

透過構造物に滞留する津波漂流物に関する基礎的研究*

八戸工業大学大学院 橋本 憲二
 八戸工業大学大学院 高瀬 慎介
 日本工営株式会社 野島 和也
 日本工営株式会社 桜庭 雅明

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波は、東北地方の太平洋沿岸地域に甚大な津波被害をもたらした。津波被害が拡大した要因の1つに、津波により破壊された建物や船舶、木材等の漂流物が濁流となって押し寄せたことが挙げられる。津波により運ばれ堆積した膨大な量の瓦礫は、被災地復興の妨げとなり、津波が引いた後も広範囲にわたり被害を拡大させた。東日本大震災の被害を踏まえ、津波災害から一時的に避難するための緊急避難場所として、津波避難施設が有効な対策方法とされている。しかし、津波避難タワーなどで見られるような流れを透過する構造は、津波と共に押し寄せる漂流物による衝突と滞留のリスクが高いと考えられる。1) 構造物に被害をおよぼす漂流物の力は、接触時に発生する衝突力だけでなく、漂流物が前面に堆積することで生じる間接的な荷重が想定される。東日本大震災以降、漂流物を伴う津波の挙動について研究が進められているが、未だ不明な点が多く、この影響を説明する解析モデルや算定式は確立されていない。

本研究では、漂流物を伴った津波が透過構造物に衝突・滞留する際の力学的挙動を、水理模型実験と数値シミュレーションの2つの面から検討・考察する。まず、循環水路に透過構造物を模した模型を設置し、船舶や木材を想定した細長い模型を作用させ、水理模型実験を行った。流水深や漂流物模型の投入本数を変化させ、透過構造物に作用する漂流物による荷重、滞留後の水位・流速等の推移を計測した。また、水理模型実験の結果をもとに、数値シミュレーション手法の検討を行った。

2. 水理模型実験概要

水理模型実験には本大学の循環水路を用いた。循環水路中に透過構造物を模した模型を設置し、ポンプによって水流を発生させ、瓦礫模型を投入する。透過構造物模型に瓦礫模型が滞留・閉塞する際の挙動を記録しつつ、透過構造物模型に働く力や水位・流速の数値の変化を計測する。

本実験において津波による水流は定常流を仮定している。また、投入する瓦礫模型には、長い模型と短い模型の2種類を使用する。2種類の瓦礫模型に対して、流水深を変化させた3パターン、瓦礫投入本数を変化させた3パターンの合計9ケースの実験を行った。実験ケースの詳細を表-1にまとめる。

図-1に、本実験で使用した実験装置の概要を示す。全長8.0m、水路幅0.6m、水路深0.8mの

表-1 実験ケース

流水深 (cm)		
20.0	22.5	25.0
瓦礫投入本数 (本)		
0	25	50

*Basic Study of Tsunami with Drifting Debris Staying in Permeable Structures by Kenji Hashimoto, Shinsuke Takase, Kazuya Nojima, Masaaki Sakuraba

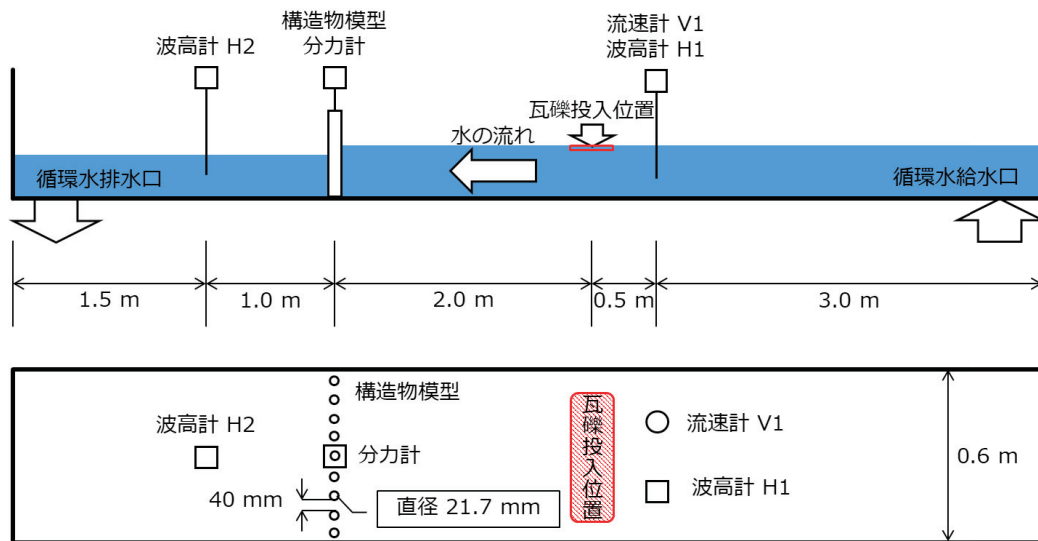


図-1 実験装置概要

開水路で、底面は剛製、側面はアクリルガラス製である。図-1 に示すように、透過構造物模型から上流側 2.5m の位置に流速計 V1 と波高計 H1 を、下流側 1.0m の位置に波高計 H2 を設置した。透過構造物模型自体には、物体に働く力を計測する分力計を設置している。透過構造物模型から上流側 2.0m の位置に瓦礫模型を投入する。

