

(6) サイスマック・トモグラフィの

岩盤調査への適用について

鹿島建設技術研究所

正会員 青 木 謙 治

同上

正会員 広 野 進

同上

正会員 ○ 戸 井 田 克

鹿島建設情報システム部

上 野 弘 道

1. はじめに

サイスマック・トモグラフィは、医学分野で用いられているX線CTスキャナ手法に代表されるトモグラフィ技術を地盤調査分野へ取り入れたジオトモグラフィ技術の一手法である。トモグラフィの“tomo”はギリシャ語の“tomé”に由来する“切る”を意味するものと言われ^{*1}、本手法は非破壊的に地下構造を切って可視化できる特徴を有している。

近年、国内外でサイスマック・トモグラフィの実用化を目的とした研究が活発に行なわれているが、数値計算によるシミュレーション手法に関するものが多く、現場での実測例、特に岩盤調査へ本手法を適用した事例は数少ないようである。^{*2}

今回は、室内での模型実験結果と共に、ボーリング孔を利用した孔間探査への応用例及び坑内での破砕帯探査を目的として実施した現場測定結果をとりまとめ、本手法の岩盤調査への適用性について報告する。

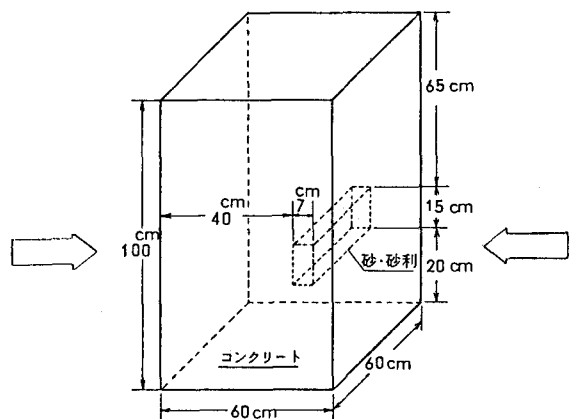
2. 解析手法について

サイスマック・トモグラフィの解析手法としては、各発・受振点間の波動伝播時間に関する実測値と計算値との残差を小さくするように繰り返し計算を行ういわゆる反復法を採用した。これまでの反復法による計算には、種々のアルゴリズムが用いられているが、現場での実測データには数値計算による解析手法のシミュレーション時には発生し得ない測定誤差が含まれるために、解析結果の検証には他の調査結果との比較が重要との判断から、今回の現場測定結果にはトモグラフィ手法以外の調査結果を参考に検討を行った。

3. 室内実験

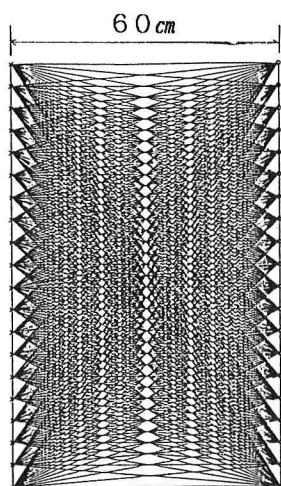
まず、現場実験に先立ち、本手法の地質調査への適用性について検討するために、簡単な地下構造を想定したコンクリート模型を作成して室内実験を行った。模型は図-1に示すように地下に弱層または空洞の存在を想定した縦15cm×横7cm×長さ50cmの砂と砂利の混合物をコンクリート中に配置した。発振用の圧電素子型パルスジェネレーター（パルス幅10 μ sec）と受振用の圧電素子型加速度計（共振周波数100kHz）を図-2のように配置した。総計400の波線を設け、観測されたアナログの測定波形を1 μ sec毎にA/D変換した後、伝播時間を読取って解析を行った。

