

## 高拘束度下における補修溶接施工法に関する一実験

(株) 横河ブリッジ 正会員 ○清川昇悟, 鈴木暁工, 岩崎雅紀

## 1. はじめに

近年、長期供用された鋼橋に疲労損傷が発見されるようになり、現地での補修・補強工事が行われている。このような補修・補強工事は供用下での施工となるため、一般には現地での施工品質の確保が容易な高力ボルト接合による場合が多いが、既設部材との取合い等の問題から高力ボルト接合を適用できないケースがある。この場合、溶接による補修・補強を行う必要があるが、その際の課題として以下に示すものが挙げられる。

- (1) 狭隘かつ劣悪な環境下での施工となる。
- (2) 工場溶接に比べて、拘束度が高い状態での施工となる。
- (3) 死活荷重応力、振動が作用している。
- (4) 溶接收縮変形の矯正が困難である。

本研究では、このような課題を抱えている供用下での補修溶接施工に関して、荷重伝達形十字溶接継手の補修溶接を対象に耐低温割れ性能に及ぼす拘束度と死荷重応力の影響を実験的に調べた。

## 2. 実験方法

試験体形状を図-1 に供試鋼板の機械的性質及び化学成分を表-1

に示す。供試鋼板は SM570 ( $t=25\text{mm}$ ) を用いた。試験体は鋼材を十字に組み立て、溶接線両端部をすみ肉溶接により拘束溶接しており、溶接線中央部（試験溶接対象部）が高い拘束状態となるようにした。この試験対象部の長さ（以下、スリット長さという）を変えて拘束度を変化させた。拘束度は図-2 中に示す FEM 解析により求めた。実験における拘束度は図中に示すとおりであり、道示に示される拘束度（板厚  $t$  の 20 倍  $=5\text{kN}/\text{mm}\cdot\text{mm}$ ）に比べて高めた。

実験状況を写真-1 に示す。試験体の開先を開口させるよう、荷重制御油圧ジャッキにより一定引張荷重を載荷・保持した。載荷荷重は拘束溶接のせん断応力を 0,  $\tau a/2$ ,  $\tau a$  および  $\tau y$  となるように設定した。そして、一定荷重保持状態でガウジングによる開先加工後、試験対象部の溶接を行い、溶接完了後は 24 時間以上一定荷重を保持した。



写真-1 実験状況

除荷後、試験体を切断し、各供試体も 4 断面ずつマクロ観察を行った。

試験ケースを表-2 に示す。

実験パラメータは前記の (1) 拘束度, (2) 一定作用外力の他、溶接材料についても変化させた。溶接材料は表-3 に示すとおりとした。即ち、MAW について  $490\text{N}/\text{mm}^2$  級の被覆アーク溶接材料 (JIS Z 3212 D5016,  $4\text{mm}\phi$ ) を 1 種類、GMAW については  $590\text{N}/\text{mm}^2$  級のソリッドワイヤ (JIS Z 3312

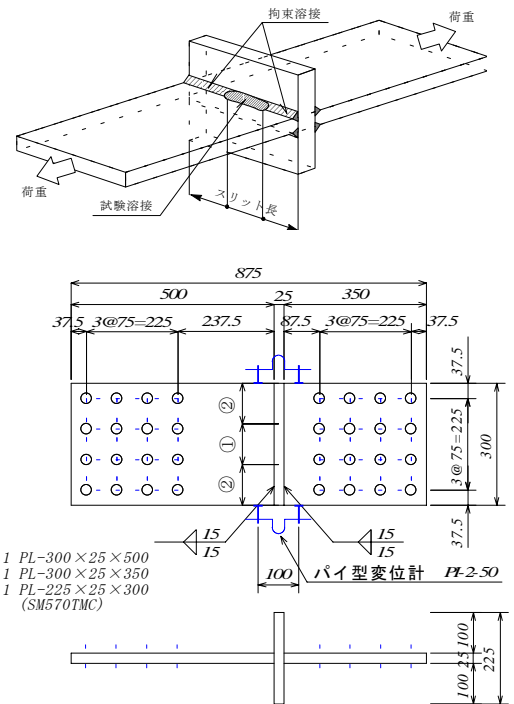


図-1 試験体形状図

表-1 供試鋼板の機械的性質及び化学成分

## (1) 機械的性質

降伏点	引張強さ	伸び	衝撃値
( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		(%)	( $\text{J}, -5^\circ\text{C}$ )
577	650	26	290

