

大潮差海域における幅広潜堤に用いる被覆ブロックの開発

Development of Armor Blocks to Use for
Submerged Breakwaters in Large Tidal Zones

奥 蘭 英明*・阿 部 孝行*・矢 島 昭弘**・我 原 弘昭**

Hideaki Okuzono, Takayuki Abe, Akihiro Yajima and Hiroaki Gahara

Submerged breakwaters are important coastal structures that protect seashore from waves. The transmission coefficient increases at high tide in large tidal zones.

So, when the water depth is large over the submerged breakwater, effective armor blocks are developed. Eddies form between the ripple-type armor blocks during the onshore and offshore semiorbital wave motions. Incident waves reduce these eddies over the armor blocks, and transmission coefficient becomes small.

Keywords; Submerged breakwater, Armor block, Transmission coefficient

1. はしがき

周囲を海に囲まれた我が国では、潜堤は高潮、波浪、侵食などの海岸災害防止に、また一般に海面下に位置するので景観を損なうことがなく、安全な人工レクリエーション空間の提供や、海水交換、魚礁効果など優れた機能を発揮することにより高い評価を得てきた¹⁾。

しかし潮位変化の大きいところでは、満潮時に潜堤の天端上水深が大きくなり、十分な消波効果が得られない^{2), 3)}。そこで本研究では、大潮位時でも消波効果を発揮するような砂漣をイメージした新たな被覆ブロックを用いた潜堤を考案した。

砂漣は周知のように、波や流れによって海底にできる小さな波状形の起伏であるが⁴⁾、海底での流れの方向が岸向きや沖向きに変化することにより、砂漣の凹部近傍では浮遊砂が水粒子とともに渦を巻く⁵⁾。

ここでは、潜堤天端に用いる被覆ブロックとして砂漣形状を持つものを考え、潜堤上に入射波が進行するに当たってブロック凹部で渦が発生し、波のエネルギーを減衰させることにより、天端上水深が大きくなった場合にも伝達率を小さくできる潜堤を開発することを目的として実験的研究を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験は、図-1に示すような、吸収式造波装置をもつ水路長17.8m、水路幅40cm、水路高70cmで一部両面ガラス張りの2次元水槽で行った。勾配1/20の鋼板製のスロープに続く高さ30cmの水平床の上に、基礎捨石と模型ブロックからなる潜堤を設置した。模型縮尺は1/50を想定し、潜堤の高さ10cm、天端幅は $B=77\text{cm}$ と一定とした。

模型潜堤は合板とモルタルに

より、図-2に示すような従来型のXブロック潜堤²⁾と、今回考案の鋸刃型と波状型および他者により研究例⁶⁾のある垂直壁連続型を作製した。なお、すべての実験において、法面勾配1:1.5の部分と潜堤前後端部はXブロックにより被覆した。

波高測定には容量式波高計を用い、伝達波高は潜堤の天端後端より110cmと180cmの位置で、入射波高は造波

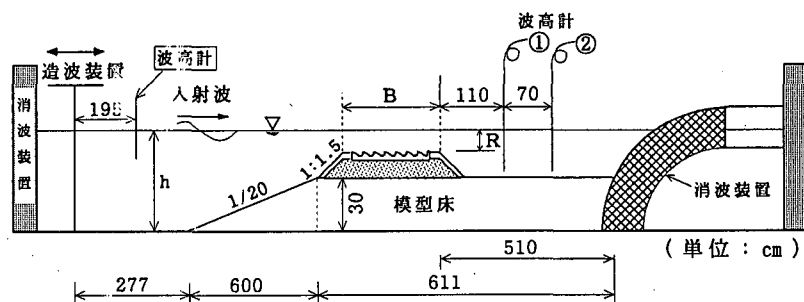


図-1 実験装置概略

* 正会員 九州産業大学工学部土木工学科 (813 福岡市東区松香台2丁目3番1号)

** 正会員 株式会社テトラ

板前面より195cm位置で測定した。
入射波はすべて規則波とし、伝達波高と入射波高の比より伝達率を求めた。

砂漣の形状は海底付近での水粒子の運動と密接に関係することにより、ここでは伝達率測定実験に先立ち、砂漣形状を有するブロック模型の最適な波長 λ と凹部の深さ η の概略値を得るために、潜堤上での水粒子の水平移動距離測定実験を行った。使用した堤体はXブロック列であり、実験条件は、水深 $h=46\text{cm}$ 、周期 $T=0.849, 1.131, 1.414\text{sec}$ の3ケース、入射波高を $H_i=4\text{cm}\sim 14\text{cm}$ の間で4ケースとした。実験は8mmビデオカメラを用いることにより、天端上での入射波の一周期あたりの水粒子の水平距離 d_o (cm) を求めた。

