

フィルターユニットで被覆した 緩傾斜護岸の耐波安定性

THE STABILITY OF THE MILD SLOPE REVETMENT ARMORED BY FILTER-UNITS AGAINST WAVE ATTACK

秋山真吾¹・池谷毅²・今藤久夫³・高橋忍⁴・石川芳一⁵

Shingo AKIYAMA, Tsuyoshi IKEYA, Hisao KONDO, Shinobu TAKAHASHI
and Yoshikazu ISHIKAWA

¹正会員 工修 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

²正会員 工博 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

³正会員 鹿島建設株式会社 土木技術本部 (〒107-8388 東京都港区元赤坂1-2-7)

⁴非会員 鹿島建設株式会社 関西支店 (〒550-0011 大阪府大阪市西区阿波座1-3-15)

⁵非会員 キョーワ株式会社 (〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場1-13-20)

The conventional method used for covering shore protection by armor stones needs not only much time for processing stones but also many divers for averaging the rubble mound, setting up and leveling stones for armoring, thereby postponing work period and leading to rise of cost.

So we have designed a new method called filter-units in place of armor stones and performed hydraulic model tests to make clear those characteristics. The filter-units consisted of small stones and wrapping nets, have abilities of reducing work period. In this paper, we firstly explain the characteristics and the construction methods of filter-units. Secondly, we detail the result of the hydraulic model test. It was found out that filter units have excellent flexibility and suitability for waves equal to that armor stones have.

Key Words : filter-unit, mild slope revetment, armor stone, rubble, reduction in work period,
hydraulic model test, suitability for waves

1. はじめに

護岸などの築造に用いられてきた従来の被覆石工法は、使用する被覆石の加工に手間がかかるとともに、被覆する捨石の均し、被覆石の設置、均しに多数の潜水士を要するなど工期が長くなる問題があった。被覆石の設置に時間がかかれば護岸が波により被災する可能性も高くなる。また、被覆石の供給面についても、原石山の減少により大型の石材は供給不足が予想され、コストの上昇が懸念される。

そこで、被覆石工法に代わる新しい施工法として、フィルターユニット(袋詰め砕石:写真-1)を用いた被覆工法を考案し、実用化のための機能検証実験を行った。本工法を用いれば、工期の大幅な短縮だけでなくコストダウンにつながる可能性がある。また、形状の小さな砕石が有効に利用できるため、材料不足の心配が解消される。

本報は、フィルターユニットの特徴および施工法について説明するとともに、被覆石代替法としての実用化を目的として行った水理実験の結果について述べるものである。

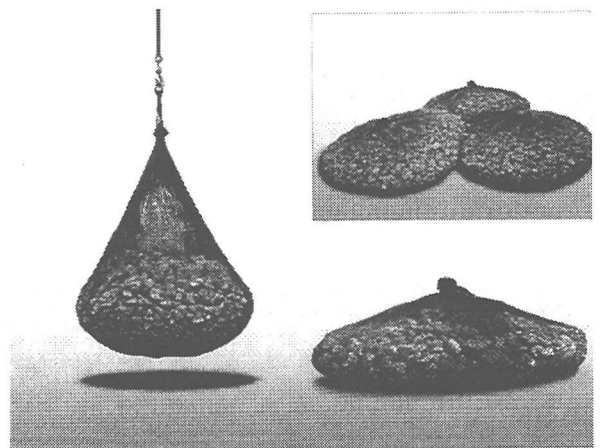


写真-1 フィルターユニット

2. フィルターユニット工法

(1) フィルターユニット工法の特徴

フィルターユニット(通称FU)とは、合成繊維を使用した網袋に中詰め石を充填した材料であり、これまで河川・海岸等の根固め、洗掘防止、護岸の

間詰め等々に使用されてきた。写真-2 は、明石海峡大橋 2P 主塔基礎の洗掘防止工に使用した F U の施工状況である。その大きな特徴としては、

- ①柔軟な構造体であるため、設置面との馴染みがよく安定性に優れている。
 - ②製作工・設置工ともに容易であるため、熟練工を必要としない。
 - ③網地のラッセル網は、無結節網に比べて破断した箇所が広がりにくい構造である。
- 等が挙げられる。

