

II-10 「キープロック理論に基づく地下空洞安定解析システムの開発」

電源開発(株) 建設部 井上 茂良
 (株) 開発計算センター 科学システム事業部 大塚 俊男
 (株) 開発計算センター 科学システム事業部 ○梅田 明周

1. はじめに

現在、地下発電所等の地下空洞の設計及び施工管理は、主に連続体解析による設計と計測結果を考慮して施工管理が行われている。しかし、地下空洞建設時における岩盤の変状や部分的崩壊の原因の一つとして、岩盤内に存在する不連続面によるものが挙げられており、岩盤を不連続面で分割された不連続体として扱う必要があることが指摘されている。よって、地下空洞の設計及び施工管理は、従来の連続体解析による方法と、不連続体解析による方法の両方を考慮して行うことが重要と考えられる。

不連続体解析による設計及び施工管理手法としては、キープロック理論による方法（以下キープロック解析という。）が挙げられる。キープロック解析は、3次元的に分布する不連続面を直接モデル化して岩盤ブロックの安定性を評価する方法であり、最も合理的かつ現実的な方法であると思われる。しかし、キープロック解析は、3次元幾何を取扱う複雑さから、主に専門知識を持った技術者が活用するにとどまっている。また、不連続面データの取得やモデル化についても多大な労力と時間を必要としており、キープロック解析による空洞安定解析を困難なものとしている。

今回、不連続面データの取得、モデル化及びキープロック解析までをシステム化し、作業を効率化することにより、専門知識を持たない者でも地下空洞の設計及び施工管理が容易にかつ迅速に行なえることを目的とし、キープロック理論による地下空洞安定解析システムを開発した。

2. システム概要

今回開発したシステムでは、不連続面データの取得、モデル化及びキープロックの予測とその安定性の評価を行い、設計時には支保設計の検討に、施工時には施工の進捗に合わせた空洞掘削面の安定性評価と対策

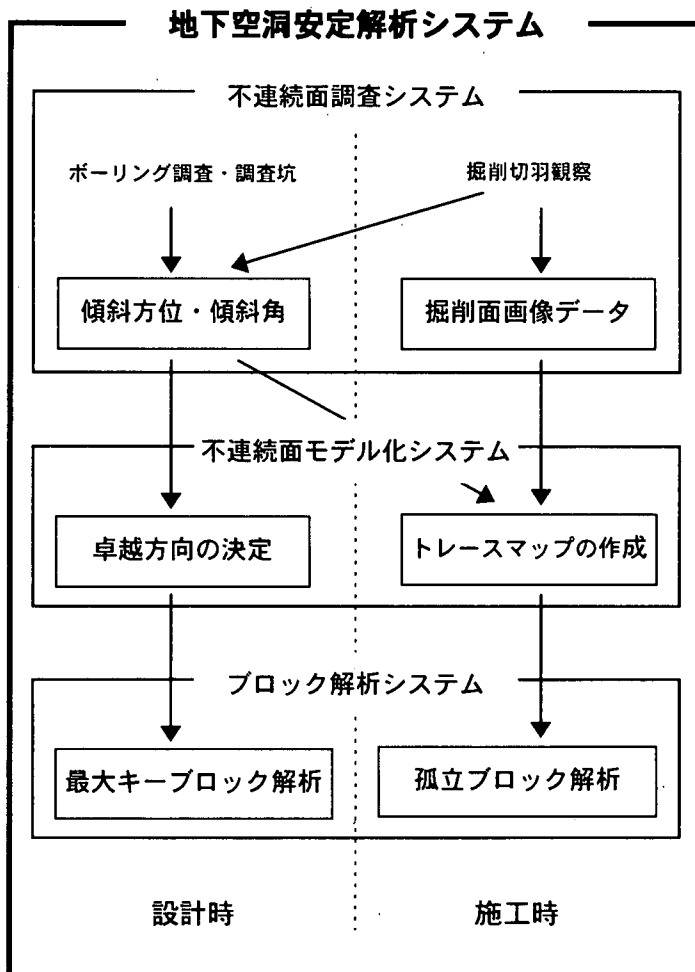


図-1 システム概要

工の検討に役立てるものである。また、本システムは、施工時には現地においてこれらの作業を行うことから携帯性を考慮してパソコン上で稼動させることを前提とし、操作性やハードへの依存を少なくする点からWindows上での開発を行った。

