2 段重複繰返応力に対する疲労強度*

河 本 実** 伊 吹 幸 彦**

Fatigue Strength of Steels under Multiple Repeated Stress in Two Stress Levels

Minoru KAWAMOTO and Yukihiro IBUKI

In general, practical machine parts and structures are subjected to repeated stresses of various magnitudes. Therefore it is very important to know the effects of repeated stress with varying amplitude on the fatigue strength. Fatigue tests under the multiple repeated stress in two stress levels seem to be the most fundamental case. Then we made a research on the effect of the "primary stress" on the fatigue life of the "secondary stress."

In this research, three kinds of carbon steels—mild, medium and hard—have been tested by the Ono's rotating bending fatigue testing machine.

The results obtained are as follows.

1. In general, the theory that fatigue fracture occurs at $\sum \frac{n}{N} = 1$ does not coincide with the experimental results.
2. It is convenient to represent the results of tests under multiple repeated stress by taking the equivalent number of cycles as the abscissa on S-N diagrams.
3. The S-N curves for the secondary stress bend at the place of the primary stress for the case of mild steel, but do not bend for the case of hard steel. For the case of medium steel, they bend when the primary stress is small, and do not bend when the primary stress is large.
4. When the primary stress is relatively small and the secondary stress is larger than the primary stress, the value of $\sum \frac{n}{N}$ is larger than 1 in most cases.
5. When the primary stress is relatively small and the secondary stress is smaller than the primary stress, the value of $\sum \frac{n}{N}$ is larger than 1 or nearly equal to 1.
6. When the primary stress is relatively large and the secondary stress is larger than the primary stress, the value of $\sum \frac{n}{N}$ is nearly equal to 1 in most cases.
7. When the primary stress is relatively large and the secondary stress is smaller than the primary stress, the value of $\sum \frac{n}{N}$ is smaller than 1 in general, excluding the case when the secondary stress is a little smaller than the primary stress for mild and medium steels.

1. 緒 言

実際における機械部分、または構造物の受ける繰返応力は全寿命を通じて、その大きさが一定不変の場合には稀であつて、多くの場合、作用する繰返応力はその大きさが種々に変化するのが普通である。したがつて、繰返応力の大きさが変化することによつて、疲労強度にいかなる影響をあたえるかを知ることが、きわめて重要な事柄である。そしてこの変化する繰返応力の大きさ、種類、繰返回数および順序については、その種々な場合が考えられるが、その最も基礎的な場合と考

えられる2段重複繰返応力、すなわち、一定の繰返応力がある回数作用した後、大きさの異なる繰返応力が引続き作用し、それが破壊まで継続される場合について、最初与える繰返応力によつて、後に与える繰返応力に対する寿命にいかなる影響を及ぼすかについて実験的に求めようとするものである。

2. 実験方法

実験に供した材料は、軟鋼、半硬鋼および硬鋼の3種の炭素鋼とし、熱処理することなく供給状態のまま使用した。その化学成分および機械的性質をそれぞれ Table 1 および Table 2 に示した。試験機は小野式回転曲げ疲労試験機を使用し、毎分2600回転にて実験

* 原稿受付 昭和31年6月1日

** 正員 京都大学工学部

Table 1. Chemical composition of materials. (%)

Materials	Symbol	C	Si	Mn	P	S
Mild steel	282A	0.13	0.35	0.54	0.013	0.012
Medium steel	6426	0.34	0.24	0.48	0.016	0.023
Hard steel	282B	0.63	0.13	0.73	0.041	0.025

Fig. 1. Form of specimen.

Table 2. Mechanical properties of materials.

