

I-144

ハンガーブラケット実橋モデルの疲労照査

三菱重工業㈱ 正員 梶本 勝也
 本四公団 正員 鳥海 隆一
 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

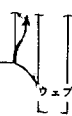
ハンガーブラケット実橋モデルによる疲労試験の結果、疲労亀裂は主構との付け根部のリップ端部、下スカラップ部、上スカラップ部および角継手部に計12個発生した。そこで、これら疲労強度上の弱点部位となりうる4つの構造箇所の疲労強度を照査して、その疲労安全性に検討を加えた。また、破壊力学を適用した疲労亀裂進展解析を行い、竣工後の維持管理の資料として利用せんとした。本報では、その概要を報告する。

2. 疲労照査

疲労強度の照査は本四設計基準に基づいて行った。すなわち、実橋設計時と全く同様の手法で疲労試験時における供試体各部の疲労応力範囲（ σ_r ）を算出し、本四基準の疲労許容応力範囲（ σ_{ra} ）と対比したものを表1に示す。なお、各構造箇所の疲労寿命（溶接のど厚の80%まで亀裂が進展する寿命と考えた）は、角継手部を除いておおむね200万回付近と考えられるため、 σ_{ra} としては200万回基本疲労許容応力範囲を採用している。

リップ端部については十分安全側の評価を与えている。また、角継手部についてもルート部から約3mm深さの疲労亀裂の進展をみたが、 4.08×10^6 回の時点で疲労寿命に達しておらず、疲労試験結果とほぼ対応した評価を与えている。

表1 各構造部の疲労強度照査結果

構造箇所	疲労試験結果		疲労照査結果			備考
	起点	疲労寿命(Nf)	応力範囲 σ_r (kgf/mm ²)	許容応力 範囲 σ_{ra} (kgf/mm ²)	判定 σ_r / σ_{ra}	
リップ端部	I	—	17.2*1	10.5 (等級C)	1.64	
	II	止端部				
	III	—				
	IV	—				
下スカラップ	I	ルート部	3.65 $\times 10^4$	6.2	8.0 (等級D)	
	II	ルート部	2.20 $\times 10^4$			
	III	止端部	2.20 $\times 10^4$			
	IV	ルート部	3.03 $\times 10^4$			
	IV	ルート部	3.43 $\times 10^4$			
上スカラップ	I	—	8.1	10.4*2 (等級D)	0.79	
	II	ルート部	1.86 $\times 10^4$			
	III	ルート部	2.20 $\times 10^4$			
	IV	ルート部	3.43 $\times 10^4$			
角継手	I-II	ルート部	4.08 $\times 10^4$	6.2	8.0 (等級D)	
	III-IV	—	—			

*1：設計検討時の立体FEM解析により応力集中率1.6を考慮

*2：作用応力が片振り圧縮であることを考慮（ $1.3 \times 8.0 = 10.4$ ）

表2 各構造箇所の設計疲労荷重条件時の疲労寿命推定結果

構造箇所	リップ端部	下スカラップ部	上スカラップ部	角継手部
疲労寿命	4.17 $\times 10^8$ ∫ >6.94 $\times 10^8$	3.74 $\times 10^8$ ∫ 6.17 $\times 10^8$	3.06 $\times 10^8$ ∫ 6.94 $\times 10^8$	>1.92 $\times 10^8$

しかし、スカラップ継手部については、本四基準でのフランジ側溶接止端部に着目した照査では許容値以下となり、結果は危険側の評価を与えている。

疲労試験の結果は止端部からの母材亀裂でなく、ルート部を起点としてのど断面方面へと進展する亀裂が発生しており、この部分に対するピードのせん断応力に対する設計上の評価方法について今後検討する必要があると考えられる。

なお、疲労試験は実設計荷重の約3.6倍で行っているため、直線累積被害則に基づいて設計疲労荷重条件時の疲労寿命を推定して表2に示す。いずれの構造箇所とも100年を考えた設計寿命（ 9.6×10^6 回）を大きく上回っており、疲労に対して十分安全と考えられる。

