



# 地下空洞掘削の情報化施工における現場計測結果の評価に関する研究

進士, 正人

---

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1985-03-31

(Date of Publication)

2014-03-04

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0541

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000541>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	しん じ まさ と 進 士 正 人 (福井県)
学位の種類	学 術 博 士
学位記番号	学博い第62号
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
学位授与の日付	昭和60年3月31日
学位論文題目	地下空洞掘削の情報化施工における現場計測結果の評価 に関する研究

審 査 委 員	主査 教授 桜 井 春 輔
	教授 谷 本 喜 一 教授 西 村 昭

### 論 文 内 容 の 要 旨

従来、鉄道・道路などにおけるトンネル施工は、技術的・経済的な理由によりできるだけこれを避けられる傾向にあった。しかし、1960年代から新幹線・高速自動車専用道路などの高速多量輸送を目的とする交通網の整備が始まると、その交通網の高速性からできるだけ直線的な路線を採用することとなり、必然的にトンネル構築が避けられない状況となった。また、高度経済成長によって、地価は急激に上昇し、建設用地の確保が大変難しくなった。その上、騒音・振動などの付近住民に与える環境問題も大きな社会問題となり、高速交通網は進んでトンネル施工を行なっているのが現状である。従って、現在では、非常に苛酷な地質や施工条件の下においてもトンネルの建設が行なわれる場合が多い。

また、トンネル建設に加えて、地下発電所や地熱発電プラント、さらに石油、天然ガス等の可燃エネルギーの備蓄及び高レベル放射性廃棄物処理などを目的とする土木構造物の建設は、時代の急務になりつつある。これらは、すべて地中構造物であり、その規模は、トンネル構造物よりも数段大きく、ますます大規模になってきているのが現状である。

このような状況のなかで、1975年に我が国に導入され、上越新幹線中山トンネルにおいて試験施工された新オーストリア式トンネル工法(The New Austrian Tunnelling Method 通称NATM工法)は、現場計測を発破、ずり出しなどの施工過程のひとつとして位置づけた画期的な掘削工法である。すなわち、NATMは、従来「隧道十訓」にも見られるような経験と勘によってのみ施工されていたトンネル施工の分野において、断面縮小量(コンバージェンス)測定を中心とする施工管理(モ

ニタリング)を施工に組み込み、建設現場における計測により、構造物の安定性を確認しながら施工を行なうところにその特徴があり、我が国においても試験施工以後、急激に普及した。

このように、施工中に現場で実際の挙動を測定しながら、設計通りのものができているかを常に監視し、測定値が事前に予測した管理基準値を超える場合は速やかに、設計や施工法を修正して施工を進める方法を我が国では情報化施工と呼んでいる。

情報化施工の特徴は、設計、施工、現場計測、設計・施工へのフィードバックという一連の作業を、コンピューターシステムによって処理、解析し、それらを一体化したところにある。

本研究は、このような状況のもとでトンネルなどの地下空洞の情報化施工における現場計測結果の評価法について究明を試みた。本研究の目的は空洞掘削中の変位計測の結果に基づき、空洞の安定性を評価し、それを経済的に安全に施工するための施工管理システムを開発することにある。

地下空洞の安定性の評価は、種々の現場計測に基づいてなされる。本研究においては計測変位を逆解析して得られるひずみを地山の限界ひずみと比較する方法を採用した。この場合、最も重要なことは、現場計測の結果を、測定後直ちに解析し、評価し、次の掘削に対する施工法及び支保工の決定に十分生かすことである。このような現場計測結果の設計・施工へのフィードバックは、最近のマイクロコンピューターの発達によってますますその可能性を増大している。本研究では、その場合の一つの方法論を提案し、それが現場において十分通用できることを明らかにした。さらに、インタラクティブなマイクロコンピューター用の逆解析プログラム(DBAP/M)を開発した。また、逆解析結果を迅速にかつ容易に評価するため、地下空洞周辺に生じるひずみ分布をカラーグラフィックディスプレイ上に表示するプログラム(DISPLAY)及び逆解析とグラフィックプログラムとの間のインターフェース用プログラム(CONV)の開発を行なった。これらのプログラムによって、地下空洞周辺の危険箇所及び、その範囲を建設に携わる技術者自身の目で迅速に、評価することができるようになった。また、本研究において使用したコンピューターは、NEC PC-9801であり、この程度のマイクロコンピューターで十分に現場での施工管理が可能となったことが明らかとなった。

以下、本論文の各章ごとの要旨、及び得られた成果を概説する。

第1章では、本研究の目的を明確し、マイクロコンピューターを用いて情報化施工を行なうシステムの必要性を述べ、施工管理システムとして満足すべき条件について明らかにした。第2章では、以後の章を補足するため、本研究の範囲を明らかにし、従来の情報化施工を、設計・施工へのフィードバック理論の観点から分類して概説した。そして、本研究がこれら従来の研究の中で、どのような位置を占めているかについて述べた。

