

# 漁村の総合的振興方策の実現に向けた課題の解決とその適正な評価に関する手法 開発調査（漁業集落排水施設に係る環境配慮型の計画策定手法）

担当機関及び担当者：(財) 漁港漁場漁村技術研究所  
第2 調査研究部 山本竜太郎、大賀之総

調査実施年度 平成 19 年度から 21 年度

## 1. まえがき

平成 20 年度末で漁業集落の汚水処理普及率は 51%に達したが、都市や農村に比べても依然、低い比率となっている。漁村リフレッシュ運動における啓蒙普及活動や実際の事業の推進過程（住民説明会等）では、集落住民は汚水処理の必要性を認識しつつも、処理施設の処理水に対する漁業影響を懸念する方々もある。

また、ノリ漁場の多い瀬戸内海や伊勢湾等では処理水が色落ちの原因ではないかと指摘するものもある。漁業集落における汚水処理普及率の向上を図るためにも、これらの影響を明らかにすると共に、環境配慮型の計画手法を検討し、漁業集落環境整備事業への一層の理解、向上を図るものとする。

また、他省庁においても「生態系にやさしい下水道の整備手法」（国交省）、「水生生物の保全に係る水質環境基準の設定について」（中央環境審議会水環境部会水生生物保全環境基準専門委員会）等環境に配慮した施策を推進していることから本調査は重要なものになると考えられる。

## 2. 調査方法

(1)処理水中の残留塩素による水産生物への影響度に関する既存文献等の収集整理を継続し、水産生物の種類や成長過程での残留塩素濃度の影響度について、データ数の拡張を図る。

(2)水産生物への残留塩素に関する影響を検討するための目標濃度を最終検討する。

(3)保護対象とする処理施設放流先周辺の養殖施設、魚種等利用の実態を調査する。

(4)環境配慮型の計画手法を考慮した設計事例を紹介する。

CASE 1 希釈拡散方式（開水路薄層流方式）

CASE 2 希釈拡散方式（海底放流方式）

CASE 3 紫外線殺菌方式

(4)既存排水処理施設の処理水の放流施設を活用して、放流地点までの残留塩素濃度の減衰効果を調査する。

(5)以上から、環境配慮型の計画手法に関するフローを提案する。

## 3. 調査結果

### 3.1 塩素処理水による水生生物への影響に関する既往の研究

#### (1) 水産生物の保護を目的にした残留塩素濃度

塩素の水生生物に対する影響については膨大な試験例があるが、個々のデータを羅列することを避けて、ここでは保護水域の塩素濃度をどのように設定するかについての研究例を表

-1 に示す.

表-1 水生生物保護のための全残留塩素濃度

著者	水域	塩素処理形態	全残留塩素濃度	影響範囲及び生物
EPA (米国環境保護庁)	淡水	連続処理	0.01 mg/ℓ	暖水性水生生物の保護
			0.002 mg/ℓ	冷水性水生生物の保護
	海水	間欠処理	平均 0.2 mg/ℓ以下で (最大 0.5 mg/ℓ) 2 時/日以内	全水生生物の保護
Brungs	淡水	連続処理	0.01 mg/ℓ以下	サケ・マス類及び数種の重要な魚食性魚は保護しない. 影響を受けやすい魚種では特定の発育段階での致死の可能性がある
			0.002 mg/ℓ以下	ほとんどの水生生物を保護する
	淡水	間欠処理	0.2 mg/ℓ以下で 2 時/日以内	サケ・マス類は保護しない
			0.04 mg/ℓ以下で 2 時以内	ほとんどの魚種を保護する
Mattice And Zittel	淡水		0.015 mg/ℓ	水生生物の慢性毒性閾値
			両対数グラフ上で 0.015 mg/ℓ-7200 分と 1.0 mg/ℓ-1.1 分を結ぶ直線	水生生物の急性毒性閾値
	海水		0.02 mg/ℓ	水生生物の慢性毒性閾値
			両対数グラフ上で 0.02 mg/ℓ-120 分と 0.3 mg/ℓ-10 秒を結ぶ直線	水生生物の急性毒性閾値
Klapow And Lewis	海水		0.002 mg/ℓ	沿岸域の水質基準

排水処理などの連続排水域の水生生物を保護するための基準について米国 EPA が 1,976 年に公表した TRC (全残留塩素) の限度は淡水で暖水性種では 0.01 mg/ℓ、冷水性種には 0.002 mg/ℓであり、海水では 0.01 mg/ℓである。

さらに、成長や再生産などに及ぼす慢性毒性は急性致死濃度よりもかなりの低濃度で生じることが示唆されている。これより低い 0.002 mg/ℓ以下がほとんどの水生生物保護のための残留塩素濃度としている。

