

パソコンによる地震応答解析システムの開発

日本鉄道建設公団 設計室 末永 充弘
日本鉄道建設公団 設計室 ○梶原 雄三

1. はじめに

現在、都市部ではビルの高層化・高密度化が急速に進展していることから、残された地下空間を有効利用する研究が行われ、具体的な施工方法も提案されつつある。しかし、鉄道などのトンネルは線状の地中構造物であることから、河川交差部や地盤性状の変化部など地盤条件の悪い箇所を通過せざるを得ない場合が多く、このような条件下では、地震時の安全性について十分な検討を行っておく必要がある。

耐震性検討の詳細な手法としては、一般的に動的地震応答解析が用いられるが、この解析は地震動を時々刻々計算し応答値を求めるものであり、比較的計算規模が大きく複雑であることから、通常、大型コンピュータで処理している。このため、構造物の概略設計段階で、多様な条件の解析を試行する場合などには、解析コストや解析期間などの問題から、設計者が十分納得のいくまで検討を行い難い面がある。そこで、トンネルの耐震設計作業を効率的に支援するため、設計上必要とされる解析手法を廉価で操作性に優れたパソコンに組み込んだ「地震応答解析システム」を開発することとした。

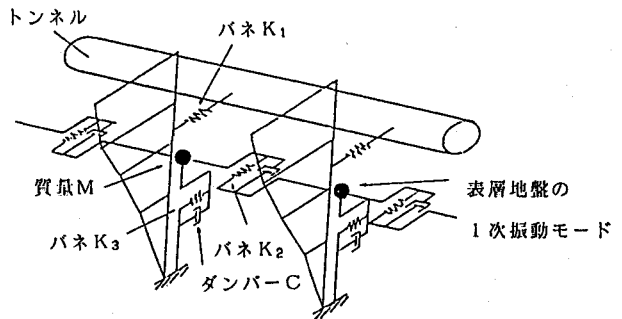
2. 地震応答解析モデルの概要

シールドトンネル・沈埋トンネルのような地中に設置された軸方向に長い構造物では、周辺の地盤の特性がトンネルの挙動に対して支配的な影響を与え、トンネルは地盤の持つ固有振動数で振動し、地盤の変形に応じて変形することが実験的、理論的研究で確かめられている。このような研究をもとにして、以下に示した仮定条件により組み立てた解析用モデルで応答計算を行う。

①地中構造物は地震時に固有の振動を生じることはなく、周辺地盤とほぼ同様に振動する。

②地中構造物は周辺地盤の変形に応じて変形し、構造物の剛性が小さくかつ周辺の地盤が岩盤のように硬い場合は、構造物と地盤がほぼ同じ様に変形する。逆に構造物の剛性が大きく、地盤が軟らかい場合は構造物の変形は小さい。

したがって、トンネルは質量のない梁にモデル化でき、図-1に示すように、地盤を1質点系とした軸方向に連続するモデルで応答解析を行い、この応答値を弾性床上の梁としてモデル化したトンネルに強制変位を与えるという解析手法を組み込むこととした。



- M : 表層地盤の質量
- K₁ : 地盤とトンネルを結ぶバネ
- K₂ : 地盤と地盤を結ぶバネ
- K₃ : 基盤と地盤を結ぶバネ
- C : 地盤の粘性減衰を示すダンパー

