

津波堆積物に関する水理実験

長谷川史朗*・高橋 智幸**

1. はじめに

津波防災を行う上で、既往津波に関するデータ収集は必要不可欠である。古文書や言い伝えによる過去の記録や経験を防災対策に生かすことは非常に有効であるが、それらの資料が残っていない津波は多い。津波はその来襲ごとに異なった振る舞いを見せ、陸域への遡上形態も異なる。また津波の発生頻度は、地震や高潮等と比べ極めて低く、定量的なデータが得られているイベントは限られている。このようなことから、現在のような観測態勢が整備される以前に発生した歴史津波の場所、規模、頻度等の情報を得ることが求められている。その方法の一つとして、最近では津波来襲時に陸域で堆積した津波堆積物を用いて、歴史津波を解析しようという試みが盛んに行われている (Dawson他, 1991)。津波堆積物とは、津波の遡上に伴い陸域へ堆積した海砂であり、津波発生の物的証拠となる。しかし、津波来襲時の土砂移動が数値計算により評価されているのは、海中の場合においてのみであり (高橋他, 1999)、外力と堆

積物形成の関係については、十分な研究が行われていない。津波堆積物に関する研究は、海岸工学に携わる者だけではなく、地球物理学者、地震学者、歴史学者等も取り組んでおり、多分野に渡り広域的な連携が必要な分野である。

このような背景を踏まえ、本実験では、外力と堆積物形成の関係を調べるために、津波遡上に伴う陸域への土砂移動についての基礎的な水理実験を行った。具体的には、一様勾配の斜面を設け、汀線より海側は移動床、陸側は固定床とし、そこに津波を想定した孤立波を入射させて、陸域における砂の堆積状況を測定した。

2. 実験概要

2.1 実験装置

実験装置は、図-1に示すような両面一部ガラス張りの全長25.0m、幅0.5m、深さ0.6mの鋼製二次元水槽 (伊勢屋機械製作所製) を用いた。その沖側端部には電気油圧サーボ式不規則波造波装置が設置してある。この造波装

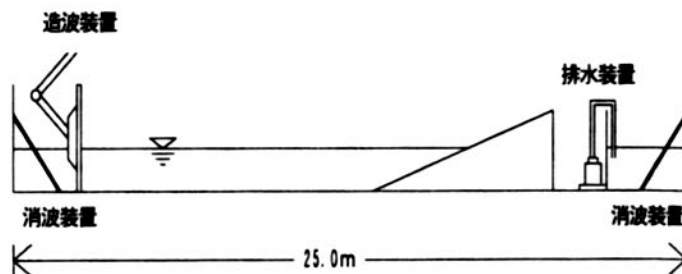


図-1 実験水路 (全体)

* 関西大学大学院

** 京都大学防災研究所

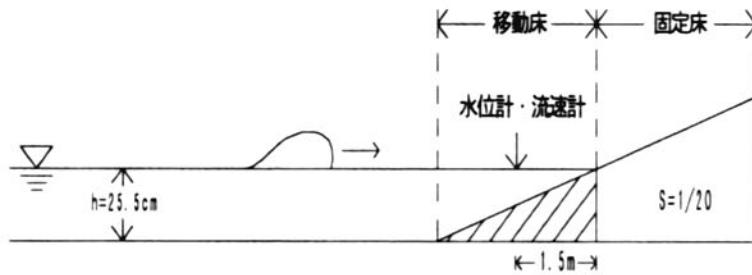


図-2 実験水路 (汀線付近拡大)

置は揺動型ロータリーアクチュエータ駆動型で周期0.30s~3.50s, 最大波高30cmの造波機能を有する。そして, 岸側端部と沖側の造波装置の背後には, 反射波の影響を防ぐため, ステラシートが斜めに張られている。

