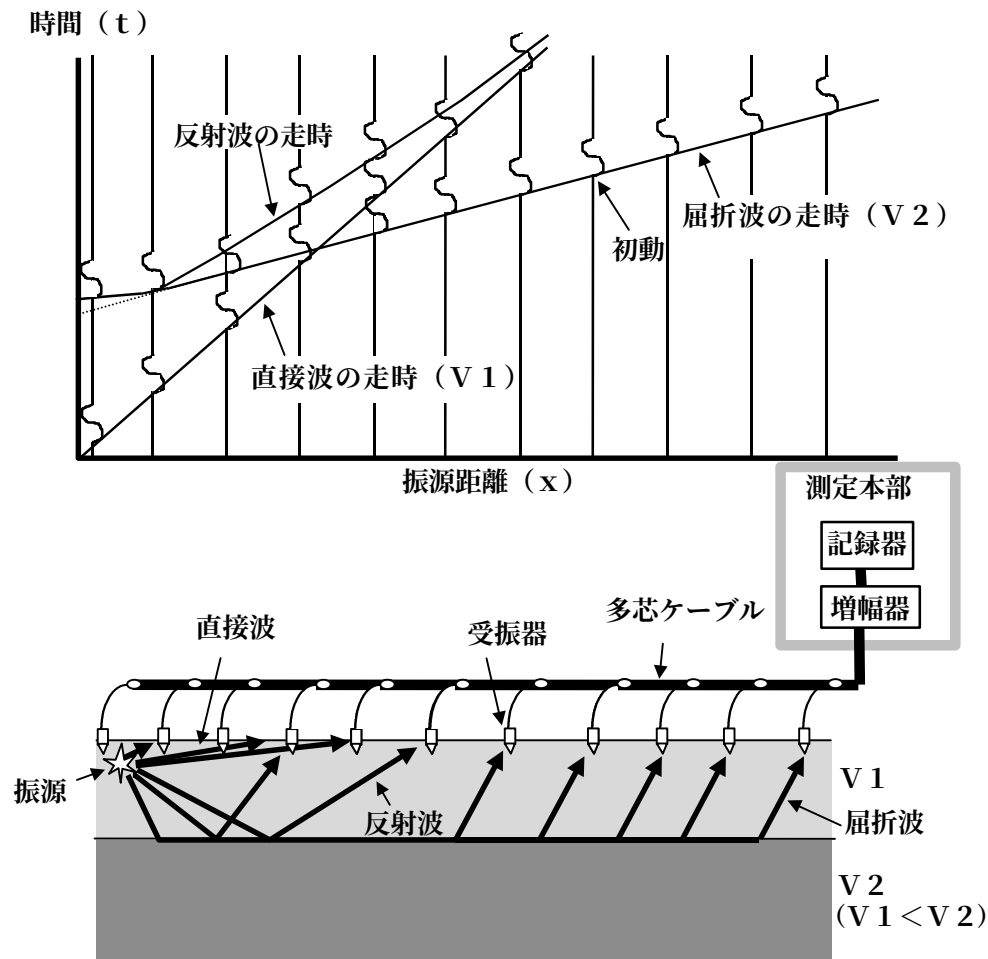


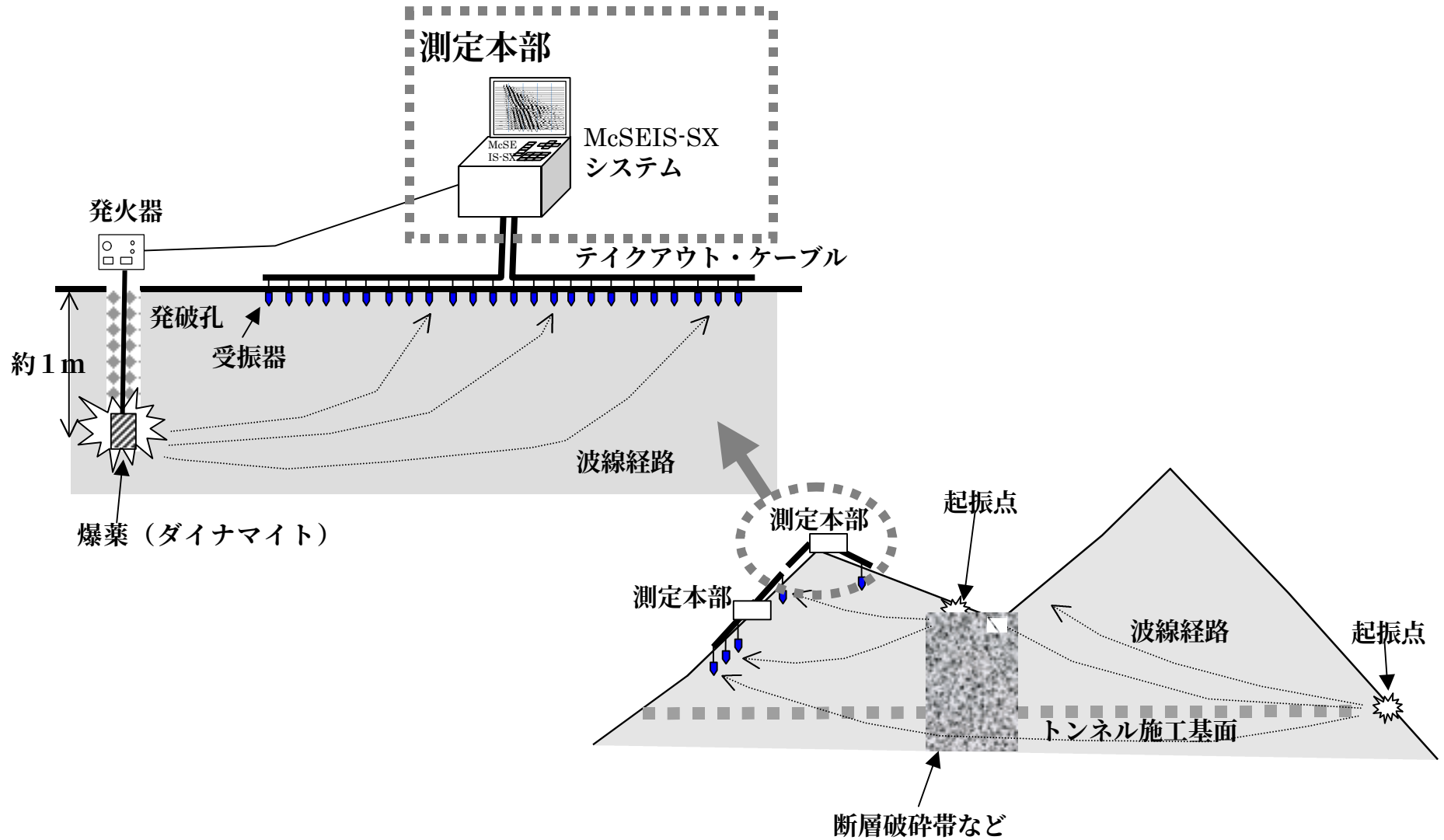
屈折法地震探査の基礎

- 屈折法地震探査の原理
- 測定方法
- 屈折法の基礎理論
- 解析手順
- タイムターンム法

屈折法地震探査の原理



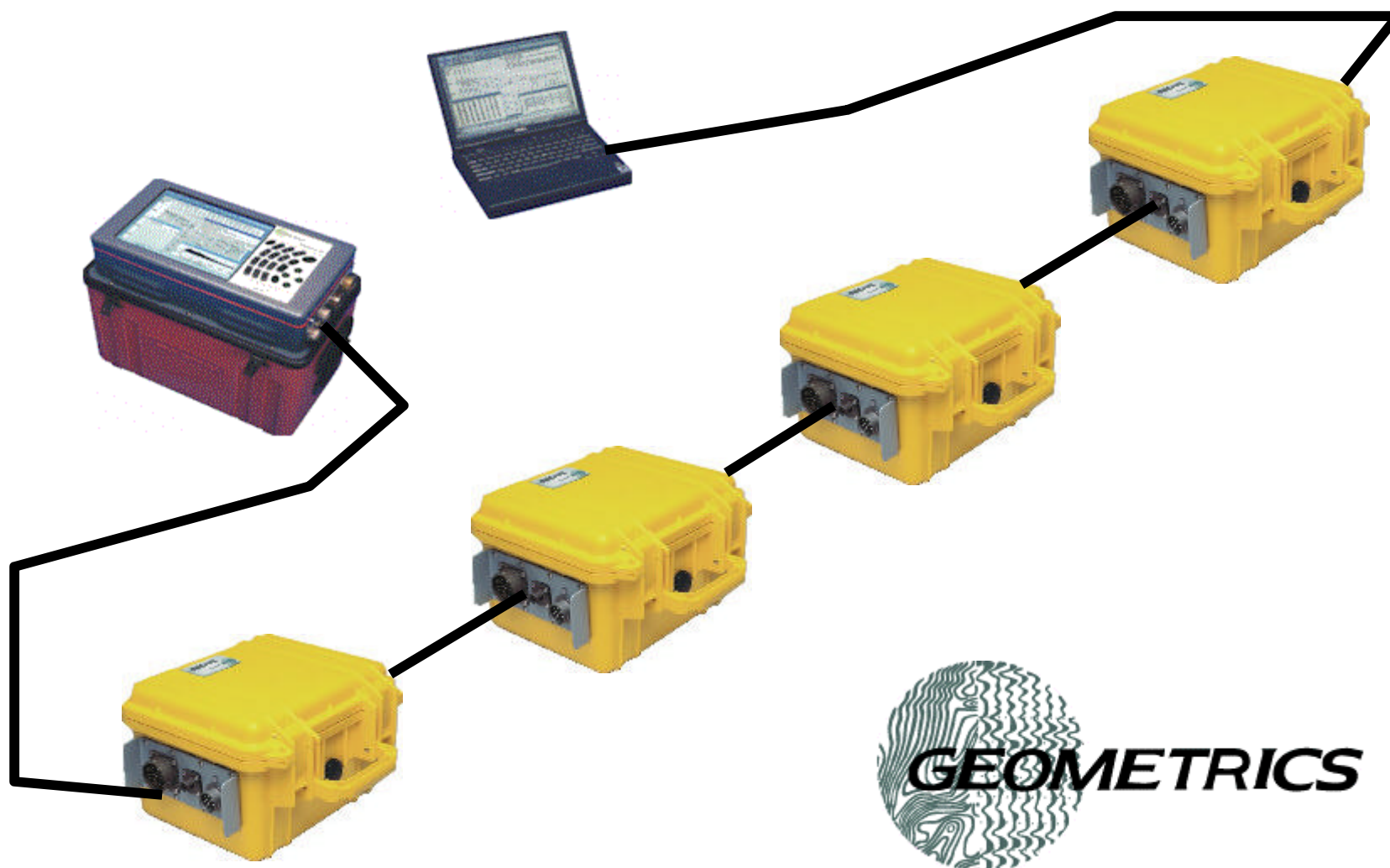
測定概念図



測定器：McSeis-SX

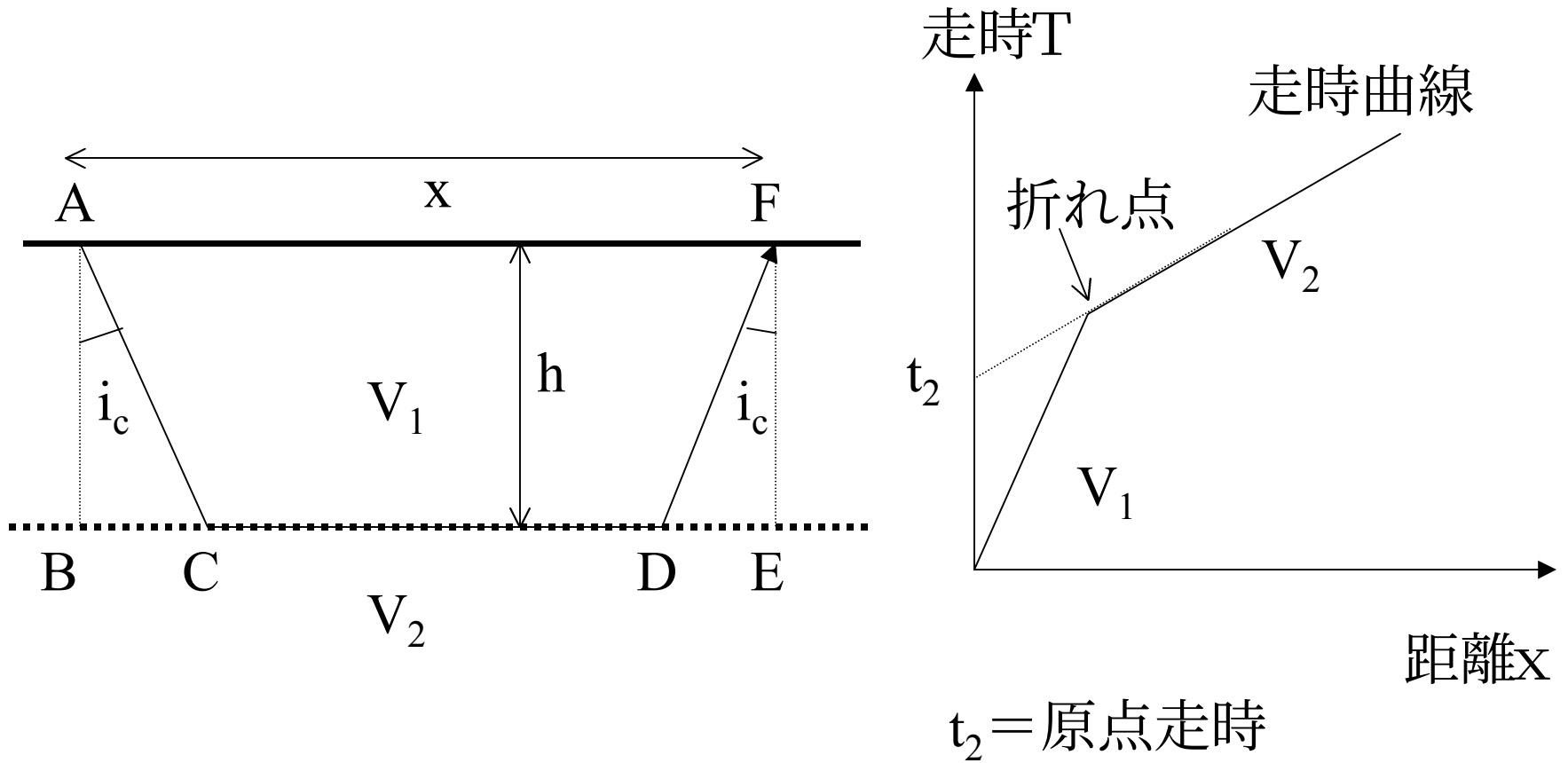


測定器 : Geode



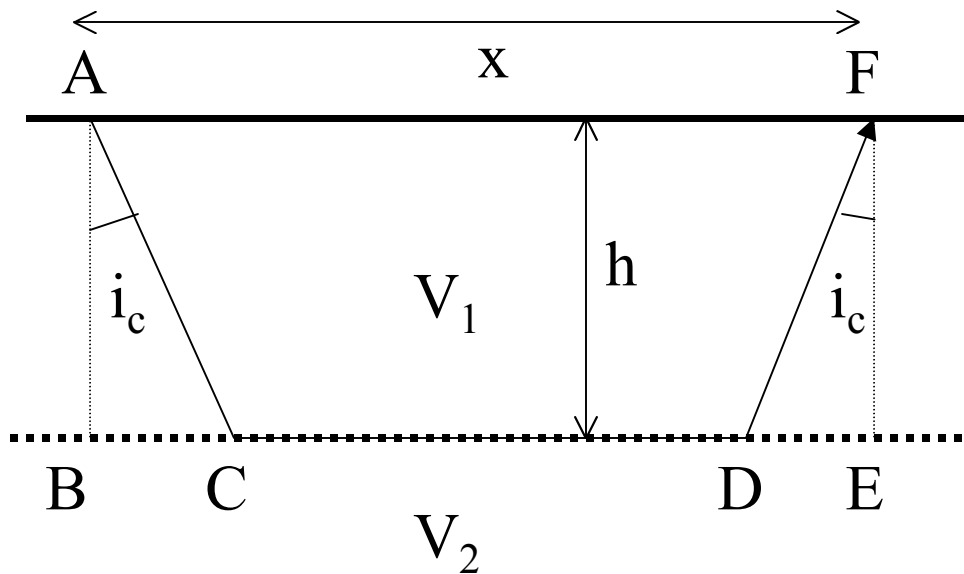
屈折法の基礎理論

水平二層構造の場合



屈折法の基礎理論

水平二層構造の場合



スネルの法則

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2}$$

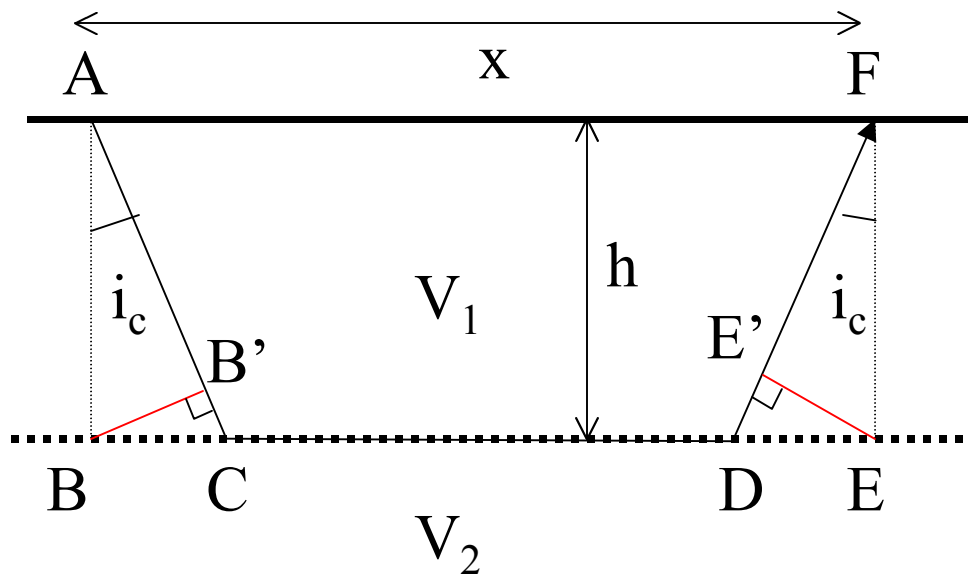
$$T_2 = \frac{\overline{AC}}{V_1} + \frac{\overline{CD}}{V_2} + \frac{\overline{DF}}{V_1}$$

$$T_2 = \frac{2h \cos i_c}{V_1} + \frac{x}{V_2}$$

原点走時

屈折法の基礎理論

水平二層構造の場合



スネルの法則

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$$T_2 = \frac{\overline{AC}}{V_1} + \frac{\overline{CD}}{V_2} + \frac{\overline{DF}}{V_1}$$

$$T_2 = \frac{\overline{AB'}}{V_1} + \frac{\overline{B'C}}{V_1} + \frac{\overline{CD}}{V_2} + \frac{\overline{DE'}}{V_1} + \frac{\overline{E'F}}{V_1}$$

$$\overline{AB'} = h \cos i_c$$

