

埋設型センサーで計測されるひずみの補正 に関する室内要素試験

谷 和夫¹・田中 悠一^{2*}・岡田 哲実³・平野 公平⁴・高倉 望²・池野谷 尚史²

¹横浜国立大学 大学院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

²東急建設(株) 土木総本部 土木技術部 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14 渋谷地下鉄ビル)

³(財)電力中央研究所 地球工学研究所 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

⁴(株)セレス (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 (財) 電力中央研究所内)

*E-mail: tanaka.yuichi@tokyu-cnst.co.jp

岩盤から採取したボーリングコアにひずみゲージや熱電対等のセンサーを取り付けて埋め戻すという新しい原位置地盤のモニタリングに用いる計測システム、通称「コアセンサー」が提案された。しかし、この手法によるひずみの計測結果には岩盤の変形以外の要因によるひずみ変動が含まれており、データの補正方法の開発が課題となっていた。そこで、コアセンサーにより得られた計測データの補正方法の開発を目的とし、岩盤を模擬した人工軟岩を用いて、ひずみと温度の長期計測試験を行った。その結果、影響要因ごとにひずみ変動の収束値のばらつきや収束に要する日数に関する知見が得られた。

Key Words : strain, softrock, measurement, mudstone

1. はじめに

堆積軟岩は熱や水等の外部環境の変化に影響を受けやすく長期の変形特性が顕著であるため、安全な地下利用を実現するためには、変形挙動の長期計測が重要である。そこで著者らは、岩盤の変形挙動を長期間かつ高精度に計測することを目的とし、岩盤から採取したボーリングコアにひずみゲージ等の計測センサーを取り付けてグラウトで埋め戻す「原位置地盤のモニタリング方法(特願2007-207897)」を考案した。

現在までにこの計測システム、通称「コアセンサー」を用いた原位置加熱実験により、高レベル放射性廃棄物の地層処分施設に対する適用性を検証してきた¹⁾²⁾。しかし、計測値には、岩盤の変形挙動以外に温度変化やグラウトの硬化、コアセンサーの吸水膨張等を要因とする見掛けのひずみ(以下「ひずみ変動」と総称する)が含まれており、その補正方法の検討が求められている。

そこで、ひずみ変動に関する知見の獲得とコアセンサーの計測値の補正方法の確立を目的として、コアセンサーを用いた室内要素試験を実施した。

2. 試験内容

(1) 対象としたひずみ変動項目

既往の実験結果等²⁾から推測される主なひずみ変動は以下の4種類である。

a) 温度変化によるひずみ変動: $\Delta\varepsilon_T$

温度変化時に即時的に計測されるひずみとしては、被測定体の熱膨張・熱収縮ひずみと補正すべき計測誤差が挙げられる。計測誤差は、ゲージ率の変化による誤差と、被測定体とひずみゲージの線膨張係数の違いによる誤差の2種類に分けられる。

b) 接着剤によるひずみ変動: $\Delta\varepsilon_{ad}$

コアセンサーの作製時にひずみゲージをコアに接着する。この際に使用するゲージ接着剤の硬化に追従してひずみゲージが変形し、ひずみ変動が生じる。

c) グラウトによるひずみ変動: $\Delta\varepsilon_g$

コアセンサーの作製時におけるコアの連結、およびコアセンサーの岩盤への埋設に使用するグラウトがコアセンサーに影響を及ぼし、ひずみ変動が生じる。

d) 水浸によるひずみ変動: $\Delta\varepsilon_w$

原位置でのコアセンサー計測では、コアセンサーが岩盤内の地下水に浸潤される場合がある。この時、コアが吸水膨張し、ひずみ変動が生じる。

(2) 試験ケース

試験ケースを表-1 に、各種グラウトと人工軟岩の質量配合比を表-2 に示す。また、各試験体への計測機器の取付位置を図-1 に示す。

a) 試験分類A

人工軟岩製のコアセンサー（試験体 Ac）を作製し、模擬地盤（試験体 Ab）に埋設し、温度変化、使用材料の違い（ひずみゲージ、接着剤、グラウト）、水浸の有無によるひずみ変動の差異を評価する。

