

沖合養浜工法の断面実験に関する研究

EXPERIMENTAL STUDY FOR OFFSHORE ARTIFICIAL NOURISHMENT METHOD

田中博通¹・川口達矢²・本田秀樹³・鈴木操⁴

Hiromichi TANAKA, Tatsuya KAWAGUCHI, Hideki HONDA and Misao SUZUKI

¹正会員 工博 東海大学教授 海洋学部 (〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1)

²正会員 工修 東海理機株式会社 沼津営業所 (〒410-0059 静岡県沼津市若葉町10-18)

³正会員 工修 JFE技研(株) 土木・建築研究部 (〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1-1)

⁴正会員 工修 JFEスチール(株) 資源循環推進部 (〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-3)

An offshore artificial nourishment method is one of the countermeasures against beach erosion. In this method, it is necessary to prove the condition that nourishment materials move toward onshore, the validity of artificial nourishment, and the shoreline change against a volume of supplied sand. To do three-dimensional experiment, the authors proved the condition that nourishment materials move toward onshore.

In this paper, through the dimensional experiment for an offshore artificial nourishment method, we proved the shoreline change had relation to a volume of supplied sand.

Key Words : artificial nourishment method, hydraulic test, shoreline change, Iron and steel slag

1. はじめに

海岸侵食対策工法のひとつとして, 沖合に養浜材を投入する養浜工法があげられる(以後, 沖合養浜工法と記述)。これは, 海上輸送した養浜材を移動限界水深よりも浅い海域に直接投入して, 波浪運動を利用することで, 養浜材を岸方向へ移動させるものである。

このような養浜工法について, 数値解析や現地試験が行われており, 宇多ら¹⁾は平衡勾配の観点から養浜材の必要粒径, 田島ら²⁾は養浜材の移動・拡散状況を明らかにしている。著者ら³⁾は, 平面水槽実験を行い, 堀川ら⁴⁾の提案している海浜形状の分類指標において, 前進～中間条件となるような養浜材粒径を用いると, 沖合に投入した養浜材が岸方向へ移動することを明らかにした。ところが, 平面水槽実験では, 沖合養浜材の移動条件は把握できたが, 養浜効果を示す汀線変化量に対して, 沿岸漂砂と沖合養浜材による岸沖漂砂が含まれるため, 沖合養浜材による汀線変化量を評価することができなかった。

本研究では, 沖合に投入した養浜材による汀線変化量を定量的に把握することを目的として断面実験を実施した。

2. 実験概要

(1) 実験対象断面

実験対象断面を図-1に示す。海底勾配1/30として, 汀線から250cm沖合の水深8.3cm地点に天端幅66.7cm, 100.0cmとなるように養浜材を台形形状に設置した断面, および, 養浜材を設置しない断面とした。

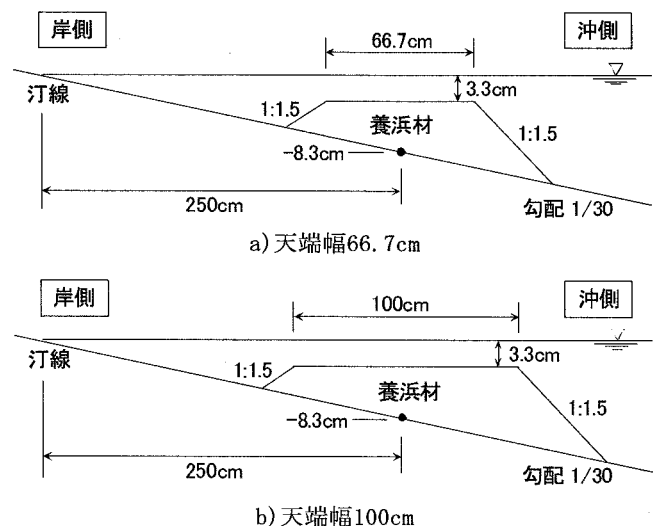


図-1 実験対象断面

(2) 実験条件と実験ケース

実験は、縮尺1/60として、Bretschneider-光易型を目標スペクトルとする不規則波を作用させて実施した。波浪条件は、有義波高4.2cm, 8.0cm, 有義周期1.0sとした。これは、フルード相似則を適用すると、現地で有義波高2.5m~4.8m, 周期7.8sの波浪に相当する。海底面は移動床実験とするため、中央粒径0.5mmのケイ砂（比重2.65）を用い、1/30勾配に作成した。今回の波浪条件に対して、堀川らの海浜形状の分類指標を用いると、移動床とした海底地形部分は、有義波高4.2cmで前進条件、有義波高8.0cmでは中間条件となる。