*Mattice And Zittel* (1976) の総説では淡水生物と海水生物についておのおの 109 件、68 件もの毒性試験例を集め、濃度と暴露時間を両対数グラフに記入して影響を与えない濃度・時間を求めている。その結果、急性毒性の閾値は淡水生物では 1.0 mg/ℓ-1.1 分と 0.0015 mg/ℓ-7,200 分、海水生物では 0.3 mg/ℓ-10 秒と 0.02 mg/ℓとしている。

Klapow And Lewis はカリフォルニア州沿岸の水質標準を求めるために 10 種類の物質の毒性試験値を集め、解析した。塩素については、24~96 時間の LC<sub>50</sub> データを集め、その百万位数の低い方から 10% に位置する濃度を急性毒性の内輪の見積りとする。これに AF (application estimate) を 0.1 として掛けたものを水質標準としている。その結果、海域での全残留塩素濃度 0.002 mg/l を水質標準として提案している。ここで集められた淡水での試験値も海水のものと同様濃度範囲にあり、この水質標準は淡水でも同様の値になるものと考えられる。

図-2~3 に淡水生物及び海水生物に対する塩素の影響を示す。

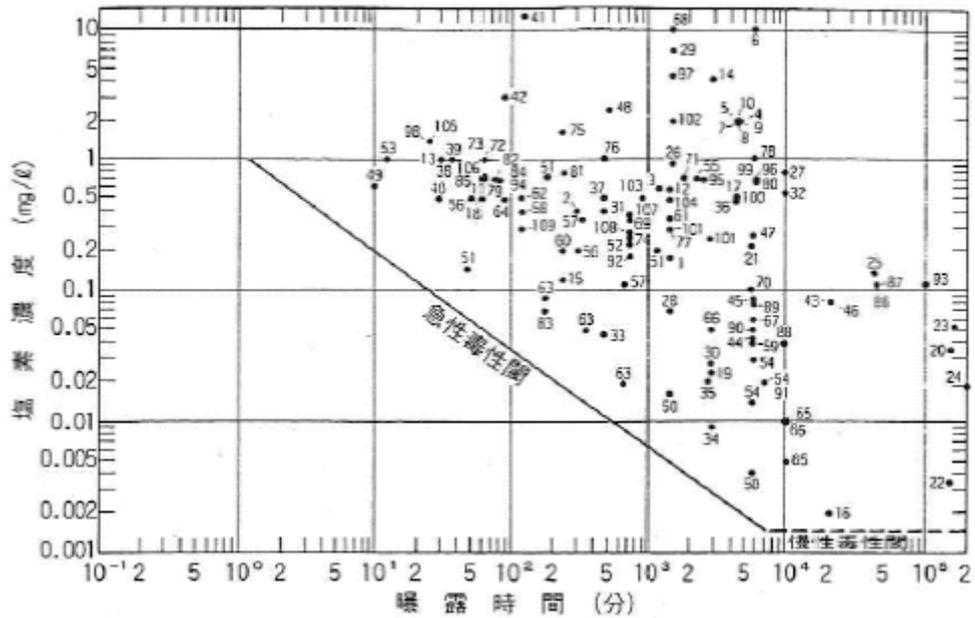


図-2 淡水生物に対する塩素の影響

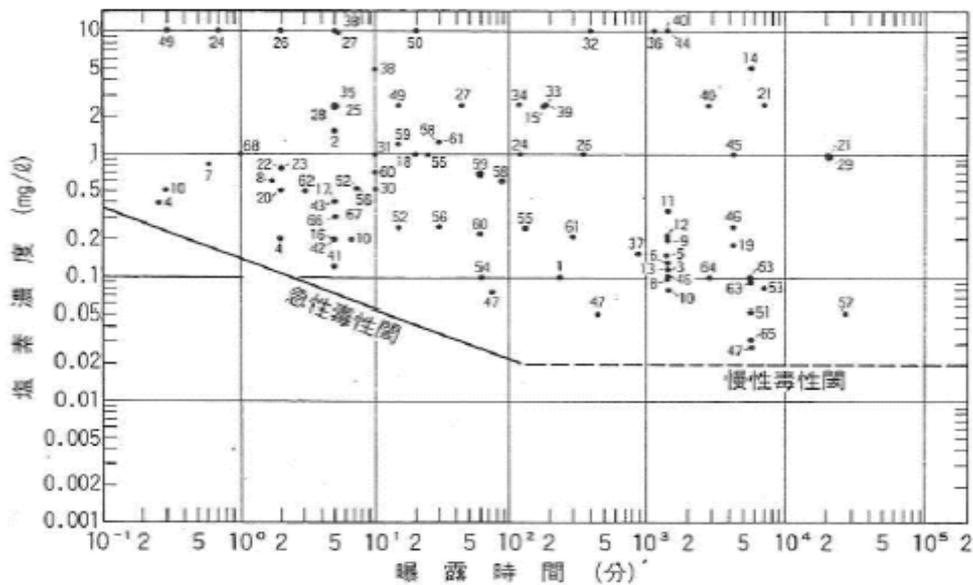


図-3 海水生物に対する塩素の毒性(2)

