

神戸大学工学部 正員 西村 昭
 〃 学生員 ○ 神田 実

1. まえがき

高強度鋼材の利用度の向上、ならびに溶接の普及は、設計時における疲労に対する配慮を、従来以上に要求する。ここでは、従来の多数の疲労試験結果を利用したシミュレーションによって、現行の疲労試験方法、疲労設計方法などの合理化に対する資料を、得ようとするものである。

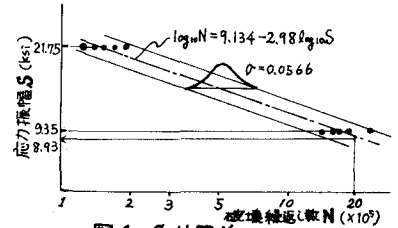


図-1 S-N関係

2. 定応力振幅試験のシミュレーション

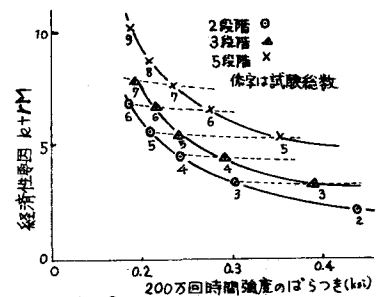
一連の定応力振幅試験から求まる応力-疲労寿命関係、すなわち S-N 関係は、両対数紙上で直線になり、各応力レベルに対する $\log_{10} N$ のばらつき σ は一定で、正規分布をするという仮定(図-1参照)を設ける。カバープレートをも有する溶接プレートガーダーの疲労試験¹⁾より求められた S-N 関係を利用して、試験数、応力レベルを、色々変えて S-N 線を求め、 σ の影響、200 万回時間強度のばらつきなどを調べる数値試験を行なった。方法として① S-N 関係母集団を $\log_{10} N = 9.134 - 2.98 \log_{10} S + X$ (1) とする。 X は $N(0, \sigma^2)$ に従う確率変数 ($\sigma = 0.0566$ を基準) ② 応力レベル S を定め、各レベルで与えられた試験数だけ、式(1)より N を求める。③ 最小二乗法により S-N 線をあてはめる。④ 200 万回時間強度を求める。⑤ ②~④を 1000 回反復。(以上) $\sigma = 0.0566$ の結果を図-2 に示す。

一般に疲労試験の総費用 C は、 $C = kC_1 + MC_2 + C_3$ (2)

(C_1 : 供試体 1 本当りコスト, C_2 : 10^4 回繰返しに要するコスト, C_3 : その他, M : 10^4 回を単位とした実験数, k : 供試体(試験)数) 式(2)は、 $C = C_1(k + rM)$ (3) と r を用いて表され、 $k + rM$ と、200 万回強度のばらつきとの関係を図-3 に示す。こゝより、試験数を一定とした場合、2 段階で試験したものが、経済性、ばらつき共に、すぐれていることがわかる。母集団の σ を $0.2, 0.3, 0.5$ にして同様の数値実験をすると図-3 のグラフが右へ平行移動をするだけである。しかし、 0.5 の場合、9.35 ksi の試験数が少ない場合、S-N 線が定まらないことがあった。よって母集団が未知の時に、S-N 線を

	数値応力 (ksi)					99.7% 事 (ksi)			標準偏差
	21.75	18.65	15.55	12.45	9.35	8.0	9.0	10.0	σ
2	1				2				188
3	1				2				362
4	1				3				537
5	1				4				711
6	1				5				885
3	2				1				202
4	3				1				216
5	4				1				230
6	5				1				245
3	1	1			1				226
4	1	1	1		2				401
5	1	1	1		3				575
6	1	1	1		4				749
7	1	1	1		5				923
4	2	1			1				241
5	3	1			1				255
6	4	1			1				269
5	1	1	1	1	1				323
6	1	1	1	1	2				497
7	1	1	1	1	3				671
8	1	1	1	1	4				845
9	1	1	1	1	5				1020
6	1	1	1	2	1				397
6	1	1	2	1	1				361
6	1	2	1	1	1				345
6	2	1	1	1	1				337
7	3	1	1	1	1				351
8	4	1	1	1	1				365
9	5	1	1	1	1				379

図-2 200万回時間強度のばらつき

図-3 経済性と繰返し数 ($r=0.001$)

