

建設機械化研究所

正員 伊藤文夫

本州四国連絡橋公団

正員 岸本良孝

埼玉大学工学部建設工学科

正員 田島二郎

1. まえがき

応力に直角な応力を伝えないすみ肉溶接継手（リブ十字継手）の母材の疲れ強さは、溶接止端部の幾何学的形状の影響を受ける。その疲れ強さを向上させる方法には、止端部に圧縮残留応力を入れる方法、止端部形状を改良して応力集中を低くする方法等多く研究されているが、ビード形状がきれいになる溶接棒による方法が実用的には有利であると思われる。そこで溶接ビード形状がきれいになる溶接棒を使用した大型供試体で疲労試験を行い、きれつ発生点の切欠半径 P 、接線角 θ 、アンダーカット深さ d を測定し、きれつ発生状況との関係を調べた。

2. 供試体および試験方法

供試体には主材板厚75mmのL形と45mmのR形の2種類で、ともに80 kg/mm² (784 MPa)級調質高張力鋼(NK-HITEN-80B)を使用している。供試体寸法と供試鋼材の化学成分、機械的性質を図-1、表-1に示す。溶接は半溶接水平すみ肉である。

溶接要領を表-2に示す。止端部形状測定は、疲労試験に先だち収縮の少ないシリコン材料（コレックスファイン、コルトフックス使用）を用いてビード全体の形状を凹形にとり、試験後の疲労破面と対照しきれつ発生点およびきれつ発生点以外の任意の位置においてモデリングコンパウンドを切断し投影器（×20）により測定する方法を用いた。疲労試験中にはカラーチェックおよびビーチマーク操作（最大応力を一定に保ち応力振幅を1/2とする）を、試験後には磁粉探傷を行い、きれつの発生点の位置をより正確につかまえるようにした。

3. 試験結果と考察

疲れきれつ発生箇所は、R形は11体で73箇所、L形は3体で17箇所であった。その発生点は、R形ではほとんどが2層盛りしたビードの1パス目の止端、L形では3層盛りしたビードの2パス目の止端で、初期きれつはビード波目に沿って伸展している。R形においても2パス目止端よりきれつが発生したものが14箇所あったが、この場合は1パス目の止端が $\phi 2165$ $P \geq 7.5$ mmで、2パス目と比べ形状が非常に滑らかであった。 P 、 θ 測定結果を表-3、図-2に示す。また、 P 、 θ 測定位置と P 、 θ の関係の1例（R6供試体）を図-3に示す。きれつ発生点の接線角 θ は $120^\circ \sim 170^\circ$ と大きいが切欠半径 P はほとんどが $P \leq 1$ mmである。止端部の微小アンダーカット（溶接ビード波目の谷）よりきれつが発生しているものがR形で39点（R形きれつ発生点数の53.4%）、L形で4点（同じく23.5%）存在した。この場合の P 、 θ の範囲は、 $0 \leq P \leq 1.5$ mm、 $125^\circ \leq \theta \leq 170^\circ$ であったが、その部分の微小な切欠角度 ω 、深さ d を測定し図-4に示す。F.E.M.解析による供試体止端部の応力集中率は $K_t = 1.69$ （ $P = 6.2$ mm、 $\theta = 164^\circ$ 、 $d = 0$ ）となるが、アンダーカットの存在により $K_t = 2.26 \sim 3.19$ （ $P = 0.25$ mm、 $\omega = 0$ 、 $d = 0.1 \sim 0.3$ mm、Neuberの切欠応力論より）となり、このような微小アンダーカットの影響が大きいことがわかる。

表-1 供試鋼材の化学成分と機械的性質

鋼種	化学成分 (%)										機械的性質		備考
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B	T.P.T.S.E.R.	(HBS)	(MPa)	
NK-HITEN-80B	0.10	0.27	0.97	0.15	0.05	0.04	0.59	0.33	2	755	823	24	きれつ発生点
SM50A	0.16	0.38	1.37	0.20	0.24					333	510	23	リブ材

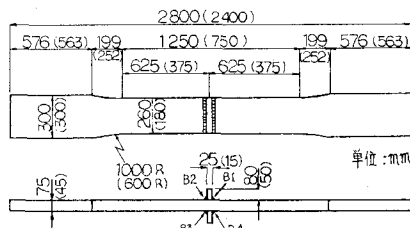


図-1 供試体の形状（寸法はR形）

表-2 溶接要領

T.P.	R 形	L 形
溶接材料	LB-62 7 ^号 (1 ^号) 6 ^号 (2 ^号)	LB-62 8 ^号 (1 ^号) 7 ^号 (2 ^号)
溶接電流	350A (7 ^号)、295A (6 ^号)	430A (8 ^号)、340A (7 ^号)、210A (5 ^号)
脚長	10 mm	13 mm
予熱/後熱	150 °C	150 °C
板付材	LB-62 5 ^号 220A	LB-62 5 ^号 220A
溶接順序	4, 3, 1, 2, 5, 6, 7, 8	6, 5, 3, 1, 2, 8, 9, 10, 11, 12

