

爆発現象の応用に関する研究（第1報）

地盤測定への応用に関する一実験

若 園 吉 一・北 尾 盛 功

STUDIES ON THE APPLICATION OF EXPLOSION (PART 1)

ON THE APPLICATION TO MEASURING THE PROPERTIES OF THE GROUND

By *Yoshikazu WAKAZONO and Shigetaka KITAO*

Synopsis

It has been generally known that the explosives, AN-FO or dynamite, are usable for the sources of dynamic pressure and vibration. In order to discuss the mechanical effects in soil caused by the dynamic pressure, we measured the propagating velocity of elastic waves in sandy soil. We used AN-FO and dynamite for the sources of vibration and observed the relations between the velocity of elastic waves and the number of blow resulted from the standard penetration test.

From the results of these tests, we recognized that interrelationship between the number of blow and the velocity of elastic waves in sandy soil existed and that estimation of the number of blow could be obtained from the velocity of elastic waves.

1. 緒 言

爆発現象は、一般に極く短時間（ $10^{-3} \sim 10^{-6}$ sec 以内）に多量のエネルギーを放出する現象である。火薬や爆薬の爆発に伴う急激な解放エネルギーが弾性体や塑性体に及ぼす影響について、あるいは金属やプラスチックの成型¹⁾にこれらのエネルギーを利用することについての実験や研究が、最近、盛んに行なわれるようになった。

われわれは、これら火薬や爆薬の爆発現象に伴う振動によって、粉体がどのような挙動を示すかを知り、粉体強度の促進、粉体加工²⁾などに関する基礎的研究を進めていくために、一応粉体であると考えられる土質地盤を選んで実験を試みた。まず、従来、土質地盤の支持力^{3) 4)}を示すものと考えられている標準貫入試験によるN値とその土質地盤の弾性波速度との関係および爆薬の種類にもとずく地盤震動の差異について検討することにした。

地震探査の場合、震源にはダイナマイトやカーリットなどが使用されるが、われわれは ANFO 爆薬を用いる爆破から得た ANFO に関する種々の実験的な爆発特性⁵⁾を利用して、爆発によるエネルギー解放の方向性についても検討を加えるために、爆源にはダイナマイトおよび ANFO の成形爆薬を使用することにした。エネルギー解放の方向性については追って報告する予定である。

なお、弾性波速度の測定は、最近始めたものであり、ここにこれを報告して、御批判を乞う次第である。

2. 実験内容

実験を行なった場所は、滋賀県今津饗庭野で、その土質概要は Fig. 1 に示すようなものである。

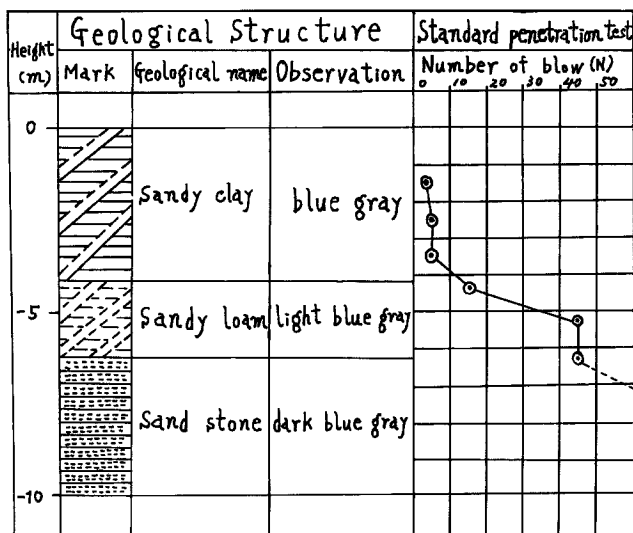


Fig. 1 The example of the boring columnar section.

表土、砂質ローム、砂質粘土、砂岩などから成る地盤に、ボーリング（径 70mm）を施して、その土質条件を確認し、同時に標準貫入試験によって N 値を測定した。その結果各地層がほぼ平行な構造であると思われる平坦な地盤を選択し、ボーリング孔を利用して、N 値が既知で含水比 10~20% の地層について、弾性波（P 波および S 波）の伝播速度を地震計により測定した。

ANFO またはダイナマイト 100~200g を Fig. 2 に示すように、ボーリング孔に装薬し、弾性波の発生源とした。

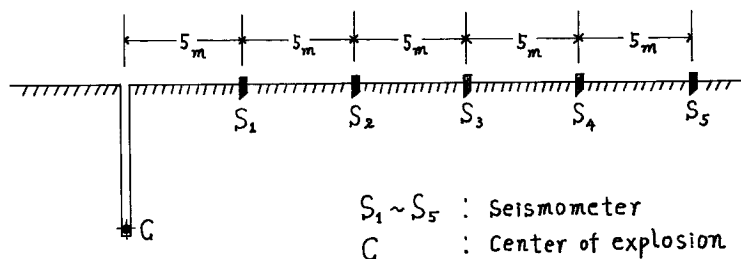


Fig. 2 Arrangement of seismometers and center of explosion.

