

環境面に配慮した斜面防災技術『柔構造物工法』

下条和史・栗澤尚也・鈴木利治

毎年くり返される自然災害は、その多くががけ崩れや土石流などの土砂災害によるものである。これらの災害による被害を軽減および防止するためには、適切な対策工の適用が必要不可欠となっている。

『柔構造物工法』はネット材を主とした構造で、ネットの柔軟性やネット自体の高強度性能により、落石および有害土砂に抵抗するものである。また、柔構造物工法は透過性の高いネットやワイヤロープにより構成され、下部工には基本的にコンクリートを使用しないため、景観および環境の面でも優れた工法であるといえる。

本稿では、計9工法の柔構造物工法のうち、近年注目されている急傾斜地斜面崩壊対策工のインパクトバリアならびに土石流安全対策工のTAMPOバリアについての工法概要および、コンクリートを用いた従来工法とのCO₂排出量の比較結果について紹介する。

キーワード：リングネット、TECCO ネット、柔構造物、景観、環境、実物大実験

1. はじめに

土砂災害の防止を目的とするハード対策は、従来コンクリート製の剛な構造物によるものが主流であったが、近年では、安全性を確保するとともに、公共事業費削減の影響から経済性や景観面、環境面に配慮した対策が求められている。

高強度の鋼線により形成されたネット材を主部材とする柔構造物工法はコンクリートを基本的に必要としないため、景観の保全や施工性・経済性に配慮した対策が可能である。

2. 柔構造物工法の主部材

柔構造物工法の基本技術は、スイス連邦森林・雪・景観研究所（WSL）とスイスGEOBRUGG社が実施した実物大実験により性能を確認し、開発したものである。

本工法は構造物に作用する荷重に対し部材が変形することにより抵抗を図るものである。ここでは、本工法に用いる構造部材のうち、代表的な3つの部材となるリングネット、TECCO ネット、プレーキリングについて紹介する。

(1) リングネット

写真—1にリングネットをなすリング単体を、写真



写真—1 リング単体



写真—2 リングネット

—2にそれらをネット状に組み合わせたリングネットを示す。リングネットは大きな衝撃力に対し、変形しながら抵抗する部材で、大規模落石防護柵工や斜面崩壊対策工等に使用する。素線の引張強度1,770 N/mm²を有する径3 mmの硬鋼線を直径約30 cmに巻き束ねたものを1リングとしている。

また、防護柵の種類により1リング当りの素線の巻き束ね数を変更し、捕捉対象物別にリングの強度を変化させることが可能となる。

(2) TECCO ネット（高強度ネット）

写真—3にTECCO ネットを示す。TECCO ネットは小さな変形で静的作用力や衝撃力に抵抗する部材で、斜面安定工や小規模落石防護柵工に使用する。リングネットと同様に引張強度1,770 N/mm²の径3 mmもしくは4 mmの硬鋼線をひし形に形成したネットである。

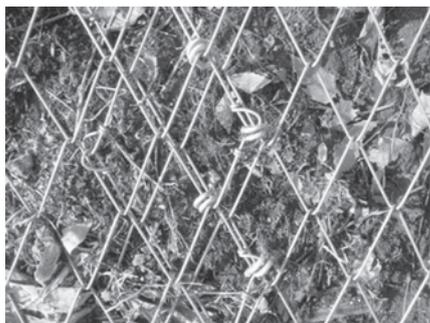


写真-3 TECCO ネット



写真-4 エネルギー吸収前



写真-5 エネルギー吸収後

た銅管に挿通させたエネルギー吸収部材である。

付属するワイヤロープに一定以上の張力が作用すると作動し、写真-5のように変形することで、エネルギーの吸収を行う。

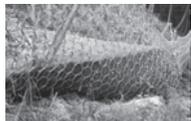
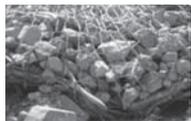
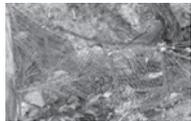
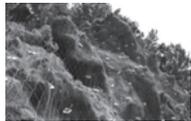
(3) ブレーキリング

