

II-61

高天端型混成堤の耐波安定性について

北海道東海大学工学部 正会員 竹田英章

北海道開発局開発土木研究所 正会員 須藤賢哉・木村克俊・笹島隆彦・水野雄三

1. まえがき

混成堤の天端高は港内の利用上の安全性や背後施設の保全を考慮して決定される。わが国においては第1線防波堤の場合、越波をある程度許容して設計有義波高の0.6倍の天端高とすることが多い。これに対し欧米では高天端型の混成堤が一般的で、例えばスペインのビルバオ港ルセロ岬防波堤の天端高は設計有義波高の1.32倍である(谷本, 1995)。これはほとんど越波を許容しない天端高に相当する。

近年わが国においても港湾に対する親水性利用上の要請により、従来にない高天端条件の防波堤が求められる場合が多くなっている。水野ら(1993)は高天端型混成堤には直立部に相対的に大きな波圧が作用することを示しているが、その波圧特性については不明な点が多い。

本報告では現地で観測された波圧データと水理模型実験の結果を比較し、高天端条件における波圧特性を明らかにする。

2. 高知港における現地観測

運輸省第三港湾建設局では防波堤の法線方向の堤体長を100mに延長した長大ケーソンを開発した。現地観測では波圧の測定・解析が行われ、長大ケーソンの持つ波力平滑化効果による波圧低減が確認された(小島ら, 1993)。図-1は観測を行った高知港三里地区仮防波堤の断面形状を示している。防波堤前面の海底勾配は1/100である。防波堤の設置水深は $h=12.0$  mで、天端高は $h_c=11.0$  mである。マウンド天端上水深は $d=7.5$  mで、堤体設置水深との比は $d/h=0.63$  で比較的低マウンド条件である。最大波圧 $p_{max}$ の解析は同時波圧について行った。

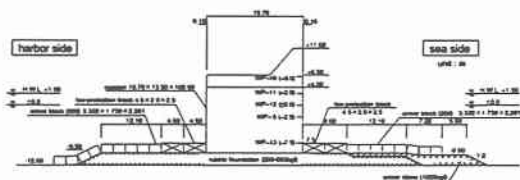


図-1 高知港三里地区仮防波堤断面

図-2は防波堤前面で観測された波圧の記録波形を示している。計測時間20分のうち2分間の時系列で示しているが、一部に衝撃的なピークを有する波圧波形が認められる。図-3は図-2の最大波圧 $p_{max}$ の同時分布を、合田式による計算値とともに示している。静水面から天端にかけて大きな波圧が作用しており、波圧合力の観測値は計算値の1.56倍となっている。海底勾配、水深条件、マウンド構造条件、および観測時の現地の波浪条件を考慮すると、衝撃碎波圧が発生する可能性は小さい。したがって通常の高天端条件では見られない、高天端型混成堤に特有の現象が現れると考えられる。

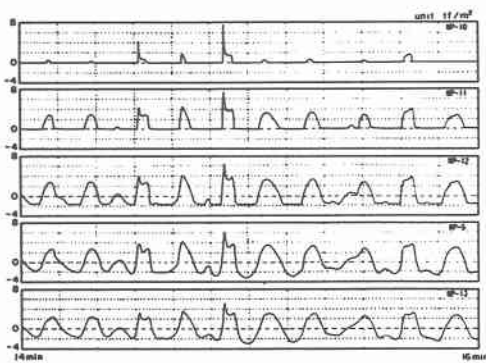


図-2 波圧の記録波形

Wave Forces on High-Crest Composite Breakwater

by Hideaki TAKEDA, Ken-ya SUDOH, Katsutoshi KIMURA, Takahiko SASAJIMA and Yuzo MIZUNO

### 3. 水理模型実験による検討

#### 3. 1 波圧特性

##### (1) 波圧実験の概要

実験は不規則波発生装置を備えた長さ 80.0 m, 幅 1.6 m, 深さ 3.0 m の 2 次元造波水路に, 勾配 1/50 のモルタル製水路床を製作して行った. 図-4 に示す模型堤体は基礎捨石マウンド上にケーソンを据え付けた後, モルタル製の方塊および被覆ブロックを設置した. ケーソン前面には天端高に応じて 6~8 個の波圧計を取り付けた. 波圧データは造波開始より 2 分を経た後で収集を開始した. 最大波圧  $p_{max}$  の解析は同時波圧について行った.

実験波は修正 Bretschneider・光易型を目標スペクトルとする不規則波とし, 乱数初期値を変えることで 10 種類の波群を作成した. 有義波周期は  $T_{1/3} = 1.65$  s, 2.25 s の 2 種類とし, 1 波群の標準作用波数を 130 波とした. 堤体設置前の通過波における, 全波群を通じての最高波高  $H_{max}$  と有義波高  $H_{1/3}$  の比は  $H_{max}/H_{1/3} = 1.50 \pm 0.17$  である.

