

スパイラル鋼管(SKK490)素材の塑性履歴特性と構成式の適用について

大阪大学大学院工学研究科

学生員 ○ 藪本 篤

東京工業大学大学院理工学研究科

正会員 小野 潔

大阪大学名誉教授

フェロー 西村 宣男

大阪大学大学院工学研究科

正会員 奈良 敬

1. まえがき

公共構造物の建設コスト削減の観点から、従来鋼管杭として用いられてきたスパイラル鋼管を橋脚部材として活用することを考える。そこで、スパイラル鋼管の耐震性能を確認するため正負交番載荷実験を実施した¹⁾。ここで、鋼構造物の耐震性能を評価するためには幅広いデータの蓄積が必要であり、実験だけでデータの蓄積を行うのは現実的に不可能である。そのため、解析によってデータを補完する必要があり、その際に繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の応力-ひずみ関係を定義する構成式が必要となる。この構成式については西村ら^{2),3)}によって精度が高くかつ簡易な定式法が提案されている。この構成式を解析プログラムに組み込み、数値計算を行うことによって、繰り返し作用を受ける鋼構造物の挙動を明らかにすることを検討している。そこで、本報告ではスパイラル鋼管(SKK490)素材の繰り返し塑性履歴を把握するとともに構成式の適用性を確認する。

2. 構成式の概要

構成式の概要を以下に示す。本研究で扱う構成式は、図-1(a), (b) に示すような一軸状態における塑性履歴曲線を真応力-塑性ひずみの関係で表現したものである。図-1(b) に示す繰り返し載荷曲線は、単調載荷曲線に準ずる領域(点 1-3, 点 5-6, 点 8 以降)、荷重反転時の遷移領域を弾性遷移領域(点 3-4, 点 6-7)と非線形遷移領域(点 4-5, 点 7-8)に分けている。点 4, 7 を除くこれらの点は同図(a) に対応している。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 2) 及び 3) を参照されたい。

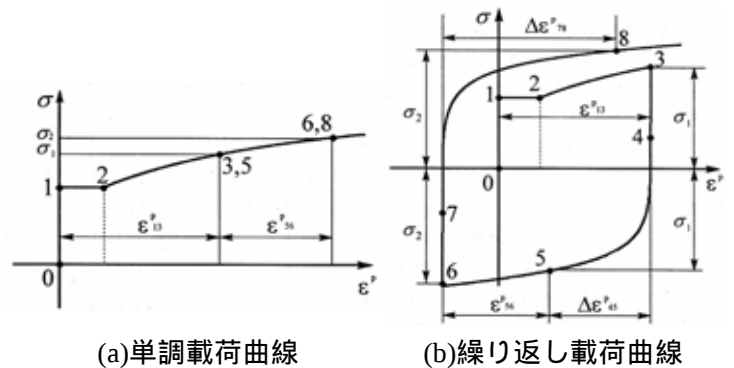


図-1 構成式の概要

■ 単調載荷曲線に準ずる領域

$$\sigma = \frac{E_{st}^p}{b} e^{a \varepsilon_{mon}^{p*}} \ln(1 + b \varepsilon_{mon}^{p*}) + \sigma_y \quad (a \geq 0) \quad (1)$$

■ 弾性遷移領域

$$\left. \begin{aligned} \frac{\kappa}{\kappa_0} &= \frac{c-1}{0.5} \varepsilon_{mon}^p + 1 \quad (0 \leq \varepsilon_{mon}^p \leq 0.5) \\ \frac{\kappa}{\kappa_0} &= c \quad (0.5 \leq \varepsilon_{mon}^p) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

■ 非線形遷移領域

$$y = E_{0x}^p + (\Delta \varepsilon^p E_{0x}^p - \Delta \sigma) \left(\frac{x}{\Delta \varepsilon^p} \right)^{m+1} \left\{ (1+m) \ln \left(\frac{x}{\Delta \varepsilon^p} \right) - 1 \right\} \quad (3)$$

$$\Delta \varepsilon^p = \frac{e}{d} \sqrt{(\varepsilon_{mon}^p)^2 + 2d \varepsilon_{mon}^p} \quad (4)$$

$$m = \frac{f}{\varepsilon_{mon}^{p*} + \{1 + \exp(g)\} f} - 1 \quad (5)$$

ここで、

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

E_{st}^p : ひずみ硬化勾配

κ : 弾性域の大きさ

κ_0 : 初期の弾性域の大きさ(=2 σ_y)

$\Delta \varepsilon^p$: 遷移領域の塑性ひずみの大きさ

m : 非線形遷移領域の曲率に関する定数

a, b, c, d, e, f, g : 鋼材によって決まる定数

キーワード: スパイラル鋼管, 構成式, 繰り返し塑性履歴

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地球総合工学専攻 TEL06-6879-7599

3. スパイラル鋼管(SKK490)の機械的性質

鋼管に成形した鋼材 SKK490 から 12 号試験片を採取し、引張試験を行った。表-1 にその結果を示す。スパイラル鋼管はその製造過程のために明確な降伏棚がなくなっている。そのため今回は 0.2% オフセット法により降伏応力 σ_y を決定した。

