

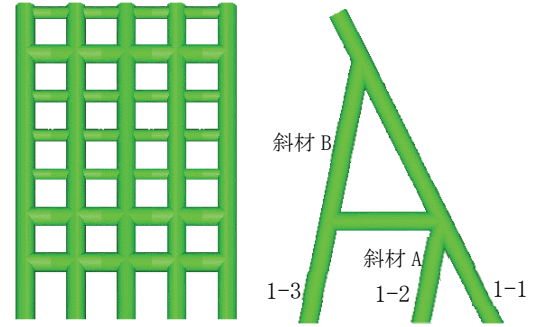
礫衝突を受ける鋼管部材の荷重評価と局部変形解析に関する一考察

防衛大学校 ○別府万寿博
 (一財) 砂防・地すべり技術センター

伊藤忠テクノソリューションズ 松澤遼
 嶋丈示 砂防鋼構造物研究会 石川信隆
 政策研究大学院大学 水山高久

1. 緒言

深層崩壊や大規模な土石流が発生すると、大量の土砂や大径の礫が流下し、砂防堰堤に作用する。近年、これらの極めて大きな土石流荷重¹⁾に関して検討されつつあり、著者らもこのような大規模土石流を想定して礫衝突を受ける鋼製堰堤に対する全体系の応答解析を行った²⁾。本研究は、鋼管部材を対象として数値解析により局部変形応答を調べ、現行設計法で用いられている修正 Ellinas 式³⁾との比較を行ったものである。なお、数値解析には、衝撃解析ソフト AUTODYN を用いている。



(a) 正面図 (b) 側面図

図-1 鋼製堰堤の解析モデル

2. 鋼管部材に対する礫衝突解析

2.1 解析モデル

極めて大きな土石流¹⁾および図-1に示す鋼製堰堤の部材寸法²⁾を参照して、図-2に示すような直径 3m の礫を直径 $\Phi 508\text{mm} \times$ 板厚 $t16\text{mm}$ の鋼管部材に衝突させた。なお、鋼管の両端は完全固定とし、スパンについては 2m, 3m, 4m と変化させた。境界条件は両端固定とした。礫の衝突速度は、2.5m/s, 5.0m/s, 7.5m/s, 10m/s とした。解析では、礫の運動量変化から衝突荷重を算定した。また、図-2に示す鋼管中央部の衝突点(へこみ部)とその真裏(梁変形)の変位を出力した。鋼材には、Johnson-Cook の降伏関数を用いた。

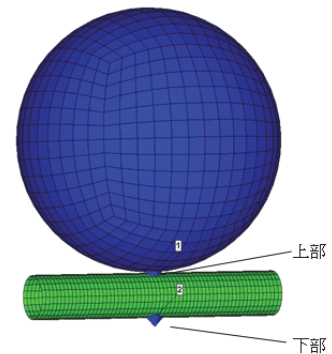
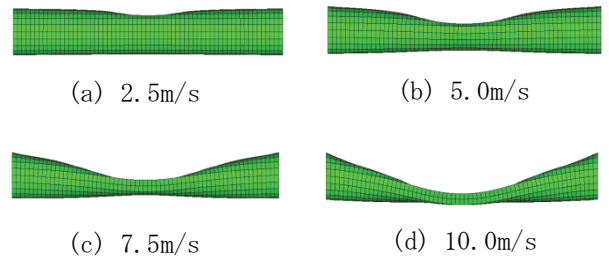


図-2 鋼製部材への礫衝突解析モデル (L=3m)

