

新潟地震被災地における弾性波探査

吉川宗治, 島 通保, 後藤典俊

ON THE SEISMIC PROSPECTING AT THE AREA DAMAGED BY NIIGATA EARTHQUAKE

By Sōji YOSHIKAWA, Michiyasu SHIMA, Noritoshi GOTO

Synopsis

In order to investigate the relations between the ground conditions and the earthquake damages, seismic prospecting was carried out at the area damaged by Niigata Earthquake on July 16, 1964.

In this paper, subsurface structures and some elastic constants of the damaged ground obtained by SH-waves and P-waves are compared with those of the undamaged ground.

SH-waves were generated by striking a wooden plate, being pressed down on the ground surface.

1. 緒 言

本調査は7月16日の新潟地震の直後、7月から8月にかけて、約1ヶ月間新潟市を中心に、被災地の震害と地盤の関係を明らかにする目的で行われた。

新潟市には北西部に砂丘があり、市の中央部に信濃川が流れている関係で、表土は川によって運ばれた砂からなっている。都市の発達とともに、水田や、むかし川が流れていた跡などを埋め立てた地盤が多く、市内の中心部に大規模な建造物を建てるにも、そのような軟弱な地盤を選ばざるを得ない状態にあったものと思われる。

震災直後の被害状況を視察した結果、同じ新潟市内でも、震害の程度が部分的に非常にことになっており、大別すれば、砂丘では殆んど被害らしい被害はなく、むかし川が流れていた旧河川敷や田畑、堀などの埋立地、および砂丘麓地帯にあたる所で被害が大きく、それらの地盤は比較的浅い層が震害に大きく影響しているように思われた。そこで地下十数米までの地盤に焦点をしばって弾性波探査を行う事にした。

従来からの震害地盤の調査方法としては、ボーリング、常時微動の測定^{1,2,3)}、および弾性波探査法⁴⁻⁸⁾などがある。弾性波探査については、いずれも、P波もしくは表面波の伝播速度、振動様式の解析によるものであり、地盤の強度をポアソン比、剛性率などの物理的に意味のある数値で表わす事が要望されて来た。これまでは適当なS波発生装置がなく、たとえS波を出す事ができてもP波との混成波になり、S波の phase を読取るのが非常にむづかしかった。

本調査ではS波発生の一つのころみとして、木の板に上から荷重をかけて、地表面でずらせてみた。

新潟市内4ヶ所、北蒲原郡中条町付近で3ヶ所に測点をとり、地下構造、P波の伝播速度、S波の伝播速度、S波振巾減衰係数、剛性率、ポアソン比を求めて検討を加えてみた。

2. 調査地および被害状況

新潟市川岸町 埋立地盤で、地震と同時に地割れした地面から砂と水が噴出し、不同沈下によって鉄筋4

階建ての県営アパートが横転あるいは傾斜した。最も被害の大きかった地域の一つである。測線は、国鉄越後線の白山駅の南側の路上にとった。

新潟県立高校 この付近は砂丘の麓にあたり、測点に選んだ場所は砂丘上部の堅固な地盤との境をなし、ここより上部はほとんど被害を受けなかったのに反し、県立高校のグラウンドから下の方にかけて地割れが多く、砂と水の噴出があり、井戸水が出なくなった所もある。同校の鉄筋校舎に大きなクラックが入った。測線は同校グラウンドにとった。

新潟市下所島昭和大桥右岸 近代的建築の昭和大桥が落ち、右岸の一帯に地割れがあり、不同沈下によって傾いた民家もある。測線は橋のすぐ下に川沿いにとった。

新潟市砂丘 砂丘上部は殆んど被害らしいものは見られなかった。新潟市内の堅固な地盤の例として測点に選んだ場所である。

村松浜 北蒲原郡の築地村にある海岸で、砂丘の麓にあたる場所である。約 1km にわたり地割れがあり、コンクリートの機械の基礎、および天然ガス井が不同沈下によって破壊した軟弱な地盤である。

