

# 鉄道構造物等設計標準（鋼・合成構造物）施工編の要旨

杉舘 政雄\*      小林 裕介\*

杉本 一郎\*      池田 学\*

## An Outline of the Standards of Fabrication and Construction for Railway Structures (Steel and Composite Structures)

Masao SUGIDATE      Yusuke KOBAYASHI

Ichiro SUGIMOTO      Manabu IKEDA

In the Design Standards for Railway Structures (Steel and Composite Structures), the “Fabrication Standards” regulate the quality of fabrication which is an essential precondition for design of steel and composite structures. However, it is necessary to revise the fabrication standards because some of the standards have been different from currently prevailing technologies. Then, we revised the fabrication standards to the “Standards of Fabrication and Construction”, conforming to the current technological level and adding the standards for on-site construction. This paper describes major changes and reasons of the changes on the revision of the fabrication standards.

キーワード：鋼・合成構造物，製作，架設，施工

### 1. はじめに

平成4年に制定された「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）」では、設計の前提となる製作上の品質を確保するために「鋼構造物の製作標準」（以下、製作標準という）が定められている。しかしながら、一部には現行の製作方法との乖離もみられるため、見直しが求められていた。そこで、設計標準の改訂に伴い、第3編として現行の製作方法や技術レベルに対応した見直しの他、支承部の品質管理や現場施工の内容を追加し、かつ溶接部の非破壊検査等の最近の施工に関する知見を取り入れた「施工編（参考資料）」を定めた。本稿では、主に製作標準から新標準の施工編への主な変更点とその概要について示す。なお、施工編と名称を変更したのは、工場製作に加えて現場架設に関する事柄も取り入れたためである。

### 2. 施工WGの概要と施工編の改訂方針

製作標準の見直しに際し、施工ワーキング（施工WG）を立ち上げて改訂内容を審議してきた。ワーキングのメンバー構成は、舘石名古屋大学教授を主査とし、鉄道事業者であるJR社、鉄道・運輸機構、民鉄、製作会社および鉄道総研である。

本施工編の記述方針は以下の通りとした。

\* 構造物技術研究部（鋼・複合構造研究室）

- ① 設計標準では性能照査型設計としているが、施工編では、1章総則に本編における性能照査の考え方を示し、2章以降はこれまでと同様に仕様規定型の表記とする。
- ② 新しい知見や、道路橋示方書等に記載のある内容で、取り入れられる事柄については取り入れる。
- ③ 支承の品質管理と架設について新たに記述する。

### 3. 目次構成と主な改訂内容

#### 3.1 目次構成

表1に施工編の目次構成とその主な記述内容を示す。

製作標準との目次の違いは、6章に支承の品質管理を追加して「6章 鋳造品および支承」としたこと、「7章 部品および組立の精度」に仮組立も含めたこと、8章に工場塗装に加えて無塗装等の内容も含めて「8章 防せいおよび防食」としたこと、「10章 架設」を新設したこと等である。

#### 3.2 主な改訂内容

主な改訂内容は以下の通りである。

- ・ 1章総則は、施工編の要求性能の考え方を示した。そして、施工計画について製作と架設に分けて記述した。
- ・ 2章材料では、板厚の公差はJIS3193を適用し、かつ公称板厚の-5%と明記した。鋼板の表面粗さはJIS B 0601の改訂により、100Sという表現から

特集：鋼・合成構造物の設計技術

表1 施工編の目次構成と主な記述内容

施工編	施工編の主な記述内容
1章 総則	適用範囲，要求性能と照査方法，部材の区分および施工計画等に関する事柄
2章 材料	製作に用いる鋼板，溶接材料等に関する事柄
3章 加工	原寸，けがき，切断および曲げ加工等に関する事柄
4章 溶接継手	溶接作業上の注意，溶接工，欠陥の補修法，非破壊検査等溶接部の品質管理に関する事項
5章 ボルト継手	ボルト孔，高力ボルトの締付け等，高力ボルト継手に関する事項
6章 鋳造品および支承	鋳造品，鋼製支承およびゴム支承等に関する事柄
7章 部品および組立の精度（仮組立含む）	種々の部材の製作上の寸法の許容差および仮組立に関する事柄
8章 防せいおよび防食	塗装条件，素地調整および無塗装等の防せい・防食に関する事柄
9章 輸送（組立符号含む）	輸送および組立符号に関する事柄
10章 架設（新規）	架設計画・設計・工事，床版，施工および安全管理等に関する事柄

