

平成19年度 効率的な農林業経済協力に関する調査委託事業の概要

平成19年度に農林水産省から委託を受け実施した「効率的な農林業経済協力に関する調査委託業務」概要は以下のとおりである。

事業目的・事業概要

(1) 事業の目的

本事業では、平成18年度から平成20年度までの3カ年の計画で、2ヶ所のモデル地域(インドネシア、ラオス)において予防保全対策の検討を実施する。この中で、既存灌漑排水既設の長寿命化を図る「ストックマネジメント」の考え方を導入し、途上国自らが施設の計画的な補修・更新を行えるようになることを目的として、予防保全実施マニュアル(仮称)の策定及びワークショップの開催などを行うものである。

(2) 事業概要

1) 予防保全対策の検討

土地・営農・水利用の将来予測の検討

灌漑施設の機能診断の補足及び施設劣化状況の将来予測と対策工法の検討

ライフサイクルコスト(LCC)を低減する予防保全対策

予防保全対策への影響要因の軽減対策

2) 予防保全対策実施マニュアル(仮称)の内容の検討

3) ワークショップの開催

ストックマネジメントの考え方の浸透を図るため、ワークショップを開催。

(3) 19年度のスケジュール

第1回検討委員会	平成19年8月24日	開催
第2回検討委員会	平成19年12月26日	開催
第3回検討委員会	報告書(案)を委員に配布しコメントを頂き報告書に反映した。	
第1回現地調査(ラオス)	平成19年9月2日~9月9日	実施
(インドネシア)	平成19年9月10日~9月18日	実施
第2回現地調査(ラオス)	平成19年10月22日~10月30日	実施
(インドネシア)	平成19年11月7日~11月16日	実施
第3回現地調査(ラオス)	平成20年2月22日~2月28日	実施
(インドネシア)	平成20年3月2日~3月9日	実施
第1回農民ワークショップ(ラオス)	平成19年10月29日	開催
(インドネシア)	平成19年11月10日	開催
第2回ワークショップ(ラオス)	平成20年2月28日	開催
(インドネシア/ジャカルタ)	平成20年3月4日	開催
(インドネシア/ワイジェパラ)	平成20年3月7日	開催

(4) 検討委員会

【第1回検討委員会】

平成18年度調査結果報告及び当財団が作成する現地調査方針案をもとに検討を行ない、調査方針・手法を確定した。

【第2回検討委員会】

現地調査結果についての検討及びモデル地区灌漑施設に係る対策工法のライフサイクルコスト(LCC)を低減するための予防保全対策等の方針案を検討した。

【第3回検討委員会】

報告書(案)を委員に配布しコメントを頂き報告書に反映した。

(5) ワークショップ

劣化進行予測に基づく対策工法(案)、土地・営農・水利用の将来予測の方向性、予防保全対策への影響要因の軽減対策の方向性、ライフサイクルコスト(LCC)を低減するための予防保全対策の方向性を基に、予防保全の考え方を導入したストックマネジメント手法の浸透を図ることを目的として、当財団が主体となってワークショップを実施した。

・はじめに

近年、途上国における灌漑排水事業への開発援助は、新規の水源開発や施設の新設から既設の補修へとその内容がシフトしてきている。食料生産基盤を維持するためには、既存施設の適切な維持補修管理が重要であり、その機能が今後とも十分に発揮できるよう、予防保全対策を適切に実施し、施設の長寿命化を図っていく必要がある。

このためには社会経済等の変化を踏まえながら、灌漑排水施設の機能診断を行い、その結果を踏まえた施設ごとの補修・更新の重要度・優先度の判定を含めた予防保全計画の策定、その円滑な実施のための体制整備を行うことが重要である。これらの対策の普及は、施設の長寿命化を進め、補修・更新事業費の縮減を通じたODA予算の効率的な執行に寄与するものである。

このことに関して、農林水産省から2007年度に調査委託事業を受け、1) 予防保全対策の検討として、土地・営農・水利用の将来予測の検討 灌漑施設の機能診断の補足及び施設劣化状況の将来予測と対策工法の検討 ライフサイクルコスト(LCC)を低減する予防保全対策 予防保全対策への影響要因の軽減対策を行い、2) 予防保全対策実施マニュアル(仮称)の内容を検討し、3) ワークショップを開催した。

