

縦ビーム式透過型砂防堰堤の実現可能性

株式会社共生 ○時任基弘・渡部昭子
京都大学名誉教授 水山高久

1. はじめに

現行の土石流対応の透過型砂防堰堤は国土交通省の分類によれば、鋼構造である鋼管フレーム型と鋼材とコンクリートの複合構造であるというようなバットレス型(HBBO+型)に分類される。それらの透過部断面については、前者は鋼管のフレーム構造であるから格子形に、後者は鋼管をバットレスに抱かせるから横長形にというように、構造に従っているといえる。

一方、縦長形の透過部断面をもつ(以下では縦ビーム式という)砂防堰堤としては現状では設置されていない。ただし、砂防堰堤でなければ、図-1 に示すような縦ビーム式の土砂災害対策工(VCCO 型)は、応急対策工、流木捕捉工、道路防災工などとして、すでに全国で相当数設置されてきた。構造的には片持ち梁式逆T型というものである。土石流等の捕捉実績もつまれてきたので、柱高を低目に抑えれば砂防堰堤として使える可能性も備わってきたように考えられる。

ここでは、縦ビーム式土砂災害対策工の位置づけと特長、その対策工の各種事例、静的モデル実験と動的(衝突)実物実験による中詰鋼管等の曲げ特性、天端梁をもつ単純梁型式による縦ビーム式堰堤(VCSO 型)の構想など、縦ビーム式土砂災害対策工について多様な視点から紹介する。

2. 縦ビーム式土砂災害対策工の位置づけ

透過型堰堤において、縦ビーム式あるいは横ビーム式というようなビーム形態は、とくに構造力学面によって設定される。構造力学面とはいっても、ビームを支持する構造システムからすると、直接的に開口高に関係してくることになる。

図-2 に示すように、理想的にはビーム形態は開口高が低めであれば縦ビーム式に、高めであれば横ビーム式になる。縦ビーム式では鋼管等を継がない限り、運搬上の制約から開口高は6~8m程度に制限され、それが実用的な上限になりそうである。片持ち梁式では、構造安定面から無理のない、また実績からも見られるように、対象とする開口高は4~5m程度まで

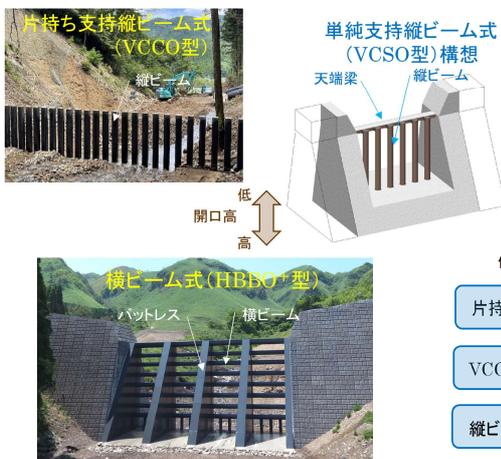


図-1 縦ビーム式と横ビーム式の土砂災害対策工

図-2 開口高によるビーム形態

でに収まる。それ以上の高さになると、後記の天端梁で支持する単純梁型式(VCSO 型)が考えられる。

一方、横ビーム式の HBBO+型では、横ビームはバットレスで支持されることになるので、実際にその安定性によって開口高の上限が設定されるようなことはない。したがって、高めから中程度まで対象とする開口高の範囲は広がる。

3. 実験による縦ビームの種類別曲げ特性

(1) 静的モデル実験

縦ビームの候補にあがる3種類(CFT・礫詰鋼管等)の曲げ特性を調べるため、図-4 に示すように、スパン 1.0m で単純支持したモデルビームを対象に静的荷重実験を行った。なお、単純支持ビームの半スパン分に着目すれば、支点反力を荷重とした 0.5m 長(高)の片持ちビームと見なすこともできる。

図-3 の左側には、3種類の単純支持されたビームに対して中央に荷重した場合の荷重点におけるストロークあるいは中央下端でのたわみ(たわみ角)と荷重の関係および右側にはそれと吸収エネルギーの関係を示す。

