

九州大学 工学部 正員 山下 博通

1. まえがき

多回数の繰返し荷重を受ける構造物においては、その安全性を支配するものは静的破壊よりむしろ繰返し疲労破壊である。PCはりりの疲労に関しては、Fressinet, Leonhardt, Lin, 猪股, Abeles などの多くの研究者により、繰返し疲労強度の静的強度に対する割合がどの程度であるかについて報告されているが、これらの結果は大きくばらついており、現在では、疲労破壊に対してどの程度の安全性を有しているかは未解決のままといえよう。このようにばらついている原因としては、PCはりの構成材料の性質の相異、断面形状の相異、破壊形式の相異、プレストレス量と鉄筋比の相異などがまず挙げることができようが、疲労本来の性質と考えられるものとして、疲労破壊に対する疲労寿命 N が同一荷重繰返しに対して大きくばらつくことから、その安全性について十分検討できないことも十分考えらるう。しかしながら、PCはりりはあくまでもコンクリートとPC鋼棒あるいはPC鋼線との合成材であり、その疲労破壊を論じる場合には、その構成材料に繰返し荷重によってどのような繰返し応力が伝達されるかを考えると同時に、構成材料の各種の繰返し応力下の疲労破壊について検討することにより、PCはりりの疲労破壊を予測すれば、前記したようなPCはりりの疲労破壊現象のばらつきに関して、何らかの示唆を与えるであろう。以上の観点より、本報告は、PCはりりの疲労破壊に対して、従来のように静的破壊曲げモーメントと疲労破壊曲げモーメントの比からのみ安全性を求めることではなく、まず、構成材料の繰返し疲労破壊に対する安全性の考え方を述べ、更に、構成材料の疲労破壊を含めたPCはりりの疲労破壊の予測の方法を述べるとともに、それらに対する問題点を提起し、御批判を仰ぐものである。

2. 繰返し疲労破壊に対する安全性

繰返し荷重を受ける部材の耐力は、当然ながら、繰返し作用荷重よりも大きく、 $P_N(x)$ なるものでなければならぬが、これらの耐力および作用荷重は実際には不確定なものであるため、構造物の重要度に応じて安全性を保障しなければならない。したがって、この安全性の評価は、確率論的に行われねばならなくなる。

ある一定の繰返し応力 σ と受ける部材の疲労寿命 N のばらつきは大きなものであるが、筆者らの実験では一定対数正規分布することが明らかに⁽¹⁾なる。今、 N のばらつきの密度関数を $p_N(x)$ 、分布関数を $P_N(x)$ とする($P_N(x)$ は、繰返し回数 $N(x)$ における破壊確率に相当する)と、実際に部材が受ける一定応力の繰返し回数 n の密度関数 $p_n(x)$ によって、破壊確率 P_f は次式によって与えられる。(図-1)

