

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2015～2017

課題番号：15KT0119

研究課題名(和文) 食料生産性・環境・地域コミュニティ再生を志向した自然融和型水循環システムの構築

研究課題名(英文) Development of environment-friendly water circulation system for enhancing agricultural productivity and rural community

研究代表者

弓削 こずえ (Yuge, Kozue)

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：70341287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、農村部における自然融和型の水循環システムを構築するため、自然由来の素材を用いたクリーク法面補修方法の効果を評価することを目的とする。最終的には、自然由来の材料を用いた護岸工法がクリークの洪水調節や水質浄化などの公益的機能に及ぼす影響を評価し、持続可能なクリークの維持管理手法を提案することを目指す。まず、自然由来の素材を用いて護岸したクリーク法面の強度特性を評価し、護岸方法の有効性を検証した。また、自然由来の素材を用いた護岸工法がクリークの洪水緩和機能に及ぼす影響を洪水流出解析によって明らかにした。さらには、護岸に用いられる自然由来の素材の栄養塩類吸収機能を評価した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to evaluate the effects of irrigation and drainage canal revetment method with natural materials for development environment-friendly water circulation system in Japanese rural area. The strength properties of soil with natural materials for irrigation and drainage canal revetment were evaluated. The effect of the irrigation and drainage canal revetment method with natural materials on flood mitigation ability was clarified with Flood runoff analysis. The absorptive abilities of nitrogen and phosphorus by natural materials were quantified by logistic model described as a function of cumulative temperature.

研究分野：農業農村工学

キーワード：多面的機能 農業水利施設 クリーク 洪水調節 水質浄化 護岸 強度特性 バイオグラウト

1. 研究開始当初の背景

九州の有明海沿岸部の低平地には平坦で肥沃な農地が分布し、温暖な気候を生かして多品目で収益性の高い作物が生産されている。その一方で、有明海沿岸部は低平地で排水不良であり、水害の常襲地帯である。そのため、古くからクリークと呼ばれる農業用排水路が整備されており、低平地に降った雨を一時的に貯留し、河川や海に流出させる洪水緩和の役割を担っている。また、水路法面が土羽あるいは植生で被覆されているクリークは多様な生物の生息空間としての側面を有している。さらに、法面やクリーク内に自生する植物は高い水質浄化機能を有することも知られている。こうしたクリークの公益的機能は、地域住民による泥上げや法面の除草作業などによって維持されてきた。しかし、近年、有明海沿岸の農村地帯においては農家の減少および高齢化が進み、混住化の進行によって地域コミュニティの機能が低下している。そのため、従来の農家主体による維持管理が困難になり、クリーク法面の崩壊や水質悪化が生じ、クリークが有する公益的機能が損なわれつつある。

2. 研究の目的

本研究では、農村部における自然融和型の水循環システムを構築するため、自然由来の素材を用いたクリーク法面補修方法の効果を評価することを目的とする。さらに、この工法がクリークの洪水調節や水質浄化などの公益的機能に及ぼす影響を評価する。さらには、整備後のクリークを住民によって長期的に維持管理するための課題を抽出し、持続可能なクリークの管理手法を提案することを目指す。

3. 研究の方法

(1) クリーク法面の強度特性の評価

クリーク法面に分布する土の強度を増加させることを目的とし、竹廃材を利用した地盤改良効果および廃棄カキ殻を用いた環境負荷の少ない地盤改良技術について実験的に検討を行った。竹廃材混合土の試験においては日本で広く分布する黒ボク土を、廃棄カキ殻を用いた試験においては粒度が揃い、不純物が少ない豊浦標準砂を使用した。

(2) クリークの洪水緩和効果の評価

自然由来の素材を用いた護岸工法がクリークの洪水緩和機能に及ぼす影響を評価するため、有明海沿岸部のクリーク地帯において洪水流出解析を行った。対象地区は筑後川の右岸に位置する地域を選定した。ここでは、クリークの法面を改修するためにブロックマット工法とグラウンドカバープランツを用いた緑化工法が採用されている。この地区において、低平地タンクモデルおよび一次元不定流解析によって流出解析を行った。

