

粘着力による地震時土圧低減効果に関する擁壁の動的遠心模型実験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○尾崎 匠, 中島 進, 佐名川 太亮

1. はじめに 現在鉄道分野では、土構造物・土留め構造物の耐震対策が進められているが、その耐震診断・補強において、地震時土圧の算定に修正物部岡部式が用いられている。修正物部岡部式は L2 地震に対応している、ピーク・残留強度の使い分けにより締固めの良否を考慮可能といった特徴があるが、粘着力の影響は考慮できない。一方、鉄道分野において古くにつられた土構造物や土留め構造物の背面地盤は、細粒分の影響により一定以上の粘着力を有する場合が見受けられる。このため、現行手法では粘着力を考慮できず地震時土圧が大きく算定され、耐震診断・補強設計の結果が不合理となる場合がある。以上を背景とし、本検討では粘着力による擁壁への地震時土圧低減効果の把握を目的として、粘着力を一定以上有する地盤材料を用い遠心場における擁壁の加振実験を行った。

2. 遠心装置及び模型の概要 実験には東京工業大学が所有する遠心実験装置（回転半径 2.45m）を使用した。本装置のプラットホーム上に、内寸 H400mm×W600mm×D250mm の小型剛土槽を設置し試験を行った。この小型剛土槽内に図 1 に示す支持地盤・背面地盤・擁壁からなる実験模型を構築した。支持地盤・背面地盤の作製に使用した地盤材料は粘着力を有する現場発生土であり、 $D_c=90\%$ 、 $w=22\%$ の供試体で三軸圧縮試験（CD）を行い、ピーク時における粘着力 c が 14.5kPa、内部摩擦角 ϕ が 38.4°であることを確認した。この地盤材料を用い図 1 中の支持地盤を $D_c=94\%$ 、 $w=22\%$ 、背面地盤を $D_c=90\%$ 、 $w=22\%$ で作製した。また、試験後に背面地盤の表層および擁壁模型上端から 6、

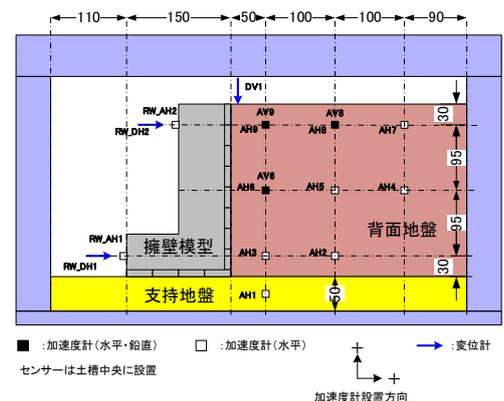


図 1 計測器配置（単位は模型寸法で mm）

14、25cm の位置で含水比を測定し、遠心力によりそれぞれ $w=17.7$ 、20.5、21.5、21.4%と変化したことを確認した。

計測器配置を合わせて図 1 に示す。支持・背面地盤内には加速度計を設置し、擁壁模型の上部と下部の水平方向、背面地盤の鉛直方向の変位をレーザー変位計で計測した。擁壁模型には背面に 8 個、底面に 3 個の 2 方向ロードセルが内蔵されており、擁壁背面および擁壁底面の受圧板にかかる軸力・せん断力を計測した。

3. 実験手順 本実験では、遠心加速度を 30G まで漸増させた後に加振を行った。なお、以下では物理量として実物大換算値を用いる。加振に際しては、ホワイトノイズ、正弦波 1Hz10 波 100gal~500gal（100gal 増分）、正弦波 2Hz10 波 600gal~900gal（100gal 増分）の順で入力を行い、900gal のみ 2 回入力した。100~500gal 加振では、耐震標準における地表面設計地震動の卓越周波数²⁾と整合させる目的で周波数を 1Hz としたが、それ以降は振動台加振能力の制約により、周波数を 2Hz とし加振を行った。

