

投稿論文 (和文ノート)

**TECHNICAL
NOTE**

トンネル工学における 方法論としての NATM の評価と今後の課題

高崎英邦

フェロー会員 工博 技術士(建設) 清水建設(株) 土木本部(〒105-07 東京都港区芝浦1丁目2-3)

NATMは標準工法まで発展してきたが、K. Kovari は NATM の概念や工学としての方法論に疑問を呈した。われわれは 20 年に渡る経験からその合理性と非合理性を合わせ持つ問題点に気付くつあり、NATM を越えた新しいトンネル工学創出の時期に差し掛かっている。このノートでは、まず科学におけるトンネル工学の発展経緯と NATM の位置づけについて、主として工学の方法論的側面から考察を加えている。次いで、今後のトンネル工学発展のために考慮すべきいくつかの検討課題を提案している。

Key Words : *methodology of tunnelling, principles of NATM, subjects in tunnelling*

1. はじめに

日本に NATM が導入されて以来 20 年近くが経過したが、それ以前の工法よりも高い合理性を持つことと豊富な実績のもとに、現在では標準工法として確立するまでに至っている。しかしながら最近、第一線のトンネル技術者や研究者の一部に、現状の NATM あるいはトンネル技術に対するある種の不満足感、いかにいえばより発展したトンネル工学への期待感が芽生えてきているように感じる。著者はその背景として、以下の 3 点があるのではないかと考えている。

- ① 国内導入時の NATM 概念の基礎となっている定義や原理の抽象的表現に対する不満、およびそれらと実際の経験から得られた結果との間に一部不整合性があること。
- ② 国内における NATM は当初より大幅に発展拡大し、一部修正の必要性が認められているにもかかわらず、これらを包含する拡張されたトンネル概念が未だ不明確なこと。
- ③ 今後、さらに良い品質と一層の工期短縮やコストダウンおよび安全性の追求がトンネル建設に求められていること。

したがって現在は、現技術を一步越えたトンネル工法の概念確立が期待される状況下にあるといえる。

ちょうどその時期にチューリッヒ工科大学の K. Kovari は、NATM 概念に対する疑問を総括して発表した^{1),2)}。この論文自体は、NATM の概念に対する疑念だけでなくその存立基盤さえも否定したもので、内容的には異論も数多く出ると思われる。しかし NATM の基本

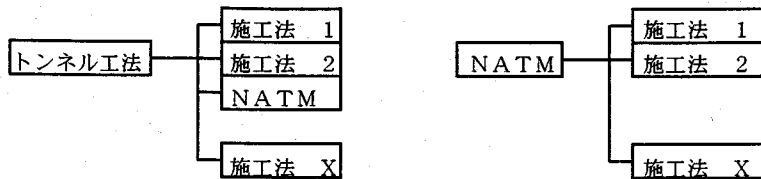
原理に立ちかえって論評を加え、トンネル工学における NATM を再度見直す必要性を示唆していることは評価できよう。

本ノートの目的は、NATM 概念の誤りを指摘している Kovari 論文を引用しつつ、NATM に至ったトンネル工学の方法論的発展経緯を評価し、さらに、前述した背景を充足するより高度なトンネル技術確立の必要性和今後の課題を検討することにある。2 章では、Kovari 論文の主要な論点を整理する。その中の一つに、トンネル工学における NATM のアプローチ論ないし方法論を暗に疑問視しているが、3 章ではこの課題を考察する。4 章では、今後われわれがトンネル工学を発展させて行こうとした場合の方向性や課題について述べる。

2. Kovari 論文の要旨

この論文は、1993 年 10 月にオーストリアのザルツブルグで開催された第 42 回地盤工学コロキウムで発表された^{1),2)}。その後ドイツ、フランス、イタリア、日本³⁾各国のトンネル協会機関誌に訳が掲載され、多くのトンネル研究者、技術者に静かな波紋を投げかけているようである。論文の主張する点は以下の 3 点に要約される。

- ① NATM の基本原理の一つである、「地山がトンネルの支保構造の一部である」という考え方は、19 世紀後半以来多くの研究者が直接間接的に指摘してきたところであり、NATM 特有の考え方ではない。したがってこれは NATM 以前に既に確立していた概念であって、



図一 NATMの正しい位置付け(左)と誤った例(右)^{1),2)}

現在多くの研究者、技術者が誤認しているように NATM はトンネル工法全体を包含する概念ではなく、単に多くある施工法の一つとして考えるべきものである。また「地山支持リング」という用語は NATM 特有のものであるが、その概念自体は新しいものではない。その定義、形状、形成過程、定量的評価法は諸説入り乱れており、その大部分が不明瞭かつ曖昧である。さらに「地山支持リングの積極的利用」という表現もあまりにも曖昧かつ非科学的である。

② NATM の中心的課題となっている「地山特性曲線と支保工最適化」の問題に関して各種文献を調べた結果、地山特性曲線が舟底型の右上がり形状を示すことは報告されていない。唯一の可能性は、大きな変位後に地山が崩壊し載荷してくることであるが、その荷重は小さくしかも計算では予測できないものである。一方、許容できる変位量も不明瞭で、また、「地山特性曲線と地山支持リングの積極的利用」との間には何らの関係も示されていない。さらに、地山特性曲線概念の拡張の試みも一部に見受けられるが、不正確な定式化である。したがって、理論的にも経験的にも舟底型の地山特性曲線の存在は証明されておらず、NATM のいう支保の最適化は不可能である。