##### (2) 波圧特性

写真-1 は  $h_c = 27.0$  cm,  $H_{1/3} = 12.0$  cm,  $T_{1/3} = 1.65$  s での実験波の作用状況を示している. 縮尺 1/33.7 とすれば天端高  $h_c$  および水深  $h$  は前章で示した現地観測の条件に一致し, 波形勾配は  $H_{1/3}/L_{1/3} = 0.040$  で, 現地条件の  $H_{1/3}/L_{1/3} = 0.039$  にほぼ等しい. 写真-1 より実験波が堤体直前で砕波し衝撃的に作用していることがわかる. 岩田・清野 (1983) は堤体からの反射波が大きい場合には 3 種類の重複波的砕波が発生することを示しているが, そのうち写真-1 は入射波の進行方向に移動しながら砕ける砕波 (進行波型砕波) に相当する. 進行波型砕波は入射波に比べて反射波がやや小さい場合に生じるとされるが,  $h_c = 27.0$  cm,  $H_{1/3} = 12.0$  cm はこうした現象が生じやすい条件であると考えられる. 図-5 は写真-1 が撮影された時刻前後の波圧波形を示しているが, 一部に衝撃砕波圧が認められる. 現地観測で確認された衝撃砕波圧は実験と同様の砕波機構によって生じたと考えられる. 図-6 は  $h_c = 7.2$  cm,

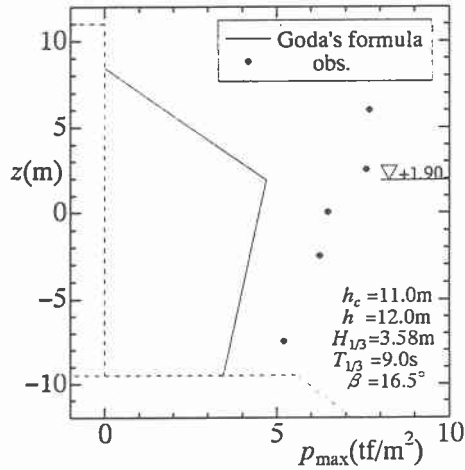


図-3 現地における波圧分布

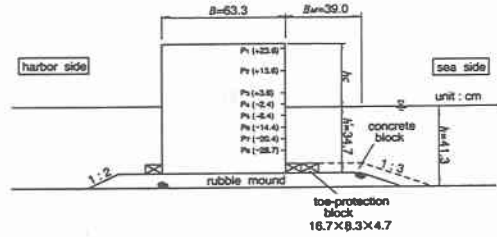


図-4 模型堤体



写真-1 実験波の作用状況

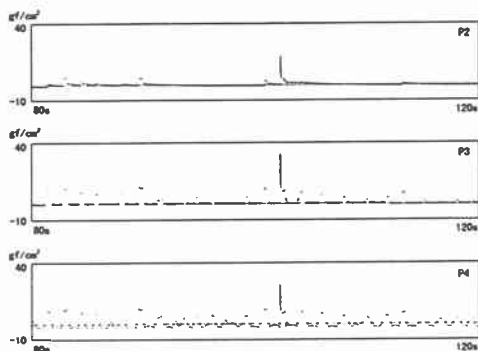


図-5 波圧の記録波形

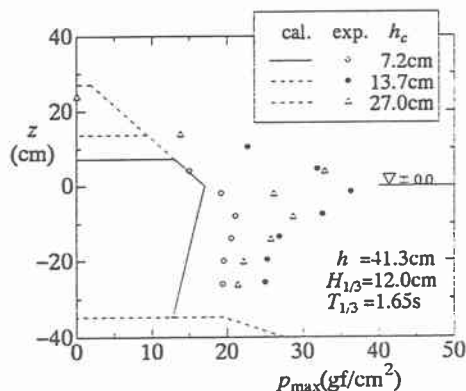


図-6 波圧分布

13.7cm および 27.0cm とした場合の防波堤前面における  $p_{max}$  の同時分布を、全波群(合計標準作用波数 = 1300)の最大値で示している。現地観測と同様の条件を再現した  $\Delta$ 印の  $h_c = 27.0\text{cm}$  では前面波圧合力で計算値の 1.63 倍であるが、 $\bullet$ 印の  $h_c = 13.7\text{cm}$  では計算値の 1.95 倍に達している。これは  $h_c = 27.0\text{cm}$  では反射波が大きいため入射波との相互干渉が起こり、 $h_c = 13.7\text{cm}$  に比べて波圧が相殺される効果が大きくなるためと考えられる。有義波周期、作用波数および模型縮尺率から現地での波の作用時間は約 3 時間となるが、特に  $h_c = 13.7\text{cm}$  では実際に時化が来襲すれば 3 時間に 1 回の割合で設計値の 2 倍の波圧が堤体に作用する可能性がある。 $\circ$ 印の  $h_c = 7.2\text{cm}$  では、 $\bullet$ 印の  $h_c = 13.7\text{cm}$  と比較すると波圧増大は小さく、実験値は計算値の 1.28 倍である。特に天端付近の波圧が小さく、越波により波の主要な部分が堤体後方へ抜け出した効果が現れている。

