

株式会社熊谷組 正員 岡田 高
信州大学工学部 正員 長 尚
日本鉄道建設公団 正員 遠藤 健二

1. まえがき 最近国鉄関係のトンネル工事を中心として、NATMの普及は著しく、かなりの施工実績が挙がってきている。この施工法の最大の特徴は、現場での計測管理データを積極的に採取し、これをその後の施工に臨機応変に活用していくところにある。又このようにして得られたデータは、単に当該のトンネルの掘削に利用されるばかりでなく、他のトンネルの掘削に対しても貴重な参考資料として活用できるものである。それを効果的にするためには、これらのデータを科学的に分析して、トンネル技術者に対して有用な判断材料を提供する必要がある。そのためには、多変量解析の手法を適用した解析も今後必要であるように思われる。本文はその一例として、NATMにより掘削された、国鉄篠ノ井線才白坂トンネル（膨張性地山トンネル）の内空変位の収束値に対して、数量化理論第Ⅰ類を適用して解析したところ、興味ある結果が得られたので報告する。

2. 数量化理論第Ⅰ類 数量化理論第Ⅰ類は、本文が対象としているような、トンネルの内空変位量（これを量的な外的基準という）が、土被り・弾性波速度・ボルト本数・支保工種別のような、質的もしくは量的要因の影響によって変化するものとし、これらの要因と外的基準（数量）との相関関係を解析するためのものである。

表-1

サンプル番号 変位量 要因	土被り (m)				弾性波速度 (km/s)			ボルト本数 (本)					支保工 [ピッチ (m)]		
	10 ~ 59	60 ~ 119	120 ~ 139	140 ~	2.2 ~ 2.5	2.6 ~	~ 17	18 ~ 23	24 ~ 29	30 ~ 35	36 ~	H-25 [1.2]	H-125 [1.0]	MU-29 [1.0]	
1	δ_{11}	δ_{12}	δ_{13}	δ_{14}	δ_{21}	δ_{22}	δ_{23}	δ_{31}	δ_{32}	δ_{33}	δ_{34}	δ_{35}	δ_{41}	δ_{42}	δ_{43}
カテゴリー・ウェイト	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}	α_{21}	α_{22}	α_{23}	α_{31}	α_{32}	α_{33}	α_{34}	α_{35}	α_{41}	α_{42}	α_{43}

いま、表-1に示すように、各要因（アイテム）をそれぞれの程度を示す範ちゅう（カテゴリー）に分け、サンプル i の変位量の実測値 y_i と、それぞれのアイテムのどのカテゴリーにそのサンプルは属する（反応する）かということが決まっているとき、解析値 $\hat{y}_i$ は次式で表わされるものとする。 $\hat{y}_i = \sum_k \delta_i(j_k) \alpha_{jk}$ ニニニ、 $\delta_i(j_k) = 1$ （サンプル i がアイテム j 、カテゴリー k に反応しているとき）、 0 （しからざる時）、 α_{jk} ：カテゴリー・ウェイト（サンプルの違いに関係のない、 j, k に固有な重みが存在するものとしたときの、そのウェイト）。つまり各アイテムの反応しているカテゴリーのもつカテゴリー・ウェイトを加えると外的基準（変位量）の解析値になると仮定する。カテゴリー・ウェイト α_{jk} は、重相関係数 ρ を最大にする（ $y_i - \hat{y}_i$ の2乗和を最小にすることに相当）ことにより定める。この α_{jk} が求められると、各カテゴリーの外的基準に対する寄与度、解析値の有効性などが得られ、さらに他の同じような問題にこの結果を適用して、外的基準の予測値を求めることができる。

3. 第1白坂トンネルの解析結果および考察 図-1に示す、天端A点の垂直変位と、上段のBC間の相対水平変位の収束値について、54個の測点のデータと、表-1に示す要因、範ちゅうを用いて解析した結果を図-2~5に示す。図-2、3は、天端垂直変位と上段相対水平変位の実測値と、土被り・解析値A（要因1、2、3、4を使用）・解析

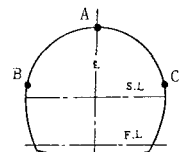


図-1

値B(要因1, 2, 3を使用)・解析値C(要因1, 2を使用)を図示したものである。これらの図には、いずれも要因を多く用いた解析結果ほど実測値に近いといふものの、1, 2の2つの要因を用いただけでもかなり実測値の傾向に近い結果が得られている。図によると、200~300m付近と、550~800m付近の変化の傾向をかなり忠実に反映した結果が得られている。1, 2の2つの要因だけを用いても実測値に近い結果が得られたということは、本トンネルの場合、内空変位の差に結果的に影響を与えたのは、主として土被りと弾性波速度の2つの要因であることを示している。二のこ

