

## 新設計標準による試設計と分析

中原 正人\*      黒田 智也\*\*  
北 健志\*\*\*      池田 学\*\*\*

### Trial Design and Evaluation for the Revised Design Standard for Steel Structures and Composite Girders

Masato NAKAHARA      Tomoya KURODA  
Kenji KITA      Manabu IKEDA

The design standard for railway steel structures and composite girders as based on a limit-state design method will be revised in the near future. This design standard is newly based on the performance design method. In this report, we designed steel and composite girders according to the old and new design standards, and evaluated the effect of the revision. The trial design for a deck girder, a through girder, a through truss girder and a composite girder are targeted to compare the results obtained by the two different design methods. We have consequently verified that there is some possibility that the design results complying with the new design standard become economical design results.

キーワード：性能照査，上路プレートガーダー，下路プレートガーダー，下路トラス，合成桁

### 1. はじめに

鉄道総研では、鉄道鋼・合成構造物の設計標準の刊行に併せて、設計計算例、手引き、設計プログラム等の整備を行っている。「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）」<sup>1)</sup>（以下、現行の設計標準という）の改訂時にも、例えば、鋼鉄道橋の代表的な構造である上路プレートガーダー、下路プレートガーダー、下路トラス、合成桁などの設計計算例を取り揃え、実務に供してきた。今回の設計標準の改訂においても、現行の設計標準の限界状態設計法に基づいた設計と比較して、どのような点が変わるのか、どのような傾向があるのかを把握しておくことが重要である。

そこで、本稿では、限界状態設計法に基づいた設計に対して、新たに体系化される新設計標準に基づいた設計が、どのような照査方法となるのか、現行の設計標準と比較して個々の照査結果が、どのような傾向となるのかを明らかにするために、代表的な鋼・合成構造物に関して試設計を実施した。以下にその結果を示す。

### 2. 新設計標準における主な改訂内容

新設計標準では、以下のような事柄を主な改訂内容と

- \* 構造物技術研究部（鋼・複合構造）（現 中央復建コンサルティング㈱）
- \*\* 構造物技術研究部（鋼・複合構造）（現 東日本旅客鉄道㈱）
- \*\*\* 構造物技術研究部（鋼・複合構造）

している。

- ①性能照査型設計体系の構築
- ②多種多様化する構造物への適用性拡大
  - ・鋼材の厚板（75mm以下）や高性能鋼材などの適用
- ③技術レベルの向上に伴う個々の照査法の精度向上
  - ・耐力力算定法の見直し
  - ・疲労照査法の見直し
- ④耐久性の明確化
- ⑤大規模地震対応の照査法の導入

試設計はこれらによる影響に着目して行い、本稿では、主として①、②、③に着目して分析した結果を示す。

### 3. 試設計および分析

#### 3.1 試設計の条件

試設計の条件を以下に示す。

##### (1) 対象構造形式

試設計を行う構造形式は、上路プレートガーダー、下路プレートガーダー、下路トラス、合成桁の4種類を対象とした。

##### (2) 照査断面

照査は各構造物の支間中央部の断面にて行うこととした。

##### (3) 作用の設定および組み合わせ

作用の設定および組み合わせは、同一とした。ただし、使用性（乗り心地）の照査においては、現行の設計標準では列車荷重のみであったが、新設計標準では、列車荷重に加えて衝撃荷重を考慮した。

特集：鋼・合成構造物の設計技術

表1 照査の比較項目

比較項目	現行の設計標準	新設計標準
1	終局限界状態	安全性（耐荷性）
2	疲労限界状態	安全性（耐疲労性）
3	使用限界状態	使用性（乗り心地）
		安全性（走行安全性）

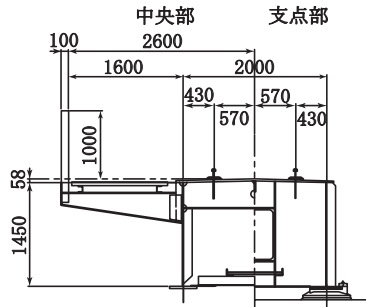


図1 上路プレートガーダー断面図 (mm)

3.2 照査の比較項目

照査比較項目は、表1に示すとおりである。現行の設計標準の終局限界状態に相当する照査は、安全性（耐荷性）として扱う。疲労限界状態に相当する照査は、安全性（耐疲労性）として扱う。使用限界状態に相当する照査は、使用性（乗り心地）と安全性（走行安全性）に区分して扱う。ただし、照査結果の比較は使用性（乗り心地）の欄で示している。耐久性に関しては腐食やひび割れが該当するが、対象構造物の断面形状には直接影響しないと捉えて、本稿では除外した。

