緩傾斜護岸における越波が背後の道路に及ぼす影響について

Traffic hindrances due to wave overtopping on a coastal road behind gently sloping seawalls

室蘭工業大学大学院	○学生員	横山雄司	(Yuji Yokoyama)
室蘭工業大学大学院	学生員	越智聖志	(Masashi Ochi)
室蘭工業大学大学院	フェロー	木村克俊	(Katsutoshi Kimura)

1. はじめに

海岸道路において,通行車両に被害が及ぶ危険性があ る場合には,気象・海象状況を正確に把握し,必要に応 じて徐行・片側交互通行などの対策を講じなければなら ない.しかしながら,現状では海岸道路の通行規制につ いて明確な基準が定められておらず,高波時において通 行車両に被害が発生する事例も少なくない.既往の研究 では,直立護岸および消波護岸の背後に設置された道路 における越波の影響について検討が行われてきた^{1),2)}.

本研究では,緩傾斜護岸を対象として,背後に設置さ れた道路における越波が車両に作用する状況を水理模型 実験で再現し,車両が危険な状態となる海象条件を明ら かにすることを目的とする.

2. 現地の海岸道路の状況

(1) 通行止め時の波浪条件

太平洋に面した A 海岸に設置された道路では, 年数 回の頻度で高波により通行止めが生じている. 図-1 に 通行止め時の波高および周期を例示する. 右図のように 波高が 4m 程度で通行止めになっているケースが多いが, 左図のように波高が 1m と低い場合においても通行止め となっている. 現地においては,波浪警報が発令されるたびに通行止め にしていると考えられる.

(2) 打ち上げ高さの現地観測

2013 年 9 月 28 日 13:40~14:00 の 20 分間, 写真-1 に示すように定点カメラを設置して,最大遡上高さの現 地観測を行った. 図-2 に現地観測時の近隣のナウファ ス測点で観測された波高と周期を示す.現地観測を行っ た時間帯の周期は T=7.0s で,波高は Ho'=1.5m であった. このときの最大遡上高さは R_{max}=1.0m であった.



写真-1 現地における緩傾斜護岸の状況



図-3 緩傾斜護岸模型の断面形状

3. 越波特性

(1) 実験方法

越波実験は長さ 24.0m, 幅 0.6m, 深さ 1.0m の 2 次元 造波水路内に, 図-3 に示すように海底地形(勾配 1/30), 護岸模型および護岸前面の消波ブロック(3.2t 型)を縮尺 1/40 で再現した.実験はすべて不規則波(1 波群 150 波) を用いた.以下,模型実験の諸元はすべて現地換算値で 示す. 護岸前面の水深 h は TP=+1.3m(H.H.W.L), TP=+0.6m(H.W.L)および TP= - 0.5m(M.L.W.L)の 3 種類 とし,周期は T=7.0, 9.0, 11.0, 12.0, 15.0s の 5 種類, 波高は Ho'=1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 7.0m の 9 種類に変化させた.

堤体の緩傾斜部に静水面から一定間隔で線を引き,波 の遡上状況を水路上方からビデオカメラで撮影した.そ の後,デジタイザーを用いて最大遡上高さを読定した. さらに,堤体模型の道路部の横断方向中央において,越 波流量および水脈厚の計測を行った.

(2) 最大遡上高さ

図-4 に潮位 M.L.W.L の最大遡上高さ R_{max} と換算沖 波波高 Ho'の関係を示す. T=7.0s, Ho'=1.5m で R_{max}=1.0m となり,実験値が前述の現地観測値を概ね再 現できていることがわかる.また, T=9.0s, Ho'=6.0m 以 上で越波が道路部まで遡上する.図-5 に示す H.W.L の 実験結果では T=9.0s, Ho'=4.5m および, T=11.0s, Ho'=3.0m から越波が道路部まで遡上する.これらの条 件では,海岸道路を走行する車両に滑動などの危険性が あると考えられる.



図-4 最大遡上高さと換算沖波波高の関係(M.L.W.L)



(3) 越波流量および水脈厚

図-6 に越波流量 q と換算沖波波高 H_0 の関係を示す. ここで、T=7.0s ではすべての波高条件で、T=9.0s では $H_0'=4.5m$ 以下で、道路部への越波が確認されなかった ためプロットを除外した.また、海岸道路を走行する車 両に対する許容越波流量は一般的に 1.0×10^{-4} m³/m/s で あり、本実験で越波したすべてのケースにおいて許容越 波流量を超えていることがわかる.

図-7 に潮位 H.W.L における換算沖波波高 H₀'と水脈 厚 η_{max} の関係を示す.水脈厚は,前述した越波発生時 の波浪状況のみで計測している.











