

清水建設(株)土木本部技術部	正員	水谷文俊
鉄道公団富山新幹線建設準備事務所	正員	福島昭男
同	正員	北川隆
清水建設(株)土木本部技術部	正員	高崎英邦

1. はじめに

新第3紀の膨張性泥岩は、トンネル掘削において最も困難な地山の一つであり、トンネル施工を行なう場合事前に膨張性の有無を判定することが重要な課題となっている。

従来より、地山の膨張性の評価に関して数多くの調査・研究がなされてきているが、膨張メカニズムの複雑さから膨張性に影響する要因を定量的に評価しえないというのが現状である。また、膨張性を評価する複数の指標を選定し、それぞれ判定基準を設定してあっても、それら指標を総合して全体評価しえないという問題があった。

本報告では、以上に述べたような観点から、地山の膨張性の有無を事前に判定する方法を実証的データをもとに提示した。すなわち、①既往の調査・研究をもとに膨張性に影響すると考えられる要因を分析し、どのような要因が膨張性に影響するかを明らかにする。②次に、これらの要因をもとに地山の膨張性の有無を総合的に評価する判定基準を設定する。③設定された評価基準によって判定した場合、実際とどれくらいの整合性があるか評価基準の精度の検討を行なう。なお、ここでは、定性的な要因に対しても定量的な取り扱いができるようにするため、数理統計学手法である「林の数量化理論第Ⅱ類」を適用した。また、分析対象地点は能生調査坑、頸城トンネル、鍋立山トンネル、赤倉トンネル、飯山調査坑、の5つのトンネルの計40の断面について分析を行なった。

2. 膨張性要因の分析

2.1 分析方法

ここでは、まず既往の研究結果を文献及び施工事例をもとに整理し、膨張性の有無に影響すると考えられる要因がどのようなものか、また、膨張性の有無を評価する指標としてはどの物性値が有効であると考えられているかを明らかにし、要因の抽出を行なう。次に、これら膨張性の有無を評価する指標のうち、どのような指標が地山の膨張性に大きく影響を及ぼす要因であるかを数量化理論第Ⅱ類を用いた分析を行ない、膨張性に影響する要因の定量的把握を行なうという方法をとった。

本分析では、数量化理論第Ⅱ類を適用するにあたり、既往の調査・研究より、膨張性に影響する要因をあらかじめ9つ絞り込んだ。そして、これら9つの説明要因に対して外的基準を膨張性の有り、無しとして数量化理論第Ⅱ類を適用した。表-1に数量化理論第Ⅱ類で用いた説明要因(アイテム)とカテゴリー分類、外的基準の一覧表を示す。なお、データに欠損値がある場合は、あらかじめ説明要因の相関関係を分析し回帰式によって補完を行なった。

以上に述べたような方法で分析を行なうと、膨張性の有り、無しを判別する有効な説明要因は偏相関係数やレンジが大きな値として示されることになる。また、このような説明要因による、膨張性の有無の判別精度は相関比の大ききで示されることになる。したがって、膨張性に影響する要因は偏相関係数やレンジの大ききで判断すればよいと言える。

表-1. 外的基準・アイテム・カテゴリー		
外的基準	アイテム	カテゴリー
膨張性が 無い	単位体積 重量 8cm ³	2.00 ~ 2.20
	一軸圧縮 強度 100cm ²	82.0 ~ 82.0
	変形係数 μ/m	20.0 ~ 20.0
	地山強度比	4.5 ~ 4.5
	自然含水比	16.0 ~ 16.0
膨張性が 有る	塑性指数	70.0 ~ 120.0
	浸水崩壊度	A, B, C
	2 μ 以下粒子 含有率 %	20.0 ~ 35.0
	塩基置換 容量 meq/100g	25.0 ~ 38.0
		38.0 ~

2. 2 分析結果

次に、数量化理論第Ⅱ類を用いて行なった分析結果について述べる。表-2に9つの説明要因に対して行なった分析結果を示す。表-2より相関比 η は0.8646と高く、精度よい判別がなされている。また、地山の膨張性の有無を区別する要因として大きく影響しているのは、単位体積重量、一軸圧縮強度、浸水崩壊度等が挙げられそれらのレンジはそれぞれ1.4850, 0.8987, 1.7408という値である。これらの結果をふまえ、要因の絞り込みを行なった。そして最終的に表-3に表わすような結果を得た。判別精度としての相関比 η は0.8150と9つの説明要因による分析のときよりは低いものの、依然として高い値を示している。また、地山の膨張性に影響する要因としては単位体積重量が最も影響し、続いて地山強度比、浸水崩壊度が高いレンジ、偏相関係数を示している。次に、判別得点をみると、膨張性があるグループは判別得点がマイナスで高い値を示し、膨張性の無しのグループはプラスで高い値を示している。判別得点とカテゴリスコアの関係から、単位体積重量、一軸圧縮強度、地山強度比が小さいほど、浸水崩壊度が大きいほど膨張性が大きいと言える。

