

本資料は 年 月 日付で登録区分、
変更する。 2001. 6. 20

[技術情報室]

緩衝材の熱-水-応力連成試験、第3報 - 加熱・部分注水試験結果について -

1992年3月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

にては複
う管理
い。

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



緩衝材の熱-水-応力連成試験、第3報

- 加熱・部分注水試験結果について -

実施責任者 石川博久, 佐々木憲明
報告者 佐藤信二, 藤田朝雄
原 啓二

要旨

緩衝材大型試験設備は、処分後のニアフィールドにおける緩衝材の性能を評価するため、人工バリア内で生じる熱-水-応力連成現象に関するデータの取得、施工技術の確立を目的としたもので、第一段階の加熱試験に引き続き、第二段階の試験として周辺岩盤からの浸透水の緩衝材中での移動とそれに伴い生じる熱-水-応力連成現象を調べることを目的に、加熱・部分注水試験を行った。

試験により、緩衝材中での水の浸透とそれに伴う伝熱状況の変化等に関するデータが得られた。

本報告書は、上記の加熱・部分注水試験の結果についてとりまとめて報告するものである。

目 次

1.はじめに	1
2.試験の実施方法	2
2.1 試験概要	2
2.2 試験装置	2
2.3 加熱・注水条件	5
3.試験結果	9
3.1 温度分布	9
3.2 熱流束	14
3.3 緩衝材の直接観察結果	16
3.4 水分分布	18
3.5 膨潤圧	20
3.6 人工岩盤応力	21
4.緩衝材中への水の浸透状況についての検討	22
4.1 緩衝材中の水の浸透状況	22
4.2 緩衝材ブロック間の浸透水量	22
5.熱伝導解析	24
5.1 解析条件	24
5.2 解析結果	27
6.まとめ	30

図・表目次

図-1 試験装置概念図	2
図-2 緩衝材水分分布（加熱試験終了時）	4
図-3 ヒーター出力経時変化	6
図-4 ヒーター中心温度経時変化	7
図-5 注水位置	8
図-6 温度経時変化（A断面）	10
図-7 温度経時変化（B断面）	11
図-8 注水後の緩衝材温度変化（A断面）	12
図-9 注水後の緩衝材温度変化（B断面）	12
図-10 温度分布（経時変化）	13
図-11 热流束の経時変化	15
図-12 緩衝材表面観察結果	17
図-13 緩衝材の水分分布	19
図-14 人工亀裂面での通水幅	23
図-15 热伝導解析モデル概念図	25
図-16 热伝導解析結果（等温線図）	28
図-17 热伝導解析結果（実測値との比較）	29
 表-1 緩衝材温度分布（ヒーター中心：GL-3.0m）	9
表-2 土圧測定結果	20
表-3 人工岩盤応力	21
表-4 解析パラメータ一覧	26

1. はじめに

緩衝材大型試験設備は、処分後のニアフィールドにおける緩衝材の性能を評価するため、人工バリア内で生じる熱-水-応力連成現象に関するデータの取得、施工技術の確立を目的とし平成元年に建設されたもので、平成2年3月より試験を開始した。

同試験設備において実施した第一段階の加熱試験では、廃棄物の発熱による緩衝材中の伝熱に関するデータを取得するとともに、加熱により生じた温度勾配による緩衝材中の水分移動を確認した。

加熱試験に引き続き、第二段階の加熱・部分注水試験を平成2年10月から実施した。本試験は、温度勾配を持つ緩衝材中で周辺岩盤から浸透した水の移動とそれに伴い生じる熱-水-応力連成現象を調べることを目的としたものである。

本報告書は、既報^[1],^[2]に引き続き緩衝材大型試験設備における加熱・部分注水試験で得られた結果について報告するものである。

2. 試験の実施方法

2.1 試験概要

試験はまず、第一段階の加熱試験終了時に緩衝材中の水分分布状況調査を目的に実施した緩衝材サンプリング期間中の加熱停止による温度降下を回復するため、平成2年10月から平成3年1月まで再加熱を行った。その後、人工岩盤に設けた人工亀裂から注水をしながら人工バリア中の温度、膨潤圧等の測定を平成3年12月まで行った。加熱・部分注水停止後に緩衝材を全て取り出し緩衝材の表面状況の観察及び含水比を測定し、人工亀裂から緩衝材中への水の浸透状況を調査した。

2.2 試験装置

本試験装置は、図-1に示すように人工岩盤（直径 6m、高さ 5m）の中心に処分孔を模擬した試験孔（直径 1.7m、深さ 4.5m）を備えたもので、試験孔には実規模大の緩衝材、オーバーパック（ヒーター内蔵）が設置されている。装置の詳細については既報^[1]にあるので、ここでは主なものの概要を記す。

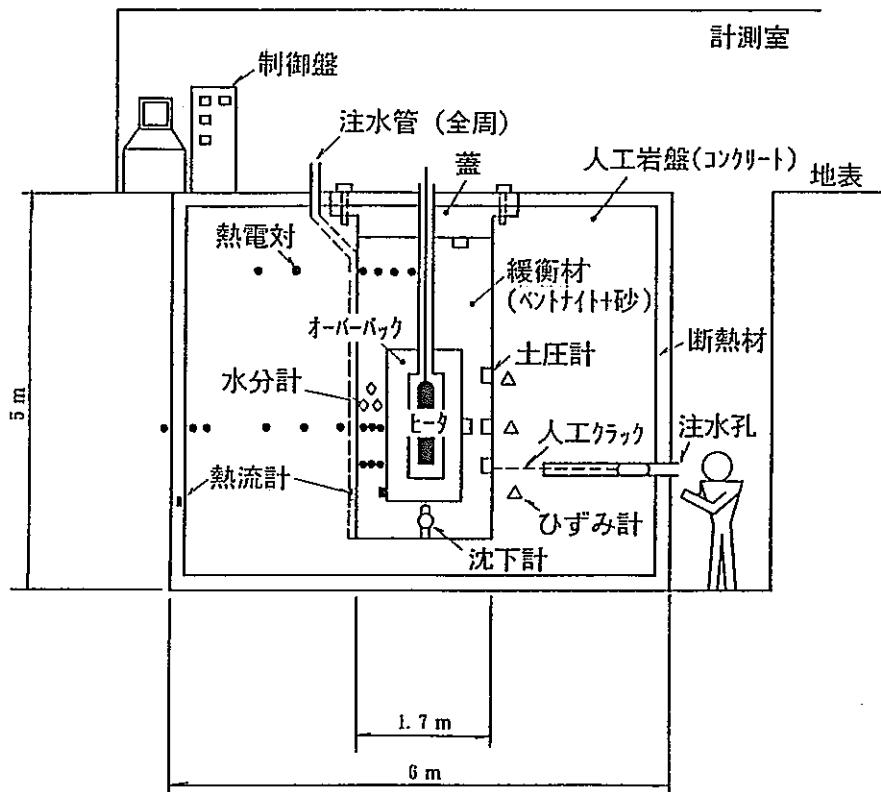


図-1 試験装置概念図

(1) 緩衝材

緩衝材は、第一段階の加熱試験に用いたもので、平均乾燥密度は圧縮成型ブロックが $\gamma d = 1.85 \text{g/cm}^3$ 、ブロック間の目地 ($t = 2 \text{cm}$) 及びブロックと人工岩盤との間の空隙部 ($t = 3 \text{cm}$) を充填した粉体の密度は $\gamma d = 1.21 \text{g/cm}^3$ であり、オーバーパックと緩衝材の空隙部分も含めた平均充填密度は $\gamma d = 1.70 \text{g/cm}^3$ である。

加熱試験終了時の水分分布は、図-2に示すように、温度勾配により緩衝材中の水分がオーバーパック側から岩盤側に移動している。

(2) オーバーパック

オーバーパック（以下O.P.と略す）は、実際の処分条件を基に試作した外径 104 cm、高さ 195cm、肉厚30cmの炭素鋼製の容器である。O.P.は蓋と本体部分に分かれしており、蓋にはヒーター挿入用の穴が設けられている。

(3) ヒーター

ヒーターは、シース型カートリッジヒーター（A C 200V、出力1.3 kW、シース径25.4mm、発熱長 1.0m）を3本束ねたものをO.P.の中心にセットし、その周囲にガラスピースを充填している。