Materials	Symbol	Yield point σ_s (kg/mm ²)	Tensile strength σ_B (kg/mm ²)	Breaking strength on final area σ_T (kg/mm ²)	Elongation φ (%)	Reduction of area ψ (%)	Hardness Shore Hs
Mild steel	282A	28.5	42.5	103.5	33.5	69.3	17.0
Medium steel	6426	31.8	55.3	89.9	22.6	48.5	21.0
Hard steel	282B	45.7	81.4	107.9	17.8	31.1	27.0

を行つた。試験片の形状寸法を Fig. 1 に示した。

実験は 3 種の材料に対し、それぞれまず普通の疲労試験を行い、 $S-N$ 曲線を決定し、ついで、1 次応力、すなわち最初与える繰返応力として、もし、一定の繰返応力を与えたならば 10^5 および 10^6 の繰返数にて破壊するような応力と取り、この繰返応力をそれぞれその寿命の 50% および 80% に相当する繰返数だけ作用せしめた後、繰返応力の大きさを種々に変えて破壊まで実験を行つた。なお、いずれの実験についてもそれぞれ 1 本の素材より試験片を切り出した。

3. 実験結果の図示法について

実験の結果を表わす方法として、次に述べる二つの方法をもつて示した。

(i) 第 1 法 これは 1 次応力がある繰返数だけ与えた材料を処女材料と見なして、もとの処女材料の $S-N$ 曲線の上に重ねて画く方法である。Fig. 2 において 1 次応力を σ_1 とし、 σ_1 における破壊までの繰返数を N_1 とする。ただし、図の横軸は対数目盛で示したものとする。いま、 σ_1 で A 点まで、すなわち、 iN_1 だけ繰返した材料を処女材料と見なして疲労試験した場合の結果を表わす $S-N$ 曲線について考える。もし、2 次応力を 1 次応力と同じ σ_1 に等しくした場合には、2 次応力の繰返数 $(1-i)N_1$ にて破壊する筈であるから、求める $S-N$ 曲線は B 点を通ることは当然である。次に 2 次応力を σ_2 とした場合、 σ_2 における処女材料の

Fig. 2. The 1st method.

破壊までの繰返数を N_2 とすれば、いままし、材料が繰返数比積算法、すなわち、任意の応力繰返数をその応力の下における破壊までの繰返数にて除した値の累計が 1 に達した ($\sum \frac{n}{N} = 1$) とき、疲労破壊を起こすという考え方に従うものとすれば、2 次応力 σ_2 による破壊までの繰返数は $(1-i)N_2$ でなければならない。したがって、求める $S-N$ 曲線の傾斜部は B 点を通り元の $S-N$ 曲線の傾斜部に平行な線となる。換言すれば、ある 1 次応力をその破壊までの繰返数の $i \times 100\%$ だけ与えた材料に対する $S-N$ 曲線は処女材料の $S-N$ 曲線を $i \times 100\%$ だけ水平に左にずらした曲線となる。したがって、もし 2 次応力の破壊までの繰返数が $\sum \frac{n}{N} = 1$ より求められる値より小であれば破線で示したように平行線より左側にき、また、反対に大となれば鎖線で示したように平行線より右側にくることとなる。なお、積算繰返数比が一定値になったとき破壊を起こすものとすれば、2 次応力に対する耐久限度は常に処女材料の耐久限度に等しくなる。

(ii) 第 2 法 この方法は 1 次応力を与えた材料を処女材料と見なさず、1 次応力にて与えた繰返数比と等しい繰返数比だけの 2 次応力をすでに与えたものと考え、その上に実際 2 次応力にて与える繰返数を累加して表わす方法である。この累加された繰返数を換算繰返数と呼ぶこととする。いま、Fig. 3 において 1 次応力 σ_1 を iN_1 だけ、すなわち A 点まで繰返し、ついで

Fig. 3. The 2nd method.

2 次応力 σ_2 に切り換えたものとする。1 次応力に与えた繰返数比と同じ繰返数比 i に相当する 2 次応力上の点は B 点である。ただし、横軸は対数目盛とすれば A B はもとの $S-N$ 曲線に平行である。2 次応力にて与える繰返数は B 点より右に測つて加える。すなわち、換算繰返数をもつて表わす。もし、材料が $\sum \frac{n}{N} = 1$ なる条件に従うものとすれば破壊はもとの $S-N$ 曲線上

で起こる筈であり、これより寿命が小ならば破線のようになり、反対に大ならば鎖線のようになる。したがつて、実験結果を $\sum \frac{n}{N} = 1$ による結果と比較する場合、その比較が一目瞭然となる。従来この方法によつて表わされた例は見当たらないが、筆者はこの方法が非常に解りやすく、有用なるものと信じここに提案する次第である。

Table 3. Mild steel (at low primary stress).

