

一次クリープを考慮したコンプライアンス可変型モデルのパラメータ設定方法

(株)大林組 正会員 ○佐藤 伸

東京大学 羽柴 公博

1. はじめに

地下構造物の安定性を検討するうえで、岩盤の時間依存性挙動を考慮することは有用である。また、地下施設の維持管理においても、劣化予測等において岩盤の時間依存性挙動を考慮することにより、高精度な予測が可能となる。岩盤の時間依存性を考慮する式はいくつかあるが、大久保ら^{1), 2), 3)}はコンプライアンス(変形のしやすさ)が徐々に増加すると仮定した式を提案した。さらに、大久保ら⁴⁾は一次クリープを考慮する式も提案している。しかし、一次クリープを考慮する式はパラメータの数も多くなり、それらを設計等で用いる場合には限られたデータの中から設定する必要がある。そこで、本研究ではデータ数が限られた中から一次クリープを考慮した構成方程式のパラメータを同定する方法について検討を実施した。

2. 構成方程式

大久保ら⁴⁾は、ひずみ速度が低下する一次クリープと、時間経過に伴ってひずみ ε と応力 σ の比であるコンプライアンス λ ($=\varepsilon/\sigma$)が徐々に増加する三次クリープを表現する式を組み合わせ式(1)を提案した。

$$d\lambda^*/dt = a_1(\sigma^*)^{n_1}(\lambda^*-1)^{-m_1} + a_3(\sigma^*)^{n_3}(\lambda^*)^{m_3} \quad (1)$$

ここで、 $\lambda^*(=\lambda/\lambda_0)$ は規格化したコンプライアンス、 $\sigma^*(=\Delta\sigma/\Delta\sigma_0)$ は軸差応力、 λ_0 は初期コンプライアンス、 $\Delta\sigma_0$ は破壊差応力である。モデルパラメータのうち、 a_1 、 a_2 は正值のパラメータである。 n_1 、 n_3 は応力依存性を表すパラメータであり、本検討では $n=n_1=n_3$ とする。 m_1 は破壊強度以前の応力-ひずみ曲線の形状を決める正值のパラメータである。 m_3 は強度破壊点以降の応力-ひずみ曲線の形状を決める正值のパラメータであり、この値が大きいほど強度破壊点以降の応力の低下が急激になる。これらのモデルパラメータの他に一軸圧縮強さと一軸引張強さが必要となる。よって、以上に示したモデルパラメータの設定が問題となる。

3. 限られたデータからの構成方程式の定数の推定

地下施設の設計や地層処分施設の概要調査段階では、ボーリング調査等から得られる材料定数が限られる。よって、岩盤の一軸圧縮強さ等から構成方程式の定数を推定する必要がある。

3. 1 圧縮・引張強さの推定

佐藤ら⁵⁾、福井ら⁶⁾、吉中ら⁷⁾が示した岩盤等級ごとの圧縮強さを表-1に示す。佐藤らの結果は土岐花崗岩から得られた値である。福井らの値はTBMの掘削データから求めた岩盤の圧縮強さである。吉中らは各種岩盤のせん断強さから求めた値である。室内試験で得られた値のうち、非常に硬質なものについては、設計で用いることを想定して、安全側の数値を設定するという目的から除外した。表中に示した値のうち、下位の等級との比を算出した結果、花崗岩系の佐藤ら、福井らの値は岩盤等級ごとに概ね等比数列に近い値を示す結果となった。よって、圧縮強さが得られていない岩盤等級については、上位あるいは下位の圧縮強さから比率を乗じ、値を設定することができる。なお、引張強さについては、圧縮強さの1/10と仮定することによって設定できる。