求めたい場合には、応力レベルを多くとり、試験数も多くとる従来の試験法が、妥当なものであろう。

3. 繰返し変動応力をうけるブロック試験

不規則な変動応力を受ける部材の挙動の機構を単純化したモデルを作り、一定の変動応力が繰返し作用した場合のS-N線の選び方と、繰返し変動応力に対する寿命との関係を、シミュレーションにより考察する。その方法として、①S-N関係母集団を式(1)とする。 $(\sigma=0.0566)$ ②試験応力レベルと、そのレベルに対する試験数を表-1のようにとって、式(1)よりNを求め、③最小二乗法によりS-N線を求める。④図-4の繰返し変動応力と、③のS-N線とを組み合わせ、Miner仮説より寿命D(単位:ブロック)を求める。⑤②~④を1000回反復。(以上)結果としては、図-5に示すように、S-N線を求めるに必要な試験数の増加に伴ない寿命Dのばらつきは減少するが、平均値は、ほぼ一定であつた。またDの分布は正規分布としてよく、試験数が多いものと、少ないものとのDの関係を図-6に示す。(実線)これより破壊確率をそうえ、平均寿命を所要値となるように断面設計すると、疲労を考慮した安全率が導かれることがわかる。そのためには、寿命Dのばらつきの小さいもの、すなわち多くの試験数より求めたS-N線を用いて寿命Dを求めた結果の平均値を、設計寿命側にずらすとよい。換言すれば、平均寿命を短くすることであり、図-4の応力振幅の状態を $p=1$ とすると、 $p>1$ とすることにより、平均寿命を短くすることができる。 $p=1.02, 1.05, 1.10, 1.20$ として図-4の頻度分布を変えずに、応力状態を増加させて、同様の数値実験を行うと、平均寿命は短くなり、その上好都合にもDの変動係数の分布は図-5とほぼ一致することがわかった。そこで、試験数合計 $m, n (m<n)$, $p=1$ の時の平均値を μ_0 , ずらした時の平均値を μ_1 , 設計寿命を d , c_m, c_n を試験数に対する寿命Dの変動係数、 α を平均値からの距離を標準偏差で表す倍数とすると、 $\mu_1=d+\alpha c_n \mu_1$, $\mu_0=d+\alpha c_m \mu_0 \cdots (4)$ となり安全率 $F_n=\mu_1/d=1/(1-\alpha c_n)$, $F_m=\mu_0/d=1/(1-\alpha c_m) \cdots (5)$ が誘導される。式(5)に、具体的な数値を代入して安全率を計算したものが図-7である。これよりS-N線を求める場合に用いた試験数に応じた安全率が求められ、試験誤差を疲労設計に導入することがができる。(参考文献) Frances A. Murad and Conrad P. Heins, Fatigue of cover plated beams under varying loads, Journal of the Structural Division, ASCE, April, 1972.

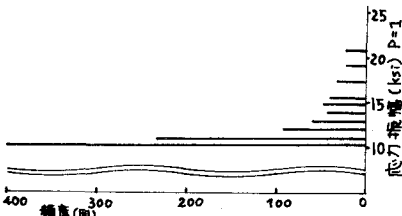


図-4 1ブロックの応力頻度分布

表-1 応力レベル・試験数

応力レベル (ksi)	2	4	6	8	10	12	14
9.35 ksi	1	2	3	4	5	6	7
21.75 ksi	1	2	3	4	5	6	7

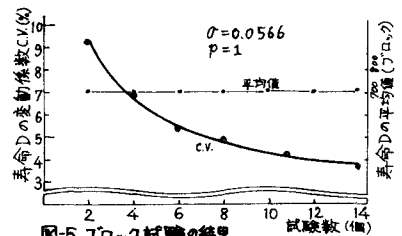


図-5 ブロック試験の結果

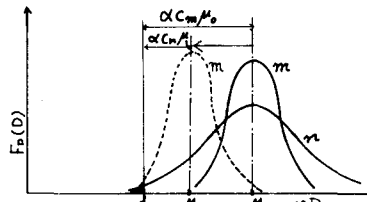


図-6 寿命Dの確率密度関数

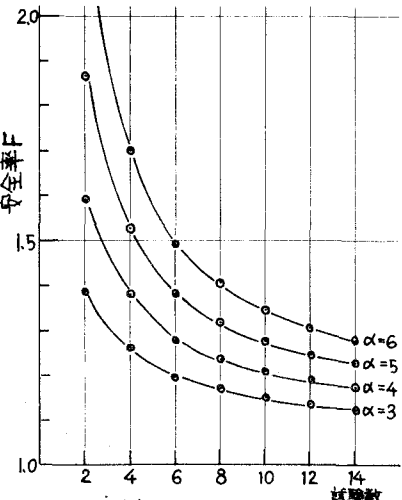


図-7 試験数と安全率の関係