

土石流流体力を受ける砂防えん堤の動的挙動に関する一考察

砂防鋼構造物研究会

○石川信隆

(財)砂防・地すべり技術センター 嶋丈示

(財)砂防・地すべり技術センター 吉田一雄

防衛大学校

別府万寿博

1. はじめに

土石流には、石礫型、乱流型および粘性型がある¹⁾が、砂防えん堤に対する設計外力としては、土石流荷重を巨礫の衝突による荷重と流体理論による流体力とに分けて作用させている²⁾。後者の流体力は、土石流を定常噴流とみなした動水圧を静的に作用させるものとしている³⁾。従来、土石流流体力の衝撃力や衝撃砕波に関する研究は、数多くなされてきたが^{4) - 9)}、衝撃的な流体力を用いて砂防えん堤の動的挙動を解明した例はあまり見当たらない。ここでは、土石流流体力の特性をBi-linear型の荷重-時間曲線と仮定した上で、最大荷重までの立ち上り時間をパラメータとして砂防えん堤袖部の動的挙動について調べたものである。

2. 静的解析

解析モデルとして、図-1に示すような平成9年7月の大規模土石流で破壊した針原川のコンクリート製えん堤袖部¹⁰⁾を用いた。土石流流体力は、約167kN/m²の等分布荷重(流速約10m/secに相当)が水深3.85mまで静的に作用するとした。解析には2次元有限要素法を用い、要素は平面四角形要素とし、境界条件は底面を完全固定とした。

静的解析の結果、まず図-1中の点Aにおける水平変位は約0.2mmであった。また、最大主応力分布は図-2に示すように得られたが、袖部の基部(図-1中の点B)に引張主応力が集中しており、その最大値は約1.4N/mm²であった。コンクリートの引張限界応力を約2.0N/mm²とすると、限界応力の約0.7倍であり、曲げ引張破壊させるには約14-15m/sの流速が必要となり、当時の委員会報告⁹⁾と一致する。

3. 動的応答解析

3.1 モード解析 動的解析に先立ち図-1の砂防えん堤袖部の構造固有周期を調べるためモード解析を行って、1次固有周期をT=0.43sec(固有振動数f=2.3Hz)と得た。これは、構造物の動的挙動を調べるための基本的な特性値である。

3.2 解析条件およびパラメータ

砂防えん堤袖部に作用する土石流流体力は、図-3に示すように最大流体力F₀までの立ち上り時間t_rをもち、その後一定の流体力が作用するものと仮定した。パラメータは、荷重の立ち上り時間t_rと1次固有周期Tとの比でt_r/T=0.1, 0.5, 1.0と変化させた。減衰については、レイリー減衰を用いて減衰定数を5%とした。

3.3 解析結果

(1) 変位~時間関係 図-4に点Aの水平変位~時間関係を示す。これよりt_r/T=0.1の変位応答が最も大きく、約0.34mmを示している。すなわち、流体力が瞬間的(衝撃的)に作用すると、静的に比べて約1.7倍もの変位応答を示すことを意味している。しかし、t_r/Tが大きくなる(ゆっくり作用する)にしたがい最大変位は小さくなる傾向を示している。またいずれのケース

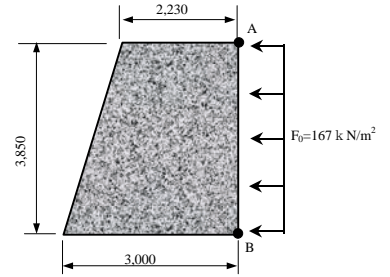


図-1 コンクリート砂防えん堤袖部

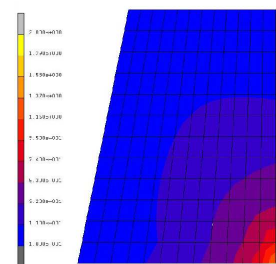


図-2 静的解析による最大主応力分布

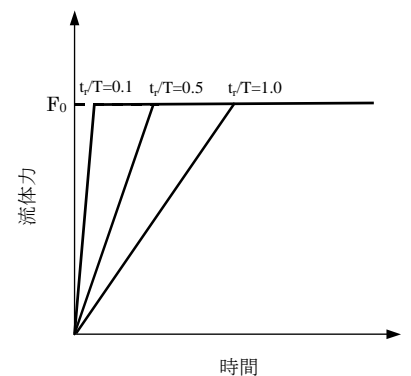


図-3 流体力~時間関係

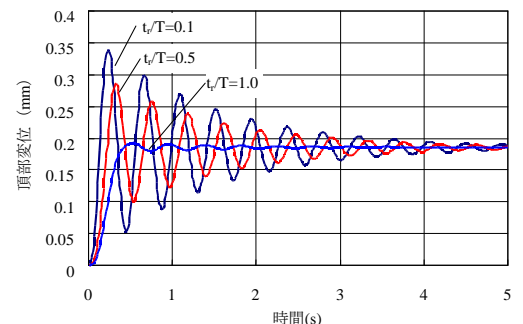


図-4 点Aの水平変位~時間関係

も時間とともに減衰し最終的には静的解析結果と同じ約 0.2 mm に収束している。

(2) 主応力～時間関係

図-5 に点 B における主応力～時間関係を示す。これより、主応力の応答も変位と同様に t_r/T が小さいほど最大主応力も大きいことがわかる。 $t_r/T=0.1$ の最大値は約 2.3 N/mm^2 を示しており、コンクリートの引張限界応力約 2.0 N/mm^2 を超えている。また $t_r/T=0.5$ の場合(約 2.0 N/mm^2) も引張限界とほぼ等しく、袖部の基部に引張りひび割れが発生する可能性が十分ある。さらに $t_r/T=1.0$ の場合は最大主応力が約 1.4 N/mm^2 程度で静的と変わらないことが分かる。つまり、立ち上り時間が早いと衝撃的(Impulsive)となり、遅いと静的(Static)に近づくことを示している。

