

(96) 岩盤中を伝播する弾性波の周波数による 見かけ上の速度変化について

(株) 間 組 正会員 ○蓮井昭則
山口大学工学部 清水光男
同 上 正会員 中川浩二

Variation of Apparent Elastic Primary Wave Velocity According to Frequency in Rock Masses

Akinori HASUI, HAZAMA Corporation
Mitsuo SHIMIZU, Yamaguchi University
Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

It is examined that variation in the apparent primary elastic wave velocity through granite block depends on its frequency. The method of mathematical expression of the dependence is studied from results of this experiment.

On this experimental case, brief results are as follows : ①The apparent velocity of received elastic primary wave is related to its frequency. The apparent velocity decreases when the frequency becomes higher. ②Linear relationship was given between the apparent velocity and the frequency.

1. はじめに

建設分野において、岩盤中における弾性波のP波速度（以後、弾性波速度という）は地山分類のための定量的な指標の1つであり、近年では弾性波トモグラフィなどの技術により非破壊で岩盤中を評価しようとする研究もさかに行われている。弾性波速度に影響を及ぼす要因としては岩盤中の岩石の力学的特性、応力、亀裂や水の状態などが挙げられるが、同一の伝播経路であれば弾性波速度は唯一と考えることができる。

しかし、測定条件などによっては弾性波速度が見かけ上異なる可能性が十分考えられる。渡辺らの報告¹⁾では弾性波の波長と亀裂幅の関係により弾性波速度に見かけ上の変化が生じることが指摘されており、筆者らにおいても、同じ岩盤でも高周波波動を用いた原位置の孔間弾性波測定による弾性波速度と地質調査で用いられている測定（地表探査、屈折波法）による弾性波速度が異なるという結果が得られている。このような場合、孔間弾性波測定により得られた速度値を地山分類等と比較して岩盤を定量的に評価することには問題が生じる。

このような状況のもと、筆者らは同じ岩盤において伝播する弾性波波動の見かけ上の弾性波速度が異なる原因の1つとして、波動が受振器に真に到達してから計測システム上で到達が確認されるまでに、波動の周波数レベルに依存する時間的な差が発生していると考えた。そして、測定される弾性波波動の周波数による見かけ上の速度差を明らかにするために、花こう岩の岩石ブロック内を伝播する波動を計測し、それを周波数成分別に選出して波動の立ち上がり時間を測定した。なお、実験は均質な媒質としてH鋼を、不連続面のない岩盤として岩石ブロックを、そして不連続面のある媒質として自然岩盤を用いた測定を実

施したが、本文では岩石ブロックによる結果を報告する。

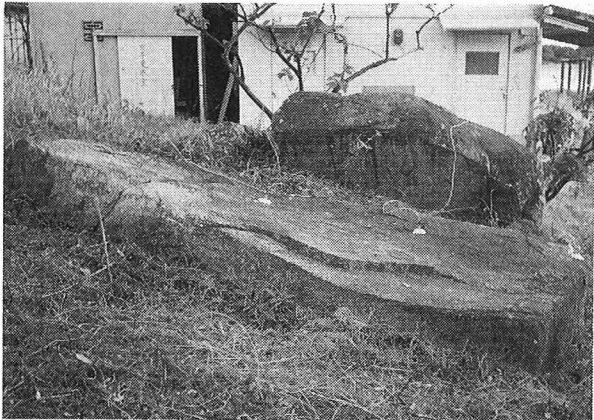
2. 実験概要

実験に用いた試験体は山口県宇部市東岐波地区の海岸に露頭している花こう岩の岩石ブロックで、試験体は高さ 3.5m、底辺 2 m 程度、厚さ 50cm 程度の板状をしており（写真－1 参照）、表面の風化は進んでいるが亀裂等の不連続面は確認されなかった。

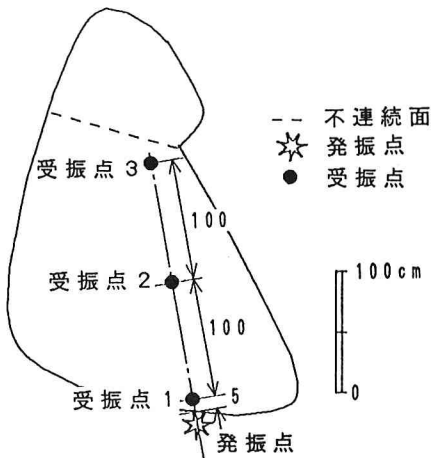
実験における弾性波の発振および受振位置を図－1 に示す。受振器は10Hz～ 10KHz程度の波動を平滑に測定できる圧電型加速度計（共振周波数30KHz ）を使用し、試験体表面に1 m 間隔で石こうを用いて3 点（受振点1～3 ）設置した。また、測線点の延長上の試験体側部に発振点を設け、ロックシュミットハンマにより受振点の方向に向けて打撃を加えて振源とし、発振点に最も近い受振点1 の波動をトリガとして用いた。

