

アンケートによる技術者の支保剛性に対する評価について

Questionnaire results on the stiffness of tunnel supports

赤木 渉¹⁾・西 琢郎²⁾・進士 正人³⁾・佐野 理⁴⁾・中川 浩二⁵⁾

Wataru AKAGI, Takuro NISHI, Masato SHINJI, Aya SANO, Koji NAKAGAWA

This paper proposes the results of questionnaires about the stiffness of tunnel supports. We sent two questionnaires to 209 engineers who were employed at the Japan Highway Public Corporation, consulting, and construction companies. The first was about ranking of already reported methods which estimate the stiffness of supports by numerical analyses or experiential methods, and the second was on the value which the answers regarded as valid. The results was interpreted as follows: the engineers thought that the difference of the stiffness between support patterns was not equable, but the effect of supports was depended only on the quantity of the material regardless of rock type around the tunnel. It was near for the experientially deducing value that the engineer regarded as the most valid value for the stiffness of tunnel supports.

Key Words: NATM, tunnel supports, questionnaire, statistical analysis,

1. はじめに

NATMによるトンネル施工において、掘削時に得られる切羽観察結果を数値化し、定量的な地山評価を試みる検討が近年幾つかなされている^{例えぱり}。このような検討は、地山状態を客観視し対応する支保工の選択に一定の判断基準を与え得るものとして重要である。しかし、切羽観察結果を数値化しようとする際、観察が実施された切羽において採用された支保パターンも何らかの形で数値化すると、両者の対応がより明確に把握されやすいと考えられる。

支保パターンを数値化するにあたっては、その指標として、支保パターンが持つ地山への支保剛性（あるいは支保耐力）に従って数値を与えてやれば、その支保に期待する効果がわかりやすい。しかし、支保パターン毎の支保剛性を、具体的にどのように算定すればよいのかについては、従来いくつかの研究例はあるものの明確な考え方は示されていない。そこで本研究では、日本道路公団の二車線道路トンネルにおける標準支保パターンを対象に、各支保パターンに対する妥当な支保剛性値を見いだすことを目的に検討を行った。

ここでは、トンネル技術者に対して複数の算定手法に基づく支保剛性値を提示したとき、各手法における支保パターン間の剛性の違いに対して技術者はどのような印象を持つか、という点に着目した。これは硬質岩から軟質岩にわたる全ての岩種を対象とした支保剛性を明確に算定できないという現状を踏まえ、常に施工性への合理的判断を迫られるトンネル技術者の主観に着目することも、1つの判断材料になり得ると考えたためである。本研究では、日本道路公団(以下JH)を初めとするトンネル技術者に対して、既存の支保剛性算定手法に基づく剛性値を幾つか提示し、それらに対して妥当と思う手法の順位付け、および回答者自身が妥当と思う支保パターン間の剛性の格差についてアンケート調査を実施した。そして、回答結果をトンネルの地山岩種、回答者の業務形態、経験年数に分類して統計処理を行った。以下にそのデータ内容等と結果への考察を示す。

1) 正会員 日本道路公団試験研究所

2) 正会員 理博 清水建設(株)和泉研究室

3) 正会員 学博 応用地質(株)技術本部

4) 正会員 工修 応用地質(株)長野支店

5) 正会員 工博 山口大学工学部社会建設工学科

2. データの内容および分析結果

(1) データの内容

今回調査の対象とした技術者は、J H、調査設計コンサルタント、トンネル施工業者に勤務する技術者 209 名である。それぞれの内訳を表-1に示す。また今回、既存の支保剛性算定手法として比較対象としたのは、以下に示す5つの手法である。

表-1 技術者の職種の内訳

J H	調査設計コンサル	施工業者
100	50	59

<手法1>

北陸自動車道における NATM 計測管理検討委員会²⁾において提案された手法である（以下、北陸方式と呼ぶ）。支保工部材の耐荷能力を単位数量当たりで設定し、各支保パターンに応じた数量（吹付けコンクリートは吹付け厚・吹付け周長、ロックボルトは本数・長さ、鋼製支保工はサイズ）で足し合わせることで各パターンの支保耐荷能力を求めるものである。ここでは、支保耐荷能力を支保剛性と見なした。

<手法2>

NATMの導入期に岡³⁾により提案された支保耐力算定法に基づくものである（以下、岡方式と呼ぶ）。この方法では、円形トンネルを仮定し、トンネル掘削により発生する土圧を楔形地山⁴⁾の押し出し圧力によるものと考え、その押し出し圧を支える際の支保工への荷重を支保耐力とする。本研究では、支保耐力を支保剛性と見なした。