(Mattice And Zittel 1976 から引用)

## (2) 塩素化合物

塩素処理に伴って多くの塩素化合物が生成し、そのなかには強い毒性をもつものがあることが知られている。塩素処理により生成した化合物は0.001 mg/ℓという低濃度でコイの孵化率を低下させることも報告されている。

## (3) 魚の逃避行動

魚類は致死濃度以下の塩素に対して逃避する能力をもっている。低い残留塩素濃度で逃避行動を起こすものと考えられる。

塩素に対する魚類の逃避行動は塩素処理水の影響域では魚類が忌避する水域が形成されることを意味している。その影響域の範囲によっては魚類の生息域の範囲によっては魚類の生息域の減少のみならず、索餌・回遊・産卵などを阻害する障壁が形成されることが考えられる。このような行動以外にニジマスが0.4~0.5 mg/ℓの塩素に接触すると、心拍数の低下、頻繁な鰓蓋の展開等が起こる。

## (4) 植物への影響

日本では、ノリなど海藻類の増養殖場のある沿岸に放流する下水処理場があり、以前から塩素に対する関心もたれている。しかし、養殖ノリの生育に与える塩素の影響に関する研究報告が少なく、下水処理水の影響について報告があるだけである。例えば丸山は殺菌用塩素が微量で著しい生育阻害を与えることから、要因の複雑さを避けるために下水処理場の殺菌用塩素を含まない最終沈殿池越流水を検水としている。

表-2 塩素の植物に対する毒性

### 3.2 水質目標値の検討

種名	症状・効果	濃度
ホンダワラ類	発芽の阻害	
<i>Sargassum horneri</i>	発芽率 50%	3.0
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	発芽率 50%	3.0
<i>Sargassum thunbergii</i>	発芽率 50%	3.8
河川植物プランクトン	光合成 50~90%減少	2.7
湖植物プランクトン	光合成 50 減少	0.32
湖植物プランクトン	硝酸の吸収 50%減少	0.028
湖植物プランクトン	30 分接触 Chl-a 量の減少 光合成量の減少	1.0 以上
<i>Chlorophyceae</i> (緑藻類)	1~2 時間接触 4 回/日、1 週間で生残率の減少	0.5、0.25
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> クロレラ	生育抑制効果	0.18~0.42
植物プランクトン	基礎生産力の 57%減少	熱+ (0.1~1.0)
海産植物プランクトン	光合成力 50%減少	0.01
<i>Myriophyllum spicatum</i> (フサモ)	96 時間接触 藻体類 30%減少	0.05 以上
<i>Myriophyllum spicatum</i> (フサモ)	96 時間接触 Chl-a 量 25%に減少	0.1
<i>Chlorella sorokiniana</i>	生育抑制	0.2~1.0
<i>Cladophora sp.</i> (シオグサ)	2 時間接触完全致死	10
海産植物プランクトン	光合成量、同化率の減少	-

平成 19 年度からの文献調査を継続し、水産生物の生育に影響を与えないと考えられる残留塩素濃度の目標水質を検討した。検討の前提は、基本的に慢性毒性の観点から目標値を導出することが妥当であると考えた。平成 20 年度の文献調査における諸外国の研究では、水産生物の生育等に影響を及ぼす慢性毒性を抑制するためには（全）残留塩素の濃度を 0.002 mg/ℓ以下としている。ノリの生育に及ぼす塩素消毒下水処理水の既往の研究ではノリの生育に強い阻害を与える化学物質はモノクロラミン NH<sub>2</sub>Cl であり、環境目標値として、ノリ漁期が低水温期であること、ノリ漁場が河口域近傍に展開されていて、NH<sub>2</sub>Cl の半減期が長いことを勘案し、急性毒性値である 48h - LC<sub>50</sub> 値 0.011 mg/ℓに安全係数 10 分の 1 を適用して、NH<sub>2</sub>Cl 0.001 mg/ℓが妥当であるとしている。

本調査の影響度検討では、これらをも加味して全残留塩素濃度 0.001 mg/ℓを目標値とする。上述したようにノリに影響を及ぼす化学物質はモノクロラミン NH<sub>2</sub>Cl であるとしているが、文献に全残留塩素の 80%がモノクロラミンであったことが述べられているため、全残留塩素による影響検討に用いる目標値として差し支えないものとする。処理施設の処理水の残留塩素濃度を 0.1 mg/ℓとすれば、100 倍以上の希釈が見込める漁場を安全とする。希釈効果の検討に当っては、新田式による 100 倍希釈が見込める影響半径 r を算出、この r により安全性

を評価する場合と、潮流による水塊の移動を考慮した 3r により安全性を評価する場合を検討する手法とする。

### 3.3 残留塩素によるノリ漁場の安全性評価

平成 20 年度のアンケート調査による処理施設の放流先における水産施設への利用としては①海面養殖②蓄養施設③定置網④その他に区分された。魚種別に整理すると、次のとおりであった

