

YES 36 を用いた合成桁橋の設計施工について

正員 ○東 山 庸*

正員 西田勝太郎**

萩野福次***

(1) ま え が き

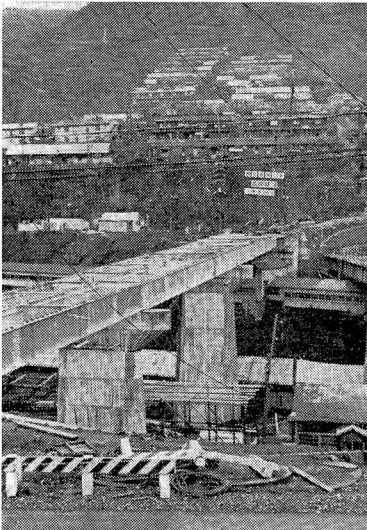
夕張市錦橋は昭和初期の建造であり、最近の交通量の増加による拡幅の必要性が生じてきた。また、橋自体の耐用年数も限界にきていたので、現在の錦橋と並行して、錦橋の架換工事を行なうことになった。

錦橋の架換工事にあたり、施工条件等を考慮しながら、工期が短く、経済的に有利であり、かつ、安全・確実な新工法の採用について検討した。

その結果、新高張力鋼“YES 36”を用いた合成桁鋼橋工法を採用することになった。本工法の採用にあたってYES 36の溶接性、特に、寒冷地における鋼材の冷間脆性に関して慎重に検討して、各種の予備テストを施行して萬全を期した。

(2) 錦橋の一般概要

錦橋の特異性としては、国鉄丁末線および、資材輸送用



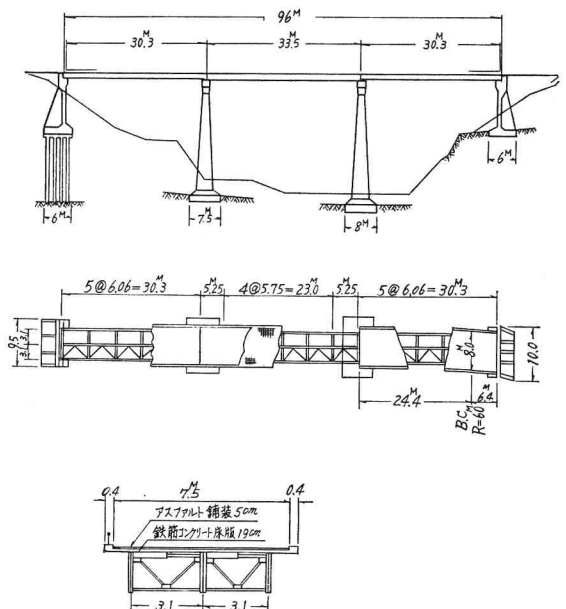
写真—1

トロ線の跨線橋であるとともに、シホロカベツ川、北炭1砒ベルトコンベヤー建屋、2砒ベルトコンベヤー建屋および、倉庫・事務所などの多くの構築物の横断橋としての性格を有していることである。

従って、これらの構築物に対して、支障を生じないような橋構造を採用した。

錦橋の諸元は次のようになっている (写真-1)。

所在地	夕張市福住7番地
橋 格	1等橋
型 式	活荷重合成桁橋 TL 20
橋 長	96 m
支 間	30.8 m + 34 m + 30.8 m
幅 員	7 m (一部 7.5 m)
縦断勾配	1.1%
横断勾配	1.5%



図—1

* 夕張市役所 技師

** 北炭機械工業(株)鉄骨橋梁部長

*** 八幡製鉄(株) 技師

施工業者および製作メーカーは次の各社である。

上部工の製作メーカー	北炭機械工業(株) 滝川工場
下部工の施工業者	北炭建設(株)
架 設 業 者	同 上
鋼材製造メーカー	八幡製鉄(株)
溶接棒製造メーカー	八幡溶接棒(株)