3. 疲労亀裂進展解析

破壊力学を適用した疲労亀裂の進展解析は次式に基づいて行った。

$$da/dN = C(\Delta K)^m \quad (1)$$

ここに、 da/dN : 亀裂進展速度

ΔK : 応力拡大係数 (K) の変動範囲

C, m : 材質によって決まる常数

表3に、一例として、解析対象とした各構造箇所における疲労亀裂の進展状況と解析上のモデル化例を示す。

リブ端部については、板厚貫通前を半楕円表面亀裂、貫通後を有限板片側亀裂にモデル化して解析を行った。その結果を図1に示すが、実構造においては、亀裂が大きく成長すると荷重の再配分などが起こるため、荷重・変位条件等に対する配慮が必要になることがわかる。

上スカラップ部については、まず溶接金属内の進展は、溶接ルートの未溶着部に適当な大きさの初期亀裂の存在を仮定して、半楕円表面亀裂の進展問題として解析を試みた。その結果、この亀裂に対しては初期亀裂の深さとして約2mm程度のものを仮定すれば、疲労試験時の亀裂進展状況とよい対応を示すことが明らかになった。次に上フランジ内の進展に対しては、ビーチマークにより初期欠陥を起点とした場合、複数亀裂の干渉・合体を考慮した半楕円表面亀裂の進展解析により、図2に示すように精度よくその進展挙動が推定できることが明らかになった。

表3 疲労亀裂進展解析のモデル化

亀裂進展状況		モデル化	
リブ端部	I 板厚貫通前	半楕円表面亀裂 (J. C. Newmanの解)	① 荷重型 σ一定 ② 変位型 V_0一定 ③ 端面非回転 平均応力一定 $\Sigma \sigma$一定 V_0一定
	II 板厚貫通後	有限板片側亀裂	
スカラップ部	I 溶金内進展	半楕円表面亀裂 (J. C. Newmanの解)	① 荷重型 σ一定 ② 変位型 V_0一定 ③ 端面非回転 平均応力一定 $\Sigma \sigma$一定 V_0一定
	II 上フランジ内進展	半楕円複数表面亀裂 (A. S. Kobayashi の解+飯田の形状変化則 亀裂の干渉・合体考慮)	

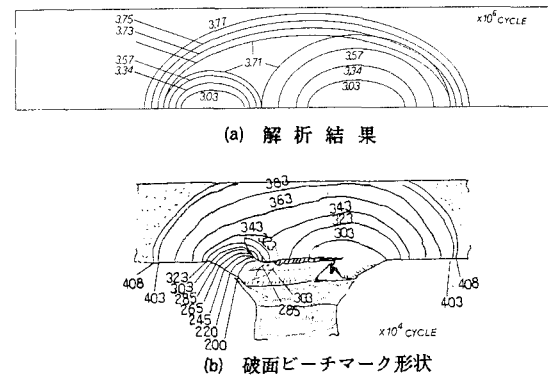


図2 上スカラップ部の疲労亀裂進展形状 (上フランジ内)

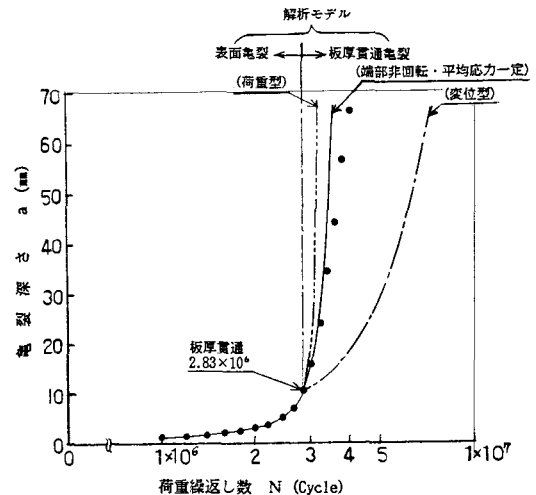


図1 疲労亀裂進展解析結果 (リブ端部)