

(社)日本鉄鋼連盟製品規定

MDCR 0014-2004

降伏点 500N/mm^2 及び降伏点 700N/mm^2
溶接構造用圧延鋼材

2005 年 3 月

社団法人 日本鉄鋼連盟

降伏点 500N/mm² 及び降伏点 700 N/mm² 溶接構造用圧延鋼材Rolled steel with 500N/mm² yield strength and 700N/mm² yield strength for welded structure

1. 適用範囲 この規格は、橋梁に用いられる降伏点 500N/mm² 及び 700N/mm² の熱間圧延鋼材（以下、鋼材という）であって、特に溶接性とじん性の優れたものについて規定する。
2. 引用規格 付表 1 に示す規格は、この規格が引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格のうちで発効年を付記してあるものは、記載の年の版だけがこの規格の規定を構成するものであって、その後の改正版・追補は適用されない。発効年を付記していない引用規格は、その最新版（追補を含む）を適用する。
3. 種類及び記号 鋼材の種類は 3 種類とし、その記号は表 1 による。

表 1 種類の記号

単位 mm

種類の記号	適用厚さ		
BHS500	鋼板	6 以上	100 以下
BHS500W	鋼板	6 以上	100 以下
BHS700W	鋼板	6 以上	100 以下

4. 化学成分 鋼材は、10.1 の試験を行い、その溶鋼分析値は、表 2 による。

表 2 化学成分

種類の記号	厚さ (mm)	化学成分 (%)											
		C	Si	Mn	P	S	N	Cu	Cr	Ni	V	Mo	B
BHS500	100 以下	0.11 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	0.006 以下	—	—	—	—	—	—
BHS500W	100 以下	0.11 以下	0.50 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	0.006 以下	0.30 以上 0.50 以下	0.75 以下	0.05 以上 0.30 以下	—	—	—
BHS700W	100 以下	0.14 以下	0.50 以下	2.00 以下	0.015 以下	0.006 以下	—	0.30 以上	0.80 以下	0.30 以上 2.00 以下	0.05 以下	0.60 以下	0.005 以下

備考 1. 必要に応じて、表 2 以外の合金元素を添加してもよい。

備考 2. BHS500W 及び BHS700W について、附属書 1 に定める耐候性指標が 1.0 以上の場合は、Cu 又は Ni のどちらか一方を規定の下限值以下とすることができる。

5. 溶接割れ感受性組成 鋼材の溶接割れ感受性組成は、次の式によって、10.1の溶鋼分析値を用いて算出し、その値は表3による。

$$\text{溶接割れ感受性組成 (Pcm)} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%) \cdots (1)$$

表3 溶接割れ感受性組成

種類の記号	厚さ mm	溶接割れ感受性組成 %
BHS500	100 以下	0.20 以下
BHS500W	100 以下	0.20 以下
BHS700W	50 以下	0.30 以下
	50 超	0.32 以下

6. 機械的性質

6.1 降伏点又は耐力、引張り強さ及び伸び 鋼材は、10.2の試験を行い、その降伏点又は耐力、引張り強さ及び伸びは表4による。

表4 降伏点又は耐力、引張り強さ及び伸び

種類の記号	降伏点又は 耐力 (N/mm ²)	引張り強さ (N/mm ²)	伸び	
			試験片	%
BHS500	500 以上	570 以上 720 以下	厚さ 16mm 以下 5号	19 以上
			厚さ 16mm 超 5号	26 以上
			厚さ 20mm 超 4号	20 以上
BHS500W	500 以上	570 以上 720 以下	厚さ 16mm 以下 5号	19 以上
			厚さ 16mm 超 5号	26 以上
			厚さ 20mm 超 4号	20 以上
BHS700W	700 以上	780 以上 930 以下	厚さ 16mm 以下 5号	16 以上
			厚さ 16mm 超 5号	24 以上
			厚さ 20mm 超 4号	16 以上

6.2 シャルピー吸収エネルギー 厚さ 12mm を超える鋼材は、10.2の試験を行い、そのシャルピー吸収エネルギーは表5による。この場合、シャルピー吸収エネルギーは3個の試験片の平均値とし、JIS G0404の9.6（組試験の結果の評価）によって判定する。

表5 シャルピー吸収エネルギー

種類の記号	試験温度 (℃)	シャルピー吸収エネルギー (J)	試験片
BHS500 BHS500W	- 5	100 以上	V ノッチ 圧延直角方向
BHS700W	- 40	100 以上	V ノッチ 圧延方向

備考1. BHS500 及び BHS500W の試験方向は受渡し当事者間の協定により圧延方向とすることができる

7. 形状、寸法、質量及びその許容差 鋼材の形状、寸法、質量及びその許容差は、JISG3193 による。この場合、鋼板のカットエッジの場合の幅、並びに鋼板の長さの許容差は、特に指定がない限り JISG3193 の許容差 A による。

8. 外観 鋼材の外観は JIS G 3193 の 6. (外観) による。

9. 熱処理及び記号

9. 1 熱処理 鋼材は熱加工制御により製造する。また、当事者間の協定によって適切な熱処理を行うことができる。

9. 2 熱処理の記号 鋼材に熱処理を行った場合、熱処理を示す記号は当事者間の協定による。なお、熱処理の記号を付記する場合は、種類の記号の末尾に付記する。

10. 試験

10.1 分析試験 分析試験は次による。

10.1.1 分析試験の一般事項 鋼材の化学成分は、溶鋼分析によって求め、分析試験の一般事項及び分析試料の採り方は、JIS G 0404 の 8. (化学成分) による。

10.1.2 分析方法 分析方法は、次のいずれかによる。

JIS G 1211、JIS G 1212、JIS G 1213、JIS G 1214、JIS G 1215、JIS G 1216、
JIS G 1217、JIS G 1218、JIS G 1219、JIS G 1221、JIS G 1227、JIS G 1228、
JIS G 1253、JIS G 1256、JIS G 1257、JIS G 1258

10.2 機械試験

10.2.1 試験一般 機械試験の一般事項は、JIS G 0404 の 9. (機械的性質) による。ただし、供試材の採り方は A 類とし、試験片の数及び採取位置は、次による。

a) 引張試験片の数 引張試験片の数は、次による。

1) 一溶鋼に属し、最大厚さが最小厚さの 2 倍以内のものを一括して一組とし、引張試験片を 1 個採取する。ただし、一組の質量が 50t を超えるときは、引張試験片を 2 個採取する。この場合、鋼板 1 枚で 50t を超えるときは、引張試験片の数は、鋼板 1 枚から 1 個とする。

2) 熱処理を行った鋼材の試験片の数 熱処理を行った鋼材の試験片の数は、同一溶鋼及び同一断面形状に属し、同一熱処理条件ごとに、1) による。

b) 衝撃試験片の数 熱処理を行わない鋼材は、同一溶鋼及び同一断面形状に属する鋼材について、熱処理を行った、鋼材は同一溶鋼、同一断面形状及び同一熱処理条件に属する鋼材について、その最大厚さの鋼材から供試材 1 個を採り、これから試験片を種類の記号ごとに規定する方向に 3 個採取する。

c) 引張試験片の採取位置 引張試験片の採取位置は、JIS G0416 による。ただし、JIS G3106-2004 の附属書 1 を適用してもよい。

d) 衝撃試験片の採取位置 衝撃試験片の採取位置は、JIS G0416 による。厚さ 40mm 以下については、JIS G0416 附属書 A 図 A. 11a) とし、厚さ 40mm 超えについては、JIS G0416 附属書 A 図 A. 11b) とする。また、JIS G3106-2004 の附属書 1 を適用してもよい。

10.2.2 試験片 引張試験片及び衝撃試験片は、次による。

a) JIS Z 2201 の 4 号又は 5 号試験片。

b) JIS Z 2202 の V ノッチ試験片。この場合、試験片切欠き部の切欠きの長さ方向は、圧延面に垂直とする。

10.2.3 試験方法 引張試験及び衝撃試験の方法は、次による。

(1) JIS Z 2241

(2) JIS Z 2242

10.4 引張試験片が規定の寸法どおりに採れない場合の引張試験 引張試験片が規定の寸法どおりに採れない場合の引張試験の実施又はその値などについては、受渡当事者間の協定による。

11. 検査

11.1 検査 検査は、次による。

a)検査の一般事項は、JIS G 0404 による。

b)化学成分は、4. に適合しなければならない。

c)溶接割れ感受性組成は、5. に適合しなければならない。

d)機械的性質は、6. に適合しなければならない。

e)形状、寸法及び質量は、7. に適合しなければならない。

f)外観は、8. に適合しなければならない。

g) 注文者は、a) ～ f) の検査のほか、JIS G 0801 又は JIS G 0901 の超音波検査などを追加することができる。この場合、あらかじめ、試験方法及び合否判定基準などは、受渡当事者間で協定しなくてはならない。

11.2 再検査 再検査は、次による。

a)引張試験で合格にならなかった鋼材は、JIS G0404 の 9.8 (再試験) によって、再試験を行って合否を決定してもよい。

b)衝撃試験が、JIS G0404 の 9.6 (組試験の結果の評価) で不合格となった鋼材は、JIS G0404 の 9.8 (再試験) によって、再試験を行って合否を決定してもよい。

c)機械試験で合格とならなかった鋼材は、熱処理又は再熱処理を行った後、改めて機械試験を行い、合否を判定してもよい。

12. 表示 検査に合格した鋼材は、鋼材ごとに、次の項目を適当な方法で表示する。ただし、受渡当事者間の協定によって、項目の一部を省略することができる。

(1) 種類の記号

(2) 溶鋼番号又は検査番号

(3) 寸法

(4) 質量

(5) 製造業者名又はその略号

13. 報告 JIS G0404 の 13. による。製造者は要求のあった場合、JIS G0415 (鋼及び鋼製品—検査文書) の表 1 (検査文書の総括表) の記号 2.3 (受渡試験報告) 又は 3.1.B (検査証明書 3.1.B) を注文者に提出する。なお、表 2 の備考 1 によった場合は、成績表に添加元素の含有量を付記する。

付表1 引用規格

JIS G 0404 鋼材の検査通則
JIS G 0415 鋼及び鋼製品－検査文書
JIS G 0801 圧力容器用鋼板の超音波探傷方法
JIS G 0901 建築用鋼板及び平鋼の超音波探傷試験による等級分類と判定基準
JIS G 1211 鉄及び鋼－炭素定量方法
JIS G 1212 鉄及び鋼－けい素定量方法
JIS G 1213 鉄及び鋼中のマンガン定量方法
JIS G 1214 鉄及び鋼－りん定量方法
JIS G 1215 鉄及び鋼－硫黄定量方法
JIS G 1216 鉄及び鋼－ニッケル定量方法
JIS G 1217 鉄及び鋼中のクロム定量方法
JIS G 1218 鉄及び鋼－モリブデン定量方法
JIS G 1219 鉄及び鋼－銅定量方法
JIS G 1221 鉄及び鋼－バナジウム定量方法
JIS G 1223 鉄及び鋼－チタン定量方法
JIS G 1227 鉄及び鋼－ほう素定量方法
JIS G 1228 鉄及び鋼－窒素定量方法
JIS G 1253 鉄及び鋼－スパーク放電発光分光分析方法
JIS G 1256 鉄及び鋼－蛍光X線分析方法
JIS G 1257 鉄及び鋼－原子吸光分析方法
JIS G 1258 鉄及び鋼－誘導結合プラズマ発光分光分析方法
JIS G 3193 熱間圧延鋼板及び鋼帯の形状、寸法及び重量並びにその許容差
JIS Z 2201 金属材料引張試験片
JIS Z 2202 金属材料衝撃試験片
JIS Z 2241 金属材料引張試験方法
JIS Z 2242 金属材料衝撃試験方法

附属書 1（規定） 特別品質規定

この附属書 1 の規定は、注文者の要求があった場合に適用する。

なお、指定項目については、製造業者が実施する。

1. 内側半径が板厚の 5 倍以上の冷間曲げ加工を行う鋼材のシャルピー吸収エネルギー

内側半径が板厚の 5 倍以上の冷間曲げ加工を行う鋼材のシャルピー吸収エネルギーは、次による。

a) シャルピー吸収エネルギーは、附属書表 1 による

附属書表 1 シャルピー吸収エネルギー

種類の記号	冷間曲げ加工の 内側半径	試験温度 (℃)	シャルピー吸収エネルギー (J)	試験片
BHS500 BHS500W	板厚の 5 倍以上	- 5	200 以上	V ノッチ 圧延方向 又は 圧延直角方向

b) 付記記号は以下とし、種類の記号の末尾に付記する。

(1) 最小曲げ半径の板厚の倍率 5

(2) 曲げ加工方向が最終圧延方向と同一方向 L

(3) 曲げ加工方向が最終圧延方向と直角方向 C

付記記号の例 最小曲げ半径が板厚の 5 倍で、曲げ加工方向が最終圧延方向と同一方向の場合：5 L

2. 衝撃試験の試験温度 衝撃試験の試験温度は-20℃、-40℃、-60℃とすることができる。この場合のシャルピー吸収エネルギーは附属書表 2 とする。

附属書表 2 シャルピー吸収エネルギー

種類の記号	試験温度 (℃)	シャルピー吸収エネルギー (J)	試験片
BHS500 BHS500W	- 20、-40、-60	100 以上	V ノッチ 圧延直角方向

3. 耐候性合金指標^(注) 耐候性合金指標は、次の式によって、10.1 の溶鋼分析値を用いて算出する。

$$\text{耐候性合金指標} = 1 / [(1.0 - 0.16C) \times (1.05 - 0.05Si) \times (1.04 - 0.016Mn) \times (1.0 - 0.5P) \times (1.0 + 1.9S) \\ \times (1.0 - 0.10Cu) \times (1.0 - 0.12Ni) \times (1.0 - 0.3Mo) \times (1.0 - 1.7Ti)] \dots\dots\dots (1)$$

(注) 耐候性合金指標については、土木学会論文集 No. 738/1-64, 271-281, 2003. 7「無塗装橋梁用鋼材の耐候性鋼合金指標及び耐候性評価法の提案」を参照のこと。

附属書 A (参考) 標準的な鋼材が有する特性について

1. 溶接熱影響部のシャルピー吸収エネルギーと適用可能な溶接入熱

溶接入熱と溶接熱影響部のシャルピー吸収エネルギーの目安を附属書 A 表 1 に示す。なお、BHS500 及び BHS500W については当事者間の協定により溶接入熱を 15KJ/mm とすることが出来る。

附属書 A 表 1 溶接入熱と溶接熱影響部^{注(1)}のシャルピー吸収エネルギーの目安

種類の記号	溶接入熱 KJ/mm	溶接熱影響部 ^{注(1)} のシャルピー吸収エネルギー	
		試験温度 ℃	シャルピー吸収エネルギー ^{注(2)} J
BHS500 BHS500W	10 以下	-5	47
BHS700W	5 以下	-15	47

注(1) 試験位置は HAZ1mm とする

注(2) 三個の試験片の平均値

2. 予熱温度 予熱温度の目安を附属書 A 表 2 に示す。

附属書 A 表 2 溶接時の予熱温度の目安

種類の記号	溶接割れ感受性組成 %	予熱温度 ℃
BHS500 BHS500W	0.20 以下	予熱不要
BHS700W	0.30 以下 (厚さ 50mm 以下) 0.32 以下 (厚さ 50mm 超え)	50

3. 厚さ方向特性 厚さ方向特性の目安を附属書 A 表 3 に示す。

附属書 A 表 3 厚さ方向の絞り値の目安

種類の記号	硫黄含有量	厚さ方向特性の目安
BHS500 BHS500W BHS700W	0.006 % 以下	JIS G 3199 Z35

4. 冷間曲げ加工の半径 冷間曲げ加工の内側半径の目安を附属書 A 表 4 に示す。

附属書 A 表 4 冷間曲げ加工の内側半径の目安

種類の記号	衝撃試験			冷間曲げ加工の 内側半径の目安
	試験温度	シャルピー吸収エネルギー	試験片	
BHS500 BHS500W	- 5℃	100 J 以上	V ノッチ 圧延直角方向 又は 圧延方向	板厚の 7 倍以上

