海岸道路を走行する車両に働く波圧に関する水理模型実験

A hydraulic model experiment on wave pressure acting on a vehicle running on coastal road

室蘭工業大学　大学院 博士前期課程　○学生員　高橋翼(Tasuku Takahashi)
室蘭工業大学　建設システム工学科　正　員　木村克俊(Katsutoshi Kimura)
室蘭工業大学　大学院 博士後期課程　正　員　清水敏明(Toshiaki Shimizu)
独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所　正　員　山本泰司(Yasuji Yamamoto)
独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所　正　員　上久保勝美(Katsumi Kamikubo)

1.　まえがき

海岸道路では、高波時において、護岸に衝突した波から飛沫が跳ね上がることがある。越波低減を目的として、護岸前面に消波ブロックを用いることは一般的であり数多くの事例があるが、消波ブロックを乗り越えて車道まで飛沫が飛んでくることも少なくない。越波飛沫の飛散特性について、木村ら [1)]、山本ら [2)]が検討を行っているが、未だ一般的な算定法は確立していない。

護岸の直背後の自動車の安全性に関しては、50%安全度に対する許容越波流量 q を 2×10^{-5}m^3/m/s、90%安全度に対しては q を 1×10^{-6}m^3/m/s とすることが福田ら [3)]により提案されている。しかしながら、実際の車両被害をもたらす波圧と越波流量の関係は明らかにされていない。

本研究では、実際に通行障害が発生した写真－1 に示す A 海岸を再現した水理模型実験を行い、越波流量を把握するとともに、越波飛沫の衝突により車両に働く波圧について検討を行う。

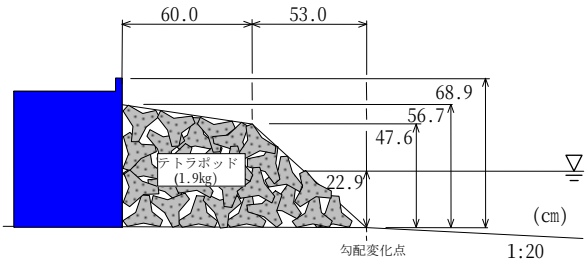
写真－1　高波による通行障害が発生したA海岸の状況

2.　実験方法

2.1　実験模型

実験は縮尺 1/15 の条件で行った。図―1 に示すように、水路には 1/20 勾配の固定床海底面と、これに続く水平部を作製した。護岸模型は木製で、その上部に波返工を有している。消波部には 1.9kg(現地換算 6.4t)のテトラポッドを使用した(図－2)。

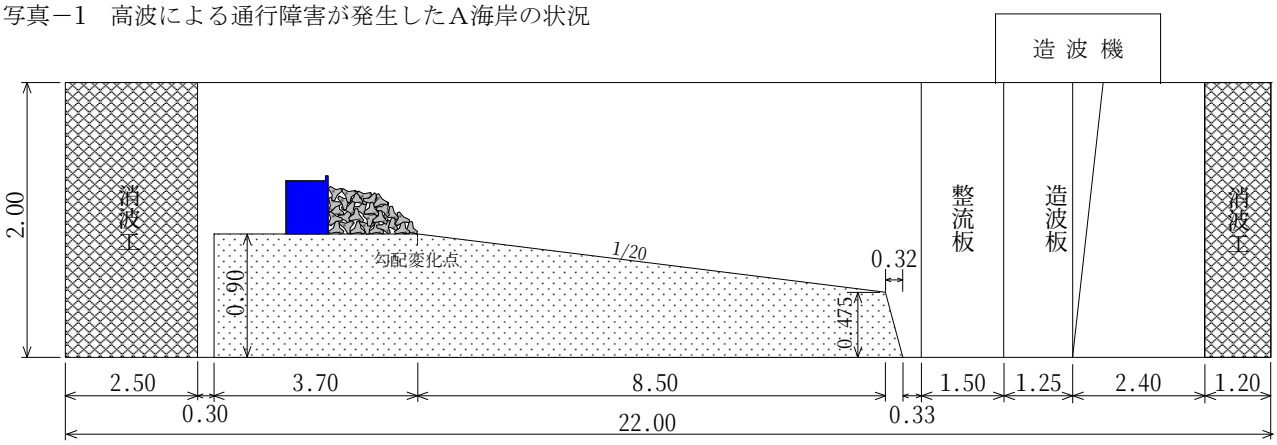
堤体設置位置での水深は 22.9cm(現地換算 3.43m)で一定とした。実験にはすべて不規則波を用い、周期を $T_{1/3}$=2.32，2.84s(現地換算 9.0，11.0s)の 2 種類とし、沖波波高を表－1 に示すように変化させた。



