

(26) 発破振動によるトンネルの振動挙動

電力中央研究所

同

同

北海道電力(株)

大成建設(株)

正会負

正会負

正会負

○本社 静光

駒田 広也

日比野 敏

藤田 秀悦

沖藤 明

1. はじめに

岩盤の爆破による発破振動を近接するトンネル内および周辺岩盤内で観測し、振動の性状およびトンネルの振動挙動を解析した。この目的は、原子力発電所の地下立地に関する研究の一環として、地下空洞の地震時挙動に関する資料を得ることである。もとより自然地震動と発破振動とは、その周波数、変位振中などにかかりの差があるので、一概に発破振動に対する挙動をもって地震時挙動と同一視することはできないが、実体波としての単性波入力に対する地下空洞の応答としての共通性に着目して観測・検討を行ったものである。以下に結果の概要を述べる。

2. 調査の概要

北海道電力(株)が原子力発電所整地工事にもなう発破工事が行なわれ、そのうち55回の発破について、近接する国道トンネル内および周辺岩盤内での観測を行なった。付近の地質は図-1に示すとおりであり、オlig中新世の火山砕屑岩類より成る。観測箇所のトンネルは凝灰質泥岩中にあり、 $V_p=1.9$ km/s、下位の石英質山岩は $V_p=3.5$ km/sである。また原子力発電所調査資料などより、発破後取～観測箇所間の平均単性波速度は、 $V_p=2.5\sim3.7$ km/s、 $V_s=1.3\sim1.8$ km/sと推定される。測定計器の配置は図-2に示すとおりであり、内径約11mのトンネル内および岩盤内に7個、18成分の加速度計を設置し、またトンネル内壁に5個、10成分の歪ゲージを設けた。観測した発破の概要は図-3のとおりであり、爆薬量(ANFO、段発の場合は初段)は最大800 kg、観測距離はおおむね150～500 mの範囲にある。

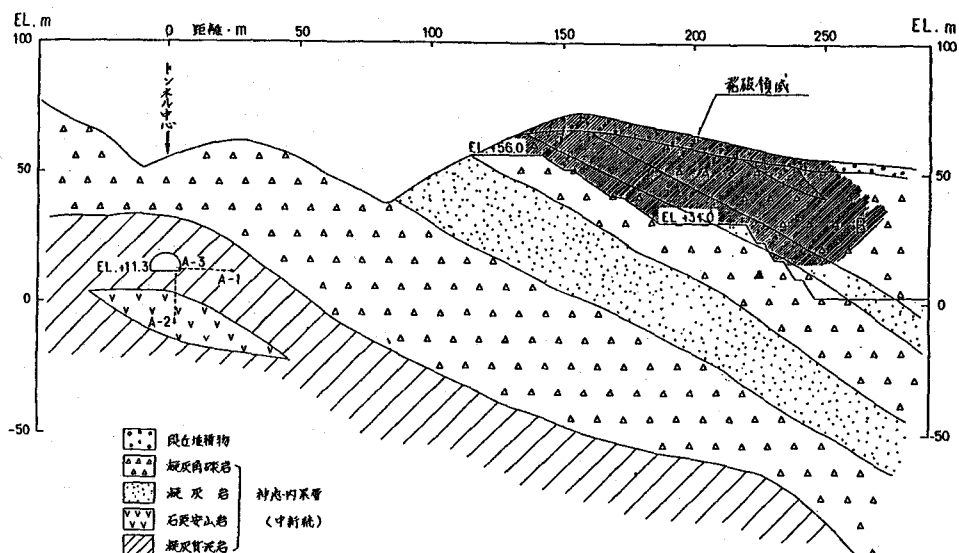


図-1 計測位置～発破最短距離断面図

3. 発破振動の性状

今日の観測による発破振動の最大加速度は約 80 gal 程度、積分による最大速度値は 0.7 Kine 程度であった。また F/T による卓越周波数は、おおよそ 7 ~ 30 Hz の範囲にある。トンネル内壁（ライニング）の動歪量は一般に頂部（S-3）で最も大きく、同方向（X 方向）で最大 3.5×10^{-6} 程度である。岩盤内（A-1）と、トンネル内（A-3）の加速度波形の例を図-4 に示す。この例を含め、トンネル内自由面の影響による振動波形の変化および最中の層中は特に顕著には認められなかった。

