

II-25 「超大断面トンネル設計一貫システムの開発」

鹿島 〇森川 誠司
高橋 祐治

大野 清
早田 光利

1. はじめに

近年、設計・施工技術の発展に伴って土木構造物の規模は巨大化しつつあり、トンネルや地下発電所などの地下空洞についても大断面化の傾向にあると言える。例えば、今般計画されている第二東名神自動車道では、掘削断面が 200m^2 にも及ぶ超大断面トンネルの施工が予定されている。通常、標準的な規模のトンネルの設計においては対象となる岩盤の性質と断面の形状等の条件から掘削方法や支保パターンがある程度決定される。しかし、超大断面トンネルに関してはその実績が乏しく、標準化された設計方法が確立されていない。そのため、個別にFEM解析等を実施して周辺地盤の挙動や支保工の検討を行うことになるが、それらの検討に要する労力や時間は多大なものとなり、その効率化が望まれていた。

著者らは、このような超大断面トンネルの設計に関する一連の作業工程の合理化・効率化に寄与するため、「超大断面トンネル設計一貫システム」を開発した。本システムは、今後の超大断面トンネルに関する設計や特殊検討業務に対して強力なツールとなることが期待されている。本報文では、本システムの概要及び今後の課題などについて述べる。

2. 超大断面トンネル設計一貫システムの概要

本システムは以下の①～④に示す4つのサブシステムに分かれている。

- ① トンネルの断面作成・数量計算システム
- ② FEMによるトンネル解析のためのプレ処理システム
- ③ FEMによる2次元・3次元トンネル解析システム
- ④ FEM解析結果のポスト処理システム

①は、トンネル断面の諸元を入力することによってトンネル断面形状を自動的に作図するとともに数量計算も実施するシステムであり、ベースに2次元CADを用いている。

②は、①で作成されたトンネル断面のCADデータから、2次元・3次元FEMメッシュや他の解析用データを半自動で作成するシステムである。

③や④は、特に地盤・岩盤解析用に開発されたFEMによる2次元・3次元非線形（弾塑性）解析システムと、その結果のカラー図や数値情報の出力を操作者がインタラクティブに行えるシステムである。以上の①～④のサブシステムは、お互いが有機的に結合している。

図-1に本システムのフローを示す。

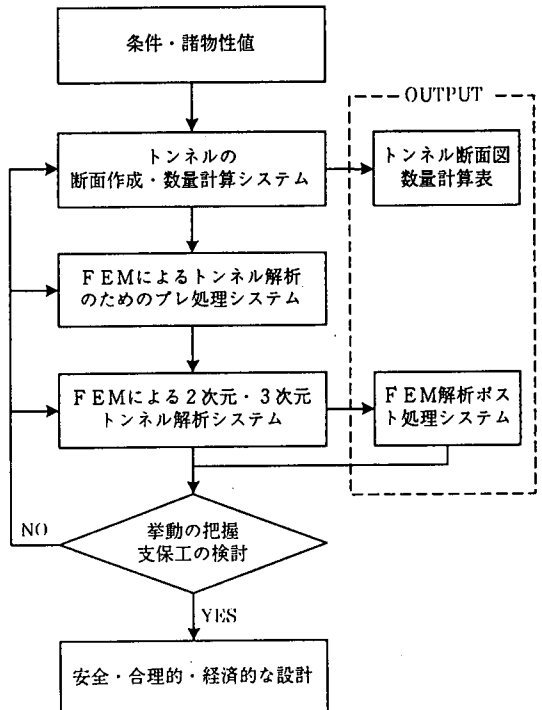


図-1 超大断面トンネル設計一貫システムフロー

3. 各サブシステムの概要

3-1 トンネルの断面作成・数量計算システムの概要

本システムはトンネル断面の諸元（内空半径等の寸法）を入力することにより、トンネル断面形状を自動的に作成し、掘削量や吹付けコンクリートなどの数量計算を実施するものである。また、作成された断面図の形状データは解析用のデータとして利用される。

