

RC2 層ラーメン高架橋の面内方向 に対する合理的耐震設計法の提案

東北大学 学生員 ○丸中 孝通
東北大学 学生員 田中 慎介
東北大学 正会員 鈴木 基行

1. はじめに

RC 2 層ラーメン高架橋は 1 次振動モードが支配的であることから、静的非線形解析より得られる水平力－水平変位関係に着目した時、エネルギー一定則によって近似される非線形最大応答変位により動的解析から得られる最大応答変位を推定できると考えられる。そこで本研究では RC2 層ラーメン高架橋を対象に、静的非線形解析により地震時の応答変位を推定する手法を確立し、それに基づく耐震設計法を提案した。

2. 静的非線形解析

(1) 静的解析方法

解析対象としたのは、東北新幹線標準設計の高さ 10m から 14m の RC2 層ラーメン高架橋である。図-1 に高さ 12m 時の解析モデルを示す。部材モデルには Gibson モデルを用い、部材の曲げモーメント－回転角関係は、テトラリニア型の骨格曲線を持つ武田モデルを基本とする耐力低下型モデルとした。

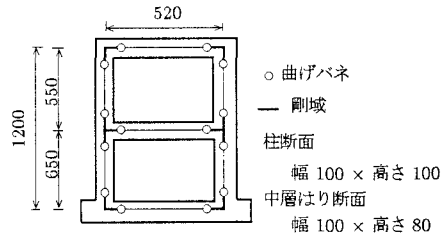


図-1 高架橋モデル 単位：(cm)

なお、本研究では各部材の破壊モードが曲げ破壊型となるようにせん断耐力を各部材に与えている。そして、高架橋の各節点での回転慣性を無視することにより、2 自由度系にマトリクスを縮小した。

柱および中層はりの軸方向鉄筋比をそれぞれ変化させた骨組みモデルに対して固有値解析を行った結果、各高架橋モデルは 1 次モードが他の振動モードに比べて卓越することが確認された。よって、静的非線形解析で与える変位増分は、1 次振動モードに比例させた水平変位を 1 層目と 2 層目に漸増させることとした。

(2) 解析結果

水平変位を漸増させた高架橋全体の水平力－水平変位 (P-δ) 関係の一例を図-2 に示した。ここに、水平力 P は 1 層目と 2 層目の水平力の合計を表し、水平変位は高架橋天端位置の変位を表している。

解析を行った全ての高架橋モデルで 6 個の曲げバネが降伏点に到達すると高架橋全体の P-δ 関係は第 2 勾配に入り、同じく 6 個の曲げバネが終局点に到達したときに、P-δ 関係は下り勾配に入った。よって、本研究では 2 層ラーメン高架橋としての降伏点を 6 個の曲げバネが降伏点に達した時、終局点を 6 個の曲げバネが終局に達した時とした。

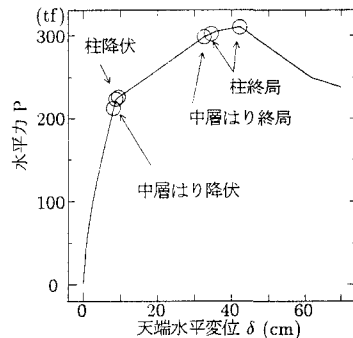


図-2 高架橋全体の水平力－水平変位関係

3. エネルギー一定則に基づく弾塑性応答変位

(1) 弾塑性応答変位の推定法

静的非線形解析より得られた高架橋全体としての P-δ 関係にエネルギー一定則を適用して弾塑性応答変位を推定する。まず、高架橋全体の P-δ 関係から降伏剛性および降伏点と終局点を算定する。そして、降伏点と終局点を結ぶ直線を降伏後剛性とするバイリニア型の P-δ モデルに対して、エネルギー一定則を適用し弾塑性応答変位を推定する。ただし本研究では、降伏後の勾配が大きいので、2 次剛性を考慮した式 (1) を用いて応答変位を推定した。

$$\delta_{st} = \frac{1}{r} \left\{ r - 1 + \sqrt{1 - r + r \left(\frac{k_{hc} \cdot W}{P_y} \right)^2} \right\} \delta_y \quad \dots \quad (1)$$

ここに、 r ：降伏剛性と 2 次剛性の比、 k_{hc} ：道路橋示方書に規定される地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度¹⁾、 P_y, δ_y ：高架橋全体の P-δ 関係より得られる降伏時耐力 (tf) と降伏変位 (cm)、 W ：上部

