

I-222 発泡スチロールの落石に対する衝撃力推定式

日本サミコン(株) 正員 吉田 博 長野県土木部 山崎 賢一
日本サミコン(株) 正員 松葉 美晴

1. まえがき

落石覆工上の緩衝材として、砂、砕砂、山土など（以後、砂材という。）に代わる効果的な緩衝材の開発が望まれてきた。本報告では、砂材に代わる緩衝材として発泡スチロールを用いた場合の実験結果に基づき、落石の位置エネルギーおよび緩衝材の吸収エネルギーから算出される衝撃力の推定式を提案する。

2. 発泡スチロールおよび砂の吸収エネルギー

図-1に直径10cm、高さ10cmの円柱供試体の圧縮試験より得られた発泡スチロールの応力-ひずみ関係を示す。図中の破線は、単位体積重量 15kgf/m^3 のものについてモデル化したものである。

重錘衝撃力と加速度を2回積分して得られる貫入量（変位）の時間的変化から、時間を消去して得られる重錘衝撃力-変位曲線において、最大変位までの曲線の下側の面積は、発泡スチロールの吸収エネルギーを示している。この吸収エネルギーと重錘の位置エネルギーを比較すると極めて良い精度で一致した。砂のみの実験においても同様の結果が得られた。

図-2は、このようにして得られた発泡スチロールの厚さが不足する場合の衝撃力-貫入量曲線の例を示している。すなわち、重錘の有する位置エネルギーを発泡スチロールが吸収するためには大きな変形を必要とするが、厚さが不足するために、最大貫入量付近で急激に衝撃力が増加している。

この場合の衝撃力-変位関係を図示の2つの直線でモデル化する。

最初の直線の起点は5%ひずみに相当する変位の点で、この時の衝撃力を P_5 とする。5%ひずみまでの衝撃力は無視するものとする。第2の直線との交点は70%ひずみに相当する変位に重錘の等価突出量 e を加えた変位で、この時の衝撃力を P_{70} とする。第2の直線の終点発泡スチロールの全厚さであり、これに対応する衝撃力を P_{100} とする。

3. 衝撃力の推定式

これらの点に対応する衝撃力は次式で与えられるものとする。

$$P_5 = \sigma_5 A_1$$

$$P_{60} = \sigma_{60} A_2$$

$$P_{100} = \sigma_{80} A_3$$

$$P_{70} = P_5 + \frac{0.65h + \bar{e}}{0.55h + \bar{e}} \cdot (P_{60} - P_5)$$

ここに、 σ_5 、 σ_{60} 、 σ_{80} は図-1に示す発泡スチロールの応力-ひずみ関係の、それぞれ、5%、60%、80%ひずみに対応する応力である。また、 A_1 、 A_2 、 A_3 は、これらのひずみでの衝撃力の分散面積で、それぞれ、次式で与えられるものとした。

$$A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_1^2, \quad A_2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_2^2, \quad A_3 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_3^2$$

また、等価突出量 e は、図-3を参照して次式より得られる。

一方、砂の衝撃力-貫入量関係は図-4のように、最初の大きい

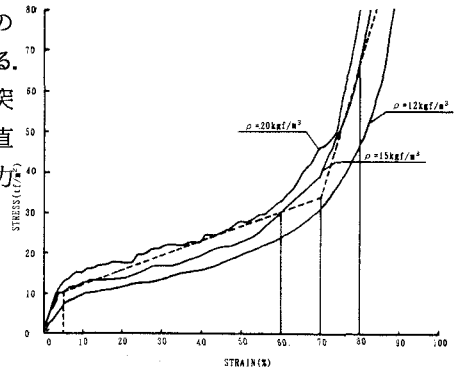


図-1 応力-ひずみ曲線

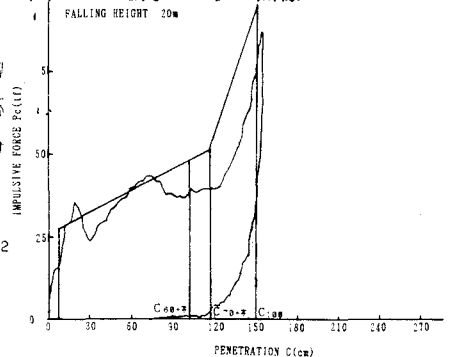


図-2 衝撃力-貫入量曲線

い山と続いて発生する小さい山からなっている。第1の山は三角形をしており、その面積は全体の約90%となっている。これより、この三角形の頂点、すなわち、最大衝撃力は落石対策便覧式より求まるものとし、その底辺長は三角形の面積が重錘の有する位置エネルギーの90%とすると次式となる。

