

# 鋼製砂防構造物の設計 における課題

しま じょうじ  
嶋 文示

(一財)砂防・地すべり技術センター  
砂防技術研究所 次長

## 1. はじめに

鋼製透過型砂防堰堤が土石流対策の基本になるなど、砂防事業において鋼製構造物の認知度も上がってきています。しかし、未だに設計方法が重力式コンクリートより手間が掛かることから、積極的に鋼製堰堤を使って効果的な施設設計を行うまで時間が掛かるでしょう。今回は、施設の機能に直結しているにもかかわらず、設計方法に反映されていない課題を、ピックアップしてみたいと思います。これらは直ちに解決されるものではありませんが、設計時にこんなこともあるのかと思っていただければ幸いです。

## 2. 部材間隔と礫径

鋼製透過型砂防堰堤は、平常時や中小出水時に流下してくる土砂は通過させ、土石流発生時には確実に土砂および流木を捕捉するという機能により、土石流捕捉用の堰堤として採用されています。この機能を発揮させるためには、部材間隔と礫径の関係が重要です。砂防計画策定指針（土石流・流木対策編）によると、礫径調査により現地の礫を200個選んで、長径・中径・短径の三辺の平均値を直径とし、累計加積曲線の95%礫径を最大礫径と定義しています。図-1に示される2種類の累計加積曲線の最大礫径は同じなので、開口部の部材間隔は同じ間隔に設定されます。しかし、95%以下の礫個数は相当違うため、開口部の閉塞の仕方に差が生じる可能性があります。つまり、累計加積曲線の寝ている方が礫個数が多く開口部が閉塞しやすく、立っている方は礫個数が

少ないため開口部が閉塞し難い、ということです。開口部を埋めるほどの礫がない場合、開口部を狭くするか、部材間隔を例えば80%礫径を基に設定する必要があります。しかし、今の指針では「最大礫径=95%礫径」なので、開口部を狭くするしかないのですが、どの程度狭くすれば良いのか決めがありません。すなわち、土石流を捕捉するための部材間隔は、礫径調査で選んだたった1個の礫径で決定され、現地がどのような礫径分布であるか全く考慮されません。

土石流の堆積区間のように、土石流のフロント部が崩れ、礫が各個運搬されるような流れでは最大礫径のみで部材間隔を決定すると、アーチアクションが発揮されず、場合によっては大半の礫を逃す可能性もあります。土石流の捕捉事例を観察すると、部材間隔に1～2個の礫が絡み合うことで閉塞しており、礫径調査で実測した礫の大半は部材の閉塞に寄与しています。つまり、部材間隔を設定する礫径は95%礫径ですが、それ以下の礫も開口部の閉塞に影響します。

そこで、最大礫径のみで部材間隔を決定するより、例えば、衝撃力の大きい土石流のフロント部の巨礫を減勢する部材間隔、下流に土砂を通過させず確実に土砂を捕捉する部材間隔など、目的に合致した効果的で効率的な土砂捕捉機能を発揮するように、目的に合わせて礫径を設定した方が合理的な設計といえます。このためには、礫径調査により求めた礫径分布状況を踏まえ、捕捉すべき礫、流しても良い礫を選別し、適切な部材間隔を設定することが望まれます。

最大礫径は礫衝突の計算にも用いられます。過去には、設計時の最大礫径を大きく上回る巨礫によって部材が過度に損傷する事例もありました。土石流を確実に捕捉するためには、部材間隔の設定に用いる礫径は小さい方が良いですが、礫の衝突に対する礫径は大きい方が安全性は高くなります。現行の設計では、95%礫径のみを用いていますが、このような状況を踏まえると、部材間隔を設定する礫径と部材の安全性を照査する礫径は分けた方が合理的でしょう。

