

東京港臨海大橋（仮称）製作基準書

（BHS鋼材に関連する抜粋版）

平成19年 8月

国土交通省 関東地方整備局 東京港湾事務所

東京港臨海大橋（仮称）製作基準書

目 次

第1章 一般	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 製作一般	
1.3 工場溶接工の組織	
1.4 施工要領書	
1.5 検査	
第2章 鋼 材	2
2.1 鋼材一般	2
2.2 鋼材の規格	
2.3 鋼材の識別	
第3章 製 作	3
3.1 加工	3
1) 板取り	
2) けがき	
3) 切断・切削	
4) 孔あけ	
5) 冷間加工	3
6) ひずみとり	5
7) ボルト孔の精度	
3.2 部材精度	
3.3 大ブロック組立精度	
3.4 輸送	
第4章 溶 接	7
4.1 溶接一般	
4.2 溶接材料	7
4.3 材片の組合せ精度	
4.4 溶接施工法	9
1) 溶接作業者の資格	
2) 溶接技量確認試験	
3) 溶接施工試験	9
4) 組立溶接	14
5) 予熱	17
6) 入熱制限および層間温度	21
7) 吊金具、架設用治具等の取付および除去	
8) アークスタッド溶接	
4.5 外部きず検査	
1) 溶接われ検査	
2) 溶接ビードの外観、形状の検査	
3) 開先溶接の余盛りと仕上げ	
4) アークスタッドの検査	
4.6 内部きず検査	
1) 検査方法	
2) 放射線透過試験および検査	
3) 超音波探傷試験および検査	
4) かど溶接部超音波自動探傷検査	
4.7 欠陥の補修	
第5章 鋼床版	
5.1 閉断面リブの溶接継手	
5.2 デッキプレートに対する縦方向溶接	
5.3 デッキプレートの溶接の検査	
5.4 コーナー溶接	
第6章 品質管理	
6.1 品質管理計画書および品質確認書	
6.2 溶接品質管理フロー	
6.3 不適合品の管理と改善	

第1章 一般

1.1 適用の範囲

本基準は、東京港臨海大橋（仮称）主橋梁およびアプローチ橋梁の上部構造の製作に関わる事項について定めるものとする。

本基準に規定のないものについては、「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編（平成14年3月）」を準用するものとする。

なお、本基準によりがたい場合には、設計における安全度等について別途検討しなければならない。

（解説）

本基準は、アプローチ橋梁を含む東京港臨海大橋（仮称）全線の上部構造を対象として、材料調達、品質管理体制の整備された工場での原寸作業から製作、輸送完了までの各作業と、部材の寸法許容差確認・品質確認までの最小限の仕様を規定したものである。

基本的には「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編（平成14年3月）」に準じた規定としているが、疲労を考慮した具体的な判断基準などについては本基準にしたがうこととする。なお、本基準の内容を理解するうえで参考となる関連基準等を以下に示す。

＜関連基準＞

- ・ 「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編（平成14年3月）」（（社）日本道路協会）
以下本文では「道示」と略記する。
- ・ 「鋼道路橋の疲労設計指針（平成14年3月）」（（社）日本道路協会）
以下本文では「疲労設計指針」と略記する。
- ・ 「鋼橋等製作基準（1989年4月）」（本州四国連絡橋公団）
以下本文では「本四基準」と略記する。

第2章 鋼材

2.2 鋼材の規格

使用する鋼材は、J I Sのほか次の規格に適合したものとする。

溶接構造用圧延鋼材（BHS）規格 (社)日本鉄鋼連盟 2005.3

摩擦接合用太径高力六角ボルト・ナット・平座金のセット HBS B 1101

本州四国連絡橋公団規格 1992.8 財団法人 海洋架橋調査会

摩擦接合用防錆処理高力ボルト・ナット・平座金のセット暫定規格 HBS B 1102

本州四国連絡橋公団規格 1992.8 財団法人 海洋架橋調査会

摩擦接合用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット 日本道路協会

【作業基準】

鋼種の選定については、表-2.2.1 に示す板厚による鋼種選定標準にしたがうことを標準とする。

表-2.2.1 板厚による鋼種選定標準

板厚 (mm)		6	8	16	25	32	40	50	75	100
非 溶 接 構造用鋼	SS400									●
溶 接 構造用鋼	SM400A					●				
	SM400B						●			
	SM400C									●
	SM490YA			●						
	SM490YB						●			
	SM520C									●
	BHS500									●

第3章 製作

3.1 加工

1) 板取り

主要部材の板取りは、主たる応力の方向と圧延方向を一致させるのを原則とする。

【作業基準】

- (1) 主要部材の板取りは、主たる応力の方向と圧延方向を一致させるのを原則とする。ただし、**BHS鋼材などにおいて圧延直角方向についても設計で要求する規格の機械的性質を満足することを示した場合にはその限りではない。**
- (2) 板取作業に際しては、板取図を作成しなければならない。

(解説)

鋼板の圧延方向と圧延直角方向による機械的性質の違いは一般に引張強さ、降伏点については、それほど大きくはないが、伸びについては10～15%、絞りについては5～15%ほど圧延直角方向が小さく、またシャルピー吸収エネルギーは圧延直角方向が圧延方向の1/2程度の値を示す場合もある。このため、主要な部材の板取りは、主たる応力の方向と圧延方向とを同じにするのを原則とする。ただし、連結板等、溶接されることない部材はこの限りでない。また、圧延直角方向でも所定の機械的性質を満足すれば、主たる応力の方向を圧延直角方向に一致させることができることとする。

