中部電力(株) 正会員 西村 均・上田 稔

清水建設(株) 正会員 本多 眞・鈴木 誠

1.はじめに

土木構造物の支持基盤面調査には、ボーリング調査と併用して弾性波探査が実施されることが多い、弾性波動の測 定結果は通常、「萩原の解析法<sup>11</sup>」およびその拡張解析法を用いて解析が行われるのが一般である.これらの解析法 は原則的に地表面が水平であり、1つの直線で切られた断面内に波動の伝播経路がある場合を前提条件として成立す る概念である.したがって解析精度確保のためには、測線は平面的に1本の直線とし、測線に沿って切られる地表断 面が一様な傾斜となるような配置に設けることが望ましいとされる<sup>21</sup>.一方で、対象領域全体の支持基盤を精度良く 捉えることを目的とした弾性波探査測線の最適な配置が考えられる.本研究は、著者らの開発した調査ボーリング配 置の評価指標<sup>314)</sup>を弾性波探査測線の配置評価に用いて、対象領域の基盤面推定を目的とした客観的な配置決定法を 提案するものである.

2.配置計画のための評価指標

(1) 調査ボーリング配置の評価指標と測線配置への応用

起伏のある支持基盤面の推定を目的とした場合、尾根部や谷部を中心にボーリン グを配置した方が起伏を捉える上で良い配置であるという考えの下、次式に示す地 表面レベルを利用した調査ボーリング配置の評価指標を既に提案している(式の導 出は文献<sup>4)</sup>を参照).



(1)

$$OC_{II}(\mathbf{x}) = 1/2 \ln |\mathbf{W}| + 1/2(\mathbf{y}^{u} - \hat{\mathbf{y}}^{u})'\mathbf{W}^{-1}(\mathbf{y}^{u} - \hat{\mathbf{y}}^{u})$$

ここで,y<sup>u</sup>は評価位置での地表面レベルの真値,ŷ<sup>u</sup>はそのKriging推定値である.弾性波探査の測線配置は,図1に示 すように測線上で得られる情報を一定間隔dで離散化して,各点をボーリングと同等に扱い,上記評価指標を用いて 評価する.離散化の距離dは,弾性波探査を実施するときの測点間隔と合わせるのが良いと考えここでは5mとした. (2)測線配置の条件と決定方法

従来,測線配置は解析精度の観点から,1)平面的に1本の直線,2)測線に沿って切られる地表断面が一様な傾斜, 3)キャリブレーションのためのボーリングや複数の測線との交叉,などの条件を基に設定されてきた.しかし一方, 先の指標で評価するとこのような配置よりもむしろ線沿いの地形起伏の変化が大きい配置の測線が効果的であるとい う傾向が得られることがわかってきた<sup>5)</sup>.

これらの見地から,以下のような方法で測線配置を決定する手法を提案する.

a) ボーリング調査を併用することを想定して,まずボーリングの最適配置を求める.

b) 従来の測線配置の条件が満足できるように,予め複数の測線候補を選定する.その際,測線候補はボーリング位 置をなるべく通過するように設定し,解析精度確保のため地形起伏変化の少ない尾根線・谷線に沿った測線とこ れに直交する測線を中心として選出する.

c) b)で設定した測線候補から必要数の測線を選出する全組合せについて,先の評価指標式(1)を求め順位付けする.

d) 測線配置の決定は,解析精度のばらつきを考えると,必ずしも評価指標の最小値となる測線配置を選ぶ必要はなく,解析の容易性や精度確保の観点から選出するものとする.

3.実サイトでの適用検討

## (1) ボーリングの最適配置と測線候補の設定

図2の等高線に示す地形のサイトにおいて,矩形で囲まれた380×230mの範囲を評価領域として,調査ボーリン グの15本の最適配置を算出した(図の\*印).そして先の条件に基づき同図の破線で示すA~Jの10本の測線候補 を設定した.このうちA~Cの3本は,尾根・谷軸に一致し,地形傾斜が一様となる配置であり,D~Jの7本はそ れと交叉する尾根谷を横切る配置の測線である.

