

建設機械化研究所 正会員 伊藤文夫
 本州四国連絡橋公団 村上憲司
 東京工業大学 正会員 三木千寿

1. はじめに

本州四国連絡橋の疲労設計では、調質鋼のかど溶接継手に対してB等級($\sigma=0, 200$ 万回時間強さ 12.70 kg/mm^2)の許容応力度を用いている。これは部分溶け込み形溶接、またはすみ肉溶接を施した大型試験体による疲労試験結果に基づいて設定されたものであるが補剛トラス主構弦材の断面が大きく板厚も厚くなる場合、外面からの部分溶け込み形溶接とともに内側からすみ肉溶接を施工したケースがある。本研究はトラス主構弦材とほぼ同断面の試験体により内面すみ肉溶接を併用したかど継手の疲れ強さと溶接の健全性を証査したものである。

2. 試験体および試験方法

試験体はSM58Q材を用い全長 14m $1080^{\text{mm}} \times 1040^{\text{mm}}$ (板厚 40mm)のボックス断面で試験機の容量の関係から4点曲げ試験(支間 13m , 載荷点距離 3m)で行った。また、フランジをウェブに載せた形にして外面と内面の溶接ルート部の応力を等しくしている。図-1に試験体概略図を示す。外面レ形溶接は2電極SAWを用い2層盛りとした。内面溶接も同じく2層盛りとしたが初層を手溶接とする場合と CO_2 溶接で行う場合の2種類の方法を用いた。表-1に溶接要領を示す。試験は試験体中央 2m の等曲げモーメント区間でのルート部の応力範囲が 15.3 kgf/mm^2 になるように上限荷重 362tm , 下限荷重 5tm , 繰り返し速度

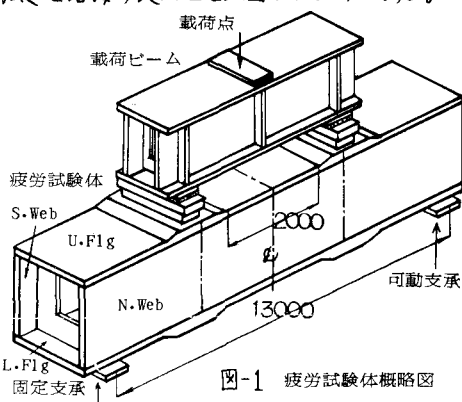


図-1 疲労試験体概略図

30 c.p.m. の条件で行い50万回ごとにビーチマーク操作を行った。また疲労試験終了後にかど溶接部の残留応力測定と、かど溶接ルート部を溶接線方向に開く破面試験を行った。

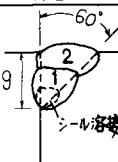
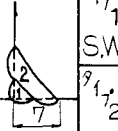
図-2に試験体端部にて測定したかど溶接溶接線方向の残留応力分布を示す。外面溶接、内面溶接とも最大引張り残留応力はビード上に生じ、その値は $40 \text{ kgf/mm}^2 \sim 50 \text{ kgf/mm}^2$ で、外面、内面とも同程度の値を示している。従って疲労試験中においても試験体中央のかど溶接部には約 45 kgf/mm^2 程度の引張り残留応力が生じていたものと思われる。

3. 試験結果および考察

試験は試験体中央部の下フランジ側内面すみ肉溶接棒継ぎ部表面から発生したきれつが、下フランジおよびウェブを貫通した169.5万回の時点で終了した。その後のきれつ調査によりかど溶接部以外にも載荷板まわり、補剛板スカラップ回溶接部にきれつが発見されたが、以下かど溶接部の疲れきれつについて述べる。

内面すみ肉溶接の2層目ビードの棒継ぎ部表面から発生した疲れきれつは、載荷点より外側において2ヶ所み

表-1 溶接要領

	開先および積層方法	パス	溶接方法	溶接材料	溶接条件				
					電流 A	電圧 V	速度 (cm/min)	入熱 kJ/cm	予熱 ℃
外面レ形溶接		1	先	Y-DM (4φ) YF-15 (20×200)	700	30	60	40	50
		2	後		550	35			
		1	先		550	32	50	40	
		2	後		600	32			
内面すみ肉溶接		1	手	L-60 (4φ)	160 ~180	-	-	-	100
		2	手	LBF-62 (6φ)	280 ~300	-	-	-	100
		1	CO ₂	YM-60 (1.2φ)	180 ~200	-	-	-	50
		2	手	LBF-62 (6φ)	280 ~300	-	-	-	50

