

清水建設(株) 研究所 (正) 大 槻 明
清水建設(株) 研究所 (正) 渡 辺 弘之

1. はじめに 市街地或は既設構造物等に近接して発破掘削が行われる場合には、発破によって発生する振動が大きな問題となることがある。そこで本報文では発破によって発生する振動が周辺の地盤や近接した地下構造物にどのような影響を与えるかを検討する一資料を得るため、一現場を例にとり実際に発破振動を計測し、その結果を基にトンネル軸方向に沿った空間周辺の動的挙動を検討した。

2. 計測概要 計測対象とした現場は図-1に示す様な水路トンネルである。当現場付近の岩は花崗閃緑岩で V_p は48 km/s から5.2 km/s 程度で湧水量は少ない。計測位置は図-1に示す。加速度計は(ENDEVCO-5200MI) 地山に直接取り付け三成分同時計測を行いデータレコーダ(KOWA RTP-10A)に収録した。発破は複2号を使い総重量105 kg (バ抜き時1~2 kg 、はらい時10~15 kg) ストロークピッチ2.5 m で多段発破(19段)により行った。

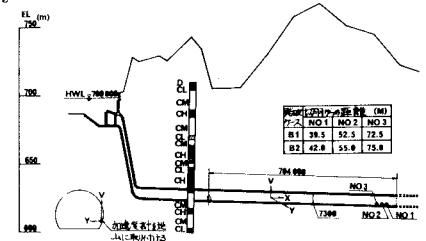


図-1 計測位置図

3. 発破振動の動的性質 図-2は測点1及び測点3における水平、鉛直方向振動に対する加速度のフーリエスペクトルである。測点1では鉛直成分 V には広帯域にわたり種々の周波数がみられる。水平成分は X, Y ともに同じ形をしており200 Hz 付近に大きなピークがみられる。測点3では鉛直及び水平成分はともに同じ形をしており、180 Hz , 250 Hz , 300 Hz 付近にピークがみられる。今計測では切羽より70 m 程度離れると振動成分は方向性を持たず各方向(V, X, Y)とも同じ傾向を示す。表-1は測点1と測点3間の加速度の相互相関より求めた平均的な伝播速度である。図-3は各測点における振動の初動より求めた走時曲線である。二つの方法より求めた伝播速度と弾性波試験との比較から本発破振動では P 波が支配的であることが推定される。図-4は測点1, 2, 3で計測された加速度の内、水平及び鉛直方向の最大値をプロットして求めた減衰曲線である。この減衰曲線より40 m 以内の最大加速度はかなり高い値が生じているものと推定される。しかし50 m 付近では1 G 以下になっており加速度の距離減衰はかなり大きい。振動方向別の振幅値は Y 方向が一番大きく、次に X, V 方向が同程度の値を示しているが、 X, Y, V 方向とも極端に振幅値は異なっていない。

4. トンネル周辺の歪及び応力 本計測より得られた各測点の加速度波形を一回数値積分を行い速度波形を求め、これらの速度波形と伝播速度とから各測点の歪を求めてみた。これらの歪の内、図-5には最大軸歪を、図-6には最大せん断歪を各測点ごとにプロットした。次に推定した歪波形を基に応力波形を求めた。この内測点1において求めた応力波形を図-8に示す。各測点において求めた応力波形から主応力を時刻歴ごとに計算し、そ

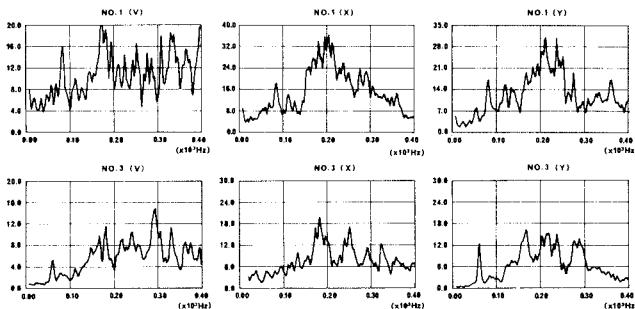


図-2 フーリエスペクトル(測点1及び測点3)