- ① 人工軟岩製の一辺200mmの立方体ブロック（作製から3年以上経過しており、強度発現は概ね収束している）の中央から直径50mm×高さ200mmのコアを採取し、50/100/50mmに分割する。
- ② 2種類のひずみゲージ（株東京測器研究所/WFLM-30-11-3LT・WFLA-6-11-3LT、以下「BMゲージ」・「BHゲージ」）と熱電対（株東京測器研究所/T-6F-0.65）を取り付け、グラウトで連結する（試験体Ac、直径62mm×高さ200mm）。BMゲージはポリエステル系2液型接着剤（株東京測器研究所/PS、以下「P接着剤」）、BHゲージはシアノアクリレート系瞬間接着剤（株東京測器研究所/CN-E、以下「C接着剤」）を使用して接着した。なお、図中の「V」は鉛直方向、「H」および「H'」は互いに直交する水平方向を表す。
- ③ 試験体Acはコア抜きしたブロック（試験体Ab）の直径75mm×高さ200mmのボーリング孔に戻し、間隙をグラウト（連結時と同様のもの）で充填して埋設する。
- ④ 鋼製の載荷板と底板（いずれも縦200mm×横200mm×厚さ10mm）を試験体上下面に石膏で接着する。

b) 試験体B

縦 100 mm×横 50 mm×厚さ 5 mm、線膨張係数 $\beta_g=0.5 \mu^{\circ}\text{C}$ の石英ガラスの裏表に BM ゲージと BH ゲージを一枚ずつ接着し、温度変化によるひずみ変動 $\Delta\epsilon_g$ を評価する。

(3) 計測環境

図-2 に示す試験フローに従い、気中と水中の 2 種類の環境下で計測を行った。

a) 気中計測

各試験体にひずみゲージを接着した時点から、気温の変化や空調の影響下にある室内で気中計測（温度 $T=10\sim 23^{\circ}\text{C}$ ）を開始した。試験体 Ac の連結および試験体 Ab への埋設は気中で行った。

b) 水中計測

地盤中の飽和環境を模擬して水中計測を行った。室温がほぼ一定の地下ピット内で、水槽（容量 55l）内に試験体 A・B を静置して水道水中で3ヶ月間養生した。約1週間室温（ $T=11\sim 13^{\circ}\text{C}$ ）の下で計測を行った後に、

表-1 試験ケース

試験分類	Case	温度制御	使用グラウト	試験体材料	試験体寸法 (単位: mm)
A	1-a	1	a	人工軟岩	Ac: 直径 62 高さ 200 Ab: 一辺 200 立方体 中央孔径...75
	1-b		b		
	1-c		c		
	2	2	a		
	3	3			
B	1	1	石英ガラス	縦 100×横 50×厚さ 5	
	2	2			
	3	3			

表-2 グラウトおよび人工軟岩材料の質量配合比

グラウト a	グラウト b	グラウト c	人工軟岩
早強ポルトランドセメント 2.5	早強ポルトランドセメント 1.0	早強ポルトランドセメント 2.5	普通ポルトランドセメント 1.1
木節粘土 1.0	泥岩粉末 1.0	加リン 1.0	加リン 1.0
無収縮材 0.2	水 1.0	無収縮材 0.2	川砂 5.5
水 3.0	AE減水剤 0.01	水 3.0	水 1.5

