

III-343

地盤の塑性・破壊を考慮した水平荷重を受ける杭の挙動予測手法の提案

(株)奥村組 正会員 ○浅野 剛
同 上 正会員 竹内幹雄

1. はじめに

道路橋示方書においては軸直角方向荷重を受ける杭の設計は弾性計算により行なわれており、杭頭変位量は基礎の挙動が弾性範囲内とみなしうる許容変位量内に制限されている。しかし現在基礎構造物においても限界状態設計法導入についての検討が行なわれつつあり、終局限界状態における基礎の挙動予測手法の確立が求められている。本研究はこのような現状をふまえ、均一な砂地盤における杭および地盤の塑性・破壊を考慮した水平荷重を受ける杭の挙動予測手法を提案したものである。

2. 提案手法の概略

水平荷重を受ける杭周辺地盤の挙動は図-1に示すように深さにより異なった形態をとる。拘束圧の低い領域(領域Ⅰ)では地盤は上方へ持ち上げられ破壊に至るのに対し拘束圧の高い領域(領域Ⅱ)では水平面内の二次元的挙動を示すと考えられる。そのような挙動をふまえ本提案手法では領域Ⅰに対してはせん断ばね¹⁾、領域Ⅱに対してはWinklerばねを適用する。ここで設定するWinklerばねは筆者らが実施した模型杭の載荷試験²⁾および解析結果に基づき設定したトリリニア型のばねであり、図-2において矢印で示すように初期勾配 k_1 、第二勾配 k_2 、降伏荷重 P_y 、極限荷重 P_u により定義した。

3. Winklerばねの設定手法

筆者らが実施した模型杭載荷試験は領域Ⅱ内のある水平断面を対象としているものであり、水平面内へのみ杭および地盤の変位が発生する装置を用いている²⁾。それにより得られる杭の変位と地盤反力の関係は図-2において破線で示されるように P_u が現われない。したがって、 P_u は基本的に受働くさび土塊が発生し三次元的に盛り上がることに生じると考え、図-2の矢印で示されるトリリニア型のばねは図-3の経路1に沿って生じるものとした。なお図-3は P_y および P_u の深さ方向の分布を示している。

初期勾配 k_1 については実験より得られた杭前面地盤の破壊パターンに基づく地盤算定式により設定し、第二勾配 k_2 および P_y の設定にあたっては降伏条件として等方硬化キャップを考慮した平面ひずみ条件に

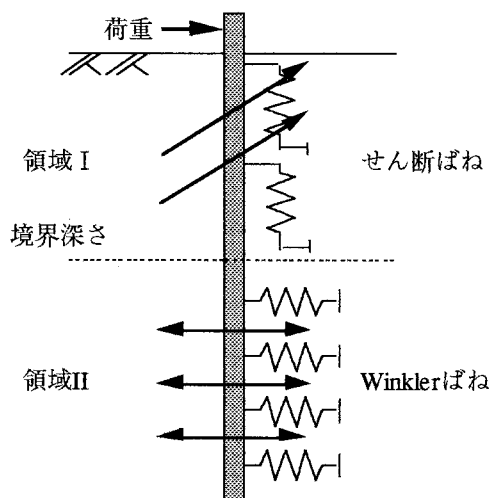
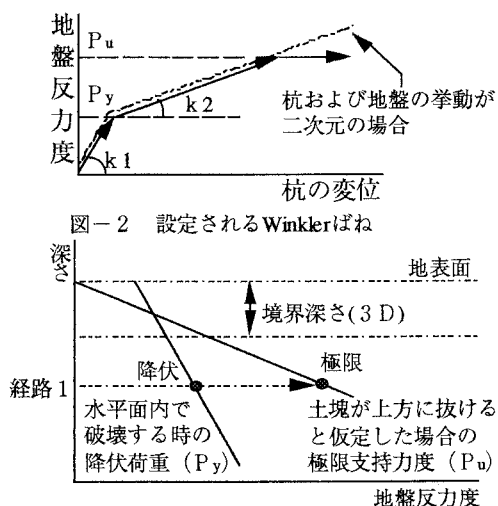


