

かど溶接ルート部に発生する疲労亀裂検出に対する 非破壊試験の適用性

FEASIBILITY STUDY ON NON-DESTRUCTIVE TESTING FOR FATIGUE CRACK DETECTION OF CORNER WELD

田島二郎*・福井崇博**・三木千寿***・深沢 誠****

By Jiro TAJIMA, Munehiro FUKUI, Chitoshi MIKI and Makoto FUKAZAWA

This study reviews the non-destructive testing methods and evaluates their reliability and adaptability for the detection of fatigue cracks which develop from a blowhole at the root of the corner weld. X-ray, ultrasonic, magnetic particle, liquid penetrant, and eddy current testing methods are provided. For the internal crack, ultrasonic testing appears to be desirable. Minimum crack sizes detectable are about 8mm ϕ with a high accuracy. For the crack opened to the surface, eddy current and magnetic particle testing give a fair estimation. But it must be understood that fatigue cracks will be missed by liquid penetrant testing.

Keywords: non-destructive testing, fatigue crack, corner weld

1. 緒 言

本州四国連絡橋の鉄道併用橋部材の設計にあたっては、疲労亀裂の発生を前提として耐用年数100年の間に亀裂が板厚を貫通しないようにしている¹⁾。これは、現在までに行われた各種の溶接継手の大型疲労試験において、亀裂は繰返し載荷のごく初期に発生し、疲労寿命の大部分は進展で占められることが明らかとなったためである。

補剛トラス弦材かど継手の場合、部分溶け込みレ形溶接のルート部に存在するブローホールを起点として疲労亀裂が発生することが多い。このような亀裂による破壊を防止するために、設計基準においては調質鋼を用いる弦材かど継手の疲労等級をB等級(基本許容応力範囲: $\sigma_{r0}=125$ MPa)と定め²⁾、製作基準においては部材に作用する変動応力範囲と許容応力範囲の比によって部材の重要度を分類し、それぞれに対して許容欠陥寸法を規定している³⁾。しかしながら、併用後において、許容値を

越えない欠陥からも疲労亀裂が発生する可能性があり、また、製作時の非破壊検査の精度を考え合わせると、定期的に亀裂の発生および進展を検査することが不可欠である。著者らは、先にかど溶接ルートブローホールから発生する疲労亀裂について、映像記録装置を備えた超音波自動探傷試験により亀裂寸法推定の検討を行い、亀裂の画像寸法と実寸法の間には相関関係があることから、広範囲な検査領域の粗探傷としての有効性を確認した⁴⁾。

ところで、併用後の検査システム、補修基準を考えるうえでは、超音波探傷試験を含む各種非破壊試験の亀裂検出精度、さらには適用性を検討しておくことも重要である。そこで、本実験では、ルートブローホールを模した人工欠陥を有する縦ビード供試体の繰返し載荷により種々の大きさの内部疲労亀裂を発生させ、この亀裂の放射線透過試験、超音波探傷試験、さらに、板内部から発生した亀裂が表面に開口した場合を対象に、渦流探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験を行い、これらの非破壊試験の亀裂検出精度、さらには適用性を検討した。

また、粗探傷としての超音波自動探傷において、より正確な亀裂寸法を推定するには、大きさの異なる亀裂を有する基準試験片により校正曲線を得ておくことが有効である。そこで、このような基準試験片を作製するとともに、自動超音波探傷試験を行い、性能の異なる探触子

* 正会員 工博 埼玉大学教授 工学部建設工学科
(〒338 浦和市下大久保 255)

** 本州四国連絡橋公団設計二課 (〒105 港区虎ノ門 4-3-20)

*** 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科
(〒152 目黒区大岡山 2-12-1)

**** 正会員 横河橋梁製作所研究所 (〒260 千葉市新港 88 番)

ごとに亀裂寸法推定の校正直線を作製できることを確認した。

2. 供試体および繰返し載荷

図一に供試体形状を示す。弦材かど溶接部をモデル化したV開先の部分溶け込み縦ビード供試体である。使用鋼材はSM58Qであり、平行部1100mmの区間のルート部11か所(①~⑪)にブローホールを模した欠陥を作製した。図二に模擬欠陥の作製要領を示す。初層溶接(①)後、先端がルート部に位置するようにキリ穴加工を行い(②)、手溶接で埋め込んだ(③)。その後、④~⑥のサブマージアーク溶接を行い、最後に余盛仕上げをした。供試体加工の都合でV開先としたが、溶接材料、溶接条件については実施工における弦材かど溶接と同じである。供試体は4体製作し、ブローホール径に相当するキリ穴径は実際に出現が予想される寸法を参考にし1.5mmφ、2.5mmφ、3.5mmφの3種類とした。写真一に代表的な模擬欠陥の断面マクロを示す。

