

年度別報告内容

H15 東環状大橋（仮称）建設事業環境影響検討のあらまし（H15.8、徳島県）

建設にあたり、干潟及び干潟に生息する生物に影響を与える環境要素をとりまとめたもの。報告内容は、大気質、騒音、振動、水質、地形及び底質（干潟）、日照障害、植物・動物・生態系、景観、人と自然とのふれあい活動の場、道路照明、風害について検討している。

- (1) 大気質：将来濃度は現況濃度とほぼ変わらない（5頁）。
- (2) 騒音：橋梁端における等価騒音レベルは昼間 52.8dB、夜間 44.5dB（6頁）。
- (3) 振動：予測基準点において振動レベルは最大で昼間 43.5 デシベル、夜間 41.5 デシベル（7頁）。
- (4) 日照障害：終日（8時間以上）日影となるのは、橋脚周辺の極めて狭い範囲であり、干潮時においても干出ししない水面である（8頁）。
- (5) 風害：主塔及びケーブルによる風の乱れを生じさせる影響は極めて小さく、周辺への影響はほとんどない（10頁）。
- (6) 地形及び底質：橋脚の有無による地形変化への影響として、洪水時の流況に若干の変化はあるが、変化量は 20,000m³/s においても極めて小さく（18頁）、洗掘・堆積の傾向にも変化はほぼない（19頁）ため影響は軽微。

橋脚が潮汐流に及ぼす影響は軽微であり、底質の変化はほとんどないものと考えられる（20頁）。

波高分布は橋脚の有無によって波高差が-0.02～0.02m 程度と差異はほぼなく、影響はほとんどないと言える（22頁）。

移動限界粒径への影響はほとんどない（24頁）。

生物環境条件（底質）に与える影響について、河口干潟、住吉干潟ともに底質はほとんど変化がないと考えられる（25頁）。

- (7) 橋梁が河口域に生息する植物へ及ぼす影響は軽微（29頁）。
- (8) 橋梁が河口域に生息する昆虫へ及ぼす影響は軽微（34頁）。
- (9) 橋梁が河口域に生息する底生動物へ及ぼす影響は軽微（37頁）。
- (10) 橋梁が河口域に生息する魚類へ及ぼす影響は軽微（38頁）。
- (11) 景観について、新たな景観が創出され、遠景においては橋梁の存在に伴う景観の変化は小さい（45頁）。

【概略】本報告内容では、東環状大橋（仮称）の建設工事前に、環境影響評価として考えられる各項目について検討した結果を報告しており、吉野川河口に対していずれの影響も軽微である事を報告しているものである。

H18 汽水域生態系モニタリング手法研究会管理運営業務報告書（H18.3、徳島大学環境防災研究センター）

本報告書における研究の目的は、汽水域生態系モニタリング評価をとりまく課題・改善すべき点を抽出し、各課題のうちで科学的な視点からアプローチが可能な「環境アセスメント・モニタリングのある姿の提案（環境アセスメント・環境モニタリングが果たすべき使命・億滴の明確課、評価の視点の明確化）」と「生態系評価の技術体系の確立に向けた調査・解析・評価フローの提案」を主な研究目的（課題）とするものである。また、議論を進める中で「環境に関わる基礎情報の未整備」について整理するとともに、これらの成果を公開シンポジウム、研究報告として公表することを通じて「行政—研究者—技術者—住民の間での情報の未共有」への対応を図るものである。さらに、研究会からの提案として、「行政制度の不備、予算措置の未整備」、「調査者、解析・評価者の質の低さ」の改善に向けた取り組みの必要性について示すものである（4頁）。

本報告書では、干潟生態系と環境アセスメント・環境モニタリングの関係性をとりまとめており（7～12頁）、「環境アセスメント・環境モニタリングのあるべき姿」について図 2-1 のように整理された（13頁）。また、本報告書はこれらのとりまとめに対して、吉野川河口域における橋梁建設に伴う環境モニタリングのあり方を後述している（45頁）。

