

溶接継手の疲労強度に関する実験データベース

東亜建設工業(株) 正 員 橋本万多良
岐阜大学工学部 正 員 森脇 良一
岐阜大学工学部 正 員 奈良 敬

1. まえがき 近年の溶接技術のめざましい発展にともない鋼構造物のほとんどが溶接によって製作されるようになってきている。そして、それにともなって、溶接構造物に生ずる損傷、特に溶接鋼橋における損傷のほとんどが溶接継手部の疲労破壊によるものであることも明かになりつつある。そこで、溶接構造物の継手に注目すると、軟鋼に関しては、日本鋼構造協会から、数多くの研究結果を総合して作成された疲労設計指針¹⁾（以後これを“JSSC 疲労設計指針”と呼ぶ）が発表されており、軟鋼溶接構造物の汎用的な疲労設計基準として広く用いられている。一方、高張力鋼に関しては、統一的に明確な疲労設計基準がほとんどなく、どのような基準で定量的強度評価を行えばよいのか明らかにされていない。溶接継手を疲労強度の観点から見ると、従来の高張力鋼は軟鋼に比較して静的強度のような格段の優位性があるとは言えない。本研究は、既往の数多くの疲労実験例からデータを収集して、データベースを作成することを目的とする。さらに、その高張力鋼溶接継手の疲労強度の評価法の検討を行うとともに、鋼材特性の観点からデータの見直しを行って考察を加えたので報告する。

表-1 継手形式の分類の一部

等級	継 手 の 圖 解
A	A 1
	A 2
	A 3
B	B 1
	B 2
	B 3

2. データベースの作成 高張力鋼溶接継手においては、設計 S-N 線図を決定するために数多くの疲労試験データが必要になる。一方、過去に蓄積されたデータがかなりあるので、それらの疲労試験データのデータベース化が強く望まれており、坂巻、山田²⁾の報告がある。ここで用いる疲労試験データは文献^{3), 4)}において収集されたものである。これらの文献には広範な文献調査によって12,000を越すデータが集められている。まず初めに、これら疲労試験データのデータベース化を行う。その際に用いる鋼種や継手形式の分類については、JSSC疲労設計指針の分類法を適用する。表-1に継手形式の分類の一部を示す。また、データベースには、その有用性を高めるアプリケーションプログラムが必要となってくる。疲労試験に関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ので、データベースの利用範囲を広げるアプリケーションプログラムがその利用価値を高めることになる。ここでは、S-N 線図を描き、その傾斜と疲労強度を求めるプログラムを作成した。そして、実際に、このアプリケーションプログラムを用いて S-N 線図を描くことによって、高張力鋼溶接継手の疲労強度について考察を加える。

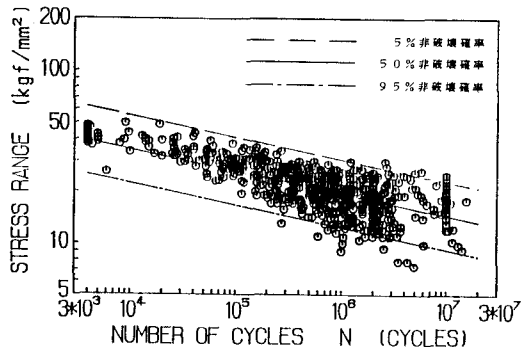


図-1 40Cr鋼・継手形式D1・応力比=0

3. 結果と考察 (1) 疲労寿命 図-1 は、アプリケーションプログラムを使ってプロッターで描いた $\sigma_r - N_f$ 線図の一例である。また、代表的な分類例について95%非破壊確率の $\sigma_r - N_f$ 線図の傾斜と 10^6 回での疲労強度および 2×10^6 回での疲労強度をまとめたのが表-2 である。これらから、いずれの鋼種の場合も継手形式がAからGに向かうにしたがって疲労強度が低下することがわかる。 $\sigma_r - N_f$ 線図の傾斜に注目

すると、JSSC 疲労設計指針ではこの傾斜を $K = -0.18$ と一率に定めている。しかし、表-2 の40キ口鋼を見ると、その傾斜の数値が0.18に代表されるとは言い難い。例えば図-1を見ると、95%非破壊確率直線は短寿命の範囲を代表していない。これは、疲労試験データのばらつきの大きさと標本数が寿命とともにかなり変化しているからである。これを統計整理の中に取り入れるためのひとつの工夫として文献3), 4) では、文献5) に示される最尤推定法を準用している。