表 - 3 処理水の放流先の水産利用と魚種一覧

分類	養殖	蓄養	定置	中間育成	磯根	その他
藻類	ノリ・ワカメ・ホンダ ワラ・コンブ	—	—	—	テングサ	
魚類	フグ・クロソイ	ブリ(ヒラマ サカナパチ)	サケ・マス・トビウ オ・マアジ・サバ・ キジハタ・メジナ・ ブリ・アジ・タイ	—	—	マダイ・ヒラメ
軟体	—	—	カ	—	サザエ・タコ・アワビ	—
甲殻	—	—	—	クルマエビ	—	—
貝類・棘 皮	カキ・ホタテ・アコヤ・ ヒオウギ	—	—	—	ナマコ・ウニ・ホヤ・モス ク	—

「漁業集落排水施設からの排水に関する影響」について、全国の漁業関係者と下水処理場関係者にアンケート調査を行ったところ、漁業集落排水施設の計画に際して、「水産生物」への影響に関する申し入れを行い、処理水の消毒方法を塩素消毒から紫外線消毒に変更するなど、何らかの対策を検討した地区が多くあり、漁業関係者が処理水の影響を心配していることが分かった。さらに、その理由を調査したところ、水質では「塩素」などの名前が挙がっていた。地域によっては昨今の海苔の色落ちに関する原因として下水処理水中の残留塩素を上げるものも多い。したがって、全国の漁業集落排水施設の管理者にアンケート調査を実施して、処理水放流地点とノリ養殖施設が近接する地区は、全国で 12 地区があった。各地区の処理水放流地点と漁場との距離関係を図 - 4 に示す。

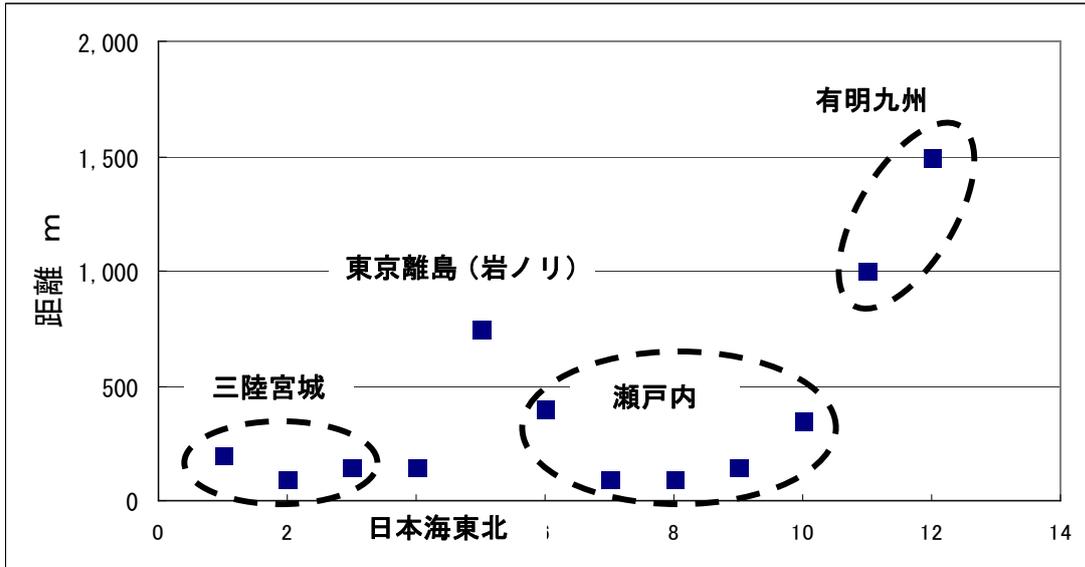


図 - 4 施設の処理水の放流地点とノリ漁場までの距離

計画汚水量、処理水放流地点から漁場までの距離による新田式による影響半径  $r$  を試算した結果、すべての施設で影響半径外にノリ漁場が位置しているか、残留塩素を発生しない紫外線消毒を使用している結果となった。

### 3.4 残留塩素と放流過程での減衰効果

放流水は通常、処理施設から放流管や排水路を経て、海域に放流される。この過程における残留塩素の消長の度合を調べるため、排水処理施設の消毒槽から開水路を経て放流に至る間において残留塩素濃度をDPD比色法にて調査した。調査対象施設は、排水処理施設の処理水を海域に放流するもので、流路延長は80m、水深は30cmである。処理水槽は地上式であるため、

