

I 課題名：費用対効果分析ガイドライン見直し

II 実施機関及び担当者名：一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所

第1調査研究部 中村克彦、後藤卓治

第2調査研究部 伊藤靖、三浦浩、松本卓也

III 実施年度：平成25年度

IV 緒言

水産基盤整備事業に関する費用対効果分析の実施について、基本的な考え方や方法をまとめ、運用指針として活用できるよう「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」を定めているところ、水産基盤整備事業を推進する上で、昨今喫緊の課題となっている漁港施設の耐津波対策や海域全体の生産力の向上のための水産環境整備といった対策の効果を適正に評価する必要がある、その検討を行うことを当該調査の目的とする。

V 方法

(1) 水産環境の一体的整備による効果の算定手法検討

水産環境整備事業による産卵場、成育場及び魚礁等の一体整備による効果について、モデルケースを用いて算定手法を示す。

過年度の基本的な考え方では、水産環境整備の効果は、環境基盤としての機能を重視し、整備によってもたらされる生態系サービスの向上効果全般を対象とした。また、効果の新たな評価軸として漁獲対象以外の生物も含めた「生物生産」の向上による評価、生物生産の向上の根源となる「物質循環」の正常化による評価を提案した。また、便益の算定にあたって使用する具体的な諸元は直接利用（漁獲）されない生物も含めた「水産環境整備に由来して増加する生物量」であり、個別施設毎に評価して積算することで計画海域全体の評価とするものとした。

(2) 漁港の地震・津波対策による効果の便益算定手法の検討

防波堤と防潮堤による多重防護を踏まえた漁港の地震・津波対策を整理した上で、海岸事業等の既往便益算定手法等を踏まえ、漁港の地震・津波対策による効果の便益算定手法を検討した。

なお、本検討は水産庁漁港漁場整備部整備課が検討している「漁港漁場施設の性能規定化等技術検討委員会 漁港・漁村の津波防災・減災専門部会」での検討内容を踏まえ実施した。

VI 結果

1. 水産環境の一体的整備による効果の算定手法検討

(1) 水産環境整備の便益算定の考え方

1) 評価対象領域の検討

水産環境整備は「一定の海域範囲における生態系全体の生産力の底上げ」を目的としており、環境基盤の創出・改善によって多様な生物を増大させ、水産資源の増大並びに漁獲量の増大を図る事業といえる。

これまでの漁場整備事業は、事業目的に即して「漁獲量の増大」や「水質浄化」等、生態系がもたらす効果の一部に限定して評価されてきた。しかし、水産環境整備では、環境基盤の創出・改善により生態系全体の生産力の底上げを目指していることから、直接的に享受される漁獲量の増大といった効果だけでなく、その効果を生み出す背景となっている良好な生物の生息環境の創出や多様な生物の増加といった観点も含め、生態系がもたらす効果を総合的に評価する必要がある。

環境経済学では、生態系サービスの経済価値を利用価値、非利用価値として整理している*（なお、近年では前者を能動的利用価値、後者を受動的利用価値とする場合もある）。利用価値は、直接的利用価値、間接的利用価値、オプション価値へと区分され、非利用価値は遺産価値、存在価値へと区分される。直接的利用価値は、食料や水等のように人間が直接利用し物質的な消費が伴うものと、エコツーリズムなどのように物質的な消費が伴わないものが含まれる。間接的利用価値は、生態系による気候調節機能や水質浄化機能等を指し、いわゆる生態系の調節サービスを意味することが多く、オプション価値は遺伝子資源等、将来的に利用しうるものの価値である。一方、非利用価値の遺産価値は、将来世代の利用のために生物多様性を残しておくべきであるという価値を表し、存在価値は生命の存在そのものに価値があるという観念的な価値を指す。

水産環境整備がもたらす生物の生息場としての機能発揮とそれによる多様な生物の増加効果を評価するにあたり、増加する多様な生物資源に着目し、上述の環境経済学における生態系サービスの経済価値を参考として、費用便益分析の便益評価対象として妥当な領域の検討を行った（表1）。

水産環境整備により増加する生物のうち、漁獲の対象や遊漁の対象となる生物資源については、実際に利用される資源を対象として直接的利用価値として区分した。間接的利用価値は、藻場や干潟等による水質浄化機能を区分した。これらは、従来の漁場整備関係事業における便益評価領域である。また、オプション価値は、現在利用されていないものの将来的に利用される可能性が評価対象となるが、これは想定が困難であることから事業評価に用いる便益算定対象にはそぐわないものと判断された。

一方、水産環境整備により増加した生物資源のうち、利用されずに生残する資源や漁獲対象とはならない未利用資源は、水産環境整備に由来して構築される生態系を構成する生物資源として存在そのものに価値があると考えられ、存在価値として評価対象としうる。また、これらの資源が世代交代を円滑に行うこととそれを支える水産環境整備による生態系が維持されていることが、将来世代まで持続的に有用資源を生み出す基盤となり、将来世代のために残しておくべき環境として遺産価値を有するものと考えられる。

これまでは、直接的利用価値や間接的利用価値の一部が便益評価対象とされてきたが、上述のとおり、漁獲等で直接的に利用する資源だけでなく、利用（漁獲）されず

に生き残った資源や現状では未利用の資源についても、将来の有用資源を生み出す潜在的資源として生態系を構成していることから、これも含めて評価対象とすることとした。

※「生物多様性の経済学-経済評価と制度分析-」（馬奈木俊介・地球環境戦略研究所編）より

表 1 水産環境整備で評価対象とする領域⁴⁾

		利用価値			非利用価値 (受動的利用価値)		
		直接的利用		間接的利用	オプション価値	遺産価値	存在価値
		消費	非消費				
利用資源	利用	・漁獲量の増大 ・選好性餌料生物の増加による漁獲量増大	・人工魚礁の遊漁利用等	・藻場干潟の水質浄化・炭素固定	・将来的な機能性食品や新薬の素材等の利用		
	生残					・持続的に将来世代の利用資源を生み出す価値	・豊かな生態系を構成する生物としての価値
未利用資源					・将来的な利用資源としての可能性	・持続的に将来世代の利用資源を生み出す価値	・豊かな生態系を構成する生物としての価値
評価対象領域		○	○	△	×	○	○
		すでに評価対象	すでに評価対象	一部はすでに評価対象だが、海域単位での物質循環の円滑化は未対象	将来的な利用を想定することが困難であり、評価対象とすることは難しい	新たに評価対象とすることを検討 ネットワーク化による効果 ⇒生残率の向上（検討課題）	新たに評価対象とすることを検討 食物連鎖を通じた生物種間の相互利用 ⇒餌としての価値

2) 基本的な考え方

前項で示した評価対象領域の検討結果に基づき、本効果の評価は、水産環境整備マスタープランに基づいて実施される総合的な漁場整備で増大する生物資源量全体（漁獲等で直接的に利用されない生物資源量を含む）を対象として貨幣化することを基本的な考え方とする（図1）。

例えば、人工魚礁は親魚・成魚の生息場所として機能し、施設整備に由来して魚礁周辺に涵養される魚類が増大する。従来の方では評価対象は増大した涵養される魚類の一部の漁獲分に限定されるが、水産環境整備では、漁獲されずに生残した資源も含めて将来の有用資源を生み出す潜在資源として生態系の一部を構成している価値を評価対象とする。

また、藻場・干潟や増殖場等では幼稚仔魚・未成魚の生息場所として機能するが、従来は施設整備により増加する餌料生物量のうち選好性餌料生物のみを抽出して諸元とし、生残解析を行って漁獲量に換算して評価されてきた。水産環境整備では、選好性餌料生物以外の生物等も含めて、将来の有用資源を生み出す潜在資源として生態系の一部を構成している価値を評価対象とする。

貨幣化にあたっては、生物種間の被食-捕食の関係で評価することを基本的な考え方とし、生物種各々が相互に「餌料」としての価値を有するものとして評価する。水産環境整備によって創出される生態系構造を、基礎生産、一次消費者、魚類といった3層構造にモデル化し、各階層間での被食-捕食の関係については餌料転換効率を用いることで将来の有用資源に代替して評価することを基本的な考え方とする。

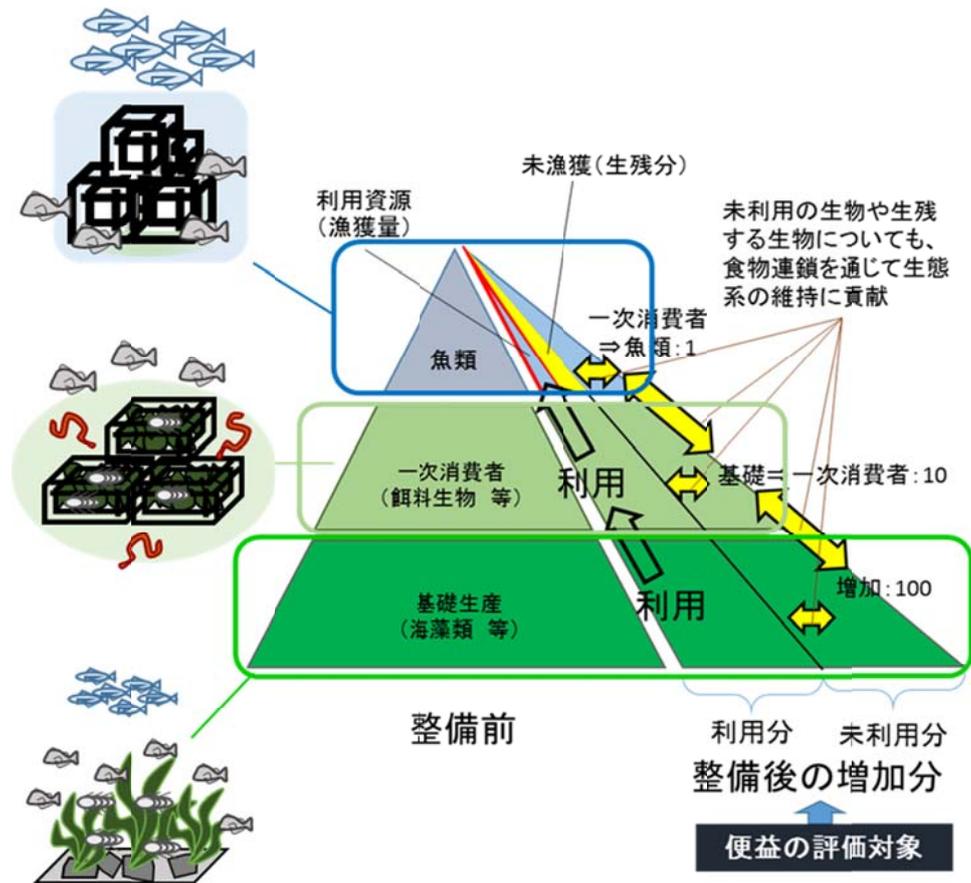


図1 基本的な考え方

3) 貨幣化に係る諸元の検討

① 諸元データの取得方法

水産環境整備では、マスタープランに基づいて総合的に整備される生物の生息場としての機能を評価することが求められる。

実態として、藻場・干潟、増殖場、人工魚礁の各施設とも、餌料生物～親魚、有用生物～未利用生物まで、総合的な生物の生息場として機能しており、明確な機能区分を行うことは困難であるが、水産環境整備の効果として評価する場合には、各施設の効果が重複して計測されないよう、整備目的に照らして以下の区分で評価することが妥当である。

藻場・干潟：産卵場や稚仔魚の生息場として機能

増殖場：幼稚魚の生息場として機能

人工魚礁：主に親魚の生息場として機能

これらの機能の評価には、施設整備に由来して増加する生物量が諸元となることから、生物の現存量を現地調査によって取得することが必要となる。以下に具体的な調査方法を整理する（表2）。

表 2 諸元データの取得方法

調査項目	分析項目等	サンプリングの方法 等	実施時期や頻度等	
付着生物 (付着動物) (葉上動物)	①種同定 ②計数 ③湿重量	・ベルトトランセクト法による目視観察 ・方形枠内の坪刈り	指標生物の生活史に応じて時期、頻度を設定する。	
底生生物	①種同定 ②計数 ③湿重量	・採泥器によるサンプリング	指標生物の生活史に応じて時期、頻度を設定する。	
藻場、サンゴ	①種同定 ②湿重量(藻場) ③被度 ④分布面積	・潜水目視 ・航空写真 ・衛星写真	藻場：繁茂期と衰退期	
魚介類	(卵～稚仔魚期)	①種同定 ②出現量	・卵稚仔ネット：浮遊卵 ・サンプリング：付着卵	指標生物の生活史に応じて時期、頻度を設定する。
	(稚魚期)	①種同定 ②蛸集量 ③日齢 ④胃内容物	・潜水目視 ・稚魚ネット ・かぶせ網	指標生物の生活史に応じて時期、頻度を設定する。
	(未成魚～成魚)	①種同定 ②蛸集量 ③年齢査定 ④胃内容物 ⑤肥満度 ⑥生殖腺熟度 ⑦行動解析	・視認(潜水目視、ROV) ・漁獲(カゴ網、底曳網、刺網、釣獲等) ・市場調査 ・計量魚探 ・行動解析(超音波パライドメトリ、標識放流)	指標生物の生活史に応じて時期、頻度を設定する。

②貨幣化の諸元

本効果は、生物種間の被食－捕食の関係で評価することを基本的な考え方とすることから、各々が「餌料」としての価値を有するものとして計測する。また、将来の有用資源のポテンシャルとして評価する観点から、餌料転換効率を用いて将来の有用資源に代替して評価する。

以上の考え方から、貨幣化の諸元として餌料価格を用いる。餌料価格は、過大評価とならないよう配慮し、市場に流通する最も安価な餌料の価格を用いる。なお、「生餌料価格(餌料向けカタクチイワシ、オオナゴ等の産地価格)」が最も安価な流通財となることから、特別な理由がない限りこれを使用することが望ましい。

表 3 貨幣化の原単位

市場に流通する財	価格	備考
生餌料	35 円/kg－50 円/kg	カタクチイワシ産地価格
ミール(魚粉)	120－130 円/kg	ミール輸入価格
畜産飼料	43 円/kg	牛乳生産費調査
ナンキョクオキアミ	250－300 円/kg	インターネット小売価格調査より(撒き餌用)
ナンキョクオキアミ	300－400 円/kg	インターネット小売価格調査より(付け餌用)
アミエビ(ツノナシオキアミ)	180 円/kg	インターネット小売価格調査より(撒き餌用)
青イソメ	4,800 円/kg	インターネット小売価格調査より(付け餌用)

(2) 藻場・干潟、増殖場を対象とした具体的な評価方法

1) 水産環境整備（マスタープランに基づく整備）の評価方法

対象施設が増殖場の場合の算定方法を図2に示す。これまでは、現地調査で得られた海藻類や餌料生物の現存量を元に年間生産量を算定し、これから有用魚類資源に利用される量を算定して漁獲量に換算し、便益を計測していた（赤色矢印のフロー）。水産環境整備による生産力の向上効果では、これに加え、未利用の海藻類や餌料生物量（青色矢印のフロー）と利用され残った有用資源の残存量（緑色矢印のフロー）を対象として便益とする。

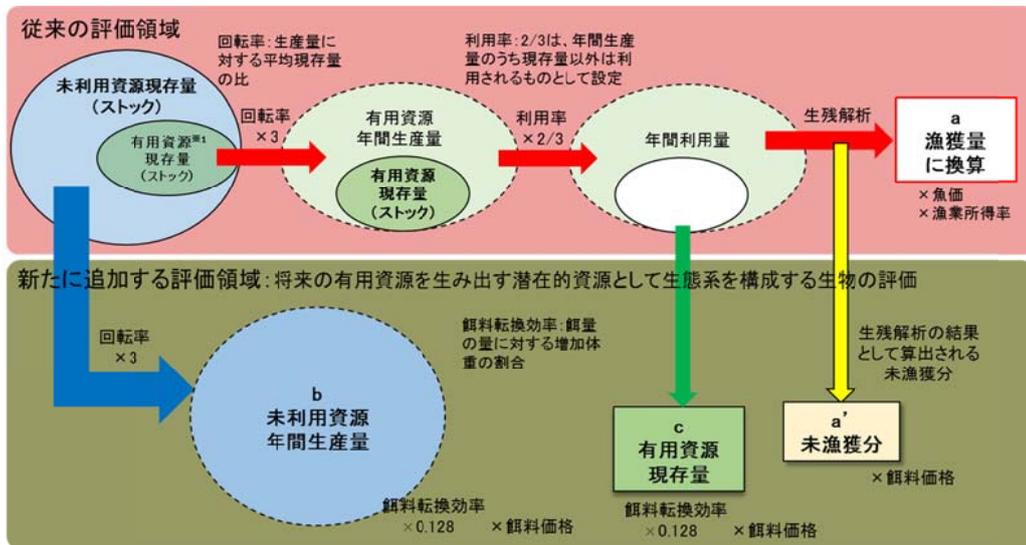
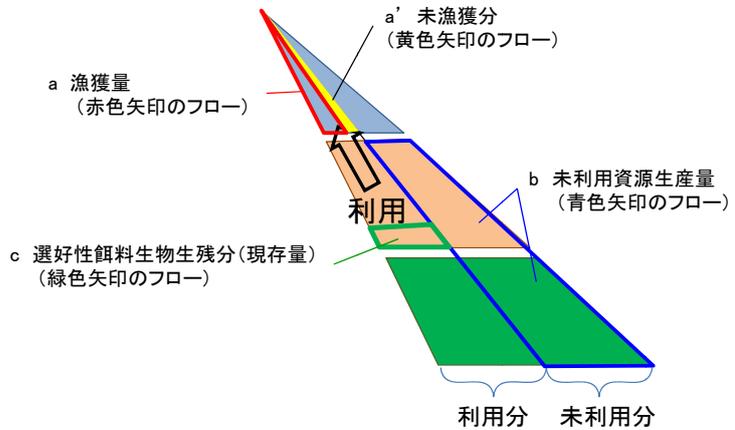


図2 増殖場における「水産環境整備による生産力の向上効果」の算定フロー

2) 試算例

表4に示す増殖場における生物の現存量調査の結果を用い、水産環境整備による生産力の向上効果の試算を行う。

表4 増殖場施設に由来する生物の年間平均現存量

階層区分・対象生物		港奥 (kg)	港口 (kg)	港外 (kg)	漁港合計(kg)	
						階層別小計
基礎生産	海藻	57,045	3,746	67,167	127,958	127,958
一次消費者	底生生物	12,933	859	2,296	16,088	248,229
	葉上動物	3,337	30	1,180	4,547	
	付着生物	190,349	4,846	32,398	227,593	
餌料生物等	うち、選好性餌料動物	14,573	566	2,440		17,579.18

