

橋梁の杭基礎に対する応答変位法による静的非線形解析

長岡技術科学大学 ○山之内 崇記 正会員 杉本 光隆

1. はじめに

過去の地震被害から杭基礎は強震時に慣性力だけでなく、地盤変位の影響を受けることが明らかとなっている。本検討では、河川改修にともなう橋梁の改築にあたり、対象地盤が軟弱地盤であることから、地盤の液状化判定と、応答変位法による静的非線形解析を用いて、橋梁の杭基礎の耐震検討を行った。

2. 地層想定断面図の液状化判定

図-1 に示す地層想定断面図の No.1, No.2, No.3 の地点で、累積損傷度理論による液状化判定プログラムソフトを使用し、対象地盤の液状化抵抗率を算定し、液状化の危険度を判定した。解析手順は下記のとおりである。

- ① 地盤条件の整理
- ② 表面地盤の厚さ、せん断弾性波速度から地盤の固有周期を算定
- ③ 固有周期より、地盤種別を選定し、地表面最大加速度を設定
- ④ せん断応力比を推定し、液状化低効率、液状化指数の算定

過去に液状化判定は行われていたが、設計基準が古いため、最新の設計基準で再検討した。その結果、対象地盤が軟弱地盤であることからすべての地点で液状化することがわかった。

3. 杭基礎の耐震検討

当該地盤が軟弱地盤であるため、杭基礎の耐震検討では、慣性力だけでなく、地盤変位を考慮し、応答変位法による、地盤ばねを非線形とした静的非線形解析を行った。また、本検討の、対象地盤は G6 地盤であるため、L2 地震動に対して所要降伏震度スペクトルを適用できず、静的非線形解析を行うことができない。このため、今回は安全側となる G5 地盤の所要降伏震度スペクトルを適用し、静的非線形解析を行った。地盤ばね定数は以下の式を用いて算出した。

・杭先端の設計鉛直ばね定数 K_V (kN/m)

・杭周面の設計せん断ばね定数 K_{SV} (kN/m)

$$K_V = k_V A_V \quad k_V = f_{rk} \left(0.6 \alpha E_0 D^{-\frac{3}{4}} \right)$$

$$K_{SV} = k_{SV} U \Delta l \quad k_{SV} = f_{rk} \left(0.09 \alpha E_0 D^{-\frac{3}{4}} \right)$$

・設計水平ばね定数 K_h (kN/m)

$$K_h = k_h D \Delta l \quad k_h = f_{rk} \left(0.6 \alpha E_0 D^{-\frac{3}{4}} \right)$$

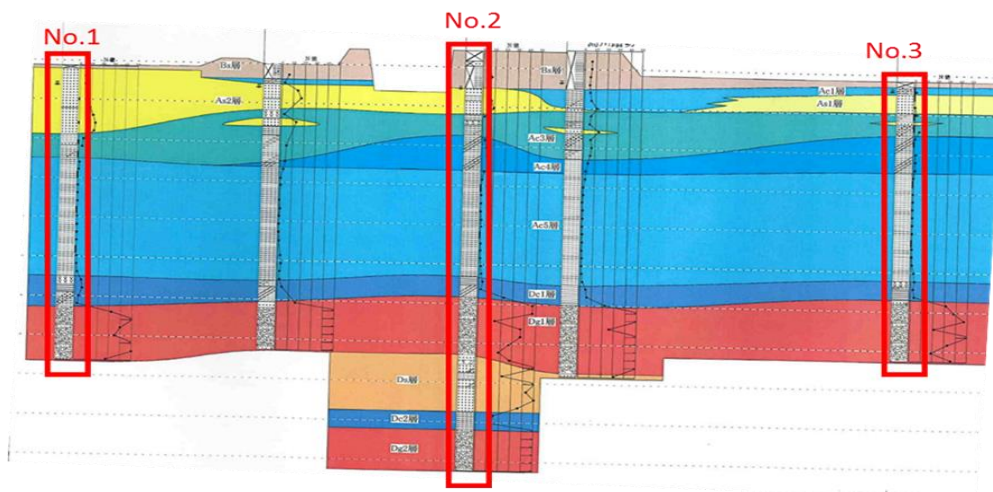
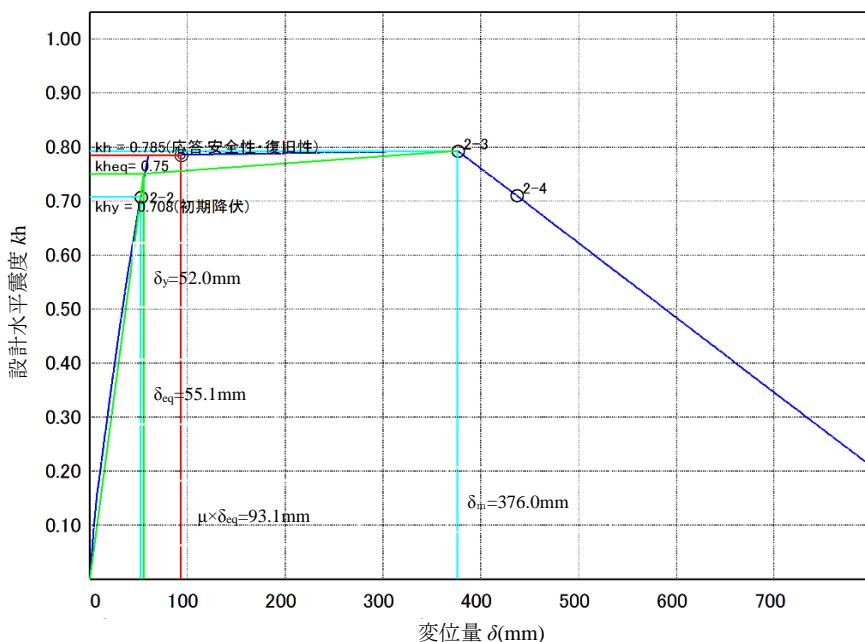


