

# 津波や洪水による浸水被害を抑制するための 対策法に関する研究開発

埼玉大学理工学研究科 学生会員 中部駿吾  
埼玉大学レリジエント社会研究センター 正会員 齊藤正人

## 1. 研究背景と目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では津波により大きな被害が発生した。特に被害の大きかった沿岸部が注目されがちであったが、内陸部でも床上、床下浸水等の被害を受けている。また、2011年のタイの洪水も記憶に新しい。これは近年まれにみる降水量、海拔の低いタイの地形、不十分な洪水対策により被災者230万人の大きな被害が生じた。

日本で現在開発されている浸水対策は、まわりに壁や塀があることを前提としているものや、人力が必須なものが多い。本研究ではこのような状況を踏まえて、自動的に水の浮力によって浮きあがる壁（フローティングウォールと呼称）による対策法についてシミュレーション解析を行う。本研究では、平面的に進行する水に対するフローティングウォールの動作性とその有用性を確認することを目的とし、フローティングウォールを実現するための目安として、強度と変形計算を行う。

## 2. 研究方法

フローティングウォールとは、水に浮くことのできる平均密度1以下の壁である。本解析では、剛体を仮定した壁をスライドガイドとともに地中に埋設し、壁とガイド側面間および壁の下に水が流れ込むスペースを確保し、水が流れ込んだ際の挙動をシミュレーションする。

### (1) 計算方法

SPH法はもともと宇宙物理学のために開発されたものであり、圧縮性流体を対象としているため、水を弱い圧縮性を持つ流体とみなす。この時の流体の支配方程式は、連続式(1)運動量保存式(2)状態方程式(3)の3つである。

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot v = 0 \tag{1}$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + (\nabla \cdot \tau) + F \tag{2} \quad p =$$

$$B \left[ \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right] \quad (\gamma = 7) \tag{3}$$

また、ある仮想粒子*i*の物理量に関して、カーネル関数を用い重み平均をとったものが(4)である。

$$f(x) = \sum_{j=1}^N f(x_j) W(x - x_j, h) \frac{m_j}{\rho_j} \tag{4}$$

(2)とその勾配の式により(4)を近似したものが以下。

$$\frac{dv_i}{dt} = - \sum_j m_j \left( \frac{P_j}{\rho_j^2} + \frac{P_i}{\rho_i^2} + \Pi_{ij} \right) \nabla_i W(x_i - x_j, h_{ij})$$

$$\text{ただし} \Pi_{ij} = \begin{cases} \frac{-\alpha \bar{c}_{ij} \mu_{ij} + \beta \mu_{ij}^2}{\bar{\rho}_{ij}} & (v_{ij} \cdot x_{ij} < 0) \\ 0 & (v_{ij} \cdot x_{ij} \geq 0) \end{cases}$$

$$\mu_{ij} = \frac{h v_{ij} \cdot x_{ij}}{x_{ij}^2 + \eta^2} \quad \text{とする。}$$

(1), (2), (4)により、流体の運動を解く。

### (2) 今回使用するプログラム

今回はMonaghanの定式(1992)<sup>1)</sup>に基づいて開発されたSPH法プログラムDualSPHysicsを使用した。このプログラムの浮力の動作性は上野<sup>2)</sup>により検証済みである。浸水が発生した場合、特に被害が大きくなるのは地下鉄などの地下空間である。そこで本研究は、図1に示すような入口2か所を持つ地下空間モデルを作成し、平面的な水の流れを発生させて、フローティングウォールの動作性を確認する。

## 3. シミュレーション結果

シミュレーションの様子を図1に示す。フローティングウォールの比重を0.5で設定した。本解析では、フローティングウォールと壁を収納するスライドガイドとの摩擦は考慮していない。また、フローティングウォールは階段手前の入り口2か所にそれぞれ設置した。

