

溶接が古材の材料特性に及ぼす影響について

東日本旅客鉄道(株) 八王子支社八王子土木技術センター 正会員 ○川田 真也
東日本旅客鉄道(株) フロンティアサービス研究所 正会員 後藤 貴士

1. 背景

製造年代の古い鋼橋に溶接による補強を行った場合、溶接部付近に変状が発生し、それが母材まで悪影響を及ぼす事例がある。

一般的に古い鋼材では、現在の鋼材と比較し炭素量が異なることや硫黄、及び不純物元素を多く含むことがわかっている¹⁾。炭素量が多いことによる溶接時のマルテンサイト生成や不純物の偏りにより、溶接時に材料特性を低下させる可能性がある鋼材を採取して材料特性を確認するため各種材料試験を行った。

2. 試験材及び材料試験項目

試験片として使用した鋼材は近年架替によって撤去された桁で、異なる製造年代の複数の上部工から代表的な試験片を採取することとした(表1)。

古材として1910年代に製造された①、②の他、③については溶接用鋼材が使用されており比較対照として試験を行った。実施した材料試験は表2のとおりで鋼材そのものの特性や溶接に伴う母材や溶接部の材料特性を確認した。

3. 試験結果

今回採取した鋼材は、引張強度試験やビッカース硬さ試験の結果では母材の材料特性を低下させる結果ではなかった。またサルファプリント試験ではS(硫黄)偏りはみられなかった。ここでは、成分試験及びC型ジグ拘束突合せ溶接割れ試験(以後、フィスコ割れ試験)、シャルピー衝撃試験について、特筆すべき結果が得られたため以下に報告する。

(1)成分試験(a)、フィスコ割れ試験(b)

記述のとおり①、②については、炭素量が多いと推測していたが現在の溶接鋼材である

表1 試験鋼材一覧表

番号	①	②	③
桁形式	トラス(リベット造)	鉋桁(リベット造)	鉋桁(溶接造)
部位	横桁 腹板	主桁 腹板	主桁 腹板
桁製造年	1917	1917	1958
板厚(mm)	13	10	10
材質	S39 (推定)	S39 (推定)	SM41
写真			

表2 材料試験一覧表

試験名	試験方法	試験目的
a 成分試験	JIS G0321	鋼材の特性を支配する成分
b C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験(フィスコ割れ試験)	JIS Z3155	高温割れの起こりやすさ
c シャルピー衝撃試験	JIS Z2242	鋼材の粘り強さ
d 引張強度試験	JIS Z2201	鋼材の降伏点、引張強さ、伸び
e ビッカース硬さ試験	JIS Z3101	母材の硬さ、熱影響による硬化
f サルファプリント試験	JIS G0560	鋼材組織の硫黄分の偏析

SM400A 材に求められる炭素量を満足する。しかし Mn(マンガン)、S(硫黄)については満足していないため炭素の含有量のみの評価では、溶接用鋼材の規格に相当するかどうかの判断はできないことがわかった(表3)。そこでその成分分析結果から溶接時の割れに対する感受性を確認することとし、その分析には下記の指標を用いて評価した。²⁾³⁾

その結果、炭素当量 C_{eq} 、溶接割れ感受性組成 P_{cm} については、3種類とも基準値を満足したが、①の高温割れ感受性組成 HCS 値は基準値を上回っており、これは S(硫黄) 分が多いことで高い数値を示していることが判明した(表3)。

$$C_{eq} = C \times \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{14} \quad 2)$$

$$P_{cm} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + \frac{Cu}{20} + 5B \quad 2)$$

キーワード：鉄道，材料試験，維持管理

連絡先：〒192-0073 東京都八王子市寺町 61 東日本旅客鉄道(株)八王子土木技術センター Tel042-621-1291
〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479 東日本旅客鉄道(株)フロンティアサービス研究所
Tel048-651-2552

表 3 成分分析結果及び溶接割れ感受性結果

指標 鋼材 種類		含有量						割れ感受性			
		C (炭素)	Si (ケイ素)	Mn (マンガン)	P (リン)	S (硫黄)	Ni (ニッケル)	Cu (銅)	C _{eq}	P _{cm}	HCS
①	S39 (推定)	0.21	0.02	0.42	0.013	0.04	0.06	—	0.28	0.23	9.1
②	S39 (推定)	0.22	0.002以下	0.44	0.005	0.018	0.03	—	0.29	0.24	3.9
③	SM41	0.16	0.051	0.58	0.011	0.022	0.03	0.18	0.26	0.23	3.2
	SS400	—	—	—	0.05以下	0.05以下	—	—	—	—	—
	SM400	0.23以下	—	2.5×C以上	0.035以下	0.035以下	—	—	—	—	—
	感受性 基準値	—	—	—	—	—	—	—	0.38以下	0.24以下	4.0以下