No.	Repeated stress (kg/mm ²)		Number of cycles		Equivalent number of cycles $\frac{N_2}{n_1 N_1 + n_2}$	Cumulative cycle ratio $\sum \frac{n}{N}$	Remarks
	Primary	Secondary	Primary n_1	Secondary n_2			
A 1	34	—	231 000			1.0	
A21	32	—	353 500			1.0	
A 5	30	—	541 500			0.797	
A18	29.1	—	664 800			0.665	
A 2	29	—	1 202 500			1.17	
A19	29	—	1 430 000			1.39	
A20	28	—	2 069 200			1.035	
A 7	28	—	5 564 600			2.78	
A25	27.5	—	3 101 100			0.97	
A11	27.5	—	1 019 000			0.318	
A 6	27	—	4 182 400			0.697	
A16	26	—	10 077 500				Not broken
A17	29.1	34	500 000	340 000	455 500	1.97	
A12	29.1	32	500 000	336 500	513 200	1.45	
A22	29.1	30	500 000	550 300	890 300	1.31	
A24	29.1	30	500 000	535 700	875 700	1.19	
A 3	29.1	28	500 000	9 015 000	10 015 000		Not broken
A27	29.1	27	500 000	8 187 700	11 187 700	1.86	
A26	29.1	34	800 000	171 700	356 500	1.54	
A 4	29.1	32	800 000	1 200 700	1 483 500	4.2	
A 9	29.1	30	800 000	3 493 200	4 037 200	4.93	
A14	29.1	30	800 000	1 301 310	1 845 300	2.72	
A23	29.1	28	800 000	1 392 000	2 992 000	1.495	
A 8	29.1	27	800 000	4 528 900	9 328 000	1.55

Fig. 4. Results on mild steel under low primary stress (1st method).

Fig. 5. Results on mild steel under low primary stress (2nd method).

4. 実験結果およびその考察

4.1 軟鋼

a. 1次応力が比較的小なる場合 1次応力が比較的小さい場合 (29.1 kg/mm^2) に対する実験結果を Table 3 に示した。これを図示したものが Fig. 4 および Fig. 5 である。Fig. 4 は第1法により、Fig. 5 は第2法により描いたものである。

Fig. 4 において第1次応力の下における破壊までの繰返数は 1×10^6 であるから、1次応力を50%あるいは80%与えた場合の破壊までの繰返数は、もし2次応力が1次応力に等しければ、それぞれ 0.5×10^6 あるいは 0.2×10^6 となる筈である。すなわち、図のAおよびB点にて表わされる。したがって、1次応力を繰返数比50%あるいは80%与えた材料の S-N 曲線は、それぞれAおよびB点を過ぎることは明らかで、図の破線および鎖線で示したようになる。この結果より1次応力のある程度与えた材料を処女材料とみなした場合の S-N 曲線は決して滑らかな曲線とならず、1次応力の位置においていちじるしく屈曲した曲線となることがわかり、これは特に注目すべきことである。なお、2次応力が1次応力より少し大きく、かつ繰返数

比80%の場合、破壊までの繰返数はいちじるしく大で、材料は1次応力によつて何ら被害を受けていないのみか、かえつて強化せしめられていることがわかる。

次に、実験結果を $\sum \frac{n}{N} = 1$ による結果と比較すると、Fig. 5 より2次応力が1次応力より大なると小なるとにかかわらず、常に $\sum \frac{n}{N} > 1$ なることがわかる。殊に、2次応力が1次応力より少し大きく、かつ、1次応力の繰返数比が80%のときは $\sum \frac{n}{N}$ はいちじるしく大で、Table 3 よりわかるように $\sum \frac{n}{N}$ は最大 4.93 に達している。

b. 1次応力が比較的大なる場合 1次応力が比較的大なる場合 (32.5 kg/mm^2) に対する実験結果を Table 4 に示した。これを図示したものが Fig. 6 および Fig. 7 である。Fig. 6 は第1法により、Fig. 7 は第2法により描いたものである。まず、Fig. 6 を見るに1次応力を与えた材料の S-N 曲線が1次応力の位置にていちじるしく屈曲した曲線となることは前と同様である。なお、Fig. 7 より明らかなように2次応力が1次応力より大なるときは $\sum \frac{n}{N} > 1$ となり、2次応力が1次応力より小なるときは概して $\sum \frac{n}{N} < 1$ とな

Table 4. Mild steel (at high primary stress).

