

鉄道高架橋を対象とした実用的な耐震性能指標の算定法に関する検討

(株) トーニチコンサルタント ○正会員 佐藤僚生
 同 上 正会員 白井英夫
 同 上 正会員 高橋幸浩
 同 上 正会員 藤川隆史

1. はじめに

兵庫県南部地震により多くの土木構造物が大きな被害を受け、鉄道構造物もこれまでに経験したことの無い大きな被害を受けた。被害の大きかったものとして鉄筋コンクリートのラーメン高架橋があり、鉄道構造物の復旧や耐震設計のあり方等について「既存の鉄道構造物に係る耐震補強の緊急措置について」および「鉄道新設構造物の耐震設計に係る当面の措置について」が提言された。この中では緊急耐震補強の対象構造物としてRC柱を有するラーメン高架橋が選定されており、大規模地震に対しても崩壊しないことが明記されている。現在、脆性的な破壊が生じる恐れのある構造物について、提言にもとづいた緊急耐震補強が行われているところである。

既設構造物の耐震補強を行うためには、その構造物が保有している耐震性能指標を適切な方法で把握し、総合的な判断による耐震診断が必要である。既設構造物の耐震診断は、高架橋を構成する部材に着目した耐力・変形性能と、高架橋の安定性能について行うのが一般的であるが、診断のもととなる耐震性能指標の算定法は、「既設コンクリート構造物の耐震診断と耐震補強(試案)」¹⁾からも十分に確立している状況ではないと言える。そこで、耐震診断に用いる耐震性能指標である高架橋の各部材が曲げ降伏(M_y)、曲げ耐力(M_u)、せん断耐力(V_y)に至る時の震度の算定手法として静的な2次元骨組解析を取り上げ、部材線形および部材非線形解析を行った。そして、得られた指標を用いて耐震診断を行い、既設高架橋の一次診断として用いられる高架橋RC柱の V_u/V を用いた耐震診断結果と比較し、実用的な耐震性能指標を算定する手法について検討を行った。その結果について報告する。

2. 耐震診断の手法

既設構造物の耐震診断は、兵庫県南部地震のRC構造物の被害状況に鑑み、部材または構造物の破壊型式がせん断破壊先行となるような保有耐震性能の乏しい構造物を抽出することを目的としている。構造物の保有耐震性能は、現行の鉄道標準²⁾による耐震設計の考え方(限界状態設計法)に準じて算定し、想定する地震動による応答との比較で行った。耐震診断のフローチャートを図1に示す。

3. 静的解析による耐震性能指標の算定

(1)解析モデル： 解析対象としたのは、鉄道用の一般的な1層3径間のRCラーメン高架橋である。その一般図を図2に示す。基礎は地中梁を有する一柱一杭型式で、場所打ち杭の杭径は1.5m、杭長は7.0mである。解析モデルは、基礎杭を含んだ地盤ばねで支持された2次元平面骨組モデルとし、当社で開発した任意形状平面骨組非線形弾塑性プログラム(NRAIL)を使用し、線路方向について行った。骨組の軸線は各部材の軸心に設定し、柱および杭と梁とは剛結させ、各隅角部には剛域を考慮した。骨組には、地盤反力に上限値を持った弾塑性型の地盤ばねを設けて地盤反力を評価した。非線形解析においては、柱および梁の各部材を小断面に分割し、分割した各断面にコンクリートのひび割れ、鉄筋の降伏、コンクリートの圧壊を考慮したトリニア型の非線形特性

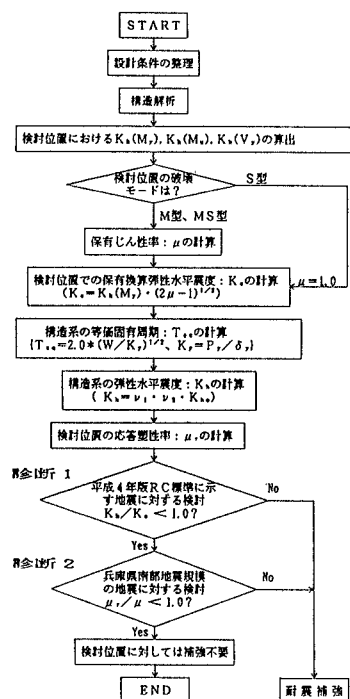


図-1 耐震診断フローチャート

キーワード：耐震診断/耐震性能指標/静的非線形解析/柱の V_u/V
 連絡先 (〒151 東京都渋谷区本町1-13-3 TEL:03-3374-4084、FAX:03-3374-4744)

を与え、軸力の変動を考慮した。材料強度はコンクリート $f'_{ck}=240(\text{kgf/cm}^2)$ 、鉄筋 $f_{syk}=3500(\text{kgf/cm}^2)$ とした。

