液状化に伴う流動時に上部非液状化層が構造物に作用する外力と設計法

東北学院大学工学部　学生会員　○成田　光
東北学院大学工学部　学生会員　阿部　康
東北学院大学工学部　正会員　吉田　望

1　はじめに

1995 年兵庫県南部地震では，液状化に伴う地盤の流動により，護岸背後の埋立地盤において多くの構造物が被災した[1)]。これらを踏まえ，現在の多くの設計基準類では，地盤の流動が考慮されるようになった（たとえば2)3)）。また，流動を考慮した解析も行われている。さらに，流動に対する対策も検討されている。特に，新設構造物では流動による外力を評価した設計も可能であろうが，既設構造物においてはとることのできる方法は限られており，理想的な対策と考える基礎の強度増加はできないこともある。その場合には構造物の前面に改良を施すなどの方法により局所的に地盤の変形を押さえるような方法が検討されている。ところで，これらの設計，検討では一般的に流動の向きと平行な断面を用いた二次元的な評価が行われている。

液状化に伴う地盤の流動は広域で液状化が発生したときに生じることを考えると，地盤の動きも広域にわたる。特に問題と考えられるのは非液状化層の挙動であり，これは土塊となって動くと考えられる。

土圧理論によれば，二次元で考慮した際に構造物に作用する極限土圧（たとえば受働土圧）は，三次元を考慮した場合より小さい。すなわち，三次元フィールドでは滑り面は動きと直行する水平方向にも広がることから，土圧として作用する土塊はくさび型になり，見附面積からはみ出た部分が二次元的考察より余計に作用する。しかし，このような力は現在のところ考慮されていないようである。

ここでは，このような三次元的な力が構造物に与える影響について検討する。

2　検討方法

ここで想定しているような非液状化層の大きな変位に対する外力を求める簡易な方法は著者らの知る限りでは存在しない。そこでここでは，中井らが杭の水平抵抗を求めるために用いた方法[4)]を準用する。

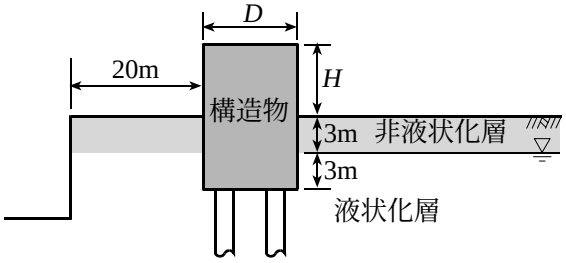
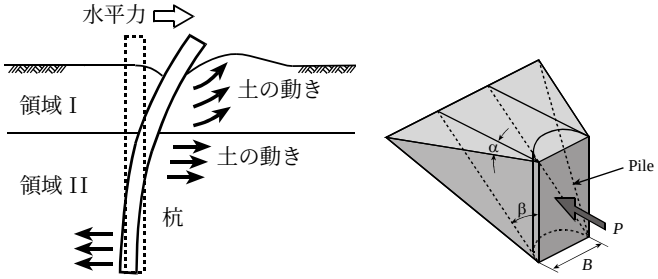


図1　解析地盤



(a) 地盤の変位　　(b) くさび型土塊

図2　地盤の破壊モデル

この方法では，図 2(a)の様に杭の動きに伴い地盤が斜め上に動く領域 I と水平に動く領域 II に分けている。ここで，領域 II は図 2(b)の様にくさび型をしており，横にはみ出た部分が二次元的検討では考慮されていない部分である。以後，この力を極限地盤反力と呼ぶ。

液状化に伴う流動の発生時期はわからないことも多いが，最近の研究では地震後しばらくして発生したという報告もある[5)]。また，設計指針でも他の荷重とは独立して考えられているようである。そこで，ここではこの荷重を独立した荷重と設定する。すると，設計の際にこの外力と同等以上の力が考慮されていれば，この外力を考慮する必要はない。

設計の際に考慮される水平力の主なものは地震による慣性力である。また，地盤の液状化に伴う流動が発生すると考えられる場合にはそれによる荷重も水平力として考慮される。そこで，ここではこれら二つの水平力と極限地盤反力を比較する。

