

緑の命で“恒久の擁壁”を目指す 全天候フォレストベンチ工法

栗原 光二

国土の約7割が傾斜地である我国で、斜面防護は遮水性で重量物のコンクリート擁壁が未だ主流である。しかし豪雨や地震・津波など営力の伝わり方を調べると、水や大気は分子運動であり、地震は交番荷重の加速度から成るので、営力の克服に遮水性の重量物が不向きであることは明らかである。この10年間に用いた、軽量で透水性の受圧板を引張り力で支える土砂擁壁は、一つとして壊れておらず、同時に森の根で恒久安定を保てることが分ってきた。擁壁が恒久の防災機能を備えれば、斜面は平地並となり、日々の暮らしは飛躍的に豊かになる。

キーワード：土砂擁壁，棚田状階段斜面，重力との直交，引張り力，段切り工，免圧機能，分子運動，営力を以って営力を制す，柔よく剛を制す

1. 擁壁に求められる機能

我々は遙かな祖先の時代から、自然の中で安全かつ快適な暮らしを営むべく、雨よけ、風よけ、土砂よけ、波よけに至るまで、知恵を絞り工夫を重ねてきた。雨や風は、家屋（建築）の役目であるが、それ以外は土木の分野であり、山や川、海といった大自然のフィールドで、大掛りな技術への挑戦が展開されてきた。

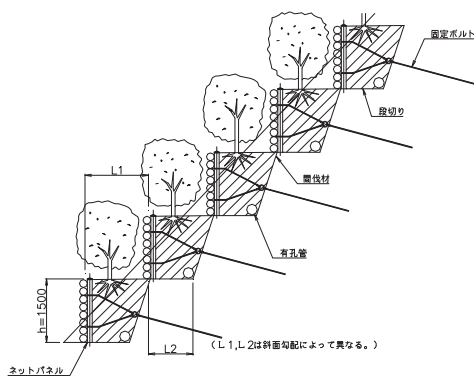
その時、変質せずに長持ちする石材が主役であった。世界遺産として残っているものの多くは石造りであり、中には人類の歴史に匹敵する物もある。天然石が壊れにくかったことから、安全は重さと一体であると認識されて行ったと思われる。

土砂よけは、住宅周辺斜面の克服が主な課題だったが、斜面が雨の時に崩れる状況を見ても水の圧力や浮

力を疑うに至らなかった。つまり雨水を土砂から分離することよりも、擁壁をより重くすれば、安定は高まるとされてきたのである。

その後、科学の進歩から、地震は交番荷重の加速度であり、免震機能が有効であること、また水の動きは分子運動から成るので、同じ分子運動の大気圧を用いれば水を克服できる。すなわち免圧機能の存在が知られてきたのである。つまり土砂を安定させるには雨水の分離が有効であり、重量物ではなく呼吸のできる軽量物が水の力を封じる上で効果的と理解されるようになってきた。

擁の字の持つ「いだく」という意味には、人々の命や財産を土砂災害から守る（擁護する）という願いが込められている。しかし公式な規定には未だ確たる定義が存在せず「土圧に対抗して急斜面を支える壁」と



図一 45度の斜面に適用した全天候フォレストベンチ工法の基本的形状

階段状の斜面で、雨はその全てが地中へ導かれるが、有孔管の敷設によって水位は発生せず、段切り・アンカーによる水平固定で土砂は地山と一体となり、崩れない。



いう程度であり、今も重量物に頼っているのが現状である。すなわち、巨大地震や局地的豪雨から命や財産を守る為に、真に頼れる擁壁が求められているのが実態なのである。擁壁が人々の切なる願いに応える為に、どのようなしくみが望まれているのか、その核心に迫りたい。

2. 今、我国の斜面に求められるのは 強靭さ（しなやかで壊れない） 高い利用度（生命力と多様性に通じる） そして 美しさ（自然と調和する）である

徐々に熾烈となっていく局地的豪雨や巨大地震や津波から人命や国土を守る為に、我々には正しい知識が不可欠である。全天候フォレストベンチ工法（階段状土砂擁壁）はこれまでの常識を大きく転換して営力を克服し低コストで恒久安定を実現した。しかも、地表に自然の緑を増やし、同時に後世に経済的負担を残すことが少なくなる。つまり持続可能な社会を確かなものとする、これからの擁壁である。

