

NGP

速度検層と常時微動

土質・岩盤調査、そして耐震設計へ向けて



日本物理探鑛株式会社

速度検層

速度検層はボーリング孔を利用して、地盤の弾性波速度を求める物理探査法です。通常はボーリング孔に沿った1次元的な弾性波速度分布を求めます。

速度検層のうち、P波速度とS波速度の両方を求める探査法をPS検層と呼んでおり、土質地盤の調査では標準的に実施されています。P波速度とS波速度の分布を求め、それに密度分布の情報を与えることにより、地盤強度の推定や耐震設計に必要な地盤の動的弾性定数（ポアソン比、ヤング率、剛性率）を得ることができます。

この他に土木・建築、地震工学の分野において、速度検層の結果は

トンネル、地下鉄、共同溝、埋設管等の地下線状構造物の施工や維持に必要な地盤状況

橋梁基礎や高層建築物等の支持層の地盤状況

地盤改良効果

基礎杭の根入れ深度

掘削深度よりも先の未掘削区間における地層境界（**VSP**と呼ばれる物理探査法です）

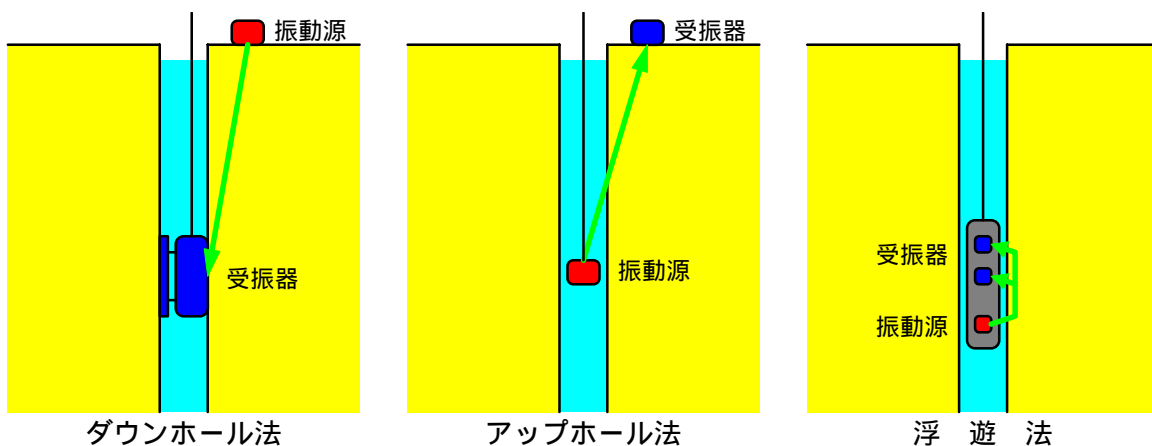
等の把握に利用されています。

代表的な測定方法として、以下の3種類があります。

ダウンホール法：地表付近に振動源をおき、ボーリング孔内に受振器を入れる測定方法です。通常孔内の受振器は孔壁に圧着させて測定を行います。受振器の深度を変えながら、繰り返し起振を行って測定します。

