複合降伏モデルによる岩盤初期応力解析のための地盤モデルの設定

（独）産業技術総合研究所（地圏資源）楠瀬 勤一郎，長 秋雄
サンコーコンサルタント㈱ 正会員 佐々木 猛，正○佐々木 勝司，正 萩原 育夫
早稲田大学 小出 仁

1.研究目的

将来の地球温暖化対策技術として期待される二酸化炭素（CO_2）の地下貯留や，高レベル放射性廃棄物の地層処分では，地下深部岩盤の利用が予定され，初期応力状態を事前に把握することは，地下空間の設計，施工および長期安定性の検討のために重要な課題である。

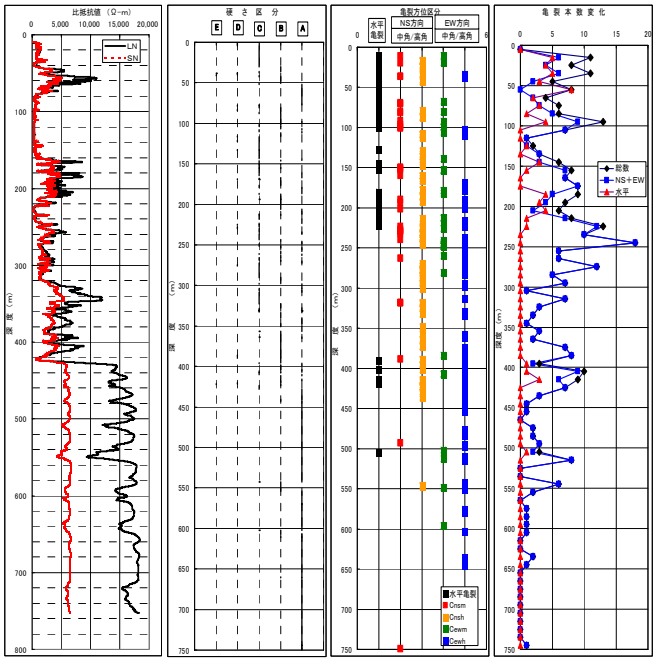
本研究は，水圧破砕法による岩盤初期応力の実測結果と広域の応力場との関係を定量的に評価する事が目的であり，そのためにニ次元非線形複合降伏モデル(MYM)[1]による応力解析を行った。その結果、実測値と数値解析結果が調和的な傾向を示した。ここではＭＹＭ解析に用いた地盤モデルの設定法を主として報告する。

2. 調査実施項目

研究対象箇所は，西南日本において，活断層から離れ，地震が少なく，地球科学的に平穏と考えられ，かつ均質な白亜紀後期の花崗岩類が分布している岡山平野内の標高約 150ｍをなす小丘陵地である。本地区では，①地表踏査，②ボーリング掘削（孔口標高約 46m，深度=750m），③コア観察（柱状図・岩級区分），④室内コア試験，⑤物理検層（密度検層・速度検層・電気検層・温度検層・キャリパー検層等），⑥超音波式ボアホールテレビューア（S-BHTV），⑦原位置応力測定（水圧破砕試験）を実施[2]した。

3. 地質・地盤工学的特性

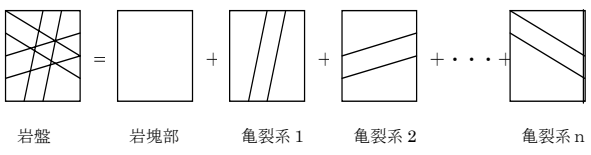
本研究対象箇所の地質・地盤工学的特徴は以下のとおりである。ⅰ)ボーリング孔周辺は比較的均質・健硬な中粒花崗岩が分布，ⅱ)ボーリング孔の深度 420m付近で高角度の断層破砕帯と斜交，ⅲ)深度 420m以浅は熱水変質が見られ，以深は亀裂が少なく硬質，ⅳ)密度は ρ =2.38～2.59(g/cm^3)，ⅴ)Ｐ波速度は 3.8～5.7(km/s)，ⅵ)電気比抵抗値は，深度 420m以浅で 5,000Ω-m以下が主体であるが，以深は 15,000Ω-m前後，ⅶ)亀裂方向は地表踏査でNNW-SSE方向が卓越しているが，S-BHTVでは亀裂の方位と傾斜方向が深度により様々である。図-1 に電気検層によるﾛﾝｸﾞﾉﾙﾏﾙとｼｮｰﾄﾉﾙﾏﾙの比抵抗値，コア観察によるコアの硬さ区分，S-BHTVによる亀裂方位と亀裂傾斜区分（水平，中傾斜[傾斜角 30°～60°]，高角傾斜[60°～90°]）毎の出現深度分布と 10m毎の出現個数の深度変化を示す。



