

(技術資料)

土石流対策ワイヤネット工

A New Wire Net Dam for Debris Flow



守山浩史*
Hiroshi Moriyanama



葛西俊一郎*
Shunichiro Kasai



峰地慎一*
Shinichi Mineji



中野博志*
Hiroshi Nakano



加藤光紀*
Mitsunori Kato

Wire net dams for debris flow were developed more than 30 years ago. However, these dams eventually broke down. Nevertheless, wire net dams are environmentally friendly and are able to be constructed safely in rivers where debris flow occurs very often. Kobe Steel has developed a new type of wire net dam. To date two of these new type wire net dams have been constructed. Both the environment-friendly and the construction safety of this new type of dam have been verified.

まえばき = ワイヤネット工は、1960年代後半に土石流対策の一つとして考案された透過型砂防堰堤である。ワイヤネット工は1973年に試験的に施工されており、その構造は図1に示すように吊索と横索からなるネットを主索に取付けたかたちをしている。

施工後、土石流がワイヤネット工に作用したがその機能は発揮されず、また複数の吊索が破断して多量の土砂が下流に流出することとなった。それ以来、ワイヤネット工は採用されなくなり、代わって鋼管フレーム構造の堰堤が鋼製透過型堰堤の主流となって現在にいたっている。

しかし、ワイヤネット工は河床に手を加えずにしかも簡単に架設できるため、環境面に優れ、また土石流に襲われる可能性の高い危険な河床での作業が減るといった安全面での優位性があり、近年この堰堤が再び見直され始めている。

そこで今回、過去の経験を基に改良式ワイヤネット工の開発を行った。本堰堤はすでに2件の試験施工を完了しており、それらを通して、上に述べたワイヤネット工の有効性についても確認ができた。本報は、その開発内容及び試験施工の実例を記述するものである。

1. 土石流対策の歴史

土石流は、流水が渓流の土砂や巨大な石を巻込むことにより、もとの体積の何倍もの量にふくれあがった泥水と礫の流れであり、大きな衝撃エネルギーをもっている。この土石流は、過去、山津波や鉄砲水とよばれ人々に恐れられてきたが、その実態は明らかにされていなかった。1960年代の後半に日本で初めて、旧)建設省松本砂防工事事務所の管轄である焼岳・上ヶ堀沢で土石流の調査が始まり、土石流の先端部に巨礫が集まること、巨礫同士が火花を出して衝突しながら勢いを増して流下して

いくこと、また、土石流のピークは何度も訪れることなどが分かってきた。また当時は土石流を止めるのではなく、これらの性質を利用して巨礫の衝撃力を減勢させようとする考えが主流となっていた。従来式ワイヤネット工もこの種の堰堤の一つであった。

2. 従来式ワイヤネット工

2.1 構造

図1に示したように従来式ワイヤネット工は、左右のアンカレッジに定着された主索に、吊索と横索からなるネットを取付けた構造をしている。ネットは主索から鉛直方向に垂らしたのち上流方向に折曲げ、河床に這わせてある。これは、土石流がネットの下に回りこまずにネット上を流下させるためである。

ネットに作用した力は吊索を通じて主索に伝わり、さらに、アンカレッジに伝達される。このようにアンカレッジには大きな力が集中するため、その構造は非常に大規模なものとなる。