③ なぜ NATM がこのような誤認に至ったかについては、その方法論に問題がある。考え方や概念が、われわれの思想とその結果としての判断・評価の基本から形成されるのは事実である。しかしそれらの科学的根拠は、明確に定義された概念や真の結論を導き出す正しい方法を前提としているのであって、名目的定義は科学分野の思考には不適である。①②で述べたように NATM は、定義が不正確、用語の濫用と曖昧さ、誤った引用などにより間違った判断や結論が見受けられ、結果として精細な考究ができていない。よって NATM は、方法論的にも問題があるといえる。

3. トンネル工学の方法論と NATM の位置づけ

Kovari は、2章で述べたように NATM の存立基盤そのものを疑っている。その一つの理由として前章③で述べたように、トンネル工学は科学の対象であり、その根拠となる概念や定義は正確を期するべきで、NATM の

不正確かつ曖昧な名目的定義は科学分野の思考体系として不適である、と主張している。実は Kovari のこの論点は、近代科学の対象としてのトンネル工学へのアプローチや方法論に関して、基本に立ち返って言及する必要性を示唆している。本章では、トンネル工学と NATM の科学的・工学的的方法論について考察してみる。

(1) 科学・工学の方法論とトンネル工学

科学は、それぞれの分野で一見独立的に発展してきた。それぞれは、異なった原理・法則や数学を駆使することによって築き上げられた学問体系となっている。歴史的には近代自然科学の精神は、自然現象や物質を単純な要素に分解することに基礎をおいてきている。これは、少数の原理・法則があって、全ての現象はその原理・法則から推論や計算によって導き出され説明される、といういわゆる還元主義に対する信頼に依っているからである。いいかえれば、ある科学原理がある形を取る理由は、それより深い科学原理にあることを認め、そしてこれらすべての科学原理の源をたどっていくと互いに連絡したいくつもの法則の集まりに達し得ることを認める立場である。そこでは、ある抽象的観念の实在を信じる、いわゆる普遍的なもの实在を信じることを意味している。この過程において、方法論的には帰納法と演繹法の繰り返しによって原理や法則の厳密度が高まっていく。すなわち「分解」して考える立場と「統一」して考える立場の絡みあいがある。

一方工学は、基礎科学の成果をシステム化、具現化して社会ニーズに応じていく学問体系といえる。基礎科学と密接な関係にある工学の世界も、当然のことながら還元主義の背景のもとに、分解と統一あるいは演繹法と帰納法が方法論として駆使され研究が進められてきた。工学はその性格上、基礎科学の成果のみの集積では不十分なことが多く、その補充あるいは大部分を経験的事実に依存せざるを得ないことも多くある。したがって工学レベルでの原理・原則やその定義は、基礎科学のそれらと比較して定性的、経験的、概念的にならざるを得ないことになる。すなわち、教条主義と経験主義の問題に置き換えてみた場合、工学では後者のウエイトが高くなると現時点ではいわざるをえない。

その中でも土木工学は経験的要素が強いものの一つといえようが、特にトンネル工学はその感が強い。19世紀後半から20世紀に入るとトンネルの力学的挙動に関する研究が数多く現れたが、施工上の経験と連続体の力学の知識を合わせたものが大部分である。これらには二つの大きな流れがある。一つは、支保工や覆工に作用する荷重を求めようとするもので^{41)~7)}、他の一つは、弾性あるいは弾塑性論を用いてトンネル周辺の応力や変位を求めようとするものである^{8)~11)}。トンネル工学は多くの学問や知見、技術さらには経験などから構成され、しかもそれらは計画、調査、設計、施工、運用、維持管理の流れとともに体系化されていなければならない。しかし、1940年代まではこのような研究がなされてきたとはいえ、トンネル技術は全くの経験に裏打ちされた職人的技能領域にあり、科学・工学の対象外であった。

このような状況に画期的な変化を与えたのは、Terzaghi¹²⁾、他による、トンネルに作用する簡便な土圧論と構造計算にのりやすい鋼製支保工の開発であった。地山と支保工は独立の取扱いはいいながら、はじめてトンネルの理論にもとづいた実用的設計への道を開いたという点で高く評価される。この時点では、トンネルの構造的安定性を対象として研究開発されたいくつかの技術をシステム化して実用化する、という明らかな目的意識が認められる。そしてその後のNATM概念^{12)~14)}の確立とともに、豊富な施工実績に加えて建設資機材の研究開発、岩盤力学の発展、情報の交流増大などがあいまって、現在に至ってはじめてトンネル工学は、教条主義とか演繹法、帰納法による総合的体系化など、科学的に方法論を論じれる段階に達してきたと評価できる。

(2) トンネル工学における方法論としてのNATMの評価

NATMはオーストリアのチロル地方を発祥とし、同地方の無名の坑夫達がロックボルト工法や吹き付けコンクリート工法をトンネル工事に試みていたのをL. V. Rabcewiczが着目し、それに工学的評価を加えて1962年頃にNew Austrian Tunnelling Methodと命名し公表したことに起源があるとされている¹³⁾。その後L. Müller¹⁴⁾、F. Pacherらが加わってこのNATMの発展をはかったのであるが、これらの研究者に共通していることは、いずれも近代科学の精神や知識を豊富に持ち、加えて施工現場における経験すなわちフィールドを主体にして調査研究に取り組んだことである。この段階では、職人的経験や観察と学問や技術のバランスのとれた融合による、さらに進んだトンネル工学発展の方法論としての一大転機がみとめられる。その後NATMの概念や原理の確立と定義することが図られるのであるが、この過程でトンネル工学に画期的な方法論が導入されたことに気付く。