第3章では、桜井の提案した直接逆解析法をマイクロコンピューターによって演算が可能のように再定式化し、演算精度及び演算時間の両面に対し非常によい結果を得た。さらに、吹き付けコンクリート覆工のある場合、ここで用いる逆解析法は繰り返し計算を必要とするため、どのような条件において、覆工を考慮した計算を行なう必要があるのか、また、吹き付けコンクリート覆工を逆解析に取り入れる際、どのように評価すればよいかについて検討を加え、明確な回答を得た。さらに、本研究により再定式化した直接逆解析法を実験の現場計測結果に適用し、良い結果を得た。

第4章では大規模地下空洞における情報化施工を行なうために必要な、掘削過程を考慮した直接逆解析法を提案した。そして、数値シミュレーションによって、この方法の妥当性を確かめた。さらに、ベンチ掘削によって施工されたトンネルの実測結果に、ここで提案する方法の適用し良い結果を得た。

第5章では、情報化施工の大きな柱である変位予測について一方法を提案した。そして、その実際問題への適用を試みた。その結果、現場計測開始後、5日から1週間目には、かなりの精度で、予測が可能であることを明らかにした。

なお、本研究によって開発したプログラムは、すでに2、3のトンネル建設現場、及び1つの地下空洞建設現場において、施工管理のために採用され、地下空洞の情報化施工に役立っている。

### 論文審査の結果の要旨

地下空洞の建設において、最近では、新オーストリアトンネル法（NATM）が、一般的に用いられるようになった。これは施工中の現場計測の結果に基づき、必要に応じて設計あるいは施工法を変更することによって構造物を合理的に、安全に、かつ経済的に構築することができる利点を有している。これは情報化施工と呼ばれるものであるが、これが成功するためには、現場計測の結果を速かに解析、評価し、遅れることなく、設計・施工にフィードバックさせなければならない。しかし、現在、このフィードバックの方法について、信頼できる方法は確立されていない。

本論文はこのような状況を考慮し、地下空洞掘削の情報化施工を対象に、現場計測結果を迅速に解析し、その結果を、設計・施工に的確にフィードバックさせる解析手法の提案を行い、さらに、マイクロコンピュータによって演算可能な、計測結果の評価プログラムの開発を行った。

その成果を要約すると次のとおりである。

(1) 地下空洞掘削時に、空洞の安定性を評価するためには、現場計測の結果から、地山の初期応力および力学定数を求めなければならない。この計算は、通常、逆解析と呼ばれている。本論文では従来、大型計算機によってのみ演算可能であった逆解析の定式化に工夫を加え、マイクロコンピュータによって演算可能なプログラムを開発した。演算時間も、従来に比較し、ほぼ1/10に短縮することに成功している。これによって、計測の結果を、工事現場で、マイクロコンピュータを用いて、直ちに解析し、評価することが可能となった。

(2) 大規模な地下空洞の掘削は、段階掘削が一般的であり、したがって、計測結果の評価に際しても、掘削の手順を考慮する必要がある。本論文は、その場合の逆解析の方法を提案している。そこでは解の安定性を確保するために、解析における未知数の数を減少させる独創的な方法を開発し、その方法が、実際問題に、十分に適用できることを明らかにした。

(3) 地下空洞の支保部材としての吹付コンクリート覆工は、その見掛けの弾性係数が、実際に測定される値より小さいことが分っているが、本論文は計算機によるシミュレーションによって、それがコンクリートのクリープの影響のみならず、覆工面の凹凸の影響にも大きく起因していることを明らかにした。

(4) 地下空洞掘削の施工管理においては、掘削完了時の空洞の安定性を、できるだけ掘削初期に予測することが必要である。本論文は、その一方法を提案した。それは、“初期応力パラメータ”を導入した独創的なものであり、実際問題に適用し、良好な結果を得ている。このような、空洞の安定性の予測については現在、まだ信頼できる方法が確立されていないため、ここで提案された方法は、今後の地下空洞掘削の施工管理に大いに役立つものと思われる。

以上のように、本論文は、地下空洞掘削時の現場計測結果の評価法に関する独創的な研究であると認めることができ、種々の解析法の開発、並びに数値実験結果及び現場計測結果の解析において、重要な知見を得たものとして、価値ある集積であると認める。ここで提案された解析手法、並びに計算機プログラムは、すでに我が国のいくつかのトンネル及び地下空洞の建設現場で採用され、高い評価を受けつつある。また本研究は、土木工学、計算機科学、情報、計測工学、システム工学などの分野に関連する総合的研究であり、その成果がこれらの分野に寄与するところは大きい。

よって、論文提出者の進士正人は、学術博士の学位を得る資格があると認める。