

SM570 の構成則に関する実験的研究

早稲田大学創造理工学研究科 学生員 ○川井 健吾 早稲田大学創造理工学研究科 正会員 小野 潔
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 市川 尚樹 大阪市立工業研究所 非会員 山田 信司
 IHI インフラシステム(株) 正会員 岡田 誠司

1. まえがき

鋼構造物の耐震性能を評価するには幅広いデータの蓄積が必要である。しかしながら実験のみによって情報の蓄積を行うのはコスト等の問題から難しい。既往の研究¹⁾によって鋼材の繰返し塑性履歴を精度よく表現することができる構成則を用いれば、弾塑性有限解析により荷重-変位の履歴特性を精度よく再現できることが明らかになっているが、橋梁用鋼材である SM570 材の繰返し塑性履歴に関する情報は SM490 等と比較すると未だ絶対的に不足している状況にある。そのため本稿では SM570 の繰返し載荷材料試験を行い、鋼材の繰返し履歴特性の把握を行うとともに、著者らにより提案されている構成則の決定を行った。さらに既往の研究²⁾における SM570 と同等の引張強度を有する SBHS500 の構成則との比較も行った。

2. 構成式の概要

構成式の概要を以下に示す。単調載荷曲線の模式図を図-1(a)に、繰返し載荷経路の模式図を図-1(b)に示す。図-1(b)の点 0~8 は図-1(a)の点 0~8 に対応している(ただし点 4, 7 を除く)。図-1(b)において、一軸状態における塑性履歴曲線の真応力-塑性ひずみの関係を 0-1 の初期弾性域、1-3, 5-6, 8 以降の単調載荷曲線に準ずる領域、3-5, 6-8 の遷移領域に分け、さらに単調載荷曲線に準ずる領域を 1-2 の降伏棚、2-3, 5-6, 8 以降のひずみ硬化開始後の領域に、遷移領域を 3-4, 6-7 の弾性域、4-5, 7-8 の非線形遷移領域に分けて表現している。以下に各領域における構成式と定数を表現する式を示す。詳細は文献 1) を参照されたい。

$$\text{・ 単調載荷曲線に準ずる領域} \quad \sigma = \frac{E_{st}^P}{b} e^{ae^{P*}_{mon}} \ln(1 + b\epsilon^{P*}_{mon}) + \sigma_y \quad (1)$$

$$\text{・ 弾性遷移領域} \quad \frac{\kappa}{\kappa_0} = \frac{1-c}{(\epsilon^{P*}_{mon} + 1)^n} + c \quad (2)$$

$$\text{・ 非線形遷移領域} \quad E^P = \frac{dy}{dx} = E^P_0 + (1+m)^2 \left(E^P_0 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon^P} \right) \left(\frac{x}{\Delta\epsilon^P} \right)^m \ln \left(\frac{x}{\Delta\epsilon^P} \right) \quad (3)$$

$$\Delta\epsilon^P = \frac{e}{d} \sqrt{(\epsilon^{P*}_{mon})^2 + 2d\epsilon^{P*}_{mon}} \quad (4) \quad m = \frac{f}{\epsilon^{P*}_{mon} + \{1 + \exp(g)\}f} - 1 \quad (5)$$

ここで、

κ : 弾性域の大きさ

κ_0 : 初期の弾性域の大きさ ($=2\sigma_y$)

