

1. まえがき

一般に、構造物基礎の支持地盤の調査においては、構造物の建設予定位置の何箇所かでボーリング調査を実施し、そこから得られる地質情報を基にボーリング調査地点間の地質構造を推定し、建物のレイアウトに沿った地質推定断面図を作成するという手法が用いられている。しかしながら、このような手法では、地下構造の変化が著しい場合には、十分な精度で地下構造を推定することが困難な場合がある。調査の精度が不十分であると、施工の途中で予期しない埋没谷に遭遇したり、支持層の分布が推定と異なるなど、施工の段階で大幅な設計変更を余儀なくされることがある。

地下構造を連続的に把握する手法としては、従来から物理探査が多く利用されている。物理探査の中でも、地震波を利用し、反射波に着目した探査手法と位置づけられるのが反射法地震探査で、浅層反射法地震探査（以下浅層反射法と呼ぶ）は、土木分野で対象とする地盤浅部、特に土質地盤を対象とした高分解能反射法探査と言い換えることができる。この浅層反射法の利点の1つとして、測線に沿った地下の構造を連続した視覚的な2次元断面として描き出せる点が挙げられる。

本報では、まず浅層反射法について概説し、さらにその適用例として、造成地において盛土の分布状況を把握する目的で行なった調査結果について述べる。

2. 浅層反射法

2-1. 探査法の概要

反射法地震探査は、地表で人工的に地震波を発生させ、地盤内を伝播して地層境界面で反射してきた地震波（反射波）を、地表の受振器で検出することにより、地下の反射面分布の断面を描く手法である。

発生させる地震波としては、P波、S波が利用できるが、未固結の堆積層地盤（土質地盤）を対象とする場合、次に示すように、S波を利用することの利点が指摘されている¹⁾。

- (1) 土質地盤においてS波は、速度がP波の速度に比べて約 $1/2 \sim 1/20$ と小さく、波長もP波に比べて短いため、より分解能の高い探査が期待できる。
- (2) 土質地盤のS波速度は、地下水の影響を受けにくく、地層の変化や地盤の強度の変化を良く反映するため、土木工学で必要とする地盤情報が抽出しやすい。

このようなS波の特徴を利用して、土質地盤の地下構造を高分解能かつ連続的に探査する手法が浅層反射法であり、最近では、導水路トンネルや下水道など地下線状構造物の路線調査にしばしば用いられている²⁾。

2-2. 測定方法

図-1に測定方法の概要図を示す。S波の振源としては、通常板叩き法震源を用いる。板叩き法とは、起振点に設置した起振用厚板に載荷

し、その板をカケヤによって横から打撃することによって起振する方法である。測点（受振点）は測線に沿って等間隔（通常1～5m）に設ける。測定においては、受振点群の一番端に起振点を置き、S波を発生させ、その時に各受振点に設置した地震計が受振した地震波形を収録する。

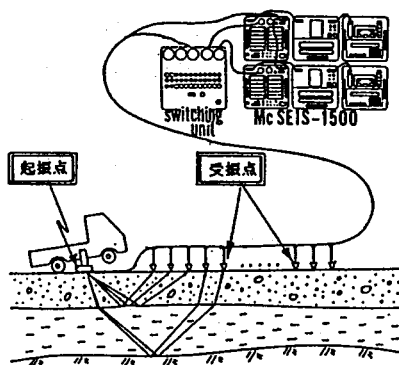


図-1 測定方法の概要

An application of shallow seismic reflection method to developed ground investigation : Kazuhisa Orito and Hideki Saitou , OYO Corporation .

この波形記録中には各種の地震波が含まれるが、その中から微弱な反射波だけを抽出、強調するために、CDP (Common Depth Point) 重合法と呼ばれる測定・解析方法を用いる。CDPとは、起振点と受振点の midpoint 位置を意味するもので、図-2 にその概要図を示す。

CDP 重合法では、ある受振点で捉えられた反射波は、その受振点とその時の起振点との midpoint 位置直下の情報を持つものとして扱われる。そこで、起振点・受振点距離の異なる記録を収録すれば、同じ midpoint 位置を共有する複数の記録が得られる。この同じ midpoint 位置を共有する記録群を CDP グループと呼ぶ。

現場測定においては、図-2 に示すように起振点、受振点をすべて 1 観測点間隔分づつ測線方向に移動 (展開 1, 展開 2, …) させながら記録を収録する。そして、データ処理の段階で、起振点と受振点の位置関係から同じ midpoint 位置を共有する記録を選び出し、CDP グループとして編集する。

