

高架下に設備等を有するラーメン高架橋の耐震性強化の検討

(独)鉄道・運輸機構 正会員 ○進藤良則

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 田所敏弥

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 池端文哉

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 松橋宏治

1. はじめに

2004年に発生した新潟県中越地震では、鉄道ラーメン高架橋の柱の中間部分に、高架下施設の基礎が接して、柱のせん断破壊が起きる被害が生じた。このため既設計の高架下に設備等を設置する場合には、高架下設備が高架橋に及ぼす影響を明らかにする必要がある。そこでラーメン高架橋の地中梁やフーチングに設備が載荷された場合を想定し、高架橋の基礎形式、高架橋の高さ、埋戻し高さ、設備基礎の有無等の条件ごとに数値解析を行った。本稿では解析結果を基に各設備基礎の設置条件が高架橋に及ぼす影響と耐震性強化の検討結果について述べる。

2. 解析モデルと解析ケース

解析の対象としたラーメン高架橋の基礎形式は、杭基礎、直接基礎の2形式とし、高架橋の高さは、低、中、高(2層)の3種類の計6種類とした(表1)。この基本モデルに対して埋戻し高さ、設備基礎の剛性をパラメータとして静的非線形解析を行った。埋戻し高さは柱高さの10%、30%、50%の3通り、設備基礎の種類は、土間コンクリート(Type1)、アスファルト(Type2)、埋戻し土のみ(Type3)の3タイプとした。

解析モデルの例を図1に示す。埋戻し部における水平地盤抵抗は、水平地盤反力係数および有効抵抗土圧 p_e より算出した¹⁾。なお埋戻し土(砂質土)の土質定数は N 値=10、 $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ 、内部摩擦角 $\phi=29^\circ$ とした。柱と設備基礎間の接触現象は接点間に接触ばねを設置してモデル化した。この接触ばねは両者の相対変位が正の場合に剛性が発揮され、負の場合には0とした。設備基礎の厚さは土間コンクリートが200mm、アスファルトが150mm、土間コンクリートの圧縮強度は 18N/mm^2 (剛性 $K=3.3\times 10^6\text{kN/m}$)とし、アスファルトのヤング係数は 5kN/mm^2 とした。設備基礎底面のせん断抵抗は直接基礎底面のせん断ばね¹⁾により設備荷重を 10kN/m^2 として算定した。応答値(変位)の算定には非線形スペクトル法²⁾を用いた。

3. 解析結果

表1に示す杭基礎(G3地盤、 $h=8.3\text{m}$)モデルの解析結果について図2に水平震度—水平変位の関係、図3に柱の変形、図4に柱のモーメント分布、図5に柱のせん断力の分布を示す。

図2では埋戻し高さが高いほど変形が拘束されて応答変位は小さくなったが設備基礎の剛性の影響は少なかった。図3では埋戻し高さが高いほど柱の変形および損傷は小さくなった。図4では埋戻し部で負の曲げモーメントの値が大きくなった。図5では埋戻し高さが高いほど、埋戻し部のせん断力は低下し地上部は増加した。この傾向は、設備基礎の剛性が大きいほど顕著となった。図2—図5の傾向は他の5種類の高架橋においても同様であった。そこでその度合いを調べるため、せん断力の照査値($\gamma_i V_d/V_{yd}$)²⁾を調査し基本モデルに対する照査値の比を求めた(図6)。ここに γ_i は構造物係数、 V_d は設計せん断力、 V_{yd} は設計せん断耐力である。図6より $\gamma_i V_d/V_{yd}$ の値は埋戻し高さが高いほど大きく杭基礎よりも直接基礎でその傾向が強くなった。また、設備基礎の剛性が高いほど $\gamma_i V_d/V_{yd}$ の値が大きくなるのが分かった。他の既設計高架橋の調査では $\gamma_i V_d/V_{yd}$ の値は最小で10%、平均で20%程度の余裕が

高さ	杭基礎	直接基礎
低	G3 地盤, $h=8.3\text{m}$	G2 地盤, $h=8.6\text{m}$
中	G3 地盤, $h=12.0\text{m}$	G1 地盤, $h=13.9\text{m}$
高(2層)	G4 地盤, $h=16.3\text{m}$	G1 地盤, $h=16.0\text{m}$