ここでは、上記1)の ライフサイクルコスト(LCC)を低減する予防保全対策について述べる。

・調査対象地域の概要

1. 調査対象地域は、インドネシア、南スマトラ、ワイジェパラ(Way Jepara)地区(図-1)とラオス、首都ビエンチャン近傍、タゴン(Tha Ngon)農場地区である。ここでは、ワイジェパラ地区について述べる。

2. ワイジェパラ地区の概要

1) ワイジェパラ農業灌漑事業(ダム、土水路他)は、1980年3月に完了した。(工期 1972.9～1980.3)

2) ワイジェパラ灌漑修復事業(コンクリートライニング他)は、1992年9月(本借款分)に工事完了した。

a) 受益面積 6,651ha(うち丘陵地帯 5,713ha, 低湿地帯 938ha)

b) ダム: 前面コア型アースダム, H=16.4m, L=70m, 有効貯水量=21.6 百万m³

c) 取水工: 斜樋, Q_{max} = 6.533m³/sec

d) 導水トンネル: L=224m

e) 幹線用水路: L=26k

f) 分水工: 45 か所

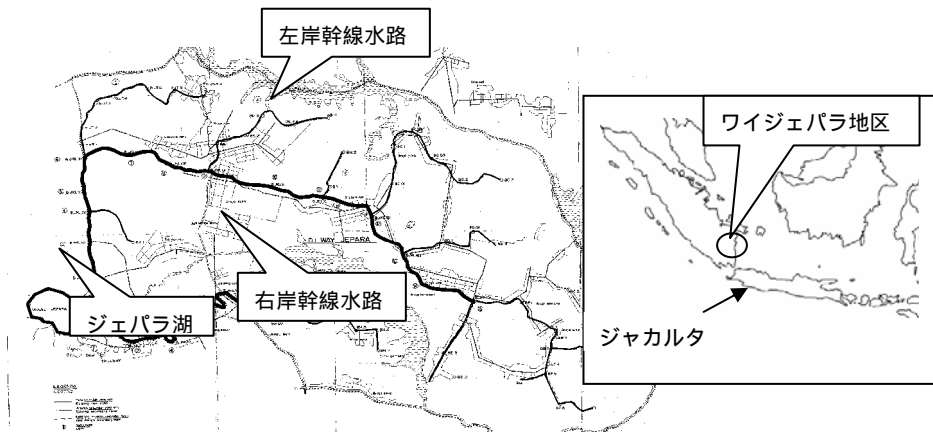


図-1 ワイジェバラ地区位置図

劣化状況

- 図-2 に示す機能診断結果では、A；早急に整備が必要なもの、B；整備の緊急性が低いもの、C；整備の必要がないもの、の3ランクで評価したが、ライフサイクルコストを検討するうえで、さらに細かい評価による対策のシナリオ作成を行うことを想定し、5段階の健全度ランクに対応して評価を行うものとする。機能診断の評価ランクとストックマネジメントマニュアルの健全度ランクは、表-1 に示すように対応する。

供用開始年	1992年 9月
機能診断調査年	2007年 1～2月
経過年数	15年

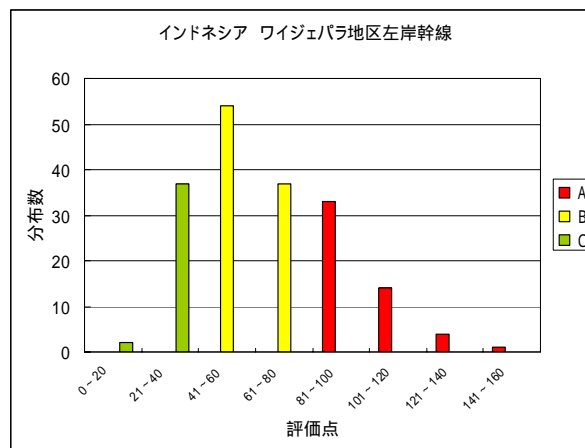


図-2 インドネシア・ワイジェバラ地区左岸幹線の劣化分布

表-1 機能診断評価とストックマネジメント健全度ランクの対照表(左岸幹線)