これらの関係図からモデルビームの種類別の曲げ特性について以下のようにいえる。

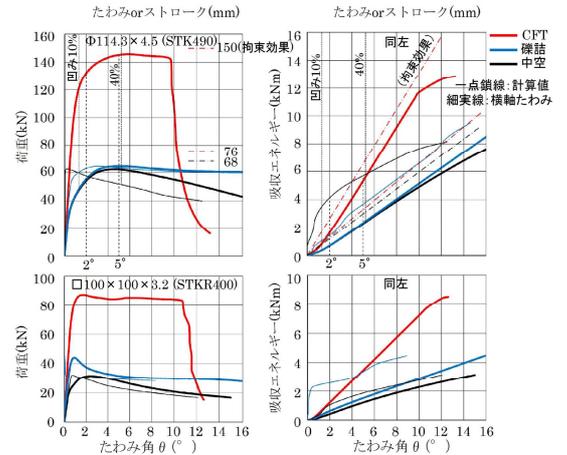


図-3 たわみ角等と荷重あるいは吸収エネルギーの関係

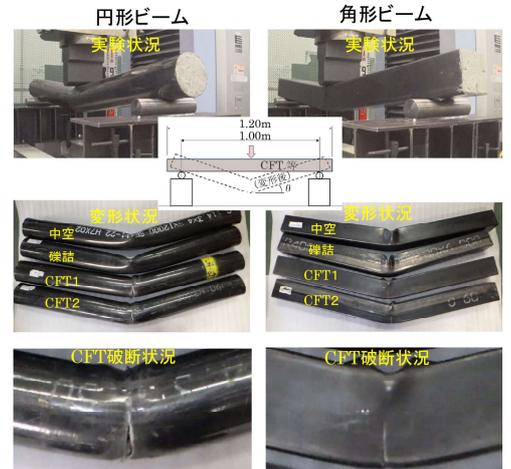


図-4 単純梁モデルビームの静的荷重状況と変形状況

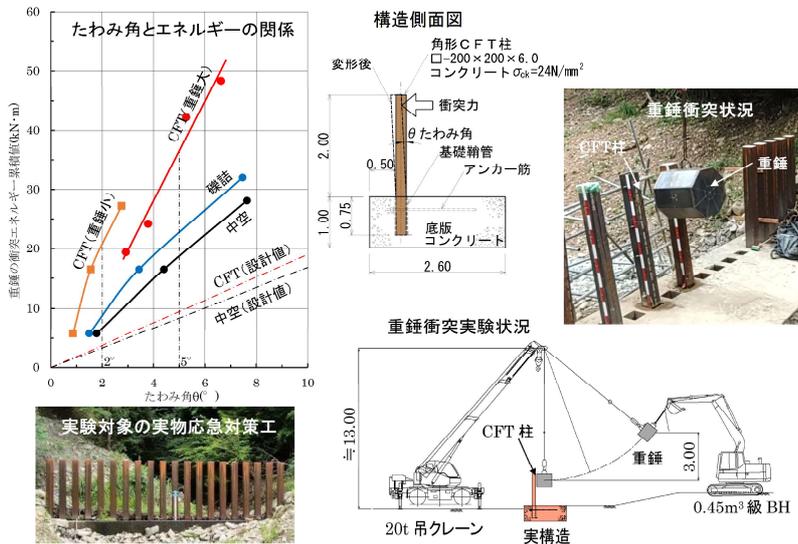


図-5 実物縦ビーム（片持ち梁）の衝突実験状況と結果

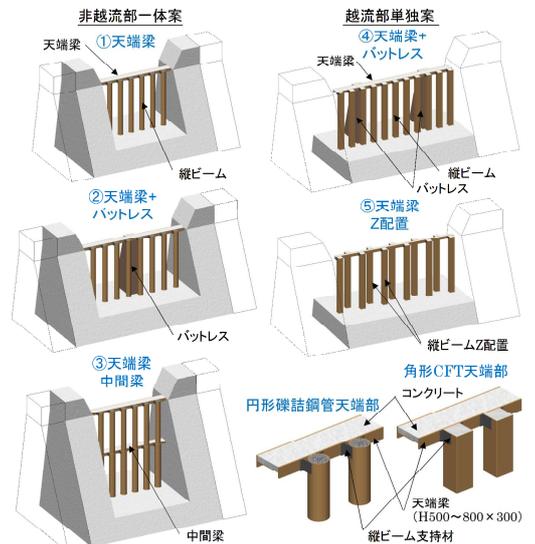


図-6 VCSO 型のタイプ別構造概要

- CFT の最大荷重は鋼管の拘束による合成効果が発揮されて、円形、角形とも中空のそれの 2.5 倍程度であり、たわみ角に応じた耐力低下も小さい。ただし、たわみ角が 10° 程度で鋼管に引張亀裂が生じ、急激な耐力低下が起きる。
- 礫詰鋼管の最大荷重は、鋼管の凹み変形が抑えられる効果によって、円形鋼管では中空よりも少々大きくなる程度であるが、そこからの耐力低下は小さいものに留まる。
- たわみ角に応じた各ビームの吸収エネルギーについても、荷重とたわみ曲線の積分値からもとまるので、上記した相対的関係とほぼ同様なことがいえる。
- 現行の設計で用いている礫や流木の衝突による CFT のたわみ限界角度の 2°（仮設で 5°）に対する吸収エネルギーは、最大吸収エネルギーに対して 7 程度（仮設 2.5 程度）という大きい安全率をもつことになる。
- なお、中空鋼管の実験による最大荷重は、降伏強度からもとまる計算値よりも凹みの影響を受けて 10%弱小さくなる。一方、CFT の実験による最大荷重は設計計算値よりも 2 倍程度大きくなる。この最大荷重は、鋼管の拘束圧による強度増加を見込んだ中詰コンクリートが全断面有効に合成効果を発揮するとした場合の降伏強度からもとまる計算値によってほぼ推定できる。

(2) 動的（衝突）実物実験

図-5 は、応急対策工として利用された実物の片持ち梁式逆 T 型構造に重錘を衝突させた実験の状況等と実験結果を示したものである。左上のたわみ角と構造の吸収エネルギー（重錘衝突エネルギーの累積値）の関係図に示すように、中空鋼管、礫詰鋼管、CFT についての吸収エネルギーの相対的な関係は、静的実験結果と大差はない。ただし、吸収エネルギーの実験値は設計計算値と比べて 4 倍弱と静的実験よりもその違いは大きくなる。その理由として、載荷速度が大きくなるに伴い吸収エネルギーも大きくなる傾向にあること、底版コンクリートと基礎地盤を含めた構造全体系の動的挙動による吸収エネルギーもあること、などが考えられる。

