

第4章 調査・分析手法

4.1 調査・分析手順

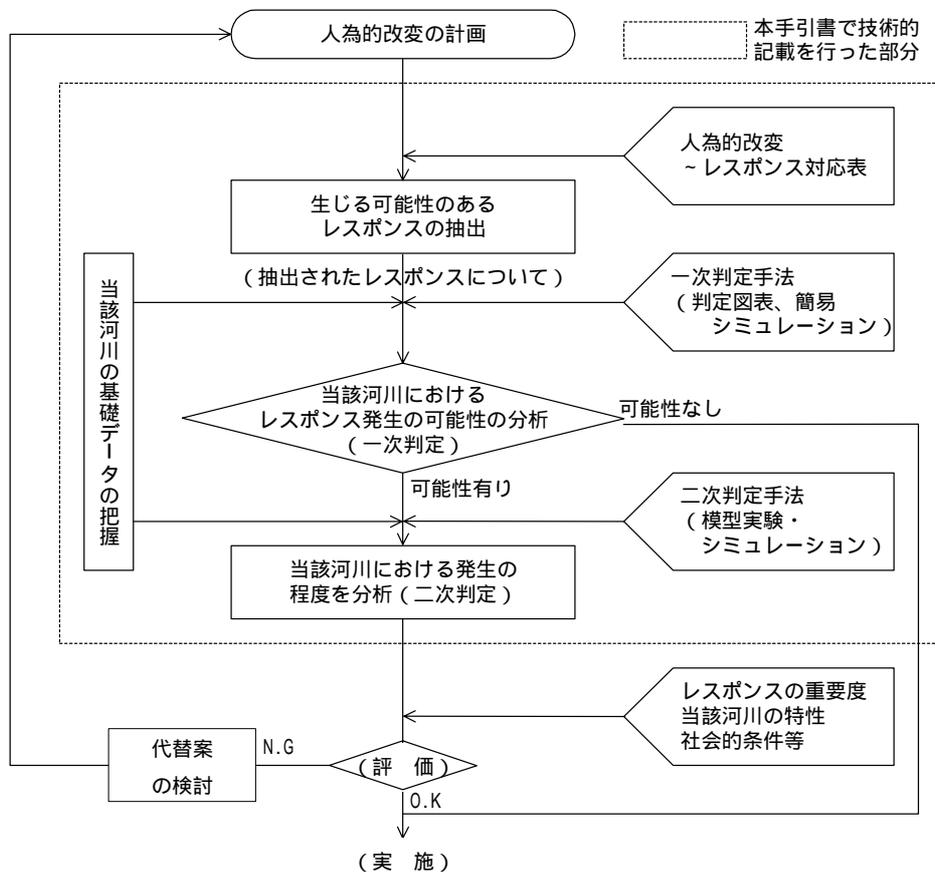
人為的改変による物理・化学的現象の調査・分析は、次の手順で行う。

- 1) 人為的改変によって生じる可能性のあるレスポンスを抽出する。
- 2) 抽出されたレスポンスについて、当該河川での発生の可能性を、定性的に判定する（一次判定）。
- 3) レスポンスを発生する可能性がある場合にはシミュレーション等により定量的に予測する（二次判定）。

なお、汽水域の現状把握や一次判定に資する上で、当該河川の基礎的なデータを把握しておく必要がある。

< 解説 >

汽水域の物理・化学的環境は、川と海の微妙な釣り合いのもとに多様なものとなっている。そこで、人為的改変が与えられた場合の物理・化学的現象を把握する上で、データの収集が極めて重要になる。先ずその人為的改変によって生じる可能性のあるレスポンスを抽出する。次に抽出されたレスポンスについて、当該河川で発生する可能性の有無を判定図表や簡易シミュレーションなどを用いて判断する。この時、過去の事例を参考にすることも重要である。レスポンスを生じる可能性有りとは判断された場合には、シミュレーションモデル等による変化の予測を行い、結果を評価する。そして評価の結果、必要に応じて代替案等の検討を行う。



4.2 生じる可能性のあるレスポンスの抽出

汽水域に人為的改変が与えられた場合のレスポンスを、表 4.2 - 1 などを参考として抽出する。

< 解説 >

人為的改変により考えられるレスポンスを、表 4.2 - 1 の で示す。

表 4.2 - 1 人為的改変とレスポンスの関連度の状況

関連があると考えられるもの

レスポンス 人為的改変	塩分上昇	河道底層の貧酸素化	河床表層の細粒化	河岸粗粒化	河床構成材料の細粒化	周辺汀線の後退	周辺汀線の変化	河口砂州（テラス）の縮小・後退	河岸干潟の細粒化	河岸侵食	河岸干潟の侵食	河口干潟の減少	塩水くさびの下流側への移動	埋め立て区間の河床上昇	砂州高の変化	貧酸素水塊の湧昇・河道への移動	橋梁上流の河岸干潟の細粒化	橋梁上流の河岸干潟の粗粒化・侵食
河道の掘削																		
泥・砂河川																		
砂利河川																		
河口導流堤の建設																		
河口部の埋め立て																		
河口域での海砂採取																		
橋梁の建設																		

4.3 抽出された人為的改変～レスポンスの調査・分析手法

4.2 に抽出されたレスポンスを対象に、4.3.1～4.3.5 に示す個別の調査・分析手法を参考とし、現象の把握を行う。

なお、人為的改変による地形の改変等直接の影響は、対象外とした。

< 解説 >

以下、4.3.1～4.3.5 には、本手引書で取り扱う人為的改変～レスポンス毎に以下のものを示した。

(1) 人為的改変によるレスポンス

人為的改変によるレスポンスの連関

(2) 一次判定手法

当該河川におけるレスポンスの発生の可能性をおおまかに推定する方法

(3) 二次判定手法

レスポンスによる問題発生が懸念される場合の定量的な分析手法

(4) 二次判定のための調査手法

分析・評価のために、後述する基礎データの調査に加えて行う必要のある調査

4.3.1～4.3.5 は人為的改変とそのレスポンスの連関毎に個別の手法等を記しており、次のように構成している。

4.3.1 河道の掘削によるレスポンスの調査・分析

4.3.1.1 塩分上昇

4.3.1.2 河道底層の貧酸素化

4.3.1.3 河床表層の細粒化

4.3.1.4 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食

4.3.1.5 河床構成材料の細粒化

4.3.1.6 周辺汀線の後退、河口砂州（テラス）の縮小・後退

4.3.2 河口導流堤の建設によるレスポンスの調査・分析

4.3.2.1 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食、周辺汀線の変化

4.3.3 河口部の埋め立てによるレスポンスの調査・分析

4.3.3.1 河岸干潟の細粒化、河岸干潟の侵食

4.3.3.2 塩水くさびの下流側への移動

4.3.3.3 埋め立て区間の河床上昇

4.3.4 河口域での海砂採取によるレスポンスの調査・分析

4.3.4.1 河口砂州の縮小・後退、砂州高の変化

4.3.4.2 河口干潟の減少

4.3.4.3 貧酸素水塊の湧昇・河道への移動

4.3.5 橋梁の建設によるレスポンスの調査・分析

4.3.5.1 橋梁上流の河岸干潟の細粒化、粗粒化・侵食

4.3.1 河道の掘削によるレスポンスの調査・分析

4.3.1.1 塩分上昇

基礎データの塩分濃度分布を用いて混合形態を判断し、各混合形態に応じた簡易な手法により塩水くさびの長さや塩分濃度縦断分布を予測する。そして次のような事象が予想される場合は、二次判定により塩分濃度分布を予測し、予測結果と取水口位置或いは淡水性生物の生息・生育域を重ね合わせることで塩分上昇による問題発生の有無を判断する。

- ・ 塩分遡上区間長が大幅に伸びる可能性がある場合
- ・ 塩分遡上区間の延伸部分に取水口がある場合
- ・ 塩分遡上区間の延伸部分に淡水性生物の重要な生息・生育環境がある場合

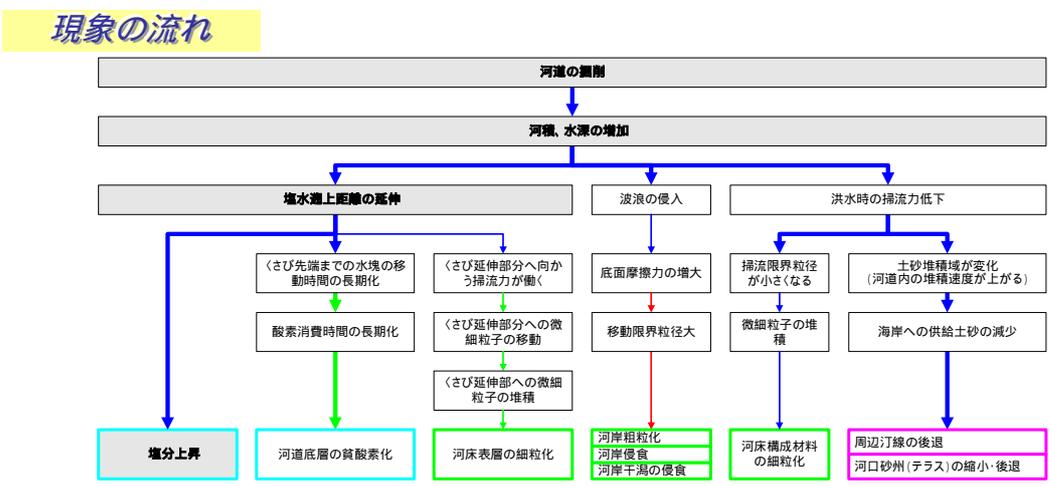
(1) 人為的改変によるレスポンス

汽水域において、河道掘削を行うと、河積や水深が増し、海水が侵入しやすくなる。特に河床掘削を行う場合に、河口砂州や河床の盛り上がり（マウンド）を取り払うと、塩水遡上距離が大きく伸びることがあるので注意が必要である。砂利河川では、河口砂州により上流側は淡水域となっている場合もあり、河口砂州をとり除くと海水が侵入して塩水化する可能性がある。

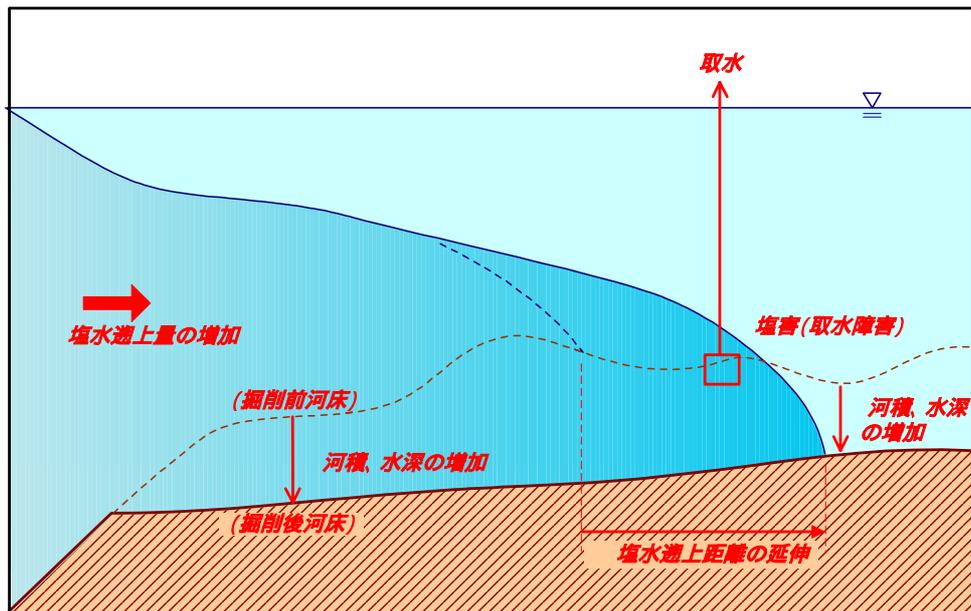
人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

- 河口部の河道掘削により河積および水深が増加する
- 塩水遡上量が増加するとともに、塩水遡上距離が伸びる
- 河道掘削によるタイダルプリズム（河口における平均満潮時と平均干潮時の河積（河水の全容積）の差）の増加により河道内への塩水侵入量が増加する。このため、弱混合、緩混合の河川では塩水くさびが上流に向かって伸びることとなる。
- 塩分が上昇する
- 塩水遡上距離が伸びると淡水の量に対する海水の量が増え、塩分が上昇する。なお、塩害（取水障害）は、塩水の遡上する区間に取水口が設けられている場合や、淡水性生物の重要な生息・生育環境がある場合に生じる問題であり、河口部や汽水域に取水口が設置されていたり、周辺に田畑がひろがっている河川での河道掘削には注意が必要である。

図 4.3.1.1 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。



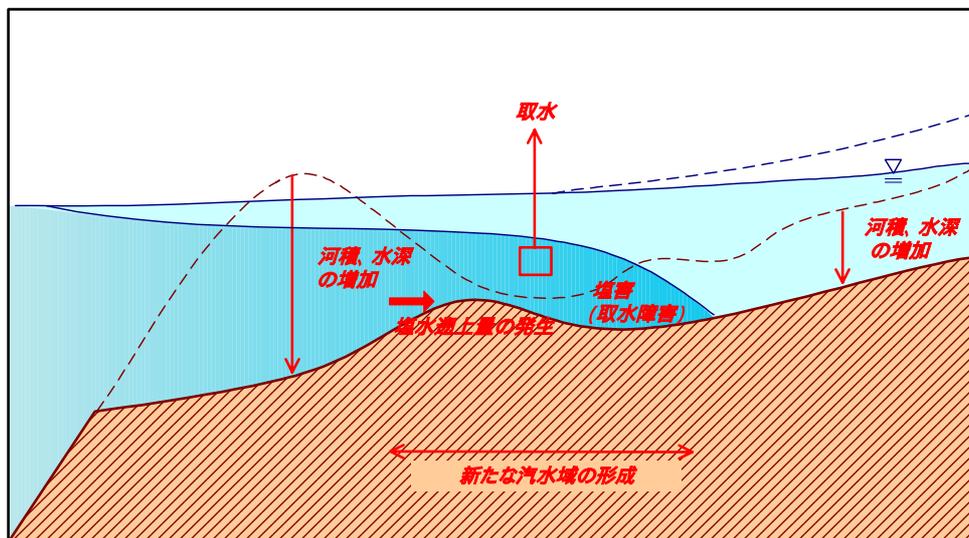
現象のイメージ図 (泥・砂河川の場合)



【備考】

- ・上図は弱～緩混合のイメージ図である。
- ・強混合の場合もタイダルプリズムが増大し、塩水遡上距離は伸びるが、その程度は小さい。

現象のイメージ図 (砂利河川の場合)



【備考】

- ・上図は弱～緩混合のイメージ図である。
- ・強混合の場合もタイダルプリズムが増大し、塩水遡上距離は伸びる。

図 4.3.1.1 - 1 現象の流れとイメージ

(2) 一次判定手法

基礎データの塩分濃度分布を用いて当該河川における混合形態を判断し、各混合形態に応じた以下に示す簡易な手法により塩水くさびの長さや塩分濃度縦断分布を予測する。そして次のような事象が予想される場合は、二次判定を行う。

- 塩分遡上区間長が大幅に伸びる可能性がある場合
- 塩分遡上区間の延伸部分に取水口がある場合
- 塩分遡上区間の延伸部分に淡水性生物の重要な生息・生育環境がある場合

1) 混合形態の判断

汽水域の混合形態は、大きく弱、緩、強混合の3つに分けることができる。

- 弱混合型の河川では、塩水が河川中にくさび状に長く侵入することが多い。取水や生物への影響を分析する場合、塩水くさびの長さや形状を求めることが重要である。
- 強混合型の場合は、上下層の混合が強いため、鉛直方向の塩分濃度勾配は小さく、縦断方向の勾配が顕著である。このような河川では縦断方向の塩分濃度分布を求めることが重要である。
- 緩混合は、これらの中間的な混合形態であり、縦断方向と鉛直方向の塩分濃度分布を求めることが重要である。

混合形態は図 4.3.1.1 - 2 のような方法で判断することができる。

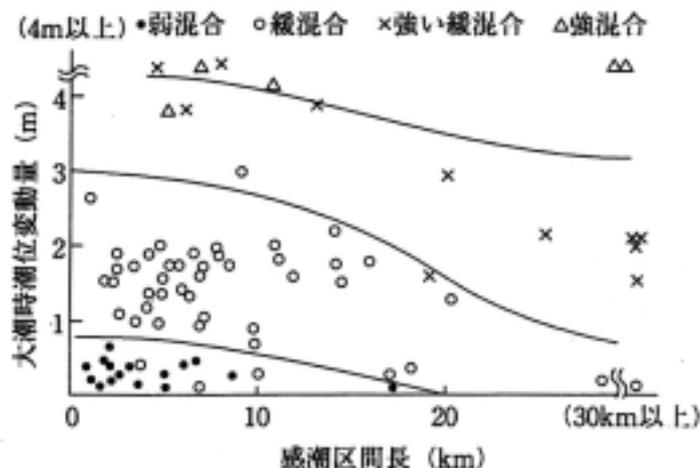


図 4.3.1.1 - 2 混合形態の区分(例)

出典:水理公式集 平成 11 年版 土木学会

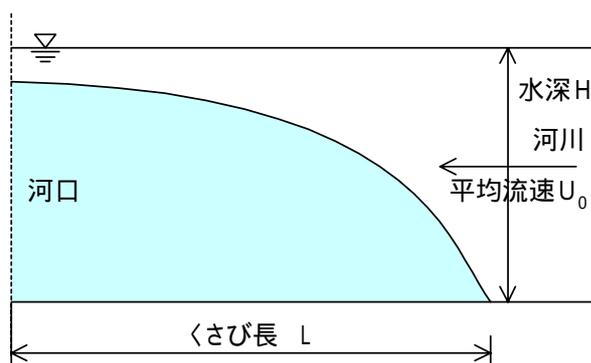
2) 塩水くさびの長さ、塩分濃度の簡易予測

弱混合型の河川の場合（淡塩二層流計算）

弱混合型の河川でみられる塩水くさびの長さを推定する方法として、次式がある。

$$\text{くさびの長さ} : L = \frac{H}{2\bar{f}_i} \left(\frac{1}{5} F_{d0}^{-2} - 2 + 3F_{d0}^{2/3} - \frac{6}{5} F_{d0}^{4/3} \right)$$

ここに、 $F_{d0} = U_0 / \sqrt{\varepsilon g H}$ 、 $\varepsilon = (\rho_1 - \rho_0) / \rho_1$: 相対密度差、 ρ_0 : 淡水密度、 ρ_1 : 海水密度、 H : くさび先端の全水深、 \bar{f}_i : くさびに沿う平均の界面抵抗係数、 U_0 : くさび先端の平均流速である。



上式は、幅、水深ともに一樣な長方形水路の場合の定常なくさび長を与える解であり、実現象に適合しない場合が多いが、河床掘削や河道拡幅により H や U_0 が変化することによるくさび長の変化を概略把握することが可能である。

強混合型の河川の場合（一次元分散方程式）

（水理公式集〔平成 11 年版〕土木学会 P.558 参照）

強混合型の河川の塩分濃度縦断分布を簡易に推定する方法として、一次元移流分散方程式に基づく次式の解析解がある。

$$S/S_0 = \exp\{F(1 - 1/X)\}$$

ここに、 S : X の位置における塩分、 S_0 : 河口部の塩分、 $F = Uh^2 / 2\beta\eta_0^2 L\sigma$: フラッシング数、 U : 平均流速、 h : 水深、 η_0 : 潮位振幅、 L : 混合域の距離、 σ : 潮位の角周波数、 $\beta = K_x / 2\xi_0 u_0$: 定数、 K_x : 水平渦動拡散係数、 $2\xi_0$: 潮位変動による流程、 u_0 : 潮流の最大流速、 $X = x/L$ 、 x : 混合開始上流端から下流向きに取った座標。

緩混合型の河川の場合（鉛直二次元密度流拡散計算）

緩混合型の塩分濃度分布を簡易に求めるのは難しいが、ある濃度の等値線（濃度勾配が急変する値）を塩水くさびと仮定して、と同様の方法で、その形状を推定することが考えられる。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.1.1 - 1 に示す変化を表 4.3.1.1 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び掘削河道を設定し、その断面特性(水位(H)～流積(A)～径深(R)～水面幅(B))を求める。これを混合形態に基づき選択したシミュレーションモデルに与えて塩水くさびの形状や塩分濃度分布を予測する。

