

地盤の弾性波速度検層方法

Method for seismic velocity logging

1 適用範囲

この基準は、軟弱地盤から岩盤までのすべての地盤を対象とした、弾性波（P波及びS波）速度検層の測定方法と結果の整理及び報告事項を記述したものである。弾性波速度検層には、いくつかの方式があるが、この基準は、表1に示す2種類の方式に適用する。

表1—検層方法の種類

呼び名	起振位置	受振位置
ダウンホール方式	地表	孔内
孔内起振受振方式	孔内	孔内

2 引用規格・基準

次に掲げる規格及び基準は、この基準に引用されることによって、この基準の一部を構成する。これらの引用規格及び基準は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 0207 地盤工学用語

3 用語及び定義

この基準で用いる主な用語及び定義は、JIS A 0207 によるほか、次による。

3.1

ダウンホール方式

地表で起振してボーリング孔内で受振する検層（測定）方法。

3.2

孔内起振受振方式

ボーリング孔内で起振及び受振する検層（測定）方法。

3.3

走時

弾性波が起振点から受振点まで伝播するのに要する時間。

3.4

走時曲線図

横軸に時間、縦軸に深さを取って、各測定深さに走時をプロットしたグラフ。

4 検層装置及び器具

4.1 共通事項

検層装置及び器具は、次による。

- a) **ゾンデ** 検層ケーブルの先端に取り付けて、孔内に挿入して計測するために用いる、受振器などを組み込んだ装置をゾンデという。

ダウンホール方式のゾンデは、受振器や圧着機構を組み込み、孔壁に圧着して測定する構造を標準とする。

孔内起振受振方式のゾンデは、起振装置や受振器を組み込み、孔内水中に吊るした状態で測定する構造を標準とする。

- b) **検層ケーブル** ゾンデをボーリング孔内で昇降させるとともに、ゾンデと地表の測定装置とを電氣的に接続するケーブル。検層ケーブルは、ゾンデを昇降させるのに十分な強度と耐水圧性と耐摩耗性を持つ素材を用いる。

注記 1 手動または電動でケーブルを巻き取る装置（ケーブルウィンチ）を使用してもよい。

- c) **シーブ** ゾンデをボーリング孔内で昇降させる際に用いる検層ケーブルのガイド滑車をシーブという。
- d) **深さ測定装置** ゾンデの深さを測るための装置を深さ測定装置という。深さの測定には、目盛りを付けた検層ケーブル、シーブやケーブルウィンチの回転数から深さを測定する装置（パルスエンコーダ）などを用いる。
- e) **受振器** 地盤の振動を感知し、電気信号に変換する装置を受振器という。受振器は、検層方式に応じて**表 2**に示す成分数を 1 組として使用し、孔内起振受振方式では、2 組以上の受振器を有するゾンデを使用する。

表 2—受振器の必要成分数

受振器	ダウンホール方式	孔内起振受振方式
P 波受振器	上下動 1 成分	上下動 1 成分
S 波受振器	水平動 2 成分	水平動 1 成分

注記 2 ダウンホール方式の P 波受振器として、ハイドロフォンを使用してもよい。

- f) **起振装置** P 波または S 波を発生させるための装置、及びこれらを制御する装置類を起振装置という。目的に応じて**表 3**に示すものを用いる。

表 3—主な起振装置

呼び名 振源	ダウンホール方式	孔内起振受振方式
P 波振源	ハンマーによる打撃、重錘落下、火薬類、エアガンなど	電磁ハンマー、スパーカー、圧電式など
S 波振源	板たたき、機械式など	電磁ハンマー、圧電式など

- g) **起振時検知器** P 波または S 波を起振した瞬間を検知して、記録装置に起振時を伝える装置（トリガー装置）を起振時検知器という。
- h) **圧着装置** ゾンデを孔壁に圧着させる装置を圧着装置という。
- 注記 3** ガス圧または電動によってゾンデを孔壁に圧着させる装置であり、地表に置く駆動装置、圧力を伝送するホースや電気コード類、及びゾンデに組み込まれた圧着機構で構成される。
- i) **記録装置** 受振器からの電気信号を適切な大きさに増幅し、波形として記録するための装置を記録装