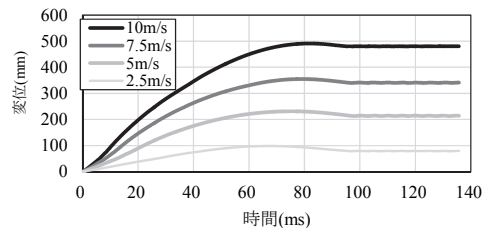
2.2 鋼管の変位～時間関係

図-3に、鋼管長 3m の場合における礫衝突後の鋼管部材の変形を示す。図から、衝突速度が大きくなるにしたがって、局部的変形の深さや面積が大きくなるのがわかる。図-4に、鋼管中央部上下部の変位～時間関係を示す。なお、両図ともに、下方向の変位を正としている。図-4(a)に示す鋼管中央上部の変位～時間関係から、衝突速度が増加するとともに最大変位が増加し、速度 10m/s においては約 500mm の最大変位を示すことがわかる。これは鋼管直径にほぼ等しく、非常に大きなへこみ変形が生じることを示している。図-4(b)に示す鋼管中央下部の変位から、衝突速度 2.5m/s～7.5m/s の間では、変位が負値を示している。この理由は、へこみ変形の進行とともに、鋼管がひょうたん型へ変形するためと考えられる。ただし、衝突速度が 10m/s になると鋼管の塑性変形が進行して最大 40mm のたわみが生じた。図-5に、解析結果によるへこみ変形～衝突速度関係を示す。修正 Ellinas 式から、はりの全体塑性変形に移行するへこみ変形は約 283mm と算定されるが、図から衝突速度約 6m/s で修正 Ellinas 式によるへこみ量と等しいへこみ変形が発生することがわかる。ただし、解析では衝突速度 7.5m/s においてもはりの全体変形は生じていないため、衝突速度が速く、礫直径が大きい(載荷面積

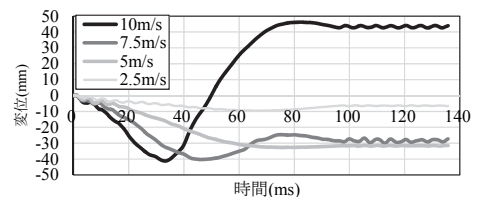


(a) 2.5m/s (b) 5.0m/s (c) 7.5m/s (d) 10.0m/s

図-3 礫衝突解析結果 (L=3m)



(a) 鋼管中央上部の変位～時間関係



(b) 鋼管中央下部の変位～時間関係

図-4 変位～時間関係 (L=3m)

が大きい) 場合には局部的な吸収エネルギーが大きくなる可能性がある。

2.3 鋼管の吸収エネルギー

解析結果から、礫の運動量を微分して得られる荷重～時間関係および鋼管中央上部の変位をへこみ変形とみなした場合のへこみ変形～時間関係を求め、時間軸を消去することで荷重～へこみ変形関係を得ることができる。図-6に、鋼管長3mと4mの荷重～へこみ変形関係を示す。図から、鋼管長によらず、衝突速度が変化しても相似形の荷重～変位関係を示すことがわかる。ちなみにこの勾配は、MPS-DEM法に用いる礫と鋼管の接触力に関するバネ係数とみなすこともできる⁴⁾。解析結果では、鋼管長によって勾配の値がやや変化するが、衝突速度5m/sまではほぼ等しく約 $k=15\text{kN/mm}$ となり、今後、MPS-DEM法等で用いることが可能となる。荷重～へこみ変形の面積を求めると、へこみ変形による吸収エネルギー(へこみ吸収エネルギー)を得ることができる。図-7に、鋼管長3m, 4mにおけるへこみ吸収エネルギーを示す。なお、修正Ellinas式から算定されるへこみ吸収エネルギーは、鋼管長3m, 4mに対してそれぞれ $390\text{kN}\cdot\text{m}$ および $249\text{kN}\cdot\text{m}$ と求められる。図から、鋼管長3mの場合には、衝突速度とともにへこみ吸収エネルギーが増加して、衝突速度10m/sでは約 $1400\text{kN}\cdot\text{m}$ の値となった。修正Ellinas式と比較すると、衝突速度約4.5m/sにおいてほぼ等しいエネルギーを示した。鋼管長4mの場合にも同様の傾向が認められ、衝突速度約4m/sにおいて修正Ellinas式とほぼ同等のエネルギーを示した。

