

論文

[1025] 高品質モルタルによる低レベル放射性廃棄物貯蔵用模擬コンクリートピット充填性試験

正会員 瀬尾有一 (原子力環境整備センター)

正会員○宇治公隆 (大成建設 技術研究所)

正会員 松岡康訓 (大成建設 技術研究所)

正会員 唯野英輝 (銭高組 原子力統轄部)

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物の最終貯蔵施設は、低レベル放射性廃棄物を内含するドラム缶をコンクリートピット内に設置し、中央部1ヶ所からモルタル注入して空隙部を充填する計画である。1ピットは外寸法が約25m×25mで、内壁で仕切られた16セルで1ピットを構成している。

充填するモルタルは積みしたドラム缶の狭い隙間(最小8mm)を流動すること、また温度ひびわれ、温度の上昇・降下にもなうドラム缶とモルタルとの境界部での縁切れを抑制するため水和発熱をできるだけ低減すること、が配合選定に於ける重要な条件となる。これらの条件を満足する配合として、水中不分離性混和剤を用いた配合を選定し、物理的諸性質について検討した [1]。その結果、選定した充填モルタルはブリージングがなく、所要の流動性を有することを確認した。また、水中不分離性混和剤の粘稠性による材料分離の抑制効果のため、単位セメント量が低減され、水和発熱を抑制できた。ところで、コンクリートピット内に設置されるドラム缶はピット内体積のおよそ60%を占める。このドラム缶の内部は無機系材料で固化された非発熱体であるため、充填モルタルの発熱を吸収することが予想され、温度応力には有利になるものと考えられる。

そこで本研究では、実規模の模擬コンクリートピットの1セルを用いて水中不分離性混和剤を用いたモルタルの流動性および充填性、さらに充填後の諸性質について検討するとともに、非発熱体が内在する場合の水和発熱特性を調べた。

2. 実験概要

2.1 模擬コンクリートピット

模擬コンクリートピットは図-1に示すように実

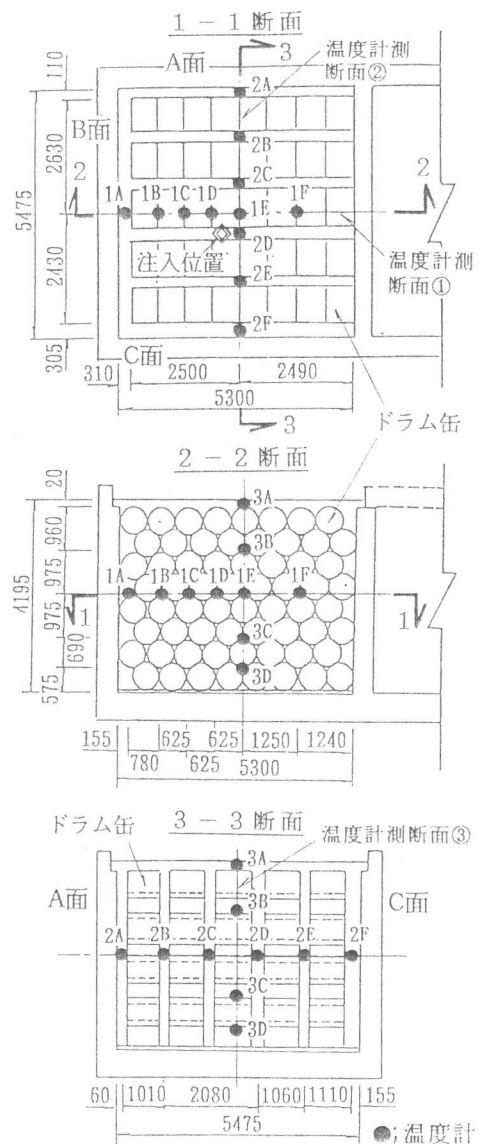


図-1 模擬コンクリートピットおよび温度測定、モルタル注入位置

ピットの2セル分を取り上げ構築したものであり、そのうちの1セルを用いて充填を行った。使用したドラム缶は低レベル放射性廃棄物の処分容器を模擬したオープンタイプの200ℓドラム缶(外径57cm、長さ88cm)に上部約5cmの空隙を残して砂結合材比S/C=2.0、水結合材比W/C=50%のモルタルを打設したものであり、図-1のように8体×8段×5列の計320本をピット内に設置した。

2.2 充填モルタルの配合

流動性の面から充填時のスランプフローは62.5cm以上、またプラントからの運搬によるスランプフローの低下量を5cm程度と考え、練上がり時のスランプフローの管理値を72.5±5cmとした。したがって試験場到着時は67.5±5cmを目標値とした。