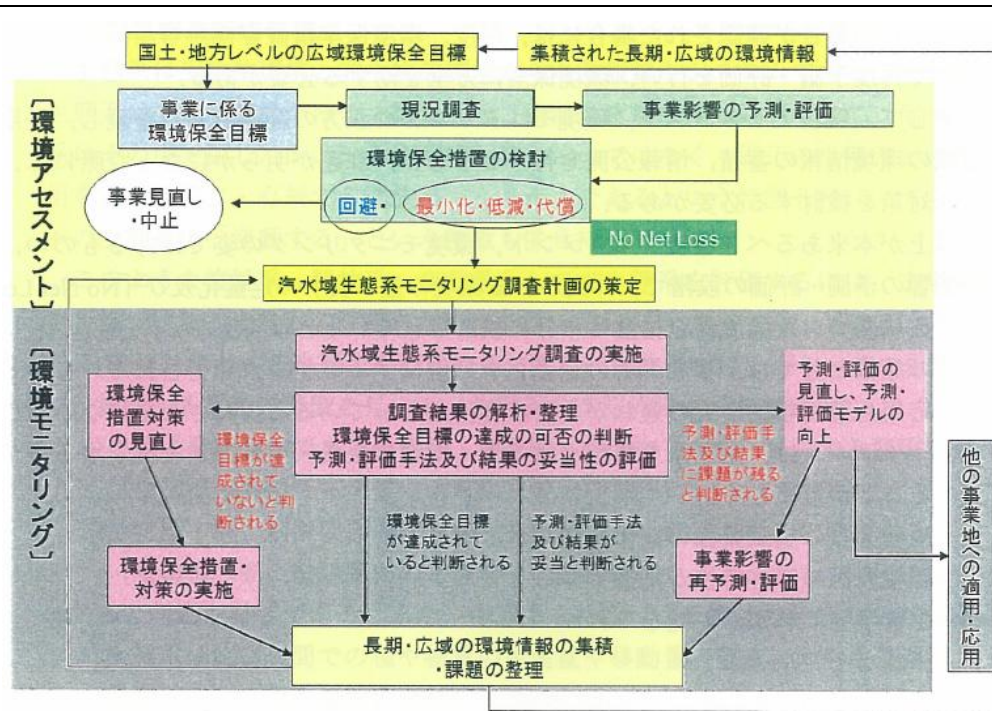


図 2-1 環境アセスメント・環境モニタリングのあるべきフロー


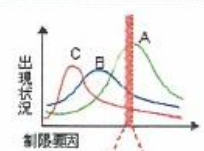

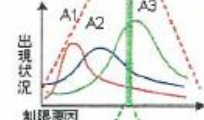


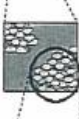
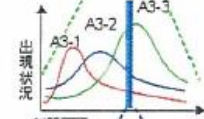

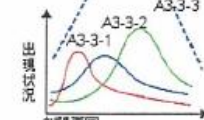
環境アセスメントの段階では、国土・地方レベルで策定されているべき広域環境保全目標を受け、事業、事業他の特徴を踏まえ事業に係わる環境保全目標を作成した上で、事業地の生態系の特徴、事業影響を適切に把握・定量化し、事業影響の予測評価を行う。この際、事業の実施に伴い「失われる環境の質×量」を明確にした上で、環境価値を事業前後で減らさないように対処する「No Net Loss」の考えの下、失われる環境と同等レベル以上の環境を代償する環境保全措置を講じる必要がある（13頁）。

本来あるべき環境アセスメント、環境モニタリングの姿に対して、事業影響の予測・評価の段階で、「失われる量×質」の定量化及び「No Net Loss」の考えに基づいた環境保全措置は十分に検討されているとは言えない。

この原因として、事業影響の定量化を可能にするモデルが開発されていないという、応用生態工学的研究の遅れが主要な原因となっていると言わざるを得ない。ここで言うモデルとは、生態系と特徴づける種・種群の生息・生育適地を推定するモデルであることが望ましく、「生物分布の制限要因の閾値を明らかにするモデル」、「環境要因の応答特性が把握できるモデル」、「生物学的に解釈が可能なモデル」、「単純なモデル」であることが望ましい（14頁）。

次に、汽水域生態系評価の考え方として、汽水域生態系評価の視点（15頁）、生態系の空間的階層性の整理の考え方（16頁）、生物の分布を規定する制限要因の抽出の考え方（17頁）を踏まえ、汽水域の干潟生態系における事業アセスメント・モニタリング調査の概念的枠組みを、空間スケールと対応させて表 2-2 に示す。また、図 2-2 にこれらを踏まえた汽水域生態系の調査・解析・評価フローを整理した結果を示す（19頁）。

表 2-2 汽水域生態系の構造把握に向けた調査の概念的枠組み

空間スケールのイメージ	生物分布に係る制限要因	空間スケール	調査方法		抽出すべき制限要因	
			解像度(繰り返し抽出単位)	調査方法	物理的なプロセス	生物学的プロセス
 マクロスケール 汽水域	 制限要因	1km ² ~ (10 ⁶ m ² ~)	対象地のハビタット群サイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例: 塩沼地帯 陸生 海浜植生	特定のハビタット群の分布制限要因の把握	大	小
 中スケール 沿岸干渉	 制限要因	1ha~ (10 ⁴ m ² ~)	対象地のハビタットサイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例: コンクリート防波壁 防波壁内植生	特定のハビタットの分布制限要因の把握		
 ミクロスケール 微地形	 制限要因	100m ² ~ (10 ² m ² ~)	体サイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例: キンギ類の採餌場 シオマネキの分布域	特定の大型動物間の相互関係、あるいは、特定の種の分布制限要因の把握		
 ミクロスケール 微地形	 制限要因	1m ² ~ (10 ⁰ m ² ~)	体サイズ×10 ⁴ m ² 方形区 例: シオマネキとロウカノコの関係	特定の小型動物間、あるいは、特定の基盤環境条件との相互関係の把握		