写真-4 にエネルギー吸収前、写真-5 にエネルギー吸収後のブレーキリングを示す。ブレーキリングはワイヤロープを直径約 50 cm のリング状に加工し

3. 柔構造物工法の構造と特長

表-1 に、各種災害への対応が可能な 9 工法の構

表-1 柔構造物工法の構造と特長

工法名	一般的名称	構造・特長	
リングネット 落石防護柵	高エネルギー 吸収型落石防護工	主にリングネット、ワイヤロープ、ブレーキリングにより構成される落石を対象とした構造物である。対象落石エネルギーにより柵タイプが異なり、最大 3000 kJ の落石エネルギーに対応可能。	
ハンガーネット	高強度ネット落石防護工	急峻斜面の上部で大規模落石の衝撃力を受止め、落石をネット内で地表まで誘導する落石防護工。	
インパクトバリア	斜面崩壊対策工	土砂災害防止法に対応した工法。斜面崩壊土砂の衝撃力低減あるいは斜面崩壊土砂の捕捉を目的とし、地山の掘削等をほとんど必要としない。	
ワイヤネット	土石流対策工	ワイヤロープの主索と吊索、ならびにリングネットを基本構造とする透過型土石流対策工。	
TAMPO バリア	土石流安全対策工	砂防工事における安全対策工や応急対策、避難経路確保工を目的とした仮設構造物。	
スクリーンバリア	流木対策工	河川施設の被害防止とダム等への流入阻止を目的とする流木捕捉工。	
スノーネット	雪崩予防工	雪崩を予防するとともに小規模な落石にも対応可能。周囲の自然に違和感を与えない雪崩予防工。	
パワーネット (TECCO)	高強度ネット斜面安定工	高強度ネットにより斜面を覆い、ボルトに付属するナットを締め付けることにより不安定斜面を支圧し、斜面安定を図る工法。	
パワーネット (SPIDER)	高強度ネット落石予防工	高強度ネット、ロックボルト、プレートを使用し、斜面上の不安定岩塊が剥落、崩壊するのを防ぐ落石予防工。オーバーハングしている斜面にも適用可能。	

造および特長について、一般的名称と合わせて示す。

4. インパクトバリアの概要

土砂災害の発生率は近年増加傾向となっており、災害から人命や財産を守るため、構造物によるハード対策に加え、危険の周知や避難態勢の整備等のソフト対策の充実を目的とした「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（以下、「土砂災害防止法」と呼ぶ）が平成13年4月に施行された。

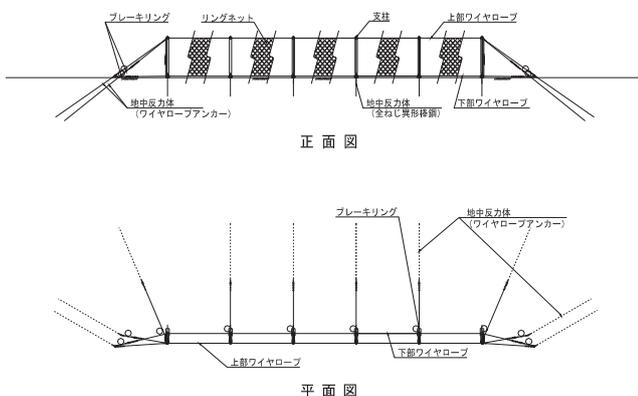
その後、国土交通省砂防部保全課の事務連絡において、急傾斜地崩壊施設における「衝撃力と崩壊土砂量を考慮した擁壁の設計手法」が定められた（平成15年10月21日）。

