

(46) 新第3紀泥岩トンネルの膨張性判定方法について

日本鉄道建設公団

福島 昭男

生駒 末年馬

日本国有鉄道

北川 隆

清水建設株式会社

高崎 英邦

○水谷 文俊

# 1. はじめに

新第3紀泥岩中にてトンネル施工を行なう場合、往々にしていわゆる膨張性を示すことが知られており、計画時にこの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おり、特に青函トンネルや鍋立山トンネルにおいて研究された例および仲野による研究などは、多くの成果をもたらしてきた。

本論文では、これらの評価手法を整理し、下記に示すトンネル施工例にて得られたデータを適用してその膨張性予測の適中率を検討してみた。次いで、数理統計手法である「林の数量化理論第Ⅱ類」を適用して、事前に地山の膨張性の有無を評価する方法を新たに提案した。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思われる要因を整理し、どのような要因が膨張性に影響してい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)そして、設定された評価基準によって膨張性の有無を判定した場合、実際とどれくらいの適合性があるか評価基準の精度の検討を行なう。

ここで用いたデータは、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の断面である。

# 2. 従来の膨張性の評価に関する調査・分析

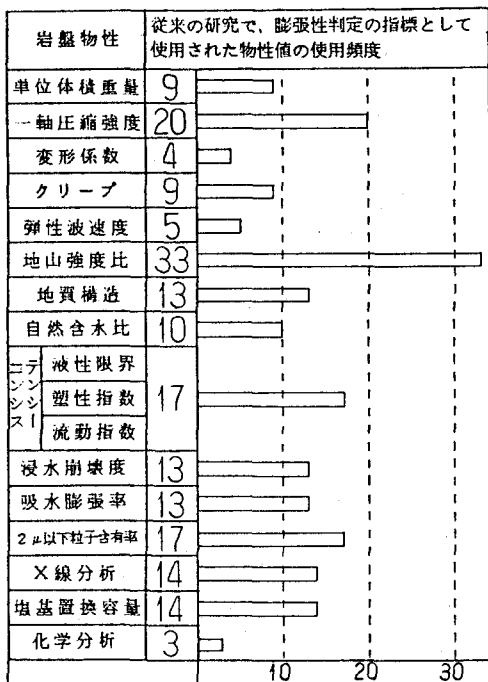
## 2. 1 従来の評価方法の整理

まず、既往の研究成果や施工事例をもとに、膨張性の有無に影響すると思われる要因がどのようなものかを整理し、また、膨張性の有無を評価する指標としてはどのような物性値が有効であると考えられているかを明らかにした。表一1によく用いられている指標の一覧を示す。この表より、地山強度比が従来よりもっとも多く用いられており、続いて一軸圧縮強度、2 $\mu$ 以下粒子含有率などが多く用いられているのがわかる。

次に、地山の膨張性の有無を判定する方法は従来どのように行なわれてきたか、すなわちこれらの膨張性の有無の評価指標、評価基準を整理した。

表一2に主な評価方法の一覧を示す。まず、赤倉トンネル<sup>(1)</sup>、鍋立山トンネル<sup>(2)</sup>、青函トンネル<sup>(1)</sup>で研究された例では表一1に示した地山強度比を除く複数の物性値を指標として用いており、それらの指標に対して評価基準を設定し、その基準値を超える場合は膨張性の可能性が高いとしている。しかし、それらの評価項目間で異なった評価が得られた場合については明確に膨張性の有無を判定する方法が示されていない。また仲野

表一1 物性値の使用頻度



(3)の方法は、地山強度比という単一の評価項目を取りあげ、その項目をいくつかの基準に分類し、膨張性の程度を評価している。一方、新折渡トンネルの方法は、膨張性の程度は地山の温度と関係しているとし、温度をいくつかの基準に分類し評価している。

## 2. 2 従来の方法による膨張性の有無の評価

ここでは、これら従来の方法によって地山の膨張性の有無を評価した場合、どれくらいの精度でもって評価が可能であるかを検討した。分析対象トンネルは、前述の5トンネル40断面であり、適用した方法は青函トンネル、鍋立山トンネルで研究された例および仲野の方法の3つである。

図-1に各トンネルの物性値と各評価基準の関係を示す。この図から示されるように、各物性値によって基準を越えているものとそうでないものが存在し、全体として膨張性の有無を判定しえないのがわかる。そこで、青函トンネル、鍋立山トンネルの方法に関しては、各物性値ごとの基準による判定を行ない、全体として適中率がどの程度あるかを評価した。一方、仲野の方法は、評価項目が一つであるため、この基準による判定と実際の膨張性の有無を比較し適中率を求めた。

