# 繰り返しねじり力を受ける鋼構造物の終局挙動解析における材料硬化則の影響

横河ブリッジ	正会員	三好	喬	熊本大学	正会員	﨑元	達郎
天草工業高校	正会員	鶴田	栄一	熊本大学	正会員	渡辺	浩

#### 1.まえがき

現在、汎用の有限要素法解析ソフトでは一般には単純な等方硬化則や移動硬化則しか利用できない状況であ るが、これらの硬化則では鋼材の繰り返し塑性の特性が十分には反映されていない。そこで、1991年から名 古屋大学において Dafalias・Popovによる二曲面モデルを修正した修正二曲面モデル<sup>1)</sup>の開発が試みられてきた。 この修正二曲面モデルを用いた解析結果の妥当性については圧縮と曲げを受けるような場合は多く検証され ているが圧縮と2軸曲げ、ねじりが複雑に作用する場合は検証されていない。

本研究では 1999 年、2000 年に本研究室で実験されたアーチリブや逆 L 形橋脚を解析対象とし、ABAQUS<sup>2)</sup> を用いて材料構成則を等方硬化則、移動硬化則、修正二曲面モデルと変化させて解析を行い、繰り返しねじり 力を受ける鋼構造物の終局挙動解析における材料硬化則の影響について考察する。

## 2.アーチ解析

(1) 解析モデル: アーチモデルは図2.1 に示すような両端固定の単弦 アーチである。形状寸法は実験寸法に基づき図2.2、表2.1 に示すよ うな円弧アーチとする。断面形状は図2.3 に示すような無補剛断面 と補剛材を1本有する補剛断面とする。本研究では式(2.1)で表され る幅厚比パラメータRを0.7 程度と0.4 程度を目標に設計された断 面を使用する。解析モデルとしては、局部座屈がクラウン部と基部 付近に発生することが予想されるためその部分はメッシュを細かく し、その他の所は多少粗く分割する。残留応力や初期たわみは影響 が少ないものとして考慮しない。載荷方法は図2.1 に示すように死 荷重を載荷したのち、アーチ基部が降伏する時の変位 」を基準にク ラウン部に正負交番繰り返し漸増載荷とする。材料特性は引張試験 結果から得られた応力 - ひずみ関係を近似して導入する。

(2)解析結果:図2.4にA66Nモデルの面外力載荷点における荷重-変位関係を示す。A66Nモデルにおいて等方硬化則、移動硬化則と もに最大強度の誤差10%強でありループの形状も等方硬化則と移動 硬化則はよく似ている。これはこのモデルのRが大きいため等方硬 化則の降伏曲面が拡大する前に劣化が始まったためであると考えら れる。ともに、ループの形状は実験と比べると角張った形となって いる。修正二曲面モデルでは最大強度も誤差10%程度であり、 ループの形状もよく一致しており、修正二曲面が最も良い精度で解 析結果が得られることが分かる。

表 2.1 アーチ断面諸量



図 2.3 断面形状

補剛材  $\theta_1$  (rad) b (mm) t (mm) L (mm) H (mm) r (mm)  $\theta_{2}$  (rad) model R  $h_s$  (mm)  $t_s$  (mm)  $R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-v^2)}{\pi^2 k}} \sqrt{\frac{12(1$ (2.1)A38N 180 9 0.38 A66N 200 6 0.66 2500 329 2537 2.09 1.06 A37S 220 6 30 6 0.37 0.65 A65S 280 4.525 4.5

キーワード:材料構成則、修正二曲面モデル、等方硬化則、移動硬化則

連絡先:〒860-0862 熊本県熊本市黒髪 2-39-1 熊本大学工学部環境システム工学科 096-342-3533

-789-



## 3.逆 L 形橋脚解析

図 2.4 荷重 - 変位関係(A66N)

(1) 解析モデル:逆L形橋脚モデルは細長比パラメータ が0.3 程度となるよう に高さhを定め、偏心量 e は偏心比(e/h)が0.4 となるように定める。断面形状 はアーチモデルと同様に図2.3 に示す断面とする。ここでも幅厚比パラメータ R(式2.1)を主要パラメータと考え、Rが0.8 程度と0.4 程度となるように設 計された断面を使用する。それぞれの断面諸量を表3.1 に示す。解析モデルは 図3.1 に示すように局部座屈が発生すると予想される基部付近のメッシュを細 かく分割し、その他のところは粗く分割する。残留応力や初期たわみは繰り返 し載荷においては影響が少ないものと考え考慮しないものとする。載荷方法は 死荷重を載荷したのち、橋脚基部が降伏する時の載荷点の変位 yを基準に面 外方向に繰り返し漸増載荷とする。



図 3.1 逆 L 形橋脚モデル

(2)解析結果:図 3.2 に L40N モデルの載荷点における荷重 - 変位関係を示す。 L40N モデルでは等方硬化則の結果が強度劣化せずに実験値よりも大きくなっ ていることが分かる。最大強度の誤差は約 20%である。これは、等方硬化則

は降伏曲面が拡大するのみで弾性域が大きくなる一方であることが原因であると考えられる。移動硬化則では 最大強度の誤差は約2%である。しかし、ループの形状が実験値に比べかなり角張っていることが見てとれる。 この原因として移動硬化則は降伏曲面が移動するのみで、弾性域の減少を考慮していないため除荷された際に 剛性が大きく評価されるためであると考えられる。それに比べ修正二曲面モデルでは劣化の度合いが若干少な いものの包絡線、ループの形状ともよく一致していることが分かる。修正二曲面モデルは弾性域の減少やバウ シンガー効果がうまく表現されているため繰り返し挙動をよく表現できている。しかし、修正二曲面モデルで の計算は他の場合に比べて数十倍の時間を必要とするので保有水平耐力法などに必要とされる最大荷重後の

強度が劣化し始める程度までの包絡線であれば 移動硬化則でも実用的に十分な精度が得られる。

最後に修正二曲面モデルのユーザーサブルー チンの使用を快く快諾いただいた名古屋大学の 宇佐美教授に感謝いたします。

#### 表 3.1 逆 L 形橋脚断面諸量

model	b (mm)	t (mm)	補岡	帅材	R	h (mm)	e (mm)	2
			hs (mm)	ts (mm)				λ
L40N	360	16		$\sim$	0.40	1750	700	0.26
L80N		9			0.76			0.28
L40S		9	43	6	0.38			0.28
L80S		4.5	45	6	0.80			0.30



図 3.2 荷重 - 変位関係(L40N)

**参考文献**: 1) 水野英二,沈赤,宇佐美勉: 鋼素材に対する修正二曲面モデルの一般定式化,構造工学論文集,Vol40A,1994 年 3 月 2) ABAQUS/Standard User's Manual,Ver6.1,2001