この実験結果を基に、模型作製の容易さを考慮して、図-2に示すような鋸刃型を基本型として、模型の波長を $\lambda=7, 8.5, 10, 11.5\text{cm}$ 、凹部の深さを $\eta=2, 3, 4\text{cm}$ として製作した。また、模型は個々のブロックとせず一体構造とした。この点は実際に現地で用いる場合とは異なる。

この他、鋸刃型の実験結果を参考に模型波長 $\lambda=8.5\text{cm}$ 、凹部の深さ $\eta=3\text{cm}$ の波状型と垂直壁連続型の模型を加え、全体で10種類の潜堤模型を製作し伝達率測定実験を行った。実験条件は、水深 $h=44, 46\text{cm}$ 、周期 $T=0.849, 1.131, 1.414\text{sec}$ の3ケース、入射波高は $H_i=4\sim 14\text{cm}$ の間で7ケースとした。また、波状型潜堤において天端上の水面波形と水粒子の移動形態を8mmビデオカメラを用いて測定した。

3. 実験結果と考察

図-3は、横軸を入射波高 H_i (cm)として水粒子の水平移動距離 d_o (cm)を示す。水深は $h=46\text{cm}$ 、天端上水深は $R=6\text{cm}$ 、周期は $T=0.849, 1.131, 1.414\text{sec}$ である。

各周期について、 d_o は H_i によらずほぼ一定値となり、○印の周期 $T=0.849\text{sec}$ では $d_o=10.3\text{cm}$ 、□印の周期 $T=1.131\text{sec}$ では $d_o=11.5\text{cm}$ 、△印の周期 $T=1.414\text{sec}$ では $d_o=14.7\text{cm}$ となる。すなわち、周期が長くなるに従って d_o は、大きくなっている。

図-4は、横軸を入射波高 H_i (cm)として鋸刃型堤体の伝達率 K_t を示している。水深 $h=46\text{cm}$ 、天端上水深 $R=6\text{cm}$ 、周期 $T=1.131\text{sec}$ 、模型波長 $\lambda=8.5\text{cm}$ において、模型凹部の深さを $\eta=2, 3, 4\text{cm}$ とした。伝達率 K_t は、入射波高が大きくなるに従って小さくなっているが、入射波高が $H_i=5\text{cm}$ を除いて、△印の $\eta=3\text{cm}$ の K_t が他と比べて小さくなっている。 $\eta=4\text{cm}$ では深すぎるため渦が発生しにくく、 $\eta=2\text{cm}$ では、渦は発生するが、渦の大きさよりも凹部が小さく伝達率が小さくなっている。

図-5は、水深 $h=46\text{cm}$ 、天端上水深 $R=6\text{cm}$ 、周期 $T=1.414\text{sec}$ における模型凹部の深さ $\eta=3\text{cm}$ で、模型波長

