

(118) 孔内打撃応答試験機による岩盤変形特性の推定 (1)

京都大学工学部 宇津木 慎 司
京都大学工学部 水 戸 義 忠
中部電力(株) 鈴 木 英 也
京都大学工学部 菊 地 宏 吉

The application of "Borehole Hammer" to in-situ rock masses

Shinji Utsuki. Kyoto University
Yoshitada Mito. Kyoto University
Hideya Suzuki. Chubu Electric Power Co., Inc.
Kohkichi Kikuchi. Kyoto University

Abstract

A test system using "Rock Test Hammer" is often used to evaluate rock mass properties, simply. Strike response value is measured by using this machine, and the modulus of elasticity is expected. So, in order to apply this principle to the borehole investigation, we develop a new machine "Borehole Hammer"(Fig.1). With regard to this machine, the laboratory testing using rock specimen was carried out and we have a successful results. However, in-situ testing has never been made.

So we made the in-situ testings using "Borehole Hammer" and borehole expansion tests in order to grasp the applicability of "Borehole Hammer". As the results, the relationship between strike response value obtained by "Borehole Hammer" and elasticity tends to linear as shown in Fig.4 5, 6 and the applicability of "Borehole Hammer" to the in-situ rock masses is clarified.

1. はじめに

土木・岩盤構造物の建設の際には、一般に種々の岩盤試験を行うことによって基礎岩盤の変形特性、強度特性、透水特性等の工学的特性を定量的に把握し、その結果を設計・施工に反映させなければならない。

従来より、原位置岩盤試験の方法として、調査横坑内における平板載荷試験、原位置せん断試験等が主として行われてきたが、これらの試験は多大な労力、時間及び費用を要するため、経済的、工期的観点から岩盤全体の物性値を推定するために十分な観測点を確保するのが困難であるという欠点を持っている。それに対し、ボーリング孔を用いた試験方法は、経済的に有利であり、孔内の任意の深度における測定が可能であることから、より広範囲かつ詳細な岩盤の特性を把握できると同時に、比較的乱されない状態の岩盤の工学的特性を把握することができる利点がある。

このため各種の孔内試験機が開発されており、特にLLT、KKT等の孔内載荷試験機は、まだ導入されてから日が浅く試験法としての位置づけが必ずしも明確ではないものの、その適用性については様々な検討

がなされており、現在では我国における各種地盤調査等に広く用いられている。しかしながら、これらの試験方法についてもある程度の労力・時間は伴い、より簡易な孔内試験機の開発が望まれているのが現状である。

現在、岩盤の工学的性質を把握する代表的な簡易試験機としてはロックテストハンマー²²⁾がある。ロックテストハンマーは岩盤の固密性を反発度で表現するものであり、その測定値から岩盤の変形係数、静弾性係数を推定することができ、現在建設関連の調査において広く実用化されている。しかしながら、このロックテストハンマーは地表や調査横坑などの岩盤が露出している部分においてのみ適用可能となっており、構造物基礎岩盤の調査において一般に実施されているボーリングの孔内では適用が不可能である。

このような状況を鑑み、ボーリング孔を用いたロックテストハンマー試験機として孔内簡易打撃応答試験機が京都大学工学部資源工学科の菊地宏吉教授らによって開発された²³⁾。本試験機は、ボーリング孔の孔壁を小型の電磁ハンマーで打撃し、その反発度から岩盤の物性値を推定することを目的として開発されたものであり、均質な人工材料を用いた室内試験における各種物性値との相関性が既に検証されている²³⁾。しかしながら、原位置における本試験機による測定実績はほとんどなく、岩盤の各種物性値との対応性が未だ検証されていない。このため、本試験機は利用価値が非常に高いと考えられているにも関わらず、完全な実用化には至っていないのが実状である。したがって、本試験機を用いて測定を多数行くと同時に岩盤試験を行い、測定結果と各種物性値との対応関係を把握し、原位置岩盤への適用性を検討する必要がある。

本研究の目的は、現在開発の最終段階にあるボーリング孔を利用した簡易打撃応答試験機の測定値と岩盤の工学的特性との対応関係を把握するための調査・試験を行うことにより、その測定値から設計に必要な物理定数（例えば、弾性係数・強度）の推定を可能にし、岩盤の評価を工学的見地から客観的・定量的に行うことである。