しかしながら、「衝撃力と崩壊土砂量を考慮した設計手法」に対し、従来工法である待ち受け擁壁では現場条件等により適用が困難となる場所が存在する。

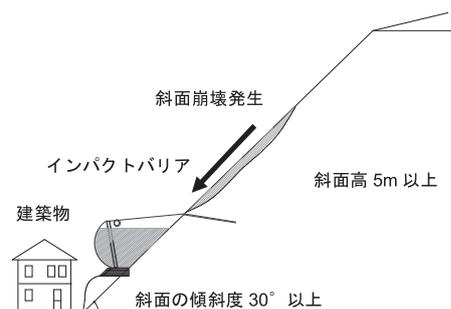
インパクトバリアは、前述の「土砂災害防止法」に対応した斜面崩壊対策工であり、待ち受け擁壁の適用が困難な状況下においても、一定条件の下で適用が可能となる工法である。

(1) インパクトバリアの基本構造と設置目的

図一1にインパクトバリアの基本構造図を、図一2にインパクトバリアを斜面上に設置した場合の設置



図一1 インパクトバリア基本構造図



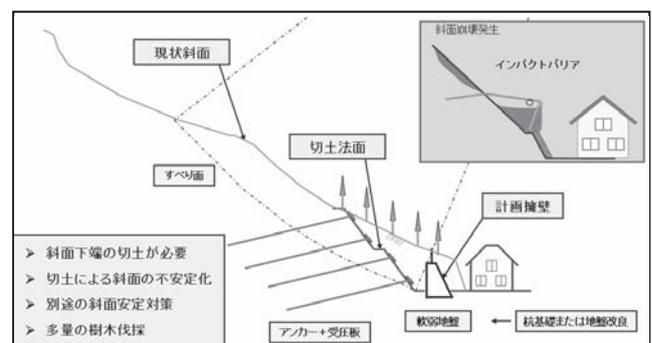
図一2 インパクトバリアの設置概念図

概念図を示す。インパクトバリアはリングネットやブレイキング、ワイヤロープや支柱等により構成される、崩壊土砂に対応した防護柵である。柔構造物であることから、部材が変形しながら土砂を停止させるため、待ち受け擁壁と比べ、小さな抑止力となる対策が可能である。

本工法は①既設擁壁への衝撃力緩和や崩壊土砂捕捉容量の増加、②本工法単独による全衝撃力の吸収や崩壊土砂の全量捕捉を目的とした適用が可能である。

(2) インパクトバリアの特長

図一3にインパクトバリアの設置に適した現場条件の例を示す。



図一3 インパクトバリアの設置に適した現場条件の例

「土砂災害防止法」の構造規定に対応する待ち受け擁壁の設置にあたっては、次のような問題点が生じる場合がある。

- ①斜面下端の切土が必要となり、同時に多量の樹木を伐採する場合
- ②切土に伴い、斜面の安定対策が別途必要となる場合
- ③擁壁基礎地盤の地耐力が不足する場合

これに対し、インパクトバリアは上記①～③のケースの制約を受けることなく、バリア背後の最小限の切土で設置することが可能である。

また、インパクトバリアは、

- ①工種が少ないため、工期の短縮が図れる（災害復旧工にも適している）
 - ②ネット構造であることから背景が透けて見え、周辺の景観に極力違和感を与えない
- 等様々なメリットを有している。

(3) 落石防護柵の土砂捕捉事例と実物大実験状況

リングネット落石防護柵が台風による降雨を起因として流出した土砂の捕捉事例を写真一6に示す。この結果から、リングネットを用いた柔構造物工法は土砂流出の形態では代表的な面的荷重の作用に対しても



写真一六 リングネット落石防護柵による土砂捕捉事例 (奈良県)



写真一八 インパクトバリア設置事例① (長崎県)

十分な捕捉効果を期待できることが確認された。

その後、斜面崩壊対策工としてインパクトバリアの開発が進み、現在、実物大の崩壊実験によりその効果が明らかになってきている。表一2に2008年8月にスイス連邦・セントレオナルドにて実施された実物大実験の概要を、写真一7にその状況を示す。

表一2 インパクトバリア実験概要

実験地	セントレオナルド	斜面高さ	38.8 m
平均勾配	51.7°	斜面長	49.4 m



写真一九 インパクトバリア設置事例② (宮崎県)