2.2 機能と実績

従来式ワイヤネット工におけるネットの機能は、巨礫の乱雑な動きを整流し、巨礫同士を衝突させないようにするものであった。この衝突をなくすことにより、土石

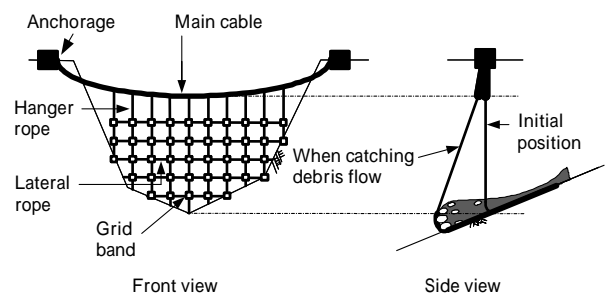


図1 従来式ワイヤネット工一般図

Fig. 1 General drawing of former wire net dam

*都市環境・エンジニアリングカンパニー 構造技術部

流のエネルギーは減少し、自然停止すると推測されていた。さらに、ネットが下流方向に移動する間に吊索が減勢パネの効果を発揮することによって、土石流の衝撃力を減少させると考えられていた。このように、ネットの想定機能は土石流中の巨礫のエネルギーを減少させるものであった。

しかし実際の試験施工では、ワイヤネット工の架設直後に土石流が作用し、数本の吊索が破断したことにより多量の土砂が流出することになった。そのあと、吊索の補修を行ったが、3回目の土石流の作用により再度それらが破断した。

2.3 機能及び構造評価

今回改良式ワイヤネット工の開発を始めるにあたり、従来式ワイヤネット工の機能及び構造評価を実施した。従来式ワイヤネット工の破壊は吊索の破断によるものであったが、以下にその原因を記述する。

1) 吊索への荷重の集中

写真1は、土石流捕捉後におけるネットの変形状態を示したものである。巨礫がネットに捕捉されているが、捕捉位置より上部の横索はたるみ、力の伝達に寄与していないことが分かる。このため荷重は1本の吊索に集中し、分散することなく主索に伝わった。

2) 吊索の下流方向への移動不良

図1に示したように、当初吊索は下流側に移動することにより水平反力を発生して、土石流外力に抵抗すると想定していた。しかし、実際の土石流捕捉時には吊索は鉛直に近い状態のまま下流に移動しなかったため、吊索に大きな張力が発生した。

3) 吊索の磨耗

写真2は磨耗した吊索を撮影したものである。吊索は直径約0.75mmの細いワイヤを撚って作られている。調査の結果、このワイヤが土石流の砂礫により磨耗し、そ



写真1 従来式ワイヤネット工による土石流の捕捉状況
Photo 1 Debris flow caught by former wire net dam

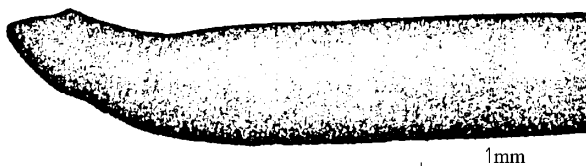


写真2 磨耗した吊索
Photo 2 Hanger rope worn down by debris flow

の断面積が約50%にまで減少していたことが分かった。

4) 設計外力

当初の計画では、ネットは巨礫を減勢させながら通過させるものであったため、比較的小さな荷重がネット及び主索に作用するものとして設計されていた。しかし、実際にはワイヤネット工が土石流を捕捉してしまい、設計条件よりも大きな荷重が作用した。

3. 改良式ワイヤネット工の開発

上述した従来式ワイヤネット工の構造上の諸問題に対し、以下のような対策を講じて改良式ワイヤネット工の開発を行った。

1) 吊索への荷重の集中に対する検討

吊索への荷重の集中を避けるため、土石流の荷重を受けるネット部にリングネットを採用した。リングは、4.5mmの鋼線を円形に何重にも巻いて作られている。また、各リングの直径が30cm程度のもは、これまでに落石対策工としての実績が既にあったが、今回は土石流対策用として直径が約4倍のリングを新たに採用することにした。

図2に示すように、A部のリングに作用した荷重は上側の2つのリングに伝達され、さらにそれらの力はその上側のリングにといたように、力は三角形に広がりながら主索に伝達されていくため、リングネットを用いることで一部のワイヤに力が集中することがなくなった。

