

海岸道路を走行する車両の高波による 脱輪事例の分析

ANALYSIS OF A VEHICLE FALLEN OUTSIDE A COASTAL ROAD BY WAVE ACTION

清水敏明¹・木村克俊²・山本泰司³・上久保勝美⁴・吉野真史⁵

Toshiaki SHIMIZU, Katsutoshi KIMURA, Yasuji YAMAMOTO, Katsumi KAMIKUBO,
Masafumi YOSHINO

¹日本データーサービス株式会社 水工部 部長 (〒065-0016 札幌市東区北16条東19丁目1-14)

²正会員 博(工) 室蘭工業大学大学院 暮らし環境系領域 社会基盤系ユニット
(〒050-8585 室蘭市水元町27番1号)

³正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ寒冷沿岸域チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

⁴正会員 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ寒冷沿岸域チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

⁵正会員 株式会社アルファ水工コンサルタンツ 技術部
(〒063-0829 札幌市西区発寒9条14丁目516-336)

On September 8, 2004, a running vehicle was fallen outside a coastal road along the Japan Sea in Hokkaido due to storm waves caused by Typhoon No. 18. Six passengers of the vehicle were injured by the accident. In this study, the damaged condition was investigated according to the report of road administrators and the operating records of the vehicle. Wave overtopping rate and wave force acting on the vehicle were reproduced by two dimensional hydraulic model tests with irregular waves. Based on the test results, it was clarified that the maximum horizontal wave force was approximately 180kN under the wave overtopping rate of 0.03 m³/m/s. The possibility of the windshield damage was also suggested by the observed data of vertical wave pressure.

Key Words : Vehicle damage, wave overtopping, wave force, coastal road, hydraulic model test

1. はじめに

海岸道路において、越波によっ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、全面通行止め等の規制を講じる必要がある。しかしながら、現状では海岸道路の通行規制については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^{1), 2)}。

2004年9月8日、写真-1に示す北海道の日本海側に面したA海岸において、異常に発達した台風による高波が海岸道路に作用し、走行中の大型バスが路外に転落する脱輪事故が発生した。本研究では、水理模型実験により、当該護岸の越波流量と背後の走行車両に作用する波力の関係を示すとともに、事故発生時の状況を明らかにするものである。



写真-1 事故現場の状況 (2006年5月撮影)

なお、事故当時、写真-1に見られる消波ブロックは設置されていない状態であった。

2. 事故発生時の状況

(1) 海象状況

図-1 は、2004 年台風 18 号の経路図である。異常に発達したこの台風による高波が海岸道路に作用し、事故は発生した。

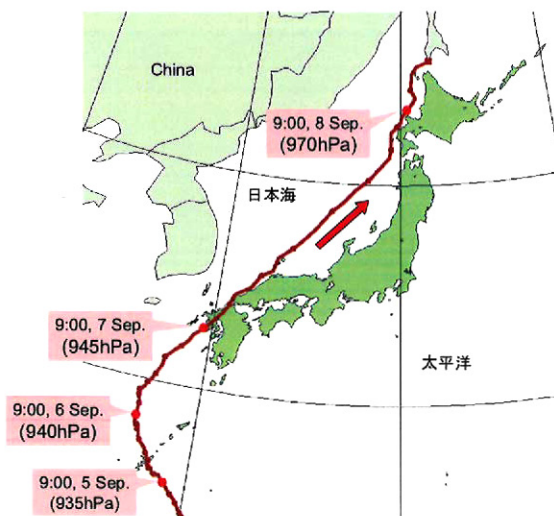
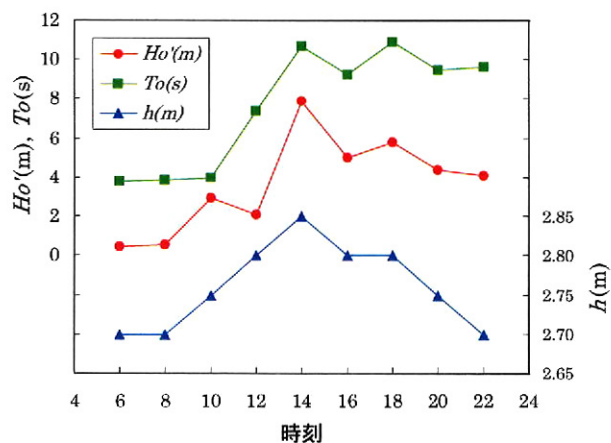