モデル地区機能診断評価			ストックマネジメントマニュアルにおける区分		
評価	点数	分布数	健全度	分布数	定義
C	整備の必要なし	0～20	S-5	39	新設時と同等 OR 対策不要
		21～40			
B	整備の緊急性は低い	41～60	S-4	91	要観察
		61～80			
A	早急に整備が必要	81～100	S-3	33	補修程度の対応が望ましい
		101～120	S-2	18	補強対策が望ましいもの
		121～140	S-1	1	更新が望ましいもの
		141～160			
合計				182	182

・単一劣化曲線モデルによる劣化予測

単一劣化曲線モデルは、機能診断評価結果に基づく。なお、単一劣化曲線モデルの適用においては、対象施設は、新設時点では健全度(S-5)であったと仮定し、以下の式で劣化傾向を近似する。

$$y = ax^2 + 5$$

ここに y;健全度(S-1～S-5)

x;供用年数=15年(ワイジェパラ地区)

単一劣化曲線は図-2 のようになるが、最も占有率の高い S-4 を本地区の平均とすると、本地区の平均耐用年数は概ね 30 年と推定される。

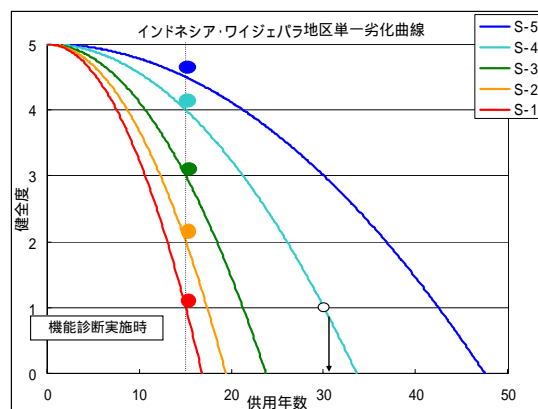


図-3 インドネシア・ワイジェパラ地区劣化単一曲線

・マルコフ連鎖モデルによる劣化予測

1. マルコフ連鎖モデルによる劣化予測は、ある健全度の施設が全体に占める割合を基準として対策実施時期を決定する場合に有効な手法である。

幹線全体で診断結果を集計し、健全度がどの程度あるかを整理し、診断時点の健全度分布(各健全度が全体に占める割合)を計算する。機能診断時における健全度分布は表-2,健全度占有率は図-4 に示すとおりである。

2. 本検討では、使用可能なデータが機能診断モデル地区に限られているため、供用開始時の健全度は全てS-5とし、機能診断時の健全度ランク分布に一致するように遷移確率を求めた。なお、インドネシア・ワイジェバラ地区の左岸幹線、右岸幹線は同一地区内にあるため、合計した劣化評価で遷移確率を求めた。

表-2 機能診断実施時における健全度分布

健全度	インドネシア・ワイジェバラ地区					
	左岸幹線		右岸幹線		全体	
	ユニット数	健全度分布	ユニット数	健全度分布	ユニット数	健全度分布
S-5	39	21.4%	12	14.8%	51	19.4%
S-4	91	50.0%	55	67.9%	146	55.5%
S-3	33	18.1%	8	9.9%	41	15.6%
S-2	18	9.9%	5	6.2%	23	8.7%
S-1	1	0.5%	1	1.2%	2	0.8%

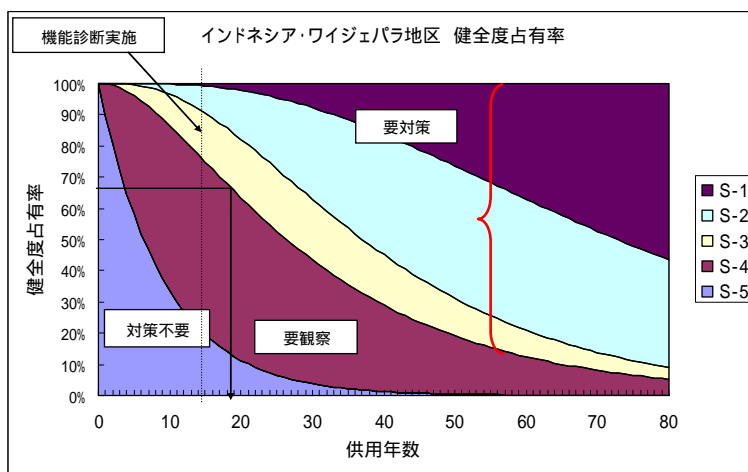


図-4 マルコフ連鎖モデルによる健全度占有率

劣化モデルの利用方法

単一劣化曲線モデルとマルコフ連鎖モデルは、それぞれ長短があるため、本検討では両モデルを併用するものとし、シナリオ1, 2では単一劣化曲線モデルを、シナリオ3, 4ではマルコフ連鎖モデルを用いた。