構造と橋脚の等価重量 (tf) で式 (2) により算出する²⁾。

$$W = \frac{gKT^2}{4\pi^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 T ：高架橋の 1 次モードの固有周期 (s)、 K ：高架橋の初期剛性 (tf/m)、 g ：重力加速度 (m/s^2)

(2) 解析結果

それぞれの断面諸元を持つ高架橋モデルについて、動的解析を行い高架橋天端位置の最大応答変位 δ_{dy} を算定し、エネルギー一定則に基づく静的非線形解析から得られる弾塑性応答変位 δ_{st} との比較を行った。なお、動的解析には、道路橋示方書に規定されるタイプ II の地震動を用いた。図-3～図-5 に示す結果より、 $\delta_{st} / \delta_{dy}$ は I 種地盤で 0.97～1.86 程度であり、II 種では 0.75～1.25、III 種で 0.73～1.19 であり比較的良好な精度で動的解析を行うことなく地震時の非線形系の応答変位を推定できていると考えられる。

ただし、3 つの地盤種別のいずれの場合においても、高架橋の固有周期が短周期側になるにつれて $\delta_{st} / \delta_{dy}$ の値が小さくなる傾向があり、特に $\delta_{st} / \delta_{dy}$ が 1 を下回ると、動的解析結果が静的解析結果より大きくなり、推定された応答変位が危険側の評価になることがある。また、地盤種別毎の比較から、I 種地盤ではほとんどの周期区分において安全側の評価となるのに対して、II 種地盤から III 種地盤となるにつれて危険側の解析になることがわかる。

4. 静的非線形解析に基づく 2 層ラーメン高架橋の耐震設計法

エネルギー一定則に基づく静的非線形解析を用いた応答変位の推定法について検討した結果、周期領域や地盤種別によっては、危険側の評価になることがわかった。そこで、動的解析より得られる応答変位を過小評価する場合にも高架橋の安全性を確保できる許容変位について検討する。許容変位は、道路橋示方書に規定される式 (3) から算出される変位を用いる。

$$\delta_a = \delta_y + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 δ_a ：高架橋の許容変位 (cm)、 δ_y ：高架橋の降伏変位 (cm)、 δ_u ：高架橋の終局変位 (cm)、 α ：安全率 (= タイプ II 地震動に対して 1.5)

様々な断面諸元を持つ高架橋について検討した結果、この許容変位と推定変位を比較し、安全と判断された高架橋は動的解析より求められる天端最大応答変位 δ_{dy} より、エネルギー一定則により推定した弾塑性応答変位が過小評価していても、 δ_{dy} は高架橋の終局変位に対して十分な余裕を確保できていた。従って、実設計への適用に際し、静的非線形解析より算出される弾塑性応答変位が、式 (3) の許容変位を満足する RC 2 層ラーメン高架橋を設計することにより、現行の道路橋示方書で規定する地震力に対して十分な安全性を確保することが可能となる。

5. 結論

本研究により得られた結論は次のとおりである。(1) エネルギー一定則に基づく静的非線形解析より弾塑性応答変位を算定する手法を提示し、動的解析より得られる最大応答変位と比較した結果、精度よく 2 層ラーメン高架橋の地震時応答変位が推定できることを確認した。(2) 静的非線形解析に基づく RC 2 層ラーメン高架橋の面内方向を対象とした耐震設計法を提案した。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996.12
- 2) 田崎賢治・運上茂樹・寺山徹：ダブルデッキ 2 層式 RC ラーメン橋脚面内方向の耐震計算法，平成 10 年度土木学会年次学術講演会概要集，I-B128，pp.256-257，1998.9

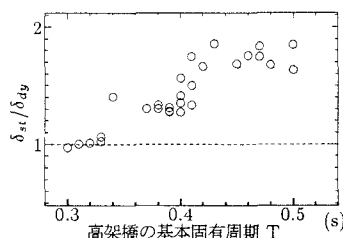


図-3 静的解析と動的解析の比較 (I 種地盤)

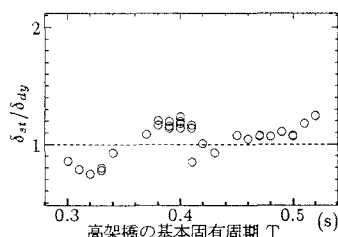


図-4 静的解析と動的解析の比較 (II 種地盤)

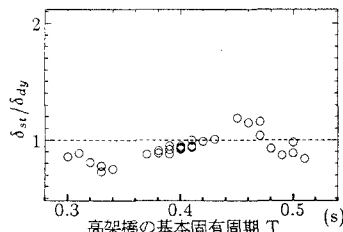


図-5 静的解析と動的解析の比較 (III 種地盤)