発破の薬量、距離と加速度の関係は岩盤内（A-1）について図-5 に示す。この図には、各量相互間の重相関による係数を用いて薬量を正規化（500 kg）、距離を正規化（200 m）、および両者を正規化したものの上から順に並べてある。他の例も含め、薬量による比例係数（乗数）は $A \approx 0.45 \sim 0.50$ 、距離による係数は $-1.4 \sim -2.1$ の範囲にある。既往の研究、たとえば変位域中につき $A \approx 0.67$ とされた例などに比べると薬量による係数がやや小さいとみられるが、加速度域中であるため、薬量の増大によりやや同減数が低下する影響が認められるものと思われる。なお速

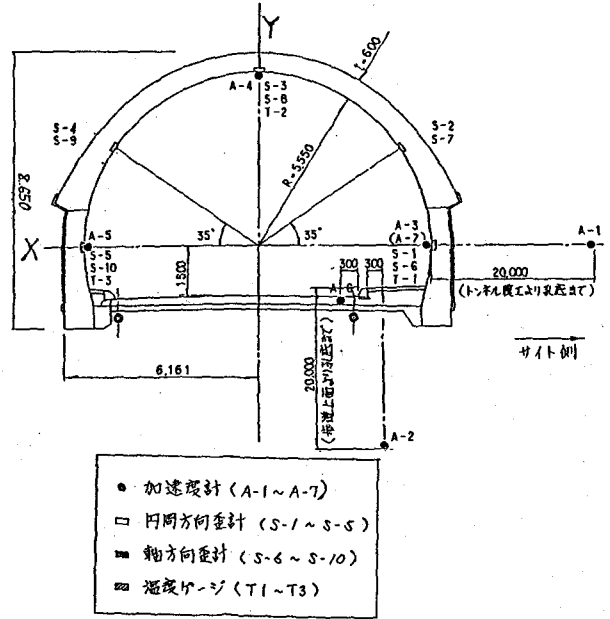


図-2 トンネル内計器設置位置図

NO. 4-2-2

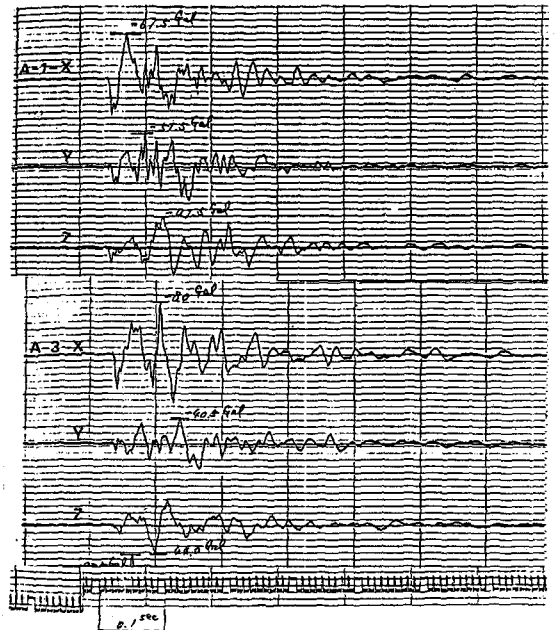
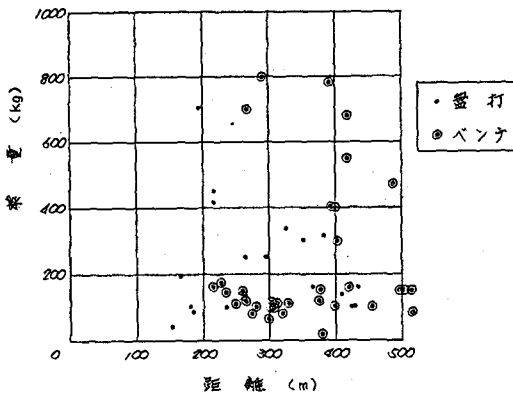


