

○石川廉・内海京久・山上路生

○Ren ISHIKAWA, Kyohisa UCHIUMI, Michio SANJOU

The brand-new waterproof concept with flexible material, which is inserted into the gap of the door or window, has been developed. Even though the flexible material can endure the hydrostatic pressure, it's hard to keep on sticking in the gap under the flowing water, unless the desired shape design.

Therefore, in this study, we measured the horizontal velocity vectors around the waterproof material to find out the peel-off mechanism of this material, then, we reached to the preferable shape.

1. はじめに

長尺状の柔軟部材をドアや窓の隙間に施工して、洪水時に家屋への浸水を防ぐ止水材の開発を行っている。本止水材は柔軟性から任意の隙間に対して密閉可能であり、水深 50cm 相当で止水できることを静水圧テスト環境で実証済である。一方で実際の洪水を想定した流水環境下での止水材剥離耐性については、これまで実証実績がなかった。

そこで本研究では文献 1) を参考に、流水環境における止水材周りの流れをレーザー流速計により実験的に調べて、止水材剥離モデルの構築による、止水材設計ポイントの抽出を目的とした。

2. 止水材剥離モデルの考え方

図-1 は隙間に施工した止水材断面形態である。止水材は任意の隙間に挿入できる三角断面形状であり、挿入時の圧縮弾性変形により発生するばね力によって挟持される。流水下で止水材に発生する抗力起因のモーメントが挟持モーメントを上回る際に剥離が発生すると考えられる。抗力モーメントを見積もるべく、実験にて流れ解析を行った。

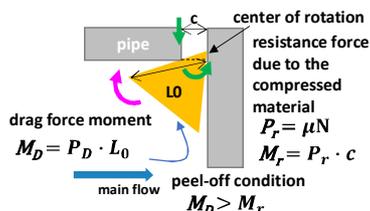


図-1 止水材施工形態、止水材が受ける力

3. 実験方法

幅 40cm、長さ 10m の強化ガラス製直線水路で実験を行った。図-2 に示すように水路の片側には幅 30cm、高さ 20cm、長さ 40cm の塩ビボックス

を並べて、所望の流速を得られるようにした。上流から 4, 6m 地点に止水材施工部を設けた。実際のドア寸法を参考に、幅 6cm のキャビティ内にアルミ角パイプで形成した隙間 5mm, 10mm の止水材施工部を U 字形状に設けた。止水材施工面は主流/キャビティ境界面より 4cm 位置とした。

止水材を施工後、水深 15cm、断面平均流速 1.5m/s の等流を発生させた状態で、止水材の流水耐性実験を行った。断面平均流速は外水氾濫時の市街地浸水を想定した設計目標値である。水深は浸水初期を想定した値である。図-3 に示す通り、本実験の止水材長さ寸法は実際の寸法の 1/3~1/4 であり、水理条件よりレイノルズ数は実際の浸水初期想定と本模型実験で一致する。目標耐久時間を 24 時間とし、剥離発生時には再度同条件で実験を行い、止水材剥離部近傍の流速計測を水平面の PIV によって行った。連続発光 2mm 厚のレーザーライトシート(LLS)を照射した。トレーサー粒子の比重は 1.02、径 100um であり、LLS によって可視化された粒子群を水路上方に固定した高速度カメラにより撮影した。カメラ解像度は 0.5mm/dot、フレームレートは 800Hz とした。

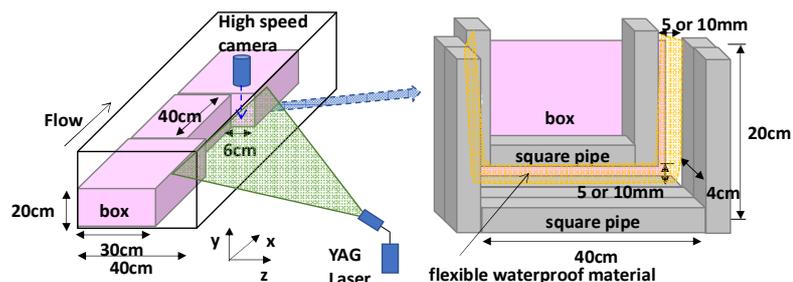


図-2 実験装置(キャビティは 1 か所のみ図示した)

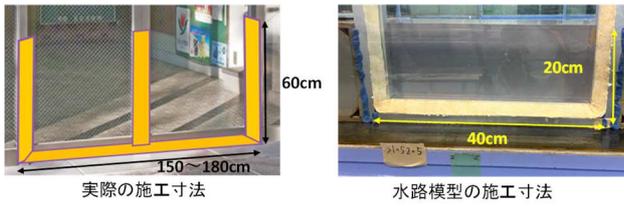
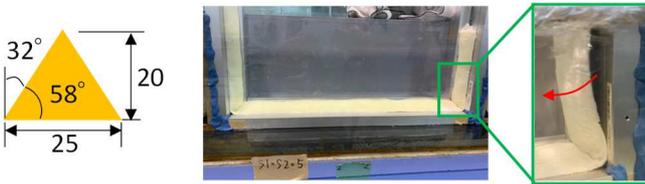