図-1 2004年台風18号の経路

図-2 は、事故発生日のA海岸沖の波浪および近隣の港湾における潮位の変化を示している。この事故が発生した 13 時 30 分頃には、沖波波高 $H_0' = 7.0\text{m}$ 、周期 $T_0 = 10.0\text{s}$ 、潮位（水深 h ）は 2.85m と推定される。



(2) 事故の状況

事故は、大型バスが海側の車線を走行中に発生した。運転手の話によると時速約 50km で走行中、突然、護岸からの激しい越波が生じ、ブレーキを踏むも間に合わず、その越波内に突入した。ハンドルでの回避を試みたものの全く制御が効かず、反対車線を越えて道路山側の窪地へ転落した。写真-2 は、事故直後のバスの転落した状態で、写真-3 は、その車内の状態を撮影したものである。

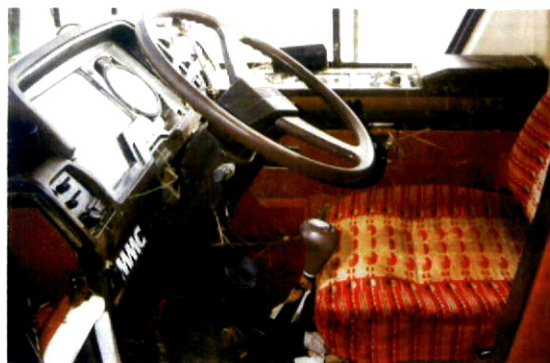


(a) 車両前部



(b) 車両後部

写真-2 高波により脱輪したバス



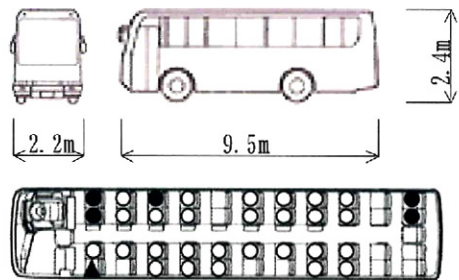
(a) 運転席



(b) 左側最前列

写真-3 車内の状態

図-3 は、事故に遭遇したバスの形状と座席の配置を示したものである。バスの形状寸法は高さ 2.4m 幅 2.2m、長さ 9.5m である。事故当時乗客数は全 33 名、事故により負傷した乗客は 6 名で、このうち 2 名が入院した。その 2 名のうち 1 名は、流木の衝突により破損した窓ガラス（写真-3 の (b) 参照）の破片により頭部に裂傷を受けた。



- ：乗客
- ：負傷者（打撲）
- ▲：負傷者（裂傷）

図-3 バスの形状と座席表

3. 実験水路および模型

水理模型実験には、図-4 に示す二次元造波水路（長さ 24m、高さ 1.0m、幅 0.6m）を用いた。海底勾配は 1/30 として、これに続く水路床上に堤体模型を設置した。模型縮尺は 1/43 とした。以下、現地換算の物理量で表記する。

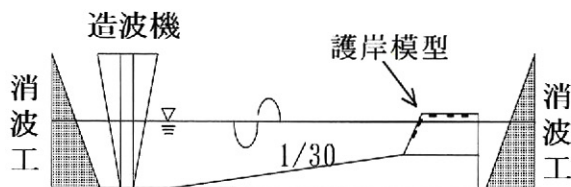


図-4 実験水路断面図

図-5 は護岸模型の断面形状を示している。堤体前面は 1:0.3 の勾配とし、護岸位置水深 h は 2.0, 3.0, 4.0m の 3 種類に変化させた。

天端上の 3 箇所の波圧計は、打込み波圧を測定するもので、護岸壁面の 2 箇所の波圧計は、ゼロアップクロス法により波圧データを 1 波ごとに区切るために設置したものである。

