

水平2方向地震動を受ける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 正会員

○鳥居 純子
葛西 昭

1. 緒言

現行の道路橋示方書では、水平2方向の慣性力を橋軸方向と橋軸直角方向に対して独立に耐震検討しているが、これ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ない。そこで本研究では、パイプ断面を有する鋼製橋脚に、水平2方向から繰り返し水平変位を与え、その際に発生する橋脚の局部座屈に着目し、水平2方向地震動を想定した耐震設計法を提案するための検討を行うことを目的とする。

2. 数値解析手法の概要

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、 σ_y :降伏応力、 ϵ_y :降伏ひずみ、 E_{st} :初期硬化係数、 ϵ_{st} :ひずみ硬化開始ひずみ、 ν :ポアソン比、 σ_u :引張強度である。

荷重経路は、既往の研究^{1), 2)}から、図2に示すようにらせん状の楕円を描く荷重経路とした。楕円の長径をa、短径をb、これらの比をとったb/aを短長径比として、b/a=0~1まで変化させるパラメトリック解析を行った。ここで、b/a=0は1方向荷重であり、b/a=1はらせん状の円を描く荷重パターンである。

3. 等価ひずみの定義

本研究では、局部座屈に伴う変形に着目した等価ひずみを定義する。まず、図1に示すように、有効破壊長に相当する高さ L_e の位置の全ての節点(30節点)について、図3に示すようにz方向における変化量の時刻歴 $\Delta L(\bar{t})_i$ ($i=1,2,\dots,30$)を求める。次に、各節点について求めた $\Delta L(\bar{t})_i$ 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節点についてのみ示してある。ここで、高さ L_e の位置における各時刻でのz方向における変化量の最大値に着目すると、図4のように太線のグラフを描くことができる。このグラフを $\Delta L(\bar{t})_{max}$ とし、有効破壊長領域における、局部座屈に伴う変形に着目した等価ひずみを求めると、次式のようになる。

$$\bar{\epsilon}_{ms} = \frac{\Delta L(\bar{t})_{max}}{L_e} \quad (\bar{\epsilon}_{ms}: \text{等価ひずみ}) \quad (1)$$

また、 $H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$ (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等価ひずみを95%強度時の等価ひずみ $\bar{\epsilon}_{ms,95}$ とする。

