

1. はじめに

トンネルや地下空洞など、岩盤に係わる構造物の力学的挙動を、設計段階において予測することは、種々の数値解析手法や構成式が開発され提案されている現在においても容易でない。これは、地質構造の複雑さ、岩盤の力学特性の複雑さなどに起因することは言うまでもない。

この予測の精度を向上させ、合理的な設計・施工を実現するために施工中に構造物の挙動を観察・計測し、その結果に基づき、当初設計の見直しを行う、いわゆる、情報化施工 (observational method) が重要となる。情報化施工の有用性は、すでに十分認識され多くの施工現場において採用されている。また、そのための種々の計測器械が開発されてきた。現在、変位、ひずみ、応力、土圧等を比較的容易に経済的に求めることが可能となった。

しかし、ここで重要なことは、計測された結果をどのように解析・評価し、構造物の合理的設計・施工に反映させるかということである。計測結果を定量的に評価してこそはじめて情報化施工が意味を持つのである。ここでは、情報化施工における基本的な考え方と、それを大規模地下空洞の施工に適用する場合の問題点について述べる。

2. 観察及び計測結果の評価法

情報化施工の概念は非常に合理的である。しかし、それを実務に適用するとなるとそれほど容易ではない。これは、観察・計測の結果を設計・施工へフィードバックさせる方法がまだ確立されていないことに起因する。最近では建設現場においてもコンピュータが導入され、その結果、計測データの集積や解析が容易になった。また各種の数値解析法を用いることにより、計測結果を解析し、正しく評価することが可能になった。しかし、解析においては、インプットデータが、変位・ひずみ・応力・圧力等の計測値であり、アウトプットは岩盤の力学特性や地質構造、さらに地下空洞の場合は適切な支保パターンである。すなわち、計測結果から設計に用いた力学特性などのパラメータはもちろん、掘削工法や支保パターンの妥当性をも評価することが要求される。この解析の手順は、通常の応力解析 (順解析) の逆となるため、逆解析と呼ばれている。逆解析は現場計測結果を評価する一手法として非常に重要なものである。

ここで、順解析と逆解析の関係について考えてみよう。まず、順解析においては、岩盤の力学モデルを仮定し、その力学定数を実験室や原位置試験によって求め、それをインプットデータとしてFEM等によって解析し、応力・ひずみ・変位などをアウトプットとして唯一的に求める。一方、逆解析は変位・ひずみ・応力・圧力等が計測され、その値をインプットデータとして解析するわけであるが、解析に先立って、岩盤の力学モデルを設定しなければならない。このことは、同じインプットデータに対し、力学モデルを変えることにより結果が異なることを意味している。すなわち、順解析では、解はインプットデータに対し唯一的に求まるが、逆解析ではインプットデータに対し解の唯一性が保証されないことになる (図-1 参照)。

以上のことから、逆解析における岩盤の力学モデルの設定は順解析よりも十分に注意しなければならない。言い方を変えれば、逆解析においては、力学モデルは仮定ではなく“真のもの”でなければならない。したがって、現場計測結果の評価における解析は、上に述べたことから明らかなように設計時に用いた順解析とは基本的に異なることに注意する必要がある。とは言っても、逆解析の目的が、当初設計に用いた力学定数等の設計パラメータの妥当性の検証にあるかぎり、逆解析で用いる力学モデルは設計時のものと同一でなければならない。このように考えてくると、設計において用いる力学モデルも“真のもの”が要求されることになる。

3. 大規模地下空洞を対象にした岩盤のモデル化

現在、数値解析法として現場で用いられている最も一般的な方法は有限要素法 (FEM) である。FEM においては不連続性岩盤を対象とする場合には、それを力学的に等価な連続体としてモデル化することが多い。もちろん卓越した不連続面が存在するときは、それをジョイント要素でモデル化することもできる。また、不連続性岩盤の場合、最近はCundallが提案した個別要素法に基づき開発されたコンピュータプログラム” UDEC” がよく用いられるようになってきた。しかし、いずれにせよ、不連続面をそのまま解析に取り込むためにはその位置と不連続面の状況、並びにその力学特性が明らかでなければならない。また、たとえ、力学特性は逆解析で求めるにしても、その位置を逆解析で求めることは現状では非常に困難である。

大規模地下空洞において観察・計測される変形挙動は不連続面の動きに支配されることが多い。このことは、地下空洞の規模が大きくなるにつれ、周辺地山を均質体としてモデル化することに無理が生じることを意味している。これは、小断面のトンネルと大いに異なるところである。このような状況を考えると不連続面の位置並びにその力学特性を求め得る逆解析法の開発が望まれる。

4. 管理基準値

いま、逆解析によって不連続性岩盤の力学モデル、並びに力学定数が求められると、それらをインプットデータとして当初設計の見直しを行うことになる。また、施工時の構造物の安定性の確認を行うことになる。しかし、いずれにしても構造物の安定性を評価するためには、応力・ひずみ・変位等に対する許容値が必要となる。施工現場においては、これを管理基準値と呼んでいる。この管理基準値の設定は、非常に重要であるが、その設定方法は種々提案されているにもかかわらず、一般的な方法はいまだ確立されていない。

管理基準値は材料特性であり、本質的には計算によって求めるものではない。しかし、計測値を設計時に得られた値と比較して構造物の安定性を評価する場合がある。その時には次のことに注意しなければならない。すなわち、設計計算においては安全側と称して変形係数や強度定数をできるだけ小さくするのが通常であり、このため、解析結果の変位は大きくなっている。これを管理基準値として用いるとその評価は危険側となる。このことを考えると、管理基準値を解析によって求めようとするなら、力学定数は大きい値を用いなければならない。

5. むすび

情報化施工においては、観察・計測結果をいかに解析し評価するかが問題となる。そのためには地下空洞周辺岩盤の挙動の合理的な解析及び評価手法の確立が必要である。ここでは、大規模地下空洞に計測結果の解析・評価法に対する基本的な考え方とその問題点を述べた。

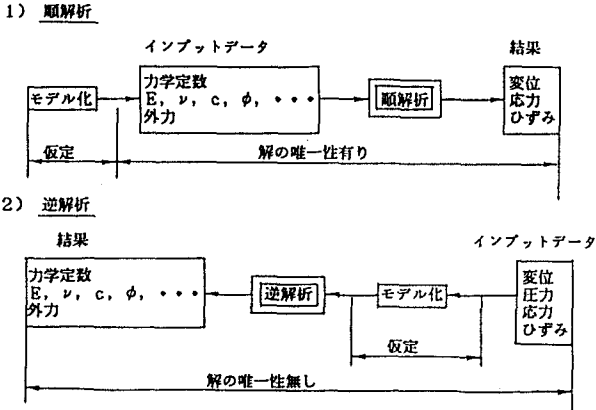


Fig. 1 順解析と逆解析の相違点