<手法3>

有限要素法による掘削解析から、支保部材が限界状態に達する地山の初期応力を求めた手法⁴⁾を応用したものである（以下、FEM方式と呼ぶ）。すなわち、重力解析により地山内の応力状態を再現した上で掘削応力解析を行い、覆工にかかる曲げモーメント・軸力を求める。これらを単位掘進長・単位土被り（10 m）あたりに換算し、覆工の断面剛性を表現した M-N 曲線と比較して支保工が限界状態に達する際の初期応力（限界土被り高）を求めるものである。本研究では、支保パターン毎の初期応力の比を支保剛性の比と見なした。

<手法4>

都市部における NATM 施工事例を基に、各支保パターンでの支保効果を評価点として現しているものである⁵⁾（以下、都市 NATM 方式と呼ぶ）。ここでは、吹付けコンクリートはその吹付け厚により4段階の評価点、ロックボルトは本数により3段階、鋼製支保工はその有無により2段階の評価点を与え、それらを合計することにより各支保パターンの総合評価点を決定する。本研究では、各パターン間の総合評価点の比を支保剛性の比と見なした。

<手法5>

上記各手法との比較のため、支保パターン間の剛性の差は均等としたものである（以下、等間隔方式と呼ぶ）。以上の各手法による支保剛性あるいはその比は、それぞれ考え方・単位等が異なるため同列には比較できない。そこで、各手法を J H で現在採用している標準支保パターン⁶⁾に当てはめて支保剛性を計算し、それぞれの B-a パターンにおける剛性を 1.0 とし、以下各パターンの剛性比率を求めて比較することにした。各手法による支保剛性の比率を表-2及び図-1に示す。これら図表に示されるように、支保工の限界状態を仮定した FEM 方式は最も支保剛性比率のばらつきが大きく、地山の許容応力状態における釣り合いを基に支保剛性を算定する岡方式ではばらつきは小

表-2 各手法による支保剛性比率の比較 (1)

	B-a	CI-a	CII-a	CII-b	DI-a	DII-a
北陸方式	1.0	1.99	2.06	2.57	3.84	3.92
岡方式	1.0	1.31	1.34	1.53	1.99	2.28
FEM 方式	1.0	1.98	2.51	5.21	6.14	6.33
都市 NATM 方式	1.0	2.0	2.0	4.0	4.5	4.5
等間隔方式	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0

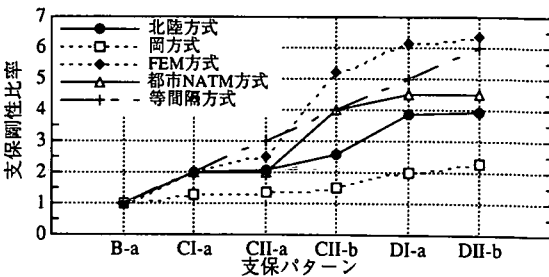


図-1 各手法による支保剛性比率の比較 (2)

さい。一方、北陸・都市 NATM 方式は経験的な算定法であり上記 2 手法の中間的比率となっている。

また、回答者が携わったトンネルの地山岩種は多種にわたるため、八木ら⁷⁾によって区分された岩石グループ毎にまとめた(表-3)。さらに、回答者の業務形態を「調査・設計」「計画・調整」「施工管理」「試験・研究」に区分すると共に、回答者の業務経験年数を「5 年未満」「5 年以上 15 年未満」「15 年以上」の 3 ランクに分け、職種や経験による評価の違いを検討した。

(2) 分析結果

a) 支保剛性比率算定法の順位

図-2 に、回答者が妥当と見なす算定法の順位を岩石グループ別に分類した結果を示す。この図より、どの岩石グループに対しても北陸方式による支保剛性比率を最も妥当と見なす技術者が 45～50% 程度におよぶことが読み取れる。一方で、等間隔方式は全ての岩石グループにおいて最も順位が低くなった。次に、図-3 に回答者の職種別に分類した結果を示す。この場合、調査・設計業務に携わる回答者を除くと、北陸方式がほぼ 50% の割合で最も妥当と判断されている。また最下位とする手法の選択では、施工管理と試験・研究に携わる技術者において等間隔方式が顕著であるが、その他では特に顕著なものがない。特に、調査・設計に携わる技術者は特定の手法に順位が偏ることがない傾向を示している。図-4 には回答者の業務経験年数によって分類した結果を示す。この場合でも、北陸方式は全ての年数ランクの約 50% において最も妥当な手法と判断されている。また逆に、不適当と判断されるものでは、等間隔方式が多いが、特に経験年数 5 年未満においてこれを不適当とする傾向が著しい。しかし、年数が上がると等間隔方式を不適当とする傾向は減少していることが読み取れる。

