

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360195

研究課題名(和文) 地盤補強技術とジオシンセティックス耐浸食技術による地盤構造物の耐津波性能の向上

研究課題名(英文) Tsunami

研究代表者

宮田 喜壽 (Miyata, Yoshihisa)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・教授)

研究者番号：20532790

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：地盤構造物を耐津波施設として機能させるために、1)津波作用モデルの構築、2)耐津波に有利な構造形式の解明、3)耐浸食技術の開発、4)リスクベース設計法の確立を目的とした研究を行った。主要な成果は以下のとおり。1)東日本大地震で得られた約6千カ所の浸水高・遡上高の調査結果より津波作用力の推定モデルを構築した。2)海岸側が斜面、陸地側が垂直の形状を有する構造物の形状が津波エネルギーを効率良く減衰させることを明らかにした。3)ジオグリッド蛇籠工の有効性を水路実験より明らかにした。4)実構造物の荷重データと材料試験結果を用いた信頼性解析より、リスク評価に必要な破壊確率の算定精度を向上させた。

研究成果の概要(英文)：To improve geo-structure technique for tsunami countermeasures, 1) modeling of tsunami-load for structural design, 2) investigation of the optimum geometry to reduce tsunami energy, 3) verification of the geogrid-gabion method for erosion control and 4) development of risk-based design for geosynthetic reinforced soil structure were performed. Following main results were obtained. 1) New load model was built using over 6000 survey data after the Tohoku earthquake in 2011. 2) Structure having slope face for coastal side and vertical face for land side is most effective to reduce tsunami energy. 3) Geogrid-gabion method is useful for erosion control. 4) Accuracy in calculation of the failure of probability for risk based design was improved for geosynthetics reinforced soil structures. These achievements contribute for reasonable counter measure using geo-technology for tsunami.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤構造物 津波対策 地盤補強技術 耐浸食技術 性能設計

1. 研究開始当初の背景

東日本大地震においては、多くの盛土や擁壁が津波により甚大な被害を受けた。津波の到来が予測される沿岸域に地盤構造物を構築する場合、耐津波対策を行う必要性が明らかになった。一方で、高速道路における高規格の地盤構造物が津波をせき止め、内陸側への浸水を抑止した事例がみられた。国や自治体などから提示されている津波対策では、地盤構造物を耐津波防護施設として建設する案が数多く提示されている。しかし、地盤構造物において、耐津波技術は十分に確立しておらず、その設計手法にも課題が多く残されている。地盤構造物の耐津波性能を向上させ、都市の耐津波リスクを低減させる技術について早急に検討する必要がある。

2. 研究の目的

地盤構造物が耐津波性能を発揮するためには、地盤構造物が、1)津波の要因となる地震動に対して大きな損傷を受けないこと、2)その後到達する津波に対して十分な耐力を示すこと、そして、3)津波作用によって地盤構造物自体やそれを支える周辺地盤が浸食されないことが求められる。以上の要求を満足する方法として、いくつかの方法が考えられるが、地盤補強技術とジオシンセティックス(GS)を用いた耐浸食技術の併用が有効と考えられる。本研究では、以上の技術開発を最終目標とし、以下の4つの目的を設定した。

- 1) 津波作用モデルの構築
- 2) 耐津波に有利な構造形式の解明
- 3) 津波を想定したGS耐浸食技術の開発
- 4) リスクベース設計法の確立

各目的に対する現状と必要性の説明は以下のとおり。

1)に関して：性能設計への移行をふまえ、平成20年に土木学会から各種土木構造物の設計に統一的に適用することを想定した作用指針が示されている。しかし、津波が遡上して地盤構造物に作用する場合については指針が示されていない。実際の津波遡上データを分析し、合理的な作用モデルについて検討する必要がある。

