

78 鋼材に対する流木の衝撃力に関する実験的研究

川鉄建材工業株式会社 ○浅井信秀

建設省土木研究所

水山高久 石川芳治

1. はじめに

砂防構造物、とくに鋼製砂防構造物の設計では構造物全体の安定とともに部材の安全を確かめることが重要である。部材に作用する力としては、流体力や堆砂圧のように静的に加わる力の他に土石流中に含まれる礫や流木による衝撃力がある。静的な力については設計指針があるが、衝撃的な力についてのそれはないのが現状である。これに対して鋼材に礫が衝突する場合を想定して、鋼材に鋼球を衝突させる実験と解析⁽¹⁾が行われてきている。しかしながら、流木の衝撃力についての研究は一部の理論的解析⁽²⁾を除いてほとんどされていない。今回の研究はこの流木の衝撃力について検討したものであり、実際の鋼製流木止め設計の際の参考になるようにした。

2. 実験の目的

鋼製流木止めを設計するとき、設計荷重として鋼材に対する流木の衝撃力を算定することが必要となる。今回の実験は実物大の流木（丸太）を鋼材に衝突させ鋼材の変形状況および変位を計測し、鋼製流木止め設計の際の部材選定の参考にすることを目的とする。言い換えると、鋼材に対する流木の衝突の評価法を求めることを目的とする。さらに、球形の自然石を鋼材に衝突させる実験も併せて行い、流木による衝撃力と比較した。また、静的载荷実験も行い、鋼材の静的なエネルギー吸収能を検討した。

3. 実験の概要

3.1. 静的载荷実験

実験には500トンの万能試験機を用いた。実験の概要

を図-1に示す。载荷はサイクル载荷として行った。载荷方法は変位制御とし、载荷速度は1mm/分とした。ただし、変位量が大いときは3mm/分まで速くした。測定項目は、载荷荷重と鋼材の中央線に沿った変位である。実験に用いた鋼材は鋼管2種類（ $\phi 89.1, t=3.2$ ； $\phi 114.3, t=4.5$ ）と、H形鋼2種類（H-100x50x5x7；H-100x100x6x8）である。

3.2. 衝撃実験

実験の概要を図-2に示す。衝突は各ケース3回行い、各回衝突後、鋼材の中央線に沿った変位（残留塑性変位）を計測した。実験に用いた鋼材は静的载荷実験と同じH形鋼2種類と鋼管2種類である。丸太は直径約30cm、長さ約1.5m、重量44kgfの円柱状の杉を用いた。石は直径約30cm、重量

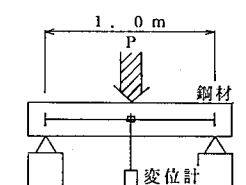


図-1 静的载荷
実験の概要

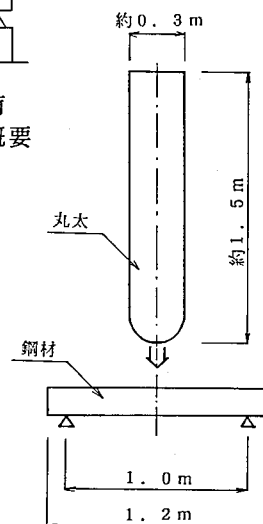


図-2 衝撃実験
の概要

約45kgfの球を用いた。実験タイプは表-1に示すように衝突体の違いによって3種類のタイプに分類される。すなわち、タイプ1とタイプ2の違いは衝突体と同じ衝突面形状であるが材質が石と丸太の違いであり、タイプ2とタイプ3の違いは衝突体と同じ丸太でも衝突面の形状が球面と円形（平面）との違いである。

表-1 実験タイプ（衝撃実験）

タイプ	タイプ1	タイプ2	タイプ3
衝突体	石 球	丸 太	丸 太
衝突体の形状			

4. 実験結果

4.1. 静的载荷実験

载荷荷重と鋼材の変位の関係を図-3に示す。この結果より、残留塑性変位と静的エネルギー吸収能の関係を求めてみる。図-4に静的エネルギー吸収能の概念図を示す。すなわち、残留塑性変位 δ_0 に対応する静的エネルギー吸収能は、除荷する直前の最大変位 δ_m までの载荷荷重を変位について積分した値（図で斜線で示す）とする。残留塑性変位と静的エネルギー吸収能の関係を図-5に示す。今回の実験の範囲では両者の関係はほぼ直線で表される。