写真一七 2008年8月にスイスにて実施された実物大実験の様子

(4) インパクトバリアの設置事例

ここで、表一3に実際にインパクトバリアを設置した事例の概要を、写真一8～9にその状況を示す。

表一3 インパクトバリア設置事例

	設置事例①	設置事例②
設置場所	長崎県	宮崎県
施工年月	2008年6月	2008年9月
柵高さ	H = 5 m	H = 3.5 m
柵延長	L = 6 @ 6 m = 36 m	L = 4 @ 6 m = 24 m

(5) 従来工法とのCO₂排出量の比較

1997年12月、京都府で開催された『気候変動枠組条約第3回締結国会議 (COP3)』により京都議定書が

策定され、先進国を中心に各国で地球温暖化の原因となる二酸化炭素 (CO₂) など6種類の温室効果ガスについての排出削減義務が定められた。

日本は、2008年から2012年までの目標期間内に温室効果ガスを1990年基準で6%削減することが義務づけられている。

このような背景のもと、多量のCO₂が排出されるといわれているコンクリート製の従来工法 (待ち受け擁壁) に代わり、近年、コンクリートを使用しないインパクトバリアが注目され始めている。

インパクトバリアは待ち受け擁壁と異なり、コンクリートを使用しないことから、構造物本体製造時におけるCO₂排出量が大幅に少なくなることが試算結果より明らかになった。その結果を以下に示す。

ここで、表一4はCO₂排出原単位を示しており、この表の各値は環境情報科学センター「CO₂排出原単

表一4 CO₂排出原単位

品名	資料一1		資料一2		比較に用いた値	
	単位	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	単位	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	単位	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)
セメント	kg	0.75	t	765.5	kg	0.77
天然粗骨材			t	2.8	kg	0.0028
天然細骨材			t	3.4	kg	0.0034
上水	m ³	0.2			m ³	0.2
形鋼	kg	1.3	t	1246.6	kg	1.3
棒鋼	kg	1.2	t	1203.9	kg	1.2
線材	kg	1.3	t	1311.1	kg	1.3

※資料一1 環境情報科学センター・CO₂排出原単位 (2007年度版)

※資料一2 土木学会：コンクリートの環境負荷評価 (その2)

位（2007年度版）」および土木学会「コンクリートの環境負荷評価（その2）」に基づいている。この表—4を用いてインパクトバリアとコンクリート擁壁のCO₂排出量を比較した結果が表—5である。この結果、材料製作段階のインパクトバリアのCO₂排出比はコンクリート擁壁と比べ15%程度に抑えられることが明らかとなった。

表—5 CO₂排出量の比較

CO ₂ 排出量の比較(設置延長10m当たり)	
A: 重力式コンクリート擁壁	23,063 kg
B: インパクトバリア工法	3,378 kg
CO ₂ 排出比 B/A=	14.6 %
CO ₂ 排出量削減率 (A-B)/A*100=	85.4 %

5. TAMPO バリアの概要

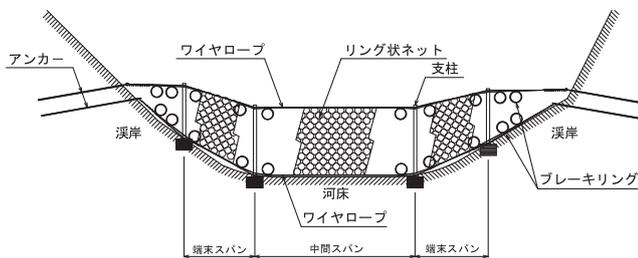
土石流が発生した場合には、土石流対策構造物築造箇所で作業中の作業員に報知し、速やかに避難させる必要がある。従来は、監視員の目視による監視体制や、工事場所から上流の位置に設置した土石流検知センサの警報で作業員を退避させる等のソフトな安全対策が採用されていた。