$$\overline{E'F} = h \cos i_c$$

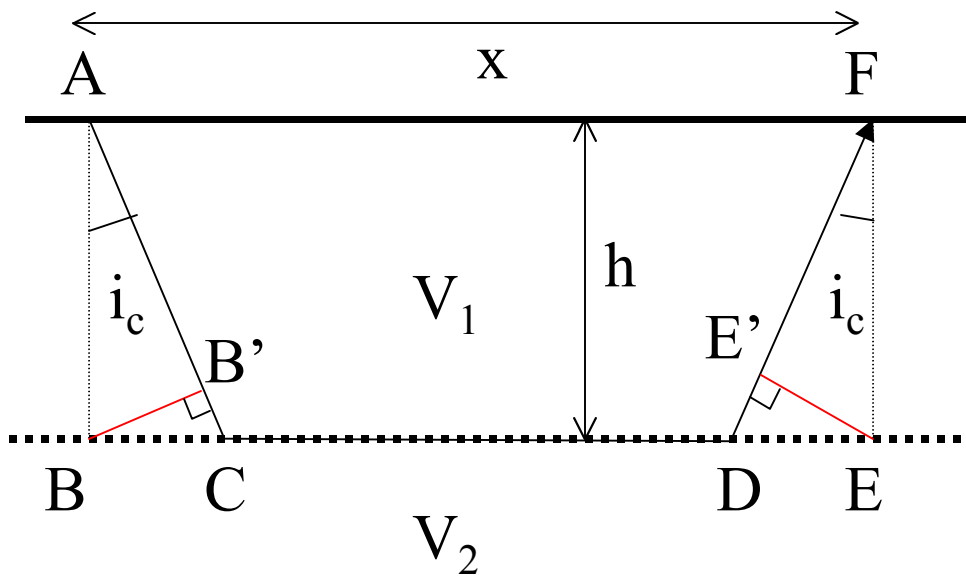
$$\overline{B'C} = \overline{BC} \sin i_c$$

$$\frac{\overline{B'C}}{V_1} = \frac{\overline{BC} \sin i_c}{V_1} = \frac{\overline{BC}}{V_2}$$

$$\frac{\overline{DE'}}{V_1} = \frac{\overline{DE} \sin i_c}{V_1} = \frac{\overline{DE}}{V_2}$$

屈折法の基礎理論

水平二層構造の場合



$$T_2 = \frac{\overline{AB'}}{V_1} + \frac{\overline{B'C}}{V_1} + \frac{\overline{CD}}{V_2} + \frac{\overline{DE'}}{V_1} + \frac{\overline{E'F}}{V_1}$$

$$\overline{AB'} = h \cos i_c$$

$$\overline{E'F} = h \cos i_c$$

$$\frac{\overline{B'C}}{V_1} = \frac{\overline{BC} \sin i_c}{V_1} = \frac{\overline{BC}}{V_2}$$

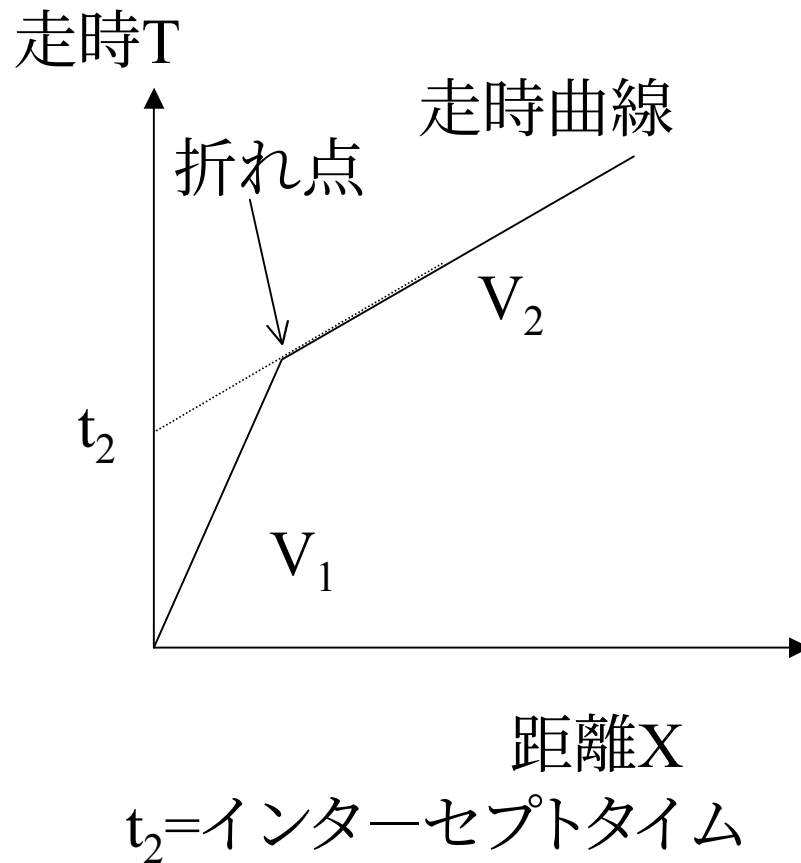
$$\frac{\overline{DE'}}{V_1} = \frac{\overline{DE} \sin i_c}{V_1} = \frac{\overline{DE}}{V_2}$$

$$T_2 = \frac{2h \cos i_c}{V_1} + \frac{x}{V_2}$$

$$T_2 = \frac{2h \cos i_c}{V_1} + \frac{\overline{BC}}{V_2} + \frac{\overline{CD}}{V_2} + \frac{\overline{DE}}{V_2} + \frac{2h \cos i_c}{V_1}$$

