## 杭基礎擁壁の地震時残留変位算定法検証のための実被害事例逆解析

鉄道総合技術研究所 正会員 〇藤本 達貴 中島 進 佐名川 太亮 村田 和哉 西岡 英俊

1. はじめに 鉄道分野では、土留め擁壁の地震後の残留変位量を適切 に算定することが被害程度予測に重要であり、擁壁の地震時残留変位算 定法として Newmark 法が用いられている。Newmark 法は、直接基礎 形式の抗土圧擁壁のように荷重 – 変位関係が剛塑性的な挙動に近い場 合には適用性が高く、模型実験や実被害事例の逆解析結果でもその適用 性が確認されている<sup>1)</sup>。しかし、杭基礎形式の擁壁の地震時残留変位を 評価する方法を詳細に検証された実績は少ない。そこで、本稿では、筆 者らが提案する杭基礎擁壁の地震時残留変位算定法<sup>20</sup>の検証を目的とし て、過去に地震で被災した杭基礎擁壁の残留変位量の逆解析を試みた。

2. 擁壁の残留変位算定法 直接基礎の擁壁は,背面地盤にすべり面が 発生した後に抵抗力が一定のまま変位が増大する変形モードであり,実 務的には,しきい値を降伏点(滑動モードに対しては水平支持力)とし た Newmark 法で再現されている。これに対して,杭基礎は設計で規定 する降伏点を超えた後でも一定程度抵抗力が増加する傾向があるため, 残留変位量の評価にあたっては,直接基礎とは異なる抵抗特性を反映す る必要がある。そこで,筆者らは「鉄道構造物等設計標準・同解説 基 礎構造物(以下,「基礎標準」)」<sup>3</sup>における杭基礎の性能照査の考え方を 踏まえた上で,杭基礎の抵抗特性を考慮した第2しきい値を設定するこ とにより,降伏後の抵抗力増加を反映する残留変位算定法を提案した<sup>2</sup>。

**3. 対象構造物と地震後の残留変位** 擁壁の断面図および地盤条件を図 1に,構造諸元を表1に示す。対象となる擁壁は,地震後に,擁壁天端 で前面側に約20cm,下端で約10cmの残留変位が発生した<sup>4)</sup>。ここで, 逆解析の実施にあたっては,被災後に壁体の損傷は見られなかったこと から,変位発生の主たる要因としては基礎であると想定し,壁体および フーチングは剛域とすることで上部工の降伏は考慮しないものとした。

<u>4. 逆解析結果</u> (1) 降伏震度の評価

擁壁の残留変位は、水平変位と回転変位を分離して算出する。そこで、 基礎の水平および回転それぞれの限界状態における震度を把握するた め、静的非線形解析(プッシュ・オーバー解析)により、基礎中心およ び擁壁天端の水平震度-水平変位関係を求める。解析結果を図2,3に 示す。設計作用として、地震時慣性力および地震時土圧を考慮した。フ

ーチング前面の水平ばねおよび杭の地盤ばね定数は、「基礎標準」に従い、バイリニア型でモデル化した。

ここで、限界状態について「基礎標準」では、"基礎の変位は生じるが、基礎の残留変位は些少で、構造物の補修 は行わずに機能を保持できる状態"を安定レベル 1、"基礎の変位が残留し、場合によっては補修が必要となるが、 早期に機能が回復できる状態"を安定レベル 2 とし、杭基礎の応答値が安定レベル 1 の限界に達した状態を降伏 点としている。また、一部の部材や杭近傍の地盤が非線形化した後にも抵抗力が増大する杭基礎について、構造物

キーワード 擁壁,杭基礎, Newmark 法,残留変位 連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7261





を所要の状態(安定レベル)に留め るために杭体の断面力や基礎の変 位等,複数の指標により照査してい る。例えば,水平変位に関して,安 定レベル1の限界値は杭径の2%の 応答変位が,安定レベル2の限界値 は杭径の8%の応答変位が基礎に発 生した点と規定している。

## (2) しきい値の算定

プッシュ・オーバー解析結果より 得られる安定レベルに応じた基礎 中心の断面力より,水平および回転 変位に対するしきい値を算定する。 ここで,水平抵抗力は,フーチング 前面の水平地盤ばね反力と杭頭部 のせん断力を合計して算定し,抵抗 モーメントは杭頭部のモーメント とした。図4,5に算定結果を示す。 直接基礎形式と同様に降伏点のみ, つまり安定レベル1のみを考慮し た場合と,杭基礎の抵抗特性を踏ま えた第2しきい値,つまり安定レベ ル2まで考慮した場合を示す。

## (3) 残留変位の算定

算定したしきい値を用いて擁壁 の残留変位を算定する。残留変位は 降伏に至るまでの変位と Newmark



法による変位量の合算値とし,降伏点のみを考慮した場合と,第2しきい値を考慮した場合それぞれで算出した。 地震動は,兵庫県南部地震における神戸海洋気象台観測波のNS成分を擁壁の向きに合わせて作用させた。滑動力 と水平抵抗力の時刻歴および水平変位算定結果を図6に,転倒モーメントと抵抗モーメントの時刻歴および回転に よる水平変位算定結果を図7にそれぞれ示す。降伏点のみを考慮した場合は,擁壁天端の変位量が実測値に対して 4倍程度となり過大に算出されている。これに対して,第2しきい値を考慮した場合では,基礎中心および擁壁天 端の残留変位量が実測に近い値となっており,提案手法の妥当性を示唆する結果となった。なお,第2しきい値を 考慮した場合でも実測値よりも変位量が大きく算定された要因として,実構造物では安定レベル2以降も杭基礎の 抵抗力は一定程度増大することや,本稿ではフーチング前面の水平ばねを基礎中心に集約しているが,対象構造物 は土被り厚が大きく壁体前面の水平抵抗も,回転変形の抑制に寄与したためと考えられる。

**5. おわりに**本稿では,杭基礎擁壁の地震時残留変位算定法の検証を目的として,過去に地震で被災した杭基礎 擁壁の残留変位量の逆解析を試みた。その結果,提案手法を適用した場合には,実測に近い変位量となり,算定法 の妥当性を示唆する結果となった。今後は,無被害事例の逆解析を実施する等,適用性検証を進めていく。

参考文献 1) 渡辺健治ら:滑動・転倒モードの連成を考慮した擁壁の地震時変位量算定法の検討,第45回地盤工学研究発表会,2010.2) 藤本 達貴ら: 杭基礎擁壁の地震時残留変位算定法に関する検討,第61回地盤工学シンポジウム,2018.3) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標 準・同解説 基礎構造物,丸善出版,2012.4) 鉄道総合技術研究所: 兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書,鉄道総研報告,特別第4号,1996.