

材質の異なる鋼管部材の耐荷性能に関する解析的検討

日鉄建材株式会社 ○國領ひろし, 笠原 啓, 石垣拓也

1. はじめに

建設業界は、人手不足、技術者の高齢化などの問題に直面している。近年、橋梁等の土木分野では鋼材重量の軽減（部材の薄肉化）や施工の効率化を目的に、高強度材の使用が進められている。一方、鋼製透過型砂防堰堤は土石流中の礫等の衝突を受ける構造物であり、部材の性能照査では礫衝突によるへこみ変形やはり変形を考慮する必要がある。しかし、鋼管の単位重量は直径500 mmの板厚19 mmで225 kg/m、板厚22 mmで259 kg/m、板厚25 mmで293 kg/mであり、高強度材の使用による薄肉化により施工の効率化が図れることが考えられる。そこで、本研究は鋼製透過型砂防堰堤で用いる鋼管部材を対象に、材質の違いに着目し、礫が衝突する際の挙動を解析的に検討するものである。

2. 解析条件

2.1 解析モデル

解析モデルは、図-1に示すような直径500 mmの中空鋼管を用いたスパン6,000 mmの両端固定はりで、直径1.0 mの球状体の礫を鋼管はり中央部に速度10 m/sで衝突させるものとした。解析は、有限要素法による非線形解析汎用コードMSC. Marcを用いて実施した。鋼管部材はシェル要素、礫はソリッド要素でモデル化し、鋼管部材と礫の接触面には、摩擦係数0.3を設定した。

2.2 材料特性

解析で使用した材料物性値を表-1に示す。鋼管はJIS規格（JIS G 3444）の一般構造用炭素鋼鋼管（STK）で、鋼製透過型砂防堰堤で一般に使用されているSTK490と降伏強度および引張強度がSTK490より高いSTK540の2種類、礫は弾性体とした。鋼材の構成則はトリリニア型の応力-ひずみ関係を用い、降伏条件にはvon-Misesの条件を適用し、等方硬化するものとした。

2.3 解析ケース

解析ケースは、表-2に示すように鋼管材質の違いにより鋼管板厚を変化させた4ケースである。ここでは、鋼管板厚をSTK490では22 mmと25 mmの2ケース、STK540では19 mmと22 mmの2ケースとした。

3. 解析結果

3.1 相当塑性ひずみ分布

図-2は、最大荷重時の相当塑性ひずみ分布を示したもので、図-2(a)および図-2(b)はSTK490の板厚22 mmおよび25 mmの場合、図-2(c)および図-2(d)はSTK540の板厚19 mmおよび22 mmの場合をそれぞれ示している。これより、STK490を用いた図-2(a)、(b)は、STK540を用いた図-2(c)、(d)に比べ、鋼管はり固定部に発生するひずみが大きくなり、塑性ヒンジが形成されつつあることがわかる。鋼管中央の礫衝突部に着目すると、図-2(a)と図-2(c)、図-2(b)と図-

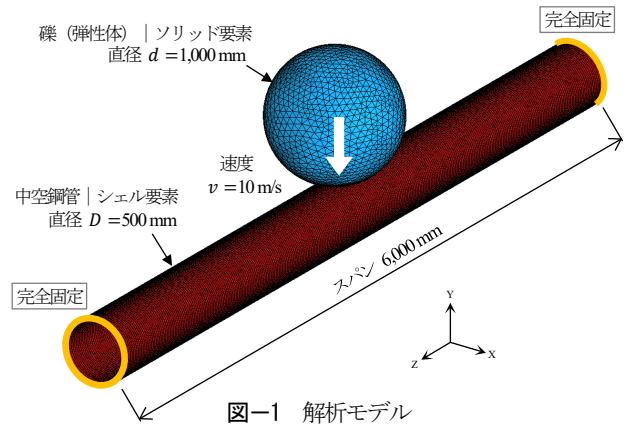


図-1 解析モデル

表-1 材料物性値

名称	密度 (g/cm ³)	ヤング率 (MPa)	ポアソン比	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)
鋼管 STK490	7.85	2.0×10 ⁵	0.30	315	490	21
鋼管 STK540	7.85	2.0×10 ⁵	0.30	390	540	19
礫	2.60	5.0×10 ⁴	0.23	—	—	—

