

II-21 地中構造物の耐震解析統合システムの開発事例

中川 忠直 牧 秀彦 本城 稔洋 西田 海
 Tadanao Nakagawa Hidehiko Maki Toshihiro Honjou Kai Nishida

【抄録】

兵庫県南部地震以降、地中構造物に対しても耐震設計指針・基準の改訂が行われ、構造物の横断面方向の耐震設計においては、応答変位法を用いて設計を行う場面が多くなってきている。

この背景を踏まえ、解析モデル入力の単純化、各設計段階の自動計算機能を取り入れた地中構造物の耐震解析統合システムを開発した。

この統合システムにより、設計者の作業量をかなり軽減することができた。ここに、その事例を報告する。

【キーワード】

地中構造物、耐震設計、統合システム、応答変位法

1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震によって、地上構造物に比べると、地中構造物の被害は少なかったが、開削工法で施工された一部の地下駅部において、大きな被害が生じた。

このことから、地中構造物にもレベル2地震動までを想定した耐震設計が求められるようになり、土木学会の第一次、第二次提言を受けて、耐震設計指針・基準の改訂が順次行われている。

そのため、地中構造物の耐震設計は、震度法から、応答変位法やFEMを用いた静的解析法などが用いられるようになってきている。

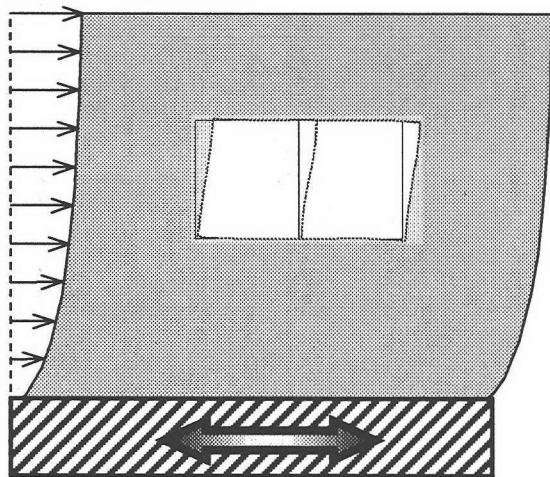


図-1 地中構造物横断方向の耐震設計

FEMを用いた静的解析法は、図-1のように地盤～構造物全体系を一体として解析する手法である。それに対して、応答変位法は、地盤～構造物全体系から、構造物を取り出して、その地震挙動を簡便に解析する手法である。応答変位法は、従来より適用事例も多く、各耐震設計指針・基準で広く採用されている。

しかし、応答変位法は、モデル化から計算処理に到るまで、煩雑な手順が必要である。

そこで、筆者らは、開削トンネル横断面の耐震設計を支援するという目的で、統合システムの開発を行った。今回は、そのシステムの概要と特長を報告する。

2. 地中構造物の耐震解析統合システム要件

2. 1. 開削トンネルの耐震設計フロー

開削トンネルの耐震設計において応答変位法により解析を行う場合、①～④までの煩雑な過程で設計を行う。

- ①周辺地盤の応答解析を行い、構造物位置の変位や加速度、せん断力、動的特性などの地盤応答を求める。
- ②この地盤応答から、地震時に構造物へ作用する荷重と、相互作用を評価する地盤バネを設定する。
- ③全体系から取り出した構造物に地盤バネを配

置し、地震時の荷重を載荷することにより、構造物の変位、断面力を計算する。この際、レベル2地震動の場合、構造物の非線形性を考慮する必要があるため、あらかじめ常時解析の断面力（初期応力）から、各部材の非線形履歴特性を求めておく。

- ④求められた構造物モデルの断面力から、安全性の照査を行う。レベル1地震動の場合、耐震性能1、レベル2地震動の場合、耐震性能2または3を満足するように設計を行う。それぞれの耐震性能を満足しない場合、断面諸元の変更を行い、再検討を行う。

ここで、耐震性能とは、

- 耐震性能1：地震後にも機能は健全で、補修をしないで使用可能。
- 耐震性能2：地震後に機能が短時間で回復でき、補強を必要としない。
- 耐震性能3：地震によって構造物全体が崩壊しない。

という状態を、指すものである。

2. 2. 問題点とシステム要件

応答変位法により耐震設計を行う場合、地盤の応答解析、静的非線形解析、非線形履歴特性値の計算等、それぞれ専用のソフトウェアを利用しなければならないのが実状である。

現状の問題点として、

- ①複数のソフトウェアを使い分けなければならないため、各ソフトウェア間の操作性が異なる。また、モデルの定義項目が多い。
 - ②設計者が手計算を行う場面が多く、煩雑である。また、計算ミスを誘発することが多い。
 - ③設計変更が発生し、モデルの再定義が必要となった場合、検討までに要する時間が掛かる。
- といったことが挙げられる。

問題点を解決するためのシステム要件として、

- ①使用するソフトウェアをできるだけ少なくし、操作性を統一する。また、モデル定義を簡易にする。
 - ②できるだけ手計算が必要な場面を減らす。
 - ③モデル定義から検討までが、容易に行える。
- ということが挙げられる。

