

大阪大学工学部 正会員○矢野公一      大阪大学大学院 正会員 小野 潔  
大阪大学大学院 工口 西村宣男

1. まえがき

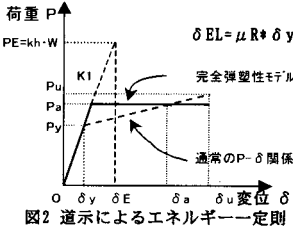
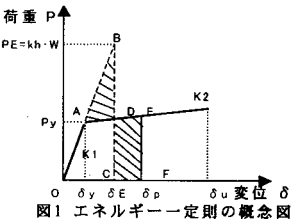
平成7年の兵庫県南部地震での鋼製橋脚の被害状況を踏まえ、道路橋示方書・同解説V耐震設計編<sup>1)</sup>(以下、「道示」という。)が改訂され、鋼製橋脚についても始めて塑性域での変形性能を考慮した設計法が導入された。その中でコンクリートを充填した鋼製橋脚については、鉄筋コンクリート橋脚の規定に準じてエネルギー一定則に基づく地震時保有水平耐力法により耐震性能を照査することとなった。しかし、鉄筋コンクリート橋脚<sup>2)</sup>に比べコンクリートを充填した鋼製橋脚へのエネルギー一定則の適用性を検討した例は少ない。また、エネルギー一定則の適用性を検討した研究の多くは兵庫県南部地震以前に行われたものであり、兵庫県南部地震で得られた地震動に対してエネルギー一定則の適用を検討した例は少ない。そこで、本研究ではコンクリートを充填した鋼製橋脚について、エネルギー一定則の適用性を検討するとともに、変位一定則のコンクリートを充填した鋼製橋脚への適用性の検討も行った。

2. エネルギー一定則および変位一定則の概要

非線形動的解析で得られる最大応答変位の簡易的な推定法の代表的なものとして、エネルギー一定則と変位一定則がある。エネルギー一定則は線形動的解析から求まる弾性最大応答変位 $\delta_E$ までに貯えられたエネルギー(図1の三角形OBCに相当)が弾塑性系の最大応答変位 $\delta_P$ までに貯えられたエネルギー(図1の台形OAEFに相当)に等しいと仮定し、非線形動的解析で得られる最大応答変位 $\delta_P$ を推定する手法である。なお、エネルギー一定則に関しては、道示で定義されている下記の式(2.1)から算出した応答塑性率 $\mu_R$ を使って求まる最大応答変位についても検討を行った(図2参照)。

$$\mu_R = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{k_p W}{P_s} \right)^2 + 1 \right\} \frac{P_s}{P_p} \tag{2.1}$$

変位一定則は弾性最大応答変位 $\delta_E$ が弾塑性系の最大変位と等しいと仮定し、非線形動的解析の最大応答変位を推定するものである。



3. 解析モデル

今回検討の対象としたコンクリートを充填した鋼製橋脚は、実際建設される鋼製橋脚になるべく構造諸元が近くなることに配慮し、「道路橋の耐震設計に関する資料」<sup>3)</sup>の中にあるコンクリートを充填した鋼製橋脚であるP2橋脚(B種の橋、II種地盤)とした。また、このP2橋脚をもとに、主に橋脚の高さを調節することにより、P2橋脚より初期降伏剛性にに基づき算出した固有周期が大きい橋脚を2基、小さい橋脚を2基、それぞれ道示<sup>1)</sup>の規定に従い試設計した。そしてこれら合計5種類のコンクリートを充填した鋼製橋脚について、それぞれ橋軸方向および橋軸直角方向の合計10ケースについてP-δ関係に基づくバイリニア型の復元力モデルを設定して検討を行った。表1に10ケースの復元力モデル設定に用いた諸数値を示す。なお、非線形動的解析における部材の減衰定数は道示<sup>1)</sup>の規定に従い、表1の復元力モデルによる非線形動的解析では0.02、線形動的解析では0.05とした。

表1. 橋脚のP～δ関係

| case番号 | 橋脚or<br>直角 | 固有周期<br>T(s) | 降伏荷重<br>P <sub>y</sub> (kN) | 降伏変位<br>δ <sub>y</sub> (m) | 終局荷重<br>P <sub>u</sub> (kN) | 終局変位<br>δ <sub>u</sub> (m) |
|--------|------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| No1    | 橋脚         | 1.070        | 6531.8                      | 0.035                      | 9169.2                      | 0.306                      |
|        | 直角         | 1.170        | 5304.9                      | 0.055                      | 7180.2                      | 0.471                      |
| No2    | 橋脚         | 1.110        | 6103.5                      | 0.049                      | 8317.4                      | 0.397                      |
|        | 直角         | 1.250        | 4842.5                      | 0.074                      | 6588.9                      | 0.625                      |
| No3    | 橋脚         | 1.180        | 5492.0                      | 0.065                      | 7523.9                      | 0.536                      |
|        | 直角         | 1.320        | 4712.0                      | 0.094                      | 6257.0                      | 0.740                      |
| No4    | 橋脚         | 1.230        | 5415.9                      | 0.083                      | 7266.3                      | 0.663                      |
|        | 直角         | 1.380        | 4721.7                      | 0.117                      | 6165.3                      | 0.884                      |
| No5    | 橋脚         | 1.290        | 5347.3                      | 0.103                      | 7047.5                      | 0.797                      |
|        | 直角         | 1.450        | 4722.7                      | 0.141                      | 6075.7                      | 1.034                      |

