

75 土石流衝撃圧とそれに対する構造物の安定

立命館大学 理工学部 正員 大同淳之

1. はしがき

土石流を非圧縮性流体とみなして、衝突の瞬間はベルヌーイの式がなり立つことを利用して、ポテンシャルの時間的変化から圧力を求める。流体の衝撃方向に構造物が傾斜をもつとき、衝撃圧を数値計算で求め、受圧面の傾斜、流速分布が圧力分布および全圧に及ぼす影響を考察した。

2. 衝撃力の発生機構

土石流が堤体におよぼす衝撃力を算定するとき、一番問題にしなければならないのは、土石流のモデル化である。衝撃力という点からみて流体力学的に扱うか、固体力学的に扱うかである。ここでは、流体力学の立場から求めることにする。

流体の運動式、連続式はそれぞれ

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } p + K \quad (1)$$

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \text{div } u = 0 \quad (2)$$

式(1)を積分して、ポテンシャルを Ω とすると、ベルヌーイの式になる。

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \int \frac{dp}{\rho} + \frac{u^2}{2} + \Omega = 0$$

連続式を(3)式に代入すると

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad (4)$$

が得られる。急激な速度変化が生じるとき式(3)で第3項、第4項を無視できるので

$$p = \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (5)$$

となる。したがって、流体の非定常性によって、引き起こされる衝撃力 p は、式(4)を速度ポテンシャルについて解き、それを式(5)に代入することによって得られる。

速度ポテンシャルは堤体衝突時の最大値 Φ_0 が、 Δt 後に零になり、その間は線形的に変化する、と仮定する。式(5)に代入するについては、式(5)を差分で表し、

$$p = \rho \frac{\Phi_0 - \Phi_1}{\Delta t} = \rho \frac{\Phi_0}{\Delta t} \quad (6)$$

と表す。

実験と同じ条件の流速を与え、 Φ の分布を計算し、式(6)を用いて測定した。圧力に一致させる Δt を求めると、 Δt は当然のことながら、ちらばりを示した。そのちらばりは正規分布であるので、その平均値 $\Delta t = 1.5 \times 10^{-3} \text{sec}$ が衝突後、圧力が急激に減衰する減衰時間であるとする。

先の報告では¹⁾ 構造物が垂直のとき、一様流速で衝突すると下部のほうで衝撃力が大きく、表面の流速が最大の直線分布では表面近くで、また放物線形分布では表面より少し下がったところで最大になる結果が得られた。

構造物の設計にあたって受圧面の傾斜による圧力の変化を知る必要がある。ただ、土石流を流動さ

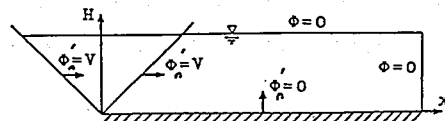


図1 境界条件

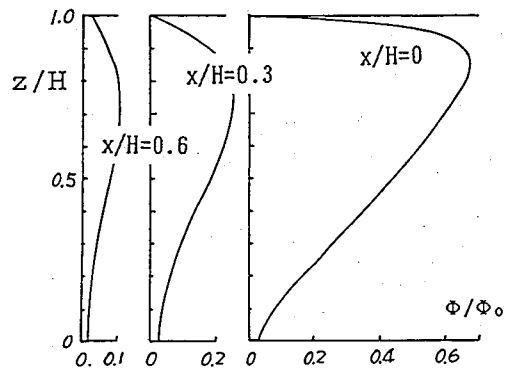


図2 ポテンシャル Φ の衝突時の分布
(前に傾斜、流速分布 a)

