発破掘削におけるトンネル周辺岩盤の変位挙動を電位及びＡＥから見て（第二東名高速道路　静岡第三トンネル工事）

The observation of the rock movement with voltage and AE after blast excavation
(Shizuoka the third tunnel construction on The New Tomei Expressway)

大窪克己[1)]・アイダン・オメル[2)]・片寄　学[3)]
Ｋａｔｕｍｉ ＯＫＵＢＯ、ＯＭＥＲ・ＡＹＤＡＮ、ＭａｎａｂｕＫＡＴＡＹＯＳＥ

Introduction

The movement on the way to make ground arch inside the tunnel after excavation has been regarded as what offers the most appropriate data to grasp the balance of ground and tunnel support of NATM. Generally, we have been surveying the displacement of inside cross-section with a displacement seismograph in the ground and also the stress of tunnel support at a crown or side walls.

Now we have used the rock displacement and the stress of tunnel support to estimate the stability of the structure. At Shizuoka the third tunnel on the New Tomei Expressway, we have used various parameters like change of voltage, temperature and AE after excavation,.

We report the result of the field test about the method we have never applied to the tunnel and the possibility of the assessment with this analysis.

1. はじめに

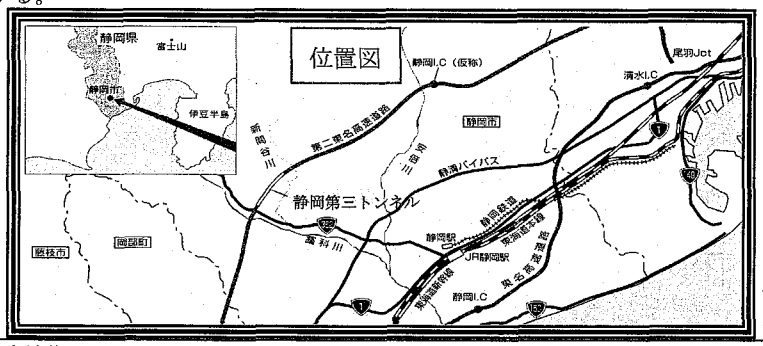
これまで、トンネル掘削による空洞のグランドアーチ形成途中の変形挙動及び支保量とのバランスを把握する上で、最も適切なデータを提供するものとして、ＮＡＴＭの計測を行い反映してきた。計測としては、一般的に天端部及び側壁部の変位量・変位速度の計測を行う事を始めとして、必要個所において地中変位計による内空周囲の変位及び支保部材に作用する応力の測定を行っている。

第二東名高速道路静岡第三トンネルでは、今までの岩盤の変位や支保の応力より構造物の安定を評価する手法に対し、掘削による応力状態の変化に伴って発生する多重パラメータ（例えば、電位、温度、ＡＥ（Acoustic Emission=音響放出）等を測定することによる評価について検討を行ったものである。

本稿では、現在のところトンネルに応用したことがない手法について現地試験の報告を行うとともに、その解析・解釈結果から今後の可能性について記述する。

2. 地質状況

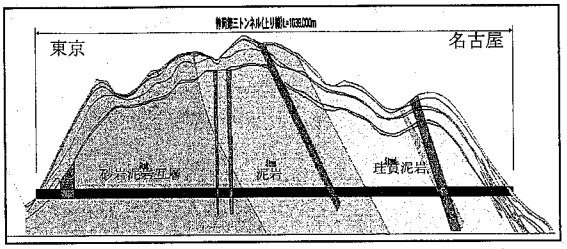
本地域は、瀬戸川帯の分布域であり、主に、泥岩泥岩砂岩互層および砂岩から構成され、一部に玄武岩、チャート、石灰岩などを伴う。地層は一般に北東-南西方向ないし、北北東-南南西の走向をもち、北西方向に傾斜する、地質状況は以下の通りである。



1)　正会員　日本道路公団　技術部　道路技術課
2)　正会員　東海大学海洋学部海洋土木工学科　教授　工学博士
3)　正会員　日本道路公団　静岡建設局　静岡工事事務所

○全線にわたり黒灰～暗灰色を呈する泥岩が分布する。
○泥岩は亀裂が発達し、白色粘土を挟在することが多く、一部では鏡肌である。
○亀裂の方向は、瀬戸川帯の一般的な地層とほぼ同じ方向に卓越する。
○多亀裂帯や脆弱な区間が多く見られる。
○全体的には湧水は殆ど無く、多くて滴水程度である。
○弱層を挟み、低速度帯・破砕帯が不規則に出現する。

