

模型地盤用小型動的貫入試験機の開発

東京都市大学 学生会員 ○田中 和穂

東京都市大学大学院 学生会員 松野遼太郎

(株) 東京ソイルリサーチ 正会員 安 浩輝

東京都市大学 正会員 田中 剛, 伊藤 和也, 末政 直晃

1. はじめに

実際の挙動を把握する目的で模型地盤を使って実験を行うことがある。これまでに多くの研究に用いられてきた均質な砂地盤や粘土地盤であれば再現性のある実験を行うことができる。しかし、現場から採取した試料を用いて現場を再現した模型実験を行う場合には、模型地盤を現場と同じ湿潤密度にする程度であり、地層が有する構造や異方性による強度の違いを把握できない。そのため模型地盤と実地盤の強度分布を同一の基準で測定する方法や、模型地盤と実地盤の2種類の地盤がどのようなつながりをもっているのかを現す指標を示すことは、模型実験の実用性の向上に寄与するものと考えられる。そこで本研究では実地盤の固さの指標として標準的に用いられているN値に着目し、超小型の模型地盤用動的貫入試験機(以下 Soilpecker)を開発し、模型地盤の換算N値を測定できるようにすることで模型地盤と実地盤の相関性を高めることを目的とする。本報告ではN値および換算N値測定の際の打撃エネルギーの大きさと測定打撃回数に着目し、模型地盤にて Soilpecker と小型動的貫入試験機であるJKRprobeの実験および実地盤にて標準貫入試験(写真1)とJKRprobe貫入実験を行ったので報告する。

2. 既往の研究

2-1 模型地盤用小型動的貫入試験機の開発

本研究の目的はまず超小型の動的貫入試験機を開発し、その後N値に換算できる実験式を提案することである。

Soilpecker(写真2, 表1)とは、模型地盤上で動的貫入を行うことができる小型試験のことである。空気圧により上昇させたハンマーを自由落下させて打撃する仕組みとなっており、ハンマーの重量や落下高さ、先端コーンの形状や大きさは自由に変更が可能である。

2-2 模型地盤の換算N値の測定

本実験では模型地盤の換算N値の測定にJKRprobe¹⁾(写真



写真1 標準貫入試験



写真2 Soilpecker

表1 Soilpecker 概要

全長(mm)	1192
ハンマー可動部長さ(mm)	760
ハンマー重さ(g)	1000
ロッド全長(mm)	400
コーン形状	円錐など
先端角度(°)	30° / 60°
コーン直径(mm)	-

3, 表 2)を用いた。この試験機は HUARSLEV 氏が開発した動的貫入試験機が基礎となる Mackintosh Probe から派生した試験機である。標準貫入試験やミニラムサウンディング試験と比較して安価で時間的制約が少なく、また試験機の取り扱いに専門的な技術が必要ではないため、開発途上国で多く用いられている。本研究では、JKRprobe のハンマーが軽量でかつ単位貫入量が小さいことから、模型地盤の換算 N 値の測定に使用した。

2-3 先端コーンの比較

本実験では、三角錐型コーン(先端角度 30°, 60°) 2 種類と、JKRprobe と同一形状で縮尺を調整した先端コーン(写真 4) を作製し、Soilpecker を模型地盤に打撃貫入した。また「千葉県香取市佐原における小型動的コーン貫入試験の比較」²⁾を参考に、JKRprobe と Soilpecker のエネルギーについて単位面積・単位貫入量あたりのエネルギーを求め、Soilpecker で得られた測定打撃回数をこのエネルギーの比で補正することで換算 N 値が求められると推測した。以下に単位面積・貫入量あたりのエネルギー式を以下に示す。

$$E = \frac{mgH}{AP} \quad \dots(1)$$

ここで、m:ハンマー質量(kg), H:落下高(mm), A:コーン断面積($\times 10^{-4}m^2$), P:打撃回数測定 of 貫入量(m)である。

コーンの先端角度の違いにより、動的貫入に必要な打撃回数にどのような差が生まれるかを確認した実験結果を図 1 に示す。単位貫入量である深さ 30cm に必要な打撃回数は先端角度 60°のほうが少ないことが分かる。なお 2 つの先端コーンの表面積は 30°コーン: 709.7(mm²), 60°コーン: 631.4(mm²)と 30°コーンの方が 12.4%大きく 30°コーンは 60°コーンと比べて大きな周面摩擦力を受けたため、30°コーンの方が測定打撃回数は大きくなったと考えられる。