置という。目的に適合した周波数特性を有するもので、記録長やサンプリング間隔を適切に設定できるものを用いる。

注記 4 記録長は、波形を記録する時間の長さのことであり、走時を読み取るのに十分な長さに設定する。

注記 5 サンプリング間隔は、波形を A/D 変換する時間の間隔のことで、走時を読み取るのに十分短い時間間隔に設定する。

注記 6 フィルタやスタッキングなどの機能を有する記録装置を用いても良い。

j) **電源** 電源は、バッテリーまたは発電機を用いる。

4.2 ダウンホール方式

ダウンホール方式は、記録装置、起振装置、ゾンデ、検層ケーブル、深さ測定装置、起振時検知器、及び圧着装置から構成される検層装置を用いる。

注記 1 ダウンホール方式に用いる検層装置の構成例を図 1 に示す。

注記 2 一定の間隔で複数の受振器が連なる多連式のゾンデを使用してもよい。

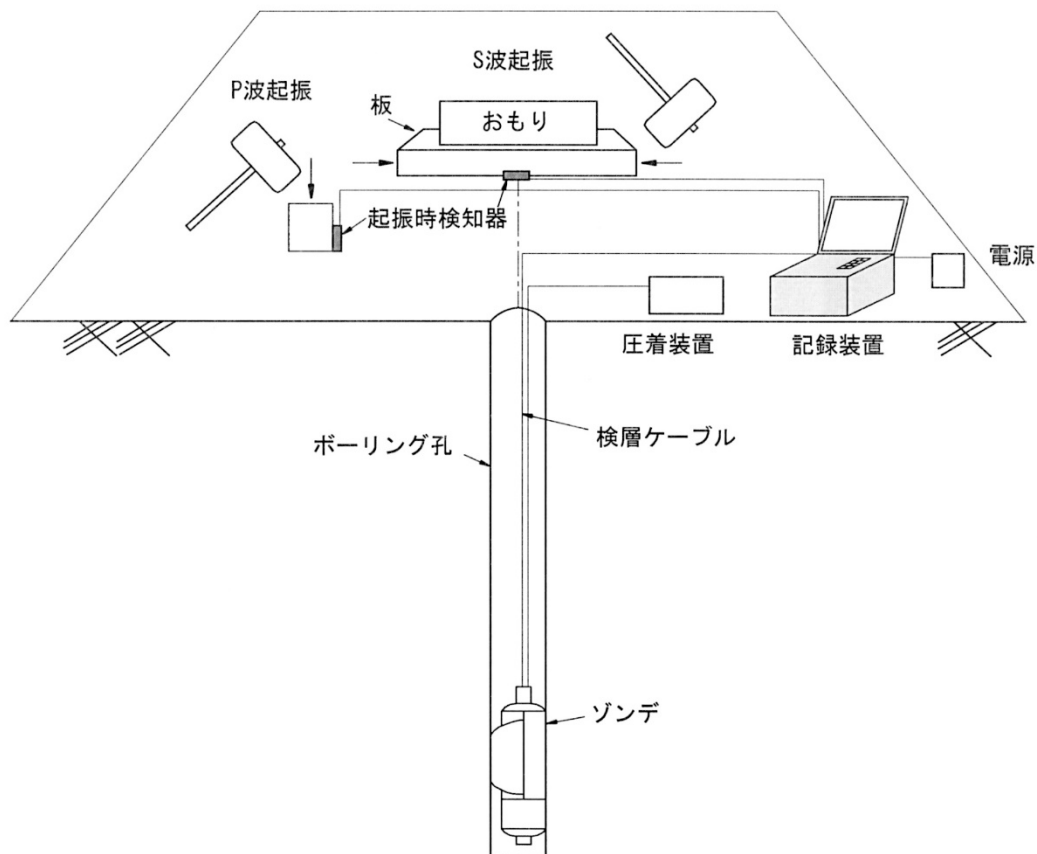


