



MoFA



KNUST

# 小規模ため池を利用した補給かんがい稲作 マニュアル



March, 2017

Ministry of Food and Agriculture

Kwame Nkrumah University of Science and Technology

Japan International Research Center for Agricultural Sciences



## Foreword

Rice has become a primary staple particularly in Africa. Its growing cities depend on rice as daily diet, with consumption increasing by roughly 5.5 % a year.

Despite the clear potential to boost regional production, most African countries continue to rely heavily on imports for meeting their growing rice consumption needs at an annual cost of USD 5 billion. Such a reliance of most African countries on rice imports for their consumption continues to pose a serious food security concern, as rice consumption is projected to increase by 130 % from (year) to 2035. Notwithstanding the rapid increase in rice production in Africa since 2007, local rice production is unable to keep pace with the increasing demand. It is noted that the demand-supply gap is widening. This requires sustainable intensification of rice production, based on enhancing biological processes of the ecosystem.

The Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Ministry of Food Agriculture (MoFA), and Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST) signed a tripartite agreement to cooperate in the research on the “Study of Improvement of Micro Reservoir Technologies for Rice Production in Africa”. Research services were also sought from the Savanna Agricultural Research Institute of the Council for Scientific and Industrial Research (CSIR-SARI). This study had its main verification sites in the Ashanti and Northern regions of Ghana.

This research is in conformity with the target goal of Coalition for African Rice Development (CARD) to double the rice production in Africa from 14 million mt/y in 2008 to 28 million mt/y by 2018.

The main objective of the study is using micro reservoirs to increase the yield and cropping times of rice production in Africa. The implementation of double cropping in small scale irrigation paddy fields has been a challenge as a result of seasonality of surface water flow. This has called for the need to develop technologies for micro reservoir construction and sustainable water use in these areas.

This manual contains research findings and recommendations to promote more efficient and sustainable rice production systems in Africa through the use of small reservoirs.

March 2017

Ag. Director, Directorate of Crop Services, MoFA

Seth Osei-Akoto

## まえがき

サブサハラアフリカにおいて、コメの生産量は消費量より少なく、アジア、北米等からの輸入量が年々拡大しています。また、農林水産省の「2021年における世界の食料需給見通し」によると、世界の食料需給は今後も穀物等の需要が供給をやや上回る状態が継続し、食料価格はゆるやかな上昇傾向を維持することから、緊急的な対策とともに中長期的な生産拡大を図ることが急務となっています。

このような状況の下で、第4回東京アフリカ開発会議（TICAD IV）において JICA 等は、「アフリカ稲作振興のための共同体（Coalition for African Rice Development、CARD）」を設立し、アフリカにおけるコメ生産を10年間で倍増することを目標として掲げました。しかし、アフリカにおいて稲作開発の潜在力が高い内陸低湿地でも、天水依存の稲作が行われ、コメの収量は平均 2t/ha 程度に留まっています。そのため、コメの栽培面積も拡大していません。加えて、土地所有権の問題やコメ流通等の社会的・経済的側面から、農家は稲作への投資を積極的に行えないような環境にあります。

さらに、サブサハラアフリカでは、今後長期的には降水量が減少し降雨パターンが不安定化すると予測されています（CGIAR）。このような状況に対処するには、工期が短く、管理も複雑でない、環境変化に柔軟に対応可能な小規模灌漑施設（ため池など）の整備が必要です。しかし現状では、ため池は施工技術の未熟さ、高コスト等の理由で整備が不十分だと考えられます。また、整備後の水管理組織が機能せず、施設が有効に利用されていないケースもあります。このため、低コストで建設可能な技術や農民が維持管理、水管理を行う手法の開発は農業生産性向上の起爆剤となり得ると考えます。

このような状況のもと、我が国の農林水産省は JIRCAS に対し小規模ため池を利用したコメの増産（安定）に関する研究を指示した。JIRCAS は、当該研究プロジェクトをガーナ国で実施するこ

とを決定し、2014～17年まで、MoFA と KNUST と共同研究プロジェクトを実施した。

本マニュアルは、この研究プロジェクトの成果である。本マニュアルが、サバンナ地域の稲作振興に貢献できれば幸いである。

2017年3月

JIRCAS プログラムディレクター

中島 一雄

## 序章

サブサハラアフリカにおいて、コメの生産量は消費量より少なく、アジア、北米等からの輸入量が年々拡大している。このような状況の下で、2008年に「アフリカ稲作振興のための共同体 (Coalition for African Rice Development、CARD)」が設立され、アフリカにおけるコメ生産を10年間で倍増することが目標として掲げられた。しかし、稲作の潜在力が高い内陸低湿地でも、天水依存の稲作が行われ、コメの収量は平均2t/ha程度に留まっている。

このような状況の下、コメの生産量を増加させていくためには、天水田にかんがいを導入することが必要である。また、持続性や環境変化に柔軟に対応するためには、施設整備工期が短く、管理も複雑でない小規模かんがい施設（ため池など）の整備が必要である。

小規模ダッグアウト式ため池は、主に生活用水主体で整備されており、ため池からあふれた水（越流水）が有効に利用されていない。さらに、ため池は整備後の水管理組織が機能せず、施設が有効に利用されていないケースがある。

このため、本マニュアルでは、有効に利用されていない越流水に着目した。越流水は、一般に雨季の中期以降に発生する。このため、かんがい時期を水稻栽培後期のイネにとって最も水が必要な時期に絞ることとした。

一般に水田の水利用で最も用水が必要となるのは代掻きである。ただし、サブサハラアフリカの特にサバンナ地域では代掻きは雨季の始まりから約1ヶ月後に開始される。このときにため池の水を利用して代掻きを行うためには、代掻き開始前にかんがいの水量がため池に貯留されている必要があり、ため池の規模が大きくなる。ため池は規模が大きくなればそれだけ築造コストが大きくなり、維持管理も複雑になる。

このため、本マニュアルは代掻きが必要な移植栽培ではなく、乾田直播栽培を目的としたものである。直播であっても、最初に耕起

を行う必要があるが、耕起に必要な用水は天水により確保することとし、ため池の水は水稻の収量に最も影響する幼穂分化期から開花期（稲の品種により日数は異なるがおおよそ 40 日間）に利用する。

本マニュアルの構成と利用対象者は、以下のとおりである。

- 第 1 章 補給かんがい計画  
利用対象者：技術職員
- 第 2 章 補給かんがいのための施設整備計画  
利用対象者：技術職員
- 第 3 章 補給かんがい栽培技術  
利用対象者：技術職員、普及員、農家
- 第 4 章 水管理  
利用対象者：技術職員、普及員、農家

本マニュアルの目的は、補給かんがいを実施することにより安定的なコメ栽培が可能になることである。かんがいをを行うためには、水田に畦畔が必要である。また、栽培方法は一部を除いてかんがい水田における栽培方法と同じである。

水田整備や水田水稻栽培方法については、本マニュアルには記載されていないので、以下のマニュアルを併せて参照されたい。

Manual for Improving Rice Production in Africa; JIRCAS (2012)

[http://www.jircas.affrc.go.jp/english/manual/ricemanual2012/ricemanual2012\\_index.html](http://www.jircas.affrc.go.jp/english/manual/ricemanual2012/ricemanual2012_index.html)

Manual of soil fertility improvement technologies in lowland rice ecologies of Ghana; MOFA-UDS-JIRCAS (2014)

[http://www.jircas.affrc.go.jp/english/manual/soil\\_fertility\\_improvemnet\\_tech\\_of\\_Ghana/soil\\_fertility\\_Ghana.html](http://www.jircas.affrc.go.jp/english/manual/soil_fertility_improvemnet_tech_of_Ghana/soil_fertility_Ghana.html)

Extension Guideline ; JICA 天水稲作持続的開発プロジェクト(2014)

## 目次

はじめに  
まえがき  
序章

第1章	補給かんがい計画	
1.1	ため池を利用した水田適地の選定方法	1-1
1.1.1	ため池を利用した水田適地の条件	1-1
1.1.2	ため池条件	1-4
1.1.3	水田条件	1-5
1.2	補給かんがい計画	1-8
1.3	計画基準年における潜在的農業用水利用可能量（越流量）の算出方法	1-11
1.3.1	概要	1-11
1.3.2	データの収集	1-12
1.3.3	H-V および H-A 曲線の作成	1-15
1.3.4	流出パラメーターの推計	1-16
1.3.5	CN の設定	1-17
1.3.6	CN の検証	1-20
1.3.7	計画基準年の潜在的農業用水利用可能量（越流量）の計算	1-21
1.4	ドローンを使った簡易な地形図作成方法	1-28
第2章	補給かんがいのための施設整備	
2.1	施設整備とメリット	2-1
2.2	親子ため池システム	2-2
2.2.1	親子ため池システムの定義	2-2
2.2.2	ダッグアウトの定義	2-3
2.2.3	子池の設計	2-3
2.2.4	導水路の設計	2-11
2.2.5	子池施工事例	2-18
2.2.6	子池付帯施設	2-20
2.3	土のうとソイルメントを用いたダッグアウト洪水吐の嵩上げ	2-29
2.3.1	設計	2-30
2.3.2	施工	2-36
2.4	Investigation of bunds erosion in the northern regions of Ghana	2-47
2.4.1	Introduction	2-47
2.4.2	Main project activity	2-48
2.4.3	Results	2-48
第3章	補給かんがい栽培技術	
3.1	イネの品種の選定	3-1
3.2	作付け期間の決定	3-2
3.3	補給かんがいのやり方	3-3

3.3.1	かんがい期間	3-3
3.3.2	かんがい量の目安	3-4
3.4	耕種概要	3-5
3.4.1	ほ場準備	3-5
3.4.2	播種	3-6
3.4.3	除草	3-7
3.4.4	シロアリ対策	3-8
3.4.5	施肥	3-9
3.4.6	収穫	3-10

## 第4章 水管理

4.1	水管理マニュアルの概要	4-1
4.1.1	内容	4-1
4.1.2	事例とした実証調査の概要	4-1
4.2	ため池の水を稲作に利用するための水管理体制	4-4
4.2.1	原則	4-4
4.2.2	事例	4-6
4.2.3	得られた知見	4-7
4.3	水管理組織の機能と主な役職	4-8
4.3.1	原則	4-8
4.3.2	事例	4-8
4.3.3	得られた知見	4-12
4.4	ルールづくり	4-13
4.4.1	原則	4-13
4.4.2	事例	4-13
4.4.3	得られた知見	4-14
4.5	グループによるかんがい	4-16
4.5.1	原則	4-16
4.5.2	事例	4-16
4.5.3	得られた知見	4-18
4.6	かんがい施設の維持管理	4-19
4.6.1	原則	4-19
4.6.2	事例	4-20
4.6.3	得られた知見	4-21
4.7	資金管理	4-22
4.7.1	原則	4-22
4.7.2	事例	4-22
4.7.3	得られた知見	4-23
4.8	意志決定	4-25
4.8.1	原則	4-25
4.8.2	事例	4-25
4.8.3	得られた知見	4-25
4.9	子池の多目的利用	4-26
4.9.1	原則	4-26
4.9.2	事例	4-26
4.9.3	得られた知見	4-28

## 付表リスト

表 1.1	水田から見た、ため池を利用した水田適地	1-6
表 1.2	稲の生育ステージごとのかん水方針	1-9
表 1.3	Estimated water requirement and voluntary intake of livestock under Sahelian conditions	1-14
表 1.4	代表的な Runoff curve number	1-18
表 1.5	CN の特徴	1-20
表 1.6	ため池貯水量計算例	1-26
表 2.1	施設概要とそのメリット	2-1
表 2.2	補給かんがい期の日別かんがい水量と子池の貯水量	2-7
表 2.3	水路構造別の粗度係数	2-12
表 2.4	導水路の最大流下能力	2-13
表 2.5	コンクリートの配合	2-14
表 2.6	透水係数を固定( $1 \times 10^{-6}$ )した時の水深による漏水量	2-21
表 2.7	Irrigable area depending on a thickness	2-22
表 2.8	法面処理による被覆率の違い	2-26
表 2.9	地盤高計測結果	2-31
表 2.10	粒度分析結果	2-35
表 2.11	使用する主な資機材	2-37
表 2.12	その他必要な資機材	2-39
表 2.13	作業工程 (ふるい掛けから床堀、均しまで)	2-40
表 2.14	作業工程 (材料混合から養生まで)	2-42
表 2.15	Bund types constructed	2-50
表 2.16	relative decrease in height	2-55
表 4.1	基本的な機能と役職例	4-8
表 4.2	子池管理委員会の役職構成	4-9
表 4.3	稲作グループの役職構成	4-9
表 4.4	稲作グループのルール	4-13
表 4.5	ポンプ運転記録の様式	4-17
表 4.6	代表的な維持管理活動の例	4-19
表 4.7	ポンプ修理費の負担分担	4-21
表 4.8	現金出納簿の様式と記入例	4-23

## 付図リスト

図 1.1	ため池を利用した水田適地(概念)	1-1
図 1.2	ため池条件(概念)	1-2
図 1.3	水田条件(概念)	1-3
図 1.4	水田条件(イメージ)	1-4
図 1.5	水収支式 構成要素	1-11
図 1.6	気象観測装置	1-6
図 1.7	生活用水のための水汲みの様子	1-14
図 1.8	越流が発生しない場合の水収支	1-22
図 1.9	貯水変化量が貯水余力を超え、越流が発生する場合の水収支	1-23
図 1.10	満水時に降雨があり、越流が発生する場合の水収支	1-24
図 1.11	対象ため池の H-V Curve	1-26
図 1.12	対象ため池の H-A Curve	1-27
図 1.13	ほ場撮影ポイント	1-31
図 1.14	ほ場地形図	1-32
図 1.15	ダッグアウト撮影位置	1-33
図 1.16	ダッグアウト地形図	1-33
図 1.17	流域地形図	1-34
図 2.1	親子ため池システム	2-2
図 2.2	ダッグアウト標準平面図・断面図	2-4
図 2.3	掘り込み式ため池 標準平面・断面	2-5
図 2.4	子池容量とかんがい可能面積の関係	2-8
図 2.5	親池周辺の平面・断面	2-8
図 2.6	親池と子池の関係	2-9
図 2.7	子池満水位イメージ	2-10
図 2.8	水路断面	2-12
図 2.9	水路法面勾配と水路断面	2-15
図 2.10	水路肩保護工標準断面	2-16
図 2.11	水路肩施工例	2-16
図 2.12	水路崩壊事例	2-16
図 2.13	導水路建設状況	2-17
図 2.14	導水路施工完了	2-17
図 2.15	良い事例(水路法面が緩やか)	2-17
図 2.16	水抜き工 標準断面	2-18
図 2.17	子池 建設状況	2-19
図 2.18	子池 施工完了	2-19
図 2.19	子池の標準計画図	2-19
図 2.20	子池貯水状況	2-22
図 2.21	子池底面への浚渫土敷設	2-22
図 2.22	利用したベティバ	2-25
図 2.23	ベティバ植栽状況	2-25
図 2.24	屋根材による法面保護	2-27
図 2.25	屋根材の効果比較の状況	2-28
図 2.26	屋根材の効果比較(ImageJによる解析)	2-29
図 2.27	嵩上げ工	2-30
図 2.28	実施フロー	2-31

図	2.29	S 村ダッグアウト測点	2-32
図	2.30	施工位置横断面	2-32
図	2.31	土のう積み断面	2-33
図	2.32	S 村土取場と土	2-36
図	2.33	Mc 及び Mw と一軸圧縮強度の関係	2-36
図	2.34	簡易水平器の作り方	2-39
図	2.35	護岸工と護床工	2-39
図	2.36	Setting out field	2-50
図	2.37	Shape and dimensions of permanent bunds	2-51
図	2.38	Digging of trenches	2-52
図	2.39	Bund compaction	2-52
図	2.40	Constructed bunds	2-53
図	2.41	Levelling of field inner perimeter	2-54
図	2.42	Taking soil sample	2-55
図	2.43	Mean bund height variations with time	2-58
図	2.44	Mean bund volume variations with time	2-58
図	2.45	Mean bund erosion variations with time	2-61
図	2.46	Cross section of bunds	2-63
図	3.1	栽培試験品種 Gbewaa (別名 Jusmine85)	3-2
図	3.2	幼穂分化期直前のイネ	3-3
図	3.3	幼穂分化期直前の主茎基部と生長点	3-3
図	3.4	かんがいが必要な田面	3-4
図	3.5	かんがいされた田面	3-4
図	3.6	乾きすぎの状態	3-4
図	3.6	栽培暦 (ガーナ北部州 : Gbewaa )	3-5
図	3.7	秋起こし	3-6
図	3.8	田面の均平	3-6
図	3.9	棒による播種穴	3-7
図	3.10	ディブラーによる播種穴	3-7
図	3.11	播種後の除草剤噴霧	3-8
図	3.12	異株	3-8
図	3.13	シロアリにより食害された圃場の木杭と根を食害さ れたイネ	3-9
図	3.14	収穫適期のイネ	3-11
図	3.15	過熟のイネ	3-11
図	4.1	実証調査におけるかんがい施設	4-2
図	4.2	エンジンポンプ	4-3
図	4.3	バルブとパイプライン端部	4-3
図	4.4	補助ホースを用いたかんがい	4-3
図	4.5	ガーナ北部で想定されるため池の水管理体制	4-4
図	4.6	実証調査で構築された水管理体制	4-7
図	4.7	子池管理委員会設立から役職決定までの経緯	4-11
図	4.8	稲作グループ設立から役職決定までの経緯	4-11
図	4.9	ほ場内の標高が高い部分へ水をまわす作業	4-17
図	4.10	畦からの漏水の状況	4-20
図	4.11	子池周辺の木本	4-21
図	4.12	子池堤体の屋根材	4-21

図	4.13	幼魚	4-26
図	4.14	幼魚放流	4-26
図	4.15	投網による捕獲	4-26
図	4.16	捕獲したティラピア	4-26
図	4.17	野菜圃場遠景	4-27
図	4.18	水汲み容器	4-27
図	4.19	葉物野菜の収穫	4-27
図	4.20	収穫物（ブラ）	4-27
図	4.21	子池からの水汲み	4-28

## 略語

略名	正式名	和名
CARD	Coalition for African Rice Development	アフリカ稲作振興のための共同体
CN 法	Curve Number 法	カーブナンバー法
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	国際連合食糧農業機関
GHS	Ghana Cedi	ガーナセディ（現地通貨）
GIDA	Ghana Irrigation Development Authority	ガーナ灌漑開発公社
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人 国際協力機構
JIRCAS	Japan International Research for Agricultural Sciences	国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター
KNUST	Kwame Nkrumah University of Science and Technology	エンクルマ大学（ガーナ国）
MoFA	Ministry of Food & Agriculture	食料農業省（ガーナ国）
MAFF	Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery	農林水産省（日本）
SARI	Savanna Agricultural Research Institute	サバンナ農業研究所（ガーナ国）
TC	Technical Committee	テクニカルコミッティー
UDS	University for Development Studies	開発研究大学（ガーナ国）
WUA	Water Users Association	水利用者組合

## 執筆者リスト(Acknowledgements)

Supervising Editor: alphabetical order

Mr Afari AKOTO-MINTAH (GIDA)

Mr. Al-hassan IMORO (MoFA)

Mr. Alfred AMOH (MoFA)

Dr. Eiji YAMAJI (Tokyo Univ.)

Mr. Gabriel OWUSU (MoFA)

Dr. Geophrey ANORNU (KNUST)

Dr. Haruhiko HORINO (Osaka prefectural Univ.)

Dr. Hiroyasu KOBAYASHI (National Agriculture and Food Research Organization)

Mr. Patrick OHENE-ABOAGYE (MoFA)

Mr. Richard TWUMASI-ANKRAH (MoFA)

Prof. Sampson AGODZO (KNUST)

Mr. Stephen MACLEAN (GIDA)

Dr. Takeshi SAKURAI (Tokyo Univ.)

Mr. William BOAKYE-ACHEAMPONG (MoFA)

Dr. Wilson Agyei AGYARE (KNUST)

Dr. Wilson Dogbe (SARI)

## Author

### Chapter 1

Chikako HIROSE (JIRCAS), Shinji HIROUCHI (JIRCAS)

### Chapter 2

Sampson AGODZO (KNUST), Geophrey ANORNU (KNUST), Wilson Agyei AGYARE (KNUST), Masakazu YAMADA (JIRCAS), Shinji HIROUCHI (JIRCAS)

### Chapter 3

Baba INUSAH (SARI), Seiji YANAGIHARA (JIRCAS), Masato ODA (JIRCAS)

### Chapter 4

Naoko OKA (JIRCAS), Hideki FURIHATA (JIRCAS), Junji KOIDE (JIRCAS)

## Special Thanks

Mr. Alhaji BABA Y.N. SWAHILU (MoFA), Mr. Iddrisu M. MUSTAPHA, Mr. Ibrahim ABUDU (MoFA)

Mr. Kofi KANKAM (JIRCAS), Mr. Emmanuel OSEI (JIRCAS), Ms. Obaa (JIRCAS), Mr. Stephen GERRAR (JIRCAS)

## Foundation

This manual is funded by Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery Japan

## 第1章 補給かんがい計画

ため池の水を利用した補給かんがいを実施するにあたり、かんがいをを行う水田や利用するため池には制約がある。

本章では、第2章で示す親子ため池システムの導入や洪水吐嵩上げにより「ため池を利用した水稻栽培」を実施するにあたり、ため池や水田の選定方法について解説する。また、補給かんがい計画の具体的な策定方法、ため池の利用可能水量について解説する。

### 1.1 ため池を利用した水田適地の選定方法

#### 1.1.1 ため池を利用した水田適地の条件

ため池を利用した水田の適地とは、  
「水田条件」  
「ため池条件」  
を満たしている地域

親子ため池システムや洪水吐嵩上げを行って「ため池を利用した水稻栽培」を実施するにあたり、ため池や水田の適地は図1.1に示すように「ため池条件」と「水田条件」を満たしている場所である必要がある。

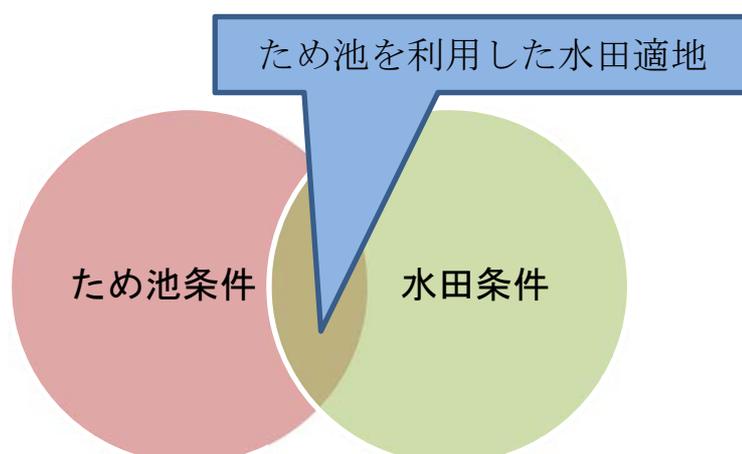


図 1.1 ため池を利用した水田適地（概念）

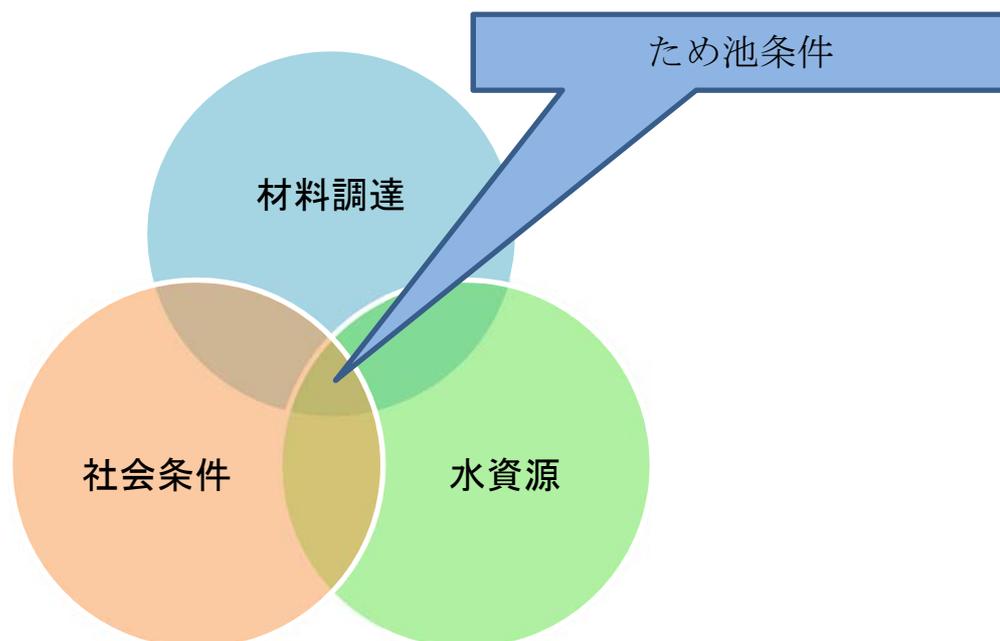


図 1.2 ため池条件（概念）

(1) ため池条件

「ため池を利用した水田」におけるため池の適地は、図 1.2 に示すように「水資源条件」、「社会条件」「材料調達条件」が満たされる場所である。

1) 水資源条件

既存のため池の水を慣行的に農業以外（他用途）に利用している地域では、他用途との優先度や他用途の必要水量を総合的に検討する必要がある。また、越流水の下流での利用についても考慮する必要がある。

2) 社会条件

ため池築造にはコストがかかるため、コメを商品作物として栽培している地域であることが望ましい。

3) 材料調達条件

洪水吐嵩上げにおいて、材料（土など）が容易に入手できない（もしくは搬入できない）場所では建設コストが押し上げられ、経済的に不利となる。

(2) 水田条件

「ため池を利用した水田（新たにため池の水を利用して安定した水

稲栽培が可能となる水田)」における水田条件は、「自然状態で水稻栽培に必要な水が確保できない場所」と「かんがい可能な場所」が満たされる場所である（図 1.3、図 1.4）。

1) 自然状態で水稻栽培に十分な水が確保できない場所

ため池の水を利用した水稻栽培（かんがい稲作）は、自然状態で水稻栽培に十分な水（天水と比較して収量が多い）がない場所で実施するものである。このため、自然状態で水がある場所（谷底、河川から直接取水、湿地）は適地とはならない。

2) かんがい可能地域

ため池の水は、ため池と農地（水田）の位置関係（高低差や距離）により、経済的にかんがい可能性に制限がある。

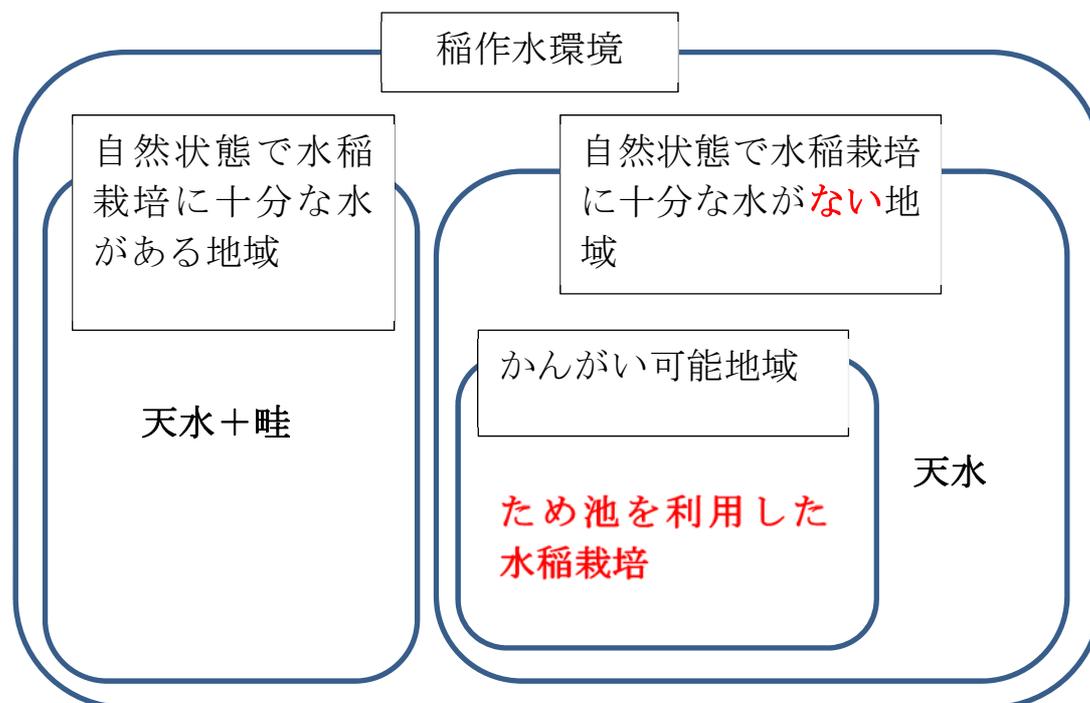


図 1.3 水田条件（概念）

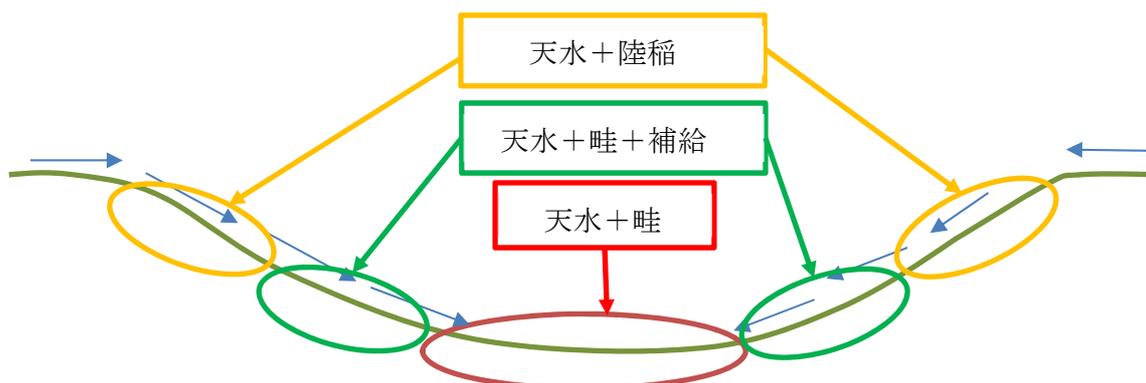


図 1.4 水田条件 (イメージ)

