

経年劣化リベットプレートガーダー の疲労強度

Fatigue Strength of Weathered and Deteriorated
Riveted Plate-Girder

竹名興英*・川上博道**・谷藤精一***・三木千寿****

By Kouei TAKENA, Hiromichi KAWAKAMI, Seiichi TANIFUJI, Chitoshi MIKI

It is important for safety and economy to estimate rightly the fatigue strength of weathered and deteriorated bridges. Many of bridges which served 20 years or more up to now are riveted structures. The criteria used for fatigue design are based on studies of modern welded joints, but they are not sufficient to estimate the fatigue strength of those bridges. In this study, a detailed review of the data of the tests which have been performed in Japan, U.S.A and Europe is conducted, and a fatigue test of a plate-girder which is 70 years old is performed. Fatigue test has never been conducted on the plate-girder such as this specimen whose flange consists of plural plates. Based on this study, the authors clarify the fatigue strength of riveted joint, and the initiation and propagation of fatigue crack.

1. まえがき

老朽化した橋梁の健全度を適正に評価することは、安全性と経済性から重要な問題である。経年数10年以上の橋梁は、ほとんどリベット構造である。現在の疲労に関する基準は主に溶接継手に関する研究に基づいているので、老朽化した橋梁の疲労強度を評価するためにはこれら基準は十分とは言えない。また、リベット継手の日本の設計寿命直線¹⁾は、英²⁾米^{3), 4)}にくらべてその傾きは緩く設計で一般に考慮される繰返し回数(約10⁶回以上)でかなり高い(図-7参照)。昭和58年に改訂されたこの日本の基準では、調質高張力鋼の溶接継手、非調質鋼の溶接継手および両鋼種の非溶接継手の3種類の異なる設計寿命直線が設定された。その傾きは、それぞれ-0.333、-0.25および-0.2である。日本の調質高張力鋼の溶接継手の傾きは、英米のものと同じである。英米の基準では、特に疲労強度の高い継手を除き、溶接継手と非溶接継手の設計寿命直線の傾きは同じである。

リベット継手あるいは部材について体系だった研究は極めて少ない。Fisherら⁵⁾は、欧米の最近50年間にわたるリベット継手と孔あき母材の疲労試験の結果を調査して、疲労強度に影響を及ぼす因子につい

* 工博 新日本技研 (〒105 東京都港区芝2-1-23)

** 鉄道総合技術研究所 (〒185 東京都国分寺市光町2-8-38)

*** 建設機械化研究所 (〒417 静岡県富士市大淵3157)

**** 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)

て個々に評価を行った。さらに、彼らは、経年80年のトラス橋の縦桁の疲労試験を行った。この縦桁は、上下フランジがそれぞれ2枚のアングルで、ウェブとリベットで接合されており、試験区間に添接部はない。これらによって、次のような結論を得ている。(a)リベット継手の疲労強度に大きな影響を及ぼす因子は、平均応力、リベットによる締付け力および支圧比(リベットによる孔の支圧応力と許容引張応力の比)であり、材料の強度、リベット孔の削孔方法および実構造物から切出した材料が新しい材料かはあまり疲労強度に影響を及ぼさない。(b)実構造物の通常の設計では支圧比が1.5以下である。その場合には、リベット継手の疲労強度の下限はA R E A³⁾、A A S H T O⁴⁾のD等級が適当である。しかし、このFisherらの用いた試験体のリベット孔より亀裂が発生した区間はリベット添接部のない等モーメント区間であり、リベット添接部はこれより応力状態が厳しくなる。またReemsnyder⁵⁾は、リベット添接のあるボックス断面試験体で疲労試験を行っている。しかし以上の研究はいずれもフランジが複数の板で構成されたリベット部材の試験ではない。

本研究では、日本のリベット継手と孔あき母材の従来の疲労試験結果を調査し、さらに経年70年のフランジが2枚のアングルと2枚のカバープレートで構成され、支間中央でリベット添接されているプレートガーダーの疲労試験を行い、下記のような検討を行った。

(1) 他の研究も参考にして、リベット継手の適正な設計疲労強度を提案した。

(2) リベットプレートガーダーの疲労破面を詳しく調べることによって、疲労亀裂の発生と進展性状を明らかにした。

この論文では、応力は純断面に対する応力で、また、S-N線図には比較のために日本とアメリカの設計寿命直線も示した。

2. 従来の疲労試験結果の調査

(1) リベット継手の疲労強度

1955年以降の約30年間の日本のリベット継手と孔あき母材の試験データの約200(7), 8), 9), 10), 11), 12), 13)を調査した。この試験データはリベット継手がかなり少なく、孔あき母材が比較的多い。

