

改訂された 「鋼製砂防構造物 設計便覧」について

(財) 砂防・地すべり技術センター
砂防技術研究所

はじめに

本年9月に「鋼製砂防構造物設計便覧」が発行されました。当センターでは、鋼製砂防構造物の適切な計画設計と効果的利用を図ることを目的として、昭和57年以降、鋼製砂防構造物に関する委員会を設け、学識経験者の助言と指導を受けつつ研究活動を続けてきました。その成果は昭和58年に「鋼製砂防構造物に関する研究」として公表し、ついで昭和60年には「鋼製砂防構造物設計便覧」の初版が刊行されました。

今回は『砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)』及び『土石流・流木対策設計技術指針』(平成19年3月 国土交通省砂防部、国土交通省国土技術政策総合研究所編著)の改定に伴い、内容が見直されたものです。今回の改訂は、初版から数えると4回を数えます。ここでは改訂された内容のいくつかについて、具体例などにより解説したいと思います。

「鋼製砂防構造物設計便覧」のあつかい

「鋼製砂防構造物設計便覧」(以下「便覧」)は、これまで開発され採用された鋼製砂防構造物(格子形、B型、

鋼製枠、ダブルウォール、流木捕捉工など)について、計画及び設計する際の一般事項について取りまとめたものです。これら既設の鋼製砂防構造物は、土石流の捕捉、部材あるいは構造物全体の損傷などを経験する都度、前述の委員会に諮りつつ改良されてきたものです。

また、当センターで行っている技術審査証明の認定を受けた鋼製砂防構造物は、学識経験者等による技術審査を経るとともに、この「便覧」を参考として計画・設計されています。

表-1は、鋼製砂防構造物に関して、これまで当センターで技術審査証明等の認定を受けたものです。これらを含む鋼製砂防構造物の計画・設計にあたっては「便覧」が参考とされています。

しかし、総説に記述されているように、「便覧」はあくまで現在、開発され使用されている鋼製砂防構造物について計画及び設計に関する一般的な事項を取りまとめたものです。地形、地質、降雨などの多様な要因により流出する土砂の形態は様々ですから、基準となる数値や式が必ずしもすべての現象に対応できるわけではありません。そのため、新しい鋼製砂防構造物を採用する場合や、実績のある施設の計画、設計においても、現地の条件を十分に把握するとともに、その現象に相応しい構造物を選定し、計画、設計方法が妥当であることを技術者自らが検討するという基本姿勢が大切です。

鋼製透過型砂防えん堤の冗長性 (リダンダンシー)について

『土石流・流木対策設計技術指針』の透過部の検討の項に、「透過部の部材は、設計外力に対し安全でなければならない。一部の部材が破損したとしても砂防えん堤全体が崩壊につながらないように、フェールセーフの観点から、できるだけ冗長性(リダンダンシー)の高い構造とする。」と説明されています。これは、鋼製透過型砂防えん堤の設計の基本思想ともいえるものです。

土石流捕捉用の鋼製透過型砂防えん堤は、土石流荷重に対して重力式コンクリート砂防えん堤のようにコンクリートの重量と強度で対応するのではなく、鋼材の強度と靱性によって抵抗します。したがって、部材(鋼材)が破損することによって、構造物全体が不安定になってしまっても元も子もないので、一部の部材が破損しても他の部材がそれをカバーし構造物全体に致命的な影響が及ぶことがないように部材、および、鋼材を選定すると



というのが指針に沿った考え方となります。

ここで、冗長性(リダンダンシー)について簡単な事例によりわかりやすく説明したいと思います。

一般に外力の大きさ、作用点、作用する方向などが確定していれば、その外力に対して最適な形状を計算できます。例えば、単純梁のA点に間違いなく荷重が鉛直に作用するものとします(図-1(a))。このA点を下から支えれば必要最小限の断面形状でいいことになります(図-1(b))。しかし、これで設計された単純梁に設計の想定外の位置(例えばB点)に荷重が作用したとすると壊れることにもなります(図-1(c))。つまり、荷重が設計の前提と異なる位置や方向から作用するなどの場合は安全性を損なう可能性がでてきます。

