

## 八戸市における速度検層結果

嶋 悦三・柳沢馬住

東京大学地震研究所

長能正武

北海道大学工学部

角田智彦・瀬尾和夫・此上典文

大林組技術研究所

高橋 博

国立防災科学技術センター

Elastic-wave Velocity Measurements in Hachinohe  
by Means of Well-shooting

By

Etsuzo Shima and Masumi Yanagisawa

*Earthquake Research Institute, University of Tokyo*

Masatake Nagano

*Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo*

Tomohiko Tsunoda, Kazuo Seo and Norifumi Konoue

*Engineering Research Laboratory, Obayashi-gumi, Ltd., Tokyo*

and

Hiroshi Takahashi

*National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo*

## Abstract

Long-period seismic waves (2.7 sec) with significant amplitude, from the viewpoint of engineering seismology, have been recorded at Hachinohe Harbor during the 1968 Tokachi-oki Earthquake by means of SMAC strong-motion seismograph. The well-shooting was carried out in the premises of Mitsubishi Seishi Co., Ltd. to determine the shear- as well as dilatational-wave velocities in the surface strata. This type of information is necessary to investigate the nature of the above-mentioned long-period waves. The results are summarized in Fig. 3.

## 1. はじめに

1968年十勝沖地震のさい、八戸港湾でとれたSMAC型強震計の記録は、耐震工学者に多大の衝撃をあたえた。すなわち、耐震工学者にとっては予想もされなかった大振幅の長周期波(2.7秒)が記録されたからである。構造物の耐震設計にあたっては、高速電子計算機を駆使して、既存の強震記録(加速度記録)をモデル化した構造物の底面に与え、強震時における構造物の振動特性をシュミレートし、その安全性を知るという方法が現在広く採用されている。この目的のために、1940年のImperial Valleyの地震のときのEl Centroの地震記録がしばしば用いられている。これは最大加速度が330galあり、現在得られる強震記録の中では、最大加速度が大きいという点では上位にあるものである。波形、し

たがってスペクトルもかなり複雑であり、一見大地震の記録のように見えるが、長周期成分はあまり含まれていない。これは、地震そのものの規模がそれほど大きくない( $M=7.1$ )からであると思われる。統計によれば、 $M=7.0\sim 7.2$ 程度の地震は、日本周辺においては毎年1回位、どこかに発生しているから、地震がすぐ真下におこればともかく、(1972年12月、ニカラグアの地震、 $M=6.25$ は首都マグアナに壊滅的な損害を与えた。同市が非常に軟弱な地盤の上にあること、耐震設計が十分に考慮されていなかったこと等、地震防災にたずさわるものにとって、非常に教訓的な地震であった。)耐震設計に意欲的な日本で、この程度の地震で、かなり広い地域が大被害をうけるようでは困るのである。我々が目標にしなければいけないのは、 $M=8$ 級(たとえば、1923

年の関東大地震： $M=7.9$ ，1946年の南海地震： $M=8.1$ ，1968年十勝沖地震： $M=7.9$ ）の巨大地震である。この級の地震は、Imperial Valley の地震の約30発分にあたるのである。一般に、地震は規模が大きければ大きいほど、その放出される波動に含まれる周期成分は長い方へ広がるといわれている。（これはかなり定性的な考え方であり、より定量的には、地震に関連した断層の生成速度、関与する断層面積によってきまるのである。）El Centroの記録に長周期成分が見られなかったからといって、我々の問題にする大地震のときに長周期成分が無視出来るとは考えられない。八戸港湾における1968年十勝沖地震の記録は、このことをはっきり示したいえよう。

さて1968年十勝沖地震の八戸港湾における記録に含まれている長周期成分が表面波の性質をおびていることはほぼ確実と思われるが、<sup>1)</sup>この解析にあたっては、地表附近のデータを欠いているという弱点があった。今回、強震計設置場所に近い、八戸市内、三菱製紙八戸工場の構内（図-4-b参照、図中Ⅲの地点）において、地質調査の目的をもって、深度100mに達するボーリング

が国防防災センターの軟弱地盤調査研究の一環として行なわれたので、調査終了後にそれをゆずりうけ、P波S波の速度検層を実施する機会を得たので、その結果を報告する。

## 2. 速度検層結果

使用した計器は、S波速度の検層には、孔内固定型の水平動地震計を、P波の検層には、12ケの上下動地震計を3m間隔につないだ、いわゆる“つるし柿”方式の地震計群を用いた。S震源には、板叩きと大砲<sup>2)</sup>を併用した。P震源としては、火薬爆発を主とし、浅いところを調べるさいには、ハンマーによる地面の垂直打を行なった。

