

礫衝突を受ける鋼管構造の応答特性に関する影響解析

防衛大学校 ○別府万寿博 日鉄建材 國領ひろし 伊藤忠テクノソリューションズ 松澤遼
防衛大学校 チンミンチェン

1. 緒言

鋼製砂防堰堤に対する設計法¹⁾では、礫が鋼製堰堤の部材（鋼管はり）に衝突する場合を想定して、へこみ変形やはりの変形エネルギーを算定することで性能照査が行われている。今後は、複雑な衝突現象を考慮した解析や緩衝部材の性能照査が求められる。本研究は、礫衝突において大径礫と鋼管の間に小径礫が挟まった場合の影響および緩衝鋼管を設置したフレーム構造の応答について数値シミュレーションを行ったものである。

2. 小径礫を考慮した礫の衝突を受ける鋼管はりの変形解析

2.1 解析モデル

図-1 に示すように、直径 1.0m の礫（大径礫）および直径 $\phi 508\text{mm} \times$ 板厚 $t19\text{mm}$ の鋼管部材モデルを作成した。鋼管の両端は完全固定とし、スパンは 6.0m である。大径礫は密度 2.6g/cm^3 、ヤング係数 49kN/mm^2 の弾性体とした。鋼管の要素はシェル要素を用いて、鋼材は降伏応力 235N/mm^2 の弾塑性体とした。鋼材の降伏関数は Johnson-Cook モデルを用い、ひずみ速度効果を考慮した。また、礫の衝突速度は 10.0m/s とした。小径礫については、大径礫と鋼管の間に設置し、直径は 50mm の剛体でモデル化した。小径礫には初速を与えず、図-1 に示すように、大径礫および鋼管との間に接触条件を設定して解析を行った。以降では、小径礫を挟まない場合をケース 1、小径礫を挟む場合をケース 2 と称する。

2.2 解析結果

解析の一例として、図-2 に鋼管に生じた相当塑性ひずみ分布を示す。図から、ケース 1 および 2 のいずれも衝突部位と固定端部に 1000μ 以上の相当塑性ひずみが発生して塑性ヒンジを形成している。一方で、ケース 2 では、相当塑性ひずみがやや低減し、発生領域もやや小さくなる傾向を示した。この理由は、図-3 に示すように、衝突によって小径礫が鋼管を貫通したため、大径礫が初期に有していた運動エネルギーの一部が局所的な変形や貫通エネルギーに消費されたためと考えられる。

図-4 は、鋼管中央における衝突部および衝突部裏側の変位－時間関係を示したものである。図から、ケース 1 の衝突部および裏側の変位はそれぞれ 97.2 および 9.2mm であった。ケース 2 の衝突部および裏側の変位はそれぞれ 104.2 および 8.5mm であった。ケース 2 の衝突部変位が大きくなった理由は、図-3 に示したように小径礫が貫通したためと考えられる。一方で、ケース 2 における裏側変位はケース 1 よりも小さくなった。これは、小径礫の貫通によってエネルギーが消費されたため、鋼管への伝達エネルギーが低減した可能性が考えられる。今後、小径礫の寸法や力学特性を変化させて、これらの応答特性を調べる必要がある。

