

鎖を部材に用いた砂防堰堤の機能検討

立命館大学理工学研究科 ○本田 明星斗

立命館大学工学部 里深 好文, 藤本 将光

1. 背景及び目的

土石流対策として設置されている鋼製パイプ材やH型鋼材を部材に用いた砂防堰堤はコストが高く、施工性に課題がある。また、対策すべき溪流が数多く残っており、莫大な費用と時間が費やされることが考えられるため、安価な砂防構造物が求められる。そこで、鋼製構造物の新たなアイデアとして、すでに数多く流通している鎖を部材に採用し、コスト削減を図る。これを利用できれば小規模溪流や無水溪流など、数多くの土石流危険溪流への適用が期待できる。また、既存の砂防堰堤と併設すれば高い流木捕捉効果を期待できる。

しかし、鎖を使用する場合、強度面の検証が課題となる。ただ鎖の強度を上げるだけでは、当初の目的である安価な堰堤という利点が損なわれる。

そこで、本研究では、鎖を用いた構造物の衝撃に対する減勢効果を明らかにすることを目的とし、鎖の形状を種々変えながら水路模型実験を行う。

2. 実験方法

2.1 鎖を用いた砂防堰堤の概要

土石流による衝突エネルギーは極めて大きく、土石流の衝突によって構造物が破壊または塑性変形する事例も報告されている。そこで、鎖にたわみを持たせることで、力の作用時間が長くなり、瞬間的な衝撃が分散されると考えた。本研究では、たわみ量の違いによる速度変化量の違いを明らかにする。

また、落石工で使用されているワイヤーなどは、衝撃に対して単一的に衝撃を吸収するが、鎖では鎖の各輪が連続して広がることで、衝撃を多段階的に吸収してくれる。この現象を検討し、鎖の各輪が完全非弾性衝突することによって吸収したエネルギーを明らかにする。

2.2 計測項目

鎖の 3m 上流側からソフトボールを流下して鎖に衝突させ、その様子をハイスピードカメラで撮影する。撮影した動画を画像解析し、ボールの速度変化量の違いを調べる。実験は、それぞれのタイプで3回ずつ行う。

さらに、鎖の各輪の個数は同じとし、鎖の各輪を結合した模型と、通常の鎖を用いた模型の2パターンで同様の実験を行い、速度変化量の違いを調べる。

2.3 実験条件

幅 200mm、高さ 200mm の直線長方形断面水路を用いて実験を行った。実験には、図 2 に示す模型を使用した。模型は 200mm 四方の枠組みに、鉛直方向に一本の鎖をつなげたものである。本研究ではたわみ量の違いによる速度変化量を調べることを目的としているので、長さの異なる 4 種類の鎖を用意し、それぞれ Type1 (たわみなし)、Type2 (たわみ量:5cm)、Type3 (たわみ量:10cm)、Type4 (たわみ量:15cm) とした。また、Type3 の鎖の

各輪を固定して自由に動かないようにした模型を Type5 (たわみ量:10cm) とした。実験では重さ 190 g のソフトボールを用いて衝撃を与える。

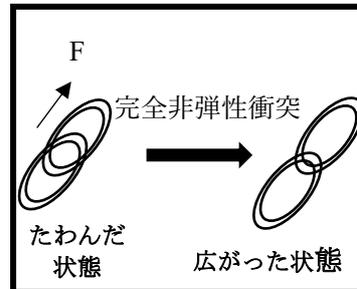


図1 各輪の衝突エネルギー

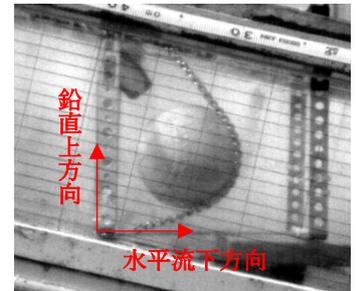


図2 実験模型

3. 実験結果と考察

3.1 速度変化量

実験結果の一部を表1と図3、4、5、6、7に示す。速度観測の時間間隔を微小にしたため、振動が見られた。振動の方向は進行方向の斜め上であるため、水平方向と鉛直方向に分けて速度変化量を分析する。水平流下方向および鉛直上方向を正の方向とする。

