

疲れ試験データベースの作成とその利用

FATIGUE DATA BASE FOR WELDED JOINTS

坂巻和男*・山田健太郎**

By Kazuo SAKAMAKI and Kentaro YAMADA

A fatigue test data base of welded joints is established to be used for statistical evaluation and for proposal of allowable stresses for fatigue design. Through the preliminary investigation, format of the data base is determined according to the following concepts. 1) In order to clarify the data, classification items are selected as many as possible to store the data into data base. 2) Items not classified in the files can be traced back to the original references. More than 2000 fatigue test data have been collected from various sources. Fatigue behavior of butt welded joints is investigated using utility programs, and it is proved that the data base is satisfactory. All analyses are carried out with a personal computer.

1. はじめに

本州四国連絡橋の疲労設計を検討するために実施された疲労の研究は、橋梁の設計・製作に携わる技術者に、疲労設計の重要性とその考え方を再認識させる契機となった。特に、実物大の疲労試験を行って、溶接欠陥や残留応力の影響を検討し、破壊力学の手法を積極的に応用して疲労強度を解析した点は高く評価される^{1),2)}。最近その発生事例が多く報告されるようになった道路橋の疲れ亀裂に関しても、橋梁関係者の中で事例研究が行われており、今後実橋の補修・補強の観点からさらに疲労の研究が進められるものと思われる^{3),4)}。

橋梁に限らず、繰り返し荷重を受ける鋼構造物には、疲労に対する照査が必要である。わが国では、国鉄建造物設計標準解説⁵⁾、本四規準^{6),7)}、道路橋示方書⁸⁾(鋼床版に対して)が橋梁の疲労の照査に使われる。これらの示方書では、規定される継手形式に限りがあり、一般の構造物や継手の疲労設計には、鋼構造協会疲労設計指針⁹⁾や外国の示方書を参考にすることがある。これらの疲労設計法では、一般に、継手形式に応じた設計 S-N 線

図が与えられており、設計で考慮した繰り返し数が作用しても、構造物に疲れ破損が生じないように設計する。この設計 S-N 線図は、同種の継手の疲れ試験データを収集・整理し、統計解析したり、応力解析や破壊力学を用いた寿命解析などの研究成果を取り入れて、総合的に決定される。

疲れ試験データが、設計 S-N 線図の基本要素であるが、各種の継手形式や材料に対して新たに疲れ試験を実施することは、多大な費用と労力を要する。そのため過去に蓄積されたデータを収集・整理して、その再利用を図る努力がされてきた。これまでにも、鋼構造協会疲労データシート^{10),11)}や本四公団の疲労データシート¹²⁾が作られたが、初期の目的を達成した後は、その収集が停止されている。前述したように、現状の疲労設計指針は、継手形式の分類が十分でなく、また単純化された設計 S-N 線図よりも、疲れ試験データそのものや、データのばらつきが重要になってくる場合もある。既設構造物では、現在あまり使用されない鋼材や溶接継手形式も使われており、その疲れの照査には、既存のデータの再利用が不可欠の要因となる。そのような観点から、既存の疲れ試験データの収集・整理は、今後も続けられるべきであろう。

本研究では、疲れ試験データの収集・整理に、手軽に

* 正会員 工修 東京都(前・名古屋大学大学院)

** 正会員 Ph. D. 名古屋大学助教授 工学部土木工学科
(〒464 名古屋市千種区不老町)

使用できる面を考慮して、パーソナルコンピュータを使用し、疲れ試験データベースを作成する際の問題点を検討した。また、入手できる範囲の疲れ試験データを入力してデータベースを作成し、本手法の運用面での問題点を明らかにした。2, 3の継手形式については、検索機能を応用して、データの整理を行い、本データベースの有用性について考察した。

2. 疲れ試験データベースの作成

(1) 疲れ試験データシート

継手の疲れ挙動の検討や確認試験で得られた疲労試験結果は、これまでも、日本鋼構造協会 (JSSC) 疲労小委員会や、本四公団で収集され、いずれも疲れ試験データシートの形で残されている^{10)~13)}。また、国鉄で収集したデータは、国鉄建造物設計標準解説に $S-N$ 線図の形で収録されているが⁵⁾、試験条件や生データに関しては原論文や報告書を参照する必要がある。継手形式に限られるが、金属材料技術研究所 (NRIM) では、独自で実施した実験結果を英文で刊行しており、利用価値の高いものである¹³⁾。

