

高架橋構造物の耐震設計に関する一考察

東日本旅客鉄道(株)
東日本旅客鉄道(株)
東日本旅客鉄道(株)

東北工事事務所
東北工事事務所
構造技術センター

正会員 ○中村 光宏
正会員 田附 伸一
正会員 藤原 寅士良

1. はじめに

鉄道構造物の耐震設計では、起こりうる地震動を想定し、構造物の安全度を確認することが必要とされている。鉄道構造物における耐震設計方法は、非線形応答スペクトル法による静的非線形解析(以下、静的解析)と、非線形時刻歴動的解析が存在する。鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計¹⁾(以下、耐震標準)において、設計地震動に対する応答値を算定するための解析は、地盤と構造物の相互作用や非線形性を考慮し、構造物の動力学的特性を適切に表現できる動的解析が適切であるとされている。ただし、構造物の振動モードが比較的単純で、塑性ヒンジの発生箇所が明らかかな場合は、静的解析を採用しても良いとされており、一般的に静的解析が用いられている。

本稿では、2次元FEMを用いた動的解析において、地盤種別をパラメータに設定した鉄道高架橋の挙動を確認し、耐震設計時の引抜モードにおける照査の参考に資することを目的として検討を実施した。その結果について、以下に報告する。

2. 解析方法

2.1 解析モデル

解析ソフトは、鉄筋コンクリート構造物の2次元FEM解析ソフト²⁾を用いた。本稿の解析で用いた構造物の寸法を図-1に示す。対象の構造物は、場所打ち杭を有する高架橋構造物であり、橋軸直角方向に2列存在する杭は、 $\phi=1,900\text{mm}$, $L=3.2\text{m}$ の根巻き鋼管と、 $\phi=1,500\text{mm}$, $L=14\text{m}$ の杭で構成されている。

2.2 解析概要

2.1で述べた解析ソフトを用いてモデル化した構造物を図-2に示す。材料の諸元について、部材のコンクリート圧縮強度は 27N/mm^2 、鉄筋降伏強度は、X方向で 345N/mm^2 、Y方向で 390N/mm^2 とし、鉄筋比はX方向、Y方向で部材ごとに設定した。杭部材は、円形断面をモデル化できないため、同じ断面二次モーメントを持つ矩形断面で表現した。地盤幅は、地表の構造物の約10倍となるよう設定した。構造物の挙動は、図中に赤枠で囲んだスラブ天端の変位と杭頭の変位、杭の断面力に着目することとした。パラメータである地盤種別は、耐震標準における地盤の固有周期 T_g に応じた区分に相当するように、地盤要素の土質とN値を変更することで設定した。地盤種別と地盤の固有周期との関係を表-1に示す。解析では、図-3に示した耐震標準の地震波形を基準として、地表面における最大加速度が、耐震標準に規定されている最大加速度と等しくなるように基盤面の地震動を調整して、地盤要素の基盤面に入力した。

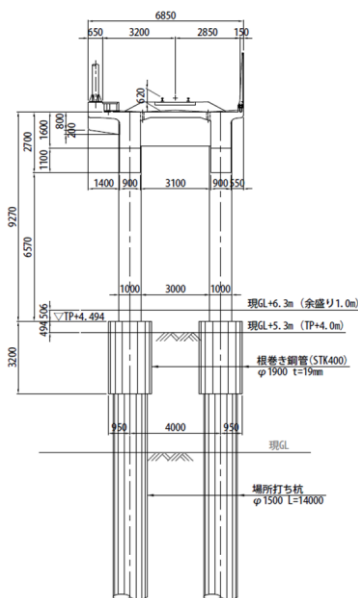


図-1 構造物の寸法



図-2 構造物のモデル

表-1 地盤種別と地盤の固有周期

地盤種別	耐震標準の地盤の固有周期 T_g (s)	当該モデルの地盤の固有周期 T_1 (s)
G3	0.25~0.5	0.49
G4	0.5~0.75	0.55
G5	0.75~1.0	0.92
G6	1.0~1.5	1.01

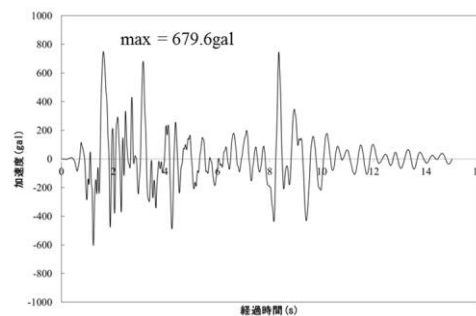


図-3 解析に用いた地震波形

キーワード 耐震設計, 静的非線形解析, 動的解析

勤務先 〒980-8580 宮城県仙台市青葉区五橋 1-1-1 022-266-3713

3. 解析結果

3.1 杭に生じる最大引抜き力・構造物の変位

地盤種別ごとの杭に生じる最大引抜き力および最大引抜き力発生時の構造物の変位を表-2に示す。杭に生じる最大引抜き力は、地盤種別の差による一定の傾向は見られなかった。一方、スラブ天端と杭頭の最大変位については、若干のばらつきはあるものの、地盤が軟弱になるにつれて増大する傾向が見られた。

3.2 地盤種別ごとの変形挙動

表-2で示した値を発現する時の地盤種別ごとの変形挙動を図-4に示す。変形の違いを明確にするため、本来の倍率よりも20倍大きくして図示している。図中で青く示されている部分は、地盤要素と地中の構造物が離れている状態を表している。G3地盤やG4地盤では、地盤要素の変形に対して構造物全体がS字形状となったのに対し、地盤が次第に軟弱になり、G5地盤やG6地盤になると、地盤要素の変形に対して構造物が追従するような変形をした。

