

ワイヤーネットによる傾斜堤捨石の散乱防止工法について
 - 関西国際空港緩傾斜石積護岸への適用 -

関西国際空港 建設事務所

正会員 早田修一

坂井 彰

五洋・大都・りんかい・日本海工

須磨洋二

空港島護岸築造工事（その1）JV

桐原圭司

五洋建設 技術研究所

正会員 道下 勲

1. はじめに

近年、海域の有効利用を図るため、沖合の大水深域においても各種の開発が進められている。これらの開発は必然的に大規模なものとなり、工程との関連から大量急速施工が要求される。このため、自然条件など施工上の諸条件にかかわらず工事の進捗がはかられることになり、施工途中における各種の防災対策が必要となっている。

本報告は、現在建設の進む関西国際空港の空港島緩傾斜石積護岸を対象として、施工途中に台風による異常波浪が来襲したときの護岸捨石の散乱防止工法として、急速施工が可能なワイヤーネット被覆工について検討したものであり、水理模型実験結果および現地における実施結果を紹介するものである。

2. 空港島護岸建設工事の概要と施工状況

図-1は、関西国際空港第1期工事の空港島護岸形式区分と昭和63年9月時点での護岸施工状況を示したものであり、護岸延長約11kmを6つの工区に分割し、それぞれ工事を実施しているところである。外周護岸の延長の78%に相当する8.7km区間は緩傾斜石積護岸であり、そのうちの沖側5.1km区間は、図-2に示す消波ブロック被覆形式である。護岸建設の工期は昭和61年12月から昭和64年7月であり、空港建設の工程より昭和63年7月～10月の台風期においても護岸の概成に向けて工事の進捗をはかってゆく必要がある。