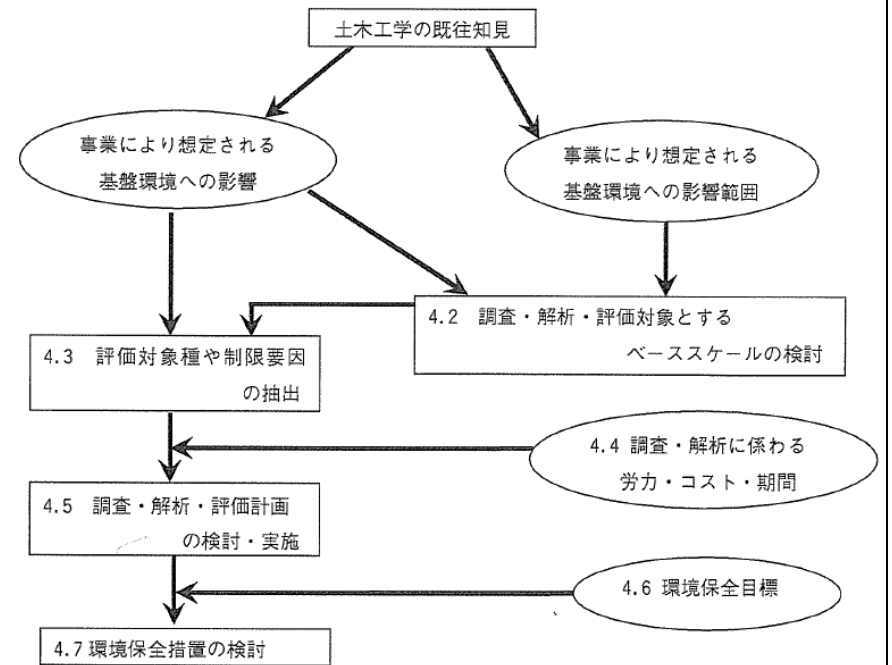


図 2-2 汽水域生態系評価のフロー

「評価対象種及び制限要因の抽出の考え方」を整理するにあたって、本研究会の各委員の意見を踏まえ、評価対象種の考え方については(1)様々な空間スケールから見た生態学的特性、(2)評価・定量化の容易性、(3)知名度、(4)外来種等による環境劣化の指標性について考慮し、抽出する必要があることを示した(21頁)。そして、各生物相の評価対象種及び制限要因の抽出の考え方について、各委員の意見を踏まえて、植物、昆虫類、底生動物、魚類、鳥類に分類して先に示した(1)~(4)で整理して示している(23~27頁)。

ここまで、汽水域における環境アセスメント・環境モニタリングのあるべき姿と評価対象種及び制限要因の抽出の考え方などについて示しており、これらを踏まえて吉野川河口域における橋梁建設に伴う環境モニタリングのあり方（45頁）について整理する。前述の「環境アセスメント・モニタリングのあるべきフロー」と平成13年度以降に実施された「徳島県東環状線東環状大橋（仮称）環境影響検討・環境モニタリング」の取り組みとの比較検証した結果を図2-3と表2-3に示す。

本事業を含め、都市計画道に関して環境影響評価の必要な事業については都市計画決定手続きに合わせて実施することとされている。本事業は、平成7年の都市計画決定時には環境影響評価対象事業ではなく、また、平成12年に制定された徳島県環境影響評価条例においても環境影響評価対象事業ではないものの、吉野川河口干潟の重要性を鑑み、事業が吉野川河口域における干潟及び干潟に生息する生物に与える影響を既往の調査結果も利用して、事業影響検討を行っていることについては高く評価できる（45頁）。