なお、トラス格点部などの二軸応力下の場合は、主たる応力方向と圧延方向（L方向）を合わせるとともに、圧延直角方向（C方向）に対する機械的性質を確認しなければならない。ただし、BHS鋼材において、C方向の機械的性質がL方向と同等であることが確認された場合はこの限りではない。

【検査基準】

板取図を設計図面と照合し、板取り方向の確認を行なわなければならない。

(解説)

品質管理要領に則り照合・確認を行なうものとする。

5) 冷間加工

主要部材において冷間曲げ加工を行う場合には、鋼材の特性や品質が確保できるようにしなければならない。

【作業基準】

- (1) 冷間曲げ加工の内側半径の大きさは、主要部材については板厚の15倍とする。ただし、原寸、製作において15倍の規定を満足できない場合において、鋼材規格で衝撃試験が規定されている鋼種でJIS Z 2242に規定するシャルピー衝撃試験の結果が表-3.1.4に示す条件を満た

し、かつ化学成分中の全窒素量が 0.006%を超えない材料については、監督員の許可を得て内側半径を板厚の 7 倍以上又は 5 倍以上としてもよい。

表-3.1.4 シャルピー吸収エネルギーに対する冷間曲げ加工半径の許容値

シャルピー吸収エネルギー (J)	冷間曲げ加工の内側半径	付記記号 ^{注)}
150 以上	板厚の 7 倍以上	- 7 L, - 7 C
200 以上	板厚の 5 倍以上	- 5 L, - 5 C

注) 1 番目の数字：最小曲げ半径の倍率

2 番目の記号：曲げ加工方向 (L：最終圧延方向と同一方向，C：最終圧延方向と直角方向)

- (2) 曲げ加工部の精度は原寸にて決定した曲げ型により検査する。
- (3) 鋼材は、出来上り幅のまま曲げ加工する場合には、折曲げ部のエッジは、加工前に板厚の 1/10 以上の面取りを行わなければならない。
- (4) 加工によって材料に切欠きとなる傷を与えないよう、加工前に押刃および受台をよく清掃しておくものとする。

(解説)

鋼材に冷間曲げ加工を施すと曲げ半径の大きさに応じて、ひずみ時効によりじん性が劣化する恐れがある。(15 t の規定は「道示」の考え方に準拠した。) よって、亀裂の発生源とならぬよう、曲げ加工を行なう鋼板の特に外側には、加工前にポンチ、タガネ等による傷を付けてはならない。

冷間加工を行うと、鋼材はじん性が低下したり、亀裂が生じたりする恐れがあるので、主要部材において冷間加工を行う必要がある場合には、適切な鋼材を選定するとともに、局部的に大きなひずみを与えないようにするなど鋼材の機械的性質などの特性が損なわれないようにしなければならない。

なお、曲げ加工を行う際には、次のようなことに注意する必要がある。

- ① 加工によって材料に切欠きとなる傷を与えないよう加工前に押刃および受台をよく清掃しておく。
- ② 折曲げ部のエッジは、加工前に板厚の 1/10 以上の面取りを行うのを原則とする。
- ③ 曲げ加工を行う鋼板の外側には、加工前にポンチを打たない。

また、製作上必要な逆ひずみは、この条の規定を適用しないものとする。

【検査基準】

作業要領に基づいた加工作業が実施されているかどうかの検査を行なう。

(解説)

厚板の曲げについて、設計図面で十分な注意が払われていないことがあるので、原寸検査の際などに、十分照査しておくものとする。

6) ひずみとり

溶接によって生じた部材の変形は、鋼材の品質に悪影響を与えないようにプレス又はガス炎加熱法等によって矯正するものとする。なお、TMC、BHS鋼材のひずみとりは、プレスによるひずみとりを原則とし、線状加熱を実施する場合は、十分なデータに基づき厳重な温度管理のもとに行うものとし、監督員の承諾を得なければならない。

【作業基準】

- (1) ガス炎加熱法によって矯正する場合の鋼材表面温度および冷却法は表-3.1.5によるものとする。

表-3.1.5 ガス炎加熱法による線状加熱時の鋼材の表面温度および冷却法

鋼 種		鋼材表面温度	冷 却 法
熱加工制御鋼 (TMC, BHS)	$Ceq > 0.38$	900℃以下	空冷または空冷後 500℃以下で水冷
	$Ceq \leq 0.38$	900℃以下	加熱直後水冷または空冷
その他の鋼材		900℃以下	赤熱状態からの水冷を避ける

$$Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \left(\frac{Cu}{13} \right) \quad (\%)$$

ただし、() の項は $Cu \geq 0.5 (\%)$ の場合に加えるものとする。

- (2) BHS鋼材については、従来のTMCと同じ鋼材表面温度および冷却法としてよい。
- (3) 加熱温度の管理は、温度チョークによる測温および加熱条件（ノズル径、加熱速度、板厚）の操作により行うものとする。
- (4) ガス炎加熱法による矯正を行う場合は、線状加熱によることとする。

(解説)