図 1—ダウンホール方式の検層装置の例

4.3 孔内起振受振方式

孔内起振受振方式は、記録装置、ゾンデ、検層ケーブル、シーブ、及び深さ測定装置から構成される検層装置を用いる。

注記 1 孔内起振受振方式に用いる検層装置の構成例を図 2 に示す。

注記 2 ゾンデの昇降時には、ケーブルウィンチを用いることが望ましい。

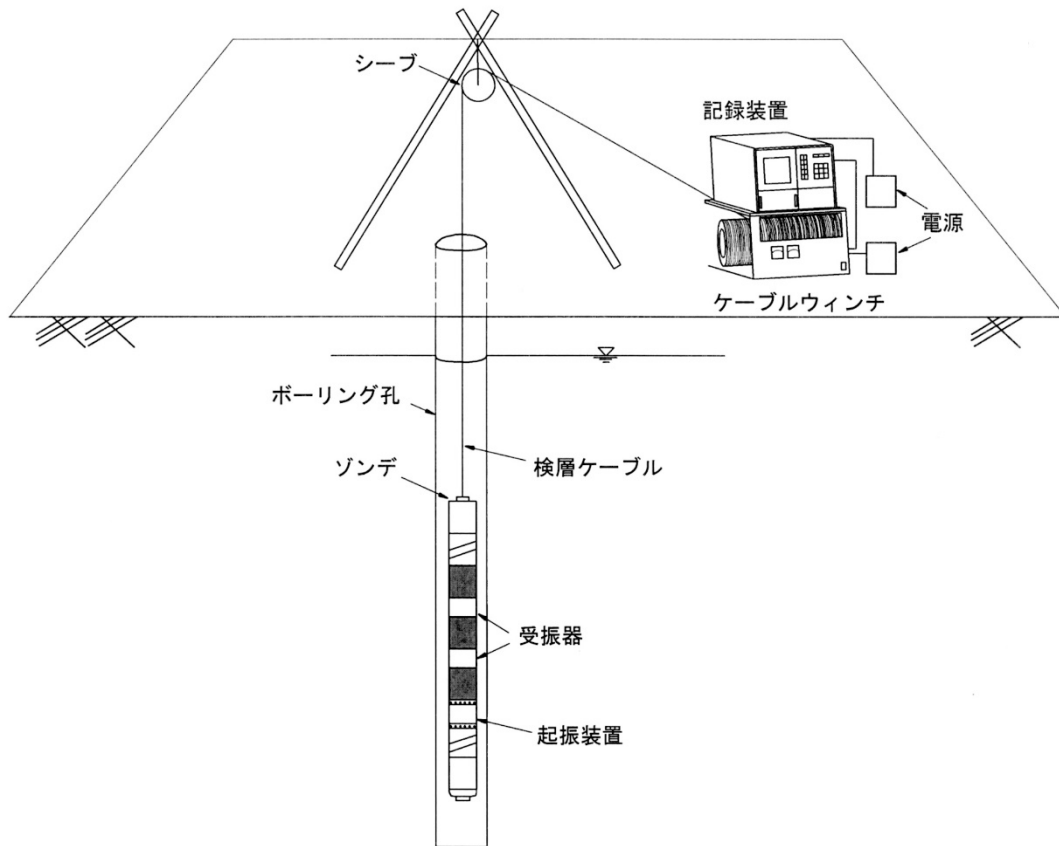


図 2—孔内起振受振方式の検層装置の例

5 検層方法

検層方法は、次による。

5.1 共通事項

5.1.1 準備

ダウンホール方式と孔内起振受振方式に共通する準備は、次による。

- a) **孔内状況の事前確認** 孔内水位や孔径，孔壁保護の状況などを事前に確認し，ゾンデが所定深度まで安全に挿入できることを確認する。概略地質等の事前情報を入手しておくことが望ましい。
- b) **検層装置の準備** 目的に応じた受振器及び起振装置を選定して，検層装置を準備する。

