

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

○鳥居 純子

名古屋大学 フェロー

宇佐美 勉

名古屋大学 正会員

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するとしているが、既往の研究より、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、耐震設計における限界値について検討するために、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、その結果から合理的な限界値（強度および変形能）を定義し、水平 2 方向地震動を想定した耐震設計法を提案することが目的である。

2. 水平 2 方向地震動を受ける鋼製橋脚の耐震設計法について

鋼製橋脚直下に入力される水平方向地震動に対して、その橋脚頂部の応答を基部からの相対変位で見ると、図 1 の細実線のような複雑な軌跡を描く¹⁾。この概要は、卓越方向への変位の大きさと、その直角方向への拡がりでまとめられる。このことより、図 2 に示す設計手順を定義する。まず、これまでの設計手法と同様に、橋軸方向と橋軸直角方向に対して独立に検討し、その時点の照査条件を満足しない場合は、設計のやり直し、あるいは、耐震性向上策の適用を行う。そして、この両者を満足した場合について、本研究で提案する設計方法の適用を考える。

本論文で提案する手法の概要を以下にまとめる。

- 1) 鋼製橋脚に、橋軸及び橋軸直角方向に同時に地震動を入力する地震応答解析を行う。
- 2) 上記 1)より橋脚頂部と基部との相対変位の変位軌跡が得られるため、その結果より、応答の外形を楕円とみなしたときの長径（卓越方向）、短径（卓越直角方向）の大きさを算出する。
- 3) 短径と長径の比（本研究では短長径比と称する）を定め、本研究の成果より、構造パラメータから短長径比に応じた限界値曲線を算出する。
- 4) 図 1 に示すように、応答軌跡に限界値曲線を書き込み、応答が限界値曲線内であれば、耐震安全性を満足し、限界値曲線を超える場合は、設計のやり直し、あるいは、耐震性向上策の適用を行う。

本研究は以上のフローの 3)で必要とする限界値曲線を、パラメトリック解析によって定めることが目的である。

3. 数値解析手法の概要

解析モデルは図 3 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。

荷経路経路としては、前節の提案設計法のコンセプトを基に、短長径比をパラメータに荷経パターンを決定し、強度と変形能への影響を検討する。短長径比 b/a は、図 4 に示すように卓越方向を長径 a 、卓越直角方向を短径 b と

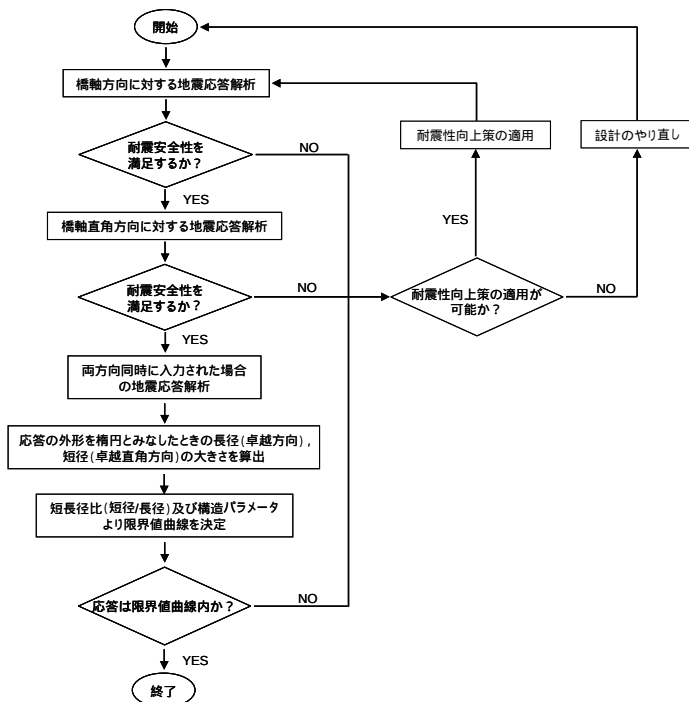


図 1 水平 2 方向地震動を考慮した設計フロー

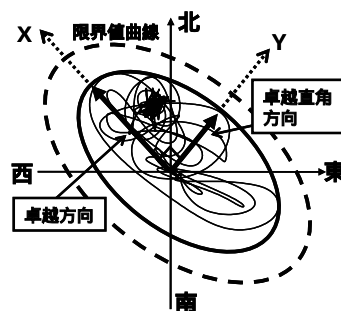
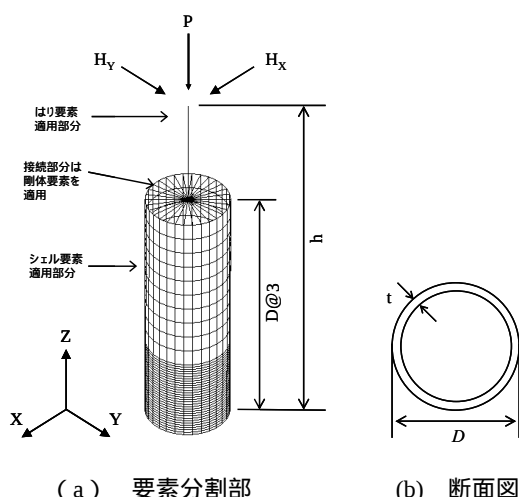


