

II-61

直立消波ケーソン式防波護岸における波の打ち上げ特性

北海道開発局 開発土木研究所 正員 鈴木孝信・早川哲也
 正員 木村克俊・明田定満
 北日本港湾コンサルタント(株) 土井善和
 北海道工業大学 正員 水野雄三

1. はじめに

直立消波ケーソンは直立部の前面に透過壁を設け遊水室と呼ばれる中空部を持つ構造である。波が透過壁を通過する際に発生する渦によりエネルギーが減衰するため、反射波を低減できるという特徴を持つ。消波ブロック被覆堤に比べて、設置水深が深い場合には建設費が安くなる利点があり、また、景観にも優れており、近年では防波堤や護岸など幅広く採用されている。

直立消波ケーソンの消波特性および波力特性については、現在までに数多くの研究が行われ、実用上十分な精度まで明らかにされてきた(例えば、谷本ら、1982;高橋ら、1991)。しかしながら、防波護岸として利用した場合問題となる波の打ち上げ特性に関する研究は充分に行われてはいない。

本研究では、防波護岸での利用を念頭においた直立消波ケーソンの波の打ち上げおよび越波特性について、水理模型実験により検討したものである。さらに、波の打ち上げ高および越波流量低減のため波返工をパラペット上部に設置し、その有効性についても検討した。

2. 実験の概要

実験は、長さ85m、幅1.6m、高さ3.0mの2次元水路を用いて実施した。水平水路床上に図-1に示すような遊水室幅が25cm、透過壁の開口率が23%の縦スリット構造である堤体模型を設置した。また、図-2に示すような断面形状が直角二等辺三角形である波返工をパラペット上部に設置し、幅 b を2.5、5.5、10.5、15.5cmと4種類に変化させた。

実験は打ち上げ実験と越波実験に分類される。打ち上げ実験は規則波を用い、水深 h を70および77.5cm、周期 T を1.79、2.24および2.68s、波高 H を5、10、15、20、25、30および35cmに変化させた。また、遊水室内の波の運動を高速度ビデオカメラ(毎秒250コマ)により観察し、波の打ち上げ高さを読み取った。

越波実験については水深 h を77.5cmと一定にして行った。実験は不規則波を用い、有義波周期 $T_{1/3}$ を1.79、2.24および2.68s、有義波高 $H_{1/3}$ を15、20、25、30および35cmと変化させた。実験では、起波後、波が安定してからの150波を有効波数とし、堤体背後に設置した集水升により越波流量を計測した。

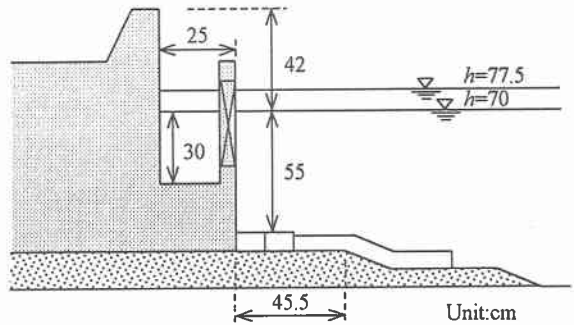


図-1 標準模型断面図

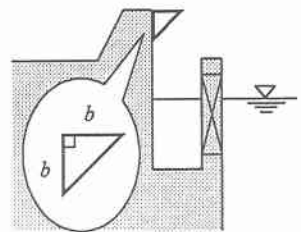


図-2 波返工の設置状況

Characteristics of Wave Runup on Perforated Wall Caisson Seawall

by Takano SUZUKI, Tetsuya HAYAKAWA, Katsutoshi KIMURA, Sadamitsu AKEDA, Yoshikazu DOI and Yuzo MIZUNO

3. 波の打ち上げ高さ

図-3は、遊水室での波の運動を $\Delta t=0.052s$ 間隔で示したものであり、水深 h が 70cm、波高 H が 30cm、周期については (a) が $T=1.79s$ 、(b) が $T=2.68s$ の条件である。 $T=1.79s$ のケースでは①のように透過壁を通過した波が直立部に衝突し、その後②~④のように直立部前面で波が打ち上がる。また、 $T=2.24s$ のケースにおいても $T=1.79s$ と同様な打ち上げ特性を示した。これに対し、 $T=2.68s$ のケースでは①、②のようにスリット壁付近で波が打ち上がり、③、④のように防波堤を越波する。このように周期によって波の打ち上げの形態は変化する。