表一に4体の供試体の繰返し載荷条件を示す。載荷途中、適時、超音波探傷試験を行い、11か所の模擬欠

表一 繰返し載荷条件

供試体No.	$\Delta\sigma$ MPa	Nf, cycles	備考
A(1.5φ)	215	19.1 × 10 ⁴	①の亀裂,表面貫通(14mm)
B1(2.5φ)	218	31.0 × 10 ⁴	⑤の亀裂,表面貫通(7mm)
B2(2.5φ)	217	57.0 × 10 ⁴	⑨の亀裂,表面下(3.2mm)
C(3.5φ)	218	53.4 × 10 ⁴	⑩の亀裂,表面下(2mm)

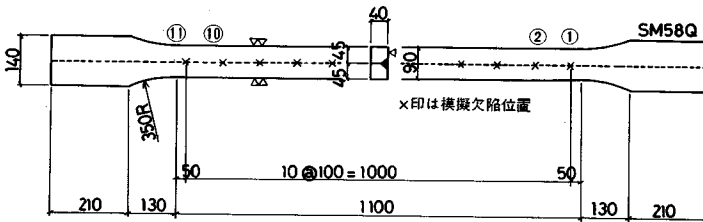
陥のいずれかから発生した亀裂がビード表面に貫通する直前、もしくは直後に載荷を終了した。

3. 内部亀裂の寸法推定

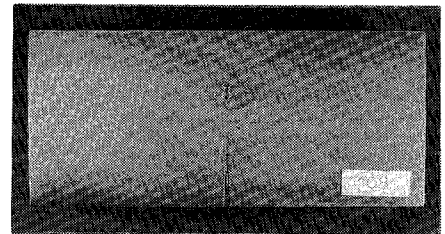
繰返し載荷後の供試体において、模擬欠陥を設けたすべての部分について放射線透過試験(RT)、超音波探傷試験(UT)を行った。弦材かど継手を対象とする場合、放射線透過試験の適用は作業上困難であるが、ここでは、疲労亀裂検出に対する一般的な特性を検討するために実施した。

(1) 放射線透過試験および超音波探傷試験

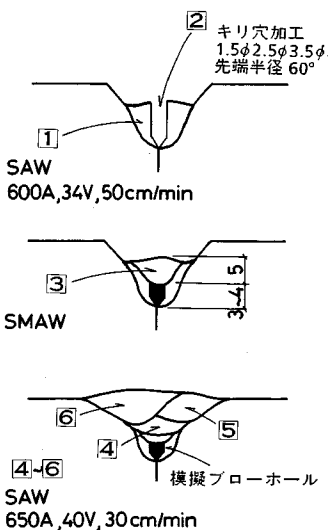
放射線透過試験は橋梁部材の製作時における最も一般的な非破壊検査手法であり、X線、γ線を試験部に透過



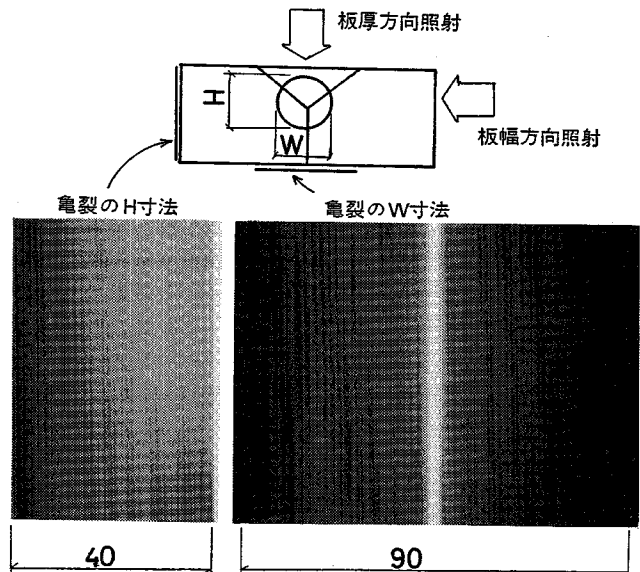
図一 供試体形状



写真一 模擬ブローホールの断面マクロ



図二 模擬ブローホールの作製方法



表—2 放射線透過試験の撮影条件

照射板厚	40mm		90mm
	RF300	ライナック	ライナック
X線装置	RF300	ライナック	ライナック
X線フィルム	#50	#100	#50
増感紙	F&B,0.1mm	F&B,1.0mm	F&B,1.0mm
焦点・試験体距離	555mm	1455mm	2410mm
管電圧	300KV	950KV	8000KV
露出時間・条件	3.5min	30R	700R
現像条件	ハイレンドール 20°C, 5min	ハイレンドール 20°C, 7min	ハイレンドール 20°C, 7min

させ、背後におかれたフィルムに欠陥像を記録するものである。放射線の吸収は透過する部分の板厚に比例するため、欠陥部の透過は健全部と異なってくる。写真—2に代表的な亀裂発生部のX線写真を、表—2に撮影条件を示す。試験片板厚方向 ($t=40$ mm, 亀裂の W 寸法検出)、板厚方向 ($w=90$ mm, 亀裂の H 寸法検出) の2方向からの撮影を行っている。