屈折法の基礎理論

水平二層構造の場合



$$T_2 = \frac{2h \cos i_c}{V_1} + \frac{x}{V_2}$$

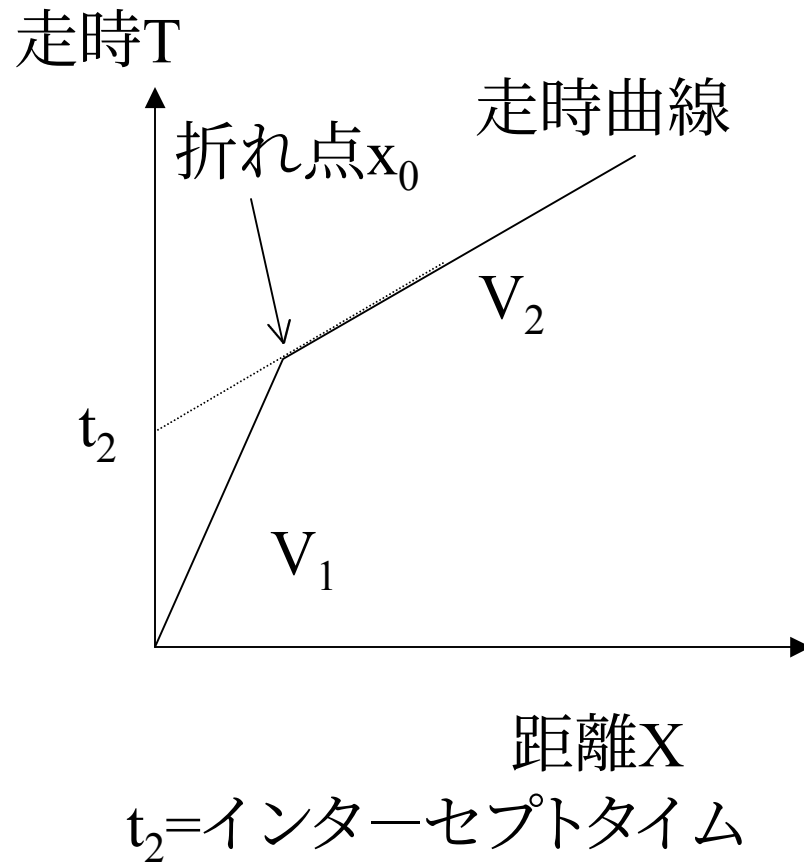
$$t_2 = \frac{t_2}{2} = \frac{h \cos i_c}{V_1}$$

$$t_2 = \text{タイムターム}$$

$$h = \frac{V_1 t_2}{\cos i_c 2} = \text{深度}$$

屈折法の基礎理論

水平二層構造の場合



折れ点： x_0

$$T_1 = T_2$$

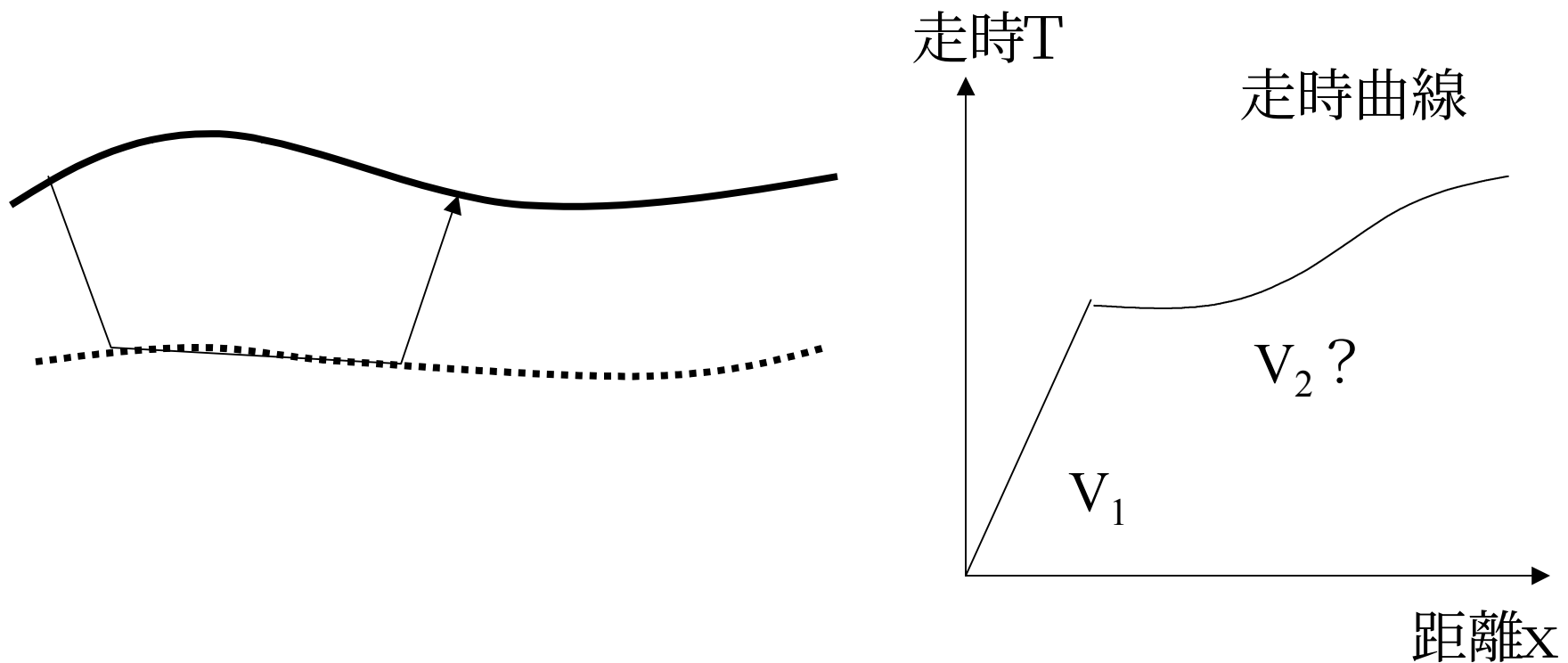
$$T_2 = \frac{2h \cos i_c}{V_1} + \frac{x_0}{V_2} = \frac{x_0}{V_1} = T_1$$

$$x_0 = 2h \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}} = \text{折れ点}$$

$$h = 2x_0 \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} = \text{深度}$$

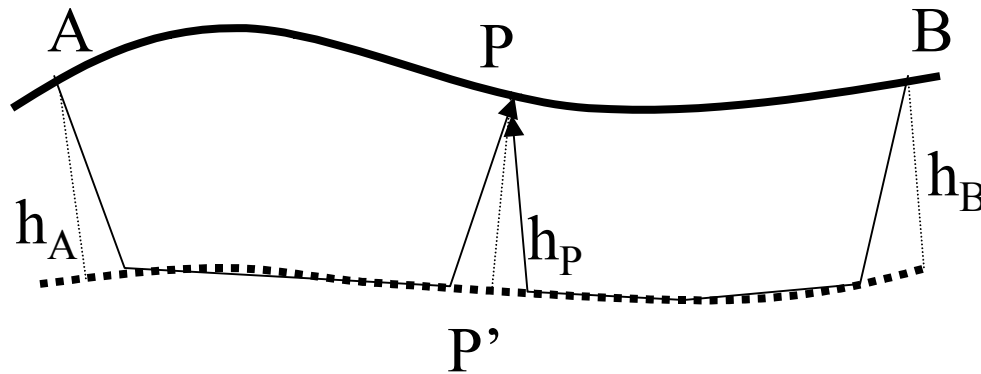
屈折法の基礎理論

水平構造でない場合
(境界面の傾斜が一様でない場合)



屈折法の基礎理論

水平構造でない場合
(境界面の傾斜が一様でない場合)



$$T_{AP} \cong \frac{h_A \cos i_c}{V_1} + \frac{\overline{AP}}{V_2} + \frac{h_P \cos i_c}{V_1}$$

$$T_{BP} \cong \frac{h_B \cos i_c}{V_1} + \frac{\overline{BP}}{V_2} + \frac{h_P \cos i_c}{V_1}$$

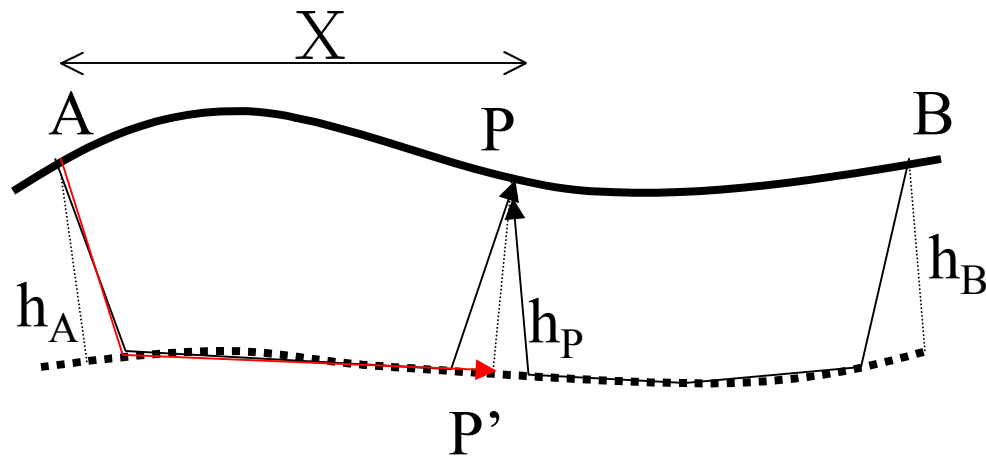
$$T_{AB} \cong \frac{h_A \cos i_c}{V_1} + \frac{\overline{AB}}{V_2} + \frac{h_B \cos i_c}{V_1}$$

$$t_0 = T_{AP} + T_{BP} - T_{AB} = \frac{2h_P \cos i_c}{V_1}$$

t_0 はP点の第1層の厚さに関する量

屈折法の基礎理論

水平構造でない場合⇒**T'の導入**
(境界面の傾斜が一様でない場合)



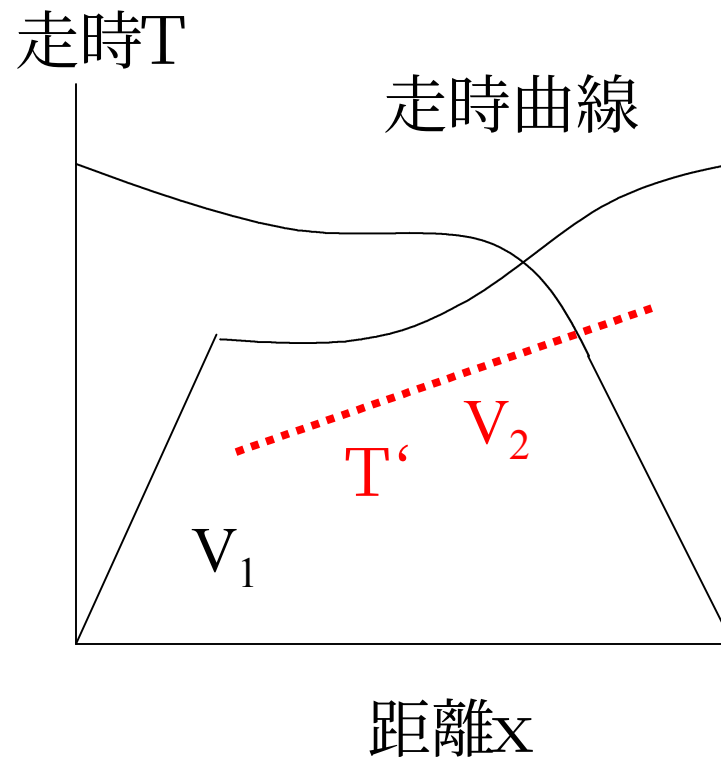
A点の深度走時

$$T'_{AP} = T_{AP'} = T_{AP} - \frac{t_0}{2} = T_{AP} - \frac{(T_{AP} + T_{BP} - T_{AB})}{2} \cong \frac{h_A \cos i_c}{V_1} + \frac{x}{V_2}$$