シナリオ作成の基本方針

LCC 算定のためのシナリオは、整備対策の頻度と対策工法の品質がトレードオフの関係にあることに着目し、高頻度・低品質整備、中頻度・中品質整備、低頻度・高品質整備の3タイプをベースとし、さらに整備対象が要対策と判断される施設に限定した場合と全線を整備するケースを想定する。

検討工法は、当該地区の実績を重視し、無筋コンクリートライニング工法をベースとして、高品質工法は地盤沈下などに抵抗力のある鉄筋コンクリートライニングを想定し、それぞれ表-3のように工法シナリオを設定する。

表-3 整備対策のシナリオ(ワイジェパラ地区)

シナリオ	対策頻度	整備段階	対象施設	対策工法品質	耐用年数
1	高頻度 5~10年単位	S-3以下	S-3以下となる水路	低品質工法 無筋コンクリートライニング	20年
2	中頻度 10~20年単位	S-2以下	S-2以下となる水路	中品質工法 鉄筋コンクリートライニング t=150mm(単鉄筋) S-3は低品質工法で対応	30年
3	低頻度 20~40年単位	S-3以下が全体の1/3以上	S-3以下となる水路	高品質工法 鉄筋コンクリートライニング t=200mm(複鉄筋)	40年
4		S-3以下が全体の1/2以上	全線		

. 工法別の耐用年数

工法別の耐用年数は以下の根拠に基づいて設定した。

無筋コンクリートライニングで整備されているワイジェパラ地区において、マルコフ連鎖モデルによる劣化予測を行った場合、健全度S-1~S-3の占有率が全体の1/3以上となる時期が概ね20年であることから、耐用年数を20年と仮定した(図-4)。

. シナリオ別劣化予測

1. シナリオ-1(健全度S-3段階で整備対策を実施)

(1)機能診断時にS-1~S-3と評価された施設は直ちに整備対策を実施する。(2)整備後の劣化は、耐用年数20年の劣化曲線とする。(3)整備時期は、単一劣化曲線に準じて7年の等間隔とする。

(4)対策工法は無筋コンクリートライニングとする(耐用年数20年)(図-5)。

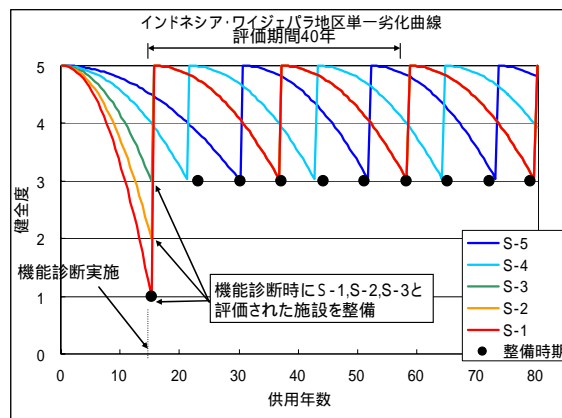


図-5 健全度S-3段階で整備対策を実施した場合の劣化曲線

2. シナリオ-2(健全度S-2段階で整備対策を実施)

(1)機能診断時に S-1～S-2 と評価された施設は直ちに整備対策を実施する。(2)整備後の劣化は、鉄筋コンクリートライニングを前提とし、耐用年数 40 年に相当する劣化曲線に置き換える。(3)対策工法はコンクリートブロックとする(耐用年数 40 年)(図-6)。