附属書 B (参考) 溶接材料について

1. 特別な要求が無い限り、次の (1) ～ (3) 項に示す溶接材料を適用できる。なお、溶接金属に対しては、規定本文表 2 の Cu 及び Ni 以外の化学成分に関する規制を適用しない。

(1) BHS500 用；附属書 B 表 1 の継手性能を満足する溶接材料。

(2) BHS500W 用；規定本文表 2 の化学成分の内 Cu 及び Ni を下限値以上溶接金属に含有し、あるいは同表備考 2 の要求を満足し、さらに附属書 B 表 1 の継手性能を満足する溶接材料。

(3) BHS700W 用；規定本文表 2 の化学成分の内 Cu 及び Ni を下限値以上溶接金属に含有し、あるいは同表備考 2 の要求を満足し、さらに附属書 B 表 1 の継手性能を満足する溶接材料。

附属書 B 表 1 溶接継手の所要性能

種類の記号	継手引張強さ ^{注(1)} N/mm ²	溶接金属のシャルピー吸収エネルギー	
		試験温度 ℃	シャルピー吸収エネルギー ^{注(2)} J
BHS500 BHS500W	570 以上	−5	47 以上
BHS700W	780 以上	−15	47 以上

注(1) 破断位置を規定しない。

注(2) 三個の試験片の平均値。

降伏点 500N/mm^2 及び降伏点 700N/mm^2 溶接構造用圧延鋼材

発行所：社団法人 日本鉄鋼連盟

東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10 鉄鋼会館 〒103-0025

TEL:03-3669-4815 (市場開発部 土木グループ)

FAX:03-3667-0245

建設コスト縮減に寄与する橋梁用高性能高張力鋼材

橋梁用高性能鋼材

BHS500, BHS500W, BHS700W



**社団法人 日本鉄鋼連盟
橋梁用鋼材研究会**

はじめに

BHS (Bridge High-performance Steel) 鋼は、鋼橋の建設コスト削減のために産学連携研究プロジェクトの成果に基づき開発された高性能高張力鋼材です。

BHS 鋼は、従来の570N/mm²級および780N/mm²級高張力鋼であるSM570やHT780に比較して**強度・靱性および溶接性**において、より優れた性能を有しています。

BHS 鋼の特徴をご理解いただき、この新鋼材を有効に活用すれば、**設計および製作の面で合理化**を達成することが可能と考えられます。

BHS 鋼は、国土交通省のNETIS*(New Technology Information System)に登録されております。

注) BHS500, 500W, BHS700Wは鋼材の降伏強度(500MPa, 700MPa)で表記しています。

*登録No.KTK-040005 <http://www.kangi.ktr.mlit.go.jp/RenewNetis/newIndex.asp>

BHS 鋼の特長

高強度と加工性・溶接性をTMCP技術の適用により両立させた高性能高張力鋼材

● 従来鋼よりも降伏強度を向上

・570N/mm²級(BHS500, 500W) : 降伏強度9~19%アップ(+40~80N/mm²)

・780N/mm²級(BHS700W) : ほぼ同等(+15~35N/mm²)

● 加工性・溶接性が従来鋼よりも優れ、予熱省略、予熱温度低減が可能

・570N/mm²級(BHS500, 500W) : 予熱不要

・780N/mm²級(BHS700W) : 予熱温度低減(100~120℃→50℃)

⇒ **鋼重削減および施工コスト低減への寄与大**

板厚50mmの例

強度区分 特 性		570N/mm ² 級鋼			780N/mm ² 級鋼	
		BHS500	BHS500W	従来鋼 (SM570)	BHS700W	従来鋼 (HT780*)
強 度	高降伏点 (N/mm ²)	≥500	≥500	≥430	≥700	≥685
	降伏点一定	○	○	△	○	△
加工性 溶接性	冷間加工後 高靱性	○	○	△	○	△
	予熱温度低減 (℃)	○	○	△	○ (50℃)	△
耐食性	耐候性	—	○	(○) (SMA570W)	○	—

○ 通常仕様で対応 △ 通常仕様では未対応

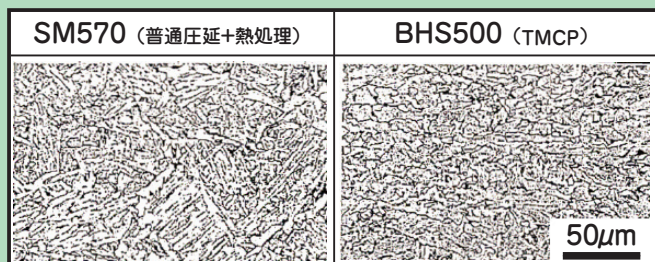
*HBSG3102(HT780)

TMCP

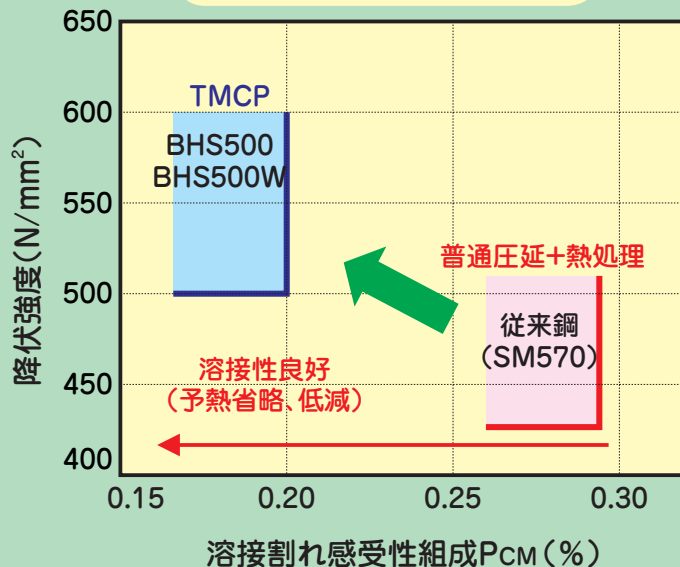
BHS鋼の製造に際しては、熱加工制御(TMCP)技術が用いられています。

TMCPとは、Thermo-Mechanical Control Processの略で、鋼板製造時における加熱・圧延および圧延後の冷却の各プロセスを適切にコントロールする製造技術です。

この技術により良好な強度、靱性、溶接性などを鋼板に付与することができます。



高強度と溶接性を両立



BHS鋼の規格

表1 化学成分

種類の記号	厚さ (mm)	化 学 成 分 (%)													耐候性合金指標** (目標値)
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Mo	B	N	Pcm*	
BHS500	6以上 100以下	0.11 以下	0.55 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	—	—	—	—	—	—	0.006 以下	0.20 以下	—
BHS500W	6以上 100以下	0.11 以下	0.50 以下	2.00 以下	0.020 以下	0.006 以下	0.30 以上 0.50 以下	0.75 以下	0.05 以上 0.30 以下	—	—	—	0.006 以下	0.20 以下	1.0 以上
BHS700W	6以上 50以下	0.14 以下	0.50 以下	2.00 以下	0.015 以下	0.006 以下	0.30 以上	0.80 以下	0.30 以上 2.00 以下	0.05 以下	0.60 以下	0.005 以下	—	0.30 以下	1.0 以上
	100以下													0.32 以下	

*溶接割れ感受性組成 (Pcm) = C+Mn/20+Si/30+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B (%)

** 耐候性合金指標 = 1/[(1.0-0.16C) × (1.05-0.05Si) × (1.04-0.016Mn) × (1.0-0.5P) × (1.0+1.9S) × (1.0-0.1Cu) × (1.0-0.12Ni) × (1.0-0.3Mo) × (1.0-1.7Ti)]
土木学会論文誌No. 738/I-64, 271-281, 2003.7「無塗装橋梁用耐候性鋼材の耐候性合金指標及び耐性評価方法提案」を参照のこと。

注1) 必要に応じて、表1以外の合金元素を添加しても良い。

注2) BHS500Wおよび700Wについて、耐候性合金指標が1.0以上の場合は、Cu又はNiのどちらか一方を規定の下限值以下とすることができる。

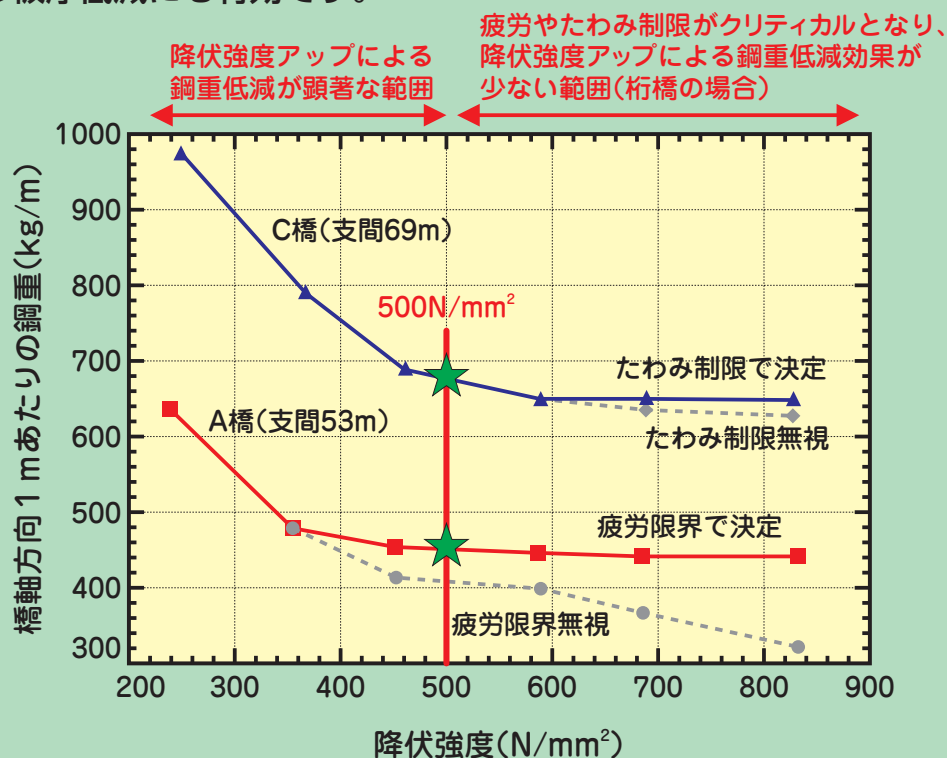
表2 降伏点または耐力、引張り強さ、伸びおよびシャルピー吸収エネルギー

種類の記号	降伏点 又は 耐力(N/mm ²)	引張り強さ (N/mm ²)	伸び		シャルピー吸収エネルギー*		
			試験片	%	試験温度 (°C)	エネルギー(J)	試験片
BHS500	500以上	570以上 720以下	厚さ16mm以下 5号 厚さ16mm超 5号 厚さ20mm超 4号	19以上 26以上 20以上	-5	100 以上	Vノッチ 圧延直角方向
BHS500W	500以上	570以上 720以下	厚さ16mm以下 5号 厚さ16mm超 5号 厚さ20mm超 4号	19以上 26以上 20以上	-5	100 以上	
BHS700W	700以上	780以上 930以下	厚さ16mm以下 5号 厚さ16mm超 5号 厚さ20mm超 4号	19以上 26以上 20以上	-40	100 以上	Vノッチ 圧延方向

*シャルピー吸収エネルギーは、厚さ12mmを超える鋼材について適用する。

降伏強度と鋼重の関係

- 桁橋では、降伏強度 500N/mm^2 鋼材(BHS500,BHS500W)が経済設計に有効です。
- 厚手材の板厚低減にも有効です。

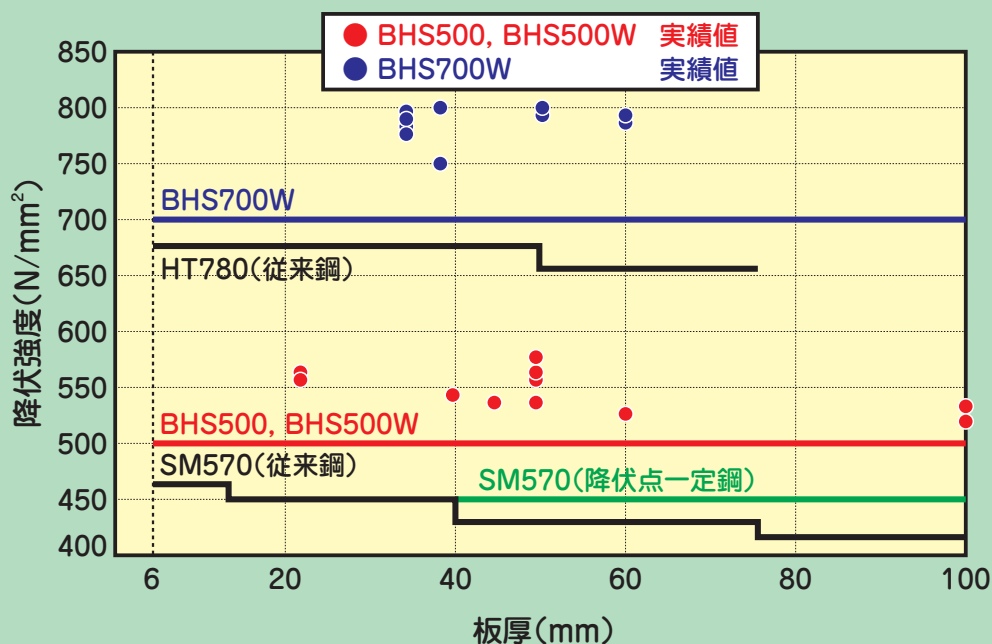


桁橋における鋼材の降伏強度と鋼重の関係^{1), 2)}

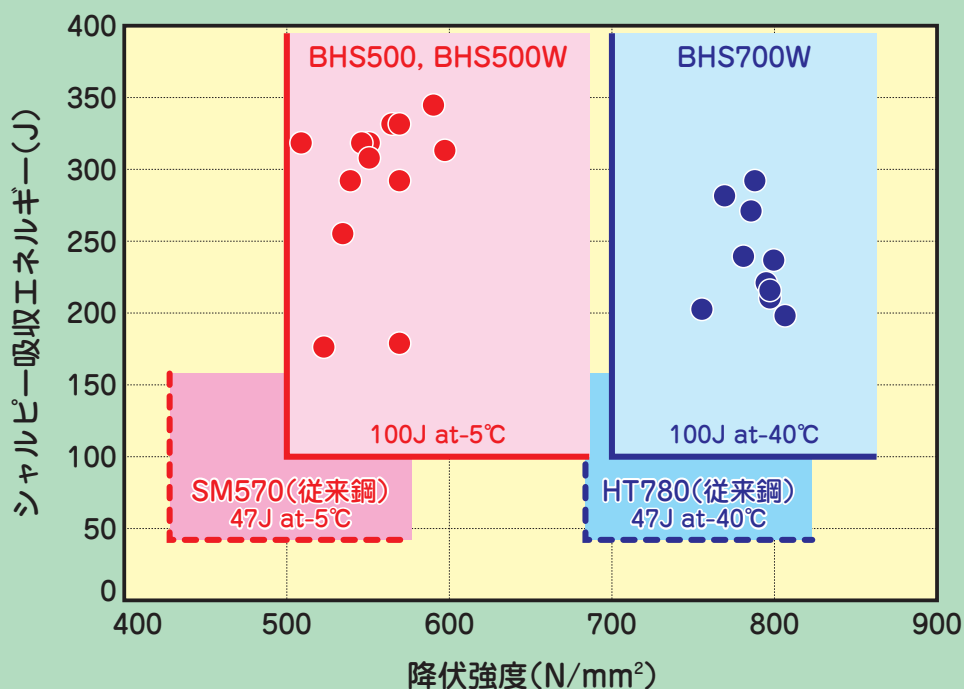
- 長大吊橋、斜張橋等では、降伏強度 700N/mm^2 鋼材(BHS700W)が経済設計に有効です。

