

断層を含む地質構造の三次元解析モデルの作成

大成建設(株) エネルギー部 ○山本 卓也
 (財) 原子力環境整備センター 河野 愛
 三井金属鉱業(株) 竹村 友之
 大成建設(株) 情報システム部 小尾 博俊

1. はじめに

岩盤の持つ安定性や難透水性等の性質を利用するため、地下深部の岩盤内に構造物を構築することが今後ますます進むものと思われる。非常に長期間にわたって地下深部の岩盤を利用する場合は、地下深部に存在する岩盤の性質を把握し、岩盤の長期にわたる挙動を検討することが重要となる。

岩盤の力学挙動を工学的な観点で検討する際には、主として既往の事例の豊富さや経済的な理由から、二次元解析による場合が多い。しかしながら、断層の挙動や岩盤内の応力状態を詳細に検討する場合には、実際の断層の分布状態や地質構造が三次元的であるため、三次元モデルを作成することが必要となる。

モデル化地域として六甲地域を選定し、地表から地下深部にわたる広い領域の岩盤と、岩盤内に存在する断層の長期にわたる挙動を数値解析により検討するためのモデル化を行った。ここでは、断層の分布状態や地質構造をできる限り忠実に反映した三次元解析のためのモデル化の方法について述べる。

解析手法は有限要素法とし、解析上は、断層はジョイント要素で、岩盤はソリッド要素でモデル化した。

2. モデル化地域の選定

岩盤および断層の長期にわたる挙動を検討するにあたり、以下の条件を考慮してモデル化地域を選定した。

- ①地質構造の解析に必要な地質学的データや地球物理学的データが得られること
- ②工学的構造解析に必要な応力あるいは変位データが得られること

このような条件を満たす地点はわが国に数カ所程度存在するが、ここでは大阪湾を含む六甲地域をモデル化地域として選定した。解析の対象領域は、東西25km、南北20km、深度5kmとした。

3. モデル化の基本的な考え方

岩盤および断層の長期にわたる力学的挙動を三次元FEM解析により検討するにあたり、以下のような基本的な考え方に基づき、構造解析のためのモデル化を行った。

- (1)地質構造の長期にわたる挙動の検討方法について：過去から現在に至る地質構造の変化を地質学的に解析し、その変動を将来にわたり外挿することにより、長期にわたる地質構造の挙動の検討を行う。
- (2)構造解析モデルの作成について：構造解析モデルは、(1)に述べた地質構造の解析結果から得られた地質構造モデルのデジタル化により作成する。
- (3)岩盤および断層の解析用物性値について：構造解析に必要な岩盤および断層の解析用物性値は、地質構造の解析結果およびモデル化地域の地球物理学的データ（地質データ、重力データ、ボーリングデータ、岩石物性試験データ等）から設定する。
- (4)荷重・境界条件について：今回の構造解析の対象領域より広い

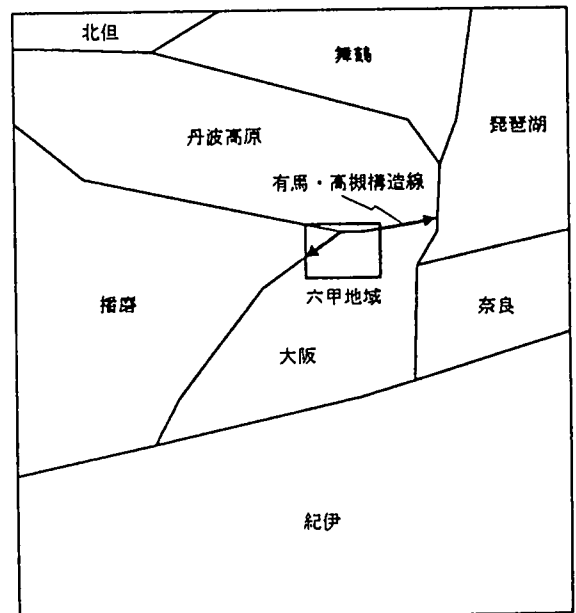


図-1 構造解析対象としての六甲地域

を対象とした構造解析の結果から荷重・境界条件を設定することとする。

4. 三次元FEM構造解析モデルの作成

(1)地質構造モデルの作成

六甲地域の地質構造変動や、現在の六甲地域の地質および地質構造の解析結果から、六甲地域の地質平面図は図-2のように作成された。また、地質断面図は図-3のように作成された。地質断面は、東西11断面および南北12断面から構成される。東西断面の間隔は約1.9kmであり、南北断面の間隔は約2.3kmである。

