

SBHS400 の構成則に関する検討

大阪大学工学部 学生員 ○山東 寛司 大阪大学大学院工学研究科 正会員 小野 潔
 大阪市立工業研究所 非会員 山田 信司 長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛
 長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大 大阪大学大学院工学研究科 学生員 橋本 祥太

1. 目的

既往の研究¹⁾によって、鋼材の塑性履歴特性を精度よく再現できる構成則を用いることで、鋼部材の弾塑挙動を有限要素法などの数値解析で正確に再現できることが明らかになっている。そのため鋼材の繰り返し載荷材料試験を行い、塑性履歴特性を明らかにし、構成則を開発する必要がある。

そこで本稿では SBHS400 の繰り返し載荷材料試験を行い、鋼材の繰り返し塑性履歴特性を明らかにした。またその上で試験結果から既往の構成式に含まれる材料定数を決定し、繰り返し塑性履歴特性および構成則の把握を行った。また既往の研究²⁾における 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。図 - 1 (b)の点 0~8 は図 - 1 (a)の点 0~8 に対応している(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)および文献 2)を参照されたい

・ 単調載荷曲線を表す式：
$$\sigma = \frac{E_{st}^P}{b} e^{ae_{mon}^{P*}} \ln(1 + be_{mon}^{P*}) + \sigma_y \quad (1)$$

・ 弾性遷移領域を表す式：
$$\frac{\kappa}{\kappa_0} = \frac{1-c}{(\epsilon_{mon}^{P*} + 1)^n} + c \quad (2)$$

・ 非線形遷移領域を表す式：
$$E^P = \frac{dy}{dx} = E_0^P + (1+m)^2 \left(E_0^P - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon^P} \right) \left(\frac{x}{\Delta\epsilon^P} \right)^m \ln \left(\frac{x}{\Delta\epsilon^P} \right) \quad (3)$$

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

ここで、

E_{st}^P : ひずみ硬化勾配,

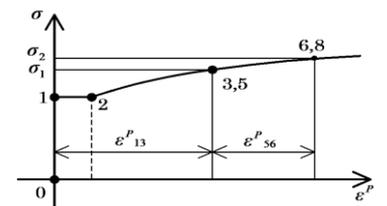
$\Delta\epsilon^P$: 遷移領域の塑性ひずみの大きさ,

κ_0 : 初期の弾性域の大きさ(=2 σ_y)

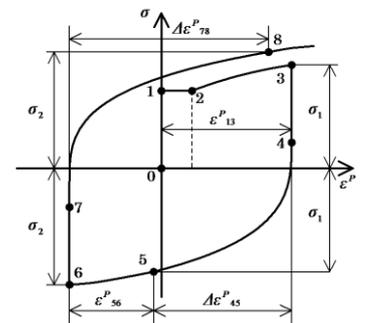
κ : 弾性域の大きさ,

ϵ_{mon}^{P*} : 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



(a)



(b)

図-1 構成式の概要

キーワード SBHS, 降伏比, 繰り返し載荷材料試験, 構成則,

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科総合工学専攻 TEL06-6879-7598

3. 鋼材の構成則

構成式に含まれる材料定数を決定するため、単調荷重実験(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)の3種類の実験を行った。繰り返し荷重材料試験については大阪市立工業研究所のデジタル油圧サーボ式材料試験機(インストロン8801型)で行った。また図-5に求めた構成則の妥当性の検証をするために構成式による数値シミュレーション結果とランダム荷重実験結果との比較を行った。図-5より決定した構成則でSBHS400の繰り返し塑性履歴特性を精度よく表現できていることがわかる。また、図-6、図-7、図-8にSBHS400およびSBHS500各々の単調荷重曲線を表す構成式(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。今回比較したデータについては、図-6からSBHS400の方が、ひずみ硬化による応力の増加分が大きい傾向がみられた。図-7、図-8から、弾性域の減少の大きさ κ は概ね一致しているが、同一ひずみでの非線形遷移領域の塑性ひずみの大きさ $\Delta \epsilon^P$ はSBHS400の方が小さい傾向がみられた。このことからSBHS400の方が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荷重曲線に準ずる領域に移行しやすいことがわかる。これはひずみ硬化の影響によって、繰り返し荷重時に繰り返し回数に応じて応力が増大しやすいという傾向を示している。なお現状ではSBHS400、SBHS500いずれについても繰り返し塑性履歴特性、構成則に関するデータは不十分なので今後更にデータの蓄積を行う必要がある。