予測結果と取水口位置或いは、淡水性生物の生息・生育域を重ね合わせることで塩分上昇による問題発生の有無を判断する。

2) 予測条件

流況条件は、平均的な流況及び塩水遡上を生じやすい濁水時の流況を含むことを基本とする。また、当該河川の維持流量の条件での塩水遡上の変化を把握することも重要である。

潮位条件は、年間のうち、平均潮位が高い夏期の半月周潮の潮位を与えることが基本であるが、塩害の対象が農業用水である場合など、季節的条件を考慮することも考えられる。

コラム 8 : 塩分上昇の生じやすい河川

塩分上昇の問題を生じやすい河川は、塩水くさびが形成されやすい弱混合～緩混合で感潮区間の長い河川と考えられる。下図は平成15年度に行った一級水系へのアンケート結果により塩分上昇による問題発生の有無を図 4.3.1.1 - 2 を参考に散布図に示したものである。同図に見られるように潮位差が 2.5m 程度以下と比較的小さく感潮区間が 2km 程度以上と長い河川で塩分上昇による問題を生じている。

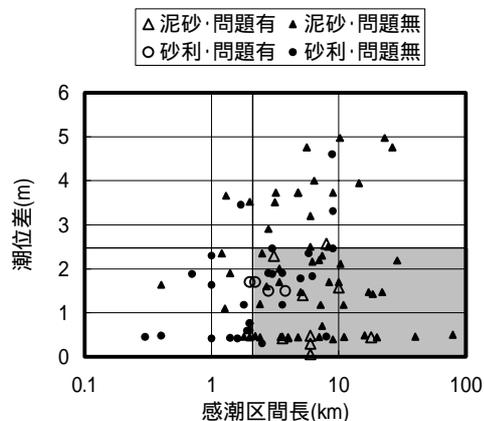


表 4.3.1.1 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口部の河道掘削により河積および水深が増加する	・河川縦横断形状	【断面特性の算定】 各河道横断面の H-A-R-B の算定	
塩水遡上量が増加するとともに、塩水遡上距離が延伸する	・流量 ・潮位 ・水位 ・流速鉛直縦断分布 ・塩分鉛直縦断分布	【塩水遡上量、遡上距離】 塩分くさび形状、塩分濃度分布の予測 (弱混合)淡塩二層流計算 (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算*1 (強混合)一次元分散方程式	(弱混合)淡塩二層流計算：計算手法は概ね確立されている。 (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算：塩淡界面付近の混合の表現に技術的課題がある。 (強混合)一次元分散方程式：計算手法は概ね確立されている。
塩水が取水位置や淡水性生物の生息・生育域まで達すると、塩分上昇による問題を生じる	・取水位置の塩分濃度	-	淡塩二層流計算は塩水くさび形状は求められるが、塩分濃度は計算しないため、くさび位置から問題発生の有無を判定する必要がある。

*1 干潟における生物の生息・生育環境に着目する場合など、河道横断方向の塩分濃度分布を求めたい場合に、三次元モデルによる予測も試みられている。(例えば、「3次元塩水遡上解析モデルの開発と紀の川汽水域環境への適用」水工学論文集第47巻 北山和典 他)

(4) 二次判定のための調査手法

1) 流速鉛直縦断分布*

目的：シミュレーションモデルの検証

調査地点：縦断方向は、塩水遡上距離及びその変動状況に応じて設定(5～15点程度)
水深方向は、1～2m 程度の間隔とし、濃度変化の大きい河口付近、遡上先端では密にする。

調査時期：半月周期(約15日間)の塩水挙動を捉えるのが望ましい。

*汽水域においては潮汐により流向流速が時々刻々変化している。また上層と下層で流向が異なる場合もある。ADCP を用いることで短時間に多数の測点で流速を測定することが可能である。調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p調査-8)参照

4.3.1.2 河道底層の貧酸素化

基礎データの塩分濃度分布を用いて、混合形態を判断し、弱混合もしくは緩混合の河川である場合は、さらに溶存酸素濃度分布を確認する。塩水遡上端付近における溶存酸素濃度が低い場合には、二次判定として溶存酸素濃度分布を予測し、問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

汽水域において、河道掘削を行うと、河積や水深が増し、海水が侵入しやすくなる。この時、弱混合～緩混合の混合形態では、塩水くさびが形成されて塩水層と淡水層との酸素の交換が少なくなり、底層や河床での酸素消費によって、貧酸素水塊が形成される場合がある。

なお、特に河床のマウンドを取り払うと、塩水遡上距離が大きく伸びることがあるので注意が必要である。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

河口部の河道掘削により河積および水深が増加する

塩水遡上量が増加するとともに、塩水遡上距離が伸びる

河道掘削によるタイダルプリズムの増加により河道内への塩水侵入量が増加する。このため、弱混合、緩混合の河川では塩水くさびが上流に向かって伸びることとなる。

塩水くさび先端までの水塊の移動時間が長期化する

塩水くさび境界付近では、海水の侵入と河川流による連行によって緩やかな循環流（エスチャーリー循環流）が形成され、塩水くさび先端の底層付近では上流に向かう流れが生じている。塩水遡上距離が伸びると塩水くさび先端までの水塊の移動時間が長くなる。

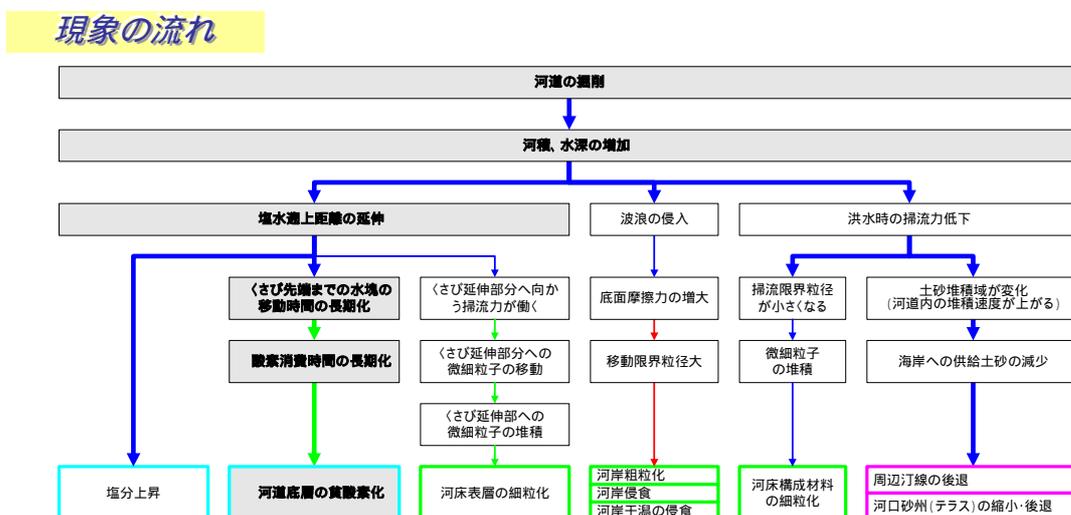
底層での酸素消費時間が長期化する

水塊中の溶存酸素は底層や河床の有機物の分解により消費される。底層に水塊が滞留することにより、酸素消費の行われる時間が長くなることになる。

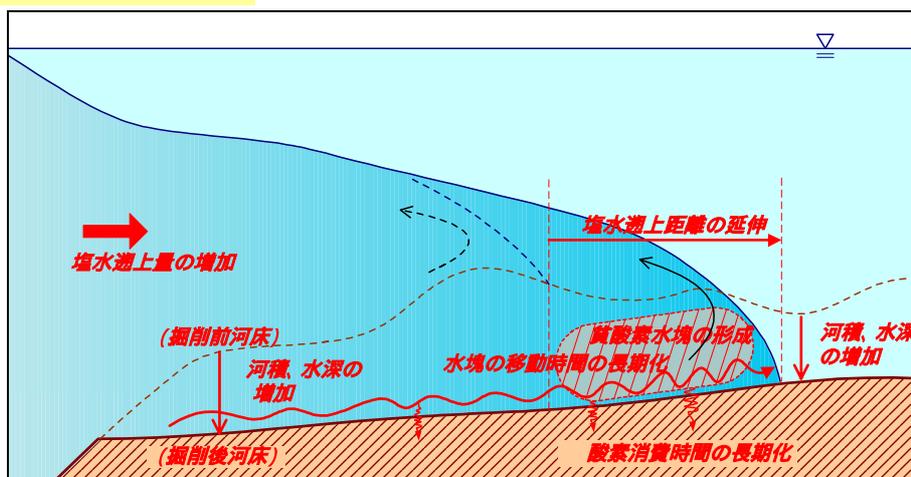
底層で貧酸素水塊が形成される

底層で水塊が滞留し、酸素消費が進むと、底層の溶存酸素が減少し、貧酸素水塊が形成される。

図 4.3.1.2 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。



現象のイメージ図



【備考】

- ・ 上図は平常時の弱混合型のイメージ図である。
- ・ 強混合の場合も微細粒子の堆積がある場合は、その堆積域が上流へ移動する可能性がある。
- ・ 懸濁態有機物等は微細粒子に吸着され移動、堆積する。

図 4.3.1.2 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

弱混合や緩混合の混合形態を有する（鉛直混合が比較的弱い）河川では、塩水くさびが形成されると底泥や水中に浮遊する有機物などが分解されることによって貧酸素水塊が形成される場合がある。貧酸素水塊は、塩水くさびの遡上距離が長く酸素消費の影響を受ける時間が長い河川や、都市河川等酸素消費物質である有機汚濁が多い河川等で形成されやすいと考えられる。そこで、基礎データの塩分濃度分布の観測値を用いて、当該河川における混合形態を判断する。弱混合ないしは緩混合の河川である場合は、さらに溶存酸素濃度分布を確認し、塩水遡上端付近における溶存酸素濃度の低下が見られるような場合は二次判定を行う。表 4.3.1.2 - 1 に魚類に関連する溶存酸素濃度を示す。

表 4.3.1.2 - 1 漁場の溶存酸素量臨界濃度

1. 魚類を死に至らしめる酸素濃度	
底生魚類の致死濃度	1.5 ml/l
甲殻類の致死濃度	2.5 ml/l
魚類・甲殻類に生理的变化を引き起こす臨界濃度	3.0 ml/l
貝類に生理的变化を引き起こす臨界濃度	2.5 ml/l
2. 貧酸素と底生生物の生理、生態的变化	
底生生物の生存可能な最低濃度	2.0 ml/l
底生生物の生息状況に変化を引き起こす臨界濃度	3.0 ml/l
3. 漁場形成と底層の酸素の濃度	
底生魚類の漁獲に悪影響を及ぼさない底層の貧酸素濃度	3.0 ml/l

* 出典：水産用水基準（1995年版）

(ml/l × 1.429 = mg/l)

図 4.3.1.2 - 2、図 4.3.1.2 - 3 には、塩分濃度と溶存酸素の分布を観測した事例を示した。このように塩水くさびが長い区間にわたって形成されると貧酸素化しやすくなる。

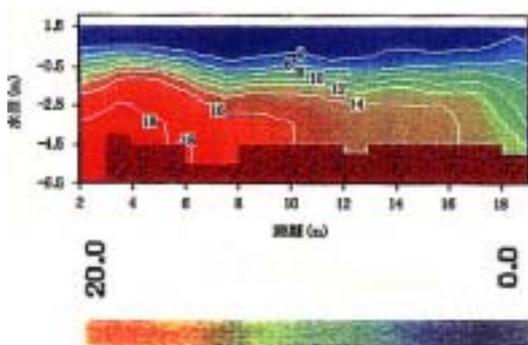


図 4.3.1.2 - 2 塩素イオン濃度
鉛直二次元分布の実測例 (単位 (%))

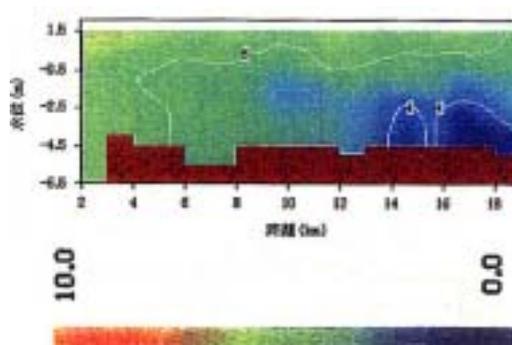


図 4.3.1.2 - 3 溶存酸素濃度
鉛直二次元分布の実測例 (単位 (mg/l))

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.1.2 - 1 に示す変化を表 4.3.1.2 - 2 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び掘削河道を設定し、その断面特性 (水位 (H) ~ 流積 (A) ~ 径深 (R) ~ 水面幅 (B)) を求める。これを混合形態を基に選択したシミュレーションモデルに与えて塩水くさびの形状や塩分濃度分布を予測する。その際、くさび先端までの水塊の移動時間も求める。

溶存酸素の計算は、塩分濃度分布の計算と同様のシミュレーションモデルに水中や底泥による酸素消費項を加えて行う。

2) 予測条件

流況条件は、塩水くさびの攪拌が弱い渇水時の条件を基本とする。

潮位条件は、貧酸素水塊が形成されやすい夏期の半月周潮の潮位を与えることを基本とする。

また、水温に関わる条件も酸素消費が活発な高水温の条件 (夏期) を与える。

コラム 9 : 貧酸素水塊の生じやすい河川

貧酸素化による問題を生じやすい河川は、塩水くさびを生じやすい弱混合から緩混合で滞留時間の長くなる感潮区間の長い河川で、汚濁度合いの高い河川と考えられる。右図は平成 15 年度に行った一級水系へのアンケート結果により作成したものである。塩分上昇と同様に、潮位差が 2.5m 程度以下、感潮区間が 2km 程度以上の河川で貧酸素化による問題が生じている。

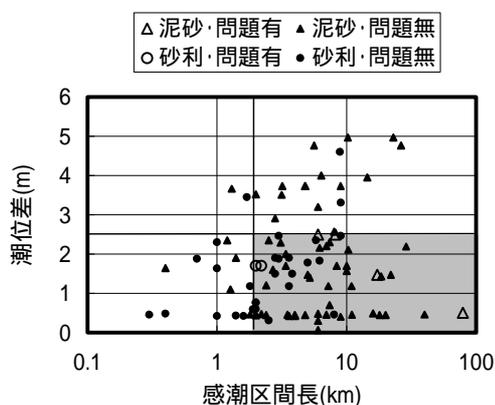


表 4.3.1.2 - 2 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口部の河道掘削により河積および水深が増加する	・河川縦横断形状	【断面特性の算定】 各河道横断面の H-A-R-B の算定	
塩水遡上量が増加するとともに、塩水遡上距離が延伸する	・流量 ・潮位 ・水位 ・塩分濃度の鉛直縦断分布	【塩水遡上量、遡上距離】 塩分くさび形状、塩分濃度分布の予測 (弱混合)淡塩二層流計算 (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算	(弱混合)淡塩二層流計算：計算手法は概ね確立されている (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算：塩淡界面付近の混合の表現に技術的課題がある。
河口の水がくさび先端に到達する時間が長くなる	・流速鉛直縦断分布	【水塊の移動時間】 上記、淡塩二層流計算、鉛直二次元密度流拡散計算の底層流速により予測	
底層での酸素消費時間が長期化する	・水中酸素消費速度 ・底泥酸素消費速度 ・溶存酸素鉛直縦断分布	【酸素消費時間】 鉛直二次元密度流拡散計算に溶存酸素収支項を付加して予測	酸素収支項：水中の有機物濃度の変化が顕著な場合は、有機物濃度の拡散計算も行い、これに応じた酸素消費速度を設定する必要がある。
底層で貧酸素水塊が形成される	・水中酸素消費速度 ・底泥酸素消費速度 ・溶存酸素鉛直縦断分布	【溶存酸素濃度分布】 同上	

(4) 二次判定のための調査手法

1) 流速鉛直縦断分布*

目的：シミュレーションモデルの検証

調査地点：縦断方向は、塩水遡上距離及びその変動状況に応じて設定(5～15点程度)

水深方向は、1～2m 程度の間隔とし、濃度変化の大きい河口付近、遡上先端では密にする。

調査時期：半月周期(約15日間)の塩水挙動を捉えるのが望ましい。

* 調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p 調査 - 4) 参照

2) 底泥及び水中の酸素消費速度

目的：シミュレーションモデルの検証及び予測

調査地点：汽水域の中間地点及び塩水遡上端地点

4.3.1.3 河床表層の細粒化

基礎データの河床構成材料から判断して細砂ないし中砂が卓越する河川で、塩分濃度分布からみた混合形態が弱～緩混合の河川では、二次判定により微細粒子の移動・堆積状況を予測し、問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

汽水域において、河道掘削を行うと、河積や水深が増し、海水が侵入しやすくなる。弱混合～緩混合の混合形態では塩水くさびが形成され、その周辺で緩やかな循環流（エスチャリー循環流）が生じている。この循環流により、河床表層においてくさび先端部へ向かう流れが発生し、微細粒子がくさび先端に向かって輸送されている。海水が侵入しやすくなると土粒子の輸送が増え、くさび先端付近での微細粒子の堆積すなわち河床表層の細粒化が生じやすくなる。また、くさびの先端が上流に移動しているため微細粒子の堆積域も移動する。

なお、河床掘削を行う場合に、マウンドを取り払うと、塩水遡上距離が大きく伸びることがあるので注意が必要である。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

河口部の河道掘削により河積および水深が増加する

塩水遡上量が増大するとともに、塩水遡上距離が伸びる

河道掘削によるタイダルリズムの増加により河道内への塩水侵入量が増加する。このため、弱混合、緩混合の河川では塩水くさびが上流に向かって伸びることとなる。

塩水くさびの先端に向かう掃流力が働く

塩水くさび周辺では、海水の侵入と河川流による連行によって緩やかな循環流（エスチャリー循環流）が形成されている。このため、塩水くさび内部の底層付近では上流に向かう流れが生じており、河床面には塩水くさび先端に向かう掃流力が作用している。

塩水くさびの延伸部分へ微細粒子が移動する

塩水くさび先端に向かう掃流力により微細粒子が塩水くさびの先端に向かって輸送される。微細粒子は、海水とともに海域から供給されるもの、河川から供給された微細な土粒子や有機物が汽水区間での塩分の作用により凝集沈殿したもの等がある。

延伸部分に微細粒子が堆積する

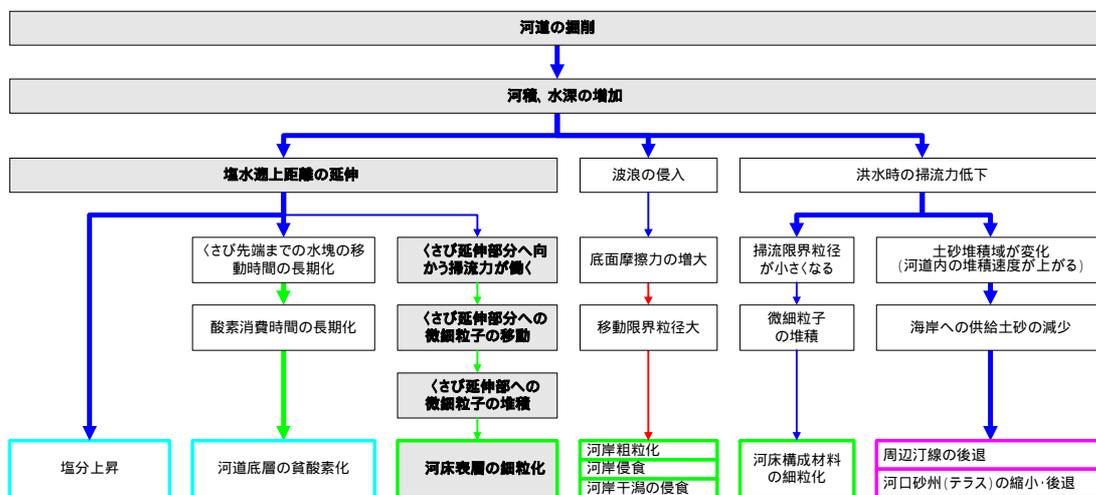
塩水くさびの先端は流れが最も停滞する空間であるため、塩水くさび内部を輸送されてきた微細粒子は、この空間に最も堆積しやすくなる。