新しい材料を用いた孔あき母材の試験体および実際に使用されていた橋梁から切出したリベット孔のある試験体の疲労試験結果を図-1に示す。この図には、前者の試験結果の5%、50%および95%非破壊確率線も示す。後者の試験体のリベット孔のエッジはリベットの頭に保護されて腐食が及んでいないと報告されている。これらの試験結果は、新しい材料を用いた孔あき母材の試験体の試験結果の下限に近い。このことは、実験室で用いられる小型試験体は、実構造物より丁寧に製作される傾向であるためであると考えられる。前者の95%非破壊確率線は、この継手の日本の設計寿命直線であるB等級の直線に非常に近い。しかし、両者の試験結果を総合すると、その下限はアメリカのC等級設計寿命直線に近い。図-2に、日本の試験結果の5%、50%および95%非破壊確率線とFisherらの調査した欧米の試験結果を示す。日本と欧米の試験結果はあまり差がない。

実構造物の設計では、一般に支圧比が1.5以下となる

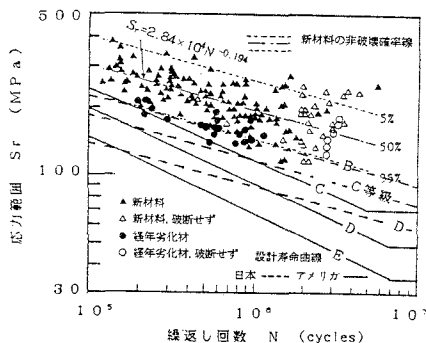


図-1 日本の孔あき母材の疲労試験結果

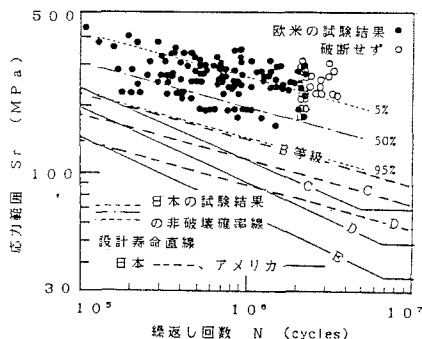


図-2 日本と欧米の孔あき母材の疲労試験結果

ので、日本のリベット継手の試験結果のうち、その条件を満たす試験結果とその5%、50%及び95%非破壊確率線を図-3に示す。この図には、Fisherらが調査した欧米の同じ条件の試験結果も示す。日本の試験結果の95%非破壊確率線は、この継手の日本の設計寿命直線であるB等級の直線をやや下回る。しかし、データ数が少ない。日本の結果の平均線と欧米の平均とよい一致を示している。孔あき母材では、前に述べたように日本と欧米の疲労試験結果は、差があまりなかった。これらを考慮すると、リベット継手の疲労強度も日本と欧米の差がないと考えるのが妥当である。したがって、日本と欧米の試験結果を総合すると、その下限は、日本の設計寿命直線のC等級の直線をやや下回る。

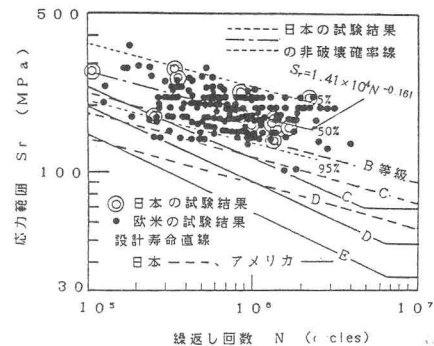


図-3 日本と欧米のリベット継手の疲労試験結果

3. 疲労試験

(1) 試験体

試験体は、国鉄の高崎線の橋梁で、群馬県と埼玉県の境の神流川に架設されていたものである。その形式はリベット接合の上路プレートガーダーである(図-4)。この橋梁の撤去の前に、実車による応力測定を行い、引張フランジの最大応力は約35MPaであった。この応力はアメリカのD等級の疲労限(約50MPa)より小さい。したがって、供用期間中の疲労の累積した被害は無視できると考えられる。使用鋼材は“S39”で、SS41にほぼ相当する。この橋梁の支間は12.9mで、桁高1.391mの2つのI断面の桁で構成されている。桁は上下対称で、最大断面部分(E-E断面)は、フランジが2つのアングルと2つのカバープレートで構成されている。リベット添接部は支間中央で、ウェブ、フランジアングルおよび上側のカバープレートは支間中央で、下側のカバープレートは支間中央より0.49m離れた2箇所板継ぎしている。リベットは緩んでいない。引張フランジは、支点付近とフランジアングルの一部を除いて、比較的健全であり、腐食による断面減少は少ない。圧縮フランジの表面は、枕木ののっていない部分の腐食が進んでおり、特に添接板との境の断面減少がはげしい。

