力のみまたはねじりモーメントのみを考慮する場合	2.0		
コンクリートのせん断応力度の最大値 (N/mm ²)				
コンクリートの設計基準強度				
40				
応力度の種類				
1) ねじりモーメントのみが作用する場合				
5.3				
曲げひび割れ幅の制限値 (コンクリート標準示方書より)				
桁上縁		桁下縁		
環境条件に対する係数		0.0035 c	0.005 c	
AASHTO LRFD (1998) (アメリカ)	コンクリートの設計基準強度			
	許容値			
	応力度の種類			
	許容圧縮応 力度	プレステッ シング直後	0.60 f_c	
	設計荷重時		0.45 f_c	
	許容引張応 力度	プレステッ シング直後	通常の場合	0.25 $f_c^{0.7} \leq 1.38$
		設計荷重時	通常の場合	0.50 $f_c^{0.7}$
		付着のない PC 鋼材の場合	0	
	パーシャルプレストレストコンクリートの場合 引張域のひび割れを許容し、使用限界状態においては鉄筋の応力 で制御する。			
	注) ※ 1 ひび割れが発生していないと仮定して算出した引張力の 120% に対して補 強した場合 ※ 2 内または外ケーブルを考慮して算出される応力が 0.5 f_y 以下になるように 補強した場合 ※ 3 内ケーブルを考慮して算出される応力が 0.5 f_y 以下となるように補強した 場合			
BS5400 (1990) (イギリス)	1) 曲げ圧縮応力度の制限値 (使用時) (N/mm ²)			
		RC	PC	
	曲げ圧縮応力度	0.50 f_{cw}	0.40 f_{cw}	
	軸圧縮応力度	0.38 f_{cw}	0.30 f_{cw}	
	2) 曲げひび割れ幅の制限値 (使用時) (mm)			
	Extreme	0.10		
	Very Severe	0.15		
	Severe	0.25		
	Moderate	0.25		
	● 試設計では、上縁に対し Very Severe を下縁に対し Severe を設計 者の判断により適用した。			
3) 仮想曲げ引張応力度の制限値 (使用値) (N/mm ²)				
ひび割れ幅	Grade 30	Grade 40	Grade 50	
0.10 mm	—	4.1	4.8	
0.15 mm	3.5	4.5	5.3	
0.25 mm	4.1	5.5	6.3	
● 角柱供試体と円柱供試体の換算表よりコンクリート強度は Grade 50 で設計を行った。				
PC 鋼材の許容引張応力度		備 考		
応力度の状態		許容引張応力度		
1) プレステッ シング中	0.80 σ_{ps} または 0.90 σ_{ps} のうち小さい方の値	σ_{ps} : PC 鋼材の引張 強さ (N/mm ²) σ_{ps} : PC 鋼材の降伏 点 (N/mm ²)		
2) プレステッ シング直後	0.70 σ_{ps} または 0.85 σ_{ps} のうち小さい方の値			
3) 設計荷重作用時	0.60 σ_{ps} または 0.75 σ_{ps} のうち小さい方の値			
鉄筋の許容応力度 (N/mm ²)		鉄筋の種類		
SD 345				
応力度, 部材の種類				
引 張 応 力 度	1) 活荷重および衝撃以外の主荷重	100		
	2) 荷重の組合せに衝突荷 重または地震の影響を 考慮しない場合の許容 応力度の基本値	一般の部材 180 床版および支間長 10 m 以 下の床版橋 140		
	3) 荷重の組合せに衝突荷重または地震の影響を考慮 する場合の許容応力度の基本値	200		
	4) 鉄筋の重ね継手または定着長を算出する場合の 許容応力度の基本値	200		
	5) 圧縮応力度	200		
PC 鋼材		許容値		
プレステッ シング中		1 507 N/mm ²		
プレステッ シング直後		1 239 N/mm ²		
設計荷重時		1 339 N/mm ²		
鉄筋, PC 鋼材の応力制限値				
	RC	PC	備 考	
鉄筋	0.75 f_y	N/A	圧縮・引張	
PC 鋼材				
プレステッ シング中	N/A	0.80 f_{ps}		
プレステッ シング直後	N/A	0.70 f_{ps}	ポストテンション橋	
	N/A	0.75 f_{ps}	プレテンション橋	
f_s : 鉄筋の降伏強度 f_{ps} : PC 鋼材の引張強度				

