

Fig. 1 Schematic diagram of soil deformation by blasting.

数とよばれる。 r_f は爆発によって形成された空洞の半径で、空洞内に存在していた土粒子はガス圧によって破碎され、空洞外壁部に押しやられるので、 $r_f \sim r_b$ の部分を破碎圏とよぶことにする。空洞の外側には塑性変形を受けた部分が生じ、空洞部の土粒子を吸収して密度が高くなっている。この部分を塑性圏とよぶ。塑性圏の外側は爆発によって一時的な応力を受けるが、土粒子の骨格構造の破壊にはいたらず、近似似的に弾性的な応力-ひずみ関係が保たれており、この部分を弾性圏とよぶことにする。

このような問題については、爆破孔周辺の圧力に関する Atchison 等²⁾や伊藤・佐々³⁾の研究が著名である。それらによれば、発破孔壁面上の空洞側に生ずる圧力 P_b は次のように与えられている。

$$P_b = P_D (r_b/r_c)^{-2} r = P_D D_c^{-2} r \quad (1)$$

ここに、 P_D は爆ごう圧、 r は爆発生成ガスの定圧比熱と定容比熱との比である。いま、爆破孔に接する土層面に生ずる最大応力値を σ_b とすれば、

$$\sigma_b = k P_b = k P_D D_c^{-2} r \quad (2)$$

と書かれる。

ガス圧によって爆破孔周辺の土は半径方向に押し広げられ、その結果半径 r_f の空洞が生じたものとする。この空洞の内壁における最大応力値を σ_f とすれば、

$$\sigma_f = k P_D D_c^{-2} r (r_f/r_b)^{-m} \quad (3)$$

で与えられる。ただし、 m は破碎圏内における応力波の減衰指数である。

空洞の外側には圧縮されて密度の高くなった塑性圏が形成される。その外側は爆発による変形を受けない弾性圏であるとし、両者の境界を爆源中心から r_p の距離とする。この境界面における最大応力値を σ_p とすれば、

$$\sigma_p = \sigma_f (r_p/r_f)^{-n} \quad (4)$$

となる。ただし、 n は塑性圏内における応力波の減衰指数である。

3. 土のせん断強度

土のせん断強度は同一土質であっても、含水状態によって大巾に変化する。飽和土のせん断強度 S はよく知られているように、次式によって表わされる。

$$S = (\sigma_n - u) \tan \phi + C \quad (5)$$

ここに、 σ_n は垂直応力、 u は間げき水圧、 ϕ は内部まさつ角、 C は粘着力である。

乾燥土においては、 $u = 0$ 、であるが、両者の中間的な状態の不飽和土においては、土粒子の近傍において水の毛管力および表面張力による粒子間応力が作用し、その分だけせん断強度が高くなる傾向がある。この現象の理論的な説明はいまのところ諸説があつて、明確な結論に達していないが、粒子間応力によるせん断強度増加分を近似的に内部まさつ角 ϕ の増加として扱う考え方が成立するものと思われる。

本研究で扱う土は前述のように低含水、高空げきの砂質地盤であることから、 $u = 0$ 、 $C = 0$ 、と考えてよく、式(5)は次のように簡単になる。

$$S = \sigma_n \tan \phi \quad (6)$$

土中の爆発によって土が破碎されるのは、爆発によって生じた応力が土のせん断強度を上まわるためと考えられるので、空洞周壁部では、 $S = \sigma_f$ 、とすることができる。また、土の動的弾性限度領域の最大応力値を σ_e とすれば、 $\sigma_e = \sigma_p$ 、である。したがつて、式(2)、(3)および(4)と土のそれぞれの領域における許容最大応力値とを比較することによって、各領域内の応力波の減衰指数を求めることができる。また逆に、減衰指数が推定できれば、空洞の容積、圧縮の範囲を知ることが可能である。

4. 現場実験(1) (球状製薬)

4.1 地形・地質

実験現場は兵庫県宝塚市における宅地造成地内に位置し、実験は荒造成が完了した直後に行われた。Fig. 2 は現場における地質断面を示すもので、最高40mの高盛土によって造成された谷地形の上にあたる。地山は流紋岩質凝灰岩よりなり、盛土材料は付近の同質の地山から運搬されたもので、風化表土から発破岩塊にわたり、部分的には1~2tの大塊に富む地点もある。50mm以上のレキを除いた粒度試験結果の1例はFig. 3に示される通りで、統一土質分類法によれば、細粒分を含む砂(SM~SC)に相当する。