Fig. 2 において、C は爆薬装薬位置、 $S_1 \sim S_5$ は地震計の位置を示す。爆薬の爆発の瞬間を P 波および S 波の発生時とし、この瞬間から地震計を設置した各測定位置までの P 波および S 波の到達時間を測定した。この到達時間および装薬位置と測定位置までの既知距離から走時曲線を求め、これより弾性波伝播速度を求めた。なお地震計には、E. T. L. EV-15 (27 サイクル) を、到達時間測定には、三栄測器社製 FR-201 型ビ

デグラフおよび DA-603 型直流増巾器を用いた。

震源に関しては、ANFO またはダイナマイトを Fig. 3 に示すように、32mm 径62mm 長の金属管に装填し、6号電気雷管によってこれを起爆した。ANFO の場合は伝爆薬として10g のテトリルを用い、ダイナマイトの場合は伝爆薬を使用しなかった。

また方向性をもたせる場合には、ノイマン効果⁹⁾による成形爆薬とした。

3. 解析結果

(1) 一例として、ボーリングの結果、土質柱状図が Fig. 4 で示される地盤に関して、P波およびS波の走時曲線を求めると Fig. 5 に示すようになる。

Fig. 5 において、P、S は、爆源の位置を深さ1mとした場合のP波およびS波の走時曲線を示す。Pの勾配 θ_P およびSの勾配 θ_S から砂質ロームから成るN値3～4の層におけるS波伝播速度は310m/s、P波のそれは60m/sとなる。同様にしてボーリングの結果、他の土質柱状図で示される地盤についても、N値と弾性波速度の関係を求め、Fig. 6 に示すような結果を得た。

(2) Fig. 2 に示すような、爆源および地震計の配置で、爆源に ANFO と新桐ダイナマイトを各々 100g 使用した場合について、P波速度800m/s、S波速度380m/sの同一地盤における地上変位速度の測定波形を示すとFig. 7 のようになる。これから爆源より直接到達したP波による最大変位加速度、最大変位速度、最大変位を求めた結果を Table 1 に示す。

Table 1 より同一地盤において

も、爆源に使用した爆薬の種類によって、地盤の変位加速度、変位速度、変位は異なり、ダイナマイトを使用した場合の方が ANFO を使用した場合より、これらの値が大きく、測定波形の周期は小さくなることが認められる。

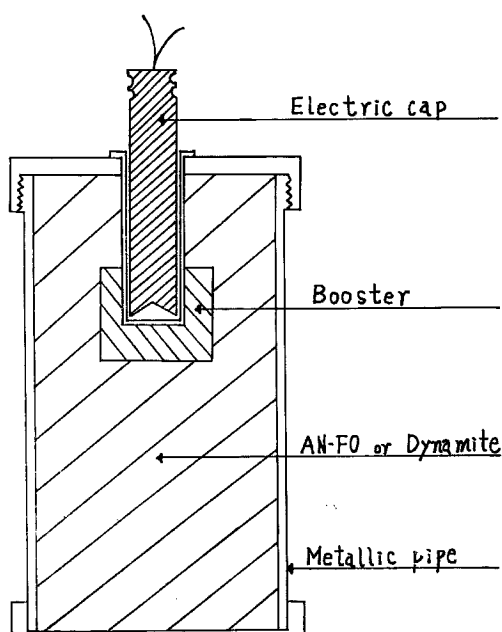


Fig. 3 Shaped charge.

Height (m)	Geological Structure			Standard penetration test					
	Mark	Geological name	Observation	Number of blow (N)					
				0	10	20	30	40	50
0									
		Sandy loam	brown gray	○					
		Sandy loam with pebbles	green gray			○			
-5						○			
		Solidified clay	blue gray						
-10									

Fig. 4 The boring columnar section.

