

岩石片を対象にした小型打球探査法による岩盤物性の計測精度

鹿島建設(株) 正会員 ○辻 良祐 佐藤一成 永谷英基 川野健一 吉田 輝 藤崎勝利 白鷺 卓
(株)セントラル技研 正会員 池尻 健

1. はじめに

岩盤や岩質材料の代表的な力学的性質として、変形係数および一軸圧縮強さが挙げられる。これらを直接的に求める方法として、筆者らは原位置や室内試験において岩の弾性係数を迅速かつ簡便に取得可能な打球探査法の開発、運用を行ってきた¹⁾。しかし、従来の打球探査では打球面を確保するために、ある程度の大きさの岩塊が必要であり、岩塊を採取できない現場（例えば、TBM 工事）では適用できなかった。そこで、打球本体部を小型化し、岩石片を探査対象とする場合でも適用可能な小型打球探査法を開発した。今回、岩塊を対象に従来の打球探査法と小型打球探査法から得られた弾性係数を比較して、小型打球探査の計測精度を検証した。さらに、小型打球探査時の岩石片の固定方法を検討したので、計測精度の検証結果とともに報告する。

2. 打球探査の概要

打球探査法の機器構成を図-1 に示す。打球部分は図-2 に示すとおり、加速度計を取り付けた鋼球と取手で構成されている。この鋼球を探査対象に打撃し、鋼球が探査対象と衝突する際の加速度波形から打撃速度 V_0 と接触時間 T (図-3) を算出する。そして、これらを式(1)に示す Hertz の理論式²⁾に代入し、探査対象の弾性係数 E_2 を算出する³⁾。

$$E_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\frac{\pi}{M} \sqrt{RV_0} \left(\frac{T}{a} \right)^{\frac{5}{2}} - \frac{1 - \nu_1^2}{E_1}} \quad (1)$$

ここに、 T : 接触時間

M : 鋼球の重さ、 R : 鋼球の半径

E_1 : 鋼球の変形係数、 E_2 : 探査対象の弾性係数

ν_1 : 鋼球のポアソン比、 ν_2 : 探査対象のポアソン比

V_0 : 打撃速度、 a : 無次元係数

打球探査法は、打撃速度と接触時間から探査対象の弾性係数を式(1)で直接算出するため、打撃エネルギーの大小に影響を受けずに、探査対象の弾性係数を迅速（探査時間：10 秒／点）に算出できる。さらに、探査対象を傷付けるほどの打撃エネルギーはないので、同じ探査位置で繰り返して打撃できるといった特長がある。

従来の打球探査では直径 $\phi 50$ mm の鋼球を使用していたが、安定的な探査のためには探査対象が 10 cm 以上で打撃面が平滑である必要があった³⁾。そのため、粒径が 5 cm 未満の小さい岩石片を対象外であった。そこで、鋼球を $\phi 30$ mm に小型化し、従来適用できなかった小さな岩石片に対して小型打球探査を実施した。

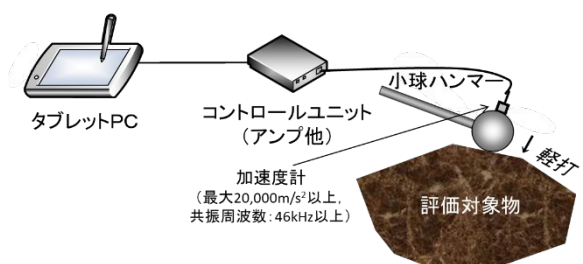


図-1 打球探査法の機器構成



図-2 打球探査の状況

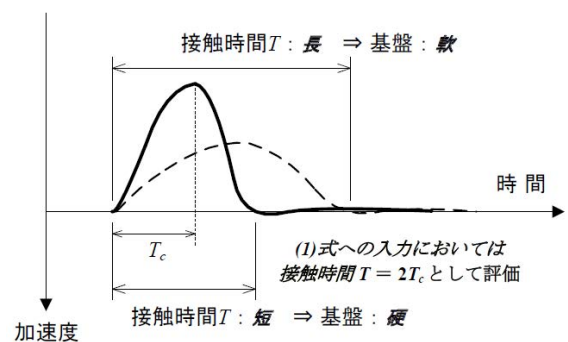


図-3 接触時間の概念

キーワード 小型打球探査, 原位置試験, 弾性係数, 接触時間, 一軸圧縮強さ

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

3. 岩塊を対象とした小型打球探査の精度検証

表－1 に示すチャート（図－4）と珪質砂岩の岩塊を対象に打球探査を実施し、φ 50 mm と φ 30 mm の鋼球の違いが計測結果に与える影響を比較した．なお，それぞれ 15 回ずつ打撃し，計測データのばらつきも検証した．

