

I - 84

繰り返し荷重下の塑性座屈モードの局所化
における材料構成則の影響名古屋工業大学 学生員 小野 聖久 名古屋工業大学 正員 後藤 芳顕
本州四国連絡橋公団 正員 鳥羽 保行

1. まえがき

繰り返し荷重を受ける鋼構造物が劣化する原因の一つに塑性座屈モードの局所化現象によるものがある。この現象は、構造物が塑性化した後に生ずるため、材料の構成則にも影響を受けると考えられる。ここでは、すでに著者らが提示した局所化現象の解析手法¹⁾を用い、繰り返し荷重による構造物の耐力低下に及ぼす構成則の影響を検討する。なお、対象構造物としては、図1に示す5径間の多点支持柱を用いる。

2. 構成則

検討する構成則のモデルとしては、繰り返し荷重下の構成則として良く用いられるDafalias-Popovの二曲面モデル（図2）と通常のBi-linear型の構成則（図3）である。ここでは、2つのモデルの差が繰り返し荷重下の局所化現象に与える影響を検討するとともに、二曲面モデルにおいて降伏後のひずみ硬化の影響についても考察する。検討した構成則モデルの材料定数は表1に示すとうりであり、いずれのモデルもひずみ硬化則として移動硬化則のみ考慮している。ここで $E_2 = E E_0 / (E + E_0)$ で定義される量で、二曲面モデルでは応力-ひずみ関係の漸近線の2次勾配を表し、Bi-linear型モデルでは2次勾配に相当する。表1の二曲面モデルではひずみ硬化の影響を検討するために、 E_2 として5種類の値を検討対象としている。一方、Bi-linear型のモデルは二曲面モデルとの差を比較するために設定したもので、二曲面モデルで $E_2 = 0.01E$ の場合に対応している。またBi-linear型のモデルの降伏応力値 σ_y としては、二曲面モデルの σ_y 、 σ_u に対応して2種類（196MPa, 294MPa）の値を考慮している。

3. 構成則の差による影響

材料構成則として二曲面モデルとBi-linear型モデルの差が繰り返し荷重下の挙動に与える影響を検討する前に、多点支持柱の一端の変位を軸方向に単調増加させた場合の挙動を解析した。これより、二曲面モデルでは塑性化によりつり合い曲線が線形関係から徐々に離れていき、まず第1分岐が生ずる。その後、荷重が若干上昇し極限点に到達後、減少経路上ですぐに局所化を生ずる第2分岐が発生する。一方、Bi-linear型モデルでは降伏により線形関係からはずれるとほぼ同時に第1分岐、第2分岐を生じ大きく荷重が低下していく。このようにBi-linear型のモデルで急激な分岐挙動を示すのは、材料の接線剛性が降伏時に不連続に大きく低下することによる。

つぎに繰り返し荷重下の挙動として、圧縮側 $\delta/L = 1.8 \times 10^{-3}$ 、引張側 0.6×10^{-3} の定変位振幅を与

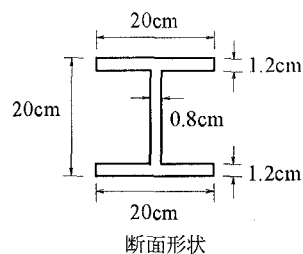


図1 断面形状と解析モデル

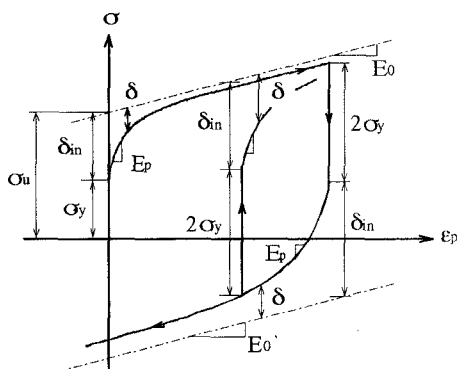


図2 Dafalias-Popov型の構成則

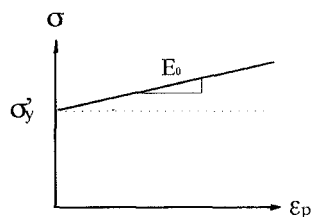


図3 Bi-linear型の構成則

表1 材料定数

(a) Dafalias-Popovモデル

E	σ_y	σ_u	h	E_2
2.06×10^5	196	294	0.981×10^5	0.0
				0.01E
				0.04E
				0.08E
				0.15E

(MPa)

(b) Bi-linearモデル

E	σ_y	E_2
2.06×10^5	196	0.01E
	294	

(MPa)

えたときの両モデルによる挙動を図4, 図5に示す。また各サイクルでの最大荷重の低下の様子を図6に示す。ここでの圧縮側振幅は、いずれの場合も単調載荷時に第2分岐点を越えた変位に相当している。二曲面モデルにおいては繰返しにより荷重が徐々に低下しているの 비해、Bi-linear型モデルでは局所化により2サイクル目に大きく荷重が低下するが、その後は同一のヒステリシスループを描く。これはBi-linear型モデルではとり得る材料剛性が2種類しかなく、ヒステリシスループが収束しやすいものと考えられる。