つかり計3ヶ所発見された。

いずれも下フランジ側であり、きれつの発生していない棒継ぎ部のビード形状と大差ないが先行ビードのクレータの一部が表面に残っているのが特徴である。

破面試験によるブローホールの発生数を表-2に示す。短径寸法0.5mm以上の溶接線1mあたりのブローホールは、内面すみ肉溶接タイプ

1で7.8個/m、タイプ2で4.7個/mでレ形溶接の1.0個/mに比べて多くなっている。しかし内面すみ肉溶接のブローホールは微かなものが多く短径寸法1mmをこえるブローホールは3種の溶接法とも大差ない。このうち応力範囲が10kgf/mm²以上で短径寸法1mmを越えるブローホールは3ヶ所存在したがタイプ1の内面すみ肉溶接のブローホール(2.0^{mm}×1.5^{mm})1ヶ所より疲れきれつが発生していた。以上のきれつ4ヶ所はいずれも内面すみ肉溶接から発生した疲れきれつであり外面レ形溶接からは疲れきれつの発生はみられなかった。

これらの疲れきれつの最終きれつ形状もしくはビーチマーク形状をもとに板厚の8割まできれつ進展する時の繰り返し数をN_fとし推定寿命を算定すると

・ビード表面からのきれつ

	$\Delta\sigma$ (kgf/mm ²)	N _f (×10 ⁴)
N0.1	15.3	158.7
N0.2	13.2	172.7
N0.3	9.5	284.3

・ブローホールからのきれつ(2.0^{mm}×1.5^{mm})

N0.4	12.9	309.1
------	------	-------

となる。図-3にS-N線図を示す。

ブローホールから発生したきれつの推定疲労寿命は設計寿命曲線B等級を上まわりBox断面供試体の下限値程度の疲れ強さを示しているが内面すみ肉溶接溶接棒継ぎ部表面から発生した疲れきれつについては、その一つはB等級の寿命曲線を下まわっている。今後、表面に棒継ぎ部が生じない連続溶接の採用、もしくは十分な疲れ強さを有する棒継ぎ方法について、その品質管理を含めて検討する必要がある。

4. おわりに、補剛トラス主構弦材とはほぼ同断面の試験体による疲労試験の結果、本州四国連絡橋公団では、道路、鉄道併用橋となる若黒島橋の補剛トラス主構弦材のかど溶接には外面の部分溶け込みレ形溶接のみとし、内面すみ肉溶接はしない事とした。(参考文献)ボックス曲げ試験供試体のきれつ調査。

建設機械化研究所, 株式会社 横河橋梁製作所

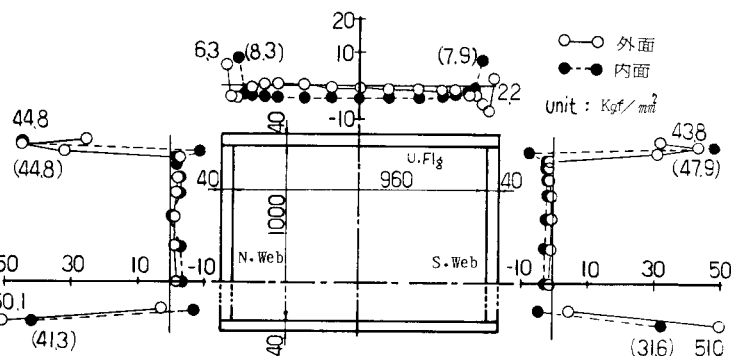


図-2 かど継手溶接線方向残留応力分布図

表-2 ブローホール発生数

溶接法	検査長(m)	短径0.5mm以上の短径1mmをこえるブロー	
		総数	1m当り
外面レ形溶接	17.3	17	1.0
内面初層(手)	9.0	70	7.8
すみ肉(CO ₂)	8.9	42	4.7

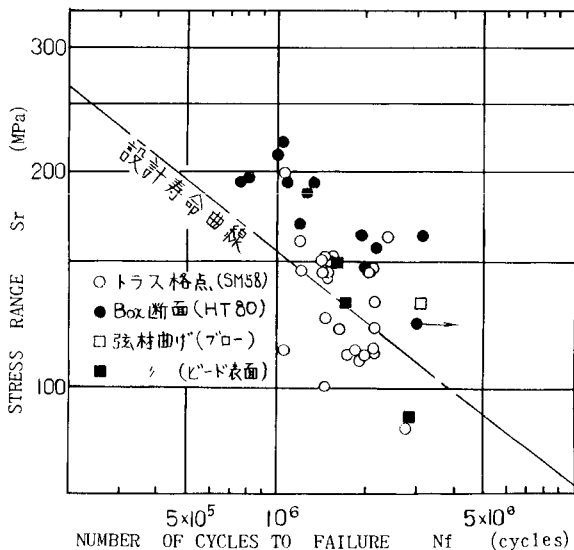


図-3 弦材かど溶接部の疲れ強さ