施工は主としてモーター・スクレーパーによる運土、展圧によるもので、地表からG.L.-7mのN値は10前後、それ以下はしだいに大きくなり、G.L.-

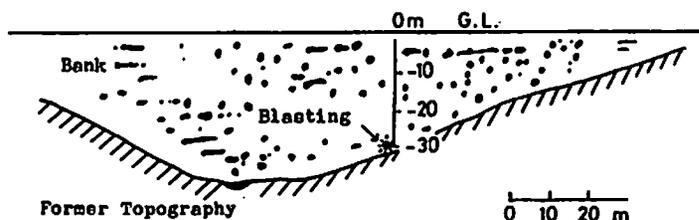


Fig. 2 Geological profile of experimental field (1)

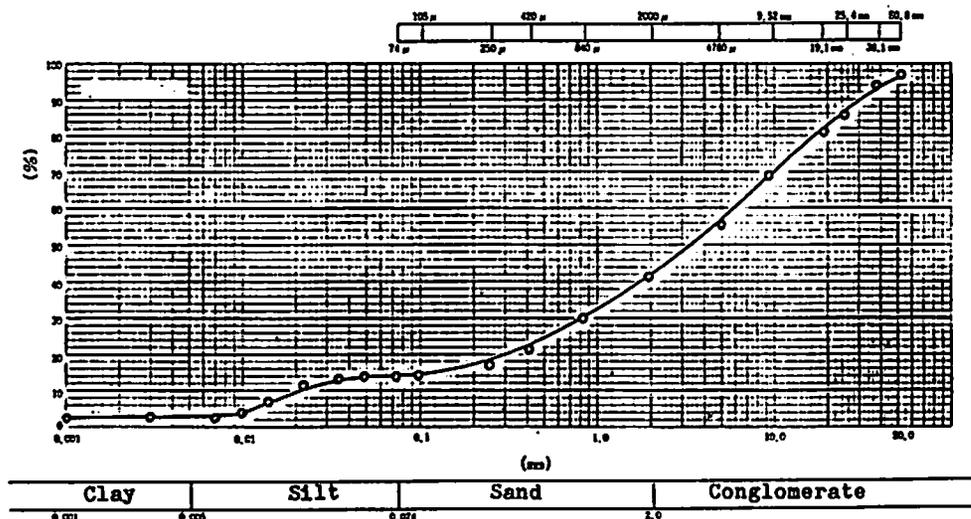


Fig. 3 Particle-size accumulation curve.

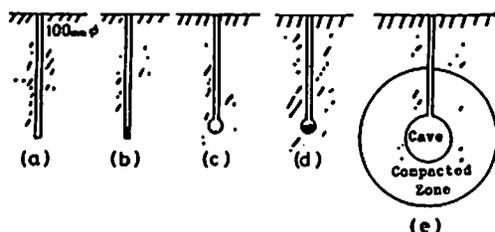


Fig. 4 Procedure of experiment.

15m以下では30~40の値となっている。爆破点は谷筋の地下構造物を避けて、Fig. 2のように盛土厚30mの位置とした。

4.2 実験方法

Fig. 4は実験の手順を示す概略図で、次のように実施した。

- 実験地点において、地山に達する深さ(30m)のボーリングを行い、内径100mmの塩化ビニール管で保孔する。ただし、保孔管尻は孔底より2.5m上にとどめた。
- 製薬室を作るために拡底爆破の準備を行う。孔底の装薬は3号桐200gとし、約30lの乾燥した

砂で充填する。

- 拡底爆破を行う。この小爆破によって孔底には約200lの空洞が生じ、充填砂は発破後エスロンパイプで軽くつつくことにより、容易に孔底に落下した。
- 本発破のために孔底に作られた装薬室に3号桐67.5kgを装薬し、乾燥した砂で孔口まで充填する。(充填砂の量と砂面上昇とから装薬室容積は約200lと推定された。)
- 本発破の実施。

発破による地表の変化はほとんど見られなかったが、エスロンパイプを用いて充填砂を孔底に突き落とすさいに、後ガスが少々上昇してきた。

発破にさいしては、発破振動の計測を実施し、また数地点に沈下板を設置して、発破前後の地表の変位ならびに数ヶ月にわたる沈下を観測した。

4.3 実験結果

(1) 空洞

空洞の大きさおよびその周囲の圧縮された部分の範囲について、直接測定することはできなかったが、爆破孔よりモルタルを流しこんで、その量を計ったとこ

Table 1

Station No.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Travel Time (ms)	92.8	73.5	59.8	52.0	42.0	19.5	40.0	50.5	61.5
Distance (m)	58.00	49.64	42.01	35.56	31.06	29.40	31.06	35.56	42.01
Propagation Velocity (m/sec)	625	675	702	684	739	1508	776	704	683