現場には、100mのボーリング孔の他に、30mの間隔で、深度40mのボーリング孔が2本掘られていた。一本はケーシングなし、他の一本には孔底までエスロン・パイプが挿入されていた。そこでまずこの2本の孔を利用して、パイプの有無がS波速度検層にどのような差異をもたらすかを調べたところ、我々の速度検層の誤差の範囲では、位相速度を問題にする限りほとんど差異のないことがわかった。波形は、パイプがある方が

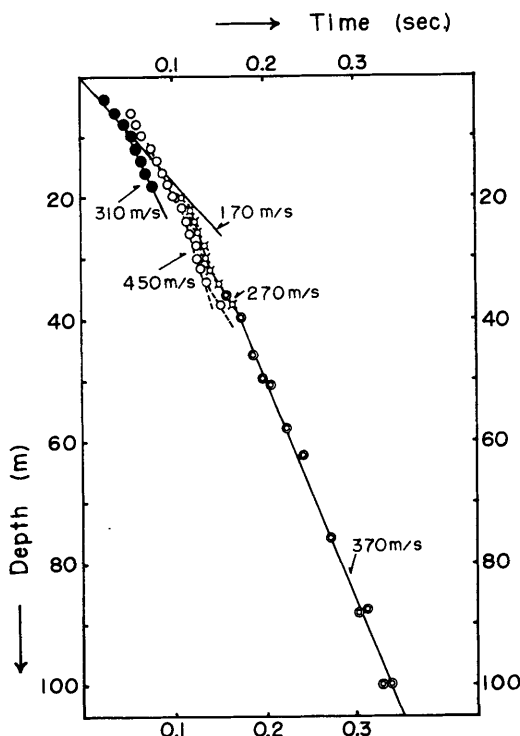


図-2 走時曲線

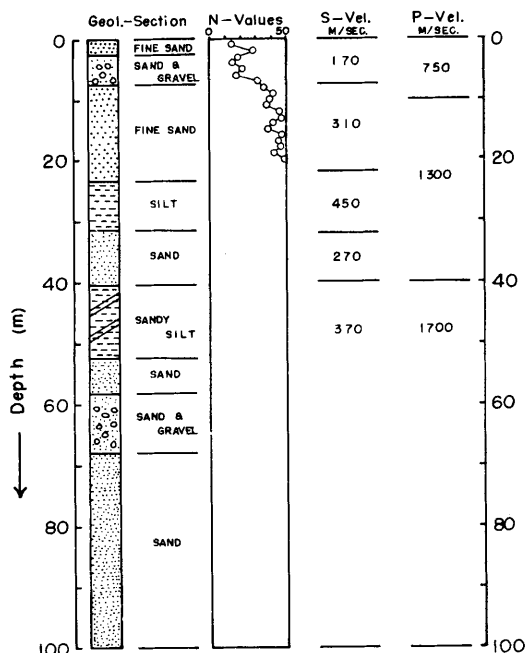


図-3 地質断面および推定速度構造

# 八戸市弾性波試験 Paste up

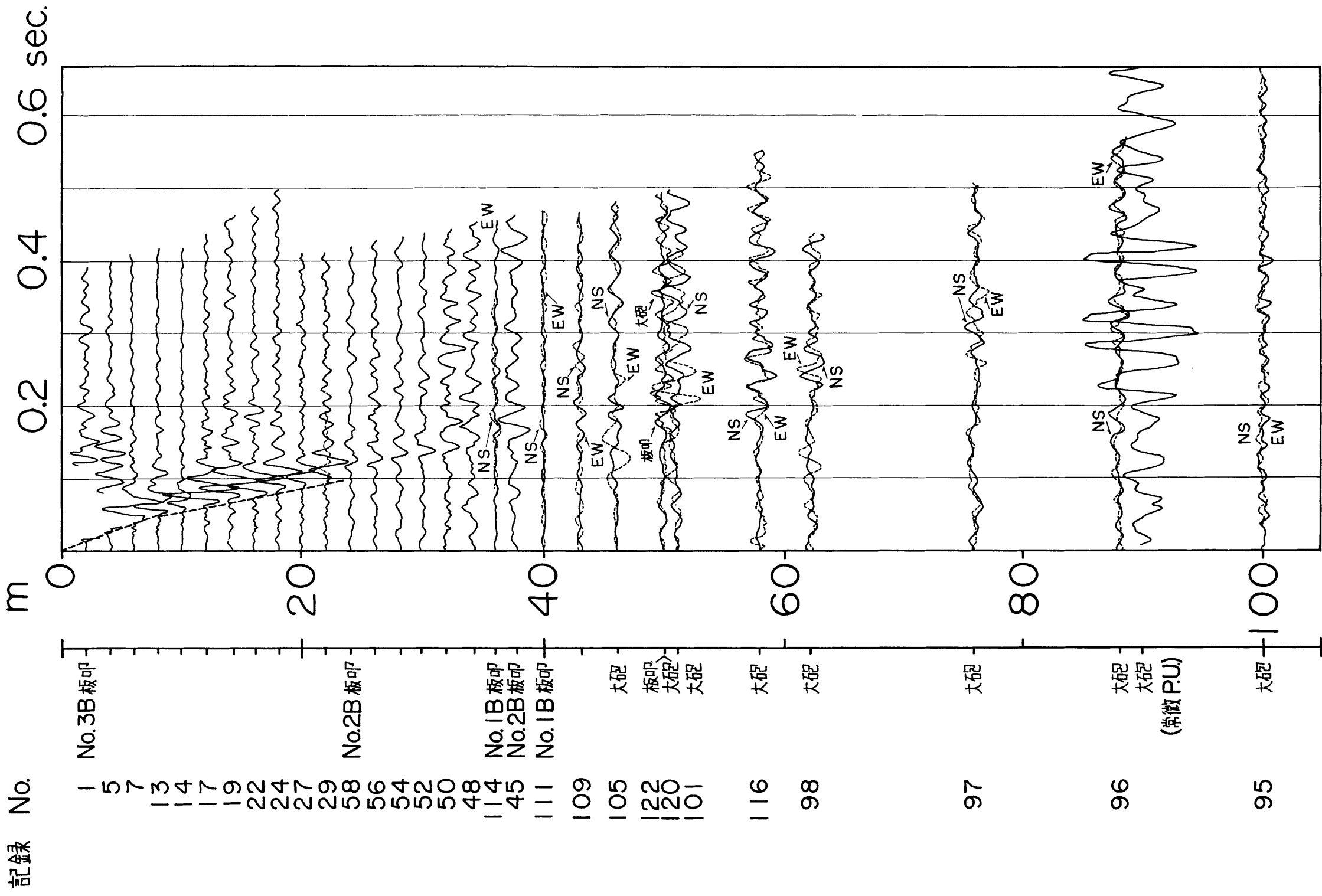


図-1 速度検層ペー・アップ

むしろきれいにみえる。これは孔壁えの圧着が、パイプなしの時に較べてよいためであると思われる。このことは、くずれやすい地盤における今後のS波検層法に関して、多くの示唆を与えるものである。