2. 孔内打撃応答試験機の概要、及び打撃応答試験の原理

試験機本体は、電磁力で駆動する小型ハンマーと弾性波を測定する受振センサーを有するゾンデと（図-1）、測定によって得られる各波形の増幅、整形、表示及び記録を行う機能、電磁ハンマーを駆動させる機能、収録された波形の処理・解析を行う機能等を有する地上計測部からなる。試験時には、小型ハンマーに設置された速度計によってハンマーの孔壁に衝突してから離れるまでの挙動が測定され、その結果は図-2に示すような速度波形、及びそれを微分した加速度波形として地上計測部に表示されるようになっている。これは、ハンマーが初速度 V_0 で孔壁に衝突した(A)後、時間幅 W の間に加速度変化が起って（その最大値が P_{MAX} ）速度が減少していき、やがてハンマーの速度が0になった(B)後に孔壁から離れる(C)というモードを示したものである。この加速度波形の最大値 P_{MAX} は、強度や変形係数の大きい材料ほど大きくなり、この波形のパルス幅小さくなる傾向にある。また P_{MAX} や W の値は、ハンマーが打撃するときの速度 V_0 によって変化する。

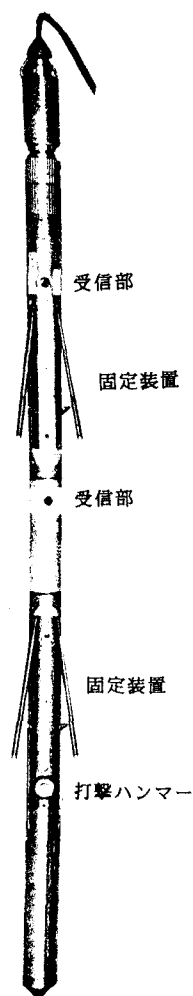


図-1 ゾンデの外観

ここで、次のような量を孔内打撃応答試験の打撃
 応答量と定義する。

$$\text{打撃応答量}(\text{ms}^{-2}) = \frac{P_{\text{max}}}{W \cdot V_0}$$

但し、

P_{MAX} : 加速度波形の最大値 (G)

W : パルス幅 (ms)

V_0 : 打撃時のハンマーの初速度 (kine)

室内試験の結果、この打撃応答量は岩石供試体の
 諸物性と高い相関関係を示すことが知られている3)。

3. 原位置調査・試験方法

本研究においては、孔内打撃応答試験機の打撃応
 答量と岩盤の物性値との対応性を検討するために、
 以下のような原位置試験を実施した。

図-3に示すように、深さ4m強のボーリング孔
 を一本掘削しコア鑑定を行った後に、岩盤等級区分
 の等しい2区間を孔内載荷部分として決定し、打撃
 応答試験実施位置を20cm間隔で隣合う4つの点が載
 荷部分と重なるように決定した。そして、最初に孔
 内打撃応答試験を、次に孔内載荷試験(LLT)を
 それぞれ計31本の孔において実施した。

なお地質は中生代白亜紀の火山岩類(流紋岩)で
 あり、表面的には概ね $C_H \sim C_M$ 級を呈する岩盤であつ
 った。岩石の一軸圧縮強度は900~1200kgf/cm²程度で
 あり、堅硬緻密な岩盤性状を示していた。

4. 原位置試験結果、及び考察

表-1は、等しい岩盤等級の部分の隣合う2打撃
 点において得られたそれぞれ5つの打撃応答量を全
 て書き出したものである。この表より、各打撃点に
 おいて得られた5つ打撃応答量の値のばらつきが小
 さく、その平均値が明確に異なることが分かる。こ
 のことより、1つ1つの打撃応答量の信憑性がかなり
 高いこと、つまりこの孔内打撃応答試験機は打撃
 点における岩盤の局所的な性状を感知できるもので
 あることが明確になった。