すなわち現場における経験や観察を多く導入しながら学問的体系化を試みているのであるが、その中で最も有名な例は、L. MüllerとE. Feckerやその他の若手研究者が数日間の集中討議を経て整理し発表した「NATM 22の原理」¹⁴⁾であろう。ここでは明らかに、多くの経験、観察、事実から一般的原理、原則を見出そうとする帰納法的方法論が取られたことであり、その対象とした学問や技術領域は広範なものであった。単的にいえば、地質、岩盤工学、構造工学、資材を含む施工法さらには品質などを相関的に整理してまとめた従来にない大きな概念を持つトンネル工法の体系化であった。たとえNATM概念の内容がすべて既知の事実で構成されていたとしても問題ではなく、過去の経験や事実を集積し科学的な方法論に基づいて体系化し概念の確立を図った点に意義がある。すなわち重複するが、トンネル安定と岩盤、設計施工法を総合的に補え、NATMをトンネル工法の原理として示した。そういう点で、「経験主義の時代」、「木製支保工の時代」、「Terzaghi土圧論と鋼製支保工の時代」の流れの延長線上で、NATMは方法論的にトンネル工学の科学性・工学性をより高め、歴史的にも大きな評価を受ける位置を得たといえよう。いうまでもないが、科学・工学の方法論としてのNATMと、その22の原理や定義の内容そのものが科学的・工学的に正しいか否かは別問題である。

以上をまとめると、トンネル工学の方法論の発展過程において、NATMの存在は歴史的事実として正当に評価されるべきと考える。その理由として、

- ① 広範な経験や工学的考察から帰納法的に原理を見出し、また定義していること、
- ② その後、演繹論的方法により、より精細にNATMの要素・個別テーマや技術に関する説明や研究がなされて発展してきていること、
- ③ 新たに加わった経験、観察とともに、多方面に渡る学問、技術領域の成果を導入しつつ新たな理論や考え方が展開されてきていること、

などが上げられ、「Terzaghi土圧論と鋼製支保工の時代」より飛躍的に科学的工学的発展をとげてきているからである。

Kovariは、NATMの定義は不正確かつ曖昧で科学性に欠ける、といっている。確かに抽象的、観念的、非計量的表現が多いが、これをもってNATMを否定するのは早計であろう。どのような概念、理論も、当初は仮定やアイデアの導入により多少の不明瞭さや不確定性をともなっていると思われるが、徐々に精密な検討が加えられ、それが正しい場合には確固とした理論体系に完成して行くものである。NATMといえども経験工学的要素を未だ強く残しているのは事実で、Kovariの不満は十分に理解できる。しかしNATMをトンネル工学の一

発展過程あるいは仮説の一つとして認識すれば、内容の正当性については今後の厳密な検討は待たれるにしても、方法論的側面から NATM を見た場合は高い評価が与えられる。

4. トンネル工学の今後の課題

最近のトンネル工学の発展は著しいものがある。そしていつの間にか NATM の原典を越え、トンネル工学は巨大化多様化しつつある。その結果、NATM の原理や定義そのものに対する疑念や曖昧さの露呈、また一部の非決定論的記述に対する不満などが生じてきている。Kovari 論文は、これらの問題を正面から指摘したものとえよう。

著者は、今後のトンネル工学発展のための課題を以下のように考えている。

① およそあらゆる科学・工学における概念や原理、理論等は、仮説→検証→新説→定説の経緯をたどって発展して行くものだろう。この過程では、数多くの観察、実験、証明が試行され、多くの議論や反対意見が交わされ論証が行き届いていき、さらに強固な見解へとまとまって行く。

NATM については、トンネル工法の発展過程上、方法論的には正当かつ最新の位置付けに評価されるとは前述した。しかしその内容については、たとえば「定義」や「22の原理」の各論の中における多くの抽象的概念の具現化および不正確かつ不明瞭な点の修正が必要であろう。さらに、たとえば「22の原理」において、概念的、原理的なレベルの内容から個別・要素技術レベルまでが混在して書き込まれているが、これなども再整理、体系化する必要がある。

そして最近多くのトンネル工学の研究者や技術者が漠然とながら感じている、NATM 概念拡張の必要性、いいかえれば新工法概念を確立すべき時期にさしかかっている、という時代認識がある。そうでなければ、1章で述べた①②③を満足させることは困難であろう。いずれにしても NATM は一つの仮説として補えるべきであり、多くの検証を経てきた結果、今後のトンネル工法は新説に進むのかあるいは新しい仮説を生み出すのか、現在その分岐点にわれわれは位置しているといえる。

② NATM の大きな特徴の一つは、地山と設計・施工パターンとを相互に連繫するシステムとしてとらえていることである。換言すれば、トンネル掘削により発生する掘削解放応力を吹付けコンクリートなどの支保材よりも地山に多く分担させることを基本に、安全で経済的な支保パターンあるいは施工パターンを追求していくことであり、この内容を数学的に表現すれば以下のような。すなわち、