2) 吊索の下流方向への移動不良に対する検討

従来型の経験をふまえ、今回は図3に示すように、施工の段階においてあらかじめ吊索を下流側に移動させて保持しておき、水平方向の荷重に対し確実に吊索で抵抗

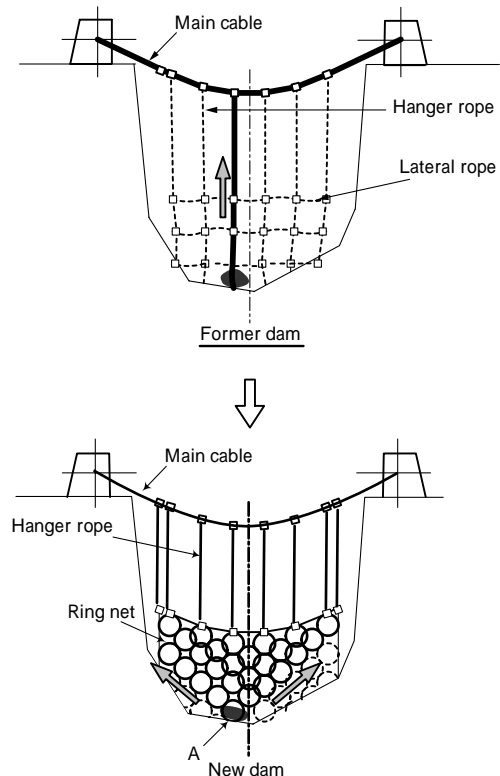


図2 一部の吊索への応力集中に対する改良案
Fig. 2 Means to improve stress concentration in one hanger rope

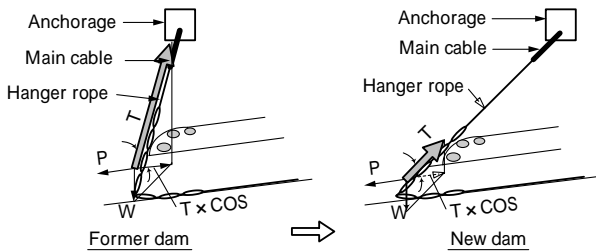


図3 吊索の下流方向への移動不良に対する改良案
Fig. 3 Hanger ropes preset to lower reach

できるようにした。

3) ワイヤの磨耗対策

ネット部に関しては、耐磨耗性に優れた鋼線からなる上述のリングを採用した。さらに、主索とリングネットの間にある吊索には、磨耗防止のための保護パイプを取付けている。

4) 設計外力

現在では、焼岳・上々堀沢を初めとした各種の調査や実験結果によって土石流の性質が明らかにされており、その結果は鋼製砂防構造物設計便覧¹⁾などにまとめられている。

今回の改良式ワイヤネット工は、巨礫を減勢させるのではなく、土石流を捕捉するものとして荷重を考慮することにした。この荷重の組み合わせは、上記の便覧にしたがい上部に土石流波高分の荷重を、その下に堆積土砂による土圧を作用させるものである。これより、設計荷重は従来式ワイヤネット工のそれよりかなり大きくなっている。

