

磯根水産生物の着定基質用石材の耐波安定性

STABILITY OF RUBBLE MOUND HABITAT FOR ROCKY SHORE FISHERIES RESOURCES

谷野賢二¹・木村克俊²・林倫史³・桑原伸司⁴・清野克徳³・伊東雅規³

Kenji YANO, Katsutoshi KIMURA, Michifumi HAYASHI,
Shinji KUWABARA, Katsunori SEINO and Masaki ITO

¹ 正会員 工博 北海道東海大学教授 工学部海洋開発工学科 (〒005-8601 札幌市南区南の沢5条1丁目)

² 正会員 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

³ 正会員 北日本港湾コンサルタント株式会社 技術部 環境・水理課
(〒003-0029 札幌市白石区平和通2丁目北11番18号)

⁴ 正会員 北日本港湾コンサルタント株式会社 技術部次長
(〒003-0029 札幌市白石区平和通2丁目北11番18号)

The stability of stones for a rubble mound used as a habitat for rocky shore fisheries resources was examined by two-dimensional hydraulic model experiment using irregular waves. We examined the scattering characteristics of stone by changing the structure of the mound and the waves conditions. Based on the results we proposed a calculation method of stable weight of stone materials for rubble mound habitat. The stability number N_s was formulated as a function of the ratio of water depth to wave length. We also examined the influence of weight distribution of stone materials on the mound stability.

Key Words : Rocky shore fisheries resources, stability of rubble mound habitat

1. まえがき

現在、浅海漁業において重要な水産資源であるコンブなどの海藻類やアワビ、ウニ類などの海産生物資源は減少傾向にある。このため、これまでの漁業形態に加え「つくり育てる漁業」が盛んに行われ、種苗放流をはじめとする漁業管理の強化および漁場造成など資源回復の試みが数々行われている。また、資源増加のため港湾、漁港の開発においても周辺の生態系との調和・共存を考慮することが求められている。こうした水産資源増加の手法の一つに沿岸漁

場整備開発事業の一環として実施されている増殖場の造成がある。

図-1は北海道乙部地区に整備されたエゾバフンウニを対象とした増殖場を示している。一辺が約20mの正方形の増殖場が水深3~8mの範囲に配置されている。その構造は図-2に示すように、異型ブロックで周りを囲い(囲礁)、その中に対象生物の着定基質となる石材を敷き並べる形式が一般的である。

