

弾性チェーンの流木捕捉工への適用に関する実験的研究

Experimental study on the application of Elastic Chains to Drift Wood Capturing Structure

西村佳樹*, 西本安志**, 別府万寿博***, 石川信隆****

Yoshiki Nishimura, Yasushi Nishimoto, Masuhiro Beppu, Nobutaka Ishikawa

*シバタ工業株式会社, 建設設計課長 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

**博 (工), シバタ工業株式会社, 新技術開発本部長 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

***博 (工), 防衛大学校教授, 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

****工博 防衛大学校名誉教授 (〒238-0022 神奈川県横須賀市公郷町 6 -20 - 68)

キーワード: 弾性チェーン, ゴム, 衝撃緩衝材, 流木捕捉工

Keywords: Elastic Chain, Rubber, Shock Absorber, Drift Wood Capturing Structure

1. 緒言

台風や集中豪雨の影響による土砂災害が発生する中で流木による被害が数多く見受けられる。この流木による被害を軽減する目的で流木捕捉工が設けられている。

本研究では、写真-1 に示すように流木捕捉を目的として、鋼製チェーンと弾性チェーンを組み合わせたネット構造の流木捕捉工について実験的に検討したので報告する。ここで、弾性チェーンは流木による衝突エネルギーの吸収を期待するとともに、流木捕捉後の静的外力に対して弾性チェーンが伸びることでネットを構成する水平部材がたわみ、発生する引張力を低減できる柔構造となる。そのため、構成部材がコンパクトでかつ軽量となる特長を活かして、主に材料の搬入や重機の使用に制限があるような条件での活用が期待できる。

この弾性チェーンは、図-1 に示すラバーチェイナー構造であり、係船ブイなどの浮体構造物における緩衝機能を有した係留索として既に実績のあるものである。浮体構造物の係留索では、高波の影響で浮体構造物が上下方向に動揺した場合に、係留索には衝撃張力が働くが、ラバーチェイナー構造では、ラバーのない通常の鋼製チェーンの衝撃張力と比較して約 20~60%低減できるといふ実験結果が報告されている。¹⁾ また、コンクリートスリット堰堤の土石流捕捉効果を向上させる目的で横枝として使用された実績もある。²⁾

これまでの弾性チェーンの評価は、静的な一軸引張や曲げ実験を実施したり、一軸方向の衝撃载荷実験を実施したりしたが、弾性チェーンと鋼製チェーンを連結した梁構造に対して、流木の衝突を考慮した曲げが作用するような衝撃実験は実施していない。



写真-1 流木捕捉工の事例

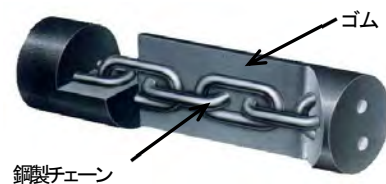


図-1 弾性チェーン(ラバーチェイナー構造)の断面

そこで本研究では、これまでに実施した静的载荷実験や一軸の衝撃载荷実験を整理するとともに、流木を模擬した重錘を鋼製チェーンと弾性チェーンを連結した梁部材に作用させる落錘式衝撃実験を実施し、作用する衝撃力などの動的特性を評価することを目的とした。

2. 弾性チェーンの構造

弾性チェーンは、図-1 に示すように、ゴムと鋼製チェーンを複合一体化したラバーチェイナー構造である。

表-1 静的曲げ実験用の供試体

No.	チェーン径 ϕd	ゴム外径 ϕD	ゴム長 L	破断荷重
1	$\phi 19\text{mm}$	$\phi 90\text{mm}$	1000mm	450kN
2	$\phi 25\text{mm}$	$\phi 125\text{mm}$	1024mm	750kN

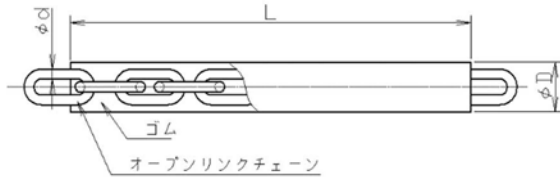


図-2 供試体の形状図

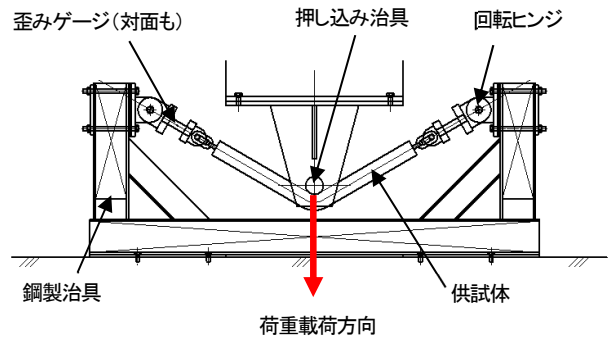


図-3 静的曲げ実験の模式図

- (1) 最大変位負荷時
 $\delta = 432\text{mm}$
 (No.1)
 $\delta = 392\text{mm}$
 (No.2)



