

溶接部におけるき裂の進展挙動について

岡山大学大学院 学生員 ○末次 剛
 横河橋梁製作所 正会員 岩崎 雅紀
 岡山大学工学部 正会員 谷口 健男

1. まえがき 近年、鋼橋において疲労によるき裂の発生が数多く報告され、その多くが溶接部から生じたものであることが指摘されている。これは、溶接部のもつ特性として、完全とけ込み溶接であっても施工時に起こる欠陥がき裂発生の中核となること、未溶接部が初期き裂の役割を果たすこと、溶接部付近の断面の急変が応力集中をまねくこと、など幾つかの理由が挙げられる。一方、構造物の大型化、複雑化の著しい今日では、溶接部が必然的に多用される状況にあり、従って溶接部から発生するき裂が構造物の寿命に及ぼす影響は大きくなってきている。そこで本研究では、その1例として溶接継手モデルを対象にしたFEM手法による数値解析を実施し、(1)同一形状の金属片における疲労試験結果との比較、(2)き裂の進展挙動、(3)き裂の成長を遅らせるための対策の検討、(4)複数き裂として扱った場合の進展挙動、の4項目について検討を行う。

2. き裂の進展解析法 本解析システムは、FEM手法を用いて、き裂が Δa 進展するのに要する荷重繰り返し回数を算定し、構造物の寿命の予測を行うものである。なお、解析の手順を(図2-1)に示す。

3. 溶接部のき裂進展解析例 (図3-1)に示した試験片は、厚さ9.0mm奥行き70.0mmの鋼製の縦板に、厚さ5.7mm奥行き70.0mmの同じく鋼製の横板が完全とけ込み溶接され、これにさらに裏当金が施されている。この左右横板に3種の一定振幅荷重を与え、試験片が破断に至るまでに要する荷重繰り返し回数、及び破断位置を測定する。試験結果を(表3-1a)に示す。一方、数値解析においては、試験片が対称形であるので(図3-2)に示したような1/2モデルを設定する。縦板の境界は、水平方向Fix、鉛直方向Freeとする。モデルの奥行きは、解析上単位奥行き(10.0mm)とし、 $1\text{kgf}/\text{mm}^2$ の一定振幅荷重を与える。(図3-3)に示した2ヶ所の未溶接部を初期き裂と考えそれぞれをき裂A,Bと呼ぶことにする。構造物の寿命延長を図るため(表3-2)に示した要因を考えそれらの検討を行う。なお、残留応力については、今回の数値解析では考慮していない。

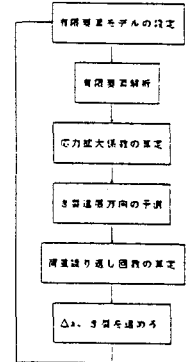


図 2-1 解析の手順

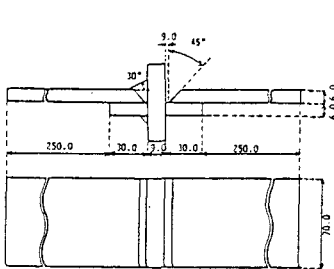


図 3-1 試験片形状

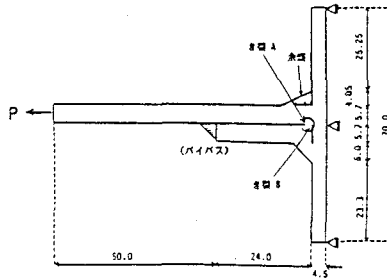


図 3-2 数値解析モデル

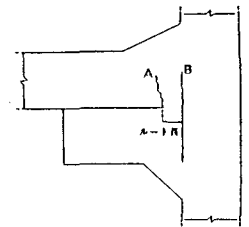


図 3-3 溶接部略図

・**き裂Aの進展挙動**：(表3-2)の結果から、もっとも寿命延長効果が大きいと考えられるのは、溶接によるバイパスを設ける場合である。この場合約9倍の寿命の延長が期待できる。次は横板厚を大きくする場合で約1.9倍である。余盛り高を大きくすることによる効果は、ここに示した程度の余盛りでは5%と小さい。また、ルート長を大きくする場合と、裏当金を小さくする場合では、逆に寿命が短くなり危険である。