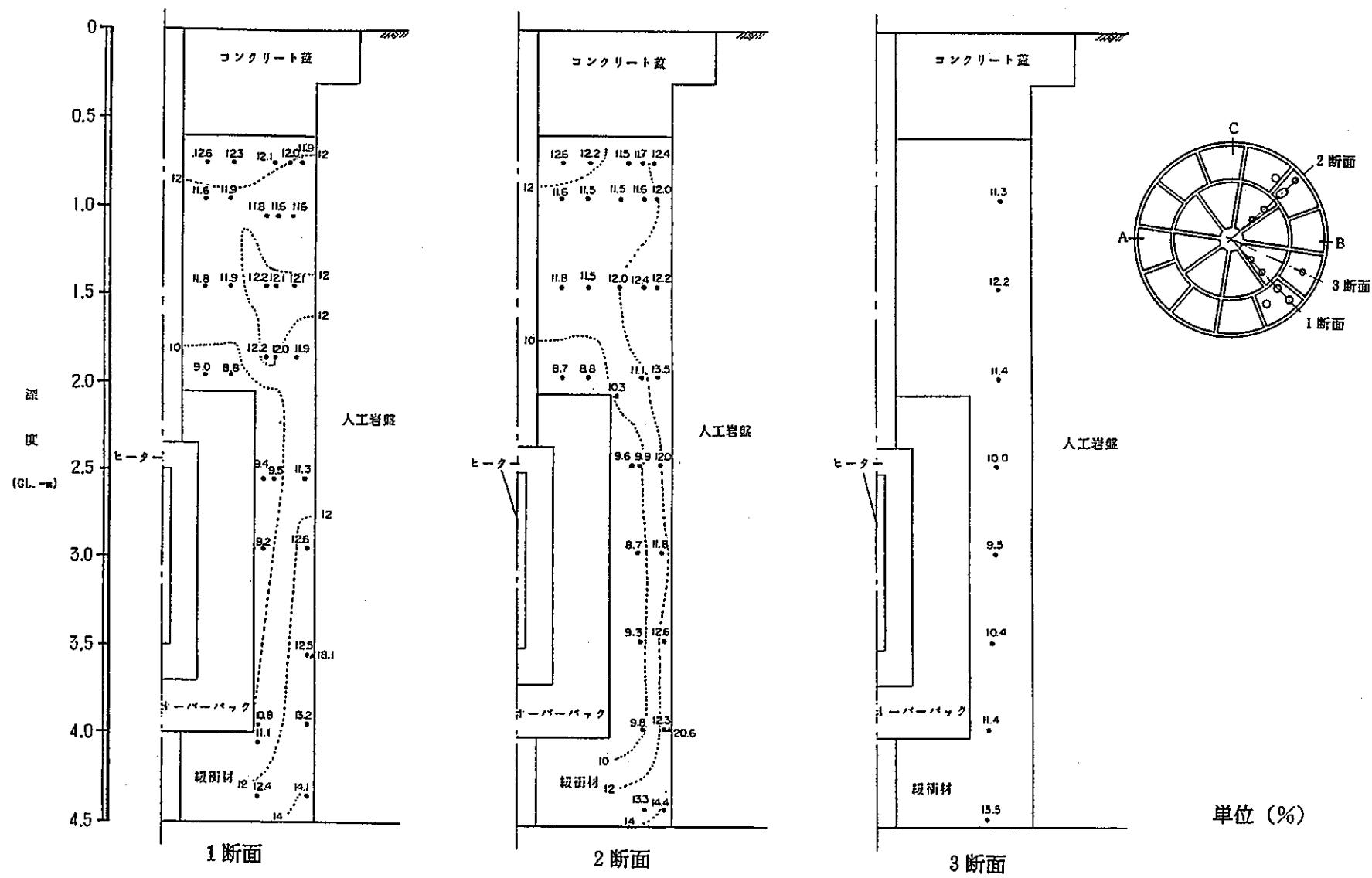


図-2 緩衝材水分分布（加熱試験終了時）

2.3 加熱・注水条件

(1) 加熱条件

注水開始までは、前回実施した加熱試験と同様に、ヒーター出力 0.8kW/hで 112 日間（2683時間）加熱を行った。注水直後、予想以上の水が緩衝材を通過し、O.P. の本体と蓋との接合部及びヒーター挿入口からO.P. 内部に水が浸入したことによりヒーターの温度が低下したため、ヒーター出力を最大 1.6kW/hまで増加した後、ヒーターの温度上昇に合わせて出力を調整し約 1.0kW/hで 317日間（7615時間）加熱を継続した。

試験期間中のヒーター出力及び温度の変化状況を図-3、4に示す。

(2) 注水条件

加熱により緩衝材の温度が加熱試験終了時と同程度までに上昇した時点で、図-5に示す人工亀裂面（GL-3.5 m）から注水を開始した。

注水はポンプの圧力調整弁を 0 の状態で行った。この場合、圧力調整弁で設定した圧力を越えた分の水は注水ポンプから注水タンクに戻る構造となっており、注水時の圧力は人工亀裂との高低差（約 4.0m）の静水圧と同程度と推定される。なお、試験期間中を通じ注水量のコントロールは行わなかった。

注水量は、注水開始時には約 3~5 l/min であり、水が急速に緩衝材を通過し O.P. まで達したため送水を一時停止するまでの 105分間で注水量は約 325 l となっ た。

その後、注水を一時停止し、緩衝材の吸水・膨潤により緩衝材の止水性が高くなつたのを確認して、平成 3 年 3 月 6 日より連続注水を開始した。この後の注水量はわずかであり、設備に取り付けた流量計では測定不可能であった。

注水タンクに取り付けてある水位計の変化から求めた注水量は、連続注水開始時の一日前には 1.2 l/d であったものが、徐々に減少し試験終了時（平成 3 年 12 月 3 日）には 0.2 l/d となった。タンクの水位変化を基にした連続注水開始時から試験終了時までの 6,585 時間の注水量は 98.5 l となった。

