

現地観測による有脚式突堤の効果の検証

——下新川海岸 黒部市生地地先——

進 藤 裕 之* ・ 笹 倉 伸 男** ・ 長谷川泰亮***
関 本 恒 浩**** ・ 西 畑 剛***** ・ 片 山 裕 之*****

急勾配の礫浜海岸である下新川海岸生地地先において、2002 年 7 月に侵食対策として透過型有脚式突堤が完成した。本研究では突堤設置前後に渡り波浪場・流況場の現地観測ならびに数値解析を行い、まず当海域における来襲波浪や流況場の把握を行った。そして現地観測結果及び数値解析結果を用いて有脚式突堤の反射率および透過率を推定した。その結果、突堤の設計要求機能である反射率 0.5 以下、透過率 0.6 以下を概ね満たすことがわかった。また周辺流況は常時波浪から推定される海浜流とは異なり、富山湾全体の流動特性が大きく寄与していることが確認された。

1. はじめに

下新川海岸は侵食海岸として知られており、特に生地地先は水深 10 m 以浅の範囲で海底勾配が 1/2～1/10 と急勾配の礫浜海岸で、海底谷が複雑に入り組んでいる。この海域の侵食メカニズムとしては、急勾配による深海への土砂流出に加えて、黒部川からの土砂供給の減少も原因となっており、その対策として波浪制御施設による漂砂制御が検討されてきた（鎌田ら、2000）。

2002 年 7 月に侵食対策施策の一つとして生地地先に MMZ 計画で開発された透過型有脚式突堤（写真—1）が完成し、波浪減衰効果検証のための現地波浪調査を実施した。本研究では、まず、生地地先の波浪・流況場の調査結果および数値計算による再現を行い、現地の波浪流況特性を把握した。次に観測データを基に新設された突堤の反射率、透過率を推定し、有脚式突堤の現地性能を評価した。

2. 現地波浪調査の概要

現地波浪調査は、突堤設置前後の冬季（2001～2003 年の 12～3 月）に実施した。この期間中は日本海側では季

節風による高波浪が期待できる。観測は、突堤の前背面など突堤周辺の波浪流況を把握する目的で水深 4～20 m に波高波向計を 6 台設置し、水圧、水平 2 成分流速、水位の計 4 成分について毎正時をはさむ 20 分間毎に 0.5 秒間隔で計測した。なお、突堤設置後の観測では、突堤周辺の全体的な流れを代表する位置に多層流速計（ADCP）も設置し流速の鉛直分布を測定している（水深 7 m）。表—1 に調査期間、調査項目を、図—1 には計測器の配置を示した。なお、P1 地点は、設置上の都合から観測位置を 2001 年度と 2002 年度で変更した。

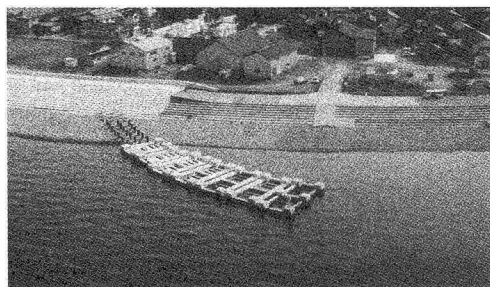
3. 現地調査結果

（1）波浪場及び流況場の統計処理結果

波浪場の統計処理結果の代表的なものとして、突堤建設後（2002 年度）の P1 地点の有義波高、有義波周期、波向ベクトルおよび P5 地点の平均流速ベクトルを図—2 に示した。3 回の観測期間を通して、P1 地点では常時に

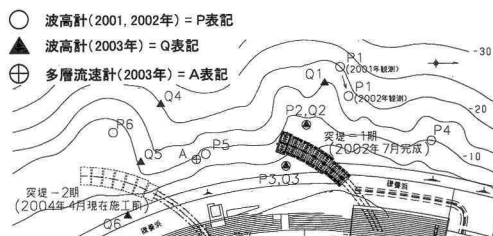
表—1 調査期間・項目

突堤建設	建設前	建設後		
調査期間	2001/11/1 ～ 2002/3/1	2002/11/1 ～ 2003/3/1	2003/11/1 ～ 2004/3/1	2003/11/1 ～ 2004/3/1
計測項目	水圧、水平 2 成分流速、水位			流速鉛直分布 (6 層)
サンプリング 周波数 (Hz)	2			0.25
観測モード	毎正時の前後 10 分間 (20 分間)			10 分毎アンサンブル平均
設置箇所	6 カ所			1 カ所
設置水深	4.0～20.0m			7.0m



