

鉄道古桁の補修・補強時の継手試験

Tests for the Repair and Reinforcement of Joints on Aged Steel Girders Used in Railway Bridges

伊東 孝* 岩崎 富雄** 佐藤 徹***
 Takashi ITOH Tomio IWASAKI Tohru SATOH

Summary

For maintenance of steel girders superannuated due to corrosion and other causes, repair, reinforcement, remodeling, etc. are performed. For such maintenance, the relationship between the construction methods for field joints and their strength has not yet been defined.

To determine this relationship, various tests were performed on high-strength bolt joints and welded joints of the corroded steel girders of an actual bridge.

From the results of these tests, it was proved that the flame cleaning of contact planes is effective as a maintenance method for high-strength bolt joints. In the case of welded joints it was proved that they created no real problem if they were constructed with welding materials appropriate to the strength of the steel materials.

1. はじめに

現在供用されている鋼桁の中には、腐食等により損傷した古い橋梁が数多く含まれており、これら旧橋の損傷状況の適正な評価及び維持管理は、経済性・安全性の面から重要なテーマとなっている。

その維持管理の一つの対策として、補修・補強・改造を行なうことが挙げられるが、その際に問題となる現場継手の施工方法と強度の関係が明確にされていない。そこで、実際に腐食桁を用いて高力ボルト継手及び溶接継手に関する各種試験を実施したので、以下に報告する。

2. 試験概要

(1) 鋼材の強度及び成分分析試験

使用鋼材は旧国鉄の神流川橋梁からの発生桁で、材質が不明確であることから継手試験を実施するに当たり、静的引張試験及び化学成分分析試験により鋼材の機械的性質を調査することとした。静的引張試験の種類を表-1に示す。

化学成分分析試験は、ウェブプレート・フランジプレート・L形鋼から試験片を採取し、主に溶接性を調べる目的から、C・Mn・Si・P・Sの5成分を分析することとした。

表-1 素材引張試験の種類

種類	試験片採取箇所	試験片個数	試験片形状
母材	L.Flг	3	
	Web	3	
孔明き母材	リベット孔	L.Flг	
		Web	
	新規孔	L.Flг	
		Web	

(2) 高力ボルト継手試験

高力ボルト継手に対する継手耐力を把握するために、軸力試験及びすべり試験を行なった。使用したボルトは高力六角ボルト (F10T・M22) で、接触面の表面状態を表-2に示す様に6タイプとし、各種の表面状態を定量的に把握する目的で、表面粗さと塗膜厚の測定を行なった。試験体の形状を図-1に示す。

軸力試験は、ボルトに貼り付けたひずみゲージにより14日間にわたる締付ボルト軸力の経時変化(軸力減少)の測定を行なった。すべり試験は、軸力試験終了後に継手試験体の静的引張試験によりすべり荷重を測定し、ボルト軸力との関係から継手のすべり係数を求めた。尚、

* 千葉工場製造部生産技術課長 *** 千葉工場製造部生産設計課
 ** 千葉工場製造部生産技術課係長

表-2 高力ボルト継手試験体の種類

表面処理	採取位置	試験体数	記 事
無処理(腐食面)	L. Flg	3	カバープレートとの重ね合わせ面使用
1種ケレン	Web	3	グリッドブラスト (グリッド材質: 鑄鉄 " 粒度: #50(70%) + #30(30%))
2種ケレン	//	3	ディスクサンダー
3種ケレン	//	3	//
1種ケレン後 ジंक処理	//	3	グリッドブラスト後 厚膜型無機ジंकリッチペイント塗布
火炎処理	//	3	ガス: アセチレン(1 kg/cm ²) 酸素(7~8 kg/cm ²)混合

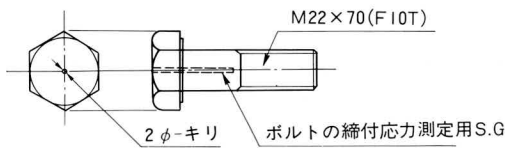
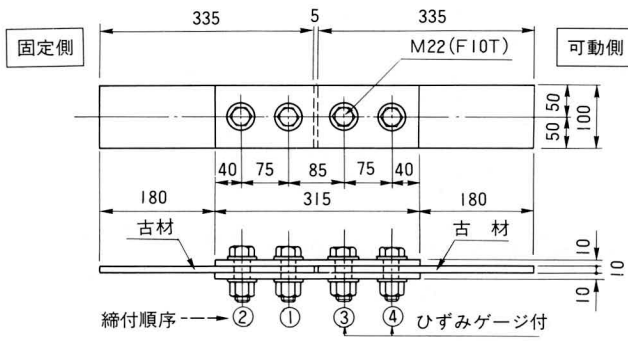