100 $\mu$ mRzに変更した。

- ・ 3章加工では，原寸検査における確認項目を示した。また，冷間曲げ加工について見直した。
- ・ 4章溶接継手では，予熱温度を溶接割れ感受性組成(P<sub>CM</sub>)の値を基に見直した。また，溶接施工試験の項目や，溶接部の非破壊検査の内容についても見直した。
- ・ 5章ボルト継手では，実際に行われる作業の流れに合うようにボルトの種類を考慮して全体を見直した。また，拡大孔の貫通率および停止率を明示した。
- ・ 6章鋳造品および支承では，鋼製支承とゴム支承の品質管理方法を加えた。
- ・ 7章部品および組立の精度では，ソールプレートの反りにゴム支承の場合を追加した。製作寸法許容差に鋼製橋脚とアンカーフレームを追加した。また，仮組立を省略できる条件を示した。
- ・ 8章防せいおよび防食では，2005年の鋼構造物塗装設計施工指針の内容を取り入れた。また，塗装以外の無塗装等の注意点を記述した。
- ・ 10章架設では，架設に関する注意点を新しく追加した。

以上の改訂内容の内，要求性能の考え方，曲げ加工，予熱温度，溶接部の非破壊検査，支承の品質管理，架設について以下に概要を示す。

3.3 要求性能の考え方

設計編では性能照査型設計法としているが，施工編では品質管理に関する許容値や施工上の注意を条文・解説に明示する必要がある，必ずしも性能照査型の記述にならない面がある。そこで，施工編では性能照査型の考え方を以下のように示すことにより，設計編と整合を図ることとした。

施工に係わる要求性能としては「施工時の安全性」，「施工時の社会・環境適合性」および「初期健全性」の三つを考えた。

このうち施工時の安全性は，施工時に鋼構造物および合成桁を確実に建設するために必要な性能であり，施工の時期，期間，場所，工法および構造物の特性を考慮した耐荷性能および安定性に対する照査を行う。施工時の安全性には，作業員や第三者に対する安全性を含めている。

施工時の社会・環境適合性は，施工時に環境を損なったり，公衆に不快感を与えたりしないようにするために必要な性能であり，景観性および低公害性に対する照査を行うことであるが，基本的には，それぞれに該当する法令等に従い，規定された基準値等を満足するように計画し，対策を実施することとした。

また，初期健全性は，製作精度・架設誤差の不良や初期欠陥等によって，設計時に考慮される要求性能を下回

表2 施工時の要求性能と性能項目・照査指標の例

要求性能	性能項目	照査指標または検討項目の例	本編による照査方法の例
施工時の安全性	耐荷性 安定性 公衆安全性	・施工時の断面力，応力度，安定性 ・第三者に対する落下物の危険性	・施工時に生じる作用に対し設計編に準じて照査 ・該当する法令の遵守
社会・環境適合性	景観性 低公害性	・騒音・振動，産廃処理 ・環境整備・美化，事故防止	・該当する法令の遵守
初期健全性	—	・施工時の品質（溶接部，高力ボルト連結部，コンクリートや鉄筋等の品質） ・製作・架設精度（長さ，通り，キャンパー，遊間，支承位置等）	・立会，検査 管理シートや写真等で確認

らないことであるが、具体的には本編に示す規定値や注意点を満足することを確認することとした。

以上より、本編に示す仕様規定の各項目を満すことにより施工性（「施工時の安全性」、「施工時の社会・環境適合性」および「初期健全性」）を満足できるものとみなしてよいこととした。

表2に施工時の要求性能と性能項目および照査指標の例を示す。

表4 予熱温度の設定

鋼材	条件	予熱温度(°C)	
		被覆アーク溶接	ガスシールドアーク溶接 サブマージアーク溶接
SM400 SMA400	(1) 0°C<作業場の温度≤5°Cの場合 (2) 板厚40mmを超える場合	50以上	不要
SM490 SM490Y	(1) 0°C<作業場の温度≤10°Cの場合 (2) 板厚40mmを超える場合	50以上	不要
	板厚40mmを超える場合	100以上	50以上
SM520 SMA490	(1) 0°C<作業場の温度≤10°Cの場合 (2) 板厚25mm以下の場合	50以上	不要
	板厚25mmを超え50mm以下の場合	100以上	50以上
SMA570	板厚50mmを超える場合	100以上	100以上

