

九州における自然災害による石積ブロック擁壁 の崩壊現地調査と復旧対策のための模型実験

INVESTIGATION OF MASONRY RETAINING WALL DAMAGED BY NATURAL
DISASTER IN NORTHERN KYUSHU AND ITS COUNTERMEASURE

平 瑞樹¹・山本健太郎²・永川勝久³

Mizuki HIRA, Kentaro YAMAMOTO and Katsuhisa NAGAKAWA

¹ 鹿児島大学農学部 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24)

E-mail: hira@agri.kagoshima-u.ac.jp

² 西日本工業大学工学部 (〒800-0344 福岡県京都郡苅田町新津 1-11)

E-mail: kyama@nishitech.ac.jp

³ 基礎地盤コンサルタンツ (株) 関西支社 (〒564-0051 大阪府吹田市豊津町 12-32)

E-mail: nagakawa.katsuhisa@kiso.co.jp

Key Words: masonry retaining wall, torrential rain, sediment disasters, earth pressure

1. はじめに

河川の護岸や棚田地域に存在する石積み擁壁は、未曾有の豪雨や大きな地震発生時に崩壊を起こす場合があり、コンクリートブロック擁壁と比べ、材料の形状が多種多様で、個々が連結していないため擁壁前面へ孕み出す現象が見受けられる。石積み構造物などの離散体ブロックを積み上げた擁壁が外力を受けて変形を起こす場合、擁壁の背面地盤にすべり面が発生する。ところが、微小変形から破壊に至るまでの地盤内の変形性状を現場において観察することは困難である。

本研究では、平成28年熊本地震の農業・農村の被害状況、平成29年九州北部豪雨災害の現場調査、平成29年5月大分県豊後大野市で発生した農地地割れ等、九州で発生した中山間地域での被害調査を実施した。さらに、調査結果に基づき、擁壁の転倒や斜面移動による崩壊地盤の安定性を評価するために、アルミ棒積層体を砂地盤と仮定した模型実験装置を用いて、ブロック擁壁が孕み出す場合を想定し、補強材を敷設したアルミ積層体地盤の変形性状を視覚的に観察する実験を試みた。加えて、ブロック擁壁

の崩壊に影響を及ぼす補強材の位置や敷設幅、材質の違いについて検討を行った。

2. 熊本地震による被害

平成28年4月14日21時26分、熊本地方を震源とするM6.5(最大震度7)の地震が発生、同4月16日1時25分には前震を上回るM7.3の大地震が発生した。熊本県、大分県、福岡県、佐賀県、長崎県、宮崎県で震度5強以上が観測された。その後も約2



写真-1 地震による熊本城の石垣崩壊

千回にも及ぶ震度1以上の余震が続き、住宅の激しい揺れや倒壊の恐れに対する住民の不安が続き、避難期間は長期化した。震源は、布田川断層帯、近接する日奈久断層帯に分布が移動することが懸念された。4月25日には激甚災害に指定され、周辺自治体においても復旧活動が続けられている。熊本市のシンボルとも言える熊本城の石垣も大きな被害を受けた(写真-1)。



写真-2 地震による擁壁の崩壊 (益城町)

3. 熊本地震による農林水産関係の被害

熊本県内の農林水産関係の被害額は1,487億円で、平成11年台風18号(約800億円)以来、過去最大の被害額である。内訳は、農業被害が1,048億円、林務関係が406億円、水産関係が33億円となっている。表-1には、被害額の大きい農地・農業用施設等の被害箇所数と被害額を示す。農地・農業用施設に次いで、阿蘇地域周辺での畜舎・農舎、共同利用施設の倒壊等畜産関係の被害が顕著である。

農地関係では、水田の液状化、法面の崩壊、地盤の亀裂とクラック、擁壁の崩壊(写真-2)、地盤沈下と隆起、牧場草地が被害を受けている。農業用施設では、ため池の堤体損傷と沈下、農道の路面沈下(熊本市、益城町秋津地区)・亀裂(宇城市不知火中腹地区)、広域農道(益城町、御船町、甲佐町)の被害が発生している。熊本県では、新たな被害を防ぐための緊急対策として、ブルーシートによるため池被災部の保護や仮設ポンプによる放流、被害箇所監視用ライブカメラを設置して、継続監視を行っており、営農の継続や再開に向けた応急復旧を進めている。さらに農家の方々が自ら取り組む復旧活動に支援している。また、稲作に必要な農業用水施設の応急復