2-3. 解析方法

CDP 重合法の解析の流れを図-3 に示す。以下に、各ステップの主な内容について簡単に述べる。

- (1) 1 起振毎の記録を CDP グループ毎の記録に再編集する。
- (2) 微弱な反射波記録を強調するために、各種のフィルタリング処理を行なう。
- (3) CDP グループ毎に反射波速度を描出する。
- (4) CDP 位置直下の地下情報を持つ 1 本の波形記録を得るために、CDP グループを構成する記録に起振点・受振点距離の違いを補正する処理を施し、すべて重合する。この波形を CDP No. 順に並べたものが時間断面 (縦軸が時間の断面) となる。
- (5) 深度断面 (縦軸が深度の断面) を得るために、地盤の適切な速度情報を入力し時間断面を深度断面に変換する。こうして、土木工学的検討に用いられる地下構造の断面図が得られる。

3. 造成地での調査例

3-1. 調査の背景

調査地一帯は起伏に富む丘陵地で、地質は基盤となる第三系とその上位に分布する洪積統の砂礫層で構成されている。調査地においては、造成による切盛施工で丘陵地がほぼフラットに整地されているため、場所によって盛土が厚く分布することが予想されていた。

調査の目的は、この造成地に建設予定の建造物の基礎形式を決定するための検討資料として必要となる盛土の

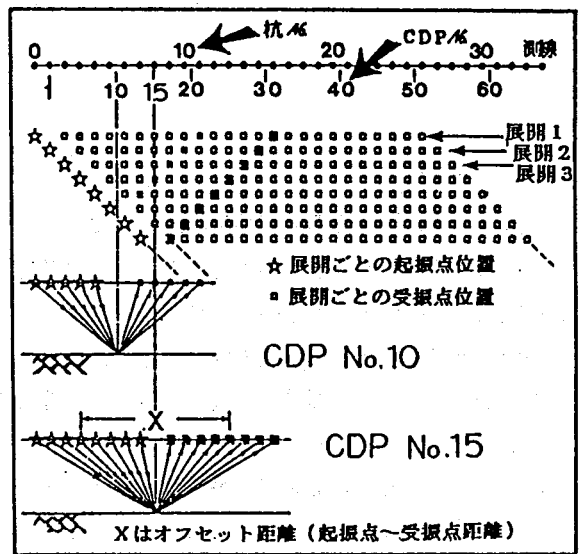


図-2 CDP の概念

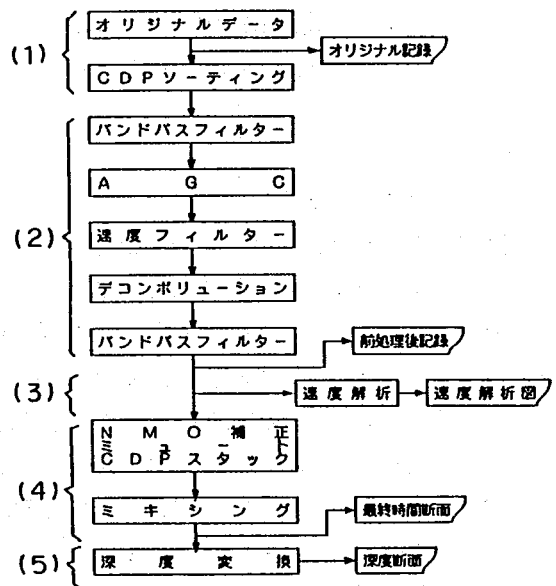


図-3 解析フローチャート

分布状況を把握することにあつた。

今回対象とした構造物の建設予定位置では、既に5箇所ではボーリング調査が実施されており、その結果からは対象となる盛土が厚い所で10~20mの層厚で分布していることが確認された。また、切盛施工を行なう前の旧地形図からは、盛土の平面的な分布範囲(切土と盛土の境界)を概略推定することができた。

しかし、旧地形が急傾斜な割にはボーリングの調査箇所が少ないことや、また当調査地が鉱山の跡地であるため、旧地形と地山が必ずしも一致しない(切土部分に、人為的に移動したズリ山が含まれる)などの理由から、これらの既往ボーリング結果だけから盛土の分布状況を精度良く把握することはむずかしかつた。