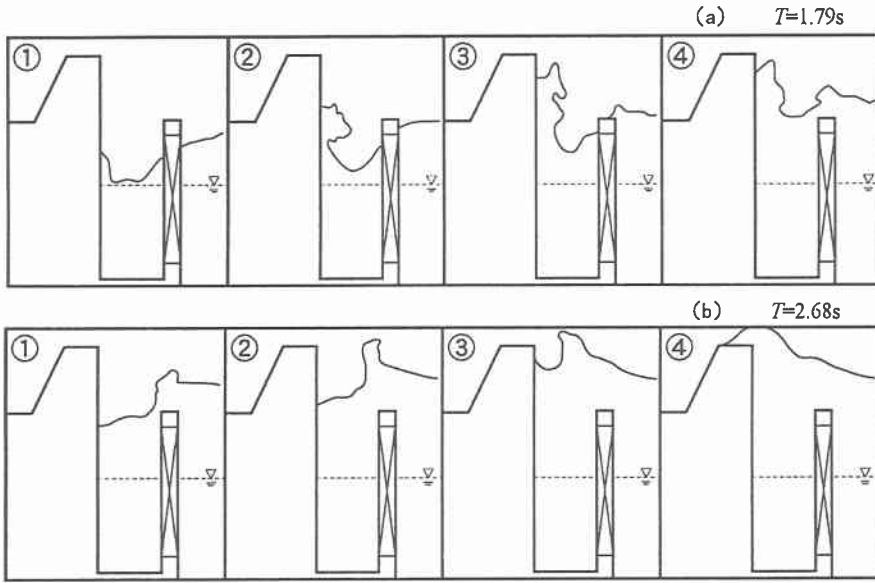


図-3 遊水室の波の運動

打ち上げは写真-1のように「水塊状（波の实质部分）」のものと同質部分より分離した「飛沫状」のものに分類することができ、前者の静水面からの打ち上げ高を η_w 、後者を η_s とした。

図-4は、打ち上げ高に及ぼす水深 h の影響を示したものであり、横軸は波高 H 、縦軸は水塊状の打ち上げ高 η_w である。水深の浅い $h=70cm$ のほうが高く打ち上がる傾向にある。これは直立部に作用する波力と関連付けて説明することができる。高橋ら (1991) は直立消波ケーソンに作用する波力について水理模型実験により検討しており、波の位相を考慮した算定法を提案している。押し波時においては図-5に示すような3つの位相に分けられ、直立部前面での波の打ち上げは衝撃的な波力のピークが現れる押し波時 Πa で発生する。ここで、 $H=30cm$ および $T=2.24s$ の条件での静水面の波圧強度を計算すると、 $h=70cm$ での

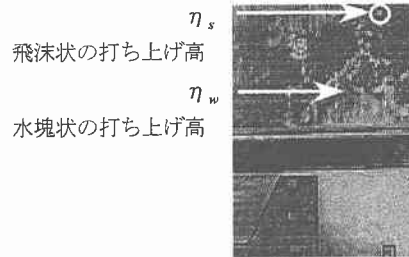


写真-1 打ち上げ高の分類

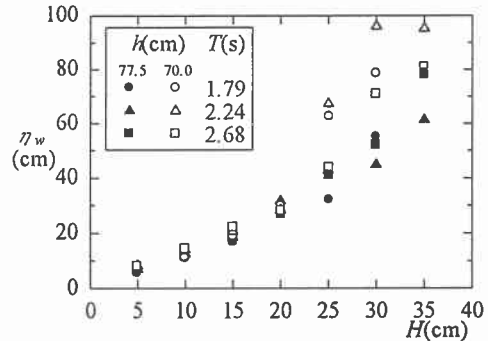


図-4 水深の影響

値は $h=77.5\text{cm}$ の 1.2 倍程度を示す。このため、直立部前面に波が衝撃的に衝突するようになり、打ち上げ高が大きくなると考えられる。

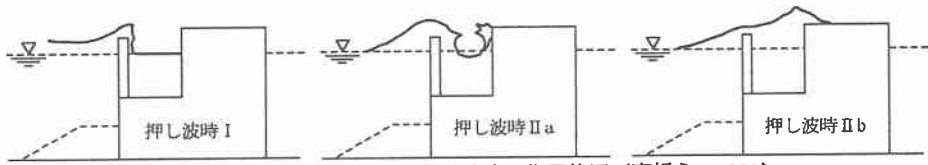


図-5 押し波時の各位相における波の作用状況 (高橋ら, 1991)

