

助成番号

2022-03

液状化抑制機能を有する引抜き抵抗部材を用いた既設矢板式岸壁の耐震対策の開発

香川大学創造工学部 准教授 荒木裕行

1. はじめに

周囲を海で囲まれた四国の港湾地域は、交通や物流、産業が集積され、都市の核を成している。近い将来には南海トラフ地震の発生が懸念され、加えて社会基盤施設の老朽化が加速度的に進行していることから、減災のためには既存施設の健全性を把握した上で耐震対策を施すことが求められる。一方で、限られた予算と人的資源により広範囲かつ多数の施設に対策を施すには、減災対策技術においても経済性や省力性の観点が不可欠といえる。

研究代表者は、中小規模の港湾施設や漁港等で多用される矢板式岸壁を対象とし、液状化抑制機能を有する引抜き抵抗部材（以下、抵抗部材）を矢板背面の控え工・タイ材の上側に固定して既存矢板式岸壁の耐震性を向上させる手法を提案している（図1）。この抵抗部材はネット状の高分子補強材で礫質材を包んだ形状であり、過剰間隙水圧の消散促進による液状化抑制と部材上下面における摩擦抵抗により矢板の転倒挙動を抑制するものである。抵抗部材は安価かつ長期間劣化し難い材料からなり、また、岸壁のエプロン部を浅く掘削するだけで設置できることから、高い経済性や省力性が期待できる。

しかしながら、このような液状化地盤内における抵抗部材の引抜き抵抗力は定量的な評価が実施できておらず、本手法の対策効果を定量的に示す上で課題となっている。特に、液状化地盤内における引抜き挙動は土～水～抵抗部材が相互に影響する複雑な境界条件下での挙動であることから、先行研究も認められない状況にある。そこで本研究では、液状化地盤内における抵抗部材の引抜き挙動を振動台模型実験で再現することで、引抜き抵抗力の評価を行った。

なお、本研究は、一般社団法人四国クリエイト協会の「2022年度建設事業に関する技術開発支援制度」による助成を受けて実施したものである。

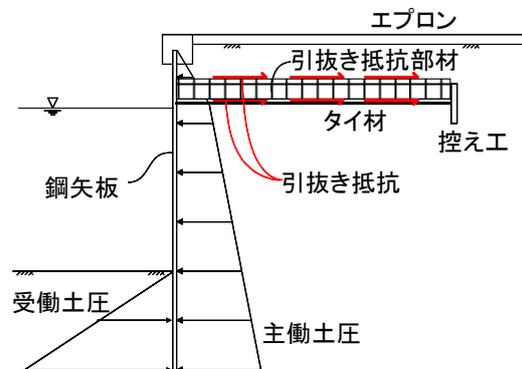


図1 提案する矢板式岸壁補強対策の模式図（荒木ほか，土木学会論文集C, Vol. 74, No. 4, pp. 488-499, 2018）

2. 研究手法

本研究で実施した振動台模型実験は、既存矢板式岸壁の耐震対策のうち液状化地盤と抵抗部材のみをモデル化したものである。図2に示すとおり飽和砂質地盤内に抵抗部材模型を埋設し、これに対して水平方向に载荷を行いながら加振を行うことで、液状化した砂質地盤内における抵抗部材の抵抗力の変化と動的挙動を再現する。

砂質地盤は東北硅砂7号（土粒子密度 2.629 g/cm^3 ，平均粒径 0.19 mm ，最大密度 1.614 g/cm^3 ，

最小密度 1.289 g/cm^3 を用い、相対密度約 40% となるように水中落下法によって作製した。抵抗部材模型はポリプロピレン製メッシュで作製した籠に礫（土粒子密度 2.807 g/cm^3 、粒径 $4.75 \text{ mm} \sim 9.5 \text{ mm}$ ）を詰めて作製した。抵抗部材模型は横幅の異なる 2 種類の模型を用いることとし、高さ 30 mm 、横幅 100 mm 、奥行き 190 mm の模型を用いた実験を Series 1、高さ 30 mm 、横幅 50 mm 、奥行き 190 mm の模型を用いた実験を Series 2 とする。いずれのシリーズでも抵抗部材にはワイヤーを介して 1490 g 、 1073 g 、 551 g の水平荷重を与え、加振前には変位が生じないことを確認した。その後、水平荷重を加えたまま 2.0 Hz 、 20 波 、 150 gal の正弦波を入力し、加振中の地盤・抵抗部材内における過剰間隙水圧、抵抗部材の水平変位を計測した。