- (2) 除荷時



(a)供試体 No.1

(b)供試体 No.2

写真-2 静的曲げ実験における変形状況

このラバーチェーン構造は、ゴム内部に埋設させた鋼製チェーンを緩ませた状態で配列しており、その緩ませたチェーンリンク間にもゴムを充填させている。そのため、ラバーチェーン構造に引張力が作用すると、チェーンリンク間のゴムが圧縮され、鋼製チェーンのみの変形にゴムの弾性変形が付加されることになり、衝撃力の緩和が期待できる。

2. 静的载荷実験

弾性チェーン中央部に载荷点を設けた場合の静的曲げ実験における変形挙動を調べるとともに、一軸方向の引張载荷実験結果と比較することで、梁部材の中央部に荷重が作用する場合でも、一軸方向の引張特性にて作用する引張力や伸び量を評価できるかどうかについて検証することを目的とした。

2.1 静的曲げ実験

(1) 供試体

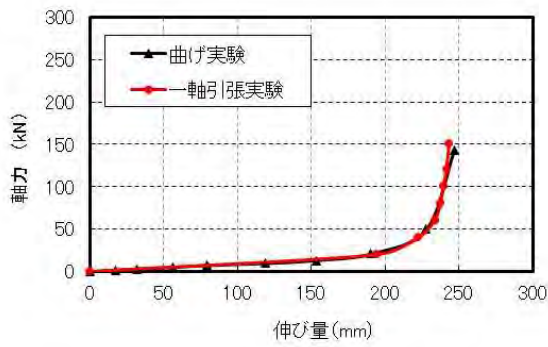
供試体の仕様を表-1 および図-2 に示す。供試体は、チェーン径、ゴム外径の異なる2種類とし、ゴム長はいずれも同等の長さとした。

(2) 実験方法

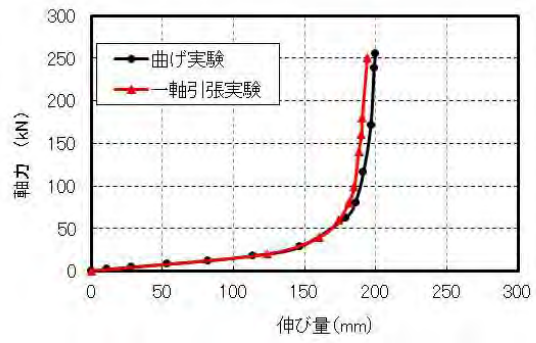
静的曲げ実験は、図-3 に示すように、鋼製治具に供試体を梁部材として設置し、供試体中央部に押し込み治具（直径 100mm）で鉛直荷重を载荷した。

測定項目は、押し込み治具の鉛直荷重 (P) と鉛直変位量 (δ) および歪みゲージによる供試体軸力 (T) と供試体の伸び量 ($\Delta L = L - L_0$, L: 供試体軸力発生時の長さ, L_0 : 供試体の初期長さ) とした。また、別途、一軸方向の引張実験を行い、軸力-伸び量関係を測定した。