図-6 は、 $h=70\text{cm}$ の条件における波高 H と水塊および飛沫状の打ち上げ高 η_s 、 η_w の関係を示したものである。 η_s は波高とともに増加し、波高が 20cm 程度になると天端を越えるようになる。また、相対水深 $h/L=0.107$ よりも $h/L=0.175$ 、 0.132 において大きく、 $H=25\sim 30\text{cm}$ 程度で頭打ちとなる傾向を示す。これに対し、 η_w は波高が 25cm 程度になると天端を越えるようになる。また、 η_s ほど周期の影響は見られない。

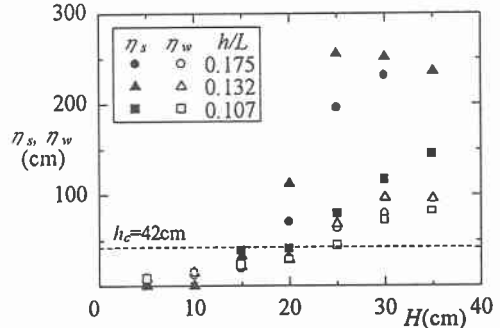


図-6 打ち上げ高 η_s 、 η_w

図-7 は、波高水深比 $H/h=0.357$ の条件において、波返工の幅の違いによる打ち上げ高の低減効果を示したものであり、横軸は波返工の幅 b 、縦軸は各幅における打ち上げ高 η_s' および η_w' を波返工なしの η_s および η_w で無次元化したものである。相対水深 $h/L=0.132$ および 0.175 の条件では、波返工により飛沫状の打ち上げ高 η_s が 50% 程度まで減少しており、 b が大きくなるほどその効果は大きい。また、水塊状の打ち上げ高 η_w は 70% 程度まで減少している。しかしながら、長周期では波返工の効果が見られない。これは、長周期の場合、前章で述べたように波の打ち上がる位置がスリット壁付近であり、波返工に作用しないためである。ただし、波の打ち上げ後に生じる越波は写真-2 のように波返工により港外側への飛散となり防波堤背後への影響は明らかに減少している。

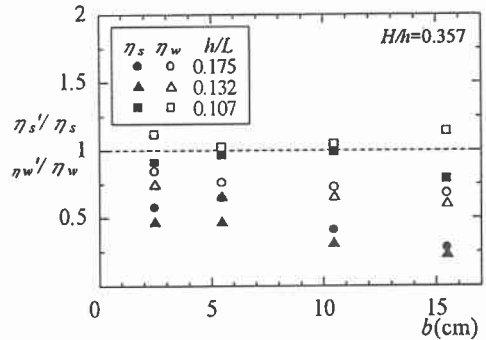


図-7 波返工の効果

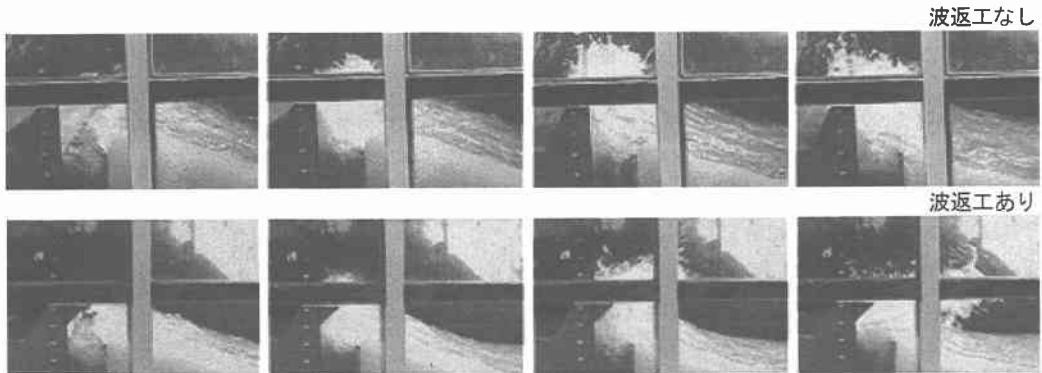


写真-2 波返工の有無による波の作用状況 ($T=2.68\text{s}$ 、 $H=30\text{cm}$)

