

重錘落下による実規模 PC 落石覆工壁部背面土圧

三菱化学BASF（株） 正員 千代田 健
 開発土木研究所 正員 佐藤 昌志
 開発土木研究所 正員 西 弘明
 室蘭工業大学 正員 松岡 健一

1. はじめに

落石覆工の設計は、落石による衝撃力を着目する断面に最も不利に作用するように載荷して行われている。通常、覆工の山側側壁の背面部は本体構造の設置後に裏込めが施されており、この裏込め土上への落石も想定される。このため、「道路防災工調査設計要領（案）落石覆道編」（以後、「要領」）では、落石衝撃力の載荷位置を壁部背面上とする場合も検討することとしている。要領では、この場合の壁部への作用衝撃土圧を、ブーシネスク式を参考に算出しているが、このような問題に関しては研究例がほとんどなく、確立された評価手法がないのが現状と思われる。

本研究は、実規模 PC 覆工模型を用いた壁部裏込め土上への重錘落下衝撃実験により、衝撃土圧の分布性状などについて検討を行ったものである。また、衝撃土圧を軽減する目的で側壁近傍のみを EPS（発泡スチロール）材に置き換えた場合の実験も行い、比較検討を行っている。

2. 実験の概要

図-1に実験状況を示す。実験は PC 覆工側壁部の裏込め土上に重量 3 tf（直径 1 m、底部が半径 80 cm の球形）の重錘を 1 m ～ 30 m の高さから自由落下させることにより行っている。重錘の中央底部には加速度計を埋設している。また、覆工の側壁背面中央には作用衝撃土圧を測定するため、鉛直方向に列に衝撃荷重載荷用ロードセルを設置している。裏込め土は実験施設の建設地の表土でシルト質粘土である。また、裏込め材に用いた EPS 材は、単位体積重量 20 kgf/m³、寸法 200cm×100cm×50cm のブロック材である。実験ケースの一覧を表-1に示す。

3. 実験結果および考察

3.1. 重錘衝撃力および衝撃土圧応力の時系列波形

図-2に、載荷位置 1m、落下高さ 30m の場合（C1-30m、E1-30m）の重錘衝撃力（重錘加速度×重錘質量）および衝撃土圧の時系列波形を示す。重錘衝撃力波の概形は両ケースとも単調増加、単調減少の三角形の分布である。最大衝撃力は C1 の方が大きい。継続時間については E1 の方が若干長くなっている。また、土圧波形に関しては、両ケースで大きな差異がみられる。EPS 材で置換しない場合（C1）は、衝撃力波形の時間軸を縮めたような形で継続時間は短い。概略形状は一致している。一方、EPS材で置換した場合（E1）は、全体的に波形が緩やかで、台形状の分布に近くなっている。

3.2. 衝撃土圧分布

要領では、裏込め土上への落石時における側壁背面の衝撃土圧に関して、「建築基礎構造設計基準・同解説」における土圧式を引用している。同式は、地表面に集中荷重 P が作用した場合の地中（半無限弾性体）のある点での土圧増分 ΔP を算定するブーシネスクの式より提案されたものである。

$$\Delta P = \frac{3P x^2 z}{\pi (r^2 + z^2)^{5/2}}$$

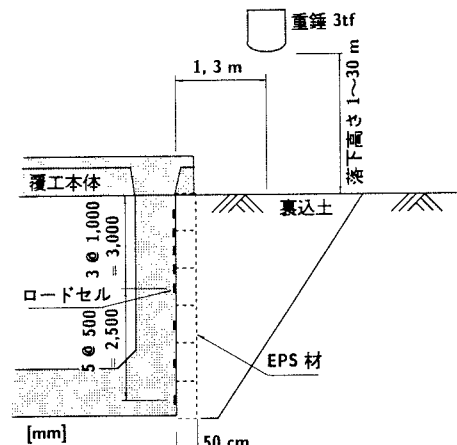


図-1 実験状況

表-1 実験ケース一覧

実験ケースの呼称	載荷位置* (m)	落下高 (m)	備考
C1	1	1~30	土のみ
C2	3		
E1	1		EPS 置換 50 cm 厚
E3	3		

*：側壁から重錘落下中心点までの距離

ここで、 P ：地表面 $(0,0,0)$ に載荷される集中荷重 (tf)、 ΔP ：任意点 (x,y,z) の P による土圧増分 (tf/m^2)、 r ：載荷点から側壁までの最短距離 (m) である。なお、上式は $z=r/2$ で最大値を与える式となっている。図-3に、実験と同じ載荷条件で式から算定した土圧分布を示す。なお、作用荷重 P は設計を意識して振動便覧式によることとし、式中のラーメ定数は $100 \text{ tf}/\text{m}^2$ とした。

