地下空洞型処分施設性能確証試験における 周辺岩盤の間隙水圧計測の結果と評価について

中島 貴弘1*・佐藤 敏文1・寺田 賢二1・秋山 吉弘1・鈴木 康正2・山下 正3

1財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター(〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号)

2東電設計株式会社 第一土木本部(〒110-0015 東京都台東区東上野3丁目3番地3号)

³株式会社ダイヤコンサルタント 地盤・地下水解析センター (〒331-8638 さいたま市北区吉野町2-272-3) *E-mail: t-nakajima@rwmc.or.jp

地下空洞型処分施設性能確証試験では、実際の地下環境下において実規模の施設を施工することにより、 施工技術、施工手順等の適用性を確証し、施工された施設について、低透水性・低拡散性、力学的特性等 の初期性能を確認する.また、施設や周辺岩盤の力学・水理挙動の計測を実施し、地下空洞型処分施設の 施工に伴う周辺岩盤の挙動を確認する。施設施工に伴う周辺地下水流動への影響を確認するため、間隙水 圧分布の測定を実施している.

本論では、事前の三次元地下水流動解析に基づき計測位置および計測区間を設定した間隙水圧計測の結 果を述べ、計測機器設置時点における予測分布との比較を通じて、施設施工に伴う周辺地下水流動への影 響についての評価を行った.

Key Words: Cavern type disposal, Pore pressure measurement

1. はじめに

地下50m以深の地下空洞に処分ピットを構築し, その周囲をベントナイト等の緩衝材で覆う、いわゆ る地下空洞型処分施設は発電所廃棄物の余裕深度処 分等として具体的な検討が行われている¹⁾.

地下空洞型処分施設は、放射能レベルの比較的高 い放射性廃棄物を対象としていることや地下50m以 深の地下空洞に建設する処分施設であるため、これ までの地表からの処分施設と異なる設計や施工技術 が必要とされている²⁾.

地下空洞型処分施設性能確証試験は、処分施設の 具体的な設計および建設に向けて,既往の知見に基 づいた施設の施工技術の確立と,構築された施設の 性能を現実的な地下環境空間において確認すること を目的として、各種検討と計測を実施している3).

施設周辺岩盤の挙動計測については、施設施工中 および、施工直後の挙動の評価やその予測方法の確 立に資することを目的として、施設周辺岩盤におけ る力学挙動および水理挙動を計測している. このう ち、水理挙動については、試験空洞掘削時に間隙水 圧の低下が認められており⁴⁾,その後の施設構築に 伴う地下水環境の変化が予測された.

本論では、施設周辺岩盤の間隙水圧計測の結果を 述べ,計測開始時点における予測分布⁵⁾との比較を 通じて,結果の再現性を評価するとともに,施設施 工に伴う周辺地下水流動への影響について評価した.

本報告は、経済産業省からの委託である「管理型 処分技術調査等委託費(地下空洞型処分施設性能確 証試験)」の成果の一部である.

地下水流動解析および評価

(1)本試験における成果と課題

本試験において実施した地下水流動解析と間隙水 圧計測の検討内容を図-1に示す. 地下水流動解析



施設周辺岩盤の地下水流動を予測するための3次 元水理地質モデルを作成し、現況再現解析の結果と 計測結果を比較することにより、その妥当性を検討 した.計測は図-2に示す3断面で実施した.

作成モデルでは、表-1に示す水理地質区分⁶を使 用して、図-3に示すとおり、地下施設を中心とした 500m×400mの平面範囲で深度方向に厚さ150m (EL-10m~160m)の範囲を対象とした.

試験空洞と周辺の3本の計測坑は、2次元鉛直断面 で図-4に示すとおりモデル化した.空洞壁面に支保 工(吹付けコンクリート)を,原位置調査で確認さ





れた掘削影響領域(EDZ)を厚さ1mで表現した.

3 次元水理地質モデルでの現況再現解析に用いら れた解析条件を表-2 に示す. EDZ の透水係数を, ここで用いている岩盤の透水係数を参考として 1×10⁻⁶m/s と設定した.支保工の透水係数は岩盤と 同値とし、坑道掘削壁面を浸出境界として、飽和・ 不飽和解析を実施した.