(3) 自然由来の素材の水質浄化機能の評価

自然由来の護岸工法の材料であるホウライチクによるクリーク中の栄養塩類吸収能力を評価するため、窒素濃度が  $8.0 \text{ mg L}^{-1}$  (高濃度) および  $6.0 \text{ mg L}^{-1}$  (低濃度) に設定した水槽を用いて実験を行った。この結果を用いて、ホウライチクの窒素吸収量を定量化するためのロジスティックモデルを構築した。

(4) クリーク地帯の社会構造の現状と課題

クリークの維持管理実態や今後の課題を抽出するため、クリークが分布する地域においてクリークの整備を担当する地元行政職員、クリークの管理主体である土地改良区職員および農家を対象に聞き取り調査を行った。また、地元の若年層を対象にクリークの機能に関する勉強会を開催し、クリークの維持管理を担うコミュニティの将来の方向性について模索した。

4. 研究成果

(1) クリーク法面の強度特性の評価

竹繊維を混合した土の力学的性質

突固めによる締固め試験の結果を Fig. 1 に示す。竹繊維含有率 0, 1, 3 および 5% では、最大乾燥密度はそれぞれ、 $1.19, 1.17, 1.14$  および  $1.07 \text{ g/cm}^3$  であり、同様に最適含水比はそれぞれ 32.3, 34.9, 35.5 および 36.8% であった。このように、竹含有率が増加すると最大乾燥密度は低下し、最適含水比は増加することが分かった。

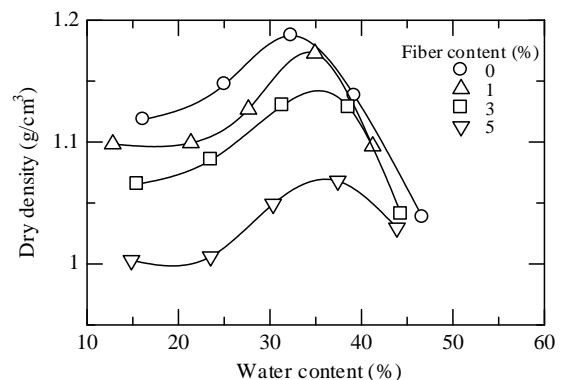


Fig. 1 混合土の締固め曲線

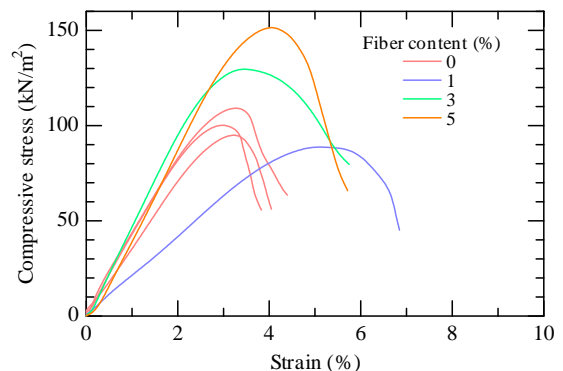


Fig. 2 混合土の応力 - ひずみ曲線の比較

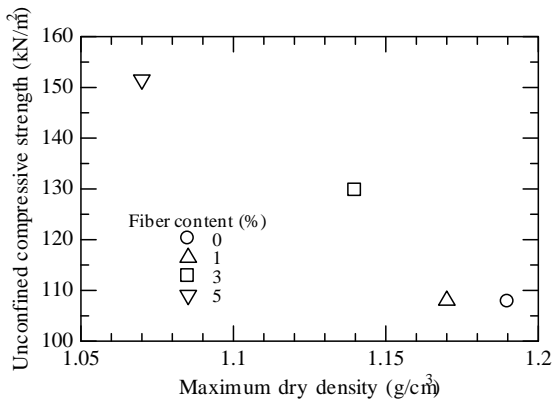


Fig.3 最大乾燥密度と一軸圧縮強度の関係



Photo.1 デジタル顕微鏡で観察した供試体の画像

Fig.2 は、混合土の一軸圧縮試験から得られた応力 - ひずみ曲線を比較した図である。この図はそれぞれの最適含水比で締固められた供試体から得られたものである。竹繊維含有率 1%の供試体において、応力 - ひずみ曲線の形状は緩やかとなっている。竹繊維含有率 3%および 5%の供試体では、ひずみの増加とともに応力が著しく増加し、初期直線部分の傾きは 0%の竹繊維含量とほぼ同じ傾向を示した。一軸圧縮強度に着目すると、竹繊維含有率が増加すると一軸圧縮強度が増加することが分かる。

