

耐疲労鋼を用いた鋼製橋脚の終局時挙動（終局安全性向上のための鋼材特性のありかた）

住友金属工業(株)

正会員○利根川太郎

住友金属工業(株)

川畑 友弥

住友金属工業(株)

有持 和茂

住友金属工業(株)

正会員 安藤 隆一

京都大学大学院工学研究科

正会員 杉浦 邦征

京都大学大学院工学研究科

学生員 横山 誠司

1. はじめに

その1では、フェライトとベイナイトの混合組織を持つ耐疲労鋼を用いた鋼製橋脚の終局時挙動と低サイクル強度を把握することを目的とした、水平一軸方向の繰り返し载荷試験結果について報告し、耐疲労鋼が従来鋼に比べ優れた終局時安全性を有することを確認した。ここでは、耐疲労鋼が優れた特性を示した理由を明らかにするため、またさらなる最適な橋脚用鋼材を提案することを目的として、パラメトリックなFEM解析による評価を通して、鋼材としてのあり方を検討する。

2. 実験供試鋼の特徴

耐疲労鋼は、一部の軟相（フェライト）と大部分の硬相（ベイナイト）による混合組織であり、従来鋼と同じSM490強度グレードに属するが、図-1に示すように、引張強さが高く、加工硬化能の大きい材料であると言える。

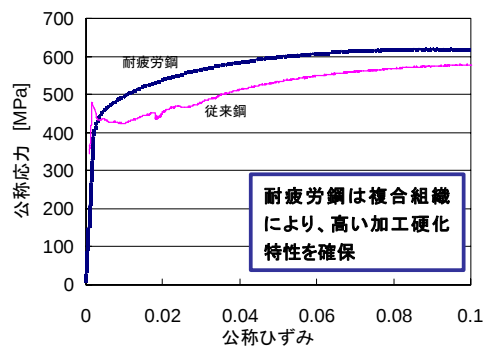


図-1 応力ひずみ曲線

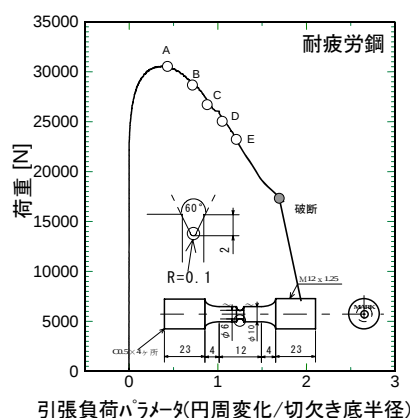


図-2 延性き裂発生特性評価（耐疲労鋼）

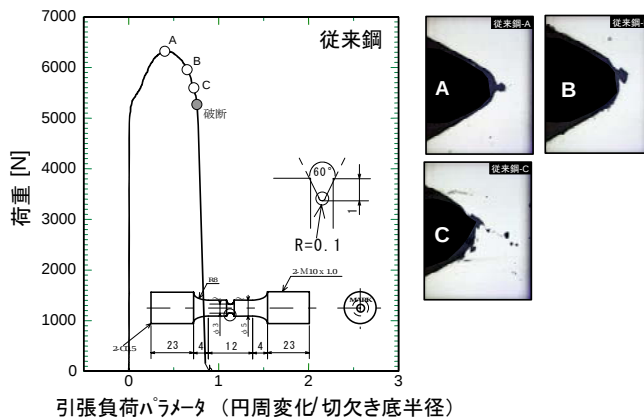


図-3 延性き裂発生特性評価（従来鋼）

また、図-2～3には $R=0.1\text{mm}$ の環状切欠き付き丸棒試験を引張载荷したときの荷重-変形パラメータ関係及び種々タイミグで途中止めしたときの延性き裂発生状況を示してある。最高荷重点での延性き裂発生有無の比較などからも、耐疲労鋼の延性き裂発生特性は従来鋼よりも良好であることが判る。さらに、延性き裂長さが $50\mu\text{m}$ に到達した時点延性き裂発生と定義し、その時点でのひずみを延性き裂発生限界ひずみとして、FEM解析により求め、比較したものを図-4に示す。耐疲労鋼の延性き裂発生限界ひずみは、従来鋼の2倍以上を示した。

橋脚の終局安全性向上に対し、耐疲労鋼に備わっている、高い加工硬化特性と高い延性き裂発生特性の両者が奏功している可能性が指摘できる。

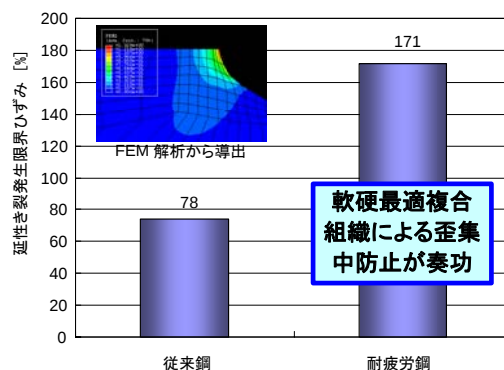


図-4 延性き裂発生ひずみ評価結果

Key Words ; 鋼製橋脚, 座屈, 延性き裂発生, 耐疲労鋼, 混合組織

〒541-0041 大阪市中央区北浜4丁目5番33号 TEL 06-6220-5630 FAX 06-6220-5912

3. 橋脚の耐座屈性・地震吸収エネルギーに及ぼす加工硬化特性の影響調査

橋脚の耐震性にとって、橋脚に適用する鋼材の加工硬化特性は重要な意味を持つ可能性が示唆された。ここでは、加工硬化特性の影響のみに着目した検討を行うため、FEM解析を用いた検討を行った。メッシュ分割、解析条件などは図-5中に示すとおりである。FEMに用いる構成式は、表-1、図-6に示すように耐疲労の応力ひずみ曲線をベースとし、弾性完全塑性条件も含め、加工硬化特性を3段階に変化させた。なお、解析の精度については、载荷の正負交番時に生じるバウシング効果を複合硬化則形式で取り込んだ材料構成式を用いることで、実験で得られた荷重-変位関係と良好な一致を示すことを第1報で確認している。

