

II - 57

斜め入射波に対する混成堤根固め方塊の安定性

北海道開発局 開発土木研究所 正員 木村克俊
 北日本港湾コンサルタント(株) 正員 林 倫史

1. まえがき

混成堤では基礎マウンドの洗掘を防止するために、直立部前面に「根固め方塊」と呼ばれる大重量の直方体コンクリートブロックを使用するのが一般的である。筆者らはこれまでに防波堤の堤頭部(平面的に見た場合の先端部)を対象とした検討を行って、入射波の波向き条件を考慮した根固め方塊の必要厚さの算定法を提案した¹⁾。

堤幹部における根固め方塊の安定性については、これまで牛嶋ら²⁾、谷本ら³⁾、五明ら⁴⁾が検討しているが、いずれも直角入射条件を対象としたもので、斜め入射波を対象とした系統的な検討は行われていないのが現状である。本報告では、斜め入射 45° の条件に対して、堤幹部での根固め方塊の移動特性を明らかにするとともに、その必要厚さについて検討するものである。

2. 実験の概要

(1) 実験模型

斜め入射 45° の実験は、長さ 19.65m、幅 32.85m、深さ 3m の平面水槽において実施した。写真-1 に平面水槽の全景を示す。水槽内には、図-1 に示すように、長さ 7.2 m の模型堤体を、造波板に対して 45° 角度で設置した。

比較のために行った直角入射条件に対する実験には、長さ 24 m、幅 0.5 m の二次元水路を使用した。

実験模型の断面形状は、図-2 に示すように、水深 h を 46.8cm で一定とし、マウンド水深 h' は 9.4, 18.7, 23.4 および 35.1cm の 4 種類とした。またマウンド比水深 h'/h は 0.75, 0.50, 0.40 および 0.20 となる。なお、直立部の天端高さ h_c は 12.0cm を標準とした。

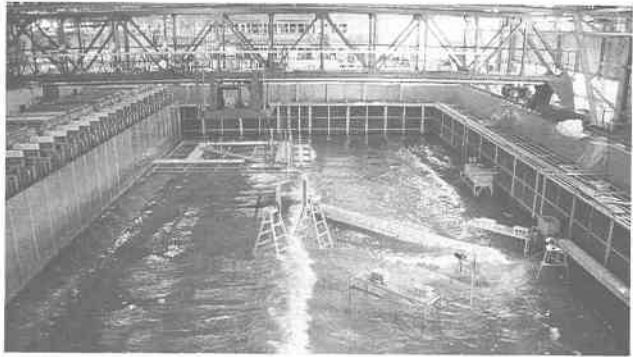


写真-1 実験水槽全景

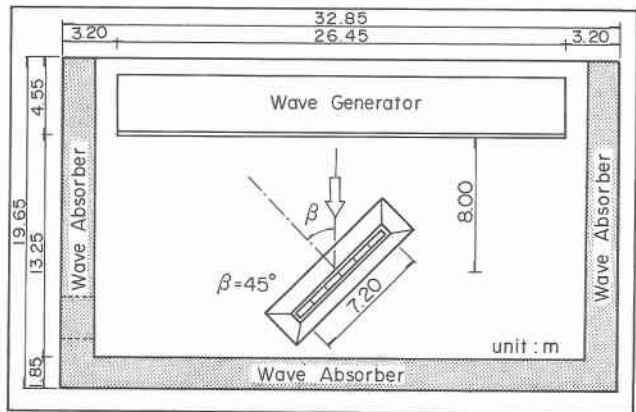


図-1 模型の平面配置 ($\beta=45^\circ$)

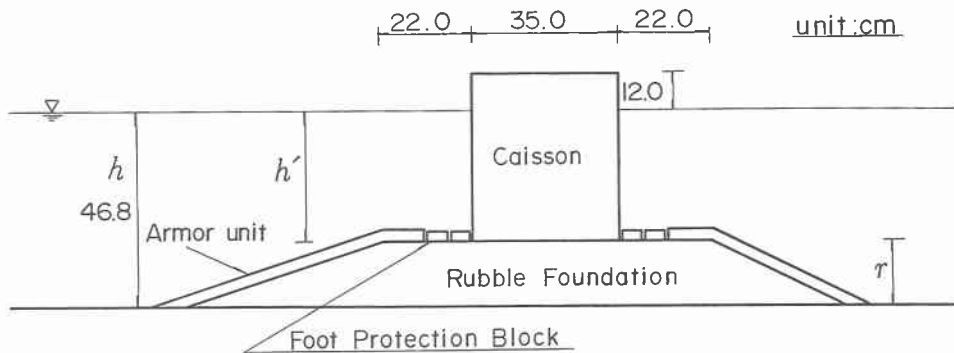


図-2 実験模型の標準断面

(2) 実験の方法

安定実験はすべて不規則波で行った。作用波数は、1波群150波を標準とし、プレットシュナイダー-光易型スペクトルを目標とする一方不規則波を用いた。実験波の周期は $T_{1/3}=1.26\text{s}\sim 2.98\text{s}$ の範囲で7種類、波高 $H_{1/3}$ は4~20cmの範囲で5~8種類変化させた。以上の実験条件をまとめて表-1に示す。

