

ボルトの疲労亀裂検出に対する超音波探傷法の適用性

APPLICATION OF ULTRASONIC TESTING FOR FATIGUE CRACK
DETECTION OF BOLTS

竹之内博行*・榎園正義*・谷倉 泉*・半澤 貢**

By Hiroyuki TAKENOUCI, Masayoshi ENOKIZONO, Izumi TANIKURA
and Mitugu HANZAWA

Bolts and bolted connections are indispensable in most steel structures today. In civil engineering field, especially in bridge structures, bolts of large diameter are frequently used in very important portions such as shoes, expansion joints, cable anchorages and so on. Recently, accidents caused by fatigue failure of these bolts have been reported and importance of maintenance has been strongly noticed.

This research is to establish reasonable non-destructive detection method for fatigue cracks of bolts in their service conditions. Two types of ultrasonic testing method were proposed and their detection performances of fatigue crack were examined by fatigue test of bolts. From this experiment, data on fatigue crack growth and fatigue life of bolts were obtained and accuracy of fatigue crack detection by proposed ultrasonic testing was confirmed. As the results, possibility of rational supervision system for bolts in use was shown.

Keywords: bolts, fatigue crack, ultrasonic testing

1. 緒 言

現在ほとんどの鋼構造物において、ボルト接合は溶接と並んで重要・不可欠な技術である。特に橋梁の分野では、部材の接合はもとより、支承や伸縮継手、さらには長大吊橋のケーブルの固定といった、非常に重要な構造物の結合に用いられており、用いられるボルトも一般に径の大きいものが多い。最近、このようなボルトが供用期間中に繰返し荷重が原因で疲労破断する事例がしばしばみられ、これが重大な事故につながる危険性が大きいため、その維持管理は特に重要である。

ボルトの疲労破断を未然に防ぐには、亀裂を発生させる要因を取り除くことが第一であるが、それが完全に実施できない場合には、亀裂が微少な段階で発見して早期に交換しなければならぬ。しかし、ボルトの疲労亀裂は、ねじ底や首下部に生じるのが常で¹⁾、供用状態での目視検査はまず不可能である。このようなことから、ボルトの合理的な維持管理を行うためには、供用状態のまま疲労亀裂を検出する方法が是非とも必要である。

本研究は、橋梁の伸縮継手に生じたボルトの疲労破断

の原因調査とその対策を検討するため、室内において疲労試験を行い、超音波探傷法によるボルトの疲労亀裂検出方法を調査したものである。この報告では、従来の超音波探傷法を改良した2通りの探傷方法を提案し、実験結果をもとにそれらの適用性について述べた。

2. 損傷事例と研究の目的

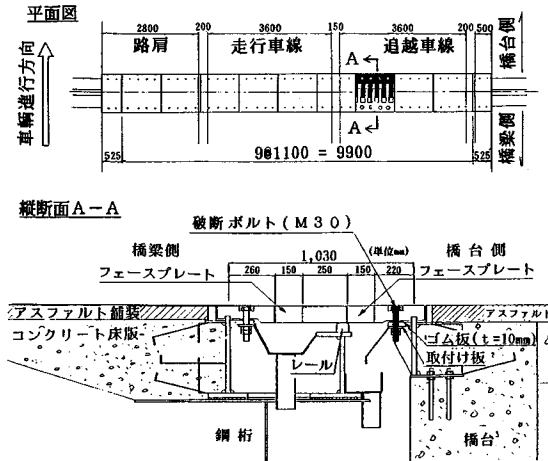
近年の交通量の増大ならびに過載荷大型車の通行等により、高速道路の橋梁では各部の損傷が進み、支承や伸縮継手および床版等に数多くの損傷事例がみられるようになってきた。本研究のテーマであるボルトの亀裂探傷は、高速道路の伸縮継手のフェースプレートを固定するボルトが破断したことに端を発している。

この継手は、長大トラス橋の鋼桁部と橋台を接合する鋼製くし型ジョイントで、図-1に示すとおりジョイントは長さ1.1mのフェースプレートで構成されており、1枚のフェースプレートは4本のボルトで固定されている。破断したのは橋台側のボルトであった。このボルトは、鋼製(材質S35C)のM30呼び径六角ボルト(呼び径30mm、ピッチ3.5mm)で、切削仕上げされている。