また、表-2は、それぞれの岩盤等級の区間にお
 いて得られた打撃応答量の範囲を示したものである。
 岩盤等級が良くなるにつれて打撃応答量は概ね大き

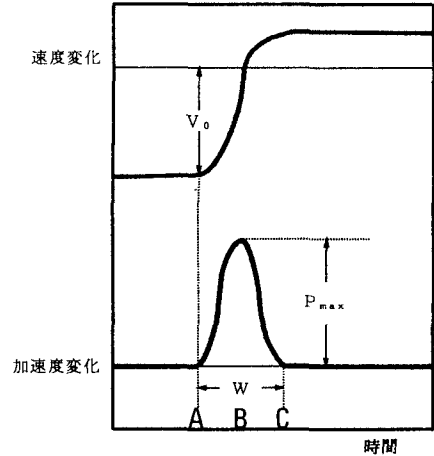


図-2 ハンマーの速度変化、
 及び加速度変化

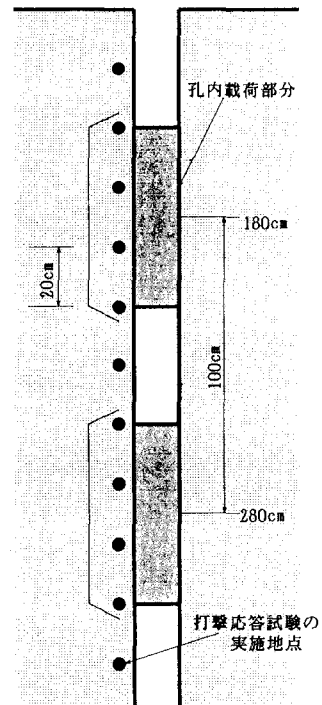


図-3 孔内載荷部分と孔内打
 撃応答試験実施地点

くなくなっているものの、かなり重複する部分がみられる。これは、先ほども述べたように、この試験機が岩盤の局所的な性状を感知するためであると思われる。

そこで、図-2に示した20cm間隔で隣合う4打撃点において得られた全打撃応答量の平均値を求め岩盤等級区分と対応させてみたものが表-3である。この表より、両者は良い相関関係を示すことが分かる。

以上のことより、この打撃応答量は点で捕らえるデータである、つまり岩盤の局所的な性状を感知するものであるため、1打撃点において得られた打撃応答量のみからある区間の岩盤を評価することはできない。しかしながら、隣合う数打撃点において得られる全打撃応答量の平均値を算出することによって、岩盤等級区分の定量的評価が可能になることが明確になった。

以上の検討結果を基に、孔内載荷試験より得られた岩盤の各物性値と上述の隣合う4打撃点における全打撃応答量の平均値との関係を検討する。

図-4に変形係数と打撃応答量の平均値との関係、図-5に接線弾性係数と打撃応答量の平均値との関係、そして図-6に割線弾性係数と打撃応答量の平均値との関係をそれぞれ示す。これらの図を見るとそれぞれ多少のばらつきはあるものの両者の相関性は明らかであり、以上のことから、今回の試験ヤードにおいてはこの孔内打撃打撃応答試験機が原位置岩盤における適用性を有することが明確になった。

これらの相関図より、変形係数に関していえば、概ね打撃応答量の平均値が 1000ms^{-2} である場合 10000kgf/cm^2 前後、 1500ms^{-2} である場合 20000kgf/cm^2 前後、そして 2000ms^{-2} である場合 30000kgf/cm^2 前後を示し、また接線弾性係数に関していえば、概ね打撃応答量の平均値が 1000ms^{-2} である場合 20000kgf/cm^2 前後、 1500ms^{-2} である場合 35000kgf/cm^2 、そして 2000ms^{-2} である場合 50000kgf/cm^2 を示すと推察される。

表-1 隣合う2打撃点において得られる5つの打撃応答量

		打撃応答量 (ms^{-2})					平均値
深度 (cm)	270	520	589	519	639	580	569
	290	714	771	646	699	733	713

表-2 各岩盤等級における打撃応答量の範囲

		各岩盤等級における打撃応答量の範囲
岩盤等級	CH 級	550 - 1052 (ms^{-2})
	CM 級	436 - 870 (ms^{-2})
	CL 級	420 - 775 (ms^{-2})