これを土石流対策用の鋼製透過型砂防えん堤に当てはめてみると例えば、図-2のようになります。図-2(a)は安定計算に用いる荷重図です。土石流を天端付近に当てる場合が最も大きな外力になりますから、この外力に対して転倒や滑動の検討をすれば構造物の安定性は担保されます。そこで、安定計算に用いる荷重を鋼製部分の構造計算にも採用すれば、構造物自体の安全性も担保されるであろうと考えられます。しかし、鋼製部分の構造計算では、そのような荷重に対して計算すれば全く安全かというところも言い切れません。

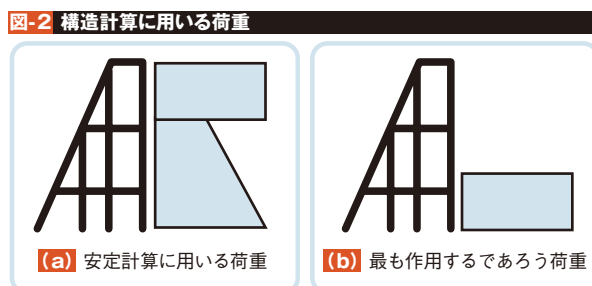
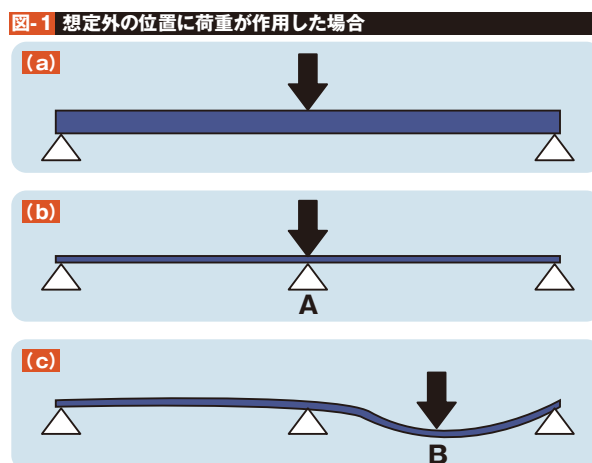
これを土石流対策用の鋼製透過型砂防えん堤に当てはめてみると例えば、図-2のようになります。図-2(a)は安定計算に用いる荷重図です。土石流を天端付近に当てる場合が最も大きな外力になりますから、この外力に対して転倒や滑動の検討をすれば構造物の安定性は担保されます。そこで、安定計算に用いる荷重を鋼製部分の構造計算にも採用すれば、構造物自体の安全性も担保されるであろうと考えられます。しかし、鋼製部分の構造計算では、そのような荷重に対して計算すれば全く安全かというところも言い切れません。

例えば、図-2(b)は、透過型の場合に作用する土石流の荷重としては最も可能性が高いと考えられるケースです。土石流による荷重が大きい場合、図-2(a)で計算された部材断面より、図-2(b)で計算された部材断面のほうがまれに大きくなる可能性があります。

図-2のように、十分想定できる荷重ケースにおいてもこのような場合がありますから、自然現象である実際の土石流による外力は、荷重の作用位置だけではなく、荷重の大きさ、作用する方向なども千差万別です。このようなすべての荷重ケースについて計算することはコストがかかるとともに合理的ではありません。そこで設計では計画規模の対象現象により生じる外力を設計外力として想定し、形状及び寸法を算定しています。

したがって、上述のように自然現象の多様性を考慮すると、不確定な外力に対する安全性の担保として冗長性が高い構造であることが重要です。これは指針に沿った考え方であり、土石流のような外力の方向や大きさが不確定な荷重を設計対象とする場合は、できるだけ冗長性の高い鋼製砂防構造物であることが望ましいといえます。

