

現場発泡ウレタンの衝撃力の推定について

ウレタン土木技術研究会 正会員 中村和弘 正会員 三田部均
信州大学工学部 ○天野 俊 正会員 大上俊之

1. はじめに

現場発泡ウレタンは、材料が超軽量であることや自立性、耐水性、施工性の良さから、道路拡幅工事等の軽量盛土材の 1 つとして最近注目されている。その特徴は落石による衝撃力の緩衝材としても有効に利用できるものと考えられる。現場発泡ウレタンを用いた実物大の重錘落下衝撃実験を行った結果、ウレタンの衝撃エネルギー吸収効果は、通常用いられる砂材に比べ優れていることが見出された¹⁾。本文では、緩衝材として現場発泡ウレタンを用いた落石覆工の設計のための衝撃力推定式の提案を行う。

2. 衝撃力の推定式

吉田らは、発泡スチロール (EPS) の緩衝効果について詳細な検討を行っており²⁾、落石に対する設計衝撃力を一軸圧縮試験の応力-ひずみ曲線から推定することを提案している。本研究においても同様の考え方でウレタンに対する衝撃力の推定を行う。圧縮試験により得られたウレタンの応力-ひずみ曲線を図 1 に示す。ウレタンの応力-ひずみ関係を、図中の●印点 (5, 10, 40, 60, 80%ひずみ) を結ぶ直線近似として推定式を導く。

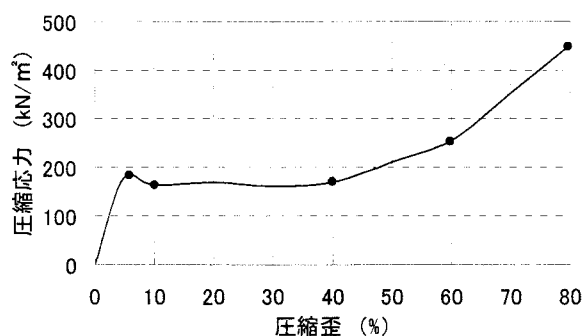


図 1 ウレタンの応力-ひずみ曲線

実験結果より、衝撃力の分散を貫入量 $C_{10} + \bar{e}$ までは 40° で分散し続け、以降は $C_{10} + \bar{e}$ における分散直径の 1.1 倍と仮定した。ここで、 $\bar{e}$ は重錘底面の形状を考慮した重錘の平均突出量であり、今回の実験の場合 $\bar{e} = 0.1037(m)$ である。なお、落石材を球体と仮定した場合は次式となる。ただし d_0 、 A_0 は重錘の直径、断面積である。

$$\bar{e} = \frac{1}{A_0} \int_0^{d_0/2} 2\pi r e dr \quad (1)$$

衝撃力の分散モデルを図 2 に示す。すなわち、貫入量 $C_{10} + \bar{e}$ までの分散幅は、

$$d_1 = d_0 + 2C \tan 40^\circ \quad (2)$$

となる。それ以上の貫入量における分散幅は、

$$d_2 = 1.1\{2(C_{10} + \bar{e}) \tan 40^\circ\} \quad (3)$$

となる。これらに対する分散面積は重錘断面が正方形であるから、

$$A_1 = d_1^2, A_2 = d_2^2 \quad (4)$$

となる。

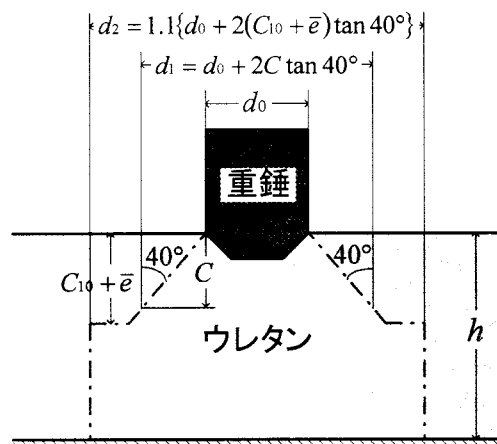


図 2 衝撃力の分散モデル

前述の現場発泡ウレタンの応力-ひずみ近似直線および衝撃力の分散を考慮して得られるモデル化した衝撃力-貫入量関係を図 3 に示す。図中の C_5 、 C_{10} 、 C_{40} 、 C_{60} および C_{100} はそれぞれウレタンの全層厚の 5%、10%、40%、60% および 100% に対する重錘の平均貫入量を示しており P_5 、 P_{10} 、 P_{40} 、 P_{60} および P_{100} は次式により与えられる。

$$\left. \begin{aligned} P_5 &= \sigma_5 (d_0 + 2C_5 \tan 40^\circ)^2 \\ P_{10} &= \sigma_{10} \{d_0 + 2(C_{10} + \bar{e}) \tan 40^\circ\}^2 \\ P_{40} &= \sigma_{40} A_2 \\ P_{60} &= \sigma_{60} A_2 \\ P_{100} &= \sigma_{80} A_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