地震国であり国土の7割が斜面から成る我国は、亜熱帯モンスーンという気象条件の下で、頻りに局地的豪雨に襲われる。その斜面が周期的な豪雨や地震で崩れると、多くの人命が危険に晒される。つまり斜面災害の克服は、安全な暮らしにとって最重要課題となった。地震や豪雨などあらゆる営力を克服するには、擁壁に作用する力とそれに耐えるしくみを明らかにするのが先決だ。

その結果、平地同然となった斜面は日常生活の身近な存在として捉え、一体となって豊かさを享受すべきである。階段状土砂擁壁から生まれる平地は、緑を育てるのみならず通路や畑地としても活用できる。また草花や野草・山菜を育てるスペースにもなり、四季折々の命の息吹きを楽しむこともできる。



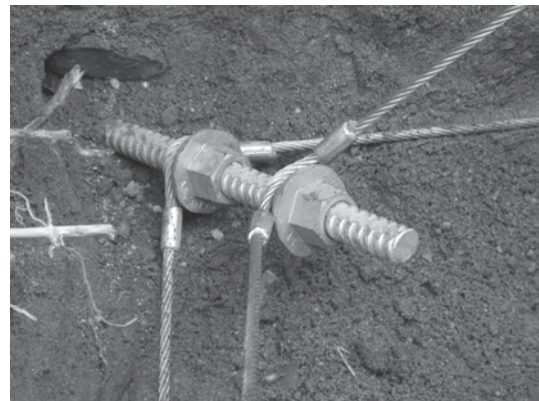
(1) 劣化の激しいコンクリートに代るのは、最も安価な土砂

石材は耐久性や通水性に優れるが、石工の減少や価格高騰等の事情からコンクリートに置き換えられていった。その結果、擁壁安定の原点である通水性・軽量・耐久性が低下し、強靭さは失われてしまった。コンクリートと違って風化・劣化することのない土砂を壁体として用いれば、石材の強靭さに加えて森を自生させ、その根が勢いよく生長し、鋼材の錆びを補ってくれる。

土砂が擁壁の材料として用いられて来なかったのは、風や雨で容易に動くからだ。しかし、透水性の引張材で囲えば圧縮力の中に閉じ込められるので、大きな土のうとなり、元の岩石のような強さに戻る。つまり人工材料が朽ちた後は、森の根が先端の毛根で土砂を包み込んで一体となり、生きた引張り材となる。

土砂擁壁の最大の特長は、雨水を透過させて森が根を伸ばし、その引張り力で地盤と一体化することである。コンクリートより長持ちする鋼材で囲っている間に根が育ち、その引張り力が鋼材に代る安定力へと育つ。すなわち土砂擁壁は森が山々を安定させてきたように、斜面の防災機能を飛躍的に増加させ、その高いアセットマネジメント機能を発揮して、後世の経済的負担を減らしてくれるのである。

地球は今、自然環境の劣化で気候変動が顕著となり、安全が脅かされる危機的状況にある。我々は、地球の自然を本来の姿に戻し、その恵みを回復させる転換期を迎えている。人工的なコンクリートでなく、土砂という最も安価で地球的な資材を用いれば、自然は確実に再生に向う。土砂擁壁の安定には、自然力の導入と生命力を用いることが重要である。持続可能な社会を実現する上で重要な選択である。



写真—1 直立受圧板と段切り地盤と有孔管、アンカーとワイヤーの連結状況

地山へ設置されるアンカーが抜けずワイヤーが切れなくなれば、土砂は常に圧縮状態となり、従来のように雨や引張り力で剥れず、強靭な斜面が実現する。

(2) 降雨という恵みを凶器で無くすことは、人類永遠の願い

斜面災害の殆どは、豪雨のときに発生する。晴れのときに平然としている斜面が、多量の雨の浸入を受けると何故崩れるのか。そのメカニズムを見極めて適切な措置を施せば、斜面崩壊の根絶は可能ではないかと考える。斜面に多量の雨が浸入すると地中で圧力を上げ、傾いた土砂を引き止めていた力（粘着力等）を奪う。そのとき重力の水平成分が働いていると、土砂は斜面から脱落してしまうのである。

地球の水循環を構成する降水は、我々の暮らしに不可欠な地球の恵みである。それを凶器として放置することはできない。すでに地上から根絶された疫病（例えば天然痘）と同様、土砂災害を撲滅する上で、次の5つのポイントに注目すべきである。