図-8 に H.H.W.L における換算沖波波高 H_0 'と水脈厚 η_{max} の関係を示す. H_0 'の増大に伴い η_{max} が大きくなる. 一方,潮位 M.L.W.L の条件では、全ケースにおいて大 きな越波は確認されなかった.以上より、越波は潮位の 影響を大きく受けることがわかる. さらに、越波は水深 が大きくなると、越流状態に近くなることが確認できた.

4. 車両に働く波圧

(1) 実験方法

波圧実験は縮尺 1/40 で越波実験と同様の水路を用い て行った.波浪条件は,潮位 TP=+1.3m(H.H.W.L),実験 波の周期は T=15.0s の1 種類とし,波高 Ho'=2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0m の5 種類に変化させた. 図-9 に車両模 型(重量 12t の大型バス)の形状と波圧計の設置位置を示 す. 写真-2 に示すように車両模型を設置し,路面と車 両模型との間隔(以下「クリアランス(S)」と表記する)を 3 種類(S=0.04m, 0.24m, 0.40m)に変化させ,車両正面 および底面での波圧を計測した.

(2) 越波の作用状況

図-10にT=15.0s, Ho'=6.0mの条件下における越波が 車両模型に作用する状況を各クリアランスに分けて示す. 水平波圧および鉛直波圧は概ね三角形分布となった. 越 波した波は車両正面に衝突し,上部に跳ね上がると同時 に,速い流れのまま車両底面に侵入する.また,換算沖 波波高Ho'の増大に伴い波圧は大きくなる. 図ー11 に最大流速 u_{max} と最大水脈厚 η_{max} の関係を示 す.ここで u_{max} と η_{max} は比例関係にあることがわかる. さらに、クリアランスをある程度大きくすると水平波圧 と鉛直波圧が減少することが確認された.



図-9 車両模型に設置した波圧計の位置







図-10 車両模型に作用する越波の状況





図-12 車両模型詳細図

5. 車両滑動実験

(1) 実験方法

クリアランスが異なる 3 種類の車両模型(図-12)を用 い,波圧実験と同様の波浪条件に対して車両の滑動実験 を行った.車両の滑動は,水路上部から目視で確認し, 造波前後での有無を調べた.また,本実験では停止した 状態の車両に越波を作用させており,タイヤと路面の摩 擦係数はμ=0.6 とした.

(2) 車両の滑動状況

滑動は越波が車両に到達した瞬間に生じるケースと, 越波が車両に到達してから車両前面の水位が上昇し,そ の後車両が持ち上がるケースが見られた.前者には鉛直 の波圧は関係していないと考えられるが,後者は鉛直波 圧によって車体が持ち上げられていると推測される.ま た,車両の移動パターンとして滑動と転倒が考えられる が,本実験ではすべて滑動であった.

(3) クリアランスが波力に及ぼす影響

図-13 に水脈厚と安定重量の関係を示す. 図中の丸 印でプロットされたクリアランス S=0.04m では,水脈 厚が増加するとともに安定重量が増大する傾向が見られ た. この関係を次式のように表す.

ここで、 $F_{\rm H}$:水平波圧、 ρ :水の密度、g:重力加速度、 B:車両の受圧幅、 $\eta_{\rm max}$:越波の最大水脈厚である. ρ リアランス S=0.24m の場合における水平波圧は S=0.04m のときと同程度の値を示している. S=0.40m のときは前 述した 2 ケースに比べて安定重量が小さくなる. 式(1) にクリアランスの影響を加味すると次式が得られる.

$$F_H = 0.264 \beta \rho g B (\eta_{\text{max}} - S)^2 \qquad \dots \dots \dots (2)$$

ここで β : クリアランスによる波圧の低減係数である. クリアランス *S*=0.24m のときは β =1.0, *S*=0.40m のとき は β =0.80 を用いることで実験結果と一致する.



以上より,現地における越波の水脈厚がわかれば車両 に作用する波圧を求めることができる.現地においては 車両の形状や重量に応じて,危険となる水脈厚を図-13から確認し,図-8からその水脈厚が発生する波浪 条件を調べることができる.

7. まとめ

- 本研究の結論を要約すると、以下のようになる.
- (1) 緩傾斜護岸背後の道路へ流入する越波の特性を明らかにした.
- (2) 車両に働く波圧の算定式を提案するとともに、ク リアランスによる波圧の低減効果を確認した.
- (3) 緩傾斜護岸背後の道路上の大型バス車両が危険な 状態になる波浪条件を示した.

参考文献

- 木村克俊・藤池貴史・上久保勝美・安部隆二・石 本敬志:道路護岸における波の打ち上げ特性に関 する現地観測,海講論文集,第45巻,pp.676-680, 1998.
- 木村克俊・浜口正志・岡本真衣子・清水敏晶:消 波護岸における越波飛沫の飛散特性と背後道路への影響,海講論文集,第50巻,pp.796-800,2003.