

極めて大きな礫衝突を受けるコンクリート砂防堰堤の耐衝撃性に関する解析的検討

○伊藤忠テクノソリューションズ 松澤遼 防衛大学校 別府万寿博
(一財)砂防・地すべり技術センター 嶋丈示 砂防鋼構造物研究会 石川信隆
京都大学農学研究科 水山高久

1. 緒言

近年、集中豪雨の影響等を受けて大規模な土石流が発生する傾向にある。現行設計法では土石流荷重は流体力と礫衝突力に区分して、現地調査に基づいて荷重を設定している。しかし、今後の性能設計体系に対応するためには、超過外力を想定するとともに砂防堰堤の要求性能を規定する必要があるが、まだ十分な検討がなされていない。そこで本研究では、極めて大きな土石流荷重を受けるコンクリート砂防堰堤本体の損傷挙動を調べたものである。数値解析には衝撃解析ソフトウェア ANSYS AUTODYN を使用した。

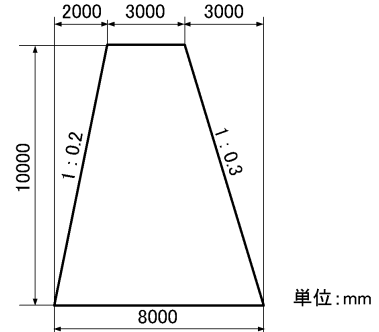


図-1 堰堤形状

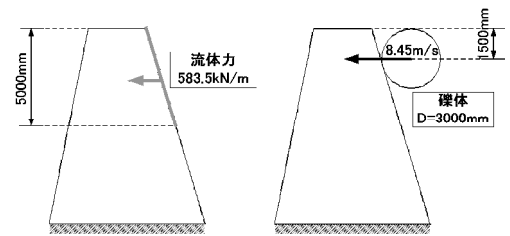
2. 対象とした堰堤と極めて大きな礫衝突荷重の設定

2. 1 解析対象とした堰堤

図-1 に解析対象とした堰堤の形状¹⁾を示す。高さ 10m、基礎幅 8m、水通し天端幅 3m のコンクリート製堰堤を対象とした。コンクリートの密度は 2300kg/m³、圧縮強度は 18MPa とした。

2. 2 極めて大きな土石流荷重の設定

図-2 に設定する土石流荷重を示す。Case 1 は鋼製砂防堰堤の安定計算¹⁾から得られた極限状態における流体力の限界荷重をコンクリート堰堤に作用させるものである。すなわち、Case 1 では流速 8.45m/s 相当の土石流流体力 583.5kN/m を作用させる¹⁾。Case 2 は直径 3.0m の礫を速度 8.45m/s で堰堤上部に衝突させるものであり、衝突位置は堰堤上端から 1.5m の位置とした。礫体は完全弾性体とした。ここで、両条件ともに堆砂圧、静水圧は考慮していない。



(a) Case 1(流体力) (b) Case 2(礫衝)

図-2 想定する土石流荷重

3. 解析モデル

解析モデルは 2 次元平面ひずみ体系とした。堰堤下端の基礎部分は完全固定とした。コンクリートは弾塑性および破壊を考慮した非線形材料モデル²⁾を採用した。

4. 解析結果

4. 1 Case 1(流体力)

図-3 に堰堤内部の破壊状態図を示す。図中、白抜き箇所が破壊した領域を示す。流体力作用開始後約 15ms より固定部上流側から引張破壊が生じた。その後、約 30ms に至るまでに固定部が全域で引張破壊した。すなわち、流体力を作用させた場合は固定部において引張による全体破壊が生じた。

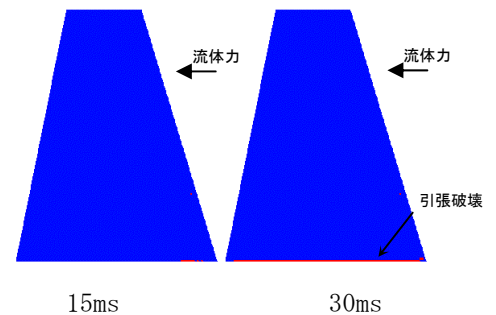


図-3 堰堤の破壊状態(流体力)

