

III-254 発破による岩盤内空洞周辺の ゆるみ過程の調査(その2)

㈱大林組技術研究所 正員 ○小 出 忠 男

㈱大林組技術研究所 正員 後 藤 洋 三

1. ま え が き

空洞周辺の岩盤の挙動予測は有限要素法を使ったゆるみ解析により行なわれ、その結果を工法選定等に利用されているが、この解析の精度を上げるためには、応力開放やクリープによるゆるみとは分離された発破による初期ゆるみを入力する必要がある。また、既設の空洞が隣接している場合には、施工上、薬量や発破点からの距離とゆるみの関係を把握しておく必要がある。そこで、著者らは、先に岩盤用に試作した動歪計により発破によるゆるみを、直接測定することが可能であること等を報告1) (以後「その1」と呼ぶ)したが、さらに動歪計と埋設方法に改良を加えて、事前のゆるみのない岩盤中に埋設し、発破によるトンネル掘削が埋設点に順次近づいてくるのに伴うゆるみの発生状況を測定したのでその結果を報告する。

2. 測 定 方 法

測定は、トンネル建設現場で作業用坑から本坑掘進位置まで掘削された斜坑を利用して行なった。測定地点付近の岩盤性状は傾家変成帯に属する変ハンレイ岩で、地質構造的には稜線を中心とした向斜構造となっている。岩質は圧縮強度 1000 kg/cm^2 、地質分類(増田による分類法)で C_H 級に属する。計器は図-1の配置とし、斜坑の途中から本坑掘削予定線に向かって掘削進行方向と直角方向に削孔し、岩盤用動歪計およびその端部に固定してある加速度計を埋設した。なお、斜坑側壁にも同様の計器を設置した。埋設の際は、孔内に縦方向4連にした岩盤用動歪計をとい状のガイド棒に乗せて挿入し、空隙に特殊モルタル(圧縮強度： 1500 kg/cm^2)を充填して固結させた。岩盤用動歪計の仕様は、差動トランスタイプで最大歪容量 5×10^{-4} μ 、寸法が最大径 $\Phi 28\text{ mm}$ 、全長 500 mm である。測定は、上半と下半の2段掘りの内、先行して掘削される上半の発破について行なった。感度方向は掘進方向に対して直角である。発破は、爆薬に2号梗ダイナマイトと含水爆薬を使用し、 0.25 sec の遅発電気雷管を用いた10段の段発で行なわれた。薬量は初段が $0.5 \sim 4\text{ kg}$ 、8、9段目が $3 \sim 7\text{ kg}$ と各段で異なる。

3. 測 定 結 果 と 検 討

① 速度波形と動的歪波形の比較；

図-2は発破1段目の速度波形(加速度波形の一回積分)と歪波形を比較のため重ね書きした一例である。両者の軌跡は歪波形のドリフト成分を除けばほぼ一致している。また、軸方向振動速度量 v と軸方向歪量 ε の関係は、弾性波速度 V_p の縦波が伝搬する状況では理論上、 $\varepsilon = v/V_p$ と計算される。一方、発破点が測点1まで近づいた際の加速度波形記録の初動の伝播時間差より V_p を求めることとし、平均値で $V_p = 1.6\text{ km/sec}$ となる。 v と ε を測定波形から求め、 $v/\varepsilon = a V_p$ として、係数 a を発破点ごとに求めた結果を図-3に示す。測点1のゆるんでいない状態(累積残歪 100μ 以下)では、発破点より 6 m 以遠で a は $0.37 \sim 0.58$ 程度であり、発破点が 6 m より近づくとも $0.22 \sim 0.17$ と小さくなる。即ち、今回の測定結果も「その1」で報告した a が発破点が近づくほど小さくなる傾向と一致

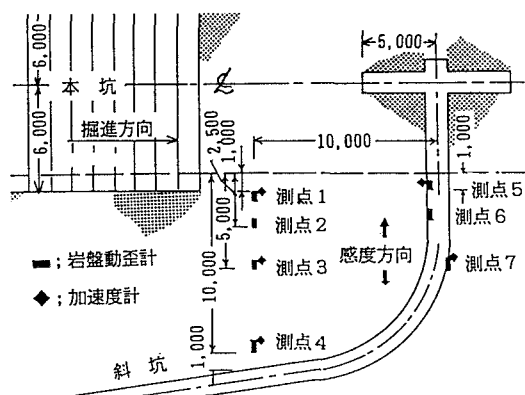


図-1 計器配置

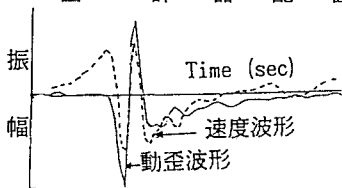


図-2 振動速度と歪の波形比較

している。ここに発破点からの距離は、最も近い位置にある装薬点と計器までの直線距離で以下表現することにする。さらに5.0 m奥の岩盤中にある測点3について見ると、発破点からの直線距離が7.4mと8.6mでゆるんでいないと考えられる状態の a は1.58と1.52であるが、この a の値はある程度ゆるんでいる状態の値と推定される $V_p = 1.6 \text{ km/sec}$ より求めたものである。物理探査($V_p = 3 \text{ km/sec}$)を参考に $V_p = 2.4 \sim 2.5 \text{ km/sec}$ と考えれば $a \approx 1$ と算定される。

