

断層近傍での杭支持構造物の性能設計における主要素の検討

東京大学生産技術研究所 正会員 ○井筒 剛司
東京大学生産技術研究所（土木学会技術推進機構） 正会員 小長井 一男
東京大学生産技術研究所 Sven Peter Teodori

1. 目的

1999 年の台湾の集集地震、トルコのコジャエリ地震では、その稀有な規模の地震断層変位によって多くの社会基盤施設が被害を受け、断層を覆うように発達してきた都市域に大きな警鐘を鳴らすものとなった。例えば台湾中西部南投市に程近い包尾山(Bauweishan)で建設中であった高速道路 3 号線の本線及び取付道路高架橋を支える基礎杭数百本は、断層近傍で大きく移動、変形し、現在もそのまま地中に残されたままになっている。この事実を念頭に置き、断層近傍での杭の軸方向圧縮引張・曲げの応答に関する単純な数値解析を試みた。

2. 単杭の挙動解析モデル

Winkler ばねを用いた単杭モデルの逆断層上盤側における軸圧縮引張および曲げの解析を行った。(図 1) 地盤ばねのせん断剛性は Nogami et al (1986)、小長井(2002)によっており、検討課題を絞るため、ばねの非線形性は考慮していない。ばねに入力する地盤の変位に関しては、均質な弾塑性地盤(上盤側)と剛な下盤で構成される幅 160m、厚さ 40m の逆断層モデル(地盤のみ、杭なし。図 2、表 1)の上盤側に強制変位を与える変位制御型弾塑性有限要素解析を行って得られた結果を用いた。また、地盤からの入力に対して杭の大きさ、剛性、方向(垂直杭、斜杭)を適宜変えて検討を行った。

杭の長さを L 、逆断層モデルに与えた強制変位の垂直・水平成分をそれぞれ D_V 、 D_H とし、無次元数 $\eta = \frac{x}{L}$ 、 $\zeta(\eta) = \frac{v(L\eta)}{D_V}$ 等を導入して無次元化した軸・

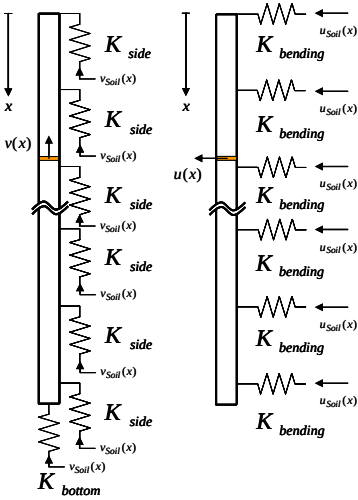


図 1 Winkler ばねモデル

曲げ方向の単杭の支配方程式と境界条件を次のように設定した。

$$\frac{d^2 \zeta}{d\eta^2}(\eta) = \frac{K_{side} L^2}{EA} \left(\frac{v_{Soil}(L\eta)}{D_V} - \zeta(\eta) \right) \quad 0 < \eta < 1 \quad (\text{軸方向圧縮引張})$$

$$\begin{cases} \frac{d\zeta}{d\eta}(0) = 0 \\ \frac{d\zeta}{d\eta}(1) = \frac{K_{bottom} L}{EA} \left(\frac{v_{Soil}(L)}{D_V} - \zeta(1) \right) \end{cases}$$

$$\frac{d^4 \zeta}{d\eta^4}(\eta) = \frac{K_{bending} L^4}{EI} \left(\frac{u_{Soil}(L\eta)}{D_H} - \zeta(\eta) \right) \quad 0 < \eta < 1 \quad (\text{曲げ})$$

$$\begin{cases} \frac{d^2 \zeta}{d\eta^2}(0) = 0, \frac{d^3 \zeta}{d\eta^3}(0) = 0 \\ \frac{d^2 \zeta}{d\eta^2}(1) = 0, \frac{d^3 \zeta}{d\eta^3}(1) = 0 \end{cases}$$

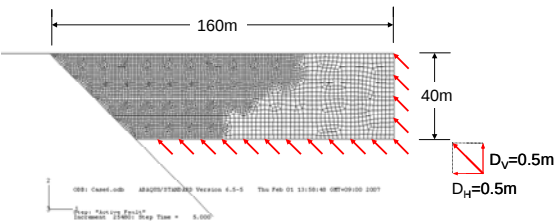


図 2 逆断層モデル

表 1 逆断層モデルの物性値

ヤング係数[MPa]	100
ポアソン比	0.3
内部摩擦角	35
ダイレタンシー角	6
密度[kN/m³]	16
粘着力[kPa]	1

キーワード 集集地震、Winkler ばね、有限要素法、逆断層
連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 TEL: 03-5452-6149

