

I-143

ハンガーブラケット実橋モデルによる疲労試験

本四公団	正員	鳥海 隆一
三菱重工業㈱	正員	梶本 勝也
埼玉大学	正員	田島 二郎
建設機械化研究所		谷藤 精一

1. まえがき

本州四国連絡橋 児島・坂出ルートの3吊橋において、主構部から張り出たハンガーブラケットによる新しい吊り構造形式が採用された。このハンガーブラケットは橋全体を支える重要部材であり、さらに列車荷重による疲労応力が作用するので、疲労強度に対して十分安全であるよう配慮して設計がなされている。

しかし、構造的にも複雑になり、溶接作業性も悪くなることを勘案し、

- ・設計上評価できない弱点部位があるかどうかを調査すると共に、疲労強度に対する安全性を確認する。
- ・竣工後の維持管理の資料を得る。

の2項目の目的で実橋モデルによる疲労試験を行った。本報告では、亀裂の発生状況と影響因子について報告する。

2. 試験方法

供試体として、ハンガーブラケットから主構中心までを試験対象範囲とし、左右対称構造のものを1体製作した。その概略形状と載荷要領を図1に示す。ハンガー定着部を支持して三点曲げ方式で試験を行ったが、これにより、各着目点（※1：主構との付け根部、※2：くびれ部、※3：ハンガー定着部）の断面力は図中の表に示すように、ほぼ実橋設計条件を再現できる。

疲労試験に先立ち、供試体について立体モデルのFEM解析および静的載荷によるひずみ計測試験を行い、各部の応力状態を調べた。これらを基に、繰返し数が200万回程度で疲労亀裂が生じうる試験荷重範囲として $\Delta P = 130\text{ ton}$ （設計疲労荷重条件 $\Delta P = 36\text{ ton}$ の約3.6倍）を採用して疲労試験を行った。なお、原則として繰返し数20万回毎に荷重範囲を1/2にして破面にビーチマークを残し、それにより疲労亀裂の発生および進展状況の観察が行えるようにした。

試験終了後は、着目点、その他溶接継手部について詳細な非破壊検査を行うと共に、予め型取り法を適用してビード形状（止端部曲率半径 ρ 、余盛角度 θ など）を調べた。亀裂発生部については、実体顕微鏡および走査型電子顕微鏡などを用いて破面解析を行った。

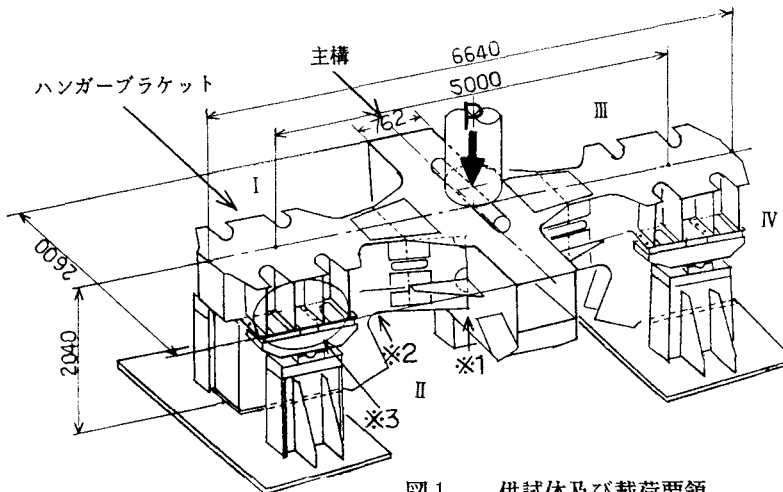


図1 供試体及び載荷要領

断面力表($\Delta P = 36\text{ ton}$)
単位: t, tm

		設計	モデル
※1	ΔM	45.4	45.4
	ΔS	19.8	18.2
※2	ΔM	16.7	18.2
	ΔS	19.6	18.2
※3	ΔR	25.8	18.2