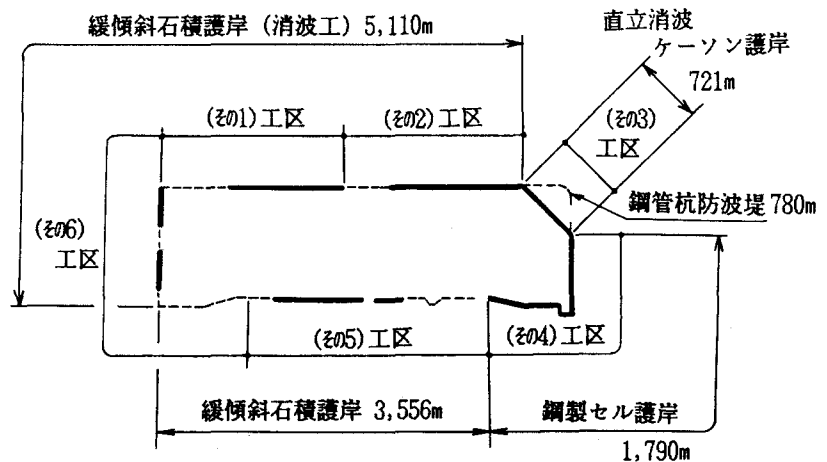


図-1 昭和63年9月の護岸施工状況

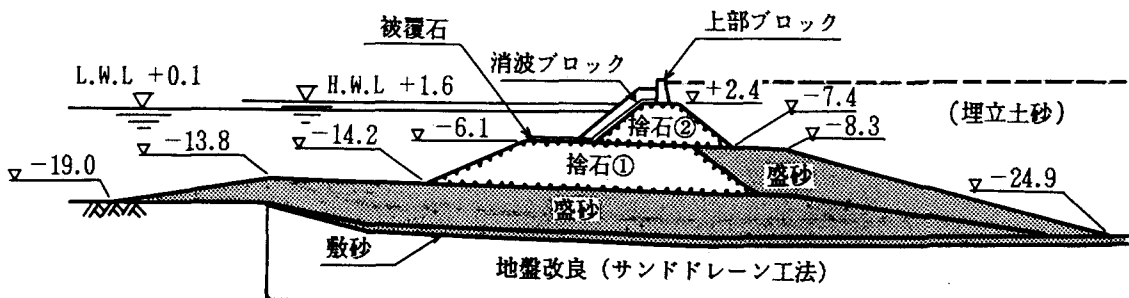


図-2 空港島 緩傾斜石積護岸 標準完成断面図

3. 台風期における捨石②の防災対策

(1) 防災対策の必要性和その方法

今回検討した捨石の散乱防止工法の調査工事を実施する（その1）工区の護岸工事は、昭和63年の台風期（7～10月）において最盛期を迎えており、護岸最上部の捨石②（重量10～200kg/個）が順次水面に露出し、その後引き続き被覆石（重量400～600kg/個）、消波ブロック（6tテトラポッド）が施工される。泉州沖の建設地点における台風期の確率波浪は、昭和16年～昭和52年までの54台風推算波と昭和53年～昭和60年の現地海上観測施設での台風による実測波を用いて波向別に表-1のように算定されるが、捨石②の先行部分に、これらの異常波浪が来襲した場合には、その波力により捨石の散乱が予想される。このため基本的な防災対策として、台風期においては捨石②の先行施工区間を極力短くするとともに、先行施工区間には護岸本体工に用いる消波ブロックを一層で被覆することを計画した。しかし、この方法では施工に時間を要するため、より迅速かつ簡便な防災対策工法として、ワイヤーネット被覆工を消波ブロックの一層積みと併用するものとした。図-3は台風期の護岸先行部分の防災対策の概要を示したものである。防災対策区間は護岸の完成断面部に続く225m区間であり、そのうち150mは消波ブロック一層被覆、残りの75mはワイヤーネット被覆とし、その先の部分は天端を水面に露出させないものとした。なお、これらの防災対策は台風の動向に合わせて一時的に実施するものであり、台風通過後は速やかに撤去し、護岸の建設工事を遅滞なく再開するものである。

表-1 台風期の確率波高と周期

季節	波向	再現期間別波高と周期 (m) (s)					
		5年		10年		50年	
		波高	周期	波高	周期	波高	周期
台風期	4波向	2.77	5.8	3.00	6.1	3.47	6.6
	WNW	2.11	5.1	2.42	5.4	2.96	6.0
	W	2.19	5.2	2.51	5.5	3.09	6.1
	WSW	2.34	5.3	2.75	5.8	3.44	6.5
	SW	2.17	5.2	2.44	5.5	2.95	6.0