この桁の疲労試験後にウェブの添接部より図のように試験体を切出した。

(2) 試験方法

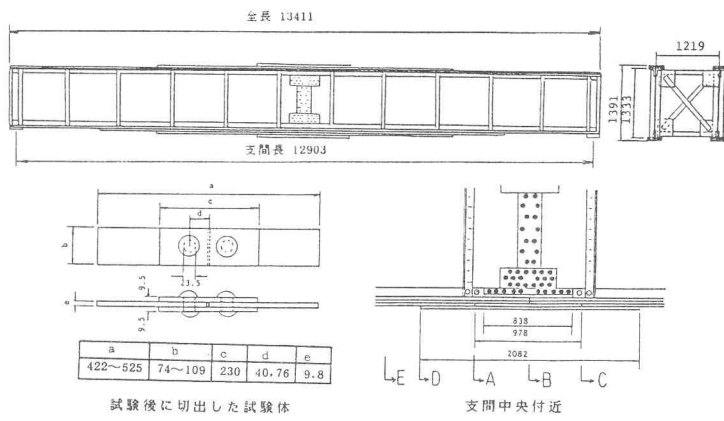


図-4 試験体

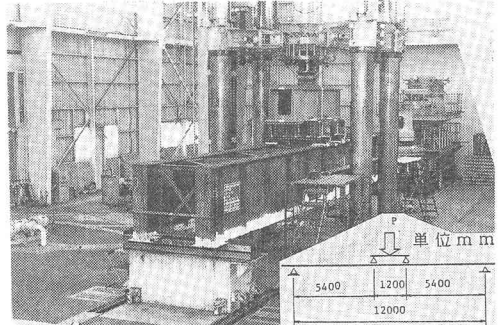


図-5 疲労試験状況

支点付近の腐食がはなはだしいので、支間12.0mで4点荷重試験を行った（図-5）。荷重位置は、板継ぎの外側である支間中央より0.6m離れた位置である。疲労試験は、油圧サーボ制御方式の動的能力4000kNの試験機を用いて、49kNから1470kNの正弦波の繰返し荷重で、繰返し速度は78回／分で行った。また、この試験で、破面にピーチマークを残すように一定回数ごとに最小応力を上昇させて応力範囲を半減させた。疲労試験後に、破断に到っていない潜在亀裂などを調べる目的で、リベットを除去し解体した。そして、リベット孔の亀裂を調べるために、まず目視と磁粉探傷を行い、それらによって亀裂が発見できない場合はカラーチェックを行った。そして、破断に到っていない亀裂のほとんどは強制的に破断することによって破面を露呈させた。

ウェブより切出した試験体は応力比0で疲労試験を行った。

（3） 試験結果の概要

添接部の純断面に対して計算応力範囲は131MPaである。支間中央の引張フランジ下面のリベットの無い断面の実測応力範囲は111MPaであった。これはリベットのある断面の純断面の応力範囲に換算すると130MPaで、計算応力範囲とよい一致を示す。支圧比は1.22である。図-6に荷重履歴を示す。

繰返し数約10⁴回で、左側の桁のA-A断面付近の添接アングル端のフランジアングルの水平脚が溝状に腐食した部分（断面減少は素材の約半分）のエッジ付近より亀裂が発生した（L_A亀裂）。写真-1は、この亀裂の最終進展状態である。この亀裂は、新しい亀裂が発生し合体するのが観測された。

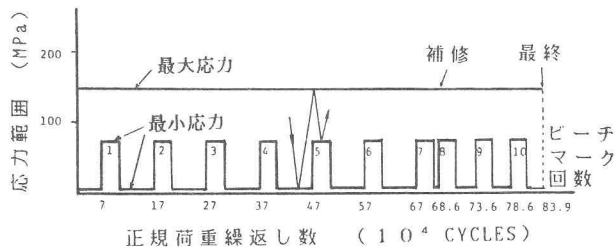


図-6 荷重履歴

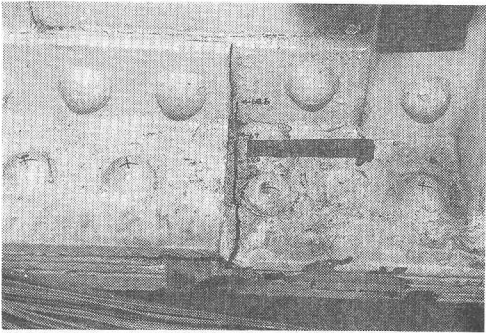


写真-1 腐食部分より発生した亀裂（L_A亀裂）

68.6×10⁴回で、左右の桁のA-A断面付近の亀裂が大きくなり、試験を一時停止した。その時の右側の桁は、写真-2に示すように、フランジが全部破断し、ウェブの半分近くまで亀裂が進展した（R_A亀裂）。左側の桁では、写真-3に示すように最も上の板（フランジアングルの下の板）と最も下の板（添接板）の亀裂面はそれらの板で挟まれた板の板継ぎに対して対称なリベット面で亀裂が生じている（L_A亀裂）。後者の板は全体が破断しているが、前者は全体が破断に到っていない。フランジアングルは、写真-1に示したように垂直脚の約1／3まで亀裂が進展している。ただし、これとウェブを介して反対側のフランジアングルには、亀裂は発見されなかった。1.6×10⁴回前の目視検査では亀裂は発見されていないので、見掛け上急速に破断したように見える。