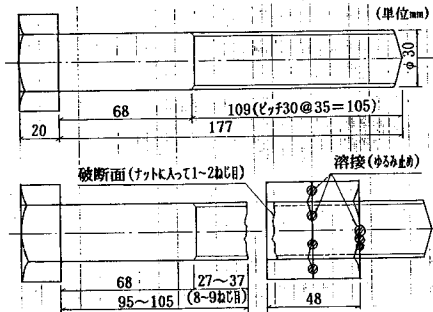
破断位置は図-2に示すように、どのボルトもナットに入って1~2ねじ目の位置である。破断面の観察の結

* 正会員 (社)日本建設機械化協会建設機械化研究所
(〒417 富士市大淵 3154)

** 日鉄テクノス(株) (〒229 相模原市淵野辺 5-10-1)



図—1 伸縮継手の構造



図—2 ボルトの概略寸法および破断位置

果、破面には縞紋様がいく筋も残っており、破壊が徐々に進行した様子がうかがえた。また、疲労破面は全体の約9割程度（疲労破面率＝疲労破面の面積／破面全体の面積＝0.9）と大きいため、破断するまでボルトに生じていた応力は、ボルトの破断強度に比べてかなり小さなものであったと推察される。

その後の各種調査により、ボルトの破断原因は繰返し応力によるものであることが判明した。このような応力が作用した理由は、フェースプレートのフィンガー先端を支えるレールが重交通下で徐々に摩耗したため、フェースプレートのフィンガーがわずかに持ち上がった片持ち状態となり、輪荷重通過時にフィンガーがレールを上からたたく状態でボルトに過大な曲げ応力を生じさせていたとの結論を得た。

現在は応急処置を施し、フェースプレートの極端な振動は止まっているが、今後のフェースプレートの摩耗その他の影響により、以前と同様の亀裂が生じる可能性は残されている。したがって、定期的に全ボルト（図—5に示す）を交換することによってこれに対処している。

しかし、このままではボルトの交換時期を定量的に判

定する手段がないこと、さらに急激なボルトの疲労損傷には対処できないこと等、危険な不安材料も残されている。そこで通常の交通流を乱すことなく、供用中のボルトを確実に監視する手法の確立を目的として、各種非破壊試験の中から、この調査に最適と思われる超音波探傷法の適用を試みた。

これまでにも小径のボルトの亀裂探傷に超音波探傷法を適用した報告はみられるが^{2)~4)}、呼び径30mmあるいはこれ以上の大きな径のボルトについての報告はほとんど見受けられないのが現状である。本研究により、大口径ボルトのねじ底に生じる亀裂探傷が可能となれば、橋梁のみならず、このようなボルトを使用している原子炉や大型機械の供用中の安全管理は格段に向上するものと考えられる。

3. 超音波探傷法の問題点と提案する試験方法

(1) 従来法の問題点

超音波探傷法は、これまでボルトの欠陥を測定する方法としていろいろな分野で使用されている。中でも一般的に行われている垂直探傷法は、超音波パルスを探触子から供試材に入力し、内部に欠陥（亀裂や空隙等）があるとそこから超音波パルスの一部が反射される。その反射波（エコー）が探触子で受信される現象を利用して、欠陥の存在位置およびその大きさの程度を知る方法である。ただし、従来の垂直探傷法の場合、次のような問題点がある。

- ① 探傷図形の判定は、ねじ部から反射する擬似エコー（ノイズ）のため、欠陥エコーと健全エコーとの見分けが難しく、熟練した技術と知識を必要とする。
- ② 探触子と供試材の接触面には、超音波パルスの送・受信を良くするため接触媒質（たとえば、グリセリン、グリソ等）を用いることが不可欠であり、使用する接触媒質の種類や探触子の走査時の接触性によっては探傷図形が変化し、再現が難しい。
- ③ 探触子は種類も多く、欠陥の検出能力が使用する探触子性能によって異なるため、常に基準試験片による相対的な比較が必要である（一般的に上記①、②のため亀裂深さ2mmが検出限界）。

以上の問題点を解決するため、本研究では新型探触子による従来方式の精密超音波探傷法（以下、精密探傷法とよぶ）と今回新しく開発した振動子直接接着方式探傷法（以下、直接接着探傷法とよぶ）の2種類を提案し、それらの検出精度と適用性を検討した。