①施設整備による生産量の増加効果（図2：a 赤色矢印のフロー部分）

増殖場整備に由来して増加する付着生物のうち、漁獲対象魚種の餌料として利用される餌料動物（選好性餌料動物）の増加量を元に、以下の手順で漁獲量に換算して便益を計測した。

手順1：選好性餌料動物の増加量に対し、増殖対象魚種の幼稚魚の増殖場収容可能尾数を算出。

$$\text{増殖場収容可能尾数} = (\text{餌料動物年間平均現存量} \times P / B \text{比} \times \text{利用率}) / \text{対象魚種の摂餌量}$$

P / B比：回転率＝年間生産量 / 年平均現存量（既往文献41事例の調査結果から3を使用）

利用率：餌料動物生産量のうち餌料として利用された量の割合。年間生産量から餌料生産の維持分（現存量）を差し引いた量のすべてを利用すると想定し、P / B比3の場合は2/3を使用。

手順2：増殖場収容可能尾数を元に、生残解析を行って漁獲量に換算し、魚価を乗じて貨幣化。

$$\text{期待漁獲量} = \int (\text{増殖場収容可能尾数} \times \text{生残率} \times \text{漁獲率} \times \text{魚体重})$$

※年級群別に算定し合算（表6 生残解析の結果表参照）

年間便益額＝期待漁獲量×魚価×漁業所得率

$$= 9,776 \text{ kg/年} \times 800 \text{ 円/kg} \times 0.6 = 4,692 \text{ 千円/年}$$

期待漁獲量：9,776kg/年

魚価：800円/kg（対象魚種：メバル）

漁家所得率：0.6

表5 生残解析の結果表

階層区分・対象生物	港奥 (kg)	港口 (kg)	港外 (kg)	漁港合計 (kg)	
				階層別小計	
選好性餌料動物の年間平均現存量	14,573	566	2,440	17,579	a
選好性餌料動物の年間生産量	a × 3回転/年			52,738 kg/年	b
選好性餌料動物の利用割合	b × 2/3			35,158 kg/年	c
選好性餌料動物の日生産量	c / 365日			96.3 kg/日	d
メバル稚魚（当歳）の日摂餌量	当歳魚体重10g/尾 × 3%/日			0.3 g/尾・日	e
増殖場収容可能尾数	d/e			321,081 尾	

	全長 (cm)	体重 (g)	資源尾数	自然死亡	漁獲死亡	漁獲量 (kg)	漁獲以外分 (kg)
0-1 (当歳)			321,081	83,481			
1-2 (1歳)	10.5	22	237,600	61,775			1,236 自然死亡 × 体重
2-3 (2歳)	15.5	66	175,825	36,747	58,198	3,841	2,425 "
3-4 (3歳)	18.5	112	80,880	16,903	26,771	2,998	1,893 "
4-5 (4歳)	20.5	152	37,206	7,776	12,315	1,872	1,182 "
5-6 (5歳)	22.0	188	17,115	3,577	5,665	1,065	2,153 (資源尾数 - 漁獲死亡) × 体重
合計					102,949	9,776	8,888

漁獲開始年齢 2歳
 漁獲前自然死亡率 0.260
 漁獲開始後自然死亡率 0.209
 漁獲率 0.331

東備地区特定漁港漁場整備事業計画
 (平成14年3月 岡山県)

全長：山口県瀬戸内海における重要生物の生態的研究（山口県内海水試）他
 体重：九州大学農学部学芸雑誌18(4)

②未利用資源年間生産量の増加効果（図2：a' 黄色矢印のフロー）

増殖場整備に由来して増加する付着生物のうち、漁獲対象魚種の餌料として利用される餌料動物（選好性餌料動物）の増加量を元に漁獲量に換算した際、漁獲されなかった未漁獲分について、将来の有用資源を生み出す潜在的資源として評価した。

増加する有用資源の漁獲以外分：8,888 kg/年（前掲表6参照）

餌料価格：40 円/kg（カタクチイワシ餌料向け産地価格）

年間便益額＝8,888 kg/年×40 円/kg＝355 千円

③未利用資源年間生産量の増加効果（図2：b 青色矢印のフロー）

増殖場整備に由来して増加した未利用の海藻、付着生物等の生物生産量を、将来の有用資源を生み出す潜在的資源として評価した。

ア 未利用の海藻類の増加量

年間便益額＝基礎生産年間平均現存量×P/B比×餌料転換効率²×餌料価格

基礎生産（海藻）年間平均現存量：127,958 kg

P/B比：回転率＝年間生産量/年平均現存量。増殖場造成指針より1.2を使用。

餌料転換効率：既往文献77事例⁵⁾の調査結果から0.128を使用。食物連鎖の構造が3階層のモデルを想定し、最下層から最上層の有用資源へ代替するため2乗した。

餌料価格：40 円/kg（カタクチイワシ餌料向け産地価格）

年間便益額＝127,958 kg×1.2×(0.128)²×40 円/kg＝101 千円/年

イ 未利用の付着生物等の増加量

年間便益額＝一次消費者年間平均現存量×P/B比×餌料転換効率×餌料価格

基礎生産（海藻）年間平均現存量：127,958 kg

一次消費者年間平均現存量：248,229 kg

P/B比：回転率＝年間生産量/年平均現存量。既往文献41事例⁵⁾の調査結果から3を使用。

餌料転換効率：既往文献77事例⁵⁾の調査結果から0.128を使用。食物連鎖の構造が3階層のモデルを想定し、中層から最高層の有用資源へ代替。

餌料価格：40 円/kg（カタクチイワシ餌料向け産地価格）

年間便益額＝248,229 kg×3×0.128×40 円/kg＝3,813 千円/年

④有用資源現存量での評価（図2：c 緑色矢印のフロー）

増殖場整備に由来して増加する選好性餌料動物量のうち、利用されずに残存した生物量（現存量）を元に便益を計測した。

年間便益額＝選好性餌料動物年間平均現存量×餌料転換効率×餌料価格

選好性餌料年間平均現存量：17,579 kg

餌料転換効率：既往文献77事例の調査結果から0.128を使用。食物連鎖の構造が3階層のモデルを想定し、中層から最高層の有用資源へ代替。

餌料価格：40 円/kg（カタクチイワシ餌料向け産地価格）
 年間便益額＝17,579 kg×0.128×40 円/kg＝90 千円/年

以上から、①＋②＋③ア＋③イ＋④＝8,780 千円

（3）人工魚礁を対象とした具体的な評価方法

1）水産環境整備（マスタープランに基づく整備）の評価方法

対象施設が人工魚礁の場合の算定方法を図 3 に示す。これまでは、人工魚礁で涵養される資源の増加量のうち、漁獲対象として漁獲された分が評価対象となってきた（赤色枠）。水産環境整備による生産力の向上効果では、これに加え、漁獲されずに残存した資源増加量（青色枠）や未利用資源用（緑色枠）を対象として便益とする。

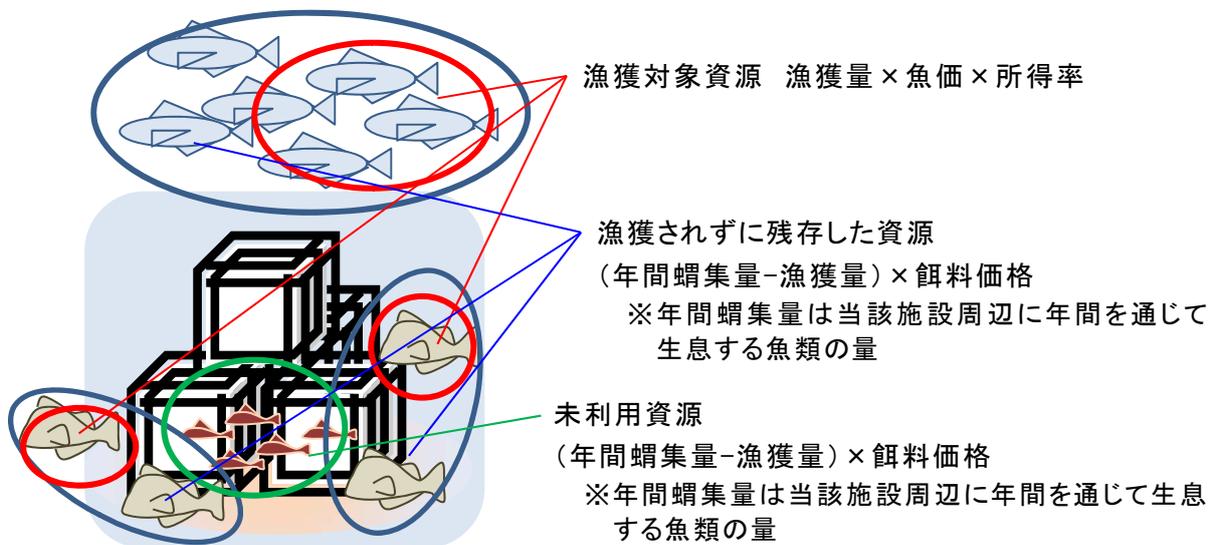


図 3 人工魚礁における「水産環境整備による生産力の向上効果」の算定フロー

2）試算例

表 6 に示す人工魚礁における蜻集量の既往調査結果を用い、水産環境整備による生産力の向上効果の試算を行う。

表 6 人工魚礁における年間蜻集量の調査結果⁶⁾

項目		回遊性魚種	定着性魚種
時間断面蜻集量(kg/回)	a	3,290	607
来遊回数(回/月)	b	2	1
調査期間蜻集量(kg/月)	a×b	6,580	607
漁期(月/年)	c	6	-
年間蜻集量(kg/年)	a×b×c	39,480	607
合計			40,087

対象魚礁規模：2,193.255 空 m³

平成 18 年度水産基盤整備調査委託事業「人工魚礁効果指標の検討調査（蜻集量把握のための調査）報告書」より引用

①施設整備による生産量の増加効果（図 3：赤色枠）

人工魚礁の整備に由来して増加する漁獲量を、増産期待量に基づいて算定し、魚価を乗じて貨幣化した。なお、増産期待量は、標本船調査等の事後調査を実施して

人工魚礁漁場を利用して漁獲される量を把握し、単位事業量当たり漁獲量として原単位化したものである。

年間便益額＝増産期待量×事業量（規模）×魚価×漁家所得率

増産期待量：2.4kg/空 m³（マアジ分のみ抽出。N県で設定されている原単位）

対象魚礁規模：2,193.255 空 m³

マアジ価格：230 円/kg

漁家所得率：0.6

年間便益額 = 2.4 kg/空 m³ × 2,193.255 空 m³ × 230 円/kg × 0.6 = 726 千円

②有用資源の生残分での評価（図3：青色枠の効果）

人工魚礁の整備により涵養される魚類が増加し、漁獲されずに生残した有用資源を対象に、将来の有用資源を生み出す潜在的資源として生態系を構成するものとして評価した。年間蛸集量をベースとして漁獲量を除外し、生物の餌として利用される価値として計測した。

年間便益額＝（年間蛸集量－漁獲量）×餌料価格

年間蛸集量：39,480 kg/年（表6参照：回遊性魚種を対象）

漁獲量：2.4 kg/空 m³ × 2,193.255 空 m³ = 5,264 kg/年

餌料価格：40 円/kg（カタクチイワシ餌料向け産地価格）

年間便益額 = (39,480 kg/年 - 5,264 kg/年) × 40 円/kg = 1,369 千円/年

③未利用資源での評価（緑色枠の効果）

人工魚礁漁場の整備により涵養される未利用資源を対象に、将来の有用資源を生み出す潜在的資源として生態系を構成するものとして評価した。年間蛸集量をベースとして漁獲量を除外し、生物の餌として利用される価値として計測した。

年間便益額 = 年間蛸集量 × 餌料価格

年間蛸集量：607 kg/年（表6参照：定着性魚種を対象）

餌料価格：40 円/kg（カタクチイワシ餌料向け産地価格）

年間便益額 = 607 kg/年 × 40 円/kg = 24 千円/年

以上から、1) + 2) + 3) = 2,119 千円

（4）水産環境整備における物質循環の円滑化効果の検討

1）物質循環の円滑化効果の考え方

水産環境整備の目標である「生態系全体の生産力の底上げ」は、海域における物質の流れを効率的に生物生産に繋げる取り組み（環境基盤となる藻場・干潟、増殖場、人工魚礁漁場等の整備）を通じて、水産環境を改善しながら水産資源の涵養を促すこと（すなわち、生物生産の活性化を通じて海域の物質循環を活性化すること）として捉えられる。そこには、水産生物の生活史に即して隠れ場、餌場や産卵場を整備して水産生物の増殖を促す取り組み（増殖効果）も、広義に海域の物質循環の活性化に含まれる。

よって、ここでは、水産環境整備の効果を、物質循環の円滑化効果として、より広く捉え、便益算定項目としての可能性を検討することとした。

増加へと波及する物質の流れに加え、死亡・分解による物質の流れも環境中へのインフローとして評価対象とすることを基本的な考え方とする。

この考え方に基づき、「増加する生物の年間生産量」を諸元とし、下水道におけるTN除去費用で代替して貨幣化する。以下に算定式を提示する。

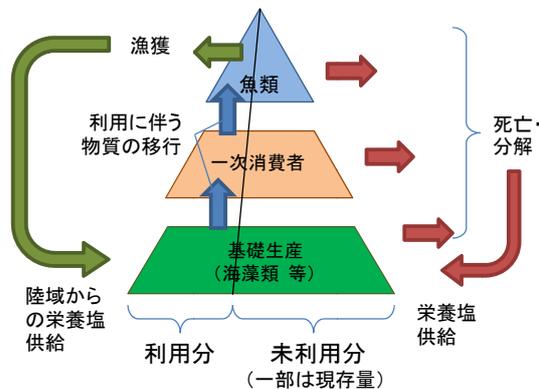
(算定式)

$$\text{年間便益額} = A \times B$$

A：環境基盤（基礎生産、一次消費者、魚類等）へ取り込まれる窒素、リン、炭素の年間流入量（インフロー）（なお死亡・分解による物質の流れも環境中へのインフローとして評価）

A = 水産環境整備により増加した生物年間生産量 × 評価対象生物の物質（N、P、C）含有比率

ただし、食物連鎖を通じて餌料として利用される生物分については、以下に示すとおり、物質の移行による二重計上を回避するため年間平均現存量を使用する。



■ 年間平均現存量を使用する理由

本来は各階層の生物の年間生産量（現存量の概ね3倍）を使用すべきだが、餌料として利用される生物は、より高次の消費者に餌として利用され物質が移行しただけであることから、二重計上となる（移行しただけで物質の総量は変わらない）と考えられることから、二重計上を回避するための配慮として現存量を原単位とする。

B. 物質除去量当たり年間下水道経費⁷⁾ (TN：19,605 円/kg・年)

(水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン参考資料より)

4) 増殖場を対象とした試算例

増殖場整備に由来して付着生物等、生物生産量が増加することで、海域の物質の流れが活性化する効果を対象に、増加する生物に取り込まれる物質量を算出し、下水処理費用で代替して貨幣化した。

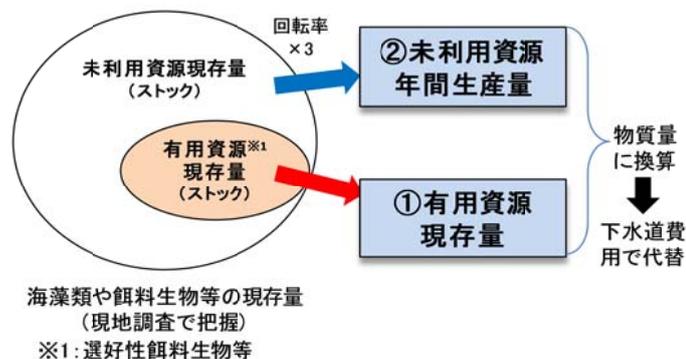


図6 増殖場における「水産環境整備による物質循環円滑化効果」の算定フロー

表 7 増殖場施設に由来する生物の年間平均現存量

階層区分・対象生物		港奥 (kg)	港口 (kg)	港外 (kg)	漁港合計(kg)	
						階層別小計
基礎生産	海藻	57,045	3,746	67,167	127,958	127,958
一次消費者	底生生物	12,933	859	2,296	16,088	248,229
	葉上動物	3,337	30	1,180	4,547	
	付着生物	190,349	4,846	32,398	227,593	
餌料生物等	うち、選好性餌料動物	14,573	566	2,440		17,579.18

①有用資源現存量での評価（図 6：赤色矢印の効果）

水産環境整備に由来して増加する選好性餌料生物の年間平均現存量から、取りこまれる物質量を算出し、便益額を算定した。

$$\text{年間便益額} = A \times B$$

A：選好性餌料動物に取り込まれる物質量。ここでは、窒素量で換算。

$$A = \text{選好性餌料動物年間平均現存量} \times \text{TN含有率}$$

TN含有率：「日本食品標準成分表 2010」のたんぱく質含有量をタンパク質窒素換算係数 6.25 で除して算出。

餌料生物等たんぱく質含有率：0.15（おきあみ類）

たんぱく質窒素換算係数：6.25

$$A = \text{選好性餌料動物年間平均現存量} : 17,579\text{kg} \times 0.15 / 6.25 = 421.9 \text{ kg/年}$$

B：単位 TN 除去費用 = 19,605 円/kg・年

漁業集落排水施設 229 事例から算出した処理人口あたりの年間経費に基づき、物質除去量当たり年間下水道経費を算定。

$$\text{年間便益額} = 421.9 \text{ kg} \times 19,605 \text{ 円/kg} \cdot \text{年} = 8,271 \text{ 千円/年}$$

②未利用資源年間生産量での評価（図 6：青色矢印の効果）

水産環境整備に由来して増加する一次消費者の年間平均現存量から年間生産量と取りこまれる物質量を算出し、便益額を算定した。

$$\text{年間便益額} = A \times B$$

A：選好性餌料動物に取り込まれる物質量。ここでは、窒素量で換算。

$$A = \text{一次消費者平均現存量} \times P/B \text{ 比} \times \text{TN含有率}$$

P/B 比：回転率 = 年間生産量 / 年平均現存量。既往文献 41 事例の調査結果から 3 を使用。

TN含有率：「日本食品標準成分表 2010」のたんぱく質含有量をタンパク質窒素換算係数 6.25 で除して算出。

餌料生物等たんぱく質含有率：0.15（おきあみ類）

たんぱく質窒素換算係数：6.25

$$A = \text{一次消費者年間平均現存量} : 248,229\text{kg} \times 3 \times 0.15 / 6.25 = 17,872.5 \text{ kg/年}$$