村松浜砂丘 新潟市の砂丘同様、被害らしい被害はなく、堅固な地盤として測点に選んだ場所である。村松浜小学校グラウンドに測線をとった。

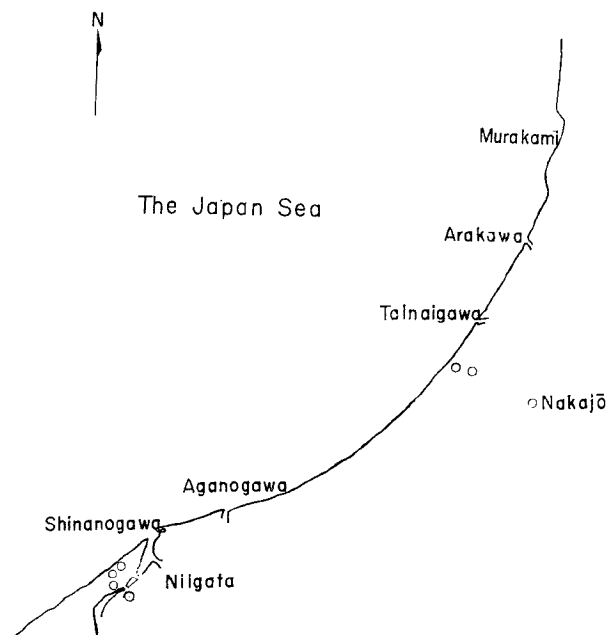


Fig. 1 Locations of observation.



Photo. 1 Kawagishi chō



Photo. 2 Niigata Kenritsu Kōkō

関沢 村松浜より 2 km 余り山より上地で、基盤が浅く非常に堅固な地盤で、表層は礫まじり粘土層である。上記 6 地点はいずれも砂の地盤であるので、これと比較する意味で選ばれた測点である。

3. 調査方法

P 波による探査は従来から用いられている方法によるものであるが、S 波による探査は新しいころみとして、木の板 (400 cm×50 cm×5 cm) を地面に置き、その上にジープの前輪をのせて、約 1 ton の荷重を