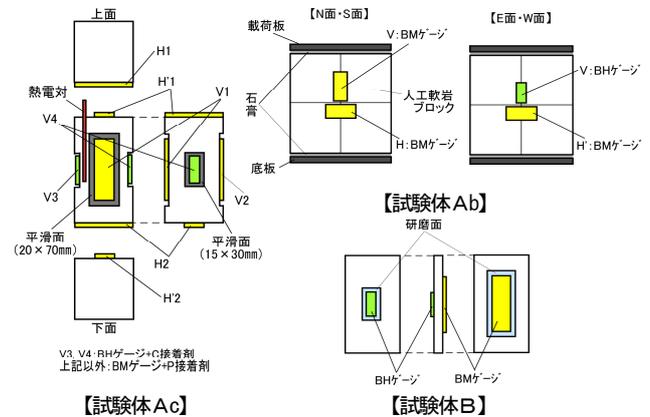


図-1 計測機器の取付位置

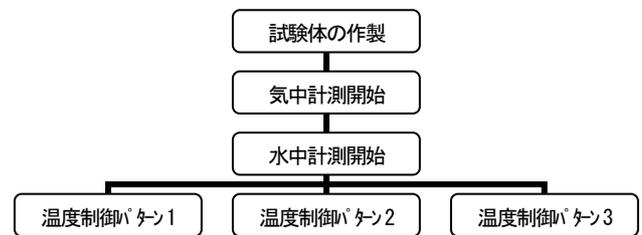


図-2 試験フロー

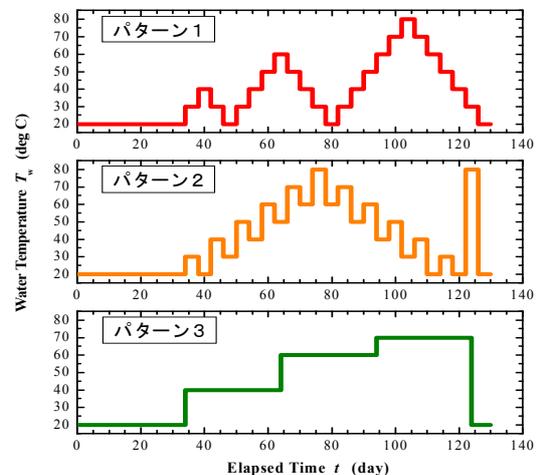


図-3 ヒーターの温度制御パターン

図-3 の 3 種類の温度制御パターンに従ってヒーター（アズワン(株)製/TM-2）による加熱を行った。パターン3は原位置加熱実験の加熱サイクルに準拠する²⁾。

3. 試験結果と考察

(1) 温度変化によるひずみ変動 $\Delta\epsilon_T$ の補正

a) 既往の補正方法

既往の文献³⁾では、以下の①～③の手順で $\Delta\epsilon_T$ を除去する方法が示されている。

① データロガーのゲージ率補正+リード線の感度補正

$$\epsilon_0 = \frac{2.00}{K_0} \cdot \epsilon, \quad K_0 = K \cdot \frac{R}{R+r \cdot L/2} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 ϵ_0 : 補正值① (μ) , ϵ : 実測値 (μ)
 K_0 : 補正ゲージ率①, K : 表示ゲージ率
 R : ひずみゲージの抵抗値 (Ω)
 r : リード線1m当りの往復抵抗値 (Ω/m)
 L : リード線の長さ (m)

② 温度変化によるゲージ率補正

$$\epsilon_1 = \frac{K_0}{K_T} \cdot \epsilon_0, \quad K_T = K_0(1+C_k \cdot \Delta T_{ck}/1000) \quad \text{式(2)}$$

ここで、 ϵ_1 : 補正值② (μ) , K_T : 補正ゲージ率②
 C_k : ゲージ率の温度係数 ($\%/10^\circ\text{C}$)
 ΔT_{ck} : 20°C を基準とした温度増分 ($^\circ\text{C}$)

③ 熱出力補正

$$\epsilon_c = \epsilon_1 - (\epsilon_{app} - \beta_{ss400} \cdot \Delta T) \quad \text{式(3)}$$

ここで、 ϵ_c : 補正值③ (μ)
 β_{ss400} : SS400の線膨張係数 ($=11.8\mu\text{C}^{-1}$)
 ϵ_{app} : SS400接着時の熱出力 (μ , 図-4参照)
 ΔT : 計測開始点からの温度増分 ($^\circ\text{C}$)

③で得られる ϵ_c には、理論上、被測定体の熱膨張によるひずみ、被測定体の熱膨張が拘束される場合の見掛けのひずみ（以下、熱応力ひずみ）および温度変化以外の要因によるひずみが含まれる。もし被測定体が温度変化以外の要因によるひずみが生じない環境下に置かれているのであれば、 ϵ_c は $\Delta\epsilon_T$ が完全に除外された、被測定体本来のひずみである。

b) 補正方法の検証

$\Delta\epsilon_T$ の影響のみを受ける環境下にてひずみを計測した試験分類Bでは、試験体は無拘束状態であるため自由に熱膨張できる。よって、試験体Bの計測値にa)の補正方法を適用して得られる ϵ_c には、石英ガラスの熱膨張ひずみ ($=\beta_q \Delta T$, β_q : 石英ガラスの線膨張係数 $=0.5\mu\text{C}^{-1}$)のみが含まれていることになり、 ϵ_c から $\beta_q \Delta T$ を差し引いた値は零になるはずである。