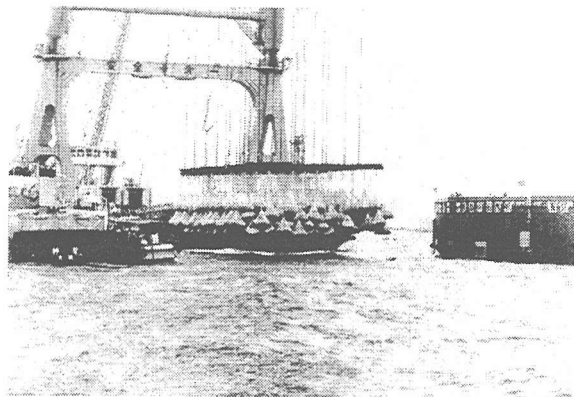


写真-2 施工状況 1)

(2) 施工フロー

図-1 に F U 施工フローを示す。各作業項目ともに熟練工を要さず、工期短縮が可能な工法である。

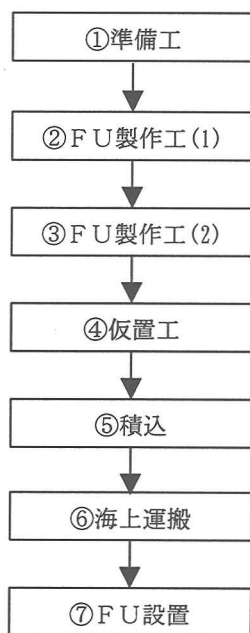


図-1 施工フロー

施工フローのうち、F U 製作工を図-2に示す。F U の製作方法は、まず型枠にセットした網袋にバックホーで中詰石を投入する（製作工(1)）。続いて、吊環を取付けた F U を仮吊し、口を縛り製作枠に玉掛を行った後、トラッククレーンにて引抜く（製作工(2)）。

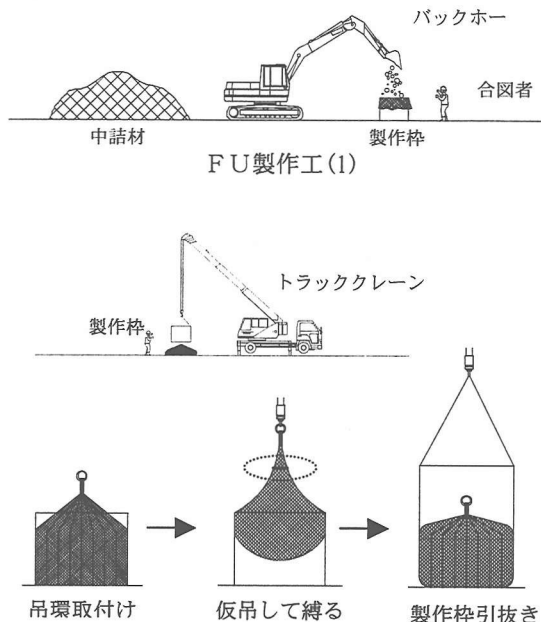


図-2 F U 製作工

(3) 検討断面

図-3に F U の設置概念図を示す。今回の実験では、一様水深部を持ち、比較的勾配の緩やかな捨石(1)上面には標準型（写真-1参照：丸型）を、静水面付近の比較的勾配の急な捨石(2)法面には直方体形状をした角型をそれぞれ設置する案について検討した。

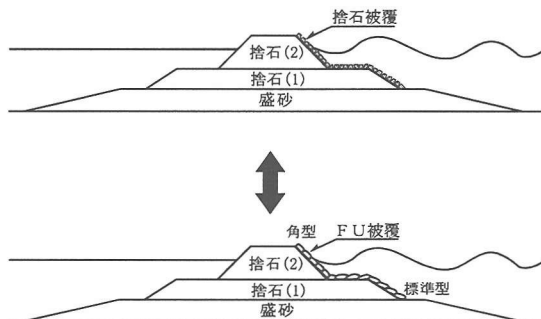


図-3 F U 設置概念図

3. 耐波安定性確認実験

(1) 実験目的

F U は、これまで波力が作用する海岸護岸の永久構造物として用いられた事例は少なく、波に対する安定性の評価設計手法も確立されていない。また、F U の中詰石の粒径が、背面に設置する捨石に比べて小さく、透水係数も低下するため、局所的に大きな揚圧力が作用する可能性がある。

