

九州北部豪雨災害時の護岸流失による農地被害調査と石積み擁壁の復旧工法の検討

INVESTIGATION OF FARMLAND DISASTERS BY DAMAGED

BANK PROTECTION DUE TO TORRENTIAL RAIN IN NORTHERN KYUSHU

AND STUDY ON RECONSTRUCTION OF MASONRY RETAINING WALL

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鹿児島大学大学院理工学研究科（〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40）

E-mail: yamaken@oce.kagoshima-u.ac.jp

³基礎地盤コンサツタンツ(株)（〒870-0033 大分市千代町1-2-5）

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

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

1. はじめに

平成24年7月11日から14日、福岡県、大分県、熊本県、佐賀県では、記録的な豪雨により、各県で多くの死者を出す大災害が発生した。災害から1年が経過した福岡県と大分県境、熊本県阿蘇市の被災した現場を調査し、土砂災害後の斜面崩壊の復旧状況と農地災害現場の対策工の進行状況について調査した。さらに、河川の護岸が流失したことにより、段々畠や水田の石積み擁壁も同時に崩壊している現場において、その再建のための復旧工法を検討するための石積み擁壁の安定条件について検討を加えた。

2. 九州北部豪雨災害の特徴

北部九州の山間地域で記録的な豪雨をもたらした「平成24年7月九州北部豪雨災害」では、11日に朝鮮半島に停滞していた梅雨前線が、12日朝から対馬海峡まで南下した。東シナ海から暖かく湿った空気が流入し、大気の状態が不安定になったために、

発達した雨雲が線上に連なり次々に流れ込んだ。熊本県の阿蘇市阿蘇乙姫では、午前1時から8時まで492.5mmを観測する豪雨となった。その後、梅雨前線が北上したが、13日から佐賀県、福岡県を中心に、14日は福岡県と大分県を中心に再び大雨が中山間地域を襲った。福岡県の八女市黒木では、14日24時間雨量が486mmに達する観測開始の1976年以来1位の記録的な降水量となった。

3. 九州北部山間地域の降雨状況

7月11～14日までの総降水量が、熊本県阿蘇乙姫で816.5mm(図-1)、八女市黒木で649mm(図-2)、大分県日田市日田で462ミリ、佐賀県佐賀市川副で375mmと4県20地点で7月の月平均値を越える降水量を記録した。うきは市浮羽町では、田竈観測所で72時間降水量が630mm、葛籠観測所で最大24時間雨量478mm、最大時間雨量が78mmを記録した。図-3に土石流の発生したうきは市葛籠観測所の雨量データを11日から積算した総雨量で示した。