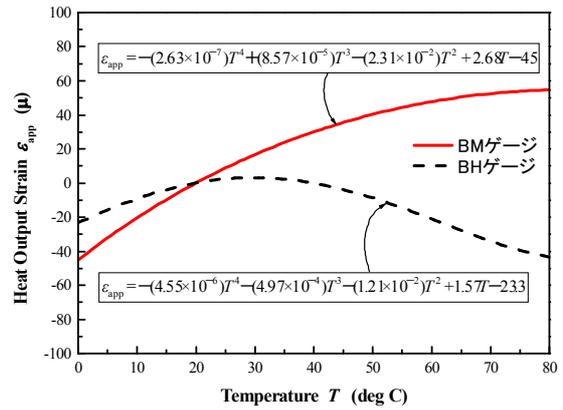


図-4 熱出力-温度曲線

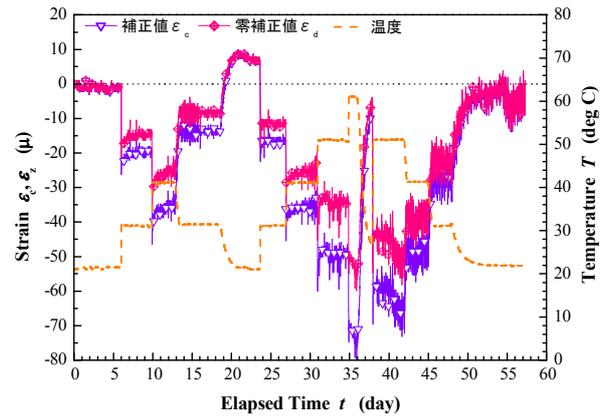


図-5 補正值の経時変化（試験体D）

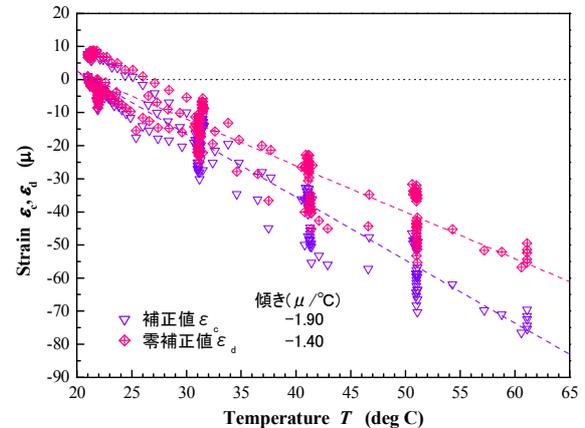


図-6 補正值と温度の関係（試験体D）

そこで、試験体Bの計測値に対してa)を適用して得られた補正值 ϵ_c と、 $\epsilon_c - \beta_q \Delta T$ で算出される ϵ_d （以下、零補正值）の経時変化および温度との関係を示す図-5、図-6において、補正の効果を検証する。なお、図では圧縮ひずみを正とし、比較に使うデータは水中計測時における加熱開始前～2回目の昇温終了時点とする。

図-5を見ると、山型の温度変化に追従して ϵ_d も山型に変化している。また、図-6の ϵ_d の曲線に対し線形回帰を行って得られる直線の傾きは $-1.40\mu\text{C}^{-1}$ であり、予測値 ($=0\mu\text{C}^{-1}$)と一致しなかった。

よって、コアセンサーの計測値に対しa)を適用して得た補正值には、温度変化の影響が含まれる可能性がある。

原因としては、今回未検討のゲージ接着剤の熱変形の影響が考えられるが、以降のひずみ変動の検討では、この影響は微量で無視できると考え、温度変化の影響が完全に補正されたデータとして ε_e を用いる。

(2) ゲージ接着剤によるひずみ変動 $\Delta\varepsilon_{ad}$ の検討

図-7に、横軸をゲージ接着直後からの経過時間 t_{ad} とし、試験体Acの鉛直・水平ひずみ ε_v ・ ε_h の経時変化を示す。また、図-7の各データに対し、式(4)の指数関数でフィッティングを行い得られた近似式のパラメータ p_1 、 q_1 の平均値と標準偏差を表-3に示す。なお、図-7には、式(4)の p_1 、 q_1 に、表-3の平均値を代入して得られる曲線(太線)と、平均値±標準偏差を代入して得られる曲線(破線)を示した。さらに、式(4)を t_{ad} で微分し、 p_1 、 q_1 の平均値を代入して得られた1日当りのひずみ変動量 $d\Delta\varepsilon_{ad}/dt_{ad}$ の経時変化を図-8に示す。

$$\Delta\varepsilon_{ad} = p_1 \{1 - \exp(-t_{ad}/q_1)\} \quad \text{式(4)}$$

ここに、 t_{ad} : ゲージ接着直後からの経過時間(day)

p_1 : $\Delta\varepsilon_{ad}$ の収束値(μ)

q_1 : $\Delta\varepsilon_{ad}$ の収束速度を示す指標

表-3より、収束値の平均値は、BMゲージ+P接着剤で92 μ 、BHゲージ+C接着剤で140 μ であり、前者の方が48 μ 小さい。一方、収束値の標準偏差を見ると、BMゲージ+P接着剤で63 μ 、BHゲージ+C接着剤で80 μ であり、収束値のばらつきに若干の差が見られる。また、「ひずみ変動が収束した時点」を1日当りのひずみ変動量の絶対値が1 μ になった時点と定義すると、図-8より、 $\Delta\varepsilon_{ad}$ の収束日数はBMゲージ+P接着剤では $t_{ad} \doteq 7$ (day)、BHゲージ+C接着剤では $t_{ad} \doteq 12$ (day)であった。