比較のために，図 1 に示すような護岸近くにある根入れが 6m のモデル構造物を設定する。地盤は 1995 年兵庫県南部地震の際大きな流動を生じたポートアイランドの地盤[6]をモデルとし，地下水位は GL-3m とする[7]。前述の極限支持力を求めるメカニズムの領域 I の深さは構造物の幅の関数である。設定した地盤に対して GL-3m がちょうど境界となる幅を求めると約 5m となる。これ以上幅の小さい構造物というのは現実的ではないので，ここではすべてのケースで極限地盤反力は領域 I を仮定して求める。また，液状化地盤に作用する力は非液状化層に作用する力より小さいとして無視する。従って，根入れ 3m 以深の構造は解析には影響しない。

解析では，構造物の地表の高さ，幅および奥行きをパラメータとし，外力のオーダーをとらえることを目的とする。また，慣性力は設計震度 0.2 を設定し，また，構造物の重量は 1 階について 10kN/m^2 と設定する。一方，流動による力は道路橋示方書 [2]に基づいて求める。また，整理方法として，極限地盤反力がその他の二つの外力より大きいときには危険，小さいときには安全と判断する。

3　解析結果と考察

図 3 は道路橋示方書との比較であるが，幅が約 40m より小さいときには危険となった。前述のように，図 2(b)のメカニズムはくさび型の横に張り出した部分のみが二次元的考察による外力より大きい。この領域の大きさは幅に依存しないので，三次元的な効果は幅が大きくなるほど小さくなる。一方，道路橋示方書の流動力は幅に依存しない。従って，この結果は，二次元的な部分で道路橋示方書の力の方が大きいこと，しかし，くさび型の三次元的な効果のために極限地盤反力の方が大きくなったことを表している。40m という領域は護岸からの距離に依存し，距離が短くなれば安全領域はより大きくなる。

次に，図 4 は，慣性力と極限地盤反力が同じにある等高線を求めたものであり，この線より下は危険，上は安全側となる。階高が高くなるほど慣性力が大きく，安全側の領域が増える。また，構造物の幅が小さくなるほど危険側の領域が増えるがこの理由も前に説明したメカニズムによるものである。

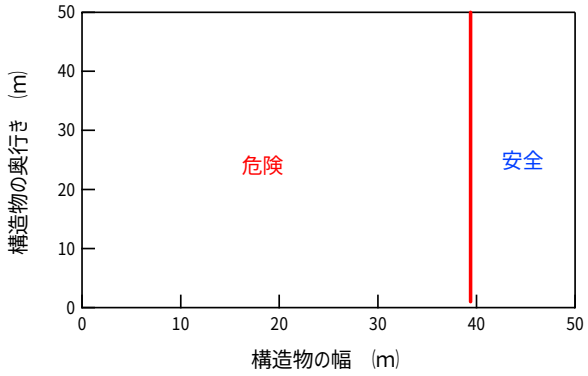


図3　流動力との比較

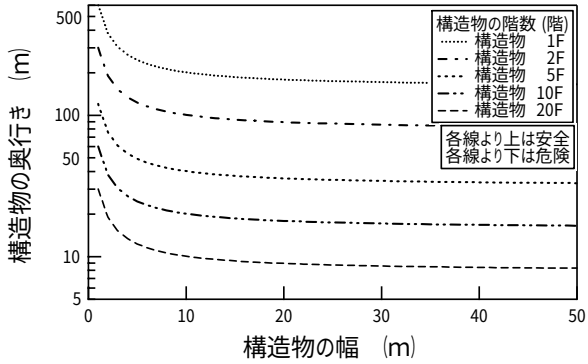


図4　慣性力との比較

4　おわりに

非液状化層が土塊として動いた際構造物に作用する水平力を既往の水平力と比較した結果，前者の方が大きくなるケースがあることがわかった。ただし，ここでは簡易な予測をしたので，定量的な評価をするためにはさらに研究が必要と考えられる。

参考文献

1) 阪神・淡路大震災調査報告書編集委員会（1998）：阪神・淡路大震災調査報告，土木・地盤 3，丸善
2) 日本道路協会 (2002): 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
3) 運輸省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編（1999）：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善
4) 岸田英明，中井正一（1979）：地盤の破壊を考慮した杭の水平抵抗，日本建築学会論文報告集，第 281 号，pp. 41-55
5) Yoshida, N. et al (2006): Causes of Showa Bridge Collapse in the 1964 Niigata Earthquake based on Eyewitness Testimony, Soils and Foundations, Vol. 47, No. 6
6) 神戸市開発局（1995）：兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査（ポートアイランド，六甲アイランド）報告書
7) 吉田望（1995）：1995 年兵庫県南部地震におけるポートアイランドの地震応答解析，土と基礎，Vol. 43，No. 10，pp. 49-54