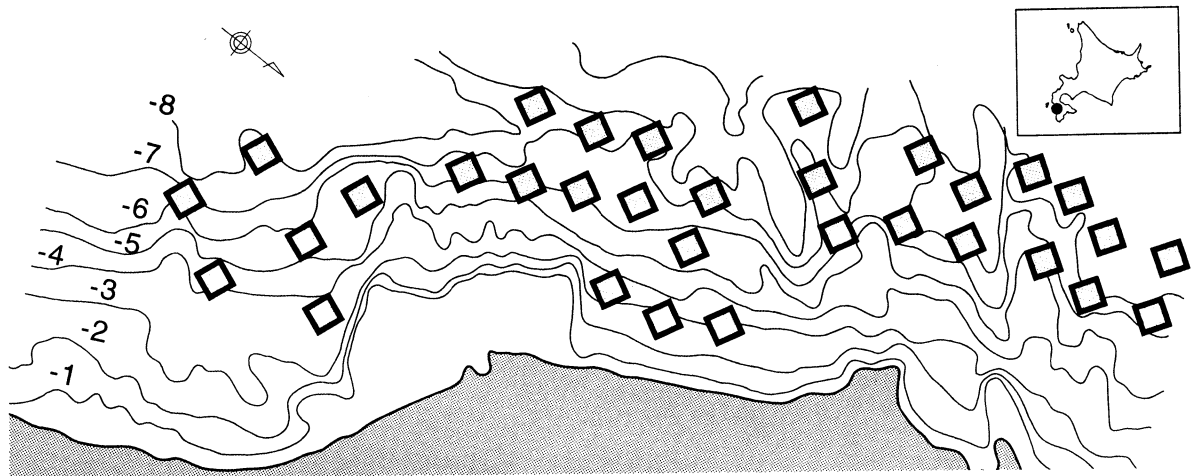


図-1 増殖場の配置例（北海道乙部地区）

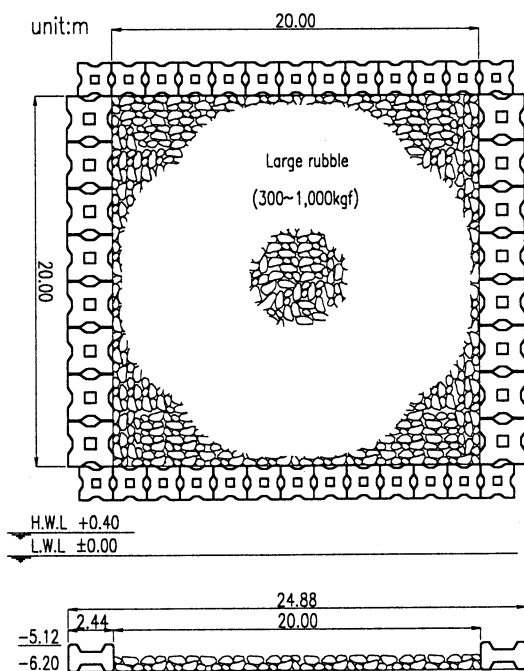


図-2 増殖場の構造形式（北海道乙部地区）

現状では石材の質量は沿岸漁場整備開発事業施設設計指針（1993）¹⁾ によって算定されている。この算定法は明田ら²⁾によって導かれたものであり、安定質量が波浪による発生流速の6乗に比例する形式となっているため、条件によっては計算値が過大となる場合がある。また、規則波実験結果に基づいて定式化されているため、作用波数や被害率の影響が考慮されていないなどの課題がある。

本研究では、不規則波を用いた安定実験により、一般的な着定基質用石材の移動特性を明らかにし、その安定質量算定法を提案する。

2. 北海道内における施工事例

表-1は北海道内におけるウニやコンブを対象とした増殖場の施工例について、水産庁による調査報告書²⁾などを参照してまとめたものである。17例のうち半数以上が水深5m以内の比較的浅海領域に施工されている。また、石材は30~1,000kg程度の中割石や大割石を用いる場合が多く、積層厚は0.6~0.9mが標準的であった。

表-1 増殖場の施工例

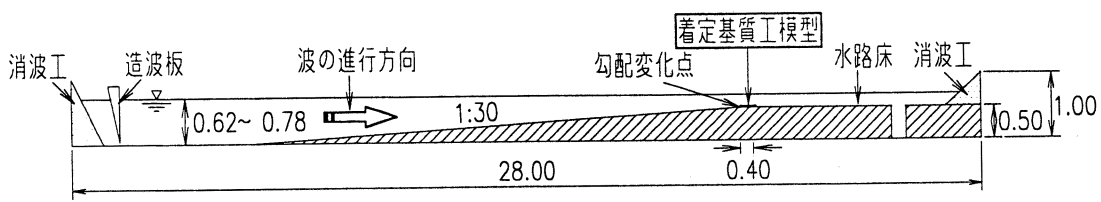
海域	地区	対象生物	設置水深 (m)	捨石諸元		困礁
				質量 (kg)	積層厚 (m)	
太平洋	浦河	エゾバフンウニ ミツイシコンブ	1.7~4	-	0.6	○
	浦河東部	ミツイシコンブ	2~5	300~	0.9	○
	釧路東部	ナガコンブ	3~6	300~1,000	0.9	○
	函館	マコンブ	6~8	300~1,000	0.9	-
	知内・福島	エゾバフンウニ	2~5	300~1,000 30~300	0.9 0.6	○
	南茅部 北部	マコンブ	4~10	300~	-	○
	檜法華	マコンブ	7~11	300~	-	○
	伊達	マコンブ	4~5	300~1,000	0.9	○
	豊浦・虻田	エゾバフンウニ	1.5~5	-	1	○
日本海	増毛	エゾバフンウニ	2~3.8	300~1,000 30~300	0.9 0.6	○
	宗谷	エゾバフンウニ リシリコンブ	2~3.5	-	0.5~2.0 0.6	○
	乙部	エゾバフンウニ	3~8	300~1,000	0.9	○
	積丹西部	エゾバフンウニ	3~10	300~1,000	0.9	○
	東利尻	リシリコンブ	3~9	300~1,000	-	○
	南利尻	エゾバフンウニ	3~7	300~	0.9	○
オホーツク海	新礼文	リシリコンブ	3~5	300~1,000	0.9	○
	枝幸	エゾバフンウニ	1~3	300~1,000	-	○

