

平成25年度

# 津波漂流物対策施設の漂流物捕捉特性に関する研究

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム ○森 昌也  
山本 泰司

東北地方太平洋沖地震による津波は東日本の広範囲に甚大な被害をもたらした。今次地震では津波そのものによる被害とともに、船舶や車両などの津波漂流物による構造物への被害や、港内漂流・道路遮断による物流機能の低下が大きな問題となった。北海道内の一部の港においては全国に先駆けて津波漂流物対策施設を整備しており、今次津波においても漂流物の捕捉効果が確認された。本報告では津波漂流物として車両に着目した基礎的な水理模型実験を実施して、津波来襲時の車両の漂流挙動および対策施設による車両の捕捉特性について報告するものである。

キーワード：津波漂流物対策施設、東北地方太平洋沖地震

## 1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、今次津波）による津波は東日本の広範囲に甚大な被害をもたらした。今次地震では津波そのものによる被害とともに、船舶や車両などといった津波漂流物の衝突による構造物への被害や、津波漂流物の港内漂流や道路の遮断による物流機能の低下が大きな問題となった。例えば、相馬港では津波によって漂流したコンテナが上屋に衝突する事例<sup>1)</sup>や仙台塩釜港では漂流した多数のコンテナによる物流機能の低下事例<sup>1)</sup>など多くの津波漂流物による被害が報告されており、津波漂流物対策の重要性が今次津波によって改めて明らかになった。

北海道内の一部の港においては写真-1の釧路港の施工事例のように、全国に先駆けて津波漂流物の捕捉を目的とした津波漂流物対策施設（以下、対策施設）を整備している。根本ら<sup>2)</sup>は釧路港入船地区において整備した対策施設について設計津波の考え方や支柱、捕捉ワイヤー、支柱基礎の設計手法を報告している。さらに菅原ら<sup>3)</sup>は十勝港、えりも港、釧路港において整備されている対策施設について今次津波における漁船や車両などの漂流物の捕捉状況を報告しており、対策施設の効果は現地でも実証されている。しかしながら、対策施設については施工事例、研究事例ともに少なく対策施設の形状が漂流物の捕捉特性に与える影響などについては明らかになっていないのが現状である。

港湾・漁港域においては港の利用者や来訪者の車両が多数駐車されており、津波来襲時にこれらの車両が漂流することで、港湾機能の低下や構造物への被害が生じる

ことが考えられる。実際に漂流した台数は不明であるが、北海道庁危機対策課の報告<sup>4)</sup>によると今次津波において1286台の車両被害が北海道内で報告されており、津波来襲時において制御する必要がある重要な津波漂流物のひとつであることが再確認された。そこで、本報告では津波漂流物として車両に着目した基礎的な水理模型実験を実施して、津波来襲時の車両の漂流挙動および対策施設による車両の捕捉特性について報告するものである。

## 2. 水理模型実験の方法

対策施設による車両の捕捉特性に関する水理模型実験を図-1に示す2次元造波水路（長さ27.0m、幅0.6m、高さ1.2m）において実施した。実験の縮尺は1/40を想定しており、造波水路内に海底地形（勾配1/10および1/50の複合地形）および直立護岸を再現した。ここで、造波



写真-1 津波漂流物対策施設（釧路港）

板前面水深は 90.0cm、直立護岸前面水深は 14.0cm、天端高さは 2.0cm で一定としている。対策施設の構造形式については、杭タイプ、ネットタイプなどが提案されているが、ここでは最も標準的で施工事例の多いワイヤータイプを対象とした。対策施設模型は図-2 に示すように、直立護岸前面から 100.0cm の位置に設置しており、ワイヤー高さ  $h_w$  を 2.0、3.0、4.0cm の 3 種類に変化させてその影響を確認した。