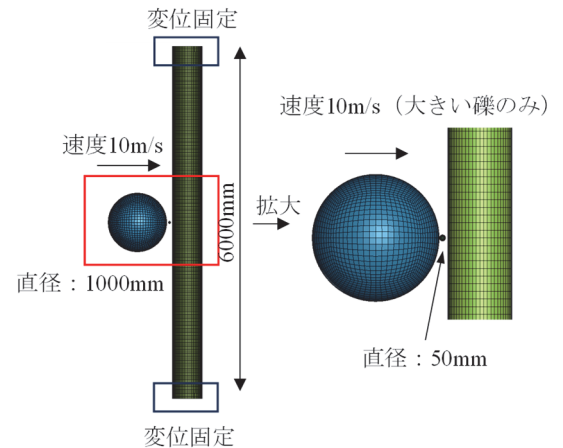


図-1 鋼管部材モデル（小径礫あり）

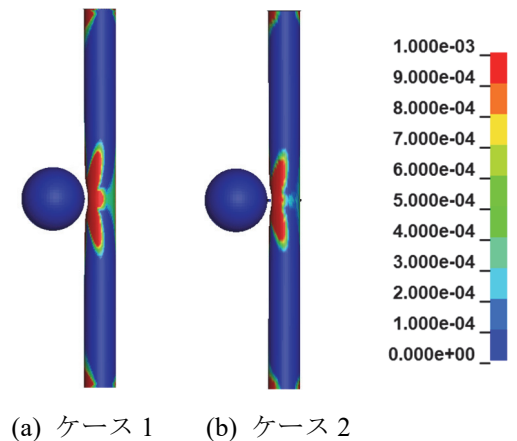


図-2 相当塑性ひずみ分布

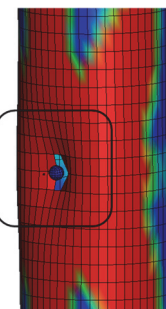


図-3 小径礫の貫通状況

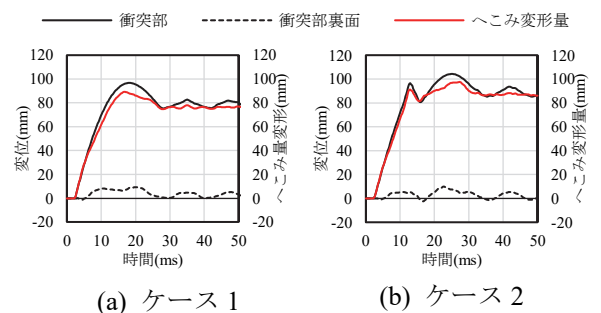


図-4 変位－時間関係の比較

3. 緩衝鋼管付フレーム構造への礫衝突解析

3.1 解析モデル

ここでは基礎的検討として、鋼管はり単体と同じスパン 6.0m を用いて図-5 に示す鋼管フレーム構造モデル²⁾を作成した。礫の直径は 2.0m とし、衝突速度は 10.0m/s とした。鋼管の直径および板厚は、鋼管単体の解析と同じであり、それぞれ直径 $\phi 508\text{ mm}$ × 板厚 $t19\text{ mm}$ とした。材料モデルは 2 と同じである。緩衝鋼管なしの鋼管フレーム構造の支点は固定端とした。緩衝鋼管付のモデルについては、緩衝鋼管なしのモデルに、同じ寸法の鋼管を前面に設置した。なお、緩衝鋼管の板厚を 10, 15 および 19mm に変化させて、緩衝鋼管板厚がフレーム変形へ与える影響を調べた。

3.2 解析結果

図-6 に、緩衝鋼管の変形および鋼管フレームの最終的な相当塑性ひずみ分布を示す。図中の相当塑性ひずみの最大値は 1000μ として表示している。図から、緩衝鋼管なしの場合には、衝突部に大きな塑性化領域が形成され、へこみ変形が発生した。また、フレーム隅角部の要素が塑性化し、塑性ヒンジが形成されている。緩衝鋼管ありの場合には、緩衝鋼管にはへこみ変形が発生した。特に、緩衝鋼管板厚が 10 および 15mm では、衝突部に大きなへこみ変形が発生した。鋼管フレームの全体的な変形から、緩衝鋼管を設置することによって変形が小さくなっている状況が確認できる。緩衝鋼管板厚が小さくなるほど、全体的な変形が抑制されている。図-7 は、変位-時間関係を示しており、緩衝鋼管なしのケースでは衝突点とその真裏の節点の変位を出力し、緩衝鋼管ありのケースでは、フレーム構造の左柱の中央部の節点変位を出力した。図から、緩衝鋼管を設置することによって、最大変位が 42～80% 低減しており、緩衝鋼管のエネルギー吸収効果が確認できる。