以上より、 $\Delta\varepsilon_{ad}$ の収束値や収束日数は、接着条件(接着剤の種類、接着剤の塗布厚さ等)によってばらつきが生じると考えられる。ここで、一般に接着剤の硬化時間は温度が高いほど早いと見られ、今回得られた収束日数はあくまで10~23 $^{\circ}$ Cの環境下でひずみゲージを接着する場合の目安にすぎない。

(3) グラウトによるひずみ変動 $\Delta\varepsilon_g$ の検討

a) コアの連結時におけるひずみ変動 $\Delta\varepsilon_{gu}$

図-9に示す連結開始時からの経過時間 t_{gu} を横軸とする試験体Acのひずみの経時変化に対し、式(5)でフィッティングを行い、得られた近似式のパラメータ p_2 、 q_2 の平均値と標準偏差を表-4にまとめた。また、1日当りのひずみ変動量 $d\Delta\varepsilon_{gu}/dt_{gu}$ の経時変化を図-10に示す。

$$\Delta\varepsilon_{gu} = p_2 \{1 - \exp(-t_{gu}/q_2)\} \quad \text{式(5)}$$

ここに、 t_{gu} : コアの連結開始時からの経過時間(day)

p_2 : $\Delta\varepsilon_{gu}$ の収束値(μ)

q_2 : $\Delta\varepsilon_{gu}$ の収束速度を示す指標

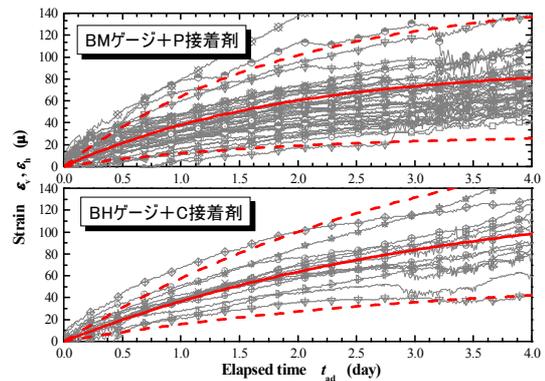


図-7 ひずみの経時変化 ($\Delta\varepsilon_{ad}$)

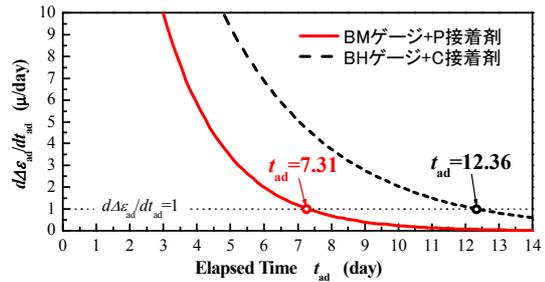


図-8 ひずみ変動量の経時変化 ($\Delta\varepsilon_{ad}$)

表-3 パラメータ a , b の平均と標準偏差 ($\Delta\varepsilon_{ad}$)

	BMゲージ+P接着剤		BHゲージ+C接着剤	
	p_1 [μ]	q_1	p_1 [μ]	q_1
平均	92	1.88	140	3.30
標準偏差	63	1.69	80	2.29

表-4より、 $\Delta\varepsilon_{gu}$ の収束値は、鉛直方向で956 μ 、水平方向で686 μ (共に引張ひずみ)である。同じ計測方向で使用したグラウトが異なるデータ同士を比較すると、収束値の平均値に大きな差異は見られない。また、図-10より、 $\Delta\varepsilon_{gu}$ の収束日数は計測方向やグラウトの種類に依らず約12時間である。

$\Delta\varepsilon_{gu}$ の発生要因をグラウトの硬化変形であると仮定すると、グラウトが膨張する場合、試験体Acの鉛直方向に引張ひずみ、水平方向に圧縮ひずみが生じる。しかし、実際は鉛直・水平方向で共に引張ひずみが生じており、想定される現象と整合していない。

ここで、グラウト中の水分の影響に着目する。大森らの報告⁴⁾によると、炉乾燥後の泥岩供試体に対し吸水膨張試験を行い供試体の吸水膨張率(=吸水に伴う供試体の変形量/初期高さ)の経時変化を調べた結果、吸水膨張率は水浸初期に急増し、その後はほとんど増加しないという傾向が得られている。今回計測された $\Delta\varepsilon_{gu}$ はこれと類似した傾向を示していることから、 $\Delta\varepsilon_{gu}$ の発生要因はグラウト中の水分による試験体Acの吸水膨張ではないかと推測される。

b) コアセンサーの埋設時におけるひずみ変動 $\Delta\varepsilon_{ge}$

埋設直後からの経過時間 t_{ge} を横軸とする試験体Acのひずみの経時変化を図-9に示す。 $\Delta\varepsilon_{ge}$ の発生要因がグラ