本システムの構成は、不連続面の分布や傾斜方位・傾斜角を入手する不連続面調査システム、入手した不連続面情報からキーブロック解析に必要なモデル化を行う不連続面モデル化システム、そのモデルに対してブロックの予測と安定性の評価を行うブロック解析システムからなっている。各処理は設計時と施工時において異なるものとなっている。図-1にシステム概要を示す。

2.1 不連続面調査システム

キーブロック解析を行う上で必要となる不連続面のデータは、不連続面の位置と傾斜方位・傾斜角である。不連続面調査システムは、これらの不連続面データを得るために不連続面の分布状況や傾斜方位・傾斜角等の不連続面の情報をシステムに取り込むためのものである。

不連続面の情報は、設計時には主にボーリング調査や調査坑等の調査結果から入手する。施工時には不連続面の分布状況は空洞掘削面をデジタルカメラで撮影し、画像データとしてシステムに取り込む。また、傾斜方位・傾斜角は電子式クリノメータで測定し、デジタルデータとしてシステムに取り込む。このように、施工時には逐次得られる不連続面の情報を、デジタルカメラや電子式クリノメータを使いデジタルデータ化することで、迅速かつ容易にシステムに取り込まれる。

2.2 不連続面モデル化システム

不連続面モデル化システムは、不連続面調査システムで得られた不連続面の情報から、キーブロック解析を行うためのモデル化を行うものであり、不連続面の卓越方向の決定とトレスマップの作成を行う。

・不連続面の卓越方向の決定

不連続面の卓越方向は、不連続面調査システムで得られた不連続面の傾斜方位・傾斜角をもとに統計処理を行い決定する。(図-2参照。)

・トレスマップの作成

画像データと不連続面の傾斜方位・傾斜角から、画像データ毎のトレスマップ(以下部分トレスマップという。)及び空洞全体のトレスマップ(以下全体トレスマップという。)を作成する。

トレスマップ上の不連続面は、両端点の座標値と傾斜方位・傾斜角で定められている。よって、トレスマップ上の不連続面は有限の長さで表現される。

部分トレスマップは、画像データから市販のCADソフトを使い、画像内の基準点とスケールをもとに基準点と不連続面の両端の相対座標を求める。そして、その不連続面の傾斜方位・傾斜角データとの対応付けを行い作成される。

また、全体トレスマップは、施工の進行に伴って作成される部分トレスマップを全体トレスマップに順次追加・更新して作成する。図-3に部分トレスマップと全体トレスマップの作成手順を示す。

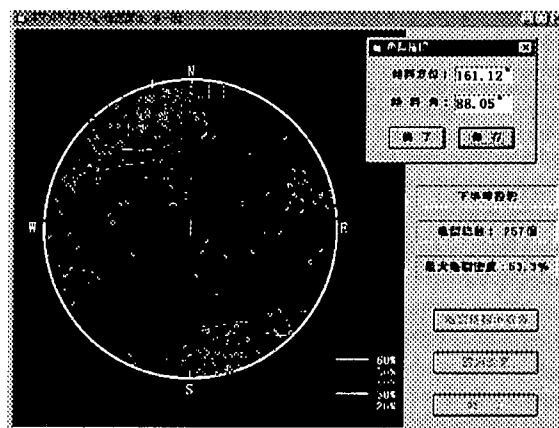


図-2 卓越方向の決定(極密度コンター図)