(2) 3本の測線配置の決定と推定誤差比較

10本の測線候補から3本の測線を選出するときの全ての組合せ(10C3=120通り)について式(1)の評価指標値を求めた.表1は120組合せの内,指標値の小さい上位10ケースを示したものである.表には選出した3本の総測線長

キーワード:弾性波探査,意志決定,地質統計手法,支持基盤面 連絡先:〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル 清水建設(株) TEL03-3508-9052 FAX03-3508-2196



表1 3本測線配置の組合せと評価指標値順位

順位	指標値	平均推定 残差(m)	測線長(m)	А	В	С	D	Е	F	G	н	I	J	備考
1	1.830	3.362	862.8											図 3 a)
2	1.862	3.422	869.8											
3	1.888	3.295	803.3											
4	1.907	3.667	869.6											
5	1.914	3.536	925.2											
6	1.915	3.607	695.7											
7	1.934	3.958	970.4											図3b)
8	1.936	3.746	876.6											
9	1.980	4.082	1063.8											
10	1.981	3.786	702.6											
80	2.478	6.237	966.2											図 3 c)
114	3.088	8.609	1113.9											図 3 d)

と 測線上で地表面レベルの真値を与えて領域全体を推定したときの平均推 定残差を同時に示した.

まず最小のケースでは,尾根軸のB測線と,ほぼ直交する尾根谷を横切る H,J測線が選ばれた.測線長862.8mと比較的短いが,尾根・谷軸を複数選ぶ よりも尾根谷を横切る測線を選択した方が効果的であることを示している. しかし一方で,弾性波の解析精度を考慮すれば,起伏変化の著しい測線より もA~C測線を選んだ方がよい.そこで3本とも尾根・谷軸としたA,B,C 測線を選んだ場合を表の最下行に示したが,120組合せ中114番目で平均推 定残差も8.6mと最小ケースの3.36mに比較して極めて精度が悪い.上位10 ケースでA~C測線の内,2本の測線を選択しているのは,黄色に網掛けし た7番目のB,CとI測線を選択したものである.この場合,平均推定残差は 3.96mと最小ケースと大きな違いはなく,解析の容易性や精度確保の観点か ら効果的な測線配置であると考えられる.

図3は各ケースの地表面推定残差を濃淡コンターで示したもので,色の濃 い部分が残差の大きい部分を示す.図のa)は最小のケースで領域全体で推定 残差が小さい.これに対してd)は3本とも尾根・谷軸としたケースで特に右 上の尾根部の残差が大きく,全体の起伏をうまく捉えられていない.b)は7 番目の黄色で示したケースで,若干左下谷部の残差が大きいが全体として良 く推定されている.また参考までにb)のケースとほぼ同様の配置であるが, I測線の代わりに70~80m中心に移動したH測線を選択したもの(図3c)お よび表1では80番目のケース)では,b)よりも右上尾根部の残差がかなり 大きくなり,平均推定残差も6.24mと大きい.

4.おわりに

提案する評価指標に基づいて弾性波探査測線の配置を評価すると,測線に 沿って地形起伏の変化が著しい配置が効果的であるという傾向が得られた. 一方で,解析精度の観点からは測線沿いの地形起伏は一定であることが望ま しい.このため定量的な判断基準として評価指標による測線配置の順序づけ を行い,従来の配置条件を満足する測線配置を選出する手法を提案した.わ ずかな配置の違いでも推定精度に及ぼす影響は大きいことがわかり,提案手 法の有効性が示せた.

## 参考文献

- 1) 萩原: 基盤面の傾斜が一様でない場合の走時曲線解析法, 地震, Vol.10, No.11, pp.463-468, 1938.
- 物理探鉱技術協会:土木地質調査における屈折法弾性波探査の調査計画に関する要綱,物理 探鉱, Vol.32, No.6, pp.26-43, 1979.
- 3) 本多・鈴木・上田:基礎地盤面推定のための調査ボーリングの最適配置計画, No.610/III-45, pp.43-55, 1998.
- 4) 本多・鈴木・上田・西村:基盤レベル推定のための調査ボーリング最適配置の評価指標(その1 一次調査ボーリング),第33回地盤工学研究発表会梗概,pp.337-338,1998.
- 5) 本多・鈴木・上田・西村: 支持基盤面推定のための弾性波探査測線の最適配置に関する検討 ,第35回地盤工学研究発表会梗概(投稿中),2000.



a) 最小のケース (B, H, J 測線)



b) 7番目のケース(B,C,I測線)



c) b)と類似配置(B,C,H測線)



d) 尾根・谷軸3本(A, B, C 測線)図3 測線配置と地表面推定残差