水はフローティングウォール上を通過するが、徐々に浮上し浸水を防いだ。水の流れと平行に設置されたフローティングウォールも動作することが確認された。

キーワード：浸水被害、浸水対策、フローティングウォール、SPH法

連絡先：〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255

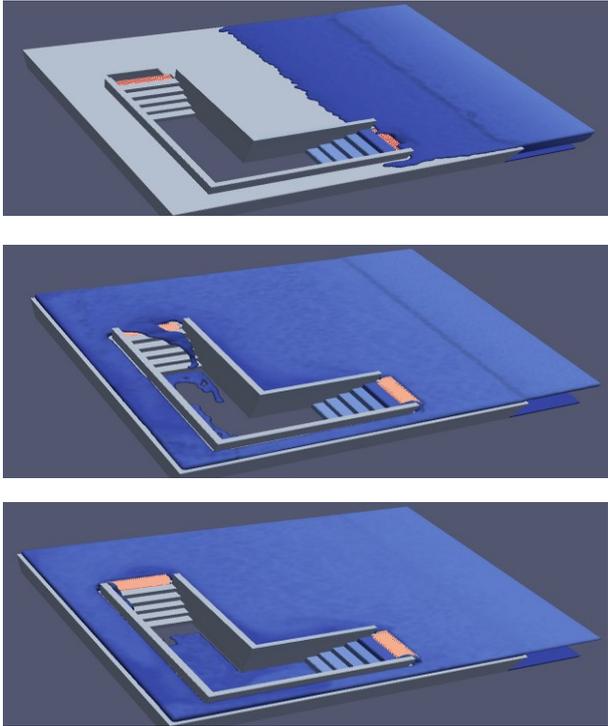


図 1 地下空間に対するフローティングウォールの  
応答解析結果

#### 4. 住宅への応用

2014年2月にはイギリスのテムズ川氾濫により、市街地に浸水被害が生じた。そこで、住宅を対象に解析モデルを構築し、フローティングウォールが四方からの水の流れに対するシミュレーションを実施した。

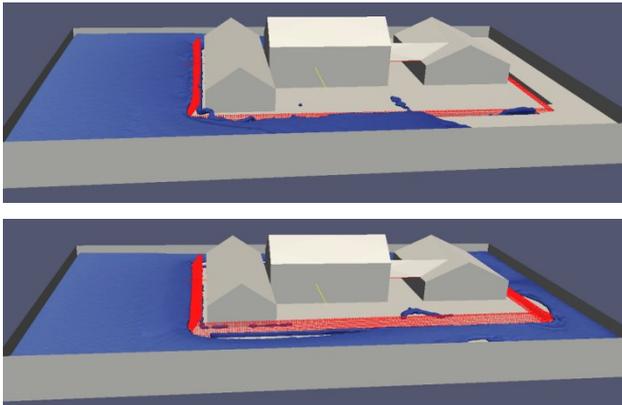


図 2 住宅に対するフローティングウォールの動作性

図2に示すように、住宅の四方に配置したフローティングウォールそれぞれが動作し、浸水を防ぐことが確認された。

#### 5. フローティングウォールの実現可能性

フローティングウォールは平均比重1.0以下とし、水圧に耐えられる構造と材料を選定する必要がある。本解析では壁を剛体と扱っていることから、一連の解析からは直接的に壁の変形と応力状態を評価することができない。そこで、今後の具体的な設計を進めるにあたり、簡易な1次元梁理論を用いて強度ならびに変形計算を実施した。例として、水面高さ2mとし、高さ2、厚さ0.3、幅2、中空部分を高さ1.7、厚さ0.2、幅1.7(単位はすべてメートル)とした。フローティングウォールを仮定した場合、梁下端固定条件において最大曲げモーメントは26.1(kN・m)、最大曲げ応力度は2.19(N/mm<sup>2</sup>)となった。エンジニアリングプラスチックの材料強度の参考値を入力し、その他の計算結果を表1に示す。以上の結果から、プラスチック素材でも強度と変形の観点から、設計できる可能性が示唆された。

表 1 フローティングウォールの強度と変形評価

	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張り強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	密度(中空) (g/cm <sup>3</sup> )	最大たわみ (mm)
ポリエチレン	40	25	200	0.91	0.561925	87.72028
ポリプロピレン	45	30	1750	0.91	0.561925	10.025175
ポリカーボネイト	90	65	2300	1.2	0.741	10.025175
ABS	55	40	1700	1.03	0.636025	7.6278504

#### 6. 結論

本解析により、地下空間や住宅地に対するフローティングウォールの動作性ならびに有効性が確認された。ただし、SPH法による本解析結果と水の流れ方などの現実の挙動との整合性が不可欠であり、今後は実験的な検証を行う予定である。加えて本研究では、フローティングウォールを実現するため、中空断面を有するエンジニアリングプラスチック材料で構築できる可能性を示唆した。今後は、実験模型に基づく研究を進め、フローティングウォール構築上の問題点の抽出ならびに解決策について検討を進める予定である。

#### 参考資料

- 1) Monaghan, J. J. 1992. Smoothed particle hydrodynamics. Annual Rev. Astron. Appl.,
- 2) 上野圭美: 津波や洪水による浸水被害を抑制するための対策法に関する解析的研究, 埼玉大学工学部建設工学科卒業論文, 2012