表-3に従来の3つの方法による適中率を示す。この表から示されるように、青函トンネル及び鍋立山トンネルの方法では、全体としてそれぞれ54.8%、53.4%の適中率を示している。一方、仲野の方法では、全体として84.8%という高い精度で判定できた。しかし、トンネル別にその精度を見ると相対的に適中率が低い例が見受けられる。これらのトンネルは地山強度比で4前後と、膨張性の有無を区別する基準値近くの値を示しており、実際の現象が必ずしも予測と一致していなかったことによると考えられる。

そこで、定性的な評価項目も定量的な取り扱いが可能であること、また複数の評価項目を考慮する場合はこれらを総合した膨張性の有無の判定基準を持っていることを条件に新しい膨張性評価手法を検討した。

表-2 従来の膨張性判定方法

| 方法名     | 評価項目                                                                             | 評価基準                                                                                                                                                 |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 赤倉トンネル  | 岩石中の主要粘土鉱物<br>2μ以下粒子含有率<br>塑性指数<br>塩基置換容量<br>浸水増重量<br>ボーリングコア<br>破砕部が多い          | モンモリロナイト<br>30%以上<br>70以上<br>35meq/100g以上<br>D<br>破砕部が多い                                                                                             |
| 鍋立山トンネル | 岩石中の主要粘土鉱物<br>2μ以下粒子含有率<br>塑性指数<br>塩基置換容量<br>浸水増重量<br>ボーリングコア<br>単位体積重量<br>自然含水比 | モンモリロナイト<br>30%以上<br>70以上<br>35meq/100g以上<br>D<br>破砕部が多い<br>2.05g/cm以下<br>20%以下                                                                      |
| 仲野の方法   | 地山強度比<br>( $\sigma = q_0 / \gamma H$ )                                           | $\sigma \leq 2$ : 膨張性ひじょうに大<br>$\sigma = 2 \sim 4$ : 乾潤の膨張性<br>$\sigma = 4 \sim 6$ : 地圧大<br>$\sigma = 6 \sim 10$ : 地圧がある<br>$\sigma > 10$ : 地圧ほとんどなし |
| 青函トンネル  | 自然含水比(Wa)<br>単位体積重量<br>第1回浸水量/Wa<br>浸水増重量<br>モンモリロナイト含有率                         | 20%以下<br>1.8g/cm以下<br>2.0以下<br>C~D<br>30%以下                                                                                                          |
| 新折渡トンネル | 地山の温度                                                                            | 12~15℃: プログラムで膨張性なし<br>17~18℃: プログラムで多少膨張性も示す地帯が認められる<br>20~22℃: 粘土質泥岩で膨張性が大きく見られる地帯とする<br>23℃以上: 完全に泥岩地帯で膨張性のありで示す                                  |

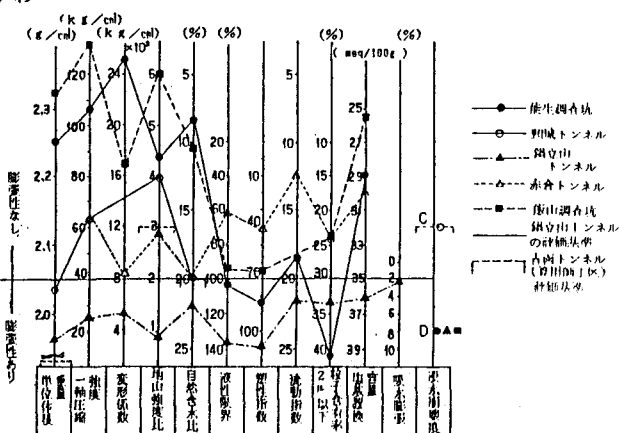


図-1 膨張性の評価と各トンネルの泥岩物性値

表-3 従来の膨張性判定方法による適中率

|         | 青函トンネルの判定基準<br>適中率 (%) | 鍋立山トンネルの判定基準<br>適中率 (%) | 仲野による判定基準<br>適中率 (%) |
|---------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| 能生調査坑   | 74.0                   | 64.9                    | 57.0                 |
| 頸城トンネル  | 33.0                   | 34.4                    | 67.0                 |
| 鍋立山トンネル | 63.7                   | 83.6                    | 100.0                |
| 赤倉トンネル  | 37.5                   | 23.6                    | 100.0                |
| 飯山調査坑   | 65.6                   | 60.6                    | 100.0                |
| 全 体     | 54.8                   | 53.4                    | 84.8                 |