2.2 実験条件

図-1の岸側部分の詳細を図-2に示す。沖側水深を25.5cmとし, 岸側には $S=1/20$ の一樣勾配である斜面を設置した。図-2の斜線で示してある斜面の汀線より沖側部分は, 豊浦標準砂を敷きつめて移動床とした。そして, 斜面の汀線より岸側部分には, 粗度付きの不透水性である固定床を設置した。この粗度とは, 移動床部分に用いた豊浦標準砂を固定床部分のベニヤ板に貼り付けたものである。そして, 流況を測定するために, 汀線より沖側へ1.5m地点に容量式波高計(計測技研製, CHT-20型)とプロベラ式流速計(ケネック製, 本体部: VO-301A型, 検出部: VOT2-100-05型)を設置した。この設置地点は砕波点より少し沖側に位置し, また砕波点は汀線より沖側へ80~120cmである。プロベラ式流速計は底面より1cm上方に設置した。この理由は, 土砂移動に大きく寄与すると考えられる底面流速振幅を測定するためである。代表的な流速と水位の時間的変化を図-3に示す。この図から, 孤立波により水位は最大で9.5cm上昇し, 流速は最大で92cm/sであることが読み取れる。以上の条件の下で, 津波を想定した孤立波を入射させて, 戻り流れが無い場合と戻り流れが有る場合の2ケースについて, 陸域における堆砂量の測定を各5回ずつ

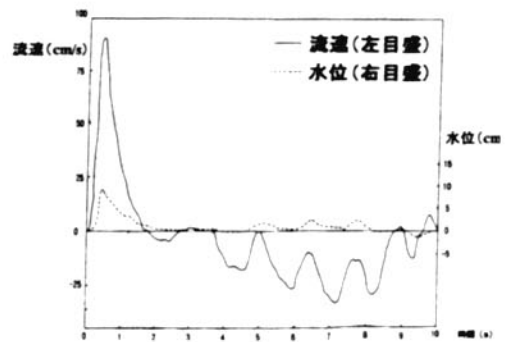


図-3 代表的な水位と流速の時間変化

行った。

戻り流れが無い条件は次の理由から設定した。本実験では陸域を不透水性の固定床としているために, 遡上波の地盤への浸透を考慮できていない。そこで, 極端な例ではあるが, 透水性の高い砂地盤へ津波が来襲し, 戻り流れが発生する前に海水が浸透する場合を想定した。また, 戻り流れの有る場合と無い場合を比較することにより, 不透水性のアスファルトやコンクリートで覆われた地域へ運ばれてきた砂が, 戻り流れによりどの程度再び水域へ引き戻されるかを調べることにした。

2.3 実験方法

2.3.1 戻り流れが無い場合

津波が陸域へ来襲し, その遡上波の先端が最大遡上高に到達した時の陸域における堆砂量の分布を測定した。これは水域にある砂が最も多く陸域へ運ばれた状態に相当する。堆砂量の測定には, 20cm間隔で9区間に区切った長さ180cmのはじご状の木枠を用いた。津波

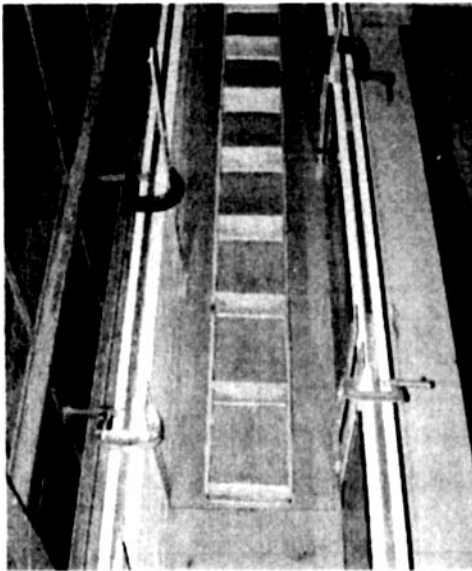


写真-1 陸域にかぶせた木枠

が陸域へ来襲して、その遡上波の先端が最大遡上点に到達した瞬間に、手で木枠を陸域にかぶせた(写真-1)。次に、木枠内の各区间に残っている砂と水をサイフォンでバケツに吸い出し、さらにバケツからスポイドで砂だけをシャーレに取り出した。その後、シャーレごと乾燥器にかけ、乾燥した砂の量を測定した。

2.3.2 戻り流れが有る場合

陸域へ来襲した津波が完全に水域へ引き去り、水槽内の水が静穏になった後の陸域における堆砂量の分布を測定した。堆砂量の測定には上述の木枠を用いて、戻り流れが去った後に行った。採取方法は戻り流れが無い場合と同様である。

