

武蔵工業大学大学院 学生員 大井 祥之

武蔵工業大学工学部 正会員 吉川 弘道

1. まえがき

本研究は、曲げと軸力を受けるRC梁部材を対象とし、材料の平均疲労強度に対して従来からあるS-N曲線を用い、累積損傷理論ならびに確率論により、RC梁部材の疲労寿命を定式化・提案するものである。加えて、鉄筋が逐次疲労破断¹⁾していく過程においてコンクリートの圧縮疲労破断についても考察した。

2. 線形被害則に基づく疲労寿命の算定手法

コンクリートの圧縮疲労破断については、コンクリートと鉄筋は互いに相手が破壊しないものとして別々に計算する。そこで、まず初めに、RC梁中に配置してあるm本の鉄筋に線形被害則を適用し、最弱鉄筋から逐次破断させることにより、梁全体が破壊するに至るまでの過程を考える。以下にそのモデル化と算定手順を示す。

①偏心を持つ一定の最大、最小軸力 P_{max} 、 P_{min} がRC梁にそれぞれ交替して作用したとき、残存する鉄筋には均一の最大、最小応力が発生する。

②i-1本の鉄筋が破断した状態をi段階($i=1,2,3,\dots,m$)とし、このときの応力振幅 S_{ri} に対して所定のS-N線図より、鉄筋がm-i+1本ある時の鉄筋の平均疲労寿命 N_{fi} が求まる。

③残存するm-i+1本の鉄筋の疲労寿命 N_{fij} は、logスケール上にて、正規分布するものとし、与えた平均値 $m(\log N_{fi})$ 、変動係数 $Vr(\log N_{fi})$ に従うものとする。そして、最弱の疲労寿命のものから、 $j=i, i+1, \dots, m$ と順番づける(図-1)。

④i段階における繰返し回数を n_i 、j番目鉄筋の累積損傷量を M_{ij} 、損傷量の増分を ΔM_{ij} として次式のような線形被害則を適用する。

$$M_{ij} = \sum_{k=1}^i \Delta M_{kj} = \sum_{k=1}^i (n_k / N_{fki}) \quad (1)$$

⑤i段階における最弱の疲労寿命をもつ鉄筋を、線形被害則に基づき、破壊させる。すなわち $M_{ij}=1$ が成立したとき、i段階は終了し、次のi+1段階に進む。

以上①～⑤がi段階における1つのループを示すもので各段階で鉄筋を1本づつ破壊させて、m段階まで繰返す。そして、i=mが完了したときm個の連立一次方程式が成り立ち、つぎのようなマトリックスで表現される。

$$\begin{bmatrix} 1/N_{f11} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 1/N_{f12} & 1/N_{f22} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/N_{f1m} & 1/N_{f2m} & 1/N_{f3m} & \cdots & 1/N_{fmm} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

また、i段階における繰返し回数 n_i は連立方程式(2)を解くことにより求まる。したがって、RC梁としての疲労寿命 N_{fbeam} は次式より求められる。

$$N_{fbeam} = n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_m = \sum_{i=1}^m n_i \quad (3)$$

次に、鉄筋の逐次破断の影響を受けるコンクリートの圧縮疲労破断については、次式にて評価する。

$$M_{ci} = \sum_{k=1}^i (n_k / N_{fck}) \geq 1 \quad (4)$$

ただし、 N_{fci} : i段階におけるコンクリートの疲労寿命、 M_{ci} : i段階におけるコンクリートの累積損傷量

3. 数値シミュレーション

i段階における平均疲労寿命 N_{fi} に対するj番目鉄筋の疲労寿命および平均疲労寿命 N_{fci} に対するコンクリートの疲労寿命は、基本値(標準正規乱数²⁾)を変数変換することによって、それぞれ次式で求められる。

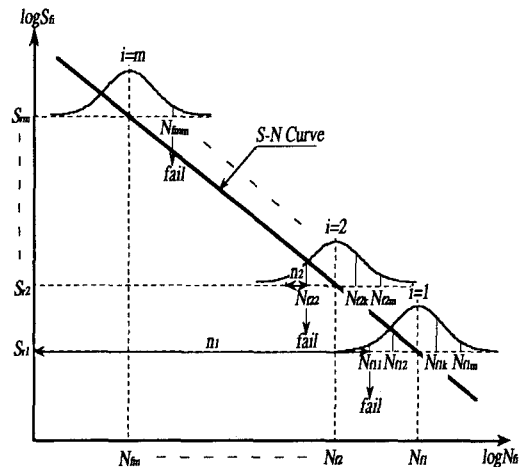


図-1 逐次破断過程の概念図

$$\log N_{fij} = (V_r \cdot Y_{j(RND)} + 1) \cdot \log N_{fi} \quad \therefore N_{fij} = N_{fi}^{V_r Y_{j(RND)} + 1} \quad (5)$$

$$\log N_{fci} = (V_c \cdot Y_{j(RND)} + 1) \cdot \log \bar{N}_{fci} \quad \therefore N_{fci} = \bar{N}_{fci}^{V_c Y_{j(RND)} + 1} \quad (6)$$

ただし、 $Y_{j(RND)} : N(0,1)$ $\log N_{fij} : N(\log N_{fi}, V_r \cdot \log N_{fi})$ $\log N_{fci} : N(\log \bar{N}_{fci}, V_c \cdot \log \bar{N}_{fci})$

