

北海道開発局土木試験所

○正会員 瀬川 明久

正会員 渡辺 和好

正会員 板倉 忠興

1. 調査目的

軟弱地盤に埋設した構造物周辺の土層には、基礎グイで支持された構造物と在来地盤の沈下量の差、いわゆる不同沈下にて起因する空洞、クラックおよびゆるみの発生が見られる場合があり、構造物の安定性確保の面からもこの実態を簡便かつ、的確に把握する調査手法の開発が望まれているところである。

本調査は、これらの状況を踏まえレイレイ波を用いた非破壊調査法により、構造物周辺の空洞調査を行い、サウンディングおよび開削調査結果と比較し、その適用性を検討したものである。

2. レイレイ波の概要

本手法は、基本的にはS波速度(V_s)とほとんど同様の値を示すレイレイ波速度(V_r) (ポアソン比0.5に対して $V_r = 0.958V_s$)をパラメーターとして土層状態を判別する非破壊調査法である。

レイレイ波の伝播速度は、ポアソン比が0.5に近づくにつれてS波とレイレイ波の速度が同一に収束し、実際上はS波とレイレイ波の速度はほとんど等しいとみて差し使えない。また、地表面を伝播する場合の波面は、起振点を中心に放射状に広がり、深度方向にはほぼ一波長の深度でかなり減衰してしまう。従って深度と波長の比は、実用上1.0と考えてよく観測に当っては、一波長と同程度までの領域の土粒子を励起しながら伝播するように測定される。

探査深度は、伝播速度が一波長分の平均的な物性を表現しているものとし、この振動が励起されている範囲の1/2と同等として取り扱っている。これらのことを実際に測定した場合のデータを模式的に示したものが図-1であり、A図は地層の状態を示し、B図は直接得られる記録を示している。B図の黒点は、プロットされた深度と一波長分の平均伝播速度を示している。C図はある地層の持っている部分的な伝播速度を示したもので、平均伝播速度の傾向の変化と深度の関係より、上層部分から順次、解析的に求めたものである。レイレイ波による空洞、クラックおよびゆるみ等の領域の判断は、地層の持っている弾性波の減少傾向として認識することができ、空洞がある場合は、空洞部分での減衰が激しいため、地表面からの平均伝播速度が極端な減少を示すように表現される。

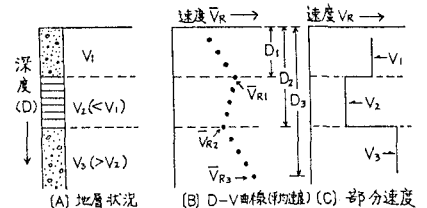


図-1 探査結果の表示例

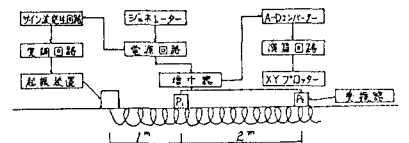


図-2 レイレイ波探査装置模式図

3. 調査方法

本調査に用いたレイレイ波探査装置は、図-2に示すシステムで構成されており、装置全体がワゴン車にセットされ機動性は良好である。また起振器は調査深度により数種あり今回は、25Kgの重量の起振器を用いた。測定は、図-3に示すように盛土上から構造物に近接する土層部分を重点的に深度約10~12mで行った。また、レイレイ波探査結果を検討するために、図-3に示す位置で2tオランダ貫入試験および開削調査を行ない、ゆるみ領域等の推定と土層断面の観察および土質試験等を行なっている。

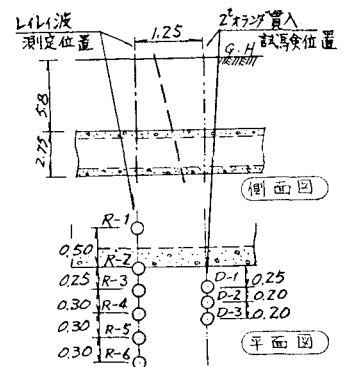


図-3 調査位置図

4. 調査結果

図-4は、層厚約30mの泥炭性軟弱地盤上に設置された構造物を対象に行った、レイレイ波測定結果である。図中には、黒点で示す平均伝播速度と階段状に示す部分速度が記入され、また、斜線は平均伝播速度の傾向の状態を示すものである。この斜線が右下向の場合は、速度の増加を示し、左下向は減少を示す。これは、速度が速くなると密度の高い、つまり強度の大きい層を励起していると考えられ、減少は、強度の小さくなることを示す。