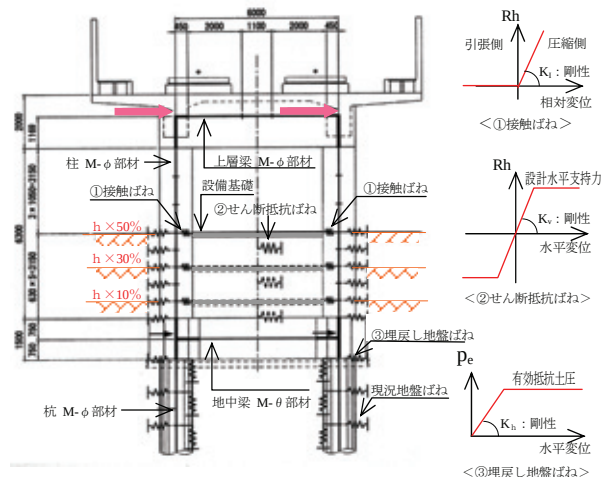


図1 解析モデルの例

キーワード：高架下利用，埋戻し，せん断力，耐震性能評価，帯鉄筋

連絡先：〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1 TEL：045-222-9082 FAX：045-222-9102

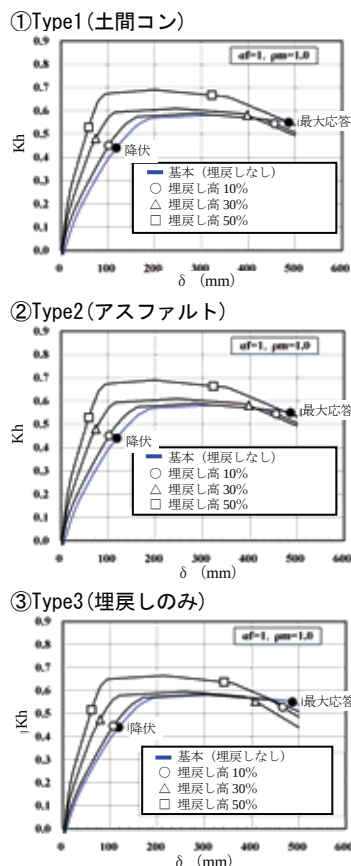


図2 水平震度—水平変位

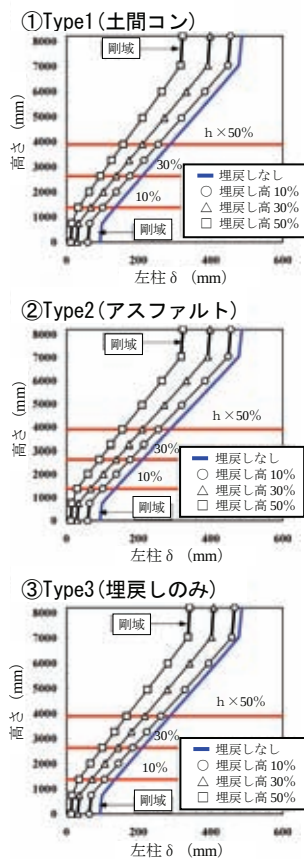


図3 柱の変形

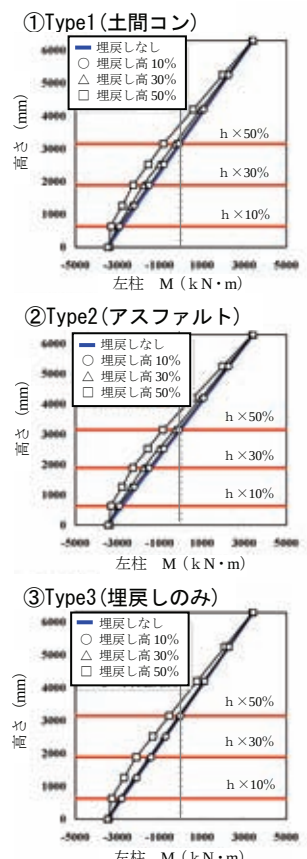


図4 柱のモーメント分布

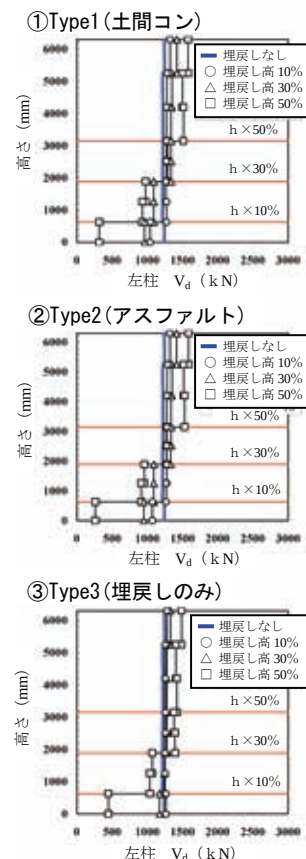


図5 柱のせん断力分布

あったため、埋戻し高さはこれに伴う $\gamma_1 V_d / V_{yd}$ の増加を 10% 以下に抑えれば問題ないといえる。

次に解析により算出した設備基礎の影響を回避するために必要な柱と設備基礎との離隔を図7に示す。図7によると直接基礎の場合は高架橋の高さに関らず設備基礎の設置高さと必要離隔は線形関係にある。一方、杭基礎の場合は高架橋の高さが低いほど必要離隔が大きい。これは杭基礎の場合、柱の変形に基礎以下の回転変形の影響が加味され、その影響は高架橋の高さが低いほど顕著になるためと考えられる。

4. 耐震性能向上の検討

通常、柱の帯鉄筋は上下端部の 2D 区間(D は柱の断面高さ)には曲げ変形性能を確保するため、せん断補強鉄筋として必要な量よりも多く配置される。