

神戸製鋼所 正員 肥後 春生
 ” 名況 耶 亘
 神戸大学 正員 畑中 元弘

1. 概 述

交通安全施設の重要度は近年とくに増大しているが、落石防止柵の動的性能把握の実験はこれまで行われていないようである。このため時代の要求に応じ落石防止柵の動的性能を調べるために、I型支柱に5本のケーブルを張ったもの、およびこれに2種の金網を張った防止柵(延長約50m、柵高1.55m)につき、重量66~600kgの人造および自然石を落下(落下高さ8~20m、斜面角度約45°)させた場合の動的性状衝突後の変形などを調査した。実験条件がかなり限られたものであつたが、打撃回数約100回を行つた巨大落石に対しても十分な強度、緩衝容量を有し、実用上十分な能力を有するものであることが判明した。さらに構成部材の静特性から、動特性をほぼ推算することができることを見出し得たと思ふ。

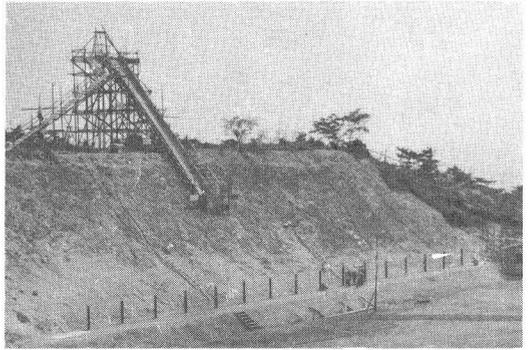


写真-1 試験場全景

2. 実験方法の概要

写真-1および2に試験場の全景、落石防止柵を、また実験方法の概要を図-1に示す。人造落石は66, 100, 400, および600kgの4種類、落下高は8, 13, 16, および20mとした。

測定項目は落石の斜面降下速度、ケーブル張力、支柱(打撃附近の3本)の変位応力および加速度、さらに打撃瞬間の高速度カメラ撮影と打撃後の各部の状態などである。斜面降下速度は光電法、ケーブル張力はロードセル(ストレインゲージ)、支柱の変位は差動変圧器、応力はストレインゲージ、加速度は小型加速度計によつてそれぞれ計測した。これらの計器配置を図-2に示す。

落石の形状は、人造のものでは直径と長さとの等しい円柱形、たゞし600kgの石は長さが直径の1.5倍(ドラム缶大)

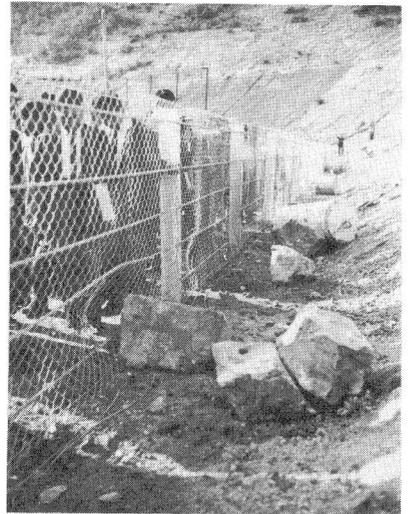


写真-2 落石防止柵

であり、いずれもコンクリート製である。

ケーブルは18mm中.3×7φ、破断強度16tonである。金網は線径3.2mm、網目50mmを主として使用した。このケーブルの代りに線径6mm、網目50×75mmの溶接金網で、1枚の長さ3mものを特殊な継手を用いて張り渡した試験も若干実施した。

支柱はI 150×75×5.5、地上高1.55m、根入れ深さ1.45m、根がらミG.L.下30cm□×100cmコンクリート巻で、土中埋込とし、支柱間隔は3mである。

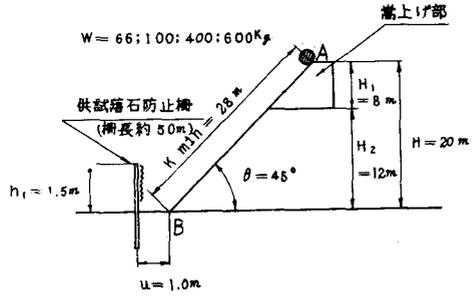


図-1 実験方法の概要

3. 実験成績

落石速度を図-3に示す。この速度は斜面最下端(斜面方向)のものである。破線の曲線は、落下前の位置のエネルギーW.H.がごとごとく線速度になったとした場合のものであり、鎖線はW.H.のうちすべることなく回転しながら落下するときの線速度であり、実験値(実線)との比較のために掲げた。この速度は実験値が示しているように、重量の小さい100kg以下の石では400kg以上の大きい石より速度が遅くなっている。すなわち小さい石は、斜面ではエネルギー損失が比較的大きいことになり、したがって落石防止柵の緩衝容量を定めるには、大きな石によるのが良いことがわかる。