図-4 加速度波形の例
{ A-1: 岩盤内
A-3: トンネル内壁



注: 薬量は初段の値とする

図-3 発破の薬量と距離の関係

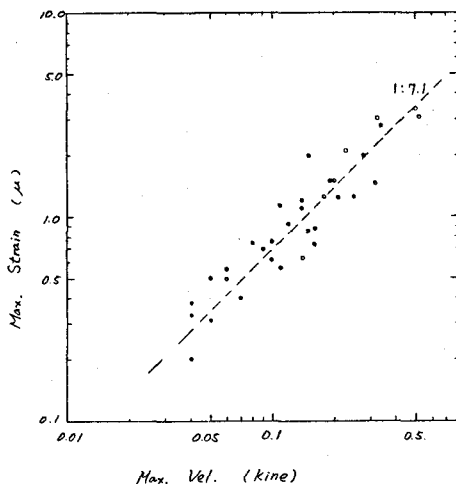
度振巾について求めると $A \approx 0.5 \sim 0.6$ となり。

トンネル内壁の最大ひずみ量と最大速度値との関係を図-6に示す。発破振動の波形はかなり複雑であるにもかかわらず、ひずみ量と速度値の間には定常波の場合に比し比較的良好な比例関係が認められる。

準性波動(地震波)としての発破振動の性状をしらべるため、第2巻内(A-2)について加速度振巾の軌跡を適当な時間々隔に已切ってX-Z面内(水平面内)にプロットした例を図-7に示す。図-7は0.2秒周隔であるが、最初の0.2秒内では波の進行方向(X方向)が卓越し、つぎの0.2秒内ではそれに直角な方向(Z方向)に振動が卓越していることが認められる。実際の波形および到達時間などを考慮すると、これらはそれぞれ準性波としてのP波成分およびS波成分(この場合SH成分)に相当するものと推定される。

4. トンネルの振動挙動

前述のように発破振動の卓越周波数はほぼ7~30 Hzであり、トンネル内観測箇所付近における波長はP波に対して60~260 mと推定される。これはトンネル内径約11mに比しかなり大きな量



注) Max. Vel. V=3.4.5 の最大値
Max. Strain S=1.2.3.4.5 の最大値
(用方向)