表-3 隣合う4打撃点における全打撃応答量の平均値の範囲

		4打撃点における全打撃応答量の平均値の範囲
岩盤等級	CH 級	858 - 986 (ms^{-2})
	CM 級	663 - 782 (ms^{-2})
	CL 級	524 - 672 (ms^{-2})

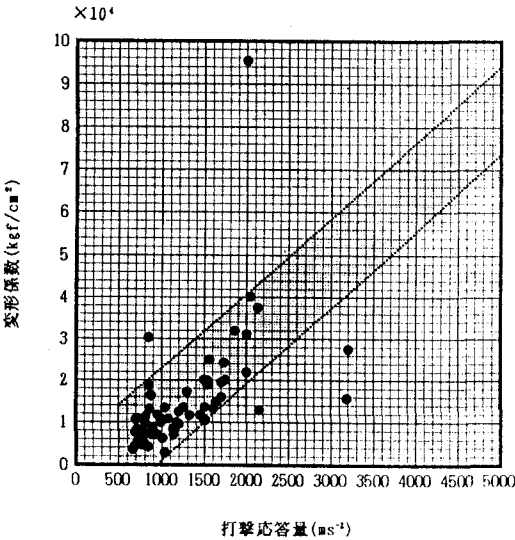


図-4 変形係数と打撃応答量の平均値との関係

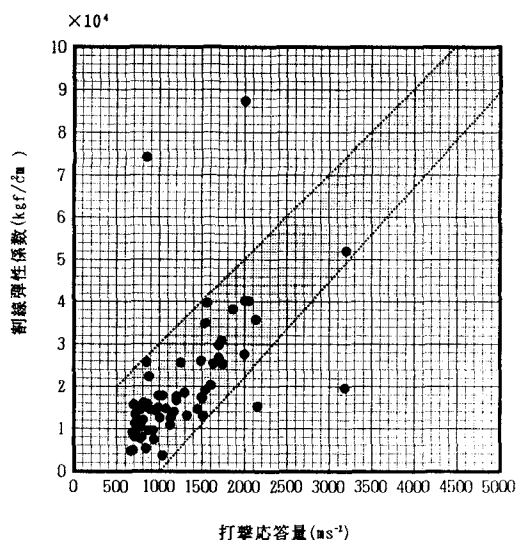


図-5 縦弾性係数と打撃応答量の平均値との関係

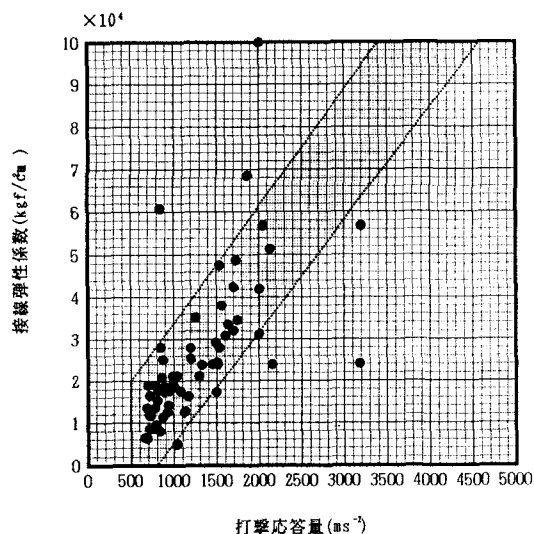


図-6 縦弾性係数と打撃応答量の平均値との関係

5. 結論

今回の試験ヤードにおいては、この孔内打撃応答試験機が、

- ①、岩盤等級区分の定量的な評価
- ②、岩盤の物性値の推定

に適用できることが判明した。今後、多種の岩盤において同様の試験を多数行い、その適用性をより高めていく所存である

参考文献

- 1) 齊藤和雄、楠建一郎、菊地宏吉：簡易測定機による岩盤評価、電力土木 No176、1982.
- 2) 鈴木英世、野沢是幸、菊地宏吉、藤枝誠、曾根好得：ボーリング孔を利用した簡易打撃応答試験機の開発、第7回岩の力学国内シンポジウム、岩の力学連合会、1987.
- 3) 野沢是幸、鈴木英世、菊地宏吉、莊司泰敬、曾根好徳、大橋武一郎、小倉公雄：孔内打撃応答試験法の開発、第81回学術講演会、物理探査学会、1989.