写真—1 透過型有脚式突堤

- * 正会員 前国土交通省黒部河川事務所長
- ** 国土交通省黒部河川事務所調査課長
- *** 国土交通省黒部河川事務所調査課
- **** 正会員 博(工) 五洋建設(株) 技術研究所
- ***** 正会員 工 修 五洋建設(株) 技術研究所
- ***** 正会員 博(工) 五洋建設(株) 土木設計部



図—1 調査位置

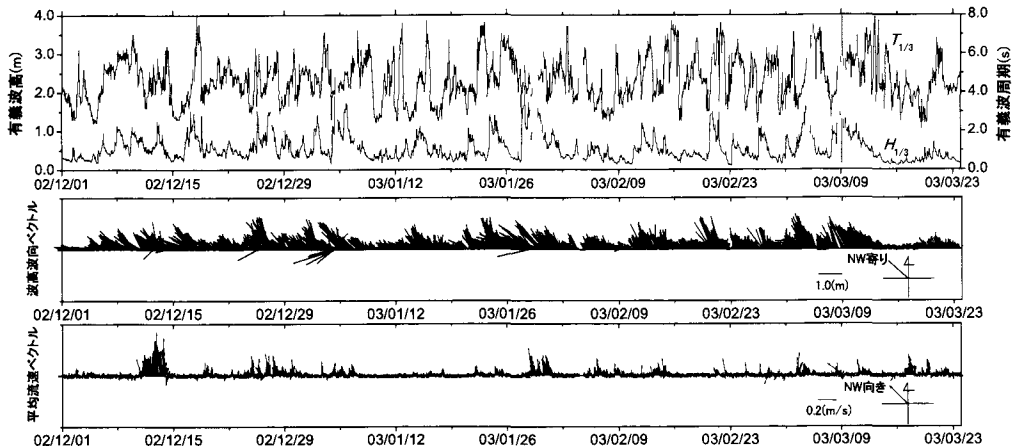


図-2 統計処理結果の経時変化

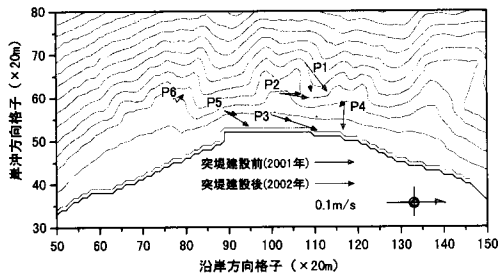


図-3 突堤建設前後の観測期間平均流速ベクトル

は 0.5 m 程度、高波浪時には 2.0 m を越える有義波高が数回観測された。常時波の有義波周期は 4 ～ 6 秒が卓越しており、波向は北～北西寄りが多いことが分かる。また P5 地点の平均流速ベクトルからは高波浪時に 20 ～ 30 cm/s 程度の北向きの流れが観測されているのが分かる。

図-3 には統計処理結果を基にした突堤建設前後の観測期間中の平均流速ベクトルを示した。場所により若干異なるが、比較的汀線に近く水深コンターがあまり入り組んでいない P2, P3, P5 地点では北向きの流れが観測されており、常時波の波向から想定される海浜流とは方向が異なっている。なお、これについては後述する。

(2) 生地地先の流速の鉛直分布

2003 年度の観測では多層流速計 (ADCP) により鉛直方向 1 m 深度毎の流速も測定した。図-4 には観測期間中の鉛直平均流速で 0.5 m/s を超えるケースについて各層の 10 分間アンサンブル平均流速と流向、および対象ケースの各層平均流速と流向の値を同時に示した。これによると平均流向はケースにより若干のばらつきは見られるものの北北西向きでほぼ一様であり、流速は上層で

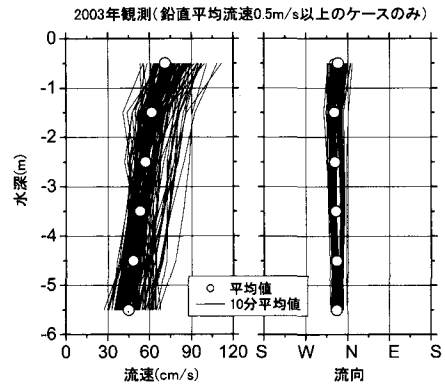


図-4 観測結果による平均流況場の鉛直分布

70 cm/s 程度、低層では 45 cm/s 程度と直線的な鉛直分布が見られた。なお観測期間中の最大鉛直平均流速は 0.8 m/s であった。波向から想定される海浜流の流向と異なり、北北西向きの流れが観測された要因としては、例えば局所的な風の影響や、冬冬季節風による富山湾全体の流動特性も影響していると考えられる。