4. 数値シミュレーション結果および考察

以上の定式化に基づき、 $Y_{j(RND)}$ を唯一の確率的な変動値とした数値シミュレーションを行った。ただし、他の設定は、次の通りである。

- ①引張鉄筋には、圧縮応力が生じないようにするため軸力の作用位置を心外とする。
- ②鉄筋、コンクリートともに、S-N線図として土木学会示方書の疲労強度算定式を用い、安全率は考慮しない。
- ③最小軸力 $P_{min}=0t$ とする。 ④鉄筋本数を $m=10$ 本とする。

図-2は、鉄筋およびコンクリートの変動係数10%、偏心距離 $e=20cm$ のときの最大軸力の変化に対する疲労寿命（平均値）への影響を示したものである。この場合、最大軸力 $P_{max}=140t$ を境に引張鉄筋先行型、圧縮コンクリート先行型の破壊に分かれるものと思われる。

同様に、最大軸力 $P_{max}=120t$ のときの偏心量の変化に対する疲労寿命（平均値）への影響を図-3に示す。この図より、偏心量が $e=20 \sim 25cm$ 付近において引張鉄筋先行型の破壊が起きる区間が現れ、それ以外の区間においては圧縮コンクリート先行型の破壊が起きるといったように、軸力と曲げモーメントの比率により破壊モードが変化し、複雑なメカニズムとなることがわかる。

図-4は、最大軸力 $P_{max}=120t$ 、偏心量 $e=20cm$ 、コンクリートの変動係数 $V_c=10\%$ のときの鉄筋の変動係数 V_r の変化に対するコンクリートの累積損傷量 M_{ci} （平均値）への影響を示している。同様に、図-5は、鉄筋の変動係数 $V_r=10\%$ のときのコンクリートの累積損傷量 M_{ci} の変化に対するものを示している。図-4より、鉄筋の変動係数 V_r が大きくなるにつれて、コンクリートの累積損傷量 M_{ci} は小さくなる傾向にあるが、これとは逆に図-5においては、コンクリートの累積損傷量 M_{ci} が大きくなるにつれてコンクリートの累積損傷量 M_{ci} も大きくなるのがわかる。すなわちこれは、前者においては、引張鉄筋先行型の破壊が、後者においては圧縮コンクリート先行型の破壊が起こりやすくなることを示している。

【参考文献】

- 1)松本信之,山住克己,宮本征夫:多本数の引張鉄筋を配置したRC梁の疲労寿命, コンクリート工学年次論文報告集,13-2,pp321-326,1991
- 2)星谷 勝,石井 清:構造物の信頼性設計法,鹿島出版会,1986

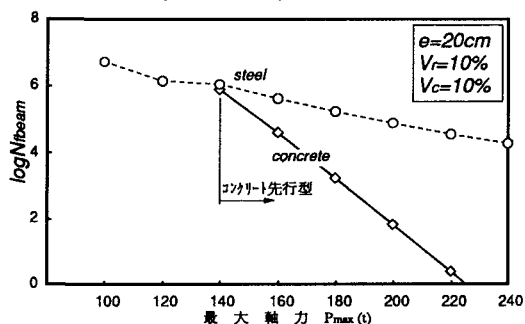


図-2 最大軸力の変化が疲労寿命に与える影響

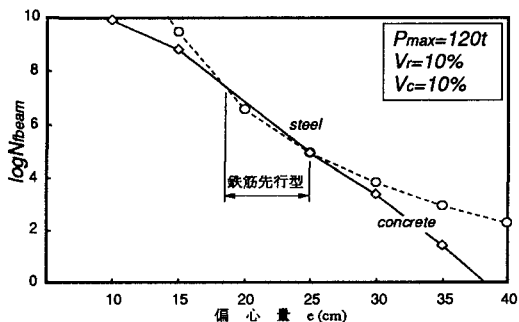


図-3 偏心量の変化が疲労寿命に与える影響

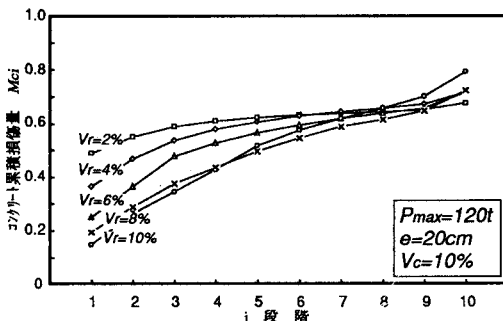


図-4 鉄筋の変動係数が累積損傷量に与える影響

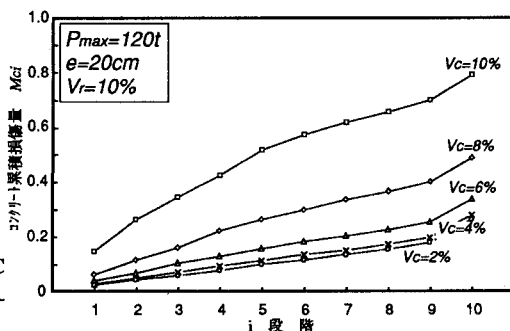


図-5 コンクリートの変動係数が累積損傷量に与える影響