

砂防鋼構造物研究会 ○石川信隆 砂防鋼構造物研究会 中村 徹
 (財) 砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示 京都大学大学院 水山高久

1. はじめに

現在、土石流荷重を受ける砂防えん堤を設計する場合、礫衝突荷重と流体力荷重とに分けて考えている¹⁾が、ここでは、衝撃的に作用する土石流荷重モデルを想定して、これが砂防えん堤に作用する応答を簡単な1質点系構造物について調べ、特に、瞬間的に作用する荷重のピーク値と立ち上がり時間が構造物にどのような影響を与えるかについて検討したものである。すなわち、4つの異なるタイプの土石流荷重—時間曲線を構造物(1質点系モデル)に作用させ、その動的応答を求めたうえで、最大応答倍率—立ち上がり時間関係を得ようとしたものである。なお、衝撃応答には局所応答と全体応答があるが、ここでは全体応答のみを考える。

2. 土石流荷重と構造物のモデル化

2.1 衝撃的土石流荷重モデル

土石流荷重モデルとして、軽石を用いた水路実験で図-1のような荷重—時間曲線を得た²⁾。これは、あくまで一例であるが、実際には礫の大きさ・流速によっては、かなり異なる荷重—時間曲線が考えられる。そこで、ここでは図-2に示すような4つのタイプの土石流荷重を考える。

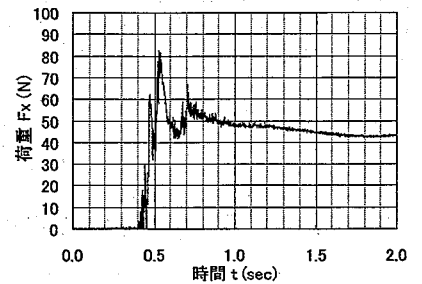


図-1 衝撃的土石流荷重の一例

(a) タイプA³⁾ ($\alpha = 1$ の場合) は、ピーク値がない場合で、一定の流体力 F_0 のみが立ち上がり時間 t_0 で作用し始める荷重—時間曲線である。

(b) タイプB ($\alpha = 1.5$ の場合) は、立ち上がり時間 t_0 で一定の流体力 F_0 の1.5倍のピーク値がある場合。(c) タイプC ($\alpha = 2$ の場合) は、立ち上がり時間 t_0 で一定の流体力 F_0 の2倍のピーク値をもつ場合。

(d) タイプD ($\alpha = 3$ の場合) は、立ち上がり時間 t_0 で一定の流体力 F_0 の3倍のピーク値をもつ場合。

ここで、一定の流体力 F_0 は、設計流体力 $F = \rho A v^2$ (ρ :密度、 A :断面積、 v :流速) と考えても良い。

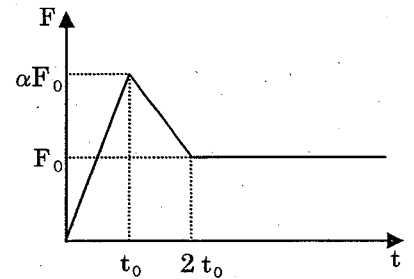


図-2 土石流荷重モデル ($\alpha = 1.0, 1.5, 2.0, 3.0$ の4タイプ)

2.2 構造物のモデル化

ここでは、構造物の応答を簡易に調べるために図-3のような1質点系モデルを用いる。図中の T は構造物の固有周期である。これに図-2の4つのタイプの荷重を作用させて、その弾性応答変位を算定した。

3. 弾性動的応答解析

3.1 応答変位の式

いま、図-3のような1質点系構造物に図-2のような荷重—時間曲線が作用する場合の動的応答変位は次式で算定される³⁾。

$$u = \int \frac{F(\tau)}{mn} \sin n(t-\tau) d\tau \quad \dots(1)$$

ただし、 $F(\tau)$: 4タイプの荷重—時間曲線

$$n = \sqrt{\frac{k}{m}}: \text{円振動数、 } k: \text{ばね定数、 } m: \text{構造物の質量}$$

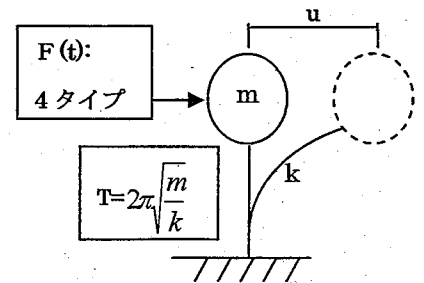


図-3 1質点系構造物

3.2 解析結果

3.2.1 動的応答倍率 (u/δ_{st}) — 時間比 (t/T) 関係

式 (1) に図-2 のタイプCとDの荷重 $F(\tau)$ を与えて計算すると、例えば、立ち上がり時間比 $t_0/T=0.5$ の場合、図-4 のような動的応答倍率 (動的変位/静的変位) — 時間比 (時間/固有周期) の関係が得られる。

