

弾性波トモグラフィーによる空洞周辺岩盤の健全性評価の検討

清水建設 技術研究所	正会員	多田 浩幸
日本地下石油備蓄 業務部		植出 和雄
清水建設 技術研究所		宮下 国一郎
清水建設 土木本部	正会員	長谷川 誠

1. はじめに

石油等のエネルギーの地下貯蔵施設における岩盤空洞では、石油等の貯蔵後、長期間にわたって安全な操業を行っていくうえで、その健全性を日常的に的確に把握、評価していくことが重要である。水封方式の石油備蓄用岩盤空洞（岩盤タンク）周辺では、水封機能を維持するためにゆるみ域の拡大や不飽和域の発生を避ける必要がある。著者らは、岩盤のゆるみ域や不飽和域の変化を弾性波速度の変化として捉えることによって岩盤空洞の健全性を評価できると考え、弾性波トモグラフィーの適用性について検討を行っている¹⁾。今回、不飽和域評価への適用性を検討する前段階として、既設作業トンネルから掘削したボーリング孔を用いて弾性波トモグラフィーの計測及び解析を行い、飽和状態における岩盤の弾性波速度分布を求め、ボーリング調査結果から得られた岩盤構造との比較検討を行った。

2. 検討方法

実験を実施した現場は、水封式岩盤タンクに隣接する作業トンネル内で、図1にその計画断面を示す。同図に示した岩盤構造及び水位は実験開始前に推定したものである。弾性波トモグラフィー計測は同図に示すNo.1孔とNo.2孔間で行った。今回の計測は現状の地下水水位状態（飽和状態）における弾性波速度分布を把握することが目的であり、今後排水ボーリング孔を用いて同図に示すように地下水水位を低下させ、地下水水位が下がった状態における同様の検討を行う予定である。弾性波トモグラフィーの受発振点

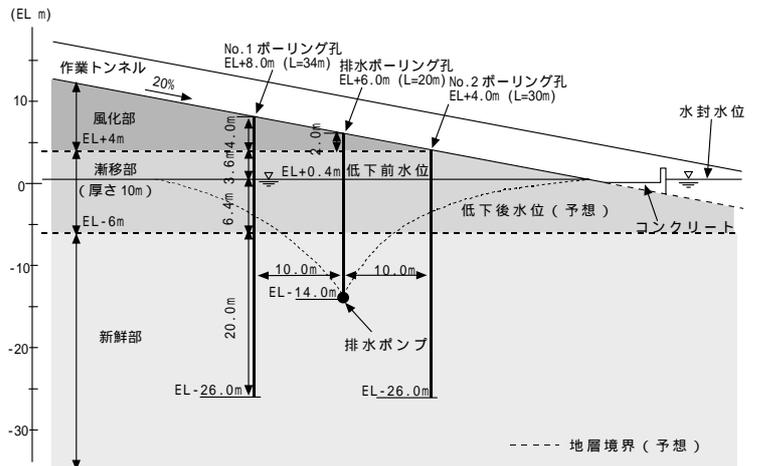


図1 実験計画断面図（計画段階）

配置モード図を図2に示す。震源及び受振器は漸移部及び新鮮部に設置するとともに、トンネル底盤にも震源を設置して測定を行った。測定間隔は1mとした。測定では、No.2孔にピエゾ震源、No.1孔にハイドロフォンを設置し、発震及び受振を行った。トンネル底盤での発震はかけやで打撃する方法によって行い、No.1孔とNo.2孔で受振した。測定点配置は、発震点がNo.2孔に28点、トンネル底盤に19点の合計47点、受振点がNo.1孔に31点、No.2孔に28点の合計59点とした。

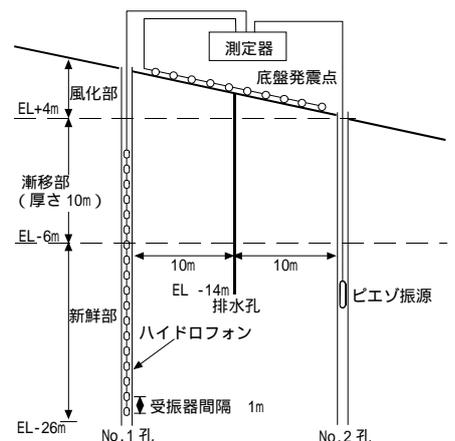


図2 受発振点配置モード図

3. 検討結果

今回掘削した3本のボーリング調査結果から得られた岩盤構造図と測定によって得られた弾性波伝播時間を用いて速度検層の解析を行った結果を図3に示す。実験位置の岩盤は花崗閃緑岩から成り、上部より風化帯、漸移帯、新鮮部の3層構造となっている。風化帯下面はほぼ水平に分布していると推定されるが漸移帯下面位置はNo.2孔に向かってやや上がっている傾向にある。新鮮部は漸移帯の下方に広く分布し、所々に厚

キーワード：岩盤、弾性波トモグラフィー、健全性評価、飽和

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5520 FAX 03-3820-5959

さ数 10cm ~ 2m 程度のアプライト脈が認められる。地下水位は EL+5m 程度のところにほぼ水平に分布している。

No.1 孔及び No.2 孔の速度検層解析では、それぞれの孔口から 1m 離れた底盤での発震点に対して対応する各孔の受振点で受振した弾性波伝播時間を用いた。同図より、No.1 孔の深度 4.5 ~ 10.5m 間で弾性波速度は 1.2km/s となり、10.5 ~ 32.5m 間では 4.9km/s となった。1.2km/s の区間は岩盤構造図の漸移帯に対応し、4.9km/s の区間は新鮮部に対応している。両者の境界は深度 10m 付近であり、アプライト脈より約 1m 下方となっている。一方、No.2 孔では深度 2.5 ~ 29.5m 間の測定区間全長で 4.7km/s となった。この区間は岩盤構造図の新鮮部に対応している。

