

標準貫入試験におけるエネルギー伝達効率についての検討

川崎地質㈱ ○江戸 将寿, 原田 克之, 川井 康右

1. はじめに

標準貫入試験 (Standard Penetration Test, SPT) は、質量 63.5kg±0.5kg のハンマーを 760mm±10mm の高さから自由落下させてロッド頭部のアンビルを打撃することにより、ロッド先端部の SPT サンプラーが地盤に 300mm 貫入するまでに要した打撃回数 N 値を測定する原位置試験の一つである (JIS A 1219-2013)。

ここで、ハンマーが持つ位置エネルギー E* は、

$$E^* = 63.5 \text{ [kg]} \times 9.80665 \text{ [m/s}^2\text{]} \times 0.760 \text{ [m]} \\ = 473.27 \text{ [J]} \quad \dots \text{(式-1)}$$

となるが、地盤条件に限らない様々な要因によりエネルギーの減衰が生じるため、そのすべてがロッド先端部に伝達していないことが従来指摘されている。

(1) 標準貫入試験におけるエネルギーの伝達効率

標準貫入試験では、式-1 の位置エネルギー E* はハンマーの落下、アンビルへの衝突、ロッドの伝播という過程で減衰し、最終的に SPT サンプラー先端に到達する。標準貫入試験における位置エネルギー E* と、伝達効率の概念を図-1 に示す。

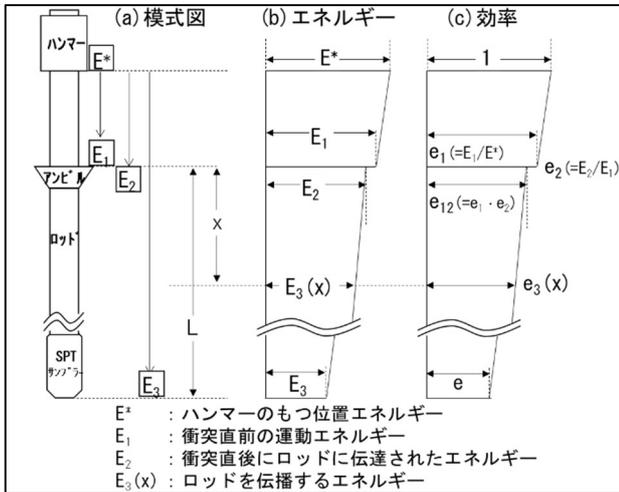


図-1 標準貫入試験におけるエネルギー効率の定義¹⁾

標準貫入試験を行う際、SPT サンプラー先端へのエネルギーの伝達効率 e は以下に示す e_1, e_2, e_3 の積として、打撃効率 e_{12} は e_1, e_2 の積として表すことができる¹⁾。

- ・摩擦効率 e_1 : ハンマー落下時、ハンマーとガイドロッドとの摩擦
- ・衝突効率 e_2 : ハンマー衝突時、ハンマーの横振動・塑性変形等
- ・伝播効率 e_3 : ロッドの横振動・塑性変形・孔壁との摩擦・動的座屈等

$$e = e_1 \times e_2 \times e_3 \quad \dots \text{(式-2)}$$

$$e_{12} = e_1 \times e_2 \quad \dots \text{(式-3)}$$

(2) ハンマー打撃による打撃効率 e_{12} と N 値の補正

N 値の補正方法の研究は従来取り組まれてきているが、ロッドの長さを主たる要因とする SPT サンプラー先端への伝達効率 e は評価が難しく、実用的に取り入れ難い状況にある²⁾ とされる。

しかし、ハンマー打撃による打撃効率 e_{12} (図-1(c)および式-3) を考慮した N 値補正方法はいくつか提案されている³⁾。例えば ISSMFE (国際土質基礎工学会) の国際基準試験方法では、

$$\text{(補正 N 値)} = (\text{実測 } e / \text{基準 } e) \times (\text{実測 N 値}) \quad \dots \text{(式-4)}$$

であり、藤田の方法では、

$$\text{(補正 N 値)} = \sqrt{(\text{実測 } e / \text{基準 } e) \times (\text{実測 N 値})} \quad \dots \text{(式-5)}$$

とされている。ここで、式-4 および式-5 における実測 e は e_{12} の実測値を表し、基準 e は ISSMFE が基準とする打撃効率 60% (0.6) を用いる。

このように、標準貫入試験において実測 N 値を補正する際は打撃効率 e_{12} を把握する必要があるが、 e_1, e_2 は装置の状態や試験時の操作によって変化し、打撃毎にばらつきを生じることが予想される。

本論では、N 値の精密な評価を行うために、ロッド上端への打撃エネルギー E_2 (打撃効率 e_{12}) の評価を実施した。次章より、現場で打撃エネルギー E_2 を測定した事例について紹介する。

2. 打撃エネルギー E_2 の測定事例

打撃エネルギー E_2 の測定には、ひずみ計と加速度計を取り付けた測定用ロッドを用いた (図-2)。

標準貫入試験時に、ハンマー打撃によってロッドに生じるひずみ ϵ と加速度 α を測定し、ロッドに働いた力 F と速度 V を求め、ロッド上端に伝達した打撃エネルギー E_2 および打撃効率 e_{12} を推定した。