表-1 注	対象と	した水理地質区分と透水特性。	ı)
-------	-----	----------------	----

		~ ~	1.1 - 1.1				•		~					•	
地 層 区 分 () 水理地質区分 () () () () () () () () () (その他考慮する事項						
地質区分 I I I II II			水理地質区分名		記号	- 透水係数(m/s) 				- E-4	割目がある程度連続するfーa断層近傍、 sfーb断層近傍の一部を高透水部と する				
										×					
		確混り砂岩層 (T ₂ ss)	礫混り砂岩 (Tss4)	· 保湿り砂岩 (Tss4)		Tss4									
				凝灰岩 (Ttf4)		Ttf4				4				100001	
			砂岩泥岩互層 (Tal3)	砂岩泥岩互層 (Tal3)	礫質砂岩	Tal3(gs)									砂岩泥岩互贈の各層と接する場合には その境界付近に割目が多い
		軽石混り砂岩層 (T ₂ ps)			保賀砂岩中の 火山映湖灰岩	Tai30t)									
					砂岩泥岩互層	Tal3(al)					•				
					ů Ť	Tal3(ss)									
			砂質軽石凝灰岩 (Tspt32)	砂質軽石凝灰岩 (Tspt32)		Tspt32				ĸ					
鹰	Ψ		軽石混り砂岩 (Tps32)	軽石混り砂岩 (Tps32)	軽石混り砂岩	Tps32(ps)				;					
架	部				發展	Tps32(ss)					-				
曆	55		砂質軽石凝灰岩 (Tspt31)	砂質軽石凝灰岩 (Tspt31)		Tspt31	Γ								
	nu		軽石混り砂岩	軽石混り砂岩	軽石混り砂岩	Tps31(ps)					-				
			(Tps31)	(Tps31)	砂岩	Tps31(ss)									
		軽石凝灰岩層 (T _a pt)	軽石凝灰岩 (Tpt2)	軽石凝灰岩 (Tpt2)		Tpt2	2	1160			Γ			Π	
			砂質軽石凝灰岩 (Tspt2)	砂質軽石凝灰岩 (Tspt2)		Tspt2			×						
			軽石賞砂岩 (Tnps2)	軽石質砂岩 (Tros2)		Tpps2			R						下位層との境界付近に割目が多い
		粗粒砂岩層	砂岩 (Tos12)	砂岩 (Tos12)		Tos12	Γ			×					上位層との境界付近に割目が多い 透水異方性
		(T ₂ cs)	粗粒砂岩 (Tcs11)	粗粒砂岩 (Tcs11)		Tos11	Γ		,						透水異方性
	層部	泥岩層 (T ₁ ms)	泥岩 (Tms0)	泥岩 (Tms0)		Tms0		×							





図-4 地下施設の2次元モデル化の状況

表-2 現況再現解析での解析条件

	透水係数		培用冬川
水理地質	EDZ	吹付コン	現外未任
巨視的透 水係数の 設定	1×10 ⁻⁶ m/s	岩盤の透 水性と同 じ	 ・ 敷地モデルの掘削解析 結果より設定 ・ 坑道掘削壁面は浸出面 境界(飽和・不飽和解 析を実施)

以下に,解析における課題を検討する. 現況再現解析で得た空洞周辺の全水頭分布を図-5 に示す.計測断面③での全水頭が①および②よりも やや高いことが確認できる.



図-5 計測断面①~③における全水頭分布

間隙水圧計測における計測結果と解析値との比較 を図-6と図-7に示す.計測断面①および②では,計 測坑A, B, Cからのボーリング孔にそれぞれ5区間 の計測区間を設け,これらの計測結果を■で示して いる.ここでの計測結果は,試験空洞掘削後の値で ある.計測結果において,側壁部で壁面からの距離 に応じた圧力水頭の増加傾向や,上部(計測坑B付 近)での不飽和領域の発生傾向が,解析値によって もおおむね再現できており,3次元水理地質モデル の妥当性が確認できた.

