

I-B420

側方流動の影響を考慮した基礎杭被害の分析

早稲田大学 学生会員 ○田近孝治
同 フェロー 濱田政則
日本技術開発(株) 張 至鎬

1. はじめに

1964 年新潟地震において破壊された建物の基礎杭について、側方流動による地盤変位、液状化層の流体力および上部構造の慣性力などを考慮して被害要因の分析を行った。本文では、非液状化層の地盤変位および液状化土の流体力による基礎杭の変形と応力について報告する。

2. 解析対象の概要

2.1 基礎構造と地盤条件および地盤変位

解析対象とした杭は、3 階建てのコンクリート造建物の基礎杭で、外径 350mm、内径 210mm の遠心力コンクリート杭であり、丸鋼 13mm×12 本の鉄筋を有している。

図 1 に地震前後の航空写真より測定した建物周辺地盤の地表面変位ベクトルを示す。図に示すように、地盤は概ね西から東に変位している。建物の西側では地盤が 1.5m 程度変位しているのに対し、東側では 0.5m 程度と相対的に小さくなっている。

2.2 基礎杭の被害状況

山留工による掘削によって調査された解析対象の 2 本の杭の変形と被害状況をそれぞれ図 2、図 3 に示す。杭 2 は杭頭部より約 2m 下がった位置で激しい損傷を受け、先端部において多数のクラックが認められる。一方、杭 1 は杭頭部においてのみ損傷が認められる。杭 1 の長さは杭 2 より約 1.5m 短く、支持層への根入れが浅く、杭の根入れ深さの違いが杭の損傷程度に大きな影響を与えたと考えられる。

3. 杭の被害の解析

3.1 非液状化層の地盤変位による解析

図 4 に示すように、上部非液状化層の変位を地盤バネを介して杭に入力する解析モデルを用いた。液状化層の地盤バネは 0 としている。上部の非液状化層と液状化層の境界位置(以後上部境界位置と呼ぶ)は、図 2 に示す杭の変形の曲率の最も大きい点とした。また N 値 10 以下の土層が液状化したものと仮定した。図 2 に示す杭の変形から杭 1、2 とも支持層(下部の非液状化層)に根入れされていたものと考えられる。解析モデルにおける杭 1、2 の支持層への根入れ深さはそれぞれ図 4 に示すように 0.5m、2m である。地盤バネ定数は各土層の平均 N 値より道路橋示方書の方法⁴⁾により算定したが、地盤バネは受働土圧による地盤バネ定数の減少を考慮しない線形とした。これは、解析対象とした杭がいずれも単杭(1 基のフーチングに 1 本の杭)であり、地盤に滑り面が生じてもすべり土塊の側面の抵抗が大きいことを考慮したものである。

杭の曲げモーメント～曲率の関係は非線形とし、軸力の影響を考慮した。この場合、杭の軸力は建物の総重量と杭の総本数より 1 本当たり 30tf としたが、杭 1 に関しては根入れが 0.5m と浅いため、軸力は 0 と仮定した。

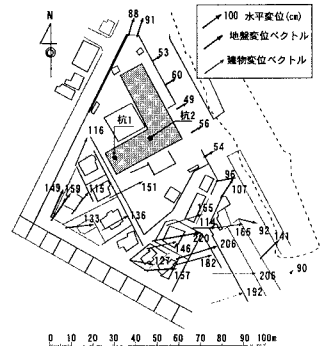


図 1 建物周辺地盤の地表面変位ベクトル(1964 年新潟地震)

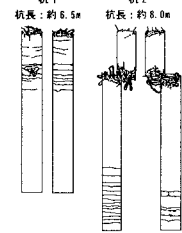
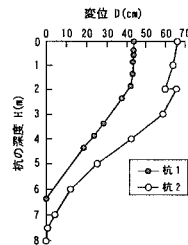


図 2 被害杭の実測変形 図 3 被害杭の損傷状況

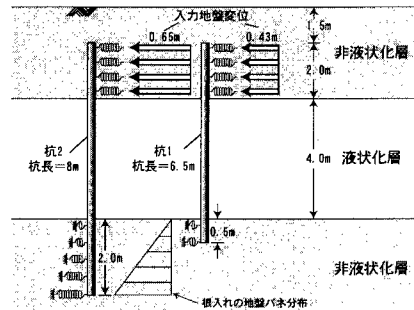


図 4 非液状化層の地盤変位を考慮した解析モデル

Key Words : 側方流動、液状化、杭、地震

〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部土木工学科 58-203 TEL/FAX:03-3208-0349

図 5 に示す杭 2 の変位分布によれば、杭先端の地盤バネ定数が 2.5～3.5 (kgf/cm³) の範囲であれば杭の実測変位を概ね説明し得ることが分かる。その場合のモーメント分布を図 6 に示すが、杭の上下部