$$P_0 = 15.49 W^{2/3} H^{3/5} \quad S_0 = 1.8 \cdot \frac{WH}{P_0}$$

さらに、三角形を2等辺三角形と仮定して描いたものが、図-4に示されている。

発泡スチロールおよび砂の衝撃力-貫入量関係をこのようにモデル化すると、発生する衝撃力によって図-5に示す3ケースとなる。

ケース1：貫入量が発泡スチロールの70%ひずみ以下の場合。

ケース2：貫入量が発泡スチロールの70%～100%ひずみの場合。

ケース3：貫入量が発泡スチロールの100%以上の場合。

ケース1および2の場合、衝撃力は発泡スチロールと砂と同じであると仮定し、落石の位置エネルギーとこれらの吸収エネルギーを等置し、ケース3では、発泡スチロールの全吸収エネルギーで不足する位置エネルギーを砂で吸収するものとして得られた衝撃力を次式に示す。

$$P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{S_0}{P_0} \cdot \frac{P_{100} - P_0}{0.55h + \bar{e}}}} \times \sqrt{\frac{2WH}{0.55h + \bar{e}} \cdot (P_{100} - P_0) + P_0} \leq P_{100}$$

$$P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{S_0}{P_0} \cdot \frac{P_{100} - P_{70}}{0.30h - \bar{e}}}} \times \sqrt{\frac{2WH}{0.30h - \bar{e}} \cdot (P_{100} - P_{70}) - \frac{0.65h + \bar{e}}{0.30h - \bar{e}} \cdot (P_{100} - P_{70}) \cdot (P_{70} + P_0) + P_{70}}$$

$$P = \frac{1}{\sqrt{\frac{S_0}{P_0}}} \times \sqrt{2WH - (0.65h + \bar{e}) \cdot (P_{70} + P_0) - (0.30h - \bar{e}) \cdot (P_{100} + P_{70})}$$

に基づき、落石の位置エネルギーおよび緩衝材の吸収エネルギーから落石による衝撃力の推定方法について述べた。

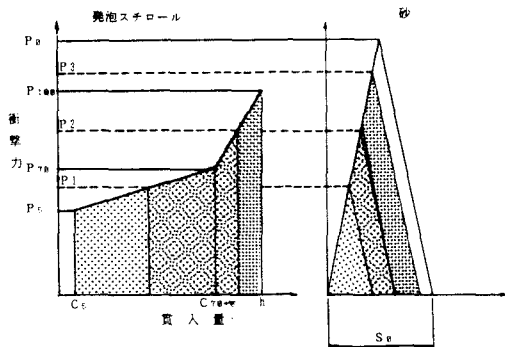


図-5 衝撃力-貫入量のモデル化

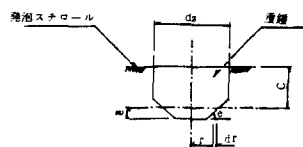


図-3 等価突出量

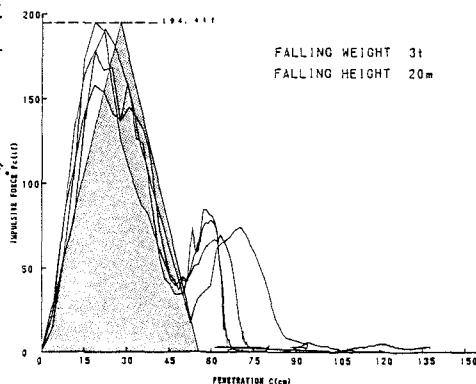


図-4 衝撃力-貫入量曲線（砂）

図-6は、実験で得られた最大重錘衝撃力と推定式より得られた設計衝撃力の関係をプロットしたものであり、推定式は設計に対して十分な精度を有していると思われる。

4. あとがき

本報告では、砂材に代わる緩衝材として発泡スチロールと砂を用いた場合の実験結果に

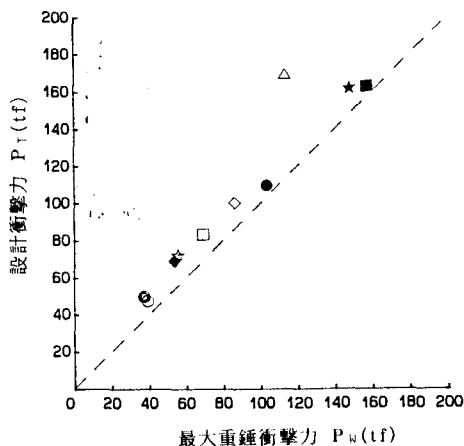


図-6 設計式と実験結果の比較