表 - 10 制限値一覧 (その2)

規準名	コンクリート	鋼材 (PC 鋼材, 鉄筋)						
DIN1045 (2001) ,4227 (ドイツ)	1) 限界圧縮応力度 (曲げ・軸力とも)	PC 鋼材応力度制限値						
	コンクリートの設計基準強度							
	応力度の種類	主桁						
		40						
	プレストレッシング時	限界圧縮応力度 ($\sigma_{ed} = 19 \text{ N/mm}^2$ の時)						
		11.4						
		限界圧縮応力度 ($\sigma_{ed} = 38 \text{ N/mm}^2$ の時)						
		22.8						
	使用時	限界圧縮応力度						
		18						
BPEL91 (1992) (フランス)	2) ひび割れに対する制限	鉄筋の引張応力度制限値						
	ひび割れ幅の制限							
	要求レベル	ひび割れ幅の制限	デコンプレッションの照査					
	C	作用力の組合せ	作用力の組合せ	ひび割れ幅 (mm)	標準永久			
		高頻度	0.2					
	<ul style="list-style-type: none"> ● 橋梁の場合、要求レベル C とするのが一般的である。 ● 「標準永久」のデコンプレッションの照査とは、$D + 0.2 L$ の荷重状態に 0.9 倍の緊張力でフルプレストレス状態となることである。 ● 「高頻度」を活荷重作用時として設計を行った。 		状態 規格 制限値 (MN/m ²)					
		施工時 (N/mm ²)	永久荷重時 ($D + 0.2 \cdot L$)	変動荷重時 (ひび割れ制御)	状態	規格	制限値 (MN/m ²)	
		主桁	- 1.1	フルプレ	0.2 mm	使用時における引張応力度に 対して使用する場合	420/500 (BSt 420 S) 500/550 (BSt 500 S) 500/550 (BSt 500 M)	$\beta s/1.75$ 240
		主桁下縁	- 1.1	フルプレ	0.2 mm	終局時におけるひび割れ幅計算, およびせん断補強に使用する場合	420/500 (BSt 420 S) 500/550 (BSt 500 M) 500/550 (BSt 500 S)	420 420 500
		<ul style="list-style-type: none"> ● 橋梁の場合、要求レベル C とするのが一般的である。 ● 「標準永久」のデコンプレッションの照査とは、$D + 0.2 L$ の荷重状態に 0.9 倍の緊張力でフルプレストレス状態となることである。 ● 「高頻度」を活荷重作用時として設計を行った。 		βs : 降伏点応力度				
	3) コンクリートが負担できるせん断応力度 (N/mm ²)	$\tau_{Rd,ct} = (\nu_{min} - 0.12 \sigma_{ed}) b_w \cdot d$ ここで $\nu_{min} = 0.035 \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ b_w : 有効ウェブ幅 $\kappa = 1 + (200/d)^{1/2}$ d : 曲げ鉄筋までの有効高さ $\sigma_{ed} = N_{Ed}/d$ f_{ck} : コンクリート設計基準強度 ($f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$) N_{Ed} : 部材軸力 (プレストレス含む)		状態 規格 制限値 (MN/m ²)				
	4) せん断の限界値 (N/mm ²)	コンクリートの設計基準強度 主桁 40 斜引張応力度の限界値 2.4 平均せん断応力度の限界値 5.5		使用時におけるひび割れ幅計算, およびせん断補強に使用する場合				
	1) 圧縮応力度	架設時 0.6 f_{cj} 永久荷重時 0.5 f_{t28} 頻繁荷重時 0.6 f_{t28} 稀な荷重時 0.6 f_{t28}		導入時 ボステン 0.8 f_{prg} or 0.9 f_{peg} プレテン 0.85 f_{prg} or 0.95 f_{peg} 鋼棒 0.7 f_{prg}				
	2) 引張応力度 (class2)	架設時 必要かぶり内 0.7 f_t その他の場所 1.5 f_t 稀な荷重時 必要かぶり内 f_t その他の場所 1.5 f_t 頻繁荷重時 必要かぶり内 0 その他の場所 f_t		Class3 頻繁荷重時 $\Delta \sigma_p < 100 \text{ MPa}$ 架設時, 稀な荷重時 ボステン $\Delta \sigma_p < 0.10 f_{prg}$ プレテン $\Delta \sigma_p < 0.16 f_{prg}$ or 150 η_p				
	3) せん断	$f_{cj} = j / (4.76 + 0.83 j) \times f_{t28}$ ($f_{t28} \leq 40 \text{ MPa}$) $f_{cj} = j / (1.40 + 0.95 j) \times f_{t28}$ ($f_{t28} \leq 40 \text{ MPa}$) $f_t = 0.36 + 0.06 f_{cj}$ j : 日数 $\tau_2 - \sigma_x \cdot \sigma_t \leq 0.4 f_t \{ f_t + 2 (\sigma_x + \sigma_t) / 3 \}$ $\tau_2 - \sigma_x \cdot \sigma_t \leq 2 (0.6 f_{cj} - \sigma_x - \sigma_t) \times \{ f_t + 2 (\sigma_x + \sigma_t) / 3 \} \cdot f_t / f_{cj}$ σ_x : 斜引張応力度算出位置における軸方向応力度とせん断鋼棒プレストレスによって生じる軸方向応力の合成応力度 σ_t : せん断鋼棒のプレストレス力によって生じる鉛直方向応力		鉄筋 規定 備考 Class 頻繁荷重時 0.35 f_e (鉄筋)				
		ひび割れ幅は算定式により求めることができるが、その他に荷重による鉄筋応力度に応じて規定された配筋を適用することによって、ひび割れ幅を簡易的に制御する方法も規定している。なお、いずれの照査方法を行う場合でも、コンクリートの引張応力度を、制限値以下としなければならない。		Class1 引張りを許さない (通例: プレキャストセグメント橋) Class2 ひび割れを許さない (通例: ボステンション橋) Class3 ひび割れを許す (通例: プレテンション橋)				
		さらに、永久荷重時の照査として [死荷重 + 0.2 × 活荷重] という荷重の組合せを規定している。この荷重状態に対して、0.9 倍のプレストレスを作用させて、デコンプレ		ション (全断面に対して引張応力度が発生していない) 状態であることを照査する。 また、使用適合限界状態におけるせん断に対する照査は、2001 年の改訂から除外された。 ② 耐荷性限界状態 曲げに対する検討は、破壊抵抗曲げモーメントの耐荷性限界状態曲げモーメントに対する比が 1.0 以上であることを照査する。ここで、破壊抵抗曲げモーメントは、平面保持の仮定のもとで圧縮側コンクリートが最大圧縮ひずみ				