アップホール法：ボーリング孔内に振動源を入れ、地表付近に受振器を設置する測定方法です。振動源の深度を変えながら繰り返し起振を行って測定します。

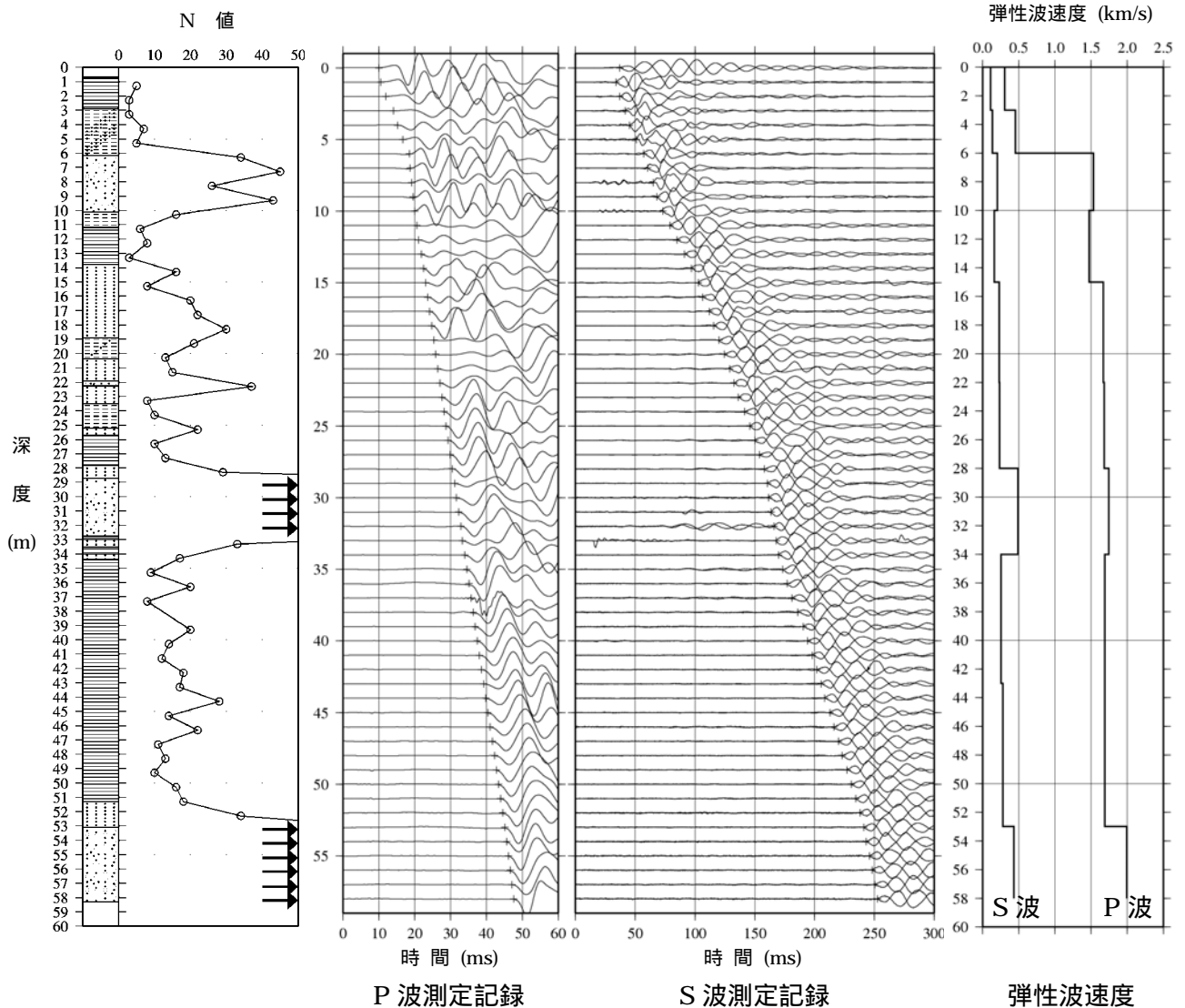
浮遊法：振動源と複数の受振器が一体となった装置をボーリング孔内に入れ、孔壁に圧着させずに装置の深度を変えながら連続的に測定する方法です。孔内起振・孔内受振方式あるいはサスペンション方式ともいいます。



土質調査

弾性波動としてのP波は水中を音波として伝播できますが、S波は伝播できません。P波速度が水中音波速度（約1.5km/s）以下の土質地盤では、地下水位以深において水中音波の影響を受けて、土質地盤そのもののP波速度を示さなくなります。そのため、地盤の硬軟をP波速度から判断することが難しくなります。一方、S波は水中音波の影響を受けないことから、地下水位以深でもS波速度は地盤の硬軟との相関性が高く、良い指標となります。