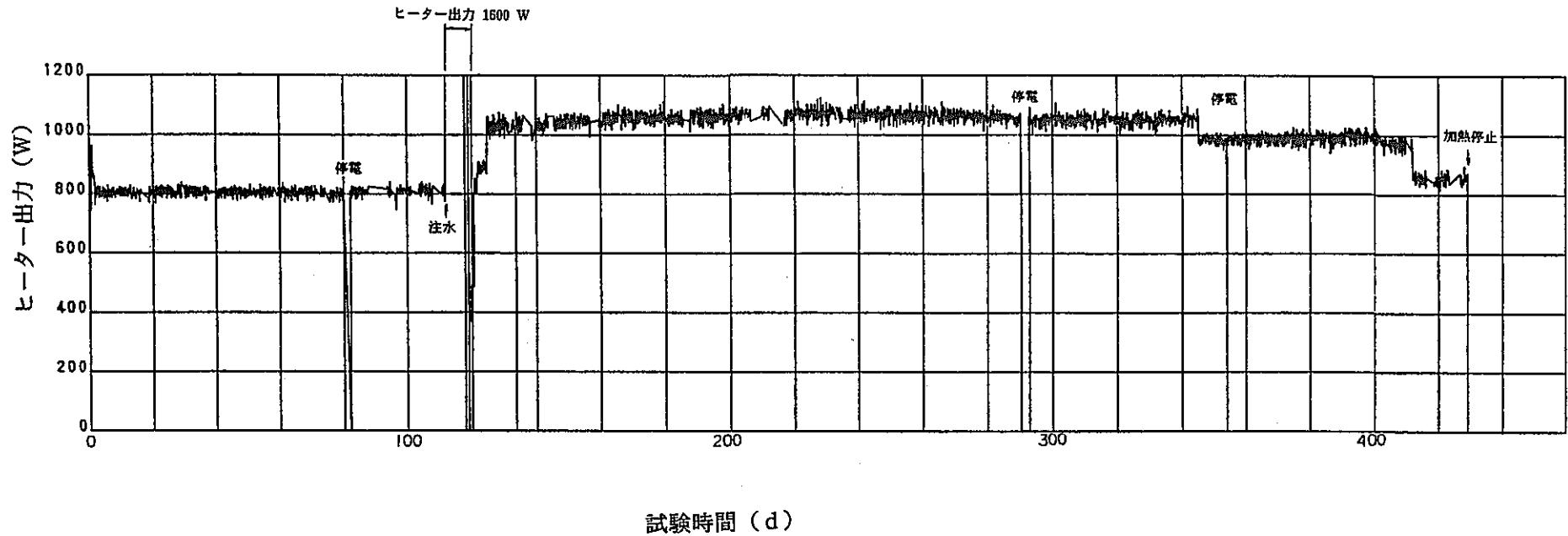


図-3 ヒーター出力経時変化

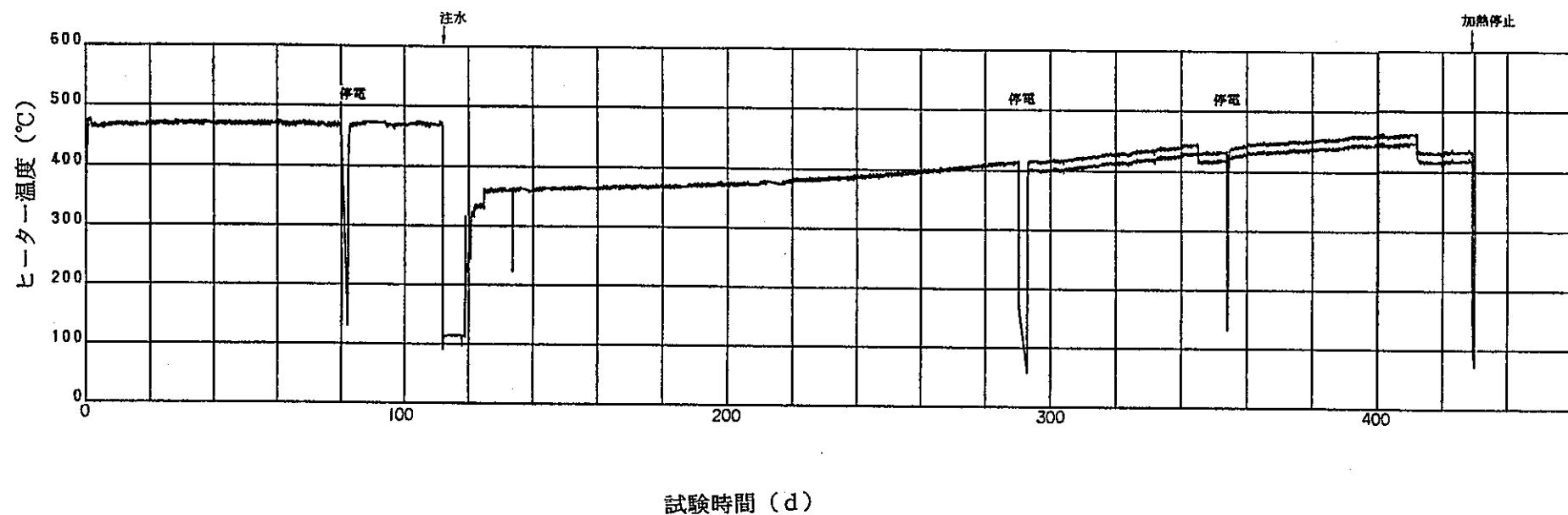


図-4 ヒーター中心温度経時変化

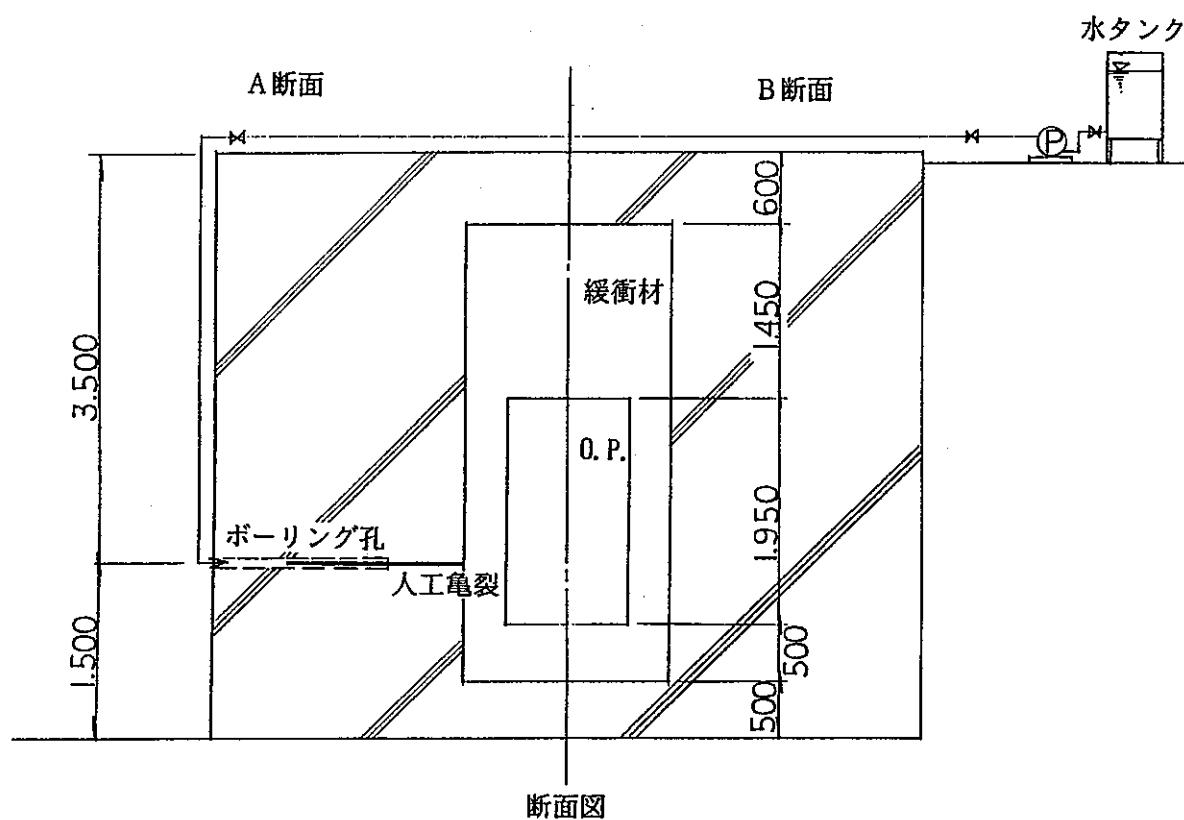
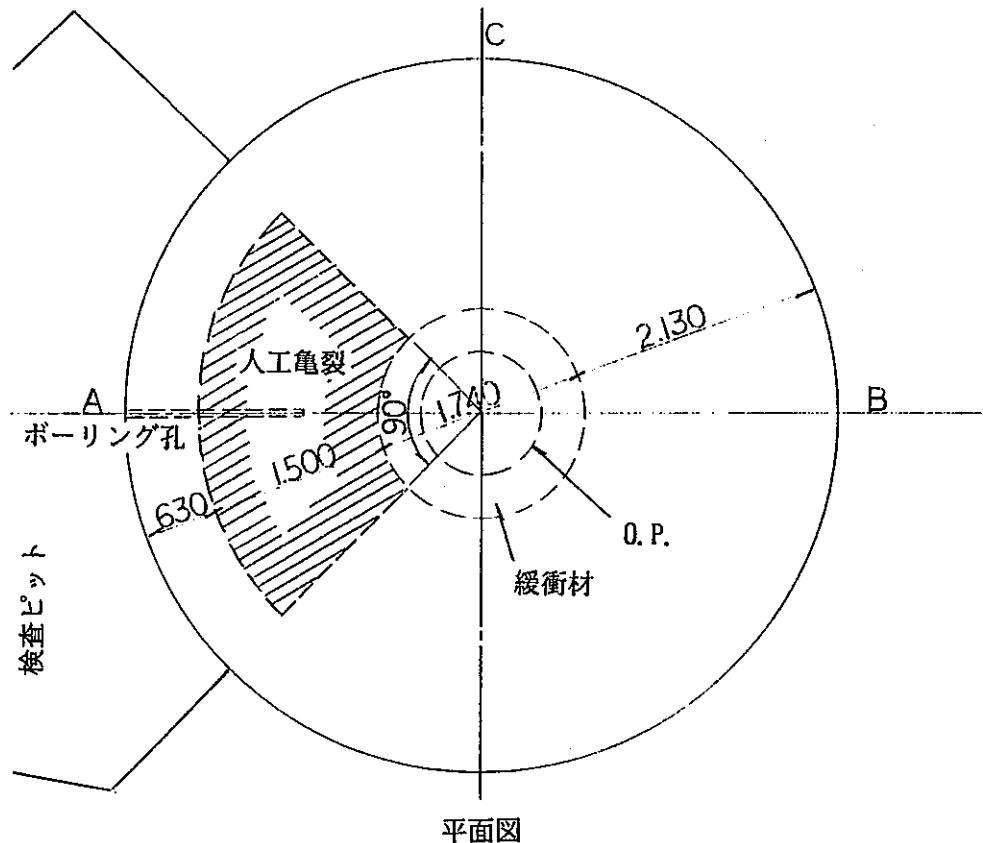


図-5 注水位置

3. 試験結果

3.1 温度分布

試験期間を通じての温度の経時変化を図-6、7に示す。注水時の顕著な温度変化を除き、O.P.、緩衝材、人工岩盤の温度分布は地中温度の変動の影響を受けて若干変化している。

以下に、試験期間中の温度分布の詳細について述べる。

(1) 注水開始前

注水開始前の緩衝材温度は、加熱試験終了時に比較して全体に3.5°C程度低下した。これは、加熱試験（平成3年3月10日～平成3年9月5日）においても気温の上昇に従い緩衝材の温度増加がみられたことより、人工岩盤周囲に断熱材を設置してあるにも係わらず試験設備周囲の温度の低下による影響を受けたものと考えられる。なお、周囲の温度が変動しても、表-1に示すように緩衝材のO.P.側と人工岩盤側の温度差の変化は小さいものであった。

表-1 緩衝材温度分布（ヒーター中心：GL-3.0 m）
〔単位：°C〕

位置		O.P. 側	人工岩盤側	温度差	備考
A	加熱試験時	56.7	43.4	13.3	90.9.5
	注水開始時	52.9	39.8	13.1	91.1.22
B	加熱試験時	58.4	44.6	13.8	90.9.5
	注水開始時	55.4	41.5	13.9	91.1.22

(2) 注水開始後

注水開始後のA、B断面における温度変化の状況とA断面における温度分布を図-8～10に示す。注水により各部の温度に以下のようないかだつた。

- ① 注水とほぼ同時に、人工亀裂と同レベルの人工岩盤側、O.P.側の緩衝材の温度が低下した。温度低下は更に周囲の緩衝材に及んだが、注水箇所から離れた位置での温度変化は確認されなかった。（図-8、9）
- ② 注水によりO.P.の温度は容器内側で低下し、容器外側で上昇した。この結果、容器内外の温度差は減少した。（図-10）
- ③ 注水により、O.P.と緩衝材の間の温度差は注水前の約10°Cから約5°C程度に減少するとともに、緩衝材、人工岩盤の温度は増加した。（図-10）

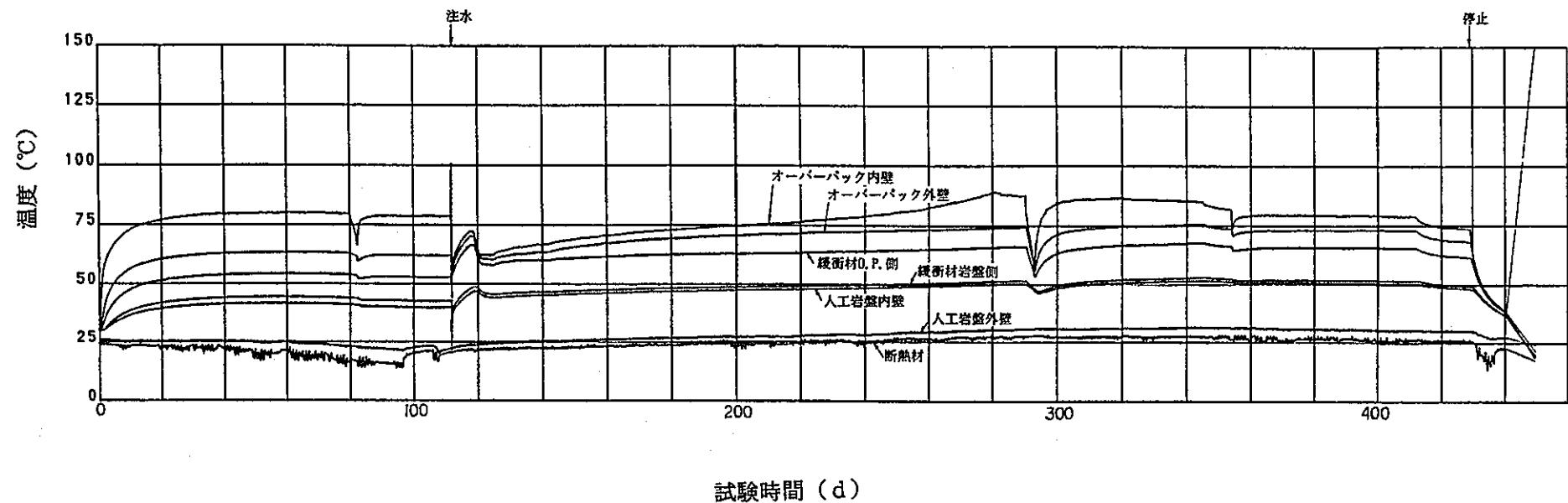


図-6 温度経時変化 (A断面)

