

河川・海岸づくりにおける新しい技術的取り組み

河川研究部長 猪股 純

近年、財政的な制約、自然環境保全への関心の高まり、計画や管理への参加意欲の高まり等多様な社会的要請の変化を背景として、社会資本を巡って盛んに議論がなされ、その結果、研究分野においても様々な新しい取り組みがなされている。ここでは、それらの中で、それ自体が自然そのものを構成する要素である河川や海岸において、その整備や管理における新しい技術的取り組みのいくつかを紹介することとしたい。

1. 社会的要請の変化と新しい技術的取り組み

1.1 河川海岸づくりをめぐる社会的な課題と研究の重点

河川海岸づくりの分野においては、近年、少子高齢化の進展、国民の価値観の多様化、環境意識の高まり、投資余力の減少等の社会経済環境の変化に対応して、従来からの洪水・高潮等の安全性の確保や水資源開発等の生活産業基盤の整備に加え、自然環境の保全・再生が重要課題となっている。また、施設整備など構造物主体のハード対策と流域内での対策や洪水・高潮予警報、避難体制の確保などのソフト対策とを組合せた総合的対策への転換、地球温暖化の影響評価、気候・水循環変動への対応、さらには、治水政策や事業の必要性・効率性の評価、住民参加への取り組みなど事業のあり方や進め方の改革が求められている。

河川研究部としては、このような社会的要請に応え、環境保全対策や費用対効果とのバランスを図りながら、洪水・高潮等による災害被害の軽減、水需給の均衡及び利水の安定性確保、環境の保全が図れ、政策提言が可能となるように個々の研究レベル向上を図るとともに、河川行政との連携のもとに総合的な研究推進を目指すこととしており、上記の視点を踏まえ、次の7つの柱の下に約60の研究課題を設定し、河川海岸分野における多様な研究を行っている。

住民がより安全に暮らせるハード・ソフト対策を含めた河川・海岸づくり
水や砂の動きなど自然の力を利用した川や砂浜づくり
流域の都市化等により悪化している水循環の改善と既存ダム of 効率的利用
良好な環境の保全・復元を目指した河川・海岸づくり
技術開発の推進
河川・海岸・ダム施設の構造基準等の策定や改訂に係る研究
アジア・モンスーン地域の水問題の解決を目指した取り組み

1.2 新しい技術的取り組みの4つの事例

本稿では、河川海岸分野におけるこれらの研究のなかから、次の4つの新しい技術的取り組みの事例について次章以下でその概要を紹介することとしたい。

環境とコストを配慮した新型ダム - 台形CSGダム

河床砂礫や掘削ズリなどの現地発生材を有効活用するCSG(Cemented Sand and Gravel)工法を用いてダム建設を行い、建設コストの縮減、環境保全を期待する新しい試みについて紹介する。

多摩川における川原復元

多摩川永田地区における河道修復事業を対象として、河原の維持される仕組みとその機能状況を評価する指標を提案し、この指標を参考にして計画された事業の概要について報告する。

皆生海岸における新しい人工リーフ

環境への配慮を目的とした鳥取県皆生海岸における、離岸堤の人工リーフへの置き換えと、その置き換えを可能とした新しいタイプの人工リーフの開発について紹介する。

降雨量予測技術の水管理への適用

地球規模の気象観測や数値モデルの高度化等により降雨予測技術の精度が向上しつつあることから、現在、予測降雨量を水管理に活用する技術についての研究を進めているが、その概要を報告する。

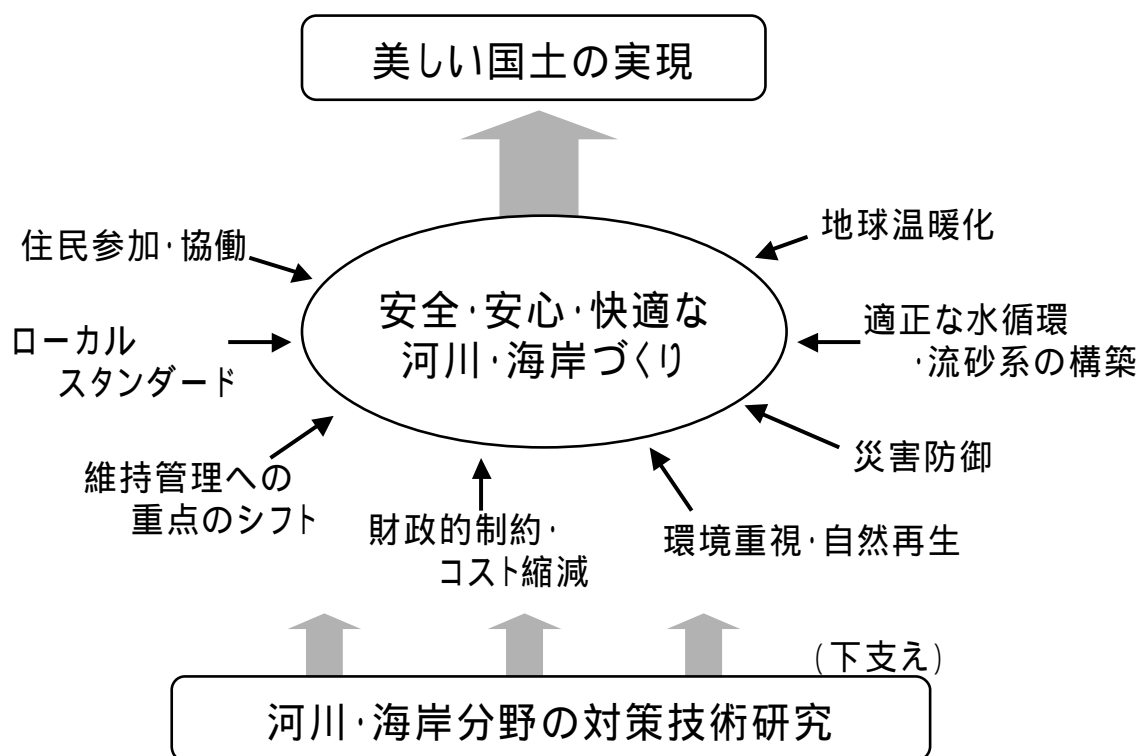


図1 - 1 河川海岸を巡る社会的な課題

2. 事例 環境とコストを配慮した新型ダム - 台形 CSG ダム

近年の公共事業費の削減、自然環境の保護・保全に対する強い要望を受け、ダム事業には、今まで以上のコスト縮減と環境への配慮が望まれている。このような社会背景から、河床砂礫や掘削ズリなどの現地発生材を有効活用する CSG(Cemented Sand and Gravel) 工法を用いたダム建設への期待が高まっている。CSG は、河床砂礫や掘削ズリなど、ダムサイト近傍で容易に入手できる岩石質材料に、セメント、水を添加し、簡易な練り混ぜにより製造される材料である。CSG 工法をダム建設に採用した場合、原石山の省略もしくは大幅な規模の縮小、骨材製造設備などの省略あるいは簡略化が可能になると考えられ、建設コストの縮減、環境保全が期待できる。一方、堤体形状が台形であるダムは堤体内に発生する応力が小さく、比較的強度の小さい材料であっても堤体材料として十分利用することができる。以下では、台形 CSG ダムの特徴を紹介するとともに、CSG の材料特性、台形 CSG ダムの堤体応力特性について簡潔にまとめて示す。

2.1 CSG 工法

CSG 工法は、国土交通省中部地方整備局長島 ダムの上流仮締切堤^{1),2)}で適用されて以来、久婦須川ダム^{3),4)}、忠別ダム⁵⁾、摺上川ダム、徳山ダムの仮締切堤、富郷ダムの押え盛土⁶⁾、滝沢ダムの仮設水路⁷⁾、長島ダム貯砂ダム^{8),9)}などに採用され、多くの施工実績を有するに至っている。以下に CSG 工法の特徴を述べる。

なお、表現の統一を図る上で、CSG に関する用語を以下のように定義する。

【CSG に関する用語】

母材・・・掘削ズリ等の現地発生材、河床砂礫、段丘堆積物等の原材料またはこれから破砕等により加工された岩石質の材料。コンクリートの原石または骨材に相当。

CSG 材料・・・母材にセメント、水を添加し、混合された硬化する前の材料。コンクリートにおけるフレッシュコンクリートに相当。

CSG・・・硬化した CSG 材料。コンクリートにおける硬化コンクリートに相当。

(1) 材料の有効活用

一般的な CSG の製造工程を図 2-1 に示す。CSG の製造方法は、現場で得られる母材の特性、施工の合理性、構造物に求められる所要強度などを勘案し、その現場で最適な方法が選択される。

CSG 材料は、母材にセメント、水を添加し、混合することにより製造される。母材は、岩石質材料から基本的には大玉だけを取り除いたものであり、一般に、分級、ブレンドおよび水洗いなどは行わない。このため、通常のコングリートダムの建設で必要となる骨材製造プラントや濁水処理設備などの大がかりな設備が不要となる。