(2) 精密探傷法（精密超音波探傷法）

図—3に示すように偏心焦点型の探触子を用いる方法で、探触子の軸から10°前後の偏心角で超音波を発信し、

ねじ先面から走査する。これにより、超音波ビームがねじ底に発生する亀裂に有効に照射されるため、亀裂深さ 0.5 mm 程度の高精度の探傷ができる⁵⁾。ただし、上記の問題点 (2), (3) を有する。

(3) 直接接着探傷法 (振動子直接接着方式探傷法)

超音波振動子をボルトのねじ先面の軸心に直接接着し、ボルトと一体化させる探傷方法で、探傷走査の必要がなく、安定した再現性のある探傷図形が得られる⁶⁾。ただし、検出精度は垂直探傷法と同程度と推定される。

(4) 人工欠陥による亀裂の検出精度

以上に提案した方法については、すでに人工欠陥による亀裂の検出能力や精度の確認を行っている。その結果、図-4 に示すように精密探傷法では 0.5~4 mm、直接接着探傷法 (垂直探傷相当として) では 2~8 mm で亀裂の深さと欠陥エコーの高さに比例関係が得られている。しかし、一般に疲労亀裂は亀裂の開口幅が非常に狭いので、その発生時からの進展状況は、人工欠陥とはかなり異なることが予想される。したがって、以降に述べる疲労試験を実施することから、実際の疲労亀裂に対する検出能力や寸法の推定精度を確認した。

4. 疲労試験による亀裂検出精度の検討

(1) 試験概要

橋梁の伸縮継手に使用されている M 30 ボルト (材質 : S 35 C) の疲労試験を行い、超音波探傷によるボルトねじ底の疲労亀裂の検出精度と適用性についての確認を行った。

供試ボルトは合計 19 本で、そのうち 3 本を引張試験、残りの 16 本を疲労試験と超音波探傷試験に用いた。

(2) 試験方法

供試ボルトは、ナット・座金とともに 2. で述べた伸縮継手に使用されているものと同種の未使用のボルトである。図-5 に供試ボルトの形状・寸法を示す。なお、供試ボルトのねじ先面は超音波探傷試験を行うため、平滑に研削仕上げを施した。

引張試験は容量 50 tf の万能試験機で行い、疲労試験には容量 200 tf の電気油圧式疲労試験機 (50 tf レンジ) を用いた。供試ボルトは、図-6 に示すような箱型治具を介して取り付けた。疲労試験は下限荷重 5 tf (最小応力 8.9 kgf/mm²) の部分片振り試験で、繰返し速度は 10 Hz とした。また、全供試ボルトを対象としてピーチマーク法を適用し、後に疲労破面に残るピーチマークを読み取って亀裂の深さ (d) を求めた。さらに最終破断面の写真からプランメータによって疲労破面率を求めた。なお、疲労試験は繰返し回数 2 万回から 200 万回を目標とした試験荷重で行った。

測定方法は、精密探傷法では適当な繰返し回数で載荷

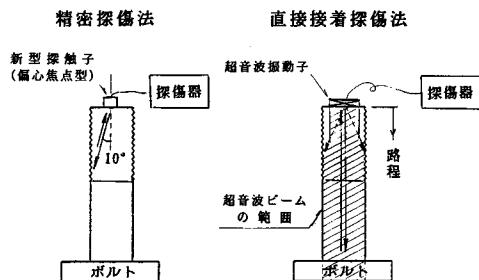


図-3 超音波による探傷試験方法

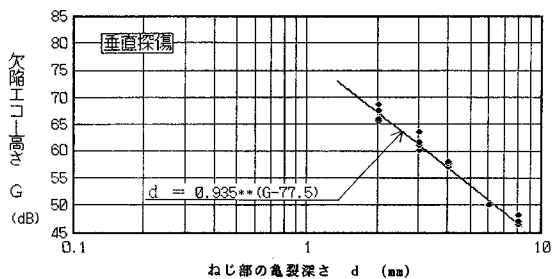
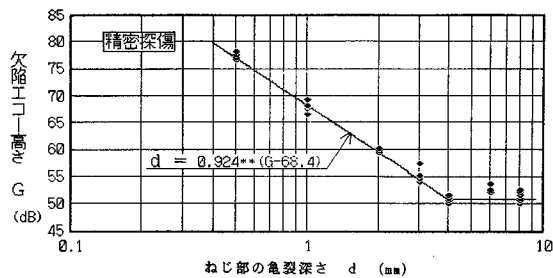


