

水平 2 方向地震動を受ける円形断面鋼製橋脚の耐震設計に関する研究

名古屋大学 学生会員
名古屋大学 学生会員

○鳥居純子
坪井久幸

名古屋大学 正会員

葛西昭

1. 諸言

鋼製橋脚に限らず土木構造物の従来の耐震設計では、地震外力の入力方向は 1 方向に限定されたものである。しかし既往の研究より、この方法では実際の地震時における鋼製橋脚の耐震性能を十分に評価しているとは言い難い。このような背景のもと、2 方向水平外力を想定した研究は近年進められ、著者ら¹⁾によって強度と変形能に対する限界値の定義と、水平 2 方向地震動を想定した設計法の提案が行われた。しかし、水平 2 方向地震動を想定した上でのひずみ照査を念頭に置いた研究は、まだ行われていないのが現状である。そこで本研究では、耐震照査法の完備の一環として、断面の方向性のないパイプ断面を有する鋼製橋脚に、水平 2 方向から様々な繰り返し水平変位を与えた上で、その結果から、水平 2 方向地震動を想定した終局ひずみを定義し、ひずみ照査による設計法の提案を行うことを主目的とした。

2. 数値解析概要

2.1 解析モデル

解析モデルは図 1 に示すように、シェル要素とはり要素から構成され、柱基部からダイアフラム (D : ダイアフラム間隔=パイプ断面の外径) の 3 つまでをシェル要素でモデル化した。解析対象は、径厚比パラメータ及び柱の細長比パラメータの異なる 5 体である (各構造諸元は表 1)。また、軸力比は 0.15

とし、初期不整は考慮しない。使用鋼材は SM490 とし、表 2 に材料定数を示す。なお、表中において E : 弾性係数、 ε_y : 降伏ひずみ、 E_{st} : 初期ひずみ硬化係数、 ε_{st} : ひずみ硬化開始ひずみ、 σ_u : 引張強度である。

2.2 荷経路

2 方向繰り返し荷経路での荷経路は、1 方向繰り返し荷経路の荷経路から発展させたものを用いることで、これまで数多く行われてきた 1 方向繰り返し荷経路と比較・検討することができる。また、柱にとって最も厳しいものにするのが望ましい。ただし、柱にとって最も厳しい荷経路を特定するのは困難なため、既往の研究²⁾で用いられた水平 2 方向の繰り返し荷経路を参考に決定する。そこで本研究では、2 方向繰り返し荷経路の荷経路として、図 2 に示すようならせん状の楕円を描くものとし、図 1 の解析モデルの頂部に強制変位を与えた。図 2 に示すように、楕円の長径を a 、短径を b とし、 b/a を短長径比とする。すなわち、短長径比 $b/a=1.0$ はらせん状の円を描く荷経路であり、 $b/a=0$ は 1 方向荷経路 (以下、荷経路 UNI) にあたる。解析では短長径比の影響を見るために、各解析モデルにおいて、短長径比 0 (UNI)、0.25、0.50、0.75、0.90、1.0 (CIR) とする計 7 パターンの荷経路で解析した。

3. ひずみの算出方法

ここで、平均圧縮ひずみを求める方法について説明する。まず、図 1 に示すように、有効破壊長に相当する高さ

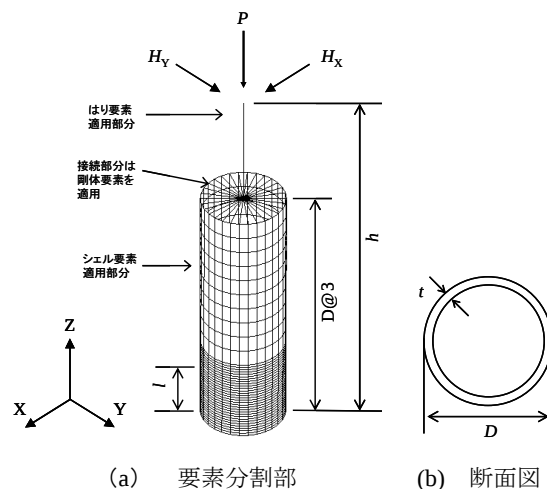


図 1 無補剛パイプ断面橋脚の解析モデル

表 1 解析モデルの構造諸元

R_t	$\bar{\lambda}$	D [mm]	t [mm]	h [mm]
0.050	0.40	789	20	4300
0.075	0.20	1170	20	3230
0.075	0.40	1170	20	6460
0.075	0.60	1170	20	9680
0.100	0.40	1560	20	8610

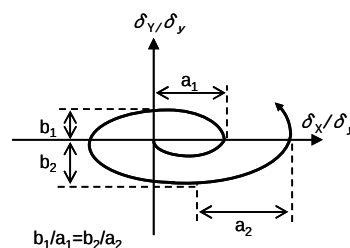
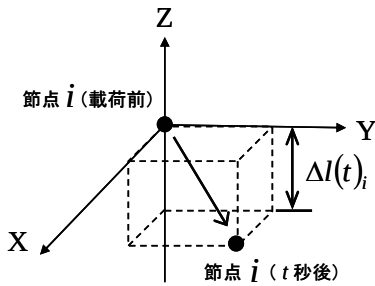
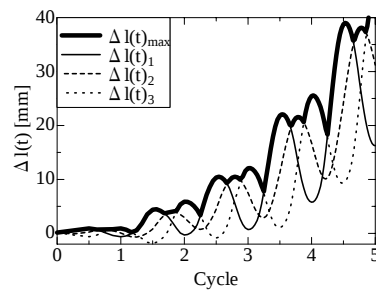