$\Delta\epsilon^P$: 遷移領域の塑性ひずみの大きさ

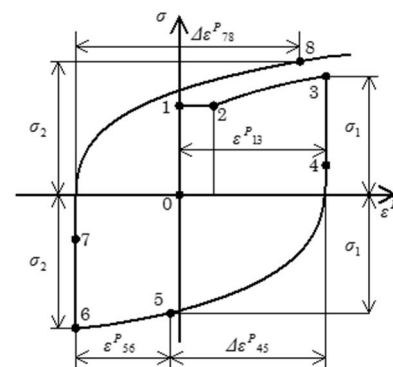
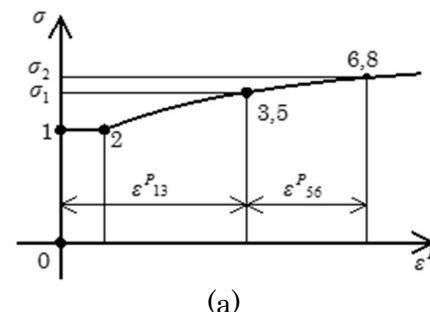
E_{st}^P : ひずみ硬化勾配

ϵ^{P*}_{mon} : ひずみ硬化開始点を原点としたときの単調載荷曲線上の塑性ひずみ

a, b, c, n, d, e, f, g : 鋼材によって決定する定数

3. 構成式に含まれる鋼材の構成則の決定

SM570 の繰返し塑性履歴を把握し構成式に含まれる材料定数を決定するために単調載荷実験 (図-2)、弾性域の大きさの減少を調べる実験 (図-3)、両振り実験 (図-4)



(b)

図-1 構成式の概要

キーワード SM570, 構成則, 繰返し載荷材料試験, SBHS500

連絡先 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学研究科建設工学専攻 TEL 03-5286-3387

の3種類の実験を実施した。また図-5には実験から得られた構成則の妥当性を確認するため、载荷パターンを変化させたランダム载荷試験結果とシミュレーション結果の比較を示した。図-5より、実験結果を数値シミュレーションにより良好に再現出来ており、文献1)で提案される構成則でSM570の塑性履歴特性を再現できることがわかる。続いて本稿の実験結果と既往の研究²⁾で得られたSBHS500の実験結果との比較を行った。図-6、図-7、図-8には単調载荷領域を表す構成式(式(1))、弾性域の大きさの減少に関する構成式(式(2))、非線形遷移領域を表す構成式(式(4))を示す。図-6より単調载荷領域に関する比較では、SM570がSBHS500よりもひずみ硬化による応力の増加の割合が小さいことがわかる。図-7より、弾性遷移領域に関する比較ではSM570がSBHS500よりも弾性域の大きさの減少の割合が大きいことがわかる。図-8から非線形遷移領域に関する比較では、SBHS500はSM570よりも同一ひずみに対する非線形遷移領域の塑性ひずみの大きさ $\Delta \epsilon^p$ が小さくなることがわかる。このことからSBHS500はSM570に比べて非線形遷移領域において荷重を反転させた際に、ひずみの変化がより小さい段階で単調载荷曲線に準ずる領域に移行しやすく繰り返しの伴う応力の上昇がより大きい傾向にあることがわかった。なお、SM570、SBHS500に関する研究は既往の研究でいくつかは検討されているが未だ情報が絶対的に不足している状況にある。従ってSM570、SBHS500ともに今後更にデータを蓄積する必要がある。

4. まとめ

繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の繰り返し履歴特性の把握を行うためSM570の繰返し载荷材料試験を実施し、実験結果から鋼材の構成則を決定した。また決定した構成則を用いた数値シミュレーション結果と実験結果の比較により、本稿で決定した構成則を用いてSM570の繰返し塑性履歴を精度よく表現できることが確認できた。比較結果では本稿で対象にしたものに関してはSBHS500のほうがSM570に比べて繰返し载荷時に繰返し回数に応じて履歴ループが増大しやすい傾向にあることがわかった。

【参考文献】

- 1) 西村宜男, 小野潔, 池内智行: 単調载荷曲線を基にした繰返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式, 土木学会論文集, No.513/I-31, pp.27-38, 1995年4月.
- 2) 橋本祥太: SBHSを用いた溶接箱型断面鋼長柱の耐力および変形能に関する研究, 大阪大学修士論文, 2014.2.