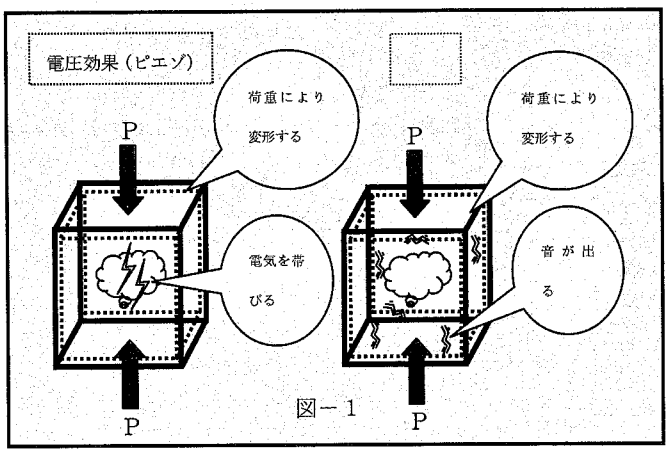
静岡第三トンネル　上り線　地質縦断図



3. 計測概要

3-1 電位測定

岩盤に力が作用することにより、圧電効果（ピエゾ効果）が現れる現象（図－１左）を利用し、どれだけの力が加わっているかを逆に電位差から推測するものである。測定装置は、カーボン電極を坑内岩盤に設置し微電流をカウントするもので、電位の発生と、作業進行のトレンド性を把握する目的から、同時に日々の作業工程（発破・ずり運搬。吹付け等のイベント開始・終了時間）を記録し、データとトンネル作業工程を重ね処理するものとした。



図－１

3-2 ＡＥ測定

掘削により周辺岩盤の応力変化に伴い、周辺岩盤の破壊が発生すると考えられる。その破壊過程において岩盤より、微小な振動（弾性波）を発生し、その振動＝音（ＡＥ）が発生することが知られている。（図－１右）このＡＥ量（発生頻度・出力等）を計測することにより岩盤の破壊進行の度合い推測するものである。

測定装置は、ＡＥセンサーをロックボルトのプレート部又は鋼製支保工の内空側フランジ面に設置し、電位測定と同様に日々の作業とデータを重ね処理するものとした。

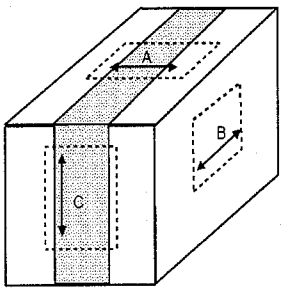
4．予備実験

実トンネルでの基礎データの採取に先立ち、当該トンネルの代表地質の岩盤（砂岩と頁岩の互層）により、予備試験を実施し、現地データの解析の指標とすべく圧縮試験を行った。試験体は、地層地質走向より３方向（図－２）の供試体を作成した、掘削進行による切羽状況・地層の変移等の変化に対し、データの解析が特筆されるかについても、検証するものとした。

4-1 破壊試験

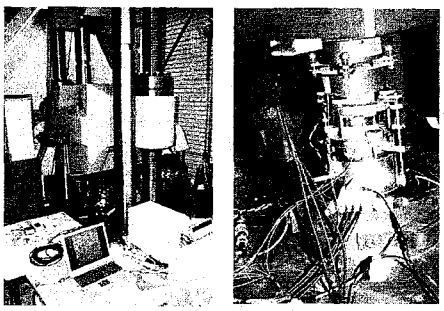
当該トンネルで採取した岩盤ブロックを用いた試験では、ＳＨＩＭＡＤＺＵ製の2000ｋＮ試験機を使用し、荷重あるいは変位制御下で実験を可能とした。実験は、一軸圧縮荷重条件下で、圧縮方向の変位、荷重、温度及び前述した電位及びＡＥ等の発生を計測した。また、同時に破壊に伴って発生する加速度を計測した。

この実験により、当外トンネルの岩盤ブロックでは、荷重・変位応答に比べ、岩盤に発生する亀裂と電位及びＡＥの間には敏感に反応していることが確認でき、密接な関係があることが実証できた。