単位面積・単位貫入量あたりのエネルギーが等しい場合、縮尺の異なるコーンを用いたときの必要打撃回数を確認した(図 2)。単位貫入量である深さ 30cm に必要な打撃回数が JKRprobe と Soilpecker で大きく異なり、先端コーンの断面積が大きい JKRprobe の方が測定打撃回数は少なく、先端コーンの断面積が小さい Soilpecker の方が測定打撃回数は大きくなっていることが分かる。そのため、ごく浅い地盤の強度分布を調査する際は、単位面積・単位貫入量あたりのエネルギーの影響よりも、ハンマーの持つ位置エネルギーの大きさの影響を受けているのではないかと考えられる。



写真 3 JKRprobe

表 2 JKRprobe 概要

全長(mm)	1920
ハンマー可動部長さ(mm)	580
ハンマー重さ(g)	5000
ロッド全長(mm)	1200
コーン形状	円錐
先端角度(°)	60
コーン直径(mm)	25
コーン高さ(mm)	72



写真 4 先端コーン

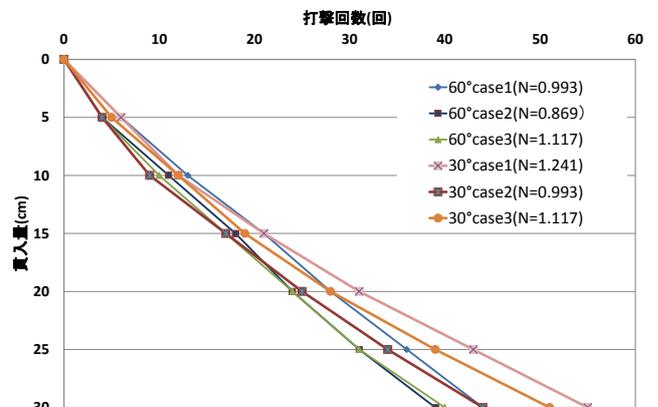


図 1 実験結果(先端形状の比較)

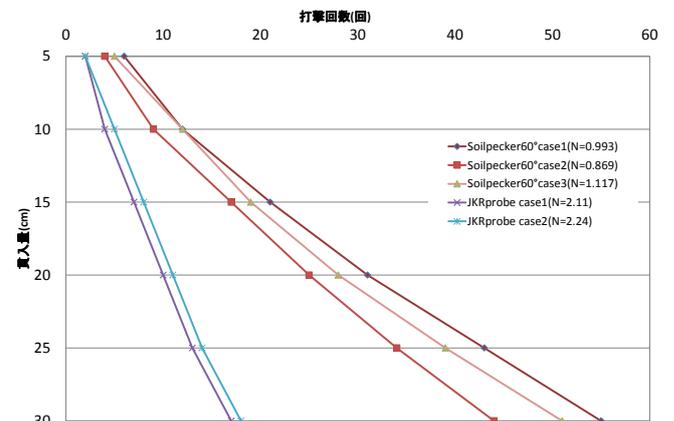


図 2 実験結果(縮尺の異なるコーンの比較)

3. 打撃エネルギーと打撃回数に関する実験

2章の結果を踏まえ、今回は同一の模型地盤上で Soilpecker のハンマーの持つ位置エネルギーの大きさを測定打撃回数が相関するか、実地盤で N 値を測定する場合、標準貫入試験と JKRprobe ハンマーの持つ位置エネルギーの大きさと N 値が相関するかの調査をおこなった。

3.1 実験概要

(1) 模型実験

模型実験では張林松ら²⁾を参考に装置の単位面積・単位貫入量あたりのエネルギーを算定し、Soilpecker のハンマー落下高さを調整した。表 3 に示す。

試料土は山砂と関東ロームを乾燥重量比 1:1 の混合土に 5% 消石灰を混ぜたものとした。模型地盤の作成には、鉄製の直方体土槽(縦 1000mm, 横 400mm, 深さ 300mm)を使用した(写真 3)。模型地盤は 6 層に分けて作成し、各層試料土 30kg, 合計 180kg を使用した。締めめにはランマーを用いて動的締めめを行った。貫入試験は同一の先端コーンで落下高さを 58cm, 29cm とし 3 回ずつ行った。

(2) 現場実験

現場実験は東京都市大学敷地内(世田谷区玉堤 1 丁目)でおこなった。標準貫入試験のハンマー重さと落下高さを 63.5kg-76cm, 30kg-90cm, 30kg-30cm, 30kg-10cm, 10kg-90cm, 10kg-30cm, 10kg-10cm の 7 ケース行った。予備打ち長さを 15cm とし、その地点から貫入長さ 0cm, 10cm, 20cm, 30cm でハンマー打撃時にボーリングロッド頭部にて加速度の測定を行った。標準貫入試験は 2 孔行い、1 孔目で得られた地盤の N 値をもとに、同一の固さの地盤に異なるエネルギーのハンマーで打撃を行った。また並行して JKRprobe でもハンマーを 5kg と 10kg の 2 種類にて実験を行い換算 N 値を求めた。