- 11 -

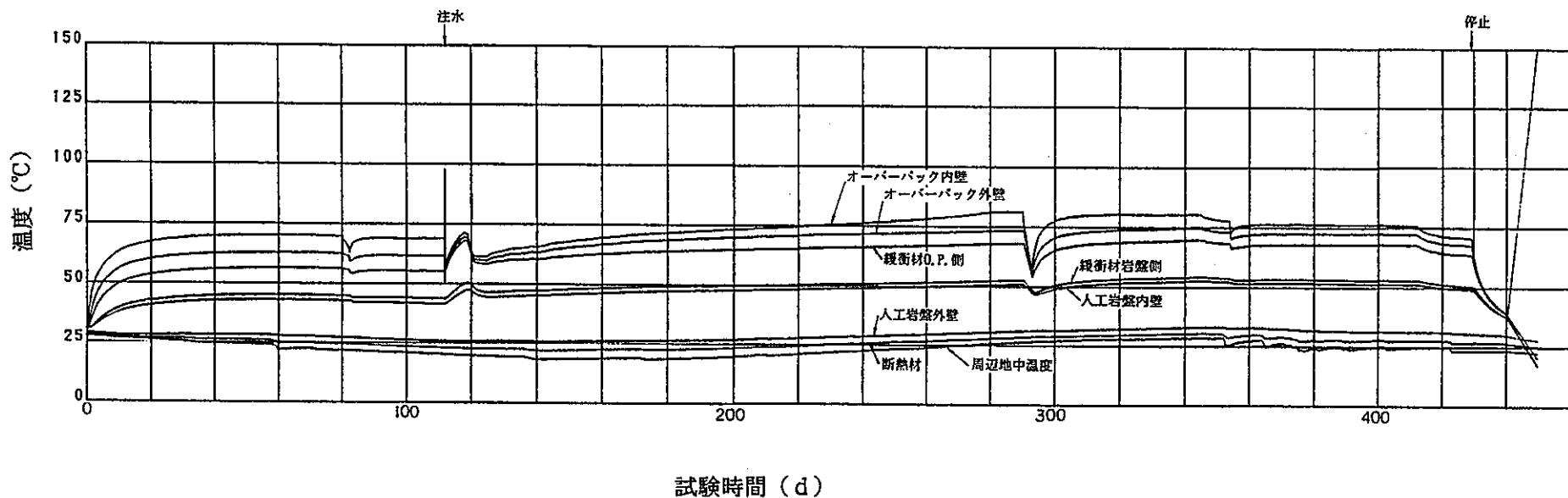


図-7 溫度経時変化（B断面）

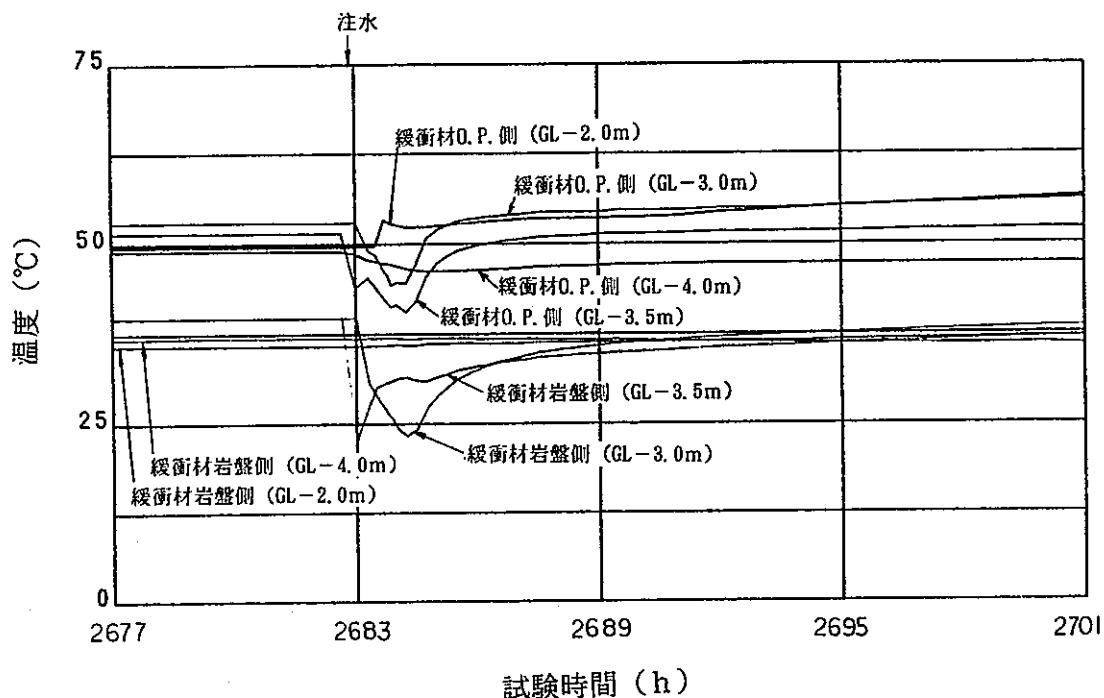


図-8 注水後の緩衝材温度変化（A断面）

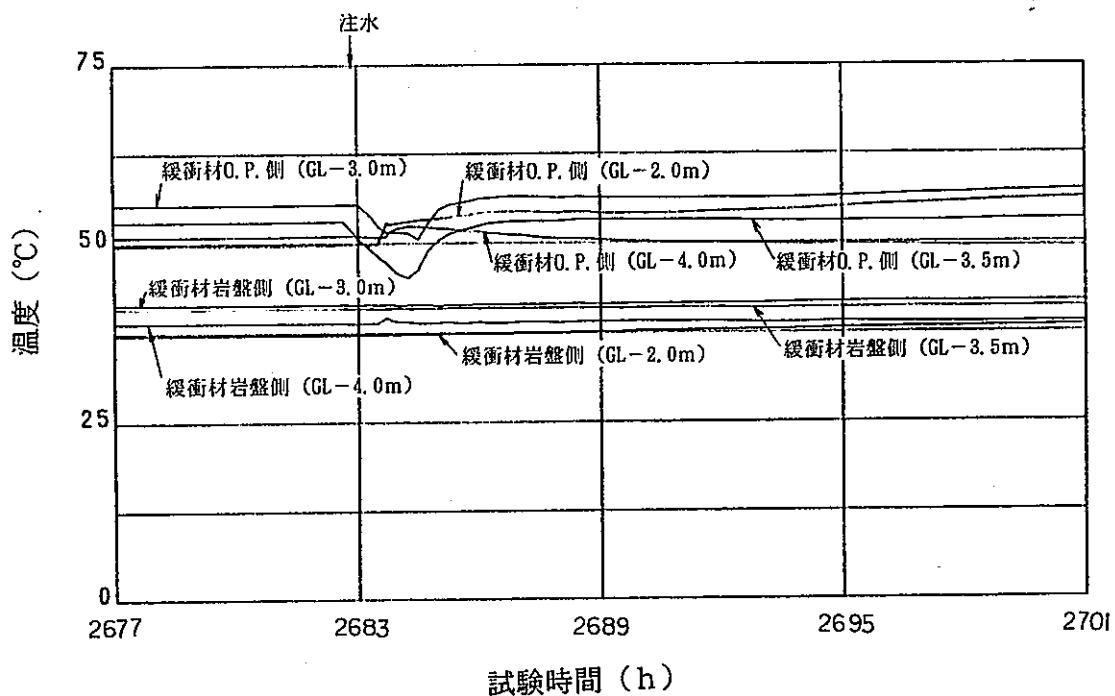


図-9 注水後の緩衝材温度変化（B断面）

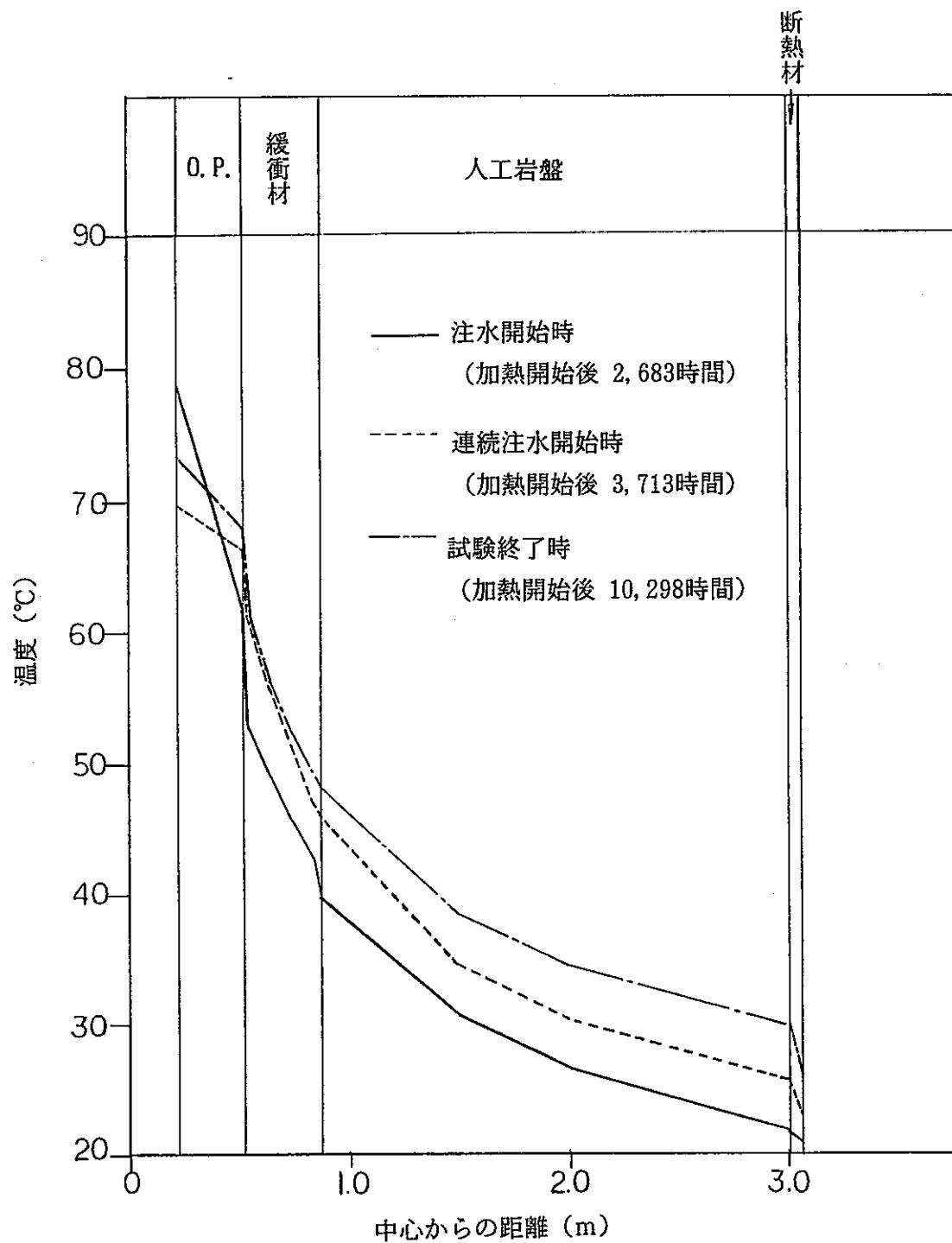


図-10 温度分布（経時変化）

上記の①の緩衝材の一時的な温度の低下については、注水した水（約20°C）による冷却効果によるものが原因であると考えられる。温度変化が認められない人工亀裂より 1.5m 上部 (GL-2.0 m) と 0.5 m 下部 (GL-4.0 m) の粉体充填部までは水が到達していなことがことわかる。

