

海岸侵食を抑える有脚式離岸堤「GENROU®」の開発

Development of Jacket Type Detached Breakwater “GENROU®”

辻岡 和男 TSUJIOKA Kazuo JFE エンジニアリング 鋼構造本部 主幹
海老原俊広 EBIHARA Toshihiro JFE エンジニアリング 鋼構造本部 沿岸鉄構事業部 部長代理
本田 秀樹 HONDA Hideki JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員(課長)

要旨

JFE エンジニアリングは、有脚式離岸堤の一種であって、台風などの高潮位・高波浪時においても優れた消波性能を有する透過式減波浪ジャケット「GENROU®」を開発した。「GENROU®」は、スリット壁で構成する上部工とスリットを有する下部骨組構造（ジャケット）により、効果的に波エネルギーを消散させ、海岸侵食を抑制することができる。本稿では、消波性能を把握するために実施した水理模型実験と施工方法について述べる。

Abstract:

JFE Engineering has developed the new Jacket Type Detached Breakwater “GENROU®” which is highly effective even under the condition of severe waves and storm surges. This detached breakwater structure, which consists of a capping with two slit walls and a jacket with a slit wall, has capabilities of reducing wave transmission and reflection and suppressing beach erosion. This paper describes the result of a hydraulic model test and construction processes of the structure.

1. はじめに

新型海域制御構造物によって静穏海域を創出し、海域の高度利用促進を目的とした計画（MMZ 計画¹⁾，Marine Multi Zone）の下、いくつかの工法が開発され施工されてきたが、通常の波浪と潮位の条件で消波性能を確保するものが多かった。

全国的に海岸侵食が進行中であるが、海浜が後退・消失すると台風などの高波浪時に背後の民家やインフラに被害がおよぶ。2007 年の西湘バイパスの被災は、防護性能を持つ海浜が台風時に消失したために起きたものであった。

したがって、離岸堤は、通常の消波性能に加えて、台風などの高波浪時でも海浜が消失しない程度の消波性能を持つことが望ましい。

「GENROU®」は、有脚式離岸堤の一種であり、通常の潮位・

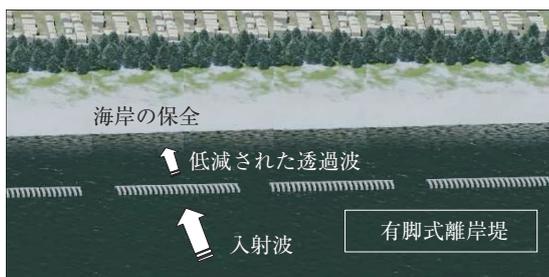


図 1 離岸堤配置イメージ

Fig. 1 Illustration of detached breakwater

波浪条件での消波性能に加えて、台風時などの高潮位・高波浪条件においても、優れた消波性能を有する。

本論文では、構造の特徴、消波性能、適用範囲、施工方法について報告する。

2. 構造の特徴

離岸堤は、その天端が海面よりも高く、沖合いに汀線と平行に設置される構造物（図 1）で、ブロック式、有脚式などの構造形式がある。

「GENROU®」は、有脚式離岸堤の一種であり、沖側・岸側スリットと斜面板で遊水室を構成する上部工と、沖側にスリット（下部スリット）を有する下部骨組構造（ジャケット）から構成される（図 2～4）。

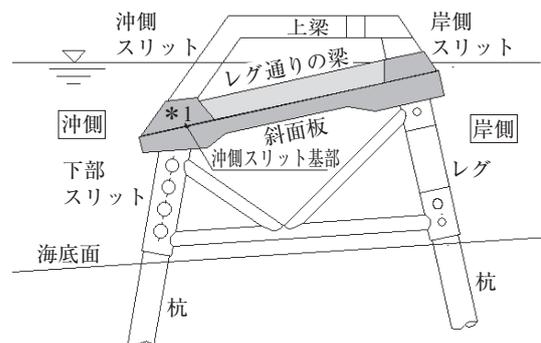


図 2 「GENROU®」の標準断面

Fig. 2 Cross section of “GENROU®”