図-4に最大値発生時の衝撃土圧の深さ方向への分布図を示す。まず、載荷位置 1m の場合について比較する。EPS 材で置換していない C1 のケースでは、深さ 1m の位置での土圧が最大となっており、2.5m 程度まで直線的に減少するような分布となっている。最大土圧は落下高さが高くなると急激に大きくなるが、2.5m 以深ではそれほど増加せず、圧力の分布は局部的である。また、実験値はブーシネスクの土圧式による値と比較して大きく、土圧式で $x=2\text{m}$ とした場合の分布に近似している。これは側壁背面の拘束条件等載荷点周囲の条件が異なることや重錘の土中への貫入等の影響と考えられるが、明確に断定することは困難である。

次に EPS 材で置換した E1 の場合は、深さ 1m での土圧が小さい傾向にある。これは EPS ブロックと重錘落下位置が近接しているため、地表部に対して最上段のブロック下端側が浮く形になるためと考えられる。また、実験値は各測点で多少の変動があるものの、鉛直方向分布の傾向はブーシネスク式の値と比較的一致している。絶対値は地表面近傍ではブーシネスク式の土圧の方が大きく、深い位置では実験値の方が大きくなっている。これは、EPS 材はブロックを重ねて設置してあるため、連続体とは異なる挙動になるものと推察される。これより、EPS 材を適切に配置することで最大値近傍の土圧を低減あるいは平均化することができると考えられる。

一方、載荷位置 3m の場合の土圧は C3、E3 とともに 1m の場合に比較して小さく、落下高さ 30m においても $1 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 程度である。このことは、載荷点が側壁から離れた場合には落石による衝撃力の側壁に与える影響が極端に小さくなることを示している。

4. まとめ

本研究では、実大 PC 覆工模型を用いた壁部背面土上への重錘落下実験を行った。落石衝撃力による背面土圧に関して、ブーシネスクの土圧式で正確に評価することは困難であるが、最大土圧の値は振動便覧式から得られる衝撃力よりある程度推定できると考えられる。

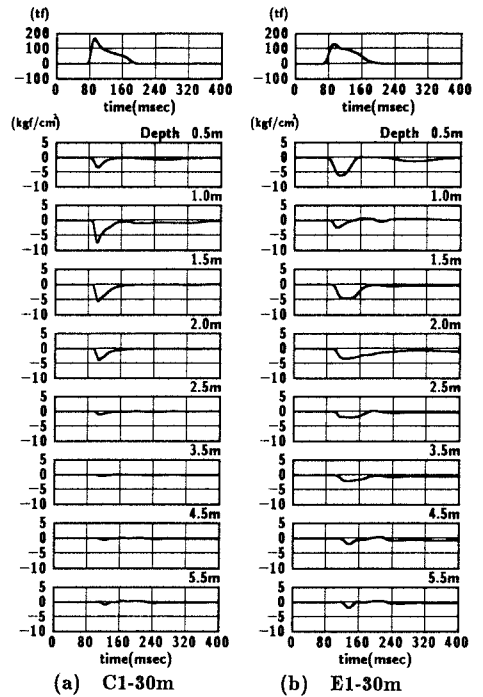


図-2 重錘衝撃力および衝撃土圧応力波形

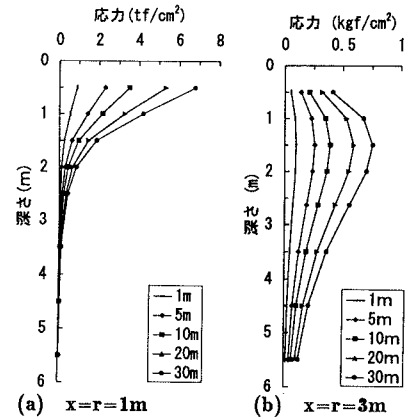


図-3 衝撃土圧分布（ブーシネスク式より）

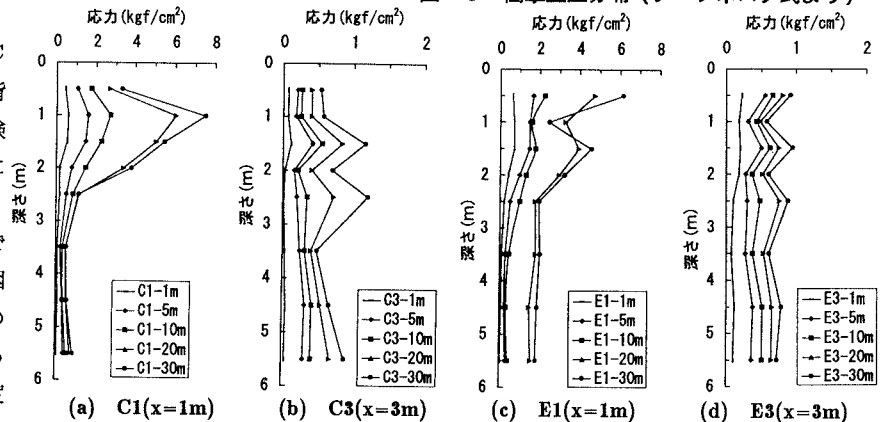


図-4 衝撃土圧分布（実験結果）