図-4に落石の柵打英位置を示し、重量大の石は比較的下部に集中し、小さい石はバラツキが大きい。したがって柵の高さを定めるには、小さい石の落下によるのが良いことになる。

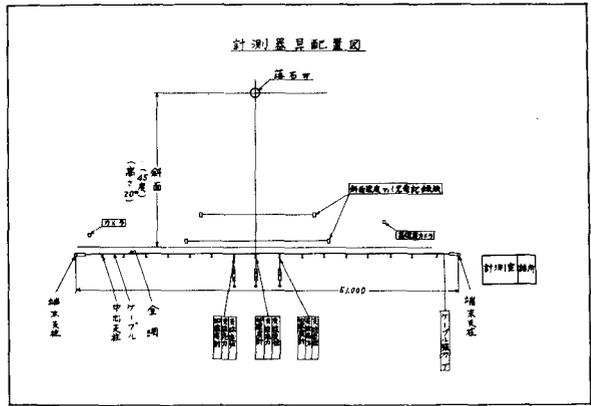


図-2 測定計器配置図

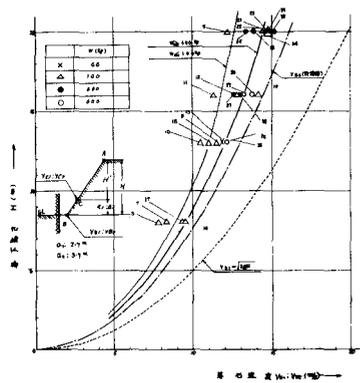


図-3 落石速度

5本のケーブル張力の合計値とWHとの関係を図-5に示し、その吸収エネルギーを図-6に示す。主として打突が支柱の場合には、支柱のエネルギー吸収が先行して起こるので、ケーブル合計張力は低い値となり、打突が支柱以外の際にはケーブル張力および吸収エネルギーが大きくなっている。

ケーブルの強度上の安全度を知るために図-7に1本のケーブルの最大張力を示す。たとえばWH=8cmのとき最大8 tonの張力を示し、これは破断強度の約半であつて、この範囲では弾性限内である。図の△、○、◎は打突が支柱の場合を示し、破断時はその範囲を示す。一般に落石が降下するときには、群がたつて落ちてくるため打突が分布し、時間的にも次々と打当たるので、ケーブルは各個撃破の形でエネルギー吸収をすることになり、この種の防止柵にとっては案外軽い負荷であることが高速度カメラなどによつてわかつた。したがつて防止柵の緩衝容量は単一の大きな落石によつて求めるのが良い。

支柱の変位を図-8に示し、応力を図-9に示す。変位は地上高50cm、応力は10cmの英の値である。支柱の変位は打突付近の最も大きく負荷された支柱1本の変位をとり出して示した。この支柱は既述のようにコクリート巻土中埋込のため、土の変位が主として起こり、支柱本体は取換えることなく10回以上打当てても実用上何ら外観を損しない程度の永久歪を生じたにすぎない。しかしながら大きな負荷の場合、コクリートに亀裂が生じたこともある。なおこの支柱の変位は衝撃力の受援が最大の瞬間におけるものである。支柱の高さはI型鋼の柵面と反対側のフランジ外側での値を示す。この材料はSS41で降伏英は2600 kg/cm²であり、応力はWHが2~3 cm程度ですでに降伏英に達しているが、土と支柱本体とのエネルギー合計割合からみて支柱の比率はごく僅かである。すなわち、WHが5 cm以上の値になつても降伏英を僅かに越えた程度であり

