

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解析的研究

名古屋大学
名城大学
名古屋大学

学生会員
フェロー
正会員

○坪井 久幸
宇佐美 勉
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、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は評価していない。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、2 方向地震動同時入力解析を行い、応答変位の評価法を確立することで、2 方向地震動を想定した変位照査法の確立を目指す。さらに応答ひずみの観点からも水平 1 方向単独入力および 2 方向同時入力による評価の違いを論じ、ひずみ照査法を確立するための基礎的検討をする。

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²⁾。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、以下の概要で説明される 2 方向時振動を想定したが提案された¹⁾。

- 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) より得られる橋脚頂部と基部との相対変位の結果より、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、構造パラメータから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にあれば、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。

上記フローチャートの 2) においての、変位応答履歴曲線から応答外形楕円の描画方法が完備されていない。その方法の提案と検証が本研究の目的である。

3. 解析概要

解析モデルは図 2 に示すような、断面の方向性がない無補剛パイプ断面橋脚を対象とする。解析モデルの構造特性を定める主パラメータとして、径厚比パラメータ及び細長比パラメータを掲げ、これらを種々に定めた表 1 で示される合計 11 種類の橋脚モデルを用意する。これらのモデルに地震波を 2 方向に同時入力する解析を実施する。解析に使用する入力地震波は、道路橋示方書で推奨されている動的時刻歴応答解析用標準地震波の JR 警報地震計（鷹取）である。

なお、使用鋼材は SM490 とし、表 2 に材料定数を示す。表中において E ：弾性係数、 σ_y ：降伏応力ひずみ、 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、 σ_u ：引張強度、 ν ：ポアソン比である。また、減衰定数は 0.01 として質量比例型減衰を用いた。

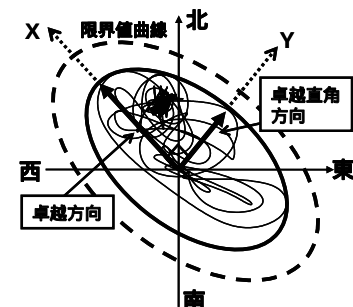


図 1 応答軌跡及び限界値曲線
(例：耐震安全性を満足した場合)

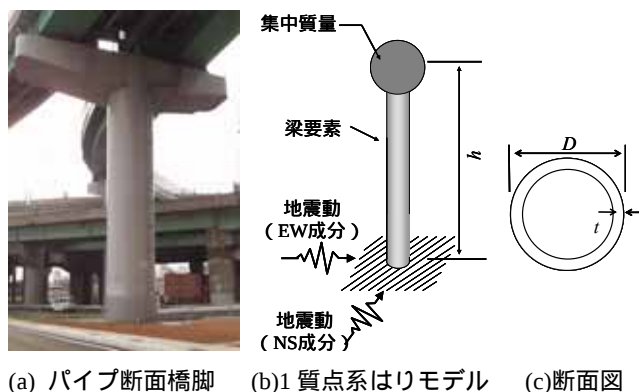


図 2 無補剛パイプ断面橋脚の解析モデル

表 1 解析モデルの構造諸元

R_t	$\bar{\lambda}$	D [mm]	t [mm]	h [m]
0.050	0.20 ~ 0.60	789	20	2.15 ~ 6.46
0.075	0.20 ~ 0.60	1170	20	3.23 ~ 9.68
0.100	0.20 ~ 0.60	1560	20	4.30 ~ 12.9

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

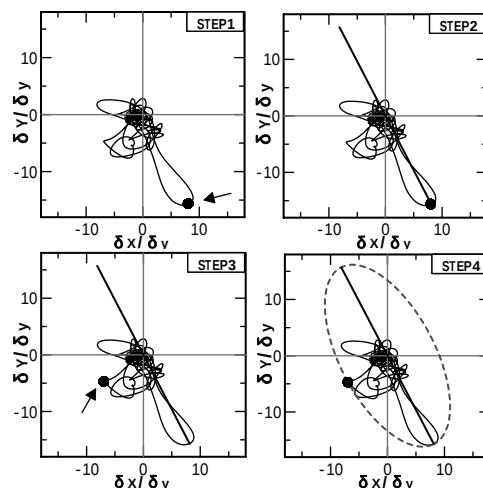


図 3 変位外形楕円の描き方

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 052-789-3733・FAX 052-789-5461）

4. 変位応答照査

本研究では以下に示す手順によって、変位履歴曲線より長径と短径の比（短長径比）を定める手法を提案する．図3に沿って説明する．

- 変位応答履歴曲線の中で原点と最も離れた点を探す．
- その点と原点を結んだ線分を長軸とする．
- その長軸と最も距離のある点を探す．
- その点を通るように楕円を引く．

以上の手順を踏み、変位外形楕円を描き、その長軸長 a 短軸長 b の比、短長径比 b/a を求める．その値より限界値曲線を求め¹⁾、図4のように応答変位履歴に重ね合わせることで耐震照査を行った．変位はそれぞれ降伏変位 δ_y で除して無次元化した．