旧、代替水源の確保、作物転換支援にも推進している。農地・農業用施設は平成30年までに復旧を完了する予定であり、原形復旧のみならず、将来を見据えた大区画化等の農地集積のための基盤整備が必要で、農村地域の方々の合意形成を諮りながら事業計画が進められることが重要である。西原村、大津町でのため池の被害、熊本市のため池堤体沈下、宇城市鑑ヶ下ため池の堤体損傷など老朽化したため池の地震による被害が大きいため、築堤年の古いため池では老朽化もあり、地震による強度低下が懸念される。今後も豪雨等による被害拡大を防ぐためにも点検調査が急がれる。

4. 九州豪雨北部災害による被害調査

平成29年7月5日梅雨前線を刺激し、線状降水帯が形成、維持されたため、朝倉市、東峰村、日田市の狭い領域で猛烈な降雨となった。500ミリを超える激しい雨はこれまでの観測記録を更新した。福岡県、大分県で死者40名、行方不明者2名の人的被

表-1 農地・農業用施設等の被害箇所と被害額 (熊本県農林水産部資料)

熊本地震(2016/9/5 現在)		被害箇所数	被害額(億円)	備考
農地	水田	7,674	218	法面崩壊、亀裂、クラック、液状化、牧野等
	畑	3,498	54	
計		11,172	272	
農業用施設等	農業用施設	4,970	392	ため池、用排水路、農道等 農業集落排水施設等 海岸堤防、沈下等
	生活関連施設	3	3	
	海岸施設	70	35	
計		5,043	430	
農地・農業用施設被害 合計		16,215	702	推計額

害となった。福岡県や大分県では、平成 24 年 7 月にも九州北部豪雨で被災を受けており、局所的に激しい雨が降る傾向が続いているため、斜面の崩壊による大量の流木や土砂が河川や水田、ため池に流れ込

み被害を大きくしている。写真-3～写真-6 は、8 月 17 日に実施した朝倉市の現地調査の状況である。

5. 大分県豊後大野市の農地地割れ

豊後大野市朝地町綿田地区で平成 29 年 5 月 16 日に地割れが見つかった。豊後大野市は 22 日、地割れは東西 300 メートル、南北 400 メートルの範囲に発生し、81 カ所で確認されたと発表した（写真-7）。豊後大野市総務課の弓氏の報告によると、2017 年に耕作できなかった水田の面積は 14.35ha（約 90 枚）で、対象戸数は 15 戸とのことであった。一帯は 1964 年にも長さ 100 メートル、幅 80 メートルの地すべりが発生しており、地下水面が高くなると、地すべりの危険性が高い地域と推測される。大分県は 26 日に亀裂幅などを常時観測する機器を 5 カ所に設置し、ボーリングで地下水の状況を調べる予定である。総務課によると、付近の 3 世帯 10 人が避難しているとのことであった。周辺の水田への通水を止めたため、3.2 ヘクタールで稲作ができない状態になっていた。階段状に連なる水田、コンクリートの路面や法面に亀裂が走っており、陥没で段差が生じ、道路が隆起したところもある（写真 8）。段差は、最初に民家の敷地で見つかり、最も大きいものは、長さ 80 メートル、幅 30 センチ、深さ 1.5 メートルに及んだ。



写真-3 校舎基礎下の剥きだしの支持杭



写真-4 中学校横の護岸の崩壊（朝倉市）



写真-5 ため池堤体の流出（朝倉市）



写真-6 ため池護岸の崩壊（朝倉市）



写真-7 豊後大野市の地割れ現場



写真-8 地すべりにより屈曲した農道

大分県は、伸縮計と傾斜計を設置して、高精度で地すべりの観測を継続中である。調査では、地すべりの規模を把握するために、UAV（ドローン）による空撮を行った。現地状況の詳細が明らかでない場合、短時間で地盤災害調査に有効な手法である。画像-1に空撮した画像を合成したものを示す。また、画像-2はオルソデータにした後、タイル画像で表示したもので、地すべり区域の状況が視覚的に判断できる。



