

(3) 孔内簡易打撃応答試験機の開発と適用

東京電力㈱ ○鈴木 英世、 野沢 是幸
東電設計㈱ 菊地 宏吉、 藤枝 誠
応用地質㈱ 曾根 好徳

1. まえがき

筆者らは、ボーリング孔を用いて、プローブ内に収納した小型ハンマーによる打撃時の反発現象と、孔壁に沿った弾性波の伝播の原理とを応用した孔内簡易打撃応答試験機を開発し、各種現位置における適用性試験を実施しているので、その概要を報告する。

これまでも、岩盤の物性把握や等級分類の目的で、現位置剪断試験やコアサンプルによる室内物理試験など、数々の試験が行われている。これらの試験は比較的大規模な設備または試験機を必要とするものであり、調査箇所の全体の物性の分布を把握し、合理的な設計を実施するための多量のデータを得るには、多額の調査費を要していた。

一方、調査横坑などを利用した剪断試験などに比較し、ボーリング削孔自体は低コストで実施が可能であるので、これを利用して岩盤物性の推定が可能となれば、比較的乱れの少ない孔内のデータが連続的に得られるなどのメリットがあることに着目し、当試験機の開発を行ってきたものである。この開発にあたっては、従来から広く用いられている、シュミットハンマーの原理を参考とし、ボーリング孔内の小スペースに組込みが可能な打撃機構を考案するとともに、打撃応答に関する新しい計測の手法とデータの取りまとめ方を以下のとおり検討してきている。

2. 試験機の開発

2-1 試験機の概要

主要機構部及びシステムのご概念は、図-1 に示すとおりである。この図に示すとおり、当試験機は、ボーリング孔内に吊下げるプローブ部と地上の打撃制御及びデータ処理ユニットとに大別される。プローブ部に収納されている機構は、小型加速度計を組込んだ電磁ハンマー、駆動回路、孔壁を伝播する波動を受信する2ヶの加速度計、並びに孔壁への固定装置である。地上ユニットは、2ヶの筐体に分れており、次の機能 a) プローブ内のハンマーの打撃の制御、b) ハンマー部加速度計及び孔壁部受信加速度計の加速度波形の増幅、プリント及びディスプレイ、c) 3 1/2インチフロッピーディスクへのデジタルデータの記録、d) 外部コンピュータへのデジタルデータの転送、を有している。

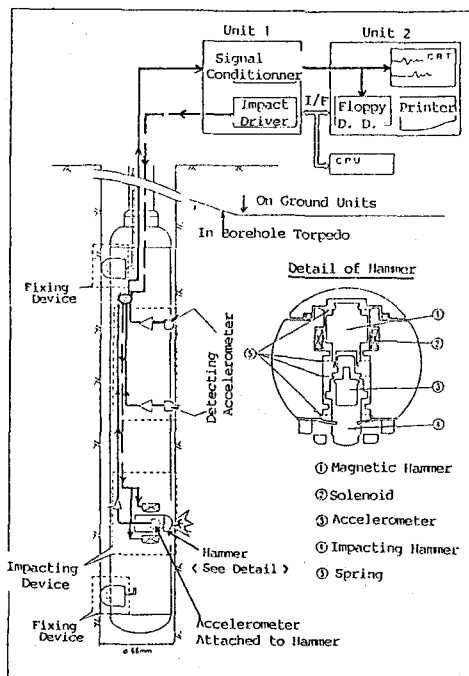


Figure-1 Outline of the Instrument

2-2 打撃部を用いた室内基礎実験

図-1に示した装置の打撃部を用いて、材料特性に応じたハンマー部の加速度波形の変化を確認するために、平坦表面を有する数種類の材料による室内実験を実施した。打撃の方法は、電磁方式を採用しており、機械バネ方式、圧縮空気方式等との比較の結果、小型化並びに打撃強さの調整が容易であることなどの条件を満足する方式として選択したものである。また、加速度計は、小型の圧電型を採用しており、その仕様は次のとおりである。

感度：2.5 mV/G， 重量：4.5 gf，

共振振動数：40 kHz以上， 使用振動数：2～20 kHz

ハンマー部の加速度波形の代表例は、図-2に示すとおりであり、次の2ケの区間が現れている。即ち、第一はハンマーが電磁ソレノイドから運動エネルギーを得ている区間(①～②)であり、第二は、ハンマーが孔壁に衝突し反発する区間(③～④)である。

