

IV-87 コンクリートの疲労性状

北海道大学工学部

正員 工博 藤田 嘉夫

正員 松井 司

学生員 工修 角田 孝史雄

1 まえがき

近年国内において、異形鉄筋を用いた鉄筋コンクリート桁や、プレストレストコンクリート桁の疲労に関する研究が行われているが、アレーンコンクリートの疲労に関する研究は余り行われていない。コンクリートの疲労は、単に疲労破壊に対する安定性の問題だけでなく、コンクリートの物性面から見ても興味深い。この報告は、アレーンコンクリートの荷重繰返しに伴う永久ひずみおよび、弾性的性質の変化、ひびわれの発生および進行状況等について、割裂、圧縮および、曲げ疲労試験を行って調べたものである。

2 使用材料および供試体

コンクリート材料としては、富士早強セメント、錦固産の海岸砂および砂利（最大寸法 20mm）を使用し、単位セメント量 300kg、水セメント比 50% とした。割裂および圧縮供試体は、 $\phi 10 \times 20$ cm シリンダー、曲げ供試体は、 $15 \times 15 \times 55$ cm の桁（スパン 45 cm；2点載荷）を用い、割裂は水中養生 28 ~ 44 日、その後乾燥収縮の進行が無視しうるまで実験室に放置し、材令 84 日以後で試験に供し、圧縮供試体は水中養生 1 日、試験までの乾燥を防ぐため表面を封緘し、材令 10 日以上で試験を行い、曲げ供試体は水中養生 3 日間、材令 10 日以後に試験を行った。割裂、圧縮および曲げ供試体の試験日にあける静的圧縮強度は、それぞれ 425、306 および 361 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ の平均値であった。また疲労に伴うひびわれの発生、進行状況を観察するため割裂供試体は両端面、曲げ供試体は両側面を約 1 cm 厚さだけあらかじめ切り落とし、その表面を研磨した。

3 試験方法

試験はローゼンハウゼン型構造物疲労試験機を用い、割裂では動的容量 10^t 、圧縮では 20^t 、曲げでは 5^t のジャッキを用いた。試験を行うに当っては荷重の偏心を防ぐためにトランシットを用いて供試体をセットした。繰返し速度はいずれの試験でも毎分 400 回とした。試験は繰返し回数 1、2 回目および 1、3、5、7、10、30、50、70、100、150、200 万回で機械を停止して上限繰返し応力 σ_s までのひずみを測定し、 σ_s のときのひびわれを 20 倍の拡大鏡を用いて観察した。割裂試験で 200 万回、圧縮および曲げで 100 万回の繰返し回数で破壊しなかったものは、その時点で静的に破壊試験を行った。

4 試験結果

割裂疲労試験の結果より Wohler 曲線を描くと

図-1 割裂疲労 200万回推定強度

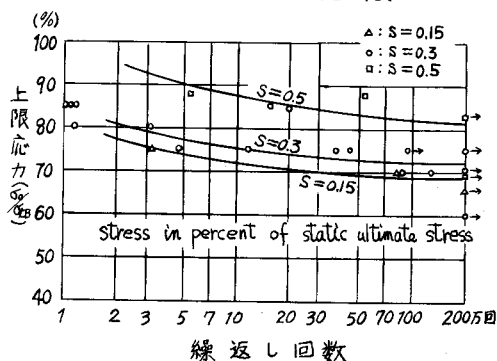


図-1の通りである。図-1より200万回疲労強度を推定すると、応力比 $s=0.5$ では静的破壊強度の81.5%、 $s=0.3$ で72.5%、 $s=0.15$ で69.5%となった。これらをMoore-Kommers-Jasperの疲労強度図を描くと図-2の通りである。これより s と σ_0 の関係はSoretz氏の直線に近似した曲線となった。

表-1に割裂疲労試験のひびわれ発生回数、破壊回数、応力度および応力比の関係を示した。この表からひびわれは、繰返しの初期の段階ですでに発生しており、特に $\sigma_0=0.75\sigma_{tb}$ (σ_{tb} は割裂破壊強度)以上のものでは早期に発生していることがわかる。

図-3は1例として割裂疲労試験 $\sigma_0=0.75\sigma_{tb}$ 、 $s=0.3$ の供試体の繰返しに伴うひびわれの進行状況を示したものである。ひびわれはシリンダーの中心より下方20cm付近の骨材のボルトに添って繰返し回数3万回で発生し、5万回でひびわれは上方に進行し、7万回では上方および下方への進行が見られ、

114,000回で破壊している。曲げ疲労試験桁ではすべて最初の載荷時に曲げひびわれが生ずるような σ_0 で試験を行った。写真-1は1例として $\sigma_0=0.75\sigma_{bb}$ (σ_{bb} :曲げ破壊強度) $s=0.25$ の繰返し回数に伴うひびわれの進行

