

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15265

研究課題名（和文）究極に安価な壁構造の耐震補強に向けた研究

研究課題名（英文）Ultimate reasonable countermeasure for wall against earthquake

研究代表者

藤原 覚太（Fujiwara, Kakuta）

東海大学・工学部・助教

研究者番号：40824925

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：地震に対して、安価に壁構造を補強することを目的に、2つの工法を提案した。1つは剛性の弱い筒を壁背面に挿入する工法で、もう1つは空気袋を地盤に埋め込む工法である。模型実験を中心に研究を進めた結果、いずれも壁の損傷をおさえる効果（壁の変形をおさえる効果）があることを見出した。施工時における、これら対策工の適切な配置などについては、今後の課題となる。また、補強材として壁を用いるような構造、例えば鋼矢板による堤防補強工法を対象に、壁自体を安価化する工法についても拡張して検討した。ここでは、一部を短くした壁構造について数値解析を中心に研究を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震による壁構造を損傷・崩壊を抑制するための、安価な工法を2つ（空気袋、弱い剛性の筒）提案した。いずれも相対的に弱い地震に対して効果的であった。弱い地震は発生頻度が高いため、安価に数多くの小規模な損傷を防ぐことが期待できる。一方で、強い地震動については、構造物によっては損傷を許容するという考え方もある。重要施設や人命にかかるような構造物の場合、十分な費用を投じて対策を講じる必要がある。

研究成果の概要（英文）：Two countermeasures were proposed for reinforcement wall against earthquake reasonably. One is that piles with low rigidity are inserted in backfill ground. The other is that air packs are buried in backfill ground. The effectiveness for reduction of deformation of the wall could be found through several model tests. These countermeasures had advantage against relatively weak earthquake. Optimum position of these countermeasures in actual field should be discussed in the future. Furthermore, reasonable wall itself was also studied. In this study, embankment reinforcement by sheet-piles that has partially short piles was discussed.

研究分野：地盤耐震

キーワード：地震 耐震 壁 構造物 液状化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、多くの壁構造が損傷を受け、甚大な被害を被った。特に緩く砂が堆積したような地盤条件では、揺れに伴う液状化が確認されており、このことが被害を拡大させたと考えられる。

壁構造自体を補強する工法として、背面地盤の中に砕石を入れる工法や、地盤改良する工法、また杭を入れる工法がある。これら既存の工法を参考に、より経済的な工法を提案し、その性能について模型実験を中心に研究を進めた。

また、補強材として壁を用いるような構造、例えば鋼矢板による堤防補強工法を対象に、壁自体を安価化する工法についても拡張して検討した。ここでは、一部を短くした壁構造について数値解析を中心に研究を進めた。

2. 研究の目的

(1)(2)は類似の模型実験で、(3)は数値解析により検討した。

(1) 杭工法 岸壁の背面に離散的に杭を設置する工法に着目する。ここで、より安価な杭材料とした場合、岸壁の損傷を防ぐ効果を確認する。安価で剛性の小さな杭材料であっても、岸壁の損傷を防ぐことができれば、経済的な対策工法を提案することが可能となる。地震動の強さによって、対策効果がどのように変わるかについても検討する。

(2) 空気袋工法

岸壁の背面に離散的に空気袋を埋め込んだ工法について検討する。空気袋なので、非常に安価となる。地盤が液状化すると、空気袋が浮上し、その空いた空間に地盤が入り込むことで、岸壁の損傷の抑制を期待する。

(3) 短尺の鋼矢板を併用した堤防補強工法

堤防の耐震補強として用いられる法尻鋼矢板の一部を短くする構造について検討する。経済性向上の反面、耐震性能がどの程度担保できるか確認する。

3. 研究の方法

(1)杭工法および空気袋工法

実験装置

加振機を備えた土槽(大きさ 0.84m × 0.60m × 0.44m)を準備して、その中に実大に対して、1/20-1/30 の規模の岸壁を作製した。(図 1)

