

# 礫衝突を受けるフランジ継手付き鋼管はりの動的挙動解析

日鉄建材株式会社 正会員 ○國領ひろし  
防衛大学校 正会員 堀口俊行 フェロー会員 石川信隆

## 1 はじめに

鋼製透過型砂防堰堤は、土石流捕捉部分であるポケットが空いていることから、土石流流体力や礫の衝突を直接受ける構造物である。写真-1のように、捕捉機能に問題はないが、礫の衝突等によりフランジ継手がやや損傷を受ける場合もある。フランジ継手は、構造を保つうえで重要な構造要素であるが、実際の鋼製透過型砂防堰堤を対象とした鋼管継手の動的な解析や実験は、園田ら<sup>1)</sup>や國領ら<sup>2)</sup>の研究以外にあまり見当たらない。

そこで本研究は、フランジ継手を有する鋼管はり部材を対象に、礫の衝突位置の違いによる動的挙動を解析的に調べ、その耐荷性能について検討を行うものである。

## 2 解析概要

### 2.1 解析条件

解析は、有限要素法による非線形解析汎用プログラム Marc を用いて実施した。解析モデルは、図-1 に示すようなフランジ継手を有する鋼管はりモデルで、直径 1.0m の礫が(a)両端固定はりの継手直上に衝突する場合、(b)両端固定はりの継手間に衝突する場合および(c)片持ちはりに衝突する場合の3タイプを設定した。なお、本解析では構造の対称性を考慮して 1/2 モデルとしている。解析で使用した要素は、すべて3次元ソリッド要素とし、支点となるはり端部は、全自由度を拘束する境界条件を設定した。また、鋼材と鋼材および鋼材と接合ボルト、

鋼材と礫の接触面には摩擦を考慮した接触条件を設定し、摩擦係数をそれぞれ 0.3, 0.4 とした。荷重は、直径 1.0m の礫を初速度 10 m/s で衝突させるものとした。

### 2.2 材料特性

表-1 に、解析に用いた材料の物性値を示す。鋼管は、一般構造用炭素鋼鋼管、フランジプレート(鋼板)は溶接構造用圧延鋼材、接合ボルトは高力ボルトとし礫は球状弾性体とした。鋼製材料の構成則は、公称伸びと公称引張強度が等しく、公称伸び以降は強度が一定なるようなトリリニア型の応力～ひずみ関係を与え、降伏条件は von Mises の条件を適用し、等方硬化するものとした。

## 3 解析結果

### 3.1 荷重～変位関係

図-2 に、礫衝突位置の荷重～変位関係を示す。まず、継手直上衝突の場合、最大荷重は 6,578 kN となるが、継手の剛性が大きいため、礫がリバウンドし、最大変位 16.0 mm となるときの荷重は 3,698 kN であった。一方、礫が鋼管部に衝突する継手間衝突の場合は、最大荷重 1,389 kN、最大変位 81 mm で、片持ちはり衝突の場合では、最大荷重 1,118 kN、最大変位 91 mm であった。これは、鋼管の剛性が継手の剛性より小さいため、鋼管にへこみ変形が生じ、荷重が小さく、変位が大きくなったものと考えられる。吸収エネルギー(荷重～変位関係で囲まれた面積)をみると、継手直上衝突の場合では 63 kJ、継手間