2)に関して：津波が構造物より低い場合、構造物は津波波力に対して安定を保ち、浸水を食い止めなければならない。津波が構造物を超える場合、構造物は安定を保ちつつ、津波エネルギーを消散させ、浸水面積を最小にすることが求められる。これらを実現する方法として地盤補強技術の活用が有効と考えられる。所定の要求性能に有利な断面形式、その実現方法について検討する必要がある。

3)に関して：河川の増水時の流れや海岸の高潮時の流れなどに対する耐浸食技術については、過去、オランダ・デルフト工科大を中心とした20を超える国際共同研究により多大な成果が挙げられている。その結果GS浸食技術は世界中に普及した。しかし、津波を想定した浸食対策については検討が十分に

なされていない。

4)に関して：様々なクラスの津波が想定される。大規模な津波ほど発生頻度が小さいが、想定被害は大きくなる。このような問題に対しては、発生頻度と被害コストの積で表されるリスクを定量化し、有効な対策の立案と選択を行う必要がある。ISO 2394では確率ベースで構造物の設計を行うことが規定されている。わが国における補強土構造物の設計法はそれに対応しておらず、耐津波構造物への適用を意識した早急な対応が必要である。

3. 研究の方法

研究の方法を、2.研究の目的で示した研究項目ごとに示せば以下のとおりとなる。

(1) 津波作用モデルの構築：

巨視モデルと微視モデルの2種類について検討した。巨視モデルに関する研究では、まず東日本大地震における仙台平野での津波遡上データをもとに、汀線からの距離によって、津波の流体エネルギー(全水頭)がどのように変化したかについて検討した。次に測定結果を説明するためのモデルを統計的・確率論的アプローチで検討し、地形データから津波作用力を想定する方法の有効性・妥当性について考察した。

詳細モデルに関する研究では、津波遡上を数値解析でモデル化する方法について検討した。旧来より実績のある差分法と最近様々な問題への適用性が注目されている粒子法をベースに、地形データと都市の詳細データを用いて津波作用力を想定する方法について基礎的検討を行った。

(2) 耐津波に有利な構造形式の解明：

水路実験を行い、図1に示す4種類の形状について津波エネルギー消散効果を調べた。そのうち、最も効果の高い構造形式について、その実現方法を検討し、地盤補強技術の活用方法を考案した。

東日本大地震で高い地震動と津波作用を受けた補強土壁の被災データを分析し、現状の地盤補強技術を耐津波施設に適用するための課題について検討した。

補強土壁前面が侵食された状態を考え、過去に実施された実大補強土壁の破壊実験データのうち、基礎の破壊の影響を調べたデータを分析し、その評価を設計でどのように見積もるべきかについて検討した。

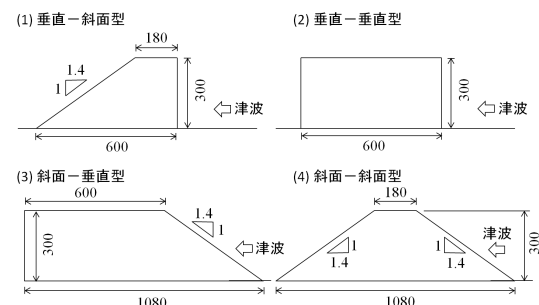


図1 水路実験で調べた構造物の形状

表1 本研究の成果一覧(文献番号は5. 主な発表論文等の番号を参照のこと, 論=雑誌論文, 発=学会発表)

研究項目	雑誌論文[論]と学会発表[発]
(1)津波作用	発
(2)耐津波に有利な構造形式	論 発
(3)ジオシンセティックス耐浸食技術	論 発
(4)リスクベース設計法	論 発