T'APは第1層の厚さに関わらずV2の速度を持つ！

屈折法の基礎理論

T' という量



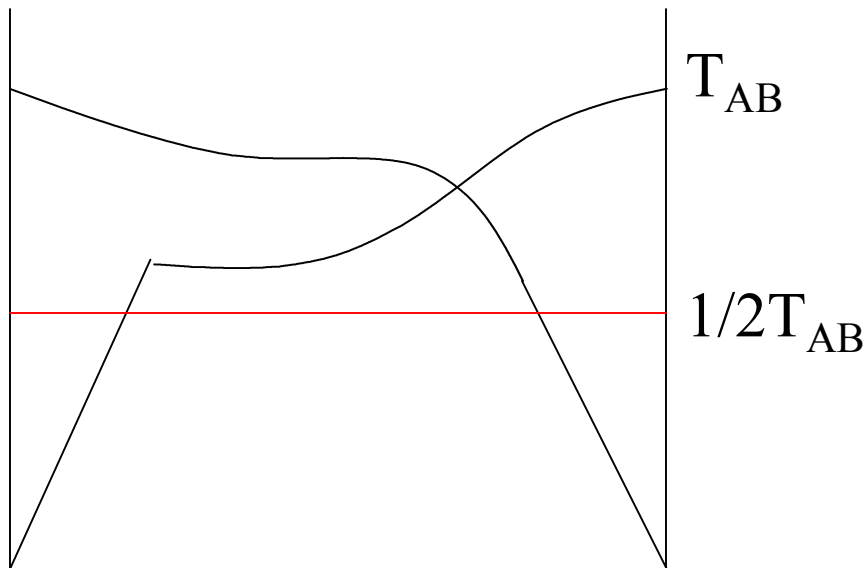
屈折法の基礎理論

T' の計算方法

$$T'_{AP} = T_{AP} - \frac{(T_{AP} + T_{BP} - T_{AB})}{2} = \frac{T_{AB}}{2} + \frac{(T_{AP} - T_{BP})}{2}$$

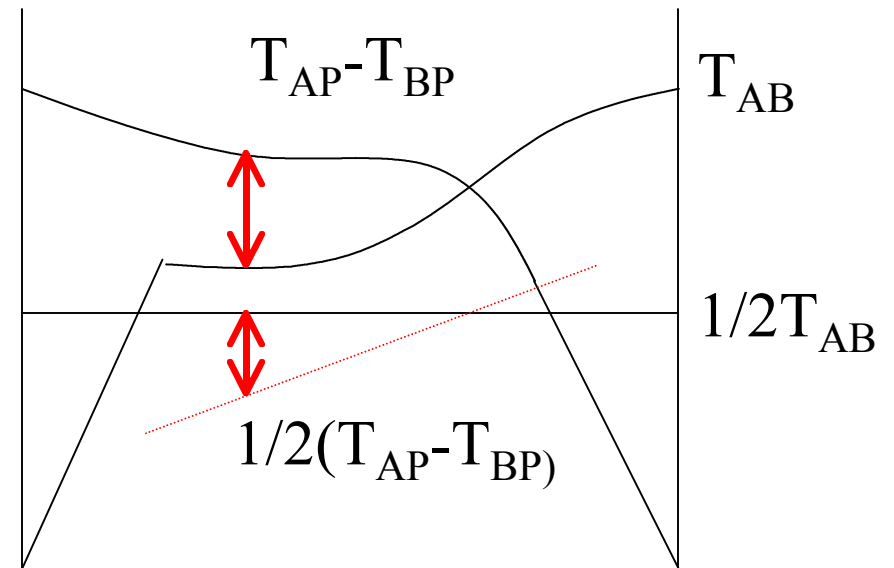
- ① 比例コンパスで $1/2 T_{AB}$ を求め線を引く。
- ② 比例コンパス $T_{AP} - T_{BP}$ を求め、これを $1/2$ とし
- ③ $1/2 T_{AB}$ の線の下または上に点を打っていく。
- ④ 点を結ぶように直線を引いて速度を決定する。

走時T



距離x

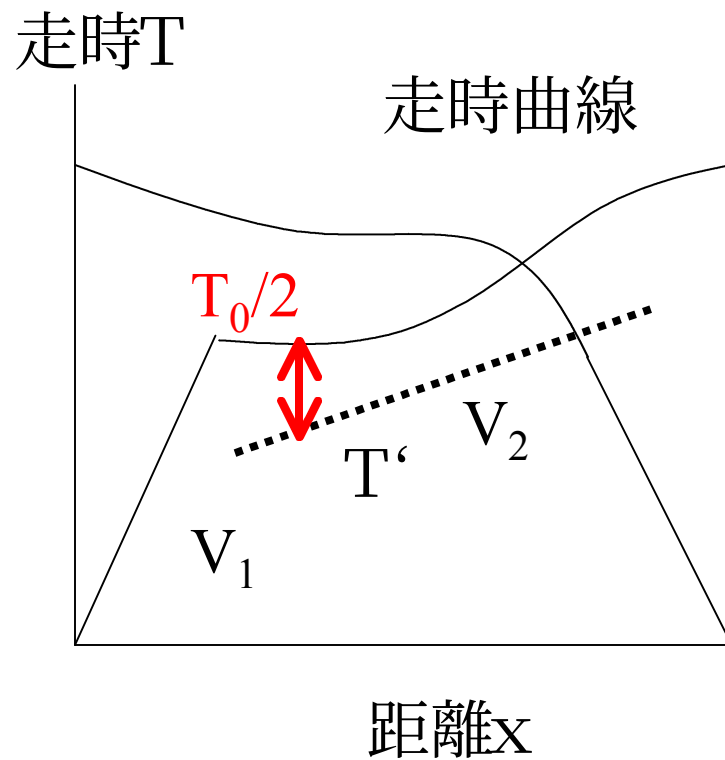
走時T



距離x

屈折法の基礎理論

d_p という量 (深度走時)