実験材料

a) 岸壁と地盤

岸壁にはアクリル板(厚さ 5mm)を用いた。地盤材料は実験用砂である豊浦砂を使用した。下部は支持層として締め固めた砂層、上部は緩く堆積させた砂層を作製した。下層は岸壁を支持しており、上層は地震が発生するとともに液状化することになる。

b) 対策工 杭としてアクリル筒(長さ 470mm, 直径 80mm)ないしゴム筒(長さ 470mm, 直径 78mm)を用いた。アクリル筒が従来通りの剛性の高い材料、ゴム筒がこのたび提案する安価で剛性の低い材料である。空気袋は大きさ 0.5m³ であり、3, 6, 10 個、それぞれ背面に埋め込んだ。(図 3)

c) 加振動

加振機により土槽に振動を与える。振動は弱中強の順に、十分に間をあけて与える。それぞれの最大加速度は 0.5, 1.0, 2.0 m/s² である。周波数は 5Hz、継続時間は 5 秒間である。

d) 計測機器

岸壁の損傷を評価するために巻き込み式の変位計(最大 500mm)を用いた。また地中の間隙水圧を測定するために、水圧計を土中に埋め込んだ。さらに岸壁の曲げ変形を測定するために、ひずみゲージも用いた。

e) 実験寸法

対象とした岸壁模型および計測項目を記入したものを図 2 に示す。岸壁は変位計測のため、地表から 40mm 突出している。

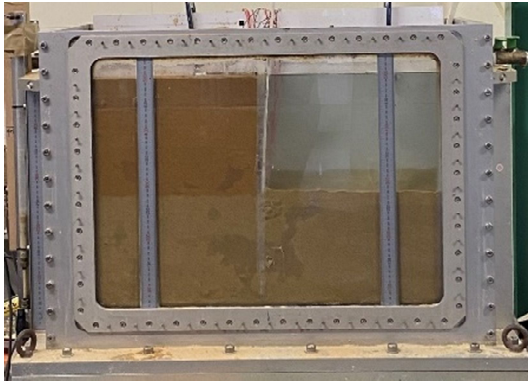


図1 実験土槽

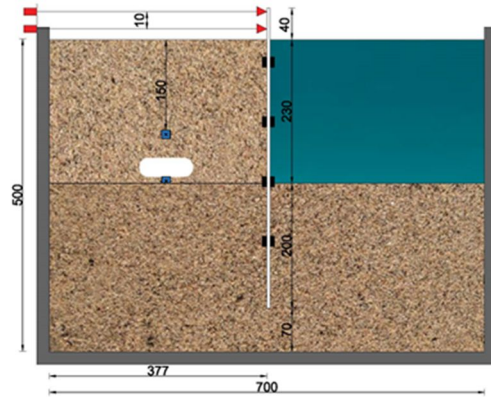


図2 模型岸壁寸法



図3 対策工（左：アクリル筒、中：ゴム筒、右：空気袋）

短尺の鋼矢板を併用した堤防補強工法

堤防の法尻に施工された鋼矢板の一部を短くする。3次元数値解析（図4）により検討する。図の半断面モデルに地震動を与えて、地盤の沈下状況を確認した。鋼矢板長さは10mとして、紙面奥行き方向に連続して設置している。この奥行き方向に見た場合の、鋼矢板N本にたいしてM本をx(m)短くする、といったように、N, M, xにいくつか数値を変えながら、地盤の沈下（すなわち堤防の沈下）がどのように変化するか、確認した。