5. ひずみ応答照査

ひずみ照査を行うにあたって図5のように断面内に24の積分点を設ける．得られる24個の中の最大の圧縮ひずみを $\varepsilon_{\max}$ とし、この $\varepsilon_{\max}$ が終局ひずみ ε_u に達した時点で破壊とする．

そこで得られた最大圧縮ひずみを縦軸に、時刻を横軸にとると、図6(a)に示されるような最大圧縮ひずみ履歴が得られる．この履歴曲線上において破壊に至る点、つまり最大圧縮ひずみ $\varepsilon_{\max}$ が終局ひずみ ε_u に達した点をプロットした．同時に前項で述べた変位照査による破壊点も同一平面の中に併記した．さらに図6(b)に示されるように、変位応答曲線にも変位照査による破壊点とひずみ照査による破壊点を両方プロットした．

変位照査とひずみ照査の違いを比較・検討するために、変位照査の破壊時のひずみと変位照査時の破壊時のひずみを比較した．その結果をパラメータごとに比較したものが図7である．得られたひずみ照査の破壊時刻のひずみ（つまり終局ひずみ）を変位照査の破壊時刻のひずみで除して無次元化したものを縦軸にとり、(a)では細長比パラメータを、(b)では固有周期を横軸にとった．

図7を見ると、すべてのモデルにおいて変位照査が安全側となった．全体的に右上がりの傾向が見え、細長比パラメータが小さく、径厚比が大きいモデルは、終局ひずみと変位照査での破壊時刻のひずみが近い値となった．パラメータによっては2方向地震動を考えるにあたって、ひずみ照査は既存の条件で有効である可能性がある．

6. 結言

本研究では、水平2方向地震動に対する耐震設計法の確立を目指し、地震波を2方向同時入力した際に得られる応答変位曲線から変位応答外形曲線を描く手法を提案し、限界値曲線を求めた．変位とひずみの両面での耐震照査よりその妥当性をパラメトリック解析により検討した．その結果により、2方向同時入力でもひずみ照査は従来の条件で有効である可能性があると考えられる．

参考文献

- 鳥居純子：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．
- 岡崎靖一郎ら：水平2方向地震動を受ける鋼製橋脚の弾塑性地震応答解析，土木学会地震工学論文集，Vol.27，2003
- 葛西昭ら：2方向水平力を受ける鋼製箱形断面橋脚の実験と性能照査法の提案，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．

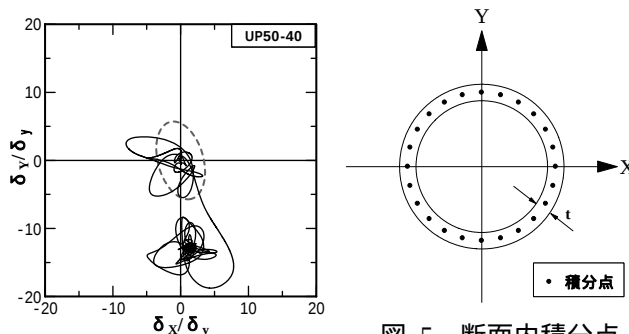
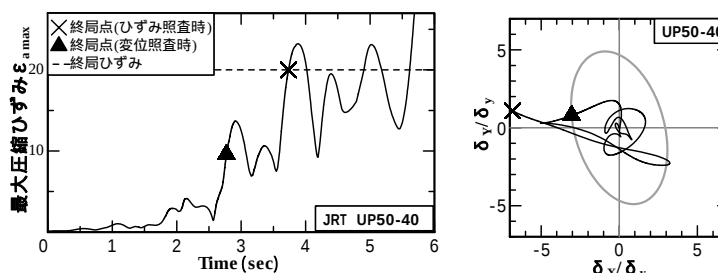


図4 変位履歴と限界値曲線

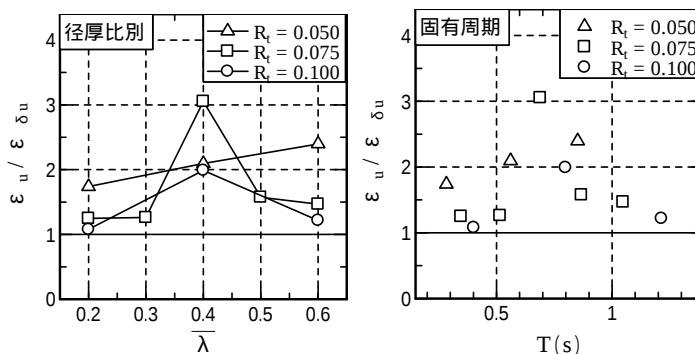
図5 断面内積分点



(a) 最大ひずみ履歴と破壊点

(b) 変位履歴と破壊点

図6 破壊照査法の違いによる破壊点の差



(a) 径厚比パラメータ別

(b) 固有周期

図7 破壊点(変位照査時)でのひずみの値と終局ひずみとの比