### 1.1.2 ため池条件

#### (1) 水資源条件

ため池の水は、農業用(コメおよびその他作物)に利用されるほか、地域によっては生活、家畜の重要な水資源となっている。農業用と生活用、家畜用の優先順位は地域によって差があるが、優先順位が「農業用<生活用、家畜用」となる地域において農業用に水を利用するには、優先順位が高いものから利用して、なおかつ余裕がある必要がある。なお、地域によっては井戸や水道の利用が可能な地域もある。地域における水資源(農業用水利用可能量)はこれらを総合的に検討して決める必要がある。ため池はこの農業用水利用可能量が確保できることが必要である。

例えば、既存ため池を利用する場合

- ・北部州のダッグアウトは、主に飲用、家事、家畜に利用されている。
- ・水道や井戸が利用できない場合は、ダッグアウトが最後の手段となる。
- ・このため、既存のため池の水は既得権者が利用し、新規確保分(嵩上げ、浚渫、越流など)をかんがいに利用する。

#### (2) 社会条件

ため池築造にはコストがかかる。また維持管理にも費用がかかる。

このため、これら投資に見合う収益がない場所は適地とならない。具体的には、コメを商品作物として栽培している地域であることが望ましい。また自家消費である場合は、コメを購入する場合の費用を上回る便益がある必要がある。

### (3) 材料調達

ため池築造において材料（土など）が容易に入手できない（もしくは搬入できない）場所では建設コストが押し上げられ、経済的に不利となる。

例えばソイルセメントを利用する場合、ソイルセメントはセメントと現地の土を混ぜて固化体を作成するものである。ソイルセメントは混ぜる土の粒度分布が異なると発現する強度が大きく異なる（同じセメント量でも粘土分が多いと強度が小さくなる）。このため、砂分が多い土がとれる場所でなければ、セメント混合量が多くなり、築堤が不経済となる。

## 1.1.3 水田条件

### (1) 自然状態で水稲栽培に十分な水がない場所

#### 1) 水環境と水稲栽培

ガーナ国で実施していた JICA 天水稲作持続的開発プロジェクト（H25 終了）では、補給かんがいを行わなくても、場所によってはかなりの収量向上を達成している（終了時報告によると、タマレのトライアルプロットで 3.0t→3.9t/ha、クマシで 4.0→6.6t/ha）。

一方、中間レビュー報告によると、北部州の平均単収（2007-2009）は 2.1t/ha、アシャンティ州の平均単収は 1.1t/ha とかなり低い。このことから、トライアルプロットは、かなり条件の良い場所を選定している。つまり、天水稲作とはいっても、場所により単収は大きく異なることがわかる。また、水稲の水依存性の報告によると、水稲はある一定の単収までは植物が利用できる水の量により単収は増加することがわかっている。

以上のことから、同じ降雨量と降雨パターンの地帯であっても、地形的に水が集まりやすい場所は天水プロのように畦を構築するだけで単収は改善する。一方、集まりにくい場所ではかんがいが必要となる。

## 2) 水稲栽培に必要な水量と水田条件

本マニュアルでは、コメの収量に最も影響を及ぼす幼穂形成期から開花期までのかんがいを行うこととしている（1.2 参照）。この時期は、水田の水が切れない状態に保つようにかんがいを行う必要がある。

Irrigation Water Management training manual (FAO, 1986)では、かんがい期に必要な水の量をおおよそ 20mm/日としている（Semiarid, strong wind, more sandy soil）。本マニュアル作成にあたり試験を実施したほ場では 16.5mm/day であった。かんがいが必要な期間は 40 日間であるため、660～800mm/40 日の水が必要である。

水田条件は、この水量からかんがい期間中の有効雨量を差し引いた水が、自然状態で確保できない場所である。タマレ（北部州州都）を例にとると、10年確率渇水年は2000年である。この年のかんがい期（9月1日から10月10日までの40日間）の降雨は287mm/40日であった。このため、降雨以外の水として約370～510mm/40日が確保できない場所が本マニュアルの計画対象地域となる。

### (2) かんがい可能地域

谷筋より標高が高い場所は水が集まりにくい。一方ため池は水を効率的に集めようとする谷筋に設計することが多い。このため、ため池の水を利用してかんがいを行う際、重力かんがいを行う場合は比較的延長の長い幹線水路を下流にむけて建設する必要がある（もしくはポンプによるかんがい）。費用対効果との比較になるが、地形条件が不利な場所では送水にかかる費用が高くなり、陸稲栽培しかできない（ため池を利用した水田適地とならない）。

### (3) 水田条件

上記をまとめると、以下のようになる（表 1.1）。

- ①水田域外から補給かんがいに必要な水（370～510mm/40日）が確保できない場所
- ②ため池の水でかんがいを行うにあたり経済的に不利でない場所ということになる。

表 1.1 水田から見た、ため池を利用した水田適地

降雨以外からの水利用可能量	送水費用	栽培方式
370～510mm/40日 以上		天水＋畦
370～510mm/40日 以下	低い	天水＋畦＋補給
	高い	天水＋陸稲

## 1.2 補給かんがい計画

### (1) 計画基準年

かんがいに影響を与える期間の 10 年確率渇水年を計画基準年とする

かんがい計画を策定するにあたっては、降水量は渇水年を基準とする。渇水確率は確率年を大きくすればそれだけ施設の規模が大きくなる。このため、確率年は小さいほど施設整備の面からは経済的となる。確率年については、日本の水田の場合 1/10 と定められている（土地改良設計基準 計画・農業用水（水田））。本マニュアルにおいてもこの数値を採用している。北部州においては 7 月の播種が一般的で

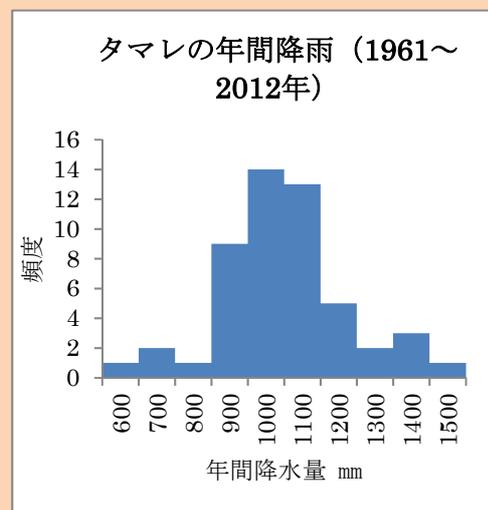
#### 計画基準年の算定方法

気象台において過去 51 年間のデータが揃っている北部州を例に基準年の算定を行った。

水稻栽培を行う 7～9 月の降雨が問題となるため、算定時期は 7～9 月とする。平均降雨は 584mm、標準偏差は 118mm である。降雨のデータの正規分布検定の結果、歪度の両側 P 値は  $0.04 > 0.01$  となった。また岩井法（最小降雨 695mm）における正規分布検定の結果、歪度の両側 P 値は  $0.03 > 0.01$  となった。このため確率年を求めるためには、計算が簡易な「降雨が正規分布している」として計算することとする。

10 年確率降雨量は  $584 - 1.2815 \times 118 = 433\text{mm}$ （2000 年の 430.0mm に相当）

5 年確率降雨量は  $584 - 0.845 \times 118 = 484\text{mm}$ （1966 年の 479.0mm に相当）



あるため、かんがいに影響を与える時期は7～9月とした。

## (2) かんがい計画 (かんがい期間 (D))

- ・かんがいはイネの収量に最も影響を与える幼穂形成期から出穂開花期 (40日間)

播種期の土壌水分は重要であるが、播種期に必要な水を確保すると、ため池の規模が大きくなり、費用が嵩む。このため、ため池を利用した補給かんがいでは、播種は降雨直後に行う。かんがいはイネの収量に最も影響を与える幼穂形成期から出穂開花期 (40日間) とする (表 1.2)。

表 1.2 稲の生育ステージごとのかん水方針

イネの生育ステージ	発芽後日数 (Jasmin85 の場合)	かん水方法
播種～最高分けつ期	0～60 DAG	天水
幼穂分化期～開花期	60～100 DAG	かんがい
登熟期～収穫	100～120 DAG	天水

※ DAG : Day after germination : 発芽後日数

## (3) 日かんがい水量

- ・補給かんがい時期は、湛水状態を保つことを原則
- ・日かんがい水量 = (蒸発散浸透量 - 計画基準年日有効降雨) / かんがい効率 × かんがい面積

### 1) 蒸発散浸透量 (減水深)

蒸発散浸透量は水田が湛水したときの1日あたりの水の減少量である。蒸発散浸透量はほ場におけるコメの生育状況、土壌、栽培前歴、畦の状況、地下水の状況により異なる。計画用水量に大きく影響することから事前に調査を行い把握しておく必要がある。なお本調査で実測したかんがい期の蒸発散浸透量は15mm/日であった。

### 蒸発散浸透量の測定方法

湛水している水田に目盛り付きの杭を立てて、目盛りの1日あたり減少量を計測する。

### 2) 有効雨量

日本では、計画用水量は蒸発散浸透量（日減水深）から、有効雨量（日雨量5～80mmの80%）を減じて求める。80mm以上の降雨は水田からあふれて貯留できない（丸山ら、1979）ため、80mm以上の降雨は80mmとして取り扱っている。

つまり、畦畔の高さにより有効雨量に上限がある。畦畔を20cm以上の高さで造成し、落水口を設けない場合は、80mm以上の降雨も有効雨量として考慮する。

### 3) かんがい効率

かんがい効率は取水した水のうちほ場にかん水できた水の量を率で表したものである。減少分は、主に子池からほ場に配水するまでに生じる（送水ロス）。

排水ロス率は配水方法が、パイプライン（5%）、コンクリート水路（10%）、土水路（20%）により異なる（送水ロスの数値は参考値）。

土水路は延長が長くなるとロスが増えるので、水路を土水路とする場合は、できる限り延長を短くすることが望ましい。

### 1.3 計画基準年における潜在的農業用水利用可能量（越流量）の算出方法

#### 1.3.1 概要

確保可能な農業用水を試算するとき、対象の水資源における現行の水利用を考慮する必要がある。特に、主に生活用水か家畜の飲用へ利用されているため池を対象とするとき、これらの水利用と競合しないようにしなければならない。

雨水の流入によって生じるため池からの越流は、現行のところ生活用水などと競合しないため池の水資源である。そこで、既存のため池の貯水量の変動を把握することで越流量を推計し、「潜在的農業用水利用可能量」を推定する。

ここでは、Curve number 法（以下、CN）を組み込んだ水収支式を用いて越流量を算出する方法について説明する。なお、同定と検証のために、本手法による推計には最低でも 2 年分のデータを必要とする。

越流量は、以下の水収支式の各要素を計算することにより算出される。

$$\text{貯水量変動} = \text{ため池への流入量} + \text{湖面への降雨} \\ - \text{利用量} - \text{蒸発量} - \text{降下浸透量} - \text{越流量}$$

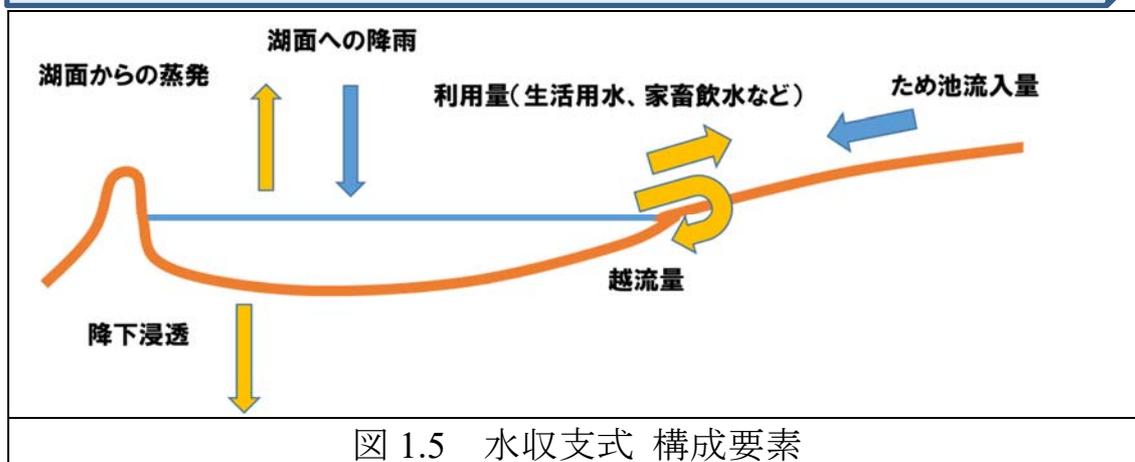


図 1.5 水収支式 構成要素

### 1.3.2 データの収集

ここでは、水収支式の各要素の計算のために、対象ため池や対象ため池の周辺で得る必要があるデータについて、その目的と入手方法について整理する。

#### (1) 流域の特定

- ・流域は、流入要素の「流域からの流出」の算出に必要である。
- ・流域面積は、地形図から得られるため池の集水域の範囲を示す。

流域面積を求めるには地形図が必要である。地形図を元に等高線図を作成し、流域面積を求める。このとき、地形図の縮尺はため池の規模に応じて準備されるべきである。縮尺は1/5,000以上を推奨する。

地形図が入手できない場合は、流域特定のための地形測量を行って地形図を作成し、等高線図を得る必要がある。

#### (2) 雨量データ

- ・雨量データは、日雨量、時間雨量を用いる。
- ・固定CNを用いる場合は、流入量の算定に日雨量を使用する。変動又は回帰CNを用いる場合は、流入量の算定に時間雨量を使用する。\*固定CN、回帰CNについては、1.3.5を参照のこと。

雨量は、対象ため池の流域内に雨量計を設置することで得る。



図 1.6 気象観測装置

### (3) 水位

- ・ 水位データは、対象ため池の水位変化のデータである。
- ・ 実測値は、時間あたり又は日あたり変位量とする。

水位データを取る場合には、時間間隔の記録が可能なロガーを持つ器械等を用いることを推奨する。

### (4) 利用量

- ・ 利用量は、生活用水や家畜の飲水などのため池の貯水の利用量の総和を示す。

日あたり単位利用水量を推計する。推計には、乾期のため池の水利用の頻度等を実際に調べ(最低でも3日)、その総利用量を計算する。例えば、生活用水量の推計には、汲み上げに使用した容器と共に利用者人数を記録し、その総利用量を計算する。家畜の飲水量は、頭数を記録し、下記に示した1頭あたりの飲水量から総量を計算する。

表 1.3 Estimated water requirement and voluntary intake of livestock under Sahelian conditions

Species	Mean live weight(kg)	Voluntary water intake (Litres/d) (27°C)	
		Wet season	Dry hot season
Cattle	180	10	27
Sheep	25	2	5
Goat	25	2	5
Donkey	105	5	16

MoWR/EARO/IWMI/ILRI, Water resources for livestock in Ethiopia: Implications for research and development, International Workshop held at ILRI, Addis Ababa, Ethiopia 2-4 December 2002, p70, Table 2に掲載されている表をもとに作成



図 1.7 生活用水のための水汲みの様子

### 1.3.3 H-V および H-A 曲線の作成

- ・ H-V 曲線と H-A 曲線は、それぞれ水位 (H) と貯水量 (V) の関係、水位 (H) と湖面面積 (A) をグラフにしたものである。
- ・ 貯水量や湖面面積を水位から推計し、貯水量の変化量を得るために導く。

H-V 曲線、H-A 曲線の作成には、ため池の内部の地形を把握する必要がある。ため池内部の地形を把握するには、地形測量や深淺測量といった方法がある。

ため池内部の地形を把握したら等高線図を作成する。ため池の貯水量は、各等深度線に囲まれた深さ毎の容積の和で得られる。等高線図から得られる各深度ごとの面積を計測する。等高線上層の等深度の面積を  $A_1$ 、下層の等深度の面積を  $A_2$  として上層と下層の深度の差を  $h$  とすると、上層と下層に囲まれた貯水量  $V_{(1-2)}$  は、次式となる。

$$V_{1-2} = (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})h/3$$

すべての層間の貯水量が得られたら、湖底から水面までの各層の容積を足し合わせて総貯水量を求める。

層間の貯水量と水深、層別の面積と深度の関係を図化したものが、H-A および H-V 曲線である。

### 1.3.4 流出パラメーターの推計

- ・水収支式の流出の構成要素である蒸発量と降下浸透量は、地域、季節、立地条件によって異なる。
- ・観測した気象や水位データを用いて、推計する必要がある。

#### (1) 蒸発量

- ・気象観測データが利用できる場合はペンマン法で計算
- ・それ以外は、気象台のデータもしくは地域代表値

##### 1) ペンマン法

正味放射量（純放射量）や気温、湿度、風速の日データが入手可能な場合はペンマン法により蒸発量を算定する。このときアルベド（反射率）は表面の状態に応じて決める必要があるが、水面は0.06～0.12でよい。

##### 2) 気象台データもしくは地域代表値

FAOによると Semiarid 地域の可能蒸発量の地域代表値は、8～9mm/dとしている。

流域比（満水湖面面積と流域面積の比）が大きい場合、蒸発量が水位変化に及ぼす影響は限られている。

たとえば、流域比40、年間降水量1,000mm、流出率20%である場合、流入高は8,000mm/y。一方蒸発量が1mm/d異なっても蒸発高は365mm/yしか異ならない。このため、8mmで計算しても9mmで計算しても越流量算定には大きくは影響しない。

#### (2) 降下浸透量

降下浸透量（漏水）は、乾期の無降雨期間の水位変化は流出要素の

みであると仮定して推測する。この時、水収支式は以下のようなになる。

貯水減少量(無降雨期間)

=蒸発による減少量+利用による減少量+降下浸透による減少量

降下浸透による減少量を移項し整理すると、

降下浸透による減少量

=貯水減少量-蒸発による貯水減少量-利用による減少量

となる。

### 1.3.5 CNの設定

・水収支式の流入の構成要素である「ため池への流入量」の算出に必要である。

一般にCNは、**表1.4**のとおり土地利用、土壌浸透性、植生などにより設定され、以下の式を用いて流域からの流出量が計算される。

R>0.2s の時、

$$Q = (R - 0.2s)^2 / (R + 0.8s)$$

$$s = 254 (100 / CN - 1)$$

R≤0.2s の時、 Q = 0

Q : 日直接流出量(mm), R: 日降水量(mm)

s: 保水係数(mm), CN: Curve Number

表 1.4 代表的な Curve number

Cover		Hydrologic condition	Hydrologi soil group			
Land Use	Treatment		A <sup>1)</sup>	B	C	D
Fallow	Bare soil	-	77	86	91	94
Brush-brush-weed-grass mixture with brush the major element		Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30	48	65	73
Wood-grass combination (or orchard or tree farm)		Poor	57	73	82	86
		Fair	43	65	76	82
		Good	32	58	72	79

<sup>1)</sup> A: Low runoff potential, B: Moderate infiltration rate, C: Slow infiltration rate, D: High runoff potential

USDA Natural Resources Conservation Service, National Engineering Handbook, Chapter9,2004 に掲載されている表をもとに作成

本マニュアルでは、以下の方法による CN の算定方法を提案する。

i) 固定CN

地表の被覆状況や土壌条件から単数のCNを設定する

ii) 変動CN

降水量によって複数のCNを設定する

iii) 回帰CN

降水量と旱天日数の回帰式によってCNを設定する

i) 固定 CN

流域からの流入量を、単一の CN を用いて算出する方法である。CN 初期値で推定した計算流入量と、貯水量変化量から算出した実測流入量を比較し、CN 初期値の修正を行い、固定 CN を設定する。

ii) 変動 CN

流域からの流入量を、降水量の大きさに応じ設定した複数の CN で算出する方法である。貯水量変化から計算流入量を算出し、その結果から CN を同定する。

同定結果を降水量別に CN を 2~4 段階程度の階級に分けて設定し、流出量を算出する。

例) 日降水量 36mm 以上の時、CN=72、日降水量 10mm 以上 36mm 未満の時、CN=81、日降水量 10mm 未満の時、CN=95

iii) 回帰 CN

流域からの流入量を、降水量と旱天日数の回帰で得られる CN で算出する方法である。貯水量変化量から計算流入量を算出し、その結果から CN を同定する。同定した CN と降水量から回帰分析をして、回帰 CN を求める。

これらの CN の特徴、利点と難点は以下のとおりである。

表 1.5 CN の特徴

種 類	簡易さ	精度
固定 CN	+++	+
変動 CN	++	++
回帰 CN	+	+++

採用した CN から算出した流域からの流出量が信頼できるかどうかは、実測で得られた貯水量変化から流域からの流出量を同定し、採用した CN から算出した計算流出量と比較することで明らかになる。

検証方法については、「1.3.6 CN の検証」に記載する。

### 1.3.6 CN の検証

・採用したモデルの CN が、流域からの流出量を算出できているか、実測値との比較によって検証する。

実測値は、1.3.2 (3) で得られた実測水位から同定した流域からの流出量で示す。流域からの流入量の同定は、実測水位と 1.3.3 で作成した H-V 曲線から貯水量変化を算出し、水収支式を用いて計算する。計算値は、設定した CN によって計算される流域からの流出量を指す。

提案する検証方法は、以下の 2 つである。

- i) 相対誤差
- ii) Nash-Sutcliffe efficiency(以下、NSE)

検証の結果は、ため池や流域の規模や求める精度に応じて、評価するとよい。

- i) 相対誤差

相対誤差は、以下の式で求める。

$$\text{相対誤差(\%)} = (\text{計算値} - \text{実測値}) / \text{実測値} \times 100$$

ii) NSE 法

NSE は以下の式で求める。

$$\text{NSE 値} = 1 - \frac{\sum (V_{obs} - V_{cal})^2}{\sum (V_{obs} - V_{ave})^2}$$

$V_{obs}$ : 実測値、 $V_{cal}$ : 計算値、 $V_{ave}$ : 実測値の平均値

NSE 値は、坂口ら (2013) によると

NSE 値 ≤ 0.50	Unsatisfactory	
NSE 値 0.50~0.65	Satisfactory	
NSE 値 0.65~0.75	Good	
NSE 値 ≥ 0.75	Very good	と区分されている。

### 1.3.7 計画基準年の潜在的農業用水利用可能量（越流量）の計算

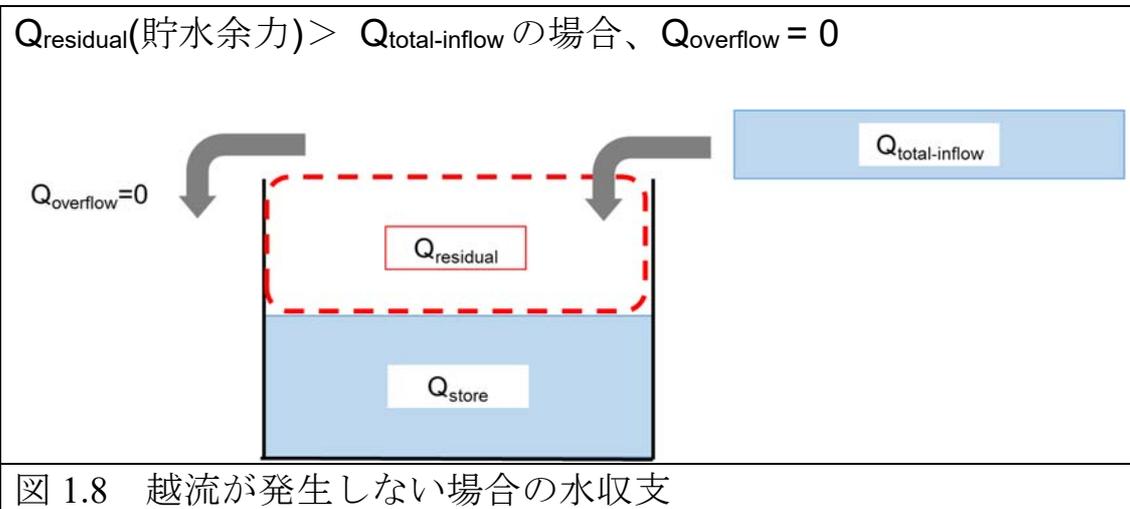
検証した CN を用いた水収支式により、計画基準年の越流量を推計する。

越流は、降雨イベントによってため池の貯水余力がなくなること  
で生じる。貯水余力を把握するために、検証を終えた CN を用いた水  
収支式から貯水量 ( $Q_{store}$ ) を算出する。降雨の際の、貯水余力 ( $Q_{residual}$ )  
と総流入量 ( $Q_{total-inflow}$ ) の関係に応じた水収支式を用いて、越流量を  
推計する。

(1) ため池内の貯水量の推計（総流入量が貯水余力を超えない場合）

越流が発生しない時の水収支式と水収支の概念（図 1.8）を示す。

$$Q_{\text{store}} \text{の増} = Q_{\text{total-inflow}} (\text{ため池への流入} + \text{湖面への降雨} \\ - \text{利用量} - \text{蒸発量} - \text{降下浸透量})$$



なお、貯水余力は、ため池総容量から貯水量を引いた量とする。

(2) 貯水余力があるが、それを上回る総流入量があり、越流が発生する場合

貯水余力があるが、それを上回る流入が発生した場合、越流が発生する。この時の越流量を算出するための水収支式と概念図（図 1.9）を示す。

$$Q_{\text{overflow}} = Q_{\text{total-inflow}} (\text{ため池への流入+湖面への降雨}) \\ - \text{利用量} - \text{蒸発量} - \text{降下浸透量}) \\ - Q_{\text{residual}} (\text{貯水余力})$$

$0 < Q_{\text{residual}} (\text{貯水余力}) < Q_{\text{total-inflow}}$  の場合

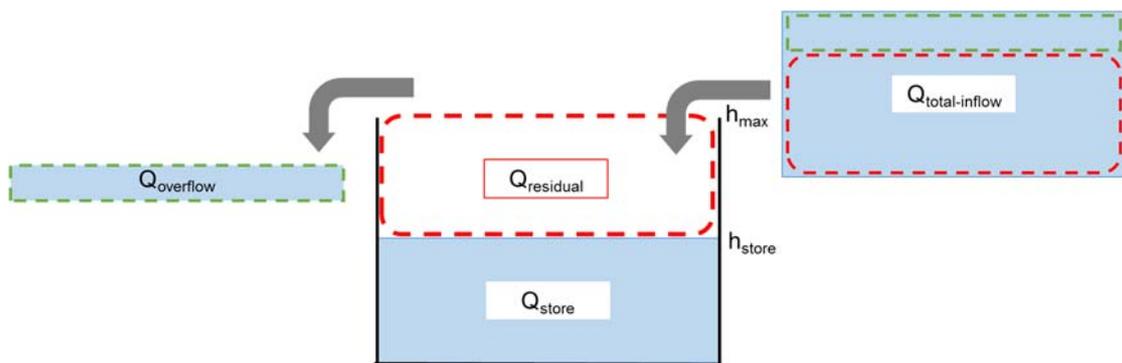


図 1.9 貯水変化量が貯水余力を超え、越流が発生する場合の水収支

(3)貯水余力が全くない時（満水時）に降雨があり、越流が発生する場合

満水時に降雨イベントが生じた場合、貯水余力はゼロであるため、総流入量と越流量は等しくなる。この時の越流量を算出するための水収支式と概念図（図 1.10）を示す。

$$Q_{\text{overflow}} = Q_{\text{total-inflow}} (\text{ため池への流入} + \text{湖面への降雨} - \text{利用量} - \text{蒸発量} - \text{降下浸透量})$$