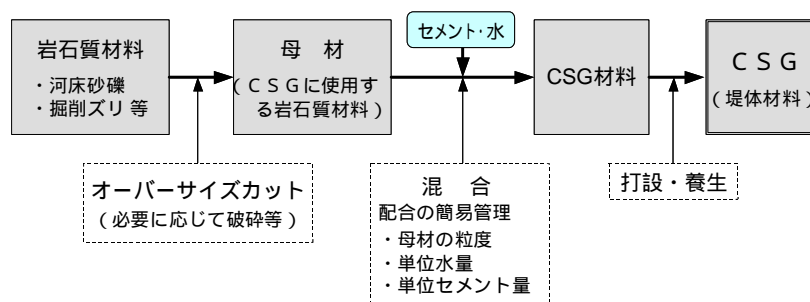


図 2-1 CSG の製造工程

(2) 施工の簡略化と急速施工

CSG は、RCD 工法などと同様に面状工法により施工される。打設に用いる機械は、通常のダム工事で用いられるダンプトラック、ブルドーザ、振動ローラーなどの汎用機械である。CSG は単位セメント量が少ないため、打設時のグリーンカットを必要としない。

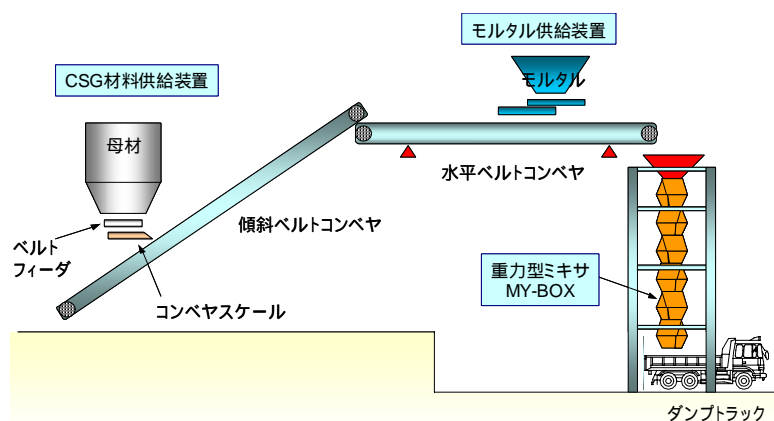


図 2-2 滝沢ダム仮設水路に用いた CSG 製造設備の概略

CSG 材料の混合方法には、スケルトン型バックホウを用いて現場で混合する簡易な方法^{1)~6)}、傾胴式ミキサ、回転ドラム式連続ミキサ(CRT)^{8),9)}などの動力型のミキサを用いる方法、JIOCE 式高速連続ミキサ¹⁰⁾、MY-BOX⁷⁾、DK ミキサなどの自由落下エネルギーを利用した重力型のミキサを用いる方法などがある。このように、CSG 材料を連続的に製造することが可能で簡易な設備が次々と提案されている。CSG の製造においては、母材の性質、賦存状況に応じた最適な工法を採用し、施工の簡略化、高速化を図ることができる。図 2-2 に滝沢ダム仮設水路に使用された混合設備の概略を示す。

2.2 台形 CSG ダム

台形 CSG ダムは、台形ダムと CSG 工法の両方の特徴をあわせ持つ新形式のダムであり、ダム建設における「設計の合理化」、「材料の合理化」、「施工の合理化」の3つの合理化を同時に達成するダム¹¹⁾である(図 2-3 参照)。以下にその特徴を述べる。

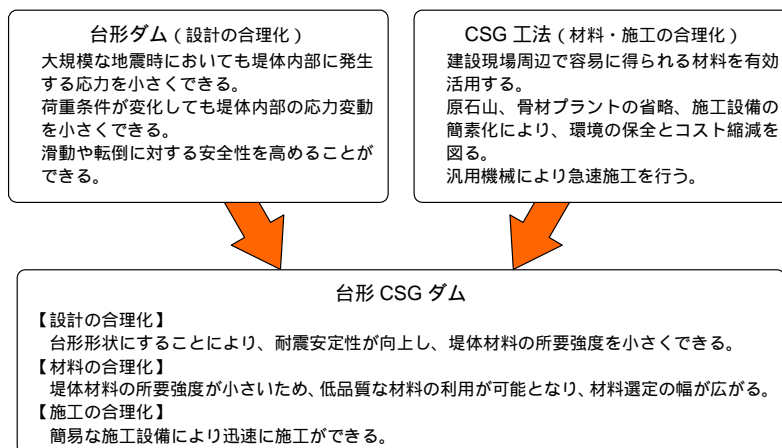


図 2-3 台形 CSG ダムの特徴

(1) 設計の合理化

台形 CSG ダムの堤体断面は台形形状であり、通常のコンクリートダムに比べ堤体内に発生する応力が小さく、材料の所要強度を低く設定することができる。また、滑動、転倒に対する安全性が高い。

(2) 材料の合理化

台形 CSG ダムでは、堤体材料に要求される所要強度が小さいため、コンクリート骨材としての強度に関わる品質を満足できないような岩石質材料でも母材として利用することができる。そのため、材料選定の幅が広がり、ダムサイト周辺で得られる河床砂礫や関連工事で発生する掘削ズリなどの岩石質材料を有効に活用することができる。また、採取した材料は、極力手を加えず、そのまま母材として利用されるため、原石の廃棄率が低く、

原石山の縮小、骨材製造設備などの省略あるいは簡略化が可能である。ダムサイト近傍に原石山の適地が見つからず、コンクリート骨材の確保が困難な場合などは、台形 CSG ダムは有力な解決策の 1 つと考えられる¹²⁾。

(3) 施工の合理化

CSG は、ダムサイト近傍で容易に得られる河床砂礫や掘削ズリなどの現地発生材から大玉だけを取り除いた後、分級し

ないで、セメント、水を添加混合した材料であるため、母材の調達、粒度調整、CSG の練混ぜ、打設といった一連の作業工程を大幅に簡素化することができる。また、汎用機械を用いた急速施工が可能のため、工期短縮、コスト縮減を図ることができると考えられる。

図 2-4 に、台形 CSG ダムの概略断面を示す。台形 CSG ダムでは、堤体材料として CSG を用い、その上流面には貯水などに対する水密性、および耐久性を確保する目的で遮水コンクリートを、天端および下流面には、耐久性の確保を目的とした保護コンクリートを配置する。堤敷上流部には浸透路長を確保する目的で止水コンクリートを施工し、堤体と基礎地盤の接合部には、基礎からの浸透流に対する耐久性を確保するため単位セメント量の多い富配合 CSG を施工する。また、止水コンクリートの下には、カーテングラウチングおよび補助カーテングラウチングを施工する。

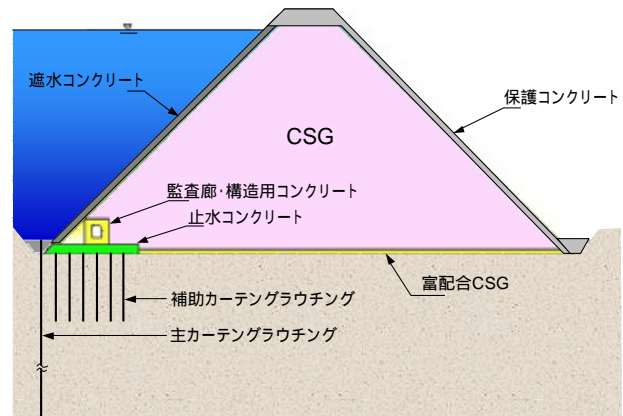


図 2-4 台形 CSG ダムの概略断面

2.3 台形 CSG ダムの設計の特長

台形 CSG ダムは、従来のコンクリートダムやフィルダムとは異なる新形式のダムであり、その設計思想には以下に述べるような特徴を有する。

(1) CSG の材料特性に応じた堤体設計

従来の重力式コンクリートダムの設計手順は、最初に、転倒、滑動に対し必要な安全性を満足し、断面積が最小となる堤体形状を決定し、次に、その断面において必要な強度を満足するコンクリートを製造するというものである。これに対し、台形 CSG ダムは、ダムサイト近傍で入手が容易な岩石質材料から製造される CSG の材料特性に応じた堤体設計を行うという設計手順を踏む。表 2-1 に、重力式コンクリートダムと台形 CSG ダムの設計手順の比較を示す。

CSG は、本来、物性値バラツキを有する材料であるため、そのバラツキ幅を考慮した堤体設計を行う。また、CSG 製造時には単位水量、粒度分布などの配合条件の管理値に幅を持たせた上で、設計上必要な強度を確保する。