3. 実験結果と考察

代表ケースとして、Series1 において水平荷重を 1073 g および 551 g とした Case 1-2 および Case 1-3 の振動台加速度、過剰間隙水圧、抵抗部材の水平変位の時刻歴変化図を図 3 に示す。抵抗部材内の過剰間隙水圧は、加振直後から上昇して 2 秒程度で有効上載圧に達したのに対し、地盤内の過剰間隙水圧は加振開始から 5 秒程度で初期有効上載圧に達した。抵抗部材の変位は加振開始直後から増加し始めるが、変位の増加割合、すなわち移動速度は徐々に増加し、加振開始から 5 秒程度以降においては概ね一定になっている。

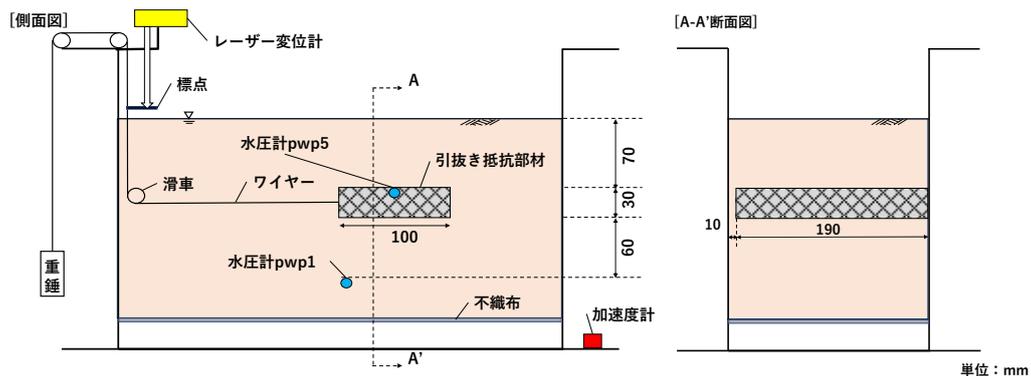


図 2 振動台模型実験の概要図 (Series1)