BHS鋼の降伏強度

- 降伏強度 500N/mm^2 以上(BHS500, BHS500W), 700N/mm^2 以上(BHS700W)かつ板厚100mmまで降伏強度一定の仕様です。



BHS鋼の母材靱性



●BHS鋼は従来鋼に比べて高い靱性を有しています。

予熱温度低減

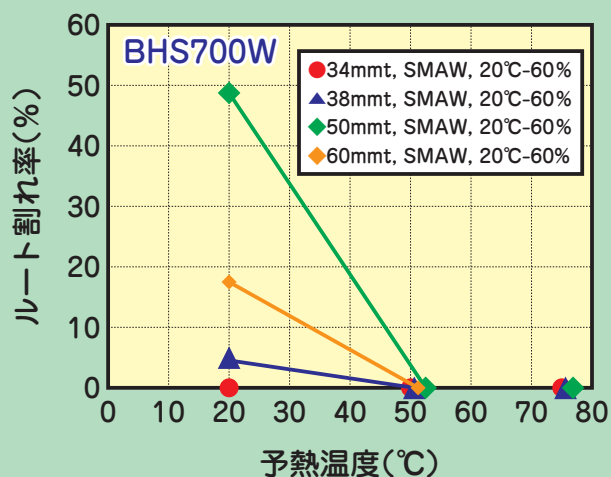
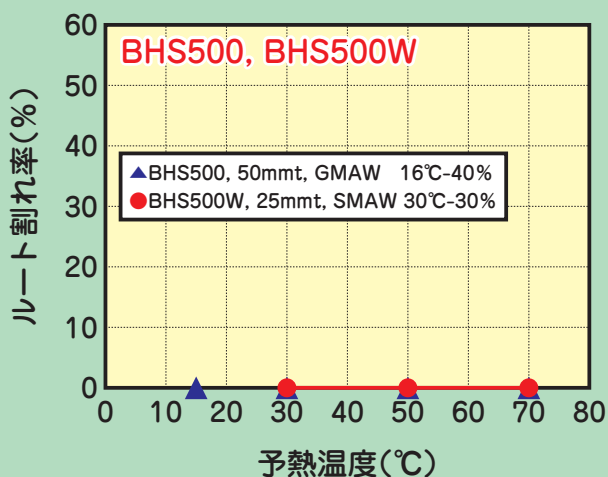
【被覆アーク溶接(SMAW)での予熱温度低減効果】

強度区分	種類の記号	区 分	板厚区分 (mm)			
			t≤25	25<t≤40	40<t≤50	50<t≤100
570N/mm ² 級	従来鋼 (SM570)	標準PCM(予熱温度)*	0.26(予熱なし)	0.27(80℃)	0.27(100℃)	
		予熱無しとなるPCM	—	0.24	0.22	
	BHS500	PCM(予熱温度)	≤0.20(予熱無し)			
	BHS500W	PCM(予熱温度)	≤0.20(予熱無し)			
780N/mm ² 級	従来鋼 (HT780)	板厚区分	t≤25	25<t≤38	38<t≤50	50<t≤75
		標準最小予熱温度(℃)**	100	100	100	120
	BHS700W	最小予熱温度(℃)	50			

*標準PCM, 予熱温度の標準(「日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ 鋼橋編 平成14年3月版」より)

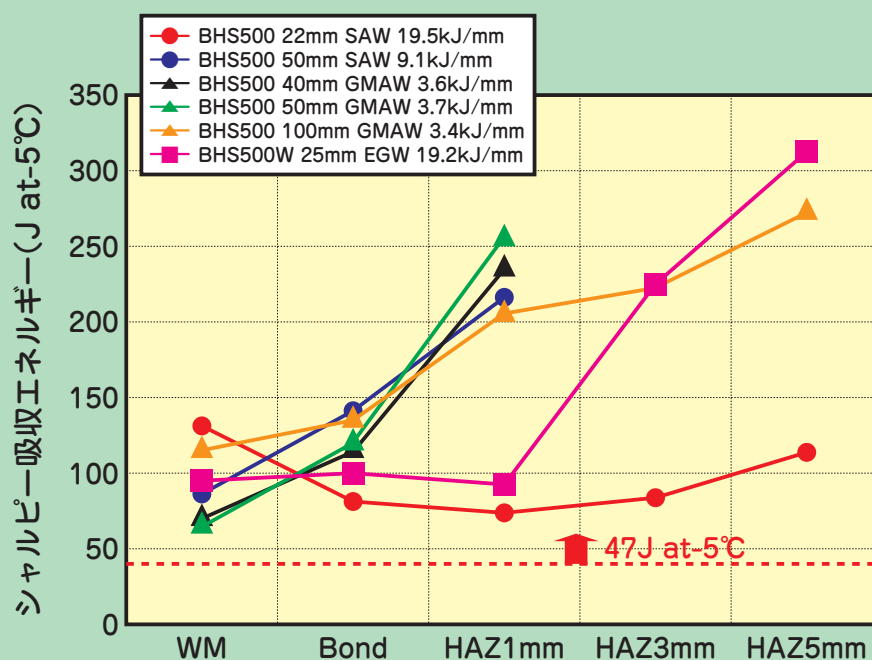
**標準最小予熱温度(「本州四国連絡橋公団: 鋼橋等製作基準 1993年5月」より)

【y割れ試験結果】



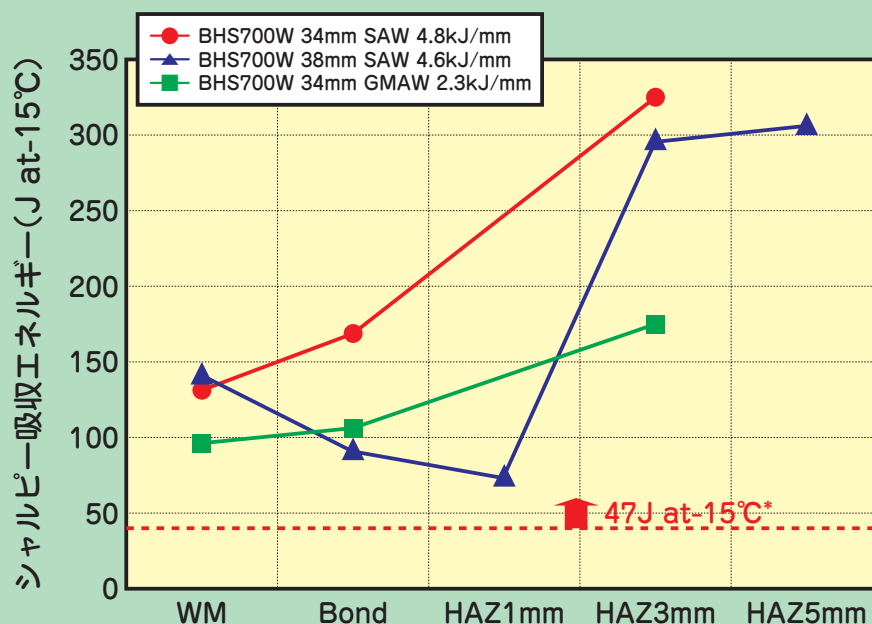
溶接継手特性

【BHS500, BHS500W】



BHS500, BHS500Wは10kJ/mm以下の大入熱溶接に対応可能です。

【BHS700W】



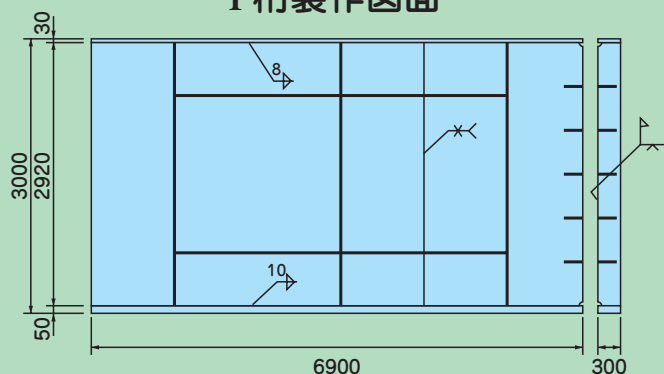
*HBS規格(本州四国連絡橋公団規格)に記載の溶接継ぎ手の所要性能より

BHS500鋼の製作性

I 桁製作性試験諸元

使用鋼材	使用部位	寸 法(mm)	
		板厚	幅×長さ
BHS500	上フランジ	30	500×6900
	ウェブ	20	2920×6900
	下フランジ	50	700×6900
SM490Y	補剛材	12	

I 桁製作図面



製作状況



製作性試験結果

評価項目		SM490Yとの比較	評価項目/製作状況
切断性能	t=50mm	○	切断面粗さ
孔明け性能	t=50mm	○	孔明け精度
組み立て溶接	t=20, 50mm	◎	組み立て溶接長さ20mm可能
突き合わせ溶接	ウェブ t=20mm	○	予熱無し、最大HI=6.1、T-SAW
	上フランジ t=30mm	○	予熱無し、最大HI=9.9、T-SAW
	下フランジ t=50mm	○	予熱無し、最大HI=10、T-SAW
隅肉溶接	ウェブ-フランジ	○	予熱無し
	補剛材	○	予熱無し
歪み矯正	プレス矯正	○	
	ローラー矯正	○	
現場溶接	ウェブ t=20mm	○	予熱無し、最大HI=9.7、EGW
	上フランジ t=30mm	○	予熱無し、最大HI=4.1、CO ₂
	下フランジ t=50mm	○	予熱無し、最大HI=4.1、CO ₂

HI:kJ/ mm

◎優れる ○同等

570N/mm² 級の高強度鋼であるにもかかわらず、SM490Y と同等の製作性を有しています。

溶接材料

【溶接材料に関する規定】

BHS鋼には、特別な要求が無い限り下記の(1)～(3)に示す溶接材料を用いることができます。
なお、溶接金属に対しては、表1のCu及びNi以外の化学成分に関する規制は適用されません。

- (1) **BHS500用** : 表3の継手性能を満足する溶接材料
- (2) **BHS500W用** : 表1の化学成分の内Cu及びNiを下限値以上溶接金属に含有し、あるいは同表注2の要求を満足し、さらに表3の継手性能を満足する溶接材料
- (3) **BHS700W用** : 表1の化学成分の内Cu及びNiを下限値以上溶接金属に含有し、あるいは同表注2の要求を満足し、さらに表3の継手性能を満足する溶接材料

表3 溶接継手の所要性能

種類の記号	継手引張強さ* (N/mm ²)	溶接金属のシャルピー吸収エネルギー	
		試験温度 (℃)	シャルピー吸収エネルギー** (J)
BHS500 BHS500W	570以上	-5	47以上
BHS700W	780以上	-15	47以上

*破断位置を規定しない。 **三個の試験片の平均値

【代表的溶接材料】

表4 BHS500鋼用の代表的溶接材料

種類の記号	仕 様	溶接方法*			
		SMAW	GMAW		SAW
			CO ₂ ガス	Ar+ 20%CO ₂ ガス	
BHS500	一般仕様 (-5℃)	D5816 D6216 (JIS Z3212)	YGW21 (JIS Z3312)	YGW23 (JIS Z3312)	S582-H S622-HX (JIS Z3183)

*他の溶接方法、FCAW(JIS Z3313)、GTAW等も使用可

【参考文献】

- 1) 三木千壽、市川篤司他：橋梁用高性能鋼材(BHS500、BHS700)の提案、土木学会論文集No.738/I-60, 2003.7
- 2) 小西拓洋、三木千壽他：高強度鋼の適用による鋼橋の合理化設計の可能性、土木学会論文集No.654/I-52, 2000.7
- 3) 日本鉄鋼連盟製品規定 MDCR 0014-2004「降伏点500N/mm²および降伏点700N/mm²溶接構造用圧延鋼材」

表紙写真：計画されている東京港臨海大橋(仮称)のイメージ図です。この橋梁には、BHS鋼が適用されます。
(出典：国土交通省関東地方整備局 東京港湾事務所)

ご注意とお願い：本資料に記載された技術情報は、製品の代表的な特性や性能を説明するためのものであり、「規格」の規定事項として明記したもの以外は、保証を意味するものではありません。本資料記載情報の誤った使用によって生じた損害については責任を負いかねますのでご了承ください。

問い合わせ先：

社団法人 日本鉄鋼連盟 橋梁用鋼材研究会

住所：〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10

電話：03-3669-4815 FAX：03-3667-0245

URL <http://www.jisf.or.jp/>

2007.2. 第2版

南北水路横断橋の紹介

株式会社 横河ブリッジ

【工事概要】

1. 発注者 : 東京都港湾局 東京港建設事務所
2. 請負者 : 株式会社 横河ブリッジ
3. 設計会社 : セントラルコンサルタント株式会社
4. 施工場所 : 東京都江東区青海二丁目地先中央防波堤外側埋立地
5. 橋梁形式 : 鋼 3 径間連続鋼床版箱けた
6. 製作重量 : 3, 988 t (BHS 500 鋼材 1, 143 t)
7. 工事範囲 : 鋼上部工の製作・輸送・架設
8. 工期 : 自) 平成 18 年 6 月 22 日 ～ 至) 平成 20 年 1 月 10 日
9. 製作工場 : 株式会社 横河ブリッジ 大阪工場
10. 架設工法 :
側 径 間 : クローラー、フローティングクレーン、クローラー台船によるベント架設
中央径間 : 台船を用いた大ブロック吊り上げ架設

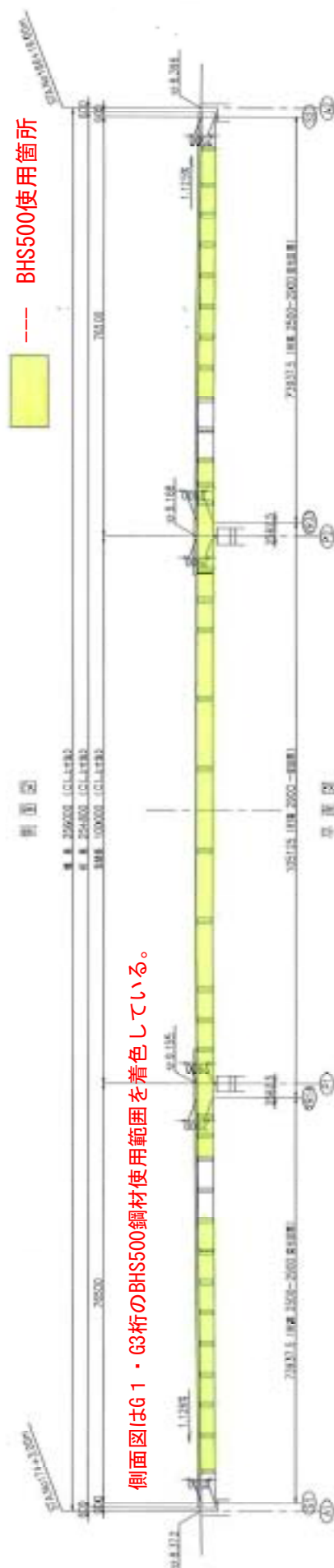
Technical drawing of a bridge section showing various spans and structural details. The drawing includes dimensions for spans (e.g., 171m, 505m, 630m, 750m, 100m, 75m, 253m, 124m, 352m, 630m, 867.750=630m, 39112.338m, 160m, 440m, 760m, 400m, 3895=285m, 160m, 217m) and labels for different sections (1区, 2区, 3区, 4区, 5区, 6区, 7区, 8区). A red circle highlights a specific structural detail at the bottom right.

