

鉄道構造物における地震時の変位照査に関する一考察

(株) 復建エンジニアリング 正会員 ○大野 恭司*

(株) 復建エンジニアリング 正会員 吉村 剛*

(株) 復建エンジニアリング 正会員 井口 光雄*

1 はじめに

鉄道構造物の耐震設計のうち、L1地震動に対する列車走行性の照査は、図-1のような、橋軸直角方向で固有周期が異なる構造物が隣接する場合において、部材断面の決定ケースになることが多い。すなわち、相対変位量を鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計¹⁾（以下、耐震標準と呼ぶ）に記載された制限値内に収めるためには、ラーメン高架橋の部材（主に柱、杭）の剛性を向上させ、かつ、橋脚の剛性を下げることで、相対変位量を小さくする必要がある。

今回、構造高が高い鉄道高架橋区間における構造寸法を、設計計画段階である程度想定することを目的に、過去の事例と、列車走行性の判断要素となる構造物の相対変位と等価固有周期の関係について検討する。

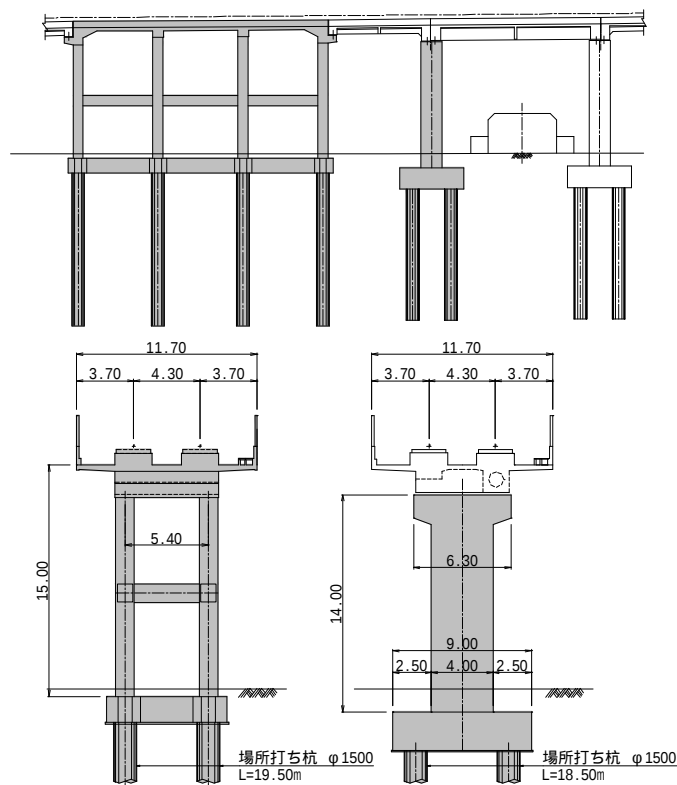


図-1 隣接する高架橋・壁式橋脚

（上図：縦断面図，下図：横断面図）

2 検討手法

(1) 相対変位量の算定方法

L1地震時における軌道面での位相角を考慮した相対変位量は、耐震標準に示された次式より算出する。（図-2）

$$\Delta \delta = \delta_{s1} - a \delta_{s2}$$

$$a = \cos(j_2 - j_1)$$

$$j_i = \tan^{-1} \frac{2h_i(T_i/T_E)}{1 - (T_i/T_E)^2} \quad \text{ただし, } 0 \leq j \leq p$$

ここで、

$\Delta \delta$: 相対変位量(mm), δ_{s1} : ラーメン高架橋の変位量(mm),

$a \delta_{s2}$: 壁式橋脚の変位量(mm), j_i : 位相角, T_i : 構造物の等価固有周期,

T_i : 地震動の卓越周期(=0.7), h_i : 構造物の減衰定数(=0.05)

ラーメン高架橋の等価固有周期をパラメータ（ $T=1.30, 1.35, 1.40$ 秒）とし、降伏震度 $K_{hy}=0.357$ における橋脚の等価固有周期と相対変位量の関係を図-3に表す。なお、パラメータの範囲はG3地盤における構造高15m程度の事例に基づき設定した。