図-3は測定から得られた波形の一例であり、発・受振器の向い合った直線波線のみを示してあるが、弱層を通過した部分



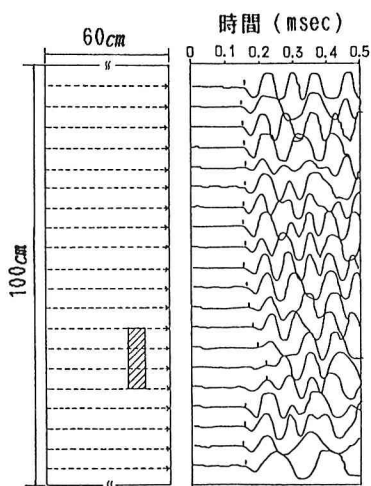
→ : 測定方向

図-1 室内実験用模型



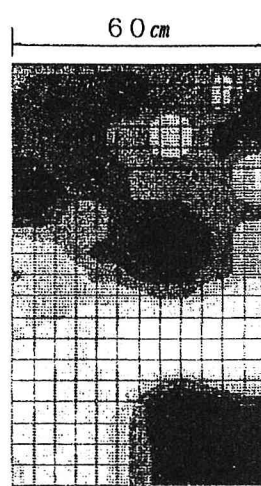
× 発振点： 20点
○ 受振点： 20点
— 波 線： 400波線

図-2 測定パターン



— 波 線
▨ 砂・砂利

図-3 測定波形例



3.04 3.54 4.04 4.54 (km/s)

図-4 速度分布

では明瞭な波動の到達時刻の遅れがわかる。これらの波形から各波線ごとの到達時刻を読み取り、反復法に従って計算した結果が図-4であり、想定した弱層の中心部分と検出された低速度部分の中心部分はほぼ一致しており、本手法の適用性が確認できた。但し、弱層の大きさが実際よりも水平方向にやや大きく検出されている点については、他の研究でも^{*3,4}指摘されているようにほぼ鉛直方向に存在している弱層に対して波線の多くが水平方向であるために解析上の誤差が生じたものと考えられる。

4. 現場実験

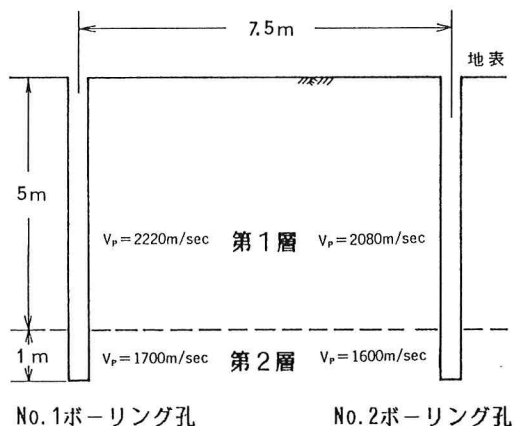
上記室内実験に引き続き、現場への適用性について検討するため、以下に示す2ケースの実験を実施した

4.1 ボーリング孔を利用した孔間探査

本実験は、サイスミック・トモグラフィによる平面内の速度分布の把握によって第一速度層内の均質さの程度を確かめることを目的としたものである。

実験は図-5に示すように深度6m、水平距離7.5mの範囲の軟岩地盤で実施した。図中に示す2本のボーリング孔を利用して別途速度検層を実施した結果、本地盤の概略速度分布は、ほぼ2層構造と推定された。

