解

説

冨 田 康 光*

各種溶接構造物の疲労設計と
許容応力（その2）*Fatigue Design and Allowable Stress for
Various Kinds of Welded Structures (2nd Report)*

by Yasumitsu Tomita**

キーワード：許容応力式，累積被害則，限界累積被害値，
外力（設計荷重），疲労強度線図

3. 各種溶接構造物の疲労設計と許容応力

各種構造物の実働荷重下のき裂発生及びき裂伝播に対する疲労設計の際の基礎となる疲労強度線図（例えば図2，その1参照）を求めるには，大別すると三つの方法がある。それらは実働荷重を負荷する疲労試験，実働荷重疲労試験と計算の併用¹³⁾及び累積被害則又は等価応力に基づく方法である。

実働荷重疲労試験で線図が求められた例は著者の知る限りでは極めて少ない¹⁴⁾。実働荷重疲労試験と計算とを併用して線図を求めた例については文献¹⁵⁾を参照されたい。以下には累積被害則に基づいた実働荷重下の疲労強度の評価法について述べる。

3.1 船 舶

(1) 疲労き裂発生寿命に対する許容応力式

船体構造部材に対する許容応力式を導く手順を簡単に述べる。詳細は文献¹⁰⁾，¹⁶⁾を参照されたい。

はじめに公称応力で表示された線図を用いる場合の許容応力式を導く。

許容応力式を導くためには図3（その1参照）のフローチャートに示したように対象部材の疲労強度線図（S-N_c線図），応力頻度分布（密度分布及び応力の累積頻度），累積被害則が必要であるが，これらに対し以下のような仮定を用いて許容応力式を求める。

(i) 対象部材の応力頻度分布

船体に働く荷重は，静水荷重と波浪荷重である。静水荷重が平均応力に，波浪荷重が変動応力に相当する。船が生涯に受ける変動応力の頻度分布は長期分布といわれ，実船試験結果ならびに理論的推定結果から，長期分布は指数分布で近似できることが明らかにされている。そこで許容応力式を求める際の船の生涯20年に対する波浪応

力すなわち変動応力の条件は，その長期分布は指数分布，応力の累積頻度は，年間連続就航し荒天回避を行わないとすると，約 10^8 回である。

(ii) 累積被害則及び累積被害の計算

疲労被害の計算，疲労被害と疲労破壊を定量的に結びつける累積被害則に関しては，種々の考え方が提案されている。ここでは現在もっとも広く使用されている線型累積被害則のうち，荷重制御試験で得られる S-N_c 線図を，そのまま疲労限以下に延長して疲労被害を計算する修正 Miner 則を適用する。ある繰返し応力振幅を S_{ai} としたときの波浪応力の応力頻度分布から求まる応力の発生回数を n_i ，一方 S-N_c 線図から求められる応力振幅 S_{ai} での疲労破壊（き裂発生）を生じるまでの繰返し数を N_i とする。このとき平均応力が存在していれば，それに対する応力比を持つ場合の S-N_c 線図を用いる。 S_{ai} が n_i 回繰返されたときの疲労被害は n_i/N_i で与えられ，疲労被害 f は(1)式で与えられる。この場合，応力 S_{ai} の繰返される順序は，疲労被害 n_i/N_i ならびに疲労被害の累積値 f に影響しないものと仮定する。

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N_i} \right) = f \quad (1)$$

疲労被害の累積値 f がある限界累積被害値 f_{cr} に達すると疲労破壊が発生するが，前述のように f_{cr} の定量的な資料は十分でない。したがって実際の適用にあたっては，構造部材によって船体強度上の重要度が異なるので，その部材の重要度に応じて別個に f の値を定めることが適切と思われる。

(iii) 対象部材の疲労強度線図

許容応力式を求める際の疲労被害の計算には，対象とする構造要素の任意の平均応力 S_m での S-N_c 線図が必要である。しかし現在までに実施された船体構造部材模型の疲労試験に関する研究は少なく，ここで必要とする資料には十分でない。それ故小型切欠試験片の疲労強度線図を代用する。しかしこの結果を用いて得られた許容応力式をそのまま実船の構造部材に適用するには問題