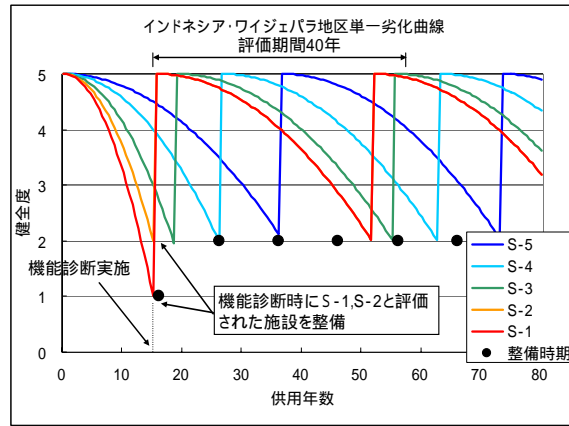


図-6 健全度S-3段階で整備対策を実施した場合の劣化曲線

3.シナリオ-3(健全度S-1～3の占有率が全体の1/3以上の段階で整備対策を実施)

(1)S-1～S-3の占有率が全体の1/3に達した時点でS-1～S-3の施設の整備を行う。(2)対策工法は鉄筋コンクリートライニング(耐用年数40年)とし、整備後の劣化は耐用年数40年に相当するマルコフ連鎖モデルとする(図-7)。

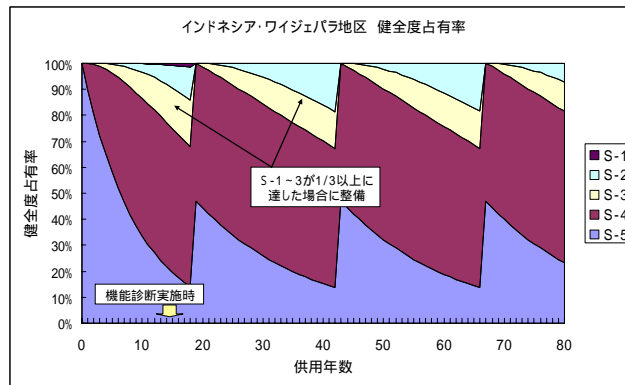


図-7 要対策占有率が全体の1/3に達した場合に全線整備した場合の劣化占有率推移

4.シナリオ-4(健全度S-1～3の占有率が全体の1/3以上で全線整備)

(1)S-1～S-3の占有率が全体の1/2に達した時点で全線の整備を行う。(2)対策工法は鉄筋コンクリートライニング(耐用年数40年)とし、整備後の劣化は耐用年数40年に相当するマルコフ連鎖モデルとする(図-8)。

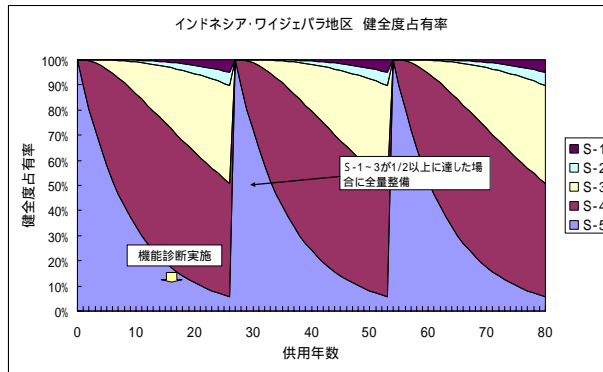


図-8 要対策占有率が全体の1/3に達した場合に全線整備した場合の劣化占有率推移

対策時期の決定

- シナリオ-1では、表-4のとおり、整備時期は、単一劣化曲線に準じて7年の等間隔とする。

表-4 シナリオ-1の対策時期の決定

	劣化曲線による対策時期		補整（計画）対策時期		備考
1	16年	2008年	16年	2008年	評価期間
2	21年	2013年	23年	2015年	
3	30年	2022年	30年	2022年	
4	37年	2029年	37年	2029年	
5	43年	2035年	44年	2036年	
6	52年	2044年	51年	2043年	
7	58年	2050年	58年	2050年	評価期間外
8	64年	2056年	65年	2057年	

- シナリオ-2では、単一劣化曲線による対策時期通りに整備を実施した場合、各時期の整備量に極端な差生じ、現実的でない。したがって、整備量が少ない時期を整理統合し、整備間隔を10年の等間隔に補整して計画する(表-5)。

表-5 シナリオ-2の対策時期の決定

	劣化曲線による対策時期		補整（計画）対策時期		備考
1	16年	2008年	16年	2008年	評価期間
2	19年	2011年	26年	2018年	
3	26年	2018年			
4	36年	2028年	36年	2028年	
5	52年	2044年	46年	2038年	
6	56年	2048年	56年	2048年	
7	63年	2055年	66年	2058年	評価期間外
8	74年	2066年	76年	2068年	

