

CS-23

GISによる広域地盤沈下地帯における杭基礎の地震時危険度評価
（その1：地盤沈下がもたらす杭基礎の地震時危険度評価法）

茨城大学工学部	フェロー	安原一哉
茨城大学工学部	正会員	村上 哲
富貴沢建設コンサルタント	正会員	福田裕子

1. はじめに

兵庫県南部地震以来、都市の地震に対する被害状況を把握するための検討が各方面で行われている。その中では、活断層による直下型地震を想定し、周辺地域に存在する活断層を考慮に入れた詳細な検討がなされているのが通常である¹⁾。しかしながら、地域において考慮しなければならない項目は活断層以外にも存在し、例えば、地盤沈下地帯においては、建設後に生じた沈下によって杭基礎の水平耐力が低下していることが懸念される。そこで、本研究では、地盤沈下地域である関東平野北部地域における杭基礎の地震による危険度を把握することを最終目的とし、ここでは地盤沈下がもたらす杭基礎の地震時危険度を定量的に評価するための方法について述べる。また、対象とする地域が広域なとき多くの場合新たな情報を取得することは時間と労力を要するが、いくつかの既存の数値情報や文書情報などからそれらの処理に有効なツールである地理情報システム（GIS）を用いて取得したい情報を算出することが出来れば非常に有効である。したがって、既存情報を用いられるような形での誘導を試みた。

2. 地盤沈下がもたらす杭基礎の地震時危険度評価

著しい地盤沈下が生じている関東平野北部の地域において構造物の基礎として支持杭を用いる場合、設計時における当初の安全性より危険な状態にあると予想される。危険度を定量的に表すためにその評価式を誘導する。なお、対象とする杭は単一の支持杭で杭と上部構造物との接合は固定（回転拘束）とする。また、杭が全長にわたって回転あるいは横移動するような地盤の破壊や液状化に伴う地盤の側方流動は生じないような場合を想定し、杭材に作用する曲げモーメントに着目する。また、設計加速度とある地点で将来生じるであろう加速度とを区別して考える。

地表面沈下量が s だけ生じた時の杭頭および地中部最大曲げモーメント (M_H および M_G) は、Chang の方法（線形弾性地盤反力法）によれば、

$$M_H = \frac{H}{2\beta} (1 + \beta s) \cdots \textcircled{1}, \quad M_G = -H \frac{\sqrt{1 + (\beta s)^2}}{2\beta} \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{\beta s}\right) \cdots \textcircled{2}, \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{k_h B}{4EI}} \cdots \textcircled{3}, \quad H = \alpha W \cdots \textcircled{4}$$

と表すことができる²⁾。ここで、 k_h は水平地盤反力係数、 B は杭幅、 EI は杭の曲げ剛性、 H は水平力、 α は想定される加速度、 W は上部構造物の質量である。

一方、設計時においては上式において $s=0$ であり、また、設計加速度を α_i とすると、設計時における杭頭および地中部最大曲げモーメント (M_{Hi} および M_{Gi}) は、次のように表される。

$$M_{Hi} = \frac{H_i}{2\beta} \cdots \textcircled{5}, \quad M_{Gi} = -\frac{H_i}{2\beta} \exp\left(-\frac{\pi}{2}\right) \cdots \textcircled{6}, \quad H_i = \alpha_i W \cdots \textcircled{7}$$

したがって、上述の式から次の関係式が導かれる。

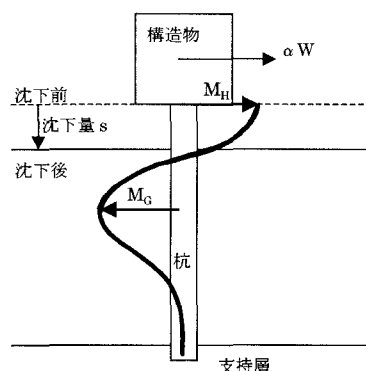


図-1 杭に作用する曲げモーメント分布図

キーワード：地盤沈下，杭基礎，地震，地理情報システム（GIS）

〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1, Phone:0294-38-5166, Fax:0294-38-5268

$$M_H = M_{H1} \cdot R_\alpha \cdot R_H \cdots \textcircled{8}, \quad M_G = M_{G1} \cdot R_\alpha \cdot R_G \cdots \textcircled{9}$$

ここに、 R_α , R_H , R_G はそれぞれ地震加速度による、沈下による杭頭、地中部曲げモーメントの増加率と呼ぶことにし、次式のように表されるものである。

$$R_\alpha = \frac{\alpha}{\alpha_1} \cdots \textcircled{10}, \quad R_H = 1 + \beta s \cdots \textcircled{11}, \quad R_G = \sqrt{1 + (\beta s)^2} \exp\{\tan^{-1}(\beta s)\} \cdots \textcircled{12}$$