しかし、この方法では安全に退避できる時間が少ないことや、センサの状態を頻繁に点検する必要性があるなどの課題もある。

これらの課題を解決するために、土石流を直接的に捕捉し、一時的に堰き止める TAMPO バリアが開発された。

(1) TAMPO バリアの基本構造と設置目的

図—4 に TAMPO バリアの基本構造図を示す。



図—4 TAMPO バリアの基本構造

TAMPO バリアは土石流を直接的に捕捉する安全対策工であり、①砂防工事安全対策工、②応急対策・緊急避難経路確保工として適用される。

①砂防工事安全対策工

建設省技調発 98 号「土石流の到達するおそれのあ

る現場での工事における安全対策について」に対応している。

砂防工事中の土石流に対し、基本的に土石流検知センサなどのソフトな安全対策が施されている。これに加えてハード対策となる TAMPO バリアにより土石流を一時的に堰き止め、土石流の下流への流下および流下速度を遅らせることで、土石流が工事現場まで到来する時間を大幅に遅延させ、工事現場から退避する作業員の安全性をより高めることが可能となる。

②応急対策・緊急避難経路確保工

土石流危険渓流で砂防施設の設置に相当な時間を要する場合や土石流災害発生後の応急対策施設としての対策工、または、土石流発生時に避難経路を遮断する危険性に対し、一時的な避難経路および退避時間の確保工として適用される。

(2) TAMPO バリアの特長

TAMPO バリアは、

- ①土石流が発生しなかった場合、多くの構造部材は他現場に転用可能である
 - ②施工期間が短く、構造部材は軽量のため現地搬入と設置が容易である
 - ③透過性の高い構造であることから、構造物背後が透けて見え、景観への違和感が少ない
- といった特長があり、環境に与える負荷を極力抑えることが可能となる。

(3) TAMPO バリアの設置事例

TAMPO バリアの設置事例を表—6、写真—10、写真—11 に示す。

表—6 TAMPO バリア設置事例

	設置事例①	設置事例②
設置場所	鹿児島県	富山県
施工年月	2006年10月	2007年10月
柵高	H = 3 m	H = 3 m
柵延長	L = 3 @ 5 = 15 m	L = 3 @ 5 m = 15 m



写真—10 TAMPO バリア設置事例① (鹿児島県)



写真一 11 TAMPO バリア設置事例② (富山県)

(4) CO₂ 排出量

TAMPO バリアは、インパクトバリアと同じくリングネットやワイヤロープ、支柱等によって構成されているため、コンクリート構造物に比べ、CO₂ 排出量が大幅に少ない。

6. おわりに

本稿では、環境面に配慮した斜面防災対策である柔構造物工法の中で主にインパクトバリア（急傾斜地斜面崩壊対策工）および TAMPO バリア（土石流安全対策工）の 2 工法について述べた。

日本では、様々な地形・地質条件や気候条件が原因となり非常に土砂災害が起りやすく、毎年のように失われる生命を守り社会基盤を保全するため、土砂災害対策施設の必要性は極めて高い。また、近年多くの場面で環境問題が取り上げられ、土木構造物の分野でも環境に配慮した工法が求められるようになっている。このような状況の下で、環境負荷の少ない柔構造

物工法の斜面防災に果たす役割は大きいものと考えられる。

現在は、日本でも柔構造物工法が認知されてきており、これまでの実績から柔構造物を用いた安全対策の信頼性およびニーズが高まっている。本稿で紹介したインパクトバリアと TAMPO バリアは、落石対策工として既に数多くの実績のあるリングネット落石防護柵を基本ベースに崩壊土砂対策、土石流安全対策として発展させた工法である。今後は、実験の解析や捕捉実績から構造の改良を進め、信頼性の向上に努めたいと考えている。

JICMA

【筆者紹介】



下条 和史 (しもじょう かずひと)
東亜グラウト工業㈱
TGK 事業部
技術第 2 グループ
グループ長



栗澤 尚也 (くりさわ たかや)
東亜グラウト工業㈱
TGK 事業部
技術第 2 グループ
主任



鈴木 利治 (すずき としはる)
東亜グラウト工業㈱
TGK 事業部
技術第 2 グループ