- (1) ガス炎加熱法による線状加熱では、加熱条件や冷却条件によっては熱処理にて得られた強度や靱性などの性能消失や焼入れによる靱性劣化を生じることとなることから、鋼種に応じた最高温度と冷却方法が決められている。
- (2) BHS鋼材は低 Ceq 化と大入熱溶接に対応する特性を併せ持つことから、 $Ceq \leq 0.38$ のTMCの規定と同等以上の線状加熱条件が適用可能と推察され、同加熱条件とともに、より厳しい条件での線状加熱試験を実施し、加熱処理の前後において大きな性能劣化がないことが確認されている（例えば、川田技報 Vol. 25 2006）。したがって、BHS鋼材については、従来のTMCよりも高い加熱矯正温度としてもよいと考えられる。ここでは、TMCと同等の値に抑えたが、さらに十分なデータで確認できれば加熱矯正温度を高く設定することも可能である。

【検査基準】

- (1) ひずみとり後の精度は、「**3.2 部材精度**」による。
- (2) TMC，BHS 鋼材を線状加熱する場合は加熱ひずみとりの温度を管理シートに記録し，最高加熱温度の管理を行うものとする。

第4章 溶接

4.2 溶接材料

使用する溶接材料は、適用される鋼種に合わせ、継手に要求される成分や機械的性質を満足するものでなければならない。

【作業基準】

- (1) 下記の 1)～3) までの規定による場合は、条文の要求事項を満足するものとみなしてよい。ただし、**BHS 鋼材用の溶接材料については、溶接施工試験の結果に基づき決定したものとすることを標準とする。**

- 1) 溶接材料の使用区分は、**表-4.2.1** によるのを標準とする。

表-4.2.1 溶接材料区分

	使用区分
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
じん性の同じ鋼材を溶接する場合	母材の要求値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料
じん性の異なる鋼材を溶接する場合	低じん性側の母材の要求値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料

- 2) SM490 以上の鋼材を溶接する場合は、低水素系溶接材料を使用するものとする。
- 3) 溶接材料の乾燥
- i) 溶接材料は適切に保管されていることを確認したうえで使用するものとする。
- ii) 被覆アーク溶接棒およびサブマージアーク溶接用のフラックスの乾燥は、**表-4.2.2** および **表-4.2.3** によるのを標準とする。

表-4.2.2 溶接棒の乾燥

溶接棒の種類	溶接棒の状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥(開封)後 12 時間以上経過した時もしくは溶接棒が吸湿した恐れがある時	100～150℃	1 時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥(開封)後 4 時間以上経過した時もしくは溶接棒が吸湿した恐れがある時	300～400℃	1 時間以上

表-4.2.3 フラックスの乾燥

フラックスの種類	乾燥温度	乾燥時間
熔融フラックス	150～200℃	1 時間以上
ボンドフラックス	200～250℃	1 時間以上

- (2) 溶接材料は材料特性に合ったものを使用するものとする。
- (3) 強度の異なる鋼材の溶接にあたっては、低強度鋼を対象とした溶接材料を用いてよい。ただし、その場合、溶接材料の系統、溶接条件、乾燥については高強度鋼の規定を満足しなければならない。
- (4) 50 キロ鋼以上の鋼材を被覆アーク溶接で施工する場合は、低水素系溶接棒を使用するのを原則とする。
- (5) 溶接材料の使用区分については、各作業者が明確に判断できるように溶接管理者を配置し、

入出庫管理を含めた使用状況の検査にあたらせる。

- (6) 乾燥および保温については溶接材料の銘柄に応じて管理条件が異なるので、それぞれ明確に区分して管理していることが明らかになるよう表示板等を使用するものとする。
- (7) 溶接材料の持出し後、使用時までの時間管理を行うものとする。
- (8) この節に定めた乾燥条件外で施工を行う場合には、施工試験データ、実施工記録等を提出し、監督員の承諾を得なければならない。

(解説)

- (1) 等級の異なる鋼材の溶接に用いる溶接材料の規定については、従来は高強度溶接材料の方が耐われ性の点で優れているという理由で、鋼種の異なる継手には高強度側の鋼材に合わせた溶接材料が使用されていたが、最近では低強度溶接材料の耐われ性が向上してきているので、等級の異なる鋼材の溶接については低強度側の鋼材に合わせた溶接材料を使用するものとした。

この場合、溶接部の施工品質を安全側にもって来る目的で、溶接条件等については上級鋼の規定に合わせることにした。

- (2) 50 キロ鋼以上の鋼材を被覆アーク溶接で施工する場合、低水素系溶接棒を使用することが望ましい。

【検査基準】

- (1) 溶接材料の使用区分については、各作業者が明確に判断できるように溶接管理者を配置し、入出庫管理を含めた使用状況の検査にあたらせる。
- (2) 溶接材料（溶接棒およびフラックス）の使用に関して、溶接管理者を配置し、払出し、乾燥、保管等を行うものとする。
- (3) 乾燥条件の管理を行い管理シートに記録するものとする。

(解説)

- (1) 溶接材料の使用区分については、設計上の指定があるなしにかかわらず誤用を防ぐため、十分な管理が必要である。
- (2) 溶接管理者は溶接材料の払い出し、乾燥保管等について記録を残すものとする。