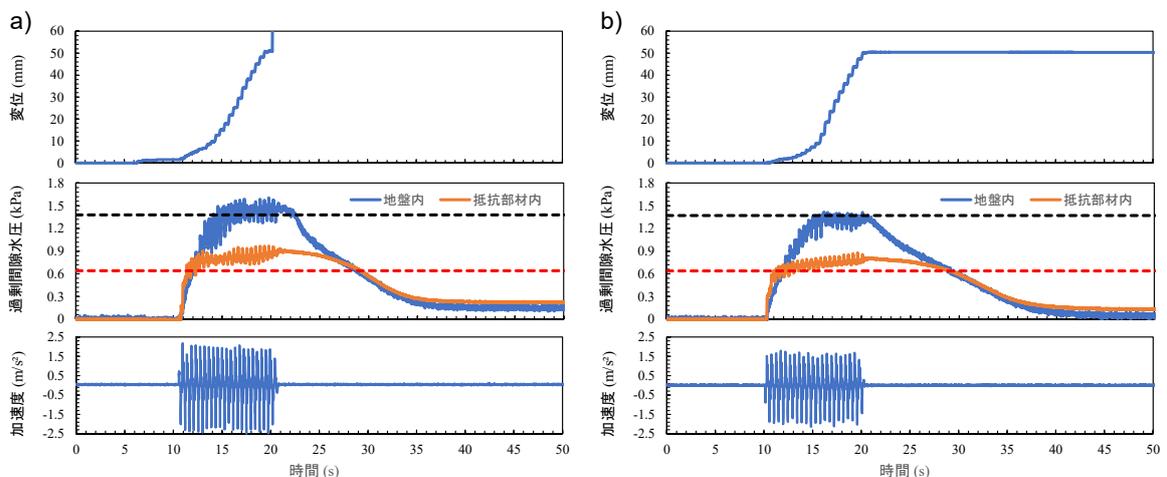


図-3 引抜き抵抗部材の変位および過剰間隙水圧の時刻歴変化 (a)Case 1-2, b)Case 1-3, 破線は間隙水圧計位置における有効上載圧を示す)

抵抗部材に変位が生じるのは、抵抗部材の上下面で発揮されていた摩擦抵抗が低下し、摩擦抵抗力で水平荷重に対して抵抗できなくなったためである。この摩擦抵抗力の低下は過剰間隙水圧の増加に伴う有効応力の減少に起因するため、過剰間隙水圧の変化に応じて抵抗部材の移動速度が変化してたとはいえる。

本研究では過剰間隙水圧と抵抗部材の変位の関係に着目し、抵抗部材の挙動を3つのフェーズに分けることとした。すなわち、抵抗部材内の過剰間隙水圧が初期有効応力に達するまでが第1フェーズ、第1フェーズの終わりから地盤の過剰間隙水圧が初期有効応力に達するまでが第2フェーズ、その後の地盤が完全に液状化した状態が第3フェーズである。このフェーズ分けの例は図-4に示す。

水平荷重と各フェーズにおける抵抗部材の移動速度の関係を図-5に示す。抵抗部材の移動速度は、変位の時刻歴変化を線形近似して求めた(図-4)。抵抗部材の移動速度は第1フェーズから第3フェーズに移行するにつれて速くなる。例えば、Series1において地盤内が完全に液状化した第3フェーズでの移動速度は、地盤内が液状化過程にある第2フェーズの移動速度の約4倍である(図-5a)。抵抗部材の移動速度の増加は抵抗部材に作用する抵抗力の低下を表しており、有効応力が残存している第1・第2フェーズでは抵抗部材の上下面において摩擦抵抗が発揮可能であるが、第3フェーズでは地盤が液状化して有効応力がなくなり抵抗力が大きく低下したといえる。

次に、抵抗部材の寸法の違いを比較する。第1・第2フェーズの移動速度はSeries1よりもSeries2の方が約2倍大きいことから、抵抗部材の幅、すなわち抵抗部材の表面積に応じて移動速度が変化したといえる。一方で、第3フェーズの移動速度はSeries1, Series2いずれもほぼ同じである。液状化した地盤では抵抗部材上下面での摩擦抵抗が発揮されないことから、抵抗部材の寸法によらず速度がほぼ一定になったと考えられる

抵抗部材の抵抗力を保持するという観点で

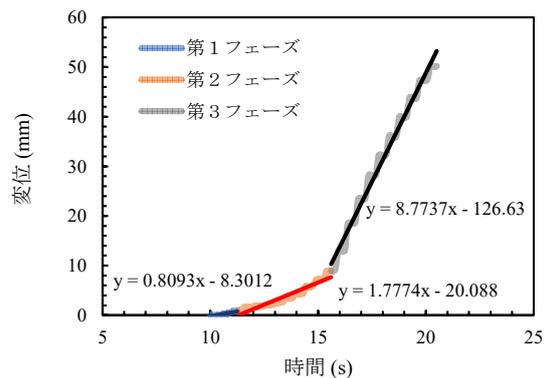


図-4 移動挙動におけるフェーズ分けの例 (Case 1-3)

