

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420490

研究課題名(和文) 降雨の作用を受ける補強土構造物の耐震性能評価に関する研究

研究課題名(英文) Evaluation of seismic performance of reinforced soil walls due to rainfall

研究代表者

小林 睦 (Kobayashi, Makoto)

豊田工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：30390462

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、降雨浸透を受ける補強土壁の地震時性能を評価するために、遠心力場加振実験を実施した。その結果、裏込め地盤内の締固め密度が実地盤より小さく、かつ地下水位が高いにもかかわらず、地震時変形量は小さく、この種の補強土壁の耐震性が高いことが確認できた。特に、施工時にはタイバーに緊張力を作用させて補強領域を拘束することが重要であることが分かった。また、排水補強パイプによるメンテナンスを想定したモデル実験では、排水効果による壁面近傍の水位低下効果によって、地震時の変形量を小さく抑えることができた。

研究成果の概要(英文)：A series of centrifugal shaking table tests were carried out to investigate the seismic performance of reinforced soil walls due to rainfall. In this study, several tests were conducted to estimate the effect of backfill density, installed drainage pipe and heavy rainfall. According to the results of centrifugal shaking table test, the following conclusions were obtained.

1) The seismic performance is high despite not only the smaller degree of compaction of backfill but also ground water rising at high level. 2) The appropriate construction to tight the tie-bar to generate the confining effect of reinforced region is important to maintain performance of multi anchor wall during earthquake. 3) The drainage pipes worked remarkably to prevent ground water rising. Thus, it maintain the seismic performance high level because it reduce the inertial force during earthquake.

研究分野：地盤工学

キーワード：地震 補強土 降雨浸透 模型実験

1. 研究開始当初の背景

補強土壁構造物は、柔軟性を有するために耐震性が高いと評価されてきた。このような耐震性が高い土構造物であっても、調査、設計、施工時のいずれかの時点での排水対策の不備が長期的に顕在化してきた中で地震動を受けると、修復不可能程度の大変形に至ることが報告されている。道路土工 擁壁工指針で明確に記述された通り、土構造物においても、性能設計が求められている中では、設計時に明示する性能が長期的に発揮出来るものであるかを考慮しなければならない。すなわち、土構造物の維持管理に至るまでのライフサイクルの中での性能を明示することが求められている。

土構造物の設計における降雨の作用については、排水工を適切に施工することを前提としていて、地下水位以下に設置される擁壁以外は、水圧の影響を考慮しなくてもよいとされている。一方で、補強土壁の被災例調査の中では、降雨により補強土壁が全体崩壊したとの報告もある。近年では、降雨浸透の影響に着目した土構造物の挙動に関する研究事例は少なくなく、排水工の機能低下の影響や排水処理の重要性を示した研究報告、降雨に起因した変状分析などがある。このようにして、補強土壁の降雨による安定性の低下が明らかになりつつあり、長期的に機耐震性能を維持するためには適切な排水工の設計・施工と維持が重要であると指摘されている。

ところで、2009年の東名高速道路牧之原SA付近の盛土崩壊は、地盤内の地下水が上昇しているところに駿河湾沖地震による地震動が作用したことが主要因であるとされている。先述の報告事例においても、降雨と地震の複合作用による補強土壁の被災事例がある。このような排水機能が十分でない構造物が降雨を受けている中で、さらに地震動を受ける現象は稀ではあるものの、補強土壁が普及して重要な交通ネットワークの一端を担っているのであれば、このような外力の影響は考慮しなければならないであろう。これまで、この種の複合作用を受ける土構造物の挙動に関しての報告があり、盛土の崩壊メカニズムの検証や排水機能の重要性が示されている。補強土壁に関しても、耐震性に関する水位の影響や排水工の効果に着目した降雨時安定性能に関する研究報告がある。これらの研究では、主として盛土内に地下水位が存在する場合を対象としている。山本らの報告では、盛土崩壊の誘因となる降雨形態を地盤内に浸透した雨水が地下水として上昇してくる継続型降雨と、地盤表層から飽和領域が内部に拡大していく衝撃型降雨に大別している。道路盛土に適用されるような補強土壁は、壁体が築造されても表層工の竣工までには時間を要する場合がある。このような場合、昨今の気候変動に起因するようなゲリラ豪雨により、地盤表層部に飽和領域が形成される可能性がある。さらには、長期的には、

