

# 鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物・令和5年） に基づく桁の試設計

鈴木 瞭\* 中村 麻美\* 徳永 宗正\*\* 渡辺 健\*

Trial Design of the Girder Applying the Revised Standard for Railway Concrete Structures

Ryo SUZUKI Mami NAKAMURA Munemasa TOKUNAGA Ken WATANABE

Based on previous research, the formulas and values in the Design Standard and Commentary for Railway Structures (Concrete Structures) have been revised. In this report, we compare RC/PC/PRC girders designed according to the revised standard (published in 2023) with those designed according to the current standard (published in 2004). Consequently, this comparison shows the influence of the updating formulas for the shear strength of RC/PC/PRC members and the revision of the design value for concrete shrinkage and creep, durability, etc. on the design aspects.

キーワード：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）、桁、試算、比較

## 1. はじめに

「鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物）」の通達（令和4年12月）に伴い、「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」<sup>1)</sup>（以下、改訂標準）を、2023（令和5）年1月に発刊した<sup>2)~5)</sup>。

本稿では、桁の設計に関わる応答値や限界値を、2004（平成16）年に発刊された設計標準<sup>6)</sup>（以下、従前標準）と改訂標準のそれぞれに基づいて算定し、比較を行った。なお、桁の設計に関わる改訂内容を図1に示す。

## 2. 検討概要

表1に、本検討で対象とする桁の諸元を示す。鉄筋コンクリート桁（RC桁）、プレストレストコンクリート桁（PC桁、PRC桁）は、いずれも複線の在来線もしくは新幹線を支持し、RC桁、PC桁は4主桁、PRC桁は6主桁である。ここでは、主桁に対する試算結果を示す。

## 3. 試算結果の比較

### 3.1 鋼材の腐食に関する検討

耐久性に関する検討において、塩化物イオンが供給されない場合のかぶりは、従前標準では中性化に関する検討に従って定めていた。しかし、鋼材の腐食は水と酸素の供給が支配的な腐食因子であり、水掛かりの影響を考慮することが重要であることから、改訂標準では、水の浸透に伴う鋼材の腐食に関する検討に従って定める<sup>4)</sup>。

\* 構造物技術研究部 コンクリート構造研究室

\*\* 鉄道力学研究部 構造力学研究室

表2に、主桁の側面と下面のかぶりの比較を示す。主桁の側面や下面の水掛かりの程度に応じた区分は常時乾燥であり、施工誤差は一般に10mmである。水結合材比  $W/B$  が大きくなると、改訂標準のかぶりは従前標準よりも小さくなる。

図2の左軸に、耐久性に関する検討における設計曲げひび割れ幅  $w_d$  と鋼材の腐食に関するコンクリートのひび割れ幅の制限値  $w_{lim}$  を、右軸にかぶりを示す。いずれの桁も  $W/B \geq 50\%$  であり、従前標準よりもかぶりが減少することにより、 $w_d$  および  $w_{lim}$  がともに減少する。 $w_d/w_{lim}$  は従前標準よりも多少増加する場合もあるが、対象とした主桁に対しては、 $w_d/w_{lim} > 1.0$  となることは無かった。

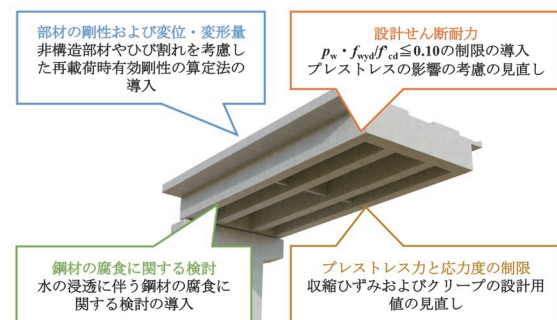


図1 桁の設計に関わる改訂内容

表1 対象とする単純T形桁の諸元

構造形式	列車種別	線路本数	スパン (m)	主桁数	桁高 (mm)	施工基面幅 (mm)
RC 桁	新幹線	複線	18.9	4	2000	10800
	在来線	複線	19.1	4	1800	9040
PC 桁	在来線	複線	21.0	4	1960	9040
PRC 桁	新幹線	複線	43.8	6	3100	10800
	在来線	複線	35.2	6	2000	10600