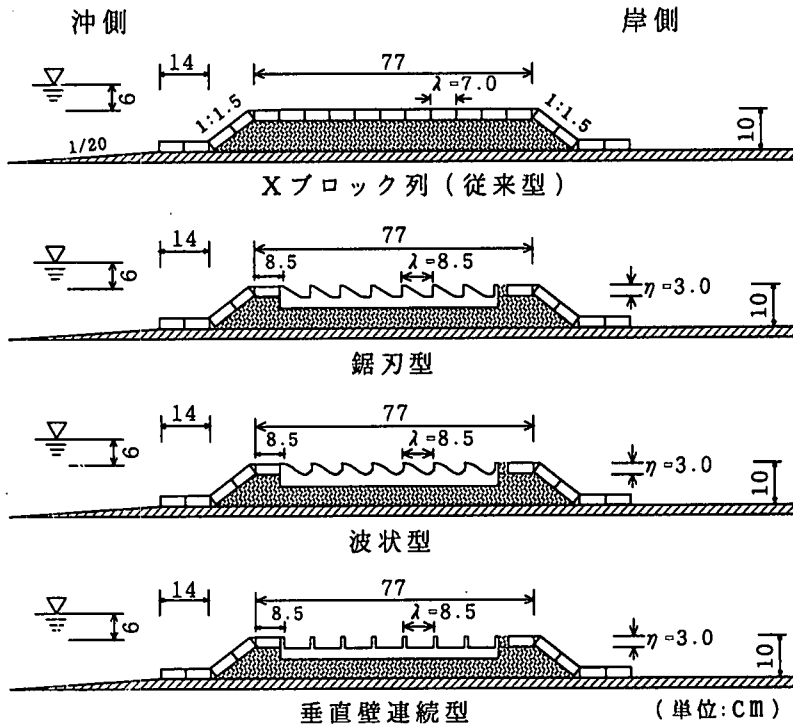


図-2 堤体詳細図

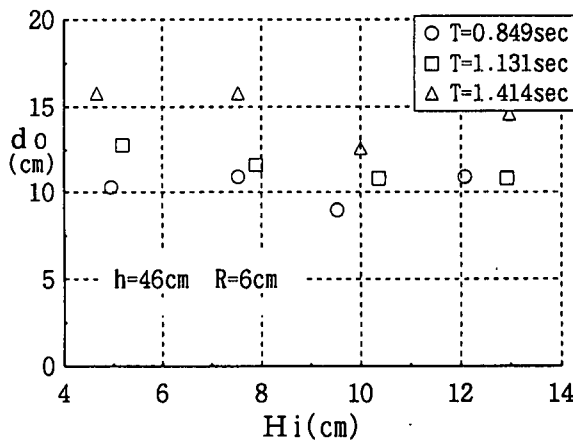


図-3 天端上の水粒子の水平移動距離

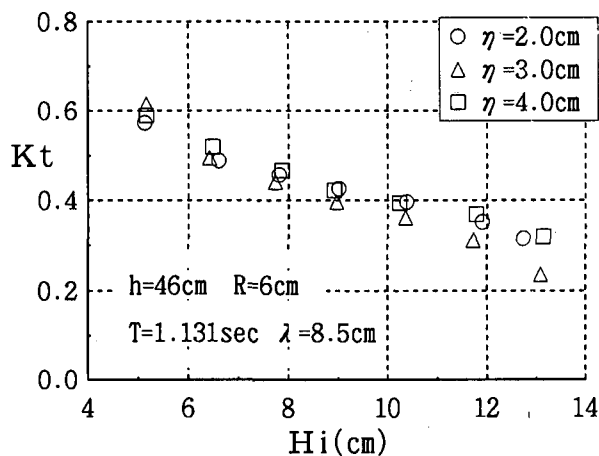


図-4 η を変化させたときのKtの比較（鋸刃型）

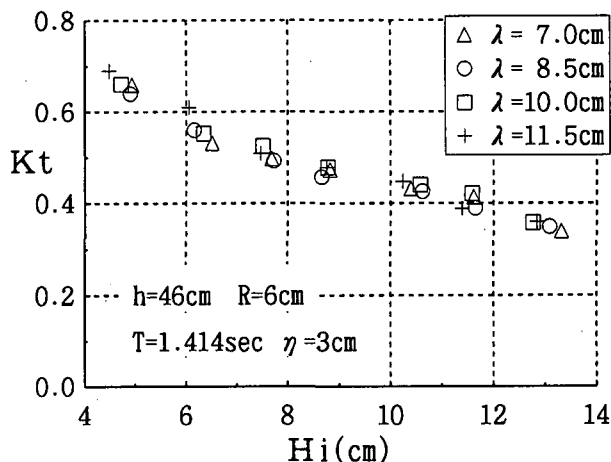


図-5 λ を変化させたときのKtの比較（鋸刃型）

λ を7, 8.5, 10, 11.5cmと変化したときのKtを示す。すべての λ に対して、入射波の波長が長く、水粒子の移動距離 d_0 に対応していないため、Ktはほぼ同程度の値を示している。

図-6の周期 $T=1.131\text{sec}$ では、□印の $\lambda=10\text{cm}$ と、○印の $\lambda=8.5\text{cm}$ のKtが比較的小さくなっている。

図-7の周期 $T=0.849\text{sec}$ では、この傾向が強く現れ、特に入射波高10cm以上では、 $\lambda=8.5\text{cm}$ の伝達率が小さくなっている。このように、入射波の条件と、模型形状を対応させれば、天端上水深が深いにもかかわらず伝達率は小さくなる傾向にある。