補強材ジョイント部の腐食や盛土材流出、補強領域外的の変形に伴う補強材による拘束効果の低減、などの二次的な影響を考慮する必要もある。

2. 研究の目的

本研究では、降雨浸透を受ける補強土壁が地震時に被災するメカニズムを検証するために、裏込め地盤密度を極端に緩くした遠心力場浸透加振実験を実施した。また、補強土壁の長期的性能が低下した状態を想定して、継続型と衝撃型の二つのタイプの降雨浸透を受けるアンカー式補強土壁の地震時挙動を調べるために、一連の模型実験を実施した。衝撃型降雨を再現する場合は、補強材の拘束効果に着目し、その影響を調べた。さらに、構造物のメンテナンスにおいて、排水機能回復のために排水補強パイプを地盤中に挿入することをモデリングし、これが地震時挙動に与える影響を調べた。

3. 研究の方法

本研究における浸透流の影響を調べるSシリーズでは、遠心载荷中の模型地盤内の地下水を上昇させて地震動を付与する浸透加振実験を実施した。裏込め地盤の乾燥密度は、いずれのケースも過剰間隙水圧が崩壊挙動に与える影響を調べ地震時に被災するメカニズムを検証するために、道路土工で規定されている締固度(Dc=95%以上)よりも小さな値とした。豪雨の影響を調べるRシリーズでは、表層からの降雨浸透を受けている補強土壁の地震時挙動を調べる加振実験を実施した。このシリーズにおける裏込め地盤の締固め密度も実施工より小さいのは、変形挙動を詳細に観察するためである。また、降雨強度は現実的であるものの、降雨継続時間を長く設定しているのは、表層からの降雨浸透による飽和領域形成を再現するためである。

両実験シリーズともに、遠心力場における浸透現象に関する相似則(25)を考慮して、地盤材料の透水係数が50倍になるようなハイメトロース水溶液を用いた。

本研究で用いた補強土壁模型は縮尺1/50であり、実規模換算の壁高は8mである。図1

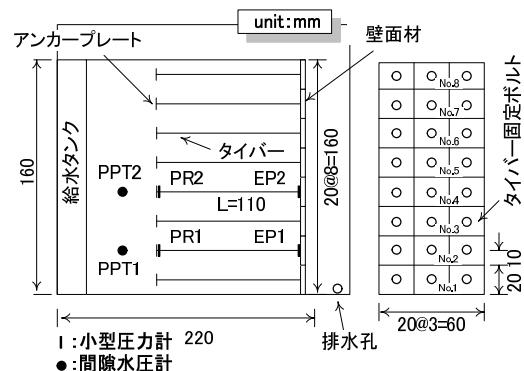


図1 模型地盤概要 (Sシリーズ)

に、S シリーズの模型地盤概要を示す。模型土槽の寸法は H210mm × W250mm × D60mm であり、前背面は実験中の模型地盤の挙動を詳細に観察できるようにアクリル板としている。模型地盤の背後には給水タンクを設置している。模型地盤は、乾燥状態の豊浦砂砂を用いて、タイバー設置層毎に所定の乾燥密度になるように空中落下法により裏込め地盤を作製したケースと、含水比を 10% に調節して湿潤締固め法を採用したケースの 2 種類を用意した。浸透実験中および加振実験中の模型地盤の変形を観察するために、各タイバー設置層に給水タンクから 20mm 毎にビーズを設置した。圧力計を貼付した壁面材およびアンカープレートは、下から 2 段目と 4 段目の補強土層に敷設した。このアンカープレートから給水タンク側に 30mm 離れた位置に間隙水圧計をそれぞれ設置している。また、S シリーズにおいては、壁面パネル同士を結合するためと裏込め材の流出防止のために、背後地盤側にセロファンフィルムを短冊状に貼付している。前背面のアクリル板との境界には、各壁面パネルのサイズに合わせてカットしたセロファンフィルムを貼付し、さらにシリコンオイルを塗布することで潤滑性を確保した。なお、本研究では地下水上昇による模型地盤の挙動を観察しやすくするために、あえて壁面パネルの排水処理は行っていない。