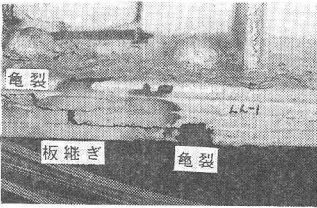


写真-3 L_A亀裂

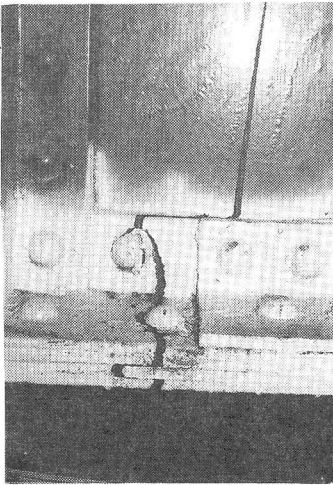


写真-2 R_A亀裂の破断状況

これらの破断箇所を高力ボルトによって補強して、疲労試験を再開した。79.3×10⁴ 回で左側の桁のC-C断面付近の添接板のリベット孔より発生した亀裂を発見した(L_c亀裂)。83.9×10⁴ 回でフランジ全部が破断し、ウェブの約半分まで亀裂が進展して疲労試験を終了した。終了直後に、右側の桁で左側の桁の破断箇所と対称な位置の塗装を除去したら、写真-4に示すようにフランジアングルの表面の亀裂と最も上の板の板端まで達している亀裂が発見された(R_c亀裂)。このような状態では、塗装がある場合、まだ亀裂は発見できない。この塗装は7年5月前に行われている。

(4) 疲労強度

この試験でリベット添接部が破断した時の繰返し数と応力範囲を図-7に示す。この回数には、ピーチマーク破面を残すために応力範囲を半減した繰返し数は含まれていない。これと比較するために、リベット継手の日本、アメリカおよびイギリスの設計寿命直線も示す。また、リベット部材の他の疲労試験結果^{5), 6)}も図示する。本試験の結果は、他のリベット部材の試験結果に近い。また、これらの試験結果は図-3の小型試験体の疲労試験結果の下限にほぼ位置する。これらのリベット部材の試験結果は、日本の設計寿命直線を下回り、イギリスの設計寿命直線を応力範囲が高い領域で下回る。応力範囲の小さい領域で試験を行ったFisherらの経年劣化した縦桁の試験で、リベット孔より疲労亀裂が発生した区間は、リベット添接部のないリベット接合部の等モーメント区間であり、リベット添接部の応力状態はこれより厳しい。これを考慮するとリベット添接部の疲労寿命はアメリカの設計寿命直線(D等級)に近いと考えられる。

疲労試験後にウェブの添接部より試験体を切出し、支圧比を変えて疲労試験を行った結果を図-8に示す。Fisherらの調べたリベットの緩んでいて支圧比が1.5以上の試験結果とアメリカの設計寿命直線も図示する。本試験結果は、支圧比が2.5以上ではアメリカのE等級以下で、約2になるとD等級をやっと満足する。リベットが緩んでいる場合、支圧比が大きくなると疲労強度がかなり低下することが分る。

(5) 疲労亀裂の発生と進展性状

亀裂調査の結果を、表-1と図-9に示す。図中の外側と内側はそれぞれウェブに対して橋梁の内側と外側を表わす。A、P₃、P₂およびP₁は、フランジアングル、上側のカバープレート、下側のカバープレートおよび添接板を表わす。下側のカバープレートの

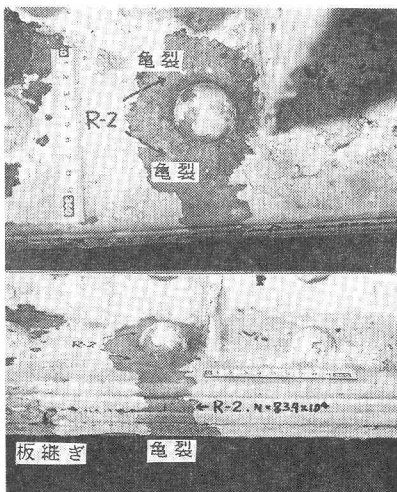


写真-4 塗装を除去して発見した亀裂 (R_c 亀裂)