型式	審査証明番号	取得年月日
横ビーム式HBO型えん堤	建設技術審査証明書技審証第0502号	平成17年2月22日取得
INSEM-ダブルウォール工法	建設技術審査証明書技審証第0504号	平成17年2月22日取得
J-スリットえん堤	建設技術審査証明書技審証第0601号	平成18年2月13日取得
CBBO型砂防えん堤	建設技術審査証明書技審証第0703号	平成19年10月29日取得
鋼製スリットえん堤T型	建設技術審査証明書技審証第0704号	平成19年12月12日取得
I型スリットえん堤	新型鋼製砂防構造物開発技術評価証明書評価証第00-1号	平成12年9月25日取得
格子形-2000c	新型鋼製砂防構造物開発技術評価証明書評価証第00-2号	平成12年9月25日取得



なお、冗長性の程度については「便覧」p71のQ&Aに、部材数、節点数、節点の固定方法による立体骨組構造における不静定次数とロバストネス(頑健性)による考え方が紹介されていますので、参考にして下さい。

機能部材と構造部材について

鋼製透過型えん堤の黎明期の頃は、土石流の流下区間に設置されていました。使用部材は500~600φの鋼管を組み合わせて、この部材間隔を礫径の1.5~2.0倍に設定していました。最大礫径D₉₅を1m以上と考えると、礫の衝突荷重に対して算定される鋼管板厚は、市場性のある材料として妥当なところがありました。

近年、透過型砂防えん堤が人家直上流に設置されるようになり、保全対象の安全性を確保する観点から、土石

流の後続流など小礫の捕捉も考慮する必要がでてきました。この場合、従来の構造部材は礫捕捉用部材と兼用していましたが、小礫を捕捉するように構造部材を配置すると不経済な設計になることがあります。そこで、小礫の捕捉を目的に機能部材という考え方が出てきました。

改訂された「便覧」においては、「構造部材は、鋼製砂防えん堤を構成する部材の中で、主に形状を保持することを目的として力学的な抵抗力を必要とする部材である。土石流や流木を捕捉する目的で配置された機能部材を支える部材であり、機能部材を兼用する場合もある。」とされる一方、「機能部材は、透過型砂防えん堤の透過部断面に設置される部材のうち、土石流を捕捉する目的で配置される部材である。」とされ、構造部材と機能部材とにわけて定義されました。

土石流を捕捉する場合、機能部材を礫の衝撃力に対して許容応力度内に納めると相当太い鋼管を使うこととなります(鋼管径を上げると断面性能は上がりますが、礫の衝突に対する抵抗は板厚の方が効いてくるので、どうしても太くなります)。また、機能部材は礫の捕捉を目的としているため、礫の直撃を受ける部材となり、破損の度合いが構造部材より高くなります。そのため、「外力作用時に部材が破断せず、部材が所定の位置に留まっていれば礫の捕捉機能を保持できるため、塑性変形を許容する」とされました。これは鋼管のへこみや塑性変形で礫衝突のエネルギーを吸収しようというもので、どれだけ変形しようが部材が取れなければ礫の捕捉機能が保持されればオーケーという考え方です。

一方、構造部材は鋼製透過型砂防えん堤を構成する部材の中で、主に形状を保持することを目的として力学的な抵抗力を必要とする部材で、機能部材で受け止めた土石流や堆砂圧を機能部材を通して受け止め、地盤に伝達します。このため、構造部材は重力式砂防えん堤の安定計算に用いる荷重に対して許容応力度法で設計します。したがって一般的には、土石流捕捉後除石すれば何回でも供用できることとなります。

今後は、主に形状を保持するための構造部材と、礫を捕捉する部材としての機能部材という考え方により、より現地条件に適合した合理的な計画、設計がなされていくことが期待されます。