$Q_{\text{residual}}$ (貯水余力) = 0 の場合

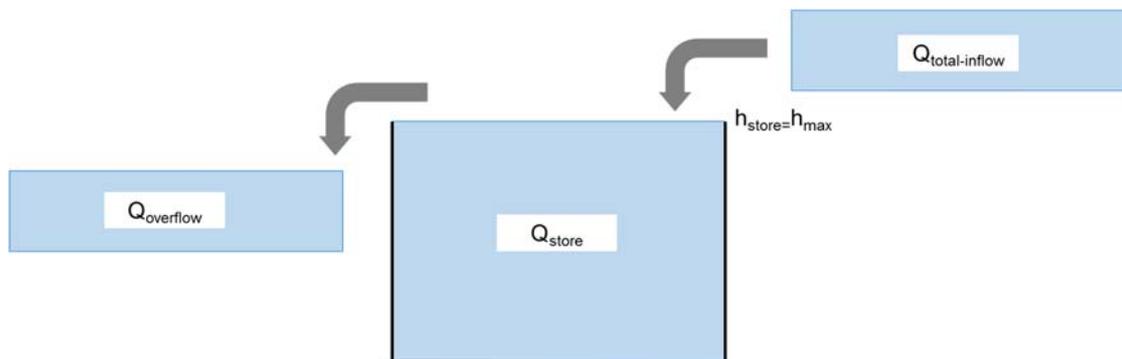


図 1.10 満水時に降雨があり、越流が発生する場合の水収支

### 1.3.8 調査対象地を事例とした計算例

#### (1) 流域面積

対象地域では、トータルステーション (STS 社 TSS200、以下 TS) を用いて、30~50m 間隔で地形測量を行い、その結果から流域面積を 44ha と算出した。

#### (2) 降雨データ

時間雨量については、ため池堤体上に設置した気象観測装置 (On-set 社、1 時間間隔) のデータを使用した。

#### (3) 水位データ

対象地のため池では、量水標を用いた目視データ（1日1度）と、水圧式自記観測装置（HOBO社、U-20、1時間間隔）を用いた。

#### (4) 利用量

対象地のため池の貯水は、主に家事、飲料水、洗濯などの生活用水と家畜の飲水に利用されている。

生活用水による日利用量は、利用者数と利用容器の容量を調べる水利用状況調査を乾期に行い、 $32.65 \text{ m}^3/\text{d}$ と決定した。

対象地の主な家畜は牛と羊であった。集落での聞き取りとため池での数え上げによる利用状況調査から、ため池の日あたり利用頭数を牛100頭、ヤギ200頭とした。

表 1.3 から家畜の日あたり飲水量は、それぞれ牛  $10\text{l}/\text{d}\cdot\text{頭}$ 、ヤギ  $2\text{l}/\text{d}\cdot\text{頭}$ として算出し、家畜による日あたり総飲水量を  $1.4 \text{ m}^3/\text{d}$ とした。

#### (5) 作成

一般的に、貯水量算出のためにはボート上からスタッフ（測深尺）を用いて湖面から湖底までの水深を測る深浅測量を行う。深浅測量は、ため池を横断する3つ以上の測線で等間隔に深度を計測するものである。そして、計測した位置をプロットし、その水深を記録する。プロットした位置とその水深から、等深度線を結んで湖盆図を作成される。

対象地域では、貯水が一時期干上がったため、ボートとスタッフを使う深浅測量ではなく、TSを用いた地形測量を行って湖盆図を作成した。

また、表 1.6 に貯水量の算出例、図 1.11 と 1.12 に H-V および H-A 曲線を示す。この例が示すため池の貯水量は約  $11,490\text{m}^3$ 、湖面面積  $9,110\text{m}^2$ 、最大水深  $2.2\text{m}$ となる。

表 1.6 ため池貯水量計算 例

	水深(m)	面積(m <sup>2</sup> )	深度別容積(m <sup>3</sup> )	累積容積(m <sup>3</sup> )
1	0	0	0	0
2	0.1	200	7	7
3	0.3	411	127	134
4	0.5	1,773	325	458
5	0.7	3,257	538	996
6	0.9	4,231	805	1,801
7	1.1	4,797	1,032	2,832
8	1.3	6,338	1,207	4,040
9	1.5	6,753	1,383	5,423
10	1.7	7,678	1,552	6,975
11	1.9	8,819	1,709	8,685
12	2.0	9,005	911	9,596
13	2.2	9,109	1,891	11,487

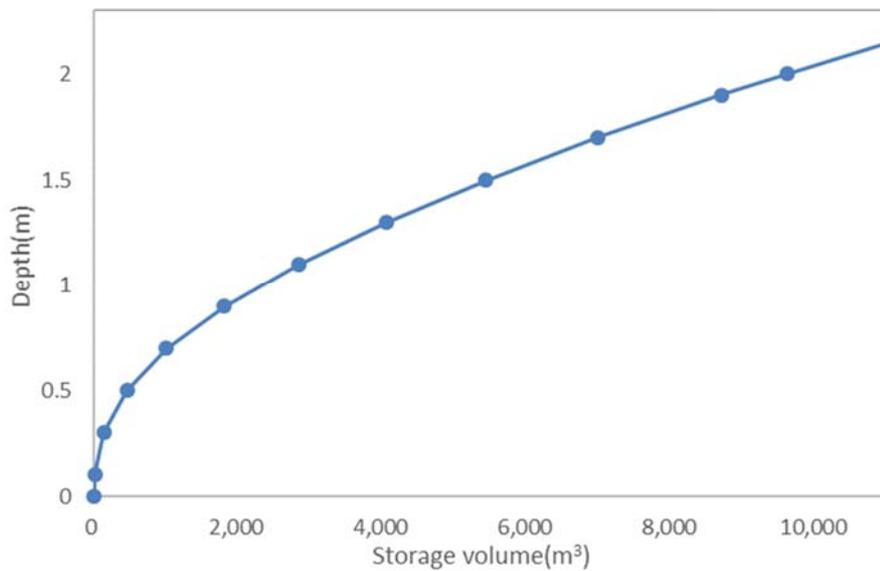


図 1.11 対象ため池の H-V Curve

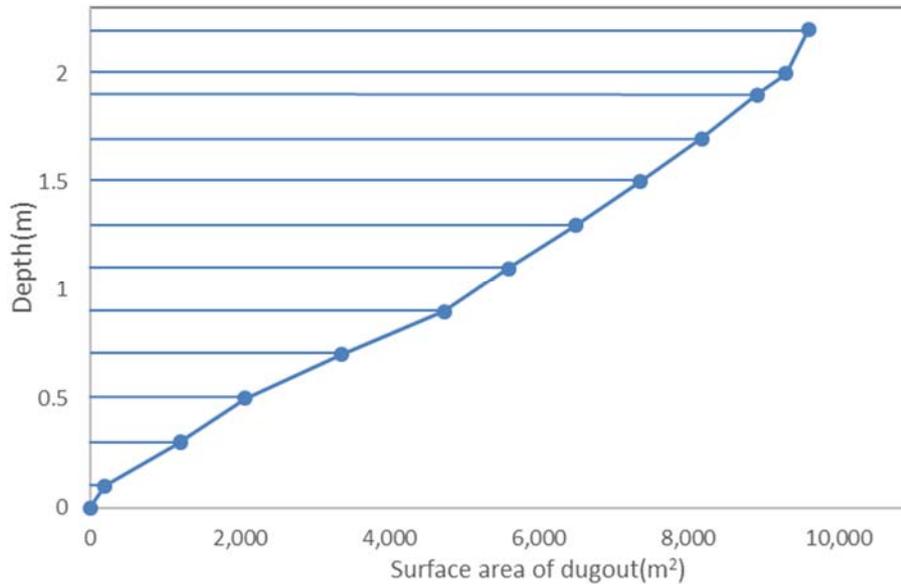


図 1.12 対象ため池の H-A Curve

(6) 蒸発量

ため池堤体に設けた気象観測装置において、気温、湿度、風速を観測した。得られたデータと設置場所の緯度経度と日照時間から算出される純放射量から平均日蒸発量を 5.8 mm/d と算定した。

(7) 降下浸透量

量水標の日あたり水位データの変動から、2013.12.12～2014.3.12 を無降雨期間と判断し、この期間のため池の水収支は流出要素のみであったと仮定して、降下浸透量を算出した。

貯水量と水位の関係式から得られる貯水量より蒸発散量と利用量を減じて、日平均降下浸透量を 1.28mm/d と推定した。

## 1.4 ドローンを使った簡易な地形図作成方法

市販のドローン（UAV）を用いると、従来と比較して簡易（時間短縮、経費縮減）に地形図の作成ができる。

精度は高低差 10cm/100m、直径 100m のため池の容量で 20% 程度の誤差となる。

### 1) ドローン等の種類

本マニュアルを作成するにあたり利用したドローンは DJI 社製の Phantom3 Advance（以下 Phantom）である。また、地形図作成に利用したソフトは、Agisoft Photoscan professional ver. 1.2（以下 Photoscan）、等高線に囲まれた部分の面積の算定は、QGIS Desktop 2.14.1（以下 QGIS）である。解析に用いた PC は VAIO SVZ1311 (Core i7-3520M) である。

### 2) ドローンを活用した地形測量の手順

ドローンを活用した地形測量の手順は以下のとおり。なお、ここではドローンの整備方法や飛ばし方、撮影方法は記述しない。製品のマニュアルを参照すること。

#### i 対象とする地物（ため池、流域、水田など）に対して写真 1 枚分広く撮影

- ・対象とする地物（ため池、流域、水田など）に対して写真 1 枚分広く撮影する。
- ・撮影は、それぞれの写真が 2/3 程度重なるように行う。
- ・保存データは、解像度が高いほど望ましい。Phantom3 の場合、RAW 形式での撮影も可能。今回は JPEG（5MB）で解析を行った
- ・撮影高度は、地物の大きさや求める精度により変わる。流域境界に用いる場合は 100m 程度、ため池の測量を行う場合は 50m が

## 目安

ii 撮影した画像を **Photoscan** で解析し、**DEM** データと等高線データを抽出

iii 貯留量算定を行う場合は、等高線データを **GIS** ソフトに読み込み、標高ごと等高線に囲まれた部分の面積を算出

### 3) キャリブレーション

ドローンで撮影した空中写真から地形図を作成する際には **Photoscan** を利用する。空中写真から地形図を作成するためには、カメラについているレンズの歪みを修正 (キャリブレーション) する必要がある。キャリブレーションの方法は2種類ある。

(1) 予め決まったパターンのもので撮影 (市松模様など) して、その画像の歪みから歪みを修整する方法 (**Photoscan** には **Agisoft Lens** というソフトが組み込まれており、このソフトで歪みを推定することができる)

(2) 画像解析ソフトに組み込まれているセルフキャリブレーションにより修正する方法

(1) の方法の方が精度は良いので、時間がある場合は (1) によるキャリブレーションを実施する。

### 4) 面積の算定 (ため池の貯留量算定)

**Photoscan** では、**DEM** (数値標高モデル) の作成、これに基づいて等高線を描くことはできるが、等高線に囲まれた部分の面積の算定はできない。ため池の貯水量を推定するためには、標高ごと、池の内側の等高線に囲まれた面積を算出する必要がある。このため、**Photoscan** で作成した等高線データをシェープファイルで出力し、**GIS** ソフト (**QGIS**) で読み込んで、囲まれた部分 (ポリゴン) の面積を解析する。具体的には以下の手順で行う。

i Photoscan で作成した等高線をポリゴン、ポリラインともにファイルとして出力（エクスポート）

ii QGIS で読み込む

iii Photoscan で作成した等高線（ポリゴン）の多くは一部が閉じておらず閉じた図形に修正

閉じた図形に修正する方法は、以下のサイトを参考にする。

[http://docs.qgis.org/2.6/en/docs/training\\_manual/create\\_vector\\_data/topo\\_editing.html](http://docs.qgis.org/2.6/en/docs/training_manual/create_vector_data/topo_editing.html)

iv 閉じることでポリゴンの面積を計測

## 5) 事例紹介

### (1) ほ場の地形測量

ガーナ国北部州 N 村のほ場における地形測量の例を示す。撮影は乾季（植生が乏しい時期）に行った。植物が生えていると、植物の高さが影響して、地面の高さが表現できない。

撮影は、おおよそ 2/3 が重なるように実施した。図 1-3 はほ場の撮影ポイントを示す。撮影高度は 50m で実施した。

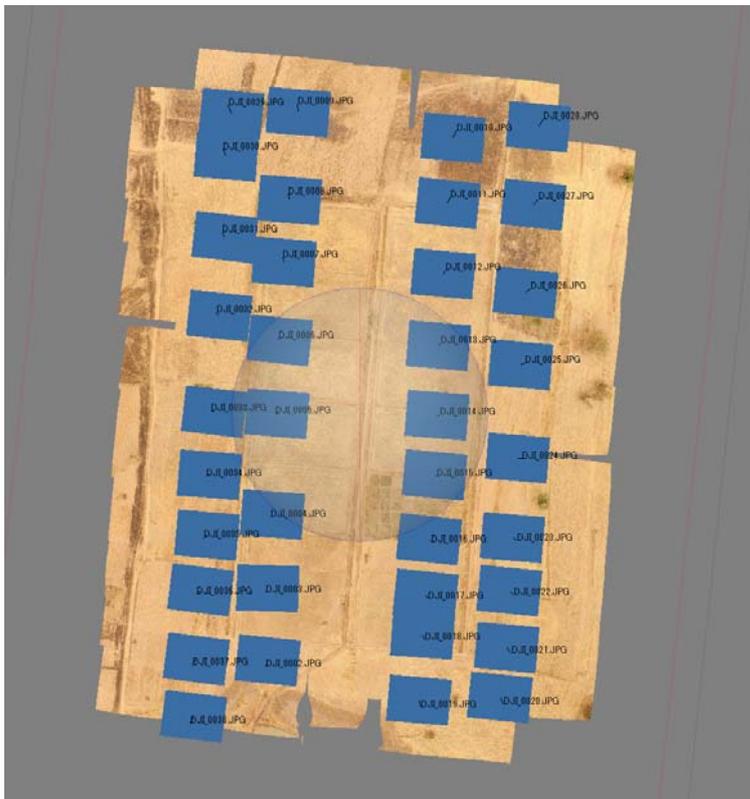


図 1.13 ほ場撮影ポイント

Photoscan で地形図を作成した結果を図 1.14 に示す。高低差の精度は 10~15cm である。

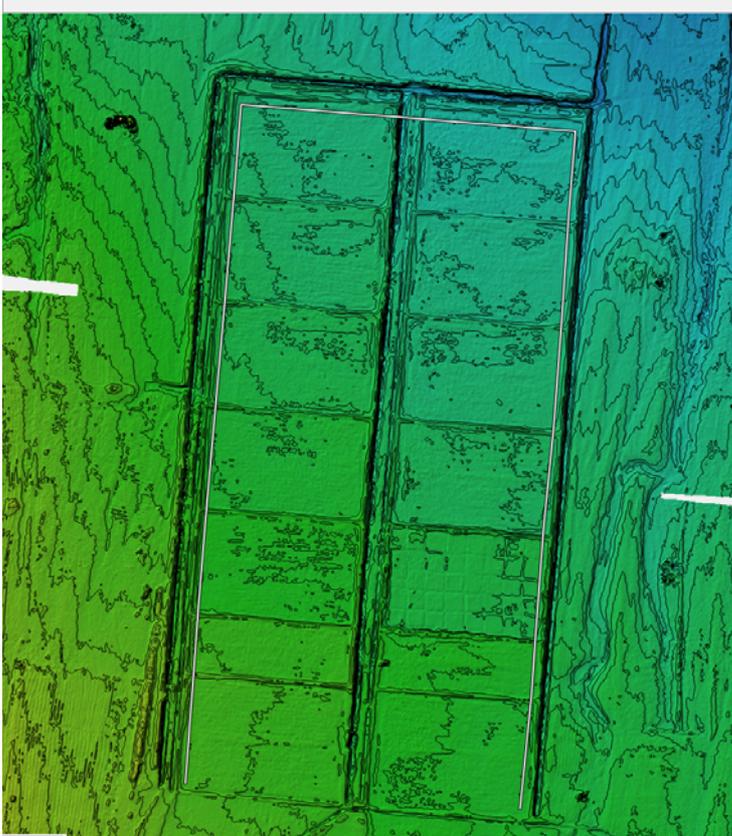


図 1.14 ほ場地形図

## (2) ダッグアウト地形測量

ダッグアウトの地形測量の例を示す。図 1.15 は撮影ポイントを示す。ダッグアウトは、完全に水がない場合は測量が可能であるが、水がある場合は、水がある場所の深さを別で測る必要がある。なるべく水が少ない時期に実施することが重要となる。なお、例に示したダッグアウトは直径 100m 程度。測量機器で測量を行うと二人一組で 4 時間程度必要であるが、ドローンだと 30 分の撮影で終わる。

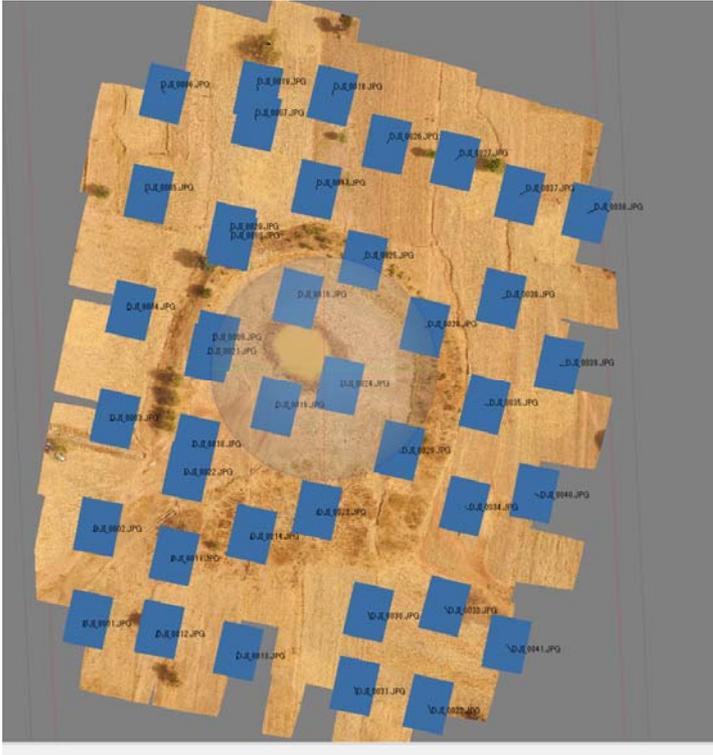


図 1.15 ダッグアウト撮影位置

Photoscan で地形図を作成した結果を図 1.16 に示す。容量の精度は±20%程度ある。

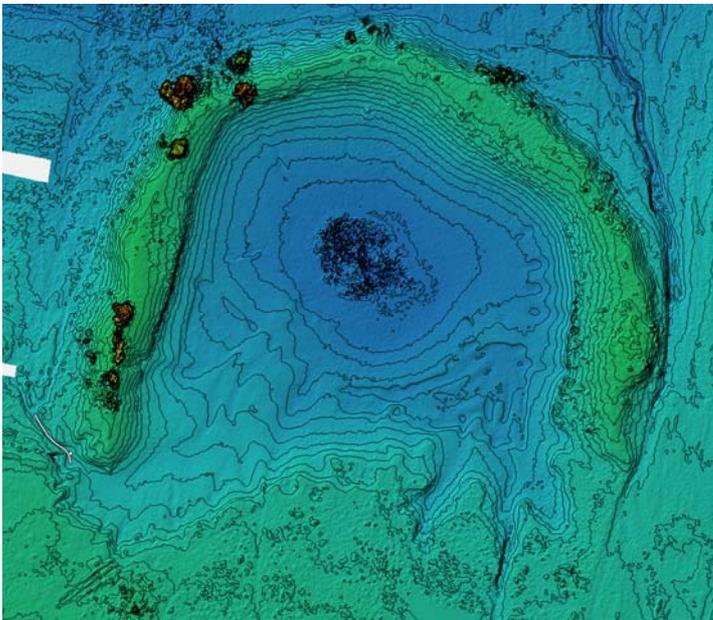


図 1.16 ダッグアウト地形図

### (3) 流域測量

ダッグアウトの流域測量の結果を図 1.17 示す。流域はダッグアウトと異なりかなり広い。このため直接測量を行うのは非常に時間がかかる。本ケースの場合は、直接測量するのに 6 人日必要であった。ドローンでは 1 時間程度の撮影で終了する。精度は±10%程度である。

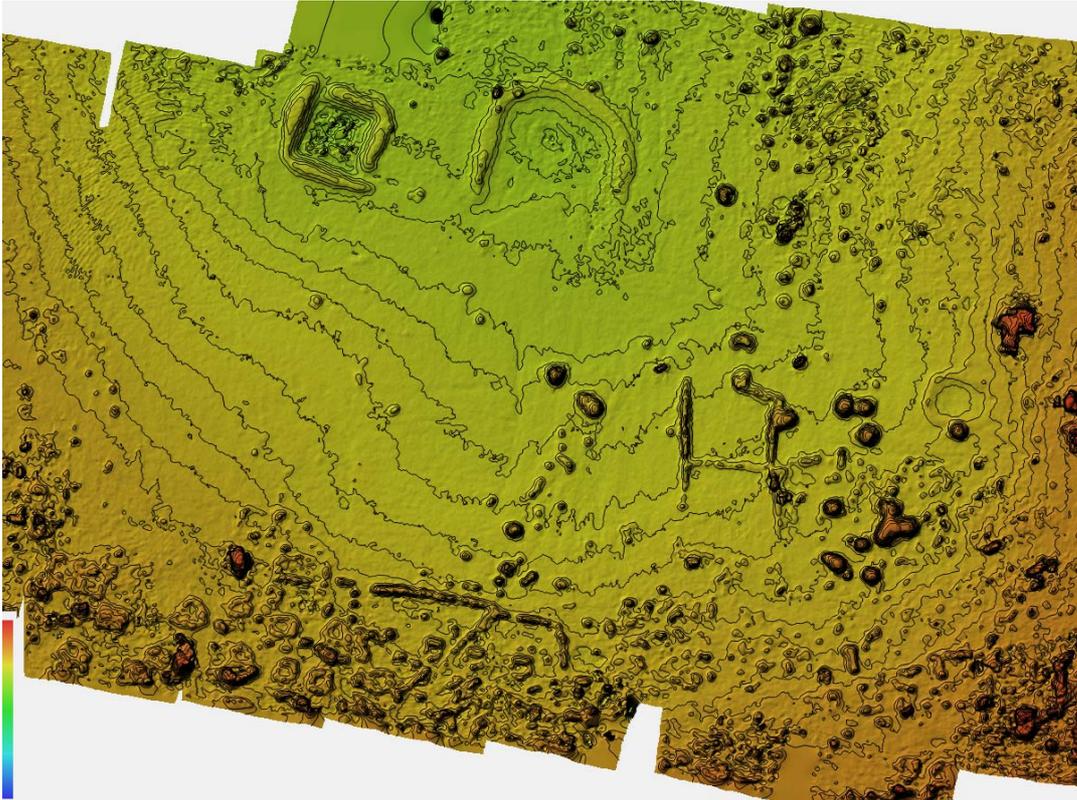


図 1.17 流域地形図

## 第2章 補給かんがいのための施設整備

### 2.1 施設整備とメリット

本章では稲作を含めた農業へ利用可能な貯水を生み出すための施設整備について提示する。新たな貯水を確保する技術として、既存ダッグアウトから流下する未利用水の利用に着目し以下の2つの技術を紹介する。

表 2.1 施設概要とそのメリット

施設	施設概要とメリット
親子ため池システム	既存のダッグアウト（親池）から未利用のまま流下する水を、新たな池（子池）に貯め稲作に利用するシステム。既存のダッグアウトとは貯水の用途を明確に分けることが可能である。
土のうとソイルセメントを用いた嵩上げ工	ソイルセメントを中詰め材とした土のうで構築した施設。土のうを締固め用の型枠として使用し、中詰め材にソイルセメントを用いることで、土のう劣化後の躯体の耐久性を改善している。農村部で入手可能な材料を用いて人力による施工が可能である。

## 第2章 補給かんがいのための施設整備

### 2.1 施設整備とメリット

本章では稲作を含めた農業へ利用可能な貯水を生み出すための施設整備について提示する。新たな貯水を確保する技術として、既存ダッグアウトから流下する未利用水の利用に着目し以下の2つの技術を紹介する。

表 2.1 施設概要とそのメリット

施設	施設概要とメリット
親子ため池システム	既存のダッグアウト（親池）から未利用のまま流下する水を、新たな池（子池）に貯め稲作に利用するシステム。既存のダッグアウトとは貯水の用途を明確に分けることが可能である。
土のうとソイルセメントを用いた嵩上げ工	ソイルセメントを中詰め材とした土のうで構築した施設。土のうを締固め用の型枠として使用し、中詰め材にソイルセメントを用いることで、土のう劣化後の躯体の耐久性を改善している。農村部で入手可能な材料を用いて人力による施工が可能である。

## 2.2 親子ため池システム

### 2.2.1 親子ため池システムの定義

生活用水や家畜用水が主目的であるダッグアウトにおいて、越流水を貯める池（子池）を配置し、子池に溜まった水を補給かんがい利用するシステム

ガーナ国北部州のダッグアウトは、雨期の満水位到達以降は余剰となった貯水が下流に流出している。

ダッグアウト貯水を直接稲作に利用することは生活用水等の水需要との競合から難しいが、池からの流出水であればかんがい用水の確保が可能であり競合を避けることができる。このことから、ダッグアウト（親池）からの越流水を貯める池（子池）を設置する（図 2.1）。

なお親池となるダッグアウトはオンストリーム型であるのに対し、子池はオフストリーム型となる。子池から水田への配水は、両



間の相対標高差により重力かポンプとなる。

## 2.2.2 ダッグアウトの定義

ダッグアウトの標準平面・断面を図 2.2 に示す。IFPRI (2011) によるとダッグアウトの定義は取水施設、水路を持たず、地盤を掘削し下流側に土砂を積み上げた簡易な構造物である。

