

PSⅢ-1

杭の被害より推定した液状化による地盤の永久変位の鉛直分布

佐藤工業㈱中央技術研究所 吉田 望
東海大学海洋土木工学科 浜田 政則

1 はじめに 筆者らは最近、1964年新潟地震で被害を受けた2つの建物(以後Sビル¹⁾、Aビル²⁾と呼ぶ)について、その撤去時に杭の被害に関する調査に携わり、杭のたわみ形状などの詳細は情報を得た。本報では、これら基礎杭の被害を解析でシミュレーションすることにより永久変位の鉛直方向分布の推測する。

2 杭の被害の概要 当該建物は信濃川右岸および左岸に位置する。両方の建物とも鉄筋コンクリート造3階建であり、杭はRC杭である。図1、2に敷地内で行われたボーリング調査より得られた地盤のN値(波線は解析に用いた値)、被害の模式図を示す。また、杭の変形は後に示す解析結果とともに示す。

3 解析および考察 数値解析は、応答変位法で行う。図1、2で示された5本の杭の被害を、液状化層との関係で見ると、A:杭全体が液状化層内にある(Sビル②、③杭)、B:杭先端は液状化層内にあるが、杭頭は非液状化層内にある(Aビル①杭)、C:杭先端、杭頭とも非液状化層にあり、中央部が液状化層内にある(Aビル②杭)、D:杭先端は非液状化層にあるが杭頭は液状化層内にある(Sビル①杭;この杭は摩擦杭であるが、被害形態からこのように推定される¹⁾)の4つに分けられる。このうち、たわみ形の測定されているA、B、C3つのタイプの解析を行う。地盤のばね定数は、非液状化層については道路橋示方書に示された地盤反力係数に杭径を掛けたものとし、液状化層についてはその1/10の値とする。杭のM- δ 関係は、引張縁コンクリート応力がひび割れ応力に達した時、外側の引張鉄筋が降伏したとき、および圧縮縁コンクリートのひずみが圧壊ひずみに達したときを頂点し、その後完全塑性挙動をする部分線形モデルとする。地盤の変形は、液状化層下端で0、液状化層より上の層では水平変位一定とし、液状化層の変位は直線分布と余弦分布の二つを想定する。液状化層の厚さはSビルでは10.8m、Aビルでは被害形態を考慮し①杭では9m、②杭では7mとする。また、Aビルの杭は仮に杭長を9mとして計算する。杭の境界条件は、杭頭、杭先端ともM=0とする。この場合、液状化層の地盤の変位分布を直線とするとSビルの杭、Aビルの①杭ではほとんど応力が生じないので、このケースの計算は行わない。図3~5に計算結果の結果得られた杭のモーメントと変位を実測値と比較して示す。なお、 δ の定義は実験と解析では異なっているので注意されたい。

(1) Sビル②③杭 $\delta=0.12$ mで杭中央部がひび割れモーメントに達し、 $\delta=0.28$ mで引張鉄筋が降伏する。さらに δ を大きくして行くと、杭中央部でのモーメント分布は次第に平坦になるとともに、最大モーメント発生位置は杭中央から上に上がり、 $\delta=4.88$ mで杭頭から約2mの位置でモーメントが破壊モーメントに至る。この時、相対変位は30cmを越えており、実測値よりかなり大きい。そこで図3(b)では δ の小さい部分のみを取

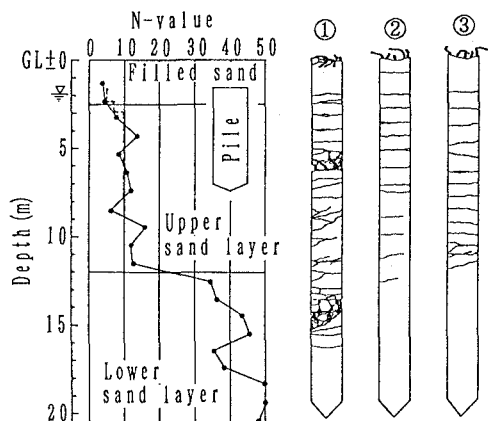


図1 SビルのN値と杭の被害

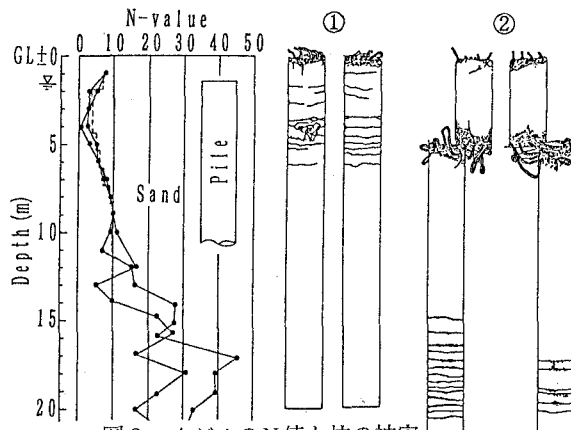


図2 AビルのN値と杭の被害

り出し、実測値と比較している。たわみ形を比較すると、 $\delta = 0.5 \sim 1\text{m}$ の時のたわみ形と実測値との対応がよいが、最大たわみ位置は実測値の方がやや上にあり、地盤の変形は杭頭付近でより曲率の大きいものである可能性がある。また、この周辺の1964年新潟地震による地表面の永久変位は30~50cmと推定される³⁾ので、実測値を説明するにはもう少し大きい変位が必要である。すなわち、実際の被害を説明するには、液状化層上部より少し下の方が水平変位が大きい変位分布の方が都合がよい。上部非液状化層は剛性が高いので液状化層が動いたときに抵抗すると考えればこのような変位分は特におかしなものではないし、実際そのような変位が起こったと推測される地下線状構造物の被害も報告されている⁴⁾。