3. 解析結果

無次元化された両支配方程式に出てくる無次元数 $\sqrt{\frac{K_{side}L^2}{EA}}$ と $\sqrt[4]{\frac{K_{bending}L^4}{EI}}$ の値が杭の挙動を支配する重要なパラメータとなる事が予想される。そこでこれらの値の現実的な範疇での大なる値、少なる値の解析結果例を示す。(図3) 杭の軸方向への変位に関して、杭頭変位は $\sqrt{\frac{K_{side}L^2}{EA}}$ の値の大小に拘わらず、杭に沿う方向の地盤変位を平均化したものと近似的に等しいことがわかった。曲げに関しても、やはり $\sqrt[4]{\frac{K_{bending}L^4}{EI}}$ の大小

に拘わらず杭の変位は地盤の杭に垂直な方向

の変位に追随している。図3は垂直杭での解析結果例であるが、斜杭に関しても同様の傾向が見られた。

4. 今後の課題

地震断層による地盤変位を定量的に見積もることができれば、複雑な地盤-杭連成解析を用いることなく杭頭に現れる変位をある程度予測できることになる。断層近傍における杭支持構造物では、断層変位による地盤の変位分布や杭長が異なることで各基礎間において杭頭変位に差異が現れ、それによって上部構造物へ被害(桁の落下等)が及ぶ可能性も考えられる。これらの想定される被害を最小限に抑えるための設計基準の策定が望まれる。そのために、地震断層変位の定量的評価方法に関して更なる研究を行う予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省 科学技術振興調整費「活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案」(研究代表者:小長井一男)の一環として実施いたしました。ここに謝意を表します。

参考文献

- ・Nogami, T. and K. Konagai: Time Domain Flexural Response of Dynamically Loaded Single Piles, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 114(9), pp.1512-1525, 1988
- ・小長井一男:地盤と構造物の相互作用、東京大学出版会(2002)

軸方向圧縮引張

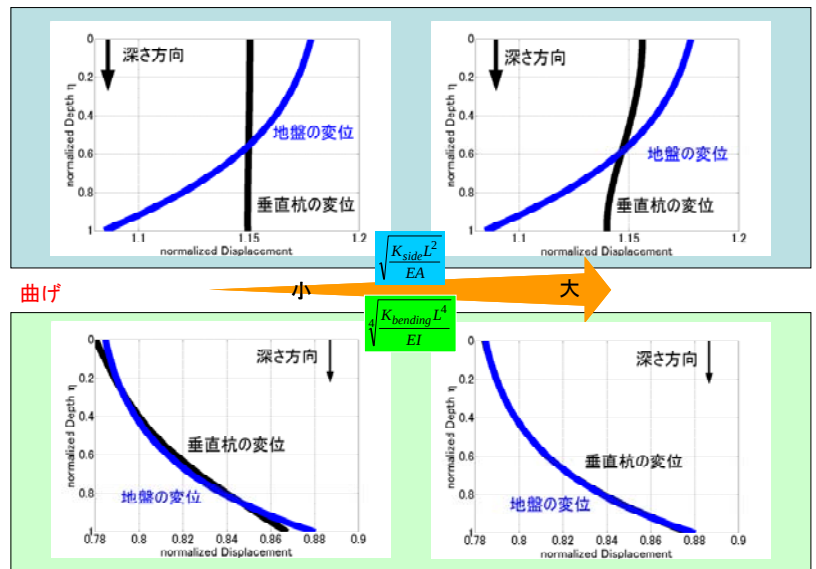


図3 解析結果例

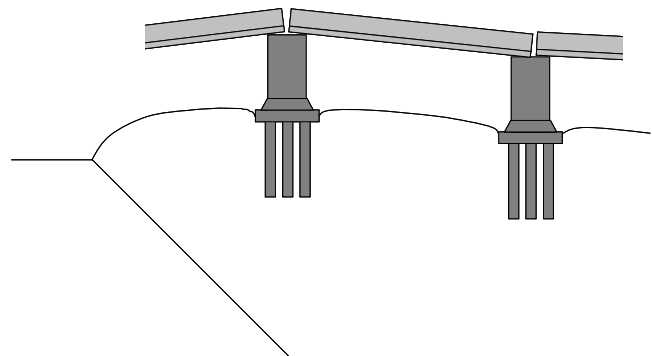


図4 杭頭変位の差による上部構造物の想定される被害例