

土木設計における地盤・構造物

FEM解析支援への取組みについて

電源開発(株) 有賀義明

㈱間組 須田清隆

○富士通FIP (株) 浅田博司

1. はじめに

土木構造物の設計では、FEM解析による検討の重要性が益々増加しているが、不確定要因の多い地盤を対象とするため、地盤・構造物のモデル化、地盤物性値の設定、解析結果の評価判定等が必ずしも確立されておらず、設計者個人が多岐に渡る情報を基に多面的に判断しているのが現状である。

筆者らは、土木設計におけるFEMを活用した地盤解析技術を系統的に支援するため、①技術情報の効果的な管理と利用、②FEM解析の作業効率の向上について検討した。そして、その成果を地盤解析支援システムとして具体化した。

本報では、土木設計におけるFEM解析を支援する方法とその効果について報告する。

2. 技術情報の効果的な管理

2.1. FEM解析に必要な技術情報とその利用の現状

地盤・構造物を対象としたFEM解析作業の流れを図-1に示す。

各フェーズにおいて設計者は、各種情報より解析に必要な項目を決定するが、設計者が参考にする情報は主として4つに整理できる。

①過去の同様な解析事例

解析目的の検討から結果の評価判定まで、いずれのフェーズにおいても参考となる。解析目的、地盤・構造物の形状と物性値等が同じようであれば、情報としての価値は高まる。

②地盤の調査試験結果

解析対象地盤に関する調査試験結果であり、重要構造物ほど調査試験が多く実施され、情報量が多い。しかし、一般的には、非常に重要な構造物でない限り、設計段階では十分な調査試験データがない場合が多い。

③設計指針類

公表されている設計指針類であり、荷重を評価する場合や解析結果を評価する基準値を設定する際に参考となる。

④文献類

解析手法の説明、地盤物性値間の相関図・表（地盤の調査試験結果の整理）、解析プログラムの解説等の文献類であり、設計者は必要に応じ文献を参照する。

これらの情報を基に設計者は、FEM解析フェーズの各所で多面的に判断し、解析作業を行うが、技術情報の利用においては、

①必要とする情報の所在の把握。

②直面した問題に最適な情報の選択。

③該当する情報がない場合、代わりになる情報の選定。

が必要であり、いずれも解析経験の豊富な設計者個人に多くを依存しているのが現状である。

また、情報の入手に際しては、所在が多岐に渡り、情報が系統的に整理されていないため、設計者が問題

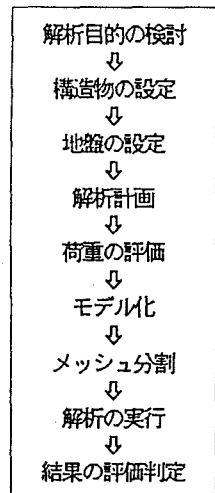


図-1
FEM解析作業フロー

に直面して情報を基に判断したい時に入手に時間がかかる場合が多い。

課題としては、地盤・構造物のFEM解析に必要な情報を合理的に管理することと的確な選定がある。

2.2. データベースによる技術情報の効果的管理

技術情報の合理的な管理を系統的に支援するにはデータベースの構築が、また、情報の的確な選定を支援するにはAIの適用が考えられる。データベースへのAIの適用は各方面で研究されているが、ここでは、知識の収集やシステム構築の検討のためには実際に利用する技術情報の内容や利用方法を具体化することが先決と考え、まず、データベースによる技術情報の効果的管理について検討した。

FEM解析に必要な技術情報を合理的に利用するためのシステム要件として、つぎの4点を重視した。

①業務の度に生ずる解析事例や地盤の調査試験結果を数値データ、及び文字データとして蓄積でき、参照は勿論のこと、数値データとして加工、再利用ができる。

②設計の際に参考とする技術資料(図・表等)はイメージデータ、文字データとして登録、参照できる。また、技術資料(図・表等)は単に参照するだけでなく、統計処理の対象として利用できるデータは数値データとして登録できる。