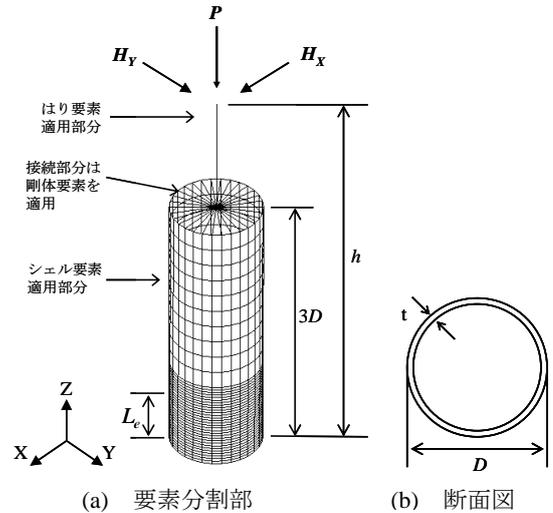


図1 無補剛パイプ断面橋脚の解析モデル

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

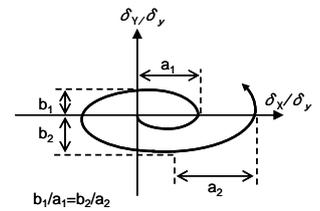


図2 短長径比の定義

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

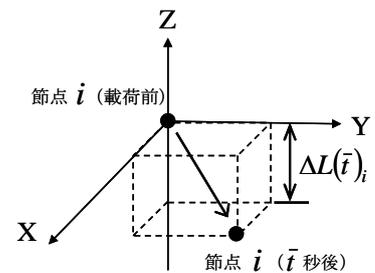


図3 $\Delta L(\bar{t})_i$ の定義

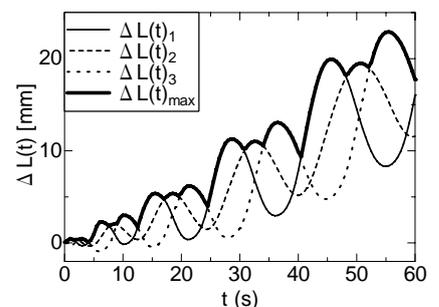


図4 $\Delta L(\bar{t})_i$ ($i=1\sim 3$)及び $\Delta L(\bar{t})_{max}$

4. 面外変形量

本研究で検討する面外変形量は、橋脚基部における軸の移動量と、節点の軸方向 (Z 方向) に関する移動量については無視するため、簡易面外変形量と定義し、算出方法に関しては以下の方法を用いる。解析モデルの断面には 30 個の節点が存在し、それらを節点 $i (i=1,2,\dots,30)$ とする。この節点 i に関して、 \bar{t} 秒後の節点 i の座標を $(X, Y) = (x(\bar{t})_i, y(\bar{t})_i)$ とし、パイプ断面の半径を r とすると、節点 i における \bar{t} 秒後の簡易面外変形量 $\delta_d(\bar{t})_i$ は、式(2)のようになる。

$$\delta_d(\bar{t})_i = \sqrt{x(\bar{t})_i^2 + y(\bar{t})_i^2} - r \quad (i = 1, 2, \dots, 30) \quad (2)$$

このようにして求めた簡易面外変形量 $\delta_d(\bar{t})_i$ を、基部から 1 つ目のダイヤフラム区間 (基部から高さ D の領域) について算出する。次に、検討方法について説明する。図 5 に、局部座屈が発生した基部から高さ D の領域を抜き出したモデル図を示す。そして、このモデル図の側面を図 6 の様に展開する。ここで図 6 は、奥行き方向に節点 1 からの角度 θ [rad] (図 7)、水平方向に橋脚の高さ D [mm]、底面に対して垂直方向に簡易面外変形量 δ_d を板厚 t で無次元化したものをとっている。さらに、底面には δ_d/t を等高線表示したものを示す。等高線は、0 以上を実線、負の値を破線で示し、細線を 0.2 間隔、太線を 1.0 間隔とする。また、図中の矢印は、有効破壊長の高さを示している。

5. 等価ひずみと簡易面外変形量の検討

図 8 は、短長径比 $b/a=0, 1$ において、各折り返し点で算出した、有効破壊長領域内における簡易面外変形量の最大値 $\delta_{d,max}$ を板厚 t で無次元化したものを縦軸、等価ひずみ $\bar{\epsilon}_{ms}$ を降伏ひずみ ϵ_y で無次元化したものを横軸にとったものである。この図より、簡易面外変形量の最大値 $\delta_{d,max}$ と等価ひずみ $\bar{\epsilon}_{ms}$ は、正の相関関係が成り立っており、等価ひずみ $\bar{\epsilon}_{ms}$ は、面外変形量を模擬した値であることが分かる。

図 9 は、径厚比パラメータ $R_t = 0.1$ 、細長比パラメータ $\lambda = 0.4$ の橋脚に関して、短長径比 $b/a=0, 1$ の、 $\bar{\epsilon}_{ms,95}$ となる直後の折り返し点の等高線図を示す。図 9(a)の短長径比 $b/a=0$ では、有効破壊長領域で局部座屈が発生しているが、図 9(b)の短長径比 $b/a=1$ に関しては、有効破壊長領域より上部で局部座屈が卓越している。これより、径厚比パラメータの小さい薄肉の橋脚では、有効破壊長の概念を満足しない可能性があると考えられる。

