

北海道大学工学部 正員 ○藤田嘉久

西塚忠信

角田孝史雄

松井 司

## 1. まえがき

筆者らは、無筋コンクリートの荷重繰返しによる永久ひずみ、弾性的性質の変化、ひびわれの発生と進行状況などの疲労性状について、割裂、圧縮および曲げ疲労試験を行ない、その結果を昨年発表した<sup>(1)</sup>。今回の報告は、引続いて行なっている鉄筋コンクリートの疲労に関する一連の研究の一部であって、異形鉄筋を用いたコンクリート桁の荷重繰返しによる疲労変形について、コンクリート圧縮供試体ならびに鉄筋コンクリート曲げ試験桁を用いた疲労試験と静的クリープ試験の同時試験を、また疲労強度に及ぼす応力履歴の影響について予備的な実験を行ない調べたものである。

## 2. 供試体および試験方法

供試体としては、コンクリート圧縮疲労試験用に  $\phi 10 \times 20$  cm の円柱供試体と、鉄筋コンクリート桁曲げ試験用に図-1に示すようなスパン 300 cm、幅 20 cm、有効桁高 27 cm、 $\phi 16$  の主鉄筋 2 本を用いた長方形断面桁を使用した。用いた供試体は、疲労強度に関するもの、円柱供試体 16 本と桁 5 本、変形に関するものそれぞれ 2 本と 6 本および応力履歴に関するものそれぞれ 3 本と 1 本の計円柱供試体 21 本および桁 12 本である。

コンクリート用材料には富士早強セメント 比重 3.15、比表面積  $3650 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、錦固海岸産の砂、同小砂利、および静内川産の砂利（最大寸法 20 mm）、それぞれ比重 2.71、2.67、2.80、吸水量 0.90、0.59、1.04%、粗粒率 3.08、5.67、7.10 を使用し、コンクリートの配合は圧縮疲労に対して 2 週強度  $280 \text{ kg/cm}^2$  を、桁の曲げ疲労に対して 3 週強度  $300 \text{ kg/cm}^2$  を目標として、それぞれ  $C = 250 \text{ kg/m}^3$ 、 $W/C = 0.60$ 、スランプ =  $5 \pm 2$  cm および  $C = 250 \text{ kg/m}^3$ 、 $W/C = 0.62$ 、スランプ =  $10 \pm 2$  cm とした。引張主鉄筋には北海鋼業製のフシ付け根に曲率をつけた横フシ型異形棒鋼 SD35 を用いた。コンクリート供試体は材令 2 日で脱型、材令 7 日まで  $20 \pm 5^\circ \text{C}$  の水中養生を行ない、その後材令 12 日まで実験室内に放置した後封蝕剤を塗布し、材令 2 週以上で試験に供した。試験桁は実験室内での電熱湿润養生とし、材令 3 日で脱型、材令 7 日まで養生を行ない、その後は実験室内に放置し材令 3 週以上で試験に供した。コンクリートの強度試験用として圧縮疲労供試体 1 本に対し 3 本、疲労試験桁 1 本に対し 6 本、他に収縮、温度補正用として疲労供試体ごとに 1 本の  $\phi 10 \times 20$  cm 円柱供試体を製造したが、養生の条件はすべて疲労供試体と同様にした。コンクリートの圧縮疲労および桁の曲げ疲労試験は、実験の進行状況によって材令 14 ~ 23 日および 26 ~ 72 日で開

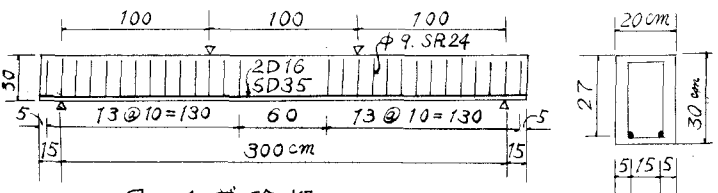


図-1 試験桁

始したが、試験時におけるコンクリートの平均強度はそれぞれ286および294  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、主鉄筋の降伏点の平均値は3690  $\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。

疲労試験は、ローゼンハウゼン型構造物疲労試験機に、コンクリートの圧縮疲労では20tジャッキを、桁の曲げ疲労では10tジャッキを装置して、桁試験では荷重分配桁によって3等分2点载荷として行なった。コンクリートの縦および横方向のひずみは、桁のスパン中央点と1/4点、3/4点のたわみ、スパン中央断面の上縁コンクリートおよび鉄筋ひずみは、繰返し载荷1回、2回、1、2、5、10、20、50および100万回で静的に载荷測定した。静的クリープ試験では、定荷重装置付の100t電子管式試験機を用いて、疲労試験と同項目の測定を並行して行ない、桁試験では比較の疲労試験桁とともに更にスパン中央26×6cm=156cm区間の桁両側面鉄筋位置のひびわれ幅の測定を追加した。ひずみ測定は1測定項目につきひずみゲージ2枚、たわみの測定は1点につき1/100mm 目盛のダイヤルゲージ2台、ひびわれ幅の測定はゲージ長さ6cmのコンタクトゲージを用いて行なった。