図-1 高力ボルト継手試験体形状

締付ボルト軸力は、継手のすべり以前に旧材が降伏しない様に、設計ボルト軸力(20.5ton)の約60%の12.5ton/本を目標とした。

(3) 溶接継手試験

老朽桁への溶接施工性を調べるために、突合せ溶接・十字隅肉溶接の継手引張試験による継手強度の測定及び最高硬さ試験による溶接熱影響部の硬さの測定を行なった。試験の種類について表-3に示す。また試験体形状を図-2に示す。

表-3 溶接継手試験体の種類

種 類	継手試験			溶接継手試験				最高硬さ試験			
	突合せ溶接	十字形すみ肉		溶接継手試験				最高硬さ試験			
工法	工法 I (下向)	工法 II (立向上進)	工法 III (立向上進)	工法 I (水平)	工法 II (立向上進)	工法 III (立向上進)	工法 IV (上向)	工法 I (下向)	工法 II (立向上進)	工法 III (上向)	工法 IV (下向)
試験体号	WT1	WT2	WT3	WS1	WS2	WS3	WS4	H1	H2	H3	H4
採取箇所	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
個体数	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
引張試験片数	3	3	3	3	3	3	3	-	-	-	-
マクロ試験片数	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-
硬さ試験片数	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1

* I 予熱50℃(目標温度)

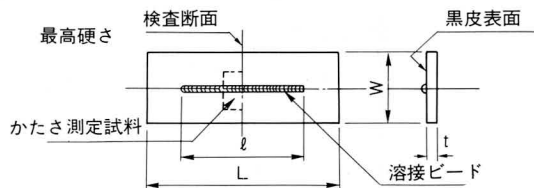
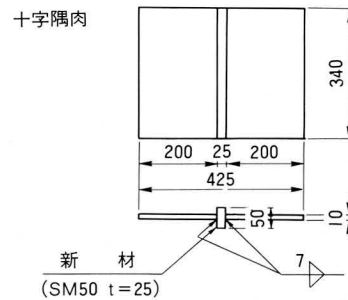
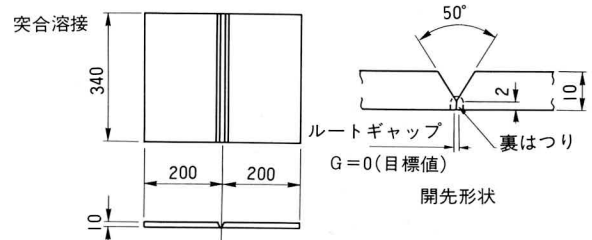


図-2(a) 溶接継手試験体形状

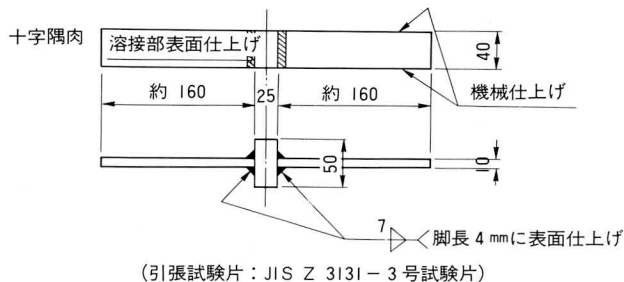
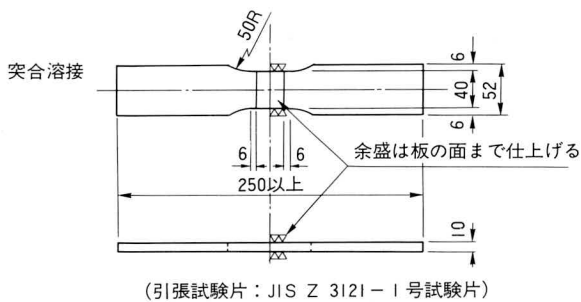


図-2(b) 引張試験片形状

3. 試験結果及び考察

(1) 鋼材の強度及び成分分析試験

素材引張試験結果を各試験毎の平均値としてまとめ表-4に示す。

母材の結果では、JISのSS41の規格値を満足している。孔明け母材では、強度は母材より若干高い傾向にある。但し、伸びは著しく小さい値であり、これは孔周辺の局所的な変形によるものと考えられる。