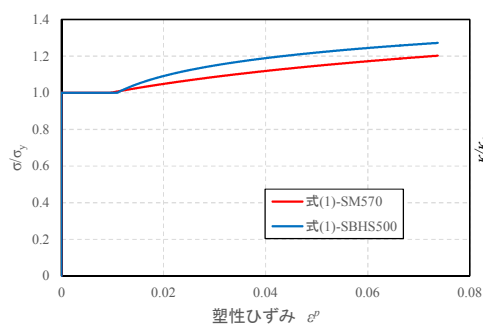


図-6 単調载荷曲線

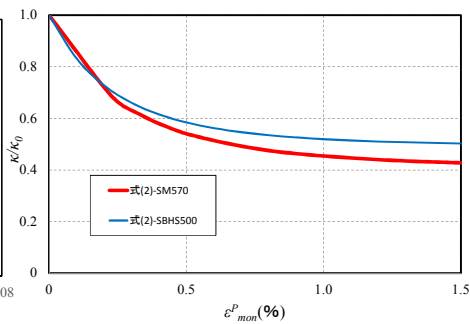


図-7 弾性域の大きさ κ の減少

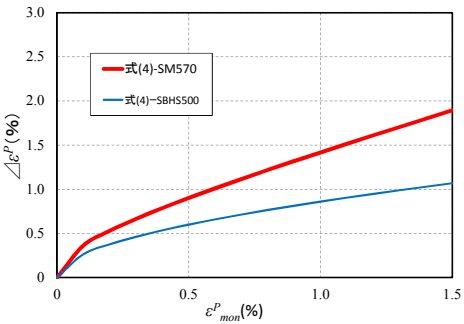


図-8 ϵ^p_{mon} - $\Delta \epsilon^p$ 関係

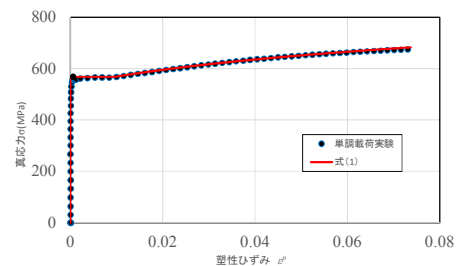


図-2 単調载荷実験

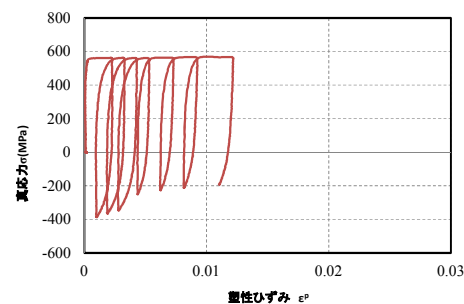


図-3 弾性域の減少の大きさを調べる実験

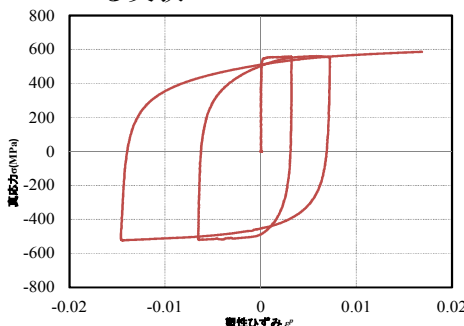


図-4 両振り実験

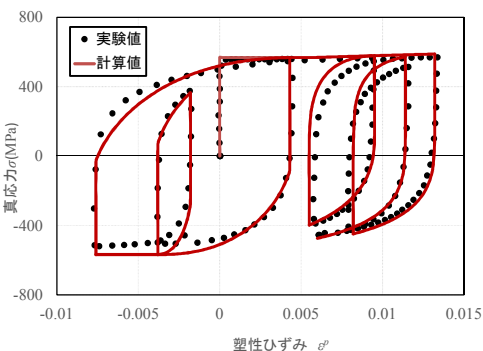


図-5 ランダム载荷実験