

I - 1

各種形状の重錘落下実験における落下速度とその考察

(株) 構研エンジニアリング	正 会 員	牛 渡 裕 二
北海道開発局 開発土木研究所	正 会 員	佐 藤 昌 志
北海道開発局 開発土木研究所	正 会 員	今 野 久 志
北海道大学	フェロー	三 上 隆

1 まえがき

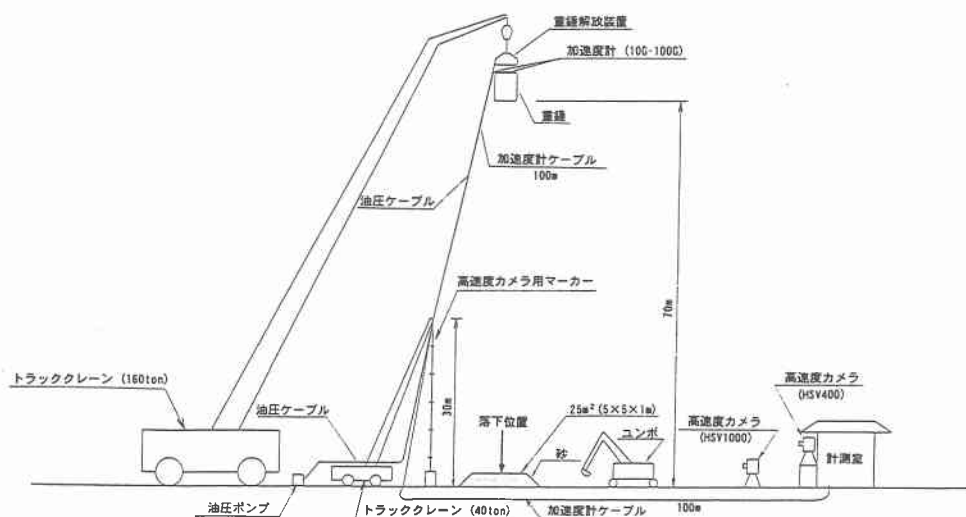
落石対策工を検討するにあたって、落石の運動エネルギーを適切に評価する事が重要である。落石現象はさまざまな原因が複雑に関連しあって生ずる事が多く、その形態も複雑であり、発生位置規模等の予測も著しく困難なものである。既往の実験では斜面での転落型の実験が多く報告されており、斜面が長大となり、落下高さが40mを超えると落石速度が一定値(終端速度)に達する傾向にある事も実証されている。しかしながら、実際には100mを超えるほぼ垂直あるいはオーバーハングを呈している斜面も存在し落石の形態が自由落下に近い場合もある。そこで本論では最大70mからの各種形状の重錘の落下実験を行ったので、これを報告する。

2 実験概要

2.1 実験方法

本実験は形状及び重量の差異による落下速度の相違を確認するため、クレーンで高さ20mから70mまで吊り上げ自由落下させ、その状況を高速カメラにより撮影し、その映像より地上から30mまで5m間隔での重錘落下の区間速度を測定した。他の平均速度計測値と比較し、高速度カメラでの速度計測値は、接地寸前においての短い距離で計測していることから、平均速度の有効値は60m程度までと考えられる。

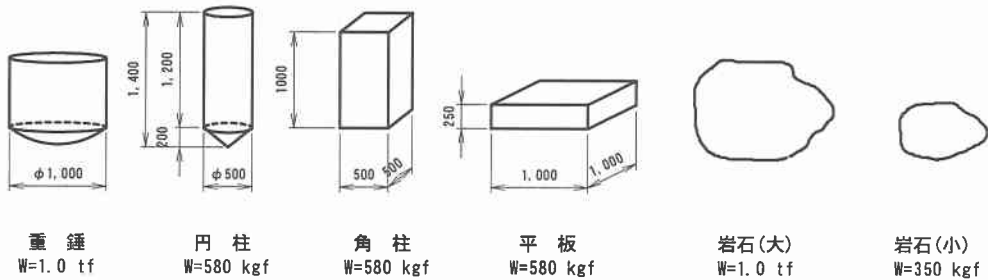
実 験 概 要 図



A study of weight falling speed by the result of tests with various weight shape
by Yuji USHIWATARI, Masashi SATO, Hisashi KONNO and Takashi MIKAMI