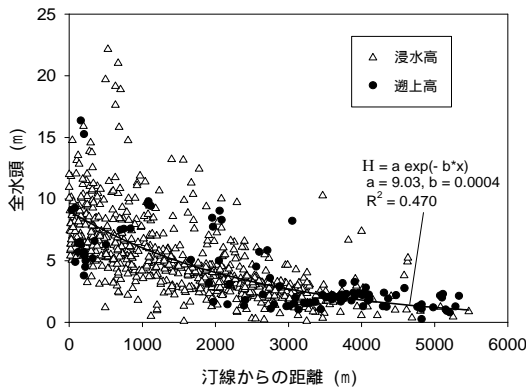


図2 遡上に伴う津波エネルギーの減衰

(3) 津波を想定したGS耐浸食技術の開発:

ジオシンセティックスの1種であるジオグリッドで構築した箱状の構造体にレキなどの粒状材料を投入して構築するジオグリッド蛇籠工を耐浸食技術として活用することを考え, その有効性を水路実験で調べた.

(4) リスクベース設計法の確立:

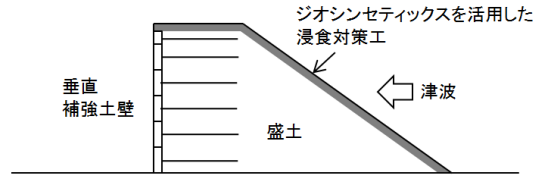
補強土構造物を対象に, 許容破壊確率を設定する設計法について検討した. 荷重側・耐力側それぞれについて設計モデルのバイアス(=実測値/推定値)特性を評価し, 荷重と耐力を安全側に見積もるための安全係数のキャリブレーションを行った. さらに, その解析法をベースに構造物の機能損失が社会に及ぼす影響を考慮したライフサイクルコストの評価法について検討した.

4. 研究成果

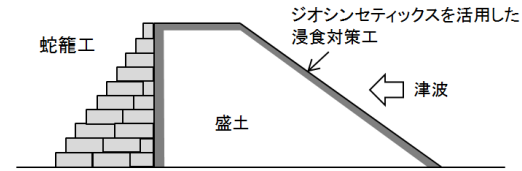
一連の研究成果を, 2. 研究の目的で示した研究項目ごとに示せば以下のとおりとなる. 各研究項目に対する発表論文の対応は表1のとおり.

(1) 津波作用モデルの構築:

東日本大地震の被災データとして公表されている約6千カ所の浸水高・遡上高の調査結果を用いて津波エネルギーの遡上に伴う減衰特性を明らかにして(参考: 図2), 作用力の評価モデルを構築した. 粒子法を用いて浅水方程式を精度良く解析する方法を確立した. さらに, 差分法の枠組みで津波が構造物を越流する際に問題になる流れの三次元性, ナップ流れを合理的にモデル化する方法を確立した.



(a) 垂直補強土壁: 蛇籠工なし



(b) 蛇籠工あり

(b) 蛇籠工あり

図3 斜面-垂直型の実現方法

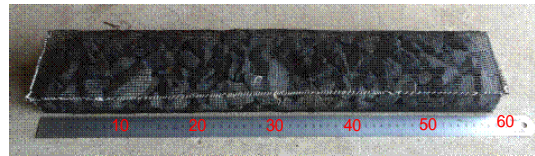


図4 ジオグリッド蛇籠工のモデル

(2) 耐津波に有利な構造形式の解明:

水路実験を実施し, 構造物の越流前後における流体エネルギーを整理した結果, 図1における「斜面-垂直型」が最も効果的であることが明らかになった. その効果は最もエネルギーの減衰効果の小さい「斜面-斜面型」の約2倍であった.

東日本大震災の補強土壁の被災データを1595件収集し整理した結果, 津波に直接盛土材が接しないなどの基本的な浸食対策だけで補強土構造物は耐津波構造物として機能するという知見を得た.

基礎を強制的に滑動させた実大補強土壁の実験結果を再整理した結果, 基礎部が主動状態に達しても, 補強領域は安定を保つこと, ただし補強材の剛性が高い場合, 基礎に近接した補強材の破断に対する安全余裕度を十分とる必要性が明らかになった.