図-6 は車両に働く波力実験の模型を示している。

現地スケール高さ 2.4m、幅 2.2m、奥行き 9.5m のバス模型を用い、側面部中央に波圧計を設置した。護岸前面から車両までの距離は l とした。

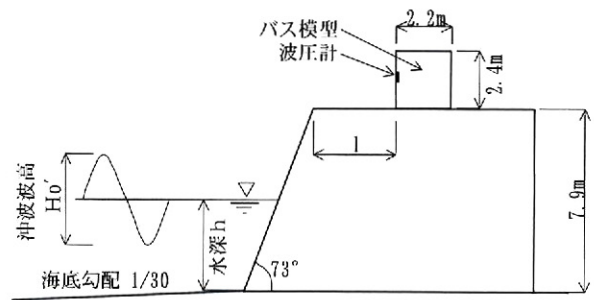


図-5 実験模型

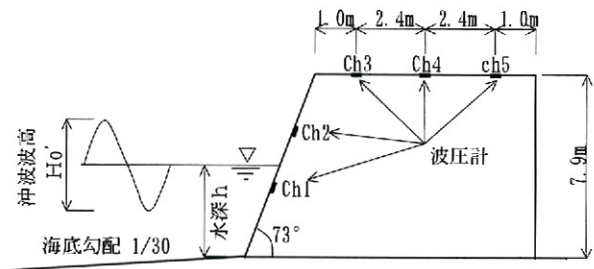


図-6 バス模型

実験波はすべて不規則波（1 波群 150 波）を用いた。実験を行った水深、波高、周期ならびに護岸前面から車両までの距離を表-1 に示す。なお、 $l=4.0\text{m}$ では水深 $h=2.0, 3.0, 4.0\text{m}$ を用い、 $l=0.0, 2.0, 6.0\text{m}$ では $h=3.0\text{m}$ のみとした。

表-1 実験ケース

水深 h (m)	波高 H_0' (m)	周期 T (s)	距離 l (m)
2.0, 3.0, 4.0	3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0	8.0, 10.0, 12.0	0.0, 2.0, 4.0, 6.0

