

試験種別	試験科目	専門分野
線路主任技術者	専門的能力	水底線路

問1 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文書は、一様な線路の伝送特性について述べたものである。□内に最も適した語句を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ語句を示す。

一様な線路の一次パラメータとは、使用材質及び線路構成により定まる電気的特性値をいい、直列パラメータは、抵抗R及び□(ア)で、並列パラメータは、□(イ)及び□(ウ)で表される。

また、線路の二次パラメータは、特性インピーダンス $Z_0$ と伝搬定数 $\gamma$ で表され、 $\gamma = \alpha + j\beta$ において、 $\alpha$ は□(エ)定数、 $\beta$ は□(オ)定数という。

特性インピーダンス $Z_0$ と伝搬定数 $\gamma$ は、(i)式及び(ii)式のとおりである。

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\square(カ)}{\square(キ)}} \dots\dots\dots (i)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{\square(カ)\square(キ)} \dots\dots\dots (ii)$$

伝搬定数 $\gamma$ の一様な線路を伝搬する電圧(v)について時間(t)と送端からの距離(x)の関数で表すと、A、Bを信号波の未定定数、 $\omega$ を角周波数、eを自然対数の底として、

$$v(x, t) = A e^{-\alpha x} e^{j(\omega t - \beta x)} + B e^{\alpha x} e^{j(\omega t + \beta x)} \dots\dots\dots (iii)$$

となる。

(iii)式の第一項はx方向に伝搬する波動で、その□(オ)速度を $V_P$ とすると、 $V_P$ は次式で表され、振幅は伝搬に伴って□(エ)していく。

$$V_P = \frac{\omega}{\beta} \dots\dots\dots (iv)$$

線路上を伝搬する信号は、一般に、多くの周波数を含んでいる。いま、単純に同一振幅の二つの波があり、それらの角周波数を $\omega_1$ 、 $\omega_2$ とし、□(オ)定数を $\beta_1$ 、 $\beta_2$ として

□(エ)量は同じとした場合、合成された□(オ)速度 $V_{12}$ は、

$$V_{12} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\beta_1 - \beta_2} \dots\dots\dots (v)$$

となる。 $\omega_2$ が $\omega_1$ に近づき、これらの関係が他の複数の波にもいえるとき、その速度を□(ク)速度という。

一次パラメータと二次パラメータの間において、 $\alpha$ は次の関係式が成立する。

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} - (\omega^2 LC - RG)}{2}} \dots\dots\dots (vi)$$

(vi)式の $\alpha$ は、周波数によって変化し、音声周波程度の低い周波数の場合、 $R \gg$  □(ケ)、

□(コ)  $\gg$  □(ウ)として、 $\alpha$ の近似式は、

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{\boxed{\text{(サ)}}}{2}} \times \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{\boxed{\text{(ケ)}}}{R} - \frac{\boxed{\text{(ウ)}}}{\boxed{\text{(コ)}}} \right] \right\} \dots\dots\dots \text{(vii)}$$

で表される。

(2) 一様な線路のひずみを最小にする条件等について、次の問いに答えよ。

(i) 一次定数を用いて関係式を示せ。

(ii) 減衰量を少なくする対策として、線路設備に一般的に使用されてきたものの名称を記せ。

(3) 線路長  $L$  の線路の受端を開放した状態で、送端で信号源の周波数を変化させて入力インピーダンスを測定したところ、周波数  $400$  [kHz] での入力インピーダンスは、無限大となった。次に、信号源の周波数を少しずつ上げていったとき、周波数が  $600$  [kHz] で入力インピーダンスが零となった。

この場合の線路長  $L$  を求めよ。ただし、受端から距離  $L$  の点において受端側を見たインピーダンス  $Z_L$  及び、伝搬定数  $\gamma$  は、次式で与えられるものとする。

$$Z_L = Z_0 \frac{Z_r + Z_0 \tanh \gamma L}{Z_0 + Z_r \tanh \gamma L} \dots\dots\dots \text{(i)}$$

$$\gamma = j \frac{\omega}{v} \dots\dots\dots \text{(ii)}$$

ただし、

$Z_0$  : 線路の特性インピーダンス

$Z_r$  : 負荷のインピーダンス

$\omega$  : 信号波の角周波数

$v$  : 線路上の伝搬速度 ( $v = 3 \times 10^8$  [m/s])

$$\coth j \gamma = -j \cot \gamma$$

とする。

問2 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、光ファイバの分散と伝送帯域の概要について述べたものである。  内に最も適した語句を記せ。ただし、  内の同じ記号は、同じ語句を示す。