画像-1 朝地町綿田の棚田地域の合成画像



画像-2 地すべり崩壊区域の把握

6. 室内模型実験の概要

今回の現地調査より、石積み擁壁やブロック積み擁壁の崩壊、また急な法面の崩壊対策に着目した。ここでは、石積みブロック擁壁の崩壊メカニズムの可視化、崩壊現象を把握し、その補強対策を検討するために、アルミ棒積層体を用いた模型実験を実施した。実験装置内のモデル地盤は、長さ 50mm、直径 1.6mm と 3.0mm の 2 種類のアルミニウム製の円柱棒を重量比 3 : 2 で混合し、砂地盤を想定した。図-1 に石積み擁壁実験装置の概略図を示す。モデル地盤のブロック擁壁全長を 232mm (58mm×4 個) に設定し、勾配を設けることで、地盤の高さ (H) が決定される。また、農業機械や構造物の基礎を想定し、上方から荷重板 (フーチング) を一定の速度で操作して荷重を加えることで、変位を与えた。ブロックの水平変位量は、非接触型レーザー変位計 (精度 0.003mm) を設置して、荷重がブロックに直接加わ

らないように測定した。今回は、ブロック体が孕み出しを起す現象を模型実験で評価することにしたため、上下のブロックは固定して、地盤上端から 2 番目、3 番目中央部 2 個のブロックの変位量を計測した。荷重計と変位計はアンプで増幅され、デジタル表示される。ブロック擁壁の変状やすべり面の位置などの崩壊メカニズムの可視化のためにデジタルカメラで一定間隔に撮影した。

7. 石積み擁壁を想定した室内実験

実験に使用したブロック体が転倒しないようにアルミ棒を所定の高さまで積み上げ、均等に突き固めながら順次ブロックを設置した。地盤上部から 1.0mm/min の速度でフーチング載荷し、0.5mm 毎に水平荷重、レーザー変位計による水平変位を記録し、1.0mm 毎にデジタルカメラで撮影した。また、垂直に載荷するフーチングが 50mm 変位するか、レーザー変位計の許容測定範囲である 30mm を超えた時点で実験終了とし、せん断面の形状、ブロック体の変形状況を記録した。実験に使用したブロック体の大きさは幅 50mm、高さ 58mm、奥行き 50mm、平均質量 235.5g、平均密度は 1.62g/cm³ である。

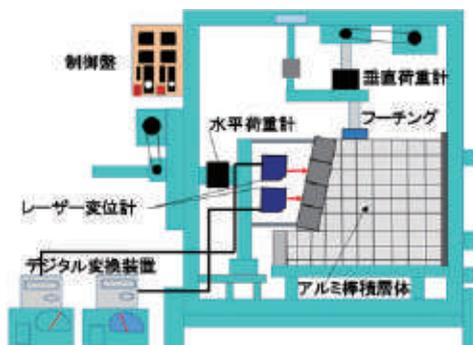


図-1 石積擁壁実験装置の概略図

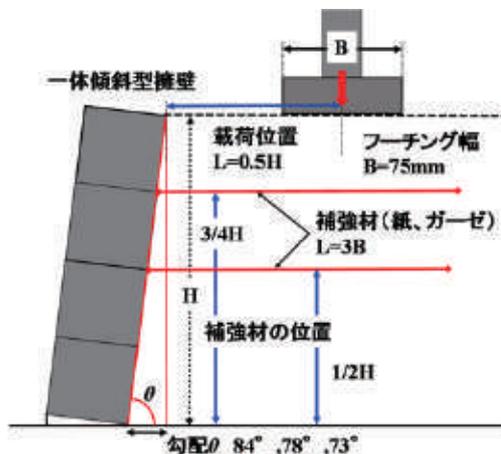


図-2 荷重位置と補強材の配置図

図-2に示すように、ブロック一体傾斜型の擁壁モデルを設定して、現地の石積みブロック擁壁や急な法面を想定した1分勾配(84°)、2分勾配(78°)、3分勾配(73°)の計3種類の傾斜角度とした。さらに、垂直荷重の荷重の位置(L)を擁壁から擁壁高さ(H)の0.5倍(116mm)、また、荷重をかけるフーチング幅(B)を75mmで実施した。補強材料は、紙とガーゼの2種類を選択し、フーチング幅の3倍の長さとした。紙(PPC用紙)の引張強さは4.20kN/m、ガーゼの引張強さ1.79kN/mである(以下では、紙を補強材p、ガーゼを補強材gと記載して示す)。初期摩擦を考慮して、補強材には幾つかのアルミ棒を貼り付けて実験を行った。また各ブロック同士にも摩擦が存在する。さらに、地盤内の変位やせん断面の位置を目視でも観察できるように、アルミ棒積層体の表面に20×20mmの正方形メッシュをマジックペンで描いた。