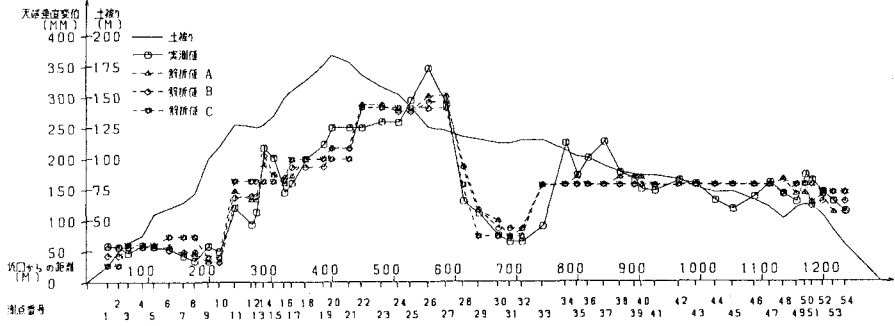


図-2

は図-3, 4の重相関係数および偏相関係数からも知ることがができる。ただしこのことは、ボルトおよび支保工が不要もしくはどんな施工でもよいということを示すものではなく、逆にこれらの施工が比較的適切であったから、これらの要因が結果的に変位量にあまり差を生じさせなかったと解すべきである。以上のことから、これに隣接して計画されている、同じような地質の第2白坂トンネルについては、第1白坂トンネルと同じような技術的判断により、ボルト打および支保工が施工されれば、土被りと弾性波速度のデータのみを用いて、最終内空変位量を予測できるものと期待される。なお本解析には、内空変位に影響を与える大きな要因の1つと云われている、地山強度比を要因として用いなかったのは、解析に用いられるだけのデータがなかったことによるが、本トンネルの場合この要因は土被りと弾性波速度に関連が強く、要因として用いなくて良いものと考えられる。本文ではNATM施工トンネルの一例だけを取り上げたので一般的な結論は下せないが、少なくとも、このような解析により、内空変位を予測できる可能性があり、又従来定量的判断に必ずしも用いられていない弾性波速度が、有効に利用できるものであるということとはべきよう。

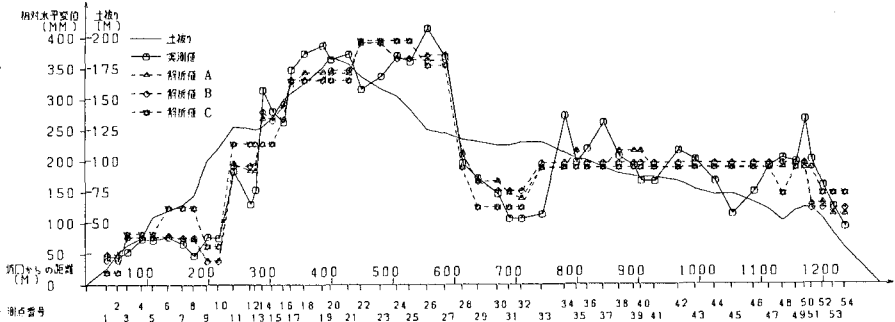


図-3

第2白坂トンネルについては、第1白坂トンネルと同じような技術的判断により、ボルト打および支保工が施工されれば、土被りと弾性波速度のデータのみを用いて、最終内空変位量を予測できるものと期待される。なお本解析には、内空変位に影響を与える大きな要因の1つと云われている、地山強度比を要因として用いなかったのは、解析に用いられるだけのデータがなかったことによるが、本トンネルの場合この要因は土被りと弾性波速度に関連が強く、要因として用いなくて良いものと考えられる。本文ではNATM施工トンネルの一例だけを取り上げたので一般的な結論は下せないが、少なくとも、このような解析により、内空変位を予測できる可能性があり、又従来定量的判断に必ずしも用いられていない弾性波速度が、有効に利用できるものであるということとはべきよう。

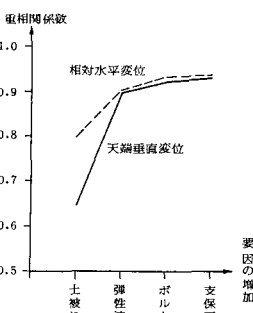


図-4

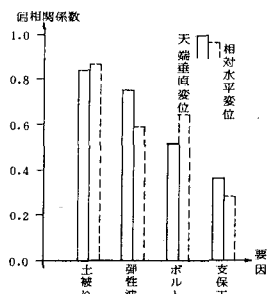


図-5

参考文献: 1) 河口至簡: 多変量解析入門工, 森北出版, 1979.