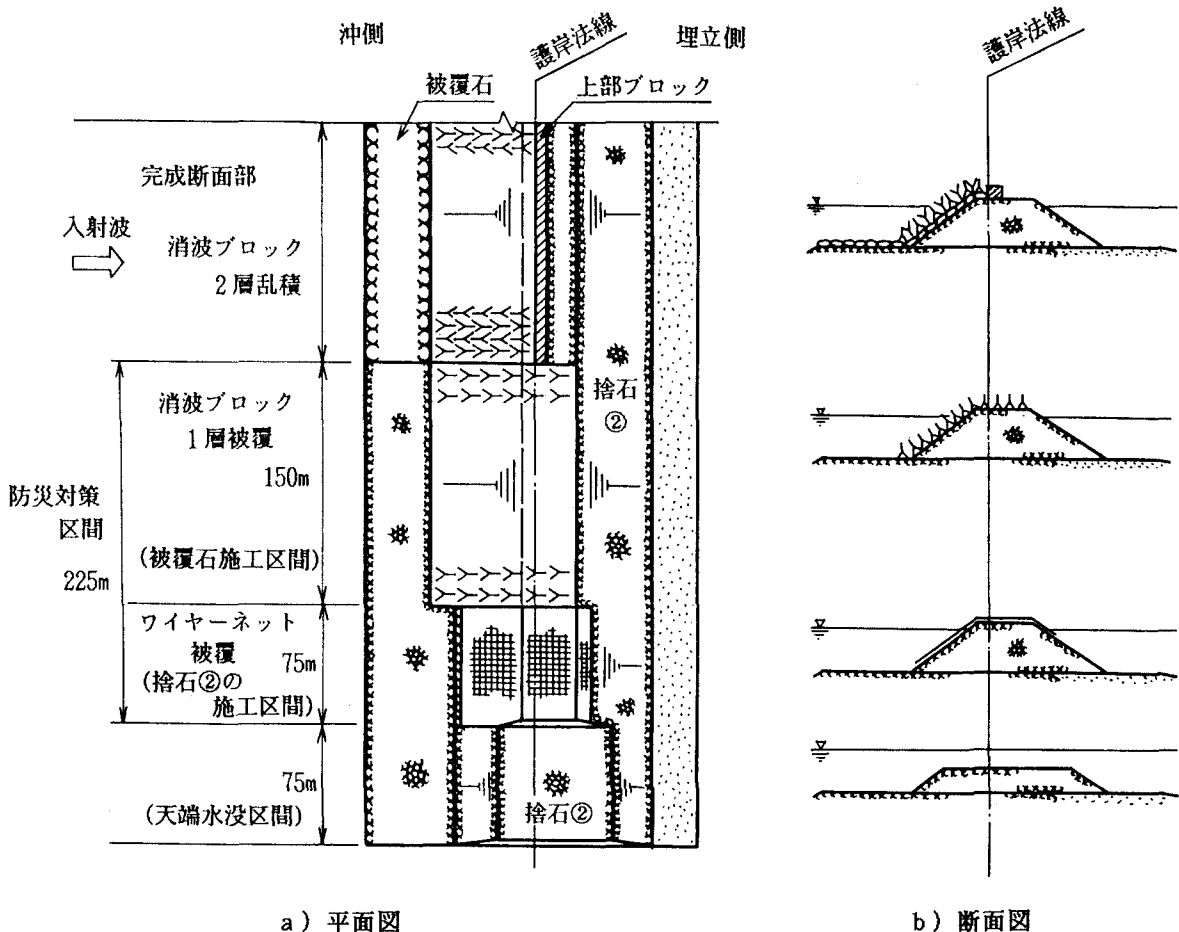


図-3 台風期の防災対策概要図

(2) ワイヤーネット被覆工の概要

本報で対象としたワイヤーネット被覆工は、図-4に示すように、捨石の大きさを考慮して、径18mmのワイヤーをメッシュ間隔33cmに編みこんだ、幅10m、長さ10mおよび14mの2枚のネットを護岸天端肩部でつなぎ合わせて護岸の捨石②の沖側の斜面および天端部全体を覆うものである。護岸延長方向には10mごとにつなぎ合わせるものとし、つなぎ部はすべて1mのラップを設けてワイヤークリップにより接続する。また、ワイヤーネット全体の重量を増すとともに、捨石の移動を拘束する目的で、とくに移動が大きいと推定される箇所に対して護岸法線と平行に沖側斜面部に2.4m間隔で5箇所、およびワイヤーネット全体のすべりを防止するために埋立て側肩部に65kg/m程度の本船用のチェーンを取り付けるものとした。なお、布設時の吊り上げを容易にするために、沖側および埋立て側の斜面端部には250×250mmのH鋼を取り付けた。写真-1にワイヤーネットを吊り上げた時の状況を示す。チェーンは25m/本であり、水面上に露出する法肩部のチェーンは、現地で布設後に取り付ける。