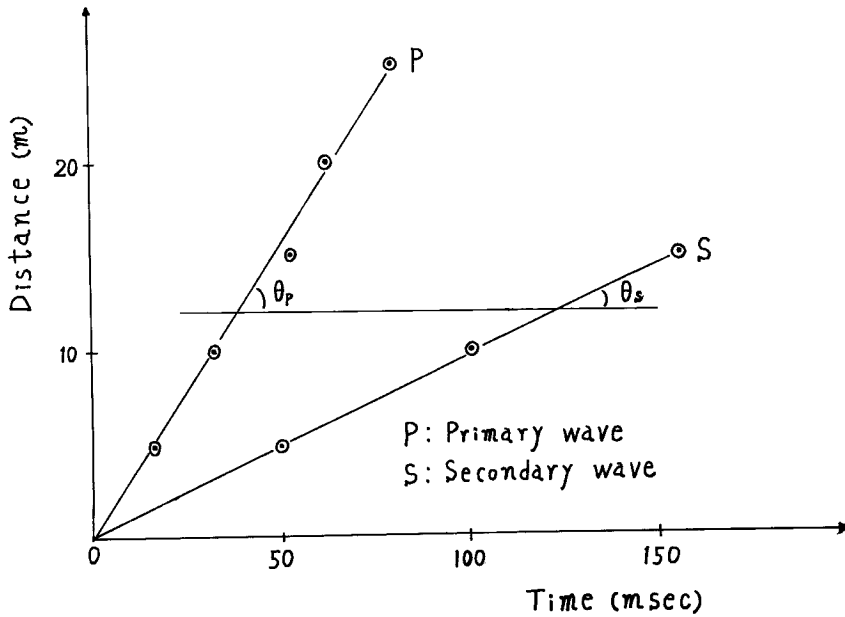


Fig. 5 Time-Distance curve.

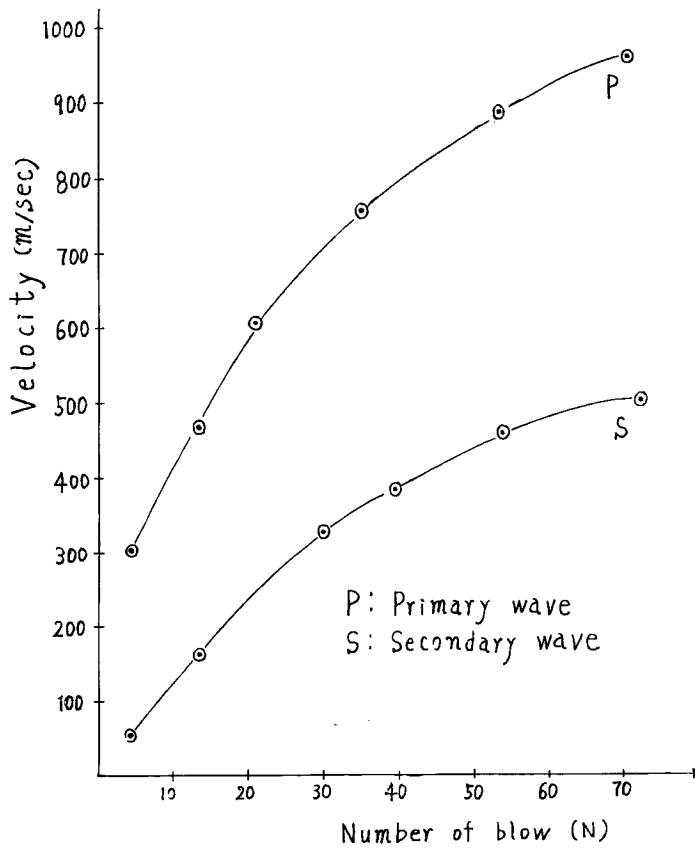


Fig. 6
Relation between the number
of blow and the velocity of
elastic waves.