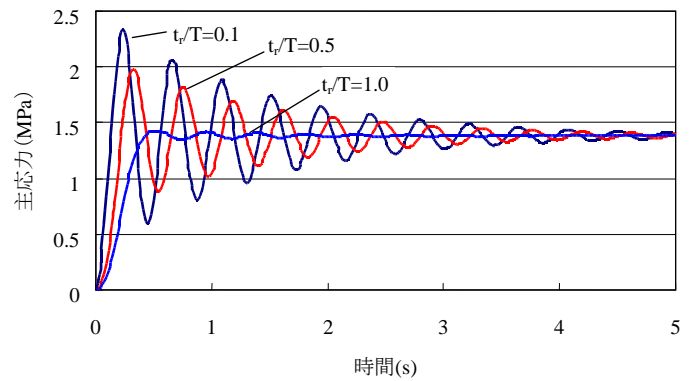
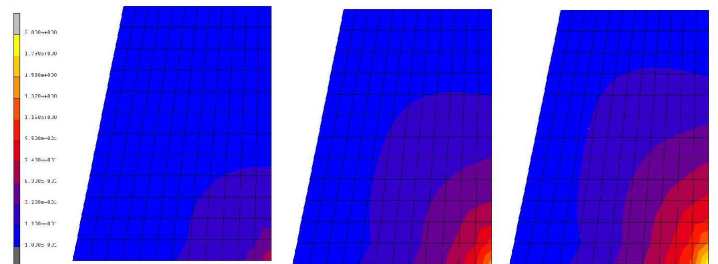


図-5 点 B の主応力～時間関係

(3) 主応力分布の動的挙動

図-6 に $t_r/T=0.5$ のときの主応力分布の時刻歴応答を示す。これより、時刻 0.15 sec では点 B から小さい放射状に応力が伝播し始め、時刻とともに主応力は袖部全体に広がり、時刻 0.3 sec では点 B の主応力は最大約 2.3 N/mm^2 に達している。



(a)t=0.15 sec (b)t=0.23 sec (c)t=0.3 sec
図-6 主応力分布の時刻歴応答 ($t_r/T=0.5$ の場合)

(4) 主応力比～ t_r/T 関係

図-7 に動的な最大主応力と静的な最大主応力の比を最大主応力比と定義し、これと t_r/T の関係を示した。これより、 t_r/T が小さいほど衝撃的となり、最大主応力比は大きく、 $t_r/T=0.1$ の場合は静的に比べ約 1.7 倍の値を示している。一方、 $t_r/T=0.5$ では静的の約 1.4 倍、 $t_r/T=1.0$ では静的とほぼ等しい結果となっている。

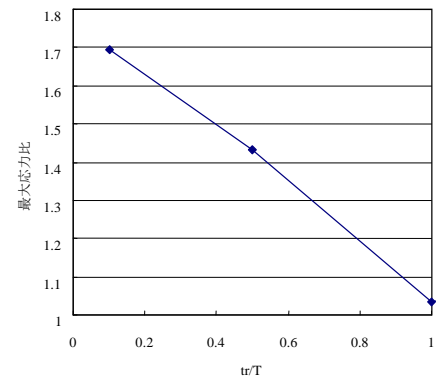


図-7 最大主応力比と t_r/T の関係

4. 結言 以上の結果をまとめると次のようになる。

- (1) 土石流流体力の立ち上り時間が早い場合(衝撃的な場合)を想定すると、静的で推定した変位や応力よりも大きな動的応答(約 1.7 倍)を示すことが明らかとなった。
- (2) 針原川で破壊した土石流流速を静的計算では約 14-15m/sec と推定している¹⁰⁾が、今回の立ち上り時間を変化させた動的計算によると、流速が約 10m/sec でも引張限界応力を超えて破壊に至る可能性がある。これにさらに礫衝突による応力を加算すれば、曲げ引張り破壊してしまうことが当然考えられる。
- (3) しかし、実際の土石流の立ち上り時間が不明であるので、今後さらに土石流流体力を実験や現場で測定することが必要である。

参考文献(1)高橋保：土石流の機構と対策、近未来社、2004年9月。(2)水山高久：砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点、新砂防、112、昭和54年8月。(3)建設省砂防部砂防課：土石流対策技術指針(案)、第II編 設計編、P5、平成12年7月(4)平尾公一他：段波の衝撃圧に関する基礎的実験、新砂防、76、1971。(5)三好岩生他：土石流の衝撃力に関する実験的研究、昭和63年度砂防学会研究発表会概要集、昭和63年5月。(6)三好岩生他：土石流の衝撃力に関する実験的研究(II)、平成元年度砂防学会研究発表会概要集、平成元年5月。(7)大同淳之：砂防ダムに作用する土石流の衝撃力とそれに対応した構造設計、平成8年度砂防学会研究発表会概要、平成8年5月。(8)宮本邦明、大同淳之：堤体に作用する土石流段波の衝撃力に関する研究(I)、立命館大学研究所紀要、第42号、1983。(9)山口貴之：消波ブロック混成堤の耐衝撃設計法に関する基礎的研究、防衛大学校理工学研究科修士論文、2003年3月。(10)針原川土石流検討委員会：針原川土石流検討委員会報告書、平成10年5月。