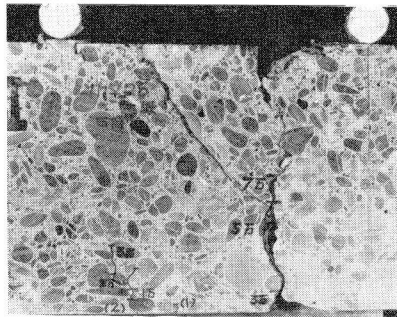


写真1. (1),(2)はそれぞれ1,2回目載荷のひびわれ。

状況を示す。筆者らは、先にプレーンコンクリート桁の静的試験において非常に小さい荷重段階から微小ひびわれが発生し、いくつかの曲げひびわれに成長して破壊に至ることを報告したが、²⁾疲労の場合においても同様なることが見られた。また写真-1に示すように繰返し回数とともにひびわれは上方に進行するが、それが中立軸を越えても直ぐには破壊しない桁もあった。繰返し回数100万回に達した桁は、その時点で静的破壊試験を行ったが、その際の破断位置は必ずしもすでに生じていたひびわれとは一致しなかった。割裂疲労試験における荷重繰返しに伴う、応力-ひずみ曲線の変化の傾向は、図-4 ($\sigma_0=0.70\sigma_{tb}$ $s=0.5$)

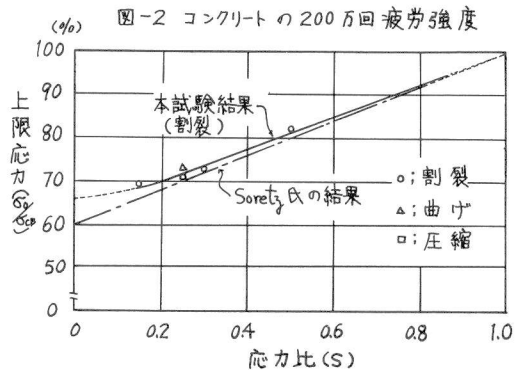


表-1

シリンダー番号	ヒビわれ発生時の回数	破壊時回数	上限応力度	応力比(s)
41516-III	1万回	5.2万回	$0.88\sigma_{tb}$	0.5
4156-II	20	20.0	0.85	0.3
41516-III	1	1.8	0.85	0.3
41516-IV	3	3.0	0.8	0.3
4156-III	3	11.4	0.75	0.3
4159-I	5	44.4	0.75	0.3
41516-V	3	37.2	0.75	0.3
41523-V	1	3.1	0.75	0.15
41516-I	30	80.5	0.7	0.15
41516-II	200	200以上	0.7	0.3

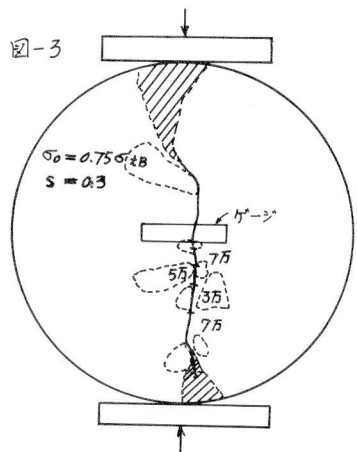


図-4 σ - ε 曲線

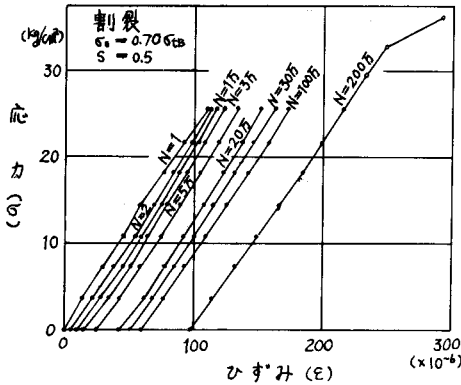


図-5 σ - ε 曲線

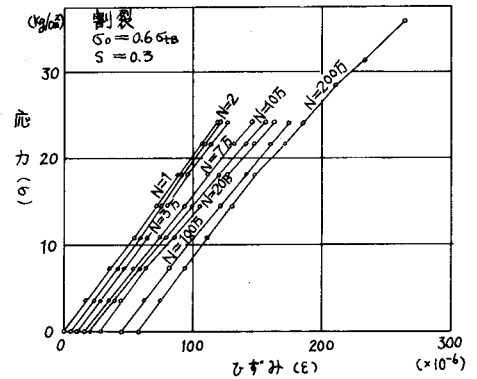
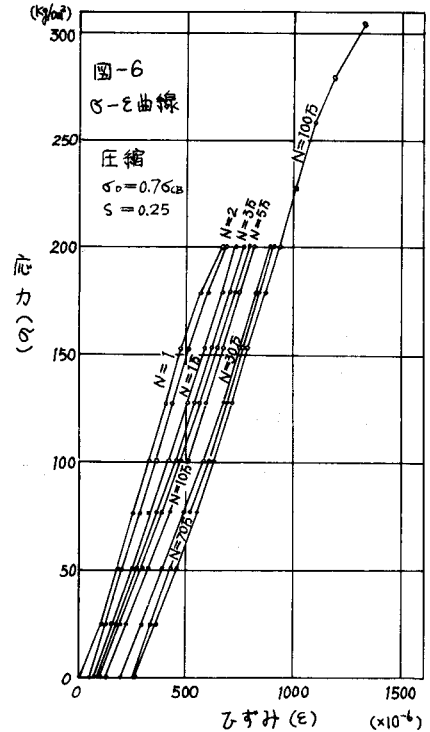
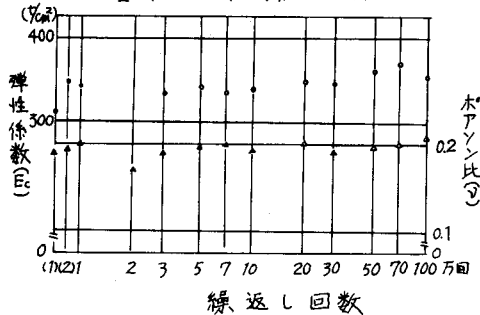


