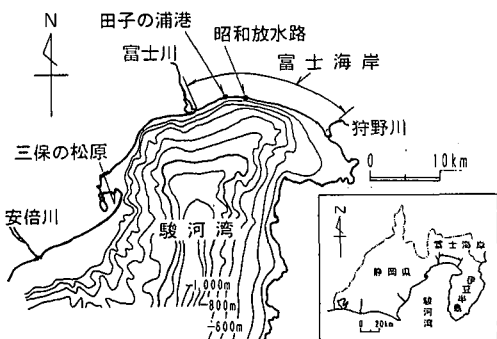


新型レーザーを用いた富士海岸海底谷への土砂移動機構調査

田中茂信*・山本幸次**・伊藤仁志***
有澤俊治****・高木利光*****

1. はじめに

富士海岸は駿河湾の湾奥に位置する富士川河口と沼津港の間の延長約 19 km の砂礫海岸であり、富士川からの東向きの沿岸漂砂が卓越する海岸である (図-1)。当海岸は駿河トラフが海岸線近くまで切れ込んでおり、海底勾配の急な海岸である。また、様々な規模の海底谷が水深 20 m から駿河湾深海部へと続いている。特に、昭和放水路前面の海底谷は、その規模が大きく、最も海岸線に迫っている。そのため、例えば宇多ら (1988) が駿河海岸で海底谷への土砂移動を指摘しているのと同様に、この海底谷においても富士川からの東向きの沿岸漂砂が落ち込んでいる可能性が高い。河野ら (1986) や宇多ら (1995) は、深浅測量成果に基づく地形変化解析結果等から、沖合いへの土砂移動の可能性を示唆しているものの、土砂が海底谷から深海に落ち込んでいる現象は直接観測されてはいない。また、汀線付近に投入された養浜礫の追跡 (宮田ら, 1992) により、浅海部では東向きの沿岸漂砂が確認されているものの、沖合いへの養浜礫の移動は認められていない。そこで本調査は、漂砂移動の激し



図一1 富士海岸の位置図

- * 正会員 工務 (財)国土開発技術研究センター調査第一部次長
(前 土木研究所海岸研究室長)
** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室
** 建設省中部地方建設局河川部(前 沼津工事事務所
調査第一課長)
* 正会員 建設省中部地方建設局沼津工事事務所調査第一課
* 正会員 工博 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部

い台風期において、人工砂礫と発信機付きトレーサーを追跡するとともに、図-2に示す位置において波浪・流速計、砂面計、濁度計および捕砂器による観測を実施し、海底谷から深海への土砂移動機構を明らかにすることを目的とする。

2. 海底谷の地形概況と底質粒度特性

昭和放水路付近の海底は図-2に示すように、水深20 m以深において等深線が密で約1/2勾配と急峻な地形となっており、さらに水深20 m等深線が岸側に切れ込んだ、いわゆる海底谷となり駿河湾深海部へと続いている。そのような地形的特徴は図-3に示す堤防から各等深線までの距離の変化からも伺える。富士海岸では、富士川から田子の浦港までの海浜では1968年から1979年までに汀線の後退域が東側へと拡大したため、東側から離岸堤、消波堤を順次施工することにより、汀線の後退を抑制してきた。しかし、侵食域はさらに東へと延伸し、現在昭和放水路の東側での侵食が著しい。図-3に示す1970年から1993年の水深14 m以浅の等深線を比較すると、侵食域が昭和放水路の東に及び、また水深が深くなるほど侵食の程度は弱まるものの、水深14 m程度にまで侵食が及んでいることがわかる。既往の調査では、このような侵食域の広がり等から、東向きの沿岸漂砂が卓越していると推定している。しかし、侵食域の東側での等深線の変化は小さく、堆積量も侵食量と見合わないことから、沖合い方向への土砂流出が推定されている(河野ら、1986)。