河床表層が細粒化する

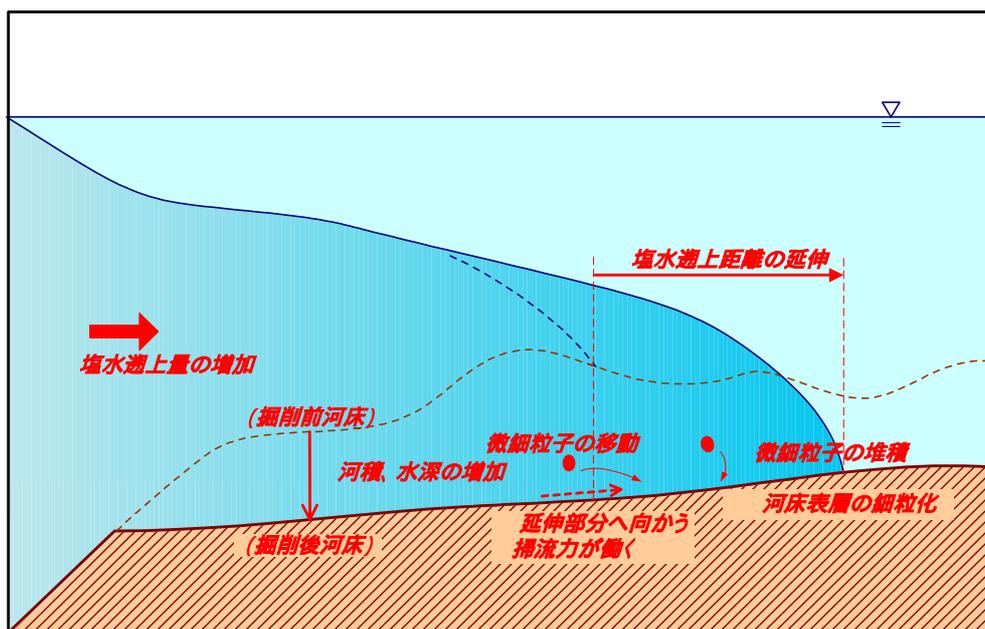
以上より、河道掘削によって、塩水くさびが延伸した区間は新たな微細粒子の堆積空間となり、河床表層の細粒化が見られるようになる。

図 4.3.1.3 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・ 上図は平常時の弱混合型のイメージ図である。
- ・ 強混合の場合も微細粒子の堆積がある場合は、その堆積域が上流へ移動する可能性がある。
- ・ 懸濁態の有機物等は、微細粒子に吸着され移動し、堆積する。

図 4.3.1.3 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

一般に汽水域では、流速が小さく上流から運ばれた微細な土粒子が沈降堆積しやすい。また、微細粒子(土粒子、有機物)が塩水に触れることでフロック化し沈降しやすい。沈降した微細粒子は、エスチャリー循環による塩水くさび先端への流れにより、上流へ向けて輸送される。その結果、汽水域の上流端付近に微細粒子が集積しやすい。

河道の掘削により、上述の機構により塩水遡上端が上流に移動するとそれに伴って細粒分の堆積域も上流に移動する。図 4.3.1.3 - 2 は河道掘削により河床表層の細粒化が生じた例である。

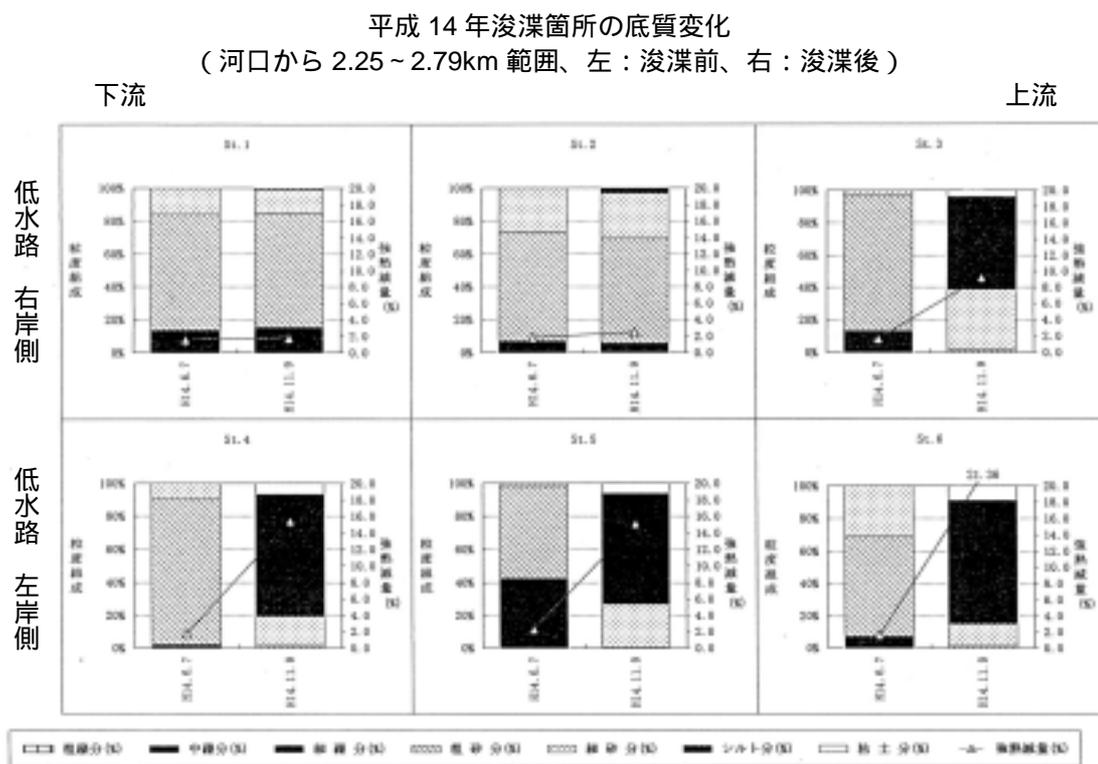


図 4.3.1.3 - 2 河床材料の細粒化調査事例(尻別川)

出典:平成 14 年度尻別川河川性状調査業務報告書(平成 15 年 3 月、(社)北海道栽培漁業振興公社)

一次判定は次のように行う。まず、基礎データの河床材料より細粒化の生じやすい細砂ないし中砂の卓越した河川であるか否かを判断する。さらに、塩分濃度分布より塩水くさびを生じやすい弱～緩混合の河川であるか否かを判断する。細砂ないし中砂の卓越する弱～緩混合の河川では二次判定を行う。

なお、そのような河川で実際に河口や海域に細粒分が堆積している河川、汚濁した河川や濁度の高い河川は、細粒化による問題を生じる可能性が高い。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.1.3 - 1 に示す変化を表 4.3.1.3 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び掘削河道を設定し、その断面特性(水位(H)～流積(A)～径深(R)～水面幅(B))を求める。これを選択したシミュレーションモデルに与えて塩水くさびの形状や塩分濃度分布を予測する。その際、河床に働く掃流力も求めておく。

微細粒子の移動・堆積は、粒子の巻き上げ、沈降、移流・拡散の計算により、各コントロールボリューム内の堆積量を求める。

2) 予測条件

流況条件は、平常時及び濁水時の流況を選ぶことが基本である。

潮位条件は、年間のうち、平均潮位が高い夏期の半月周潮の潮位を与える。

粒径の条件は、底質の粒径が一様に近ければ単一粒径として扱い、粒度分布に幅がある場合は、粒径帯別に代表粒径を設定し、それぞれの移動・堆積を計算する。また、河床表層の微細粒子堆積量等の初期条件については、平常時の安定な条件とする。

なお、微細粒子の移動・堆積現象の時間スケールを予め見積もるのは難しいため、シミュレーションによりこれらの現象がある程度動的な平衡状態に達するまでの計算時間を確保する。

表 4.3.1.3 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口部の河道掘削により河積および水深が増加する	・河川縦横断面形状	【断面特性の算定】 各河道横断面のH-A-R-Bの算定	
塩水遡上量が増加するとともに、塩水遡上距離が延伸する	・流量 ・潮位 ・水位 ・塩分鉛直縦断分布	【塩水遡上量、遡上距離】 塩分くさび形状、塩分濃度分布の予測 (弱混合)淡塩二層流計算 (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算	(弱混合)淡塩二層流計算：計算手法は概ね確立されている (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算：塩淡界面付近の混合の表現に技術的課題がある。
塩水くさびの延伸部分へ向かう掃流力が働く	・流量 ・潮位 ・水位 ・塩分鉛直縦断分布 ・流速鉛直縦断分布	【流速、掃流力】 (弱混合)淡塩二層流計算 (緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算	(弱混合)淡塩二層流計算：計算手法は概ね確立されている (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算：塩淡界面付近の混合の表現に技術的課題がある。
延伸部分へ微細粒子が移動する	・流量 ・河床材料の粒度組成 ・詳細な土質分析	【流砂量】 流砂量式により予測	流砂量式：各種流砂量式が提案されている。微細粒子の限界掃流力等の評価に技術的課題がある。
延伸部分に微細粒子が堆積する	・流量 ・河床材料の粒度組成 ・詳細な土質分析	【流砂量】 同上の方法で区間流砂量収支を求め、堆積量を予測	流砂量式：各種流砂量式が提案されている。微細粒子の限界掃流力等の評価に技術的課題がある。
河床表層が細粒化する	・流量 ・潮位 ・供給土砂量 ・河床材料の粒度組成 ・詳細な土質分析	【河床材料の粒度組成】 混合粒径の河床変動計算により予測	混合粒径河床変動計算：一次元の計算手法は概ね確立されているが、微細粒子の凝集・沈降過程の定式化、限界掃流力の評価等の課題がある。平面2次元の場合は、混合粒径計算が研究段階にある。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 流速鉛直縦断分布*

目的：シミュレーションモデルの検証

調査地点：縦断方向は、塩水遡上距離及びその変動状況に応じて設定（5～15点程度）

水深方向は、1～2m程度の間隔とし、濃度変化の大きい河口付近、遡上先端では密にする。

調査時期：半月周期（約15日間）の塩水挙動を捉えるのが望ましい。

* 調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p調査-4)参照

2) 詳細な土質分析（沈降特性、限界掃流力等を把握するため、沈降試験、粘度測定、フロック試験により、詳細な粒度組成や土質の特性を把握する。）

目的：シミュレーションの境界条件、検証

調査地点：縦横断方向に適当な間隔で設定（横断データは平面二次元の計算を行う場合に用いる）

調査時期・頻度：濁質量の増加する小出水後や上げ潮と下げ潮の違いが把握できる時期が望ましい。

3) 供給土砂量

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：汽水域の上流

調査時期：平常時、及び濁質量の増加する小出水時

4.3.1.4 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食

外海に面した河川、波浪の向きから考えて侵食されるおそれのある河岸や河岸干潟が存在する内湾の河川、および現況において波浪による河岸の侵食、河岸干潟の位置、規模、形状の変化が大きい河川では、二次判定により汀線の変化や河床の粒度を予測し、問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

河道掘削を行うと、河口部の水深が増大することにより砕波点が上流に移動し、波浪の進入が促進される。この結果、波浪による土砂輸送が増大し、河岸の侵食や粗粒化を生じる可能性がある。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

河口部の河道掘削により河積および水深が増加する

波浪の進入が促進される

河口の水深が増加することにより、掘削以前は砕波等により低減されていた波浪が河道内へと侵入しやすくなる。

河岸付近の底面摩擦力が大きくなる

掘削以前は波浪遡上域ではなかった河岸周辺まで波が達するようになると、河岸周辺でも波浪による底面摩擦が生じ、土砂移動が生じるようになる。また、波高が増大した場合には底面摩擦も増大し、より粗粒径の土砂が移動するようになる。

波による移動限界粒径が大きくなる

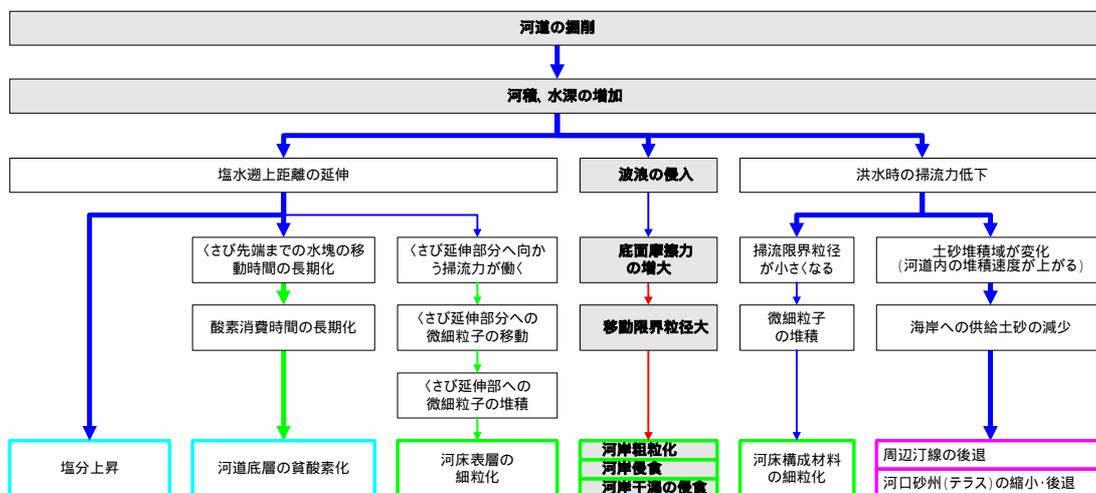
底面摩擦力が大きくなるため、波により輸送され得る粒径(移動限界粒径)が大きくなる。

河岸等が粗粒化或いは侵食される

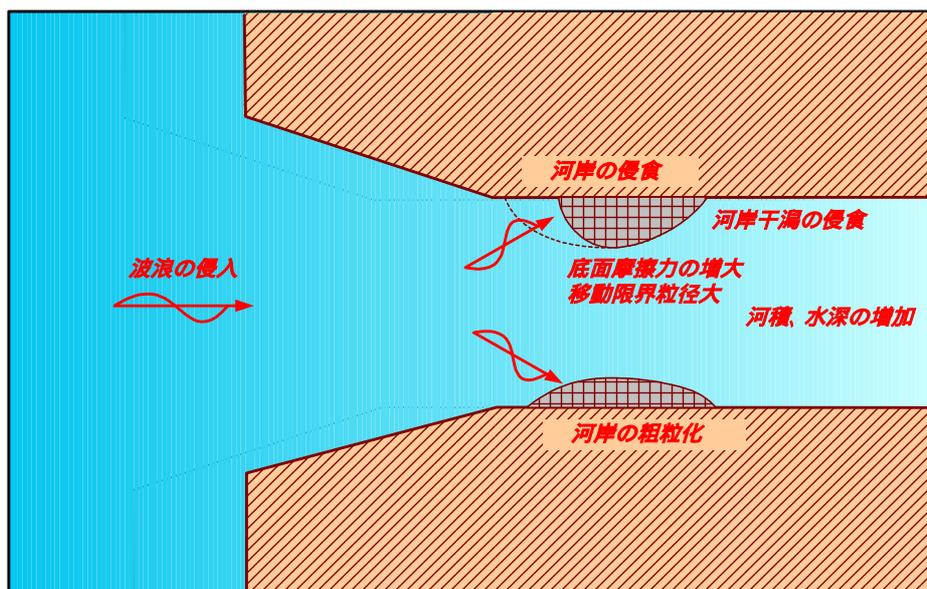
底面摩擦の増大により、微細粒子が流出しやすくなる。この結果として、河岸等が粗粒化する場合がある。また、波高が極端に増大するような箇所では、河岸侵食や河岸前面の干潟(河岸干潟)の侵食を生じる可能性がある。

図 4.3.1.4 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

・主に外海型では、高波浪時には、河川舟運、河口港等に影響が生じやすい。

図 4.3.1.4 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河口部では波浪が河道内へ侵入することにより砂州や河岸が侵食される場合がある。波浪の侵入形態は、河口沖合からの波高・波向・周期、河口地形、水深分布等に支配される。外海に面した河川では波浪が強いため河道掘削により河口砂州をとると必ず河岸等の侵食を生じるので、二次判定を行う。一方、内湾の場合には河道の掘削状況によって波浪の侵入の度合いが異なるため、侵食されるおそれのある河岸や河岸干潟が存在する場合に二次判定を行う。なお、現況において波浪による河岸の侵食、河岸干潟の位置、規模、形状の変化が大きい場合は二次判定を行う。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.1.4 - 1 に示す変化を表 4.3.1.4 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び掘削河道を設定し、河道及び河口海域の平面的な地形メッシュ(格子点位置、標高)を設定する。この地形条件に沖波及び入射波の条件を与えて波浪変形計算を行い、波高、波向等から漂砂量を求め、汀線変化を予測する。

2) 予測条件

波浪変形計算を行う際の沖波条件(波高・波向・周期)は、河岸干潟・砂州の地形変化に寄与すると考えられる波向の年最大規模程度の波あるいは、エネルギー平均波を設定することを基本とする。

また、入射波向は、海底地形に応じて、屈折、回折、浅水変形の影響度を考慮して設定する。

表 4.3.1.4 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口部の河道掘削により河積および水深が増加する	・河川縦横断形状	河床高の平面分布の作成	
波浪の侵入が促進される	・海底地形 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位 ・波高分布	【波高分布】 波浪変形計算により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。 また、砕波を考慮する場合は砕波モデルを組み込む必要がある。
河岸の付近の底面摩擦力が大きくなる	・底面流速	【底面摩擦力】 底面摩擦速度の算定式により予測	底面摩擦速度の算定式は種々提案されている。 汀線変化モデルでの検討には用いない
波による移動限界粒径が大きくなる	・流量（流速） ・河床材料の粒度組成	【移動限界粒径】 限界掃流力の式等による移動限界粒径の判定	波・流れ供存場における移動限界摩擦速度の評価に技術的課題がある。 また、混合粒径での評価は現状では困難である。
河岸等が侵食される	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位 ・河川縦横断形状	【河岸形状】 汀線変化モデル*の応用が考えられる	波浪による河岸侵食への適用例はない 汀線変化モデルでは、河川流量を取り込むことは困難である。 波浪変形計算、海浜流計算に基づく海浜地形変化モデルでは、河岸（汀線）変化を予測することができない。
河岸等が粗粒化する	・河床材料	【河床材料】 混合粒径の汀線変化モデル*により概略検討できる可能性がある	同上 干満等の非定常性、粗粒化等の分級過程を評価することは困難 混合粒径の汀線変化モデルは、学会、委員会等の場では用いられているが、実際の計画への適用例はない

*汀線変化モデルは砂（非粘着性）が前提であることから、泥河川での河岸の侵食への適用は難しく適用事例もない。ただし、粘着性土砂の侵食・堆積の実態を調査し、漂砂量係数を同定して与えることで擬似的に表現できる可能性はある。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 供給土砂量（掃流砂、浮遊砂）

目的：シミュレーションモデルの境界条件

調査地点：汽水域の上流

調査時期・頻度：出水時

備考：上下流2点以上の観測により土砂収支を把握することが望ましい。

4.3.1.5 河床構成材料の細粒化

河道掘削による河床構成材料の代表粒径の変化の程度を、平均年最大流量時の u_* （摩擦速度）と d_R （代表粒径）の関係から判断し、河床材料の大幅な変化やセグメントの変化が予想される場合には、二次判定により河床材料の変化を予測し、問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

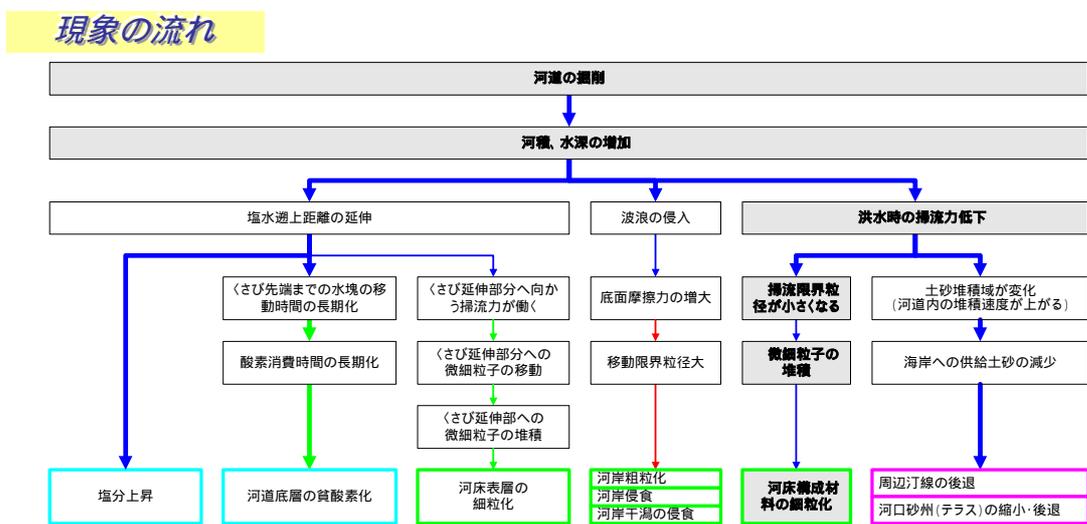
河道掘削を行うと、河積や水深が増大するため、洪水時の流速および掃流力が低下し、土砂移動が抑制される。この結果、小粒径の土砂の堆積が促進され、河床構成材料が細粒化する。