また、②、③については注水後にヒーターの出力を増加したことも原因の一つであるが、主としては注水初期にO.P. と緩衝材の間にたまつた水により緩衝材が膨潤したことによりこの間の空隙（約 2 cm）が無くなり、伝熱効率が良くなつたためと考えられる。

3.2 熱流束

熱流束は、図-11に示すように、注水によりO.P. 外壁面では、注水前の約 100W/m²から倍近い 200W/m²に、人工岩盤内壁では約35W/m²から約50W/m²に、人工岩盤外壁では約 5 W/m²から約 7 W/m²にそれぞれ増加した。これは、温度分布の項で示したように、注水による緩衝材の吸水膨潤により緩衝材とO.P. の間の空隙が消滅しこの部分の伝熱効率が良くなつたためと考えられる。

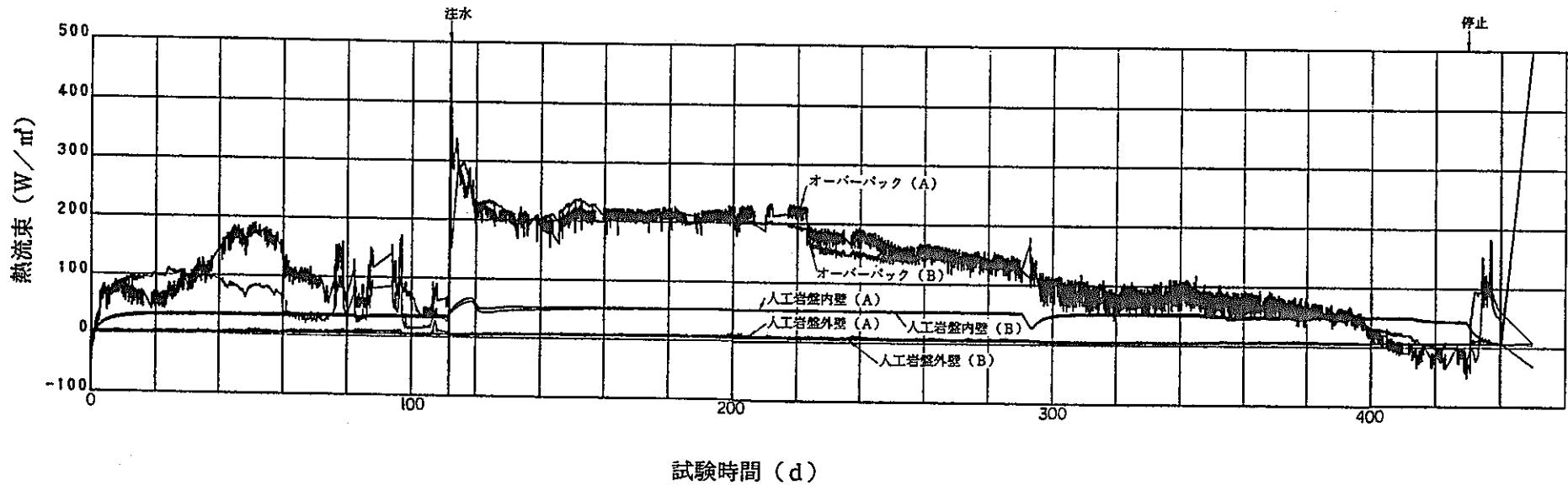


図-11 熱流束の経時変化

3.3 緩衝材の直接観察結果

通水時の水の浸透経路及び温度勾配による水の移動状況を調べるために、試験終了時に緩衝材ブロックを1段（高さ10cm）毎に取り出し、ブロックの変化状況、水の浸透の痕跡等を目視により観察した。

緩衝材取り出し時に行った表面観察結果から、次の状況が確認された。

(1) ぬれあと

緩衝材取り出し時に、図-12に示すようにブロック表面があれて黒っぽく変色した部分（以下、「ぬれあと」と言う）が観察された。ぬれあとは、O.P.周囲のブロック（GL-3.9～-1.7m）の上下境界面に存在しており、①人工岩盤側からO.P.側まで貫通しているもの、②人工岩盤側から広がりブロックの途中で止まっているもの、③O.P.側から広がりブロック途中で止まっているものがあり、③が多く観察された。

ぬれあとはブロックの全表面に広がるものからブロック表面の一部を占めるものがあり、上部のブロックの目地跡を境に片側だけにあるものが多く見られた。

観察の結果、ぬれあとはブロックの表層部分のみの変化であり、ぬれあととそれに近接する部分で含水状態の変化が見られないことから、ぬれあとは注水開始時の水（又は蒸気）の通過跡と考えられる。

(2) 湿潤部分

案内管周囲の粉体充填部の上部と、緩衝材の上部数段を除く人工岩盤側の粉体充填部及びブロックに湿潤部分が観察された。特に、人工亀裂から水が浸透し湿潤軟化が著しい部分では黒く変色し、目地とブロックが一体化し区別し難くなっていた。

また、熱電対等のセンサーケーブルの束の周囲のベントナイトは、水分を含み軟化しコロイド状になっていた。

(3) 乾燥部分

O.P.に接している部分は、注水開始時の吸水膨潤した部分が再乾燥・収縮し亀甲状にひびわれが発生していた。

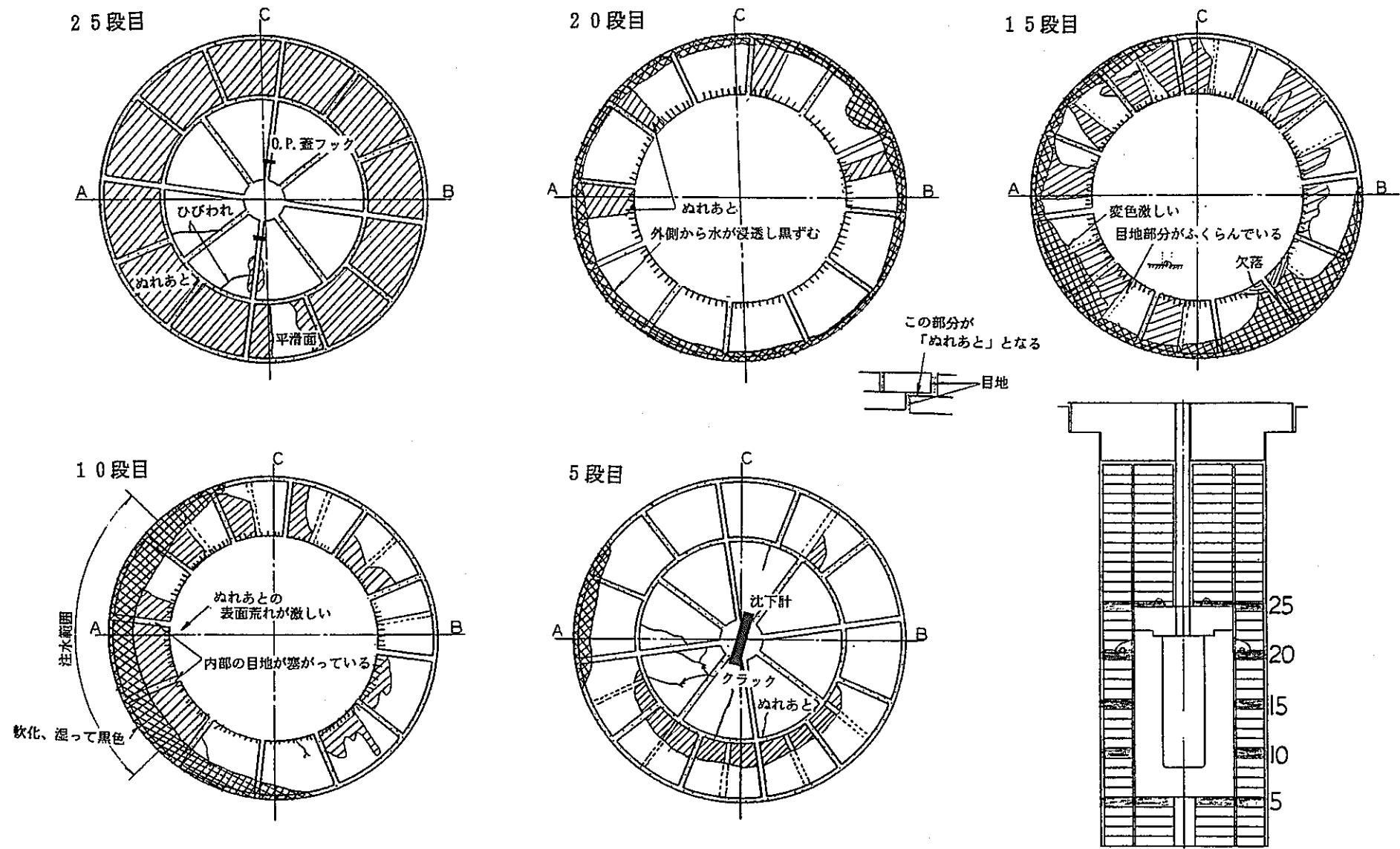


図-12 緩衝材表面観察結果

3.4 水分分布

(1) 水分計測定結果

水分計の指示値は、加熱開始から注水までの間は殆ど変化がなく約8%であったが、注水により50%以上まで上昇した。その後、A断面では注水から260日、B断面では同190日経過したあたりで、O.P.近傍の水分計の指示値が急激に減少した。

このような水分計の指示値の変化は、部分注水による緩衝材の含水比の変化に応じたものであるが、緩衝材中に埋設した水分計は点数も少なく、前回の加熱試験において実測含水比と水分計の指示値が一致せずセンサー本体及び設置方法に改善の余地があることから、今回の水分計の指示値の変化を実際の水分移動の過程と結び付けることは困難である。

