

大深度地下空洞の埋戻しに伴う 周辺岩盤のひずみ計測

高倉 望^{1*}・中沢 楓太²・沼上 清³・池野谷 尚史¹・田中 悠一¹・谷 和夫⁴

¹東急建設株式会社 土木総本部 (〒150 8340 東京都渋谷区渋谷一丁目 16-14)

²東急建設株式会社 建築総本部 (〒150 8340 東京都渋谷区渋谷一丁目 16-14)

³東急建設株式会社 技術研究所 (〒252 0244 神奈川県相模原市中央区田名3062-1)

⁴国立大学法人横浜国立大学 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 土木工学棟)

*E-mail: takakura.nozomu@tokyu-cnst.co.jp

大深度地下空洞の埋戻し工事に伴い、空洞周辺の挙動を調査する目的で底盤直下のひずみ変化を観察した。ここで、計測に用いたひずみ計は、横浜国大と電力中央研究所とで共同で開発したセンサー（通称、コアセンサー）を用いた。地下空洞の形状は、矩形断面（長辺9～10 m×短辺5～6 m）を有する深度50 mの立坑部と立坑下部から北西方向に30 m伸びた高さ8mの馬蹄形断面を有する主横坑部で構成されている。埋戻し工法は、深度13.4 mを境に、下部は流動化処理工法、上部は残土の締め固め工法である。

その結果、埋戻しの進捗とひずみ変化が調和的な挙動を示し、更に最大鉛直ひずみが自重計算から算定したひずみと比較して小さめに得られたものの、オーダーとしては妥当な値が得られた。

Key Words : strain measurement, backfill, sedimentary soft rock, deep underground space

1. はじめに

本研究は、大深度地下空洞の埋戻しに伴う空洞周辺岩盤の挙動を精度良く計測することを目的としている。

実験ヤードは、1989年から1991年にかけて相模原市郊外に構築した地下空間実験場である。この地下空洞の構造を図-1に示す。地下空洞の形状は、長辺9 m～10 m×短辺5 m～6 mの矩形断面を有する深度50 mまでの立坑部と、深度35 mに奥行き5.3 m、高さ2.5 mの馬蹄形断面の試験坑と、深度50 mに奥行き30 m、最大高さおよび最大幅が8 mの馬蹄形断面の主横坑で構成されている¹⁾。

今回の計測では、同地下実験場の埋戻しに伴う底盤直下のひずみ変化を横浜国大と電力中央研究所で開発したひずみ計測装置（以下、コアセンサーと呼ぶ）を用いた²⁾。

主横坑の埋戻し材は、施工性と品質を考慮した結果、流動化処理土とした。また、立坑部の埋戻し材は、建設副産物の再利用、経済性、および施工性を考慮した結果、深度13.7 m～深度50 mまでを流動化処理土とし、深度0 m～深度13.7 mは建設発生土で埋め戻した。

本報告では、主に流動化処理土で埋め戻したときの地下空洞周辺岩盤のひずみ計測結果について報告する。

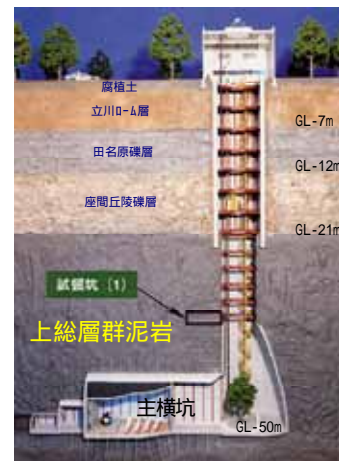


図-1 地下空間実験場の全景

2. 埋戻し工事の概要

(1) 埋戻し材の概要

埋戻しに用いた流動化処理土材の仕様は、以下のとおりである。配合は、表-1に示すとおりである。

- 流動化処理土の打設総量： 2,756 m³
- 28日材齢一軸圧縮強さ： 600 kN/m²以上
- 打設翌日には打設面上を歩行できる

(12時間後一軸圧縮強度 100 kN/m²程度)

- ・横坑 35 m を横引きするため適当なフロー値を確保する
- ・横坑天端を確実に充填するため、ブリージング率を1%未満とする

表-1 配合計画

項目	値	単位
固化材	100	kg/m ³
水	573	kg/m ³
砕砂	730	kg/m ³
建設発生土	313	kg/m ³
フロー値	180 ± 20	mm
比重	1.72 ± 0.1	

