

道路護岸における越波による通行障害とその対策について

木村 克 俊* ・ 安田佳乃子** ・ 山 本 泰 司***
梅 沢 信 敏*** ・ 清 水 敏 晶**** ・ 佐 藤 隆****

1. はじめに

護岸の設計においては、背後地の利用形態に応じて適切な越波流量を設定する必要がある。護岸背後に道路がある場合は、自動車の安全な通行を確保するため、高波時の波の打ち上げを抑えることが重要である。しかしながら既設の道路護岸の場合には、予算面の制約や海域利用者との調整が難しく、適切な護岸改良が行えない場合が少なくない。こうした場合に管理者は、越波による危険が生じる個所に対して気象情報と現地における目視調査の結果から、速度制限や通行止めなどの道路規制を行っているのが現状である。

越波による車両通行への影響としては、越波水塊の落下による車両破損のような直接的な被害と、飛沫成分の飛散による一時的な視界障害のような間接的な被害に分けられる。こうした臨海道路を適切に管理するためには越波現象自体の解明と予測手法の確立が重要である。

福田ら (1973) は、現地観測結果に基づいて背後地の利用状況と許容越波流量の関係について検討している。また構造物への波の衝突による飛沫の発生に関しては、石田ら (1982) が実験的な研究を行っている。しかしながら、実際の臨海道路における通行障害を分析した研究は少ない。これまで筆者らは、道路護岸を対象として越波状況の現地観測を行い、越波と通行障害の関係を分析した (木村ら, 1998)。本研究では、比較的水深が浅い消波ブロック被覆型護岸 (以下「消波護岸」と表記する) を対象として、越波水塊の打ち上げ特性を調べるとともに、現地の道路護岸に対する具体的な対策工について検討した。

2. 現地の状況

内湾に位置する海岸線において、図-1 に示す臨海道路の一部で越波による通行障害が発生している。検討対象は延長 150 m の消波護岸で、西側からの波浪は岩礁により遮蔽されるため、越波が顕著になるのは南東側からの

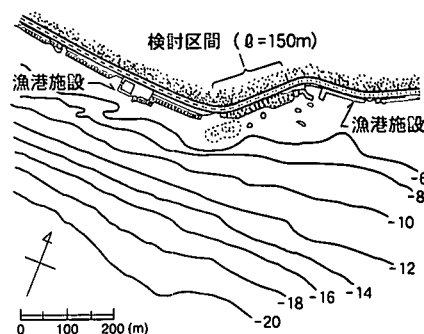


図-1 現地の地形

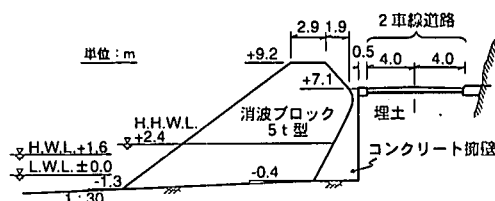


図-2 護岸の標準形状

波浪に限定される。このため比較的大きな海域の波高を基準に発令される波浪注意報によってはこの区間の越波の予測が難しく、道路管理上の課題となっている。

図-2 に道路護岸の断面形状を示す。前面の海底勾配は約 1/30 で、消波ブロックの法先水深が 1.3 m である。陸側用地に余裕が無いため、護岸の直背後に幅 8.0 m の 2 車線道路が設置されている。消波ブロックは 5 t 型が使用されており、その先端は道路基面よりも 2.1 m 高い構造となっている。

過去 5 年間における通行障害の事例を分析した結果、平均して 1 年間に数回程度通行規制が行われていることが明らかになった。写真-1 は 2000 年 8 月 17 日の通行規制時の状況である。越波水塊が路面上に落下し、その影響を避けるため片側交互通行による規制が行われた。

図-3 は当該区間において 1999～2000 年に通行規制が行われた 3 件について、期間中の波高、周期および潮位の時間変化を示している。波浪は対象地点から 20 km 東に位置する波浪観測地点 (水深 50 m) におけるデータ

