

継手の存在が鋼製透過型砂防堰堤の耐荷性能に与える影響の定量的評価

防衛大学校 ○宮原 邑太 堀口 俊行
日鉄建材(株) 國領 ひろし

1. 緒言

近年、大規模な土石流の発生により鋼製透過型砂防堰堤(以下、鋼製堰堤)が破損する事例が報告されている。そのため、現行の設計便覧¹⁾では、従来の許容応力度法による照査に加え、リダンダンシーやロバストネスといった耐荷性能が重要視されている。しかし、耐荷性能の定量的な評価方法については示されていない。

筆者ら²⁾は、耐荷性能を定量的に評価するための手法を提案し、構造形式による耐荷性能の違いについて解析的な検討を行っている。ここでは、リダンダンシーRSを一部の部材が降伏してから終局状態に達するまでの余裕度と定義し、以下の式により評価している。

$$RS = F_u / F_0 \quad (1)$$

ここで、 F_u ：ある一部の部材が弾性限界に達した時の堰堤の耐力(弾性限界耐力)、 F_0 ：ある一部の部材が終局変形に達した時の耐力(終局耐力)である。ロバストネス RB_θ は、外力のばらつき(ここでは偏心荷重)による耐力の低下率と定義し、以下の式で評価している。

$$RB_\theta = \frac{F_{u0} - F_{u\theta}}{F_{u0}} \quad (2)$$

ここで、 F_{u0} ：正面載荷時の終局耐力、 $F_{u\theta}$ ：偏心載荷時の終局耐力である。しかしながら、全ての部材を鋼管母材とした解析による評価にとどまっており、一般に構造弱部とされている鋼管同士の継手部分については考慮されていない。

そこで本研究では、継手部分を断面分割法によりモデル化し、弾塑性解析を用いて継手が鋼製堰堤の耐荷性能に与える影響について検討するものである。

2. 解析要領

図-1に解析モデルを示す。構造モデルはトラス、ラーメン混合の3種類で、それぞれ堤高 $H=8.0\text{ m}$ である。部材は、鋼管母材が直径 $\phi 400\text{ mm}$ 、板厚 $t=14\text{ mm}$ である。継手部は直径 $\phi 540\text{ mm}$ のフランジプレートが呼び径M20の高力ボルトF10Tを16本用いて結合されるものとした。部材は全てはり要素を用いてモデル化した。表-1には、それぞれの部材の断面性能を示しており、鋼管母材よりも継手の方が強度や変形能が小さいことがわかる。

載荷方法は、堰堤の捕捉面に対して垂直に載荷する正面載荷と捕捉面に対して 30° 偏心角を持たせた偏心載荷の2種類とし、式(1)、(2)によりリダンダンシーおよびロバストネスを評価した。

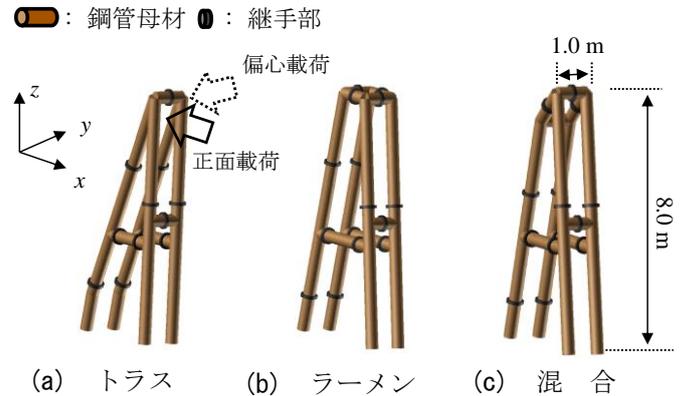


図-1 解析モデル

表-1 部材諸元

	鋼管母材	継手部
降伏曲げモーメント M_y [kN·m]	650	600
最大曲げモーメント M_u [kN·m]	1,010	800
降伏張力 N_y [kN]	535	230
最大張力 N_u [kN]	833	250
破断ひずみ ε [%]	23	14