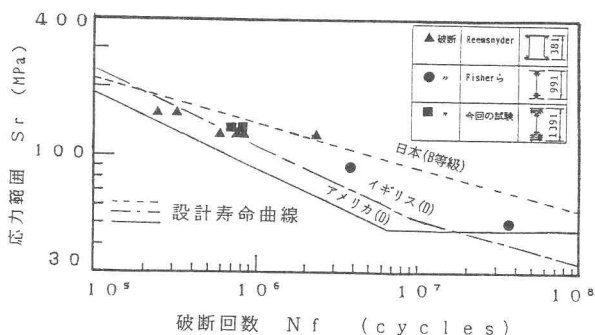


図-7 リベット部材の疲労試験結果

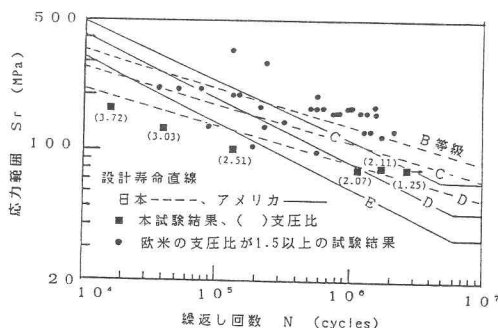


図-8 支圧比を変えた疲労試験結果

表-1 亀裂調査の結果

亀裂位置	亀裂記号	応力プロ ット数	最大ビーチ マーク本数	最も内側のビー チマークでの繰 り返し数 10^4	亀裂発見時 の繰返し数 10^4	破断回数 10^4	備考
下側のカバー プレート	A-A 左桁 L_A	7	7	7	※1	68.6	破断後、高力 ボルトで補修
	断面付近 右桁 R_A	7	4	3.7	—	68.6	
の板継ぎ付近 の亀裂	C-C 左桁 L_C	10	6	4.7	79.3	83.9	
	断面付近 右桁 R_C	10	7	3.7	83.9	—	試験終了直後に 塗装を除去して 亀裂を発見
支間中央B-B断面 の亀裂	右桁 R_B	10	—	—	—	—	解体後の調査で 1mm以下の微小 亀裂を発見
添接板板継ぎD-D断面 付近の亀裂	左側 L_D	10	7	3.7	—	—	解体後の調査で 発見

※1 アングル表面の腐食箇所からの亀裂は 10^4 回以下で発見されていた。
※2 圧縮フランジの添接部にも亀裂が発生していたが、この表から除外した。

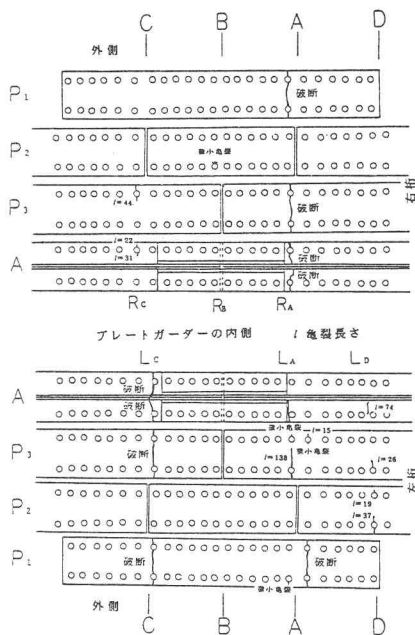
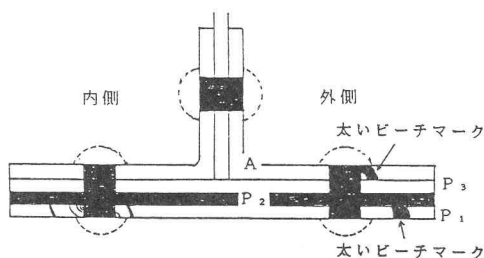


図-9 亀裂調査の結果

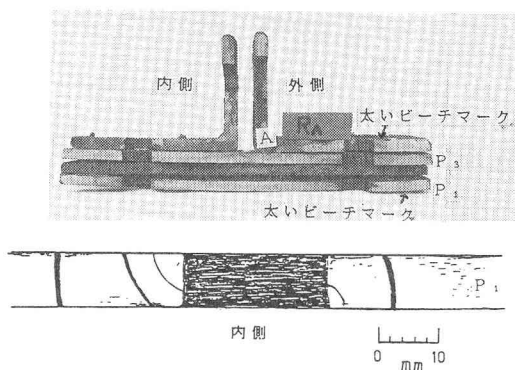


図-10 R_A 亀裂の疲労破面

板継ぎ付近であるA-A断面とC-C断面では、いずれも疲労試験中に亀裂が発見された（ L_A 亀裂、 R_A 亀裂、 L_C 亀裂および R_C 亀裂）。右側の桁の支間中央のB-B断面付近では、解体後の調査でリベット孔のエッジに1mm以下の微小な亀裂が1つ発見された（ R_B 亀裂）。添接板の端のD-D断面付近では、解体後の調査で、左側の桁に亀裂が発見された（ R_D 亀裂）。これらの引張フランジの亀裂は、いずれも添接部分の板継ぎ位置から最も近いリベット孔から発生した亀裂と腐食により断面が半分以上に減少した位置から発生した亀裂であり、他のリベット孔からは亀裂は発生していない。圧縮フラ

ンジでは、腐食の著しい添接板の端のカバープレートの4箇所にも亀裂が発生している。

R_A 亀裂、 L_C 亀裂、 R_C 亀裂および L_A 亀裂の疲労破面の写真とスケッチを、図-10、図-11、図-12および図-13にそれぞれ示す。

リベット孔から発生した疲労亀裂によってフランジ全部とウェブの一部を破断させた亀裂は、 R_A 亀裂と L_C 亀裂である。 R_A 亀裂のビーチマークの本数は、 P_1 プレートの内側のリベット孔の左側に3本、右側に2本および外側のリベット孔の右側に太いのが1本観測された。外側のフランジアングルでは、リベット孔の右側に太いのが1本観測された。これらの太いビーチマークは、荷重を半減させても急速に亀裂が進展して行ったことを表わしている。 P_3 プレートと内側のフランジアングルにはビーチマークは観測されなかった。ビーチマークの本数、その間隔および太さから、次のような疲労亀裂の発生と進展性状が分る。まず、 P_1 プレートの内側のリベット孔の左上のエッジより疲労亀裂が発生し、次にその孔の右側のエッジから亀