なお、発生する軸力が鋼製チェーンの許容荷重に相当する破断荷重の 1/3 まで载荷した。

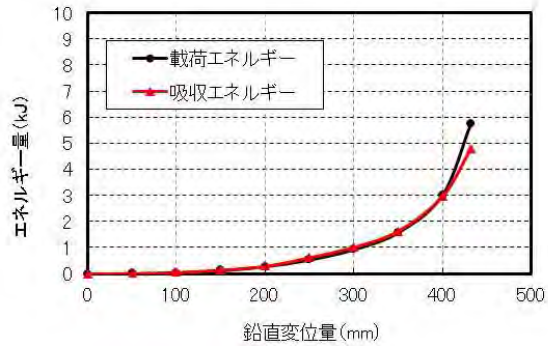


(a)供試体 No.1

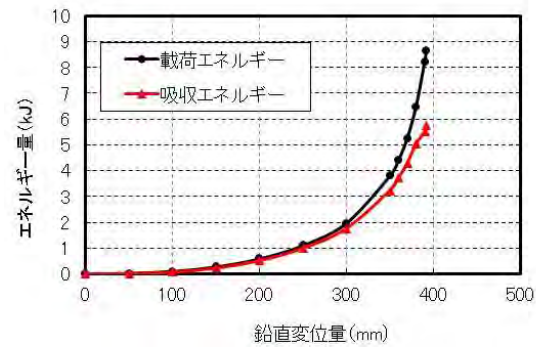


(b)供試体 No.2

図-4 静的曲げ実験と一軸載荷実験の軸力-伸び量関係



(a)供試体 No.1



(b)供試体 No.2

図-5 静的曲げ実験における载荷エネルギーと吸収エネルギー量の比較

(3) 結果と考察

静的曲げ実験の状況を写真-2 に示す。供試体中央に許容荷重（破断荷重の 1/3 倍）まで鉛直荷重を載荷したときの鉛直変位量 (δ) は供試体 No.1 で 432mm, No.2 で 392mm となったが、写真-2 に示すように、荷重を除荷すると元の形状に戻ることや永久変形などの外観上の異常はなく、十分な変形性を有することを確認した。

次に、曲げ実験より得られた供試体の軸力 (T) - 伸び量 (ΔL) と一軸引張実験における供試体の軸力 (T) と伸び量 (ΔL) を合わせて図-4 に示す。図-4 より、静的曲げ実験および静的引張実験では、ほぼ等しい傾向を示した。

また、各鉛直変位作用時における鉛直荷重 (P) と鉛直変位量 (δ) の面積から求めた载荷エネルギー量と、供試体の軸力 (T) と伸び量 (ΔL) 関係から求めた吸収エネルギー量について、同じ鉛直変位量 (δ) におけるそれぞれのエネルギー量との関係を比較して図-5 に示す。図-5 より、それぞれほぼ等しい関係を有することが確認された。