車両模型については塩化ビニル板を用いて中空で製作しており、軽自動車を想定した type-A および大型 RV 車を想定した type-B の 2 種類を用いた。車両模型の諸元についてはカタログを参考にして表-1 のように設定しており、車両模型の外観は写真-2 に示すとおりである。車両模型の底面にはタイヤを模擬したゴムを 4 点に設置しており、車両の地上高および摩擦係数が実車と同程度となるように調整している。実際の車両は時間の経過とともに車内への浸水が生じて浮力の減少が生じるが、本検討では対策施設の捕捉特性にとって危険側の条件として車内への浸水は考慮していない。実験開始時の車両模型の設置位置は図-2 に示すように対策施設から沖側に 50cm の位置としており、車両の向きは入射波方向と車両進行方向が直角となるようにした。

実験では図-1 に示すように波高計を造波板前 (ch-1)、直立護岸前面(ch-2)、対策施設位置(ch-3)の 3 箇所に設置して水位を測定するとともに、プロペラ流速計を対策施設位置に設置して遡上流速を測定した。また、水路の上部に設置したデジタルビデオカメラにより車両の漂流状況を 30fps で撮影し、画像解析により車両の時系列の位

置を追跡した。

本検討では入射波条件として水谷ら<sup>5)</sup>と同様にピストン型造波装置により押波初動の正弦波半周期分(以下、入射波)を用いた。入射波の沖側(ch-1)における目標波形については波高を 2.0~7.0cm の間で 1cm 間隔に変化させるとともに、造波板を押し出す時間で定義する周期  $T$  を 4.0~6.0s の間で変化させた。実験で使用した入射波について沖側波高  $H_{ch-1}$  と各測点の最大水位、最大流速の関係を図-3 に示す。水位、流速ともに沖側波高との相関が高く、周期の影響は小さいことが確認された。直立護岸前面(ch-2)および対策施設位置(ch-3)の水位は沖側波高に比例して増大しており、直立護岸前面の水位については浅水変形により沖側波高の 2 倍程度を示しており、対策施設位置の水位については沖側波高の 0.3 倍程度となっている。また、対策施設位置の最大流速についても水位と同様に沖側波高に比例して増大する傾向を示している。

### 3. 結果と考察

#### (1) 車両の漂流挙動

漂流状況の一例として波高 4.0cm、周期 5s、ワイヤー高さ 2.0cm の条件における軽自動車を想定した車両 type-A の水路上部からの 0.166 秒間隔のスナップショットを写真-3 に示す。ここで、写真左側が入射波方向、右側が対策施設模型の設置箇所である。0.0 秒から造波を開始して、9.08 秒において入射波が車両に作用して漂流を