上部工構造一般図 $S=1:800$

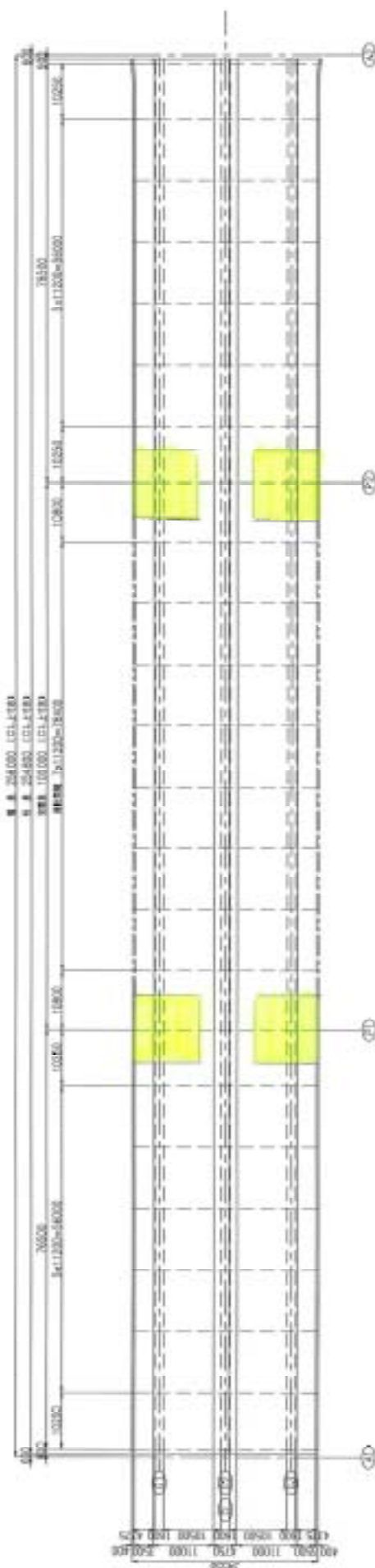
100

BHS500使用箇所

側面図はG 1・G3桁のBHS500鋼材使用範囲を着色している。

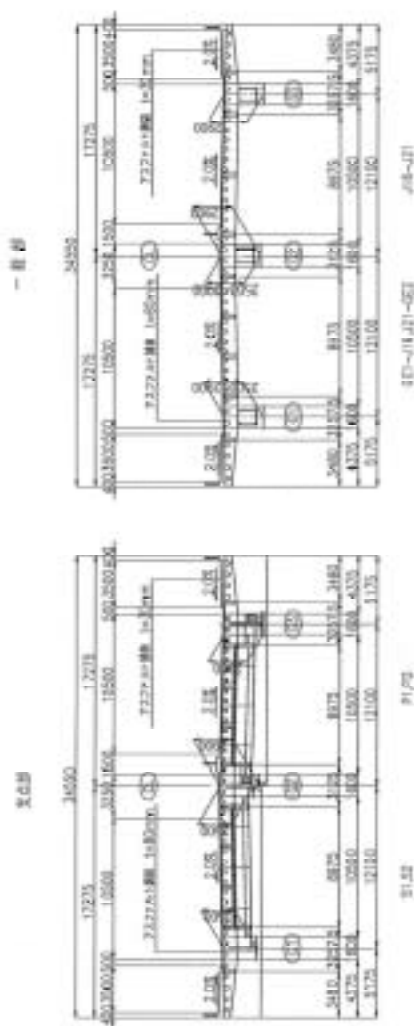


三



貼面図 $S=1,400$

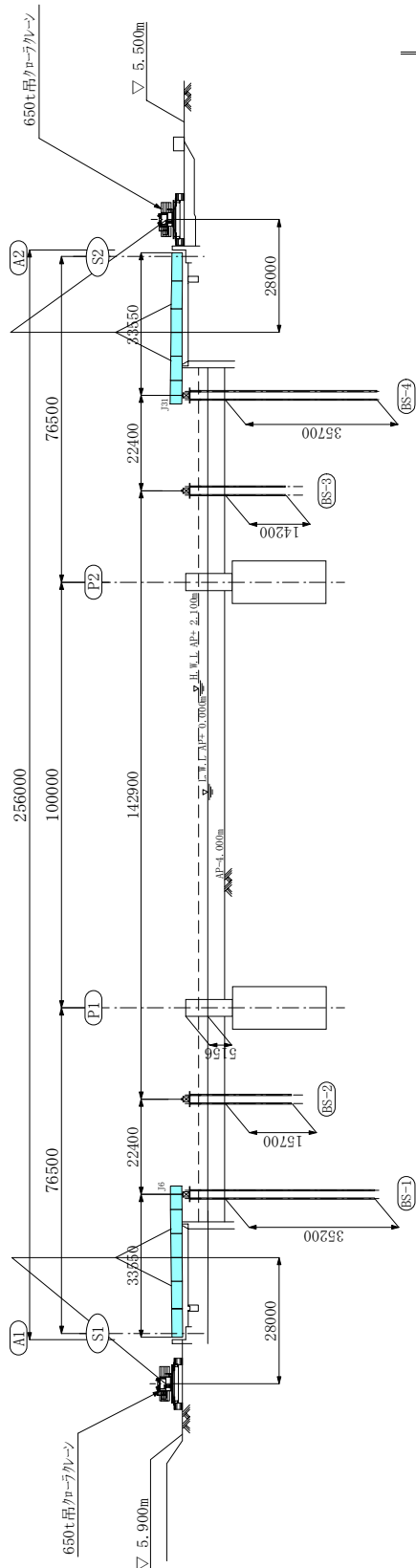
100

[illegible]

行	日期	摘要	借方	贷方
1	2016年1月1日	期初余额		100000
2	2016年1月1日	本期发生额	100000	
3	2016年1月1日	期末余额		200000

南北水路橋架設要領図 陸上側径間部 S=1/1200

7ページ



東 西 水 路
← 中防大橋

作業境界線

準備工

150t吊りカレン

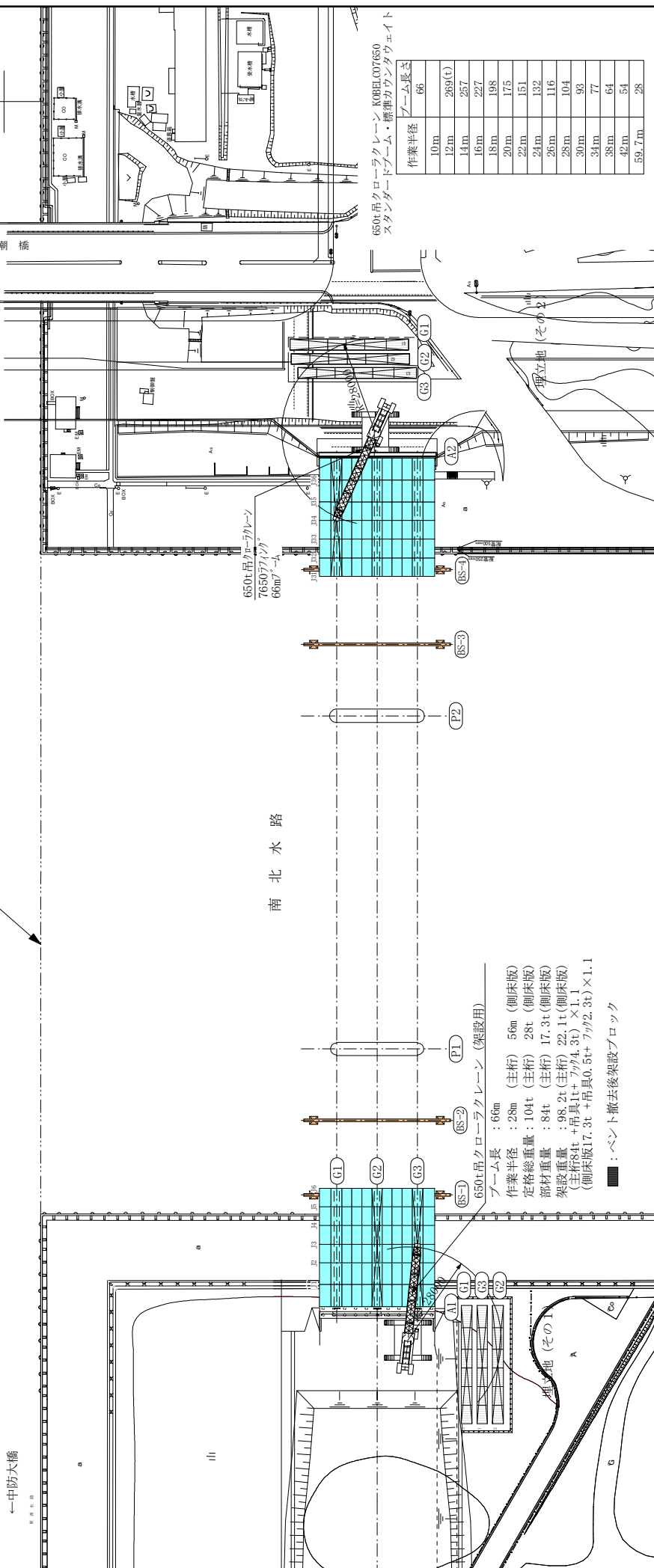
650t吊りカレン

主桁架設 (一桁)

橋桁架設

鋼床架設 (単材)

完了



650t吊りカレン K08B1007650
スタンダードフレーム・標準カウンタウェイト

フレーム長さ	作業半径
66	10m
269(4)	12m
257	14m
227	16m
198	18m
175	20m
151	22m
132	24m
116	26m
104	28m
93	30m
77	34m
64	38m
54	42m
28	59.7m

ブーム長 : 66m
作業半径 : 28m (主桁) 56m (鋼床版)
定格総重量 : 104t (主桁) 28t (鋼床版)
部材重量 : 84t (主桁) 17.3t (鋼床版)
架設重量 : 98.2t (主桁) 22.1t (鋼床版)
(主桁84t + 吊具1t + 7/24.3t) × 1.1
(鋼床版17.3t + 吊具0.5t + 7/22.3t) × 1.1

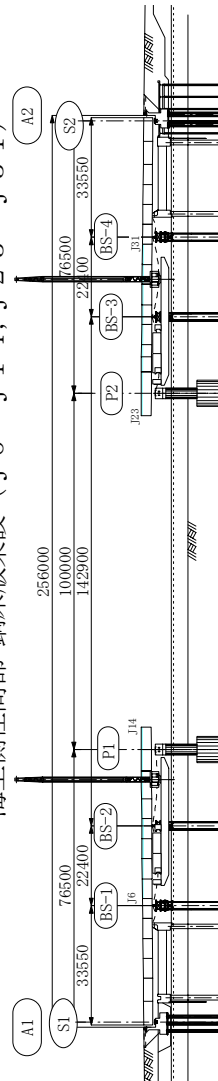
■ : ベント撤去後架設ブロック

南北水路橋架設要領図 海上側径間部 (その2) S=1/1500

海上側径間部 鋼床版架設 (J 6 ~ J 14, J 23 ~ J 31)

200t吊クレーン台船
定格総荷重表

作業半径 (m)	ブーム長		
9.0	30.0m	36.0m	39.0m
10.0	93.6	82.3	
12.0	82.8	63.4	63.3
14.0	63.7	51.1	51.0
16.0	51.5	42.6	42.4
18.0	43.0	36.3	36.2
20.0	36.7	31.5	31.3
22.0	31.9	27.7	27.5
24.0	28.2	24.6	24.4
26.0	25.1	22.1	21.9
28.0	22.6	20.0	19.8
30.0	20.0	18.2	17.9
32.0	16.6	16.4	
34.0		15.1	



作業境界線

東西水路

南北水路

2500t鋼台船
大阪工場 ①

200t吊クレーン台船
(鋼床版架設)

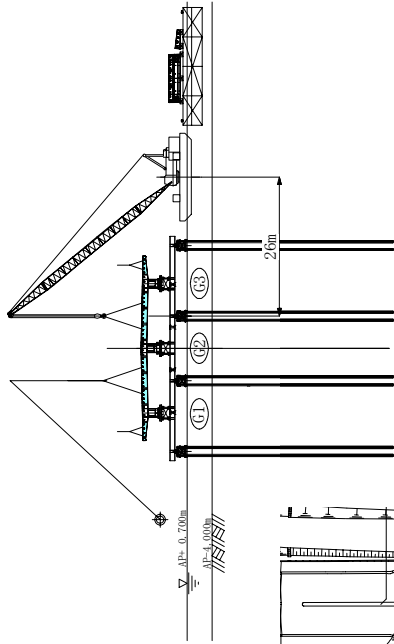
ブーム長 : 39.0m
作業半径 : 中床版 28.0m 側床版 34.0m
架設重量 : 中床版 18.3t 側床版 14.0t
中床版 (14.5t+吊具1t+7/71.1t) × 1.1
側床版 (10.6t+吊具1t+7/71.1t) × 1.1

施工期間 D≒30日 (net)

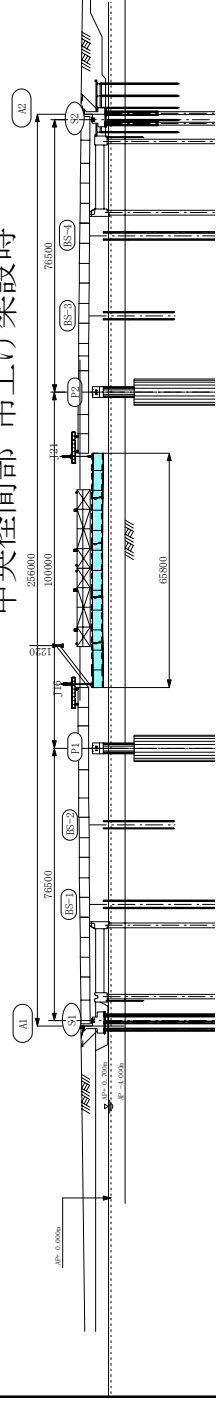
A - A
S=1/1000

200t吊クレーン台船 (大光2000)

ブーム長 : 39.0m
作業半径 : 中床版 28.0m 側床版 34.0m
架設重量 : 中床版 18.3t 側床版 14.0t
中床版 (14.5t+吊具1t+7/71.1t) × 1.1
側床版 (10.6t+吊具1t+7/71.1t) × 1.1