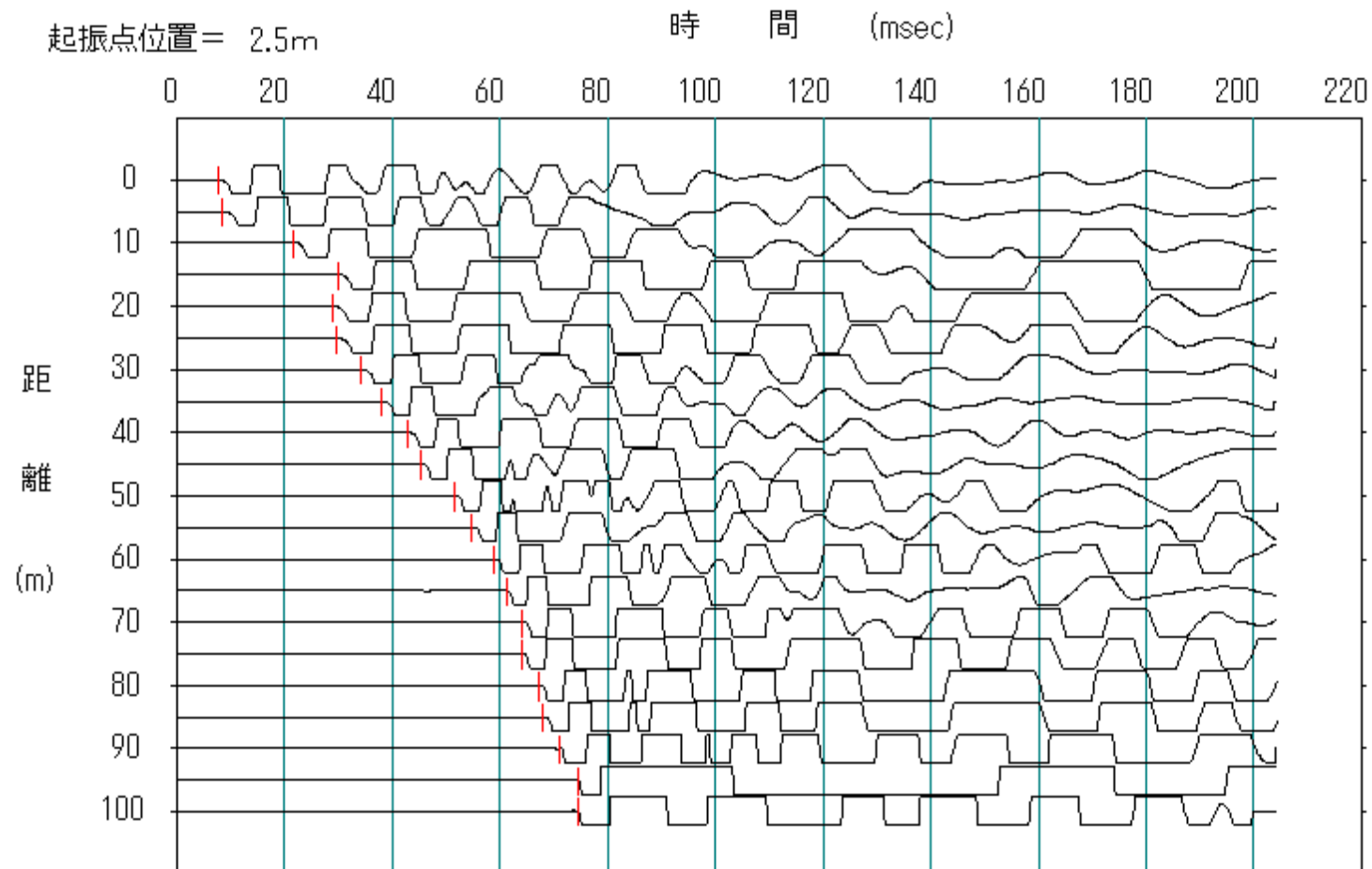


$$d_p = \frac{t_0}{2} = T_{AP} - T'_{AP} = \frac{h_P \cos i_c}{V_1}$$

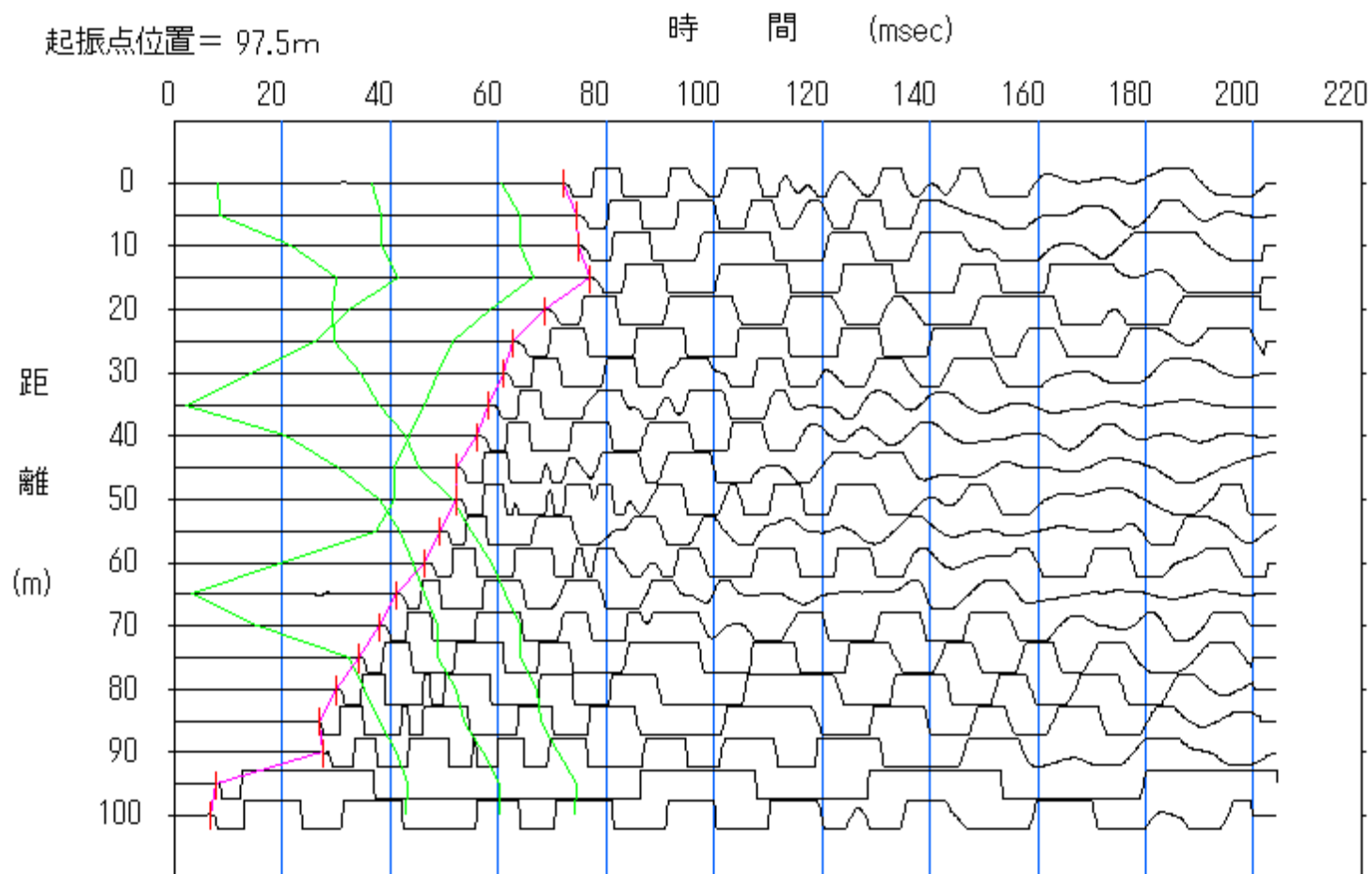
$$h_P = \frac{d_P V_1}{\cos i_c}$$

- ① T' の点ををつなぐように引いた線から
- ② 走時までの時間を求めて、
- ③ 深度走時としてプロットしていく。

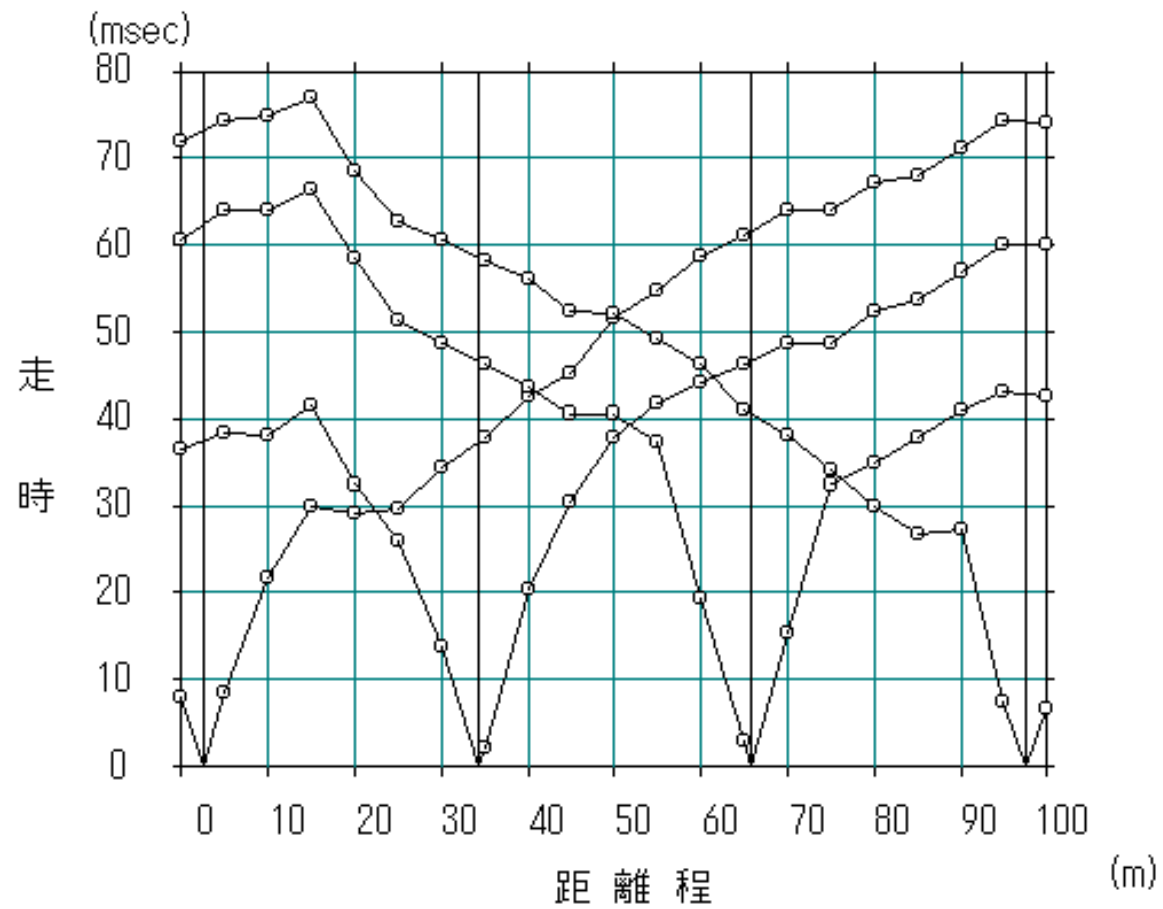
初動の読み取り



初動の読み取り



走時曲線



走時曲線のチェック

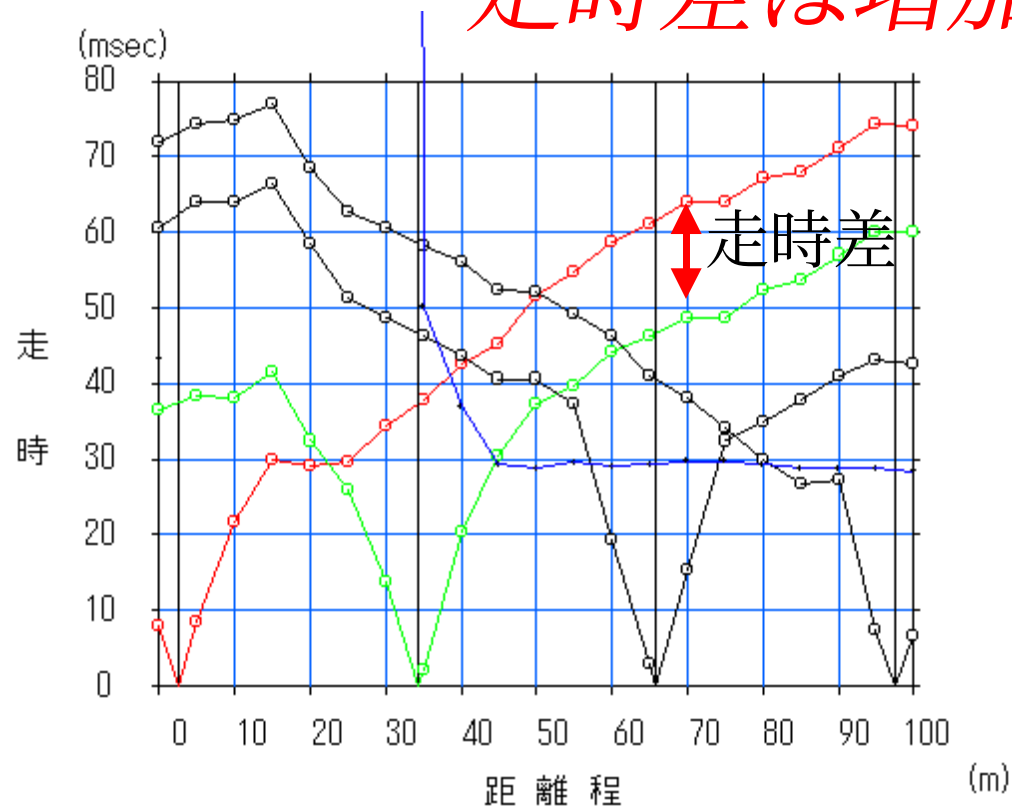
- 走時の平行性
- 往復走時の一致
- 折れ点の一致
- 原点走時の一致

————→ 完成した走時曲線

走時曲線のチェック

走時の平行性

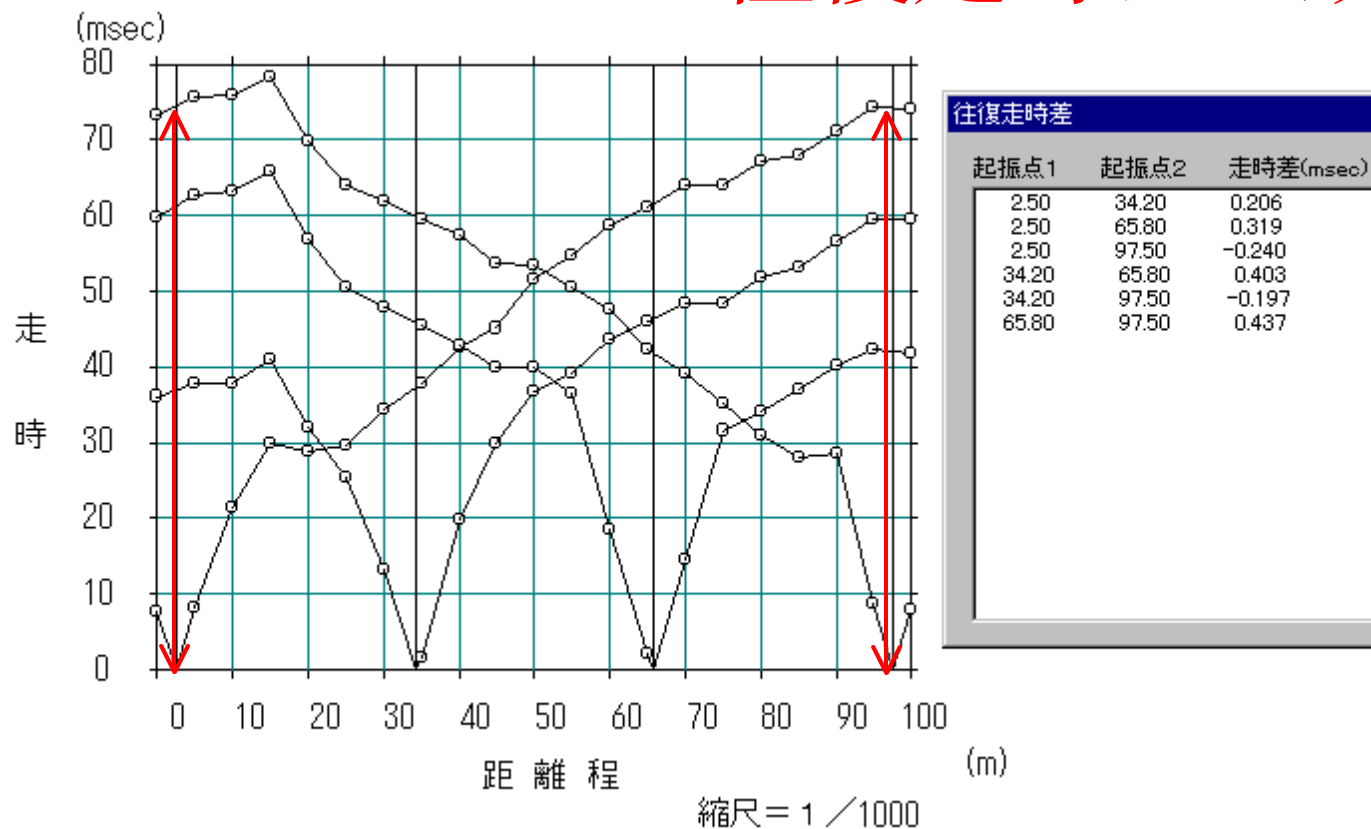
