

II-6 航路法面の砂面安定工法に関する実験的研究

開発局土木試験所 正会員 ○上西 隆広

高田 稔年

正会員 竹田 英章

まえがき

航路を埋没させる原因の一つに、激浪により法肩および法面が崩れ落ちる現象がある。この現象は、自然条件、航路形状等の諸条件が複雑多岐にわたるために、画一的に論じ難い。このため、本報告では、航路に対して直角方向に波浪が作用する状態について、比較的に行工が容易と考えられる数種の法面安定策を取り上げて、その効果を移動床造設水路で実験観察し、検討したものである。

1. 実験方法

1-1 実験施設 実験に使用した水路は、図-1に示す造波水路である。水路後端には消波のロックヒステンレス切削層による消波装置を、水路前方の造波板前面には導波板およびフィルターによる整波装置を設置した。水路中央付近には1:20の木製傾斜部を作り、その後方が移動床で、この中央粒径は $d_{50} = 0.42 \text{ mm}$ である。

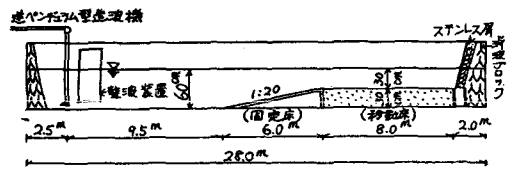


図-1 実験水路 (長28m×高1m×幅0.8m)

1-2 実験ケース 実験は、図-2に示す、基本型および、航路法面が安定となるような方策を講じたA~Gの7断面について実施した。これらの断面は、予備実験を重ねながら、逐次、試行錯誤的に考案したものである。

基本型; 法面勾配 1:2, 海底水深 30cm, 航路水深 40cm, 航路幅 40cm。以下A~Fは同じ航路断面である。

工法A; 法肩に砂袋堆積を設置。砂袋を使用したのは、船舶が万一接触しても船底を損傷させないためである。

工法B; 法面にサンドバッグを敷設した断面。

工法C; 工法Bの結果から、法肩部を改良した断面。

工法D; 法面を布製シートで覆った断面。

工法E; 工法Dを改良した断面。なお、この断面では航路岸側の法肩にもサンドバッグを設置した。

工法F; 法面に小砂利を約1.5cm厚に敷きつめた断面。

工法G; 法面を1:4の緩勾配にした断面。

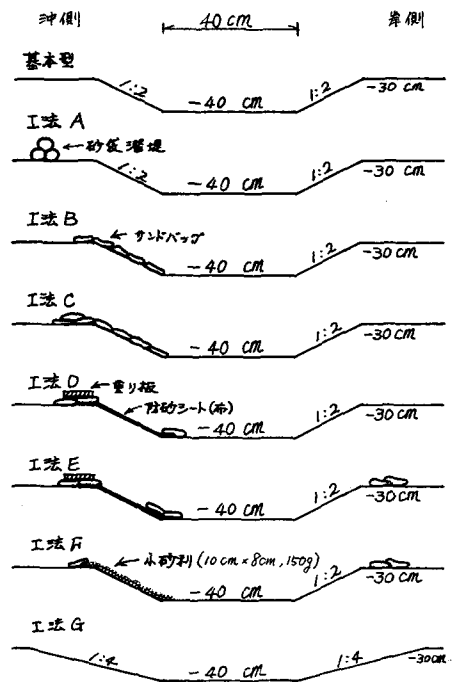


図-2 実験ケース

1-3 実験に採用した波 上記7工法の砂面安定効果を比較検討するには、各ケースともに同一条件の実験波を必要とすることが望ましい。実験波は、水深 30 cm の水平床部分、周期が 1.57 sec, 波高が約 10 cm になる状態で造波機をセットし、実験全ケースとも、この状態を表現した。

1-4 実験方法 図-2に示した移動床の初期形状は、水深 30 cm で水平に均した移動床に実験波を6時間継続造波させ砂運のよく発達した砂面に、航路部を静かに掘削したものである。図-2のように、砂面安定化