(2) 動的応答解析法による耐震設計

台形 CSG ダムの設計は、現場ごとに製造可能な CSG の強度と比較して、堤体内に発生する応力が十分小さくなるような堤体断面を設計する。堤体設計には有限要素法などの数値解析手法を用い、岩盤の変形性も考慮した上で堤体内の応力状態を詳細に調査する。

表 2-1 設計方法の比較

ダム の 型 式	従来の重力式コンクリートダム	台形 CSG ダム
設 計 手 順	〔堤体積を最小にする設計〕 転倒安全性を検討 滑動安全性を検討 堤体形状決定 堤体内部応力の安全性を検討 堤体材料の強度を設定	〔材料強度に応じた堤体の設計〕 CSG の材料特性を把握 (材料試験) 堤体内部応力の安全性を検討 転倒安全性を検討 滑動安全性を検討 堤体形状決定
耐 震 設 計	震度法	動的応答解析法
内部応力の計算	片持梁理論による簡便法 (基礎地盤の変形性は考慮しない)	有限要素法 (基礎地盤の変形性を考慮する)
堤 体 安 全 性 の 価 評	(転 倒) ミドルサードの条件 (滑 動) Henny 式 (内部応力) 片持梁理論による簡便法	(転 倒) ミドルサードの条件 (滑 動) 滑動係数 (内部応力) 有限要素法解析結果 地震時における転倒、滑動に対する安全性の照査は、動的解析において安全性が最低となる時点を対象に行う。

耐震設計には動的応答解析法を採用し、地震時に堤体内に発生する応力を照査する。

ダム堤体の滑動、転倒安全性は、地震時において最も大きな荷重が作用する時にも、所要の安全性を確保できるように設計する。

(3) 弾性論による堤体設計

CSG はコンクリートとロック材の中間的な応力 - ひずみ特性を呈する弾塑性的な特性が強い材料であるが、堤体設計は堤体材料を弾性体として取り扱う。したがって、堤体内に発生する応力は CSG の弾性領域の範囲内になるものとする。このため、コンクリートダムの場合と同様、堤体内部や堤体上部に放流設備や洪水吐き等の構造物を設置することができる。

3 . 事例 多摩川永田地区における河原復元

平成 9 年に改正された河川法によって、河川環境を整備・保全することが河川法の目的として位置付けられた。また、平成 15 年度に運用が開始された自然再生推進法によって、河川等の自然環境を保全、再生、創出、または維持管理することが求められている。しかし、このような事業にあたって目標設定が難しいこともさることながら、目標を設定した場合においてもどのように河道を設計し、その変化をどうモニタリングすべきであるか明確にされてないことが多い。目標設定にあたっては、市民の意見を踏まえつつ委員会等で設定されるものとするが、その設計の仕方およびモニタリング手法を提案するのは河川工学者の役割と考える。

ここでは河川をシステムとして捉え、あるモノが維持される仕組みに基づいて、その仕組みの機能状況を表す指標を作成することで、それぞれの問題に対応していくことを提案する。本事例では、多摩川永田地区における河道修復事業を対象として、河原の維持される仕組みとその機能状況を評価する指標を提案した。次いで、この指標を参考にして計画された事業の概要について報告する。

3.1 永田地区の河床低下に伴う河原縮小の概要

多摩川永田地区は、河口から約 52km 上流に位置し、河床勾配 1/350、平均粒径 37mm、平均年最大流量 520m³/s の礫床河川であり、上下流の低水路幅が 150 ~ 300m に対し 50m 程度と狭いのが特徴である。また、1968 年に砂利採取が全面的に禁止されるまでは、多い時で毎年 4 万 m³ 程度の砂利が採取されていた。この結果、小作堰(56km)下流へと供給される土砂が減少し、

小作堰下流から永田地区にかけての河床は低下傾向にあった(図 3-1 参照)。写真 3-1 に航空写真、図 3-2 に定期横断測量結果(以下、定期横断と呼ぶ)の横断形状を示すように、1970 年代は河道全幅に河原が広がっていたが、1974 年 9 月出水(ピーク流量 2,149m³/s : 調布橋水位流量観測所、59.5km)を契機に、右岸側に 1~2 m の厚さで粗礫が堆積し、左岸側に低水路が形成された。その後、1980 年代初頭に 1,000m³/s を越える出水が数回発生し、低水路の河床低下が進行するとともに高水敷には土砂がさらに堆積し、現在のような低水路と高水敷の比高差が 2~4m ある河道が形成された¹⁾。その結果、高水敷上にはオギ、ハリエンジュ等の植物が繁茂し流下能力を低下させるとともに、低水路の河床低下によって堤防・護岸の安全性が低下する等、治水上問題となっている。また、河道が樹林で覆われ河原が減少し、そこに生息する生物も減少した。さらに、河床低下に伴って低水路河岸に露出した難侵食性の岩盤(以下、土丹層と呼ぶ)によって低水路が固定され、河床低下がさらに進行し礫床本来の環境が悪化し、環境面でも問題となっている。

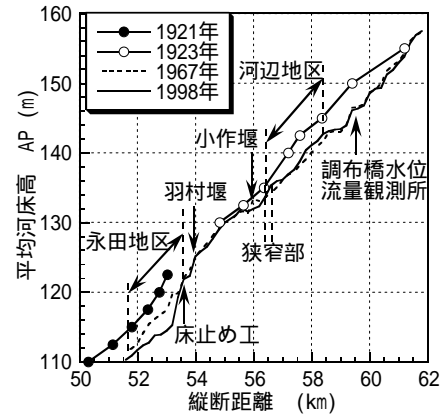


図 3-1 河床高の縦断分布の変化

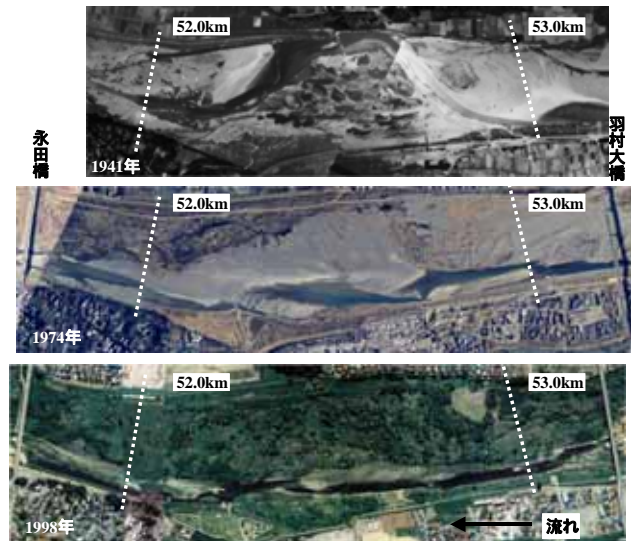


写真 3-1 永田地区の河道状況の変遷

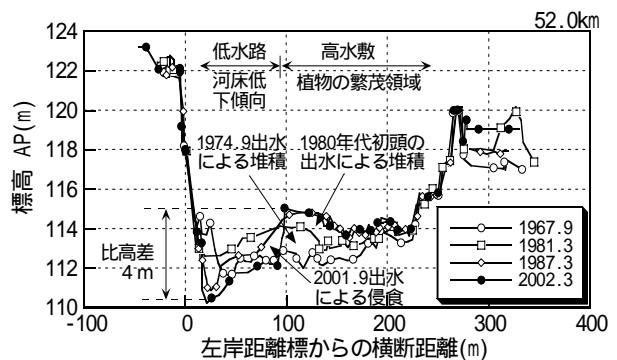


図 3-2 横断形状の経年変化

3.2 河原の仕組みとそれに基づく修復

河原は、図 3-3 に示すように出水と関わりのある仕組みのもとで、礫間を埋める土砂(以下、マトリクスと呼ぶ)に根付く植物が繁茂と流失(裸地化)をあるサイクルで繰り返す場である。このサイクルを構成する素過程を裸地からの変化を例にとり以下で説明する。裸地には名称にカワラが付く植物のように、マトリクスの保湿性が低い場所に発芽・生長できる植物(以下、河原植物と呼ぶ)が繁茂する。

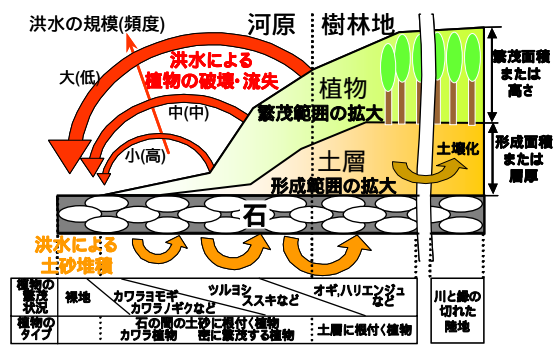


図 3-3 出水に関わる河原の仕組み

河原植物は、裸地化した河原に再繁茂して疎らながらも群落を形成することに優れている^{2,3)}。その群落に侵入して密に繁茂する植物(例えばツルヨシ)は、上記の点ではやや劣るものの、出水による破壊に対する耐力が河原植物より優れている。

