

大阪大学大学院 学生員○宮崎 靖大

大阪大学大学院 正会員 奈良 敬

大阪大学大学院 正会員 小野 潔

1. まえがき

高強度鋼を構造物に活用することで、普通鋼を用いた構造物に比べ断面の軽量と縮小が図れるため長スパン化や工期の短縮が期待される。しかし、一般的に高強度鋼は普通鋼に比べて靱性や延性に劣るため、レベル 2 地震動などの大きな繰り返し荷重を受けた場合、塑性化後のひずみ硬化による強度の上昇や過度の塑性変形は期待できない。また、断面の縮小による剛性の低下は、地震時の変形挙動を大きくすることも予測される。さらに、高強度鋼を土木構造物に使用する際に現状の設計法¹⁾が適用できるかも明確でない。本研究では、鋼材の大きな特徴である高強度を活かして、高強度鋼を構造部材へ活用するため、超鉄鋼を対象にした材料試験から塑性履歴特性に関する基礎データを収集し、既往の構成式の適用性について検討したので報告する。

2. 研究方法

超鉄鋼の材料特性を明らかにし、既往の構成式の適用性を照査するため、文献 2) で示される構成式に関する材料パラメータを決定する 3 種類の試験を行う。試験は、単調載荷試験、弾性域の減少に関する繰り返し試験、両振り繰り返し試験である。

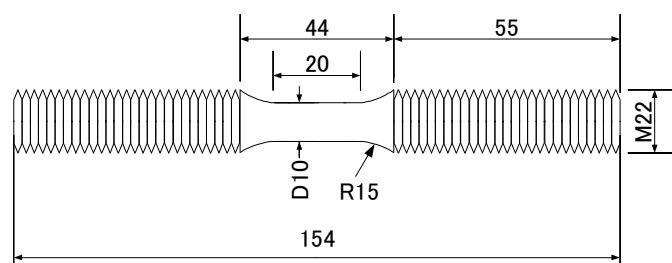


図-1 材料試験片

試験片は、図-1 に示す繰り返し載荷材料試験用の丸棒試験片を用いた。超鉄鋼として、降伏比が約 1.0 の ST 材と降伏比が約 0.9 の J 材の 2 種類を用いた。実験装置として、島津サーボパルサー（容量 100kN）を使用し、試験片を治具にねじ込み固定した。荷重はサーボパルサーに内蔵されたロードセル、ひずみは試験片の平行部に取り付けた伸び計およびひずみゲージによりそれぞれ測定する。

3. 実験結果と考察

単調載荷試験により得られた超鉄鋼の真応力と真ひずみの関係を図-2 に示す。比較のため、SM490 の結果を図中に示している。同図から、超鉄鋼の強度は SM490 の約 2 倍であることがわかる。また、超鉄鋼における塑性域に着目してみると、わずかなひずみ硬化が発生し、軟化現象は生じていないことがわかる。このことから、普通鋼と同じ成分元素から造られる超鉄鋼は、塑性域での特性は若干のひずみ硬化による強度の上昇が期待できるといえる。表-1 は、同試験で得られた超鉄鋼の機械的性質を示している。表中の降伏応力 σ_y は下降伏応力、 σ_{el} は超鉄鋼の弾性限における応力を表す。

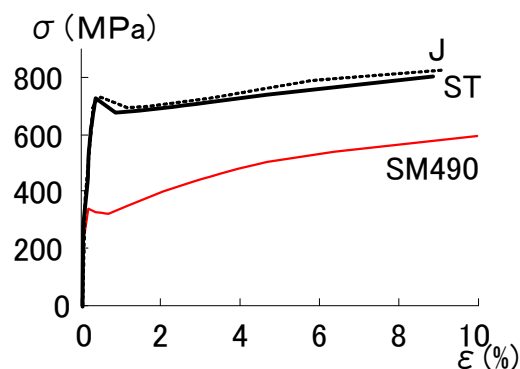


図-2 応力 σ とひずみ ε の関係

表-1 機械的性質

鋼種		E (GPa)	σ_y (MPa)	σ_{el} (MPa)	降伏比
超鉄鋼	ST材	207	667	587	0.99
	J材	205	693	564	0.92
SM490		206	325	—	0.64

次に、図-3 に示すような小さなひずみステップでの除荷と載荷を繰り返す試験により、超鉄鋼の繰り返し塑性履歴に伴う弾性域の減少を調べた。同図の縦軸は真応力 σ 、横軸は塑性ひずみ ε^p を示している。図中の太線で示す弾性域の大きさ κ は、除荷開始点からの 0.01% オフセット法によって求めた。こうし

