

(17) アンダーパニングを行なった構造物直下における シールドトンネルの掘削に伴う地中変位測定について

国 鉄 東京第二工事局 澤田 諄 田崎和夫
(株) 応用地質調査事務所 近藤達敏 ○土屋 浩
同 上 森 敏雄 阿部知之

1 ま え が き

地盤内に生ずる水平方向の地中変位を測定するための計器としては、既に挿入式傾斜計が実用化されている。これは深度0.5 m もしくは1 m 毎の水平変位を効率良く測定できるため、地入り調査などに多く用いられている。一方、測定孔の孔軸方向の地中変位を測定する計器としては、NATMトンネルの計測に多用されている多点岩盤変位計がある。しかし、これは計器の構造上の制約から、1孔当り最大5～6点の測定点しか設定できない。そのため、測定対象深度が深くなると、必然的に測点密度が粗くならざるを得ないのが難点である。

最近、チューリッヒ工科大学のKovariによって開発された「スライディングマイクロメータ」は、最大深度100 m までの孔軸方向変位を、深度1 m 毎に0.001 mm の単位で連続的に測定が可能である。¹⁾

今回は、高架橋の下に双設の地下鉄トンネルを掘削する工事に際して、トンネル掘削に伴う周辺地山の地中変位を、スライディングマイクロメータと傾斜計を用いて測定した例を報告する。この測定例においては、トンネル切羽が到達する前からの変位量を、深度0.5 m もしくは1 m の間隔で測定した結果、トンネル掘削に伴う周辺地山の变形を大局的に把握することができた。

2 トンネルの施工概要

既設の高架橋は縦断方向・横断方向とも、3スパンに分割されたラーメン構造となっており、図-1のように4行4列の直接基礎形式の橋脚を有している。地下鉄トンネルは高架橋の下を直角に横断し、A線とB線とが双設で掘削された。

地下鉄トンネルの施工に先立って、既設高架橋の防護工として5行4列の受替杭が施工された。地下鉄トンネルの横断面図を図-2に示した。

トンネル周辺の地質は、第三紀鮮新世の固

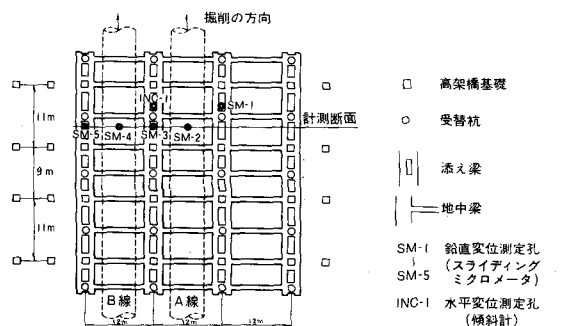


図-1 高架橋基礎対策工および計測配置図

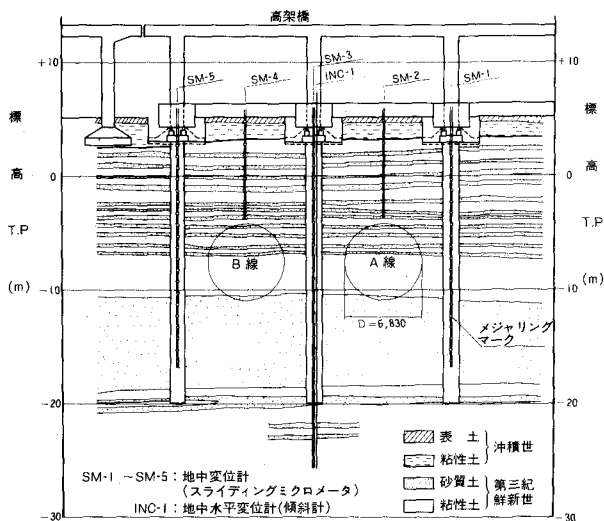


図-2 計測位置および地質横断面図

結シルトおよび砂からなっている。高架橋の直接基礎の底面からトンネル底面付近までは、固結シルトおよび砂が互層状に分布する。また、トンネルより下方では砂が優勢になっている。室内試験による固結シルトの平均的な物性値は次の通りである。

単位体積重量	γ_t	1.84	gf/cm^3
一軸圧縮強さ	q_u	35	Kgf/cm^2
変形係数	E_{50}	4300	Kgf/cm^2
破壊歪	ϵ_f	1.04	%