そこで、F U 自身の耐波安定性とともに、上面に設置する消波ブロックの安定性について検証を行った。さらに、F U の素材が合成繊維であることから、長期使用に対する安定性についても検証を行った。

(2)実験検討項目

今回の実験で検討した項目は以下の通りである。
(図-4 参照)

①施工時安定性確認実験

捨石(1)上面および捨石(2)法面に設置するF Uの耐波安定性を検証し、捨石で被覆した場合の安定性との比較を行う。

②完成時安定性確認実験

捨石(2)のF U上面に設置する消波ブロックの耐波安定性を検証するとともに、捨石を設置した場合の安定性との比較を行う。

③長期安定性確認実験

捨石(2)法面に設置したF Uが破れた場合の消波ブロックの安定性を検証する。

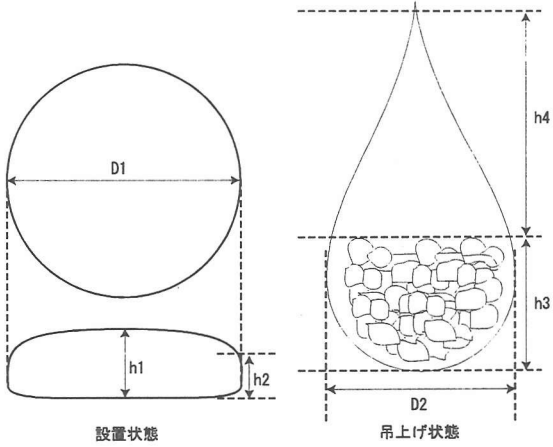


図-5 F U形状の計測項目

大きく、さらに網地の直径が太かった。そのため、標準型は実物に比べ伸びが小さい硬めの模型となり、馴染みが若干弱かった。設置状態において実物では、F U上面においても網袋には張力が作用しており、隙間無く中詰石を拘束している。模型は、網材がやや硬めであるため若干隙間が存在したが、設置状態の全体形として、ほぼ実物を再現することが出来た。一方、角型は形が安定しやすいため、ほぼ所定の形状を満足する模型を製作することが出来た。

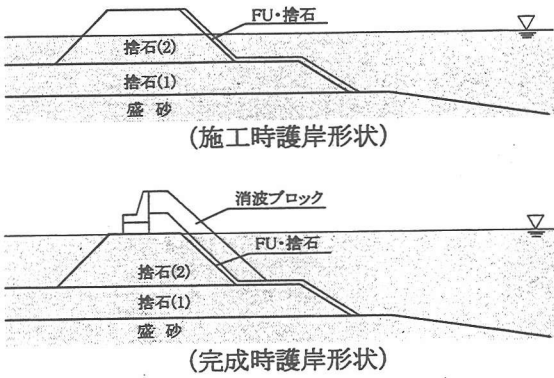


図-4 実験概念図

実験では、各護岸形状について作用する波高、流速および造波前後の断面変化、消波ブロックの移動状況について計測した。

(3)実験方法

a)実験模型

これまで、F Uに関する水理模型実験はほとんど行われていない。そこで、実験に先立ちF Uのモデル化について検討した。今回の実験では、F U全体の幾何形状、質量だけでなく、中詰石の粒径、網材の張力もできるだけ実物に近づけることを試みた。

写真-3 にF U模型を、図-5 に実物との比較のために実施した計測項目を示す。表-1 に実物と模型の比較結果を示す。

今回使用した模型は、実物に比べ中詰石の粒径が

表-1 F U形状計測結果 (標準型)

FU	設置状態 (m)			吊り下げ状態 (m)			使用網 (mm)	使用石 (mm)
	D1	h1	h2	D2	h3	h4	D	
							L	
実物	2.93	0.65	0.32	2.45	0.92	1.65	2.5 50	50~150
模型	2.49	0.78	0.41	2.26	0.93	0.89	7.14 188.56	100~200

