

I-410

予熱低減型780N/mm²級高張力鋼の溶接施工に関する研究

高田機工株式会社 正員 安 田 修

高田機工株式会社 坂 本 一弘

本州四国連絡橋公団 第一建設局 正員 大 江 慎一

高田機工株式会社 正員 種子島 由規

1. まえがき

構造物の大型化、長大化に伴う高張力鋼の利用拡大は近年ますます進んでおり、橋梁分野においても780N/mm²級高張力鋼(TS≧780N/mm²、以下HT780という)及び690N/mm²級高張力鋼(以下HT690)が、1998年に完成する世界最大の吊橋明石海峡大橋において大量に使用される。HT780が使用されるようになって30年以上を経過し、その間、溶接性の改良がなされ、炭素当量も0.6%台から0.5%台へと低下してきたが、依然として100℃以上の予熱が必要であり、かなりの予熱装置を設備し、高熱作業に伴う作業工数の増加及び作業安全性の低下などの点から予熱低減が強く求められてきた。従来のHT780は焼入れ焼戻し処理によって高強度・高靱性を得ていたため、炭素及びボロン等の焼入れ性を良くする元素を低下できなかった。しかし、本論文の供

表1 供試鋼材の性能

試鋼材は、炭素添加を極力少なくしボロン添加をなくすることにより、Pcm(溶接割れ感受性組成)の低下を計り、その強度低下を銅の析出強

材 質	板厚 mm	化学成分(%, ×100)														引張試験		シャルピー 衝撃試験 (-40℃, J)
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Ceq	Pcm	引張強さ		伸び (%)	
															引張強さ (N/mm ²)	引張強さ (%)		
HT780	34	6	26	134	0.7	0.2	97	103	46	31	4	0.01	56	25	813	864	24	207

化により補うという考え方のHT780¹⁾であり、従来のHT780より予熱を大幅に低減でき、機械的性能及び作業性は、従来のHT780と変わらないことを実験により確認したので、その表2 仮付及び本溶接最小予熱温度結果を報告する。

2. 供試鋼材

供試鋼材の性能を表1に示す。

3. 試験要領

表2に本州四国連絡橋公団の鋼橋等製作基準の予熱温度を示す。なお、S M

(本四基準抜粋)

AWは被覆アーク溶接、GMAWはガスシールドアーク溶接、SAWはサブマージアーク溶接を示す。最初に供試鋼材の母材試験として、化学分析、ミクロ組織、機械的性能及びテーパ硬さ各試験を行った。次に突合せ溶接、角溶接またはすみ肉溶接の初層溶接の耐低温溶接割れ感受性を確認する溶接性試験として、

JIS Z3101の最高硬さ試験、JIS Z3158のy形溶接割れ試験及び日本海事協会推奨のすみ肉拘束溶接割れ試験を、予熱温度を変化させて行った。

表3 最高硬さ、y形溶接割れ及びすみ肉拘束溶接割れ試験の溶接材料及び溶接条件

鋼 種 (板厚)	対 象	溶接 方法	溶 接 材 料		溶 接 条 件				予熱温度 (℃)			
			規 格 (銘 柄)	電流	電圧	速 度	入熱量					
HT780 (34mm)	耐・シ・リ・リ	GMAW	YGW23 (MGS-63B, 1.2φ)	200A	24V	57cpm	5KJ/cm	室 温	50	75	100	
	補修溶接	SMAW	D8016 (L-80EL, 4φ)	170A	25V	15cpm	17KJ/cm					

表4 突合せ溶接試験の溶接材料及び溶接条件

鋼 種 (板厚)	溶接 方法	溶接材料規格(銘柄)		溶接条件				予熱 温度 (℃)	パス間 度 (℃)
		ワイヤ	フィックス	電流	電圧	速 度	入熱量		
HT780 (34mm)	SAW	S804-H4該当 (Y-80M), (NB-250H)		600~ 700A	30~ 32V	30~ 35cpm	33~48 KJ/cm	50	200 以下
				550~ 650A	30~ 34V				

表5 角溶接及びすみ肉溶接試験の溶接材料及び溶接条件

鋼 種 (板厚)	溶接 方法	試験種類	溶接材料規格(銘柄)		溶接条件				予熱 温度 (℃)	パス間 度 (℃)
			ワイヤ	フィックス	電流	電圧	速 度	入熱量		
HT780 (34mm)	SAW	角溶接	S624-H1該当 (US-40), (MF-38)		先行 600~ 700A	30~ 32V	50~60 cpm	40~46 KJ/cm	50	200 以下
					後行 550~ 650A	30~ 34V				
		すみ肉溶接	同 上		650A	29V	35cpm	32KJ/cm		

これらの試験の溶接条件、溶接材料及び予熱温度を表3に示した。次に突合せ溶接、角溶接及びすみ肉溶接を対象とした溶接継手性能試験を行った。なお、角溶接及びすみ肉溶接においては、耐割れ性を考慮して軟質継手即ち溶接金属の引張強さを690 N/mm²以上に設定し耐荷力減少を

表6 最高硬さ試験結果

鋼種 (板厚)	溶接 方法	判定 基準 (Hv10)	試験結果 (Hv10)			
			予熱温度 (°C)			
			室温	50	75	100
HT780 (34mm)	GMAW	≤420	363	354	322	317
	SMAW		330	317	314	322