単位：％

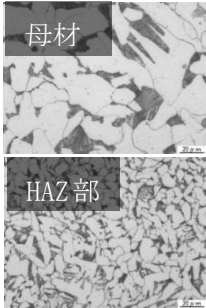


図 1 ミクロ試験

表 4 フィスコ割れ試験結果

番号	材質	種別	1	2	3	4	合計	割れ率(%)	備考
①	S39 (推定)	割れ長さ ビード長	3.9 41.1	4.5 44.6	4.0 45.9	4.6 40.5	17.0 172.1	10	突合せ時 ギャップ 2.9mm
②	S39 (推定)	割れ長さ ビード長	1.4 43.5	2.4 50.2	0.0 42.9	2.9 42.9	6.7 179.5	4	
③	SM41	割れ長さ ビード長	0.0 43.4	2.9 46.1	0.0 41.6	4.2 42.4	7.1 173.5	4	

表 5 シャルピー衝撃試験

番号	材質	試験回数	吸収 エネルギー(J)		脆性 破断面率(%)		箇所
			平均値		平均値		
①	S39 (推定)	1	38	40	60	63	母材
		2	52		55		
		3	29		75		
		1	122	114	0	5	HAZ
		2	120		0		
		3	100		15		
②	S39 (推定)	1	48	51	50	38	母材
		2	61		35		
		3	45		30		
		1	146	140	0	0	HAZ
		2	137		0		
		3	137		0		
③	SM41	1	122	132	10	3	母材
		2	138		0		
		3	137		0		
		1	64	61	0	0	HAZ
		2	63		0		
		3	55		0		

$$HCS = \frac{C\{S+P+(Si/25)+(Ni/100)\}}{3Mn+Cr+Mo+V} \times 10^3 \quad 3)$$

C_{eq} : 炭素当量 P_{cm} : 溶接割れ感受性組成

HCS : 高温割れ感受性組成

さらにフィスコ割れ試験結果（表 4）からも③の結果と比較して、①の割れ率が大きく、このことから①については高温割れに注意する必要があることがわかる。このことは溶接条件によっては、単に炭素量のみ確認するのではなく、硫黄量等各種成分分析を基に割れ感受性を評価して施工法を検討する必要性が示唆される。溶接施工時には、開先の形状や拘束条件に注意することや、溶接電流が過大にならないよう溶接熱量を抑制する必要がある。

(2)シャルピー衝撃試験(c)

母材部と HAZ（熱影響）部にて鋼材の粘り強さの変化を確認するためシャルピー衝撃試験をおこなった（表 5）。

溶接用鋼材の規格である③は HAZ 部で吸収エネルギーが低くなる値を示したが、古い鋼材である①、②では吸収エネルギーが高くなる値を示した。これは溶接の熱により母材よりも鋼材組織が細粒化されたことによるものと考え（図 1）。しかしこの結果については、今後も検討していく必要がある。また 3 種類とも HAZ 部はほぼ全面が延性破面であったことから溶接部の靱性は認められると判断できる。

5. まとめ

今回の材料試験結果では、一般的に古い鋼材では

炭素量が多いといわれているものの単純に製造年代によって炭素量の多寡が決するわけではない。詳細な成分分析によっては溶接に悪影響を及ぼすといわれる炭素量が少ない鋼材もあることがわかり、古い鋼材でも溶接による補修補強が行える可能性があることが明らかになった。ただし、今回のように溶接時に成分分析結果から高温割れに注意が必要な場合があることがわかった。また、溶接による鋼材の粘り強さの変化が現在の鋼材と異なる場合があることがわかった。これから古い鋼材に溶接を行う場合、成分分析においてその適否や溶接条件の判断を行える可能性が示唆された。

古い年代の鋼橋りょうを多く抱える当社において安全安定輸送を確保していくために、古い鋼材の材料特性を把握し、一層効果的な維持管理を続けていきたい。

謝辞：本実験を行うにあたり、JFE テクノリサーチ(株)にご協力いただいたことに感謝します。

参考文献

- 1) 北健志, 池田学, 木村元哉他：鋼橋に用いられた古い鋼材の材料特性に及ぼす予ひずみの影響、鉄道総研報告, 2008.10
- 2) 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 (社)日本道路協会
- 3) 溶接情報センター JWES 接合・溶接技術 Q&A1000 No.Q05-02-07 (社)日本溶接協会