### 3. 試験結果

コンクリートの圧縮疲労強度は図-2のごとくで、昨年の結果と統合して応力比 $A=0.25$ のとき100万回および200万回疲労強度はそれぞれ静的強度 $\sigma_c$ の71%、70.5%であること、上限応力度が少し上昇すると繰返し回数が著しく減ずることなどの結果も得た。使用鉄筋の疲労強度は、図-3よりこれまでに行なった他の異形鉄筋の結果<sup>1)</sup>を参考にして200万回疲労強度を推定すれば、3050  $\text{kg}/\text{cm}^2$ となった。

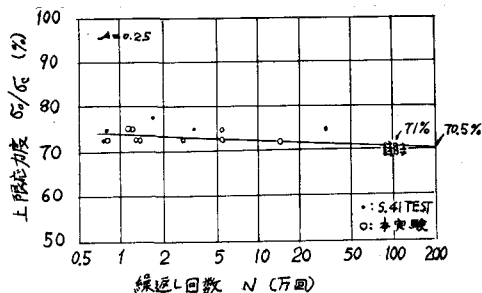


図-2 コンクリートの圧縮疲労強度

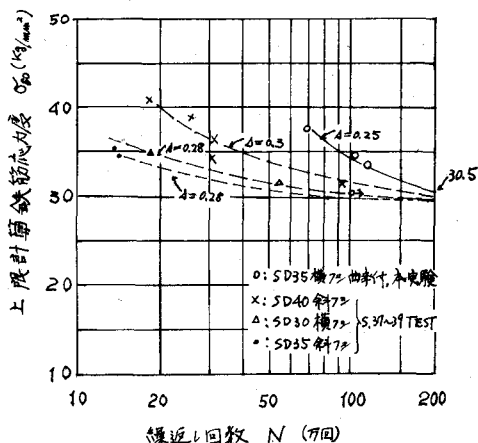


図-3 桁試験に用いた鉄筋の疲労強度

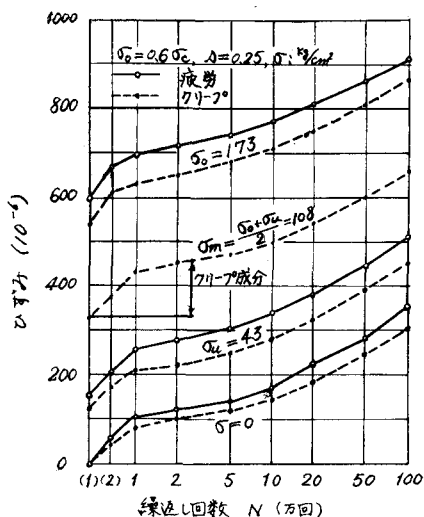


図-4 コンクリートの圧縮ひずみ

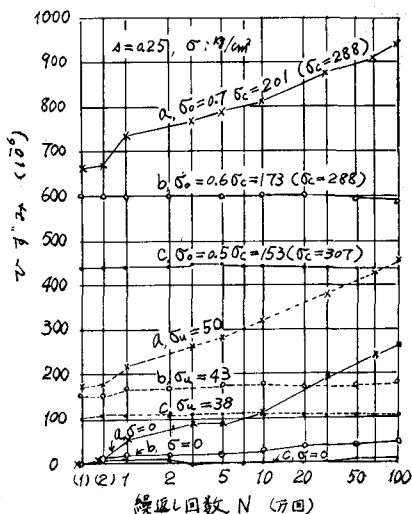


図-5 クリープ成分を差引いたコンクリートの圧縮ひずみ

コンクリートの疲労およびクリープひずみに関しては、昨年上限応力度 $\sigma_0 = 0.5\sigma_c$ と $0.7\sigma_c$ （クリープ試験時の持続応力度 $\sigma_m = (\sigma_0 + \sigma_u)/2$ ）の二種類について実験を行ない、クリープ成分を差引いた純疲労ひずみが表われる限界は $\sigma_0 = (0.5 \sim 0.7)\sigma_c$ の範囲にあるという結果を報告しているが、今回は $\sigma_0 = 0.6\sigma_c$ について実験を行なった。図-4はその結果を示したもので、クリープ試験に対しては、横軸の繰返し回数 $N$ は持続载荷の経過時間を示し、 $\sigma_0$ ,  $\sigma_u$ ,  $\sigma = 0$ に対する測定値は疲労試験において所定の $N$ で静的に载荷測定する場合と同様にして得たものである。クリープ成分を差引いた純疲労ひずみ（弾性ひずみも含む）も昨年の結果と一緒に図-5に示す。これより純疲労ひずみが生ずる限界は上限応力度が静的強度の60～70%の範囲にあることがわかった。

