

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04248

研究課題名（和文）堤体盛土を対象とした原位置簡易型ベンダーエレメント法の適用性検証に関する研究

研究課題名（英文）Study to verify the applicability of in-situ vender element method intended for the embankment

研究代表者

田口 岳志（Taguchi, Takeshi）

秋田大学・理工学研究科・助教

研究者番号：00452839

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：堤体盛土を対象とした原位置簡易型ベンダーエレメント法の適用性証に成功した。計画当初はセメント改良土部のみを対象としていたが、新たに試作した透水型ベンダーエレメント試験装置により、未改良土を土試料として用いることができた。また、簡易的な土層実験においても、透水に伴うせん波速度の減少傾向（波形の変化）を確認でき、計画段階において目標とした「浸水および透水に伴うせん波速度の変化」を室内実験において確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原位置ベンダーエレメント試験装置を設置し、我が国における堤防全域の漏水・劣化・決壊を迅速に検知することができるシステムの構築を目指して、本研究を進めた。その結果、土試料が浸水および透水する過程において、せん断波速度の計測波形形状が規則的に変化することが明らかとなった。このことは、我が国における堤防決壊被害を軽減できる技術開発に大きく貢献する可能性があり、本研究結果の社会的意義は極めて大きいといえる。

研究成果の概要（英文）：The in-situ simplified bender element method for embankment embankments was successfully demonstrated. Although only the cement-improved soil was used in the original plan, the newly developed permeable bender element test apparatus made it possible to use unimproved soil as a soil sample. In addition, the decrease trend of shear wave velocity with water permeability (change of waveform) was confirmed in a simple soil layer test, and the “change of shear wave velocity with flooding and water permeability” targeted in the planning stage was confirmed in the laboratory test.

研究分野：地盤工学

キーワード：ベンダーエレメント試験 堤防浸食 堤防決壊 セメント改良

1. 研究開始当初の背景

2019年10月に発生した台風19号により千曲川にて、堤防の決壊が確認され、長野県の各地で浸水被害が報告された(写真-1)。地球温暖化の影響により、我が国では全国各地で異常気象がみられ、これと同様な堤防決壊被害は増加傾向にある。しかしながら、その効果的な防災対策は十分といえず、これらの堤防決壊被害を未然に検知するシステムの構築が喫緊の課題といえる。



写真-1 千曲川の堤防決壊(読売新聞2021年6月18日発行)

2. 研究の目的

研究代表者は、このような喫緊の課題を解決するためにベンダーエレメント法を原位置で簡易的に実施でき、最終的には数キロ毎に設置された当該計測装置から、アドホック通信の併用によって、堤防全域の漏水・劣化を遠隔地で迅速に検知することができるシステム(図-1)の構築を目指している。

3. 研究の方法

3.1 土層実験によるベンダーエレメント試験

まさ土を基材とした土層にベンダーエレメントを埋設し、土層側方から透水させる過程のせん断波速度の変化を測定した。

3.2 透水型ベンダーエレメント試験

新たに開発した透水型ベンダーエレメント試験に対して、珪砂と珪砂粉を種々の配合で土試料を作成し、ドライ状態から完全に浸水する過程、その後数時間まで透水を継続した場合における、せん断波速度の変化を調べた。

3.3 硬質材料へのベンダーエレメントの適用性確認

これまで適用が困難とされてきた硬質地盤材料へのベンダーエレメント試験適用を検討するために、カオリンセメント改良土に対してベンダーエレメントの計測部を装着する際に、2mm×3mm×5mmの穴をあけ、充填材と共に計測部を装着することを試みた。充填材として、エポキシ樹脂、歯科用石膏、原土を用いた。

4. 研究成果

本研究により以下に示す新たな知見が得られた。

(1) 真砂土層で行った浸透実験によって、埋設したベンダーエレメントによってせん断波速度 V_s の減少を検知でき、また浸透面と圧電素子(BE)の位置関係によっても V_s は変化し、波形にノイズが生じることが分かった。

(2) 新たに開発した円筒カラム型 BE 試験装置を用いて細粒分流出に伴うせん断波速度の測定が可能であることを確認した。しかし細粒分含有率 FC、動水勾配によってはカラム内での目詰まりによって流量の減少が生じ、純粋な細粒分流出の影響を調べることができないケースが存在した。このことから、原位置における実現象(細粒分流出に伴う堤体の劣化)を再現するためには、更なる試験条件の検討が必要であると考えられる。