③データベースの検索に当たっては、土木設計に携わる設計者が日頃使用している用語を検索キーワードとし、資料の検索には標題等に対する文字列による検索を可能とする。

④解析事例、地盤の調査試験結果、技術資料(図・表等)の登録が容易にでき、FEM解析のいずれのフェーズにおいても随時利用できる。

これらの要件を満たすデータベースとして表-1の3種類のデータベースを定義した。

表-1 FEM解析に必要なデータベースの定義

名称	利用目的	登録内容	データ属性	利用方法
解析事例データベース	経験に裏打ちされた解析を可能にするために利用	解析条件(モデル、物性値等)と解析結果(変形、応力)を解析ケース毎に登録。	文字データ 数値データ	・モデル図、物性値一覧表、及び解析結果図の参照 ・解析条件の一部を変更した再計算。
地盤情報データベース	調査試験結果を基に地盤の物性値を設定するために利用。	各種土質試験条件と結果を試験毎に登録。	文字データ 数値データ	・蓄積された試験結果を基にした統計処理。や地盤物性値の設定。
設計資料データベース	解析作業にて各種判断をするための参考資料として利用。	解析における判断の際、参考となる技術資料の該当箇所(図・表)を資料毎に登録。	文字データ イメージ 数値データ	・技術資料(イメージデータ)の参照。 ・物性値関係の資料内数値データを対象に統計解析。や地盤物性値の設定。

3. FEM解析作業効率の向上

FEM解析にプレ・ポストを導入することは各分野で一般的であるが、地盤・構造物を対象にする土木分野で設計者を悩ませているのは、複雑な構成をした地盤と構造物のメッシュ生成である。ゆえに、土木設計に適した合理的なメッシュ生成法と同時にメッシュ分割を含めたFEM解析作業での設計者の利用し易い操作性が望まれる。

これらの要望を踏まえ検討した結果、地盤・構造物系のFEM解析の作業効率の向上のためには、

①複雑な構成をした地盤と構造物のメッシュ生成が容易にできるアルゴリズム、及びアルゴリズムの限界を補完するCAD機能。アルゴリズムの要件としては、任意形状が扱え、地層線等のアウトラインに沿ったメッシュ操作が容易に行える。

②FEM解析作業の全フェーズが1つのシステムで作業でき、技術情報を管理するデータベース支援がシステムと連携する。

③設計者が判断し易いようにマルチウィンドウを用い、各種情報をできるだけ同時に表示し、処理の選択はマウス操作による。

④システム操作に習熟していない設計者でも解析作業が手軽に行えるように不明な操作等をHELP機能に

て支援するとともに、処理の中断・再開も容易に行えるような機能も持つ。
等の要件を満たすシステムを構築することが効果的である。

4. 地盤解析支援システムの概要とその効果

4.1. 地盤解析支援システムの概要

技術情報の効果的な管理、及びFEM解析作業効率の向上について検討した結果を地盤解析支援システムとしてまとめ、その効果を実証するため、現在、システムの構築を進めている。概要を図-2、3に示す。

システムの特徴を以下に示す。

(1) FEM解析作業フェーズのサブシステム化

設計者がたどる作業フェーズをそれぞれ8つのサブシステム（設計フローの設定、荷重の評価、地盤の設定、構造物の設定、モデル化、メッシュ分割、解析の実行、結果の評価）に分割した。解析条件の設定から解析の実行、結果の評価までのFEM解析作業が1つの端末上でできる。

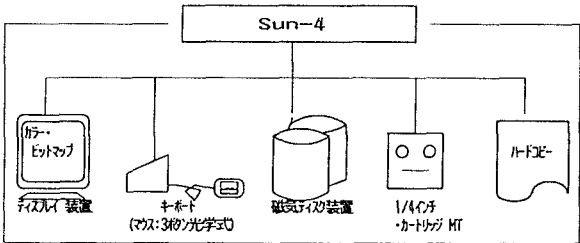


図-2 ハードウェア構成

(2) データベース連携

技術情報の効果的な管理として、3つのデータベース（解析事例、地盤情報、設計資料）を各サブシステムと連携し、サブシステム作業のいずれにおいても、随時、データベースの参照とデータの加工ができる。各データベースの代表的検索項目とキーワード例を表2に示す。