表2 主桁側面・下面におけるかぶりの比較

W/B (%)	かぶり (mm)	
	従前標準*1	改訂標準*2
40	25	30
45	30	35
50	40	35
55	50	35

※ $k$ : 環境の影響の程度を表す係数で1.6とする  
 $\gamma$ : コンクリートの材料係数で1.0とする  
 $\eta_w$ : 部位・部材毎の水掛かりの程度を表す係数で0.8とする  
 施工誤差は10mmとする  
 \*1: 中性化に関する検討  
 \*2: 水の浸透に伴う鋼材の腐食に関する検討

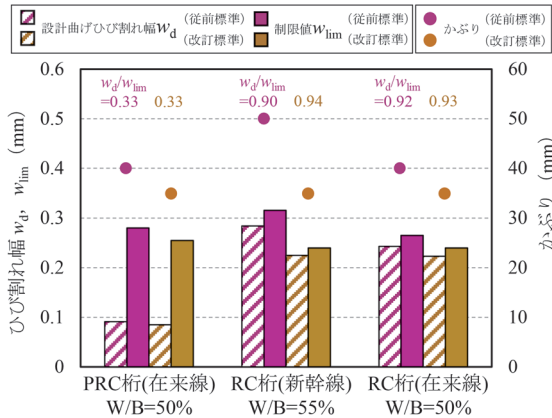


図2 曲げひび割れ幅とかぶりに関する試算結果

表3 収縮ひずみ・クリープ係数の比較

イベント	従前標準			改訂標準		
	プレ導入	桁架設	3ヶ月	プレ導入	28日	3ヶ月
材齢	4~7日	28日	3ヶ月	4~7日	28日	3ヶ月
収縮ひずみ(×10 <sup>4</sup> )	200	180	160	360	330	270
クリープ係数	2.7	1.5	1.3	3.1	2.2	1.8

### 3.2 プレストレス力と応力度の制限

収縮ひずみおよびクリープの設計用値は、無筋コンクリートの断面平均値として、表3に示すように見直された<sup>7)</sup>。いずれの材齢においても収縮ひずみ、クリープ係数は従前標準と比較して増加する。なお、ここでは、PC 桁(在来線)、PRC 桁(新幹線)、PRC 桁(在来線)の外桁に対する試算結果を示すこととし、プレストレス導入が材齢4~7日、桁架設が材齢28日または3ヶ月である。

表4に、有効係数の試算結果を示す。ここで、有効係数は、(有効プレストレス力/プレストレス直後のプレストレス力)であり、プレストレス直後のプレストレス力は一定である。表4より、すべての桁で改訂標準による有効係数は従前標準による値よりも小さくなる。

図3に、スパン中央におけるコンクリートの縁引張応力度 $\sigma_{ct}$ の試算結果を示す。改訂標準および従前標準のいずれも、永久作用によるコンクリートの縁応力度について、PC構造では引張にならないように、PRC構造では有害なひび割れが生じないように制限している。PC桁の縁引張応力度について、桁上縁の圧縮応力が桁下縁よりも小さいため、桁上縁における縁応力度を示し

