

衝撃荷重を受ける鋼管継手の損傷に関する解析的研究

防衛大学校 ○別府万寿博 日鉄建材 國領ひろし 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。過去の破壊事例では鋼管継手における破壊が確認されており、今後、鋼管継手を含んだ鋼製砂防堰堤のモデル化が必要である。鋼管継手のモデル化では、フランジやボルト接合などを詳細にモデル化する必要がある。しかし、詳細なモデル化は多大な計算時間を要する。そのため、現実的な計算時間の中で構造解析の精度を向上する手法の構築が求められる。本研究は、礫による衝撃荷重を受ける鋼管継手のある程度詳細にモデル化し、鋼管継手の破壊について数値シミュレーションを行ったものである。

2. 解析モデルの概要

園田ら²⁾は、鋼製砂防堰堤の鋼管継手を詳細にモデル化した有限要素解析を行っている。この解析では、鋼管およびボルトをソリッド要素でモデル化し、鋼管継手の破壊を再現している。一方で、詳細なモデル化は多大な計算時間を要するため、ここでは鋼管およびボルトをそれぞれシェル要素およびトラス要素を用いてモデル化を試みた。有限要素解析ソフト LS-DYNA (Version 4.11) を用いて数値解析を行った。鋼管のみの場合と鋼管中央にフランジ継手（フランジ）がある場合の解析モデルを図-1 に示す。鋼管はシェル要素でモデル化し、直径 489mm、厚み 19mm、円周方向に 32 分割、長さ方向の要素寸法を 50mm の円筒形である。フランジはシェル要素でモデル化し、外径 700mm、厚み 38mm、円周方向に 32 分割の円板である。フランジがあるモデルでは、フランジを鋼管中央に設置し、フランジの厚みを考慮するためフランジ同士の間隔を 38mm とした。節点共有することでフランジと鋼管を接合した。継手の各ボルトはトラス要素でモデル化し、軸方向に 4 分割とした。フランジ外縁からボルト孔までの被りを 28.25mm としてボルトを 16 本設置し、節点共有することでボルトとフランジを接合した。鋼管およびボルトは図-2 に示す弾塑性体として考慮し、礫は直径 1m の球形であり、弾性体とした。鋼管のみおよびフランジありに対して、部材中央部に礫を衝突させた。それぞれの物性値を表-1 に示す。なお、ボルトは JIS 規格 M22 ボルトを想定し、応力に有効断面積 303mm²、ひずみに有効長さ 38mm を乗じて荷重-変位関係をモデル化した。ボルトのモデルに用いたトラス要素の破断伸び率は 14% に設定した。

境界条件として、部材両端の節点の全自由度およびボルトとフランジの共有節点の全回転自由度を固定した。礫の表面とフランジの節点の接触およびフランジ同士の面接触を考慮している。なお、ボルトがフランジに拘束されるためボルトのせん断剛性がフランジ同士の滑りに抵抗するが、本モデルで用いたトラス要素はせん断抵抗を考慮