図 2 応答軌跡及び限界値曲線
（例：耐震安全性を満足した場合）

キーワード：水平 2 方向地震動、鋼製橋脚、耐震設計法

連絡先（名古屋市千種区不老町・電話 052-789-4617・FAX 052-789-5461）



(a) 要素分割部 (b) 断面図

図3 無補剛パイプ断面橋脚の解析モデル

して表現する。すなわち、短長径比 $b/a=1.0$ は、らせん状の円を描く載荷であり、 $b/a=0$ は1方向載荷（以下、載荷パターン 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 $0 (=UNI)$, 0.10 , 0.25 , 0.50 , 0.75 , 0.90 , 1.0 とする7パターンの載荷経路で解析した。

4. 水平2方向外力を想定した強度と変形能

$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$ （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2方向から水平力を受ける場合の強度と変形能の定義を行う。具体的には、卓越方向の折り返し点（x方向の変位 $=1\delta_y, 2\delta_y, 3\delta_y \dots$, y方向の変位 $=0$ の点）の復元力 H をプロットした包絡線から、+側と-側の両側において最大荷重 H_{m+} 及び H_{m-} を求め、小さい値を最大荷重 H_m とする。その H_m を取った側の包絡線から、最大荷重 H_m をとるときの変位を最大荷重時変位 δ_m とする。また最大荷重 H_m の95%にあたる変位の絶対値をとった値を95%強度に対応する変位 δ_{95} とする。

ここで、構造パラメータと短長径比の違いが、最大荷重及び95%強度に対応する変位 δ_{95} に及ぼす影響について検討する。図5は、縦軸に最大荷重 H_m を載荷パターン UNI の最大荷重 H_{mUNI} で除して無次元化したもの、図6は、縦軸に95%強度に対応する変位 δ_{95} を載荷パターン UNI の95%強度に対応する変位 δ_{95UNI} で除して無次元化したものであり、いずれも横軸は短長径比をとっている。なお、それぞれの図において、(a)は細長比パラメータが一定 ($\bar{\lambda} = 0.4$) のものを表しており、(b)は径厚比パラメータを一定 ($R_t = 0.075$) としたものを表している。

図5, 6を見ると、 H_m/H_{mUNI} 及び $\delta_{95}/\delta_{95UNI}$ と短長径比の関係は、短長径比 $b/a=0$ から短長径比が大きくなるほど若干小さくなり、短長径比 $b/a=1$ で最も小さい値をとる右下がりのグラフとなる。また細長比の小さい短柱ほど、短長径比の違いによる影響が大きくなる。

5. 結言

本研究では、水平2方向地震動を想定した耐震設計法を提案し、その提案設計法のコンセプトを基に、様々な構造パラメータ、載荷パターンについてパラメトリック解析を行った。その結果、短長径比が大きくなるほど最大荷重及び95%強度に対応する変位は小さくなり、短長径比 $b/a=1$ で最も小さい値をとる右下がりのグラフとなった。また、細長比の小さい短柱ほど、短長径比の違いによる影響が大きくなることがわかった。

参考文献

- 岡崎靖一朗ら：土木学会地震工学論文集，Vol.27，2003。
- 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。
- 後藤芳顯ら：土木学会論文集，No.780/I-70，pp.181-198，2005。

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

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

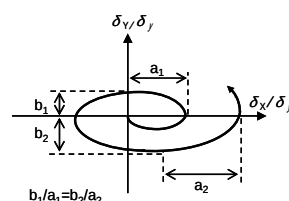
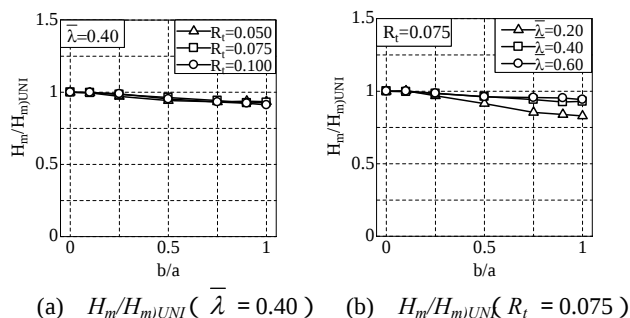
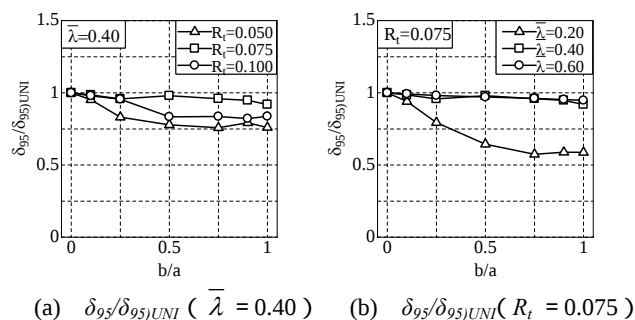


図4 短長径比の定義

図5 最大荷重 H_m 図6 95%耐荷力低下変位 δ_{95}