

## 護床工下流端袋体の応答特性と袋体に作用する力の解析

国土技術政策総合研究所  
(株)建設技術研究所

正会員 ○川口 広司  
正会員 高田 保彦

国土交通省河川計画課 正会員 諏訪 義雄  
国土技術政策総合研究所 正会員 末次 忠司

## 1. はじめに

本研究は袋体の中込材の移動，袋体の変形，移動，流失という袋体の流れに対する応答特性を検討し，袋体の減災構造物としての適用限界を明らかにすることを目的としている。袋体の流れに対する流失限界は中込材の限界せん断力に基づいた水深平均流速から設計されている<sup>1)</sup>。しかし，袋体は中込材の重量や袋材の遮蔽効果などにより，変形，移動，流失に至る応答特性が変化することが明らかにされている<sup>2)</sup>。本論文は，袋体が底面に及ぼす力を測定することで袋体に作用する力を解析し，下流端護床工としての袋体の応答特性を検討したものである。

## 2. 実験条件

実験水路は，図-1に示すような段落ち部のある，長さ 7.63m，幅 0.5m，最急斜面勾配 1/20 の直線水路であった。護床工下流端に袋体が設置された場合を想定し，表-1 袋材と中込材との袋体の表面粗度と変形特性を変えた重量一定(水中重量  $W=2.4\text{kg}$ )の計 6 種類の袋体を段落ち部下流水路中央に設置した。流量は袋体が流失するまで，段階的に 155～354 l/s まで増加させた。袋体が動き出すときの最大引張力を測定することにより，静止摩擦係数を求めた。その時の袋体の重量は測定した底面に作用する力の範囲とした。袋材は幅 30cm，網目 2.0mm の長方形の網が 2 枚合わさった形であった。袋材の縦の長さは三種類に変化させた。case2,3 の袋体は中込材を袋材で 2 重、3 重に包んだものだった。初期状態では袋材の幅方向と水路縦断方向を一致させて結び目が上部に来るように設置した。縦方向の長さが 33cm の袋体は他と比べ，変形しにくかった。

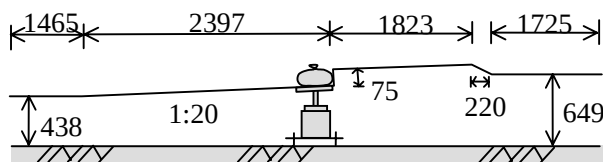


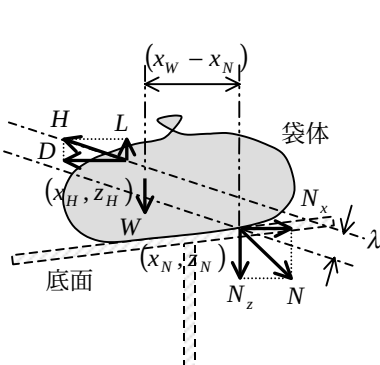
図-1 実験水路と分力計設置位置の概略図

表-1 実験条件

| case | 袋材    |   | 中込材    |     | 袋体<br>静止摩擦係数 |
|------|-------|---|--------|-----|--------------|
|      | 縦     | 枚 | 平均粒径   | 形状  |              |
| 1    | 44 cm | 1 | 6.2 mm | 小砂利 | 0.805        |
| 2    | 33.0  | 1 | 6.2    | 小砂利 | 0.805        |
| 3    | 38.5  | 1 | 6.2    | 小砂利 | 0.805        |
| 4    | 44.0  | 2 | 6.2    | 小砂利 | 0.866        |
| 5    | 44.0  | 3 | 6.2    | 小砂利 | 0.825        |
| 6    | 44.0  | 1 | 10.1   | 碎石  | 0.943        |