3 数量化理論第Ⅱ類による地山の膨張性の要因分析

3.1 分析方法

ここでは以上の分析結果をふまえ、膨張性に影響する要因の定量的把握を数量化理論第Ⅱ類を用いて行なう。

数量化理論第Ⅱ類を適用するにあたり、表-1をもとに膨張性に影響する要因をあらかじめ9つに絞りこんだ。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、無しとした。表-4に説明要因(アイテム)、カテゴリ分類、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。

上記のような準備のもとに分析を行なうと、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。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。

3.2 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-5に9つの説明要因に対して行なった分析結果を示す。

表-5より相関比は0.8566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、地山強度比、単位体積重量、塑性指数等が挙げられ、それらのレンジはそれぞれ1.9143、0.7431、0.5656という値である。これらの結果をふまえて、要因の絞り込みを行なった。そして最終的に表-6に表わすような結果を得た。判別精度としての相関比は0.8383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地山強度比、単位体積重量が最も影響し、続いて塑性指数が高いレンジ、偏相関係数を示している。次に、図-2の判別得点を見ると、膨張性の有るグループはプラス側に大きい値を示し、膨張性の無しのグループはマイナス側に大きい値を示している。判別得点とカテゴリスコアの関係より、地山強度比、単位体積重量が小さいほど、塑性指数が大きいほど膨張性が大きいと言える。

表-4 外的基準・アイテム・カテゴリ

| 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<br>(g/cm)              | 1 ~ 2.0        |
|        |                               | 2 2.0 ~ 2.2    |
|        |                               | 3 2.2 ~        |
|        | 一軸圧縮強度<br>(kg/cm)             | 1 ~ 80         |
|        |                               | 2 80 ~         |
|        | 変形係数 $\times 10^3$<br>(kg/cm) | 1 ~ 10         |
|        |                               | 2 10 ~ 20      |
|        |                               | 3 20 ~         |
| 膨張性がある | 地山強度比                         | 1 ~ 2.0        |
|        |                               | 2 2.0 ~ 4.0    |
|        |                               | 3 4.0 ~        |
|        | 自然含水比<br>(%)                  | 1 ~ 20.0       |
|        |                               | 2 20.0 ~       |
|        | 塑性指数                          | 1 ~ 70.0       |
|        |                               | 2 70.0 ~ 120.0 |
|        | 浸水崩壊度                         | 1 A, B, C      |
|        |                               | 2 D            |
|        | 2μ以下粒子含有率<br>(%)              | 1 ~ 20.0       |
|        |                               | 2 20.0 ~ 35.0  |
|        |                               | 3 35.0 ~       |
|        | 地山置換容積<br>(meq/100g)          | 1 ~ 25.0       |
|        |                               | 2 25.0 ~ 38.0  |
|        |                               | 3 38.0 ~       |

表-5 解析結果(1)

| 相関比:0.8566                    |                |           |          |        |  |
|-------------------------------|----------------|-----------|----------|--------|--|
| アイテム                          | カテゴリー          | カテゴリスコア   | レンジ      | 偏相関係数  |  |
| 単位体積重量<br>(g/cm)              | 1 ~ 2.0        | -0.195612 | 0.743120 | 0.3336 |  |
|                               | 2 2.0 ~ 2.2    | -0.299435 |          |        |  |
|                               | 3 2.2 ~        | 0.443686  |          |        |  |
| 一軸圧縮強度<br>(kg/cm)             | 1 ~ 80         | 0.106341  | 0.265851 | 0.1377 |  |
|                               | 2 80 ~         | -0.159511 |          |        |  |
| 変形係数 $\times 10^3$<br>(kg/cm) | 1 ~ 10         | -0.026093 | 0.111455 | 0.0820 |  |
|                               | 2 10 ~ 20      | 0.085361  |          |        |  |
|                               | 3 20 ~         | -0.000743 |          |        |  |
| 地山強度比                         | 1 ~ 2.0        | -0.713664 | 1.914250 | 0.5474 |  |
|                               | 2 2.0 ~ 4.0    | 0.461843  |          |        |  |
|                               | 3 4.0 ~        | 1.200586  |          |        |  |
| 自然含水比<br>(%)                  | 1 ~ 20.0       | -0.153878 | 0.473470 | 0.2950 |  |
|                               | 2 20.0 ~       | 0.319592  |          |        |  |
| 塑性指数                          | 1 ~ 70.0       | 0.112720  | 0.565595 | 0.2885 |  |
|                               | 2 70.0 ~ 120.0 | 0.073460  |          |        |  |
|                               | 3 120.0 ~      | -0.452875 |          |        |  |
| 浸水崩壊度                         | 1 A, B, C      | -0.347826 | 0.386473 | 0.1533 |  |
|                               | 2 D            | 0.038647  |          |        |  |
| 2μ以下粒子含有率<br>(%)              | 1 ~ 20.0       | -0.273639 | 0.413614 | 0.2836 |  |
|                               | 2 20.0 ~ 35.0  | -0.050847 |          |        |  |
|                               | 3 35.0 ~       | 0.139565  |          |        |  |
| 地山置換容積<br>(meq/100g)          | 1 ~ 25.0       | -0.059449 | 0.153751 | 0.0953 |  |
|                               | 2 25.0 ~ 38.0  | -0.014259 |          |        |  |
|                               | 3 38.0 ~       | 0.094303  |          |        |  |