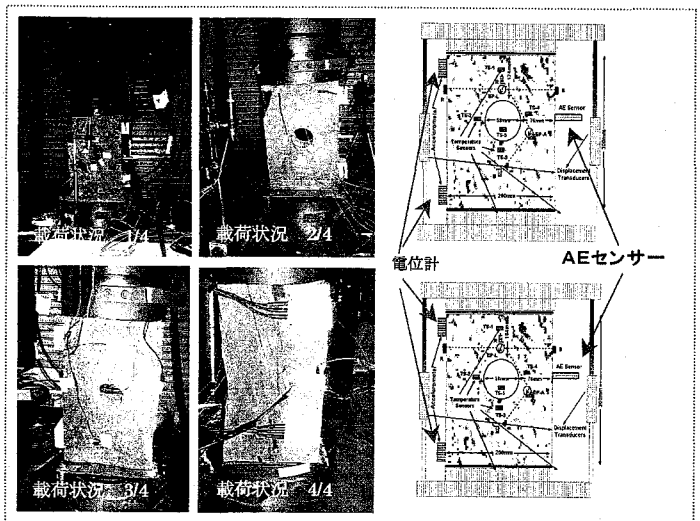


A：（ＴＮ軸に直行水平）
B：（ＴＮ軸に平行水平）
C：（ＴＮ軸に鉛直）

図－２　供試体作成方向



実験状況写真

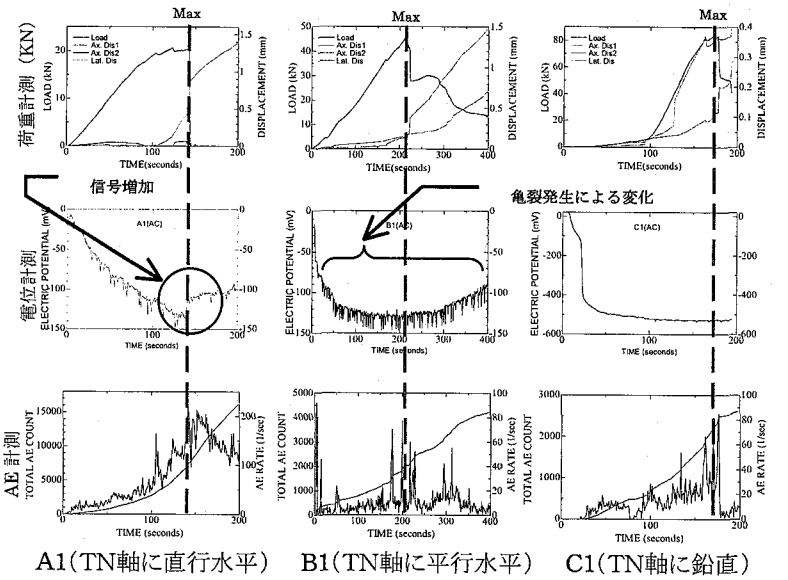


上記の写真は、一軸圧縮試験の状況であり、各種のセンサーを岩盤ブロックに設置し計測している様子をである。

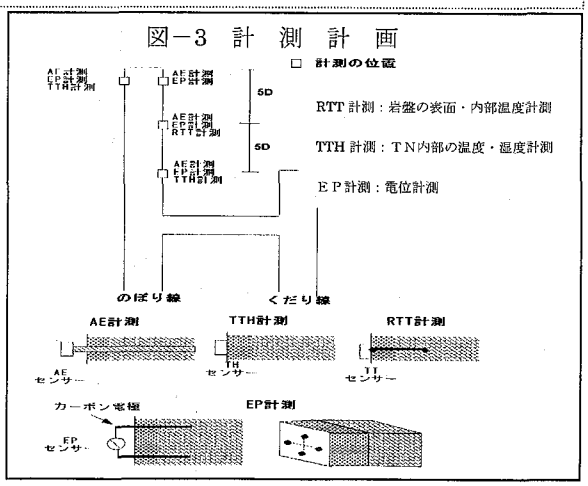
4-2 予備試験結果

現地試料による実験において計測された荷重・変位・電位及びＡＥ応答は、総じて加重・変位応答に比べ、電位とＡＥ応答が岩石内に発生する亀裂とその進展に敏感に反応していると言える。荷重の値が最大（表-1 中の Max 破線）に至る直前にＤＣ（直流）成分の場合大きな電機信号が発生している。特にA1（ＴＮ軸に直行水平）において、リニアに観測されていることが、表現できている。

新たに亀裂が発生する様子はＡＥ計測の状況で示されており、ＡＥの変化とリンクして電位計測も変化している様子が観測できた。特に電位計測においてＤＣ成分の場合、亀裂の発生に伴い必ず電気信号が発生し、破壊直前に電位が大きく変動し、亀裂の進展が停止すると同時に、発生電位は指数関数的に減少することが解った。