なお、安全性（耐疲労性）の照査では、下路トラス桁を除いて疲労限りのみの照査とし、一部照査の簡略化を図っている。

照査は、以下の式を満足していることを確認することにより行う。

$$\gamma_i \cdot I_{Rd} / I_{Ld} \leq 1.0$$

ここに、 $\gamma_i$ は構造物係数、 $I_{Rd}$ は設計応答値、 $I_{Ld}$ は設計限界値である。本稿では、左辺により算定される値を照査結果と称する。そして、「照査結果が小さくなる」とは、安全側の結果を与えることを示す。言い換えれば、部材の断面の大きさを現行の設計標準よりも小さくすることができ、経済的になることを示している。

3.3 上路プレートガーダー

(1) 試設計条件

- ・形式：単線単純π形桁（図1参照）
- ・桁長：16600mm（支間：16000mm）
- ・軌道：直線，鋼直結式
- ・列車荷重：M荷重
  - 安全性（耐荷性，耐疲労性），走行安全性；M-18
  - 使用性（乗り心地）；M-16
- ・設計速度：130km/h

(2) 試設計結果・分析

試設計結果を表2に示す。新設計標準の照査結果に着

表2 上路プレートガーダーの照査断面および照査結果

断面（支間中央）	鋼材：SM400 材料強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> )	
	現行の設計標準	新設計標準
1-PL 2150mm × 18mm	235	235
2-PL 22mm × 230mm		235
2-PL 1450mm × 10mm		245
2-PL 380mm × 16mm		245

部位	照査結果	
	現行設計標準	新設計標準
上フランジ 曲げ	0.889	0.889
下フランジ 曲げ軸力	0.810	0.777
腹板 せん断	0.185	0.181
腹板下縁 曲げせん断	0.471	0.434
補剛材上端 曲げ	1.170	0.800
補剛材下端 曲げ	1.180	1.180
支間中央 たわみ	0.408	0.288
		0.426

性能標準項目	照査結果	
	現行設計標準	新設計標準
安全性（耐荷性）	終局限界	終局限界
	終局限界	終局限界
安全性（耐疲労性）	疲労限界	疲労限界
	疲労限界	疲労限界
使用性（乗り心地）	使用限界	使用限界
	使用限界	使用限界
走行安全性	使用限界	使用限界
	使用限界	使用限界

注）繰返し数の影響を考慮した耐疲労性の照査は省略する。

目した分析結果は以下のとおりである。

- ・安全性（耐荷性）の照査では、上フランジ以外は照査結果が小さくなっている。これは、板厚16mm以下の場合材料強度の特性値が板厚区分により現行の設計標準より大きくなるためである。
- ・安全性（耐疲労性）の疲労限りの照査では、補剛材上端の照査結果が小さくなっている。これは、平均応力に関する補正係数 $C_R$ を考慮することにより、圧縮領域では設計限界値が大きくなるためである。引張領域である補剛材下端の照査結果は変わらない。
- ・使用性（乗り心地）の照査では、照査結果が小さくなっている。これは、本条件では、設計応答値が大きくなるが、その割合以上に限界値が大きくなっているためである。走行安全性の照査結果も同じ理由で小さくなっている。

3.4 下路プレートガーダー

(1) 試設計条件

- ・形式：単線単純2主I形桁（図2参照）
- ・桁長：32000mm（支間：31300mm）
- ・軌道：曲線半径R=1400m，道床式
- ・列車荷重：機関車荷重EA-17
- ・設計速度：115km/h

(2) 試設計結果・分析

試設計結果を表3に示す。新設計標準の照査結果に着目した分析結果は以下のとおりである。

- ・安全性（耐荷性）の照査では、JISの場合は腹板以外は照査結果が大きくなっている。これは、板厚が40mmを超える場合は材料強度の特性値が板厚区分により現行の設計標準より小さくなるためである。一方、降伏

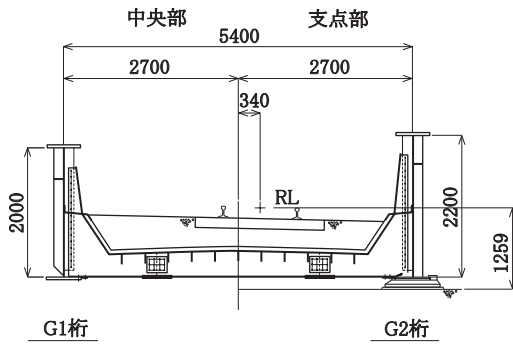


図2 下路プレートガーダー断面図 (mm)

表3 下路プレートガーダーの照査断面および照査結果

鋼材：SM490	材料強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> )		
	現行の設計標準	新設計標準	
断面 (支間中央)		JIS	降伏点一定鋼
1-PL 500mm × 46mm	315	325	315
1-PL 1900mm × 11mm		315	
1-PL 500mm × 46mm		295	