図－2　実験模型

表－1　沖波波高 *Ho'*の条件

$T_{1/3}$=2.32s	実験(cm)	6.7	10.0	13.3	16.7	20.0	26.7	33.3	35.3
	現地(m)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	5.3
$T_{1/3}$=2.84s	実験(cm)	6.7	10.0	13.3	16.7	20.0	26.7	33.3	40.0
	現地(m)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0



図－1　実験水路　(m)

2.2　越波実験の方法

護岸模型の天端上に導水樋(幅 10cm、高さ 10cm、長さ 150cm)を設置し越波水を収集した。越波量は造波開始から 1 分後に測定を開始した。計測時間は $T_{1/3}$=2.32s の場合は 287 s 、$T_{1/3}$=2.84s の場合は 352 s とし、単位時間、単位幅当りの越波流量（$m^3/m\cdot s$）を求めた。越波量にはばらつきが大きいことを考慮して、1 つの波高条件に対して３回測定を行ってその平均値を求めた。また、水槽ガラス面に 5cm 間隔のメッシュをマーキングし、飛沫の飛散状況をデジタルビデオにより撮影をした。

2.3　車両に働く波圧実験

図－3 に波圧実験で使用する車両模型の配置を示す。実験対象としたA海岸は、護岸背後に片側一車線、合計二車線の道路が位置している。最初に海側車線を対象として、図中の①の位置に車両模型を設置し、周期および波高を変化させて波圧を測定した。さらに越波による発生波圧が顕著となる波浪条件に限定して、陸側車線である②の位置で波圧を測定した。

車両模型前面中央の 3 箇所に波圧計を取り付けており、下から 1，2，3ch と呼ぶ。現地換算すると ch2 の高さは 1.125m、ch3 の高さは 2.025m となり、前者はセダンなどの普通車、後者はバスやトラックなどの大型車の窓ガラスの高さにほぼ等しい。

今回の実験では波圧データのサンプリング周期を 0.002s、データ数を 8192 とした。また、不規則波群中の最大波圧に着目し、同一条件の実験を 10 回繰返し、その平均値と標準偏差を求めた。以下、実験結果は現地換算した物理量で表示する。

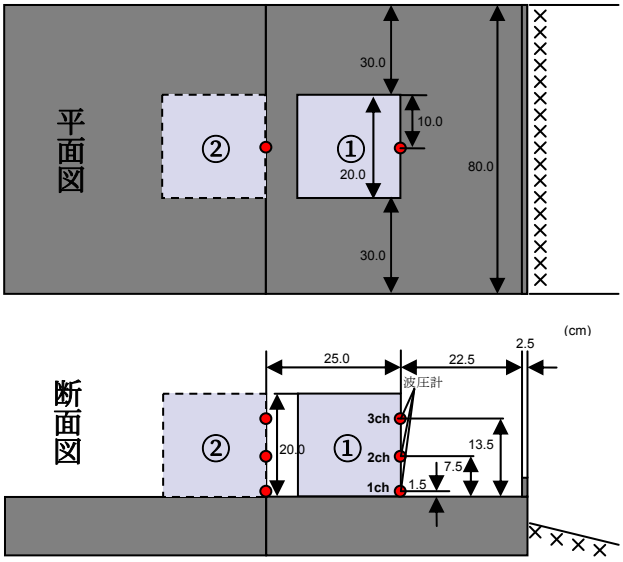
3.　越波特性

3.1　越波飛沫の軌跡

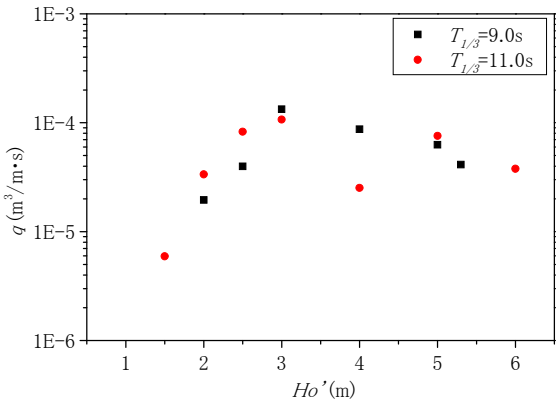
写真－2 は、$T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m の波浪に対する海側車線の車両に作用する越波の状況を示している。消波ブロック法面に衝突した波によって、飛沫が斜め上方に飛散し、車両模型前面に到達していることがわかる。飛沫の軌跡は放物線を描いており、大きな飛沫は車両模型前面付近に、小さな飛沫はその後方まで達することが確認された。