最大礫径の設定方法などについて

礫径調査で設定される最大礫径は、部材間隔と礫径

図-3 2辺平均径と3辺平均径の差

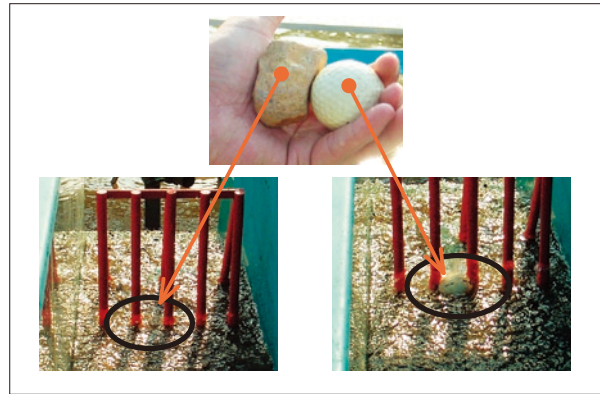
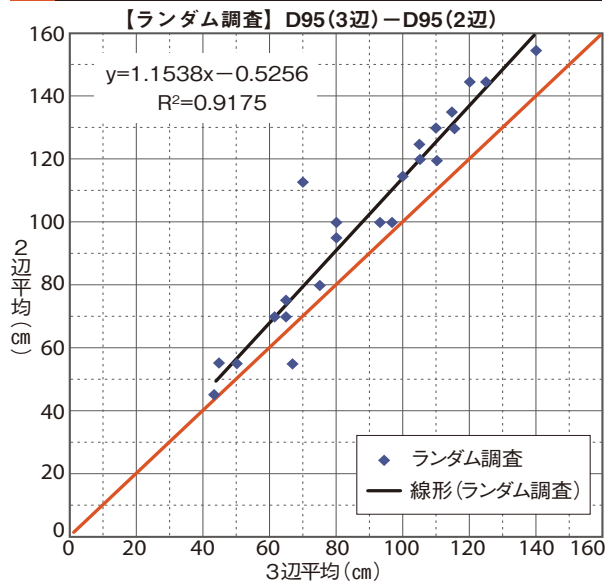


写真-1 単独で流下した場合の礫捕捉

の関係で土石流を捕捉できるか、平常時に流砂を通過させるかを定めるわけですから、透過型砂防えん堤の機能設定に最も重要な項目です。しかし、これまで礫径の計測方法などの妥当性について必ずしも十分に検討されてきませんでした。例えば、礫径は3辺の平均を取っていましたが、どこを測定するのか曖昧でした。改訂された「便覧」では「地表面上で確認できる2辺(深さ方向を除く)の平均値」とされています。

改定前の「便覧」では、「巨礫の粒径は、その横径、縦径、高さの3辺の平均値を礫径」とされていましたが、「深さ方向は埋もれている場合が多く、測定値が曖昧なため、露出している横径と縦径の2辺を測定してその平均値を礫径とする」されました。

図-3は2辺平均値と3辺平均値を比較したものです。一般には、3辺より2辺のほうの礫径が大きくなる傾向があります。これは、先ほど述べたように埋まっている方向が3辺で一番短い場合が多いからであると考えられます。

必ずしも3辺平均値によることが合理的ではないという例を簡単な水理実験で紹介します。**写真-1**は、石とゴルフボールを流して部材に引っかかるかどうか調べたものです。選んだ石は、3辺の平均値がゴルフボールの直径になったものです。写真の縦部材間隔はゴルフボールより若干小さく設定しています。ゴルフボールは部材に引っかかりましたが、石は通過しました。この結果は部材に引っかかるかどうかは3辺の平均値で決まるのではなく石が部材にあたるとき、石の長辺なら引っかかり、短辺(縦部材間隔より小さい)なら通過するというを示しています。

実際の土石流は礫の集合がえん堤に到達して部材を閉塞させるので、礫が透過部を埋めるかどうかということに着目する必要があります。これは、閉塞型の透過型砂防えん堤の開口部の幅の設定に関して着目すべきことです。便覧では閉塞型の透過型砂防えん堤の「開口部の幅は、現地形の谷幅に配慮して土石流が流下すると判断される谷幅程度に設定するものとする。ただし、最下流に設置する場合、下流河道や保全対象への影響に配慮して谷幅よりも狭くしている例もある。」とされています。