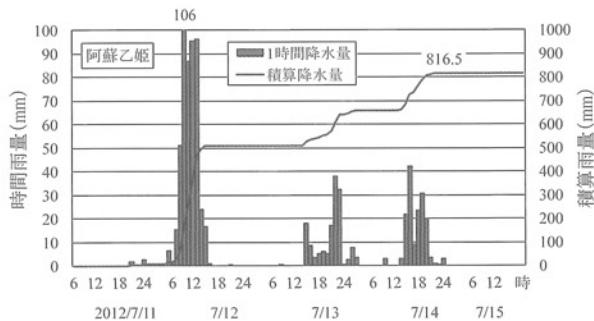


図-1 観測雨量（熊本県阿蘇市阿蘇乙姫）

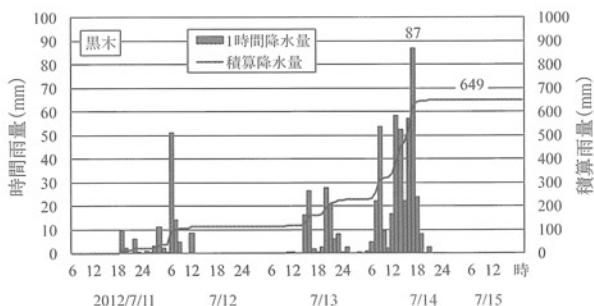


図-2 観測雨量（福岡県八女市黒木）

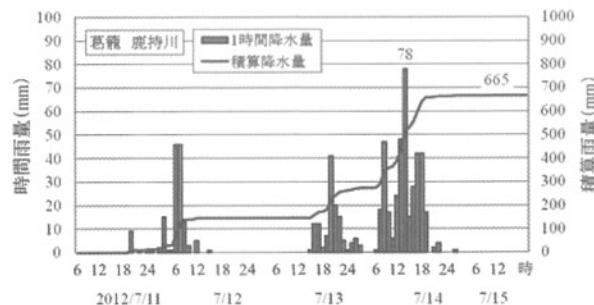


図-3 観測雨量（福岡県うきは市葛籠）

4. 福岡県つづら棚田の保全と復旧対策

図-4 のうきは市葛籠地区の被災前の集落数は、被災前は 5 世帯 17 人が居住していたが、被災後は建物の崩壊等が原因で 2 世帯 4 人が生活している。本地區は、農林水産省が選定する「日本棚田百選」に選定された九州でも有名な農村景観の保全地区で、6.0ha, 300 枚の棚田が存在する。現在でも 8 世帯の農家が 4.6ha, 134 組 200 人が棚田オーナー制度で 0.3ha (10 枚), 任意団体「棚田を守る会」の 34 名が 1.1ha の農地を利用している。耕作放棄地はほとんど無く、約 9 割が水田で、その他ブルーベリーや栗、果樹を栽培している。



図-4 調査位置図（福岡県）

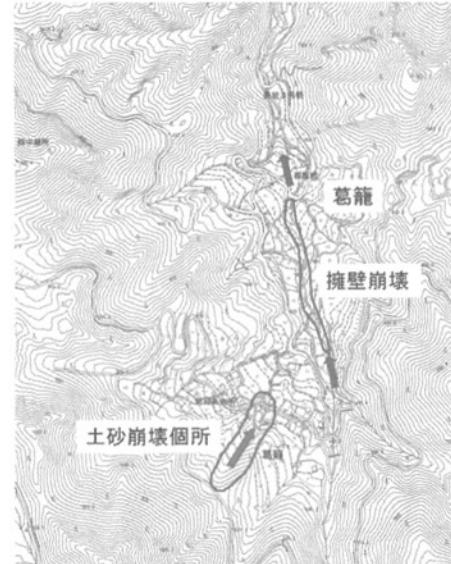


図-5 土砂崩壊と擁壁崩壊位置図（葛籠）

(矢印は土砂の流れを示す)

うきは市葛籠では、河川の増水で棚田石積みの擁壁が崩壊し、流失している（図-5）。石積みの復旧においては、急峻な地形のため、周囲の既存の石積みを保護しながらの仮設道路の敷設が課題となっている。うきは市災害復旧工事の仕様書によると、環境配慮と使用材料、施工について特記事項が設けられている。環境や景観に配慮した工事が求められる地区であり、施工にあたっては監督員と十分に協議した上で適切に現場管理を実践する仕様になっている。また、使用する擁壁の石材については、現地採取した玉石とし、直徑は 250~500mm 程度、形状は概ね卵型のものを用いて、表面が粗雑で、極端に扁平なものや細長いものは避けるように規定されている。現場での玉石採取が困難な場合は、監督員の指示で

調達する指針が示されている。施工にあたっては、景観保護の視点から玉石積みの大小の形の組み合せに十分留意し、目地は深目地仕上げにして、コンクリートがはみ出さないように留意し、積み石に付着した場合は取り除く。既存の石積みの破損の場合、報告が義務付けられ、石積み擁壁を農業遺産として保全する対策が講じられている。

写真-1、写真-2は、葛籠の土砂崩壊地の復旧前後の状況である。林道直下の山林から下方に山崩れが発生し、農地を埋め尽くした。**写真-3、写真-4**は上流側からの写真で、収穫前の稲穂が青々と茂っており、家屋も被災したが、現在建て替えられている。本地区では、今回の土砂災害が原因で、8世帯から2世帯の住民が生活している。**写真-5～7**は、耳納峠を隔てた八女市星野村側の被害状況である（図-4）。お茶の栽培で有名な地域であり、山間部の段々畑で生産される茶畑が甚大な被害を受けた。

5. 熊本県阿蘇盆地における現況調査

平成24年7月12日に発生した熊本広域大水害により、阿蘇地域の農林業は大きな損害を受けた。阿蘇地域振興局の担当者より、土砂災害による農地埋没、洪水で浸水した農地の復旧状況(図-6)について



