

## 杭基礎擁壁の地震時残留変位量算定に関する試解析

JR 東日本コンサルタンツ(株) 正会員○工藤敦弘, 成田浩明  
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 中島進, 佐名川太亮, 村田和哉, 藤本達貴

1. はじめに 鉄道における土留め擁壁の地震時残留変位量の算定では、Newmark 法が用いられている。これは、理論の簡明さに比して地震動の特性を考慮できる手法であり、直接基礎擁壁のような剛塑性的な挙動に対しては比較的適用性が高いことが確認されているからである<sup>1)</sup>。一方で杭基礎擁壁の場合、直接基礎擁壁に比して挙動が複雑になることが考えられるが、それらに対する検討事例は多くない。これらを踏まえて本研究では、杭基礎擁壁の模型振動台実験<sup>2)</sup>を対象に、地震時残留変位量の算定手法の検証を目的とした試解析を実施した。

2. 模型振動台実験の概要 図-1 に、検討の対象とした模型振動台実験の概要図(計測機器設置図)を示す。実験は、実寸の 1/20 程度を想定し、擁壁模型はアルミニウム、杭模型は MC ナイロンで作製し、背面地盤には気乾状態の東北珪砂 6 号を用いた。なお、杭の押込みによる降伏を防ぐために杭先端に硬質ゴムを設置した。加振は 10Hz20 波の正弦波を用いて行い、振動台の最大加速度を約 100gal の増分で 1000gal まで漸増させ実施した。模型振動台実験の詳細については文献 2) を参照されたい。

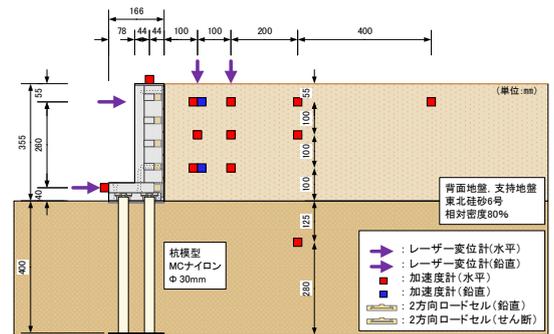


図-1 模型振動台実験の概要図

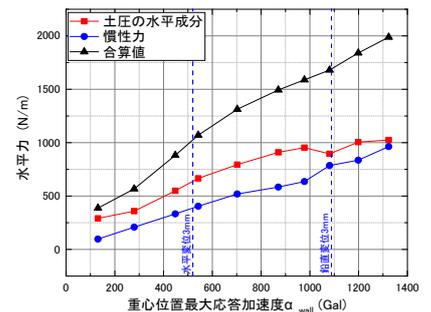


図-2 応答加速度と抵抗力の関係<sup>2)</sup>

文献 2) では、加速度と変位の時刻歴が整理されており、壁体前面側慣性力の上昇に伴い変位量が増加する傾向が、Newmark 法の仮定と整合することが示されている。一方で、図-2 に、壁体重心位置における応答加速度と土圧の水平成分(抵抗力)の関係を示すが、応答加速度の上昇に伴い抵抗力が上昇していることが分かる。Newmark 法は、構造物の抵抗力(しきい値)を超える外力に対して残留変位量を算定する方法であるため、杭基礎擁壁の地震時残留変位量を Newmark 法によって算定する場合は、図-2 に示した抵抗力の上昇を踏まえたしきい値の設定が必要になると考えられる。

3. 試解析の条件 これらを踏まえて、本研究では地震時残留変位量の算定手法として Newmark 法を用いることを基本とし、しきい値を図-3 に示すように構造物全体の抵抗特性を考慮して段階的に上昇させることとした。しきい値の設定に際しては、構造物の push-over 解析を実施し、構造物の安定(滑動・転倒)および部材の損傷に関する限界値を算定して用いることとした。その他の解析条件は表-1 を参照されたい。解析は、壁体およびフーチングを剛部材とし、杭体は線形部材でモデル化した。なお、解析に用いた杭の地盤抵抗モデルは、単杭の水平および鉛直載荷試験結果を用いることとし、杭先端は実験条件同様、押込みが発生しない条件とした。