測定は十数回実施し、受振点1～3 で受振された波動をアンプを通してデータレコーダに原波動としてアナログ記録した。さらに、その原波動記録からバンドパスフィルタ装置を用いて①10KHz～6KHz 、②5KHz～1KHz、③1KHz～600Hz 、④500Hz～300Hzの周波数成分の波動（選出波動）をとりだし、立ち上がり時間を測定した。これは同一の波動を異なる特性をもつ受振器で測定した場合を模擬したものである。実験に用いた各装置の諸元を表－1 に示す。

実験結果の整理は、受振点1（トリガ）の原波動の初動到達時間と受振点2 と受振点3 での選出波動の初動到達時間を測定し、周波数成分毎の受振点1～2 間の走行時間、受振点2～3 間の走行時間を算出して行った。また、測定波動のうち初動振幅が小さく波動の到達が判別しにくい、あるいは読み取り誤差が過大になると考えられる測定結果については整理から除外した。



写真－1 花こう岩ブロック



図－1 発振・受振点の位置

表－1 測定装置の緒元

機 器 名	型 式	諸 元	メーカー
発 振 器	model KS	ロックシュミットハンマ	PROCEQ
受 振 器	707	応答周波数 3Hz～14KHz、共振周波数30KHz	ティアック電子計測
ア ン プ	SA-16	周波数特性 DC～50KHz、4チャンネル	ティアック電子計測
ビデ オー タレコーダ	XR-510WB	同上 DC～50KHz、12チャンネル	ティアック
マルチフィルタ	FV625A	同上 0.1Hz～99.9KHz、バンドパス	N F 回路ブロック
ストレージオシロスコープ	VC-6041	同上 DC～40KHz、2チャンネル	日立電子

3. 実験結果および考察

受振点2で計測された原波動、各周波数成分別に得られた選出波動およびスペクトル分析を図-2に示す。原波動はスペクトル分析にみられるように8KHz程度を中心とした広範囲の周波数成分を含んでいる。各周波数成分毎に分離された波動は明瞭であり、周波数成分が低下するに伴いその中心スペクトルの周波数が低く、波動の大きさも小さくなっている。また、各波動の立ち上がりも周波数成分が低くなるに伴いわずかではあるが遅くなっているのがわかる。

受振点1～2間の各周波数成分での走行時間差、および両方とも同じ周波数成分の波動で受振点2～3間の走行時間差を整理した結果を図-3に示すが、横軸は受振点2で得られた選出波動の最大スペクトル値を示す周波数である。受振点1～2間の走行時間差は周波数成分10KHz～6KHzの選出波動で整理すると約500 μ s、周波数成分1KHz～600Hzでは約1000 μ s程度となり、見かけ上の走行時間に大きな差が生じている。渡辺らによる報告¹⁾では、弾性波波動の波長(λ)と亀裂の幅(d)との関係により弾性波速度の見かけ上の変化が発生することが報告されているが、本実験で用いた岩石ブロックでは弾性波伝播経路中には不連続面はなく、岩石中の微細なクラックに対しても λ/d は十分に大きいため、亀裂による弾性波速度の見かけ上の変化はほとんどないと考えられる。フィルタ装置など測定システムによる時間誤差がないものと仮定すると、この見かけ上の走行時間差は選出波動の周波数に影響されている部分が大きく、見かけ上の走行時間は周波数の対数と反比例関係にあると考えられる。

また、両方とも同じ周波数成分の波動で整理した受振点2～3間の走行時間差では、低周波部分ではバラツキはあるものの、各周波数成分における走行時間は平均的にみると一定であると捉えることができる。このことは発振側も受振側も同じ周波数で整理すると、一定の走行時間が得られることを示している。