5.1.2 測定

ダウンホール方式と孔内起振受振方式に共通する測定は、次による。

- a) **ゾンデの降下** 所定の深さにゾンデを降下させる。
- b) **記録装置の設定** 記録装置の利得（ゲイン），記録長，サンプリング間隔などを，走時を読み取るのに適切な設定に調整する。
- c) **測定深さの記録** 各起振ごとの測定深さを野帳などに記録する。
- d) **起振及び測定** 起振装置を用いて P 波及び S 波を発生させ，所定の深さにおける P 波と S 波の波形を測定し，記録装置に記録する。

e) **測定記録の確認** 測定ごとにP波及びS波の波形の確認を行う。

注記1 波形から走時の読み取りができないと判断される場合は、再測定する。

注記2 ノイズ状況などを確認して、必要に応じてフィルタ処理やスタッキング処理、及び起振力の調整などを行う。

f) 測定深さを変えて、a)～e)の操作を繰り返す。

5.2 ダウンホール方式

5.2.1 準備

ダウンホール方式の準備は、次による。

a) 孔内状況の事前確認は、次の項目について確認し、記録する。

- 1) ボーリング孔内水位
- 2) 掘削孔径
- 3) ボーリング孔壁保護の状況

b) ボーリング孔口近傍の地表に、起振装置を設置する。

c) 地表に設置した起振装置とボーリング孔口との水平距離、及び標高差を計測し、野帳等に記録する。

注記 P波の起振に火薬類を使用する場合は、関係法規を遵守する。

5.2.2 測定

ダウンホール方式の測定は5.1.2によるほか、次による。

a) 所定の深度に降下させたゾンデを、孔壁に圧着させる。

注記 P波のみの測定の場合、孔内水があれば、受振器を孔壁に圧着させなくてもよい。

b) S波を測定する場合は、左右両側から交互に起振して測定する。

c) 測定間隔は、土質を対象とする場合には、 $1\text{ m}\pm 0.1\text{ m}$ 、岩盤を対象とする場合は、 $2\text{ m}\pm 0.2\text{ m}$ を標準とする。

d) 波形は、起振時検知器の信号をトリガーとして使用して、起振時から記録する。

5.3 孔内起振受振方式

5.3.1 準備

孔内起振受振方式の準備は、次による。

a) 孔内状況の事前確認は、次の項目について確認し、記録する。

- 1) ボーリング孔内水位
- 2) 掘削孔径
- 3) ボーリング孔壁保護の状況

注記1 ゾンデの構造に応じた余掘りが必要である。

注記2 孔内水のある裸孔区間で適用できる。

b) 検層装置を組み立て、動作確認を行う。

5.3.2 測定

孔内起振受振方式の測定は5.1.2によるほか、次による。

a) S波を測定する場合は、左右両側から交互に起振して測定する。

b) 2組の受振器の波形を同時に記録する。その際、遅延時間（ディレイタイム）を設定してもよい。

c) 測定間隔は、受振器間隔と等しい間隔とし、 $1\text{ m}\pm 0.1\text{ m}$ を標準とする。

6 結果の整理

結果の整理方法は、次による。

6.1 共通事項

記録した波形から走時を読み取り、走時と深さの関係を走時曲線として図示して、速度層境界の決定及び速度の算定を行う。

注記 速度層境界の決定及び速度の算定に際しては、ボーリング柱状図など他の試験結果がある場合には、参考にすることが望ましい。

6.2 ダウンホール方式

ダウンホール方式の結果の整理は、次による。

a) 走時の読み取り

- 1) 測定深さごとにP波及びS波の初動走時（起振時から初動までの時間）を読み取る。

注記1 図3に走時の読み取り方法を示す。

注記2 波形記録の立ち上がり（立ち下がり）部分を初動という。

- 2) 初動の判別が困難な場合には、波形の山または谷の位置の時間を読み取る。山や谷の時間を読み取った場合、初動が比較的明瞭な記録の初動走時と、読み取った時間の時間差を、すべての読み取った時間から差し引き、これを初動走時として以降の処理を行う。