放流水の出口は地上部にある。本開水路の流入部にはカスケード（小規模な落差工）が設置

されており、この手前で残留塩素は検出されなかった。その下流についても15m間隔で測定をした結果でも残留塩素は検出されなかった。

漁業集落排水施設の処理水槽は地上式構造が多く、自然流下による放流方式が多い。自然



写真 - 1 比色法による残留塩素

流下方式の場合は、管内で十分な空間があり、流下の過程で管路内やマンホールでの落差工での再ばっ気効果で最終放流に至る地点で濃度は希薄化しているものと考えられる。



図 - 2 開水路型放流施設

### 3.5 環境配慮型設計事例

#### 3.5.1 開水路薄層流方式

処理水を薄層流型の水路に流下させる方式である。カスケード（落差工）は処理施設の排出口から高さを利用したもので、水路に落下した際の酸素の溶け込み効果を期待する。

水路は水深を浅く取り、水路幅を広くしており、大気との接触効率を大きくとり、河川浄化的な効果を狙ったものである。

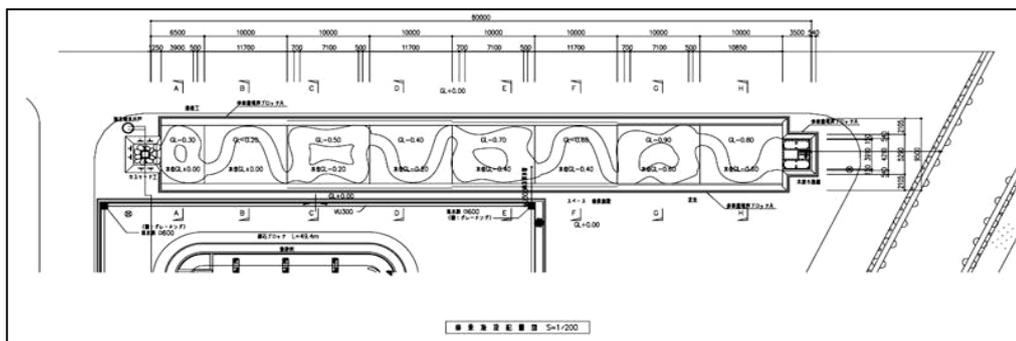


図 - 5 薄層流型水路 平面図

本施設は処理施設の放流工の機能を有しているほか、地区住民の交流の場となるように修景施設として仕上げられている。計画規模は処理対象人口 2,530 人、計画汚水量 684m<sup>3</sup>/日、オキデーションディッチ方式の処理水中の残留塩素対策として設置したもので、流路延長は約 80m である。総費用は約 30,000 千円である。（ただし、放流先の塩分濃度低下を抑制するための海水取水井戸を含む）

#### 3.5.2 海底放流管方式

本施設は瀬戸内海に位置する施設で、ノリ養殖をはじめとする水産生物への環境配慮として設置された延長距離約 9.0m の海底放流管である。（管種：高密度ポリエチレン管、口径φ150）処理施設は処理対象人口 1,810 人、計画汚水量 434m<sup>3</sup>/日の高度処理型処理方式（窒素・リン除去）である。放流水深は約 8.0m である。概算事業費は 25,000 千円である。