(3) YES 36 の特性および示方書概要

(3)-(1) YES 36 の特性概要

最近の技術革新の発展により、鋼材の品質は非常に向上しつつある。特に、高張力鋼の分野においては、品質の向上とともに、各工法に対して適合するような、優秀な新製品が開発されつつある。

YES 36 は、降伏点 36 kg/mm² 以上の高張力鋼であり、いわゆる 50 キロ級高張力鋼 (引張り強さ 50 kg/mm²) として開発された新構造用鋼である。

従来の 50 キロ級高張力鋼は、そのほとんどが Si-Mn 系のキルド鋼で製造されているが、この YES 36 は微量の特

殊元素である Nb 元素または V 元素を添加したセミキルド鋼である。

YES 36 の特長としては、従来の 50 キロ級高張力鋼に比較して、降伏点が高く、しかも機械的性質、溶接性にも優れ、かつ、セミキルド鋼であるため価格が低廉であり、入手も比較的容易である。また、高張力鋼であるので、一般鋼材に比較すれば、約 20% の鋼材の節約が可能である。

従って、橋梁材として将来を非常に期待されている新製品である。特に、今回の夕張市の如く寒冷地における冷間脆性に関しては、優れた性能が発揮される。

YES 36 の化学成分、および、機械試験値表-1 および表-2 のようになっている。

表-1 YES 36 の化学成分

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Nb+V (%)
0.23以下	0.15以下	1.40以下	0.035以下	0.040以下	0.15以下

表-2 YES 36 の 機 械 試 験 値

形 状	引 張 試 験					曲 げ 試 験		
	引張強さ (kg/mm ²)	降 伏 点 (kg/mm ²)	伸 び			曲げ角度 (°)	曲げ半径 (t)	試 験 片
			厚 さ (mm)	試 験 片	%			
鋼板形鋼	50 以上	36 以上	5 未 満	JIS 5 号	19 以上	180	1.5	JIS 1 号
			5 以上 12.5 未満	JIS 1 号	17 以上			
			12.5 以上	JIS 1 号	19 以上			

注 試験片のとり方は次によります。

同一溶鋼に属する鋼板についてその厚さの差 5 mm 未満のものを一括して 2 個、ただし 25 t 以下のときは 1 個とります。

また、製品形状、ならびに、製品寸法許容差は JIS-G-3106 (溶接構造用圧延鋼材) に準拠して製造されている。

(3)-(2) YES 36 の溶接性

最近の溶接技術の進歩は非常に顕著であり、造船・橋梁・建築その他、一般構造物に多くの溶接構造が採用されるようになった。

溶接構造が多く採用されるようになるとともに、溶接性の問題も深く研究されるようになり、溶接性の良否を判定する試験法も発達してきた。

鋼材の溶接性、特に、高張力鋼の溶接性に関して、最も注意が払われているのは、溶接部の靱性を高め、脆性破壊に対する抵抗力を強めるようにすることである。

高張力鋼の場合には、一般に溶接による母材の熱影響部が硬化されて、溶接部全体の靱性が相当に低下する傾向が強い。

YES 36 はこれら溶接の際に発生する脆弱性、その他の欠陥が発生しないような材質を有する高張力鋼である。

鋼材の溶接性の良否を判定する試験として、一般に、母

表-3 シャルピー衝撃試験値表

板 厚 (mm)	試 験 片 採取方向	2 mm V ノ ッ チ			5 mm U ノ ッ チ
		Tr ₁₅ (°C)	Tr _s (°C)	E _o (kg-m/cm ²)	Tr ₁₅ (°C)
12	L	-30	-12	9.5	—
	C	-26	-11	6.0	—
25	L	-32	-23	11.2	-50
	C	-29	-23	6.0	-48
32	L	-27	-22	9.0	—
	C	-23	-21	5.5	—