また、化学成分分析試験結果を表-5に示す。

この結果、ウェブ、フランジ材ではMn・Sが若干多いがSS41のJIS規格内にあり、この鋼種として取り扱うなら溶接施工上特に問題は無いと考えられる。これ

表-4 素材引張試験結果

種類	試験片採取位置	降伏点 又は耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	破断位置	
母材	L.Flg	26	43	29	A*	
	Web	29	45	27	B*	
孔明け母材	リベット孔	L.Flg	33	48	4	孔部
		Web	30	47	4	//
	新規孔	L.Flg	33	46	3	//
		Web	31	48	3	//
(JIS規格) SS41		≥25	41~52	≥17		

* JIS Z 2241による。

表-5 化学成分分析結果

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	備考
F(フランジ)	0.20	0.04	0.54	0.009	0.036	
W(ウェブ)	0.22	0.04	0.43	0.006	0.036	
L(L型鋼)	0.19	0.04	0.55	0.038	0.041	
〈参考〉						
SS41	—	—	—	≤0.050	≤0.050	JIS

に対しL形鋼は、Mn・P・Sが多く溶接施工上、割れの発生が懸念されるため施工の際は十分な注意が必要である。

以上のことから、旧材の機械的性質について、鋼板はSS41相当と考えて差しつかえない。

(2) 高力ボルト継手試験

継手接触面の表面処理状態を写真1~6に示す。また、各継手における表面粗さ及び塗膜厚の測定記録を、表-6に示す。無処理(腐食面)では、さび止めペイントが残存しており表面は粗い。1種ケレンは良好な表面状態で、2種ケレンは金属面が出るまで処理しており、表面は平坦である。3種ケレンはさび止めペイントが厚く残

表-6 表面粗さ・塗膜厚測定記録

表面処理	試験体記号	表面粗さ		塗膜厚 (μm)
		粗さ (μm)	測定例	
無処理(腐食面)	T-1	61.5		54.6
1種ケレン	T-2	55.6		—
2種ケレン	T-3	9.5		—
3種ケレン	T-4	14.1		152.2
1種ケレン後 ジンク処理	T-5	15.9		48.6
火炎処理	T-6	46.2		39.1

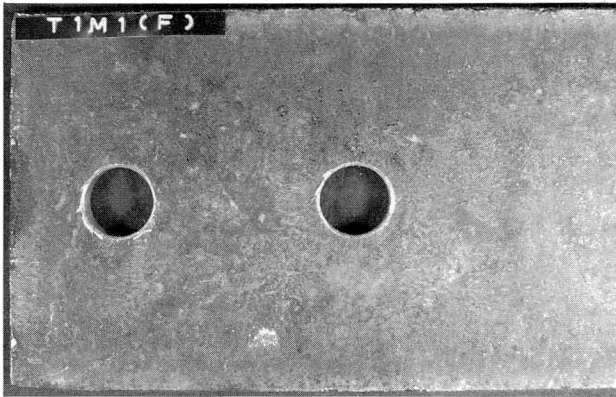


写真-1 無処理(腐食面)