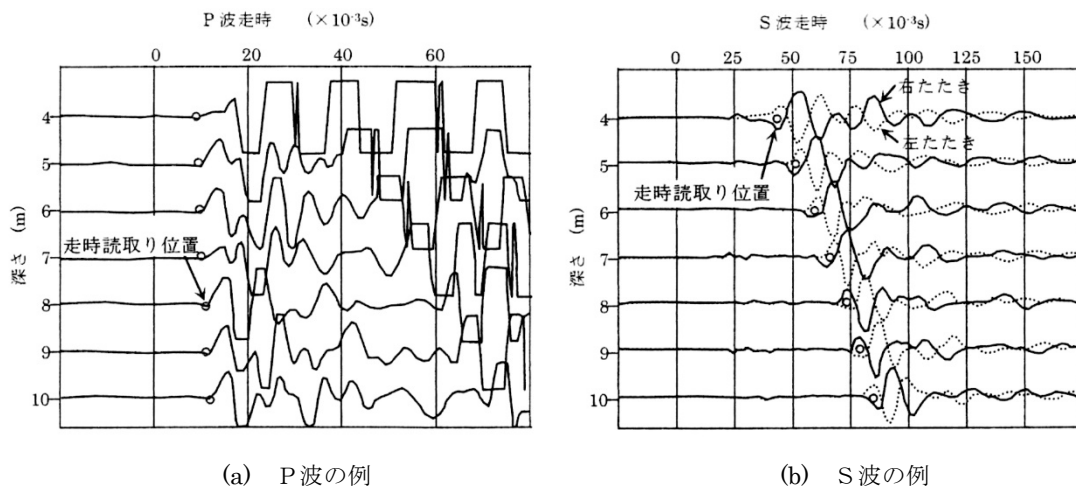


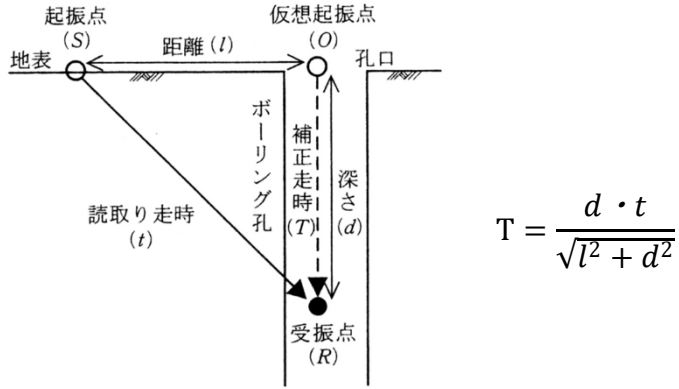
図3—走時の読み取り方法（ダウンホール方式）

b) 走時曲線図の作成及び速度層境界の決定・速度の算定

- 1) 振源距離補正を行う。

注記3 図4に振源距離補正の求め方の例を示す。

注記4 ボーリング孔から一定距離だけ離れた位置にある振源からの走時を、ボーリング孔直上の振源からの走時となるように補正を行う。



$$T = \frac{d \cdot t}{\sqrt{l^2 + d^2}}$$

図4-振源距離補正の求め方の例

2) 補正した走時を横軸にとり、深さを縦軸にとって、両者の関係を表す走時曲線図を作成する。

注記5 図5にダウンホール方式の走時曲線図の例を示す。

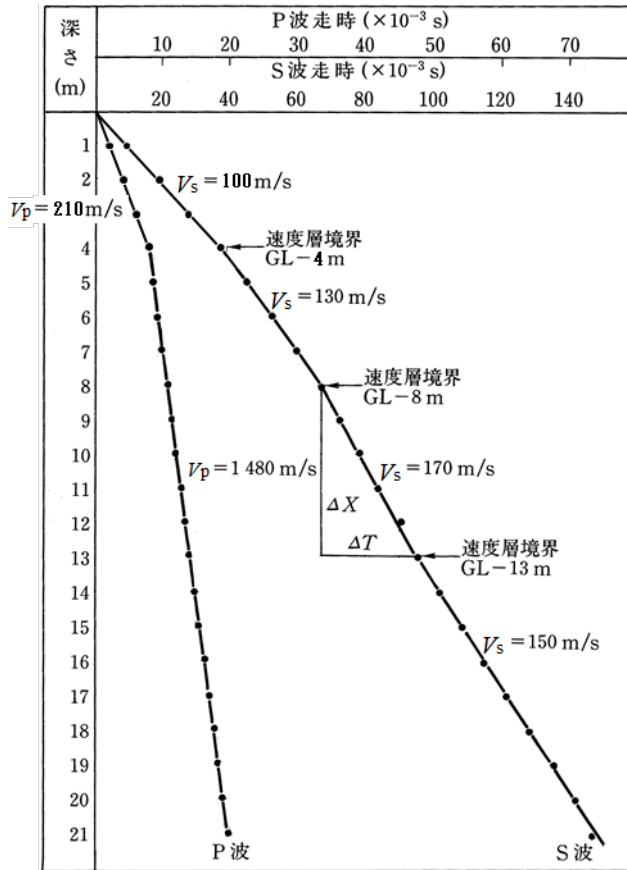


図5-ダウンホール方式の走時曲線図の例