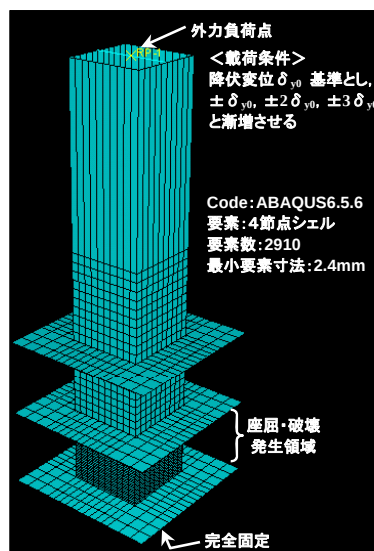


図-5 FEメッシュと解析条件

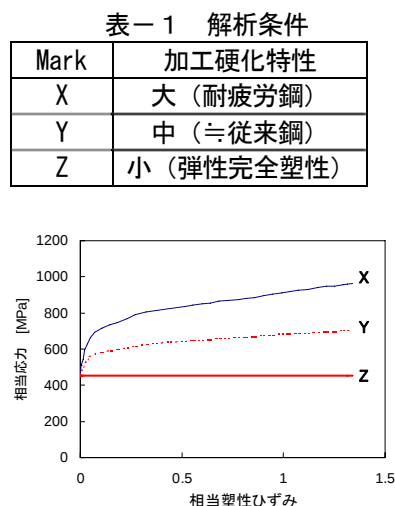


図-6 FEM解析に用いた真応力-真ひずみ関係

荷重-変位関係について、比較したものを図-7に示す。加工硬化量増大により、座屈開始点が遅くなるほか、弾性領域を除く全領域において、顕著な耐荷力の上昇が見られることが判った。これらの結果から、加工硬化特性の増加により地震時の吸収エネルギーの増加が期待できる。

4. 延性き裂発生に及ぼす加工硬化特性と限界ひずみの影響

耐荷力急減により橋脚の終局安全性に大きな意味を持つ、延性き裂発生特性に関する検討を行う。延性き裂発生限界に到達するまでの損傷量については、バウシング効果による材料損傷に対し無効なひずみを無視した有効相当塑性ひずみ概念¹⁾による評価法を用い、実験でのき裂発生点である座屈部における損傷の推移を検証した。その結果（図-8）、加工硬化特性の上昇は有効相当塑性ひずみの局部集中を緩和する、つまり、同じ延性き裂発生限界特性を仮定しても、延性き裂発生時期を遅らせる効果を有することが判った。

耐疲労鋼は延性き裂発生限界特性も極めて優れているので、加工硬化特性大との重畳効果により、地震時終局時安全性に寄与する。

5. 結論

耐疲労鋼を適用することによる橋脚終局安全性向上は、素材の加工硬化特性と優れた延性き裂発生特性の重畳効果に依るものであることを明らかにした。今後は、更に二軸負荷等で実際の地震時の挙動調査を実施していく。

参考文献 1) 大畑 充, 横田昌樹, 広野正彦, 安田 修, 豊田政男: 繰返し荷重下での構造用鋼の延性き裂発生クライテリオン—大変形繰返し荷重下での鋼構造部材の延性き裂発生限界評価（第1報）—, 溶接学会論文集, 第21巻, 第4号, pp.592-602(2003).

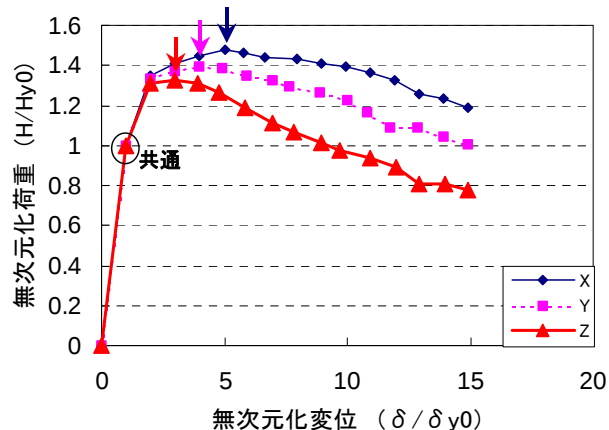


図-7 無次元化荷重-変位関係の包絡線（FEM；第一象限のみ）

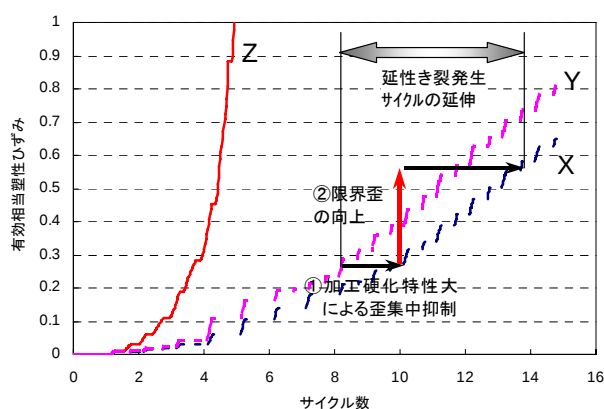


図-8 座屈部の延性き裂発生特性に及ぼす加工硬化特性と限界ひずみの影響