#### 4. 入力地震動

今回の検討に用いた入力地震動は、対象としたコンクリートを充填した橋脚の地盤条件がⅡ種地盤であることから、

- ① 実際の設計で使用されると考えられる「道路橋の耐震設計に関する資料」<sup>3)</sup>にあるタイプⅠおよびタイプⅡの地震波のうち、Ⅱ種地盤の地震動6波
- ② 既往の研究<sup>4)</sup>で使用されたわが国の地盤上で得られたマグニチูด 6.5 以上の強震記録の 63 成分のうち、Ⅱ種地盤の 37 成分の地震波

を用いることとした。そのうち②の地震波については、全体の約 3/4 の波の最大加速度が 60gal 以下であり、強震記録をそのまま用いて非線形動的解析を行うと塑性域に入るものが少なかったため、加速度を 3 倍にした地震波を作成しその地震波でも解析を行った。

#### 5. エネルギー—定則および変位一定則の適用性に関する検討

表 1 に示す復元力特性を有する 1 自由度質点系のモデルに、4. で説明した地震動を入力して非線形動的解析を行い最大応答変位  $\delta_{NL}$  を求めた。また、1 自由度質点系のモデルに同様の地震動を入力して線形動的解析を行い最大応答変位  $\delta_E$  を求め、その  $\delta_E$  をエネルギー—定則により  $\delta_{EL}$  (図 1 の一般的なエネルギー—定則によるもの) および  $\delta_{ELD}$  (式 (2.1) および図 2 の道示の規定によるもの)、変位一定則により  $\delta_{DL}$  にそれぞれ変換した。図 3 に  $\delta_{NL}$  と  $\delta_{EL}$  の関係を、図 4 に  $\delta_{NL}$  と  $\delta_{ELD}$  の関係を、図 5 に  $\delta_{NL}$  と  $\delta_{DL}$  の関係をそれぞれ示す。図 3 および図 4 より、兵庫県南部地震で得られたタイプⅡの地震動以外については非線形動的解析とエネルギー—定則の結果は比較的よい適合性を示しているものが多いが、タイプⅡの地震動に対してはエネルギー—定則による最大応答変位  $\delta_{EL}$  および  $\delta_{ELD}$  は、非線形動的解析から得られる最大応答変位  $\delta_{NL}$  よりかなり大きな値となっていることがわかる。他方、図 5 より、今回検討を行ったいずれの地震動に対しても非線形動的解析と変位一定則の結果は比較的良い適合性を示していることがわかる。また、図 6 より、一般的なエネルギー—定則と道示で規定するエネルギー—定則の結果はほとんど等しいことが分かる。

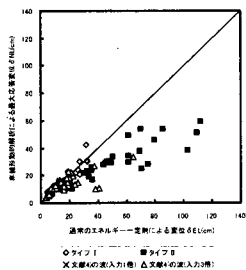


図 3.  $\delta_{NL}$  と  $\delta_{EL}$  の相関図

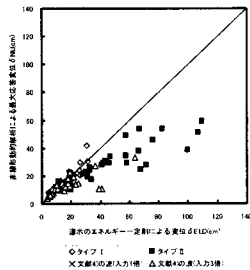


図 4.  $\delta_{NL}$  と  $\delta_{ELD}$  の相関図

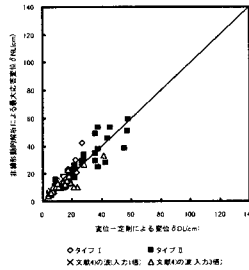


図 5.  $\delta_{NL}$  と  $\delta_{DL}$  の相関図

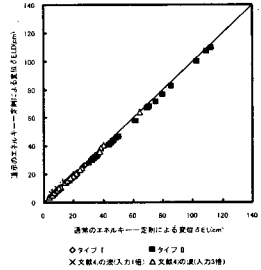


図 6. 通常のエネルギー—定則と道示のエネルギー—定則の比較

#### 6. まとめ

コンクリートを充填した鋼製橋脚に関してエネルギー—定則および変位一定則の適用性の検討を行った。その結果、エネルギー—定則ではタイプⅡの地震動に対して非線形動的解析から求まる最大応答変位よりかなり大きめの値を示したのに対し、変位一定則と非線形動的解析結果は今回検討を行ったいずれの地震動に対しても比較的良い適合性が見られた。

なお、表 1 にある復元力モデルの諸数値の算出に当たっては、国土交通省土木研究所中洲研究員、(株)建設技術研究所山根氏等のご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

#### 【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ・耐震設計編 平成 8 年 12 月
- 2) 川島一彦・長谷川金二・小山達彦・吉田武史：等価エネルギー法による鉄筋コンクリート橋脚の非線形地震応答変位の推定精度、土木技術資料 29-5 1987
- 3) (社)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料 平成 9 年 3 月
- 4) 川島一彦・星留順一・長屋和弘：残留変位応答スペクトルの提案とその適用、土木学会論文集、No.501/1-29, pp.183-192, 1994.10