## (2) 化学成分および溶接割れ感受性組成 (%)

C	Si	Mn	Ni	Mo	P	S	$P_{CM}$
0.13	0.23	1.44	0.01	-	0.012	0.004	0.22

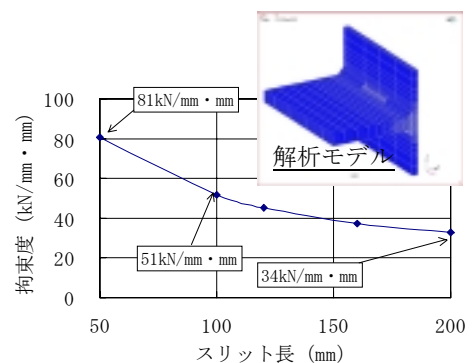


図-2 FEMによる拘束度の解析結果

**Keyword:** 補修溶接, 拘束度, 低温割れ, 死荷重応力

連絡先: 〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地, tel:047-435-6161, fax:047-435-6242

表-2 試験ケース

試験体名	拘束度	溶接材料	作用応力	積層	試験体名	拘束度	溶接材料	作用応力	積層
S1	53	GMAW 590N/mm <sup>2</sup> 級 ソリッド	0	1パス	A1	34	GMAW 590N/mm <sup>2</sup> 級 フラックス入り (CO <sub>2</sub> +Ar)	τ a	1パス
S2				多層	A2			τ y	1パス
S3				1パス	A3			0	1パス
S4				多層	A4			τ a	1パス
F1	53	GMAW 590N/mm <sup>2</sup> 級 フラックス入り (CO <sub>2</sub> )	0	1パス	A5	83	MAW 490N/mm <sup>2</sup> 級	τ y	1パス
F2				多層	A6			0	1パス
F3				1パス	A7			τ a/2	1パス
F4				多層	A8			τ a	1パス
F5	83	GMAW 590N/mm <sup>2</sup> 級 ソリッド	τ y	1パス	A9	53	MAW 490N/mm <sup>2</sup> 級	τ y	1パス
F6				多層	L1			0	1パス
F7				1パス	L2			τ a	1パス
F8				多層	L3			τ y	1パス
F9	83	GMAW 590N/mm <sup>2</sup> 級 ソリッド	τ a	1パス	L4	53	MAW 490N/mm <sup>2</sup> 級	0	1パス
F10				多層	L5			τ a	1パス
				1パス	L6			τ y	1パス
				多層	L7			0	1パス
					L8	83		τ a/2	1パス

YGW21, 1.2mm φ), フラックス入りワイヤの CO<sub>2</sub> 用 (JIS Z 3313 YFW60FX, 1.2mm φ) と Ar+ CO<sub>2</sub> 用 (JIS Z 3313 YFWA60FX, 1.2mm φ) の 3 種類とした。ここで, MAW に用いている D5016 は補修溶接専用開発された溶接材料である。溶接条件を表-4 に示す(予熱は全てのケースで行っていない)。なお, 少数ケースではあるが, 積層を 1 パスではなく連続的に多層溶接したケースについても行った。

3. 実験結果および考察

割れ発生率を抜粋して表-5 に示す。フラックスワイヤについては, CO<sub>2</sub> 用, CO<sub>2</sub>+Ar 用の両者に有意な差は見られず, ともに作用応力 τ a, 拘束度 52kN/mm・mm 以上で割れが確認された。ソリッドワイヤについてはいずれの試験体でも割れは確認されなかった。MAW については, 今回の実験ではほぼ全量に割れが確認された。表-5 の結果を基に拘束度と一定作用応力から割れ限界曲線を作成すると図-3 のようである。高拘束度下における補修溶接では MAW の適用は難しいとの結果となったが, これは, 今回の実験で MAW に使用している D5016 は降伏点が低いことその他, GMAW に比して MAW では低温割れの原因である拡散性水素量が高いことによると考えられる。

表-6 は図-1 中に示すパイ型変位計により計測した 1 パス溶接ケースについての実験中の過渡的な変位変化 (Δ δ w) の計測結果に基づいて求めた溶接中の過渡的なひずみ変化 (Δ ε w) と载荷によるひずみ (ε d) を一覧にしたものである。供試鋼板の降伏ひずみ (ε y) の最大約 70% 程度のひずみが発生している。連続多層溶接を行った供試体で割れは発生しなかったが, 過渡的溶接ひずみあるいは残留ひずみにより補修溶接の隣接部が降伏する可能性があると考えられるので, 溶接施工順序の設定等には慎重な配慮が必要であると考えられる。