3. 実験方法

(1) 実験模型

実験は図-3に示す不規則波二次元水路(長さ28m, 幅0.8m, 高さ1.0m)において実施した。前面の海底勾配は1/30とし、これに続く水平床上に図-4に示す増殖場の模型を設置した。増殖場の長さは40cm, 設置水深は12, 20および28cmの3種類とした。

増殖場の囲礁は直方体ブロック(縦5.0cm, 横5.0cm, 高さ3.2cm)で作成し、その中に2層分の石材を敷き並べた。



単位:m

図-3 実験水路

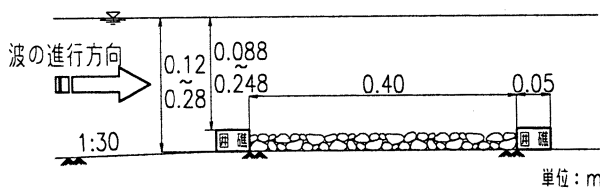


図-4 実験模型の標準断面

実験では密度が $2.6\text{g}/\text{cm}^3$ の単一材について、波高と安定質量の基本的な特性を把握した。平均質量Mは1.9, 2.6, 4.0, 6.1, 7.5, 15.0及び19.2gの7種類に変化させた。さらに現地の中割石(30~300kg)を縮尺1/25で再現した図-5に示す粒度構成の石材についても検討を行った。

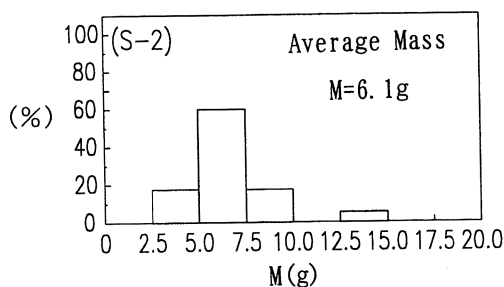


図-5 石材の粒度構成

(2) 実験波

実験波は、1波群200波を標準とし、ブレットシユナイダー・光易型スペクトルを目標とする不規則波を用いた。実験周期は $T_{1/3}=2.0, 2.4$ および 2.8s の3種類で、現地換算すると $10.0, 12.0$ および 14.0s となる。波高については各水深条件に対して碎波領域を含めた検討を行った。模型設置位置における有義波高 $H_{1/3}=4.0\sim 16.2\text{cm}$ (現地換算: $1.0\sim 4.0\text{m}$)の範囲で5~6種類に変化させて石材の移動状況を目視観測した。以上の実験条件をまとめて表-2に示す。

表-2 波浪条件

項目	実験範囲 (模型表示)
設置水深 h (cm)	12.0, 20.0, 28.0
有義周期 $T_{1/3}$ (s)	2.0, 2.4, 2.8
有義波高 $H_{1/3}$ (cm)	4.0~16.2