4. 結 言

本研究では、大径礫と鋼管の間に小径礫が挟まった場合および鋼管フレームにおける緩衝鋼管の厚みの影響について数値解析的な検討を行った。小径礫が鋼管を貫通することによって、エネルギーを消費し、鋼管への伝達エネルギーが低減する可能性が示された。また、緩衝鋼管のエネルギー吸収効果によって、衝突部裏面の最大変位が 42～80% 低減する結果が得られた。今後、実際の礫衝突条件を考慮するとともに、緩衝効果についても検討を進める必要がある。

謝辞：本研究の一部は、砂防・地すべり技術センターから助成を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表します。

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) 別府万寿博，國領ひろし，松澤遼，峯好古：礫衝突の各種条件が鋼管部材の衝撃応答に与える影響解析，令和 6 年度砂防学会研究発表会概要集，令和 6 年 5 月

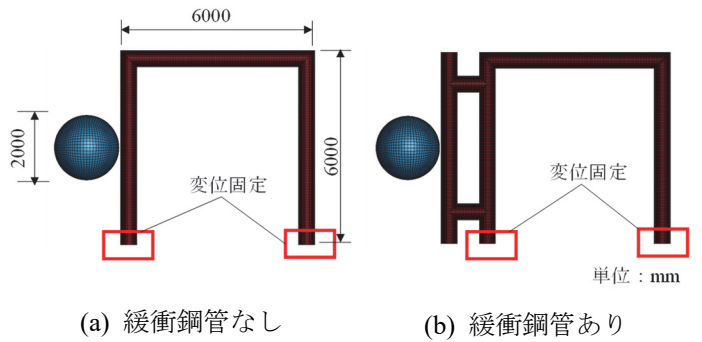


図-5 解析モデル

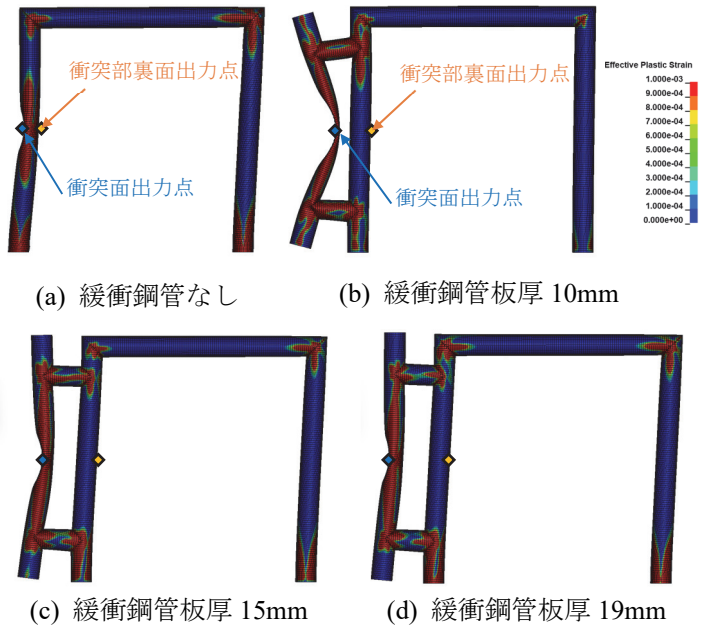


図-6 鋼管フレームの変形状況

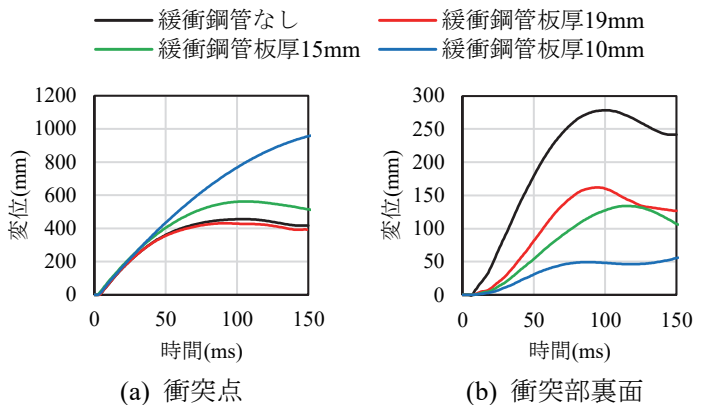


図-7 変位-時間関係