3.2　越波流量

図－4 は、$T_{1/3}$=9.0s および 11.0s の条件に対して、沖波波高 Ho'と越波流量 q の関係を示している。いずれの周期の場合も Ho'=3.0m のときに越波流量が最大値となっている。このように越波流量が頭打ちになるのは、消波ブロックに衝突する前に砕波し、エネルギーが失われるからである。



図－3　波圧実験模型



図－4　越波流量

写真－2　越波飛沫の飛散状況($T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m)

4.　車両に働く波圧特性

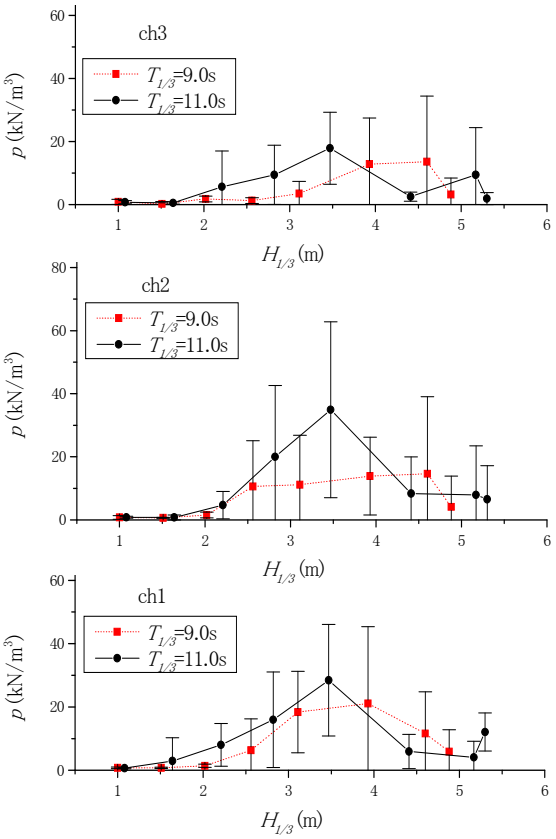
4.1　波高と波圧の関係

図－5 は ch1～3 における波圧と無堤時の通過波高 $H_{1/3}$ の関係を示している。いずれの波圧計においても、$T_{1/3}$=11.0s，$H_{1/3}$＝3.43m の条件で波圧は最大になっている。このときの沖波 Ho'は 3.0m であり、すでに図－4 で示したように越波流量が最大となる条件と一致していることがわかる。これ以降は、$T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m の波浪条件に限定して解析を行う。