発・受振器の配置は図-6に示す通りであり、発振はボーリング孔内のスパーカー、受振は圧電素子型加

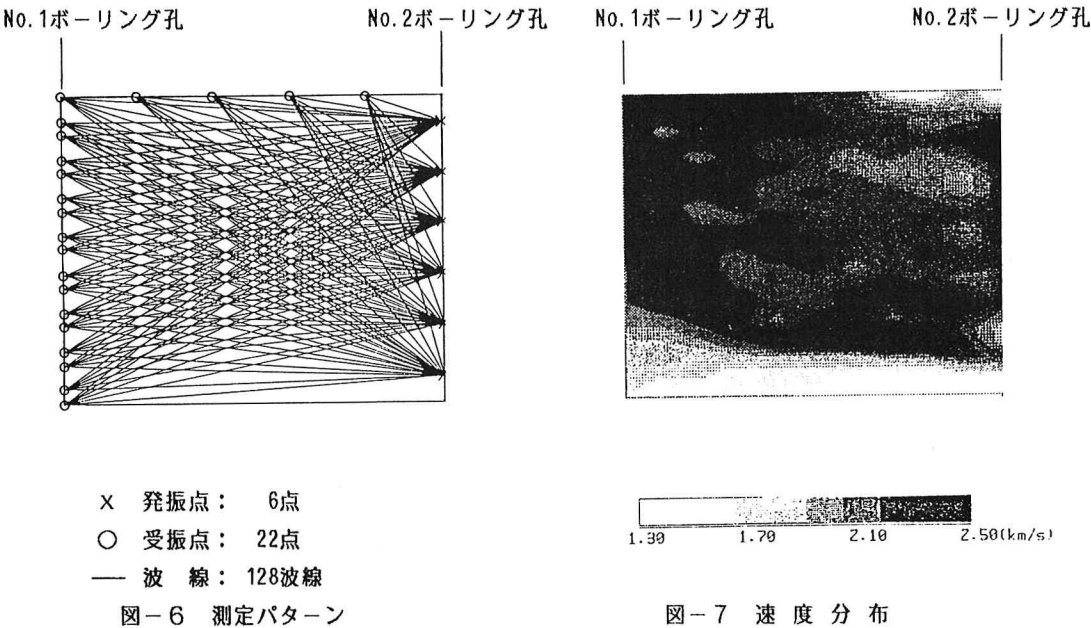


No.1ボーリング孔 No.2ボーリング孔

図-5 現場実験概念図(断面図)

速度計を用いた。受振器の設置は、ボーリング孔内では空気圧による圧着方式、地表では、アタッチメントを地盤中へうち込むアンカー方式を用いた。解析に用いた総波線は254であった。

図-7は解析結果の速度分布であり、これらより、探査領域は速度検層結果からの推定同様2層と見なせる速度構造であることがわかった。また、第一速度層の速度分布も深度0.5～5.0mの範囲で同程度の値と見なせることからほぼ均質な状態と判断できた。さらに、サイスミック・トモグラフィの解析結果では第一速度層、第二速度層ともに右側のNo.2ボーリング付近が左側のNo.1ボーリング孔付近に比べて若干速度値が小さくなっており、この傾向は図-5に示した速度検層結果による速度分布と符合していることもわかった。



4.2 坑内における破碎帯探査

これら破碎帯の二次元的分布状況の把握を目的としてサイスミック・トモグラフィの実験を行った。実験は流紋岩質岩盤に掘削された試掘横坑内で実施した。横坑の岩質は比較的均質であるが、図-8に示すように、幅50～100cmのA～B破碎帯と幅30～50cmのC～I破碎帯及び粘土シームが存在する。各破碎帯・シームの位置は坑壁の地質観察により確認し、それらの連続性は側壁での走向傾斜から推定したものである。

発・受振点は図-9に示すようにできる限り調査対象を取り囲むように設置し、各発・受振点間で得られた波線ごとの波形を0.5msecにサンプリングした後、伝播時間を読み取って解析に用いた。発振は、掛矢による坑壁打撃によって行い、受振は岩盤中に埋設した鋼棒の頭部に設置した速度型地震計（固有周波数100Hz）により行った。

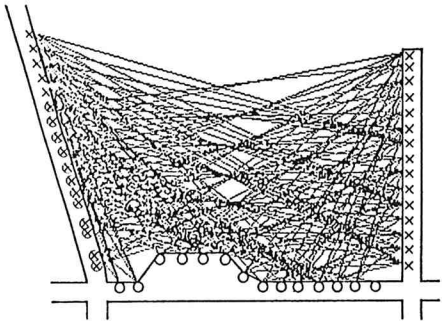
解析に際しては図-9の波線の配置状況から明らかなように、波線のほとんどがほぼB破碎帯に直交しており、室内実験と同様に解析結果に含まれる誤差が大きくなると判断し、図-8に示した破碎帯の内、B破碎帯を除いた7つを検討の対象とした。図-10は解析結果であり、同図には坑壁周辺のゆるみ域に対する伝播時間の補正を施してある。図-8と比べると、検討対象としたほとんどの破碎帯・シームの位置が検出できたものと判断される。但し、当初の予測どおり、ほとんどの波線に直交して存在するB破碎帯については、検出が不完全であったものと考えられる。