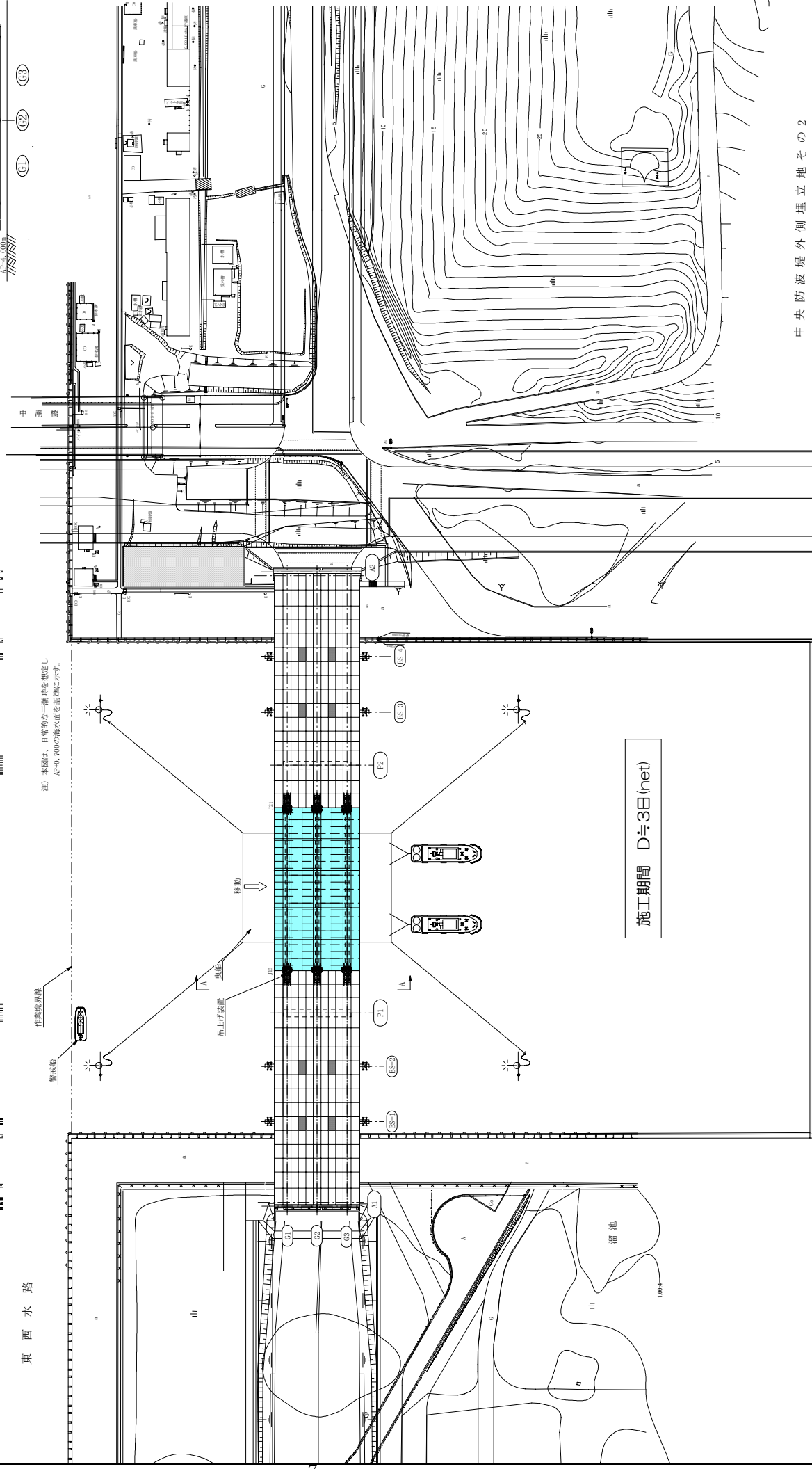


南北水路橋架設要領圖 S=1/1500
中央径間部 吊上げ架設時

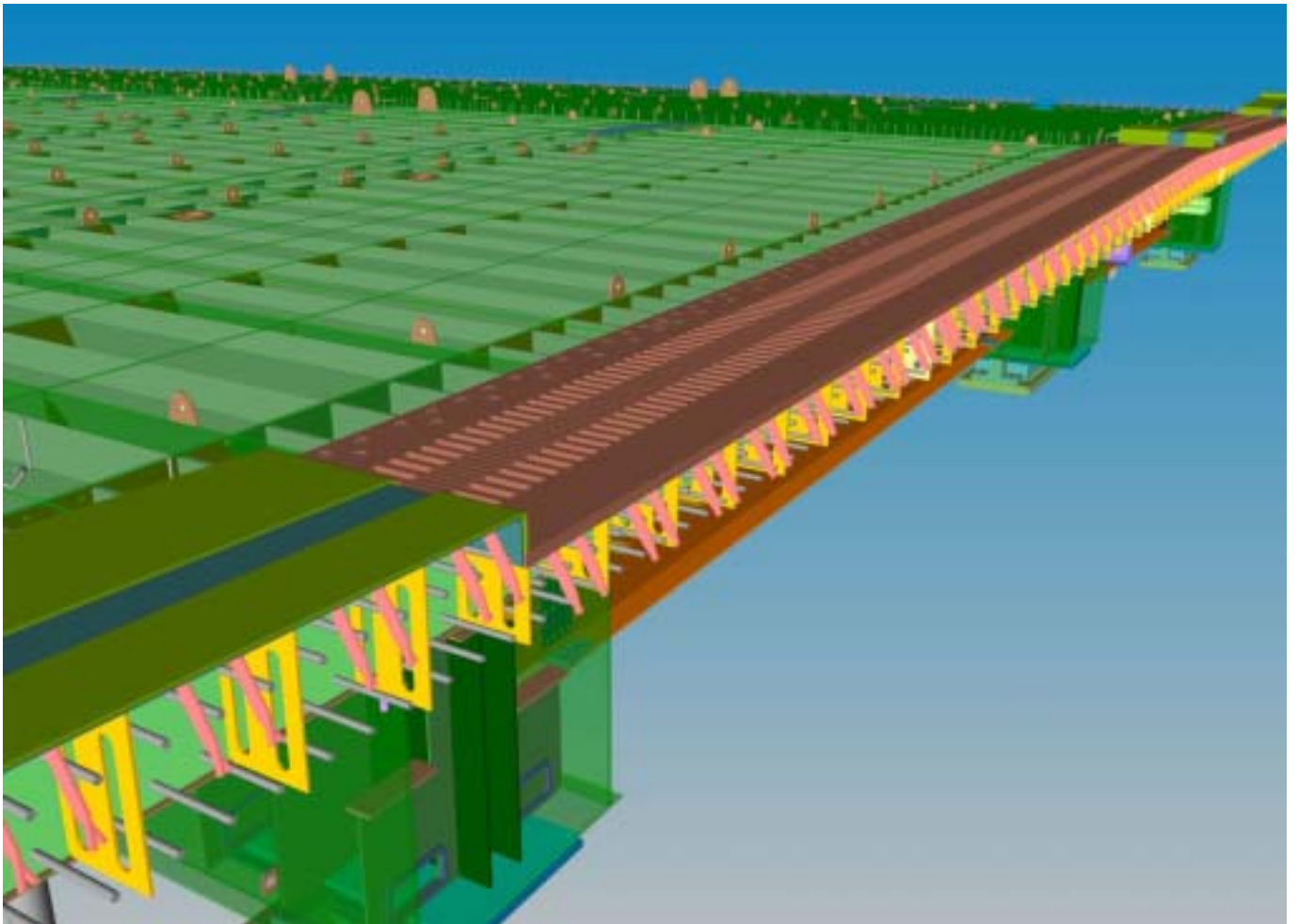
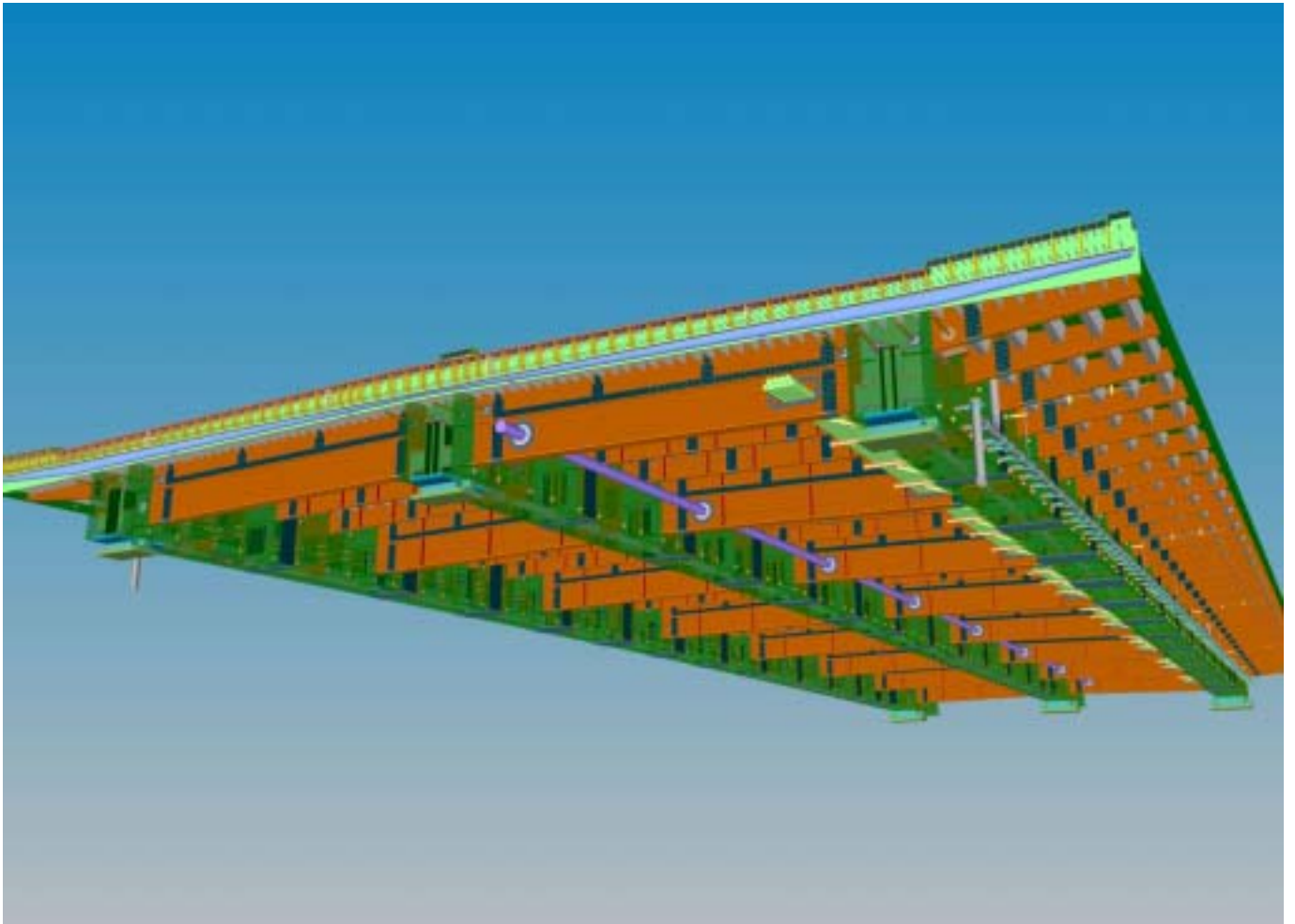


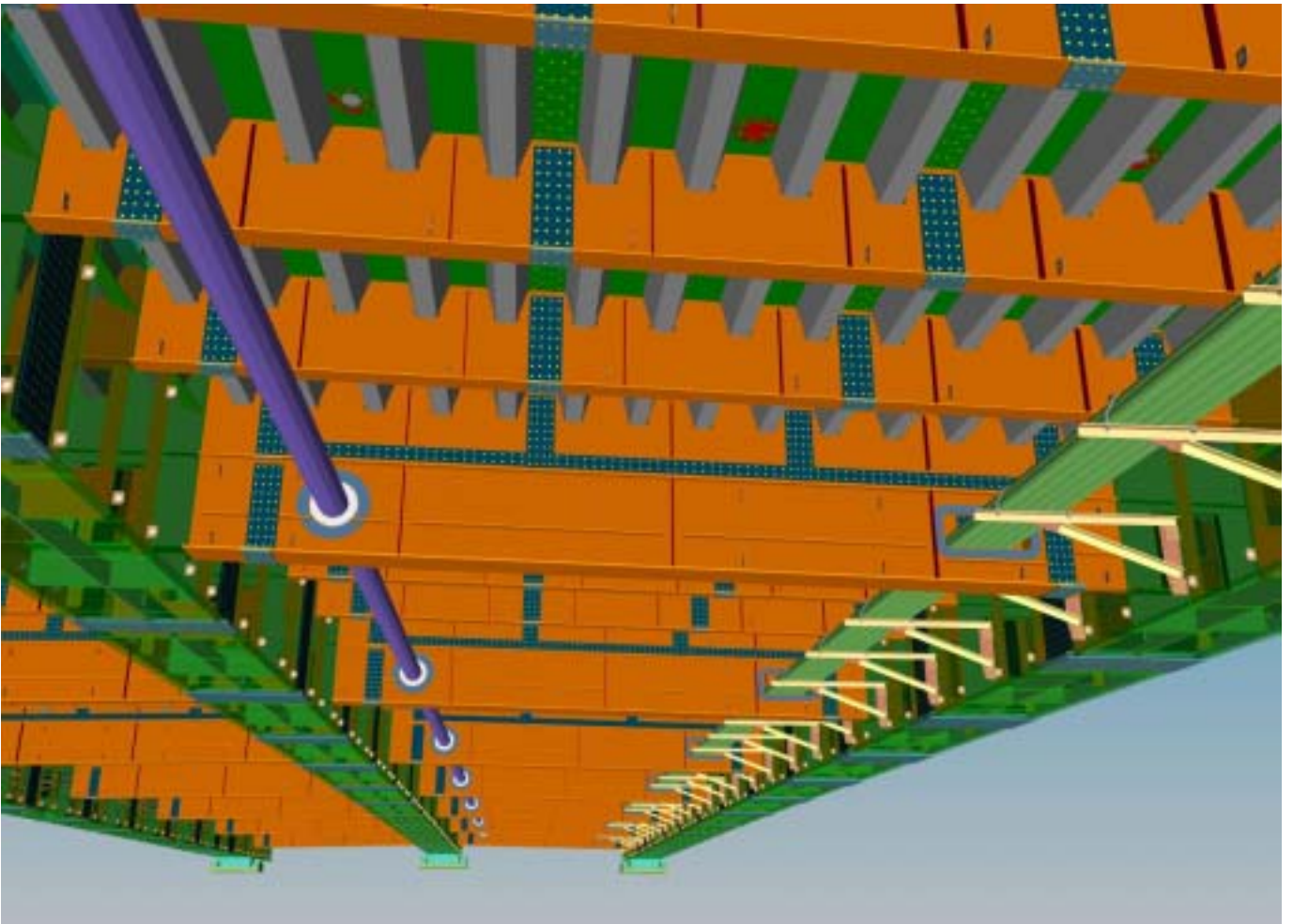
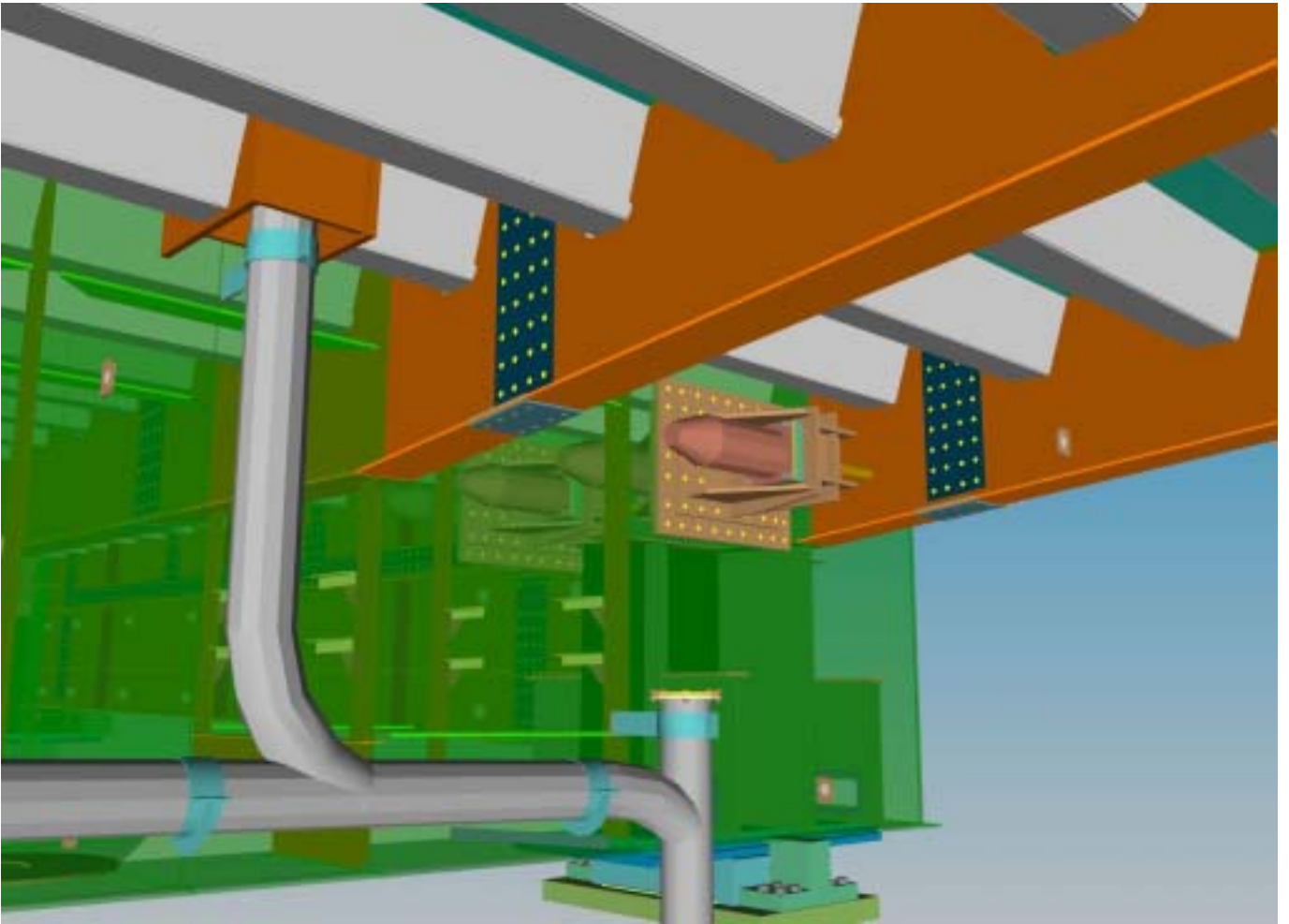
東西水路

