

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

中央大学 学生員 諏訪 正博 (社)電力土木技術協会 正会員 須田 嘉彦
中央大学 正会員 國生 剛治 (株)シー・アール・エス 吉田 保夫
中央大学 正会員 平岡 良介 飛鳥建設(株) 正会員 沼田 淳紀

1. はじめに

筆者らは 1995 年兵庫県南部地震で液状化した埋立土であるまさ土を対象に、中型の土槽に模型地盤を作成し標準貫入試験および液状化試験を実施してきた¹⁾²⁾³⁾。標準貫入試験で求められる N 値は、質量 63.5kg のハンマーを 75cm 自由落下させサンプラーを 30cm 貫入するとき要する打撃回数と定義される。しかし、実際の N 値は、ロッド先端の地盤条件だけでなく、試験方法や試験操作方法の影響を受けかなりのばらつきがある。このばらつきが生じる要因として、エネルギー効率が上げられる。これはガイドロッドとハンマーとの摩擦やノッキングヘッドにハンマーが衝突する際のロス、ロッド内を伝播する際の減衰によるロスなどによりロッド先端までハンマーの位置エネルギーが伝達されない現象である⁴⁾。さらに、N 値が 30 程度以下の地盤では、ロッド先端部は自由端に近くなり、ハンマーがノッキングヘッドを打撃したことによって生じた圧縮波はロッド先端部で引張波となってノッキングヘッドに戻り、このときロッド長が短い場合にはハンマーとノッキングヘッドは一瞬離れることになる⁵⁾。ちなみに Schmertmann & Palacios⁶⁾は、ロッド長が 12m 以下では打撃効率が低下することを示している。室内試験を行う際には、ロッド長が現場で使用するものより短くなるので、その検討を行い現場への適用を考える必要がある。一方、室内試験は理想的な実験が可能なのでむしろ現場よりもはるかにその他のエネルギーロスは少ないと考えられ、仮にロッド長が長ければエネルギー効率は 80%~90%程度⁴⁾であると考えられる。そこでここでは、ロッドに発生したひずみを測定し一次元波動理論に基づいた解析によって打撃効率を算出し、原位置調査への本試験の適合性を検討した。

なお、実験に用いた試料および試験装置は筆者らが実施してきたまさ土の一連の実験¹⁾²⁾³⁾と同様であるので、詳しくは文献を参照されたい。

2. 測定方法

打撃によるエネルギーの測定は、標準貫入試験における予備打ち後の本打ちに対して行った。使用した標準貫入試験のロッド長はノッキングヘッドより上のガイドロッドが 1.5m、ノッキングヘッドよりロッド先端までが 4.93m である。ハンマーの打撃により生じたロッドのひずみは、ノッキングヘッド下部 0.345m のロッドにストレインゲージを貼付け、動ひずみアンプを通して収録装置にデータを取り込んだ。

3. 測定結果

図-1 に、測定したひずみより得られるロッドに発生した応力の時刻歴の一例を示す。縦軸は正が圧縮、負が引張である。ただし、縦軸は衝撃力として表示している。応力波形はロッドの継ぎ目等で発生した反射波などの影響で複雑な形をしているが、時刻 0~1.8msec で大きな応力波が発生した後、11msec 付近、17msec 付近で再び大きな応力波が発生していることがわかる。これは、ロッドに伝播した圧縮波がロッド先端に達し、引張の反射波となってロッド内を戻するため、ノッキングヘッドとハンマーが一瞬離れ、エネルギーの伝達が中断され、離れたハンマーが再度ノッキングヘッドへ衝突する現象を示している。ロッドの弾性波速度 5120m/sec とストレインゲージ下部のロッド長より計算される引張波の到達時間は 1.79msec であり、打撃によるハンマーとノッキングヘッドとの衝突が引張波によって中断されていることが明らかである。