(3) 津波を想定したGS浸食技術の開発:

「斜面-垂直型」を実現する方法として, 地盤補強技術とジオシンセティックス浸食技術を活用する2つの方法(参: 図3)が適当という検討結果を得た. ジオグリッド蛇籠工(参: 図4)の高いエネルギー消散効果と高い耐浸食性を水路実験より明らかにした.

(4) リスクベース設計法の確立:

実際の構造物の荷重データ, ジオグリッドの材料試験結果を用いた信頼性解析より, 設計余裕度と部分安全係数の関係を明らかにした. 無補強盛土, L型擁壁, ジオグリッド補強土壁に対し, モデルのバイアスを考慮して構造物の破壊確率を算定し, 社会損失額を

それに乗じさせることでリスク評価を行った。その結果、壁高に関わらず、わずかな初期投資の増額でジオグリッド補強土壁がリスクを大きく低減できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

Bathurst,R.J., Miyata,Y., Konami,T., and Miyatake,H.: Stability of multi-anchor soil walls after loss of toe support, *Geotechnique*, 2015 [印刷中, 査読有].

DOI: under preparation.

Miyata,Y., Bathurst,R.J., Otani,Y., Ohta,H., and Miyatake,H.: Influence of transient flooding on steel strip reinforced soil walls, *Soils and Foundations*, 55(4), 2015 [印刷中, 査読有].

DOI: under preparation.

Miyata,Y., Bathurst,R.J. and Miyatake,H.: Performance of three geogrid reinforced soil walls before and after foundation failure, *Geosynthetics International*, 22(3), 2015 [印刷中, 査読有].

DOI: under preparation.

Miyata,Y., and Bathurst,R.J.: Reliability analysis of geogrid installation damage test data in Japan, *Soils and Foundations*, 55(2), pp.393-403, 2015 [査読有].

DOI: doi:10.1016/j.sandf.2015.02.013.

Bathurst,R.J. and Miyata,Y.: Reliability-based analysis of combined installation damage and creep for the tensile rupture limit state of geogrid reinforcement in Japan, *Soils and Foundations*, 55(2), pp.437-446, 2015 [査読有].

DOI:10.1016/j.sandf.2015.02.017

多田 毅, 宮田喜壽, 平川大貴, 弘中淳市, 小浪岳治, 大谷義則: ジオグリッド蛇籠工を有する耐津波土構造物の提案, *ジオシンセティックス論文集*, 29 pp.81-86, 2014 [査読有].

DOI: 10.5030/jcigsjournal.29.81

Miyata,Y., Bathurst,R.J. and Allen,T.M.: Reliability analysis of geogrid creep data in Japan, *Soils and Foundations*, 54(4), pp. 608-620, 2014 [査読有].

DOI: 10.1016/j.sandf.2014.06.004

Kuwano,J., Miyata,Y. and Koseki,J.: Performance of reinforced soil walls in the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Geosynthetics International*, 21-3, pp.179-196, 2014 [査読有].

DOI: 10.1680/gein.14.00008

宮田喜壽, 大野孝二, 篠田昌弘, 弘中淳市, 竜田尚希: ジオグリッド補強土壁建設に伴う CO2 排出量の計算法と考察, *ジオシンセティックス論文集*, 28, pp. 289-294,

2013 [査読有].

DOI: 10.5030/jcigsjournal.28.289

大野孝二, 宮田喜壽, 篠田昌弘, 小浪岳治, 弘中淳市: 構造物の損壊に伴う不便益を考慮したジオグリッド補強土壁の LCC 算定法, *ジオシンセティックス論文集*, 28, pp.303-310, 2013 [査読有].

DOI: 10.5030/jcigsjournal.28.303

Miyata,Y. and Bathurst,R.J.: Analysis and calibration of default steel strip pullout models used in Japan, *Soils and Foundations*, 52(3), pp.481-497, 2012 [査読有].