石礫による開口部の閉塞は礫のアーチアクションが期待でき、アーチアクションが期待できる礫径は部材間隔の $1/2$ 以上と考えられることから、開口部の高さや面積、部材間隔の $1/2$ 以上の礫の個数、アーチアクションに寄与する礫の総面積、などの値により開口部の幅を検討しますが、これについては「便覧」p62のQ&Aに示されていますので参考にしてください。

腐食しろ及び余裕しろについて

鉄は錆びる。これが鉄の最大の弱点といえます。錆の発生は耐久性に影響するので、何らかの錆び対策が必要になります。鋼製砂防構造物は、山間地に設置されることから市街地に建設される橋梁のように塗装の塗り直しが容易ではありません。そこで、耐用年数を向上させるために腐食しろが設けられています。したがって鋼製砂防構造物は「無塗装」で良い訳ですが、やはり錆びの発生及び進行を遅らせる塗装は、それだけ耐用年数が伸びる訳ですから有効な手段です。

腐食しろは、「便覧」では「酸性河川を除き片面0.5mmとする。ただし、小径礫の捕捉を目的とした機能部材は、取り替えを前提に腐食しろを設けなくてもよい。」とされています。腐食しろは砂防分野に関わらず鋼構造の共

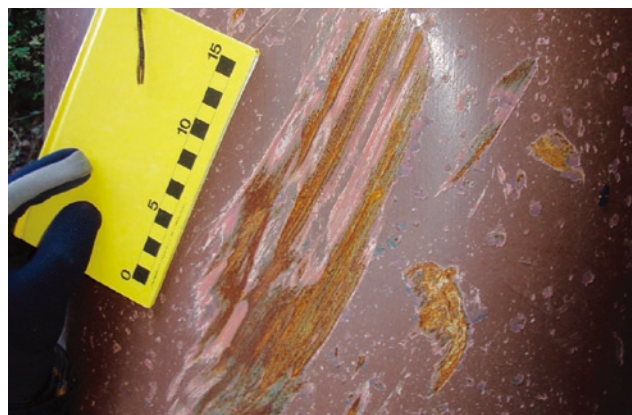


写真-2 礫衝突による擦痕

通の問題なので、既往のデータが参考になります。鋼製砂防構造物についても、(社)鋼材倶楽部のデータなどが参考とされましたが、建設予定地点近隣の鋼製構造物の腐食に関するデータがあれば、それを参考に設定してよいと考えられます。

一方、土石流対策として鋼製透過型砂防えん堤を採用する場合、砂礫の摩耗や礫の擦痕**写真-2**による断面低減といった砂防独自の現象について考慮しておく必要があります。便覧では「現地の土砂移動実態を考慮して鋼材の有効断面厚に余裕しろを設け、鋼製砂防構造物の安全性を高める」とされ、土石流の直撃を受ける最上流部材と底版近傍の砂礫が通過する箇所位置する鋼管部材は、余裕しろを3.5mm設けることとなっています。また、その他の部材(最上流部材や底版近傍以外の部材)は原則として余裕しろは設けなくても良い、継ぎ手部は片面1.0mmとされ、部材の位置や機能に対応した余裕しろが設定されました。

おわりに

本稿では、紙面の都合により改訂された「鋼製砂防構造物設計便覧」の内容の一部にしか触れることができませんでした。本稿以外のことも含めて、当センターのホームページ上に鋼製砂防構造物に関するQ&Aコーナー(注)を設けていますので、ご意見ご質問等を積極的に寄せいただければ幸いです。

文中にも記述しましたように自然現象の多様性を考慮すると、今後、さらに研究、知見を重ねていく必要があると考えられます。当センターでは引き続き自主研究により鋼製砂防構造物に関する検討を進めていくこととしておりますので、読者諸賢の今後のさらなるご支援、ご鞭撻をよろしく願います。

注) <http://www.stc.or.jp/06structure/002frame.html>