図-4 人工欠陥深さと欠陥エコーの関係

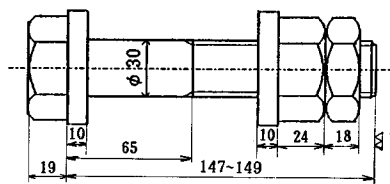


図-5 供試ボルトの形状・寸法

を中断して手動にて探傷を行い、疲労亀裂による欠陥エコーを検出した時点で探傷画面 (CRT) 上の最大エコー高さとその位置を記録した。また、ナットの位置はねじ先から約 40 mm とした。一方、直接接着探傷法はあらかじめ振動子を貼り付けた供試ボルトを超音波装置からの同軸ケーブルと結線し、CRT のねじエコー部 (M) と底面エコー (B) の 2 か所にゲートをかけ (図-9 参照)、各ゲート内の最大エコー高さをペンレコーダで連続記録 (自動探傷) する方法とした。また、ナットの位置はボルト径に対して振動子径 (φ10 mm) が小さいため、ねじ先から約 60 mm とした。なお、表-1 に各探傷条件

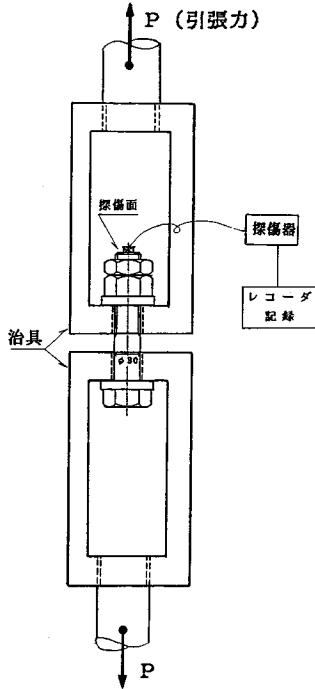


図-6 試験装置の構成

をまとめて示す。

(3) 試験結果および考察

a) ボルトの材質と強度および破断状況

供試ボルトの引張強さは平均で 75.4 kgf/mm² (降伏点 62.0 kgf/mm²) で、材質 S35C のボルトとしては降伏点および引張強さとも多少大きめで、ボルトの破断位置はすべてねじ部であった。さらに、試験後の試験片について化学成分を分析した結果を表-2 に示す。

片振引張疲労試験を行った結果、ボルトの 200 万回疲労強度は応力全振幅で 18.0 kgf/mm² (下限応力 9.8 kgf/mm²)、荷重全振幅は 10 tf と推定される (図-7)。

供試ボルトの疲労破断位置は、当初の目的としたナットとかみ合うねじ部破断が 5 本、その他に首下 (R) 部破断が 10 本であった。途中、ボルト首下の応力集中を避けるため、ショットブラスト等による首下破断防止策を試みたがねじ部破断したものは少なかった。そのため疲労亀裂の進展状況が検出できたのは精密探傷法で 2 本 (ねじ部)、直接接着探傷法ではねじ部で 3 本と首下部で 5 本であった。

疲労破面には図-8 に示すように、ねじ部ではねじ底を起点とした円弧状のビーチマークが入っており、首下部ではほぼ全周から亀裂が発生して同心円状に中心に向かって進展している。最終的な疲労破面率は、ねじ部で 72.1~88.8% と疲労破面の割合が大きい結果となった。ボルトの軸方向に対する破面の進展方向は、疲労亀裂の

表-1 超音波探傷条件

探傷法 条件	探 傷 条 件	
	精密探傷法	直接接着探傷法
探 傷 器	FD-410MS	USIPI2
探触子または振動子	精密超音波探触子 (5Z10LA10F20)	振 動 子 (5Z10N)
周 波 数	5MHz	5MHz
接触液または接着剤	ソニコートBS	エポキシ樹脂 (約10μ)
標 準 試 験 片	JIS STB-NI (測定範囲調整用)	—
対 比 試 験 片	M30 平坦仕上げボルトにおじ先から 4.0mm に深さ 1mm のスリット	—
探 傷 感 度	探傷器感度 50.5dB (距離減衰補正 CRT 比 80%)	探傷器感度 48dB (距離減衰補正 CRT 比 10~20%)