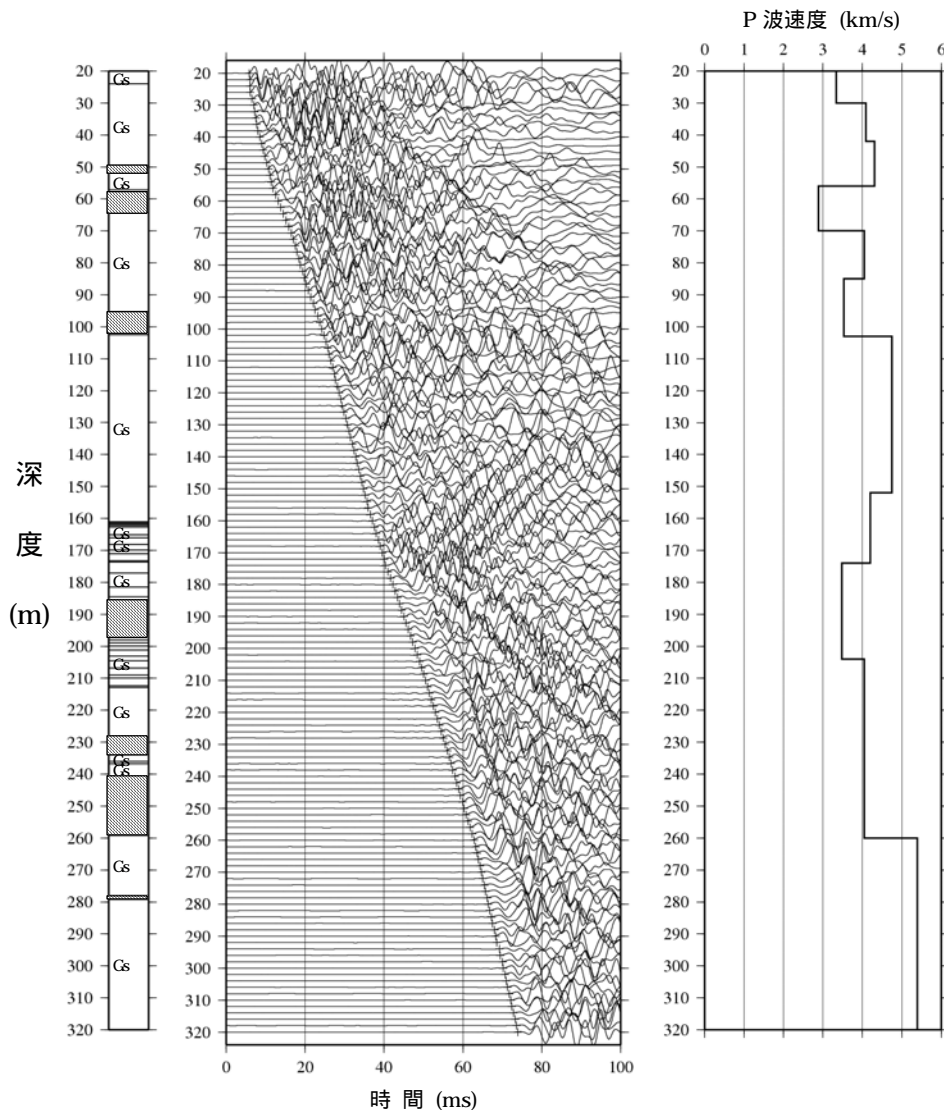
土質地盤において、PS検層が標準的に実施されているのは、以上の理由によります。また、自然地震による地震動は、一般にP波よりもS波の方が振幅が大きいことから、耐震設計を行う上でS波が重要視されています。



岩盤調査

土質地盤の調査では、P波速度とS波速度の両方を求めるためのPS検層が標準的な速度検層法として実施されていますが、土木分野の岩盤調査ではP波速度のみを対象とした速度検層が多用されています。これは、トンネル、ダム、発電所、橋梁、斜面等を対象として、岩盤強度や岩盤の風化・変質・破碎の程度、および亀裂の分布状態を推定し、地山評価を行うことが主目的となるためです。