■環境アセスメント・モニタリング調査のあるべきフロー

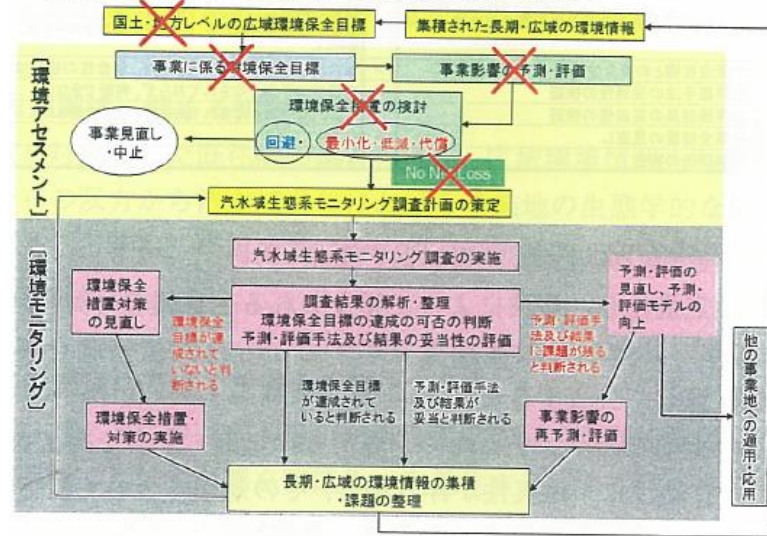


図2-3 平成13年度以降に実施された「徳島県東環状線東環状大橋（仮称）環境影響検討・環境モニタリング」の取り組みの評価結果

表2-3 環境アセスメント・モニタリングのあるべきフローと平成13年度以降に実施された「徳島県東環状線東環状大橋（仮称）環境影響検討・環境モニタリング」の取り組みの比較検証結果

評価事項		徳島県東環状大橋（仮称）環境影響アセスメント・環境モニタリング
広域環境保全目標の考慮		× 広域環境保全目標が明確でないため、考慮できない
事業の環境保全目標の明確化		× 基盤環境については、事業がある場合とない場合で基盤環境の違いを比較した上で影響の寄与程度を示している。しかしながら、生物・生態系に係わる環境保全目標は設定されていない。定性的に「影響は軽微である」と評価している。
事業インパクトの定量化		○ 大気質、騒音、振動、水質（濁度）、流況（麻擦速度について橋脚影響度を算出）、波浪及び高波浪（移動限界杭柱について柱径別の占有面積を算出）については定量化を行っている。
現況把握調査の実施	セグメント・流域スケール	× 解像度 生態系の特性 生態系の位置づけの整理 生物空間分布と制限要因の相互関係の整理
	砂州・干潟スケール	△ 解像度 生態系の特性
	ハビタットスケール	× 解像度 生態系の特性 生物空間分布と制限要因の相互関係の整理
	マイクロハビタットスケール	× 解像度 生態系の特性 生物空間分布と制限要因の相互関係の整理
	その他留意事項	— 特になし
生態系への事業影響の予測		× 生物、生態系への影響について、定量的な手法がとられておらず、スケールに関する留意などはなされていない。 × 既往知見に基づく、定性的な影響評価がなされるに留まる。 × 不確実性についての考察はなされていない。 × 事業影響の定量化・No Net Lossの必要性の考察 × 事業影響の定量化、No Net Loss についての考察はない。 × 評価手法の妥当性 × 生物、生態系への事業影響の定量化について考察はない。また、環境保全目標も示されておらず、妥当ではない。
環境保全措置の検討		× 定量的な環境保全措置の検討 × No Net Loss についての考察はなく、環境保全措置も示されていない。 × 不確実性についての考察はなされていない。
環境モニタリング計画		× 調査結果の公表 × 調査結果は公表されているが、事業影響について考察はない。 ○ 示されている。 × 環境モニタリングの基本的な考え方の妥当性 × 河川環境の監視、工事施工へのフォローアップを目的としているが、調査結果の判断基準は示されていないため、河川環境を監視した上で、どの程度環境変化が確認されたら、工事施工のフォローアップを検討するのか？判断できない。 × 環境保全目標との整合性検証 × 環境保全目標が示されておらず、整合性の検証はできない。 × 予測評価手法の妥当性の検証 × 定量的な予測がなされておらず、判断できない。 × 予測評価結果の妥当性の検証 × 定量的な予測がなされておらず、判断できない。 × 環境保全措置の見直し × なされていない。 × 再予測評価の実施 × なされていない。

しかしながら、上位目標にあたる吉野川流域単位での広域環境保全目標は検討されていないため、その検討は難しいものの、事業の環境保全目標について明確化・定量化なされていないのは問題である。また、事業インパクトについて、大気質、騒音、振動、水質（濁度）、流況（摩擦速度について橋脚影響度を算出）、波浪及び高波浪（移動限界粒径について粒径別の専有面積を算出）等の基盤環境の定量化は行っているものの、この段階で事業影響は軽微と判断し、生態系の評価の段階で基盤環境の変化を見込んだ事業影響の定量化は行われず、評価結果も影響は軽微と結論づけられている。また、予測評価手法及び、事業影響予測に関する不確実性に関する言及はなく、事業影響に関する代償措置の検討も行われていない。

近年の環境影響評価においては、（１）事業影響を定量化し、事業によって損なわれる生息環境と同程度以上の環境が確保されるよう、具体的に代償措置を示すとともに代償措置を実施するに至った検討結果を整理し、公表すること。（２）代償措置の実効性を確保するため、専門家の指導・助言を得ること。（３）代償措置の有効性に不確実性が伴う場合、その効果について検証するとともに、万が一その有効性が確認できなかった場合、代償措置を見直すこと等が求められていることを考慮すると、事業影響検討は行われているものの、現段階の評価基準で考えればその内容が十分であったとは言えない（46頁）。