3. 地山の膨張性有無の事前判定方法

数量化理論第Ⅱ類では、外的基準として分類したグループを最もよく判別するように各アイテムのカテゴリに数量を与えるものである。したがって、膨張性の有無を判定するには外的基準として分類したグループ間を分ける区分点を設定し、その区分点によって判別すればよい。いま、本分析で得られた最終結果の判別得点の分布を図-1に示す。数量化Ⅱ類モデルでは、2つのグループを判別する区分点 x_c は次式のように表わされる。

$$x_c = \frac{\mu_A \sigma_B + \mu_B \sigma_A}{\sigma_A + \sigma_B} \quad (\mu_A > \mu_B)$$

ここで、 μ_A : 膨張性無しのグループの判別得点の平均値

σ_A : 膨張性無しのグループの判別得点の分散

μ_B : 膨張性有りのグループの判別得点の平均値

σ_B : 膨張性有りのグループの判別得点の分散

いま、解析結果より、膨張性の有無を判別する区分点は上式より、 $x_c = 0.3059$ となる。したがって、膨張性の有無はこの値の大小で判別すればよい。いま、上述した方法で膨張性の有無を判定した結果を表-4に示す。この結果から、全体の判別精度は91%とかなり高い精度を示していると言える。

4. おわりに

本稿では、地山の膨張性に影響する要因と膨張性の有無の判定を数量化理論第Ⅱ類を用いて行なった。その結果、比較的よい結果が得られたが、まだ問題点も残されている。その問題点等は講演時に発表することにする。

アイテム	カテゴリ	カテゴリスコア	レンジ	偏相関係数	
単位体積重量 γ_{cm^3}	1	200	-0.4788	1.4850	0.5357
	2	200~220	-0.5764		
	3	220~	-0.9086		
一軸圧縮強度 γ/cm^2	1	~820	-0.3595	0.8987	0.4189
	2	820~	-0.5392		
変形係数 $1/cm^2$	1	200	-0.0127	0.0848	0.0536
	2	200~	0.0721		
地山強度比	1	~4.5	-0.1923	0.6411	0.4129
	2	4.5~	-0.4488		
	3	~16.0	-0.3676		
自然含水比 $\%$	1	~700	-0.3008	0.6684	0.2621
	2	700~	0.3008		
塑性指数	1	200	-0.2222	0.4687	0.3695
	2	200~1200	0.2465		
浸水崩壊度	1	D	-0.1100	1.7408	0.5553
	2	A, B, C	-1.5667		
2m以下断面 含有率 $\%$	1	200	-0.3275	0.5787	0.3680
	2	200~350	-0.2509		
	3	350~	-0.0194		
加害箇所数 $m^2/100m^2$	1	~25.0	-0.0421	0.0756	0.0462
	2	25.0~38.0	0.0036		
	3	38.0~	0.0335		

アイテム	カテゴリ	カテゴリスコア	レンジ	偏相関係数	
単位体積重量 γ_{cm^3}	1	200	-0.2967	1.2519	0.6335
	2	200~220	-0.5127		
	3	220~	-0.7393		
一軸圧縮強度 γ/cm^2	1	~820	-0.1741	0.4352	0.2688
	2	820~	-0.2611		
地山強度比	1	~4.5	-0.2143	0.7143	0.4474
	2	4.5~	-0.5000		
浸水崩壊度	1	D	-0.0951	0.9515	0.4380
	2	A, B, C	-0.8563		

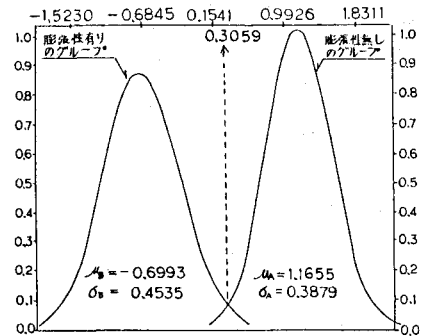


図-1. 判別得点の分布図

表-4 判別得点と判別精度

判別 結果	膨張性 有りの グループ	判別 得点	判別 精度	膨張性 無しの グループ	判別 得点	判別 精度
1	能	1.9216	1	能	2	-0.7802
2	1	1.4053	1	能	2	-0.7802
3	生	0.6909	1	能	2	-0.7802
4	掘	1.4053	1	能	2	-0.7802
5	変	0.6909	1	能	2	-0.9962
6	変	0.6909	1	能	2	-0.9962
7	変	0.6909	1	能	2	-0.9962
8	変	0.8856	1	能	2	-0.9962
9	変	0.6696	1	能	2	-0.9962
10	変	-0.0447	1	能	2	-0.9962
11	能	-0.9962	2	能	2	0.1533
12	能	-0.9962	2	能	2	-0.5610
13	能	-0.9962	2	能	1	1.4053
14	能	-0.9962	2	能	1	1.4053
15	能	-0.7802	2	能	1	1.4053
16	能	-0.7802	2	能	1	1.4053
17	能	-0.9962	2	能	1	1.4053
18	能	-0.7802	2	能	1	1.4053
19	能	-0.9962	2	能	2	-0.5610
20	2	0.2568	2	能	2	0.6909
トンネル地点						
能と生地点		100	全 (6)			
能と掘地点		67	1: 膨張性無し			
能と変地点		100	2: 膨張性有り			
生と掘地点		100				
生と変地点		100				
掘と変地点		88				

91