超音波探傷試験は、高い周波数の弾性波が材料中の欠陥にあたった場合に反射することを利用したものであり、その反射波は欠陥の位置、性質、形状、寸法などの数多くの情報を含んでいる。この方法は、内部および表面欠陥の検出が可能であり、試験装置の簡便さから橋梁の現場検査に適した非破壊試験といえる。超音波探傷試験において、内部欠陥の寸法を評価する方法として数種類の提案がされているが⁵⁾、ここでは、そのうち最も有効と考えられる端部エコー法を採用した。端部エコー法は図—3にその概要を示すように、亀裂端部からのピークエコーを検出する方法である。探触子の前後走査によりブローホールからの反射エコーと亀裂端部からのエコーを分離し、上下端それぞれのエコーのビーム路程差から亀裂寸法を推定する。亀裂の W 寸法については試

表—3 端部エコー法の探傷条件

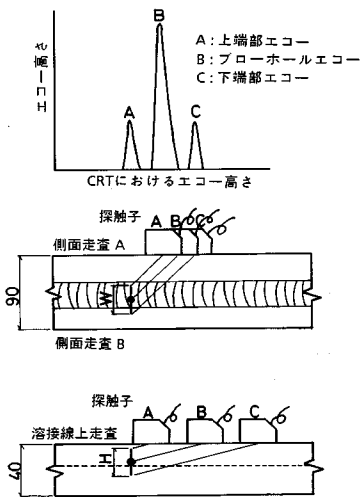
使用機器	探傷装置 探触子	搬用タイプ (FD610S, SM90DX) 斜角ポイントフォーカス (A45, SF13~42mm) 斜角分割型 (A70D, SF4~20mm)
探傷感度	感度試験片	CB—3池
	接触媒質	グリセリン75%以上
探傷感度	斜角ポイントフォーカス	深さ30mmのφ1.0mm横穴を100% + 6~12dB
	斜角分割形	深さ9mmのφ2.0mm横穴を100% + 6~12dB

験片の両側面 (A, B) からそれぞれ入射方向を変えて (F, B) 計4方向の探傷を実施した。また、 H 寸法についてはビード表面側のみからの探傷とした。ここで、弦材かど継手の場合、側面走査がウェブ面からの探傷に相当する。表—3にそれぞれの探傷条件を示す。

RT, UT いずれかの方法により、44個の模擬欠陥中19か所に亀裂が確認できた。これらの亀裂の推定寸法を幅 W 、高さ H に分けて表—4に示す。表中、繰返し載荷前に行った超音波自動探傷 (実施工において行われている検査) により求めた欠陥寸法、溶け込み深さを併記する。A-①, B1-⑧の亀裂はビード表面側へ貫通しており、繰返し載荷時において、負荷状態のもとでの目視検査によりその存在が確認されている。

超音波端部エコー法では、44か所の人工欠陥中、19か所に亀裂の存在が確認できた。まず、 W 寸法についてみる。亀裂の W 寸法は各探傷方向での上下端のピークエコーのビーム路程差から求め、それぞれの値の平均値をもって亀裂幅寸法 W_{UT} とした。しかしながら、下端部エコーに比べて、上端部エコーが識別しにくく、この場合は供試体の幅を90mmとして、A面、B面それぞれの下端部エコー位置より W_{UT} を計算した。

一方、 H 寸法は、ビード表面側からの探傷であり、上端部エコーより H_1 を、下端部エコーより H_2 を求めた。ただし、 H_1 はブローホール頭部からの反射エコー



図—3 超音波探傷端部エコー法

表—4 放射線透過試験および超音波探傷試験結果

亀裂マーク	初期状態		RTによる亀裂寸法		超音波端部エコー法による亀裂寸法								備考	
	欠陥	寸法 $W \times h$	溶込み d	WRT	HRT	WUT				HVT				
						A面		B面		W_{UT}	H_1	H_2		H_{UT}
A	1	2.0×10.0	17.0	18.0	20.6	20.9	20.0	21.4	20.7				17.0	
	9	1.5×6.0	17.0		5.6	6.2	△2.9	△3.5	5.9	6.6			破面調査	
	11	1.7×3.0	16.5	6.0	10.3	7.2	△4.2	△4.0	8.8	8.3	1.9	10.2		
B1	7	2.8×4.0	17.0	17.0	△9.0	△9.5	△10.2	△10.2	19.5	12.7	5.1	17.8	表面貫通	
	8	2.0×3.0	16.0	16.0	11.0	18.0	17.9	17.7	17.0	17.5	16.0	4.0	20.0	
	10	2.5×4.0	16.5			△2.8	△2.8	△2.1	2.1	4.2	5.4	1.0	6.4	
B2	4	2.0×4.0	16.5	8.0		9.6	8.7	9.2	9.5	9.3	5.4	3.7	9.1	
	5	2.0×4.0	16.5					△3.9	△3.8		5.4	5.9	11.7	
	6	2.5×2.0	16.5	18.0	5.0	19.2	19.6	19.4	19.3	19.4	11.8	7.5	19.3	
	8	2.0×3.0	16.5	5.5		8.7	9.0	8.7	8.9	8.8	6.5	2.0	8.5	
	9	2.3×5.0	17.0	21.0	8.0	21.8	21.8	21.4	21.6	21.6	13.8	10.0	23.8	
	10	2.5×3.0	16.5			△4.6	△4.6	△5.9	△5.9	10.5	7.9	2.2	10.1	
C	1	3.5×7.0	17.0	5.0		△0.7	6.5		10.0	8.3	8.4	3.6	12.0	
	2	4.5×8.0	17.0	7.0		△1.4	△2.7	10.7	10.7	10.7	8.0	1.9	9.9	
	3	3.8×7.0	16.5	19.0	5.0	△9.9	△9.9	18.0	18.2	18.1	9.7	10.9	20.6	
	4	3.5×10.0	16.5	12.0		△8.0	△8.4	△5.1	△5.0	13.3	11.1	3.5	14.6	
	5	2.5×11.0	17.0	19.0		△7.7	△7.7	△8.6	19.3	19.3	10.5	8.8	19.3	破面調査
	6	3.5×9.0	16.5			△6.4	△6.0	△6.4	△6.4		11.5			破面調査
10	4.0×9.0	18.0	28.0	6.0	△14.4	△14.4	△27.0	27.0	27.0	26.7	16.0	11.2	27.2	