注 L: 圧延方向に平行

C: 圧延方向に直角

Tr₁₅: 15 ft-lb (2.6 kg-m/cm²) のエネルギーを加えた時破断する温度

Tr_s: 靱性破面が 50% を示す温度

E_o: °C における破断エネルギー

材に対しては衝撃試験を行ない、溶接部に対しては硬度試験および、機械試験を行なう。

(a) 母材 (YES 36) の衝撃試験

衝撃試験としては、シャルピー衝撃試験が通常実施されている。このシャルピー衝撃試験には試験片のノッチの形状により、V ノッチと U ノッチの試験が行なわれる。一般には、V ノッチ試験片による試験を採用している。

YES 36 のシャルピー 衝撃試験値は表-3 および 図-2 のようになっている。

また、YES 36 のシャルピー試験の遷移曲線は 図-3 および 図-4 のようになっている。

(b) 溶接部の硬度試験

高張力の溶接には、それに適合した溶接棒を選定する必要がある。YES 36 には低水素系溶接棒 ㊦ L-55 が適合する。

㊦ L-55 溶接棒の性能概要は表-4 のようになっている。

YES 36 を ㊦ L-55 溶接棒で溶接した時の溶接部の硬度

表-4 ㊦ L-55 溶接棒の性能概要
機 械 的 性 質

	降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	衝 撃 値 (0°C) (kg-m/cm ²)
範 囲	42~50	52~58	28以上	(2mm V ノッチ) 20以上

溶着金属の化学成分 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu
範 囲	0.05~ 0.10	0.50~ 0.75	0.80~ 1.10	0.020 以下	0.020 以下	0.15 以下

溶接電流範囲 (amp)

溶 接 姿 勢	棒 経 (mm)	2.6	3.2	4	5	6
	棒 長 (mm)	300	350	400	400	450
下 向	向	7~100	100~ 140	150~ 190	190~ 240	250~ 300
	立向および下向	60~90	80~ 120	110~ 150	130~ 170	

分布は 図-5 のようになっている。

(c) 溶接部の機械性質

YES 36 を ㊦ L-55 溶接棒で溶接した時の溶接部の機械

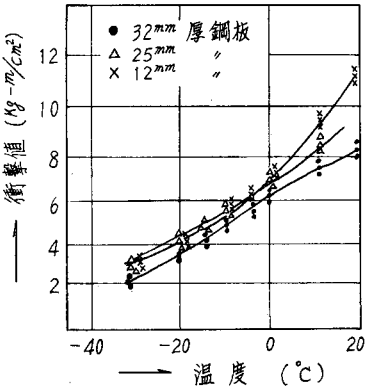


図-3 2mm V ノッチシャルピー試験遷移曲線 (C 方向)

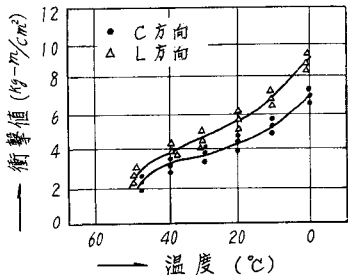
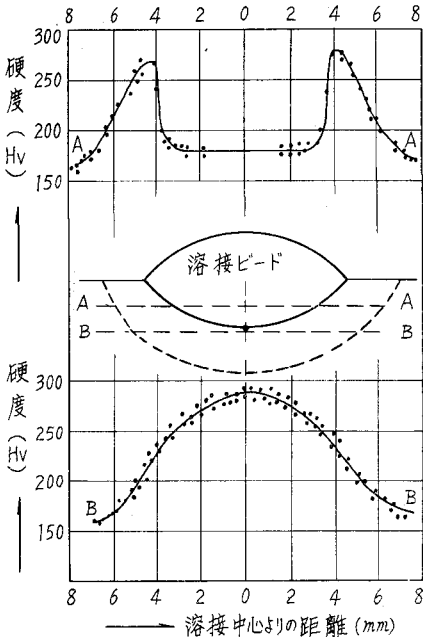


図-4 5mm U ノッチシャルピー試験遷移曲線 (板厚 25mm)



・溶接棒 L-55, 4mmφ ・速度 150 mm/min
・電 流 180 Amp ・板 厚 25mm
・電 圧 25 V

図-5 YES 36 のビード部の硬度分布

表—5 YES 36 の溶接部分の機械試験 (引張りおよび曲げ試験)