策を施した後（工法A～工法F）の造波継続時間も6時間とした。

（以下、造波開始や造波時間とは、後者の造波を意味する。）

波高は、容量式波高計により図-3に示すように、航路中央を中心に3カ所で、造波開始直後、2時間目、4時間目に測定した。

砂面形状は、自動昇降型接触式砂面計を使用し、水路中央付近を2.5cm間隔で、造波開始後2時間目、4時間目、6時間目に造波機の運転を止めて計測した。

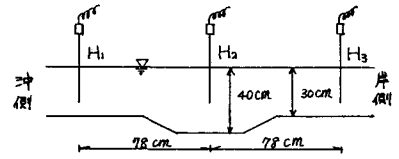


図-3 波高の測定位置

2. 実験結果および考察

各実験ケースの砂面変化状況を図-4.1～図-4.8に示す。なお、各ケースでの波高を表-1に示す。周期は各ケースとも1.58 secと一定であった。

表-1 各ケースにおける実験波高

実験ケース	実験開始直後			2時間経過後			4時間経過後		
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃
基本型	11.7	9.1	8.9	10.8	9.0	8.6	10.4	8.8	8.4
工法A	12.1	9.9	9.8	11.5	10.4	9.5	12.0	9.7	9.9
工法B	12.7	13.6	10.7	12.9	13.0	10.6	11.7	11.6	10.7
工法C	11.7	10.1	8.9	12.4	10.8	8.7	11.8	10.3	8.6
工法D	13.1	10.4	8.4	12.6	10.2	8.4	11.7	10.0	8.4
工法E	12.0	10.4	8.3	11.8	10.4	8.0	11.4	10.3	8.1
工法F	12.2	10.6	7.2	11.5	10.5	6.8	11.5	10.3	7.1
工法G	11.4	11.8	8.6	11.9	12.5	7.0	10.7	12.1	9.1

※実験は6時間で終了

2-1 法勾配1:2の航路（基本型） 基本型で、法肩による法肩崩れ現象には、初期の過渡的な法肩崩れの段階と、比較的安定した状態で沖側の砂が航路内に入り込む段階とがあることが観察された。図-4.1の4時間後までが、この初期の段階であり、法面はある緩勾配の曲線になる。4時間から後は、この勾配を保ったまま沖側から輸送されてくる砂の微動で、徐々に航路を埋没

してゆく。一方、岸側の法面でも、氷梁の変化による波の乱れのため、法肩の崩れ落ち現象がみられたが、沖側と比較すると、小量であり、さらに、初期の過渡的な段階が終わると、法面の砂はほとんど安定する。