(3) 補助機能

HELP機能、解析の中断・再開機能、ケース管理機能にてFEM解析作業を側面から支援する。

(4) メッシュ生成の概要

①網目分割（図-4）：任意形状に格子の網目（回転、移動可）を掛け、任意形状外の不要なメッシュを除く。

②パターン分割（図-5）：構造物形状毎に特有の分割パターンを用意し、分割条件の指示によりメッシュを生成する。

③メッシュ合成（図-6）：異なる条件で生成したメッシュ同士を1つにし、境界部を自動調整する。

④メッシュ診断：生成したメッシュに対し診断（偏平率、線分長、角度、線分交差等）を行い、ユーザに修正を促す。

(5) 操作性

地盤・構造物形状の設定、及びメッシュ生成にCADを利用し、会話による各指示はマウス操作を採用。

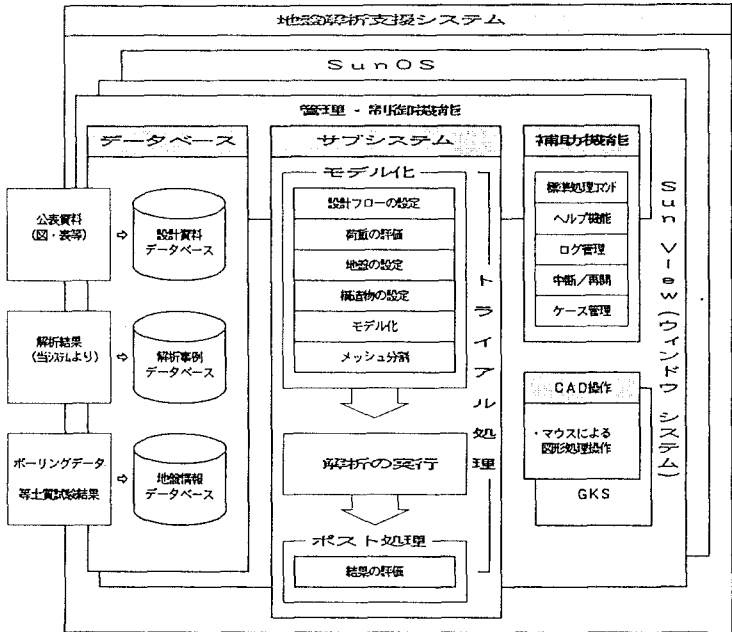


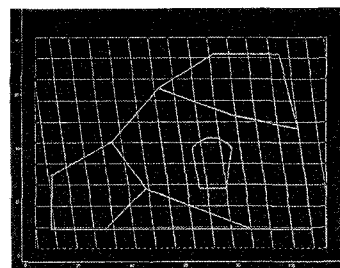
図-3 地盤解析支援システム概要

表－２ データベースの代表的検索項目とキーワード例

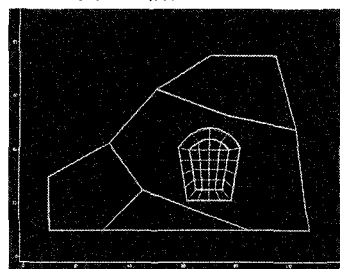
検索項目		解析事例	地盤情報	設計資料
地質年代			○	○
地盤種類				○
地盤分類	統一分類	○	○	○
	岩盤分類	○	○	○
試料状態			○	
試験名			○	○
試験方法			○	
試験条件			○	
載荷方法			○	
物性名		○	○	○
構造物種類		○	○	
施工法		○		
対策工		○		
解析目的		○		
解析方法		○		

－キーワード例－

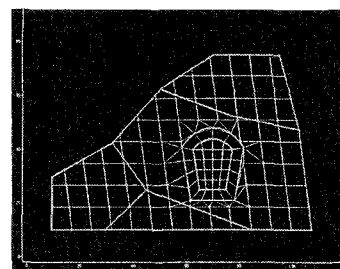
試験名コード
標準貫入試験
孔内載荷試験
現場透水試験
室内透水試験
PS検層
超音波速度試験
物理試験
一軸圧縮試験
三軸圧縮試験
室内引張試験
クレーン試験
等



図－４ 網目分割例



図－５ パターン分割例



図－６ メッシュ合成例

4.2.効果

地盤解析支援システムを利用することにより、次の３つの効果がある。

- ①土木設計におけるＦＥＭ解析作業の時間短縮が図れる。結果として、他の技術的検討に多くの時間を費やせるため、品質の高い設計が可能となる。
- ②スキルの少ない設計者がシステムを利用することにより、システムから地盤・構造物系のＦＥＭ解析関係の知識を得ることができる。すなわち、教育システムとしての活用ができる。
- ③データベースへのデータの蓄積により、技術情報の継承ができる。

5. 今後の取組み

土木設計における地盤・構造物系のＦＥＭ解析の支援方法として、データベース利用による技術情報の管理、及び作業効率の向上について検討し、実際のシステム構築により実用化を進めている。

今後は、データベースの充実、操作性向上等、実用性を深めるとともに、更に高度な支援ができるよう、ＡＩの適用を検討予定である。

具体的なＡＩの適用範囲としては、まず、技術情報の体系的な選択、すなわち、データベース検索キーワードの自動設定がある。データベースを利用した技術情報管理の主体は設計者であり、情報の選択はあくまで設計者個人に依存する。設計者の情報選択（検索キーワードの設定）における経験を知識ベースとしてシステム化することにより、経験の少ない設計者でも的確な情報の選択が可能になるものと考えられる。

ＦＥＭ解析作業各サブシステムへＡＩの適用を拡張し、地盤・構造物ＦＥＭ解析のエキスパートシステムへと近づけたいと考えている。