

1、はしがき

本報告は、トンネル建設工事において発生した労働災害を事例にとりあげ、施工条件と災害との関係を明らかにする目的で、多変量解析法を用いて分析した結果を要約したものである。分析の対象としたトンネルはいささか古いきらいはあるが、国鉄山陽新幹線で建設されたトンネルのうち、広島、山口県内で建設されたトンネル(85本、総延長158.78km)である。ただし、長大トンネルでは複数に分割して施工される場合や、或いは短小トンネルではひとつの事業者が幾つかのトンネルをまとめて施工する場合があるので、分析対象の個体には、事業者がひとつの事業所を形成した、いわゆる工区と呼称されるものを単位とし、全部の工区数は75であった。

2、基本データの作成と相関

工区ごとの施工条件に関連した資料には国鉄がとりまとめた工事記録を利用し、災害資料には事業所より所轄労働基準監督署へ報告された労働者死傷病報告によった。工事記録よりデータとして、延長、工期、工費、掘削時間、平均岩種、支保工建込量、コンクリート打設量、下盤コンクリート量、電力容量など11個の連続変量を変数としてとりあげ、他に掘削工法、運搬システム、坑口形式などのカテゴリー変数も加えた。災害資料は、工区ごとに発生数と死亡者数とに分けて集計した。これらの実績値による変量間の相関を求めると(表略)、多くの変量間に正の相関がみられ、工事規模が大きくなるに従い、災害数、その他の工事変量も増えることが示された。さて、実績値のままでは異なった工区間の相互比較が出来ない。そこでここでは、各工区の延長で各変量を除してデータを基準化した。分析に先だち、基準化された変量を1変量ごとにskewness, kurtosisによって異常値のチェックを行ったところ、6つの工区で外れ値が検出されたので、データの均質化のためにこれらの工区を分析の対象から除外した。表-1は残り69工区での、基準化データ間の相関係を調べた結果である。同表より災害に関して、まず、災害発生率がどの変数ともほぼ無相関に近いこと、および死亡災害発生率が災害発生率と平均岩種以外の

工事変量とは総て負の相関にあることがあげられる。同様に、災害発生率を掘削工法等のカテゴリー変数で層別化して調べても、同じく無相関な結果が得られた。平均岩種、死亡率と工事変量とが負の相関である理由は、岩種(地山指標)が低い程、掘削地山が悪く難工事である場合が多いので、工事変量が増大したためと思われる、また難工事のために慎重に工事を進める結果(工事進行速度が遅くなる)、死亡災害と言う重大災害の発生が少なくなったためと思われる。ただし非死亡災害については、上記のことは言えない。

	災害率	死亡率	単位工期	単 価	掘削時間	平均岩種
災害率	1.0000	0.0466	0.0181	0.2162	-0.0703	0.0553
死亡率	0.0446	1.0000	-0.4149	-0.2359	-0.3940	0.3726
単位工期	0.0181	-0.4149	1.0000	0.1203	0.4250	-0.5174
単 価	0.2162	-0.2359	0.1203	1.0000	0.5235	-0.5240
掘削時間	-0.0703	-0.3940	0.4250	0.5235	1.0000	-0.9445
平均岩種	0.0553	0.3726	-0.5174	-0.5240	-0.9445	1.0000
支保工数	0.1625	-0.2768	0.4186	0.6115	0.6244	-0.6903
建込量	0.1190	-0.3754	0.5008	0.5623	0.6937	-0.7697
覆工厚	0.0051	-0.3347	0.4784	0.6093	0.7737	-0.8553
下盤量	0.0199	-0.3873	0.4280	0.6088	0.7340	-0.8072
下盤率	0.0290	-0.3894	0.4982	0.5811	0.7725	-0.8571
電 力	0.2298	-0.2933	0.4489	0.3152	0.3554	-0.3296
	支保工数	建込量	覆工厚	下盤量	下盤率	電 力
災害率	0.1625	0.1190	0.0051	0.0199	0.0290	0.2298
死亡率	-0.2768	-0.3754	-0.3347	-0.3873	-0.3894	-0.2933
単位工期	0.4186	0.5008	0.4784	0.4280	0.4982	0.4489
単 価	0.6115	0.5623	0.6093	0.6088	0.5811	0.3152
掘削時間	0.6244	0.6937	0.7737	0.7340	0.7725	0.3554
平均岩種	-0.6903	-0.7697	-0.8553	-0.8072	-0.8571	-0.3296
支保工数	1.0000	0.8944	0.7497	0.7205	0.7759	0.3354
建込量	0.8944	1.0000	0.8223	0.8032	0.8638	0.3274
覆工厚	0.7497	0.8223	1.0000	0.8332	0.9031	0.2717
下盤量	0.7205	0.8032	0.8332	1.0000	0.9326	0.3315
下盤率	0.7759	0.8638	0.9031	0.9326	1.0000	0.3258
電 力	0.3354	0.3274	0.2717	0.3315	0.3258	1.0000