緩衝材の浸潤過程のような不飽和状態の含水比を測定できる水分計については現在改良開発であるが、今回の試験で用いた抵抗式の水分計は12~18%の含水比が測定可能範囲であり、測定箇所の含水比の変化を考慮し複数の水分計を設置する必要がある。

(2) 加熱・注水停止時の水分分布

緩衝材取り出しと並行して、約5段毎に緩衝材ブロック及び粉体充填部をサンプリングし、JIS A 1203に従い110°C24時間の炉乾燥を行い含水比を測定した。

含水比測定の結果、図-13に示すように温度の高いO.P.側の緩衝材は乾燥し、人工岩盤側の緩衝材は湿潤状態となり、特に人工亀裂付近からO.P.側及び上下に広がる高含水比の部分が確認された。また、今回の測定結果では、近接した目地粉体部とブロックとの間で含水比の差は見られなかった。

O.P.側の緩衝材は、注水直後のある期間湿潤した後、加熱試験で確認された温度勾配下での水分移動メカニズムにより、再び乾燥状態に到る結果となっている。

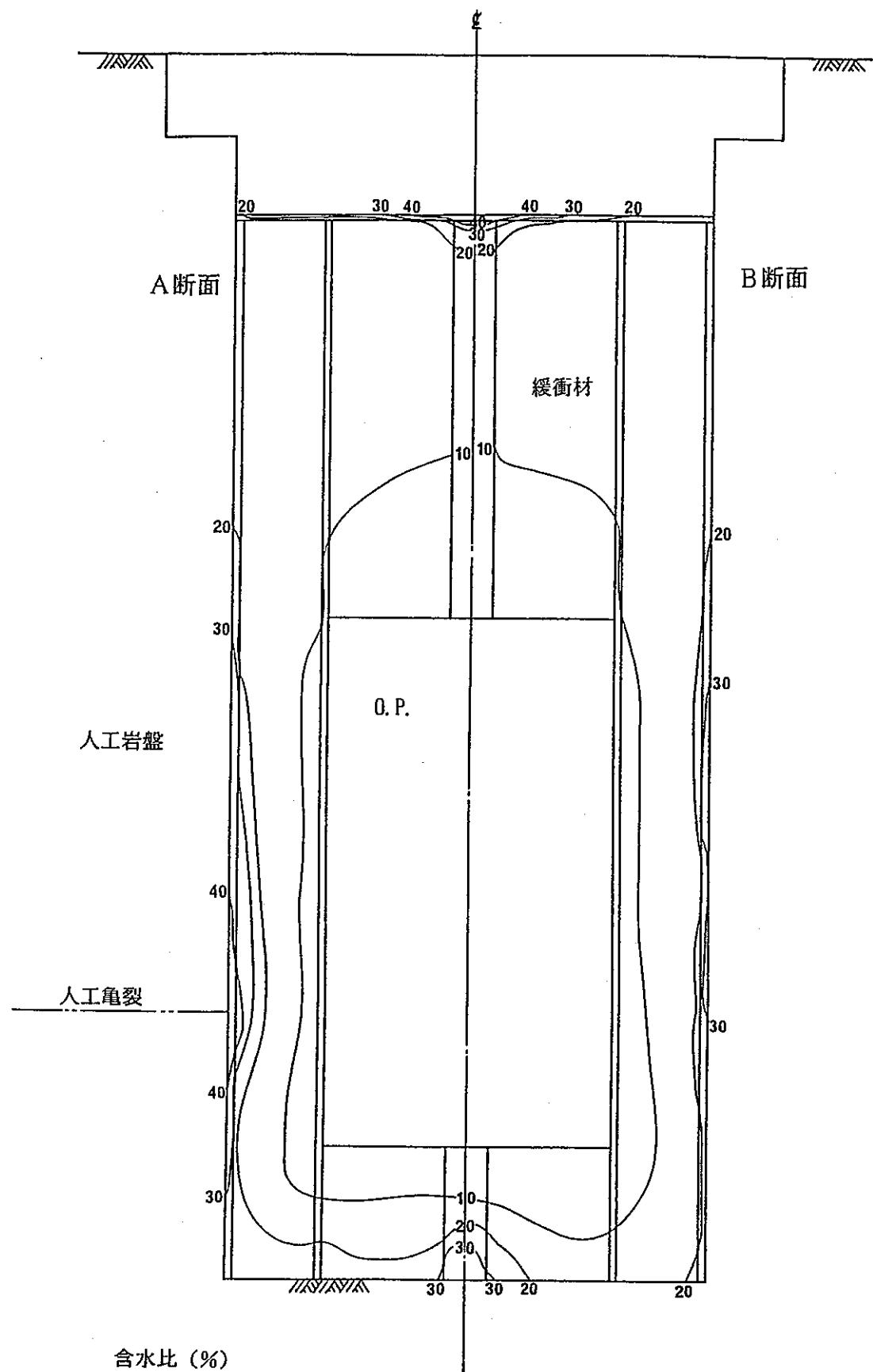


図-13 緩衝材の水分分布

3.5 膨潤圧

注水試験期間中の試験孔壁面に取付けた土圧の変化は表-2に記す通りであり、緩衝材の乾燥密度 $\gamma_d = 1.85 \text{g/cm}^3$ (膨潤に寄与しない珪砂を除いた有効粘度乾燥密度 $\gamma_{ed} = 1.64 \text{g/cm}^3$) に相当する膨潤圧 1.4MPa ^[3] までには到らなかった。これは、緩衝材ブロックと人工岩盤の間隙を充填した粉体部分の乾燥密度が $\gamma_d = 1.21 \text{g/cm}^3$ (有効粘度乾燥密度 $\gamma_{ed} = 0.98 \text{g/cm}^3$) と小さく、ブロックと粉体充填部を含めた平均の有効乾燥密度でも $\gamma_{ed} = 1.47 \text{g/cm}^3$ (膨潤圧 0.2MPa に相当^[3]) であることや、緩衝材全域が飽和に到っていないことによるものと考えられる。

表-2 土圧測定結果

〔単位: MPa〕

No.	注水開始時	注水終了時	最大値	膨潤圧	備考
1	0.42	0.65	0.80	0.38	試験孔底部 孔壁 (GL-3.5)
2	0.10	0.26	0.28	0.18	
3	0.09	0.12	0.15	0.06	
4	0.09	0.11	0.12	0.02	
5	0.10	0.13	0.18	0.08	
6	0.12	0.14	0.18	0.06	孔壁 (GL-3.0)
7	0.11	0.13	0.16	0.05	
8	0.10	0.12	0.13	0.03	
9	0.09	0.10	0.12	0.03	
10	0.10	0.12	0.13	0.03	
11	0.15	0.16	0.22	0.07	
12	0.10	0.12	0.16	0.06	
13	0.12	0.13	0.17	0.05	孔壁 (GL-2.5)
14	0.11	0.12	0.19	0.08	
15	0.11	0.10	0.18	0.07	
16	0.11	0.13	0.15	0.04	
17	0.11	0.12	0.16	0.05	孔壁 (GL-1.0)
18	0.14	0.17	0.17	0.08	
19	0.12	0.15	0.15	0.08	
20	0.11	0.14	0.14	0.08	ピット蓋

注) 膨潤圧=最大土圧-注水開始時土圧

3.6 人工岩盤応力

今回の試験では表-3に示すように、半径、鉛直方向の応力はほとんど無視できるほど小さいものであったが、円周方向では内側で圧縮、外側で引っ張方向の2~3 MPaの応力が生じた。

これについては、膨潤圧がほとんど生じていないことから、人工岩盤内（中心側が約20°C程度温度が高い）の熱応力によるものと考えられる。

表-3 人工岩盤応力

計測位置		応力 MPa	備考
A 断面	内側、半径方向	-0.8	r=970 mm
	内側、円周方向	-2.0	r=970 mm
	中間、円周方向	0.1	r=1900mm
	外側、鉛直方向	-0.7	r=2900mm
	外側、円周方向	4.0	r=2900mm
B 断面	内側、半径方向	-0.9	r=970 mm
	内側、円周方向	-3.0	r=970 mm
	中間、円周方向	0.0	r=1900mm
	外側、鉛直方向	1.8	r=2900mm
	外側、円周方向	1.9	r=2900mm
C	内側、円周方向	-1.0	r=970 mm

4. 緩衝材中の水の浸透状況についての検討

4.1 緩衝材中の水の浸透状況

注水直後の緩衝材の温度変化と、緩衝材の取り出し時の観察で確認されたぬれあとや計測センサーのケーブルの束の周囲の水分を含んだ軟化部分、O.P.周囲の緩衝材の膨潤と乾燥ひびわれから、注水開始時の緩衝材への浸透は以下のようであったと推定される。

- ① 人工亀裂からの水は、熱電対シースとセンサーケーブルを束ねた部分を通過し緩衝材ブロックに達し、隣接した緩衝材ブロックのわずかな高低差による上下ブロックの隙間を通り注水開始初期の段階で緩衝材内側のO.P.まで浸入する。このときの水が通過したブロック表面が「ぬれあと」と考えられる。
- ② 緩衝材とO.P.の間（隙間幅2cm）に溜まった水は、O.P.の熱で蒸発し緩衝材ブロック間の隙間を通り移動するとともに、緩衝材の吸水膨潤によりこの隙間が塞がる。
- ③ 注水開始初期に水の浸入経路となつた①の部分は、緩衝材の膨潤により止水性が向上し浸透水量が減少する。
- ④ 緩衝材の温度勾配によりO.P.側から人工岩盤側に水の移動が起き、O.P.側の緩衝材は再び乾燥・収縮し多数の亀裂を生じるとともに人工岩盤側の緩衝材の含水比を増加させる。

4.2 緩衝材ブロック間の浸透水量

注水初期に緩衝材ブロック間の隙間を通過した水量から緩衝材の表面観察で確認されたぬれあと部分の隙間巾と流量について概算検討を行う。

Luis (1969)^[4]によると、次式で定義される表面の粗さ係数S

$$S = Y / 2a$$

但し、Y：板の凹凸の平均的な高さ、a：平均的な板間隔
が0.033以上では平板間の流れは乱流となり、2枚の平板の間を流れる単位幅当たりの流量は、次の式で表される。

$$q = \frac{g}{12vw} \frac{1}{[1 + 8.8(S)^{1.5}]} d^3 i$$

ここに g : 重力加速度 (L/T²)