表4 有効係数の試算結果

	従前標準	改訂標準
PC 桁(在来線)	0.84	0.80
PRC 桁(新幹線)	0.92	0.89
PRC 桁(在来線)	0.85	0.82

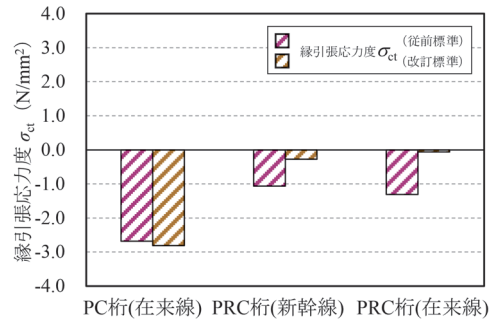


図3 コンクリートの縁応力度に関する試算結果

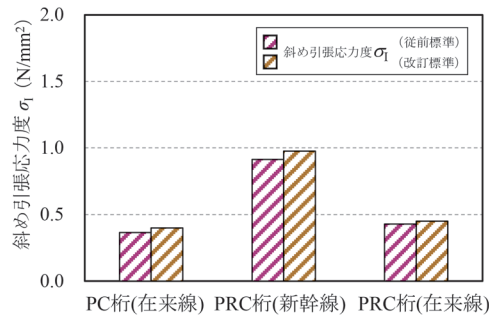


図4 斜め引張応力度に関する試算結果

ているが、有効プレストレス力が小さくなることにより圧縮応力は大きくなるものの、従前標準に対する変化量は小さい。PRC桁ではいずれの桁も圧縮応力が小さくなるが、本検討ではいずれも圧縮応力が残存している。

図4に、支点側におけるコンクリートの斜め引張応力度 $\sigma_1$ の試算結果を示す。改訂標準および従前標準のいずれも、PC構造では、永久作用および変動作用に対して $\sigma_1$ を設計引張強度の70%に制限し、PRC構造では、永久作用に対して $\sigma_1$ を設計引張強度以下に制限している。なお、新幹線PRC構造では、永久作用および変動作用に対して、 $\sigma_1$ を設計引張強度以下に制限して設計されている。いずれの桁においても、従前標準より有効係数が小さくなったことにより、プレストレス力のせん断力に平行な成分 $V_{psd}$ が減少したため、従前標準と比較して斜め引張応力度はわずかに大きくなったが、本検討ではいずれも制限値以内である。

図5に、スパン中央における安全性(破壊)と保守(損傷)の曲げモーメントに関する試算結果を示す。 $\gamma_i$ は構造物係数、 $M_d$ は設計曲げモーメント、 $M_{ud}$ は設計曲げ耐力(破壊)、 $M_{yd}$ は設計曲げ降伏耐力(損傷)である。いずれの桁においても、有効プレストレス力の減少に対し、照査値の変化はほぼ無い。

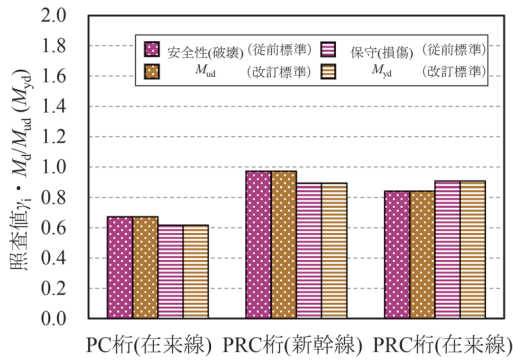


図5 曲げモーメントに関する試算結果

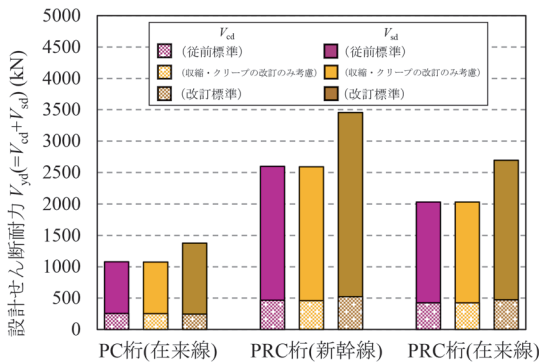


図6 せん断耐力に関する試算結果

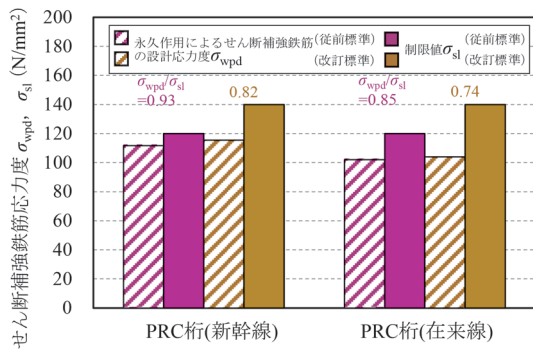


図7 せん断ひび割れの試算結果

### 3.3 設計せん断耐力

棒部材の設計せん断耐方式において、表5に示すように見直された<sup>4)</sup>。特にPC、PRC構造の場合にはプレストレスの影響の考慮方法が見直されている。