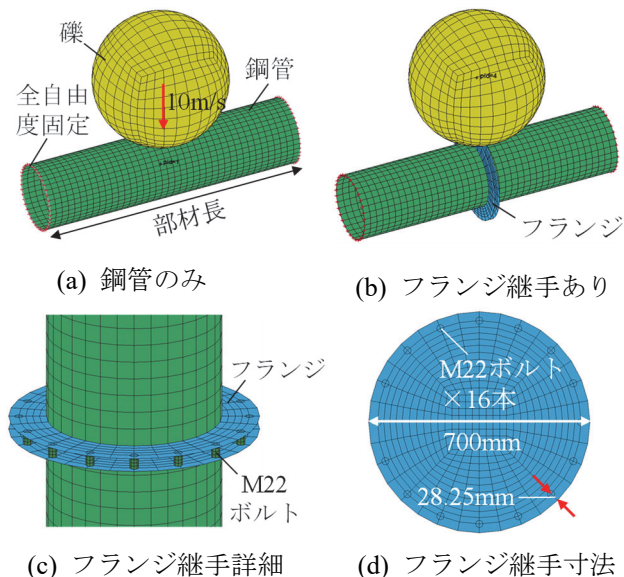


図-1 数値解析モデルの概要

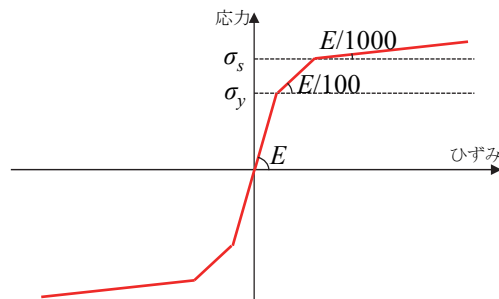


図-2 弾塑性モデルの応力-ひずみ関係

表-1 材料特性

	密度 kg/m ³	ヤング 係数GPa	ポアソン比	降伏強度 MPa	引張強度 MPa
鋼管	7.85	200	0.3	315	490
ボルト	7.85	200	0.3	900	1000
礫	2.60	50	0.23	—	—

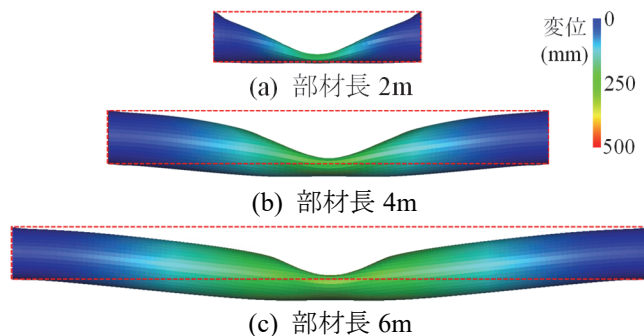


図-3 変形性状(鋼管のみ)

できないため、フランジ同士の摩擦係数を 4.0 に設定し、滑りを抑制した。礫に 10m/s の一定速度を与えて部材に変位を与えた。鋼管のみおよびフランジがある場合に対して、部材長を 2, 4 および 6m とし解析を行った。

3. 解析結果および考察

鋼管のみの場合における鋼管の変形状態と荷重-変位関係を、それぞれ図-3 および図-4 に示す。図中の変位は礫の移動変位を示している。図-3 に示す鋼管部材の変形から、部材長 2m においては部材中央部におけるへこみ変形が支配的であり、はり変形は小さいことがわかる。部材長 4m および 6m においては、へこみ変形に加えて、大きなはり変形を示している。部材長が短い場合にはり変形が小さくなる理由は、本解析の礫直径は部材直径に対して比較的大きいため、はり中央に大きな曲げモーメントが生じにくいことが影響していると考えられる。図-4 に示す荷重-変位関係から、礫が 100mm 程度移動するまでの荷重は、いずれの部材長でもほぼ同等である。一方、礫の移動が 100mm を超えると部材長が長くなるほど荷重の増加が緩やかとなった。これはへこみ変形に加えてはり変形が加わったことを示している。

図-5 および図-6 は、それぞれ鋼管中央部にフランジ継手を設置した場合の鋼管の変形および鋼管継手の拡大図を示している。図-6 において 2 つのフランジに間隔があるのは、シェル要素間にフランジ厚を考慮して表示しているためである。また、図-7 は荷重-変位関係を示している。図から、礫は鋼管継手へ衝突させたため、いずれの部材長においてもへこみ変形は生じることなく、継手部が大きく下方方向へ移動するように変形した。図-6 から、部材長 2m では衝突によって継手フランジの上部が開いてフランジ上部のボルトが破断し、礫の移動が 50mm を超えてフランジ下部のボルトが破断した。部材長 4m および 6m では、はり変形が進行し、それぞれ変位 90mm および 130mm において継手フランジ下部のボルトが破断した。