図一4 に海底谷周辺の底質粒径を台風期を挟む3回の

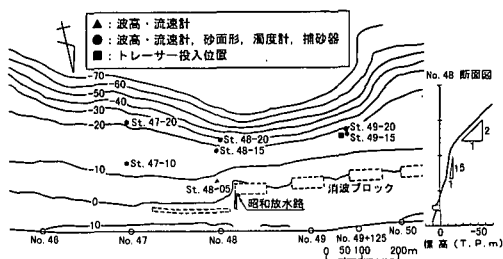


図-2 昭和放水路付近の海底地形および観測計器設置位置

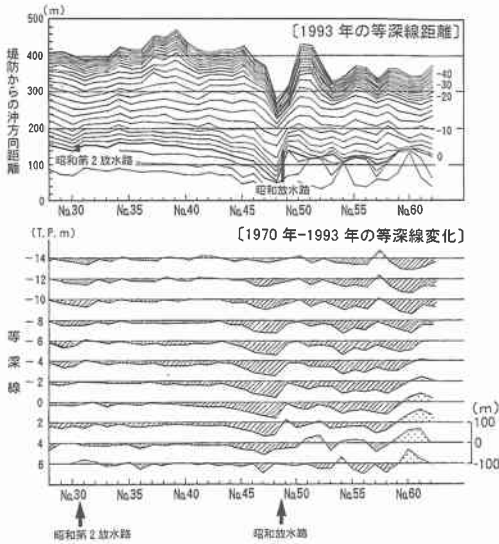


図-3 等深線距離および等深線変化の沿岸分布

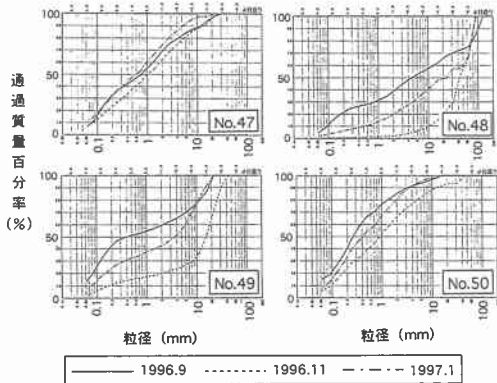


図-4 海底谷付近水深 50 m 地点の粒度分布

時期で分析した結果を示す。海底谷を挟んで東西に位置する No. 47, No. 50 測線の水深 50 m 地点では 3 回ともほとんど粒度分布に変化が認められないのに対し、海底谷に位置する測線 No. 48, 49 の水深 50 m 地点では台風期を挟んで粒径が著しく粗粒化し、その後再び細粒化しても元の粒度分布に戻るような傾向を示している。

3. 新型トレーサーの概要と追跡方法

3.1 人工砂礫トレーサー

硬化プラスチック性樹脂からなる人工砂礫を現地の底質の粒度組成、比重に近いように作成し、海底谷の入り口に位置する No. 49+125 m 測線の水深 16 m 地点に約 3 ton 投入し追跡した。図-5 の破線で示すように、投入地点の粒度分布曲線から 3 つの粒径集団に分け、個々の粒径集団の代表粒径を各々 1, 10, 50 mm とし、ほぼその粒径に近い人工砂礫を作成した。1, 10 mm のものはピン

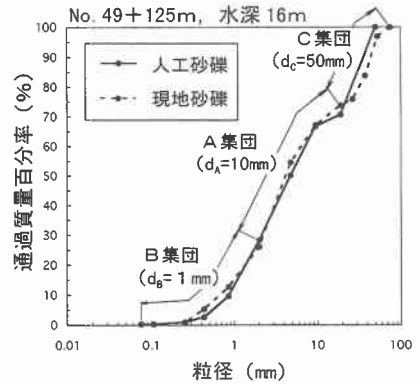


図-5 人工砂礫および投入地点の底質粒度

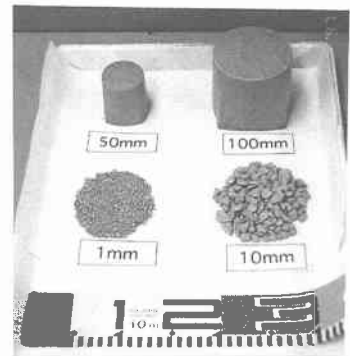


図-6 各粒径の人工砂礫トレーサー

ク色に着色した硬化プラスチック板を破碎することで作成し、50 mm のものは硬化プラスチックを円筒形(高さ、径とも 50 mm)の型に流し込み作成した(図-6)。それから人工砂礫を現地粒度分布に近くなるように量を調整した(図-5 の実線)。また、投入地点の最大粒径程度の径 100 mm の人工礫(307 個)も作成した(図-6)。