今回行った実験ケースを表-1に示す。養浜材は、海浜形状の分類指標が前進、中間、後退となるように、中央粒径0.5mm, 0.09mmの2種類のケイ砂を用いた。設置した養浜材の天端幅は、養浜量に対する汀線変化を把握するため、2種類（66.7cm, 100.0cm）とした。さらに、今後の養浜材料としての利用を想定して、中央粒径0.5mmのケイ砂と同じ粒径分布に調整した高炉水砕スラグ材料（比重2.65）を用いたケース、および、移動床とした海底地形の変化をみるため養浜材なしのケースについても実験を行った。

表-1 実験ケース

ケース	波浪	沖合養浜材(粒径) 天端幅	沖合養浜材の 海浜形状分類
ケース1	$H_{1/3}=4.2\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	なし	なし
ケース2	$H_{1/3}=8.0\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	なし	なし
ケース3	$H_{1/3}=4.2\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	ケイ砂(0.5mm) 天端幅66.7cm	前進 ($C=2.35$)
ケース4	$H_{1/3}=8.0\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	ケイ砂(0.5mm) 天端幅66.7cm	中間 ($C=4.48$)
ケース5	$H_{1/3}=8.0\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	ケイ砂(0.09mm) 天端幅66.7cm	後退 ($C=14.13$)
ケース6	$H_{1/3}=4.2\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	ケイ砂(0.5mm) 天端幅100.0cm	前進 ($C=2.35$)
ケース7	$H_{1/3}=8.0\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	ケイ砂(0.5mm) 天端幅100.0cm	中間 ($C=4.48$)
ケース8	$H_{1/3}=4.2\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	水砕スラグ(0.5mm) 天端幅66.7cm	前進 ($C=2.35$)
ケース9	$H_{1/3}=8.0\text{cm}$ $T_{1/3}=1.0\text{s}$	水砕スラグ(0.5mm) 天端幅66.7cm	中間 ($C=4.48$)

(3) 実験方法

二次元造波水路（長さ52.0m×幅1.0m×深さ1.5m, 鋼製一部片面ガラス張り）を用いて実験を行った。

実験では、波作用前、不規則波作用1.55時間後、3.1時間後、6.2時間後、12.4時間後、18.6時間後に地形変化を計測した。地形変化の測定位置は、養浜工中央～沖側（造波装置側）の2.0m, 養浜工中央～汀線の2.5m, 汀線～岸側の1.3mであり、岸沖方向に10cm間隔とした。また、水路幅方向には、25cm間隔で3ヶ所の測定を行った。地形変化量の測定位置を図-2、沖合養浜材の設置状況を写真-1に示す。