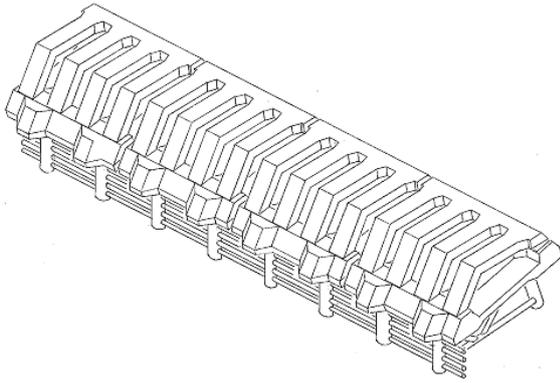


図3 「GENROU®」の全体パース図（沖側斜め上方より）

Fig. 3 Perspective view of "GENROU®" from offshore

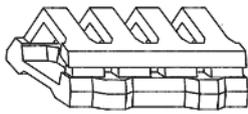


図4 「GENROU®」の上部エパース図（岸側より、1ブロック分）

Fig. 4 Perspective view of capping from shore (One unit)

施工に関しては、全長約 50 m を基本とし、一体構造であるジャケットの上に 4 ブロックに分かれた上部工を設置して現地にて一体化する。

押し波時には、遊水室への流入と岸側スリットを通過する流れ、および下部スリットを通過する流れによりエネルギーを消散する。一方、引き波時には、遊水室から沖側スリットを通過する流れ、および斜面板の下から下部スリットを通過する流れによりエネルギーを消散する(図5)。これにより、通常の潮位・波浪条件において透過率 0.6 以下、反射率 0.4 以下とすることができる。

高潮位・高波浪時には、波峰が堤体天端を乗り越える状況となるが、遊水室でのエネルギー消散効果により、透過率 0.7 以下とすることができる。

3. 消波性能に関する水理模型実験

3.1 水理模型実験の概要

長さ 60 m × 幅 3 m × 高さ 2 m の二次元水槽に縮尺 1/25 の模型を設置し、表 1 に示す条件にて水理実験を実施した(図

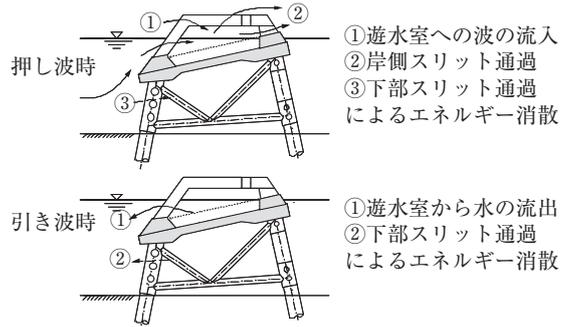


図5 「GENROU®」の波浪エネルギー消散機構

Fig. 5 Mechanism of wave energy dissipation

6. 写真 1)。

それぞれの条件に対して、波高計 6 本を用いて水面変動を計測し、合田の分離推定法²⁾を適用して、入射波高、透過波高、反射波高を算出することにより、透過率・反射率を算定した(図7)。

3.2 実験の結果

3.2.1 通常時の消波性能

水理模型実験より、消波対象波に対して透過率 0.6 以下および、反射率 0.4 以下の消波性能を満足することを確認した(表 2)。透過率には、以下の傾向が見られた。

表 1 実験条件

Table 1 Experimental conditions

	現地スケール	実験スケール
水路勾配	水平床, 1/30, 1/15	
設置水深	9.5 m	38 cm
	7.5 m	30 cm
潮位条件	H. H. W. L.	+ 1.800 m
	H. W. L.	+ 0.845 m
	L. W. L.	- 0.700 m
堤体寸法	高さ	11.3 m ^{*1} , 9.3 m ^{*2}
	幅	46.8 cm
	長さ	300.0 cm

- 1) H. H. W. L. : 計画高潮位 H. W. L. : 朔望平均満潮位
L. W. L. : 朔望平均干潮位
- 2) 堤体高さは、*1 は現地スケール水深 9.5 m, *2 は現地スケール水深 7.5 m の場合



図6 模型および波高計配置

Fig. 6 Layout of scale model and wave gauges

*1 現地スケール 9.5 m unit : mm
*2 現地スケール 7.5 m

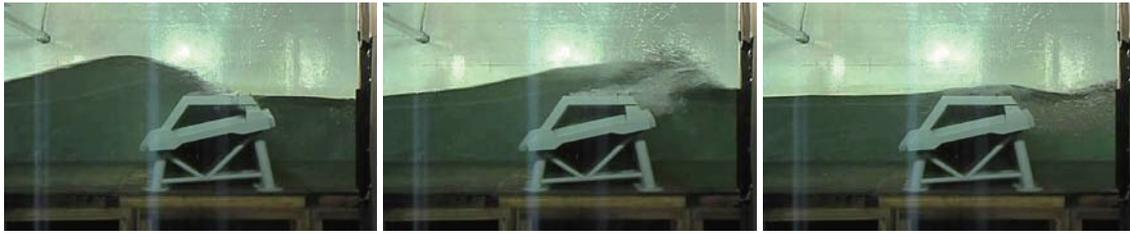


写真1 実験状況 (H.H.W.L.,水路勾配 1/30)