(2) 埋戻しの打設方法

埋戻し材は、地上部に設置したベルトコンベアーを経て特殊スクリーミキサーに送られる。特殊スクリーミキサーでは、水槽から水中ポンプで送られた水とスクリーコンベアーを備えた固化材供給装置から固化材が同時に供給され、全ての材料が同時かつ連続して混合されながら特殊砂圧送ポンプ車に混入される。

特殊砂圧送ポンプ車は、スクイズ式コンクリートポンプ車をベースに改良された車両である。特殊砂圧送ポンプ車から圧送された流動化処理土は、流量と圧送圧力を監視する電磁流量計を通して地下に投入される。

主横坑の埋戻しは、圧送された埋戻し材の充填性を確保するため、主横坑部の奥から立坑方向に向かって打設した。立坑の埋戻しは、深度 50 m に設置していた超高揚程ポンプを撤去せずに稼働した状態で施工した。なお、立坑内で確認されている深度 21 m の礫層と堆積軟岩層の境からの浸出水は、別途用意した超高揚程ポンプを埋戻しの進捗に合わせて盛り替えながら坑外に排水した。

3. 実験概要

(1) 計測期間

計測期間は、埋戻し工事 2ヶ月前に計器を設置して事前計測を行ったあと、埋戻し中、埋戻し後の 2年間を予定している。計測に関わる期間を以下に示す。

- ・計測期間：2009/4/26 ~ 2012/3/31
- ・埋戻し工事期間：2009/7/11 ~ 2009/8/21

(2) 計測項目と数量

計測項目と数量は表-2 のとおりである。また、それぞれの計測項目に対する設置箇所を図-2 に示す。ここで、空洞断面形状の違いによるひずみ変化を計測するためコアセンサーを立坑と主横坑に 1箇所ずつ配置した。

(3) 岩盤内ひずみ計測の概要

今回の岩盤内のひずみ計測には、同実験サイトで実施

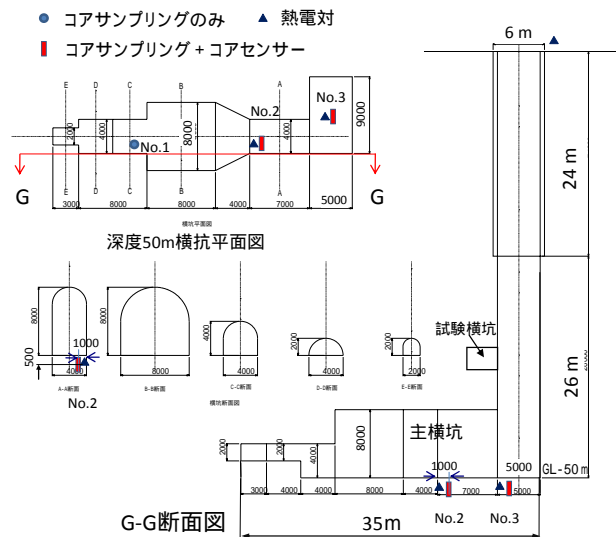


図-2 計測器の設置位置

	ひずみゲージ貼付位置	ひずみゲージ貼付状態
No.1		
No.2		
No.3		

図-3 コアセンサーのひずみゲージ貼付状況



写真-1 コアセンサー設置状況(No.2)

表-2 計測項目と数量

計測項目	数量	備考
サンプリング箇所	3箇所	
岩盤内ひずみ	2箇所	コアセンサーを使用
温度	3箇所	熱電対 T-G-0.65

した「堆積軟岩原位置加熱実験」³⁾で開発したコアセンサーを用いた。コアセンサーとは、現地でサンプリングした岩芯コアにひずみゲージを貼り(図-3 参照)、サンプリングした元の位置に再設置して、岩盤内のひずみを計測するものである²⁾。なお、設置した後のボーリング孔壁とコアセンサーの間隙は、地下空洞周辺に分布する堆積軟岩のヤング率と同程度の充填材で岩盤との一体化を図った。以下にコアセンサー設置までの手順を示す。

a) コアサンプリング

地下実験場の主横坑底盤の3箇所(図-2 参照)でコアをサンプリングした。3箇所のうち、No.1 は一軸圧縮試験用のコアとして用い、残りの No.2, No.3 をひずみ計測に用いた。

b) コアセンサーの作成

サンプリングしたコアの表面を乾かした状態でひずみゲージ(東京測器 WFLA)を貼る。貼る位置は、コア断面を120度間隔で3等分した測線上(a,b,c 側線と呼ぶ)に、鉛直、水平、斜めの3方向(図-3 参照)を標準とした。貼ったゲージの表面には、防水処理を施した。コアセンサーの完成から埋設までの期間は、コア表面の乾燥を防ぐために濡れタオルで養生した。

c) コアセンサーの埋設

埋設位置は、コアセンサーの軸方向の中心位置が地下空洞底盤面から約50cm下になるように設置した。設置方向は、No.2およびNo.3とも“a方向”が北になるように設置した(写真-1 参照)。

