

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820193

研究課題名(和文) GRS一体橋梁の耐津波性能の検討

研究課題名(英文) A study on the performance of GRS integral bridge against tsunami

## 研究代表者

川邊 翔平 (KAWABE, Shohei)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・施設工学研究領域・研究員

研究者番号：30609384

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災において、大規模な津波により多くの橋梁が被害を受けた。特に沿岸域の道路や鉄道等の重要構造物において、橋梁は耐震性のみならず、耐津波性能を有することが望まれる。本研究では、ジオシンセティックス一体橋梁の耐津波性能について実験的に検討した。ジオシンセティックス一体橋梁は補強材によって各部材が安定化されるため、津波に対して従来形式橋梁よりも優れた耐津波性能を有することがわかった。また、橋台に作用する横荷重に対して、主に橋台背面と背面土との摩擦によって抵抗し、補強材によってその摩擦が増加することを示した。

研究成果の概要(英文)：The girders of a number of bridges were damaged by the great tsunami of the 2011 Great East Japan Earthquake. Many of the bridges close to coastal lines are required to have high resistance against not only seismic load but also tsunami load. In this study, the stability against tsunami load of the geosynthetics-reinforced soil integral bridge was studied experimentally, and the followings were shown. The geosynthetics-reinforced soil integral bridge has high performance for the tsunami thanks to that the girder, the abutments and the approach fill are structurally integrated to each other. The lateral load acting on the abutment is resisted by the friction between the abutment and approach fill. And geosynthetics are effective in increase that friction.

研究分野：地盤工学

キーワード：ジオシンセティックス 補強土 一体橋梁 津波 水平載荷 安定性

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、大規模な津波被害が生じ、多くの防潮堤が崩壊した。これを受けて、想定を超える規模の津波に対して、「粘り強さ」、「多重防御」等をキーワードとした技術開発がなされている。多重防御において、津波が海岸近くにある防潮堤を超えた場合、陸域にある鉄道や道路盛土が第2、第3の防潮堤としての役割を担うことによって、津波の被害を減じることが期待できる。また、道路や鉄道は重要なインフラでもあるため、地震や津波を受けても機能を失わないか、軽微な損傷に留め、速やかに機能回復できることが重要とされる。したがって、地震や津波等の災害に強い盛土構造物が必要である。

地盤工学の分野から「ジオシンセティックス補強土一体橋梁（以降、GR-IB と記す）」が提案されている。GRS-IB は、ジオシンセティックス（補強材）を橋台背面土中に敷設し、橋台背面と結合することで、背面土自体の安定性向上を図り、さらに、橋桁と橋台を構造的に一体化する形式の橋梁である（図1b）。常時および地震時において高い安定性を有することが示されている<sup>1)</sup>。

東日本大震災での橋梁の主な被害は、地震による損傷、津波による桁の流失と橋台背面土の侵食であった<sup>2)</sup>。これに対し、GRS-IB はその特徴から津波に対しても有効な橋梁形式であると考えられており、模型実験によりその可能性が示唆されている<sup>3)</sup>。ただし、簡易な模型実験のみであり、十分な検討はなされていない。

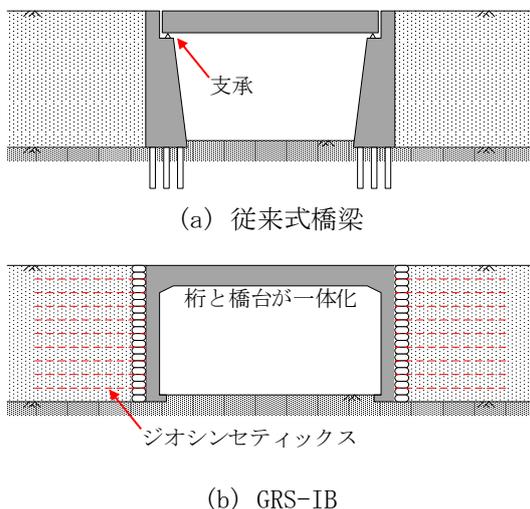


図1 従来式橋梁と GRS-IB

2. 研究の目的

多重防御における、第2、3の防潮堤としての盛土中にある GRS-IB を想定し、津波を受けた場合の GRS-IB の抵抗性とそのメカニズムを明らかにすることを目的とした。