## 3. 袋体に作用する力の解析

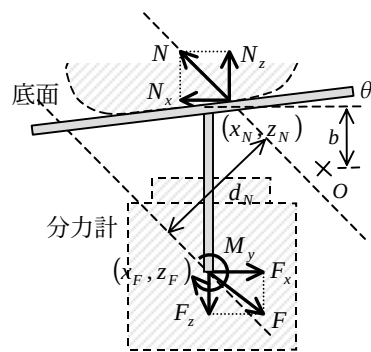
袋体に作用する流体力( $D, L$ )及び作用線は，図-2 のように水中重量  $W$  と重心( $x_W, z_W$ )，袋体が底面に及ぼす力( $N_x, N_z$ )及びその力の作用点と考えることができ，袋体に作用する流体力と重力のモーメントが 0 となる点（以下，袋体の支点とよぶ）の座標( $x_N, z_N$ )より算出される。袋体の重心は側壁ガラス面を通して撮影したビデオ画像の中込材形状から求められる。図-3 のように，袋体が底面に及ぼす力と袋体の支点は分力計の歪みゲージ測定値( $F_x, F_z, M_y$ )とその位置( $x_F, z_F$ )を用いて求められる。図-2, 3 の  $\lambda$  及び  $d_N$  は，それぞれ流体力  $H$  の作用線から袋体の支点までの距離，袋体が底面に及ぼす力  $N$  の作用線から歪みゲージ設置位置までの距離である。



$$D = N_x, \quad L = N_z + W$$

$$\sqrt{D^2 + L^2} \times \lambda = W(x_W - x_N)$$

$$\lambda^2 = \frac{\{ \pm [L(x_H - x_N) - D(z_H - z_N)] \}^2}{D^2 + L^2}$$



$$N_x = F_x, \quad N_z = F_z$$

$$\sqrt{N_x^2 + N_z^2} \times d_N = |M_y|$$

$$d_N^2 = \frac{\{ \pm [N_z(x_N - x_F) - N_x(z_N - z_F)] \}^2}{N_x^2 + N_z^2}$$

$$z_N = -\tan \theta x_N + b$$

図-2 袋体の流体力，作用線算出法 図-3 底面に及ぼす力，作用点算出法

キーワード：袋体，応答特性，流体力，護床工

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市大字旭 1 番地 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 TEL:0298-64-2211

#### 4. 袋体応答特性と滑動流失

実験は落差工下流護床工において生じる流れを想定し、常射流混在流れで行った。流量が200 l/s程度から、跳수는完全跳数となった。跳数位置は上下流方向に振動していた。段落ち上流でFr数は2程度の射流だった。

図-4は、袋体が流失した直後1秒をはさむ2つのビデオ画像と、その1秒間の中込材の軌跡について示したものである。袋体下部の中込材の軌跡は上部のものと比較して短く直線的であることがわかる。袋体上部の中込材は回転運動をしているが袋体下部の中込材は底面と接し、平行に移動していると考えられる。袋体の上部の中込材が弧を描く他の袋体も同様な挙動であった。

図-5は、ある時の袋体の中込材形状、重心、袋体の作用点、流体力作用線を示したものである。流失した袋体に関しては流失直前60sで斜面方向と垂直方向の作用力との比が最大値の時、流失しない場合は最大流量354 l/sの時を示している。case5を除き、袋体の作用点は袋体と底面とが接地する長さの大きくても8割程度の位置にあり、袋体の流失は転動によるとは考えにくい。case5の袋体の支点および流体力作用線が中込材から離れているのは、抵抗が大きい3重にした袋材が流れに応じて常に変形していたためと考えられる。粗度の大きな碎石袋体(case6)の流体力作用線はせん断力の影響を大きく受け、袋体上部位置していることがわかる。case1の袋体に作用するの流体力は他と比べて大きい、流失に至らなかった。中込材の大きさと変形形状より、袋体上部の上昇流による遠心力の影響を強く受けていると考えられる。この袋体に作用する力の解析法は護床工下流端袋体の流れにより変形、移動する際の流体力の特性を十分に把握することできるものであるといえる。

図-6は、静止摩擦力と袋体に作用する斜面方向の力との比と流量の関係を表したものである。流量が200 l/sでは跳数位置及び流体力は大きく変動していた。流失した場合のこの値は流失直前60sでの最大値である。流失していない袋体では0.6程度であるのに対し、流失する時は1.0に近い。袋体の流失機構は滑動であると考えられる。

