

礫衝突を受ける鋼管はり部材の変形メカニズムに関する一考察

防衛大学校 ○別府万寿博 濱田匠李

1. 緒言

鋼製堰堤の部材間隔は、最大礫径 D_{95} の 1.0 倍程度として設定するため、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¹⁾。著者ら²⁾は、これまでに短スパン鋼管に対する衝突解析を行ったところ、短スパン鋼管はりには、はり変形が生じないことがわかった。そこで本研究は、スパン 1.0 m～6.0 m の鋼管部材を対象とし、数値解析および理論により鋼管はりの変形メカニズムについて検討するものである。

2. 礫の押込みおよび衝突による鋼管部材の変形解析

2.1 解析モデル

図-1 に示すように、直径 1.0 m の礫および直径 $\phi 508$ mm×板厚 $t19$ mm の鋼管部材モデルを作成して、礫を鋼管部材に押込む解析を行った。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 1 m、2 m、4 m および 6 m とした。礫の直径は 1m、また変位速度は 0.1 m/s および 10m/s とした。図-1 に示す鋼管中央部の衝突点とその真裏の変位（はり変形）を出力した。鋼材の塑性判定は、Von-Mises の降伏条件に従うものとした。

2.2 変形特性

図-2 に、各鋼管における押込み量（へこみ量）10cm における鋼管部材の塑性化状況を示す。図中の緑は弾性、赤が塑性化した範囲を示す。図から、スパン 1 m および 2 m の場合は、礫と鋼管の接触部から塑性化が始まり、载荷部裏側へ向かって塑性化が進行した。なお、载荷部にははり変位が発生していなかった。スパン 1 m も同様の結果であった。すなわち、スパン 2 m 以下においては、へこみ変形とはり上部の塑性変形で終局状態となることを示している。スパン 4 m および 6 m の場合は、スパン 2 m の場合と同様に载荷部の塑性化が進行する。その後、へこみ量が 20 cm を超えると、载荷部と固定端部に塑性ヒンジが形成された²⁾。つまり、スパン 4 m 以上になると、载荷部のへこみ変形とともにはり変形が生じ、現行設計法で仮定した変形特性を示すことがわかる²⁾。

図-3 に、衝突解析で得られた鋼管の塑性化状況を示す。図から、スパン 1 m および 2 m の場合は、衝突部にへこみ変形が生じるが、スパン中央部の全断面が塑性化することはなく、はり上部の要素に塑性化が集中した。最終的には、固定端においてもはり上部の要素のみが塑性化した。スパン 4 m および 6 m では、衝突部と固定端部に塑性ヒンジが形成され、押込み解析の結果と類似している。

図-4 に、衝突解析および押込み解析で得られた荷重～

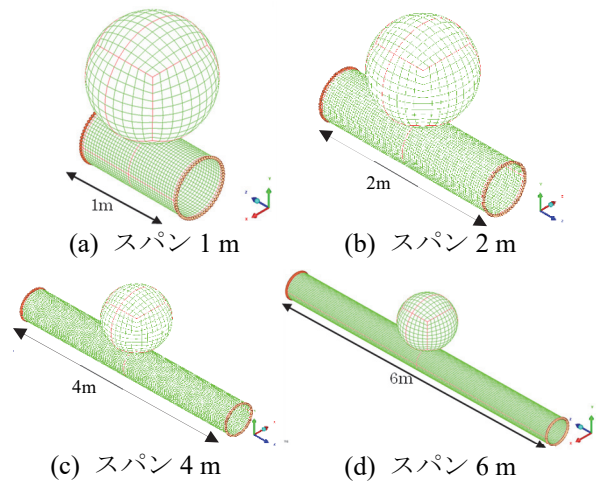


図-1 鋼管部材モデル

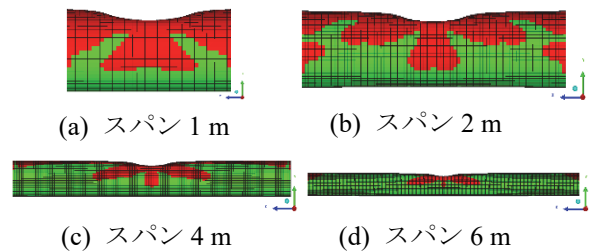


図-2 塑性化状況（押込み解析，10cm）

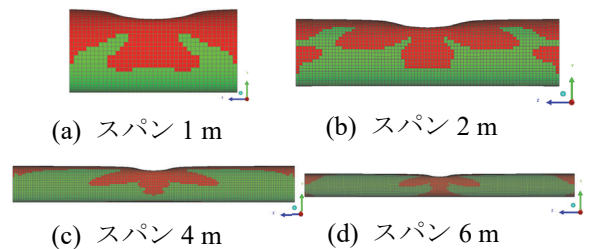


図-3 塑性化状況（衝突解析，30ms）

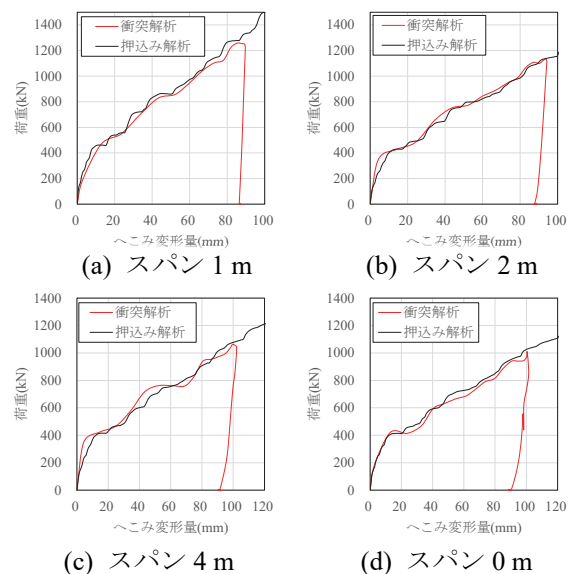


図-4 荷重～へこみ変形関係の比較

へこみ変形関係を比較して示す。図から、衝突解析と押し込み解析結果はほぼ一致することがわかる。また、スパン 2 m および 4 m のへこみエネルギーは、それぞれ約 70 J および 71 kJ であった。今回の解析条件では、スパン 2 m ではやはり変形が発生しなかったこと、またスパン 4 m ではやはり変形が小さかったため、いずれもへこみ変形により同程度のエネルギーを吸収したものと考えられる。