*原稿受付 昭和61年12月24日

**正 員 大阪大学工学部造船学科 Member,
Faculty of Engineering, Osaka
University

があると思われる。この問題に関しては次のように考える。

構造部材(構造部材模型)の疲労試験結果(疲労強度)と計算で求めた種々の応力集中係数 K_t を有する単純切欠試験片のそれとを比較することで各構造部材に対し、以下の考え方で新しく疲労強度等価係数 F_{eq} を定義する。この係数 F_{eq} を後述する許容応力式の単純切欠試験片の応力集中係数 K_t の代わりに代入する。

切欠試験片の公称応力 S_N は荷重 P を切欠底の最小断面積 A で除した値で、切欠試験片応力集中係数 K_t は最大応力 S_{max} と平均応力 S_N との比で例えば $K_t = S_{max}/S_N = 2$ とする(図5(a)参照)。

この切欠試験片の疲労試験による $S-N_c$ 線図は図5(b)に示されている。一方、疲労強度等価係数が F_{eq} である構造部材模型のコーナー部の応力は梁理論*により S_N とする(図5(c)参照)。構造部材模型の疲労試験による $S-N_c$ 線図が Fig.5(d)に示されている。切欠試験片の疲労強度と構造部材模型の疲労強度を比較するため $S-N_c$ 線図(b), (d)を同時に示すと、図5(e)に示すようになったとする。図5(e)から、応力集中係数2の切欠試験片と疲

労強度等価係数が F_{eq} の構造部材模型の疲労強度はほぼ等しいと見なせる。この場合に構造部材の疲労強度等価係数 F_{eq} を $F_{eq}=2$ と定義する。上述の考え方で、各構造部材の疲労強度等価係数を求める。計算に用いた小型切欠試験片の $S-N_c$ 線図の詳細は文献(10)を参照されたい。

(iv) 許容応力式

許容応力は種々の疲労強度等価係数 F_{eq} または種々の応力集中係数 K_t を有する構造部材について、疲労被害の累積値 f がある値となるときの“ある大きさの応力頻度分布”(これは変動応力の長期分布においてある発生頻度 Q での応力片振幅 S_a で表わすもので、これで全長期分布を代表する)と平均応力 S_m との関係を表す式として $S_a(Q) = G(S_m, F_{eq}, f)$ あるいは $S_a(Q) = G(S_m, K_t, f)$ で与えられる。

そこで、本解説では応力頻度分布を表すため、応力発現確率 $Q=10^{-8}$ での波浪応力成分(変動応力片振幅) S_a を用いることとし、この応力振幅と静水応力成分(平均応力) S_m のそれぞれの平均値の組合せを規定する。その各々の組合せ (S_a, S_m) に対し、たとえば $S_a=10 \text{ kgf/mm}^2$, $S_m=5 \text{ kgf/mm}^2$ の場合には、図6に示す長期分布が決定できる。この長期分布と先に求めたある K_t の $S-N_c$ 線図を用いて、図7に示す手順で累積被害値 f

図5 構造部材の疲労強度等価係数 F_{eq} の求め方

*コーナー部の応力は必ずしも梁理論による必要はなく他の応力解析法でよい。この場合には、その方法で求められた応力 S で互いの $S-N$ 線図を比較することになるから係数 F_{eq} の値がそれぞれ異なる。従ってこうして求めた係数 F_{eq} を用いて得られる許容応力は用いた応力解析法に対応する。

図6 長期分布の例

S_a : 応力振幅 kgf/mm^2
 S_m : 平均応力 kgf/mm^2

図7 修正 Miner 則による累積被害値 f の求め方

を求める。

許容応力式の誘導の過程は文献(6)により詳しく示されている。許容応力式の結果は次式で与えられる。

$$S_a + \frac{0.58}{K_t \text{ or } f_{eq}} \cdot S_m = \frac{1}{K_t \text{ or } f_{eq}} (16.2f + 32.6) \quad ; P_{nc} = 0.05$$

$$S_a + \frac{0.30}{K_t \text{ or } f_{eq}} \cdot S_m = \frac{1}{K_t \text{ or } f_{eq}} (18.0f + 41.1) \quad ; P_{nc} = 0.5 \quad (2)$$

ただし $K_t \text{ or } f_{eq} \geq 2$

ここで、 S_a ：応力発現確率 $Q=10^{-8}$ での変動応力で応力片振幅 (kgf/mm²)