図-7 ○: 弾性係数 △: ポアソン比



および図-5 ($\sigma_0 = 0.6\sigma_{es}$ $S = 0.3$)に示すようなものである。すなわち残留ひずみは繰返し回数とともに増加し、その増加割合は上限応力の大きいものほど大きくなってはいるが、直線の傾きは繰返し回数に関係なくほとんど変化していない。またひびわれが供試体の片面に発生しても他面のひずみにはほとんど変化は見られなかった。疲労破壊をする前のある特定の繰返し回数における供試体の割裂強度の平均値と母材コンクリートの割裂強度とを比較すると、繰返し回数1万回程度ではほとんど差がなく、5万回以後200万回までは繰返し回数に関係なく約4~9%の強度増進が認められた。図-6は圧縮疲労試験における繰返しに伴う、応力-ひずみ曲線の例、 $\sigma_0 = 0.70\sigma_{es}$ (σ_{es} : 圧縮破壊強度) $S = 0.25$ である。この図のように、本試験におけるすべての供試体の応力-ひずみ曲線は、1回目の載荷で上に凸であったものが、2回目のときにはほぼ直線となり、1万回以後はわずかに上に凹となっている。しかし $\sigma_u \sim \sigma_0$ の範囲ではほぼ直線であるので、この範囲内の弾性係数およびポアソン比を求めたところ図-7のようにほとんど安定しているが、後期にはやや増加している傾向が見られる。荷重繰返しに伴う残留ひずみの測定値(ε_r)には、いわゆる静的クリープ(ε_k)

図-8 シリンダー 圧縮方向 クリープひずみ($\bar{\epsilon}_k$)

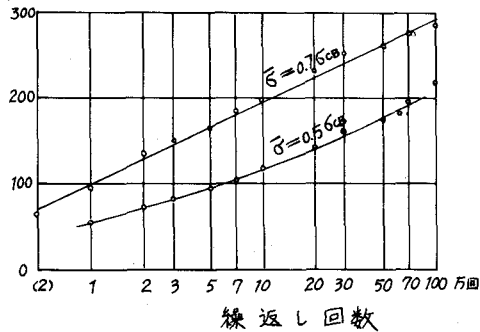
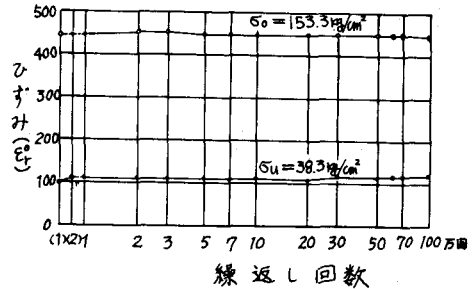


図-9



(以後単にクリープひずみと呼ぶ)が含まれているので、その影響を調べるため、持続応力 $\bar{\sigma} = 0.5$ および $0.7\sigma_{cb}$ についてクリープ試験を同時に行った。その結果は図-8に示す通りである。これに基づいて ϵ_r から ϵ_k を差引いた値、すなわち純疲労ひずみ ϵ_F は、図-9または-10の通りである。ただし ϵ_k は次式により求めた。

$$\epsilon_k(t) = \frac{\sigma_0 + \sigma_u}{2\bar{\sigma}} \bar{\epsilon}_k(t)$$

図-9に見られるように $\sigma_0 = 0.5\sigma_{cb}$, $S = 0.25$ の場合には残留ひずみ ϵ_r の大きさは、ほとんど一定で、繰返し荷重の影響が見られない。これに対して

図-10の $\sigma_0 = 0.7\sigma_{cb}$ $S = 0.25$ では、繰返し回数と共に増加の傾向を見せている。

参考文献

- 1) S. Soretz 「Ermüdungseinfluß im Stahlbeton」 Zement und Beton Nr. 31 Mai 1965
- 2) 横道、高田、角田 「コンクリート桁のひびわれについて」 第21回 土木学会年次学術講演会概要

図-10

