

液状化時の杭応答の解析方法について

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○岩田 直樹
 同 上 正会員 古川 智
 同 上 正会員 大畑 徹夫
 山口大学 工学部 正会員 三浦 房紀

1. まえがき

地震時に地盤の液状化が発生することにより地盤の側方移動が起き、大きな永久変形が残ることが明らかになり、これによって構造物の基礎杭が破壊されるという被害例が報告されている。従来、杭の設計においてこのような地盤の側方移動は考慮されていない。このため、この現象を設計にどのように取り入れるべきかの基礎的研究が進められている。

本報告では、地盤が側方移動する場合、解析方法の違いによりPHC杭の応答がどう異なるのかについて検討した結果を報告する。

2. 解析方法

①弾性床土上の梁の理論をもとに地盤と杭の材料非線形性を考慮した方法¹⁾、②地盤、杭の材料非線形性だけでなく、杭の変形をも表現した大変形解析²⁾の2つの方法により解析を行う。ここで、大変形解析において、杭の材料非線形性は非線形回転バネにより、地盤は材料非線形性を有するバネ要素でモデル化を行う。また、ビーム要素の幾何学的非線形性は、剛性マトリックスにひずみと変位の関係を表現する幾何剛性マトリックス K_G を用いることで $(K_E + K_G)U = F$ のつりあい方程式が得られ、これによりP- Δ 効果が表現される³⁾。ここで、 K_E は通常の剛性マトリックス、 F 、 U はそれぞれ断面力、変位ベクトルである。

3. 解析モデル

1964年の新潟地震により破壊した杭を例に解析を行う。図-1に、この地点のN値分布および液状化層を示す⁴⁾。このとき地表面での地盤の水平変位は100cmであり、これをもとに台形分布の地盤の側方移動を考える。また、地盤バネはバイリニアを仮定し、地盤反力係数は道路橋示方書の方法より算出し、極限地盤反力はBromsの方法(受働土圧の3倍)と受働土圧の2つの方法を用いる。なお、液状化層の地盤反力係数は、非液状化時の1/50とした。杭の非線形性を表現するために、図-2に示すような杭の曲率-曲げモーメント関係をトライリニアと仮定した。ここで、 M_c 、 M_u はそれぞれクラッキングモーメント、終局モーメントであり、 ϕ_c 、 ϕ_u は、それに対応する杭の曲率である。

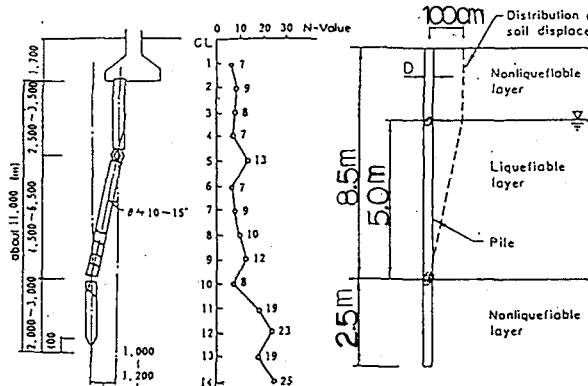


図-1 地盤定数と液状化層

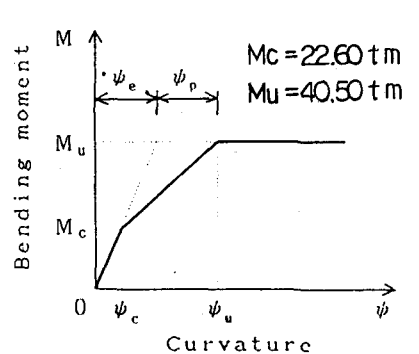


図-2 杭の材料非線形性

4. 解析結果

(1) 極限地盤反力をBroms の方法とした場合

図-3~5は、地盤の水平変位量100cmの場合の弾性床上の梁の理論による方法、大変形解析において軸力を考慮した場合、しない場合の3つの方法による杭の水平変位量、曲げモーメント、地盤反力の分布を示したものである。3方法とも地盤の水平変位量50cm前後で液状化層と非液状化層との境界部付近で杭が降伏し塑性ヒンジを生じる。このため、塑性ヒンジ発生後は、杭が地盤に追従するような形で変形するため杭と地盤の相対変位が増加せず、地盤反力は大きくなる。このとき地盤は、液状化層と非液状化層との境界部付近で降伏しているだけである。3方法とも同程度の曲げモーメント、変形、地盤反力を示しており、P-Δ効果を考慮した解析による影響は、明確な形では現れない。