図 2 短長径比の定義

表 2 解析モデルの材料定数

鋼種	E [GPa]	σ_y [MPa]	ε_y [%]	E_{st} [GPa]	ε_{st} [%]	ν	σ_u [MPa]
SM490	200	315	0.157	6.67	1.1	0.3	490

図3 $\Delta l(t)_i$ の定義図4 $\Delta l(t)_i$ ($i = 1 \sim 3$) 及び $\Delta l(t)_{\max}$

l の位置の全ての節点(30 節点)について、図3のように z 方向における変化量の時刻歴 $\Delta l(t)_i$ ($i=1,2,3,\dots,30$) を求める。次に、各節点について求めた z 方向における変化量の時刻歴 $\Delta l(t)_i$ を、図4に示すようにグラフに表す。図4のグラフでは、簡単のために3節点についての $\Delta l(t)_i$ を示してある。ここで、有効破壊長に相当する高さ l の位置において、各時刻についての z 方向における変化量の最大値に着目する。図4のグラフで、各時刻について z 方向における変化量の最大値を求めると、図4のように太線のグラフを描くことができる。このようにして求めた z 方向における変化量の時刻歴を $\Delta l(t)_{\max}$ とする。この $\Delta l(t)_{\max}$ を用いて、有効破壊長領域における平均圧縮ひずみを求めると、次式のようになる。

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta l(t)_{\max}}{l} \quad (\varepsilon_m : \text{平均圧縮ひずみ}) \quad (1)$$

これより、 $H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$ (ただし、 H_x : X 方向の荷重、 H_y : Y 方向の荷重) より求める復元力(以下、復元力 H) を用いて、最大荷重 $H_{\max}$ (ただし、折り返し点を用いる) を求め、 $H_{\max}$ から 95%まで強度が低下したときの平均圧縮ひずみを 95%強度に対応する平均圧縮ひずみ $\varepsilon_{m,95}$ とし、この値について検討を行う。

4. 結果と考察

表3は、各モデルに対して、载荷経路 UNI についての 95%強度に対応する平均圧縮ひずみ $\varepsilon_{m,95\text{UNI}}$ と、終局ひずみ算定式³⁾から導き出した終局ひずみ ε_u の値を、それぞれ降伏ひずみ ε_y で無次元化した値を示したものである。表3について、载荷経路 UNI は 1 方向载荷であるので、 $\varepsilon_{m,95\text{UNI}} / \varepsilon_y$ は $\varepsilon_u / \varepsilon_y$ と近い値になる必要があるが、 $\varepsilon_{m,95\text{UNI}} / \varepsilon_y$ は $\varepsilon_u / \varepsilon_y$ と比較して2倍以上大きくなっていることがわかる。この原因に関しては、今後検討する必要がある。次に図5は、 $\varepsilon_{m,95}$ を载荷経路 UNI の値 $\varepsilon_{m,95\text{UNI}}$ で無次元化した値を縦軸にとり、横軸は径厚比パラメータと細長比パラメータを掛け合わせた値をとっている。 $R_t \bar{\lambda} = 0.03$ の $\varepsilon_{m,95} / \varepsilon_{m,95\text{UNI}}$ の値については、1.0 付近に値が集まっているが、他のモデルに関しては载荷経路によって値にばらつきが見られるため、平均圧縮ひずみの値は履歴に大きく依存するということがわかる。

5. まとめ

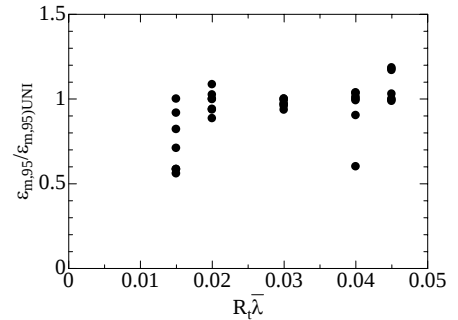
本研究で提案した平均圧縮ひずみを求める方法を用いて導き出した载荷経路 UNI の値は、終局ひずみ算定式から導き出された終局ひずみ ε_u の値と比較して、2倍以上大きな値となった。現在この原因については、検討している段階である。また、 $\varepsilon_{m,95} / \varepsilon_{m,95\text{UNI}}$ の値は、载荷経路によって値にばらつきが見られるため、履歴に大きく依存することがわかった。

参考文献

- 1) 鳥居純子・成田篤哉・葛西昭・宇佐美勉：2 方向水平外力を受ける鋼製橋脚の強度と変形能，第 8 回地震保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.219-224，2005。
- 2) 高原英彰・K.A.S.Susantha・宇佐美勉・葛西昭・青木徹彦：2 方向水平力を受ける鋼製橋脚の弾塑性挙動，土木学会第 58 回年次学術講演会概要集，I-005，pp.9-10，2003。
- 3) 葛漢彬・河野豪・宇佐美勉：圧縮曲げを受ける鋼部材セグメントの終局ひずみと鋼アーチ橋の動的耐震照査への応用，構造工学論文集，Vol.50A，pp1479-1488，2004。

表3 $\varepsilon_{m,95\text{UNI}}$ と ε_u

R_t	$\bar{\lambda}$	$\frac{\varepsilon_{m,95\text{UNI}}}{\varepsilon_y}$	$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y}$
0.050	0.40	47.1	20.0
0.075	0.20	27.0	12.5
0.075	0.40	28.8	12.5
0.075	0.60	30.0	12.5
0.100	0.40	19.8	8.00

図5 $\varepsilon_{m,95} / \varepsilon_{m,95\text{UNI}}$