Table 2

Station No.	Displacement (μ)	Velocity (cm/sec)	Acceleration (cm/sec ²)
2	2	0.041	12.6
3	2	0.059	12.6
4	4	0.088	25.2
5	4	0.091	25.2
6	5	0.134	31.6
7	10	0.247	63.1
8	5	0.125	31.6
9	3	0.063	18.9
10	3	0.063	18.9

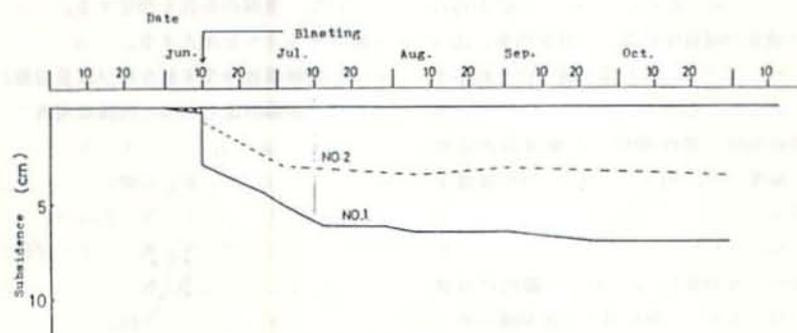


Fig. 5 Subsidence curve.

ろ約13m²であった。このことから、生成した空洞の大きさは半径約1.5mの球状をなすものと推定される。また、圧縮された範囲は後述のように空洞半径の3~4倍程度と考えられる。

(2) 振動測定

爆心真上の地表点を中心として、水平距離10mで9点の測点を設け、動電型受振器により振動波形を観測した。Table 1は爆心から各測点までの走時、距離、P波の伝播速度を示すものである。測点No.7は爆心真上に位置するため、ケーシングパイプを伝わってきた波が初動として現われるので、伝播速度が1,508m/s

と異常な値を示しているが、No.6, 7, 8を除外した平均値は679m/sで、この値が盛土の平均的P波伝播速度を表わすものとみなされる。

観測された波の振動数は約40Hzで、測定系の感度較正によって各測点における変位速度を求め、波形が正弦波に近いことから、 $2\pi f$ を乗除することにより変位ならびに変位加速度を計算した。それらの結果はTable 2に示されている。

(3) 沈下

発破による即時沈下を含めて、沈下量の長期観測を実施した。Fig. 5はその1例を示すもので、No.1は爆心

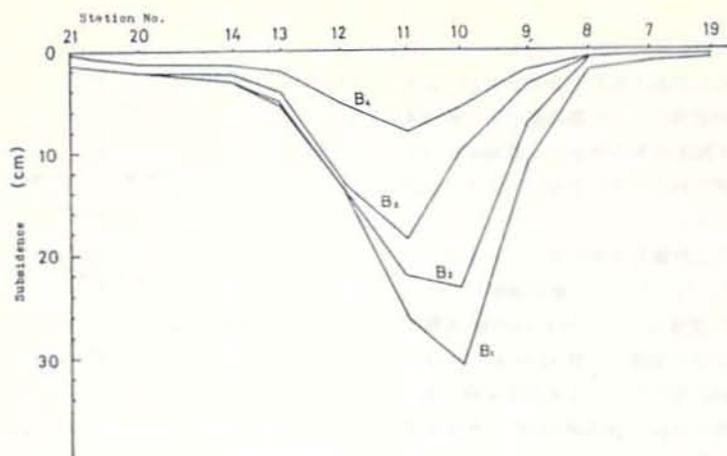


Fig. 8 Subsidence profile after each blasting.