トンネルの掘削径は6830mmであり、泥水加圧式シールドで掘削された。シールドセグメントは、外径6600mm、内径6000mmの鉄筋コンクリート製である。トンネルは先ずA線が掘削され、約3ヶ月後にB線が掘削された。

3 地中変位の測定方法

鉛直方向の地中変位測定には、スライディングマイクロメータを使用した。スライディングマイクロメータは写真-1のような挿入型の測定器であり、測定区間長は1mである。測定ゾンデの上端および下端のメジャリングヘッドは、凸型の十字形に加工されている。一方、ボーリング孔内には写真-2に示すメジャリングマークを、長さ1mの硬質塩ビパイプに連結して挿入し、パイプと孔壁の間にグラウト剤を充填した。メジャリングマークの内側は凹形の十字形にくりぬかれている。測定ゾンデをパイプ内の所定の位置に挿入し、メジャリングヘッドの上面をメジャリングマークの下面に当てがった位置で、更に測定ゾンデを孔口方向に引張った状態で測定が行なわれる。測定ゾンデに接する2つのメジャリングマークの間が測定区間であり、区間長の変化を測定ゾンデに内蔵した差動トランスで検出する。こうした測定を孔口から孔底まで1m毎に行なうことによって、孔軸方向の地中変位が連続して得られる。1m当りの測定範囲は±5mmであり、読取単位は0.001mmである。

水平方向の地中変位測定には、SINCO社製の孔内傾斜計を使用した。測点間隔は0.5m、読取単位は0.01mmである。

地中変位測定孔の配置は図-1、2に示した通りである。

4 地中変位の測定結果

A線トンネル掘削終了時における鉛直方向変位の測定結果を図-3に示した。A線天端付近の地山が最大2.0mmの沈下を示したのに対し、A線踏前付近の地山は0.6mm程度の隆起を示している。

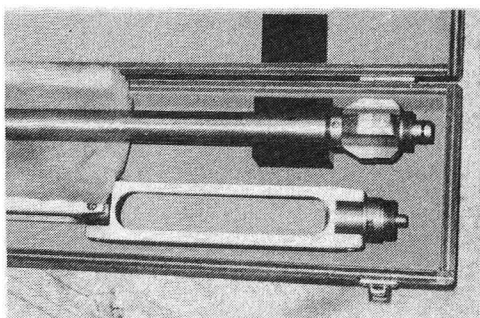


写真-1

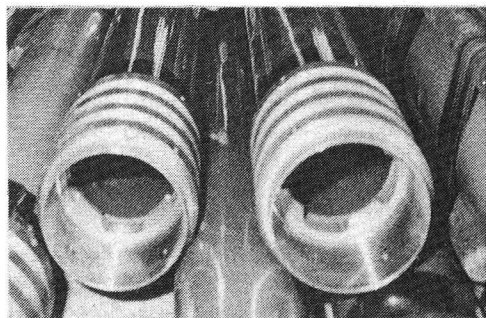


写真-2

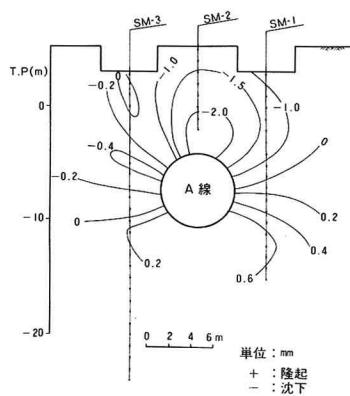


図-3 A線掘削終了時の鉛直変位分布

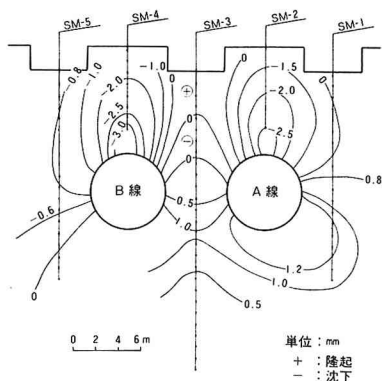


図-4 A線およびB線掘削終了時の鉛直変位分布

この後更に、B線トンネルが掘削された最終状態における鉛直方向変位を図-4に示した。トンネル天端付近の沈下量は、A線で2.5mm、B線で3.0mmになっている。

水平方向変位については、A線とB線の中央に配置した傾斜計測定孔によって、横断面内および縦断面内の変位量を測定した。まず、横断面内の水平方向変位量は図-5の通りである。A線トンネル通過時(図-5-a)においては、A線側に最大4.6mmの変位量を示した。また、B線トンネル通過時(図-5-b)においては、B線側に最大2.8mmの変位量を示した。結局、最終状態(図-5-c)においては、A線側に最大1.8mmの変位量を示している。