断面図作成の手順は以下のとおりである。

1) 断面の諸元入力

以下に示すトンネルの掘削工法の中から用いる工法を選択し、工法に応じた断面の諸元を入力する。

図-2にトンネル断面図作成データ入力画面の例を示す。

・ショートベンチ ・上半CD ・CD ・CRD ・サイロット

2) トンネルの断面図の作成

1) で入力を終えたら図-2の右下の作図ボタンをマウスでピックアップすることにより、CADシステムを起動して、断面図の作図（図-3参照）と数量計算を実施する（図-4参照）。作図ボタンには、トンネル断面構造の作図と、これに加え寸法線を含んだ作図の2種類が用意されている。

3) ロックボルトの作図

ロックボルトは建設省や日本道路公団などの基準に従い、ピッチや長さを決めることができるほか、CADで任意のピッチと長さのロックボルトを簡単に追加作図することができる。

作成された断面図は、CADデータとして保存し、設計解析用のデータとして利用される。入力画面や数量計算表は文書の形での保存・再利用が可能である。

汎用断面図作成データ入力画面（ショートA）例

項目	記号	単位	I	II
容積				
表示スケール (1/〇)				
上半内空半径1	R 1	m		
上半内空半径2	R 2	m		
下半内空半径	R 3	m		
すり付内空半径	R 4	m		
CRD内空半径	R 5	m		
内空高さ	R H	m		
円弧方向圆心半径	Y 1	m		
水平方向圆心半径	X 2	m		
S/L高さ	h 0	m		
上半掘高さ (F/L上方が正)	h 1	m		
吹付コンクリート厚さ (一次)	t 1	m		
掘工厚さ (二次)	T 1	m		
CRD厚さ	T 2	m		
上半掘幅	L 1	m		
すり付け	r 1	m		

本体作図&寸法線表示 本体作図

図-2 断面作成データ入力画面例

また、開発に利用したコンピュータ及び構築用ソフトウェアは以下のとおりである。

・コンピュータ (EWS) 日立2050Gシリーズ
・ソフトウェア 2次元CADシステムHICAD/W など

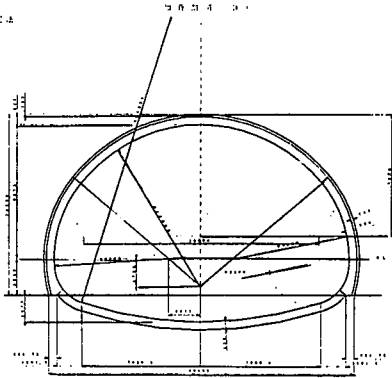


図-3 トンネル断面図出力例

ショートベンチカット工法 (B)

名称	掘削 (m³)	吹付コンクリート (m³)	掘工厚さ (m³)
1 上半掘削	104.564		
2 上半吹付		21.270	
3 下半掘削	78.877		
4 下半吹付		12.434	
5 掘工厚さ			16.802
6 掘削・掘削	29.270		
7 掘削・掘削			9.418
合計	212.711	33.704	26.219

図-4 数量計算表出力例

3-2 FEMによるトンネル解析のためのプレ処理システムの概要

本システムは断面作成システムから引き継いだトンネル断面の形状データより、CADを用いて2次元FEM解析モデルのメッシュ（図-5参照）や解析データを作成するものである。このメッシュデータを解析用フォーマットに変換し、データ解析・ビジュアライゼーションソフトウェア（PV-WAVE）を用いて開発したプレ処理プログラム（図-6参照）によりメッシュの物性層データや境界条件データ、掘削データ等を作成する。