結果を表－2 に示す．2 種類の岩塊に対して得られた弾性係数の平均値は，鋼球の大きさによらず，チャートでは概ね同等の値に，珪質砂岩ではφ 30 mm が φ 50 mm より 2.2 GPa 大きくなった．標準偏差はどちらの岩種でも φ 30 mm のほうが大きく，変動係数も 10 % ほど高くなった．これは，φ 50 mm のほうが打撃時のエネルギーが大きく，探査範囲が広いため岩石に含まれる微細なクラックの影響を受けないが，φ 30 mm は探査範囲が狭いため，これらの影響を受けることでばらつきが大きくなったと考えられる．ただし，変動係数に大きな乖離はないことから，鋼球小型化による影響は軽微であると考えている．

4. 岩石片における固定方法の検証

岩石片を対象に打球探査を実施する際，岩石片を固定していないと打撃時に岩石片が動いてしまう．その場合，打撃時のエネルギーがうまく伝わらずに加速度波形が不明瞭となり，計測精度が悪化する．また，万力を使用して打球時に岩石片が動かないよう固定すると，万力の力で岩石片が局所的に破壊されることが多かった．そこで，モルタルを使用した岩石片の固定方法を考案し，岩塊とモルタル固定した岩石片の打球探査時の測定精度を比較した．試料は岩塊（頁岩：長辺 30 cm，短辺 20 cm，厚さ 10 cm）と岩石片（頁岩：長辺，短辺ともに 4 cm，厚さ 5 cm）を用いた．岩石片はアクリル製の空き容器に設置し，岩石片と容器の隙間にモルタルを流し込み固定した（図－5）．なお，検証にはφ 30 mm の鋼球を使用し，岩塊，岩石片ともに 15 回ずつ打撃した．

表－3 に検証結果を示す．岩塊と岩石片（セメント固定）の標準偏差と変動係数が同等であったことから，岩石片に対する固定方法としてモルタルを用いれば，従来方法と同等の精度を有することが分かった．したがって，小さな岩石片しかない場合でもモルタルによる固定法を併用することで，弾性係数の推定が可能になった．

5. おわりに

小型打球探査 φ 30 mm の計測精度は，従来の打球探査 φ 50 mm と比較してばらつきが少し大きいですが，モルタルによる固定法を併用すると従来の打球探査と同等の計測精度を得られることがわかった．今後は様々な岩種を対象に，データを蓄積し，岩石片の大きさと弾性係数の相関を検証していく．

参考文献

1) 池尻健ほか：打球探査法による岩の力学的性質評価，第 47 回地盤工学研究発表会，2012.
2) Goldsmith. w：Impact, The Theory and Physical Behavior of Colliding Solid, Richard Clay and Company,1960.
3) 北本幸哉ほか：球体衝突理論に基づく岩質および土質物性の迅速評価手法，土木学会論文集 F3(土木情報学)，vol.75，No.1,21－35，2019.

表－1 対象とした岩塊

岩種	チャート	珪質砂岩
大きさ	短辺 15 cm× 長辺 30 cm×厚さ 10 cm	短辺 20 cm× 長辺 25 cm×厚さ 10 cm



図－4 チャート岩塊

表－2 φ 50mmとφ 30mmの比較

岩種	チャート		珪質砂岩	
鋼球の径	φ 50 mm	φ 30 mm	φ 50 mm	φ 30 mm
弾性係数 平均値 (GPa)	36.7	36.3	34.8	37.0
標準偏差 (GPa)	8.4	12.0	10.0	14.8
変動係数	0.23	0.33	0.29	0.40



図－5 モルタルによる固定

表－3 固定方法による精度比較

対象試料	岩塊	岩片 (セメント固定)
鋼球の径	φ 30 mm	
弾性係数 平均値 (GPa)	33.2	33.1
標準偏差 (GPa)	8.5	8.5
変動係数	0.26	0.26