4. 実験結果及び考察 200、500、800gal 加振後の状況を図 2 に示す。図 2 の通り背面地盤中には後に PIV で画像解析を行うために石灰を離散的に吹き付けた。図 2 の 200gal 加振後に 1 本目の亀裂①の発生が確認された。次に 500gal 加振後では 1 本目の亀裂①が進展するとともに、他の 2 本の亀裂②③の発生が確認された。900gal 加振後では全ての亀裂が背面地盤下部に向けて進展しているが、下部まで到達している亀裂①は最終的に擁壁かかと部付近まで進展しすべり面を形成した。このすべり面の角度は 70°程度であった。

図 3 に天端付近の残留水平変位と公称加速度の関係、図 4 に背面地盤沈下量と公称加速度の関係を示す。これらにより、加速度 700gal より後のステップで大幅に残留水平変位および背面地盤の沈下量が増加したことがわかる。800gal 加振後に図 2 の通り亀裂①が下端へ到達したため、この変位の増加はすべり面形成によるものと考えられる。

また図 5 に 700gal 加振時の振動台・擁壁重心位置・背面地盤の水平加速度、擁壁背面に作用する土圧の水平成分・鉛直成分・壁面摩擦角、擁壁に作用する全水平力・擁壁慣性力を示す。図 5 中の上段および下段より、土圧の水平

キーワード 地震時土圧, 粘着力, 遠心模型実験, 擁壁

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

成分と擁壁の慣性力の合計値である全水平力が最大を取る際には、擁壁と背面地盤の加速度が逆位相となっていることがわかる。このことから、粘着力により背面地盤の自立性が高く（本実験では $c/\gamma h=0.14$ ）、700gal 加振においては擁壁と背面地盤がそれぞれ単独で応答したと考えられる。また中段の壁面摩擦角より、振動前後の壁面摩擦角が内部摩擦角と比較して大きいとわかる。これは粘着力により壁面に作用するせん断力が増大した結果と考えられ、これは 1G 場における実験結果³⁾と対応している。

図 6 に全水平力最大時に各ロードセルにかかる土圧の水平・鉛直成分の分布図を示す。1G 場の実験と同様³⁾、初期の小さな加速度を与えたケースでは背面上部の水平土圧は極めて小さい傾向にあった。一方でせん断力は同箇所ですべて一定以上発現している。直応力が微小にもかかわらずせん断力が発現しているのは、粘着力によりせん断力が発揮されたためであると考えられる。また、加速度が大きい加振ステップでは土圧の水平成分がマイナスとなっている。これは上記の通り背面地盤の自立性が高く擁壁が単独で応答しており、背面地盤から受ける土圧の成分が小さく、受圧板・ロードセル等の慣性力が計測値の大半を占めた結果マイナスの値が出力された可能性がある。