表-2 解析ケース

材質	鋼管部材		ケース数
	直径 D (mm)	板厚 t (mm)	
STK490	500	22, 25	4 ケース
STK540		19, 22	

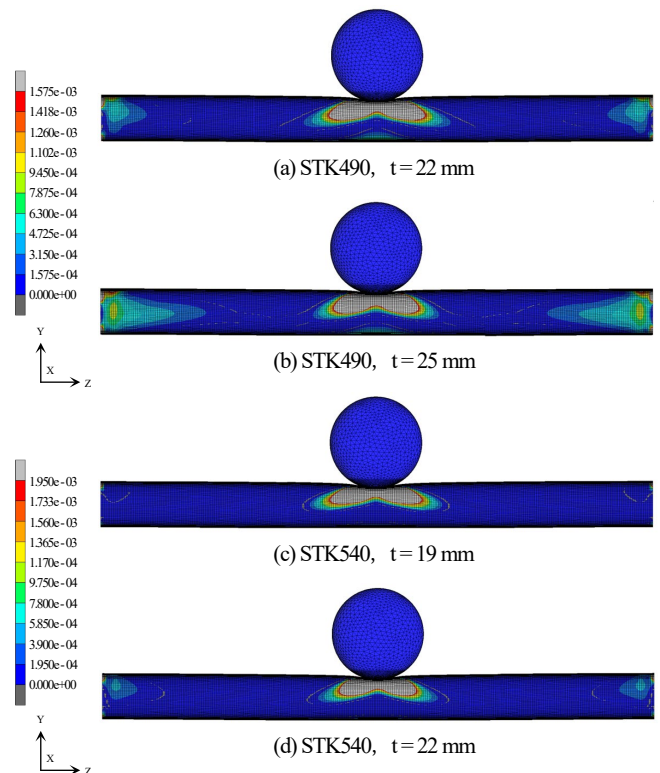


図-2 相当塑性ひずみ分布（最大荷重時）

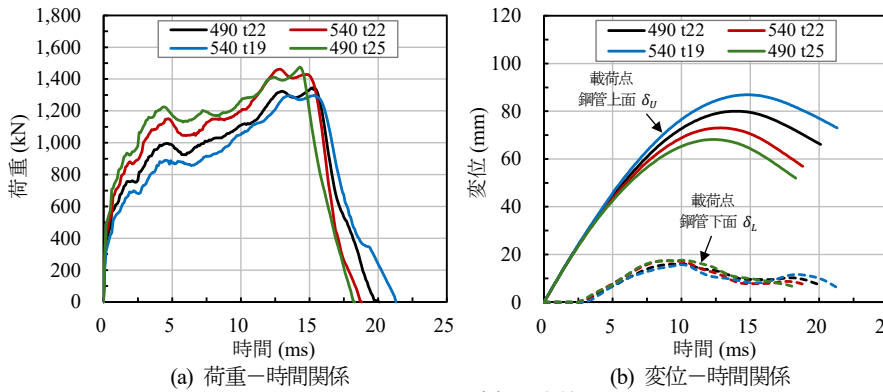


図-3 時刻歴応答

表-3 最大荷重および最大変位

材質	板厚 t (mm)	最大荷重 P_{max} (kN)	最大変位 [*] δ_{max} (mm)
STK490	22	1,345	80 16
	25	1,475	68 18
STK540	19	1,298	86 15
	22	1,461	73 17