これまでのデータシートは、印刷物の形で公表されており、今後のデータ数の増大や再利用する場合の手間など若干の問題がある。この問題は、疲れ試験データをコンピュータアクセスが可能なデータファイルとして保存し、簡単に検索・処理が行えるような数値データベース化することで解決できる。このような試みは、文献14)で行われたが、入力項目が少なく、成果が上がらなかった。また、文献15)にも、疲労試験データベースを作成して高張力鋼の疲れ許容応力度を検討した例が示されているが、データベースの詳細は不明である。

(2) 疲れ試験データの性格

疲れ試験データの最も重要な部分は、継手形式、作用応力範囲 σ_r と破壊までの繰り返し数であり、疲れ設計法でも最も基本となるパラメーターである。しかし、データはその実験の実施にあたって設定された多数の条件に従属するものであり、試験結果をデータベース化する際には、それらも同時に収録する必要がある。試験条件としては、一般に、材料の性質、溶接方法、試験片の形状・寸法、試験方法などが挙げられる。たとえば、JSSC 疲労データシートでは、見出し、試験片、荷重、データ、 $S-N$ 線図、出所の6項目に分けて、試験に付属する条件を要領よく記述している^{10), 11)}。本四公団疲労データシートの形式もほぼこれと同じであり¹²⁾、疲労試験データに付属する試験条件の記述方法としては、十分満足のゆくものと思われる。

より詳細な記述方法としては、NRIM 疲れデータシートの例が挙げられる¹³⁾。これは、金材技研で実施した疲

れ試験の報告書的な性格をもつもので、試験条件が細大もろさず記載されており、利用価値の高いものである。本研究で用いたデータベースの書式は、NRIM 疲れデータシートと JSSC 疲労データシートを参考にして決められた。

疲れ試験データベースを作成するにあたり、上記のデータシートの形で公表された文献ばかりでなく、疲労の研究論文も情報源として利用できる。しかしながら、研究論文では、論文構成に必要なデータを記載することが多く、記載項目は文献によって異なっている。たとえば、最近7年間に発表された国内の疲労関係の文献約200件のうち、継手の疲れ試験を行っているもの30件について、文献に記載された内容を検討した結果は、次のようである。すなわち、多くの文献に記載された項目は、材料では、規格、機械的性質 (降伏応力、引張強度、伸び)、化学成分など、溶接に関しては、溶接棒、溶接方法、試験体では、形状・寸法、表面処理状況、溶接部の仕上げの有無、などである。試験機の種類や能力、荷重の種類、繰り返し速度については、多くの場合記述されているが、荷重の精度やチェックの方法については記述されていないことが多い。 $S-N_r$ データは $S-N$ 線図上に示されることが多く、数値の形でデータが記載されているのは、調査した文献の約半数であった。疲れ亀裂発生寿命 N_c は、最近の文献に記載された例がみられるが、継手試験では $S-N_r$ データがほとんどであった。また、最近の文献には、溶接止端半径や止端角を測定しているのがみられる。ピーチマーク法による疲れ亀裂形状の記述とともに、最近の研究の動向を示すものであろう。

(3) データベース化する際の問題点

疲れ試験に関連するあらゆる情報を網羅し、ユーザーがその中から必要な情報を取り出して利用するのが、データベースの基本概念である。したがって、疲労試験データベースには、試験条件や結果をできる限り収録することが望ましい。しかし、公表された文献やデータシートからデータを収集すると、得られる情報は文献によって大きく異なり、項目によってはデータが得られない場合がある。一部の文献に示される特殊なデータを収録することは、データベースをはん雑にし、結果的にデータベースを使用しにくくする。また、データ数が少ない項目は、検索および統計処理を行ううえで無意味になる場合も考えられる。反対に、記載例が少なくても、強度解析上重要な項目もあり、入力する項目の決定には注意を要する。ただし、疲れ試験データベースに入力する項目の取捨選択には明確な基準はなく、データベース作成者の経験、パラメーターの重要性、データベースの使いやすさ、などから判断される必要がある。