第一に、水平方向への速度変化量を分析する。たわみなしからたわみ量 10cm にかけて、たわみ量が増加していくにつれ、水平流下方向への加速度の最大値は増加した。しかし、たわみ量が 15cm になると加速度の最大値が減少した。つまり、たわみを持たせることで、瞬間的にかかる力を小さくする効果がある一方で、過度なたわみは逆効果であることがわかった。

第二に、鉛直方向への速度変化量を分析する。ボールは衝突後、鎖の反発力により水平方向に減速し、鉛直上方向に加速した。鉛直上方向への加速は、Type1 では極端に大きく、Type4 では極端に小さい。また、Type2・3・5 では加速度は増加しているが Type1 と比べて小さい。

表1 計測結果

	最大加速度(3回の平均) (cm/s ²)	
	水平流下方向	鉛直上方向
Type1(たわみなし)	-22292	20716
Type2(たわみ 5cm)	-17777	8950
Type3(たわみ 10cm)	-12703	7740
Type4(たわみ 15cm)	-14613	4481
Type5(結合_10cm)	-13969	6032

3.2 たわみ量の違いによる減勢効果

Type1 では、ボールの衝突時に短時間で水平流下方向に加速度が大きく減少し、その後の加速度変化は微小であった。つまり、ボールの衝突時に衝撃力を単一的に吸収し、そのエネルギーは鉛直上方向に転換された。

Type2 では、Type1 よりもボールが停止するまでの時間が長くなり、水平流下方向への加速度の最大値が増加したが、加速度が急激に変化する瞬間が見られた。鎖が十分な長さを持つ場合、下側が結合する頃には上側が再びたわみを持ち、力を分散できる。しかし、Type2 では鎖が短く、短時間で全ての輪が結合する。鎖の長さが不十分だと、下側が結合する際に上側にも張力がかかる状態となり、衝撃を効果的に逃がすことができないと考えられる。

Type3 では、より水平流下方向への加速度の最大値が増加し、最大加速度付近が複数回現れた。たわみ量が小さい Type2 よりもボールが停止するまでの時間が長くなり、加速度の急激な変化を抑えることができたと考えられる。また、加速度が最大となる瞬間は衝突時や鎖が張る瞬間ではないため、鎖への負荷が小さいことを示唆している。

Type4 では、Type3 よりも水平流下方向への加速度の最大値が増加した。また、たわみ量が大きすぎることによって変位が水平方向に偏り、鎖が鉛直上方向に巻き上がる挙動をみせなかった。衝突によるエネルギーを鉛直方向に逃がせず、水平方向に蓄積したと考えられる。

3.3 鎖の各輪の衝突による吸収エネルギー

Type5 では、おなじたわみ量である Type3 と比べて、水平流下方向への加速度の最大値が $1266(\text{cm}/\text{s}^2)$ 増加したため、鎖の各輪の衝突が吸収したエネルギーは大きいといえる。また、Type3 と違い、各輪が結合されていることにより、鎖が自由に動けなくなるため、衝撃によるエネルギーが分散されず、鎖が張る瞬間に最大の力が加わったと考えられる。

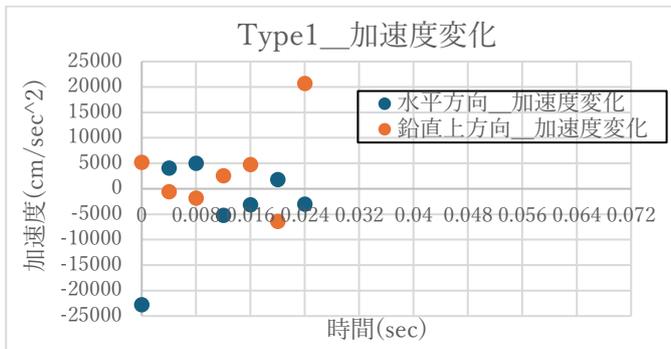


図3 Type1 (たわみなし)