表-1 引張試験結果

試験片名	鋼種	板厚	降伏応力	引張強さ	降伏比
		(mm)	σ_y (MPa)	σ_B (MPa)	
9-2	SKK490	9	468	576	0.813
9-3		9	472	576	0.819
9-4		9	470	575	0.817
平均			470	576	0.816

4. 構成式に含まれる材料定数の決定

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、両振り実験(図-3)の3種類の実験を行った。実験結果を図-2～図-5に示し、SM490の平板から取り出した試験片による材料試験結果と比較した。塑性加工の影響により、降伏棚の消失、弾性域の減少度合いが小さくなる、 $\Delta\epsilon^P$ の値が大きくなるなどの影響が見られる。また、それぞれの実験から求めた構成式に含まれる材料定数を表-2に示す。

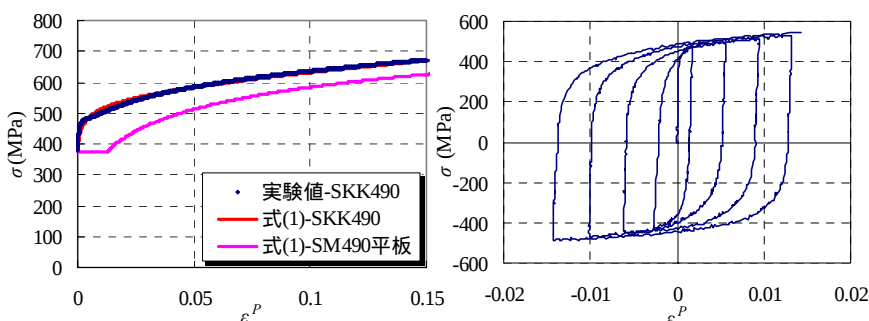
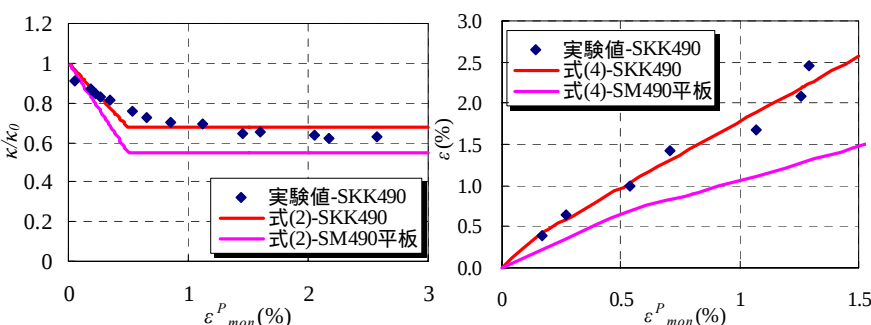


図-2 単調荷重曲線

図-3 両振り実験

図-4 ϵ^P_{mon} と κ/κ_0 の関係図-5 ϵ^P_{mon} と $\Delta\epsilon^P$ の関係

5. 構成式の SKK490 への適用性の検証

既往の構成式が SKK490 の塑性履歴特性を精度良く表現できるかを確認するため、ランダム実験によるデータと、得られた材料定数を用いた数値シミュレーションを比較した。図-6に示すように、点で示す実験値と実線で示す数値シミュレーションは、精度良く一致していることが確認できる。

表-2 材料定数

鋼種	板厚	σ_y MPa	ϵ^P_{st}	E^P_{st} MPa	a	b	c	d	e	f	g
SKK490	9	378.9	0.000	127,535	1.605	3,486	0.673	0.122	0.194	1.489	-19.43

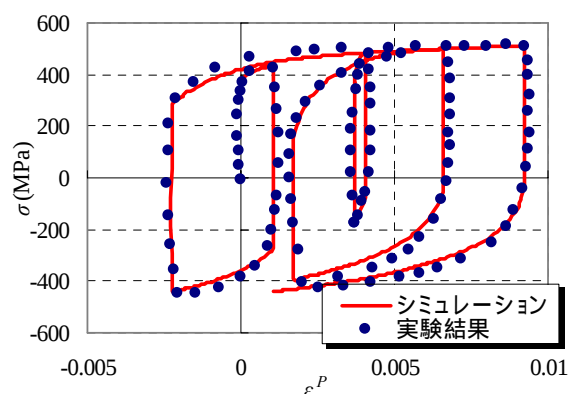


図-6 ランダム実験との比較

6. まとめ

スパイラル鋼管は鋼管成形時に受ける塑性加工により、降伏棚の消失、弾性域の減少度合いが小さくなるなどの影響が見られた。また、スパイラル鋼管(SKK490)素材においても提案した構成式を用いることで、繰り返し塑性履歴を精度良く表現できることを確認した。

【参考文献】1) 藪本篤，小野潔，仲田晴一，西村宣男，奈良敬：スパイラル鋼管の正負交番荷重実験，土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会講演概要，1-453。2) 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，No.513/ -31，pp.27-38，1995.4。3) 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。