△は下端部エコーのみから判断した亀裂寸法
▲は上端部エコーのみから判断した亀裂寸法

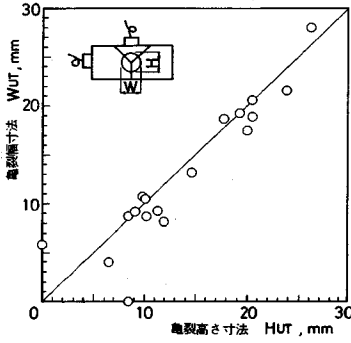


図-4 超音波探傷試験による W 寸法と H 寸法の関係

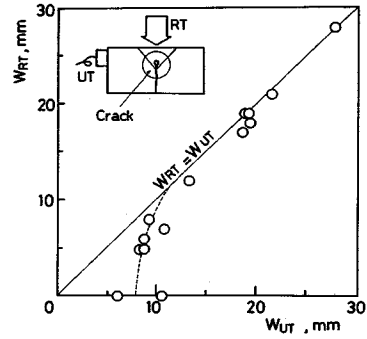


図-6 放射線透過試験と超音波探傷試験の W 寸法の関係

の場合もあり亀裂との区別が困難であった。したがって、ルートフェース側へ進展した寸法 H_2 が確認されたものについてのみ亀裂と判断して、亀裂高さ寸法 H_{UT} ($=H_1+H_2$) を求めた。図-4に W_{UT} と H_{UT} との関係プロットする。亀裂が小さい場合を除くと両者はほぼ1対1の関係にあり、このことにより、亀裂は円形を保って進展していることがわかる。ところで、その他の位置でも微小な亀裂が発生していることが十分に考えられる。しかしながら、端部エコー法は写真-3に示すように、亀裂先端部からの反射エコーをブラウン管上で確認できることが必要である。図-5に模式図を示したが、微小亀裂の場合、亀裂先端部近傍からの反射源として、ブローホール (B)、ブローホールと亀裂の交点 (D) があり、端部エコー (A) が明確に区別できない。使用探触子性能 (ビーム径) にも影響されるが、今回対象とした程度の初期欠陥寸法では、亀裂検出限界はおおよそ

8 mmφである。なお、亀裂下端部エコーが上端部エコーに比べて検出しやすいのは、図からわかるようにブローホールと亀裂のコーナー部の影響が少ないためと考えられる。

放射線透過試験においては、板厚方向照射 (W 寸法) の場合 14 か所に、また、板幅方向照射 (H 寸法) では 5 か所に疲労亀裂が認められた。図-6に W_{UT} と W_{RT} の関係をプロットする。亀裂寸法がおおよそ 12 mmφ以上と大きい場合には 1対1の関係にあり、両者の寸法評価に差はない。しかしながら、亀裂寸法が小さい場合には、 W_{RT} は W_{UT} に比べて小さく、また、8 mmφ以下では検出できないことを示している。亀裂面が密着状態にあり、放射線透過試験では検出しにくいものと判断できる。

