

耐疲労鋼を用いた鋼製橋脚の終局時挙動（荷重-変位包絡線と累積塑性ひずみによる検証）

京都大学大学院工学研究科 学生員 横山 誠司 住友金属工業株式会社 正会員 利根川太郎
 京都大学大学院工学研究科 正会員 鈴木 康夫 京都大学大学院工学研究科 正会員 大島 義信
 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征 住友金属工業株式会社 川畑 友弥

1. 概要

兵庫県南部地震では、鋼製橋脚の損傷として、局部座屈や低サイクル疲労き裂、さらには倒壊などの被害が見られた。これらは、降伏応力を超えるような大きな地震力が繰り返し作用したために発生しており、低サイクル疲労と呼ばれている。したがって、安全な構造設計のために、低サイクル疲労におけるき裂の発生やその進展状況を把握することが求められている。

一方、近年さまざまな高性能鋼材が開発されている。そのひとつに、耐疲労鋼¹⁾がある。フェライトとベイナイトを適切に混合させることで、疲労き裂進展速度を1/2以下に抑制させることを実現した鋼材である。日本道路協会疲労設計曲線²⁾による等級で、一等級分以上の疲労強度向上を有することを別途実験にて確認している。このように、耐疲労鋼は、高サイクル疲労に対して、高い耐久性を有することが明らか

となっているが、低サイクル疲労に対する性能は明らかにされていない。

そこで本研究では、SM490Y規格に適合する耐疲労鋼および従来鋼を用いた鋼製橋脚の終局時挙動、すなわち低サイクル疲労強度を把握することを目的として、片持ち柱に対する水平の繰り返し荷重試験ならびに弾塑性有限変位解析³⁾を実施した。

2. 実験概要

本研究で用いた耐疲労鋼および従来鋼の化学成分を表-1に、SEMによる組織例を図-1に、応力-ひずみ曲線を図-2に示す。

供試体の概略図を図-3に示す。なお、供試体の寸法は、表-2に示すとおりである。本実験における荷重方法は、降伏変位 δ_{y0} を基準とし、 $\pm \delta_{y0}$ 、 $\pm 2\delta_{y0}$ 、 $\pm 3\delta_{y0}$...と漸増させながら繰り返し水平荷重を荷重し、供試体にき裂が発生・進展し、復元力が大きく低下する時点まで荷重を継続した。

3. 実験結果

耐疲労鋼と従来鋼の荷重-変形履歴曲線の包絡線を図-4に示す。曲線の面積比較より、耐疲労鋼は、地震時

表-1 供試材の化学成分[mass%]

Mark	規格	C	Si	Mn	Others	製造法
耐疲労鋼	SM490Y	0.04	0.43	1.50	Cr,Nb	制御圧延・冷却
従来鋼	SM490Y	0.17	0.33	1.34	-	圧延まま

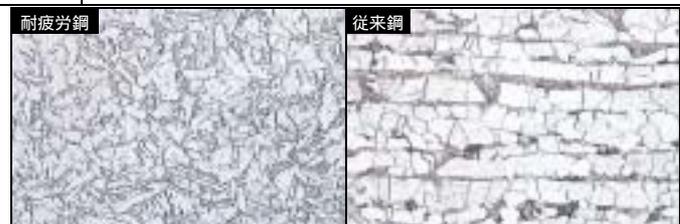


図-1 ミクロ組織（1/4t, L断面, ×500）

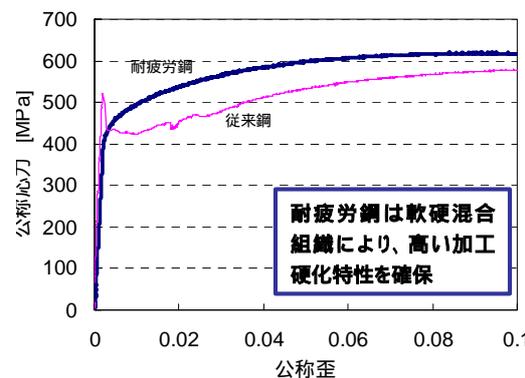
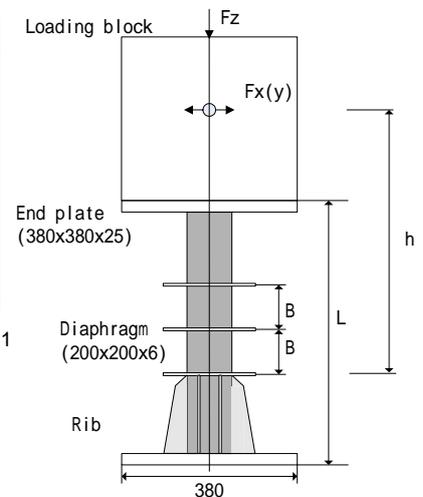
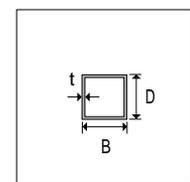


