

TMCP鋼の溶接継手特性に及ぼす加熱および冷却の影響

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

1. はじめに

車両事故等により火災した鋼橋の健全性評価のため、受熱温度推定や鋼材の機械的性質の変状調査が実施されている¹⁾。鋼材サンプルの入手しやすい一般部や高力ボルトについては調査事例が幾つか報告されているが、サンプルの入手が困難な溶接部について、火災後の継手健全性を調査・評価した例は少ない。さらに、一般の構造用鋼とその溶接継手に比べ、SM570材等のTMCP鋼については火災時の熱影響による材料特性の変状がより大きくなる可能性がある。本稿では、火災を想定した加熱・冷却履歴がTMCP鋼(SM570)の溶接継手特性に及ぼす影響を明らかにするために実施した一連の基礎的実験の結果について報告する。

2. 供試鋼材および継手の加熱・冷却実験

供試鋼材は溶接構造用鋼材SM570TMCであり、板厚は12mmである。供試鋼材の化学組成および機械的性質を表-1に示す。図-1に示すレ形開先を設け、590MPa級鋼用溶接ワイヤを用い、3層3パスのCO₂アーク溶接により継手を作製した。作製した継手を電気炉により600℃および900℃まで加熱し約1時間保持した後、空冷および水冷により冷却した。供試体と同一寸法の鋼板に熱電対を挿入し測定した冷却時の温度履歴を図-2に示す。900℃に加熱した場合、800℃から500℃までの冷却速度は水冷では35.2℃/s、空冷では0.55℃/sであった。

3. 継手特性評価実験

各部位の組織観察結果を表-2に、試験温度-5℃でシャルピー衝撃試験(供試体数:3)を実施した結果を図-3に示す。また、継手断面の板厚中心線に沿って実施したビッカース硬さ試験の結果、母材および溶接継手に対する引張試験の結果を表-3に示す。

600℃の加熱から空冷あるいは水冷した場合、各部位の組織は溶接のままと変わらなかった。母材については、吸収エネルギー、ビッカース硬さおよび機械的性質は溶接のままとほぼ同じであった。溶接金属については、600℃の加熱から水冷した場合、フェライト粒の粗大化により吸収エネルギーが約30J低下したが、機械的性質の変化はほとんどなかった。

900℃の加熱から空冷した場合は、母材と熱影響部の組織が均一化し、TMCプロセスにより形成された微細組織が粗粒化した。溶接金属の組織は大きく変化していなかった。

ワイヤ: JIS Z3312 G 59J
 総入熱量: 6552 (J/mm)

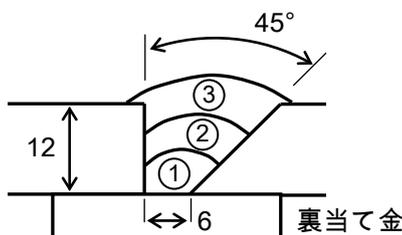


図-1 開先形状、積層および断面マクロ写真

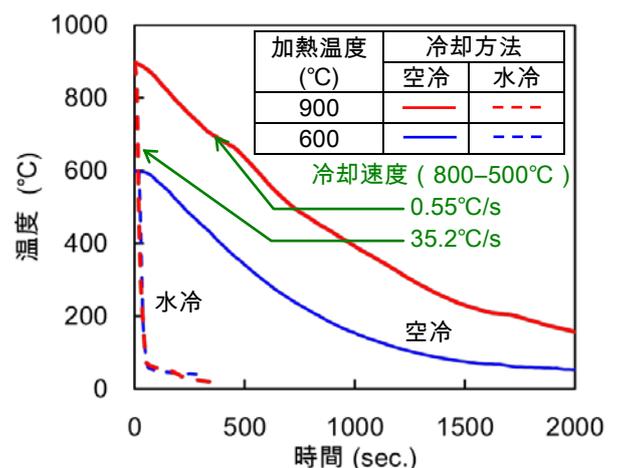


図-2 温度測定結果

表-1 供試鋼材の化学組成および機械的性質 (ミルシート, カタログ値)

	鋼種 (規格)	化学組成					機械的性質		
		C	Mn	Si	Ni	Cr	降伏応力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)
母材	SM570TMC	0.12	1.50	0.16	0.012	0.015	560	626	33
溶接金属	JIS Z 3312 G 59J	0.08	1.40	0.50	0.010	0.023	590	670	26

表-2 組織観察結果 (400倍)