- 3) 走時曲線の傾きが変化する深さをもって速度層境界とする。
- 4) 各速度層のP波またはS波の速度を次式で算定する。

$$V = \Delta X / \Delta T$$

ここに、 V : P波またはS波の速度 (m/s)

ΔX : 速度層の層厚 (m)

ΔT : 速度層上面と下面における走時の差 (s)

6.3 孔内起振受振方式

孔内起振受振方式の結果の整理は、次による。

a) 記録の読み取り及び区間速度の算定

- 1) 深さごとに、2組の受振波形からP波またはS波の同じ位相の時間差 ΔT を読み取る。
- 2) 受振器間隔 ΔX を ΔT で除して、区間速度 V (m/s) を求める。

注記 1 図 6 に走時の読み取り方法を示す。

注記 2 図 6 の ΔT_P はP波の走時差、 ΔT_S はS波の走時差を表す。

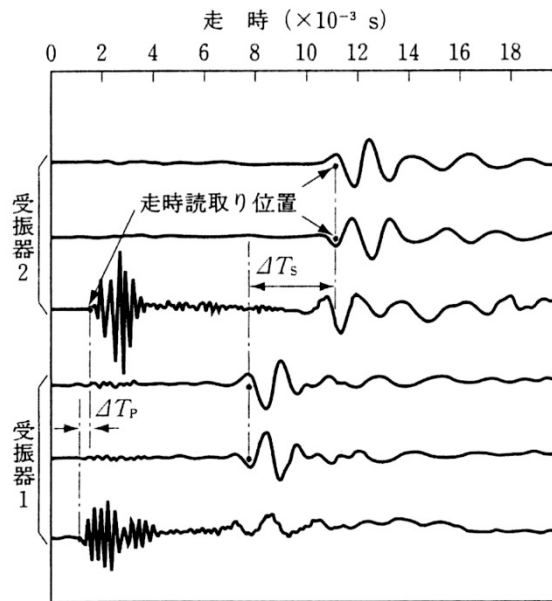


図 6—走時の読み取り方法 (孔内起振受振方式)