(2) 相対変位量の制限値

耐震標準より、列車走行性を満足する相対変位量の制限値は、次式により算出する。

$$d_{lim} = L_b \times q_{lim}$$

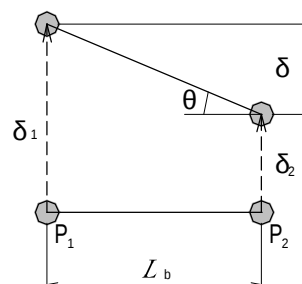


図-2 位相角を考慮した相対変位

$$q_{lim} = 5.5 \times (300 / V)$$

ただし，

d_{lim} ：相対変位の制限値（mm）

q_{lim} ：折れ角の制限値（mm）

L_b ：調整桁のスパン長（=10m）

V ：列車の設計速度（=260km/h）

3 検討結果と考察

(1) 相対変位と等価固有周期の関係

図-3 より，設計速度 $V=260\text{km/h}$ ，調整桁のスパンが 10m の場合，ラーメン高架橋の橋軸直角方向の等価固有周期が 1.3 秒前後であれば，隣接する壁式橋脚の等価固有周期を 1.0 秒以上になるように構造計画を行わなければ，列車走行性の照査を満足できないことがわかる．列車走行性の照査を満足できるラーメン高架橋と壁式橋脚の等価固有周期の関係を，表-1 に示す．

(2) 設計事例による検証

列車走行性により断面寸法が決定した事例を表-2，表-3 に示す．表中の記号は実際に隣接する構造物の組合せである．

例として図-3 および表-1 より，ラーメン高架橋の等価固有周期が 1.440 秒の場合，制限値に収まる壁式橋脚の固有周期は，1.20 秒以上であると読み取れる．事例における壁式橋脚の等価固有周期は表-3 より 1.230 秒であり，図-3 との整合もとれている．

4 まとめ

L 1 地震動に対する列車走行性を満足できる等価固有周期と相対変位の関係について検討を試みた．今回検討した G 3 地盤では，背の高いラーメン高架橋（ $T=1.30\sim 1.40$ 秒）に隣接する壁式橋脚の等価固有周期が，ラーメン高架橋の固有周期より 0.3 秒以上小さくなると橋軸直角方向において列車走行性を満足できない傾向にあることがわかった．

また，列車走行性で決定するラーメン高架橋と壁式橋脚が隣接する位置においては，収集データから条件の一致するラーメン高架橋を選び，その等価固有周期と壁式橋脚の収集データから列車走行性を満足する壁式橋脚の構造寸法を想定することが可能であると考えられる．尚，列車走行性を満たす等価固有周期の断面が収集データに存在しない場合，計画段階で構造形式を見直す必要があるという判断も可能である．

今後，G 3 地盤以外の地盤種別による検討を行い，今回検討した相対変位と等価固有周期の関係から，背の高い高架区間の計画段階において，ある程度の構造物の部材寸法を想定できるように，より多くの設計事例を収集することで 精度を高めていく所存である．

参考文献

1) 運輸省鉄道局監修 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，1999.10.

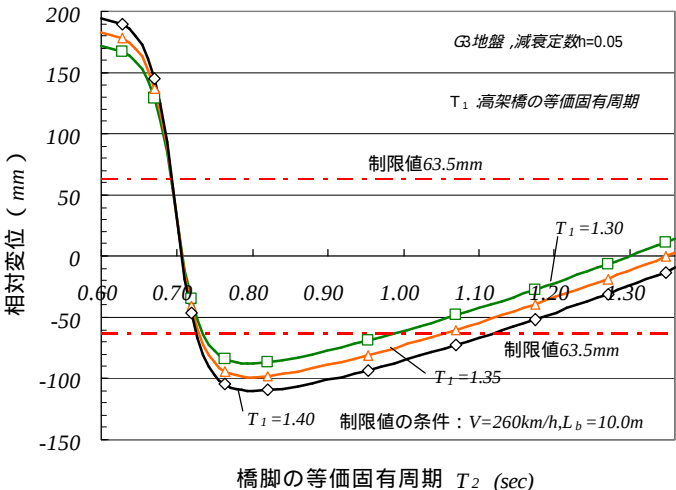


図-3 相対変位と等価固有周期の関係（G3 地盤）

表-1 列車走行性を満足する等価固有周期の組合せ

高架橋の等価固有周期 T_1	列車走行性を満足する橋脚の等価固有周期の範囲 T_2
1.30 秒	1.00 秒 以上
1.35 秒	1.05 秒 以上
1.40 秒	1.10 秒 以上

表-2 設計事例（ラーメン高架橋）

	構造高 (m)	柱寸法 (m)	杭径 (m)	等価固有周期 (sec)
	14.5	1.10 × 1.10	φ 1.30	1.332
	14.7	1.30 × 1.30	φ 1.50	1.440

表-3 設計事例（壁式橋脚）

	橋脚高 (m)	柱寸法 (m)	上部工反力 (kN)	杭径, 杭本数	等価固有周期 (sec)
	12.2	1.8 × 4.0	5000	φ 1.3, 4 杭	1.020
	13.6	2.5 × 4.0	7000	φ 1.5, 4 杭	1.230
○	14.0	2.5 × 4.0	6900	φ 1.5, 4 杭	1.132
	14.8	2.5 × 4.0	6600	φ 1.5, 4 杭	1.373