(3) 円筒カラム型 BE 試験装置の排土量計測から、土粒子排出量について、どの FC においても相対密度が小さいほど、土粒子排出量が多くなり、また通水開始 20min ほどで総土粒子排出量の約 50%が流出し、その後著しく土粒子排出量が減少した。

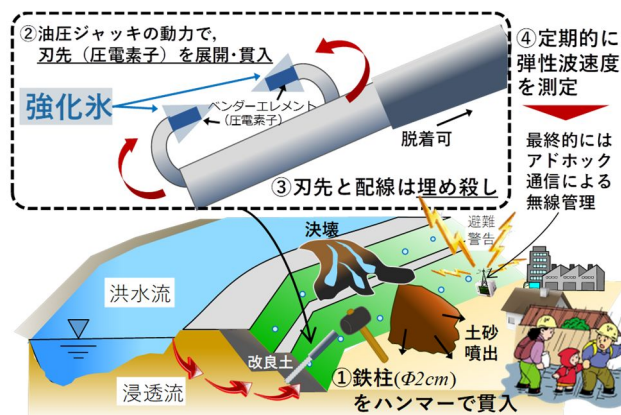


図-1 原位置簡易型ベンダーエレメントシステムの概要

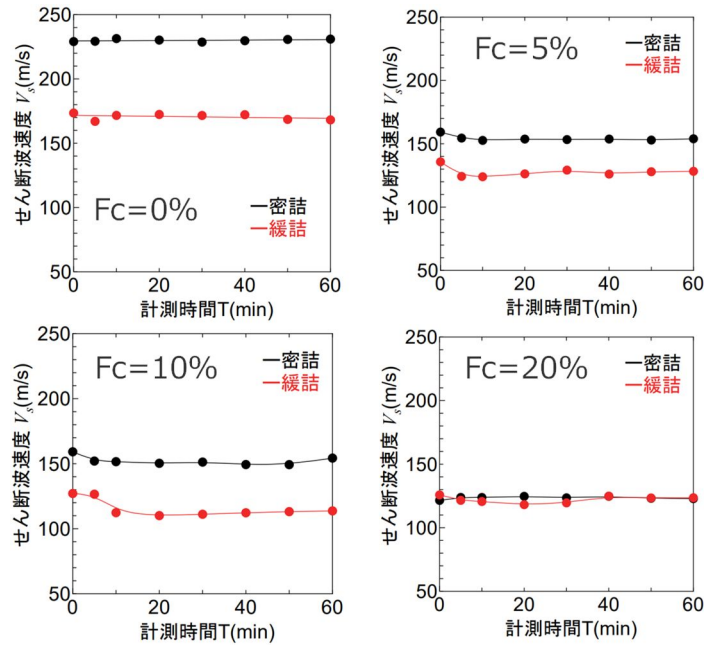


図-2 円筒カラム型 BE 試験装置 (Fc=0,5,10,20%) の計測時間 T に対する V_s の変化

(4) 通水に伴うせん断波速度 V_s の変化について、密詰めで 5 m/s 程度、緩詰 8~15 m/s 程度減少傾向を確認した。その後緩やかに V_s は増加傾向を示した。また、FC が多いほど V_s が減少から増加に転ずるタイミングが遅くなるという傾向がみられた。

(5) 通水時の累加土粒子排出量と断波速度 V_s には相関関係がみられ、通水開始 20 min までの土粒子排出量が最も顕著となる時に V_s も急激な減少を示すことが分かった。これらの結果から、堤防の内部浸食検知システムの構築において BE 試験の有用性を確認できた。

(6) 緩詰め供試体に対し通水実験の後、供試体高さ方向に分割して各層の残存細粒分含有率 FC' を算出したところ、全体的な細粒分流出を確認できた。しかし、FC が高いものは上層および中層と比べて下層の方で FC' が増加していた。このことは、カラムの下層部で目詰まりが生じている可能性があり、4. で述べた、通水後半における V_s の増加をもたらす要因であると考えられる。