今後のあるべき姿の提案として、現在、道路建設工事中ではあるものの、吉野川河口干潟の重要性を鑑み、本来的には環境アセスメントの段階で実施されるべき項目も含め、下記に示す事項について対処する必要がある（47頁）。

- （１）汽水域の環境保全目標の明確化
- （２）広域、周辺環境に関する情報整理
- （３）事業の基盤環境に及ぼす影響の定量化
- （４）事業影響の評価
- （５）環境保全措置の検討
- （６）合意形成の見直し
- （７）環境保全措置に係る費用を見込んだ事業計画の検討

【概略】本報告内容では、建設途中の東環状大橋（仮称）の環境アセスメント及び環境モニタリングのあり方についてとりまとめたものである。汽水域における生態系評価の考え方や、各生物相の評価対象種及び制限要因の抽出方法などを整理し、現状のアセスメント手法における課題及び今後の方向性を示している。それらを基本として、東環状大橋（仮称）の現在の評価方法がどのような状況であるか、検討方法の問題点、今後のあるべき姿を整理して報告している。特に、これまでの検討内容においては、基盤環境の定量化は行っているが、この段階で事業影響は軽微と判断し、生態系の評価の段階で基盤環境の変化を見込んだ事業影響の定量化が行われていない点、近年の評価基準から考えた場合にその内容が十分であったとは言えない点が示されている。

H19 吉野川河口地形変動及び小規模攪乱力解析業務請負報告書（H19.3、国立大学法人 徳島大学）

本報告書は、徳島東環状線の東環状大橋（仮称）に係る環境モニタリング調査の一環として、吉野川河口部地形変動と河口砂州付近の小規模攪乱力を数値解析により、定量評価したものである。吉野川河口部地形変動解析では、工実施後の地形変動についての再現計算、橋脚工事が行われなかった場合を想定した仮想的計算により、橋脚施工による地形変化への影響評価を行うものとした。また、小規模攪乱力は汀線付近に作用する波浪エネルギー量を数値解析により評価した（1-1頁）。

まず、地形変動解析では橋脚施工後の地形再現計算、橋脚工事が行われなかった場合の仮想的仮称変動計算より、橋脚建設の地形変化への影響を評価した（3-1頁）。図 2-4 に地形変動解析の作業フローを示し、図 2-5 に地形変動解析の対象区域を示す。吉野川河口 0km 地点より、河川上流側 6km、海域側 3km の 9km を解析対象区間とする。海域部分は 0km 地点中央断面より、南側 2.5km、北側 2.5km、計 5km の海域部分を計算領域に含める（3-2頁）。