② 動的歪および残留歪：

図-4は1発破中の動的な圧縮歪、引張歪の最大値と発破点からの距離との関係をしめす。図-5と図-6は、1回の発破による残留歪を累積した歪と発破点からの距離の関係を示す。事前のゆるみがなかったと考えられる図-5の測点では引張側の残留歪が進行していくが、発破による掘削で一度ゆるめられていると考えられる図-6の測点では再度の発破振動で、発破点から10 m付近において、少なくとも一度は圧縮側に歪が進行するようである。

③ トンネル掘削に起因するゆるみ量：

発破による岩盤掘削では、発破に起因するゆるみと掘削により初期地圧が開放されることに起因するゆるみが合せて発生する。今回の歪計はその合成値を測定していることになる。応力開放に起因する弾性変形によるゆるみを、有限要素法による2次元の平面歪問題の解析で求めてみると、約200 μ のオーダーであり、測定される残留歪の1/10～1/20であるので、発破によるゆるみが当岩盤での掘削後の瞬時のゆるみの主要な要因と考えられる。

4. ま と め

今回の調査から、以下のことが明らかになった。

- ① 発破掘削によるゆるみが初めて発生する岩盤では引張側に残留歪が蓄積される。一方、掘削により既にゆるんでいる岩盤では、発破点が近づくにつれて最初に圧縮側の比較的小さい残留歪が発生し、それから引張側へ残留歪が変動するようである。
- ② 発破が近接して残留歪が急増し、1500～1000 μ 以上になる時の発破点からの直線距離は約5 mであった。この時の各段発における最大加速度は3,000～4,000 gal、最大速度は2～3 kine、動的歪は最大100 μ であった。
- ③ 振動速度 v と動的歪 ε ならびに弾性波速度 V_p の縦波の関係は、ゆるんでいない岩盤では $v/V_p \sim \varepsilon$ であるが、ゆるみが進行して残留歪が急増すると $v/V_p \sim 0.2 \varepsilon$ となるようである。

終りに、本調査に協力いただいた東大阪生駒電鉄の方々ならびに当社の石沢宏所長、菊地功所長代理、若林良二主任に深く感謝します。

注1)「発破による岩盤内空洞のゆるみ過程の調査(その1)」

第39回年次学術講演会概要集 1984.10 III-214 PP427～42

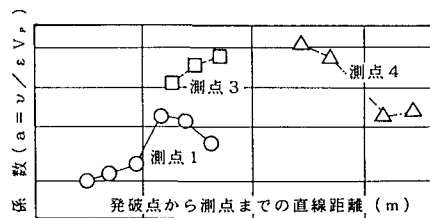


図-3 係数 a と距離の関係

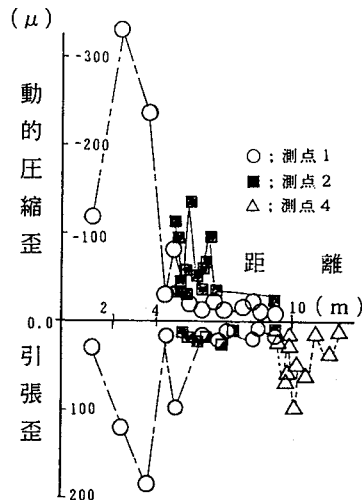


図-4 動的歪と距離の関係

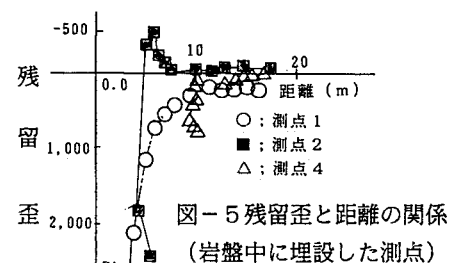


図-5 残留歪と距離の関係
(岩盤中に埋設した測点)

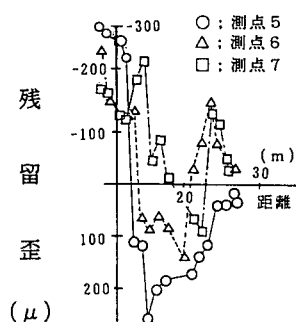


図-6 残留歪と距離の関係

(斜坑側壁の測点)