3. システム開発の基本設計

トンネルの地震応答解析をパソコンで簡単に、確実に、迅速に行えることを目標にシステムの基本設計を行った。なお、システム名称はEARTH/PCとした。

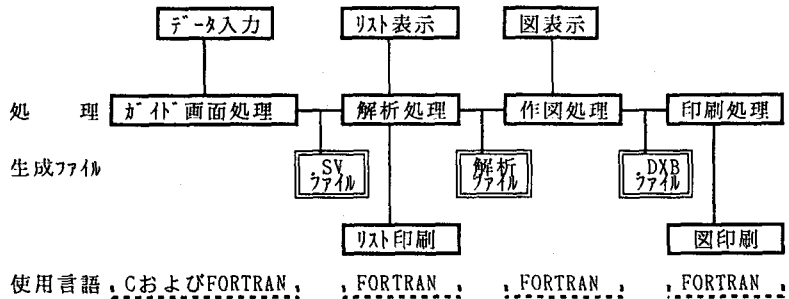
図-1 地震応答解析モデル

(1) ハードウェアの選択

近年のパーソナルコンピュータをとりまく環境は大きく変化し、中央演算処理装置に関しては16ビットCPUから32ビットCPUが主流となっている。しかしながら、当公団において既に広く普及しており、設計業務で使用実績のある機種の方が、本システムを今後とも有効的に活用可能との判断から、PC9801シリーズを稼働用機種としたシステム構成とした。さらに、ハードウェアによる浮動小数演算装置を併用し、演算の高速化をはかった。

(2) システム開発言語

数値演算等を確実かつ高速に実行するため、解析処理および作図処理にはFORTRAN言語使用(図-2参照)を基本とし、コンパイラにはRM/FORTRANを採用した。また前述のようなハードウェアの制約から、大規模な応答計算の実行プログラムをメインメモリ640Kバイト以内で行えるようコンパクトにするため、オーバーレイ機能のあるPLINK86をリンカーとして採用することにした。



(3) 図化処理

演算結果の地震波形図、応答加速度分布図、トンネルの断面力図等を図化する作業を軽減するため、また演算結果を視覚的に理解しやすくするため、本システムでは図形処理機能を特別な装置を用いることなく充実させることにした。これは、従来、画面に描かれた図はハードコピーなどの簡易的な処理で行うのが一般的であったが、作図処理プログラムでカルコン仕様準拠したプロッターファイルを作成し、このファイルをページプリンターの図形印刷機能を利用して描画させるものであり、この印刷処理プログラムにより、XYプロッターに匹敵する高品位な図形印刷をプリンターのみで行うことが可能となった。

(4) 対話形式によるシステムの操作

本システムの利用者は技術担当者に限定されるが、パソコンに関する知識のレベルには大きな幅がある。しかし、できるだけ多くの技術者が本システムを利用できるようにパソコンの操作は、メニュー(図-3参照)による対話形式を採用し、解析が手

図-2 システムの基本処理フロー

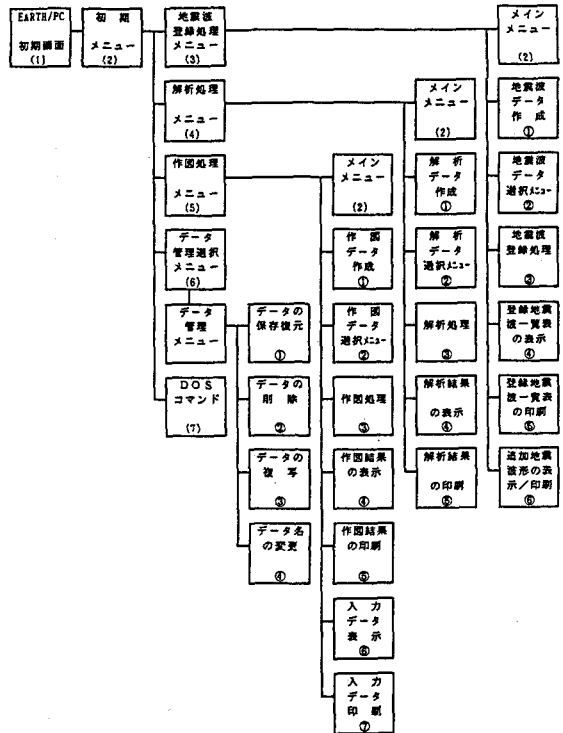


図-3 メニュー構成

軽にしかも確実にいえるよう配慮した。

【EARTH/PC】

4. 解析プログラムの機能

地震応答解析システムの構成および処理機能は、パソコンのメインメモリの制約条件640Kバイトで最も効率的な処理ができることを目標に、そして以下に示した実用性を損なわないように配慮して、図-4に示す解析機能を有するシステムとした。