D：網地直径

L：目合い

b)実験条件

実験は、長さ 60.0m、幅 2.0m、高さ 2.0m の2次元造波水路を用いて行った。今回対象とした波浪条件を表-2 に示す。ただし、作用する波は水深によって変化するが、検証する捨石(1)上面、捨石(2)上面の水深も異なるため、同じ波浪条件に対し水深を2通りに変化させて実験を行った。

表-2 波浪条件

有義波高 有義周期	1.7sec	2.0sec	2.2sec
18.1cm	Case1	---	---
24.4cm	---	Case2	---
31.1cm	---	---	Case3

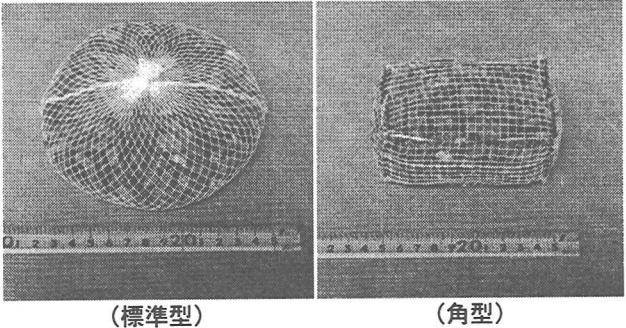
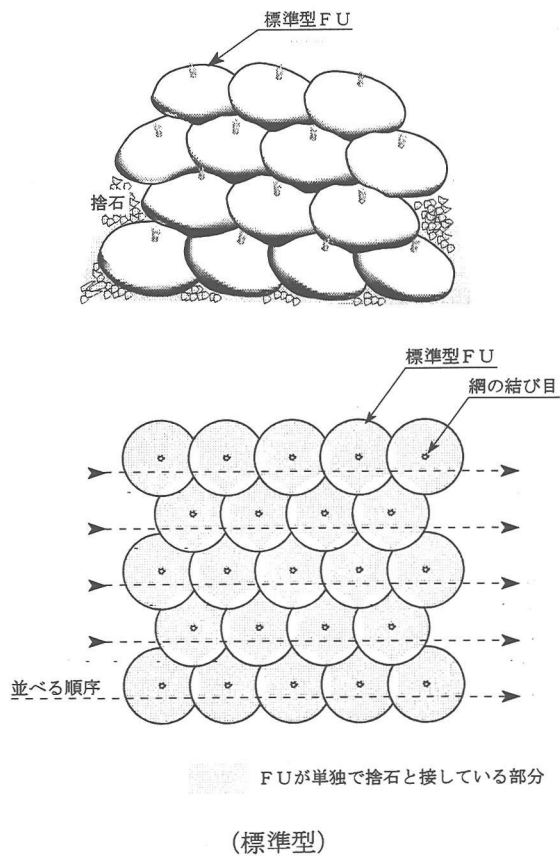


写真-3 F U模型

c) 模型セッアップ

図-6 に標準型と角型のFUの設置概念図をそれぞれ示す。標準型は前後左右を重ねながら六角形状に、角型は1個1個を密着させながら、ともに一列ずつ千鳥状に設置した。



d) 計測方法と比較断面

図-7 に施工時の計測地点を示す。護岸模型は水路の中央付近に設置し、比較のために模型の半分は、FUの厚みと被覆厚さが同程度となる捨石（重量はFUの1/4）により被覆した。作用波高・流速は縦断方向3地点で、断面変化は横断方向4測線でそれぞれ計測した。