せて実験を行うと装置をかなり大規模にしない限り浅い流れになり、衝撃圧の分布を知ることは難しいので、数値計算で圧力に及ぼす構造物の傾斜の影響を調べた。計算は受圧面の頭部が前方に45°、垂直および後方に45°傾斜した場合について、流速分布としてa)表面で最大、底で零の直線分布、b)一様分布、c)底面で最大、表面で零の直線分布、d)表面で最大の二次曲線で、いずれも最大値は流速10 m/secとした。境界条件は、流れの表面は、衝突後の微小時間内では、衝突の直前と同じ流体表面を維持するとして、 $\Phi=0$ 、底面からのフラックスはないとして $\partial\Phi/\partial z=0$ 、上流側はるかはなれたところで $\Phi=0$ 、壁面では $V=\partial\Phi/\partial x$ という速度をもつとして図1に示すものとした。計算結果の1例を図2に示す。計算は構造物の高さHの4倍の長さの区間について行ったが、この程度の区間をとれば計算値に区間長さの影響は生じていない。このような Φ の値を式(6)に代入して求めた圧力分布を図3に示す。絶対値は実験で検証しなければならないが、傾向は把握できる。前に傾斜、後に傾斜かわからず、どの場合a)、c)、d)の分布形では流速の大きい付近に圧力の最大が生じるが、b)の一様分布では、底面近くで圧力の最大が生じる。後に傾斜のときは、前に傾斜および鉛直に比して圧力が大きくでている等の結果を示した。 Φ_0 は与えた流速と流れの高さの積で表し Δt は減速時間を用いる。 ρ は衝突物の見かけの密度で、この計算では $\Phi_0=10\text{m}^2/\text{sec}$ とした。

この計算で与えた運動量はa)、c)の場合と1とするとb)は4倍、d)は5.7倍を与えたことに相当する。計算の結果、得られた全圧力の大きさはa)のケースを1とすると、前に傾斜および鉛直の場合c)は、1.18倍、d)は1.37倍、b)は2.2倍である。後に傾斜しているときはa)について1.2倍となるが他は前の2者の場合とそれほど変わらない結果を示した。図4は変圧面の傾斜による圧力分布の違いを示す。

この計算では、土石流の先端は、受圧面の傾斜に平衡な面をもって衝突したことになるのに対し、実際には垂直もしくは後に傾いた面で衝突するので、この点は実験で補正したい。

3. 衝撃力に対する構造物の安定：講演時に報告する。

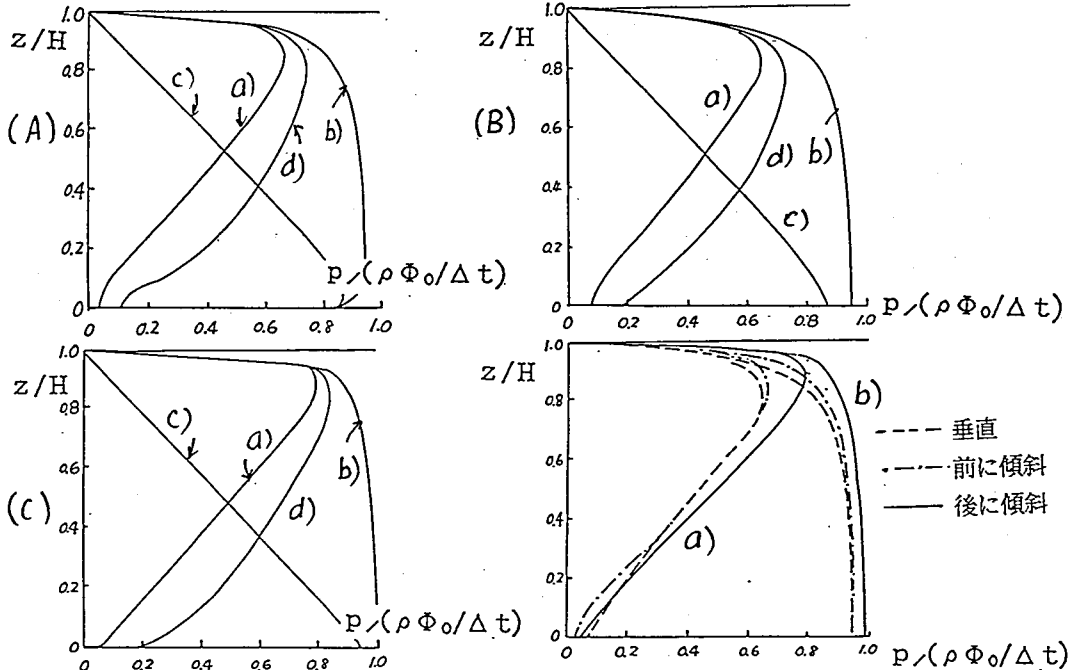


図3 圧力分布 (A)前に45°傾いているとき
(B)垂直 (C)後ろに45°傾いているとき
参考文献

図4 受圧面の傾斜による圧力分布の違い

1) 大同、土石流が構造物に作用する衝撃力、第45回年講、1990年