## 3. 部材の性能

鋼製透過型砂防堰堤は、鋼製メーカーによって形状の異なる構造物が開発されてきました。形状が異なれば安

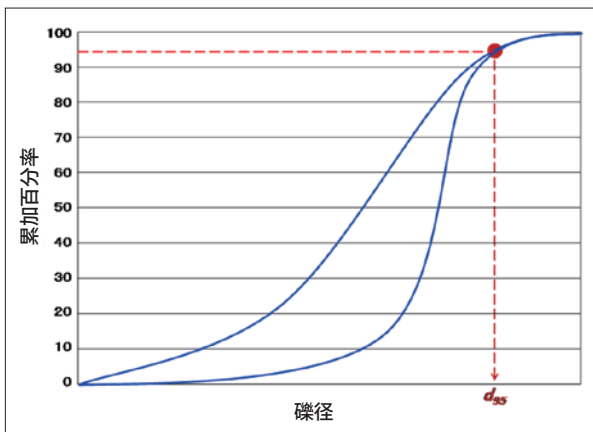


図-1 礫径調査の例

全性を担保できる礫径と流速が異なるはずで、現状の設計では一部材を取り出してへこみとたわみで検証していますが、構造物の持つ変形性能に対して、部材断面および形状を決定しているわけではありません。鋼製砂防構造物設計便覧によると、最上流面の部材にのみ礫が衝突するものと仮定して、へこみとたわみで礫衝突計算をしています。その最上流面の部材と、それを支えている部材は、骨組解析を用いて許容応力内に収まるよう部材断面を算定しています。しかし、礫は必ずしも最上流部材にだけ衝突するわけではなく、へこみやたわみも最上流面の部材だけでなく、部材を介して最上流面を支えている部材もへこむことがあります（写真-1）。このため、最上流面より下流側に配置された部材であっても、礫衝突により破損の可能性がある部材は、 $D/t < 40$ にするなど安全性に配慮する必要があるでしょう。

さらに、現行の鋼製透過型砂防堰堤のタイプごとに、これ以上変形すると部材が破断する変形量の限界値を設定し、タイプと鋼製高によって鋼管の外径及び部材断面（板厚）の下限値を決めることができれば、単純に鋼材重量によるコスト比較ではなし、土砂移動現象に対応した捕捉機能と安全性から適材適所の構造物を選定する指標にもなります。この判定は、捕捉実績を積むことで礫衝突の可能性のある部材を想定し、土石流の荷重を想定する解析や実験によるところが大きいと考えます。判定によっては既存の堰堤も補強を検討することになるかも知れません。

部材の変形性能は鋼製堰堤の材料特性を活かすなら、これまでのレベルⅠ荷重だけでなく、レベルⅡ荷重に対応できるよう変形性能と限界変形量も規定した方が良いでしょう。現状では、部材を構造部材と機能部材に区分していますが、礫衝突による損傷、土砂の捕捉形態を見ると、部材は形状保持部材、衝突緩和部材、礫捕捉部



写真-1 最上流面より下流の部材のへこみ

材、応力伝達部材など多岐にわたり、複数の機能を兼ねています。最上流部材は、礫衝突を考慮して現設計は板厚を大きくする工夫をしていますが、礫衝突緩和部材と礫捕捉部材を兼ねている部材ならば、下流の支え部材が過度に変形しないよう、場合によっては現状の規定値よりへこみやたわみを許容し、礫衝突エネルギーを吸収する設計も有効と考えます。これら部材の要求性能をうまく組み合わせ、地形及び流量ごとに土砂移動形態に対応した土砂捕捉機能と、構造物の安全性を確保した新たな透過型堰堤が開発されれば、これまで以上に効果的な施設配置が可能となるでしょう。

#### 4. フランジ継手

レベルⅡ荷重によって構造物が破壊された例があります。破壊の箇所はフランジ継手ですが、フランジ継手から破断しているのは弱部だからではなく、設計時の想定とは異なる変形によりボルトが破断するからです。フランジ継手はリブありとリブなしがありますが、どちらもレベルⅠ対応の微小変形を念頭に置いているため、許容応力内であればフランジ継手が直ちに破断することはありません。

図-2は最上流の鋼管部材に礫が衝突した場合、これを支えている斜材には軸力（圧縮）が発生しています。通常、礫が衝突しても鋼管が若干へこむ程度ですが、レベルⅡ荷重のような巨礫の衝突によって最上流の鋼管が大きく変形すると、これを支えている斜材には曲げが作用します。この変形が大きくなると、フランジプレートが開くと同時にボルトも伸びます。これが設計時に想定していないような過度な変形になると、ボルトが引っ張られ破断する可能性があります。

