

明治時代末期建設の高経年橋梁に使用された鋼材の機械的特性

名古屋大学大学院 正会員 ○廣畑 幹人
名古屋大学大学院 フェロー会員 伊藤 義人

1. はじめに

適切な維持管理により、高経年化した橋梁を長寿命化していくことの重要性が高まってきている。日本の鉄道橋においては、約 100 年前に建設され、現在も供用されている橋梁が比較的多く存在している。これらの橋梁が建設された当時の製鋼（製鉄）方法は現在の手法と異なっており、鋼材の機械的性質が現在の規格を満足しない可能性がある。高経年橋梁の維持管理において、最も基本的な情報である鋼材の機械的性質を把握しておくことは重要と考える。本稿では、1912 年（明治 45 年）に建設され 2010 年に撤去された高経年橋梁（旧餘部橋梁，図-1）¹⁾ に使用されていた鋼材を採取し、一連の機械的性質を調査した結果について報告する。

2. 供試鋼材

供試鋼材は、1912 年に兵庫県旧城崎郡香住町に建設された旧餘部橋梁（鋼製トレススル橋）の主桁および橋脚から採取した（主桁材，橋脚材と称す）。主桁材，橋脚材の板厚はそれぞれ約 10mm と約 14mm であった。

主桁材と橋脚材の化学組成を表-1 に示す。なお，表には SM400A の化学組成に関する規定を参考に記している²⁾。炭素含有量は，主桁材に比べ橋脚材の方が多かった。不純物であるリン（P）については，主桁材に比べ橋脚材の方が少なかった。硫黄（S）の含有量は主桁材と橋脚材でほぼ同じであった。式(1)~(3)で求められる炭素等量 C_{eq} ，溶接低温割れ感受性組成 P_{CM} については，橋脚材が SM400A の規定を満たしていなかった。また，高温割れ発生指標 HCS は凝固割れ発生の可能性が高くなるとされる 4 以上となっていた³⁾。現実には橋脚の一部で溶接による部材の取替えがなされているが，主桁材，橋脚材ともに溶接には不適切な化学組成であることがわかった。

$$C_{eq} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 \quad (1)$$

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

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

3. 機械的性質

3.1 引張試験

主桁材，橋脚材を引張試験に供した。試験片（JIS Z 2241 14B 号）の数は主桁材，橋脚材それぞれ 2 体ずつであるが，各鋼材で 2 本の試験結果にはほとんど差がなかった。応力-ひずみ関係を図-2 に示す。主桁材，橋脚材ともにヤング率は約 194GPa であった。降伏応力については主桁材が約 257MPa，橋脚材が約 234MPa であり，引張強度は主桁材が約 383MPa，橋脚材が約 429MPa であった。伸びは主桁材が約 28%，橋脚材が約 25% であった。主桁材と橋脚材の降伏応力および引張強度は SS400，SM400A の規定に比較的近いことがわかった。

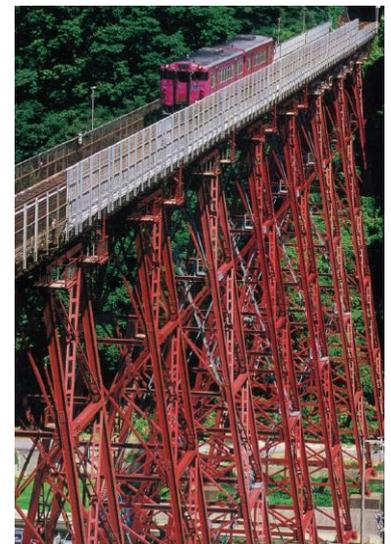


図-1 旧餘部橋梁¹⁾

表-1 化学組成 (mass%)

	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Cu	B	P	S	C_{eq}	P_{CM}	HCS
主桁材	0.119	0.764	0.031	0.070	0.237	0.001	0.002	0.192	0.001	0.108	0.042	0.298	0.187	7.17
橋脚材	0.385	0.798	0.043	0.076	0.227	0.008	0.002	0.049	0.114	0.014	0.004	0.569	1.012	8.29
SM400A	≤0.23	≥2.5C	-	-	-	-	-	-	-	≤0.035	≤0.035	≤0.44	≤0.28	-

3.2 シャルピー衝撃試験

橋脚材と主桁材に対しシャルピー衝撃試験を実施した。試験片厚さは 7.5mm (サブサイズ) である。試験結果を図-3 に示す。試験片の数は各試験温度で 3 体ずつである。また、図の曲線は式(4)に示す WES2805 に提示されるシャルピー吸収エネルギーの遷移曲線⁴⁾を試験結果にフィッティングしたものである。

$$vE(T) = \frac{vE_{shelf}}{\exp[k_a(T - vT_E)] + 1} \quad (4)$$

ここに、 T : 試験温度 (°C), $vE(T)$: シャルピー吸収エネルギー (J), vE_{shelf} : 上部棚吸収エネルギー (J), k_a : 定数, vT_E : エネルギー遷移温度 (°C) である。