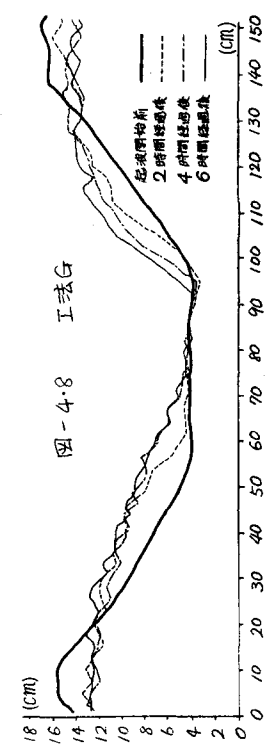
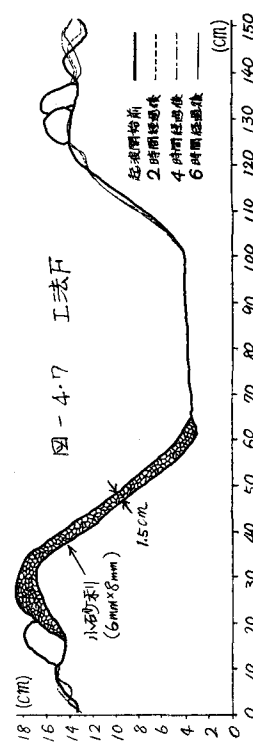
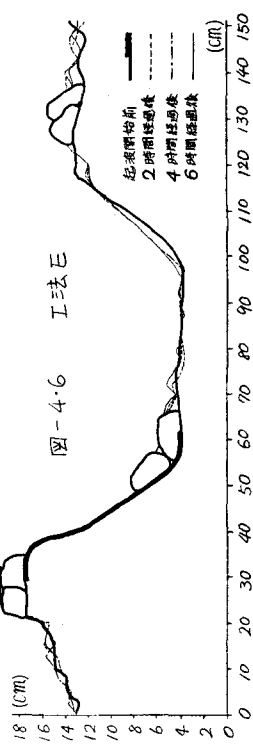
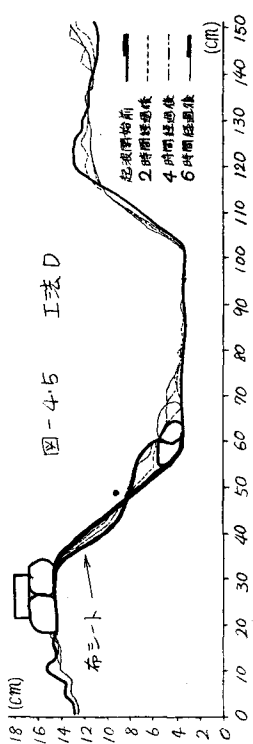
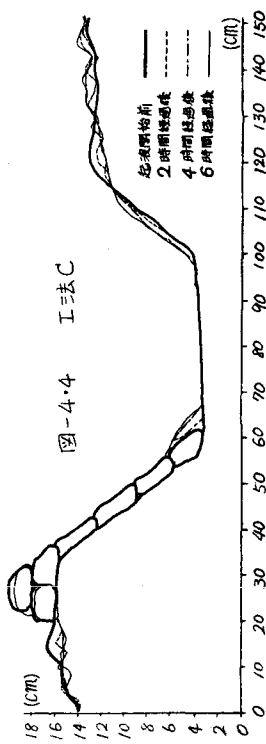
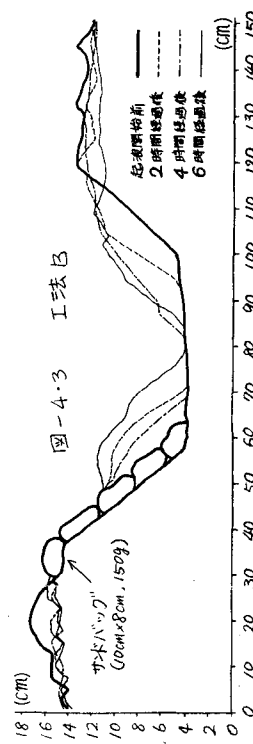
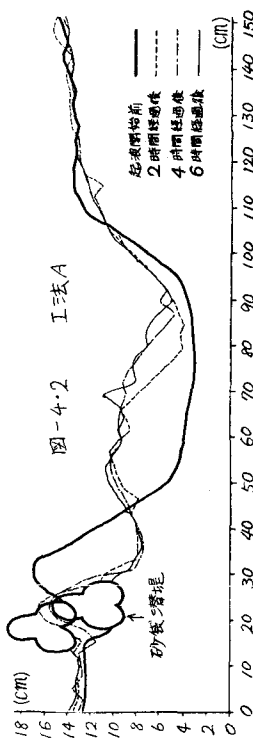
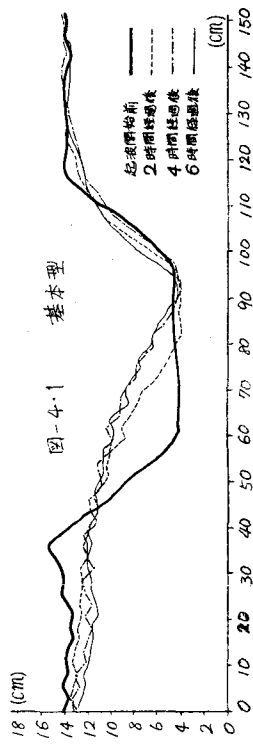
2-2 法肩に砂袋堰堤を設置した場合（工法A） 堰堤を法肩に設置して、2-1（基本型）で観察した第2段階の現象、すなわち沖側から輸送されてくる砂が航路内に入り込む現象を阻止しようとするものである。砂袋堰堤は、直径約4cmの円柱形の砂袋3本を束ねたものである。実験結果は期待に反して、堰堤後方への荒掘が著しく法肩崩れを助長した。また、堰堤自体も航路側に下方移動した。次に、図-4に結果は示していないが、試行として、工法B～工法Fで使用するサンドバッグを砂袋堰堤の代わりに、2列×2段で法肩に設置してみた。この場合も、砂袋堰堤の場合と同様にサンドバッグの後方が荒掘され、たちどころに航路法面が破壊された。

2-3 法面にサンドバッグを敷設した場合-1（工法B） 法肩から法面および法先までをサンドバッグで覆った法面崩れを防止する方法である。サンドバッグは10cm×8cm 2約150gである。法先から少しづつ砂が堆積する。これは法肩のサンドバッグによりその沖側の砂がまき上げられ、この砂が法面サンドバッグ上に落ち、それが、サンドバッグの間隙をぬって法先に到達して堆積する。ここで、本ケースでは、サンドバッグが全く沈下せず、その下部の砂を安定させることが分かった。岸側については、本ケースに限り、初期状態として法肩から岸に向かって人工的に図のような砂堤を作成してみたところ、航路内への砂の落下が激しかった。この現象は、4時間経過後にはほとんど沈静し、基本型や工法Aと同様な法面形状で安定した。

2-4 法面にサンドバッグを敷設した場合-2（工法C） 工法Bにおける、法肩付近での砂のまき上げを無くし、さらに、法肩サンドバッグの間隙を砂が通らぬように、図-4.4のようにサンドバッグを追加した。結果は、造波6時間の限りでは、法先に堆積する砂は微量であり、法面のサンドバッグは全く変動していない。