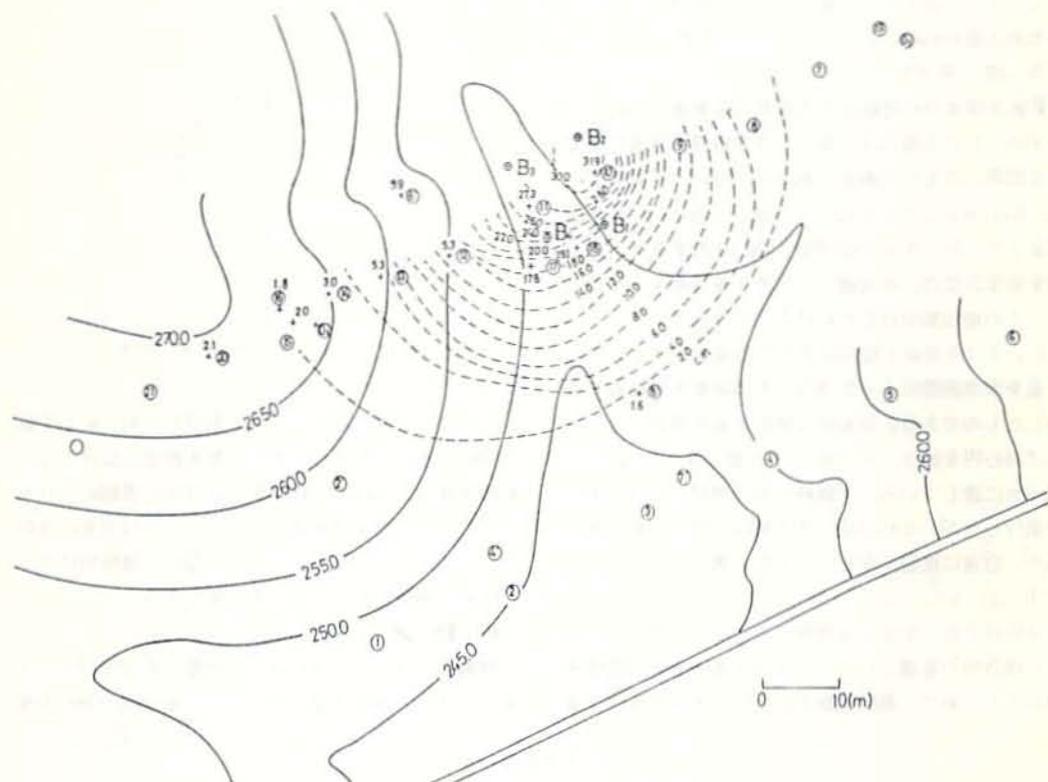


Fig. 9 Distribution of subsidence.

--- Contour of subsidence.
 — Contour of former topography.

けるという欠点があるものの、重錘落下工法やグラウト工法に比べると、経費も少く、また効果的な工法であることが、実験的に確かめられた。

土中発破に関する機構の考察はこれまでにほとんどなされていなかったようであるが、主としてガス圧に

よる応力について考えることにより、現場実験の結果とかなりよく一致することが明らかになった。また、土中発破によって生ずる振動は、土の減衰指数がかなり大きいため、爆源を離れると急速に衰え、きわめて小範囲に限られるので、局所的な地盤改良にも好適で

あり、地中構造物に及ぼす影響も少ない。

本報告においては、土中発破のエネルギーを盛土地盤の沈下促進に利用することを主たる目的としたが、爆源を中心とした空洞の生成、その周囲の圧縮帯の出現という現象は、他の目的にも利用できるように思われる。ここでは空洞にモルタルを注入して、建築物の基礎くいとして利用することを吟味したが、十分にその目的に適うことが確かめられた。

文 献

- 1) 楠見晴重, 谷口敬一郎: 土質工学会論文報告集, Vol. 24, No. 2, p. 161 (1984)
- 2) T. C. Atchison, W. I. Duvall, J. M. Pugliese : U. S. Bureau of Mines, R. I. 6333 (1964)
- 3) 伊藤一郎, 佐々宏一: 日本鉱業会誌, 80-907 (昭39)
- 4) P. L. Ivanov: "Compaction of noncohesive soil by explosions." (1972), Indian National Scientific Docum.

On Quickning Subsidence of Soil Bank by Blasting

by Keiichiro TANIGUCHI* and Harushige KUSUMI*

When the artificial vibration is added to the soil layer, the skeleton of the soil structure is destroyed and rearranged for the state of higher density. This is the principle of the dynamic compaction methods which have been used for the improvement of foundation.

The authors propose that the blasting in the soil layer as the source of energy may be more effective than the mechanical vibration from the surface. In this paper, the mechanism of soil blasting and the strength of soil are described and the results of two field experiments are discussed comparing with the theoretical considerations.

As the results, it is recognized that the instant subsidence caused by the soil blasting corresponds to the several years amount of the natural subsidence.

(*Department of Civil Engineering, Kansai University,
3-10-1, Senriyama-Higashi, Suita, Osaka.)