(4) データファイル化の方針

本研究では、上記の問題点を考慮して、次に示す方針でデータベースを作成した。

(a) データの有用性を主観的に判断せず、技術的に可能な範囲で、できる限り多くの項目をデータファイル化する。

(b) データの出典となった文献やデータシートを集めて文献集(文献データベース)を作り、収録できなかった項目が容易に引用できるようにする。

(c) データファイルの再編成や項目の追加に備えて、出典との対応を明確にする。

(d) データのチェックを容易にするため、簡単なデータシートの形で出力させる。また、不明の項目をデータ作成者(著者)に問い合わせる場合にも、このデータシートを利用して簡便に行えるようにする。

(e) 原則として発表論文やデータシートからデータを収集する。報告書なども、それが比較的容易に入手できる場合は採用する。

3. 疲れ試験データベースの構成

(1) データファイルの構造

最近のパーソナルコンピュータの機能の向上は著しく、本研究で扱う程度のデータベースには十分な能力を備えてきている。取り扱いの容易さや図形出力が手軽に

行える点を考慮して、データベースの作成、検索・処理は、パーソナルコンピュータを用いて、会話形式で行うこととした。

データファイルの構造を単純にし、データを効率的に記録するために、1系列の疲れ試験データをまとめて、1レコードとし、これを分割して、その試験系列の試験条件39項目と、S-N_rデータを入力した。

収録した項目、およびデータ分類に使用したコードなどをTable 1に、またDATA文形式で入力されたデータベースの例をFig. 1に示す。なお、試験体の形状(継手形式)は、最も重要な項目である。本データベースでは、データファイルを継手形式ごとに作成することとしたので、各レコード内に継手形式の項は含まれない。以下、各項目の内容を示す。

a) 見出し

データ群番号は通し番号で、データの入力順になっている。文献番号は、文献データベースまたは疲れデータシートの番号と対応しており、原文献を参照する場合に必要である。文献言語や研究機関名、試験実施年(文献の発表年)もあわせて入力した。

b) 材 料

主材料名は、JIS規格名や通称名(6文字以内)を入力し、材料の化学成分や機械的性質(降伏応力、引張強度、伸び)などで材料の特性を示した。多くの場合ミルシー

Table 1 Parameters and codes used in the fatigue test data base.

<p>【 見 出 し 】</p> <p>(1) データ群番号 (2) 文献番号 (3) 文献言語 1-日本語 2-英語 3-ドイツ語 4-フランス語 5-その他 (4) 研究機関名(20文字以内) (5) 試験実施年(西暦)</p> <p>【 材 料 】</p> <p>(6) 主材料名(6文字以内) (7) 材料形状 1-板 2-形鋼 3-管 4-棒 (8) 圧延方向と試験片の方向の関係 1-圧延方向と平行に載荷 2-圧延方向と垂直に載荷 3-板圧方向に載荷 (9)~(18) 化学成分(C, S, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo, Cu, V) (19) 母材引張強度(MPa) (20) 母材降伏応力(MPa) (21) 伸び(%) (22) 溶接方法 1-溶接アーク溶接 2-サブマージドアーク溶接 3-ガスシールドアーク溶接 4-ノンシールドアーク溶接 5-ガス溶接 6-スタッド溶接 7-エレクトロスラッグ溶接 8-その他 (手溶接の場合は番号(一)をつける) (23) グループ形状 1-I形 2-V形 3-X形 4-U形 5-H形 6-L形 7-K形 8-J形 9-両面J形 0-すみ肉 (24) 溶接パス数 (25) 溶接棒・ワイヤ規格(6文字以内) (26) 溶接棒・ワイヤ直径(mm) (27) 溶接向き 1-下向き 2-立向き(水平) 3-立向き(水平以外) 4-上向き (28) 溶接速度(cm/分) (29) 入熱量(kJ/cm) (30) 予熱温度(°C)</p>	<p>【 試 験 片 】</p> <p>(31) 幅(mm) (32) 厚さ(mm) (33) 引張強度(MPa) (34) 特徴を表わすコード(10個以内) NF-非仕上げ FL-仕上げ MS-黒皮付き GA-はつり GR-研削・研磨 GU-ガスカット PE-ピーニング MA-切欠 RL-ローリング EP-めっき CH-化学処理 SH-ショットブラスト AN-応力除去焼きなまし AM-中間焼きなまし NN-焼きならし QU-焼き入れ TE-焼きむどし WW-溶け込み良好 WN-溶け込み不良 WU-アンダーカット WL-ラミネーション WB-ブローホール Fn-n年大気曝露(n=1, 2, ..., 9) RO-切欠き半径測定 FA-止端角測定</p> <p>【 試 験 環 境 条 件 】</p> <p>(35) 雰囲気 1-大気中 2-水蒸気 3-海水中 4-その他 (36) 気温(°C)(室温の場合は20°Cとする) (37) 荷重の種類 1-軸力 2-曲げ 3-ねじり 4-その他 (38) 試験機 1-バルセータ型試験機(アムスレー) 2-バルセータ型試験機(ローゼンハウゼン) 3-油圧サーボ型試験機 4-回転曲げ試験機 5-平面曲げ試験機 6-電磁共振型試験機 7-ねじり試験機 8-その他 (39) 試験機能力(ton)</p> <p>単位換算表 $1 \text{ kg/mm}^2 = 9.807 \text{ N/mm}^2 = 9.807 \text{ MPa}$</p>
---	---