瀬崎ら⁴⁾は、破壊耐力を 50%粒径に対する無次元掃流力を用いて評価した。その結果、ツルヨシは最大粒径規模の礫に覆い被さるよう根茎を深く伸長しているため、その流失によって完全に裸地化する外力は最大粒径に対する限界無次元掃流力(0.10~0.12)とほぼ等しくなる。それに比べて根茎が地中浅くにししか伸長しないカワラノギクなど河原植物は、中央粒径に対する限界無次元掃流力(0.06)程度で流失して裸地化する。さらに、密に繁茂する植物の群落内には出水時に濁水中の土砂が沈降・堆積しやすく³⁾、それが土層を形成すると、土層に根付く植物(例えばオギ、ハリエンジュ)に遷移するようになる¹⁾。河原植物より流失しにくく、土砂堆積に伴って拡大するこれらの群落によって、河原植物の生長が阻害されて個体数が減少する。個体数が少なくなり過ぎると出水後の再繁茂が困難になり絶滅が危惧される状態になるが、そこまで減少するより先に裸地化するという程良いサイクルを保つように仕組みが機能していれば、河原は再形成・維持される。李ら¹⁾は、永田地区に土層に根付く植物が安定的に繁茂し続けている理由として、低水路の河床から 2~4m も高くなった高水敷上で植物の破壊・裸地化が生じにくくなったことを挙げている。

以上より河原の仕組みに基づくと、河道修復事業においては高水敷での植物の破壊発生頻度を回復することがキーとなると考えられる。その定量的指標として、ここでは掃流力によって破壊の発生が判別できると仮定し、流量ごとに河原に作用する掃流力とその生起確率を算定することから得られる掃流力の生起確率を用いることとする。

3.3 低水路幅拡大・礫供給による河道修復

河道修復事業としては、低水路幅拡大(以下、拡幅と呼ぶ)と礫供給が実施された(図 3-4 参照)。以下では、52.0km 断面を例として、拡幅と礫供給による河原復元事業について、無次元掃流力の生起確率の変化から説明を加える(図 3-5 参照)。

修復実施前の河原頂部における掃流力とその生起確率年の関係をプロットで示す。この河原頂部と比高がほぼ等しい砂州上にはカワラノギクをはじめとする河原植物やツルヨシが繁茂していたが、2000~2001 年の出水によって破壊された。すなわち、この河原にお

いては仕組みが健全に機能していたと考えることができ、プロットを機能回復の目標とする。

拡幅のみを行うと、河積の増加のため掃流力がプロットのように低下し、河原上の植物群落破壊されにくくなる。具体的には、ツルヨシ流失の生起確率年が約5年から約7年となり、ツルヨシ群落は拡大すると推測される。同時に、掃流力が低下したことで礫が堆積しやすくなり河床が上昇する。その際、動的安定河床勾配に近づくように河床勾配が急になると考えられる⁵⁾。

河床勾配の増加に伴って掃流力が再び増加する。河床形状を拡幅直後と同一と仮定して、勾配が1/350から1970年代と同じ1/250まで増加した場合、

プロットのように目標であるプロットとほぼ重なる分布となる。この状態に達したとき、河原頂部と等しい標高である造成河原も含めて植物の破壊発生頻度が回復するので、仕組みが機能する河原を拡大できたことになる。なお、礫供給は上記の河床勾配に早期に到達するように、上流からの流送土砂量を増加させることを目的として実施した。

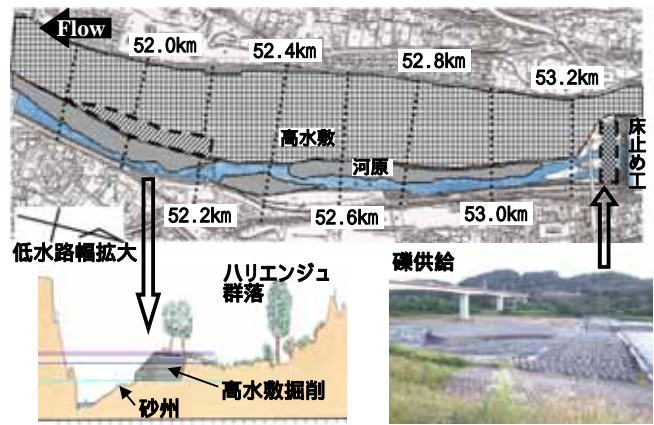


図 3-4 低水路幅拡大と礫供給による河道修復事業の概要

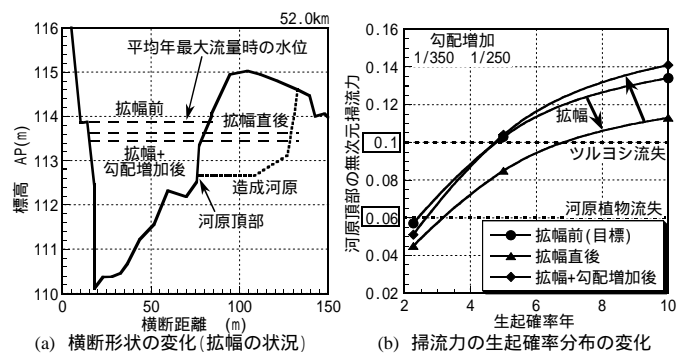


図 3-5 拡幅状況と拡幅・礫供給による掃流力の変化

3.4 修復実施後の河床変動と今後の修復の進め方

河川研究室では、河道修復事業が開始された2001年以降地形変化をモニタリングしている。供給された礫が流送され、かつ有意な河床変動が生じるピーク流量100~200m³/s以上の出水後にGPS(測定精度:鉛直約3cm、平面約2cm)を用いて、縦断方向に約25m、横断方向に2~3mの間隔で横断測量を実施した。その測定結果から求めた河床高の縦断分布を見ると、修復実施前には河床が低下し続けていた同地区において、拡幅区間に2002年に800m³の礫が堆積するなど、特に拡幅区間において河床が安定し、徐々にではあるが上昇していることが確認された。

この修復事業では、礫供給量と拡幅規模のバランスが重要である。拡幅規模を大きくすると、掃流力の発生頻度が回復するのに必要な礫堆積量が増加する。そのため、回復に費やす期間が長くなり、植物も長期間流失しにくいままとなるので、密な植物の繁茂土層の形成 樹林地へ戻る(図3-3参照)というように、河原が拡大できない懸念が高まる。それだけでなく、最初に述べた河辺地区のように下流への礫供給量を減少させ、より激しい

河床低下を引き起こすという悪影響も懸念される。現在実施中の修復事業では、これらの懸念から免れている。現在の拡幅区間で河原が概ね復元された場合、上記の懸念される現象が防止できる適度な拡幅規模で段階的に拡幅していくことで、河原を拡大していくのが今後の修復の進め方となる。その際、出水の発生回数と規模によって、掃流力の発生頻度が目標値まで回復するのに要する時間が異なるであろう。したがって、図 3-5 から目標と現状の差をモニタリングし、適宜礫供給量・拡幅規模を調整するといったアダプティブ・マネジメントを行わなければならない。

最後に、上述した指標は河道断面内のある地点における掃流力の変化を捉えたものであり、おおまかな変化を捉える上では有効かつ実用的である。しかし、河原の状況を左右する植物群落の繁茂・拡大・破壊、その群落内への土砂の堆積といった仕組みを取り入れて河原の状態を評価する場合には、ハビタットスケールでの河原の状態の変化を把握する必要がある。これについては現在開発を進めているところである。

本報告をまとめるにあたっては、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所には定期横断測量、流量、礫供給に関するデータを提供していただいた。また、一次元河床変動計算は(財)リバーフロント整備センターと共同で実施した。ここに記して深甚の謝意を表します。本研究は、河川生態学術研究会多摩川研究グループの調査研究の一環として実施したものである。

4 . 事例 美しい海岸づくり - 鳥取県皆生海岸 クレスト型人工リーフの開発 -

海岸保全施設は大きな波の外力を受けるため、大きな力を受けても壊れないよう安全性を確保する。そのため、海岸保全施設の規模は一般に大きく、また、一定の強度を持つ材料で安価につくることが必要であり、景観に与える影響が必ずしも配慮されてこなかった。ここでは、景観への配慮を目的とした鳥取県皆生海岸における、離岸堤の人工リーフへの置き換えと、置き換えを可能とした新たなタイプの人工リーフの開発について紹介する。

4 . 1 離岸堤と人工リーフについて

人工リーフとは、沖合に設置される消波構造物のうち、高波浪時のうちあげ高・越波量の低減、もしくは汀線の長期的な安定を図ることを目的として設置される海岸保全施設で、通常、天端が没水しているものである¹⁾。形状は天端が平坦で、中詰め材が捨石などで構成され、表面を被覆材で覆ったものが多い。