b) 回答者の想定による支保剛性比率

次に、回答者自身が妥当と判断する支保剛性比率の平均値を表-4 に示す。この結果を表-2 と比較すると、回答者が想定する剛性比率は、北陸方式と都市 NATM 方式の中間的なものとなっていることがわかる。またその値のばらつきは、CII-a までは比較的小さいものの、鋼製支保工を用いボルト長・ピッチ等の変更が加わる CII-b 以降において大きくなり、回答者の評価が分かれていることがうかがわれる。次に、この値を岩石グループで分類しそのばらつきを検討した(図-5)。この図より、岩石グループ 4 においてややばらつきが大きいものの、ほとんど全てのグループで似たような値となっていることが読み取れる。そこで、各支保パターンでの剛性比率の平均値の違いを岩石グループ毎に検定したところ、有意水準 5% で全てのグループ間の各剛性平均値には差がないという結果になった。次に、同様の検討を業務経験年数で区分したものを図-6 に示す。この図においても経験年数が異なっても各パターン毎の支保剛性の比率はほとんど同じである

表-3 岩石グループの区分(文献 7 を一部改訂)

強度区分	硬質岩	中硬質岩	軟質岩
風化区分			
塊状	グループ 1 : 花崗岩類、石英斑岩、 中・古生代砂岩	グループ 2 : 凝灰岩類、安山岩、 流紋岩、玄武岩、 第三紀砂岩	
層状	該当無し	グループ 3 : 中・古生代頁岩、 粘板岩	グループ 4 : 緑色片岩、黒色片 岩、第三紀泥岩

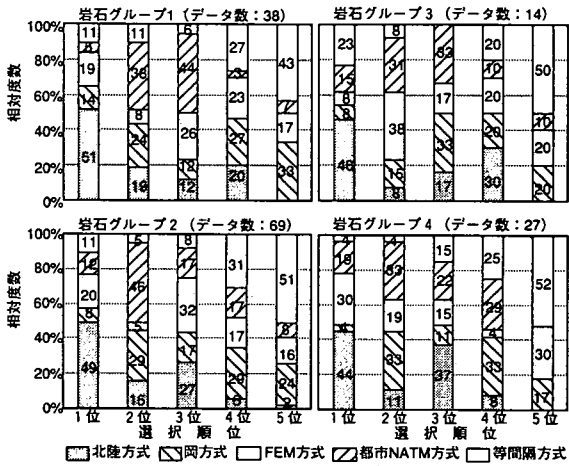


図-2 岩石グループ別支保剛性比算定法の順位

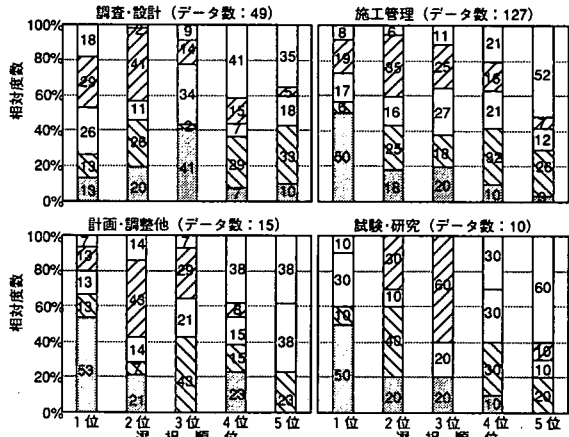


図-3 職種別支保剛性比算定法の順位
(凡例は図-2 と同じ)

ことが読み取れる。また、検定結果も前記同様である。しかし、各パターンでの剛性比のばらつきは年数が増すほど少なくなり、評価が一定のものに近づく傾向を示している。なお、同様の検討を職種別にも行ったが、データ母数の偏りに由来すると思われる結果のばらつきが大きく、有意な結果を見いだすことはできなかった。