(2) Aビル①杭 Aビルでは周辺で実測された地盤の永久変位(1.5m)まで計算を行った。図4に示すように、①杭ではこの間で降伏はするものの破壊モーメントには至らなかったが、実際の被害では少しではあるがコンクリートが圧壊しているところもある。また最大モーメント発生位置は被害の著しかったところより下方である。したがって、Sビルで行った議論がここでもそのまま成立する。

(3) Aビル②杭 地盤変位を直線にした場合(図5(a),(b))には杭の破壊は液状化層下端位置で起こり、ここで急激な曲率の変化が起こるが、それより上のたわみ形はほぼ直線であり、実際の被害とは対応しない。余弦分布とした場合(図5(c),(d))には $\delta = 0.53\text{m}$ で液状化層下端が、 $\delta = 0.88\text{m}$ で杭頭から3.5~4m位置でモーメントが破壊モーメント M_u に達し、その後この2点で折れ曲がるようにして変形が進んで行く。 $\delta = 1.5\text{m}$ では折れ曲がり量は相当大きくなっており、実際に見られたような大破壊が生じてもおかしくない状況にあると言える。しかし、上部の折れ曲がり点は実際のものと比べ下方にあり、やはりこれまでの議論が成立する。また、この解析では杭下端の方が先に破壊することになり実際の被害とは対応しない。これは本解析では地盤は液状化しているか否かの二つの状態しか取っていないためであるが、連続的に変化している地盤であるから、実際にはこの途中で部分液状化の部分があり、このことを考慮し、例えば液状化による剛性低下率を連続的に変化させるとか、地盤の変位を連続的に変化させるとかすれば下方が先に破壊することはなくなると考えられる。

参考文献

- 1) 吉田望、小林恒一、中村晋、1964年新潟地震で被害を受けたS建物の基礎杭の調査、土と基礎、平成2年6月号(掲載予定)
- 2) 地盤変状と地中構造物の地震被害に関する研究、(財)地震予知総合研究振興会、平成元年度調査・研究報告書、平成2年3月
- 3) (財)地震予知総合研究振興会、地盤永久変位ベクトル図
- 4) 地盤変状と地中構造物の地震被害に関する研究、(財)地震予知総合研究振興会、昭和64年度調査・研究報告書、平成元年3月

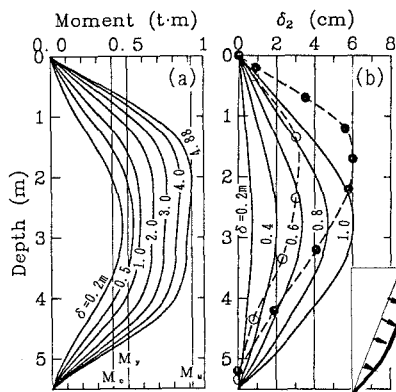


図3 Sビル②、③杭の解析結果

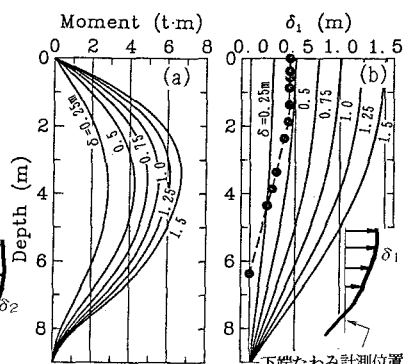


図4 Aビル①杭の解析結果

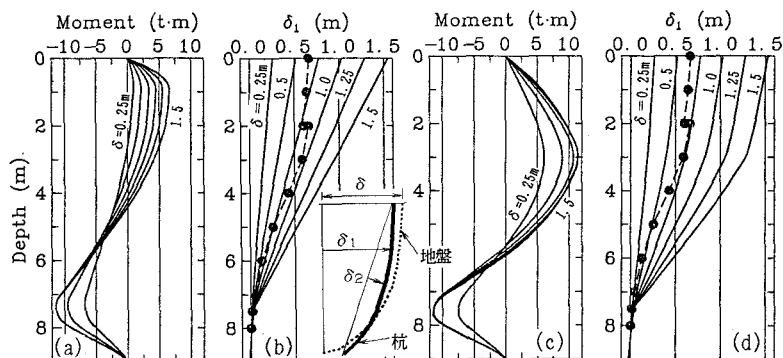


図5 Aビル②杭解析結果