図-7 は相対天端高  $h_c/H_{1/3}$  と合田式による波力の計算値に対する実験値の比  $P_{exp}/P_{cal}$  の関係を示している。水深に対する波高の比は  $H_{1/3}/h = 0.291 \sim 0.424$  で、水深条件で決まる碎波の影響は小さい。データのばらつきは大きく、周期の影響は明確ではない。通常的设计条件である  $h_c/H_{1/3} = 0.6$  を超えると波力が増大し、概ね  $h_c/H_{1/3} = 0.8$  を超える領域で  $P_{exp}/P_{cal}$  が 1.5 を超える波力増大となっている。原因としては重複波的碎波を生じさせるのに十分な天端条件であることが挙げられる。

### 3. 2 滑動実験例による検討

図-8 は水野ら(1993)によって示された滑動特性に及ぼす天端高の影響を、波圧実験とほぼ同様の  $H_{1/3}/h = 0.273 \sim 0.417$  について再整理したものである。縦軸は合田式による滑動限界重量  $W_G$  に対する実験による

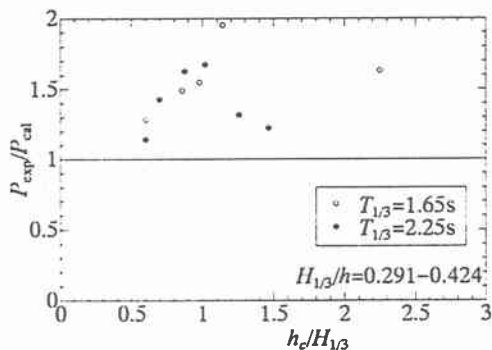


図-7 天端高と波力増大

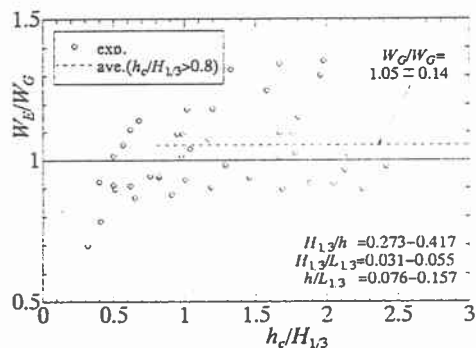


図-8 天端高と滑動特性

滑動限界重量  $W_E$  の比とし、横軸は相対天端高  $h_c/H_{1/3}$  としている。  $h_c/H_{1/3}=0.6\sim 0.8$  では  $W_E/W_G=1.0$  を中心としてデータが分散しており、通常为天端条件では合田式が妥当な設計値を与えていると考えられる。  $h_c/H_{1/3}$  が  $0.6$  より小さい場合は  $W_E/W_G$  が小さくなり、波力が低減していることがわかる。  $h_c/H_{1/3}=0.8$  を超えると  $W_E/W_G$  が  $1.0$  を上回るデータの数が多くなっており、波力の増大が認められる。データのばらつきは大きい。  $h_c/H_{1/3}>0.8$  のデータによる平均値では  $W_E/W_G=1.05\pm 0.14$  であり天端条件によらずほぼ一定の分散を示している。波圧実験の結果と比較検討すると、水深による碎波の影響が小さい場合でも  $h_c/H_{1/3}>0.8$  の領域では高天端条件の影響による波力増大が生じていると判断できる。

#### 4. まとめ

今回の結果をまとめると以下のようになる。

- ①  $h_c/H_{1/3}=0.6$  を超えると、天端条件で決まる重複波的碎波による衝撃碎波圧が生じやすい。
- ② 水深による碎波の影響が小さい条件でも  $h_c/H_{1/3}>0.8$  の天端条件では波力増大が生じていると考えられるため、設計上の注意を要する。

今後は波浪条件や海底勾配の影響も考慮した混成堤の波圧特性について検討を進める予定である。

本報告のとりまとめに際して運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所には貴重な現地データを提供して頂いた。また水理模型実験の実施にあたっては、留萌港湾建設事務所の杉本義昭課長ならびに羽幌港湾建設事業所の竹田義則副長（ともに元港湾研究室主任研究員）のご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 岩田好一郎・清野 博（1983）：不規則重複波の碎波に関する研究，第30回海岸工学講演会論文集，pp.99-103.
- 小島郎史・大脇 崇・水谷 誠・松尾義文・水谷雅裕（1993）：長大型波浪制御構造物（長大ケーソン）の現地実証試験，海岸工学論文集，第40巻，pp.736-740.
- 谷本勝利（1995）：防波堤の構造，土木学会誌，1995年5月号，pp.40-43.
- 水野雄三・杉本義昭・木村克俊・山中浩次・菊池聡一（1993）：高天端防波堤の波力特性に関する研究，海岸工学論文集，第40巻，pp.721-725.