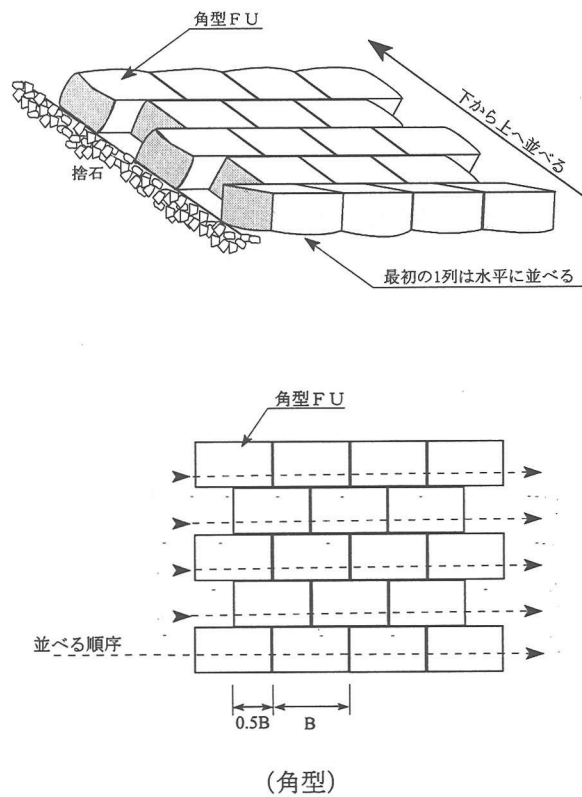


図-6 FU設置方法

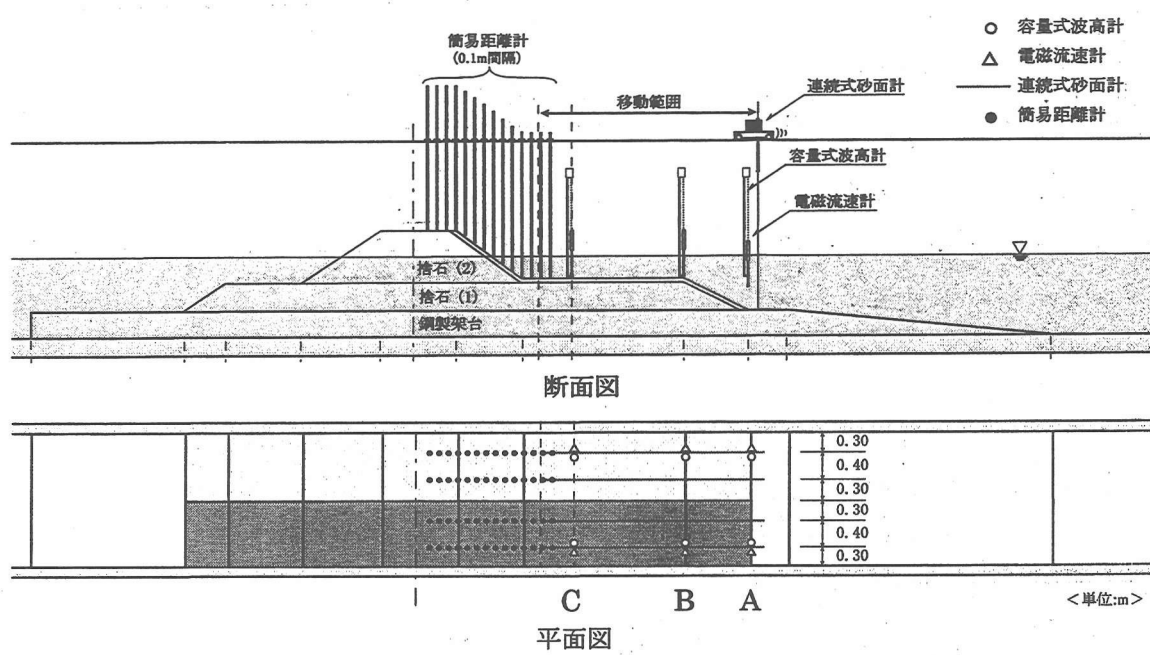


図-7 計測地点

(4) 実験結果

a) 施工時安定性確認実験

写真-4に施工時の護岸模型を、写真-5に実験状況をそれぞれ示す。

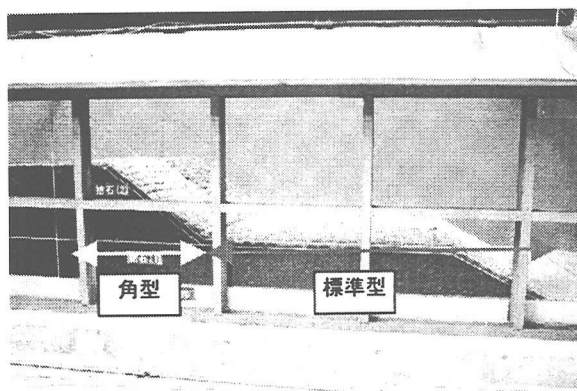


写真-4 施工時護岸模型

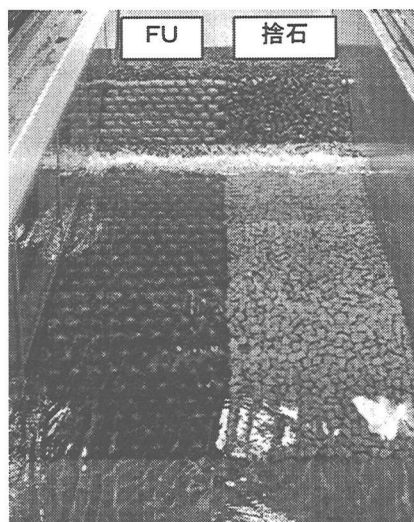


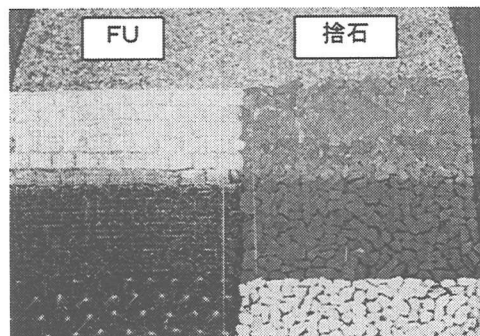
写真-5 施工時実験状況

写真-6 は、施工時の波浪条件 (Case1: 有義波高 18.1cm, 有義周期 1.7sec) に対する捨石(2)法面の変化の様子を、初期状態と 1000 波作用後について示したものである。また図-8 は、初期形状, 1000 波作用後, 3000 波作用後の断面形状を示したものである。