4.4 溶接施工法

3) 溶接施工試験

- (1) 下記事項のいずれかに該当する場合は、溶接施工試験を行うものとする。
- 1) SM520において1パスの入熱量が7,000J/mmを越える場合
 - 2) SM490Y, **BHS 500**において、1パスの入熱量が10,000J/mmを越える場合
 - 3) 被覆アーク溶接法（手溶接のみ）、ガスシールドアーク溶接法（CO₂ガスあるいはArとCO₂の混合ガス）、サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合
 - 4) **BHS鋼材を用いる場合**
 - 5) 使用実績のないところから材料供給を受ける場合
 - 6) 採用する溶接方法の施工実績がない場合
 - 7) 狭隘な箇所の場合
 - 8) 現場溶接の場合
- なお、過去に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い、かつ施工経験をもつ工場では、その時の試験報告書によって判断し、溶接施工試験を省略できるものとする。
- (2) 溶接施工試験には、現場でのブロック相互の溶接に対して、工場溶接の前に実施しなければならないものもある。

【作業基準】

- (1) 溶接施工試験は、溶接の種類に応じた溶接品質の確認を目的としたものと、溶接による部材の収縮や変形、溶接手順、溶け込み量の確認、把握を目的としたものに大別される。前者を「溶接品質試験」、後者を「溶接構造試験」と呼ぶ。
- (2) 溶接施工試験の対象は、表-4.4.1にしたがって選定する。

表-4.4.1 溶接施工試験の対象箇所

対象箇所		試験の種類		試験の目的
		品質	構造	
一般部	一般的な突合せ・すみ肉・スタッド溶接 (実績により省略可。ただし、過去に実績のない材質、板厚、継手長等を用いた溶接部は必須)	○		溶接品質の確認
	Z継手部、ノンスラップ継手部 (現場溶接)	○	○	溶接手順・溶接による収縮量・変形 および溶接品質の確認
特殊部	鋼床版の段違い配置溶接部 (現場溶接)	○	○	溶接手順および溶接品質の確認
	上向きなどの特殊な溶接姿勢での溶接部 (現場溶接)	○		溶接品質の確認
	鋼床版のUリブ溶接部		○	溶け込み量の確認
	コンパクト格点溶接部	○	○	狭隘部での施工における溶接手順 および溶接品質の確認
	かど溶接部	○		溶接品質の確認
	その他、過去に実績のない構造部材の溶接部	○	○	溶接手順・溶接による収縮量・変形 および溶接品質の確認

※ 特殊部は、試験体鋼材の材質を問わない。

- (3) 溶接施工試験は、前項 2) で規定する溶接技量確認試験の合格者又はこれと同等の者(以下「溶接技量確認者」という)の中から、監督職員が指定する者によって行うものとする。
- (4) 溶接施工試験は**道示「17.4.4 溶接施工法」**に示される内容にて行うのを標準とするが試験前に計画書を提出し監督員の承諾を得なければならない。なお、その工場において、過去 5 年以内に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い、かつ実際に施工経験をもつ場合はその時の試験報告書を提出し、監督員の承諾を得れば溶接施工試験を省略できる。
- 海外から材料供給を受ける場合は、使用実績がないため、溶接施工試験を行うものとする。
- (5) 溶接品質試験について
- 1) 溶接品質試験は、目的に応じて**表-4.4.2**に挙げた試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とする。

表-4.4.2 溶接品質試験

試験の種類	試験項目	施工方法	試験片の形状	試験片の個数	試験方法	判定基準
開先溶接試験	引張試験	図-4.4.1 による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験 (19mm 未満裏曲げ) (19mm 以上側曲げ)		JIS Z 3122	2	JIS Z 3122	原則として、亀裂が生じてはならない
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号 (試験片採取位置は図-4.4.2 による)	各部位につき 3	JIS Z 2242	溶接金属および溶接熱影響部で母材の規格値以上(それぞれの3個の平均値)
	マクロ試験		—	1	JIS G 0553 に準ずる	欠陥があってはならない
	非破壊試験		—	試験片 継手 全長	JIS Z*) 3104	2 類以上(引張側) ^{*)} 3 類以上(圧縮側) ^{*)}
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-4.4.3 による	図-4.4.3 による	1	JIS G 0553 に準ずる	欠陥があってはならない
スタッド溶接試験	引張試験	JIS B 1198	JIS B 1198	3	JIS Z 2241	降伏点は 235N/mm ² 以上、引張強さは 400～550N/mm ² 、伸びは 20%以上とする。ただし溶接で切れてはいけない
	曲げ試験	JIS Z 3145	JIS Z 3145	3	JIS Z 3145	溶接部に亀裂を生じてはならない

※) 放射線透過試験による場合

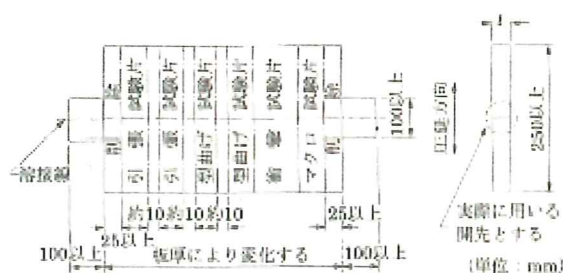


図-4.4.1 開先溶接試験溶接方法

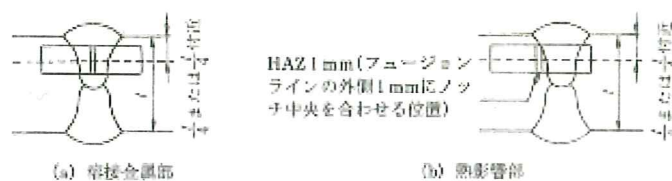
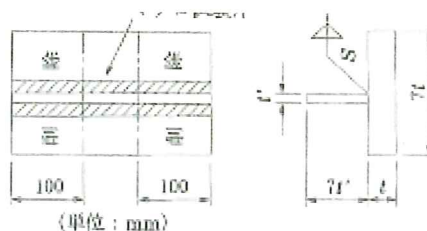


