

## 礫衝突を受ける鋼管部材の破壊メカニズムに関する解析的検討

防衛大学校 ○別府万寿博 日鐵住金建材 國領 ひろし  
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

深層崩壊や大規模な土石流が発生すると、大量の土砂や大径の礫が流下し、鋼製透過型砂防堰堤（以下、鋼製堰堤）に作用する。鋼製堰堤の部材間隔は、最大礫径  $D_{95}$  の 1.0 倍程度として設計するため、スパンが短い（以下、短スパン）構造部材に巨礫が衝突することが想定される。構造部材の設計で用いる修正エリナス式<sup>1)</sup>は塑性ヒンジの形成を仮定したものであるが、この仮定が短スパンの構造部材へ適用できるかを検討する必要がある。本研究はスパン 6m および 1m の鋼管部材を対象として、数値解析により修正エリナス式の適用性について検討を行ったものである。なお、数値解析には、衝撃解析ソフト AUTODYN を用いている。

## 2. 鋼管部材に対する礫衝突解析

## 2.1 解析モデル

図-1 に示すように、直径 1m の礫を直径  $\Phi 508\text{mm} \times$  板厚  $t19\text{mm}$  の鋼管部材に衝突させた。なお、計算時間を短縮するため 1/2 モデルを作成した。鋼管の両端は完全固定とし、スパンの相違がへこみ変形やはり変形に及ぼす影響を調べるため、スパンは 6m および 1m とした。礫の衝突速度は、 $10\text{m/s}$  とした。衝突荷重については、接触部に生じる値を算定した。図-1 に示す鋼管中央部の衝突点とその真裏（梁変形）の変位を出力した。鋼材の塑性判定には、Von-Mises の降伏関数を用いた。

## 2.2 スパン 6m の衝撃応答

図-2 に、鋼管長 6m の場合における礫衝突後の鋼管部材の塑性化状況を示す。図から、衝突後 5ms では衝突部にへこみ変形が生じるとともに、はり中央部断面が大きく塑性化している。衝突後 10ms になると衝突部の塑性化やへこみ変形に伴い、固定端の要素も塑性化している。最終的には、修正エリナス式の仮定と同様に、固定端における 8 割程度の要素が降伏している。図-3 に残留ひずみ分布を示す。図から、衝突部にひずみが集中して残留しており、最大残留ひずみは  $70000\mu$  であった。図-4 に、礫の変位、衝撃荷重、支点反力およびはり中央部の変位の時刻歴応答を示す。図-4(a) に示す礫の変位～時間関係から、衝突後約 17ms において最大変位  $110\text{mm}$  を示し、その後は礫が跳ね返ることによって変位が低下している。図-4(b) に示す衝撃力～時間関係から、衝突後 3ms までは荷重が急激に増加し、その後は緩やかな荷重増加を伴いながら時刻約 17ms で最大約  $1000\text{kN}$  を示している。修正エリナス式を用いて、同じ条件におけるへこみ荷重を算定すると約  $1300\text{kN}$  となることから、理論よりも 2 割ほど小さな値となった。図-4(c) に示す支点反力～時間関係から、衝撃荷重が急増する時間領域においては、支点反力は衝撃による反動