(3) 被害率の定義

安定実験では、①1波群200波として徐々に大きな波高を作用させる方法、および②一定の波群を連続的に3,000波作用させる方法、の2種類を用いた。いずれの場合も一連の実験が終了するまで石材の並べ直しは行わず、移動した石材の数を累積した。観察においては石材一個長以上の距離を移動(抜け出し)した場合を『被害』と定義した。なお、被害率Dは設置した石の総質量に対する移動した石の総質量の割合(%)で示した。

4. 石材の耐波安定性

(1) 石材の移動特性

写真-1は、 $T_{1/3}=2.8\text{s}$, $H_{1/3}=14.3\text{cm}$ の波群が200

波作用した後の石材の移動状況を示したものである。石材の移動個数は 39 個で、このときの被害率Dは 2.2%と計算される。

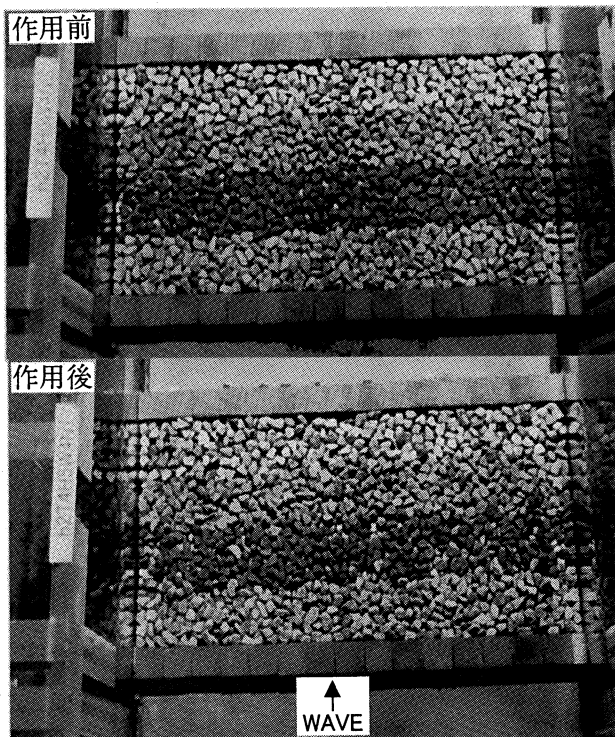


写真-1 石材の移動状況

図-6は平均質量Mが6.1gの単一材を用いた場合について、周期T_{1/3}をパラメーターとして波高H_{1/3}と被害率Dの関係を示している。表面波の影響を受け易い水深h=12cmおよび20cmの条件ではT_{1/3}=2.0sに比べて周期の長い2.4sおよび2.8sの方が被害率Dは大きくなっている。

図-7はh=20cm, T_{1/3}=2.8sの条件に対して、単一材(S-1)と中割石(S-2)の移動特性を比較したものである。それぞれの平均質量Mは6.1gになるように調整してある。S-1とS-2に大きな差はなく、中割石のような粒度分布を有する石材に対しても、単一材の実験結果を適用できると考えられる。

(2) 基質用石材の安定数

混成堤基礎マウンド部や潜堤の被覆材の安定質量は、以下に示す安定数N_sを用いたHudson³⁾による算定式で求められる。

$$M = \frac{\rho_r H_{1/3}^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (1)$$