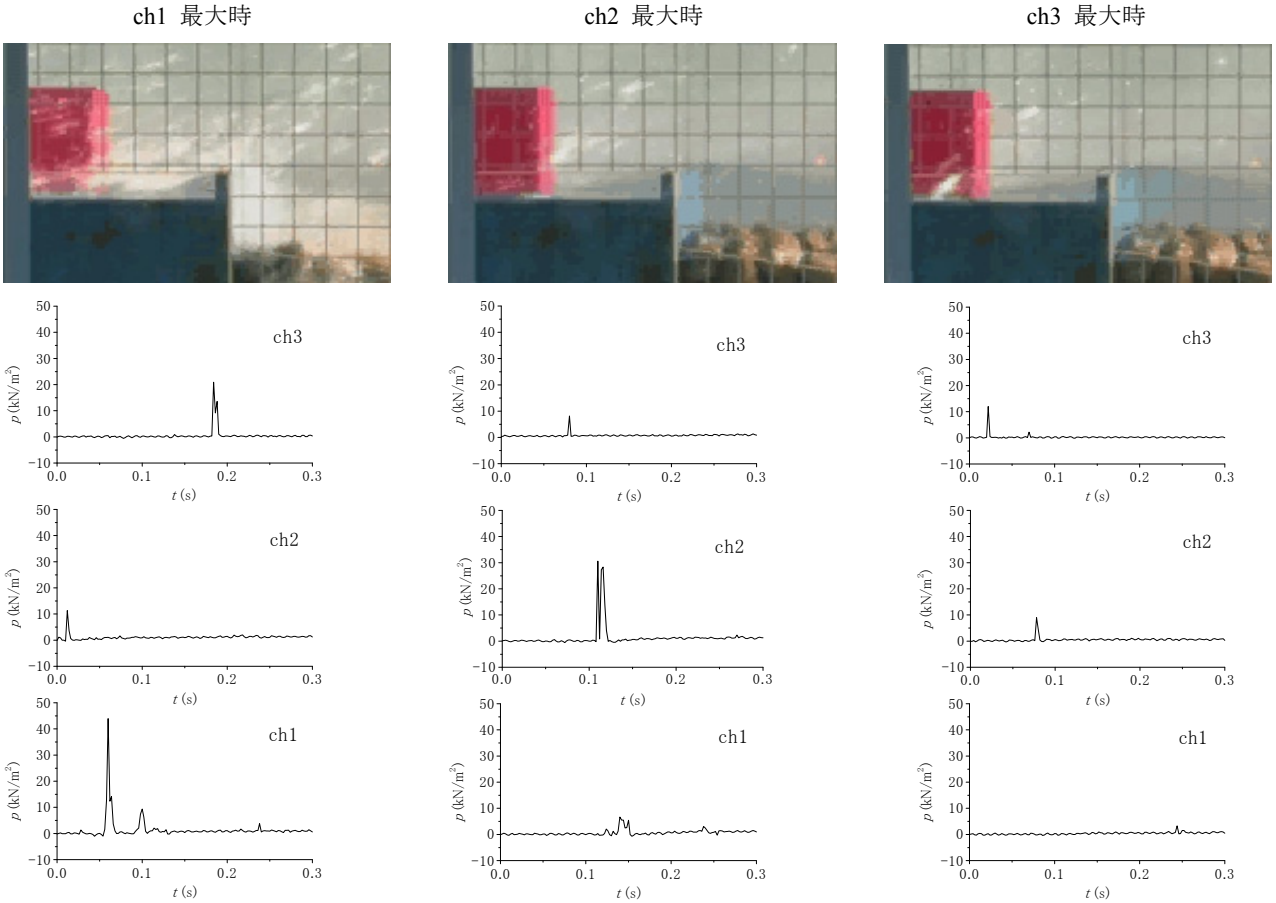
4.2　波圧の時間変化と発生頻度

図－6 の上段の写真は ch1，ch2，ch3 のそれぞれの波圧計に越波飛沫が衝突したタイミングの状況を示している。その下のグラフには各波圧計の時間変化を示している。越波飛沫の衝突によって各 ch に働く波圧には位相差が生じていることが分かる。これは越波飛沫の軌跡が、その質量、始点、初速度、打出角度などによって、異なるためと考えられる。

図－7 は、$T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m の波浪条件に対して 10 波群(合計 1500 波)を作用させたときの、波圧 p の頻度分布を示している。なお、横軸の波圧 p が「0」の範囲は 0≦p＜10kN/m^2、「10」の範囲は 10≦p＜20kN/m^2 であり、横軸の目盛りは該当する波圧範囲の下限値に対応している。p の最大値は ch1 で 52.5 kN/m^2 、ch2 で



図－5　波高と波圧の関係

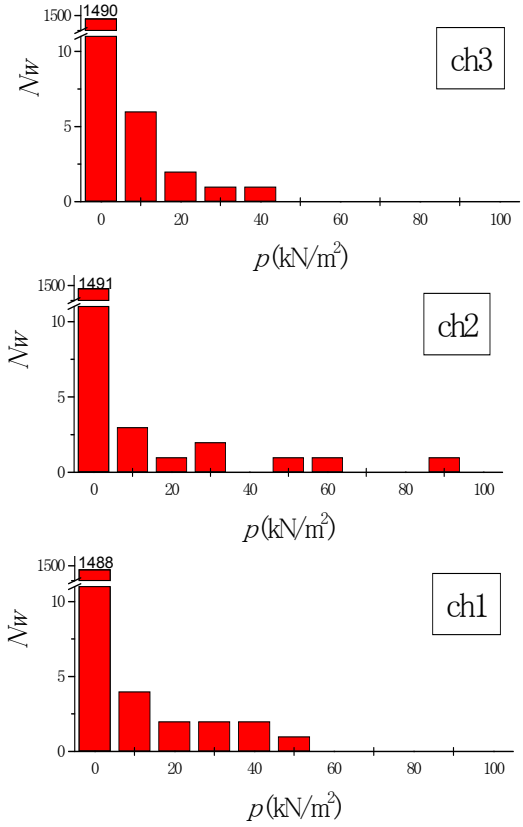


図－6　波圧の時間変化($T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m)