表-1 岩盤等級に対応する一軸圧縮強さと下位等級の強度に対する比

	佐藤ら(2012)						福井ら(2000)		吉中ら(1989)	
	健全部		変質部		室内試験		TBM			
	強度(MPa)	比	強度(MPa)	比	強度(MPa)	比	強度(MPa)	比	強度(MPa)	比
B	116	1.3							37	2.4
CH	90	1.4	19	1.4	119	1.6	92	1.5	15	2.5
CM	63		14	1.6	75	1.7	60	1.8	6.1	2.2
CL			9.0	1.6	44	3.7	33	1.3	2.7	
D			5.6		12		25			

キーワード 時間依存性挙動, コンプライアンス可変型, 非線形粘弾性挙動, 一軸圧縮強さ

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組原子力環境技術部 TEL 03-5769-1309

3. 2 モデルパラメータの推定

次にモデルパラメータの設定を行う。nについては、岩盤等級に関わらず花崗岩であれば $n=40\sim 50$ 程度とこれまでの検討で分かっており、本検討では平均値を採用し $n=45$ とした。次に m_3 について圧縮強さとの関係について検討を行った。大久保、福井は³⁾7種類の岩石の n と α （ピーク強さ以降の応力-ひずみ曲線の傾き）から m_3 を求めた。そこで、大久保・福井の検討をもとに、 m_3/n と一軸圧縮強さ(UCS)の関係を図-1に示すように整理を行った。その結果、図示のような関係が得られ、一軸圧縮強さが分かれば、 m_3 が推定できることになる。以上から、モデルパラメータの内、 n 、 m_3 は既知となり残りの m_1 、 a_1 、 a_2 を一軸圧縮試験の再現解析より同定すればよくなる。

4. 一軸圧縮試験の再現解析

佐藤ら⁵⁾の検討を参照し、本検討におけるパラメータの設定方法より一次クリープを考慮した構成式のパラメータ同定を実施した。再現解析は、2次元平面ひずみ要素を用いた1要素のモデル(1mm×1mm)を適用し一軸圧縮試験を模擬した。解析コードはABAQUSを用い、ユーザー構成則に構成方程式を組み込んだ。モデルパラメータの同定は m_1 、 a_1 、 a_3 を変化させながら土岐花崗岩の一軸圧縮試験結果の平均的な値を示すようにパラメータスタディを行った。一軸圧縮試験時の応力-ひずみ関係の再現解析結果及び同定したモデルパラメータを図-1に示す。ここに、一軸圧縮試験時に得られた応力-ひずみ曲線を模擬できていることが分かる。

5. おわりに

本検討ではコンプライアンス可変型モデルのモデルパラメータの設定方法として、岩盤等級ごとの圧縮強さの推定方法、モデルパラメータ m_3 の圧縮強さからの推定方法について示し、設定した方法から未知のパラメータの同定方法について示した。検討の結果、本検討で示した方法でパラメータを同定することが可能であることが分かった。今後は試験数を増やし本手法の適応性の検証を実施し、実構造物の計測結果との対比による妥当性の検証を行っていきたい。

参考文献 1) 大久保誠介, 西松裕一, 緒方義弘: 非線形粘弾性モデルによる坑道変形のシミュレーション, 日本鉱業会誌, Vol. 103, pp. 293-296, 1987. 2) 大久保誠介, 金豊年: 非線形粘弾性モデルによる円形坑道周辺岩盤挙動のシミュレーション, 資源と素材, Vol. 109, pp. 209-214, 1993. 3) 大久保誠介, 福井勝則: コンプライアンス可変型構成方程式の定数について, 資源と素材, Vol. 113, pp. 561-564, 1997. 4) 大久保誠介, 福井勝則, 羽柴公博: コンプライアンス可変型構成方程式の拡張とクリープ試験結果による検討, 資源と素材, No. 118, pp. 737-744, 2002. 5) 佐藤伸ほか: 長期岩盤挙動評価技術への適応性検討(その2) コンプライアンス可変型モデルのパラメータ設定方法と岩盤挙動評価への適応性検討, 第41回岩盤力学に関するシンポジウム, 2012年. 6) 福井勝則ほか: TBMの掘削抵抗を利用した岩盤分類—花崗岩の事例—, 資源と素材, 116, 831-838. 7) 吉中龍之進, 桜井春輔, 菊池宏吉: 岩盤分類とその適用, 土木工学社, 50-51, 1989.