Fig.3 に最大乾燥密度と一軸圧縮強度の関係を示す。竹繊維の増加によって混合土の強度の増大及び最大乾燥密度が低下することから、軽量の地盤材料として活用することが可能となることが分かる。

Photo.1 にデジタル顕微鏡による画像観察結果を示す。使用した供試体の含水比は 32% である。画像から竹繊維が土に対して非常に不規則に配置され、土粒子を包んでいることが確認された。竹繊維に着目すると、細い繊維が主繊維から分岐するような構造となっている。このように、主に比較的厚い繊維構造と二次毛細管構造からなる二層構造が形成されていることが観察された。この二層構造が保水効果の向上と土の強度増加をもたらしたと推察される。

以上の結果から、竹繊維の混合は施工に必要な土材料の軽減および強度の増大をもたらすことが明らかになった。また、デジ

タル顕微鏡による観察の結果から、竹繊維の複雑な構造が試料の強度と透水性に深く関与していることが分かった。

#### 廃棄カキ殻を利用した土の固化処理技術

本研究で行った試験は、1) カラムによる供試体の養生、2) 養生に用いた供試体内の化学性の測定、3) カラム試験で養生した供試体の一軸圧縮試験による強度定数評価、4) デジタル顕微鏡を用いた供試体の構造骨格の観察である。試験条件を Table 1 に示す。

一軸圧縮試験結果を Fig.4 に示す。ほぼ全ての供試体において、養生日数が増加するに伴い、圧縮応力が増大する傾向にある。さらに、養生日数が短い供試体において、圧縮応力はひずみの増加とともに緩やかに増大し最大値を示し、その後緩やかに減少する。一方、養生日数が長い供試体においては、圧縮応力はひずみの増加とともに急激に増加し、明瞭な最大値を示した後、急激な強度低下を示している。特にカキ殻の質量混合比が 1 で

Table 1 試験条件

Test case (No.)	Mass mixing ratio (Oyster : Sand)	Number of injections of phosphoric acid aqueous solution	Curing period
G1(5)	1 : 1	Once a day	1, 3, 7, 10 and 21 days
G2(4)	1.5 : 1		1, 3, 7 and 10 days
G3(5)	0.5 : 1		1, 3, 7, 10 and 21 days

