

礫衝突を受ける打ち継ぎ目を考慮したコンクリート堰堤の耐荷性能

伊藤忠テクノソリューションズ（株）○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 山内秀基
砂防鋼構造物研究会 石川信隆
政策研究大学院大学 水山高久

1. 緒言

著者らは、これまでに礫衝突を受けるコンクリート砂防堰堤の衝撃応答解析を行い、堰堤本体および袖部の安全性について調べてきた¹⁾。ただし、そこではコンクリート堰堤を打ち継ぎ目なしの一体型モデルとして扱ってきた。実際のコンクリート砂防堰堤は、施工の際に打ち継ぎをしながらコンクリートを打設せざるを得ないため、打ち継ぎ目を考慮した上で衝撃的荷重に対する応答を検討することが重要である。そこで本研究では、打ち継ぎ目を考慮したコンクリート砂防堰堤の礫衝突解析を行い、打ち継ぎ目を考慮しない一体型モデルによる解析と比較し、その破壊性状の違いを検討した。数値解析には衝撃解析ソフト AUTODYN を用いた。

2. 解析モデルと土石流荷重

2. 1 解析モデル

解析の対象としたコンクリート堰堤の形状を図-1 に示す。基礎幅約 11m、天端幅 3m、高さ 12.5m の堰堤を対象とした。この堰堤について、一体型モデルと打ち継ぎ目を考慮したモデルによる解析を実施した(図-2)。打ち継ぎ目を考慮したモデルではリフト高さを 1.25m として堰堤を 10 段に分けた。コンクリートの圧縮強度は 18MPa とし、打ち継ぎ目は強度を低下させたコンクリートを層状に設定することで模擬した。本研究では、引張強度をコンクリートの 1/2 と仮定し、圧縮強度は引張強度から逆算して設定した(表-1)。礫体は線形弾性体を仮定した。解析は 2 次元平板体系で実施した。

2. 2 土石流荷重の設定

土石流荷重として礫衝突を想定した。既存の研究^{1), 2)}を参考に、礫径は 1.0m と 3.0m を採用した。いずれも衝突速度は 8.45m/s とした。衝突位置は堰堤上部としたが、衝突位置による破壊性状の違いを検討するため、直径 3.0m の礫については中段へ衝突させる解析も実施した。なお、堆砂圧と静水圧は考慮していない。

3. 解析結果

3. 1 一体型モデル

図-3 に一体型モデルによる最終的な破壊性状を示す。直径 1.0m の礫を上部に衝突させた解析では、衝突位置を起点にせん断破壊が生じた。堰堤内部に伸びた破壊は堰堤の全体挙動によりさらに進展し、最終的に下流側へ達した。礫径を 3.0m として上部に衝突させると、衝突位置から生じるせん断破壊がより顕著になり、

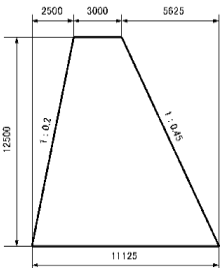


図-1：対象とした堰堤形状

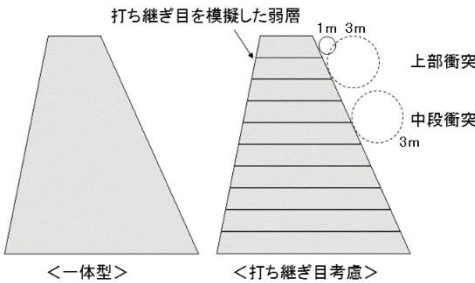
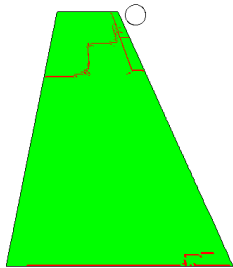


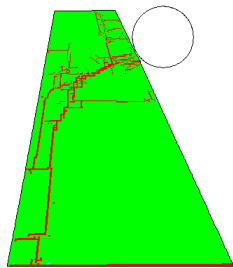
図-2：解析モデル

表-1：コンクリートと打ち継ぎ目の強度

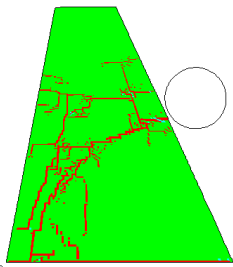
	コンクリート	打ち継ぎ目
圧縮強度 (MPa)	18.0	6.37
引張強度 (MPa)	1.58	0.79



(a) 礫径 1.0m, 上部



(b) 礫径 3.0m, 上部



(c) 礫径 3.0m, 中段

■ : 非破壊
■ : 破壊

図-3：堰堤の破壊性状図(一体型)

堰堤内部を横断して最終的に下流側下部にまで達した。直径 3m の礫を中段へ衝突させた場合についても、せん断破壊が下流側まで達した。また、内部に生じたせん断破壊を起点として堰堤内部の広範囲に破壊が進展した。