ト値で記載されており、そのまま入力した。

c) 溶接

溶接継手の試験では、溶接条件が重要な項目であり、Table 1 に示すような項目を入力した。溶接方法や開先形状などは、コードによって区別した。

d) 試験片

試験片の形状を、図形情報に頼らず表現するのは難しい。ここでは、最も重要と思われる断面(一般に最小断面)の幅と厚さを収録した。試験片の特徴は、試験体の仕上げ状況、熱処理、溶接状況、その他の情報(止端形状測定の有無、 N_c の記載の有無、大気暴露材の暴露年数、等)をコードで表現した。最大 10 種類のコードが入力できるが、これまで入力したうちでは、5 種類が最大であった。検索・処理にあたっては、継手形式について主要な項目であり、記入には注意を要する。

e) 試験環境

その他の試験条件として、雰囲気、気温(室温は便宜上 20°C とした)、荷重、試験機、試験体数などを入力した。

f) S-N_r データ

各試験体の S-N_r データを、繰り返し速度、最小応力、応力範囲、破断繰り返し数(×10⁴回)、破断状況(未破断、チャック部破断、その他)。

(2) 継手形式の分類

データベース作成上、最も重要と思われる継手形式の分類は、JSSC 疲労データシートに用いられた分類に数種類の継手形式を追加した¹⁰⁾。本データベースでは、検索・処理上の簡便さを考慮して、継手形式ごとにデータファイルを作成している。多くの継手形式にわたる検索・処理を行うには、各継手のデータファイルを統合して使うこともできる。処理能力の大きい大型計算機を使用する場合には、継手形式も分類項目に加えて 1 つのデータファイルに統合して利用することも可能である。

4. 疲れ試験データベースの検索・処理

(1) 検索・処理の流れ

```

24590 :
24510 DATA 149.3107.1.JSSC.1971
24620 DATA SMS0YB.1.0
24630 DATA -17..04.1.12..015..027.0..22.0.0.0
24640 DATA 519.384.40.-1.0.6.D5016.4.0.0.0.0
24650 DATA 50.12.0.FI
24660 DATA 1.20.1.0.0.10
24670 DATA 11.1.31.312.1130.0.11.1.31.287.5330.1.11.1.31.297.2740.0.11.1.31.361.50.0
24680 DATA 11.1.31.335.1090.0.11.1.31.341.551.0.11.1.31.381.247.0.11.1.31.351.272.0
24685 DATA 11.1.31.400.186.0.11.1.31.268.5320.1
24690 :
24710 DATA 150.3107.1.JSSC.1971
24720 DATA SMS0YB.1.0
24730 DATA -17..04.1.12..015..027.0..22.0.0.0
24740 DATA 519.384.40.-1.0.6.D5016.4.0.0.0.0
24750 DATA 50.12.0.NF
24760 DATA 1.20.1.0.0.10
24770 DATA 11.1.31.263.372.0.11.1.31.214.1310.0.11.1.31.184.2530.0.11.1.31.165.450.0
24780 DATA 11.1.31.145.6470.1.11.1.31.313.248.0.11.1.31.239.558.0.11.1.31.341.123.0
24785 DATA 11.1.31.126.5370.0.11.1.31.288.177.0
24790 :

```

Fig. 1 Example of fatigue test data base stored in a personal computer.