写真-4 3種ケレン

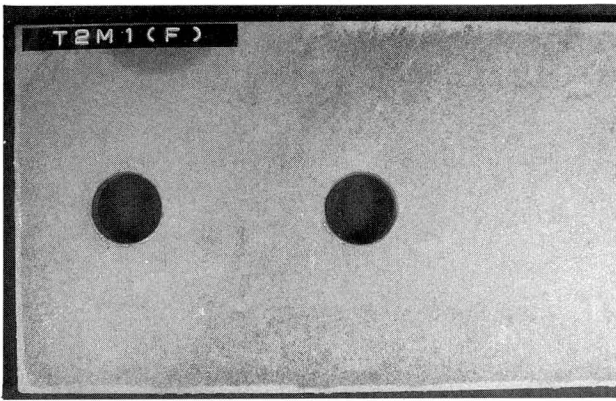


写真-2 1種ケレン

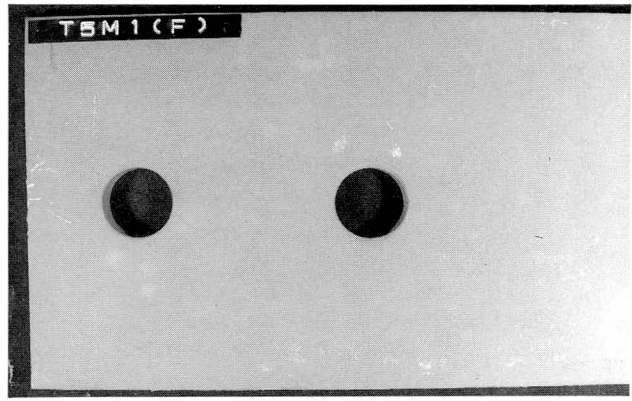


写真-5 1種ケレン後ジंक処理

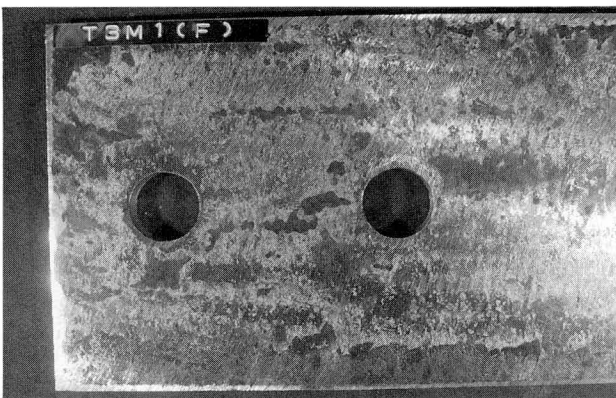


写真-3 2種ケレン

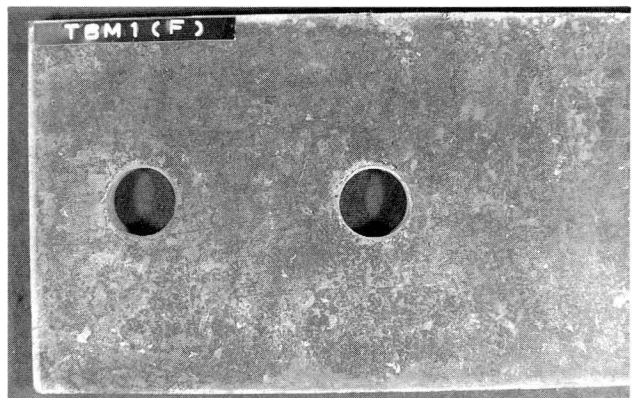


写真-6 火炎処理

表-7 軸力試験結果

存しており、1種ケレン後ジंक処理と同様に粗さは比較的小さい。火炎処理は塗膜厚は薄く、表面状態は1種ケレンに近い形状を呈している。

軸力試験では、14日間(336時間)のボルト軸力変化を、パソコンによる自動計測システムで測定した。軸力減少の測定結果を表-7に、軸力の経時変化データを図-3に示す。

すべり試験では継手引張試験を行ない、すべり係数(締

表面処理	試験体記号	締付軸力 (ton)	最終軸力 (336H後) (ton)	軸力減少 (ton)	軸力減少率 (%)
無処理(腐食面)	T-1	25,234	23,401	1,833	7.26
1種ケレン	T-2	25,283	24,049	1,234	4.88
2種ケレン	T-3	25,393	23,985	1,408	5.54
3種ケレン	T-4	23,976	22,090	1,886	7.87
1種ケレン後ジंक処理	T-5	25,227	23,639	1,588	6.29
火炎処理	T-6	25,303	23,755	1,548	6.12