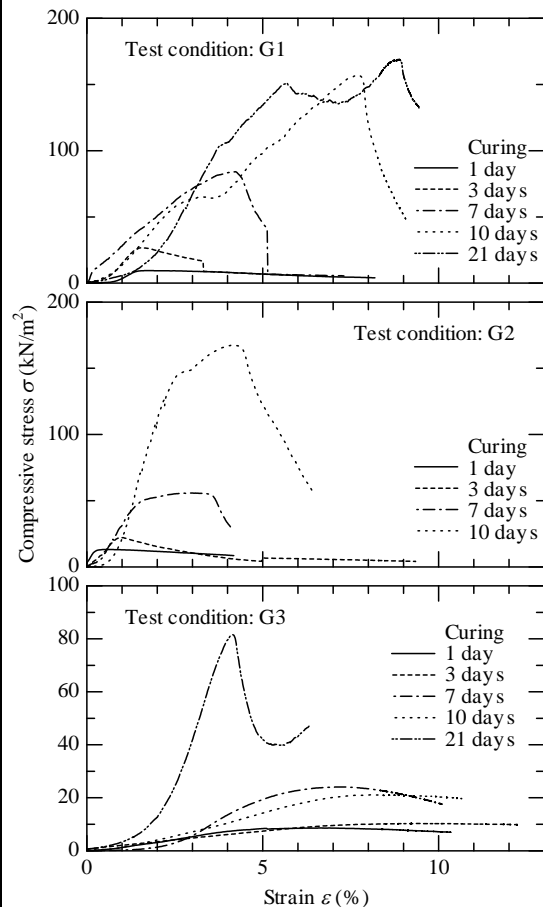


Fig.4 作製した供試体の一軸圧縮試験結果



ある G1 と 1.5 の G2 を採用した場合、養生日数の増加に伴い顕著な強度増加を示す。

Fig.5 は、G1 ~ G3 の条件にて作製した供試体の一軸圧縮試験から求める一軸圧縮強度  $q_u$  である。このより、全ての供試体の一軸圧縮強度は養生日数の増加に伴い増加していることが分かる。G3 では目標強度 100 kN/m<sup>2</sup> を達しておらず、養生日数 10 日においても低い強度を示した。しかし、養生 21 日において著しい強度増加が確認されたことから、カキ殻混合比が小さい試料では養生日数を長く設定することで強度増加が期待される。以上より、カキ殻混合比を 1 以上、養生日数を 10 日とした場合、供試体は目標強度 100 kN/m<sup>2</sup> 以上の高い強度を示すことが分かった。

試験条件 G2 の供試体内部の画像を Photo.2 に示す。養生 1 日において、粉碎したカキ殻の角張った形状が確認でき、砂粒子、カキ殻粒子の間には多くの間隙が存在することが分かる。養生 3 日では、カキ殻粒子の溶解が確認でき、砂粒子、カキ殻粒子が半透明状の析出物を介して結びつく様子が分かる。養生日数が 7 日および 10 日に達すると、間隙は析出物で埋められ、密で複雑な構造骨格を形成することが分かる。特に、10 日養生の供試体においては多くの析出物が確認された。

以上より、カラムによる養生試験結果を考慮すると、間隙を閉塞した析出物はリン酸カルシウム化合物である可能性が高く、画像観察より養生日数の増加とともにリン酸カルシウム化合物が供試体のより多くの間隙を閉塞することが確認された。さらに、一軸圧縮試験の結果を踏まえると、このリン酸カルシウム化合物による間隙の閉塞化が強度定

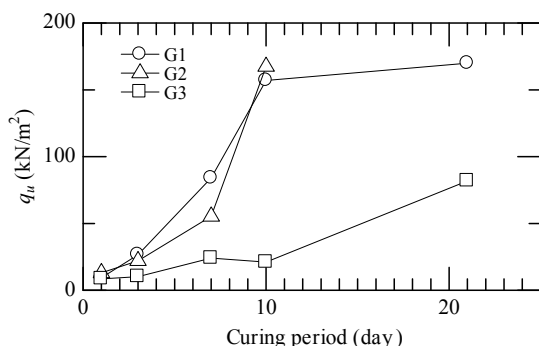


Fig.5 養生日数と供試体の一軸圧縮強度の関係

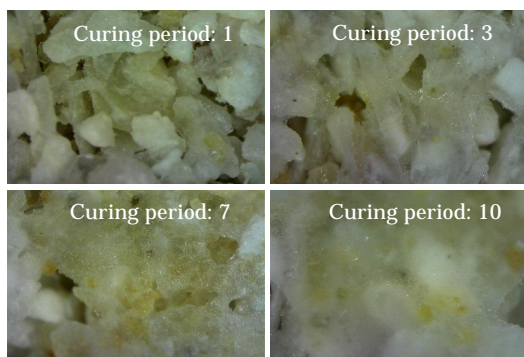


Photo.2 試験条件 G2 で作製した供試体内部の画像

数の増加に大きく寄与すると考えられる。

### (2) クリークの洪水緩和効果の評価

Fig.6 および 7 はそれぞれ流出解析を行った地区および解析結果を示したものである。に示したブロック 3 およびブロック 17 はそれぞれ農地および住宅が土地利用の大半を占めている。Fig.7 より、まとまった降雨が記録された 7/11 付近においてはいずれのブロックでも洪水は発生していない。降雨量がピークに達した 7/13 においては、いずれのブロックで湛水が発生しているが、その程度は比較的小さい。このことから、本地区で採用されている護岸工法によってクリークが有する洪水緩和効果が発揮されているといえる。