加熱温度 冷却方法	溶接 まま	600°C		900°C	
		空冷	水冷	空冷	水冷
母材					
熱影響部					
溶接金属					

100μm

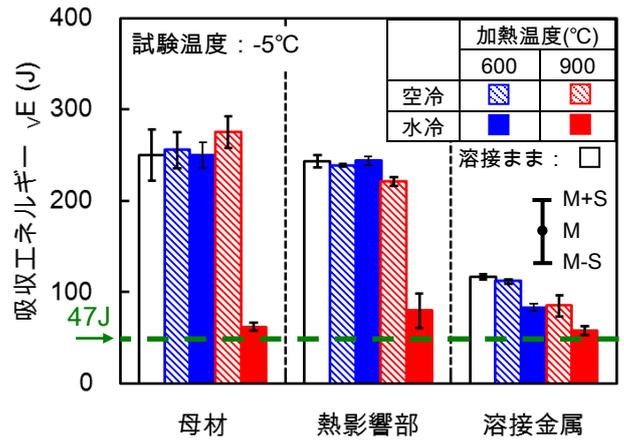


図-3 シャルピー衝撃試験結果

表-3 硬さ試験結果および引張試験結果

加熱・冷却	ビッカース硬さ			母材引張試験			溶接継手引張試験			
	母材	熱影響部	溶接金属	降伏応力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	降伏応力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	
	加熱・冷却なし	248	232	264	555	646	28	498	629	25
600°C 加熱	空冷	252	229	258	546	642	24	538	638	26
	水冷	240	222	259	562	649	26	564	634	24
900°C 加熱	空冷	190	197	243	300	482	42	336	507	30
	水冷	306	293	281	690	929	14	382	701	24

硬さ試験：各部位 15 点以上の平均値，変動係数：10%以下． 引張試験：各条件 2 体の平均値

各部位の硬さは 20~50 程度低下し，溶接金属の吸収エネルギーが約 30J 低下した．また，母材および溶接継手共に，降伏応力および引張強度が低下し，JIS による規定値（降伏応力：460MPa，引張強度：570MPa）を大きく下回った．伸びについては，軟化の影響により溶接のままと比べて増加した．

900°Cの加熱から水冷した場合は，全ての部位で低炭素マルテンサイト組織が生成された²⁾．焼入れにより各部位が硬化したが，本実験に用いた母材および溶接金属は炭素含有量が比較的少なく，最高硬さは母材部で約 306 であった．各部位の吸収エネルギーは大きく低下したが，JIS による吸収エネルギーの規定値（-5°C で 47J）は満足していた．溶接のままと比べて母材の降伏応力および引張強度はそれぞれ上昇し，引張強度は JIS に規定される範囲（570~720MPa）を越える結果となった．溶接継手の降伏応力は焼入れのままの不安定な組織状態により約 115MPa 低下したが，引張強度は約 72MPa 上昇した．母材の伸びは JIS に規定される伸び最小値（19%）を下回る結果となった．

TMCP 鋼を用いた橋梁が火災被害を受けた場合，母材と溶接部の違いによらず，受熱温度が 900°C を越えた領域では材料の取替えあるいは補強が不可欠になる可能性を結果は示唆している．

4. まとめ

火災および消火を想定した加熱・冷却履歴が TMCP 鋼の溶接継手特性に及ぼす影響を明らかにするため，一連の基礎的実験を実施した．得られた主たる知見を以下に示す．

- (1) 600°Cの加熱では，冷却方法によらず TMCP 鋼の溶接継手の諸特性に及ぼす加熱および冷却の影響は小さいことを確認した．
- (2) 900°Cの加熱から空冷した場合，母材，溶接継手共に軟化し，降伏応力および引張強度が JIS の規定を 60~120MPa 程度下回った．水冷した場合は，硬化によりシャルピー吸収エネルギーが低下すると共に，母材の降伏応力，引張強度および溶接継手の降伏応力は JIS に規定される範囲を満足しない結果となった．
- (3) TMCP 鋼を用いた橋梁が火災被害を受けた場合，母材と溶接部の違いによらず，受熱温度が 900°C を越えた領域では材料の取替えあるいは補強が不可欠になる可能性を結果は示唆していた．

参考文献

- 1) 大山 理，今川雄亮，栗田章光：火災による橋梁の損傷事例，橋梁と基礎，10，pp.35-39，2008．
- 2) 日本鉄鋼協会編：鋼の熱処理 改訂 5 版，丸善，1969．