材料の物性の差異が反発現象に与える影響を明らかにするために、表-1に示す8種類の材料を用いて試験を行った。図-3は、ハンマーが壁材料に接する際のピーク加速度と時間幅に関して、材料の物性の差異が反発現象に明確な差異を与えていることを示している。図-2に定義した指標、 P_{max} 、 W 及び P_{max}/W のうち、 P_{max}/W は、例えば材料の弾性定数が増すに従って、その分子は増加し分母は減少することから、最も敏感に材料物性を反映する指標となっている。

実際の打撃力は非常に小さいものの、材料によって塑性や脆性を有する場合には、打撃の繰返しによって、壁面の物性が見掛け上の変化を示すことが考えられる。図-4は、各種材料を用いた場合の、打撃の繰返し回数と P_{max}/W との関係を示したものである。この図に示すとおり、高分子系の材料は打撃の繰返しに対して、安定した性質を示すのに対し、岩やモルタル材料はその性質が見掛け上変化しており、打撃点が、塑性変形したり局部破壊をしていることが推定される。これ等の現象に基づき、以下に述べる指標 P_{max}/W の定義は次のとおり、
a) 岩、モルタル、コンクリート等に対しては、打撃回数が6回目から10回目の平均値とし、b) 高分子系材料に対しては、打撃回数が1回目から5回目の平均値とすることとした。

P波速度と P_{max}/W 及び動弾性係数 E_d と P_{max}/W の関係は、図-5及び6に示すとおりであり、両図とも P_{max}/W は、材料物性を推定するための指標として、満足なものであることを示唆している。

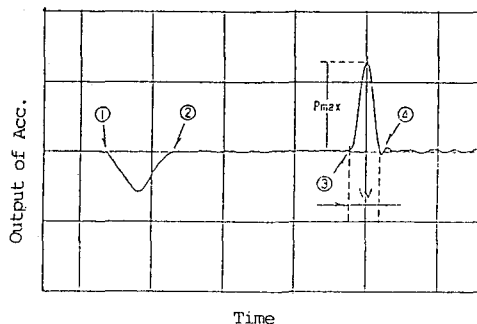


Figure-2 A Typical Acceleration Wave Measured at Hammer

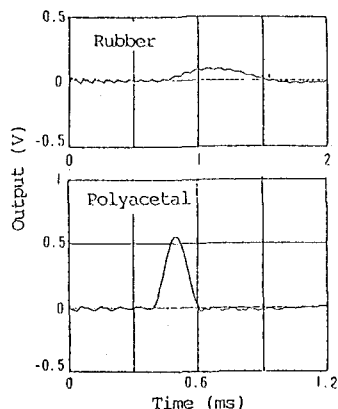


Figure-3 Example of Acceleration Waves of Hammer

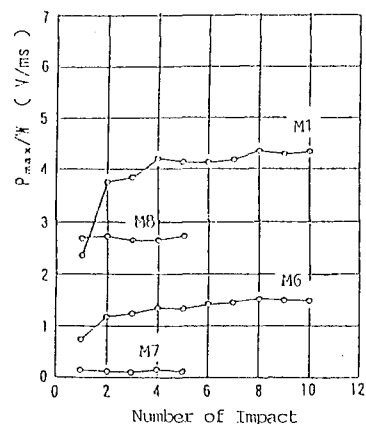
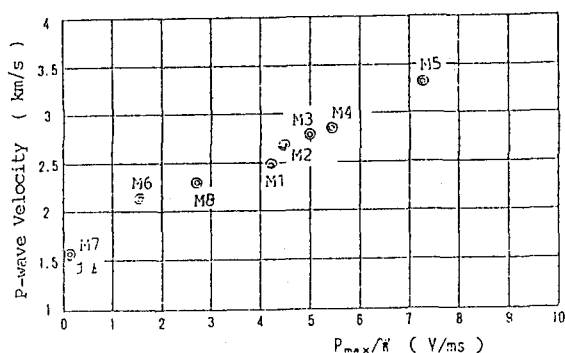
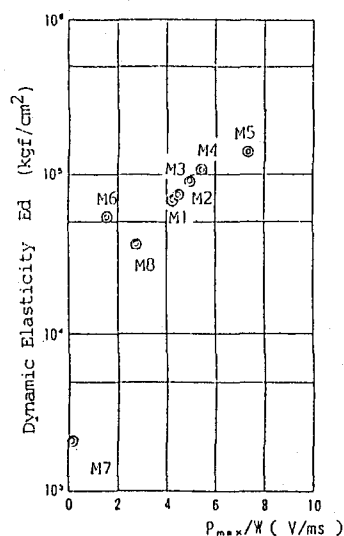


