

Ⅲ-B9 兵庫県南部地震による下水処理場基礎杭の被害事例

奥村組本社土木部 正会員 ○ 中山 学
奥村・三井・東亜JV 正会員 姫野 健一
奥村組本社土木部 正会員 柳原 純夫
奥村組技術研究所 正会員 増井 仁

1. まえがき

兵庫県南部地震により被災した神戸市東灘処理場・水処理施設建替え工事の機会をとらえ、地盤掘削時に旧施設の基礎杭（P C杭φ350 mm）の被害を定量的に把握するための調査を実施した。その結果をもとに、地盤変状、杭の破壊メカニズムを推察するための数値解析を実施したので、調査結果とともに報告する。

2. 基礎杭の被害調査結果

当該処理場は神戸市東部の埋立地に立地し、隣接する処理場北側の護岸、ポンプ場からの送水渠の破断、汚泥濃縮槽や連絡通路用の橋の基礎等に大きな被害があり、地震発生後公表された航空写真に基づく地表面における地盤変状報告でも大きな値が示されている。

図-1, 2に処理場平面図、断面図を示す。

今回調査した水処理施設における基礎杭の被害状況は以下のように要約される。

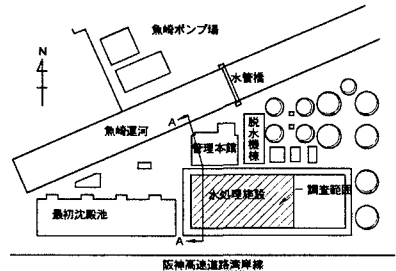


図-1 処理場平面図

① 水処理施設北

西部では、杭頭から2.5~3.5 mの位置でコンクリートの圧壊やP C鋼線の切断が見られた。北西部以外の箇所でも、同様の位置にクラックが認められた。

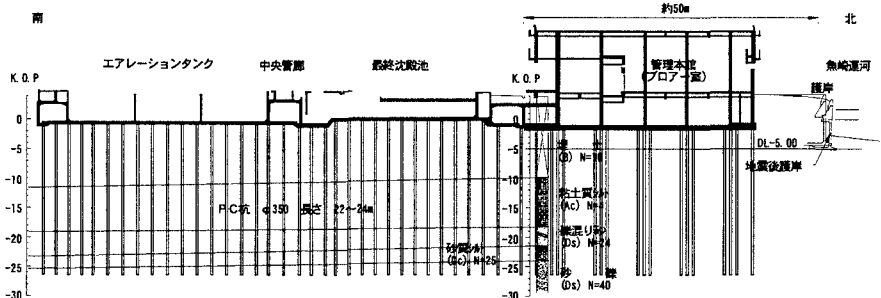


図-2 処理場断面図(A-A)

② 埋土と粘性土層境界上部では2~3本のクラックが認められた。

③ 埋土層では、層状、脈状に液状化したと思われる痕跡も一部には見られたが、杭打設時の地盤の変形（層状湾曲）状態が層境界付近にあった点も含め、埋土層で噴砂現象を伴い大規模に液状化したと判断できる状況は認められなかった。

④ 杭の変形は全体的に西方向へのモードが顕著であり、水処理場北西部および南西部では北西方向への変位が卓越している。北西方向に、約80 m離れた位置にある護岸の変状（水平変位 約2.5 m）の影響を顕著に受けていると判断できる。図-3に処理場北西部における実測した3本の杭の変形モードを示す。

3. 地盤変形解析結果

調査結果をふまえ、図-4に示すように護岸を含めた地盤解析を実施した。本解析では地盤を平面ひずみ要素、護岸を梁要素とした。地盤物性は表-1に示す。この物性値で自重解析をし

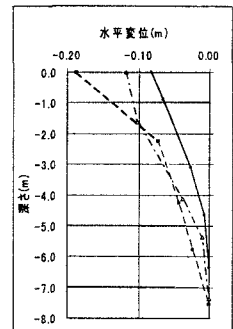


図-3 杭変形モード

keywords: 兵庫県南部地震, 下水処理場, 地盤変形, 杭被害, 終局挙動解析
〒545 大阪市阿倍野区松崎町2-2-2, TEL:06-625-3568, FAX:06-623-7699

た後、埋土層と置換砂の変形係数を1/20にし同様の解析を実施し、両者の差分をとった。

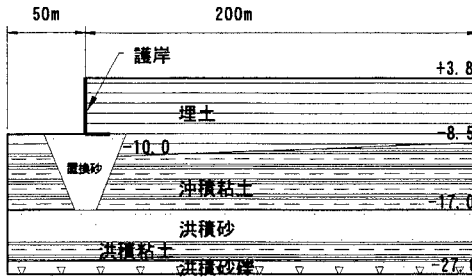


図-4 解析モデル(地盤変形解析)