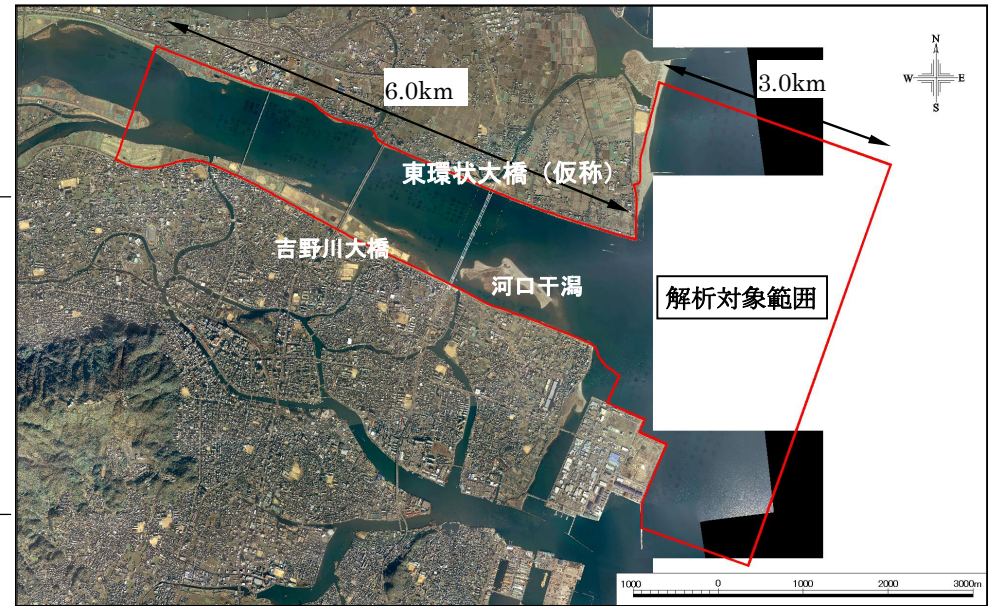
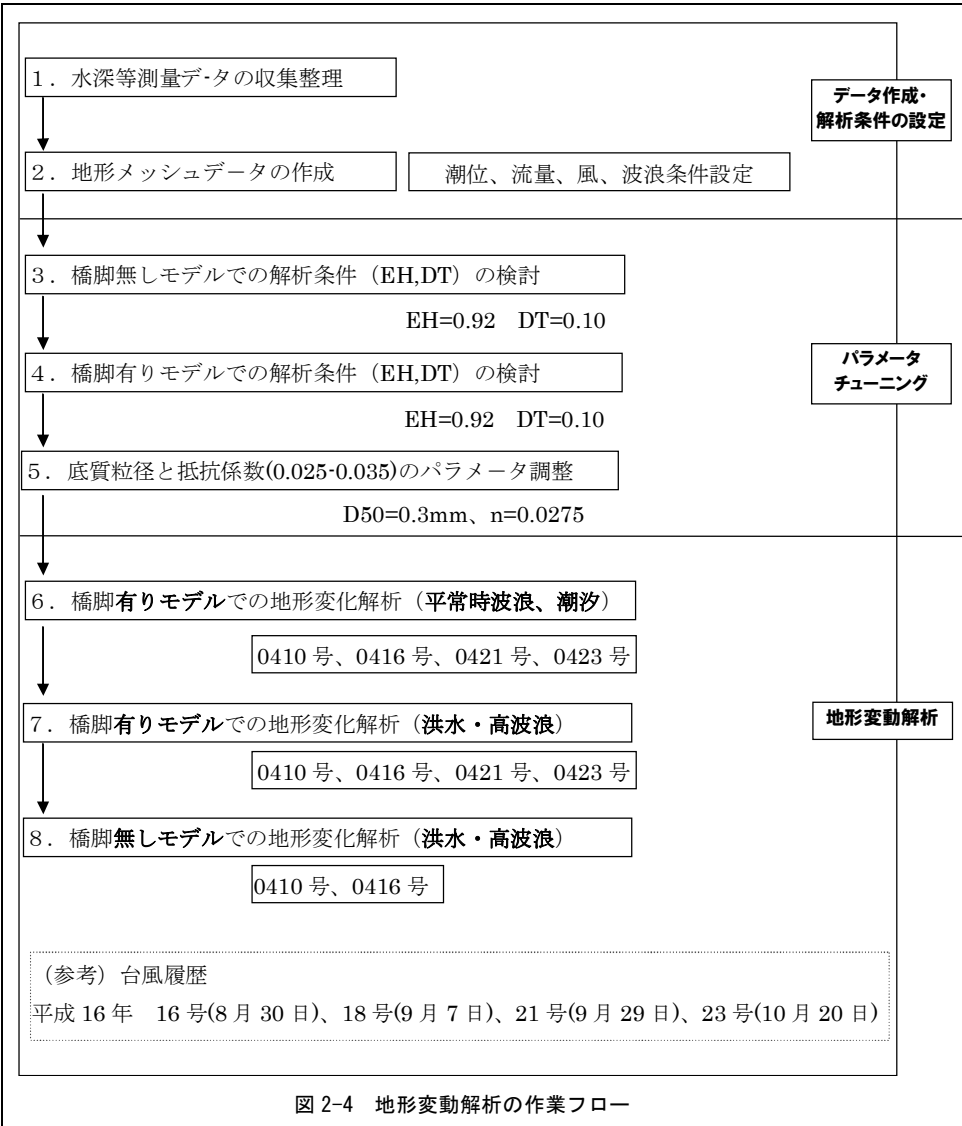
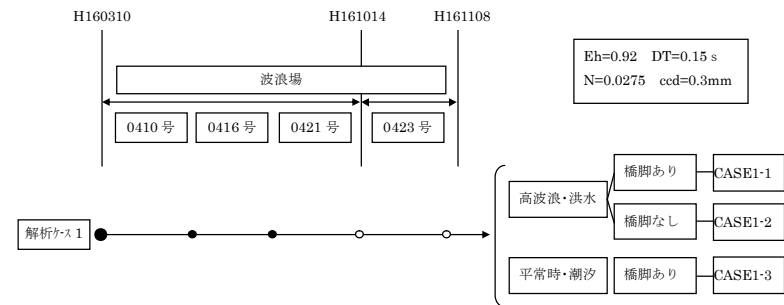


図 2-5 吉野川河口における地形変動解析の対象領域 (9.0km × 5.0km)

解析対象外力は、河川流 (洪水流・潮汐流) および波浪とし、「高波浪と洪水流」について橋脚がある場合と無い場合について解析を行う。「平常時波浪と潮汐流」については、橋脚がある場合のみについて解析を行うものとする (3-4 頁)。



地形変動解析としては、まず、平面場波浪解析から得られる波高値から流砂量に影響を与える底面摩擦速度を算定する。その後、その底面摩擦速度を初期値とし、洪水流と潮汐流に対する流れ場を行い、その流れ場での底面摩擦力から流砂量を求め、河床の変動量を算定する。以下にその基礎式を示す。

(1) 洪水流・潮汐流 (3-5 頁)