図-4.4.2 衝撃試験片（開先溶接試験片の採取位置）

図-4.4.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）
溶接方法および試験片の形状

- 2) 供試鋼材の選定、溶接条件の選定その他は、下記によるのを原則とする。
 - i) 供試鋼板には、同じような溶接条件で取扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いる。
 - ii) 溶接は実際の施工で用いる溶接条件で行うものとし、溶接姿勢は実際に行う姿勢のうち最も不利なもので行う。
 - iii) 異種の鋼材の開先溶接試験は、実際の施工と同等の組合せの鋼材で行う。同鋼種で板厚の異なる継手については、板厚の薄い方の鋼材で試験を行ってもよい。
 - iv) 再試験は最初の個数の2倍とする。

- 3) BHS鋼材については、溶接材料とのマッチングを確認するために、次の条件に対して溶接品質試験を行うものとする。その際、供試鋼板の板厚は使用最大板厚とする。

- ① 開先溶接
- ② すみ肉溶接
- ③ 十字継手溶接
- ④ かど溶接
- ⑤ スタッド溶接
- ⑥ 斜めY形溶接（Y形溶接割れ試験方法 JIS Z 3158）

十字継手、かど溶接については、表-4.4.2 に示す開先溶接試験に準じて試験を計画することとする。

- (6) 溶接構造試験について

- 1) 溶接構造試験は、表-4.4.3 に示す目的と試験体形状を標準とする。なお、試験の目的を十分に達することのできる根拠資料を提示し監督員の承諾を得れば、これ以外の試験体を用いても良い。

表-4.4.3 溶接構造試験の試験体

試験項目	目的	試験体形状
Z継手部、ノンスカラップ継手部 (現場溶接)	溶接手順・溶接による収縮量・変形の確認	箱断面・原寸大供試体
鋼床版の段違い配置溶接部 (現場溶接)	溶接手順の確認	溶接線交差部付近・原寸大供試体
鋼床版のUリブ溶接部	溶け込み量の確認	部分原寸大供試体
コンパクト格点溶接部	狭隙部での施工における溶接手順の確認	箱断面・原寸大供試体
その他、過去に実績のない構造部材の溶接部 (けたかけ違い部、鋼床版横リブのスリット部など)	溶接手順・溶接による収縮量・変形の確認	必要に応じて供試体形状を計画し実施する。

- 2) 溶接構造試験においては、供試鋼材の材質は問わない。
- (7) 溶接交差部の施工試験では、スライスして破面を観察する。
- (8) 溶接施工試験を実施した試験片は、監督員の立会検査まで保存しなければならない。

(解説)

- (1) 溶接施工試験の目的は、使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので、適用範囲としては、現状で使用実績が少なく、施工上特別な注意を要する鋼材および溶接方法を対象とすることにした。
- (2) 溶接施工試験の対象箇所としてあげた「Z継手部」、「鋼床版の段違い配置溶接部」、「特殊な溶接姿勢」は、現場溶接に対応するものであるが、開先形状、部材の実寸法等を製作時に確認する必要があるため「製作基準書(案)」の中に含めた。
- (3) 溶接品質試験は、1) 調質鋼を使用したトラス部材のかど溶接を行う場合、2) 溶接する板厚が JIS に規定する板厚を越える場合、3) 被覆アーク溶接法、ガスシールドアーク溶接法、サブマージアーク溶接法以外の溶接法を用いる場合について行い、溶接施工方法の適正を確認するものとした。ただし、その工場において過去に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い、かつ実際に施工経験をもつ場合には、その時の試験報告書を提出し監督員の承諾を得れば溶接施工試験を省略できるものとした。
- (4) 溶接品質試験の内容については「道示」と同様とするのを標準としたが、溶接施工試験の目的に応じて内容を検討し、試験前に計画書を提出し監督員の承諾を得るものとした。
- (5) 溶接品質試験における非破壊検査試験は、「4.6 内部きず検査」に示す検査方法および判定基準に従い実施する。
- (6) Uリブの溶け込み量については、試験施工で供試体をスライスし、確実に 75%以上の溶け込み量が確保できることを確認する。

【検査基準】

溶接施工試験の結果より、所定の品質が確保されることを確認する。

(解説)

監督員の立会の有無にかかわらず報告書を提出し、その際記録写真も添付するものとする。(土木工事共通仕様書 1-27 工事記録写真参照)

4) 組立溶接

組立溶接部には欠陥がないものとする。

【作業基準】

- (1) 指定した部位の組立溶接作業は、技量検定合格者である溶接作業者が行なうこととする。
- (2) 使用する溶接姿勢は本溶接と同様に管理しなければならない。
- (3) 組立溶接のサイズは 4mm 以上、間隔 400mm 以下とし、長さは下記以外の場合 80mm 以上とする。
厚い方の板厚が 12mm 以下の場合または次の式により計算した鋼材の溶接割れ感受性組成 P_{CM} が 0.22% 以下の場合 50mm 以上とすることができる。