3.3 地盤種別ごとの損傷範囲・損傷状況

解析終了時点の地盤種別ごとの損傷範囲および損傷状況を図-5に示す。図中の黄色で示されている部分は部材のひび割れ、紫で示されている部分は部材の降伏をそれぞれ表している。柱部材については、地盤が軟弱になるにつれて損傷範囲は増大しているが、いずれもひび割れ程度に留まる結果となった。一方、杭部材については、地盤種別ごとに損傷範囲、損傷状況のいずれもばらつきが見られ、損傷範囲ではG3地盤が最も多く、損傷状況ではG5地盤で杭の先端に降伏が発生する結果となった。

4. 考察

G6地盤において静的解析を実施した場合の変形挙動を図-6に示す。静的解析では、スラブ天端に対して、構造物自重の慣性力に相当する荷重を漸増载荷しており、杭に生じる最大引抜き力は1,868kNとなっている。表-2のG6地盤における結果においては、スラブ天端変位や杭頭変位に大きな差はないが、杭に生じる引抜き力が約530kNであることから、静的・動的解析の差によって、杭に生じる引抜き力の評価に差が生じると考えられる。

また、図-4の変形挙動において、G3地盤からG6地盤へと地盤が軟弱になるにつれて、地盤変位が構造物に及ぼす影響が大きくなり、構造物全体の変形モードがS字形状の変形から地盤に追従するような変形へと変化している。損傷範囲や損傷状況の違いは、このような変形挙動の違いによるものと考えられる。

5. まとめ

本稿では、2次元FEMを用いて高架橋構造物をモデル化し、地盤種別をパラメータに設定して動的解析を実施することで挙動の違いを確認した。結果として、構造物の変位については、地盤が軟弱になるにつれて変位が大きくなるという一定の傾向が見られた。一方、杭に生じる最大引抜き力は、静的解析による結果と動的解析による結果に大きな差がある点が確認された。これは、地盤種別による変形モードの差に起因して生じている結果と推定される。

表-2 杭に生じる最大引抜き力・構造物の変位

地盤種別	G3	G4	G5	G6
最大引抜き力	695.0kN	306.2kN	528.0kN	534.0kN
スラブ天端変位	200.4mm	196.9mm	391.0mm	417.7mm
杭頭変位	140.1mm	140.4mm	300.9mm	333.4mm

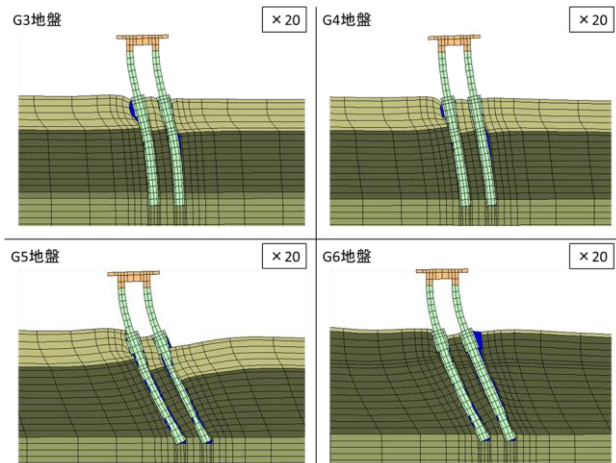


図-4 地盤種別ごとの変形挙動

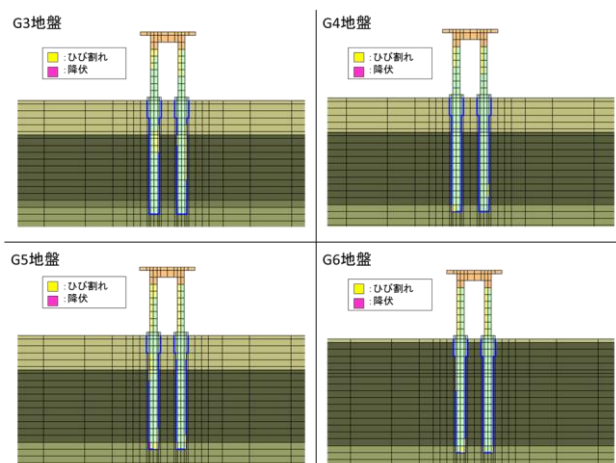


図-5 地盤種別ごとの損傷範囲・損傷状況

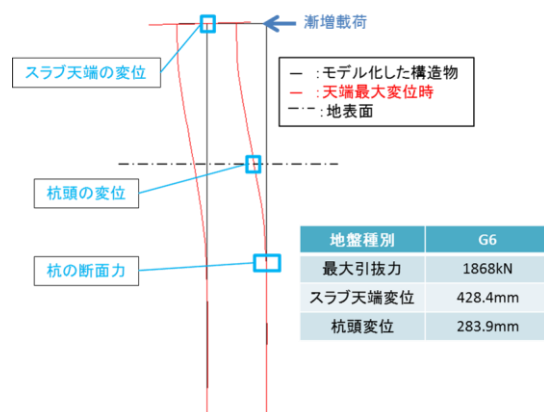


図-6 静的解析における変形挙動

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計：鉄道総合技術研究所，1999.9.
- 2) UC-win/WCOMD：FORUM8