R シリーズにおいては、盛土材料に豊田産砂質土を用いた。含水比 10% に調整した試料をタイバー設置層毎に所定の乾燥密度になるように締め固めて模型地盤を作製した。拘束効果を適切に発揮させるケースでは、アンカープレートをピンセットで固定して締め固めた。締固め密度を最大乾燥密度に対して小さく設定したのは、降雨浸透に伴う変形挙動を詳細に観察するためである。なお、この試料の透水係数は $5.0 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ である。このシリーズの模型地盤概要を図 2 に示す。模型地盤表層は、遠心加速度が作用する半径

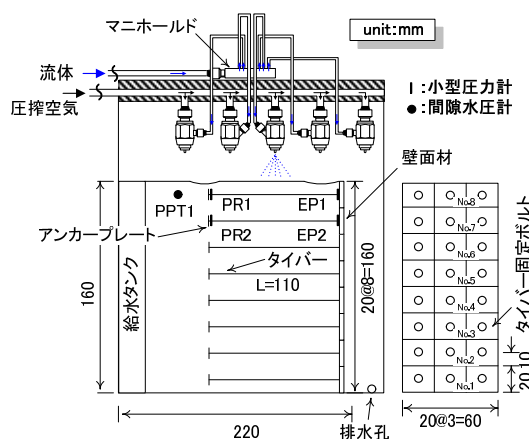


図 2 模型地盤概要 (R シリーズ)

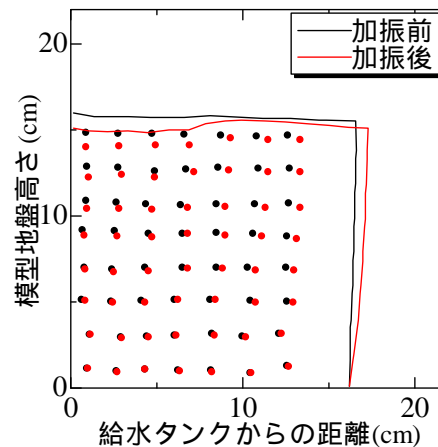
に併せて湾曲を設けるとともに、壁面材裏およびアンカープレート位置に雨水が浸透し

やすいように凹部を設けている。豪雨浸透中および加振中の壁面土圧、引抜き抵抗応力を計測するために、上部 2 段の補強土層にそれぞれ圧力計を貼付した補強部材を設置した。間隙水圧計は最上部のアンカープレートより給水タンク側に 30mm の位置に設置した。降雨装置は、2 流体ノズルを採用し、粘性流体の微霧化を可能にしている。

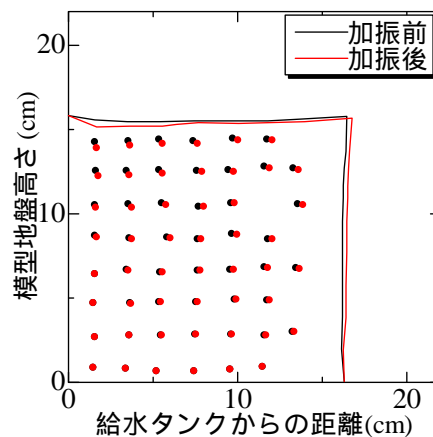
4. 研究成果

(1) 裏込め地盤の密度の影響

図 3 に浸透流シリーズの締固め度の違いによる結果を示す。これより、裏込め地盤の相対密度が 40% と極端に緩いにもかかわらず、壁面の倒れは、施工管理基準値をわずかに上回る程度であることが分かった。このことから、裏込め地盤内に地下水が存在していても、アンカー式補強土壁の地震時安定性は高いことが示された。