3.2 実験結果

(1) 模型実験

結果を図 3 に示す。case1~3 はハンマー落下高さ 58cm, case4~6 はハンマー落下高さ 29cm のものである。30cm 貫入に必要な打撃回数は、落下高さに反比例していることが分かる。そのためこの実験からは、ハンマーの持つ位置エネルギーと貫入に必要な打撃回数には相関があると考えられる。

(2) 現場実験

結果を図 4, 図 5 に示す。これらの図は標準貫入試験(ハンマー重さ 63.5kg, ハンマー落下高さ 76cm)で N=1 であるとき、ハンマー重さ 30kg, 10kg, ハンマー落下高さ 90cm, 76cm, 30cm, 1cm のそれぞれの組み合わせで貫入実験を行った時の打撃エネルギーの比較と、測定打撃回数の理論

表 3 エネルギー比

	case1,2,3	case4,5,6
ロッド直径(mm)	10	10
ハンマー重量(kg)	1	1
落下高さ(m)	0.58	0.29
コーン直径(mm)	15.5	15.5
コーン断面積(m ²)	0.0002	2E-04
測定貫入量(m)	0.3	0.3
単位面積・単位貫入量あたりのエネルギー(j/m ²)	100411	50205
SPTとのエネルギー比	7.9962	15.99



写真 5 直方体土槽

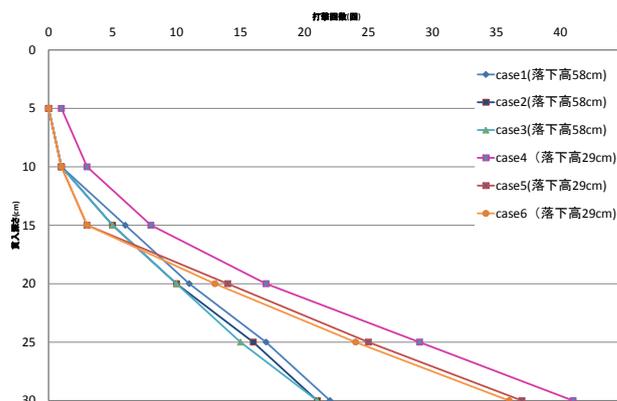


図 3 実験結果(予備実験)

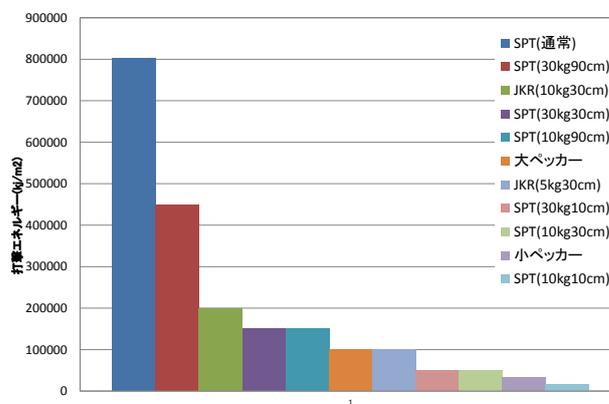


図 4 各試験の打撃エネルギー

値と実測値を示している。図4に示されるとおり、ハンマーのもつ打撃エネルギーは標準貫入試験機が圧倒的に大きいことが分かる。また図5ではN=1であるとき打撃エネルギーから求められる打撃回数の理論値に対して、実験結果はすべてのケースで増加していることが分かる。各試験機のもつ打撃エネルギーが大きいほど、打撃回数の理論値と実測値の差は小さく、打撃エネルギーが小さいほど理論値と実測値の差は大きくなることが分かる。ただしJKRprobeに関しては、理論値と実測値の差は小さく示された。

3.3 考察

図6に各試験機の打撃回数（理論値）に対する実際の打撃回数の比を示す。こちらの値が各ケースとも1以下になる理由としては打撃効率³⁾が挙げられる。ガイドロッドとハンマーの摩擦や、ハンマー衝突時、またロッド内を伝播する際に減衰するなど、エネルギーロスがあったため打撃回数の実測値は各試験で理論値よりも大きくなったと考えられる。

また標準貫入試験の打撃時の加速度(図7)では、ハンマー打撃時の加速度と反射波が読み取れる。ハンマー打撃のエネルギーが地中の支持層に当たり反射しているのではないかと考えられる。