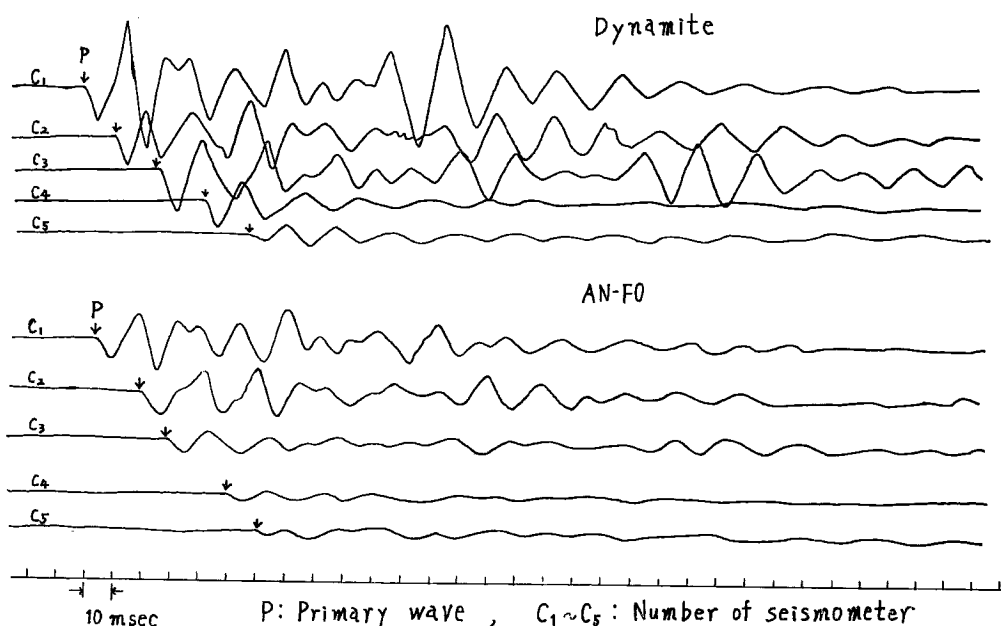


Fig. 7 The example of wave form.

Table 1 Results of analyses.

Kind of wave	Details of analyses	Explosive	Number of seismometer				
			C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Primary wave	Frequency (cycles)	Dynamite	70.0	77.8	69.0	70.0	70.0
		AN-FO	50.0	53.6	49.0	58.2	58.2
	Displacement (cm)	Dynamite	10.8×10^{-4}	7.8×10^{-4}	6.6×10^{-4}	3.0×10^{-4}	1.8×10^{-4}
		AN-FO	4.8×10^{-4}	3.6×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.2×10^{-4}
	Velocity of displacement (cm/sec)	Dynamite	1.35	0.98	0.83	0.37	0.25
		AN-FO	0.6	0.45	0.25	0.19	0.15
	Accelerasion of displacement (cm/sec ²)	Dynamite	1.8	1.3	1.1	0.5	0.3
		AN-FO	0.8	0.6	0.3	0.25	0.2

4. 結言および今後の問題

以上、表土、砂質ローム、礫混入砂質ローム、粘土、砂質粘土、固結粘土から成り、N値が2～70、含水比15～20%の範囲にある今回の測定地盤においては、N値が大きくなる程、一般に弾性波速度も大きくなることが認められる⁷⁾。したがって、弾性波速度をもって、ある程度その地盤のN値を推定できるものと考えられる。また同一地盤における弾性波の減衰状況⁷⁾、変位加速度、変位速度、変位、波動周期が、爆発の種類（薬量は同じ）によって、かなり左右されることが認められたので、これによって、急速な爆発現象を

遅延拡大して観測することも可能であると思われる。なお、本実験においては、 S 波の断定を爆源の方向性によって行なったが、今後は、振動様式、表面波との区別という点から S 波に関する検討を加える方針である。

N 値、 P 波速度、 S 波速度は、土質の諸条件(水分、粒度、化学成分など)、とくに水分に左右されるものであって、一義的に決定されるものではない。今回の実験は、土質について一箇所で行なったものであるから、他の土質地盤についても実験し、検討を加えたいと考えている。また、粉体における弾性波速度には、粉体が弾性体ではないので、解析の点でも多くの問題が残されているから、今後は、波動の伝播速度・減衰状況と、粉体の諸特性(密度、粒度、含水比など)との基本的な関係⁸⁾を解析するための実験を行ない、同時に動的応力発生源としての爆薬の種類、成形についても検討する方針である。

最後に、本実験につき、いろいろと御教示いただいた京都大学防災研究所教授吉川宗治先生に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) L. ZERNOW: 高エネルギー加工, 機械と工具, 昭39.4, 1~46頁.
- 2) 久保輝一郎, 水渡英二, 中川有三, 早川宗八郎: 粉体, 昭37.12, 丸善.
- 3) 当山道三: 土質力学, 7版, 昭38.3, 246~270頁, コロナ社.
- 4) 赤井浩一: 有効応力よりみた土の圧縮性と強度, 材料, 第14巻, 第140号, 昭40.5, 1~11頁.
- 5) 若園吉一, 北尾盛功: 爆発に関する研究(第1報), 硝安の爆発性に関する研究, 京都大学防災研究所年報(1964), 昭40.2, 153~164頁.
- 6) Melvin A. Cook: The Science of High Explosives, 1958, pp. 91~142.
- 7) 金井清: 地震工学国内シンポジウム, 1962, 27~31頁.
- 8) 金井清, 小堀鐸二, 蛭田捨太郎: 地震・振動学, 建築学大系 11, 昭40.2, 59~72頁, 彰国社.