表-2 5 元素分析結果 (wt%)

項 目	C	Si	Mn	P	S
S35C の JIS (基準値)	0.32~0.38	0.15~0.35	0.60~0.90	<0.030	<0.035
供試ボルト (実測値)	0.38	0.25	0.82	0.019	0.011

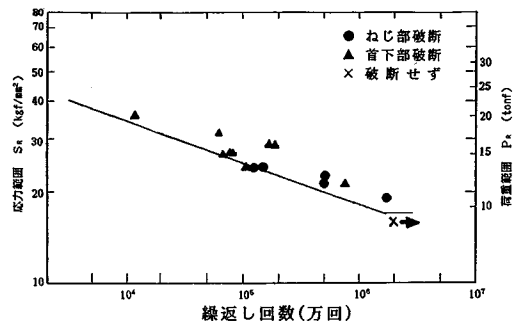


図-7 M30 ボルトの S-N 線図

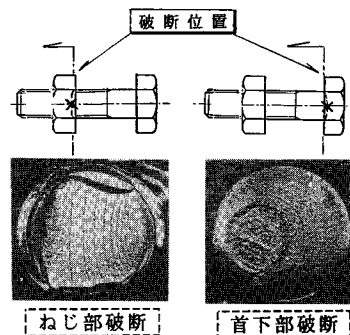


図-8 破断位置とビーチマーク状況

発生 (初期) 段階ではすべてのボルトにおいてねじ部ではねじ先へ、首下部ではボルトの頭方向へ破面が湾曲していた。

b) 亀裂の検出精度

① 亀裂発生位置の推定

亀裂探傷時にねじ部で検出した欠陥エコー位置 (ビーム路程) から計算した推定値を疲労破断後の実測値と合わせて表-3 に示す。また、実測値は破面が湾曲してい

るため、ねじ先からの距離は範囲で示した。この結果から、超音波ビーム路程と亀裂の発生位置 (l) はよく一致しており、亀裂発生位置の推定が可能であることがわかる。また、直接接着探傷法においてはねじ先面から $l = 151 \sim 154 \text{ mm}$ の位置で欠陥エコーが検出されているが、これらのボルトは首下 (R) 部から疲労破断したものである。各探傷法による探傷図形の例を図-9に示す。

② 亀裂深さの検出限界および寸法推定精度


探傷試験による欠陥エコー高さから疲労試験後のボルトのピーチマークから求めた亀裂深さの関係から、亀裂の検出精度を求めると以下のとおりである。

精密探傷法によるねじ部の亀裂深さと欠陥エコー高さの関係を図-10に示す。この図から亀裂深さは 0.6 mm が検出限界であることがわかる。また、欠陥エコー高さからの亀裂深さの推定は、亀裂の深さ変化に対するエコー変化が小さいことおよび手動探傷のため CRT 上の波形の変動が大きいこと等から困難と考えられる。ただし、傾斜が小さく平坦な破面の場合 (供試ボルト B) は、人工欠陥と同程度のエコー変化を生じており、このよう

な場合では寸法推定が可能である。

一方、直接接着探傷法によるねじ部および首下部の亀裂深さと欠陥エコー高さの関係を図-11, 12に示す。ねじ部の亀裂は、図-11から CRT の監視では深さ 1.3 mm が検出限界で、自動探傷ではゲートの設定範囲で欠陥エコーが最大ねじエコーより高くないとレコーダで記録されないため、記録された結果から亀裂深さ 3.5 mm が検出限界と考えられる。また、首下部の亀裂は、図-12から CRT の監視では深さ 0.3 mm 、自動探傷では $0.5 \sim 2 \text{ mm}$ が検出限界となる。さらに、欠陥エコー高さから亀裂深さの寸法を推定する場合の精度は、ねじ部で $\pm 1 \text{ mm}$ 、首下部で $\pm 2 \text{ mm}$ であり定量化が可能である。表-4に亀裂深さの検出限界および寸法推定精度をまとめて示した。なお、首下部よりねじ部の検出精度が低いのは、亀裂が初期の段階でねじ先へ一時湾曲するためエコーが少ないことやボルト径 (M 30) に対して振動子径 ($\phi 10 \text{ mm}$) が小さいことおよび亀裂の発生位置 ($l = 55 \text{ mm}$ 以内) によっては超音波ビームが十分に広がってねじ底まで届いていないためと考えられる。