透過構造物模型は、図-2 に示すようにステンレスパイプ 9 本の上部を固定し作製した。パイプの直径は 21.7mm で、パイプ同士の間隔は 40.0mm となっている。下部は固定せず、上部を循環水路に万力で固定している。なお、分力計はパイプ 9 本全体の合力を計測するように設置した。

瓦礫模型は、実現象で滞留・堆積が考えられる船やコンテナ、流木を想定し、細長い形状の物を使用した。図-3

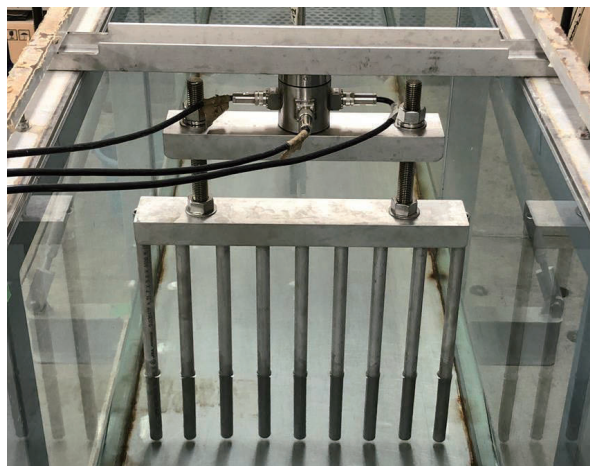


図-2 透過構造物模型

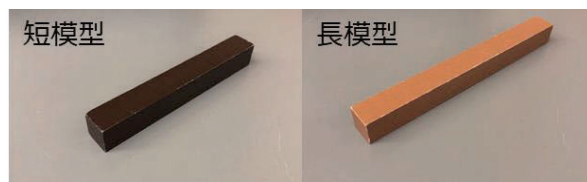


図-3 瓦礫模型

に使用した瓦礫模型 2 種類を示す。材質はケミカルウッドと呼ばれる樹脂製で、主にポリウレタンを使って人工的に木材のような性質を持たせた素材である。それぞれの瓦礫模型の寸法は、

短い模型が、W 15cm×D 2cm×H 2cm, 長い模型が、W 20cm×D 2cm×H 2cm となっている。質量は、短い模型が 35.1g, 長い模型が 46.8g となっており、どちらも密度は 0.59g/cm³ となっている。

瓦礫模型の投入は、図-4 のように瓦礫模型投入位置にて循環水路に板を渡し、その上に瓦礫模型を格子状に積み上げ、投入するタイミングで板をひっくり返すことで、瓦礫模型を水流に流す方法で行った。

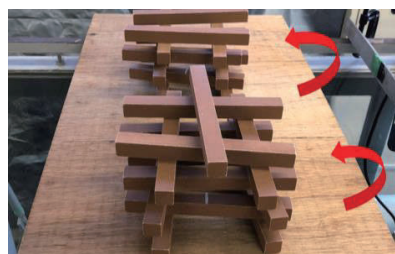


図-4 瓦礫模型の投入方法

3. 実験結果

全実験を通して瓦礫模型の挙動にある一定の傾向が確認できた。流水深 20.0cm・長い瓦礫模型を投入した実験ケースを例として説明する。この実験ケースの瓦礫模型の挙動を図-5 に示す。

瓦礫模型を循環水路に投入後、瓦礫模型は水流に流され透過構造物模型に衝突する。本実験で使用した瓦礫模型の比重は 1.0 より小さいため、全ての瓦礫模型は水面を流れて衝突している。水流によって連続的に瓦礫模型が衝突していくが、初期に衝突した瓦礫模型は後から流れてきた瓦礫模型によって水面下に押し出され、滞留が始まる。同時に、後から流れてきた瓦礫模型は水面を飛び出し、水位変化に伴い上方へ移動する。その後、水面下に押し出された瓦礫模型がさらに下方に移動し、徐々に瓦礫模型は動かなくなり、完全に閉塞する。

この挙動は、流水深や瓦礫投入本数に依らず、全実験に共通してこの傾向が確認できた。図-6 に、この実験ケースにおける水位差と透過構造物模型に働く力の推移のグラフを示す。このグラフは全 5 回行った実験の平均値をグラフ化したものである。一時的な滞留と移動に従い、平均力が段階的に変化していることが確認できる。水位差のグラフでは、ある時点で急激に水位差が広がっているが、これも閉塞が完全に行われた後だと考えられる。25 本投入したケースでは緩やかに変化しているが、これは投入本数が少なく閉塞が完全に行われなかったためだと考えられる。またグラフより、瓦礫模型による衝突力よりも、滞留・閉塞後の水流による間接荷重の方が大きいことが判明した。