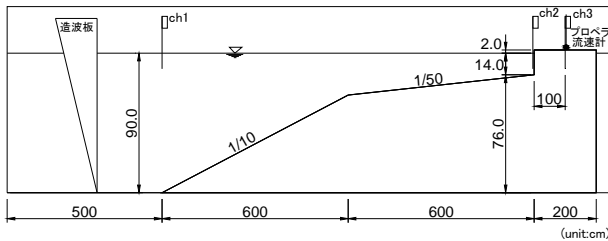


図-1 実験に用いた二次元造波水路

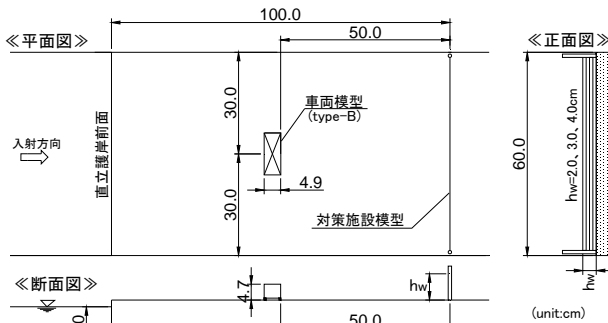


図-2 模型設置状況の詳細図

表-1 車両模型の諸元

	全長	全幅	全高	地上高	質量
Type-A	8.5	4.1	3.2	0.4	17g
Type-B	12.4	4.9	4.7	0.6	40g

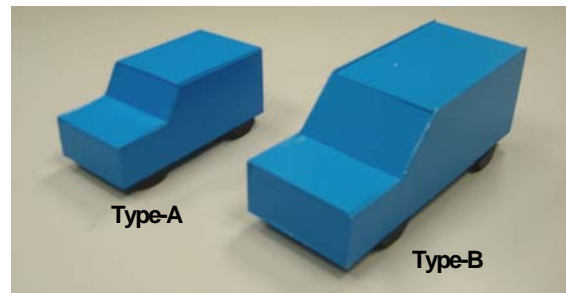


写真-2 実験に用いた車両模型

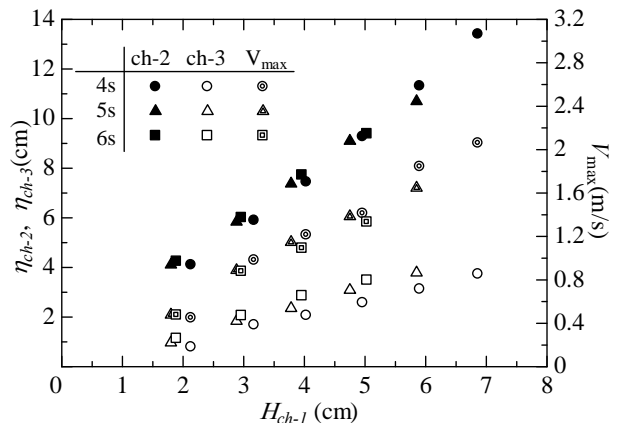


図-3 沖側波高と各測点の関係

開始し、わずかに反時計回りに回転しながら漂流している。その後、9.58 秒において対策施設に車両が衝突して一時的に対策施設に捕捉されるが、入射波から受ける流体力によって徐々に回転しながら 10.08 秒で対策施設を乗り越えている状況が確認できる。本研究ではこのような水路上部から撮影した映像から画像解析により車両 4 隅の位置を追跡し、車両重心位置の漂流軌跡を計算した。入射波の周期 5s の条件について波高 3cm と 6cm の漂流軌跡を図-4 に示す。ここで、移動距離は対策施設に対して直角方向の距離を示しており、原点は実験開始時の車両重心位置としている。両者の漂流軌跡の傾きを比較すると明らかのように、波高 6cm の条件の方が車両に作用する水位、流速ともに大きいことから、車両が受ける流体力も大きく、漂流速度も大きな値を示している。図中には比較として軽自動車を想定した type-A を実線、RV 車を想定した type-B を破線で示している。波高 3cm の条件に着目すると type-B の方が質量および喫水ともに大きいことから、入射波が作用してから漂流を開始するまでの時間が type-A と比較して遅く、漂流を開始した後も地面との摩擦を受けながら漂流していることから、type-A と漂流軌跡に差が生じている。これに対して、波高 6cm の条件においては車両を漂流させるのに十分な流体力が作用するため、両者の漂流軌跡の差は小さくなっている。

図-5 は衝突速度と流速の比  $V_c/V_{max}$  と無次元浸水深  $\eta_{max}/d_{car}$  の関係を示している。ここで、 $V_c$  は車両模型の対



写真-3 車両模型の漂流状況 ( $T=5s, H=4cm, h_w=2cm, typeA$ )

策施設への衝突速度、 $V_{max}$  は対策施設位置の最大流速、 $\eta_{max}$  は対策施設位置の最大浸水深、 $d_{car}$  は車両模型の喫水を示している。無次元浸水深が 2.5 以上の条件においては流速と漂流速度が概ね同程度の値となっているが、2.5 以下においては徐々に漂流速度の方が小さくなる傾向を示している。これは、無次元浸水深が小さくなるにつれて車両に作用する流体力も低減することから、車両が十分加速する前に対策施設に衝突し、流速に対する漂流速度の比が小さくなったものである。さらに、図-4 において示したように無次元浸水深が十分小さくなると地上との摩擦の影響を受けながら漂流するため、流速に対する漂流速度の比はさらに小さくなることが考えられる。無次元浸水深が 1.2 以下の条件に着目すると  $V_c/V_{max}$  が 0 とするケースが生じている。これは車両が漂流せずに停止し続けている条件を示しており、本検討における漂流限界は無次元浸水深で 1.2 程度であると考えられる。