(a) 継手直上衝突



(b) 継手間および片持ちはり衝突

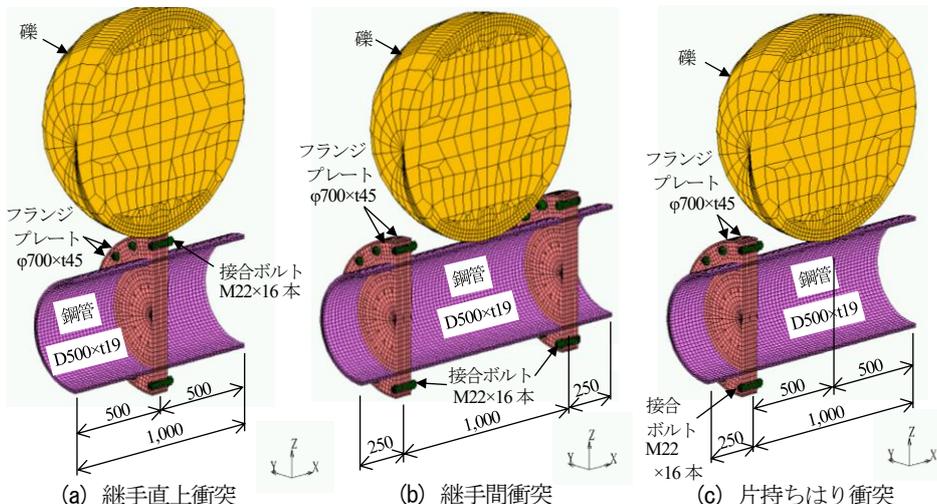


図-1 解析モデル(単位: mm)

写真-1 フランジ継手の損傷状況例

キーワード 礫衝突, 鋼製透過型砂防堰堤, フランジ継手, FEM 解析, 耐荷性能

連絡先 〒101-0021 東京都千代田区外神田4丁目14-1 日鉄建材株式会社 TEL:03-6625-6347 E-mail:hkokuryo@ns-kenzai.co.jp

表-1 材料物性値

	材質	ヤング係数 MPa	ポアソン比	公称値		
				降伏応力 MPa	引張強度 MPa	伸び %
鋼管	STK490	$2.0 \times 10^5$	0.3	315	550	23
鋼板	SM490	$2.0 \times 10^5$	0.3	315	550	23
ボルト	S10T	$2.0 \times 10^5$	0.3	900	1,100	14
礫	—	$5.0 \times 10^4$	0.23	—	—	—

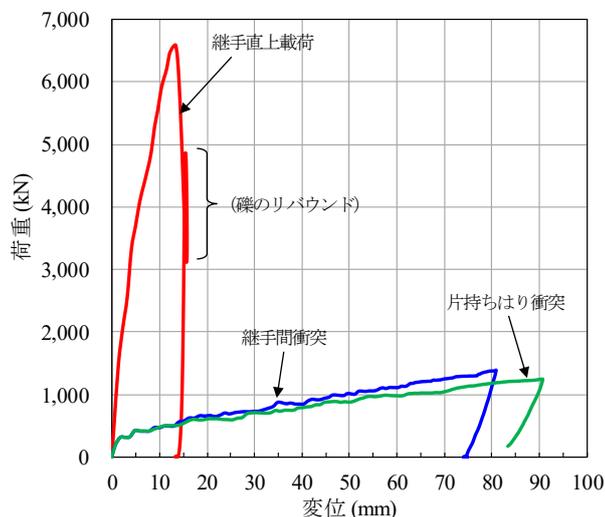


図-2 荷重～変位関係

衝突では 67 kJ, 片持ちはり衝突では 71 kJ で, 継手直上衝突の場合が最も小さい。

### 3.2 継手の変形状況

各タイプの変形状況 (Z 方向変位および継手の開き) を図-3 に示す。まず, 図-3(a) の継手直上衝突の場合, 継手の開きは継手上部 (衝突部) で 0.4 mm, 継手下部で 0.6 mm であり, 継手下部のほうが開きは大きい。一方, 図-3(b) の継手間衝突では, 継手上部で 1.7 mm の開きであったが, 継手下部では認められなかった。また, 図-3(c) の片持ちはり衝突の場合では, 継手上部で 3.6 mm と継手の開きが最も大きくなる結果となった。これより, 継手部では曲げ引張力が作用する側 (継手直上衝突では継手下部, 継手間および片持ちはり衝突では継手上部) での負担が顕著となり, とくに, 片持ちはり衝突の場合は, 他の衝突位置に比べて継手への負担が大きくなることが確認された。