図6に、PC桁（在来線）、PRC桁（在来線）、PRC桁（新幹線）の外桁の支点側におけるせん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力  $V_{cd}$  とせん断補強鋼材により受け持たれる棒部材の設計せん断耐力  $V_{sd}$  の試算結果を示す。収縮・クリープの見直しのみを考慮した場合は、有効プレストレス力の減少に対し、従前標準と改訂標準で設計せん断耐力に変化はほぼ無い。プレストレスの影響については、 $V_{cd}$  は軸方向力の影響を表す係数  $\beta_n$  の見直しによりやや増加し、 $V_{sd}$  は  $\cot\theta$  ( $\theta$ : 圧縮スト

表5 せん断耐力の算定

項目	従前標準	改訂標準
$V_{sd}$ の上限	規定なし	$p_w \cdot f_{wyd} / f_{cd} \leq 0.1$ とするのがよい
プレストレスの影響	$V_{cd}$	$\beta_n = 1 + 2M_0/M_d$ ( $N^{\circ} \geq 0$ )
	$V_{sd}$	$\theta = 45^{\circ}$

$V_{cd}$ : せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力  
 $V_{sd}$ : せん断補強鋼材により受け持たれる棒部材の設計せん断耐力  
 $p_w$ : せん断補強鋼材比  
 $\beta_n$ : 軸方向力の影響を表す係数  
 $M_0$ : 設計曲げモーメント  $M_d$  に対する引張線において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント  
 $M_d$ : 軸方向力を考慮しない純曲げ耐力  
 $\sigma_{cg}$ : 断面高さの1/2の高さにおける平均プレストレス  
 $f_{wyd}$ : せん断補強鋼材の設計引張降伏強度  
 $f_{cd}$ : コンクリートの設計圧縮強度  
 $\theta$ : 圧縮ストラット角度

表6 コンクリート桁の曲げ剛性の設定方法

算定法	RC桁	PC桁	PRC桁
全断面有効剛性	○	○	△
再載荷時有効剛性	○	○	○

○: 適用可能 △: 応答急増領域外の場合のみ適用可能

ラット角度) の見直しにより大きく増加する。なお、せん断力に関する照査値は小さくなるものの、せん断補強鉄筋量は、一般に耐久性に関する検討におけるせん断補強鉄筋の応力度の制限で決定されているケースが多い。

### 3.4 せん断ひび割れの検討

耐久性におけるせん断ひび割れの検討では、これまで永久作用による鉄筋応力度の制限値  $\sigma_{s12}$  が定められていたが、改訂により、永久作用による引張鉄筋の応力度の制限値  $\sigma_{s1}$  として、曲げひび割れの検討と同一の制限値に見直された。

図7に、PRC桁（新幹線）、PRC桁（在来線）の外桁の支点側について、せん断ひび割れの試算結果として、せん断補強鉄筋の応力度  $\sigma_{wpd}$  と、その制限値  $\sigma_{s1}$  を示す。いずれの桁においても、せん断補強鉄筋の応力度は従前標準に比べて大きくなっているが、これはプレストレス力のせん断力に平行な成分  $V_{psd}$  が小さくなったためである。一方で、制限値は、常時乾燥（従前標準では一般の環境）の条件では、 $\sigma_{s12} = 120\text{N/mm}^2$  から  $\sigma_{s1} = 140\text{N/mm}^2$  に増加した。この結果、応答値と制限値の比は、従前断面と比べて小さくなったため、せん断補強鉄筋を削減できる可能性がある。

### 3.5 コンクリート桁の曲げ剛性および変位・変形量

コンクリート桁の曲げ剛性について、改訂標準では非構造部材による剛性寄与と、ひび割れによる剛性低下を考慮した再載荷時有効剛性の算定法が示された。表6に適用可能な算定法を桁の種類ごとに示す。RC桁では、曲げひび割れによる剛性低下の割合は、実構造物で想定される荷重レベルでは小さく、非構造部材の剛性寄与分と相殺されるため、全断面有効剛性を設定できるとして