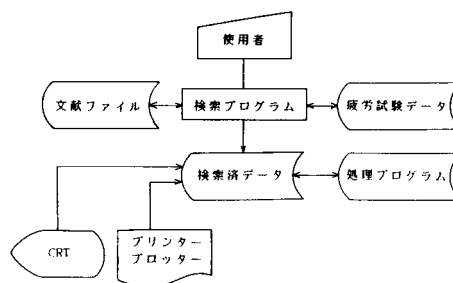


Fig. 2 Retrieval and output system of fatigue test data base.

疲れ試験データベースは、比較的簡潔な構造であり、利用者がその目的に応じたアプリケーションプログラムを作成して利用できる。本研究では、Fig. 2 に示す流れに従って、データチェックとデータシート作成プログラム、データ検索プログラム、S-N 線図作図プログラムなどを作成した。プログラムはすべて BASIC で会話形式とした。以下にその概要を示す。

a) データチェックとデータシート作成プログラム

Table 1 に示した項目について、画面上でデータのチェックを行うとともに、レコードの内容をデータシートの形で出力させる。文献から収録したデータの不明の箇所を、データ作成者に問い合わせる場合も、このデータシートを利用する。

b) データ検索プログラム

Table 1 に示した 1 から 39 までの各項目に対して、検索条件を設定し、すべての条件を満足するレコードのレコード番号を出力する。また、このレコード番号とともに、レコードの内容を、画面上またはプリンターに出力する。必要ならこのレコード番号をファイルとして保存し、図形処理などに利用する。

c) S-N 線図作図プログラム

検索されたレコード番号に対応する S-N_r データをマスターファイルから読み取り、S-N 線図を作る。S-N 線図は、両対数座標とし、両軸の対数目盛は任意に設定できるものとした。また、最小二乗法による S-N 線図、およびデータの信頼区間を計算したり、傾き m を固定した場合の S-N 線図も設定できる機能をもつ。比較のため、各種の疲労設計基準に示される設計 S-N 線図を、画面上および X-Y プロッターに表示できる機能を有する。

5. 疲れ試験データベースの応用例

(1) 疲れ試験データベース

本研究では、疲れ試験データベースの入力形式のチェックと、検索・処理プログラムの有用性を調べるため、入手可能なデータを用いてデータベースを作成した。収録したのは、母材、突合せ溶接継手、リブ十字形隅肉

溶接継手を中心に、約 300 系列、約 2 000 データであり、出典は、JSSC 疲労データシート、本四公団疲労データシート、NRIM 疲れデータシート、研究論文であり、不明なデータの著者への問い合わせも行った。

今回入力したデータを検索・処理した結果、本研究で採用したデータベースの形式は、継手の疲れ試験結果を表示し、検索・処理を行うのに十分満足のゆくものであることがわかった。また、フロッピーディスクを用いたパーソナルコンピュータで、十分初期の目的を達成できることがわかった。今後、データの蓄積とともに特殊な疲れ試験結果（たとえば多段多重荷重や変動荷重による疲れ試験、構造物の疲れ試験など）の入力方式についても検討する必要があると思われる。

なお、以下の比較では、 $S-N$ 線図を次式で仮定した。

$$N_f \cdot \sigma_r^m = 10^k \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 m と k は、最小二乗法で決められる係数である。まず、 σ_r を独立変数、 N_f を従属変数と仮定すると、 $S-N$ 線図は、

$$\log N_f = k - m \cdot \log \sigma_r \dots\dots\dots (2)$$

となる。 $S-N_f$ データを両対数座標で最小二乗近似したときの標準偏差 s を用いると、平均値 $-2s$ の線図 (2.3% 破壊確率線に相当する) は、