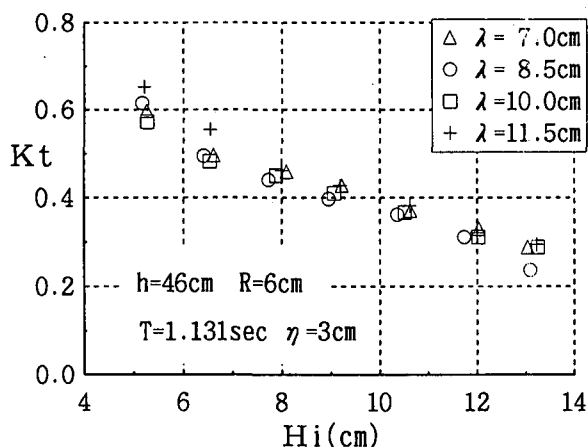


図-6 λ を変化させたときのKtの比較（鋸刃型）

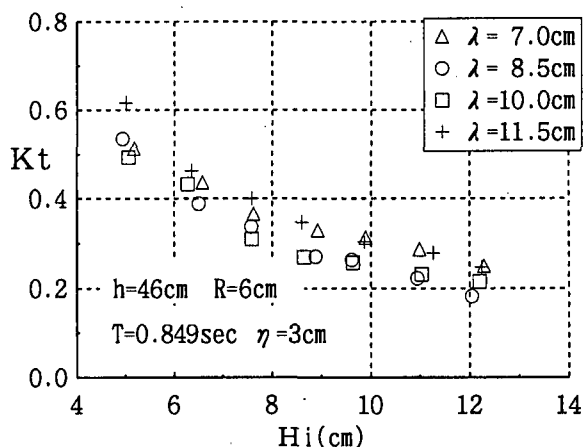


図-7 λ を変化させたときのKtの比較（鋸刃型）

図-8は、水深 $h=46\text{cm}$ 、天端上水深 $R=6\text{cm}$ 、周期 $T=1.414\text{sec}$ における模型凹部の深さ $\eta=3\text{cm}$ の時の模型形状の違いによるKtを比較したものである。●印はXブロック列、×印は垂直壁連続型、○印は鋸刃型、△印は波状型である。 $Hi=8\text{cm}$ 付近で、この4堤体のKtはほぼ同様の傾向を示すが、入射波高が10cm以上になると鋸刃型と波状型のKtが小さくなっている。

図-9, 10は、同様に周期 $T=1.131$ と 0.849sec の模型形状の違いによるKtの比較を示す。鋸刃型と波状型のKtは入射波高にかかわらず、従来型のXブロック列のそれよりも小さくなる。特に、入射波高が大きいほどこの傾向が強く現れる。