3. 開発システム

3. 1. システムの概要

先に述べたシステム要件を反映するため、耐震設計を行うための各ソフトウェア群を、統合システムとして1つにまとめた。

統合システムの処理フローを、図-2のようにした。

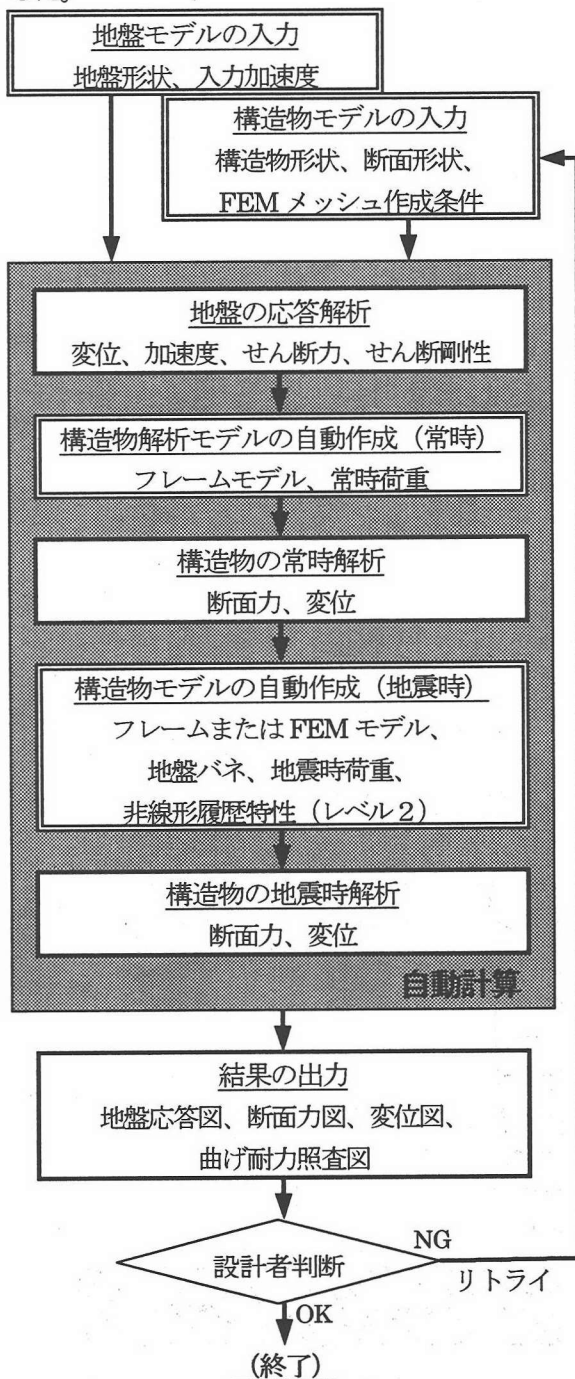


図-2 統合システムによる設計フロー

本システムは、現在幅広く使われている、Microsoft Windowsをプラットフォームとして採用し、モデル入力、解析処理、結果の出力までの一連の流れを一括して処理するものとした。

3. 2. システムの特長

(1) モデル入力機能の簡易化

今回新たに、自動計算を行うための構造物定義方法を考案し、モデル定義の簡易化を行った。

従来の、節点座標を入力し、節点を結んで梁を作成して構造物を定義する方法では、入力される構造物形状がどんなものになるか、予測がつかない。入力された形状によっては、地盤バネの定義などの自動計算が行えない可能性が出てくる。

そこで、本システムでは構造物の外形の形状を矩形、円形と限ってモデル定義ができるようにしている。

構造物外形を固定とした入力とすることにより、地盤と構造物間の節点、梁に対して上下左右どちらに地盤があるか、等の認識が容易となり、自動的に荷重や地盤バネの定義が可能となっている。

また、外形は固定としても、内部は実際の構造物形状を定義できるような入力方法とした。構造物が矩形の場合、下のような入力となる。

- ① 構造物の外形（幅、高さ）を入力
- ② 構造物の内部の形状（層・径間数と各長さ）を入力
- ③ 構造物を格子に区切り、それぞれに梁を作成するかどうか選択

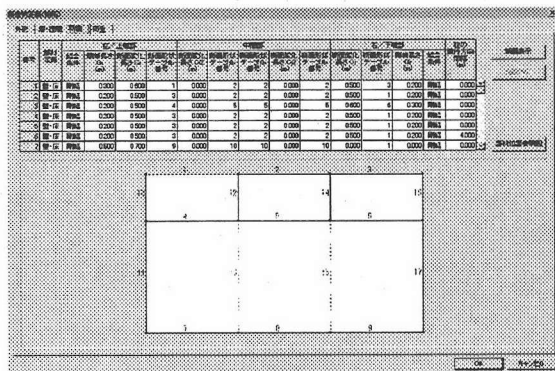


図-3 構造物定義入力画面

(2) 計算機能の自動化

設計者が机上で長い時間をかけて計算していた、常時・地震時の荷重値、地盤バネ値、非線形履歴特性値などの計算機能を自動化した。

自動化する際に、地盤モデルと構造物モデルの相互関係を考慮する必要がでてきた。

地盤の応答解析結果の出力から構造物のモデル化を行う時に、設計者の判断が必要になる。

例えば、地盤バネ値を計算するとき、地盤反力係数の影響範囲を考慮するが、地盤バネ位置に地盤の分割がされていない場合、この影響範囲を判断するのは、ソフトウェア上では困難であり、設計者の判断が必要になる。