六甲地域の層序は、下位から丹波層群、領家花崗岩類、有馬層群、六甲花崗岩、神戸層群、大阪層群、段丘堆積物、沖積層に区別されている。

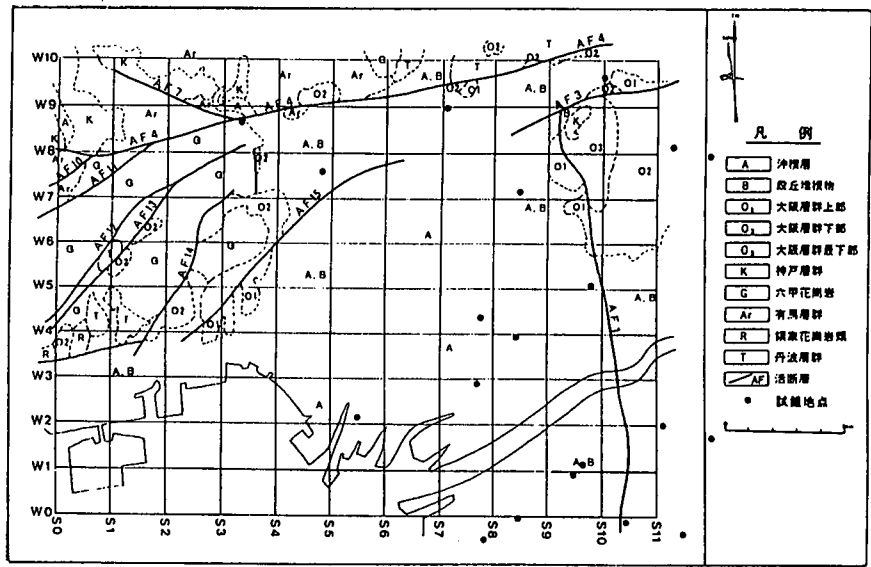


図-2 六甲地域の地質平面図

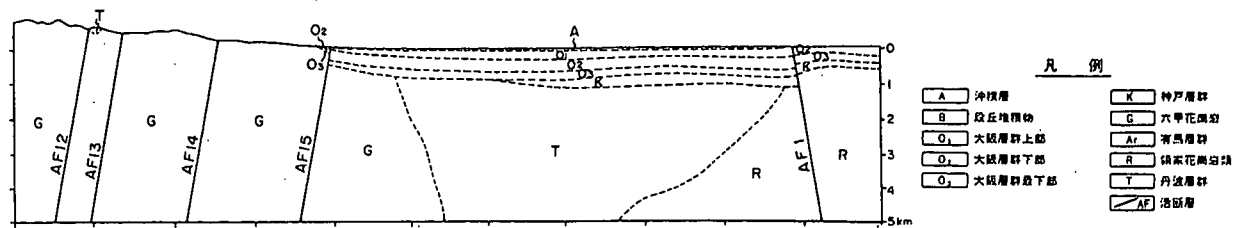


図-3 六甲地域の地質断面図 (W6断面の例)

(2)三次元構造解析モデルの作成方法

断層の分布状態や地質構造を構造解析モデルとして作成する方法を表-1に示す。ここでは、断層をジョイント要素でモデル化していることから、ジョイント要素の生成にあたり若干の工夫を行った。

図-2に示す地質平面図によれば、断層はわん曲した構造となっているが、地質平面図上で直線近似することにより、すべての断層を平面の集合体としてモデル化した。断層のみを抽出したモデル化を図-4に示す。

三次元構造解析モデルの作成にあたり、地層構造は2層とした。すなわち、丹波層群、領家花崗岩類、六甲花崗岩を岩盤層と

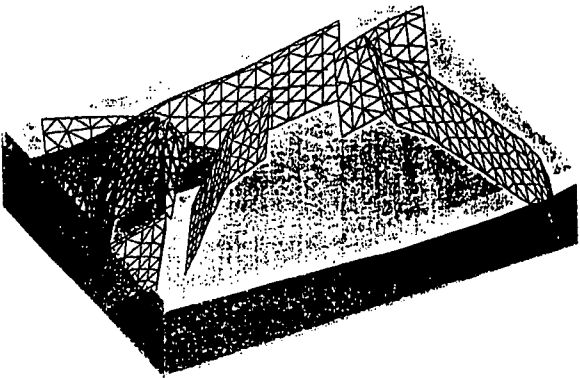


図-4 六甲地域の断層のモデル化

して1つの層とみなし、有馬層群、神戸層群、大阪層群、段丘堆積物、沖積層を堆積層として1つの層とみなした。

三次元構造解析モデルを図-5に示す。要素数は約20,000で、節点数は約5,000である。岩盤をモデル化したソリッド要素はすべて四面体要素とした。

表-1 三次元構造解析モデルの作成方法

順序	作成内容	備考
1	解析モデルを作成する領域内の断層及び地層情報が盛り込まれた断面図・平面図を作成する。	
2	1の情報をデジタル化し、線情報としてプリプロセッサに入力する。	プリプロセッサは"I-DEAS"を使用する。
3	2の情報をを用いて、断層及び地層境界に面情報を与える。	
4	断層、地層境界及び解析モデル境界で囲まれた閉領域(メッシュボリューム)に四面体ソリッド要素を生成する。	四面体ソリッド要素の生成は"I-DEAS"のフリーメッシュ機能による。
5	4で生成したソリッド要素の断層面に、シェル要素(thin shell)をコーティングする。	ジョイント要素に対応する、体積のない厚肉シェル要素をソリッドにコーティングすることはできない。このため、5、6、7の作業が必要となる。
6	5で生成したシェル要素(thin shell)を厚肉シェル要素(thick shell)に変換する。	ジョイント要素に対応する要素を生成する。
7	4で生成したソリッド要素と6で生成した厚肉シェル要素(thick shell)を結合する。	
8	荷重・境界条件を設定する。	