制約条件：地山条件、トンネルの建築限界、
トンネルの構造的安全率 ≥ 1 、
トンネル周辺への環境影響 \leq 許容限度、
のもとに、目的関数である品質、工期、安全性および経済性が最大効果を引き出すように、
支保パターン：断面形状、吹付コンクリート厚さ、
ロックボルト長さや打設密度、
鋼製支保工の大きさ、など、
施工パターン：加背割りと掘削順序、ベンチ長、
補助工法、など、

を決定することである。

経験を主体とした従来の工法に比較して NATM はより論理的ではあるが、それでも現在の技術レベルでは上記数学モデルを構成しその最適解を厳密に求めることは困難である。これは、地質構造の把握や岩盤の工学的性質の評価、地山—支保機構の解析モデルといった問題で、まだ十分に精度ある方法が得られていないことによる。そこで現実には、計画時点で現在われわれが保有しているもっとも適当な技術を用いて設計し（これは第一次近似解にあたる）、その誤差分を施工時に実施する計測管理によって修正し、より最適解に接近していくという方法を採用している。

次代のトンネル工法においても、トンネル工学を構成する要素・個別技術がかなり発展してきているとはいいながら、土砂層、軟岩あるいは膨脹性など特殊な挙動を示す地山や、さらには大空洞掘削の場合、計測管理を不用とする技術水準に到達させることは不可能に近い。したがって今後とも、計測管理システムの定式化再検討と工学的・実際的管理手法の研究開発の促進が必要である。

③ トンネル工学は、各分野で研究開発された成果や経験も加えた個別・要素技術の集合とそれらの体系化より成るし、個別・要素技術もまたそれぞれサブレベル技術の集合体である。下層技術レベルになればなるほど、たとえば連続体の力学や岩石の組成など決定論的取扱いが可能であるが、上層レベルになるにしたがって決定論的評価・解釈が困難になってくる。たとえば、マスとしての岩盤の性状やそのような不連続非均一地山の中にトンネルを掘る場合の挙動などである。すなわちミクロの現象ではモデルを純粋化・単純化しやすいが、マクロになればなるほど自然現象そのものを対象にしなければならないことによる。したがってわれわれは、設計施工レベルでは経験や過去の実績などを加えていわゆる工学的判断を下す場面が多く要求されることになる。すなわちトンネルの調査、設計、施工計画あるいは計測管理レベルでの技術を検討する場合、決定論的取扱いが可能なものと非決定論的処理を余儀なくされるものとの統合による意志決定が必要になってくる。

われわれは客観性があり、しかも取扱いが容易な決定論的手法に重きを置いて、いってみれば偏向して問題を処理しがちである。今後はこのような問題の内の非決定過程を軽視したり無理に決定論的問題に置き換えたりせず、非決定論的手法を積極的に導入して行くことが必要である。たとえば岩盤と支保パターンの相関で適用されている分類手法、統計確率論、非計量サンプルの取扱い可能な数量化理論、評価や判断の曖昧さを取り扱うファジ理論、また技術や経験は人に属すると言われるがそれらを伝承するエキスパートシステムなどである。このような非決定的、非計量的、不確定的課題に対処する手法が数多くトンネル技術に適用されはじめており、今後は個別的技術課題への適用だけでなく決定論的問題との複合問題への適用が強く望まれてくる。

④ 岩盤一支保系の挙動を事前に正確に評価・理解するのは、現在においてさえ難しく見える。1940年代まではトンネルは職人的伝統技術の世界であったが、現在では各方面の学問の発展もあって、トンネル工学は科学・工学の対象として急速な発展を遂げつつある。しかし現時点でさえ今後のトンネル工学の概念は必ずしもはっきりしていない。

今後はトンネル工学概念の明確化を図り、これは目標を明らかにすることを意味するが、それに到達するプロセスや各プロセスで必要な技術の体系化、定式化を目指す。この段階での基本的視点は、トンネル工学は「生産管理」ということである。ここで生産管理とは、JIS工業用語大辞典から要約すれば、諸活動を計画し統制・調整して、生産活動全体の最適化を図ること、を意味する。従来は経験工学的視点が強く生産管理的認識は従であったが、NATMにおける「地山特性曲線と最適支保設置タイミング」の概念はその実際の可能性は別として、後者視点の萌芽として評価される。広義的には②項で述べたように、目的関数の最適値を求める問題である。この目的関数を定式化するにはシステムエンジニアリングの概念が必要である。すなわち、目的関数にはその目的に至るプロセスとそれを遂行する手段の技術が配置されていないと見ればならない。一見複雑多岐に見えるプロセスと構成技術およびそれらの目的や結果に対する影響度を考慮してアプローチして行くことと考える。

5. おわりに

本ノートで検討、考察した結果を以下にまとめて示す。

① 科学・工学の方法論的観点からのトンネル工学は、未だ経験主義的要素が強いとはいいいながら、「Terzaghi等の土圧論と鋼製支保工」および「NATM」の出現により、科学・工学の対象として評価される時代に達したといえる。NATMは、多くの分野の知見と現場におけ