また、傾向の変化点付近では、土層の変化が推定できる。部分速度は、各土層の持つ伝播速度と考えられこれが極端に減少する場合は、空洞またはゆるい土層の存在が推定される。黒点が部分的に集中する場合には、土層の不均質性を示すものと考えられ、これらの傾向や状態などから判断される空洞およびゆるみ領域が図-4のハッチで示す部分である。図-5は、2tオランダ貫入試験により推定したゆるみ領域を示し、qc値が0～3 Kg/cm²程度の部分は、空洞か相当にゆるい層である。図-6は、開削調査の土層断面であり、観察およびその他の調査により作成したスケッチ図である。開削調査結果からは、構造物上下部の隅角部付近より発達する空洞およびゆるみが見られ、また、構造物の抜け上りや、継手部の段差が認められた。

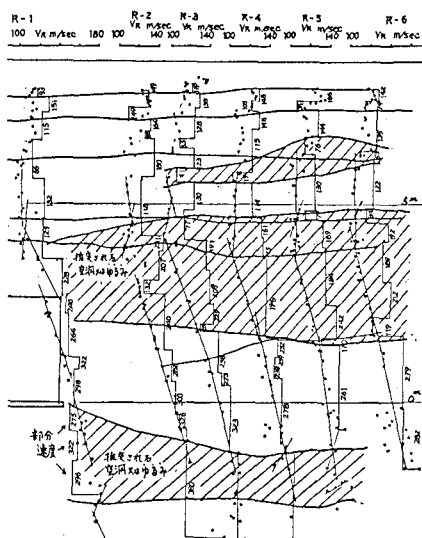


図-4 レイレイ波測定図

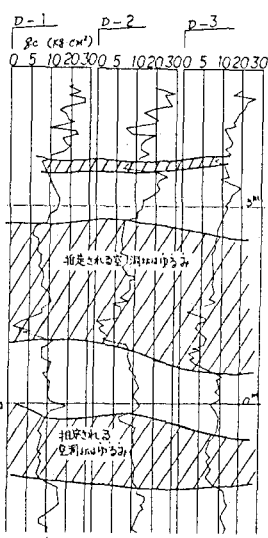


図-5 2tオランダ貫入試験結果

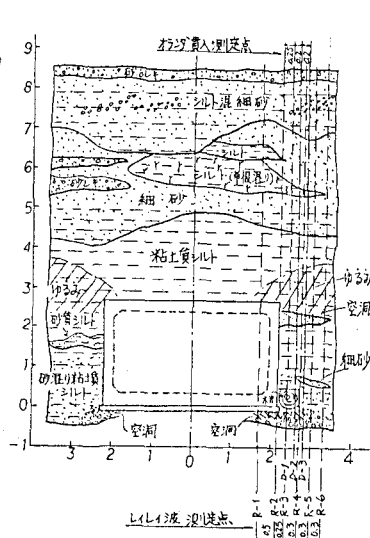


図-6 土層断面図

5. まとめ

今回、調査を実施した構造物は、盛土の繰返しもあって外観からは不同沈下が認められなかったが、周辺構造物や軟弱地盤の特性等から不同沈下が予想され、各手法による結果からも空洞やゆるみが認められた。

レイレイ波の平均伝播速度や部分速度等による空洞やゆるみの判定についても図-4～6に示す通り、他手法とほぼ、同程度の範囲に判定され比較的良好な結果を得た。しかし、本手法では、空洞やゆるみの判断土層区分の判定などに簡便性が要求され、また、測定された速度が実用的に用いている1/2波長の平均的物性を表現しているかを、理論的に説明し得るかなどの点について難しい問題を含んでいるが、実際に現場で適用した限りでは、他の手法と比較してもほぼ、同程度の成果を得ることができ、空洞やゆるみおよび土層の判別などに適用可能と考えられるが、現状では本手法が持つ、現場条件の変化に対する適用性が広い、比較的迅速である、調査対象物にカシを残さない等の特性と判別能力を十分考慮の上、概略調査の一つとしてサウンディングやボーリング等を併用して、精度の向上を図ることが望ましいと思われる。

今後の方向としては、レイレイ波速度はS波速度と同様にN値と相関があると考えられるので、平均伝播速度や部分速度の他、強度推定による精度の向上を図ると共に、既設構造物の調査と合せ、新設構造物の経年データ比較による構造物周辺土層管理などに利用方法が考えられるので、資料の蓄積と精度の向上を図る予定である。