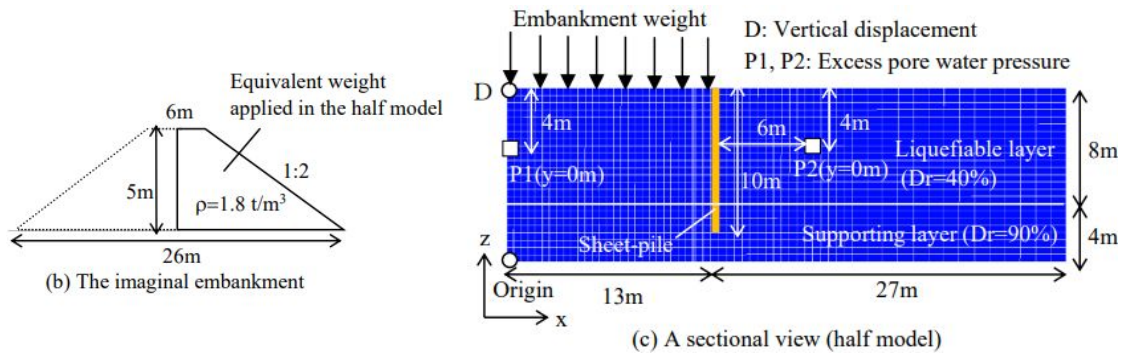


図4 数値解析モデル

4. 研究成果

(1) 杭工法

無対策(Case-A)・アクリル筒10本(Case-B)・アクリル筒7本+ゴム筒3本(Case-C)の3ケースに対して実験を実施した(図5)。実験では壁の変位を測定しており(図6)、地震動の大きさに応じて、壁の変形が大きくなっている。相対的にみると、加速度の小さい0.5m/s²において変位抑制効果が高く、加速度が大きくなるにつれ、相対的に効果は低下している。小~中程度の地震であれば、特に効果が高いことが特徴といえる。また、Case-BとCの差は小さいことから、剛性の高い筒を、部分的に剛性の低い筒に置き換えることで、経済性が向上することを示唆する結果となった。しかしながら剛性の小さな筒をいれることは、地盤のせん断変形を増長する懸念もあり、液状化を誘発する可能性も否定できない。地盤条件や、筒の固有周期への精査など、課題はまだ残る。

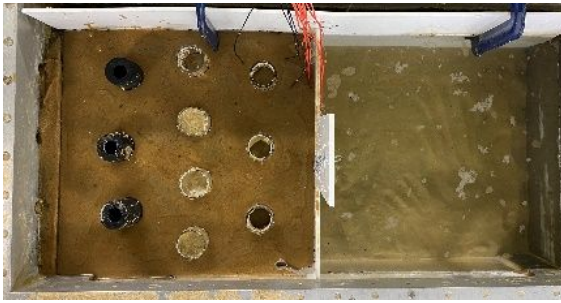


図5 実験を上から見た様子

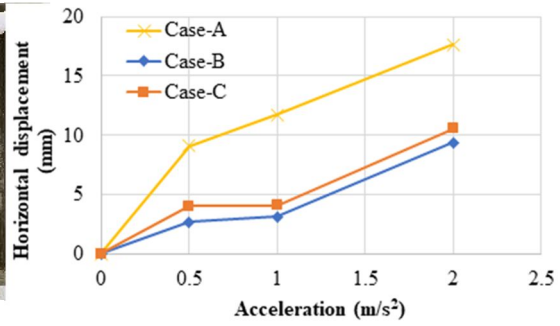


図6 変位計測結果

(2) 空気袋工法

空気袋が3, 6, 12個、および無対策について、振動実験を実施した。図7は最大加速度2.0 m/s²で振動させたときの、岸壁の天端の水平変位の時刻歴である。空気袋が3個だと、無対策とほぼ同じ結果となり、効果は薄い。一方、6, 12個の場合、変位が3割ほど低下している。地盤が液状化することで空気袋に浮力が生じ、空いた空間に地盤が流れ込むことで、岸壁の変形とは逆方向の地盤の動きが生じて、結果、岸壁の変形が抑制される結果となった(図8)。十分な個数の空気袋をあらかじめ地盤に埋め込んでおくことで、地震が発生した際に、対液状化の効果が期待できる結果であった。

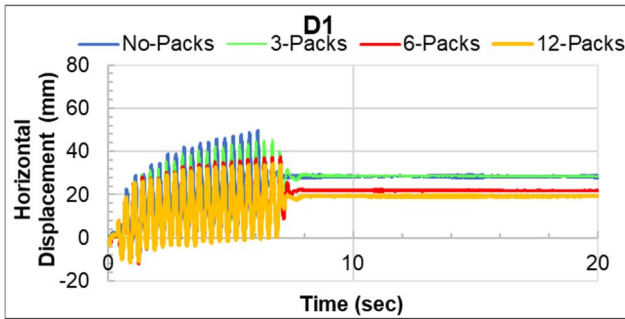


図7 変位計測結果

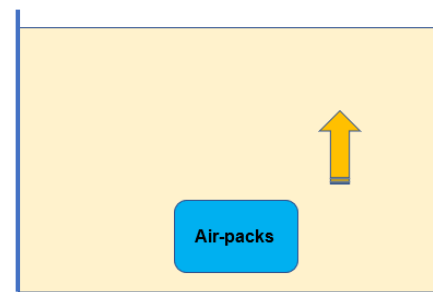


図8 空気袋浮上の概念図

(3) 堤防補強工法

解析結果の一例を図9、10に示す。図9は地盤の変形状況であり、地震に伴い地盤が変形した様子がわかる。図10は、縦軸が堤防の沈下量、横軸が短くした鋼矢板の幅を示しており、短い鋼矢板の幅が広がる(つまり紙面延長方向に長く続く)ほど、堤防の沈下効果が弱くなっている。なお同図点線の Case-1 は鋼矢板を設置していない場合である。このように、どのような長さや幅の鋼矢板に対して、堤防沈下抑制効果がどの程度なのかという関係を、定量的に示すことができた。