以上のことから、弾性チェーンを梁部材に適用した場合に中央部に外力が作用した場合でも、その一軸方向引張性能によって評価できることが確認された。

3. 一軸衝撃載荷実験

先の静的曲げ実験結果より、弾性チェーンの中央部に外力が作用する場合、一軸方向の引張特性として評価で

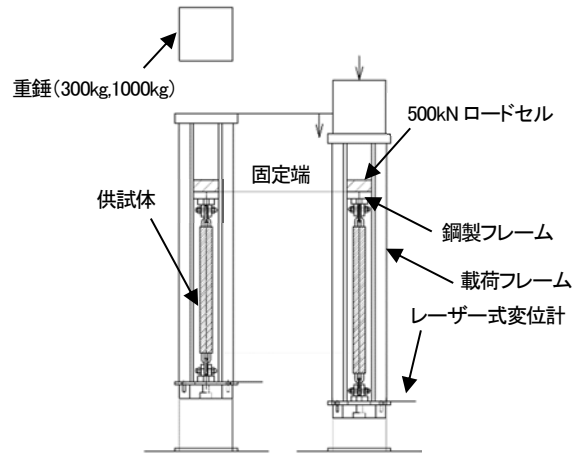


図-6 一軸衝撃載荷実験の概略図

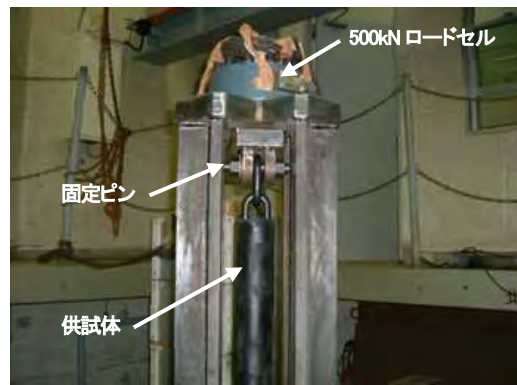


写真-3 一軸衝撃載荷実験の供試体の設置状況

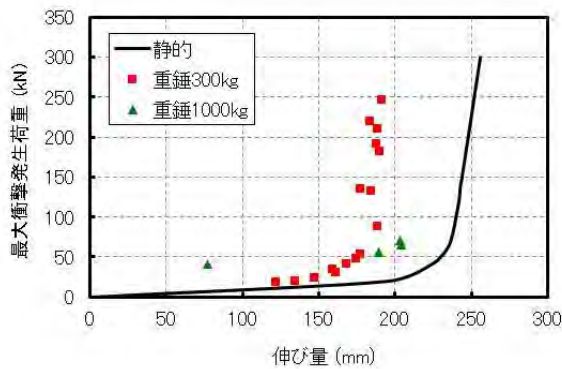


図-7 一軸衝撃载荷実験で得られた最大発生荷重と最大伸び量の関係

きることを確認した。そのため、弾性チェーンに衝撃的な外力が作用した場合の挙動を確認するとともに、その結果と静的特性との比較を行うことを目的とした。

(1) 供試体

本実験に用いた供試体は、静的曲げ実験で用いた表-1に示す供試体 No.1 とした。

(2) 実験方法

本実験は、防衛大学校が所有する大型落錘式衝撃試験装置を用いた。

本実験は、図-6 および写真-3 のように、供試体の固定端を鋼製フレームに取り付け、一方の先端部を载荷フレームに取り付けたうえで、载荷フレームに重錘を衝突させ、供試体に衝撃的な引張外力を作用させた。

重錘質量を 300kg、1000kg の 2 種類とし、落下高さを 0.2~4.0m まで変化させることにより、重錘の衝突時の速度を 2.0~8.9m/sec (計算値) にて载荷フレームに衝突させた。測定項目は、供試体上部に設置した 500kN ロードセルによる弾性チェーンに作用する引張荷重と供試体下部に設置したレーザー式変位計による供試体の伸び量とした。

(3) 結果と考察

本実験における最大の载荷エネルギー条件 (質量 $m=1000\text{kg}$ で最大衝突速度 $v=4.4\text{m/sec}$ 、質量 $m=300\text{kg}$ で最大衝突速度 8.9m/sec) においても、弾性チェーンはもちろんのこと、ラバーで覆われていない写真-3 に示す固定ピンと端末チェーンリンクについても損傷は認められなかった。

次に、供試体に作用した最大発生荷重-最大伸び量関係を図-7 に示す。静的引張性能と比較して、荷重の急激な増加と伸び能力が低下する傾向が見受けられた。すなわち、静的特性と比較して衝撃実験の方が速度の影響によって剛性が大きくなる傾向を示したと考えられる。