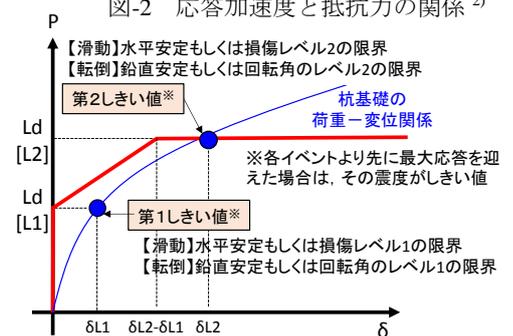


図-3 Newmark 法におけるしきい値の概念図<sup>2)</sup>

表-1 解析に用いた物性値

土留め擁壁	壁体	単位体積重量	$\gamma$	21.0 kN/m <sup>3</sup>
		杭基礎	重量	
背面盛土 支持地盤		単位体積重量	$\gamma$	15.9kN/m <sup>3</sup>
		内部摩擦角	$\phi_{peak}$	46°
		摩擦角	$\phi_{res}$	40°
荷重条件		上載荷重	$q$	1.0kN/m <sup>2</sup>

4. 試解析の結果と考察 図-4 に、各水平加速度に対する滑動モードの地震時残留変位量の解析結果(Case1)を示す。解析では、第 1 しきい値の降伏震度( $k_y=0.312$ )までの弾性変位量を加算している。図から、実験で変位が急増した加速度(300gal 加

キーワード：杭基礎擁壁、地震時残留変位量、Newmark 法

連絡先：〒141-0033 東京都品川区西品川 1 丁目 1 番 1 号 14 階 JR 東日本コンサルタンツ(株) TEL：03-5435-7628

振時)と、解析の第1しきい値の降伏震度が概ね一致する結果となり、600gal程度までは解析結果と実験結果の変位量が近似する結果となった。しかしながら、700gal以降では解析結果が実験結果に比べ大きく算定される結果となった。この要因として、地震時残留変位量算定時に考慮しているしきい値が、実験と比べて小さく設定されていることが考えられる。図-5に、解析で得られたフーチング中央高さ位置での荷重-変位関係を示す。図中の各解析モデルは、単杭の水平載荷試験結果を用いて、現行の設計標準<sup>3)</sup>で定められている杭基礎の残留水平変位量の限界(杭径の2%および8%)時の杭の抵抗特性を線形で考慮した解析モデルと、限界値以降の杭の挙動を非線形でモデル化した解析モデルであり、実験で杭頭変位が杭径の2%および8%に達した試番(300gal, 500gal)とそれ以降の試番(600gal以降)に対して等価と想定した解析モデルである。解析では、杭基礎の水平変位の限界値(杭径の8%の水平変位量)に達した水平震度( $k_h=0.519$ )を第2しきい値として設定しているが、第2しきい値以降も荷重(抵抗力)が増えていることが分かる。そこで、抵抗力の増加が十分認められる $k_h=0.8$ における抵抗力を第3しきい値として、地震時残留変位量を算定した結果を図-4に併記する(Case2)。この結果、Case1に比べて実験結果に近い結果となることを確認できた。

図-6に、各水平加速度に対する転倒モードの地震時残留変位量の解析結果を示す。解析結果と実験結果を比較すると、解析では、降伏震度( $k_y=0.499$ )における抵抗力を第1しきい値として地震時残留変位量を算定した結果、800gal以下の加速度で弾性変位を除く変位が生じない結果となった。それに対して、実験では800gal以下でも変位が生じており、実験と解析の結果に乖離が生じる結果となった。これらの要因分析として、転倒モードの挙動について確認することとした。図-7に、転倒に関する荷重-変位関係を示す。図から、転倒モードの挙動は、図-5に示している滑动モードの挙動とは異なり、水平加速度が大きい領域においても線形に近い挙動を示していることが分かった。そのため、Newmark法のような剛塑性的な変位増加を示さなかったことが想定される。一方で、図-6には解析モデルにおける各加速度の変位量を残留変位量と仮定した結果をCase3として併記しているが、この場合でも実験結果と近似する結果にはならなかった。このことから、対象とした杭基礎擁壁の転倒モードの挙動は、Newmark法と弾性変形の間期的な挙動を示していると想定できるが、この挙動の評価方法は今後の課題である。