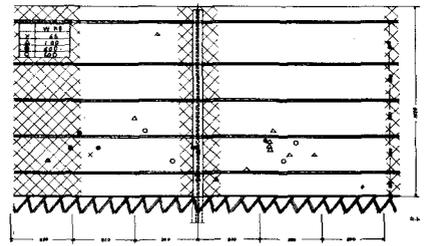


図-4 落石の柵打突位置

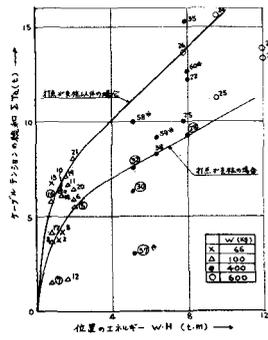


図-5 ケーブル張力の総和

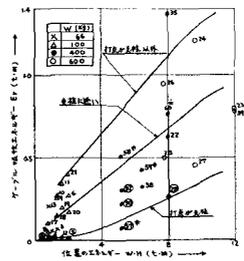


図-6 ケーブルの吸収エネルギー

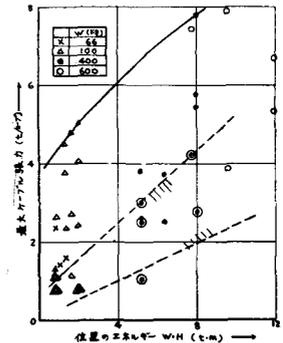


図-7 最大ケーブル張力

永久変位量は僅少であつた。

4. 考察

個々の成績の考察は既述したので、ここではエネルギー精算について述べる。(図-10参照)。落石が落下前に持つ位置のエネルギーは $W \cdot H$ であり、したがつてこれを100%とすると、滑らずに斜面を落下したものとすれば、まず回転エネルギー $\frac{1}{2} I \omega^2$ (0.33%)を失う。斜面下端での落石の線速度の測定値から求めた線速度エネルギー $\frac{1}{2} W \cdot V^2 / 2g$ は $B E E' B'$ となり、したがつて $A B B' A'$ は斜面と落石との摩擦および横びなどによる雑損失であると考えられる。 $B E E' B'$ のうち柵面に直角にたろくエネルギーは $\frac{1}{2}$ (斜面角度 45°)で $C E E' C'$ となり、これが柵を倒そうとする有効成分である。いま各ケーブルおよび支柱の測定値からそれぞれの吸収エネルギーを計算すれば、打突が支柱以外の場合には、ケーブルは $C D D' C'$ となり、また基礎を含めた支柱は $D D' D'$ となる。また打突が支柱の場合では、ケーブルは $F G G' F'$ 、支柱は $G H H' G'$ となる。衝突に興する支柱および埋設土の重量は、本例の場合約2 ton (日本道路協会発行「ガードフェンス設置要綱」付図-11参照)であり、落石重量が400kgの場合を考えれば衝突理論から、F'I'の約8割のエネルギーを支柱と落石が重量に反比例して分担すればよく(同要綱付録1-3参照)G'H'はF'I'との割合は約1:6となるはずである。図-10の実測値ではこの割合は約1:4.5である。なお落石重量100kgの場合は実測値によるJ'F'に対するH'G'の割合が、理論値から期待される値に比べて非常に大きい。落石のもつ鉛直方向のエネルギーを考慮に入れば、図-10のCF'F'C'線はさらに下方にさがるはずであり、本実験の結果は柵面に対する垂直衝突(直行直衝突)の理論で、ある程度説明できるものと思われる。

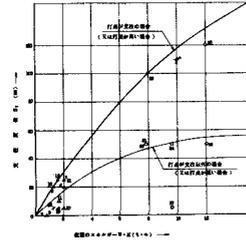


図-8 支柱変位

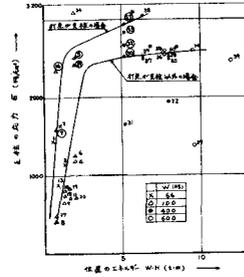


図-9 支柱の応力

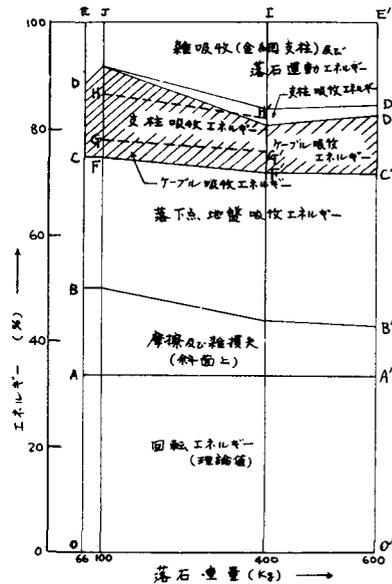


図-10 エネルギー精算図