本マニュアルでは、主にダッグアウトの越流水を水稻に有効に利用するための方法について述べている。

なお、掘り抜きため池 (図 2.3) との違いは、以下のように整理できる。

ダッグアウトは堤体端部から越流水が発生する (洪水吐の機能が上流側にある)。

掘り抜き型は満水になると下流側に越流水が発生する。

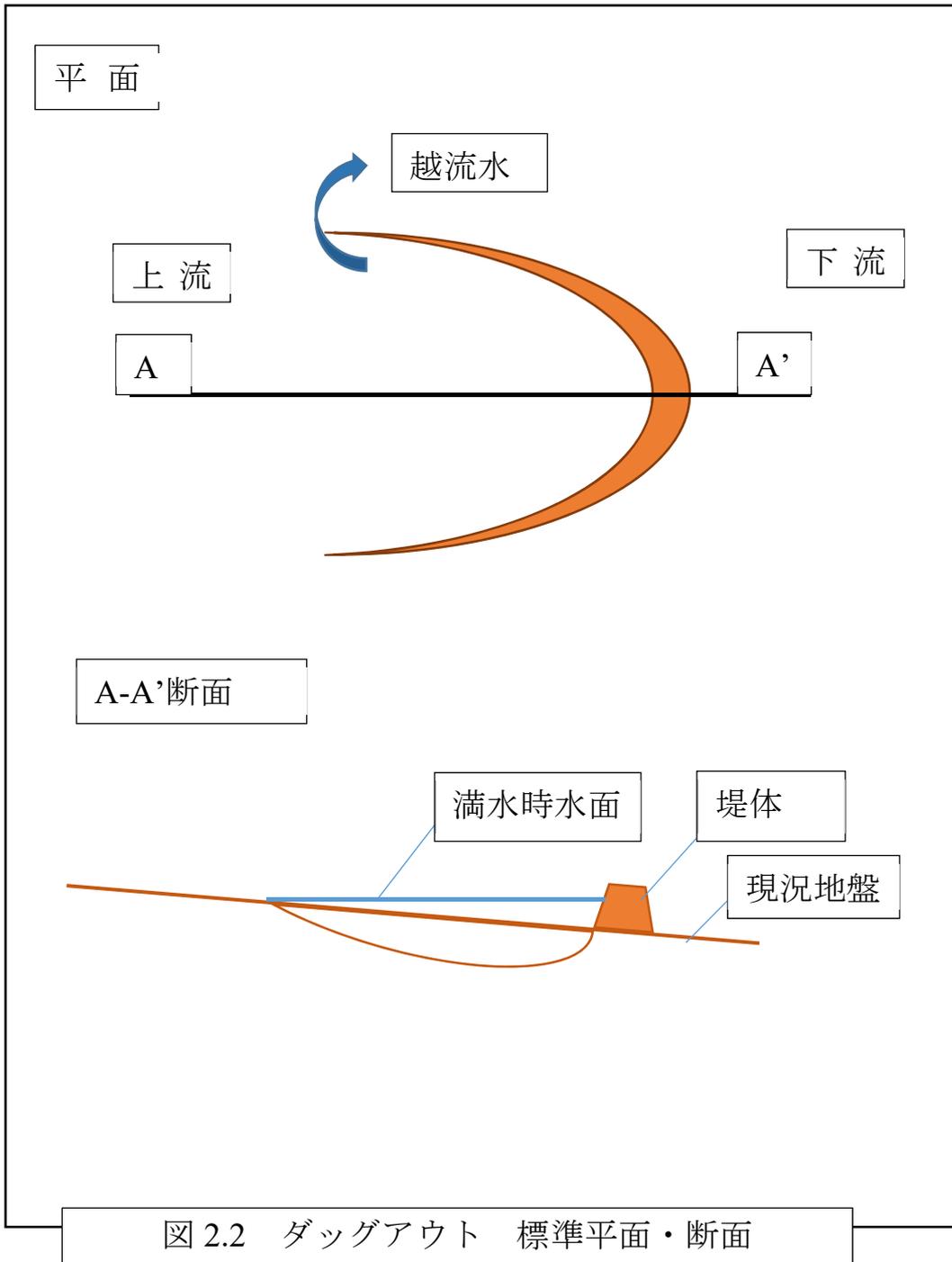
## 2.2.3 子池の設計

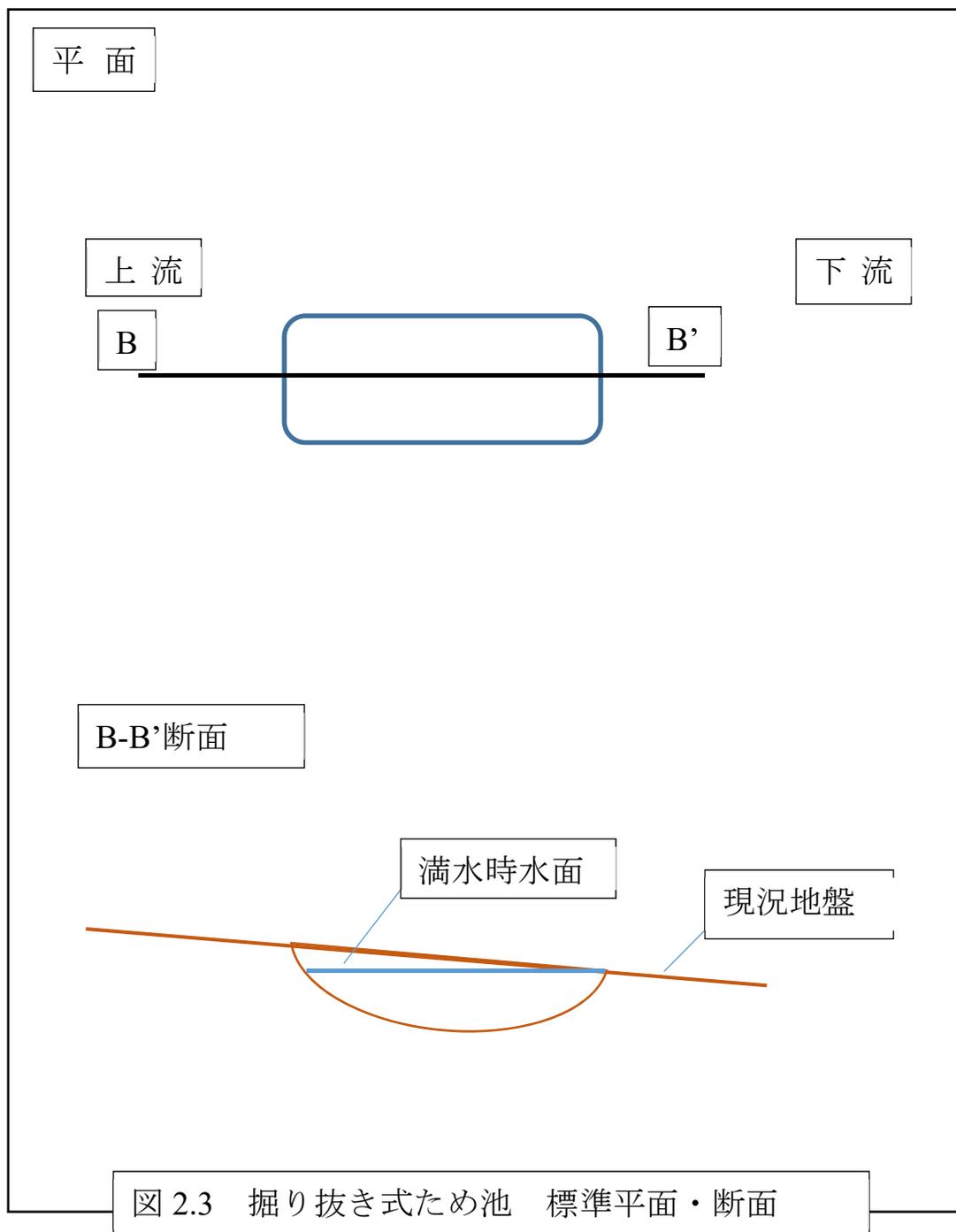
### (1) 子池の設計フロー

子池の容量は以下の手順で決定する。

- 1) 計画基準年の決定
- 2) 親池からの越流量の算定
- 3) 子池容量の決定

ここで、1) 計画基準年の決定、2) 親池からの越流量の算定は第 2 章「補給かんがい計画」を参照のこと。





## (2) 子池容量と灌漑可能面積の決定

子池容量は、単位日かんがい水量、日降雨量、かんがい面積より日かんがい用水量を算定し、かんがい期間中に空にならないように設定する。

子池容量は、以下の手順で算出する。

- 1) 日単位かんがい水量、かんがい期間中の日降雨量、一日あたりかんがい面積から日かんがい用水量を算出。
- 2) その日の子池貯水量から日かんがい用水量を減じ、翌日の子池貯水量とする。
- 3) 降雨があった日は、子池への直接降雨と親池からの越流水を子池貯水量に加える。
- 4) かんがい期間中の子池貯水量がゼロにならない子池容量をソルバーで求める。

### 算定事例

2ha のほ場に 9 月 1 日から 40 日間補給かんがいを実施するためには、子池の規模がどの程度必要であるか検討した。

子池の規模を決定するにあたっては、減水深を 16.5mm/d (15mm/d\*1.1：実測減水深に 10%の余裕を見込む)、かんがい効率 95%、湖面蒸発を 6mm/d、漏水量を  $0.086 \times \text{水深 (m)}$  mm/d、7 日間断かんがい、親池の流域面積 44ha とした。

計算は以下の条件で実施した。1) 9 月 1 日には子池・親池ともが満水になっている。2) 計画基準年の降雨 (2000 年) により発生する親池への流入量 (CN 法) が子池に流入する。

子池の貯水量がどの程度であれば、2ha の水田にかんがいするのに十分であるか算定した (表 2.2 は子池規模 5,000m<sup>3</sup> の計算例)。

この結果、ため池の容量はおおよそ 5,000m<sup>3</sup> 必要となった (図 2.4)。なお、子池の深さは、洪水吐高さ (越流水深) 20cm、漏水防止泥厚 10cm (2.2.5) を考慮して 2.3m とした。

表 2.2 補給かんがい期の日別かんがい水量と子池の貯水量  
(2005 年)

	子池貯水量	降雨	流入量	湖面涵養	減少量	うち、 かんがい
	m <sup>3</sup>	mm/d	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
8月25日		5.3				
8月26日		0				
8月27日		0.4				
8月28日		0				
8月29日		0				
8月30日		13.2				
8月31日		0				
9月1日	5,000	0	0	0	628	571
9月2日	4,372	0	0	0	650	597
9月3日	3,723	0	0	0	645	597
9月4日	3,078	0	0	0	642	599
9月5日	2,437	10.6	0	27	35	-
9月6日	2,428	9.6	594	24	35	-
9月7日	3,011	27.8	1,286	70	40	-
9月8日	4,327	0	0	0	617	564
9月9日	3,711	0	0	0	473	425
9月10日	3,238	0.5	0	1	468	425
9月11日	2,772	9.4	558	24	465	425
9月12日	2,889	0	0	0	40	-
9月13日	2,849	0	0	0	40	-
9月14日	2,809	14.8	30	37	40	-
9月15日	2,836	32.5	2,087	81	656	616
9月16日	4,349	21.8	506	55	594	542
9月17日	4,315	14.4	20	36	432	379
9月18日	3,939	14.2	15	36	323	273
9月19日	3,668	19.1	260	48	48	-
9月20日	3,928	0.5	0	1	50	-
9月21日	3,879	0	0	0	48	-
9月22日	3,831	6.5	146	16	200	153
9月23日	3,793	0	0	0	363	315
9月24日	3,431	5.4	53	14	437	392
9月25日	3,061	1.1	0	3	506	464
9月26日	2,558	0	0	0	38	-
9月27日	2,520	26.9	1,151	67	38	-
9月28日	3,701	10.4	0	26	48	-
9月29日	3,680	5.7	74	14	513	466
9月30日	3,255	25	885	63	489	446
10月1日	3,714	0.2	0	1	465	418
10月2日	3,250	0	0	0	362	320
10月3日	2,888	0	0	0	40	-
10月4日	2,848	0	0	0	40	-
10月5日	2,808	0	0	0	40	-
10月6日	2,768	5.3	47	13	551	511
10月7日	2,277	0.5	0	1	574	539
10月8日	1,705	0	0	0	668	638
10月9日	1,037	0.2	0	1	661	636
10月10日	377	24.3	795	61	18	-

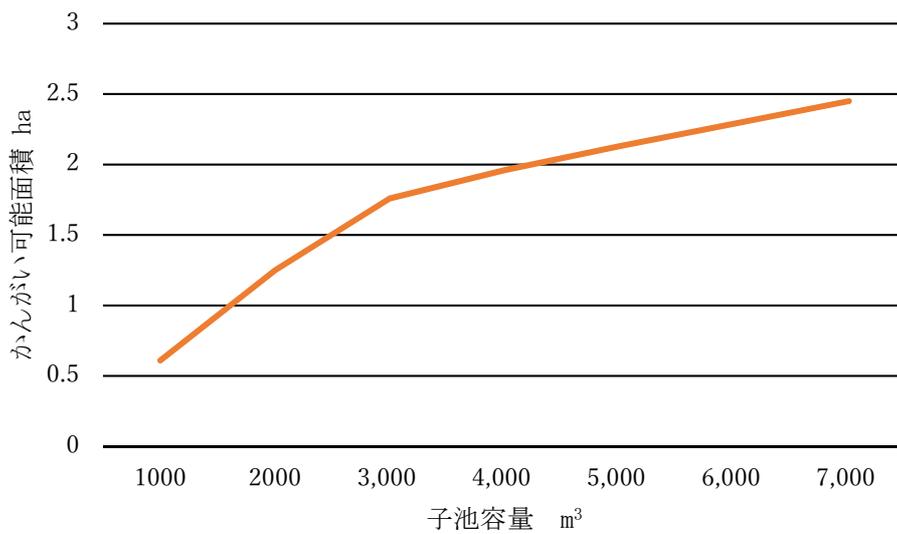


図 2.4 子池容量とかんがい可能面積の関係

### (3) 子池の位置

#### 1) 一般的な親池の位置

親子ため池システムは親池（ダッグアウト）の存在が前提のシステムである。一般に親池は、緩やかな谷地形の底に設置されていることが多い。つまり、親池の谷筋直角方向断面をとると、親池の位置が最も低くなる（図 2.5）。

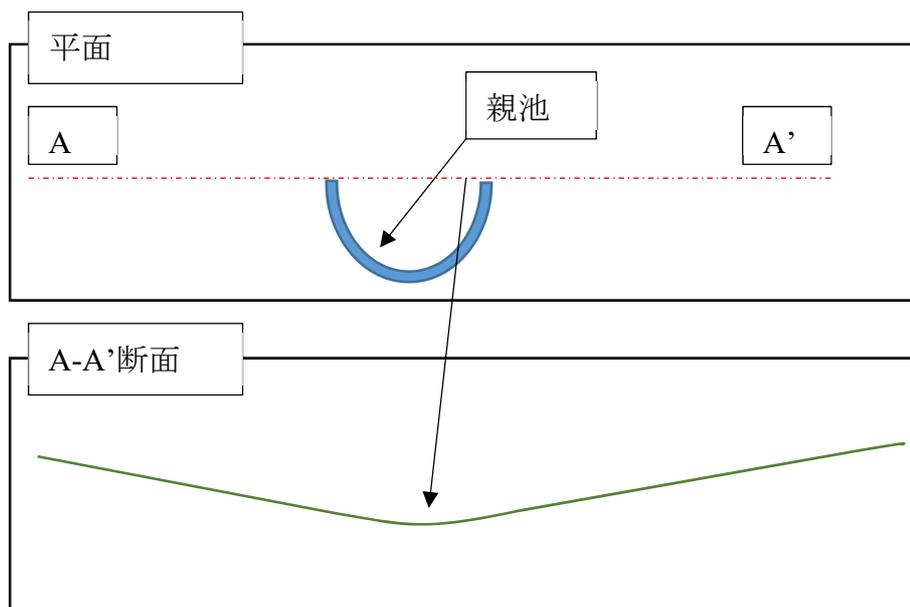


図 2.5 親池周辺の平面・断面

## 2) 子池の位置

子池の位置は、親池の位置を考慮に入れるとともに、以下について留意し、経済的な位置に計画する。

i) 子池は、親池の越流水を重力により貯める。このため、子池の満水位は、親池洪水吐敷高より低くなければいけない。

ii) 子池は下流に設置するほど導水路が長くなる（図 2.6）。

iii) 子池は設置位置の現地盤標高が親池洪水吐敷高より低くなるまでは、下流に設置するほど掘削量が減少する（図 2.6 C）。

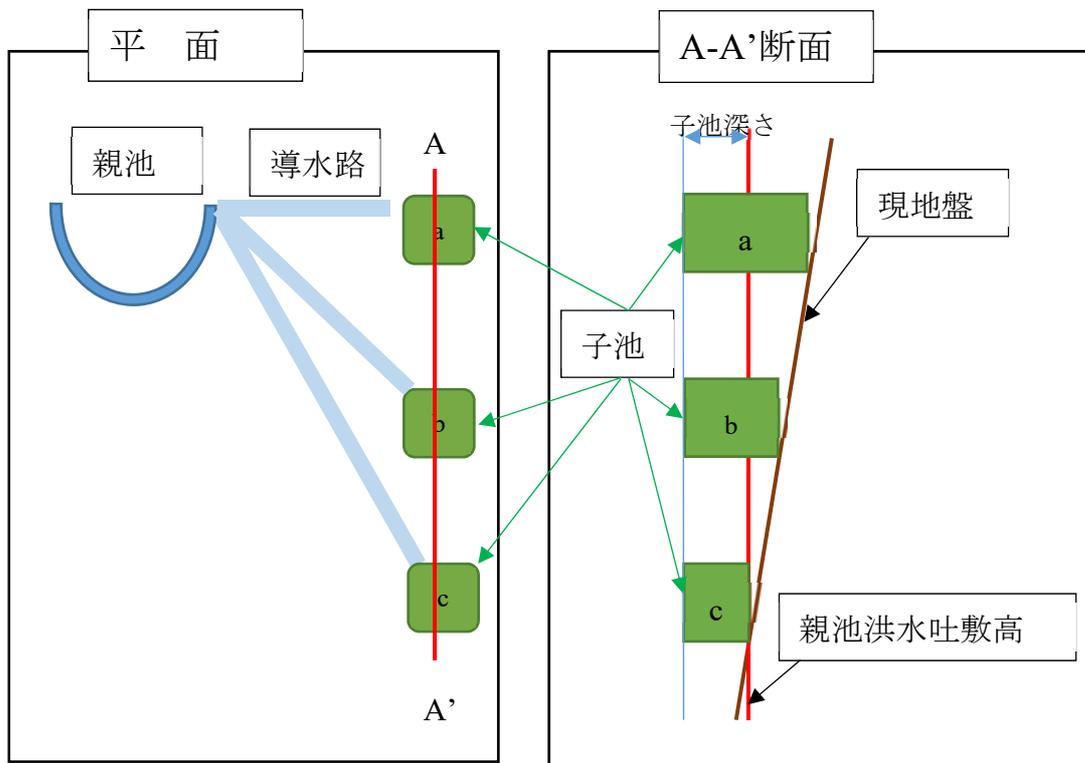


図 2.6 親池と子池の関係

#### (4) 子池の満水位

上述のように、子池満水位は、親池洪水吐敷高より低くなければいけない。また、導水路の堆砂を防止するためには、導水路底最低敷高より低いことが望ましい（図 2.7）。

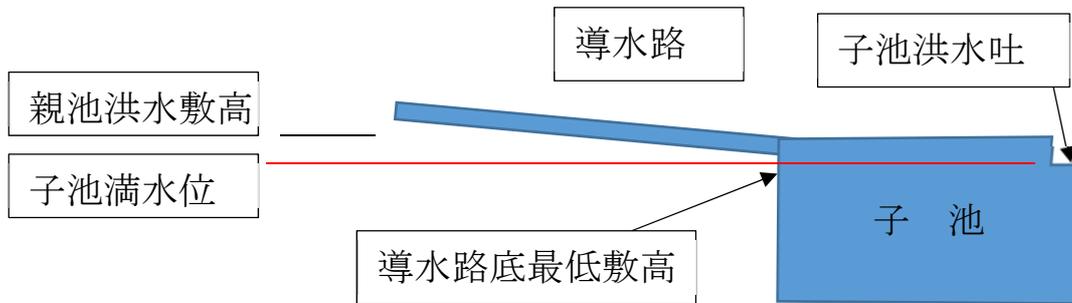


図 2.7 子池満水位イメージ

#### (5) 子池洪水施設

子池が満水時に、導水路からの流入があると子池が溢れ、子池法肩の崩壊を引き起こすため、導水路にゲートを設け流入量を制御するか、子池に洪水吐の設置が必要となる。

洪水吐の規模は、子池が満水である際のピーク洪水流量（導水路の最大流量）が流下できる断面にすることが必要となる。ただし、越流深が深いと子池に実際に溜まる水の量が少なくなるので、なるべく幅が広く、浅い水路形式になるようにする。

##### 計算例

計画基準年（2000年）の日最大降雨は67mm、時間降雨データがないがこの降雨が1時間で降ったと仮定。CN=77の時の流入量は約156m<sup>3</sup>/minとなる。洪水吐の高さ（深さ）を20cm、勾配を1%、粗度係数0.02とすると、この流入量を流下させるためには幅1.6mの水路が必要となる。

## 2.2.4 導水路の設計

### (1) 導水路の設計

親池の越流水が溢れずに流下する断面  
勾配は親池と子池、水田の高低差を考慮し決定

#### 1) 断面

導水路断面は、親池の最大越流量が流下可能な断面とする。

流下能力は、(2.3) のマンニングの式により算定する。

$$Q = n^{-1} I^{1/2} R^{2/3} \times A \quad (2.3)$$

ここで、 $Q$  : 流下能力 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $n$  : 粗度係数、 $I$  : 動水勾配 (%)、 $R$  : 径深 (m)、 $A$  : 流積 ( $\text{m}^2$ )

流下能力は、流積と勾配により決まる。水路断面は、水路建設の土工量を減少させるために台形が望ましい。

勾配は、親池と子池、水田の位置関係から決まる。同じ流下能力の場合、勾配は大きいほど、流積は小さくなる。ただし親池と灌漑予定地(水田)があらかじめ決まっている場合、導水路の勾配(親池と子池の高低差)を大きくすると、子池と水田の相対高さが小さくなり、灌漑を行うにあたりエネルギーが必要(ポンプ等)となることを考慮して決定する。

なお、マンニングの式において必要な粗度係数、動水勾配、径深の決定は以下による。

2) 粗度係数

粗度係数は、水路の構造により表 2.3 より数値を選ぶ。

表 2.3 水路構造別の粗度係数

	粗度係数 ( $m^{-1/3}s$ )		
	最小値	標準値	最大値
土水路、直線	0.016	0.018	0.020
コンクリート	0.012	0.015	0.016
モルタル	0.011	0.013	0.015

土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」

3) 動水勾配

動水勾配は、水面勾配であるが、ここでは水面勾配＝水路床勾配として計算する。

4) 径深

径深＝流積／潤辺、

ここで

流積 (A) : 水が流れている断面積 :  $A = (BT + BB) * h / 2$  (台形断面の場合)

潤辺 (S) : 水路断面で水に接している長さ :  $S = L_1 + L_2 + BB$

BT : 水面長

BB : 水路底長

h : 水深

L1, L2 : 水路斜面長

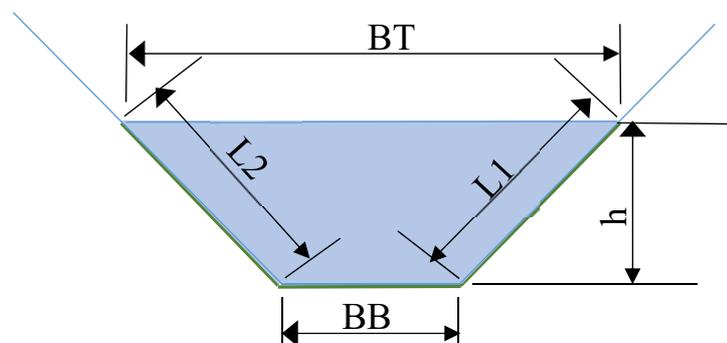


図 2.8 水路断面

### 計算事例

導水路の水路底幅 1m、深さ 1m、上幅 2m、余裕高 0.2m、水路の粗度係数を 0.02、水路勾配を 1%としたときの最大流下能力は表 2.4 のように算出される。

表 2.4 導水路の最大流下能力

項目		値	単位
水路上幅		2.0	m
水面長	$BT$	1.8	m
水路下幅	$BB$	1.0	m
水路深さ	$h$	1.0	m
余裕高	$f$	0.2	m
水深	$d$	0.8	m
勾配	$i$	0.01	
粗度係数	$n$	0.02	$m^{-1/3}s$
流積	$A$	1.12	$m^2$
潤辺	$s$	2.39	m
径深	$R$	0.47	m
平均流速	$U$	3.02	m/s
最大流量	$q$	203.0	$m^3/min$

流域を 44ha、親池流入量が全て導水路に流れ込むとしたとき、流量  $203m^3/min$  は、時間降雨 81mm 相当。2014 年の時間最大雨量は 81mm であるため、この規模の降雨は流下可能。

導水路は勾配が 1%を確保できる方向に設計した。

## (2) 導水路の構造

水路法面は、安定勾配もしくはコンクリートライニング  
水路肩は、モルタルライニング+土のう  
水路背面の水抜きパイプ

### 1) 法面保護

導水路は、高強度降雨時に流速の早い水が流入する。このため、水路法面は水路壁面が流水により削られないように、モルタルもしくはコンクリートで保護する。コンクリートライニングを行う場合は、背面の埋め戻しを十分に行う必要がある。

### 2) コンクリート配合

コンクリートライニングは、重力式擁壁の設計基準強度 (18N/mm<sup>2</sup>) とする。水セメント比 (W/C) : 60%、細骨材 (砂) 比重 : 2.6、粗骨材 (碎石) 比重 2.6、普通ポルトランドセメント比重 : 3.15 としたときの 1m<sup>3</sup>あたりの配合比は表 2.5 のとおり。

表 2.5 コンクリートの配合

水 kg	セメント kg	砂 kg	砂利 kg
170	283	792	1,140

### 3) 水路法勾配

法面は、安定している必要がある。このため法勾配は土圧がかからない勾配にする。事前に斜面安定計算を行わない場合は、**図 2.9**を参考に 1:1~1:0.8 とする（道路土工（法面工、斜面安定工指針））。

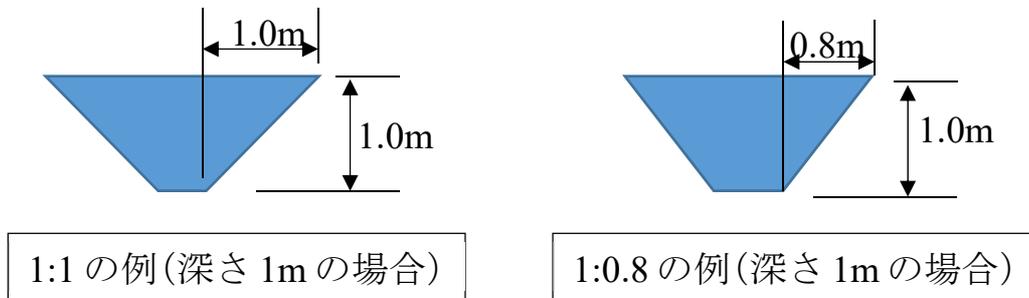


図 2.9 水路法面勾配と水路断面

#### 4) 水路肩保護

高強度降雨時には表流水が隣接する導水路に直接流入する恐れがある。直接流入すると水路肩が崩壊したり、ライニング背面に水が浸入し法面が崩壊したりする恐れがある（図 2.12）。

このため、図 2.10、11 のように、導水路に直接表流水が流入しないよう上流側に土のうを積むとともに、水路肩をモルタルで保護する（幅 50cm、厚さ 5cm 以上）。

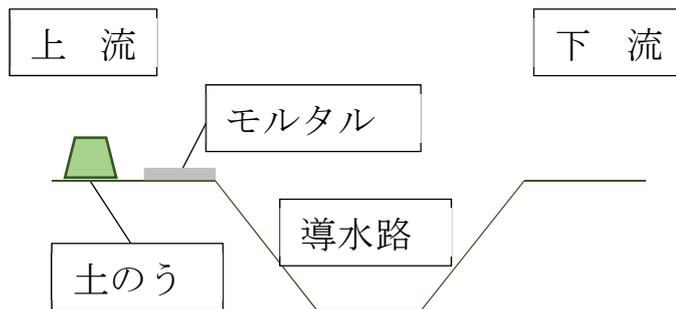


図 2.10 水路肩保護工標準断面



図 2.11 水路肩施工例



図 2.12 水路崩壊事例



図 2.13 導水路 建設状況



図 2.14 導水路 施工完了



図 2.15 良い事例  
(水路法面が緩やか)

### 5) 水抜き

水路背面の地下水位が高いと、その影響で法面が崩壊する可能性がある。このため、法面をライニングする際には、水抜きパイプ（塩ビ管）を設置する。設置は $3\text{m}^2$ ごと1カ所、内径7.5cm以上（擁壁の水抜き；国土交通省基準）、モルタルやコンクリートで法面をライニングするときと同時に施工する。