照査結果	現行設計標準 (設計耐用期間60年)	新設計標準 (設計耐用期間60年)	新設計標準 (降伏点一定鋼)
上フランジ 曲げ	0.688	0.626	0.688
下フランジ 曲げ	0.679	0.636	0.679
腹板 せん断	0.593	0.402	0.593
補剛材 上端 曲げ	1.249	1.136	1.249
補剛材 下端 曲げ	1.481	1.481	1.481
支間中央 たわみ	0.983	0.618	0.983
走行安全性	0.927		0.927

部位	上フランジ	下フランジ	腹板	補剛材 上端	補剛材 下端	支間中央
指標	曲げ	曲げ	せん断	曲げ	曲げ	たわみ
新設計標準	安全性 (耐荷性)			安全性 (耐疲労性)		使用性 (乗り心地)
現行設計標準	終局限界			疲労限界		使用限界
性能項目	安全性 (耐荷性)			安全性 (耐疲労性)		使用性 (乗り心地)
性能項目	終局限界			疲労限界		使用限界

注) 繰返し数の影響を考慮した耐疲労性の照査は省略する。

点一定鋼 (板厚区分により降伏強度が変わらない鋼材) を用いる場合は照査結果は変わらない。これより、板厚が40mmを超える場合は、降伏点一定鋼の使用を検討するのがよいと考えられる。

- ・安全性 (耐荷性) 以外の照査結果については、上路プレートガーダーと同様であった。

### 3.5 下路トラス

#### (1) 試設計条件

- ・形式：単線単純下路トラス (図3参照)
- ・桁長：63400mm (支間：62400mm)
- ・軌道：直線，鋼直結式
- ・列車荷重：機関車荷重；EA-17
- ・設計速度：130km/h
- ・列車本数：旅客80本/日，貨物75本/日

#### (2) 試設計結果・分析

試設計結果を表4に示す。新設計標準の照査結果に着目した分析結果は以下のとおりである。

- ・安全性 (耐疲労性) の繰返し数の影響を考慮した耐疲労性の照査について、本来は疲労限の照査結果が1.0

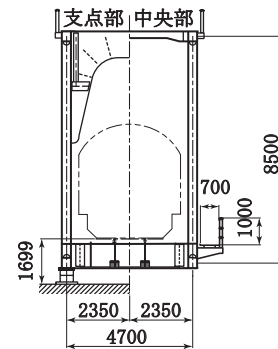


図3 下路トラス断面図 (mm)

表4 下路トラスの照査断面および照査結果

鋼材：SM400	材料強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> )		
	現行の設計標準	新設計標準	
断面 (支間中央)		JIS	降伏点一定鋼
1-PL 560mm × 9mm	235	245	245
2-PL 400mm × 10mm		245	
1-PL 320mm × 9mm		245	

照査結果	現行設計標準 (設計耐用期間60年)	新設計標準 (設計耐用期間60年)	新設計標準 (設計耐用期間100年)
上弦材 軸力 (圧縮)	0.883	0.680	0.680
上弦材 ダイヤフラム 軸力 (圧縮)	1.228	0.942	0.942
支間中央 たわみ	0.333	0.321	0.321
走行安全性	0.054	0.378	0.378

部位	上弦材	上弦材 ダイヤフラム		支間中央
指標	軸力 (圧縮)	軸力 (圧縮)	軸力 (圧縮)	たわみ
新設計標準	安全性 (耐荷性)	安全性 (耐疲労性)		使用性 (乗り心地)
現行設計標準	終局限界	疲労限界		使用限界
性能項目	安全性 (耐荷性)	安全性 (耐疲労性)		使用性 (乗り心地)
性能項目	終局限界	疲労限界		使用限界

注) ( ) 内は次元差を現行の設計標準に合わせた照査結果を示している。

以下であれば照査は必要ないが、ここでは参考として照査を行う。設計耐用期間は、現行の設計標準を適用して60年 (在来線) とする。累積疲労損傷度を用いた新設計標準による照査結果 (0.033) は、現行の設計標準による結果 (0.333) と比べて非常に小さくなっている。このように大きな差があるのは、新設計標準と現行の設計標準による照査結果には次元差 (3乗) があるためであり、新設計標準による照査結果を現行の設計標準の次元に合わせると  $0.321 (= \sqrt[3]{0.033})$  となる。また、設計耐用期間を100年として照査を行うと結果は0.378 (次元差を考慮) となる。以上より、同じ設計耐用期間であれば、累積疲労損傷度を用いた新設計標準による照査結果は、現行の設計標準よりも小さくなる。

- ・安全性 (耐疲労性) の繰返し数の影響を考慮した耐疲労性の照査以外については、上路プレートガーダーと同様であった。

### 3.6 合成桁

#### (1) 試設計条件

- ・形式：複線単純4主I形桁 (図4参照)