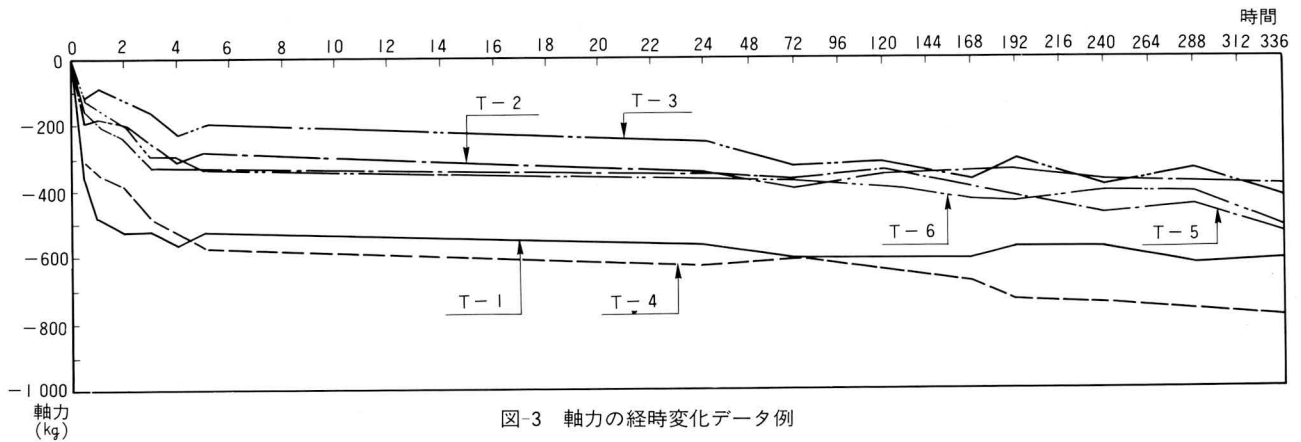


図-3 軸力の経時変化データ例

付軸力に対する係数)・実すべり係数(軸力減少を考慮した試験時軸力に対する係数)を求めた。結果を表-8に示す。

表-8 すべり試験結果

表面処理	試験体記号	締付軸力 (ton)	試験時軸力 (ton)	すべり荷重 (ton)	すべり係数	実すべり係数
無処理(腐食面)	T-1	25,234	23,371	19,167	0.38	0.41
1種ケレン	T-2	25,283	24,011	25,450	0.50	0.53
2種ケレン	T-3	25,393	23,979	15,833	0.31	0.33
3種ケレン	T-4	23,976	22,068	18,950	0.39	0.42
1種ケレン後ジंक処理	T-5	25,227	23,615	21,033	0.41	0.44
火炎処理	T-6	25,303	23,735	20,150	0.40	0.42

軸力試験の結果、軸力減少率は各表面状態とも設計で考慮している割増率10%の範囲内にあり比較的良好であるが、残存塗膜厚の厚い腐食面・3種ケレンは減少率が大きい傾向にある。また、経時変化データからは、急激な軸力減少は24時間程度でおさまると考えられる。

すべり試験では、設計時に考慮されているすべり係数0.4以上を得られたものは、1種ケレン・1種ケレン後ジंक処理・火炎処理の3種の表面処理方法によるものであった。継手接触面は従来から1種ケレンまたは、1種ケレン後ジंक処理が用いられており、旧材についても同様の処理を行なうことが望ましいが、現場施工の作業性・経済性からは火炎処理が有効であると考えられる。