光ファイバの分散を大別するとモード分散と、  (ア) 分散に分けられる。

モード分散は、  (イ) 光ファイバにおいて、入射された光パルスの各モードの伝搬経路が異なるため、モードによって出射端への  (ウ) が違うことによって生ずる。このモード分散により伝送帯域が制限される。その欠点を改善するためにコアの屈折率分布を放物線状としている  (エ) 光ファイバでも限界がある。したがって、広帯域な特性を必要とする大容量伝送方式では、モード分散がない  (オ) 光ファイバが使用されている。

(ア) 分散は、入射される光パルスの波長が単一ではないために生ずるもので、  (カ) 分散と  (キ) 分散に分けられる。そのうち  (カ) 分散は、モード分散と同じように帯域を制限する要因となるもので、伝送媒体の  (カ) の屈折率が波長に依存することから起こるものである。

(キ) 分散は、コアとクラッドの屈折率差が小さい場合、その境界面でクラッド部分へしみ出すように反射が起こることによって発生する。その割合は波長が  (ク) なるほど大きくなり、また、それにより  (ケ) 径も大きくなっていき、結果的に伝搬経路長が長くなる。

伝送帯域は定量的には、光ファイバの  (コ) 周波数特性における  (サ) 帯域幅という表現で示される。

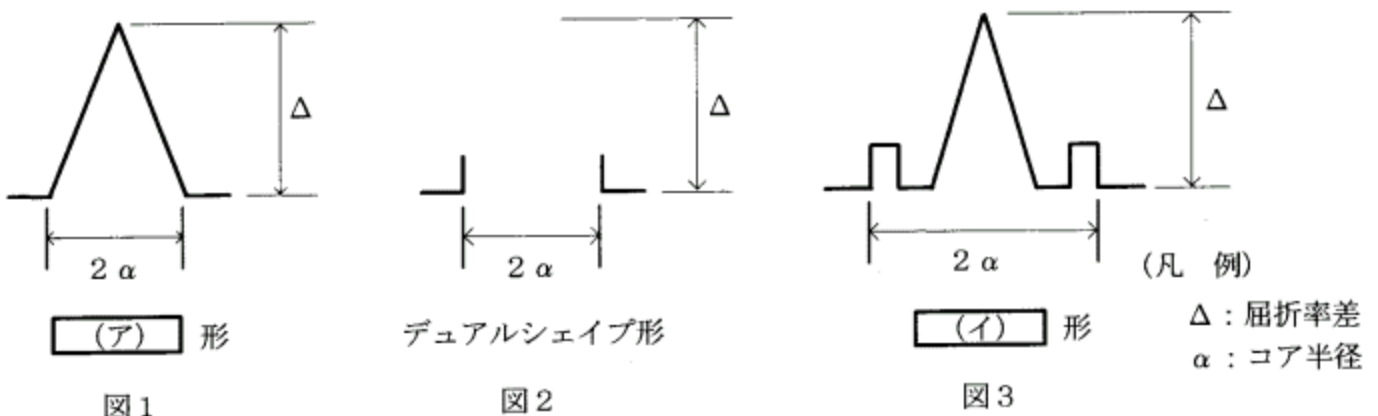
(コ) 周波数特性は、光ファイバ伝送路における正弦波の入力変調電気信号と、出力の復調電気信号の振幅比の周波数特性で表される。

(サ) 帯域幅とは、光が1[km]伝送した後での復調電気信号の振幅値が入力変調電気信号の振幅値に対し、数値的に  (シ) となる周波数までの範囲をいい、単位としては MHz·km が用いられている。

- (2) 図1～図3に示すシングルモード光ファイバの1.55 μm零分散シフトファイバにおける屈折率分布について、次の問いに答えよ。

- (i) 図1及び図3の  内の(ア)及び(イ)に最も適した語句を記せ。

- (ii) 図2の、デュアルシェイプ形の屈折率分布図を完成し、図示せよ。



(3) シングルモード形光ファイバについて、次の問いに答えよ。

- (i) 光ファイバがシングルモード形になるための条件について、規格化周波数とコア径の観点から簡潔に説明せよ。
- (ii) S I 形光ファイバをシングルモード形光ファイバとして用いるための条件について、使用する波長の観点から簡潔に説明せよ。