5. おわりに

本報告では、サイスミック・トモグラフィの岩盤調査への適用性の検討を目的として実施した室内及び現場実験結果を示したが、以下に示す知見が得られた。

- 1) 本手法によって実際の岩盤中の破砕帯・シームの存在位置を把握することができ、今後実際の調査へ適用できる見通しが得られた。
- 2) 本手法では、検出対象に対して直交する波線が多くなる場合には、検出精度の低下が予想される。従って、現場では、発・受振器の配置が制約されることが多いため、測定計画立案時の十分な検討が必要と考えられる。

サイスミック・トモグラフィは、地下構造の三次元的な可視化に最適な手法の一つと考えられ、今後も実際の現場での適用事例を重ねることによって測定・解析上の検討を引き続き進めていくことが必要と考えられる。



x 発振点： 32点
○ 受振点： 24点
— 波 線： 566波線

図-9 測定パターン

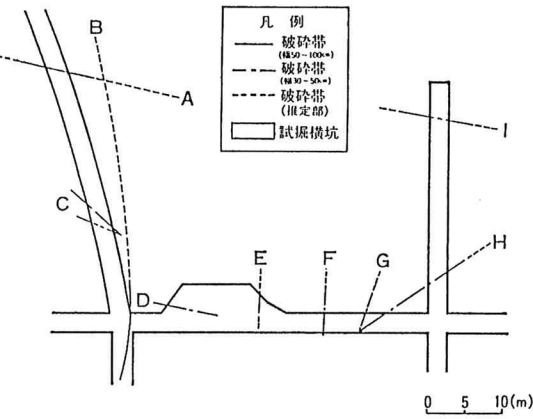


図-8 現場実験位置（平面図）

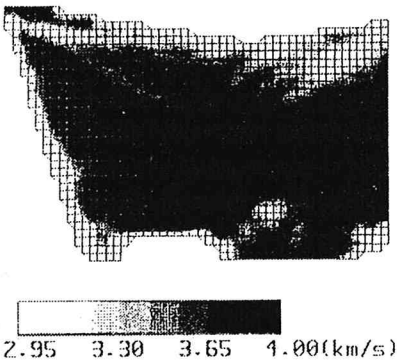


図-10 速度分布

参考文献

- *1 M.H.Worthington : An Introduction to Geophysical Tomography, First Break, NOVEMBER, pp.20-26 ,1984.
- *2 S.Ivansson: Crosshole Transmission Tomography , Seismic Tomography with Applications in Global Seismology and Exploration Geophysics,Reidel, pp.159-188, 1987.
- *3. 大友秀夫、斉藤秀樹：サイスミックトモグラフィの数値実験、土木学会第41回年次学術講演会論文集、pp.677-678、1986.
- *4 GEOSEISMO OY: Cross Hole Seismic Investigations in Loviisa Power Station, 1986.

(6) Application of Seismic Tomography to Geological Investigation

KENJI AOKI*, SUSUMU HIRONO*, MASARU TOIDA* and HIROMICHI UENO**

* Kajima Institute of Construction Technology

** Kajima Corporation Information Processing Center

ABSTRACT

Seismic tomography is defined as the technique for site investigation using reconstruction algorithms developed in the field of medical x-ray computer tomography scanner technology. The purpose of seismic tomography is to obtain an actual image of selected plane sections of the subsurface ground.

In recent years, many progress has been made in the development of seismic tomography techniques, but few articles have discussed on field measurements. In this report, the results of a fundamental laboratory experiment and in-situ experiments were discussed.

- 1) In laboratory experiment, it was indicated the reconstruction algorithms using iterative technique were applicable to the site investigation.
- 2) In the field experiment for soft rock, with seismic tomography, detailed images of in-situ velocity in the regions between boreholes were obtained which is consistent with the velocity logging data.
- 3) In another field measurements for hard rock, fractured zones in the test adit were sufficiently detected by seismic tomography technique.

The results of these experiments can be summarized as follows:

- 1) The reconstruction data of two in-situ measurements suggests that seismic tomography may be useful for geological investigation, especially in detecting fractured zones and zoning of the characteristics of rock mass.
- 2) In the actual field, as the location of measuring points are limited by in-situ conditions, it has to be considered that errors may occur in the analyzing process.