Photo. 3 Muramatsu Hama

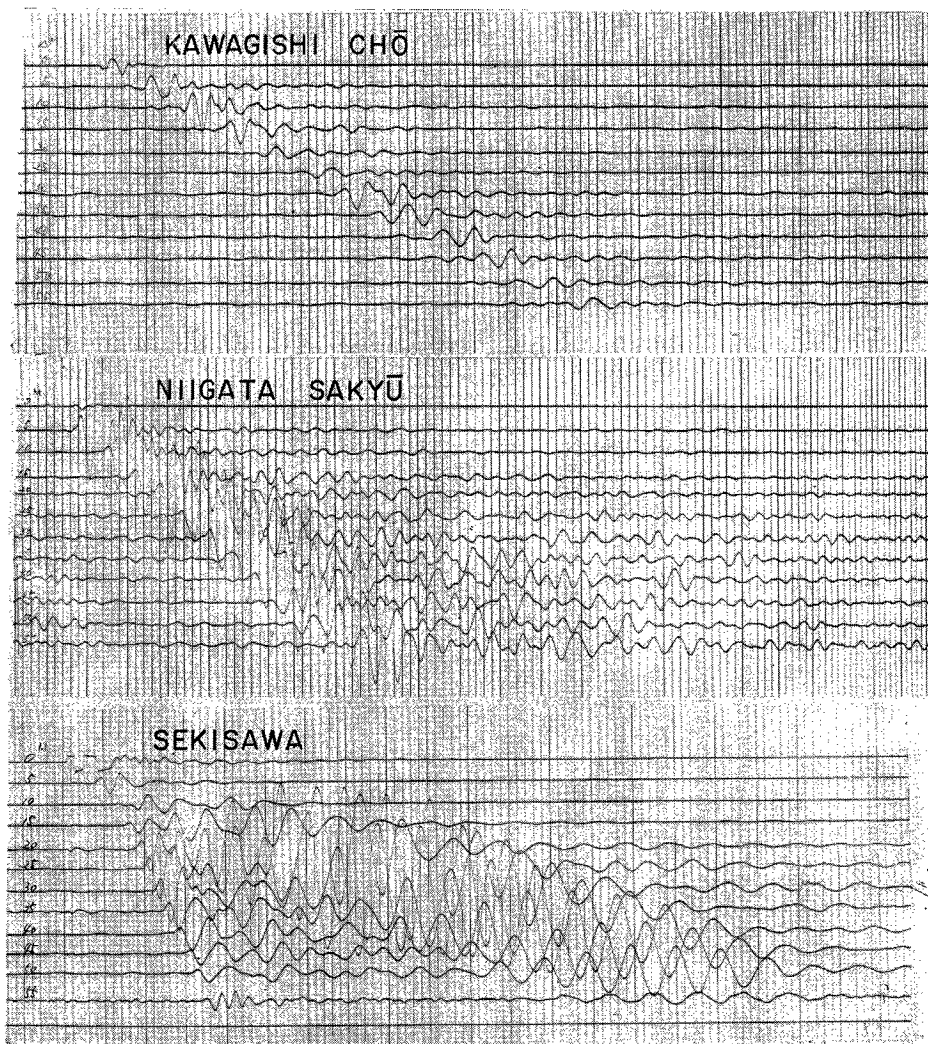


Fig. 2 Example records of SH wave.

かけ、地面と板との摩擦を大きくする工夫をして、板の端をかけやで測線方向と直角に叩き、ずれの力を作らせてS H波を発生させた。

使用した地震計は、NEC 製地震探鉱用受振器 VP 202 (25サイクル)。アンプは E.T.L 製 PRA-2 型。Recorder は三栄測器製電磁オシログラフ MR-102A 型で、同社製のガルバノメータ G 500 (500サイクル)を使用した。

測線は板と直角方向に 55 m とり、地震計は 5 m 間隔に12個設置し、すべて水平にして、transversal 方向の振動をとらえるようにした。このようにしてとった記録のうち、被害地および被害を受けなかった地域の代表的な例が Fig. 2 に示されている。受振した波がS H波である事を見るために、板の反対側の端を叩き位相が反転すること、および屈折波が現われることを確かめ、また同一地点で vertical, transversal, radial の三成分をとり、transversal 成分が卓越することも確かめた。

4. 震害と地盤の諸性質

地下構造 各測点とも測線は 55 m であるので、深い部分の構造にはふれないで、ここでは表層と二層目とに焦点を合わせた。表層および下層とも速度一樣とみなして求められた地下構造図は Fig. 3 で示されているとおりである。

表層と下層のS波による境界面は実線で、P波による境界面は点線で表わされている。

新潟市内砂丘で二層目が現われていないのは、表層がかなりの厚さを持っているため、屈折波をとらえる事が出来なかったものと思われる。

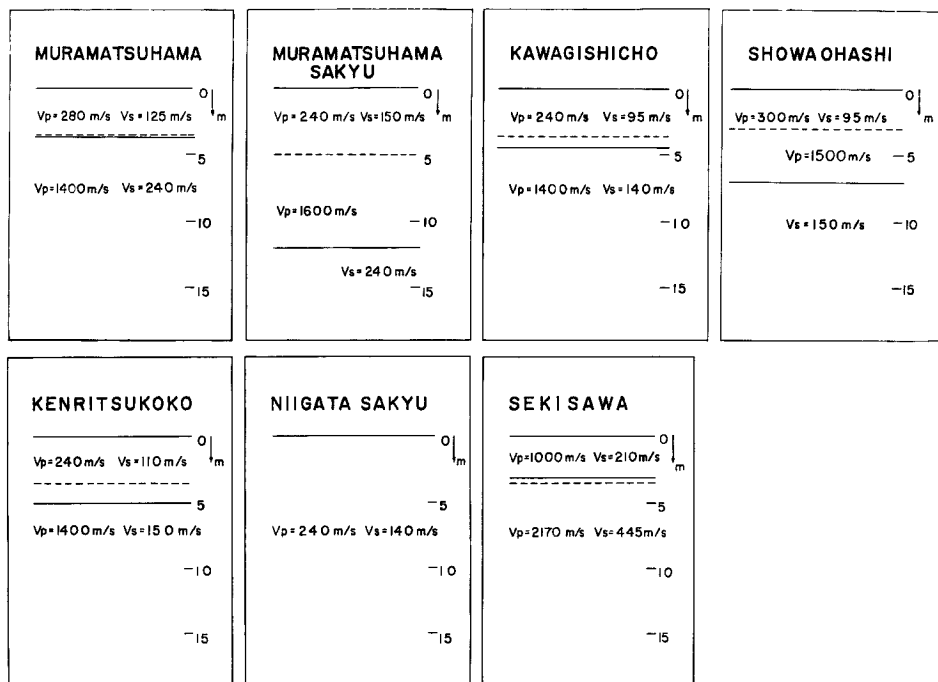


Fig. 3 Ground structure.

solid line : structural boundary estimated by S wave.

broken line : structural boundary estimated by P wave.