8. 室内実験と考察

8-1 補強材料の違いによる比較

補強材料の有無による一体傾斜型擁壁のブロックの前面への変位量(孕み出し量)を比較するために、地盤上端から2番目と3番目のブロックに設置したレーザー変位計による変位量(平均値)として、地盤の垂直変位量の関係で示した(図-3)。地盤の垂直変位量が小さい段階では勾配による違いは顕著では無かったが、変位量が大きくなると違いが表れた。変位量が大きくなるとアルミ地盤が再配列を起こすため、不規則な性状を繰り返す。一方、図-4に示すように、地盤から1/2Hの位置に補強材pを敷設するとブロックの孕み出し量を抑えていることがわかる。図-5と図-6には、補強材の位置の違いによるブロックの変位量(平均値)と地盤の垂直変位量

の実験結果を示した。

図-5の1分勾配の一体傾斜型擁壁において、補強材pを地盤から3/4Hの位置と1/2Hに位置、さらに両方に敷設した結果、変位量の小さい段階での補強効果は、補強材pでは2枚敷設した方が孕み出し量をかなり抑えることができた。ただし、垂直変位量が大きくなると地盤の崩壊やすべり面が発生するため、ブロックの変位量が乱れる傾向がうかがえた。今回の場合、補強材gを使用した場合、補強材pを使用した場合と異なる傾向となった。孕み出し量が抑えられる補強材の敷設方法が存在することが考えられるため、詳細な考察のためには、今後も実験データの蓄積が必要である。

8-2 地盤の変形と補強効果

補強材を敷設した地盤の可視画像から地盤の変形状況とすべり面の位置を把握した。図-7は補強材pを2枚敷設した画像である。補強材pが1/2Hの下側では変形していないことから、補強材pが2枚で変形を抑制していることがわかる。図-8は補強材g