特に、堆積環境である汽水域での河床掘削はこの傾向が顕著に現れることから注意が必要である。

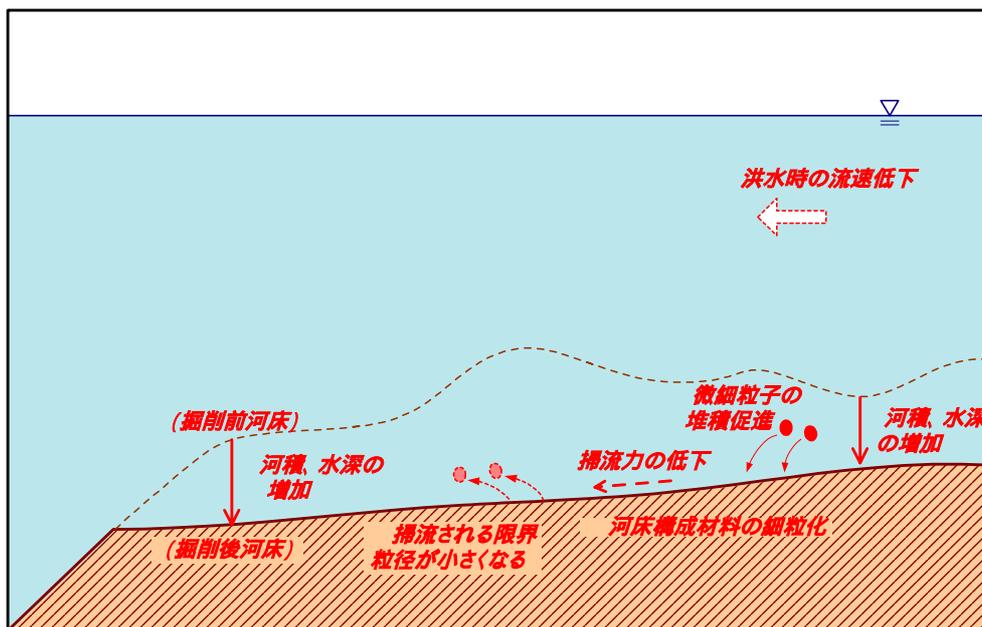
人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

- 河口部の河道掘削により河積および水深が増加する
- 洪水時の流速が減少し、河床面での掃流力が低下する
- 河積、水深が増加するため洪水時の流速が低下し、河床面に作用する掃流力も低下する。
- 掃流される限界粒径が小さくなる
- 掃流力が低下することにより、移動限界粒径が小さくなる。すなわち、掘削以前は移動可能であった粒径の移動に必要な掃流力が作用しなくなり、掘削以前より小さい粒径のみの輸送が生じることになる。
- 小粒径の土粒子の堆積が促進される
- 掃流力が低下するため、掘削以前は堆積せずに掃流されていた小粒径土砂の堆積が促進される。
- 河床構成材料が細粒化する
- 小粒径土砂の堆積増により、河床構成材料が細粒化する。

図 4.3.1.5 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。



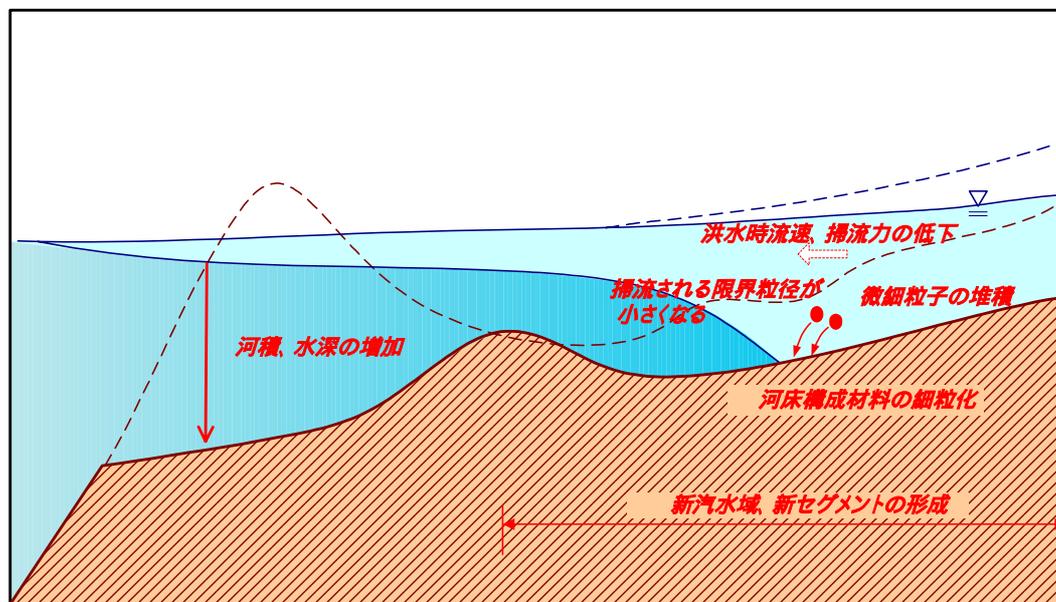
現象のイメージ図 (泥・砂河川の場合)



【備考】

- ・河床構成材料の粒度組成は、概ね平均年最大流量規模程度の水理条件に支配される。
- ・洪水の規模によって細粒化の程度が変わることがある。

現象のイメージ図 (砂利河川の場合)



【備考】

- ・河床材料の粒度組成は概ね平均年最大流量規模程度の水理条件に支配される。
- ・洪水の規模によって細粒化の程度が変わることがある。

図 4.3.1.5 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河道掘削により河床勾配に変化を生じた区間では河床材料が変化する可能性がある。河道掘削による河床構成材料の代表粒径の変化の程度は、図 4.3.1.5 - 2 のような平均年最大流量時 u_* (摩擦速度) と d_R (代表粒径) の関係が一つの目安となる。例えば図 4.3.1.5 - 3 に見られるように、河道掘削により u_*^2 が小さくなるとともに d_R も小さくなっており、この関係を用いて掘削前と掘削後の u_*^2 から d_R を予測し、河床材料の大幅な変化やセグメントの変化が予想される場合には二次判定を行う。

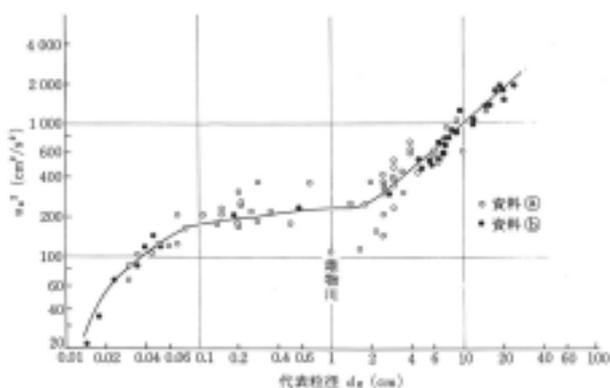


図 4.3.1.5 - 2

日本の沖積地河川の u_*^2 と d_R の関係

* 出典：「沖積河川学 堆積環境の視点から」
山本晃一著 山海堂 P.36

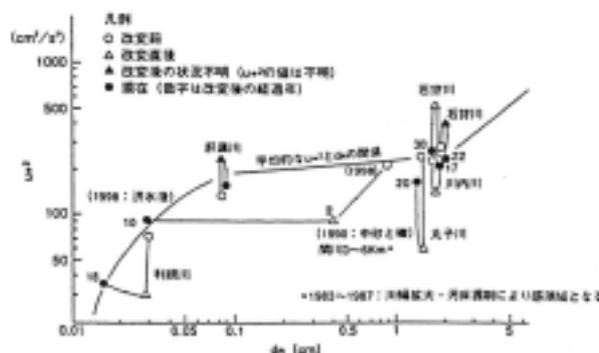


図 4.3.1.5 - 3

人工的河道改变後の河道の応答

* 出典：「自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系の関係に関する研究」(財) 河川環境管理財団

(3) 二次判定手法

河床を構成する材料の粒度組成は、主に上流からの供給土砂の量・質と河道の土砂輸送能力とのバランスにより生じる。このバランスは、洪水の規模等により変化するため、各種規模の洪水を対象として、河道の土砂輸送能力(掃流力)に対する各粒径の掃流量と堆積量の関係を把握し、当該汽水域の河床構成材料の粒度組成を評価することが重要である。一般に平均的な河床構成材料の粒度組成は、平均年最大流量規模の洪水の水理条件に支配される。

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.1.5 - 1 に示す変化を表 4.3.1.5 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び掘削河道を設定し、一次元河床変動計算を行う場合は断面特性(水位(H)~流積(A)~径深(R)~水面幅(B))、平面二次元計算を行う場合は河道地形メッシュ(格子点位置、標高)を設定する。次に、洪水時の各コントロールボリュームの掃流力を計算し、粒径帯別の土砂収支を求め、河床構成材料の構成比を予測する。

2) 予測条件

対象とする洪水流量として可能な限り多くの年の洪水ハイドロを与え、動的にみてもどのような平衡状態(粒径分布、河床高等)となるかを予測することが望ましい。ただし、これを判断するのは難しい場合もあることから、例えば、確率規模別に一定流量で与え、それぞれの規模の洪水に対して、どのような粒径分布や河床形状が期待されるかをみるのも有効である。

表 4.3.1.5 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口部の河道掘削により河積および水深が増加する	・河川縦横断形状	【断面特性の算定】 各河道横断面の H-A-R-B の算定	
洪水時の流速が減少し、河床面での掃流力が低下する	・流量 ・潮位 ・水位 ・流速鉛直縦断分布	【流速、掃流力】 不等流計算あるいは不定流計算により予測	不等流計算、不定流計算：一次元、二次元の計算手法は概ね確立されている。
掃流される限界粒径が小さくなる	・流量（流速） ・河床材料の粒度組成	【移動限界粒径粒径】 限界掃流力の式等による移動限界粒径の判定	限界掃流力の式：各種限界掃流力の式が提案されている。
微細粒子の堆積が促進される	・流量（流速） ・河床材料の粒度組成	【流砂量】 流砂量式により区間土砂収支を求め、堆積量を予測	流砂量式：各種流砂量式が提案されている。微細粒子の限界掃流力等の評価に技術的課題がある。
河床構成材料が細粒化する	・流量 ・潮位 ・供給土砂量 ・河床材料の粒度組成	【河床材料の粒度組成】 混合粒径の河床変動計算により予測	混合粒径河床変動計算：一次元の計算手法は概ね確立されているが、微細粒子の凝集・沈降過程の定式化、限界掃流力の評価等の課題がある。平面2次元の場合は、混合粒径計算が研究段階にある。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 流速鉛直縦断分布*

目的：シミュレーションモデルの検証

調査地点：必要に応じ、汽水域内で数地点

* 調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p 調査 - 4) 参照

2) 供給土砂量（掃流砂、浮遊砂）

目的：シミュレーションの境界条件、モデル検証

調査地点：汽水域の上流

調査時期・頻度：洪水の立ち上がりから低減期にかけて1～2時間間隔程度

備考：流砂形態（掃流砂・浮遊砂等）に応じて適当な手法を選択する

4.3.1.6 周辺汀線の後退、河口砂州（テラス）の縮小・後退

河口砂州や河口テラスが形成されている河川では、河道掘削により海岸への土砂供給量が減少し、砂州やテラスが縮小するとともに周辺汀線が後退する可能性がある。大河川周辺の海岸や波浪の強い外海に面した海岸ではレスポンスを生じやすいため、河道掘削を行う場合には、二次判定により土砂の供給量や汀線の変化を予測し、問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

河道掘削を行うと、河積や水深が増大するため、洪水時の流速および掃流力が低下し、土砂移動が抑制される。この結果、河口、海岸への土砂供給量が減少し、河口テラスの縮小、河口砂州の縮小や後退、周辺汀線の後退といった土砂管理や海岸保全上の問題を生じる可能性がある。

特に、汽水域や河口付近での河道掘削は、もともと堆積環境であること、海域に近いことなどからその応答速度が早くなることが想定されるため、注意が必要である。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

河口部の河道掘削により河積および水深が増加する

掘削区間の掃流力が低下する

河積、水深が増加するため洪水時の流速が低下し、河床面に作用する掃流力も低下する。

掘削区間の土砂堆積速度が増加する

河床面に作用する掃流力が低下した結果、河道掘削区間の土砂輸送能力が低下し、上流から供給される土砂も掘削区間に堆積するようになる。

河口から海岸への土砂供給量が減少する

上流からの供給土砂が河道掘削区間に堆積するため、河口から海岸まで到達、供給される土砂量が減少する。

河口周辺の汀線が後退する

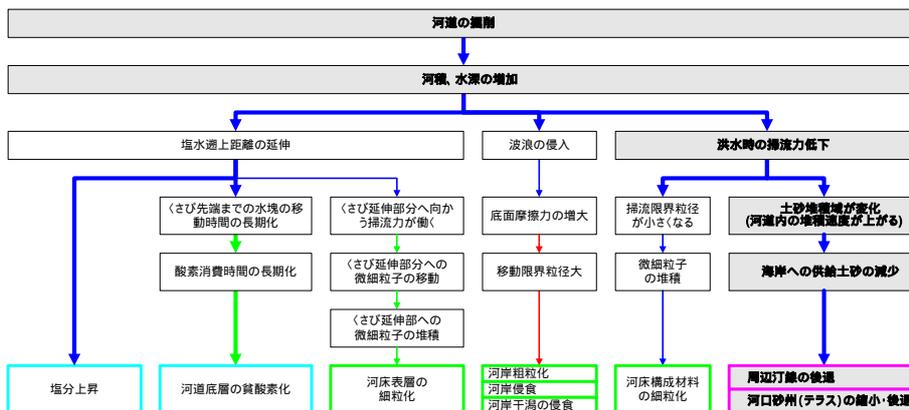
一時、河口テラスに堆積した河川からの供給土砂は、波浪の作用を受け沿岸漂砂となって周辺の海浜を形成する。従って、河川からの供給土砂の減少は河口テラスでの土砂堆積量の減少を招き、さらには周辺汀線の後退を生じ、最終的には海岸侵食の原因となる可能性がある。

河口砂州（テラス）が縮小、河道内へ後退する

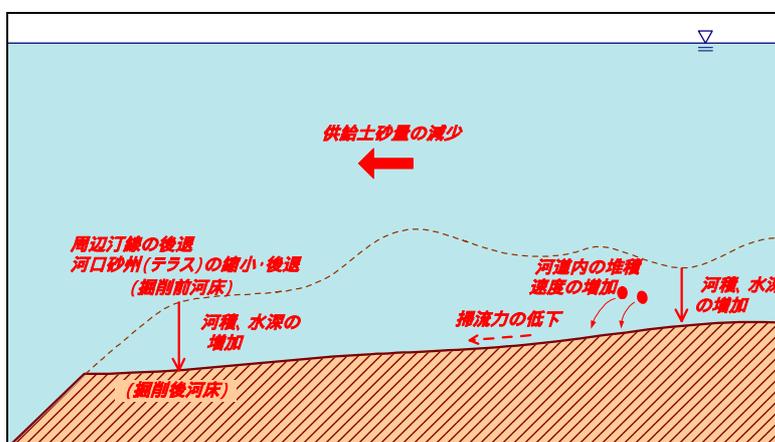
河川からの供給土砂の堆積空間である河口テラスは、河川からの供給土砂量が減少することにより縮小する。また、河口砂州は、河口テラスでの堆積土砂を波浪が河口に打ち上げることにより形成されるが、河口テラスでの土砂堆積量が減少していることから、河口砂州も縮小し、縮小規模が激しい場合は河道の中へと後退していく。

図 4.3.1.6 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



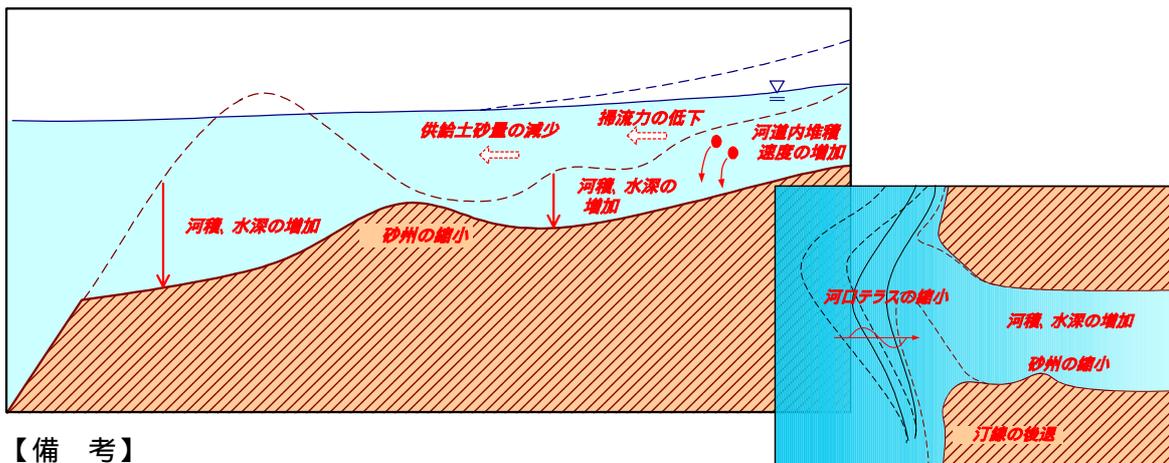
現象のイメージ図 (泥・砂河川の場合)



【備考】

- ・河床構成材料の粒度組成は、概ね平均年最大流量規模程度の水理条件に支配される。
- ・洪水の規模によって細粒化の程度が変わることがある。

現象のイメージ図 (砂利河川の場合)



【備考】

- ・河口テラスの縮小により海底勾配が急になった場合は、波の打ち上げ高が高くなるとともに、砂州高も上昇する。

図 4.3.1.6 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河口砂州や河口テラスが形成されている河川では、河道掘削により海岸への土砂供給量が減少し、砂州やテラスが縮小するとともに周辺汀線が後退する可能性がある。大河川周辺の海岸は、河川からの供給土砂を供給源として成立している場合が多く、この供給土砂量の増減が汀線変化に寄与すると考えられる。また、波浪の強い外海に面した河川で影響を受けやすい。従って、このような河川の汽水域で大規模な河道掘削を行う場合は二次判定を行うことを原則とする。なお、以下の方法により、供給土砂量の変化を推定し、その結果から汀線の変化を推察することが考えられる。

掘削前後の断面で平均年最大流量流下時の u_*^2 を求める。

流砂量式により流砂量を概略求める。

(水理公式集〔平成11年度版〕参照)

掃流砂量：芦田、道上式

$$q_{B*} = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right)$$

浮遊砂量：レイン・カリンスキ式

$$q_s = qC_a P \exp\left(\frac{6aw_0}{\kappa hu_*}\right), \quad P = \int_0^1 \left[1 + \frac{1}{\kappa\varphi}(1 + \ln \eta)\right] \exp\left(-\frac{6w_0}{\kappa u_*}\eta\right) d\eta$$

$$q_s = qC_0 P, \quad C_0 = 5.55\Delta F(w_0) \left[\frac{1}{2}\left(\frac{u_*}{w_0}\right) \exp\left\{-\left(\frac{w_0}{u_*}\right)^2\right\}\right]^{1.61}$$

τ_{*c} : 無次元掃流力 $\Delta F(w_0)$: 沈降速度 w_0 なる砂粒が河床
 q : 単位幅流量 砂礫中に占める割合 (%)
 P : w_0/u_* , κ , $\varphi = v/u_*$ の関数 v : 断面平均流速
 C_0 : 河床における濃度 (ppm) u_* : 摩擦速度
 $\eta = z/h$

なお、式中の無次元限界掃流力 τ_{*c} は、次の岩垣式により算出できる。

671.0	R_*	; $\tau_{*c} = 0.05$	0.3030	d	; $u_{*c}^2 = 80.9d$
162.7	R_*	671.0 ;	= 0.00849	$R_*^{3/11}$	0.1180 d 0.3030 ;
54.2	R_*	162.7 ;	= 0.0034		= 134.6d ^{31/22}
2.14	R_*	54.2 ;	= 0.195	$R_*^{-7/16}$	0.0565 d 0.1180 ;
	R_*	2.14 ;	= 0.14		= 55.0d
				0.0065 d	0.0565 ;
					= 84.1d ^{11/32}
					= 226d