投入した人工砂礫は、台風来襲直後を含む 3 回の時期に、投入地点を中心とした定点において表層約 10 cm, 50 cm 四方の範囲の底質を採取し(約 5 kg)、その中に含まれる人工砂礫を分別し、粒径別にその重量を計測した。

3.2 発信機付きトレーサー

従来、魚類等の追跡に用いられている小型超音波発信機(図-7)を硬化プラスチック樹脂で作成した人工礫に埋め込みトレーサーを作成した(図-8)。小型発信機の性能は表-1 に示すとおりである。また、トレーサーの大きさはその径が 50, 100, 200 mm の 3 種類とし、No. 49+125 m 測線の水深 10 および 15 m 地点に各々 3 種類ずつ投入した。なお、個々のトレーサーは周波数を変え、識別できるようにした。追跡は、船首横に固定した振り下げ式支柱先に受信機を取り付け、個々のトレーサーからの発信音の方向と強弱を測定し、その位置を特定するこ

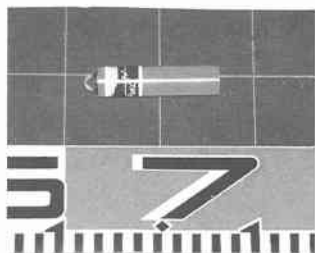


図-7 小型超音波発信機



図-8 小型超音波発信機を埋め込んだトレーサー

表-1 小型超音波発信機の特徴

項目	仕様
長さ/径	65 mm/16 mm
水中重量	10 g
周波数	50, 54, 60, 65.5, 69.0, 76.8 kHz
寿命	268 day
出力	147 dB
有効距離	50-800 m

とで行った。

4. トレーサーの移動状況と外力

4.1 トレーサー追跡期間中の波浪および流況

図-9に人工砂礫追跡期間中のSt. 49-15地点における波高および流況を示す。期間中には台風17号および20, 21号が来襲している。特に台風17号は最大有義波高が約3.5 m(周期約15 s)に達する高波浪であった。高波浪時の平均流(20分間平均)は10 cm/s以下と小さいものの、波の軌道流速は有義値で1 m/s程度、最大値で2 m/sに達する。また、発信機付きトレーサー追跡期間である10月12日～翌年1月23日においては、表-2に示す高波浪が来襲している。

4.2 人工砂礫追跡結果

人工砂礫は9月12日に投入し、その追跡は台風17号

表-2 発信機付きトレーサー追跡期間中の高波浪

発生日時	$H_{1/3max}$	$T_{1/3max}$	波向	主な要因
1996. 11. 12-13	3.13 m	17.6 s	SW	台風24号
1996. 12. 5-6	4.45 m	9.2 s	SSW	低気圧通過
1997. 1. 2-3	2.57 m	6.9 s	SSW	低気圧通過
1997. 1. 6-7	2.41 m	7.2 s	SSW	低気圧通過