3. 解析結果

図-2に、正面載荷における各モデルの終局状態を示す。継手無では、トラスは下流側柱部材の下端、ラーメンは堰堤中央のはり部材、混合は下流側柱部材の上端が終局変形に至っている。一方、継手有ではラーメンと混合は継手無と差異がないものの、トラスは上流側柱部材の継手部分が終局変形に達した。

図-3には、偏心載荷における各モデルの終局状態を示す。全てのモデルにおいて上流側柱部材右岸側の下端が終局変形に達しており、継手の有無による影響は確認できなかった。

図-4には、正面載荷における各モデルの耐力～堰堤頂部変位関係を示している。継手無において終局耐力 F_u が最も大きいのはトラスであり、次いで混合、ラーメンの順となった。一方、継手有ではトラスの終局耐力 F_u が低下し、混合と概ね同様となった。表-2には、降伏耐力 F_0 、終局耐力 F_u およびリダンダンシーRSの値をまとめている。継手無でリダンダンシーRSが最も大きいのは、トラスであり、次いでラーメン、混合の順となった。一方、継手有では、トラスの終局耐力 F_u が低下することによりリダンダンシーRSも低下し、全モデルで最少となった。トラスはラーメン、混合と比して構造としての変形能が小さいため、上流側柱部材の曲げ変形が卓越し、鋼管要素よりも変形能の小さい継手部分が先に終局変形に達するものと考えられる。