3.シナリオ-3,4 については、表-6,7 に示す。

表-6 シナリオ-3 の評価期間における対策時期と整備量

シナリオ-3 (インドネシア・ワイジェパラ地区)

健全度	第1回	第2回				残存
	2011年	2035年				2048年
S-5	14.0%	13.6%				23.3%
S-4	53.9%	53.7%				58.2%
S-3	17.8%	14.1%				11.4%
S-2	12.7%	18.3%				7.1%
S-1	1.6%	0.2%				0.0%
S-1,2,3計	14.3%	18.5%				81.5%

表-7 シナリオ-4 の評価期間における対策時期と整備量

シナリオ-4 (インドネシア・ワイジェパラ地区)

健全度	第1回	第2回				残存
	2019年	2046年				2048年
S-5	5.8%	5.8%				80.4%
S-4	44.9%	44.9%				19.2%
S-3	39.1%	39.1%				0.4%
S-2	5.2%	5.2%				0.0%
S-1	4.9%	4.9%				0.0%
S-1,2,3計	100.0%	100.0%				99.6%

・ LCC 算定手法

1. 基本式

ライフサイクルコストの算定に用いる式は以下のとおりである。

$$LCC = C_i + (C_m \times F_{pw}) + C_r \times F_{pw}$$

ここに

C_i : 初期建設コスト

C_m : 対策実施コスト 補修等実態調査からコスト推定、劣化曲線で実施量を推定

C_r : 施設の廃棄・撤去コスト(本検討では考慮しない)

F_{pw} : 現価係数(= $1 / (1+i)^t$)

i : 社会的割引率(資本利子) = 12% (インドネシア)

t : 費用発生年次

農業水利施設の保全計画を立案する際には、今後施設を長期的に運用するにあたって、どのようなタイミングで保全対策を実施すればよいか重要である。ストックマネジメントにおいては、現時点から将来にわたる一定期間の対策コストの合計を狭義のライフサイクルコスト(機能保全コスト)として計上するものとし、評価期間は、便宜的に保全計画立案時点から40年とする。

$$\text{機能保全コスト} = \sum_{t=1}^{40} (C_{i-m-r} \times F_{pwr}) - \sum_{t=1}^{40} (C_{i-m-r} \times R_e / D_u)$$

このとき、

Ci・m・r: 評価期間40年で実施される初期建設・保全対策・廃棄の全ての工事費

Re: 評価期間終了時点の残耐用年数(ただし、Re = 0)

Du: 個別対策の耐用年数

・ 保守点検費

対策工法の水準によっては、次の本格対策時期までに部分的な補修対策を要する場合が想定される。例えば、評価延長区間 100m単位で、対策の緊急性は低いと判断される場合であっても、局部的には簡便な補修が必要とされることが想定される。当該地区における工法別の保守点検費の実績や劣化による漏水被害等の損失は現段階ではデータが不足しており、保守点検費は考慮しないものとする。

・ 対策工法

現在の水路標準図を図-9に示す。これに対し、(1)健全度 S-3 段階で整備する場合: 無筋コンクリートライニング $t = 0.10\text{m}$ 耐用年数 20 年 (2)健全度 S-2 段階で整備する場合: 鉄筋コンクリートライニング $t = 0.15\text{m}$ 耐用年数 30 年(単鉄筋)(3) 健全度 S-2 段階で整備する場合: 鉄筋コンクリートライニング $t = 0.20\text{m}$ 耐用年数 40 年(複鉄筋)(4)全線を(3)の工法で整備、の4つの対策工法で整備する。