$$\log N_f = k - 2 \times s - m \cdot \log \sigma_r \dots\dots\dots (3)$$

となる。また、 N_f を独立変数、 σ_r を従属変数と考えると、 $S-N$ 線図は、

$$\log \sigma_r = \frac{1}{m} k - \frac{1}{m} \log N_f \dots\dots\dots (4)$$

となる。最小二乗法で近似した場合、一般に式 (2) の m より式 (4) の m が大きい値をとるといわれている。疲労設計基準でも、構造用鋼の突合せ溶接継手に対して、JSSC では、 $m=1/0.18=5.56^9)$ 、国鉄では、 $m=3$ または $4^5)$ 、BS 5400 では $3^6)$ 、など、設計の基本概念やデータの取り扱い法によって用いられる m の値が異なっている。

(2) 突合せ溶接継手に関する検討例

荷重に直角な方向に突合せ溶接された継手は、構造用鋼から高張力鋼まで 133 系列のデータを入力できたので、この継手を用いて 2, 3 の検索・処理を行った。出典は、JSSC、本四公団、NRIM の各データシートからはほぼ 1/3 ずつで、研究論文より 4 系列収録した。鋼材は、41 キロ鋼が 19 系列、50 キロ鋼が 35 系列、58 キロ鋼が 12 系列、それ以外 (HW 45, HT 70, HT 80 など) で 67 系列であった。

突合せ溶接継手では、余盛りの仕上げの有無が疲れ強さに大きく影響する。そこで 50 キロ鋼の仕上げ材と非仕上げ材を検索して比較すると Fig. 3 のようになる。橋梁では、疲労を考慮して突合せ溶接の余盛りを仕上げる

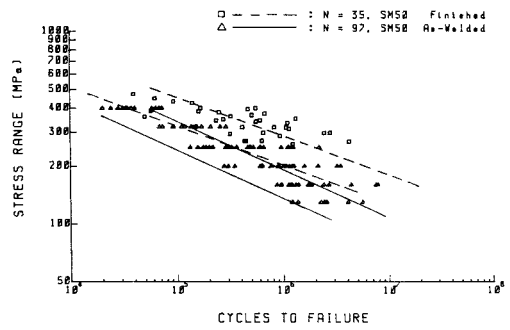


Fig. 3 Effect of grinding weld reinforcement on fatigue life of butt welded specimens of SM 50 class steels.

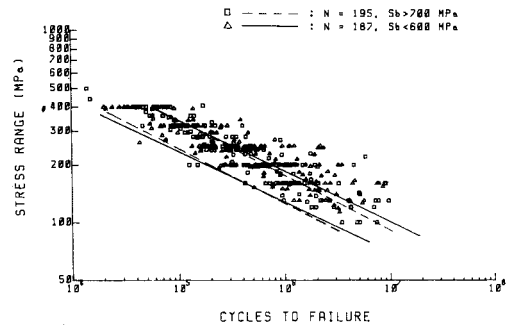


Fig. 4 Effect of ultimate strength of steels on fatigue life of butt welded specimens (as-welded).

ことが多く、これまで非仕上げのデータが少なかったが、最近、金材技研で数多くのデータが蓄積された¹³⁾。非仕上げ材については、最小二乗法で $S-N$ 線図を計算し、平均値および平均値 $-2s$ に相当する $S-N$ 線図を、計算した。 N_f が対数正規分布すると仮定すると、 $m=3.963$ となった。これに比べて、仕上げ材のデータは、特に長寿命側で疲れ強さが向上しており、 2×10^6 回疲れ強さで約 2 倍となっている。

次に、鋼材の違いによる $S-N_f$ データを比較すると Fig. 4 のようになる。ここでは、鋼材の引張強度 σ_B の差で比較し、 $\sigma_B < 600$ MPa と $\sigma_B > 701$ MPa で分けた。両者とも、データ数はほぼ同じで、平均値および平均値 $-2s$ に相当する $S-N$ 線図を比較しても、両者はほとんど同じである。これまで指摘されているように、非仕上げの突合せ溶接継手では、疲れ強さを比較する限り、高張力鋼のメリットはないことがわかる。