計測断面③での間隙水圧計測における計測結果と 解析値との比較を図-8に示す. 側壁部では, 壁面近 傍での計測結果は解析値と一致するが, 壁面から 4m付近まで深度に応じた増加が解析値と比べると 小さく,計測結果と解析値との差が大きくなる.さらに、壁面から4m以深では計測結果が大きく増大 し,解析値に近づく傾向にある.上部の解析値では, 計測断面①や②と比べ壁面から10m付近まではわず かに圧力水頭が存在し,これ以深の低透水層との境 界付近から圧力水頭が急増する.壁面から4m付近 までの計測結果は解析値とほぼ一致するものの,そ れ以深での計測結果が解析値よりも高くなっている. 底部では,計測結果よりも解析値がやや高いものの, 深度に応じた圧力水頭の増加傾向は再現された.



図-6 計測結果と解析値との比較(計測断面①)



図-7 計測結果と解析値との比較(計測断面②)



図-8 計測結果と解析値との比較(計測断面③)

以上の計測断面での計測結果と解析値との比較か

ら,計測断面①と②とでは計測結果をほぼ再現でき ているのに対し,計測断面③では,

・側壁から4~5mの範囲での計測結果が低い

・上部での計測結果が高い

以上の2点が課題として抽出できた.

(2) 抽出した課題に対する解決方針

これまでに抽出した課題の発生要因について検討 し、以下のように推定した.

<u>側壁部から5mの範囲</u>

試験空洞では、この範囲にロックボルトを施工しており、ロックボルトに沿って若干の湧水が生じている.このため、圧力水頭が低下し、計測結果が解析値よりも低くなっていることが推定される.

このことからロックボルトの施工範囲における透 水係数の設定を再検討する必要があると考える. 上部

上部には地下水浸透を抑制する低透水層が分布しており、この低透水層の介在が下部の水圧分布に影響している可能性がある.そこで、低透水層の分布をモデルに反映する必要がある.

以上の要因分析から,現況再現解析モデルで施設 周辺岩盤の間隙水圧分布を精度良く予測するには, ロックボルトの施工範囲における解析条件および低 透水層の分布性状について再設定を行い,解析モデ ルの修正を行う必要性を確認した.具体的には,ま ず現況再現解析でロックボルトの施工範囲を考慮し た解析により効果を確認し,さらに低透水層の分布 を変更した解析を実施し,その効果を確認する.

(3) 解析モデルの修正方法

1) ロックボルト施工範囲および EDZ 範囲を考慮 したモデル化

試験空洞でのロックボルトの施工範囲は、アーチ 部で壁面から 4m, 側壁部で 6m であり、平均の施 工範囲は空洞壁面から 5m である. ロックボルト孔 の削孔径は 50mm で、削孔ピッチは約 1.5m である. 試験空洞壁面のロックボルトからは湧水が生じてい るため、ロックボルト孔の透水係数が岩盤の透水係 数に比べて大きく、周辺岩盤からのロックボルト周 辺への地下水流動現象を解析的に考慮する必要があ る. この現象を表現するため、解析モデルでロック ボルトを組み入れ、モデル化したロックボルト孔に 岩盤よりも大きい透水係数を設定する方法が考えら れるが、解析モデルに比べてロックボルト孔が極め て小さく、これをモデル化することが難しい.

そこで、図-9に示すように、ロックボルト施工範囲の透水係数を周囲岩盤の透水係数よりも相対的に 大きくすることで、周辺岩盤からロックボルト孔への地下水流入を再現する方法とした.

ロックボルト施工範囲の透水係数設定の考え方を 図-10に示す.ここでは、異なる透水係数(岩盤と ロックボルト孔)を有する媒体をこれと同じ透水係 数を有する均質な媒体に置換えてモデル化する.こ のロックボルト孔(φ50mm)の削孔ピッチ 1.5m

より,壁面に沿った 3m の範囲を基準とし,両端の ロックボルト孔で囲まれた扇形の施工範囲を厚さ 3m の媒体とみなすとき、厚さ 3m あたりの岩盤部 でのロックボルト孔の厚さは 0.10m (=3m÷1.5m× 50mm) となる. 岩盤の透水係数は 3×10⁻⁸m/s であ り、ロックボルト孔の透水係数を砂の透水係数(こ こでは約 1×10⁻⁵m/s) と仮定すると、それぞれの透 水係数から求まる平均の透水量係数は 3×10⁻⁷m²/s となる.これと同じ透水量係数となる厚さ 3m の媒 体の透水係数は 1×10⁻⁷m/s となるので, この値をロ ックボルトの施工範囲の透水係数とした.ただし, 図に示すように扇形の施工範囲の面積の方がこれと 等価とした長方形の面積よりも大きく、これらの差 となる領域の岩盤にも 1×10⁻⁷m/s の透水係数を設定 していることで、透水係数をやや大きく設定してい ることとなる.