①解析の対象とする延長を400m程度とし、1ブロックをトンネル直径10m程度を目安とすることにより、地盤質点および構造物節点を最大40断面まで扱えようにした。

②地層データについては、地下深部までの層変化を考慮し、実用上の面から最大20層とした。

③モード法時刻歴応答解析に用いる地震動データは、0.01秒単位のデータに対して、最小でも10秒間を再現可能な解析ができるようにした。したがって、最大1,000ステップまで扱えるようにした。

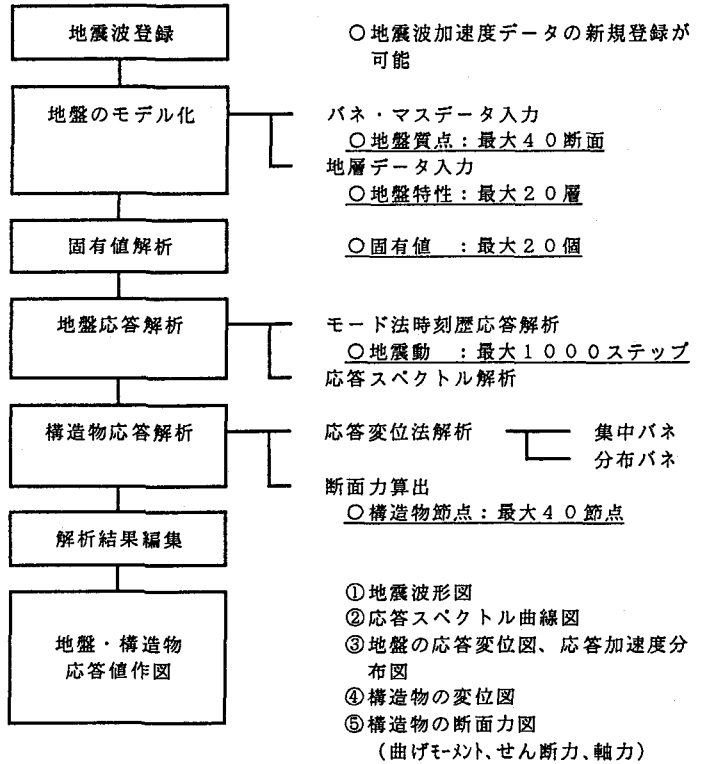


図-4 システムの解析機能

5. 地震応答解析例

本システムにより、シールドトンネルの地震応答解析を行った事例の条件および結果を以下に示す。

(1) 地盤条件および解析条件

図-5に示すような地盤剛性の著しく異なる沖積粘土層から洪積砂質土層を貫くシールドトンネル。

a) 解析モデル：トンネル深さ15m~20m、解析延長L=420m、地震波入射基盤面の深さは約37mで基盤面には不陸がある。

b) 覆工形状：覆工外径7.1m、覆工厚30cm

c) 解析手法：モード法時刻歴応答解析

モデル図

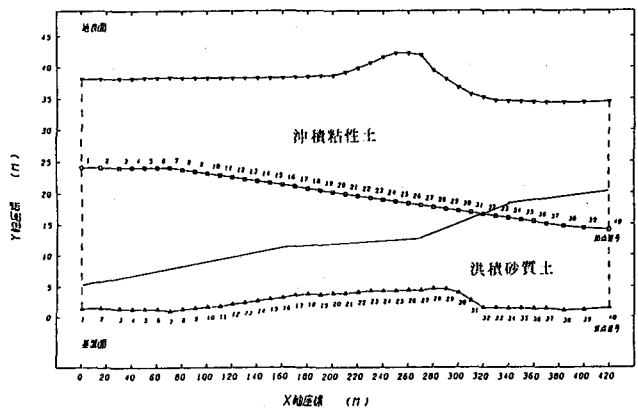


図-5 解析モデル

d) 入力地震波 : EL-CENTRO NS,
 1940年5月18日、最大加速度
 200 GAL (図-6 参照)

(2) 解析結果

解析の結果、図-7に示すように地震発生から2.01秒後に、地盤剛性が大きく異なる節点32でトンネルの水平変位は急変し、図-8の断面力分布図では、節点32で最大曲げモーメント $M=1780\text{tf}\cdot\text{m}$ を示した。これは、セグメントの抵抗曲げモーメント $M_r=704\text{tf}\cdot\text{m}$ を超えており、リング間継手構造は耐震構造としなければならないことがわかった。