Photo 1 Experiment under extremely high tidal condition

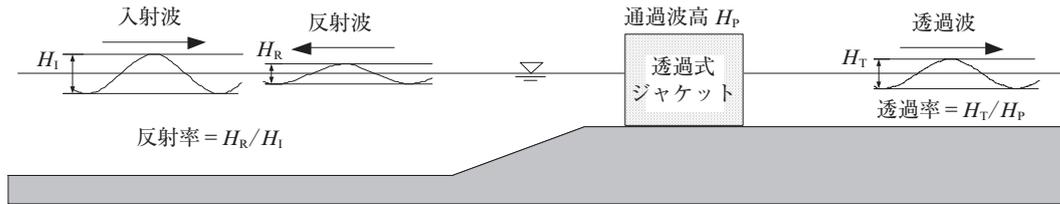


図7 波高・透過率・反射率の定義

Fig. 7 Definition of wave height, coefficient of wave transmission and reflection

表2 「GENROU®」の消波性能実験結果

Table 2 Experimental results under normal conditions

波の種類	水路勾配	設置水深(m)	潮位条件	波浪条件		透過率最大値	反射率最大値
				波高(m)	周期(s)		
規則波	水平	9.5	H. W. L.	1.5~4.0	6~14	0.58	0.35
規則波	水平	9.5	L. W. L.	2.0, 3.0	8~14	0.46	0.35
不規則波	水平	9.5	H. W. L.	2.0~2.5	10~14	0.57	0.31
不規則波	水平	9.5	L. W. L.	1.5~2.25	10~14	0.50	0.33
規則波	水平	7.5	H. W. L.	1.5~3.0	6~14	0.56	0.24
規則波	水平	7.5	L. W. L.	2.0	8~14	0.44	0.31
規則波	1/15	7.5	H. W. L.	2.0, 4.0	8~14	0.51	0.21
規則波	1/15	7.5	L. W. L.	4.0, 5.0	12~16	0.31	0.26
規則波	1/30	7.5	H. W. L.	2.0, 4.0	8~14	0.53	0.25
規則波	1/30	7.5	L. W. L.	4.0, 5.0	12~16	0.31	0.20
不規則波	1/30	7.5	H. W. L.	2.1	10~14	0.59	0.22
目標性能						≤0.6	≤0.4

- (1) 水平床の場合、波形勾配が大きくなるにつれて、透過率が若干小さくなる (図8 に一例を示す)。
- (2) 水路勾配 1/15, 1/30 の場合、波形勾配による透過率の変化は大きくない。
- (3) 水路勾配に関係なく、堤体幅波長比が小さくなるにつれて、つまり長周期の波であるほど、透過率がわずかに大きくなる (図9 に一例を示す)。

3.2.2 高潮位・高波浪時の消波性能

水理模型実験より、H. W. L. ~H. H. W. L. の高潮位・高波浪条件に対して透過率 0.7 以下の消波性能を満足することを確認した (表3)。透過率には、以下の傾向が見られた。