(3)解析用物性値の設定

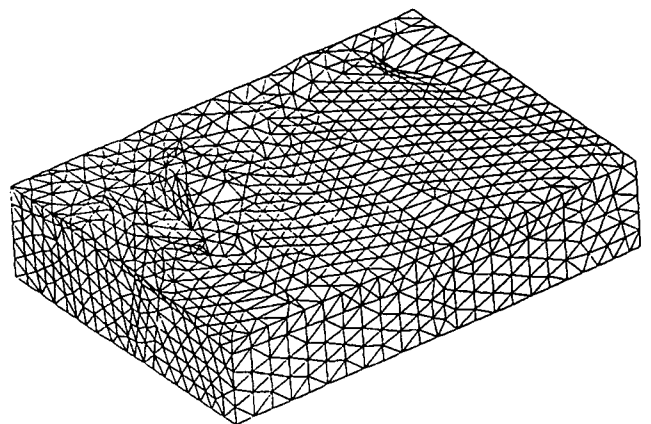
1)岩盤の物性値

岩盤の物性値の設定にあたっては、公開されている原位置における物性測定値や、岩石試料による測定値等を参考にして設定した。岩盤の解析用物性値を表-2に示す。

2)断層の物性値

断層はジョイント要素でモデル化されているため、断層の物性値は、垂直ばね定数およびせん断ばね定数からなる。垂直ばね定数は、すべての断層について岩盤の弾性係数と同じ値を設定した。せん断ばね定数については、個々の断層の過去の活動の程度に応じてグルーピングを行い、垂直ばね定数からの低減の度合を変化させた。

断層の解析用物性値を表-3に示す。AFは活断層を、Fは断層を示している。AF4およびAF13の断層は、他のAF系断層と比較して特に活動度が大きいものとみなし、岩盤の弾性係数の1/10,000の値をせん断ばね定数とした。これ以外のAF系断層は岩盤の弾性係数の1/5,000の値を、F系断層は岩盤の弾性係数の1/500の値をせん断ばね定数として与えた。



要素数：20,000
節点数：5,000

図-5 三次元構造解析モデル

(4)荷重・境界条件の設定

図-1に示した六甲地域を包含する広い領域を対象とした構造解析結果から、今回の六甲地域の荷重条件を設定した。この荷重は、六甲地域の南側面および西側面から与えるものとした。モデルの北側面および東側面は鉛直ローラー条件とし、モデルの底面は水平ローラー条件とフリーの条件を想定した。

荷重の大きさは、長期にわたる挙動の検討を目的とすることから、1万年あたりの荷重値とした。また、荷重は深さ方向に一定であると仮定して、岩盤層にのみ与えることとした。

表-2 岩盤の解析用物性値

地層	単位体積重量 (kN/m ³)	変形係数 (MPa)	ポアソン比	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (度)
堆積層 (沖積層・大阪層群・ 神戸層群・有馬層群)	19.6	200	0.35	0.0	30
岩盤層 (六甲花崗岩・領家 花崗岩類・丹波層群)	26.0	10,000	0.25	6.0	35

表-3 断層の解析用物性値

断層	垂直ばね定数 (MPa/m)	せん断ばね定数 (MPa/m)	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (度)
AF 1 (仏念寺山・上町)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
AF 3 (小野原・野畑)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
AF 4 (有馬高槻・六甲)	岩盤相当	岩盤の1/10,000	0.0	20
AF 7 (名塩)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
AF 10 (射場山)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
AF 11 (湯槽谷)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
AF 12 (大月)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
AF 13 (五助橋)	岩盤相当	岩盤の1/10,000	0.0	20
AF 14 (芦屋)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
AF 15 (甲陽)	岩盤相当	岩盤の1/5,000	0.0	20
F 1 (塩屋寺)	岩盤相当	岩盤の1/500	0.0	20
F 2	岩盤相当	岩盤の1/500	0.0	20

備考) せん断ばね定数は2方向とも同じ値を設定する。

5. おわりに

岩盤の長期にわたる挙動を検討することを目的とし、モデル地域として六甲地域を選定して、三次元構造解析のためのモデル化を行った。ここでは、構造解析モデルの作成方法を具体的に述べた。

今回作成した三次元解析モデルを用いて数値解析を行い、同解析モデルと解析手法の適用性を検討する予定である。

6. 参考文献

迫垣内、原田、西村(1996)：3次元地質構造可視化のための地下断面図、社団法人 資源・素材学会、平成8年度春季大会、企画発表講演資料、p9-12