S_m ：平均応力 (kgf/mm²)、平均応力が圧縮の場合には $S_m=0$ とする。ただし、応力 S_a 、 S_m は係数 K_t または f_{eq} を求める際に使用した応力値

K_t ：応力集中係数

F_{eq} ：疲労強度等価係数

f ：疲労被害の累積値

P_{nc} ：S-N_c 線図のき裂発生確率

(2)式は疲労強度線図 (S-N_c 線図) として平面応力状態のものをを用いて得られたものである。この許容応力式(2)式は軟鋼材に対して適用でき、実際の使用にあたっては適切な安全率を考慮する必要がある。なお、この手法は、他の応力頻度分布形状に対しても全く同様に適用でき許容応力式を導くことができる。許容応力式(2)式は船の生涯20年に対してき裂発生の可能性を考察する式であるが、文献(7)には任意の寿命期間でのき裂発生寿命およびき裂伝播寿命に対する、すなわち、5年の航海後、ある応力集中係数 K_t を有する部材に 30 mm のき裂発生・伝播を許すときの許容応力を求める許容応力式が導かれている。また、ノルウェー船級協会¹⁾は、ほぼ同様な手法で(3)式を与えている。

$$S_a + 0.5 \cdot S_m = \frac{38\sqrt{\sigma_V}}{K_t \text{ or } F_{eq}} (0.4f + 0.6) \quad (3)$$

σ_V ：降伏応力 N/mm²

なお、ホットスポット応力基準による疲労強度線図を用いた場合の許容応力式も同様の手順で容易に導くことができる。

(2) 船体縦強度部材および横強度部材への許容応力式の適用

日本造船研究協会第 200 部会第 5 分科会¹⁸⁾では、許容応力式(2)式を船体構造部材に適用するに際し、実際の就航条件のもとでは(2)式を修正した(4)式を提案している。

$$S_a + \frac{0.77}{K_t \text{ or } F_{eq}} \cdot S_m = \frac{1}{K_t \text{ or } F_{eq}} (21.6f + 43.4) \quad ; P_{nc} = 0.05$$

$$S_a + \frac{0.40}{K_t \text{ or } F_{eq}} \cdot S_m = \frac{1}{K_t \text{ or } F_{eq}} (24.0f + 54.8) \quad ; P_{nc} = 0.5$$

ただし $K_t \text{ or } F_{eq} \geq 2$ (4)

これまでに行われた縦強度部材の構造部材模型の疲労試験結果を検討して、それらの疲労強度等価係数 F_{eq} を前述の方法で求めると図 8 のようになる。図 8 には疲労試験が行われた実船の縦強度部材に対する構造部材模型の種類が示してある。図から疲労強度等価係数は 2～5 程度である。

実船の縦強度部材に生じた波浪荷重による $Q=10^{-8}$ レベルでの最大予測値の平均値はガンネル部直応力で 14.4 kgf/mm² である。就航中の静水応力の平均値を 4 kgf/mm² とし、実際の就航条件に対して求めた許容応力式(4)式の縦強度部材への適用を検討する。

疲労破壊が $f=1$ で生ずるものと仮定し、(4)式へ $S_a=14.4$ kgf/mm²、 $S_m=4$ kgf/mm²、 $f=1$ を代入すると、き裂発生確率 P_{nc} が 0.05 に対して F_{eq} が 4.3、 P_{nc} が 0.5 に対して F_{eq} が 5.3 となる。これは縦強度部材の疲労強度等価係数 F_{eq} が 4.3 または 5.3 以下であれば航行中予測される縦強度部材に生ずる変動応力の最大値 14.4 kgf/mm²、静水応力 4 kgf/mm² に対し、疲労強度上安全であることを示すものである。

縦強度部材の疲労試験結果は十分ではないが、図 8 に示したように縦強度部材の疲労強度等価係数 F_{eq} が 5 以下であることおよび実船の損傷調査で疲労き裂が縦強度部材に発生することが極めて少ないことから(4)式は縦強度部材に十分適用できるものと考えられる。