B：単位 TN 除去費用 = 19,605 円/kg・年

漁業集落排水施設 229 事例から算出した処理人口あたりの年間経費に基づき、

物質除去量当たり年間下水道経費を算定。
年間便益額 = 17,872.5 kg × 19,605 円/kg・年 = 350,390 千円/年

以上から、年間便益額合計 = ① + ② = 358,661 千円/年

5) 課題

試算例に見るとおり、検討した算定方法で本効果を貨幣化すると、従来の便益額と比較して極めて大きく算出される。本効果を便益評価項目として位置づけるには、以下に示す課題が残り、今後も継続して検討を深める必要がある。

①物質循環全体を貨幣化の対象とすることの妥当性

評価対象とする物質循環は、以下の3つに大別され、環境中への物質の流入と生物生産による取り込みが、時間的、量的に均衡し、環境中の物質量が安定して維持されていることが効果と認識される。

ア 環境中の物質が生物生産を通じて取り込まれ、基礎生産から高次の生物へと移行する流れ（前掲図5 青色フロー）

ア' 生物生産を通じた流れの中には、現存量として生物の体内に固定される分も含まれる

イ 生物生産の結果、漁獲されて陸域に除外される流れ（前掲図5 緑色フロー）

ウ 死亡・分解し、環境中へ放出される流れ（前掲図5 赤色フロー）

本提案では物質循環全体を対象としたいとの観点から①～③を全て対象としたが、環境中への物質の流入と生物生産による取り込みのバランスが良好であることを的確（定量的）に把握することは困難であり、①～③全てを貨幣化の対象とすることの妥当性を検討する必要がある。

（課題の検討方向）

- 評価対象領域としては、物質循環の円滑化全体とするが、貨幣化対象は環境中から物質を生物の体内にとどめておく部分及び、陸域に取り除かれる部分に限定する

②貨幣化の手法として下水道費用で代替することの妥当性

環境中の物質量が安定的に維持されるためには、環境中への物質の流入と生物生産による取り込み、現存量として生物体内にとどまっている分が、時間的・量的に均衡していることが重要である。本提案では、生物生産による取り込みと生物体として固定されている物質に着目し、物質を系外に除去する費用である下水道費用で代替したが、「物質の流れ」全体を評価する原単位として下水道費用の妥当性を検討する必要がある。

（課題の検討方向）

- 物質の流れの円滑化を対象とした場合の適正な原単位の検討が必要
- 現存量として生物の体内にとどめ置かれている物質（上記ア'）や陸域に取り除かれる物質（上記イ）に限定して下水道費用を使用

2. 漁港の地震・津波対策による効果の便益算定手法の検討

(1) 漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方

1) 漁港施設の地震・津波対策としての防波堤と防潮堤による多重防護の考え方

漁港漁村では、東日本大震災における津波によって、防波堤、岸壁等の漁港施設や市場・荷さばき所・加工場等の水産関連施設、背後集落の人家等も大きな被害を受けるとともに、多数の人命が失われた。また、復旧に長時間を要し、生活や生業（漁業活動等）の再開が遅れたことによって、地域経済や全国的な食料供給に多大な影響を及ぼした。

このため、漁港漁村における防災・減災対策は、高潮・波浪に加えて、津波についてもより効果的なものとするのが重要であり、漁業活動の安定化及び水産物の生産・流通機能の確保と漁港漁村の人命・財産の防護の両方の観点から、主として、堤外地では水産関連施設・漁船等の被害軽減とともに、漁業関係者等の避難の確保を、堤内地では人家等財産の保全とともに、住民等の避難の確保を目的とした防波堤と防潮堤による多重防護が考えられる。

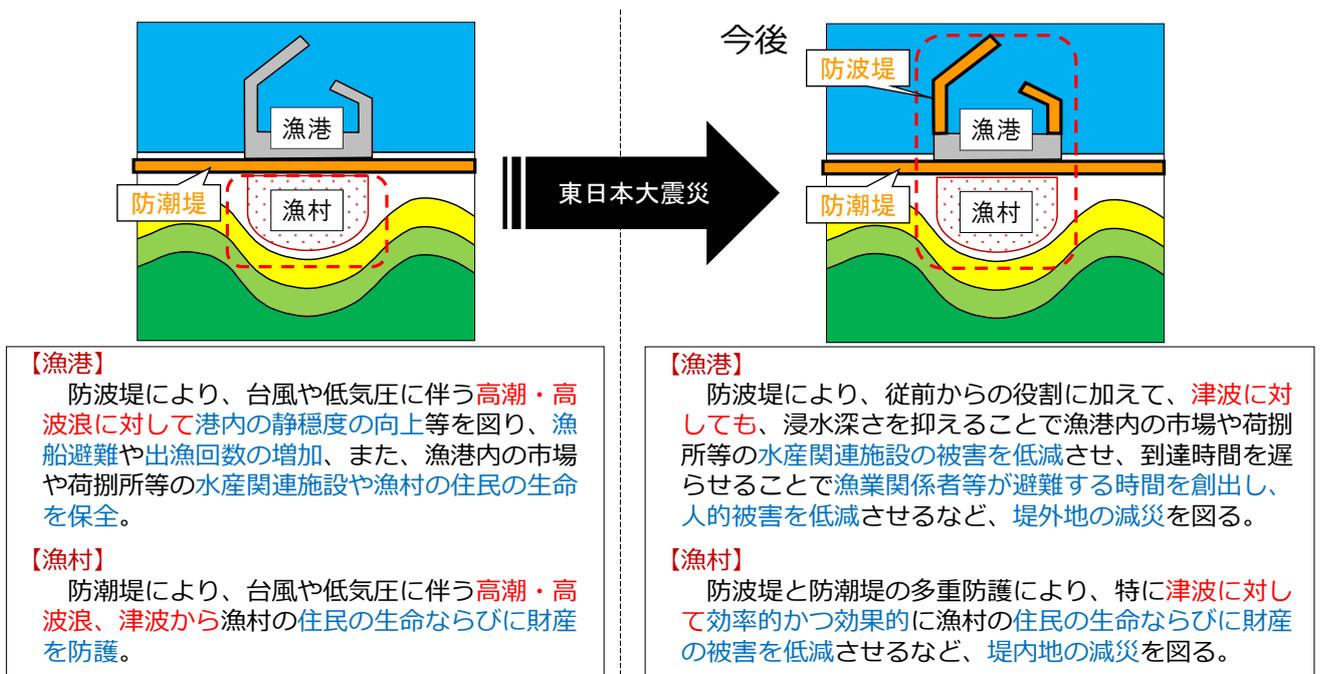


図7 多重防護による防災・減災の考え方

2) 防波堤と防潮堤による多重防護による主な効果

漁港漁村において防波堤と防潮堤による多重防護を活用することによって、堤外地では、防波堤が津波浸水高や流速を低減することによる水産関連施設・漁船等被害の低減、堤内地では防潮堤高さを抑えることによる背後用地の利活用、漁業活動・生活の利便性の向上、集落景観の維持、また、浸水範囲の減少等による一般資産被害の低減等の効果が期待できる。

また、堤外地及び堤内地では、防波堤が津波到達時間を遅延し、避難時間が増加することによる避難可能人数の増大が期待できる。

【堤外地（主として漁港）での効果】

- (1) 津波浸水高や流速を低減することによる、水産関連施設・漁船等被害の低減
- (2) 津波到達時間を遅延し、避難時間が増加することによる避難可能人数の増大



堤外地の物的・人的被害の低減、水産業の早期再開

【堤内地（主として集落）での効果】

- (1) 防潮堤の高さを抑えることによる、背後用地の利活用、漁業活動・生活の利便性の向上、集落景観の維持
- (2) 浸水範囲の減少等による、家屋、事業所、家庭用品等の一般資産被害の低減
- (3) 津波到達時間を遅延し、避難時間が増加することによる避難可能人数の増大



堤内地の物的・人的被害、地域に与える損害の低減

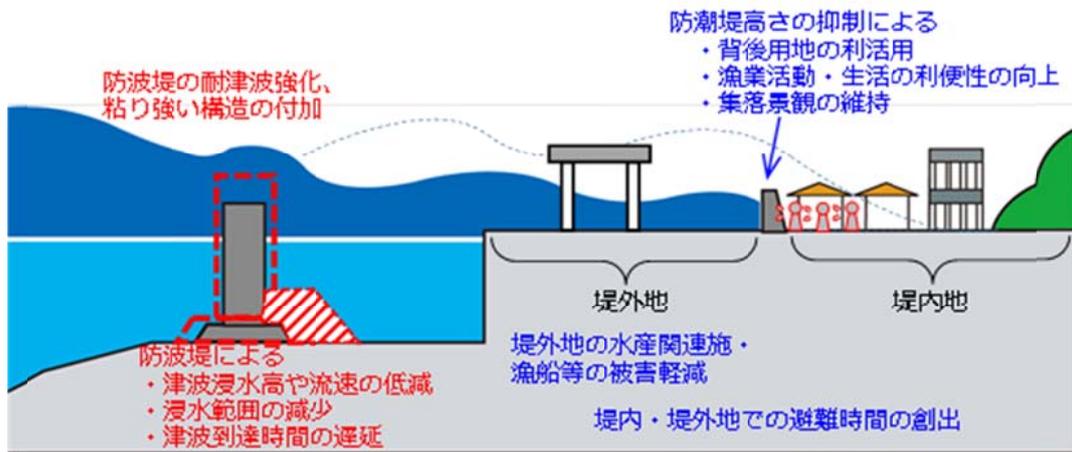


図 8 多重防護による対策と効果のイメージ

また、対象津波別に多重防護による効果を整理した図を図 9(1) (2)に示す。

<発生頻度の高い津波に対する多重防護による効果の考え方>

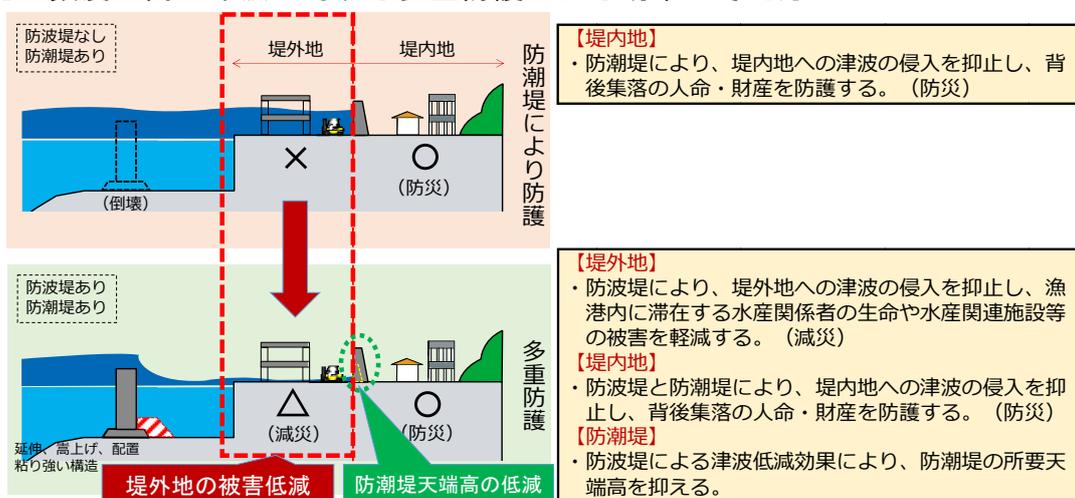


図 9(1) 発生頻度の高い津波に対する効果の考え方

＜発生頻度の高い津波を超える津波に対する多重防護による効果の考え方＞

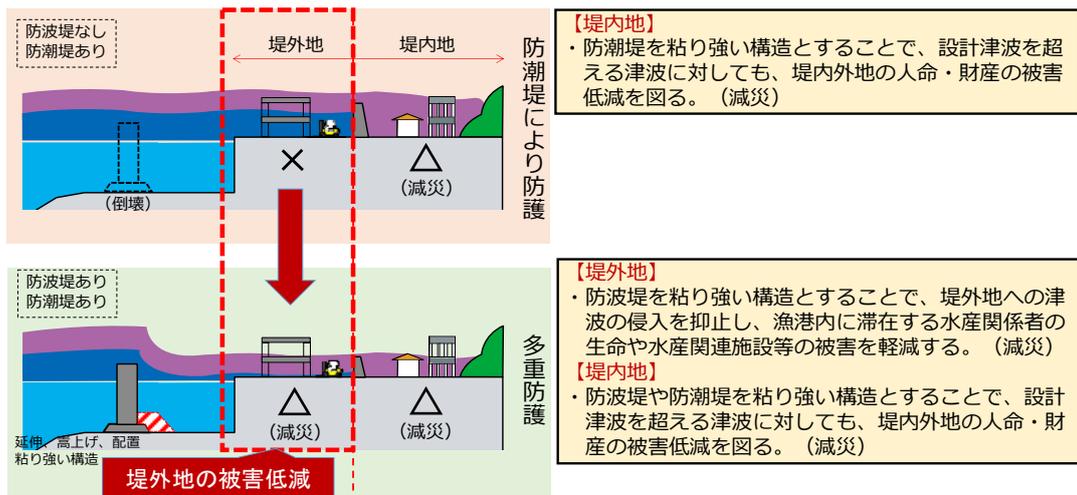


図 9(2) 発生頻度の高い津波を超える津波に対する効果の考え方

防災・減災目標の設定については、上記の基本的な考え方を踏まえ、多重防護による効果を適切に評価し、対策に要する費用や得られる便益等を総合的に勘案し、設定することが重要であり、その手順は以下のフローを参考にすることができる。

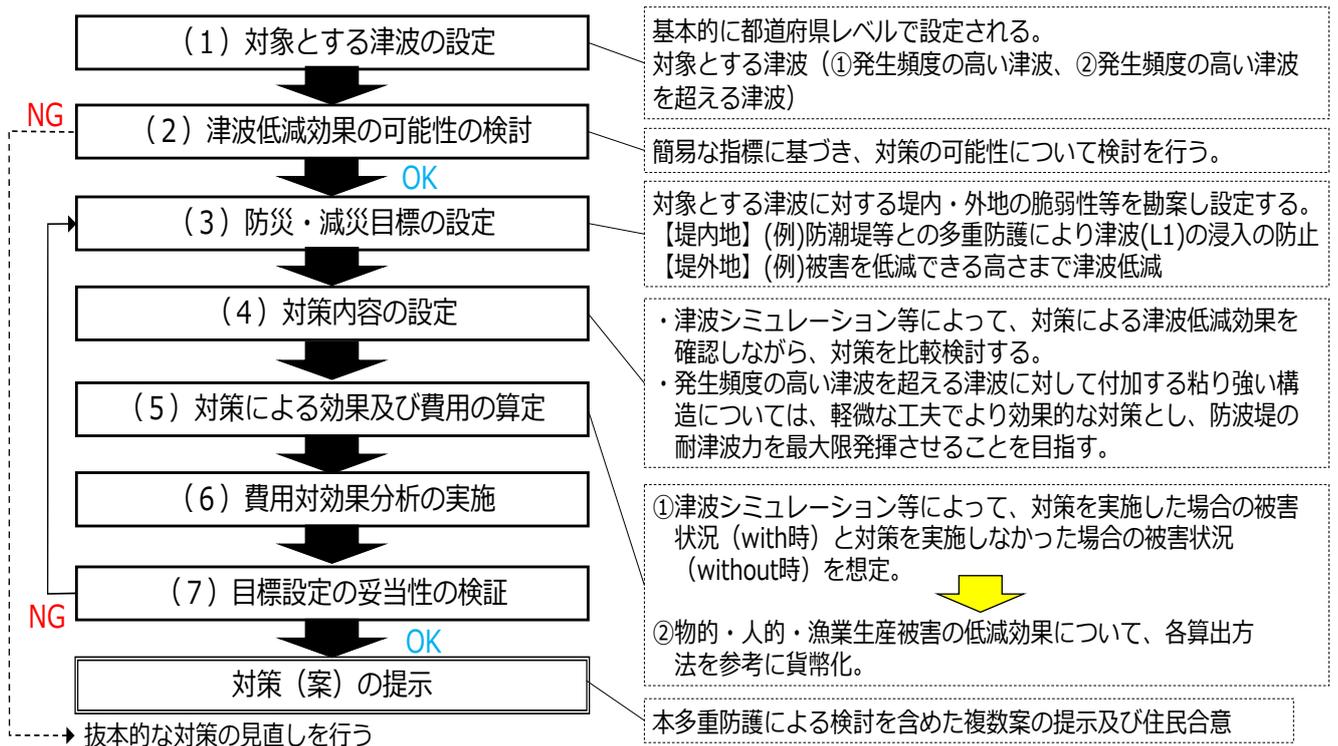


図 10 多重防護の検討フロー

3) 多重防護の具体的な対策

多重防護の具体的な対策としては、沖防波堤や港口部の水門の整備、防波堤の新設・延伸及び嵩上げなどに加え、防波堤や防潮堤への粘り強い構造の付加などの対策が考えられる。

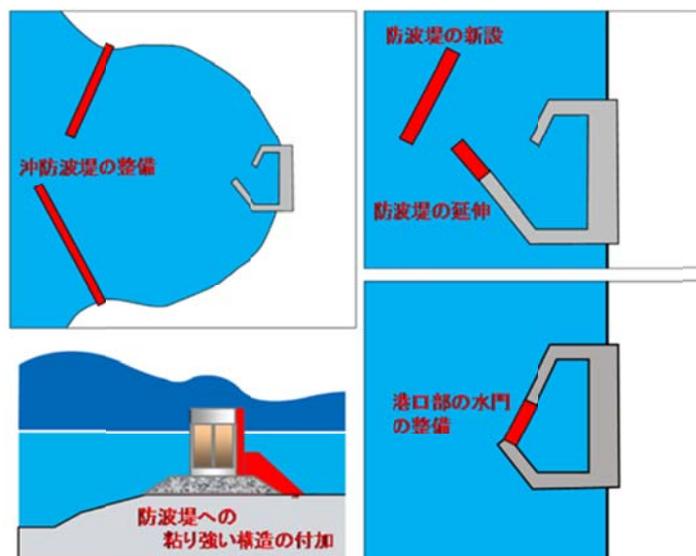


図 11 多重防護の具体的な対策

(2) 漁港・漁村における津波低減効果対策の便益算定手法

1) 多重防護による効果とその便益の考え方

① 便益項目

「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」(水産庁漁港漁場整備部)では、費用対効果分析の対象とする効果を、①実用的な範囲内で貨幣換算が可能な効果、②それ以外の定量的または定性的に把握する効果(貨幣換算が困難な効果)としており、多重防護を活用した防災・減災対策事業の費用対効果分析についても同様に考えることができる。