表－1

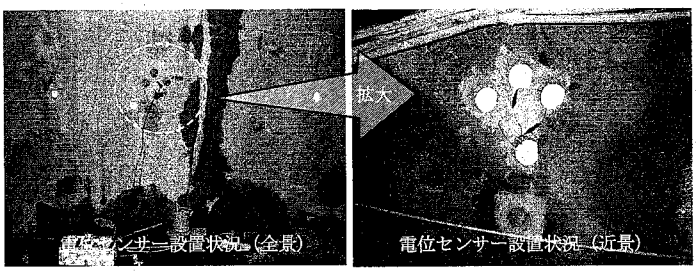


5. 現地データ採取

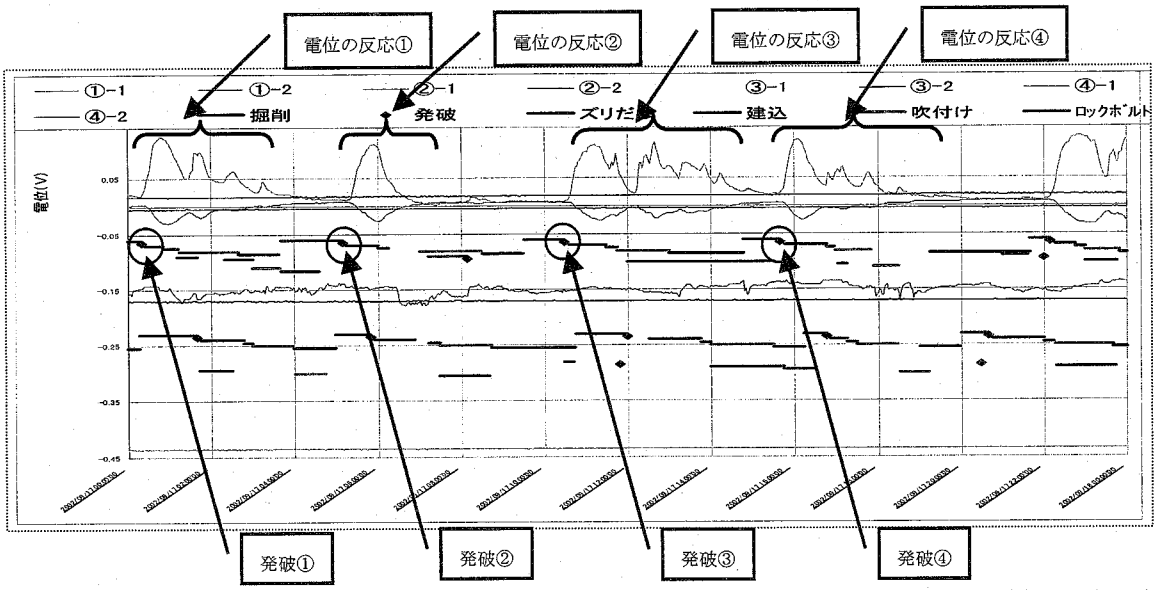
当該トンネルは、両坑口の地形的条件により、トンネル中央部に取り付く作業坑より本坑の掘削を行っており、まず、東京方向に掘削した後、名古屋方向に向かい掘削を進める計画である。よって、トンネルの進捗は東京方

面掘削においては、上り線先行し概ね１０Ｄ程度（約２００ｍ）の離隔を設け下り線が追随する形である。

先行する、上り線の側壁部に図－３の配置で、右写真のように電位センサー計器を設置した。また、直近の鋼製支保工に設置した。



６．計測結果



上記の表は、トンネル掘削作業と電位及び電位のトレンドグラフである。センサーのセッティングや設置位置が悪く、欠損データが発生しているが、今回の試験により発破時による地山の応答はリニヤに観測できたと考える。

それは、前述した当該トンネルによる岩盤試料による室内実験の結果から、電位の反応が発破による地山変動に対し、敏感に反応していることが今回の現地試験のデータからも読み取れる。

しかし、発破後に観測されている電位の波については、ずり出し等の重機作業により発生するノイズとも考えられ、確実に発破後の地山挙動を示しているかとの疑問が生ずる。また、トンネル掘削は上・下線で同時に行っており隣接の発破あるいはトンネル作業による変状を観測した可能性も考えられる。

7. まとめ

本報告では、静岡第三トンネルで採取した岩盤ブロックにより作成した供試体を用いて室内実験を行なった。それを基礎として、当該トンネルの岩石の電位とＡＥを計測した結果、発生する亀裂と電位及びＡＥの間には密接な関係があることが明確となった。このことは、岩盤構造物の短期的な安定性の評価に大変有効的な手段と考えている。

しかし、トンネル掘削作業における様々な諸条件（機械・仮設備・電力線・気象等）の影響により、観測データにノイズとして計測される為、いかに目的のデータを抽出するかについて課題を残す。

現在、本坑掘削を進めると同時に、長期的にデータの採取を行い基礎データの蓄積を進めており、今後更に解析を行うことで地山区分別・種別等の挙動変位を推察することが可能と考えている。

また、この観測手法は「山はね」等の急激な地山変動に対し、発生以前に予測をすることが可能となり、安全性の向上が図かれる。また、トンネル維持管理に適用した場合、定常的な交通ノイズを考慮すれば岩盤内部を観測でき、長期安定の評価や近接施工時の地山状態・影響の評価が出来るものと考える。

最後に、この試験において、日本大学工学部の田野教授のご指導に感謝を表する。