解析を一貫して行う統合システムとするためには、途中で設計者の判断が必要となる事は好ましくない。

今回、解析を行う前に地盤と構造物を同時にモデル化して地盤モデルと構造物モデルの相互関係を考慮するという方法を取った。

モデル化の後に地盤の分割と構造物の節点位置が一致するようにモデルを細分割している。地盤と構造物の節点位置を一致させることによって、地盤バネ値、常時・地震時荷重値の計算をソフトウェア上で行うことが容易になった。

このようにして実現した計算機能の自動化により、データ入力項目を減らすことができるため、設計変更によるモデル再定義においても最小限の入力変更により、再計算までの時間の短縮を図ることが可能となる。

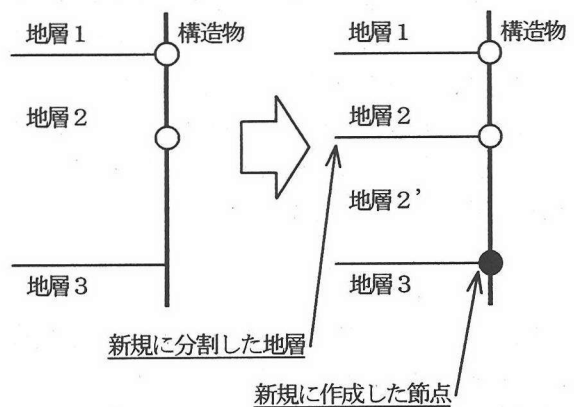


図-4 地層と節点の相互関係

4. まとめ

このような統合システムにより、個別システムを用いる場合に比べ、表-1のような効果を得ることができる。

表-1 統合システムによる改善点

番号	改善点	個別システム	統合システム
1	構造物形状の定義	設計図より、節点の座標、梁を構成する節点を割出し、それぞれ数値を入力して形状を定義する。	構造物全体の長さ、層径間長さを入力する。節点座標・梁の構成は、自動的にシステムが定義する。
2	地盤と構造物の位置の考慮	構造物を定義するときに、設計者がそれぞれの位置を考慮して、土層と構造物を分割する。	システムが位置を自動的に判断し、土層と構造物を分割するため、設計者が意識する必要がない。
3	常時荷重の定義	設計者が地盤条件より、それぞれの荷重値を計算し、骨組み計算ソフトウェアに入力する。	入力された地盤条件より、自動的に荷重値を計算する。梁への定義も自動的に行う。
4	地震時荷重の定義	設計者が地震応答解析の結果より、構造物位置、質量を考慮して荷重値を計算し、非線形骨組みソフトウェアに入力する。	地震応答解析の結果を取込んで荷重値を自動的に計算する。梁への定義も自動的に行う。
5	地盤バネの定義	設計者が地震応答解析の結果より、地盤反力係数を求め、梁の長さを考慮して地盤バネ値を求め、非線形骨組みソフトウェアに入力する。	地震応答解析の結果を取込んで地盤反力係数及び、地盤バネ値を自動的に計算する。節点への定義も自動的に行う。
6	非線形履歴特性の定義	常時解析結果の断面力より、別ソフトウェアを使用して、非線形履歴特性を求め、非線形骨組みソフトウェアに入力する。	常時解析結果を取込んで非線形履歴特性を自動的に計算する。梁への定義も自動的に行う。
7	メッシュの定義	地盤と構造物の形状を考慮し、別ソフトウェアにてメッシュを作成する。作成したメッシュデータを非線形骨組みソフトウェアに入力する。	システムが自動的にメッシュを作成する。

このような統合システムにより、作業時間の大幅な短縮化を図ることができたため、設計者の作業効率は、10倍以上向上できると考える。

また、設計者が行っていた判断をシステムが行うため、経験の少ない設計者でも高い品質の解析結果を得ることができる。

5. 今後の展望

以上のように筆者らは、Windows版の地中構造物の耐震解析統合システムについて、より設計者の身近なツールとなることを目指し開発を行ってきた。

今回、地盤応答解析から構造物非線形解析までを自動化した計算機能で結び付けることにより多くの問題点を解決でき、効率化の面でも大きな成果をあげることができた。

今後は、自動化した計算機能の向上を目指し、より多くのモデル形状に対応していき、各指針・基準への対応を行って、より統合システムとしての完成度を上げていく予定である。