#### 5. まとめ

今回の袋体に作用する力の解析法は護床工下流端袋体の流れの変形、移動、流失する際の流体力を把握可能とするものである。袋体の流失は転動ではなく、流体力と重力の合力の斜面方向成分と底面摩擦力から決まる滑動によることが明らかとなった。今後、袋体周辺の流れと中込材、袋材との関係を検討し、袋体の流れに対する応答特性を反映した減災構造物としての評価法・設計法の確立を目指す。

謝辞) 動画解析には(株)フォトロン の多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献: 1) 社団法人全国防災協会: 美しい山河を守る災害復旧基本方針, 2000.7

2) 高田・末次・諏訪・東・平林: 袋体工の流れに対する応答特性と設計上考慮すべき事項について, 河川技術論文集, 第7巻, pp.127~132, 2001.6

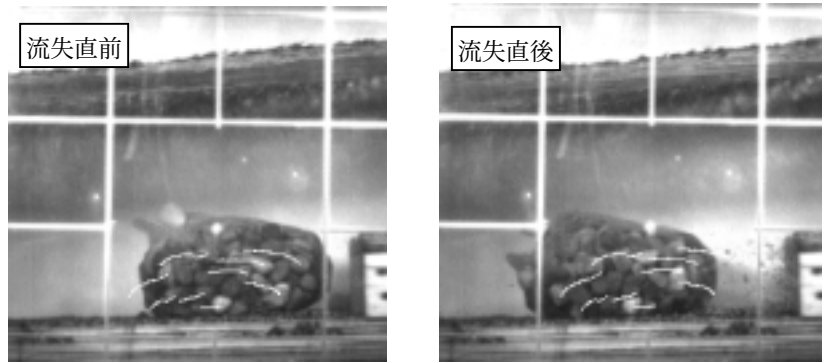


図-4 流失前後1秒間の中込材の軌跡 (中込材粒径: 玉石 18mm, 流量 199 l/s)

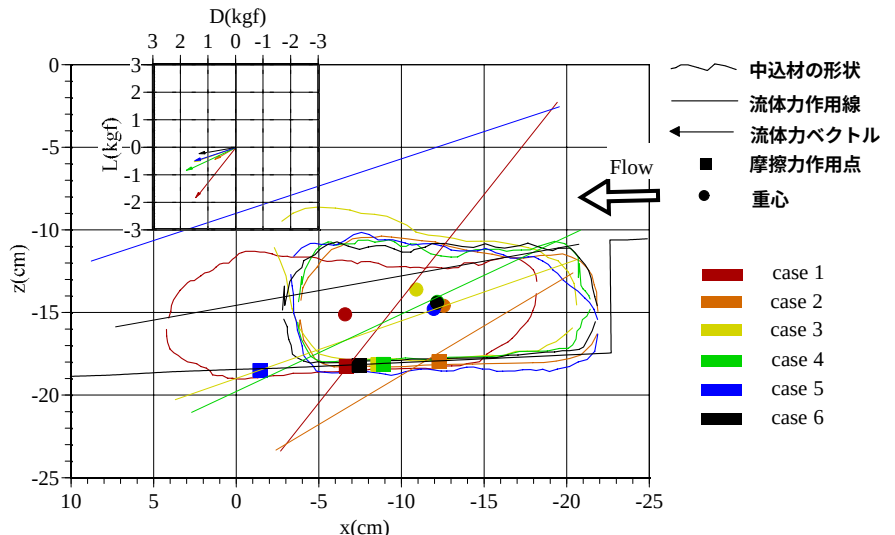


図-5 最大流量での袋体作用力

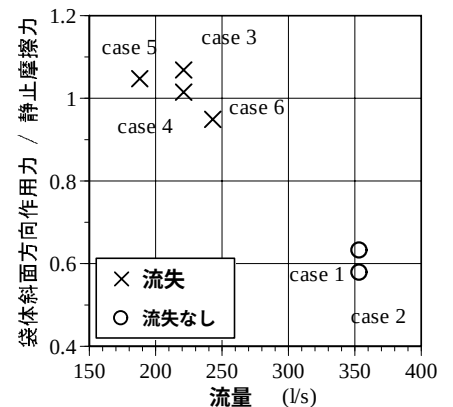


図-6 袋体の滑動流失