まず、段波によって津波を模擬した実験で、従来形式橋梁模型（桁が支承を介して橋台に設置されている、図1a）と比較して、模型に作用する津波外力、および越流、侵食の様子を明らかにする。ただし、陸域にある盛土を

想定し遡上津波を対象とする。また、支持地盤の侵食は考慮しない。

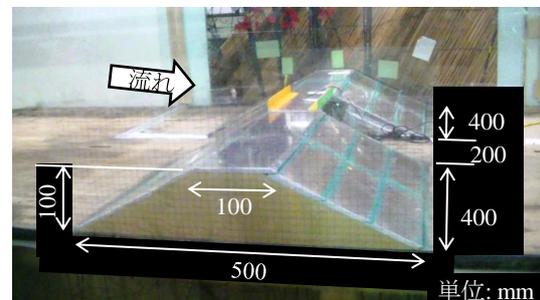
また、橋台が橋軸直交方向から荷重を受けた時の橋台背面土圧の変化、補強材の張力変化を計測し、背面土内での力学挙動を明らかにする。

3. 研究の方法

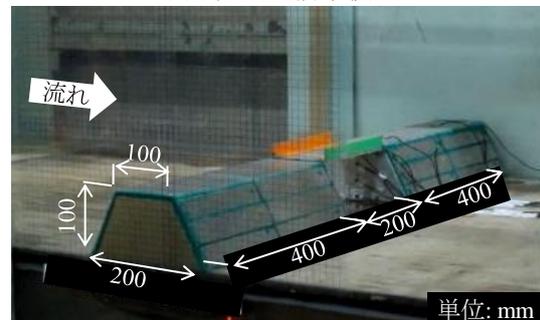
(1) 造波模型実験

実験開水路内に小型模型（図2）を作製し、津波を模擬した段波による実験を行った。規模の異なる段波を作用させ、越流中の模型様子を観察した。また、模型表面に圧力計を設置し、模型に作用する波力を計測した。

GRS-IB がどのように崩壊するかを従来形式橋梁と比較して調べた。越流を受けた時、堤体がどの程度残留するのか、越流中に各部材がどのように変位するのかなどについて明らかにする。



(a) 従来式橋梁模型



(b) GRS-IB 模型

図2 造波模型実験で用いた模型

(2) 横荷重載荷試験

橋台に津波荷重が作用した場合を想定して（図3）、橋台模型の横方向載荷試験を行った。橋台模型背面に作用する背面土圧、補強材張力を計測し、橋台に作用する荷重、背面水平土圧、背面摩擦力、補強材張力の関係を明らかにする。

橋台模型背面の中心には1方向荷重計（A～D）および2方向荷重計（K～M）を配置し、背面に作用する水平土圧および摩擦力を計測した。また、橋台模型内部に埋設した荷重計（E&F、G&H、I&J）に補強材を結合することにより、補強材の引抜き抵抗（図4の②④⑥の位置）も計測し、津波荷重が作用した時の背面に作用する力学的挙動を調べた。

背面土は豊浦砂を用いて多重ふるいによる

空中落下法で相対密度 80 %になるように作製した。用いた補強材 (図 4b) はポリエステル (PET) 繊維を基布とするネット (質量 160 g/cm<sup>2</sup>、引張強さ 19.6 N/m、図 4b の CASE01) と、リン青銅製補強材 (PB) を用いた (図 4b の CASE03)。なお、CASE02 は、縦材および横材を CASE01 の 1/5 になるように間引いたものである。また、補強材の地盤中の変形を調べるために、リン青銅製の補強材には、ひずみゲージを裏表に 2 枚ずつ (つまり、4 枚/箇所) 貼り付けて、地盤中でのせん断変形の様子、局所的補強材張力を計測した。