注) 本図は、日常的な干潮時を想定し
AP+0.700の海水面を基準に示す。



施工期間 $D \div 3$ 日 (net)





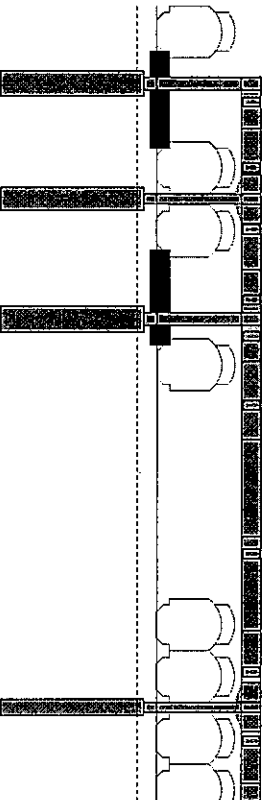
遠心力鑄鋼管の適用について

【業務の中で生じた問題点や課題等】

・日暮里駅コスモスプランにおいて、厳しい工期の中、小口径で極厚の鋼管柱（図－1参照）は、当初、シームレス（管に継ぎ目が無い鋼管）で製作することになっていた。しかしながら、シームレス鋼管は、厚さの精度が他よりも悪いため、2次部材に限って使用できるものであり、かつ鋼材のエネルギー吸収能力を把握するためのシャルピー値を保証するものでなく、安全性、品質管理の面で問題があった。

【問題点や課題解決のために取組んだこと等】

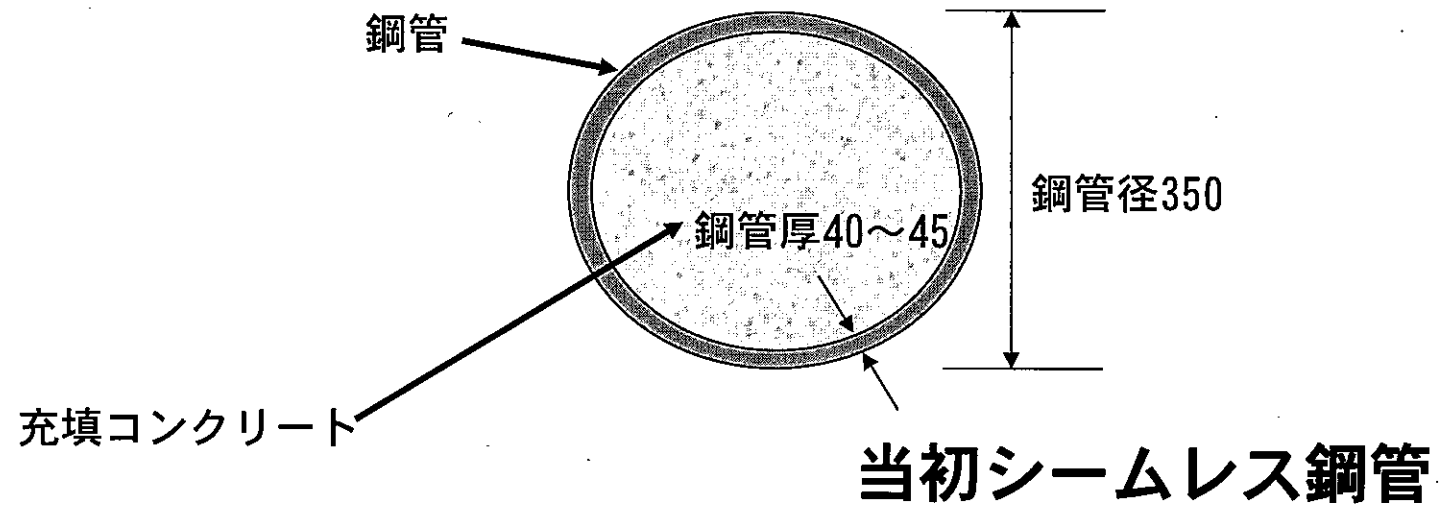
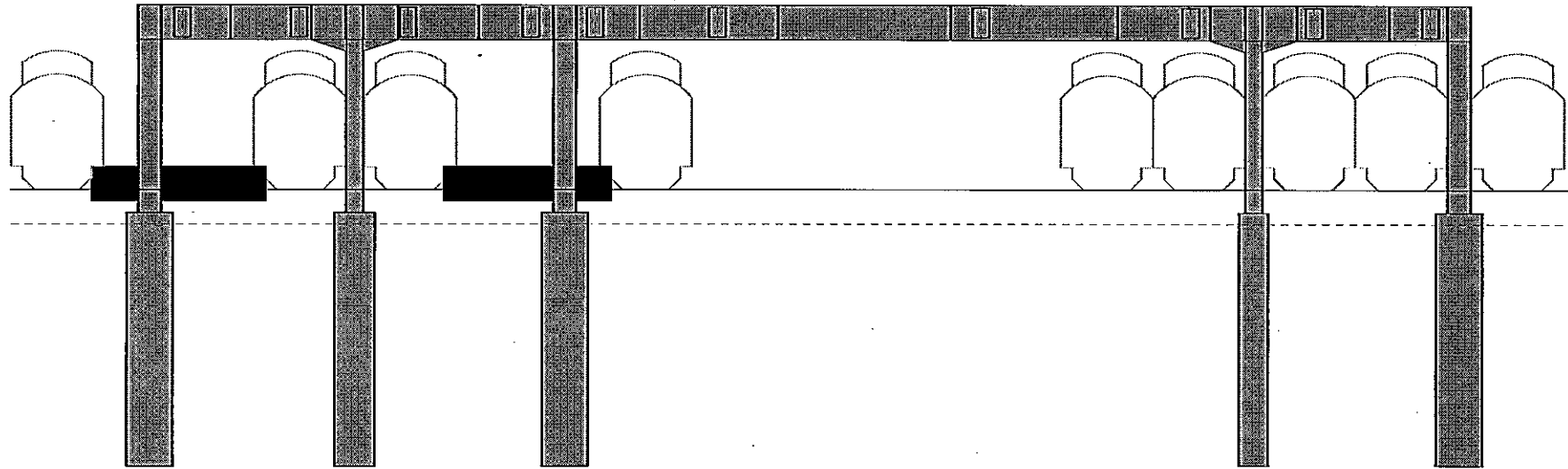
・建築限界が厳しいことに起因した小口径で極厚の線間CFT柱の製作方法をシームレス鋼管から地震時のねばり強さを保証するシャルピー値を規定した遠心力鑄鋼管に変更し、安全性ならびに品質向上を図った。



図－1 日暮里線路上空地盤における線間CFT柱

日暮里駅コスモスプラン設計審査 業務（CFT柱の製作方法の変更）

日暮里コスモス(線路上空地盤)



本検討課題

◇問題点

- ・シームレス鋼管は厚さの精度が悪い
- ・シャルピー値の保証なし



CFT柱の製作方法の検討

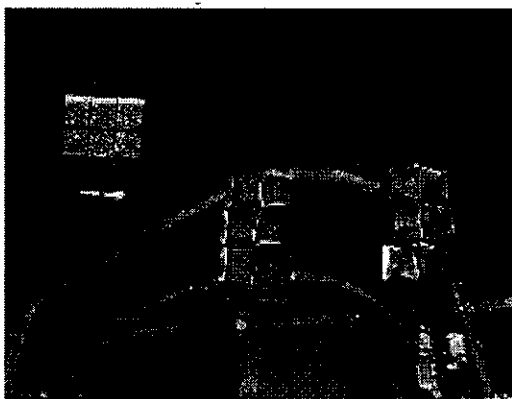
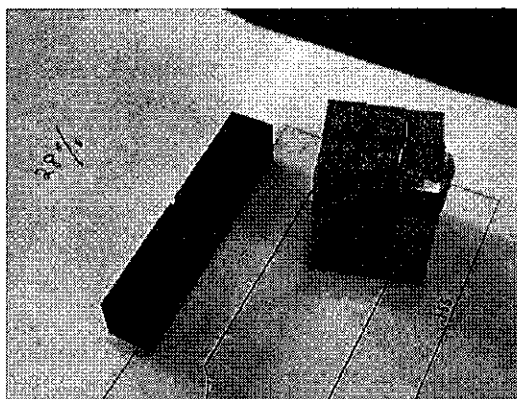
CFT柱の製作方法の変更

提案内容

- シームレス鋼管→遠心力鋳鋼管(SCW490-CF、SCW520-CF)
Vノッチ試験片:0℃、シャルピー吸収エネルギー27J以上
(3個の平均値)

◇シャルピー衝撃試験⇔じん性を評価する試験

・試験片の両端を支えて真ん中に大きなハンマにより一撃を加える



➡ **鋼材のエネルギー吸収能力を把握**

効果:CFT柱の安全性ならびに品質向上

橋梁用高性能鋼材の加工性・溶接性調査報告

The Investigation of workability and weldability of Bridge High Performance Steel Materials

藤田 敏明

Toshiaki FUJITA

川田工業㈱橋梁事業部生産企画部

四国工場溶接・構造物研究室

湯田 誠

Makoto YUDA

川田工業㈱橋梁事業部生産企画部

四国工場溶接・構造物研究室課長

米山 徹

Toru YONEYAMA

川田工業㈱橋梁事業部生産企画部

四国工場生産技術部橋梁生産設計課課長

多田 賢

Satoshi TADA

川田工業㈱橋梁事業部生産企画部

四国工場長

鋼橋の高品質化と製作コスト縮減を目的とした橋梁用的高性能鋼材が近年開発された。この鋼材には、降伏点で 500 N/mm^2 と 700 N/mm^2 の 2 種類があり、従来の引張強さ 570 N/mm^2 級鋼や 780 N/mm^2 級鋼よりも降伏点が高く、加工性・溶接性も優れており、高強度化による鋼重の低減や施工工数の低減が期待されている。本報告では、この新しい鋼材の特性把握を行うとともに、実橋の製作へ反映させるため加工性・溶接性の調査を行ったのでその結果を報告する。

キーワード：BHS 鋼材，降伏点，予熱，大入熱

1. はじめに

鋼橋製作においては、これまで高強度材の利用や少数主桁橋の採用による部材数の低減や構造の簡素化から施工コストの縮減が図られてきた。しかし、施工面でのコスト縮減には、切断箇所数や溶接長等の作業量低減の他、予熱低減や高能率溶接などによる施工性の向上も重要な要素であり、従来は必要に応じて個別のプロジェクト毎に対応が行われてきた。また、より合理的な構造の採用には鋼材性能の更なる向上が不可欠となっていた。

このような背景から、東京工業大学の創造プロジェクト研究体の中に設置された高性能鋼材の利用技術研究会に始まる、ミルメーカー、橋梁会社を含む大規模な産学連携プロジェクトにより橋梁向け鋼材の高性能化に関する研究・検討が取り組まれた。その結果として、最新の製鉄・製鋼技術により製造されたものが橋梁用高性能鋼材（Bridge High Performance Steel：BHS 鋼材と称す）である。

本鋼材は、BHS500、BHS500W（ 570 N/mm^2 級）と BHS700W（ 780 N/mm^2 級）の 3 種類が開発され¹⁾、橋梁構造から要求される必要性能を基に、製作コストの縮減を具現化するための特性が計画的に付与されており、材料、設計、製作のすべてにおいて、より高い経済性が期待され

る。公共工事のコスト縮減がこれまでも増して要望される中、鋼橋製作では、本鋼材により経済的合理性の考慮された設計・製作技術が活用され、近い将来、多くの新設橋梁に採用されるもの考える。

本稿では、この開発された BHS 鋼材が有する母材特性と、その施工性について確認試験により調査を行った結果を報告する。

2. 鋼材の特性

本鋼材は、最新の高度な熱加工制御（TMCP）技術と合金元素の適正添加による組織制御、析出強化など、これまでの技術を最大限に活用し創出され、従来鋼よりも低炭素、低合金にてバランス良く高強度化と高靱化が図られている。加えて、高纯净化技術により硫黄量が極めて低減され、十分な絞り特性を有する。溶接性に対しては、低炭素化による熱影響部の硬さの抑制や低炭素当量（ C_{eq} ）化による熱影響部の焼入れ性の抑制により、結果として冷間割れ指標の一つである溶接低温割れ感受性組成（ P_{cm} ）を低くして耐冷間割れ特性を向上している。また、低炭素化によって島状マルテンサイトを抑制する他、結晶粒の粗大化の防止のため、熱的に安定な析出物や酸化物などを微細分散させ、変態核やオーステナイト粒成長の抑制に利用し、結晶粒を微細化させる細粒高靱化技術が導入されるなど、熱影

響部の靱性劣化の防止が図られている。

BHS 鋼材の標準特性の例として BHS500 の特性²⁾を表 1 に示す。付与された特性とその特性を担保するための各値が規定化されている。降伏点を基準とした鋼橋の製作に有効な高い降伏点が保証され、従来の同クラスの鋼材よりも優れた加工性や溶接性を有し、施工性は 490 N/mm² 級鋼と同等レベルとされている。

本調査において供した BHS500 鋼材の機械的性質を表 2 に示す。

表 1 BHS500 鋼材の標準特性

項目		規定	目安
鋼材	機械的性質	降伏点・耐力	500 N/mm ² 以上
		引張強さ	570 N/mm ² 以上 ~ 720 N/mm ² 以下
		伸び	厚さ16mm以下5号 19%以上 厚さ16mm超 5号 26%以上 厚さ20mm超 4号 20%以上
		シャルピー 吸収エネルギー	試験温度-5 100J以上
	加工性	冷間曲げ加工の 内側半径	室素[N] 0.006%
	厚さ方向特性	絞り値	硫黄含有量 0.006%以下
	溶接性	溶接入熱	10kJ/mm以下
溶接材料	溶接性	予熱温度	溶接低溫割れ 感受性組成 (Pcm) 0.20%以下
		継手引張強さ ^{注(3)}	570 N/mm ² 以上
		溶接金属 シャルピー吸収 エネルギー ^{注(2)}	試験温度-5 47J以上

注(1) 試験位置はHAZ1mm 注(2) 三個の試験片の平均値
注(3) 破断位置を規定しない

表 2 BHS500 の機械的性質（供試材）

板厚 (mm)		40			
方向		L	C	Z	
JIS4号 引張試験	YP (N/mm ²)	532	546	Z方向 引張試験	75
	TS (N/mm ²)	623	634		75
	EL (%)	31	30		77
採取t/4 衝撃試験	vE-5 Ave (J)	329	316		Ave 76
	vTrs ()	-60	-60	備考	Z35相当
Ceq (%)		0.36			
Pcm (%)		0.17			

Ceq=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14
Pcm=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

3. 施工性調査

施工性の調査は、鋼材の特性を活用し、製作効率の向上の上でポイントとなる以下の項目に着目し実施した。

切断性 冷間加工性 加熱矯正
予熱 溶接施工性

(1) 切断性

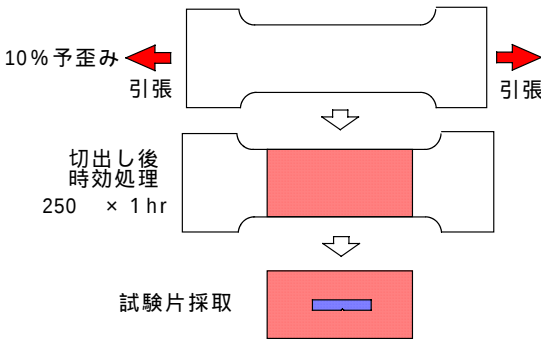
従来鋼と同条件でガス切断を行った結果、切断面の品質は道路橋示方書（以下 道示）の基準である50 μmRy以下を十分に満足し、切断スラグの剥離性や上縁の溶け状態について特に問題は認められなかった。作業性や品質に大きな違いはないものとする。