No.	Repeated stress (kg/mm^2)		Number of cycles		Equivalent number of cycles $\frac{N_2}{n_1 N_1} + n_2$	Cumulative cycle ratio $\sum \frac{n}{N}$	Remarks
	Primary	Secondary	Primary n_1	Secondary n_2			
A36	34		32 500			0.903	
A47	33		108 000			1.405	
A42	32.5		72 800			0.728	
A41	32		82 000			0.656	
A32	32		217 000			1.74	
A46	30		394 500			1.11	
A51	28		1 024 500			1.025	
A31	27		1 448 400			0.843	
A56	26		26 350 000				Not broken
A49	32.5	34	50 000	41 500	64 500	1.40	
A44	32.5	33	50 000	75 500	114 100	1.48	
A39	32.5	32	50 000	99 000	161 500	1.29	
A53	32.5	30	50 000	115 600	293 600	0.825	
A48	32.5	28	50 000	308 700	808 700	0.809	
A34	32.5	27	50 000	372 400	1 222 400	0.72	
A35	32.5	26	50 000	746 000	2 096 000	0.775	
A37	32.5	34	80 000	32 700	69 500	1.51	
A43	32.5	33	80 000	21 000	82 600	1.07	
A57	32.5	32	80 000	298 000	398 000	3.18	
A33	32.5	30	80 000	189 500	474 300	1.33	
A38	32.5	28	80 000	78 500	878 500	0.879	
A52	32.5	27	80 000	561 000	1 921 000	1.13	
A54	32.5	26	80 000	500 600	2 660 600	0.986

Fig. 6. Results on mild steel under high primary stress (1st method).

る。ただし、2次応力が1次応力より小で、かつ、その差が小さいときは $\sum \frac{n}{N} > 1$ となる。また、1次応力の繰返数比が80%の場合の方が50%の場合よりも $\sum \frac{n}{N}$ の値は概して大となっている。

4. 2 半硬鋼

a. 1次応力が比較的小なる場合 1次応力が比較

Fig. 7. Results on mild steel under high primary stress (2nd method).

的小なる場合 (23.5 kg/mm²) に対する実験結果を Table 5 に示した。これを図示したものが Fig. 8 および Fig. 9 である。Fig. 8 は第 1 法により、Fig. 9 は第 2 法により描いたものである。まず、Fig. 8 を見るに 1 次応力を与えた材料の S-N 曲線が 1 次応力の位置にていちじるしく屈曲した曲線となっていることは前と同様で、なお、2 次応力による破壊までの繰返数は概して元の S-N 曲線の示す繰返数より大となっており、

Table 5. Medium steel (at low primary stress).

No.	Repeated stress (kg/mm ²)		Number of cycles		Equivalent number of cycles $\frac{N_2}{n_1 N_1 + n_2}$	Cumulative cycle ratio $\sum \frac{n}{N}$	Remarks
	Primary	Secondary	Primary n_1	Secondary n_2			
C 1	32		27 500			0.81	
C 6	30		58 500			0.791	
C27	30		88 100			1.19	
C17	28		214 000			1.336	
C11	26		336 700			0.935	
C16	24		765 600			0.934	
C 2	23		1 439 200			1.179	
C21	22		2 968 500			1.63	
C10	22		12 000 000				Not broken
C12	21.5		11 200 000				Not broken
C 7	21		11 925 700				Not broken
C26	20		12 745 000				Not broken
C 5	23.5	32	500 000	42 000	58 000	1.811	
C 8	23.5	30	500 000	77 500	114 000	1.562	
C13	23.5	28	500 000	152 000	230 000	1.437	
C22	23.5	26	500 000	490 000	670 000	1.86	
C28	23.5	24	500 000	1 265 500	1 675 500	2.044	
C 3	23.5	23	500 000	2 280 000	2 890 000	2.368	
C18	23.5	22	500 000	10 790 000	11 700 000		Not broken
C29	23.5	32	800 000	47 000	72 600	2.266	
C19	23.5	30	800 000	81 500	139 900	1.915	
C23	23.5	28	800 000	232 000	360 000	2.25	
C 4	23.5	26	800 000	591 000	879 000	2.44	
C 9	23.5	24	800 000	845 000	1 501 000	1.832	
C14	23.5	23	800 000	1 975 000	2 951 000	2.42	
C24	23.5	22	800 000	14 500 000	15 956 000		Not broken