なお、上式の使用単位は cm-s である。また、 $R_* \equiv \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}/v$, σ : 砂の密度, ρ : 水の密度, g : 重力の加速度, d : 粒径, v : 水の動粘性係数である。これらの公式は、検証は十分でないものの一般に用いられており、掘削前後での流砂量の変化を把握することができる。また、掃流砂量式は、いくつか提案されており、他の式によっても流砂量の変化を把握できる。

大幅な変化かどうかを判断する。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.1.6 - 1 に示す変化を表 4.3.1.6 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び掘削河道の断面特性(水位(H)～流積(A)～径深(R)～水面幅(B))を設定し、洪水時の各コントロールボリュームの掃流力を計算した後、土砂収支(供給土砂量)を算定する。

次に、現況海浜断面の汀線位置、海底勾配を設定し、上記供給土砂量を境界条件とし、入射波の条件を与えて汀線変化を予測する。

2) 予測条件

洪水流量は、長期間のハイドロを与え、長期的な変動条件を予測することが望ましい。

波浪条件は、地形変動に寄与するエネルギー平均波等を繰り返し与えて評価する方法が効果的である。

表 4.3.1.6 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口部の河道掘削により河積および水深が増加する	・河川縦横断形状	-	
掘削区間の掃流力が低下する。	・流量 ・潮位 ・水位 ・流速鉛直縦断分布	【流速、掃流力】 不等流計算あるいは不定流計算により予測	不等流計算、不定流計算：一次元、二次元の計算手法は概ね確立されている。
掘削区間の土砂堆積速度が増加する	・流量 ・供給土砂量	【河床高】 河床変動計算により予測	河床変動計算：一次元の計算手法は、混合粒径、一様粒径共に概ね確立されている。平面2次元の場合は、混合粒径計算が研究段階にある。
河口から海岸への土砂供給量が減少する		【土砂供給量】 河床変動計算により予測	河床変動計算：一次元の計算手法は、混合粒径、一様粒径共に概ね確立されている。平面2次元の場合は、混合粒径計算が研究段階にある。
河口前面に形成される河口テラスが縮小する	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 ・漂砂量	【河口テラスの形状】 汀線変化モデル、等深線モデルにより予測	汀線変化を予測するモデルとしては概ね確立されている。テラスの勾配等を評価するためには等深線モデルを用いる必要がある。
河口砂州が縮小、河道内へ後退する	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 ・漂砂量	【河口砂州の形状】 汀線変化モデル、等深線モデルにより予測	汀線変化を予測するモデルとしては概ね確立されている。いずれも汀線を評価するため、砂州位置等の予測は不可能
河口周辺の汀線が後退する	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 ・漂砂量	【汀線位置】 汀線変化モデル、等深線モデルにより予測	汀線変化を予測するモデルとしては概ね確立されている。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 流速鉛直縦断分布*

目的：シミュレーションモデルの検証

調査地点：必要に応じ、汽水域内で数地点

* 調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p 調査 - 4) 参照

2) 供給土砂量（掃流砂、浮遊砂）

目的：シミュレーションモデルの境界条件、検証

調査地点：汽水域の上流

調査時期：出水時

備考：上下流2点以上の観測により土砂収支を把握することが望ましい。

3) 漂砂量

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：河口含む沿岸で数地点

調査時期：洪水前後、高波浪前後等、土砂移動の活発な時期

備考：長期的な土砂収支の把握も重要である。

4.3.2 河口導流堤の建設によるレスポンスの調査・分析

4.3.2.1 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食、周辺汀線の変化

河口導流堤の建設により、河口みお筋が固定され漂砂が遮断される。これにより、汀線は場所によって前進・後退するとともに、河道内へ侵入する波浪が増加し河口砂州等が上流側へ後退する可能性がある。

周辺海岸等での同様の構造物による海浜変形状況、深淺測量や海浜測量による侵食・堆積状況から漂砂の卓越する方向を推察するとともに、波砕水深と導流堤建設前後の河口水深から波浪遡上の状況を予測する。周辺海岸に砂浜が広がり沿岸漂砂が一年を通して一方に卓越している場合および、波浪の侵入状況の変化により波高が増大する場合、ならびに現況において波浪による河岸干潟・砂州の位置、規模形状の変化が大きい場合には二次判定により汀線変化や砂州の変化を予測することで問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

導流堤を建設することにより、砂州・みお筋が固定化し、開口部河積、河口水深が増大する。これにより、河道内への波浪の遡上が生じ、河口砂州が河道内へ後退する可能性がある。

また、沿岸漂砂の遮断、波の変形等が生じるため、周辺汀線が変化する。特に沿岸漂砂の遮断による汀線変化は、漂砂の下手で海岸侵食となって現れるため注意が必要である。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

< 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食 >

砂州およびみお筋が固定化される

河口導流堤により、砂州やみお筋が固定される。

河口部の河積が増大する

砂州・みお筋の固定化、漂砂の遮断により、河口砂州が縮小し、河口部の河積は増加する。

河道内への波浪の進入が促進される

河口の水深が増加することにより、掘削以前は砕波等により低減されていた波浪が河道内へと侵入しやすくなる。

底面摩擦力の増大

波が侵入しやすくなることで波による底面摩擦力が増大する。

波による移動限界粒径が大きくなる

底面摩擦力が大きくなるため、波により輸送され得る粒径（移動限界粒径）が大きくなる。

河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食

底面摩擦力の増大により、微細粒子が流出しやすくなる。この結果として、河岸等が粗粒化する場合がある。また、波浪の侵入により、河岸、河岸干潟が洗われ、侵食される。

< 周辺汀線の変化 >

漂砂が遮断される

導流堤の建設により沿岸方向の漂砂が遮断される。遮断による影響は特に流出土砂に対して沿岸漂砂が卓越する河川において顕著である。

波高・波向分布が変化する

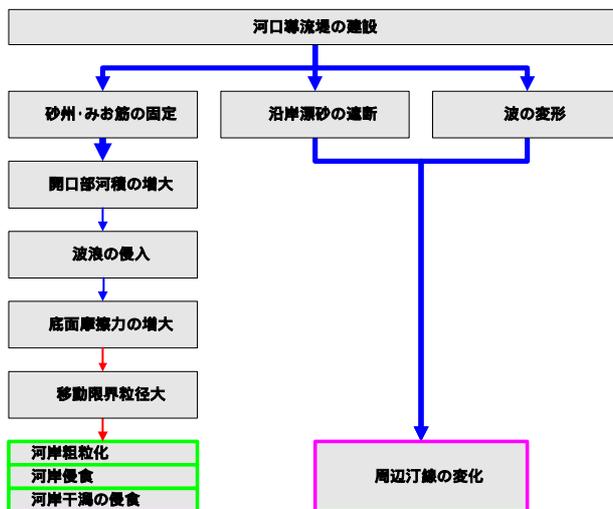
導流堤による反射・回折や、海底地形の変化による屈折や浅水変形の変化に伴い河口付近での波高、波向分布が変化する。

汀線が前進、または後退する

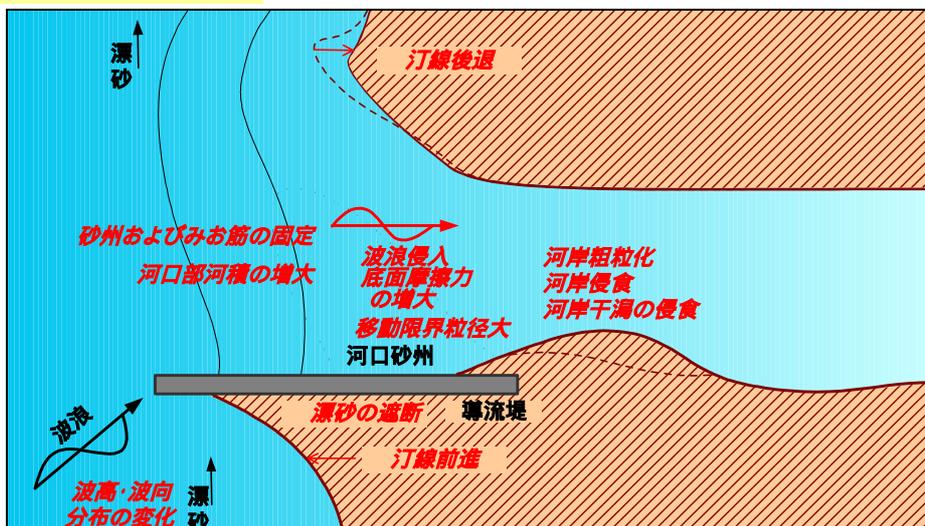
漂砂が一方向に卓越している場合、導流堤が漂砂を捕捉する形となり、漂砂の上手では汀線の前進、下手では汀線の後退を生じる。

図 4.3.2.1 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・ 両岸に導流堤を建設した場合は土砂が沖へと誘導され、河口テラス、河口砂州の縮小が生じる。
- ・ 沿岸漂砂が卓越する河川の河口をイメージしている。
- ・ 導流堤を設けると、導流堤に沿う流れが生じ、局所的に洗掘を生じることがある。

図 4.3.2.1 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河口導流堤の建設により、河口みお筋が固定され漂砂が遮断される。これにより、汀線は場所によって前進・後退するとともに、河道内へ侵入する波浪が増加し河口砂州等が上流側へ後退する可能性がある。

周辺の海岸に砂浜が広がり沿岸漂砂が一年を通して一方向に卓越している場合は、導流堤を汀線より沖に出せば必ず汀線の移動が生じると考えられるため二次判定を行う。

また、導流堤は一般に外海に面した河川に設けられ、波浪の影響を強く受けており、導流堤の設置によって波が侵入しやすくなると河岸等の侵食を生じるため、波浪の侵入状況の変化を推察し、波高が増大する場合には二次判定を行う。また、現況において波浪による河岸干潟・砂州の位置、規模、形状の変化が大きい場合にも二次判定を行う。

1) 漂砂の推察

周辺海岸等での同様の構造物(突堤、防波堤等)による海浜変形状況、深浅測量や海浜測量による侵食・堆積状況から沿岸漂砂の卓越する方向を推察する。

2) 波浪の侵入の推察

導流堤が片側のみの場合は、河口開口幅や砂州高はあまり変化しない。一方、両側に導流堤を設けた場合には、それらが大きく変化し波の侵入状況が大幅に変わる可能性がある。この場合、沖波の条件を基に、図 4.3.2.1 - 2 から碎波水深を推定する。この碎波水深と導流堤建設後の河口水深から、波浪遡上の状況を推察する。

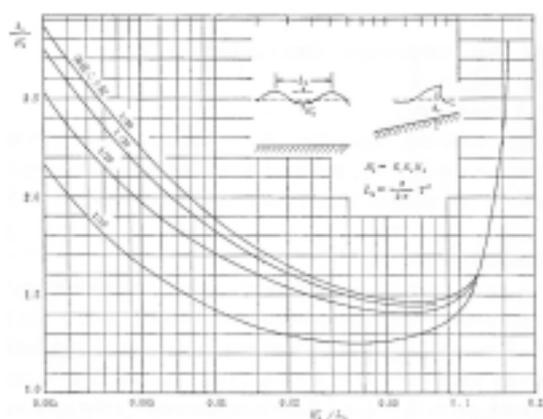


図 4.3.2.1 - 2

波形勾配と碎波水深との関係

出典：「改訂 海岸保全施設築造基準解説」

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.2.1 - 1 に示す変化を表 4.3.2.1 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

河道及び河口海域の平面的な地形メッシュ(格子点位置、標高)を設定する。この地形に波浪条件を与えて、波浪変形計算を行い、波高、波向等から漂砂量・土砂移動量を求め、汀線変化・砂州の移動を予測する。

2) 予測条件

波浪変形計算を行う際の沖波条件(波高、周期、波向)は、河岸干潟・砂州の地形変化に寄与すると考えられる波向の年最大規模程度の波あるいは、エネルギー平均波を設定することを基本とする。

また、入射波向は、海底地形に応じて、屈折、回折、浅水変形の影響度を考慮して設定する。

表 4.3.2.1 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
砂州およびみお筋が固定される	・河川縦横断形状 ・海浜・海底地形	河床高、海底高平面分布の作成	
開口部の河積が増大する	・供給土砂量 ・漂砂量 ・潮位 ・河川縦横断形状	【河口形状】 河口幅予測モデルによる予測が考えられる。	断面変形予測モデル、河口位置変化予測モデルに拡張されている。 砂州越流を考慮する場合は、平面2次元計算によることとなるが、波による砂州形成過程、砂州形状の解析は困難
河道内への 波浪の侵入 が促進される	・海浜・海底地形 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位 ・波高分布	【波高分布】 波浪変形計算 により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。 また、碎波を考慮する場合は碎波モデルを組み込む必要がある。ただし、河道内波高分布の予測は可能であるが、汀線変化モデルに反映することは困難。
底面摩擦力が増大する		【底面摩擦速度】 底面摩擦速度の算定式 により予測	底面摩擦速度の式は種々提案されている。
波による 移動限界粒径が大きくなる	・流量（流速） ・河床材料の粒度組成	【移動限界粒径粒径】 限界掃流力の式 等による移動限界粒径の判定	波・流れ供存場における移動限界摩擦速度の評価に技術的課題がある。 また、混合粒径での評価は現状では困難である。
河口砂州が河道内へ後退 する	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 ・漂砂量 ・河川縦横断形状	【河口砂州の形状】 汀線変化モデル により予測できる。	汀線変化を予測するモデルとしては概ね確立されている。ただし、汀線の評価するため河口位置等の予測は不可能。
漂砂が遮断 される	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 ・漂砂量	【漂砂量】 汀線変化モデル により予測できる。	汀線変化を予測するモデルとしては概ね確立されている。
波高・波向分布が 変化する	・海浜・海底地形 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位 ・波高分布	【波高分布】 波浪変形計算 により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。 また、碎波を考慮する場合は碎波モデルを組み込む必要がある。
漂砂の遮断により、上手では 汀線前進 、下手では 後退 を生じる	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 ・漂砂量	【汀線変化】 汀線変化モデル により予測できる。	汀線変化を予測するモデルとしては概ね確立されている。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 供給土砂量(掃流砂、浮遊砂)

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：汽水域の上流

調査時期・頻度：出水時

備考：上下流2点以上の観測により土砂収支を把握することが望ましい。

2) 漂砂量

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：河口含む沿岸で数地点

調査時期：洪水前後、高波浪前後等、土砂移動の活発な時期

備考：長期的な土砂収支の把握も重要である。

4.3.3 河口部の埋め立てによるレスポンスの調査・分析

4.3.3.1 河岸干潟の細粒化、河岸干潟の侵食

河口部に干潟が存在する場合、波向からみて遮蔽域にあたる領域では波浪が弱く底面摩擦力が小さいために粒径が小さくなりやすく、波当たりが強い領域では粒径が大きくなったり侵食されやすい傾向にある。

埋め立ての平面形状、波高、波向などから波浪の侵入により侵食されるおそれがある河岸干潟がある内湾の河川および干潟を持つ外海に面した河川、ならびに現況において波浪による河岸干潟・砂州の位置、規模、形状に大きな変化が生じている河川で埋め立てを行う場合は、二次判定により河床の粒度や汀線の変化を予測することで問題の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

河口部の埋め立てにより、波向等の波浪特性が変化して新たな遮蔽域や反射域を形成する可能性がある。遮蔽域では波高が減少するため、波浪による土砂輸送が抑制され、干潟等の細粒化が生じることがある。逆に反射波が形成される領域では波高が高くなり、干潟の侵食や粗粒化を生じる可能性がある。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

< 干潟等の細粒化 >

埋め立て地により波の遮蔽域が形成され波高が減少する

河口部で埋め立てを行うと、新たな遮蔽域が形成され、波高が埋め立て前に比べて低下する。

波高低下により底面摩擦力が低下する

遮蔽域では波高が減少することにより、河床に作用する底面摩擦力が低下する。

波による移動限界粒径が小さくなる

底面摩擦力が小さくなるため、波により輸送され得る粒径（移動限界粒径）が小さくなる。

波浪による土砂輸送量が減少し、河岸干潟が細粒化する

輸送可能な粒径が小さくなり、微細粒子が堆積しやすくなるため、遮蔽域の干潟等では細粒化することがある。

< 干潟の侵食や粗粒化 >

埋め立て地により波の反射域が形成され、反射波や沿い波が発生する

河口部で埋め立てを行うと、波浪の変形状況が変化することにより新たな反射域が形成され、波高が埋め立て前に比べて増大することになる。

反射波、沿い波の発生箇所で底面摩擦力が増大する

反射波、沿い波により波高が増大すると、河床に作用する底面摩擦力が増加する。

波による移動限界粒径が大きくなる

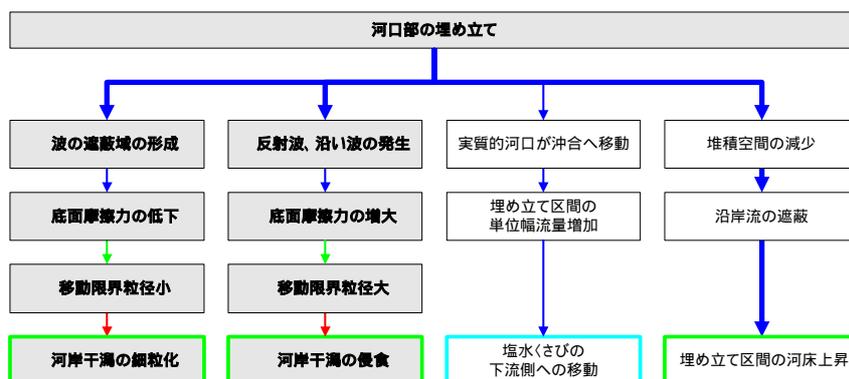
底面摩擦力が大きくなるため、波により輸送され得る粒径（移動限界粒径）が大きくなる。

河岸干潟が侵食される

輸送可能な粒径が大きくなり、土砂が移動しやすくなるため、反射域の河岸干潟が侵食されることがある。特に、波の入射角が小さい場合は、沿い波が発生することがあり注意を要する。

図 4.3.3.1 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図

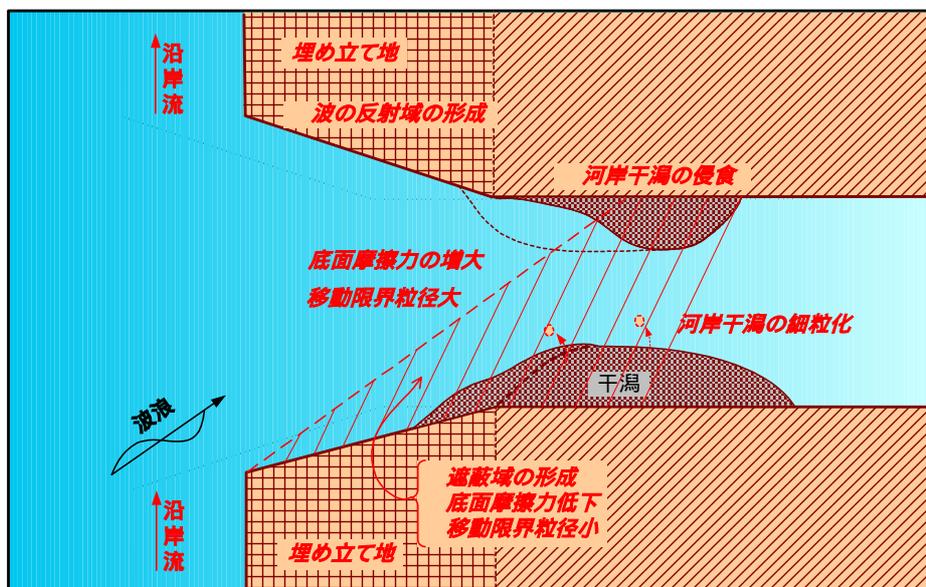


図 4.3.3.1 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河口部に干潟が存在する場合、波向からみて遮蔽域にあたる領域では波浪が弱く底面摩擦力が小さいために粒径が小さくなりやすく、波当たりが強い領域では粒径が大きくなり侵食されやすい傾向にある。

一般に埋め立ては内湾で行われ、波浪の影響は比較的小さいため、埋め立ての平面形状、波高、波向などより波浪の侵入により侵食されるおそれがある河岸干潟があるか否かを判断し、ある場合には二次判定を行う。一方、外海で埋め立てを行う場合は影響が出る可能性が高まると考えられるので原則として二次判定を行う。なお、現況において波浪による河岸干潟・砂州の位置、規模、形状に大きな変化が生じている場合は二次判定を行う。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.3.1 - 1 に示す変化を表 4.3.3.1 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び埋め立て後の河道を設定し、河道及び河口海域の平面的な地形メッシュ（格子点位置、標高）を設定する。この地形条件に沖波及び入射波の条件を与えて波浪変形計算を行い、波高、波向等から漂砂量を求め、汀線変化を予測する。