Table 1

	Upper layer						Lower layer					
	v_p	v_s	v_p/v_s	σ	μ	α	v_p	v_p	v_p/v_s	σ	μ	α
	m/s	m/s			$\times 10^8$ c.g.s.	m^{-1}	m/s	m/s			$\times 10^8$ c.g.s.	m^{-1}
Kawagishichō	240	95	2.5	.405	1.5	.105	1400	140	10	.495	3.3	.077
Shōwaōhashi	300	95	3.2	.456	1.5		1500	150	10	.495	3.8	
Kenritsukōkō	240	110	2.2	.370	2.0		1400	150	9.3	.494	3.8	
Niigatasakyū	240	140	1.7	.235	3.3							
Muramatsuhama	280	125	2.2	.370	2.7		1450	240	6.0	.486	9.8	0.045
Muramatsuhama sakyū	250	150	1.7	.235	3.8	.040	1600	240	6.7	.489	9.8	
Sekisawa	1000	210	4.8	.477	7.5		2170	445	4.9	.478	33	0.031

P の速度であるが、被害のなかった砂丘と、被害の大きかった川岸町、昭和大橋右岸、県立高校、村松浜とでは、その値にほとんど差はなく、P の速度だけでは、被害との関係は見い出せない。また閑沢を除く地点での下層のP の速度は、水中を伝播するP の速度 1.5 km/s に近い値をとっている。実験室内での研究および現地の調査結果から、水を含んだ砂では、P の速度は水による影響が非常に強く、飽和状態で 1.5 km/s 程度の値をもつことが一般に知られている。しかし土圧による変化は余りみられない。このことから新潟地域の砂質層の下層は、水の飽和状態に対応するものと思われる。

P 波から求められた地下構造では上層の厚さは、被害地とそうでない地域とで差異がみとめられる。すなわち被害地では上層が薄く、震害からまぬがれた砂丘地帯では反対に厚い。これは地下水位が被害地では低いことを示しており、震害と密接に関係していることを裏書きする事実である。

また図で、S 波で求めた層の境界に一致しないのも、P 波により決定された層が地下水位と一致しているためであろう。

一方S波の場合は、砂丘の速度は被害地のS波より大きな値をとっており、被害状況と密接な関係が見出される。S波の速度は地盤のしまり具合、すなわち、砂の粒子間の接触面積の大きさ、結合の強さを反映しているものと思われる^{9,10)}。

振巾減衰係数 震源から出た弾性波の振巾は、ある距離をへだてた地点において観測されるまでの間に、波面の拡がりや媒質中でのエネルギーの吸収などによって減衰する。

震源からの距離を r 、その点における振巾を A とすれば、一般に $A = A_0 e^{-\alpha r/r^n}$ である。ここに、 n は波面の拡がりかたに関係する定数であり、 α は媒質中でのエネルギーの吸収を表わす定数で、その媒質固有の値である。

記録上の各 trace で直接波あるいは、屈折波のある phase を追う事が出来れば、振巾減衰係数 α を求める事ができる。しかし、実際の記録では、対応する波の phase がはっきりしない場合が多い。

P 波およびS波伝播の性質を考慮すれば、振巾減衰のしかたと地盤の強度とを結びつけるには、伝播速度の場合と同様S波の振巾減衰係数を用いた方が適切であると思われるので、ここではS波の振巾減衰を調べた。直接波に対しては $A = A_0 e^{-\alpha r/r}$ 、屈折波に対しては $A = A_0 e^{-\alpha r/r^2}$ なる式をあてはめて α の比較を試みた。

川岸町、村松浜砂丘の直接波を比較すれば、川岸町の軟弱地盤で α は大きな値をとっている。屈折波に対しても、川岸町では大きな値をとっている。一般に軟弱地盤では、振巾の減衰が大きいという傾向がここで