(2) 破面の露呈および非破壊試験の精度

表-4の備考に示した3つの亀裂およびいずれの試験においても亀裂の指示のなかった2つの人工欠陥部 (A-⑦, C-⑦) について破面露呈を行った。写真-4には、

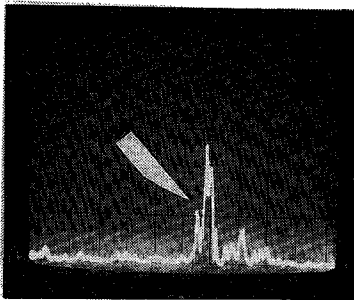


写真-3 端部エコー

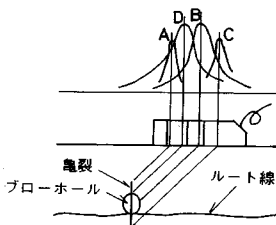


図-5 端部エコーの模式図

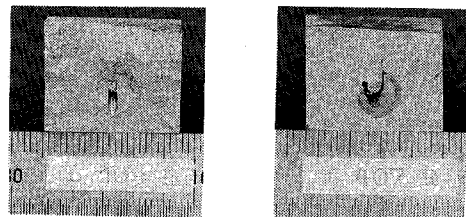
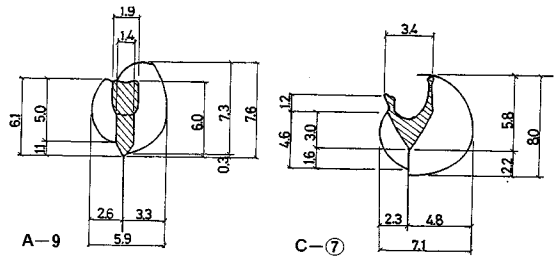


写真-4 亀裂破面 (A-⑨, C-⑦)

表一五 実亀裂寸法と超音波探傷試験結果との比較

亀裂	超音波探傷試験 端部エコー, mm	実亀裂 mm
C-⑤	19.3	19.1
C-⑥	6.2	6.3
A-⑨	5.9	5.9
C-⑦	-	7.1
A-⑦	-	4.2

表一七 渦流探傷試験条件

使用装置	渦流探傷器 チャートレコーダー	ED-800 8K-32
使用プローブ	外 径 コイル径 巻 数 材 質 抵 抗 値	18 17 — STB 7.0
探傷条件	周 波 数 インピーダンス V E R T 感 度	3KHz HI JMP EXPAND 100

表一六 放射線透過試験と超音波探傷試験の亀裂検出限界

非破壊試験		検出限界	寸法推定
放射線透過 試験	T = 40mm方向 (W寸法)	8mmφ	8~12mm 過小評価
	T = 90mm方向 (H寸法)	20mmφ	いずれも過小評価
超音波探傷端部エコー法		8mmφ	±1.0mm

代表的な2つの亀裂の破面を示す。

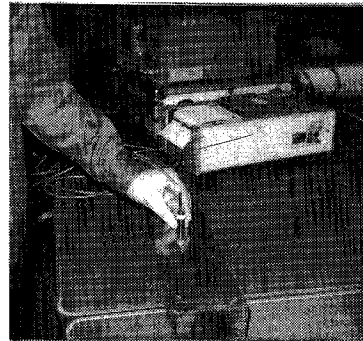
表一五には、破面を露呈して求めた実亀裂のW寸法と超音波エコー法で推定した亀裂寸法とを比較して示す。端部エコー法の場合、7mmφの亀裂(C-⑦)の検出ができなかったが、検出された亀裂については、その寸法は、非常に正確であることがわかる。今回、破面を露呈して対応させた亀裂数は少ないが、その精度は、±1mm程度と考えるのが妥当であろう。一方、検出限界については、ブローホールとの相対的な関係があるが、おおよそブローホールを包み込む大きさの8mmφ程度と考えられる。表一六には、放射線透過試験、超音波探傷試験について、亀裂の検出限界および精度をまとめて示す。

4. 表面に貫通した亀裂の検出

表面貫通もしくは貫通寸前の亀裂に対して渦流探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験の3つの非破壊試験を行い、亀裂検出の適否を検討した。

(1) 渦流探傷試験

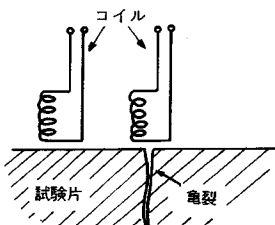
渦流探傷試験は次で述べる磁粉探傷試験と類似した方法であるが、亀裂は磁場の乱れではなく、電流の乱れにより検出される。金属などの導体に交流を流したコイルを接近させたとき、亀裂が存在すると電磁誘導現象により発生した渦電流分布が乱れ、コイルに誘起される電圧



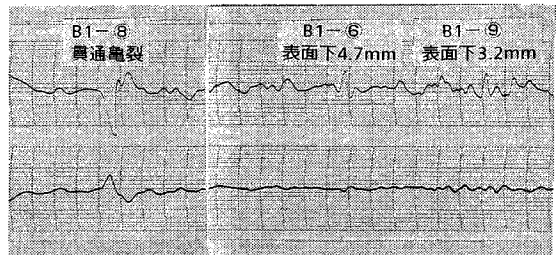
写真一五 渦流探傷試験状況

が変化することを利用したものである。今回の試験では、図一七にその概要を示す自己比較方式を採用した。この方法は、試験コイルを1対とすることで、材質や形状などの穏やかな変化による雑信号を除去し、亀裂による信号のみを検出できることが特徴である。試験にあたっては、まず適用コイルの形状、周波数の影響について予備試験を行い、表一七に示す条件を選定した。写真一五には試験状況を示す。