(7) 硬質材料へのベンダーエレメントの適用性確認において、充填材長を長くすると、せん断波速度 V_s が速くなり、直刺しによって得られた真値と比べて過大評価になる可能性がある。一方、充填材長を可能な限り短くすることで誤差の低減が可能であることがわかった。

(8) 充填材と測定対象試料のヤング率については相関がせん断波速度に影響を及ぼすという結果は得られなかった。充填材がせん断波速度 V_s に影響をもたらすヤング率以外の別の要素について検討が必要であると考えられる。

(9) 充填材に原土を用いた場合、養生日数が増加してもせん断波速度 V_s が増加していないため正確なせん断波速度 V_s を得られていない可能性がある。つまり、硬質供試体に対して BE 試験を行う際に固結していない供試体材料を充填材として用いるよりも、石こうなど比較的硬質な充填材が適切であると考えられる。(図-3)

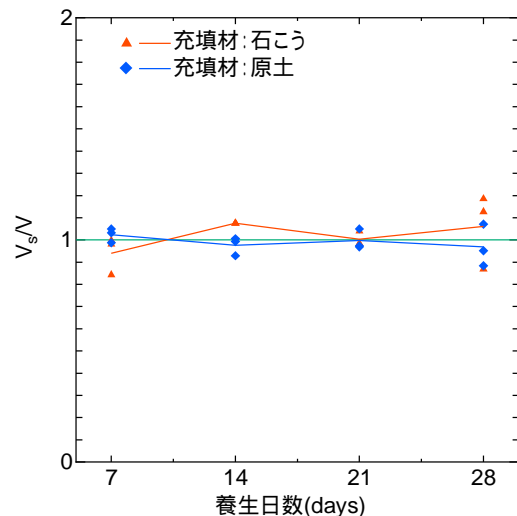


図-3 V_s/V_0 -養生日数関係 $C=100\text{kg/m}^3$

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Taguchi Takeshi, Ogino Toshihiro, Suzuki Motoyuki	4. 巻 71
2. 論文標題 Unconfined Compressive Strength and Microscopic Structure Characteristics of Cement Treated Peat Subjected to Crushing and Re-Constitution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 103 ~ 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 TAGUCHI Takeshi, ARANO Takumi, KOIKE Yuki, KAGOHARA Kyoko, MATSUGI Hiroaki, SUZUKI Motoyuki	4. 巻 19
2. 論文標題 秋田県雄物川中流域における洪水由来の堆積物特性とその発生頻度	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Journal	6. 最初と最後の頁 89 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgs.19.89	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 阿部 剛成、荻野 俊寛、林 宏親、西村 聡、田中 洋行、山添 誠隆、田口 岳志	4. 巻 3
2. 論文標題 統計的手法による泥炭性軟弱地盤の自然含水比分布のモデル化および信頼区間推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 158 ~ 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.3.J2_158	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石川侑吾
2. 発表標題 原位置簡易型ベンダーエレメント試験の堤体盛土への適用性検証
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋拓弘
2. 発表標題 硬質な安定処理土供試体に対するベンダーエレメント試験手法の研究
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川侑吾
2. 発表標題 原位置簡易型ベンダーエレメントによる堤体盛土劣化検知システムに向けた土層実験
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋拓弘
2. 発表標題 硬質な安定処理土供試体に対するベンダーエレメント試験手法の研究
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川侑吾
2. 発表標題 原位置簡易型ベンダーエレメント試験の堤体盛土への適用性検証
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋拓弘
2. 発表標題 硬質な安定処理土供試体に対するベンダーエレメント試験手法の研究
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川侑吾
2. 発表標題 堤体盛土劣化検知システムに向けた透水式ベンダーエレメント試験装置の開発
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋拓弘
2. 発表標題 硬質材料に対するベンダーエレメント法適用に関する研究
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田剛志
2. 発表標題 砂質土が不飽和から飽和に至る過程のせん断波速度の変化
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2023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
研究 分担者	荻野 俊寛 (Ogino Toshihiro) (80312693)	秋田大学・理工学研究科・准教授 (11401)	
研究 分担者	鈴木 素之 (Suzuki Motoyuki) (00304494)	山口大学・大学院創成科学研究科・教授 (15501)	

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
---------	---------