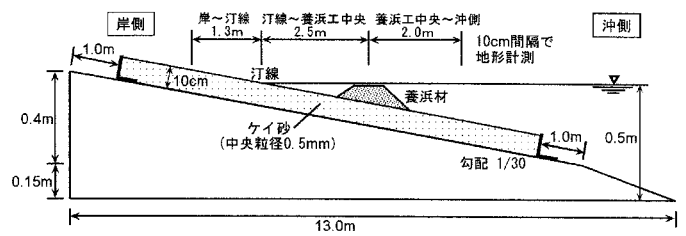


図-2 地形変化量の測定位置

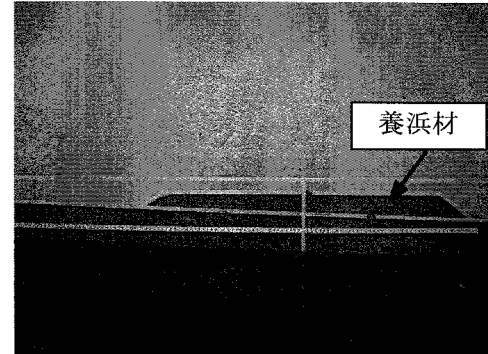


写真-1 養浜材の設置状況

3. 実験結果

(1) 海底地形の変化

a) ケース1, ケース2の海底地形変化

養浜材なしで行ったケース1, ケース2の海底地形変化を図-3, 図-4に示す。縦軸の海底面標高は、初期地形、波作用1.55時間後、6.2時間後、18.6時間後において、水路幅方向3ヶ所で計測した平均値を示している。今回は移動床実験としたことから、養浜材なしでも海底地形が変動していた。海浜形状の分類が前進条件となるケース1では約33cmの汀線前進、中間条件のケース2では約40cmの汀線前進であった。

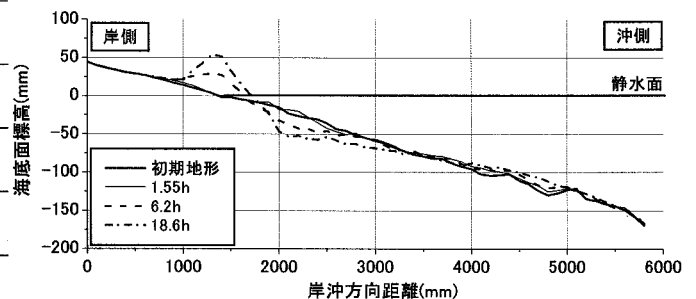


図-3 海底地形変化（ケース1）

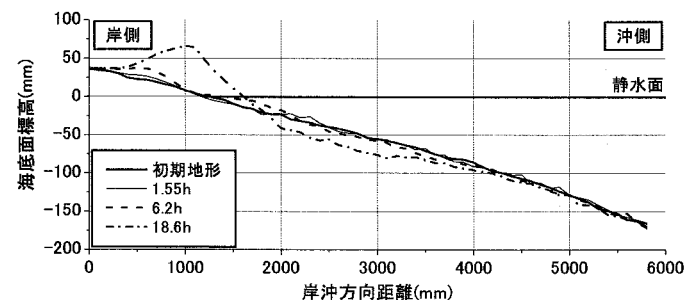


図-4 海底地形変化（ケース2）

b) ケース3, ケース4, ケース5の海底地形変化

沖合に天端幅66.7cmの養浜材を設置したケース3, ケース4, ケース5の海底地形変化を図-5, 図-6, 図-7に示す。海浜形状の分類が前進となるケース3, 中間となるケース4では, 沖合の養浜材が岸方向へ移動していることがわかる。波作用18.6時間後における汀線前進は, ケース3で約70cm, ケース4で約63cmであった。一方, 後退条件となるケース5の場合, 養浜材は最初の設置位置よりもさらに沖合に流出しており, 波作用1.55時間後には沖合に砂州(バー)ができていることがわかる。図-7の結果から, 汀線は約23cm前進しているが, これは同じ波浪条件の実験結果を示した図-4のように, 養浜材なしでも汀線変化が生じるためである。

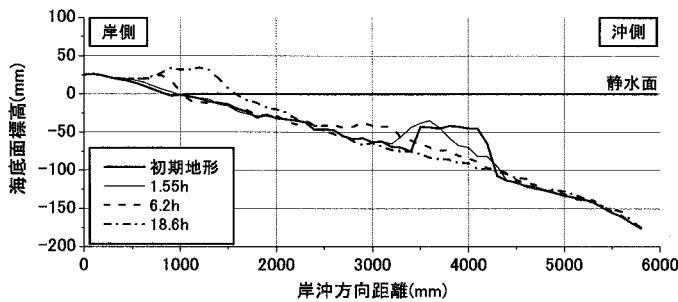


図-5 海底地形変化 (ケース3)