この工法にあって、サンドバッグの敷設法はきわめて重要である。サンドバッグどうし、およびサンドバッグと法面の間隙を可能な限りなくすることが肝要なのである。大きな間隙があると、そこを発生する水流により吸出しや荒掘が起ることを実験的に確認した。ただし、水圧の差が発生しないための透水性は当然要求される。

2-5 法面を布シートで覆った場合-1（工法D） 法面を布シートで覆い、シートの両端すなわち、法



肩と法先にサンドバッグを設置したものである。もっとも、シート上のサンドバッグは砂面に直接据えたサンドバッグより滑りやすかったため、実験ではサンドバッグの上に重り板をのせた。結果は、比較的安定しており法肩サンドバッグの上を越える砂は観察されなかった。しかし、シートが波と共に微動し、シートに接する法面の砂が法先のシートの内側に堆積して、シートが法先のサンドバッグに支えられる状態になった。

2-6 法面を布シートで覆った場合-2 (工法E) 工法Dの結果から、シートが波により微動するのを防止するために、サンドバッグを法先に1列追加して2列並びとした。なお、岸側の法肩くずれを防止するために、岸側法肩にもサンドバッグを2列敷き並べた。実験結果は、図-4-6のとおり、全く安定していた。すなわち、布シートは、その表波に対する安定性を確保すれば、その底質安定効果は大きいと言える。岸側の法肩では、サンドバッグが岸側から航路方向に移動する砂を阻止するので、法肩崩れはほとんどなくなる。

2-7 法面を小砂利で敷きつめた場合 (工法F) 本ケースは、工法Cのサンドバッグおよび工法Eの布シートに代わるものとして、小砂利を法面に覆ってみたものである。もっとも法面を固い物で覆うことの是非、および、この施工法については、ここでは触れないことにしたい。小砂利として、当初、粒径4mm前後のものを法面に敷いて実験した。しかし、均一に敷けなかったことや、波に対して、やや不安定であったために、小砂利層厚の薄い部分を小砂利がはがされ、下部の砂の吸出しが始まったため、その実験を中断した。そこで、次に、粒径6mm～8mm程度の小砂利を使用し、法面に約1.5cm厚で均一に敷きつめて再実験を開始した。また、法肩の小砂利を施工した部分の法先において、砂が小砂利の中へ浸入してゆくことが分かったので、これを阻止するために、法肩にサンドバッグを1列並べることにした。なお、岸側の法肩にも工法Eと同様に、サンドバッグを2列敷き並べた。結果は、小砂利が法肩部においても法面においても安定であり、全く変化がはい。法肩のサンドバッグが砂の進行防止に十分な効果を有することが分かる。

2-8 法面を緩勾配 (法勾配1:4) にした場合 (工法G) 2-1の基本型において、法面は初期のうち、ある一定の勾配をもつ曲線に変化し、その後は、非常にゆっくりと砂面が変化することが分かった。そこで本ケースでは、法面を安定勾配に近い状態を構築し、法肩崩れを極力小さくしようとした。法肩の崩れしゆく様子は、法勾配1:2の基本型の場合にほぼ同様であり、4時間経過後の法面形状は、基本型にほぼ同じ勾配、すなわち、沖側約1:6、岸側約1:2であった。

3. 結論

表波に対して、航路法面を安定させて航路の埋没を防止するために、最初、漂砂を航路の手前へ堆積させる着想を考えた。ところが着床背後で微粒子に乱れが生じ、ときには渦が発生して、かえって法面の不安定を助長する結果となった。工法B～工法Fは、法面を被覆材で安定させる試みであり、この中で良好な結果が出たのは、

- ① 法面にサンドバッグを敷き並べた、工法C (図-4-4)
- ② 法面を布シートで覆った、工法E (図-4-6)
- ③ 法面に小砂利を敷きつめた、工法F (図-4-7)

の3工法であり、共通している法面安定のための要素は、サンドバッグ、布シート、小砂利など被覆材が透水性が良好で、かつ、波に対し微動だにせず、安定していることである。

岸側については、工法Eと工法Fで、法肩にサンドバッグを設置すること、法肩崩れをある程度防止できた。しかし、現地でもこれを施工すべきかどうかについては、別の観点から検討されるべきであろう。

おわりに

本実験は、航路に対し直角に波が作用する場合を取扱った。しかし、状況からして、航路に斜めに波が入射する場合についても、定性的な考え方は準用できるものと思われる。潮流や河川流が伴う場合には、別途実験を行なう必要がある。なお、実験時掃流漂砂が支配的な場合を対象にしたので、シルト質のような底質で、浮遊漂砂が支配的な場合については今後の課題である。