100mのボーリング孔は40mまでエスロン・パイプが挿入されていたので、計器の挿入は容易であり方向性を知ることには問題はなかったが、それ以深での計器の方向性にはかなり疑問があるすなわち、40m以深は砂層が主であり、孔壁のくずれるのが早いといわれていたので、実験直前にボーリング孔をさらいなおし、計器を100mの深度に設置し、それ以後は方向性を無視してすこしずつ引き上げては観測を行なったからである深いところでは、シグナルに較べてノイズがかなり大きかったが、ペースト・アップ(図-1)をつくることにより位相を追うことが出来た。図-2は、S波の走時曲線を示している。地表付近で、黒丸と実線で示してあるのはS波の初動である。以後では初動を追うことが困難なため、山谷を追うことにした。図において、走時の記号は対応する位相によってかえてある。深いところでややばらつくのは、ノイズにより記録がコンタミネイトされているためである。

図-3に結果のまとめを示す。N値の測定は浅

いところで中止しているが、それ以深ではほぼ50を越すものとみてさしつかえないであろう。なお、P波とS波の構造が必ずしも一致していないが、これはS波の方が、P波に較べて速度がおそいが故に、この種の測定では精度があがるためであるS波の構造は地質断面とは全く無関係にきめたのであるが、非常によい一致を示しているのは興味深い。