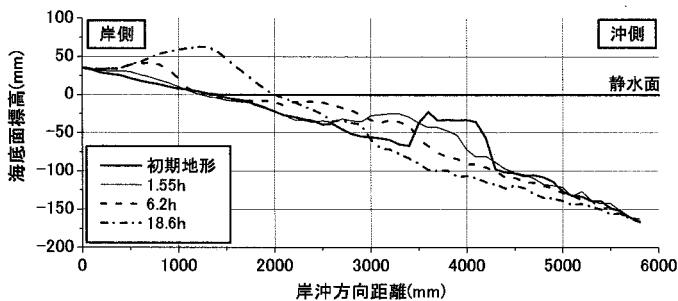


図-6 海底地形変化 (ケース4)

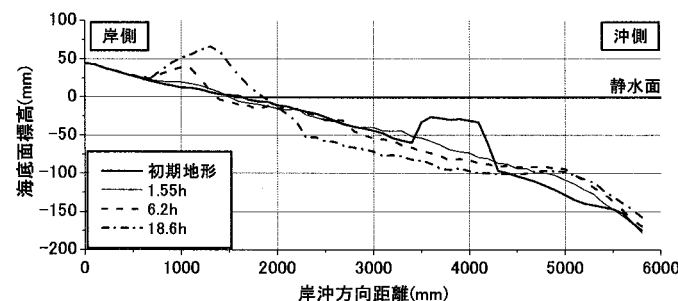


図-7 海底地形変化 (ケース5)

c) ケース6, ケース7での海底地形変化

沖合に天端幅100.0cmの養浜材を設置したケース6, ケース7の海底地形変化を図-8, 図-9に示す。前進条件のケース6, 中間条件であるケース7の養浜材は, ともに岸方向へ移動している。波作用18.6時間後における汀線前進は, ケース6で約120cm, ケース7で約77cmであり, 同じ波浪条件, 天端幅66.7cmで行ったケース3, ケース4と比較して汀線変化量が増加していることがわかる。

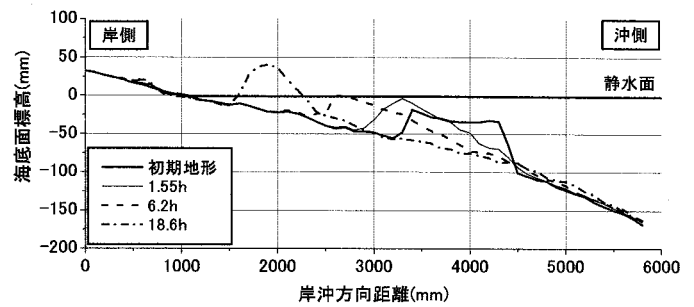


図-8 海底地形変化 (ケース6)

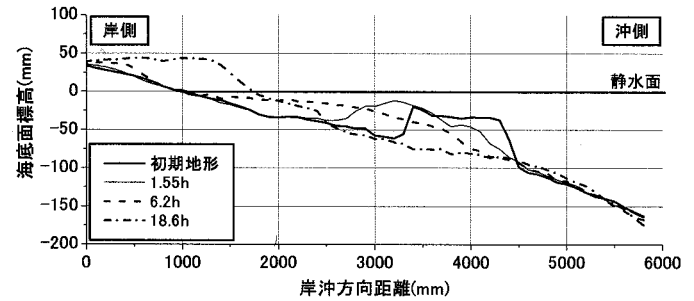


図-9 海底地形変化 (ケース7)

d) ケース8, ケース9での海底地形変化

ケース3, ケース4の比較として, 養浜材料に高炉水砕スラグ材料(ケイ砂と同じ比重, 粒径分布に調整)を用いたケース8, ケース9の海底地形変化を図-10, 図-11に示す。養浜材の移動状況は, ケイ砂の場合と同様であり, 前進条件のケース8, 中間条件のケース9において岸方向へ移動していた。汀線前進量も, ケース8で約87cm, ケース9で約70cmであり, ケイ砂を用いた同条件のケース3(約70cm), ケース4(約63cm)と同程度であった。