3. 考 察

以上の結果から、トンネル技術者の主観としての支保剛性は、パターン間の格差は均等ではないものの、地山岩種によらず常にほぼ同一の値を示すと判断されていると見なせる。換言すると、トンネル技術者の目からみた支保剛性の格差は、各パターン毎の部材の違いによってのみ由来し、地山岩種によって発揮される剛性効果が異なるというような評価はされていないと解釈される。そしてその妥当と思われる値は、北陸手法と都市NATM手法の中間的なものであり、経験的に導かれた値に近いものとなった。また経験年数が増すほど支保パターン間の剛性格差を均等にみる傾向があることは興味深い。

これらの知見はトンネル地山評価をより合理的に修正する際の一つの判断材料になると考えられる。

【参考文献】

- 1) 中田雅博・三谷浩二・八木 弘・西 琢郎・西村和夫・中川浩二：切羽観察の分析に基づく新しい切羽評価システムの提案，土木学会論文集，No.623/VI-43，pp.131-141，1999.
- 2) (財) 高速道路技術センター：北陸自動車道上越～朝日間総合検討（昭和62年度）第三紀泥岩地帯におけるNATMの計測管理検討委員会報告書，p. 115，1988.
- 3) 今田徹：NATMの支保理論，pp. 14-19，NATMの理論と実際，土木工学社，1983.
- 4) 赤木 渉・三谷浩二・吉塚 守：支保耐力を考慮した新しい切羽評価点法の検討，土木学会第53回年次学術講演会，III-B78，pp. 156-157，1998.
- 5) 桜井春輔（編）：都市トンネルの実際，pp. 132-133，鹿島出版会，1983.
- 6) 日本道路公団：設計要領集代集(1)トンネル本体工(建設編)，pp. 74-77，1997.
- 7) 八木 弘・大津敏郎・三谷浩二・吉塚 守：新標準支保パターンの導入結果，ハイウェイ技術，No. 9，pp. 26-35，1997.

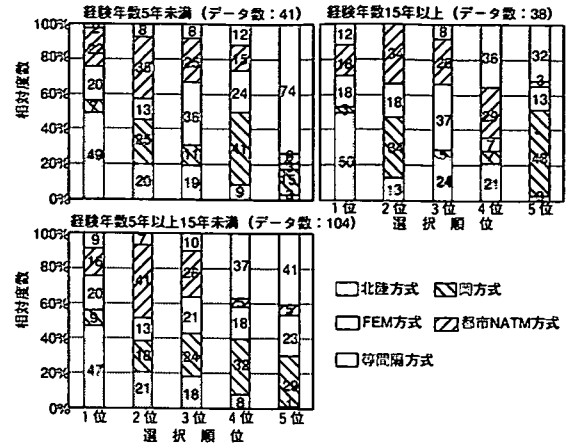


図-4 経験年数別支保剛性比算定法の順位

表-4 回答者の想定した支保剛性比率

	CI-a	CII-a	CII-b	DI-a	DII-a
平均	1.72	2.11	3.04	4.01	4.47
標準偏差	0.36	0.46	0.84	1.06	1.20

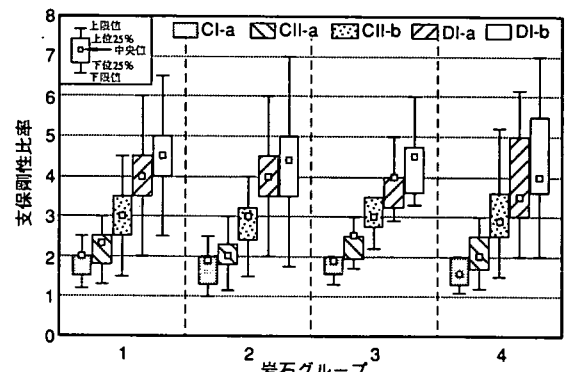


図-5 回答者の想定による支保剛性比率 (岩石グループ別)

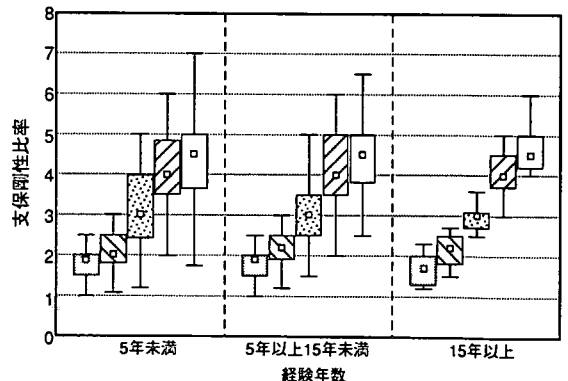


図-6 回答者の想定による支保剛性比率 (経験年数別，凡例は図-5と同じ)