特集：鋼・合成構造物の設計技術

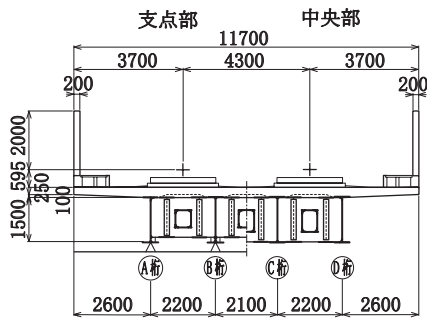


図4 合成桁断面図 (mm)

- ・桁 長：30800mm (支間：30000mm)
- ・軌 道：直線，スラブ軌道
- ・列車荷重：新幹線荷重
  - 安全性 (耐荷性，耐疲労性)，走行安全性；H-22
  - 使用性 (乗り心地)；H-17
- ・設計速度：130km/h

(2) 試設計結果・分析

試設計結果を表5に示す。新設計標準の照査結果に着目した分析結果は以下のとおりである。

- ・安全性 (耐荷性) の照査では，上フランジ，腹板，腹板上縁については上路プレートガードと同様の理由で照査結果が小さくなっている。下フランジ，腹板下縁についても照査結果が小さくなっているのは，材料強度の特性値は変わらないが，570N/mm<sup>2</sup>級の材料係数および部材係数を見直したためである。
- ・安全性 (耐疲労性) の疲労限の照査では，腹板下縁の照査結果が大きくなっている。これは，板厚に関する補正係数Ctを考慮することにより設計限界値が小さくなるためである。
- ・使用性 (乗り心地) の照査では，照査結果が大きくなっている。これは，本条件では，設計応答値が大きくなって設計限界値が小さくなっているためである。走行安全性では，設計限界値が大きくなるがそれ以上に設計応答値が増加するため照査結果が大きくなっている。

3.7 まとめ

本試設計により明らかになった事柄を以下にまとめる。

- (1) 安全性 (耐荷性) の照査では，板厚区分による材料強度の特性値の設定により，板厚が16mm以下の場合には照査結果が小さくなり，板厚が40mmを超える場合には照査結果が大きくなる。ただし，降伏点一定鋼を使用すれば，照査結果は変わらない。  
また，570N/mm<sup>2</sup>級の材料を適用する場合は，安全係数の改訂により照査結果が小さくなる。
- (2) 安全性 (耐疲労性) の疲労限の照査においては，設計限界値に補正係数C<sub>R</sub>，C<sub>I</sub>を考慮する影響で，圧縮領域の部位の照査結果は小さくなり，補正係数C<sub>I</sub>を考慮する必要がある部位の場合には大きくなる。また，

表5 合成桁の照査断面および照査結果

	材料強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> )	
	現行の設計標準	新設計標準
コンクリート床版 3592mm × 250mm	$f'_{ck}=27$ (N/mm <sup>2</sup> )	
1-PL 300mm × 16mm	450	460
1-PL 1500mm × 15mm		460
1-PL 520mm × 34mm		450

照査結果	照査結果 (現行設計標準 / 新設計標準)							
	上フランジ 曲げ	下フランジ 曲げ	腹板 せん断	腹板上縁 曲げ	腹板下縁 せん断	腹板上縁 曲げ	腹板下縁 曲げ	支間中央 たわみ
新設計標準	0.389	0.918	0.995	0.922	0.719	0.671	0.716	0.469
現行設計標準	0.389	0.918	0.995	0.922	0.719	0.671	0.716	0.469
設計標準	0.016	0.012	0.016	0.012	0.016	0.012	0.016	0.012

注) 繰返し数の影響を考慮した耐疲労性の照査は省略する。

繰返し数の影響を考慮した耐疲労性の照査では，同じ設計耐用期間では，累積疲労損傷度を用いた新設計標準による照査結果の方が小さくなる。

- (3) 走行安全性および使用性 (乗り心地) の照査では，桁のスパンや作用などの条件により傾向が異なるが，大きな変動はないことが確認できた。
- (4) 本稿では具体的には示していないが，新設計標準では厚板 (75mm以下) や各種高性能鋼材を適用することも可能であり，設計の自由度が大きくなると考えられる。

4. まとめ

新設計標準を適用した照査結果は現行の設計標準と同等であるか，項目によっては5%程度小さくなる傾向となるため，新設計標準を適用することにより構造物の経済化が図れる可能性があることが明らかとなった。また，設計実務における作業量も大きく増加しないと考えられ，新設計標準を適用することにより，設計の自由度が増し，照査法の精度向上を図ることができると考えられる。

謝 辞

本研究は，国土交通省から委託を受けて実施した「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一環として行ったものである。ここに記して謝意を表する。

文 献

- 1) 国土交通省監修，財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，2000