2) 予測条件

波浪変形計算を行う際の沖波条件（波高、周期、波向）は、河岸干潟・砂州の地形変化に寄与すると考えられる波向で年最大規模程度の波あるいは、エネルギー平均波を設定することを基本とする。

また、入射波向は、海底地形に応じて、屈折、回折、浅水変形の影響度を考慮して設定する。

表 4.3.3.1 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
埋め立て地により波の遮蔽域が形成され、波高が減少する	・海浜・海底地形 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位 ・波高分布	【波高分布】 波浪変形計算により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。また、砕波を考慮する場合は砕波モデルを組み込む必要がある。
波高低下により底面摩擦力が低下する		【底面摩擦速度】 底面摩擦速度の算定式により予測	底面摩擦速度の算定式は種々提案されている。汀線変化モデルでの検討には用いない。
波による移動限界粒径が小さくなる	・流量（流速） ・河床材料の粒度組成	【移動限界粒径粒径】 限界掃流力の式等による移動限界粒径の判定	波・流れ供存場における移動限界摩擦速度の評価に技術的課題がある。また、混合粒径での評価は現状では困難である。
波浪による土砂輸送量が減少し、河岸干潟が細粒化する	・供給土砂量 ・波高、周期 ・河川縦横断形状 ・潮位（水位） ・河床材料	【土砂輸送量（漂砂量） 河床材料】 混合粒径の汀線変化モデル*により概略検討できる可能性がある	汀線変化モデルでは、河川流量を取り込むことは困難である。混合粒径の汀線変化モデルは、学会、委員会等の場では用いられているが、実際の計画への適用例はない。
埋め立て地により波の反射域が形成され、反射波や沿い波が発生する	・海浜・海底地形 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位 ・波高分布	【波高分布】 波浪変形計算により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。また、砕波を考慮する場合は砕波モデルを組み込む必要がある。
反射波、沿い波の発生箇所で、底面摩擦力が増大する		【底面摩擦速度】 底面摩擦速度の算定式により予測	底面摩擦速度の算定式は種々提案されている。汀線変化モデルでの検討には用いない
波による移動限界粒径が大きくなる	・流量（流速） ・河床材料の粒度組成	【移動限界粒径粒径】 限界掃流力の式等による移動限界粒径の判定	波・流れ供存場における移動限界摩擦速度の評価に技術的課題がある。また、混合粒径での評価は現状では困難である。
河岸干潟が侵食される	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・河川縦横断形状 ・潮位（水位） ・河床材料	【河岸形状】 汀線変化モデル*の応用が考えられる。	波浪による河岸侵食への適用例はない 汀線変化モデルでは、河川流量を取り込むことは困難である。

*汀線変化モデルは砂（非粘着性）が前提であることから、泥河川での河岸の侵食への適用は難しく適用事例もない。ただし、粘着性土砂の侵食・堆積の実態を調査し、漂砂量係数を同定して与えることで擬似的に表現できる可能性はある。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 供給土砂量（掃流砂、浮遊砂）

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：汽水域の上流

調査時期・頻度：出水時

備考：上下流2点以上の観測により土砂収支を把握することが望ましい。

4.3.3.2 塩水くさびの下流側への移動

4.3.1.1 と同様に一次判定手法を用いて塩水くさびの移動範囲等を推定し、次のような事象が予想される場合は二次判定により塩分濃度を予測し問題の有無を判断する。

- ・塩分くさびの移動範囲が大きく変化する場合
- ・塩水くさびの移動する範囲に汽水性の生物の重要な生息・生育場所がある場合

(1) 人為的改変によるレスポンス

河口部の両岸を埋め立てた場合、実質的に河道が延伸された形状となる。このため、埋め立て区域では河川からの外力が増加するため、塩水くさびが下流側へと移動する。

特に、埋め立て部の開口幅（実質的な川幅）が狭い場合はこの影響が強くなる。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

河口両岸を埋め立てた場合、実質的な河口が沖合へ移動する

河口の両河岸を埋め立てた場合、埋め立て地間の水理特性は河川と同様になり、実質的に河口が沖合へ移動した形となる。

埋め立て区間の単位幅流量が増加する

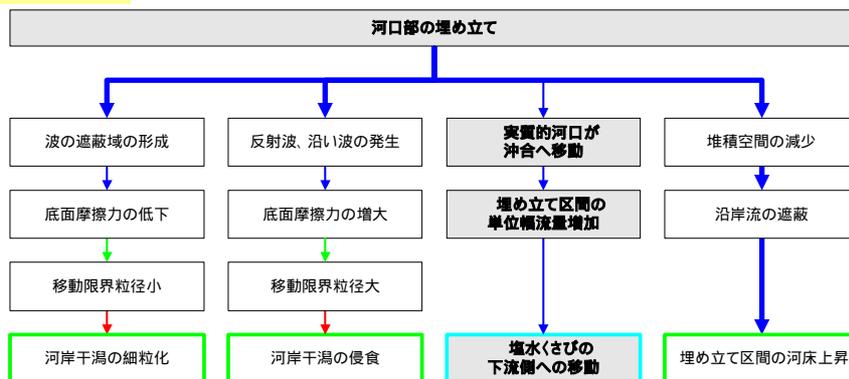
埋め立て区間では、両岸を埋め立て地によって拘束され、河道としての挙動を示すようになるため、単位幅当たりの流量は埋め立て前に比べて増加する。

遡上塩水の上流端が下流に移動する

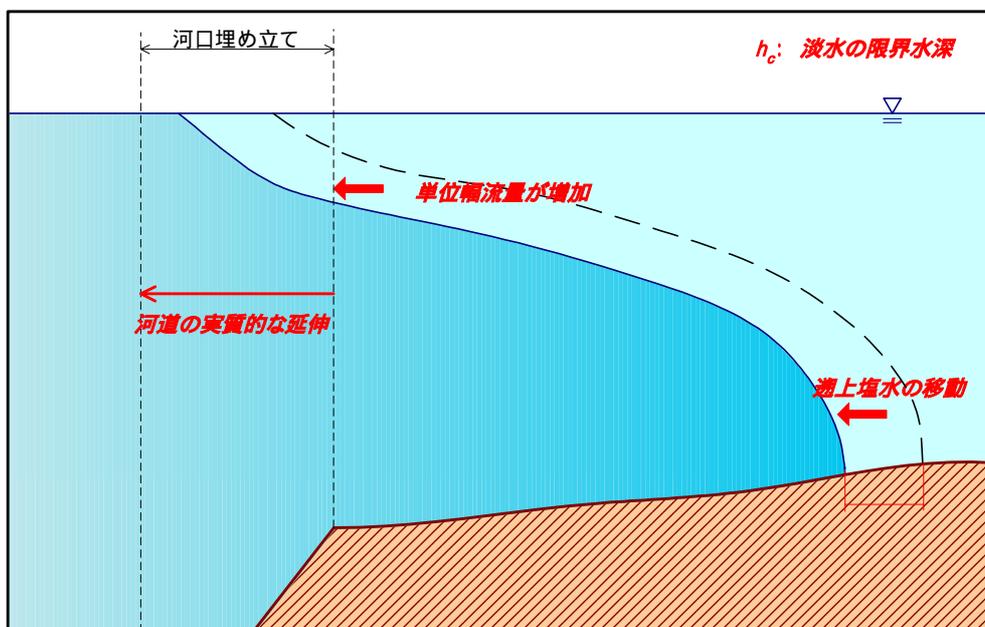
河口の移動とともに塩水くさびの淡塩界面が下流へと移動し、遡上塩水の上流端が下流へ移動する。

図 4.3.3.2 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・上図は弱混合のイメージ図である。
- ・強混合の場合も実質的な河口が沖合へ移動し、現河口の塩分濃度が低下するため遡上塩水の上流端は下流へ移動する。

図 4.3.3.2 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

埋め立てによる河口位置の下流側への移動は掘削により河道の水深や汽水域の長さが変わる場合と類似している。埋め立てを行う場合には、4.3.1.1 に示す一次判定手法を用いて塩水くさびの移動範囲等を推定し、次のような事象が予想される場合は二次判定を行う。

- 塩水くさびの移動範囲が大きく変化する場合
- 塩水くさびの移動する範囲に汽水性の生物の重要な生息・生育場所がある場合

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.3.2 - 1 に示す変化を表 4.3.3.2 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況河道及び埋め立て後の河道を設定し、その断面特性（水位（ H ）～流積（ A ）～径深（ R ）～水面幅（ B ））を求める。これを選択したシミュレーションモデルに与えて塩水くさびの形状や塩分濃度分布を予測する。現況河道と埋め立て後の河道の塩分濃度を比較し、塩水くさびの移動を判断する。

2) 予測条件

流況条件は、平均的な流況及び渇水時の流況の条件を選ぶことが基本である。また、維持流量の条件での塩水遡上の変化を把握することも重要である。

潮位条件は、年間のうち、平均潮位が高い夏期の半月周潮の潮位を与えることが基本である。

表 4.3.3.2 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口兩岸を埋め立てた場合、実質的な 河口が沖合へ移動する	・河川縦横断形状	埋め立て区間の横断面 H-A-R-B の算定	
埋め立て区間の淡水の 単位幅流量が増加する	・流量 ・潮位 ・水位 ・流速鉛直縦断分布 ・塩分鉛直縦断分布	【塩水遡上量、遡上距離】 塩分くさび形状、塩分濃度分布の予測 (弱混合)淡塩二層流計算 (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算	(弱混合)淡塩二層流計算：計算手法は概ね確立されている (弱～緩混合)鉛直二次元密度流拡散計算：塩淡界面付近の混合の表現に技術的課題がある。
淡水層の 内部跳水位置が下流へ移動する	・流速鉛直縦断分布		
遡上塩水の上流端が 下流に移動する。	・塩分鉛直縦断分布		

(4) 二次判定のための調査手法

1) 流速鉛直縦断分布*

目的：シミュレーションモデルの検証

調査地点：縦断方向は、塩水遡上距離及びその変動状況に応じて設定(5～15点程度)
水深方向は、1～2m程度の間隔とし、濃度変化の大きい河口付近、遡上先端では密にする。

調査時期：半月周期(約15日間)の塩水挙動を捉えるのが望ましい。

* 調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p調査-4)参照

4.3.3.3 埋め立て区間の河床上昇

河口で埋め立てを行う場合、二次判定により河床の変動を予測し、問題の有無を判断することを原則とする。

(1) 人為的改変によるレスポンス

河口部での埋め立てが従来の堆積空間を制限することから、河川からの供給土砂量が埋め立て区間に堆積しやすくなる。さらに、沿岸流を遮断するような場合には、沿岸方向の土砂移動を制限することになり、埋め立て区間の土砂堆積はより顕著になる可能性がある。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

埋め立て地により土砂の堆積空間が減少する

河川からの供給土砂は、海域に流出した後、沿岸方向にある程度の幅を持って堆積する。これが、埋め立て地ができることにより沿岸方向への堆積が制限され、堆積空間は埋め立て区間内に限定されることになる。

沿岸流等による沿岸方向の土砂移動がなくなる

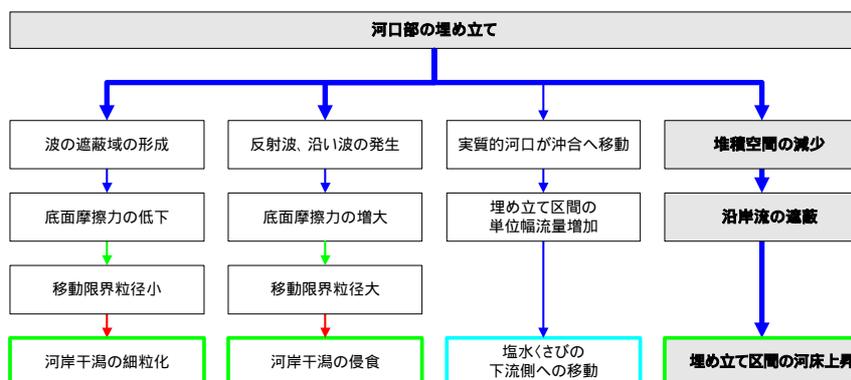
沿岸流あるいは沿岸漂砂が卓越している沿岸では、沿岸方向の土砂移動が生じているが、埋め立て地により、この土砂移動が制限される。

埋め立て区間の土砂堆積が促進される

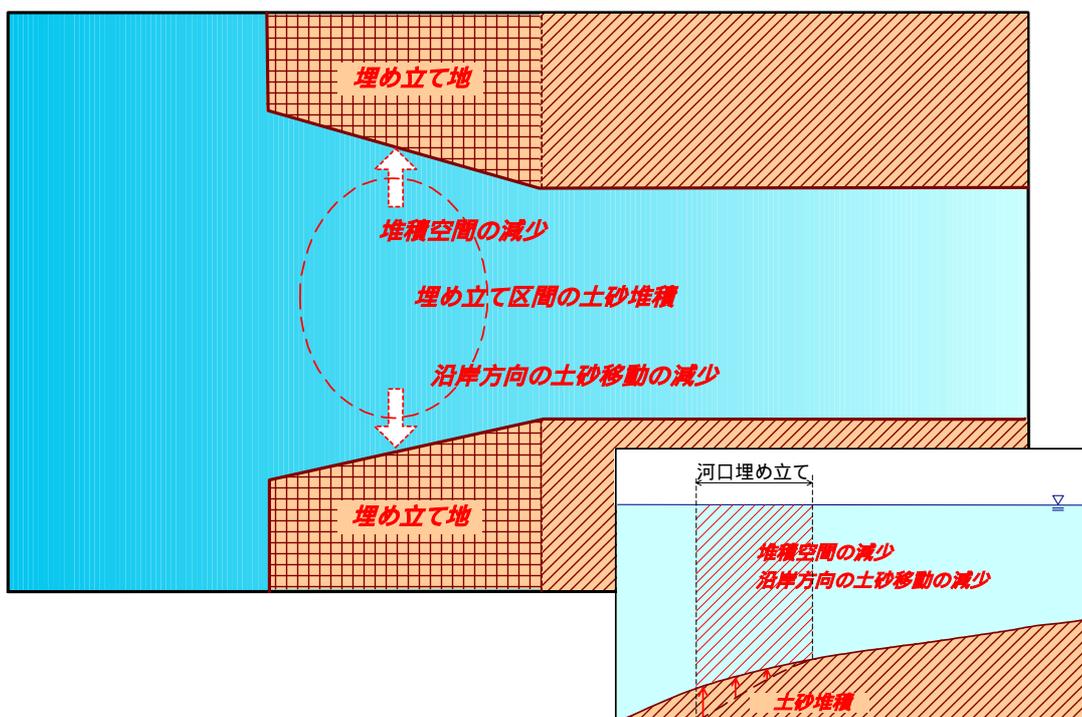
以上の結果、埋め立て区間は河川からの供給土砂の堆積が促進される結果となり、前置斜面すなわちデルタフロントが前進する。

図 4.3.3.3 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・ 実質的に河口が沖に前進するのに伴い、デルタフロントが前進する。
- ・ 埋め立て区間の河床上昇により上流区間の河床上昇の可能性もある。

図 4.3.3.3 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河口で埋め立てを行った場合、河川からの流出土砂の堆積領域が狭まるとともに、沿岸流等が遮断されることにより、河口土砂が沿岸方向に移動しにくくなる。従って、埋め立て区間の河床が上昇する可能性が高く、二次判定を行うことを原則とする。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.3.3 - 1 に示す変化を表 4.3.3.3 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

河道及び河口海域の平面的な地形メッシュ(格子点位置、標高)を設定する。この地形に波浪条件を与えて、波浪変形計算、海浜流計算を実施する。

一方、埋め立て区間を含む河道の断面特性(水位(H)～流積(A)～径深(R)～水面幅(B))を設定し、河床変動計算を行うことにより土砂収支を求める。必要に応じて、この土砂収支を考慮した地形データでの波・流れによる海底変形を評価する。

2) 予測条件

波浪変形計算を行う際の沖波条件(波高・波向・周期)は、河岸干潟・砂州の地形変化に寄与すると考えられる波向で年最大規模程度の波あるいは、エネルギー平均波を設定することを基本とする。

また、入射波向は、海底地形に応じて、屈折、回折、浅水変形の影響度を考慮して設定する。

また、流況条件は主に地形変動に寄与すると考えられる平均年最大流量程度を想定する。

表 4.3.3.3 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
埋め立て地により、 土砂の堆積空間が減少する	<ul style="list-style-type: none"> 河川縦横断形状 海浜・海底地形^{*1} 	河床高、海底高平面分布の作成	
沿岸流等による 沿岸方向の土砂移動がなくなる	<ul style="list-style-type: none"> 沖波波高、波向、周期^{*1} 沿岸流速^{*1} 漂砂量^{*1} 	【沿岸流速】 波浪変形計算と二次元海浜流計算 により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。また、砕波を考慮する場合は砕波モデルを組み込む必要がある。 2次元海浜流計算は、一般的な手法である。
埋め立て区間の土砂堆積が促進される	<ul style="list-style-type: none"> 流量、潮位 供給土砂量（海浜地形変動量） 流速鉛直縦断分布 	【供給土砂量・地形変化】 流砂量式、河床変動計算 により予測できる。 （波・流れ共存場における海浜地形変形モデルでも評価できる可能性あり）	

*1 河道内の河床変動計算のみ行う場合は必要ない

(4) 二次判定のための調査手法

1) 流速鉛直縦断分布*

目的：シミュレーションモデルの検証

調査地点：必要に応じ、汽水域内で数地点

* 調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p 調査 - 4) 参照

2) 供給土砂量（掃流砂、浮遊砂）

目的：シミュレーションの境界条件（同定）

調査地点：汽水域の上流

調査時期・頻度：洪水の立ち上がりから低減期にかけて1～2時間間隔程度

備考：流砂形態（掃流砂・浮遊砂等）に応じて適当な手法を選択する

3) 漂砂量

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：河口含む沿岸で数地点

調査時期：洪水前後、高波浪前後等、土砂移動の活発な時期

備考：長期的な土砂収支の把握も重要である。

4) 沿岸流速

目的：シミュレーションの検証

調査地点：河口を含む沿岸

調査時期・頻度：ある程度の長期にわたる連続観測

4.3.4 河口域での海砂採取によるレスポンスの調査・分析

4.3.4.1 河口砂州の縮小・後退、砂州高の変化

移動限界水深よりも浅い場所で海砂採取を行う場合には、二次判定により河口砂州や汀線の変化を予測し問題の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

砂～砂利河川の河口に形成された、河口テラスでの海砂採取により、掘削穴が形成されると、掘削穴での土砂捕捉が生じる。この結果、河口テラスの縮小や海底勾配が急になるなどの変化が生じ、波浪の変形、打ち上げ高の上昇などから河口砂州形状が大きく変化することがある。

また、土砂捕捉により漂砂が減少すると周辺汀線の後退等が生じることになる。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

河口テラスに掘削穴が形成される

河口テラスでの海砂採取は、一箇所でも継続的に実施されることがあり、大規模な掘削穴を形成することがある。

河川からの供給土砂が掘削穴に捕捉される

掘削穴が移動限界水深より深く形成されている場合、掘削穴に落ち込んだ河川からの供給土砂や漂砂は、波浪の影響を受けることがなくなり、捕捉されたままになる。

河口テラスが縮小する

掘削穴が供給土砂や周辺の土砂を捕捉していくので、河口テラスも掘削穴周辺から変形し、縮小していく。

砕波点の移動、水深の変化

河口テラスの縮小に伴い、掘削穴周辺の海底は急勾配になって砕波点が河口に近づき、或いは水深が深くなる等の変化を生じる。

河口砂州、汀線が後退する

河口砂州は、河口テラスでの堆積土砂を波浪が河口に打ち上げることにより形成されるが、河口テラスが縮小し、移動可能な土砂量が減少していることから、河口砂州も縮小し、縮小規模が著しい場合は、河道の中へと後退していく。また、河口テラスに堆積した河川からの供給土砂は、波浪の作用を受け沿岸漂砂となって周辺の海浜を形成する。従って、河口テラスでの移動可能な土砂量の減少は周辺汀線の後退を生じる可能性が高い。