2.4 実験結果および考察

2.4.1 戻り流れが無い場合

5回行った実験結果の測定値を表-1に示す。この表より、陸域における全堆砂量は平均244.31gであった。なお、入射波の最大遡上距離は、汀線から岸側へ斜面方向に約250cmであった。汀線を原点として、斜面に沿って岸側へ20cm間隔ごとに採取した各区間の堆砂量の分布を図-4に示す。その各区間の堆砂量を平均値で表したものを図-5に示す。図-5より、汀線から陸側に向かってクサビ状の堆砂が生じたことが分かる。クサビ状は、堆積学において、堆積物の原因が津波であることの判断基準として用いられている性質であり、本実験においても津波を想定した孤立波を入射することによって再現されている。全堆砂量に対する各区間での堆砂量の割合の分布を図-6に示す。また、各区間の堆砂割合を平均値で表したものを図-7に示す。図-7より、全堆砂量の約50%が汀線を基準として最大遡上距離の約20%以内で生じている。これは運搬される砂粒子が遡上に伴う流速低下に敏感に反応することを示している。

2.4.2 戻り流れが有る場合

5回行った実験結果の測定値を表-2に示す。この表より、陸域における全堆砂量は平均101.42gであった。なお、入射波の最大遡上距離は、戻り流れが無い場合と同様に汀線から岸側へ斜面方向に約250cmであった。汀線を原点として、斜面に沿って岸側へ20cm間隔ごとに採取した各区間の堆砂量の分布を図-8に示す。その各区間の堆砂量を平均値で表したものを図-9に示す。60cmより岸側では

表-1 戻り流れ無しでの堆砂量

回数 \ cm	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	合計
1回目(g)	63.23	47.67	34.78	23.52	18.90	12.36	6.58	3.57	2.11	212.72
2回目(g)	70.82	47.66	34.98	28.62	20.30	16.70	10.31	7.52	4.37	241.28
3回目(g)	72.77	57.00	43.61	32.65	19.53	14.23	8.86	4.79	1.38	254.82
4回目(g)	69.51	47.54	35.13	32.62	23.29	15.84	9.06	4.08	1.92	238.99
5回目(g)	73.53	57.54	39.27	35.00	27.07	19.30	12.90	6.62	2.49	273.72
平均(g)	69.97	51.48	37.55	30.48	21.82	15.69	9.54	5.32	2.45	244.31