5. まとめ 本研究では、杭基礎擁壁の模型振動台実験を対象に、地震時残留変位量の算定法の検証解析を実施した。残留変位量の算定には構造物の挙動が影響することから、今後は実験時の挙動把握の深度化を図りたいと考えている。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物,2012 2) 藤本ら 杭基礎擁壁の地震時残留変位算定法に関する模型振動台実験,第54回地盤工学研究発表会,2019 3) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物,2012

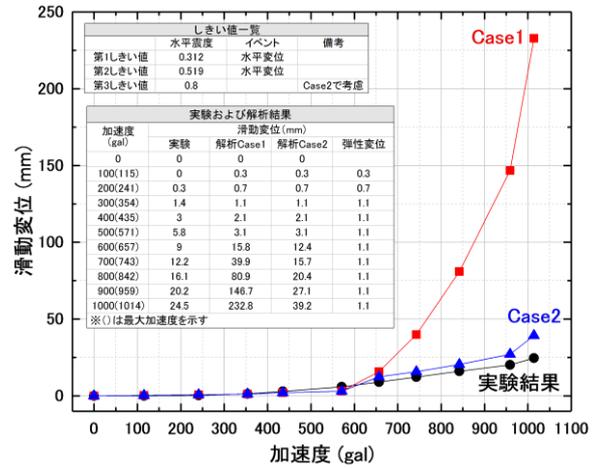


図-4 解析結果 (滑动モード)

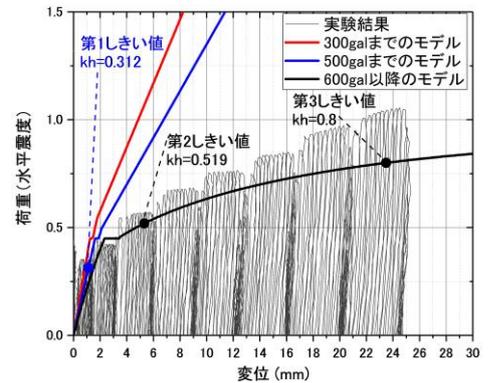


図-5 フーチングにおける荷重-変位関係

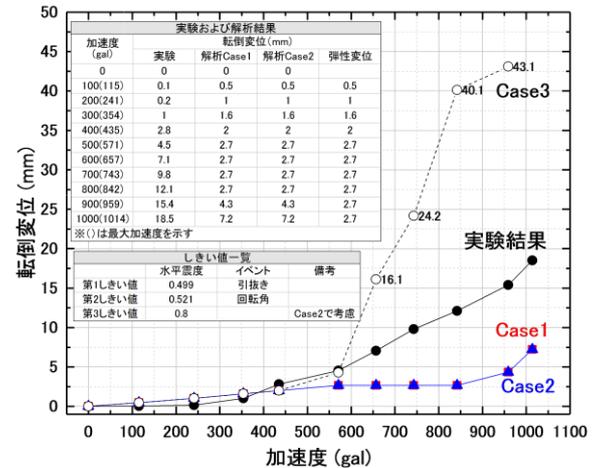


図-6 解析結果 (転倒モード)

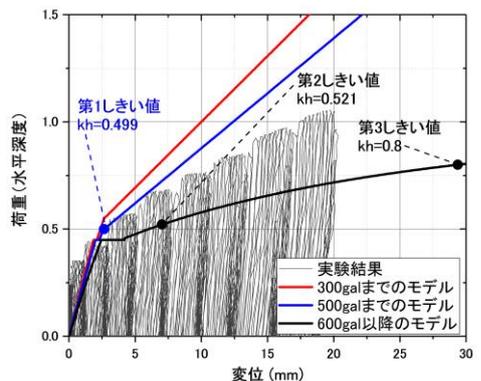


図-7 転倒に関する荷重-変位関係