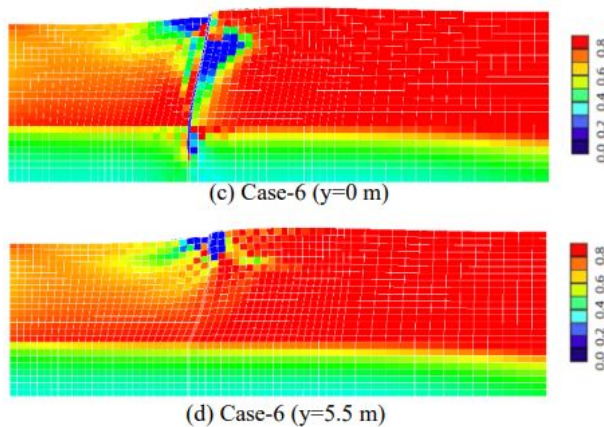


図9 地盤の変形状況

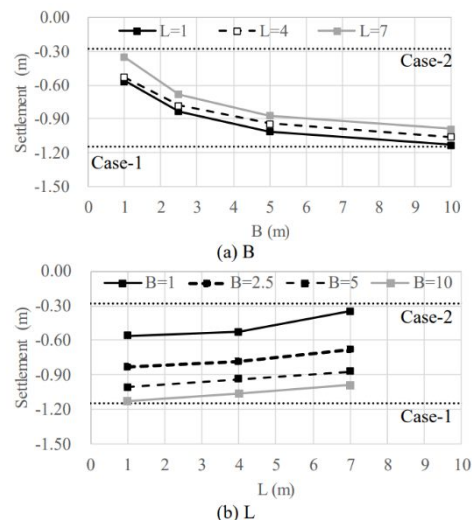


図10 鋼矢板の設置条件と堤防沈下の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kakuta Fujiwara, Kentaro Nakai, Nanase Ogawa	4. 巻 9
2. 論文標題 3-D NUMERICAL ANALYSIS OF PARTIAL FLOATING SHEET-PILE METHOD AS COUNTERMEASURE FOR LIQUEFACTION	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 138-147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/journalofjsce.9.1_138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Enayat Malliyar, Kakuta Fujiwara	4. 巻 Volume 207
2. 論文標題 EXPERIMENTAL STUDY FOR RETAINING WALL USING PILE COUNTERMEASURE AGAINST EARTHQUAKE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Disaster Management 2021	6. 最初と最後の頁 225 - 232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2495/DMAN210181	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Enayat Malliyar, Kakuta Fujiwara
2. 発表標題 Experimental study on air pack countermeasure for quay wall against liquefaction
3. 学会等名 GeoKanto2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原寛太, Enayat Malliyar
2. 発表標題 スキマを開けて設置した矢板の堤防液状化対策の実験的研究
3. 学会等名 土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kakuta Fujiwara
2. 発表標題 Numerical study on pile countermeasure against liquefaction behind retaining wall
3. 学会等名 ISOPE2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Enayat Malliyar, Kakuta Fujiwara
2. 発表標題 EXPERIMENTAL STUDY FOR RETAINING WALL USING PILE COUNTERMEASURE AGAINST EARTHQUAKE
3. 学会等名 Disaster Management 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kakuta Fujiwara, Enayat Malliyar
2. 発表標題 NUMERICAL STUDY OF A HYBRID COUNTERMEASURE FOR RIVER EMBANKMENT IN ACTUAL FIELD CASE
3. 学会等名 Geomate 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原 覚太
2. 発表標題 低剛性管を用いた壁背面の液状化対策に関する模型実験
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺匠、藤原覚太
2. 発表標題 スキマを設けて設置した矢板の堤防液状化対策に関する模型実験
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原覚太
2. 発表標題 スキマを設けて設置した矢板の堤防液状化対策に関する数値解析
3. 学会等名 第48回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kakuta Fujiwara, Enayat Malliar
2. 発表標題 スキマを有する壁構造による堤防液状化対策に関する実験
3. 学会等名 第49回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kakuta Fujiwara, Ogawa Nanase, Kentaro Nakai
2. 発表標題 Quantitative evaluation of PFS Method under liquefaction
3. 学会等名 Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development (GEOTEC HANOI) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------