$$P_f = \int_0^{\infty} p_n(x) P_N(x) dx$$

この場合、材料的には、 $P_N(x)$ を明らかにしなければならぬことになる。

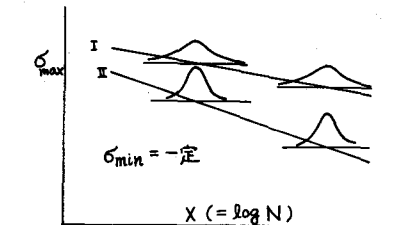


図-2 S-N 曲線と N の分布

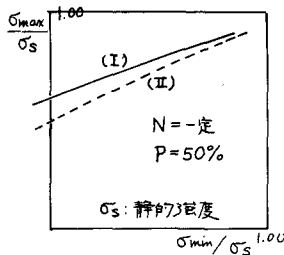


図-3 耐ス比線図

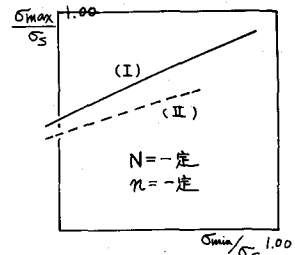


図-4 耐ス線図

一定繰返し応力下での繰返し応力の最大応力 σ_{max} と疲労寿命 N の関係は、最小応力 σ_{min} 一定のもとでは、図-2に示すようになる。このとき σ_{min} が大きい場合(I)は、 σ_{min} が小さい場合(II)に比較して、同一 N に対して σ_{max} を小さくとることができ、IIはIに比べて N のばらつきが大きくなる。したがって、ある N に対する耐久限度線図を、横軸に最小応力比(繰返し応力の最小応力の静的強度に対する比)、縦軸に最大応力比をとって求めると、破壊確率が50%の場合には図-3のようになる。もちろん、その材料の耐用年限の間に受ける荷重繰返し数の予測値により最大応力比のとり方は異なり、 η が大きい場合(II)より η が小さい場合(I)のほうが最大応力比を小さくとることができる。しかし、破壊確率を小さくする場合が実際的であるが、このような場合には、 σ_{min} が大きい場合に N のばらつきが大きくなることから、図-4に示すように、破壊確率を大きくとれば(I)最大応力比は大きくとれるが、破壊確率を小さくとれば(II)最大応力比を小さくしなければならず、この割合は σ_{min} が小さいほど小さなものとなる。

3. PCはりの疲労破壊に対する予測方法

繰返し荷重を受けるPCはりの断面の応力分布と推定するには非常に多くの要素が重なりあい簡便な方法によって求めることはできない。なぜなら、現在までの材料学的研究でも、繰返し応力を受けたコンクリートの残留ひずみの問題および応力-ひずみ曲線の形状と数値的に承のうれたものではないし、また、はりが繰返し荷重を受ける場合には、引張応力がはり下縁側に生じ、ひびわれが発生し、しかも中立軸は荷重繰返しとともに次第に上昇するに因である。また、ひびわれが生じた断面では、いわゆる平面保持の仮定は成立せず、局所的なひびわれがある。コンクリートには過大な応力が生じることも考えられる。(このようにひびわれ問題に関してはボンド疲労を考慮しておく必要はないであろう) このように考えると、PCはりの構成材料は次第に変化する繰返し応力を受けることになり、しかもコンクリート圧縮部の応力ひずみ変化することを考えあわせ、このまま、構成材料の疲労破壊現象と結びつけることは困難である。したがって、PCはりの疲労破壊を予測するのに1で述べたようなばらつきの原因を考えあわせることができるように、静的に荷重を加えて破壊に至らせたPCはりのコンクリート上縁応力および下縁応力およびPC鋼材の応力を求めることにして、図-5に示すようなMoment-Stress Diagramを描き、これと構成材料の耐久限度線図から、PCはりの疲労破壊を予測しようとする。もちろん、繰返し荷重により、応力分布は $N=1$ のときのととは異なるが、少なくともいくつかの問題は解決できると考える。図-5には、鉄筋比が疲労強度に及ぼす影響を調べるため、同一断面形状と有るはりで over reinforcement の場合と

under reinforcement の場合について比較したものであるが、耐久線図のとり方、Moment-Stress Diagramにいくぶん問題があるかもしれないが、疲労強度に大きな差がでることから示されている。なお、コンクリートの耐久限度は等分布圧縮応力下のものであり問題がある。

- 参考文献 (1) R.E. Rowe, "An Appreciation of..." Cement and Concrete Association, London.
 (2) Leonhardt, "Spannbeton für die Praxis", 1955
 (3) T.Y. Lin, "Strength of Continuous..." Proceeding of ACI Vol 51, 1955
 (4) 橋梁設計「プレストレス」... 日本建築学会 17巻 1952年8月
 (5) P.W. Abeles, "Fatigue Test in Bending..." Proceeding of ACI Vol 49, 1952-1953
 (6) 地下鉄「プレストレス」... 日本建築学会 1952年8月
 (7) 20世紀の土木工学の発展と技術革新

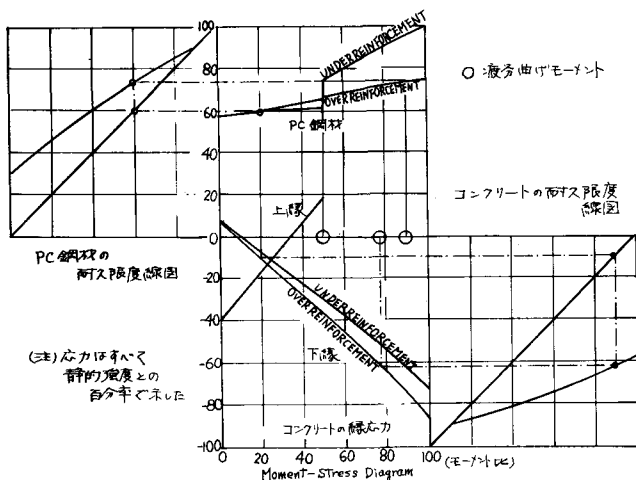


図-5. Moment-Stress Diagram と耐久線図より疲労曲げモーメントを定める方法