

金沢大学 正 吉田 博
金沢大学 正 ○ 榎谷 浩
金沢大学 井原 朋美

1. まえがき

落石の恐れのある道路、鉄道では、地形や落石状況に応じて落石覆、落石防止網、落石止擁壁などの防護工が設けられている。一般に落石に対する対策としては、落石の恐れのある石を取り除くなどの発生源対策と落石が生じた場合の道路被害を軽減しようとする道路側の対策の2つに分けられる。本研究は後者を対象としたものである。

道路橋や鉄道橋などにおいては、同じ交通路に敷設される構造物でありながら詳細な理論的および実験的研究が行われ、設計および施工の規準が細部にわたり規定されているのに対し、落石覆に関しては落石による衝撃力に対する規準すら設けられていない。これまでに敷設された多くの落石覆の設計施工における荷重および構造の選択は、現場の状況よりその都度経験工学的に決定されているのが現状である。

落石による衝撃力は落石の重さ、形状、落下高さ、また、衝撃緩衝のためのサンドクッション材の種類、厚さにより異なる。本研究は今までに発表された実験結果および各種の衝撃力算定式を検討し、我々が得た実験結果も考慮し、合理的な衝撃力の算定式決定のための資料を提供するものである。

2. 従来の研究

落石による衝撃力の最初の研究は、鋼材倶楽部の実験報告であり、これによると衝撃力 P は、

$$P = W \cdot \frac{\alpha}{g} \quad (1)$$

にて与えられる。ここに、 W ：落石重量(t)、 α ：衝撃加速度、 g ：重力加速度である。サンドクッション効果として砂厚の増加に対して衝撃加速度が減少することや衝撃土圧分布は重錘端部より45°方向に広がる円形の範囲内に様に分布すると考えてよいと報告されている。

小松沢はクッション材を弾性ばねと仮定し、そのばね上に落石が衝突するものとして、エネルギー法により理論的に衝撃力を次のように求めた。

$$P = 1.619 W^{\frac{5}{6}} R^{\frac{1}{6}} H^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここに、 W ：落石重量(t)、 R ：クッション材のばね係数、 H ：落下高さである。

続いて、吉田らの一連の実験研究があり、落石の衝突時より静止までの静止時間がほぼ一定であることに注目して次式が導かれている。

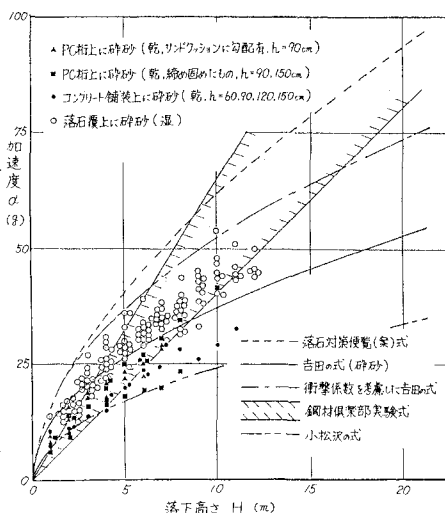


図-1 落下高さと衝撃加速度

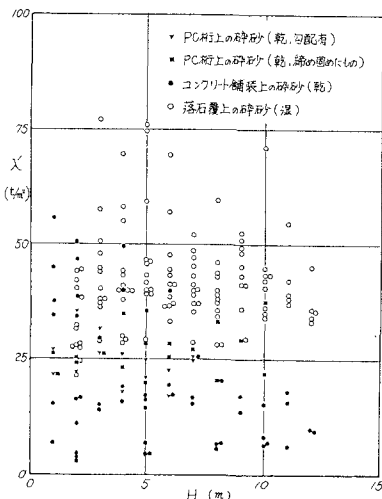


図-2 落下高さとラメ定数

$$P = 2\alpha \frac{V}{g} \frac{W}{T_0} \quad (3)$$

ここに、 $V = \sqrt{2gh}$ ；衝突時の落石の速度、 g ；重力加速度、 T_0 ；落石の静止時間、 α ；緩衝材の種類による係数、 α および T_0 は緩衝材の種類により次の値を用いる。ここに、砕砂： $\alpha = 1.12$ 、 $T_0 = 0.0102W + 0.0755$ 、海砂： $\alpha = 1.26$ 、 $T_0 = 0.0051W + 0.0614$ 、山砂： $\alpha = 1.21$ 、 $T_0 = 0.0220W + 0.0485$ である。