そこで、盛土の分布を連続した断面として把握し、ボーリング結果や旧地形図に基づく推定を捕う目的で浅層反射法を実施することとした。

3-2. 調査方法

図-4に示す構造物のレイアウトに沿う2測線上(A測線、B測線)で、浅層反射法を実施した。A、B測線はともに既往のボーリング調査地点を通り、さらに旧地形図から推定した切盛境界を横切る位置に配置した。

探査諸元は、両測線とも同じであり、それぞれ以下に示すとおりである。なお、震源にはライトバンを載荷重として利用した板引き震源を用いて、これによってS波を発生させた。また、得られた波形記録は、応用地質(株)製のMcSEIS-1500にデジタルデータとして収録した。

<探査諸元>

- 測線長 : 72m
- 起振点および受振点間隔 : 2m
- 起振点および受振点数 : 36点
- チャンネル数 : 12
- CDP重合数 : 6
- オフセット距離 : 2~24m

3-3. 調査結果

図-5及び図-6に探査結果を示す。図-5は、解析フローチャート(図-3)に従って得られた最終的な深度断面であり、図-6は既往のボーリング調査結果及び旧地形図を基に作成した深度断面の解釈図である。

探査の結果、図-5に示すA断面、B断面ともに比較的明瞭な反射面(図中実線で示した)が存在している。主な反射面は、A、B断面ともにそれぞれ6面見られるが、切盛境界に関係する上部の4面はいずれも連続しておらず、ある所を境にとぎれている。反射面のとぎれている場所は、A断面で地表のCDP No.40と深度10mのCDP No.15を結ぶ直線、B断面では地表のCDP No.46と深度15mのCDP No.42を結ぶ直線の上にそれぞれ位置している。図-6に示すように、これらの直線の示す位置はボーリング結果及び旧地形図から推定した地山と盛土の境界面と一致するものであつた。

実際に探査を実施する前の段階では、地山と盛土の境界面そのものが反射面として捉えられることを期待した。しかし、これは今回の探査結果の特徴として挙げられるが、旧地形が急傾斜であつたことから、地山と盛土の境界面に相当する反射面は見られず、そのかわりに地山及び盛土内に存在する比較的明瞭な反射面がそれぞれ不連続となる境界として地山と盛土の境界面が確認された。

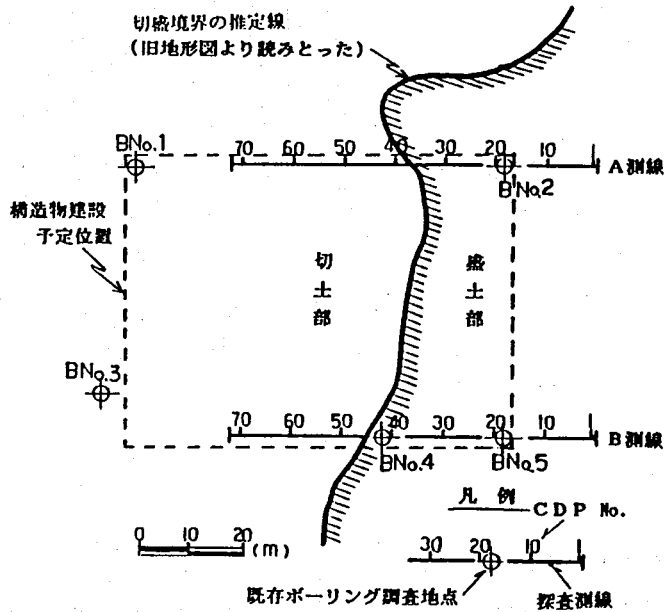


図-4 浅層反射法測線配置図

なお、浅層反射法で捉えられた反射面と地質とを対比すると、まず、A、B両断面の盛土内の深度2 m付近に見られる反射面は、盛土の上部に分布する砂礫の中で比較的高いN値を示す部分に対応している。また、盛土内の深度5 m付近の反射面は砂礫層の下面に対応している。さらに、A断面の深度7 m付近の反射面は洪積統の粘性土、A、B両断面の深度14 m付近に見られる反射面は第三系砂岩・泥岩の上面に対応している。

以上のように、浅層反射法の結果は、既往地質調査結果とも整合性が良いうえ、これまで、地質学的手法により推定せざるを得なかった地山と盛土の境界面の分布形状を客観的に描き出すことができた。

4. あとがき

浅層反射法は、測線に沿った地下構造を連続した断面図として表現できるという特徴を有しており、今回の調査結果も構造物の基礎形式を検討する上で有効なデータとして利用することができた。

今回の調査地のように、地下構造の変化が急な所では、ボーリング調査だけではその地下構造を十分把握するには限界があるため、浅層反射法を併用することによって、より効果的な調査が期待できる。今後、さらに分解能の向上を図り、浅層反射法を土木分野における有効な探査手法として発展させていきたい。

参考文献

- 1) 大友・大田・大石・今井(1983)：土質地盤における浅部反射法地震探査，応用地質調査事務所年報，No.5，pp.61-76.
- 2) 大友・和久野・大田・高橋(1988)：土質地盤における浅層反射法・VSPの実施例，物理探査学会第78回学術講演会講演論文集，pp.120-123.