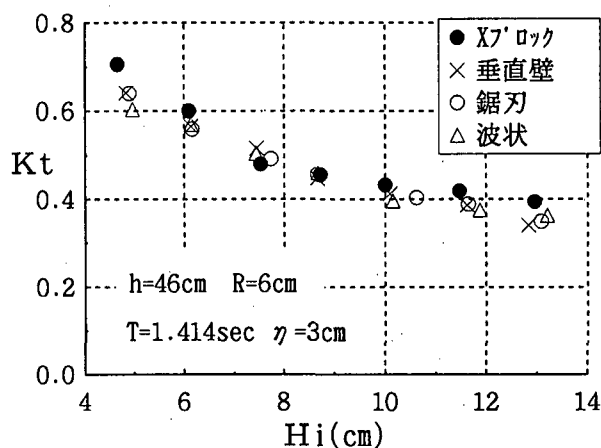


図-8 模型形状を変化させたときのKtの比較

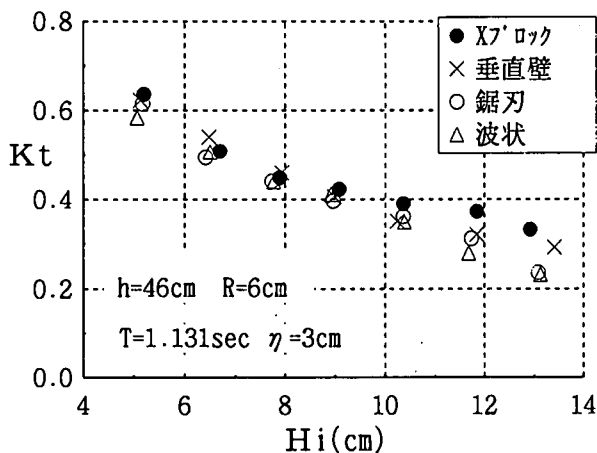


図-9 模型形状を変化させたときのKtの比較

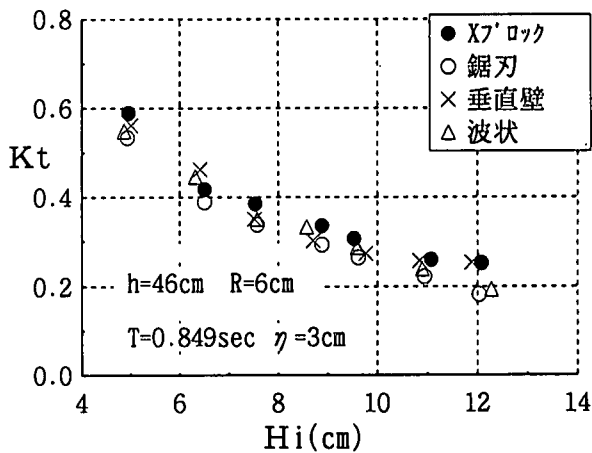


図-10 模型形状を変化させたときのKtの比較

図-11は、水深が $h=44\text{cm}$ で、天端上水深を $R=4\text{cm}$ と浅くしたときの、Xブロック列と波状型 ($\lambda=8.5\text{cm}$ 、 $\eta=3\text{cm}$) のKtを示す。

周期 $T=1.414\text{sec}$ の時の入射波高 $8\text{cm}\sim 12\text{cm}$ について、伝達率は波状型の方が小さいものの、 $T=1.131\text{sec}$ の時を含めて全体的には両者の伝達率はほとんど変わらない。前述の天端上水深が $R=6\text{cm}$ の場合とは傾向が異なり、興味深い。この点については、更に実験を重ね検討する必要がある。

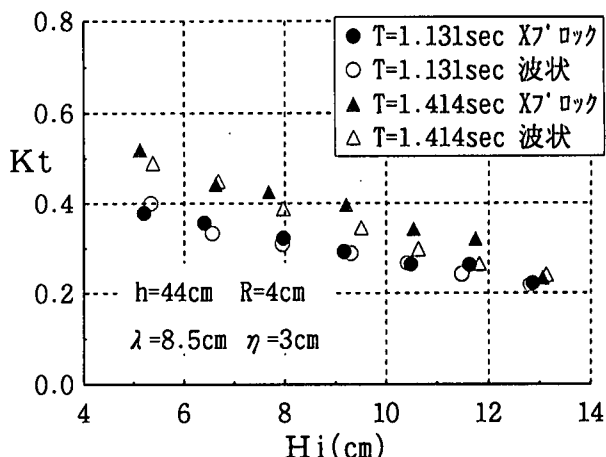


図-11 周期,模型形状の変化によるKtの比較

4. 水面波形と水粒子の移動

波状型堤体 ($\lambda=8.5\text{cm}$ 、 $\eta=3\text{cm}$) における水面波形と水粒子の移動について一周あたり波の山と谷が潜堤上を通過するときの2つに分け、模型凹部近傍で渦がどのように発生し、波のエネルギーが減衰するかを実験により調べた。実験条件は、水深 $h=46\text{cm}$ 、天端上水深 $R=6\text{cm}$ 、周期 $T=1.131\text{sec}$ 、入射波高 $Hi=5.1\text{cm}$ とした。

測定は、造波開始後、4波目から安定した波の入射時に比重0.93のペイント吹き付けのプラスチック粒子を散布し、砕波時の水面波形と水粒子の動きを8mmビデオカメラに収録した。モニター上に添付した透明紙により求めた水粒子の移動は、砕波地点の前後にあたる潜堤沖側端から3番目から6番目までの波状凹部とし、ここでは5番目の部分について示す。波の動きは、ビデオにより1周期あたり33コマ(1秒間に30コマ)の波形が記録できるため、水面波形は凹部3番目を波の山が通過する時を1として、1~29までを4つおきに8個示した。