縦強度部材の場合と同様に横強度部材の構造部材模型の疲労強度等価係数 F_{eq} を図 9 に示す。図 9 には疲労試験が行われた実船の横強度部材に対する構造部材の種類が大別してある。構造部材模型の疲労試験は、各構造模型について数種類の局部形状について行われているが、それぞれの構造模型に対して疲労強度が最小及び最大となる局部形状を図 9 に示し、あわせて前述の方法から求める疲労強度等価係数 F_{eq} を示した。図から局部詳細構造により係数 F_{eq} が大幅に変化することが明らかで、疲労強度の観点からより適切な局部構造を設計することが重要であることがわかる。

横強度部材の疲労強度等価係数 F_{eq} がいかなる範囲に分布しているかを調べるために、その構造部材模型の種類に無関係に個々のデータがそれぞれ 1 つの横強度部

<p>A</p>	<p>B</p>
<p>Reinforced plates with circular contours</p>	<p>Welded joints of longitudinals</p>
<p>$F_{eq}=1.8$ $F_{eq}=4.2$</p>	<p>$F_{eq}=3.8\sim 5.0$</p>

図 8 縦強度部材の疲労強度等価係数

<p>A</p>	<p>B</p>	<p>C</p>	<p>D</p>	<p>E</p>
<p>open ship detail</p> <p>Double hull connections with right angle</p>	<p>Frame connection with oblique angle various bracketed connection</p>	<p>detail</p> <p>Double hull connections with oblique angle</p>	<p>Tanker detail</p> <p>Bracketed connections in bilge corner and strut end</p>	<p>Bracketed connections in trans. ring corner</p>
<p>TANK TOP FLOOR BOTTOM</p> <p>$F_{eq}=4.7\sim 6.0$</p> <p>$F_{eq}=10.5$</p>	<p>$F_{eq}=2.6$</p> <p>$F_{eq}=9.2$</p>	<p>$\theta=45^\circ$ TR.B⁴⁷</p> <p>$F_{eq}=7.8$</p> <p>$\theta=60^\circ$</p> <p>$F_{eq}=11.5$</p>	<p>rib type</p> <p>$F_{eq}=7.0$</p> <p>not so soft toe</p> <p>$F_{eq}=8.5$</p>	<p>200×12 75×12 250</p> <p>$F_{eq}=7.0\sim 8.0$</p> <p>200×12 75×12 38×12</p> <p>$F_{eq}=11.8$</p>

図 9 横強度部材の疲労強度等価係数

材であるとして、係数 F_{eq} の頻度をヒストグラムに表し、最頻値を求めると 7.5 となる。また、構造部材模型の局部構造に依存する応力集中係数 K_{td} を公称応力に乗じた応力 $S=K_{td} \cdot S_N$ を基準にした F_{eq} を求め、この F_{eq} は溶接による応力集中係数 K_{tw} にほぼ等しいと考えられる。その最頻値を同様の方法で求めると 2.75 となる。

前述（その1参照）のように、横強度部材あるいは局部強度部材のような主として二次応力の集中により疲労き裂が発生する部材では、一次応力 S_N で許容応力を規定することは合理的でない。なんらかの形で局部詳細構造の影響を含んだ許容応力すなわち二次応力で規定するのが適切である。この場合、溶接施工、工作法に依存する応力集中係数 K_{tw} を計算あるいは実験で求めることは困難であるが、局部構造の幾何学的形状に支配される応力集中係数 K_{td} は計算あるいは実験で比較的容易に求める事ができる。従って、許容応力は構造的な応力集中を含んだ応力 ($S=K_{td} \cdot S_N$) に対して規定することが適切であろう。この応力 S には、溶接施工、工作法などによる応力集中は含まれておらず疲労強度の低下は、この応力集中のためであり、それが疲労強度等価係数 F_{eq} で評価できる。その最頻値はほぼ $F_{eq}=2.75$ で最頻値の値は溶接継手の余盛部の応力集中係数 2～3 にほぼ等しい。

構造的な応力集中を含んだ応力 ($S=K_{td} \cdot S_N$) で疲労強度を整理したとき、この構造部材の疲労強度等価係数 F_{eq} が溶接部の余盛部の応力集中係数にほぼ等しければ、全体的な観点からは良い設計といえる。前述のごとく係数 F_{eq} の最頻値が 2.75 であることは、実際の設計でも局部詳細構造が適切であれば上述のことが実現できることを示している。

船体横強度部材の疲労設計からの許容値は(4)式のき裂発生確率 $P_R=0.05$ 又は 0.5 の式に疲労強度等価係数 $F_{eq}=2.75$ 、 $f=1$ を代入すればよい。しかしもし局部詳細構造が不適切であれば係数 F_{eq} が 2.75 より大きくなり許容応力は減少することに注意すべきである。