通常天端が水面上にある離岸堤とは、一般に天端の高さで区別される(図 4-1 参照)。

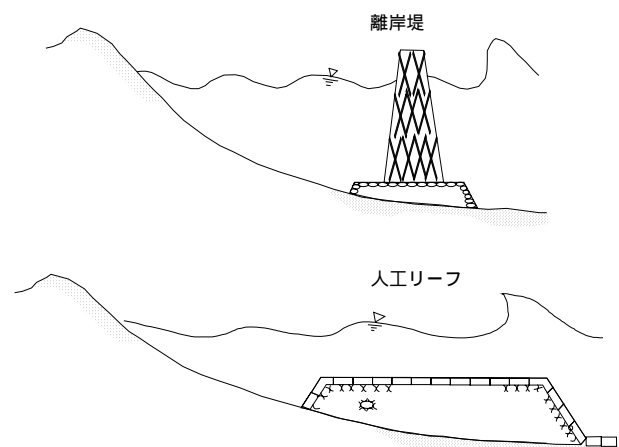


図 4-1 離岸堤と人工リーフ

4.2 皆生海岸の海岸保全について

皆生海岸は、鳥取県の西端に位置し、美保湾に面する延長約20kmの砂浜海岸である。皆生海岸への主な土砂供給源は日野川であり、縄文海進最盛期以降から流出土砂が堆積して形成された地形であると言われている。一方、日野川流域では近世初頭以降に盛んになった砂鉄採取を目的として膨大な量の土砂が日野川を通じて海域に供給されて海浜が形成された。その後大正末期に砂鉄採取が衰微してからは日野川からの流送土砂が激減し、皆生海岸の侵食が始まった。こうした海岸侵食に対応するため、第二次世界大戦後種々の対策が講じられてきたが、昭和46年に我が国はじめての離岸堤が設置され、これまでに完成した31基の離岸堤群によって汀線維持が図られている（図4-2参照）。

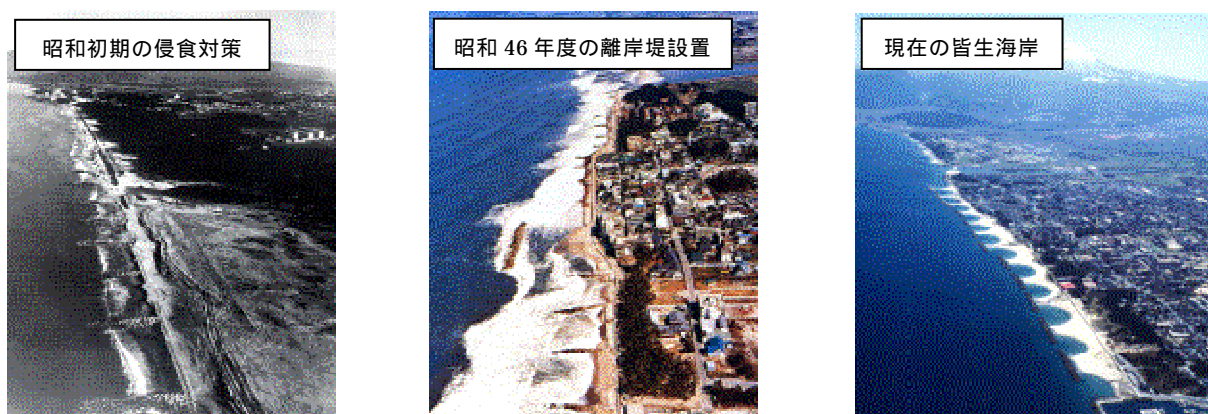


図4-2 海岸保全の変遷

4.3 皆生海岸における美しい海岸づくり

離岸堤は、皆生海岸の汀線維持に効果を発揮してきた。特に、岸側にトンボ口といわれる地形を形成し、土砂を堆積させることが離岸堤の特徴である。しかし、その反面、強制的に波を砕くため、設置30年を経て、反射波などにより離岸堤の沖側の海底や沖側堤脚の洗掘・侵食が進んでおり、離岸堤の崩壊や沈下・散乱のおそれがあり、離岸堤の消波効果を維持するためには、継続した補修や補強などの対策が必要となり、継続した維持経費が必要となる。

一方、近年離岸堤に代わる新しい技術として人工リーフが用いられるようになってきた。人工リーフは天然のサンゴ礁を模倣した没水型の構造物であるため反射波の発生が抑えられ、沖合侵食が発生しにくい。また、離岸堤のように水面上に大きなブロックが出ていないため、景観にも影響を与えない。

そのため、皆生海岸では、離岸堤の人工リーフへの置き換えを検討し、置き換えにあたっては、旅館・家屋の多数ならば箇所から順に始めることとした。

4.4 人工リーフ採用に当たっての課題

離岸堤の人工リーフへの置き換えは、離岸堤が現に存在し、しかも汀線維持に十分な機能を発揮していることから、置き換えた人工リーフも同等の性能を発揮することが前提で

あり、その性能を事前に確認する必要があった。

そのため、平成14年度から平成15年度にかけて国土技術政策総合研究所、中国地方整備局等で既存の離岸堤と同等の性能をもつ人工リーフの開発を行った。

離岸堤の人工リーフへの置き換えによる機能・性能の確認はこれまでなされたことがなく、また、波、流れや漂砂の動きは複雑であることから、性能の評価にあたっては模型実験（模型スケール1/50）を主な方法として行った。

4.5 一般的なタイプ的人工リーフでの基礎実験

人工リーフへの置き換えにあたっては、当初、岸沖方向の断面が台形状の一般的なタイプ的人工リーフで検討した。ケースは、(A1)人工リーフを設置しない場合、(A2)天端水深の深い人工リーフを設置した場合、(A3)天端水深の浅い人工リーフを設置した場合、(A4)岸側に透過構造物をおいた複合型人工リーフをおいた場合の4ケースの実験を行った（図4-3参照）。

実験は、基本となる一様勾配の海浜を成型した後、離岸堤の設置、造波によるトンボロ地形の形成、形成された地形の測量、離岸堤の撤去、人工リーフの設置、造波による海浜変形、変形後の地形測量の順でケース毎に繰り返した。

図4-4に実験前後の汀線の前進・後退の様子を示すが、完全に水没した人工リーフでは海浜を十分維持できないことがわかった。

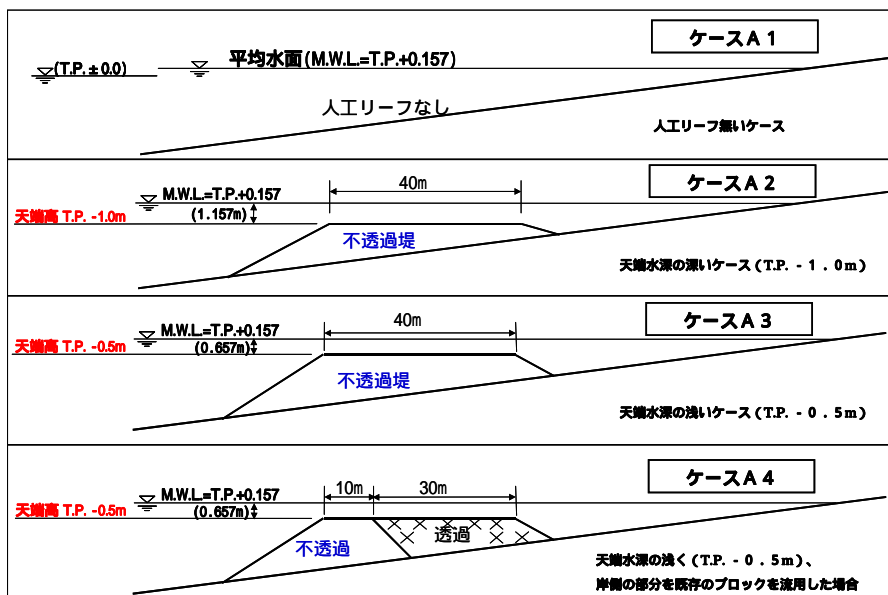


図4-3 実験ケース

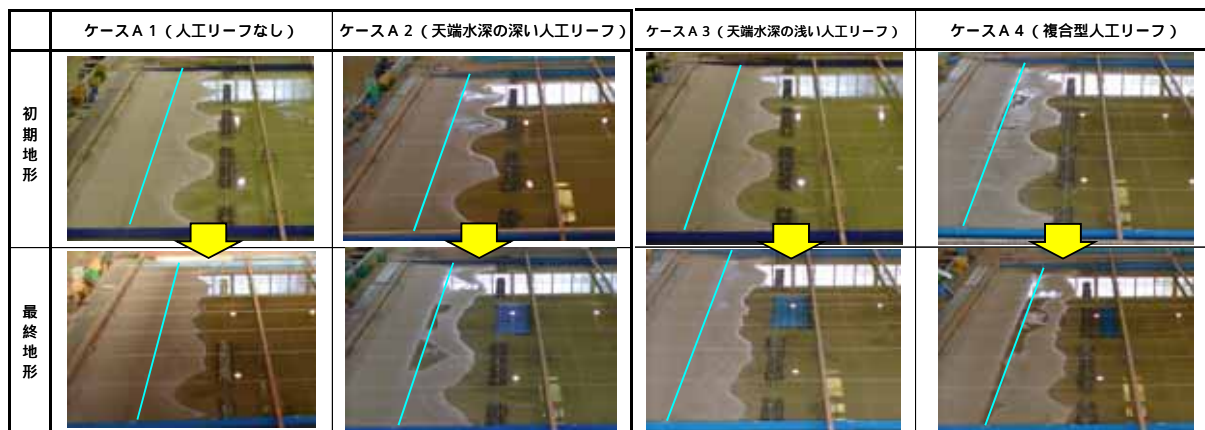


図4-4 汀線変化

4.6 クレスト型人工リーフの採用

既存の離岸堤と同様の機能を持つためには、水面部に若干の突起（クレスト）が必要である。どのような突起が必要か数値計算により把握し、その結果を基にクレストを設置した人工リーフ（クレスト型人工リーフ）について模型実験を行った。