図-3 止水材施工寸法

4. 結果と考察

(1) 止水材剥離部近傍の流速計測結果

図-4は当初の止水材断面寸法と流水耐性実験結果である。止水材は底辺25mmの二等辺三角形形状であり、頂点側を隙間に差し込み施工した。隙間5mm水準において、実験開始直後から下流側垂直方向施工部にて止水材の振動が発生し、6分後に振動部を起点に止水材剥離が発生した。



実験開始6分後に下流側から剥離発生

図-4 止水材断面形状(単位 mm), 流水耐性実験時の止水材剥離発生箇所

図-5は剥離部近傍水平面(水路床面から8.5cm)での流速PIV計測結果である。止水材に沿って最大流速約0.5m/sの流れが発生した。隙間から露出した止水材周辺で境界層剥離が発生し、圧力差が生じて止水材の剥離に至ったと考えられる。

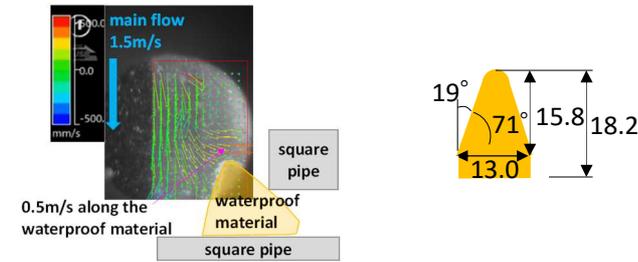


図-5 PIV計測結果

図-6 改良止水材形状

図-6は流水耐性を向上させた止水材断面寸法である。境界層剥離を抑制すべく、止水材の傾斜角度を32→19°まで下げた結果、隙間5mm水準での耐久時間は19時間と大幅に向上した。

(2) 止水材剥離モデル構築

図-7は止水材剥離現象の推定プロセスである。剥離、挟持モーメントは隙間に接した止水材位置を回転中心として発生すると仮定し、式(1)~(4)により算出した。

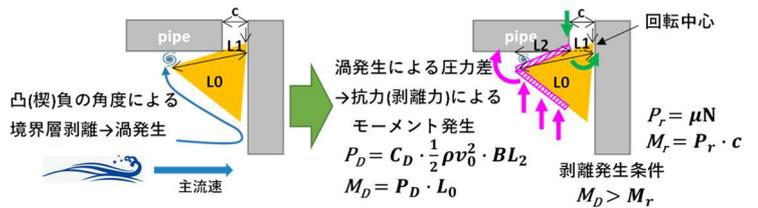


図-7 止水材剥離現象の推定プロセス

$$P_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho v_0^2 \cdot B L_2 \quad (1)$$

$$M_D = P_D \cdot L_0 \quad (2)$$

$$P_r = \mu N \quad (3)$$

$$M_r = P_r \cdot c \quad (4)$$

表-1 止水材施工時の各寸法, 物性値

	c[mm]	L0[mm]	L2[mm]	L1[mm]	B[mm]	圧縮歪[%]	L1'[mm]
図-4 止水材	5	24	7	5	1	20	2.5
	10	23	7	10	1	20	5
図-6 止水材	5	13	3	8	1	37	4
	10	12	2	15	1	22	6

表-1は算出に用いた各寸法, 物性値である。

L1は止水材の食い込み長さ, L1'は隙間内で止水材が挟持された正味の長さである。寸法は止水材施工後の実測値であり, 圧縮歪は止水材施工前後の寸法変化から算出した。圧縮歪は約20%であり, 別に実施した止水材圧縮試験結果より, 止水材が受ける圧縮応力を0.01MPaと見積もった。また, 抗力係数 $C_D=1.2$, 摩擦係数 $\mu=0.1$, 流水密度 $\rho=1000kg/m^3$ と仮定し, 止水材が受ける流速は図-5 PIV結果より $v_0=0.5m/s$ を基準値とした。

図-8は横軸を挟持モーメント M_r と剥離モーメント M_D の比とした算出結果, 縦軸を実験で得られた剥離までの耐久時間とした対比である。流水耐性指標として本比率が有効であると考えられる。

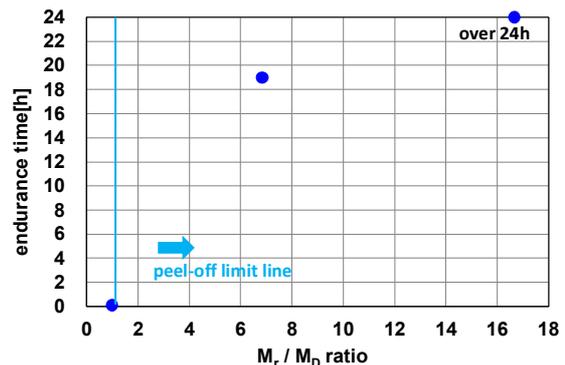


図-8 挟持/剥離モーメント比と耐久時間の関係

5. おわりに

今後, 流水耐性実験データ数を重ねて, 挟持/剥離モーメント比率の設計目標値を決めていく。

参考文献

1)山上ら, 土木学会論文集 B1, 70, No.1, 1-10, 2014.