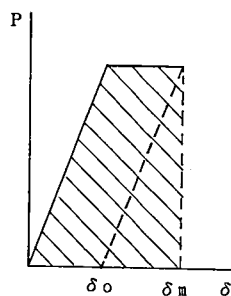


図-4 静的エネルギー吸収能

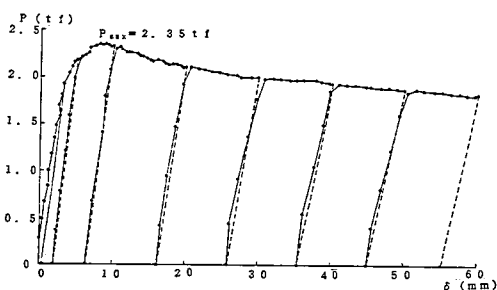


図-3 载荷荷重と鋼材の変位（ $\phi 89.1$ ）

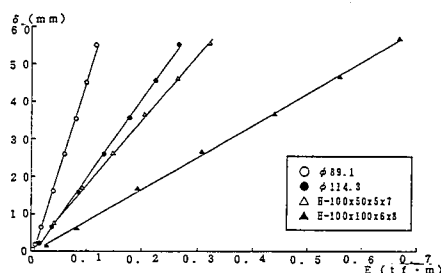


図-5 静的エネルギー吸収能と残留塑性変位

4.2. 衝突エネルギーと残留塑性変位

鋼材に対する丸太および石球の衝撃を衝突時の運動エネルギーで表すこととし、実際の計算にあたっては衝突体のもつ位置エネルギーで置き換えた。複数回目に衝突させたときの衝突エネルギーは、1回の衝突エネルギーを同数倍したものを累積衝突エネルギーとした（ $\Sigma E = n \cdot E$ ）。累積衝突エネルギーと残留塑性変位の関係を図-

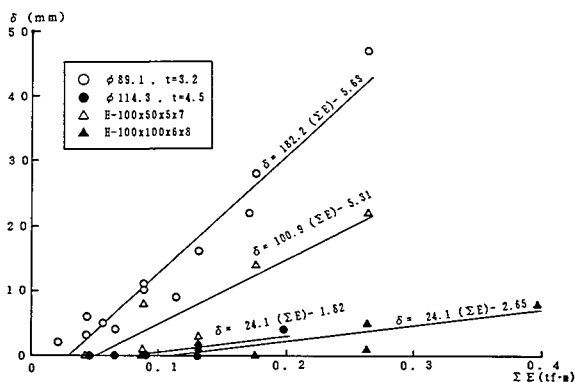


図-6 累積衝突エネルギーと残留塑性変位（タイプ2）

6に示す。これらの図より以下のことがわかる。今回の実験の範囲において、①累積衝突エネルギーと残留塑性変位は線形の関係にある。②塑性変位は1回の衝突エネルギーがある値（弾性限界衝突エネルギー）以上で生じ、それ以下ではほとんど認められない（弾性変形のみである）。弾性限界衝突

エネルギーは、鋼材、衝突体の違いによって異なっている。

4.3. 衝突体の材質、形状の違いによる衝撃力の差

任意の2つのタイプについて同値の衝突エネルギーを加えたときの残留塑性変位を比較することによって、鋼材に対する衝撃力の差を検討してみる。まず、石と丸太の衝撃力の差をみるためにタイプ1とタイプ2について比較する。比較する鋼材はデータ数の最も多い $\phi 89.1$ を採用する。図-7に結果を示す。これより、今回の実験では、石と丸太の衝撃力にほとんど差はなかった。一方、衝突面の形状の違いによる衝撃力の差をみるために、タイプ2とタイプ3について比較する。比較する鋼材はデータ数の最も多い $\phi 89.1$ を採用する。図-8に結果を示す。今回の実験では、衝突面の形状が球面である方が平面であるよりも大きな衝撃力であった。

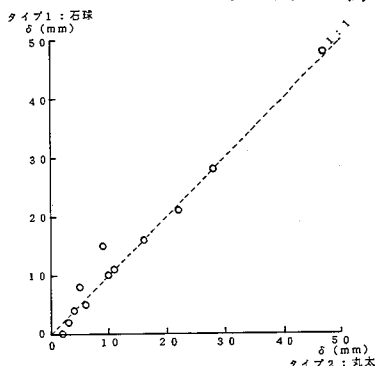


図-7 石球と丸太の衝撃力の差
(タイプ1とタイプ2)

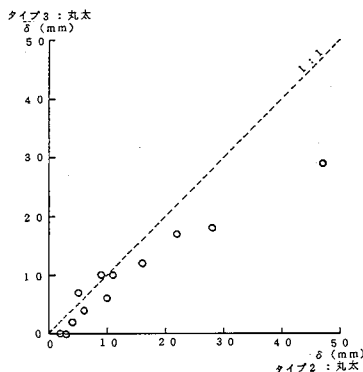


図-8 衝突面の形状の違いによる衝撃力の差
(タイプ2とタイプ3)

4.4. 静的エネルギー吸収能と衝突エネルギー吸収能

ここで述べる衝突エネルギー吸収能とは、ある残留塑性変位に対応する累積衝突エネルギーとする。図-5と図-6より、静的エネルギー吸収能と衝突エネルギー吸収能の比を求めてみると図-9のようになる。横軸は残留塑性変位を採る。縦軸は同値の残留塑性変位に対応する衝突エネルギー吸収能と静的エネルギー吸収能の比を採る。この図より、鋼材によってかなりばらつきがあるが静的エネルギー吸収能から衝突エネルギー吸収能を推定する1つの目安になると考える。