図―１　主な調査結果の深度変化

4. 複合降伏モデルにおける区分指標の考え方

岩盤の強度変形特性は，岩塊実質部の強度変形特性と亀裂自体の強度変形特性および亀裂密度により変化する。ＦＥＭ解析のように要素を均一物性として扱う場合には，岩塊部と亀裂を含む等価な物性で地盤を区分して解析モデルを設定[3]できる。



図―２　亀裂群を含む岩盤の変形特性

複合降伏モデルでは図-2 に示すように，亀裂群を含む岩盤の変形特性は岩塊部の総ひずみと各亀裂系のひずみの

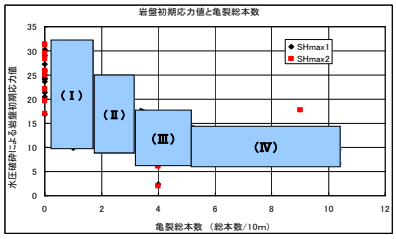
キーワード：複合降伏モデル　水圧破砕法　岩盤初期応力　地盤モデル　亀裂
連絡先：〒136-8522 東京都江東区亀戸 1-8-9 ｻﾝｺｰｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ㈱ TEL 03-3683-7139 E-Mail:ksasaki@suncoh.co.jp

和と仮定するので，計算手法の特性を反映した区分指標に基づく解析地盤モデルを作成することが必要である。

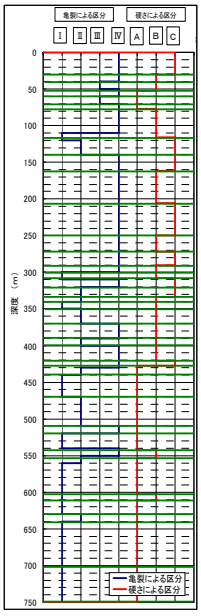
4.1 分帯区分

コア観察では「硬さ区分」はA～Eに区分できるが，岩盤状態が良好であるので大部分はA～Cであり，図―1 の深度変化図より 18 分帯に区分できる。

図―１から深度 10m毎の亀裂総本数は深度方向に顕著な差異が認められる。初期応力測定箇所近傍の亀裂総本数と水平岩盤初期応力値との関係を図―3 に示すが，亀裂数の増加に伴い岩盤初期応力値は低下する。よって，表―1 に示すように亀裂本数を(Ⅰ)～(Ⅳ)に対応させて区分指標とした。深度 750m迄を本区分で分類すれば，26 分帯となり，硬さ区分 18 分帯との両方を考慮して，解析用分帯区分として 36 分帯とした。図―４に分帯区分結果を示す。



図―３　初期応力と亀裂数

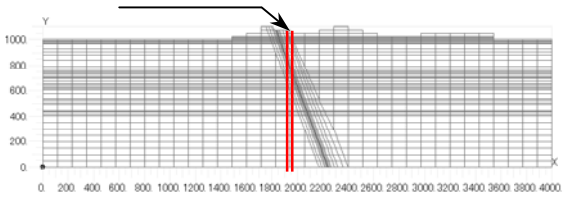


図―４分帯区分

表―１亀裂数と区分

亀裂本数	区分
0	(Ⅰ)
1	
2	(Ⅱ)
3	
4	(Ⅲ)
5	
6	(Ⅳ)
7	
8	
9	
10	

本分帯区分はボーリング孔軸の一次元の区分であり，解析範囲が広域である場合に地質構造を考慮した二次元の区分が必要である。本地区では地表踏査から地質構造がほぼ水平であること，解析範囲に顕著な破砕帯が認められないことから，水平成層地盤と仮定して東西・南北断面の解析モデルとした。東西断面を図―5 に示す。