(a) 地中が不飽和であれば、水圧や浮力は生じない
豪雨の時、斜面土砂の空隙が不飽和状態であれば、地中は大気圧に支配され、雨水は水位上昇せず、水圧も浮力も除去できる。分子運動で自由に動く水と大気圧とが接すれば水圧は大気圧まで低下し、水の制御が可能になる。その結果水の圧力は殺がれ、土砂だけを止める壁に掛かる力は土圧だけとなり4割以下へ減って行く。

(b) 斜面を壊す営力は、すべて水平方向

斜面に段切りを施せば、重力と向い合う反力が、無限に近い支持力となる。

(c) 引張力は重量を持たず、樹根の生長で肩代わり出来る

土砂は土嚢のように、引張り力を用いて圧縮力の中に閉じ込めると、元の岩石と同じ強靱さとなる。必要な引張り力は当初鋼材（アンカーやワイヤー）で賄い、森の生長で徐々に樹根に置き換わっていく。

(d) 斜面の安定に、重量物は不要

斜面安定の抑止力に重量物を用いるのは、引張り材に比べて千倍の重さが必要で、極めて非効率である。しかもその重さが、地震に対して弱点となる。つまり、

軽量・通水性で営力を免れて引張力で不動を保てば、安定は万全である。

(e) 営力をもって営力を制す

営力は、重力など地球に永遠に備わる力であり、それが抑止力として活用出来れば永遠の斜面安定が獲得できる。樹根の引張力も自然の力である。森は世代を超えて継承されるため、地球の存在と共に恒久安定に寄与できる抑止力である。

(3) 東日本大震災の10年前に施工していた全天候フォレストベンチ工法は、巨大津波を受けても崩れることなく、強靱さが確認された

写真-2左は、完成直後の全天候フォレストベンチ、中は、被災後の状況 写真右の後方には西舞根湾が静まり返っているが、当日は15mの高さにまで盛り上り、畠山家の高台母屋に押し寄せ、この斜面の上段へ駆け上がったが、フォレストベンチがこの斜面を守った。仮にコンクリートを用いていたら、引き波の力で粉々になっていたであろう。被災一ヶ月後の4月8日に訪れたとき、漁具のガラス玉が宅地より高い枝に垂れ下がっており、畠山さん一家が如何に怖い思いをされたか、思い知らされた。

その他の約100事例についても、台風銀座の宮崎で豪雨を克服する快挙など、一つとして壊れていない。それは力学的合理性で営力を乗り越えた結果であり、同時に森が育ち、時間と共に斜面の強化が進んでいるからである。

自然の山々は、森を有することによって崩れを防ぎ、人々の生活を守ってきた。生命と共存できないコンクリートには、時間を越えて斜面を守る機能は存在しない。我々は子々孫々に至るまで、安心して暮して行けるよう、擁壁の持つべき機能を追及し、斜面の恒久安定に向けて着実に取り組んで行く必要がある。



写真-2

3. 設計至上主義の限界

擁壁の設計を行うとき、先ず「営力」の大きさが見積られる。それを基準として安定計算が行われ、部材の寸法が決められる。しかし、営力は想定内に収まるとは限らず、見積もった値を越えたとき、部材は敢え無く破壊し人々を危険に陥れる。ここで思い起こすべきは、古くから地震に悩まされてきた先人が、計算から無く地盤と建築物に向けた緻密な観測から、画期的「免震構造」を発見したことである。これは地震の揺れが、礎石の上では建物の柱に伝わらないことに気付いたことに始まる。柱が礎石の上で周期的にずれても元に戻ることから、交番荷重であると認識され、地震から重要建設物を守るしくみへと発展した。

4. 営力をかわすことが、人類本来の知恵

人々の暮らしを土砂災害から守る為には、擁壁自身が営力の衝撃に耐え、その背後から土圧を受けても不動を保つことが求められる。最近まで擁壁は石積みが主流であったが、その後の時代背景によって、コンクリートが主材料として登場した。力学的には土砂より重くて堅く、手軽に手に入り、機械的に効率よく扱えた為に経済性も高まり、重宝されたと思われる。

しかし、重い物が安全を高めているかどうか、疑わしい事態となっている。この度の東日本大震災で、巨額の資金を投じて造られた防潮堤や河川堤防の多くが被災し、多くの人命を奪ったことは、記憶に新しい。テレビによって茶の間にも届けられ、多くの人々の知る所となった。遮水性で重量物のコンクリートは、地震の加速度や津波エネルギー等営力をかわせないことが認識された瞬間であった。