(4) 計測データ収録システム

計測データは、ひずみゲージのリード線をフレックス管で防護した状態で、地下50mから地上まで延長し、地上に設置したデータロガ(TDS-503:東京測器研究所製)に接続してパソコンに収録する自動収録システムとした。ここで、計測期間が長期となるため無線ランによるテレメトリーシステムを構築し、遠隔地で監視した。

4. 実験結果

(1) 計測データの補正

今回の計測では、有線で深度50mから地上までデータを送信するため、計測値に対してリード線長の補正が必要となる。また、データロガのゲージ率補正も必要となる。よって、それぞれに対して以下の補正を行った。

a) リード線の長さによるゲージ率補正

リード線は長さによって抵抗が異なり、ゲージ率が低下するため、この影響の補正式として式(1)を用いる。

$$K_0 = \left(R + \left(r \cdot \frac{L}{2} \right) \right) \cdot K \quad (1)$$

ここに、 K_0 はリード線の長さを補正したゲージ率、 K は各ひずみのデータシート上のゲージ率、 R はひずみゲージの抵抗値、 r はリード線の往復抵抗値、 L はリード線の長さである。

b) データロガのゲージ率補正

データロガのゲージ率の設定が2.0の場合、常温時のゲージ率に直す必要がある。常温時のゲージ率は各ひずみゲージのデータシートや箱に記載されている。

データロガのゲージ率補正は、ひずみゲージを使用して計測したすべてのひずみデータに対して必須である。補正式を式(2)に示す。

$$\varepsilon_0 = \varepsilon \times \frac{2.0}{K} \quad (2)$$

ここに、 ε_0 はゲージ率を補正したひずみ、 ε は測定したひずみ、 K はデータシート上の各ひずみのゲージ率である。

(2) 計測結果

埋戻し高さと岩盤内ひずみの関係を調べるため、比較的計測データが安定して取得できたNo.2とNo.3のb側線の経時変化図を図-4と図-5に示す。次に、埋戻し高さと鉛直ひずみとの関係を図-6、図-7に示す。

図-4から、水平方向のデータが埋戻し開始から6日間以降で計測不可の状態になっている以外は、多少のバラツキはあるものの埋戻しの進捗と調和的に挙動している。最大鉛直ひずみは約200 μ でほぼ安定している。

図-5から、埋戻し高さ13mまで、鉛直ひずみおよび斜めひずみが埋戻しの進捗と調和的であるが、埋戻し高さ13m以上を境にひずみ速度が低減し、緩やかな圧縮傾向に移行している。最大鉛直ひずみは約380 μ で安定している。

それぞれの最大鉛直ひずみを当該岩盤の微小ひずみレベル(0.001%以下)でのヤング率(3,200MPa)と埋戻し高に埋戻し材の単位体積重量(16t/m³)を掛けて算定したひずみ(計算結果)と比較するとNo.2で約50%、No.3で約15%である。計算結果と比較してひずみが過小傾向にあるのは、地下空洞側壁の拘束効果による上載荷重の低減や、時間経過に伴う流動化処理土の固化により、埋戻し材の自重がコアセンサーに全て伝達しなかった可能性が考えられる。

図-6から、3測線とも埋戻し高6m程度でひずみ変化率が低減している。値は、b側線のひずみがaおよびcの側線と比較して約2倍になっている。この要因としてひずみゲージの接着状態の違いや岩芯コアの端面成形の精度などが考えられる。