（ただし、汚濁防止フェンス等仮設工は除く）

海底放流とすることで、比重の軽い処理水（淡水）は上昇流となる。海域の流況も影響して、表層への放流に比べて、より効果的な希釈拡散が期待できる方式である。

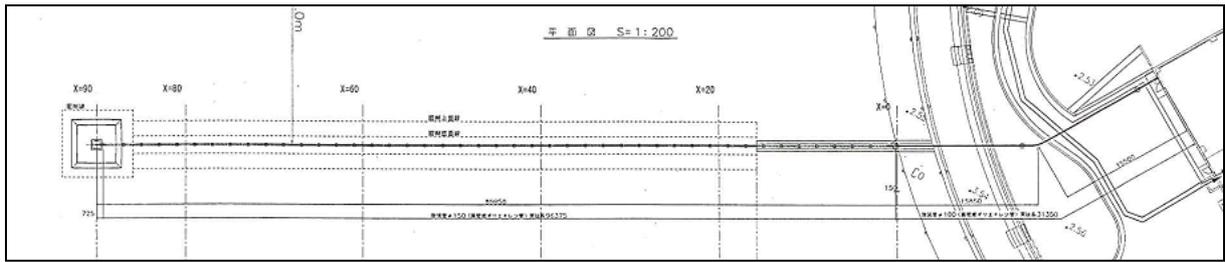


図 - 6 海底放流管 平面図

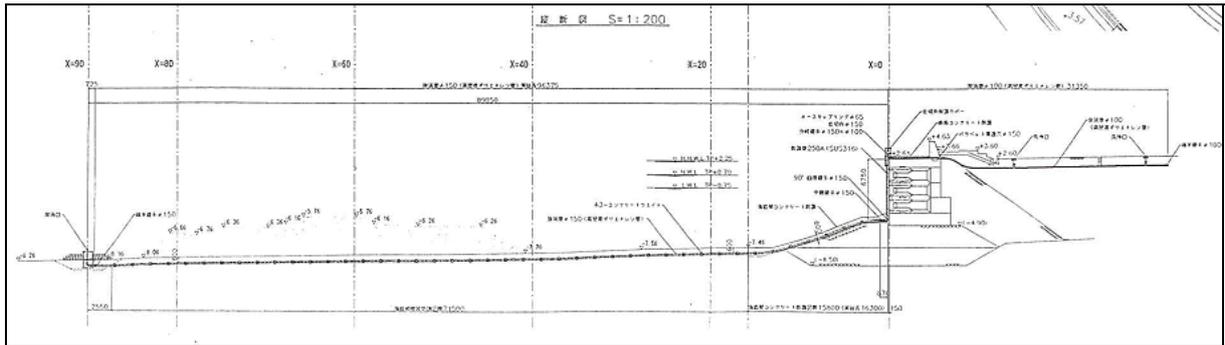
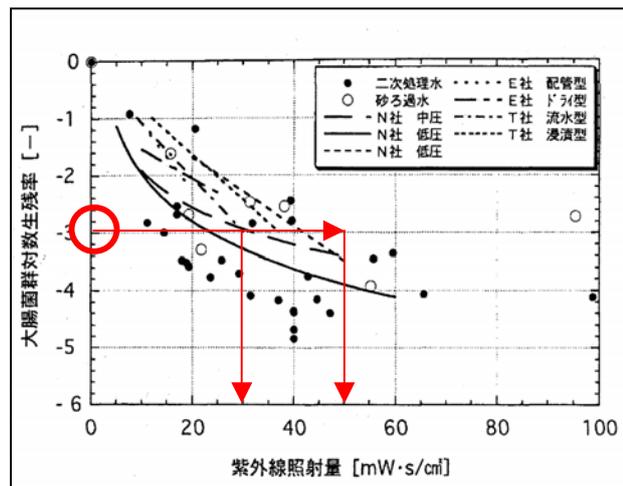


図 - 7 海底放流管方式の断面図

### 3.4.3 紫外線消毒（塩素代替）

#### ①処理のしくみ

紫外線消毒は細胞内の核酸の損傷を起こして微生物を不活化する方式である。紫外線消毒では紫外線照射強度と照射時間との積(紫外線照射量)が大きいほどその消毒効果大きい。紫外線照射量と大腸菌対数生残比との関係を図-7 に示す。大腸菌群殺菌率 90%、99%、99.9% (対数生残比  $-1 \log$ 、 $-2 \log$ 、 $-3 \log$ ) を達成する紫外線照射量は  $15 \sim 20 \text{ mW} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$ 、 $20 \sim 30 \text{ mW} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$ 、 $30 \sim 50 \text{ mW} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$  である。



通常の下水处理水の消毒で紫外線照射直【図-8 紫外線照射量と大腸菌群数生残比の関係】

後における大腸菌群の平均殺菌率を 99.9% (対数生残比 $-3\log$ ) 程度とすることができるような紫外線消毒設備を設置すると光回復を考慮しても大腸菌群殺菌率でみて現状の塩素消毒設備と同等の消毒性能となることから、放流水中の大腸菌群数を安定的に 3,000 個/ml とすることができる。

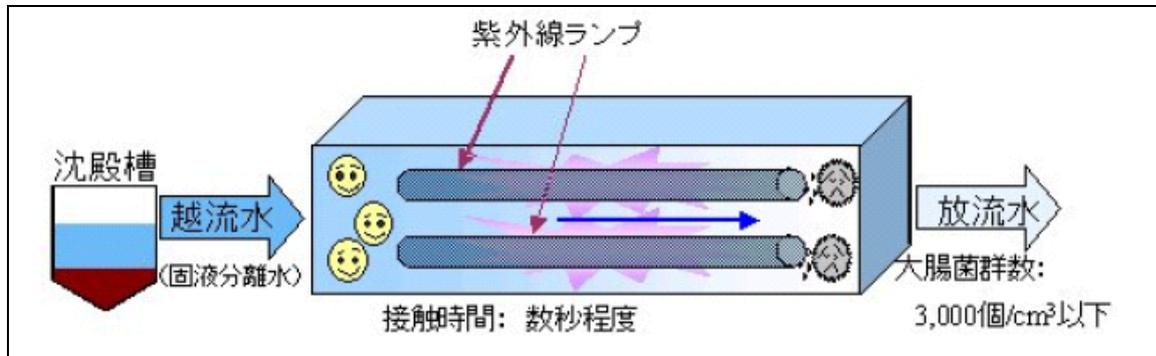


図-9 紫外線消毒の概要

## ②紫外線消毒設備

消毒設備の設置方法としては、次の3タイプがある。

- 密閉型 : 紫外線ランプを保護管に入れて下水処理水が満水状態で流れる管内に設置する。
- 開水路型 : 自由水面をもつ流路内に浸漬させて設置する。
- 外照型 : 管内に下水処理水を流して管の外側から紫外線を照射する。

低圧水銀ランプを開水路型で設置する場合においては、放流水路の通常的设计流速 (0.6~1.0 m/秒) に対して紫外線装置内流速は 0.2~0.4 m/秒と想定される。したがって、紫外線装置設置場所の流下断面積は通常放流水路の 2~5 倍程度が必要となる。