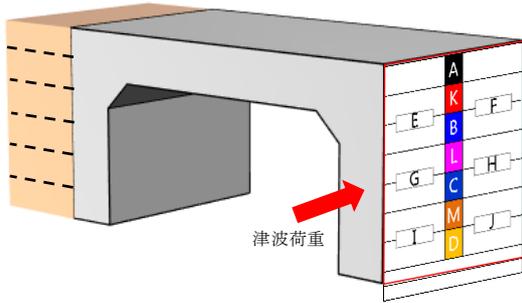
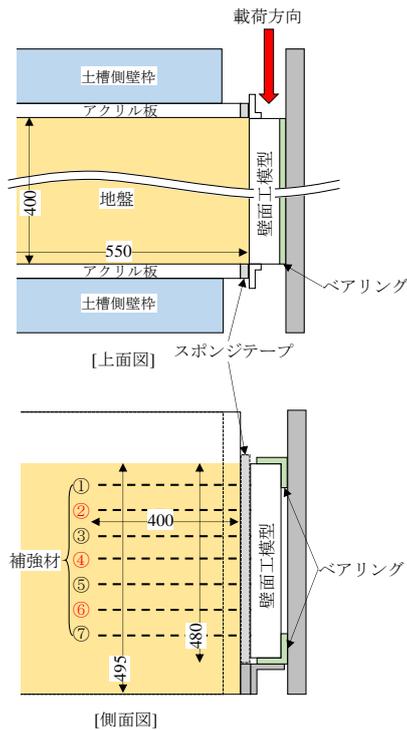
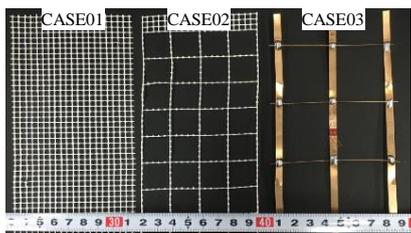


図 3 横荷重載荷試験のイメージ



(a) 試験装置



(b) 補強材模型

図 4 横荷重載荷試験の概要

### (3) 補強材単体の面内せん断試験

背面土中に埋設された補強材単体の変形挙動を把握するために、補強材単体の面内せん断試験を実施した。

図 5 に試験の様子を示す。供試体を上下のつかみ具で固定し、0.5 kN/m の初期張力を与えた。その後、上つかみ具の鉛直変位を固定し、下つかみ具のみを変位させた。载荷中はせん断応力、下つかみ具の水平変位、上つかみ具での補強材鉛直張力を計測した。

用いた供試体は (2) の横荷重載荷試験に用いた補強材模型と同じものとした。

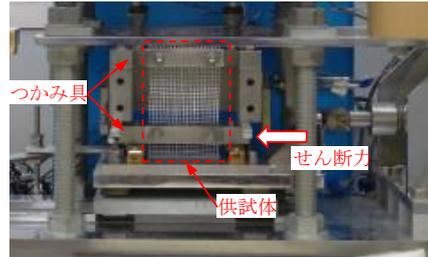


図 5 補強材の面内せん断試験の様子

### (4) 横荷重載荷試験の再現

補強材単体の面内せん断試験結果から得たせん断挙動、横荷重載荷試験を基に考察する橋台背面での力の関係を基にして、横荷重載荷試験結果を数値計算によって再現する。これにより、横荷重載荷試験から得た橋台背面での力の関係、横荷重に対する補強材の効果を確認する。

## 4. 研究成果

### (1) 造波模型実験による崩壊性状

GRS-IB 模型と従来形式模型に対して、段波により津波を再現した実験を行った (図 6)。GRS-IB は従来形式よりも大きな津波 (越流) に対して安定であった。従来形式では津波到達直後に桁が流失し、被覆工や橋台の隙間から堤体材料が流失することで最終的に橋台も流失した (図 7a)。一方の GRS-IB では桁は流失しなかったが、越流中に継続的に波力を受けるため、図 7b に示すように若干滑動し、弓状に変形した。このとき橋台と背面の被覆工の隙間から堤体材料の流失が確認された。

GRS-IB では、桁が残留するため、一体化されている橋台の安定性が致命的に失われることが無く、被覆工や橋台の隙間から堤体材料が流失することを抑制できたためであると考えられる。