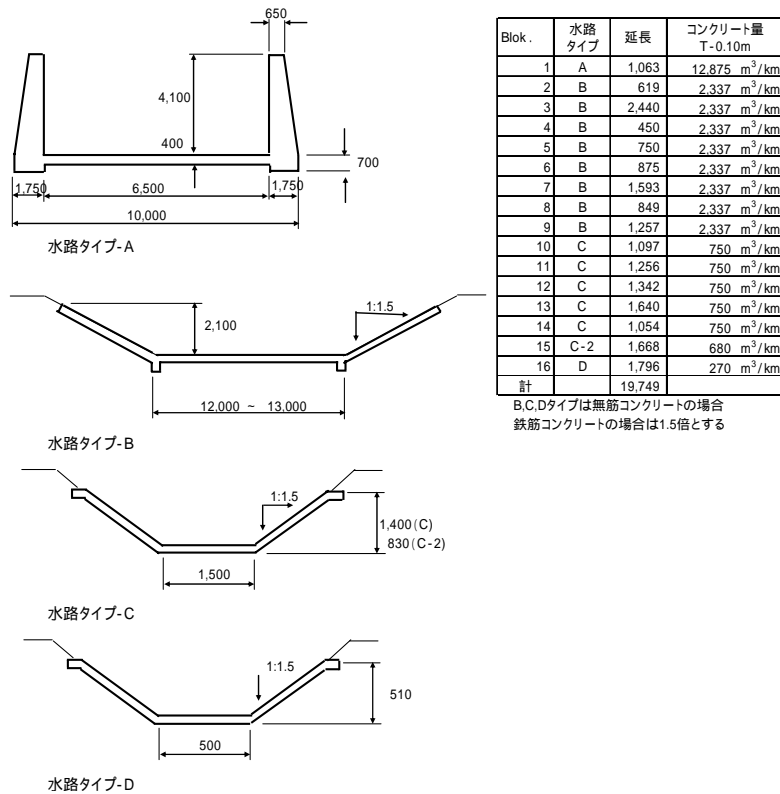


図-9 ワイジェパラ地区水路標準断面図

整備費用単価

現地の建設単価により求めた整備費用を表-8に示す。

表-8 工法別整備費用(単位 Rp:ルピア)

水路 タイプ	延長	無筋コンクリート		鉄筋コンクリート t=150		鉄筋コンクリート t=200	
		単価	金額	単価	金額	単価	金額
A	1,063	6,192,000	6,582,096	21,672,000	23,037,336	28,896,000	30,716,448
B	8,833	3,825,670	33,792,143	5,011,628	44,267,710	6,682,171	59,023,613
C	6,389	1,415,498	9,043,617	1,854,302	11,847,135	2,472,403	15,796,181
C-2	1,668	1,109,444	1,850,553	1,453,372	2,424,224	1,937,829	3,232,299
D	1,796	459,080	824,508	601,395	1,080,105	801,860	1,440,141
計	19,749		52,092,916		82,656,512		110,208,682
m当り			2,638		4,185		5,580

残存価値

1. 評価期間を40年とした場合、機能保全のための投資が回収されないまま、評価期間を終了するケースが生じる。したがって、耐用年数を残している施設の残存価値を定額法(耐用年数経過後の残存価値は0%)に基づいて算定する。

残存価値は、評価期間最終年においてS-4(評価B;対策の緊急性が低い)、S-5評価(対策不要)の残存耐用年数と占有率から求めた(表-9,10,11,12)。

残存価値 = 建設コスト × 残存耐用年数 / 耐用年数 × 残存 S-5, S-4 の施設量

ここに、建設コスト : 対策整備に要するコスト

残存耐用年数 : 耐用年数 - 整備後の供用年数 0

施設量 : マルコフ連鎖モデルから求まる S-5, S-4 の占有率 × 総施設量

表-9 シナリオ-1 無筋コンクリートライニング(残存耐用年数15年/耐用年数20年)

整備時期	整備費				S-3対応費用				合計 (千Rp)
	整備量 (%)	整備延長 (m)	単価 (千Rp)	金額 (千Rp)	整備量 (%)	延長 (m)	単価 (Rp/m)	金額 (千Rp)	
2008年	25.1%	4957.0	2,638	13,076,563					13,076,563
2015年	15.0%	2962.4	2,638	7,814,679					7,814,679
2022年	16.1%	3179.6	2,638	8,387,756					8,387,756
2029年	16.5%	3258.6	2,638	8,596,147					8,596,147
2036年	16.5%	3258.6	2,638	8,596,147					8,596,147
2043年	16.6%	3278.3	2,638	8,648,245					8,648,245
残存価値	86.2%	17023.6	2,638	33,681,268					33,681,268

