

高強度鉄筋の引張疲労強度算定に関する一考察

東海旅客鉄道（株）* 正会員○吉田 幸司
 （財）鉄道総合技術研究所** 正会員 鎌田 卓司
 同 正会員 谷村 幸裕
 同 正会員 佐藤 勉

1. はじめに

近年、高性能材料として鉄筋の高強度化が検討され、実用化が図られてきているが、橋梁や高架橋等の土木構造物への適用には、鋼材（高強度鉄筋）の疲労強度特性を明確にする必要がある。一方、現行基準¹⁾²⁾の疲労強度算定式は、JISに規定される鉄筋を対象とし、SD290～SD490の既往の疲労試験データ213を整理した二羽らの研究³⁾を元に、95%の信頼限界（安全係数1.2程度）で、鉄筋のS-N線の傾き k 、切片 α_r を定めた算定式である。本検討では、既往の疲労強度算定式¹⁾（式（1））への高強度鉄筋の適用可否を検討する。

$$f_{srd} = \frac{10^{\alpha_r}}{N^k} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{f_{suk}} \right) / \gamma_s \quad (1)$$

ここに、 f_{srd} ：母材の設計引張疲労強度（N/mm²）

N ：疲労寿命（回）、 $\alpha_r=3.09-0.003\phi$ 、

ϕ ：鉄筋の直径（mm）、 $k=0.12$ 、

σ_{\min} ：鉄筋の最小引張応力度または永久荷重作用時の設計応力度（N/mm²）、 f_{suk} ：鉄筋の引張強度の特性値（N/mm²）、 γ_s ：鉄筋の材料係数

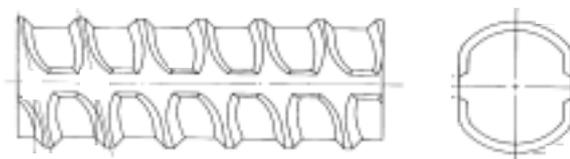


図1 検討に用いたSD685相当の鉄筋形状

2. 検討に用いた高強度鉄筋（SD685相当）

高強度鉄筋は、一般に、軸方向鉄筋用にSD685相当、せん断補強筋用にSD785、1275相当が用いられ、鉄筋強度（機械的性質なども）が目的別に区分される。本検討では、軸方向鉄筋用のSD685相当を対象に、高強度鉄筋単体の疲労試験及び既往の疲労試験データ26ケース（破断：22、未破断：4）を用いた。いずれも同種高炉鉄筋メーカーの高強度鉄筋（図1）である。また、表1に疲労試験結果の一覧を示す。疲労試験は、正弦波（載荷周波数5～10Hz）にて引張側での片振りの荷重制御で実施した。

表1 検討に用いた疲労試験結果の一覧

No.	鉄筋径 D(mm)	繰返し回数 N(回)	完全片振り時の 疲労強度 fsrexp(N/mm ²)	備考	No.	鉄筋径 D(mm)	繰返し回数 N(回)	完全片振り時の 疲労強度 fsrexp(N/mm ²)	備考
R1	19	761,460	200	破断	411	41	59,700	390	破断
R2	19	417,400	260	破断	412	41	76,000	346	破断
191	19	82,600	389	破断	413	41	125,000	293	破断
192	19	143,000	338	破断	414	41	260,000	243	破断
193	19	208,000	293	破断	415	41	565,000	196	破断
194	19	450,000	245	破断	416	41	2,000,000	169	未破断
195	19	890,000	217	破断	511	51	113,000	292	破断
196	19	2,000,000	191	未破断	512	51	185,000	243	破断
381	38	144,000	298	破断	513	51	325,000	219	破断
382	38	221,000	264	破断	514	51	490,000	194	破断
383	38	390,000	246	破断	515	51	1,110,000	170	破断
384	38	570,000	229	破断	516	51	2,000,000	155	未破断
385	38	1,010,000	212	破断					
386	38	2,000,000	195	未破断					

※No.191～516は文献4

Keyword 高強度鉄筋, 引張疲労強度, S-N線, 疲労試験

連絡先：* 〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33 tel：0568-47-5374 fax：0568-47-5364

** 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 tel：042-573-7281 fax：042-573-7282

3. 高強度鉄筋の S-N 線の検討

試験結果の傾向から、普通強度鉄筋と同様に、「疲労強度が鉄筋径の関数である」とみなせ、鉄筋径毎にグループ化して S-N 線の傾き k を算出した。傾きは $k=0.15\sim 0.23$ とばらつくものの、いずれも普通強度鉄筋の傾き $k=0.12$ より急となる。このことは、繰返し回数の大きい領域で危険側の評価となることを示唆している。そこで、鉄筋径毎の k 値から平均的な k 値をとり、 $k=0.16$ と設定した。この値は PC 鋼棒の S-N 線の傾きとして提案されている値と同じである¹⁾²⁾。