る経験的事実をもとにして、帰納法的考察によりその概念の確立が図られた。トンネル工学における方法論としては、NATMは、従来のTerzaghi等の土圧論と鋼製支保工の概念に比較して大幅な概念拡張が科学的・工学的に図られたといえ、この点ではKovariの批判は当たらない。

② Kovariは、NATMの概念や原理は、その表現や内容が抽象的かつ曖昧であり、またそれらの内容そのものにも疑いがある、と指摘している。このノートでは論及しなかったが確かに曖昧さが存在し、厳密性には不満な点は残る。その点ではNATMはトンネル工法発展途上の仮説の一つとして補えるべきものである。現在までに多くの新たな知見や経験が得られており、したがってわれわれはNATM概念の拡張あるいは新概念確立の時期にさしかかっているといえる。

③ トンネル工学を構成する要素・個別技術が発展してきたとはいえ、トンネルの設計・施工計画を精度良く事前に決定することは不可能に近い。したがって今後とも、計測管理によって計画時の誤差分を修正していく方法を取らざるを得ない。そのために、計測管理システムの定式化再検討と工学的かつ実際的管理手法の研究開発が必要である。

④ トンネル工学の多くの課題が、決定論的手法によりその厳密化が図られてきたとしても、工学としての宿命上非決定的、不確定的、非計量的問題は残る。数量化理論やエキスパートシステムなど、このような問題を取扱う数学的手法を応用して前項の課題をモデル化するとともに、さらに決定論的問題との複合問題への拡張を図っていくべきである。

⑤ トンネル工学を、従来のように経験工学的アプローチをしたり、また単に岩盤一支保系の挙動を現象的に理解するのではなく、生産管理的観点から構築を図るべきである。その理由は、トンネル建設に対するより良い品質、一層のコストダウンと工期短縮を期待されているからであり、これはトンネル工学の「生産管理としての認識」と「システムエンジニアリング的取扱いの必要性」を示唆している。

最後に、適切な時期にトンネル工学の方法論やNATMの概念に対して基本的問題提起をした、チューリッヒ工科大学教授Kalman Kovari博士に敬意を表したい。

参考文献

- 1) K. Kovari: Gibt es eine NÖT? Fehlkonzepete der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise, Felsmechanik Kolloquium, Salzburg 1993.10.
- 2) K. Kovari: Erroneous Concepts behind NATM, Felsmechanik Kolloquium, Salzburg 1993.10.

- 3) カルマン・コバリ, (訳一川本眺万, 近藤達敏, 高崎英邦, 伊藤文雄): NATM 概念の誤った考え方, トンネルと地下, 土木工学社, 第 26 巻 11 号, pp.65-76, 1995 年 11 月.
- 以下 7) まで比較的新しい例をあげておく.
- 4) O. Kommerell: Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk, Ernst & Sohn, Berlin, 1940.
- 5) K. Terzaghi: Rock Defects and Loads on Tunnel Support, Rock Tunnelling with Steel Supports, eds. R. V. Proctor and T. White, Commercial Shearing Co., Youngstown, Ohio, 1946.
- 6) Protodyakonov: The Art of Tunneling, by Szechy. K, Akademiaikiado, Budapest. pp.235-239, 1973.
- 7) H. Eisenstein. C. W. Schwartz: Symplified Analysis for Tunnel Supports, ASCE, GT4, pp.499-518, 1979.4.
- 以下 11) まで比較的新しい例を上げておく.
- 8) 伊藤富雄: 傾斜面下に掘ったトンネルの周辺応力について, 土木学会誌, 36-2, 1951.
- 9) R. D. Mindlin: Stress Distribution Around a Tunnel, Trans. Amer. Soc., Civ. Engers. 105.
- 10) H. Kastner: Static des Tunnel-und Stollenbaus, Springer-Verlag, 1962.
- 11) P. Egger: トンネル支保工に及ぼす破壊後の岩盤の影響, 海峡連絡鉄道の技術に関する文献資料調査報告書, 日本トンネル技術協会, pp.17-60, 1978 年 3 月.
- 12) L. V. Rabcewicz: Bolted Support for Tunnels, Water Power, April and May, 1954.
- 13) L. V. Rabcewicz: The New Austrian Tunnelling Method, Water Power, Nov. 1964.
- 14) L. Müller, E. Fecker: Grundgedanken und Grundsätze der "Österreichischen Tunnelbauweise", Grundlagen und Anwendung der Felsmechanik, Felsmechanik Kolloquium Karlsruhe 1978, seite 247-262.

(1995. 11. 27 受付)

APPRAISAL OF NATM AS METHODOLOGY AND PROSPECTIVE SUBJECTS IN TUNNELLING

Hidekuni TAKASAKI

The NATM has developed as the standard tunnelling method in Japan. In this situation K. Kovari criticized that the concept and methodology of NATM have been misled, and we are also aware of these partially because of our own experiences last 20 years.

This note, firstly, reviews a developping process of tunnel engineering as a science methodology and it's positioning of NATM, and, secondary, proposes some subjects which should be taken into consideration to establish new tunnelling concepts.