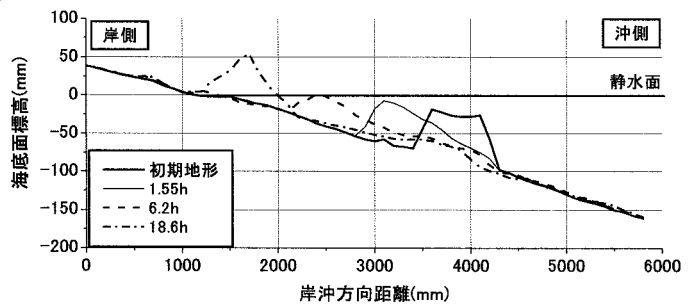


図-10 海底地形変化 (ケース8)

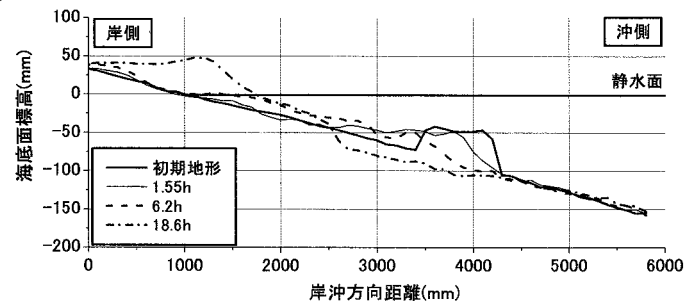


図-11 海底地形変化 (ケース9)

(2) 汀線変化量の推定

a) 汀線変化量の実験結果

今回実施した実験ケースの汀線変化量をまとめて表-2に示す。汀線変化量は、図-3～図-11の海底地形変化から算定しており、移動床とした海底地形の変化と沖合養浜材による変化の合計値である。汀線変化量と養浜断面積の関係を図-12に示す。その結果、海浜形状の分類が前進条件、中間条件では、養浜断面積（養浜量）に比例して、汀線変化量も増加傾向を示すことがわかる。一方、後退条件では、海底地形の変化のため汀線が約23cm前進しているが、同じ波浪条件で沖合養浜を行わないケース2において、汀線が約40cm前進していることを考慮すると、沖合養浜材は汀線前進に寄与していないと考えられる。

表-2 汀線変化量の実験結果

ケース	沖合養浜材の 海浜形状分類	養浜断面積 (cm ²)	汀線変化量 (cm)
ケース1	なし	なし	33
ケース2	なし	なし	40
ケース3	前進	375	70
ケース4	中間	375	63
ケース5	後退	375	23
ケース6	前進	546	120
ケース7	中間	546	77
ケース8	前進	375	87
ケース9	中間	375	70

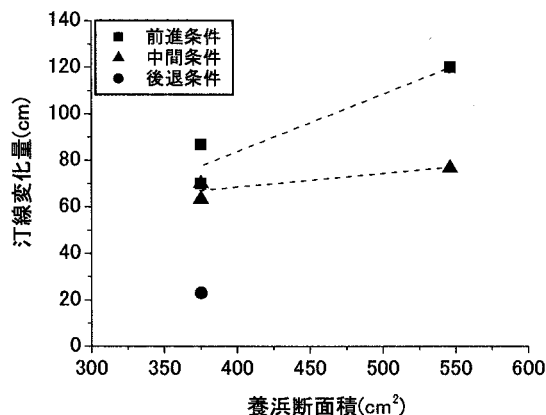


図-12 汀線変化量と養浜断面積の関係

b) 沖合養浜を行った場合の汀線変化量の推定

今回の実験結果から、沖合に養浜材を設置した場合の汀線変化量の推定式を試みた。堀川ら⁵⁾は、一樣勾配斜面における汀線変化量推定式として、波浪・底質粒径・海底勾配をパラメーターに式(1)を提案している。はじめに、養浜なしのケース1、ケース2の汀線変化量の実験値と式(1)を用いた計算値を比較した。その結果、ケース1、ケース2の実験値は計算値の0.4倍程度であった。この相違は、式(1)が規則波実験結果に基づいているのに対して、今回は不規則波実験を行っているためと考えている。

養浜なしの条件は2ケースであるが、今回の汀線変化量の実験結果は式(1)で表現できるものと判断し、式(1)を基本に養浜を行った場合の汀線変化量推定式を導いた。

$$\frac{X_s}{L_0} = 0.15 \left(\frac{H_0^2}{g \cdot T^2} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{\tan \beta} \right)^{0.75} \times \left\{ 1.0 - \log_{10} \left(\frac{H_0 \cdot \tan \beta}{d} \right) \right\} \quad (1)$$