板 厚 (mm)	処 理	引 張 試 験 (JIS 4 号試験片)				自由曲げ試験		側曲げ試験	
		降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	切断箇所	伸 び (%)	判 定	曲げ径 (mm)	判 定
25	溶接のまま	42.4	52.9	28.0	母 材	36.1	良 好	18	180° 良 好
32	溶接のまま	42.9	54.7	34.0	母 材	48.3	良 好	18	180° 良 好

表—6 YES 36 設 計 示 方 概 要

1. 機 械 的 性 質	
抗 張 力	$\geq 5,000$ (kg/cm ²)
降 伏 点	$\geq 3,600$
伸 び 率	$\geq 19\%$
降 伏 比	72%
降伏点/許容応力	
引 張	1.72
圧 縮 ($\lambda=0$)	1.80
抗張力/許容引張応力	2.38
許容引張応力/許容セン断応力	1.75
弾 性 係 数	2.1×10^6
セン断弾性係数	8.1×10^5
(ポアソン比)	0.3
2. 軸方向引張応力度 (純断面について)	2,100
3. 軸方向圧縮応力度 (総断面について)	
圧 縮 部 材	$0 < l/r \leq 80$ $2,000 - 0.137(l/r^2)$
圧 縮 添 接 材	$l/r > 80$ $7,200,000/(l/r)^2$ 2,000
	$l = \text{部材長さ (cm)}$ $r = \text{部材総断面の断面 2 次半径 (cm)}$
4. 曲 げ 応 力 度	
桁 の 引 張 縁 (純断面について)	2,100
桁 の 圧 縮 縁 (総断面について)	$2,000 - 1.37(l/b)^2$ ただし $l/b \leq 30$
	$l = \text{フランジ固定点間の距離 (cm)}$ $b = \text{フランジの幅 (cm)}$
5. セン断応力度 プレートガーダーの腹板 (総断面について)	1,200
支 圧 応 力 度	
工場リベット	3,300
現場リベット	2,970
6. 腹板の厚さ リベット桁 溶 接 桁	$t \geq D/136$ $t \geq D/128$ $D = \text{腹部の上下フランジによる固定点間距離}$
板の純圧縮厚	$t \geq b/32$ $b = \text{固定点間距離}$
7. 補剛材の間隔 セン断力のみ	$d = \frac{3,000}{\sqrt{\tau}} t$
セン断力およびモーメント	$\left(\frac{\sigma}{2,100}\right)^2 + \left\{\frac{\tau}{(3,100 t/d)^2}\right\}^2 \leq 1$
無補剛材の限界	$h/t = 55$
フ ラ ン ジ 幅	$b \leq 24 t$

性質は表-5のようになっている。

(3)-(3) YES 36 の設計示方概要

第三次道路整備5カ年計画の実施による道路の新設、改修は急速に推進されている。

この道路整備計画により、道路橋の架設は急増しつつある。また、最近の橋梁技術の進歩は著しく、これに伴って道路橋にも高張力鋼の使用が増加しつつある。

しかし、従来の SS 50, SM 50 などの 50 キロ鋼の降伏点は、諸外国の最近の 50 キロ鋼に比較して低きに失するう

らみがあり、橋梁部材として使用し難い点があった。

昭和 39 年 11 月“新 50 キロ鋼委員会”において、我が国の橋梁学の権威者による試験と研究の結果、降伏点が高く、溶接性に優れた、新鋼材 YES 36 の設計仕方書の決定が行なわれた。

この、鋼道路橋 YES 36 設計示方書 (案) および、溶接鋼道路橋 YES 36 設計示方書 (案) に基いて、今回の錦橋の架換工事の設計を行なった。

設計示方概要は表-6のようになっている。

表-7 夕張市における冬期間日最低気温表 (40. 11. 24)