一方、岩盤までに至る深部調査でも、耐震性の評価が必要とされる長大橋、原子力発電所等の重要構造物を対象とした調査では、P波速度とS波速度の両方を求める速度検層が実施されています。また、得られた測定記録から弾性波動の振幅の減衰性を表す物性値（Q値）を求めることも行われています。得られた調査結果より地質構成・物性分布モデルを作成し、地震応答特性の把握等に利用されます。



P 波測定記録と読み取った初動走時

P 波速度分布

常時微動

交通機関や工場等の人為的な活動、および風、海洋の波浪や火山活動等によって、地盤は絶えず微小な振幅で振動しており、これを微動と呼んでいます。微動は周期によって分類されており、周期1秒以下の微動を常時微動(あるいは短周期微動)と呼んでいます。周期1秒以上の微動は長周期微動(あるいは脈動)と呼ばれており、このうち周期1~5秒程度の微動は「やや長周期微動」と呼ばれ、土木・建築分野において超高層建築物・免震建築物や長大構造物等の耐震性評価を行う上で重要視されています。

常時微動は固有周期1秒程度の微動計によって比較的簡便に測定することができ、地盤の震動特性の把握や地下構造の推定に利用されています。

測定では、地表やボーリング孔内に3成分の微動計を設置して常時微動を記録します。記録した振動データに対してスペクトル解析を行い、スペクトルの形状から地盤に関する情報を抽出します。

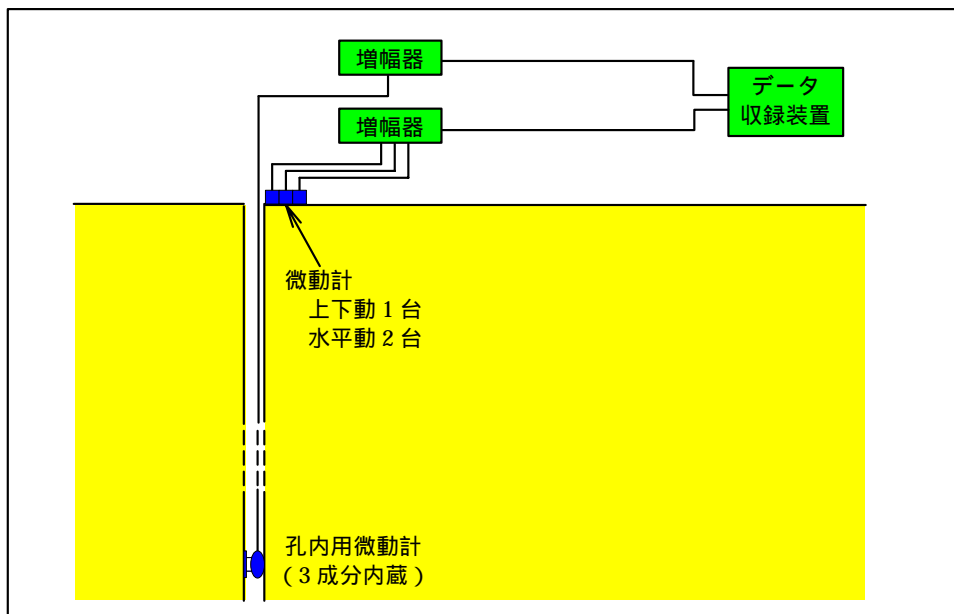
地表の多地点で同時測定を行うことにより、測定地点間の地盤震動特性の違いや表層地盤の厚さ(あるいは基盤深度)の変化を把握することができます。また、ボーリング孔口付近の地表とボーリング孔内で常時微動を同時測定することにより、深度方向の地盤の震動増幅特性を把握することができます。

建築物の耐震設計にあたって地盤周期を常時微動測定結果から求める場合、孔内測定は基礎底面もしくは剛強な支持杭先端部分の深度で行います。

コラム

やや長周期微動および常時微動の周期帯の微動を主な対象として、複数の微動計によってアレイ観測を実施することにより、微動に含まれる表面波の位相速度の分散現象を利用して地下構造を推定する探査法として**微動アレイ探査**があります。

