

# 千葉県の集合住宅における杭被害のシミュレーション解析

12T0274W 多井一央  
指導教員：関口 徹

## 1. はじめに

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震において東北地方をはじめ関東地方でも大きな被害を被った。震央から 300km 離れた千葉県北西部においても杭等の基礎構造の損傷があり、杭頭部の破壊や地中深くの杭破壊の被害が多く確認された。

本研究は、東北地方太平洋沖地震において実際に杭基礎が損傷した建物を対象として、杭の耐震性評価において有効と考えられる手法を考慮した解析による杭基礎構造物の被害メカニズムの検証を行うとともに、これらの手法の適用性について検討を行った。

## 2. 対象地と被害概要

対象となる建物は、1973 年に建設された千葉県船橋市にある 5 階建ての高さ 14m の壁式プレキャストコンクリート造の集合住宅である。杭は直径 300mm、杭長 22~23m の PC 杭を打撃工法により施工されている。支持層への根入れは 0.8m である。

図 1 に各杭被害状況を表した杭状図を示す。南西側の杭が被害を受け、図の点線の部分で上部建物の壁が破断し、そこを境に上部構造物が一体的に南西側に 230mm 傾斜した。傾斜し沈下した部分をジャッキアップし、50 本の杭に対しては杭頭の観察および地中部のインティグリティ試験が行われた。杭頭被害について、目視により杭頭部の被害判定を「大破」・「中破」・「小破」の三段階に分け、軸力が保持できない場合を「大破」、ある程度の軸力を保持できると判断できる場合を「中破」、ひび割れ程度や施工時のカットオフの影響が大きいと考えられる場合は「小破」とされている。また 50 本のうち、地中部破損は 13 本確認されている<sup>1)</sup>。

## 3. 解析方法

解析方法は応答変位法を用いた静的増分解析で、剛とした基礎梁に連結した 14 本の杭に対して杭頭水平力と地盤変位を同時に作用させている。

モデル化にあたり、図 1 で示した解析対象の下部構造を図 2 のように単純化した。この単純化によって、50 本の杭を 14 本の杭として解析を行なっている。A2,C1 においては杭の群杭効果を考慮している。

検討方法は、地盤変位(最大値)と上部構造からの慣性力を与え、応答変位法にて杭応力を評価した。外力、杭の耐力、地盤ばね等の設定については文献を参考に以下に示す方法を採用した。

杭頭に作用させる慣性力については、同様の地形で観測された地表での地震記録の加速度に上部構造

物の質量を乗じて求めた。

地盤構造と地盤の応答変位を図 3 に示す。地盤の応答変位は、被災後の敷地内のボーリング調査結果と地震記録から、一次元等価線形解析により得られる最大応答変位の深度分布を用いる。

必要な各杭の変動軸力は、壁式一貫構造計算プログラムを用いて地震慣性力の作用する方向や杭の被害状況ごとに求めた。一例として、EW 方向に慣性力が働いている時の各杭の負担軸力を図 2 に示している。ここで、隅角である A1,A3 については、東北地方太平洋沖地震による地震動は継続時間が長いため、何度も変動軸力を負担する過程で支持力を失い軸力を負担しなくなったと仮定している。杭の固定度は杭の負担軸力に応じて設定している。

地盤ばねについては、間瀬・中井の提案式<sup>3)</sup>を用いて多折れ線にモデル化する。

杭の曲げモーメントと曲率の関係を図 4 の  $M-\phi$  関係図に示す。これは、杭にかかる負担軸力が異なれば杭の耐力も大きく異なることを示している。そのため、杭の軸力を適切に評価することが重要である。