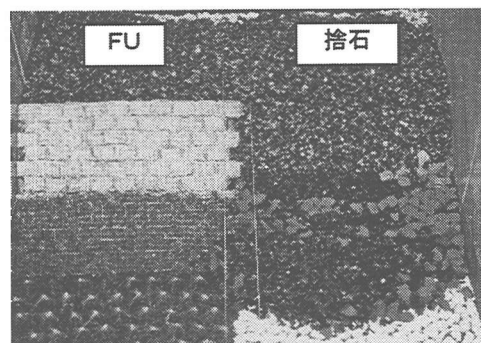
これらの結果を見ると、捨石で被覆したでは捨石(1)の法肩付近の石が崩れるとともに、捨石(2)法面が S 字型に変形していることがわかる。特に、波が直接作用する捨石(2)法面については、表面の捨石が剥がされた箇所から背後の石が徐々に吸い出され、500 波作用後には断面は大きく崩れていた。

一方、FU で被覆した箇所はほとんど断面変化は見られず、捨石(2)法面についても非常に安定している。

なお、捨石が崩れる傾向は、水深が小さい場合に顕著となり、Case1 より条件が厳しい Case2 の場合はその範囲がかなり拡大したが、FU 設置箇所についてはその場合でも大きな変化は見られず、非常に安定性に優れていた。



(初期状態)



(1000 波作用後)