5. 営力をかわす免震機能と、それに続く免圧機能

遮水性の擁壁には土圧と水圧が同時に作用するが、その大きさは略2:3の割合で水圧の方が勝る。水圧を除去できたら擁壁へ掛る力は4割へ減っていく。浮力が除去されると土砂流動も抑えられ、擁壁に掛かる力は大きく減衰していくのである。

水や大気分子は、透過できない遮蔽物にその圧力を容赦なく及ぼすが、透過できる壁は何事も無くすり抜けて行く。それが免圧機能である。幸いにして、土砂体積の半分程は空隙から成っている。地中の空隙に大気を導けば、水の分子を遮るものは無くなり、地中

に浸み込んだ雨水は水位を上げることが出来ない。それによって水圧も浮力も消えて行く。津波のような高速で動く水塊がコンクリートを直撃する場合と、空隙が半分を占める土砂の壁で受ける場合とでは、衝突エネルギーに大きな差が生じる。野球で言えばボールをバットで打ち返すときと、キャッチャーミットで捕球するとき程の違いである。水が隙間へ導かれると何処までも侵入しながらエネルギーを消費していく。呼吸できる不飽和の隙間が免圧機能の源である。

6. 軽量で呼吸できる土砂擁壁は、地震力も水の力も免れる

一般に軽量物には通水性も備わっているため、地震力と水圧とが同時にかわされる。豪雨や津波など巨大な営力を凌ぐには、皮肉にも軽量物の方が優れている。

計算至上主義に陥ったことが、計算し易いコンクリートへと傾き、最も基本である「営力を免れる機能」を求める思想が、遠ざけられた可能性がある。更にコンクリートには材料劣化という難点があり、営力を受ける前に経年劣化で壊れてしまう可能性が高い。後世への負担を減らすアセットマネジメントの観点から比較すると、明らかに土砂擁壁の方に軍配が上がる。

地球には、分子運動からなる水と大気が充満している。その両者の接触によって水の衝撃が緩和されれば、防災・減災が実現することになり、正に「営力を以って営力を制す」ことになる。これほど効率的で安上がりなことはない。

7. 巨大な営力の克服には「柔よく剛を制す」がヒント

この諺は「柳に雪折れ無し」と同様、弱いと見られる者が強い者を倒すことがあるという譬えである。地震や津波などは、人間が発明した計算方式通りに発生するとは限らない。巨大な営力を人間の力で征服できるとするのは無謀である。免震構造のように現象を直視し、効果的な工夫を凝らして“かわす”のが人類の知恵である。

津波や豪雨など巨大な水の勢いを“かわす”には、水が分子運動で動き遮蔽物に圧力を及ぼしていることに着目して、大気分子のクッションで緩衝するのが有効だ。上空30kmまで積み上がっている大気圧は10mの水柱に匹敵するが、それが自然状態であれば、地中水が表面張力を発揮してサクシオン現象を喚起し、地中を“負圧”へ導く。地中が1気圧より低くな



写真—3

ると、大気圧が抑止力として働いてくれる。

津波をコンクリート壁でシャットアウトするよりも、大気が充満する土砂空隙に導けば津波エネルギーは吸収し勢いを殺ぐことが出来る。巨大な水のエネルギーを大気という営力でかわすのが免圧機能であり、永遠の抑止力として働く。

8. 斜面に育つ樹木の根に蓄えられた引張力は、斜面安定の切り札

写真—3は、丹法山（山形県天童市）というお寺の崩れた斜面を修理したときの、事前事後の写真比較である。斜面に生えていた根曲がり杉を、フォレストベンチ工法の垂直壁の中に取り込んで、昔からそこに育っていたかのように、大事に保育している。

樹木を引き倒した経験を持つ人は少ないだろうが、ワイヤーを用いて引いても破断するか、引張り機械が転倒するのが落ちである。その根が地山と一体化する

のは、風雨に曝されて育つからで、世代を超えて子孫に強靭さを伝えるのが、生命の逞しさである。チェーンソーで容易に切断され、鉄の引張り強さには敵わない樹木ではあるが、錆つかない耐久性を考えれば、地上最強の引張り材であろう。地山と一体となって地表安定に寄与する様は、地球の守護神と言っても過言ではない。46億年の歴史を持つ地球と共存して安全を得るには、自然の中に多くのヒントがある。我々は先人同様、自然を直視し、敬い、学ぶところから、存続の道を探って行かねばならない。

JICMA

【筆者紹介】

栗原 光二（くりはら こうじ）
 ㈱国土再生研究所
 代表取締役社長
 フォレストベンチ研究会