。次に、試験結果と数値解析結果とを比較すると後者の方がかなり早く破断に至るという結果になった(表3-1b)。この理由については、材料定数等の設定に問題があったことが考えられる。

・**き裂Bの進展解析**：(表3-2)の結果から最も寿命延長効果があると考えられるのは、横板厚を大きくする場合である。このとき約1.7倍の寿命延長効果がある。以下、裏当金厚を小さくする場合、バイパスを設ける場合の順でそれぞれ約1.4倍、1.2倍である。またルート長、余盛り高をそれぞれ大きくする場合では、ほとんど効果がなかった。き裂Aでは、バイパスを設けることによって大きく寿命の延長が図れるが、き裂Bではこれに相当する効果が得られる対策は今回行った5項目のうちからは見当たらなかった。

表 3-1a 試験結果

	板厚 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm ²)	最小荷重 (kgf/mm ²)	最大荷重 (kgf/mm ²)	応力降臨 繰り返し回数	破断までの 繰り返し回数	破断 位置
P1	5.7	89.7	397.3	1.5	13.6	12.1	1,059,500	A,B
P2	5.7	69.6	396.7	1.5	16.6	15.1	586,500	A
P3	5.7	70.1	399.6	1.5	19.5	18.0	297,800	A

表 3-2 諸要因の影響

要因	A	B
横板厚(7.7mm)	1.78	1.66
裏当金(3.0mm)	0.68	1.36
余盛り高(+2.0mm)	1.05	1.00
ルート長(5.0mm)	0.52	1.08
バイパス(有)	8.74	1.17

表 3-1b 試験結果と解析結果の比較

σ (kgf/mm ²)	12.1	15.1	18.0
破断試験:X(回)	1059,500	586,500	297,800
数値解析	107,871	126,477	86,837
	20,871	13,369	9,390
	9,319	5,069	4,103
	4,154	2,853	2,004
	1,972	1,263	887
合計:Y(回)	234,056	140,031	105,311
X/Y	4.53	3.91	2.83

・**き裂Aおよびき裂Bの同時進展**：複数き裂の同時進展解析では、同一の荷重繰り返し回数下での進展量を設定する必要がある。そこで、き裂A,B共に1万回の荷重繰り返し回数に対する進展量をParisの式より算定する。ここでは、材料定数として $m=3.0108$, $C=1.2249 \times 10^{-8}$ を用いる。その結果、(表3-3)に示すように進展量は初期き裂長に対して十分小さいことから、1回の進展中は(図3-4)に示すようにき裂の進展経路を設定し進展解析を3回行う。この解析結果(表3-4)よりき裂AのK値は増加傾向、一方、き裂BのK値は減少傾向にある。このことからき裂Bが、Aに先行して進展するが、進展のかなり初期の段階でき裂AがBに追いつくことが予想される。従って、試験結果と同様破断はき裂Aによって起こるものと考えられる。

表 3-3 荷重繰り返し回数1万回

に対するき裂A,Bの進展量

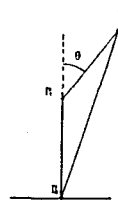
		き裂A		き裂B		
		半長	0.05mm	0.2mm	0.05mm	0.2mm
進展 回数	1回	1.67537	1.79388	4.12002	4.23246	
	2回	1.68033	1.80206	4.11100	4.23643	
	3回	1.68190	1.80323	4.10033	4.10543	

真中の単位(10⁻³mm)

表 3-4 複数き裂の解析結果

半長(mm)		第1回		第2回		第3回	
		K値	角度	K値	角度	K値	角度
1	0.05	A 1.109620	55.608	1.111082	55.831	1.111054	55.606
		B 1.496131	-29.875	1.495043	-29.875	1.493752	-29.810
2	0.20	A 1.135097	58.078	1.126814	58.061	1.137058	58.044
		B 1.509571	-30.018	1.509400	-29.935	1.509510	-29.893

図 3-4 き裂進展経路の設定



4.あとがき：今回、複数き裂の同時進展解析を試みたが、A、B両き裂の相互作用が解析されるようにならなければ、現実の複数き裂の解析は不十分である。今後、今回の解析方法に代わる新たな方法による数値解析を行う必要がある。

<参考文献> 白鳥正樹、三好俊郎、松下久雄 “数値破壊力学”, 実教出版