

L2 地震動を上回る地震動に対する鉄道構造物の成立性に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所 正会員 坂井 公俊 室野 剛隆
中央復建コンサルタンツ 正会員 ○今村 年成 手嶋 正和

1. はじめに 現行の鉄道構造物の耐震基準¹⁾では、建設地点で想定される最大級の地震動（L2 地震動）に対して安全性を確保すること、構造物の耐用期間内に想定される全ての地震動に対して復旧性を満足することが規定されている。一方で、宮路ら²⁾は、橋梁の耐震性能目標に関するアンケート調査を実施し、兵庫県南部地震と同程度の地震が発生した場合に、橋梁は 7 日以内に復旧すべきという回答が 90%を占めること、ダメージフリー橋を建設するために 30%のコストアップを認めるという回答が 80%となることを報告している。その上で、土木技術者と社会（利用者）との間には安全性のレベルに関する乖離が少なからずあることを指摘している。本報では、鉄道構造物を対象に、標準 L2 地震動を上回る地震動に対する安全性を議論するための基礎資料を得ることを目的として、鉄道構造物で標準的なラーメン高架橋を対象として、構造物の成立性とそれに要する初期建設コストについて試算した。

2. 検討対象構造物および検討ケース 検討対象は、1 層 4 径間 RC ラーメン高架橋とした。対象構造物の一般図を図-1 に示す。高架橋高さは 11.2m であり、基礎形式は、1 柱 1 杭形式の場所打ち杭である。基本ケース（Case1）では、構造物の諸元は、柱寸法は 1.0m×1.0m、杭径はφ1.1m、杭長は L=23.0m であり、支持層への根入れは 1.2m である。地盤条件は、G3 地盤（普通地盤）であり、支持層は GL-23.7m に存在する洪積砂礫層である。支持層の上部には、N 値 30 程度の砂礫層や砂層と、N 値 10 程度の粘性土層が堆積している。本検討では、議論を簡単にするために、液状化に対する検討は行わないものとする。

検討ケースは、鉄道構造物の耐震基準に記載されている L2 地震動スペクトル II に対する所要降伏震度スペクトルを 1.0 倍、1.5 倍、2.0 倍とした 3 ケースである。構造物の要求性能は安全性とし、柱部材が先行降伏するように諸元設定を行った。解析ケースの一覧を表-1 に示す。同表には、検討の結果得られた構造物諸元も合わせて示している。応答値算定手法としては、非線形応答スペクトル法を用いることとした。

3. 検討結果 各検討ケースにおける柱と杭の断面諸元を表-2 に示す。柱部材は、コンクリートを 24N/mm²、鉄筋の材質を SD390、鉄筋径を D32、配置段数を 1 段に固定した結果、地震作用が 1.5 倍、2.0 倍となるにつれて、部材寸法は 1.0m→1.3m→1.6m となった。杭は、コンクリートを 30N/mm²、鉄筋の材質を SD390、配置段数を 1 段に固定した結果、1.1m→1.5m→2.0m となった。杭長は、杭の支持降伏を生じさせないようにする要求から、L=23m→25m→28m となった。

各検討ケースにおける荷重変位曲線を図-2 に、応答値の一覧を表-3 に示す。地震作用が 1.5 倍になると構造物の降伏震度は 1.77 倍（=0.818 / 0.462）に、2.0 倍になると 2.58 倍（=1.191 / 0.462）となる。このように構造物に付与すべき降伏震度が地震作用の倍率以上に大きくなる

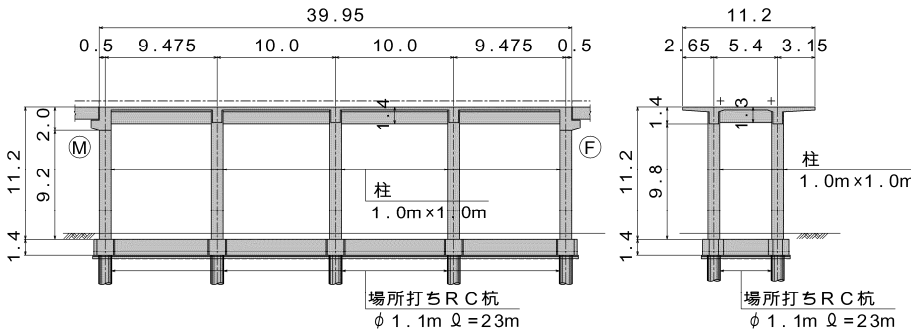


図-1 対象構造物の概要

表-1 検討ケースおよび構造諸元の一覧

Case	地震作用	要求性能	柱寸法 (m)	杭径 (m)	杭長 (m)
1	L2 地震動スペクトル II × 1.0 倍	安全性	1.0×1.0	φ 1.1	L=23.0
2	L2 地震動スペクトル II × 1.5 倍	安全性	1.3×1.3	φ 1.5	L=25.0
3	L2 地震動スペクトル II × 2.0 倍	安全性	1.6×1.6	φ 2.0	L=28.0