## (2) 対策施設形状が捕捉特性に与える影響

車両を津波漂流物として想定した場合は、ワイヤー高さの設定が重要であり、想定する津波に対して適切な高さに設定しなければ漂流物を捕捉することができない。今回の模型実験においては図-6 に示すような 2 種類の対策施設の乗り越えパターンが確認された。浸水深がワイヤー高さに対して十分大きい条件においては図-6(a) のように車両がワイヤーに接触せずに乗り越えるパターン（以下、完全乗り越え型）が生じており、浸水深がワイ

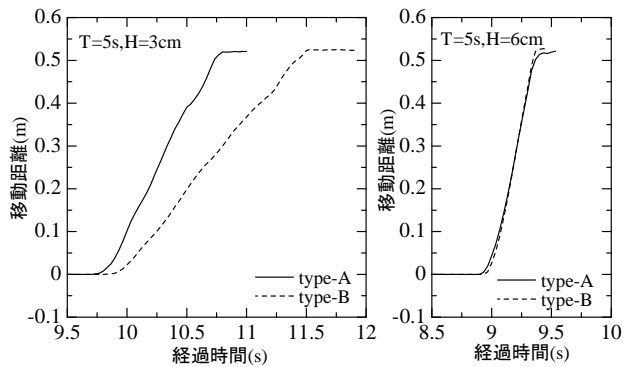


図-4 車両模型の漂流軌跡

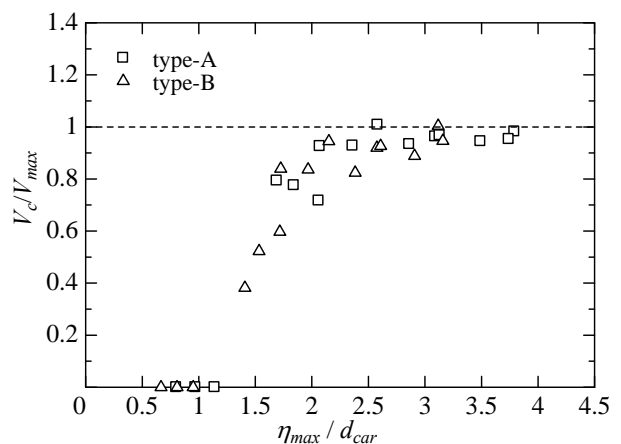


図-5 車両の衝突速度と最大流速の関係

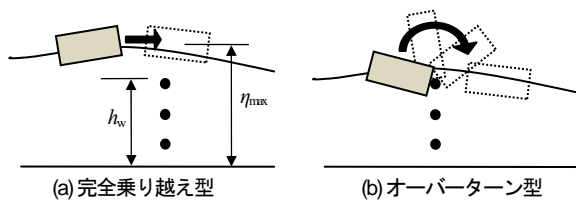


図-6 対策施設の乗り越えパターン

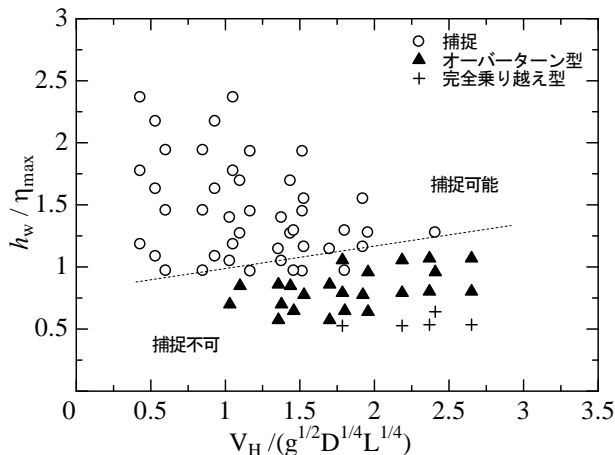


図-7 無次元ワイヤー高さ と無次元漂流速度の関係

ワイヤー高さと同程度の条件においては図-6(b)のようにいったんワイヤーに捕捉された後、入射波の流体力を受けて車両がワイヤーの最上段を基点として回転しながら乗り越えるパターン（以下、オーバーターン型）が確認された。ここでは、これらの乗り越えパターンの発生条件と車両を捕捉可能な条件について検討を行った。