4. 数値計算による波浪流況場の再現

(1) 波浪場の再現計算

突堤背後の回折領域における波浪場推定精度の向上、および生地鼻周辺の複雑に入り組んだ海底地形、急勾配地形における碎波変形推定精度の向上を目指し、段階的碎波係数を導入した放物型方程式 (合田, 2003) を用いて突堤周辺波浪場の再現計算を行った。

再現計算の対象としたのは、突堤設置前の観測において P1 地点 (水深 20 m) で有義波高 2 m を超える高波浪が観測された 5 ケースとした (表-2)。表中には P1 地点

表-2 計算対象ケース一覧

Case	日 時	P1 地点観測波浪		
		$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	波向(度)
1	2001.12.14 7:50	2.35	5.6	322
2	2001.12.22 5:50	2.57	5.8	304
3	2001.12.30 9:50	2.05	5.4	293
4	2002.1.29 3:50	2.32	5.4	355
5	2002.2.19 5:50	2.08	5.9	334

注) 波向は北を0にとり、時計回りに正とした角度

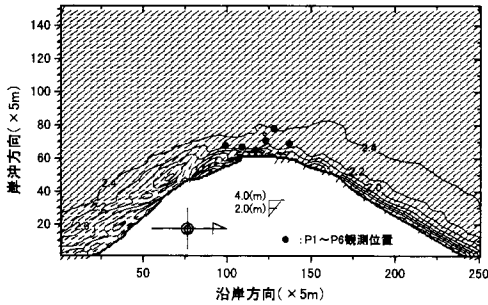


図-5 有義波高コンター・波向ベクトル (Case 1)

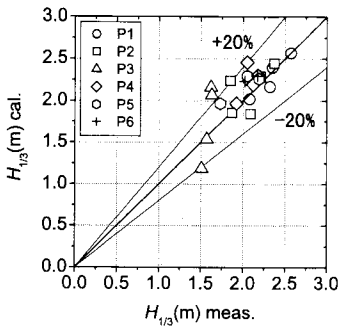


図-6 観測結果と計算結果の有義波高の比較

における観測波浪を示してある。なお、計算の入力となる沖波については観測データがないため、P1 地点の観測データから沖波を推定した。

計算領域は沿岸方向 1250 m、岸沖方向 750 m とし、計算格子間隔は 5 m で行った。潮位は平均潮位とした。

計算結果のうち Case 1 の有義波高コンター・波向ベクトルを図-5 に示した。対象海域は急勾配のため沖から汀線付近まで波向が変化しない様子が分かる。また各観測位置における有義波高の観測値と計算値の比較を図-6 に示す。水深 4 m の P3 地点の波高でややばらつきが大きい。全体的には概ね $\pm 20\%$ の範囲で適合しており、生地地先のような急勾配海岸の碎波変形について、段階碎波モデルにより概ね評価可能であることが明らかとなった。

(2) 流動場の再現計算

冬期季節風による富山湾全体の流動特性を確認するため、図-7 に示す計算領域に対して吹送流による流動計算を行った。計算は σ 座標系による 3 次元流動モデル (佐々木ら, 1998) を参考に実施した。

数値計算は 1 km 格子間隔、鉛直方向に 3 層、時間ステップ 15 秒にて 24 時間の計算を行った。計算条件は、表-3 に示した。なお、生地近隣で観測された風速によると沖で有義波高 1.5 m 以上の高波浪時には平均 10 m/s 以上の強風が観測されることが多いことを考慮し、水表面の境界条件として、海上 10 m における 10 m/s の北西風によるせん断応力を与えた。

吹送流計算による富山湾全体の平均流速ベクトルを図-8 に示す。生地地先付近では上層では吹送流として南向きの流れとなっているが、生地鼻周辺を除いた富山湾東岸では吹送流に起因する岸沿いに北向きの流れが生じている。中層・下層では富山湾奥と富山湾口以東の吹送流に起因する流れに引張られた北向きの流れが生じている。これは先に示した観測結果と一致している。なお上層での南向きの流れは実際にはごく表層に存在し、ADCP 観測では大気との境界付近のデータ処理を行わない領域 (図-4 中の水深 0 m 付近) に対応したと推定される。

以上の結果から、生地周辺の平均流況については、富山湾全体での吹送流等によって生じる流況場を考慮する必要があることがわかった。なお海浜流による計算も行い、吹送流も含めた評価を行ったところ、吹送流が支配