走時差は増加しない



走時曲線のチェック

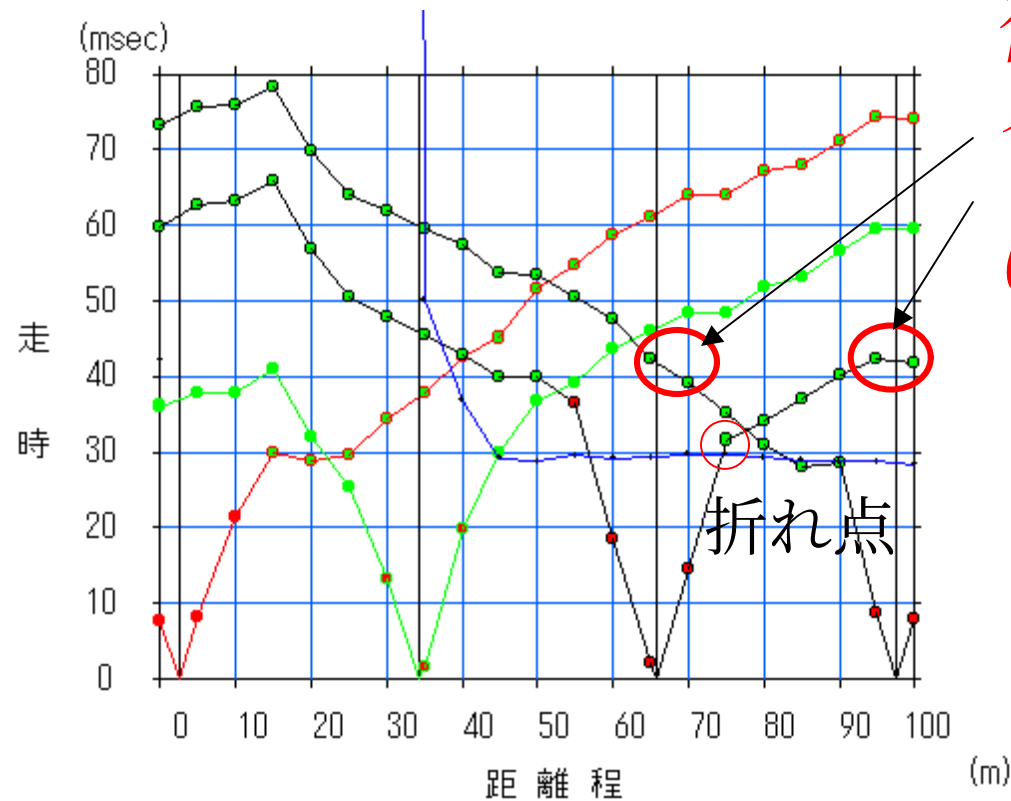
往復走時の一致

往復走時は一致する



走時曲線のチェック

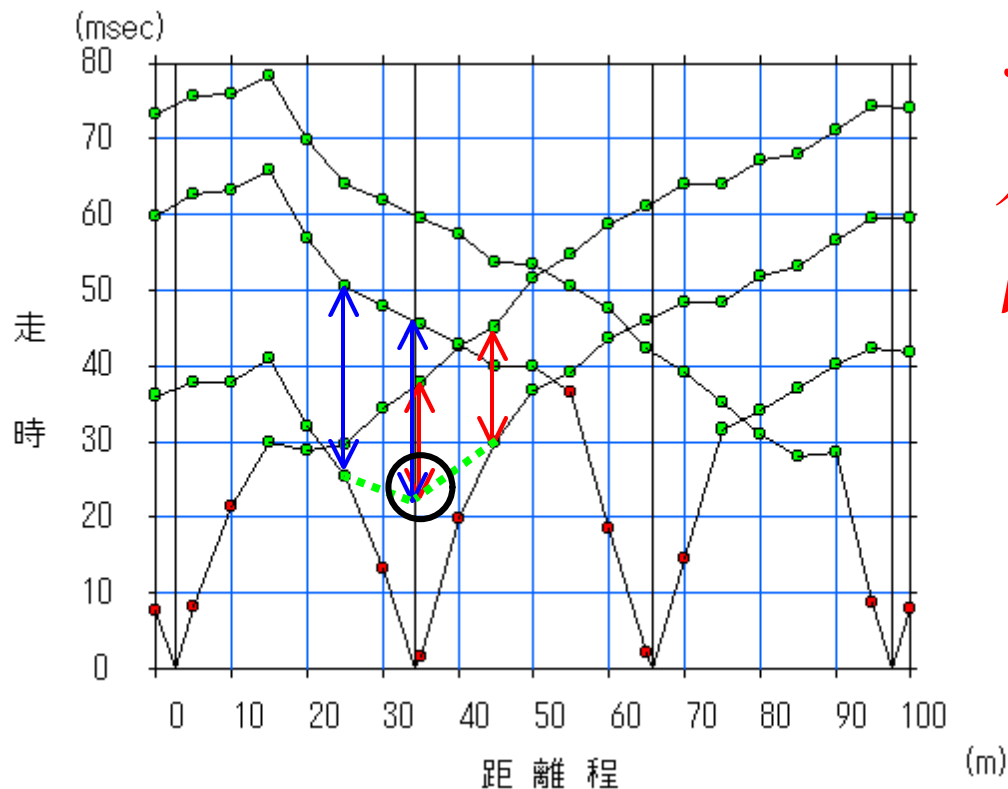
折れ点の一致



往復走時の組み
合わせで折れ点
は一致している

走時曲線のチェック

原点走時の一致

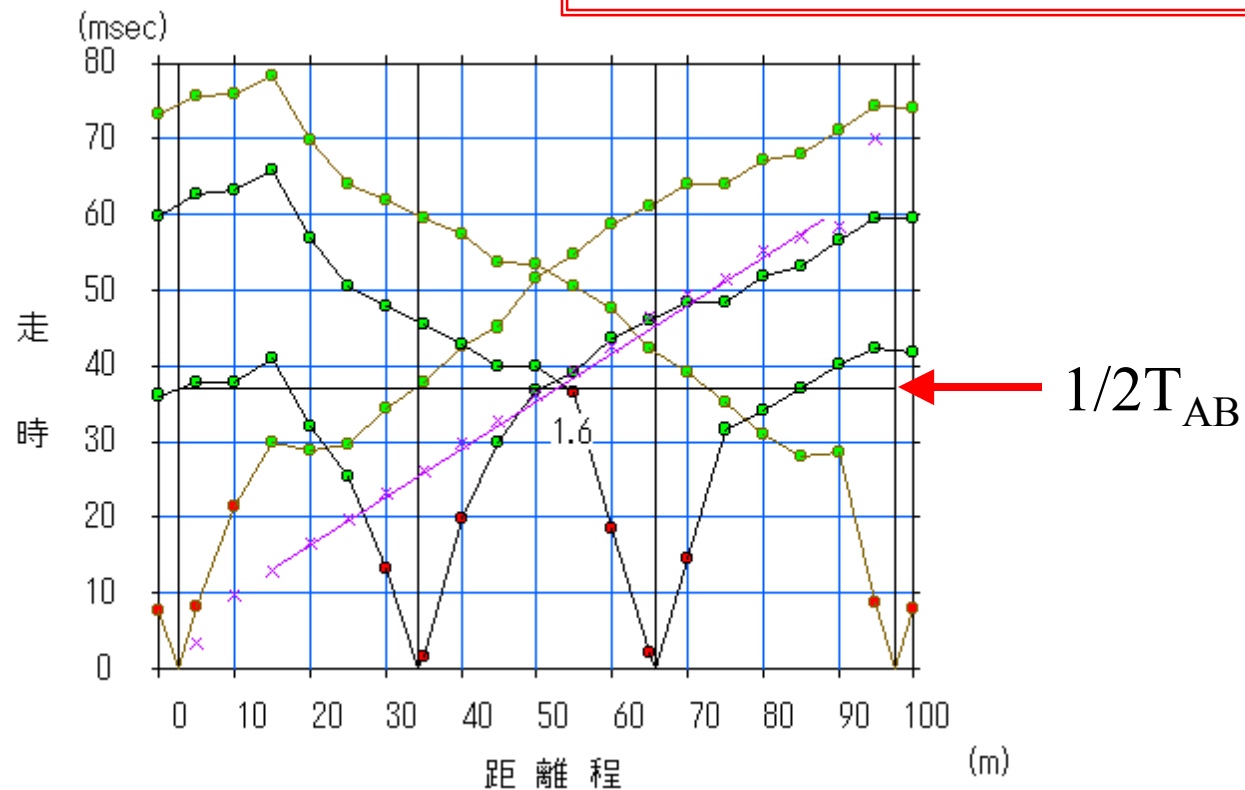


同一起振点において両側の走時の原点走時は一致している

萩原のはぎとり法

T' 曲線 (T'_{AP}) の計算

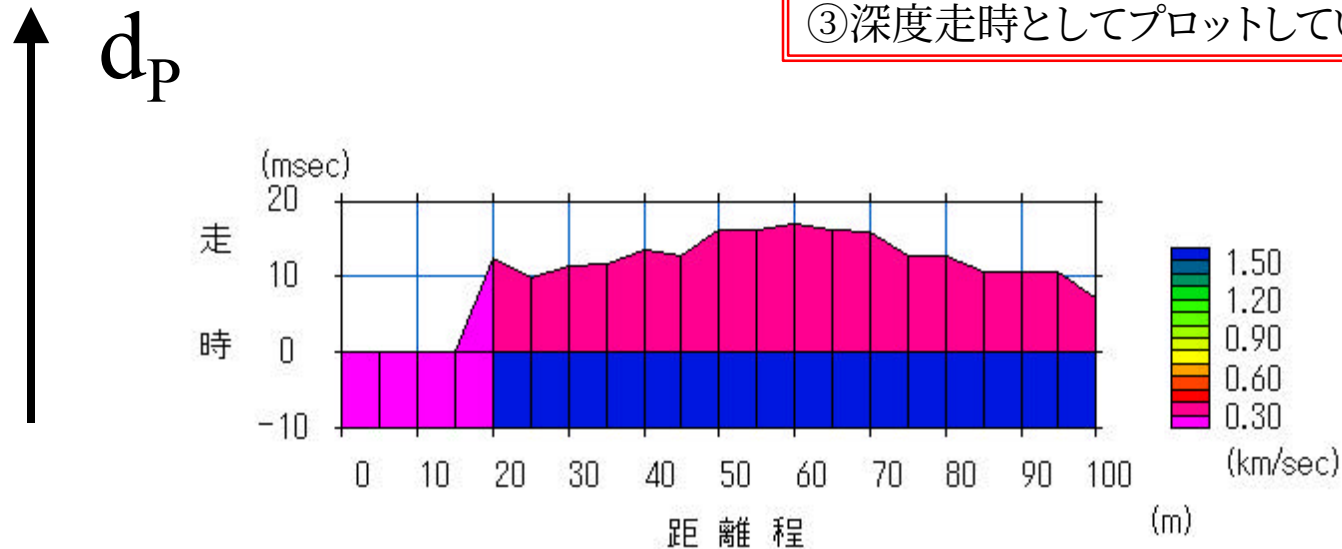
- ① 比例コンパスで $1/2T_{AB}$ を求め線を引く。
- ② 比例コンパス $T_{AP}-T_{BP}$ を求め、これを $1/2$ とし
- ③ $1/2T_{AB}$ の線の下または上に点を打っていく。
- ④ 点を結ぶように直線を引いて速度を決定する。