次にJKRprobeの打撃回数と換算N値については図8に示す。この試験はcase1~3まで全てSDS試験孔近傍にて実施した。case1とcase2はどちらも5kgのハンマーを使用しているが、近傍にて実施したSDS試験孔に嵌まってしまったcase2については換算N値が小さく測定された。またcase1で貫入深さ約1mごとに換算N値が大きくなり、全体としてグラフに凹凸がみられている。これは、ロッドの継ぎ目が太く地中で引っかかる事が理由ではないかと考えられる。

4. まとめ

今回の実験では、動的貫入試験のハンマーのもつエネルギーと、打撃回数の理論値と実測値の相関について調査した。今後は動的貫入のエネルギーと打撃回数の関係性と、ハンマー打撃時の加速度と荷重に着目し、動的貫入試験の貫入メカニズムについて調査を行っていきたいと考える。

参考文献(1)Jkr Probe Test : Hilmi Awaludin <http://www.slideshare.net/HilmiAwaludin/jkr-probe-test> (2)張林松ほか 千葉県香取市佐原における小型動的コーン貫入試験の比較 地盤工学研究発表会発表講演集(CD-ROM) 49th,117, 2014⁽³⁾諏訪正博ほか 室内の標準貫入試験における打撃効率についての一考察

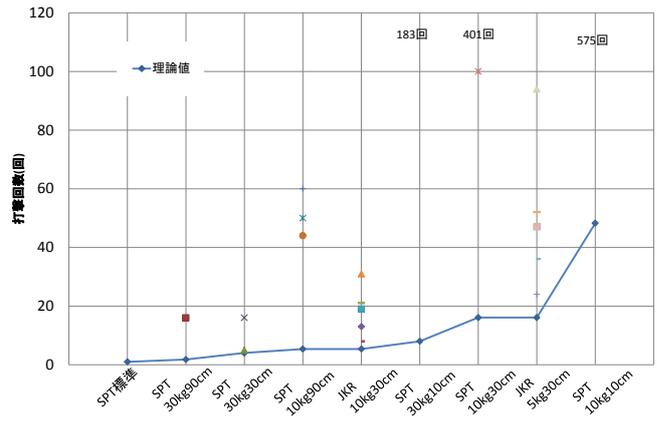


図5 N=1の時の打撃回数の理論値と実測値

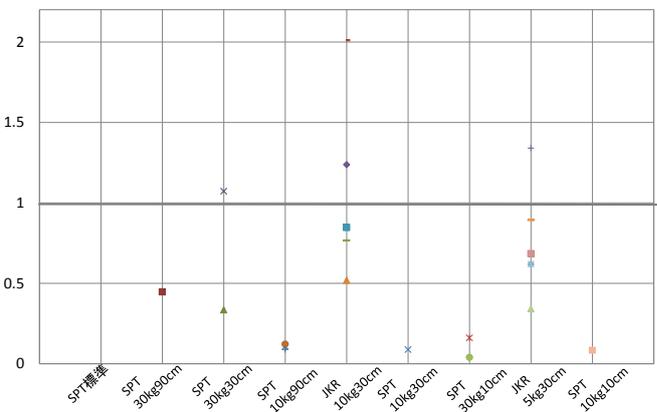


図6 打撃回数の理論値/実測値

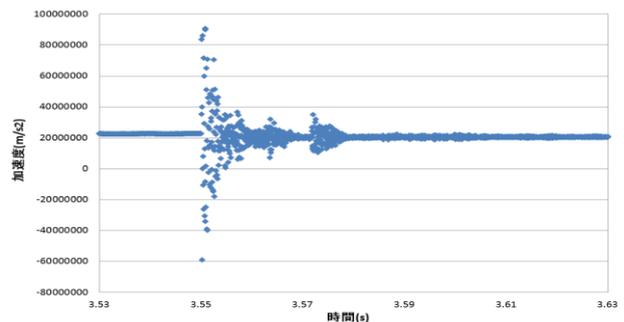


図7 ハンマー打撃時の加速度(標準貫入試験)

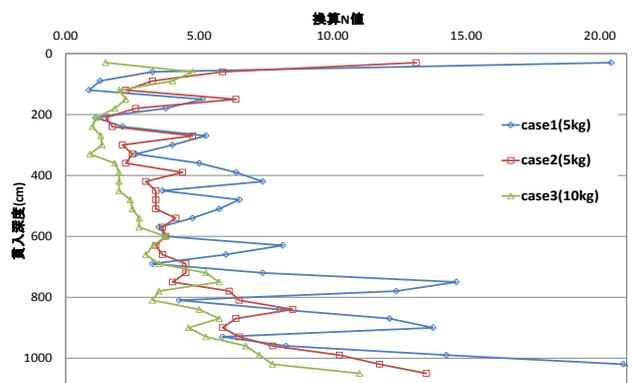


図8 換算N値(JKRprobe)