沖合に養浜材を設置した場合の汀線変化量は、養浜量（養浜断面積）の影響を受けることが図-12からわかる。また、養浜材の設置位置（汀線からの距離）も汀線変化に影響すると考えられる。そこで、堀川らの提案している式(1)に養浜断面積と養浜材設置位置を考慮することにした。

汀線変化量の推定モデルを図-13に示す。初期汀線から沖合養浜材の設置中央点までを X_D 、実験後の汀線位置から養浜材の設置中央点までを X_L 、汀線の変化量を X_s とした。実験後の汀線位置と沖波波長の比である X_L/L_0 と底面流速、粒径、海底勾配を考慮した無次元量 $(H^2/g \cdot T^2) (1/d) (1/\tan \beta)$ の関係を図-14に示す。図中の直線は式(2)で表すことができる。

$$\frac{X_L}{L_0} = 1.22 \left(\frac{H_{1/3}^2}{g \cdot T^2} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{\tan \beta} \right)^{0.01} \quad (2)$$

ここで、 L_0 ：沖波波長、 $H_{1/3}$ ：沖波の有義波高、 T ：有義波周期、 g ：重力加速度、 d ：養浜材粒径、 $\tan \beta$ ：海底勾配

さらに、汀線変化量を示す X_D/X_L と粒径に対する波高の比、初期勾配、沖合への養浜量（養浜断面積 A ）と養浜材位置（汀線から養浜材位置までの距離 l ）を考慮した $((H \times \tan \beta)/d) (A/l^2)$ の関係を図-15に示す。図中の直線は式(3)となる。

$$\frac{X_D}{X_L} = 0.94 - 0.32 \log_{10} \left(\frac{H_{1/3} \cdot \tan \beta}{d} \cdot \frac{A}{l^2} \right) \quad (3)$$

汀線変化量 $X_s = X_D - X_L$ に式(2)、式(3)を代入すると、汀線変化量 X_s は、式(4)で表すことができる。沖合養浜を行ったときの汀線変化量の実験値と式(4)による計算値の比較を図-16に示す。その結果、推定式で求めた値と実験結果はよく一致していることがわかった。

$$\begin{aligned} \frac{X_s}{L_0} &= \frac{X_L}{L_0} \left(\frac{X_D}{X_L} - 1 \right) \\ &= 1.22 \left(\frac{H_{1/3}^2}{g \cdot T^2} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{\tan \beta} \right)^{0.01} \\ &\quad \times \left\{ -0.06 - 0.32 \log_{10} \left(\frac{H_{1/3} \cdot \tan \beta}{d} \cdot \frac{A}{l^2} \right) \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 A ：沖合の養浜断面積、 l ：初期汀線から沖合養浜材までの距離