* 正 会 員 博 (工) 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科

** 学生会員 室蘭工業大学大学院 工学研究科

*** 正 会 員 工 修 (独) 北海道開発土木研究所 港湾研究室

**** 正 会 員 日本データ・サービス (株) 技術開発室

を用い、平面波浪場の変形計算結果に基づいて換算沖波波高を求めた。潮位は約 30 km 離れた漁港における実測値を用いた。通行規制が行われた期間は、波向きは SE 系が中心で、最高潮位は +1.2~1.9 m であった。ピーク時の波浪条件はいずれも沖波波高 H_0 が 2.5~3.0 m で、周期 T が 10~12 s 程度であった。

3. 越波水塊の打ち上げ高さ

(1) 実験の方法

消波護岸における越波現象は複雑なため、まず直立護



写真-1 現地における越波状況

岸の越波水塊の打ち上げ高さを定式化し、これをもとに消波護岸の傾向を調べることにした。直立護岸については長さ 85 m、幅 1.6 m、深さ 3.0 m の造波水路において実験を行った。基本的な実験条件は前報(木村ら, 1998)と同じとした。前面の海底勾配は 1/100 および 1/10 の 2 種類を中心とし、1/30 の条件に対しては水深波高比の大きな範囲の補足を行った。実験はすべて不規則波で行い、一波ごとの水塊の打ち上げ高さ(静水面基準)を読み取り、その 1/3 最大値 $R_{1/3}$ で整理した。

消波護岸についての実験は、長さ 24 m、幅 0.6 m、深さ 1.0 m の造波水路において海底勾配 1/30 の条件で行った。まず規則波により消波ブロックの有無による越波水塊の打ち上げ高さの差異を調べた。消波ブロックの天端位置は水路床から 18 cm、天端幅を 5.3 cm とし、前面水深を 2.2~6.7 cm に変化させた。実験周期 T は 1.49, 1.79 および 2.09 s の 3 種類とした。通常の消波断面のほかに前面に小段を設けた場合の効果も検討した。さらに前出の図-2 に示した現地の護岸を縮尺 1/45 で再現して、不規則波実験により越波水塊の打ち上げ高さを調べた。

(2) 直立護岸の打ち上げ特性

図-4 は直立護岸の越波水塊の打ち上げ高さ $R_{1/3}$ を示している。全体的に水深波高比 h/H_0 とともに無次元打ち上げ高さ $R_{1/3}/H_0$ は増大する。海底勾配が 1/100 の場合は波形勾配 H_0/L_0 の影響は小さいけれども、海底勾配が 1/10 の場合は波形勾配 H_0/L_0 が小さいほど $R_{1/3}/H_0$ が増大している。図-5 は、 $R_{1/3}$ を無堤時における通過波高 $H_{1/3}$ で除した値を示している。実験結果の平均的な傾向に着目して、以下の関係式を得た。

$$R_{1/3} = \alpha H_{1/3} \quad (1)$$

$$\alpha = \begin{cases} 5.1 & (0 < h/H_0 < 1) \\ 6.34 - 1.24(h/H_0) & (1 \leq h/H_0 \leq 3.5) \\ 2.0 & (3.5 < h/H_0) \end{cases}$$

