

## V-302

## 多数本の引張鉄筋を有するRCはりの疲労性状

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 松本 信之

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 山住 克巳

## 1. はじめに

異形鉄筋の疲労強度は、既にコンクリート標準示方書等に設計式が与えられているが、これらは鉄筋単体あるいは比較的小数本の鉄筋を有するはりの疲労試験結果に基づいて定められている。一方、実橋りょうの主桁等にはかなり多くの引張鉄筋が配置されており、今後、信頼性設計や損傷許容設計の可能性を検討するためには、これらの本数効果についても把握する必要があると考える。

本稿は、多数本の鉄筋が配置された場合のRCはりの疲労性状に対する本数効果を把握することを目的として、実構造物をモデルとした10本の引張鉄筋を有するRCはりの疲労試験を行ったので、その試験概要を示し、また鉄筋単体の疲労強度特性を基に破壊力学的アプローチを用いて統計シミュレーションを行ったのでこれらについて報告するものである。

## 2. 試験概要と結果

試験は、10本の引張鉄筋を有する4体のはりの曲げ疲労試験(以下、「はり疲労試験」という)と25本の鉄筋の単純引張疲労試験(以下、「空中疲労試験」という)の2種類を行った。空中疲労試験に用いた鉄筋は、はり疲労試験に用いた鉄筋と同じロットから切出したものである。

図-1, 2にそれぞれはり試験体の寸法諸元および空中疲労試験体の寸法を示す。引張鉄筋は、SD35でD16を用いた。引張強度は、 $6,143 \text{ kgf/cm}^2$ であった。

繰返し荷重は、双方の試験とも一定振幅荷重とした。

はり疲労試験での測定は、動的に行った。

表-1 はり疲労試験結果の概要

| No. | 載荷荷重(t) |      | 鉄筋応力度(kgf/cm <sup>2</sup> ) |                 |                | 最初の鉄筋<br>破断        | 供試体破断               |
|-----|---------|------|-----------------------------|-----------------|----------------|--------------------|---------------------|
|     | Pmax    | Pmin | $\sigma_{\max}$             | $\sigma_{\min}$ | $\sigma_{r50}$ | Ni                 | Nf                  |
| 1   | 37.0    | 3.0  | 3734                        | 869             | 3337           | $1.63 \times 10^5$ | $2.59 \times 10^5$  |
| 2   | 35.0    | 3.0  | 3156                        | 827             | 2691           | $2.48 \times 10^5$ | $4.19 \times 10^5$  |
| 3   | 28.0    | 3.0  | 2642                        | 794             | 2122           | $7.47 \times 10^5$ | $1.394 \times 10^6$ |
| 4   | 25.0    | 3.0  | 2274                        | 752             | 1734           | $6.74 \times 10^6$ | $8.710 \times 10^6$ |

鉄筋応力度は、初期値      コンクリート圧縮強度は、 $362 \text{ kgf/cm}^2$

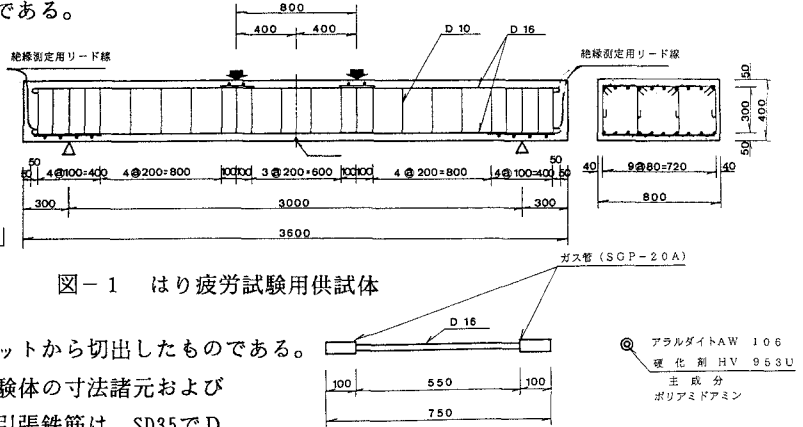


図-1 はり疲労試験用供試体

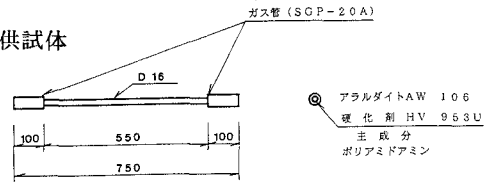


図-2 空中疲労試験用供試体

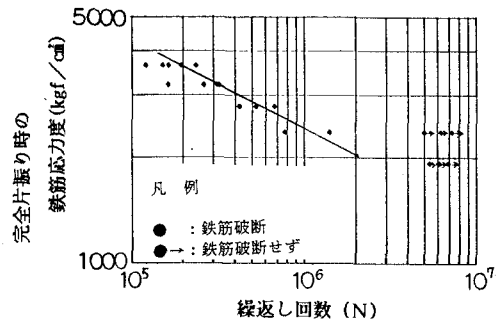


図-3 空中疲労試験結果

表-1に疲労試験の試験結果の概要を示す。また、図-3に空中疲労試験結果を示す。同図には破断した供試体のデータのみによるS-N曲線を同時に示す。これより、 $\log N = 20.13 - 4.188 \cdot \log S_r \dots (1)$ が得られた。また図-4に実験値( $\log N$ )と式(1)により求められる繰返し回数の残差を正規確率紙上に順序統計量に基づきプロットしたものを示す。プロット点が概ね直線で近似できると考えられるため、空中疲労試験による鉄筋の疲労寿命の対数は正規分布に従うと仮定した。これより標準偏差として0.105を得た。