日付	12 月				1 月				2 月				3 月			
	36年	37	38	39	37	38	39	40	37	38	39	40	37	38	39	40
1	- 8	- 9	- 9	-12	-12	-17	-12	- 8	-16	-14	-10	-19	-16	- 9	-13	-15
2	5	5	6	8	5	9	19	11	12	13	13	21	15	16	14	24
3	9	5	10	11	6	11	16	18	12	8	12	18	10	15	13	20
4	2	12	7	13	6	21	13	13	9	13	19	21	8	14	12	24
5	10	11	1	9	6	20	11	19	12	17	17	18	17	13	8	24
6	11	14	6	5	13	13	11	18	16	20	14	23	10	12	10	14
7	10	11	5	9	18	4	13	18	14	18	19	16	12	12	9	12
8	9	10	4	13	9	5	20	5	17	16	17	18	12	6	10	10
9	10	10	5	11	12	9	18	7	7	16	23	11	6	12	15	14
10	4	10	7	16	19	14	11	7	7	15	19	14	8	12	12	9
11	6	10	7	14	19	12	13	15	7	12	15	20	10	13	8	10
12	5	9	11	17	11	15	12	8	19	9	20	20	19	12	11	11
13	13	11	9	16	8	15	5	6	18	18	15	13	17	12	14	8
14	+ 3	9	10	12	11	14	9	16	17	15	13	7	15	10	12	5
15	-12	9	14	11	18	10	14	13	20	12	14	18	7	2	10	11
16	12	8	11	16	20	14	13	16	19	10	11	22	10	8	5	9
17	13	11	5	13	12	9	12	14	10	19	16	23	8	7	10	8
18	8	9	11	8	16	19	15	7	18	18	18	19	7	7	12	10
19	8	7	14	12	17	14	14	8	16	16	20	17	12	2	11	6
20	13	16	13	15	9	20	20	13	14	15	18	13	12	+ 3	4	13
21	14	16	12	12	5	19	18	17	16	17	21	8	7	7	12	13
22	12	11	11	15	5	19	13	18	16	14	18	10	9	8	10	14
23	7	14	8	2	18	18	16	16	19	6	17	12	13	3	13	13
24	15	15	+ 1	3	10	18	12	17	17	3	20	17	13	2	9	4
25	-10	-11	- 9	12	18	20	15	15	20	5	16	15	8	4	6	9
26	8	19	14	11	16	18	18	14	19	5	11	14	2	5	12	11
27	7	19	18	14	18	12	13	20	12	11	19	12	4	6	7	7
28	11	15	13	18	13	10	17	17	18	10	19	14	8	2	5	9
29	13	12	10	12	9	14	6	13			18		15	16	6	8
30	11	9	11	6	6	15	20	11					12	8	2	10
31	12	17	13	11	10	13	17	10					8	+ 1	0	3
平均	-9.2	-11.3	-9.1	-11.5	-12.0	-14.2	-14.0	-13.1	-14.0	-13.0	-16.6	-16.1	-10.6	-8.0	-9.5	-11.5

(4) 主桁製作について

本橋の一般図は図-1に示しているが、YES 36を使用して主桁を製作した。

夕張市における冬期間日最低気温は表-7に示しているが、 -20°C 程度に気温が低下することがしばしばある。

従って、橋梁部材 YES 36 の -20°C における溶接部の低温靱性を確保する必要がある。

この必要性により、使用鋼材の冷間脆性の予備テストを次の概要にて施行した。

- i) 試験月日 昭和40年6月24日
- ii) 試験方法 シャルビー衝撃試験
(2mm V ノッチ)
- iii) 試験湿度 -20°C
- iv) 試験片厚さ 32mm
- v) 試験片数 3個

この試験結果は次のようになった。

試験結果 $5.4\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ (3個平均)

この試験片の機械試験値は次の通りである。

- i) 引張り強さ $53\text{kg}/\text{mm}^2$
- ii) 降伏点 $37\text{kg}/\text{mm}^2$
- iii) 伸び 34%
- iv) 曲げ 良好