Fig. 8. Results on medium steel under low primary stress (1st method).

材料は1次応力によつてかえつて強化せしめられていることがわかる。次に $\sum \frac{n}{N}$ の値については、Fig. 9より明らかなように、2次応力の大きさのいかんにかかわらず、常に $\sum \frac{n}{N} > 1$ となつており、1次応力の繰

Fig. 9. Results on medium steel under low primary stress (2nd method).

返数比が80%の場合の方が50%の場合よりも $\sum \frac{n}{N}$ の値は概して大きい。

b. 1次応力が比較的大なる場合 1次応力が比較的大きい場合(30 kg/mm)に対する実験結果を Table 6

Table 6. Medium steel (at high primary stress).

No.	Repeated stress (kg/mm ²)		Number of cycles		Equivalent number of cycles $\frac{N_2}{n_1 N_1 + n_2}$	Cumulative cycle ratio $\sum \frac{n}{N}$	Remarks
	Primary	Secondary	Primary n_1	Secondary n_2			
C40	34		20 000			1.665	
C46	32		28 700			0.845	
C32	30		95 000			0.95	
C47	30		37 000			0.37	
C38	30		79 000			0.79	
C43	30		64 000			0.64	
C39	30		68 000			0.68	
C44	30		53 000			0.53	
C49	30		47 000			0.47	
C41	28		241 600			0.805	
C56	26		1 243 000			1.38	
C36	24		2 700 000			1.0	
C51	23		5 228 000			1.136	
C31	22		10 780 000				Not broken
C45	30	34	50 000	3 000	9 060	0.75	
C33	30	32	50 000	26 500	43 500	1.28	
C57	30	28	50 000	50 800	200 800	0.67	
C52	30	26	50 000	3 800	453 800	0.504	
C42	30	24	50 000	59 000	1 409 000	0.522	
C37	30	23	50 000	149 000	2 449 000	0.533	
C59	30	22	50 000	340 000	4 340 000	0.543	
C60	30	21	50 000	13 820 000			Not broken
C50	30	34	80 000	9 500	19 100	1.59	
C54	30	32	80 000	3 000	275 000	0.809	
C34	30	28	80 000	103 800	343 800	1.143	
C58	30	26	80 000	33 900	753 900	0.837	
C53	30	24	80 000	123 000	2 283 000	0.847	
C48	30	23	80 000	17 300	3 697 300	0.803	
C35	30	22	80 000	155 000	6 555 000	0.82	
C55	30	21	80 000	296 800

Fig. 10. Results on medium steel under high primary stress (1st method).

に示した。これを図示したものが Fig. 10 および Fig. 11 である。Fig. 10 は第 1 法により, Fig. 11 は第 2 法により描いたものである。まず Fig. 10 を見るに, 実験結果はかなりばらついているように思われるので, 確かなことはわからないが, 前節までにおけるように 1 次応力を与えた材料の S-N 曲線が 1 次応力の位置にていちじるしく屈曲するようなことは見られない。なお, Fig. 11 より明らかなように, 2 次応力が 1 次

Fig. 11. Results on medium steel under high primary stress (2nd method).

応力よりも大なるときは $\sum \frac{n}{N} = 1$ となり, 2 次応力が 1 次応力よりも小なるときは概して $\sum \frac{n}{N} < 1$ となる。ただし, 繰返数比が 80% の場合で, 2 次応力が 1 次応力よりもわずかに小さいときは $\sum \frac{n}{N} > 1$ となること, および 1 次応力の繰返数比が 80% の場合の方が 50% の場合よりも $\sum \frac{n}{N}$ の値は概して大となつてゐることなどは軟鋼の場合に類似している。

Table. 7 Hard steel (at low primary stress).