4. まとめ

以上, 死荷重作用下にある構造物に対して高い拘束度下において補修溶接を行う場合を想定し, 溶接割れ実験を実施した。その結果, MAW より GMAW の方が耐割れ性に優れること, 過渡的な溶接ひずみの影響についても配慮が必要ながことが明らかとなった。

表-3 使用溶接材料の機械的性質

適用箇所	JIS 規格	シールドガス	ワイヤ径 mm	降伏点 N/mm <sup>2</sup>	引張強さ	伸び %	拡散性水素量※ ml/100g
一般部	Z3212 D5816	-	5	540	640	29	-
	Z3212 D5016	-	5	472	553	33	3.70
試験対象部	Z3313 YFW-C602R	CO <sub>2</sub>	1.2	580	640	24	3.07
	Z3313 YFW-A60FR	80%Ar +20%CO <sub>2</sub>	1.2	540	610	27	-
	Z3312 YGW21	CO <sub>2</sub>	1.2	590	660	30	1.92

※ガスクロマトグラフ法による測定値

表-4 溶接条件

溶接材料	電流	電圧	速度	入熱量
	A	V	c. p. m.	kJ/cm
YFW-602R	220	32	20	21
YGW21	240	32	20	23
YFW-A60FR	220	28	15	25
D5016	200	27	11	29

表-5 割れ発生率(1パスのみ)

F1~F10	拘束度 K (kN/mm・mm)			A1~A9	拘束度 K (kN/mm・mm)				
	33	52	81		33	52	81		
作用応力	τ y	-	2/4	1/2	作用応力	τ y	0/2	1/2	2/4
	τ a	-	0/4	2/2		τ a	0/2	0/2	2/2
	τ a/2	-	-	-		τ a/2	-	-	2/2
	0	-	0/2	0/2		0	-	0/2	0/2
S1~S4	拘束度 K (kN/mm・mm)			L1~L8	拘束度 K (kN/mm・mm)				
	33	52	81		33	52	81		
作用応力	τ y	-	-	-	作用応力	τ y	2/2	3/4	-
	τ a	-	0/2	-		τ a	1/2	4/4	-
	τ a/2	-	-	-		τ a/2	-	-	2/2
	0	-	0/2	-		0	0	1/2	2/2

注) 表中の数値は, (割れが発見されたマクロ断面数) / (検査したマクロ断面数)

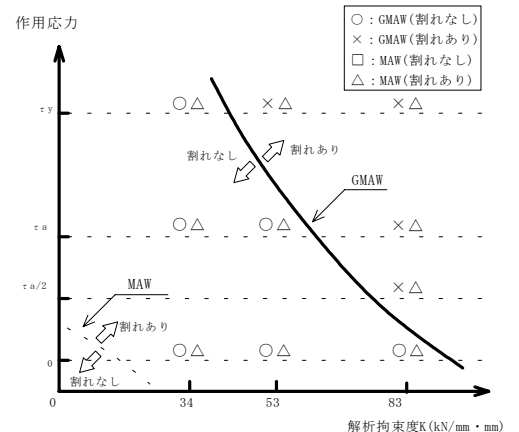


図-3 割れ限界曲線

表-6 溶接による過渡的なひずみ変化

試験体名	Δ δ w (mm)	Δ ε w (×10 <sup>-6</sup> )	σ d (N/mm <sup>2</sup> )	ε d (×10 <sup>-6</sup> )	① ε w + ε d (×10 <sup>-6</sup> )	② ε y (×10 <sup>-6</sup> )	①/② (%)
L2	0.083	830	47	235	1065	2800	38.0
L3	0.106	1060	93	465	1525	2800	54.5
L5	0.047	470	93	465	935	2800	33.4
L6	0.054	540	187	935	1475	2800	52.7
L8	0.032	320	58	290	610	2800	21.8
F3	0.044	440	93	465	905	2800	32.3
F5	0.044	440	187	935	1375	2800	49.1
F8	0.032	320	117	585	905	2800	32.3
F10	0.080	800	233	1165	1965	2800	70.2
A1	0.092	920	47	235	1155	2800	41.3
A2	0.111	1110	93	465	1575	2800	56.3
A4	0.043	430	93	465	895	2800	32.0
A5	0.049	490	187	935	1425	2800	50.9
A7	0.036	360	58	290	650	2800	23.2
A8	0.018	180	117	585	765	2800	27.3
A9	0.014	140	233	1165	1305	2800	46.6

Δ δ w : 溶接による過渡的の局所変位増分, Δ ε w : 過渡的ひずみ, σ d : 拘束応力, ε d : 拘束ひずみ, ε y : 降伏ひずみ