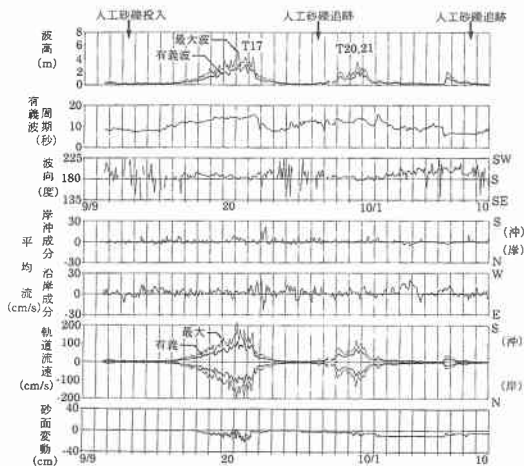


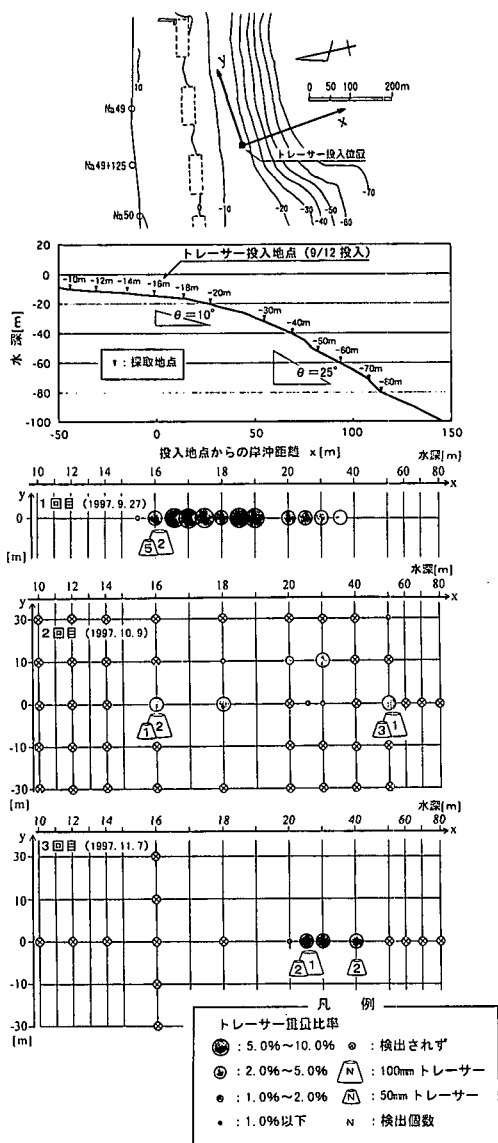
図-9 追跡期間中の波浪および流況 (St. 49. 5-15)

通過後の9月27日と10月9日および11月7日の3回実施した。採取砂礫に含まれていた人工砂礫の重量比および粒径50および100 mm礫についてはその個数を図-10に示した。台風17号通過直後において、人工砂礫はほぼ海底谷の最急勾配方向であるS方向に移動しており、その深さは水深40 m付近にまで及んでいる。この時採取は不可能であったが、ダイバーの目視によると水深50 m付近においても50, 100 mm粒径の人工礫が確認され、さらにそれ以深にまで礫が移動していることが確認されている。また、人工砂礫は沿岸方向あるいは岸方向にはほとんど移動していない。

図-11に粒径集団別に水深方向の移動状況を示した。ただし、50, 100 mm粒径の人工礫は除いている。この結果から、細かい粒径ほど移動速度が速いという傾向は認められなかった。1回目と2回目を比較すると、細かい粒径ほど投入地点での検出率は低くなっている。

4.3 発信機付きトレーサー追跡結果

発信機付きトレーサーは10月12日に投入し、その追跡は11月9日および翌年1月23日の2回実施した。追跡結果を図-12に示す。1回目においては投入地点付近からの移動は認められなかったものの、2回目においては、水深15 mに投入したトレーサーは沖方向(海底谷の最急勾配方向よりやや東方向)に約30 m、また水深10 m地点に投入したトレーサーは沿岸方向東向きやや沖方向へ約30 mの移動が認められた。なお、発信周波数により粒径毎にトレーサーは識別できたものの、その位置はほとんど同一地点であった。水深15 mに投入したトレーサーの移動方向は先に示した人工砂礫の結果と合致している。また、水深10 m地点に投入したトレーサーは15 m地点のものよりも沿岸方向への移動が強まっており、このことは、養浜礫の移動調査結果(宮田ら, 1992)から