(2) 極限地盤反力を受働土圧とした場合

図-6~8は、地盤の水平変位量50cmの場合の杭の水平変位量、曲げモーメント、地盤反力の分布を示したものである。地盤の水平変位15cm程度のとき上部非液状化層のほとんどの地盤が降伏し、杭への作用荷重がこれ以上大きくならないため、杭に塑性ヒンジが発生せず図-6のように杭は変形する。3方法とも、上部非液状化層のほとんどの地盤が降伏する前は、同程度の解析結果を示す。しかし、降伏後は、弾性床上の梁の理論による方法、大変形解析において軸力を考慮しない場合の2つは、同程度の解析結果を得るが、大変形解析において軸力を考慮した場合には、P-Δ効果により上部非液状化層付近の杭の曲率が逆転しはじめ、曲げモーメントが減少するようになる。そして、地盤の水平変位の増加とともに上部非液状化層の地盤の降伏は全層に広がり、水平変位が72cmのとき全て降伏に至り解析上収束しなくなる。

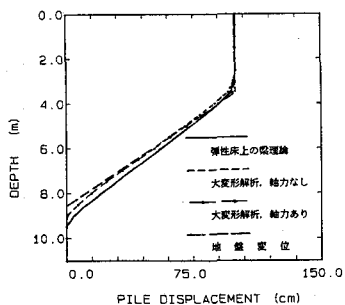


図-3 杭の水平変位量

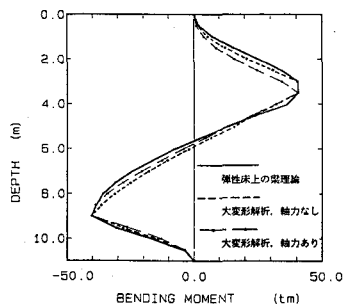


図-4 曲げモーメント

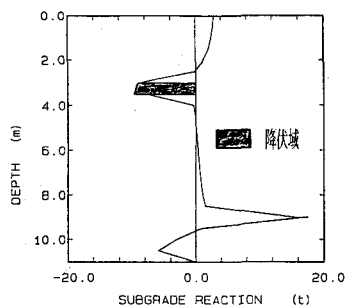


図-5 地盤反力

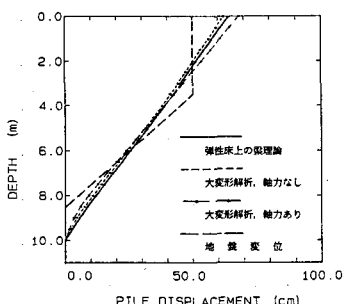


図-6 杭の水平変位量

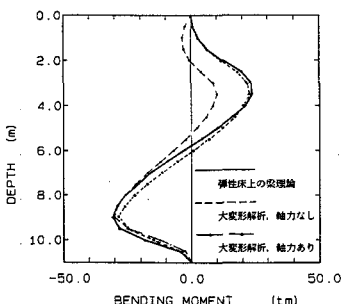


図-7 曲げモーメント

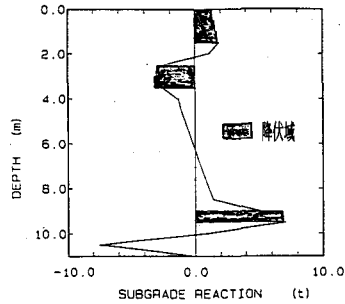


図-8 地盤反力

(参考文献) 1) 建設省土木研究所砂防部地すべり研究室; 地すべり抑止杭の解析, 土木研究所資料第2642号, 1988. 2) F. Miura, et al.; Lateral Spreading Effects on Pile Foundation, Proc. from the Second U. S. - Japan Workshop on Liquefaction, pp. 295-307, 1989. 3) 三浦, 宮坂, 坂尾; 水平変位を受ける杭のP-デルタ効果について, 山口大学 工学部研究報告, 第42巻 第2号, 1992. 4) H. E. Stewart, et al.; Pile Damage due to Large Ground Displacement, Proc. of First Japan-U. S. Workshop on Liquefaction, pp. 295-307, 1989.