潮汐流の概要について記す。

潮汐による海面昇降に伴い、海水は水平方向の往復運動を行う。この流れを潮流という。潮流は、通常、12 時間 25 分の半日周期で変化する海水の流動である。座標 (X,Y) を水平面内の 2 次元平面として扱い、 u,v は流速を鉛直方向へ積分した線流量を水深で割った平均流速が用いられる。潮流の運動を支配する基本方程式として、以下に示す、海面の上下運動によって生じる流れの運動方程式と連続の式が用いられる。

非定常平面 2 次元流動解析手法の基礎方程式を以下に示す。

鉛直方向に平均して二次元化した潮流の運動方程式を式(1)、(2)に、連続式を式(3)に示す。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv &+ g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - v a \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] &+ \frac{g u \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h) C^2} = 0 &(1) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu &+ g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - v a \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] &+ \frac{g v \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h) C^2} = 0 &(2) \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (\zeta + h) u \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (\zeta + h) v \} &= 0 &(3) \end{aligned}$$

ここに、 t : 時間、 u,v : x,y 方向の平均流速、 f : コリオリのパラメータ (地球の角速度を $\omega_E (=7.292 \times 10^{-5} \text{rad/sec})$ 、緯度を ϕ (rad) とすると、 $f = 2\omega_E \sin \phi$ で与えられる。),
 g : 重力加速度、 ρ_w : 流体の密度、 H : 水深、 ζ : 水位、 τ_b^x, τ_b^y : 河床あるいは海底での x,y 方向の底面せん断応力、 ϵ_h : 水平渦動粘性係数である。抵抗則には下に示す Manning 式を用いる。

$$\tau_b^x = \frac{\rho_w g u \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} \quad (4) \quad \tau_b^y = \frac{\rho_w g v \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} \quad (5)$$

ここに $C = h^{1/6} / n$: Chezy の式、 n : Manning の粗度係数である。

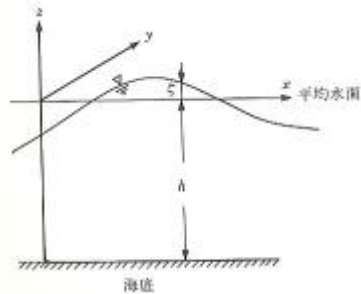


図 2-6 座標系

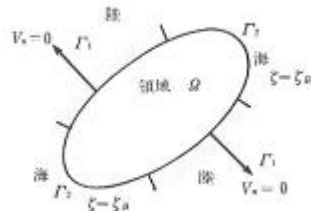


図 2-7 境界条件

これらの方程式は、波長が水深に対して十分長い、浅い海で使用されることから、“浅水方程式”と呼ばれている。水深が波長の 1/20 より浅いところで成り立つ。

海岸域や港湾などでの潮流は、水深の急な変化や海岸線の影響によって大きく変わることがある。潮流の変化は、実際の海域を計算領域として、上記の基礎方程式(1)(2)(3)を解くことによって数値的に求めることができる。図 2-7 の陸地境界 Γ_1 と、外海と接する海上境界 Γ_2 を考える。陸地境界では、通常、次の境界を考える。

$$V_n = 0 \quad (x, y \in \Gamma_1) \quad (6)$$

ここに、 V_n は境界線に対する法線方向の流速である。

$$\zeta = \zeta_B \quad (x, y \in \Gamma_2) \quad (7)$$

また、海上境界 Γ_2 では、強制水位を与える。
ここに、 ζ_B はある計算時刻の平均潮位を表す。

基礎方程式を有限要素法、有限差分法を用いて離散化し、領域内の節点上の方程式を作成することにより、数値的に流動場を求めることができる。
洪水流は、上記(7)式で、河川側に設定した海上境界に、観測水位より算定した洪水時水位を強制水位として与えることにより、数値的に求めることができる。
なお、洪水時等の吹送流を考慮する場合には、(1)(2)の左辺にそれぞれ以下の(8)(9)式を加える。

$$-\frac{KU\sqrt{U^2+V^2}}{h} \quad (8)$$

$$-\frac{KV\sqrt{U^2+V^2}}{h} \quad (9)$$

ここに (U, V) はそれぞれ水平、垂直方向の風速ベクトル。

(2) 流砂 (3-8 頁)