次に、縦断面内の水平方向変位量を図-6に示した。A線トンネル通過時(図-6-a)においては、切羽進行方向に最大2.6mmの変位量を示した。また、B線トンネル通過時(図-6-b)においては、切羽進行と反対方向に最大1.6mmの変位量を示した。結局、最終状態(図-6-c)においては、切羽進行方向に最大1.0mmの変位量を示している。

地中変位測点の内の主要な測点の変位量について、トンネルの切羽距離Lとの関係を図-7、8に示した。測点としては、トンネル壁面から3m離れた位置にあるものを選定している。図の縦軸は、最終変位量に対する各段階の変位量の比率を表わしている。A線トンネル掘進時(図-7)においては、鉛直方向変位に対して水平方向変位の出現が遅れ、両者の曲線は横軸の切羽距離にしておよそトンネル直径Dだけ平行移動したような形状を示している。一方、B線トンネル掘進時(図-8)においては、鉛直方向変位と水平方向変位との出現時期に大きな差は見られない。

図-7、8から、トンネル切羽が計測断面に到達した時点における変位量の最終変位量に対する比率(変位比率)を求めると表-1の様になる。

表-1 切羽到達時の変位比率

トンネル	鉛直方向	水平方向
A線	0.45	0.04
B線	0.66	0.55

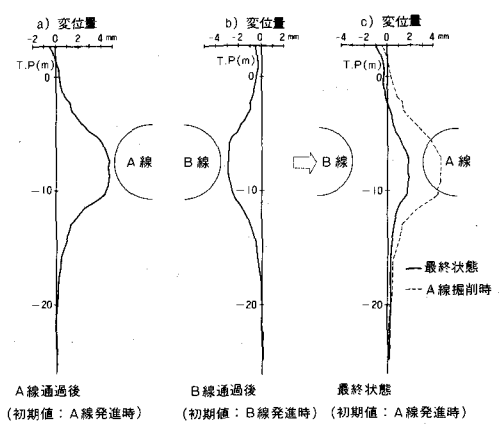


図-5 地中水平変位測定結果(横断面)

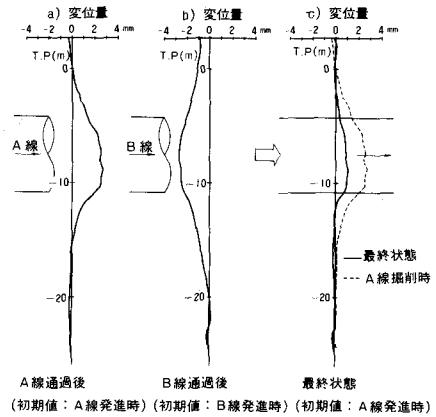


図-6 地中水平変位測定結果(縦断面)

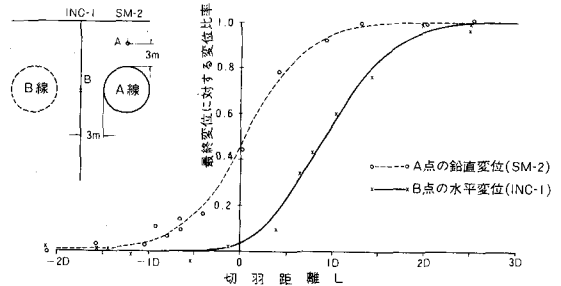


図-7 A線掘進時の変位比率

5 実測値と計算値の対比

2次元FEMモデルによるトンネル掘削時の変形解析を行なって、実測値と対比した。地山の初期応力については、別途3次元FEM解析を行なって、高架橋の荷重を考慮した地中応力を求めた。地山の変形係数としては、室内試験による固結シルトの変形係数 E_{50} を用いた。覆工の剛性を導入する時期については、実測による変位比率（表-1）を考慮した。

