

柱長の大きい単線 RC ラーメン高架橋の基礎形式の計画検討

東日本旅客鉄道（株） 東北工事事務所 正会員 ○加藤 佑基
東日本旅客鉄道（株） 東北工事事務所 正会員 大塚 隆人

1. はじめに

既設構造物近傍で単線の鉄道高架橋を新設する工事を計画している。新設する高架橋は、横幅に対し柱長が大きいという特徴を有しており、基盤面が非常に深い比較的軟弱な地盤に設置される。本稿では、中間層に支持する基礎形状が物理的制約の受ける単線 RC ラーメン高架橋を計画する際に行った、地震時の構造検討とその結果について報告する。

2. 検討対象構造物と施工条件

新設するのは、図-1 に示す高さ約 16m、横幅約 6.4m の単線 RC ラーメン高架橋で、既設構造物に隣接して設置する。基礎は場所打ち杭とし、オールケーシング工法により施工する。地質は、表層から砂質土と粘性土の互層、深さ 14m 付近は N 値 40~50 程度の礫質土層（以下、中間支持層という。）、その下部は粘性土を主体とした層で、基盤面は非常に深い位置にある。

3. 検討概要

3.1. 検討課題

主に、以下の 3 点が課題となり、構造検討を実施することとした。

(1)地震時の走行安全性（等価固有周期）

新設する高架橋は単線であるため横幅に対し柱長が大きく、通常の鉄道高架橋と比べて等価固有周期が長い構造物となる。脱線に至る可能性をできるだけ低減するため、L1 地震動による構造物の横方向の応答値が、地震動の走行安全性に係る変位の設計限界値を超えないように設計することが必要であった。

(2)鉛直支持力（復旧性、安全性）

耐震上の基盤面は非常に深く、完全支持杭にすると杭長が非常に長くなることから中間層で支持することとした。周辺には、中間支持層に支持される既設の構造物があるため、新設する基礎も中間支持層に支持できる杭長となるよう検討を行った。

(3)基礎形状

既設構造物と線路直角方向の離隔が小さく、フーチング幅の制約を受ける箇所があった。既設構造物に支障させないためには、線路直角方向に対しフーチング幅を 6.8m 以下とすることが条件となった。

3.2. 検討方法

構造物の応答値は、比較的簡易な動的解析法である非線形スペクトル法によって算定した。解析では、杭長、杭間隔と杭径、杭本数をパラメータとし、等価固有周期 (T_{eqL1}) と杭の設計鉛直支持力 (R_{vd})、設計鉛直力 (V_d) を算出することで、地震時の走行安全性（等価固有周期）、鉛直支持力（L1 地震動に対する安全性、L2 地震動に対する安全性）および基礎形状の検討を行った。なお、当該構造物の地盤種別では、地震時の走行安全性の照査を満足するためには、等価固有周期を 1.4sec 以下とする必要がある¹⁾。