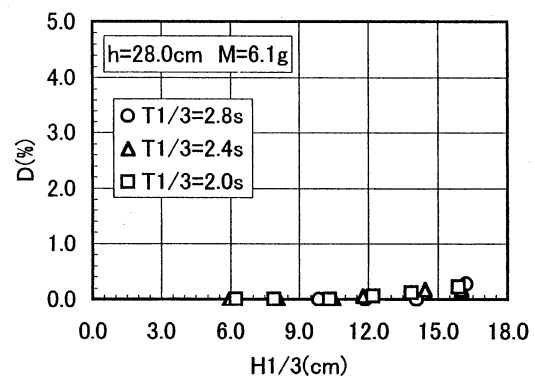
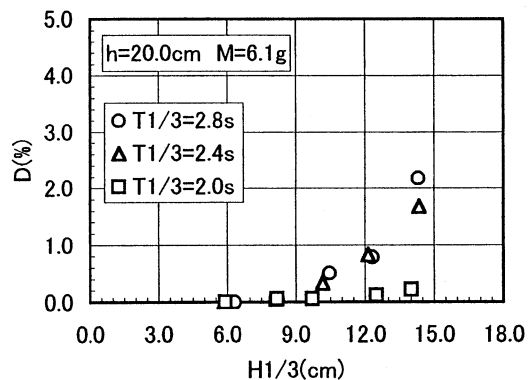
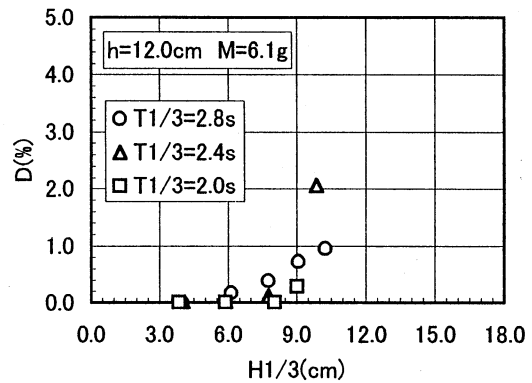


図-6 波高と被害率(周期の影響)

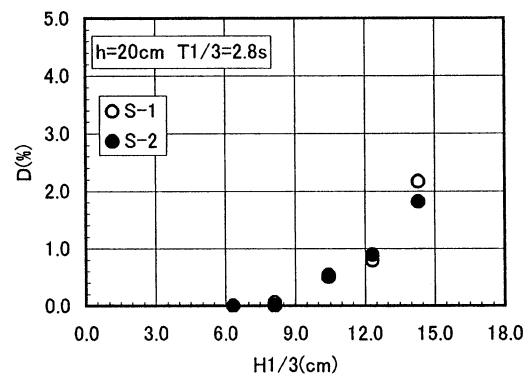


図-7 波高と被害率(粒度構成の影響)

ここに、 M は被覆材の安定質量 (t)、 ρ_r は被覆材の密度 (t/m^3)、 S_r は被覆材の海水に対する密度比、 $H_{1/3}$ は設計有義波高 (m)、 N_s は安定数である。

図-8は安定数 N_s と相対水深 ($h/L_{1/3}$) の関係を示したものである。●印で示されている実験値は被害率 $D=1\%$ の条件に着目して、その安定限界波高と基質用石材の質量を式(1)に代入し求めたものである。 $h/L_{1/3}$ が小さくなるとともに底面近傍での流速が増大するため N_s は小さくなる。

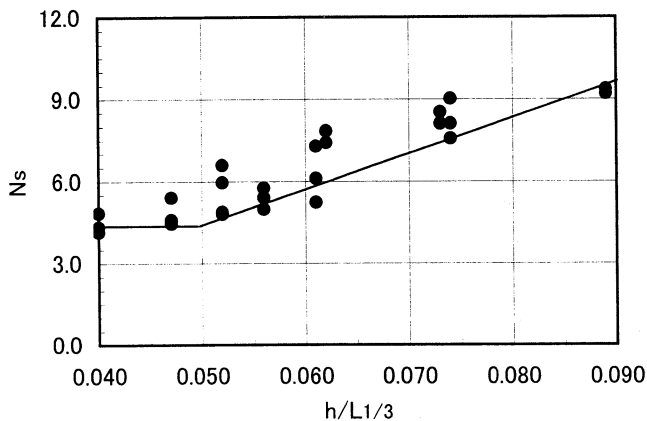


図-8 安定数と相対水深の関係

図中の実線は実験結果の下限値を示したもので、以下のように定式化される。なお、 N_s の算定にあたっては実験を行った $h/L_{1/3}$ が 0.04~0.09 の範囲に適用可能である。

$$N_s = \begin{cases} 4.5 & (0.04 \leq h/L_{1/3} \leq 0.05) \\ 125 \cdot (h/L_{1/3}) - 1.75 & (0.05 \leq h/L_{1/3} \leq 0.09) \end{cases} \quad (2)$$