ν_w : 水の動粘性係数 (L^2/T)

d : 板の間隔 (L)

i : 動水勾配

注水時の浸水が、図-14に示す人工亀裂面の緩衝材ブロック間の隙間のみを通ったとする。ぬれあとから通水巾を60cm、注水タンクから注水箇所までの水頭差 4.0mとブロックの長さ30cmから動水勾配を13.3、緩衝材の表面粗さ係数0.2として $4\ell/min$ の流量に相当するブロックの間隙巾を計算すると0.25mmとなる。上記の計算では、動水勾配、表面粗さ、通水幅等に不明確な点があるが、緩衝材ブロック間にわずかな隙間があれば処分開始直後の段階でO.P.まで水が達する結果となる。

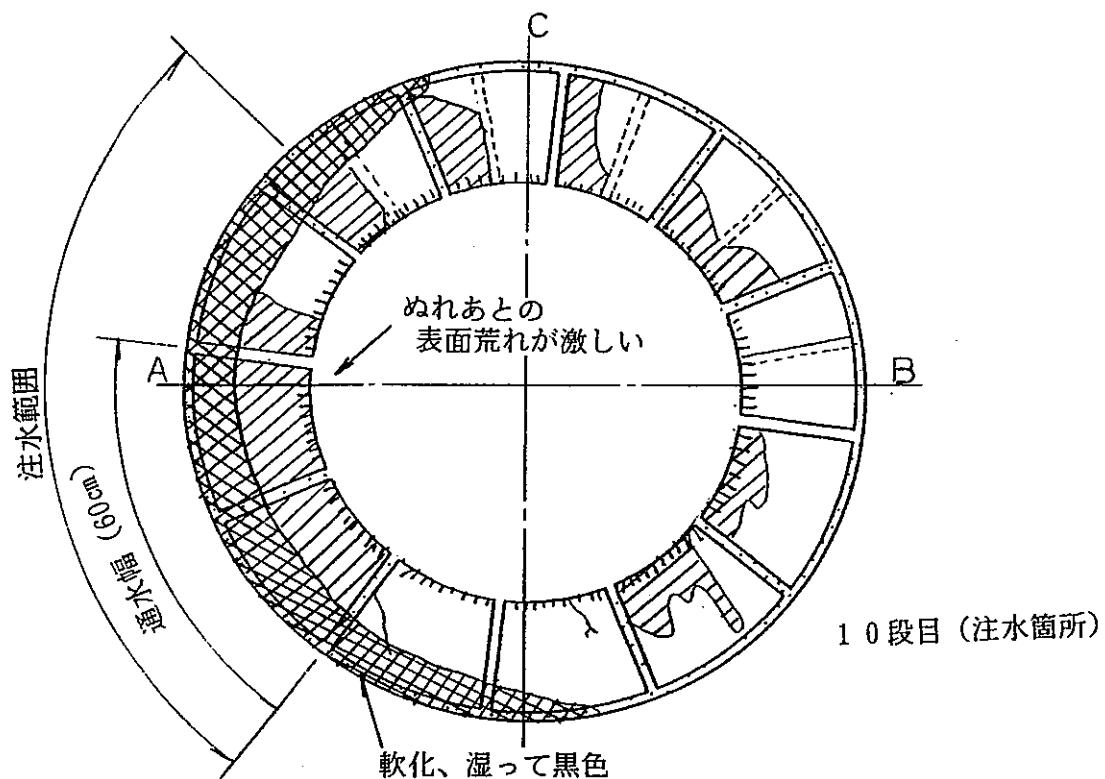


図-14 人工亀裂面での通水幅

5. 熱伝導解析

加熱・部分注水試験期間中のO.P.と緩衝材の間の温度差の減少、緩衝材、人工岩盤の温度上昇（図-10）は、注水による緩衝材の膨潤によるO.P.と緩衝材の間の空隙が無くなり伝熱効率が良くなつた結果と考えられるため、解析を行い実測値と比較することとした。

既報の加熱試験の解析における熱-水-応力連成解析の結果、水分移動が温度分布に及ぼす影響は小さいため、ここでは水の浸潤に伴う熱物性値の変化のみを考慮した熱伝導解析を行い実測値との比較を行うものとする。

5.1 解析条件

(1) 解析モデル

熱伝導解析はFEM汎用非線形構造解析コードFINAS^[5]を用い2次元軸対称モデルで行った。解析モデルの概念図を図-15に示す。

ヒーターはガラスビーズ中に埋め込まれているが、解析ではヒーターの要素を設けずガラスビーズが均一に発熱するモデルとした。また、O.P.と人工岩盤の間は平均乾燥密度 1.7g/cm³の緩衝材で充填されているものとした。

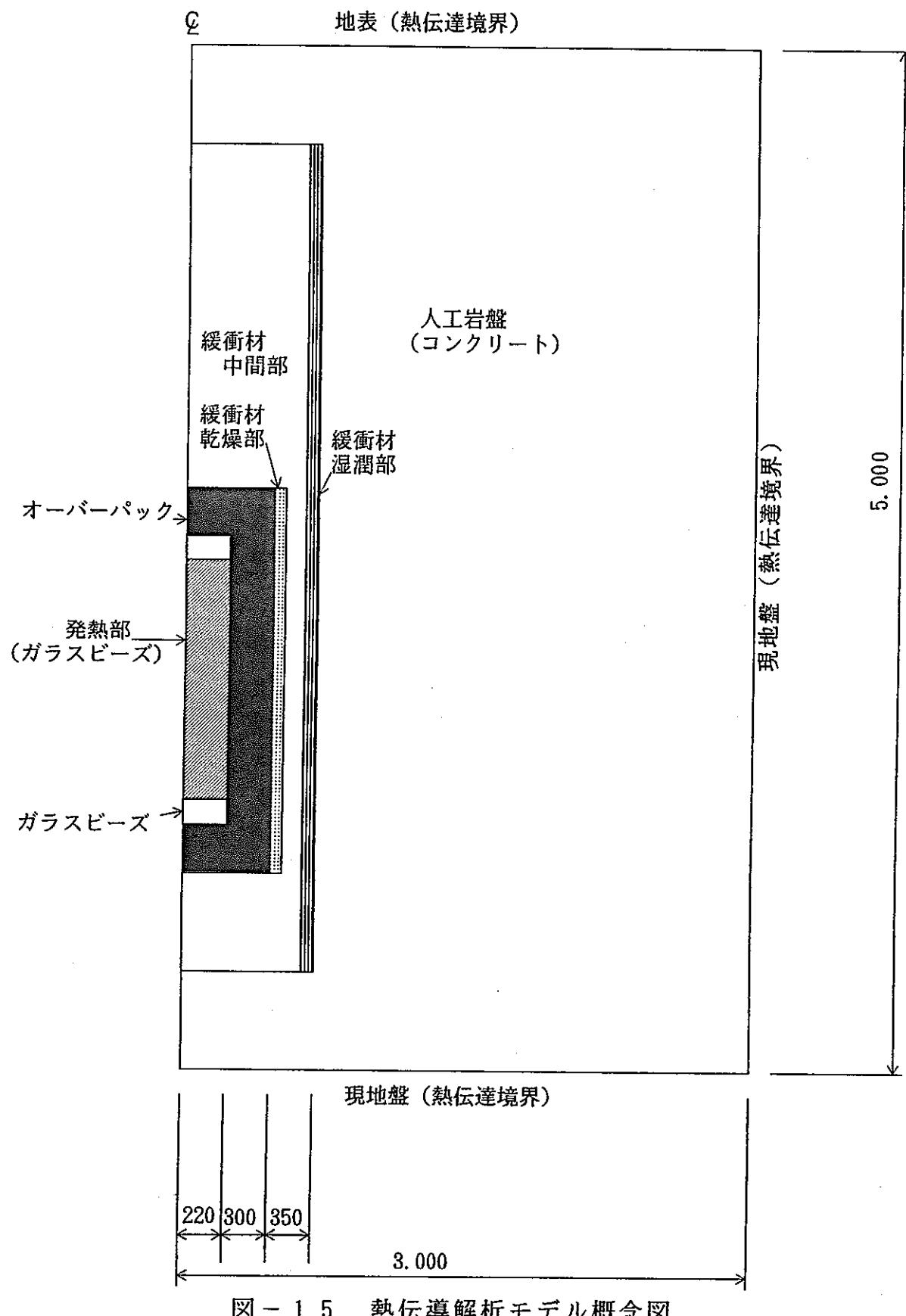


図-15 热伝導解析モデル概念図

(2) 物性値

解析に用いる物性値は以下のように決定した。

① 発熱密度

発熱密度は、ヒーター出力 0.9kWとし、高さ 105cm、半径22cmのガラスビーズが均一に発熱するものとして算出した。

$$\text{ヒーター発熱密度} = \frac{[\text{ヒーター出力}]}{[\text{発熱部分のガラスビーズの体積}]}$$

$$= 5,600 \text{ W/m}^3$$

② 熱定数

緩衝材の比熱、熱伝導率は乾燥・湿潤状態に応じて値を変えた。その他のものについては、加熱試験時の解析と同じ値を用いた。解析に用いた物性値を表-4に示す。

表-4 解析パラメータ一覧

種類	熱伝導率 W/m°C	比熱 kJ/kg°C	密度 kg/m³	備考
ガラスビーズ	2.6×10^{-1}	0.84	1,600	
オーバーパック	53.0	0.46	7,800	
緩衝材	乾燥部	1.1	1,800	含水比 8%
	中間部	1.3	1,900	含水比 12%
	湿潤部	1.7	2,000	含水比 20%
人工岩盤	2.6	0.75	2,300	