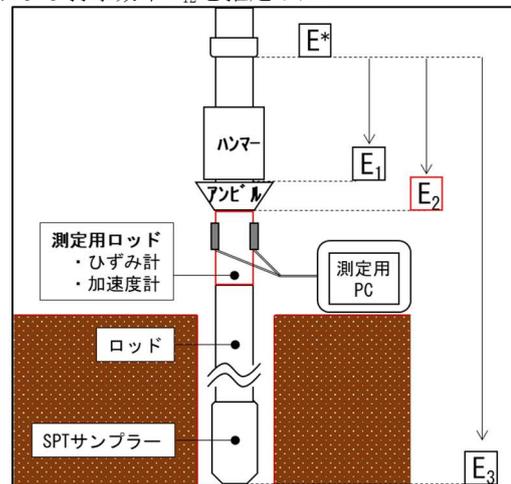


図-2 打撃エネルギー E_2 測定概念図

(1) 現場条件

測定は、千葉県北東部の陸上ボーリング 105m 孔にて実施した。標準貫入試験を行う際、GL-4m より約 10m ピッチで測定用ロッドをアンビル直下に接続した状態で試験を実施した。試験条件の詳細を以下に示す。

◆試験条件

- ・地質
表層～31m：沖積砂層 31～46m：沖積粘土層
46～105m：第四紀更新世砂質シルト岩～シルト岩
- ・装置
半自動落下装置
ロッド 40.5mm (パイプレンチで手作業による緊結)
- ・測定
1m ピッチに標準貫入試験を実施する中で、約 10m 毎に測定装置によるエネルギー測定を実施

3. 測定結果の考察

表-1 に、ハンマー打撃時のロッド上端への打撃エネルギー E_2 および打撃効率 e_{12} の測定結果 (各深度の最小値・最大値・平均値) を示す。打撃エネルギー E_2 は図-1 に示したようにハンマーがアンビル衝突直後、ロッド最上部に伝達されたエネルギー E_2 であり、伝達効率 100% の場合、473.27J となる。

表-1 ハンマー打撃エネルギー E_2 と打撃効率 e_{12} 結果

深度 GL- (m)	土質 N値/貫入	ハンマー打撃エネルギー E_2 (J)			打撃効率 e_{12}		
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
4	細砂 27/30	379	438	411.6	0.801	0.925	0.870
14	細砂 50/26	386	437	412.4	0.816	0.923	0.871
24	細砂 22/30	395	434	420.7	0.835	0.917	0.889
34	砂混シルト 3/35	420	432	425.7	0.887	0.913	0.899
44	砂混シルト 4	390	431	408.5	0.824	0.911	0.865
54	砂ン層ン層 27	380	413	397.9	0.803	0.873	0.841
64	砂ン層ン層 29	387	434	401.9	0.775	0.917	0.849
75	砂ン層ン層 26	385	463	437.7	0.813	0.978	0.925
84	砂ン層ン層 28	392	470	435.5	0.828	0.993	0.920
94	シルト岩 28	383	440	412.7	0.809	0.930	0.872
全測定		367	470	415.7	0.775	0.893	0.878

データ取得は本打ち 1 打撃毎に行っており、各深度のデータ数は N 値と同数であり、総数は 244 である。

全深度における打撃エネルギー E_2 (打撃効率 e_{12}) の最小値は 367J (77.5%)、最大値は 470J (97.8%) であり、最小値と最大値では 20 ポイントの差が認められた。また、全データの総平均は 415.7J (87.8%) であり、図-3 に示す頻度分布では 84～88% が最も多くなっていた。

半自動落下方式における打撃効率 e_{12} は 0.84 とする報告⁴⁾ があり、今回の結果 (平均値) はこれを上回っているが、打撃効率 80% 以下も存在し、ばらつきも小さくないことが示された。

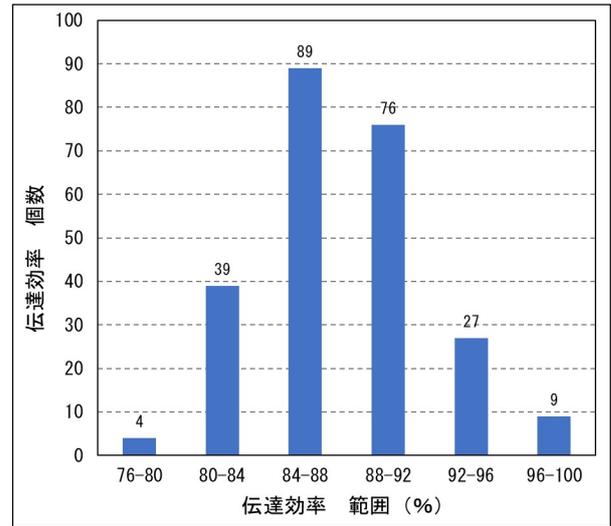


図-3 打撃効率 e_{12} 頻度分布図

4. まとめ

1 章で述べた通り、SPT サンプラー先端へのエネルギー伝達効率 e の評価は現状では困難である。

しかし、ハンマー打撃によるロッド上端への打撃効率 e_{12} については、その誤差要因は作業上の人為的要素が多いと考えられ、慎重な準備、測定作業やツール類の整備などにより打撃効率の安定化や向上を図ることは可能であろう。

本論では、1 地点における 10 深度分の測定結果しか得ていないため、今後様々な地域で標準貫入試験時の測定を行いたいと考えている。

今後、深度や土質・調査地域だけでなく、試験実施者の経験や年齢等、様々な条件下において、打撃効率 e_{12} のばらつきや最大値・最小値、サンプラー貫入量などのデータを蓄積していくことで、N 値の精密な評価が必要となる調査への対応力の向上を図っていきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説一二分冊の 1ー， p. 299, 2013.
- 2) 藤田圭一：標準貫入試験，土質調査試験結果の解釈と適用例，1968.
- 3) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説一二分冊の 1ー， pp. 303～304, 2013.
- 4) 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針，p. 195, 1995.