表-3 欠陥エコー位置と破面位置の比較 (ねじ部)

供試ボルト	精密探傷法 亀裂の発生位置 l (mm)		供試ボルト	直接接着探傷法 亀裂の発生位置 l (mm)		備考
	推定値	実測値		推定値	実測値	
A (79.9)	43	41.1~40	D (73.3)	54	54.1~52	1. 実測値は破面が湾曲しているためねじ先からの距離は範囲で示した。 
B (76.9)	40	39.0~36	E (88.8)	51	53.2~50	
C (-)	39	40.0~36	F (72.1)	57	57.9~56	2. ()内は破面率(A/Ao×100) A: 疲労破面の面積 Ao: 全断面積

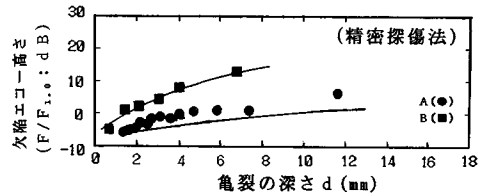


図-10 ねじ部の疲労亀裂と欠陥エコー高さの変化

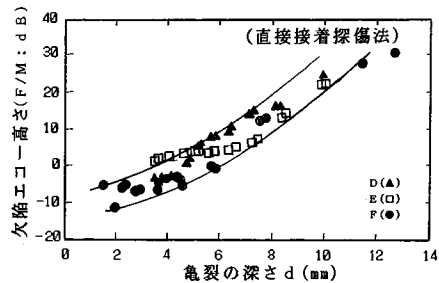


図-11 ねじ部の疲労亀裂と欠陥エコー高さの変化

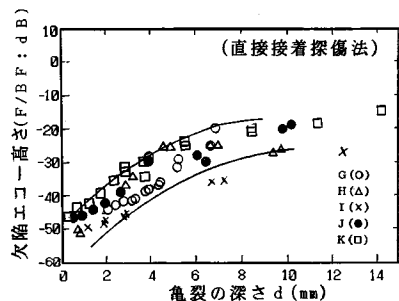


図-12 首下部の疲労亀裂と欠陥エコー高さの変化

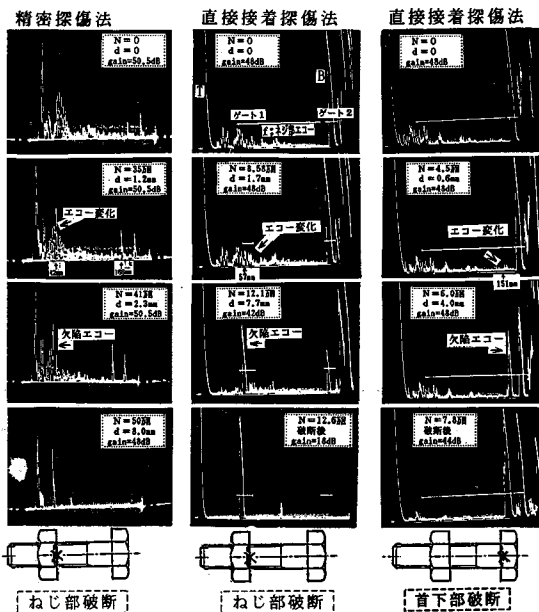


図-9 超音波による探傷図形の例

図-10の $F/F_{1.0}$ は欠陥エコー高さ (F) と対比試験片の人工欠陥エコー高さ ($F_{1.0}$)、図-11の F/M は F と最大ねじエコー高さ (M)、図-12は F/B は F と欠陥があるときの底面エコー高さ (B) を基準にして整理したものである。また、図-13に破断面状況(ねじ部)と自動探傷によるレコーダ記録例を示す。

c) 亀裂の検出可能時期

ねじ部で疲労破断したボルトの亀裂深さと繰返し回数の関係を図-14に示した。この図から、亀裂の検出限界である繰返し回数を各探傷法による亀裂の発見時点と仮定し、検出可能時期とボルトの全寿命に対する割合 ($\Delta N/N \times 100\%$) を表-5に示した。ただし、 ΔN は各探傷法による亀裂の発見までの回数、 N は疲労破断に至るまでの全繰返し回数(寿命)である。