### (3) 自然由来の素材の水質浄化機能の評価

Fig.8 は水槽実験によって測定した TN の経日変化を示している。この図より、いずれの試験区でも実験開始数日間で TN が徐々に減少している。その後は増減が見られるが、実験期間を通じて徐々に低下している。

この結果を用いて、次式によって表現されるロジスティックモデルを構築した。

$$N_T = \frac{N_{max}}{1 + a_N \cdot \exp\left\{-\left(b_N T + c_N T^2 + d_N T^3\right)\right\}} \quad (1)$$

ここで、 $N_{max}$ : 最大窒素吸収量 (mg m<sup>-2</sup>)、 $T$ : 積算気温 (°C)、 $a_N$ ,  $b_N$ ,  $c_N$ ,  $d_N$ : モデル対象植物固有の定数である。

本研究では、式(1)のパラメータを SCE-UA 法によって求めた。その結果と、ロジスティックモデルで推定した積算窒素吸収量と実測値の比較を Fig.9 に示す。この結果、自然由来の素材であるハウライチクには高い窒素の吸収能があることが明らかとなった。

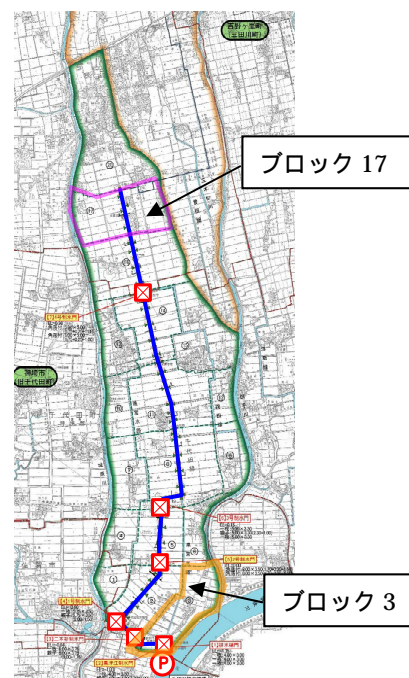


Fig.6 流出解析の対象地区

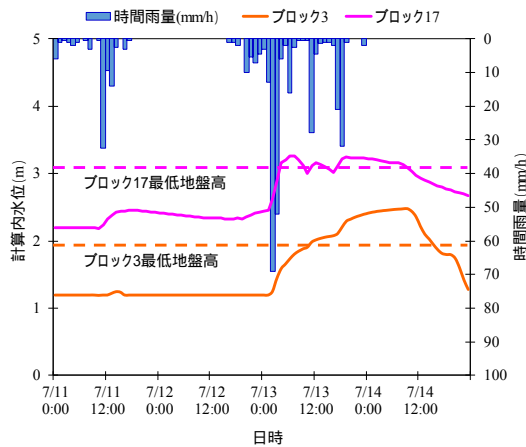


Fig.7 流出解析の結果

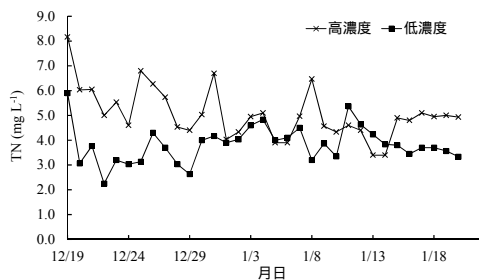


Fig.8 水槽実験における TN の経日変化

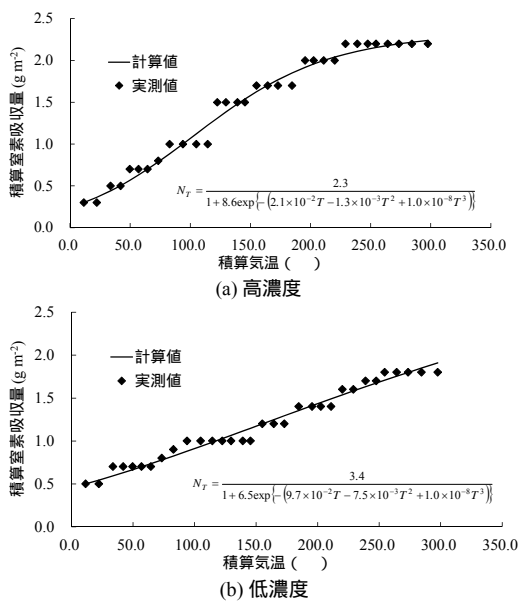


Fig.9 積算窒素吸収量の計算値と実測値の比較

#### (4) クリーク地帯の社会構造の現状と課題

地元の大学生を対象にクリークの役割に関する勉強会を開催し、将来に向けた維持管理手法のあり方について模索した (Photo.3)。その結果、農家のみならず農村内外の様々な属性の非農家が主体的にクリークの維持管理に参加できるような取り組み (初等・中等教育関係の行事, アウトドアに関するイベントおよび SNS による情報発信等) が肝要であることが明らかとなった。



Photo.3 地元住民を対象とした勉強会の状況

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