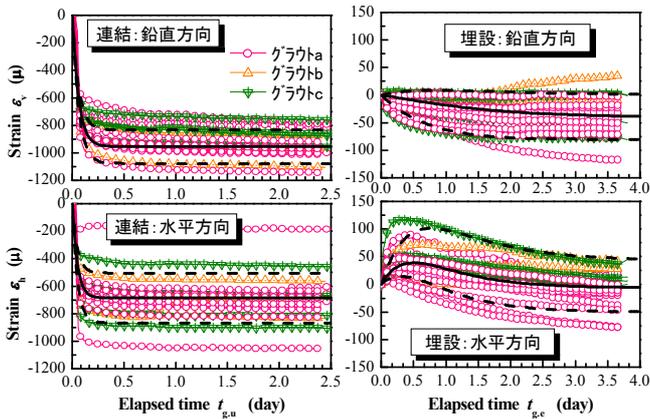


図-9 ひずみの経時変化 (左: $\Delta\epsilon_{gu}$, 右: $\Delta\epsilon_{gc}$)

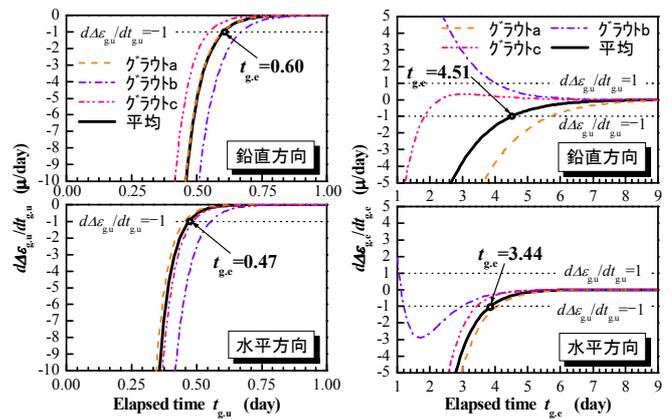


図-10 ひずみ変動量の経時変化 (左: $\Delta\epsilon_{gu}$, 右: $\Delta\epsilon_{gc}$)

表-4 パラメータ a, b の平均と標準偏差 ($\Delta\epsilon_{gu}$)

		鉛直方向		水平方向	
		$p_2[\mu]$	q_2	$p_2'[\mu]$	q_2'
全体	平均	-956	0.061	-686	0.049
	標準偏差	122	0.013	181	0.012
グラウト a	平均	-975	0.062	-683	0.047
	標準偏差	124	0.014	193	0.013
グラウト b	平均	-961	0.071	-687	0.059
	標準偏差	95	0.005	114	0.009
グラウト c	平均	-838	0.057	-701	0.051
	標準偏差	79	0.006	200	0.003

表-5 パラメータ a, b の平均と標準偏差 ($\Delta\epsilon_{gc}$)

		鉛直方向				水平方向			
		$p_3[\mu]$	q_3	$p_3'[\mu]$	q_3'	$p_3[\mu]$	q_3	$p_3'[\mu]$	q_3'
全体	平均	-1017	0.911	977	0.890	-927	0.568	921	0.501
	標準偏差	34	0.283	34	0.256	125	0.118	130	0.121
グラウト a	平均	-1026	1.036	969	0.986	-908	0.592	884	0.512
	標準偏差	39	0.270	41	0.251	143	0.108	145	0.107
グラウト b	平均	-996	0.690	995	0.721	-987	0.584	1013	0.566
	標準偏差	18	0.136	10	0.151	11	0.156	10	0.168
グラウト c	平均	-1010	0.758	982	0.769	-924	0.479	940	0.404
	標準偏差	20	0.253	21	0.259	133	0.087	113	0.064

ウト中の水分による試験体 Ac の吸水膨張であると仮定すると、図-9 の $\Delta\epsilon_{gc}$ の挙動は以下の2つの現象が重なって発生したものと推測される。

- ① 試験体Acの被覆 (連結時のグラウト) 部分が吸水膨張して内部のコアを圧迫し、鉛直方向で引張りひずみ、水平方向で圧縮ひずみが発生する。
- ② 浸潤に伴い試験体Ac内部のコアの吸水膨張が進行し、鉛直・水平方向ともに引張りひずみが発生する。