2.2 供試体の諸元

落下速度は供試体の重量と空気抵抗の差が大きな要因となると考え下図に示す供試体を用いた。



3 実験結果と考察

実験から得られた落下高さとの関係を図－3～図－6に示す。また表－1は実験で得られた最大速度より式－1を用いて算出した空気抵抗及び空気抵抗と自重との比を表した。この時 C_D は一般的な値で重錘及び岩石は1.2を角柱及び円柱は1.5をそして平板は2.3(1.5)を用いた(デザインデータブックに記載)。

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot C_D \cdot A \quad \cdots \text{式－1 (振動便覧 土木学会 より引用)}$$

ここで D : 抵抗力 (kgf)
 ρ : 空気の密度 ($\rho = 0.125 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4$)
 V : 速度 (m / sec^2)
 C_D : 抗力係数
 A : 投影面積 (m^2)

表－1の D/W と図－3～図－6を関連付けて数値を解析すると円柱及び角柱の様に投影面積の小さなものは抵抗力が小さく落下速度もほぼ自由落下と一致する。また、落石(大)の様に抵抗力に対して自重の重いものに関しても同様となる。しかし、重錘や岩石(小)の様に抵抗力に対して比較的自重が小さいものについては落下速度はわずかに小さな値を示す。平板については2回の落下試験を行った内、1回はほぼ自由落下と一致しもう一回は大きく下回った結果が得られたが、これは落下時に回転を起こしたか起こさないかの差と考え、回転を起こさない方は他の供試体より抵抗力が自重に比較し大きいため落下速度は小さな値となったと判断される。しかし、回転したと考えられる方は、抵抗力が最も小さく成るように回転を起こしたと考えられ自由落下と一致したと思われる。

また、本実験では既往の斜面での落下実験で落下速度が一樣になる40mを大きく上回る高さより行ったが、落下速度が収束するにはいたらなかった。これは斜面と重錘の摩擦抵抗と比較すると空気抵抗が非常に小さいためと考えられる。