1. 弓削こずえ, 瀧田耕佑, 阿南光政, 瀧上邦彦, Jos C. Van DAM, Joop G.KROES: 干拓農地における水分ストレスの評価と灌漑スケジューリングの最適化, 農業農村工学会論文集, 査読有, 85(2), I\_137-I\_143, 2017
2. 金山 素平, 工藤 基, 藤井 芽衣: カキ殻を用いた土の固化処理に関する研究, 農業農村工学会論文集, 査読有, 86(1), I\_55-I\_62, 2017
3. Kanayama, M., Fujii, M., Kudo, M., Kawamura, S. and Nakamura, K.: Study on solidification treatment of soil using waste oyster shell, Proceedings Sardinia 2017, 査読有, Paper No.642, 1-10, 2017
4. Kawamura, S., Kanayama, M., Yamazaki R. and Yuge, K.: Study on engineering properties of bamboo fiber mixed soil, Proceedings Sardinia 2017, 査読有, Paper No.641, 1-9, 2017
5. 弓削こずえ, 阿南光政: 畑地における作物根の分布と土壌面蒸発の変動を考慮した土壌水分動態解析と消費水量の定量化, 土壌の物理性, 134, 17-24, 2016
6. 阿南光政, 弓削こずえ, 瀧田耕佑, 水落二郎: 洪水時における河川の水位変動を抑制する取水堰群の操作, 農業農村工学会論文集, 査読有, 84(2), II\_37-II\_44, 2016
7. 金山素平: 実測値を用いた地盤圧密沈下予測手法の予測精度の検討, 土地改良の測量と設計, 査読無, 84, 14-20, 2016
8. 阿南光政, 水落二郎, 瀧田耕佑, 弓削こずえ: 取水堰の操作が河川の水面形と下流部の流況に及ぼす影響評価, 雨水資源化システム学会誌, 21(1), 29-35, 2015
9. 阿南光政, 弓削こずえ, 大平裕: 自然由来の法面護岸材が有する栄養塩類吸収能の定量評価, 雨水資源化システム学会誌, 21(1), 23-28, 2015

〔学会発表〕(計 20 件)

1. 中村 哉仁, 金泉 友也, 金山素平: 地盤の圧密沈下実測データに基づいた予測とその高精度化. 陸前高田グローバルキャンパス大学シンポジウム 2018 .2018 年 3 月 3 日, 岩手県陸前高田市.
2. 金山素平, 進藤あきほ, 八矢園子: 廃棄物を利用した土の固化処理に関する研