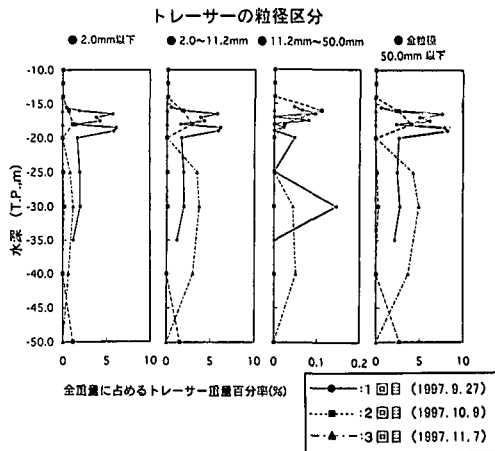


図一〇 人工砂礫トレーサー追跡結果

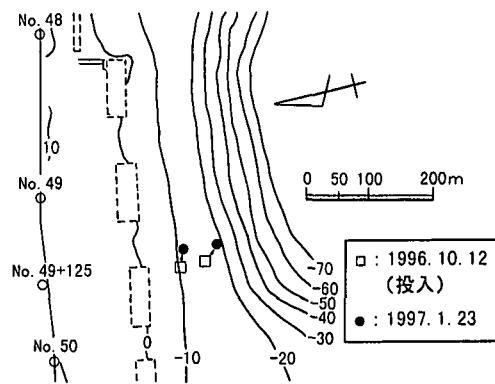
も推察できることである。

5. 急斜面上の砂礫の移動機構

トレーサー追跡調査の結果、昭和放水路前面に迫る海底谷入り口付近の水深 16 m 付近に投入したトレーサーはいずれの粒径も海底谷へと移動し、また台風 17 号来襲時にその移動が最も顕著であった。そこで、台風時の波浪・流況観測データから底質移動の外力について考察してみる。先に示した波浪・流況観測データの時系列からわかるように、台風 17 号来襲時 (9 月 20~21 日) においては平均流は 10 cm/s 以下と弱いものの、沖向きの流れが発達していた。トレーサー調査によると粒径 100 mm のものまで沖合へ移動していることが確認されている。



図一〇 粒径別水深方向の人工砂礫トレーサー移動状況



図一二 発信機付きトレーサー移動状況

そこで、観測で得られた波の軌道流速を用いてシールズ数を求め、代表粒径別にトレーサーの移動可能性について検討した。一般に、移動限界シールズ数は 0.05 程度の値であるが、ここでは、当地点が急勾配斜面であることから、式 (1) に示す Lane の式 (1955) により限界値を補正した。

$$\tau_{cs}/\tau_c = K = \cos \theta \sqrt{1 - (\tan \theta / \tan \phi)^2} \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 τ_{cs} は斜面上の限界掃流力、 τ_c は水平面上の限界掃流力、 θ は斜面勾配、 ϕ は砂粒子の水中安息角、 K は掃流力比である。

図一三に台風 17 号来襲時のシールズ数の経時変化と移動限界値をあわせて示した。掃流比はトレーサー投入地点の条件 (海底勾配約 10 度、水中安息角 33 度) より、0.95 とした (図一四)。なお、砂粒子の水中安息角は久宝 (1951) の実験結果に、現地底質の平均粒径 4 mm を当てはめて求めた。この結果から、粒径 10 mm 以下のトレーサーは波高ピーク時に十分移動する可能性があったことがわかる。また、粒径 50, 100 mm のトレーサーについても最大軌道流速時には限界シールズ数に近く、移動の可

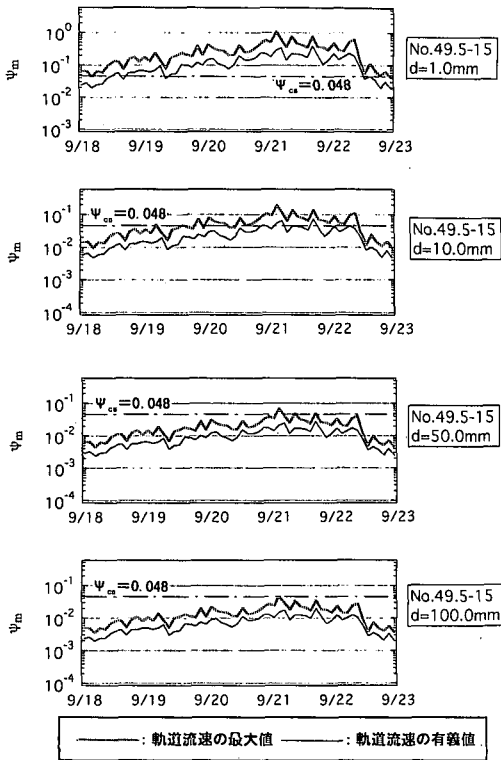


図-13 台風 17 号来襲時のシールズ数の経時変化

能性は高かったと考えられる。また、移動方向が沖合い方向のみであったことに対しては、軌道流速そのものが沖向きがやや強かったことと、投入地点の海底勾配の影響（沖方向には掃流力比が減少するのに対し、岸向きには反対に増大すると考えられる）と考えられる。