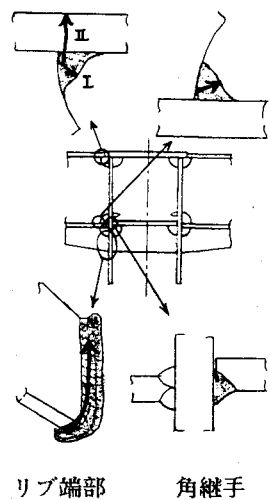
3. 試験結果

疲労試験中、適宜検査を行いつつ試験を続けた結果、当初想定の繰返し数 200万回頃より各所に疲労亀裂の発生が認められるようになり、最終的な試験繰返し数 408万回の時点で4つの構造箇所計12個の疲労亀裂が検出された。これら亀裂発生部位について行った諸調査結果を一括して表1にまとめて示す。表から主たる試験結果として次のことがあげられる。

- (1) リブ端部1箇所に発生した疲労亀裂 (N0①) は、リブ側溶接止端部を起点としていた。当該部には微小カットがみられ、他箇所に比べて止端部の応力集中係数 K_t は大きかった。
- (2) 下スカラップの回し溶接部に発生した疲労亀裂は、一部（止端部を起点としたN0③-1）を除いて、いずれも溶接ルート部を起点としていた。なお、亀裂N0③-1の溶接止端部には微小カットがみられ、他箇所に比べて K_t は大きかった。また、全てのルート部に若干の溶込み不足がみられた。
- (3) 上スカラップの回し溶接部に発生した疲労亀裂は、いずれも溶接ルート部を起点として回し溶接金属部の表面に現れた後に、上フランジ側へと進展していた。当該構造箇所は疲労応力的には圧縮応力側になるのに、このような疲労亀裂が発生、進展したのは、溶接残留応力が大きく影響したものと考えられる。また、下スカラップ同様、ルート部溶込み不足がみられた。
- (4) 角継手部の疲労亀裂は、溶接ルート部を起点として表面亀裂の形態で3個発生していた。

以上の試験の結果、溶接ルート部からの断面方向へと進展する疲労亀裂、圧縮応力下の疲労亀裂の発生、進展、疲労強度に及ぼすビード形状の影響など実体試験ならではの得られぬ種々貴重な知見が得られた。

表1 疲労亀裂発生部位の諸調査結果まとめ

構造箇所		作用*1 応力 (kgf/mm ²)	破面観察結果			ビード形状型取り結果		疲労亀裂の発生状況	
			N0.	起 点	疲労寿命*2 (Cycles)	応力集中 係数*3 K _t	溶接のど厚 (mm)		
リブ端部	I	13.8	なし	—	—	1.27~1.33	10.8~11.6	上スカラップ 下スカラップ 	
	II	13.3	①	止端部	2.45×10 ⁶	1.34~4.54	9.5~10.5		
	III	15.6	なし	—	—	1.31~1.67	10.0~11.5		
	IV	14.8	なし	—	—	1.19~1.24	8.8~10.4		
下スカラップ	I	下フランジ側	⑦	ルート部	3.65×10 ⁶	1.98~2.60	7.5~7.7		
	II	ウェブ側	⑤	ルート部	2.20×10 ⁶	1.90~2.95	7.5~8.4		
	III		③-1	止端部	2.20×10 ⁶	1.86~6.73	9.0~9.4		
	IV		③-2	ルート部	3.03×10 ⁶				
			⑥	ルート部	3.43×10 ⁶	1.76~4.13	7.7~8.3		
上スカラップ	I	-19.5	なし	—	—	1.86~3.99	8.4~9.2		
	II	-18.1	②	ルート部	1.86×10 ⁶	1.49~2.98	7.6~8.2		
	III	-16.1	④	ルート部	2.20×10 ⁶	1.61~3.12	7.6~8.2		
	IV	-19.2	⑨	ルート部	3.43×10 ⁶	1.72~2.13	7.8~8.4		
角継手	I - II	5.3	⑧-1	ルート部	>4.08×10 ⁶	—	26.8		リブ端部 角継手
			⑧-2	ルート部	—	—	—		
			⑧-3	ルート部	—	—	—		
	III - IV	—	なし	—	—	—			

*1：溶接止端部近傍に貼付したひずみゲージによる実測値

*2：溶接のど厚の約80%まで亀裂が進展したときの繰返し数（ピーチマーク等より推定）

*3：溶接ビード形状（ ρ , θ ）の計測結果を基に、熊谷らの式（機論, Vol 34）を用いて算出