表-6 解析結果(2)

| 相関比:0.8383       |                |           |          |        |  |
|------------------|----------------|-----------|----------|--------|--|
| アイテム             | カテゴリー          | カテゴリスコア   | レンジ      | 偏相関係数  |  |
| 単位体積重量<br>(g/cm) | 1 ~ 2.0        | 0.011220  | 0.824719 | 0.4797 |  |
|                  | 2 2.0 ~ 2.2    | 0.383782  |          |        |  |
|                  | 3 2.2 ~        | -0.440937 |          |        |  |
| 地山強度比            | 1 ~ 2.0        | 0.557563  | 1.563096 | 0.6991 |  |
|                  | 2 2.0 ~ 4.0    | -0.276381 |          |        |  |
|                  | 3 4.0 ~        | -1.005533 |          |        |  |
| 塑性指数             | 1 ~ 70.0       | 0.058025  | 0.268061 | 0.2313 |  |
|                  | 2 70.0 ~ 120.0 | -0.141852 |          |        |  |
|                  | 3 120.0 ~      | 0.126209  |          |        |  |

4 数量化理論第Ⅱ類の結果に基づく地山の膨張性の評価

4. 1 膨張性の評価方法

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、膨張性の有無を評価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定すればよい。

数量化理論第Ⅱ類モデルでは、2つのグループを判別する区分点 $X_0$ は次式のように表わされる。

$$X_0 = \frac{\mu_A \sigma_B + \mu_B \sigma_A}{\sigma_A + \sigma_B} \quad (\mu_A > \mu_B)$$

ここで、

$\mu_A$  : 膨張性有りのグループの判別得点の平均値

$\sigma_A$  : 膨張性有りのグループの判別得点の分散

$\mu_B$  : 膨張性無しのグループの判別得点の平均値

$\sigma_B$  : 膨張性無しのグループの判別得点の分散

4. 2 膨張性の評価

いま、本分析で得られた最終結果の判別得点の分布を図-2に示す。この判別得点は、各アイテムのカテゴリスコアの和として求められる合成変量である。

ここで、膨張性の有無を判別する区分点は上式より、 $X_0 = -0.2643$ 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、上述した方法を実際のデータに適用して膨張性の有無を判定した結果を表-7に示す。この結果から、全体の判別精度は、91%とかなり高い適中率を示しているといえる。

5 おわりに

本論文では、地山の膨張性に影響する要因の抽出と膨張性の有無の評価を数量化理論第Ⅱ類を適用して行なう方法を検討した。その結果、比較的良好な結果が得られたが、まだ問題点が残されている。例えば、今回提示した膨張性要因は以前に示した解析結果と一部異なっている。これは欠損値の一部を今回新たに実測値を入手し補完したという点に加えて、40サンプルという少ないデータでは、カテゴリーの分け方によって結果が影響を受けやすいことによると考えられる。今後、さらにデータの蓄積を行ない、より精度の高い結果を得るよう検討を加えていきたいと考える。

【参考文献】

- (1)石井・矢嶋；建設工事の地質診断と処方，PP220～221，土木工学社，1983.4
- (2)大塚・豊島；膨張性地山での苦闘，PP49～58，トンネルと地下，Vol.11，No.1，1980.1
- (3)仲野良紀；粘土性岩における押し出し性，応用地質，Vol.15，No.3，1974.10
- (4)トンネル技術協会；北陸自動車道膨張性地山トンネルの調査設計に関する研究報告書，PP22，1977.2
- (5)水谷・福島・北川・高崎；新第3紀泥岩の膨張性判定方法について，PP423～424，土木学会第39回年次学術講演会講演概要集第3部，1984.3