図-2 応力-ひずみ曲線



(a) 側面図



単位:mm

(b) 断面図

図-3 実験供試体

キーワード 低サイクル疲労, 鋼製橋脚, 局部座屈, き裂

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-4791

の吸収エネルギーが優れていることが判る。

座屈の発生は、耐疲労鋼において、 $5\delta_{y0}$ へ载荷中、従来鋼において、 $6\delta_{y0}$ へ载荷中であつた。そのあと、荷重が緩やかに低下し、耐疲労鋼では、 $-13\delta_{y0}$ へ载荷してもき裂の発生は確認できなかったが、そのあと荷重を除荷した段階でき裂が発生した（写真 - 1）。一方、従来鋼では、 $-12\delta_{y0}$ へ载荷中に基部に 10mm 程度のき裂が発生し、そのあとき裂が母材へと進展し、急激に耐力が低下したため、実験を終了した（写真 - 2）。このため、耐疲労鋼が、従来鋼に比べて低サイクル疲労き裂に対して優れた抵抗性を有していることを示している。

4．解析概要および結果

き裂発生位置での詳細な累積ひずみ量を把握するために、ABAQUS を用いて実験供試体に対して弾塑性有限変位解析を行った。図 - 4 に示すように、実験および解析による包絡線が一致するように鋼材の応力 - ひずみ特性を設定した。座屈発生部位およびき裂発生部位における塑性ひずみの時間増分を図 - 5 に示す。耐疲労鋼と従来鋼では、塑性ひずみの累積が明らかに異なり、耐疲労鋼の方が塑性ひずみの累積が明らかに遅い。このため、低サイクル疲労に対しても高い抵抗性を保持していると考えられる。

5．結論

荷重 - 変位曲線の包絡線に関しては、耐疲労鋼の方が従来鋼よりも最大耐荷力は大きい、座屈発生後の耐力低下・劣化剛性には有意の差はない。また、従来鋼では、橋脚基部近傍の溶接部の角部にき裂が生じたのに対して、耐疲労鋼では、局部座屈が大きく発生した母材にき裂が生じたが、き裂発生時の入力変位振幅は、耐疲労鋼の方が若干大きかった。以上のとおり、耐疲労鋼は従来鋼よりも低サイクル疲労き裂に対して抵抗性の高い鋼材であることが確認できた。

参考文献

- 1) 住友金属工業株式会社：Fatigue Crack Arrester 疲労特性に優れた厚鋼板, pamphlet
- 2) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針
- 3) ABAQUS, Inc：ABAQUS Analysis User's Manual, ABAQUS1, Inc

表 - 2 供試体の諸元

変数	記号	単位	耐疲労鋼	従来鋼
幅(x)	B	mm	96	103
幅(y)	D	mm	96	103
板厚	t	mm	5.71	6.2
有効高さ	h	mm	527.1	572.3
供試体高さ	L	mm	575	575
降伏応力	σ_y	N/mm ²	411	409
幅厚比パラメータ	R_f	-	0.4	0.4
細長比パラメータ	$\bar{\lambda}$	-	0.4	0.4

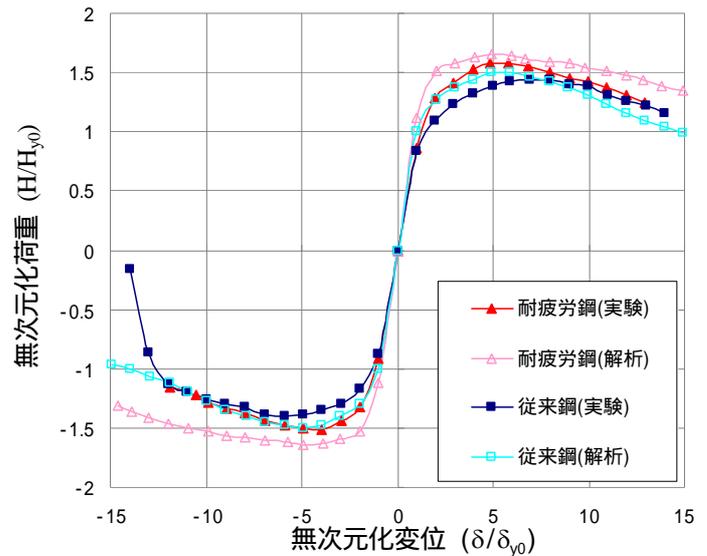


図 - 4 荷重 - 変位履歴曲線の包絡線



写真 - 1 耐疲労鋼のき裂状況



写真 - 2 従来鋼のき裂状況

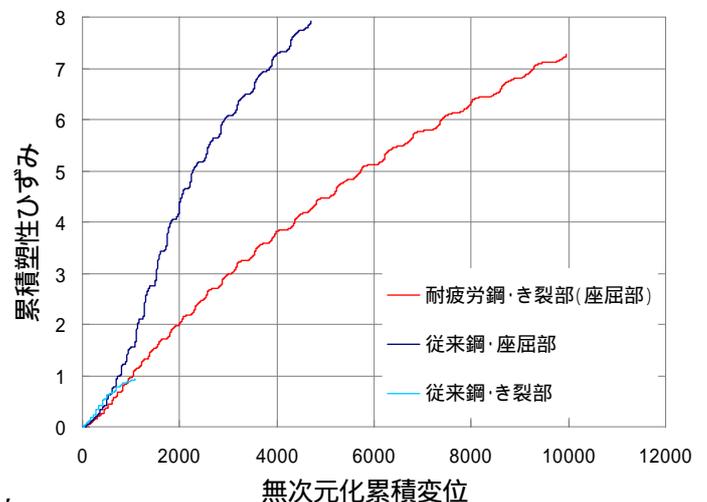


図 - 5 座屈およびき裂発生部位の累積塑性ひずみ