波の打ち上げ高が増す

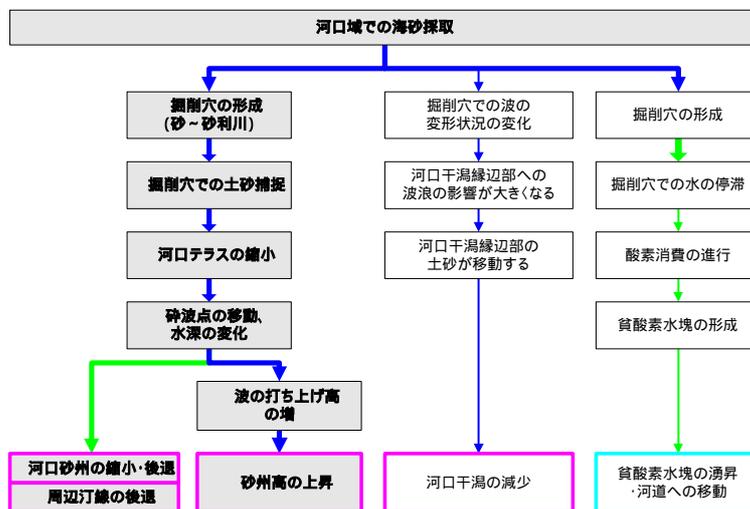
砕波点の河口側への移動や水深の変化により、テラス周辺の波の変形状況が変化し、砂州への波の打ち上げ高（遡上高）が増す。

砂州高が上昇する

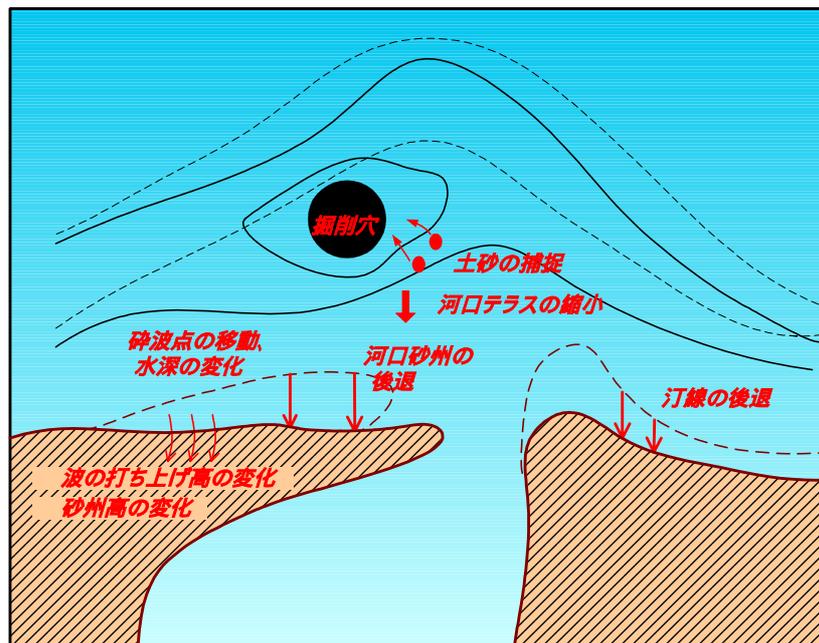
砂州や砂浜は、波によって打ち上げられた土砂によって形成され、その高さは概ね波の打ち上げ高と同程度となる。従って、波の打ち上げ高が上昇すると砂州高や砂浜高も同様に変化することとなる。なお、このような砂州高の上昇は、砂利採取の規模

と土砂供給のバランスによっては長期的に砂州高が低下していく可能性もある。
 図 4.3.4.1 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・ 河口テラスを持つような、比較的勾配が急な砂利河川、砂河川に生じやすい。
- ・ 河口テラスの地形が変化することから、波の変形状況が変化し河口砂州の形状が変形することがある。
- ・ 砂州の形状変化は、航路がある場合等は特に問題となることがある。

図 4.3.4.1 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河口砂州や河口テラスの主な構成材料の移動限界水深よりも浅い場所で海砂採取を行った場合には、影響が大きくなる可能性が高いため二次判定を行う。特に外海に面した波の強い河川で生じやすいので注意が必要である。移動限界水深は次のように求める。

1) 移動限界水深

河口砂州や河口テラスの主な構成材料の移動限界水深より浅いところでは、波浪により河口砂州や河口テラスが変形し、水深変動が顕著に生じる。従って、過去の海浜断面から水深変動の標準偏差を求めることにより、移動限界水深を把握することができる。

(図 4.3.4.1 - 2 参照)

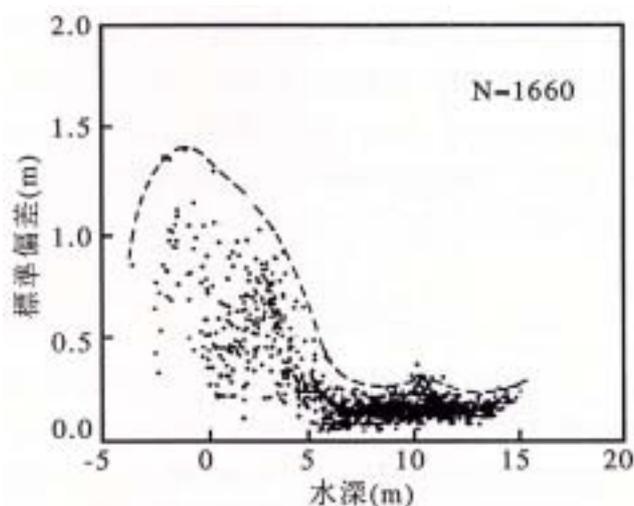


図 4.3.4.1 - 2 平均水深と水深の時系列的変動を調査した事例
出典:漂砂環境の創造に向けて 土木学会

2) 移動限界水深の事例

全国の海岸の移動限界水深が、表 4.3.4.1-1 に整理されており、これより概略把握することが可能である。

表 4.3.4.1 - 1 波による地形変化の限界水深の一覧

図番号	名 称	波による地形変化の 限界水深: A_L (m)	判断の基礎 となる図	図番号	名 称	波による地形変化の 限界水深: A_L (m)	判断の基礎 となる図
3.1.1	北海道野付崎津海岸	4	図3.1.9	3.5.5	静岡県駿河海岸	8	図3.5.75
3.1.2	北海道甘高海岸	6	図3.1.17	3.5.6	静岡県相良石浜海岸	3	図3.5.85
3.2.1	青森県青森海岸	2	図3.2.3	3.5.7	静岡県電津海岸	10	図3.5.101
3.2.2	青森県三沢海岸	8	図3.2.12	3.5.8	静岡県浜名湖今切川河口部	13	図3.5.118, 112
3.2.3	宮城県石巻沿岸	8	図3.2.17	3.5.10	三重県鈴鹿川河口部	2.5	図3.5.125
3.2.4	福島県北部～宮城県南部沿岸	9	図3.2.28	3.5.11	三重県御座海岸	1.7	図3.5.132
3.2.5	宮城県仙台湾沿岸	8	図3.2.36	3.5.12	三重県七尾川河口部	10	図3.5.141
3.2.6	秋田県能代沿岸	14↑	図3.2.47	3.6.1	京都府浅茂川海岸	5	図3.6.9
3.2.7	山形県沿岸	15↑	図3.2.58, 59	3.6.3	兵庫県東播磨海岸	1.5 (江井ヶ島) 1.5 (谷六木)	図3.6.24 図3.6.29
3.3.2	茨城県神岡上海岸	9	図3.3.14	3.6.4	兵庫県淡路島内田海岸	4.5	図3.6.44
3.3.4	茨城県鹿島灘沿岸	8	図3.3.40	3.7.1	鳥取県岩美海岸	10	図3.7.4～9
3.3.6	千葉県富津岬	2～3	横定値	3.7.2	鳥取県鳥取海岸	14	図3.7.22
3.3.7	神奈川県湘南・西湘海岸	7	図3.3.73	3.7.3	鳥取県若生海岸	8	図3.7.27
3.4.1	新潟県神林海岸	7	図3.4.7	3.7.4	島根県若海川河口部	6	図3.7.39
3.4.2	新潟県新潟海岸	8	図3.4.11, 16	3.7.6	山口県八幡海岸	5.5	図3.7.90
3.4.4	新潟県柏崎港～荒浜海岸	11	図3.4.35	3.8.1	徳島県高松(古野川河口～兼助港)	7	図3.8.4
3.4.5	新潟県直江津海岸	8	図3.4.39～45	3.8.2	徳島県今津海岸	7	図3.8.6
3.4.6	新潟県古志川・青海海岸	8		3.8.3	高知県高知海岸 (物部川河口～浦戸湾)	11	図3.8.11
3.4.7	新潟県根知海岸	9	図3.4.63	3.8.4	高知県高知海岸 (仁淀川河口～桂浜)	10	図3.8.22
3.4.8	新潟県市振海岸	9	図3.4.71	3.9.1	大分県黒島海岸	2	図3.9.3
3.4.9	富山県境海岸	8	図3.4.79	3.9.2	宮崎県宮崎海岸	10	図3.9.11, 12
3.4.10	富山県下新川海岸	9	図3.4.89	4.1	茨城県瀧戸川河口部	0.7	図4.1.6
3.5.1	静岡県藤原海岸	10	図3.5.7	4.2	茨城県茨+浦戸島地区	0.5 (浮島1号) 0.5 (浮島2号)	図4.2.4 図4.2.9
3.5.2	静岡県富士川河口部	8	図3.5.16	4.3	滋賀県琵琶湖川野瀬川河口部	1.2	図4.3.5
3.5.3	静岡県富士海岸	12	図3.5.24	4.4	島根県宍道湖島+崎砂州	0.5	図4.4.4
3.5.4	静岡県静岡・清水海岸	7 (静岡) 7 (清水)	図3.5.39～41 図3.5.53～54				

出典:「日本の海岸侵食」 宇多高明

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.4.1 - 1 に示す変化を表 4.3.4.1 - 2 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況海浜断面の汀線位置と海底勾配を設定する。この地形条件に入射波の条件、供給土砂量等を与えて汀線変化を予測する。

また、予測された断面形状をもとに打ち上げ高を算定する。

2) 予測条件

波浪変形計算を行う際の沖波条件(波高、周期、波向)は、河岸干潟・砂州の地形変化に寄与すると考えられる波向の年最大規模程度の波あるいは、エネルギー平均波を設定することを基本とする。

また、入射波向は、海底地形に応じて、屈折、回折、浅水変形の影響度を考慮して設定する。

表 4.3.4.1 - 2 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口テラスに掘削穴が形成される	・海浜・海底地形	-	
河川からの供給土砂が掘削穴に捕捉される	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 ・漂砂量	【海浜地形】 汀線変化モデル、等深線モデルから強制的に土砂を系外に排出するような疑似解析が考えられる。	汀線変化モデル、等深線モデルは概ね確立された手法である。 掘削穴の挙動、形状を反映することは困難 2次元海浜変形計算が考えられるが、砕波帯内の解析は研究レベルである。
河口テラスが縮小する 砕波点が移動、水深が変化する 河口砂州、汀線が後退する	・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形 ・潮位 ・漂砂量	【河口砂州の形状・汀線位置】 汀線変化モデル、等深線モデルから強制的に土砂を系外に排出するような疑似解析が考えられる。	汀線変化モデル、等深線モデルは概ね確立された手法である。 掘削穴の挙動、形状を反映することは困難 2次元海浜変形計算が考えられるが、砕波帯内の解析は研究レベルである。
波の打ち上げ高が増す	・海浜・海底地形 ・沖波波高、波向、周期	【波の打ち上げ高】 改良仮想勾配法などにより予測できる	打ち上げ高の算定方法としては、一般的である。
砂州高が上昇する	・砂州高	【砂州高】	定量的な予測は困難。波の打ち上げ高と同程度になる。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 供給土砂量(掃流砂、浮遊砂)

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：汽水域の上流

調査時期・頻度：出水時

備考：上下流2点以上の観測により土砂収支を把握することが望ましい。

2) 漂砂量

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：河口含む沿岸で数地点

調査時期：洪水前後、高波浪前後等、土砂移動の活発な時期

備考：長期的な土砂収支の把握も重要である。

4.3.4.2 河口干潟の減少

河口干潟を有する河口域の浅いところで海砂採取を行う場合や、現況において波浪による河口干潟の位置、規模、形状の変化が大きい場合は、二次判定により汀線や河口地形の変化を予測し問題の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

砂河川の河口付近で海砂採取を行うと、地形変化により波向が変わり河口干潟の変化が、また河口干潟の前面で海砂採取を行うと掘削穴部分への土砂移動が生じ、河口干潟の減少となる可能性がある。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

掘削穴での波の変形状況の変化

水深の深い掘削穴付近を通過することで波の変形状況が変化する。

河口干潟縁辺部への波浪の影響が大きくなる

波向の変化が生じ、また波の碎波点が干潟縁辺部に近くなり、波浪による影響が大きくなる。

河口干潟縁辺部の土砂が移動する

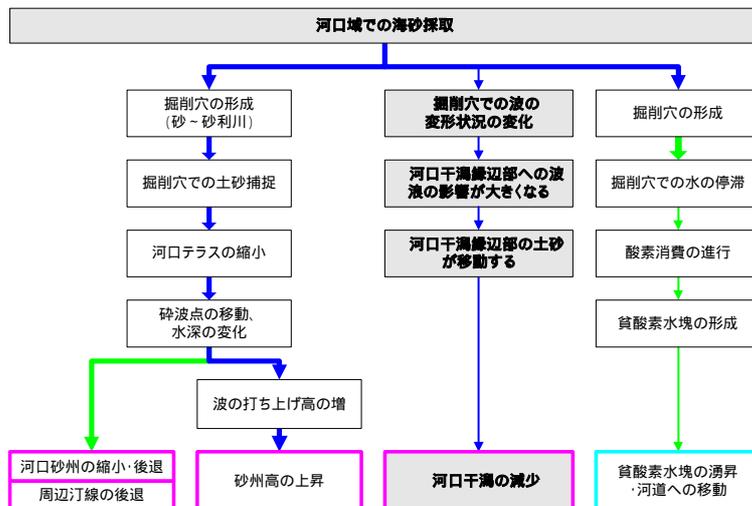
波浪の影響が大きくなることで、河口干潟縁辺部の土砂が移動されやすくなり、特に引き潮時に沖合方向移動する。

河口干潟の減少

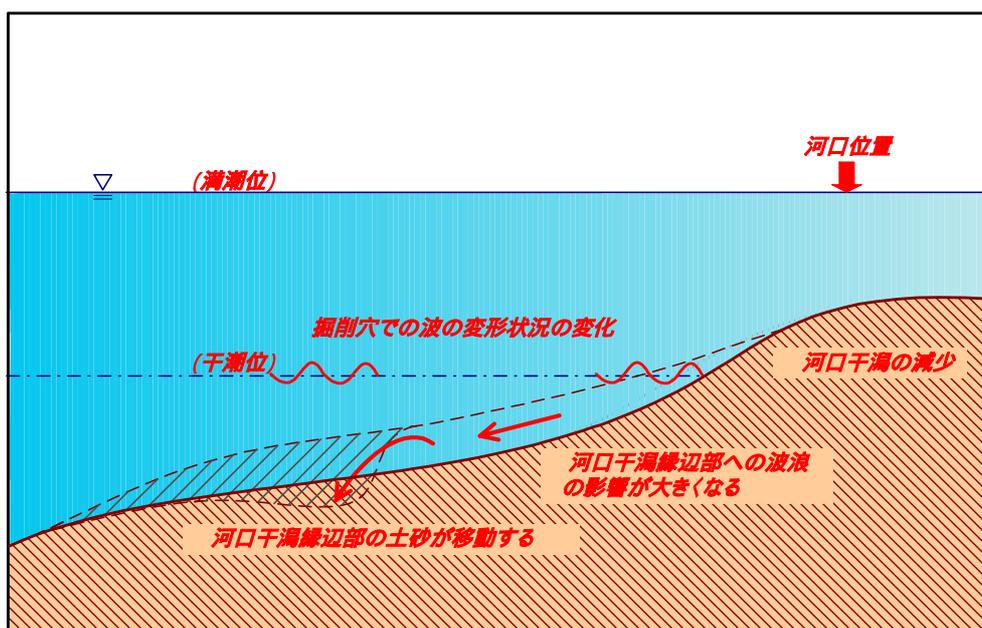
この繰り返しで河口干潟が侵食され縮小する。

図 4.3.4.2 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・ 河口干潟を形成するような、細粒径で遠浅の海浜に生じやすい。
- ・ 掘削後、もとの海浜勾配を維持する方向の地形変化によって河床低下を生じる。

図 4.3.4.2 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

河口干潟を有する河口域では、河川からの土砂（浮遊砂の場合が多い）の供給と河口域での潮汐流や波浪等の作用により地形が成り立っている。このような河口域の浅いところで海砂採取を行う場合は原則として二次判定を行う。なお、現況において波浪による河口干潟の位置、規模、形状の変化が大きい場合は二次判定を行う。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.4.2 - 1 に示す変化を表 4.3.4.2 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況海浜断面の汀線位置と海底勾配を設定する。この地形条件に入射波の条件、供給土砂量等を与えて汀線変化を予測する。

2) 予測条件

波浪変形計算を行う際の沖波条件（波高、周期、波向）は、河岸干潟・砂州の地形変化に寄与すると考えられる波向で年最大規模程度の波あるいは、エネルギー平均波を設定することを基本とする。

また、入射波向は、海底地形に応じて、屈折、回折、浅水変形の影響度を考慮して設定する。

表 4.3.4.2 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
掘削穴での波の変形状況の変化	<ul style="list-style-type: none"> ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形 ・潮位 	【波高・波向分布】 波浪変形計算 により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。 また、砕波を考慮する場合は砕波モデルを組み込む必要がある。
河口干潟縁辺部への波浪の影響が大きくなる	<ul style="list-style-type: none"> ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形（汀線位置） ・潮位 		
河口干潟縁辺部の土砂が移動する	<ul style="list-style-type: none"> ・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形 ・潮位 ・漂砂量 	【河口干潟の形状・汀線位置】 汀線変化モデル、等深線モデル から強制的に土砂を系外に排出するような疑似解析が考えられる。	汀線変化モデル、等深線モデルは概ね確立された手法である。 掘削穴の挙動、形状を反映することは困難 2次元海浜変形計算が考えられるが、砕波帯内の解析は研究レベルである。
河口干潟が減少する	<ul style="list-style-type: none"> ・供給土砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・海浜・海底地形 ・潮位 ・漂砂量 		

(4) 二次判定のための調査手法

1) 供給土砂量(掃流砂、浮遊砂)

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：河口

調査時期・頻度：出水時

備考：流砂形態(掃流砂・浮遊砂等)に応じて適当な手法を選択する。

2) 漂砂量

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：河口含む沿岸で数地点

調査時期：洪水前後、高波浪前後等、土砂移動の活発な時期

備考：長期的な土砂収支の把握も重要である。

4.3.4.3 貧酸素水塊の湧昇・河道への移動

海砂採取後の掘削穴では、水が停滞し酸素消費の影響により貧酸素水塊が形成される可能性があるため、一定以上の深さの掘削となる場合には、二次判定により溶存酸素濃度を予測し問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

海砂採取により形成された掘削穴では、水が滞留しやすく光が届きにくいことから貧酸素化しやすい。これらの貧酸素水塊が波浪や風の影響によって湧昇すると底生生物等のへい死や青潮の原因となることがあるので注意が必要である。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

河口テラスに掘削穴が形成される

河口テラスでの海砂採取は、一箇所で継続的に実施されることがあり、大規模な掘削穴を形成することがある。

掘削穴の水が停滞する

掘削穴の内部は、波浪や流れの影響を受けにくく、内部の水は停滞するようになる。

掘削穴で酸素消費が進む

掘削穴内部では底泥等による酸素消費が進む。

掘削穴で貧酸素水塊が形成される

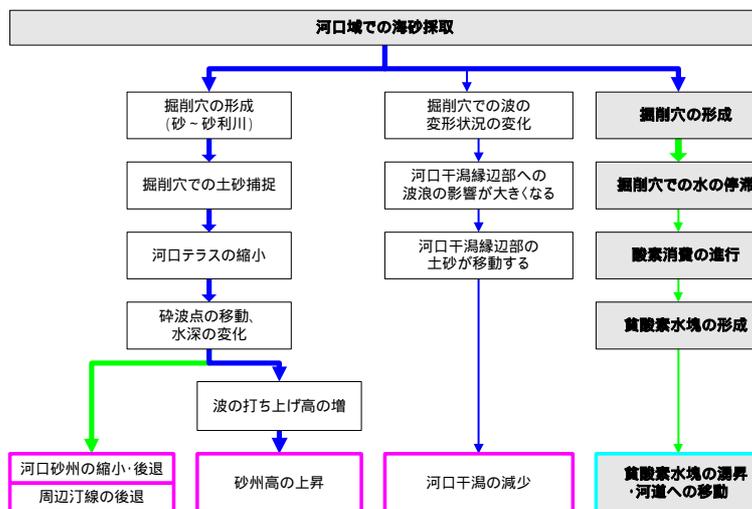
水の交換が少なく、さらに酸素消費が進むと掘削穴内部では貧酸素水塊が形成されるようになる。