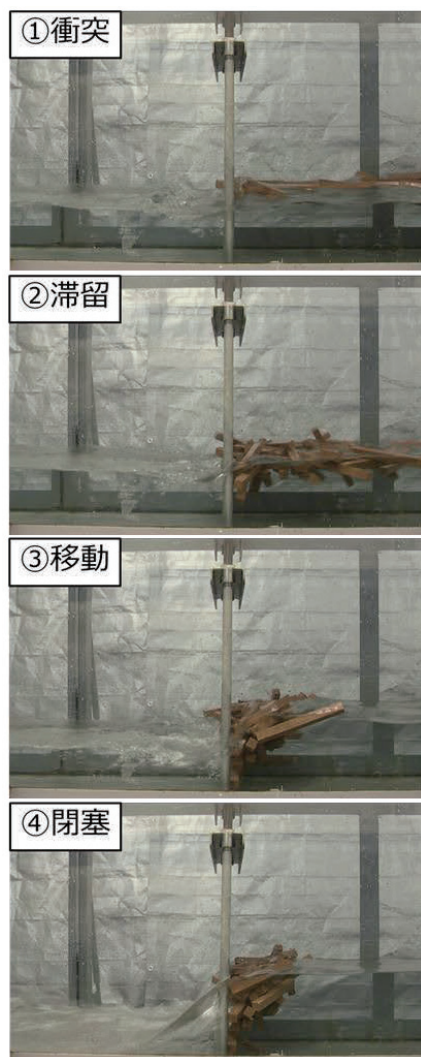


図-5 瓦礫模型の挙動

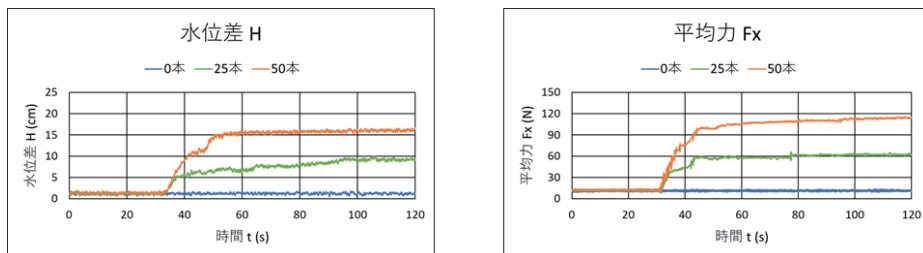


図-6 実験結果（水位差と平均力）

4. 数値計算

水理模型実験の結果をもとに、透過構造物における津波漂流物の挙動についての解析手法の検討を行った。解析手法は有限被覆法を用いており、瓦礫模型の衝突・接触判定には個別要素法を用いた。²⁾ 図-7に、流水深 20.0cm・長い瓦礫模型 50 本を投入した実験ケースにおけるシミュレーション結果を示す。瓦礫模型の大半が水面上に飛び出しており、水位差も実験時ほど発生していない。水理模型実験結果と水位差を比較すると、約半分の値になっていることがわかった。これは滞留と閉塞が十分に行われていないことが原因だと考えられるが、図に示すように、瓦礫模型が塊のまま一体となって流れていることが確認できた。瓦礫模型を投入した際にばらけることなくそのまま水流に流されており、このことから、数値シミュレーションにおいては投入方法の再現性が滞留・閉塞に影響していると考えられる。

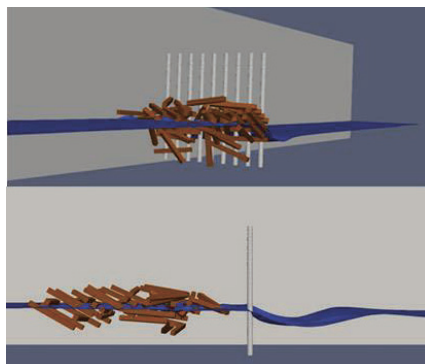


図-7 シミュレーション結果

5. おわりに

水理模型実験により、透過構造物に衝突した瓦礫が滞留・閉塞していく挙動を記録し、全体的な傾向を確認することができた。また、瓦礫模型の挙動に伴う水位差や平均力の変化に関連性を確認できた。数値シミュレーションに関しては、計算を流し滞留・閉塞を確認できたが、水理模型実験の再現解析には至らなかったため、今後の課題として検討を続けたい。

6. 参考文献

- 1) 野島和也, 桜庭雅明, 小谷拓磨, 橋本憲二, 高瀬 慎介: 津波避難ビル等の透過構造物に対する漂流物衝突に関する実験, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 76, No. 2, p. I_301-I_306, 2020
- 2) 高瀬慎介, 森口周二, 寺田賢二郎, 小山直輝, 金子賢治, 車谷麻緒, 加藤準治, 京谷孝史: 構造物の破壊を考慮した有限被覆法に基づく構造流体連成解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 71, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 18), p. I_203-I_212, 2015