流砂は掃流砂のみとして計算を行う。底面勾配の影響を考慮しない場合の掃流量の連続式としては、

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \quad (10)$$

を用いた。ここで、z: 河床高さ、 λ : 空隙率、 q_{Bx}, q_{By} : x,y 方向の単位幅掃流砂量である。掃流砂量式には以下に示す Meyer-Peter&Muller の式を用いた。

$$q_s = K\sqrt{sgd^3}(\tau_* - \tau_{*c})^{3/2} \quad (11)$$

ここで、K(=8): 定数、d: 砂の粒径、 $\tau_* (=u_*^2/sgd)$: 無次元有効掃流力、 $\tau_{*c} (=0.047)$: 無次元限界掃流力である。また有効摩擦速度は

$$u_* = (n_b/n)^{3/4} \cdot u_* \quad (12)$$

ここで、 $u_* (= \sqrt{ghi})$: 摩擦速度、 $n_b (=0.0192d_{90}^{1/6})$: 流砂抵抗の粗度係数である。

数値計算は三角形一次要素を用いた有限要素法により行い、時間項は二段階陽解法により差分化した。有限要素法による潮流計算においては大行列の計算が必要になるため、計算を簡略化するために各要素マトリックスを対角部に集中させる集中質量行列を用いた。

(3) 波浪 (3-9 頁)

間瀬らによる、波の回折を考慮した多方向不規則波の変形解析モデルを使用する。

このモデルは従来のエネルギー平衡方程式に放物型波動方程式を基とした回折項を陽な形で含み、また砕波や反射波の効果を導入し、回折・反射においても安定した結果を得ることが可能である。
下表に様々な平面波浪場解析手法の理論的適用可能範囲を示す。エネルギー平衡方程式は他の手法と比べて汎用性が高い解析手法が、「回折」が基本理論に考慮されていないことが欠点であった。しかし、今回、適用を考えている間瀬らの手法は、欠点を補ったものである。

表 2-4 平面波浪場解析手法の理論的適応可能範囲

計算手法	浅水変形	屈折	回折	反射	砕波モデル	任意水深	流れの影響	不規則性	有限振幅性	計算領域			備考
										広	中	狭	
波向線法	◎	◎	×			◎	○	○	△	○	○	○	は遷移に有限振幅性を含める
エネルギー平衡方程式	◎	◎	▽	△	○	◎	○	◎	×	○	○	○	
ヘルムホルツ方程式	○	○	◎	◎	×	◎	×	○	×			○	領域ごとに一樣水深
高山の方法			◎	◎	×	◎	×	◎	×			○	一樣水深のみ
遷勾配方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	△			○	
非定常遷勾配方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	○		×			○	砕波モデル・境界条件処理が容易
数値波動解析法	○	◎	◎	◎		◎			×			○	
非定常遷勾配不規則波動方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎		◎	×			○	
放物型波動方程式	◎	◎	◎	△	○	◎	○	○	△			○	
非線型長波動方程式	◎	◎	◎	◎	○	×		◎	◎			○	鉛直加速度が無視される浅海域に限定される 原方程式は浅海に限定される
ブシネスク方程式	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎			○	
ガラーキン法	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎			○	
非線型遷勾配波動方程式	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎			○	

◎：基本形で適応可能 ○：応用形で一般的適応可能
△：応用形で部分的適応可能 ▽：基本理論では考慮されないが実用上適応可能
空白：研究により適応できる可能性あり ×：適応不可能

以下に、間瀬らの波の回折を考慮した多方向不規則波の変形解析モデルについて述べる。

1) エネルギー平衡方程式

エネルギー平衡方程式は、多方向不規則波の屈折、浅水変形、さらには砕波変形を解くことができる。そのため、実用的にも領域の波浪変形解析モデルとして盛んに用いられている。しかし、波の回折については、問題があることが指摘されている。

定常波浪場において、砕波等によるエネルギー減衰項を加えたエネルギー平衡方程式は、次のように表される。

$$\frac{\partial(v_x s)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y s)}{\partial y} + \frac{\partial(v_\theta s)}{\partial \theta} = -\varepsilon_\theta s \quad (13)$$

ここでは波の方向スペクトル、 (x, y) は水平座標、 θ は軸から反時計回りに測った波向角、 ε_θ はエネルギー減衰係数であり、特性速度 (V_x, V_y, V_θ) は

$$(v_x, v_y) = \frac{\partial \omega}{\partial k} \bar{s} = (C_g \cos \theta, C_g \sin \theta) \quad (14)$$

$$v_\theta = -\frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial k} \frac{\partial k}{\partial n} = \frac{C_g}{C} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (15)$$

と表される。 (s, n) は図 2-8 に示す波向・波峰に沿った座標、 C は波速、 C_g は群速度である。

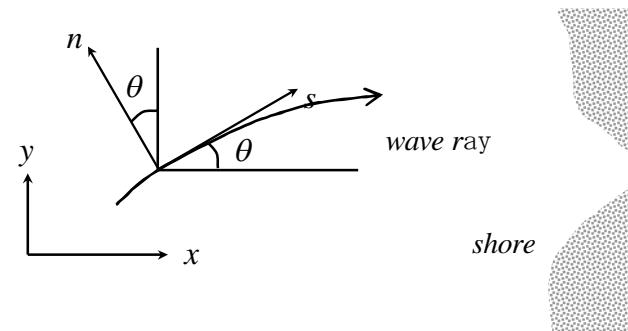


図 2-8 波向・波峰に沿った座標