表-10.シナリオ-2 鉄筋コンクリートライニング t = 150

(残存耐用年数30年/耐用年数30年) S-3は低品質工法で対応

整備時期	整備費				S-3対応費用				合計 (千Rp)
	整備量 (%)	整備延長 (m)	単価 (千Rp)	金額 (千Rp)	整備量 (%)	延長 (m)	単価 (Rp/m)	金額 (千Rp)	
2008年	9.5%	1876.2	4,185	7,851,709	15.6%	3080.8	2,638	8,127,266	15,978,975
2018年	16.6%	3278.3	4,185	13,719,828	20.9%	4127.5	2,638	10,888,453	24,608,281
2028年	18.9%	3736.3	4,185	15,636,471	21.7%	4285.5	2,638	11,305,236	26,941,707
2038年	19.0%	3752.3	4,185	15,703,417	21.5%	4246.0	2,638	11,201,040	26,904,458
2048年	18.8%	3712.8	4,185	15,538,118	21.4%	4226.3	2,638	11,148,942	26,687,061
残存価値	78.7%	15542.5	4,185	65,045,208					65,045,208

表-11.シナリオ-3 鉄筋コンクリートライニング t = 200(残存耐用年数 27 年/耐用年数 40 年)

整備時期	整備費				S-3対応費用				合計 (千Rp)
	整備量 (%)	整備延長 (m)	単価 (千Rp)	金額 (千Rp)	整備量 (%)	延長 (m)	単価 (Rp/m)	金額 (千Rp)	
2011年	32.1%	6339.4	5,580	35,374,014					35,374,014
2035年	32.7%	6457.9	5,580	36,035,210					36,035,210
残存価値	81.5%	16095.4	5,580	60,623,456					60,623,456

表-12 シナリオ-4 鉄筋コンクリートライニング t = 200(残存耐用年数 37 年/耐用年数 40 年)

整備時期	整備費				S-3対応費用				合計 (千Rp)
	整備量 (%)	整備延長 (m)	単価 (千Rp)	金額 (千Rp)	整備量 (%)	延長 (m)	単価 (Rp/m)	金額 (千Rp)	
2019年	100.0%	19749.0	5,580	110,199,420					110,199,420
2045年	100.0%	19749.0	5,580	110,199,420					110,199,420
残存価値	99.6%	19670.0	5,580	101,526,726					101,526,726

・ ライフサイクルコスト

シナリオ別ライフサイクルコスト(LCC)は図-10に示すとおり、残存価値を含めたLCCが最も小さくなるシナリオは、シナリオ-1(高頻度、低品質対策)で、次いでシナリオ-2(中頻度、中品質対策)とシナリオ-3(低頻度、高品質;ただし対策は要対策施設のみ)がほとんど同水準という結果であった。

シナリオ-4(低頻度、高品質対策;全線改修)はLCCが最も高く、経済的に非効率であることが現れている。

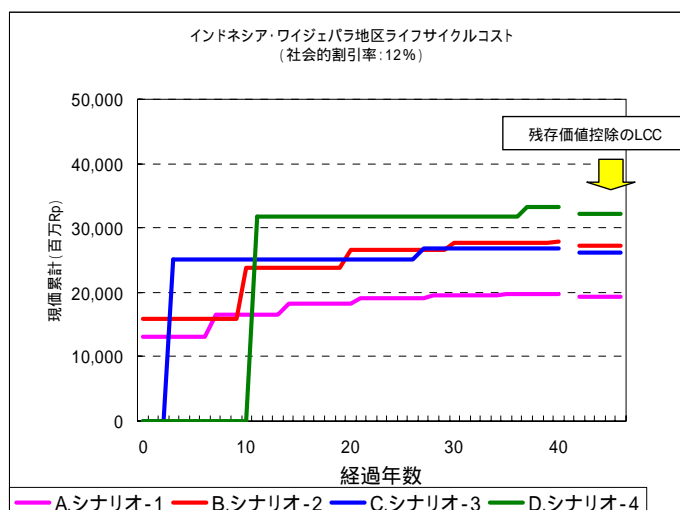


図-10 シナリオ別ライフサイクルコスト

参考文献

保全対策センター: 農業水利施設ストックマネジメントマニュアル, p. 85 (2006)

©以上の詳細については、日本水土総合研究所にお問い合わせ下さい。