参考のために同じ溶接棒(LBF-6S)を用いたボックス断面供試体¹⁾およびトラス格点構造供試体²⁾のダイヤフラム部の P 、 θ を測定した。その結果を表-3に、また疲労試験結果をリブ十字溶接継手とあわせて図-5に示す。接線角 θ においてリブ十字溶接継手(R形)より小さな値を示しているのはダイヤフラム部の溶接が1パスで行われているためであるが、 $\theta \approx 140^\circ$ と十分ゆるい傾斜であったため、約 20° の差の疲れ強さへの影響は小さかったものと考えられる。トラス格点供試体ではダイヤフラム部よりきれつが発生したものは15体中1体もなかったが、ボックス断面供試体ではダイヤフラムコーナー部またはスカラップまわりの溶接部のすみ肉ビード終始端にきれつが発生しており、そのビード形状はだんご状になっていた。 P 、 θ 測定位置ではきれつが発生しておらずその値はリブ十字溶接継手においてきれつが発生しなかった範囲にあり、それらの間には一致がみられる。また図-5より疲れ強さも同程度であると考えられる。

表-3 止端部形状測定結果 (単位 P : mm, θ : $^\circ$)

止端部形状	供試体名	リブ十字溶接継手		Box断面供試体	トラス格点構造供試体
		R形	L形		
きれつ発生点	$\bar{P}$ (の)	0.25 (0.21)	0.41 (0.27)	—	—
	$\bar{\theta}$ (の)	159.6 (7.77)	134.8 (8.44)	—	—
きれつなし	$\bar{P}$ (の)	4.00 (3.23)	2.96 (2.42)	4.87 (1.96)	3.53 (1.36)
	$\bar{\theta}$ (の)	163.3 (4.60)	141.4 (8.25)	142.7 (7.85)	142.2 (10.2)

リブ十字 P 、 θ 測定点数 $n=24$ (R:168, L:46) Box $n=45$ トラス $n=14$
きれつ発生点数 $n=90$ (R:73, L:17)

本四連絡橋ではリブ十字溶接継手の疲労許容応力度は応力比 $k=0$ 、すなわち完全片振引張りの場合 10.5 kg/mm^2 (102.9 MPa)を採用している。鋼橋等製作基準では、とくに疲労を考慮すべき部材のすみ肉溶接止端部形状は凹形でかつビード形状がなめらかであり、アンダーカットは 0.3 mm を超えてはならないと規定されているが、ビード形状がきれいになる溶接棒を使うことによりその基準を満足し、疲れ強さは確保されることが明らかになった。

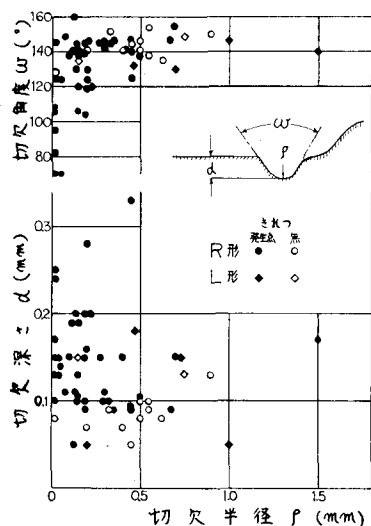


図-4 溶接止端部微小アンダーカット深さと切欠半径

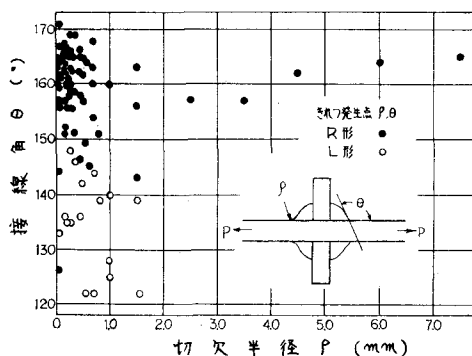


図-2 きれつ発生点の止端部切欠半径 P と接線角 θ

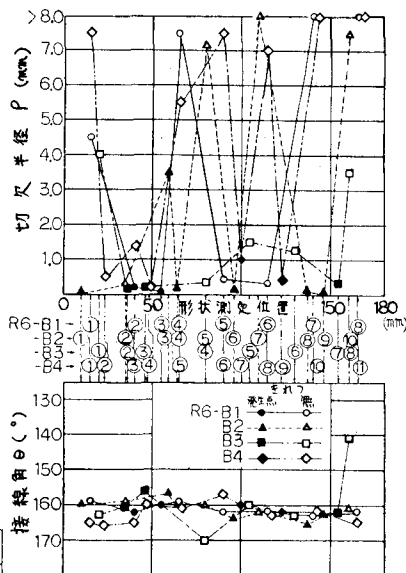


図-3 形状測定位置と P 、 θ (供試体R6)

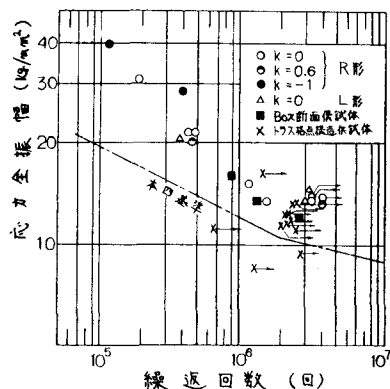


図-5 疲労試験結果

参考文献 1)建設機械化研究所: ボックス断面供試体電裂調査報告書 昭和54年12月

2)岸本、田島、谷藤: トラス格点のダイヤフラム溶接部の疲れ強さ 第34回年次講演会 I-53