前記の予備テストにより、母材 YES 36 は良好な材質であると保証されたので、この母材を㊟ L-55 溶接棒によりツキ合せ溶接の予備テストを施行した (写真-2)。

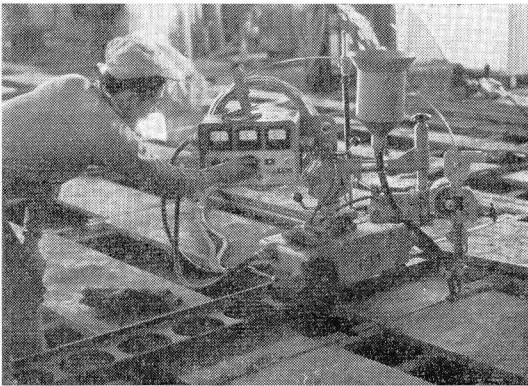


写真-2

この、ツキ合せ溶接により、次の欠陥の発生が見られなかった。

- | | |
|-------------|------------|
| i) 割れ疵 | vii) 強度 |
| ii) 気泡 | viii) 延性 |
| iii) 介在物 | ix) 切欠脆性 |
| iv) アンダーカット | x) 疲労 |
| v) 析出脆化 | xi) クリーブ強度 |
| vi) 黒鉛化 | xii) 耐食性 |

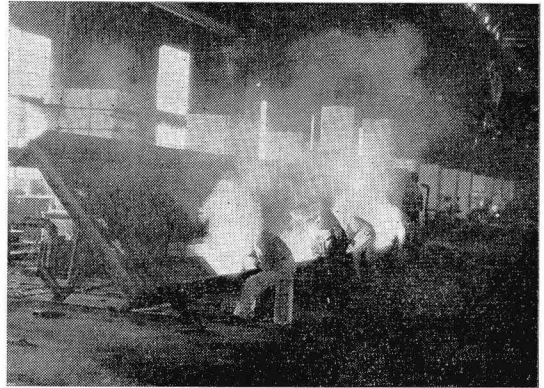


写真-3

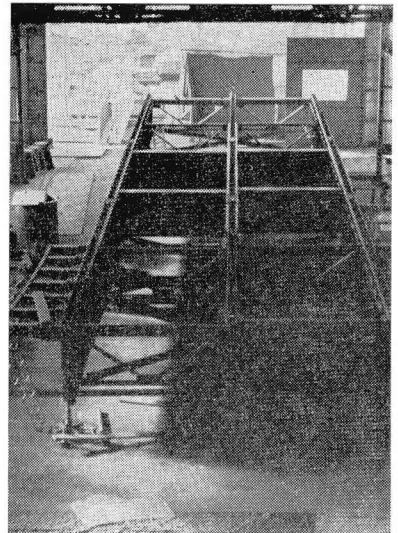


写真-4

以上の予備テストにより、YES 36 および、㊟ L-55 溶接棒、ならびに溶接方法が良好であると確認されたので、北炭機械工業(株)滝川工場において上部工の製作を行なった (写真-3, 4)。

(5) あとがき

最近の技術革新とともに、橋梁部材として高張力鋼の使用が検討され、次第にその使用が増加されつつある。

しかし、寒冷地である北海道においては、高張力鋼の溶接部の冷間脆性の問題が十分に満足され得ないので、その採用には慎重であった。

YES 36 は橋梁部材として非常に優秀な性能を有していて、既に、埼玉県岩井堂橋、神奈川県大畑橋、山形県向井橋、秋田県泉沢橋などの合成桁橋梁の主桁に使用されている。しかし、北海道においては未だ使用されていなかった。

今回、本橋の架換工事にあたり、北海道において始めて

の YES 36 を主桁とした合成桁橋梁が採用され、期待された如く、優秀な状況にて施工された。

今後とも、北海道の寒冷地においても YES 36 の橋梁部材として採用が期待されるようになった。

なお、錦橋架換工事の設計・製作・施工にあたり、北海道大学工学部渡辺昇工博の多大なる御指導に対して深謝いたします。