問3 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、光海底ケーブルの構造と機械的特性について述べたものである。□内に最も適した語句を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ語句を示す。

国内で一般的に用いられているOFS無外装光海底ケーブルの構造は、海底環境下での□(ア)及び□(イ)、敷設・回収による□(ウ)、曲げ、摩耗などの種々の外力から光ファイバを保護するよう設計されており、□(エ) [kN]以上の破断強度を有する。光海底ケーブルの中央部は、光ファイバを中心鋼線の周囲に撚り集合して一体化した□(オ)、□(オ)を外力から保護する複合金属体で構成され、これらの空隙にはケーブル破断時に□(カ)の侵入を防止する□(キ)が充填されている。複合金属体は、中継器への給電線としても機能するよう、その外周に□(ク)の絶縁層が施されている。OFS無外装ケーブルの複合金属体の特徴は、□(ケ)パイプの採用であり、その周囲に□(コ)、最外層に□(サ)を配している。

フィッシュバイト対策ケーブルは、無外装ケーブルの外周に□(シ)とジャケット層を追加した構造となっている。また、外装ケーブルは無外装ケーブルの外周に□(ス)線が撚り集合された構造となっている。

- (2) 代表的な偏波面保存光ファイバの一つであるパンダファイバ端面の構造を図示し、その原理を簡潔に説明せよ。
- (3) 光ファイバ融着接続におけるローカルモニタリングの方法は二つに大別されるが、この二つの方法の名称を挙げ、それぞれ簡潔に説明せよ。

問4 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、海底ケーブルの敷設工事について述べたものである。□内に最も適した語句を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ語句を示す。

海底ケーブル敷設工事では、陸揚局へのケーブル陸揚げ工事に引き続き、通常、浅海部の敷設工事が実施され、次に深海部での敷設工事が実施される。一般的に、浅海部と深海部の区別は、水深約□(ア)メートルでされる。

浅海部に使用されるケーブルは、その構造から敷設時の張力による発生□(イ)が大きく、ケーブルの軸を中心として回転しやすい性質を持っているため、敷設時に張力の変動があると、□(ウ)が発生しやすくなる。これは、張力が強いときにケーブルの□(エ)点に□(イ)が集中し、張力が弱まったときにそこにケーブルの輪ができてしまうため発生するものと考えられる。□(ウ)が発生すると、その部分のケーブルには非常に小さい半径の曲げや、非常に短い区間に□(オ)が集中するため、ケーブルは、光ファイバが断となるなど大きなダメージを受けたり、その時点で障害にならなくとも、ケーブルの□(カ)を著しく損なうことになる。それを避けるため、浅海部の工事においては、可能な限り□(キ)の張力をかけながら敷設を行う。一般的に、張力としては□(ク) [kN]程度である。

浅海部では、ケーブルを敷設と同時に埋設を行うことが一般的であるが、この場合には□(ケ)式埋設機あるいは□(コ)式埋設機が使用される。後者の場合はより深く埋設することが可能であるが、ダイバーの補助が必要になるため、適用できる水深は□(サ)メートル程度までである。敷設と同時に埋設ができない場合には、敷設の後に□(シ)の□(コ)による埋設を行う場合が多い。埋設深度は海底の土質などにもより、□(ス)メートル程度を目標とすることが多いが、最近では技術の進歩もありより深く埋設することが可能になってきている。

- (2) 海底ケーブルの敷設工事は、一般的に、敷設中のケーブルシステムを常時監視するため、ケーブル陸揚局とケーブル船の間で給電しながら敷設が行われる。その際の安全対策に関し、次の問いに答えよ。

(i) 敷設作業中のケーブルが切断された場合、敷設船のケーブルタンク内のケーブルには電氣的にどのような現象が発生し、それがどのような危険性を持っているか、理由を含めて簡潔に説明せよ。

(ii) 上記(i)現象に備え、ケーブルタンク内及び船上にある中継器とジョイントボックスに、どのような安全対策を施しているか、簡潔に説明せよ。

- (3) 通常、ケーブル敷設が終了する直前にケーブル船がケーブルを保持したまま、ケーブル船と陸揚げ局の間でシステムの総合的な特性を測定して、敷設した区間の正常性を確認する。これを一般的にケーブル敷設の最終確認試験というが、再生中継システムの場合の代表的な最終確認試験項目を四つ記せ。