ひび割れ幅は算定式により求めることができるが、その他に荷重による鉄筋応力度に応じて規定された配筋を適用することによって、ひび割れ幅を簡易的に制御する方法も規定している。なお、いずれの照査方法を行う場合でも、コンクリートの引張応力度を、制限値以下としなければならない。

さらに、永久荷重時の照査として [死荷重 + 0.2 × 活荷重] という荷重の組合せを規定している。この荷重状態に対して、0.9 倍のプレストレスを作用させて、デコンプレ

ション (全断面に対して引張応力度が発生していない) 状態であることを照査する。

また、使用適合限界状態におけるせん断に対する照査は、2001 年の改訂から除外された。

② 耐荷性限界状態

曲げに対する検討は、破壊抵抗曲げモーメントの耐荷性限界状態曲げモーメントに対する比が 1.0 以上であることを照査する。ここで、破壊抵抗曲げモーメントは、平面保持の仮定のもとで圧縮側コンクリートが最大圧縮ひずみ

(3 500 μ) または鋼材が最大引張ひずみ (5 000 μ) に達するときの曲げモーメントとして算出する。

せん断に対する検討も曲げと同様に、せん断耐力と耐荷性限界状態せん断力の比が 1.0 以上であることを照査する。ここで、せん断耐力算出にあたっては、コンクリートのせん断抵抗力と、せん断補強鉄筋のせん断抵抗力を用いて算出する。なお、作用せん断力については、桁高変化の影響(レザール効果)を考慮することが可能である。