92.5 kN/m^2、ch3 で 45.6 kN/m^2 となっている。各 ch で 10kN/m^2 以上の波圧が作用する確率は 0.6～0.8%である。すなわち 1 波群 150 波が作用する約 30 分間に 1～2 波程度の頻度で、強い波圧が作用することになる。

4.3　車両位置と波圧の関係

図－8 は $T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m の波浪条件で海側と陸側での車両に働く波圧分布を比較したものである。なお、各 ch の同時性は考慮せず、最大値をプロットしている。



図－7　波圧の頻度分布($T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m)

海側、陸側いずれの車線においても最大波圧は 2ch で発生している。これは海岸側の波返工の影響であり、低い軌跡の飛沫は波返工により打ち消されるためと考えられる。最大波圧は、海側は 35 kN/m^2 であるのに対し、陸側では 11 kN/m^2 と、約 1/3 にまで減少している。このことより、高波時には海側車線の通行を規制することによって、車両に対する被害の軽減が可能となることが分かる。

5.　まとめ

A 海岸の道路護岸を対象として検討を行った結果、以下の事項が明らかになった。

①越波流量および車両に働く波圧は、沖波 3.0m の条件で最大となりそれ以降は頭打ちとなった。

②越波飛沫の衝突により車両に働く波圧が 10kN/m^2 を上回る確率は 0.6～0.8%であり、1 波群 150 波中に 1～2 波程度である。

③車両に働く波圧は、陸側車線走行時には海側車線走行時に比べて 1/3 程度まで減少する。

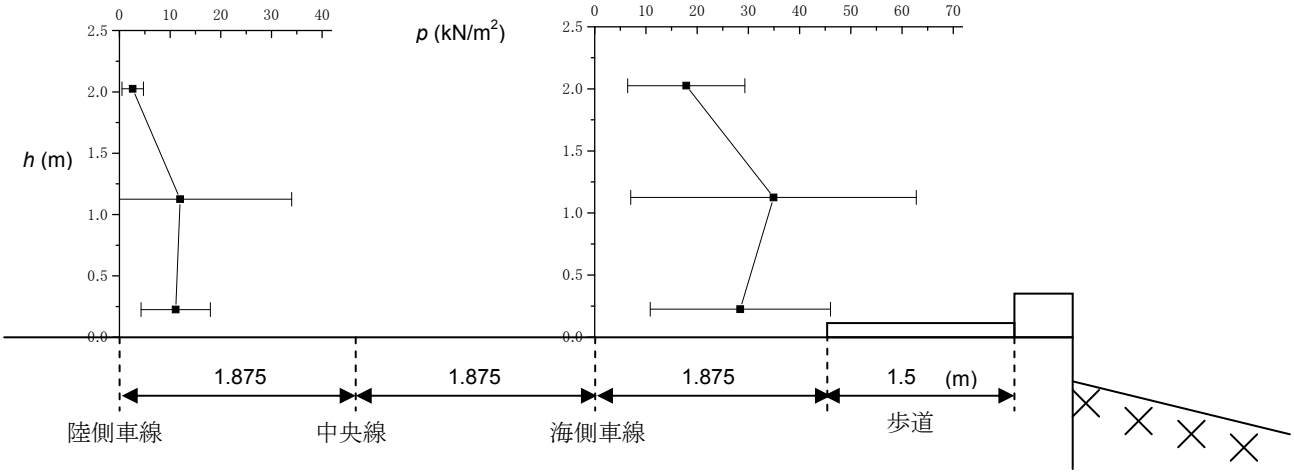
今回の実験結果より高波時においての静止車両に対する危険性は明らかにすることができた。今後は走行している車両の危険性についての検討を行う予定である。

参考文献

1)　木村克俊･浜口正志･岡田真衣子･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、第 50 回海岸工学論文集，第 50 巻，pp.796-800，2003.

2)　山本泰司･宮部秀一･木村克俊：親水護岸における越波飛沫の現地観測と利用者の安全性に関する一考察、平成 16 年度土木学会北海道支部論文報告集，CD-ROM，2005.

3)　福田伸夫･宇野俊泰･入江功：防波護岸の越波に関する現地観測(第 2 報)、第 20 回海岸工学論文集，第 20 巻，pp.113-118，1973.



図－8　車両位置と波圧の関係($T_{1/3}$=11.0s，Ho'=3.0m)