

RC ラーメン高架橋におけるモデル化の方法が地震時の応答に及ぼす影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○成田 顕次 中田 裕喜 田所 敏弥
日本交通技術(株) 正会員 古屋 卓稔

1. はじめに

車両の走行性解析や線区全体の耐震性能の評価等を行う際に、解析モデルとして構造物全体系の水平荷重と水平変位の関係(以下、荷重変位関係)が必要となる。一般に、荷重変位関係は、設計振動単位¹⁾に区分された構造物に対し、プッシュ・オーバー解析(以下、P-O 解析)の結果をバイリニアあるいはトリリニア等にモデル化し、1 自由度のばねで表現されることが多い。しかし、対象とする構造物数が膨大となる場合、全ての構造物を精緻にモデル化して P-O 解析を実施することは、必ずしも容易ではない。また、走行性解析に限れば、荷重変位関係が一定の精度で評価できればよいと考えられる。そこで、本研究では、RC ラーメン高架橋を対象に、モデル化を簡略化した場合の荷重変位関係に及ぼす影響について検討した。

2. 解析概要

図-1 に、解析モデルの例を示す。対象とした構造物は直接基礎形式の橋軸方向2径間RC ラーメン高架橋であり、高架橋端部の接続形式はゲルバー式である。本検討では、二次元にモデル化することとした。モデル化を行う構造物は2 ケースとし、構造高さ 10m の一層ラーメン高架橋形式のモデルを S10g、構造高さ 14m の二層ラーメン高架橋形式のモデルを S14g とした。また、構造モデルは上部構造と基礎構造の一体モデルとし、部材ははり要素で、地盤はばねによりモデル化している。部材の非線形特性は、材端に配置した回転ばねによりモデル化した¹⁾。ただし、接合部およびフーチングは剛とし、上層梁は線形とした。地盤条件は G2 地盤(洪積層)¹⁾とした。考慮した荷重は固定死荷重、付加死荷重、列車荷重である。なお、列車荷重について、橋軸直角方向では 300gal、橋軸方向では 200gal に相当する慣性力を初期荷重として考慮した¹⁾。

表-1 に、解析のケースを示す。簡略化の対象は、①軸力相関の考慮の有無、②上層縦梁におけるモデル化、③荷重および質量の配置方法とした。

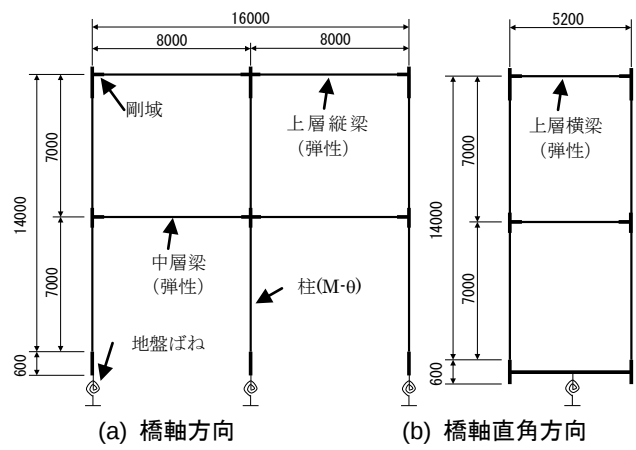


図-1 モデル図(s14g) 単位: mm

表-1 解析ケース

解析ケース	解析方向	モデル化検討項目
N1	橋軸直角方向	柱部材の軸力変動あり
N2		柱部材の軸力変動なし
H1	橋軸方向	ハンチ形状をモデル化
H2		ハンチ高さ=梁高さとしたモデル化
H3		ハンチなしとした梁モデル化
L1	橋軸直角方向	精緻計算(荷重の詳細配置)
L2		簡易計算(荷重の集中的・平均的配置)

(a) ハンチ形状を再現 (b) ハンチ高さの梁 (c) ハンチなしの梁
図-2 ハンチのモデル化

ラーメン構造の鉛直部材は軸方向力に応じて曲げモーメントと部材角(曲率)の関係が変化する。この軸力相関の考慮が荷重変位関係に、どの程度の影響を与えるか検討する(解析ケース N1, N2)。また、上層縦梁は一般にハンチを有するため、解析においてはハンチとハンチ以外で異なる断面を入力する必要がある。ここでは、図-2 に示す3タイプの上層縦梁のモデル化を設定し、簡略化を目的として図-2 (b), (c)に示すようなモデル化の場合の影響を検討する(解析ケース H1~H3)。さらに、一般に、上部工の詳細な荷重計算や荷重分布を P-O 解析に反映する必要があるが、およその総重量がわかっている場合、荷重および質量を例えば柱直上の節点に集中されることができれば、詳細な荷重計算や配置が不要となる。そこで、柱直上に荷重・質量を集中的かつ平均的に配置した場合の影響を検討