問5 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、海中分岐装置の構造及び分岐方式について述べたものである。□内に最も適した語句を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ語句を示す。

海中分岐装置は、内部回路を外力から保護して收容する□(ア)、ケーブル□(イ)、内部回路とケーブル相互の光ファイバ接続部を收容する□(ウ)から構成され、□(ア)には機械的強度と耐腐食性に優れた□(エ)合金が使用されている。海中分岐装置は一つの陸揚局からの信号を複数の対地に海中で分岐する装置であるが、海中分岐装置1台当たりの分岐数は敷設や回収などの作業性を考慮して、実用化されているものでは□(オ)つである。

信号分岐方式は複数あり、その一つとしては、光ファイバを物理的に各対地ごとに振り分ける□(カ)分割分岐方式であり、分岐ケーブル障害時にバックアップルートの確保が可能ないように、□(キ)とその□(ク)回路を搭載して光ファイバ切替え機能を有するものもある。この方式以外にも、光直接増幅技術との組合せによる□(ケ)分割分岐方式や同期多重技術を応用した□(コ)分割分岐方式が実用化されている。

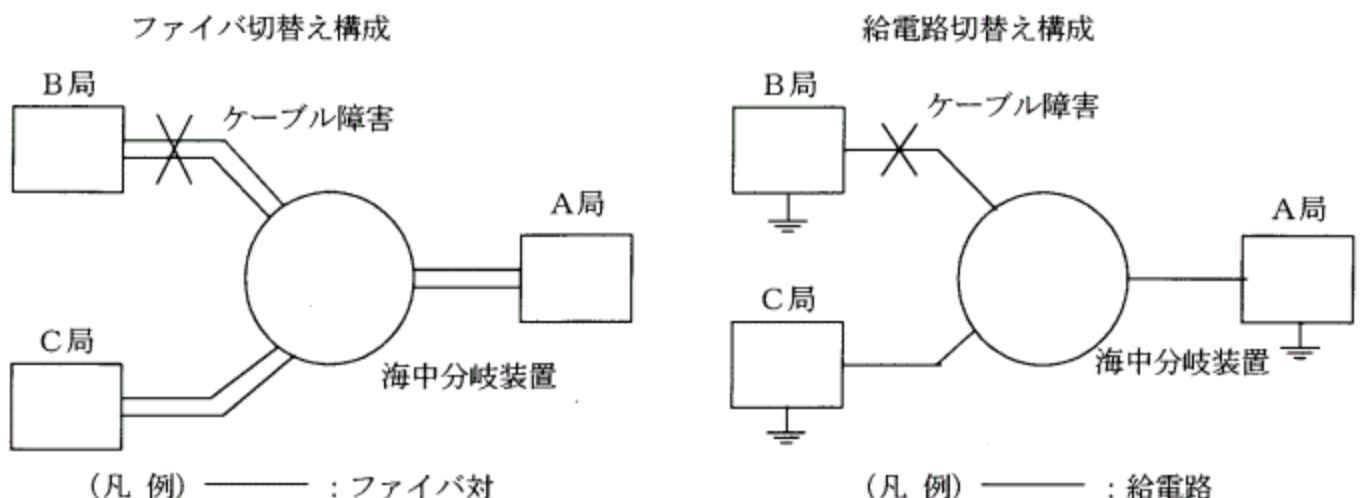
海中分岐装置は、また、小型で信頼性に優れた□(サ)による給電路の切替え機能を併せ持つものもあり、陸揚局で□(シ)を調整することにより切替え動作を実行する。

一般に、無給電時の海中分岐装置の給電路は、建設工事などで□(ス)試験ができなくなることを防ぐためアースから□(ス)されるよう設計されている。

- (2) 図は、ファイバ切替え機能及び給電路切替え機能を有する非対称型海中分岐装置1台と、A局、B局及びC局の3陸揚局から構成される光海底ケーブルシステムを示したものである。A局は正極でB局と両端給電を、C局は片局給電を構成しており、また、各局は1ファイバ対によって相互に接続されている。このシステムにおいて、B局と海中分岐装置との間でケーブル切断障害が発生した場合のことを条件に、次の問いに答えよ。