表-5によれば精密探傷法による亀裂の検出可能時期は、ボルトの寿命の約55%、直接接着探傷法によれば、

表-4 亀裂検出限界および寸法推定精度

疲労亀裂位置		精密探傷法	直接接着探傷法
ねじ部	検出限界	約0.6mm	約1.3mm
	寸法推定精度	不可(※)	±1mm
首下部	検出限界	不可	約0.3mm
	寸法推定精度	不可	±2mm

(※) ただし、疲労破面が平坦な場合は可能。

CRTの監視で64%、自動探傷では79%の時期に亀裂の検出が可能であることになる。これらの亀裂検出可能時期は、疲労試験を行ったボルトの疲労寿命および亀裂進展性状に対して求めたものであるため、現場への適用においては、現場での亀裂進展性状を確認する必要がある。伸縮継手のボルトにおいては、現地で破断したボルトの疲労破面率が約90%と大きいため、これらの値を用いても安全側の監視ができるものと考えられる。

したがって、ここで提案したどの超音波探傷を用いても、破断面にある程度の余裕をもって亀裂が発見できるといえる。管理および判定の容易さからは、ボルトを常

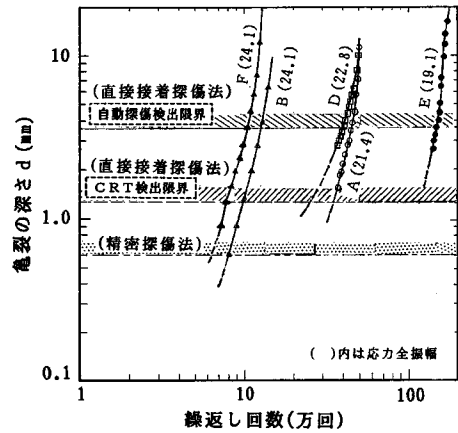


図-14 ねじ部の亀裂深さと繰返し回数の関係

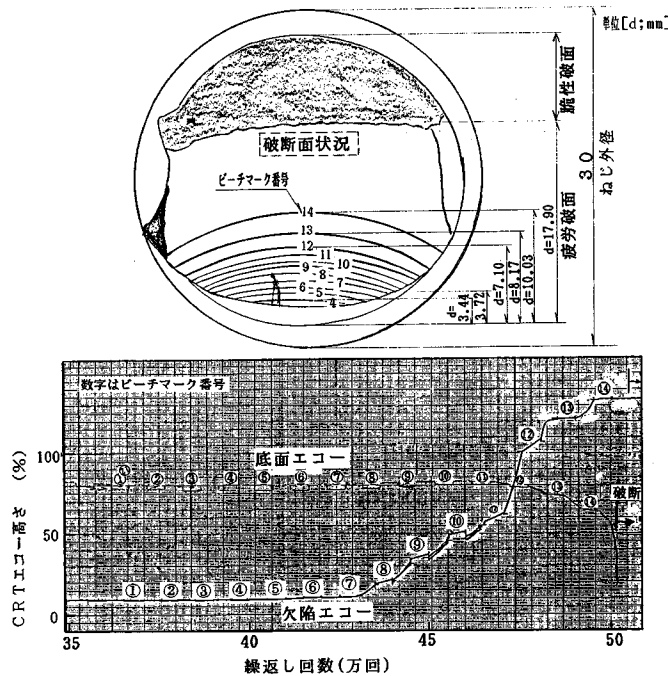


図-13 破断面状況と自動探傷によるレコーダ記録例

表—5 亀裂の検出限界と検出可能時期

破断位置	探傷法	検出限界 (mm)	検出可能時期 $\Delta N/N \times 100(\%)$	備 考 ()内は応力振幅
ねじ部	精密探傷法	0.6以上	55	手動探傷 (21.4~24.1kgf/cm ²) CRTの監視
		1.3以上	64(71)	(21.4~24.1, 19.1kgf/cm ²) 自動探傷
		3.5以上	79(87)	(21.4~24.1, 19.1kgf/cm ²) CRTの監視
首下部	直接接着探傷法	0.3以上	35~60	(21.2~31.2kgf/cm ²) 自動探傷
		0.5以上	38~62	(21.2~31.2kgf/cm ²)