紫外線消毒では紫外線ランプを水路や管路内に設置した後、維持管理上は一般に常時点灯することが望ましい。

また、放流水路の時間変動に対してランプの一部が空中に露出されないように、かつ水位がランプ上端より大幅に上昇しないようにする必要がある。水位変動の調整方法としては堰、フラップゲートや下水処理水が満水状態で流れる管内に紫外線ランプを設置する密閉型等がある。図-10 に紫外線消毒装置の漁業集落排水施設への適用パターンを示す。従来は固形塩素剤などを用い消毒槽で処理水を消毒している方法であったが、紫外線消毒法は紫外線消毒装置を通常は使用し、機器の点検時などは従来の消毒槽を使用する。図-11 に各種紫外線消毒装置を示す。

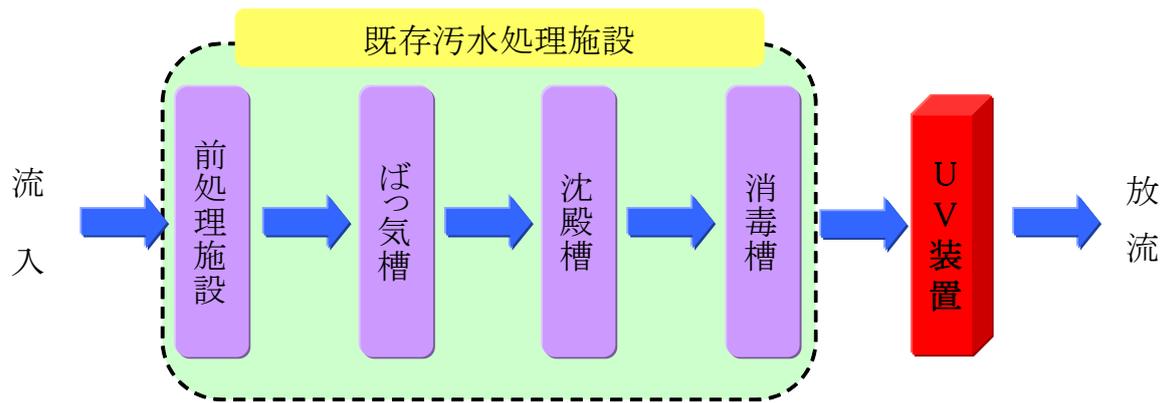


図-10 漁業集落排水施設への適用パターン



図-11 紫外線消毒装置（開水路設置型）

### ③製作価格

紫外線を設置する場合の製作価格を表 - 5 に示す。

表-5 処理対象人数別コスト一覧

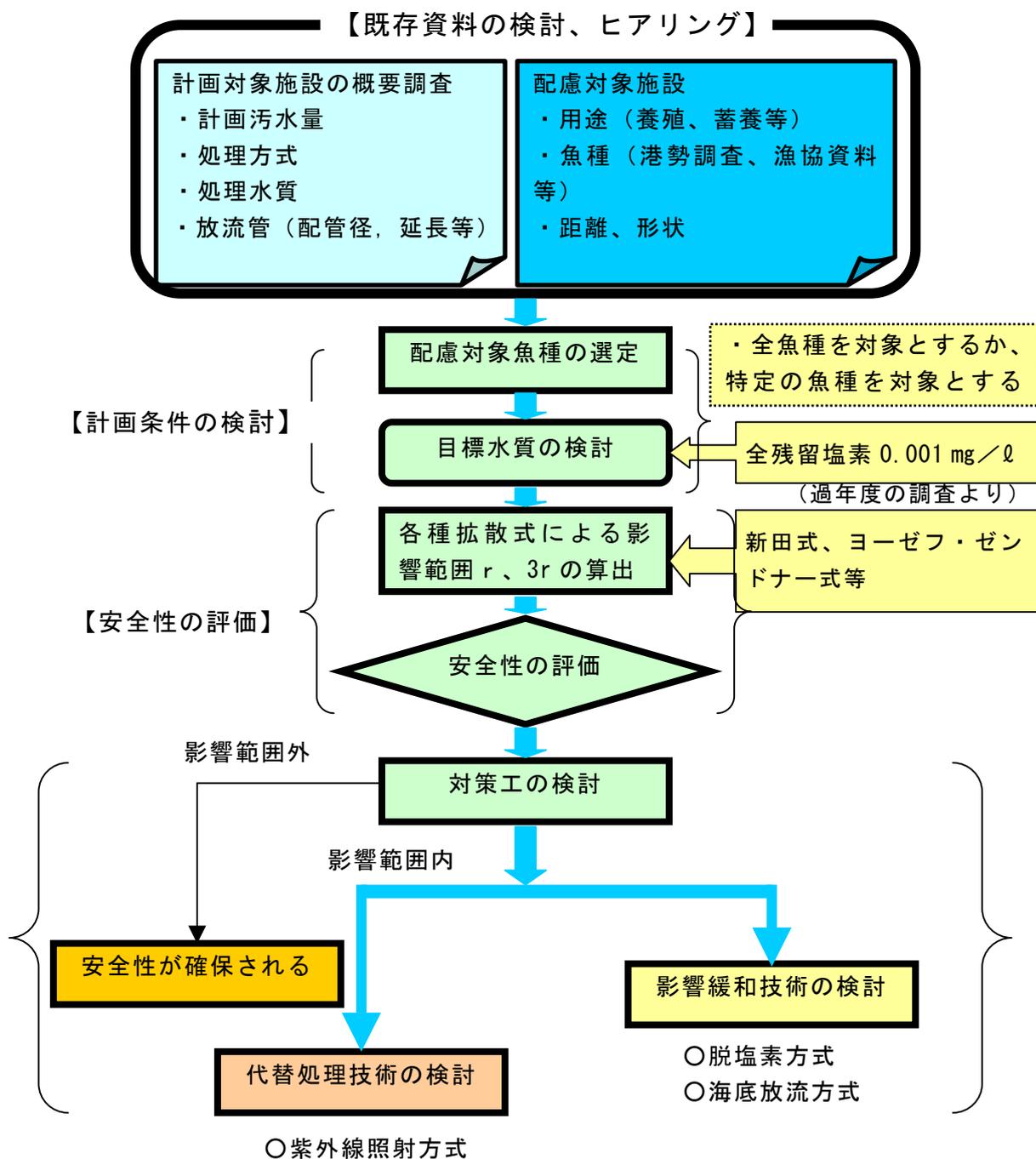
処理対象人数 (人)	計画汚水量 ( $m^3$ /日)	標準価格 (千円)	塩害仕様 (千円)	維持管理費 (千円/年)
100	27	7,700	7,900	150
500	135	8,120	8,312	150
1,000	270	9,600	9,800	186
1,500	405	10,880	11,080	186
2,000	540	13,140	13,340	258
2,500	675	15,470	15,670	258
3,000	810	17,560	17,760	337
3,500	934	19,720	19,920	337
4,000	1,080	21,880	22,080	337
4,500	1,215	24,210	24,410	408
5,000	1,350	26,000	26,200	408

## 4. 結論

- (1) アンケート調査結果によって、処理水放流地点にノリ漁場がある地区を抽出し、残留塩素濃度  $0.1 \text{ mg/l}$  を拡散式によって、影響半径  $r$  を算出し、 $1/100$  の希釈率を得られる否かの検討を行った結果、どの地区も影響範囲外にあった。