根固め方塊の模型はモルタル製とし、平面形状は縦10cm、横5cmの矩形で、厚さ t は1.6, 2.4, 3.2および4.0cmの4種類とした。モルタルの単位体積重量は $2.3\text{gf}/\text{cm}^3$ で、それぞれの重量は184, 276, 368および460gfである。なお根固め方塊の平面形状は、現地で実績の多い縦5.0m、横2.5mのタイプを縮尺1/50で再現したもので、直立部に根固め方塊の長辺を接するようにして2列並びとした。

平面実験では回折波の影響で堤体前面の波高比が変動する。このため各周期ごとに波高分布を測定し、入射波高に対する前面重複波高の比が一定となる部分を選んで

安定実験の観察エリアとした。また断面実験においては水路壁面の影響を避けて観察エリアを設定した。

安定実験では波高レベルを徐々に大きくしていった根固め方塊の変位を目視観測した。ただし波高レベルを変えても根固め方塊の並べ直しは行わず、被害は累積していった。変位レベルは、入射角による移動状況の違いを考慮して、表-2に示すようにそれぞれ5種類に分類した。なお、安定限界状態としては、直角入射条件ではレベルVに、斜め入射条件ではレベルIVに設定した。

表-1 実験条件

項目	実験範囲
前面水深 h (cm)	46.8 (一定)
マウンド上水深 h' (cm)	9.4, 18.7, 23.4, 35.1
マウンド厚さ r (cm)	11.7, 23.4, 28.1, 37.4
マウンド肩幅 B (cm)	22.0 (一定)
有義波高 $H_{1/3}$ (cm)	4.0~20.0
有義周期 $T_{1/3}$ (s)	1.26~2.98

表-2 根固め方塊の移動ランク

波向き	移動ランク	移動状況
直角入射 ($\beta=0^\circ$)	I	安定
	II	5mm 以内
	III	5mm 以上, 10mm 以内
	IV	10mm 以上
	V	抜き出し、回転、転落
斜め入射 ($\beta=45^\circ$)	I	安定
	II	5mm 以内
	III	5mm 以上, 半個長以内
	IV	半個長以上
	V	抜き出し、回転、転落

3. 堤幹部の根固め方塊の安定性

(1) 根固め方塊の移動パターン

直角入射条件に対する根固め方塊の移動パターンを図-3に示す。なお図では被覆ブロックを省略し、根固め方塊のみを示している。波高を段階的に大きくしていくと、根固め方塊にはまず岸沖方向の微小な前後動が生じ、その後鉛直方向の浮上が顕著となる。さらに波高を大きくすると抜け出しが生ずる。

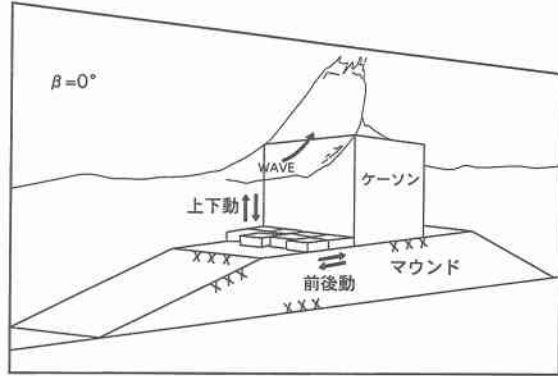


図-3 根固め方塊の移動パターン ($\beta=0^\circ$)

一方図-4に示す斜め入射条件の場合には、波高の増大とともに根固め方塊は法線方向に沿って下手側へスライドするようになる。さらに大きな波の作用によって、根固め方塊の間隔がその長辺の長さの1/2以上に達すると、浮上や抜け出しが生じるようになる。

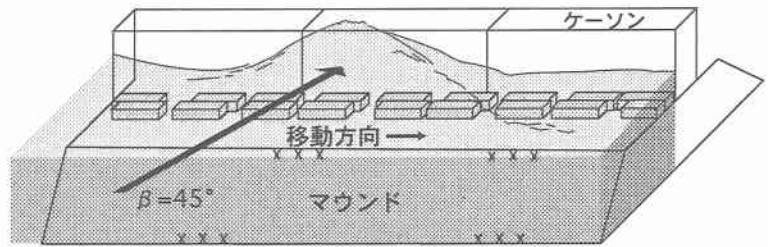


図-4 根固め方塊の移動パターン ($\beta=45^\circ$)

(2) 根固め方塊の必要厚さ

図-5は直角入射条件に対して、根固め方塊の無次元必要厚 $t/H_{1/3}$ とマウンド比水深 h'/h の関係をまとめたものである。 h'/h が0.4~1.0の範囲では、高マウンド条件 (h'/h が小さい) ほど必要厚さが増大する。また $h'/h=0.2$ の高基条件では、 $h'/h=0.4\sim0.5$ の場合に比べて、必要厚さが同程度か若干小さくなる傾向が認められる。これはマウンド法面上での碎波によって根固め方塊への作用波力が頓打ちになるためと考えられる。