これらの現象を踏まえ、2つの項で構成された式(6)で図-9の各データに対しフィッティングを行った。得られた近似式のパラメータ p_3, q_3, p_3', q_3' の平均値と標準偏差を表-5に示す。また、図-10に1日当りのひずみ変動量 $d\Delta\epsilon_{gc}/dt_{gc}$ の経時変化を示す。

$$\Delta\epsilon_{gc} = p_3 \{1 - \exp(-t_{gc}/q_3)\} + p_3' \{1 - \exp(-t_{gc}/q_3')\} \quad \text{式(6)}$$

ここに、 t_{gc} : コアセンサー埋設時点からの経過時間(day)
 p_3, p_3' : 各項の収束値(μ)
 q_3, q_3' : 各項の収束速度を示す指標

表-5より、収束値 ($=p_3+p_3'$) の平均値は、鉛直方向で 40μ 、水平方向で -6μ と、 $\Delta\epsilon_{gu}$ の 10 分の 1 以下である。収束値の標準偏差 ($=p_3$ と p_3' の標準偏差の和) は、鉛直方向が 68μ であるのに対し、水平方向はその約 4 倍の 255μ と大きくばらついている。同じ計測方向において使用したグラウトが異なるデータ同士を収束値の標準偏差で比較すると、鉛直・水平方向ともにグラウト c (鉛直: 28μ 、水平: 21μ) \Rightarrow グラウト b (鉛直: 41μ 、水平: 246μ) \Rightarrow グラウト a (鉛直: 80μ 、水平: 288μ) の順

に収束値のばらつきが小さい。また、図-10より、収束日数の平均は鉛直方向が約 5 日間、水平方向が約 4 日間であり、異種グラウト同士を比較すると、半日間~4 日間程度の差異が見られる。

使用したグラウトの違いで $\Delta\epsilon_{gc}$ の収束値・収束日数に差異が見られたのは、各グラウトの吸水膨張特性が異なるからではないかと推測される。

(4) 水浸によるひずみ変動 $\Delta\epsilon_w$ の検討

水浸開始時からの経過時間 t_w を横軸とする試験体 Ac のひずみの経時変化を図-11 に示す。図中の鉛直・水平方向において、水浸直後から短期間に引張りひずみが急増し、その後は緩やかに増加する傾向が見られる。この傾向は、前段の $\Delta\epsilon_{gu}$ の変動傾向と類似しているが、12 時間程度で収束する $\Delta\epsilon_{gu}$ に対し、 $\Delta\epsilon_w$ は 1 週間以上の長期に渡り変動し続けている点で異なる。このような「短期増加」と「長期増加」を併せ持つ $\Delta\epsilon_w$ に対し、2つの項を持つ式(7)を用いてフィッティングを行った。得られた近似式のパラメータ p_4, q_4, p_4', q_4' の平均値と標準偏差を表-6 に示す。また、式(7)を t_w で微分し得られた 1 日当りのひずみ変動量 $d\Delta\epsilon_w/dt_w$ の経時変化を図-12 に示す。

$$\Delta\epsilon_w = p_4 \{1 - \exp(-t_w/q_4)\} + p_4' \{1 - \exp(-t_w/q_4')\} \quad \text{式(7)}$$

ここに、 t_w : コアセンサー埋設時点からの経過時間(day)
 p_4, p_4' : 各項の収束値(μ)
 q_4, q_4' : 各項の収束速度を示す指標

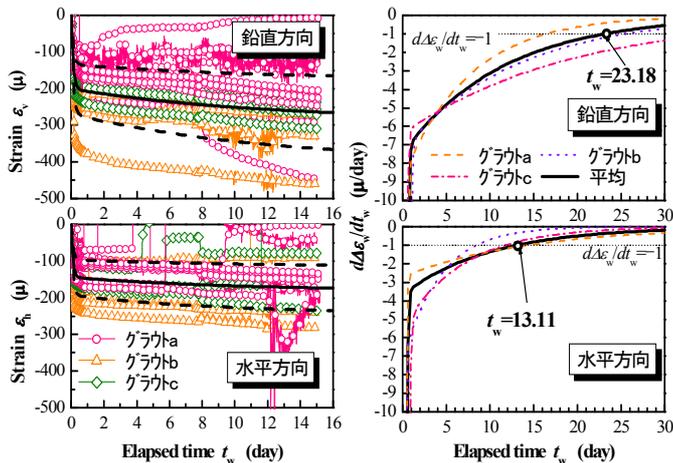


図-11 ひずみの経時変化($\Delta\epsilon_w$)