- (i) ファイバ切替え後の構成を、図を完成させることにより図示せよ。

- (ii) 給電路切替え後の構成を、図に極性やその他必要なものを記入し給電路を完成させることにより図示せよ。



- (3) 海中分岐装置に海中アースが用いられる主な理由を二つ、それぞれ簡潔に説明せよ。

問6 次の問いに答えよ。

(1) A陸揚局～B陸揚局間に光海底ケーブルを建設する場合の敷設ルート of 海底地形を図1に示す。この敷設ルートについて、図1の(i)～(xi)の区間に適用するケーブルを下記の(ア)～(オ)の各種ケーブルから選び、その記号を記せ。ただし、同じ記号を重複使用してもよい。

なお、番号①はA陸揚局、⑯はB陸揚局の位置を示し、②～⑮は海底地形の水深位置を示す。⑤～⑥の区間は、溶岩質で海底地形の悪い場所である。また、海中分岐を行わないものとする。

- (ア) フィッシュバイトケーブル
- (イ) 一重外装ケーブル
- (ウ) 二重外装ケーブル
- (エ) 高張力ケーブル
- (オ) 無外装ケーブル

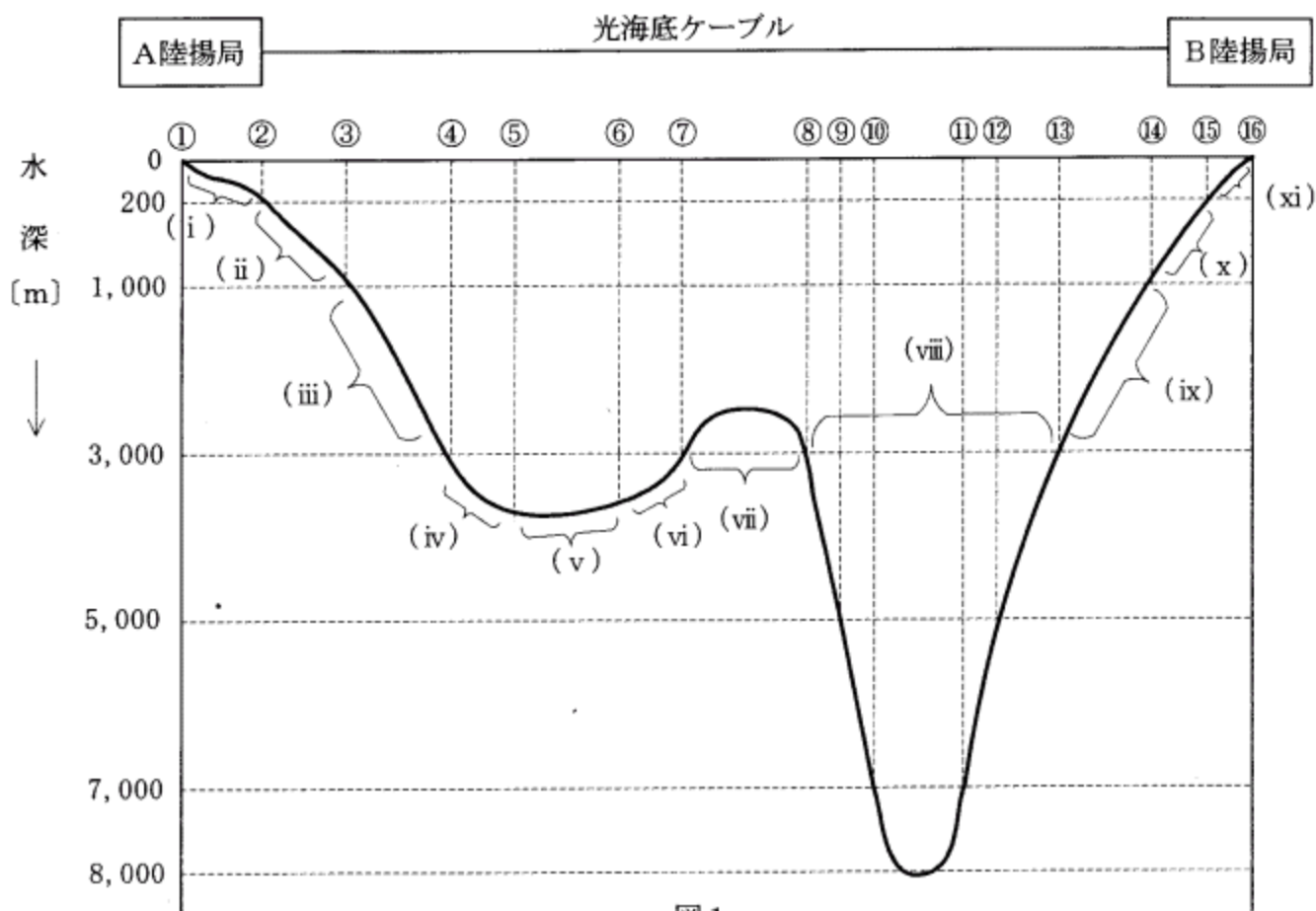


図1

(2) 次ページの図2は、海底光ケーブルのケーブル修理工事における敷設作業を示している。修理船は今、A地点においてケーブルを保持している。この状態から修理船は船速Vで敷設を開始し、目標のC地点に向かう。C地点では、あらかじめ敷設してあるブイを回収するため、ケーブルを再び垂直に立てる。

