

# 孔内挿入型の鉛直方向相対変位測定装置の開発と原位置への適用

Development of vertical direction relative displacement measurement device  
and its application to a field.

吉田 次男\*, 森 聡\*\*, 平川 芳明\*\*\*  
Tsugio Yoshida, Satoshi Mori, Yoshiaki Hirakawa

In the large rock cavern excavation, it is very important for evaluating the stability of the side wall to measure not only horizontal direction displacement but also vertical direction displacement. We developed the device which measure the vertical direction relative displacement in the horizontal borehole to study the rock mass behavior in the vertical direction. In this report, the principle of the device, the accuracy of measurement and application case to a field are described.

*keywords : Measurement, Vertical relative displacement, Large rock cavern*

## 1. はじめに

地下発電所空洞に代表される大規模地下空洞の建設時にはアーチ部を掘削し、次に約3 m ピッチで盤下げ掘削が行われている。過去の大規模地下空洞の掘削実績によれば、アーチ部の岩盤変位は、アーチ掘削完了時にはほぼ収束するが、側壁部の岩盤変位は盤下げ掘削の進行に伴って徐々に発生するという傾向を示している<sup>1)</sup>。したがって、側壁岩盤の変位を計測することは、施工管理上極めて重要である。

側壁変位の計測方法として、従来、岩盤変位計や内空変位計が多用され、側壁に垂直な方向、すなわち水平方向の相対変位測定が実施されている。この方法は、側壁岩盤のはらみ出しの計測には有効であるが、岩盤内不連続面の方向や性状等によっては、はらみ出しだけでなく空洞方向へのすべりが生じ、側壁岩盤が鉛直方向に変位することが考えられる。筆者らは、大河内水力発電所地下空洞掘削時の側壁岩盤の挙動をBTV(ボアホールテレビ)により観測し、岩盤のすべりに起因する亀裂の開口が生じていることを指摘した<sup>2)</sup>。

このような鉛直方向の岩盤挙動を定量的に測定できれば、その測定結果が従来の解析、設計、施工管理に対して、新たな情報を提供する可能性がある。

本報では、筆者らが開発した鉛直方向相対変位測定装置の原理、測定精度と原位置への適用事例について述べ、本装置の有効性について報告する。

## 2. 測定装置の基本的なコンセプト

鉛直方向相対変位測定装置の開発に際しては、以下に示すような条件を考慮した。

まず、岩盤中の水平ボーリング孔を利用して、深度方向に連続的に測定できることを前提とした。また、未固結地盤のように、等方・等質の地盤を対象とする場合には、ボーリング孔内に塩ビパイプ等を挿入し、その中で測定することも考えられるが、今回は、岩盤を対象としており、岩盤不連続面による鉛直方向のずれの位置と量をできるだけ正確に測定するために、裸孔で測定することとした。さらに、測定器の長さをでき

|     |     |                   |
|-----|-----|-------------------|
| *   | 正会員 | 関西電力株式会社 総合技術研究所  |
| **  |     | 株式会社ニュージェック 技術開発部 |
| *** | 正会員 | 株式会社ニュージェック 技術開発部 |

るだけ短くするよう配慮した。

測定装置としては、従来の水平傾斜計の利用も考えられたが、この方法では、測定結果を深度方向の分布図として評価する際に、深度方向に測定誤差が累積されやすいことが懸念された。そこで、任意の深度における鉛直方向変位を測点ごとに独立に測定できる方法を採用することとした。

測定方法としては、自動計測が望ましいが、その場合、各測点にセンサーを配置する必要が生じ、コストが高くなることや、維持・管理が必要となることなどから、必要な時期に手動計測で測定することとした。

測定精度に関しては、既往の地下発電所空洞における側壁岩盤の水平方向の変位量が 20~30mm 程度であることを考慮し、鉛直方向にも同程度の変位が生じているものと仮定するならば、少なくとも $\pm 1\text{mm}$ の精度を期待したいため、これを目標値とした。

