

国鉄大阪工務局 正会員 中島 順雄
 竹中技術研究所 正会員 ○浅井 勝稔
 (株)竹中土木 神崎 靖 正会員 神谷 智

1. まえがき トンネル支保への作用荷重は、初期地山応力状態から掘削による解放応力を差し引いた残りの地中応力が、支保と周辺地山との連成作用によって分担されたものである。このため、切羽の応力解放率を簡易に精度よく評価できる手法の確立はトンネルの設計・施工を合理化するうえで重要である。筆者らは水平パイプヒズミ計を用いた現場計測によって、トンネル掘削に伴う地中応力の解放率の評価を試みたので以下に報告する。

2. 現場計測の概要

現場計測は山陰本線十二越T坑口部で実施した。坑口部の断面を図1に示す。パイプヒズミ計、鋼製支保工ヒズミ計の設置箇所も図1にあわせて示している。坑口部の支保間隔は、図示したように、在来工法区間0.8m、NATM区間1.0mピッチで施工されている。切羽の進行は、この支保工Noで表示している。

対象地盤は、弾性波速度 $V_p = 3 \sim 4$ km/sの比較的亀裂が発達した粘板岩層で構成されている。パイプヒズミ計を設置するために実施した水平ボーリングの結果を図2に示す。この結果によると、ボーリング深度8.0m~10.0mの区間には、破碎されたクラッキーゾーンが存在する。

3. 水平パイプヒズミ計

水平パイプヒズミ計、これを構成する測点の構造を図3に示す。水平パイプヒズミ計は設置した状態で、地盤の鉛直および水平変位挙動に伴うパイプの曲げ、せん断ヒズミを検出することができる。パイプヒズミ計は1ユニットの長さ $l = 5$ mのガス管(外径; 60.5mm, 内径; 52.9mm)に所定の間隔で測点を配置したものである。本現場計測では、3つのユニットを連結し、 $L = 15$ mのものを使用した。坑口の掘削まえに水平ボーリング($\phi = 86$ mm, $L = 13.7$ m)を実施し、パイプヒズミ計を設置したあとグラウトによって地盤中に定着した。グラウト材は周辺岩盤の特性を類似できるように各種の配合を検討して、表1の配合とした。

4. 水平パイプヒズミ計の実測結果と考察

実測結果の一例として、支保工ヒズミを測定している断面(支保No.26)近傍のパイプヒズミ計の測点No.12~14の結果を図4に示す。図4の結果は切羽掘削に伴う地盤の沈下挙動によって生ずるパイプヒズミ計の曲げ、せん断ヒズミの変化特性を示したものである。いずれのヒズミ値も、切羽が測点に接近すると急激に増減し、

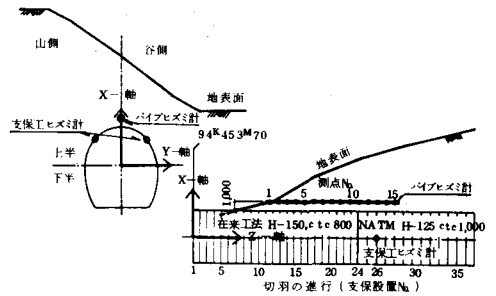
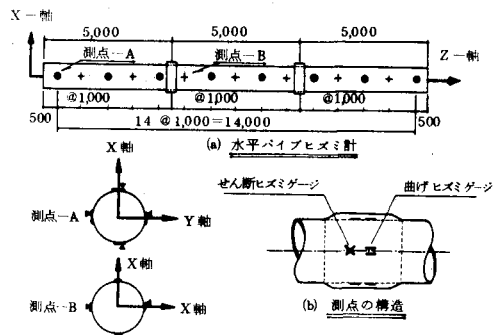


図1 坑口部縦・横断面と計器の設置箇所

深さ 測定 位置 (m)	柱状 試料 径 (mm)	層 厚 (m)	色	備 考
1.5	1.50		層黒灰色 (土砂)	角礫(φ2~6mm)混在 層柱(粘板岩)基盤、木炭入り
4.0	4.50		粘板岩 黒灰色	岩は比較的軟弱 風化する クラック多い コアは崩壊状
10.0	2.00		粘板岩 (硬質)	岩は硬質 クラックが非常に多く、岩は 崩壊されている ボーリング時孔壁崩壊
13.7	3.70		粘板岩 (硬質)	亀裂比較的少ない コアは崩壊状

図2 水平ボーリングの結果



測点-A: 曲げ, せん断ヒズミ2成分 (X, Y)
 測点-B: 曲げ, せん断ヒズミ1成分 (X)