4. 越波特性

(1) 越波形態

越波形態は図-7 ならびに写真-4 に示すような (a) 打上げ型と、(b) 越流型に分けられる。

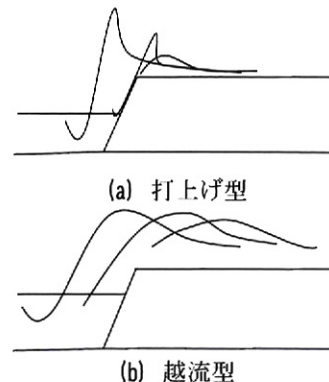
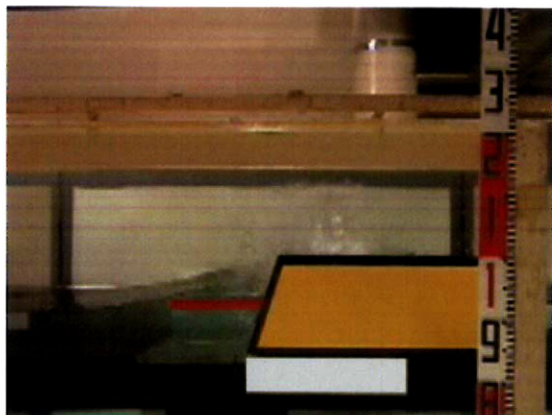
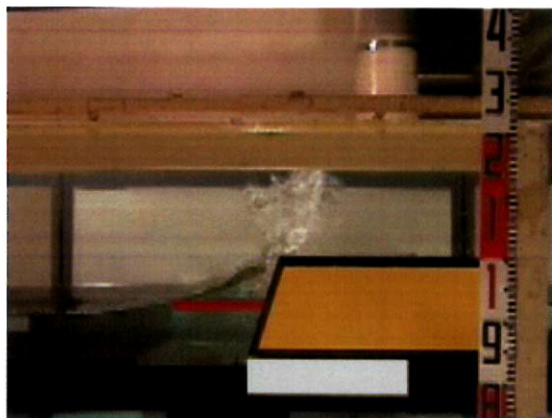
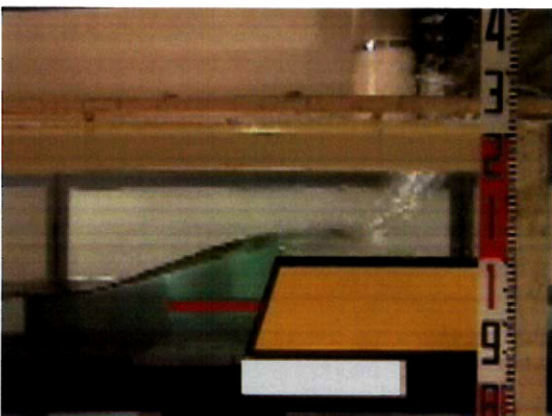
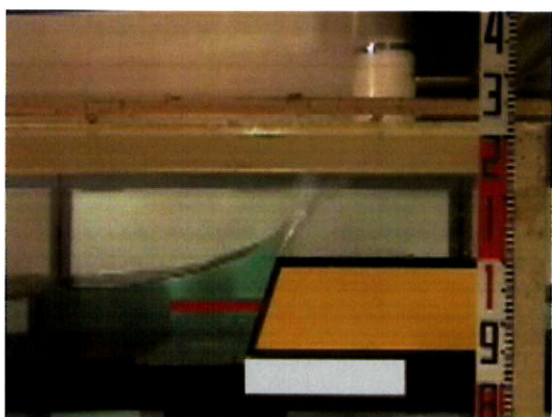


図-7 越波形態



(a) 打上げ型



(b) 越流型
写真-4 越波状況

周期が短く水深が小さい条件では、(a)に示すように護岸の斜面部に波面が衝突し、水塊が上方に打ち上げられる。ここではこの形態を「打上げ型」と定義する。

一方、周期が長く水深が大きい条件では、(b)に示すように堤体を飲み込むようにして越波する。この形態を「越流型」と定義する。

(2) 越波流量

越波実験では、幅 10cm の樋を堤体中央部に設置し、堤体を越える水量を測定し、単位幅当たりの越波流量 q ($\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$) に換算した。

図-8 には越波流量 q と波高水深比 H_o'/h の関係を示している。水深が大きく、周期が長くなるほど沖側で砕波せずに入射するため越波流量が増大し、越流型の越波形態が顕著となる。

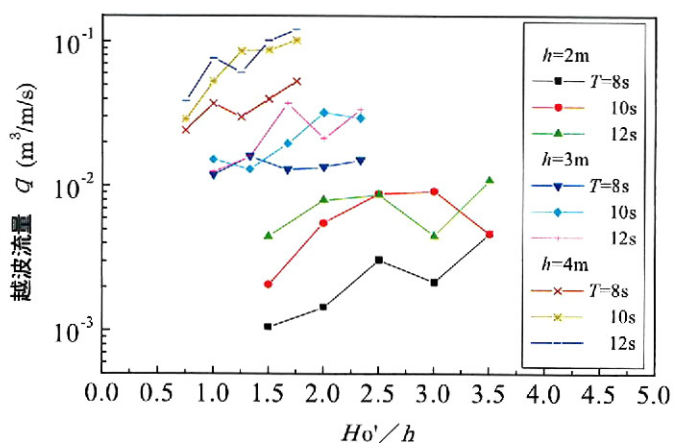


図-8 越波流量

5. 波圧特性

(1) 路面上の打込み波圧

図-9 は、路面上の 3ch における波高別の打込み波圧の発生頻度（1 波群 150 波に対する回数）を示したものである。波高が高くなるに従い、強い波圧の発生頻度が高くなる傾向が見られる。