ここで、 $H_{1/3}$ は対象構造物の設置位置における有義波高で、現地条件に対しては合田ら(1975)の碎波波高の算定図により求めることができる。

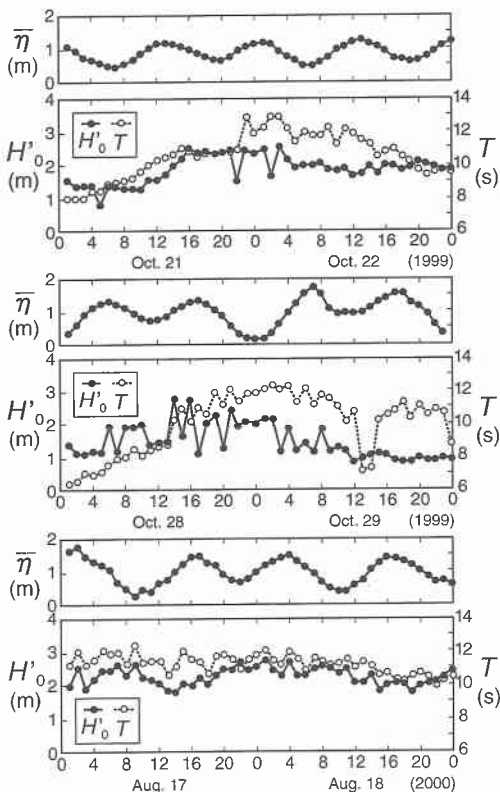


図-3 通行止め時の波高と潮位の時間変化

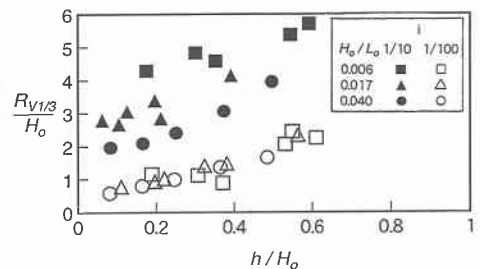


図-4 直立護岸における越波水塊の打ち上げ高さ

(3) 消波護岸の打ち上げ特性

写真-2は、 $h=6.7\text{ cm}$ 、 $T=2.09\text{ s}$ 、 $H_0=11.1\text{ cm}$ の場合の越波水塊の打ち上げ状況を1/6 s間隔で連続的に示している。砕波後の空気を含んだ波面が消波ブロックの法面に衝突した瞬間に水塊が発生し、その後上方からやや波向き方向に打ち上げられる。ここではビデオ画像を解析して水塊の最大到達高さを求めた。

図-6は、越波水塊の打ち上げ高さについて、消波護岸

の値 R_A と直立護岸の値 R_V を比較したものである。水深波高比 h/H_0 が大きくなるほど R_A/R_V の値が減少し、消波ブロックの効果が顕著となることが分かる。実験結果の平均的な傾向に着目して、以下の関係式を得た。

$$R_A = \beta R_V \dots\dots\dots (2)$$
$$\beta = \begin{cases} 1.0 - 0.6(h/H_0) & (0 \leq h/H_0 \leq 0.5) \\ 0.7 & (0.5 < h/H_0) \end{cases}$$

(4) 前面小段の効果

護岸前面の小段は藻場としての利用が可能であり、海域利用者の同意を得やすい対策工のひとつと考えられる。図-7は消波護岸の前面に小段を設置した場合の越波水塊の打ち上げ高さ R_M を示している。小段水深 d が波高 H の0.6倍の場合は効果が少ないが、0.3倍とすることで、水塊の打ち上げ高さを15～35%程度低減できることが分かる。ただし波長に対するマウンド前肩幅の比 B_M/L が0.18付近で低減効果が小さくなることに注意を要する。

(5) 現地における越波状況の再現

現地の道路護岸を対象として、不規則波により越波水塊の打ち上げ特性を調べた。図-8は越波水塊の打ち上げ高さの1/3最大値 $R_{V1/3}$ と沖波波高 H_0 の関係を示している。 H_0 が1.5 mでは $R_{V1/3}$ は路面高さに達していないが、1/10最大値は路面高さを上回ることが確認されている。 H_0 が3 mの場合には、前傾した波面の衝突により