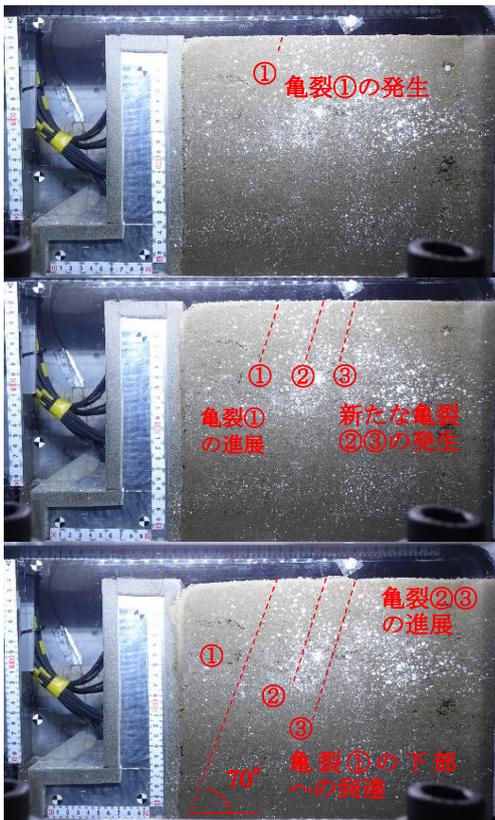


図 2 各加振後の状況（上:200，中：500，下 800 加振後）

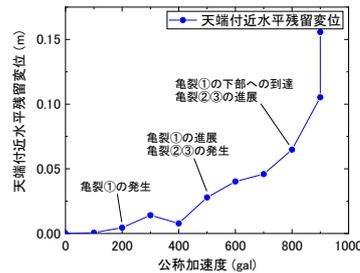


図 3 入力加速度と残留水平変位

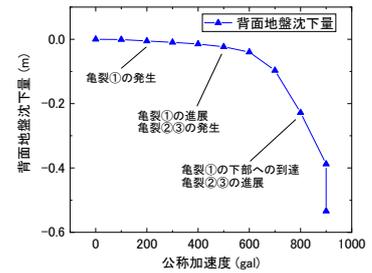


図 4 入力加速度と背面地盤沈下量

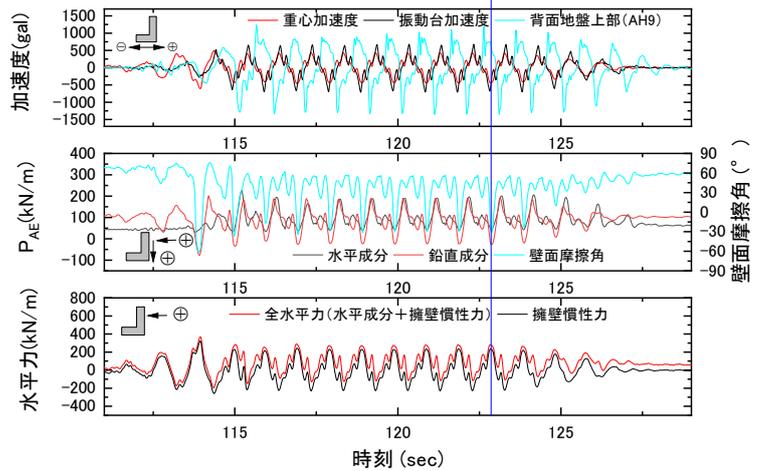


図 5 700gal 加振時の時刻歴波形

5. まとめ 本実験により以下の知見が得られた。

- ① 加振加速度の増加に伴い、複数の亀裂の発生が確認された。また、すべり面形成に伴い擁壁残留変位が増加する傾向が確認された。
- ② 加振前後では、粘着力の影響により擁壁にかかる摩擦力が大きくなる結果、内部摩擦角より大きい壁面摩擦角が計測された。
- ③ 低加振レベルでは、擁壁にかかる直応力は上部で極めて小さい領域がある一方、せん断力は全高さにわたり、粘着力相当の値が発現していることが確認された。
- ④ 大加振レベルでは背面地盤と擁壁の振動が逆位相となっており、背面地盤の自立性が高く擁壁が単独で応答したことが示唆される。

参考文献 1) 国土交通省鉄道局監修 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) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012 3) 中島進，佐名川太亮，中島卓哉，尾崎匠：粘着力を有する背面地盤から擁壁に作用する地震時土圧の発現特性，土木学会第 74 回年次学術講演会，2019（投稿中）

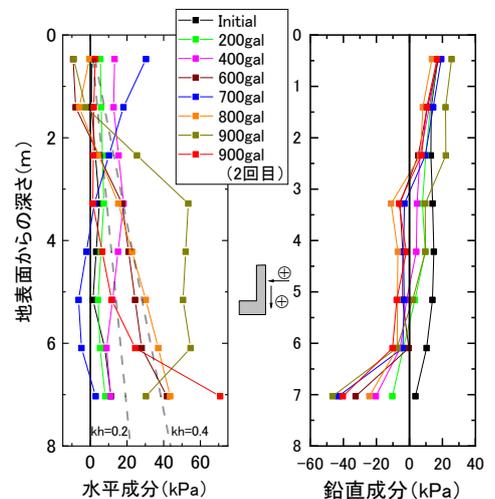


図 6 全水平力最大時の土圧分布