(3) 疲労き裂伝播寿命の推定法

疲労き裂発生寿命に関しては、前述のように非常に簡単な(2)、(3)、(4)の各式で検討できる。しかし疲労き裂伝播寿命は簡単な式で検討することはできず、各構造部材ごとに図4（その1参照）のフローチャートに従って行うことになる。日本造船研究協会第169研究部会では、船体構造部材について case study 及び実験を実施し、疲労き裂伝播経路の簡易推定法、各構造要素の応力拡大係数の解析などを行っている¹⁹⁾。以下にその結果をごく

簡単に紹介するが詳細は文献(10)、(19)を参照されたい。

(i) 疲労き裂伝播経路の設定

平板中における疲労き裂伝播経路は、き裂が存在しない場合、主応力方向に垂直であると設定できる。直交交差部近傍におけるき裂の伝播経路、すなわち交差部材へ進入するかどうかは直交交差部のすみ肉溶接部における疲労き裂の発生・伝播挙動により異なり、二つのき裂（主き裂とすみ肉溶接部に発生、伝播するき裂）の挙動によって定まる。実験の結果、次式で判定できる。

$$\tau/\sigma_1 > 1.8: \text{すみ肉溶接に沿う}$$

$$\tau/\sigma_1 < 1.8: \text{直交交差部に入る}$$

$$\tau = F / ((r - r_0) / \sqrt{2})$$

F : すみ肉溶接に働く単位長さ当りの剪断力

r : すみ肉脚長

r_0 : 未溶接部端から発生したのど切れき裂深さ

σ_1 : き裂なし状態の応力分布におけるき裂が到達するすみ肉位置での最大引張主応力

上記の設定で、き裂を含む応力解析をすることなしに疲労き裂伝播経路を定めることができる。

(iii) き裂伝播速度式

実働荷重下におけるき裂伝播挙動あるいはき裂伝播寿命推定法もき裂発生の場合と同様、三つの方法がある。実働荷重疲労試験による解析例は極めて少なく、基本的には Paris 則: $da/dN = C(\Delta K_{eff})^m$ 、ここに da/dN はき裂伝播速度、 ΔK_{eff} は有効応力拡大係数、 C 、 m は定数、により得られる伝播量を線型的に加える計算方法及び下限界応力拡大係数 K_{th} の存在を無視すれば、寿命を短かくすなわち安全側に評価できる。

(iv) 各種構造要素の応力拡大係数

各種構造要素の応力拡大係数については文献(10)、(19)を参照されたい。なお、文献(10)では、ここに示した仮説に従ってき裂伝播寿命を計算し実船の損傷例との比較考察を詳細に行っているので参照されたい。

3.2 海洋構造物

海洋構造物の疲労設計も、船舶と同様き裂発生及びき裂伝播寿命に分けて考えることができる。船舶の場合が、ノルウェー船級協会¹⁾を除き、疲労強度の項が明らかに設けられていないのに比べ、海洋構造物のき裂発生寿命に関しては各国の規格で定められている²⁻⁵⁾。しかし、き裂伝播に関しては船舶同様明確な規格はなく、その検討のためには独自に破壊力学的手法が採られる。以下にはき裂発生寿命に対する各国規格について概説する。

海洋構造物のき裂発生寿命の検討も、基本的には図3（その1参照）に従う。このとき基礎となるパラメータは、外力（応力の頻度分布）、疲労強度線図及び累積被

害則並びに限界累積被害値である。

(1) 外 力

海象を表現する波スペクトルに基づいて応力応答を計算し、長期分布を求める直接計算法と、長期の波高分布及びその応力応答分布をワイブル分布に従うとして統計的に扱う間接計算法がある。