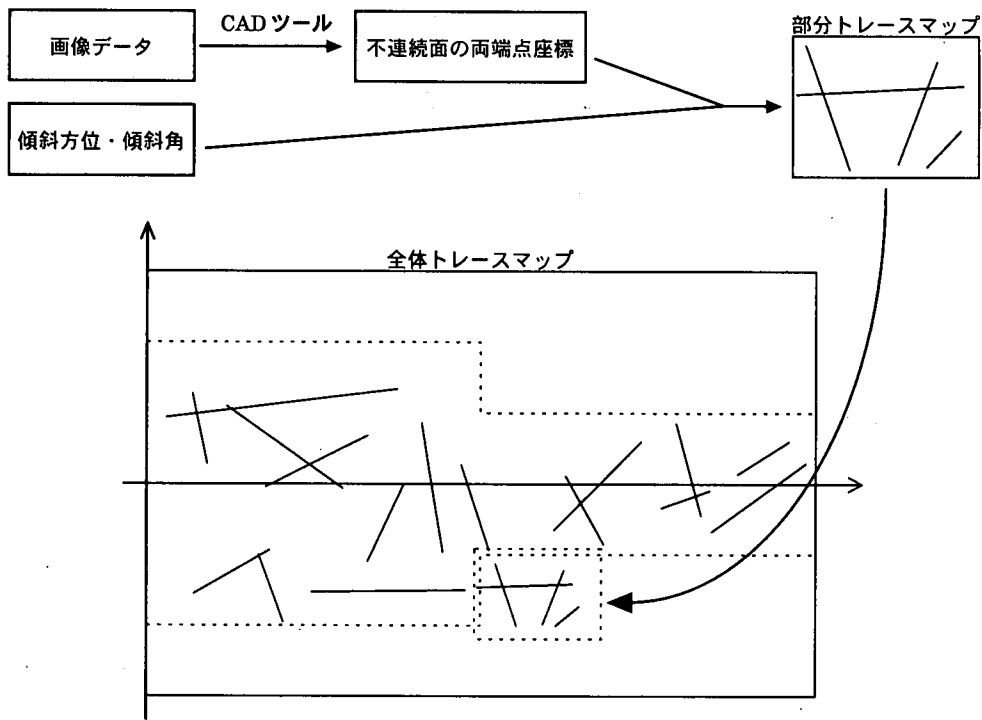


図-3 トレースマップ図作成手順

2.3 ブロック解析システム

ブロック解析システムは、不連続面モデルからキーブロックの予測、形状・寸法の決定、極限平衡解析によるキーブロックの安定性の評価及び支保工の設計を行うものである。ブロック解析システムでは、解析を行う目的により以下の機能に分けられる。

・設計時

設計時におけるブロック解析は、不連続面モデル化システムで決定された不連続面の卓越方向と、空洞の形状及び空洞軸方位の関係から、空洞周囲に形成される可能性があるブロックのうち、最大のものとなるブロックを抽出し、そのブロックの安定性評価と支保工の検討を行う（最大キーブロック解析）。最大キーブロック解析では不連続面を節理系として扱い、マクロ的視点で岩盤崩落の可能性を検討することを目的としており、主に空洞軸方位の確認に用いるものである。（図-4参照。）