4. 越波流量

図-8は、有義波高 $H_{1/3}$ と単位幅、単位時間当たりの平均越波流量 Q の関係を示している。短周期の条件に対しては造波能力による制約から得られたデータが少ないが、全体的には周期が長いほど越波流量が大きくなる傾向にある。図中には $h/L_{1/3}=0.113$ 、海底勾配 1/30 の条件について越波流量算定図（合田ら、1976）による計算値を、直立壁は実線で、消波ブロック被覆型を破線でそれぞれ示している。直立消波ケーソンでは直立壁に比べ越波流量を抑えることが可能ではあるが、消波ブロック被覆型と比べた場合にはやや大きな値となった。

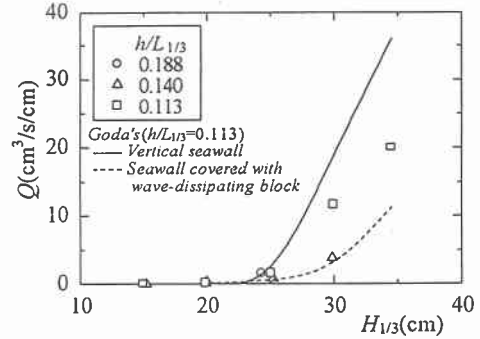


図-8 平均越波流量

図-9は、 $H_{1/3}/h=0.323$ の条件において、波返工の幅の違いによる越波流量の低減効果を示したもので、横軸に波返工の幅 b 、縦軸は各幅における越波流量 Q' を波返工なしの Q で無次元化したものである。 b が大きくなるほど越波流量は減少し、いずれの周期に対しても効果が現れている。

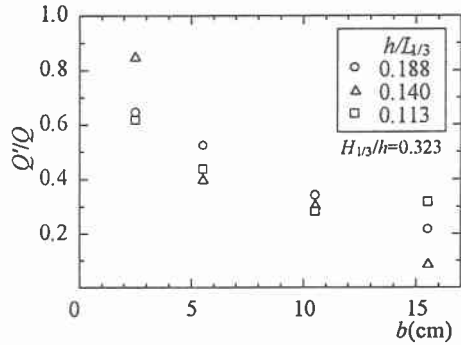


図-9 波返工の効果

5. まとめ

本研究の主要な結論は以下のとおりである。

- ① 直立消波ケーソンにおける波の打ち上げは、短周期では直立部前面、長周期ではスリット壁付近で生じる。
- ② 本実験範囲においては水深が小さい場合でも直立部前面の波圧強度が増加し、水塊状の打ち上げ高が大きくなる。
- ③ 水塊状の打ち上げ高は周期の影響をあまり受けず波高とともに増加する。これに対して、飛沫状の打ち上げ高は短周期のほうが大きく、波高がある程度大きくなると頭打ちとなる傾向を示す。
- ④ 波返工による打ち上げ高の低減効果は、短周期の波に対して特に顕著となる。また、越波流量の低減効果には周期の影響が小さく、波返工の幅が大きいほど低減率が高い。

今後は波返工に作用する波力特性を把握した上で、経済性および施工性を考慮した最適断面について検討を行う予定である。

本研究の遂行にあたり、運輸省港湾技術研究所の下迫健一郎主任研究官の助言を得た。また、実験実施にあたっては北海道工業大学の学生である斉藤治彦君、斉藤譲二君に協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 谷本勝利・吉本靖俊 (1982) : 直立消波ケーソンの反射率に関する理論及び実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第21巻, 第3号
- 高橋重雄・下迫健一郎・佐々木均 (1991) : 直立消波ケーソンの部材波力特性と耐波設計法, 港湾技術研究所報告, 第30巻, 第4号
- 合田良実・岸良安治・神山豊 (1976) : 不規則波による防護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第4号