そこで杭基礎(G3 地盤, $h=12.0\text{m}$, $D=1200\text{mm}$)および直接基礎(G1 地盤, $h=13.9\text{m}$, $D=1100\text{mm}$)の 2 モデルについて帯鉄筋を柱の全スパンに亘って 100mm(既設計では 2D 区間が 100mm, 2D 区間以外が 150mm)間隔として $\gamma_1 V_d / V_{yd}$ の増加が 10% 以下となる埋戻し高さを算定した(表2)。表2より柱の帯鉄筋間隔を全スパン 100mm とすることで杭基礎および直接基礎共に埋戻し可能な範囲が 3D 以上に拡大した。

5. まとめ

ラーメン高架橋の埋戻し高さと設備基礎の剛性をパラメータとして数値解析を行った結果、柱のせん断力の照査値は埋戻し高さとほぼ比例関係にあり、設備基礎の有無と高架橋の基礎形式により照査値の増加に差異があった。また柱中間部の帯鉄筋を密にすることで耐震性能が向上し埋戻し高さを拡大可能となることが分かった。

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—基礎構造物・抗土圧構造物，丸善，2001.6.
- 2) 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，丸善，1999.10.

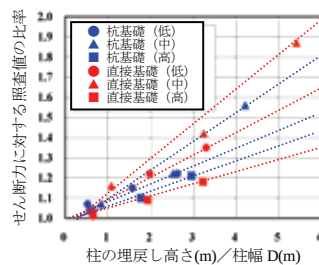


図6 埋戻し高とせん断力

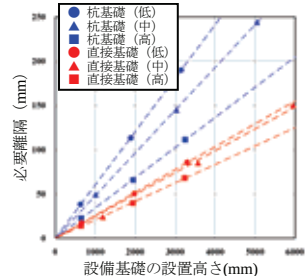


図7 柱との必要離隔

表2 帯鉄筋間隔の相違による埋戻し可能高さ

基礎形式	柱中間部の帯鉄筋間隔	埋戻し土+土間コン	埋戻し土のみ
杭基礎	100mm	3.2D 以下	4.2D 以下
	150mm	0.7D 以下	1.1D 以下
直接基礎	100mm	3.3D 以下	4.8D 以下
	150mm	0.6D 以下	1.1D 以下