6. 結言

本研究では、無補剛パイプ断面橋脚に、水平 2 方向繰り返し载荷を与えるパラメトリック解析実施し、本研究で定義した等価ひずみ、及び簡易面外変形量に関する検討を行った。その結果、等価ひずみと簡易面外変形量の最大値の間には、正の相関関係が成り立ち、等価ひずみは面外変形量を模擬した値であることが分かった。また、径厚比パラメータの大きい薄肉の橋脚では、2 方向载荷の影響により、有効破壊長領域より上部で局部座屈が卓越し、有効破壊長の概念を満足しない可能性があることが分かった。

参考文献

1) 葛西昭ら：第一回性能規定型耐震設計に関する研究発表会講演論文集, pp.19-24, 2004.
 2) 鳥居純子ら：第 8 回地震時保有体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公演論文集, pp.219-224, 2005.

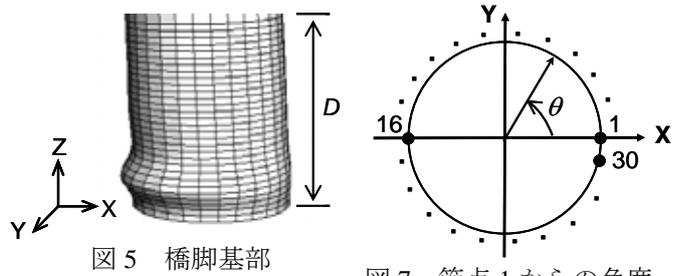


図 5 橋脚基部

図 7 節点 1 からの角度

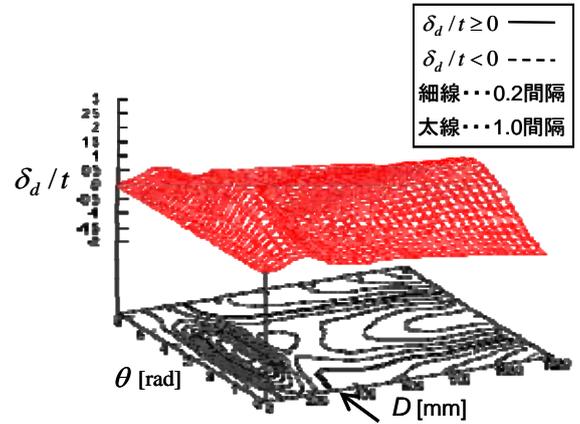


図 6 展開図と等高線図

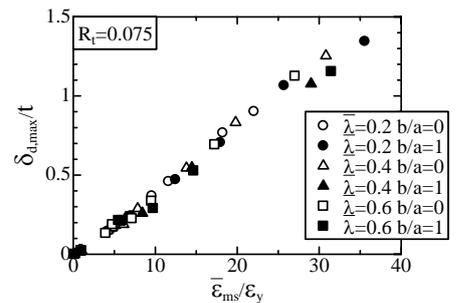


図 8 $\delta_{d,max}$ と $\bar{\epsilon}_{ms}$ の比較

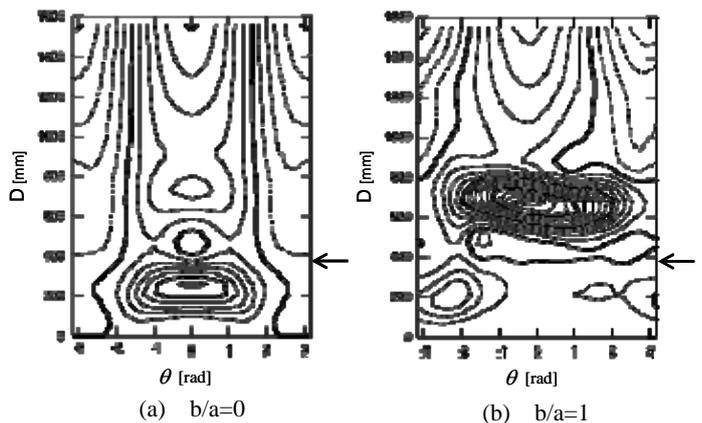


図 9 等高線図 ($R_t = 0.1, \lambda = 0.4$)