図-1 地層断面想定図



部材の損傷	
損傷レベル1	無損傷
損傷レベル2	場合によっては補修が必要な損傷
損傷レベル3	補修が必要な損傷
損傷レベル4	補修が必要な損傷で、場合によっては部材の取替えが必要な

図-2 P-δ 曲線 (RC 杭, φ1400, 杭本数 4×4)

ここで、

k_V : 杭先端の設計鉛直地盤反力係数 (kN/m^3), k_h : 設計水平地盤反力係数 (kN/m^3)
 k_{SV} : 杭周面の設計せん断地盤反力係数 (kN/m^3), f_{rk} : 地盤反力係数 (一般に 1.0),
 A_V : 杭先端の断面積 (m^2), U : 杭の周長 (m), Δl : 各定数を算定する範囲の杭の長さ (m),
 D : 杭の直径 (m), α : E_0 算定法による補正係数, E_0 : 地盤の変形係数 (kN/m^2)

である。

また、本構造物は仮橋脚と近接しているため、RC 杭 (場所打ち杭) と鋼管杭 (鋼管ソイルセメント杭) の 2 種類の杭について、杭径 (φ1400, φ1800, 鋼管の厚さ $t=15\text{mm}$, 20mm , 21mm , 22mm) や杭本数 (4×3, 4×4), 杭間隔をパラメーターとしたパラメータスタディを行い、フーチングの形状が最小となる杭諸元を選定した。その結果、当初設計では、RC 杭 φ1800 が必要であったが、液状化を考慮した本検討では、損傷度を制限値以内に収めるため、ボーリングデータを見直し、三軸試験から算出した地盤ばね定数を用いることとした。その地盤ばね定数を用いて求めた、損傷度が制限値以内で、フーチングの形状が最小となった RC 杭 φ1400, 杭本数 4×4 の P-δ 曲線を図-2 に示す。ここで、図中 2-2, 2-3, 2-4 は、部材番号-損傷レベルを示す。構造物全体の降伏を上部構造物が降伏した時とすると、降伏震度 kh は 0.785, 降伏変位量 δ_{eq} は 55.1mm, 応答塑性率 $\mu=1.69$, 応答変位量 δ_d は $55.1 \times 1.69=93.1\text{mm}$ となり、補修が必要な損傷レベル 3 となる変位量 δ_m の 376.0mm に達していないことから、RC 杭 φ1400 でも許容されることがわかる。

4. まとめ

本検討を通じて液状化判定を行うための地盤定数が室内試験で求められていない場合、N 値等から推定する必要があること。その推定値の算定方法や妥当性を確認する必要があること、新しい設計基準を用いたことから、すべての地層で液状化することがわかった。また、杭基礎の耐震検討では、応答変位法による静的非線形解析で、適用する土質条件の妥当性を確認し、三軸試験から求めた地盤ばね定数を用いることにより合理的な構造とし、コスト削減につながることをわかった。今後は、未検討の杭本数や杭の配置などの群杭の補正の考慮や、当該地盤の非線形性を考慮した動的非線形解析が必要と考えられる。

謝辞：本検討は、長岡技術科学大学の実務訓練として行った。熱心なご指導を頂いた JR 東日本コンサルタンツ株式会社に感謝の意を表す。