Figure-4 Effect of Number of Impact

Table-1 Properties of Materials Used for Fundamental Experiment

Material of Specimen	Density (gr/cm ³)	P-Wave Velocity (km/s)	S-Wave Velocity (km/s)	Uni-Ax. Strength (kgf/cm ²)	Static Elasticity (10 ⁴ ·kgf/cm ²)	Dynamic Elasticity (10 ⁴ ·kgf/cm ²)	Dynamic Poisson's Ratio (-)
M1	Mortar A	1.62	2.48	1.26	106	4.49	0.33
M2		1.66	2.68	1.27	130	6.79	0.36
M3		1.70	2.77	1.41	176	6.66	0.32
M4		1.75	2.84	1.52	282	7.77	0.30
M5		1.74	3.32	1.74	496	10.8	0.31
M6 Pumiceous Tuff	1.52	2.14	1.16	69	1.71	5.38	0.29
M7 Rubber	1.12	1.57	0.25	--	--	0.213	0.49
M8 Polyacetal Resins	1.41	2.30	0.95	--	--	3.64	0.40

Figure-5 Relation between P_{max}/W and V_p Figure-6 Relation between P_{max}/W and Dynamic Elasticity

3. 現場適用実験

3-1 目的

当試験機の原理に関して、前述のとおり室内実験によって確認が完了したので、次に現場における適用実験を、各種の岩種の数箇所のボーリング孔を用いて実施した。現場適用実験を行うに際しては、野外ボーリング孔における操作性の確認、並びにボーリングコア等による室内実験データと現場実験データとの対比に主眼をおいた。

3-2 実験地点の地盤条件

現場実験のうち、A地点の事例を以下に述べる。A地点は、東京の西方約80kmに位置し、地表から1.5mの一部を除き、花崗閃緑岩が卓越している。ボーリング孔径は66mm、全孔長は25mである。キャリバー試験の結果によると、孔壁の粗さは、全孔長を通じて1～3mm程度であり、深さ9.8mの箇所に孔径113mmの乱れが見出だされている。

3-3 実験結果

実験の結果、ボーリング孔壁は削孔後一年以上経て、ある程度風化が進んでいるものと推定されるにもかかわらず、当試験機は現場において操作をする上で十分な作業性のあることが認められた。図-7は、ハンマー部加速度計並びにハンマーから42及び74cm離れた位置の孔壁部加速度計で得られた加速度波形である。この図には、

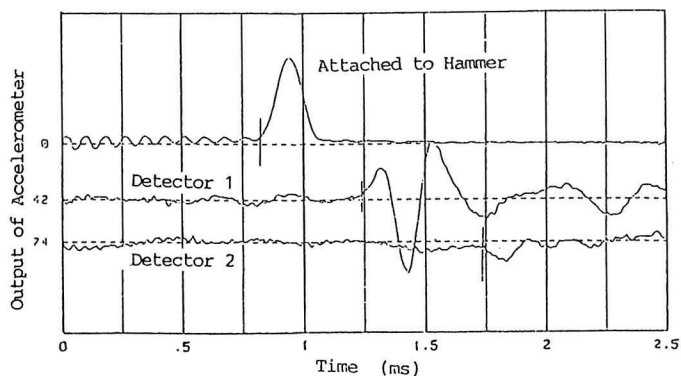


Figure-7 Acceleration Waves of Hammer and Detecting Devices

これ等加速度計が、打撃で生じた伝播波を明瞭に受信していることが示されている。

図-8及び9に、P波速度と P_{max}/W 、及び一軸強度と P_{max}/W の関係を、室内試験の結果とともに示す。A地点で得られたデータは、室内試験の結果と良い傾向の一致を示している。