実施に先立ち、ワイヤーネット被覆工の効果を水理模型実験により確認した。以下にその概要を示す。

(3) 実験方法

実験水槽は、長さ50m×幅0.6m×高さ1.2mの二次元規則波造波水路を用いた。実験縮尺はフルード則を適用して1/30とした。実験断面は、捨石②の被覆石を施工する前の状態であり、護岸天端は完成時の+2.4mおよび沈下の余盛り分を考慮した+3.0mの場合の2通りとした。また、潮位はL.W.L.+0.1m、H.W.L.+1.6mの2通りとした。また波浪による護岸の変形を考慮して、沖側斜面勾配を設計断面の1:1.33より緩やかな勾配である1:1.45（以下、暫定施工断面と称する）の場合についても検討した。さらに、ワイヤーネットの効果を比較するため、防災対策を施さない（以下、無対策と称する）場合および基本的な防災対策である消波ブロック層被覆の場合についても実験を行った。

実験波は前掲表-1の現地における確率波のうち5年確率波である $T_{1/3} = 5.8$ S、 $H_{1/3} = 2.77$ mとし、波高のレーリー分布を仮定して波高0.3mごとの階級別波数を作用させることにより現地の不規則波に対応させた。

実験用模型は、捨石についてはふるいにより重量を調整し、ワイヤーネットについてはヤング率がスチールの約1/40のナイロンネットを用い、鉛粉を塗料で接着して重量を調整した。

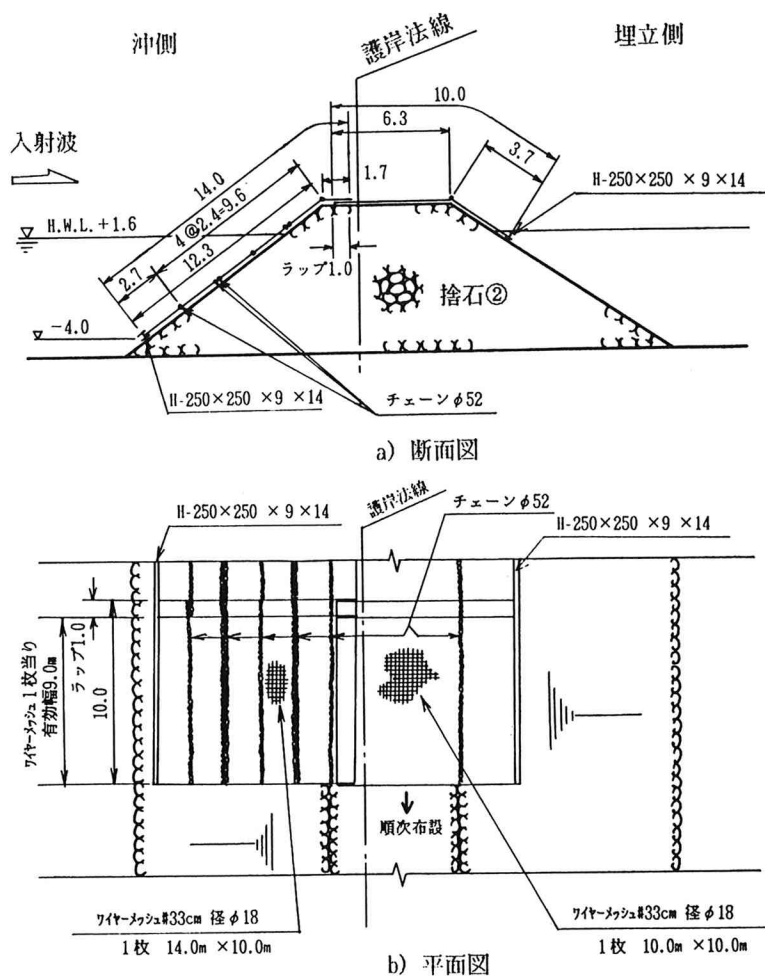


図-4 ワイヤーネット被覆工

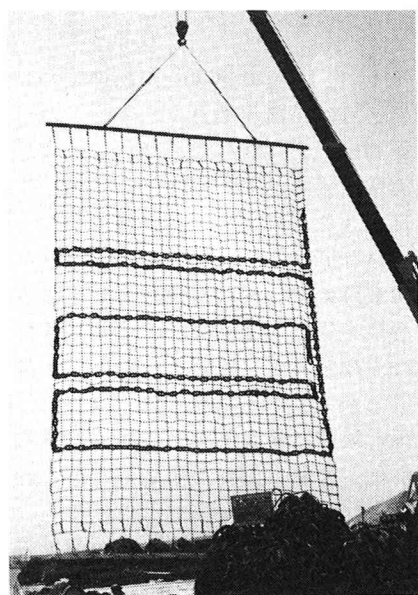


写真-1 現地のワイヤーネット (10×14m)