鉄筋コンクリート桁の疲労およびクリープ変形については、鉄筋上限応力度 $\sigma_{s0} = 0.66\sigma_{sy} = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ,

コンクリート上限応力度 $\sigma_{c0} = 0.32\sigma_c$ の許容応力度近くを対象としたものと、より高い応力度を対象とした $\sigma_{s0} = 0.88\sigma_{sy} = 3150 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_{c0} = 0.43\sigma_c$ の二種類についてコンクリートの圧縮疲労と同様の実験を行なった。

桁の疲労およびクリープたわみ（弾性たわみも含む）の測定結果は図-6および7のこ

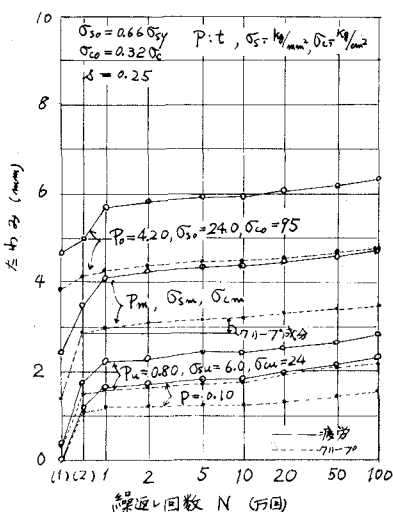


図-6 スパン中央のたわみ

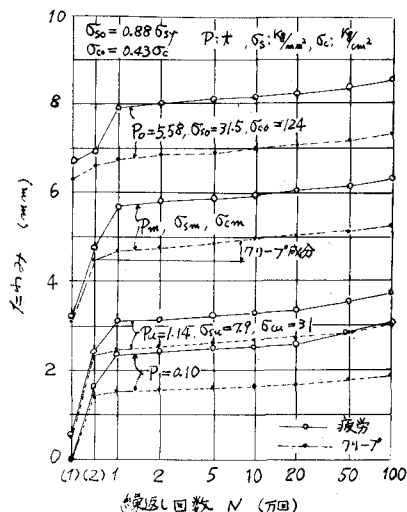


図-7 スパン中央のたわみ

とくで、これより繰返し回数2回を基準にクリープ成分を差引いた結果が図-8である。図において繰返し回数 $N$ が1万回以上の範囲では、 $\sigma_{s0} = 0.66\sigma_{sy}$ の場合残留たわみ（ $P = 0.10$ ）に多少の増加の傾向が認められるが、上限、下限荷重時にはたわみの増加は認められず安定しているのに対し、 $\sigma_{s0} = 0.88\sigma_{sy}$ の場合には下限荷重時にもやや増加の傾向があり、純疲労による影響が多少認められる。これに対して $N$ が1万回以下の範囲では、いずれの場合もたわみの増加が認められ、純疲労による影響は繰返し载荷の初期に著しいことがわかる。

図-9および10は疲労試験時における最大ひびわれ幅を桁両側面の平均値で示したもので、クリープ成分を差引いた結果が図-11である。傾向はたわみの場合とほとんど同様であるが、 $\sigma_{s0} = 0.88\sigma_{sy}$ の場合 $N = 1$ 万回以上で上限荷重においても