(相対密度 40%)



(相対密度 60%)

図 3 浸透加振による模型地盤の変形

(2) 地震時変形メカニズム

ところで、両ケースにおけるターゲットの水平変位量を比較し、図 4 に示す。これより、裏込め地盤の密度に関わらず、補強領域背後の水平変位量に対して、補強領域全体の変位量が大きいことと、補強領域内では支圧板前と壁面裏で変位量が同程度であることが指

摘できる。このことから、アンカー式補強土壁は、地震動を受けた場合に、補強領域が一体となって挙動することが明らかになった。これは、加振中の間隙水圧の時刻歴からも裏付けられた。すなわち、図5に示すように、相対密度が40,65%と密ではないにもかかわらず、加振中の補強領域背後の過剰間隙水圧は負を示している。このことから、補強領域が前方に変位したことに對して、背後地盤に引張力が生じたものと考えられる。

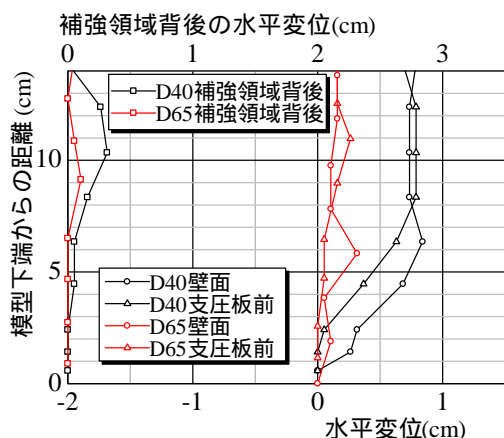


図4 ターゲットの水変位の比較

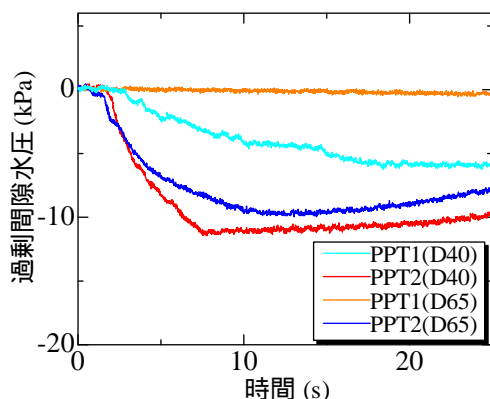


図5 加振中の間隙水圧の時刻歴

(3) 施工時の補強材緊張力の影響

裏込め地盤の相対密度は大きいものの、空中落下法により作製した場合は、タイバー敷設時に緊張力が働かないため、ターゲットの変位量は補強領域内で異なり、また下方に沈下する様子が観察された。このことから、施工時には、タイバーに緊張力を作用させることが重要であることが分かった。

(4) 排水工による耐震性向上の効果

排水補強パイプによるメンテナンスを想定したモデル実験では、排水効果による壁面近傍の水位低下効果によって、壁面土圧上昇を抑制することによって安定性が向上したこと、補強領域自体の自重増加の抑制に伴い地震時慣性力の増加を抑えられたことから、変形量が小さくなったものと考えられる。

ここで、排水補強パイプの長さが補強領域から背後地盤へ出ないような場合は、それ自体の補強効果よりも、地下水を低下させることによる地震時安定性の効果が顕著であった。

(5) 豪雨による雨水浸透時の耐震性

豪雨の影響を調べたところ、降雨浸透を受けている間に補強材力を発揮していなかったケースでは、加振直後には、引抜き抵抗応力がゼロであったものの、壁面パネルの変位に伴ってタイバーに緊張力が作用し、引抜き力を発揮していく様子が見られた。これに對して、補強材による拘束効果が適切に発揮されているケースでは、降雨浸透により飽和領域が形成されているにもかかわらず、補強材が適切に補強効果を発揮することで、降雨と地震動の複合作用を受けても大きな変形に至らないことを示した。