### 3.3 接合ボルトの損傷状況

図-4 は, 接合ボルトの相当塑性ひずみを示したもので, 図-4(a) の継手直上衝突の場合では, 礫衝突位置の最上端ボルトのみに大きなひずみが生じていることがわかる。一方, 図-4(b) の継手間衝突および図-4(c) の片持ちはり衝突の場合では, 継手の開きに伴い, 引張側となる上端部の接合ボルトにひずみが生じ, 継手間衝突の場合では 2 本, 片持ちはり衝突では 3 本の接合ボルトに大きなひ

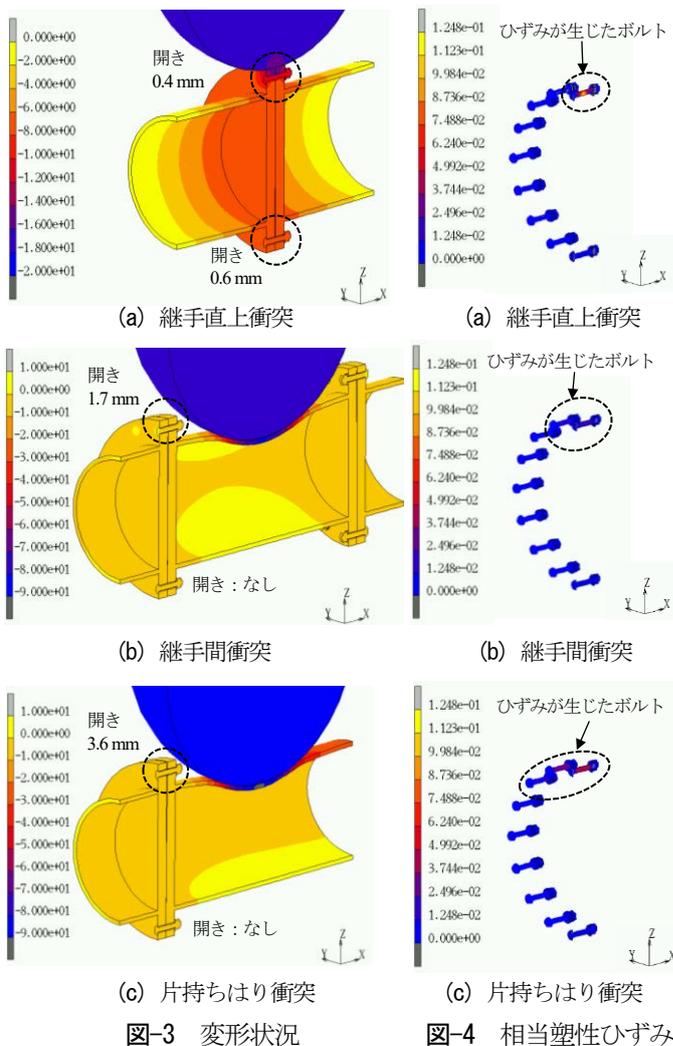


図-3 変形状況

図-4 相当塑性ひずみ

ずみが生じていることが認められた。

## 4 まとめ

本研究の成果をまとめると, 以下のようになる。

- 1) 継手直上衝突の場合, 衝突荷重が大きく, 変位は小さい。また, 継手の損傷 (継手の開き, 接合ボルトのひずみ) は, 礫衝突部が顕著であるが, 引張側も影響を受けることが認められた。
- 2) 一方, 継手間衝突の場合は, 鋼管のへこみ変形を伴い, 衝突荷重は小さく, 変位が大きくなる。また, 継手の損傷は継手直上衝突に比べてやや大きく, 引張側となる接合ボルトへの負担が大きくなることが確認された。
- 3) 片持ちはり衝突の場合は, 継手間衝突と同様な挙動を示すが, 変位は最も大きく, 継手の損傷度も大きくなることを認められた。

### 参考文献

- 1) 園田佳巨, 土屋羊平, 玉井宏樹, 嶋文示: 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, Vol.62A, pp.1019-1030. 2016.3.
- 2) 國領ひろし, 堀口俊行, 別府万寿博, 園田佳巨, 石川信隆: フランジ継手を有する鋼管はり部材の動的載荷性能実験, 構造工学論文集, Vol.65A, pp.807-820, 2019.3