③ 境界条件

境界条件は熱伝達境界とし、試験の測定結果から次のように決定した。

初期温度 24°C

熱伝達係数 $1.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

5.2 解析結果

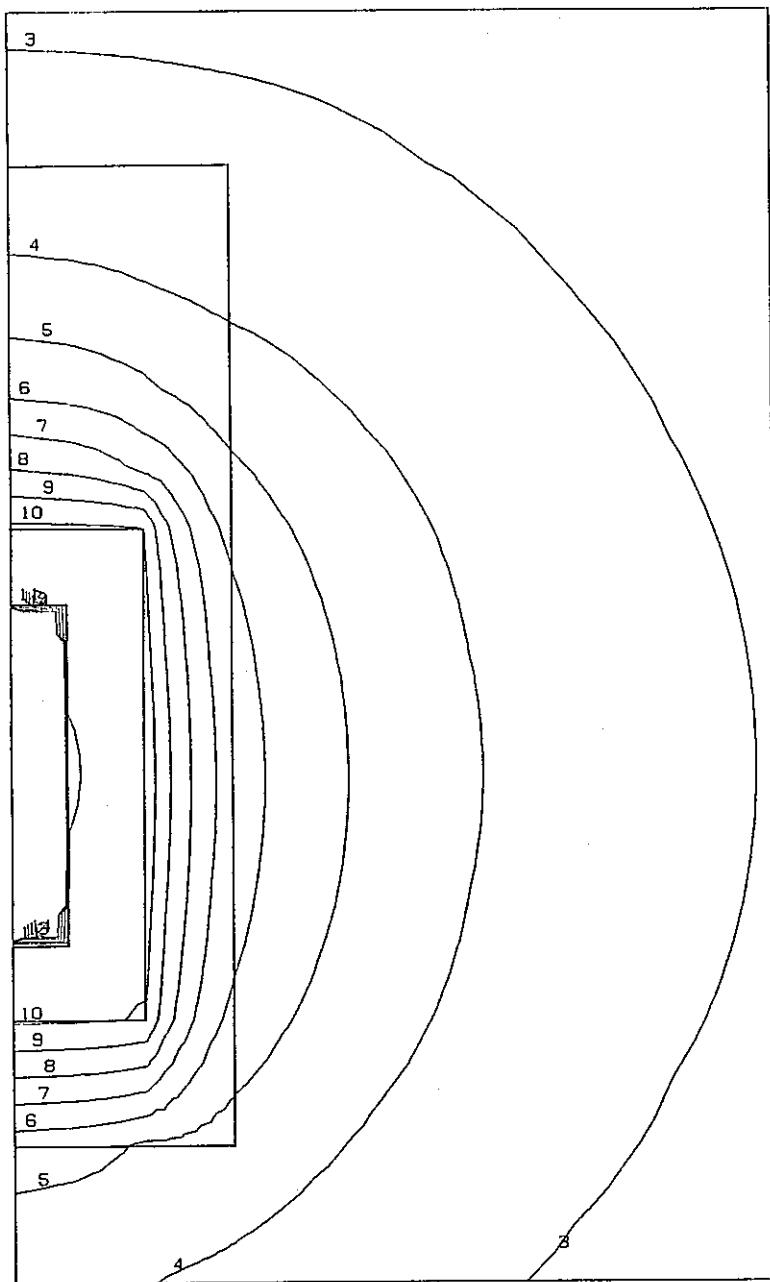
解析結果を図-16、17に示す。緩衝材の膨潤によりO.P.と人工岩盤の間をすべて緩衝材とし伝熱特性を含水比に応じて変化させることにより、O.P.と緩衝材の間の温度降下の減少、緩衝材、人工岩盤での温度の上昇という、試験終了時の温度分布がシミュレーションできた。

O.P.と緩衝材の境界で緩衝材の温度がやや高くなっているのは、緩衝材の乾燥収縮により生じた隙間による影響と考えられる。

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	20.00000
2	25.00000
3	30.00000
4	35.00000
5	40.00000
6	45.00000
7	50.00000
8	55.00000
9	60.00000
10	65.00000
11	70.00000
12	75.00000
13	80.00001
14	85.00001



GEOM. SCALE 1 _____ 60.0000

図-16 热伝導解析結果（等温線図）

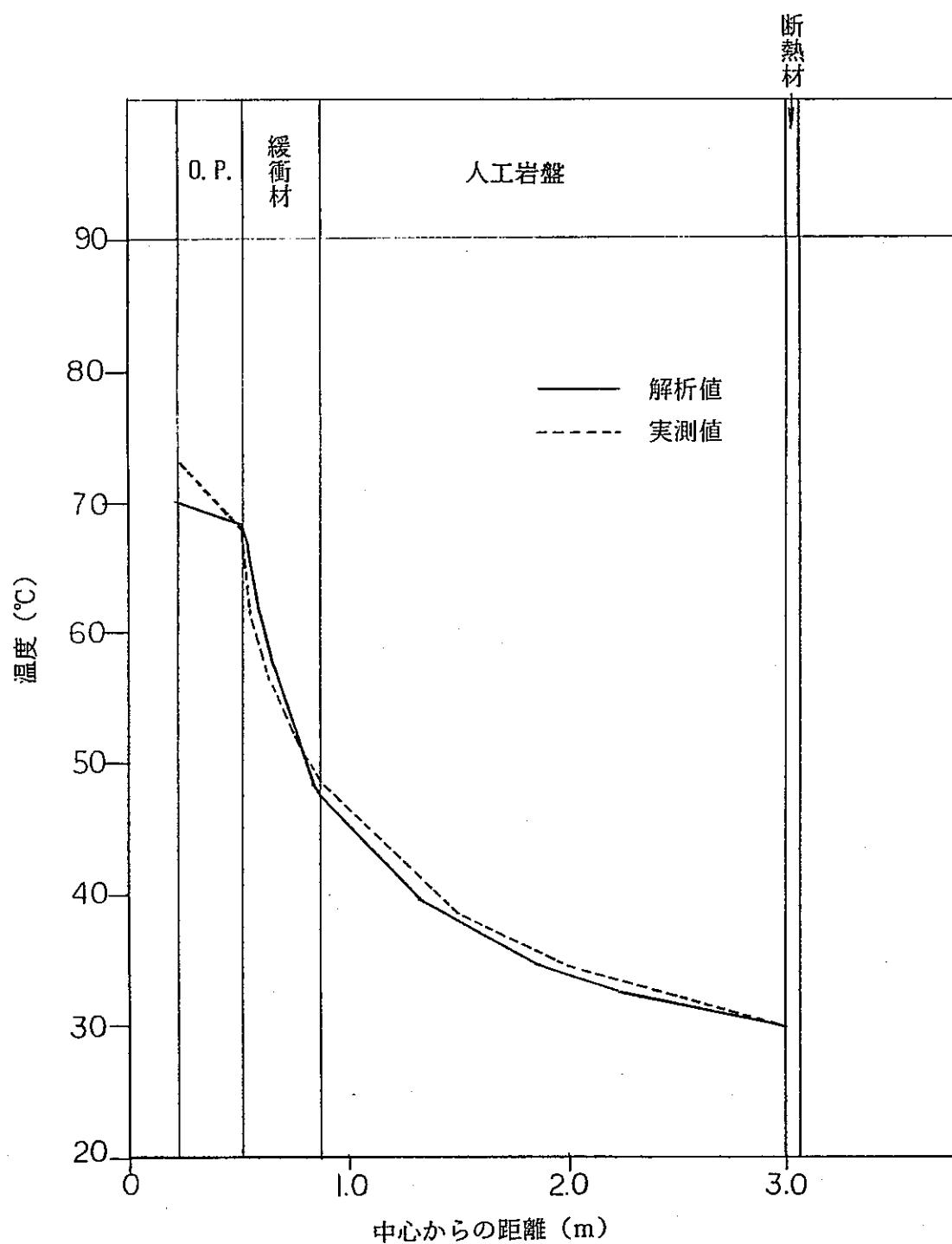


図-17 热伝導解析結果（実測値との比較）

6. まとめ

緩衝材大型試験では、加熱試験に引き続き、処分後に周辺岩盤に生じた亀裂から処分孔に浸水が起こった場合を想定して加熱・分注水試験を行った。この試験において、

- ① 岩盤からの水は、初期の段階で緩衝材ブロック間の隙間や乾燥による亀裂を通過しO.P.まで達するが、緩衝材中の温度勾配により高温側から低温側への水の移動が生じO.P.周囲は再度乾燥状態となる。
- ② 緩衝材ブロックは、周辺岩盤から浸入した水を吸水・膨潤し、間隙を徐々に自己シールするとともに、緩衝材ブロック間の目地は徐々に止水性が高まる。
- ③ 緩衝材の膨潤により、O.P.と緩衝材の間の空隙が無くなり、伝熱が良くなることにより、処分孔中心部分の温度は低下する。
- ④ 緩衝材ブロック周囲の低密度部分により、緩衝材の膨潤圧力の上昇は緩慢である。

等の結果が得られた。

水の浸潤特性は、緩衝材の施工方法に大きく依存し、今回のブロック方式の場合には、ブロック間の隙間が初期の浸水経路となり、不均一な浸潤分布を示す。

緩衝材の止水性は、O.P.への地下水の接触の遅延と緩衝材中の地下水移動を抑制する機能としても期待されているが、O.P.への地下水の接触を遅延させる期間は初期の数十年であり、その期間が人工バリア性能を左右するものでは無い。むしろ、O.P.の腐食環境として湿潤の均一性が重要となる。

緩衝材の湿潤の均一性を向上させるためには、ブロックとブロックを完全に密着させるか、原位置で充填・締固めを行い亀裂面が生じないような施工方法を検討する必要がある。

また、今回の試験では浸水初期にO.P.まで水が到達しても加熱によりO.P.周辺は再び乾燥しドライな状態を保ったが、ストリパプロジェクトのバッファマステストでは、ヒータ一近傍でも90%に近い飽和度となっていることが報告されており^[6]、両者に食い違いが生じている。この原因として、緩衝材に使用したベントナイトが異なることに加え、試験時の注水条件の差や試験系中の蒸気移動経路の有無等も考えられるため、緩衝材中の温度勾配による水の移動メカニズムを含めて今後さらに検討する必要がある。

引 用 文 献

- [1] 佐藤信二他、緩衝材の熱-水-応力連成試験-緩衝材大型試験設備の概要及び試験計画について-、PNC N8410 90-060、1990.6
- [2] 佐藤信二他、緩衝材の熱-水-応力連成試験、第2報-加熱試験結果について-
PNC N8410 91-075、1991.2
- [3] 処分技術サブレポート、平成4年2月、動力炉・核燃料開発事業団
- [4] Louis, C. 他 Determination of In Site Hydraulic Parameters in Jointed Rock.
Proceedings, Second Congress on Rock Mechanics, Belgrade,
Vol. 1, 1970
- [5] 汎用非線形構造解析システムF I N A S 使用説明書、PNC N9520 89-019、1985
- [6] R. Push 他 Final Report of Buffer Mass Test - Volume II : test results
TR 85- 12, 1985