また、すべり係数と表面粗さとの関係において、塗膜

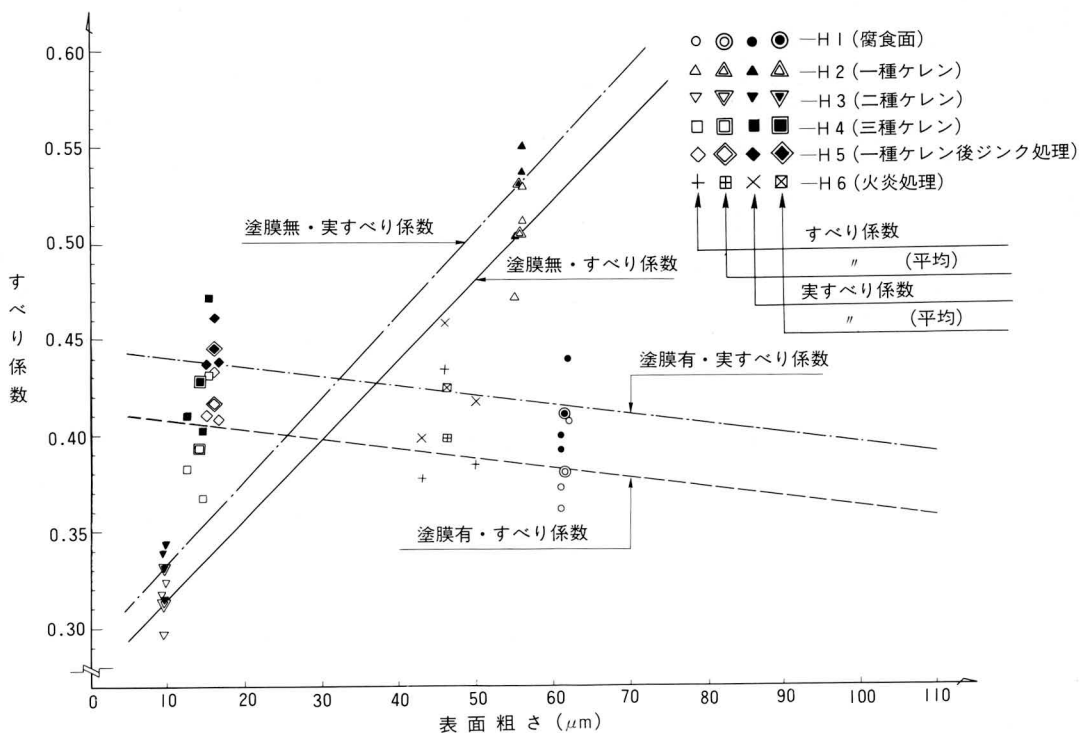


図-4 高力六角ボルト(M22)・粗さーすべり係数関係図

の無いものは粗さが大きいほどすべり係数は上昇し、塗膜を有するものは粗さが大きいほど(塗膜厚が厚いほど)すべり係数は下降する傾向にある。このすべり係数と表面粗さの相関関係を図-4に示す。

すべり試験において記録したすべり性状図(継手試験体の荷重-変位曲線)を図-5に示す。すべり性状図からは、荷重のピークであるすべり発生点までの変位量は各表面処理ともほぼ同様であるが、1種ケレンは急激な

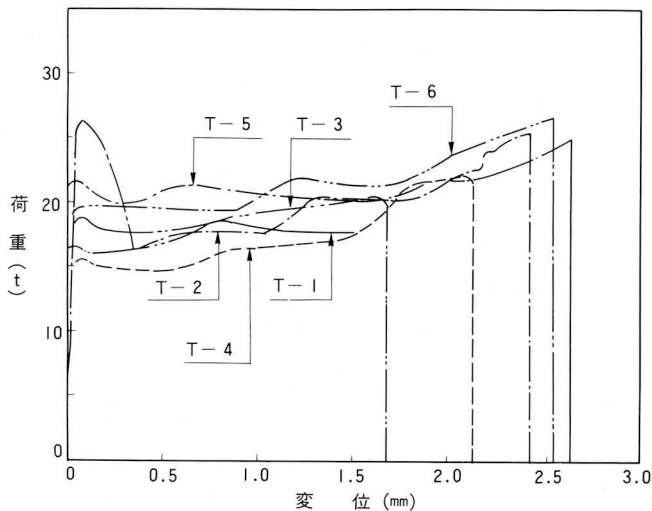


図-5 すべり性状図

荷重の減少があるのに対し、塗膜を有する接触面では荷重の減少を伴わずに変位が増加することが分かる。

(3) 溶接継手試験

各試験における溶接施工条件を表-9に、継手引張試験結果を表-10に示す。

突合せ溶接継手・十字隅肉溶接継手とも、素材強度以上の値であり継手の性能上全く問題無い。

最高硬さ試験は、溶接熱影響部の最高硬さ試験と十字隅肉溶接継手の硬さ試験を行なった。試験結果を表-11に、硬さ分布図を図-6、7に示す。

表-10 継手引張試験結果

		試験片採取位置	引張強さ (kgf/mm ²)	破断位置
突合せ溶接	下 向	Web	56	母 材
	立向上進		55	//
	上 向		53	//
十字隅肉溶接	水 平	Web	54	溶接部
	立向上進		63	//
	立向下進		57	//
	上 向		61	//

表-9 溶接施工条件

種 類	溶 接 材 料	棒径 (mm)	溶接姿勢	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)	積 層 図
突合せ溶接		4φ	下 向	155~190	25~34	11~16	22.6	
		3.2φ	立向上進	105~120	23~29	7~9	21.9	
		3.2φ	上 向	110~125	24~32	7~11	21.9	
十字隅肉溶接	被覆アーク溶接棒 (軟鋼用) JIS Z 3211 D4316 低水素系 ㊟-16 日鐵溶接工業	5φ	水 平	200~205	24~27	10~12	28.2	
		4φ	立向上進	155~160	25~31	7~8	35.3	
		4φ	立向下進	200~245	26~32	42~50	8.4	
		4φ・5φ	上 向	135~210	24~29	12~14	21.1	
最高硬さ		4φ	下 向	167	25	15	16.7	
		4φ	立向上進	120	24	8	21.6	
		4φ	上 向	140	23	12	16.1	
		4φ	下 向 (予熱60℃)	135	25	15	16.5	