試験片厚さをサブサイズ (7.5mm) からフルサイズ (10mm) に変換, すなわち 10/7.5 倍した場合, 試験温度 0°C における橋脚材の吸収エネルギー値は 9.3J であり, 27J よりも小さかった。一方, 主桁材については 27J 以上の吸収エネルギーを確保していた。延性破壊と脆性破壊の境界を示すエネルギー遷移温度 (吸収エネルギーが上部棚吸収エネルギーの 50% になる時の温度) は, 主桁材が 0.4°C, 橋脚材が 35.1°C であり, 橋脚材は低温環境下における脆性破壊発生の可能性が高いことを結果は示唆していた。

4. まとめ

1912 年に建設された旧餘部橋梁の主桁および橋脚に使用されていた鋼材の機械的性質を調査するため, 一連の実験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 現実には橋脚の一部で溶接による部材の取替えがなされていたが, 主桁材と橋脚材はともに溶接には不適切な化学組成であることがわかった。
- (2) 主桁材および橋脚材の降伏応力および引張強度は, 現行の SS400 あるいは SM400A の規定に比較的近い値であった。
- (3) シャルピー衝撃試験結果によれば, 橋脚材は低温環境下における脆性破壊発生の可能性の高い材料であることを示した。

旧餘部橋梁に使用されていた高経年鋼材は, 現行の鋼材に比べ溶接性や靱性が劣っているが, 溶接による補修がなされていても約 100 年間供用されてきた。本研究における一連の実験結果は, 旧餘部橋梁と同時代に建設され, 現在も供用されている鉄道橋を維持管理していく上での有用な情報になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道ジャーナル, No.481, 2006.11.
- 2) 日本規格協会: 溶接構造用圧延鋼材 JIS G 3106, 2008.
- 3) 溶接学会: 溶接・接合便覧 第 2 編, 2003.
- 4) 日本溶接協会: 溶接継手のぜい性破壊発生及び疲労き裂進展に対する欠陥の評価方法 WES2805, 2011.

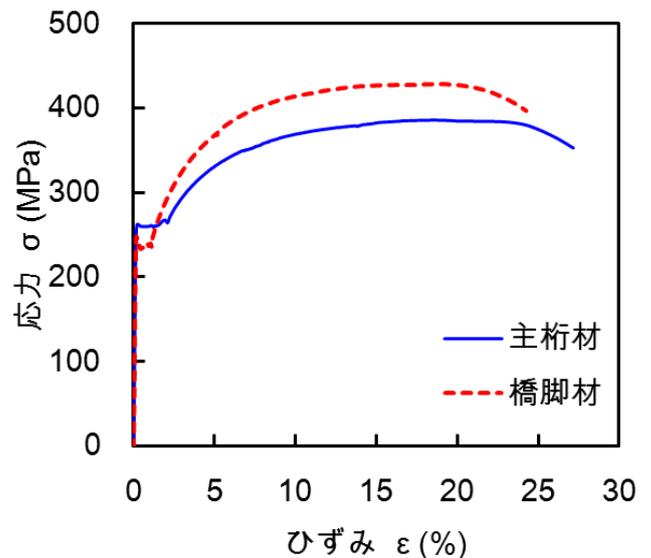


図-2 引張試験結果

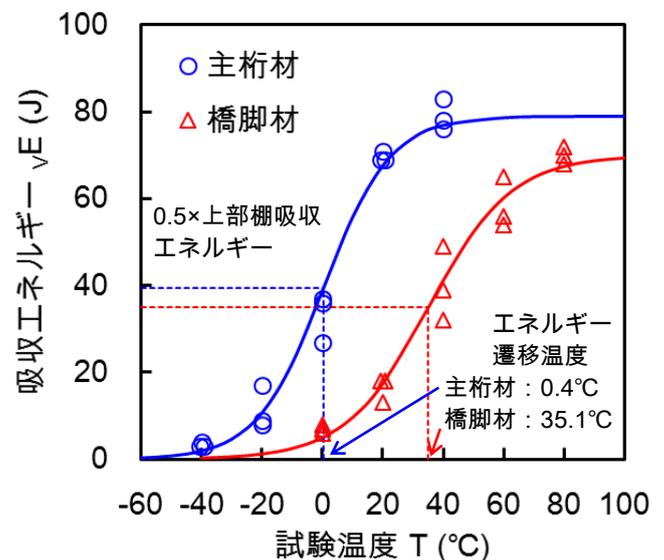


図-3 シャルピー衝撃試験結果