多重防護による効果については、A) 水産関連施設・漁船等の物的被害の軽減に係る効果、B) 避難可能人数の増大に伴う漁業関係者・住民等の人的被害の軽減に係る効果、C) 漁港、漁船、市場及び加工場など漁業生産機能等の維持に伴う漁業・水産加工業の生産被害の軽減に係る効果、D) 防潮堤の高さを低く抑えることに伴う、背後用地の利活用、漁業活動・生活の利便性の向上及び集落景観の維持に係る効果など多様な効果が考えられる。

この中で、貨幣換算が可能な主な項目として「物的被害、人的被害及び漁業生産被害の軽減」について、表 8 に整理する。

表 8 多重防護による津波低減効果の便益項目

被害種別	便益の捉え方
物的被害	津波シミュレーション等を用いて、多重防護による対策前後の浸水域の範囲や浸水高等から被害額の差を便益として捉えることができる。
人的被害	津波の到達時間の遅延等によって被災を免れる人（避難可能人数）の増加分を便益として捉えることができる。ここで、人的被害を貨幣化し便益として計上する際には、対策後において避難不可能な人がどの位置に何人残るのかを明確にし、さらなる対策を検討する材料として活用することを条件とする。
漁業生産被害	津波対策を講じた場合と対策を講じない場合の漁業生産被害等の差を便益として捉えることができる。なお、漁業生産被害に係る効果については、漁業者等民間の自主的な対策（例えば、荷さばき所内の設備を津波浸水高以上のところに設置するなど）を併せて実施することで、より効果（便益）が大きくなることが期待できる。

②便益算定式

多重防護による便益（貨幣換算が可能な効果）については、物的被害、人的被害及び漁業生産被害の軽減に係る便益の総和とする。

$$\text{便益額 (B)} = \text{対象とする津波に対する、発生確率を考慮した被害軽減額の総和} \\ = \sum ((d1 - d2) \times \text{発生確率})$$

ここで、

d1 : 対象とする津波に対する、発生確率を考慮した without 時（現況）の被害額（円）

d2 : 対象とする津波に対する、発生確率を考慮した with 時（対策後）の被害額（円）

2) 各評価項目における便益算定手法

①物的被害

防波堤、防潮堤等によって津波を低減することで、漁港施設（機能施設を含む。）、漁港施設以外の公共土木施設、漁船、家屋、事業所、農地等の資産を保全する効果が考えられる。

具体的には、防波堤等が津波浸水高や流速を低減し、浸水範囲の減少が図られることにより、各種資産の被害額が減少する効果が期待される。

効果計測の対象とする項目としては、以下のものを基本とする。

- | | | | |
|------|--------------|-----|--------------|
| i) | 一般資産額（家屋等） | iv) | 一般資産額（農漁家資産） |
| ii) | 一般資産額（家庭用品等） | v) | 農産物被害 |
| iii) | 一般資産額（事業所資産） | vi) | 公共土木施設等被害 |

以下に、「一般資産額（家屋等）」の算定例を示す。

【算定例】一般資産額（家屋等）

一般資産額（家屋等）は、海岸事業の費用便益分析指針に示された次式にて算定する。

$$\text{家屋等} = \text{家屋等平均床面積} \times \text{家屋等数} \times \text{家屋等 1m2 当り単価} \times \text{被害率}$$

ここで、

家屋等平均床面積：県・市町村統計書データ

家屋等 1m2 当り単価：治水経済調査マニュアル（案）数値

被害率：中央防災会議（内閣府、2012年）「南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」での調査結果を参考にすることができる。

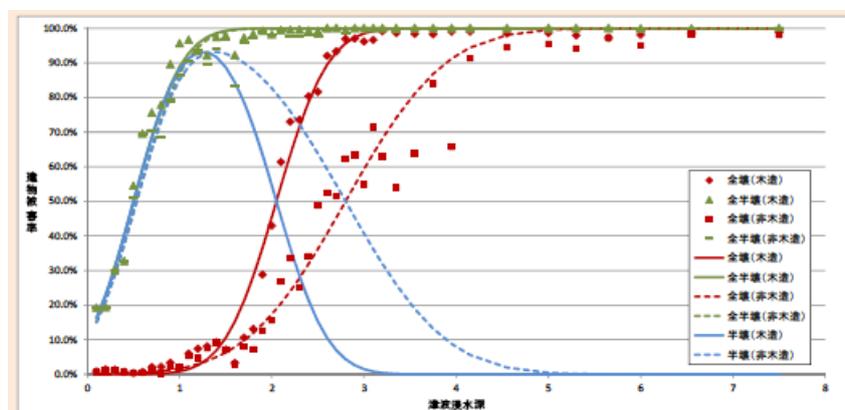


図 12(1) 津波浸水深と被害率（人口集中地区外の損壊割合）

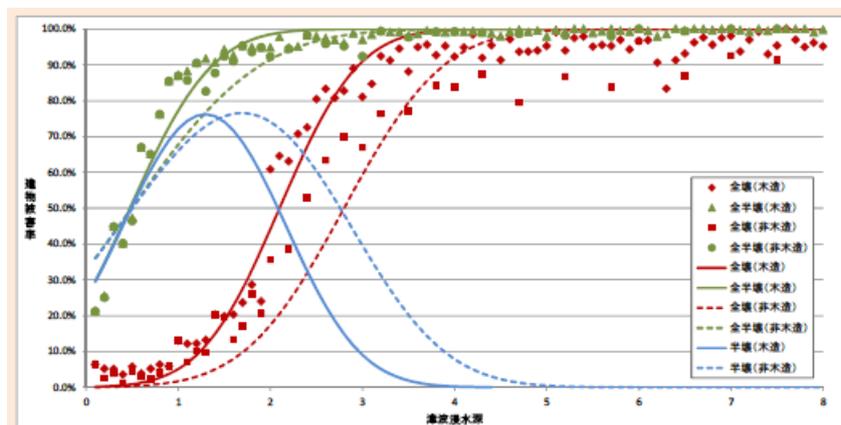


図 12(2) 津波浸水深と被害率（人口集中地区の損壊割合）

②人的被害

防波堤、防潮堤等によって津波を低減することで、被災を免れる人（避難可能人数）が増加する効果が考えられる。具体的には、防波堤等が津波到達時間を遅延させ、避難時間が増加することによって、避難可能人数の増大効果が期待される。

便益計上の対象となる項目としては、軽減される人的損失額（逸失利益、精神的損害額）を基本とする。ただし、人的損失については、貨幣化を行うことができるものとするが、対策後において避難不可能な人がどの位置に何人残るのかを明確にし、さらなる対策を検討する材料として活用することを条件とする。

対策により被災を免れる人（避難可能人数）は、対策前後における数値シミュレーションにより算定する、対策を講じた場合と講じない場合の避難可能人数の差分により算定する。

ここで、人的損失額は、「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」の“災害時の避難経路及び避難場所の確保効果”の考え方を基本とする。



ここでは、津波による避難を対象としていることから、死亡のみを対象とし医療費については対象には入れていない。

対策を講じることによって想定される被害額は、水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン（災害時の避難経路及び避難場所の確保効果）より下式にて算定する。

$$\text{被害額}(d) = N \times (d_l + d_m)$$

ここで、

N：避難可能人数の差分（人）※1

d_l：1人当り逸失便益（円／人）※2

d_m：1人当り精神的損害額（円／人）※3

※1：Nについては、津波対策を講じた場合と講じない場合を想定した津波シミュレーション結果等の差分から算定

※2：逸失便益 = \sum (年収－生活費) × (ライプニッツ係数*)

※3：精神的損害額は、被災者やその家族及び友人等が被る痛み、苦しみ、悲しみ、生活の質の低下等の非金銭的損失

*ライプニッツ係数は、住民データ等より、対象地域の平均年齢を区分別に算出し、ライプニッツ係数表より各区分の平均年齢に対応する値とする。

区分		使用する年収	生活費 控除割合	年収－ 生活費	平均 年齢	ライプニッツ 係数	
地域住民	男性	男性労働者の全年齢平均賃金	4,348	45%	2,391	57歳	9.014
	女性	女性労働者の全年齢平均賃金	3,218	35%	2,092	60歳	9.815

1) 年収:厚生労働省大臣官房統計情報部「賃金構造基本統計調査

2) 生活費控除:(財)日弁連交通事故相談センター東京支部共通「民事交通事故訴訟損害賠償額算定基準」

水産基盤整備事業に係る人的被害の算定にあたっては、「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（国土交通省）」の手法により貨幣化することを基本とする。

精神的損害額:「交通事故の被害・損失の経済分析に関する調査研究報告書（内閣府）」で取り纏められたCVMにより計測した額
逸失便益 : ライプニッツ法

また、水産基盤整備事業における人的被害の取扱いについては、人的被害を定量化することは、貨幣化して便益として計上すること以外に、人的被害を算定する過程において、避難不可能な人がどの位置に何人残るのかを明確にすることができることから、事業評価を行う際には、費用対効果分析において貨幣化するだけでなく、人的被害の状況及びさらなる対策を検討する材料として活用することを条件とする。

(例)

費用対分析結果		人的被害状況			今後の検討方針
B/C	2.5	軽減死者数	L1	30人	
B	2,000百万円		L2	100人	
(内人的損害額)	950百万円	避難不可能人数	L1	80人	
C	800百万円		L2	200人	

③漁業生産被害

防波堤、防潮堤等によって津波を低減することで、漁業生産機会の損失を軽減する効果やこれに伴って地域の経済活動の低下を抑制する効果が考えられる。

具体的には、防波堤等が津波浸水高や流速を低減し、浸水範囲の減少が図られることにより、漁業生産活動に必要な施設の被害が軽減され、漁業生産活動の停止期間の短縮による漁業生産機会損失額の軽減効果が期待されるとともに、水産物流通及び水産加工生産量の減少の軽減効果が期待される。

便益計上の対象となる項目としては、漁業生産額、漁業者所得、漁協及び関連する水産物流・加工業の売上等を基本とする。

対策を講じることによって想定される被害軽減額は、次式にて算定する。

$$\begin{aligned}
 \text{水産物生産の被害軽減額 (D)} &= \Sigma (d_1 - d_2) \\
 &= \Sigma \{(S - S_1) - (S - S_2)\} \\
 &= \Sigma (S_2 - S_1)
 \end{aligned}$$

※一震災で生産被害を受けると想定される期間を対象に積分を行う

ここで、

d_1 : without (対策無し) 時の生産被害額 (円) [=S-S1]

d_2 : with 時 (対策後) の生産被害額 (円) [=S-S2]

S : 常時の生産額 (円)

S1 : without (対策無し) 時の災害時の生産額 (円)

S2 : with 時 (対策後) の災害時の生産額 (円)

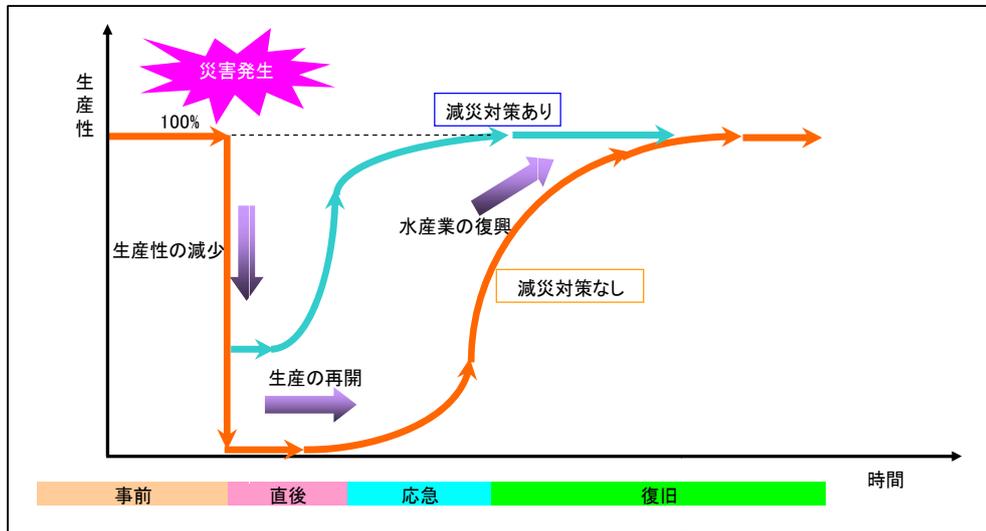


図 13 対策実施による漁業生産回復イメージ



図 14 漁業生産からの波及イメージ

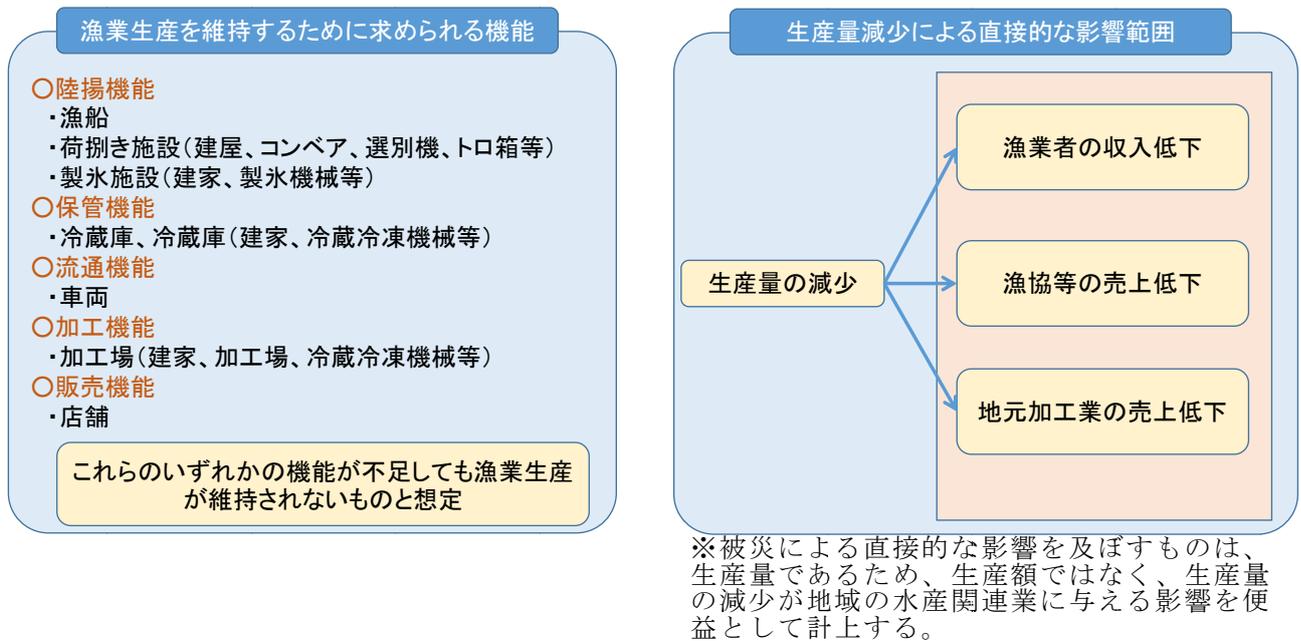


図 15 漁業生産被害の考え方

i) 直接被害

漁業生産被害のうち、各ケース毎の直接被害の算定フローは以下のとおりである。なお、算定に当たっては対象地区の近傍に漁港などの代替機能がある場合、これにより経済損失が軽減されることから、周辺の状況も考慮に入れて被害算定を行うものとする。算定手順を以下に示す。

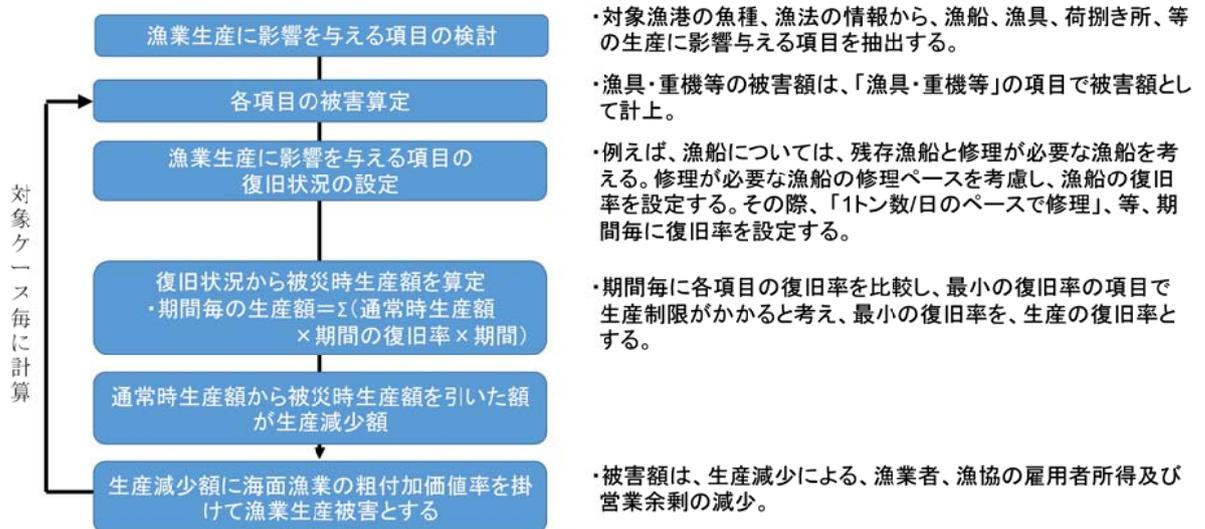


図 16 漁業生産被害（直接被害）の算定手順

ii) 間接被害（被害の波及）

漁業生産の減少に伴い、水産物の流通が減少することにより、水産加工業の生産量が減少するなど、地域の経済活動が低下するというマイナスの波及効果（間接効果）が発生する。