(2) 疲労き裂発生寿命 JSSC 疲労設計指針では、構造物の使用寿命中に疲労き裂が発生しないことを基本とし、 $N_0/N_f = 0.5$ と仮定し N_f を N_0 に換算して非破壊確率 95%の $\sigma_r - N$ 線図を与えている。高張力鋼に関しては N_0 を測定したデータは少ないので N_f より推定せざるを得なく、文献3), 4) では全ての鋼種について $N_0/N_f = 0.5$ と仮定している。しかし、例えば、継手形式D2における鋼種と N_0/N_f の関係を表した図-2を見る限り、平均値は確かに 0.5に近いが、60キ口鋼や80キ口鋼(応力比 $R \neq 0$) においては、かなりのばらつきがあり、その範囲も大きい。このことから、 $N_0/N_f = 0.5$ と仮定してしまうことには若干の疑問が残る。本研究で用いられたデータにおいて、き裂発生寿命 N_0 を求めているものは全体の 1%にすぎない。実際の構造物においては、き裂が発見されると、必ず補修や補強が講ぜられる。これらの補修や補強による経済的損失を考えれば、設計は寿命期間中に疲労き裂を発生させないことを目標に進められるべきである。したがって、 N_f のかわりに N_0 を用いた $\sigma_r - N$ 線図が設計上必要である。このことから、将来、 N_0 がはっきり求められている疲労試験データが数多く必要である。

4. 結論 本研究では、高張力鋼溶接継手の疲労強度について検討するため、まず広範な文献調査によって収集された約12,500点の疲労試験データシート of データベース化を行った。また、アプリケーションプログラムとして、データの検索、ファイルの印刷、 $\sigma_r - N_f$ 線図の作図および疲労強度の計算を行う一連のプログラムを作成し、その有用性を確認した。そして、この統計整理を行った結果、以下のことが明らかになった。(a) 一般的に、高張力鋼溶接継手の疲労強度が、軟鋼のそれに比べて優れているとは言えないと言われているが、本研究の結果からもこのことが確かめられた。

(b) JSSC 疲労設計指針では、 $\sigma_r - N$ 線図の傾斜を一率に $K = -0.18$ と仮定しているが、本研究では、この仮定が高張力鋼にも適用できるのかどうかを確認するまでには至らなかった。(c) 現在のところ、き裂発生寿命 N_0 の明かなデータが極めて少ないので、き裂発生寿命 N_0 と破断寿命 N_f の比を $N_0/N_f = 0.5$ として、やむをえず N_f より推定する方法がとられているが、データ解析の結果、これには若干疑問が残ることが明らかとなった。

5. あとがき データベースに収集された疲労試験データの出典をデータに加えること、ならびに文献2), 3)に収録されていない1976年以降のデータを収集することが今後の課題である。

参考文献 1) 日本鋼構造協会技術委員会耐久性分科会疲労小委員会: JSSC, Vol. 10, No. 101, pp. 2~34, 1974年5月 2) 坂巻和男・山田健太郎: 土木学会論文集, 第356号/I-3(報告), pp. 547-553, 1985年4月 3) 森脇良一・出納真平・村尾正昭: 溶接学会誌, 第51巻, 第1号, pp. 13~20, 1982年1月 4) 森脇良一・出納真平・村尾正昭: 溶接学会誌, 第51巻, 第3号, 1982年3月 5) 内野和雄・中村義隆: 石川島播磨技報, 第14巻, 第3号, pp. 233~236, 1974年5月

表-2 95%非破壊確率の

$\sigma_r - N$ 線図の傾斜と 2×10^6 回での疲労強度

鋼種	継手形式	傾斜	2×10^6 回での疲労強度 σ_r (kg/mm ²)
40キ口鋼	A1	-0.063	20.0
	A3	-0.035	15.6
	D1	-0.127	11.3
	D2	-0.150	8.9
	D3	-0.114	8.5
	E1	-0.224	7.0
50キ口鋼	G1	-0.166	4.5
	G2	-0.161	5.6
	A1	-0.071	20.5
	A3	-0.096	21.5
	C2	-0.144	13.7
	D1	-0.144	12.6
60キ口鋼	D2	-0.157	11.7
	A1	-0.080	26.7
	A3	-0.077	25.2
	D1	-0.185	11.9
	D2	-0.224	9.0
	G1	-0.256	5.9
70キ口鋼	G2	-0.031	13.1
	A1	-0.076	25.4
	D1	-0.164	14.3
	A1	-0.129	21.2
	A3	-0.048	20.3
	C1	-0.048	19.9
80キ口鋼	C2	-0.208	17.5
	C3	-0.153	20.2
	D1	-0.183	10.0
	D2	-0.197	9.7
	E1	-0.285	6.7

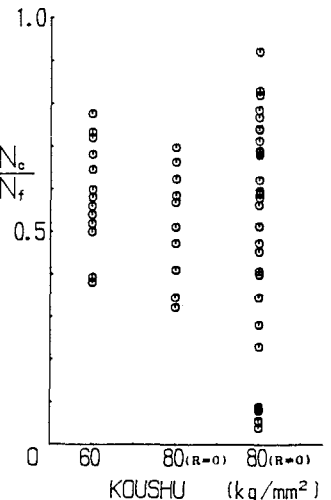


図-2 継手形式D2における
き裂発生寿命と
破断寿命の比