都市部において深部にまで至る地下構造を探査するのに有効な手法です。



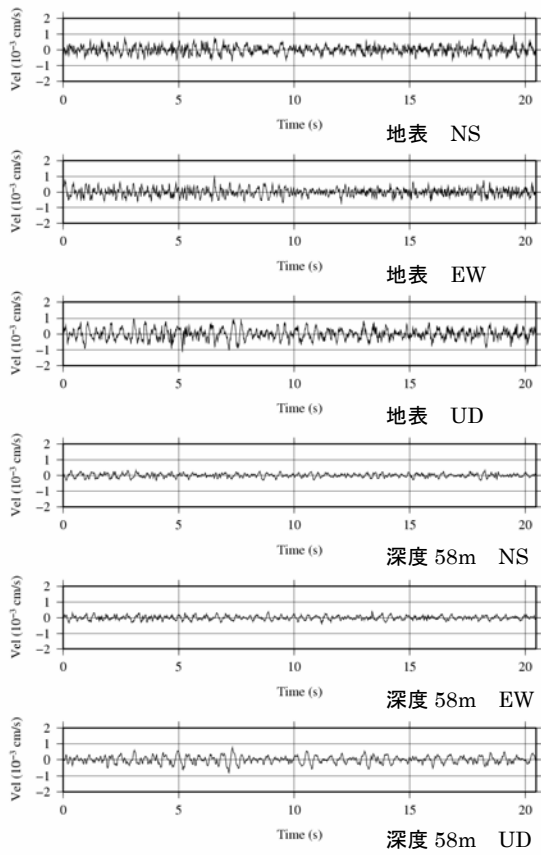
地表とボーリング孔内における常時微動測定の模式図



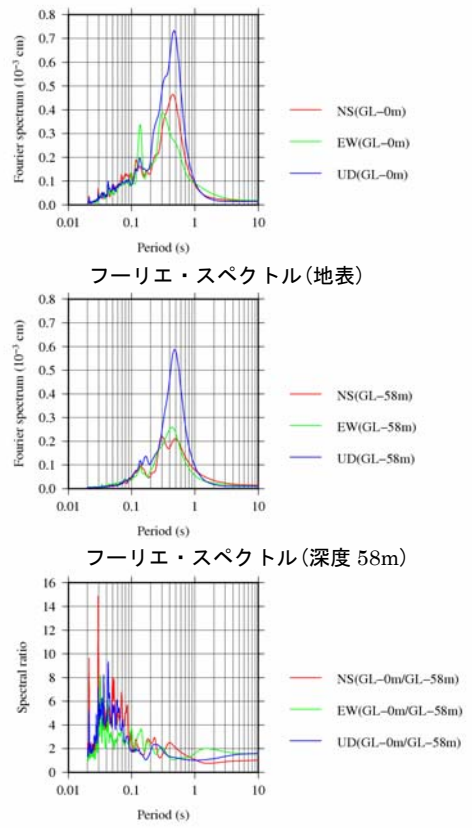
地表用微動計



測定機器 (増幅器、測定記録収録用ノートパソコン)



速度波形



[地表]/[深度 58m]のスペクトル比

フーリエ・スペクトル
およびスペクトル比



孔内用微動計

PS 検層と常時微動

標準貫入試験を伴う土質ボーリング調査により、地層構成や N 値が求められます。掘削されたボーリング孔を利用して PS 検層を実施することにより、P 波速度と S 波速度の深度分布がわかり、S 波速度から**工学的基盤**の深度を定めることができます。これに密度や S 波の Q 値の分布を与えることにより、S 波の重複反射理論に基づいて理論的な地盤の卓越周期や地盤増幅率を求めることができます。