- (2) 処理水の放流地点の水塊が実際には移動することを考慮した影響半径  $3r$  による評価では 1 地区が影響範囲内にあったが、この地区は計画汚水量に達しておらず、残留塩素の影響は現状無いものと考えられる。
- (3) 消毒槽直後の放流水には  $0.1 \sim 0.2 \text{ mg/l}$  の残留塩素が含まれているが、処理施設から放流配管、または放流配管からマンホールへの流下等により残留塩素濃度は減少する傾向にある。

## 5. 考察

(1)平成 19～21 年の調査を踏まえ、漁業集落排水施設の環境配慮型計画フローを下記に示す。



(2)本報告は計画設計のみならず、漁業集落環境整備事業を推進するうえで、漁業関係者への重要な提供資料になりうると考えられる。

(3)啓蒙普及や事業説明会の現場で(1)の資料を提供することにより地区住民との積極的な意見交換が可能になり、漁業集落環境整備事業の説明内容の向上が図られる。

(4)しかしながら、脱塩素技術や紫外線消毒等代替技術はコストが割高であるので、

本計画手法により十分な放流地点の検討を行ったうえで導入検討を図る。

## 6. 摘要

漁業集落排水施設はトイレの水洗化などの地区住民の保健衛生効果のほか、周辺海域の水質の向上といった役割を担っている。漁業集落排水の水質は基本的に有機系のもので、残留塩素は唯一、処理系に人為的に加えられるものであり、その点ではトリハロメタン等の影響なども取りざたされたこともある。

これらの物質は非常に微量で、さらには漁業集落排水施設自体も都市下水道施設の処理水量よりもかなり少量であるため影響は少ないと考えられる。しかしながら、集落住民のなかには汚水処理の必要性は認識しつつも、「処理施設の塩素処理水によって漁場環境が変わってしまうのでは？」といった意見も聞かれる。陸域の汚濁負荷削減と沿岸域の水産生物保護を一体的に捉えることは意義のあることであり、漁業集落環境整備事業の合意形成に一層の寄与をもたらすものとする。

## 7. 引用文献

- 1)ノリの生育に及ぼす塩素消毒下水処理水と粘土粒子の影響 水文大循環と地域水代謝 丹保憲仁・丸山俊明編 技報堂



