

I-3 強震下における道路橋の簡易損傷度算定法に関する基礎的研究

徳島大学大学院 学生員 ○松本 豊 徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔
 徳島大学工学部 正 員 成行 義文 ㈱川崎重工業 正 員 前田 哲男

1. はじめに 本研究では、昨年度¹⁾に引き続き、強地震下における道路橋の損傷を Push-Over 解析より得られる等価 1 自由度系モデルを用いて近似的に評価する簡易算定法について検討したものであり、昨年度の研究に次のような改良を加え、その有用性について若干の比較検討を加えた。

- (1) Push-Over 解析に用いる水平荷重比を、有効質量を用いて準理論的に決定すること。
- (2) 等価 1 自由度系の最大変位を、動的解析を行わないで求められるように、リダクションファクター R_μ のスペクトルを作成しておくこと。
- (3) 等価 1 自由度系の復元力特性を Bilinear 型で近似する際の、精度のよい近似法を提案すること。

2. 解析手順 単柱式橋脚を例にとり、本簡易損傷度の解析手順を示すと次のようになる。

①橋脚を、上部構造の慣性力の作用位置、張出し梁部、橋脚躯体の重心位置に集中質量を持つ多自由度系にモデル化する。

②橋脚躯体を高さ方向に要素分割し、各分割断面のモーメント-曲率 ($M-\phi$) 関係を道路橋示方書の保有水平耐力法と同様にして求める。

③①で求めた多自由度系モデルの有効質量分布 $\bar{M}^{(j)}$ を用いて、Push-over 解析に用いる水平荷重比 P_i を決定する(式(1))。

④決定した水平荷重比 P_i を用いて Push-Over 解析を行い、多自由度系モデルの変形状比 ϕ_i 、及び特性点(単柱式橋脚では最上質点)の変位 D_i と各質点に載荷される荷重 P_i の関係を求める(図-1)。

⑤④で得られた ϕ_i 、 D_i 及び P_i を式(2)³⁾に代入し、等価 1 自由度系モデルの復元力-変位 (Q^*-D^*) 関係を求める。

⑥求まった Q^*-D^* 関係を図-2 に示すように Bilinear 型に近似する。

⑦⑥で得られた復元力特性及び擬似加速度スペクトル A_e から等価 1 自由度系における固有周期 T^* (式(3))及びリダクションファクター R_μ (式(4))を求め、あらかじめ作成しておいた R_μ スペクトルから、 T^* 及び R_μ に対応する変位靱性率 μ を求める(図-3)。そして、これに降伏変位 D_y を乗じて最大変位 $D_{\max}^*$ を算出する。

⑧⑦で得られた等価 1 自由度系モデルの最大変位 $D_{\max}^*$ を、⑤と逆の方法で多自由度系モデルにおける特性点の最大変位 $D_{i,\max}$ に再変換する。

⑨④で行ったように再度、Push-Over 解析を行い特性点の変位が $D_{i,\max}$ に至った時の、各質点の変位 D_i 、各部材要素の損傷 $D_{\theta} = \theta_i / \theta_{ui}$ を算出する。

$$\begin{bmatrix} u_1^{(1)} & u_1^{(2)} & \cdots & u_1^{(j)} \\ u_2^{(1)} & u_2^{(2)} & \cdots & u_2^{(j)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_i^{(1)} & u_i^{(2)} & \cdots & u_i^{(j)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} r_m^{(1)} \\ r_m^{(2)} \\ \vdots \\ r_m^{(j)} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_i \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$r_m^{(j)} = \frac{\bar{M}^{(j)}}{\sum_{j=1}^n \bar{M}^{(j)}}$$

$$\left. \begin{aligned} M^* &= \sum m_i \phi_i \\ D^* &= \frac{\sum m_i \phi_i^2}{\sum m_i \phi_i} D_i \\ Q^* &= \sum \phi_i P_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{k^*}} \quad (3)$$

$$R_\mu = \frac{M^* A_e}{Q_y^*} \quad (4)$$

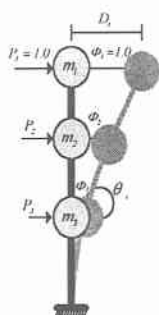


図-1 Push-Over 解析

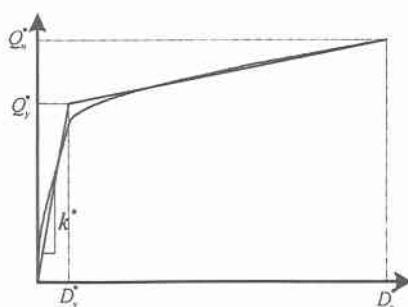


図-2 Bilinear 近似

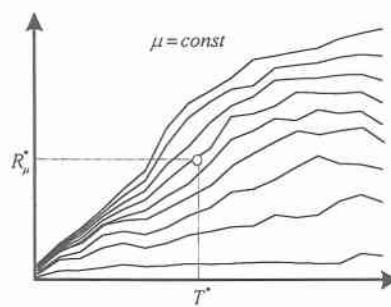


図-3 R_μ スペクトル

3. 解析例 解析には、昨年度と同様に図-4 に示す単柱式橋脚、等橋脚連続橋の多自由度系モデルを用いた。そして、簡易算定法の基となる水平荷重比に、有効質量から求まるものを用いた。また、比較のために単柱式橋脚の水平荷重比には、昨年度の研究でよい結果が得られた桁 1 点載荷(上部構造の慣性力の作用位置のみに水平荷重を与える)を加えた。なお、有効質量については、単柱式橋脚では、図-4 (a) に示す多自由度系モデルから求まるものを用い、等橋脚連続橋では、図-4 (b) に示すような、すべての橋脚基部を剛結とした多自由度系モデル(塑性化を無視したもの)、及び図-5 に示すような、外側の橋脚基部をヒンジとした多自由度系モデル(塑性化を考慮したもの)の2通りを用いた。