図-6 最大周方向ひずみと最大速度の相関

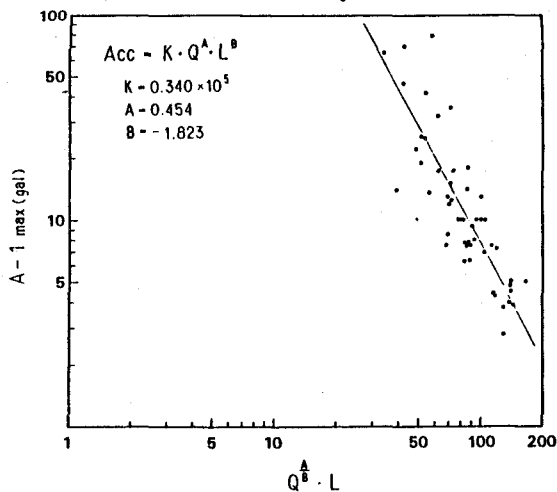
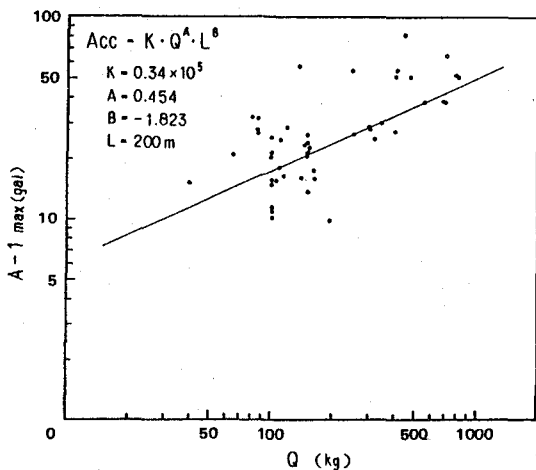
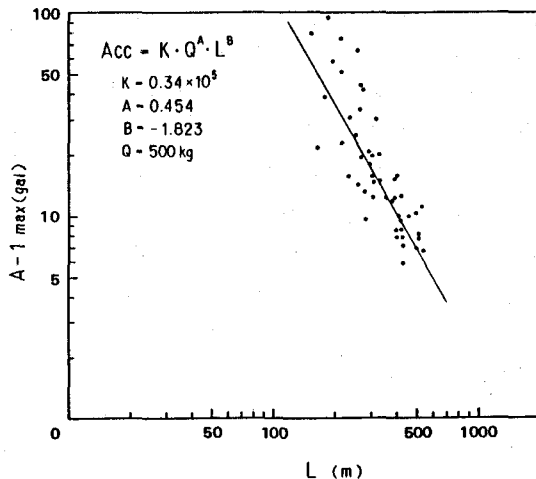


図-5 加速度(A-1)と薬量(Q)、距離(L)の関係

であるので、トンネル断面の各変位は、多少の位相差をもちつつほぼ一斉的な挙動をすることが予想される。この真を検討するため、側壁の両下端(A-3とA-5)の相対変位量と、頂部のX方向ひずみ量を比較したものが図-8である。各々独立した測定量であるにも拘らず両者の波形(時刻正)はかなり一致しており、トンネルの変形挙動が同一時刻にほぼ対称性を示すことがわかる。さらにトンネルの変形挙動を直観的に理解するため、各部の変位量を時刻正として述べた例を図-9に示す。振動の入射方向は図-10の水平方向より僅かに下側(平均 7°)であることが確かめられており、振動の入射によって最初に右側(入射側)が変形するが、遂次全体の変位を生じ、再び原型に復する状況がみとめられる。

5. おわりに

今回のような測定・解析によって、複雑な波形を示す発破振動に対しても、トンネル空洞の挙動を大体的にはかなりよく把握できるものと考えられ、地下空洞の地震時挙動を検討する有効な資料を得たと考えている。今後数値シミュレーションなどを行って更に検討する予定である。

今回の測定に際し、多大な御援助と御協力をいただいた北海道電力(株) 土不部および同社 油原子カ建設所各位、ならびに大成・西松・伊藤・荒井JV油原子カ土木工事々務所関係各位に深く謝意を表す。