3. 2 打ち継ぎ目を考慮したモデル

打ち継ぎ目を考慮したモデルでは、礫の衝突直後に礫が衝突した段において打ち継ぎ目が破壊した。図-4 は、直径 1.0m の礫を上部に衝突させた解析について、最上段の打ち継ぎ目が全域で破壊した時点における堰堤の破壊性状図とミーゼス応力コンター図を示したものである。礫の衝突により発生した応力波は打ち継ぎ目の破壊より先行して堰堤内部を伝播していることがわかる。2ms の時点で応力波は堰堤中段付近にまで達しており、既に堰堤の広範囲で変形が励起されていることを示している。礫が反跳した後も、堰堤の全体挙動により最上段以外の打ち継ぎ目にも破壊が生じ、最終的に全段の打ち継ぎ目が全域で破壊した。また、堰堤の最上段は下流側へ飛散した。図-5 に堰堤の最終的な破壊性状図を示す。礫が衝突した段に接する打ち継ぎ目が早い段階で破壊することで、コンクリートの破壊の進行が阻害されるため、一体型の結果に比べ破壊領域は限定的である。礫径を 3.0m とした場合、礫径 1.0m に比べ破壊が生じる範囲は広がるが、一体型と比較すれば明らかにその範囲は小さい。中段付近へ衝突させた場合も一体型と比較して同じ傾向が得られた。

4. 考察

図-6 は礫の水平方向の衝突荷重を 2 つの解析モデルで比較するものである。打ち継ぎ目を考慮したモデルでは、礫と堰堤が作用している間に衝突段の打ち継ぎ目が破壊するため、発生する衝突荷重が低下した。礫径が大きくなり発生する荷重が大きくなるほどその差は顕著である。よって、荷重応答の観点からは打ち継ぎ目により耐荷性能が低下するといえる。一方で、打ち継ぎ目を考慮することで堰堤に生じる破壊の範囲が限定的になることも示された。

ここで、全ての段の打ち継ぎ目で破壊が生じた点については議論の余地を残す。本研究では、強度を低下させた要素を設定することで打ち継ぎ目を模擬したが、破壊と判定された打ち継ぎ目の要素は応力が考慮されなくなるため、摩擦力に相当する力が作用しない。よって、打ち継ぎ目の破壊により下流側へ飛散する段も生じたが、評価としては過大である。礫が衝突した段から離れた打ち継ぎ目において生じた破壊については、「ずれ等の影響が及び得る」と解釈するにとどめる。

5. 結言

本研究では、同じ堰堤形状について、一体型モデルと打ち継ぎ目を考慮したモデルにより礫の衝突解析を実施した。一体型モデルと打ち継ぎ目を考慮したモデルでは、コンクリート堰堤の破壊性状が大きく異なることが示された。同じ礫の衝突であっても、一体型では広

範囲に破壊が及ぶのに対し、打ち継ぎ目を考慮したモデルでは破壊が生じる範囲が限定的であり、また発生荷重が低下した。ただし、打ち継ぎ目の強度については過小に評価している可能性があるため、引き続き検討が必要である。

参考文献

- 1) 松澤遼, 嶋丈示, 武田一平, 石川信隆, 水山高久: 礫衝突に対するコンクリート砂防堰堤の現行設計法の問題点と衝撃解析, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 5, pp. 59-65, 2017.
- 2) 松澤遼, 別府万寿博, 嶋丈示, 石川信隆, 水山隆久: 極めて大きな土流荷重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, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集, 平成 27 年 5 月

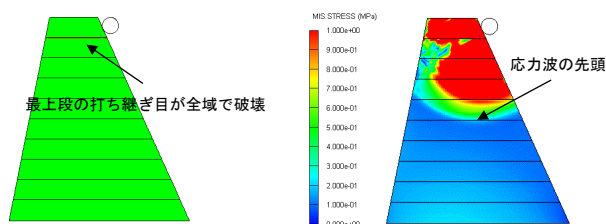


図-4：堰堤の破壊性状図と応力コンター図
(礫径 1.0m, 上部衝突, 2ms)

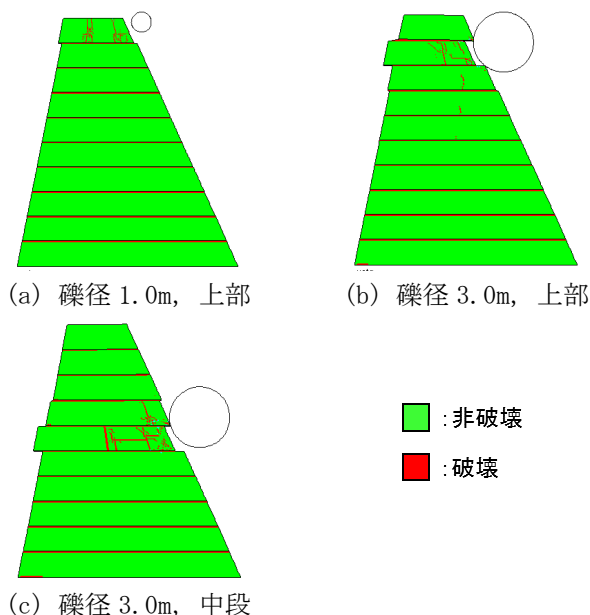


図-5：堰堤の破壊性状図(打ち継ぎ目考慮)

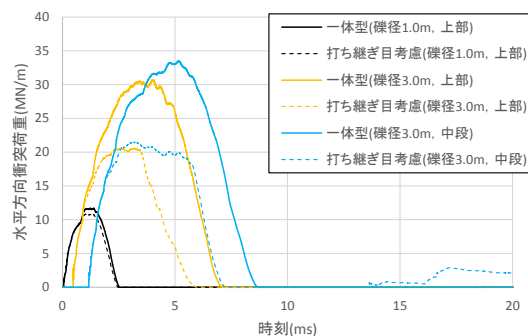


図-6：礫の衝突荷重の比較