

極短杭による基礎の耐震補強効果に関する研究

清水建設 技術研究所 正会員 真野英之
同上 吉成勝美

1.はじめに 近年，構造物の耐震基準が相次いで見直され，既存構造物の基礎に対しても耐震補強の要求が強まっている。液状化を生じない地盤に建てられた高架橋や橋梁のように，地震時に生じる杭の応力が，構造物の慣性力に起因するものが主と考えられる構造物では，水平力のみを負担する極短い杭（極短杭）を増設することで，基礎の耐震性を向上させることが可能と考えられる¹⁾。本報では，極短杭の増設により，既存杭に生じる応力の変化を，遠心模型実験と解析により確認した結果について報告する。

2.実験概要 遠心模型実験は，遠心加速度 30g（縮尺 1/30）で実施した。実験モデルを，実物換算した値で図1に示す。地盤材料には，気乾状態の豊浦砂を使用し，空中落下法により，相対密度 90%以上の密な地盤を作成した。ベンダーエレメントにより測定した地盤の S 波速度分布を図1に併せて示す。杭は，模型寸 17mm，肉厚 1mm の開端の真鍮管を用い，支持杭は，土槽底部に剛に固定した。杭内面には図2に示す位置に，歪ゲージを取り付けた。

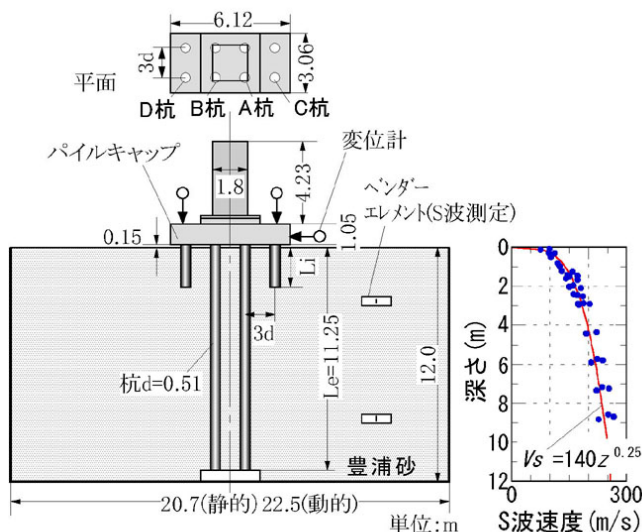


図1 実験模型

構造物は，剛体とし，基礎と重りの総重量は，1535kN（模型質量 5.8kg）である。実験ケースを表1に示す。実験は，増し杭の長さを変えた静的，振動実験で計7ケース実施した。静的試験の荷重は，パイルキャップ部分をジャッキにより，変位制御で 3mm/分（模型寸 0.1mm/分）で一方向単調荷重した。振動実験は，土槽底部より実物換算で最大加速度 170gal の臨海波を入力し，実施した。



図2 杭ゲージ貼付位置

3.解析概要 解析は，図3に示す梁パネモデルを用いて実施した。地盤パネ k_h (kN/m³) は，建築基礎構造設計指針に基づき，以下の非線形パネを用いた。

$$k_h = 80E_0 \cdot d^{-3/4} y^{-0.5} \quad (1)$$

ここに， E_0 :地盤の変形係数(kN/m²)， d :杭径(cm)， y :杭変位(cm)。

k_h を求めるのに必要な地盤の変形係数 E_0 は，図1に示した S 波速度分布より求まる微小歪み時の変形係数 E_{vs} をもとに，実験 S-0 で水平荷重 - 変位関係がほぼ実験値と等しくなるよう低減して用いることとした。今回の実験では， $E_0 = E_{vs} / 25$ とした。群杭の影響は，増し杭先端深度が浅は，2×4 本杭として，それ以深は，2×2 本杭として鉄道構造物等設計標準・同解説²⁾に基づいて考慮した。群杭効率はそれぞれ 0.45，0.63 であり，これ

表1 実験ケース

ケース名		既存杭	増し杭
静的	振動		
S-0	D-0	支持杭 (L=11.25m) 4本	なし
S-4d	D-4d		4d(Li=2.04m) 4本
S-8d	D-8d		8d(Li=4.08m) 4本
S-22d	D-22d		支持杭(Li=11.25m) 4本

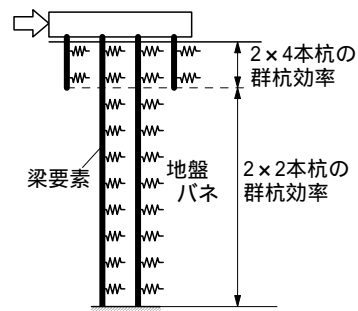


図3 解析モデル

キーワード 杭，耐震補強，遠心模型実験

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設技術研究所 TEL 03-3820-5521

を(1)式に乗じてたものから地盤バネ剛性を決定した。

計算においては、実験に用いた杭の表面が非常になめらかであることから、周面摩擦を0とし、パイルキャップの回転に抵抗するのは、支持杭の軸剛性のみとした。

4. 実験結果と考察 図4に静的載荷試験の水平荷重 - 水平変位関係を、解析結果と併せて示す。同一荷重を受けたとき、例えば1000kN 載荷時における変位は、支持杭を増し杭したS-22dは、増し杭のないS-0のほぼ1/2となった。4dの極短杭を増し杭したS-4dでも、S-0の1/1.5程度の変位に押さえられており、長さ4d(2m)のごく短い杭でも、基礎の変形抑止に大きく貢献していることがわかる。解析結果は、増し杭を行った全ケースで、実験値と非常に一致をみた。