パイプは地下水を抜くことが目的であるため、なるべく水路法面の下方に設置する（図2.16）。

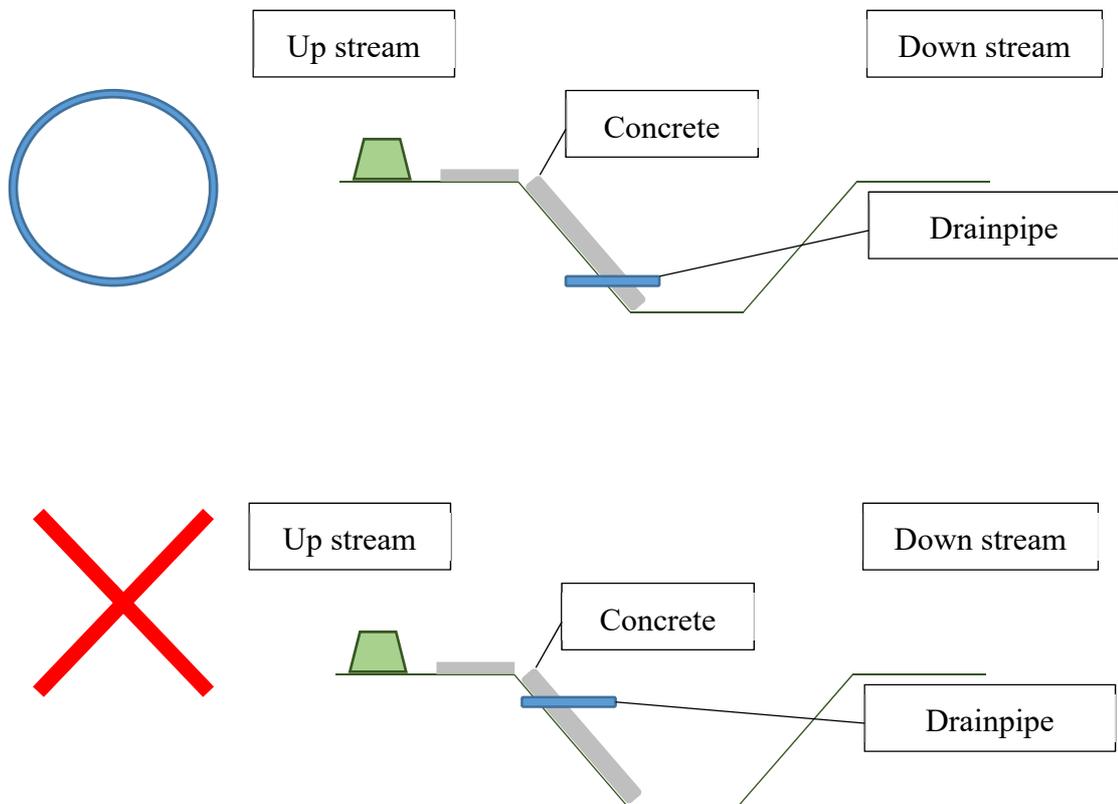


図 2.16 水抜き工 標準断面

## 2.2.5 子池施工事例



図 2.17 子池 建設状況



図 2.18 子池 施工完了

### 子池施工事例

子池建設のため、子池建設予定地の測量（座標と標高）を実施した。測量結果に基づき子池の設計を行った。この結果、子池設置予定地点は現況地盤において最大で 1m 程度の高低差があり、水深 2m を確保するためには一部で 3m 程度掘削をする必要があることが分かった。また、掘削ボリュームはおおよそ 7,500m<sup>3</sup>になることがわかった。この設計に基づき、地元の建設業者から施工見積もりを徴収し、おおよそ 200 万円程度であった。なお、施工は乾季に実施した。

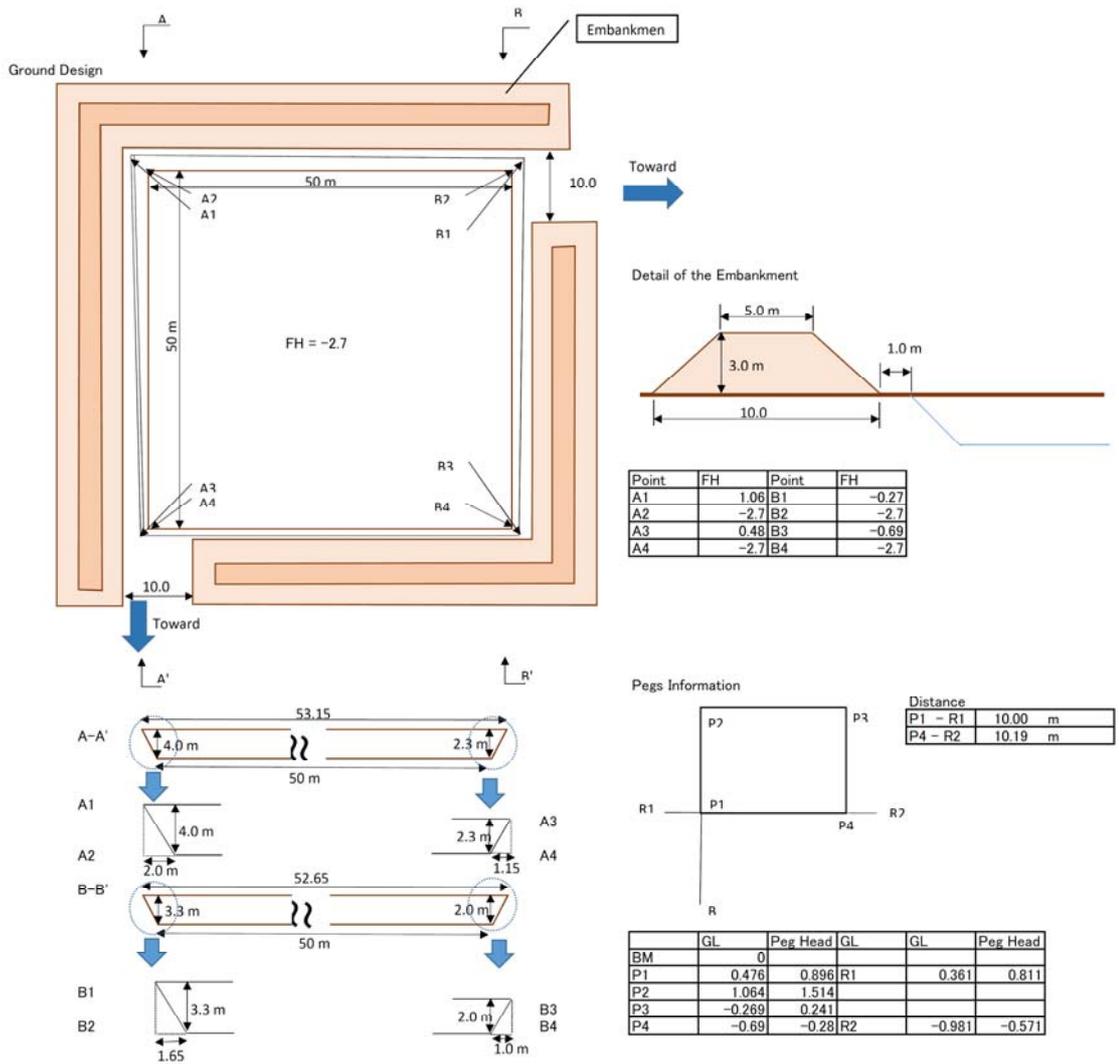


図 2.19 子池の標準計画図

## 2.2.6 子池付帯施設

### (1) 漏水防止工

子池は建設初期において、底から漏水する可能性があるので、親池の泥などで漏水防止を図る。

#### 1) 概要

子池は一般に雨季に水が集まる場所に設置しないので、掘削地盤の透水性が良い場所であることが予想される。このため、子池は漏水が大きい可能性があるので漏水対策を行う必要がある。

親池の湖底泥は降雨により流域から運ばれてきた土砂が堆積したものである。その粒子は細かく透水係数は低い。このため、この透水性の低い泥を子池の底に敷設することにより漏水防止を図る。併せて親池の泥を採取することにより、親池の貯水容量も増加する。

水深  $h_1$  (cm)、湖底泥層厚  $L$  (cm)、親池湖底泥透水係数  $k$  (cm/s)、一日後の水深  $h_2$  (cm) としたときの透水係数は式 (2.4) で求まる (変水位透水試験における透水係数の求め方)。

$$k = 2.303 \frac{L}{86400} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (2.4)$$

これより、透水係数を一定としたときの漏水量 ( $h_2-h_1$ ) は、水深  $h_1$  と層厚  $L$  の関数となる。

ため池において、湖底泥より下は透水性が良く、泥を通過 (浸透) した水は速やかに下方に浸透すると仮定した場合、親池湖底泥の透水係数を  $1 \times 10^{-6}$  (cm/s) としたときの水深と漏水量の関係は表 2.6 のとおり。例えば、敷設厚を 10cm とした場合の漏水量は最大で 17mm/d である (5cm 場合は 34mm/d)。

表 2.6 透水係数を固定 ( $1 \times 10^{-6}$ ) したときの水深による漏水量 (mm/d)

水深 (cm)	層厚 (cm)				
	5	10	20	50	100
20	3.4	1.7	0.9	0.3	0.2
40	6.9	3.4	1.7	0.7	0.3
60	10.3	5.2	2.6	1.0	0.5
80	13.7	6.9	3.4	1.4	0.7
100	17.1	8.6	4.3	1.7	0.9
120	20.6	10.3	5.2	2.1	1.0
140	24.0	12.0	6.0	2.4	1.2
160	27.4	13.8	6.9	2.8	1.4
180	30.8	15.5	7.8	3.1	1.6
200	34.3	17.2	8.6	3.5	1.7



図 2.20 子池貯水状況



図 2.21 子池底面への浚渫土敷設

## 2) 泥の敷設厚の決定方法

敷設厚は、厚いほど漏水量は減少する。一方、厚いほど貯水量が減少するほか、施工費用が高くなる。

このため、漏水量とかんがい可能面積、工事費のバランスから施工厚を決める必要がある。

### 計算例

以下は、敷設厚とかんがい可能面積を計画基準年において算定した例である。

子池の規模： 50m×50m×2m

かんがい効率：95%、蒸発散浸透量：18mm/d、7日間断かんがい

※子池の有効貯水量=50m×50m×(2m-余裕高(20cm)-層厚)

表 2.7 Irrigable area depending on a thickness

thickness	5cm	10cm	20cm	30cm
Irrigable area	1.84 ha	1.97 ha	2.01 ha	2.00 ha

表 2.7 より、層厚 5~30cm の間ではほとんどかんがい面積に差は出ないことがわかる (5cm と 20cm でかんがい可能面積の差は 0.17ha)。ただし、層厚 5cm では必要泥量が 125m<sup>3</sup> (施工費は人件費 5 万円相当) であるのに対し、20cm では 4 倍の 20 万円必要となる。

一方、ha あたりの増加純益は 2,000GHS/年 (8 万円) 程度である (単収が 2t から 4t に増加し、営農経費が変化しない場合)。

このため、5cm の敷設が経済的に有利となるが、5cm では施工が不均一となり (農家直営施工を想定)、施工不良箇所からの漏水する恐れがある。このため本例では施工厚 10cm とした。

## (2) 子池法肩侵食対策

子池法肩はベティバ (*Chrysopogon nigratana*) により保護

子池掘削法肩は降雨などの侵食により崩壊しやすい。このため、法肩保護対策が必要である。

法肩保護対策としては、以下が挙げられる。材料の入手しやすさ、労働提供の有無などを比較して選定すると良い。

- 1) 法肩に植栽
- 2) 法肩に承水路を設けて表流水による侵食を防止
- 3) 法肩に屋根材を敷設

### 施工事例（ベティバグラス植栽）

法肩の保護として、現地で侵食防止に利用されているベティバ（*Chrysopogon nigratana*）を導入した（図 2.15）。植栽は 50cm 間隔で実施した。ベティバは活着するまでは散水を行う。

ベティバの価格は、一袋（50kg）で 60GHS（約 2,100 円）。一袋で線上に 60～80m（植え付け間隔は 50cm 程度：図 2.16）。



図 2.22 利用したベティバ



図 2.23 ベティバ植栽状況

### (3) 子池掘削土処理・盛土法面保護

#### 1) 残土処理

子池掘削土は有効利用がない場合は、子池周辺に盛土

子池を掘削することにより残土が発生する。残土は、くぼ地の埋め戻しや道路盛土として利用できる場合は、有効利用することが望ましい。しかし、有効利用が見込まれない場合は、運搬経費を最小限とするため、子池のまわりに盛り立てる。有効利用が見込まれる場合も、子池に表流水が直接流入しないように、子池の上流側は盛土する（高さは50cm程度）。

盛り立てる場合は、盛土後の沈下を最小限にとどめるため、50cmごと散水後にブルドーザで締め固めを行うことが望ましい。

#### 2) 盛土法面保護

子池盛土は屋根材などによる保護（被覆）

子池は施工が乾季であり、締め固め用の水の入手が難しい。また盛土斜面は盛り立て後の降雨により激しく侵食される可能性がある。このため、雨滴もしくは流水による法面の侵食を防止するためには、法面を物理的に覆うことが有効である。

具体的な法面保護対策としては、以下がある。

- a) 屋根材による保護
- b) 石を法面に敷設
- c) モルタル吹きつけ
- d) 植生吹きつけ

なお、植生吹きつけは、残土に適度の水分がなければ被覆前に降雨により侵食されるので施工には注意を要する。

### 屋根材による保護の事例

法面を覆う手段としてガーナ国北部州の民家の屋根に利用されている草（既製品として村で容易に入手可能；以降：屋根材）を利用したものを紹介する。北部州では屋根材は、通常幅 1.5m 長さ 16m のものが売られており、屋根の葺き替えにあたってはそのまま利用している。今回は法面の長さがおおよそ 5m であるため、通常の規格の半分の長さのものを用意した（一枚 4.5GHS=160 円:2015 年 2 月）。屋根材は先端が細くなっているため、敷設する際には 50cm 程度ラップさせて利用した（図 2.24）。



図 2.24 屋根材による法面保護

### 屋根材による法面保護の効果

屋根材ありとなしの、敷設後半年の被覆率の差は表 2.8 のとおり（ImageJ による解析）。この結果、屋根材ありの方がなしより被覆率が 2 倍以上高い（図 2.25、26）。

表 2.8 法面処理による被覆率の違い

場所	被覆率	場所	被覆率
内法（屋根材あり） 南+東向き	50.8%	外法（屋根材なし） 南+東向き	19.4%
内法（屋根材あり） 北+西向き	58.9%	外法（屋根材なし） 北+西向き	29.2%
平均（算術）	54.9%	平均（算術）	24.3%



屋根材あり



屋根材なし

図 2.25 屋根材の効果比較の状況

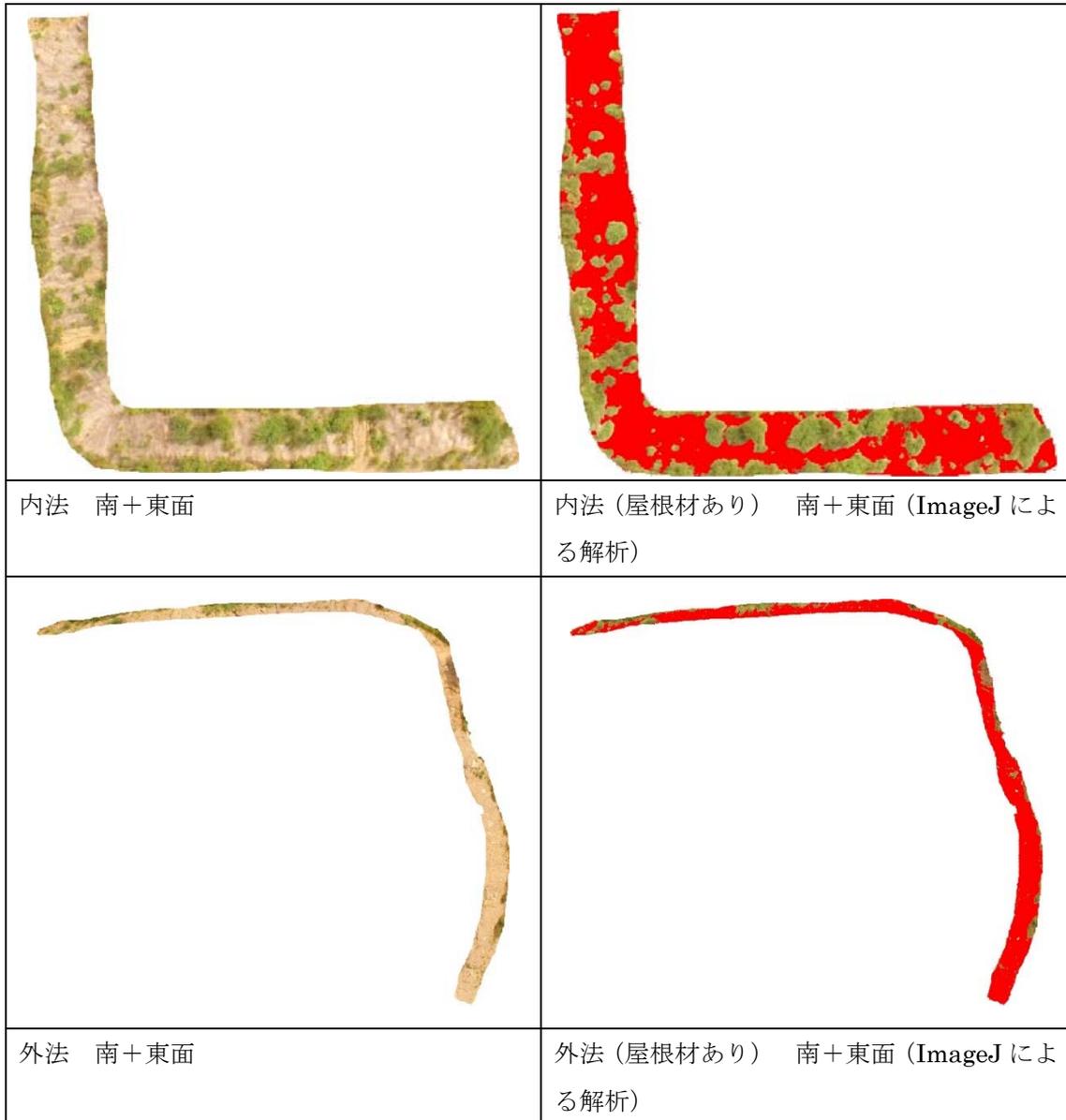


図 2.26 屋根材の効果比較（ImageJによる解析）

## 2.3 土のうとソイルセメントを用いたダッグアウト洪水吐の嵩上げ

ダッグアウトの貯水量を増加させる方法として、堆砂の除去、堤体の延伸及び洪水吐の嵩上げが考えられる。堆砂の除去及び堤体の延伸は人力での施工には限りがあるため一般的に建設機械が用いられる。一方、洪水吐の嵩上げはコンクリート構造物が一般的であり、人力施工であるがセメント、碎石及び鉄筋を購入する経費、また型枠設置や鉄筋加工といった技術を要する。

本章では住民が持っている技術で施工可能な、土のうとソイルセメントを用いた洪水吐の嵩上げ工の実施方法について述べる。

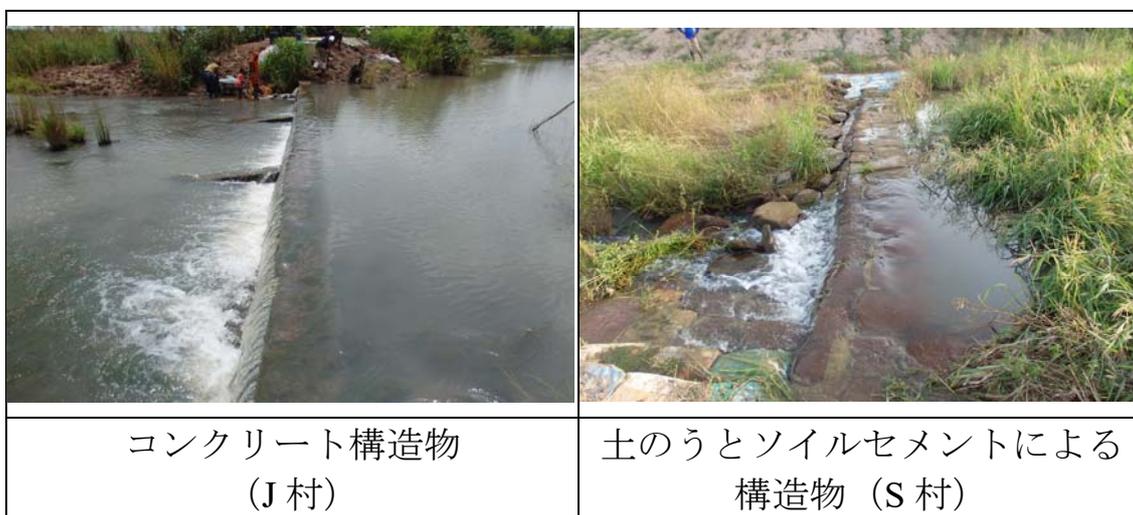


図 2.27 嵩上げ工 (北部州)

ガーナ北部においては、土のうを畦や構造物の補修に用いた例は農村部でよく見かけることができる。しかし土のう袋自体は耐久性に欠け、中詰材の土が流出し機能を果たさなくなることが多々ある。そこで土にセメントを混ぜたソイルセメントを中詰材とし、締固めと養生を行うことで耐久性を増加させることが可能となる。なお土のうは締固めのための型枠として機能する。

本章では土のうとソイルセメントを用いたダッグアウト洪水吐の嵩上げ方法について図 2.28 の実施フローに従って述べる。

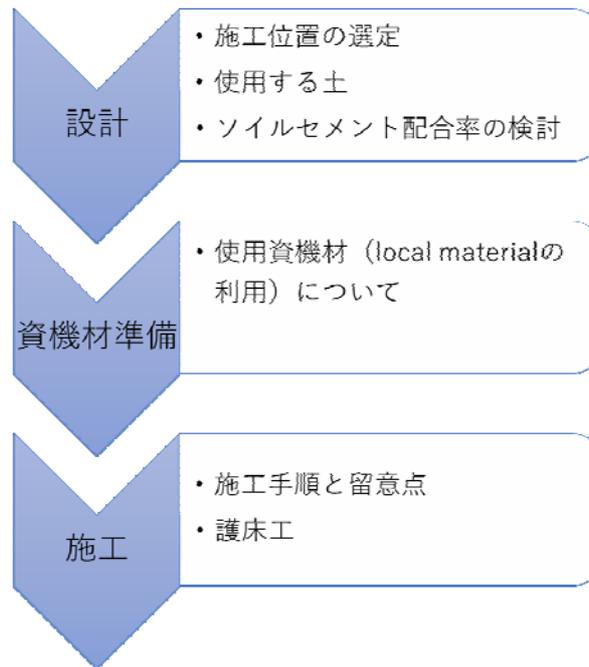


図 2.28 実施フロー

### 2.3.1 洪水吐設計

#### (1) 施工位置選定

施工位置は洪水吐等の通水断面が確保され、土のう積み体積が最小となる場所を選定する。

S村ダッグアウトの事例を用いて洪水吐設計の手順を以下に記す。同ダッグアウトは887haの集水面積を有する。CNを72、Rを36.8mm/日とした場合、Qは2.51mmとなり、流出量は22,248m<sup>3</sup>となる。洪水吐はこの流量を流下できる能力を有しなければならない。

既存ダッグアウトの洪水吐とその下流流路において、地盤高と流路幅を調査し、現状の通水断面を計測する。その後、土のう積み体積、掘削断面が最小となり、かつ断面以上を確保できる位置を探す。通常、洪水吐もしくはその下流において地盤高が最も高い地点が適している。

【施工位置選定事例】

ダッグアウトは堤体の両端のどちらか、もしくは両方が余水吐である。本事例の場合、ダッグアウト右岸 A 点と左岸側 B、C 及び D 点の地盤高をレベルで計測した (図 2.29、表 2.9)。その結果、左岸側の地盤高が A 点と比べて低く、また D 点が余水吐及びその流路上において地盤高が最も高いことから施工地点とした。



表 2.9 相対標高

計測地点	相対標高
A	0m
B	-1.72m
C	-1.20m
D	-1.16m

図 2.29 S 村ダッグアウト測点

次に D 点においては図 2.30 のとおり左岸側現況地盤と流路底の高低差は 70cm であった。ここで土のう積みは 3 層 (高さ 30cm) とし、越流水深 40cm を確保することとした。なお土のう積みによって通水断面が減少することから、兩岸を掘削し現状の通水断面 4.29 m<sup>2</sup> に対し 5.52m<sup>2</sup> を計画した。

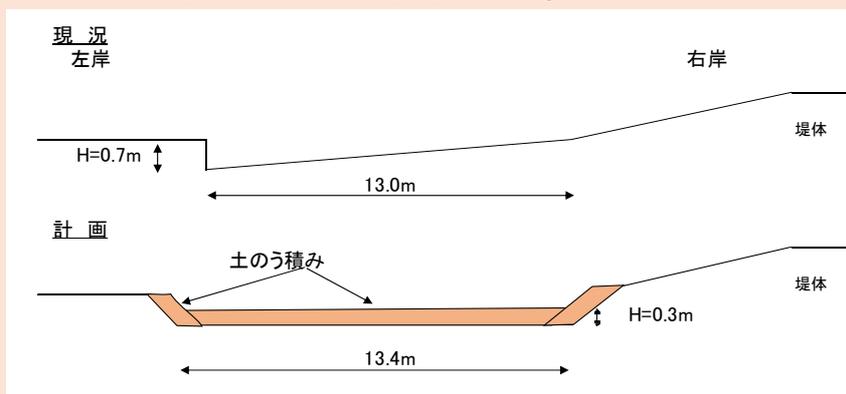


図 2.30 施工位置横断面

## (2) 土のう積み方法

積み方の一例を図 2.31 に示す。水流が直接あたる上流側の土のうは底部を上流に向けて設置する。また下流側の土のうは、流水による引っ張り力が発生するため斜積みとし、底部を下流側に向ける。上下流の土のう間は止水及び耐侵食性が必要なことからソイルセメントで充填する。また上流側には不透水性の材料を用いた止水層を設置し漏水による損壊を防ぐ。施工は上下流の土のう一層設置毎にソイルセメントを充填、締固めを行う。

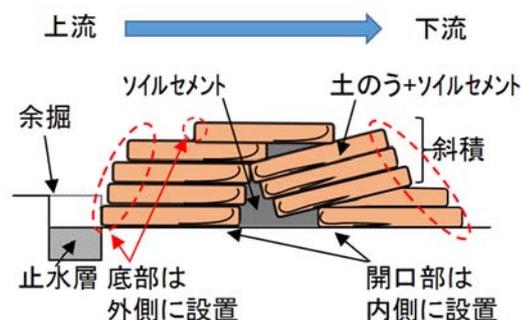


図 2.31 土のう積み断面

## (3) ソイルセメントの配合

ソイルセメントに使用する土、セメント及び水とこれらの配合率は目標強度によって規定される。

### ・ 目標強度

耐侵食性の目安を一軸圧縮強度値とし目標強度を  $3\text{N/mm}^2$  とする。

ソイルセメントには流水に対する耐侵食性が求められる。その目安を一軸圧縮強度値とし目標強度を  $3\text{N/mm}^2$  とする。同値は砂防堰堤、床固め工で常時の侵食作用を許容できる部位に求められる最低強度である（砂防・地すべり技術センター, 2011）。

### ・ 土

粘土・シルト分が 10% 未満、かつ砂分を加えた含有率が 55% 未満である土を用いる。

ソイルセメントに用いる土に関し、粘土・シルト分は粒径  $0.0075\text{mm}$  以下、砂分は粒径  $2\text{mm}$  以下である。

表 2.10 ソイルセメントに用いる土の組成

組成	粒径(mm)	%
砂、シルト、粘土		< 55
シルト、粘土	< 0.0075	< 10
砂	< 2	
礫	< 10	≥ 45

(出典：土木研究所、砂防・地すべり技術センター, 2006)

使用を想定している土が上記の条件を満たすかは、粒度分析を実施しその結果から判断する必要がある。なお粒度分析の実施が難しい場合、既存の情報から判断する。

使用する土は、1cm 目の金網を用いてふるい掛けを行う。その理由は、セメント及び水とよく混合するため、また植物根、枝葉などを取り除くことである。加えて、粒径の大きな礫を除き締固め時の土のうの破れを防ぐと共に土のう端部の締固めを確実にすることを目的としている。

・セメント

風化していない普通ポルトランドセメントを用いる。

風化（固まり始めてないか）していないセメントを用いる。

・配合率

土の重量に対し7%のセメント、土とセメントの合計重量に対し8%の水を使用することを基本とする。

推奨される配合率はいかのとおり。

$$W_c = W_s \times M_c \quad (2-6)$$

$$W_w = (W_s + W_c) \times M_w \quad (2-7)$$

ここで、

$W_c$  : セメント重量(kg)

$W_s$  : 土重量(kg)

$W_w$  : 水重量(kg)

$M_c$  : セメント配合率、 $W_c/W_s$ 。(%)

$M_w$  : 水配合率、 $W_w / (W_s + W_c)$ 。(%)