密度分布については、密度検層を実施することにより求めることができます。また、採取した不攪乱試料の室内土質試験の結果に基づいて、推定した密度値を採用することもあります。室内土質試験では動的変形特性試験も実施し、剛性率や減衰定数の歪依存性（いわゆる非線形特性）も求めます。

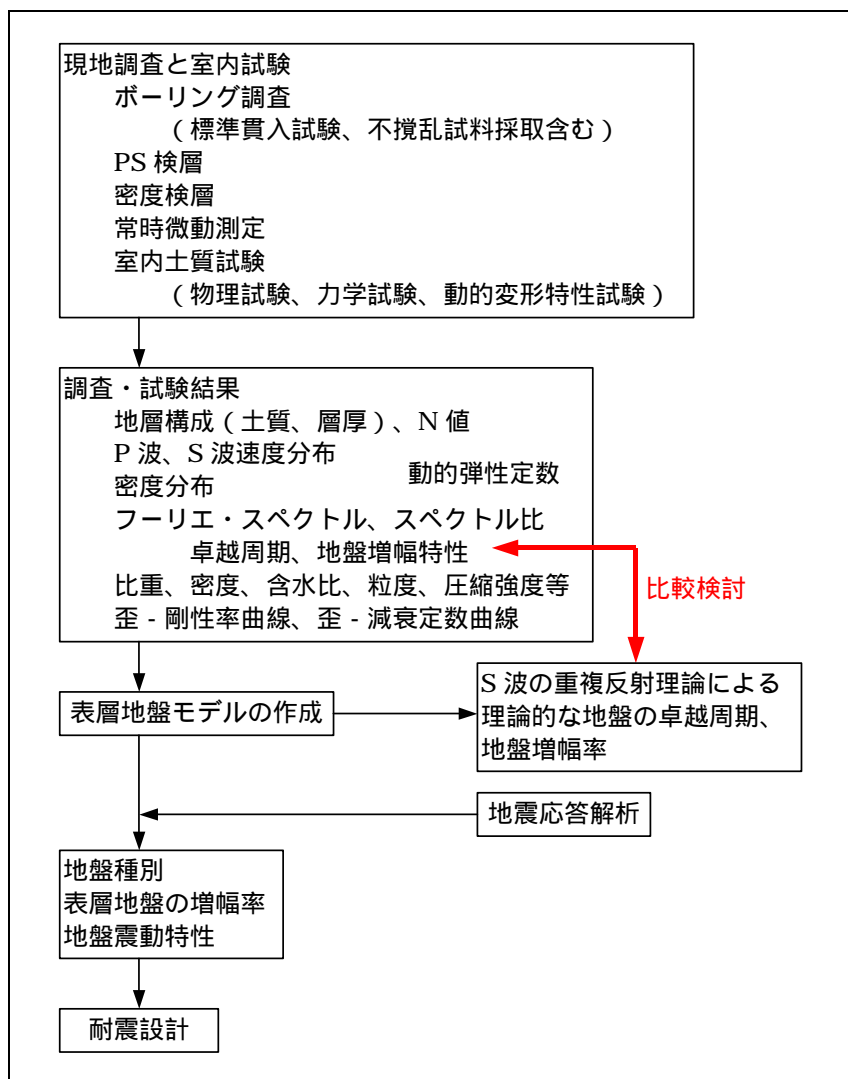
コラム

平成 12 年建設省告示第 1461 号「超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件」において、**工学的基盤**とは「地下深所において十分な層厚と剛性を有し、せん断波速度が約 400m/s 以上の地盤をいう」と定められています。

常時微動の測定記録のスペクトル解析からは、卓越周期や地盤増幅特性といった地盤特性の実測データが得られます。

地盤特性の理論値と実測値を比較することにより、表層地盤モデルの妥当性を検討することができます。以上の調査結果より地盤種別（昭和 55 年建設省告示第 1793 号第 2）の判定、地盤震動特性の把握等を行うことができます。

さらに、建築物の耐震設計において、現行の建築基準法に基づいて限界耐力計算を行う際に必要となる表層地盤の増幅率（平成 12 年建設省告示第 1457 号第 7）が求められます。