写真-1 土砂崩壊直後（平成 24 年 7 月）



写真-2 葛籠地区の現況（平成 25 年 7 月）

詳細な説明を受けた。**写真-8～10**は調査を行った阿蘇市の現況写真の一部である。黒川の氾濫や外輪山の崩壊で、土砂（60万m³）や流木が農地を埋め、用水路や取水堰等の農業用施設が損壊した。福岡県と異なり、被災農地の規模が大きいため、熊本県が主体となり 490ha の農地等災害復旧事業を行っている。

阿蘇外輪山の土砂崩壊により農地に流入した土砂を活用し、農地の基盤に剥き込むことで、嵩上げ工事が実施されている。阿蘇山の火山灰であるクロボク土が主であるため、排水不良の土壤では、田面を高く嵩上げして、排水を促すことで、長期の湛水防止が可能になる。今回の事業は、土砂撤去の費用削減と有効利用、それと同時に湿田の乾田化が図られた。さらに、排水促進のために、間伐材を利用した農地基盤内への暗渠敷設工事が平成26年3月中旬まで実施された。「熊本広域水害からの復旧・復興プラン」によると、嵩上げ等の工法が将来の地域農業の発展に寄与するように、農家の意見と整備方法の合意形成、農地や水路の整備、圃場の大区画化や担い手への農地集積を図る創造的な復興を進めていることからも、農林業を主な産業とする地区にとって、自然災害の発生による土地財産を守るために注目すべき合理的な手法が進められている。現在、原形復旧を実施する農地からの土砂撤去は終了しているが、



写真-3 上流側からの崩壊（平成 24 年 7 月）



写真-4 葛籠の現況（平成 25 年 7 月）



写真-5 土石流による茶畠埋没（八女市）



写真-6 護岸流失による擁壁崩壊（八女市）



写真-7 山林崩壊による水田埋没

約 24ha の未整備地区では、中山間事業による区画整理を行う予定になっている。

阿蘇市三野地区（16ha）、手野地区（26ha）、山田地区（7ha）では、基盤の嵩上げ工事が進められていた。阿蘇谷では、揚水ポンプを利用した取水が多いため、用水源の確保においては、河川の増水によるポンプ施設への損壊が甚大で、電源確保やコスト面も今後の課題となっている。優良農地が広がる阿蘇谷の稻作と農村景観の保全、世界農業遺産に向けた取り組みも期待されるため、水害に強い基盤整備や

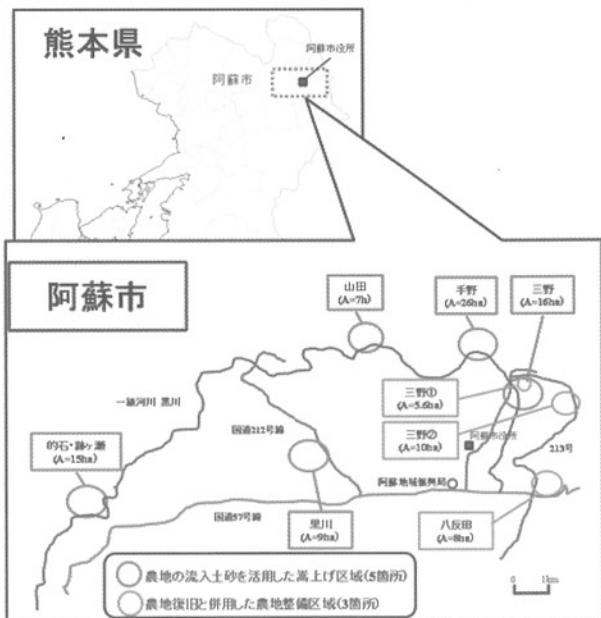


図-6 農地復旧事業の状況（阿蘇市）

用・排水施設整備が急務である。

表-1は、福岡県朝倉農林、筑後農林、熊本県阿蘇市、大分県のとりまとめた農地・農業用施設の被害状況を示す。未曾有の雨水により、流失した土砂が農地を埋め、さらには、河川の増水による施設被害が甚大であったことがわかる。特に、阿蘇の水田の被害個所数、大分県域の農業用水路、農道の被害個所数が多い。