FEM計算による鉛直方向変位を図-9（A線トンネル掘削時）および図-10（B線トンネル掘削時）に示した。また、FEM計算によるA線トンネル掘削時の水平方向変位を、傾斜計測定結果と対比して図-11に示した。図-11-Cの剪断歪 γ_{xyi} は、各深度の区間変位量 u_i から次式によって求めた。

$$\gamma_{xyi} = \tan^{-1} \frac{u_i}{d} - \tan^{-1} \frac{u_{i+1}}{d} \quad \dots(1)$$

ここに、 d は測定区間長である。

実測値と計算値とを対比すると、水平方向変位（図-11）よりも鉛直方向変位（図-9、10）の方がよい一致を示している。

6 あとがき

変位測定点を可能な限り密にすると同時に、相隣る測定点を連結させて配置した地中変位測定によって、等方均質と仮定したFEM計算結果との差異も検出された。掘削中のトンネルの安全性を確保するための計測としては、変位測定点の密度についても充分考慮する必要があるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) K. Kovari, Ch. Amstad, J. Koppel: New Developments in the Instrumentation of Underground Openings, Proc. Rapid Excavation and Tunnelling Conf., Atlanta, U.S.A., 1979.

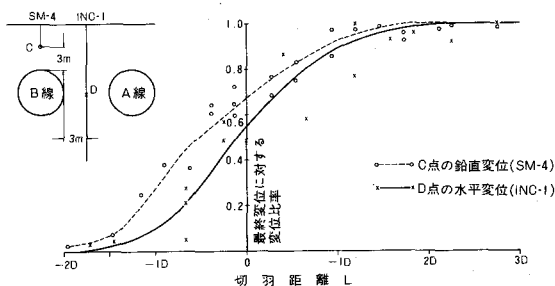


図-8 B線掘進時の変位比率

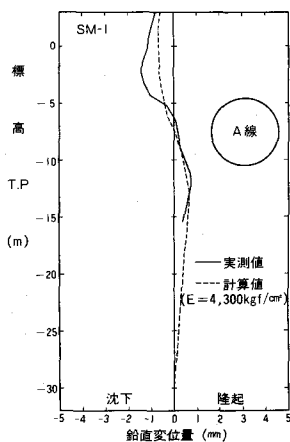


図-9 A線掘削後の鉛直変位量

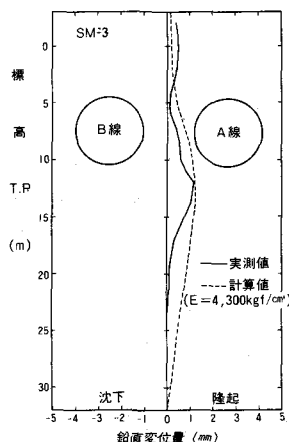


図-10 B線掘削後の鉛直変位量

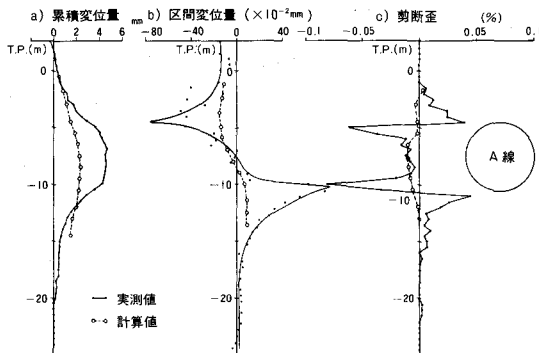


図-11 傾斜計測定によるトンネル近傍の変位とひずみ

(17) On the Displacement Measurements of Surrounding Rocks
During the Excavation of Two Shield Tunnels
Under the Bridge Structures Temporarily Supported

Jun SAWADA, Kazuo TASAKI
Japanese National Railways

Tatsutoshi KONDOH, Hiroshi TSUCHIYA
OYO Corporation

Toshio MORI, Tomoyuki ABE
OYO Corporation

SUMMARY

During the excavation of two subway tunnels under the bridge structures, displacement measurements were carried out by Sliding-Micrometer developed by Kovari for vertical direction and Inclinator for two horizontal directions.

The data of displacements of which measuring points were set 0.5 or 1.0m in each intervals in the borehole have been obtained through the periods from when the tunnels came near the measuring section beforehand, to the far distances forwardly.

As a result, the deformation behavior of the surrounding rocks during excavation are shown in this article.

The authors show that these behaviors will be based on the inhomogeneity of rocks, considering the correlation of actual distribution of displacements to the results of numerical calculation by FEM in which the rock condition is assumed to be isotropic, homogeneous and elastic one.