(3) 安定限界を上回る条件に対する検討

$h=20\text{cm}$, $T_{1/3}=2.8\text{s}$ の条件に対して、安定限界を上回る波浪を 3,000 波 (200 波を 15 回) 作用させて、単一材 (S-1) および中割石 (S-2) の被害特性を調べた。使用した石材の平均質量 M は 6.1g とし、波高 $H_{1/3}$ は 12.3cm 及び 14.3cm の 2 種類とした。提案式より求めた安定限界波高を H_d とすると、それぞれ

の波高は 1.2 H_d 及び 1.4 H_d となる。

図-9はS-1の被害率の変化を示している。最終的な被害率 D は1.2 H_d で1.2%であるのに対し、1.4 H_d では9.7%まで進行している。また、図-10に示すS-2の場合もS-1とほぼ同様な傾向を示しており、1.2 H_d で1.4%、1.4 H_d では8.5%まで進行している。

以上示した実験結果を用いることにより、波浪条件が厳しい場合に対しても、ある程度の変形を許容することで安定質量に満たない石材を用いることができる。

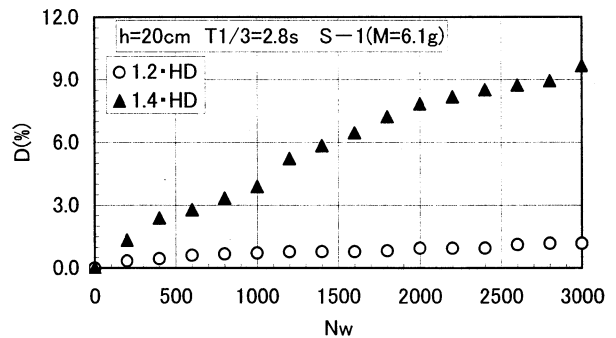


図-9 波数と被害率 (S-1)

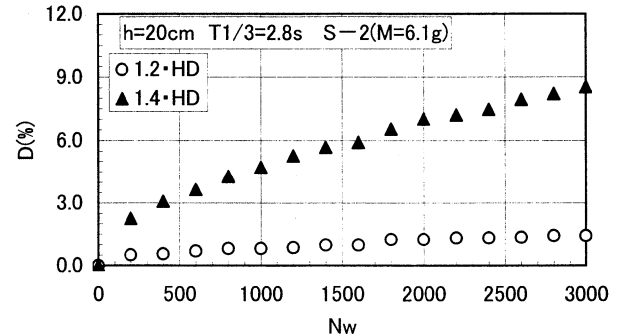


図-10 波数と被害率 (S-2)

(4) 既往の算定式との比較

図-11は基質用石材を水深 $h=5.0\text{m}$ ($T_{1/3}=14.0\text{s}$, 10.0s) 及び $h=3.0\text{m}$ ($T_{1/3}=14.0\text{s}$) の位置に設置する場合の波高と安定質量の関係を示したものである。図中の実線は提案式、点線は従来の算定式を表している。

両者の質量算定における傾向としては、従来の場合は碎波形態 (碎波, 非碎波) の感度が厳しく表されているのに対して、提案式では波高の増大と安定質量の関係がなめらかになっている。両者の質量算

定については被害の定義が異なるため直接的な比較は難しいが、水深が比較的大きな地点で周期が短い場合には、提案式では従来式に比べて安定質量が小さく計算される傾向がある。