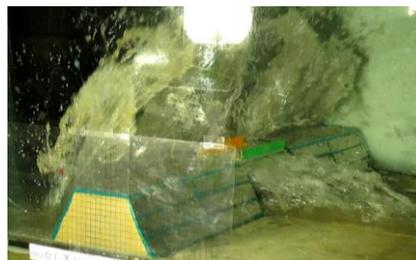
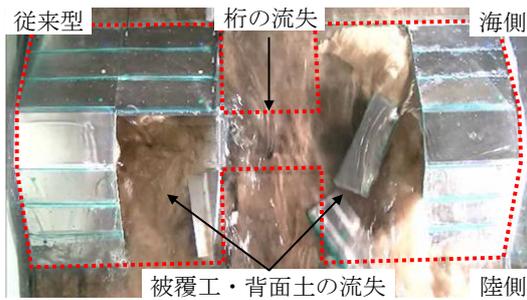
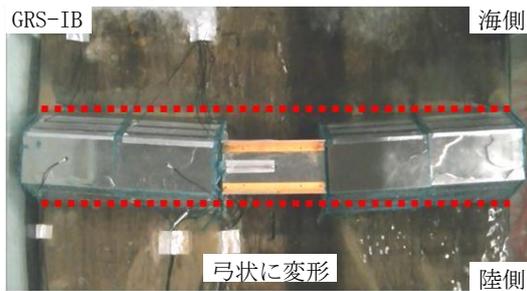


図 6 造波模型実験の様子



(a) 従来式橋梁



(b) GRS-IB

図7 試験後の模型

(2) 橋梁に作用する波力

図8にGRS-IBの桁で計測した波力を例として示す。従来形式橋梁、GRS-IBのいずれの場合でも、津波が到達したときに橋梁模型の自重よりも大きな荷重が作用したが、これによる損傷は確認できなかった。これは、大きな荷重であっても作用時間が0.005秒と非常に短いためであると考えられる。

また、津波越流中の模型に作用する波力は、静水圧と同程度であった。従来形式模型の場合は桁が流失するため、橋台側面に作用する波力が主となる。この時の波力は、橋台のみの自重に対して約0.7倍であった。また、被覆工や堤体材料が流失し、橋台が不安定となったため、橋台が転倒および回転し、流失したと考えられる。GRS-IBの場合、桁が流失しないため越流中の波力を桁と橋台が継続して受ける。その時の波力は橋台と桁から成る橋梁部の自重の1.6倍程度であった。ただし、橋台がジオテキスタイルを介して背面土と一体化されているため、背面土の重量とあわせて抵抗すると考えられる。橋梁部を含む補強された盛土の範囲で考えた場合、越流中の波力は自重の0.5倍程度になった。

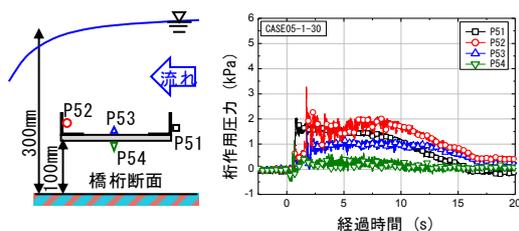


図8 GRS-IBに作用する波力の例

一般的に GRS-IB は従来形式と比較して橋

台の自重が小さくできる、また、桁が残留し継続して波力を受けるため、滑動に対して不利になる。しかしながら、①桁と橋台が一体化されており、また、補強材により橋台と背面土、被覆工と背面土が一体化されているため、各部材の変位を抑制する効果があること、②これによる背面土の流失の抑制効果が期待できること、これらが相互に作用し、高い安定性を発揮したと考えられる。ただし、GRS-IB、従来形式のいずれに対しても、支持地盤の洗掘対策が別途必要である。

(4) 横荷重載荷試験

代表的な実験結果を図9に示す。背面土が無補強である従来式橋台と GRS-IB の場合の横荷重載荷試験結果である。凡例の白抜きは橋台模型に作用させた荷重を橋台背面の面積で除した値、塗潰しは図3のLの位置で計測した壁面摩擦応力、実線は図3のG&H(図4aの④)で計測した補強材の引抜き抵抗を示す。また、橋台水平変位が1mmまでの載荷初期の拡大図を併記した。