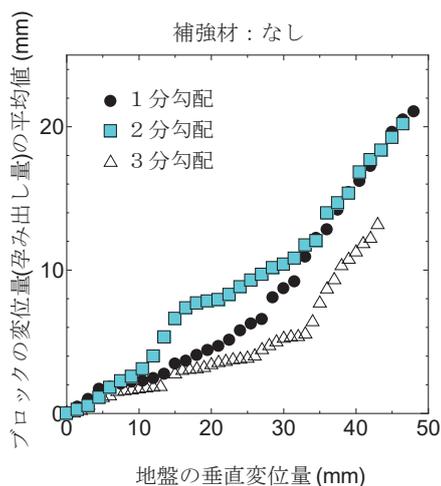


図-3 地盤の垂直変位とブロック変位

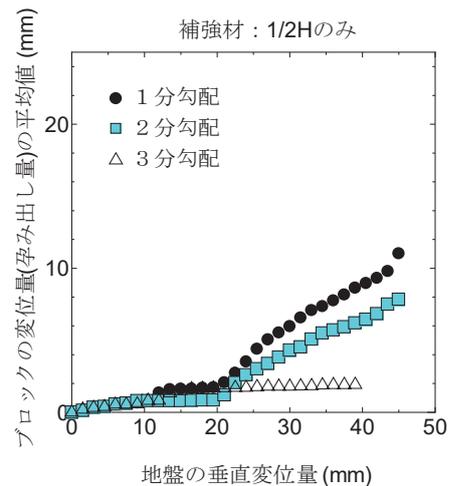


図-4 地盤の垂直変位とブロック変位

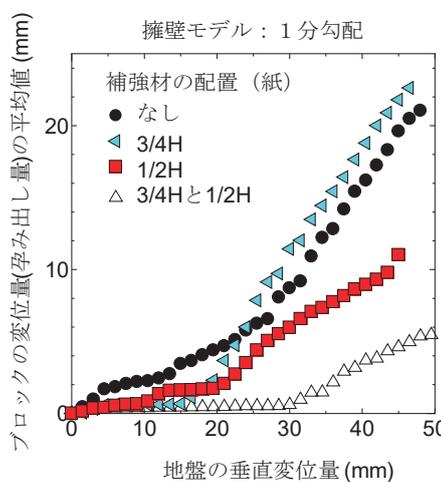


図-5 補強材が紙の場合の変位

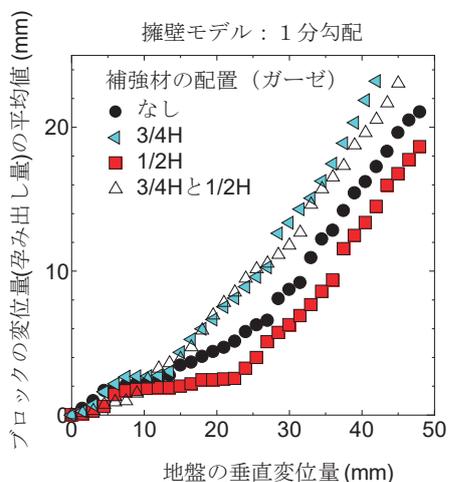


図-6 補強材がガーゼの場合の変位

が2枚の場合を示す。擁壁のブロックが孕み出していることが観察できる。図中には、実験終了時のせん断によるすべり面の形状を実線で加筆した。上端と下端のブロックは孕み出しを起こさせるために固定したため変位は無いが、補強材 g の場合は、地盤の圧縮からせん断が発生した。以上のことから、剛性の異なる2種類の補強材を用いた実験結果より、補強材 p の引張強さ (4.20kN/m) が補強材 g の引張強さ (1.79kN/m) の2倍以上あるため上部から伝わる圧力を抑制し、下方がほとんど変位していないことが画像による目視からも把握できた。補強材が存在すると地盤崩壊は上方で起こり、下方に変形が起こらないため、擁壁ブロックが大きく前面へ孕み出す現象が抑えられたと考えられる。



図-7 地盤の変形 (2枚の補強材 p)



図-8 地盤の変形 (2枚の補強材 g)

9. おわりに

石積み擁壁を想定したブロック擁壁の孕み出し量を抑えるために、補強材の種類と敷設位置について実験的に検討した。一体傾斜型の擁壁モデルにおいて、補強材の無い場合は、勾配が緩やかなほど変位量が小さくなる。また、補強材を敷設することで垂

直変位が抑えられたことから、上方への変位量も小さくなり、ブロックの全面への孕み出し量も小さくなる現象が可視画像からも観察できた。さらに補強材の種類においては、補強材 g (ガーゼ) より引張強さの大きい補強材 p (紙) を利用した方が地盤の変形を抑えることができ、下方への圧力を伝え難くすることで、孕み出し現象を抑制することができた。

一方、引張強さの弱い補強材 g (ガーゼ) においては、地盤が押し潰されることでせん断破壊が発生して、ブロックが前面方向へ変位することが示された。石積み擁壁の設計においては、石積みの勾配を考慮することで変形の影響範囲をより小さくすることが可能である。ところが、宅地や農地造成においては、広い土地面積を確保する必要がある場合、擁壁の傾斜が急勾配になるため、補強材を敷設することは、地盤の崩壊や擁壁の前面への孕み出しを抑制するのに有効である。また、室内試験より、引張強さの異なる材料の選択が地盤の変形量を抑え、擁壁ブロックの前面への孕み出し量を最小に抑えられることが室内実験から明らかとなった。以上の結果を地盤崩壊の対策に役立てたいところである。

謝辞：大分県豊後大野市警戒区域立入許可申請に際しては、豊後大野市総務課地域安全係 弓 祐也氏、福岡県朝倉農林事務所農村整備第一課の野村賢太郎氏には、事務所管内の被災現場への現地調査でお世話になりました。ここに、両氏および関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 熊本県農林水産部農村振興局：平成 28 年熊本地震 ～農地・農業用施設の復旧・復興について～，pp.1-12，2016.
- 2) 小林励司，地頭菌隆，平 瑞樹：鹿児島での地震災害軽減につなげる 2016 年地震関連の調査研究，鹿児島大学地域防災教育研究センター平成 28 年度報告書，pp.35-40，2017.
- 3) 平 瑞樹，鎌田時空，山本健太郎，永川勝久：アルミ棒積層体を用いたブロック積み擁壁の孕み出しに伴う地盤の補強実験，第 52 回地盤工学研究発表会講演集，pp.1337-1338，2017.

(2018. 5. 18 受付)