次に、板厚 t の影響をみるため、 $t < 15$ mm と、 $t > 15$ mm に分けて比較した結果を、Fig. 5 に示す。鋼材や溶接法の違いなどを無視して、板厚だけの違いをみると、 $t > 15$ mm のデータが少し低い疲れ強さを示していることがわかる。 2×10^6 回疲れ強さで比較すると、約 15% の疲れ強さの低下となり、場合によっては無視で

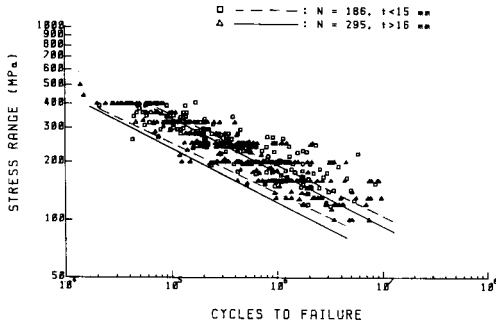


Fig. 5 Effect of plate thickness on fatigue life of butt welded specimens (as-welded).

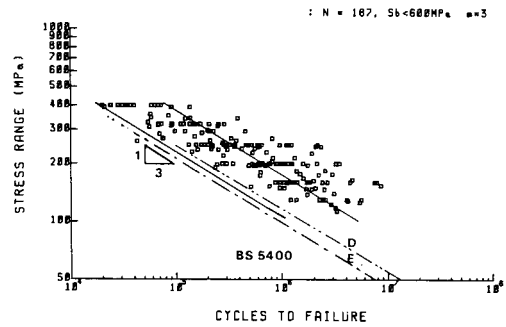


Fig. 6 Comparison between mean and mean-2s S-N curves determined with fixed value of $m=3$ and the design curves specified in BS 5400 for as-welded specimens.

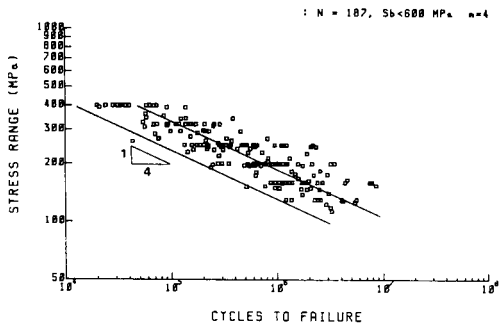


Fig. 7 Mean and mean-2s S-N curves determined with fixed value of $m=4$.

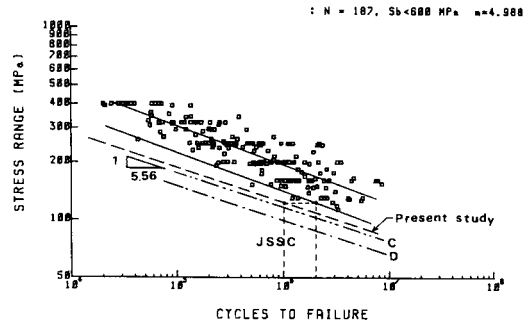


Fig. 8 Comparison between an S-N curve determined with the same procedure as the JSSC Recommendation and the design curves.

きない大きさである。データの内容についてもう少し詳細に検討する必要があるが、継手の板厚効果を示す例と思われる。

最後に、非仕上げの突合せ溶接継手の S-N 線図の傾き m を設計規準に示される 3, 4, 5.56 に固定して^{5), 9), 16)}、最小二乗法により k を決定して、Fig. 6~8 に示す。鋼材は $\sigma_b < 600$ MPa 以下のものとし、それぞれ設計規準値と比較して示してある。なお、式 (2) を仮定すると、 $m = 3.802$ 、式 (4) では、 $m = 4.988$ であった。傾き $m = 3$ とした場合の結果を Fig. 6 に示し、BS 5400 の D と E クラスの S-N 線図と比較した¹⁶⁾。平均値-2s 線図は、自動溶接を含めた E クラスの線に近いことがわかる。また、国鉄建造物設計標準では⁵⁾、この継手を引張部材として使わないため、規定がない。仮に $m = 4$ とし、平均値-2s を設計 S-N 線図と考えると、Fig. 7 に示すように、平均値-2s 線図は、継手の区別 C に近いものとなる。JSSC 疲労設計指針の許容応力は⁹⁾、式 (4) で計算した 2×10^6 回に相当する $S-N_f$ データの下限値を、 10^6 回の疲れ強さ (便宜上 N_c と考える) とみなし、傾き $m = 1/0.18$ を用いて設計 S-N 線図を決めている。この方式で決定した S-N 線図を、Fig. 8 に示し、実験データと比較する。設計 S-N 線図は、各種の継手形式