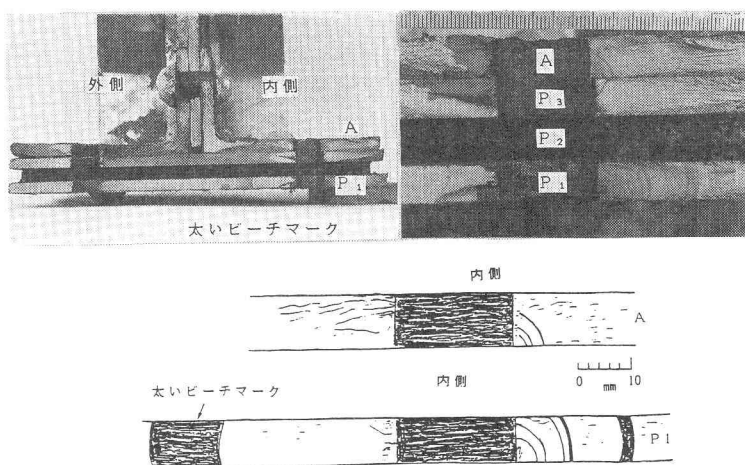


図-11 L_c 亀裂の疲労破面

裂が発生した。そして、左側の亀裂は板を破断した後、右側の亀裂は急速に進展し外側のリベット孔を通過し、最後のビーチマークを残し P_1 プレート全部を破断させた。外側のフランジアングルでは、 P_1 プレートがほとんど破断する所に、リベット孔の右下より亀裂が発生して、太いビーチマークを残して急速に破断している。そして、最後の荷重半減以降の繰返し回数 1.6×10^4 回の間に内側のフランジアングルの全部および P_3 プレートの全部が急速に破断している。この亀裂が補修されるまでの荷重半減回数は合計 7 回で、この破面で観測されたビーチマークは合計 4 本であるので、最も最初のビーチマークは 3.7×10^4 回に形成されたものである。

L_c 亀裂のビーチマークは、 P_1 プレートの内側の孔の右側に 5 本、左側に太いのが 1 本および内側のフランジアングルに 3 本が観測された。他の P_2 プレートと外側のフランジアングルにはビーチマークは観測されなかった。 P_1 プレートの内側の孔の右側の 3 番目と 4 番目のビーチマークの間隔が短いことから、この部分の破面は、A-A 断面の破断直前の少ない正規荷重振幅の繰返し回数で形成されたことが分る。また、補修後の荷重半減回数は 3 回であるので、この 4 番目のビーチマークが補修直後のもの、5 番目が 2 回目のもの、およびこの孔の左側の太いビーチマークが 3 回目つまり最後のものであることが分る。すなわち、疲労亀裂の発生と進展性状は、まず P_1 プレートの内側の孔の右下のエッジより亀裂が発生し、右側の断面を破断させた。その頃に、その孔の左側に亀裂が発生し、太いビーチマークを残して P_1 プレートの全断面を急速に破断させた。内側のフランジアングルの孔の右側のビーチマークは 3 本で、A-A 断面の補修後の荷重半減回数は 3 回であるので、補修の少し前に右下のエッジより亀裂が発生したことを示している。この亀裂は、最後の荷重半減回数まで比較的安定して進展して行ったが、その後の繰返し回数 5.3×10^4 回の間に、急速に進展し破断した。また、同じ時期に外側のフランジアングルの全部および P_3 プレートの全部が急速に破断している。すなわち、 P_1 プレートの全断面が破断した頃から、フランジの他の構成要素は亀裂が急速に進展し破断している。この亀裂の荷重半減回数は全部で 10 本で、観測されたビーチマークは合計 6 本であるので、最も内側のビーチマークは繰返し回数 4.7×10^4 回に形成されたものである。

R_c 亀裂は、進展途中に疲労試験を終了した亀裂で、塗装を除去することによって発見できた亀裂である。ビーチマークは、外側のフランジアングルの孔の左側に 7 本、右側に 3 本、 P_3 プレートの外側の孔の左側に 5 本および右側に 6 本が観測された。最も応力の高い P_1 プレートには亀裂が発生していない。最も内側のビーチマークの大きさは、フランジアングルの孔の左側のものと比較して、 P_3 プレートの孔の両側のものがかなり大きいことから、フランジアングルの孔の右側の亀裂を除いた 3 者はほぼ同時に疲労亀裂が発

生したと考えられる。また、これらのビーチマークで、外側から3番目と4番目の間隔が小さいのは、A-A断面の破断直前の正規の荷重での繰返し回数が少ないためである。したがって、繰返し回数 3.7×10^4 以前に、外側のフランジアングルの孔の左上のエッジ、外側のP₃プレートの孔の左下のエッジおよび右下のエッジよりほぼ同時に疲労亀裂が発生して、やや後れてフランジアングルの孔の右上のエッジより亀裂が発生した。試験を終了直前に、P₃プレートの外側の孔の右側は破断している。これらの亀裂は比較的に安定して進展している。