また、最大発生荷重-载荷エネルギー量との関係を図-8 に示す。重錘質量 300kg と 1000kg を比較すると、同

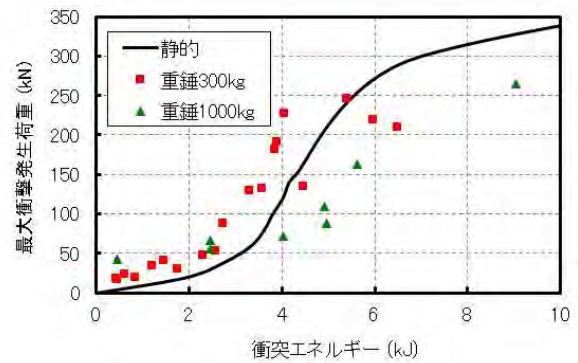


図-8 一軸衝撃载荷実験で得られた最大発生荷重-载荷エネルギー量との関係

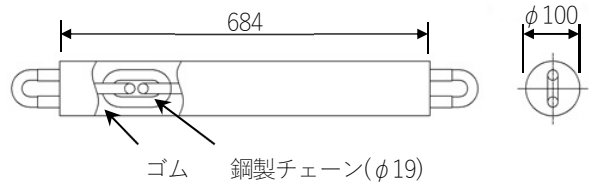


図-9 流木捕捉工を模擬した衝撃実験に用いた供試体

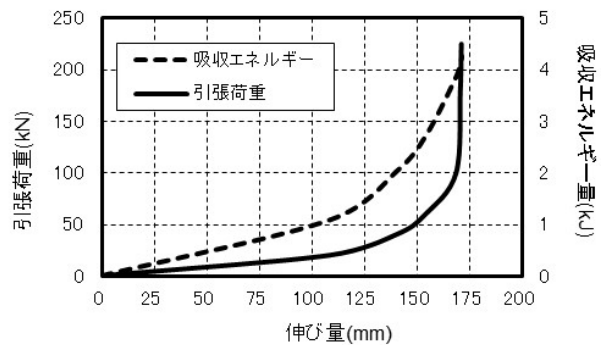


図-10 流木捕捉工を模擬した衝撃実験に用いた供試体の静的特性

じ衝突エネルギー量で発生荷重は重錘質量 300kg の方がやや大きな発生荷重を示す傾向が見受けられ、この傾向は载荷エネルギーが大きくなるほど顕著となった。これは、同じ载荷エネルギーでも質量が小さくなると、衝突速度が大きくなるためと推測される。さらに、一軸静的引張実験より得られた結果と比較すると、ややばらつきがあるものの、概ね同様の傾向を示していると推察される。

よって、弾性チェーンの設計を行う際は、静的引張性能を基にしてもよいと考えられるが、図-8 のように最大発生荷重が静的引張時の性能を超過する可能性があることを考慮し、より安全に設計を行う必要があるといえる。

4. 流木捕捉工を模擬した衝撃载荷実験

本実験では、弾性チェーンと鋼製チェーンを連結した梁部材に対して、流木を模擬した重錘を落下させ、鋼製チェーンに発生したひずみから応力を換算し構造全体としての健全性を評価した。³⁾

(1) 供試体

本実験に用いた供試体は、図-9 に示す弾性チェーンとし、チェーン径 19mm (材質:SCM 鋼, 降伏応力 685MPa) ゴム径 100mm, ゴム長 684mm とした。その静的特性は、図-10 に示すように、許容引張荷重 225kN 時に伸び量が 170mm, 吸収エネルギー量が約 4kJ の性能を有するものである。

(2) 実験方法

本実験は、防衛大学校が所有する大型落錘式衝撃試験装置を用いた。重錘質量は 300kg とし、写真-4 に示すように鋼製重錘の先端に直径 300mm, 厚さ 100mm の木材 (杉) を配置することで衝突物の剛性を実供用下に近づけることで衝突現象をより再現した。この重錘質量は、流木に換算すると直径 300mm, 単位体積重量を 330kg/m³ とした場合、流木長 13m に相当する。この重錘を落下高さ 0.1~1.25m まで変化させ、重錘の衝突時の速度を 1.4~3.7m/sec (計算値) とし、実際に想定される流木の衝突速度を考慮した。

実験は、写真-5 に示すように、弾性チェーンの両端に鋼製チェーンを連結し、支点間隔 1840mm の梁部材の中央に重錘を直接衝突させた。また、支点側の鋼製チェーンにひずみゲージをそれぞれ 2 箇所配置し合計 4 箇所の発生ひずみを計測した。

(3) 結果と考察

本実験で得られたひずみ-作用時間関係の一例を図-11 に示す。図-11 に示す 4 箇所のひずみの最大ひずみ値の平均から SCM 鋼の縦弾性係数 $2.06 \times 10^5 \text{MPa}$ より、最大発生応力を求めた。各落下高さとの関係を図-12 に示す。図-12 より、弾性チェーンの許容引張荷重に達した際の吸収エネルギー量約 4kJ に相当する衝突エネルギー 3.7kJ (落下高さ 1.25m, 衝突速度 4.9m/sec) においても、最大発生応力は約 160MPa であり、許容引張応力 397MPa より約 1/3 程度の値となった。また、いずれの実験条件においても、弾性チェーンの永久ひずみなどの異常は確認されず、十分な耐力を有することが確認された。

5. 結言

本研究は、弾性チェーンを流木捕捉工に適用するにあたり、これまでに実施した静的載荷実験や一軸の衝撃載荷実験を整理し、さらに、流木を模擬した重錘による落錘式衝撃実験を実施することで動的特性を評価することを目的としたものである。本研究で得られた成果を要約すると以下の通りである。