図-4 は、30ms における堰堤の速度ベクトル図である。固定部が引張破壊することで堰堤は荷重に対して抵抗できず、最終的に下流側基礎を中心に、回転する速度分布を持った。つまり、堰堤は図中白抜きの点を中心に左回りに回転する傾向を示している。

4. 2 Case 2(礫衝突)

図-5 に堰堤内部の破壊状態図を示す。衝突開始後 5ms で衝突部近傍からせん断破壊が生じ、堰堤内部に進展した。同時に、固定部上流側からも引張破壊が生じた。最終的に内部の破壊は堰堤を横断して裏面側(下流側)まで達しており、固定部も全域で引張破壊に至った。

図-6 は堰堤及び礫の速度ベクトル図である。堰堤は下流側の基礎を中心に回転する速度分布を持っている。つまり、礫衝突によっても堰堤は基礎が引張破壊しているため、堰堤全体が下流側に転倒しようとしていることが確認された。一方、礫の運動は当初水平に堰堤に衝突するが、その後上方へ向かっている

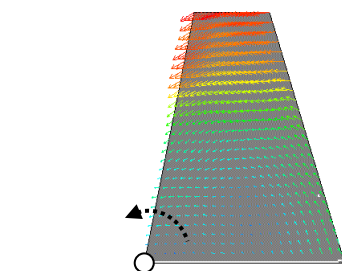


図-4 堰堤の速度ベクトル図(流体力)

ことが分かる。

図-7 は礫の平均速度時刻歴である。衝突開始後約 5ms の間で急激に水平方向速度が低下したと同時に、鉛直上向き方向の速度成分が発生し、比較的早い段階で上方へそれたことがわかる。その後 100ms にかけて鉛直方向速度が低下するが、これは重力による効果である。鉛直方向速度の低下率より礫の鉛直方向最大変位を算出すると約 0.244m であり、礫が初期における堰堤の高さを超えない ($0.244\text{m} < 1.5\text{m}$) ことがわかった。

図-8 は堰堤の平均速度時刻歴を荷重条件により比較するものである。図中、矢印で示した時刻において固定部全域で破壊が生じ、荷重に対する抵抗力を失った。流体力の荷重条件では、15ms から 20ms にかけて一度速度が負になっているが、これは流体力が衝撃的に作用することにより堰堤が振動するためである。しかし、固定部が破壊したタイミング以降は一定の速度 (0.2m/s) に近づいている。

一方、礫衝突では堰堤の速度が大きく上昇した後、礫運動が上方へそれることで速度が低下したが、最終的に 15ms で固定部が破壊に至り一定速度約 0.7m/s となったことがわかる。

図-9 は堰堤頂部の水平方向変位-時間関係を荷重条件により比較するものである。流体力を作用した条件よりも、礫衝突の条件の方が、堰体頂部の変位が極めて大きいことがわかる。

以上、流体力作用の場合は、同時刻での堰堤速度・変位が礫衝突に比べて小さく、固定部が全域で破壊するまでが礫衝突に対して遅いことがわかった。最終的な堰堤全体の平均速度は約 0.2m/s であった。逆に、礫衝突の場合は固定部の引張破壊によって堰堤全体が約 0.7m/s の速度で転倒しようとしていることが認められた。また、堰堤内部にせん断破壊が発生した。