この工事において、修理船がB地点に到着した段階で、A地点の船上で保持し海底から立ち上がったケーブルが、すべて海底に着底した(A'点)とする。O～A'間の直線距離は水深の $\frac{3}{4}$ とし、B～C間は定常スラック敷設区間であり、B地点からC地点でケーブルを垂直に保持するまでの間のスラックを $\epsilon$ とする。また、水深をDとし、A～C間の長さをL、ケーブル

入水角を  $\theta$  とする。なお、海面から船上までの距離は無視する。

次の問いに答えよ。

- (i) A～B間で繰り出すケーブル長  $L_1$  を、 $D$  及び  $\theta$  を用いて表せ。
- (ii) B～C間で繰り出すケーブル長  $L_2$  を、 $L$ 、 $D$ 、 $\theta$  及び  $\varepsilon$  を用いて算出過程を示して求めよ。
- (iii) C地点でケーブルを垂直に立てるために、繰り出すケーブル長  $L_3$  を、 $L$ 、 $D$ 、 $\theta$  及び  $\varepsilon$  を用いて算出過程を示して求めよ。
- (iv) 水深が 4,000 [m]、A～C間が 20 [km]、船速が 1.5 [ノット]、定常スラックを 5 [%] としたとき、A～C間の敷設に必要なケーブル長  $L_x$  (km) を算出過程を示して求めよ。ただし、ケーブル動水力学定数は、45 [度・ノット] とし、答えは、四捨五入により小数第1位までとする。

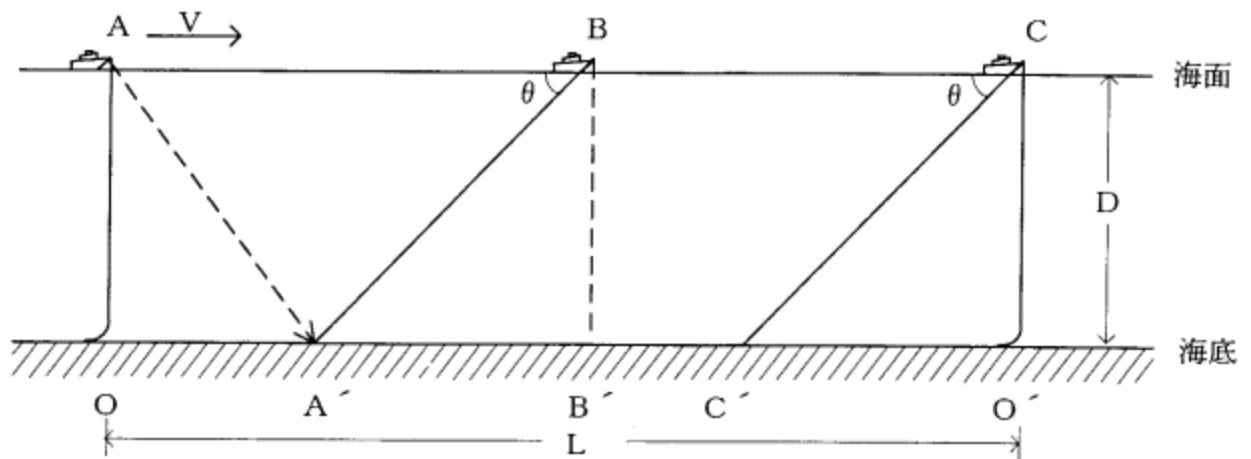


図2