※ 上段：鋼管上面 δ_U ，下段：鋼管下面 δ_L

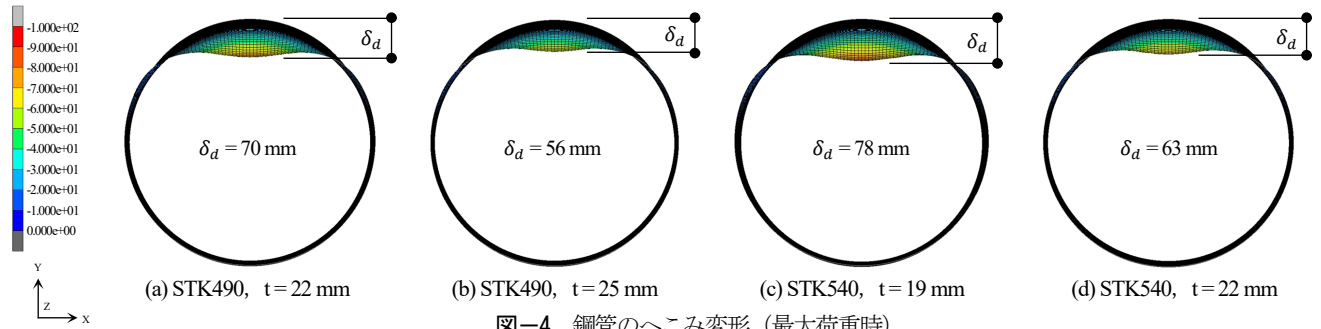


図-4 鋼管のへこみ変形（最大荷重時）

2(d)の塑性化領域（材質の違いにより STK490 は 1,575 μ 以上、STK540 では 1,950 μ 以上）がほぼ等しくなる。板厚が同じ 22 mm で材質が異なる図-2(a)と図-2(d)では、STK540 を用いた図-2(d)のほうが礫衝突部に発生する塑性化領域が小さくなることが認められた。

3.2 変形特性

各ケースにおける時刻歴応答を図-3、最大荷重および最大変位を表-3 にそれぞれ示す。ここでの荷重は礫の接触反力、変位は衝突点の鋼管上面 δ_U （実線）および鋼管下面 δ_L （破線）をそれぞれ示している。まず、図-3(a)の荷重-時間関係より、最大荷重は STK490 の板厚 25 mm が 1,475 kN と最も大きく、荷重の作用時間も短い。次いで STK540 の板厚 22 mm (1,461 kN)、STK490 の板厚 22 mm (1,345 kN) の順となり、STK540 の板厚 19 mm が 1,298 kN と最も小さくなる。同板厚の 22 mm では、STK490 に比べて STK540 のほうが最大荷重は大きく、STK490 の板厚 22 mm と STK540 の板厚 19 mm、STK490 の板厚 25 mm と STK540 の板厚 22 mm でそれぞれ近い値となった。次に、図-3(b)の変位-時間関係から、鋼管上面の最大変位は、STK540 の板厚 19 mm が 86 mm と最も大きく、次いで STK490 の板厚 22 mm で 80 mm、STK540 の板厚 22 mm で 73 mm となり、STK490 の板厚 25 mm が 68 mm と最も小さい。つまり、最大荷重が大きいほど鋼管上面の最大変位は小さく、同板厚の 22 mm では STK490 に比べて STK540 のほうが最大変位は小さくなる。これは、同じ衝突エネルギー ($1/2 mv^2 = 68 \text{ kJ}$) を作用させており、各ケースにおける吸収エネルギーがほぼ同じとなるためである。一方、鋼管下面の最大変位は、最大荷重と同様な傾向を示し、STK490 の板厚 25 mm で 18 mm と最も大きく、STK540 の板厚 19 mm の場合が 15 mm で最も小

くなる。つまり、最大荷重が大きいほど鋼管下面の変位が大きく、はり変形が進行することがわかる。

図-4 に、最大荷重時の鋼管のへこみ変形状況を示す。ここでは、へこみ変形 δ_d を鋼管上面変位 δ_U から鋼管下面変位 δ_L を差し引いた値 ($\delta_U - \delta_L$) とした。これより、へこみ変形は STK540 の板厚 19 mm の場合が 78 mm と最も大きく、STK490 の板厚 25 mm が 56 mm と最も小さい。つまり、板厚が大きいほどへこみ変形は小さくなる。一方、同板厚の 22 mm では STK540 のほうが STK490 に比べてへこみ変形は小さく、その値は STK490 の板厚 22 mm と 25 mm の中間程度となる。すなわち、高強度材を用いることにより、へこみ変形を抑制できることがわかる。

以上より、STK490 の板厚 22 mm で衝突エネルギーを吸収できない場合は板厚を増厚することなく STK540 を使用することや、現場条件によっては STK490 の板厚 22 mm を STK540 の板厚 19 mm に変更するなど、所定の安全性が確保できる範囲においては高強度材の適用が可能であることが示唆された。

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) 本研究の範囲では、STK490 と STK540 の鋼管はりを比較すると、STK540 のほうが塑性化領域は小さくなる。
- 2) STK490 の板厚 22 mm と STK540 の板厚 19 mm、および STK490 の板厚 25 mm と STK540 の板厚 22 mm の最大荷重は、それぞれ概ね近い値となる。
- 3) 同板厚の条件下では、STK490 に比べ、STK540 のほうが礫衝突によるへこみ変形は小さくなる。

今後、高強度材を用いることによる構造全体の耐荷性能や鋼管継手への影響を検討する必要がある。