通常、被災による波及効果を算定する場合は復旧に掛かる建設費等を含めて計算

するため、平時と比較して GDP（国内総生産）が大きくなる傾向にある。

ここでは、漁業生産量の減少が地域経済へ波及する影響に限定して、地域のその他産業への波及被害を算定する。

漁業生産被害のうち、間接被害は次式にて算定する。

$$\begin{aligned} \text{波及被害額} &= (\text{水産原料減少量} \div \text{通常時原料購入量}) \\ &\quad \times \text{波及する産業の通常時生産額} \times \text{波及する産業の粗付加価値額比率} \\ \text{水産原料減少量} &= \text{漁業生産減少量} \times \text{他産業向け出荷比率} \times (1 - \text{補填率}) \end{aligned}$$

他産業向け出荷比率：漁業生産量に対し波及する産業への出荷量比率
補填率：他地域から減少分を補填できることを考慮するための係数

上式を変形すると、

$$\begin{aligned} \text{波及被害額} &= \{ \text{漁業生産減少額} \times \text{他産業向け出荷比率} \times (1 - \text{補填率}) \\ &\quad \div \text{他産業の水産原料比率} \} \times \text{粗付加価値額比率} \\ \text{ここで、他産業の水産原料比率} &: \text{売上額に対する水産原料費の割合} \end{aligned}$$

3) 発生確率の異なる複数の津波の津波低減便益算定手法

津波低減便益の算定は、発生確率の異なる複数の津波に対する被害軽減額の総和を基本とする。

ただし、地域によって特定の震源による津波のみを対象とする場合にあっては、特定の震源による津波に対する被害軽減額を便益とすることができ、この場合、長期的な地震発生確率が設定できれば、これを考慮してもよい。

なお、防波堤や防潮堤等の複数施設により津波低減効果を発揮させる場合は、得られる便益を各々の施設整備の費用で按分する等して、各施設の整備事業の費用対便益分析において便益が二重に計上されないよう留意する。

① 算定手法の提案

我が国の沿岸に來襲する津波は震源や規模等が様々であることから、津波低減便益の算定は、高潮による浸水防護便益の算定の場合と同様、発生確率の異なる複数の津波に対する被害軽減額の総和を算定する手法（手法1）によって行うことを基本とする。ただし、地域によって特定の震源による津波を対象とする場合にあっては、特定の震源による津波に対する被害軽減額を算定する手法（手法2）を用いることができる。

手法1：発生確率の異なる複数の津波に対する被害軽減額の総和を算定する手法

対象とする津波に対して、事業を実施しない場合（without 時）に想定される被害額と事業を実施した場合（with 時）に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した被害軽減額の総和をとることで津波低減便益を算定する。

手法 2：特定の震源による津波に対する被害軽減額を算定する手法

特定の震源による津波のみを対象とする場合は、特定の震源による津波に対して、事業を実施しない場合（without 時）に想定される被害額と事業を実施した場合（with 時）に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した津波低減便益を算定する。このうち、発生確率については、特定の震源による津波を対象としていることから、供用期間中に一度地震が発生するとエネルギーが解放され、それ以降は津波が発生しないことを想定したものをを用いることとする（手法 2-①）。ただし、特定の震源における長期評価確率が算定できる地域においては、長期評価確率を用いた発生確率を用いてもよい（手法 2-②）。

表 9 特定の震源による津波に対する被害軽減額を算定する手法

	手法 1	手法 2	
対象とする津波	発生確率の異なる複数の津波（例えば、被害が発生する津波、発生頻度の高い津波、粘り強い構造から推定される許容津波、最大クラスの津波など）	特定の震源による津波	
発生確率の考え方	供用期間中は、津波の発生確率は変化しない	供用期間中に一度地震が発生するとエネルギーが解放され、それ以降は津波が発生しない	
年次発生確率算定式（再現期間 X 年の場合）	P = 1/X（一定）	長期的な地震発生確率を考慮しない場合	長期的な地震発生確率を考慮する場合
		【手法 2-①】 t 年次後の発生確率 P(t) = (1-1/X) ^{t-1} × (1/X)	【手法 2-②】 長期的な地震発生確率の評価式を用いて算定。

② 手法 1 による算定手法

対象とする津波に対して、事業を実施しない場合（without 時）に想定される被害額と事業を実施した場合（with 時）に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した被害軽減額の総和をとることで津波低減便益を算定する。

算定式は以下のとおりである。

$$B(H) = \int [(D_N(M) - D_S(M, H))p(M)]dM$$

ここで、

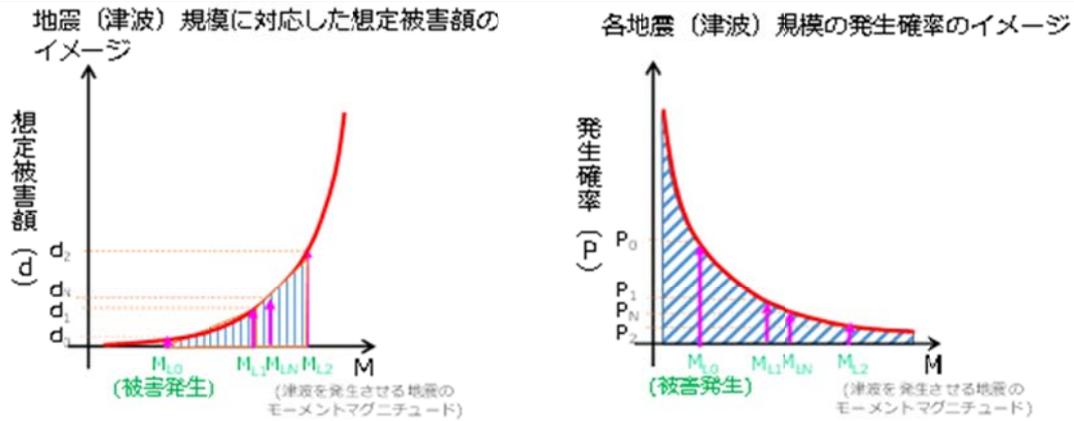
- B(H) : 対策 H をした場合の便益
- M : 想定する地震のモーメントマグニチュード*
- D_N(M) : 対策しなかった場合の被害額
- D_S(M, H) : 対策 H をした場合の被害額
- P(M) : 発生確率

i) 対象とする津波の設定

津波低減効果の対象とする津波は以下のとおり設定することができる。

表 10 津波低減効果の対象とする津波の設定方法

対象とする津波	設定手法	モーメントマグニチュード M	発生確率 P
被害が発生する津波	(1)地震津波履歴・ヒアリングより、発生確率 P_0 を推定する。 (2)岸壁を越える津波が来襲した時から被害が発生すると仮定し、岸壁天端高一潮位を津波高とする地震のモーメントマグニチュード M_{L0} を推定し、その発生確率 P_0 をグーテンベルグ・リヒター則を用いて算出する。	M_{L0}	P_0
発生頻度の高い津波	想定津波の発生確率 P_1 が分かる場合は、当該発生確率を利用する。不明な場合は、 $P_1=1/100$ とする。	M_{L1}	P_1
粘り強い構造から推定される許容津波	粘り強い対策を受動土圧として考慮し、これに耐えうる波力に対応した津波高を算出(水工研提案式等を用いて推算)し、発生頻度の高い津波を基本として地震のモーメントマグニチュード M_{LN} を推定し、その発生確率 P_N をグーテンベルグ・リヒター則を用いて算出する。	M_{LN}	P_N
最大クラスの津波	想定津波の発生確率 P_2 が分かる場合は、当該発生確率を利用する。不明な場合は、発生頻度の高い津波を基本として、グーテンベルグ・リヒター則を用いて発生確率 P_2 を算出する。	M_{L2}	P_2



ii) 津波被害が発生する地震の発生確率 P_0 の推定

- 1) 地震津波履歴・ヒアリングより、発生確率 P_0 を推定する。
- 2) 岸壁を越える津波が来襲した時から被害が発生すると仮定し、岸壁天端高ー潮位を津波高とする地震のモーメントマグニチュード M_L0 を推定し、その発生確率 P_0 をグーテンベルグ・リヒター則を用いて算出する。

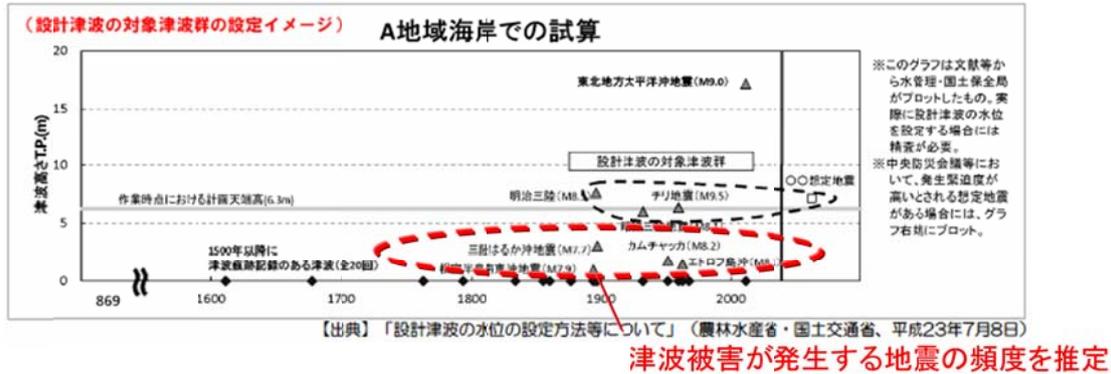


図 17 津波被害が発生する地震の発生確率 P_0 の推定

iii) 粘り強い構造から推定される許容津波の発生確率の推定方法

津波に粘り強い構造とすることで、設計津波（例えば、発生頻度の高い津波）よりも大きな津波に対して津波低減効果を発揮することとなる。

以下に、粘り強い構造としたことにより付加される耐津波特性を考慮した便益の算定方法を示す。

① 粘り強い構造の設定

粘り強い構造として防波堤背後に捨石の嵩上げを実施することにより、津波に対する滑動抵抗が増加する。

② 許容津波高の推算

防波堤背後に嵩上げた捨石による滑動抵抗により、粘り強い構造による耐津波特性を仮定し、粘り強い構造を付加した許容津波波高を推算する。

③ 地震のモーメントマグニチュードの推定

推算した許容津波高を発生させる地震のモーメントマグニチュードを算定する。

④ 発生確率の推定

算定した地震のモーメントマグニチュードの発生確率を推定する。

⑤ 便益の算出

ここまでに算定した対象津波毎の被害額の差分と発生確率の積を積分することで、複数の津波による便益の総和を算出する。

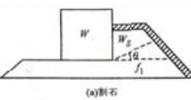
①粘り強い構造の設定
例)防波堤背後の捨石の嵩上げ
背後の滑動抵抗力を、増加させる目的



H_N : 受動抵抗を考慮した場合に安定する津波波高

②粘り強い構造から推定される許容津波高 H_N の推算
【検討方針】
護岸の暫定裏込めをした場合の安定計算と同様に考え、受動土圧合力として捨石の嵩上げの効果を考える。
* 漁港・漁場の施設の設計の手引(2003年版、p398)
津波波圧算定には、非越流時は谷本式、越流時水工研提案式(SWL基準)を用いて、許容津波高 H_N を推算する。

※計算値: 割石の滑動抵抗力 R
 $R = W_s \tan(\theta + \phi)$
 $\phi = \tan^{-1} f_i$ (f_i は内部摩擦係数、 $f_i = 0.8$)
 θ : すべり面傾斜角
(θ を試行的に変えて求められる R の最小値を滑動抵抗力とする)
滑動抵抗力=割石の滑動抵抗力 R + 堤体の滑動抵抗力



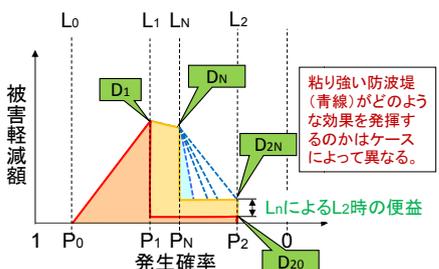
③地震のモーメントマグニチュード M_{LN} を推定
【検討方針】
推定した H_N を発生させるモーメントマグニチュード M_{LN} を算定する。
(i) 阿部(1989)の予測式(右式参照)を用いる
(ii) 数値計算による試算を実施する。
【(i)の検討手順】
i) 津波伝播距離 Δ を、L1条件(M_{L1} と津波高[解析結果])をもとに予測式から逆算する。 $M_{L1} < M_{LN}$ の関係性を維持する。
必要に応じて、L2条件でも算出する。
 $\log \Delta = M_{L1} - \log H_t - 5.55$
ii) 推定した H_N を用いて、予測式を使って M_{LN} を算出する。
 $M_{LN} = \log \Delta + \log H_N + 5.55$

近地津波を対象とした予測式(阿部, 1989)
■太平洋側
 $\log H_t = M - \log \Delta - 5.55$
■日本海側
 $\log H_t = M - \log \Delta - 5.35$
 H_t : 津波高(m)
 M : 想定する地震のモーメントマグニチュード
 Δ : 津波伝播距離(km)、L1と同様と想定

④発生確率 P_N の推定
算定した M_{LN} をもとに、グーテンベルグ・リヒター則を用いてL1を発生させる M_{L1} から M_{LN} の発生確率を推定する。
発生確率
 $n = 10^{(a-bM)}$ $P_N = P_{L1} \times n$
* aは、L1を発生させるモーメントマグニチュード(M_{L1})
* bMは、推定したモーメントマグニチュード(M_{LN})

数値計算による地震のモーメントマグニチュード M の予測手法
手順1: 目標とする津波高が得られるすべり量倍率 α を試算により推定する。
手順2: すべり量倍率 α をもとに、スケーリング則を適用して想定される M を算出する。
 $M_0 = \alpha D \mu L W$ ($D \mu L W$ はL1より決定)
 $M = \frac{9.1 - \log M_0}{1.5}$

⑤便益(被害低減)を算出
年度別の平均便益の算定は代表的確率年(外力規模)毎の想定被害額に、それぞれの地震(津波)の発生確率を乗じて被害軽減額を算出し、これらの総和である平均被害軽減額を年度別の平均便益とする。
【 P_N 前後の被害軽減額推定手法】
1) 粘り強い構造を考慮した D_N を L_N を想定したシミュレーションで算定
2) 粘り強い構造を考慮した D_{2N} を L_2 を想定したシミュレーションで算定
※ D_N, D_{2N} を算定しない場合は P_1 以降の被害軽減額を D_{20} とする。
※ $P_N \sim P_2$ 間でシミュレーションを実施した場合には便益を追加してもよい。



年平均被害軽減額算出表

※対策が L_1 に対するものが基本であるため、 L_1 の条件をベースに L_N を設定する。

津波規模	津波に対応する想定被害軽減額	$L_n \sim L_{n+1}$ の発生確率	$L_n \sim L_{n+1}$ の平均被害軽減額	発生確率 × 平均被害軽減額
L_1 以下(L_0) (被害発生レベル)	D_0	$P_0 - P_1$	$(D_0 + D_1)/2$	$(P_0 - P_1) \times (D_0 + D_1)/2$
L_1	D_1	$P_1 - P_N$	$(D_1 + D_N)/2$	$(P_1 - P_N) \times (D_1 + D_N)/2$
L_N	D_N	$P_N - P_2$	D_{2N}	$(P_N - P_2) \times D_{2N}$

被害軽減額, $D_i = (d_i \text{ with}) - (d_i \text{ without})$ ※ d_i : 被害額
年平均便益額 = $(P_0 - P_1) \times (D_0 + D_1)/2 + (P_1 - P_N) \times (D_1 + D_N)/2 + (P_N - P_2) \times D_{2N}$

図 18 許容津波の発生確率推定フロー図

③ 手法 2 による算定手法

特定の震源による津波のみを対象とする場合は、特定の震源による津波に対して、事業を実施しない場合(without 時)に想定される被害額と事業を実施した場合(with 時)に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した津波低減便益を算定する。

手法 2-①：再現期間（発生確率）も用いる場合

手法 2-②：長期的な地震発生確率を用いる場合

(手法 2-①の発生確率)

再現期間 X 年の地震により起因する津波の t 年次に便益が発生する確率は以下の式により算定する。

t 年次に便益を発生させる確率

$$P(t) = (1 - 1/X)^{t-1} \times (1/X)$$

(手法 2-②の発生確率)

地震の長期評価確率は、地震の平均活動間隔や前回活動時期からの経過時間を考慮して、今後その地震が発生する確率を評価するものである。

本事業における供用開始年以降の地震発生確率は、地震調査委員会における長期的な地震発生確率の評価手法（下式）に従い、長期評価確率を計算し、便益を算定する。

$$P(T, \Delta T) = 1 - \varphi(T + \Delta T) / \varphi(T)$$

$$\varphi(T) = 1 - \left[\Phi(u_1(T)) + \exp(2/\alpha^2) \Phi(-u_2(T)) \right]$$

$$u_1(T) = \alpha^{-1} \left[T^{1/2} \mu^{-1/2} - T^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

$$u_2(T) = \alpha^{-1} \left[T^{1/2} \mu^{-1/2} + T^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

ここで、

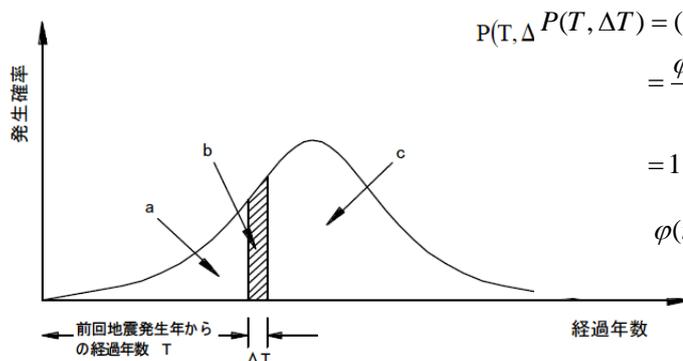
$P(T, \Delta T)$ ：最新の地震発生から地震が発生せずに T 年経過した時点で、その後の ΔT 年間に地震が発生する確率