一方、トレーサーは水深 50 m 以深にまでも移動していた。水深 50 m における波の軌道流速は実測されていないものの、微小振幅波理論により求めると、波高 5.0 m、周期 15 s の条件下（台風 17 号来襲時の最大波クラス）で約 0.77 m/s となり、粒径 10 mm の場合のシールズ数は 0.03、粒径 100 mm の場合は 0.01 となる。この時の掃流力比は海底勾配約 25 度、水中安息角を 30 度（粒径 1 mm）とすると、約 0.5 となり、移動限界シールズ数は約 0.025 と半減する。したがって、水深が深くても海底勾配が急であると粒径 10 mm 程度の底質は移動しうる。また、粒径 100 mm についても、海底勾配が安息角に近くなると掃流力比が急激に小さくなること（図-14）、動摩擦が静摩擦よりも小さいことなどを考慮すると、急勾配斜面上では、水深が浅いところで移動し始めた礫はそのままより深い方へ容易に移動するものと予想される。

6. おわりに

海底勾配が急でかつ海底谷が陸域に迫る富士海岸で

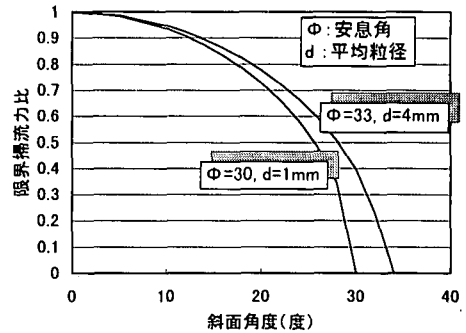


図-14 海底勾配と掃流力比との関係

は、沿岸漂砂量の一部が海底谷を経由して深海へ流出している。今回のトレーサー追跡調査では、海底谷入り口付近（水深 16 m 付近）の底質は台風等の高波浪時において海底谷から深海へと急速に移動することが確認された。また、現地で観測された台風時の底面付近の軌道流速は当海岸の砂礫を十分移動させるだけの外力であることがわかった。さらに、海底勾配の効果により移動限界掃流力が減少することで、波の影響が小さくなる水深のより深い海底においても、砂礫の移動が生じていると推定される。なお、本調査において試作した小型超音波発信機を内蔵したトレーサーは十分漂砂トレーサーとして機能することが確認された。

本調査においては海底勾配を考慮した移動限界シールズ数で砂礫の移動可能性を検討した。しかし、現地の底質はかなりその粒度分布の幅が広いこと、また粒度分布の時間的変動があることなどから、水中での斜面の安定（安息角）や砂礫の移動形態に混合粒径の影響があるものと予想される。今後、急斜面上の混合粒径砂礫の移動について検討する必要があるものと考えられる。

参考文献

- 宇多高明・堤 博志・小俣 篤・酒井佳治 (1988): 海底谷周辺での土砂移動の機構, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 327-331.
- 宇多高明・山本幸次・張 達平 (1995): 駿河湾湾奥部に位置する富士海岸の海浜変形機構, 地形, Vol. 16, No. 2, pp. 137-155.
- 河野 宏・宇多高明・飯崎義之・水野益宏 (1986): 富士海岸の侵食実態と地形変化予測, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 287-291.
- 宮田年耕・宇多高明・高垣美好・森岡泰裕・五十嵐竜行 (1992): 富士海岸における礫発浜の現地実験, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 356-360.
- 久宝 保 (1951): 土砂の水中傾斜角について, 土木技術, 第 6 巻, 第 5 号, pp. 2-4.
- Lane, E. W. (1995): Design of stable channels, Trans., ASCE, Vol. 120, pp. 1234-1279.