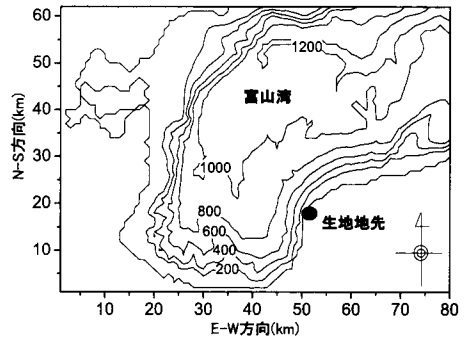
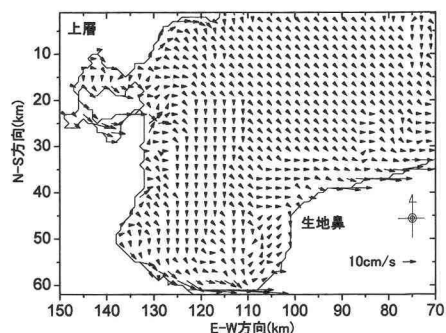


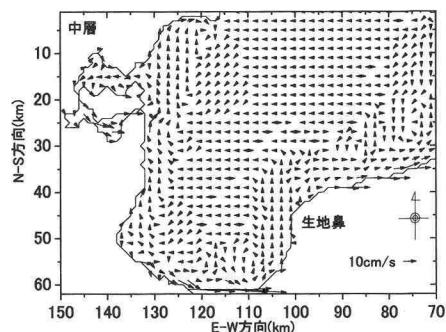
図-7 計算領域図

表-3 計算条件

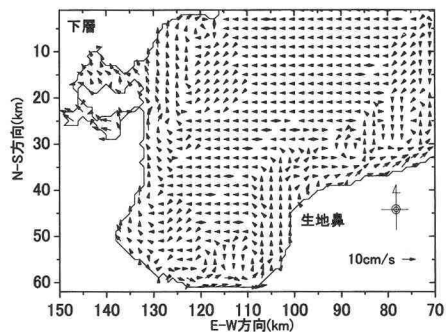
計算条件		24 時間
格子数 (1 km メッシュ)	岸沖方向	50
	南北方向	30
	鉛直方向	3
海上風 (地上 10 m)		北西風 10 (m/s)



(1) 上層の流速ベクトル



(2) 中層の流速ベクトル



(3) 下層の流速ベクトル

図-8 生地付近流速ベクトル図

的であることは確認できた。しかしながら、急勾配かつ複雑な地形の影響と風況場を一樣で与えていることなどのため流況の定量的な評価には至らなかった。

5. 方向スペクトル解析を用いた有脚式突堤の反射率・透過率の評価

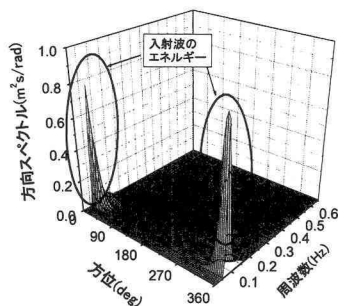
観測から得られた水位、水平2成分流速データを用い EMEP 法 (橋本ら, 1993) により方向スペクトル解析を実施した。図-9 には、P1 地点の突堤建設前後の観測データを用いた結果を示した。なお、両者はほぼ同様の

波浪条件となるデータを用いた。突堤建設前では入射波のスペクトルピークのみが見られるのに対して、突堤建設後の結果では、入射波のスペクトルのピークが見られるだけでなく、反射波のエネルギーが観測されていることが分かる。したがって、P1 地点の観測データより反射波の推定が可能であると考えられる。

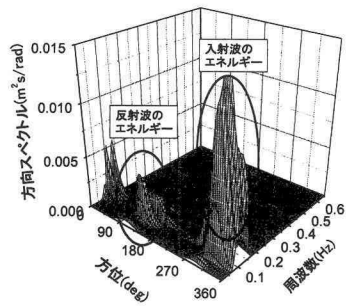
入・反射波の位相が干渉する領域における方向スペクトル解析では、位相干渉の効果を考慮する必要がある。しかしながら本突堤のように法線が曲線的な透過式構造物では反射面を特定することは難しい。また、P1 地点と突堤との最短距離にある堤体までは約 40 m、堤脚水深は 8 m である。したがって、来襲波の周期が 5 秒程度以下であれば位相干渉領域ではないとして差し支えない。