対象として、景観への影響を避ける観点から、クレストは極力小さなものとし、（B1）水面高さ1mのクレスト1列、（B2）高さ0.5mのクレスト1列、（B3）高さ0.5mのクレスト2列、（B4）高さ1mのクレストと0.5mのクレスト1列ずつの4ケースの実験を行った（図4-5参照）。

実験方法は、一般的なタイプ（ケースA）の人工リーフでの基礎実験と同様に行った。

図4-6に実験前後の汀線の前進・後退の様子を示す。また、図4-7は人工リーフの岸側の土量について、等深線別の面積、最終地形と初期地形の比を示す。

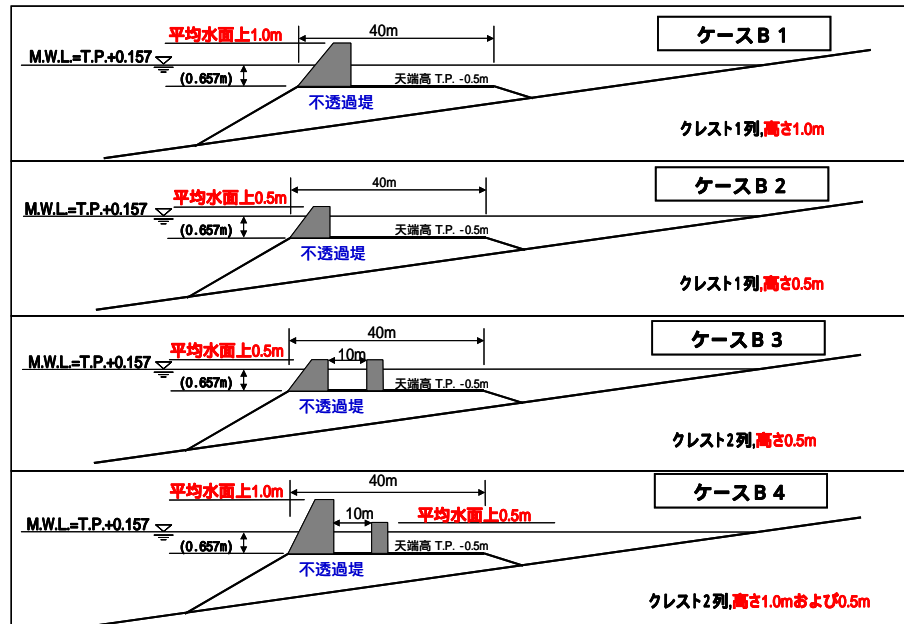


図 4-5 実験ケース

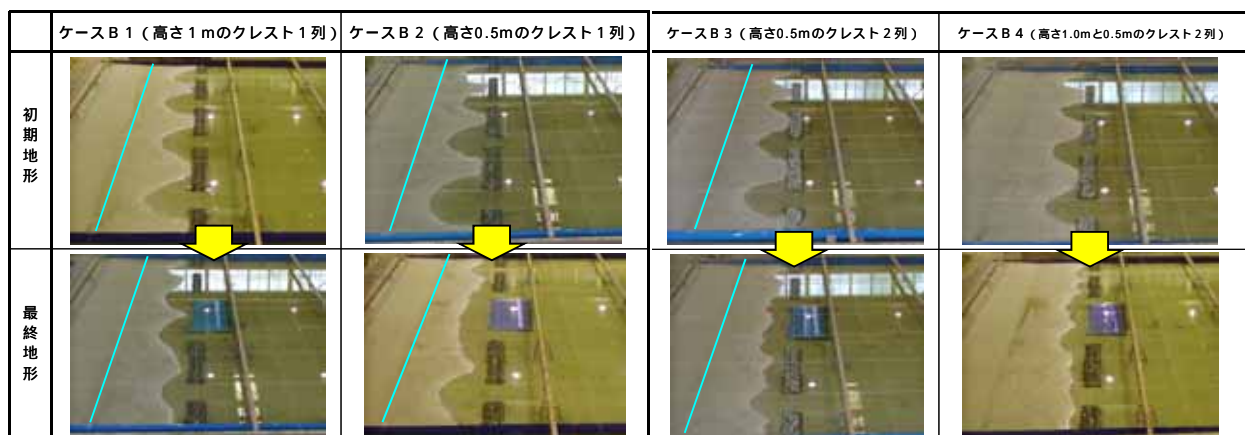


図 4-6 汀線変化

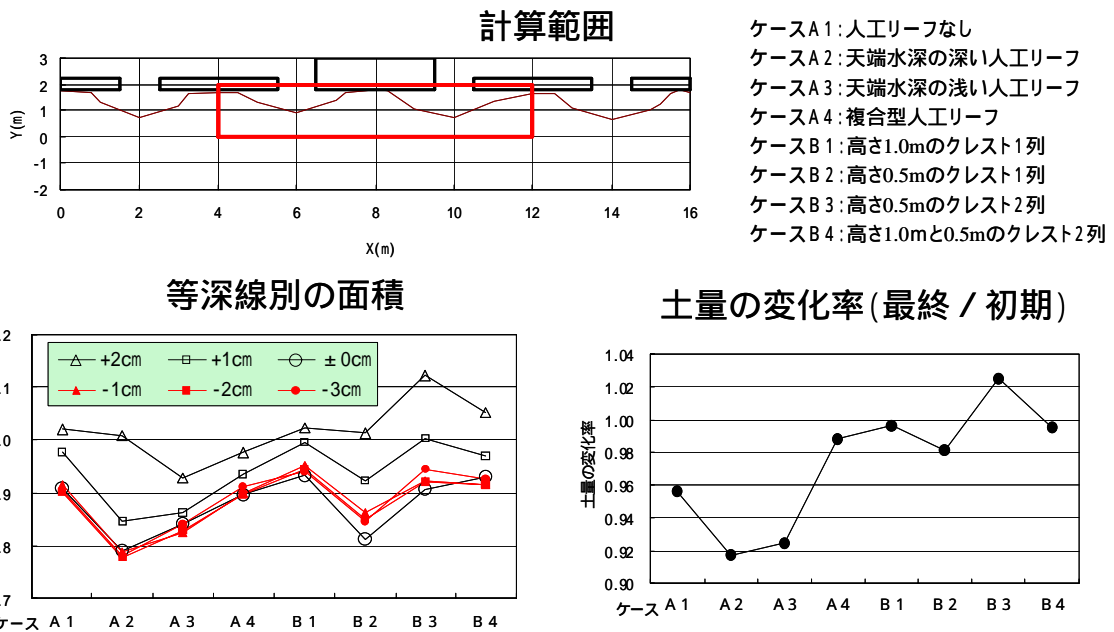


図 4-7 土量変化

4.7 まとめ

以上より、一般的なタイプ(ケースA)の人工リーフでは、人工リーフ岸側の土砂を維持できない。水面上に0.5mから1mでクレストを設けることで安定性が増加するが、さらに2列にすると効果的である。クレストの高さは、水面上0.5mを2列にしたものが、前面を1m高くしたものより効果的である。そのため、静穏波、暴浪波での実験による流況確認、数値計算による機能の確認を踏まえ、(B3)のものを採用した。

4.8 今後の展開と課題

高潮・津波、侵食などの災害に対する防護の機能を備えたうえで、美しい国土、美しい海岸を保全するうえでは、人工リーフの役割は大きいものがあるものの、人工リーフは、同等の機能を持つ離岸堤などに比べるとその体積が大きく、必然的にコストが増大する。そのため、既設離岸堤を人工リーフの堤体に再利用するなどのコスト縮減を図っていく必要がある。