(2) 冷間加工性

冷間加工では歪み時効により靱性が低下することが知られ、道示では構造物に脆性破壊が生じないように、時効後においても使用鋼材のJIS要求靱性値を満足することが求められている。このため、低下要因とされる鋼材の室素量（[N]）と歪み時効による靱性低下分を見込んだ初期シャルピー吸収エネルギー値（vE）が規定化されている。製鋼技術の進歩により大幅な室素（N）の低減が可能となった最近の鋼材データの調査からは、初期vE 100 Jにおいて時効後にも要求靱性値を満足することが確認されており、BHS500では、vE 100 Jかつ[N] 0.006 %を規定化し、目安として冷間曲げの内側半径は板厚の7倍までの加工を可能としている。

本供試材のvE-5は300 J以上と規格値よりも遙かに高靱性であることから、高い冷間加工性を有することが推測された。このことから板厚の5倍程度の曲げ半径に相当するとされる10 %の歪み時効処理を試験条件とした引張歪み試験を行った。試験方法は、10 %の歪みを引張歪みとして導入し、予歪み後の時効促進に250 × 1 hrの処理を行い、シャルピー衝撃試験にて確認を行った。表3に試験方法および試験結果を示す。

表3 歪み時効による試験方法および結果



試験結果	処理	衝撃試験片採取位置t/4		
		方向	vE-5 Ave (J)	vTrs ()
	歪み時効	L	273	-45
		C	298	-40

10 %歪み時効処理を施した場合においても圧延方向（L方向）および圧延直角方向（C方向）ともにvE-5が200 J以上と十分な値で、シャルピー遷移温度も-40 以下と良好であった。また、歪み時効によるvE-5の変化は20～60Jと小さかった。高靱化され、極めて低い窒素量にて製造されたBHS鋼材では、冷間曲げ内側半径は板厚の5倍以上と判断され、目安とされた7倍半径は十分に満足していることが確認された。

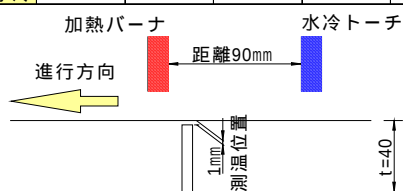
（3）加熱矯正

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。道示においては、調質鋼は鋼材表面温度750 以下かつ空放冷または空放冷後600 以下での水冷とされ、その他鋼材では鋼材表面温度900 以下かつ水冷開始条件が鋼種ごとに規定されている。

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 0.38のTMC鋼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た。そこで、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、性能劣化が生じないかの確認を行った。試験条件および試験結果を表4に示す。

表4 線状加熱試験条件および結果

試験条件	施工方法		使用ガス				火口高さ (mm)	冷却水量 (L/min)	
	加熱温度 ()	冷却法	O ₂		C ₂ H ₂				
			圧力 (kg/cm ²)	流量 (L/min)	圧力 (kg/cm ²)	流量 (L/min)			
	900	空冷	5	50	0.5	20			-
		水冷							6
1000	空冷	-							
	水冷	6							



試験結果	施工方法		C方向JIS4号 引張試験			表面下1mm 衝撃試験	
			YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EL (%)	方向	vE-5 Ave(J)
900	空冷		534	637	30	L	301
						C	293
	水冷				28	L	299
						C	295
1000	空冷		529	633	29	L	287
						C	295
	水冷				30	L	299
						C	289

実施した線状加熱条件のすべてにおいて引張、シャルピー衝撃試験の結果は規格値を十分に満足し、加熱処理の前後において大きな性能劣化がないことを確認した。本鋼材は、道示基準よりも厳しい鋼板表面温度が1 000 の空放冷および水冷のいずれの施工も可能であり、ひずみ矯正においては作業能率の向上が図れるものと考えられる。

（4）予熱

道示での予熱標準は、Pcmと溶着金属の拡散性水素量、標準的な鋼橋の継手拘束度などにより整理され、従来鋼の溶接では、t 25 mmを除いて板厚や溶接法に応じて予熱の実施が要求されている。ただし鋼材のPcmや継手の拘束度によっては標準よりも高温に予熱する配慮も必要とされ、逆に、Pcmが低い場合には標準よりも予熱温度の低減が可能とされている。

BHS500はPcmが 0.20と極めて低く規定されていることから、標準的な継手の拘束状態においては予熱不要と判断される。しかし、継手ディテールによっては高い拘束度と応力集中を考慮した予熱の必要性を評価しておくことも重要である。このことからy形溶接割れ試験（JIS Z 3158）を用いて予熱温度の確認を行った。試験は、CO₂溶接と被覆アーク溶接の室温条件に対し各3体づつとし、JISに従い、表5に試験条件および試験結果を示す。

表5 y形溶接割れ試験条件および結果

試験条件	溶接法	溶接材料	径	予熱温度	相対湿度
	SMAW	L-62CF	Φ4	室温 (20)	60%
	GMAW(CO ₂)	YM-60C	Φ1.2		
	溶接条件				
	SMAW: 170A-25V-15cm/min 入熱量1.7kJ/mm 乾燥400 × 1hr 保管110 吸湿なし GMAW: 280A-30V-30cm/min 入熱量1.7kJ/mm CO ₂ 流量25L/min				
試験結果	溶接法	表面割れ (%)	断面割れ (率 %)	判定	
	SMAW	0	0	割れなし	
		0	0		
		0	0		
	GMAW(CO ₂)	0	0	割れなし	
		0	0		
		0	0		

いずれの溶接法ともに室温20℃、湿度60%において表面割れおよび断面割れは認められず、耐冷間割れ特性が確認された。高拘束度下においても予熱を不要とした施工が可能であり、施工性の向上に寄与するものと考えられる。

(5) 溶接施工性

本鋼材には熱影響部の靱性低下を防ぐため細粒高靱化技術が導入されており、大入熱溶接条件を用いた高能率施工が可能とされている。また、この特性はパス間温度が本四基準（層間温度230℃）よりも高温となる場合においても有効と考えられる。これらの点は、特に施工性の向上に寄与することから、本鋼材に対応可能な組み合わせ溶接材料に対して認識を深めるとともに、入熱量とパス間温度の

組み合わせによって決定される熱履歴が性能に与える影響の調査を行った。調査は道示基準の入熱量（7 kJ/mm）を超えた条件を含め、パス間温度をパラメータとした施工を行い、溶接継手の機械的性質の確認により行った。

CO₂溶接では、一般的に実施されている条件範囲として入熱量5 kJ/mm以下、建築分野での同クラス溶接材料の試験結果³⁾を参考にパス間温度250℃以下での検討を行った。また、タンデムSAW溶接では、本鋼材に規定の最大入熱量10 kJ/mmとともに、パス間温度300℃までの施工を行った。機械的性質の確認は、引張強度やシャルピー衝撃値などの一般的な施工試験項目に加え、参考までに溶着金属の0.2%耐力についても調査した。表6に調査条件を示す。

表6 溶接施工性の調査条件

溶接法	溶接材料	予熱	入熱量	パス間温度()	試験体形状	
CO2溶接	YM-60C 1.2Φ	なし	5	150		
				200		
				250		
タンデム SAW溶接	L:Y-DM 4.8Φ T:Y-DM 4.8Φ フラックス NF-320 32×D	なし	10	200		
				250		
				275		
				300		

試験片形状	
継手引張 溶着金属部の最大幅 + 12	溶着金属引張試験片
CO₂ 溶接	
タンデムSAW溶接	

図1, 2にCO₂溶接の結果を, 図3, 4にタンデム SAW 溶接の結果を示す。なお, 図中には一部別件にて得たデータも合わせて示す。CO₂溶接では入熱量 5.0 kJ/mm, パス間温度 150 ~ 250 の範囲において, タンデム SAW 溶接では入熱量 10 kJ/mm, パス間温度 50 ~ 300 の範囲において, いずれも本鋼材の規格値²⁾を満足していた。また, 曲げ, マクロ試験も特に問題は認められなかった。

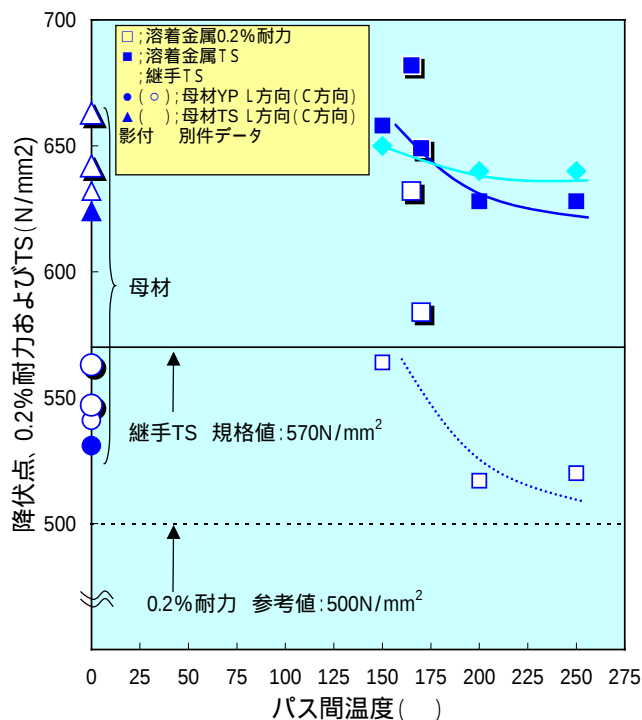


図1 CO₂溶接継手の引張試験結果

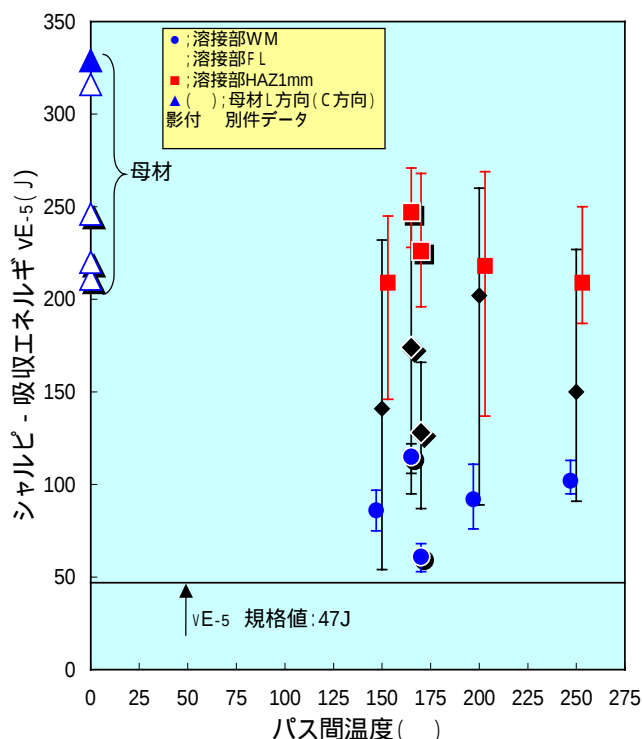


図2 CO₂溶接継手の衝撃試験結果

図1, 2にCO₂溶接の結果を, 図3, 4にタンデム SAW 溶接の結果を示す。なお, 図中には一部別件にて得たデータも合わせて示す。CO₂溶接では入熱量 5.0 kJ/mm, パス間温度 150 ~ 250 の範囲において, タンデム SAW 溶接では入熱量 10 kJ/mm, パス間温度 50 ~ 300 の範囲において, いずれも本鋼材の規格値²⁾を満足していた。また, 曲げ, マクロ試験も特に問題は認められなかった。

以上の結果から, 本鋼材の性能と検討に用いた溶接材料の組み合わせについては, 従来から認識のある施工条件範囲を超えた溶接施工が可能であると判断された。

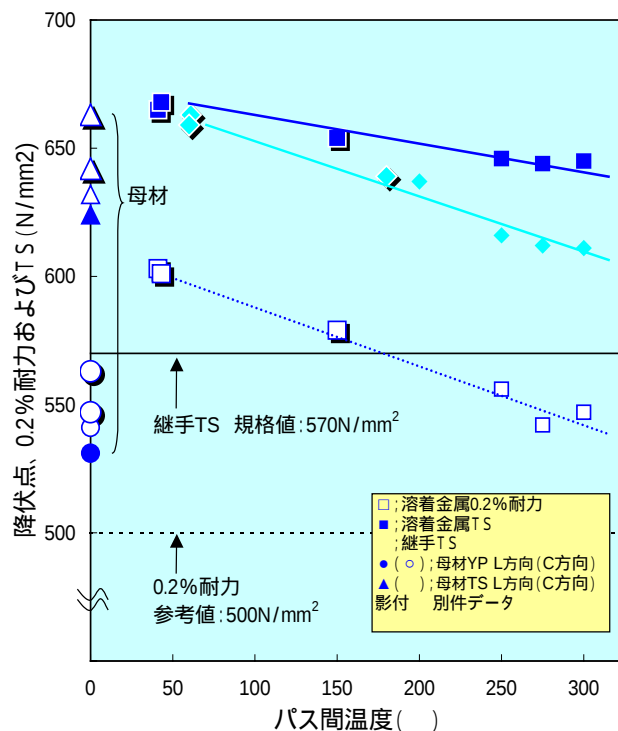


図3 タンデム SAW 溶接継手の引張試験結果

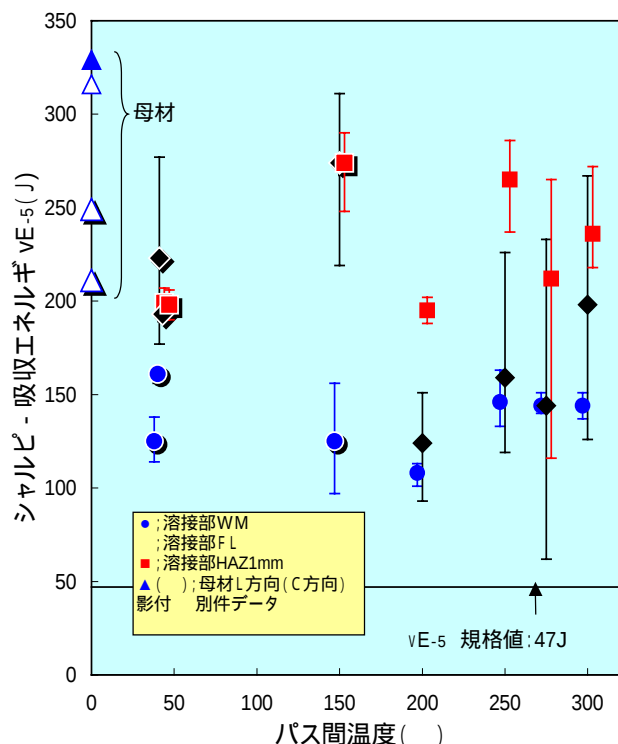


図4 タンデムSAW溶接継手の衝撃試験結果

4. まとめ

BHS500 の特性と施工性について以下の知見を得た。

切断条件やその品質は，従来鋼とほぼ同等であった。

y 形割れ試験では，室温で割れは認められなかった。

鋼材のシャルピー吸収エネルギーは規格値 100 J よりも十分に大きく，冷間曲げの内側半径は目安の板厚 7 倍を越え，板厚 5 倍でも満足することを確認した。

線状加熱は鋼板表面温度 1 000 以下の空放冷および水冷のいずれの条件においても問題はなかった。

CO₂ 溶接では入熱量 5 kJ/mm かつパス間温度 250 ，タンデム SAW 溶接は入熱量 10 kJ/mm かつパス間温度 300 と高能率な施工が可能であった。