従来式橋台の場合では、ピーク後は応力が減少し続けるのに対し、GRS-IBでは、水平変位の増加に伴って、応力が再度増加した。また、初期の拡大図においてもGRS-IBの結果の方が橋台水平変位に対する抵抗性が高い。これは、補強材によって拘束された背面土によって壁面水平土圧が増加し、壁面摩擦が増加するためである。

また、作用力は背面で計測した摩擦力の合計とほぼ等しかった。つまり、横荷重に抵抗するのは、主に橋台背面と背面土との摩擦力であると考えられ、補強材の効果としては、地盤を拘束することによる背面土圧増加が主であり、橋台変位方向成分の補強材張力の寄与は小さいと考えられる。

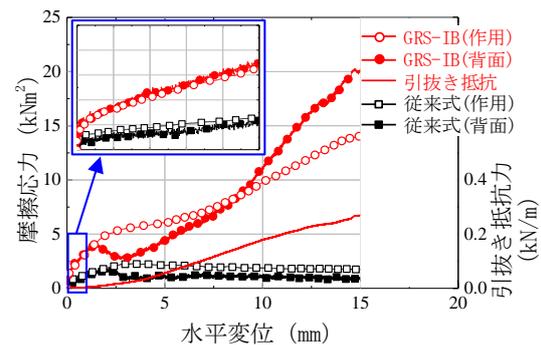


図9 横荷重載荷試験結果

(5) 面内せん断試験

CASE01,02では約20%、リン青銅製のCASE03では約10%のせん断変位まで載荷した。

載荷中の補強材張力とせん断応力の関係を図10に示す。本研究で実施したせん断変位の範囲では、いずれの補強材模型についてもほぼ線形関係が得られた。また、その傾きはCASE01で3.5、CASE02で1.7、CASE03では5.0であった。CASE03は材料自体の剛性が大きいので他のCASEよりも大きくなったと考

えられる。また CASE01 と CASE02 は縦材横材の本数のみが異なる。本数が異なるためにせん断変形に対する抵抗が異なると考えられる。

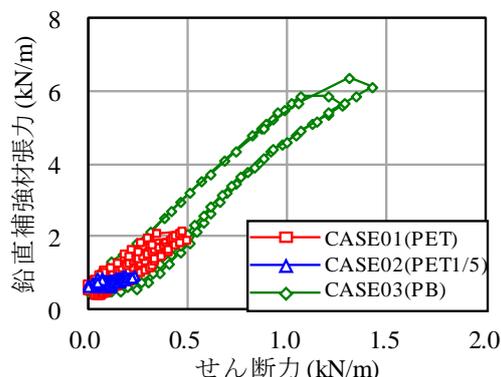


図 10 補強材の面内せん断試験結果

(6) 数値計算による水平載荷試験の再現

(4)の試験結果(作用せん断応力-水平変位関係)について、従来式(無補強)の試験結果から、数値計算によって GRS-IB の結果を再現することで、補強材の効果を確認した。

橋台(壁面工)が横荷重を受けるときの補強効果の模式図を図 11 に示す。無補強の実験結果の水平変位から、補強材に生じるせん断変形仮定し、(5)の結果から得たせん断変形-せん断応力関係から橋台変位方向成分の補強材張力(図 11①)を推定した。また、せん断応力-鉛直補強材張力関係から、鉛直補強材張力を推定し、壁面と背面土との摩擦係数から壁面に作用する摩擦力(図 11②)を求めた。これらを、背面地盤が無補強の場合の結果に上乘せすることで、(4)の GRS-IB 試験結果(CASE01、02、03)を推定した。

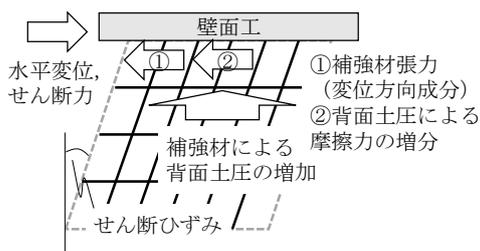


図 11 補強効果の考え方

計算結果と試験結果を図 12 に示す。実線とシンボルで描かれた関係は実験結果であり、計算結果は破線で示した。いずれのケースにおいても、背面土を補強した場合の結果を概ね再現できた。これにより、(4)で述べた補強材の効果を確認することができた。