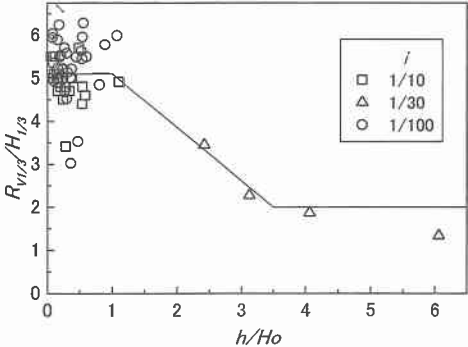


図-5 前面波高と打ち上げ高さの比

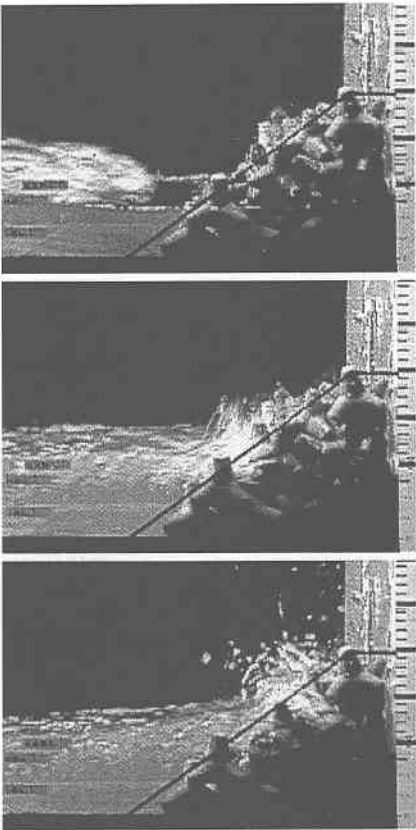


写真-2 消波護岸の越波パターン

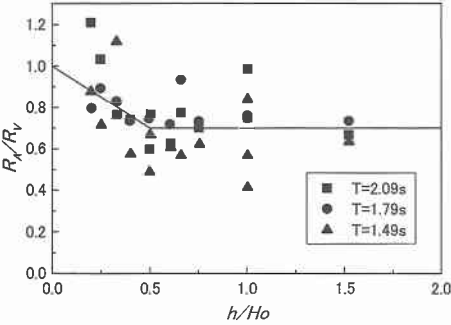


図-6 消波ブロックの効果

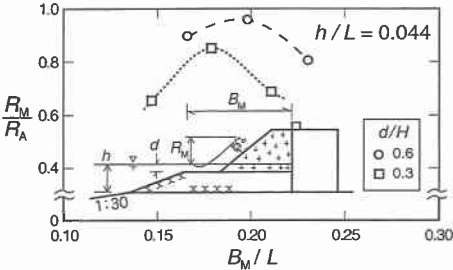
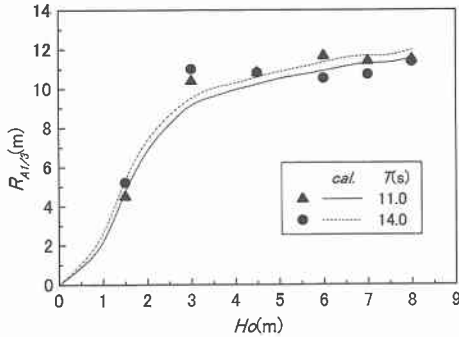


図-7 前面小段の効果



図—8 越波水塊の打ち上げ高さ

越波水塊の打ち上げが顕著となった。 $R_{V1/3}$ は路面上約5 mとなり、現地で同程度の波浪によって生じた前出写真—1のような状況がおおむね再現されたと考えられる。図中の曲線は式(1)および(2)を用いた $R_{V1/3}$ の計算値であり、おおむね実験結果と一致している。

4. 防波フェンスに作用する波力

(1) 測定方法

通行車両への越波の影響を軽減するために用いられる防波フェンスを対象として、これに作用する波力を不規則波実験により求めた。実験模型を図—9に示す。現地における防波フェンスの標準形状に合わせた受圧板(高さ4.5 cm, 幅5.6 cm)を定格10 Nの分力計の先端に取り付け、受圧板の設置高さを3種類に変化させた。実験は不規則波で行い、設計条件の波浪($H_0=8.0$ m, $T=14$ s)を3回作用させて波群中の最大波力を求めた。

(2) 越波流量および波力分布

波力実験に先立って越波流量の測定を行った。図—10は波高 H_0 と越波流量 q の関係を示している。実験値は実線で示した合田ら(1975)による計算値にほぼ一致している。現地において越波水塊の打ち上げが顕著となった $H_0=3$ mでは越波流量 q ($\text{m}^3/\text{m/s}$)が10の -6 乗のオーダーであり、現状の技術基準(運輸省; 1999)による道路護岸の越波流量にほぼ一致している。さらに50年確率波に相当する $H_0=8$ mでは、越波流量が10の -3 乗のオーダーとなった。最高波作用時には、写真—3に示す

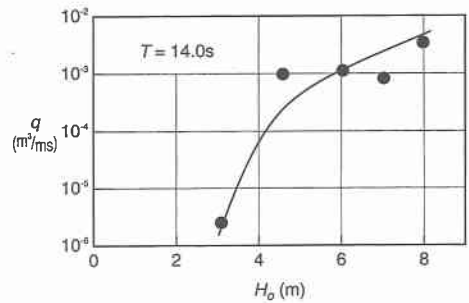


図—9 波力の測定方法

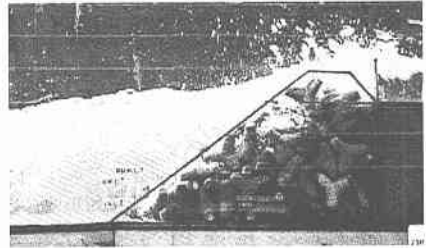
ように、空気を含んだ厚さ10 cm程度の水脈がフェンスに衝突している。図—11はその際の波圧分布を示している。実験値(●印)は合田式による直立護岸の計算値(実線)の2~3倍となっている。高橋ら(1992)は親水性防波堤の上部工に対して合田式に基づく波力算定法を提案している。しかしながら本件のように、合田式による波圧が作用しないような位置でも、越波水塊の影響を受ける場合があるので注意を要する。