写真-6 断面変化状況

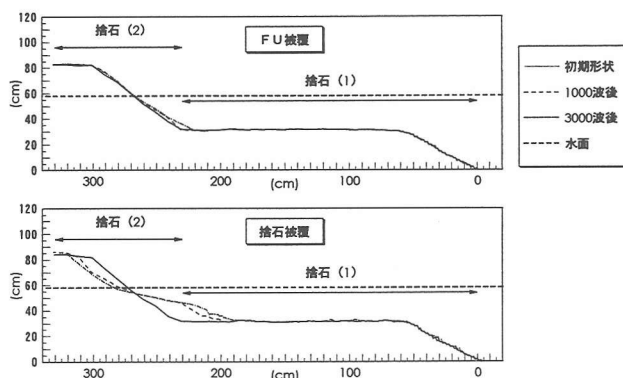


図-8 断面変化計測結果

b) 完成時安定性確認実験

写真-7に完成時の護岸模型を、写真-8に実験状況をそれぞれ示す。



写真-7 完成時護岸模型

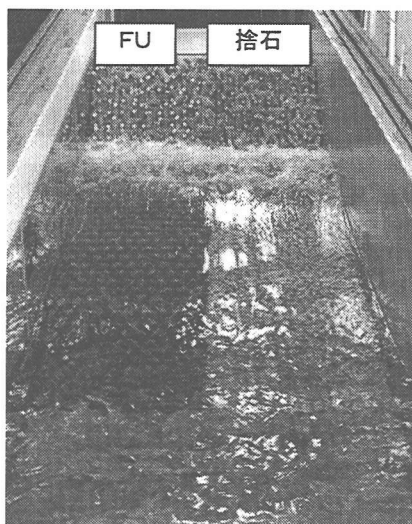


写真-8 完成時実験状況

FUに用いる中詰石の粒径は背後の捨石(2)に比べて小さく、設置面で透水係数が低下する。そのため、局所的に大きな揚圧力が作用し、消波ブロックの安定性に影響を及ぼすことが心配された。

しかし、捨石の領域と同様に、FUを設置した領域についても消波ブロックの移動はほとんど見られず、透水係数の変化はブロックの安定性に大きな影響を与えないことがわかった(写真-9参照)。

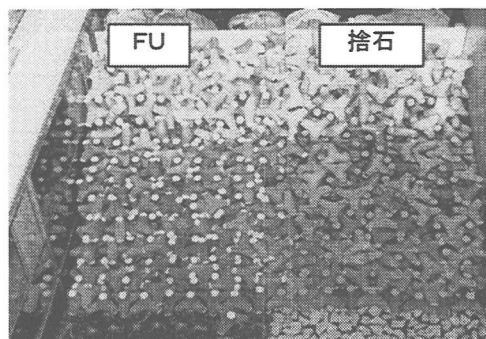


写真-9 断面変化状況(1000波作用後)

c) 長期安定性確認実験

FUが破れた状況として、FUに代わり中詰石を設置した状態で波を作用させても、消波ブロックの隙間から短期間に石が吸出されることはなく、また消波ブロックの安定性にも問題はなかった。

4. 結論および今後の課題

実験で得られた結論および今後の課題は以下の通りである。

(1) 結論

a) モデル化

- ・全体の幾何形状、質量だけでなく、中詰石の粒径、網材の復元力の相似を保つよう努めることにより、ほぼ実物に近い模型を再現することができた。

b) 実験結果

- ・FUは捨石による被覆に比べて耐波安定性が優れており、従来工法と同等以上の機能が期待できる。

- ・FU上面に設置した消波ブロックに局所的な揚圧力は作用せず、十分安定性が確保されている。
- ・FUが破れた場合でも、内部の捨石が急激に吸出されたり消波ブロックが崩れることは無い。

c) 耐波安定性の向上の要因

- ・FUは、その柔軟な構造により設置面やFU同士の馴染みがよく、マットの様に一体となって機能する。
- ・その一方で、個々のFUは小さな石により構成され、高い透水性を持つため、同じ体積の捨石に比べ、FUは全体として受ける力が小さい。

(2) 今後の課題

a) 耐摩耗特性の評価

FUはその素材が合成繊維(ナイロン)であるため、海岸護岸に用いるには磨耗に対して網の耐久性を確保することが重要な課題であり、耐摩耗特性の試験方法、評価手法を確立し、長期間の使用に対して網の耐久性を予測する必要がある。そのための手法としては、

- ・磨耗試験装置による実物の要素試験
- ・実物大の大型造波装置を用いた耐久試験
- ・実海域における耐久性試験

が考えられる。

b) 耐波設計法の確立

今回の実験では、ひとつの断面形状に対して、FUの安定性を水理模型実験により検討した。今後、コストダウンを含めた詳細な検討を行うためには、FUの耐波設計法を確立し、任意の波浪条件、断面形状に対してFUの安定重量、形状を求めることが重要である。

5. おわりに

実験の結果、フィルターユニット工法は従来の被覆石工法と同等以上の耐波安定機能を有することがわかった。また、本工法は工期短縮とコストダウンが期待できる工法であり、将来的には建設廃材の有効利用に繋がる可能性もある。

本工法を実用化していくためには、上記の課題の検討を行うとともに、実海域での試験施工を通じて機能・効果の確認・実証を行うことが重要であると考えられる。

謝辞：本研究の遂行にあたり、大阪大学大学院出口教授よりご指導を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団、明石海峡大橋2P下部工JV：明石海峡大橋2P下部工工事写真集，p.49，1992。