(4) 実験結果と考察

a) 無対策の場合

写真-2および図-5は、無対策の場合に現地1時間の階級別波数を作用させたときの護岸の変形を示したものである。護岸捨石は、静水面付近で最大2.1 mの深さで洗掘され、水深1.4 m以深に最大1.7 mの厚さで堆積した。護岸斜面上の捨石の安定は、捨石の重量と波力とのつり合い関係により規定されており、捨石の安定限界を超える波力を生じさせる波浪が入射したとき、捨石は斜面から抜け出して移動することになる¹⁾。実験において捨石の移動は波高0.9 mで始まっており、これは図-6に示すように、捨石②の重量10~200 kg/個に対してHudson式の安定係数を捨石の場合に一般的に用いられる $K_D = 3.2$ ²⁾としたときの安定限界波高にはほぼ一致する結果であった。

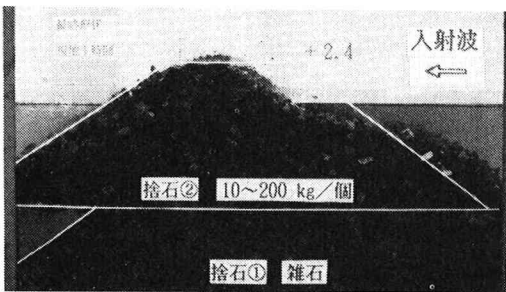


写真-2 無対策時の護岸変形（1時間波浪）

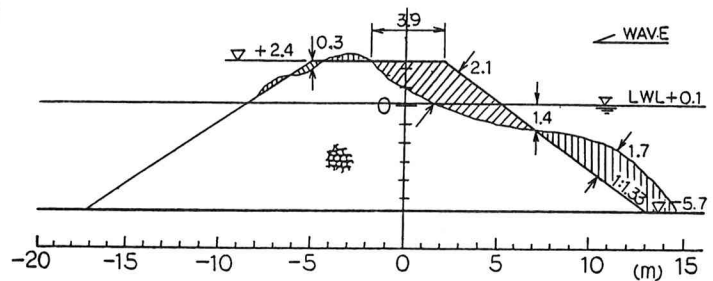


図-5 無対策時の護岸変形（1時間波浪）

b) 消波ブロックを一層で被覆した場合

図-7は、本体工に用いる消波ブロックを一層で被覆した場合に、現地1時間の階級別波数を作用させたときの護岸の変形を示したものである。消波ブロックにより波力が減殺されていることおよび捨石の移動が拘束されていることから、護岸の変形はほとんどみられなかった。ただし、消波ブロックは波高3 mで斜面に沿って全体的にすべりが生じ、その結果護岸天端の肩部で最大1 mの幅で捨石が露出した。

c) ワイヤネットを被覆した場合

ワイヤネットを被覆した場合について最も護岸の変形が顕著であった護岸天端高+3.0 m、潮位H.W.L.+1.6 mの場合の斜面勾配 1:1.33 の設計断面、および1:1.45の暫定施工断面の実験結果を示す。

写真-3および図-8は、斜面勾配 1:1.33の設計断面の場合について、台風による異常波浪の想定継続時間である現地5時間の波浪を作用させたときの護岸の変形を示したものである。斜面上の捨石は、静水面付近で最大0.6 m洗掘され、水深1.5 ~ 3.5 mの範囲で最大0.6 mの厚さで堆積した。また、越波により天端肩部で捨石数個が押し上げられた。