b) 区間速度分布図の作成及び速度層境界の決定

縦軸に深さ、横軸に区間速度をとった区間速度分布図を作成して、速度層境界を決定する。

注記 3 図 7 に孔内起振受振方式の区間速度分布図の例を示す。

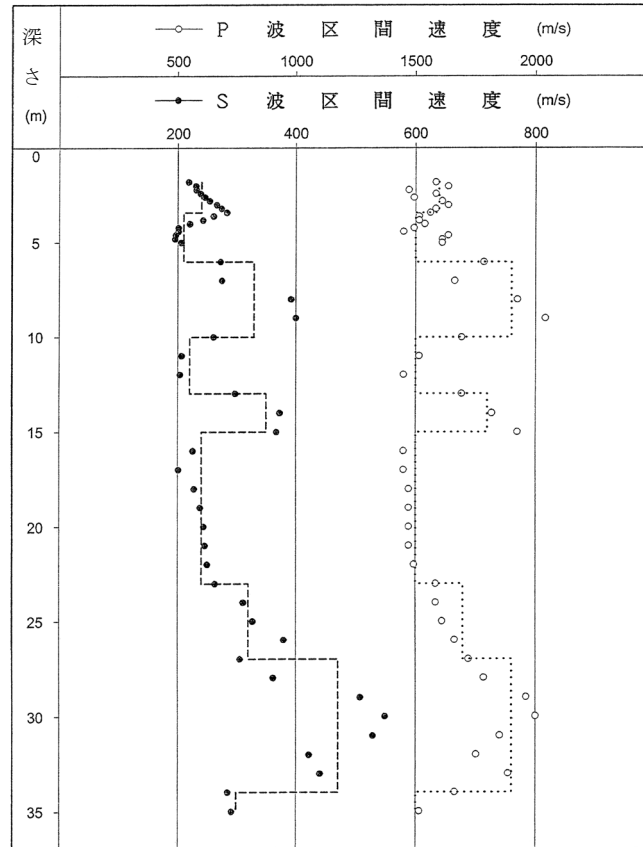


図7ー孔内起振受振方式の区間速度分布図の例

7 報告事項

報告事項は、次による。

- a) 測定地点の地名，番地及び調査位置図
- b) ボーリング孔に関する事項

注記 1 ボーリング孔の番号，地盤高，ボーリング掘進長，孔径，孔内水位，及び孔壁保護の状況などを報告する。

- c) 測定に関する事項

注記 2 測定年月日及び測定深さの範囲などを報告する。

- d) 弾性波速度検層の方式
- e) 検層装置の仕様
- f) 測定波形記録

注記 3 測定波形は深さ順に並べて一覧図とする。

- g) 走時曲線図あるいは区間速度分布図

- 1) ダウンホール方式の場合には，決定した速度を記載した走時曲線図。
- 2) 孔内起振受振方式の場合には，区間速度分布図。

- h) P波速度またはS波速度の速度層構成

注記 4 ボーリング柱状図や他の試験結果がある場合，同一図面上に図示することが望ましい。

- i) この基準と部分的に異なる方法を用いた場合には，その内容
- j) その他特記すべき事項

地盤調査基準改正案の公示

4. 改正案

4.# 物理探査・検層

4.#.1 地盤の弾性波速度検層方法（JGS1122）

項目	改正案	現行基準	備考
2 引用規格	次に掲げる規格は、この基準に引用されることによって、この基準の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。 JISA 0207 地盤工学会用語		・新規に制定された JIS A 0207 地盤工学会用語を新たに引用した。
3 用語および定義		3.1 弾性波速度	・JISA 0207 に定義されたため、本基準から削除した。
4.1 検層装置	a) ゾンデ b) 検層ケーブル c) シーブ d) 深さ測定装置 e) 受振器 f) 起振装置 g) 起振時検知器 h) 圧着装置 i) 記録装置 j) 電源	a) 受振器 b) 記録装置 c) 起振装置 d) 検層ケーブル e) ゾンデ f) シーブ g) 深さ測定装置 h) 起振時検知器 i) 圧着装置 j) 電源	・地盤の電気検層方法（JGS 1121）における記載順との整合を取る修正を行った。 ・各項目の記載内容において、JGS 1121 と不整合が見られた箇所について、整合を取る修正を行った。
4.1 検層装置	記録長は、波形を記録する時間の長さのことであり、走時を読み取るのに十分な長さに設定する。	記録長は、波形を収録する時間の長さのことであり、走時を読み取るのに十分な長さに設定する。	・収録から記録に用語を統一した。