そこで、P1 における観測データを用いて EMEP により解析した入射波と反射波のエネルギー比率から反射率の推定を試みた。各エネルギーの積分範囲は、周波数方向については通常波浪成分までとするため 10 秒以下とした。波向範囲については、突堤の配置に曲率があるため先端と岸側の函体で反射面の角度が 20 度程度異なることを考慮し ± 20 度の範囲とした。入射波の積分範囲も同様とした。なお入射波の波向は、P1 地点観測波を基に推定した沖波を入力条件とする波浪変形計算により推定した。

透過率については、分離した入射波のエネルギーに対



(1) 突堤建設前 (2001/12/15 19:50)



(2) 突堤建設後 (2002/11/27 21:50)

図-9 EMEP 法による方向スペクトル

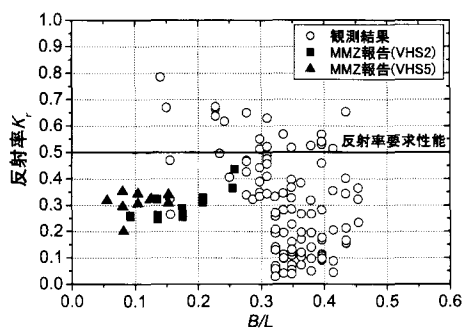


図-10 方向スペクトルから推定した突堤の反射率

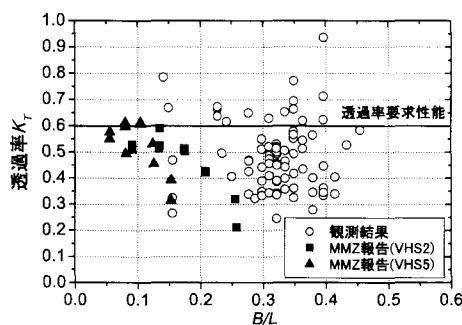


図-11 方向スペクトルから推定した突堤の透過率

して、突堤背後の観測波エネルギーと波浪変形計算（合田，2003）により突堤を不透過条件として推定した回折波のエネルギーを用いて透過波のエネルギーを推定した。

推定した反射率および透過率に対して、MMZ 報告（建設省土木研究所，1987）と同様に突堤の堤体幅 B と波長 L との関係を図-10, 11 に示した。なお、図中には MMZ 報告中の標準的な断面に対する実験結果も併記してある。なお MMZ 報告の B/L に比べ、観測波の周期が堤体長に比べ相対的に短いため B/L が大きい範囲に分布している。観測データから推定した値は若干のばらつきが見られるものの、全体としては設計要求機能である反射率 0.5 以下、透過率 0.6 以下を概ね満たしていることが

分かった。データがばらつく要因としては、観測精度の問題の他、反射波については位相干渉領域に入るケースも含めていることが、透過率については、突堤背後の観測波に、汀線からの反射波が混在していたことなどが考えられる。

6. まとめ

下新川海岸の黒部市生地地先において、侵食対策として建設された透過型有脚式突堤の波浪制御機能の現地検証を行うための波浪流況調査ならびに数値解析を実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 段階的砕波モデルの急勾配斜面における砕波変形への現地適用性を確認した。
- 2) 突堤周辺の流速鉛直分布を観測したところ、平均的には鉛直方向一様の北北西流が観測された。流速は水深 7 m 地点で上層 70 cm/s 程度、下層 45 cm/s 程度の鉛直分布が見られた。
- 3) 生地地先周辺の定常的な流況場には富山湾全体の流動特性の寄与があることが定性的に確認され、突堤周辺の海浜流の評価には考慮する必要があることが分かった。
- 4) EMEP 法による方向スペクトル解析から突堤の反射率、透過率を推定したところ、反射率は 0.5 以下、透過率は 0.6 以下の透過型有脚式突堤の設計要求性能を概ね満たしていることを確認した。

参考文献

- 鎌田照章・松本清則・谷口和哉・渡邊和俊・飯田和也・大谷靖郎・石橋大輔（2000）：下新川海岸生地鼻地先における急勾配海岸の侵食対策，海岸工学論文集，第 47 巻，pp. 696-700。
- 佐々木淳・石井雅樹・磯部雅彦（1998）：内湾における高解像流動モデルの開発と東京湾における長期再現計算，海岸工学論文集，第 45 巻，pp. 406-410。
- 合田良実（2003）：段階的砕波モデルによる人工リーフ波高伝達率の特性解析，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 676-680。
- 橋本典明・永井紀彦・浅井 正・菅原一晃・久高将信・小野修平（1993）：方向スペクトルの推定における最大エントロピー原理法(MEP)の拡張，海岸工学論文集，第 40 巻，pp. 136-140。
- 建設省土木研究所（1987）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1)，土研資料，第 2454 号，p. 166。