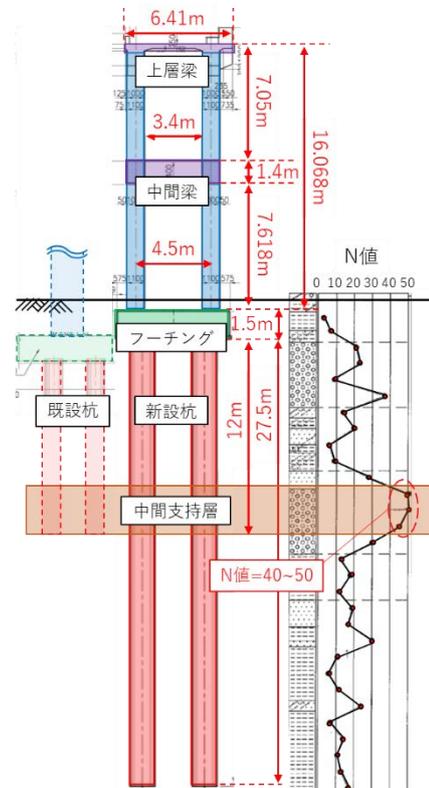


図-1 計画横断面図と土質柱状図

キーワード：ラーメン高架橋 基礎構造物 非線形スペクトル法

連絡先：仙台市青葉区一番町 3 番 1 号 TM ビル 6 階

表－1 解析結果（Case 1, Case 2）

		Case 1 杭4本 杭長12~27.5m 杭間隔2.5D 杭径1.5m					Case 2 杭4本 杭長12m 杭間隔2.5~3D 杭径1.5~2m			
解析ケース		Case 1-1	Case 1-2	Case 1-3	Case 1-4	Case 1-5	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3	Case 2-4
解析条件	杭本数(本)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	杭長(m)	27.5	24	20	16	12	12	12	12	12
	杭間隔(m)	2.5D(=3.75m)	2.5D(=3.75m)	2.5D(=3.75m)	2.5D(=3.75m)	2.5D(=3.75m)	2.5D(=4.5m)	2.5D(=5m)	3D(=4.5m)	3D(=5.6m)
	杭径(m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	φ1.8	φ2	φ1.5	φ1.8
フーチングの大きさ(m) (線路方向×線路直角方向)		6.75×6.75	6.75×6.75	6.75×6.75	6.75×6.75	6.75×6.75	8.1×8.1	9.0×9.0	7.5×7.5	9.0×9.0
解析図	横断面図									
	平面図									
解析結果	地震時の走行安全性	固有周期 $T_{eq,1}(\leq 1.4)$	1.115	1.147	1.194	1.558	1.569	1.455	1.339	1.424
	復旧性(L1地震動)	安全度: $V_d/R_{ed}(\leq 1)$	0.793	0.884	0.983	0.956	0.965	0.727	0.616	0.942
	安全性(L2地震動)	安全度: $V_d/R_{ed}(\leq 1)$	0.771	0.811	0.834	0.771	0.722	0.523	0.433	0.687

4. 検討結果

検討結果を表－1, 表－2 に示す. Case 1 は杭長, Case 2 は杭間隔と杭径, Case 3 は杭本数を変えて計算した結果である.

(1) 杭長を変化させた場合 (Case 1)

線路直角方向のフーチング幅を 6.8m 以下とするため, 杭径 1.5m, 杭本数 4 本, 杭間隔 2.5D(=3.75m), フーチングの大きさ 6.75m×6.75m の 2 柱 4 杭のモデルで検討を行った. 杭長を変化させた場合, 復旧性, 安全性はいずれも設計限界値内となるものの, 杭長が 16m を下回ると等価固有周期が 1.4sec 以上となり, 照査を満足しない.

(2) 杭間隔と杭径を変化させた場合 (Case 2)

フーチング寸法を考慮せず, 杭間隔を 2.5D のまま, Case 2-1,2 のように杭径を 1.5m から 1.8m, 2m に変化させたところ, 2m の場合に等価固有周期が 1.4sec を下回った. また, Case 2-3,4 では, 杭間隔を 3D にしたところ杭径が 1.5m では照査を満足せず, 杭径を 1.8m にすることで等価固有周期が 1.4sec を下回った. しかしいずれの場合もフーチングが線路直角方向に広がるため, 既設構造物に支障する.

(3) 5 本杭でフーチングの大きさを変化させた場合 (Case 3)

フーチングの中心に杭を 1 本追加し 5 本杭で照査を行った. Case 3-1 はフーチングを 8.3m×8.3m の正方形とした場合であり, Case 3-2 は既存の構造物に支障しないよう 6.75m×9.5m の線路方向に長い長方形とした場合の照査である. 解析の結果, Case 3-1 は照査を満足したものの, Case 3-2 は等価固有周期が限界値を超えた. そこで Case 3-3 では杭の外側からフーチング外縁までの距離を 0.5D から 0.25D に狭

表－2 解析結果 (Case 3)

		Case 3 杭5本 杭長12m 杭間隔2.5D 杭径1.5m	Case 3-1	Case 3-2	Case 3-3
解析条件	杭本数(本)	5	5	5	5
	杭長(m)	12	12	12	12
	杭間隔(m)	2.5D	2.5D	2.5D	2.5D
	杭径(m)	φ1.5	φ1.5	φ1.5	φ1.5
フーチングの大きさ(m) (線路方向×線路直角方向)		8.3×8.3	9.5×6.75	8.25×6.75	
解析図	横断面図				
	平面図				
解析結果	地震時の走行安全性	固有周期 $T_{eq,1}(\leq 1.4)$	1.229	1.433	1.296
	復旧性(L1地震動)	安全度: $V_d/R_{ed}(\leq 1)$	0.848	0.892	0.846
	安全性(L2地震動)	安全度: $V_d/R_{ed}(\leq 1)$	0.599	0.622	0.602

め, フーチングの大きさを変えずに杭間隔を広げることとした. その結果 Case 3-3 では固有周期が 1.296sec となり照査を満足することができた.

杭長が 12m で既設構造物に支障しない杭基礎の設計は, 複数のケースで比較検討した結果, Case 3-3 が最も杭の施工量が小さくなると結論付けられた. なお Case 3-3 は杭からフーチング外縁までの距離が小さいため, 杭とフーチングの接合部に局部応力が発生しないよう, 応力の検討を十分に行う必要がある.

5. おわりに

基礎幅が制限され, 横幅に対し柱長が大きいという特徴をもつ単線の鉄道高架橋を中間支持とする場合の基礎形式の検討を行った. 今後は線路方向を含め全体系で最適となる構造形式の検討を行っていく.

参考文献

- 1) 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, 2012.9
- 2) 鉄道総合技術研究所; 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 2012.1