探傷は供試体すべての人工欠陥部について行ったが、貫通亀裂を含めて表面下4.7mmまで進展している亀裂は、いずれもチャート上に変化として現われ、亀裂の発生が確認できた。図一八には代表的な探傷結果を示す。渦電流には表皮効果があり、その密度は表面が一番高く、内部に入るに従って低くなる。この密度は周波数、被検材の導電率および誘磁率から決まる浸透深さで規定されている⁶⁾。今回使用したコイルの場合、浸透深さはおおよそ5mm程度であるため、表面に貫通していない亀裂



図一七 渦流探傷試験の概要



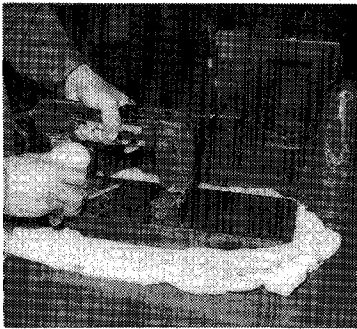
図一八 渦流探傷試験結果

でも検出できたものと考えられる。なお、検出された亀裂に起因する信号の大きさ、位相などの特徴的な差はなく、亀裂の深さ推定は困難である。

(2) 磁粉探傷試験

磁粉探傷試験は、検査箇所局部的な磁場を作り、微粉末状の鉄粉を吹き付ける方法である。亀裂のような磁場を乱すものが存在すると、その位置に鉄粉が集中する。この試験では、磁極を亀裂と直角方向に位置させる極間法、平行に位置させるプロッド法との違い、また、分散媒、磁化電流を変化させて、亀裂の検出能力を調査した。写真—6には試験状況（蛍光湿式交流極間法）を示す。

先の渦流探傷試験において亀裂の存在が認められた5か所について探傷した結果を表—8に示す。また、その代表例を写真—7に示す。今回の試験では、極間式とプロッド式の磁化方法の差異は明確ではない。しかし、い

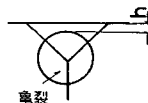


写真—6 磁粉探傷試験状況

表—8 磁粉探傷試験結果

○: 検出可
×: 検出不可

磁粉探傷の種類			疲労亀裂				
磁化方向	磁化方法	分散媒	A—① (貫通)	B1—⑧ (貫通)	C—⑩ (h=2.0)	B2—⑨ (h=3.2)	B2—⑨ (h=4.7)
極間式	交流	湿式	○	○	○	×	×
		乾式	○	○	○	×	×
	直流	湿式	○	○	×	×	×
		乾式	×	×	×	×	×
プロッド式	交流	湿式	○	○	○	×	×
		乾式	○	○	○	×	×
	直流	湿式	○	○	○	×	×
		乾式	○	×	×	×	×

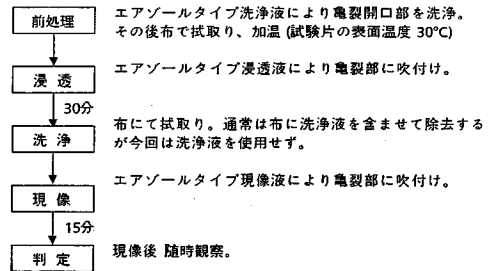


ずれの場合も交流は直流に比べて、また、湿式は乾式に比べて亀裂が確認しやすいことがわかる。また、交流湿式法によると、亀裂が表面に開口していないC—⑩（亀裂深さ；表面下2.0mm）でも検出が可能である。ただし、この結果は試験片表面が良好な状態で、しかも、実験室的な試験結果であり、作業環境の悪い現場での検査にはあてはまらない。

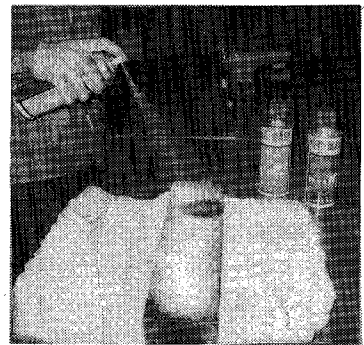
(3) 浸透探傷試験

浸透探傷試験で最も一般的に使用されている溶剤除去性染色浸透探傷試験により、表面開口亀裂の検出の有無を調査した。この方法は、表面亀裂の検出に対して、工場内、現場で多用されている方法であり、技量をほとんど必要とされず、また、経費も安い。

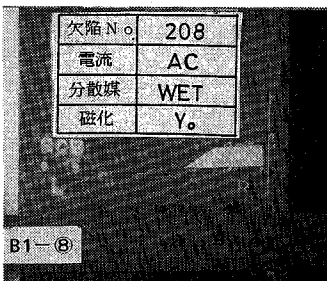
図—9に試験順序を、写真—8に試験状況を示す。ここでは、表面に開口しているA—①、B1—⑧の2つの亀