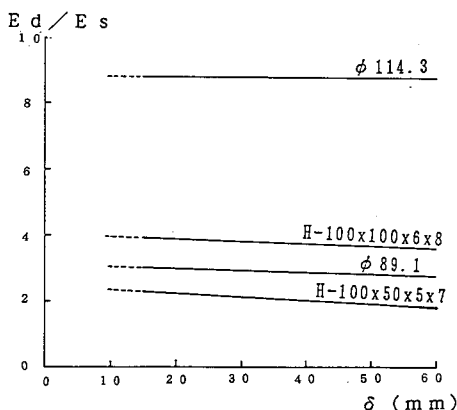


図-9 衝突エネルギーと
静的エネルギー吸収能の比

5. 鋼製流木止め設計への適用

前節に述べた実験結果より、衝突エネルギーと塑性変位関係の考え方に基づく鋼製流木止め部材の設計手順を考えてみる。図-10に流木止め用鋼製部材選定フローを示す。まず、流木止めの機能上問題のないような部材の許容変位 δ_0 を決定し、流木止め用部材としてある鋼材を仮定する。その鋼材の $E-\delta$ 関係より弾性限界エネルギー E_0 と、許容変位 δ_0 に対するエネルギー E_r を求める。次に、設計外力となる流木の寸法諸元を決定し1本の流木の衝突エネルギー E_k を求める。 E_k が E_0

より小さければ鋼材の弾性範囲内での衝突となるからその部材は合格である。反対に E_k が E_o より大きければ1回の衝突で残留塑性変位を生じることになるので、 E_k に設計衝突回数 n を乗じた $E_c (= n \times E_k)$ と E_r を比較する。 E_r が E_c より大きければその部材は合格である。反対に E_r が E_c より小さければ、鋼材は許容変位 δ_o 以上の残留塑性変位を生じるのでその部材は不合格である。そして断面抵抗力のより大きい部材で E_r が E_c より大きくなるまで繰り返し同様の検討を行う。

6. まとめ

以上の実験および解析より以下の知見が得られた。

今回の実験の範囲において、①累積衝突エネルギーと残留塑性変位は線形の関係にある。②塑性変位を生じる衝突エネルギーの下限値（弾性限界衝突エネルギー）が存在し、鋼材、衝突体の違いによって異なる。③木が衝突する場合と石が衝突する場合とで鋼材の変位にほとんど差はない。④衝突体の衝突面の形状によって、累積衝突エネルギーと残留塑性変位の関係が異なる。⑤衝突エネルギー吸収能と静的エネルギー吸収能の比は鋼材によって異なっている。

7. おわりに

鋼製流木止め設計の際の部材選定の参考とするために、数種の鋼材に丸太および石球を衝突させその応答を検討した。その結果、鋼製流木止め部材選定の1つの考え方を提案した。しかしながら、今回の研究はある特定の条件、ある限られた範囲のもとに行ったものであり一般性あるいは汎用性に欠ける。すなわち、いろいろの鋼材のスパン、支持条件の違いあるいは鋼材が大変形を生じるとき等に対しての適用ができない。今後各種実験を行い一般性あるいは汎用性のある研究を行う必要がある。一方、流木の寸法諸元や衝突速度あるいは衝突回数等の設計条件に対する検討も今後の課題である。最後に本研究を実施するにあたりご協力頂いた建設省土木研究所砂防研究室の諸氏、小林幹男筑波大学生に感謝の意を表します。

参考文献：(1)水山高久、石川芳治、鈴木浩之：鋼製砂防施設部材の衝撃応答実験報告書，土木研究所資料，第2600号，昭和63年2月

(2)水原邦夫、武居有恒、南哲行：流木の流下阻止に関する基礎的研究（Ⅱ）－柵状構造物における流木の衝撃力と堰止め率－，新砂防，第114号，昭和55年3月

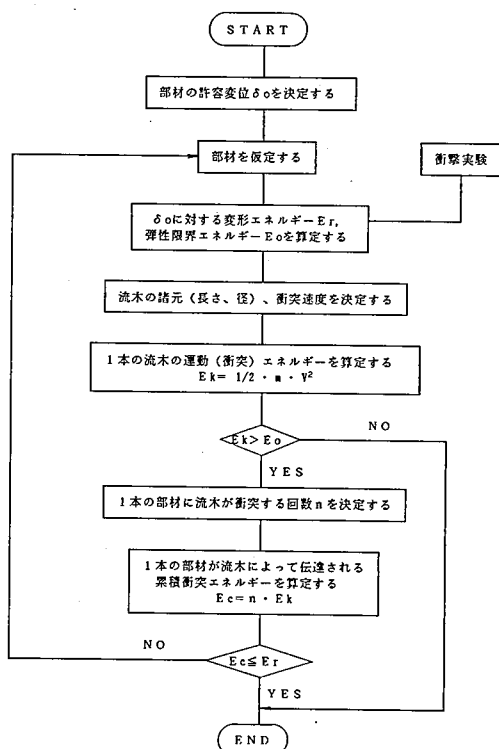


図 10 流木止め用鋼製部材選定フロー