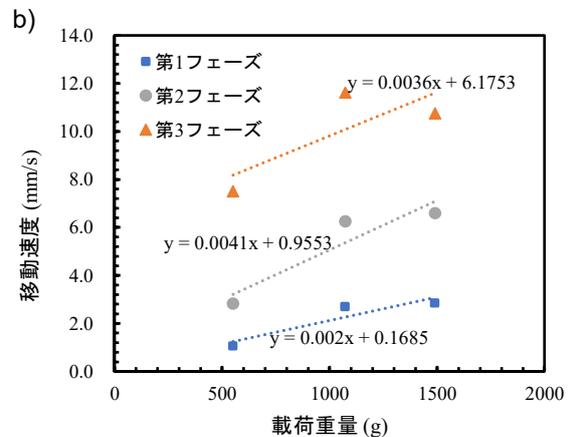
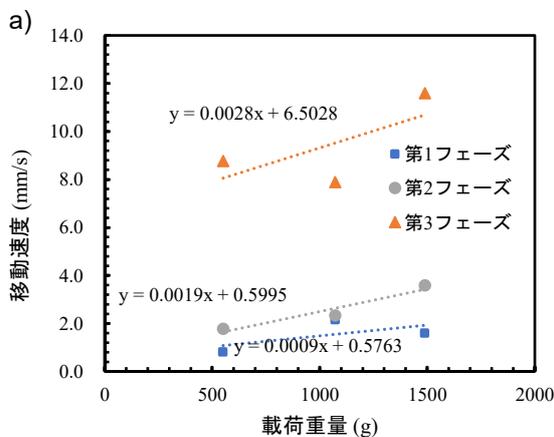


図-5 水平荷重と抵抗部材の移動速度の関係 (a) Series 1, b) Series 2)

例えば、第1・第2フェーズの継続時間を可能な限り延長することが重要である。このためには、抵抗部材内の過剰間隙水圧の消散を促すような対策を施すことが一案として考えられる。加えて、抵抗部材の寸法を広げれば第1・第2フェーズの移動速度が低下するため、抵抗部材の最終変位量を大幅に抑制できる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、矢板式岸壁に対して液状化抑制機能を有する引抜き抵抗部材を設置する耐震対策を対象とし、液状化地盤内における引抜き抵抗部材の抵抗力を把握するために振動台模型実験を実施した。振動台模型実験では、引抜き抵抗部材の水平変位と地盤内および抵抗部材内の過剰間隙水圧を計測し、水平荷重、抵抗部材の寸法、および抵抗部材の移動速度に着目して検討を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 引抜き抵抗部材は周囲の地盤の過剰間隙水圧の変化に応じて移動速度が変化する。過剰間隙水圧の変化と抵抗部材の変位に着目すれば、抵抗部材の挙動は3つのフェーズに分けられ、引抜き抵抗部材の移動速度は第1フェーズから第3フェーズに移行するにつれて速くなることが認められた。
- 2) 地盤の過剰間隙水圧が上昇過程にある第1フェーズおよび第2フェーズにおける引抜き抵抗部材の移動速度は、水平荷重が大きく、また抵抗部材寸法が小さくなるほど速くなった。有効応力が残存している第1・第2フェーズでは抵抗部材の上下面での摩擦抵抗が発揮可能であり、抵抗部材の表面積に応じて移動速度が変化したと考えられる。
- 3) 地盤が完全に液状化した第3フェーズにおける引抜き抵抗部材の移動速度は、水平荷重が大きいと速くなったが、抵抗部材寸法が異なっても変化はほとんどなかった。第3フェーズでは抵抗部材の上下面での摩擦抵抗が発揮されず、抵抗部材の表面積が移動速度に与える影響は小さいといえる。
- 4) 抵抗部材の抵抗力を保持するという観点でいえば、抵抗部材内の過剰間隙水圧の消散を促すような対策を追加することにより、第1・第2フェーズの継続時間を制御することが重要である。加えて、抵抗部材の寸法を大きくすることで第1・第2フェーズの移動速度が抑制できるため、最終的な変位量を大幅に抑制できる可能性がある。