DOI: 10.1016/j.sandf.2012.05.007

Miyata,Y. and Bathurst,R.J.: Reliability analysis of soil-geogrid models in Japan, *Soils and Foundations*, 52(3), pp.620-633, 2012 [査読有].

DOI: 10.1016/j.sandf.2012.07.004

藤田智弘, 小橋秀俊, 藪雅行, 中根淳, 宮田喜壽: 1995 年より挙動観測されてきたジオグリッド補強土壁の 2011 年東北地方太平洋沖地震における被害と分析, *ジオシンセティックス論文集*, 27, pp.77-83 2012 [査読有].

DOI: 10.5030/jcigsjournal.27.77

[学会発表](計 13 件)

多田 毅, 宮田喜壽: 堤防越流時のエネルギー減衰の数値解析, 第 18 回応用力学シンポジウム (金沢大, 石川), 2015.5.17.

吉村雄太, 宮田喜壽, 多田 毅, 平川大貴: ジオグリッド蛇籠工を応用した耐津波土構造物の有効性に関する模型実験, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会 (東海大, 神奈川), 2015.3.5.

Tada,T., Miyata,Y. and Bathurst,R.J.: Experimental model on tsunami inundation force for geo-structure, 14th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (Kyoto, Japan), 2014.9.22.

多田 毅, 宮田喜壽, Bathurst R.J.: 土構造物に作用する津波作用力評価のための津波遡上エネルギー消散モデル, 地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて- (東京電気大, 東京), 2014.5.14.

Miyata,Y.: Geo-computational engineering for unanticipated situations, 1st International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems [招待講演] (Sendai, Japan), 2014.4.15.

木本敦博, 多田 毅, 宮田喜壽: 仙台平野における遡上津波のエネルギー減衰の特性, 第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会 (宇都宮大, 栃木) 2014.3.14.

田中悠斗, 宮田喜壽, 多田 毅, 平川大貴: 土構造物の形状が津波エネルギー減衰効果に及ぼす影響, 第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会 (宇都宮大, 栃木)

2014.3.14.

Kuwano,J., Miyata,Y. and Koseki,J.: Survey of sub-surface cavities in the liquefied ground caused by the Great East Japan Earthquake, International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (Hanoi, Vietnam), 2013.10.9.

浦川翔大, 多田 毅: 二次元浅水方程式によるSPH改良手法の比較検討, 第26回数値流体力学シンポジウム (国立オリンピック記念青少年総合センター, 東京), 2012.12.18.

Urakawa,S and Tada,T.: Numerical simulation of 1d shallow-water equation using smoothed particle hydrodynamics, Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (Cheju Island, Korea) 2012.8.22.

Fujita,T. Yabu,M., Kohashi,H., Nakane,A. and Miyata,Y.: Seismic performance of a geogrid-reinforced wall monitored since 1995 in the 2011 Great East Japan earthquake, 5th European Geosynthetics Congress (Valencia, Spain) 2012.9.17.

Miyata,Y., Bathurst,R.J., Konamai,T. and Dobashi,K.: Performance of multi-anchor walls in cyclic transient flooding, International Symposium on Ground Improvement (Brussel, Belgium) 2012.6.1.

Miyata,Y.: Reinforced soil walls during the recent great earthquakes in Japan and geo-risk based design, 2nd International Conference on Performance Based Design in Earthquake Engineering [招待講演] (Taormina, Italy) 2012.5.30.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nda.ac.jp/cc/users/miyamiya/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮田 喜壽 (Miyata Yoshihisa)

防衛大学校・システム工学群・教授

研究者番号：20532790

(2) 研究分担者

多田 毅 (Tada Tsuyoshi)

防衛大学校・システム工学群・准教授

研究者番号：50535490

平川 大貴 (Hirakawa Daiki)

防衛大学校・システム工学群・講師

研究者番号：40372990