$\varphi(T)$ ：信頼度関数（次の地震が前回発生年から T 年以降に地震が発生する確率）

α ：活動間隔のばらつき

μ ：平均活動間隔（年）

T ：経過時間（年）



$$P(T, \Delta T) = (b \text{ の面積}) \div (b \text{ の面積} + c \text{ の面積})$$

$$= \frac{\varphi(T) - \varphi(T + \Delta T)}{\varphi(T)}$$

$$= 1 - \frac{\varphi(T + \Delta T)}{\varphi(T)}$$

$\varphi(t)$: 最終発生年から t 年以降に地震が発生する確率

図 19 長期評価確率の考え方

(4) モデル地区での便益算定手法の検証

提案する手法の妥当性を検証するため、漁港の地震・津波対策が検討される地区において、津波シミュレーションを実施した上で、同手法の妥当性の検証を行った。

1) 検討条件の設定

対象とする地区は、東南会・南海地震の防災対策推進地域に位置する徳島県M漁港における検討条件により検討を行うこととした。

以下に設定した検討条件を示す。

①対象津波の設定

■発生頻度の高い津波：東南海・南海連動地震(中防, 2003)

津波高：TP+4.1m(水深9.2m)、片周期10分(第2波目最大)

グリーンの法則より、施設前面津波高=5.4m

■最大クラスの津波：南海トラフ巨大地震M9.1(中防, 2012)

津波水位：TP+7.1m(水深9.2m)、片周期25分

グリーンの法則より、施設前面津波高=9.4m

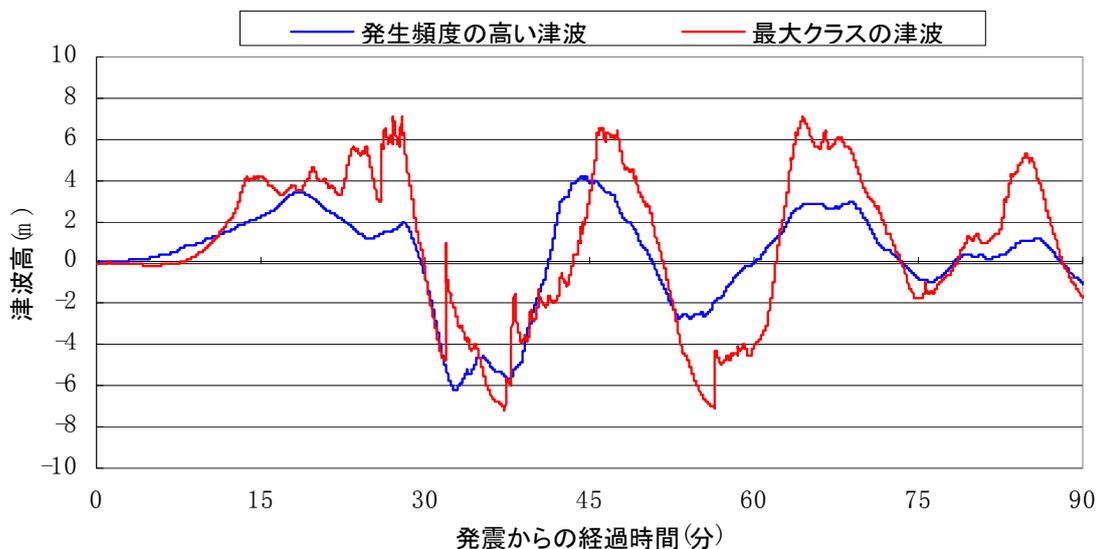


図 20 対象津波の時系列波形

②漁港諸元

平均天端高 : T.P. +5.3m
平均水深 : T.P. -3.0m
港口幅 : 160m
港口平均水深 : T.P. -4.0m
全流入幅 : 700m
水域面積 : $2.2 \times 10^5 \text{m}^2$

2) 可能性の検討

提案する手法により、津波低減効果の可能性検討を実施した。検討の結果、各手法において、「効果有り」との結果となった。検討結果を以下に示す。

【手法 1：背後水域と開口部断面積比】

$A/Bh = 2.2 \times 105 / (160 \times 4) = 213 > 200 \Rightarrow$ 効果有

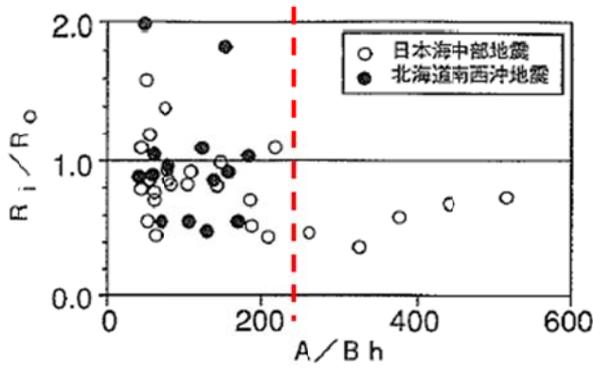
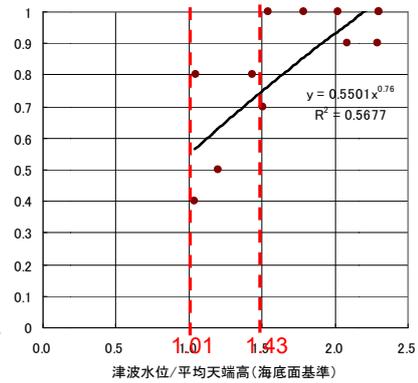


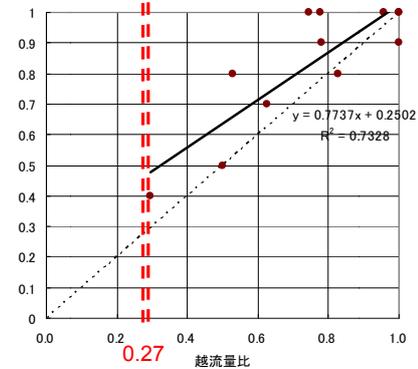
図-4 A/Bh と R_i/R_o の関係



【手法 2：津波水位と平均天端高比による指標】

L1 津波水位/平均天端高=1.01 \Rightarrow 効果有

L2 津波水位/平均天端高=1.43 \Rightarrow 効果有



【手法 3：越流量比による指標】

L1 簡易越流量比=0.23 \Rightarrow 効果有

L2 簡易越流量比=0.27 \Rightarrow 効果有

* 過大に出る傾向があることに留意する

3) 目標の設定

モデル地区においては、以下のとおり目標を設定した。

○ L1 対応の防潮堤が未整備の場合

【堤内・外地】 全域における 2 m 以下の浸水深を 80% 程度を目指す

【堤外地】 重要施設位置において浸水深 2m 以下を目指す

○ L1 対応の防潮堤が整備済の場合

【堤外地】 浸水深 2m 以下の面積を 50% まで低減を目指す

重要施設位置において浸水深 2m 以下を目指す

4) 対策内容の設定

津波対策としては、東防波堤及び西防波堤ともに、L1 津波で破堤しないことを条件として設定する。また、当該施設は津波による越流が発生することから、粘り強い構造としての対策を実施することとした。

【検討内容】

- ・ 防波堤堤内側の被覆盛土
- ・ 高さ：3.08m (堤体高の 1/3 を想定)
- ・ 堤体幅：2 個並びと仮定
- ・ ブロック重量：20t*と仮定

【対策費】



対策費は、以下の断面を想定し算定した。

○断面当たりの対策コスト

西防波堤 (A-8) : 800 千円/m

○対策コスト (概算)

- ・西防波堤 : 160,000 千円 (延長 L=200m)
- ・東防波堤 : 233,600 千円 (延長 L=292m)

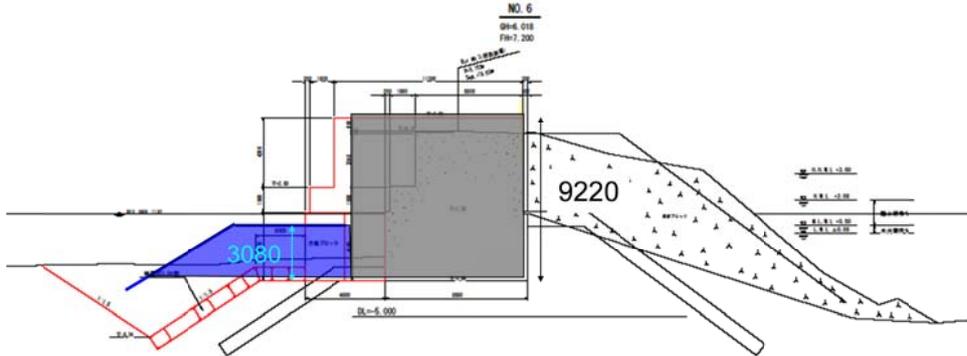


図 21 粘り強い構造への改良図

【粘り強い対策の耐津波力算出】

被覆盛土を受動土圧として考慮すると耐津波力は津波水位 TP+9m 程度となる。

(L1 津波だと TP+6.5m 程度) と概算

- ・阿部式：想定地震 M は 8.6 と推定→GR 則より発生確率は 158 年に 1 回
- ・数値計算：想定地震 M は 8.52 と推定→GR 則より発生確率は 132 年に 1 回

5) 対策による効果の算定

①津波シミュレーション

【検討ケース】

検討は、漁港背後の防潮堤対策の有無により、シナリオ①とシナリオ②の 2 ケースについて実施した。検討の際の構造物条件を以下に示す。

表 11 対象津波別の構造条件

	津波	対策:防波堤(TP+6.15m)	防潮堤・河川堤防	備考		
シナリオ①	発生頻度の高い津波	現況	現況 (東) TP+5.15m (西) TP+4.35m	越流後破堤	越流後破堤	
		粘り強い対策後			無破堤	case1
	Ln	現況			越流後破堤	case1(*1.5)
		粘り強い対策後			無破堤	case2(*1.5)
	最大クラスの津波	現況			越流後破堤	case3
		粘り強い対策後			耐津波高越破堤	case5
シナリオ②	津波	対策:西防波堤&東防波堤	防潮堤・河川堤防	備考		
	発生頻度の高い津波	現況	L1対応 TP+5.9m	越流後破堤	越流後破堤	
		粘り強い対策後			無破堤	case6
	Ln	現況			越流後破堤	case6(*1.5)
		粘り強い対策後			無破堤	case7(*1.5)
	最大クラスの津波	現況			越流後破堤	case8
		粘り強い対策後			耐津波高越破堤	case10

【検討結果】

検討は、漁港背後の防潮堤対策の有無により、シナリオ①とシナリオ②の2ケースについて実施した。検討の際の構造物条件を以下に示す。

■ 浸水深 (L1)

・ シナリオ① (防潮堤対策無)

- 対策によって、陸域の浸水深が 1 ~ 2 m 程度減少
- 全体では 94ha が 79ha へ浸水範囲が減少
- 1 m 以上の範囲が減少し、1 m 以下の範囲は増加
- 市場での平均浸水深が 3.3m → 2.4m まで低減
- 浸水深ランクで 2 m 以下が 70% が 78% へ向上

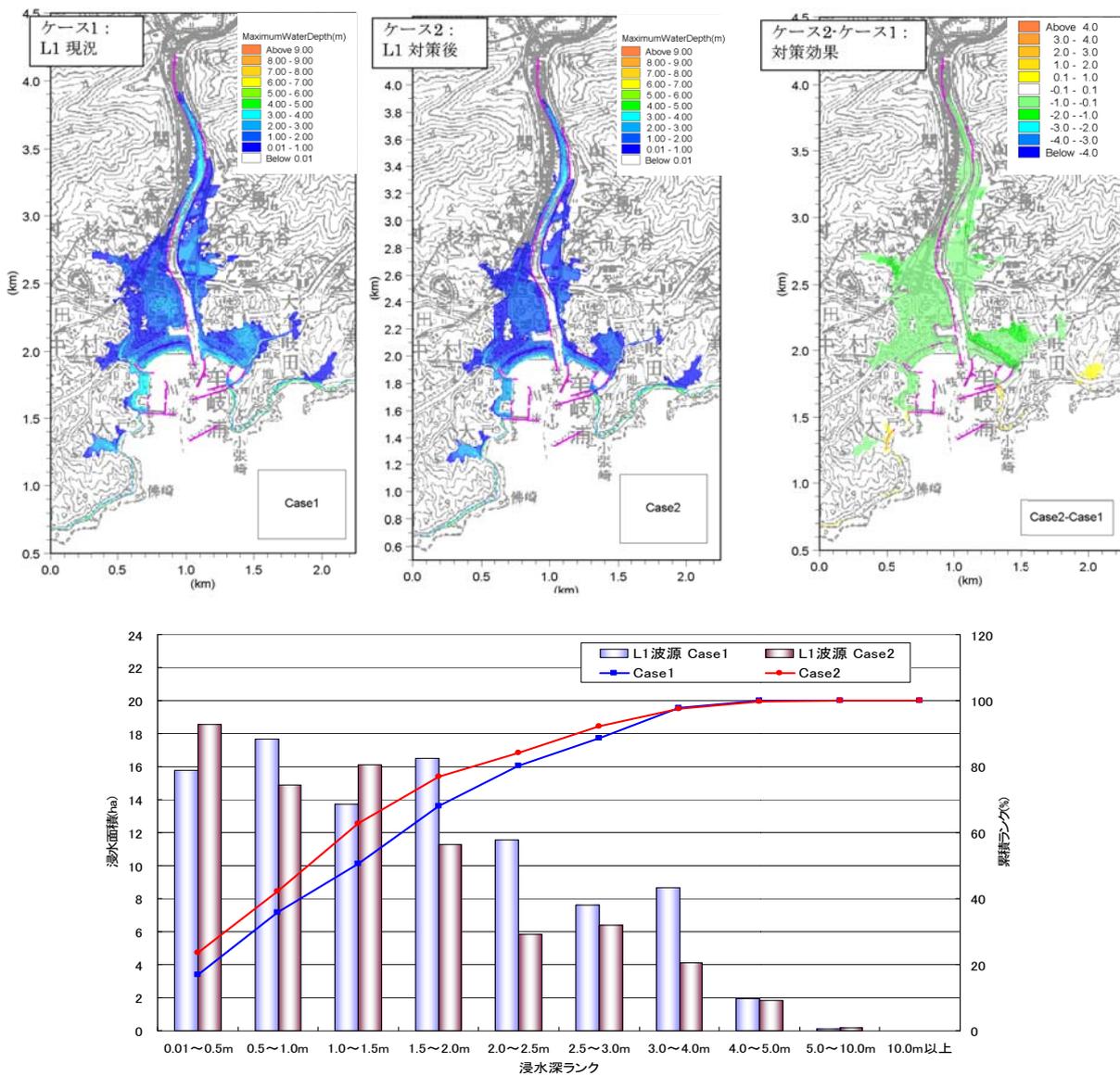


図 22 (上) 浸水域図 (下) 浸水深別の浸水面積 【L1 津波：シナリオ①】

・シナリオ②（防潮堤対策有）

- 対策によって、陸域の浸水深が1～2m程度減少
- 全体では浸水範囲24haはほぼ変化なし
 - 4m以上の範囲が減少し、3m以下の範囲は増加
- 市場での平均浸水深が4.6m→3.0mまで低減
- 浸水深ランクで2m以下が40%が51%へ向上

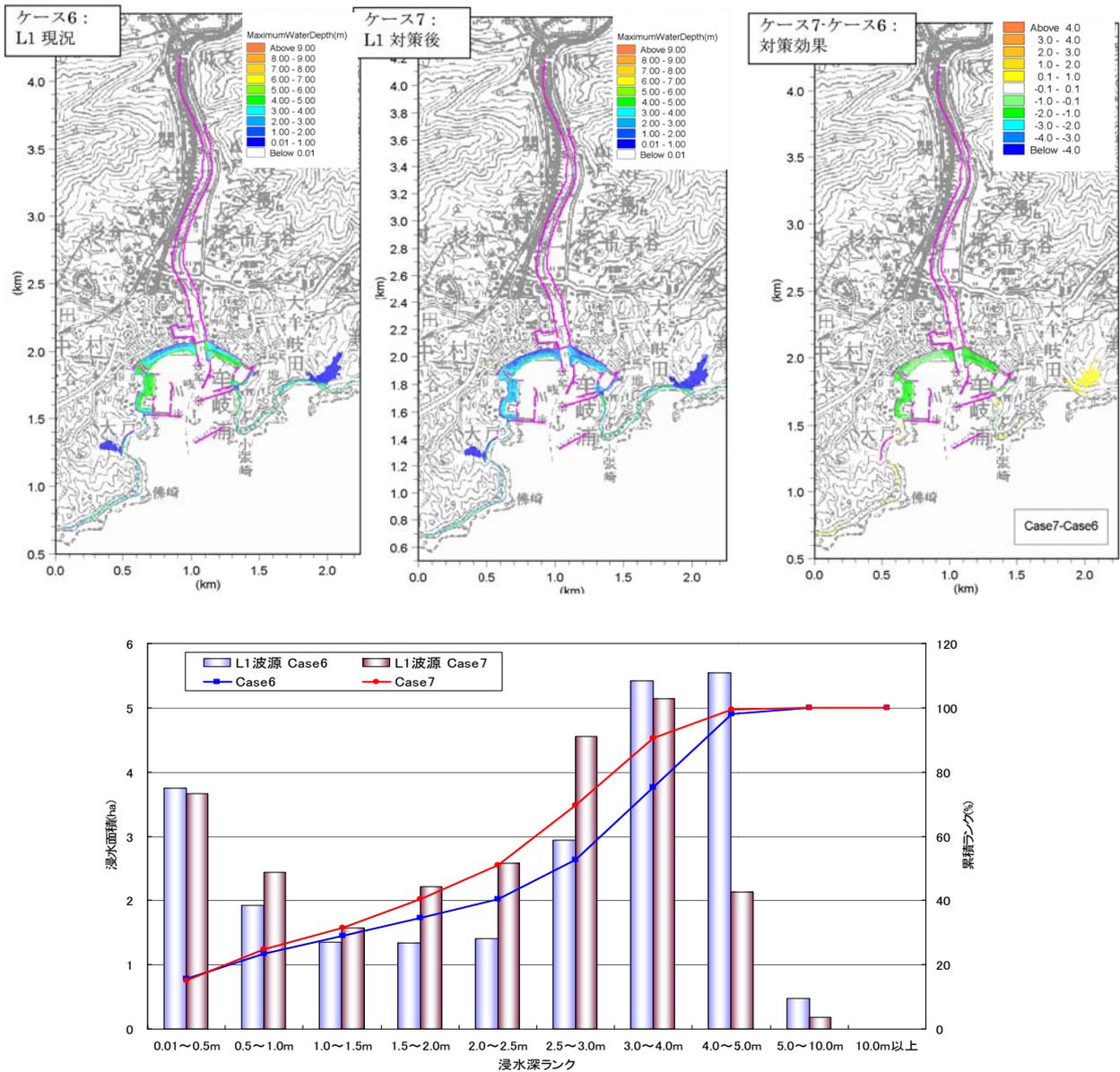


図 23 (上) 浸水域図 (下) 浸水深別の浸水面積 【L1 津波：シナリオ②】

■ 浸水深 (Ln)