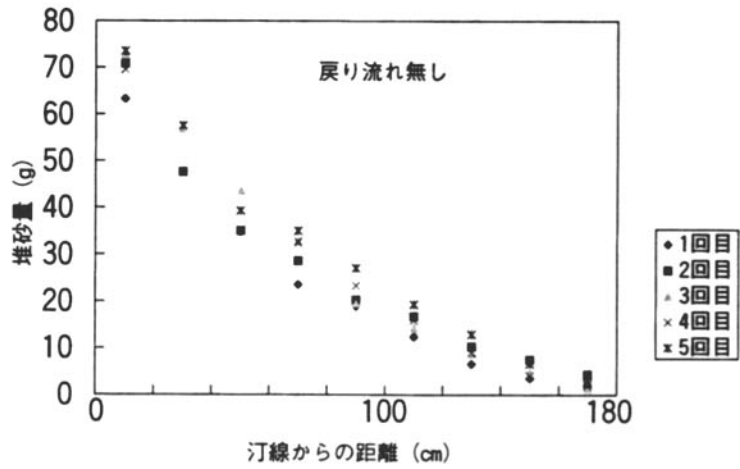


図-4 戻り流れ無しでの堆砂量の分布

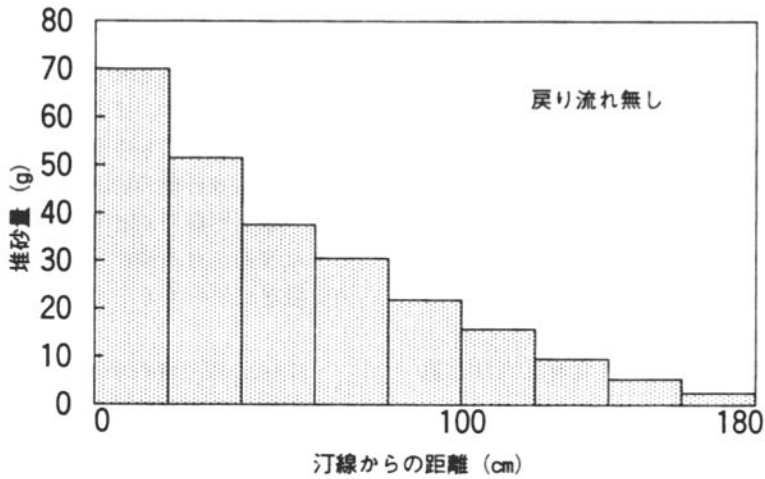


図-5 戻り流れ無しでの平均堆砂量の分布

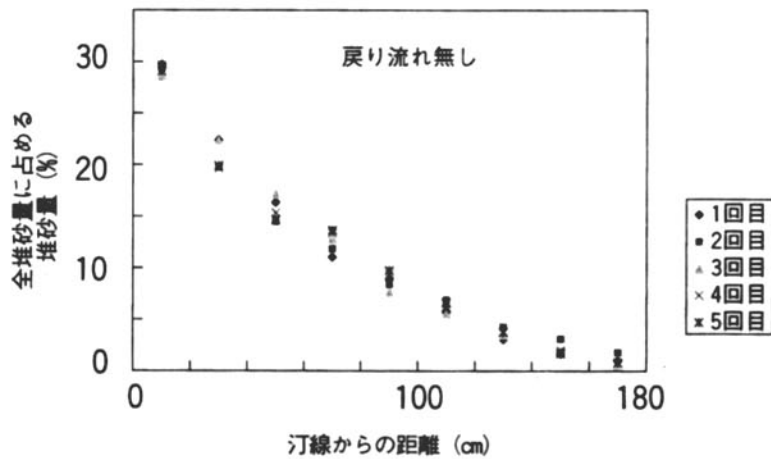


図-6 戻り流れ無しでの全堆砂量に占める堆砂量の分布

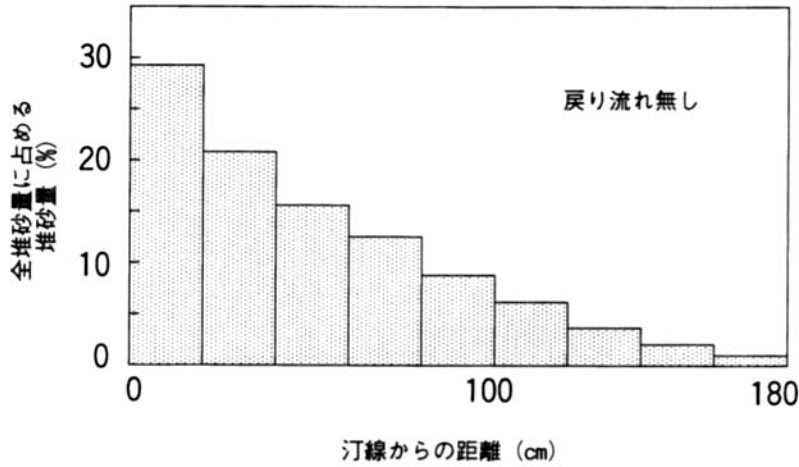


図-7 戻り流れ無しでの全堆砂量に占める平均堆砂量の分布

表-2 戻り流れ有りでの堆砂量

回数 \ cm	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	合計
1回目(g)	10.92	31.81	38.21	19.07	9.33	8.30	6.71	4.99	0.84	130.18
2回目(g)	11.19	31.04	30.74	11.46	6.42	4.93	6.64	3.62	0.92	106.96
3回目(g)	10.50	33.77	28.42	14.88	6.41	5.87	5.70	3.91	1.57	111.03
4回目(g)	10.46	22.47	17.97	9.18	5.26	5.39	7.31	2.60	1.09	81.73
5回目(g)	8.51	19.75	22.51	7.70	6.64	5.95	4.06	1.43	0.66	77.21
平均(g)	10.32	27.77	27.57	12.46	6.81	6.09	6.08	3.31	1.02	101.42

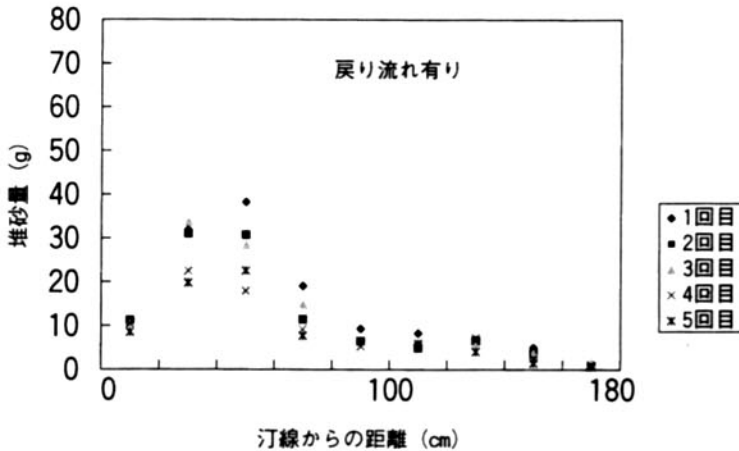


図-8 戻り流れ有りでの堆砂量の分布

徐々に堆積量が減少していき、戻り流れが無い場合と同様な傾向を示すが、0~60cmの区間では堆砂量が一度増加している。これは、戻り流れの流速が大きくなる汀線付近で、多くの流砂が発生したためと考えられる。クサビ