図-9は、斜面勾配 1:1.45の暫定施工断面の場合について現地5時間の波浪を作用させたときの護岸の変形を示したものである。護岸の変形は斜面勾配 1:1.33の設計断面の場合と同様に、静水面付近で洗掘、

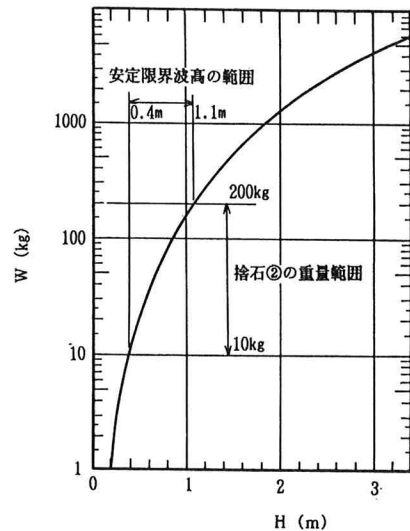


図-6 Hudson式による安定限界波高

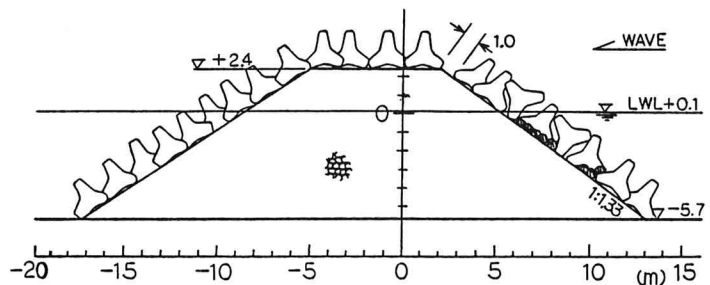


図-7 消波ブロック被覆時の護岸変形（1時間波浪）



写真-3 ワイヤネット被覆時の護岸変形
(5時間波浪、設計断面)

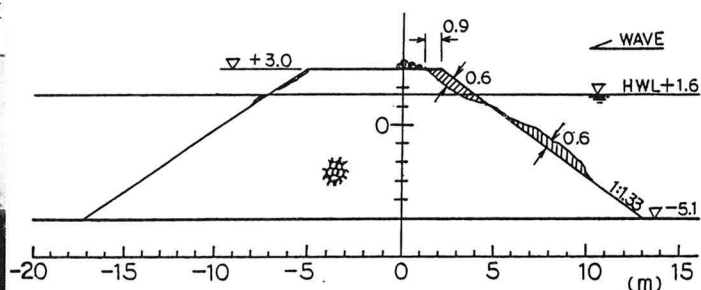


図-8 ワイヤネット被覆時の護岸変形
(5時間波浪、設計断面)

水深 2 m 以深で堆積が見られるが、特に補修に手間を要する水中部で捨石が堆積したため、この部分の変形後の断面は結果的に設計断面とほぼ一致した。

以上の結果、ワイヤーネット被覆工は、異常波浪に対して護岸捨石の移動を拘束するため、護岸の変形を抑える効果の高いことが確認された。同時に、設計断面に対しては、その後の被覆石の施工時に若干の補修を行うことにより、また施工上可能な場合には暫定断面とし、静水面付近に捨石を補充することにより、迅速に護岸の復旧が可能であることが確かめられた。

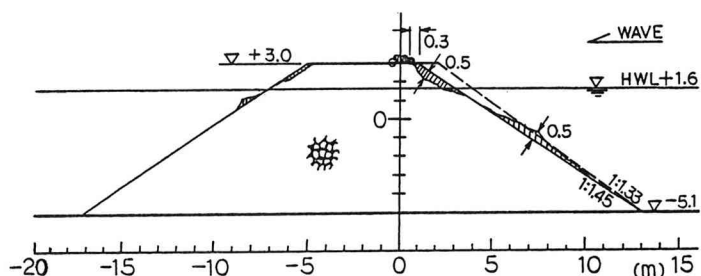


図-9 ワイヤネット被覆時の護岸変形
(5時間波浪、暫定施工断面)