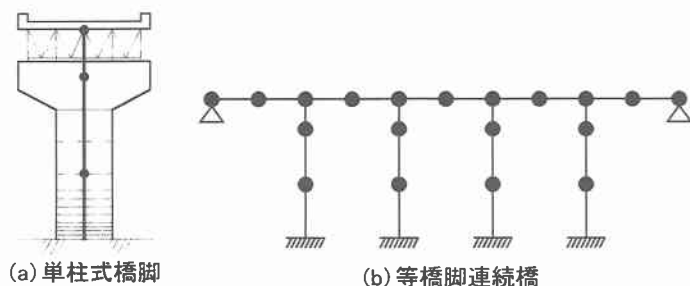


図-4 解析対象構造物の多自由度系モデル

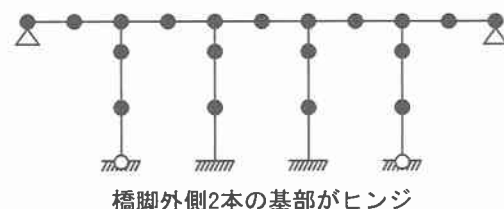


図-5 塑性化を考慮する場合の多自由度系モデル

また、本研究では精度のよい Bilinear 型への近似法を検討するために、多自由度系から等価 1 自由度系へ変換する際の降伏点を基準として、復元力特性の諸量(初期剛性、降伏変位、降伏耐力、リダクションファクターなど)を近似することとした。そして、橋脚躯体高さの異なる 2、3 の橋脚について解析を行い、それらの解析結果が動的解析結果と一致するように、試行錯誤的にその諸量を求めた。その結果、橋脚躯体高さに関係なく、降伏耐力を増減することにより動的解析結果と比較的よく一致することが分かった。

4. 解析結果 図-6 及び図-7 に単柱式橋脚及び等橋脚連続橋の最大変位の比較を示す。単柱式橋脚では、水平荷重比の相違による影響は小さくなる(図-6)。これに対し等橋脚連続橋では、水平荷重比の相違による影響が大きくなる(図-7)。また、等橋脚連続橋において、塑性化を考慮しない有効質量の場合は、変位形状が動的解析結果と異なるが、塑性化を考慮した有効質量の場合は、変位形状が動的解析結果とほぼ一致している。

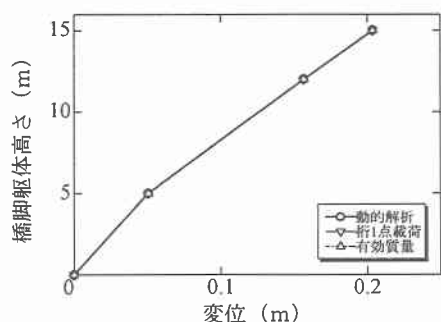


図-6 単柱式橋脚の最大変位(タイプⅡ)

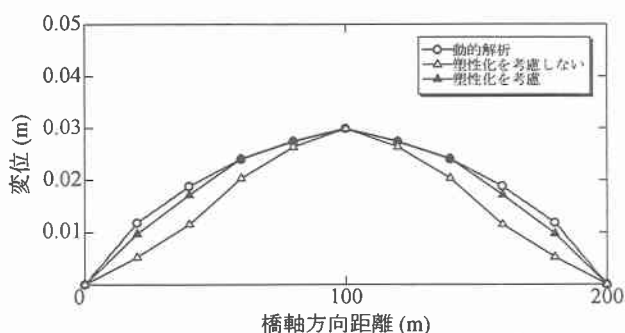


図-7 等橋脚連続橋の最大変位(タイプⅡ)

5. まとめ 単柱式橋脚のような上部構造に力が集中する構造物では、本研究で提案した有効質量分布、あるいは桁 1 点載荷のような単純な水平荷重比を用いればよい結果が得られる。これに対し、等橋脚連続橋のような多質点構造物では、構造特性や塑性化を考慮した水平荷重比分布を用いる必要がある。また、等価 1 自由度系の復元力特性を Bilinear 近似する際には、多自由度系から等価 1 自由度系へ変換する時に得られる降伏点を基準にして、降伏耐力を増減することにより精度のよい近似ができる。なお、他の詳細な解析手順及び解析結果については、当日の OHP で示す。

6. 参考文献 1)曾我部 直樹：第 5 回 四国支部 技術研究発表会講演概要集, pp60-61, 1999.5

2)大崎 順彦：建築構造学大系 24,振動理論,彰国社,pp163-205, 1980.5

3)Helmut Krawinkler, G.D.P.K.Seneviratna : Pros and cons of Pushover analysis of seismic performance evaluation, Engineering Structures, Vol.20, Nos 4-6, pp452-464, 1998