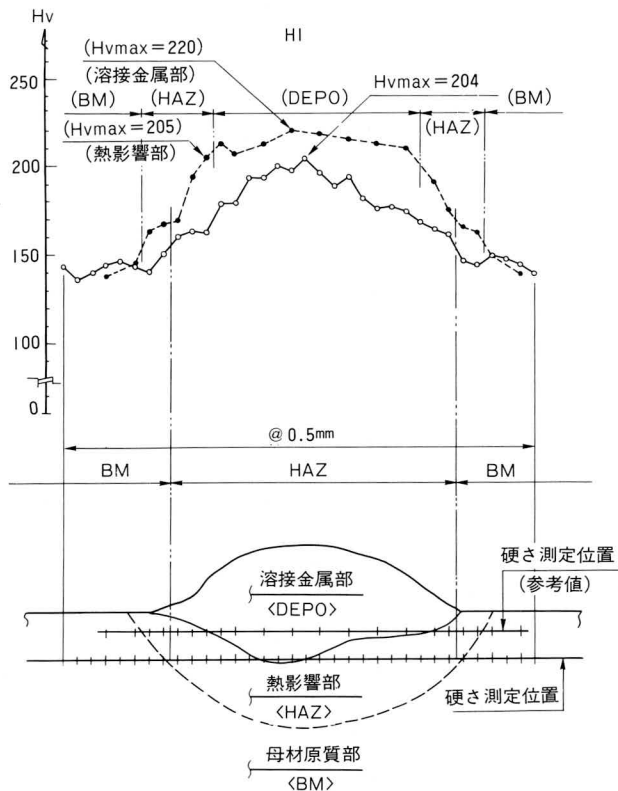


図-6 硬さ分布図 (最高硬さ試験)

この試験では主に、溶接姿勢の違いによる入熱量の変化が硬さに与える影響を観察することを目的としたが、最高硬さ試験では立向上進が若干入熱量が高く、硬さは低い値を示しているが、他の姿勢では入熱量・硬さとも特に変化が見られなかった。またいずれの試験片でも、実際は溶接金属部で最高値を示しており、かつHvは200程度であることから、施工上特に問題は無いと言える。十字隅肉溶接においても、立向下進で高い値を示しているが、いずれの溶接姿勢でも規格値を満足しており、今回の様に低水素系溶接棒を用いて施工する限り、継手の性能に影響することは無いと思われる。

4. 結論

老朽橋梁に対する補修・補強・改造を行なう場合の継手に関する標準的な工法と強度を求めるために、高力ボルト継手及び溶接継手の各種試験を実施した。実験結果を要約すると以下の様である。

- ① 素材の強度及び化学成分は、現在の一般構造用鋼材 (40キロ鋼) に相当する良質の材料であった。
- ② 高力ボルト継手は、腐食による断面欠損を有するにもかかわらず、軸力減少・すべり係数とも比較的良好な結果が得られ、特に火炎処理という方法は現場での作業性・経済性の面から有効な表面処理方法で