なお、一定以上の水平変位が生じると、補強材と橋台との定着切れ、補強材の変形の面外への逸脱、補強材の引き抜け(または、地盤との大きな相対変位)が生じたため、水平変位約 3 mm までを計算の対象とした。

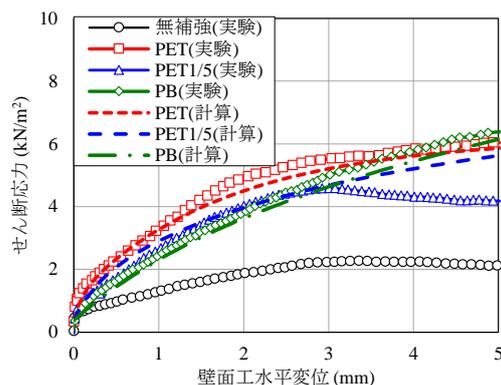


図 12 横荷重載荷試験結果の再現結果

本研究によって、GRS-IB は補強材によって各部材が安定化されるため、津波に対して従来形式橋梁よりも優れた耐津波性能を有することがわかった。また、橋台に作用する横荷重に対して、橋台背面と背面土との摩擦によって抵抗し、補強材によってその摩擦が増加することがわかった。

GRS-IB 建設に際して、耐津波性も考慮する場合には、支持地盤の洗掘に対する検討が必要である。耐震性、経済性、耐津波性に優れた GRS-IB の普及が期待される。

<引用文献>

- 1) 龍岡文夫、黒田哲也、山口晋平、川邊翔平、館山勝、渡辺健治 (2012) : GRS 一体橋梁と NRS 一体橋梁の耐震性の振動台実験による検討、ジオシンセティックス論文集、Vol. 27、141-148.
- 2) Kosa, K. (2012): Damage analysis of bridges affected by tsunami due to Great East Japan Earthquake, Proceedings of International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March, Tokyo, Japan, 1386-1397.
- 3) 川邊翔平、大林沙紀、山口晋平、菊池喜昭、二瓶泰雄、龍岡文夫 (2013) : 津波を受ける GRS 一体橋梁の模型実験、ジオシンセティックス論文集、Vol. 28、251-258.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①川邊 翔平、深津 圭佑 (2015) : 津波横荷重を受ける GRS 一体橋梁橋台の室内静的水平載荷実験、ジオシンセティックス論文集、Vol. 30、59-66、査読有。

[学会発表] (計 7 件)

- ①川邊 翔平 (2016) : ジオグリッドの面内せん断試験と補強土壁水平載荷試験結果の再現計算、土木学会平成 28 年度全国大会第 71 回年次学術講演会講演概要集、2016 年 9 月 7-9 日、東北大学川内北キャンパス (宮

城県・仙台市)、査読無.

- ②川邊翔平、菊池喜昭、渡辺健治、龍岡文夫 (2015) : Model tests on the stability of GRS integral bridge against tsunami load、The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering、2015年11月9-13日、福岡国際会議場(福岡県・福岡市)、査読有.
- ③川邊翔平、深津圭佑 (2015) : ジオシンセティックス補強土一体橋梁橋台の水平載荷試験、土木学会平成27年度全国大会第70回年次学術講演会講演概要集、2015年9月16-18日、岡山大学津島キャンパス(岡山県・岡山市)、査読無.
- ⑤川邊翔平、山口晋平、古川大祐、青柳悠大、菊池喜昭、龍岡文夫、渡辺健治 (2014) : 津波波力を受けるジオシンセティックス補強土一体橋梁の橋台に着目した模型実験、第49回地盤工学研究発表会、2014年7月15-17日、北九州国際会議場(福岡県・北九州市)、査読無.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川邊 翔平 (KAWABE Shohei)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・施設工学研究領域・研究員

研究者番号 : 30609384