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%)$$

- (4) 組立溶接は製品として残る部材端部を避けるものとする。やむを得ず行なう場合は、部材端部をまわるまわし溶接とするか、または図-4.4.4 に示すように、部材端部より 30mm 以上を残して組立するものとする。

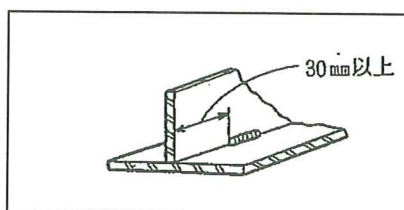


図-4.4.4 部材端部における溶接位置

- (5) 組立溶接は組立終了までにスラグを除去し、溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。
- (6) 組立溶接部にわれが発見された場合、その原因を究明し、適切な対策を講じた後、「4.7 欠陥の補修」に準じてその近傍に新たに組立をした後、われの生じた組立溶接を除去するものとする。
- (7) 組立溶接の場合の予熱作業はつぎによるものとする。
 - 1) 最小予熱温度……表-4.4.4 を標準とする。
 - 2) 予熱方法……鋼種に適合した条件・方法により、溶接線の両側 100mm の範囲を予熱する。
また、バーナーで予熱する場合直接開先をあぶってはならない。
 - 3) 管理方法……溶接線より 50mm の位置で温度チョークまたは表面温度計によって管理する。
 - 4) 組立溶接における温度管理は、予熱バーナーを外してからアーク発生までの時間経過による温度低下を考慮し、アーク発生時の温度が規定の温度であることを立証し得るデータをもとに、バーナー取外し直後の計測温度を設定することが必要である。

表-4.4.4 組立溶接の最小予熱温度 (°C)

鋼 種	組立溶接方法	t 板 厚 (mm)			
		$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 50$	$50 < t \leq 100$
SM400	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	80
	ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	50
SM490 SM490Y	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	80	80	100	100
	ガスシールドアーク溶接	50	50	80	80
SM520	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	80	100	100	120
	ガスシールドアーク溶接	50	80	80	100
BHS500	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし

(表は手バーナーによる場合を示した.)

- (8) 組立のために部材を溶接により仮止めする場合は、「4.4.7) 吊金具, 架設用治具等の取付けおよび除去」の規定にもとづいて作業要領および報告書を作成し, 監督員の承諾を得なければならない.
- (9) かど溶接, 閉断面リブの 75% 溶け込み溶接のような部分溶け込み溶接は, 非破壊検査等での溶接性能要求を確認することが困難であるため, 組立溶接部に欠陥を生じないように, 完全に再溶融されるような溶接方法を選定しなければならない.
- (10) 組立溶接の再溶融が困難な溶接工法 (CO₂ 溶接など) により施工を行う場合は, 溶接施工試験などで溶接性能が確認された場合のみ, 監督員の承諾を得て採用してもよいこととする.

(解説)

- (1) 組立溶接の長さ(80mm 以上)は、490N/mm²鋼のT継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合、ルートからボンドに沿ってわれが発生しやすいが、ビード長さが80mm 以上となるとわれの発生が止まるとの研究成果に基づくものである。しかし、最近の研究によれば、厚い方の板厚が12mm 以下の場合や鋼材の炭素当量(Ceq)が0.36%以下では組立溶接長が50mm であってもわれが発生しないことが明らかにされている。また、橋梁用に使用される570N/mm²級以下の鋼材であれば、CeqとP_{CM}の間にはほぼ相関があり、Ceq0.36%に相当するP_{CM}は0.22%となる。そこで、P_{CM}が0.22%以下の場合は組立溶接長を50mm 以上とすることができることとした。
- (2) 前述のルートわれはビード表面に現われないことが多いが、その他の組立時のわれは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって、組立終了時に表面検査を行なってわれを検出すればその段階で対策を立てることができるので、組立溶接ビードのスラグは組立終了時に除去し、ビード表面の検査を行なうこととした。
- (3) JIS または HBS に規定する板厚を超えたものの溶接は、溶接施工試験を行ってから行なうものとする。
- (4) 部材の位置決めとして行なう仮止め溶接は、組立溶接後グラインダーにより除去するものとする。
- (5) 部材組立のために(例えば箱断面組立用ダイヤフラム等)、設計図書にない部材を取付ける場合は、十分な管理を行わないと施工後の母材の品質が保証しかねるので、作業要領の提出ならびに施工結果の報告を義務づけた。
- (6) 組立溶接における最小予熱温度は本条「4.4 5) 予熱」に示す値+20℃を標準とし、この値を溶接実施における管理上の便宜を考慮して丸めたものである。

【検査基準】

- (1) 目視によりビード表面のわれ検査を行なう。われが発見された場合には、その原因を究明し、適切な対策を講じなければならない。
- (2) 組立溶接ビード長さ、間隔、予熱等を管理シート等により管理するものとする。

(解説)

- (1) われの発生が頻発する場合には、組立方法などを再検討しなければならない。
- (2) われの生じたビードは、その近傍に適切な組立溶接でやり直した後、われを完全に除去し、必要に応じてMTで確認しなければならない。