風・波等の影響により、貧酸素水塊が湧昇され河道内へ移動する

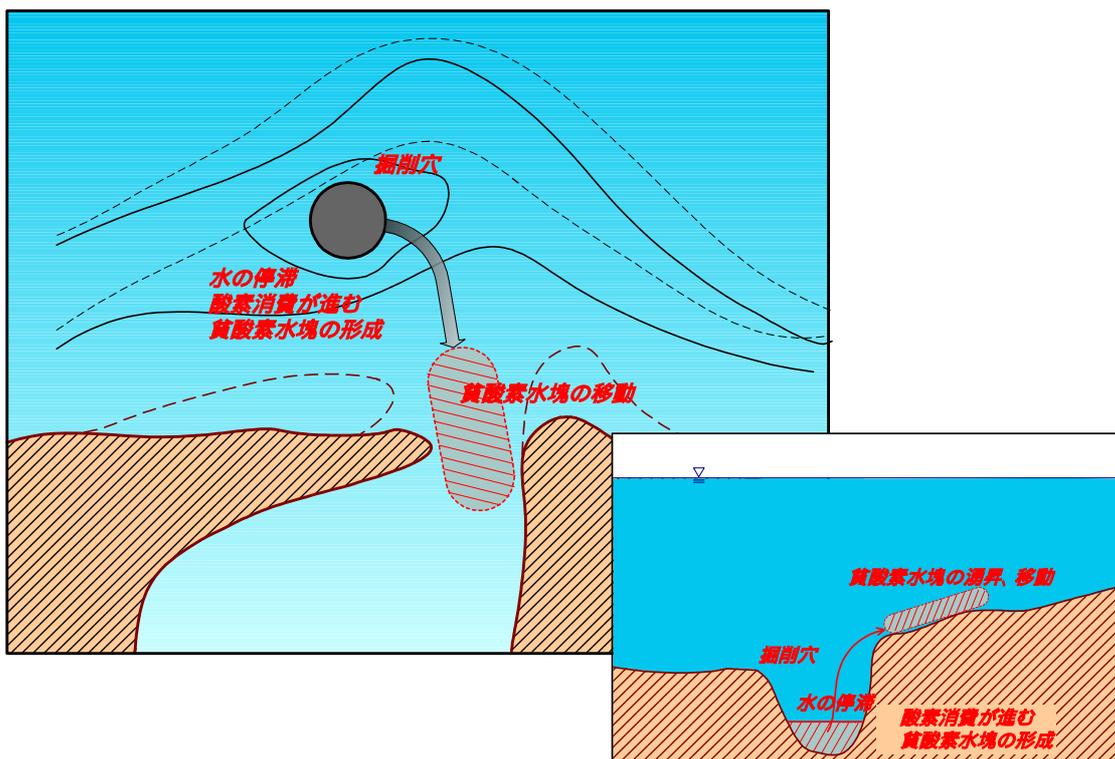
強風や高波浪等の外力が大きくなると、掘削穴内部の貧酸素水塊が押し出されるような形で湧昇することがある。貧酸素水塊の湧昇は、底生生物等のへい死等の原因となることがあるので注意が必要である。

図 4.3.4.3 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・掘削穴では水が滞留しやすいことと、光が届きにくいことから貧酸素化しやすい。
- ・貧酸素水塊が湧昇すると、底生生物等のへい死などの原因となる。

図 4.3.4.3 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

海砂採取後の掘削穴では、水が停滞し酸素消費の影響により貧酸素水塊が形成されるとともに硫酸イオンが還元される可能性がある。内湾など閉鎖的な海域では密度成層やセイシュによる影響があり、水の動きが複雑であるため、掘削穴での水の停滞を判断するのは難しいが、東京湾では掘削範囲 800m 幅に対して深さ 6~8m 程度で貧酸素水塊が見られた事例もあり、この程度以上の深さの掘削となる場合には二次分析を行う。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.4.3 - 1 に示す変化を表 4.3.4.3 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

現況及び海砂採取後の海底地形データを作成する。これを選択したシミュレーションモデルに与えて、溶存酸素濃度分布を予測する。

溶存酸素計算は、水中や底泥による酸素消費項を加えて行う。

2) 予測条件

流況条件は、塩水くさびの攪拌が弱い渇水時の条件を基本とする。

潮位条件は、貧酸素水塊が形成されやすい夏期の半月周潮の潮位を与えることが基本となる。

また、水温に関わる条件も酸素消費が活発な高水温の条件を与える。

貧酸素水塊の湧昇や移動については、波や風、潮流の条件と適切に与える必要がある。

表 4.3.4.3 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
河口テラスに掘削穴が形成される	・海浜・海底地形	-	
掘削穴の水が停滞する	・流量 ・潮位 ・水位 ・塩分鉛直縦断分布 ・流速鉛直平面分布	【流速分布】 三次元密度流拡散計算により予測	三次元密度流拡散計算：各種三次元計算手法は提案されているが、掘削穴等の地形を考慮する計算には技術的課題がある。
掘削穴で酸素消費が進む	・流量 ・潮位 ・水中酸素消費速度 ・底泥酸素消費速度 ・溶存酸素鉛直平面分布	【酸素消費】 三次元密度流拡散計算に溶存酸素収支項を付加して予測	三次元密度流拡散計算：各種三次元計算手法は提案されているが、掘削穴等の地形を考慮する計算には技術的課題がある。
掘削穴で貧酸素水塊が形成される	・溶存酸素鉛直平面分布	【溶存酸素濃度】 三次元密度流拡散計算に溶存酸素収支項を付加して予測	酸素収支項：水中の有機物濃度の変化が顕著な場合は、有機物濃度の拡散計算も行い、これに応じた酸素消費速度を設定する必要がある。
風・波等の影響により、貧酸素水塊が湧昇され河道内へ移動する	・溶存酸素鉛直平面分布	【貧酸素水塊の移動】 同上の手法で風等の条件を与え、水塊の移動を予測	貧酸素水塊の湧昇等の定量化は、研究段階にある。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 底泥及び水中の酸素消費速度

調査地点：河口から有光層より深いところまで(周辺に深み等があれば適宜追加する)

調査時期・頻度：酸素消費が活発な夏期

備考：風速等の条件を考慮することが望ましい

2) 流速鉛直平面分布*

目的：シミュレーションの検証

調査地点：河口から有光層より深いところまで(周辺に深み等があれば適宜追加する)

調査時期・頻度：酸素消費が活発な夏期

備考：風速等の条件を考慮することが望ましい

* 調査分析手法の「流向流速分布の計測」(p 調査 - 4) 参照

4.3.5 橋梁の建設によるレスポンスの調査・分析

4.3.5.1 橋梁上流の河岸干潟の細粒化、粗粒化・侵食

橋梁建設予定地上流に干潟がある河川で、外海に面した河川や、内湾でも橋梁建設予定地まで波浪侵入が見込まれる河川では、二次判定により河床の粒度や河岸の変化を予測し問題発生の有無を判断する。

(1) 人為的改変によるレスポンス

河口部での橋梁建設により波の変形状況が変化し、主に橋梁上流で新たな遮蔽域を形成する可能性がある。遮蔽域では波高が減少するため、波浪による土砂輸送が抑制され、干潟等の細粒化が生じることがある。逆に反射域では波高が増し、干潟等の粗粒化が生じることがある。

人為的改変とレスポンスの連関は次の変化で説明できる。

< 河岸干潟の細粒化 >

橋脚背後（上流）に波の遮蔽域が形成され、波高が減衰する

河口部で橋梁を建設すると、波の変形状況が変化し、橋梁の上流に新たな遮蔽域が形成され、回折波となって波向が変化し、波高が減少する。

波の遮蔽域の底面摩擦力が減少する

遮蔽域では波向が変化し波高が減少することにより、新たな堆積域が形成されるとともに河床に作用する底面摩擦力が減少するとともに、橋脚の背後に循環流が形成される。

波による移動限界粒径が小さくなる

底面摩擦力が小さくなるため、波により輸送され得る粒径（移動限界粒径）が小さくなる。

波浪による微細粒子の流出が抑制される

輸送可能な粒径が小さくなるとともに、循環流により細粒分が運ばれ、微細粒子が堆積しやすくなる。

橋脚上流の河岸干潟が細粒化する

橋脚の上流側に干潟等が存在する場合、これらが細粒化することがある。

< 河岸干潟の粗粒化・侵食 >

橋脚により波の反射域が形成され、波高が増す

河口部で橋梁を建設すると、橋梁に波が当たって反射し上流で波が強くなる。

波の反射域の底面摩擦力が増す

反射域では波が強くなることにより、河床に作用する底面摩擦力が増す。

波による移動限界粒径が大きくなる

底面摩擦力が大きくなるため、波により輸送され得る粒径（移動限界粒径）が大きくなる。

波浪による微細粒子の流出が生じる

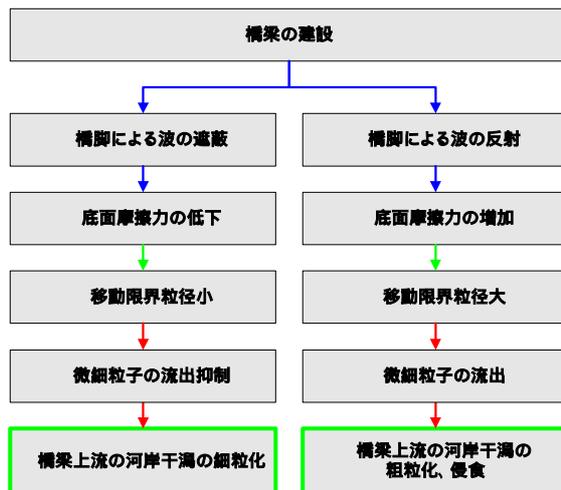
輸送可能な粒径が大きくなり、微細粒子が流出しやすくなる。

橋脚上流の河岸干潟が粗粒化・侵食

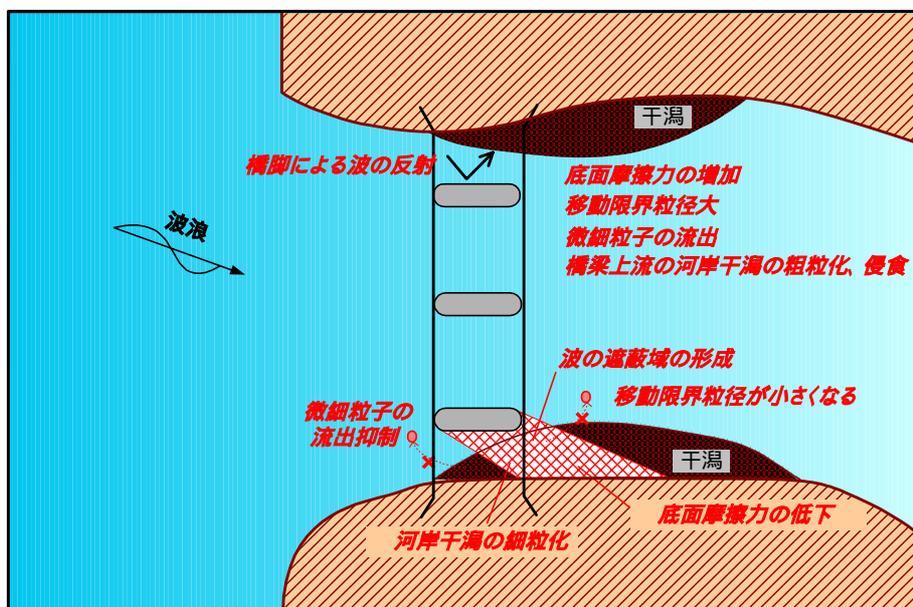
橋脚の上流側に干潟等が存在する場合、これらが粗粒化或いは侵食されることがある。

図 4.3.5.1 - 1 には人為的改変から生じるレスポンスの流れの模式図を示す。

現象の流れ



現象のイメージ図



【備考】

- ・ 橋脚回りに局所的な洗掘を生じる。

図 4.3.5.1 - 1 現象の流れ

(2) 一次判定手法

波浪による影響の大きい外海に面した河川で橋梁予定地上流に干潟を持つ河川では、二次判定を行うことを原則とする。内湾に面する河川については、以下に示す波浪侵入の推定を行い、干潟のある橋梁建設予定地まで波浪侵入が見込まれる場合に二次判定を行う。

1) 波浪の侵入状況の推定

近傍の波浪観測結果より、波高、波向の出現状況を整理して、波浪の侵入状況を推定する。適当な観測地点が存在しない場合には、高波浪時の航空写真、または現地での目視により推定する。また、複数の写真を比較することにより、河岸干潟・砂州の形状変化や移動の傾向をみることができ、この傾向から逆に波浪侵入形態を推察することができる。

(3) 二次判定手法

シミュレーションを用いた予測は図 4.3.5.1 - 1 に示す変化を表 4.3.5.1 - 1 に示す手法で分析することで行われる。

1) 手順

橋脚の形状を考慮し、河道地形メッシュ(格子点位置、標高)を設定する。この地形条件に沖波及び入射波の条件を与えて波浪変形計算を行い、波高、波向等から土砂移動量(漂砂量)を求め、汀線変化を予測する。

2) 予測条件

波浪変形計算を行う際の沖波条件(波高、周期、波向)は、河岸干潟・砂州の地形変化に寄与すると考えられる波向で年最大規模程度の波あるいはエネルギー平均波を設定することを基本とする。

また、入射波向は、海底地形に応じて、屈折、回折、浅水変形の影響度を考慮して設定する。

表 4.3.5.1 - 1 シミュレーションを用いた現象の分析

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
橋脚の背後（上流）に波の遮蔽域が形成され、波高が減衰する	<ul style="list-style-type: none"> ・海浜・海底地形 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位（水位） ・波高分布 	【波高分布】 波浪変形計算により予測	波浪変形モデルは種々提案されており、状況に応じて選択する必要がある。非定常緩勾配方程式による解析がよく用いられる。 また、砕波を考慮する場合は砕波モデルを組み込む必要がある。
橋脚の前面（上流）に波の反射域が形成され、波高が増す			
波の遮蔽域の底面摩擦力が低下する	<ul style="list-style-type: none"> ・流速 	【底面摩擦速度】 底面摩擦速度の算定式により予測	底面摩擦速度の算定式は種々提案されている。 汀線変化モデルでの検討には用いない。
波の反射域の底面摩擦力が増加する			
波による移動限界粒径が小さくなる	<ul style="list-style-type: none"> ・流量 ・流速 ・河床材料の粒度組成 	【移動限界粒径】 限界掃流力の式等による移動限界粒径の判定	波・流れ供存場における移動限界摩擦速度の評価に技術的課題がある。 また、混合粒径での評価は現状では困難である。
波による移動限界粒径が大きくなる			
波浪による微細粒子の流出が抑制される	<ul style="list-style-type: none"> ・流砂量 ・沖波波高、波向、周期 ・潮位（水位） ・供給土砂量 ・河川縦横断形状 ・河床材料の粒度組成 	【河岸形状】 汀線変化モデル*の応用が考えられる	波浪による河岸侵食への適用例はない。 汀線変化モデルでは、河川流量を取り込むことは困難である。 波浪変形計算、海浜流計算に基づく海浜地形変化モデルでは、河岸（汀線）変化を予測することができない。
波浪による微細粒子の流出が増す			
橋脚上流の河岸干潟が細粒化する	<ul style="list-style-type: none"> ・河床材料 	【河床材料】 混合粒径の汀線変化モデル*により概略検討できる可能性がある	波浪による河岸侵食への適用例はない。 汀線変化モデルでは、河川流量を取り込むことは困難である。 波浪変形計算、海浜流計算に基づく海浜地形変化モデルでは、河岸（汀線）変化を予測することができない。 干潟等の非定常性、粗粒化等の分級過程を評価することは困難。 混合粒径の汀線変化モデルは、学会、委員会等の場では用いられているが、実際の計画への適用例はない。
橋脚上流の河岸干潟が粗粒化、侵食される			

*汀線変化モデルは砂（非粘着性）が前提であることから、泥河川での河岸の侵食への適用は難しく適用事例もない。ただし、粘着性土砂の侵食・堆積の実態を調査し、漂砂量係数を同定して与えることで擬似的に表現できる可能性はある。

(4) 二次判定のための調査手法

1) 供給土砂量（掃流砂、浮遊砂）

目的：シミュレーションの境界条件

調査地点：汽水域の上流

調査時期・頻度：出水時

備考：上下流2点以上の観測により土砂収支を把握することが望ましい。

4.3.6 汽水域の現象と二次判定のための調査・分析手法との関係

4.3.1 から 4.3.5 に示す二次判定を行うに際しては、表 4.3.6 - 1 及び表 4.3.6 - 2 に示すような調査・分析手法を適宜組み合わせ用いれば良い。

表 4.3.6 - 1 汽水域の現象と二次判定のための現地調査項目との関係

現象 (レスポンス)	調査項目	流速鉛直縦断分布	酸素消費速度(底泥・水中)	詳細な土質分析	供給土砂量	流速鉛直平面分布(海域)	漂砂量	沿岸流速
4.3.1 河道の掘削によるレスポンスの調査・分析								
4.3.1.1	塩分上昇							
4.3.1.2	河道底層の貧酸素化							
4.3.1.3	河床表層の細粒化							
4.3.1.4	河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食							
4.3.1.5	河床構成材料の細粒化							
4.3.1.6	周辺汀線の後退、河口砂州(テラス)の縮小・後退							
4.3.2 河口導流堤の建設によるレスポンスの調査・分析								
4.3.2.1	河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食、周辺汀線の変化							
4.3.3 河口部の埋め立てによるレスポンスの調査・分析								
4.3.3.1	河岸干潟の細粒化、河岸干潟の侵食							
4.3.3.2	塩水くさびの下流側への移動							
4.3.3.3	埋め立て区間の河床上昇							
4.3.4 河口域での海砂採取によるレスポンスの調査・分析								
4.3.4.1	河口砂州の縮小・後退、砂州高の変化							
4.3.4.2	河口干潟の減少							
4.3.4.3	貧酸素水塊の湧昇・河道への移動							
4.3.5 橋梁の建設によるレスポンスの調査・分析								
4.3.5.1	橋梁上流の河岸干潟の細粒化、粗粒化・侵食							

表 4.3.6 - 2 汽水域の現象と二次判定のための分析手法との関係

現象の把握のための分析手法		淡塩二層流計算	密度流拡散計算	一次元分散方程式	溶存酸素収支計算	不等流計算・不定流計算	河床変動計算	河口幅予測モデル	波浪変形計算	汀線変化モデル	等深線変化モデル	二次元海浜流計算	海浜地形変形モデル
現象	分析手法												
塩水遡上													
貧酸素化水塊の形成													
河床・河岸・河岸干潟の形成													
河口地形・河口干潟の形成													

二次判定のための分析手法		淡塩二層流計算	密度流拡散計算	一次元分散方程式	溶存酸素収支計算	不等流計算・不定流計算	河床変動計算	河口幅予測モデル	波浪変形計算	汀線変化モデル	等深線変化モデル	二次元海浜流計算	海浜地形変形モデル
現象 (レスポンス)	分析手法												
4.3.1 河道の掘削によるレスポンスの調査・分析													
4.3.1.1 塩分上昇													
4.3.1.2 河道底層の貧酸素化													
4.3.1.3 河床表層の細粒化													
4.3.1.4 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食													
4.3.1.5 河床構成材料の細粒化													
4.3.1.6 周辺汀線の後退、河口砂州(テラス)の縮小・後退													
4.3.2 河口導流堤の建設によるレスポンスの調査・分析													
4.3.2.1 河岸粗粒化、河岸侵食、河岸干潟の侵食、周辺汀線の変化													
4.3.3 河口部の埋め立てによるレスポンスの調査・分析													
4.3.3.1 河岸干潟の細粒化、河岸干潟の侵食													
4.3.3.2 塩水くさびの下流側への移動													
4.3.3.3 埋め立て区間の河床上昇													
4.3.4 河口域での海砂採取によるレスポンスの調査・分析													
4.3.4.1 河口砂州の縮小・後退、砂州高の変化													
4.3.4.2 河口干潟の減少													
4.3.4.3 貧酸素水塊の湧昇・河道への移動													
4.3.5 橋梁の建設によるレスポンスの調査・分析													
4.3.5.1 橋梁上流の河岸干潟の細粒化、粗粒化・侵食													

* 底質は河床材料調査に加え、必要に応じて先端付近で溶存酸素の測定位置について底質を調べる。