4. 結言

本研究では、礫衝突荷重を受ける鋼管継手をおある程度詳細にモデル化し、鋼管継手の破壊について数値シミュレーションを行った。鋼管およびボルトをシェル要素およびトラス要素でモデル化する方法で継手の破壊を再現できることを示した。

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) 園田佳巨，土屋羊平，玉井宏樹，嶋丈示：鋼製透過型砂防堰堤の耐荷性能に関する基礎的研究，構造工学論文集 A，62 巻，p.1019-1030，2016 年 3 月。

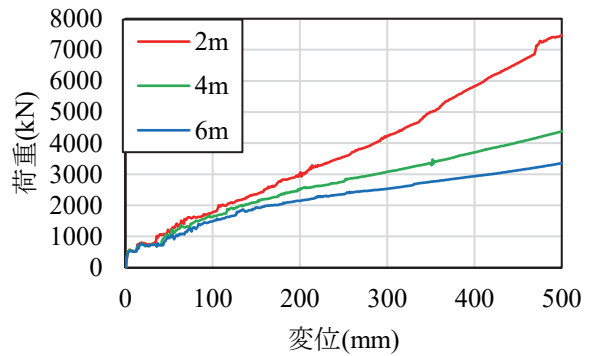


図-4 鋼管のみの場合における荷重-変位関係

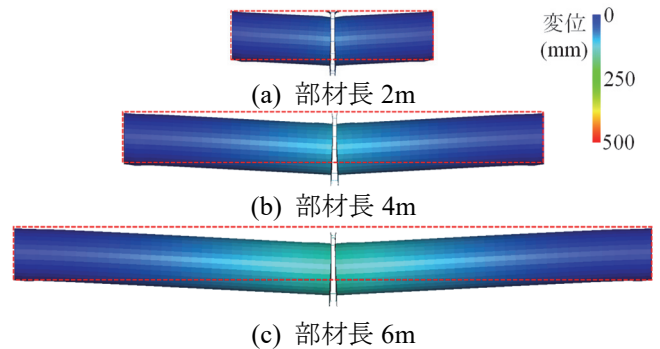


図-5 鋼管の変形状態(フランジ継手あり)

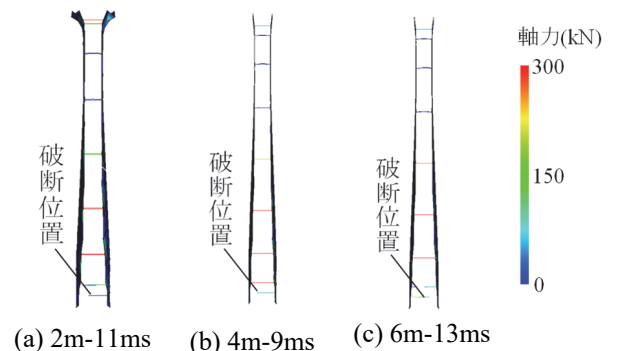


図-6 鋼管継手の損傷(側面図)

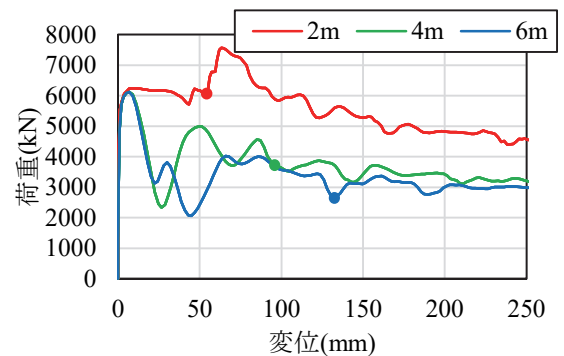


図-7 フランジ継手がある場合の荷重-変位関係 (図中の●は破断時の変位を示す)