設計時において各曲げモーメントの値 M_i は、杭材の許容値 M_c に対し等しいかそれ以下に設定されることが多い。すなわち、ある係数 n で M_c を除した値以下が M_i である。

$$M_i \leq M_c / n \cdots \textcircled{13}$$

上式において等号の場合を考えると、式⑧と式⑨は次のように表すことができる。

$$M_H = \frac{1}{n} \cdot M_c \cdot R_\alpha \cdot R_H \cdots \textcircled{14}, \quad M_G = \frac{1}{n} \cdot M_c \cdot R_\alpha \cdot R_G \cdots \textcircled{15}$$

各曲げモーメントに関する杭の危険度として、1 より大きくなると危険となるような次のようなパラメータを定義する。

$$d_H = \frac{M_H}{M_c} = \frac{1}{n} \cdot R_\alpha \cdot R_H \cdots \textcircled{16}, \quad d_G = \frac{M_G}{M_c} = \frac{1}{n} \cdot R_\alpha \cdot R_G \cdots \textcircled{17}$$

したがって、地盤沈下に伴う杭基礎の地震時危険度 D は d_H と d_G の最大値と定義される。 R_H と R_G の大きさが、 d_H と d_G の大きさを決定するが、式⑪と式⑫を比べると、 $s > 0$ の範囲で $R_H < R_G$ となるので、 D は結局次式となる。

$$D = d_G = \frac{1}{n} \cdot R_\alpha \cdot R_G \cdots \textcircled{18}$$

3. 地盤沈下をもたらす杭基礎の地震時危険性

上述した杭の危険度評価式における係数 R_α と R_G についてその特性を数値的に調べる。地盤条件として $\beta = 0.1, 0.2, \dots, 1.0$ ，設計加速度を $\alpha = 196 \text{ gal}$ を想定し、沈下量 s と加速度 α を変化させた計算を行った。計算結果を図-2、3 に示す。なお、 $k_b = 1.0 \text{ kgf/cm}^3$ (N 値でおよそ 5 に相当)³⁾， $B = 100 \text{ cm}$ ， $EI = 10^{10} \text{ kgf}\cdot\text{cm}^2$ の場合、 β の値はおよそ 0.7 m^{-1} である。図-2 より沈下量の増大に伴いまた β の値の増大に伴い、 R_G の値が大きくなることが分かる。例えば、 $\beta = 0.7 \text{ m}^{-1}$ の時、沈下が 0.5 m 生じたときは、沈下による杭の危険度増加率がおおよそ 1.5 倍増加する。このことから、著しい地盤沈下を生じている地域において杭構造物の安定性が低下していると予想され、現在生じている沈下量の把握と将来の沈下量を予測することが重要である。また、地震による杭の危険度増加率は図-3 より加速度が大きくなるほど線形的に大きくなる。その増加量は沈下量のそれに比べ大きい。すなわち、杭基礎の存在する地域について将来生じるであろう地震による加速度を推定する必要がある。

4. まとめ

地盤沈下をもたらす杭基礎の地震時危険度評価式を誘導した。その結果、定量的に評価する為には、①地震による加速度の推定、②地盤沈下の現状把握と将来予測が必要であることが分かった。

参考文献

1) 例えば、茨城県：茨城県地震被害想定調査報告書（概要版）（案），1998。2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針 6.4 節杭の水平耐力，pp.244-263，1991。3) 土質工学会：土質工学ハンドブック，pp.562-572，1990。

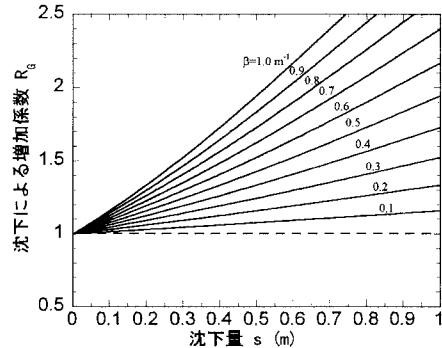


図-2 R_G と沈下量の関係

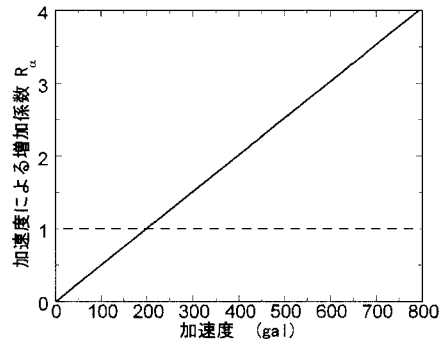


図-3 R_α と加速度の関係