振動方向	相互相関係数(ρ)	伝播速度(m/s)
X	6.7×10^3	4925
Y	74×10^3	4499
V	70×10^3	4714

表-1

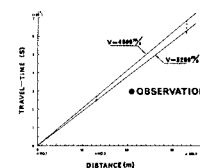


図-3 走時曲線

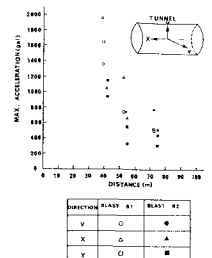


図-4 減衰曲線

の内最大主応力と最小主応力(すべて引張)を図7に示す。当計測地点付近の地盤定数を次の様に決め $E=2.083 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $\nu=0.2$, $\rho=2.67 \text{ t/m}^3$ 有限要素法を使い静的な応力解析を行った。空洞周辺の主応力を表-2に示す。今回の計測結果より推定した歪がコンクリートの極限歪と比べてどの程度であるか比較してみると、コンクリートの引張極限歪は圧縮強度によって変わるが、 $1.5 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-4}$ ($\sigma_{cu}=200 \text{ kg/cm}^2 \sim 600 \text{ kg/cm}^2$) の範囲であり、図5及び図6に示されている歪(振源からの距離40m~70m)と比べるとニケタほどコンクリートの引張極限歪の方が大きいことがわかる。当地盤の一軸圧縮試験によれば、圧縮強度は 900 kg/cm^2 程度であり、引張強度は圧縮強度の $1/10$ とすれば引張強度は 90 kg/cm^2 程度であろう。これに対して静的解析結果では表2に示す様に最大圧縮力(最大主応力)で 72.8 kg/cm^2 最大引張力(最小主応力)で 1.0 kg/cm^2 でありほとんど問題とならないであろう。一方発破による動的応力は図7に示す様に振源からの距離40m~70mで最大圧縮力 $0.7 \text{ kg/cm}^2 \sim 2.0 \text{ kg/cm}^2$ 、最大引張力 $0.9 \text{ kg/cm}^2 \sim 1.8 \text{ kg/cm}^2$ であり静的応力の場合と同様に問題とならないであろう。なおこの動的応力には静的応力は含まれていないが、動的応力と静的応力を重ね合わせた場合を考えると振源より40m以遠においてはほとんど引張力が生じないものと推定される。しかし振源より40m以内での発破振動の影響について今回の計測結果すなわち図-5, 6, 7等より推定することは難しい様に思われる。つまり発破振動の特徴として振源から至近距離においては振幅値が急激に大きくなるので今回のデータより外ソウすることは精度的に問題が残ろう。

5. まとめ 以上述べた事を簡単に述べると次の様になる。

1. 加速度振幅は三方向 V, X, Y とも極端な差異はなく、また大局的にみても三方向のフーリエスペクトルの形は非常に似ており顕著な方向性は認められない。
2. 発破振動の卓越振動数は振動数の高い所(200Hz, 300Hzなど)に認められる。
3. 最大加速度だけを見るとかなり大きい速度や変位振幅としては小さい。また距離減衰は図-4に示す様に大きい。
4. 本発破振動ではP波が支配的であると推定される。
5. 発破振動による動的応力は計測結果より推定すると振源からの距離40m~70mにおいて最大圧縮力 $0.7 \text{ kg/cm}^2 \sim 2.0 \text{ kg/cm}^2$ 最大引張力 $0.9 \text{ kg/cm}^2 \sim 1.8 \text{ kg/cm}^2$ であり、当地盤の一軸圧縮試験(圧縮強度 900 kg/cm^2)と比較するとかなり小さく、当計測範囲においては発破振動による動的な影響は少ないものと思われる。一般に発破振動は不規則性の強い振動であるため一計測例より一般的な傾向を求めることは難しい。今後のデータの蓄積を踏まえることにより発破振動に対する定量的かつ定性的な評価を行う必要がある。最後に当社土木技術部の高崎氏に適切な助言をいただき感謝いたします。

参考文献

- (1) 高崎英邦, 大槻 明 発破振動の統計的性質について オ30回土木学会年次講演集 土木部 1975
- (2) 藤田嘉夫 単軸曲げに対する鉄筋コンクリート桁及びプレストレストコンクリート桁の極限強度設計法に関する研究 土木学会論文集 第133号 昭41.9

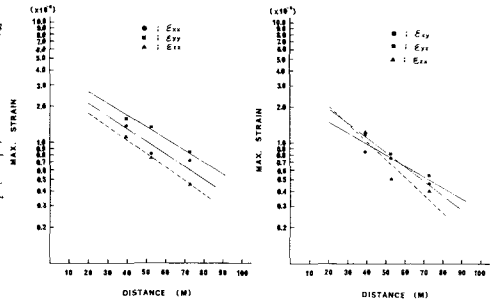


図-5 軸歪

図-6 せん断歪

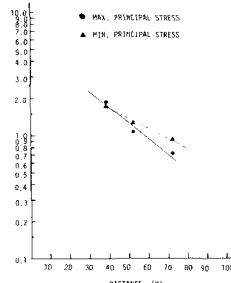


図-7 主応力

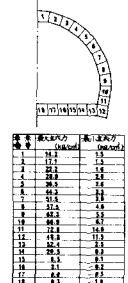


表-2

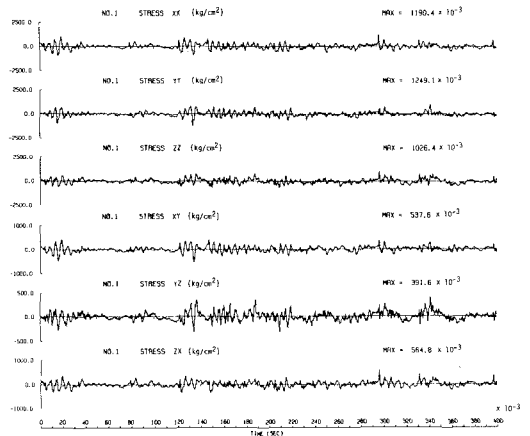


図-8 応力波形(測点1)