も現われている事がわかる。しかし今回の調査では、振巾減衰係数 α をもって地盤の強度を表わす物理定数とみなすにはデータが少なかった。

剛性率およびポアソン比 物質の密度を ρ 、その中を伝わるS波の速度を v_s とすると、剛性率 μ は

$$\mu = \rho v_s^2$$

で表わされる。

弾性波探査で v_s を求めて μ の値を算出する方法は、地盤のあるがままの状態での剛性率を求める事ができるので有効である。ここでは $\rho=1.7$ として各測点での表層および下層での剛性率を求めた。(Table 1) 川岸町、昭和大橋、県立高校では表層 $1.5\sim 2.0\times 10^8$ c.g.s., 下層 $3.3\sim 3.8\times 10^8$ c.g.s. であり、砂丘にくらべて約半分の値をとっている。また最も堅固な地盤の開沢では、一層 7.5×10^8 c.g.s., 二層 33×10^8 c.g.s. と砂質地盤に比べて非常に大きな値をとっている。またP波の速度 v_p とS波の速度 v_s との比から、次の式によってポアソン比を出してみた。

$$\sigma = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1}{\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1}$$

これによると地下水の飽和していると思われる川岸町、昭和大橋、県立高校の下層では、0.5に近い値をとっている。

5. 結 語

地盤の剛性率、ポアソン比、振巾減衰係数をもって埋立地のような軟弱地盤の震害に対する強度の目安とする事ができる。

本調査の特色は簡単な方法でSH波を発生する工夫をしたこと、およびSH波の速度、振巾減衰から、震害に結びつく物理定数を求める事が出来たことである。

本調査の結果から、堅い地盤では剛性率が大きな値をとり、軟弱地盤ほどS波の速度は遅くその振巾減衰が大きく、ポアソン比は0.5に近ずき、流体に近い性質を表わす。またP波による層は、地下水位に大きな関係をもち、地下水位の浅い地盤ではPによる下層までの深さは、Sによるものより浅くなっている。なお、これらの物理定数と標準貫入試験によるN値などの、現在土木関係で経験的に用いられている地盤の定数との関連を明らかにし、より実用的な定式化した調査方式を確立する事が望まれる。

おわりに、本調査において適切な御教示をいただいた中央大学理工学部、小林直太教授に深く感謝の意を捧げるとともに、現地での数多くの便宜をはかっていただいた築地村の日本鉱業、および新潟市の三井建設の方々に厚く御礼申し上げます。また調査期間中われわれと終止行動を共にして手助けをしていただいた西正男技官に感謝します。

参 考 文 献

- 1) K. Kanai and T. Tanaka : On Microtremors 8, Bull. Earthq. Res. Inst., vol. 39, 1961, p. 97.
- 2) K. Kanai and T. Morishita : Relation between Earthquake Damage and Nature of the Ground 2 (Case of Nagaoka Earthquake), Bull. Earthq. Res. Inst., vol. 41, 1963, p. 271.
- 3) 田中貞二, 森下利三 : 長岡地震の被害地における常時微動の測定結果, 震研集報, 第41号, 1963, 315頁
- 4) 佐々憲三, 棚橋諒, 石原藤次郎 : 震害と地盤, 防災研究所研究報告, 第2号, 1949, 1頁
- 5) 横尾義貫, 馬場善雄, 畑中元弘 : 鳥取市付近地盤調査, 防災研究所研究報告, 第2号, 1949, 6頁
- 6) 馬場善雄, 畑中元弘, 藤本正己 : 高知市の地盤調査, 防災研究所研究報告, 第2号, 1949, 9頁
- 7) 吉川宗治 : 福井地震の震害と地盤, 防災研究所研究報告, 第2号, 1949, 12頁

- 8) 横尾義貫，馬場善雄：福井市地盤調査，防災研究所研究報告，第2号，1949，17頁
- 9) YU. I. Vasil'ev and G.I. Gurevich : On the Ratio between Attenuation Decrements and Propagation Velocities of Longitudinal and Transverse Waves, IZVESTIYA, No. 12, 1962, p.1061.
- 10) L.V. Molotova : Velocity Ratio of Longitudinal and Transverse Waves in Terrigenous Rocks, IZVESTIYA, No. 12, 1963, p. 1074.