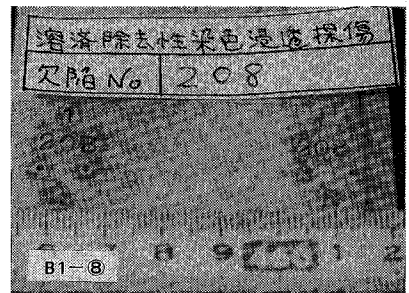
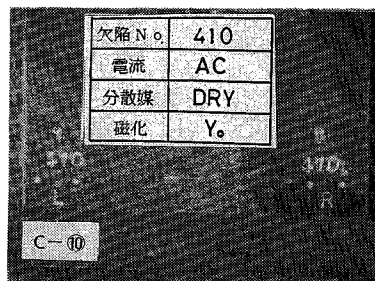
図—9 浸透探傷試験手順



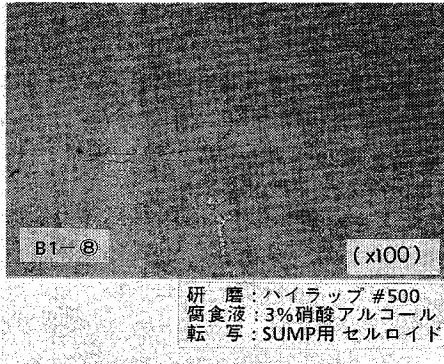
写真—8 浸透探傷試験状況



写真—7 代表的な磁粉探傷試験結果



写真—9 浸透探傷試験結果



写真—10 レプリカ試験による顕微鏡写真

裂について調査したが、B1-⑧にのみ亀裂指示模様が現われた。写真—9にその様相を示す。

ところで、この2つの亀裂についてレプリカ試験を行ってみた。写真—10に顕微鏡写真を示すが、A-①、B1-⑧とも亀裂はビード表面に貫通しており、表面での長さは、それぞれ10.8 mm、6.7 mmであった。また、写真—10からわかるように、亀裂の表面開口部では真直ぐな直線ではなく、複雑な様相を呈しており、その幅は2~5 μ に密着に近い状態であることがわかる。したがって浸透液が亀裂面に浸透しにくく、A-①のように表面長さが10.8 mmであっても検出できなかったものと考えられる。

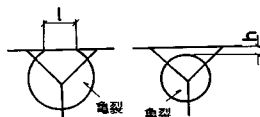
(4) 表面亀裂の検出精度

以上述べた3つの非破壊検査の亀裂検出精度を表—9にまとめて示す。貫通寸前も含めて表面亀裂の探傷を行ったが、亀裂の存在の確認のみでは、渦流探傷が最も有効である。渦流探傷は、被検材とは非接触であり、探傷速度が早い利点もある。しかしながら、表面に貫通し

表—9 各種非破壊試験の検出精度

○: 探傷可
x: 探傷不可

亀裂タイプ	貫通亀裂		内部亀裂		
	A-①	B1-⑧	C-⑩	B2-⑨	B2-⑥
表面での亀裂長さ l , mm	10.8	6.7	-	-	-
表面までの亀裂寸法 h , mm	-	-	2.0	3.2	4.7
渦流探傷試験	○	○	○	○	○
磁粉探傷試験	○	○	○	x	x
浸透探傷試験	x	○	-	-	-

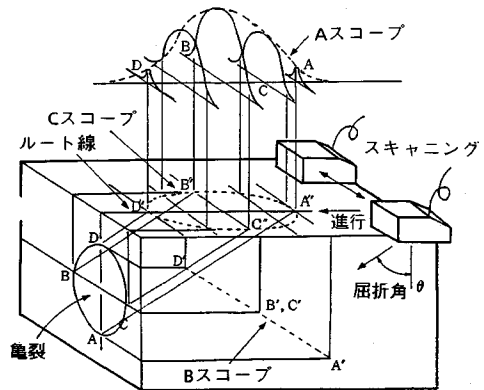


た亀裂についてのみみると、亀裂形状、寸法の推定が可能な磁粉探傷（交流湿式）が優れていると判断できる。一方、浸透探傷は、亀裂が表面に開口していても検出できない場合があり、注意を要する。

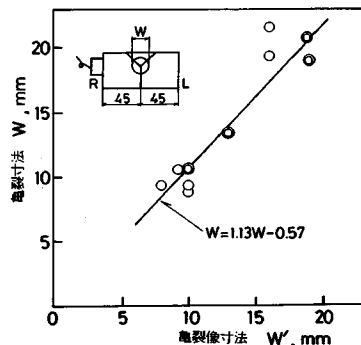
5. 超音波自動探傷試験および感度調整用試験片

以上述べたように、部分溶け込み縦ビード継手のルート部に発生した大きさの異なる内部疲労亀裂に対して各種非破壊試験の適用性を検討するとともに、亀裂寸法を推定した。そこで、次に映像記録装置を備えた超音波自動探傷を行い亀裂寸法（端部エコー法での推定値）と亀裂像寸法の関係を求め、適当な大きさの亀裂を抽出して感度調整用基準試験片とした。