ニュー・コンセプト パソコン用3次元土木構造解析システム

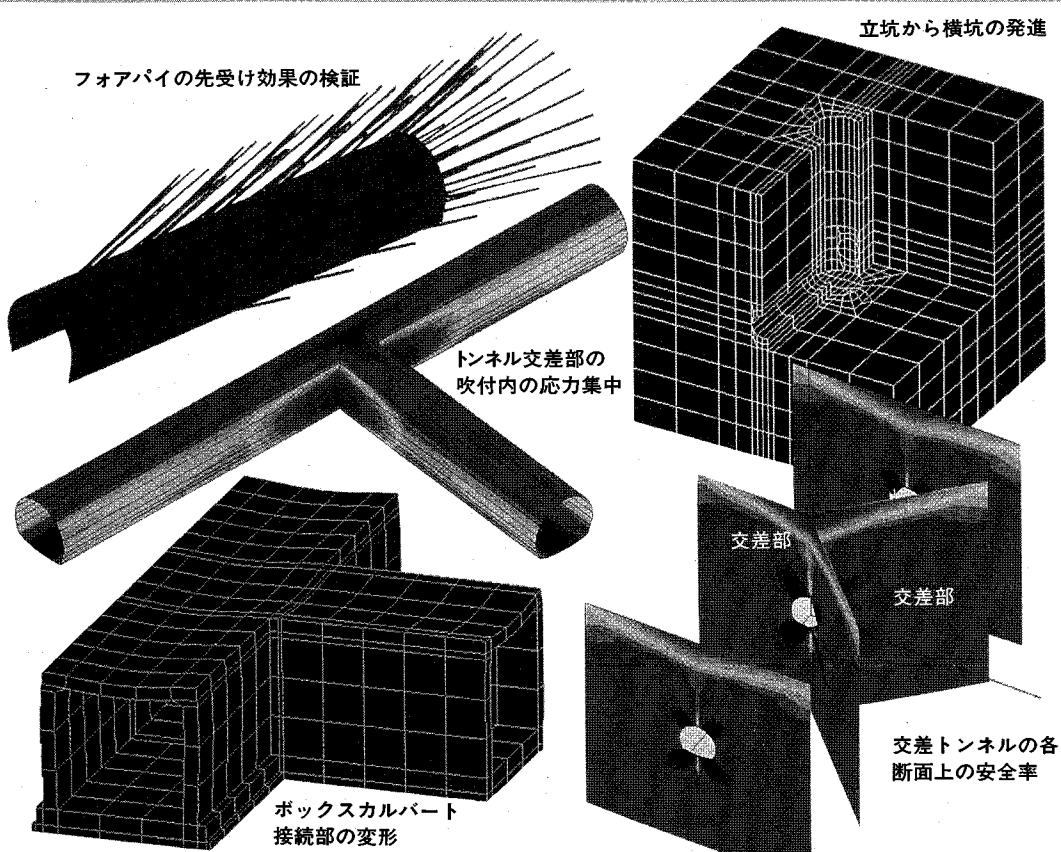
スリーディー シグマ



申し訳ない!
これまでのものとは
これほど違う。

数千万円と数週間がかかった
解析をパソコンで数時間で。

誰でも、どこでも、低コストで、簡単に!



フォアパイの先受け効果の検証

立坑から横坑の発進

トンネル交差部の
吹付内の応力集中

交差部

交差部

交差トンネルの各
断面上の安全率

ボックスカルバート
接続部の変形

- 有限要素を意識させない、要素や節点などの概念は一切表に出ない。あらゆる指定は直接図面上に。
- 強力な自動ステップ解析機能。掘削、盛土、地盤改良、支保などの施工過程をステップ毎に直感的に。
- 強力で痒いところに手が届くような3次元表現機能を豊富に実装。表示断面、表示部分が自在に設定可能。
- 図面入力から報告書作成まで全面的にサポートする統合システム。CAD、ワープロ、編集機能なども内蔵。
- 大容量：数万節点も解析可能。 ■高速解析：例えば、ペンティアムで6千節点に2時間。

開発・営業社員を募集中!



ソフトブレン株式会社

お問合せは 03-5695-1009

本社：〒001 札幌市北区北37条西4丁目 王陽ビル

TEL：011-736-7009 FAX：011-736-7449

東京営業所：〒103 東京都中央区日本橋茅場町3-8-5 308ビル

TEL：03-3663-7009 FAX：03-3663-7008

地盤の非線形解析プログラム

■開発元 Dr.Cundall (ITASCA社)

FLAC-2D/3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua)

- 幾何学的大変形及び材料非線形を取り扱うことができます。陽解法のため歪み軟化解析が容易です。
- 複雑な3次元地盤をモデル化するため、優れたジェネレーター機能をそなえています。
- 機能追加のための開発ツールFISHプログラミング言語を備えていますので、機能追加が容易です。

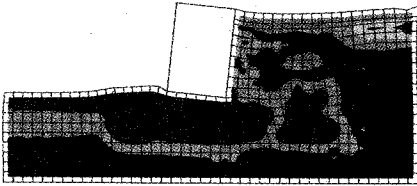
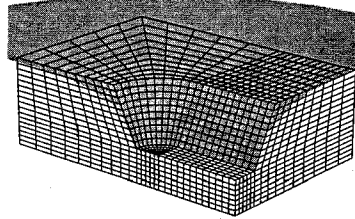
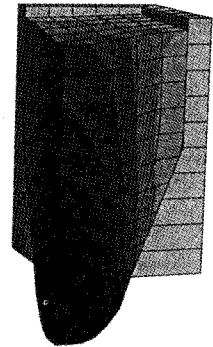