以上の亀裂破面を観測した結果、リベット孔より発生する亀裂について、下記のことが言える。(a)疲労亀裂は、フランジを構成するどの板からも発生する可能性があるが、最も下の板から最初に発生する可能性がやや高い。(b)亀裂の発生する位置は、リベット孔のエッジである。Fisherらの試験では、板と板で挟まれたエッジだけから亀裂が発生したと報告されているが、本試験では板と板で挟まれたエッジか、リベット頭と接触するエッジかは、亀裂の発生には関係がなかった。(c)1つの板の片側が破断するまでは、亀裂は比較的に安定して進展するが、その後急速に進展する。これは、亀裂がこの程度に進展するとリベットの締付け力がやや緩むために、板と板の摩擦力が低下し、リベットの支圧力が増加し、さらに板の片側が破断することによって、亀裂先端の応力状態が非常に厳しくなるためと想定される。(d)フランジを構成する1つの板が破断すると、他の板は非常に急速に破断する。これは1つの板が破断するとリベットの締付け力がほとんどなくなるため、板と板の摩擦力がほとんどなくなり、さらに断面の減少によって支圧比が大きくなるためと考えられる。この試験では、1枚の板が破断すると支圧比は50%増加するので、1.83となる。(e)(c)と(d)で述べてたように、1枚の板の片側が破断してから、フランジ全体が破断するまでの残存寿命は非常に小さい。また、塗装がある場合、1枚の板の片側が破断したときに亀裂を発見することはかな