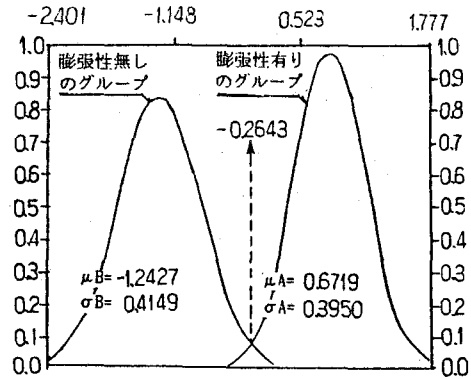


図-2 判別得点の分布図

表-7 判別得点と判別精度

| トンネル番号  | トンネル名   | 判別得点    | 実測 | 予測 | トンネル番号  | トンネル名   | 判別得点               | 実測      | 予測 |
|---------|---------|---------|----|----|---------|---------|--------------------|---------|----|
| 1       | 熊鷹山トンネル | -1.3885 | 1  | 1  | 21      | 赤倉山トンネル | 0.6950             | 2       | 2  |
| 2       |         | -1.5883 | 1  | 1  | 22      |         | 0.6950             | 2       | 2  |
| 3       |         | -0.6593 | 1  | 1  | 23      |         | 0.6950             | 2       | 2  |
| 4       |         | -1.5883 | 1  | 1  | 24      |         | 0.6950             | 2       | 2  |
| 5       |         | -1.5883 | 1  | 1  | 25      |         | 0.7995             | 2       | 2  |
| 6       |         | -0.8592 | 1  | 1  | 26      |         | 0.7995             | 2       | 2  |
| 7       |         | -0.8592 | 1  | 1  | 27      |         | 0.9994             | 2       | 2  |
| 8       | 柳井山トンネル | -0.2071 | 1  | 2  | 28      | 横立山トンネル | 0.9994             | 2       | 2  |
| 9       |         | 0.1654  | 2  | 2  | 29      |         | 0.9994             | 2       | 2  |
| 10      |         | 0.1654  | 2  | 2  | 30      |         | 0.9994             | 2       | 2  |
| 11      |         | 0.7995  | 2  | 2  | 31      |         | 0.9994             | 2       | 2  |
| 12      |         | 0.7995  | 2  | 2  | 32      |         | 0.9994             | 2       | 2  |
| 13      |         | 0.7995  | 2  | 2  | 33      |         | -1.3885            | 1       | 1  |
| 14      |         | 0.9994  | 2  | 2  | 34      |         | 原山トンネル             | -1.5883 | 1  |
| 15      | 0.4269  | 2       | 2  | 35 | -1.5883 | 1       |                    | 1       |    |
| 16      | 0.4269  | 2       | 2  | 36 | -1.3885 | 1       |                    | 1       |    |
| 17      | 1.0676  | 2       | 2  | 37 | -1.3885 | 1       |                    | 1       |    |
| 18      | 0.6950  | 2       | 2  | 38 | -1.3885 | 1       |                    | 1       |    |
| 19      | 1.0676  | 2       | 2  | 39 | 0.1654  | 2       |                    | 2       |    |
| 20      | 0.1747  | 2       | 2  | 40 | -0.6593 | 2       |                    | 1       |    |
| トンネル名   |         | 適中率(%)  |    |    | トンネル名   |         | 全体(%)              |         |    |
| 熊鷹山トンネル |         | 100     |    |    | 9.1     |         | 1:膨張性無し<br>2:膨張性有り |         |    |
| 柳井山トンネル |         | 67      |    |    |         |         |                    |         |    |
| 横立山トンネル |         | 100     |    |    |         |         |                    |         |    |
| 赤倉山トンネル |         | 100     |    |    |         |         |                    |         |    |
| 鶴立山トンネル |         | 88      |    |    |         |         |                    |         |    |

(46) On Evaluation Method Of Swelling Phenomenon

In Neogene Mud-stone Area In Case Of Tunnelling

Akio FUKUSHIMA , Minema IKOMA

Japan Railway Construction Public Corporation

Takashi KITAGAWA

Japan National Railways

Hidekuni TAKASAKI , Fumitoshi MIZUTANI

Shimizu Construction Co.,Ltd.

This paper refers the evaluation method of swelling phenomenon in Neogene mud-stone area in case of tunnelling.

First of all , we apply the conventional methods , which were proposed before , to the typical 5 tunnels data and evaluate the results , prediction accuracy of swelling phenomenon.

Then , for finding out the better way to predict swelling phenomenon, we analyze factors which are related to it using the Quantification Theory II by Hayashi.

With the result of analysis , the competence factor (uni-axial strength/ unit weight  $\times$  overburden) , the unit weight and the plasticity index are picked up as the principle factors.

And we set up the discriminant criteria based upon the discriminant score of 3 factors. So we get the 91% prediction accuracy of swelling phenomenon.