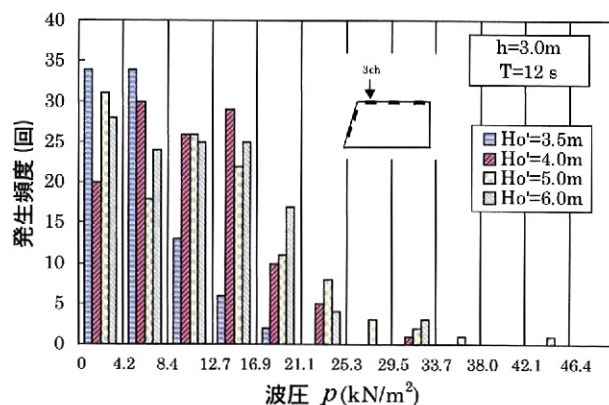


図-9 打込み波圧の頻度分布

図-10 は、路面上の3ch（護岸直背後）における打込み最大波圧を波高と周期別に示したものである。周期が増大するほど打込み波圧は増大する傾向が見られる。

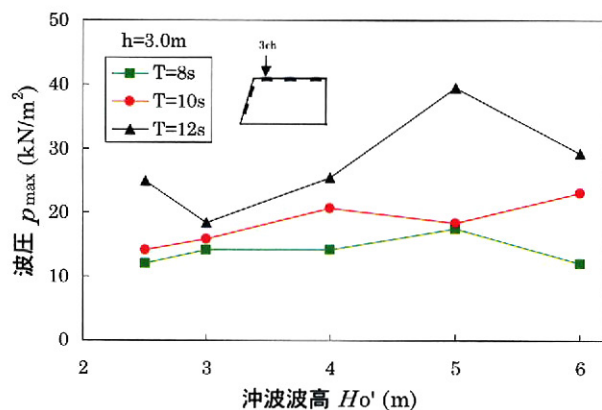


図-10 打込み波圧に及ぼす周期の影響

図-11 は、路面上3ch（護岸直背後位置）と5ch（5.8m後退位置）の最大打込み波圧を比較したものである。5.8m 後退位置での打込み波圧は護岸直背後位置での波圧に比べ約 1/5 程度まで減少する。

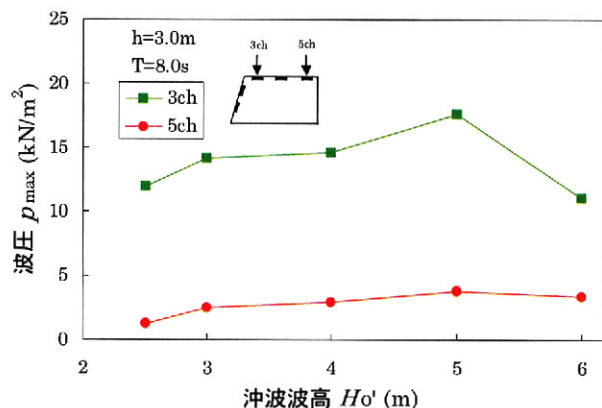


図-11 打込み波圧に及ぼす位置の影響

(2) 車両に作用する波圧

実験で得られた波圧に受圧面積を乗じて、車両に働く最大波力 $F_{\max}$ を求めた。図-12 は、 $l=4.0\text{m}$ における越波流量 q と最大波力 $F_{\max}$ の関係を、護岸位置水深 h ごとにまとめたものである。越波流量 q が大きくなるにしたがって、波力 $F_{\max}$ も大きくなっていることがわかる。

図-13 は、堤体位置水深 h を 3.0m とした場合の、車両までの距離 l に対する波力 F_l を示している。ここでは、 F_l を $F_{l=0}$ の値で除して無次元化し縦軸とした。なお、 F_l には沖波波高 5 種類による作用波力の実験値を平均したものを用いている。