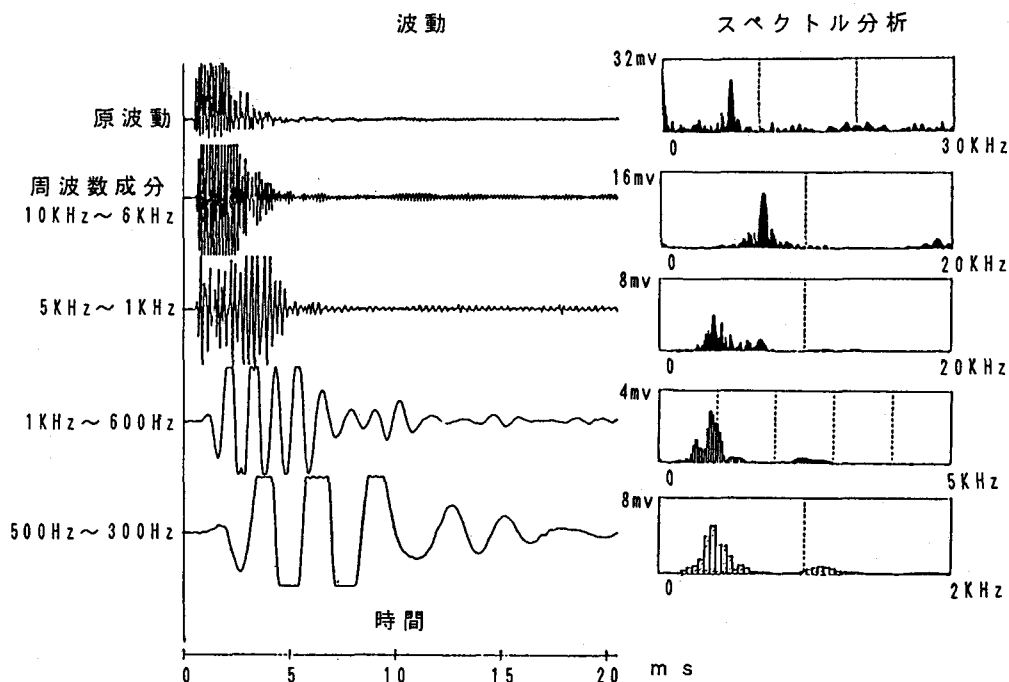


図-2 測定波動およびスペクトル分析の例

一方、選出波動の初動波形の立ち上がりから半周期間の時間をもとめ、それから初動波形の疑似周波数を換算して整理した受振点1～2間の走行時間差、受振点2～3間の走行時間差を図-4に示す。この結果と図-3で示された結果はほぼ一致しており、初動波形と最大スペクトル値を示す周波数のいずれの整理方法においても同様の周波数の影響が確認できる。