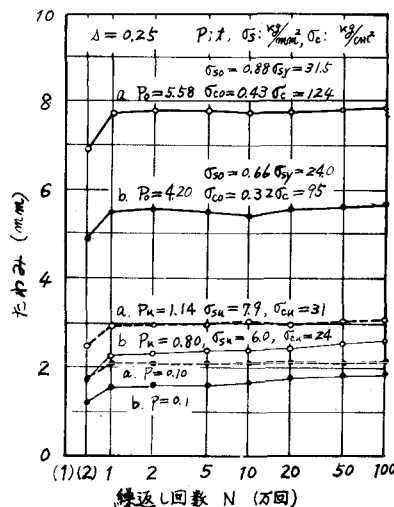


図-8 クリープ成分を差引いたスパン中央のたわみ

ひびわれ幅の増加の傾向が認められる。

ひびわれ幅の経路についてもほぼ同様の結果であった。

以上の折試験の結果から、繰返し回数1万回以上で純疲労の

影響が表われる限界は

上限鉄筋応力度が

$0.88 \sigma_{sy} = 3150 \text{ kg/cm}^2$  附

近であること、たわみ

に比較してひびわれ幅

に対する影響が大であ

ることから、ひびわれ

近くの鉄筋とコンクリ

ートの付着疲労破壊が

進行しているのではない

かということが想定

されるが、詳細につい

ては特に繰返し回数1

万回以下の疲労変形と

フリップ変形の問題ととも

に今後更に広範囲の研究が必要で

ある。

応力履歴の影響は、コンクリートの圧縮疲労では100万

回疲労強度  $\sigma_0 = 0.71 \sigma_c$  で50万回繰返し載荷後、 $\sigma_0 = 0.725$

$\times \sigma_c$  へ上げて調べた。応力上昇後の破壊までの繰返し回数は

2、19 および 2.54万回で、図-2の処女供試体と比較し

ばらつきのために影響は明らかにできなかった。折試験

より、処女試験時の疲労試験で  $\sigma_{so} = 3380 \text{ kg/cm}^2$  で  $N = 113.85$

万回、 $\sigma_{so} = 3785 \text{ kg/cm}^2$  で  $N = 68.75$ 万回の結果が得られて

いるので、 $\sigma_{so} = 3380 \text{ kg/cm}^2$  で  $113.85/2 \approx 56.90$ 万回繰返し載

荷後、 $\sigma_{so} = 3785 \text{ kg/cm}^2$  に上げた。その結果  $N = 40.30$ 万回で破

壊し、応力履歴の影響があることが認められる。この結果は

Meinerの法則  $\sum \frac{N}{N} = \frac{56.90}{113.85} + \frac{40.30}{68.75} = 1.09 \approx 1.0$  に近似して

いる。

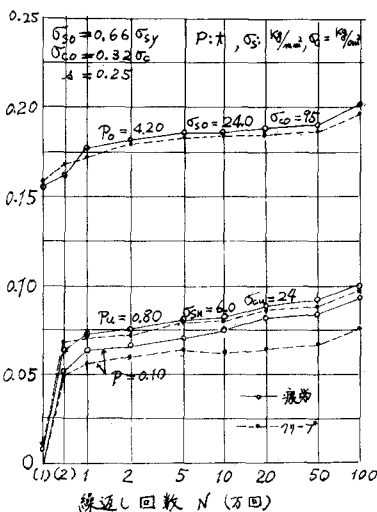


図-9 ひびわれ最大幅

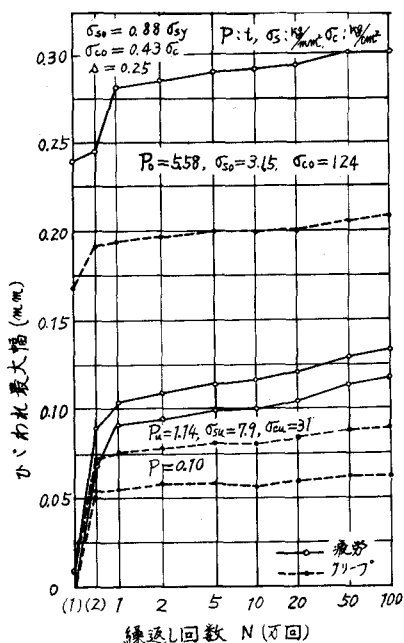


図-10 ひびわれ最大幅

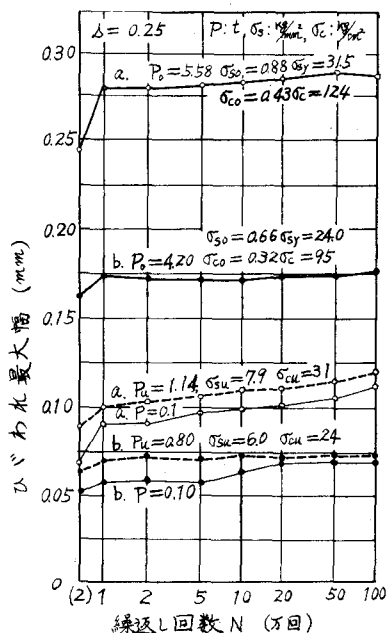


図-11 フリップ成分を差引いたひびわれ最大幅

文献 1) 藤田, 松井, 角田: コンクリートの疲労性状: 土木学会第22回年次学術講演会, 昭42.5

2) 藤田, 海保: コンクリートの引張り, 圧縮および曲げに関する疲労性状, セメント技術年報, 昭42/2

3) 横道, 藤田, 西堀: 異形鉄筋を用いたRC桁の曲げ疲労試験, 土木学会コンクリートライブラリー/4号, 昭40.12