(2)荷重：想定する地震動は、新設構造物で想定される地震動と同規模とした。荷重および組合せは鉄道標準²⁾によった。

(3)耐震性能指標：地震荷重を漸増载荷させて、各分割断面が曲げ降伏(M_p)、曲げ耐力(M_u)、せん断耐力(V_p)に至る際の震度をそれぞれ算定した。

4. 耐震診断結果の比較

(1)静的解析結果の比較：表1に線形解析で得られた結果と非線形解析で得られた結果を示す。柱の

せん断耐力に達する際の震度である $K_h(V_p)$ が最も低くこの構造物の破壊モードは柱のせん断破壊先行型となった。

線形解析では震度と構造物の変形量が図3に示すように線形関係にある(多少グラフが曲線になっているのは、地盤の弾塑性を考慮している為)が、非線形解析では図4に示すように変位が急増する点が現れる。これは図5の変形図からも判るように、柱下端に塑性ヒンジが発生したためであり、塑性ヒンジ発生以降の地震力はこの部分で吸収される。つまり、線形解析の場合この震度以上の耐震診断は、構造物の破壊状況が考慮されていないこととなる。表2はこの高架橋の柱についての解析結果であるが、これを図3及び図4の $P \sim \delta$ 曲線にプロットしてみると、非線形解析を行うことにより実際の挙動に近い破壊状況が考慮されているのが判る。従って、二次診断として静的骨組解析により耐震性能指標を算定する場合には、実際の破壊状況を考慮して変形量にも着目した解析を行う必要がある。

(2)一次診断(V_p/V)との比較：RC柱の V_p/V の値は0.45~0.48となり、簡便な一次診断からも柱せん断破壊先行型の破壊モード

となり、静的解析の結果と一致した。

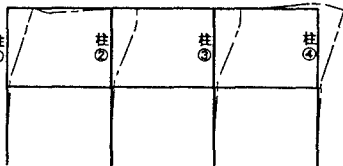


図-5 変形図

6. 今後の課題

高架橋の二次診断に用いる耐震性能指標を実用的に算定する手法としては、静的非線形解析が望ましいことを報告した。今後はこれを補強構造物の耐震性能の定量的な評価法に発展させる必要があると考える。

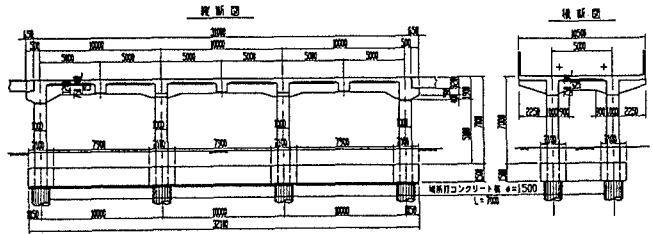


図-2 一般図

表1 線形および非線形解析結果(現状)

部材	解析法	破壊モード	$K_h(M_p)$ または $K_h(V_p)$	以性率 μ	保有耐震性能 K_e
柱	線形	S	0.21	—	0.21
	非線形	S	0.21	—	0.21
上層梁	線形	S	0.72	—	0.72
	非線形	S	0.61	—	0.56
地中梁	線形	S	0.45	—	0.45
	非線形	S	0.48	—	0.64

表2 線形および非線形解析結果(柱)

柱番号	解析法	$K_h(M_p)$	$K_h(V_p)$
①	線形	0.72	0.38
	非線形	0.76	0.35
②	線形	0.43	0.21
	非線形	0.55	0.21
③	線形	0.48	0.26
	非線形	0.57	0.25
④	線形	0.85	0.43
	非線形	0.69	0.37

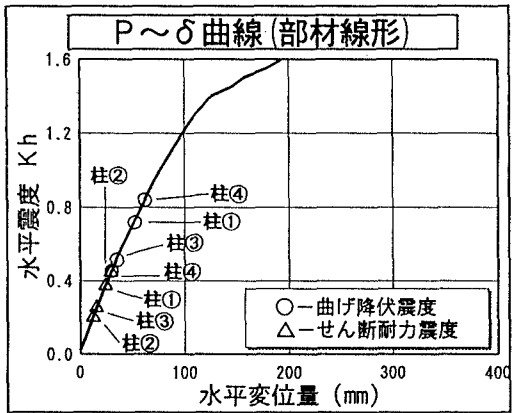


図-3

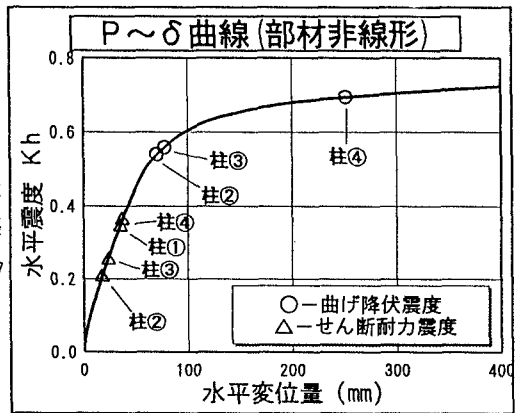


図-4

参考文献：1) 土木学会コンクリート委員会：「平成8年度制定 コンクリート標準示方書【耐震設計編】改訂資料」、コンクリートライブラリー第87号、平成8年7月
2) (財)鉄道総合技術研究所：「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」、平成4年10月