モルタルの練りまぜには2m³傾胴式ミキサーを用い、試験練りにより配合を決定した。

使用材料を表-1に、

モルタルの配合を表-2に示す。結合材は、普通ポルトランドセメント(記号; NP)、高炉スラグ(B)、フライアッシュ(F)を3:4:3の重量比率で混合した3成分系セメントを用いた。水中不分離性混和剤は1.5kg使用した。なお、硬化収縮を補償する目的で膨張材を結合材の6%にあたる26kg内割りで混入した。

2.3 充填方法

充填モルタルは、生コンプラントで所定のフレッシュ時の試験を実施した後5.5m³積みトラックアジテーターで試験場まで運搬し、コンクリートブーム車(吐出量100m³/hr、吐出圧50kgf/cm²)で圧送した。ブーム先端には長さ4.67mの注入テーパ管(筒先径5cm)を取付けコンクリートピットの中央部1か所から注入した。注入速度は約28m³/hrとし、注入管の先端がモルタル内に10~30cm挿入されるように管理した。

3. 実験項目

3.1 フレッシュモルタルの性質

試験項目はスランプフロー、空気量、モルタル温度とし、練りまぜ後および試験場到着時に測定した。また硬化収縮の補償のため膨張材を混入しており、4×4×16cmの試験体を作製し、凝結時間を考慮し材令2日で脱型して膨張率を測定した。

3.2 硬化モルタルの物理的性質

充填後のピット3か所からコアを採取し圧縮強度、透水係数を測定した。コア採取位置および圧縮強度・透水試験用試料採取箇所を図-2に示す。また、ピットコンクリートと充填モルタルの境界部の特性を把握するため、外壁となっているピット側壁3面(図-2中のA、B、C面)

表-1 使用材料

セメント(NP)	普通ポルトランドセメント 比重 3.16 プレーン値 3230 cm ³ /g
高炉スラグ(B)	比重 2.90 プレーン値 4120 cm ³ /g
フライアッシュ(F)	比重 2.19 プレーン値 3090 cm ³ /g
膨張材	カルシウムサルホアルミネート系
細骨材(S)	那珂川産川砂 F.M. 2.70 比重 2.58 吸水率 1.33%
水中不分離性混和剤	水溶性セルロースエーテル系
A E減水剤	リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物

表-2 モルタル配合表

水結合材比 (%)	砂結合材比 (%)	スランプフローの範囲 (cm)	単位量 (kg/m ³)								
			水 W	結合材			膨張材	細骨材 S	水中不分離性混和剤	A E減水剤	高性能減水剤
				NP	B	F					
70	3.25	72.5±5	300	121	161	121	26	1395	1.5	1.72	8.58

から水平方向に直径100mmおよび150mmのコアボーリングを行い、コンクリート部、境界部、モルタル部についてそれぞれ引張強度試験、透水試験を行った。直径100mmのコアは各面3本ずつとしピット底版より1m、2m、3mの位置から、また150mmのコアは各面1本ずつとしピット底版より2mの位置から採取した。引張強度試験は直径100mmのコアを長さ200mmに成形し端部をエポキシ樹脂系接着剤で引張治具に固定し行った。透水試験は、150mmのコアを長さ150mmに成形し中央部を直径20mmで削削し中空円筒試験体にして行った。

3.3 流動性・充填性確認試験

充填時に流動勾配の測定、解体的に着色水の圧入によるドラム缶回りの着色状況の観察を行った。流動勾配は、図-3に示す注入管位置およびコンクリートピット隅角部の計5か所に設けたフロート式高さ測定器での測定結果より計算した。また、ピット上面および側面からコアを採取し充填状況を調査すると共に、コア孔を用いて着色水を圧入し、解体時に着色状況を観察した。

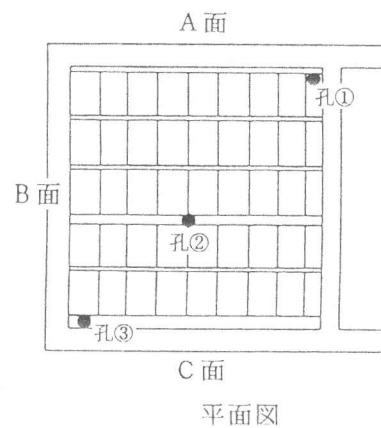
3.4 温度測定

モルタル充填にともなう温度上昇特性を把握するため図-1に示す位置に温度計（熱電対と一部は測温機能付き埋込み型ひずみ計）を配置した。

4. 実験結果

4.1 フレッシュモルタルの性質

図-4にスランプフローの試験結果を示す。練上がり時は平均75cm、充填試験場到着時は平均70cmであった。本実験では、生コンプラントと充填試験場との間の運搬時間は平均57分、平均気温は11.6℃、練上がり



