

I - A92

繰り返し荷重を受ける補剛板の強度と
変形能に関する解析的研究名古屋大学 学生会員 渡辺智彦¹フェロー 宇佐美勉²正会員 葛 漢彬³

1. 緒言

鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および変形性能を算定する方法の一つに、応力-ひずみ関係を用いた弾塑性有限変位解析がある¹⁾。この方法では、解析により求めた水平荷重-水平変位曲線の終点を定める破壊条件が必要とされている。文献1)において、箱形断面橋脚に対し破壊基準が詳細に述べられている。その中で箱形断面の場合は圧縮フランジが座屈崩壊すると橋脚全体の崩壊につながるため、圧縮フランジの破壊ひずみを用いた破壊条件を規定している。この破壊ひずみは、単調圧縮荷重を受ける補剛板に対して弾塑性有限変位解析により求められたものである。本研究では、繰り返し荷重下における補剛板の弾塑性有限変位解析により強度と変形能を求め、単調圧縮荷重下の場合と比較・検討を行う。

2. 解析概要

解析対象として、図-1に示すような補剛材4本で、隣接する4辺単純支持の補剛板のメッシュ部を考えた。メッシュ数は、パネル部分は荷重方向（Y軸方向）を16分割、非荷重方向（X軸方向）は15分割し、補剛材は荷重方向をパネル部分と同じ16分割、面外方向を7分割した。補剛板の初期たわみは、図-1に示すように全体的なたわみモードと、局所的なたわみモードの和として与えた。構成則には、名古屋大学で開発された修正二曲面モデルを用いる。このモデルは、繰り返し荷重下の鋼構造物の実験結果に極めて近い挙動を予測でき、従来の構成則モデルなどによる解析と比較して最も精度の良いものであることが検証されている²⁾。解析方法は、図-1の $Y = a/2$ の辺のY方向の変位を拘束し、 $Y = -a/2$ の辺を荷重辺としてそのY軸方向の面内変位を変化させる変位制御により行った。なお、補剛板の解析モデルの諸元を表-1に示す。荷重パターンは、図-2(a)を全モデルに対して、図-2(b)を、モデルNo.[11]を除く10ケースに対して行った。補剛板の解析に使用した鋼材は、SM490である。パネル部分の板厚 t は、20(mm)、補剛材の板厚 t_s は40(mm)で全モデル一定とした。補剛材剛比 γ/γ^* は、3.0以上と制限し、補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ を0.205～0.550の範囲で変化させた。

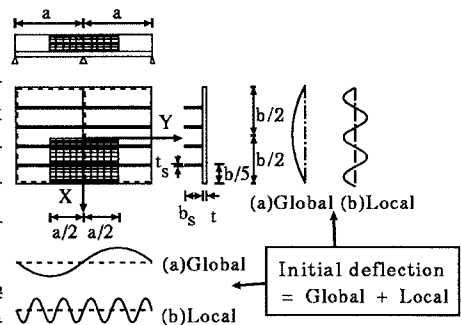


図-1 補剛板の解析モデル

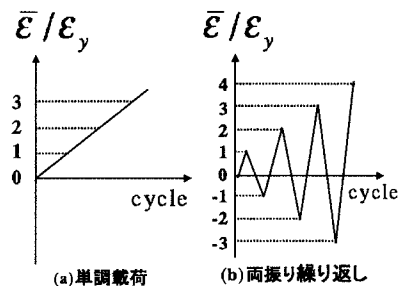


図-2 荷重パターン

3. 解析結果

本解析により得られた、補剛板の平均応力-平均ひずみ曲線を図-3(a), (b)に示す。なお、図中の数字は、表-1のモデル名の数字と対応している。ただし、図-3(b)は、履歴曲線の圧縮側折り返し点の包絡線である。

なお、本研究では、限界ひずみ $\epsilon_{u,s}$ を定義するため、まず、限界ひずみ $\epsilon_{u,s}$ に対応する

応力 $\sigma_{u,s}$ を式(1)のように定義した。ただし、繰り返しひずみ硬化の影響による強度

$$\sigma_{u,s}/\sigma_y = 0.95 \bar{\sigma}_m/\sigma_y \quad \cdots (1)$$

増加が起きた場合には、式(2)のように定義し、この $\sigma_{u,s}$ に対応するひずみを限界ひず

$$\sigma_{u,s}/\sigma_y = 0.95 \bar{\sigma}_p/\sigma_y \quad \cdots (2)$$

み $\epsilon_{u,s}$ と定義した。ここで、 $\bar{\sigma}_m$ は最大平均応力、 $\bar{\sigma}_p$ は第一ピーク（図-3の○で囲んだ点）を表す。そして、このように定義した限界ひずみ $\epsilon_{u,s}$ を図-3にプロットしてある。

まず、単調圧縮荷重についてであるが、図-3(a)を見ると全てのモデルで強度の劣化が生じている。また、全般的な傾向としては、幅厚比パラメータ R および補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ が大きい程、ピークを越えた後、そのまま強度は劣化してしまい、ひずみ硬化が起こる前に局部座屈による強度劣化を起こしている。それに対し幅厚比パラメータ R お

* Key Words: stiffened plate, ductility, stiffener's slenderness ratio parameter, width-thickness ratio parameter, cyclic loading