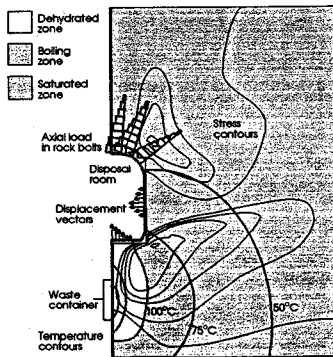
Figure 2. Distorted grid and contours of pore pressure ratio after shaking applied at base



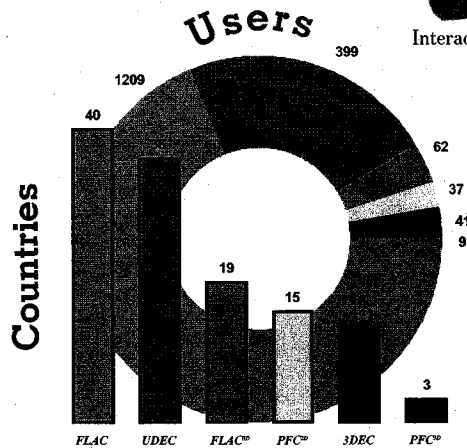
Water flow analysis



Interaction analysis



Thermomechanical conditions five years after nuclear waste emplacement.



■価格(ロード・モジュール)

- FLAC-2D SUN/IBM-PC(標準バージョン)80万円
(Dynamic, Creep, Thermal Optionを含む場合)110万円
- FLAC-3D SUN/IBM-PC(標準バージョン)190万円
(Dynamic, Creep, Thermal Optionを含む場合)250万円

Itasca Software & Windows 95

Yes, Itasca codes do run under Microsoft Windows95. * Windowsは米国マイクロソフト社の商標です。

* 当社は1988年7月からITASCA社の販売代理店をしています。

OKL株式会社 応用工学研究室

TEL.03-3437-2164 FAX.03-3437-2652
〒105 東京都港区虎ノ門5-1-4 東都ビル6F
株システムネットワーク内

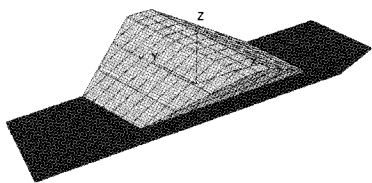


Figure 1. Grid for earth dam and foundation

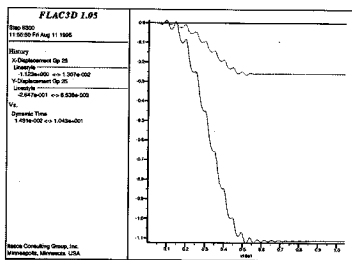


Figure 2. Displacement records (in x- and y-directions) at crest of dam

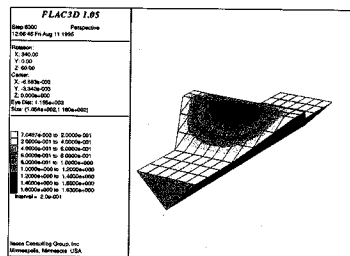
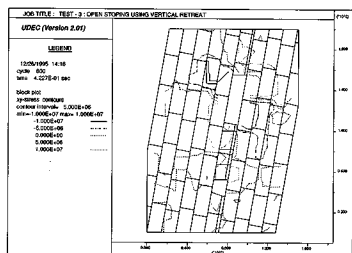


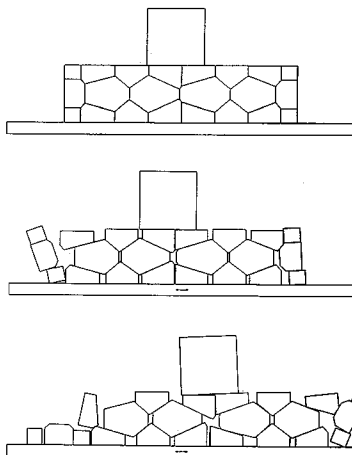
Figure 3. Contours of final displacement magnitude

Dynamic analysis

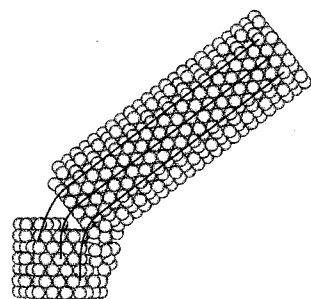
個別要素法プログラムシリーズ



UDEC

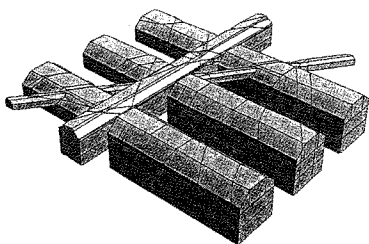


BFLOW

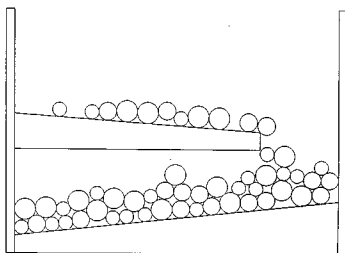


Toppling of pier after horizontal crack forms near base, (reinforcement has pulled out of concrete)