(注) MT (Magnetic Particle Testing ; 磁粉探傷) JIS G 0565

5) 予熱

溶接に先立って、溶接によるわれ防止のために鋼種、溶接法、継手、形状および材料の板厚に応じて必要とされる予熱を行なわなければならない。

【作業基準】

- (1) 本溶接の最小予熱温度は、表-4.4.5 を標準とする。
- (2) 予熱の最高温度は、「4.4.6) 入熱量および層間温度」の表-4.4.9 に示す層間温度以下とする。
- (3) 予熱方法は電気抵抗加熱法、固定バーナー、手動バーナーなどによるものとする。
バーナーで予熱する場合は、開先部を直接バーナーであぶってはならない。
- (4) 原則として対称予熱とし、局部集中予熱は行なってはならない。
- (5) 予熱の範囲は溶接線の両側約 100mm およびアークの前方約 100mm を最小範囲とし、予熱温度の測定は表面温度計または温度チョークを用いて溶接線の両側約 50mm の位置で行なう。

表-4.4.5 予熱温度の標準

単位：℃)

鋼種	溶 接 方 法	予 熱 温 度 (℃)			
		板 厚 区 分 (mm)			
		25以下	25をこえ 40以下	40をこえ 50以下	50をこえ 100以下
SM400	低水素系以外の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	50	適用外	適用外
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
SM490 SM490Y	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	50	50	80	80
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
SM520	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	50	80	80	100
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	50	50	80
BHS500	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし

注：“予熱なし”については、気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合には、溶接部の両側 100mm の範囲の母材を 40℃以上に加熱し結露による水分吸収の防止に十分注意する。

(解説)

予熱については、最近の研究によって、指標として従来の炭素当量よりも溶接われ感受性組成 (P_{CM}) を用いた方がよいことが明らかになってきた。また、「道示」では平成 8 年の改訂での板厚拡大に加え、平成 14 年の改訂では耐候性鋼の適用板厚を 100 mm まで拡大したため、溶接にあたっては水素による遅れわれを防止するための予熱条件をより正確に選定することが必要となったため、 P_{CM} を基本に予熱の規定を見直すこととした。

現在の国内の橋梁用鋼材の使用実績に基づき、 P_{CM} について整理したのが表-4.4.6 である。一方、鋼橋の一般的な溶接継手における鋼材の P_{CM} 値と板厚および溶接法に応じたわれ防止のための予熱温度は表-4.4.7 となる。板厚が厚くなると溶接による継手の拘束度が増大するが、板厚が 40~50mm を越えると頭打ちとなり、予熱温度をある温度以上高めなくてもわれが防止できることが知られており、板厚 50mm 以上の鋼材の使用実績も増加してきたことから、板厚 50mm 以上では拘束度が一定になるとし、同じ P_{CM} の鋼材では板厚 40mm~100mm の予熱温度を同じとした。また、予熱温度区分はわれの防止に配慮の上、「予熱なし」「50℃」「80℃」「100℃」と、20~30℃ 間隔で簡略化して、予熱管理の合理化を図った。

表-4.4.6 予熱温度の標準を適用する場合の P_{CM} の条件

鋼 種 鋼材 の板厚 (mm)	SM400		SM490Y	SM520		BHS500
25以下	0.24以下		0.26以下	0.26以下		0.20以下
25をこえ50以下	0.24以下		0.26以下	0.27以下		0.20以下
50をこえ100以下	0.24以下		0.27以下	0.29以下		0.20以下

条文の表-4.4.5 の予熱温度の標準は、表-4.4.6 の鋼材の P_{CM} の条件を前提に、表-4.4.7 の P_{CM} と板厚と予熱温度の関係から、溶接金属の拡散性水素量と溶接継手の拘束度が標準的な鋼橋の溶接継手条件に基づいて、従来の経験と他の基準類を参考に予熱温度を整理したものである。

なお、低水素系以外の溶接棒を用いた被覆アーク溶接の予熱温度については P_{CM} を用いて整理できないので、従来のとおりとした。

予熱はわれの生じない健全な溶接を行うための手段であるから、常にこれらの表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく、鋼材の P_{CM} や継手の拘束条件等によってはわれの発生を防止するためにさらに高温の予熱を行う等、施工条件に配慮する必要がある。

また、鋼材の P_{CM} 値を低減すれば予熱温度を低減できる。この場合の予熱温度は表-4.4.7 にしたがうものとする。極低水素溶接棒をよく管理した状態で使用する場合は、ガスシールドアーク溶接法と同じ予熱温度に低減できる。また、実構造物を模擬した溶接われ試験等の実験資料によってわれ防止が保証される場合にも、予熱温度を表-4.4.5 に示す温度より低減することができる。

表-4.4.7 P_{CM} 値と予熱温度の標準

P_{CM}	溶接方法	予熱温度 (°C)		
		板厚区分 (mm)		
		$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 100$
0.21	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.22	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.23	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.24	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.25	SMAW	予熱なし	50	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.26	SMAW	50	50	80
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.27	SMAW	50	80	80
	GMAW, SAW	50	50	50
0.28	SMAW	80	80	100
	GMAW, SAW	50	50	80
0.29	SMAW	100	100	120
	GMAW, SAW	50	80	80

ただし, SMAW: 低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接

GMAW: ガスシールドアーク溶接

SAW: サブマージアーク溶接

注 1) “予熱なし” については, 気温 (室内の場合は室温) が 5°C 以下の場合は結露除去のためのウォームアップ (40°C 以上に加熱し, 結露の防止に十分注意する.) を行う.