- 1) 静的曲げ実験および一軸方向の静的引張実験における弾性チェーンの軸力 (張力) と伸び量との関係はほぼ等しい傾向を示した。

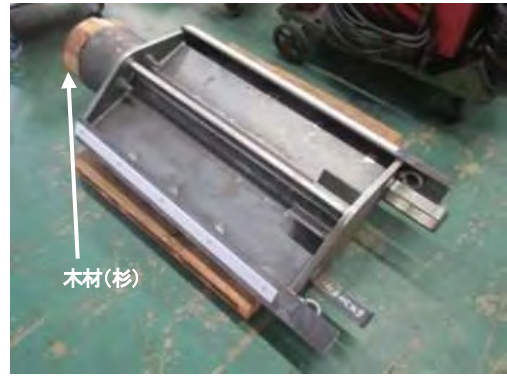


写真-4 先端を木材とした重錘

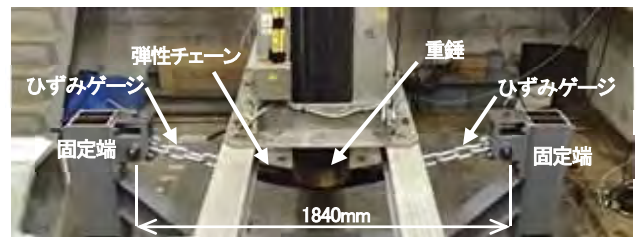


写真-5 流木捕捉工を模擬した衝撃実験状況

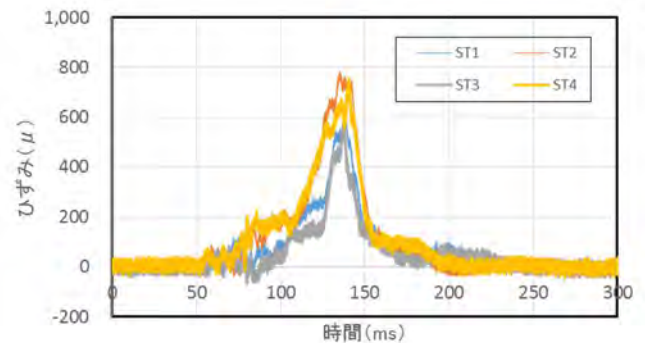


図-11 得られたひずみ-時間関係の一例

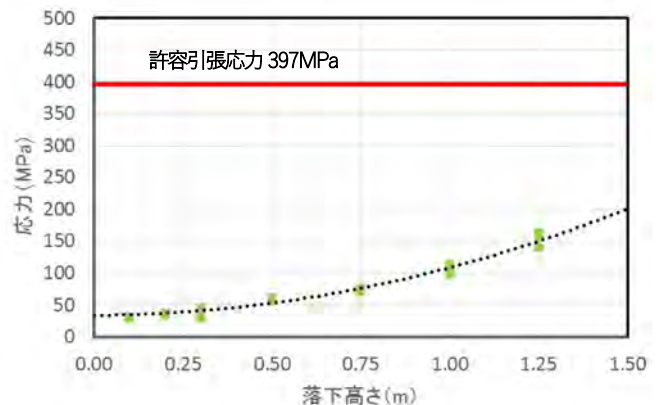


図-12 発生応力-落下高さの関係

よって、弾性チェーンを梁部材に適用し中央部に外力が作用した場合でも、その一軸方向引張性能によって評価できることが確認された。

- 2) 一軸衝撃載荷実験の結果、弾性チェーンの载荷エネルギーにおける最大発生荷重は、一軸静的引張実験における張力と吸収エネルギー量との関係とおおむね同等の傾向を示した。
- 3) 弾性チェーンと鋼製チェーンを連結した梁部材に流木を模擬した落錘式衝撃実験を実施した結果、流木直径 300mm、流木長 13m (単位体積重量 330kg/m³) が衝突速度 4.9m/sec で衝突した場合を想定した実験においても、梁部材に生じる最大発生応力は、鋼製チェーンの許容引張応力の 1/3 程度の値となった。

よって、弾性チェーンと鋼製チェーンにて梁部材を構成した流木捕捉工は、本実験結果を基に、静的に設計し

ても十分な耐力を保持していることが確認され、弾性チェーンの有効性が検証できたと考えられる。

参考文献

- 1) 徳渕克正, 高山知司: 弾性チェーンによる衝撃張力低減効果を考慮した係留索の経済的設計法に関する検討, 海洋開発論文集, VOL.21, 2005.
- 2) 西村佳樹, 小野田忠弘: 鋼製チェーン式弾性型水平部材の横棧付きコンクリートスリット砂防堰堤への適用について, 平成 19 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.464-465, 2007.
- 3) 山口聖地, 宮松宣隆, 西村佳樹, 西本安志, 別府万寿博: 流木の衝突を模擬した弾性チェーンの実験的研究, 令和 2 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.291-292, 2020.