孔番①～③
φ 100mm

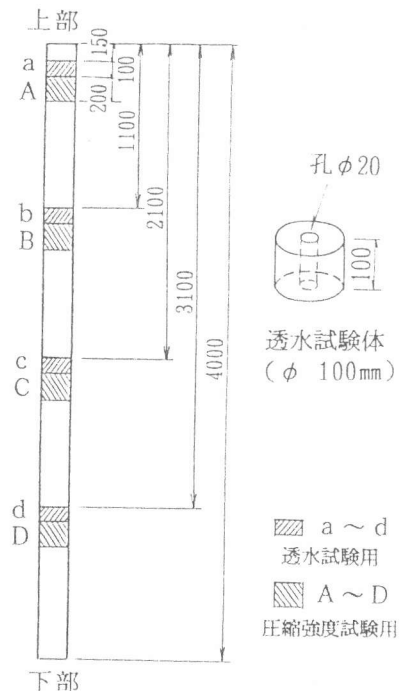


図-2 コア採取位置および強度・透水試験体採取位置

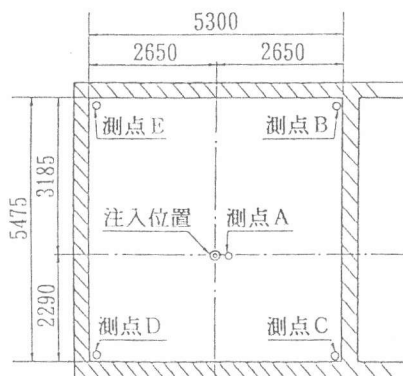


図-3 モルタル高さ測定位置

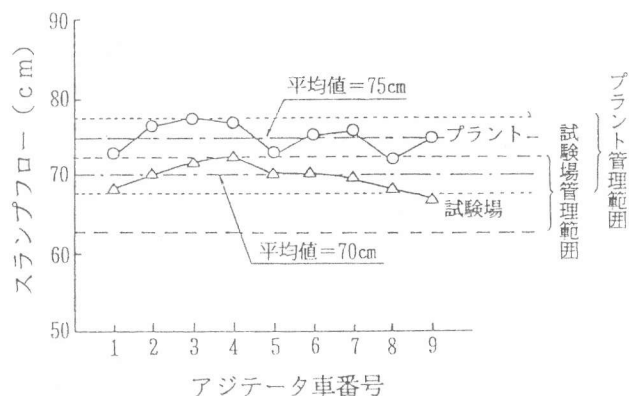


図-4 スランプフロー測定値

温度は14.4℃であり、この条件でのスランプフローの低下量は5cmであった。なお、モルタル運搬による空気量の低下量は0.9%であった。充填2日後を初期値として測定した膨張率は約 400×10^{-6} であった。

4.2 硬化モルタルの物理的性質

コア試験体の圧縮強度、透水係数の試験結果を表-3に示す。各コアの平均値で比較すると注入位置(孔番②)の圧縮強度に対して、約5m流動した位置(孔番①, ③)では10%程度の強度低下が認められた。また、透水係数について平均値で比較すると注入位置に対し約5m流動した位置で5~10倍透水係数は低下している。

モルタル・ピット境界部を含んで採取したコアの引張強度試験結果を表-4に示す。平均強度で比較すると、コンクリート部の20.2 kgf/cm²、モルタル部の12.9 kgf/cm²に対し、境界部は9.0 kgf/cm²でモルタル部の約70%の値を示す。国分の研究[2]によれば、打継目のないコンクリートの引張強度を100%とすると鉛直打継面を水で洗った場合60%程度、打継面へモルタルまたはペーストを塗った場合が80%程度になるとされており、本試験の結果はその中間に位置する。

透水試験結果を表-5に示す。透水係数を平均値で比較すると、コンクリート部に対しモルタル部が2オーダー低い値を示す。また境界部はコンクリート部より若干大きい透水係数を示す程度であり遮水性の面では弱点とならないことがわかる。ただし、ここで示した境界部の値は高さ15cmの中間位置にコンクリートとモルタルの打継面を有する場合の見掛けの透水係数と考える必要がある。