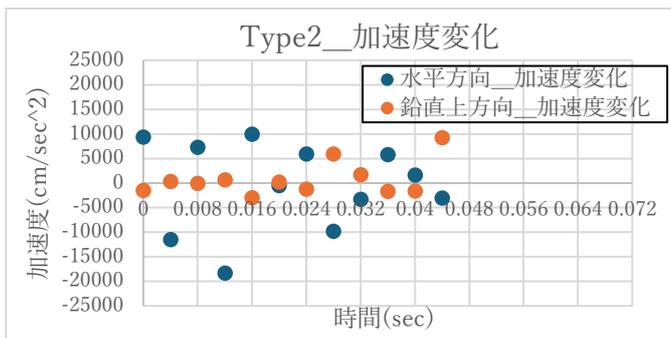


図4 Type2 (たわみ 5cm)

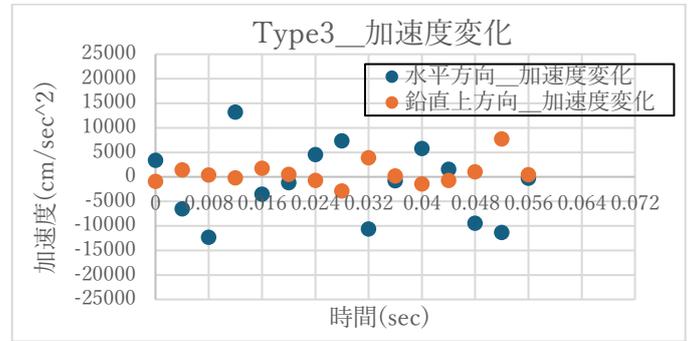


図5 Type3 (たわみ 10cm)

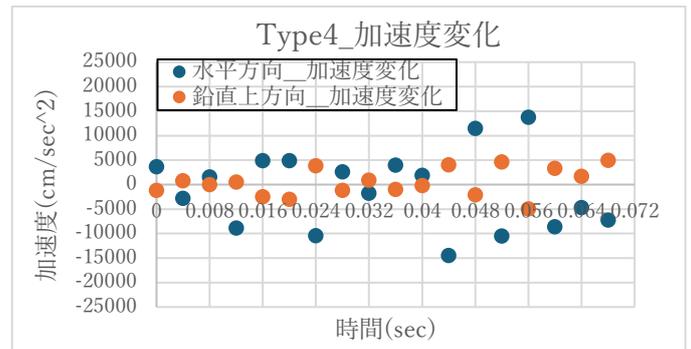


図6 Type4 (たわみ 15cm)

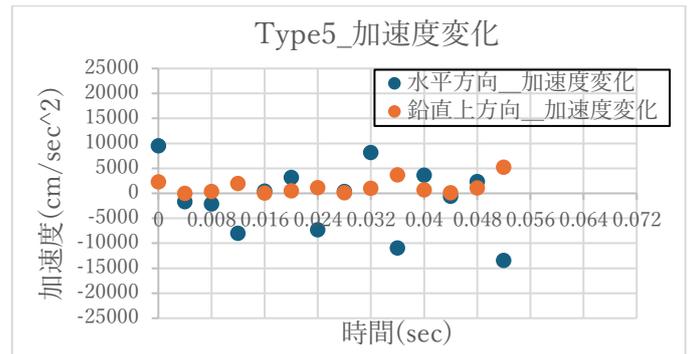


図7 Type5 (結合_たわみ 10cm)

4. まとめ

本研究では、鎖のたわみを持つ衝撃の減勢効果について実験的検討を行った。実験は、たわみ量の違う鎖に同じ衝撃を与えて速度変化量の違いを画像解析し、評価した。さらに、鎖の各輪の衝突が、エネルギーを多段階的に吸収する現象を検討した。

その結果、たわみを持たせることで、加速度の急激な変化を抑えることができ、衝撃の減勢に効果的であることが明らかになった。しかし、たわみ量が大きすぎると、鉛直上方向に力を分散できなくなり、減勢効果が減少する。また、たわみ量の違いによって減勢効果が異なることが確認された。Type1 では短時間で急激に減速したのに対し、Type2・3 では緩やかに減衰振動した。特に、Type3 が一番緩やかに減速した。Type4・5 では、衝突によるエネルギーを分散させることができなかったため、減衰振動しなかった。さらに、Type3 と Type5 の比較により、鎖の各輪の完全非弾性衝突が、衝撃の減勢に大きな効果をもたらしていることがわかった。