4) BEPL 91

① 使用限界状態

曲げに対する検討は要求レベルに応じて以下の 3 つの照査方法に分けられる。

- ・ Class 1 引張を許さない状態
- ・ Class 2 ひび割れを許さない状態
希な荷重時 ($D + 1.2 L + W$) $\sigma_c > -3.0 \text{ MPa}$
頻繁荷重時 ($D + 0.72 L$) $\sigma_c > 0$
- ・ Class 3 ひび割れを許す状態
永久荷重時 (D) $\sigma_c > 0$
頻繁荷重時 ($D + 0.72 L$) $\sigma_s < 0.35 f_e$

なお、Class 3 においてはひび割れを許容するが、ひび割れ幅の照査式が規定されてなく、鉄筋応力によって制限している。たとえば、鉄筋の降伏強度が 500 MPa の場合、175 MPa が制限値となる。

せん断に対する検討は、モールの応力円から導かれる式によって照査することが規定されている。算出式は、使用限界状態における作用せん断力に、プレストレスによる逆方向せん断力とレザール効果を考慮しているのが特徴である。

② 終局限界状態

曲げに対する照査において、破壊抵抗曲げモーメントの算出方法は、力の釣り合い条件とひずみの適合条件から曲げモーメントの釣り合い条件を満足する式により求める(平面保持の仮定や引張域無視は道示と同様である)。

せん断に対する検討はせん断応力度照査と必要鉄筋量の算出を行い、さらに最小鉄筋量の算出を行う。

以上のように、今回は海外規準の概要を紹介した。次回は海外規準に基づいた主桁の試設計結果および部材厚や荷重係数の比較結果を報告する。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 III コンクリート橋編，平成 14 年 3 月
- 2) 日本道路公団：設計要領 第二集 橋梁建設編，平成 10 年 7 月
- 3) American Association of State Highway and Transportation Officials：AASHTO LRFD Bridge Design Specifications SI Units Second Edition, 1998
- 4) British Standards Institution：BS5400 Steel, concrete and composite bridges Part4 Code of practice for design of concrete bridges, 1990
- 5) DIN1045-1, Ausgabe:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und

Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion, 2001

- 6) BULLETIN officiel : Marches publics de travaux CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES GENERALES Fascicule n62 - Titre I - Section III
Regles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en beton precontraint suivant la methode des etats limites - BPEL 91 revise 99, AVRIL1999

*プレストレストコンクリート橋の海外との技術比較に関する調査研究委員会

	氏名	所属機関
委員長	丸山 久一	長岡技術科学大学
副委員長	猪熊 康夫	日本道路公団
委員	睦好 宏史	埼玉大学
〃	出雲 淳一	関東学院大学
〃	玉越 隆史	国土交通省
〃	本莊 清司	日本道路公団
〃	春日 昭夫	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会
幹事長	本間 淳史	日本道路公団
幹事	服部 篤史	京都大学
〃	石田 哲也	東京大学
〃	日比野 誠	九州工業大学
〃	佐藤 靖彦	北海道大学
〃	牧 剛史	埼玉大学
〃	渡辺 陽太	国土交通省
〃	水口 和之	日本道路公団
〃	大城 壮司	〃
〃	中尾 信裕	〃
〃	長田 光司	〃
〃	青木 圭一	〃
〃	前田 晴人	(社)建設コンサルタンツ協会
〃	岡田 稔規	〃
委託者	武知 勉	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会
〃	加藤 卓也	〃
〃	山藤 俊広	〃
〃	山口 統央	〃
〃	中山 良直	〃
〃	平田 雅也	〃
〃	山下 和則	〃
〃	越野 英樹	〃
〃	今枝 拓也	〃
〃	今村 晃久	〃
〃	岡山 準也	〃
〃	斎藤 壮	〃
〃	立松 博	〃
〃	堤 忠彦	〃
〃	丸山 正志	〃
事務局	山川 俊幸	(財)高速道路調査会
〃	渡辺 二夫	〃
〃	片岡 充英	〃

委員および所属機関は平成 17 年 2 月時点を示す

その 1 執筆担当者
武知 勉・平田 雅也・山下 和則・山口 統央
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

【2005 年 7 月 19 日受付】