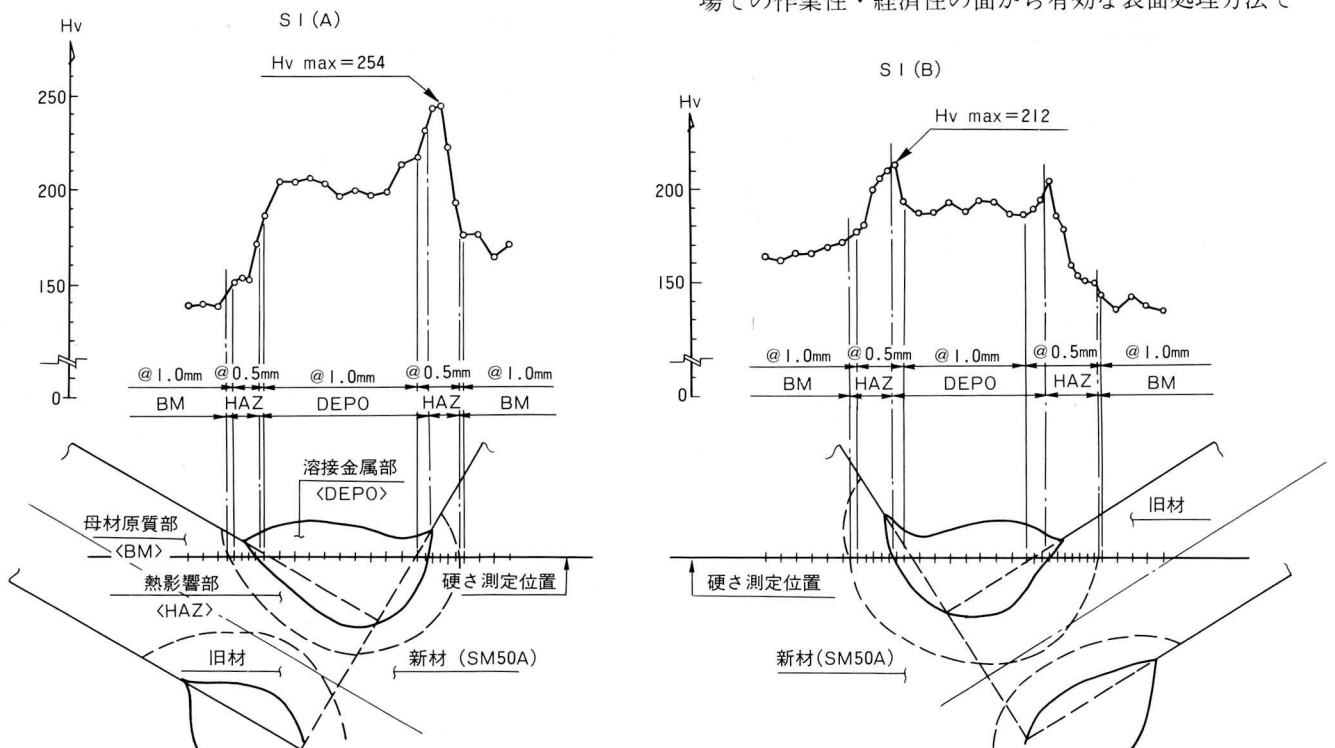


図-7 硬さ分布図 (十字隅肉溶接継手)

表-11 硬さ試験結果

種類	試験片	最高硬さ	規格値	備考	試験位置		
最高硬さ試験	下 向	H-1	204	≦370	入熱16.7(KJ/cm)		
	立向上進	H-2	172		// 22.2(")		
	上 向	H-3	202		// 15.8(")		
	下 向 (予熱60℃)	H-4	202		// 16.5(")		
十字隅肉・硬さ試験	水 平	S-1	A	254	≦370		
			B	212			先 溶 接 側
	立向上進	S-2	A	319			後 "
			B	215			先 "
	立向下進	S-3	A	351			後 "
			B	345			先 "
	上 向	S-4	A	274			後 "
			B	235			先 "

あると思われ、今後の研究及び作業条件・表面状態の具体化によっては、実際の補修・補強工事での適用の可能性を確認することができた。

- ③ 溶接継手においても継手強度は十分な値が得られており、素材に合った施工をする限り継手性能が問題となることは無いと言える。

以上、旧材を用いた各種継手の静的強度は何ら問題無いが、損傷状況の把握及び鋼材の性質を適切に評価することがまず重要である。

5. あとがき

今回は静的試験により、基本的な継手の性能について

の検討を行なったが、今後は疲労試験等により更に、継手の強度・施工方法に関する検討を進めていく予定である。それらの結果についても、別稿にて報告する予定である。

最後に、本実験にあたり(助)鉄道総合技術研究所の阿部 允、杉館 政雄の両氏には、適切な指導をいただきました。紙上を借りて深謝致します。

<参考文献>

- 1) 羽根・阿部・杉館・小芝；鉄桁部材の現場補修工法、構造物設計資料No.89
- 2) 田島二郎；高力ボルト摩擦接合概論、昭和41年

グラビア写真説明

長野県農協ビル このビルは、高度情報化社会に即応できるよう各種ニューメディアなど最新の設備を備え、全国農協ビルの中でも最大の規模と設備を誇る近代的ビルであり、長野県農協の拠点となっています。

柱は、梁貫通タイプのSRC造、梁は外周を除きBHのS造タイプである。現場接合はボルト接合をシャーププレートを用いての現場溶接タイプに変更していただき、コストの低価、工期の短縮を図りました。

しかし、SRC造とS造の2タイプのためデッキ受けの検討に多くの時間が費やされ、製作に支障をきたしたこともありましたが、本工事はV. E. (Value Engineering) について本格的に検討し、また取り入れた鉄骨として今後の製作に大きな教訓をあたえました。また地上64mの高さは、長野県内においては一番のノッポビルであり、国道19号線を松本方面から行くと県庁と同時に視界に入るビルです。(小松)