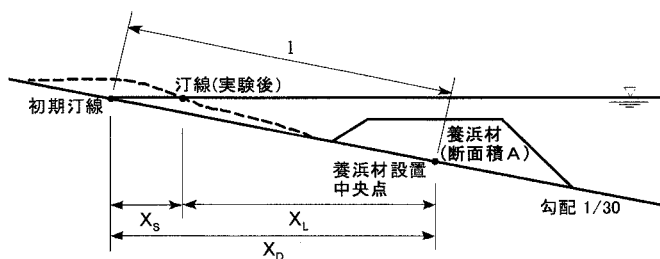


図-13 汀線変化量の推定モデル

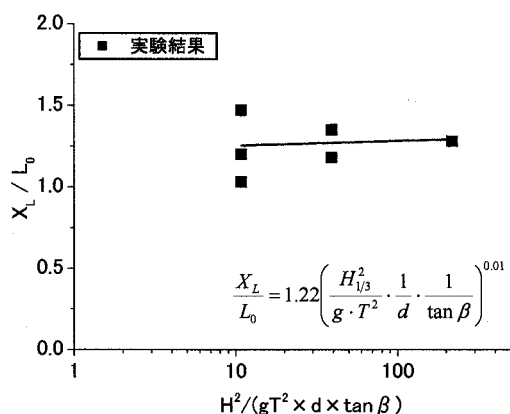


図-14 X_L/L_0 と $(H^2/gT^2) (1/d) (1/\tan \beta)$ の関係

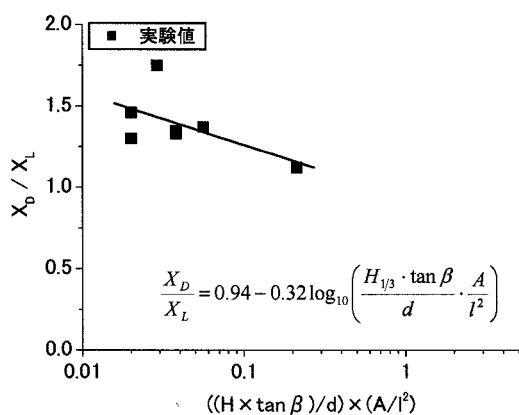


図-15 X_D/X_L と $((H \times \tan \beta)/d) (A/l^2)$ の関係

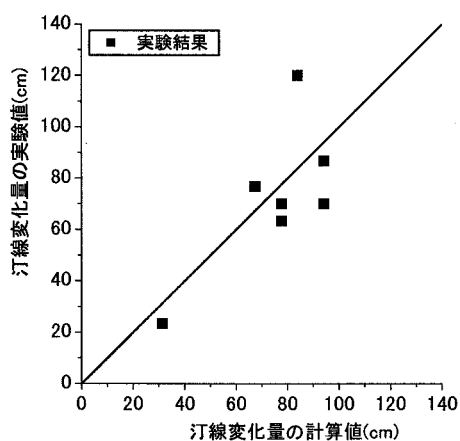


図-16 汀線変化量推定式の実験値と計算値の比較

4. まとめ

海岸侵食対策のひとつである沖合養浜工法について、養浜材の移動状況、養浜量に対する汀線変化量を把握する目的で、不規則波条件において、移動床とした断面実験を実施した。主要な結論を以下に示す。

1) 沖合に設置した養浜材は、海浜形状の分類指標が前進条件、中間条件において岸方向へ移動し、汀線の前進に寄与することがわかった。また、同じ中央粒径、粒径分布に調整した高炉スラグ材料を用いた場合においても、同様の結果であった。

一方、後退条件の場合、波作用1.55時間後に養浜材はさらに沖合に流出して砂州を形成していた。実験結果（表-2，ケース5）では、波作用後の汀線は前進しているが、これは移動床とした海底地形が変化したためである。

2) 沖合に設置する養浜量を2種類に変えた実験を行った結果、沖合養浜量に比例して汀線変化量も増加傾向を示すことがわかった。

3) 今回の実験結果から、沖合養浜を行った場合の汀線変化量の推定式を提案した。これは、堀川らが提案している一様勾配斜面での汀線変化推定式に、沖合の養浜量（岸沖方向の養浜断面積）と養浜材の設置位置を考慮したものである。提案した推定式が算定した計算値と今回の実験値を比較したところ、両者はよく一致していることがわかった。

参考文献

- 1) 宇多高明，清野聡子，大矢忠一，安田武夫，高橋功，古池鋼，星上幸良：沖合投入土砂の養浜効果予測手法の開発，海岸工学論文集，第52巻，pp. 641-645，2005。
- 2) 田島芳満，小塚将之，水流正人，石井敏雅，坂上武晴，百瀬和夫，三村信男：海域還元砂の最適な投入地点の選定手法に関する研究，海岸工学論文集，第53巻，pp. 656-660，2006。
- 3) 田中博通，本田秀樹，鈴木操，川口達矢：潜堤式養浜工法の検討，海岸工学論文集，第53巻，pp. 671-675，2006。
- 4) 堀川清司，砂村継夫，近藤浩右，岡田滋：波による二次元汀線変化に関する一考察，第22回海講論文集，pp. 329-334，1975。
- 5) 堀川清司，砂村継夫，近藤浩右：波による二次元海浜変形に関する実験的研究，第21回海講論文集，pp. 193-199，1974。