### 3. 測定装置の概要

本測定装置は、センサー部に、シールド掘削に伴う地表面の沈下等の計測に実績のある高精度の水圧計（DUP-100L：東横エルメス）を用い、この水圧計を、直径 65mm、長さ 380mm の小型カプセル（以下、本体部）に内蔵し、カプセルに脱着自在のアルミ製接続ロッドと、測定テープ、けん引用のワイヤーを付けることで、孔内の任意の位置での測定を可能にした。装置全体図を図-1 に示す。また本体部を図-2 に示す。

測定は、孔口より本体部を接続ロッドで押し込みながら、または引張りながら操作し、基準水槽から任意位置の本体部までの水圧を測定する。このように、基準水槽と任意位置の水圧を独立的に測定するために、水平傾斜計による測定時に生じるような測点の移動に伴う誤差の累積は生じない。しかも、孔内を移動可能なため装置は 1 組でよく、測定数が多い場合には、経済性も優れている。

水圧計の測定範囲は $\pm 50\text{mm}$ で、それを越える場合には、基準水槽の盛りかえにより測定を行う。本装置では、基準水槽の盛りかえが円滑に行えるように基準水槽に手動の昇降装置を取り付けた。水圧計の測定精度は $\pm 0.5\text{mm}$ である。

装置自体の精度および操作性は、室内において、原位置ボーリング孔を模擬した塩ビ管に本装置を適用し、検証した。

検証に用いた塩ビ管は、内径 83mm、長さ 8m で、途中 4カ所で段差が設けられている。

操作は、本体を塩ビ管の一端から、接続ロッドで本体を挿入した後、引っ張りながら 50cm ピッチで水圧を測定する。測定は数回行い、塩ビ管の同一位置における各測定値の最大値と最小値の差を比較した。その結果、いずれの位置における最大値と最小値の差も 1mm 以内に入っており、本装置の測定精度は、水圧計の測定精度である $\pm 0.5\text{mm}$ を有することが確

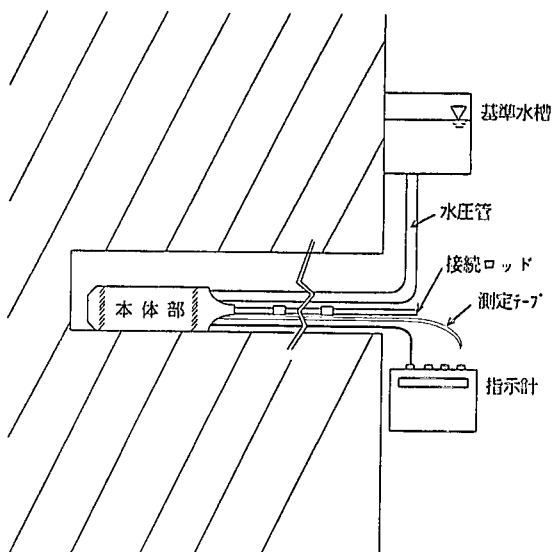


図-1 孔内挿入型 鉛直変位測定装置

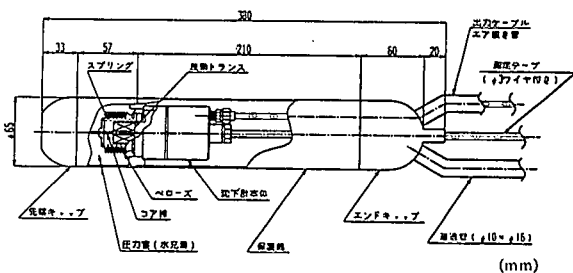


図-2 本体部

認められた。操作性についても、特段問題のない結果を得た。表-1に本装置の仕様を示す。

4. 原位置への適用

著者らは、現在、関西電力㈱で建設中の奥多々良木増設地下発電所地下空洞で本測定装置を用いて鉛直方向相対変位の測定を試みた。

奥多々良木増設地下発電所は、多々良木川左岸、眉谷の南側のほぼ西側に、40°で傾斜する尾根の直下に位置する、高さ47m、幅25m、長さ80mの弾頭型地下空洞である。