### 3. 二三の考察

現地附近のP波の地下構造としては、1970年度に文部省特定研究班が行なった中爆破による基盤までの調査結果が報告されている。<sup>3)</sup>これによると(図-4-a, b参照), 表面層の厚さは約400mである。基盤でのP波速度は5km/sであり、これは先に筆者が十勝沖地震の余震群をつかってもとめたものと一致している(図-5参照)したがって、そこでのS波の速度は、筆者の値3km/sを採用しよう。100m以深基盤に至るS波の速度分布は不明であるが、今回得られた深度の速度より漸増して行くであろうことはまちがいないと思われる。Model 1の場合1.66km/s(筆者の場合1.7km/sを得た)までであるとし、最深点でP波とS波の速度比が、地殻の場合と同じ1.67になるとすれば、S波速度として1km/s

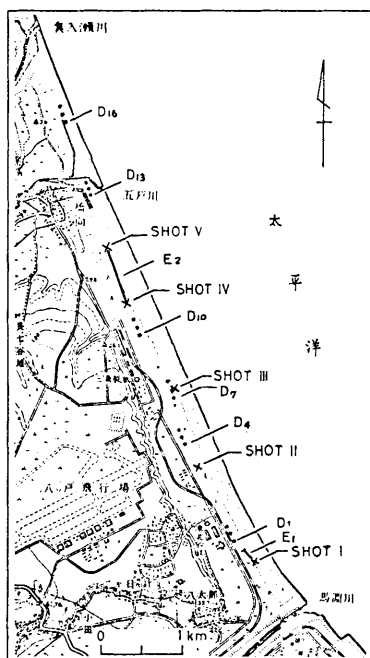


図-4-a 弾性波による八戸市の基盤

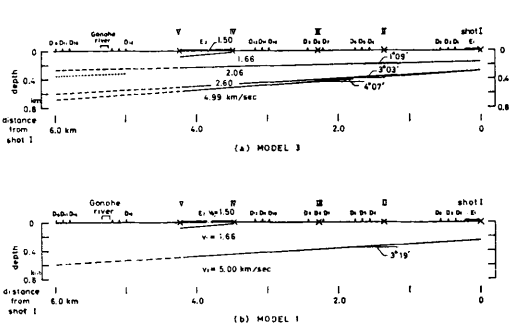


図-4-b

が得られる。またModel 3の場合、2.6 km/sの層がごくうすく存在するが、これを無視すれば、その上の層の速度2.06 km/sより、S波速度として1.23 km/sをうる。しかし実際には、地表層でのP波S波の速度比は地殻のそれに比べてかなり大きいのが普通であるので、大きくみつっても、地表層最下点において、S波速度が1 km/sをこえることはないと考えてよさそうである。したがって、基盤と地表層の間には大きなインピーダンス比がみられることになる。

SMAC型強震計の設置地点は、図-4のIIの地点であり、ここでの表層の厚さは、Model 1の場合320 mである。そこで、地表層のS波速度が平均的に500 m/sとおければ、重複反射

によって、2.6秒の波が卓越する可能性があり得ることになる。そしてもしこの仮定が正しければ、インピーダンス比から見てもかなり大きな増幅度が予想されることになる。残念ながら、現在のところ、上記の主張を完全に否定しつくすだけのデータはないが、強震記録の上下動成分が非常に大きいことが、重複反射説にとっては、決定的に不利な点であろう。

決定的な結論をだすためには、今回実施した深度よりもさらに深い所の速度を実測する必要がある。そのためにも、地下深部まで行なえる速度検層法の確立が望まれる。現在の能力では、深度200 m位までの検層が限度なのである。

参考文献

- 1) 嶋悦三・強震地動に見られる表面波成分 第3回地震工学国内シンポジウム論文集、(1970)、277-284.
- 2) E. Shima and Y. Ohta Experimental Study on Generation and Propagation of S-Waves : I, Bull. Earthq. Res. Inst. 45 (1967), 19-31.
- 3) 岡田広・弾性波による八戸市の基盤調査 北大・地球物理学研究報告, 26 (1971), 147-167.

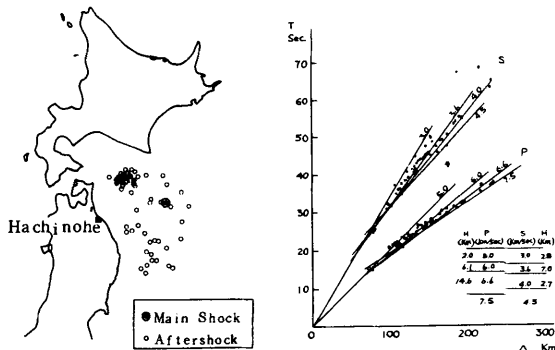


図-5 1968年十勝沖地震の余震の震源と同地域における平均走時曲線