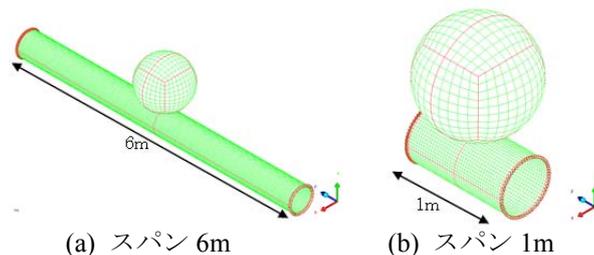


図-1 礫衝突を受ける鋼管部材モデル

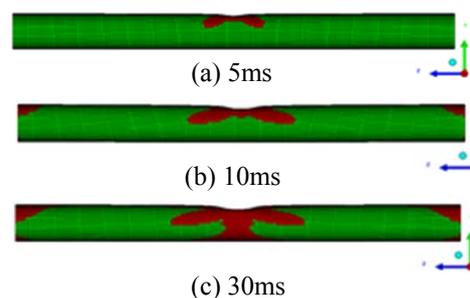


図-2 スパン 6m の塑性化状況

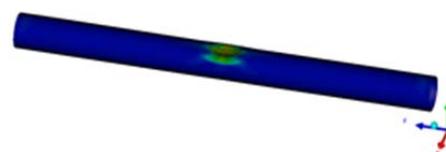


図-3 スパン 6m のひずみ分布

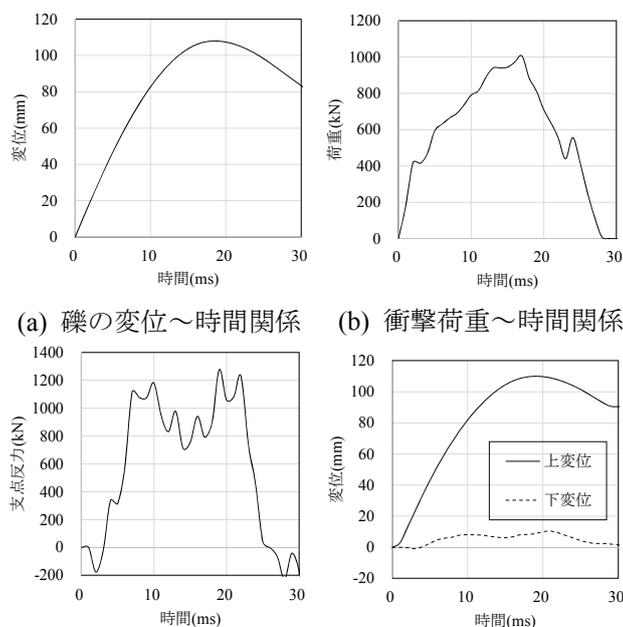


図-4 スパン 6m の応答

で負値を示すが、その後は衝撃荷重と釣り合うような応答を示している。図-4(d)に示すはり中央の変位～時間関係から、上変位は衝撃力の増加とともに増加し、最大で110mmとなった、一方、はり中央の下変位は衝突後約3ms後に応答を開始し、最大で10mmの最大変位を示した。以上の解析結果から、はりとしての全体応答は衝突後約3msから開始し、星川の実験<sup>2)</sup>と同様にへこみ変形が大きくなる時間帯ではり変位も発生していることがわかる。

### 2.3 スパン1mの衝撃応答

図-5に、鋼管長1mの場合における礫衝突後の鋼管部材の塑性化状況を示す。図から、衝突後5ms～30msでは衝突部にへこみ変形が生じるが、スパン中央部断面が塑性化することなく、はり上部の要素に塑性化が集中した。最終的には、修正エリナス式の仮定とは異なり、固定端においてもはり上部の要素のみが塑性化した。図-6に残留ひずみ分布を示す。図から、衝突部にひずみが集中して残留しており、最大残留ひずみは80000 $\mu$ であった。図-7に、礫の変位、衝撃荷重、支点反力およびはり中央部の変位の時刻歴応答を示す。図-7(a)に示す礫の変位～時間関係から、衝突後約14msにおいて最大変位85mmを示し、スパン6mよりも2割程度小さい値となった。図-7(b)に示す衝撃力～時間関係から、スパン6mの場合と同様に、衝突後3msまでは荷重が急激に増加し、その後は緩やかな荷重増加を伴いながら時刻約12msで最大約1300kNを示している。この値は、スパン6mの場合よりも2割ほど大きい値となった。図-7(c)に示す支点反力～時間関係から、スパン6mの場合と異なり、支点反力は衝突後に1400kNまで急増した。この理由は、礫衝突とともに固定端上部に応力が伝達されるためと考えられる。図-7(d)に示すはり中央の変位～時間関係から、上変位は衝撃力の増加とともに増加し、最大で90mmとなった、一方、下変位はほとんど発生しなかった。この理由は、塑性化がはり上部に集中するため、はり変形が生じないためと考えられる<sup>3)</sup>。以上の解析結果から、短スパンの場合は、はりとしての全体応答が生じにくいことがわかる。図-8は、スパン6mおよび1mの荷重～へこみ変形関係を示している。この図を積分してへこみ吸収エネルギーを算定すると、スパン6mおよび1mではそれぞれ約60kJおよび約59kJとなる。すなわち、礫径1mで速度10m/sの時の礫衝突エネルギーは約68kJであるので、へこみ変形による吸収エネルギーは、それぞれ約8kJおよび約9kJ小さくなっている。この差は、端部の塑性変形や振動などによって消散したものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 鋼製砂防鋼構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧，砂防・地すべり技術センター，平成21年7月
- 2) 星川辰雄：鋼製透過型砂防ダムの動的塑性回転容量に基づく耐衝撃設計法に関する研究，九州大学学位請求論文，平成7年9月
- 3) 別府万寿博，松澤遼，嶋丈示，石川信隆，水山高久：礫衝突を受ける鋼管部材の荷重評価と局所変形解析に関する一考察，平成29年度砂防学会研究発表概要集，平成29年5月