¹ 2 3 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617 FAX 052-789-5461

よび補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ が小さい程、ひずみ硬化の影響による強度増加現象が表れた後に強度の劣化が起こっている。また、 $\bar{\lambda}_s$ が等しくても R を小さくすれば強度は大きくなり、逆に R が等しくても $\bar{\lambda}_s$ を小さくすれば強度は大きくなる。具体的に見ると、[1], [2], [3] の3モデルを比較すると、補剛材細長比 $\bar{\lambda}_s$ が0.205と等しいが、幅厚比パラメータ R が0.40, 0.35, 0.30と小さくなる程、最大平均応力 $\bar{\sigma}_m$ と限界ひずみ $\varepsilon_{u,s}$ が大きくなっている。[4], [5], [6] の3モデル ($\bar{\lambda}_s = 0.225$) でも同様の傾向が現れている。ただし、いずれの場合もアスペクト比 α が異なっていることに注意すべきである。また、[3], [6], [8] の3モデルの結果を見ると、幅厚比パラメータ $R = 0.40$, アスペクト比 $\alpha = 0.5$ と一定で、補剛材細長比 $\bar{\lambda}_s$ が0.205, 0.225, 0.25と大きくなる程、最大平均応力 $\bar{\sigma}_m$ と限界ひずみ $\varepsilon_{u,s}$ が小さくなっている。

一方、繰り返し載荷の場合でも、図-3 (b) を見ると単調載荷の場合と同様の傾向が見られる。また、繰り返し載荷を受ける場合、幅厚比パラメータ R が比較的大きいと、局部座屈を起こしやすいため、繰り返しひずみ硬化域に至る前に強度の劣化が起こるので、単調圧縮との違いはほとんど現れない。それに対して幅厚比パラメータ R が比較的小さいと、局部座屈を起こしにくくなるため、局部座屈を起こす前に繰り返しひずみ硬化域に至って強度の増加が起こり単調圧縮との違いが大きくなる。

次に、限界ひずみ $\varepsilon_{u,s}$ を ε_y で無次元化したものと、補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ の関係を図-4に示す。なお、図-4には、文献1) による推定式(式(3))もプロットしてある。

$$\varepsilon_{u,s}/\varepsilon_y = 0.145/(\bar{\lambda}_s - 0.2)^{1.11} + 1.19 \cdots (3)$$

まず、単調圧縮載荷について図-4を見ると、補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s \geq 0.3$ では、推定式と非常に良く一致した結果となったが、 $\bar{\lambda}_s < 0.3$ では、 $\bar{\lambda}_s$ が等しくても、幅厚比パラメータ R が比較的大きくなると限界ひずみ $\varepsilon_{u,s}$ は小さくなってしまい、そのプロットが推定式と大きく異なっている。

また、繰り返し載荷の場合、 $\varepsilon_{u,s}/\varepsilon_y$ は、単調圧縮載荷と比較して、幅厚比パラメータ R および補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ が比較的大きい[8] ~ [10] のモデルでは、大きな変化は見られないが、幅厚比パラメータ R および補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ が比較的小さい[1] ~ [7] のモデルでは変形能（限界ひずみ $\varepsilon_{u,s}$ ）大きく低下している。これは、前述のように、[1] ~ [7] の様な幅厚比パラメータ R および補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ が比較的小さいモデルでは、繰り返しひずみ硬化の影響により強度増加が早く表れるが、繰り返し載荷による強度の劣化が生じるからだと考えられる。

4. 結言

補剛板の限界ひずみは、補剛材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_s$ のみならず、幅厚比パラメータ R およびアスペクト比 α にも大きく影響していると考えられ、文献1) の補剛板の限界ひずみ $\varepsilon_{u,s}$ の推定式(3)は、これらのパラメータの影響も考慮して式の再検討を行う必要があると思われる。

参考文献

- 1) 宇佐美勉, 鈴木森晶, Iraj H.P.Mamaghani, 葛漢彬: コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案, 土木学会論文集, No.525/I-33, 69-82, 1995.10.
- 2) 坂野茂, 宇佐美勉, 水野英二: 修正二曲面モデルによる板要素の繰り返し圧縮・引張弾塑性有限変位解析, 土木学会論文集, No.525/I-33, 1-15, 1995.10.

表-1 解析モデルの諸元

モデルNo.	$\bar{\lambda}_s$	α	R	γ/γ^*
[1]	0.205	1.0	0.30	3.82
[2]	0.205	0.5	0.35	3.90
[3]	0.205	0.5	0.40	5.22
[4]	0.225	1.0	0.30	3.05
[5]	0.225	0.5	0.35	3.10
[6]	0.225	0.5	0.40	4.15
[7]	0.250	1.0	0.35	3.24
[8]	0.250	0.5	0.40	3.21
[9]	0.300	1.0	0.425	3.20
[10]	0.400	1.0	0.55	3.06
[11]	0.550	1.0	0.725	3.03

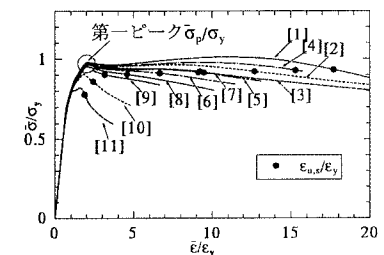


図-3 (a) 平均応力-平均ひずみ曲線 (単調載荷)

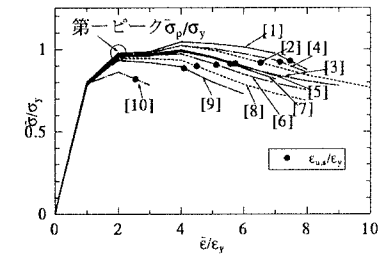


図-3 (b) 平均応力-平均ひずみ曲線 (繰り返し載荷の包絡線)

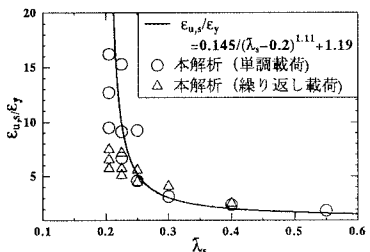


図-4 $\varepsilon_{u,s}/\varepsilon_y - \bar{\lambda}_s$ 曲線