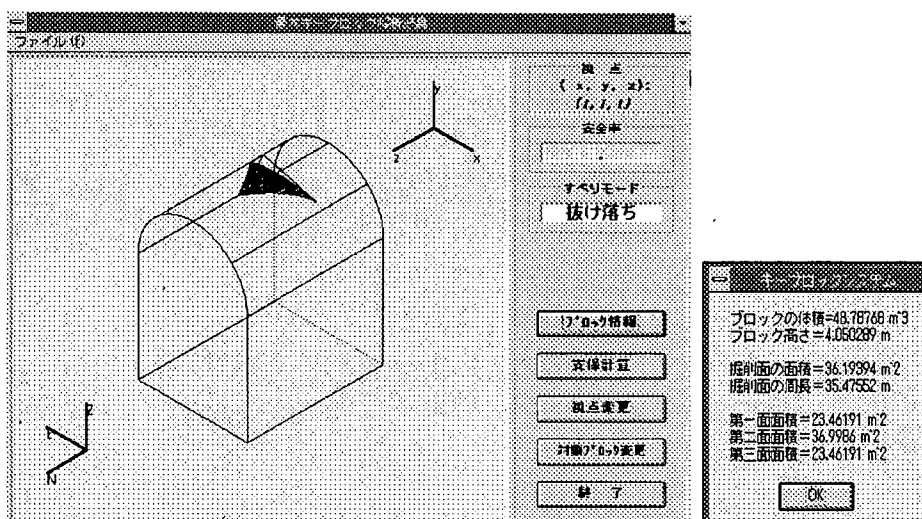


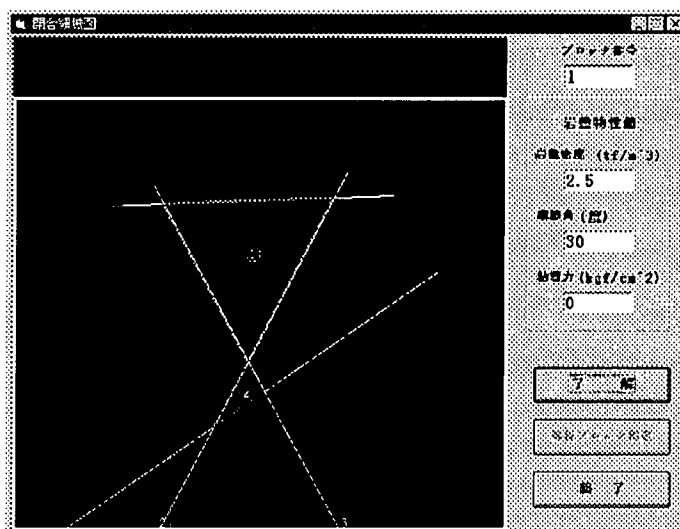
図-4 最大キーブロック解析結果出力例（ブロック形状とブロック情報）

・施工時

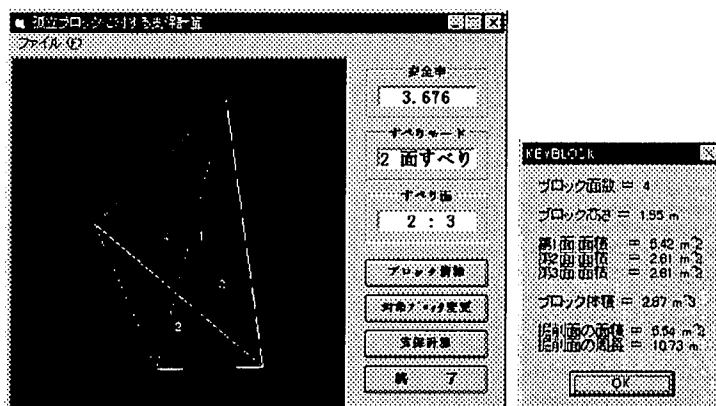
施工時におけるブロック解析は、掘削の進行とともに逐次得られる不連続面の情報をもとにトレースマップの追加更新を行う。そのトレースマップに対してブロックの抽出及びブロックの安定性評価と支保工の検討を行うものである（孤立ブロック解析）。孤立ブロック解析は、掘削面に現れた不連続面を直接モデル化し、局所的視点で岩盤崩落の可能性を検討することを目的としている。

孤立ブロック解析は、以下の手順に従い行う。

- ① 全体トレースマップで解析領域を指定（以下、解析トレースマップという。）。
- ② 解析トレースマップ上で複数の不連続面（トレース）により閉じた領域（閉合領域）の検索。
- ③ 閉合領域を形成する不連続面により、有限かつ空洞内へ可動するブロック（有限ブロック）が形成されているかを判定。（図－５参照。）
- ④ 極限平衡解析により有限ブロックの安定性の評価及び支保工の検討を行う。（図－６参照。）



図－５ 有限ブロックの判定



図－６ 孤立ブロック解析結果出力例
（ブロック形状とブロック情報）

3. おわりに

これまで専門的知識を持つ技術者でさえ多大な労力と時間を必要としていたキーブロック理論による地下空洞の設計及び施工管理を、一般技術者でも比較的短時間に不連続面データの取得、モデル化、キーブロック解析までを行うことができるシステムを構築した。今後、本システムを実際の現場へ適用し、システムの問題点の抽出や現場への適用性の確認を行うとともに、システムの改良を行う予定である。

最後に、本システムの開発にあたり、京都大学工学部大西有三教授ならびに東急建設（株）藤川富夫氏・青木俊郎氏・廣川隆男氏から多大なるご指導、ご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- ・ Goodman, R.E. and Shi, G.H, 吉中龍之進・大西有三訳：ブロック理論と岩盤工学への応用、土木工学社、1992
- ・ 藤川富夫：不連続性岩盤における掘削面の安定に関する基礎的研究、信州大学博士論文、1994.7