表-1 農地・農業用施設の被害

農林事務所別(7/11-7/14)		朝倉	八女	阿蘇	大分
農 地	水田（個所） (ha)	169 35.89	152 39.85	10,298 -	5,804 1,535.13
	畑（個所） (ha)	205 26.47	249 47.59	1,661 -	780 191.54
農業用施設 (個数)	道路	71	82	650	1,020
	水路	118	160	725	1,779
	頭首工	68	41	32	275
	橋梁	6	0	7	41
	ため池	6	4	0	19
	揚水機	7	6	94	20
	農地保全	0	2	0	0
	施設合計	276	295	1,508	3,154

6. 石積み擁壁の景観に配慮した復旧方法

近年、棚田、茶畠や柑橘等の段々畠の広がる農村地域は、伝統的・自然的景観を有し、食料生産の場であると同時に、緑のダムとしての水資源涵養や国土保全、洪水防止等の多面的機能が発揮され、さらに地域づくりのための活用方法が模索されている。特に精巧で美しい石積み擁壁は、農山村地域の景観の一部として重要な構成要素となっている。ところが、石積み擁壁の崩壊個所が、コンクリートブロックで部分的に改修されていることが少なくない。土



写真-8 阿蘇谷の斜面復旧工事



写真-9 嵩上げ・法面工事（阿蘇市山田地区）



写真-10 河床掘削の浚渫工事(阿蘇市黒川)

地所有者の経済的負担、過疎化や高齢化にともなう後継者不足、石工等の土木施工技術者の不足も深刻である。先人達が守り受け継いできた文化的な遺産でもあり、永年修復を繰返しながら利用してきたことを考慮すると、石工等の経験による技術面を補う安定計算や修復技術、保全管理マニュアルの整備等を検討しておくことが重要である。

ここでは、石積み擁壁でできた棚田や斜面、河川護岸等を復旧する目的で、力学的手法に基づく擁壁の安定条件や計算方法について考察する。石積み擁壁の模試図と石積み擁壁の断面図をそれぞれ図-7と図-8に示した。

崩壊した棚田の復旧対策において、災害に強く、景観上美しい地域づくりのため、恒久的な防災対策

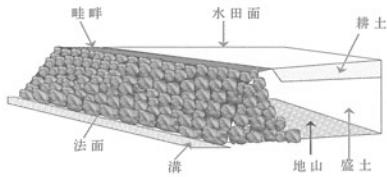


図-7 石積み擁壁の模式図

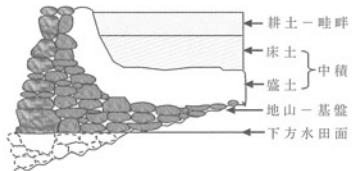


図-8 石積み擁壁の断面図

を柱とする地域振興が求められている。しかし、整備や復旧方法において、いくつか問題点が指摘されており、その一つに現地石材を利用した擁壁の安定性評価がある。中山間地域に広く分布する棚田の法面には、現地の自然石を積み上げた「野面積み」が多く用いられている。これは、盛土の侵食を抑制し、有限である土地面積を有効利用するための元来の手法である。被災現場の住民、関係者も可能な限りこの施工法による復旧を望んでいることが多い。

盛土斜面では降雨の際に土壤侵食が起り易く、棚田斜面の安定性評価についてはいくつか問題点も指摘されている。そこで、土の侵食性も視野に入れた石積み擁壁の必要性も検討しておく必要がある。また、自然石積み擁壁の安定性については、土と構造物(擁壁)の相互作用と構造物が土から受ける圧力、土中に発生している土圧についても考慮することが重要である。

7. 石積み擁壁の安定性評価

石材やコンクリートブロック等を組み合わせる組積擁壁の安定計算の手法としては、示力線法が合理的である。自然石積み擁壁の場合には、石材面や控え長などの形状・寸法が揃っていないため、数理的な計算を行っても正確な転倒に対する評価は難しいが、ここでは、示力線法に基づいた擁壁の安定性を検討する。クーロンの土圧理論は、壁面と土の摩擦を考慮することができ、壁面や地表面が傾斜してい

る場合でも土圧が求められることから、汎用性の高いクーロンの土圧係数を用いる。主働土圧係数は(1)式となる。

$$K_A = \frac{\sin^2(\theta-\phi)}{\sin^2\theta \sin(\theta+\delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-i)}{\sin(\theta-i)\sin(\theta+\delta)}} \right]^2} \quad \cdots (1)$$

θ : 擁壁が水平面となす角, i : 地表面が水平となす角, ϕ : 土の内部摩擦角, δ : 壁面摩擦角 ($2/3\phi$)