5) 後続流の溪岸への回り込み対策

格子形堰堤の経験より、ワイヤネット工においても、一旦土石流を捕捉したあとの後続流がネット部の左右端より流出することが予測された。図4に示すように、そ

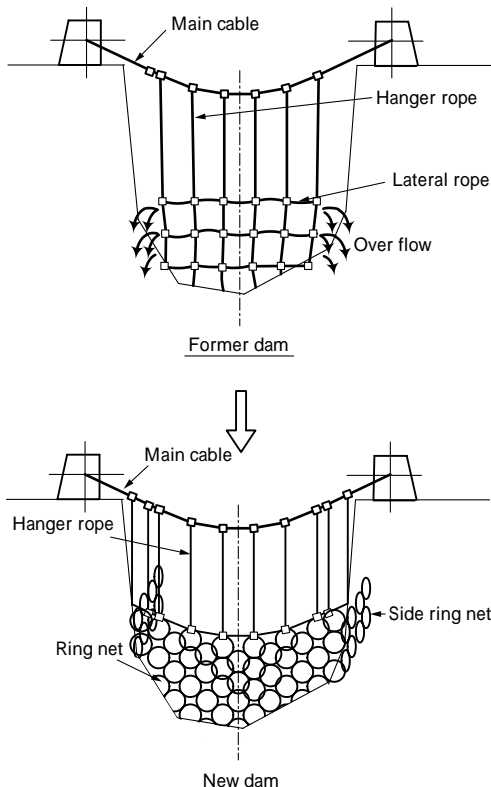


図4 後続流の回り込みに対する改良案
Fig. 4 Means to prevent side leak of subsequent debris flow

の防止策として、リングネットを3次元の袋形状に接続した。

4. 改良式ワイヤネット工の施工例

今回、改良式ワイヤネット工の試験施工が、国土交通省北陸地方整備局松本砂防工事事務所と立山砂防工事事務所において、実施された。そのうち、松本砂防工事事務所上々堀沢での試験施工例を以下に述べる。

試験施工を実施したワイヤネット工の堤幅は37.8m、リングネット部の幅は15.3m、堤高は5.0mである。今回の試験施工における全体施工フローを図5に、また各施工状況を写真3～6に、完成時の形状を写真7に示す。なお、今回の施工における当社の担当範囲はケーブル工で、主索の架設、サグ調整、ケーブルバンド・ハンガローブの取付けを行った。また、今回の実施工程は表1に示すとおりで、当初の計画どおり非常に短期間で施工が可能であった。

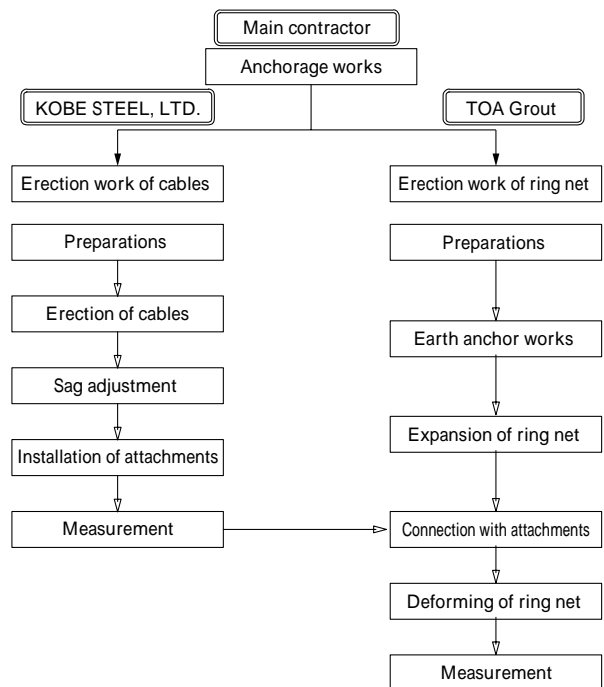


図5 上々堀沢ワイヤネット工の全体施工フロー
Fig. 5 Construction flow chart of wire net dam at Kamikamihorisawa



写真3 ケーブル架設
Photo 3 Erection of main cable



写真4 サグ調整
Photo 4 Sag adjustment



写真6 リングネット形状調整
Photo 6 Arrangement of ring nets



写真5 バンド取付け
Photo 5 Installation of attachments



写真7 上々堀沢に完成した改良式ワイヤネット工
Photo 7 New wire net dam at Kamikamihorisawa

表1 上々堀沢ワイヤネット工の実施工程

Table 1 Progress schedule of wire net dam for debris flow at Kamikamihorisawa

Item	September 2002																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Erection work of cables																														
Preparation																														
Erection of cables																														
Installation of attachments																														
Removal																														
Erection work of ring net																														
Preparation																														
Earth anchor works																														
Expansion of ring net																														
Deforming of ring net																														
Workday at streambed (total 17 days)																														