状の堆砂傾向は汀線から60cm以上離れないと見られず、また図-5ほどは明瞭には発生しなかった。このことは、津波堆積物に関する現地調査を行う際は汀線付近から離れた場所で、広い範囲を探す必要があることを示して

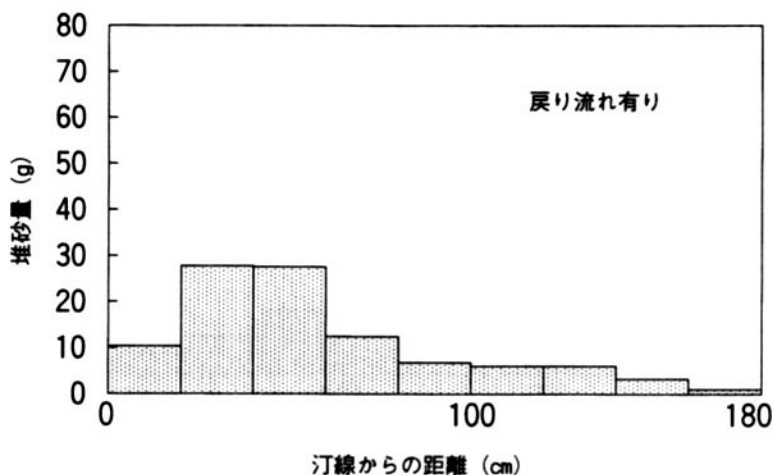


図-9 戻り流れ有りでの平均堆砂量の分布

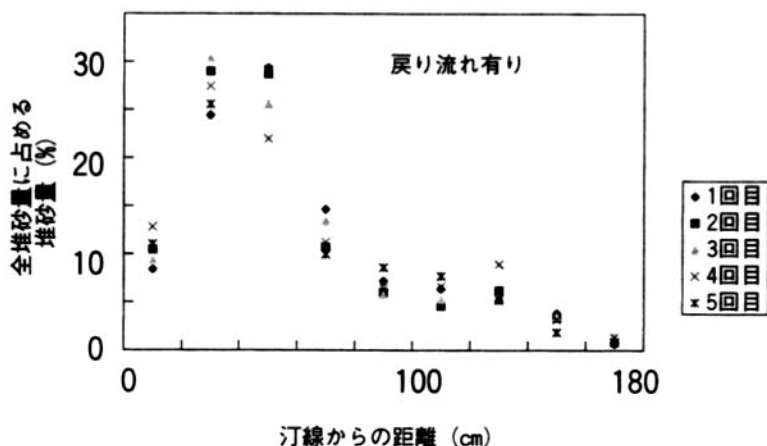


図-10 戻り流れ有りでの全堆砂量に占める堆砂量の分布

いる。次に全堆砂量に対する各区間での堆砂量の割合の分布を図-10に示す。また、各区間の堆砂割合を平均値で表したものを図-11に示す。汀線付近での堆砂傾向は、戻り流れが有る場合と比べてかなり異なっている。しかし、全堆砂量の約50%は、戻り流れが無い場合と同様、汀線を基準として最大遡上距離の約20%以内に生じている。

2.4.3 戻り流れが無い場合と有る場合の比較

戻り流れが無い場合は、陸域における全堆砂量は平均244.31 gであり、戻り流れが有る場

合は平均101.42 gである。これらの差142.89 gは、一度水域から陸域へ運ばれて、戻り流れにより再び水域へと戻された流砂量である。各区間での流砂量を表-3に示す。表-3の数値は、戻り流れが無い場合と有る場合について、各5回行った実験の平均値の差である。この表から、津波により一度陸域へ運ばれてきた砂の約60%が、戻り流れにより再び水域へ流されたことが分かる。その流砂量の分布を図-12に示す。戻り流れの流速が大きくなる汀線近くほど、多くの砂が戻されていることが分かる。