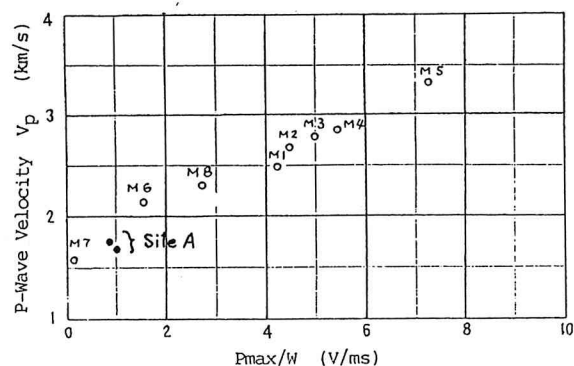


Figure-8 Relation between P_{max}/W and V_p

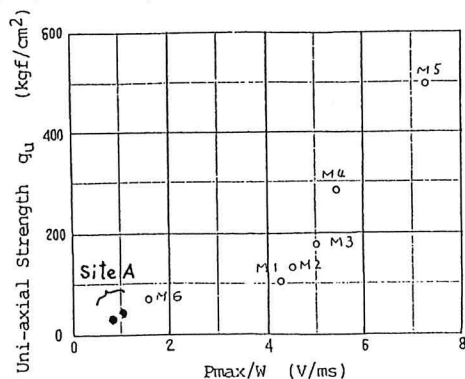


Figure-9 Relation between P_{max}/W and q_u

4. 結論

打撃応答と弾性波動伝播の原理を応用した試験機を開発し、現場実験を含めた総合的な試験を行った結果、岩盤物性の推定精度、操作性とも良好な結果が得られた。今後は、更に岩盤物性を推定するためのデータを蓄積し、当試験機の信頼性を高め試験手法を確かなものとしてゆきたい。なお、筆者らは、岩盤のみならずコンクリートの物理定数の推定についても、当試験機の適用を拡大してゆくよう計画している。

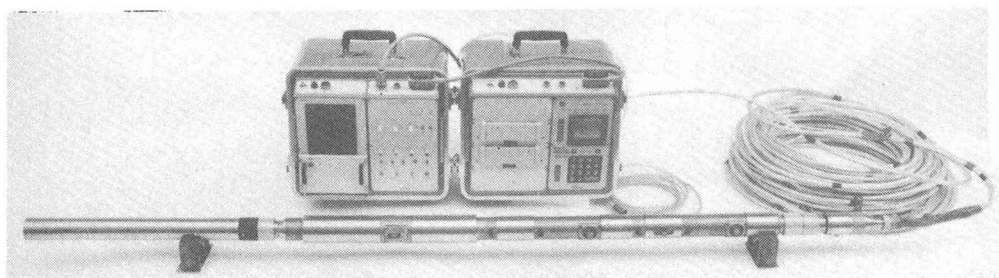


Photo- Outside View of the Instrument

〔参考文献〕：『ボーリング孔を利用した簡易打撃応答試験機の開発』、鈴木英世ほか、第7回岩の力学シンポジウム講演論文集、pp 217-222、1987年12月

(3) Development and Field Experiment of New Borehole Impact Test Instrument

Hideyo SUZUKI, Yoshiyuki NOZAWA (The Tokyo Electric Power Co.,Inc.)
Kokichi KIKUCHI, Makoto FUJIEDA (Tokyo Electric Power Services Co.,Ltd.)
and Yoshinori SONE (OYO Corporation)

A B S T R A C T

The authors have developed New Borehole Impact Testing Instrument for evaluation of rock properties using principles of rebounding behavior and propagation of elastic waves by means of small hammer built in a probe. Main process of developing this testing instrument and its field experiment is reported in this paper.

The Borehole Impact Test Instrument can be divided into two major parts; i.e., one is an in-borehole probe, and the other is an on-ground data processing/logging system. Installed in the probe are electro-magnetic hammering device with small sized accelerometer, driving circuit for impact force, detecting accelerometer for propagating elastic waves along the cylindrical surface of the borehole, and fixing device to the wall. On-ground system is consist of two units, which has the functions as follows: a) controlling the impact of the hammer in the probe, b) amplifying and printing/displaying the response waves of the hammer and the surface of the borehole, c) recording the digitized wave using 3 and 1/2 inches floppy disk drive, and d) transmitting the digitized records to an external CPU.

Using the impacting parts from the total testing system, fundamental experiment was carried out for several kinds of material with flat surface shape, for the purpose of examining the difference of response wave pattern according to the various properties of the materials. As the results of the experiment, P_{max}/W , which is defined as the ratio of peak acceleration and time width of the small hammer, is sufficient enough index for estimating the properties of wall materials.

Also, as the results of the field experiment of this New Instrument, it shows fine workability for boreholes in the fields and fairly good estimating accuracy concerning dynamic elasticity, P-wave velocity, and so on.

After accumulating further datum for estimating the properties of rocks, it will come to be more reliable and firm method in near future. The authors also will go on application study for estimating the properties of cement concrete for the purpose of deterioration investigation.