4. 現地における実施状況

(1) 現地のワイヤーネットの施工性

現地における施工性を確認するため、昭和63年8月12日に護岸延長20m にわたってワイヤーネット被覆工を試験的に布設した。写真-4 はワイヤーネットの護岸への被覆状況を示したものであり、写真右側が沖側である。また、護岸断面は沖側斜面勾配が1:1.33の設計断面である。布設にあたっては200t積台船と35t 積クレーン船を稼働させた。布設に要した時間は、ワイヤーネットの被覆および連結に約 1.5時間、運搬等の諸作業を含めても約 3時間であったことから、防災対策の75m 区間の被覆に要する時間は、1.5 日程度と見積られ、現地でのワイヤーネット被覆工の迅速な施工性が確認された。



写真-4 現地のワイヤーネット被覆状況

(2) 現地での効果

試験布設後4～5日経過した昭和63年8月15～16日にかけて台風11号が来襲したため、はからずも現地においてワイヤーネット被覆工の効果を確認することができた。この台風は当初の予想では、ごく弱いものであり、護岸への影響は少ないと想定されたため前述の防災対策は行わなかったが、結果的に空港島建設地点で8月15日23時に、 $T_{1/3} = 4.3s$ 、 $H_{1/3} = 1.22m$ 、 $H_{max} = 2.08m$ の値が、またこの前後4時間にわたって $T_{1/3} = 4.3s$ 、 $H_{1/3} = 1.0 \sim 1.2m$ 、 $H_{max} = 1.6 \sim 2.0m$ の波浪が記録された。写真-5および写真-6は、台風11号通過直後の護岸捨石②の状況を示したものである。写真-5

に示すように、ワイヤーネットが被覆されていない部分では水面から天端部にかけて捨石が洗掘され、護岸肩部の法線に蛇行が認められる。一方、延長20mにわたって布設したワイヤーネット被覆区間では、写真-6に示すように捨石の移動が拘束されており、護岸の変形が最小限に食い止められていることが確認された。

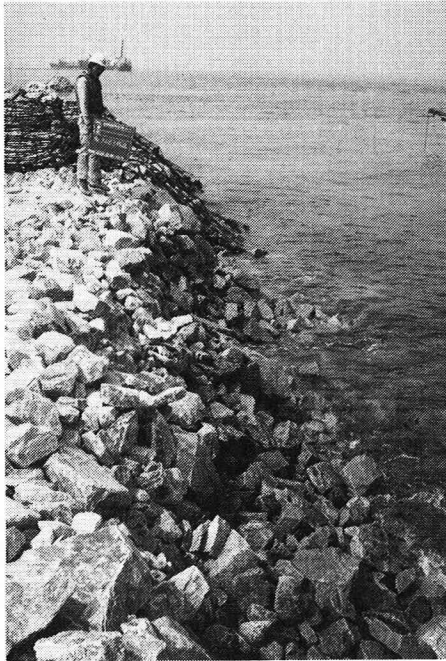


写真-5 無対策部分の状況



写真-6 ワイヤーネット被覆部分の状況

5. あとがき

関西国際空港の緩傾斜石積護岸を対象とし、施工途中の異常波浪に対する捨石の散乱防止工法として、ワイヤーネット被覆工の効果を実験および現地の試験施工により確認した。本工法は、布設、撤去が迅速かつ簡便に行えるものであり、台風の動向に合わせて機敏な対応が可能である。

なお、本工法は一般的な捨石の散乱防止工法として有効であり、今後の活用が期待される。

参考文献

- 1) 永井荘七郎 ; 港湾工学 (第5版) pp 114～116、オーム社、1977
- 2) 海岸保全施設便覧 (改訂版) pp 181、土木学会、1969