このようにレベルⅡに対応するためには、フランジ継手も母材と同等の強度を持たせる方法もありますが、大

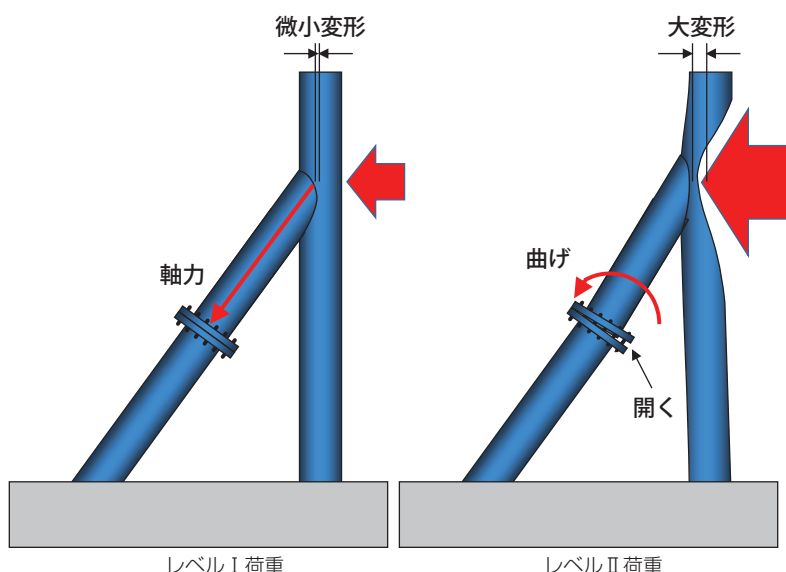


図-2 部材に発生する応力の変化

変形にも追従する、つまりボルトにしわ寄せがいかない構造にするなど工夫の余地はあるでしょう。このような設計を導入するためには、継手以外の鋼管が変形しても軸力が曲げに変化しないように、継手の位置を考慮する必要があります。運搬・架設のみの都合で決めるのではなく、変形を想定した位置にしたり、タイプごとに最低必要な強度を規定したり、巨礫の衝突に対して、緩衝効果のある構造や材料を用いて、大変形に対して継手に変形が集中しないリダンダンシーを有する構造にするなど、まだまだ工夫すべき余地は残っています。

## 5. 腐食しろと摩耗しろの役割

鋼材は錆びることを前提に各種のさび対策が施されています。鋼製堰堤の腐食しろは、当初1.5mmから腐食調査結果をもとに0.5mmに下げています。一般に鋼製構造物は塗装を施しているのが普通ですが、鋼製砂防構造物便覧によると腐食しろを設けているため、塗装は美観上と点検のために設けているとしています。土石流が堰堤に作用すると砂礫によって塗膜が剥がれるので、土石流を捕捉していなくてもどの程度の土砂流出があったかが、鋼管の塗装の傷み具合、すなわち痕跡の残り具合により、専門家でなくても容易に判定することができます。また、無塗装と塗装を比較すると、無塗装は堰堤が完成した時点から錆び始めるのに対して、塗装は20～30年は保っていることを確認しています。要するに、塗装をするだけで耐用年数が格段に伸びるため、近年の長寿命化に大いに貢献することになり、便覧のいうように美観と点検だけではなく、本来の目的である錆に対してかなり効果があると言えるでしょう（写真-2、3）。

常時流水とともに流下する砂礫が恒常的に鋼材に作用すると、鋼管部材の表面は摩耗します。また、土石流時に礫の衝突によって鋼材が局所的に削り取られることもあります。このような断面欠損は応力集中するので弱部となります。そこで、あらかじめ鋼管部材に

は摩耗しろを設けていますが、当たる箇所によって1.5mm～3.5mmと幅を持たせています。ただし、どこに礫が衝突するかは想定するしかありません。最上流面の部材や底板根元の柱は確実に礫衝突すると想定できますが、鋼管フレーム内に落下する礫がどこに衝突するか想定することは現状では難しいでしょう。これが予測できれば板厚を下げること可能です。

鋼管断面には腐食しろと摩耗しろを設けているお陰で、想定外力より余力のある板厚になっています。このため、不確定な土石流荷重に対して安全性を保っていることも事実です。将来は、部材に要求される性能によってこれら腐食しろや摩耗しろで対応する部材、へこみやたわみによる変形で対応する部材、その組み合わせが明確になれば、土砂捕捉機能と安全性の両方のバランスを考えた合理的な部材配置及び設計方法が可能になるでしょう。

## 6. おわりに

鋼製透過型砂防堰堤について、設計上の課題をいくつか述べました。捕捉事例や損傷事例から得られる知見、実験や解析による性能の解明、これらを積み重ねて反映し、その結果をフィードバックさせることで、より効果的、合理的、経済的に有用な施設を設計することが出来るようになるでしょう。すぐに解決できることではないかもしれませんが、地域の安全に貢献する一助となればと願うものです。



写真-2 塗装(左)と無塗装(右)の錆び方の差



写真-3 無塗装鋼管の浮き錆び(拡大)