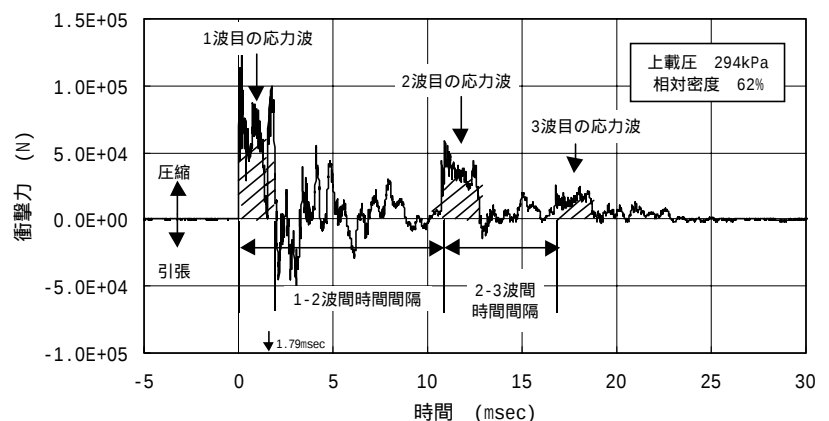


図-1 衝撃力の時刻歴

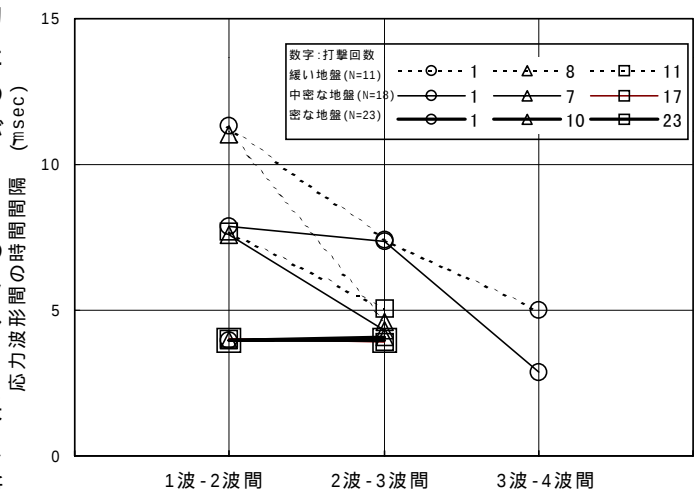


図-2 各応力波形間の時間間隔の比較

キーワード：まさ土、標準貫入試験、打撃効率、相対密度、液状化

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL 03-3817-1799 FAX 03-3817-1803
〒105-0003 東京都港区西新橋 2-19-4 西新橋 K・1 ビル 7F (社)電力土木技術協会 TEL 03-3432-8905 FAX 03-3435-1778
〒270-1176 千葉県我孫子市柴崎台 2-11-23 川村第 3 ビル (株)シー・アール・エス TEL 0471-83-5711 FAX 0471-83-5691
〒270-0222 千葉県葛飾区新小岩町木間ヶ瀬 5472 飛鳥建設技術研究所 TEL 0471-98-7553 FAX 0471-98-7586

図-2 に、各応力波形間の時間間隔を調べた一例を示す。応力波形間の時間間隔は、図-1 に示すように定義した。図中には、緩い地盤(N=11)、中密な地盤(N=18)、密な地盤(N=23)における各 N 値に対する時間間隔を示した。1 波-2 波間、2 波-3 波間、3 波-4 波間となるに従い時間間隔が短くなることがわかる。この傾向は、緩い地盤ほど大きい。これは緩い地盤ほど引張波が発生しやすく、引張波がノッキングヘッドに到達したときにハンマーからの離れ量が大きくなり、再度衝突するまでに時間を要するためと考えられる。

標準貫入試験におけるハンマーの打撃によるロッドの応力と貫入量の時刻歴の計測事例⁶⁾⁷⁾によると、2 波目の応力波においても貫入量が増していることがわかる。ロッドに伝達されたエネルギーは、1 波目の打撃時間中の応力によって計算される⁸⁾場合が多いが、ここではこのような理由により 1 波目だけでなく 2 波目以降も貫入に寄与していると考え、2 波目以降の応力波形についてもそれぞれ衝撃力を計算しエネルギーを合計することとした。

4. 打撃効率の考察

打撃効率は、次式⁹⁾より求められるロッドに伝達されたエネルギーとハンマーの位置エネルギー($63.5\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 0.75\text{m}=466.7\text{Nm}$)との比として求めた。ここで、 E : ロッドに伝達されたエネルギー(Nm)、 c : ロッドの弾性波速度(m/s)、 a : ロッドの断面積(m^2)、 M : ロッドの弾性係数(N/m^2)、 F : ロッドで検出された衝撃力(N)である。

$$E = \frac{c}{aM} \int_{t_1}^{t_2} F^2 dt$$

図-3 に、N 値 1 回分の最終的な貫入量と打撃効率の関係を示す。図中には、1 波目の応力波に加え 2 波目以降の応力波、および全ての合計で求めた場合の打撃効率を示した。1 波目の打撃効率が一番大きく約 50~80%であるが、2 波目以降は徐々に小さくなる。各打撃効率を合計した値は 80~100%に集中しているのがわかる。また、貫入量が増加するとわずかではあるが打撃効率が小さくなる傾向が認められる。これは、緩い地盤ほどロッド先端部が自由端に近くなるので、引張波が生じやすいためである。