橋梁用に開発された BHS500 は，490 N/mm² 級鋼と比較して加工性・溶接性は同等以上であり，従来 570 N/mm² 級鋼と比べ大幅な施工性改善が図られると判断される。

ただ，これまで多くの議論はなされていないが溶着金属部の性能に関して，0.2%耐力での評価や強度マッチングの要求，あるいは更なる高能率施工の要求があった場合に

は，性能と施工性の観点から組み合わせる溶接材料に対する最適性の議論と事前の検討が必要と考えられる。なお，一般に橋梁の実製作では大型継手が多く，溶接部の冷却速度の点で小型試験体よりも有利となる。冷却速度は性能に影響を及ぼす直接因子であることから，これを基に入熱量やパス間温度などの条件を決定することがより合理的であると言え，対象とする溶接部の熱履歴と冷却速度，冷却速度と溶着金属の性能に関わる詳細な検討も今後は重要な検討課題となろう。

5. あとがき

本調査での知見やデータが BHS 鋼材を用いて計画される実橋製作の参考になれば幸いである。

最後に，BHS 鋼材に関するデータ提供ならびに施工性調査の実施にあたり，ご協力頂いた新日本製鐵(株)，日鐵住金溶接工業(株)の皆様には心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 三木，市川，楠，川端：橋梁用高性能鋼材（BHS500,BHS700）の提案，土木学会論文集，No.738/I-64, pp.1-10, 2003.7.
- 2) 日本鉄鋼連盟：降伏点500N/mm²及び降伏点700N/mm²溶接構造用圧延鋼材，2005.3.
- 3) AW検定評議会，研究評価委員会WG5：溶接条件の適正化と溶接

高田機工(株) ○安田修,鷹羽新二,山野達也,森下泰光
住友金属工業(株) 有持和茂,誉田登,西尾大

An Application of Fatigue Proof Steel (FCA) to Steel Plate Girder Bridge
by Osamu YASUDA, Shinji TAKABA, Tatsuya YAMANO, Hiromitsu MORISHITA,
Kazushige ARIMOCHI, Noboru KONDA, Masaru NISHIO

キーワード：耐疲労鋼、疲労試験、CT 試験

Keyword: Fatigue Proof Steel (FCA), Non-load cruciform Fatigue Test, CT Test

1. はじめに

疲労強度の向上技術として、変動応力を低減することがあげられる。一方、材料面からのアプローチが望まれていたが、溶接部の疲労強度を鋼材面で改善することは不可能と考えられてきた。著者らは適切に組織制御された鋼材¹⁾を構造物に適用することにより、疲労損傷の拡大を的確に防止し疲労寿命を効果的に延伸させ、結果的に溶接継手疲労強度を向上しうることを船殻構造を例に実証²⁾している。また、橋梁部材では、鋼製橋脚隅角部を対象部材として、その有効性を確認している³⁾。

本稿では、この疲労特性に優れた鋼材すなわち耐疲労鋼材(以下、FCA 鋼材)の鋼板桁橋への初適用に際して行った、溶接施工試験と疲労試験について、その結果を報告する。

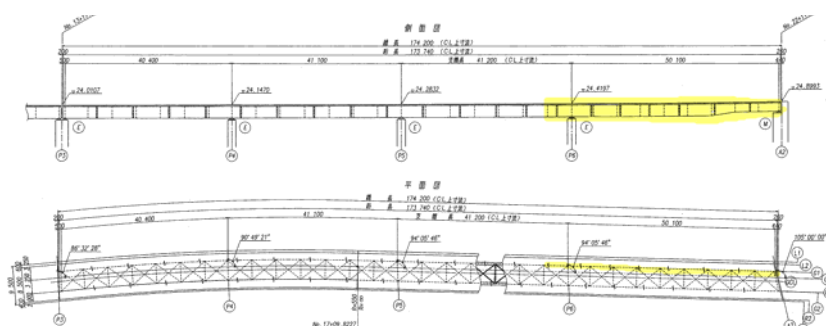


Fig.1 General View

174.2m, 支間割りは 40.4m+41.1m+41.2m+50.1m である。主要鋼材は SMA490BW, SMA570W である。本橋において FCA 鋼材を採用した範囲は、着色部に示す P6～A2

2. 橋梁の概要

対象橋梁は、和歌山県日高振興局殿御発注の 4 径間連続鋼 2 主桁桁橋である。橋梁一般図を Fig.1 に示す。橋長は

Table 1 Welding method and welding material

	Base Material	Thickness	Welding Method	Welding Position	Specimen Mark	Welding Materials (JIS)	Welding Materials Wire
Groove Welding Test	SMA570W -H-FCA	49	GMAW	Flat	G1G-F	Z3315 YGA58W	MGW-588

間 1 径間の G1 主桁および主桁本体付き仕口部の範囲とした。

3. 工場溶接施工試験

突合せ溶接継手試験を実施した。試験に用いた溶接法と溶接材料を、Table 1 に示す。



Fig.2 Macro specimen

突合せ溶接継手のマクロ試験結果を Fig. 2 に示す. 機械試験は Table 2 に示すように全て良好な結果が得られた。

4. 疲労試験

疲労き裂発生試験と疲労き裂進展試験の 2 種類の試験を実施した. 試験の概要を Table 3 に示す.

疲労き裂発生試験の結果を Fig. 3 に示す. 図より, FCA 鋼材には, 今回試験した応力

範囲で 1.6 から 2.5 倍以上の疲労寿命の延伸効果が確認できた. また, 応力範囲の小さい

ほうが延伸効果が大きいことが確認された.

次に, 疲労き裂進展試験の結果を Fig.

4 に示す. 図より, FCA 鋼材は一般鋼材に比べて約 1/2~1/3 程度に進展速度が低減することが確認できた.

Table 2 Test results

Material	Base plates				Welded joints		
	thickness (mm)	YP (MPa)	TS (MPa)	vE-5 (J)	TS (MPa)	Bending	vE-5 (J)
SMA570W-H-FCA specification	49	463	650	257	654	No Crack	88
		≥450	570/720	≥47	≥570	No Crack	≥47

Table 3 Fatigue test

Test Class	Test item	Shape of Specimen	Test method
Fatigue crack initiation test	Non load carrying cruciform welded joint fatigue test	JIS Z3103	JIS Z 3103
Fatigue crack growth test	Fatigue crack growth test	ASTM E-647	ASTM E-647

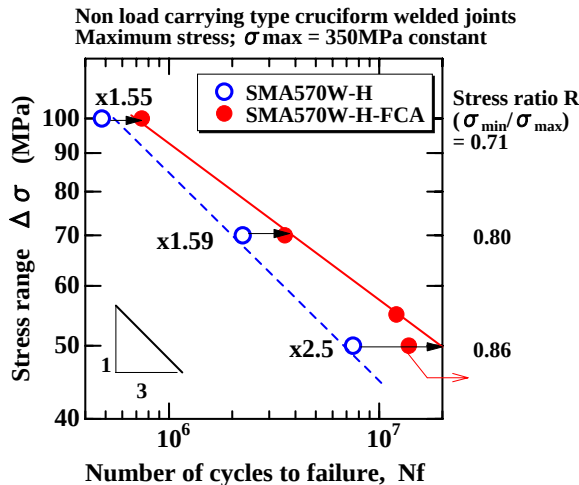


Fig.3 S-N relationship

5. まとめ

鋼桁橋へ耐疲労性能に優れた FCA 鋼材を適用すべく, 試験を実施した. 溶接施工試験および疲労試験結果より, 良好な溶接性能と疲労き裂発生進展抑制性能を確認することが出来た. その結果, 本開発鋼の橋梁への初適用が実現された. 実橋への FCA 鋼材採用にあたって, 和歌山県日高振興局殿には多大なご理解, ご協力を賜りましたことをここに厚く御礼申し上げます. 【参考文献1) ~3) 菅田ら, 日本造船学会論文集, 溶接構造シンポジウム04 講演論文集】

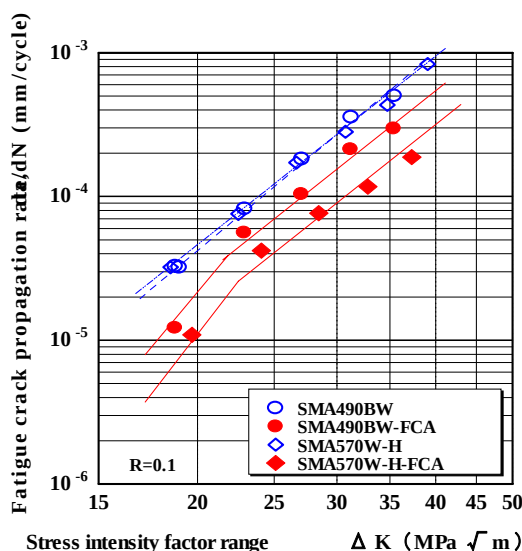


Fig.4 Fatigue crack growth test results

() 耐疲労鋼による鋼床版橋梁の疲労強度改善

高田機工 (株) 安田修, 〇鷹羽新二, 森下泰光, 永木勇人
住友金属工業 (株) 有持和茂, 大西一志, 誉田登

Study on Improvement of Fatigue Strength for Steel Plate Deck Bridge by Using Fatigue Proof Steel (FCA)

by Osamu YASUDA, Shinji TAKABA, Yasumitsu MORISHITA, Hayato
NAGAKI, Kazushige ARIMUCHI, Kazushi ONISHI, Noboru KONDA

キーワード：鋼床版，耐疲労鋼，Ｕリブ溶け込み

Keyword: Steel plate deck, Fatigue Proof Steel (FCA), U-rib weld penetration

1. はじめに

既存の鋼床版橋梁において交通量の著しい増加や過積載車の影響と考えられる疲労損傷が散見されている。問題解決としては、溶接余盛り止端形状の仕上げやデッキプレートの厚板化が考えられるが、これらの手段は、製造工数の増大や構造物の重量増加を招き、鋼床版構造が持つ軽量という優れた特性が失われる。本研究では母材部における疲労き裂進展抵抗性に優れ、かつ、低応力・長寿命域における溶接部の疲労き裂発生特性に優れた耐疲労鋼 (FCA 鋼) を鋼床版に適用し疲労強度を高めることを検討した。

鋼床版の疲労損傷のうち Fig. 1 に示す溶接ルート部から発生するき裂については、デッキプレート上の舗装に妨げられてき裂の発見が難しく、また道路陥没など直接道路交通への影響が懸念されるき裂である。

Fig. 2 は道路橋示方書に規定されている U リブ板厚の 75% 溶け込みを再現しているビード形状である。FEM によると、このような部分溶け込み溶接モデルでは、U リブ外面側の溶接止端部と U リブ内面側のルート部に応力集中があり、これがき裂の発生原因になっていると考えられる。

2. 小型疲労試験方法

実験では、鋼床版構造の疲労特性に及ぼす鋼材の影響を定量的に評価するため、小型試験体による疲労強度評価を行った。デッキプレート鋼材質は従来鋼および耐疲労鋼の 2 種類、U リブ溶込み深さは道路橋示方書の最小規定値 75% を

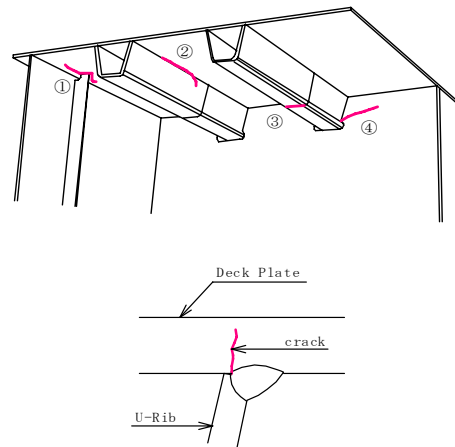


Fig. 1 Damage patterns of deck plate U-rib

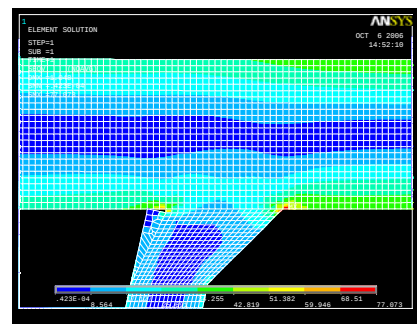


Fig. 2 Analysis result (Equivalent stress)

目標とした．試験体

Table 1 Fatigue test pieces

の組合せを
Table 1 に示
す．溶接施工
方法は炭酸ガ
スアーク溶接

No. of test piece	Symbol	Material		Welding process	Penetration rate of U-rib		Weld detail	
		Deck plate (SM490YA)	U-rib (SM400A)		Target	Actual (average)		
FG-1	▲	FCA	Conventional	GMAW	75%	75.0%	Welded toe by grinding and peening	
FG-2						63.3%		
CG-1	△	Conventional						71.7%
CG-2								71.7%

法（1 パス目）および 80%Ar+20%CO₂シールドガスによるMAG溶接法（2 パス目）である．実橋における疲労損傷の影響度からは，溶接ルート部から発生しデッキプレートに進展する疲労き裂が問題となるので，(Fig. 1 下)Uリブ外側の溶接止端部をグラインダー仕上げおよびピーニング処理とすることにより，疲労き裂を溶接ルート部から発生させることにした．

また，疲労試験体形状を Fig. 3 に示す．ダブルタイヤがUリブの立板をまたぐことを想定した载荷とし，4 点曲げ負荷における内スパンの負荷位置を図のように設定した．応力範囲の測定に際しては，ひずみゲージを貼付し，ホットスポット応力を導出し，疲労試験結果の整理に用いた．

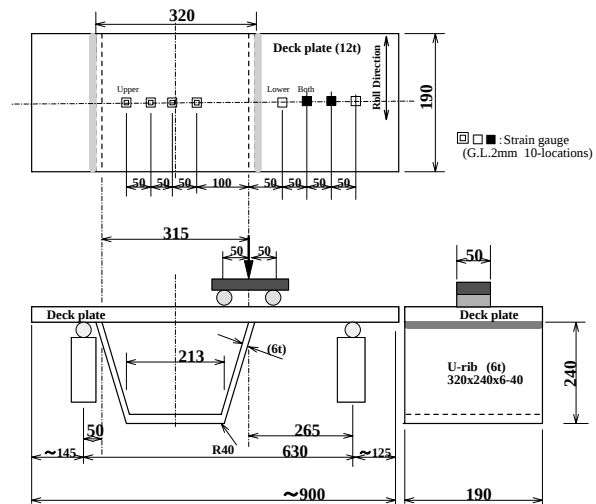


Fig. 3 Shape of specimen used



Fig. 4 Example of root fracture

3. 小型疲労試験結果および考察

ルート部を起点とする疲労き裂の発生・進展状況の一例を Fig. 4 に示す．ルート部を起点とする疲労試験結果（S-N 線図）を Fig. 5 に示す．低応力範囲の 2 鋼種を比較すると耐疲労鋼が従来鋼の 5 倍程度疲労寿命が長い結果となった．低応力域での疲労寿命改善効果が特に著しい．

4. 結 言

耐疲労鋼を鋼床版構造に適用した場合の疲労強度特性について実験を行った．载荷方法を考案し，コンパクトな疲労試験体に対して，想定どおり応力集中度の高い箇所であるルート部からデッキプレートへ伸展する疲労き裂を再現することができた．

実験結果より鋼材を従来鋼から耐疲労鋼に置換えることにより，低応力域における疲労寿命が向上することがわかった．

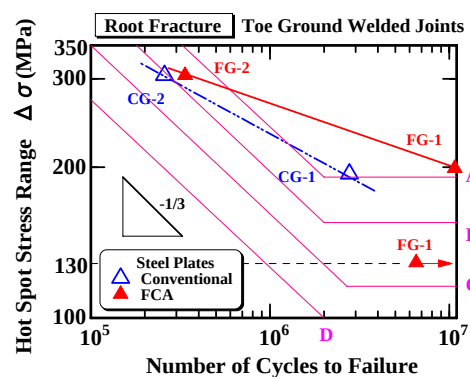


Fig. 5 S-N curve of FCA and conventional steel