杭の曲げモーメントより求めたせん断力分布を図5に示す。分布図は、静的実験は、水平力が構造物重量の50%強(水平震度0.5)となる800kNの場合を、振動実験は最大せん断力分布を示した。長さ4dの極短杭を増設することで、静的・振動とも杭頭せん断力を、無補強の場合の60~70%に低減できている。増し杭の影響の及ばない深部の杭応力には、ほとんど変化が見られなかった。振動実験のD-22は、支持杭の増設により構造物の振動性状が変化し、図6に示すように構造物の応答加速度がD-0の場合の2倍近くなった。このため、杭頭せん断力は、D-4dよりも大きくなった。

各ケースにおいて、増し杭が負担する水平力の割合を示したものが図7である。振動実験の結果は、加振中の平均負担率を示した。若干の差はみられるものの、載荷が大きくなるにつれ、極短杭の負担水平力が低下する傾向など、解析結果は、実験結果を比較的良く表せている。今回の例では、長さ4d(2m)の極短杭でも、水平荷重の3~4割を負担することができる結果となった。

5. おわりに 遠心模型実験と解析により、長さが杭径の4倍程度のごく短い増し杭でも、既存杭の応力低減に有効であることを確認した。

参考文献 1)真野,吉成,彦根:極短杭を有する杭基礎構造物の水平抵抗に関する遠心模型実験,第38回地盤工学研究発表会,2003,2)鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説,1997,pp.213-214

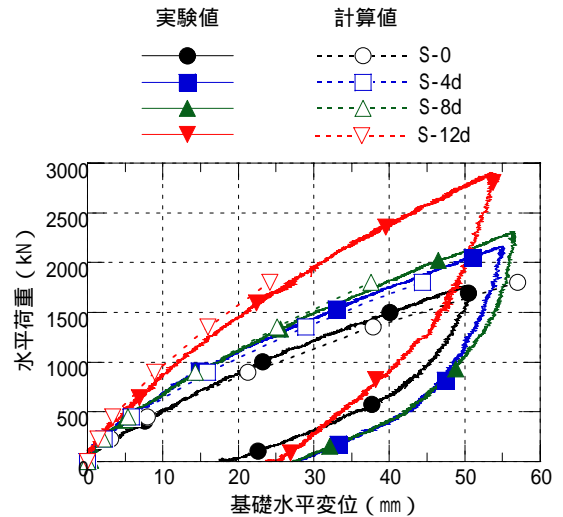
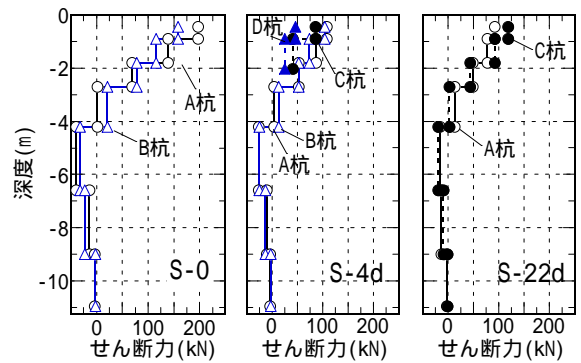
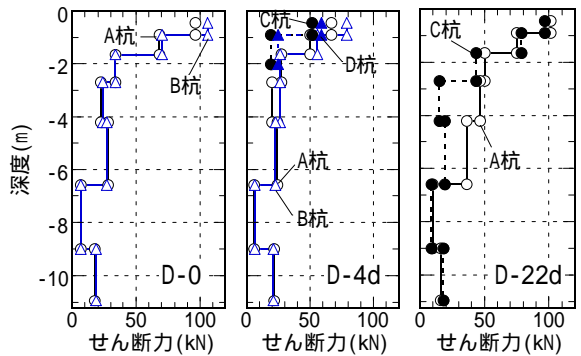


図4 水平荷重 - 水平変位関係



(1)静的載荷800kN載荷時せん断力



(2)振動実験最大せん断力

図5 杭のせん断力分布

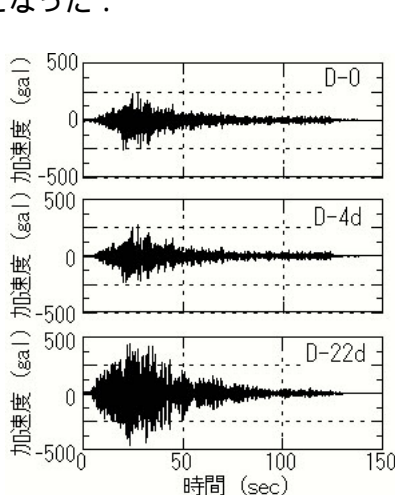


図6 パイルキャップ加速度波形

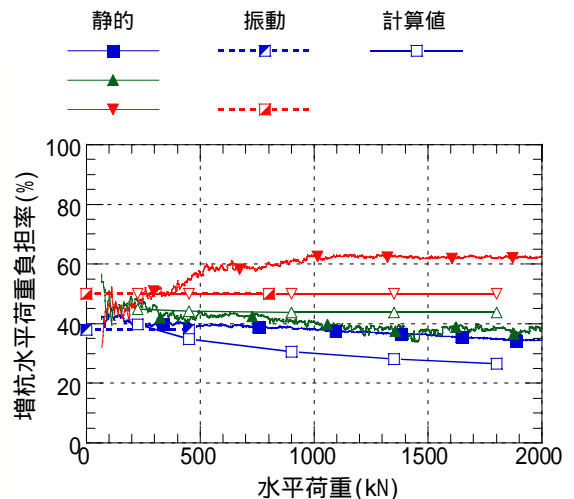


図7 増し杭の水平荷重負担率の推移