図-10 ロックボルト範囲の透水係数設定の概念

空洞周辺のロックボルト施工範囲のモデル化の概要を図-11に示す.空洞アーチ部から側壁部にかけてと妻部において厚さ 5m のロックボルト施工範囲をモデル化し、この範囲の透水係数を 1×10⁻⁷m/s とする.また、試験空洞周辺での水理調査の結果明らかになった空洞底盤部での EDZ の分布を解析モデルに反映する.



2) 低透水層を考慮したモデル化

ここまでに作成した3次元水理地質モデルでは, 空洞上部に分布する低透水層を厚さ一様にモデル化 した.これまでの調査で,この低透水層がレンズ状 に不連続に分布することが明らかになったので,こ の調査結果を反映して低透水凝灰岩層の分布の見直 しを行い,その結果を解析モデルに反映した.この 変更により,これまでの分布範囲が平面的に狭くな ることで,下方への地下水浸透量が増え,試験空洞 周辺の間隙水圧分布への影響が想定される.

(4) 現況再現解析結果

解析精度向上のため、設定透水係数を修正した現 況再現解析を実施した.実施ケースを表-3に示す. 既往の現況再現解析(解析ケース名:<u>G</u>enkyo) に対して、ロックボルト施工範囲を考慮した解析 (<u>G-R</u>ock bolt),さらに低透水層の分布を修正し た解析(解析ケース名:<u>G-RT</u>uff)を実施した.

衣-5 府切り ハ 見									
た. フタ	解析条件(透水係数)								
ケース名	低透水層分布	EDZ 分布	RB*施工範囲						
C	旧分布	旧分布	—						
G	$(3 \times 10^{-9} \text{m/s})$	$(1 \times 10^{-6} \text{m/s})$							
C P	旧分布	新分布	有						
G-R	$(3 \times 10^{-9} \text{m/s})$	$(1 \times 10^{-6} \text{m/s})$	$(1 \times 10^{-7} \text{m/s})$						
C DT	新分布	新分布	有						
G-R1	$(3 \times 10^{-9} \text{m/s})$	$(1 \times 10^{-6} \text{m/s})$	$(1 \times 10^{-7} \text{m/s})$						

表-3 解析ケース一覧

*RB:ロックボルト

計測結果と解析結果の比較を図-12,図-13および図-14にそれぞれ示す.なお、これらの図では解析結果のうち、ケースGを青線、ケースG-Rを緑線、ケースG-RTを赤線でそれぞれ示す.



図-12 計測結果と解析値との比較(計測断面①)



図-13 計測結果と解析値との比較(計測断面②)





計測断面①および②においては、側壁部でケース Gよりもケース G-RT,G-R と 1~3m 低くなり、計測 断面②の計測坑 A を除けば、ケース G-RT が最も良 く計測結果を再現しているものと考えられる.空洞 上部では、実測で不飽和での圧力水頭を計測できて いないが、ケース G-R で圧力水頭が低下している. また、ケース G-RT では、低透水層の分布範囲を修 正した結果、下方への地下水浸透量が増えた影響に より、ケース G-R よりも 1m 程度大きくなった.

計測断面③においては、側壁部と底盤部で、ケース G よりもケース G-R が低下し、計測結果をよく 再現した. さらに、ケース G-RT の側壁部でケース G-R よりも 1~2m 程度大きく、計測坑 A 側で計測 結果を良く再現する結果となった.