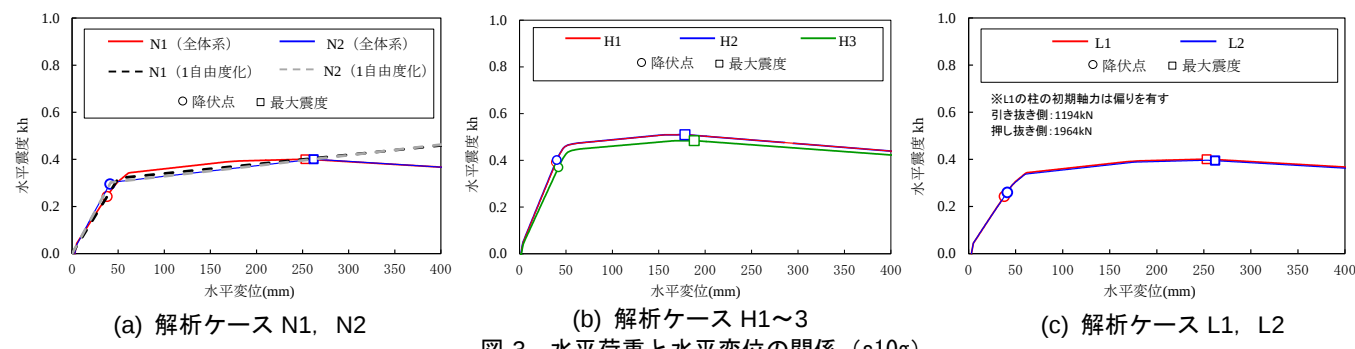


図-3 水平荷重と水平変位の関係 (s10g)

表-2 解析結果

解析ケース		降伏		等価固有周期 $T_{eq}(sec)$	最大震度	
		震度	変位(mm)		震度	変位(mm)
N1	s10g	0.243	38.0	0.791	0.401	253
	s14g	0.325	50.0	0.784	0.516	260
N2	s10g	0.296	41.0	0.745	0.4	262
	s14g	0.399	55.0	0.742	0.581	500
H1	s10g	0.387	39.0	0.635	0.51	179
	s14g	0.456	63.0	0.744	0.693	500
H2	s10g	0.401	40.0	0.631	0.51	178
	s14g	0.459	63.0	0.741	0.694	500
H3	s10g	0.370	42.0	0.674	0.485	188
	s14g	0.450	66.0	0.766	0.663	500
L1	s10g	0.243	38.0	0.791	0.401	253
	s14g	0.325	50.0	0.784	0.516	260
L2	s10g	0.260	39.0	0.794	0.396	254
	s14g	0.328	49.0	0.773	0.523	261

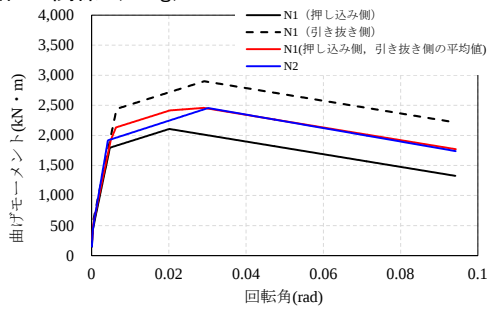


図-4 曲げモーメントMと回転角 θ の関係 (s10g)

する。(解析ケース L1, L2)

3. 解析結果

図-3 に s10g の解析ケースによる荷重変位関係と表-2 に解析結果を示す。表から s14g は s10g と全てのケースで同様な結果であったことから、以下 s10g の結果について説明する。図-3 (a)より、軸力相関を考慮しない N2 は、考慮した N1 と比べて、降伏点から最大震度点までの応答が異なる。表-2 より、N2 の降伏震度は N1 よりも 20%程度大きいことがわかった。図-4 に柱の M- θ 関係を示す。力の釣合いを考えると、上部構造降伏先行の場合、引き抜き側と押し込み側の柱のせん断力の累加が構造物全体系の水平荷重となるが、引き抜き側と押し込み側の柱で軸方向力の変動に対する曲げモーメントの増減の程度が異なるため、軸力相関の有無の違いで荷重変位関係が異なると考えられる。また、軸力相関を考慮した場合、引き抜き側の曲げ降伏耐力は小さくなるため、降伏時の水平荷重が小さくなったと考えられる。

なお、耐震標準¹⁾の非線形応答スペクトル法に用いる構造物全体系のモデルは、図-3 (a)に併記したバイリニアモデル (1 自由度化) で精度よく応答値を算定できるが²⁾、N1 と N2 のそれらを比較すると概ね同等な荷重変位関係となっている。したがって、部材の照査では、軸力相関を忠実に考慮する必要があると考えられるものの、荷重変位関係の再現という観点においては、バイリニアにモデル化することで、軸力相関を考慮しない結果を利用できると考えられる。

図-3 (b)にハンチのモデル化に関する荷重変位関係を示した。H1 と H2 ケースの比較においてほぼ一致する結果となったが、H3 ケースでは全体的に震度が 5%程度小さい結果となった。これは、梁と柱の剛比の違いに起因していると考えられる。つまり、本検討で対象としたラーメン高架橋の剛比であれば、上層柱の断面を全てハンチ部の断面としてもよいと考えられる。ただし、本検討では梁を弾性とし、柱の降伏が先行すると仮定しているため、梁の降伏が先行する場合などについては別途検証する必要がある。

図-3 (c)に、荷重及び質量の配置方法による荷重変位関係を示した。荷重及び質量を柱直上に集中的にかつ平均的に配置したとしても、荷重変位関係は概ね同等となることわかった。したがって、上部工等の総重量さえ把握できれば、荷重及び質量の詳細な分布等を再現しなくても、荷重変位関係は十分な精度で算定できると考えられる。

4. おわりに

本検討では、走行性解析等に用いるラーメン高架橋の荷重変位関係について、軸力相関の考慮の有無や上層縦梁の断面設定、荷重及び質量の配置方法などに着目し、これらのモデル化の簡略化の影響を把握した。限られた検証であるが、これらの簡略化の可能性がわかった。

参考文献

1)国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，2012。
2)室野等：構造物の損傷過程を考慮した非線形応答スペクトル法の適用，土木学会地盤工学論文集，第 29 巻，pp.520-528，2007