図-5 に、押し込み解析で得られた変形前後の鋼管中央断面の変形状況を示す。図から、スパン 1 m および 2 m では鋼管は中央部が顕著にへこんでも、鋼管は全く変形していない。一方、スパン 4 m および 6 m では、鋼管はりの中央断面がある程度へこむとはり変形へ移行していることを示している。

3. 鋼管はりの変形メカニズム

以上の解析結果から、鋼管がある程度短い場合には、衝突部はへこむものの、はり変形に移行しないことがわかる。この理由は、礫と鋼管の衝突によって鋼管はりに作用する力によって、端部へ塑性ヒンジを発生させるほどの大きな曲げモーメントが生じないことが考えられる。そこで、図-6 に示すように、等分布荷重が載荷幅 a に作用した場合に、固定端および中央点に発生するモーメントを算定した。礫衝突力 P は図-4 を参考に 1000 kN とし、鋼管に作用する載荷幅 a は 0.5 m と仮定した。よって、各鋼管に作用する等分布荷重 q は P/a で求められる。図-7 に計算結果を示す。鋼管の弾性限界モーメントは約 815 kN・m であるが、スパン 1 m ~ 6 m の鋼管はりの固定部には約 115 kN・m ~ 748 kN・m の曲げモーメントが発生する。図-8 は、弾性限界モーメントに対するこれらの曲げモーメントの比率を示しているが、スパン 1 m ~ 6 m の鋼管はりの固定部には弾性限界モーメントの 15 ~ 92% の曲げモーメントが生じている。すなわち、スパン 6 m では塑性化直前であるが、スパン 1 m および 2 m では曲げモーメントが非常に小さく、現行設計法で仮定しているメカニズムが形成されないことを示している。

4. 結 言

本研究では、短スパンではやはり変形は発生せず、はりの上部のみが塑性化してエネルギーを吸収し、4.0 m 以上のスパンでははりの曲げ変形が発生し、塑性ヒンジによってエネルギーを吸収することを示した。

謝辞: 本研究は、令和 2 年度における砂防鋼構造物研究会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：鋼製砂防鋼構造物設計便覧，砂防・地すべり技術センター，平成 21 年 7 月
- 2) 別府万寿博，浅田泰男：礫衝突を受ける短スパン鋼管はり部材の変形特性に関する一考察，令和 2 年度砂防学会研究発表概要集，令和 2 年 5 月

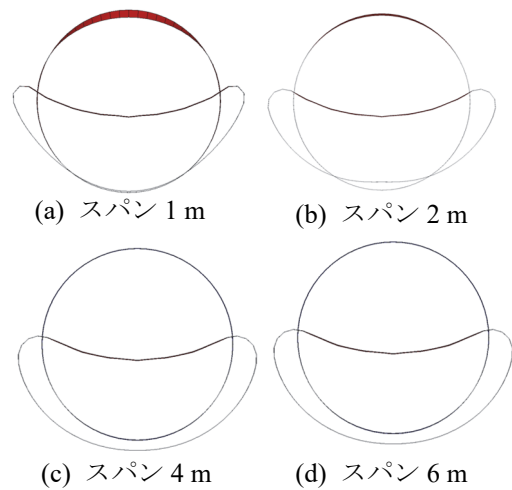


図-5 鋼管の変形状況（押し込み解析）

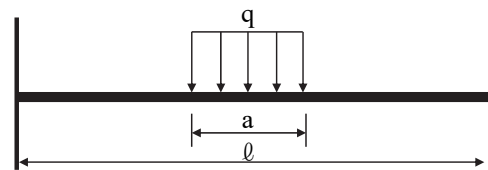


図-6 分布荷重を受ける両端固定はり

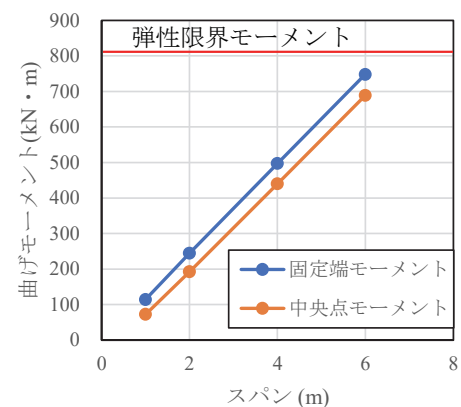


図-7 固定端と中央点の曲げモーメント

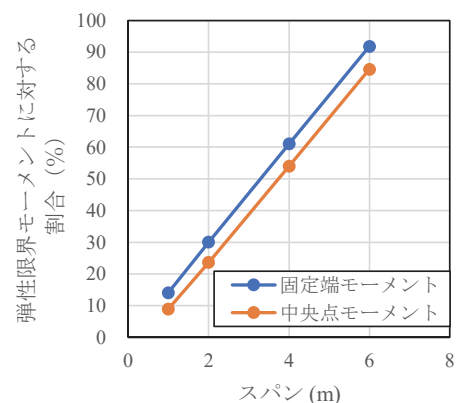


図-8 固定端と中央点の曲げモーメントと弾性限界モーメントの比率