両方の実験結果にもとづくと、CFT 柱と底版コンクリートからなる VCCO 型は安全余裕度の高い（余剰耐力の大きい）土砂

災害対策工といえる。なお、礫詰鋼管柱についても程度は小さいながら鋼管の変形が拘束されることによるエネルギー吸収能力を高める効果が期待される。両者による現場に応じた適材適所での使い分けが可能になる。

4. 縦ビーム式砂防堰堤 VCSO 型の構想

その単純梁型式の縦ビーム構造である VCSO 型として考えられるタイプの構造イメージを図-6 に示す。VCSO 型は開口幅の広狭によって大きく 2 つの構造ブロックに分けられる。開口幅が狭い場合には、縦ビームをその上端部で支える天端梁を非越流部の堤体が支持する。その場合、越流部と非越流部が一体化され、ひとつのブロックを形成することになる。天端高が少々高くなれば、高さ方向に中間梁を設ける。天端幅が少々広くなれば、幅方向に中間バットレスを設けることになる。開口幅が広い場合には、天端梁を中間バットレス 2 基で支持する。あるいは天端梁の上下流に縦ビームを Z（ジグザグ）配置して、一種のラーメン構造とする。この場合は、越流部単独でひとつのブロックが形成される。

縦ビームには、円形礫詰鋼管あるいは角形 CFT を適材適所で使うことを考える。実際的には、主に土石流の外力規模、その他には維持管理性や経済性などから選定される。

5. おわりに

「形態は機能に従う (Form follows function)」という言葉がある。これをもじると、ビーム形態は開口高に従うということになるであろう。具体的には、開口高が低めだと縦ビーム配置、高めだと横ビーム配置になる。

そうなる理由は、まさにビームの安定性を確保するための構造システムへの適応性からだとはいえる。開口高が低ければ無理をせず片持ち梁型式の縦ビームだけで安定性は保てる。少し高くなれば天端梁を加えて縦ビームを支え、高くなれば両端バットレスで横ビームを支える構造というような流れで考えることになる。

そのような透過型である VCCO 型、VCSO 型、HBBO+型という連の堤体構造が、今後のあるべき砂防堰堤のカタチを示していると考えられる。