図-5には試験体の測定値（桁中央での鉄筋応力度、たわみ、ひびわれ幅の最大値）の初期値と破壊時の繰返し回数（はりの疲労寿命）で無次元化した各測定値の増加の様子を示す。

これより、最弱の鉄筋が破断してから余命が認められること、また、繰返し回数に対する測定値の増加割合は、鉄筋の応力度のよりもたわみやひびわれ幅の方が大きい傾向がみられるが、いずれの荷重振幅に対しても、はりの疲労寿命の8割程度までは急激な変化がみられないことが認められた。

### 3. シミュレーション解析と試験結果の比較

線形破壊力学で用いられている疲労亀裂進展則（式2）と空中疲労試験結果を用いて、はり試験の疲労過程の解析を試みた。

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^m \quad \cdots (2)$$

$$\Delta K = S_r \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F \quad \cdots (3)$$

ここに、 $a$ : 亀裂長さ、 $N$ : 载荷回数、 $\Delta K$ : 応力拡大係数の振幅、 $C$ 、 $m$ : 材料により定まる定数（ $C=4.749 \cdot 10^{-19}$ 、 $m=4.188$ とした）、 $S_r$ : 応力振幅、 $F$ : 亀裂の位置や形状による補正係数（0.8775とした）

解析のフローを図-6に示す。一応力振幅に対して10,000回のモンテカルロシミュレーションを行い、各応力振幅での最弱鉄筋の寿命の平均値（ $N_{01}$ ）、およびはりの疲労寿命に相当する寿命の平均値（ $N_{10}$ ）により求めたS-N曲線（それぞれA線、B線）と、はり疲労試験結果および空中疲労試験によるS-N曲線（C線）を図-7に示す。A線は、はり試験体での最弱鉄筋の破断回数より若干大きな寿命を与えた。はりの疲労寿命はC線より小さく、B線による方がよりよく近似できると考えられた。また、解析による各寿命の標準偏差は比較的小さく、 $N_{01}$ に対しては0.057程度、 $N_{10}$ に対しては0.039程度となり、寿命のばらつきが小さくなる傾向があると考えられた。

### 4. まとめ

多数本の引張鉄筋を有するはりの疲労性状は、最弱の鉄筋が破断してから余命が認められる。空中疲労試験による平均寿命より寿命が小さい。たわみやひびわれ幅の増加は、はりの疲労寿命の8割程度までは急激な変化がみられない。破壊力学に基づいた数値解析によりその傾向が把握できる可能性がある。

最後に、供試体製作および測定にあたり前田建設工業㈱、オリエンタル建設㈱の方々にお世話になった事を記して感謝の意を表します。

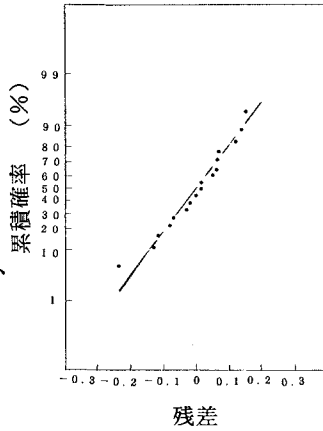


図-4 残差の分布

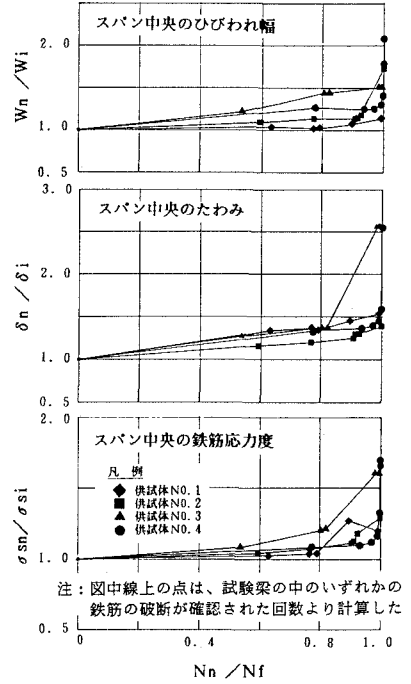


図-5 測定値の増加の様子

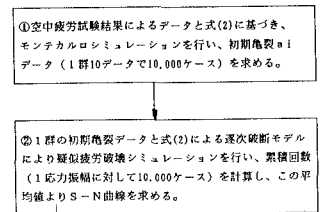


図-6 解析のフロー

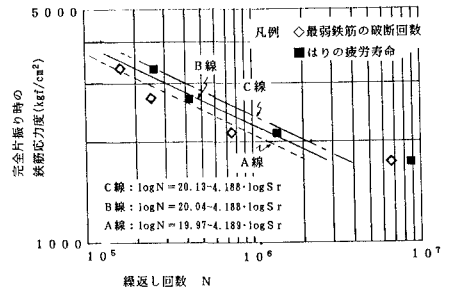


図-7 はり疲労試験結果と各S-N曲線の比較