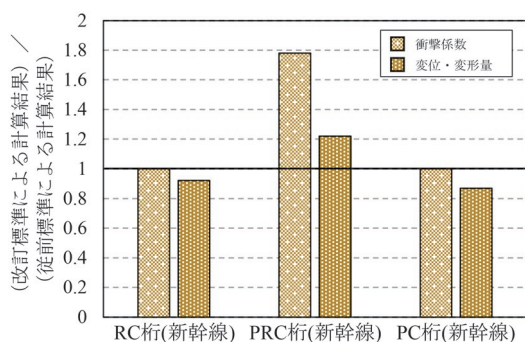


図8 衝撃係数および短期の変位・変形量の試算結果

いる。PRC桁については、曲げひび割れによる剛性低下を想定し、応答急増領域の判定を行い、全断面有効剛性の適用可能性を判断する。応答急増領域内と判定され、共振による顕著な動的応答増幅が懸念される場合には、再載荷時有効剛性を用いる<sup>8)</sup>。

図8に、衝撃係数および短期の変位・変形量の試算結果を示す。ここでは、表1に示した桁とは異なり、スパン10mのRC桁（桁高0.67m）、30mのPRC桁（桁高2.0m）、50mのPC桁（桁高3.33m）を対象とし、いずれも新幹線の複線桁で、列車荷重はH荷重、設計速度は320km/hである。RC桁、PC桁の衝撃係数は、従前標準による値と同一であり、変位・変形量は、非構造部材を考慮し、再載荷時有効剛性を用いて算定することで、従前よりも小さい値となる。一方で、本検討で対象とした桁のように応答急増領域内にあると判定されたPRC桁は、衝撃荷重、変位・変形量ともに従前標準よりも大きい値となる。

#### 4. まとめ

- (1) 水の浸透に伴う鋼材の腐食に関する検討について、水掛かりの程度に応じた区分の導入により、常時乾燥となる主桁の側面や下面では、かぶりが従前標準による試算結果と比べて小さくなる。このことにより、設計曲げひび割れ幅、制限値ともに小さくなる。
- (2) 縁引張応力度について、収縮・クリープの見直しにより、PC桁では従前標準による試算結果から大きな変化はない。PRC桁では従前標準による試算結果よりも縁引張応力度が大きくなるものの、今回のように圧縮応力が残存する場合もある。
- (3) 斜め引張応力度、曲げモーメントに関する照査値

について、収縮・クリープの見直しによる、PC桁、PRC桁ともに、従前標準による試算結果から大きな変化はない。

- (4) セン断耐力について、プレストレスの影響の考慮方法の見直しにより、PC桁、PRC桁のせん断耐力は従前標準による試算結果に比べて大きくなる。
- (5) セン断ひび割れの検討について、プレストレスの影響の見直しにより、せん断補強鉄筋応力度は従前標準に比べて大きくなるが、制限値の見直しにより、応答値と制限値の比は従前標準による試算結果に比べて小さくなる。
- (6) コンクリート桁の曲げ剛性について、再載荷時有効剛性を用いて計算すると、RC桁、PC桁では全断面有効剛性による計算結果に比べて変位・変形量が小さくなるが、今回のように応答急増領域内にあると判定されたPRC桁では、従前標準による計算結果に比べて衝撃係数、変位・変形量ともに大きくなる。

#### 文献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，丸善出版，2023
- 2) 田所敏弥，渡辺健，池田学，岡本大：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造)「第I編 基本原則」の概要，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.7-13，2023
- 3) 渡辺健，池田学，岡本大：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造)「第II編 橋りょう」の概要，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.15-23，2023
- 4) 渡辺健，中田裕喜，轟俊太郎：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造)「第III編 コンクリート構造」の概要，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.25-33，2023
- 5) 池田学，田所敏弥，轟俊太郎，豊岡亮洋：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造)「第IV編 支承構造」の概要，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.35-40，2023
- 6) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，丸善出版，2004
- 7) 渡辺健，中村麻美：コンクリートの強度発現を考慮したクリープひずみの算定式および設計用値，鉄道総研報告，Vol.38，No.1，pp.27-32，2024
- 8) 徳永宗正，池田学：鉄道コンクリート桁におけるひび割れと非構造部材の影響を考慮した曲げ剛性の算定方法，鉄道総研報告，Vol.37，No.9，pp.17-24，2023