5. 事例 降水量予測技術の水管理への適用

地球規模の気象観測や数値モデルの高度化等の降雨量予測技術の結果を、ダム管理等の水管理に活用する技術について説明する。降水量の変動が経年的に拡大する傾向があり、これまでの計画規模を超える洪水や渇水の発生する危険性が増大しつつある。その一方で、地球規模の気象観測や数値モデルの高度化等により降雨予測の精度が向上しつつある。従来、降水量の実績値に基づく経験的な水管理が行われてきたが、予測技術の向上や誤差の評価方法を明らかにする等、国土技術政策総合研究所では予測降水量を水管理に活用する技術の開発を2003年度から開始し、降水量変動に対応することを目指している。

5.1 研究の背景

我が国は世界でも有数の多雨地帯であるアジアモンスーン地帯に位置し、2002年水資源白書¹⁾によると年平均降水量は1,718mmとなっている。年平均降水量でも特に最近20~30年間は、少雨と多雨の開きが大きくなっている(図5-1)。降水量の変動幅の増大により、従来想定していなかったような異常な洪水、土砂災害、渇水が発生する可能性が大きくなっている。

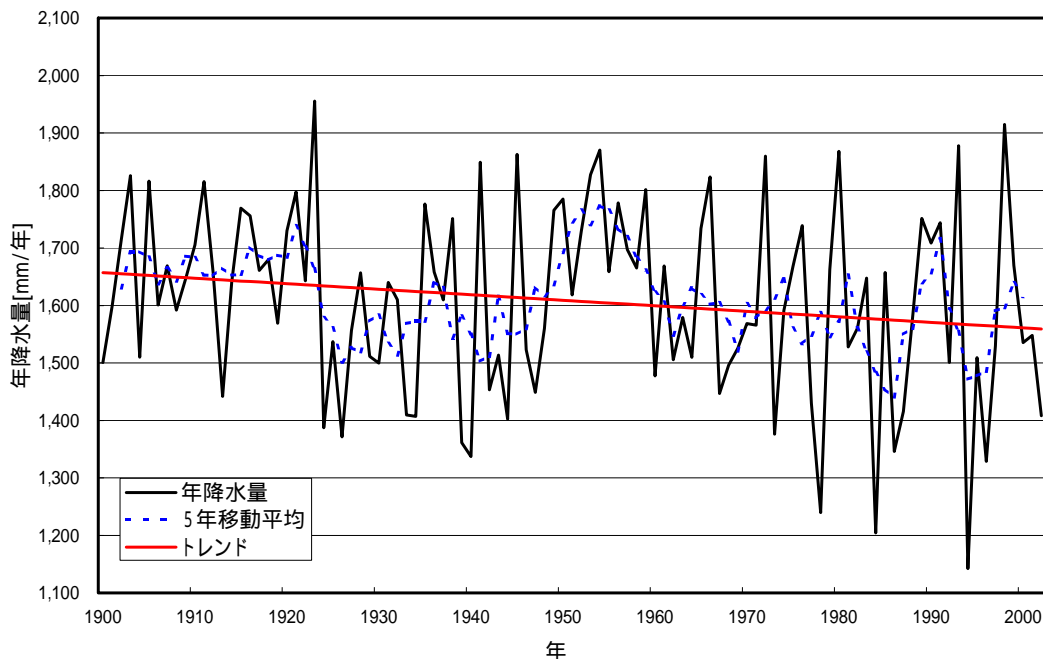


図 5-1 日本の年降水量の経年変化(国土交通省¹⁾)

5.2 研究の特徴

降水量を活用した水管理にあたっては、降水量予測や水管理に用いられる各種モデルに含まれる誤差を適切に評価し、十分な安全性を確保する必要がある。そのため、気象庁と連携してダム管理等の水管理に適用技術の開発を進めている点に本研究の特徴がある。

地球規模の気象変動については未解明の部分が多いが、近年の観測、数値計算技術の発達によって予測降水量の精度向上が図られてきたため、これを適用するための水管理技術を向上させることによって気象変動にも対応することが可能になりつつある。たとえば、気象庁²⁾では2001年に新しいスーパーコンピュータシステム(NAPS:数値解析予報システム)が稼働し、集中豪雨などに関する局地情報、波浪予報、台風予報等の精度向上が図られている。空間規模の小さい現象の予測を行うメソ数値予報モデル(MSM)では図5-2のように領域数値予報モデル(RSM)よりも強い降雨をモデルで予測することができ、2002年3月からは初期値に4次元変分法を導入して、10km格子で6時間先までの降水短時間予報が行われている。また局地的強雨等を把握するため、高解像度のレーダー・アメダス解析雨量の運用が開始しており、解析雨量が2.5km格子に細密化されるとともに、2003年6月からは解析雨量と降水短時間予報が30分間隔で提供されている(図5-3)³⁾。

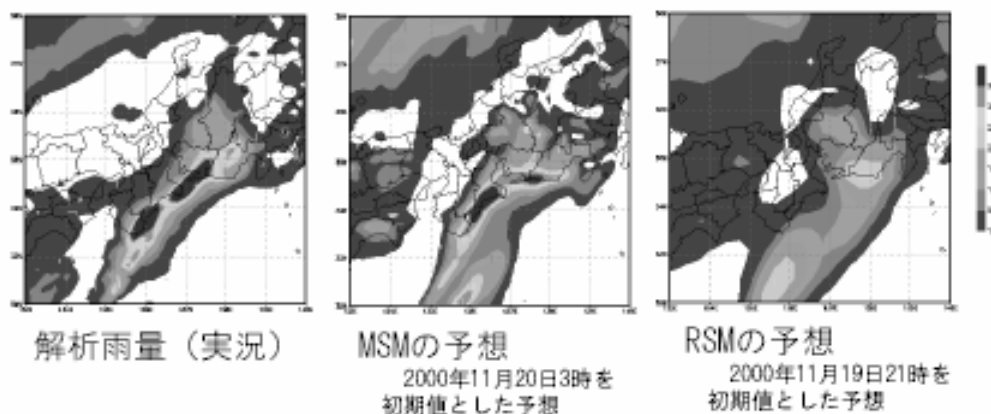


図 5-2 MSM と RSM の比較(2000 年 11 月 20 日 12 ~ 15 時の 3 時間積算降水量、気象庁²⁾)

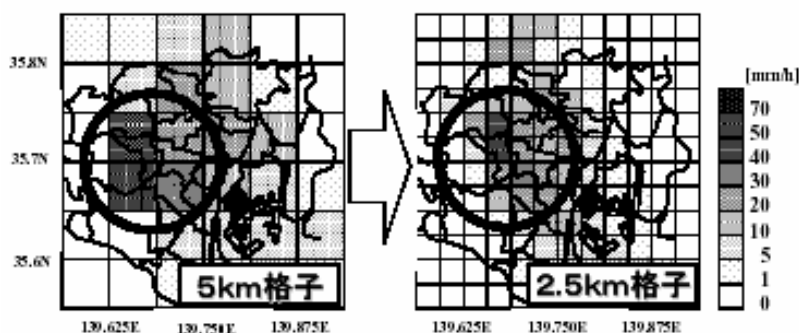


図 5-3 レーダー・アメダス解析雨量の 2.5 km 格子化(1999 年 7 月 22 日 16 時東京都の解析雨量、気象庁²⁾)

5.3 研究内容

降水量の予測情報の適用検討にあたっては、検討対象となる流域をいくつか選定して各流域の流出モデルの精度を分析し、気象庁から提供を受けたレーダー・アメダス解析雨量と降水量予測データを流出モデルに組み込んでダム貯水池や河川への流出量を計算し、その適合性・誤差を分析する。

5.3.1 モデル流域の選定

モデル流域として利根川上流域、木曽川上流域、淀川水系木津川流域、吉野川上流域及び筑後川上流域の 5 流域を選定した。それぞれの流域では所轄の管理事務所が洪水予測システムを構築し、雨量及び流量がオンラインでシステムに入力され、流量予測を計算できるようになっている。現状のダム管理では、実績降水量が主に用いられている。

5.3.2 流出モデルの精度向上

予測雨量の活用を検討する前に、雨量データからダム貯水池や河川に流出する流量を計算するモデルの精度を検証し、その向上を図ることが不可欠である。図 5-4 は S ダム貯水池への流入量を現地で使用しているモデルを用いて計算したものである。降雨は 2003 年 8 月の台風 10 号のデータを用いており、実線がダム貯水池流入量の実測値である。丸印で実

測値から伸ばされた線は、ある時点の実測流入量を初期値として3時間先までの降雨が完全に予測された、すなわち3時間先までの実測雨量データを入れてモデルで貯水池流入量を計算したものである。