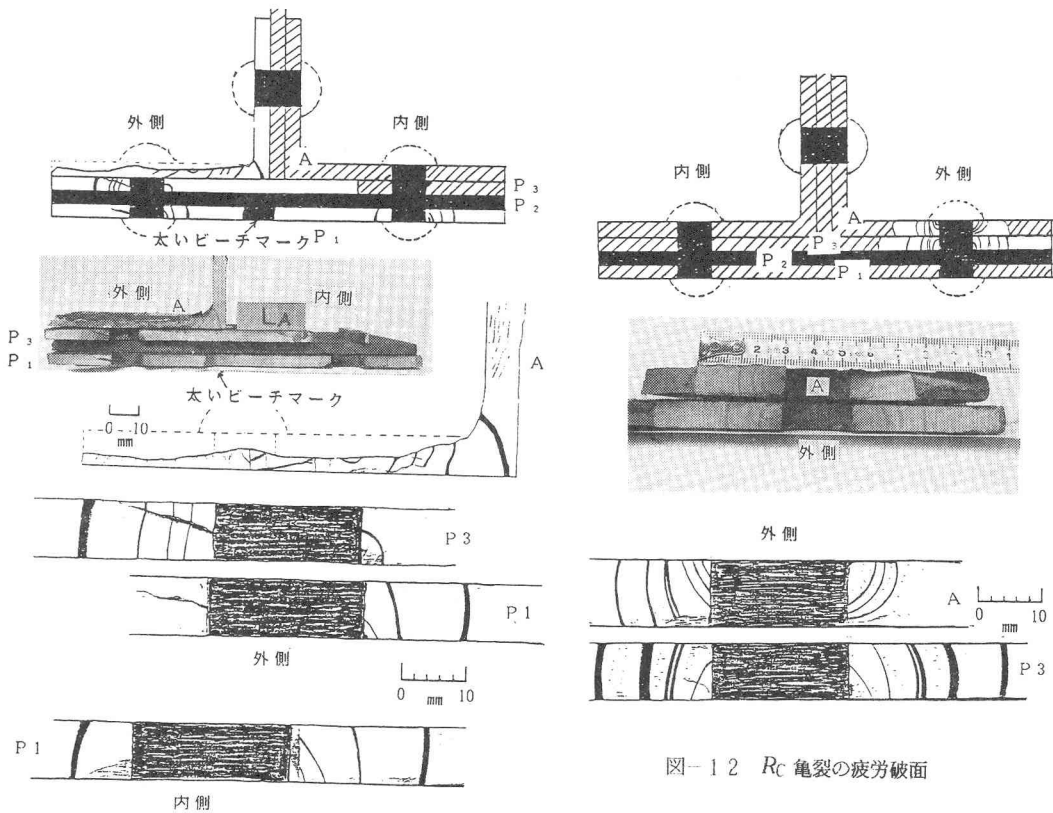


図-12 Rc 亀裂の疲労破面

図-13 LA 亀裂の疲労破面

り困難である。したがって、供用期間中の検査で亀裂を発見して、補修をするまでの時間の余裕はあまりない。

L_A 亀裂は、上記した3つの亀裂と異なる特徴がある。一つは、フランジアングルでは、リベット孔でなく腐食した表面から亀裂が発生していることである。もう一つは、他の亀裂がすべて同一断面上のリベット孔より亀裂が発生しているのに対して、この亀裂では、P₂プレートの板継ぎを介した対称の2つの断面のリベット孔より亀裂が発生している(図-9)。ピーチマークは、P₁プレートの内側の右側に4本、左側に2本および外側の右側に4本あり、それぞれの最外層のピーチマークは中央付近で交差して、そしてP₁プレートは破断している。外側のフランジアングルは腐食によって断面が約半分に減少している水平脚の表面から複数の亀裂が発生し合体し、荷重半減回数と同じ7本のピーチマークが残されており、リベット孔からは亀裂は発見されていない。内側のフランジアングルには亀裂は発生していない。この亀裂は繰返し数の極初期の約 10^4 回で発見されている。P₁プレートのピーチマークは合計で5本であるので、外側のフランジアングルとほぼ同時期あるいは少し遅く亀裂が発生している。しかし、前者の方が早く破断している。これは、上記したようにリベット孔から発生した亀裂は、板の片側を破断した後は急速に進展するためと考えられる。また、L_B 亀裂のフランジアングルの亀裂は、L_A 亀裂のフランジアングルと同様に、腐食によって断面が半分以上に減少した表面から亀裂が発生している。

L_A 亀裂とL_B 亀裂の破面の観測から下記のことを言える。(a)腐食によって断面が半分くらい減少すると、リベット部分より亀裂が発生し易くなる。(b)腐食した表面から発生した亀裂は、リベット孔より発生する亀裂にくらべて、進展性状は安定しており、またやや発見し易いので、供用期間中に検査で発見し修理できる可能性はやや高い。

4 結 論

本研究の結果、得られた主な点は次の通りである。

(1) 日本と欧米の孔あき母材の疲労試験結果は、あまり差がなかった。両方の試験結果を総合すると、アメリカのC等級の設計寿命直線に近い。

(2) 過去のリベット継手の小型試験体、本研究のプレートガーダーおよび他のリベット部材の疲労試験結果の下限は、アメリカのD等級の設計寿命直線に近い。

(3) この試験で、フランジを構成するアングルと2枚のカバープレートのうち、アングルは腐食によって断面が半分程度減少していたが、これによるリベット桁全体の疲労強度の低下はほとんどなかった。

(4) リベット添接部の応力集中の大きい板継ぎから最も近いリベット孔のエッジから疲労亀裂が発生し易い。他の孔からは亀裂は発生しなかった。板と板に挟まれたエッジか、リベット頭と接触するエッジかは、亀裂の発生には関係がなかった。また、フランジを構成する複数の板のどの板からも亀裂が発生する可能性があるが、最も下の板から最初に発生する可能性がやや高い。

(5) 腐食によって断面が半分くらい減少すると、表面の凹凸が大きくなり応力集中が大きくなるので、リベット部分より亀裂が発生し易くなる。

(6) リベットの締付け力が緩んで、支圧比が大きくなると、疲労強度は非常に低下する。この試験では、支圧比が2.5以上となると、アメリカの設計等級でE以下であった。

(7) リベット孔より発生する亀裂は、1つの板の片側を破断するまでは、比較的に安定して進展するが、その後急速に進展する。これは、亀裂がこの程度に進展するとリベットの締付け力が緩むために板と板の摩擦力が低下し、リベットの支圧比が増加し、さらに板の片側が破断することによって、亀裂先端の応力状態が非常に厳しくなるためと想定される。

謝辞

リベット桁および桁より切出した試験体の疲労試験は、それぞれ建設機械化研究所および東京工業大学で実施した。前者の試験を実施した浅川和夫、江口保平氏、後者の試験を実施した森助手および文献調査に協力願った阿部允氏に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 国鉄：“建造物設計標準および解説”、1983-3.
- 2) BS 5400 Part 10 : Steel, Concrete and Composite Bridges, Code of Practice for Fatigue, 1980.
- 3) AREA : Standard Specifications for Railway Bridges, 1985.
- 4) AASHTO : Standard Specifications for Highway Bridges, 1977.
- 5) Out, J., M.M., Fisher, J.W., Yen, B., T. : Fatigue Strength of Weathered and Deteriorated Riveted Members, Technical Report 483(84), Fritz Engineering Laboratory, 1984-10.
- 6) Reemsnyder, H.S. : Fatigue Life Extension of Riveted Connections, Journal of the Structural Division 101:2591, 1975-12.
- 7) 小西一郎：構造用高強度鋼材を用いたリベット継手の疲れ強さについて、土木学会誌、Vol.45, No.9, 1955.
- 8) 小松原政次、田島二郎、大宮克己：高張力ボルト継手の疲労試験、鉄道技術研究報告、No.232, 1961-7.
- 9) 田島二郎：60 kg/mm² 高張力鋼のリベットおよびボルト継手の静的ならびに疲労強度、鉄道技術研究報告、Vol.283, 1962-4.
- 10) 関西高張力鋼研究グループ：高張力の鋼疲労強度に関する試験研究、土木学会誌、1969-11.
- 11) 阿部英彦、稲葉紀昭、江口保平：腐食鋼材の疲労強度、構造物設計資料、No.34, 1973-6.
- 12) 阿部英彦、阿部充：列車荷重の繰返しを受けた鉄道橋の疲労強度、構造物設計資料、No.57, 1979-3.
- 13) 土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会・疲労分科会：本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書、別冊2 本州四国連絡橋の疲労設計、1973-3.

(1987年10月16日)