2) 予熱温度算定式

$$T_p(^{\circ}\text{C}) = 1,440 P_w - 392$$

$$P_w = P_{CM} + \frac{H_{GL}}{60} + \frac{K}{400,000}$$

ここで,

T_p : 初層溶接のルート割れを防止する予熱温度 (°C)

P_w : 溶接割れ感受性指数

P_{CM} : 溶接割れ感受性組成 (%)

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

- 3) 表中の予熱温度は下記の仮定に基づき、算定したものである。

H_{GL} : 溶接金属の拡散性水素量 (ml/100g)

低水素被覆アーク溶接の場合 $H_{GL}=2\text{ml}/100\text{g}$

サブマージアーク溶接およびガスシールドアーク溶接の場合

$H_{GL}=1\text{ml}/100\text{g}$

K : 溶接継手の拘束度 (K)

橋梁溶接継手の平均的な拘束度として板厚 t の 200 倍を想定

$K=200 t \quad \text{N/mm} \cdot \text{mm}$

板厚 t は、50mm 以上の場合は 50mm とする。

【検査基準】

- (1) 予熱にあたっては、鋼種、溶接法、継手形状および材料の板厚に応じた予熱条件を守っているか作業者に検査させ、管理シートに記録を残すものとする。
- (2) 予熱温度の計測は温度チョークあるいは表面温度計により行ない、管理シートに記録しなければならない。温度チョークにより予熱温度を計測する場合は、表-4.4.8 基準とする。

表-4.4.8 予熱温度計測方法

予熱温度	温度計測方法
50℃	手動バーナーにより除湿程度あぶる 47.8℃ (118° F) 用チョークが溶けること
100℃	101℃ (213° F) "
120℃	121℃ (250° F) "

- (3) 予熱温度は、最小を表-4.4.5 に規定する温度、最大を表-4.4.7 に規定する最高層間温度により管理するものとする。

(解説)

請負者の施工要領書に記された方法で予熱し、管理が十分に行なわれるように作業者に徹底させ、結果を管理シートに記入させるものとし、その結果の管理体制も十分に機能させるものとする。

6) 入熱制限および層間温度

溶接においては、溶接部に軟化、ぜい化をまねかないように入熱量および層間温度の規定を守らなければならない。

【作業基準】

- (1) 入熱量および層間温度は表-4.4.9 によるものとする。

表-4.4.9 入熱量および層間温度の制限

鋼種	最大入熱量, Q (J/mm)	最高層間温度, T ($^{\circ}\text{C}$)
SM490Y	$Q \leq 10,000$	$T \leq 230$
SM520	$Q \leq 7,000$	
BHS500	$Q \leq 10,000$	

- (2) (1) の入熱量を越える場合は、溶接施工試験を実施して溶接部に所定の品質が確保できることを確認する必要がある。

(解説)

溶接施工において、溶接入熱量を増大した場合、溶接熱でピーク温度に達した後の温度低下速度が遅くなるため、一般に溶接金属や溶接熱影響部 (HAZ) のじん性や強度が低下する。したがって、その鋼材や溶接方法に応じて入熱を抑え、継手に要求される機械的性質を確保できるよう配慮する必要がある。

鋼橋の溶接施工では一般に過大な入熱量での溶接は少ない。ただし、溶接施工効率向上のためサブマージアーク溶接やエレクトロガスアーク溶接等で過大な入熱量での溶接が採用され、鋼材の溶接熱影響部 (HAZ) のじん性劣化が問題となる場合がある。したがって、溶接熱影響部 (HAZ) のじん性確保のため、サブマージアーク溶接では、SM520 の場合、入熱量 7,000J/mm 以下、SM490Y、BHS500 の場合、入熱量 10,000J/mm 以下に管理するのを原則とする。この入熱量を越える溶接を行う場合あるいはエレクトロガスアーク溶接を行う場合は、溶接施工試験での性能確認が必要である。

なお、こうした大入熱溶接を行う場合、大入熱溶接でも溶接熱影響部 (HAZ) じん性の良好な鋼材も開発されているので、入熱量に応じて適切な材料を使用することが望ましい。一方、溶接材料についても、溶接金属の性能を確保できる適切な材料を選定する必要がある。

【検査基準】

入熱量、層間温度の計測管理が適切に行なえる体制、機器の保全に努めなければならない。入熱量は電流、電圧、速度の組合せが適切に行なわれているかについて検査し、管理シートに残すものとする。なお入熱量は、下記により算出するものとする。

$$Q = \frac{I \cdot E}{v} \times 60$$

ここで、 Q : 入熱量 (J/mm)

I : 電 流 (Amp)

E : 電 圧 (Volt)

v : 溶接速度 (mm/min)

層間温度は溶接作業中に溶接ビードの近傍において温度チョークあるいは表面温度計によって計測し、規定を満足しているかを確認し、管理シートに記入するものとする。

(解説)

計測管理は計測管理体制を明示した作業要領および検査要領に基づいて行ない、管理シートを残すものとする。