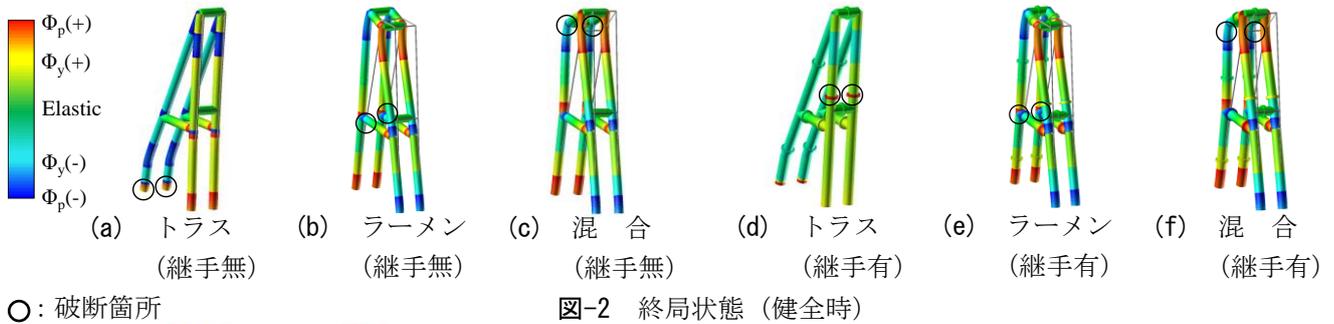


図-2 終局状態（健全時）

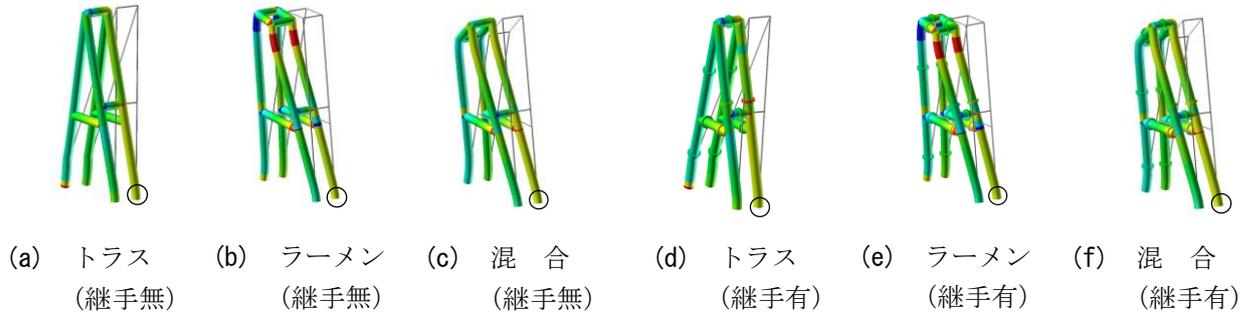


図-3 終局状態（健全時）

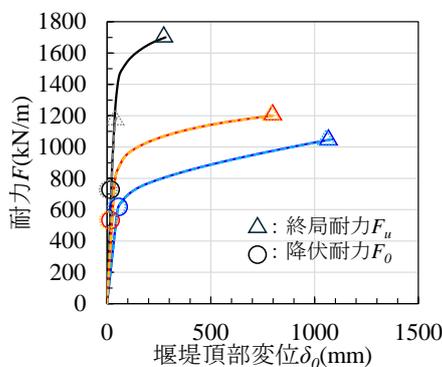


図-4 耐力～堰堤頂部変位関係（正面載荷）

表-2 耐力とリダンダンシーの値一覧

	継手無			継手有		
	トラス	ラーメン	混 合	トラス	ラーメン	混 合
F_0 [kN/m]	700	500	600	700	500	600
F_u [kN/m]	1,700	1,050	1,200	1,200	1,050	1,200
RS	2.4	2.1	2.0	1.7	2.1	2.0

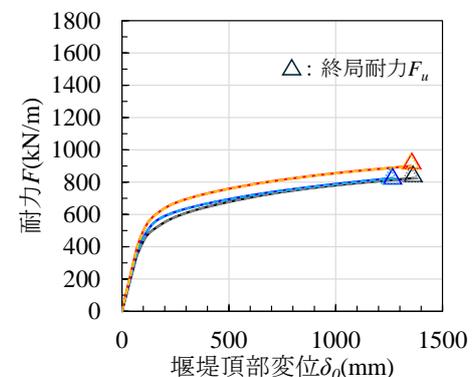


図-5 耐力～堰堤頂部変位関係（偏心載荷）

表-3 耐力とロバストネスの値一覧

	継手無			継手有		
	トラス	ラーメン	混 合	トラス	ラーメン	混 合
F_{u0} [kN/m]	1,700	1,050	1,200	1,200	1,050	1,200
$F_{u\theta}$ [kN/m]	825	825	900	825	825	900
RB_θ	0.51	0.21	0.25	0.31	0.21	0.25

図-5 には、偏心載荷における各モデルの耐力～堰堤頂部変位関係を示す。変位はy方向を示している。継手の有無にかかわらず終局耐力 $F_{u\theta}$ が最も大きいのは混合であり、次いでトラスとラーメンが同様の値となった。表-3 には、正面載荷時の終局耐力 F_{u0} 、偏心載荷時の終局耐力 $F_{u\theta}$ 、ロバストネス RB_θ の値をまとめている。ロバスト性が最も高いのはラーメンであり、次いで混合、トラスの順となった。継手の影響によりトラスの耐力が低下しているため RB_0 の値こそ変化しているものの、継手の有無によって順位に差異がでることはなかった。

4. 結 言

本研究は、リダンダンシーについて、継手の無い場合

にはトラス、ラーメン、混合の順となるが、継手のある場合には、トラスが最も小さくなり、継手部が鋼堰堤の耐力に影響を与えることを確認した。ロバストネスは、継手部の影響で RB_θ の値が変化したものの、継手の有無にかかわらずトラスが最もロバスト性が低い結果となった。

参考文献

- 1) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター：新編・鋼製砂防構造物設計便覧，ニッセイエブプロ，2021。
- 2) 國領ひろし，嶋丈示，堀口俊行，園田佳巨，石川信隆：鋼製透過型砂防堰堤の耐荷性能に関する定量的評価，土木学会論文集（構造・地震工学），Vol.78, No.3, pp.316-330, 2022。