注：予熱が不要な場合においても、作業場の温度が5°C以下の場合には50°C程度に予熱する。

### 3.4 曲げ加工

鋼材を冷間加工し塑性ひずみを与え

ると、ひずみ時効のため、鋼材は時間の経過とともに硬化が進行して、じん性が低下したり、き裂が発生することがある。既往の試験結果によれば、同じ鋼種であっても予ひずみの有無にかかわらず、シャルピー衝撃値は規格値を満足していてもかなりばらつきがあり、試験温度が低くなるに従い低下する。更に、所要の曲げ半径で加工しても、実際の加工ひずみは均等にならず、かなりばらつき、局部的に大きくなることもある。このため、主要部材において冷間加工を行う場合は局部的に大きなひずみを与えないようにしなければならないことから、その限界は従来と同様に、曲げ加工の内側半径を板厚の15倍以上（引張側表面のひずみが3%以下）とすることとした。

また、主要部材の鋼板で、冷間加工により板厚の15倍未満の内側半径で曲げる場合には、これまでは施工試験により確認することになっていたが、最近の研究成果<sup>3)</sup>を参考に、シャルピー吸収エネルギーが表3の値を満足し、かつ化学成分中の全窒素量が0.006%を超えない材料であることを確認することに変更した。それ以外の場合には、従来と同様に曲げ加工箇所のシャルピー吸収エネルギーが、その鋼材に要求されるシャルピー吸収エネルギーと同等以上確保していることを確認し、施工試験等によってひずみ時効等に起因する問題が生じないことを確認することとした。

なお、いずれの場合においても冷間曲げ加工を行う箇所の表面やエッジのきずは加工時にわれ等の損傷原因になる恐れがあるので注意を要する。

表3 シャルピー吸収エネルギーと冷間曲げ加工半径

シャルピー吸収エネルギー	冷間曲げ加工の内側半径
150J以上	板厚の7倍以上
200J以上	板厚の5倍以上

### 3.5 予熱温度

予熱にはいくつかの目的があるが、そのうち最も重要なことは溶接の際の冷却速度を遅くして溶接割れを防ぐ

ことである。最近の研究によると従来の炭素当量 (Ceq) を指標とするよりも溶接割れ感受性組成 (P<sub>CM</sub>) を用いた方がよいことが明らかになってきた。今回の設計標準の改訂では適用板厚を75mm程度まで拡大したことや高性能鋼材の使用を可能としたことから、溶接にあたっては水素による遅れ割れを防止するための予熱条件を、より正確に設定することが必要になったため、P<sub>CM</sub>を基本に予熱条件を見直すこととした。解説には、拘束条件が異なる場合や、実際に使用する鋼材のP<sub>CM</sub>値から予熱温度を設定する方法を示している。見直した結果を表4に示す。

また、これまでの予熱の範囲は溶接線から50mmとしていたが、板厚が厚くなることから100mmに変更した。

### 3.6 溶接部の非破壊検査

今回の設計標準の改訂で、鋼板の板厚を従来の50mmから75mmにアップしたことにより、厚板においては溶接部の品質管理を主に超音波探傷試験に依存する必要が生じたため、これまでの放射線透過試験を主とした記述から、全面的に見直した。

放射線透過試験における合否の判定では、板厚が25mm以下の場合にJIS Z 3104付属書4によることとした。これは、放射線透過試験と超音波探傷試験の合否判定の整合性を図るためであり、板厚が25mmを超える場合には、放射線透過試験に対しても超音波探傷試験による場合と同様の判定基準を適用することとした。この際は、きず種別を区別せずに単独きずと隣接きずを含めた換算きず寸法で評価することとした。

超音波探傷試験における合否の判定は、きずの指示長さによる分類がJIS Z 3060付属書の1類以上としているが、きずの指示長さは実際のきず長さとは必ずしも一致するものではない。したがって、超音波自動探傷装置はあらかじめ破壊試験等を行いその信頼性が確認されたものを使用するとともに、個々の探傷装置ごとに指示きず長さと実きず長さの誤差が小さくなるような探傷方法(測