3次元FEM解析モデル（図-7参照）のメッシュの作成はトンネル断面方向のメッシュをトンネルの軸方向に拡張する別プログラムを使用する。

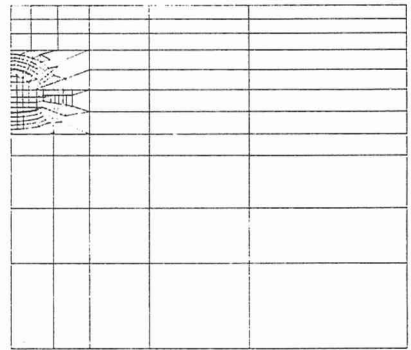


図-5 2次元FEMメッシュ出力例

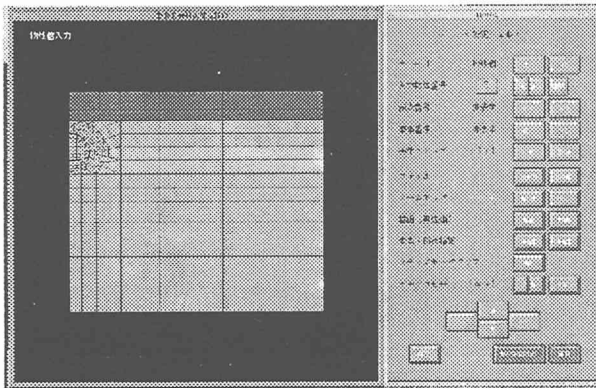


図-6 解析諸条件作成プログラム入出力画面例

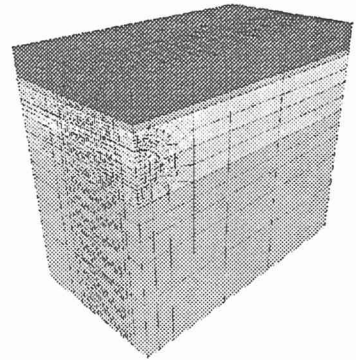


図-7 3次元FEMメッシュ出力例

3-3 FEMによる2次元・3次元トンネル解析システムの概要

本システムは、3-2で作成されたメッシュデータや物性層分けデータ、境界条件データ、掘削データなどをスーパーコンピュータに引き継ぎ、地盤・岩盤解析用に開発されたFEMによる2次元・3次元線形・非線形（弾塑性）解析システムで解析を行うものである。応力や変形などの解析結果はファイルに保存され、カラー図や数値情報の出力などに利用される（図-8参照）。

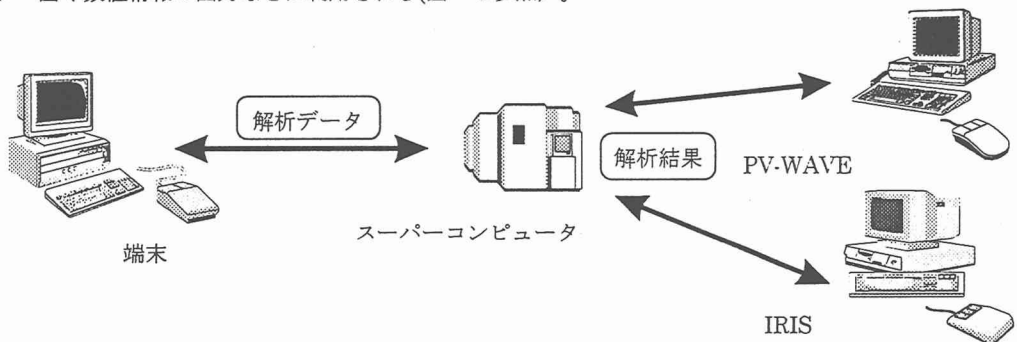


図-8 FEM解析システム概念図

3-4 FEM解析結果のポスト処理システムの概要

本システムは3-3において解析した結果を検討しやすい形（主応力図、変形図、局所安全率分布図、コンター図など）にして、カラーやモノクロで自由に表示・印刷を行うことが可能なポスト処理システムである。システムの開発に使用したコンピュータ及びソフトウェアは、グラフィックスワークステーション（IRIS）上のFORTRAN及びUNIXワークステーション上のPV-WAVEである。