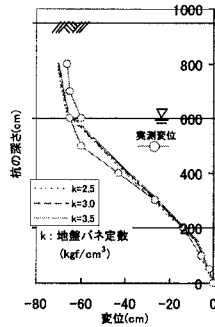


図 5 変位分布 (杭 2)

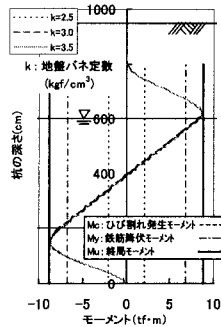


図 6 モーメント分布 (杭 2)

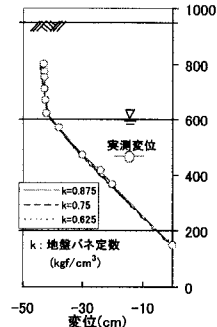


図 7 変位分布 (杭 1)

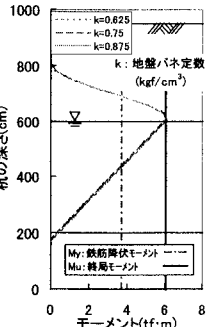


図 8 モーメント分布 (杭 1)

ともコンクリート圧壊曲げモーメント (M_u) に達しており、図 3 に示した損傷状況と一致する結果となっている。杭 2 の解析と同じ地盤バネ定数を用いた杭 1 の解析結果を図 7、図 8 に示す。図 7 によれば解析による杭 1 の変形は実測の変形とほぼ一致している。また、図 8 によれば上部境界位置において曲げモーメントが M_u に達しているものの、下部境界位置では小さく、図 3 に示した損傷状況を良く説明している。

3.2 液状化層の流体力を考慮した解析

流動中の液状化層に設置された模型杭の実験によれば、杭には液状化土を粘性流体と見なした外力が作用することが明らかにされている (濱田ら 1998)¹⁾。そこで、杭 2 について液状化層の流動による外力を評価することを試みた。この場合液状化土の粘性係数と流動速度の推定が必要となる。濱田らは、液状化土の物性試験、模型実験、既往地震の分析および模型地盤と実地盤の間の相似律より液状化層厚の 1.5 乗に比例して粘性係数が増大することを示している²⁾。本研究の対象とした地盤での液状化層厚は約 4m であるが、この場合の粘性係数の推定範囲は概略 50～500 (gf·s/cm²) と推定されている。粘性係数が大きいほど杭に作用する外力が大きく評価されることから、本解析では上限値の 500 (gf·s/cm²) を用いることとした。液状化層の各深さにおける定常状態での流動速度 V_s は図 9 に示すような 1 次元の粘性流体の流れとして算定した。

杭に作用する抗力は無限遠をもつ流体中の円筒体に作用する外力の式 (Lamb の式) を用いて算定した³⁾。以上のように求めた流体による外力を図 10 に示す解析モデルに作用させ杭の発生曲げモーメントを算定した。流体力は 1/4 正弦波とし、地盤バネ定数は図 4 と同じである。

図 11 に流体力を作用させた場合のモーメント分布を示す。曲げモーメントは小さく、コンクリートのひび割れ発生モーメントである M_c のたかだか 6% 程度で、流体力の影響は極めて小さいことが分かる。

4. まとめ

新潟地震によって被害を受けた基礎杭の解析によって、以下のことが明らかになった。

- (i) 上部非液状化層の変位を入力することにより、杭の被害は概ね説明することが可能である。
- (ii) 液状化土の流体力による影響は上部非液状化層の変位の影響に比べ極めて小さい。

5. 参考文献

- 1) 濱田政則、吉田誠、三野栄作：液状化土が杭及ぼす流動外力の実験と解析、第 33 回地盤工学研究発表会
- 2) 濱田政則、若松加寿江：液状化による地盤の水平変位の研究、土木学会論文集Ⅲ、1998、6
- 3) A ビル基礎杭の被害調査：(財) 地震予知総合研究振興会、1989
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、IV 下部構造編、1996
- 5) 谷田好通：流体力学、朝倉書店、1994、7

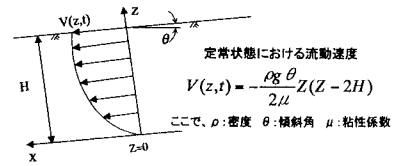


図 9 一次元粘性流体の流れ

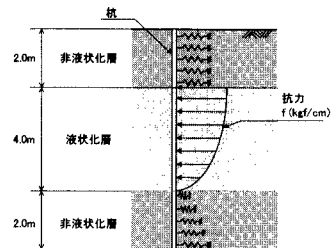


図 10 解析モデル

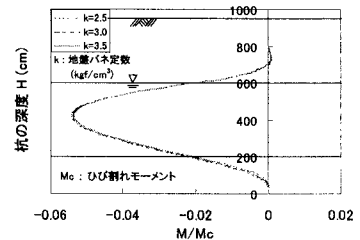


図 11 モーメント分布 (杭 2)