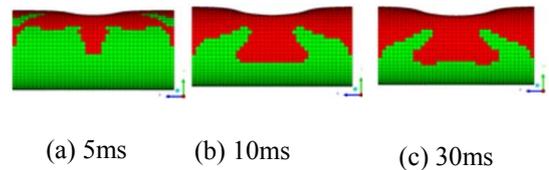


図-5 スパン1mの塑性化状況

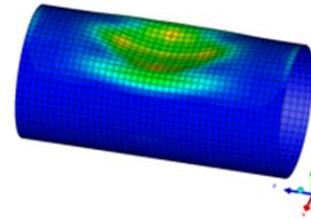


図-6 スパン1mのひずみ分布

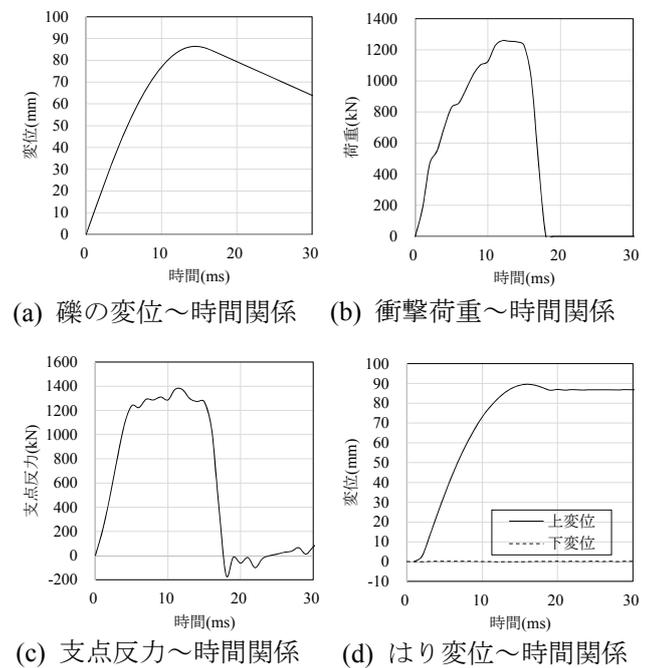


図-7 スパン1mの応答

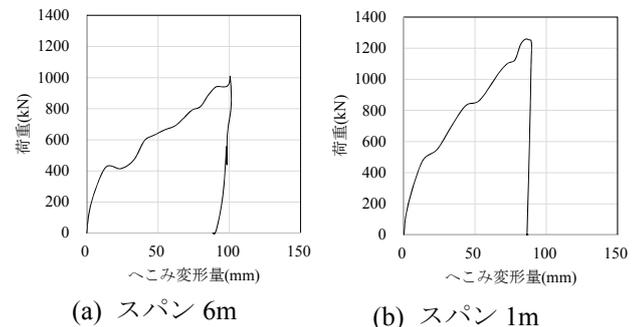


図-8 荷重～へこみ変形関係