- 究．農業農村工学会東北支部第 59 回研究発表会，2017 年 11 月 9 日，岩手県盛岡市
3. 川村智子，金山素平，山崎瑠華，弓削こずえ：竹繊維を混合した土の力学的性質に関する研究．農業農村工学会東北支部第 59 回研究発表会，2017 年 11 月 9 日，岩手県盛岡市
  4. 中村哉仁，金泉友也，金山素平：レオロジーモデルを用いた粘土の圧密沈下挙動の検討．農業農村工学会東北支部第 59 回研究発表会，2017 年 11 月 9 日，岩手県盛岡市
  5. 天野志桜里，弓削こずえ，阿南光政，濱田耕佑：少量頻繁灌漑圃場における土壌水分状態と灌漑スケジューリングの評価，平成 29 年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会，2017 年 11 月 1 日，福岡県福岡市
  6. 木原泰彦，住吉和彦，桑原一登，阿南光政，弓削こずえ：低平地域における“田んぼダム”の効果検証．平成 29 年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会，2017 年 11 月 1 日，福岡県福岡市
  7. 木原泰彦，住吉和彦，吉松由希恵，桑原一登，阿南光政，弓削こずえ：低平地域における水路整備事業の効果検証．平成 29 年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会，2017 年 11 月 1 日，福岡県福岡市
  8. 阿南光政，弓削こずえ，濱田耕佑，平川晃：島嶼部畑地灌漑地帯における地下水有効利用の検証，平成 29 年度農業農村工学会大会講演会，2017 年 8 月 29 日 - 9 月 1 日，神奈川県藤沢市
  9. 川村智子，金山素平，山崎瑠華，弓削こずえ：竹繊維混合土の工学的性質に関する研究，平成 29 年度農業農村工学会大会講演会，2017 年 8 月 29 日 - 9 月 1 日，神奈川県藤沢市
  10. Yuge K., M. Anan, Y. Oohira, M. Kanayama: Evaluation of applicability of hedge bamboo (*Bambusa multiplex*) to irrigation canal revetment material for environmental consideration, 4th International Conference on Agriculture and Forestry, 24-25 August, 2017, Colombo, Sri Lanka
  11. Yuge K., M. Anan, K. Hamada: Quantification of irrigation effect on the ground water recharge in crop fields of the subtropical island, Japan. 37th IAHR World Congress, 13-18 August, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia
  12. Anan M., K. Yuge, K. Hamada: Optimization of operating agricultural diversion weirs to mitigate flood. 37th IAHR World Congress, 13-18 August, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia
  13. 弓削こずえ，阿南光政，濱上邦彦，濱田耕佑：干拓地の作物圃場における地下水の塩水化および連続干天による複合ストレス予測，2016 年度土壌物理学大会，2016 年 10 月 29 日，京都府京都市
  14. 阿南光政，弓削こずえ，濱田耕佑，平川晃：島尻泥岩分布地域における地下水流動解析と地下ダム計画，2016 年度土壌物理学大会，2016 年 10 月 29 日，京都府京都市
  15. 平嶋雄太，牧野弘樹，弓削こずえ，宮本英揮：TDT センサーを用いた諫早湾干拓土中の塩分モニタリング，2016 年度土壌物理学大会，2016 年 10 月 29 日，京都府京都市
  16. 草場篤慶，弓削こずえ，阿南光政，濱田耕佑：浅埋設暗渠圃場における地下水位および土壌水分状態の変動，第 97 回農業農村工学会九州沖縄支部講演会，2016 年 10 月 20 日 - 21 日，鹿児島県鹿児島市
  17. 弓削こずえ，阿南光政：畑地整備事業地区における景観配慮の現状と今後の課題，平成 28 年度農業農村工学会大会講演会，2016 年 8 月 29 日 - 9 月 1 日，宮城県仙台市
  18. 阿南光政，弓削こずえ，濱田耕佑：農業用取水堰の倒伏条件が水位変動に与える影響評価，平成 28 年度農業農村工学会大会講演会，2016 年 8 月 29 日 - 9 月 1 日，宮城県仙台市
  19. 川村智子，山崎瑠華，金山素平，弓削こずえ：竹チップ混合土の工学的性質に関する研究，平成 28 年度農業農村工学会大会講演会，2016 年 8 月 29 日 - 9 月 1 日，宮城県仙台市
  20. Yuge K., M. Anan, K. Hamada: Evaluation of drainage ability of a shallow subsurface drain in a rotational rice paddy field. CIGR-AgEng conference, 26-29 June, 2016, Aarhus, Denmark
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
弓削 こずえ(Kozue YUGE)  
佐賀大学・農学部・准教授  
研究者番号：70341287
  - (2) 研究分担者  
金山 素平 (Motohei KANAYAMA)  
岩手大学・農学部・准教授  
研究者番号：60398104  
  
阿南 光政 (Mitsumasa ANAN)  
佐賀大学・農学部・准教授  
研究者番号：80782359
  - (3) 連携研究者 なし
  - (4) 研究協力者 なし