このように、解析結果を自動的に図化することによって、設計に関する情報を効果的に伝えることができ、構造物の地震時の弱点を視覚的に、しかも的確に把握することに効果をあげることができた。

6. おわりに

本システムは、トンネル設計支援をパソコン上で十分に発揮することが可能であることを実証した。廉価なパソコンを利用した設計支援システムへの期待は大きく、本システムを全社的な情報化の一環としてさらに発展させたいと考えている。

今後、複雑化する都市内施設に対する影響評価や、複雑な地盤構成を対象にした高度な解析では、演算要素数などの増大など、システム機能の強化が必要となろう。このような課題には、最近急速に機器の価格がパソコン並に近付きつつあるEWSの高機能性を活用し、パソコンの取り扱いやすさとEWSの高速処理などの特徴を相互に生かすためのネットワークシステムで対応することが望ましいものと考えており、現在その方向で検討中である。

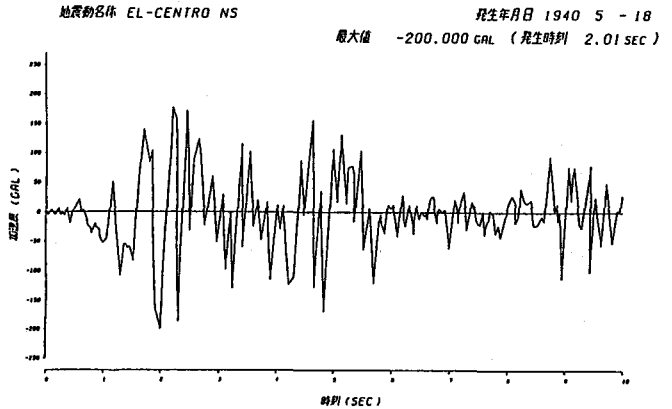


図-6 入力加速度波形

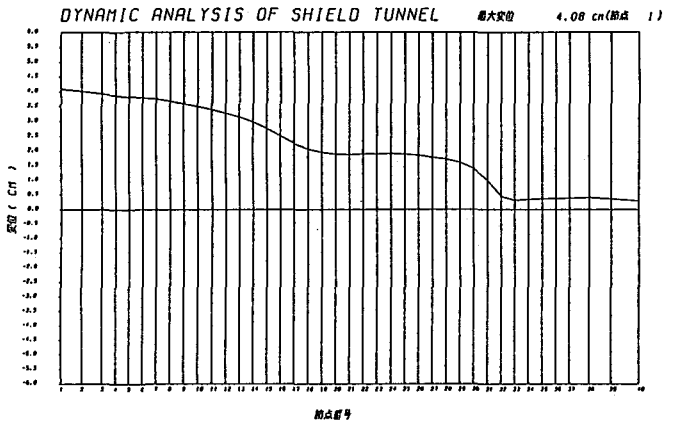


図-7 構造物変位分布

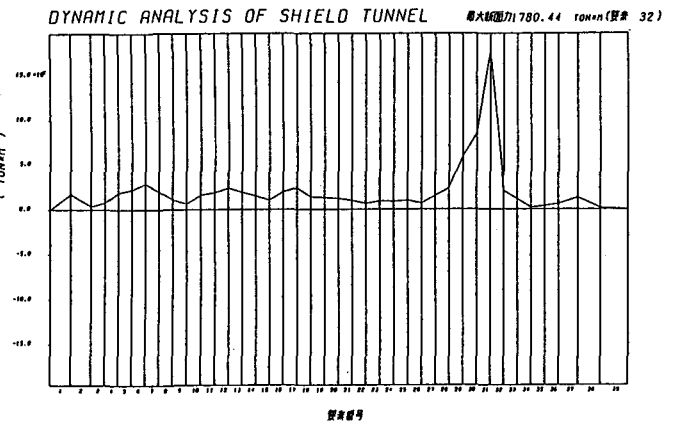


図-8 構造物断面力分布