$M_c$  は 7%を基本とするが、水汲みなど人の往来により損傷が予想される箇所、土のう積みと現況地盤の間(均しコン)については 10%に増加することが望ましい。また  $M_w$  は 8%を基本とするが、乾期施工時には混合時のロスを勘案して 2%追加する。また雨期施工時は、使用する土の水分量が増えている可能性が高く、セメントとの混合土が手につかない程度に水量を減らす。

#### ・養生

施工後毎日必ず散水養生を行うこと。

ソイルセメントは作製直後から固化反応が始まっている。固化反応が水分の蒸発により阻害されることを防ぐため散水養生を必ず行う。具体的には、施工期間中の昼休みなど作業工程に休憩が入る場合、また 1 日の作業終了時に行う。なお施工完了後も 5 日間は継続して行わなければならない(国土交通省, 2015)。

【配合決定事例】

S村の道路盛土用に使用された土(図 2.32)を9.5mmふるいにかき、通過分に対し粒度分析を実施した結果は表 2.11 のとおりであった。



図 2.32 S村土取場(写真左)と土(写真右)

同じ土を2015年9月(雨期)に採取しソイルセメントを作製し気中養生を経て一軸圧縮強度試験を実施した結果、Mc10%かつMw10%及び12%の場合3N/mm<sup>2</sup>以上となった(図 2.33)。

表 2.11 粒度分析結果

	(%)
礫分(2mm以上)	59.5
砂分(0.075~2mm)	37.3
粘土・シルト分(0.075mm未満)	3.2

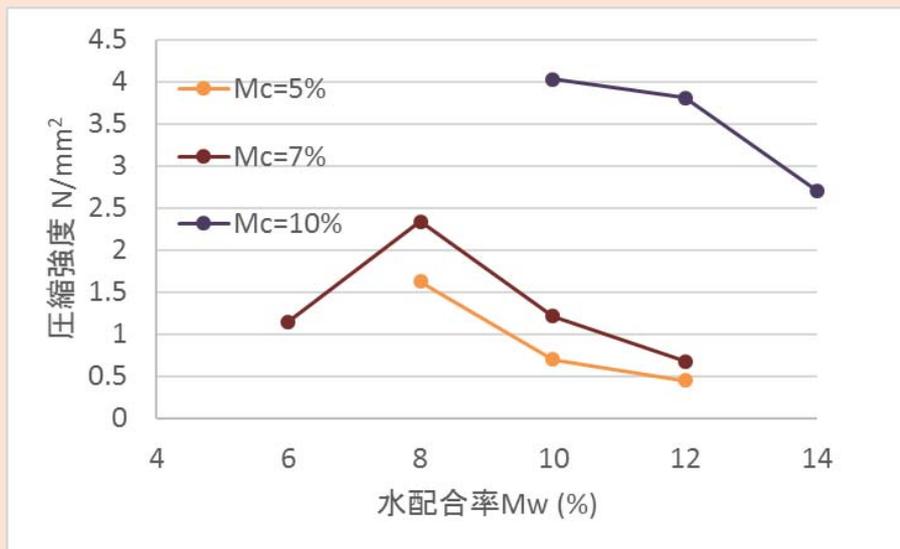


図 2.33 Mc 及び Mw と一軸圧縮強度の関係

図 2.33 及び Felt (1955) の試験結果から、水分量の変化が強度に大きく影響するため水分量の管理に留意する必要がある。また  $M_c=8\%$  もしくは  $9\%$ 、 $M_w=8\%$  もしくは  $10\%$  で  $3\text{N/mm}^2$  に達する可能性がある。

ここでソイルセメントの養生に着目する。ソイルセメントは土のう内のある程度密封された状況下で養生を行うこととなる。また現場では散水養生を計画しており、養生による強度増加が見込めると考えた。よって  $M_c$  は  $10\%$  ではなく、より経費の低い  $7\%$  とし、 $M_w$  を  $8\%$  とした。なお現場配合では  $M_w$  は混合におけるロスを考慮し  $10\%$  とした。

強度の確認のため、施工時期である 2016 年 3 月（乾期）に土を採取し  $M_c 7\%$ 、 $M_w 10\%$  でソイルセメントを作製し、室内において気中養生と散水養生を行った後一軸圧縮強度を求めたところ  $2.97\text{N/mm}^2$  及び  $3.24\text{N/mm}^2$  であった。このことから散水養生による強度増加率は  $9\%$  といえる。また  $M_w 8\%$  の場合、気中養生下で  $2.60\text{N/mm}^2$  であったことから、散水養生により強度は  $2.83\text{N/mm}^2$  に達すると推測された。

これと併せて施工時に採取したソイルセメントを用いた供試体について一軸圧縮強度を求めたところ、 $2.67\text{N/mm}^2$  であったことから、現地で施工したソイルセメントの強度は散水養生により  $2.91\text{N/mm}^2$  と推測され、目標強度にほぼ達していると考えられる。

## 2.3.2 施工

### (1) 使用資機材

施工で使用する資機材は表 2.12 及び 2.13 のとおりである。農村部で入手可能なものを可能な限り使用し施工コストの低減を図る。

表 2.12 使用する主な資機材

名称	土のう袋	セメント
規格等	中古品. ポリプロピレン織物, 縦110cm×横70 cm. 小さいスペースにはセメント袋を用いると良い.	普通ポルトランドセメント, 50kg/袋
写真		
名称	砕石	突固め具
規格等	護岸土のう積みの裏込材料, 余掘りの埋め戻しに用いる. 土と1:1で混合し使用する.	杵の先端に缶を釘で固定しモルタルを充填. 重量約7kg/本
写真		
名称	ふるい (金網、木材)	水平器
規格等	金網1 cm目, 5 cm角材, 釘で作成.	土のう設置面の水平度を計測する. 水を入れたペットボトルでも代替可能 (図 2.34).

写真



【ペットボトルを使用した簡易水平器の作り方】

- a) プラスチックボトルに水を半分まで入れる。ボトルを水平に寝かせる。
- b) ボトルの両面の水位に印をつける。
- c) 同じ地点でボトルを反転させる。
- d) c) と同様、水位に印をつける (A2、B2)。
- e) 各々中点を取り、印をつける (A3、B3)。
- f) マーカーで A3 と B3 を結ぶ。

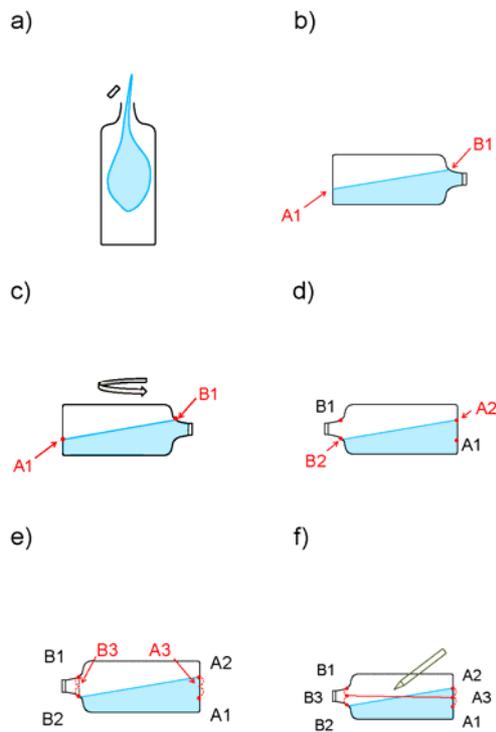


図 2.34 簡易水平器の作り方

出典 JIRCAS 2012

表 2.13 その他必要な資機材

名称	規格等
つるはし シャベル	柄は日射により熱くなるため木製が良い。柄は折れやすいためスペアが必要。
バケツ	土, セメント, 水計量用。
一輪車	土運搬用
水タンク	工事用水現場保管用, 容量約 1.1t/個
工事用水	近隣に水源が無い場合には購入を検討する
カカオ袋	散水養生用。中古品でも可
ジョウロ	散水養生用 (バケツ、空き缶等で代替可能)
はかり	材料重量計測用

なお土のうは虫害を避けるようにする。

## (2) 施工手順

### ・準備

土取場から土を施工場所まで運搬する。また材料計量準備、施工場所の掘削、均し用ソイルセメント敷設を行っておく。詳細な作業内容は表 2.14 のとおり。

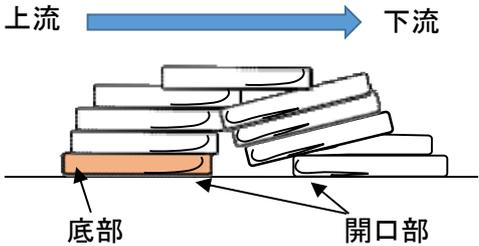
表 2.14 作業工程（ふるい掛けから床掘、均しまで）

写真	作業内容
	<p><b>【ふるい掛け】</b>            土取り場では掘削範囲を決め地表面の草、葉等雑物を除去する。掘削後ふるいにかき、粒径の大きな礫、植物の根、木の枝等を取り除く。</p>
	<p><b>【土運搬】</b>            ふるい掛けを経た土は土のうに詰め運搬する。その際、土のうに穴が開いてないか調べ、穴があれば縫合する。</p>
	<p><b>【材料計量】</b>            使用するバケツ、タライに1配合に要する分量を計量しあらかじめテープ、ペン等で明示する。</p>
	<p><b>均し用分量 (Mc=10%, Mw=10%)</b>            土 : バケツ 1 杯 (約 40kg)            セメント : トマト缶に 7cm 分 (4kg)            水 : トマト缶 2 杯 (4.4kg)</p> <p><b>土のう用分量 (Mc=7%, Mw=10%)</b>            土 : バケツ 1 杯 (約 40kg)            セメント : トマト缶に 5cm 分 (2.8kg)            水 : トマト缶 2 杯 (4.3kg、2 杯目は缶の縁下までとする)</p>

	<p><b>【床掘】</b> 土のう積み箇所の掘削、不陸修正を行う。掘削が不要な場所では雑物を除去する。</p>
	<p><b>【散水】</b> ソイルセメントの水分の減少を防ぐため散水する。</p>
	<p><b>【材料混合、運搬】</b> 事前に散水し配合水が地面に浸透することを防ぐ。土を置いた後、セメントを数回に分けて投入し良く混ぜる。その後水を数回に分けて投入し手早く混合する。混合終了後に土のう袋に詰め設置場所に運搬する。</p>
	<p><b>【敷設、均し】</b> ソイルセメント（例 :Mc10%, t=2cm）を敷設し水平器で均し、踏み固める。</p>
	<p><b>【養生】</b> カカオ袋を被せ散水を行う。</p>

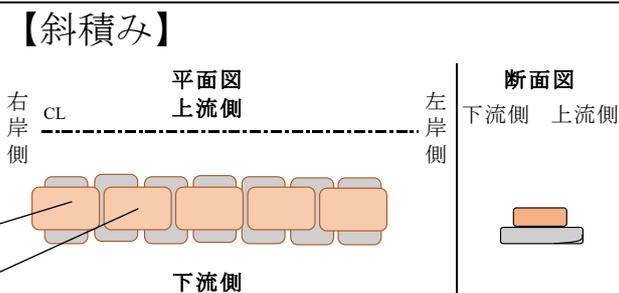
- ・材料混合、土のう設置、養生  
材料混合から設置、締固めまでは出来るだけ素早く行うこと（表 2.15）。

表 2.15 作業工程（材料混合から養生まで）

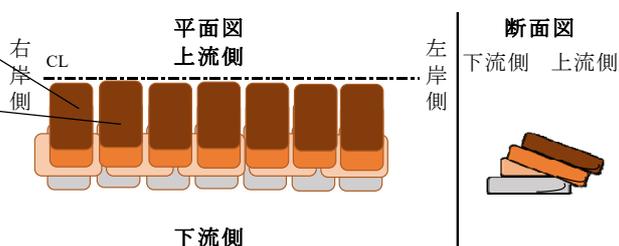
写真	作業内容
	<p>【混合、運搬】</p> <p>配合を行う場所では散水により配合水が浸透することを防ぐ。土を置いた後、セメントを数回に分けて投入し良く混ぜる。その後水を数回に分けて投入し手早く混合する。混合後、土のう袋に詰め設置場所に運搬する。</p>
	<p>【土のう設置】</p>  <p>土のうは底部分を上流及び下流側の直接水流が当る方向に向けて設置する。その後既設土のうと隙間が出来ないように、また土のう厚さが均一になるよう位置と中詰材の量を調整する。調整後開口部を土のう下側に折り込む。</p>
	<p>【土のう締固め】</p> <p>突固め具は 20cm 以上の落下高を確保し、1 箇所当り 10 回突固める。土のう 1 袋当りでは 15 箇所（短辺 3 箇所、長辺 5 箇所）をオーバーラップさせると共に土のう底部、端部を入念に突固める。</p>
	



**【土のう間へソイルセメント敷設】**  
 上下流の土のうの間にソイルセメントを投入し締固める。

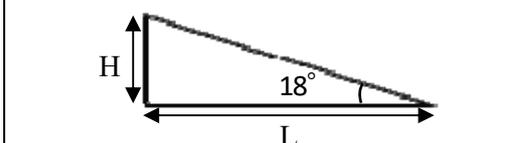


土のうの開口部を嵩上げ工の軸に対して直角方向に向けて設置する（土のう長辺を上下流方向に向けて設置する）。



その上に通常と同じ方向（底部分が下流側になるよう）に設置する。

なお傾斜は、松島ら 2014 の事例を参考に 18 度以上とし、簡易水平器（図 2.27）等で計測する。



$\tan(18^\circ) = 0.32$  より  $H = 0.32L$   
 例：L が 30cm の時 H は約 10cm



**【裏込材投入・締固め】**  
 護岸工の土のう積み背後、余掘り後の埋戻し部分には、裏込材（碎石と土を 1 : 1 で混ぜたもの）を入れた後十分に締固める。

	<p><b>【護岸工締固め】</b> 土のう全体にわたって十分に締固めを行う。特に土のう底部部分、端部分は入念に実施する。</p>
	<p><b>【養生】</b> 土のう設置済みの所に麻袋（カカオ袋）を被せ十分に散水する。散水は土のう設置後5日間継続して行う。</p>

### (3) 護岸工、護床工

護岸工は兩岸を水流から保護するため、最大水位以上の位置まで設置することがのぞましい。また嵩上げ工の下流直下には、流水による洗掘防止のため護床工を設けること。材料は巨石（粒径30cm以上）がのぞましい。

	
<p>護岸工（手前）と護床工</p>	<p>護岸工（奥）と護床工 （写真手前右側の敷石）</p>
<p>図 2.35 護岸工と護床工</p>	

### (4) 維持管理、補修方法

損壊部が拡大する前に早めに補修する。特に天端、護岸工との接続部等、流水による力がかかる部分は、現状の配合率で耐久性が乏

しいと判断される場合、セメントの配合率を増やして施工することが望ましい。なお、セメントの購入が難しい場合や補修部分が小規模な場合は、石積みや土のうと堆砂といった、入手可能な材料を用いて仮補修を行っておくと良い。

#### 付録

土のうとソイルセメントを用いた構造物に関しては、日本の農業農村工学研究所が開発した越流を可能とするため池築堤工法（毛利ら 2009）、更に同工法を河川に面する道路盛土の波浪対策として実施した事例（松島ら 2014）がある。これらの研究成果をもとに Sanga 村での試験施工が実施された。

#### 参考文献

1. (財)砂防・地すべり技術センター(平成 23 年、2011 年);砂防ソイルセメント設計・施工便覧, p43（日本語）
2. (独) 土木研究所火山・土石流チーム, (財) 砂防・地すべり技術センター(平成 18 年、2006 年);技術資料砂防ソイルセメントの材料特性に関する調査結果, p4-8（日本語）
3. 国土交通省(平成 27 年、2015 年);土木工事共通仕様書共通編,p1-61（日本語）
4. Factors Influencing Physical Properties of Soil-Cement Mixtures (1955), EARL J. FELT, Highway Research Board Bulletin, Issue No.108, p144
5. Manual for Improving Rice Production in Africa (2012), JIRCAS, p4-26 – p4-28
6. Mohri, Y., Matsushima, K. , et al. : New direction for earth rein-forcement - disaster prevention for earthfill dams -, Geosynthetic International, pp246 - pp273 (2009)

7.松島健一, 毛利栄征, 堀俊和, 有吉充, 中澤克彦, 山田耕士  
(2014);地震・洪水に強く、人力主体で施工できる盛土の補強技術-バン  
グラデッシュにおける適用例-, ARIC 情報 No.113, p8-15 (日本語)

## **2.4 Investigation of bunds erosion in the northern regions of Ghana**

### **2.4.1 Introduction**

Rice cultivation and consumption has become a very common practice in Ghana and the sub region. Most valleys are being developed into rice fields. Some of the rice varieties prefer water conditions and some grow in relatively dry conditions, many rice varieties however grow in shallow water. So, a field where rice is grown has to fulfil the following conditions Yamaji (1995):

- The field is enclosed by bunds to conserve water
- Provision of inlet for irrigation.,
- Provision of outlet for drainage.

These above mentioned conditions are the minimal that any rice field should have to meet. Other conditions which are preferable for good rice growing are:

- Percolation should be controlled to keep water
- Field surface should be levelled to a uniform depth to ensure homogeneous growth and water control,
- Field surface should be levelled to ensure uniform depth of water and for ease of farm machinery operational activities.
- Soil is to be sufficiently fertile.

Bund construction is among the various soil conservation techniques also practiced by some farmers in Ghana. It is with the aim of controlling soil erosion, reducing runoff and also to increase infiltration. These bunds are usually made with soils or stones normally from the farmland and also with locally made tools. The soil properties and compaction have great effects on the strength of bunds especially during the rainfall period and on lands with steep slope. These farm bunds should therefore withstand the adverse effects of rainfall and runoff to the end of the production season.

### **2.4.2 Main project activity**

Bunds are small earth embankments, which contain irrigation water within basins. The irrigation depth and the freeboard determine the height of bunds. The freeboard is the height above the irrigation depth to be sure that water will not overtop the bund. The width of bunds should be such that seepage will not occur, and that they are stable

The main project activity is to investigate field bunds with different soil types. Specifically, this research is addressing the following:

- Construct field bunds with clay and sandy soil from the locality
- Monitor the resistance of the bunds to erosion.

### **Methodology**

#### **Study area**

This research activity has been carried out in the Nwogu of the Kumbungu district in the Northern Region. The community has access to basic electricity, mechanized borehole and basic education to the primary school level. The members of the community are engaged in both subsistence and commercial farming. Motorbikes, bicycles and tricycle are the common means of transport.

#### **Materials**

The following tools were mainly used for the construction the bunds; pick axe, wheel barrow, mall hammer, wooden pegs, spade, rope and head pan. All the listed tools were obtained from the local market. Core sampler was used to take soil sample from the constructed bund for laboratory analysis.

#### **Setting out the field**

A 20 m x 10 m rectangular plot was divided into four. The base widths of all the bunds were marked as in Fig. 2.36 before digging started. Due to the sloping nature of the field, which will not allow water to pond uniformly,

internal bunds were constructed to keep the sub-field (basins) level.

- For sloping fields, basins must be small for the ease of levelling so that field water depths can be uniform.

### **Bund construction**

The bunds constructed have approximate base width of 60-80 cm and a height of 60-90 cm. It is supposed that the settled height of the constructed bunds will be 40-50 cm (See Fig.2.37) as recommended by Brouwer, *et al*, (1988). This settlement (consolidation of the bund) will take several months. The bunds were constructed in varying ratios of clay material from the Nwogu main reservoir (which was desilted) to local available materials as stated in Table 2.16.



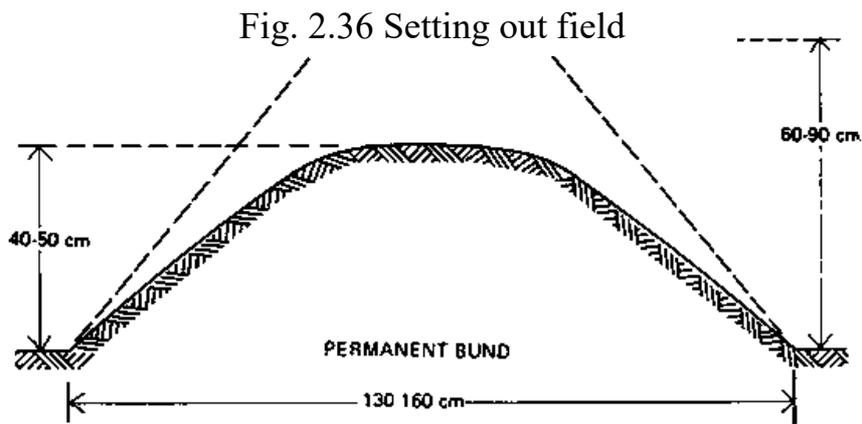


Fig. 2.37 Shape and dimensions of permanent bunds

Table 2.16 Bund types constructed

Bund tag	Material composition	Ratio ( clay:local sand)
A	Clay only	-
B	Sand only	-
C	Clay and sand	1:1
D	Clay and sand	1:2
E	Clay and sand	1:3

An 8 cm deep trench has been dug along the bund track (see Fig. 2.38), and then filled with the bund material to the required height. The bund material were placed in layers of 0.1-0.3 m and compacted to average height of 0.7-0.9 m (See Fig. 2.39). Since the construction was done in the dry period, water was added to the dry soil (bund material) in order to attain that high level of compaction (Fig. 2.39). After the construction, rainfall values from on-site weather station were analyzed to determine the amount of erosion.



Fig. 2.38 Digging of trenches



Fig.2.39 Bund compaction

Fig. 2.40 shows the completed constructed bunds. For the purpose of the study all bunds were constructed as permanent bunds.

### Bund Construction

- The basin layout is set out and positions marked with pegs.
- Shallow trenches are dug to a depth of a few centimeters along the marked positions.
- Bund material is placed in the shallow trenches in of about 0.1-0.3 m and then compacted.
- The process of laying the material and compaction continuous until the desirable height of the bund is attained.



Fig. 2.40 Constructed bunds

### Plot levelling

Internal bunds were introduced to minimize the amount of levelling

required after which the plots were levelled and prepared for cropping (see Fig. 2.41). This was done to prevent water from stagnating at low points of the field.



Fig. 2.41 Levelling of field inner perimeter

### **Data collection**

The heights of the bunds were measured and continued at 2 weeks intervals for the research duration of 6 months.

Soil samples of the bund were taken at three different locations using the core sampler (Fig. 2.42) for laboratory determination of the bulk density. Sampling has also been done at the matured stage of the rice.



Fig. 2.42 Taking soil sample

### **2.4.3 Results**

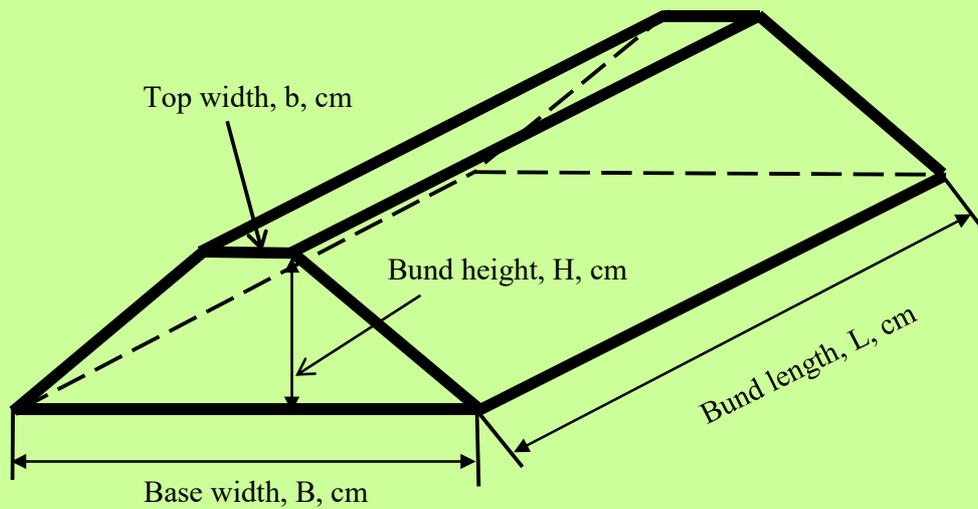
Sustainability of cropping of rice in the Northern Region will depend on the availability of water. Hence water management practices become very important. For water to be stored on the field, an effective bunding system must be in place. At the JIRCAS experimental site at Nwogu in the Kumbungu District of the Northern Region, a research work carried out by the KNUST team on bunds stability.

#### **Heights and volume of bund material**

The heights of the bunds at various locations were measured and their respective cross sectional areas were determined over the period. This was done in order to determine the volume of bund material. The measurement dates were ordered from 1 to 12 as in the table as follows:

Date of measurement	
Order	Date of measurement
1	28-Jul
2	31-Jul
3	10-Aug
4	16-Aug
5	16-Aug
6	6-Sep
7	11-Sep
8	14-Sep
9	14-Sep
10	20-Sep
11	28-Sep
12	6-Oct

For the purpose of this study, the cross section of the all bunds was approximated to a trapezoidal section. Each bund type was divided into three sections.



Typical trapezoidal bund section

- Height of the bund is H, cm
- Base width of bund is B, cm
- Top width of bund is b, cm
- Length of bund is L, cm

Cross sectional area (A) of the Trapezoidal, bund is given as:

$$A = \left( \frac{B + b}{2} \right) \times H, \text{ cm}^2$$

Volume of bund material (V) is given as

$$V = A \times L, \text{ cm}^3$$

The mean bund height measured with time (Fig. 2.43) showed a trend of decrease in height. This may partly be attributed to some amount of erosion and consolidation of the bunds. The slope of decrease height curves of bund type A (Clay) is more gentle than the other bund types. Similar observations were made for the materials used for the volumes.

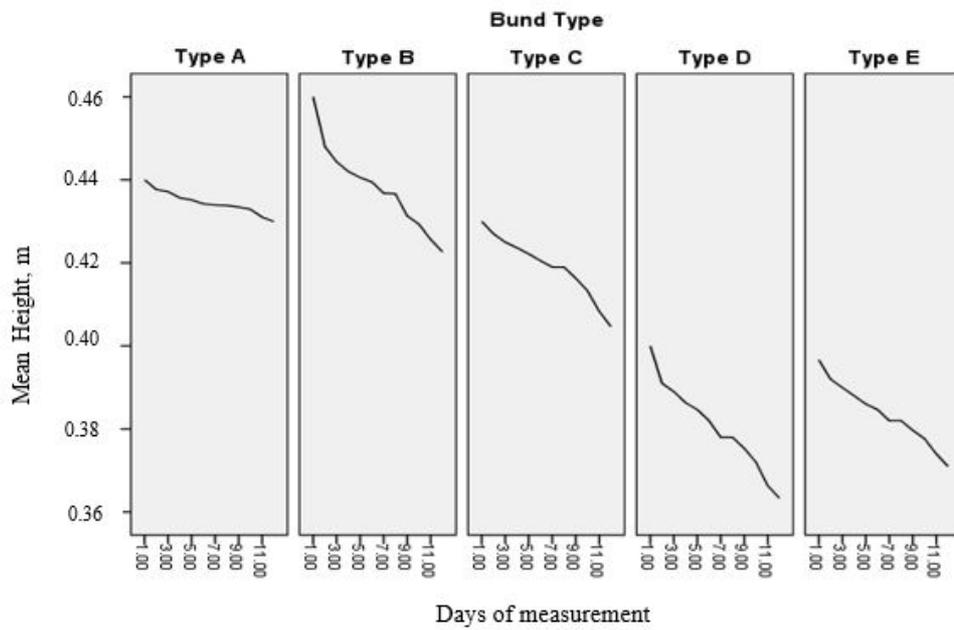


Fig. 2.43: Mean bund height variations with time

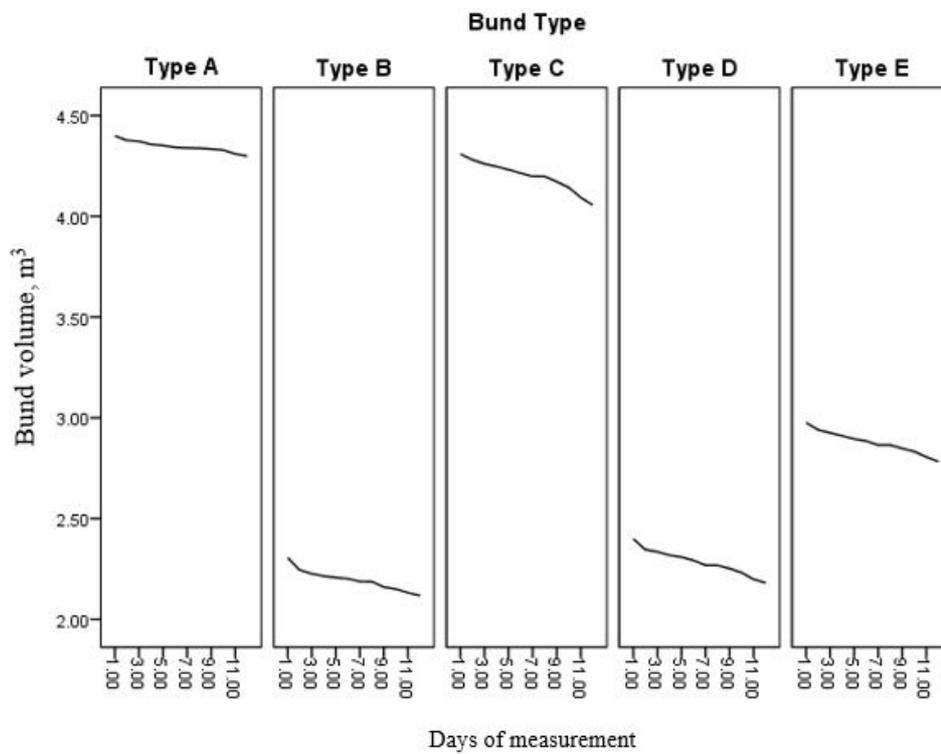


Fig. 2.44: Mean bund volume variations with time

### **Bulk density**

To determine the erosion rate, the bulk density of the bund material must be known. The bulk density of all bund types was determined for the bund materials at the beginning and end of the research.