一例として、最大貫入量 $C_{\max}$ が $C_5 \leq C_{\max} \leq$

$C_{10} + \bar{e}$ の場合の推定式を示す。最大貫入量がその他の場合についても同様にして推定式を導くことができる。最大貫入量 $C_{\max}$ における最大重錘衝撃力 P_c は図3より、

$$P_c = P_3 + \frac{R_0 - P_3}{0.05h + \bar{e}} (C_{\max} - 0.05h) \quad (6)$$

で表される。ここで h はウレタンの全層厚である。そのときの吸収エネルギー E_W は、

$$E_W = \frac{1}{2} (P_c + P_3) (C_{\max} - 0.05h) \quad (7)$$

で与えられる。式(6)、(7)より $C_{\max}$ を消去し、吸収エネルギーと重錘の位置エネルギーが等しいとすると、最大重錘衝撃力 P_c は、

$$P_c = \sqrt{\frac{R_0 - P_3}{0.05h + \bar{e}} 2WH + P_3^2} \quad (8)$$

となる。ここで W 、 H はそれぞれ重錘の重量、落下高さである。これに対する最大貫入量 $C_{\max}$ は、

$$C_{\max} = \frac{2WH}{P_c + P_3} + 0.05h \quad (9)$$

となる。推定式による結果と実験値との比較を図4、図5に示すが、最大重錘衝撃力、最大貫入量ともよく一致していることが分かる。

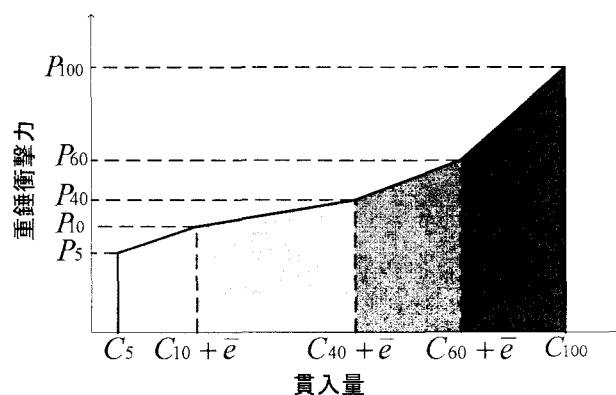


図3 モデル化された重錘衝撃力-貫入量関係

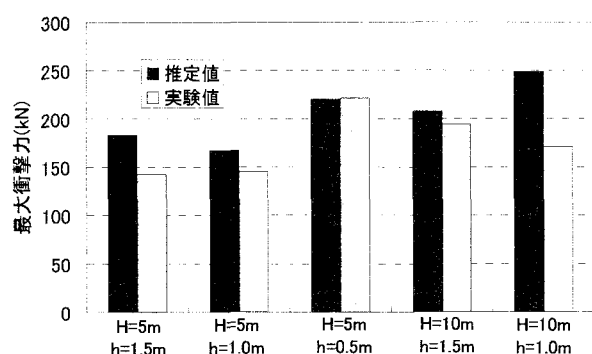


図4 最大重錘衝撃力(kN)の比較

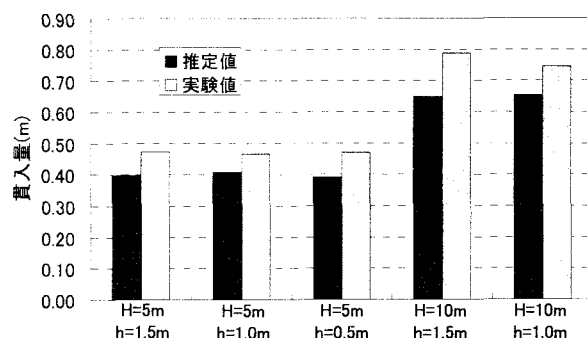


図5 最大貫入量(m)の比較

3. 数値シミュレーション

有限要素解析による重錘落下衝撃実験の数値シミュレーションを行った。その結果と実験値の比較を図6に示す。解析結果は150msec以降、振動現象を示しているが、重錘衝撃力、貫入量ともその最大値は実験値とほぼ一致する解が得られた。

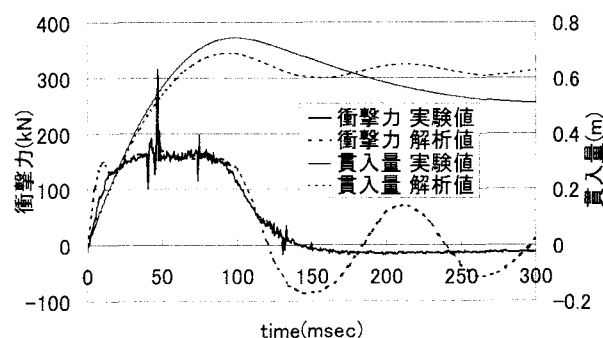


図6 結果と実験結果の比較

4. おわりに

落石に対する緩衝材として現場発泡ウレタンを用いた衝撃力推定式の提案を行った。推定式に各パラメータを代入して計算した結果と実物大の重錘落下衝撃実験の結果を比較すると、よく一致していることが分かった。今回は盛土に使用している材料を使用した。今後は、材料も含めてより効果的な緩衝効果を得る方法がないか数値シミュレーションにより検討していく予定である。

参考文献

- 1) 中村和弘, 三田部均, 天野俊, 大上俊之: 現場発泡ウレタンの重錘落下衝撃実験, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集 V-45, pp.611-612, 2003
- 2) 吉田博, 松葉美晴, 法貴貫志郎, 久保田努: 発泡スチロールの落石に対する緩衝効果に関する実験的研究, 土木学会論文集 第427号/VI-14, pp.143-152, 1991.3.