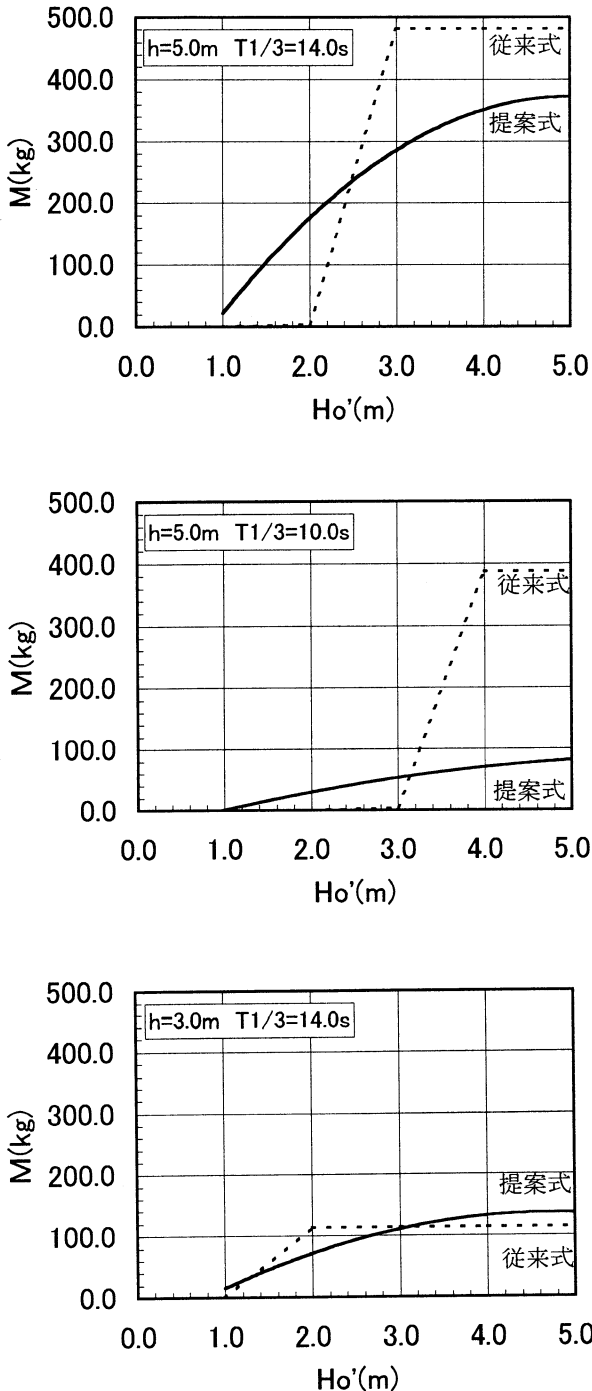


図-11 質量算定式の比較

5. まとめ

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- ①磯根水産生物の着定基質用石材の安定質量算定法を提案した。算定式はハドソン型とし、安定数 N_s を水深波長比 $h/L^{1/3}$ の関数として定式化した。
- ②現地における中割石を対象とした検討を行い、石材の粒度分布が安定性に及ぼす影響を明らかにした。
- ③安定限界を上回る波浪の作用による基質用石材の移動特性を明らかにした。

本研究では一般的な増殖場を対象として基質用石材の耐波安定性を明らかにした。なお、今回は海底勾配の影響を $1/30$ とした実験を示しているが、今後引き続き、海底勾配の影響について検討する予定である。また増殖場としての機能は、基質となる石材の粒度構成によって大きく変化することが知られている。中割石や大割石といった一般的な規格とは異なる石材の耐波安定性についても評価が必要である。

本研究での水理模型実験の実施にあたっては、北海道東海大学海洋開発工学科の高橋良氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会 (1993) : 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針
- 2) 明田定満, 高木儀昌, 田中一広 (1992) : 石材の所要重量算定法に関する研究, 水産工学研究所技報 (水産土木) 第14号, pp. 77~88
- 3) 水産庁 (1986) : 大規模増殖場造成事業調査総合報告書昭和60年度版
- 4) Hudson, R. Y. (1959) : Laboratory Study of Rubble Mound Breakwaters, Proc. ASCE, Vol. 85, No. WW3, pp. 93-121