表8 すみ肉拘束溶接割れ試験結果

鋼種 (板厚)	溶接 方法	判定 基準	試験結果 (割れ率%)		
			試験温度 (°C)		
			室温	50	75
HT780 (34mm)	GMAW	予熱50℃以上で割れ率0%	表面割れ	0	0
	SMAW		断面割れ	0	0

表7 y形溶接割れ試験結果

鋼種 (板厚)	溶接 方法	判定 基準	試験結果 (割れ率%)				
			予熱温度 (°C)				
			室温	50	75	100	100
HT780 (34mm)	GMAW	予熱50℃以上で割れ率0%	表面割れ	0	0	0	0
			断面割れ	0	0	0	0
			ルート割れ	0	0	0	0
	SMAW	予熱50℃以上で割れ率0%	表面割れ	0	0	0	0
			断面割れ	9.3	0	0	0
			ルート割れ	15	0	0	0

補う意味で開先深さまたはすみ肉脚長を割増している。これらの試験の溶接材料、溶接条件等を表4～表5に示した。

4. 試験結果と考察

母材試験結果は、すべてHBS G3102(本州四国連絡橋公団規格)を十分に満足しており、ミクロ組織も良好であった。最高硬さ試験、y形溶接割れ試験及びすみ肉拘束溶接割れ試験の結果を表6～表8に、各試験硬さ・割れ試験片の一例を図1～図3に示した。これらの結果から、仮付けが本溶接によって再溶解されるような5,000 J/cmという小入熱であっても、また、補修溶接の通常の条件である17,000J/cmの入熱であっても極低水素系の溶接材料を用い、50℃の予熱で十分に低温溶接割れが防止できることが確認できた。表9に溶接継手性能試験結果を、図4～図6にそのマクロ試験結果を示したが、いずれも50℃の予熱で十分な性能が得られた。また角溶接及びすみ肉溶接においては、本溶接が仮付け溶接を十分に再溶解し

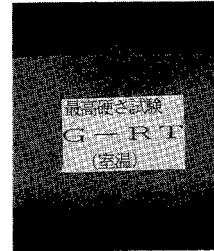


図1 最高硬さ試験

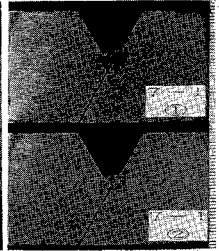


図2 y形溶接割れ試験



図3 すみ肉拘束溶接割れ試験

表9 溶接継手性能試験結果

溶接 種類	試験 項目	引張試験		側曲げ試験		衝撃試験		マクロ兼硬さ試験		放射線透過試験	
		判定基準 (N/mm ²)	試験結果 (N/mm ²)	判定基準	試験結果	判定基準 (J)	試験値 (J)	判定基準	試験結果	判定基準	試験結果
突合せ 溶接	試験	780 ≤	820	割れ無し	割れ無し	溶接金属 部 VE-15 47 ≤	3割の平均 147.31	マクロ無欠陥 Hvmax=322	マクロ無欠陥	JISZ3104 1級	1級
			820		割れ無し						
角溶接	試験	690 ≤	726	-	-	-	-	マクロ無欠陥 Hvmax=309	マクロ無欠陥	-	-
			733		-						
すみ肉 溶接	試験	690 ≤	770	-	-	-	-	マクロ無欠陥 Hvmax=306	マクロ無欠陥	-	-
			768		-						

十分に再溶解しており、しかも高温割れも発生していないことが確認できた。

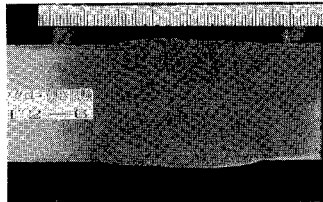


図4 突合せ溶接試験

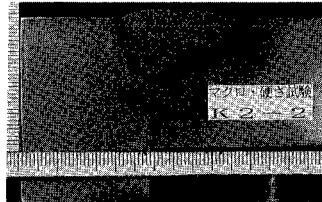


図5 角溶接試験

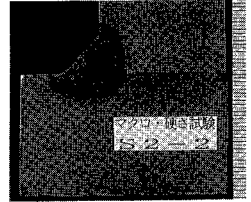


図6 すみ肉溶接試験

5. 総括

以上述べたように予熱低減型HT780は、仮付け溶接及び本溶接に対して従来の100℃以上の予熱基準に対して、50℃の予熱で低温溶接割れは発生せず、突合せ溶接、角溶接及びすみ肉溶接においても50℃の予熱で適切な溶接材料、溶接条件を適用すれば良好な結果が得られることが判った。これらの結果を実橋(明石海峡大橋補剛桁工事)に適用し、突合せ溶接において放射線透過試験はすべて1級、角溶接、すみ肉溶接においても自動超音波探傷試験はすべて溶込み線は健全であり、ルートブローホール等の不合格欠陥もなく良好な結果が得られた。今後の課題としては、更に作業性を改良し適用を拡大するため、HT780の予熱温度を室温(20℃以下)に、また溶接入熱制限を70,000J/cm程度まで緩和することが望まれる。

[参考文献]1)岡村, 糟谷他, Cu析出強化型予熱低減HT780鋼の開発, 鋼構造論文集, 第1巻 第1号(1994年3月)