図-12 $d\Delta\epsilon_w/dt_w$ の経時変化

表-6 パラメータ a , b の平均と標準偏差 ($\Delta\epsilon_w$)

		鉛直方向				水平方向			
		p_4 [μ]	q_4	p_4' [μ]	q_4'	p_4 [μ]	q_4	p_4' [μ]	q_4'
全体	平均	-86	11.54	-201	0.110	-37	10.08	-144	0.098
	標準偏差	45	7.81	67	0.044	18	12.45	48	0.062
グラウト a	平均	-67	7.60	-169	0.101	-39	14.37	-115	0.080
	標準偏差	47	6.30	37	0.018	24	16.59	28	0.025
グラウト b	平均	-94	12.93	-305	0.160	-31	4.28	-212	0.060
	標準偏差	29	7.71	84	0.080	8	1.86	22	0.018
グラウト c	平均	-124	19.37	-194	0.092	-38	6.93	-144	0.158
	標準偏差	27	5.40	26	0.034	11	5.39	38	0.091

表-6 より、収束値 ($=p_4+p_4'$) の平均値は、鉛直方向で -287μ 、水平方向で -181μ 、収束値の標準偏差 ($=p_4$ と p_4' の標準偏差の和) は、鉛直方向で 112μ 、水平方向で 66μ と、鉛直方向の方が変動・ばらつき共に大きい。同じ計測方向で使用したグラウトが異なるデータ同士を収束値の平均値と比較すると、鉛直・水平方向ともにグラウト a (鉛直: -236μ 、水平: -154μ) \Rightarrow グラウト c (鉛直: -318μ 、水平: -182μ) \Rightarrow グラウト b (鉛直: -399μ 、水平: -243μ) の順に変動が小さい。また、図-12 より、鉛直方向の収束日数が約 24 日間であるのに対し、水平方向は約 14 日間と、差が顕著であった。

4. まとめ

コアセンサーの計測結果におけるひずみ変動について、以下の知見が得られた。

- ① 実測値に既往の補正方法を適用し、温度変化によるひずみ変動 $\Delta\epsilon_T$ の除去が可能であることを確認した。
- ② ゲージ接着剤によるひずみ変動 $\Delta\epsilon_{ad}$ は、7~12日間で $+30\sim+220\mu$ (圧縮ひずみ) に収束する。
- ③ グラウトによるひずみ変動 $\Delta\epsilon_g$ は、連結時は約12時間で $-500\sim-1100\mu$ (引張ひずみ) に収束し、埋設時は4~5日間で $-250\sim+250\mu$ に収束する。
- ④ 水浸によるひずみ変動 $\Delta\epsilon_w$ は、14~24日間で $-400\sim-115\mu$ に収束する。

今回計測された $\Delta\epsilon_{ad}$ 、 $\Delta\epsilon_g$ 、 $\Delta\epsilon_w$ はいずれも計測環境や作業手順等の影響を受け、収束値・収束日数においてばらつきが目立った。今後、ばらつきを評価する材料としてコアセンサーの状態を具に記録し、そのデータを元にひずみ変動の補正方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 高倉望, 岡田哲実, 谷和夫, 吉川和夫, 澤田昌孝, 竹田佳代: 高温下における堆積軟岩の原位置クリープ試験計画, 第36回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.263-266, 2007.
- 2) 高倉望, 池野谷尚史, 岡田哲実, 澤田昌孝, 平賀健史, 平野公平, 谷和夫: ボーリングコアを用いた岩盤中のひずみ計測方法の適用性について, 土木学会第62回年次学術講演会, pp.457-458, 2007.
- 3) 株式会社東京測器研究所: ひずみゲージ特性ガイド
- 4) 大森慎哉, 小峰秀雄, 安原一哉, 村上哲: 蒸留水および人工海水環境下における堆積性軟岩の一次元吸水膨張変形特性, 土木学会第61回年次学術講演会, 2006.

Laboratory Experiment to Investigate Correction of Embedded Strain Sensor

Kazuo TANI, Yuichi TANAKA, Tetsuji OKADA, Kohei HIRANO, Nozomu TAKAKURA and Takafumi IKENOYA

A new monitoring method for measuring in-situ ground behavior was proposed. The embedded type sensor used in the method is called "Core sensor", which is drilled cores equipped with strain gauges and thermocouples. This method has already been tested in an underground cavern at a depth of 50m, but the strain data represents not only deformations of the ground but also strain changes caused by various factors. Therefore, a series of laboratory experiments were conducted to evaluate the strain changes due to temperature change, the gauge adhesive, the grout and water. As a result, it was succeeded to acquire knowledge about the necessary period for convergence of the strain changes and their unevenness.