図-4 に、相対密度と打撃効率の関係を示す。同様な理由により、相対密度が少なくなるにつれ打撃効率がわずかに低下することがわかる。繰返される応力波は、N 値の小さな緩い地盤ほど繰返し回数が多い⁵⁾、計測では 3 波目または 4 波目以降の読み取りが困難である場合もあったが、実際にはさらにこれらの応力波によってもエネルギーが加算されると考えられ、結局、合計のエネルギーは N 値の小さな場合も 80~100%程度になるものと推察される。したがって、今回のようにロッド長が短い場合も 2 波目以降の応力波を合計すると、最終的なエネルギー効率率は平均的に 90%程度となり、ロッド長が短いことによるエネルギーロスほとんど無視し得るものと考えられる。

5. まとめ

室内で実施したロッド長が短い標準貫入試験における打撃効率を調べた結果、1 波目の応力波による打撃効率は 50~80%程度であるが、2 波目以降の応力波を考慮すると最終的な打撃効率は約 90%となる。このことにより、ロッド長が短いことによるエネルギーロスは少ないものと考えられる。

参考文献

- 1) 國生 剛治, 吉田 保夫, 諏訪 正博, 桑原 弘昌, 佐藤 正行: 土槽貫入実験によるまさ土の液状化強度の評価(その 1) - 土槽実験による各種土質定数の関係 -, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.125-126, 1999.7.
- 2) 國生 剛治, 吉田 保夫, 平岡 良介, 桑原 弘昌, 瀬下 雄一: 土槽貫入実験によるまさ土の液状化強度の評価(その 2) - 土槽からの不攪乱試料の三軸試験による検討 -, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.127-128, 1999.7.
- 3) 須田 嘉彦, 沼田 淳紀, 國生 剛治, 瀬下 雄一, 平岡 良介, 吉田 保夫: まさ土の液状化強度推定式の検討, 土木学会第 55 回年次学術講演会, 2000.9.(投稿中)
- 4) 岩崎 恒明: 標準貫入試験の試験法に関する問題, 基礎工, pp.40-48, 1990.3.
- 5) 西沢 芳章, 冬木 衛, 宇都 一馬: SPT に関する現位置実験とその効率について, サウンディングシンポジウム, 土質工学会, pp.83-92, 1980.11.
- 6) Schmertmann, J. H. and Placios, A.: Energy dynamics of SPT, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, GT8, 14769, pp.909-926, 1979.8.
- 7) 吉永 拓生, 藤田 圭一: 自動落下ハンマーのリバウンド量, 貫入量と打撃効率について, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.161-162, 1999.7.
- 8) 豊岡 義則, 田中 勉: 標準貫入試験における打撃エネルギー効率について, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.155-156, 1999.7.
- 9) Alejandro Palacios: The theory and measurement of energy transfer during standard penetration test sampling, pp.71-74, 1977.8

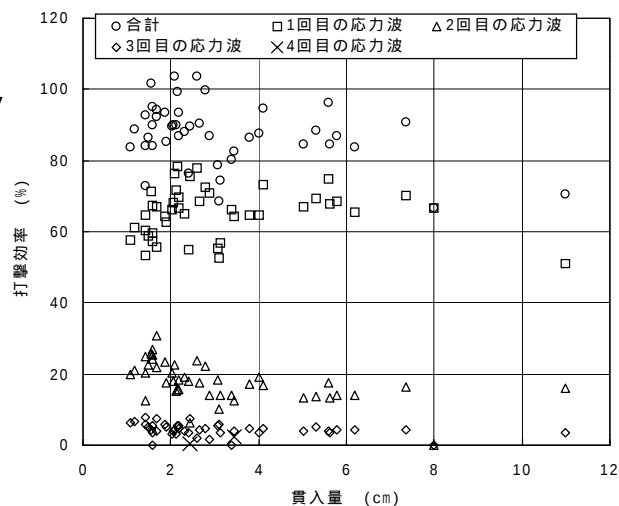


図-3 1 回の打撃回数での貫入量と打撃効率の関係

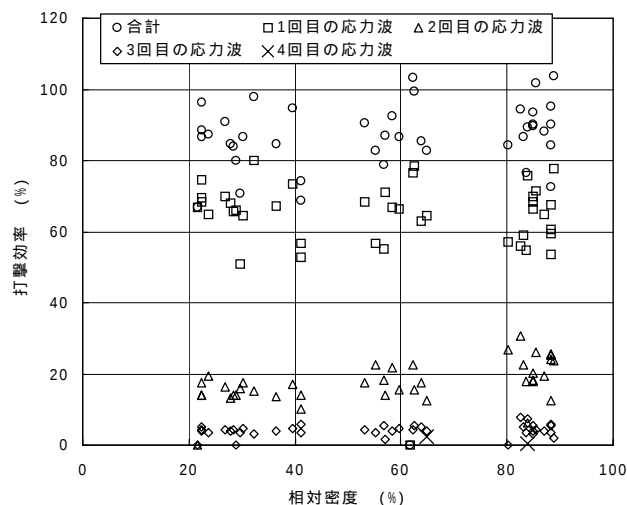


図-4 相対密度と打撃効率の関係