図—10に超音波自動探傷方法の概要を示す。点集束型の斜角探触子をスキャンニング走査させ、亀裂形状を映像表示する方法である。図—11にA、B2、C供試体について行った、45°の斜角探触子（5Z15 \times S100、後述の表—10参照）による亀裂像寸法 W' と亀裂寸法 W との関係を示す。両者にはよい相関が認められる。したがって、図中の○印で示した大きさの異なる4つの亀裂を含むような供試体を切断して基準試験片とした。この基準



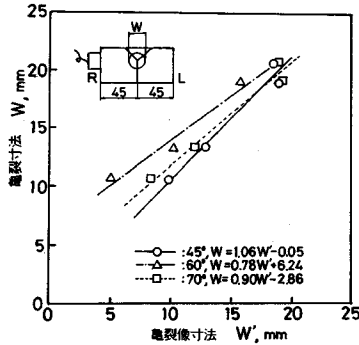
図—10 超音波自動探傷方法の概要



図—11 供試体の超音波自動探傷結果

表—10 点収束型斜角探触子の性能

屈折角	45°	60°	70°
型式	5Z15S100	5Z20S300	5Z25S500
最大収束深さ	33.0	37.5	25.0
最小ビーム径	2.8	4.2	4.8
d=45,ビーム径	3.2	5.6	6.0
探傷感度	1.5mmφ横穴 100% + 6dB	3.2mmφ横穴 80% + 18dB	1.0mmφ横穴 100% + 8dB
しきい値レベル	25%	20%	20%



図—12 各種探触子による基準試験片の探傷結果

試験片を用いることにより、従来、人工ドリル穴の探傷によるAスコープ波形のみで感度調整を行っていたものに対し、亀裂のCコープ像で探傷感度の微調整を行うことが可能である。また、併用中の検査の場合、あらかじめ使用する自動探傷システム、探触子、探傷感度について亀裂像寸法の校正を行うならば、内部亀裂のより正確な寸法推定が可能となる。

表—10に示す屈折角の異なる3つの探触子について行った基準試験片の自動探傷試験結果を図—12に示す。使用探触子、探傷感度によって異なるが、いずれも、亀裂像寸法と亀裂寸法の相関式が得られる。

なお、ここでは主に亀裂の W 寸法についてみてきたが H 寸法の場合、部分溶け込みののど厚と探触子寸法の関係から、よい相関が得られなかった。弦材かど溶接の場合、まず H 寸法で板厚を貫通することを考えるならば、この H 寸法の推定が重要である。しかしながら、図—4で示したように、内部亀裂の状態では円形に近く、 W 寸法を正確に評価することで疲労破壊を防止することが可能である。

6. まとめ

ルート部にブローホールを有するかど継手をモデル化した供試体の内部亀裂、表面貫通亀裂に対して種々の非破壊試験を適用し、その有効性について検討した。検討結果をまとめると以下のようである。

(1) 超音波端部エコー法は内部亀裂の寸法推定に有効である。ブローホールを含み込む大きさの $8\text{ mm}\phi$ の亀裂が検出でき、その精度は $\pm 1\text{ mm}$ 以内と考えられる。

(2) 放射線透過試験による亀裂検出は被検材の板厚に大きく左右される。板厚が 40 mm の場合、 $8\text{ mm}\phi$ 以下の亀裂は検出できないが、 $12\text{ mm}\phi$ 以上であればほぼ正確な寸法で検出可能である。

(3) 渦流探傷試験は、表面下 4 mm 程度まで進展した内部亀裂の検出が可能である。

(4) 磁粉探傷試験は、交流磁化もしくは湿式分散媒を用いるならば、表面に開口した亀裂の検出が可能である。

(5) 浸透探傷試験は、表面に開口した亀裂が検出できない場合がある。

さらに、代表的な亀裂を含む超音波探傷感度調整用試験片を製作し、性能の異なる探触子について自動探傷による亀裂寸法推定の校正曲線を得た。このような校正曲線を用いるならば、自動探傷においてもおおよその亀裂寸法の推定が可能と考えられる。

最後に、本実験を遂行するにあたり、各種非破壊試験の実施の面でご尽力いただいた加藤昌彦（中国エックス線）、大睦久雄（関西エックス線）、田中賢治（エースエンジニアリング）の各位に厚く感謝致します。

参考文献

- 1) 土木学会：本州四国連絡橋綱上部構造に関する調査研究報告書，1981. 3.
- 2) 土木学会：本州四国連絡橋綱上部構造に関する調査研究報告書，1983. 3.
- 3) 久保村・下川・竹名：鉄道併用長大橋建設のための新技術開発，土木学会誌，Vol. 68，1983. 6.
- 4) Sakamoto, K., Fukazawa, M., Hamano, M. and Tajima, J.: Estimation of Fatigue Crack Growth by Ultrasonic Imaging Method, Proc. of JSCE, No. 362/I-4, 1985. 10.
- 5) 日本工業規格案：鋼溶接部に検出された欠陥の形状寸法の超音波探傷による測定方法，NDI資料 21050，1985. 1.
- 6) 日本非破壊検査協会：渦流探傷試験 A，1977.

(1987. 1. 24・受付)