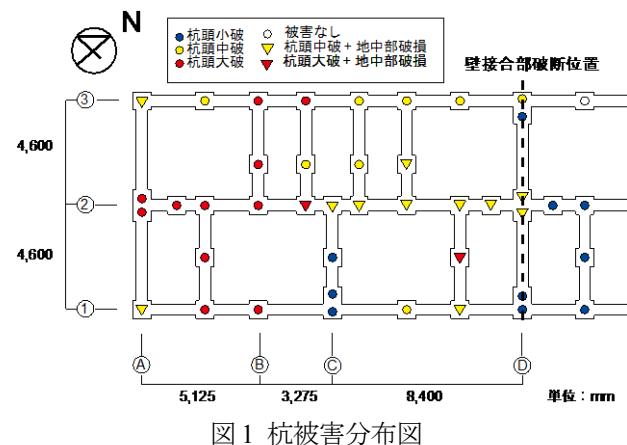


図 1 杭被害分布図

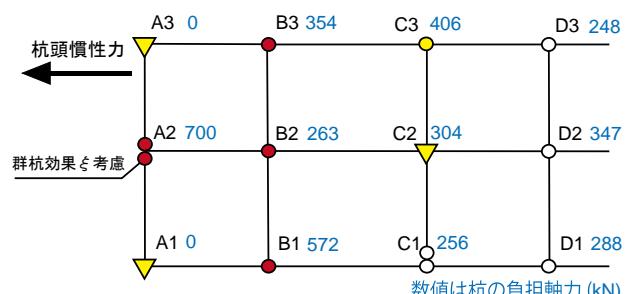


図 2 杭の単純化モデル

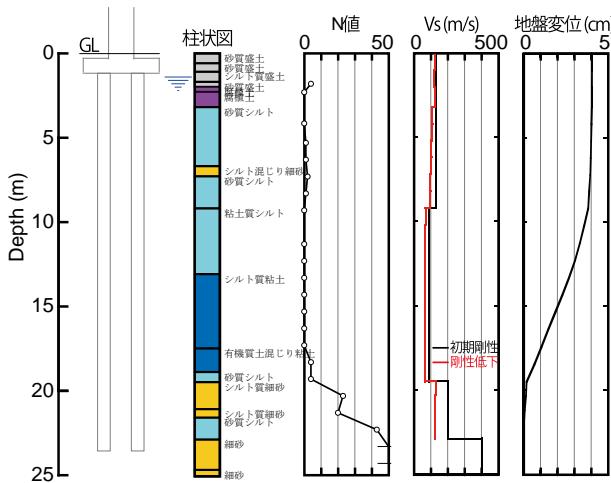


図3 地盤構造と応答変位

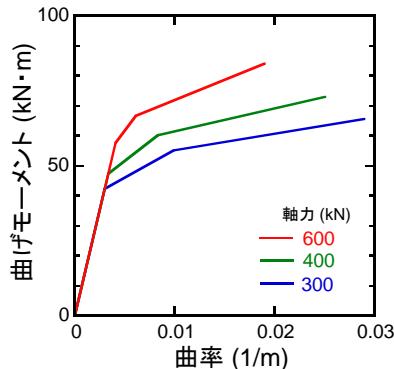


図4  $M$ - $\phi$  関係図

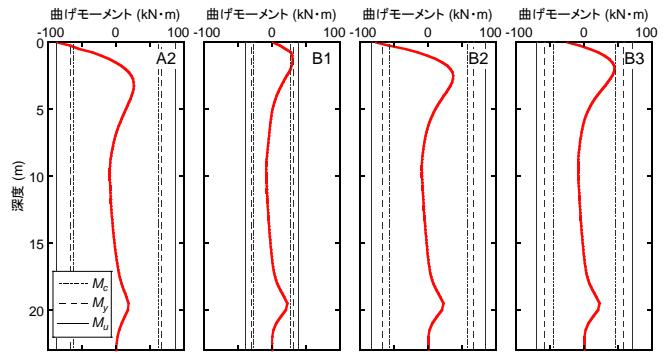
#### 4. 解析結果

表1 解析ステップと杭頭破壊状況

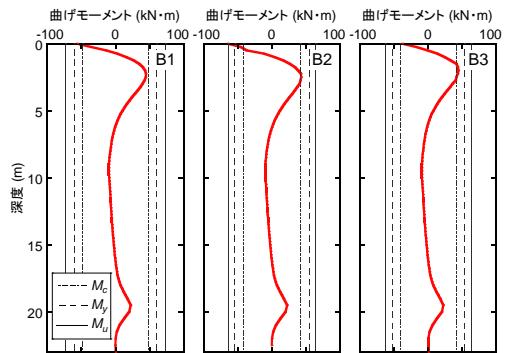
	慣性力 作用方向	杭			
		A2	B1	B2	B3
STEP1	W←	$M_u$	$M_y$	$M_c$	$M_c$
STEP2	E→		$M_c$	$M_u$	$M_c$
STEP3	W←		$M_u$		$M_c$
STEP4	N↑				$M_u$

：杭頭破壊

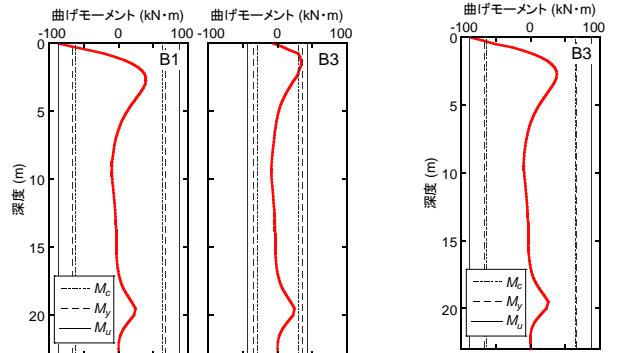
図2で示した杭の単純化モデルでの、杭の破壊状況に合うような慣性力の作用する方向の順序を、パラメータスタディを行い検討した。その結果、得られた慣性力の作用した方向と順序、それにともなう杭の破壊ステップを表1に示す。また、ステップごとの杭の曲げモーメントの深度分布図を図5に示す。杭頭破壊が見られた4本の杭に関しては、最初にSTEP1に示している通り、西方向に上部構造に慣性力が作用し結果、A2の杭が終局曲げモーメントに達し杭頭破壊が起こる。その結果 A2杭が軸力を負担しなくなり、軸力の再配分が起こる。そして STEPごとに B2,B1,B3 と順に終局曲げモーメントに達し杭頭が破壊される。これは、図1で示す杭頭破壊の実被害と解析結果が調和的である。



(a) STEP1



(b) STEP2



(c) STEP3

(d) STEP4

図5 曲げモーメントの深度分布

#### 5. まとめ

本研究では、東北地方太平洋沖地震の際に杭被害が発生し大きく傾斜した千葉県内の集合住宅に対して応答変位法に基づく杭応力の静的増分解析を行なった。その結果各杭頭の破壊を逐次検討し、杭の軸力を適切に評価することで杭被害をおおむねシミュレーションすることができた。

#### 参考文献

- 1) 金子治, 中井正一: 東日本大震災において被害を受けた杭基礎の耐震性の評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 79, No. 695, pp 83-91, 2014.01
- 2) コンクリートポール・パイプ協会: 既製コンクリート杭の性能確認試験報告, 第二巻, pp1-7, 1981.05
- 3) 間瀬辰也, 中井正一: 单杭の地盤ばねの評価法に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, vol.77, No.680, pp.1527-1535, 2012