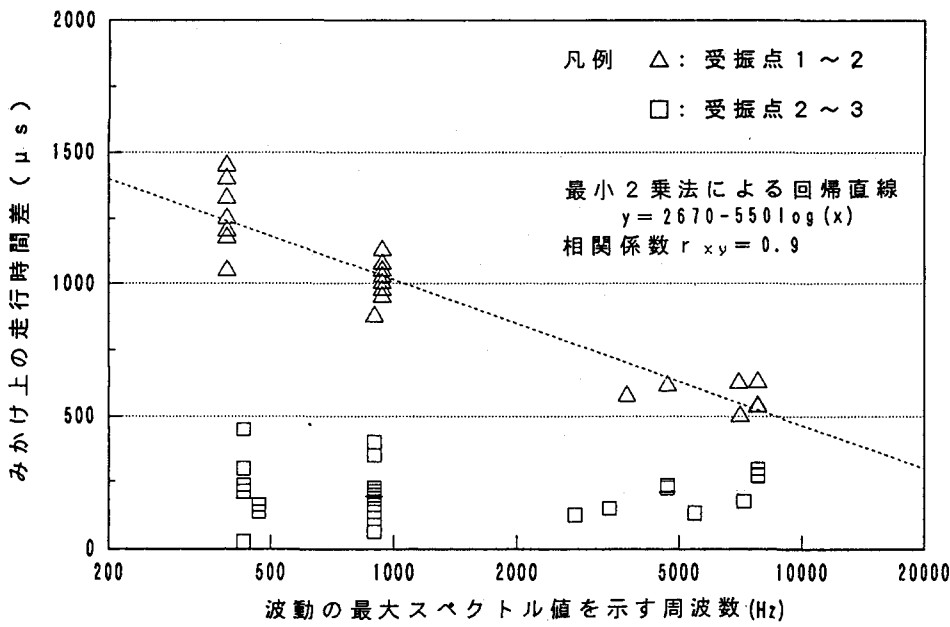


図-3 波動の最大スペクトル値を示す周波数と見かけ上の走行時間差の関係

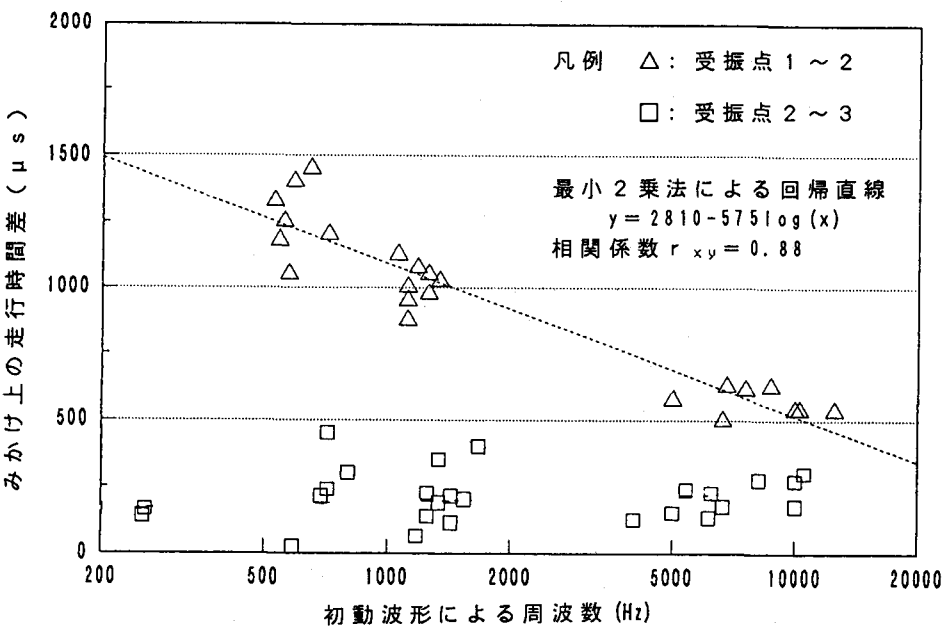


図-4 初動波形による周波数と見かけ上の走行時間差の関係

弾性波測定では発振された波動が受振器に到達するまでの走行時間を知り、それをもとに弾性波速度を算出している。ところが、本実験結果にみられるように、受振側で測定される波動の周波数によって見かけ上の走行時間が異なり、そのため、弾性波速度が見かけ上変ることになる。

この走行時間に差が生じる原因として、受振器に真に到達してから計測システム上で到達が確認されるまでにシステム的能力、S/N比や波動の立ち上がり方などによる時間的な誤差（遅れ時間と呼ぶ）が考えられる。図-5に遅れ時間の概念を示すが、測定システムやノイズ条件が同一の場合、この遅れ時間は波動の立ち上がり方と相関を持ち、高周波波動の場合には遅れ時間は短く、低周波波動の場合では遅れ時間が大きくなって現れる。弾性波の見かけ上の走行時間は真の到達時間にこの遅れ時間が加算されるため、周波数によりみかけ上の変化が生じる。また、同じ周波数であれば遅れ時間はほぼ同様であると考えることができる。したがって、受振される波動の周波数により走行時間が見かけ上変化し、それは遅れ時間の概念で近似的に表され、遅れ時間は周波数の対数値に対し近似的に反比例の関係にあると考えられる。

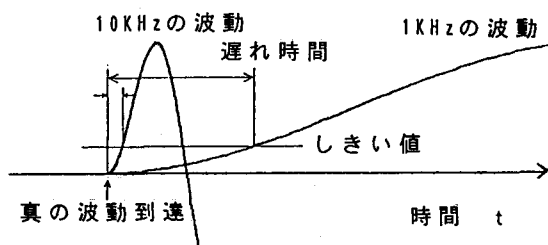


図-5 遅れ時間の概念

4. あとがき

本研究では弾性波P波速度の波動の周波数による見かけ上の変化について花こう岩の岩石ブロックを用いた実験を行い、遅れ時間について検討を加えた。その結果、遅れ時間は受振される波動の周波数に依存し、周波数の対数値に対し反比例の関係にあることなどが判明した。

従来から実施されている弾性波調査は調査範囲が広く遅れ時間が発生していたとしても、走行時間に比較した場合は十分に小さいためほとんど問題とはならなかった。しかし、土木分野の施工サイズの比較的に狭い区間を弾性波によって調査した場合には、高周波数の弾性波を用いて高精度に測定する必要があり、この場合、岩盤を地山区分などと比較して定量的に評価する場合には周波数による遅れ時間を考慮しなければならない。本実験によってその糸口がみいだせたものと考えている。

見かけ上の走行時間にはにはノイズや振幅の大きさなどの要因、あるいは岩盤では亀裂等の不連続面の影響などが混在しており、それらの影響についての検討は今後の課題である。また、原位置岩盤で実施した実験結果との比較についても検討して行きたいと考えている。

最後に、本実験に際し貴重な御助言、御協力を戴いた山口大学工学部建設工学科の学生諸氏に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺、佐々、芦田、岸本：多数の薄層からなる低速度帯がP波速度に及ぼす影響について、物理探査第42巻第2号、pp. 75-81、1989
- 2) 金子、中村、平田、大見：伝播波形形状によるQ値評価方法（1）、物理探査第42巻第4号、pp. 235-244、1989
- 3) 蓮井、世一、山下：原位置岩盤における孔間弾性波結果とその処理について、第7回岩盤力学シンポジウム講演論文集、pp. 169-174、1987