萩原のはぎとり法

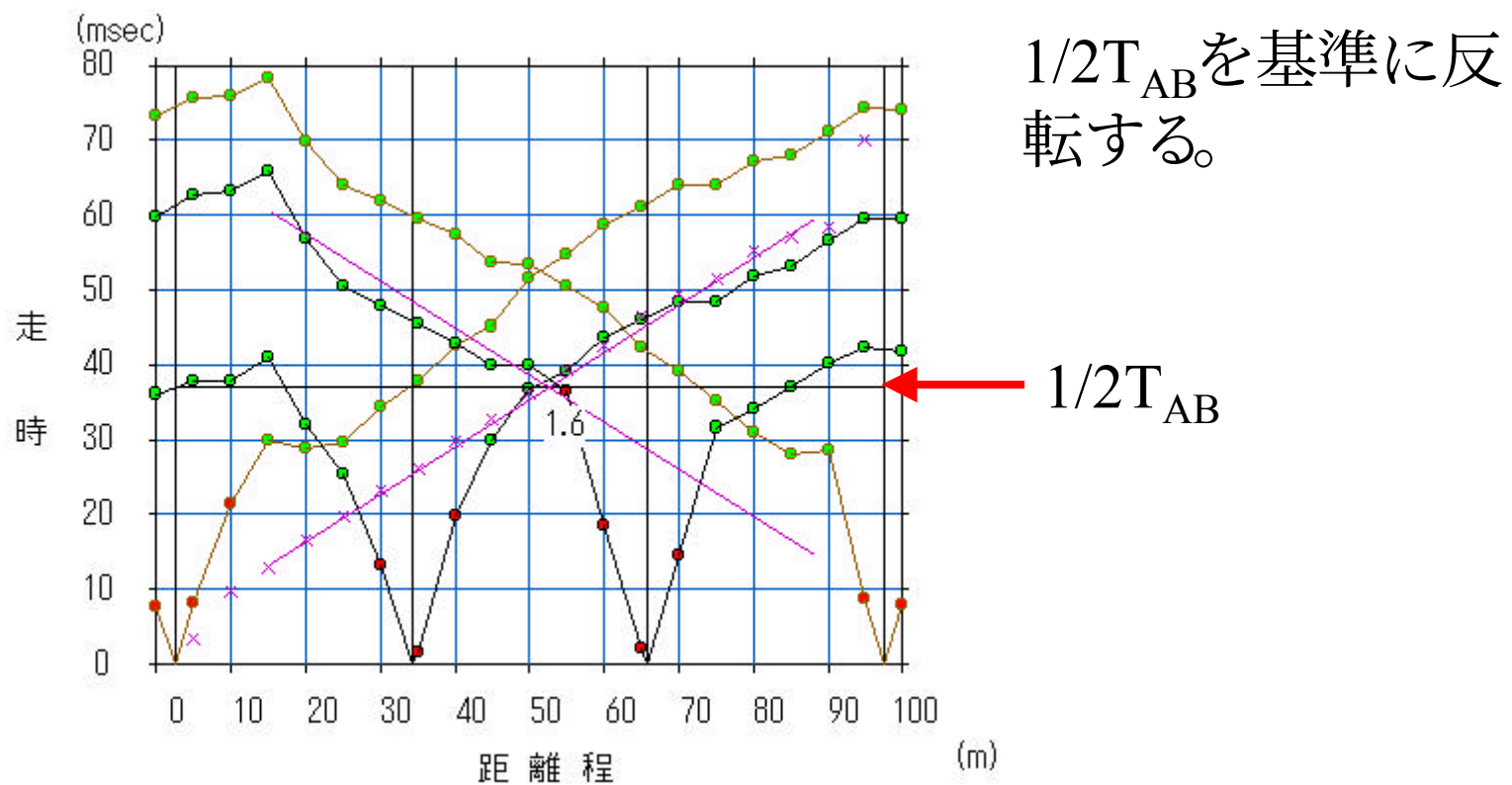
深度走時の計算

- ①T' の点ををつなぐように引いた線から
- ②走時までの時間を求めて、
- ③深度走時としてプロットしていく。



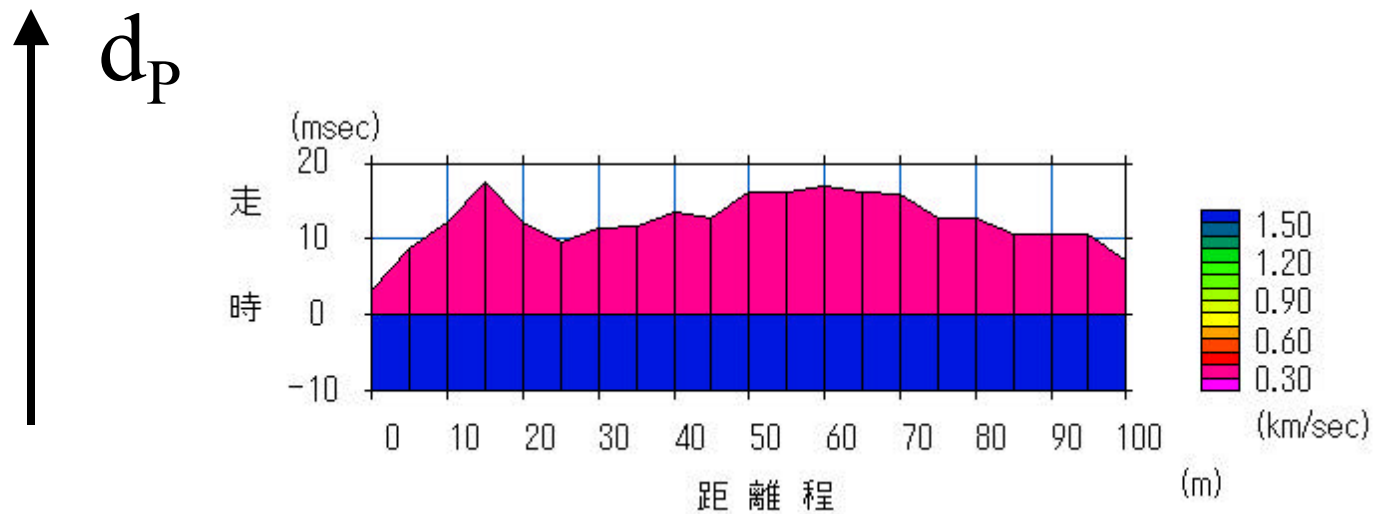
萩原のはぎとり法

T' 曲線 (T'_{BP}) の計算 (速度の線の反転)