PFC-3D



3DEC



BALL-Poly

■価格

- ロード・モジュール
 - ・UDEC SUN/IBM-PC (標準バージョン)110万円
(Barton-Bandis Optionを含む場合)160万円
 - ・3DEC SUN/IBM-PC550万円
 - ・PFC-2D SUN/IBM-PC70万円
 - ・PFC-3D SUN/IBM-PC250万円
- ソース・コード
 - ・UDEC SUN/IBM-PC (標準バージョン)190万円
(Barton-Bandis Optionを含む場合)240万円
 - ・BFLOW SUN190万円

日本技術開発株式会社

◆FLAC、個別要素法コードとも導入時に移植費等の追加料金はありせん。将来のバージョンの初期購入価格の10~15%程度です。但し、比較的開発の新しいPFC-3Dを除きます。
◆当社ではこれらソフトによる解析コンサルタント、問題に応じた機能追加も行っています。



パソコン用、地下水解析トータルシステム

PC/UNISSF Ver. 3.5 for Windows

PC/UNISSF Ver. 3.5 for Windowsは、すでに汎用機やEWSで実績のある準3次元広域地下水変動解析プログラムと断面2次元飽和/不飽和浸透解析プログラムに強力なプリポスト処理プログラムを付加し、Windows版として、生まれ変わったPC用地下水解析トータルシステムです。

準3次元版

PC/UNISSF(H)

¥980,000

セットの場合

断面2次元版

PC/UNISSF(V)

¥700,000

¥1,400,000

プログラムの特徴

■プリ処理 [(H)、(V)共通]

- ★モデル作成のためのメッシュジェネレート機能
- ★地層データ(PC/UNISSF(H)のみで使用)、初期水位データ等の自動発生機能
- ★モデル図を参考しながら、境界条件等各種データの入力、修正が可能
- ★マウス入力とメニュー形式による操作性の向上

■解析機能

[準3次元版PC/UNISSF(H)]

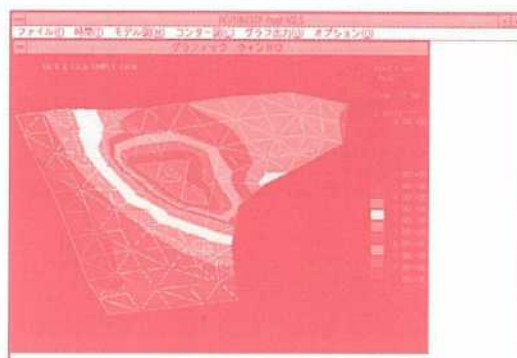
- ★汎用機、EWS版と同一機能(順解析)、同一データフォーマット
- ★約3000~10000節点までのモデルが解析可能
- ★降雨・揚水井・浸出面の取り扱いが可能
- ★水位・流量の経時変化
- ★境界条件の変更、材質の変更
- ★掘削機能・簡易漏水機能
- ★初期定常計算・非定常計算・最終定常計算

[断面2次元版PC/UNISSF(V)]

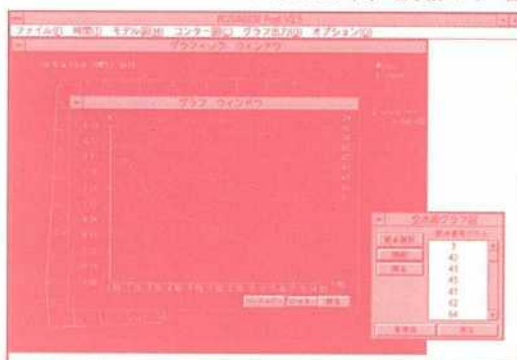
- ★収束状態により Δt を変化
- ★降雨および水位の経時変化に対応可能
- ★鉛直二次元解析だけでなく軸対称解析が可能
- ★自由地下水面を求めることが出来る
- ★浸出点の位置と浸出量を求めることが出来る
- ★①定常計算、②非定常計算、③定常計算を行ったのち非定常計算の3通りが可能

■ポスト処理 [(H)、(V)共通]

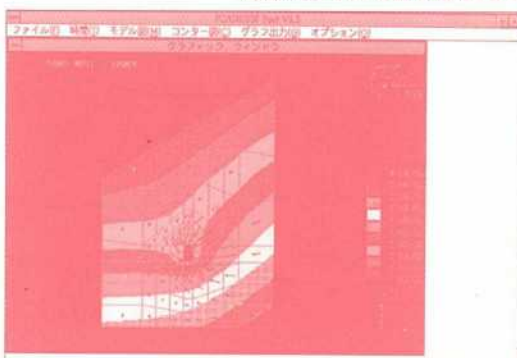
- ★線画に加えて画面塗りつぶし処理が可能
- ★水位の時間変化が簡単にグラフ化可能
- ★マウス入力とメニュー形式による操作性の大幅な向上



PC/UNISSF(H)：全水頭コンター図



PC/UNISSF(H)：水位時間変化グラフ



PC/UNISSF(V)：圧力水頭コンター図と流速ベクトル図

動作環境	Windows Ver. 3.1 CPU:80486DX 33MHz以上 RAM: 8MB以上 ハードディスク空容量: 10MB以上
------	---

- * Windowsは米国マイクロソフト社の商標です。
- * UNISSFは情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

問い合わせ先

株式会社CRC総合研究所

科学システム営業部/担当: 岩崎

TEL: 06-241-4121、E-Mail: iwasaki@crc.co.jp

営業第1部/担当: 澤村 TEL: 03-5634-5790