また、落石および緩衝材を弾性体と考え、Hertzの衝突理論を用いて導いた落石対策便覧(案)の式

$$P = 2.455 W^{\frac{2}{3}} \lambda^{\frac{2}{5}} H^{\frac{3}{5}} \quad (4)$$

がある。ここに、 λ ；緩衝材のラーメ定数(非常に柔らかい土、 $\lambda = 100 \text{ t/m}^2$ 、柔らかい土、 $\lambda = 300 \sim 500 \text{ t/m}^2$ 、固い土、 $\lambda = 1000 \text{ t/m}^2$)

3. 実験値との比較

図-1は、落石重量1.0tのこれまでの落石実験結果と上記の各種推定式を示したものである。これより、小松沢の式は衝撃力を過小に評価しており、鋼材倶楽部の式は落下高さが大きい時には過大な値を与えることがわかる。また、落石対策便覧(案)の式は全般的に過大な値を与えるようである。衝撃係数を考慮した吉田の式は実験値の上限値を与えているようである。

図-2は式(4)の落石対策便覧の式を用いて、これまでの実験値より逆に求めたラーメ定数 λ と落下高さの関係を示したものである。また図-3は、最近得られた実験結果($W = 0.3 \text{ t}$)について示したものである。図-2に示すように λ に大きなばらつきが見られ、 λ の値も非常に柔らかい土に対する $\lambda = 100$ の値に比べ小さいものである。また、図-3に示すように落石として用いた重錘の形状が平底のものも、大きなばらつきが認められる。これらの実験結果は、それが瞬間的なものであっても落石に生じる最大加速度を用いていることを考慮すると、それだけに注目する弾性衝突理論を用いた式(4)は、合理的な推定式とは考えられない。

図-4は式(3)の吉田の式を用いて、これまでの実験値より逆に求めた静止時間 T_0 と落下高さの関係を示したものである。図-5は同様に、最近得られた実験結果について示したものである。図-3の球底と錐底以外はやはりかなりのばらつきがあるが、高さの増加に伴う静止時間 T_0 の減少が認められる。実際の静止時間に関しては現在調査中である。

4. あとがき

合理的な衝撃力の推定には、落石に生ずる加速度だけに注目するだけでなく、むしろ衝撃土圧分布に注目すべきではないかと考えられる。目下、この点に関して検討中である。

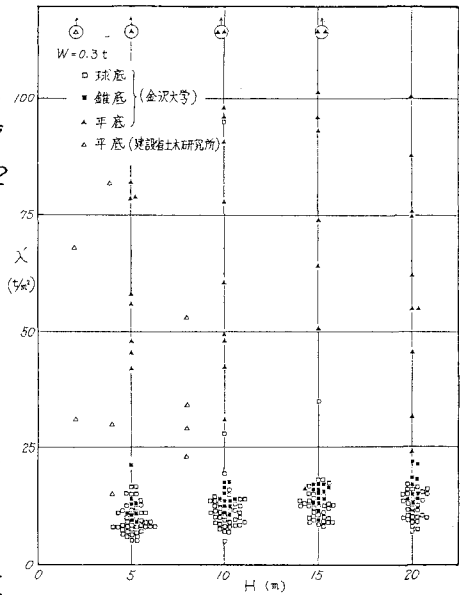


図-3 落下高さとラーメ定数

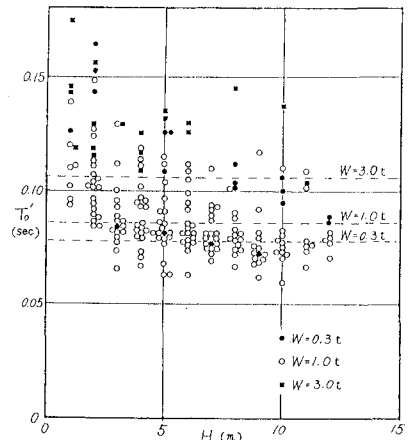


図-4 落下高さと静止時間

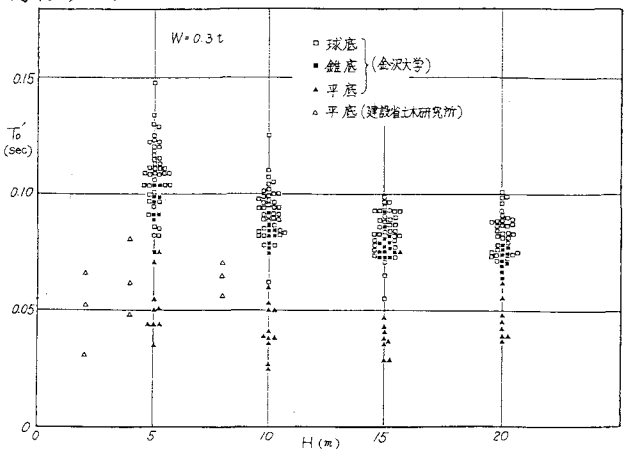


図-5 落下高さと静止時間