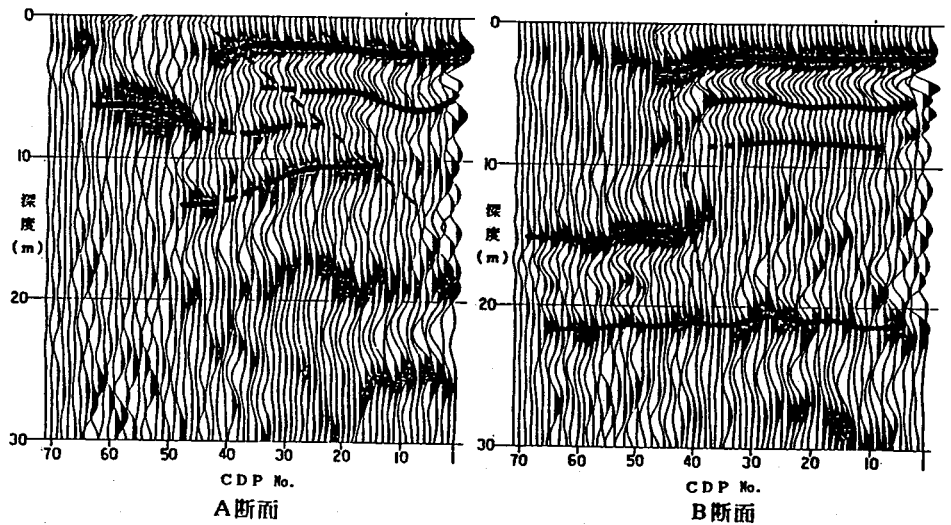


図-5 反射法深度断面

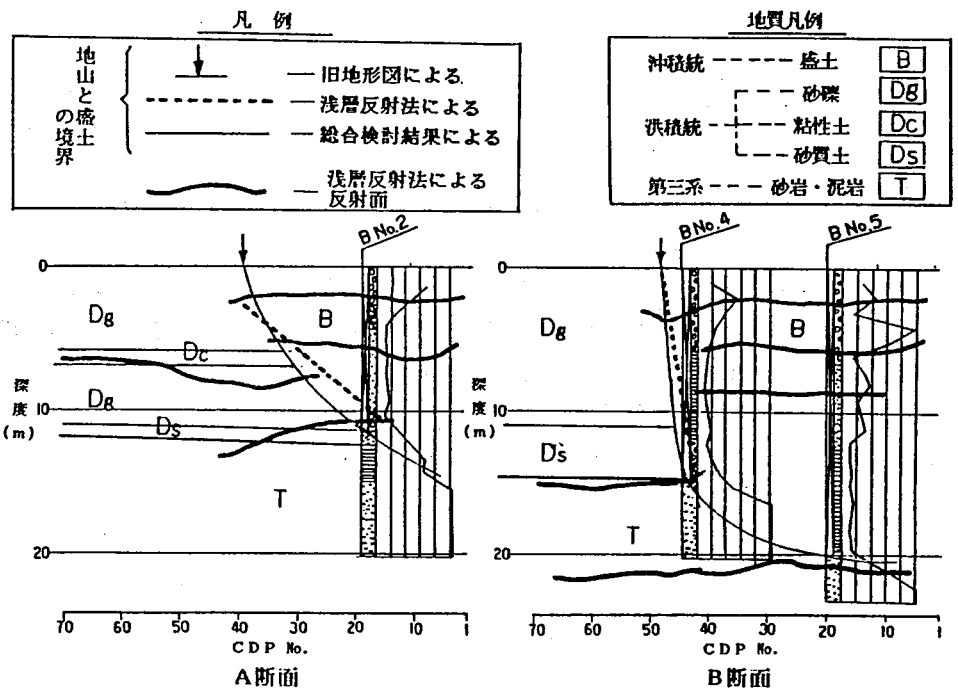


図-6 反射法深度断面解釈図