図-12に示すように、波の山が潜堤上を通過するとき、波状型堤体の凹部で時計回りの渦が発生していることが分かる。また、図-13に示すように波の谷の時は、天端上の水粒子は全体的に冲向きであるため、凹部では反時計回りの渦が発生している。このように、波の山と谷が通過するとき、凹部で相反する向きを持つ渦が発生することにより、波のエネルギーが減衰し、伝達率が低下すると考えられる。

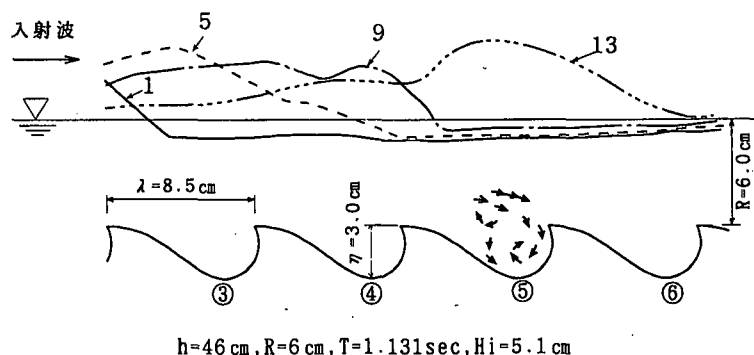


図-12 波の山が⑤を通過するときの水面波形と水粒子の動き

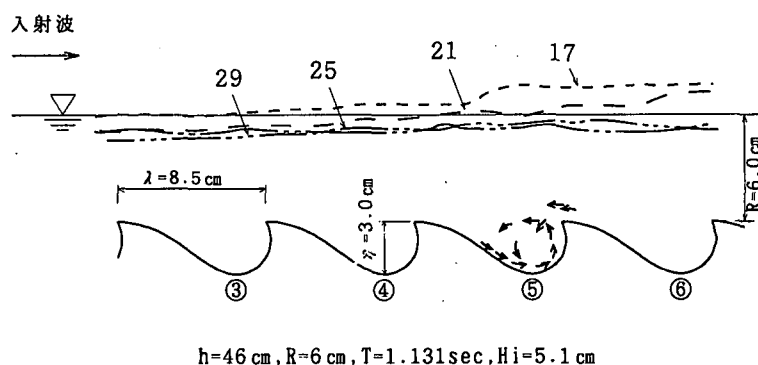


図-13 波の谷が⑤を通過するときの水面波形と水粒子の動き

5. むすび

今回の実験条件である、海底勾配1/20の海域に設置された、潜堤高さ5m（縮尺を1/50と想定しているので、現地寸法で示す。以下同じ。）、天端幅40m、天端上水深3mの潜堤において、周期 $T=6\sim 10$ 秒、入射波高 $H_i=2\sim 7$ mの波に対して、ブロック波長 $\lambda=4$ m、ブロック凹部の深さ $\eta=1.5$ m程度の波状型または鋸刃型の被覆ブロック列（ここでは岸沖方向に7列）を用いれば、従来型の潜堤と比較して、伝達率を小さくできる。

波状型被覆ブロック潜堤の伝達率が低下する理由としては、潜堤天端上を波の山と谷が通過する時、ブロック凹部で相反する向きをもつ渦の発生により波エネルギーの減衰が行われる為と考えられる。

今後は、入射波の条件と最適ブロック寸法の関係を更に明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) (社)全国海岸協会：人工リーフの設計の手引き、pp.1～94、1992.
- 2) 奥田英明・高橋克佳・阿部孝行・前田 建・我原弘昭：環境保全型潜堤に関する実験的研究、海洋開発論文集、Vol. 12、pp.497～502、1996.
- 3) 田中則男：天端幅の広い潜堤の波浪減殺および砂浜安定効果について、第23回海岸工学講演会論文集、pp.152～157、1976.
- 4) 柳山 勉・清水隆夫・鹿島遼一・斉藤昭三・丸山康樹：大型造波水路における砂礫の形状特性と消滅限界、第31回海岸工学講演会論文集、pp.381～385、1984.
- 5) 砂村継夫・板東浩造・堀川清司：非対称砂れん上での砂移動機構と漂砂量に関する実験的研究、第25回海岸工学講演会論文集、pp.250～254、1978.
- 6) 滑川哲志：斜波中の複数鉛直板型潜堤の透過性、海岸工学論文集、第37巻、pp.579～583、1990.