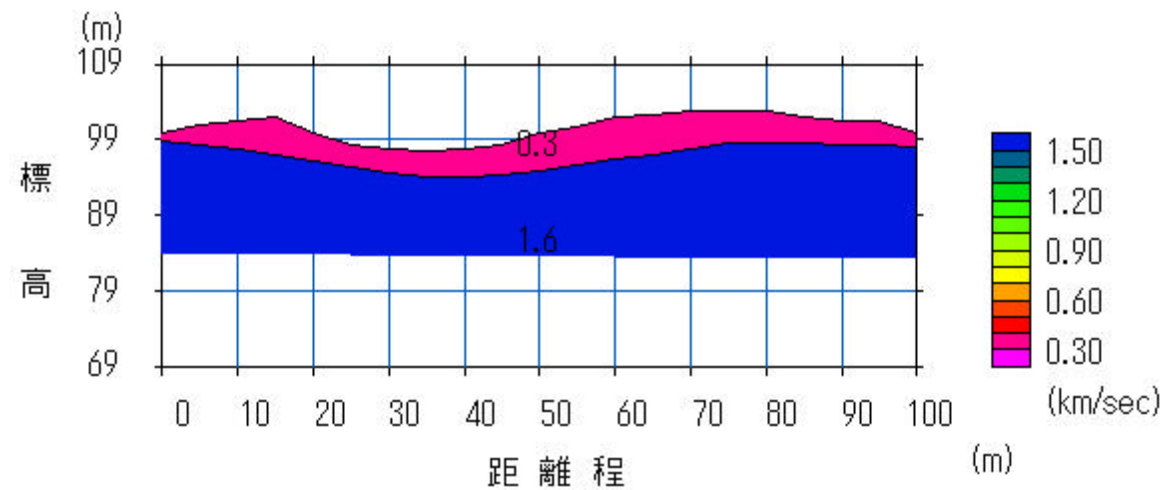
萩原のはぎとり法

深度走時の計算



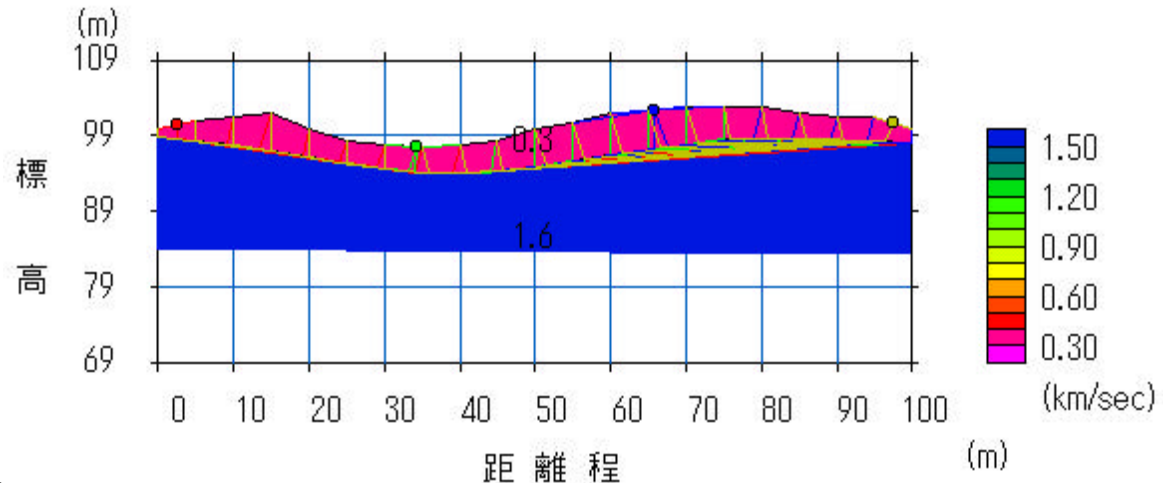
萩原のはぎとり法

速度構造の計算

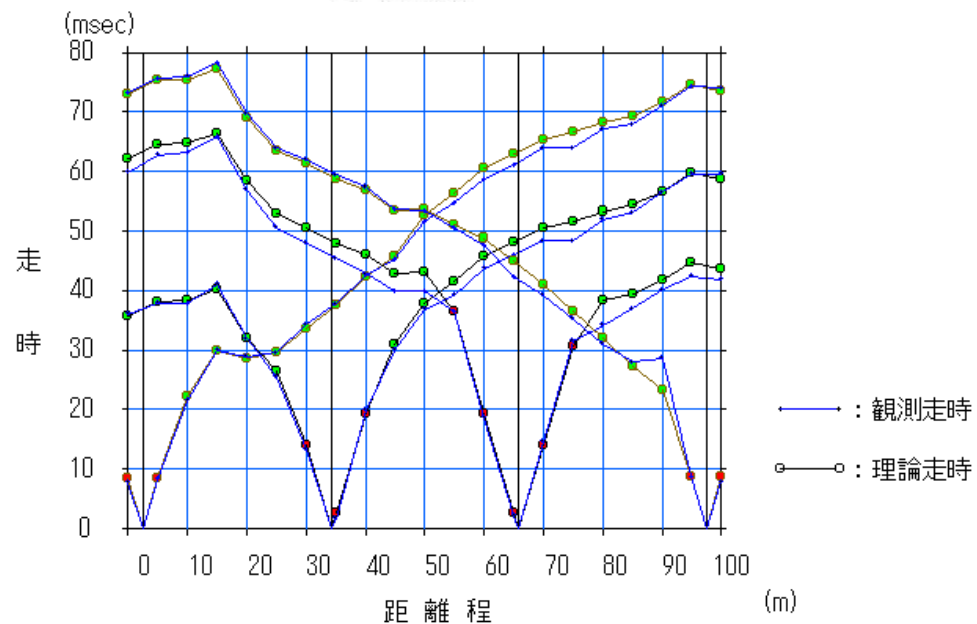


パス計算と速度構造の修正

パス計算

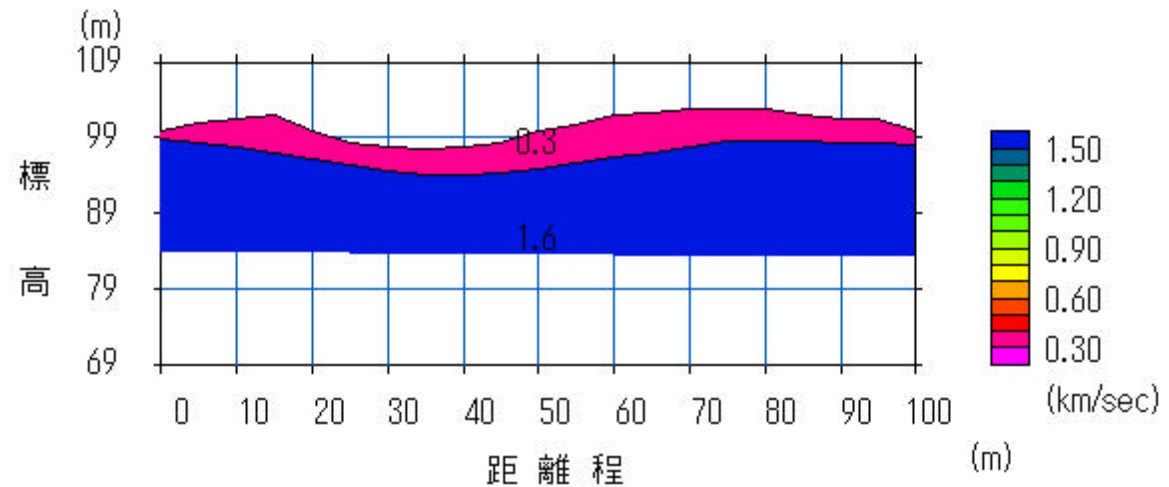


理論走時と観測 走時の比較

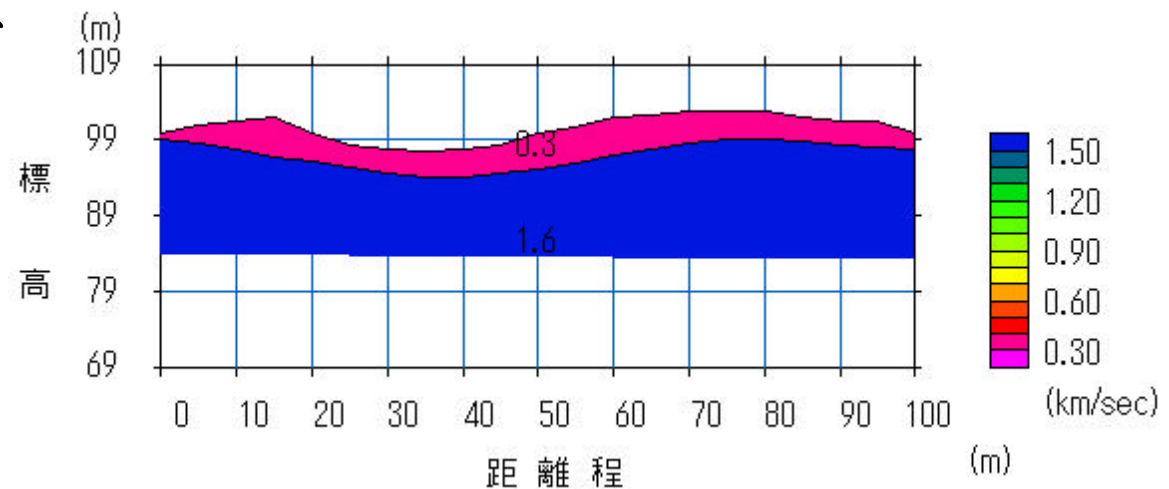


パス計算と速度構造の修正

萩原の方法によって
求めたモデル

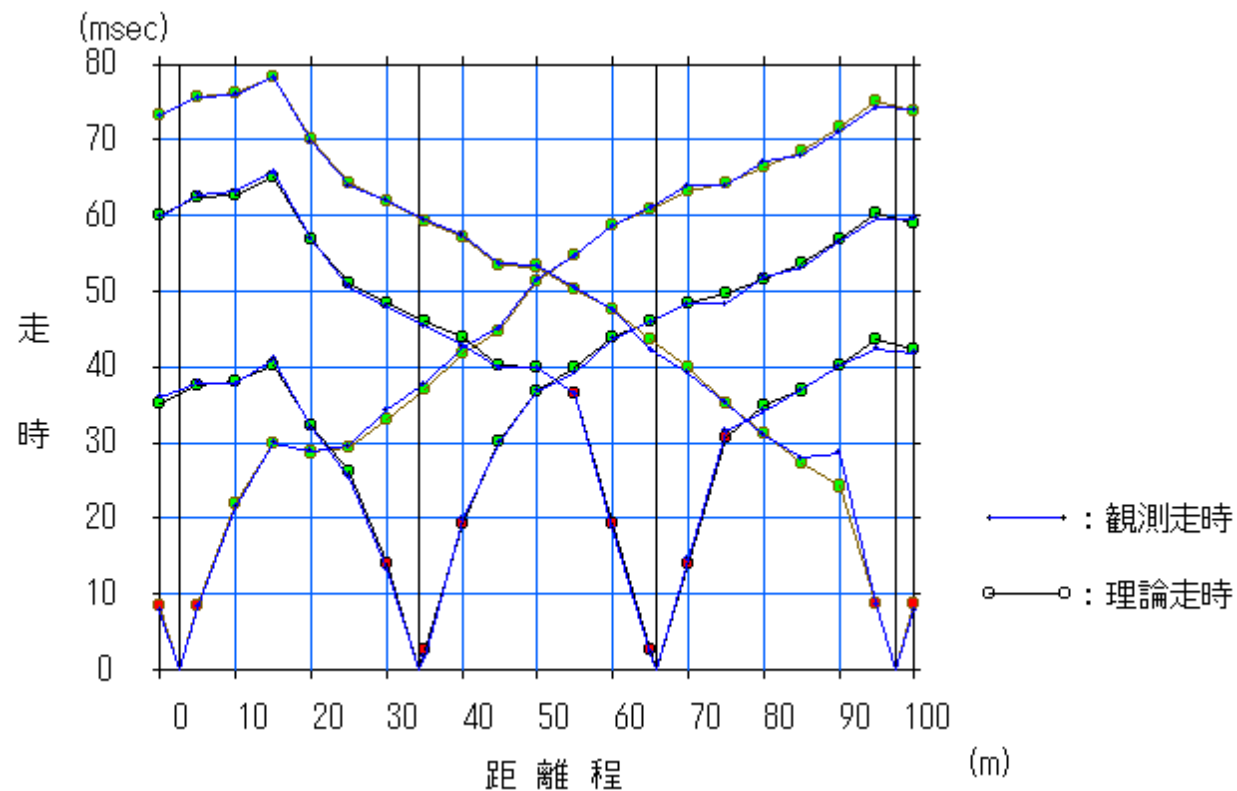


残差が少なくなるよう
修正したモデル



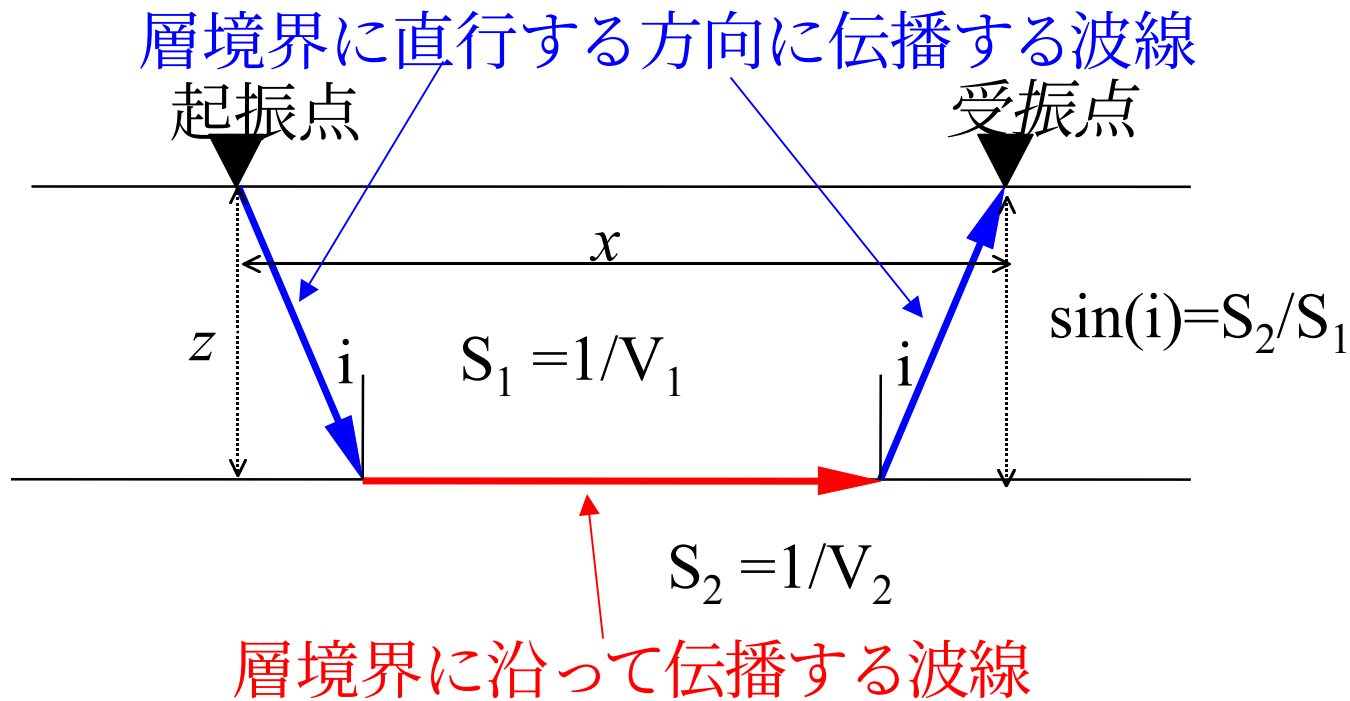
パス計算と速度構造の修正

理論走時と観測走時の比較 (速度構造の修正後)



タイムターム法 (2層構造解析)

屈折波の波線

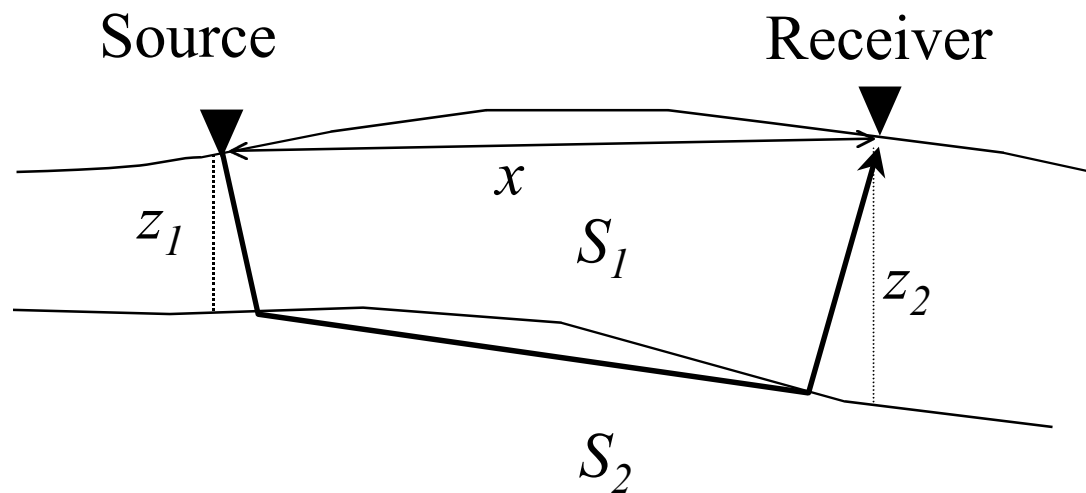


$$t = 2s_1 \cos(i)z + xs_2 \longrightarrow t = 2cz + xs_2$$

$$c = 2s_1 \cos(i) \quad z \text{ and } s_2 : \text{未知数}$$

タイムターム法 (2層構造解析)

水平成層でない場合



$$t_i = c_1 z_1 + c_2 z_2 + x_i S_2$$

$$c_1 = c_2 = s_1 \cos(i) \quad z_1, z_2 \text{ and } s_2 : \text{未知数}$$

タイムターム法 (2層構造解析)

水平成層でない場合

$$t_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} z_j + x_i s \quad c_{ij} = s_1 \cos(i)$$



$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdot & c_{1n} & x_1 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \cdot & c_{2n} & x_2 \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & \cdot & c_{3n} & x_3 \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & \cdot & c_{4n} & x_4 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \cdot & c_{mn} & x_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \cdot \\ z_n \\ s_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ \cdot \\ t_m \end{pmatrix}$$

線形最小二乗法

m : 走時の数 (データ)

n : 受振点 + 起振点の数
(未知数)