(3) 現地における防波フェンスの設計例

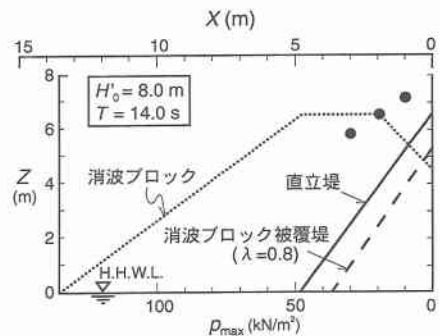
対象区間における過去の通行止め時の波浪条件を参考にして、図—12に示すようにフェンス高を道路面から2.9 mとした。設計風速を50 m/sとした場合の風圧力は 2.9 kN/m^2 となった。これに対し50年確率波に対する波圧は、前出の図—11から約 15 kN/m^2 と求められ、風によ



図—10 波高と越波流量の関係



写真—3 フェンスへの波の作用状況



図—11 波圧分布

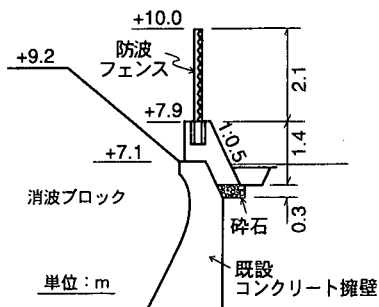


図-12 防波フェンスの設計事例

る荷重の5倍程度となった。このため現地においては、一般仕様のフェンスの支柱間隔を狭めるとともに、部材強度を高めるなどの補強を行うこととした。

5. ま と め

高波による通行障害が発生している臨海道路を対象として、越波特性とその対策に関する検討を行った。主要な結論は以下のとおりである。

- ①現地の道路護岸を対象として、高波による通行障害の発生状況について分析した。
- ②比較的水深の浅い消波護岸を対象として、越波水塊の打ち上げ高さの算定法を示した。
- ③消波護岸の前面に小段を設けることによる越波水塊の打ち上げ高さの低減特性を明らかにした。
- ④越波流量 q ($\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$) が10の-3乗のオーダーの条件における防波フェンスの波力特性を示し、これを実設計に適用した。

越波による通行障害は局所的な地形や波向きの影響を

受ける場合が多く、個別の現地条件についての詳しい調査が重要である。また防波フェンスに働く波力は、空気を含む水脈の衝突によって生じたものであり、模型のスケール効果が影響している可能性がある。今後機会があれば、こうした波力特性を調べるための現地計測を行いたい。

本研究に当たっては、北海道ならびに北海道開発局の関係部局に、貴重な現地事例とともに多くの関連資料を提供していただいた。また水理模型実験の一部は、室蘭工業大学における卒業研究として小林貴宏君ならびに内山佳樹君によって行われたものである。ここに記して心から謝意を表します。

参 考 文 献

- 石田 昭・花田昌彦・細井正延 (1982): 飛沫の発生に関する実験的研究, 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 385-388.
- 運輸省港湾局監修 (1999): 港湾の施設の技術上の基準・同解説, (社)日本港湾協会.
- 木村克俊・藤池貴史・上久保勝美・安部隆二・石本敬志 (1998): 道路護岸における波の打ち上げ特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 676-680.
- 合田良実 (1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港研報告, 第14巻, 第3号, pp. 59-106.
- 合田良実・岸良安治・神山 豊 (1975): 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港研報告, 第14巻, 第4号, pp. 3-44.
- 高橋重雄・遠藤仁彦・室普一郎 (1992): 混成防波堤上の越波水の運動と波力に関する実験的研究, 港研報告, 第31巻, 第1号, pp. 3-50.
- 福田伸男・宇野俊泰・入江 功 (1973): 防波護岸における越波に関する現地観測(第2報), 第20回海岸工学講演会論文集, pp. 113-118.