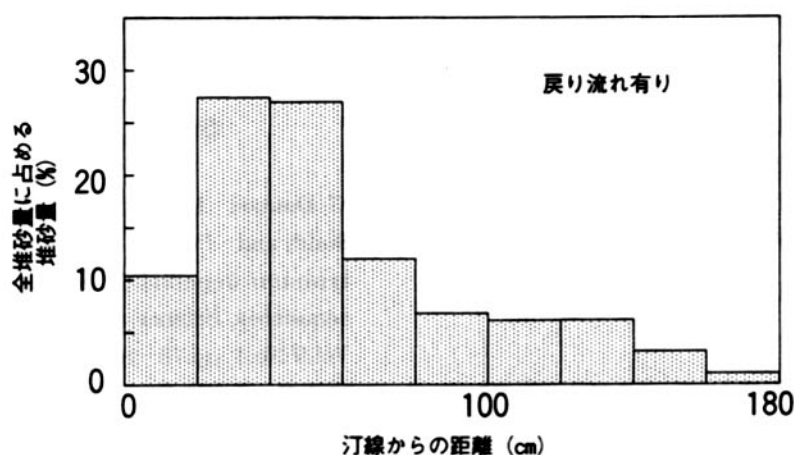


図-11 戻り流れ有りでの全堆砂量に占める平均堆砂量の分布

表-3 戻り流れ有り無しでの堆砂量の比較

項目 \ cm	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	合計
戻り流れ無し(g)	69.97	51.48	37.55	30.48	21.82	15.69	9.54	5.32	2.45	244.31
戻り流れ有り(g)	10.32	27.77	27.57	12.46	6.81	6.08	6.08	3.31	1.02	101.42
流砂量(g)	59.65	23.71	9.98	18.02	15.01	9.60	3.46	2.01	1.43	142.89

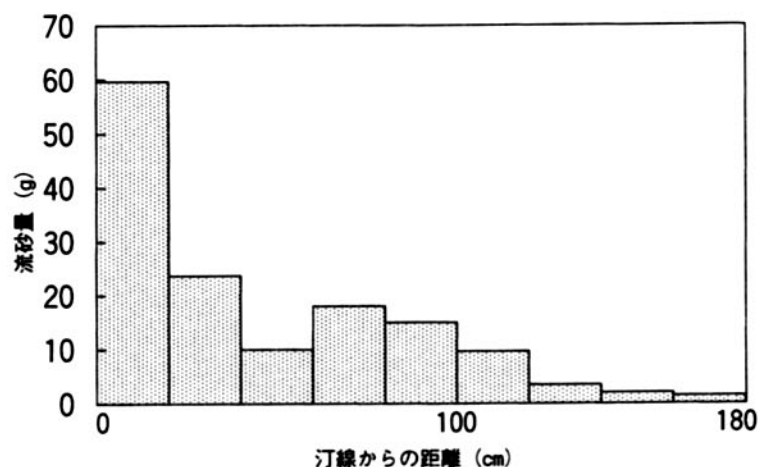


図-12 戻り流れによる流砂量の分布

3. おわりに

本実験では、戻り流れが無い場合と有る場合について、津波遡上に伴う陸域での堆砂量を測定した。その結果、戻り流れが無い場合、すなわち完全浸透に近い条件ほど、津波堆積物の特徴であるクサビ形状が明瞭に発生した。

戻り流れが有る場合は、汀線付近ではクサビ状の堆積は生じないため、津波堆積物に関する現地調査では留意する必要がある。また、遡上時堆砂量の約60%が戻り流れにより再び水域に戻され、その傾向は流速が大きくなる汀線付近ほど顕著に現われることを示した。

4. 今後の課題

今後は、津波が複数入射した際の陸域における堆砂傾向および濁度計や蛍光砂を用いて砂の移動特性を調べる予定である。さらに、現地海岸での現象をより正確に再現するために陸域の浸透を考慮する必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり太平工業の大谷直徳氏、オリコテクノの新本隆行氏をはじめ、当時関西大学工学部海岸工学研究室の諸氏に協力していただいた。また、岡山県学術研究

振興財団（代表者 首藤伸夫）の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

A. G. Dawson · I. D. L. Foster · S. Shi · D. E. Smith and · D. Long : The identification of tsunami deposits in coastal sediment sequences, *Science of Tsunami Hazards*, Vol.9 No.1, pp.73-82.

高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔：掃流砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発，*海岸工学論文集*，第46巻，pp.606-610，1996.