図-1 杭周辺地盤の挙動および解析モデル

図-3 P_y および P_u の深さ方向分布

おける弾塑性有限要素法を用いた。筆者らが実施した平面ひずみ模型杭載荷試験および港湾技術研究所で実施された三次元模型杭載荷試験³⁾の深さ40cmにおける杭の変位と地盤反力の関係についての有限要素法による解析結果を図-4、5に示す。いずれの場合も解析により実験結果を精度良く再現することができているが、これより三次元状態においても領域IIでは杭および地盤は平面ひずみ状態に近い挙動を示すものと判断し、この領域でのばねの設定は平面ひずみ弾塑性有限要素法によるものとした。また、領域Iと領域IIの境界は三次元模型杭載荷試験の各深さにおける有限要素解析の結果に基づき杭径の3倍とした。

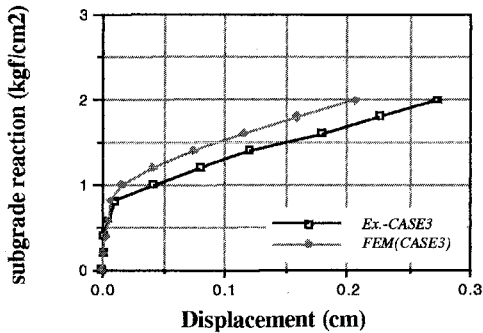


図-4 FEMによる平面ひずみ載荷試験の解析結果

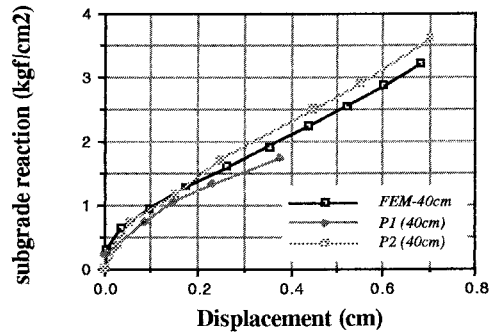


図-5 FEMによる三次元載荷試験の解析結果

4. 杭の塑性の導入

杭の塑性については杭の曲げ剛性の低下により杭の塑性を表現することにした（図-6）。横軸は杭の曲率、縦軸は曲げモーメント、 M_y は杭の全断面塑性モーメントである。杭の曲げモーメントが M_y 以下のときは杭の曲げ剛性は EI とするが、曲げモーメントが M_y より大きくなった時にはその時点での曲率 ϕ_p を用いて計算される M_y/ϕ_p を曲げ剛性として収束計算を行なうものとした。

5. 提案手法によるシミュレーション結果

図-7に港研において実施された模型杭の水平載荷試験における杭頭の荷重変位曲線について提案手法による解析結果と実験結果を比較して示す。図-7より杭頭変位が比較的大きくなるまで（杭径×4）実験結果を精度良く表現できていることがわかる。おわりに、本研究の実施にあたり御指導を頂いた埼玉大学工学部渡辺啓行教授に感謝の意を表します。

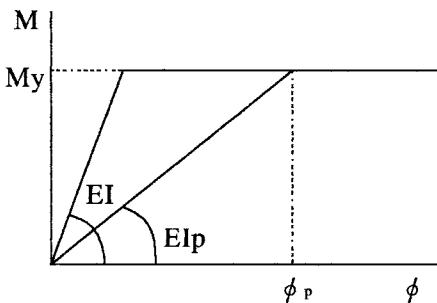


図-6 杭の曲げ剛性

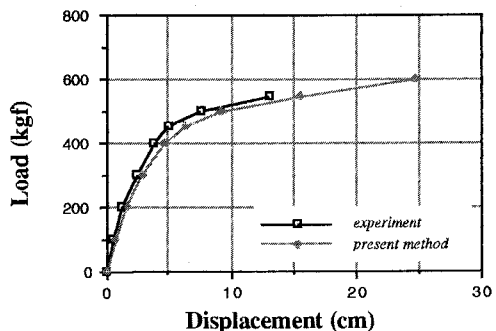


図-7 提案手法による解析結果

- 参考文献 1) 宇都・前田・吉井他：土のせん断変形特性に着目した深礎杭の水平挙動、第19回土質工学研究発表会。 2) 川田・梅崎・竹内・浅野：拘束圧力下における模型杭水平載荷試験、土木学会論文集III。 3) 篠原・久保：杭の横抵抗に関する実験的研究（その1）、運輸技術研究所報告。