NGP 日本物理探鑛株式会社

本 社 〒143-0027 東京都大田区中馬込二丁目 2 番 12 号 TEL 03(3774)3211 FAX 03(3774)3180
URL : <http://www.n-buturi.co.jp>
E-mail : gijutsu@n-buturi.co.jp

東 関 東 支 店	〒310-0804 水戸市白梅三丁目 10 番 5 号 106	TEL 029 (231) 7315 FAX 029 (231) 7316 E-mail : mito@n-buturi.co.jp
関 東 支 店	〒143-0027 東京都大田区中馬込二丁目 2 番 12 号	TEL 03 (3774) 3161 FAX 03 (3774) 9353 E-mail : kanto@n-buturi.co.jp
札幌営業所	〒060-0061 北海道札幌市中央区南 1 条西 16 丁目 1-323 春野ビル 3F	TEL 011 (558) 3121 FAX 011 (558) 0900 E-mail : sapporo@n-buturi.co.jp
東北営業所	〒980-0021 仙台市青葉区中央四丁目 8 番 15 号	TEL 022 (393) 4155 FAX 022 (393) 4156 E-mail : tohoku@n-buturi.co.jp
埼玉営業所	〒336-0912 さいたま市緑区馬場二丁目 32 番 15 号	TEL 048 (810) 5446 FAX 048 (810) 5447
千葉営業所	〒274-0814 船橋市新高根五丁目 3 番 4 号	TEL 047 (496) 2331 FAX 047 (496) 2332
横浜営業所	〒224-0014 横浜市都筑区牛久保東二丁目 4 番 7 号 107	TEL 045 (591) 4351 FAX 045 (591) 4378
北 陸 支 店	〒950-0983 新潟市中央区神道寺三丁目 10 番 37 号	TEL 025 (241) 2960 FAX 025 (241) 2959 E-mail : hokuriku@n-buturi.co.jp
中越営業所	〒940-2011 長岡市藤沢二丁目 7 番 6 号	TEL 0258 (22) 4617 FAX 0258 (22) 4618
中 部 支 店	〒465-0094 名古屋市名東区亀の井二丁目 134 番地	TEL 052 (753) 9662 FAX 052 (753) 9664 E-mail : chubu@n-buturi.co.jp
浜松事務所	〒432-8062 浜松市南区増楽町2516番2号 Re Luffy EAST-101	TEL 053 (449) 5970 FAX 053 (449) 5971
三重営業所	〒511-0041 桑名市外堀 22 番地 ITO ビル 102	TEL 0594 (27) 2720 FAX 0594 (24) 2732
関 西 支 店	〒543-0033 大阪市天王寺区堂ヶ芝一丁目 3 番 24 号 LN 堂ヶ芝ビル 2F	TEL 06 (6777) 3517 FAX 06 (6773) 5488 E-mail : kansai@n-buturi.co.jp
滋賀営業所	〒520-0246 大津市仰木の里四丁目 13 番 2-204	TEL 077 (574) 2261 FAX 06 (6773) 5488
四国営業所	〒760-0012 高松市瀬戸内町 19 番 25 号	TEL 087 (863) 6191 FAX 087 (863) 6192 E-mail : shikoku@n-buturi.co.jp
九 州 支 店	〒803-0814 北九州市小倉北区大手町 7 番 38 号 大手町ビル 3F	TEL 093 (581) 8281 FAX 093 (581) 8267 E-mail : kyushu@n-buturi.co.jp
山口営業所	〒750-0093 下関市彦島西山町三丁目 22 番 26 号	TEL 0832 (61) 6436 FAX 0832 (61) 6437
福岡営業所	〒812-0016 福岡市博多区博多駅南三丁目 13 番 17 号	TEL 092 (474) 3087 FAX 092 (474) 3107
沖縄事務所	〒904-2156 沖縄市美里仲原町 11 番 17 号	TEL 098 (923) 1915 FAX 098 (923) 1916