以上の解析結果から、直径3mの礫が衝突する場合には、速度や礫直径の大きさの影響を受けて、修正Ellinas式と比較してへこみ変形による吸収エネルギーが大きくなることがわかった。

3. 結言

本研究は、礫衝突に対する鋼管部材の荷重評価とへこみ変形解析を行い、修正Ellinas式との比較検討を行ったものである。大径の礫が衝突する場合には、へこみ変形による吸収エネルギーが修正Ellinas式よりも大きくなることがわかった。今後、大規模土石流における礫の直径や衝突速度が局部変形へ与える影響を調べる予定である。

参考文献

- 1) 山口聖勝, 石川信隆, 田村毅, 嶋丈示, 水山高久: 極めて大きな土石流流体力を受ける砂防堰堤の極限状態における安定計算法, 平成27年度砂防学会研究発表概要集, 平成27年5月
- 2) 別府万寿博, 松澤遼, 嶋丈示, 石川信隆, 水山高久: 極めて大きな土石流荷重を受ける鋼製透過型堰堤の耐衝撃性に関する解析的検討, 平成27年度砂防学会研究発表概要集, 平成27年5月
- 3) 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
- 4) 別府万寿博, 松澤遼, 嶋丈示, 石川信隆, 水山高久: DEM-MPS法による土石流荷重評価と砂防堰堤の耐荷性能に関する一考察, 平成27年度砂防学会研究発表概要集, 平成27年5月

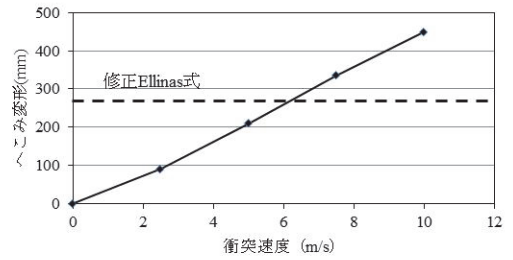
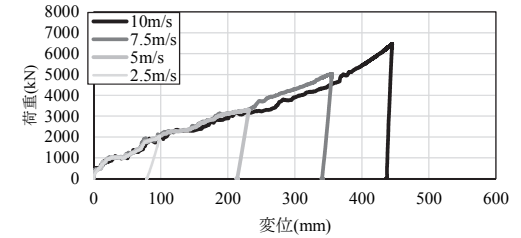
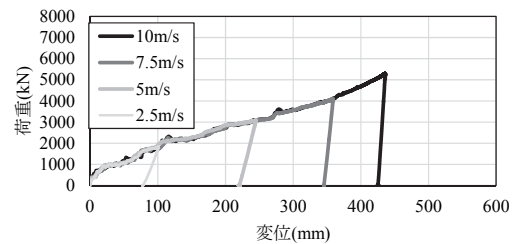


図-5 へこみ変形～衝突速度関係

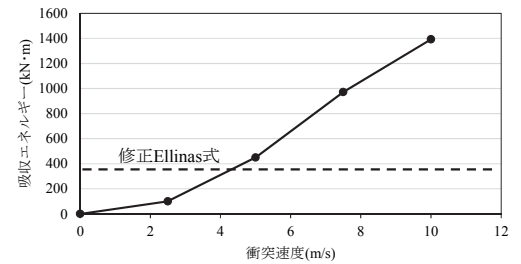


(a) L=3m

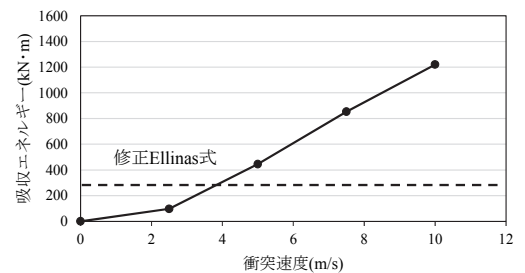


(b) L=4m

図-6 荷重～へこみ変形関係



(a) L=3m



(b) L=4m

図-7 へこみ吸収エネルギー～衝突速度関係