図―５解析モデル

4.2 分帯の物性

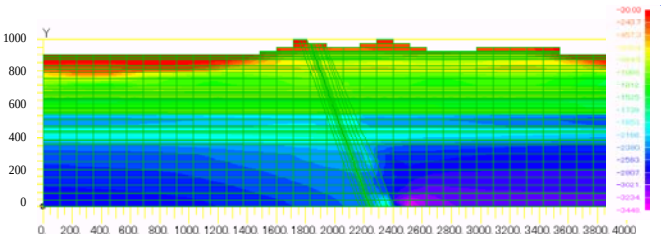
硬さ区分A～Cに相当するコアの一軸圧縮試験から求めた静弾性係数を参考にして，菊地の提案による岩盤分類から設定した。表―２にその対応を示す。各分帯の変形係数は，硬さ区分毎の変形係数をその区間長の重み付き平均から求めた。密度は，密度検層結果から全測定結果の平均値 $\rho = 2.53\,(g/cm^3)$ を採用した。ポアソン比は一軸ポアソン比の平均値とし，一律に $\nu = 0.21$ とした。

表―２硬さ区分に対応する岩盤の変形係数

硬さ区分	コアの静弾性係数 Esc (N/mm²)	岩盤の静弾性係数 Esr (N/mm²)	備　考
A	128,000	8,000	岩盤分類「A～B」の静弾性係数
B	11,600	5,000	岩盤分類「A～B」の変形係数の下限値
C	4,500	2,000	岩盤分類「CH」と「CM」との境界値
D	―	1,000	硬さ区分のCとEの中間値
E	―	500	岩盤分類「CM」と「CL」との境界値

4.3 亀裂分布

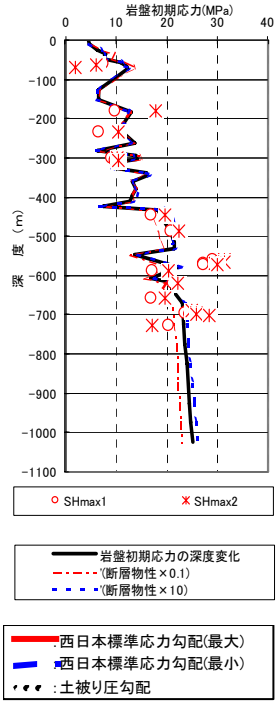
二次元断面の各分帯に，傾斜角 0°，±45°，±75° の５種類の亀裂群を，S-BHTV による亀裂間隔に基づいて設定した。



図―６数値解析結果

5. 解析結果

東西断面の解析結果の一例を図―6 に，水圧破砕試験による水平最大主応力値と解析値との比較を図―７に示し，実測値と解析値は調和的な傾向を示し，地盤モデルの設定法がほぼ有効であることが判明した。



図―７実測値と解析値の比較

6. 謝辞：本研究は，原子力委員会の評価に基づき文部科学省原子力試験研究費により実施された。

7. 参考文献

1) 佐々木猛・吉中龍之進・永井文男：有限要素法による節理性岩盤の複合降伏モデルに関する研究，土木学会論文集，No. 505/Ⅲ-29，pp. 59-68，1994. 2) 楠瀬勤一郎・長秋雄・萩原育夫・佐々木勝司・堀川滋雄・吉岡正光：花崗岩体における深部岩盤調査と原位置応力測定，第40回地盤工学研究発表会，投稿中，2005. 3) 楠瀬勤一郎・長秋雄・佐々木勝司・佐々木猛・萩原育夫・小出仁：岩盤初期応力解析のための地盤モデルの設定，第40回地盤工学研究発表会，投稿中，2005.