図3 パイプヒズミ計と測点の構造

表1 グラウト材の配合

	重量比	備 考
水	1	
セメント	1.5	
デンカCSA	0.13	収縮防止剤
ベントナイト	0.024	

切羽が通過すると急速に安定化する。しかし、このヒズミ変化量の絶対値は測点によって大きなバラツキを示す。これは測点の位置と地盤特性、たとえば亀裂、断層面などとの相対的な位置関係によって検出されるヒズミ値が大きく支配されるためであると判断される。このバラツキの多い実測ヒズミを積分して変位量を求め、切羽の応力解放率を評価する一般的なデータ解析法では、不動点の仮定ともあいまって、誤差が累積されるために精度が悪い。筆者らは、掘削ごとのヒズミ変化量に着目し、累積ヒズミ変動率（図5参照）を定義した。この考え方に基づいて、図4の実測値を整理し、結果を図6に示す。図6をみると、セン断、曲げヒズミ変動率曲線はほぼ類似した結果を示す。しかし、切羽位置の累積変動率（応力解放率に相当）は曲げヒズミから評価した値（20～70%）の方がセン断ヒズミから評価した値（40～50%）よりも大きなバラツキを示す。セン断ヒズミ変動率曲線から評価される切羽の応力解放率は一般的な値（30～40%）より若干大きい、妥当な値であると考えられる。

5. 計測結果の解析的評価

実測評価した支保No.26位置の応力解放率を用いて、FEM解析を行なった。解析モデル、入力定数を図7に示す。粘・弾性解析による施工段階の解析は土屋¹⁾の示した方法を採用し、地盤の粘性特性は無視している。地盤の初期応力状態は自重解析によって評価した。図8に実測値と解析結果を対比し、切羽進行に対する支保工軸力の変化特性を示す。この結果をみると、解析値が実測値よりも若干大きな値を示しているが、両者は良い一致を示している。

6. まとめ

筆者らの提案しているデータ解析法を用いれば、水平パイプヒズミ計による現場計測によって、掘削による地中応力の解放状況を把握でき、とくにセン断ヒズミ変動率曲線からは切羽位置の応力解放率を定量的に評価できる。 参考文献:1)土屋敬 SBSC工法の設計とパラメータケーススタディ,第27回土質工学シンポジウム,1982

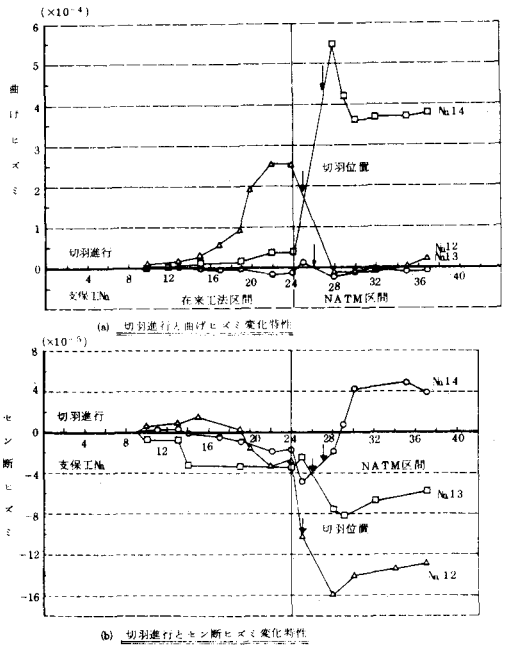


図4 水平パイプヒズミ計の計測結果の一例

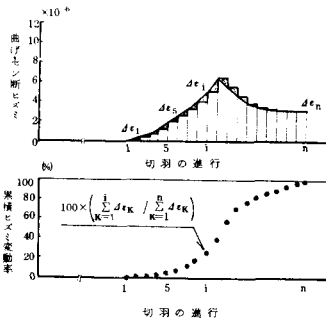


図5 累積ヒズミ変動率の評価方法

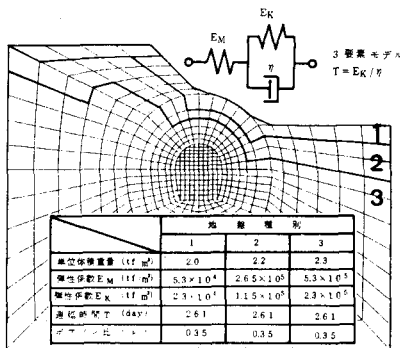


図7 解析モデルと入力定数

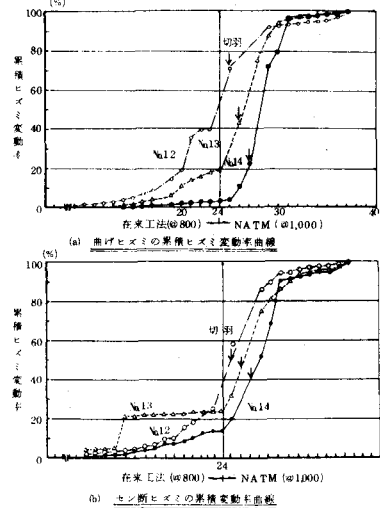


図6 曲げ・セン断ヒズミ累積変動率曲線

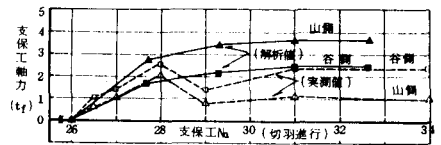


図8 解析結果と実測結果の比較