この結果,これまでに課題となっていた計測断面 ③側壁部での間隙水圧分布を非常に良く再現するこ とができた.底部においても、ケース G-RT は、ケ ース G-R よりも 0~1m 程度大きいが、計測結果と おおむね一致した.空洞上部ではケース G-R は、 空洞近傍でケース Gよりも圧力水頭が 5m 程度低く なった.ケース G-RT は、ケース G-R よりも 2~ 5m 程度大きいが、計測結果を良く再現するような 飽和状態となる結果は得られていない.

3. まとめ

地下空洞形処分施設の周辺岩盤の地下水流動を予 測するための3次元水理地質モデルを作成し、その モデルを適用した施設施工前の現況再現解析の間隙 水圧分布と計測結果の比較から、当初に作成した3 次元水理地質モデルの妥当性を評価した.

当初のモデルによる現況再現解析値は,壁面から の距離に応じた圧力水頭の増減傾向や不飽和領域の 発生傾向などの,計測結果の傾向がほぼ再現でき, 水理地質モデルの妥当性をおおむね確認できた.

しかしながら,試験施設が設置される計測断面③ においては,一部に解析値と計測結果との差異が認 められた.そこで,当初の解析値と計測結果との比 較および既往調査結果から原因を抽出し,ロックボ ルト施工範囲の透水係数と上部の低透水層の分布状 況を修正した.

ロックボルト施工範囲を考慮した再現解析の結果 は、側壁部の計測結果を良く再現することができ、 ロックボルト周辺からの湧水がロックボルト施工範 囲に相当する空洞壁面から 5m の範囲での水位低下 に影響していると評価した.さらに,空洞上部の低 透水層の分布をより実際に近づけることで,空洞上 部のみならず側壁部における実測の間隙水圧分布も 良く再現することができた.

空洞上部での若干の間隙水圧分布の不一致などの 課題を残すもののロックボルト施工範囲の解析条件 の設定と低透水層の分布の考慮により,3次元水理 地質モデルの解析精度を向上することができた.

参考文献

- 大西有三,河西基,辻幸和,西垣誠,鈴木義和, 加藤和之:低レベル放射線廃棄物の余裕深度処 分に関する技術の現状について,土木学会平成 18年度全国大会研究討論会,研-14 資料,2006
- 2) 庭瀬一仁,廣永道彦,辻幸和:低レベル放射性 廃棄物処分に用いるコンクリートの設計につい て、コンクリート工学、Vol.44, No.2, pp.3-8, 2006
- 3) 寺田賢二,秋山吉弘,佐藤敏文,根木政広,中 島貴弘,松村勝秀:地下空洞型処分施設性能確 証試験の成果概要について-平成20年度実施分 を中心として-,土木学会第64回年次学術講演 会講演概要集,CS5-014, pp.161-162,2009
- 4) 冨田敦紀,蛯名孝仁,森川誠司,田部井和人, 岸田潔,足立紀尚:堆積軟岩空洞掘削に伴う空 洞周辺岩盤間隙水圧挙動に関する解析的検討, 土木学会第35回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集,pp.225-230,2006
- 5) 大沼和弘,寺田賢二,松村勝秀,小山俊博,矢 島一昭:地下空洞型処分施設性能確証試験にお ける三次元地下水流動解析を用いた周辺岩盤間 隙水圧測定区間の検討について,土木学会第37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.239-244,2008
- 6)石田裕樹,鶴旨純,中島雅之,本多眞:鷹架層の透水、間隙特性,日本地下水学会2005年秋季 講演会講演要旨集,pp.34-39,2005

THE RESULT AND EVALUATION OF PORE PRESSURE MEASUREMENT OF THE NEAR FIELD ROCK MASS IN DEMONSTRATION TEST OF CAVERN TYPE DISPOSAL FACILITY

Takahiro NAKAJIMA, Toshifumi SATO, Kenji TERADA, Yoshihiro AKIYAMA, Yasumasa SUZUKI and Tadashi YAMASHITA

The demonstration test of a cavern type disposal facility establishes the applicability of construction technology, procedure, and determines the initial performance for the constructed facility. To determine the influence on underground water flow as the near field rock mass, pore measurement of the near field rock mass carried out.

In this report, we discuss about the results of pore pressure measurement based on the early 3D underground water flow analysis. Through comparison with predictive pore pressure distribution, we discuss about the effect for groundwater flow according to the construction of the facilities.