4. まとめ

本稿ではSBHS400の繰り返し荷重材料試験を行い塑性履歴特性を明らかにし構成則の決定を行い、またSBHS500との比較も行った。決定した構成則はSBHS400の塑性履歴特性を適切に表現できていることがわかった。また比較結果より本稿で対象とした鋼材についてはSBHS400の方がSBHS500より繰り返し荷重時に繰り返し回数に応じて応力が増大しやすい傾向があることがわかった。

5. 謝辞

本研究の一部「日本鉄鋼連盟 鋼構造研究・教育助成事業(一般テーマ研究)」により実施したものです。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1)西村宣男, 小野潔, 池内智行: 単調荷重曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式, 土木学会論文集, No513/I-31, pp.27-38, 1995.4.
- 2) AN EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES AND CONSTITUTIVE EQUATION OF SBHS500, S. HASHIMOTO, K. ONO and S. OKADA, Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), 2013.9.

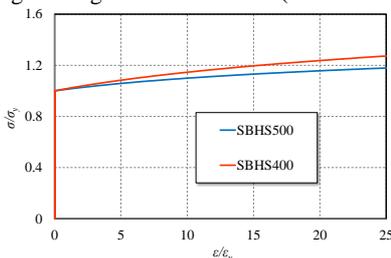


図-6 単調荷重曲線

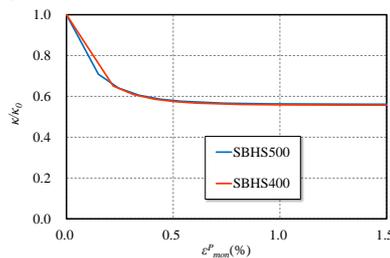


図-7 弾性域の大きさ κ の減少

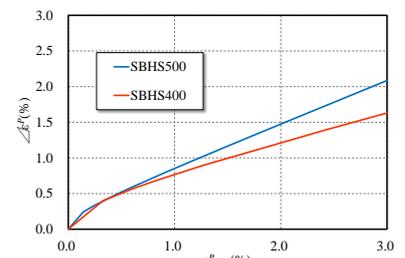


図-8 $\epsilon^P_{mon} - \Delta \epsilon^P$ 関係

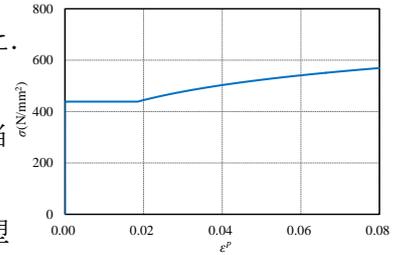


図-2 単調荷重実験

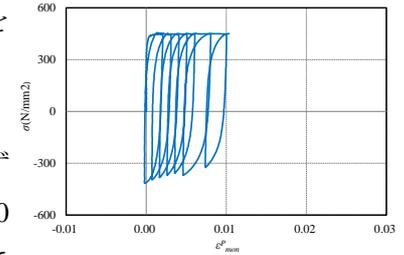


図-3 弾性域の大きさの減少を調べる実験

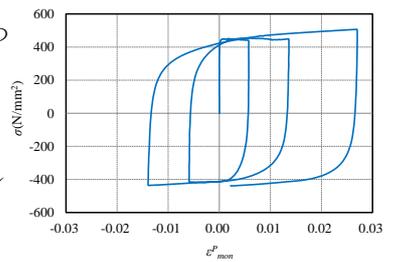


図-4 両振り実験

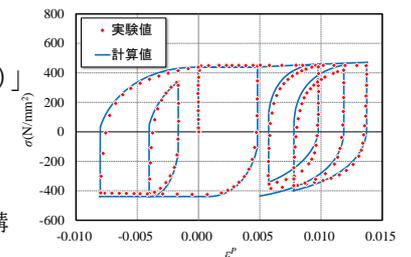


図-5 実験結果と解析結果の比較