・シナリオ① (防潮堤対策無)

- 対策によって、陸域の浸水深が 1 ~ 3m 程度減少。
- 全体では、約 19ha 浸水範囲が減少。

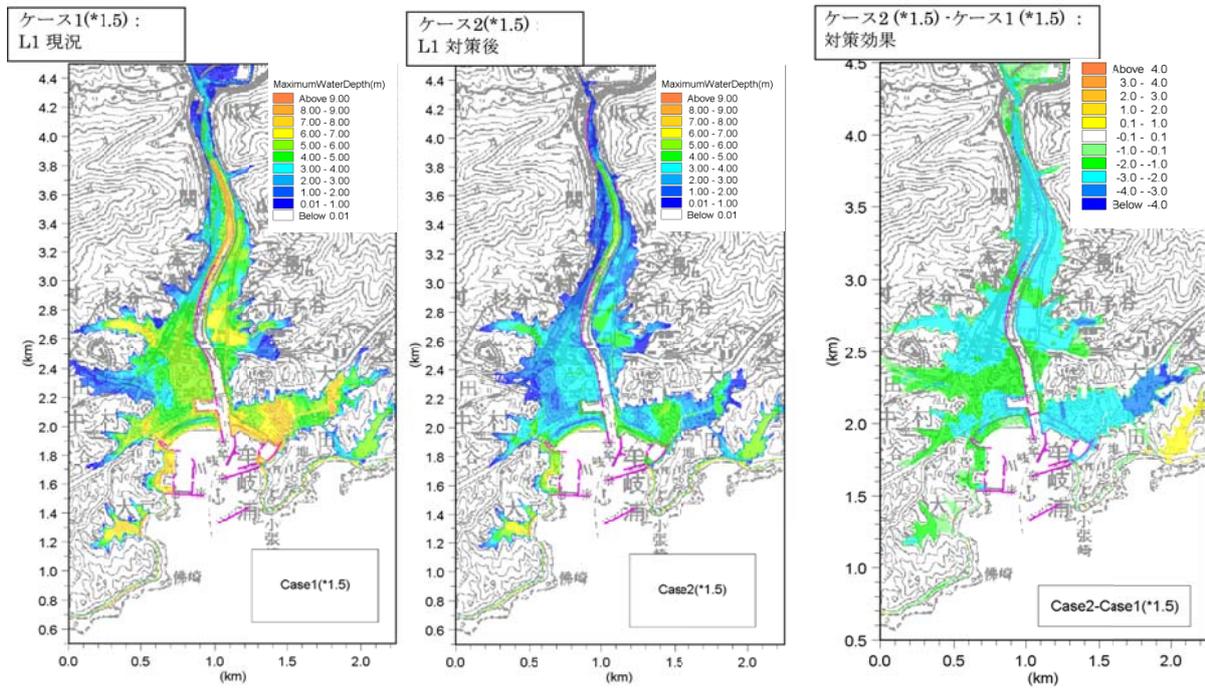


図 24 浸水域図 【Ln 津波：シナリオ①】

・シナリオ② (防潮堤対策有)

- 対策によって、陸域の浸水深が 1 ~ 3m 程度減少。
- 防潮堤対策無の場合と似たような分布を示す。

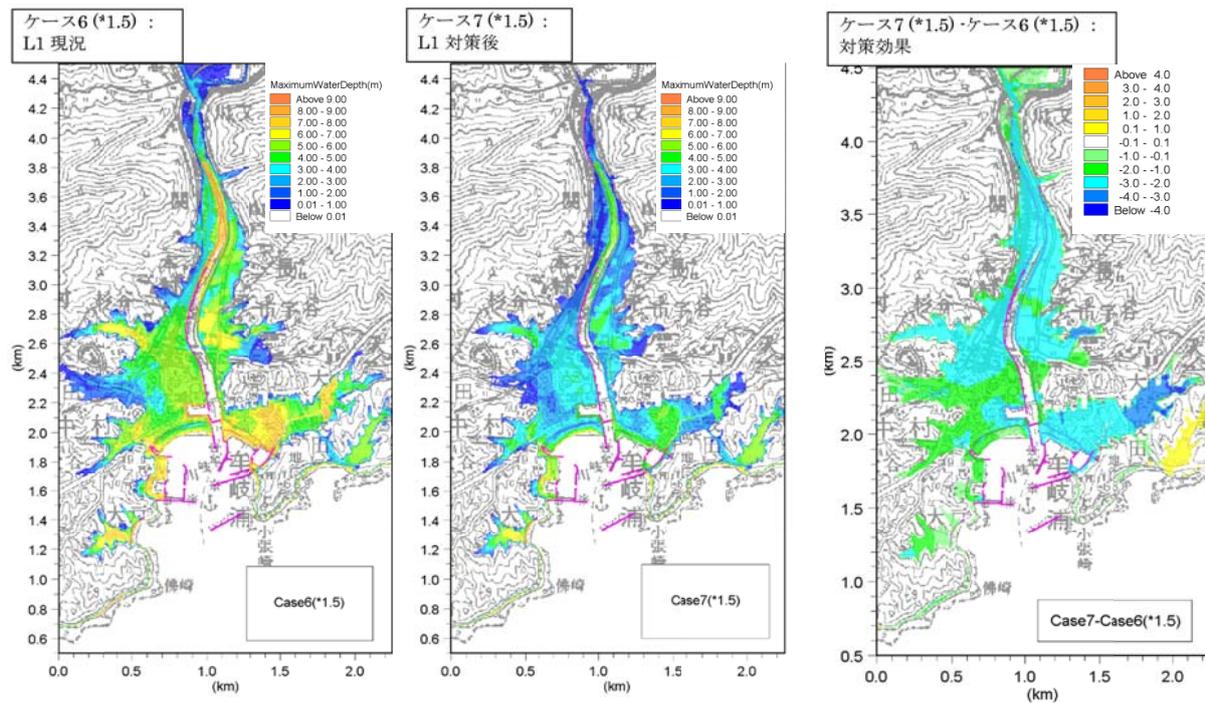


図 25 : 浸水域図 【Ln 津波：シナリオ②】

■ 浸水深 (L2)

・シナリオ① (防潮堤対策無)

- 対策によって、陸域の浸水深が陸域の浸水深が広範囲において 1 m 程度減少
- 全体では浸水範囲 168ha
- 148ha へ縮小 浸水深ランク別では 5m 以上で減少傾向

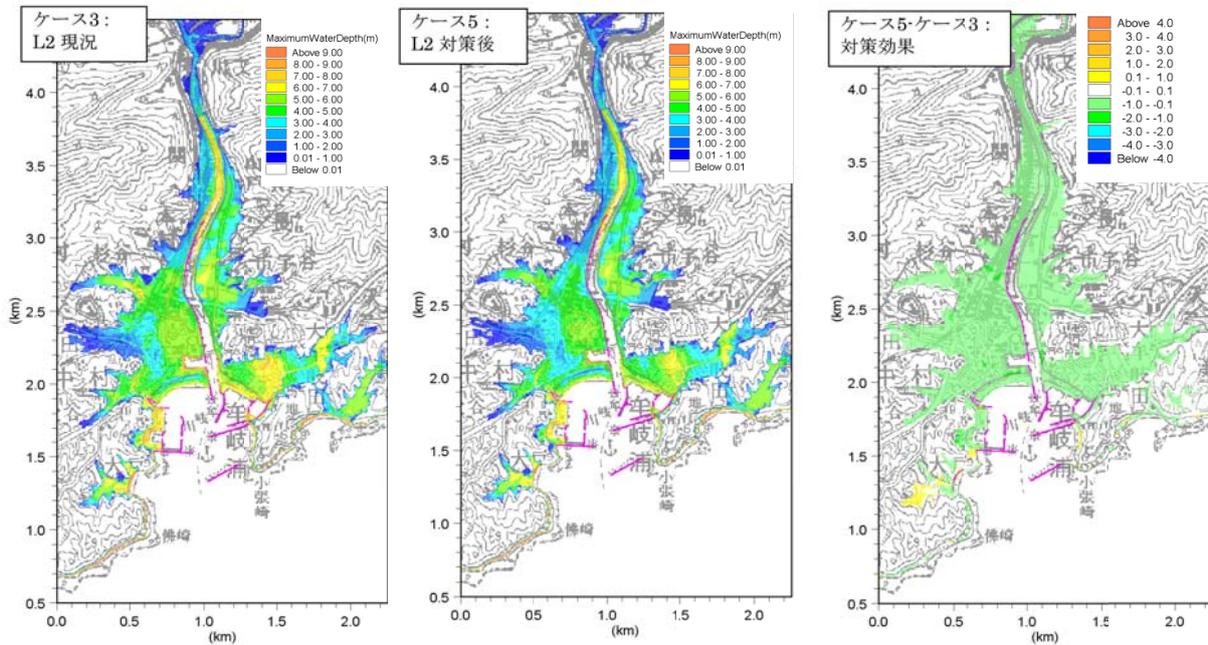


図 26 浸水域図 【L2 津波：シナリオ①】

・シナリオ② (防潮堤対策有)

- 対策によって、陸域の浸水深が 1m 程度軽減
- 全体では浸水範囲 168ha → 161ha へ縮小
- 浸水深ランク別では 4m 以上で減少

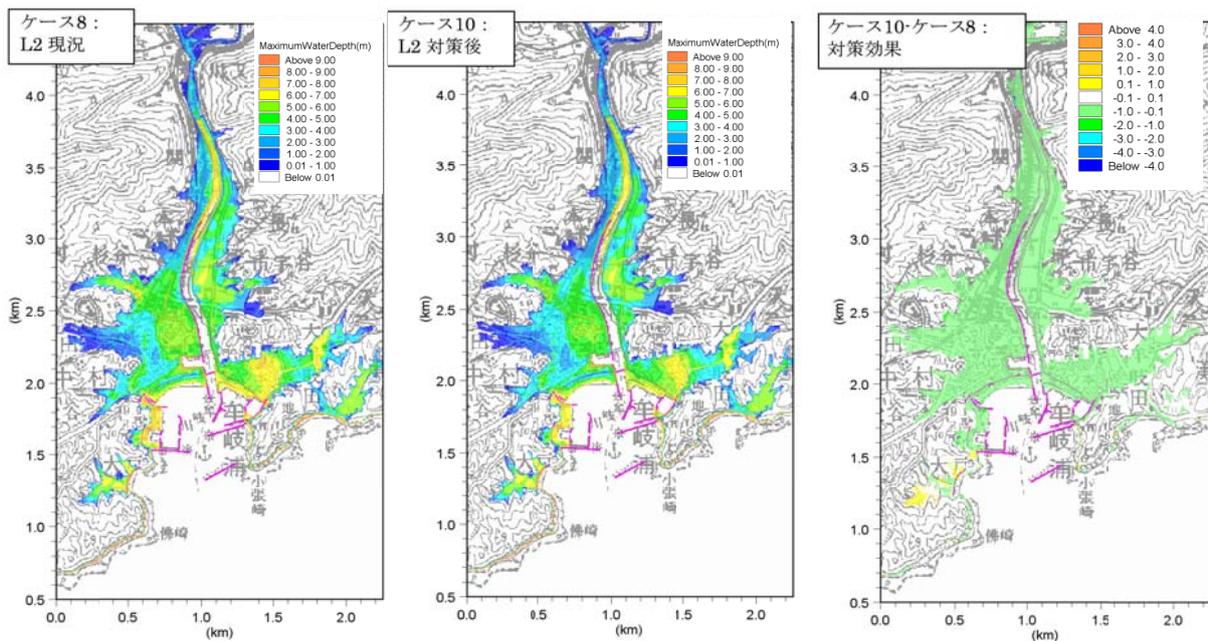


図 27 浸水域図 【L2 津波：シナリオ②】

②被害額の算定

効果を便益として算定するため、各項目について被害額を積み重ね、各ケースの被害額合計を算定する。

【シナリオ①の算定結果】

表 12 被害額算定結果【シナリオ①】

被害項目	総資産額 [百万円]	L1対応防潮堤													
		L1-現況		L1-粘り強い		LN-現況		LN-粘り強い		L2-現況		L2-粘り強い			
		金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]		
1.一般資産	(1)家屋	31,820	1,708	10.7	1,652	17.2	20,863	14.0	16,683	13.9	20,371	14.1	19,744	14.2	
	その他一般資産	36,300	433	2.7	425	4.4	24,874	16.7	21,875	18.2	24,359	16.9	23,823	17.2	
	一般資産被害額	68,121	2,142	13.4	2,077	21.6	45,737	30.7	38,557	32.1	44,730	31.0	43,567	31.4	
	2.農地資産	農地資産被害額	2,671	49	0.3	53	0.6	658	0.4	502	0.4	620	0.4	578	0.4
	3.公共土木施設・公益事業等	(1)公共土木施設等被害額	124,661	3,919	24.5	3,801	39.6	83,698	56.2	70,560	58.8	81,855	56.7	79,728	57.5
4.人的被害	(1)人的被害	死亡者数[人]	4,062	0	-	0	-	10	-	7	-	3	-	3	-
	被害額[百万円]	945,742	0	0.0	0	0.0	2,328	1.6	1,630	1.4	698	0.5	698	0.5	
5.営業停止損失	(1)営業停止損失	14,349	276	1.7	276	2.9	1,340	0.9	1,011	0.8	1,333	0.9	1,289	0.9	
堤内地被害額(a)		1,141,194	6,387	40.0	6,207	64.6	133,761	89.9	112,260	93.6	129,237	89.6	125,859	90.7	
()内は人的被害を除いた額		(195,452)	(6,387)	40.0	(6,207)	64.6	(131,433)	89.7	(110,630)	93.5	(128,538)	89.5	(125,161)	90.7	
6.海岸保全施設(b)		348	286	1.8	107	1.1	2,041	1.4	2,041	1.7	2,041	1.4	2,041	1.5	
7.漁港資産被害	漁業関連施設・漁船・養殖筏等・その他漁具等被害	5,893	3,917	24.5	3,228	33.6	5,794	3.9	5,460	4.6	5,774	4.0	5,720	4.1	
	8.人的被害	(1)人的被害	人数[人]	255	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	
		被害額[百万円]	59,371	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	
	9.漁港施設	漁港施設被害額	6,955	5,285	33.1	0	0.0	6,955	4.7	0	0.0	6,955	4.8	4,873	3.5
	13.漁業生産	(1)漁業生産被害	337	102	0.6	63	0.7	246	0.2	193	0.2	241	0.2	232	0.2
(2)その他産業への波及額		59	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
堤外地被害額(c)		72,219	9,304	58.2	3,291	34.3	12,995	8.7	5,652	4.7	12,970	9.0	10,826	7.8	
()内は人的被害を除いた額		(12,848)	(9,304)	58.2	(3,291)	34.3	(12,995)	8.9	(5,652)	4.8	(12,970)	9.0	(10,826)	7.8	
総被害額 (a+b+c)		1,213,762	15,977	-	9,605	-	148,797	-	119,953	-	144,247	-	138,726	-	
()内は人的被害を除いた額		(208,649)	(15,977)	-	(9,605)	-	(146,469)	-	(118,323)	-	(143,549)	-	(138,028)	-	

*総資産額欄の内、「営業停止損失」は堤内地での産業、「漁業生産」は堤外地での漁業生産、「その他産業への波及額」は、漁業生産に関連する産業の、1年当たり粗付加価値額
*総資産額欄の内、「堤内地被害額」は「営業停止損失」を、「堤外地被害額」は「漁業生産」と「その他産業への波及額」を除いた金額
*総資産額欄の内、「農地資産被害額」は、「海水冠水による農地被害額」を除いた金額

【シナリオ②の算定結果】

表 13 被害額算定結果【シナリオ②】

被害項目	総資産額 [百万円]	L1対応防潮堤													
		L1-現況		L1-粘り強い		LN-現況		LN-粘り強い		L2-現況		L2-粘り強い			
		金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]	金額 [百万円]	割合[%]		
1.一般資産	(1)家屋	31,820	1,708	10.7	1,652	17.2	20,863	14.0	16,683	13.9	20,371	14.1	19,744	14.2	
	その他一般資産	36,300	433	2.7	425	4.4	24,874	16.7	21,875	18.2	24,359	16.9	23,823	17.2	
	一般資産被害額	68,121	2,142	13.4	2,077	21.6	45,737	30.7	38,557	32.1	44,730	31.0	43,567	31.4	
	2.農地資産	農地資産被害額	2,671	49	0.3	53	0.6	658	0.4	502	0.4	620	0.4	578	0.4
	3.公共土木施設・公益事業等	(1)公共土木施設等被害額	124,661	3,919	24.5	3,801	39.6	83,698	56.2	70,560	58.8	81,855	56.7	79,728	57.5
4.人的被害	(1)人的被害	死亡者数[人]	4,062	0	-	0	-	10	-	7	-	3	-	3	-
	被害額[百万円]	945,742	0	0.0	0	0.0	2,328	1.6	1,630	1.4	698	0.5	698	0.5	
5.営業停止損失	(1)営業停止損失	14,349	276	1.7	276	2.9	1,340	0.9	1,011	0.8	1,333	0.9	1,289	0.9	
堤内地被害額(a)		1,141,194	6,387	40.0	6,207	64.6	133,761	89.9	112,260	93.6	129,237	89.6	125,859	90.7	
()内は人的被害を除いた額		(195,452)	(6,387)	40.0	(6,207)	64.6	(131,433)	89.7	(110,630)	93.5	(128,538)	89.5	(125,161)	90.7	
6.海岸保全施設(b)		348	286	1.8	107	1.1	2,041	1.4	2,041	1.7	2,041	1.4	2,041	1.5	
7.漁港資産被害	漁業関連施設・漁船・養殖筏等・その他漁具等被害	5,893	3,917	24.5	3,228	33.6	5,794	3.9	5,460	4.6	5,774	4.0	5,720	4.1	
	8.人的被害	(1)人的被害	人数[人]	255	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	
		被害額[百万円]	59,371	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	
	9.漁港施設	漁港施設被害額	6,955	5,285	33.1	0	0.0	6,955	4.7	0	0.0	6,955	4.8	4,873	3.5
	13.漁業生産	(1)漁業生産被害	337	102	0.6	63	0.7	246	0.2	193	0.2	241	0.2	232	0.2
(2)その他産業への波及額		59	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
堤外地被害額(c)		72,219	9,304	58.2	3,291	34.3	12,995	8.7	5,652	4.7	12,970	9.0	10,826	7.8	
()内は人的被害を除いた額		(12,848)	(9,304)	58.2	(3,291)	34.3	(12,995)	8.9	(5,652)	4.8	(12,970)	9.0	(10,826)	7.8	
総被害額 (a+b+c)		1,213,762	15,977	-	9,605	-	148,797	-	119,953	-	144,247	-	138,726	-	
()内は人的被害を除いた額		(208,649)	(15,977)	-	(9,605)	-	(146,469)	-	(118,323)	-	(143,549)	-	(138,028)	-	