The procedure for the determination of the bulk density is as follows:

#### Bulk density determination using the core-cutter method

- Determine the volume of the core-cutter ( $V_c$ ),  $\text{cm}^3$
- Determine the weight of the core-cutter ( $W_c$ ), g
- Determine the weight of the core-cutter plus the wet soil ( $W_s$ ), g
- Weight of wet sample is given as ( $W_c - W_s$ ), g

Bulk density is then computed as follows:

$$\gamma_b = \frac{W_s - W_c}{V_c}, \text{g/cm}^3$$

## Erosion rate

The erosion rate is determined as the weight of bund material eroded per unit amount of rainfall over the period. Its computation was done as stated as follows:

$$\text{Erosion rate} = \frac{\text{Weight of eroded bund material in a period, [M]}}{\text{Total rainfall in the same period, [I]}}$$

If

- Cross sectional area of bund at the beginning of a period is  $A_1$ ,  $\text{cm}^2$
- Cross sectional area of bund at the end of the period is  $A_2$ ,  $\text{cm}^2$
- Length of bund is  $L$ ,  $\text{cm}$

Volume ( $V$ ) of bund is given as:

$$V = \text{Cross sectional area} \times \text{Length} = A \times L$$

- Volume of bund material at the beginning of a period is  $V_1 = A_1 \times L$ ,  $\text{cm}^3$
- Volume of bund material at the end of the period is  $V_2 = A_2 \times L$ ,  $\text{cm}^3$
- Volume of bund material eroded,

$$V_{\text{erod}} = V_1 - V_2, \text{ cm}^3$$

- The bulk density of bund material is  $\gamma_b$ ,  $\text{g/cm}^3$
- Weight of eroded bund material at the end of the period is  $M$ ,  $\text{g}$

$$M = \gamma_b \times V_{\text{erod}}$$

- Total rainfall within the period,  $I$   $\text{mm}$

$$\text{Erosion rate} = \frac{M}{I}, \text{ g/mm}$$

Plot of the mean erosion rate with time is as in Fig. 2.38. The erosion from

all the bunds are similar in nature. The amount of erosion is least for bund type A (Clay) and highest for bund type B (Sand). The mean erosion rate for bund types A, B, C, D and E is below:

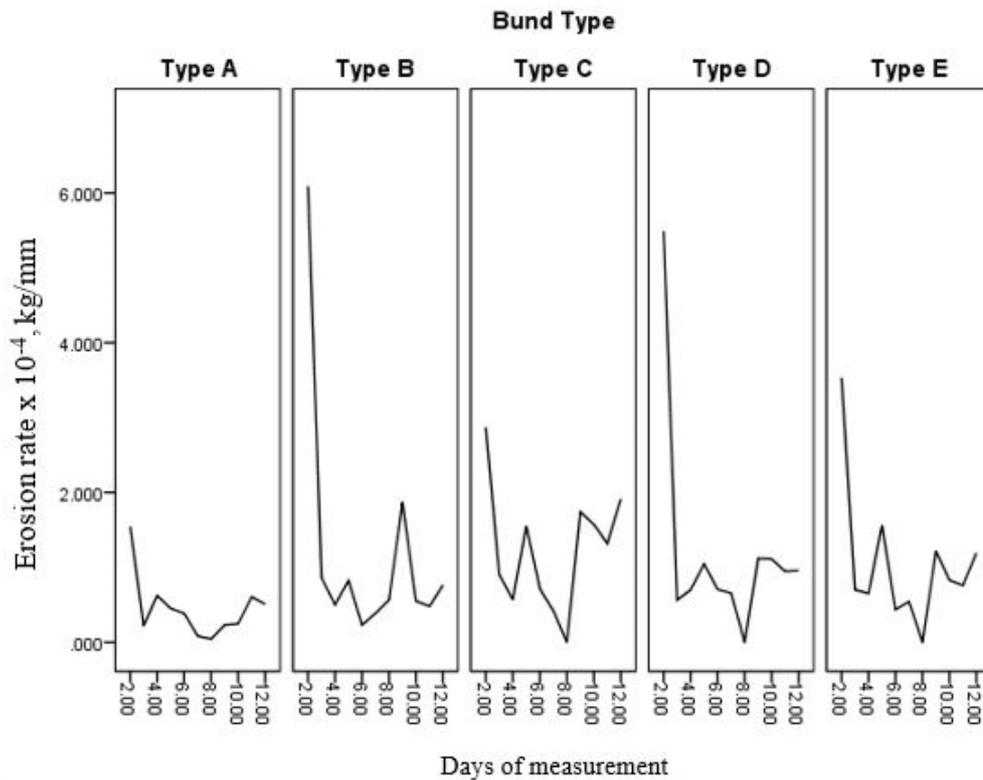


Fig. 2.45: Mean bund erosion rate variations with time

Cross sections of the constructed bunds were drawn with respect to time of measurement. Fig. 2.46 shows the cross of the experimental constructed bunds.

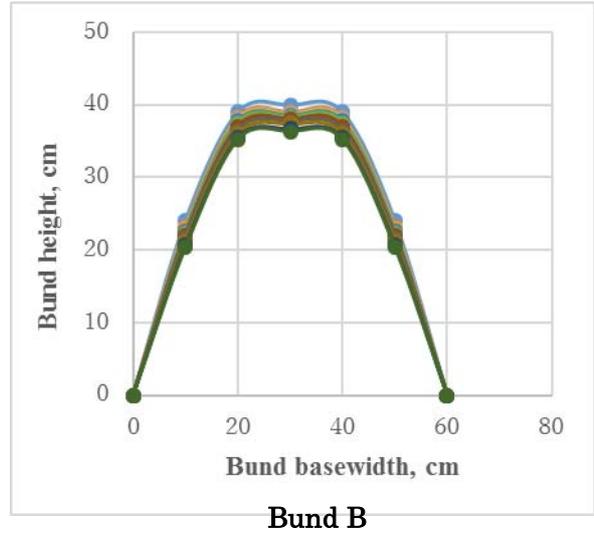
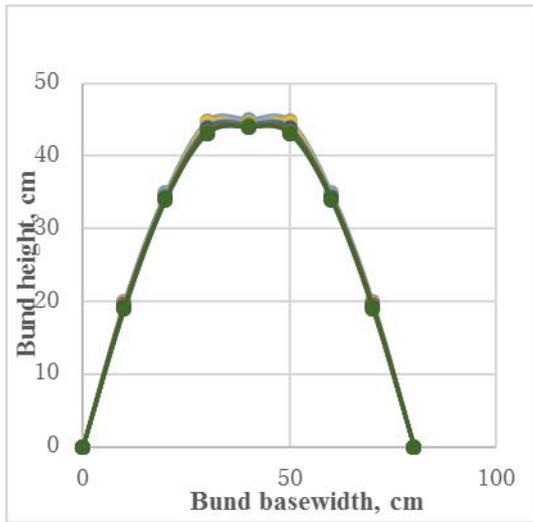
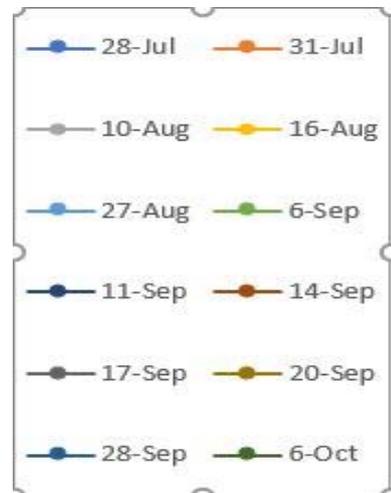
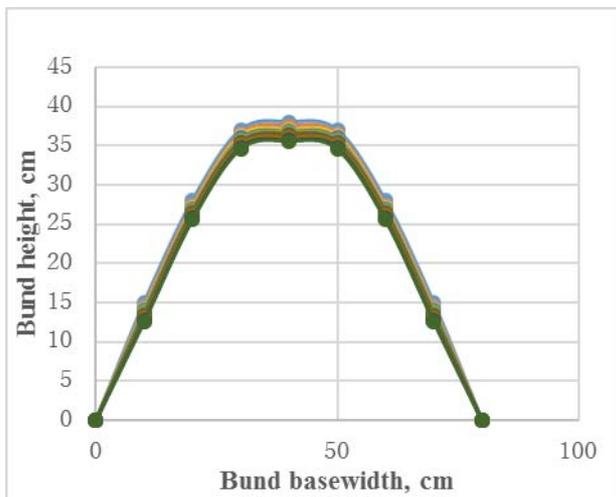
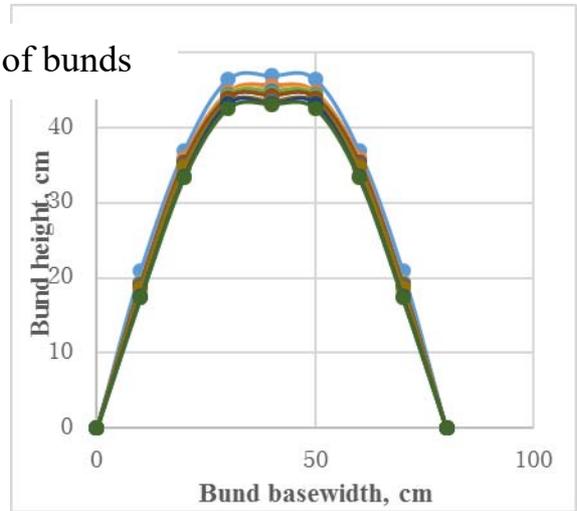
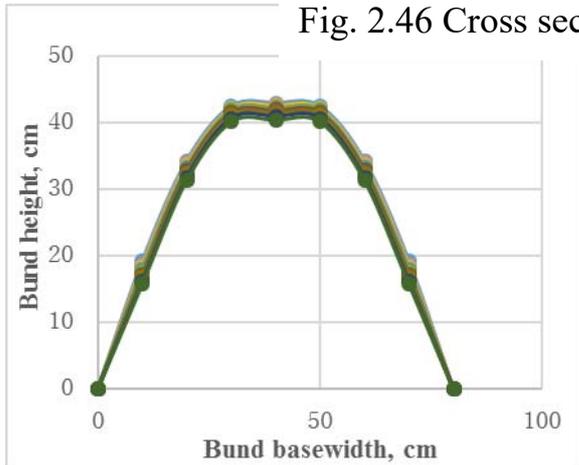


Fig. 2.46 Cross sections of bunds



### **Yield from the experimental plot**

Yields obtained averaged at 30 bags of paddy per acre or 75 bags per hectare. This yield is above the expected break even yield of 18 bags/acre.

### **Reference**

Brouwer C, Prins K, Kay M, and Heibloem M. (1988) Irrigation water management: irrigation methods. Irrigation and drainage paper 5, FAO, Rome.

Yamaji E. (1995) Paddy structures and its improvements. J. JSIDRE. (Paddy fields in the world): 269-280.

## 第3章 栽培

ため池の水を利用した補給かんがい稲作には、かんがい水の利用制約を踏まえた効果的・効率的な栽培法を用いる必要がある。実証試験ではヘクタール当たり収量7トンを達成し、補給かんがいは42%の増収効果が得られた。

本章では、「ため池を利用した水稻栽培」を実施するための、具体的な栽培方法について解説する。なお、本マニュアルは、ガーナ北部州（雨季は6月から9月、砂質ローム土壌）での栽培データに基づいている。気象ならびに土壌条件が異なる地点では適宜調整して適用されたい。

### 3.1 イネの品種選定

品種は中生を用いる

ガーナ北部州向けの栽培品種には、生育日数80 - 110の早生（IR64、ネリカ1、ネリカ2、Digangなど）、同115 -125の中生（SIKAMO、Gbewaa、AGRA Rice、Amankwa tiaなど）、同130 -160日の晩生（Katanga、Tox 3107、FARO 15）がある。早生は収量が低く、晩生は生育後半の補給かんがい日数が長くなるため、補給かんがい稲作には中生が適している。本マニュアルはGbewaa（別名Jasmine85）の栽培試験結果に基づいている。



図 3.1 栽培試験品種 Gbewaa (別名 Jasmine85)

### 3.2 作付け期間の決定

播種時期は補給かんがい計画に従う

小規模ため池を利用した補給かんがい稲作では、幼穂分化期から 40 日間を中心にかんがいです。そのかんがい水は本格的な雨季の降水を貯水して用いる。

ガーナ北部州の場合、補給かんがい計画に従うと栽培開始時期は 7 月初めとなる。通常栽培より栽培開始が遅くなる場合もあるが、生育後半の水不足は補給かんがいにより解消される。なお、播種を遅らせることは、雑草減少のメリットをもたらす (3.3.3 で詳述)。

### 3.3 補給かんがいのやり方

幼穂分化期から 40 日間  
土の表面が乾いたら、田面が全て湛水するまでかんがいする

#### 3.3.1 かんがい期間

かんがい期間は幼穂分化期から 開花終了までの約 40 日間である。幼穂分化の時期は品種によって異なり、気象条件によっても前後する。重要なことはこの間にイネに乾燥ストレスを与えないことである。ため池の水が豊富にある場合は、かんがいを延長しても良い。また、播種後や施肥時の乾燥が強い場合や、開花後に全く降雨がなく乾燥した場合にはかんがいが有効である。



図 3.2 幼穂分化期直前のイネ  
(品種 Gbewaa: 播種後 56 日)



図 3.3 幼穂分化期直前の主茎基部  
(節間が伸びる: 左) と生長点  
(未だ幼穂の形は見えない: 右)  
(品種 Gbewaa: 播種後 56 日)

#### 3.3.2 かんがい量の目安

土の表面が乾いたら、田面が全て湛水するまでかんがいする。砂質ローム土壌では湛水状態を維持できないのが普通である。そのような場合は水が引いても気にしない。湛水期間と収量は無関係であり、湛水状態を維持しなくても十分に高収量を得ることができる。重要なことは田面を乾燥させないことである。



図 3.4 かんがいが必要な田面 図 3.5 かんがいされた田面



### 3.4.1 圃場準備

「秋起こし」、「圃場の均平」を実施する

収穫後、直ちに耕起・碎土し、収穫残渣を鋤き込んで、その分解とそれに伴う土壌の団粒化を進める（秋起こし）。同時に、畦の補修、圃場の均平化を実施する。これらは、雨季初めの豪雨を土壌水分として蓄え、同時に土壌流亡を防止する上で重要である。播種前には除草を兼ねて碎土する。



図 3.7 秋起こし



図 3.8 田面の均平

### 3.4.2 播種

播種は点播でおこなう。  
播種間隔は 25×20cm、1 点 3～5 粒、深さ 3cm とする

混じりがなく、発芽力の高い種子を用いる。比重 1.075 で塩水選した後、真水に 24 時間浸漬して乾燥しておく。栽植密度 25×20cm、1 点 3～5 粒、深さ 3cm で播種する。点播は散播にくらべ労力を要するが、株立ちが確実で、後々の除草、追肥等の管理が容易であり格段に収量が高い。



図 3.9 棒による播種穴



図 3.10 ディブラーによる播種穴

### 3.4.3 除草

播種直後に茎葉処理剤、土壌処理剤の混合剤をスプレーする

湿地雑草は、休眠性が弱く、降雨により一斉に発芽する。この性質を利用し、雨季初めの雨で雑草が発生したところを耕うんする。さらに播種直後に茎葉処理剤（グリフォサート製剤）と土壌処理剤（ペンディメタリン製剤等）の混合剤を用法に従って散布する。追肥の前には、選択性の除草剤（2,4-D 製剤等）を散布する。

収穫したコメの品質向上のため、色や形が異なる株（異株）は適宜手取りする。



図 3.11 播種後の除草剤噴霧



図 3.12 異株

#### 3.4.4 シロアリ対策

シロアリの発生が見られた場合、薬剤を散布するか、かんがいする

シロアリは圃場周辺に普通に生息しており、木製杭はもとより、イネも食害する。シロアリの発生が見られた場合、薬剤を散布する。既にため池に水がある場合は、かんがいすることでも防除できる。



図 3.13 シロアリにより食害された圃場の木杭（左）と根を食害されたイネ

### 3.4.5 施肥

播種 3 週間後（発芽 2 週間後）に、ヘクタール当たり NPK 化成（15-15-15）を 250 kg、播種 7 週間後（幼穂分化期）に、ヘクタール当たり尿素 36kg、硫安 80kg を混ぜ合わせて散布す

播種 3 週間後（発芽 2 週間後）に、ヘクタール当たり NPK 化成（15-15-15）を 250 kg（成分量で各 37.5kg）散布する。雨が少ない場合、かんがいする。肥料が溶けてイネが吸収できるようになるとともに、根の肥料やけを防止する。

播種 8 週間後（発芽 7 週間後）（幼穂分化期）に、ヘクタール当たり尿素 36kg（窒素成分量で 16.8kg）、硫安 80kg（同 16.8kg）を混ぜ合わせて散布する。窒素成分当たりの単価が安い硫安を使うことで費用を抑えられると共に、硫黄欠乏土壌に対して硫安の硫黄成分が予防となる。

### 3.4.6 収穫

モミの水分が20～25%になったとき（黄熟モミが85～90%）に収穫する。

モミの水分が20～25%になったときに収穫する。1穂中の黄色になったモミが85～90%になった時点が目安である。



図 3.14 収穫適期のイネ



図 3.15 過熟のイネ

## 4章 水管理

### 4.1 水管理マニュアルの概要

#### 4.1.1 内容

ため池の水を公正かつ有効に稲作に利用するためには、稲作を行う農業者が次の活動を行う必要がある。

- かんがい用水の運用
- かんがい施設の維持管理
- 配水と維持管理のための資金管理

これらの活動は集団として行うことが効率的であること、ため池を利用する場合は他の水利用者との関係も生じうることから、ため池の水を利用するかんがい稲作には、以下の意思決定を行う組織が必要である。

- かんがい稲作に関する意思決定
- 競合する水利用者との調整に関する意志決定

さらに、かんがい稲作を含む、ため池の水利用が継続的に実施されるためには、組織間の関係を規定する体制があることが望ましい。

本章は、一つのコミュニティ<sup>1</sup>が管理しているため池の水を稲作に利用するために必要となる上記の活動、組織、体制をコミュニティに導入する手法を、原則、事例、得られた知見の面から取りまとめたものである。原則はため池を利用した稲作において広く適用可能なものであるが、事例と得られた知見については、ガーナ北部州における実証調査の結果であり、他地域への適用にあたっては現地の社会条件に適応した内容とする必要がある。

#### 4.1.2 事例とした実証調査の概要

事例とした実証調査は、2013年から2016年にかけて、MOFA -

---

<sup>1</sup> ガーナ北部で村に相当する単位。本マニュアルでは、ため池の利用と管理を村レベルで行うことを想定している。

KNUST - JIRCAS(以降、事業者とする)がガーナ北部州の一コミュニティで実施した、親子ため池システムを利用した補給かんがい稲作導入に係る実証調査である。この実証調査では、親子ため池システムとして、コミュニティに従来から存在していたダッグアウト（親池）の越流水を貯留する子池が新設されるとともに、子池の水を補給かんがいに利用するほ場が整備され、子池から揚水するエンジンポンプと、ほ場へ配水するパイプラインが導入された。(図 4.1、図 4.2)。パイプライン末端のバルブから先のほ場内配水には、必要に応じ補助ホースが利用された (図 4.3、図 4.4)。

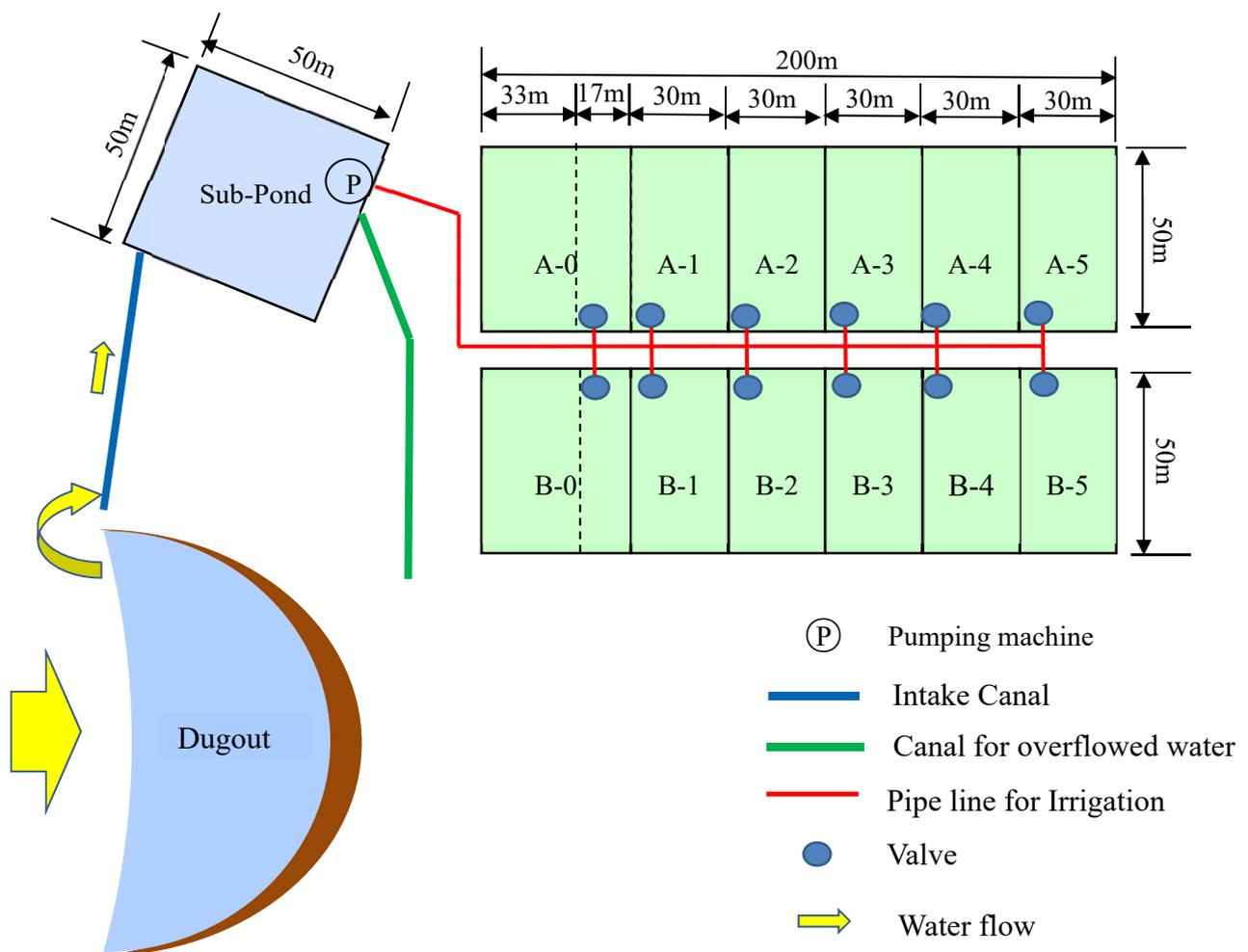


図 4.1 実証調査におけるかんがい施設



図 4.2 エンジンポンプ



図 4.3 バルブとパイプライン  
ン端部



図 4.4 補助ホースを用いたかんがい

ほ場 A-0、B-0 は栽培試験を行う試験ほ場として利用され、一部は天水、一部は補給かんがいで栽培された。A-1～A-5、B1～B-5 では実証調査参加農業者 10 名が、子池の水を利用しながらイネを栽培した。

## 4.2 ため池の水を稲作に利用するための水管理体制

### 4.2.1 原則

生活用水や家畜用水等、多目的に利用されているため池の水を稲作に利用するためには、競合する水利用者間の水利用や維持管理負担の調整機能がコミュニティの中にあることが必要であり、この機能を持続的に発揮するためには、コミュニティに水管理体制を構築することが望ましい（図 4.5）。

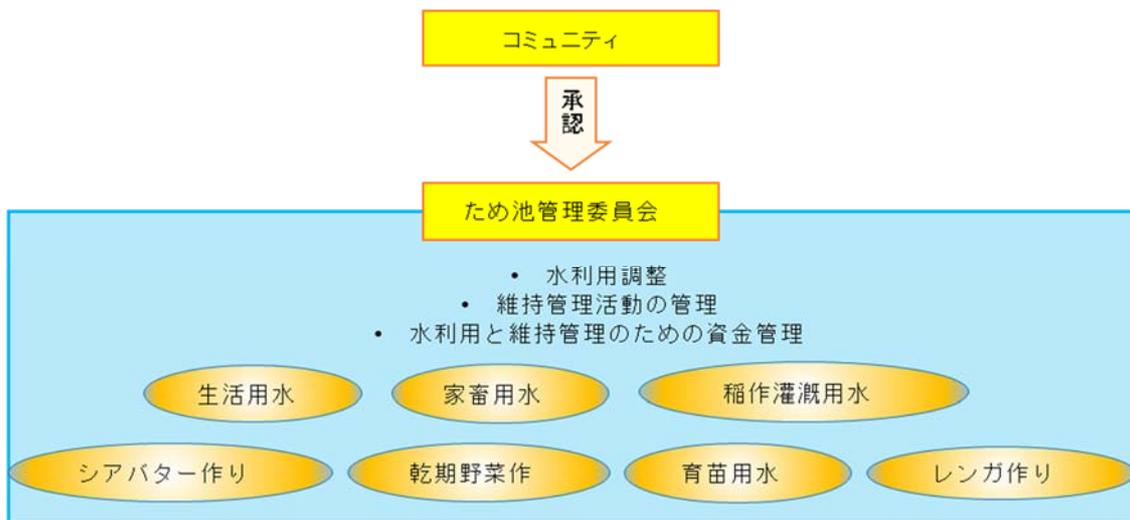


図 4.5 ガーナ北部で想定されるため池の水管理体制

水管理体制の構築は、以下の情報を踏まえて、行う必要がある。

- ① 行政や伝統的権威<sup>2</sup>の役割、水管理組合等水管理に関連する既存組織の体制及び活動状況  
→水管理体制が行うべき活動内容や役割分担を決めるために必要。既存組織の活用・改善の可能性も検討することが必要。

<sup>2</sup> ガーナでは、伝統的権威を持つ首長制が憲法上保証されている。それぞれの民族の慣習法に則り、首長（チーフ）が村レベル、地域レベルで任命され、国レベルには会議首長院が組織されている。

## ② 既存の水利用状況

→水利用者間の調整の要否の決定、施設維持管理計画や水配分計画策定に必要。

ダムを利用したかんがいが行われているガーナ北部のアップーイースト州では、かんがい農家を中心とするため池利用者の組織化が進められている。しかし、こうした組織がため池を主体的に管理するとは限らず、ため池管理をめぐる実際の組織の活動内容は、村が主体的に行っている既存の活動や政府の関与に応じて限定されている。