表-1 基準化された変量の相関マトリックス

3. 多変量解析法による分析

3.1 主成分分析による情報集約

連続変量として与えられた12個の変数をより低い次元による解釈を試みるために、主成分分析を行った。分析の結果、固有値が1.0以上の成分は3つ有り、その3主成分によって全変動の78%が説明され、特に第1主成分で全体の58%の説明力があった。第1主成分及び第2主成分の因子負荷量を求めた結果を図-1に示した。横軸で示される第1主成分は、正方向で多数の工事関連の変数が強く関係し、負の方向で平均岩種と死亡災害発生率とが関連している。一般に、トンネルの掘削地山が悪ければ、単位当たりの支保工建込数、覆工量等の工事変量が増え、かつ単位長さ当りに要する施工月数(単位施工月数)も増加し、地質が良ければこの逆となる。従って、第1軸はトンネルの岩質性状とそれに対応した工事変量を示し、全体として工事内容、規模を表わす軸と考えられる。岩盤性状が悪くなるに従い難工事が多くなり、慎重に工事が進められることから死亡災害発生率が小さくなると前に述べたが、主成分分析での第1軸にこのことが示されている。一方、縦軸である第2主成分は災害発生率が高い相関を示し、他には単位消費電力を除くと殆んど無相関である。従って、第2主成分は死亡も含めた災害に関する軸と解することが出来る。また、工区ごとに1、2主成分の成分得点を求め、この得点を二次元直交座標にプロットすれば、各工区を工事規模と災害発生率によって分類して表示することが出来る。(図略)

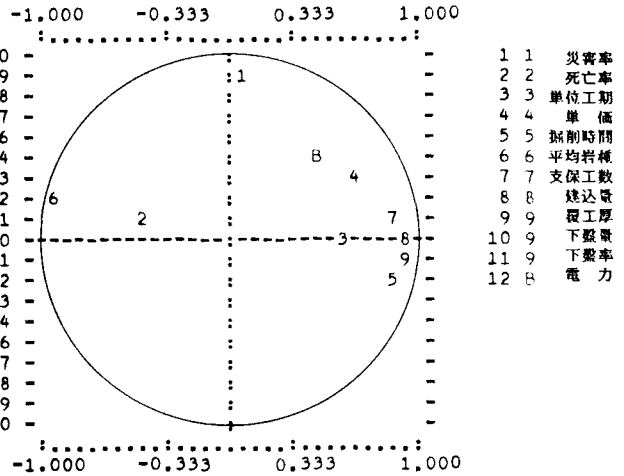


図-1 1,2主成分の因子負荷量

10.733	::	:
9.745	:	:
8.758	:	:
7.771	::	:
6.784	:::	:
5.796	:::::	:
4.809	:::::	:
3.822	::	:::
2.834	:::	:::
1.847	:::::-----	:
0.860	:::::	:
-0.127	:::::	:::::*
-1.115	:::	:::::
-2.102	:::::	:::::*****
-3.089	:::	:::::*****
-4.076	:	:::
-5.064	:	:::

CATEGORY	1 死亡無し	2 死亡有り
AVERAGE	1.990	-1.990

図-2 2群判別分析

3.2 判別関数による死亡災害の分類

表-1に示した通り、災害発生率は他の変数とは相関が高くないので、災害発生率を目的変数、工事変量を説明変数とする重回帰分析を行ってみたが思わしい結果が得られなかった。そこで、ここでは判別関数によって工事中に死亡災害が発生した工区と発生しなかった工区とに2群に分類することを試みた。判別関数は出来るだけ少数の変数によって構成され、かつ出来るだけ判別効率が高く誤判別の確率が少ないものが望ましい。判別効率の高い順に変数を逐次的に選択し、誤判別率を調べながら判別関数を求めた結果、一応実用的と考えられる判別式として、 $Z = -3.631 + 0.175x_6 + 0.016x_{12}$

ただし x_6 :単位月数(月/km)、 x_{12} :平均下盤打設量、を得た。判別の基準には、 $Z < 0 \cdots$ 死亡有り と判別、 $Z > 0 \cdots$ 死亡無しと判別 を用い、同式による誤判別の確率は約19%であり、判別式の良さを評価するためにJack-knifeによって誤判別の確率を求めたところ約22%であった。判別式より、単位工期が判別に大きく影響し、施工速度が早い程(単位施工月期が短くなる)、死亡有りと判断される確率が高くなり、逆に遅くなると死亡無しの確率が高くなる事が分かる。同様に、下盤打設量も多い程死亡災害無しと判断され易くなるが、判別に与える影響力は単位工期程大きくはない。いずれにせよ、これらの変数が多い程死亡災害が少なくなると言う結果は、前述の基本統計、或いは主成分分析での解釈結果と一致しており、本判別式がこれまでの分析結果とも整合性を有した式であることを示している。図-2には上記判別式による判別値の分布を示したもので、実際に死亡災害の有った工区の殆どが死亡有り と判別されていることが明瞭にうかがえる。