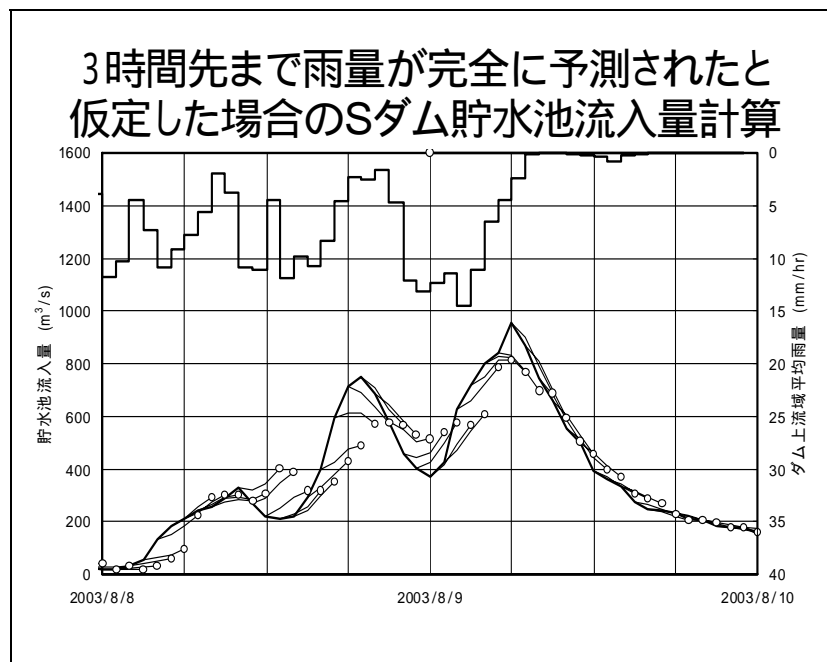


図 5-4 流出モデルの精度検証の事例

5.4 残された課題

現実には将来の降水量は予測したものをを用いるため、降水量自体にも予測誤差がある。したがって、降水量予測の適用技術の検討は図 5-5 のように、流出モデルの予測誤差から生じる予測範囲と、さらに気象予測の予測誤差が加わった場合の予測範囲を求め、誤差を小さくしてこの範囲を絞り込む努力をしつつ、信頼性、安全性が確保できる範囲でダム管理に活用していくことになる。

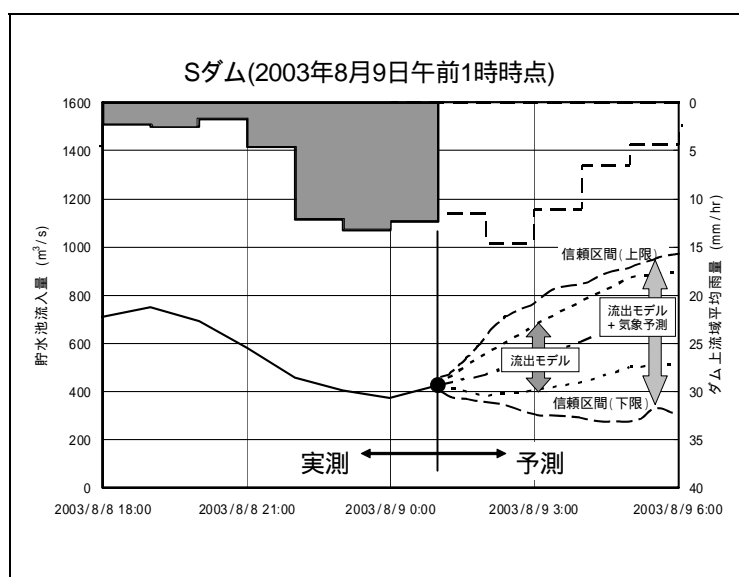


図 5-5 予測降水量を用いた水管理検証のイメージ

5.5 今後の展開

精度が向上しつつある降水量の予測情報を水害や土砂災害危険度の予測、ダム管理に適用することは、不確定性が増す地球規模の水循環変動に対する水管理能力向上に有効であると考えられるが、その適用にあたって予測誤差を評価し、安全性を確保することが不可欠である。水管理技術の適用技術の開発にあたり、国土交通省の各地方整備局と緊密な連携をとって現地のニーズを把握し、気象庁等、関係機関の協力を得ながら研究を進めている。

6. 終わりに

これまで河川海岸づくりにおける新しい技術的取り組みについて4つの事例を紹介した。それぞれ、環境への配慮、コスト縮減、効率的な施設の運用管理等、現在求められている社会的な課題や要請に対応して、テーマ設定を行い進めてきたものである。これら新しい取り組みが広く実際に適用されていくためにも、これからもさらなる研究の深化が求められるものと思う。

冒頭にも述べたように、河川研究部ではその時々 of 社会的要請・課題に対応した研究テーマの選定に努め研究に取り組んでおり、紹介した4つの事例に限らず今後とも新しい視点で各種の研究に取り組んでいきたいと考えている。

本年の9回にも及ぶ台風の日本列島上陸とそれに伴う全国的な被害の発生に代表されるように、河川海岸分野で我々が取り組まねばならない課題は数多く残されている。

今後ともさらなる関係各位のご指導を願うものである。

なお、本稿の作成に当たっては、海岸研究室の福濱室長（事例 ）、河川研究室の福島主任研究官（事例 ）、ダム研究室の服部主任研究官（事例 ）、村瀬主任研究官（事例 ）に多大な協力を願った。深くお礼申し上げる。

参考文献

事例 環境とコストを配慮した新型ダム - 台形 CSG ダム

- 1) 藤澤侃彦・中村昭・豊田光雄・石川高史・山上和彦：C.S.G.の材料試験および施工 - 長島ダム上流仮締切堤への適用 -、ダム技術、No.83、pp.41-51、1993年8月。
- 2) 新村孝行：長島ダムの施工および CSG 工法の概要について、ダム日本、No.611、pp.71-87、1995年9月。
- 3) 松長敏美：久婦須川ダムの概要と CSG 工法の材料試験結果について、ダム日本、No.612、pp.53-72、1995年10月。
- 4) 特別企画(1)コスト縮減事例集：現地発生材の有効利用、ダム技術、No.150、pp.90-91、1999年3月。
- 5) 加藤忍：忠別ダムの施工現況と上流仮締切り CSG 工法について、ダム日本、No.690、pp.35-62、2002年4月。
- 6) 高橋征夫・塚本康二・永江啓師：CSG 工法の試験施工について、ダム技術、No.140、pp.33-40、1998年5月。
- 7) 大藪勝美・花田弘幸・松枝修治・三木正博：滝沢ダムにおける掘削ずりを用いた CSG の施工、ダム技術、No.175、pp.63-77、2001年4月。
- 8) 服部辰美・松岡博・池上眞二：CSG 工法の貯砂ダムへの適用、ダム技術、No.132、pp.60-66、1997年9月。
- 9) 特別企画(1)コスト縮減事例集：CSG コンクリートを用いた貯砂ダムの建設、ダム技術、No.150、pp.50-51、1999年3月。
- 10) 和田一範：JIOCE 式高速連続ミキサの開発とダム事業への適用、ダム日本、No.668、pp.57-69、2000年6月。
- 11) CSG ダム研究会：CSG 材料を用いたダムの解析と設計法の提案、ダム技術、No.166、pp.27-52、2000年7月。
- 12) 藤澤侃彦：ダム材料の合理化の現状と課題、ダム技術、No.126、pp.3-18、1997年3月。

事例 多摩川永田地区における河原復元

- 1) 李参熙・藤田光一・山本晃一：礫床河道における安定植生域拡大のシナリオ - 多摩川上流部を対象にした事例分析より -、水工学論文集、第 43 巻、pp.977-982、1999。
- 2) 渡辺 敏・藤田光一・塚原隆夫：安定した砂礫州における草本植生発達の有無を分ける要因、水工学論文集、第 42 巻、pp.439-444、1998。
- 3) 末次忠司・藤田光一・服部 敦・瀬崎智之・伊藤政彦・榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答、遷移および群落拡大の特性、国土技術政策総合研究所資料、第 161 号、2004。
- 4) 瀬崎智之・服部 敦・近藤和仁・徳田 真・藤田光一・吉田昌樹：礫州上草本植生の流失機構に関する現地調査と考察、水工学論文集、第 44 巻、pp.825-830、2000。

5) 山本晃一:沖積河川学、山海堂、pp.314-321、1994.

事例 美しい海岸づくり - 鳥取県皆生海岸 クレスト型人工リーフの開発 -

1) 国土交通省河川局海岸室、国土技術政策総合研究所海岸研究室:人工リーフ設計の手引き(改訂版)、全国海岸協会、2004.

事例 降水量予測技術の水管理への適用

1) 国土交通省土地・水資源局水資源部:平成14年版 日本の水資源、2003年.

2) 気象庁:最新鋭スーパーコンピュータの導入について、2000年11月22日報道発表資料.

3) 気象庁:本年6月2日から、「レーダー・アメダス解析雨量」と「降水短時間予報」を30分間隔で提供します、2003年5月6日報道発表資料.