4. ひずみ硬化の影響

二曲面モデルの E_2 に5種類の値を考慮し、ひずみ硬化の差による繰返し時の挙動を検討した。繰返し荷重としては片側 $\delta/L = 1.8 \times 10^{-3}$ の両振り定変位振幅を与えた。単調載荷時には、この変位振幅は $E_2 = 0, 0.01E$ の場合は第2分岐点後、 $E_2 = 0.04E, 0.08E$ は第1分岐点から第2分岐点間の値に相当する。ひずみ硬化が最も大きい $E_2 = 0.15E$ では、 $\delta/L = 1.76 \times 10^{-3}$ で第1分岐のみ生じ第2分岐による局所化は生じない。ただ $E_2 = 0.08E$ の場合も局所化による変形挙動の差は微小である。

繰返し荷重下の挙動として各サイクルでの最大荷重の低下を図7に示す。これによると、1サイクル目で局所化の生ずる $E_2 = 0, 0.01E$ の構造ではその後の繰返し載荷により荷重が大きく低下していく。一方、局所化が生じない $E_2 = 0.08E, 0.15E$ の構造では1サイクル目に第1分岐による荷重低下は大きく生ずるが、その後の荷重低下は小さく、トータルとしての荷重低下は局所化が生ずるものに比べて小さい。

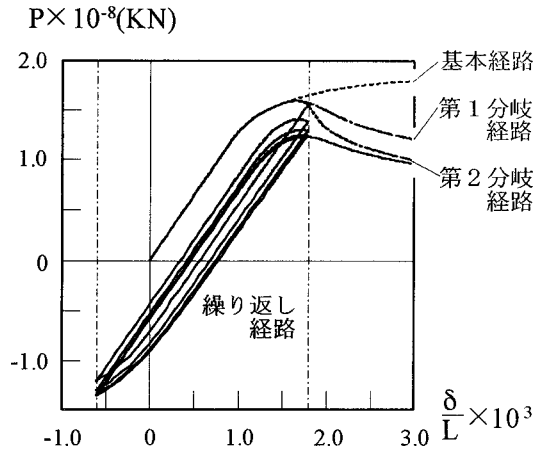


図4 Dafalias-Popov Modelの繰返し載荷 ($E_2 = 0.01E$)

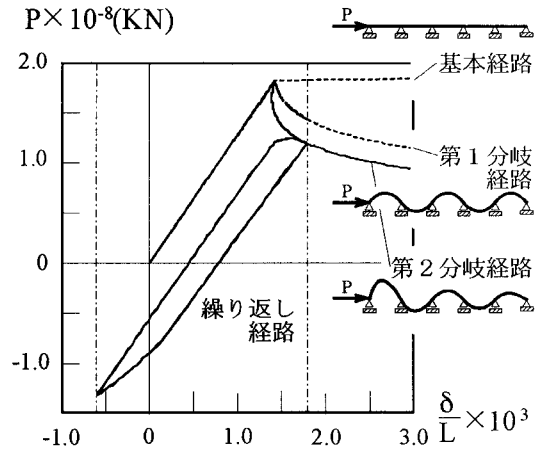


図5 Bi-linear Modelの繰返し載荷 ($\alpha_\gamma = 294$)

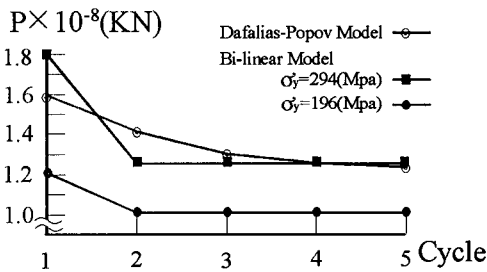


図6 構成則の差と最大荷重の低下

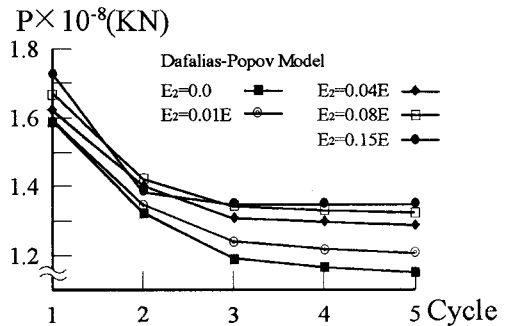


図7 ひずみ硬化と最大荷重の低下

[参考文献]1) 後藤, 川西, 鳥羽, 小畑: 構造物の塑性座屈モードの局所化による変形能の低下と繰返し荷重下の挙動: 土木学会論文集, No. 483/I-26, pp87-96, 1994. 1