今回の模型実験からワイヤー高さと同程度の条件においていったん捕捉した後にオーバーターン型の乗り越えが生じる場合があることが確認された。そのため漂流物捕捉の可否の判断にあたってはワイヤー高さと同程度の条件のみならず、車両に作用する入射波の流体力が重要なパラメータであると考えられる。池野ら<sup>9)</sup>は津波漂流物による衝突力についてフルード数に準ずる支配パラメータとして無次元漂流速度  $V_H / (g^{1/2} D^{1/4} L^{1/4})$  を提案して実験値との相関が高いことを示している。ここで  $V_H$  は漂流物の衝突速度、 $g$  は重力加速度、 $D$  は漂流物の代表高さ、 $L$  は漂流物の代表長さを示している。本検討においてもこのパラメータを用いて実験結果を整理した。図-7は漂流物の捕捉可否について無次元漂流速度  $V_H / (g^{1/2} D^{1/4} L^{1/4})$  と無次元ワイヤー高さ  $h_w / \eta_{max}$  の関係で整理したものである。図中の○は対策施設によって捕捉できた場合、▲はオーバーターン型、+は完全乗り越え型による乗り越えを示している。オーバーターン型の発生箇所に着目すると右肩上がりの傾向を示している。これは、無次元漂流速度が大きい条件ほど車両が受ける流体力も大きいことから、オーバーターン型の乗り越えが発生し

やすいことを示している。対策施設的设计にあたっては、無次元ワイヤー高さを 1.0 として設計している事例が多いが、入射波条件によっては 1.0 以上となる場合もあるため、無次元漂流速度の影響を考慮してワイヤー高さを設定する必要がある。また、完全乗り越え型に着目すると無次元ワイヤー高さが 0.6 程度以下の条件において生じている。

#### 4. まとめ

本報告では津波漂流物対策施設を対象とした基礎的な水理模型実験を実施して津波来襲時の車両の漂流挙動および対策施設による車両の捕捉特性について検討を行った。車両の漂流挙動については、車両の対策施設乗り越えパターンを示すとともに、対策施設位置における流速と漂流速度の関係を示した。捕捉特性については実験結果を無次元パラメータで整理して車両を捕捉可能なワイヤー高さの条件を示した。また、無次元漂流速度が大きい条件ほど車両が受ける流体力も大きいことから、オーバーターン型の乗り越えが発生しやすいことを明らかにした。今後は漁船などのその他の津波漂流物の捕捉特性についても同様の検討を実施し、対策施設的设计上の課題を明らかにしていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 高橋重雄, 戸田和彦, 菊池喜昭, 菅野高弘, 栗山善昭, 山崎浩之ほか(2011):2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No.1231
- 2) 根本任宏, 丸山修治, 佐々木洋介(2007):釧路港における津波漂流物対策施設の整備について, 土木学会年次学術講演会, Vol.62, pp.587-588
- 3) 菅原健司, 鈴木孝信, 佐藤朱美(2011):津波漂流物対策施設の効果について—東日本大震災を経験して—, 北海道開発局技術研究発表会, 安全3
- 4) 北海道総務部危機対策局危機対策課 HP「東日本大震災による北海道内の被害状況(最終)について」
- 5) 水谷法美, 小池竜, 中村友昭, 子安友加里(2009):岸壁に入射する津波の反射・遡上特性と小型船舶の打上げ・漂流挙動に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.65, No.1, pp.841-845
- 6) 池野正明, 森信人, 田中寛好(2001):砕波段波津波による波力と漂流物の挙動・衝突力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, Vol.48, pp.846-850