土被りは210～280mであり、地質的には、発電所のほぼ中央から両側にかけてひろく流紋岩が分布し、これを取りまくように、流紋岩質凝灰岩～凝結角礫岩が分布する。岩質は、いずれも風化の少ない、新鮮かつ堅硬なB～C<sub>H</sub>級岩盤が占める。

測定位置を図-3に示す。測定対象は、発電所本体空洞に併設されたバイパストンネルから、発電所本体空洞側壁に向けて穿孔された水平ボーリング孔（φ86mm、長さ22.5m）である。本水平孔は、ボアホールスキャナー観測用の裸孔であり、ボアホールスキャナーの観測結果との対比を行うことができる。

測定時にはまず、孔口付近に基準水槽を設置し、孔口から本体部を接続ロッドにより孔奥まで押し込み、本体を引張りながらボーリング孔軸方向に、50cmピッチで連続的に水圧（基準水槽からの標高差）を読みとった。

図-4にリフト5掘削後の測定データを示す。図は水平ボーリング孔の孔曲りの状態を表している。孔口から、本体空洞まで約880mm上方へ孔曲りがあることがわかる。この測定結果は、平均的に見れば約2.2°で本孔が上方に傾いていることを示している。

本体空洞の盤下げ掘削の進行に伴い、各リフト掘削ごとに同様の方法で孔曲り状態を定量的に把握し、初期状態からの変化量から鉛直方向相対変位を算定した。

測定は、各盤下げ掘削ごとに3回行い、3回の平均値をその時点での標高差とした。また、各測定において、孔口（深度0m）の地点を標高の基準点としている。

図-5にリフト10掘削後の各測定位置における3回の測定値の平均値と測定値の差の絶対値の分布を示す。この分布の平均値は0.218mmであり、標準偏差は0.192mmである。同様に、各リフトごとの測定における平均値と標準偏差を表-2に示す。

表-1 孔内挿入型 相対変位測定装置の仕様

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| 測定範囲     | ±50mm                                   |
| 測定精度     | ±0.5mm                                  |
| 計器長      | 380mm                                   |
| 計器外径     | φ65mm                                   |
| 防止処置     | 防水構造                                    |
| 形状       | φ65円形カプセル                               |
| 挿入／引出し方法 | 挿入管で孔奥へ押し込み、メジャー付のけん引ロープを引きながら連続的に測定する。 |
| ケーブル     | 0.5mm×4芯                                |
| 連 通 管    | φ16mmビニールホース                            |
| 出力方式     | 差動トランス型圧力計                              |
| 重 量      | 約2.5kg（連通管、ケーブルは除く）                     |