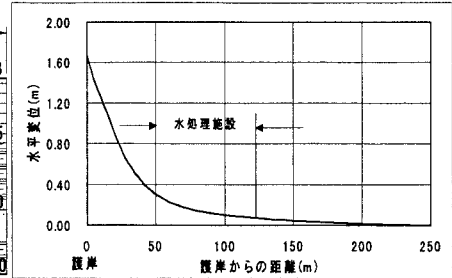


図-5 地盤水平変位(解析結果)

ポアソン比は体積圧縮係数が不変として算定した。この結果水平変位は図-5に示すように護岸部で運河側に166cm、水処理施設北端部で30cm、南端部で7cmとなった。これは、実測された護岸、周辺構造物、水処理施設基礎杭の変位とオーダー的に矛盾しない結果であり、今回の調査結果に地盤の変位を考慮すべきであることを示唆するものである。

4. 基礎杭解析結果

調査結果から、PC杭は終局状態になっているものと判断し、3次元弾塑性有限要素法(GPILE-3D)を用いて、被災状況の再現を試みた。解析に用いた地盤定数を表-1に示す。杭は大変形領域では強い非線形性を示すので、クラック時(M_c , ϕ_c)、降伏時(M_y , ϕ_y)、終局時(M_u , ϕ_u)のM- ϕ を直線で結ぶトリリニアモデルでその特性を表すものとし、底版の回転拘束の有無と底版と地盤間の連続性をパラメータとして、杭径の40%の変位量まで載荷した。なお、軸力は設計荷重の40tfとした。底版と地盤が不連続の場合で回転拘束の有無の比較を図-7に示す。

表-1 解析に用いた地盤定数

地盤種別	γ	C	ϕ	E
埋土	2.20	0.0	25	30
沖積粘土	1.65	6.0	0	45
洪積砂	2.00	0.0	30	58
洪積砂礫	2.20	5.0	35	430

γ (tf/m³), C (tf/m²), ϕ (degree), E (kgf/cm²)
 $N=40$ tfの場合の $M_c=4.7$ (tf·m)
 $M_y=9.9$ (tf·m), $M_u=10.4$ (tf·m)

解析結果より、以下のことがうかがえる。

- ① 底版と地盤間の連続性の有無に係わらず回転拘束が有る場合、最大曲げモーメントが発生する位置は杭頭部であり、 M_u を超えた値となっている。
- ② 底版の回転拘束が無い場合、最大曲げモーメントが発生する位置はほぼ底版下2.0m前後であり、その値は M_y , M_u に近い。したがって、杭の被災状況から判断すると、実際の杭状況は、杭頭部の回転をある程度許した状態になっており、今回の検討でほぼ被災状況を近似していると思われる。

5. あとがき

本解析結果では、護岸の変位による地盤および杭の被災状況をほぼ表していると思われる。今後、地中部の変位分布を考慮した杭の解析を実施して、被災状況を踏まえた巨大地震時の杭の数値シミュレーションを実施する予定である。調査には、神戸市建設局の竹中主幹、奥村・三井・東亜JVの職員の方々の協力を得、杭解析にあたっては京大木村亮助教授に貴重な助言を賜った。ここに謝意を表します。

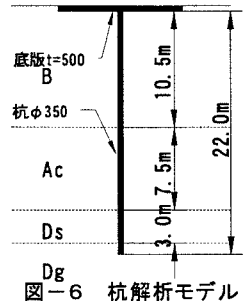


図-6 杭解析モデル

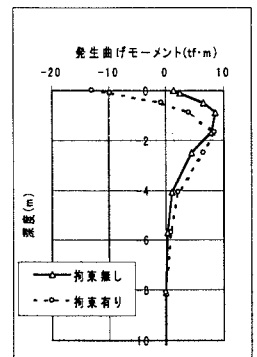


図-7 解析結果

(参考文献)

- 1) 小西 誠：東灘下水処理場杭基礎の被害と補強，基礎工 Vol. 24, No. 10, P. 88～P. 93, 1996. 10
- 2) 坂尻 好朗：神戸市下水道の地震被害と復興計画，土木技術 Vol. 51, No. 5, P. 84～P. 89, 1996. 5
- 3) 濱田ら：「1995年兵庫県南部地震における液状化、地盤の永久変位、地盤条件」(財)地震予知総合研究振興会, 1995. 9
- 4) 竹中 恭三ら：「兵庫県南部地震による下水処理場基礎杭の被害事例(速報)」第32回地盤工学研究発表会, 1998
- 5) 木村 亮ら：水平力を受ける鉄筋コンクリート群杭の終局挙動に関する遠心模型実験，京大防災研年報 No. 38
- 6) 福林 良典ら：側方流動を受ける単杭の挙動解析 第32回地盤工学研究発表会, 1998