*総資産額欄の内、「営業停止損失」は堤内地での産業、「漁業生産」は堤外地での漁業生産、「その他産業への波及額」は、漁業生産に関連する産業の、1年当たり粗付加価値額
*総資産額欄の内、「堤内地被害額」は「営業停止損失」を、「堤外地被害額」は「漁業生産」と「その他産業への波及額」を除いた金額
*総資産額欄の内、「農地資産被害額」は、「海水冠水による農地被害額」を除いた金額

6) 費用対効果分析の実施

ここまでの検討結果を踏まえ、費用対効果分析を実施した。

①被害軽減額の算定

費用対効果分析を実施するにあたり、各検討ケースにおける被害額より、対象とする津波の発生確率を考慮した被害軽減額を算定した。

表 14 被害軽減額算定表

【Lnを考慮】

比較対象	地震(津波)規模	整備段階	被害額 (百万円)	被害 軽減額 (百万円)	超過確率	区間確率	Ln~Ln+1の平均 被害軽減額 (百万円)	確率×平均被害 軽減額 (百万円)	年平均被害 軽減額 (百万円)	案1との 比率
粘り強い外郭施設整備 シナリオ①	L1以下(L0) (被害発生レベル)			0	1/17	0.049	11,450	559	681	0.92
		L1	整備前 66,785	22,899	1/100					
	L1	整備後	43,886			0.004	27,207	100		
		LN	整備前 150,728	31,516	1/158					
	L2	整備後	119,212			0.004	5,078	22		
		整備前	145,650	5,078	1/501					
	L2	整備後	140,571							
		L1以下(L0) (被害発生レベル)			0	1/17	0.049	3,186		
L1対応防潮堤整備後の 粘り強い外郭施設整備 シナリオ②	L1以下(L0) (被害発生レベル)			0	1/17	0.049	3,186	156	244	0.83
		L1	整備前 15,977	6,371	1/100					
	L1	整備後	9,605			0.004	17,608	65		
		LN	整備前 148,797	28,844	1/158					
	L2	整備後	119,953			0.004	5,521	24		
		整備前	144,247	5,521	1/501					
	L2	整備後	138,726							

【L1, L2のみを考慮】

比較対象	地震(津波)規模	整備段階	被害額 (百万円)	被害 軽減額 (百万円)	超過確率	区間確率	Ln~Ln+1の平均 被害軽減額 (百万円)	確率×平均被害 軽減額 (百万円)	年平均被害 軽減額 (百万円)	案1との 比率
粘り強い外郭施設整備 シナリオ①	L1以下(L0) (被害発生レベル)			0	1/17	0.049	11,450	559	600	0.89
		L1	整備前 66,785	22,899	1/100					
	L1	整備後	43,886			0.008	5,078	41		
		L2	整備前 145,650	5,078	1/501					
	L2	整備後	140,571							
		L1以下(L0) (被害発生レベル)			0	1/17	0.049	3,186		
L1対応防潮堤整備後の 粘り強い外郭施設整備 シナリオ②	L1以下(L0) (被害発生レベル)			0	1/17	0.049	3,186	156	200	0.98
		L1	整備前 15,977	6,371	1/100					
	L1	整備後	9,605			0.008	5,521	44		
		L2	整備前 144,247	5,521	1/501					
	L2	整備後	138,726							

②費用対効果分析結果

算定した施設整備費及び被害軽減額により費用対効果分析を実施した。

表 15 費用対効果分析結果

		総便益 (千円)	総費用 (千円)	B/C	
粘り強い外郭施設整備	LN考慮	12,503,221	364,465	34.31	1.14
	L1L2のみ	11,011,513	364,465	30.21	1.00
L1対応防潮堤整備後の 粘り強い外郭施設整備	LN考慮	4,482,395	364,465	12.30	1.22
	L1L2のみ	3,667,652	364,465	10.06	1.00

LNを考慮したことにより、比率としては1~2割、B/Cが大きくなった。

また、LNを考慮したことにより増加した便益額のみでB/Cを算定すると、以下の通りとなった。

- ・粘り強い外郭施設整備 : 4.09
- ・L1対応防潮堤整備+粘り強い外郭施設 : 2.24

(3) 「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」の改定案

ここまでの検討結果を踏まえ、現行「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」(水産庁漁港漁場整備部)の「2-8 生命・財産保全・防御効果」の改定案を提案する。破線枠内がガイドラインの記述で、赤字が今回の改定箇所を示す。

2-8 生命・財産保全・防御効果

1. 基本的な考え方

防波堤、護岸、土地の造成等が、台風、高潮、津波等に対して、①漁港の様々な機能施設、②漁港施設以外の社会資本、③背後住民の生命や財産を保全する効果が考えられる。

2. 便益の計測方法

(1) 防波堤、護岸、土地の造成等に伴う生命・財産の保全・防御効果

便益額の算定は、原則として海岸事業の費用便益算定法の考え方に基づくものとする。

$$\text{年間便益額 (B)} = \text{---} (\text{C1} + \text{C2} + \text{C3} + \text{C5}) \text{---} \times Y + \text{C4}$$

~~C1: 一般資産被害額 (円)~~

~~C2: 公共土木施設被害額 (円)~~

~~C3: 公共事業被害額 (円)~~

~~C4: 再生産不可能有形資産額(土地の侵食=1ha 当たり単価×年間侵食面積)(円)~~

~~C5: 一般の営業停止損失額 (円)~~

~~Y: 高潮や津波等の被災確率 (%)~~

$$\text{年間便益額 (B)} = \text{対象とする高潮等に対する発生確率を考慮した被害軽減額の総和} \\ = \Sigma ((d1 - d2) \times Y) + (d3 - d4)$$

d1: 対象とする高潮等に対する、発生確率を考慮した without 時 (現況) の被害額 (円)

d2: 対象とする高潮等に対する、発生確率を考慮した with 時 (対策後) の被害額 (円)

d3: without 時 (現況) の再生産不可能有形資産額(土地の侵食=1ha 当たり単価×年間侵食面積) (円)

d4: with 時 (対策後) の再生産不可能有形資産額 (円)

Y: 高潮等の被災確率 (%)

ここで、被害額 d1、d2 は、以下の式によりそれぞれの被害額を算定する。

$$\text{被害額 (d)} = \text{一般資産被害額 (円)} + \text{公共土木施設被害額 (円)} \\ + \text{公共事業被害額 (円)} + \text{一般の営業停止損失額 (円)}$$

(2) 耐震強化岸壁の整備に伴う生命・財産の保全・防御効果

耐震強化岸壁の整備により、災害時における漁業生産活動の停止期間の短縮、被災による生産コスト増大分の抑制等、機会損失の軽減効果が期待される。

(3) 外郭施設の整備等に伴う漁港背後域の漁家の資産保全

外郭施設等が整備されることにより、飛沫、しぶき、強風等から漁港背後住民の資産（家屋や車等）を良好な状態で保全することができ、生活の不便性の解消が期待される。

$$\text{年間便益額 (B)} = (C1 - C2) \times N$$

C1：整備前の被害額（円／戸）

C2：整備後の被害額（円／戸）

N：受益戸数（戸）

(4) 津波に対する外郭施設等の整備に伴う生命・財産の保全・防御効果

防波堤や水門をはじめとする津波に対する外郭施設等が整備されることにより、津波来襲時における、漁港及び漁港背後の物的被害（荷捌き所、家屋、漁船等）、人的被害、漁業生産被害の軽減効果が期待される。

$$\text{年間便益額 (B)} = \text{対象とする津波に対する発生確率を考慮した被害軽減額の総和} \\ = \Sigma ((d1 - d2) \times Y)$$

d1：対象とする津波に対する、発生確率を考慮した without 時（現況）の被害額（円）

d2：対象とする津波に対する、発生確率を考慮した with 時（対策後）の被害額（円）

Y：対象とする津波の発生確率

ここで、被害の軽減効果は、数値シミュレーション等により、津波低減効果（津波高の低減、浸水深の低減、浸水範囲の縮減、津波到達時間の短縮等）を算定し計測する。また、複数の津波に対して被害が軽減されることを想定する場合には、複数の津波による軽減額の総和を便益額とする。

被害軽減額の算定にあたっては、物的被害については「Ⅲ 2 2-8 2 (1) 防波堤、護岸、土地の造成等に伴う生命・財産の保全・防御効果」、人的被害については「Ⅳ 2 2-9 2 (1) 災害時の避難経路及び避難場所の確保効果」、漁業生産被害（関連する産業への被害を含む）については、「Ⅲ 2 2-8 2 (2) 耐震強化岸壁の整備に伴う生命・財産の保全・防御効果」を参考とする。

【修正理由】

①今回、「(4) 津波に対する外郭施設等の整備に伴う生命・財産の保全・防御効果」を追加したため、上記項目での「津波」の記述を削除する。

②上記便益算定式においては、事業を実施しない場合（without ケース）に想定される被害が軽減されることから防護される資産額の総和をもって便益とする代替法を採用しているため被害額そのものを便益とする記述としている。

ここで他の項目では被害の軽減額を便益とする記述としているため、整合を図るため算定式を、without 時と with 時の差分とする式とし、加えて複数の高潮等の便益の総和とすること明記した式に修正する。

【参考資料】焼津漁港における各種津波対策案イメージと浸水エリア

■対策イメージと最大浸水深（L2）

- ・ 港口水門(case2) > 防波堤新設(case3) の順で効果が確認できる
- ・ 浸水面積は、津波対策によって7割程度軽減される。

Case5(現況)

(L2_現況施設_外郭施設_倒壊_海岸保全_2m倒壊)

Case9(港口水門)

(L2_現況施設+港口水門 L2 対応_外郭施設_維持_海岸保全_2m倒壊)

Case11(外郭施設延伸)

(L2_現況施設_外郭施設_壁立て+堤防新設、延伸①_海岸保全_2m倒壊)

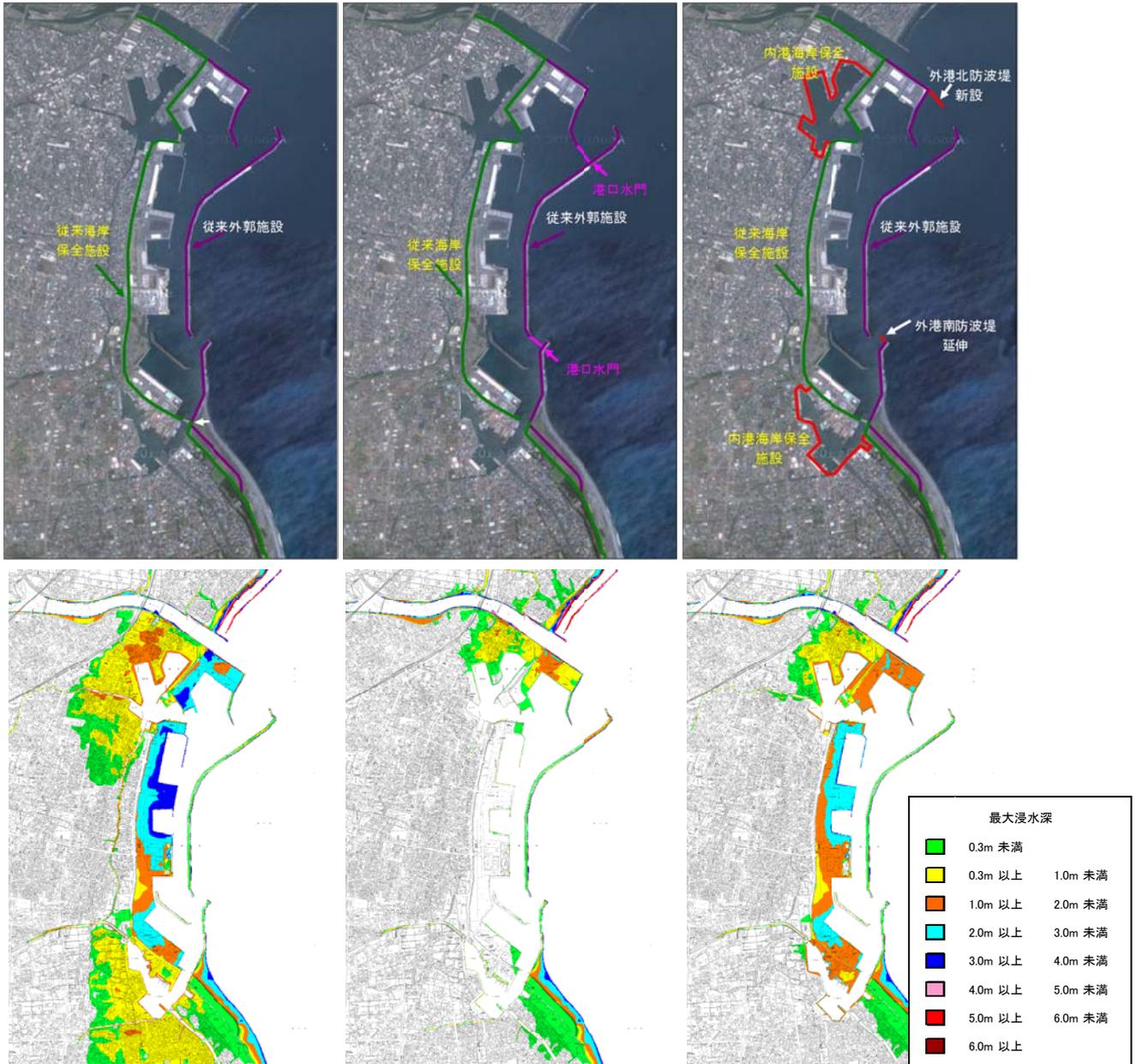


図 28 対策内容と津波浸水エリア

<今後の検討課題>

焼津地区（漁港区域及びその背後市街地）の防災・減災対策を効率的かつ効果的に推進するため、学識経験者、国（水産庁）、静岡県、焼津市及び地元関係者からなる検討の場を設置し、港口部の水門の整備や防波堤の延伸等の各対策による津波低減効果を踏まえ、地元の意向、経済性、維持管理等を総合的に評価し、最適な津波対策について検討を行う予定。

VII 考察

(1) 水産環境の一体的整備による効果の算定手法検討

■平成 22 年度より海洋・沿岸域における生態系全体の生産力の底上げを目指し、水産生物の動態及び生活史に対応した良好な生息環境空間を創出する「水産環境整備マスタープラン」を推進しているところであり、これにより、従来の点的な整備に比べて成長の促進、生残率の向上、資源量の増大等の効果が期待される。

■従来は、魚礁では漁獲量をベースに貨幣化する方式を、増殖場では、一つの手法として、選好性餌料動物量から増殖場収容可能幼稚魚尾数を算出し、生残解析を行って期待漁獲量を算出して貨幣化する方式に加え、環境基盤を重視し創造された価値を適切に評価するため、魚礁においては「年間蛸集量」を、増殖場では、「選好性餌料動物以外の未利用の動物」等についても評価対象とした考え方を検討した。今後、これらの効果を便益に組み込む場合を想定し、事業主体に意見照会等を行い、引き続き導入に向けた検討を行うこととする。

■一体的整備による創造した環境基盤間、天然漁場間の相乗的な効果については、現地調査による効果の定量的な把握を行い、上記と同様に導入にむけて、引き続き検討を行う。

(2) 漁港の地震・津波対策による効果の便益算定手法の検討

■漁港の防波堤や防潮堤等を耐津波対応とすることによる、津波被害の軽減を「物的被害」「人的被害」「漁業生産被害」に分類し定量的に評価する手法を提案した。

■より実態に即した被害低減効果を評価するため、複数の津波を対象とした場合の評価手法について提案した。

■以上の結果を用いることで、防波堤や防潮堤等の津波低減対策を実施した際の、費用対効果分析が可能となり、水産基盤整備事業の事業評価に活用されることが期待される。

VIII 摘要

(1) 水産環境の一体的整備による効果の算定手法検討

- 今回、費用対効果分析ガイドラインの検討項目として①漁船の耐用年数、②水産環境、③防災（漁港の地震・津波対策）の3点で検討を行った。このうち、水産環境に関しては、今年度の検討では、考え方の方向性について議論が行われたが、ガイドラインのとりまとめに際しての結論が出ていない。
- 今後も引き続き、水産環境整備の便益算定の考え方について、諸元データの取得方法等も含め、より実効的な算定手法として確立することが必要である。
- 具体的には、漁獲により海から取り上げないものを便益として計上する際の合理的な説明や、便益を出す際の精度について、また、未利用資源の存在価値を貨幣化する方法として、餌料価格を用いること等に関する妥当性について説明を行う必要がある。

(2) 漁港の地震・津波対策による効果の便益算定手法の検討

- 今回、確立した多重防護における考え方の導入・普及を図り、南海トラフ地震津波による被害が想定される地域等で、防災減災対策を推進する必要がある。
- 漁業生産被害を算定するにあたっては、別途検討する事業継続計画（BCP）と連携した総合的な考え方（ハードとソフトの連携、行政と民間事業者との連携、津波レベルに応じた対応等）を確立する必要がある。

IX 引用文献

- 1) 農林水産省大臣官房統計部、平成 23 年度漁業経営調査報告
- 2) 国土交通省、平成 25 年度公共工事設計労務単価
- 3) 馬奈木俊介・地球環境戦略研究所編、生物多様性の経済学-経済評価と制度分析-、昭和堂、257p.
- 4) 水産庁漁港漁場整備部・財団法人漁港漁場漁村技術研究所、平成 18 年度水産基盤整備調査委託事業「人工魚礁効果指標の検討調査（蛸集量把握のための調査）報告書
- 5) 国土交通省「治水経済マニュアル（案）」H17.4
- 6) 内閣府中央防災会議「南海トラフ巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要（2012年）」2012
- 7) 国土交通省「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」H16.2
- 8) 内閣府「交通事故の被害・損失の経済分析に関する調査研究報告書」H24.3