示力線法は、石積み擁壁の天端から任意の深さ y での水平断面を考え、この断面より上方の主働土圧と擁壁自重との合力 R の作用線が、この水平断面との交点を連ねてできる線の位置によって、転倒に対する安定性を評価する。

図-9に示すように擁壁高さの示力線の位置は(2)式で与えられる。擁壁断面の $1/3$ であるミドルサードまでの位置は、(3)式で示され、先端位置の転倒に対して、 $X' < X_h$ の場合を安全側と判定する。

$$X_h = \frac{K_A \cdot \gamma}{6\gamma_b \cdot b \cdot \cot \theta_0} H^2 + \left(\frac{K_A \cdot q_w \cdot \frac{\sin \theta}{\sin(\theta+i)}}{2\gamma_b \cdot b \cdot \cos ec \theta_0} + \frac{\cot \theta_0}{2} \right) H \quad \cdots (2)$$

$$X' = H \cdot \cot \theta_0 + \frac{b \cdot \cos ec \theta_0}{6} \quad \cdots \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここに、 b : 壁体幅, γ : 土の単位体積重量, γ_b : 壁体の単位体積重量, q_w は盛土荷重の換算等分布荷重である。

図-10に示力線法による擁壁高さの値を示し、転倒するか否かの限界高さを評価した。ここでは、過去に調査した鹿児島県と熊本県の材料の物性値を適用して示した。特に、限界擁壁高さが得られることから、擁壁の転倒に対する安定性の検討が容易にできる。今回の調査で採取した石材の密度や物性値を計算に用い、擁壁高さと勾配の関係を調べ、石積み擁壁復旧のための安定性評価を検討する予定である。

8. おわりに

筆者らは、福岡と大分県境の中山間地域の被災地域の現況および熊本県阿蘇盆地の農地・農業用施設の大水害後の復旧状況を現場の技術職員の方々と調査した。被災した石積みの擁壁の復旧対策については、現地の実状を鑑みた修復技術法を検討しておくことが重要である。示力線法による安定計算は、ブロック積みの擁壁の転倒に対する安定性を検討する

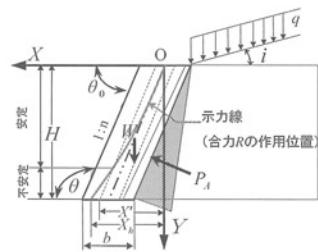


図-9 示力線図による擁壁の安定条件

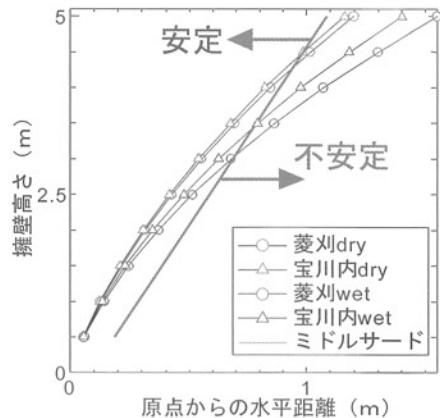


図-10 示力線法による計算結果

ことを目的とするもので、比較的容易に限界擁壁高さの設計等の力学的安定性の評価に利用できる。さらに、現場の土質の違いによる地盤内部の応力分布を算出し、擁壁への応力集中、排水条件等も考慮した災害に強い構造物の設計が重要なとなる。

謝辞：福岡県筑後農林事務所の木下 浩基氏、朝倉農林事務所の中山隆氏、堀下久氏、うきは市災害対策推進室の手嶋隆氏には、災害復旧対策の詳細な解説を頂き、つづら山荘に勤務の坂本晴己さんには、被災地区の現状について説明を頂いた。熊本県北広域本部阿蘇地域振興局の後藤祐一郎氏、橋本修一氏、倉岡孝幸氏には、農地嵩上げ、現場災害状況の説明を頂いた。また、大分県北部振興局農林基盤部の菅原貴美氏には、防災資料の提供と工事の現況について説明を頂いた。ここに、お世話になった各位に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) うきは市総務課災害対策推進室：平成24年7月九州北部豪雨災害記録誌、1-101、2014
- 2) 内閣府防災情報Webサイト：<http://www.bousai.go.jp/index.html>
- 3) 熊本県防災情報Webサイト：<http://cyber.pref.kumamoto.jp/bousai/>

(2014.5.9受付)