No.	Repeated stress (kg/mm ²)		Number of cycles		Equivalent Number of cycles N_2 $n_1/N_1 + n_2$	Cumulative cycle ratio $\sum \frac{n}{N}$	Remarks
	Primary	Secondary	Primary n_1	Secondary n_2			
B 1	34		176 300			1.1	
B21	33		306 000			1.054	
B 6	32		447 000			0.828	
B17	31		693 500			0.694	
B 3	31		768 400			0.768	
B18	31		742 200			0.742	
B 4	31		624 100			0.624	
B 9	31		684 700			0.685	
B22	30.5		1 533 700			1.134	
B11	30		2 043 400			1.11	
B 7	29.5		2 248 500			0.9	
B16	29		10 000 000				Not broken
B12	31	34	500 000	41 100	121 100	0.758	
B 5	31	33	500 000	158 700	303 700	1.045	
B20	31	33	500 000	63 500	208 500	0.72	
B10	31	32	500 000	13 500	283 500	0.525	
B15	31	30.5	500 000	1 102 500	1 777 500	1.316	
B 2	31	30	500 000	541 800	1 461 800	0.795	
B25	31	29.5	500 000	6 960 000	8 210 000	3.28	
B 8	31	34	800 000	58 500	176 500	1.1	
B 9	31	33	800 000	190 100	422 100	1.456	
B23	31	32	800 000	211 000	643 000	1.19	
B14	31	30.5	800 000	158 400	1 238 400	0.917	
B24	31	30	800 000	166 700	1 638 700	0.89	
B13	31	29.5	800 000	882 000	882 000	1.15

Fig. 12. Results on hard steel under low primary stress (1st method).

4. 3 硬 鋼

a. 1 次応力が比較的小なる場合 1 次応力が比較的小なる場合 (31.0 kg/mm^2) に対する実験結果を Table 7 に示した。これを図示したものが Fig. 12 および Fig. 13 である。Fig. 12 は第 1 法により、Fig. 13 は第 2 法により描いたものである。まず、Fig. 12 を見るに、この場合もやはり 1 次応力を与えた材料の S-N 曲線が 1 次応力の位置においていちじるしく屈曲することは見られない。また、Fig. 13 より、 $\sum \frac{n}{N}$ の

Fig. 13. Results on hard steel under low primary stress (2nd method).

値は 2 次応力の大きさのいかんにかかわらず、だいたい $\sum \frac{n}{N} \approx 1$ と見ることができるようであるが、詳細にみれば、2 次応力が 1 次応力よりも大なる場合で、繰返数比 80% のときは $\sum \frac{n}{N} > 1$ となり、繰返数比 50% のときは $\sum \frac{n}{N} < 1$ となつてゐる。

b. 1 次応力が比較的大なる場合 1 次応力が比較的大きい場合 (38.0 kg/mm^2) に対する実験結果を Table 8 に示した。これを図示したものが Fig. 14 お

Table 8. Hard steel (at high primary stress).

No.	Repeated stress (kg/mm^2)		Number of cycles		Equivalent number of cycles $\frac{N_1^2}{n_1} + n_2$	Cumulative cycle ratio $\sum \frac{n}{N}$	Remarks
	Primary	Secondary	Primary n_1	Secondary n_2			
B47	40		40 000			0.8	
B42	38		117 500			1.175	
B44	38		69 600			0.69	
B49	38		91 500			0.915	
B54	38		64 500			0.645	
B45	38		76 000			0.76	
B50	38		74 300			0.743	
B55	38		74 500			0.745	
B37	36		242 500			1.243	
B31	34		336 000			0.8	
B41	32		1 472 000			1.228	
B51	31		2 348 000			0.821	
B32	30.5		10 155 000				Not broken
B46	30		11 200 000				Not broken
B36	29		10 935 000				Not broken
B53	38	40	50 000	17 500	42 500	0.85	
B52	38	36	50 000	85 000	182 500	0.936	
B48	38	34	50 000	160 300	370 300	0.882	
B33	38	32	50 000	111 000	711 000	0.592	
B38	38	31	50 000	405 200	1 830 200	0.642	
B43	38	30.5	50 000	104 400	5 104 400	0.51	
B34	38	36	80 000	2 000	160 000	0.82	
B39	38	34	80 000	1 000	337 600	0.802	
B35	38	32	80 000	58 400	1 018 400	0.848	
B40	38	31	80 000	168 200	2 448 200	0.859

Fig. 14. Results on hard steel under high primary stress (1st method).