弾性波トモグラフィーの解析では、解析領域を 0.5 m 間隔の格子状に分割した解析メッシュを用いて解析を行った。解析手法については、アイコンール方程式を差分で解く方法により波線経路を算定し、逆解析では、波線方程式にフィルタをかけたものを、共役傾斜法（CG法）で解く方法を用いた。解析に入力した測定データの波線数は 1,970 である。初期モデルは既往の検討結果¹⁾や上記の速度検層結果を参考にして解析領域を 4.8km/s の一様としたモデルを用いた。解析結果を図 4 に示す。同図には、岩盤構造との比較のために解析結果に岩盤構造図を重ねて示した。解析結果では、まず、No.1 孔の孔口付近からトンネル底盤沿いに排水孔の孔口付近にわたって 0.6 ~ 1.2km/s の低速度部が現れており、これは地下水位より上部の風化帯に対応している。この低速度部からやや速度の速い低速度部が排水孔と No.2 孔の中間のトンネル底盤まで広がっており、その下面境界は風化帯と漸移帯の境界とほぼ一致している。排水孔の EL 3m 付近から連続して 3.0km/s 程度の速度分布が No.1 孔の EL 0.5m 付近に向かって細長くのびており、その下面境界は漸移帯と新鮮部の境界と一致している。その他、排水孔の EL -1m 付近から、No.2 孔の孔口近傍に向かって 3.3 ~ 4.2km/s 程度の周囲よりもやや低い速度分布が認められる。これは、排水孔の EL -2m 付近に見られる弱層部に対応していると考えられる。さらに、No.1、No.2 孔の孔底近傍からボーリング孔に沿ってやや低い速度分布が現れているが、これはこの付近の波線が疎となっていることから、この影響により偽像が生じたものと考えられる。

4. まとめ

震源をボーリング孔とトンネル底盤に配置して測定したデータを用いて、飽和状態における岩盤の弾性波速度分布を評価した結果、ボーリング調査より推定された風化帯、漸移帯、新鮮部からなる岩盤構造がよく再現されることが示された。特に、風化帯や漸移帯の下面境界はよく一致した。また、地下水面位置に対応した速度の分布状況がうかがわれること、排水孔の EL -2m 付近に認められた弱層部付近に低速度帯が再現されていること等から、定期的に計測を実施することにより飽和部と不飽和部や弱層部の変化状況等を把握できる可能性があることが分かった。

参考文献： 1) 多田浩幸，長谷川誠，宮下国一郎，岡本明夫：岩盤空洞の健全性評価に対する弾性波トモグラフィーの適用性に関する検討，第 31 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp181-185，2001。

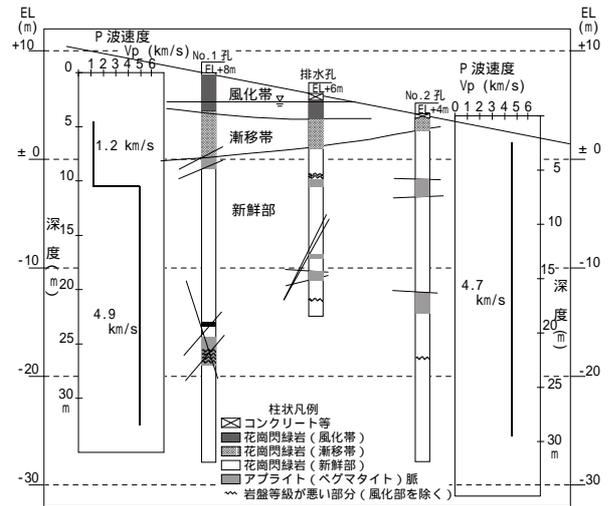


図 3 岩盤構造と速度検層結果

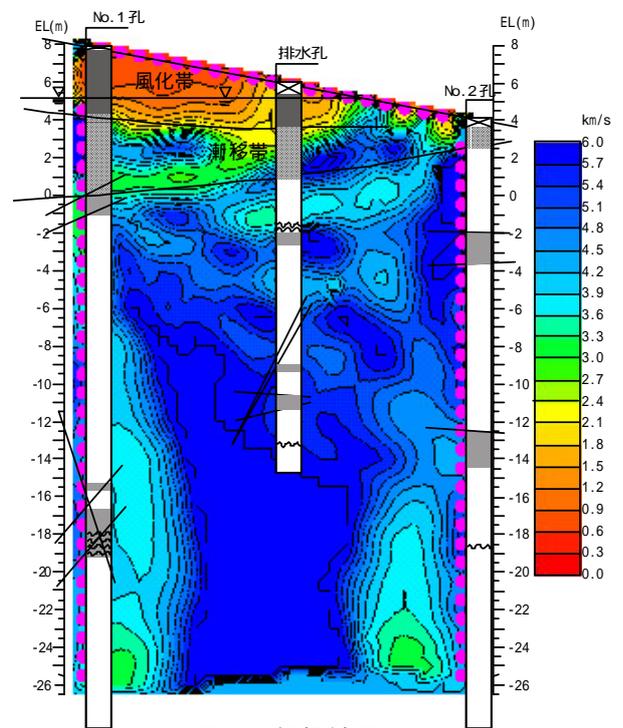


図 4 解析結果