5. 改良式ワイヤネット工の有効性

今回、北陸地方整備局において、2件の試験施工を無事に終了することができた。この施工を通し、改良式ワイヤネット工の以下の特徴を確認できた。

1) 施工の安全性

危険な河床上での作業は、ネットの端部を定着するフックアンカの設置、主索の架設、ケーブルバンドの取付け、及びネットの展開・接続・吊索への取付けなどであり、延べ日数は約20日であった。この日数は重力式コンクリート堰堤のそれに比較すると圧倒的に少ない。

これより、危険な箇所での施工に対する安全性が確認されたものとする。

2) 環境面での優位性

ワイヤネット工の施工においては、河床に全く手を加えていない。これより、他形式の堰堤に対する環境面での優位性が確認できたものとする。

従って、ワイヤネット工を用いることで、土石流が頻発し施工の安全性が確保しにくい渓流や、国立公園内などの自然への影響を極力少なくしたい場所にも、砂防堰堤の施工範囲を拡げることができると考えている。

6. 今後の課題

改良式ワイヤネット工の施工を通じて、以下のような課題が抽出された。

1) アンカ形式

今回、施工を行った箇所の地盤及び山脚は極めて軟弱でアースアンカが使用できなかったため、重力式のコンクリートアンカレッジを採用した。このため、かなり大規模なアンカレッジが必要になった。今後、このような軟弱地盤に対するアンカ形式、また任意の河道断面に適應できる経済的なアンカ形式を考案することが必要であると考えられる。

2) 設計・施工面でのさらなる改良

河床に這わせたネット端部の定着や、そのネットの必要長さが設計上で算出できないため、最大の値を用いなければならなかった。必要最小限の値が分かれば、かなりの施工期間の短縮につながる。今後、土石流捕捉の実績を踏まえてこれらの値を算定していく必要がある。

また、クレーンなしでの主索の架設、より軽量のケーブルバンドの使用、容易なリング同士の接続などの工法改良を行えば、危険な河床での作業がさらに短縮できるものと考えられる。

3) 価格

試験施工した改良式ワイヤネット工では、上記1)、2)で記述したことが反映されていないため、結果として既存の堰堤に比べ高価なものとなった。今後、ワイヤネット工に上記の対策を講じることで、コストの低減をはかっていく。

4) 機能確認

改良式ワイヤネット工は、2002年秋に施工を終えたばかりである。このため、まだ土石流を捕捉した実績はない。今後、土石流が作用したときに追跡調査を行い、そ

の機能を確認する予定である。また、松本砂防の改良式ワイヤネット工には、全ての吊索にロードセルが取り付けられており、このデータから土石流の衝撃力やリングネットによる力の分散効果などが明確になると期待している。

むすび=従来式ワイヤネット工の構造上の問題をふまえて、新たに改良式ワイヤネット工を開発し、その試験施工を無事完了した。また、この試験施工を通じ、ワイヤネット工の特徴である施工の安全性や環境面での優位性についても確認することができた。このワイヤネット工の特徴により、これまで砂防施設の施工が困難であった場所においても、土石流の捕捉を可能にできると考えられる。

一方、設計、施工面での課題も明らかになった。今後、ワイヤネット工をより良いものとするために、引続き開発を行っていく考えである。また、土石流発生時にこれら堰堤に対し追跡調査を実施し、その機能面及び構造面での実績を収集・分析し、ワイヤネット工の改良に反映させていきたい。

最後に、改良式ワイヤネット工の開発に際し、ご指導いただいた財団法人砂防フロンティア整備推進機構の田畑理事長、ならびに改良式ワイヤネット工の開発、製作、施工にご協力いただいた東亜グラウト工業㈱に謝意を表します。

参考文献

- 1) 鋼製砂防構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧(2001) p.37.