Fig. 15. Results on hard steel under high primary stress (2nd method).

よび Fig. 15 である。Fig. 14 は第1法により、Fig. 15 は第2法により描いたものである。まず、Fig. 14 を見るに、この場合2次応力が1次応力よりも大きい場合で、かつ繰返数比80%に対する実験結果が欠除しているが、前と同様1次応力を与えた材料の S-N 曲線が1次応力の位置においていちじるしく屈曲することはないようである。また、Fig. 15 より $\sum \frac{n}{N}$ の値は2次応力が1次応力よりも小なるときは $\sum \frac{n}{N} < 1$ となり、1次応力の繰返数比80%の場合の方が50%の場合よりも概して $\sum \frac{n}{N}$ の値は大なることも、軟鋼および半硬鋼の場合と類似している。

4. 4 耐久限度に及ぼす影響について

本実験は1次応力が2次応力に対する寿命に及ぼす影響を求めることに重点を置いたもので、1次応力が耐久限度におよぼす影響については明確に求めているが、第1法に従って描いた各図より耐久限度に及ぼす影響をもだいたい推察することができる。その結果は1次応力が比較的大なる場合は、軟鋼、半硬鋼、硬

鋼のいずれにおいても例外なく耐久限度を低下せしめ、1次応力が比較的小なる場合は概して耐久限度を上昇せしめるようである。ただし、1次応力が比較的小なる場合で、硬鋼に80%の繰返数比を与えた場合のみ耐久限度はやや低下すると思われる。

5. 結 論

1. 2段重複繰返応力をうける場合、一般に $\sum \frac{n}{N} = 1$ にて破壊するという考え方は成立しない。
2. 2段重複繰返応力に対する疲労試験結果を表わす方法として、ここに提案した第2法、すなわち、換算繰返数をもつて表わす方法は、実験結果を $\sum \frac{n}{N} = 1$ による結果と比較する場合、一目瞭然となつてきわめてわかりやすく便利である。
3. 第1法あるいは第2法によつて描いた曲線は、軟鋼においては1次応力の位置にていちじるしい屈曲を示すのに対し、硬鋼においてはこのような屈曲を示さない。半硬鋼においては1次応力の小なる場合には屈曲を示すが、1次応力の大なる場合屈曲を示さない。
4. 1次応力が比較的小なる場合で、かつ2次応力が1次応力より大なるときは、硬鋼における繰返数比50%の場合を除き、概して $\sum \frac{n}{N}$ は1より大きく、かつ、炭素含有量の少ない鋼ほど $\sum \frac{n}{N}$ の値は大きい。また、1次応力が繰返数80%の場合の方が50%の場合よりも $\sum \frac{n}{N}$ の値が大きい。
5. 1次応力が比較的小なる場合で、かつ、2次応力が1次応力より小なるときは $\sum \frac{n}{N}$ の値は1より大なるか、または、ほとんど1に等しい。
6. 1次応力が比較的大なる場合で、かつ、2次応力が1次応力より大なるときは、軟鋼において $\sum \frac{n}{N}$ の値が1よりやや大となる以外は、ほぼ $\sum \frac{n}{N}$ の値は1に等しい。
7. 1次応力が比較的大なる場合で、かつ、2次応力が1次応力より小なるときは、概して $\sum \frac{n}{N}$ の値は1より小となる。ただし、軟鋼および半硬鋼において2次応力が1次応力より少し小なるときのみ $\sum \frac{n}{N}$ の値は1より大となる。また、1次応力繰返数比80%の場合の方が50%の場合よりも $\sum \frac{n}{N}$ の値は概して大きい。