次に、S-N 線の傾きを $k=0.16$ とし、鉄筋径 ϕ の関数として切片を $\alpha_r=3.39-0.003\phi$ とした。これらの値をもって算定した計算値と実験値との比較を図 2 に示す。なお、図中には、未破断のデータについても試験終了時までの強度は有していると考え併記している。破断データのみに着目すれば、疲労強度の推定精度は、平均値 1.00、変動係数 9.4%であり、普通強度鉄筋の算定式とほぼ同等の推定精度（平均値 1.00、変動係数 9.6%³⁾）が得られた。

さらに、疲労強度算定を 95%の信頼限界（安全係数 1.2 程度）となるよう、切片 α_r を $\alpha_r=3.31-0.003\phi$ とすれば、式 (1) の普通強度算定式と同程度の精度と安全率で本検討に用いた SD685 相当の鉄筋の疲労強度算定が可能となる。図 3 に高強度鉄筋の検討式 ($k=0.16$, $\alpha_r=3.31-0.003\phi$) との実験値との比較例を示す。いずれの実験値も安全側に算定できている。

4. まとめ

本検討により、以下の知見を得た。

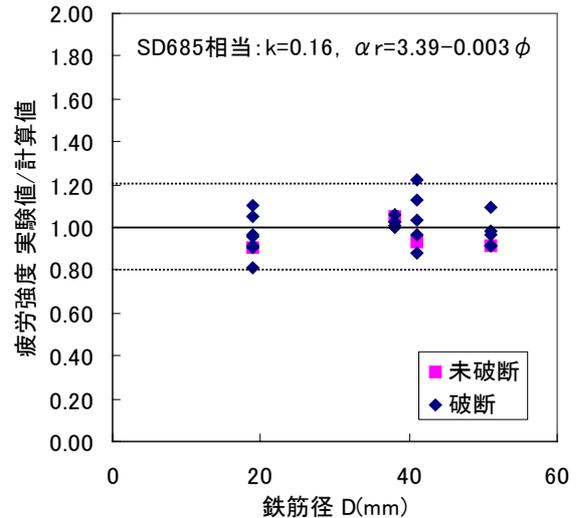
(1) 高強度鉄筋の疲労強度特性として、普通強度鉄筋より S-N 線の傾きが急であり、疲労強度算定式 (式 (1)) をそのまま用いることは危険側の評価となることが考えられるため、高強度鉄筋 (SD685 相当等) の疲労強度については、実際に使用する高強度鉄筋を用いた疲労試験、または信頼できる資料に基づいて定めるのがよい。

(2) 本検討に用いた SD685 相当の鉄筋については、S-N 線の傾きを PC 鋼棒のそれと同値の $k=0.16$ とし、切片 $\alpha_r=3.39-0.003\phi$ とし、算定することで、普通強度鉄筋と同等の安全率で疲労強度を算定できる。

5. 謝辞

本検討にあたり、貴重なデータならびに試験体をご提供頂いた鋼材メーカーの関係各位に謝意を表します。（参考文献）

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），pp.72-74，1999.11
- 2) 土木学会：2002制定コンクリート標準示方書（構造性能照査編），pp.39-41，2002
- 3) 二羽淳一郎，前田詔一，岡村 甫：異形鉄筋の疲労強度算定式，土木学会論文集No.354/V-2，pp.73-79，1985
- 4) 神戸製鋼所：「高強度鉄筋ネジコンUSD685B品質・継手性能」，1997.7



区分	平均値	変動係数	データ数
破断のみ	1.00	9.4%	22
未破断のみ	0.95	7.3%	4
全体	0.99	9.1%	26

図 2 実験値と $k=0.16$, $\alpha_r=3.39-0.003\phi$ による計算値の比と鉄筋径の関係

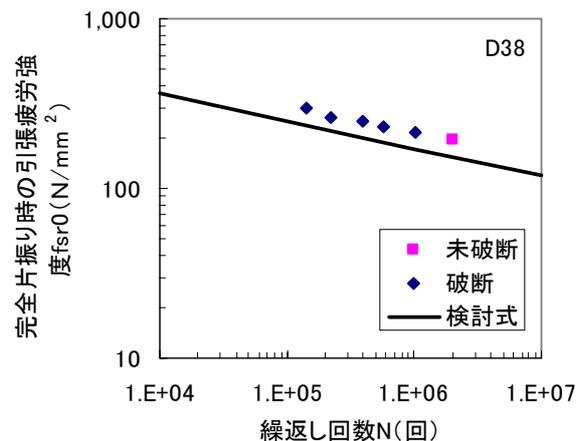


図 3 検討式 ($k=0.16$, $\alpha_r=3.31-0.003\phi$) と実験値との比較例 (D38)