図-7では、c側線の鉛直ひずみが取得できていないが、a側線とb側線はほぼ同値で推移している。

ここで、No.2とNo.3とも埋戻し高に対して約1/4埋戻した時点でひずみ変化量が低減する結果となった。

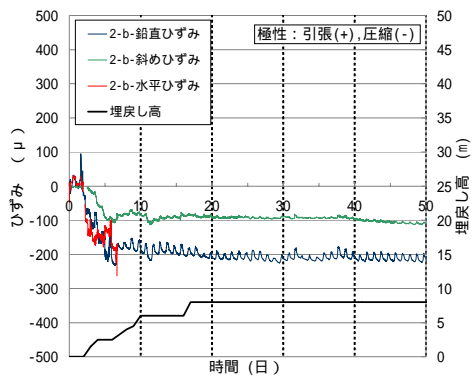


図-4 No.2 b 側線の経時変化図

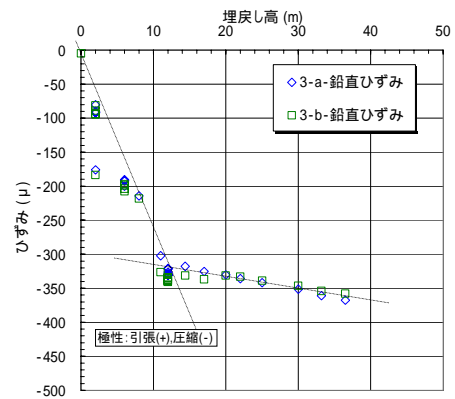


図-7 No.3 埋戻し高さと鉛直ひずみの関係

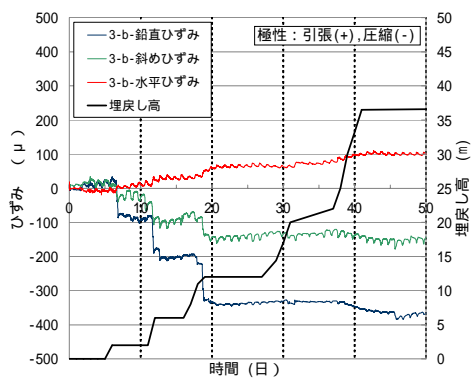


図-5 No.3 b 側線の経時変化図

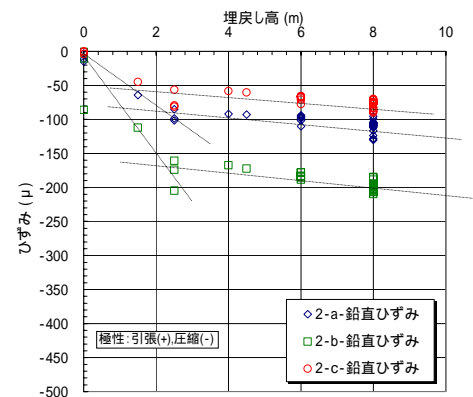


図-6 No.2 埋戻し高さと鉛直ひずみの関係

5. おわりに

大深度地下空洞の埋戻しに伴う空洞周辺岩盤の挙動を調べるために、新たに開発したひずみ計測装置（コアセンサー）を地下空洞の立坑と横坑の2箇所の底盤直下に設置して、埋戻しの進捗に伴うひずみ変化を計測した。その結果、2箇所のひずみとも埋戻しの進捗と調和的な挙動を示し、更に最大鉛直ひずみが横坑で200μ、立坑で380μと自重計算から算定されるひずみと比較して小さめに得られているものの、オーダーとしては妥当な値が得られた。また、2箇所とも埋戻し高に対して約1/4埋戻した時点でひずみ変化量が低減する結果となった。

参考文献

- 1) 例えば、越智健三，壺内達也，龍岡文夫：立坑掘削と原位置試験による堆積軟岩の変形特性，土木学会論文集，No.463/ -22, pp.142-152, 1993.
- 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) 池野谷尚史，岡田哲実，高倉望，澤田昌孝，平野公平，谷和夫：高温下における堆積軟岩の原位置加熱実験（フェーズ），第37回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，CD-ROM, 2008.

STRAIN MEASUREMENT OF THE SEDIMENTARY SOFT ROCKS WITH BACKFILL OF A DEEP UNDERGROUND SPACE

Nozomu TAKAKURA, Futa NAKAZAWA, Kiyoshi NUMAKAMI, Takafumi IKENOYA and Kazuo TANI

With the back filling construction of an underground space, we measure the strain under the bottom of an underground space in order to investigate the behaviors around cavernous.

As a result, it is harmonic with progress of backfill and the change of the strain, and also although the maximum vertical strain was obtained more smallish as compared with strain calculated from the value(density of a rock × height of backfill). The order is appropriate.