

模型地盤用小型動的貫入試験機の開発～小型動的貫入試験の貫入メカニズムの解明～

東京都市大学 学 ○山内貴大 学 花上遼太

東京都市大学 正 伊藤和也 正 末政直晃 正 田中剛

1. はじめに

我が国において標準貫入試験は、試験時に土をサンプリングできることや標準貫入試験結果から設計に必要とされる地盤定数を推定できることから、最も普及しているサウンディングの一つである。しかしながら、試験に時間が掛かることや費用が高額であるため、河川堤防などの広範囲に亘る線状構造物の調査では試験数が限定される。さらに、近年ではオペレーター不足や作業スペースの問題から、標準貫入試験に変わる小型化した動的貫入試験機の開発・研究が数多く報告されている^{例えば1)}。これらの報告の多くは、小型動的貫入試験において試験区間を貫入するに要する打撃回数 N_d 値を標準貫入試験から得られる N 値と比較し、 N 値との換算式を提案している。しかしながら、各種動的貫入試験の換算 N 値と標準貫入試験の N 値の両者の間には、常に高い相関性を得られるとは言い難い。その理由の一つに、エネルギー伝達効率が挙げられる。これは図1に示すように、ハンマーの持つ位置エネルギー E がロッド先端に伝達される過程で一部消費されるためである¹⁾。

そこで本研究では、動的貫入試験機を用いて打撃回数と貫入量の関係の力学的背景を解明することを目的としている。本報告では、打撃時のエネルギー量および運動量に着目し、小型動的貫入試験機を用いてハンマー重量と落下高さを変化させた模型実験を実施した結果について述べる。

2. 模型地盤実験の概要

模型地盤には、気乾状態の珪砂7号を用いて空中落下法により相対密度70%の地盤を作製した。写真1に小型動的貫入試験機を示す。小型動的貫入試験機には、アンビル部と先端コーン上部に圧電型荷重計を設置している。また、ハンマーについては、質量が異なる3種類のハンマーを用いた。表1に実験条件を示す。Case1のハンマー質量および落下高さを基準とし、case1, 2, 3, は位置エネルギー E を一定で case1, 4, 5 については運動量 mv を一定として実験を行った。なお、本実験では最大貫入量を30cmとし、1打撃毎の貫入量と1打撃目および5, 10, 15, 20, 25, 30cm貫入時には圧電型荷重計により衝撃荷重を測定した。

今回、質量 m のハンマーが落下高さ h で持つ位置エネルギー E は

$$E = mgh$$

となる。ハンマーが自由落下したとき、衝突速度 $v(=\sqrt{2gh})$ でアンビルに衝突する。

運動量保存の法則からアンビル部が受ける運動量は、ハンマーが静止するまでの時間 t 秒間に働いた力積と等し

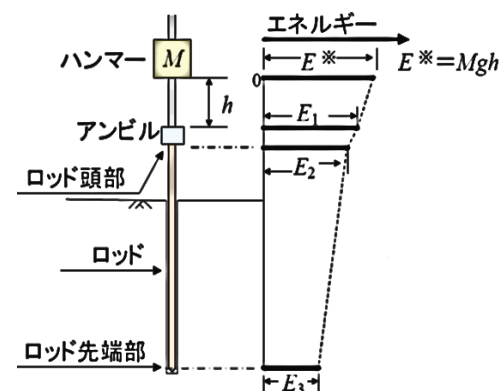


図1 エネルギー伝達効率

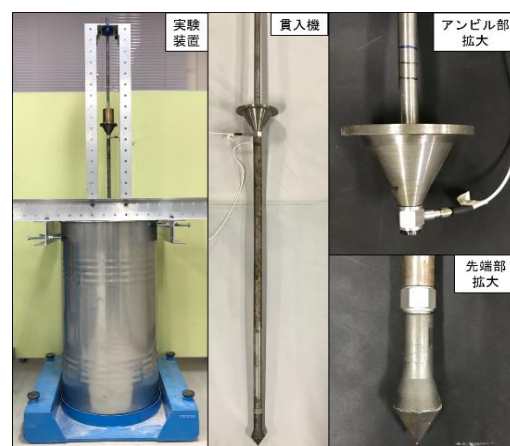


写真1 小型動的貫入試験機

表1 実験条件

	ハンマー質量 (kg)	落下高さ (m)	衝突速度 (m/s)	位置エネルギー (J)	運動量 (kg・m/s)
case1	0.75	0.200	1.98	1.47	1.50
case2	1.00	0.150	1.70	1.47	1.70
case3	1.50	0.100	1.40	1.47	2.10
case4	1.00	0.115	1.50	1.13	1.50
case5	1.50	0.051	1.00	0.75	1.50

ハンマーについては、質量が異なる3種類のハンマーを用いた。表1に実験条件を示す。Case1のハンマー質量および落下高さを基準とし、case1, 2, 3, は位置エネルギー E を一定で case1, 4, 5 については運動量 mv を一定として実験を行った。なお、本実験では最大貫入量を30cmとし、1打撃毎の貫入量と1打撃目および5, 10, 15, 20, 25, 30cm貫入時には圧電型荷重計により衝撃荷重を測定した。

今回、質量 m のハンマーが落下高さ h で持つ位置エネルギー E は

$$E = mgh$$

となる。ハンマーが自由落下したとき、衝突速度 $v(=\sqrt{2gh})$ でアンビルに衝突する。

運動量保存の法則からアンビル部が受ける運動量は、ハンマーが静止するまでの時間 t 秒間に働いた力積と等し

キーワード 小型動的貫入試験 標準貫入試験 位置エネルギー 運動量

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1 東京都市大学 TEL : 03-5707-0104 (代) E-mail : g1318078@tcu.ac.jp