- (1) 波形勾配が大きくなるにつれて、透過率が若干小さくな

る (図10, 11 に一例を示す)。

- (2) 堤体幅波長比が小さくなるにつれて、つまり長周期の波であるほど、透過率がわずかに大きくなる。

3.2.3 波力低減率

水理模型実験より、作用する水平波力は、上部斜面ケーソンの波力算出式である細山田式³⁾ による計算値の 75% 以下であることを確認した (図12)。

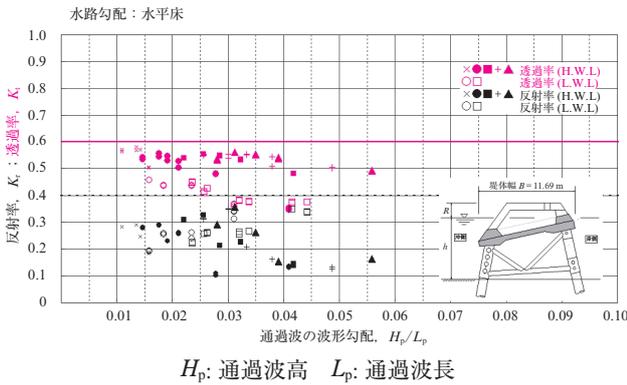
4. 適用範囲

今回開発した、「GENROU®」の適用範囲は、以下のとおりである。

表3 「GENROU®」の高潮位・高波浪時消波性能実験結果

Table 3 Experimental results under severe conditions

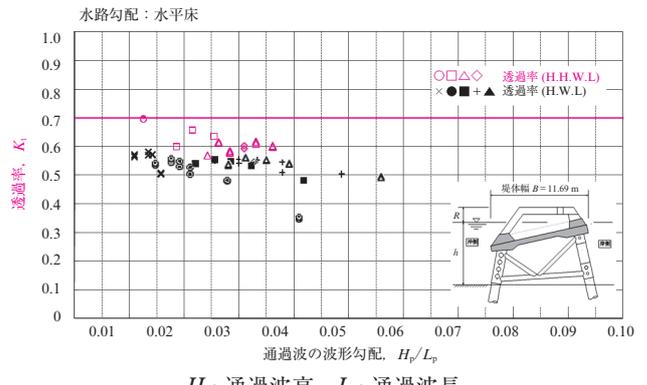
波の種類	水路勾配	設置水深(m)	潮位条件	波浪条件		透過率最大値
				波高(m)	周期(s)	
規則波	水平	9.5	H. H. W. L.	2.0~5.0	12~16	0.70
不規則波	水平	9.5	H. H. W. L.	2.2~2.8	12~16	0.68
規則波	1/15	7.5	H. H. W. L.	5.0~5.8	12~16	0.54
不規則波	1/15	7.5	H. H. W. L.	3.1~3.2	12~16	0.65
規則波	1/30	7.5	H. H. W. L.	5.0, 5.9	12~16	0.56
不規則波	1/30	7.5	H. H. W. L.	3.1	12~16	0.69
目標性能						≤0.7



H_p : 通過波高 L_p : 通過波長

図8 「GENROU®」の透過率・反射率と波形勾配 H_p/L_p の関係 (設置水深 9.5 m; H. W. L. and L. W. L.; 水平床)

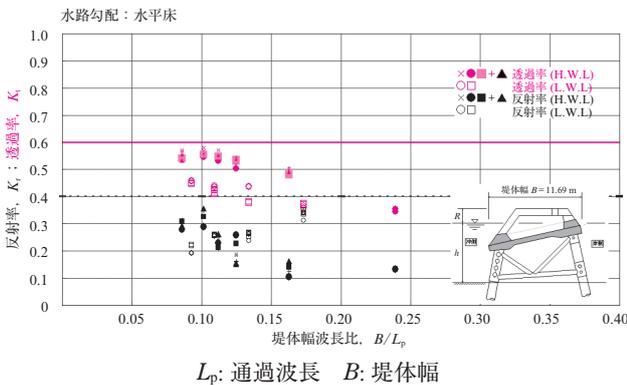
Fig. 8 Wave transmission and reflection vs. Wave steepness (Water depth 9.5 m; H. W. L. and L. W. L.; Horizontal bed)



H_p : 通過波高 L_p : 通過波長

図10 「GENROU®」の透過率と波形勾配 H_p/L_p の関係 (設置水深 9.5 m; H. H. W. L.; 水平床)

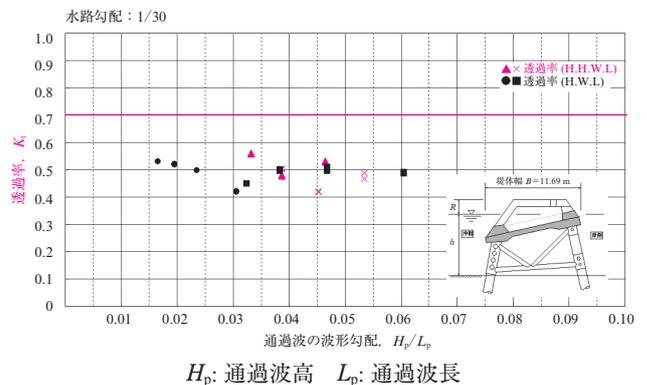
Fig. 10 Wave transmission vs. Wave steepness (Water depth 9.5 m; H. H. W. L.; Horizontal bed)



L_p : 通過波長 B : 堤体幅

図9 「GENROU®」の透過率・反射率と堤体幅波長比 B/L_p の関係 (設置水深 9.5 m; H. W. L. and L. W. L.; 水平床)