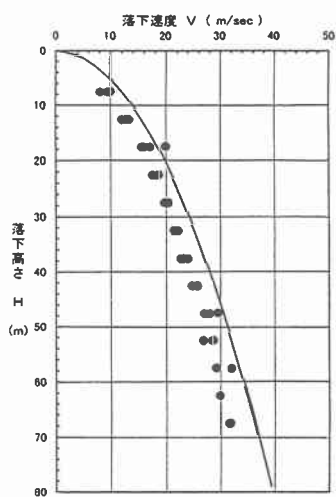


図-3 重錘 $W=1.0\text{tf}$

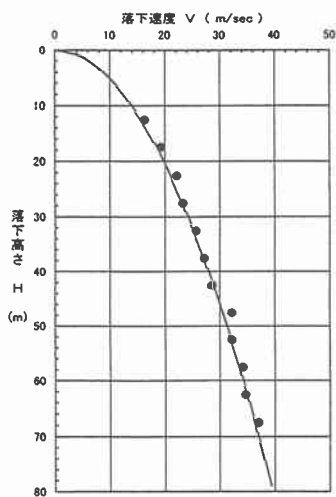


図-4 円柱 $W=580\text{kgf}$

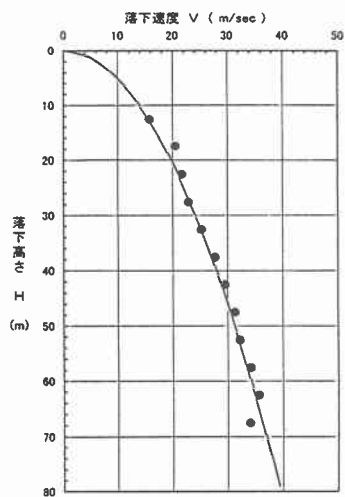


図-5 角柱 $W=580\text{kgf}$

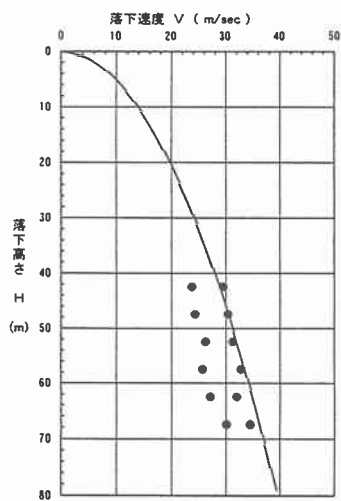


図-6 平板 $W=580\text{kgf}$

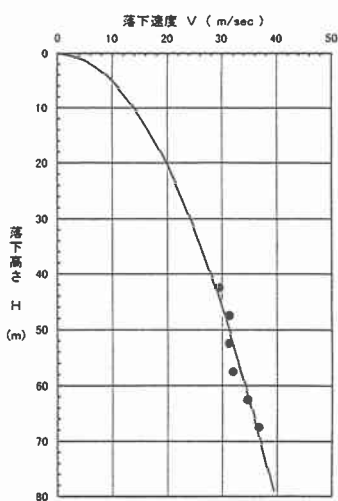


図-7 岩石(大) $W=1.0\text{tf}$

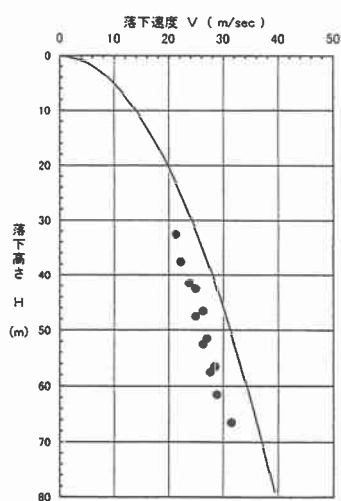


図-8 岩石(小) $W=350\text{kgf}$

形 状	抵抗力算出式	落下速度(m/sec ²)	空気抵抗力(kgf)	D/W (%)
重 錘	$0.0736 \cdot V^2$	29.07	62.20	6.22
円 柱	$0.0184 \cdot V^2$	34.25	21.58	3.72
角 柱	$0.0234 \cdot V^2$	34.25	27.45	4.73
平 板	$0.1438 \cdot V^2$ ($0.0234 \cdot V^2$)	25.77 (32.89)	95.50 (25.31)	16.47 (4.36)
岩石(大)	$0.0907 \cdot V^2$	32.05	49.31	4.93
岩石(小)	$0.0238 \cdot V^2$	28.41	19.21	5.49

表 — 1

4 まとめ

本研究では形状及び重量の異なる重錘の落下実験を行なった。本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下の様になる。

- (1) 投影面積の小さなものは自由落下とほぼ一致する。
- (2) 自重と比較し抵抗力が大きいものは空気抵抗の影響を受け落下速度が落ちる。
- (3) 空気抵抗力は重錘と斜面との摩擦力に比較し小さいため 7 0 m 程度では落下速度は収束しない。
- (4) 躯体形状により落下速度は異なるがこれに回転が伴うと同一形状であっても落下速度は異なる。

5 あとがき

今回、筆者らが行った実験を通して、重錘の重さ及び形状が与える落下高さとの関係が明らかになった。しかし、現実の落石を考慮した場合、まだまだ複雑な要因が絡んでくるため（ある区間が斜面転落型である区間が自由落下になる様な複合てきな落下形態となる）、落石エネルギーの算出における課題は少なくないと認識している。今後さらに、落石対策工の設計を行う上での落石エネルギーの定量化を目的に検討を続ける所存である。

参考文献

- 1) 落石対策便覧：社団法人 日本道路協会
- 2) 振動便覧：土木学会土木振動学便覧編集小委員会
- 3) デザインデータブック：社団法人 日本橋梁建設協会