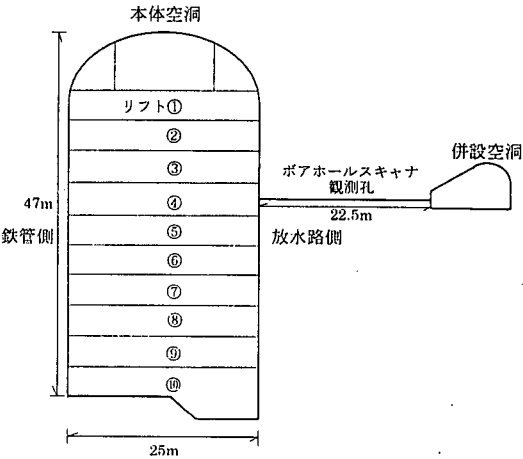


図-3 測定位置図

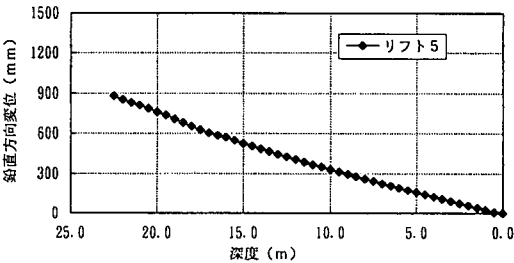


図-4 孔曲り測定結果

表-2 鉛直方向相対変位測定の結果

|       | 平均値と測定値の差の<br>絶対値の平均 (mm) | 平均値と測定値の差の<br>絶対値の標準偏差 (mm) |
|-------|---------------------------|-----------------------------|
| リフト5  | 0.271                     | 0.284                       |
| リフト6  | 0.405                     | 0.259                       |
| リフト7  | 0.253                     | 0.262                       |
| リフト8  | 0.319                     | 0.316                       |
| リフト9  | 0.189                     | 0.169                       |
| リフト10 | 0.218                     | 0.192                       |

表-2より、本測定装置の原位置における大よその精度が把握できる。平均値と測定値の差の絶対値の標準偏差は、リフト8で最大となっている。この標準偏差の±3倍程度が、本装置の原位置での測定精度と考え、本測定装置での原位置における精度は±1mm程度になる。

図-6は、5リフト盤下げ後を基準とした場合のそれ以降の盤下げ掘削による相対的な鉛直変位量を孔口を基準として示したものである。同図によると、掘削に伴う岩盤の鉛直方向の挙動は、孔口より10～15mの領域で孔口を基準として隆起傾向があり、16～18mの領域で沈下傾向が見受けられる。本測定データの詳細な分析は、今後ボアホールスキャナー観測結果やその他の計測データと対比しながら行う予定である。

## 5. まとめ

本報では、著者らが開発した鉛直方向相対変位測定装置の原理、測定精度と原位置への適用事例について述べた。

本装置を用いれば、鉛直方向の変位挙動を±1mm程度の精度で測定可能であり、今後、従来の大規模地下空洞に対する解析、設計、施工管理に対し、新たな情報を提供し得ることが確認できた。また、本装置は、上述の用途以外に、盛土、切土、開削地盤の沈下測定、ボーリング孔の鉛直方向の孔曲り測定等にも適用できるものと考えられる。

## 謝 辞

孔内挿入型鉛直方向相対変位測定装置の開発にあたり、(株)東亜測器 清宮紘一氏、(株)東横エルメス 小林敏之氏に多大な尽力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 日比野敏・本島睦：大規模空洞掘削時の岩盤挙動とライニング設計概念の提案，土木学会論文集，No.481/Ⅲ-25，pp.125～134，1993.12
- 2) 打田靖夫・吉田次男・浦山克・平川芳明：ボアホールテレビによる亀裂観測結果から見た大規模空洞掘削時の岩盤挙動の検討，土木学会論文集，No.517/Ⅲ-31，pp.33～44，1995.6

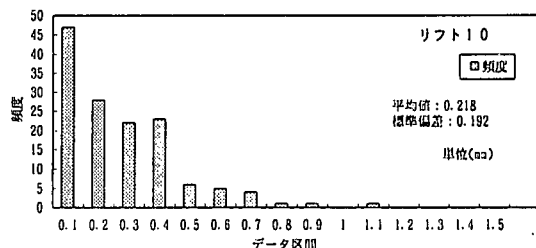


図-5 測定平均値と測定値の差の絶対値の分布

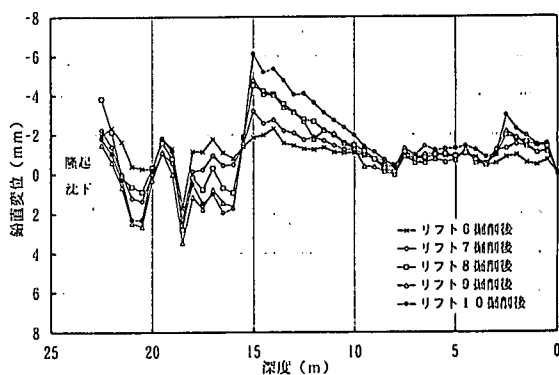


図-6 鉛直方向相対変位測定結果