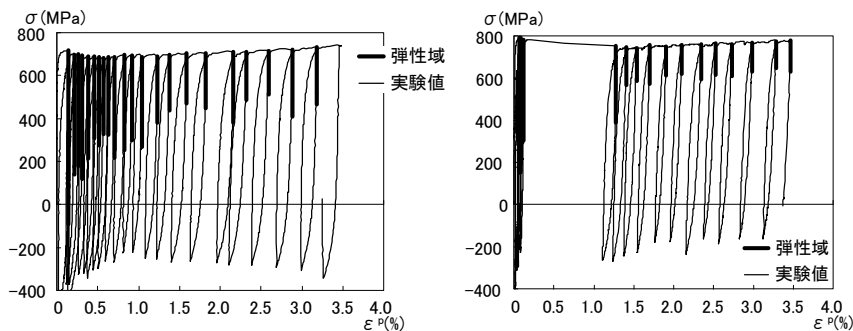


図-3 弾性域の減少に関する試験

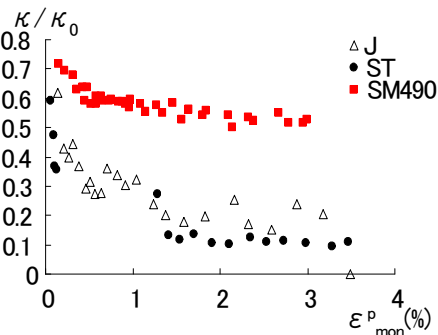


図-4 弾性域の減少

て求まった弾性域の大きさ κ を初期の弾性域 κ_0 (SM490 では降伏応力の 2 倍, 超鉄鋼では弾性限の 2 倍) で無次元化した値と単調載荷曲線上での塑性ひずみ ε_{mon}^p との関係を図-4 に示す. 同図より, 超鉄鋼の弾性域の大きさ κ は, 単調載荷曲線上での塑性ひずみ ε_{mon}^p が 0.5% 付近で一定となる SM490 に比べ, 3 倍程度大きい 1.5% 付近から一定に収まっていることがわかる. また, 超鉄鋼の弾性域の大きさ κ が一定となる値は, ST 材の場合で初期の弾性域 κ_0 の 10% 程度, J 材で 20% 程度と, SM490 に比べて非常に小さくなっている.

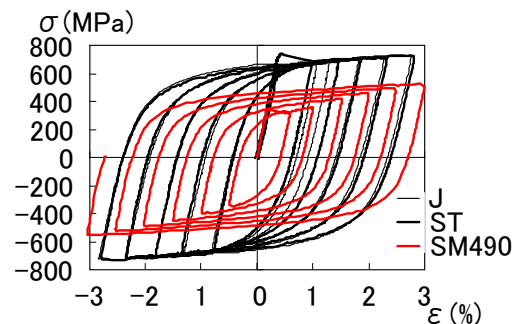


図-5 両振り実験

超鉄鋼の繰り返し荷重に対する塑性履歴特性を明確にするため, 図-5 に示すような両振り試験を行った. この結果を基にして, 既往の構成式に超鉄鋼が適用できるかを照査するため, 非線形遷移領域における応力と塑性ひずみの関係を図-6 にまとめる. 超鉄鋼と SM490 を比較してみると, 超鉄鋼は SM490 に比べ 2 倍以上の応力となっているものの, その傾向はよく似ていることがわかる. これより, 既往の構成式が適用できるものと考えられる. 図-7 は, 文献 3) と同様に, 両振り試験から得られた引張側での反復点の応力 σ を初期の反復点である 0.5% ひずみでの応力 $\sigma_{0.5}$ で無次元化した値とひずみ ε の関係を示している. 同図から, 超鉄鋼はひずみの進行とともにわずかな応力の上昇が確認できる. これより, 本研究で行ったひずみレベルに対しては, 超鉄鋼の軟化現象は現れないことがわかる.

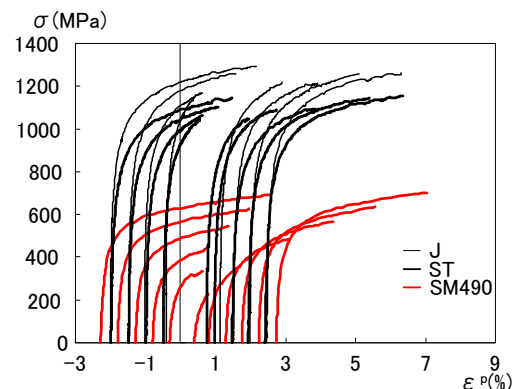


図-6 非線形遷移領域

4. まとめ

本研究では, 超鉄鋼材料の塑性履歴特性を試験により明らかにした. 本研究で得られた内容は次の通りである. (1) 弾性域の減少は, 単調載荷曲線上における塑性ひずみが約 1.5% になる付近で一定となる. (2) 弾性域が一定となる値は初期の弾性域の 10%~20% 程度であり, SM490 に比べると非常に小さい値となる. (3) 超鉄鋼と SM490 の非線形遷移領域の形状は同様の傾向を示す. 今後, 材料試験より得られたこれらのデータを精査し, 超鉄鋼に関する構成式の材料パラメータを決定し, その適用性を確認する予定である.

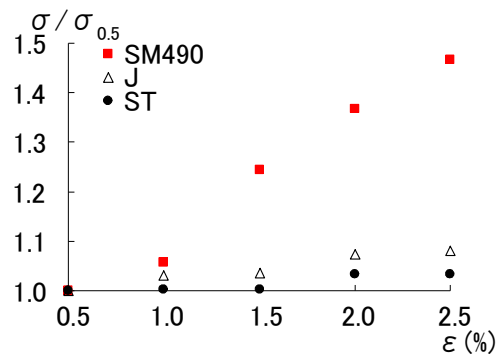


図-7 応力増加量

参考文献 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・解説, II. 鋼橋編, 丸善, 2002.3. 2) 鈴木雄大, 小野潔, 池内智行, 岡田誠司, 西村宣男, 高橋実: 実用的な鋼材の構成式の開発, 第 6 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.351-358, 2003.1. 3) 小野潔, 奈良敬: 超鉄鋼の素材特性, 第 9 回超鉄鋼ワークショップ, 物質・材料研究機構, pp.79-80, 2005.7.