いので

$$\int_0^t F(t)dt = mv$$

となる．なおこの時重りの空気抵抗は考えないものとする．

3. 実験結果

3-1. 貫入量と打撃回数

図 2 に相対密度 70%の模型地盤における位置エネルギーを一定にした打撃回数と貫入深さの関係を、図 3 に運動量一定での打撃回数と貫入深さの関係をそれぞれ示す．図 2 より、貫入深度が増すごとに打撃回数に差が現れた．30 cm貫入に要した打撃回数は、ハンマーの質量が高い順に少ない結果が得られた．その一方で運動量一定で実施した打撃回数と貫入深さの関係は、打撃回数に多少のばらつきは見られるもの顕著な打撃回数の差がなかった．一連の実験結果から、貫入効果は打撃エネルギーよりも打撃時の運動量に依存することが確認できた．

3-2. アンビル部と先端コーンの荷重

図 4 に case1 の 30cm 貫入時の衝撃時間とアンビル部及び先端コーンの荷重の関係に示す．図 4 より、先端コーンの荷重はアンビル部の概ね 60%の荷重となっている．つまり、ハンマーの持つ位置エネルギーがアンビルから先端コーンに伝達する過程で一部消費されたことがわかる．また、荷重で正は圧縮、負は引張を表している．引張は地盤内ではロッドとの周面摩擦による反力が生じたためと考えられる．この反力を引張の反射波と呼ぶ．反射波の影響で、波形では波が複数回生じたと考えられる．

3-2. 動的貫入試験の荷重比

ハンマーを自由落下させた時、アンビル部と先端コーンに設置した圧電型荷重計より得られる荷重より最大荷重比を求めた．

$$\text{最大荷重比}(\%) = \frac{\text{先端コーンの最大荷重(N)}}{\text{アンビル部の最大荷重(N)}} \times 100$$

相対密度 70%での最大荷重比と貫入深さの関係を図 4 に示す．最大荷重比は各 case 概ね 60%~70%となった．つまり、ハンマーの持つ位置エネルギーがロッド先端に伝達される過程で周面摩擦によって一部消費されていることがわかる．

4. まとめ

位置エネルギー及び運動量一定で小型動的貫入試験を実施した．位置エネルギー一定に比べ運動量一定での自由落下では、ハンマーの打撃回数は貫入深度が増すごとのばらつきは少なかった．最大荷重比よりハンマーの打撃時のエネルギーはアンビル部から先端コーンの伝達過程で一部消費されている．ハンマーの衝撃時では先端コーンまでの伝達過程でエネルギーロスが生じるため力学的エネルギー保存則が成立せず、運動量保存則に依存する．

5. 参考文献

- 1) 吉澤ら：荷重計測を伴うピエゾドライブコーンの開発, 応用地質技術年報 No35, pp75-82, 2016

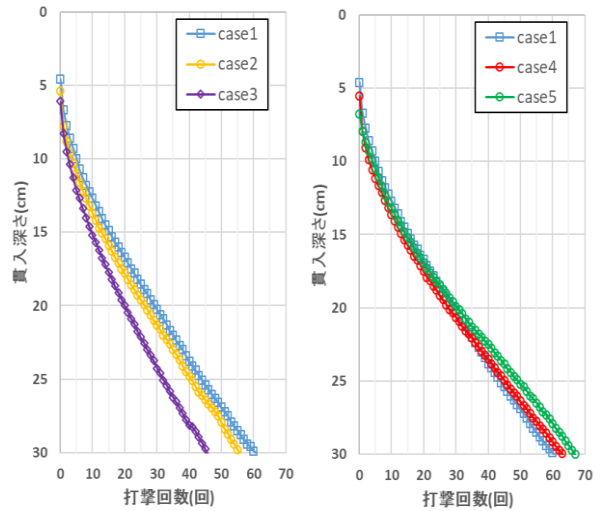


図 2 位置エネルギー

図 3 運動量一定

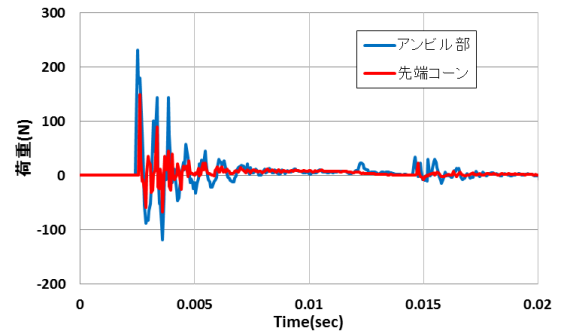


図 4 衝撃時間と荷重

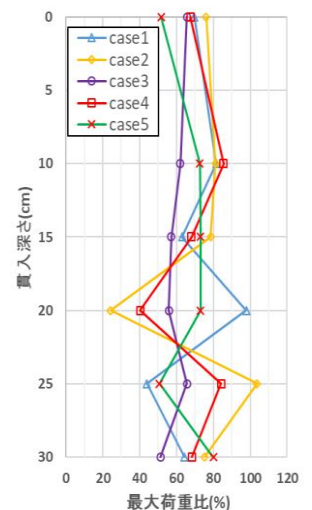


図 5 最大荷重比