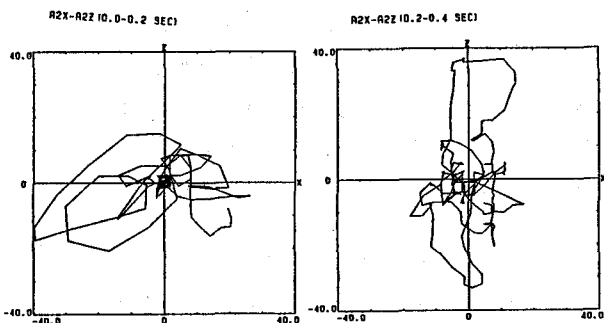


図-7 振動波形成分の時間変化の例

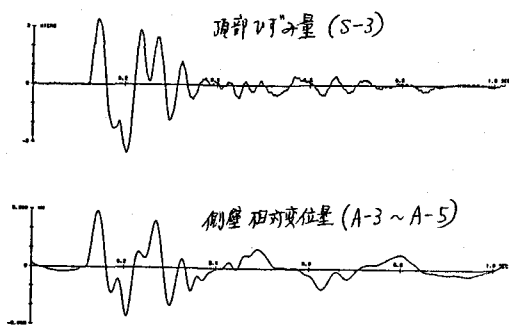
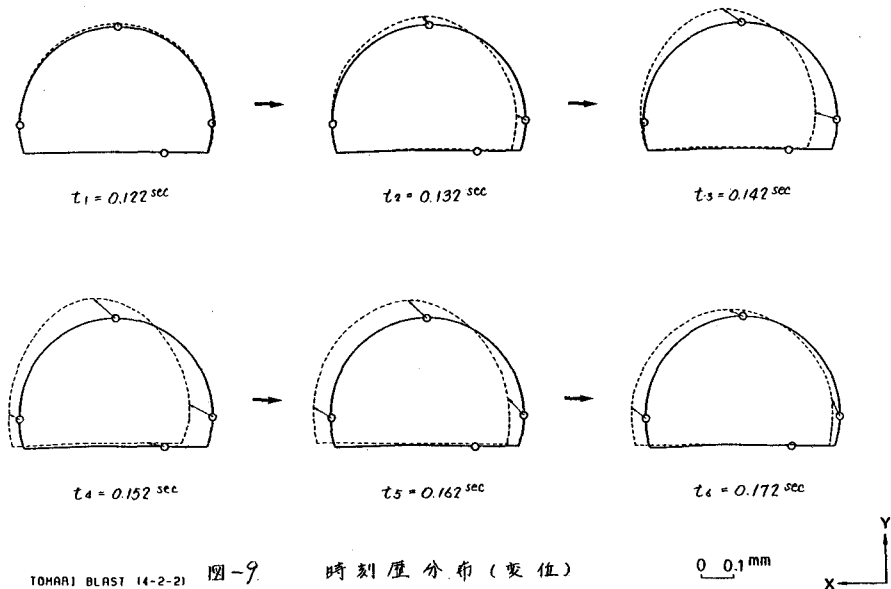


図-8 トンネル内ひずみ量と相対変位量の比較



TOHARJ BLAST 14-2-21 図-9

時刻歴分布(変位)

0 0.1 mm



(26) Behavior of Underground Tunnel and Around Rock Mass
against Blasting Vibration

Shizumitsu HONSHO

Hiroya KOMADA

Satoshi HIBINO

Central Research Institute of
Electric Power Industry

Shuetsu FUJITA

Hokkaido Electric Power Company

Akira OKIFUJI

Taisei Corporation

Blasting vibration measurements and analysis on behavior of underground tunnel have been carried out, for the purpose of simulating the behavior of a cavern in case of earthquake. The tunnel is excavated in tertiary pyroclastic rocks, having the size of about 11 m in diameter, and the blasting charge amount was 50 ~ 800 kg, with the distance of 150 ~ 500 m from tunnel. Main obtained results are as follows.

1) Maximum acceleration and velocity of vibration measured are about 80 gal and 0.7 kine respectively. Supposing the relation,

$$\text{Acc.} = K \cdot Q^A \cdot L^B \quad (Q : \text{charge amount} \quad L : \text{distance})$$

coefficient A was obtained to be 0.45 ~ 0.50, B: -1.4 ~ -2.1.

2) Analysing the particle motion around tunnel, the blasting vibrations are seemed to be the sequence of P-wave and SH- or SV-wave.

3) The dominant frequency of vibration are 7 ~ 30 Hz, and the wave length are supposed to be 60 ~ 260 m for P-wave. It means that the behavior of tunnel against blasting vibration may be not so irregular at each side in the tunnel. This was confirmed through the analysis comparing the strain at tunnel lining and the relative displacement of both side in the tunnel, as the time sequence deformation.