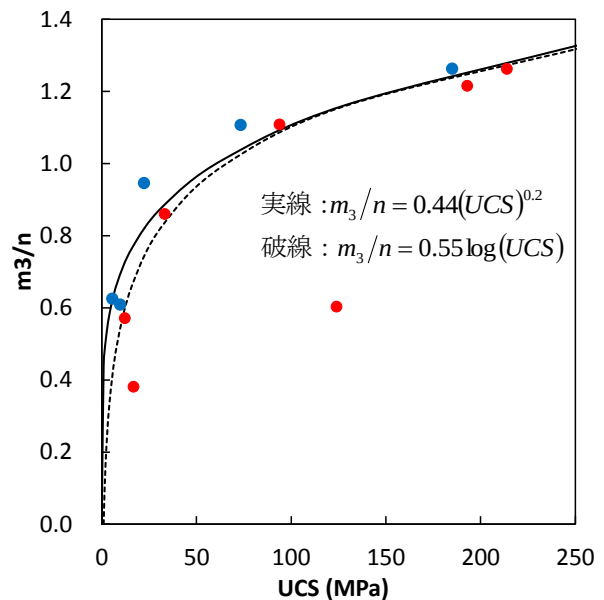
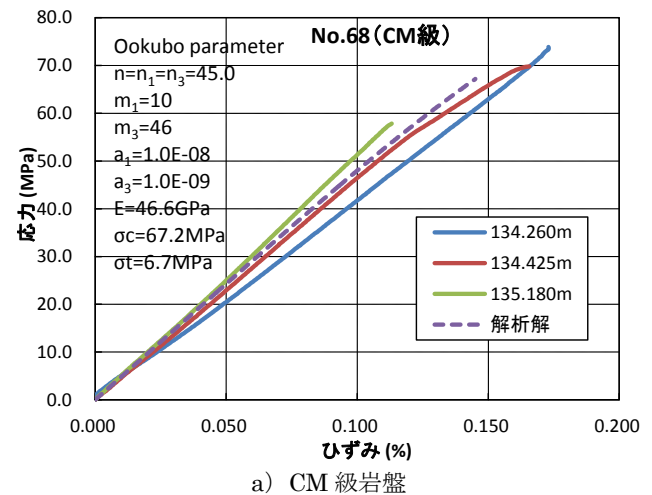
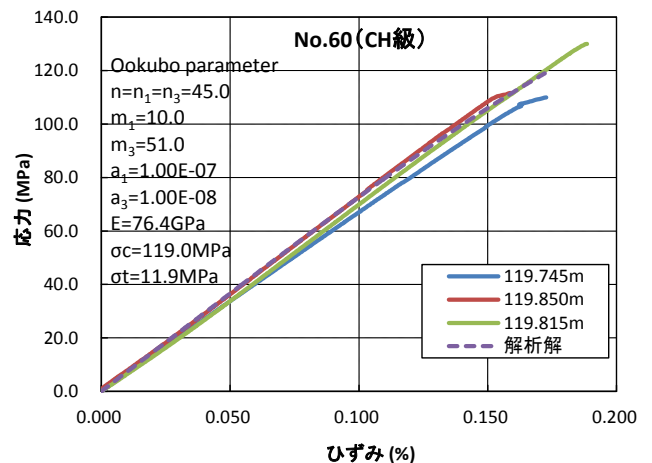


図-1 一軸圧縮強さと m_3/n の関係



a) CM 級岩盤



b) CH 級岩盤

図-2 同定したパラメータによる一軸圧縮試験の再現