Fig. 9 Wave transmission and reflection vs. Ratio of jacket width to wavelength (Water depth 9.5 m; H. W. L. and L. W. L.; Horizontal bed)



H_p : 通過波高 L_p : 通過波長

図11 「GENROU®」の透過率と波形勾配 H_p/L_p の関係 (設置水深 7.5 m; H. H. W. L.; 水路勾配 1/30)

Fig. 11 Wave transmission vs. Wave steepness (Water depth 7.5 m; H. H. W. L.; Slope bed 1/30)

(1) 制約条件

堤体天端高が H. H. W. L. 以上であり、かつ沖側スリット基部 (図2) が L. W. L. 時に水没していること。

(2) 適用範囲

表4 に示すとおり。

5. 施工方法

「GENROU®」の施工手順を図13 に示す。施工上の特長は、以下のとおりである。

(1) 下部工は、ジャケット構造なので、レグを鞘管とした杭打ちにより、斜杭でも精度のよい打設が可能である。

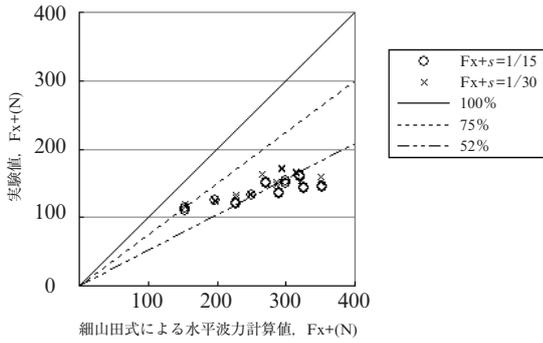


図 12 「GENROU®」の押し波による水平波力実験値と計算値の関係 (実験模型長さ 48 cm 当たり)

Fig. 12 Experimental horizontal wave force vs. Calculated one (L=48 cm)

表 4 「GENROU®」の適用範囲

Table 4 Scope of application

項目	適用範囲
水深	5~15 m
海底勾配	1/15 以下
消波および波力低減率の対象波浪	通常時 潮位: L. W. L.~H. W. L. 波高: 1.5 m~4 m, 周期: 6~16 s
	高潮位・高波浪時 潮位: H. W. L.~H. H. W. L. 設置位置における波形勾配 H_p/L_p : 0.08 以下
	波力低減率 潮位: L. W. L.~H. H. W. L. 設置位置における波形勾配 H_p/L_p : 0.08 以下

(2) 上部工は、ジャケットとは別途製作し、据付する。別途製作のため、斜面板上面が水平になるようなコンクリート打設が可能となり、コンクリートの品質向上を図ることができる。

(3) 上部工、下部工に分けて施工するため、据付用の起重機船を小さくすることができる。

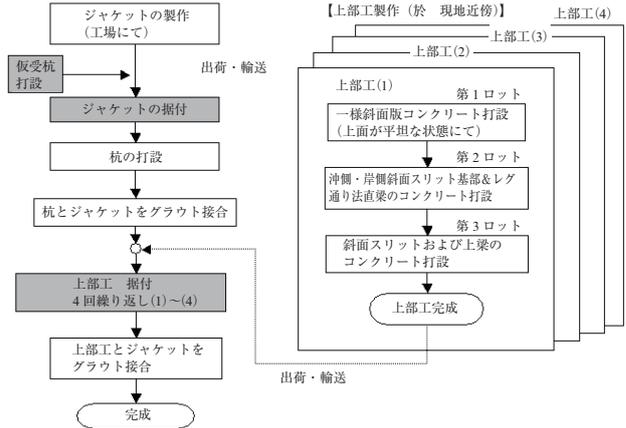


図 13 「GENROU®」の施工手順

Fig. 13 Construction process

6. おわりに

「GENROU®」は、目標性能を水理模型実験により確認し、2011年3月に(財)土木研究センターの建設技術審査証明を取得しており、採用に向け技術提案を積極的に展開中である。

参考文献

- 1) MMZ 計画策定手引き (案). 土木研究所集報. 建設省土木研究所, 1992, vol. 57.
- 2) 合田良美ほか. 不規則波実験における入・反射波の分離推定法. 港湾技研資料. 1976, no. 248.
- 3) 細山田得三ほか. 離島港湾における上部斜面堤の適用性について. 第41回海岸工学講演会論文集. 1994.



辻岡 和男



海老原俊広



本田 秀樹