特集：鋼・合成構造物の設計技術

定方法)を選択し、その妥当性について検証しておくことが重要であることを注意喚起した。

手探傷は、自動探傷と同様にきずのエコー高さの領域ときずの指示長さおよび実きず長さの相関に関して十分な資料を有している場合には、用いてよいこととした。

最近の疲労に関する研究成果<sup>6)</sup>等によると、横突合わせ溶接継手および荷重伝達型の十字溶接継手では、疲労強度がD等級を満足するためには、溶接内部のきず寸法は、表5の許容値以内に収めなければならないことが明らかとなっている。そこで、本編では横突合わせ溶接継手および荷重伝達型の十字溶接継手において疲労強度をD等級として設計図で指示された場合には、検出されたきず長さは表5に示す値により可否判定を行うこととした。

表5 横突合わせ継手と荷重伝達型十字継手の許容実きず長さ

許容きず長さ (mm)	母材 t (mm)	
	18以下	18を超えるもの
	3	t/6

3.7 支承の品質管理

支承の品質管理については、今まで鉄道橋で実施されてきた支承の品質管理方法や、道路橋支承便覧<sup>7)</sup>等を参考に、さらに設計編の内容に合うように新たに記述を加えた。

支承の製作会社は、事前に本章に示した品質管理項目等を参考に、支承の品質管理要領を定めた製作要領書を作成し、これに基づき製作するものとした。支承製作後には、材料試験報告書や製品検査報告書等を作成し、鉄道事業者等は製作要領書に定められた品質管理項目が満足していることを確認することとした。

本章で扱う鋼製支承は、支承本体以外にも、移動制限装置および落橋防止装置を含むものとした。ゴム支承は、大別して、橋桁と下部工を連結しないで直接沓座に置いて用いるタイプのゴム支承や、橋桁と下部工を連結して大規模地震等の想定される最大作用に対してせん断変形性能によって抵抗するタイプのゴム支承を取り扱うこととした。後者には、積層ゴム支承、鉛プラグ入り積層ゴム支承、高減衰積層ゴム支承等の地震時水平力分散ゴム支承や免震支承がある。いずれのゴム支承も、鋼板をゴムで被覆して一体成型したゴム支承を用いることを基本とするが、これらのゴム支承の種類に応じて品質管理を行うこととした。なお、ゴム支承については、「鋼鉄道橋規格(SRS34)鉄道橋用ゴム支承の品質管理要領」を制定したので、詳細な事柄はSRS34を参考とされたい。

3.8 架設

これまでの製作標準では、架設を含めていなかったた

め、今回の施工編では表6のような架設に関する内容を取り入れた。このように、架設計画から、設計、工事、施工管理、安全管理と多岐にわたることから、本章では、要点だけを記述している。従って、実際の架設工事においては、文献9)等を参考に、十分安全に配慮する必要がある。

表6 10章架設の主な記述内容

項目	主な記述内容
10.1 架設計画	架設計画に関する事柄
10.2 架設設計	架設設計一般、作用および作用の組み合わせ、架設時の安全性の照査等に関する事柄
10.3 架設工事	部材の仮置きおよび組立、ボルト継手、現場溶接、支承の据付、排水工、接合工および防水工等に関する事柄
10.4 床版工	コンクリートの打設と品質管理、養生
10.5 施工管理	施工精度、架設時の検査と記録、完成時の計測等に関する事柄
10.6 安全管理	安全管理に関する事柄

4. おわりに

以上、紙面の都合で施工編の一部についてのみの紹介となったが、本編を参考によりよい鋼構造物が出来上がることを期待している。

本編の内容は、国土交通省からの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。また、WGメンバー以外の方々からもボルト・溶接継手、架設等に関して貴重なご意見や資料の提供を頂いた。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書，2007.3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説鋼橋編，平成14年3月
- 3) 本間，三木，征矢，笹尾，奥村，原：冷間加工を受けた構造用鋼材の歪み時効と冷間曲げ加工の許容値に関する研究，土木学会論文集，1997.7
- 4) 日本鋼構造協会：既設鋼橋部材の耐力・耐久性診断と補修・補強に関する資料集(JSSCテクニカルレポートNo.51)，2002
- 5) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成14年3月
- 6) 三木，西川，高橋，町田，穴見：横突合わせ溶接継手の疲労性能への内部欠陥の影響と要求品質レベルの設定，土木学会論文集，2004.1
- 7) 日本道路協会：道路橋支承便覧，2004.4
- 8) 鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指針，2005
- 9) 土木学会：鋼構造架設設計施工指針，2001