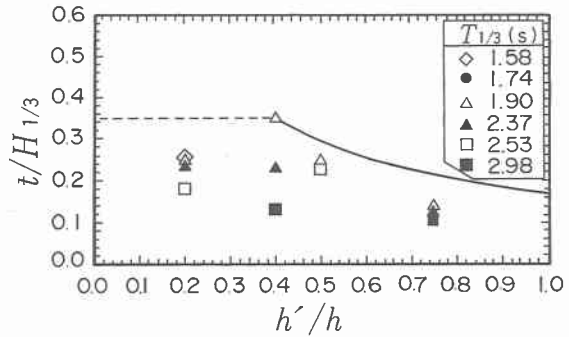


図-5 根固め方塊の必要厚さ

既報¹⁾においては筆者らは、牛嶋ら²⁾の規則波実験結果および現地における被災例に基づいて、 h'/h が0.4~1.0の堤幹部に対して以下の算定式を提案した。

$$t/H_{1/3} = 0.18 (h'/h)^{-0.787}$$

なお上式は海水を対象としたものであり、真水を用いた実験結果と比較する場合には、係数を減じて0.17となる。図中の実線は上式により求めた計算曲線であるが、 h'/h が0.4~1.0においては実験結果の上限に当

たる。また高基条件に対しては実験ケースは十分ではないが、直角入射条件では点線で示すような h'/h が 0.4 のときの値を用いて一定とすることでおおむね安全側の結果が得られる。

図-6は、入射角 β をパラメータとして、根固め方塊の必要厚さと相対水深 $h/L_{1/3}$ の関係を示している。図の左側に示す $h'/h=0.5$ の場合は、斜め入射 45° では直角入射に比べて必要厚がほぼ等しいが若干小さい傾向がある。また実線で示す計算値はこれらの値のほぼ上限に位置している。これに対し図の右側に示す $h'/h=0.2$ の高基条件では、斜め入射 45° のほうが直角入射に比べ必要厚が大きく、その傾向は周期が長い場合に顕著となっている。ただし提案式による計算値は図中の点線で示すように実験値に等しい。

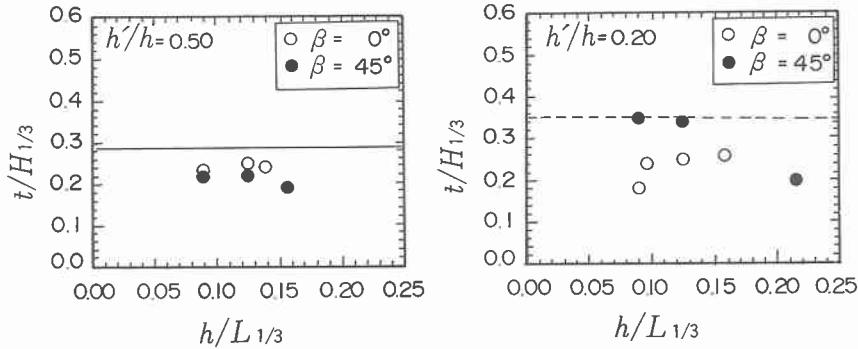


図-6 必要厚さに及ぼす波向きの影響

4. まとめ

本研究の主要な結論は以下の通りである。

- ① 直角入射条件では、根固め方塊の上下動および前後動が卓越するのに対し、斜め入射 45° の場合には、法線方向へのスライドが顕著となる。
- ② 直角入射条件では、 h'/h が 0.4~1.0 の条件に対して提案した算定法が適用できる。また h'/h が 0.2 の高基条件に対しても、 h'/h が 0.4 の必要厚さを確保すれば安定性が確保できる。
- ③ 斜め入射 45° では、 h'/h が 0.5 の場合には直角入射との差が小さいが、 h'/h が 0.2 の高基条件に対しては、周期が長い場合に直角入射に比べて必要厚さが大きくなる。

本報告では、一方向不規則波を用いて根固め方塊の必要厚さに及ぼす入射角の影響を検討した。今後はさらに多方向性を考慮した検討を行う予定である。

(参考文献)

- 1) 木村克俊・水野雄三・須藤賢哉・桑原伸司・林倫史：混成堤頭部のマウンド被災特性と被覆材の安定重量算定法，第43回海岸工学講演会論文集，1996年11月，pp.806~810.
- 2) 牛嶋龍一郎・水野雄三・井元忠博：根固め方塊の安定性に関する実験的研究，開発土木研究所月報 No.424，1986年9月，pp.1~14.
- 3) 谷本勝利：防波堤の設計法に関する水工的諸問題，昭和58年度港湾技術研究所講演会，1983年12月，pp.1~26.
- 4) 五明美智夫・山村和弘：根固め方塊の安定性と上部工形状との関連について，第51回年次学術講演会講演概要集第2部(B)，1996年9月，pp.40~41.