- ①同じ立ち上がり時間のとき、ピーク値が大きいほど動的応答倍率も大きくなる。②応答変位の周期は、ピーク値が変わっても変わらない。

3.2.2 最大応答倍率 (u_{max}/δ_{st}) — 立ち上がり時間比 (t_0/T) 関係

図-4 と同じように、立ち上がり時間比 (t_0/T) を 0.1 から 0.1 刻みで 4.0 まで応答倍率を求めたうえで、そのうちの最大応答倍率—立ち上がり時間比を調べてみると、図-5 のような関係が得られる。

(1) タイプAの場合 (ピーク値がない場合)

- ①構造物の固有周期に比べ立ち上がり時間が短い場合、動的変位は静的変位の約 2 倍近くなる。すなわち、土石流荷重が衝撃的に作用すると、構造物の応答は静的設計で予想したよりも約 2 倍大きくなる。②立ち上がり時間が遅くなると、動的変位は静的変位に等しくなる。ゆっくりとした速度の土石流の場合、あるいは構造物の剛性が大きい場合 (固有周期が小さい場合)、静的作用として取り扱ってよい。

(2) タイプBの場合 (ピーク値が一定流体力 F_0 の 1.5 倍の場合)

- ①立ち上がり時間が短いとき、動的変位は静的変位の約 2.5 倍大きくなる。②立ち上がり時間が遅くなっても、動的変位は静的変位の約 1.5 倍になる。すなわち、ピーク値があると立ち上がり時間が遅くても、構造物の応答は、静的設計で予想したより約 1.5 倍大きくなる。

(3) タイプCの場合 (ピーク値が一定流体力 F_0 の 2 倍の場合)

- ①ピーク値が一定流体力の 2 倍のとき、最大動的変位は静的変位の約 3.2 倍になる。②立ち上がり時間が遅くなっても、最大動的変位は、静的設計で予想した値より約 2 倍大きくなる。

(4) タイプDの場合 (ピーク値が一定流体力 F_0 の 3 倍の場合)

- ①立ち上がり時間が短いと最大動的変位は静的変位の約 4.6 倍になる。②立ち上がり時間が遅いときでも、動的応答は静的変位の 3 倍以上になる。

4. 結論

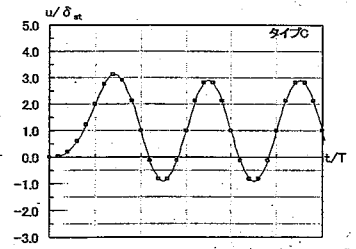
(1) 土石流荷重のうちピーク値が構造物の応答に与える影響は大きく、またピーク値までの立ち上がり時間も一般に短い方が大きい応答になる。

(2) ピーク値の大きい荷重の場合、立ち上がり時間が遅くても、大きい応答変位が出るのが分かった。(3) 今後、粒子法などの土石流シミュレーション解析によって、土石流荷重モデルの開発をする必要がある。

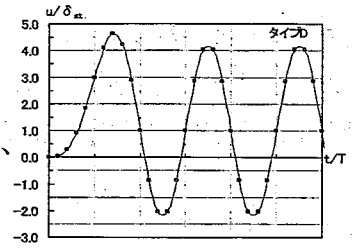
参考文献 1) 水山高久; 砂防ダムに対する土石流衝撃力の算定とその問題点, 新砂防, 112, pp.40-43,

昭和 54 年 8 月 2) 石川信隆, 井上隆太, 林建二郎, 長谷川祐治, 水山高久; 土石流モデルを用いた衝撃的流体力の測定実験について, 第 8 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 土木学会, pp.199-204,

2006 年 11 月 3) 小坪清真; 入門建設振動学, 森北出版, pp.74-75, 1996 年.

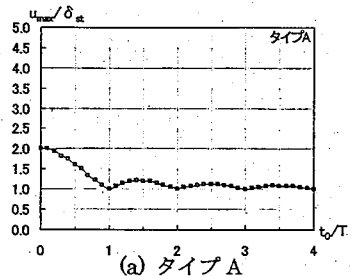


(a) タイプ C ($t_0/T=0.5$) の場合

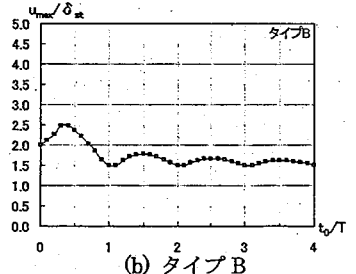


(b) タイプ D ($t_0/T=0.5$) の場合

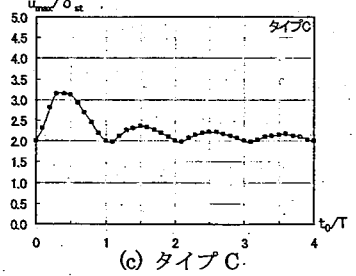
図-4 動的応答倍率—時間比関係



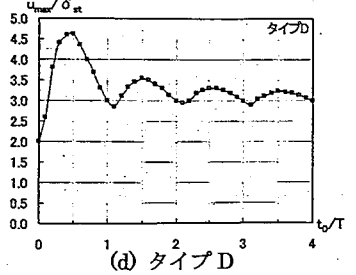
(a) タイプ A



(b) タイプ B



(c) タイプ C



(d) タイプ D

図-5 最大動的倍率—立ち上がり時間比関係