3次元（2次元）解析結果のグラフィックスは、マウス・ダイヤルボックス・キーボードを用いて自由に回転、拡大縮小、カラーの色合いの変更、スケールのセットなどが可能である（図-9、10参照）。また、本解析システムの結果だけでなく、他の種々の解析システム（浸透流解析、動的解析など）の結果も同様に自由に出力が可能であるほか、ビデオへのこま撮り・編集が可能であり、高い操作性と汎用性を持つ。

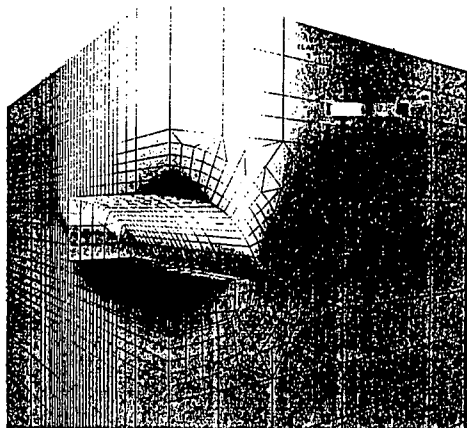


図-9 3次元天端沈下・リバウンド分布出力例

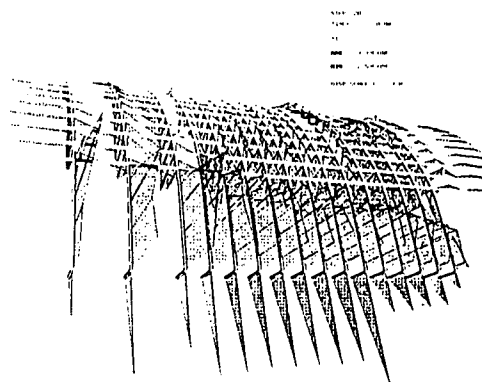


図-10 先受け工曲げ応力出力例

2次元解析結果のグラフィックスは同様に、マウス・キーボードを用いて自由に拡大縮小が可能であり、マウスで個々の要素や節点をクリックすればその要素の応力や節点の変位のデジタル値を表示させることができる（図-11参照）。また、任意の範囲を選択し、その範囲の応力値や変位量をファイルに保存、再利用することができ、地表面沈下のみデータを作成したい場合など作業の効率化を図ることができる。

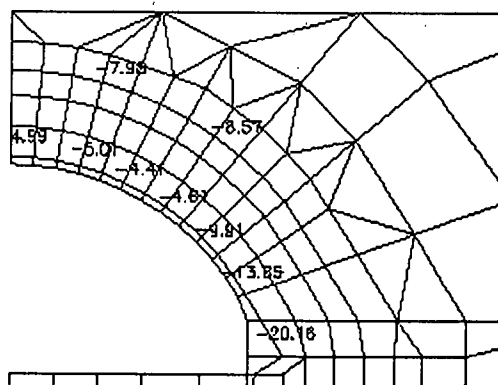


図-11 2次元解析結果応力値出力例

4. おわりに

本報文では、超大断面トンネルの設計に関する一連の作業工程の合理化・効率化に寄与するためのシステムについて報告した。今後、超大断面のトンネルの施工が増えれば膨大な量のデータの処理、特に3次元解析に対するニーズが増えてくるものと考えられるが、複雑な地層等を正確に効率よく3次元解析のメッシュに表現するにはシステムのさらなる充実が必要であり、また、ハードウェア・ソフトウェアの面からも改良や効率化が期待される。

今後、著者らはハードウェア・ソフトウェアの進歩の動向に注目しつつ、断面作成システムのWindowsバージョンへの移行や、解析システムの高精度化・高速化の研究を進めていきたいと考えている。