### 【アップーイースト州の3つのダムの貯水と施設の管理実態】

	No.1	No.2	No.3	
貯水不足（過去10年）	2回	6回	5回	
貯水不足への対応（乾季）	- 実施主体	WUA	n/a	村のチーフ
	- 内容	灌漑面積の縮小 灌漑作目の変更	なし	灌漑面積の縮小 灌漑作目の変更
	- 目的	灌漑用水の確保	n/a	家畜用水の確保
ダムの維持管理	- 実施主体	村民 (主にWUAメンバー)	村民	村民
	(プロセス)	問題発見者（ダム監視員）→WUA幹部→WUA集会→実施	問題発見者→WUA幹部→村民集会→実施	問題発見者→郡職員→村のチーフ→村民集会→実施
	- 内容	堤体修復（不定期） 法面保護：敷石（定期）、草本植栽（定期）	堤体修復（不定期） 法面保護：敷石（不定期）	堤体修復（不定期） 法面保護：敷石（不定期）、草本植栽（定期）
水路の維持管理	- 実施主体	WUA	WUA	WUA
	- 内容	泥溜い、除草、修復（セメント）（定期）	泥溜い、除草（定期）、修復（セメント）（不定期）	泥溜い、除草、修復（セメント）（定期）
資金徴収	- 実施主体	WUA	WUA	WUA
	- 徴収対象	灌漑農家 (コメ+野菜)	灌漑農家 (野菜のみ)	灌漑農家 (野菜のみ)
	- 徴収金の主な使途	水路の維持管理	水路の維持管理	水路の維持管理
集団的な意思決定	WUA集会 (チーフ：調停役)	WUA集会, 村民集会 (チーフ：調停役)	WUA集会, 村民集会 (チーフ：調停役)	

#### 4.2.2 事例（親子ため池システム）

実証調査では、開始時に二つの水管理の組織が設立された。

一つは、実際に実証ほ場のかんがいシステムを利用し、補給かんがい稲作を行う農業者のグループ（以降、稲作グループ）で、もう一つは、子池の水利用調整、維持管理、資金管理等を行うことを想定して設立された、子池管理委員会である。

コミュニティには、従来から既存のダッグアウトを管理するダッグアウト(親池)管理委員会が存在していたが、以下の理由により新たな機能が必要となった。

- 1) 親池管理委員会の役割は親池の監視、チーフへの提案・報告などに限定されており、水利用調整や資金管理の機能がない
- 2) 親池では人力による取水が主体であるが、子池はポンプでの配水を行うため、水利用に係る資金管理の重要性が高い

このため、コミュニティ内で話し合いがなされ、子池管理委員会が設立された。なお、子池の水利用は親池の水利用から独立しており、親池と子池間での水利用調整の必要がないことから、親池管理組織とは別組織とされた。

子池管理委員会のメンバーは、既存組織での経験を反映するために親池管理委員会からの3名と、耕作者の意見を反映するために稲作グループからの2名の構成とされ、親池の管理委員会と同様、コミュニティの承認を得て設立された。しかし、実証調査開始当初は子池の水は水稻栽培専用としたため水利用調整の必要性がなかったこと、子池が建設直後で維持管理の必要性が低かったことから、子池管理委員会の活動は、子池の破損状況の監視、法面保護シートの手直し、草刈（稲作グループと共同）にとどまった。

子池の水は水稻栽培専用として利用開始したが、稲作後に子池に水が残ったことから、子池の水を利用した野菜栽培が行われた。この際、野菜栽培を行う野菜栽培グループが設立された。また、乾期には水不足により子池の水が生活用水に利用された。これらの稲作以外の水利用の状況から、今後は、子池管理委員会により、コミュニティ全体による維持管理活動やグループ間の調整が必要となる可能性が

ある。

以上の実証調査における水管理体制を整理すると、(図 4.6) の通りである。

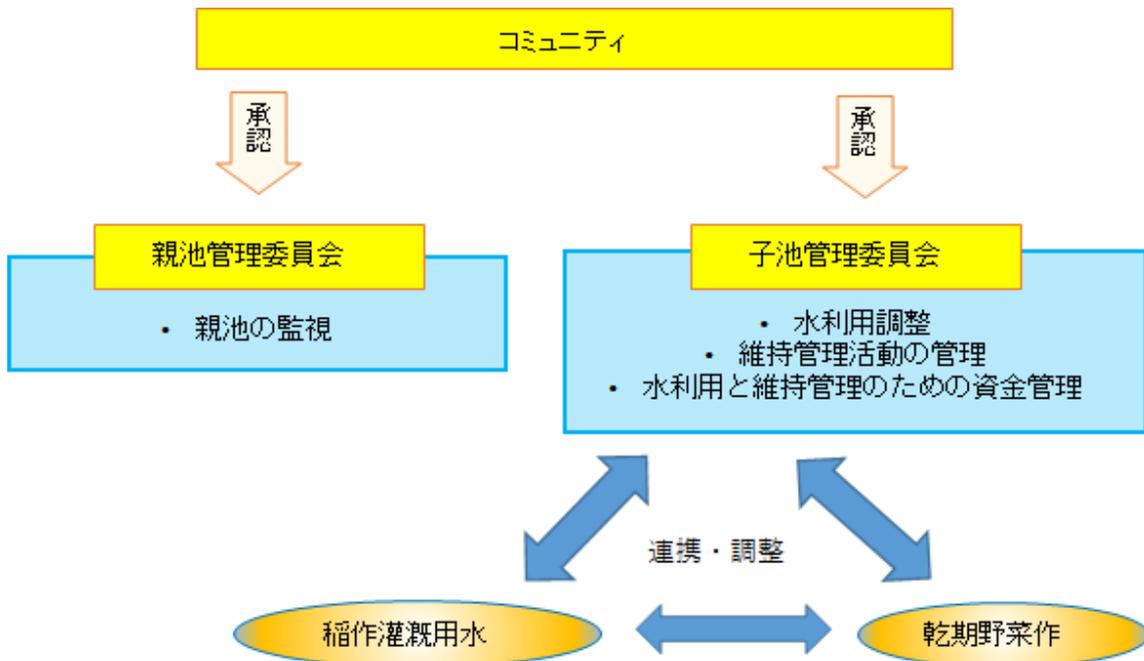


図 4.6 実証調査で構築された水管理体制

#### 4.2.3 得られた知見

子池に係る修繕、浚渫などの維持管理や多目的の利用者間の水利用調整は、関係者がその必要性を理解し実際の活動について検討を開始できるようになるまでには、一定の時間がかかる。このような役割を担う組織を含む体制構築には、中期的な指導と支援が必要である。

また、伝統的権威が一定の権力を持つ地域においては、コミュニティにおけるチーフの役割を十分考慮し、理解を得ながら、水管理体制の構築を図ることが重要である。

## 4.3 水管理組織の機能と主な役職

### 4.3.1 原則

ため池の水管理組織に求められる基本的な機能は、かんがい管理、維持管理、資金管理、意志決定、活動記録、関係者間の調整であり、これらの機能は、組織内の責任者を中心に、メンバーが協力することにより発揮されるものである。

水管理組織の役職構成は、上記の基本的な機能を満たすことを目的に、水利用の内容・方法に応じて設定する。また、各役職者は、メンバーの合意に基づき人選する。

表 4.1 基本的な機能と役職例

機能	責任者の役職名
意志決定	Chairman
灌漑管理	Water manager
維持管理	Facility manager
資金管理	Treasurer
調整	Organizer
活動記録	Secretary

### 4.3.2 事例

実証調査の開始にあたり設立された二つの水管理組織の活動内容は、それぞれ以下の通りとされた。

#### ○子池管理委員会

- 水利用者への安全な水利用の呼びかけ

- 子池及びその付帯施設の補修について決定または提案
- 子池の水を効果的に利用するための管理
- 水利用者からの水利用、維持管理、施設更新に係る費用の徴収

○稲作グループ

- かんがい用水の配水
- かんがい施設の維持管理（子池の付帯施設は除く）
- かんがい施設の運用と維持管理に必要な資金管理

これらの活動内容を踏まえ、メンバーの合意の下、それぞれの組織の役職が決定され（表 4.2、表 4.3）、担当者が選任された。これらの役職の決定、担当者の選任については、子池の水はコミュニティの共有資源であるとの観点から、チーフ及びコミュニティメンバーの合意も得た。子池管理委員会及び稲作グループの具体的な設立プロセスは、図 4.7、図 4.8 の通り。

表 4.2 子池管理委員会の役職構成

役 職	役割の概略	出身母体 <sup>*1</sup>
Chairman	統括、会議の招集	C
Treasurer	会計事務	C
Secretary	議事録作成	G
Organizer	連絡、調整	C

\*1 C:ため池管理委員会、G:稲作グループ

表 4.3 稲作グループの役職構成

役 職	役割の概略
Chairman	統括、会議の招集
Vice-Chairman	Chairman の補佐
Assistant of Chairman	Chairman の補佐
Treasurer	会計事務、資金管理
Secretary	会議の準備、議事録作成
Vice-Secretary	Secretary の補佐
Organizer	会議準備、連絡
Pump keeper	ポンプ保管

Pump mechanic(repairer)	ポンプの修繕
Pump-operator/recorder	ポンプの運転、設置、運転記録、 燃料代徴収（2名）

#### 【子池管理委員会】

- 1) 事業者からチーフに、子池の利用と管理の概要を説明し、意見交換
- 2) ため池の管理実態や持続的な管理の観点から、子池管理委員会のメンバーは、ため池管理委員会から3名、稲作グループから2名の5名の構成に決定
- 3) 事業者から子池管理委員会のメンバーに、ため池管理委員会の活動を参考として、必要な子池の管理活動、役職を説明
- 4) チーフ及び子池管理委員会のメンバーによる役職の決定
- 5) コミュニティの集会参加者による、子池管理委員会メンバーからの役職担当者の推薦、決定

図 4.7 子池管理委員会設立から役職決定までの経緯

#### 【稲作グループ】

- 1) 事業者からチーフに、実証ほ場の整備計画を説明し、稲作経験のある農業者を実証調査参加者として選定するよう依頼
- 2) 事業者から実証調査参加農業者及び子池管理委員に対し、稲作へのかんがいの特徴及び参加者の役割を以下の通り説明
  - ・ かんがい稲作では多量の水を使う
  - ・ 希少な水を有効に使うには、かんがいシステムを共有資産として利用・管理することが合理的である
  - ・ そのためには、参加者がグループを結成し、協力してかんがい稲作に取り組む必要がある
  - ・ かんがい施設を継続的に利用するには維持管理が重要であり、その費用は利用者が負担する必要がある
  - ・ 実証調査への参加は先駆者となることであり、参加によって得る知識・技術は、積極的に他の農業者に伝える責務がある
- 3) 実証調査参加農業者がグループ結成及び参加者の役割に同意
- 4) グループメンバーによる役職及び役職担当者の決定

図 4.8 稲作グループ設立から役職決定までの経緯

### 4.3.3 得られた知見

水管理組織の役職は、組織として行うべき活動を反映させる必要がある。また、新しい水管理組織を設立もしくは組織機能の追加を行う場合は、必要な活動の目的・内容を十分理解し、設立すべき組織、追加すべき機能、それらに応じた役職を決める必要がある。

## 4.4 ルールづくり

### 4.4.1 原則

水資源を持続的に利用・管理するには、利用と管理に関するルールが必要である。ルール作成の原則は、以下の通り。

- 1) 適用範囲が明確であること
- 2) ルールに影響を受ける個人がルールの修正に参加できること
- 3) ルール違反は段階的な制裁を課されること

ルールの内容は、役割分担、用水管理、維持管理、資金管理、意志決定等、活動上必要な事項を含む必要がある。

### 4.4.2 事例

実証調査では、事業者が提示するルール案を元に稲作グループとの議論を重ね、メンバーの合意をえられた内容をルールとして構築した（表 4.4）。構築したルールは明文化され、稲作グループの secretary が保持した。

表 4.4 稲作グループのルール

項目	主な内容
役割 分担	役職の任期は一年とする。 役職とその役割。 役職への就任者は、メンバーにより選ばれる。
用水 管理	かんがい日をそろえるために同一品種、同一栽培計画により栽培する。 かんがい日は、メンバーが事前に決定する。 かんがいは、かんがい対象ほ場の耕作者が参加して行う。不参加はペナルティを払う。 ポンプの運転に全員協力する。

項目	主な内容
維持管理	<p>各自が畦の手入れを行う。ほ場間の畦は、上流側の者が手入れする。用排水路は、共同で管理する。</p> <p>維持管理の作業日程は、メンバーの同意により決定する。</p> <p>維持管理作業に参加できない者は、理由を他のメンバーに知らせる。</p> <p>子池の維持管理に参加する。</p> <p>維持管理ルールに従わない場合のペナルティはメンバーが決定する。</p>
資金管理	<p>ポンプの運転、補修、配水に必要な資材は、グループ資金から拠出する。</p> <p>コメの収穫後、会計がポンプ燃料費、施設の維持管理及び更新費用、ペナルティを集金する。</p> <p>会計は、集金をグループの銀行口座に預金する。</p> <p>集金に応じない場合のペナルティは、メンバーが決定する。</p>
意志決定	<p>グループのルールと活動は、メンバーの協議により決定される。</p> <p>グループの会議は、少なくとも耕作期の前に1回開催される。</p> <p>グループの会議で決定できない事項は、チーフに相談する。</p> <p>会議に参加しない場合のペナルティは、メンバーが決定する。</p>

実証調査の一年目終了後に行われた稲作グループメンバーへの聞き取り調査によると、メンバーはルール、特にペナルティのルールを高く評価していた。しかし、ペナルティを正確に徴収するための情報、例えば会議やかんがいごとの参加状況は記録されておらず、出欠に応じた正確なペナルティ徴収はできていなかった。このため、記録の取り方について **secretary** に指導が行われた。

また、実証調査の二年目の耕作開始前に、グループメンバーは口頭でのルールの確認と、必要な修正を行った。同時に、ペナルティの免除条件（葬式等）の有無について、グループ内で見解が異なっていたことが明らかになり、議論によりペナルティに免除条件は設けないとする運用が決められた。

#### 4.4.3 得られた知見

水を利用する農業者自らが納得して作成したルールであっても、

活動の進捗に応じて、見直しが必要である。また、その正確な運用には、正確な記録が必要である。ルールに関するモニタリングと支援を継続的に行うことにより、ルールの実効性を高くすることができる。

参加者の識字率が低い場合には、耕作前など定期的に全員で口頭にてルールを再確認することは、ルールの定着及び納得性の向上に有効である。

## 4.5 グループによるかんがい

### 4.5.1 原則

ため池の水を稲作へ効率的に利用するためには、耕作者が水の貯存量と利用状況を把握し、組織的にかんがいを行う必要がある。

### 4.5.2 事例

かんがいは、個人的な水利用がないように、グループで組織的に行われた。

幼穂分化期以降のかんがいは、一週間に一回程度、各ほ場にかんがいはれることが目安とされた。かんがいすべきほ場は全部で12ほ場であったことから、一日2ほ場、6日間かけてかんがいをするローテーションが定められた。降雨ではほ場の土壌が十分湿った場合はかんがいは延期し、2,3日後からローテーションを開始することとされた。

グループメンバーから2名の **Pump-operator** が選ばれて、ポンプの運搬と運転を担当した。かんがい時には、かんがい対象ほ場の耕作者は必ず立ち会い、畦の見回りや補修、ほ場内の水がかからない箇所へ送水するための補助ホースの設置や小水路・小畦の設置を行い、水を有効に使うように努めることとされた。かんがいに立ち会うことができない場合は、ペナルティの対象とされた。

なお、かんがい日は降雨状況に応じて変更になり、かんがい延期の判断及びかんがい日の決定は、**Secretary** を兼務する **Pump operator** が行った。かんがい日の変更にあたっては、**Pump-operator (Secretary)** と耕作者間の連絡を密にとり、耕作者のかんがいへの立会いが容易になるよう、グループ内で合意された。



図 4.9 ほ場内の標高が高い部分へ水をまわす作業

表 4.5 ポンプ運転記録の様式

Record of water distribution		Name:		
Date	Plot	Water distribution		
		Beginning time	Ending time	Duration
1/Sep	A3	13:00	13:45	0:45
1/Sep	A4	13:45	16:00	2:15

グループ内のポンプの燃料費負担については、当初、ほ場毎の配水時間に応じて賦課するという意見があった。最終的にはグループメンバーの話し合いにより、各ほ場の条件に大きな差が無いと考えられること、ほ場単位での使用水量を正確に把握することが実証ほ場では困難であることから、ほ場の面積割り課金することとされた。

実際に一年間経験してみてもメンバーは、下流側ほ場は配水時間は短いものの上流側ほ場からの浸透水が流入することを確認し、燃料費は面積割りの負担が妥当であると結論付けた。

### 4.5.3 得られた知見

かんがいスケジュールは降水状況に応じて変わることから、スケジュールが変更になった際の連絡方法を十分に話しあっておくことが重要である。

かんがいの際に耕作者が立会い、ほ場の管理活動を行うことが、水の有効利用に重要である。

## 4.6 かんがい施設の維持管理

### 4.6.1 原則

かんがい用施設を持続的、効率的に利用するには、施設に対する計画的な維持管理活動が必要であり、そのための経費は水の利用者が負担する。

計画段階で関係者間の合意を得ておくことが必要である。

水稻栽培を実施する上での維持管理活動の対象施設は、ほ場、水路、ため池、パイプライン、ポンプに大別される。これらの施設について、活動頻度、実施者などの視点から代表的な維持管理活動を整理すると、表 4.6 のとおりとなる。

表 4.6 代表的な維持管理活動の例

対象施設	内容	実施頻度	実施者
ほ場	見回り	日常	耕作者
	畦、取水口、排水口の手入れ	定期（耕作前）・日常	
水路	見回り	日常	耕作者グループ
	泥上げ、草刈り	定期（耕作前）・日常	
	改修	不定期	
ため池	見回り	日常	ため池管理者
	堤体の草刈り・木本伐採	定期	
	堆砂の除去	定期（雨期の終わり）	
	改修	不定期	
パイプライン	見回り	日常	耕作者グループ
	改修	不定期	
ポンプ	保管	日常	耕作者グループ
	エンジンオイル交換	定期	
	修理	不定期	

維持管理上の留意点は、以下のとおりである。

① 維持管理を効率的に進めるため、維持管理計画を策定する。

- ② 維持管理には、資材の購入や労務費等の費用が必要となる場合がある。これらの費用を誰がどのように負担するかは、計画段階で検討し、関係者間で合意しておくことが重要である。
- ③ 施設の大規模な改修などは、専門家や行政の技術的・資金的な支援が必要になる場合がある。必要に応じ、外部の支援を計画する。

#### 4.6.2 事例

実証調査における維持管理の責任は、子池は子池管理委員会、ポンプからの施設は稲作グループとメンバーが担うこととされた（後に野菜グループも参加）。

このうち稲作グループによる土水路の泥上げや草刈りについては、当初共同で行うことが計画されていたが、その後土水路は利用しないこととなったため、土水路の維持管理作業は実施されなかった。



図 4.10 畦からの漏水の状況

畦の手入れは、当初は場間の畦を、上流側・下流側、どちらの耕作者が行うかで意見の相違があったが、話し合いにより上流側が担当することになり、各耕作者により実施された。ただし、締め固め不足により、畦の漏水がなかなか止まらない例も見られた。

実証調査期間中にポンプが故障したが、ポンプは稲作グループにより修理に出された。修理費は、稲作と野菜栽培の両グループに、表 4.7 に示すとおり分担された。

表 4.7 ポンプ修理費の負担分担

主体	負担費用 (GHS)	内訳
稲作グループ	20	2 GHS／人, 10 人
野菜作グループ	40	2 GHS／人, 20 人
事業者	20	

子池については、子池の堤体保護に設置された屋根材マットを敷設した場所から草や木本類が生えたため、子池管理委員会と稲作グループにより、子池の維持管理作業として草刈を行うことが合意された。作業上の留意事項は以下の通りとされた。

- 緑の草は刈らない
- 草は、枯れているものについて地上部を刈り取り、保護材として堤体上に残置する
- 木本類は、大きく生育すると堤体の不安定化につながるため伐採する
- 安全確保のため、作業は複数人で行う



図 4.11 子池周辺の木本



図 4.12 子池堤体の屋根材

#### 4.6.3 得られた知見

維持管理活動の実施に関する知見の蓄積は、現時点では不十分であるが、かんがい施設の重要性が理解され、実施可能な範囲であれば、水利用者自身による維持管理活動は実現すると考えられる。

## 4.7 資金管理

### 4.7.1 原則

かんがい費用と施設の維持管理費及び更新費用は、利用者が負担し、管理する。資金の管理は、透明性を確保して計画的に実施される必要がある。

資金管理上の留意点は、以下のとおりである。

- ①運営維持管理にかかる資金計画は、配水資材の購入や施設の補修、更新にかかる費用を踏まえて立案する。
- ②グループの収入、支出歴を、帳簿に記録する。
- ③メンバーからの集金は、誰が支払ったかわかるように帳簿に記入する。
- ④グループの銀行口座を開設して、資金を管理することが望ましい。
- ⑤引当金の設定等、負担金の未納者への対応方法を考慮しておくことが望ましい。

### 4.7.2 事例

かんがいに必要なポンプの燃料代は、利用者負担を原則とした。しかし、実証調査初年度の補給かんがい稲作の効果が不明な状態では燃料代の計画的な支出・集金が困難と考えられたことから、初回の燃料代は事業者負担とし、収穫後に燃料費相当分をメンバーから集金し、次の年の燃料代としてグループ会計に積み立てることとされた。稲作グループのメンバーは、収量が低い場合でも支払いできるとの理由により、現物(コメ)ではなく、現金で徴収する方法を採用した。収穫物の販売後に会計がポンプ運転費用とルールに定められたペナルティ相当額を集金した。集金額は銀行口座に預金された。

表 4.8 現金出納簿の様式と記入例

Date	Description	Income (GHC)	Expense (GHC)	Balance (GHC)	note
1-Oct-2015		110		110	
9-Oct-2015	fuel cost		50	60	
15-Oct-2015	fuel cost		10	50	
15-Oct-2015	fuel cost		10	40	
30-Oct-2015	Monthly duty	20		60	All 10 members
30-Oct-2015	Penalty	2		62	Mr. ****, 15-Oct irrigation

施設の維持管理に係る費用は、10年に一度の更新を想定した資金計画案が事業者から提示された。それを参考に、グループメンバーは施設の更新費用として、若干の不足はあるものの、一人当たり月々2セディの積み立てを開始した。資金計画は、必要性のみならず、グループメンバーの意見も踏まえて決める必要がある。

資金管理には、会計担当のみならず、通帳等の重要書類を安全に保管する場所や銀行への移動手段（バイクなど）を有するメンバーの協力も重要であるとされた。

子池の維持管理については、子池管理委員会が住民から資金を徴収することで合意がなされたものの、実証調査期間中は、支出の伴わない堤体の草刈などが行われただけで、資金の徴収、積み立ては行われなかった。

#### 4.7.3 得られた知見

実証調査では当初、稲作グループのメンバーが帳簿に収入金額と支払金額しか記録しておらず、その後の資金管理やメンバーへの情報共有に支障が生じた。収入の内訳や使途も合わせて明記することなど、帳簿への基本的な記帳方法については丁寧な指導が必要である。

子池のようなコミュニティの共用施設の維持管理については、資

金の徴収・積み立てに対するコミュニティ全体の理解を得るのに時間がかかるため、行政によるモニタリングや指導、住民同士の話し合いの後押しが重要である。

## 4.8 意志決定

### 4.8.1 原則

水管理にかかる各種活動の手順、方法の決定など、組織内での意志決定は、メンバー内での意見交換、会合を通じて行う。会議の議事録を記録し、定期的に内容を確認する。

### 4.8.2 事例

実証調査では、補給かんがい稲作を行なうにあたっての配水計画や、運営維持管理の集金計画について、事前に会合を開き意見交換を行うことで、グループ内での意思決定がなされた。

実際の水利用が始まってからは、状況に応じて配水方法を変更するなど、稲作グループのメンバーによる意思決定がなされた。一方で、かんがい日の決定のように降雨に応じて頻繁に変更される事柄について、大まかな方針には合意できていても、実際の決定事項が関係者に伝達されず、メンバーがかんがいに参加できなかった事例も観察された。

また、将来的に見込まれるかんがい施設の維持管理・更新費用については、事業者からの更新費用の見込みについての説明を受けて、月会費の形で集金することが決定された。

会議の開催は、当初散発的、かつ、事業者が召集した場合に偏っていたが、実証調査開始後一年後には、月1回程度の例会を開く形にすることが、グループで決定され実行された。グループが自己資金を持ち、ポンプ燃料費が全額自己負担となったことなどから、グループとして検討・意思決定すべき事項が増えたことが背景にある可能性がある。しかし、議事録の内容は、不十分であることが観察されており、記載方法の継続的な指導が必要と考えられる。

### 4.8.3 得られた知見

グループの意思決定が軌道に乗るには一定の時間がかかるが、これができるようになれば、組織としての独立性、自主性が高まる。

## 4.9 子池の多目的利用

### 4.9.1 原則

子池の水を多目的に利用することにより、子池の利益を高めることができる。

### 4.9.2 事例

実証調査では、稲作かんがいと同時並行的に子池を活用するための、養魚試験が実施された。この試験では、子池に水がたまった2015年7月に、平均体長が4cm弱の幼魚500匹が放流され、翌年3月には、体長約17cmの成魚が45匹収獲された。子池の建設から時間の経過とともに、魚のえさとなるプランクトンが増え、魚の捕獲量も増えると考えられるが、実施と管理の体制については、実証調査では検討されていない。



図 4.13 幼魚



図 4.14 幼魚放流



図 4.15 投網による捕獲



図 4.16 捕獲したティラピア

また、雨期の稲作補給かんがい後、子池に残った水を利用した乾期

野菜栽培が以下の内容で導入された。

- 一筆の圃場内に5m×5mの小圃場を40区画設置（図 4.17）
- 20名の女性が野菜作グループを結成
- 子池からポンプ取水、水汲み容器に貯留、バケツにより灌水（図 4.18）
- アヨヨ、ブラ、アレフなど、収穫までの生育が早く複数回収穫が可能な野菜を選択（図 4.19、図 4.20）



図 4.17 野菜圃場遠景



図 4.18 水汲み容器



図 4.19 葉物野菜の収穫



図 4.20 収穫物（ブラ）

一定量の収穫がなされ、その大部分はコミュニティ内で販売され、一部は家庭内で消費された。

試験に参加した野菜グループのメンバーは、子池からの揚水用ポンプの燃料費の集金を行い次回の栽培に備えるなど、野菜栽培の継続に意欲的であることが観察された。野菜栽培の継続には、稲作グループと共有するほ場、ポンプの利用と管理について、グループ間での調整を行うことが必要である。

さらに、親池の水が枯渇した後、コミュニティのチーフの許可により、子池の水が生活用水目的に利用されるようになった（図 4.21）。

対象地域では水道や井戸の整備が不十分なため、ため池の水が生活用水に利用されるのはやむを得ないことであるが、子池の水が頻繁に生活用水に利用されるようであれば、水汲みの際の安全確保、堤体の踏み荒らしの補修等を検討する必要性が生じ、されには子池管理委員会に生活用水利用者の代表が参加するなど、体制上の対応も必要になってくると考えられる。



図 4.21 子池からの水汲み

#### 4.9.3 得られた知見

知見の蓄積は不十分であるものの、子池の水により、低投入の養魚や野菜栽培を行うことができた。稲作だけに限らず、所得の向上や栄養改善につながる多目的の水利用も実現する可能性がある。

## 参考文献

- ・ Ostrom, E. (1992). *Crafting institutions for self-governing irrigation systems* (National B). San Francisco (California): the Center for Self-Governance.
- ・ 高根務, 山田肖子. (2011). ガーナを知るための 47 章.
- ・ MOFA-JICA Project - Sustainable Development of Rain-fed Lowland Rice Production, *Rice cultivation handbook*
- ・ 小出淳司, 岡直子, 藤本直也. (2014). ガーナ北部、ブルキナファソ南部におけるため池の水利用者組合と管理実態の関係. *農業農村工学会大会講演会講演要旨集*, 30–31.
- ・ Koide, J., Oka, N., Fujimoto, N. (2015). Socioeconomic Conditions for Rice Irrigation from a Small Reservoir in Northern Ghana. *Journal of Rural Problems*, 51(2), 92–97. <http://doi.org/10.7310/arfe.51.92>
- ・ 小出淳司, 岡直子. (2016). ガーナ北部のコンパウンド営農における天水稲作の実態—タマレ近郊の内陸低湿地における事例—. *開発学研究*, 26(3), 40–48.