5. 結言

本研究では、安定計算から得られた限界荷重(流体力・礫衝突)に対するコンクリート砂防堰堤の損傷挙動について 2 次元解析で数値シミュレーションを行ったものである。

- (1) 流体力の作用により堰堤固定部において広域で引張破壊が生じ、堰堤全体が転倒する傾向を示した。すなわち、今回の流体力(流速 8.45m/s 相当の土石流流体力 583.5kN/m)は、堰堤を剛体とみなした安定計算においてかろうじて安定であったが、2次元解析(堰堤を弾塑性体とみなす)では固定部に引張破壊が生じて転倒することが分かった。
- (2) 一方、礫衝突(直径 3.0m の礫が速度 8.45m/s で衝突)では、堰堤内のせん断破壊が顕著であったが、固定部の引張破壊によって堰堤が約 0.7m/s の速度で転倒する傾向を示した。
- (3) しかし、実際のコンクリート砂防堰堤は、奥行き方向に断面形状が異なっていること、さらに礫衝突のように局所的に衝撃荷重が作用する条件に関しては 3 次元的な複雑な破壊を生じる可能性があることを考慮すれば、モデル化についてさらに検討の余地があり、今後の課題である。

参考文献

- (1) 山口聖勝, 石川信隆, 田村毅, 嶋丈示, 水山高久: 極めて大きな土石流流体力を受ける砂防堰堤の極限状態における安定計算法, 平成 27 年度砂防学会研究発表概要集, 平成 27 年 5 月
- (2) M. Itoh, M. Beppu, and R. Matsuzawa, "NUMERICAL SIMULATIONS OF RC SLABS SUBJECT TO IMPACT LOADINGS BY USING THE IMPROVED CAPROUS CONSTITUTIVE MODEL", 10th Int. Conf. on Shock & Impact Loads on Structures, Singapore (2013)

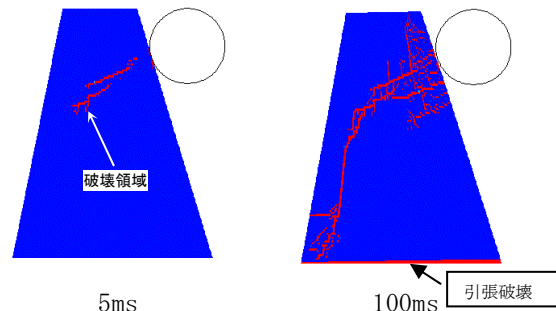
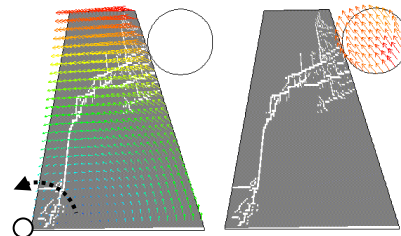


図-5 堰堤の破壊領域(礫衝突)



(a) 堰堤 (b) 礫

図-6 堰堤および礫の速度ベクトル図(礫衝突)

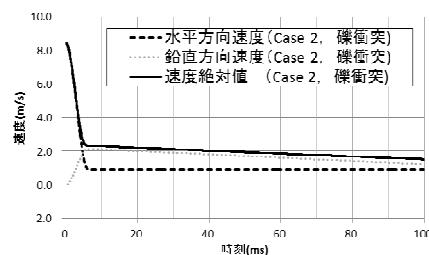


図-7 礫の平均速度時刻歴

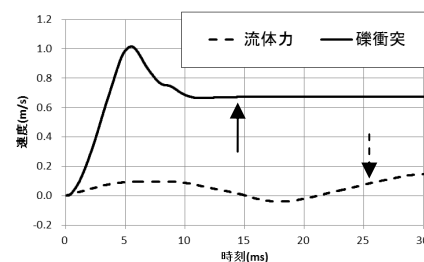


図-8 堰堤の速度時刻歴

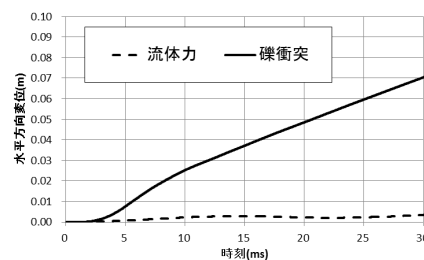


図-9 堰堤頂部の水平方向変位時刻歴