※全ケースとも、柱先行降伏となるように構造諸元を設定した。

キーワード 鉄道構造物, 要求性能, 安全性, 初期建設コスト, ダメージフリー橋, 危機耐性

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ TEL: 06-6160-2312

理由は、地震作用の増大に応じて構造物の部材寸法が大きくなるため、構造物の等価固有周期が短周期側へシフトし、地震作用に対して構造物が応答しやすくなるためである。

4. 初期建設コストの比較 国土交通省土木工事積算基準³⁾等の標準単価に基づき、検討ケース毎に、初期建設コストを算出した。初期建設コストと地震作用の関係を図-3に示す。筆者ら⁴⁾は、多数の諸元を有する鉄道橋脚の設計を行って初期建設コストを算定し、その結果を用いて、降伏震度、等価固有周期、じん性率から初期建設コストを算出する回帰式を誘導している。今回の検討で得られた降伏震度、等価固有周期、じん性率をこの回帰式に代入することで、鉄道橋脚の場合の初期建設コストと地震作用の関係も求め、同図に記載した。また、同図には、宮路ら⁵⁾が行った道路橋を対象とした検討結果も合わせて示す。

鉄道橋の試算結果に着目すると、地震作用と降伏震度の関係(同図(a))は、3.で述べたように、地震作用の倍率よりも降伏震度の倍率の方が大きくなっている。降伏震度と初期建設コストの関係(同図(b))は、ラーメン高架橋、橋脚ともに降伏震度とともにコストも増加するが、増加の割合はラーメン高架橋の方がわずかに小さい。その結果、地震作用と初期建設コストの関係(同図(c))を見ると、ラーメン高架橋は、地震作用の増加率と初期建設コストの増加率がほぼ比例の関係になっている。

道路橋脚における結果も、鉄道橋の橋脚と概ね同様の傾向が認められる。

また、桁式高架では、上部工の建設コストが相対的に高いために、上部工を含めた橋全体の建設コストは、地震作用が大きくなってもそれほど大きくならないことが分かる。一方で、ラーメン高架橋では、地震作用が大きくなると、その影響が初期建設コストに直接反映される結果となっている。

参考文献 1) (公財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，2012. 2) 宮路，川島：市民から見た橋梁の耐震性能目標，土木学会 地震時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論文講演集，pp.303-310，2006. 3) (財)建設物価調査会：土木工事積算標準単価(平成24年度版)，2012. 4) 坂井，室野，佐藤，澤田：トータルコストを照査指標とした土木構造物の合理的な耐震設計法の提案，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.68，No.2，pp.248-268，2012. 5) 宮路：性能規定型耐震設計に用いる橋梁の耐震性能目標に関する研究，東京工業大学修士論文，2005.

表-2 各検討ケースにおける柱と杭の断面諸元

Case	1	2	3
断面寸法	□1.1×1.1	□13×1.3	□1.6×1.6
主鉄筋	9-D32	12-D32	15-D32
帯鉄杭	D16-1.5組 -ctc100	D19-1.5組 -ctc100	D22-1.5組 -ctc100
断面寸法	φ1.1	φ1.5	φ2.0
主鉄筋	12-D38	24-D38	24-D51
帯鉄筋	D22-1.0組 -ctc125	D29-1.0組 -ctc125	D32-1.0組 -ctc125

表-3 各検討ケースにおける応答値一覧

Case	降伏震度	等価固有周期(sec)	応答塑性率	最大応答変位(mm)
1	0.462	0.981	4.12	458
2	0.818	0.654	5.23	457
3	1.191	0.499	5.28	392

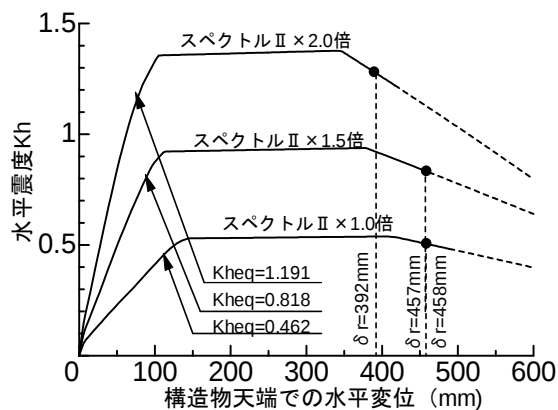


図-2 各検討ケースにおける荷重変位曲線

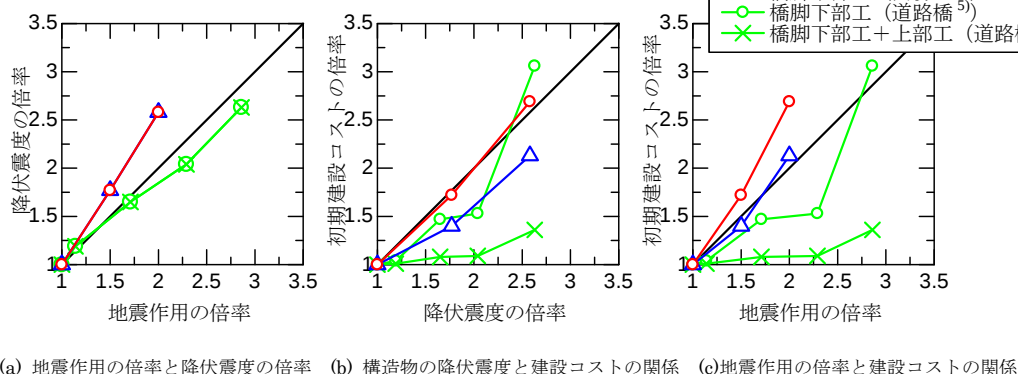


図-3 初期建設コストと地震作用の関係