時監視できる直接接着探傷法による自動探傷が最も有効と思われる。

なお、今回の自動探傷は、図—9に示すようにゲート1の設定範囲をほぼねじ部エコー全体としたため、ねじ部エコーの低い位置から亀裂が発生した場合、欠陥エコーはかなり成長しないと検出されてない。そのため、ねじ部のエコーの形にそった波形判定をすればさらに亀裂の早期検出(CRTの監視64%相当)が可能と考えられる。

5. 結 言

S35C製M30ボルトの疲労試験を行い、疲労亀裂を検出する方法として、精密探傷法と直接接着探傷法を提案し、それらの検出精度と適用性を調査した結果、次のような結論を得た。

(1) 初期段階のボルトの疲労亀裂は、ねじ部はねじ先方向に、首下部では頭部方向に湾曲するため、人工欠陥とは異なった亀裂性状となる。そのため、疲労亀裂に対する超音波探傷では人工欠陥と比べて欠陥エコーの変化が小さく、検出能力が低下する傾向にある。

(2) ボルトのねじ部および首下部の破断位置と、超音波のビーム路程から推定した亀裂発生位置とはよく一致する。

(3) 精密探傷法では、深さ0.6mm以上の亀裂が検出可能であるが、その寸法についてはばらつきが大きく推定が困難である。ただし、傾斜が小さく平坦な破面の場合には寸法推定が可能である。

(4) 直接接着探傷法では、ねじ部についてはCRTによる監視で亀裂深さ1.3mm以上、自動探傷で3.5mm以上が検出可能で、寸法推定精度は±1mmである。また、首下部についてはCRTによる監視で0.3mm以上、自動探傷で0.5~2mm以上が検出可能で、寸法推定精度は±2mmである。この方法では亀裂深さの定量化が可能である。

(5) 精密探傷法による亀裂の検出可能時期は、ボルトの全寿命に対して55%以内と考えられる。

(6) 直接接着探傷法による亀裂の検出可能時期は、ボルトの全寿命に対してCRTによる監視で64%以内、自動探傷では79%以内と考えられる。

(7) 疲労試験を行ったボルトの疲労亀裂の進展状況や亀裂の発生位置等に関する検討結果から明らかのように、今回提案した超音波探傷法によれば破断面にある程度の余裕をもって亀裂が発見できる。特に、ボルト全長を常に監視できる直接接着方式による自動探傷は管理および判定の容易さから監視システムへの適用が可能と考えられる。

6. あとがき

今回の実験で超音波法によるボルトの疲労亀裂の検出精度がほぼ確認できた。したがって今後の課題は、これらの検出能力と、現場での維持管理上のニーズを考えあわせて、最も合理的な監視システムをつくり上げることであろう。今回取り上げた2種類の超音波法は、それぞれ長所短所を有するが、現場への適用はそれらの特徴を生かした運用が重要である。その中でも直接接着方式による探傷法は、遠隔での測定や安定した観測が実施できるため、疲労試験結果と合わせれば、より安全にボルトを供用することが可能である。特に重要な構造物においては、あらかじめ多数のセンサー付きのボルトを取り付けておき、それらを電氣的に順次切り換えて監視するシステムが考えられる。さらに、この方式を採用したボルトは、疲労亀裂の検知のみならず、軸力測定センサーやAE波の受信センサーとしても応用が可能なることを確認している⁷⁾。

参 考 文 献

- 1) 田島二郎：高力ボルト摩擦接合概説，技報堂出版，pp.17~18, 1973.
- 2) 荻原正弥・岩田尚史・藤野陽輔・吉本 勇：超音波探傷法によるボルトの疲労破壊予知，日本機械学会論文集，第52巻，第481号，昭和61年9月。
- 3) 早坂博文：高力ボルトの取換え補修，橋梁と基礎，Vol.17, No.8, 1983.8.
- 4) 城島保茂：高力ボルトの超音波探傷検査，NDI資料21129, 1987.1.
- 5) 中山昌久・坂田 豊・河村皓二・半澤 貢：ボルト用超音波探傷方法，特開 昭63-18263.
- 6) 榎園正義：棒状固定装置及びその使用方法，特開 昭62-168629.
- 7) 安達徑治・金成昌美・榎園正義：弾性波によるボルトの緩み・疲労亀裂検知および軸力測定に関する実験的研究，非破壊検査，Vol.38, 1989.4.

(1988.10.2・受付)