(2) 疲労強度線図

諸規格の疲労強度線図の与え方は二種類ある。その一つは構造部材の詳細形状をいくつかに分類して、それぞれに別個の S-N 線図 (S: 応力集中を含まない公称応力) を適用するもので design by rule: ルールによる設計といわれる。この方法では構造部材を規格に定められた分類のいずれかに当てはめて、それに対応する S-N 線図を適用することになるが、応力集中部の形状が複雑多岐にわたるため、適切な線図がないこともあり、設計の自由度に欠けることもある。他の一つは構造部材の疲労き裂発生点又はその近傍の歪 (ホットスポット歪) を計算して、それにヤング率を乗じた仮想弾性応力 (ホットスポット応力) を基に与えられた一本の S-N 線図を適用するもので design by analysis: 解析による設計といわれる。この方法では、設計の自由度はあるものの解析などにより歪を求めるという煩雑さがある。

いずれの規格も寿命 N の定義—き裂発生寿命ならそのき裂長さあるいは破断寿命—は明記されていない。平均応力が疲労寿命に与える影響は考慮されておらず、応力振幅 (応力幅) で一義的に線図は表示されている。

具体的な疲労強度線図は文献(2)―(5)にゆずるが、各規格で、同じ部材形状に対する疲労強度線図あるいはホットスポット応力基準による線図は必ずしも同じでない。

(3) 累積被害則及び限界累積被害値

いずれの規格も累積被害則は Miner 則を採用している。限界累積被害値 f_{cr} に関しては、各規格とも基本的に $f_{cr} \leq 1$ と定めている。しかし部材の破断が構造物全体の致命的な破壊を導く恐れがある場合には AWS 規格⁵⁾では $f_{cr} \leq 1/3$ 、API 規格⁴⁾では、安全側に余裕を考えた f_{cr} を採るように記されている。また UKDOE 規格³⁾では、部材が塗装あるいは電気防食されておらず、裸で海に触れる場合には $f_{cr} \leq 1/2$ とするよう記されている。

3.3 橋梁, 压力容器, 原子力プラント構造物

橋梁, 压力容器, 原子力プラント構造物の疲労設計も規格(5)―(8), (20)によるが、基本的には図 3 又は図 4 (そ

の 1 参照) に従い、その際の基本パラメータは外力 (設計荷重), 疲労強度線図, 累積被害則及び限界累積被害値である。

外力は対象構造物に与えられた設計荷重を用いるものとし、累積被害則は Miner 則であり限界累積被害値 f_{cr} は基本的に $f_{cr} \leq 1$ を採用している。

疲労強度線図に関しては、AWS 規格⁵⁾が highway bridge, railway bridge に関して継手部材別に分類した公称応力ベースの S-N 線図を与え、橋梁の規格である BS 5400-Part 10²⁰⁾でも同様に部材別に分類した S-N 図を与えている。一方、压力容器及び原子力プラント構造物に対する ASME 規格^{6,7)}は、ホットスポット応力基準による S-N 線図を与えている。なお、ASME Sec. XI, Div1⁸⁾は、疲労き裂伝播寿命設計に対する規格である。

詳細は各規格の文献(5)―(8), (20)を参照されたい。

4. お わ り に

溶接構造物の疲労設計の基本的考え方及び疲労強度に対する許容応力式の導出例並びに各種溶接構造物に対する各国の疲労規格について簡単に紹介した。実働荷重下の疲労強度の予測すなわち疲労設計に関しては、いまだ解決しなければならない課題が多いことを記して結びとしたい。

参 考 文 献

- 13) 八木順吉, 富田康光他 “ランダム荷重下での疲労挙動に関する研究 (第 3 報)” 日本造船学会論文集 Vol.158, 1985
- 14) たとえば太田徹他 “海洋構造物鋼管継手の疲労強度” 日本鋼管技報 No.114, 1986
- 15) 八木順吉, 富田康光他 “ランダム荷重下での疲労挙動に関する研究 (第 4 報)” 日本造船学会論文集 Vol.160, 1986
- 16) 八木順吉, 富田康光 “船体構造の疲労強度基準” 日本造船学会論文集 Vol.144, 1978
- 17) 富田康光, 藤本由紀夫 “船体構造部材の疲労損傷解析” 関西造船協会誌 Vol.187, 1982
- 18) 日本造船研究協会第 200 研究部会第 5 分科会 “船体構造部材の許容応力” 日本造船研究協会報告 93, 1980
- 19) 日本造船研究協会第 169 研究部会第 1 分科会 “船体構造の破壊管理制御設計に関する研究” 日本造船研究協会報告, 1978
- 20) BS 5400-Part 10, “Steel, concrete and composite bridges.” Part 10. Code of practice for fatigue. 1980