を含むが、突合せ溶接継手に関する限り、若干安全側の規定になっていることがわかる。

6. まとめ

過去に蓄積された疲れ試験データの有効な利用と、疲労設計規準に示されていない継手の許容応力の決定、あるいは疲れ強さの統計的解析には、簡便な疲れ試験データベースの作成が不可欠である。本研究では、既存のデータシートや研究論文に示される $S-N_f$ データに付属する試験条件を整理し、疲れ試験データベースの書式を決めて、実際にデータベースを作成した。また文献データベースも合わせて作成し、疲れ試験データベースに収録されない項目についても、出典に戻って参照できるようにした。

アプリケーションプログラムとして、データチェックとデータシート作成プログラム、データ検索プログラム、S-N 線図作図プログラムを作成して、本システムの有効性を検討した。これらは、すべて処理能力や簡便性を考慮して、パーソナルコンピュータを用いて会話形式で行った。疲れ試験データとして、約 300 系列、約 2000 データを収録して、本システムを用いて検索・処理を

行って、その有効性を確認した。

今後、各種のデータを収集・整理して疲れ試験データベースに収録し、a) 現行の各種の疲労設計規準との比較と破壊確率の評価、b) 疲労設計規準に規定されていない継手形式に対する設計 *S-N* 線図の提案、c) 継手の疲れ強さに及ぼす各種要因の分析、d) 諸外国の同種のデータの収集と疲れ試験データベース化、などが必要と思われる。

謝 辞：本研究の遂行にあたり、名古屋大学工学部土木工学科 菊池洋一教授と伊藤義人氏には貴重な助言を、研究室の学生諸君には、データの入力等に助力をいただいた。また、研究論文の著者には、データの詳細な内容を知らせていただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 田島二郎, ほか: 溶接構造と疲労, 土木学会誌, 増刊 Annual '81, Vol. 66-4, 1981年.
- 2) たとえば, Miki, et al. : Initiation and propagation of fatigue cracks in partially-penetrated longitudinal welds, Proc. of JSCE, No. 312, 1981-8.
- 3) 阿部英彦・谷口紀久・阿部 充: 鋼鉄道橋における疲労問題と補修・補強, 橋梁と基礎, Vol.17, No.8, 昭和58年8月.
- 4) 西川和廣: 道路橋における疲労問題と補修・補強, 橋梁と基礎, Vol.17, No.8, 昭和58年8月.
- 5) 土木学会: 国鉄建造物設計標準解説, 昭和58年5月.
- 6) 土木学会・本州四国連絡橋上部構造研究小委員会: 本州四国連絡橋上部構造に関する調査研究報告書, 別冊2, 昭和55年3月.
- 7) 同上: 同上, 昭和58年3月.
- 8) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 昭和55年2月.
- 9) 日本鋼構造協会: 日本鋼構造協会疲労設計指針, JSSC, Vol.10, No.101, 1974-5.
- 10) 日本鋼構造協会: 疲労データシート第1集, 1968年.
- 11) 同上: 同上, 第2集, 鋼構造協会疲労小委員会資料.
- 12) 本州四国連絡橋公団: 疲労データシート, 本四鋼上部研究小委員会資料.
- 13) 科学技術庁金属材料技術研究所: 疲れデータシート, No. 5, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 27等, 1978~1981.
- 14) 菊池洋一・山田健太郎・神谷周浩: 疲労試験データの電算ファイルとその自動図化, 土木学会年次学術講演会概要集, I-112, 昭和48年.
- 15) 森脇良一・出納真平・村尾正昭: 高張力鋼溶接継手の疲労許容応力の一検討(その1), 溶接学会誌, Vol. 51, No. 1, 1982年.
- 16) British Standards Institution: Steel, Concrete and Composite Bridges, Part 10, Code of Practice for Fatigue, BS 5400, 1980.

(1984. 7. 6・受付)