車両までの距離 l が大きくなるにしたがって作用波力が小さくなるのがわかる。 $T=10\text{s}$ の場合には前述したように打上げ型になりやすく、越波流量が小さいため車両に働く波力低減が顕著となる。これに対し $T=12\text{s}$ では越流型が卓越する。越流型では

水脈と流速が維持されるので、車両に働く波力が減衰しにくくなるためと推測される。

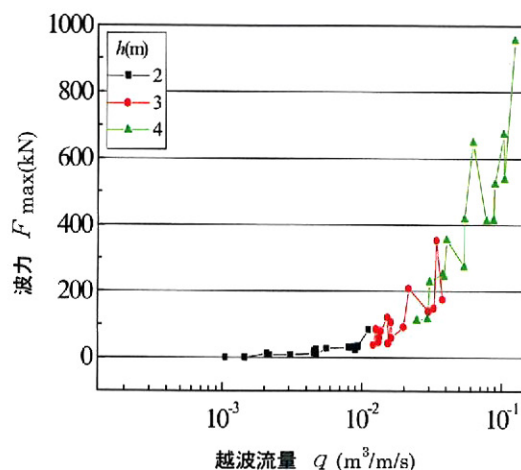


図-12 越波流量と車両に働く波力の関係

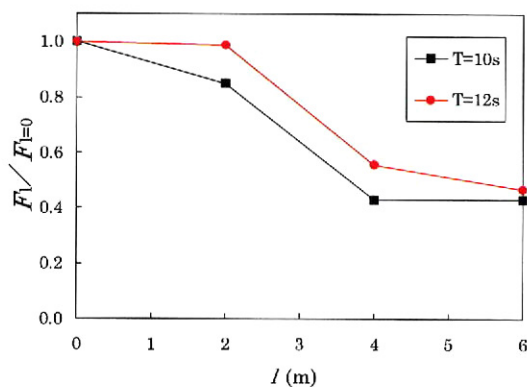


図-13 堤体前面からの距離による波力減衰

6. 現地への適用

A 海岸付近における事故発生時の沖波波高 $H_o' = 7.0\text{m}$ 、周期 $T_o = 10.0\text{s}$ 、水深 $h = 2.85\text{m}$ を用いて、図-8 より事故発生時の越波流量 q を推定すると、およそ $0.03\text{m}^3/\text{m/s}$ となる。この値を図-12 に当てはめると、被害発生前に相当する $l=4\text{m}$ に対する車両に働く波力は約 180kN となる。被害を受けたバスの自重は 100kN 程度であり、事故発生時には自重の 2 倍近い波力がバスに作用したものと考えられる。

また、事故発生時の打込み最大波圧はおよそ 10kN/m^2 と推定される。染野ら³⁾の試算によると時速 50km で走行していたこの車両のフロントガラスには、越波のタイミングによっては、ガラスの破損限界を大きく上まわる流体力が作用する可能性もあった。

7. まとめ

現地で発生した高波による脱輪事故について分析した結果、以下の知見が得られた。

- ①高波により発生した大型バスの脱輪事故に関して、道路管理者、バス運行会社等へのヒアリングを行い、事故発生時の状況を明らかにした。
- ②脱輪事故発生時の越波流量は $0.03\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ で、その時、車両には最大で 180kN の水平力が作用した可能性がある。
- ③現地では $10\text{kN}/\text{m}^2$ 程度の打込み波力が発生し、高速で走行中の車両には越波のタイミングによっては、フロントガラス被害が発生していた可能性もある。

謝 辞

本研究に際し、事故に関連する資料は、バス運行会社ならびに道路管理者から提供を頂いた。また、実験の実施にあたっては室蘭工業大学 平成 19 年度卒業の米本智泉君の協力を頂いた。

ここに記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) 木村克俊・安田佳乃子・山本泰司・梅沢信敏・清水敏晶・佐藤隆: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, 海講論文集, 第 48 巻, pp. 766-770, 2001.
- 2) 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, 海講論文集, 第 50 巻, pp. 769-800, 2003.
- 3) 染野裕考:平成 20 年度 室蘭工業大学 卒業論文 pp. 32, 2009.