このように、表層から飽和領域が拡大するような豪雨浸透を受ける状況の中で地震動が作用しても、補強材の適切な敷設、施工により補強材力が確実に発揮されていれば、高い耐震性能を発揮することが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

M. Kobayashi, K. Miura, T. Konami, T. Hayashi, Seismic performance of multi-anchor wall with high ground water level, *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, 査読有, pp.871-876, 2016

M. Kobayashi, K. Miura, T. Konami, T. Hayashi and K. Suzuki, Seismic performance of multi-anchor wall with double-wall facing, *Japanese Geotechnical Society Special Publication Vol. 4(2016) No. 2*, 査読有, pp.9-12, 2016

H. Sato, M. Kobayashi, K. Miura, T. Konami, and T. Hayashi, Effectiveness of drainage pipe to improve seismic stability of multi-anchor wall, *Japanese Geotechnical Society Special Publication Vol. 4(2016) No. 2*, 査読有, pp. 13-16, 2016

Kobayashi, M., Miura, K. and Konami, T., Centrifugal model loading tests on reinforced soil retaining wall with ground water permeation, *The 6th Japan-Taiwan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfalls*, 査読有, pp. 103-104, 2014

〔学会発表〕(計 12 件)

鈴木恒太, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治,

林豪人, 形式の異なる両面アンカー式補強土壁の地震時挙動について, 第 51 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1561-1562, 2016

佐藤寛樹, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 林豪人, 排水パイプによる地下水低下が補強土壁の地震時安定性能に与える影響について, 第 51 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1567-1568, 2016

鈴木恒太, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 林豪人, 両面アンカー式補強土壁の地震時挙動に関する遠心力場加振実験, 第 71 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.259-260, 2016

佐藤寛樹, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 林豪人, 地下水位が高い状態にあるアンカー式補強土壁の地震時挙動について, 第 71 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.257-258, 2016

鈴木恒太, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 林豪人, 両面多数アンカーの補強材設置状況が地震時性能に及ぼす影響について, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.197-198, 2016

佐藤寛樹, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 林豪人, 排水機能を回復させた補強土壁の地震時安定性の向上について, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.199-200, 2016

小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 奥平早香, 桂川隼斗, 豪雨浸透を受けるアンカー式補強土壁の地震時挙動に関する研究, 第 50 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1679-1680, 2015

佐藤寛樹, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 赤川珠美, 地下水を有するアンカー式補強土壁の地震時挙動に関する遠心模型実験, 第 50 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1681-1682, 2015

奥平早香, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 桂川隼斗, 豪雨浸透を受けるアンカー式補強土壁の地震時挙動に関する研究, 平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.213-214, 2015

赤川珠美, 小林睦, 三浦均也, 小浪岳治, 地下水浸透を受けるアンカー式補強土壁の地震時挙動について, 平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.215-216, 2015

桂川隼斗, 小林睦, 伊藤慶, 三浦均也, 小浪岳治, 豪雨を受ける補強土壁の地震時挙

動に関する実験的研究, 第 69 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.15-16, 2014

伊藤慶, 小林睦, 桂川隼斗, 三浦均也, 小浪岳治, 浸透流を受けるアンカー式補強土壁の地震時挙動に関する遠心模型実験, 第 69 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.665-666, 2014

〔図書〕(計 1 件)

M. Kobayashi, K. Miura and T. Konami, Centrifugal model loading tests on reinforced soil retaining wall with groundwater permeation, Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfalls, Chapter52, pp.569-583, 2016

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 睦 (KOBAYASHI, Makoto)
豊田工業高等専門学校・環境都市工学科・
准教授
研究者番号: 30390462