4.1 検層装置	検層ケーブルを介してボーリング孔内のゾンデを昇降させるためのガイド滑車をシーブという。	ボーリング孔内で、検層ケーブルを介してゾンデを昇降させるためのガイドリール。	・曖昧な表現を修正するとともに、ガイドリールの呼称（ガイド滑車）に変更した。
4.1 検層装置	深さの測定には、目盛りを付けた検層ケーブル、シーブやケーブルウィンチの回転数から深さを測定する装置（エンコーダ）などを用いる。	深さの測定には、目盛りを付けた検層ケーブル、シーブやケーブルウィンチの回転数から深さを測定する装置などを用いる。	・装置の呼称（エンコーダ）を追記した。
4.1 検層装置	ゾンデを孔壁に圧着させる装置を圧着装置という。	ゾンデを孔壁に圧着させる装置。	
5.1.2 測定	記録装置の利得（ゲイン）	記録装置の増幅利得	・増幅利得の表現を修正した。
5.1.2 測定	各起振ごとの測定深さを野帳などに記録	各起振ごとの測定深さを記録する。	・記録先（野帳）を追記した。

	する。		
5.2.2 測定	測定間隔は、土質を対象とする場合には、 $1\text{ m} \pm 0.1\text{ m}$ 、岩盤を対象とする場合は、 $2\text{ m} \pm 0.2\text{ m}$ を標準とする。	測定間隔は、土質を対象とする場合には、 $1 \pm 0.1\text{ m}$ 、岩盤を対象とする場合は、 $2 \pm 0.2\text{ m}$ を標準とする。	・長さの範囲による表し方を修正した
5.2.2 測定	波形は、起振時検知器の信号を使用して起振時から記録する。	波形収録は、起振時から開始するか、起振時の信号を波形と同時に収録する。	・曖昧な表現を修正するとともに、収録から記録に用語を統一した。
5.3.2 測定	波形は、2組の受振器の信号を同時に記録する。その際、遅延時間(ディレイタイム)を設定してもよい。	波形収録は、起振時から開始するか、起振時の信号を波形と同時に収録する。	・曖昧な表現を修正するとともに、収録から記録に用語を統一した。
6.2 ダウンホール方式	a) 走時の読み取り b) 走時曲線図の作成及び速度層境界の決定・速度の算定	a) 記録の読み取り及び走時曲線図の作成 b) 速度層境界の決定及び速度の算定	・実施手順と整合させるため、記載順を修正した。
6.2 ダウンホール方式	図4-振源距離補正の求め方の例	図5-振源距離補正の求め方の例	・図4と図5の掲載順を入れ替えた。 ・図中に補正走時 T を求める式を追記した。
6.2 ダウンホール方式	図5-ダウンホール方式の走時曲線図の例	図4-ダウンホール方式の走時曲線図の例	・図4と図5の掲載順を入れ替えた。 ・深さ 0 m からとなるような走時曲線図に修正した。
6.2 ダウンホール方式	注記4 ボーリング孔から一定距離だけ離れた位置にある振源からの走時を、ボーリング孔直上の振源からの走時となるように補正を行う。	注記5 ボーリング孔から一定距離だけ離れた位置にある振源からの走時を、ボーリング孔直上の振源からの走時となるように補正を行い、速度を算定する。	・曖昧な表現を修正した。