ところで、村田は鉛直打継目を粗にしてペーストまたはモルタルを塗って入念に打継いでも、供試体の高さがわずか20cmであっても打継目の上部の拡散係数は打継目のない場合に比較して3倍程度になり、実際の構造物の鉛直打継目の水密性はいちじるしく低下するとしている[3]。本実験ではピット底版より高さ約1m、2m、3mの位置から採取した試料を用いているものの、懸念されるような遮水上の弱点とはなっていない。

以上のように、コンクリートピットと充填モルタルの境界部は付着性能、遮水性ともに優れ

表-3 圧縮強度および透水試験結果

採取位置	圧縮強度 (kgf/cm ² ; 上段) 及び透水係数 (cm/sec; 下段)				
	孔番①	孔番②	孔番③	平均*	
上部	A	280	371	285	312
	a	4.7×10^{-10}	9.0×10^{-11}	1.3×10^{-9}	3.8×10^{-10}
中央上部	B	261	322	309	297
	b	4.2×10^{-10}	7.6×10^{-10}	7.1×10^{-10}	4.3×10^{-10}
中央下部	C	270	304	283	286
	c	5.3×10^{-10}	7.5×10^{-11}	2.7×10^{-9}	4.8×10^{-10}
下部	D	282	267	254	268
	d	8.2×10^{-10}	1.4×10^{-10}	2.5×10^{-9}	6.6×10^{-10}
平均*		273	316	283	291
		5.4×10^{-10}	1.3×10^{-10}	1.6×10^{-9}	4.8×10^{-10}

*透水係数の平均の数値は相乗平均による

表-4 引張強度試験結果 (境界部付着性能試験)

試験体 記号*	引張強度 (kgf/cm ²)		
	コンクリート部	境界部	モルタル部
A-1	20.2	8.1	—***
A-2	(6.2)**	10.4	—
A-3	19.3	8.8	—
B-1	22.3	7.3	14.1
B-2	21.1	8.6	12.3
B-3	22.4	10.5	15.3
C-1	20.2	9.8	10.9
C-2	19.1	8.5	13.8
C-3	17.1	9.1	11.2
平均	20.2	9.0	12.9

* 壁面番号及び底版からの高さ(単位:m)を示す

** コア中に鉄筋を含んでいた

***所定長さの試験体が採取不可能のため実施せず

表-5 透水試験結果 (境界部付着性能試験)

試験体 記号*	透水係数 (cm/sec)		
	コンクリート部	境界部	モルタル部
A-2	2.7×10^{-10}	5.1×10^{-10}	—**
B-2	7.7×10^{-10}	5.1×10^{-10}	4.1×10^{-10}
C-2	1.6×10^{-10}	4.2×10^{-10}	4.9×10^{-10}
平均***	3.2×10^{-10}	4.8×10^{-10}	4.5×10^{-10}

* 壁面番号及び底版からの高さ(単位:m)を示す

** 所定長さの試験体が採取不可能のため実施せず

***平均の数値は相乗平均による

ていることがわかる。この理由としては、水中不分離性混和剤を混入し、材料分離がなくブリージングのないモルタルを充填したことにより境界部での脆弱層の形成を抑制したこと、またモルタルに膨張材を混入していることによりモルタル充填後の膨張圧によりコンクリートとモルタルが密着されたこと、さらに2年間屋外環境に暴露されコンクリート表面が乾燥していたことによりモルタル側からの水・ペーストの移動にともなう境界部の一体性の改善がなされたこと、が考えられる。

4.3 流動性・充填性の確認

図-5にモルタル充填高さの測定結果を示す。平均流動勾配は5.2%であり、水中不分離性混和剤を使用したモルタルは良好な流動性を有していることがわかる。

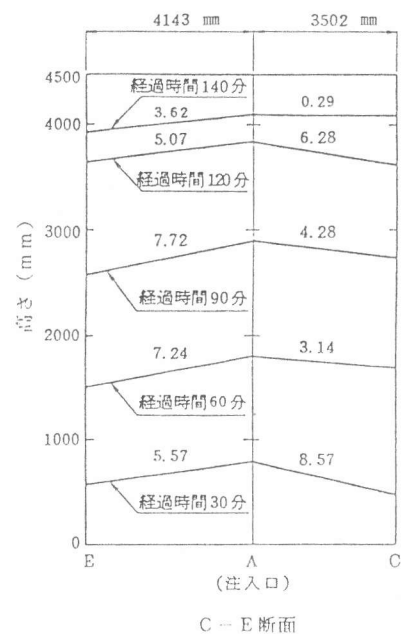
ピット天端中央部および壁側面をコアボーリングにより削孔しドラム缶とモルタル、壁コンクリートとモルタルの境界部に着色水を圧入し(最大0.5 kgf/cm²)解体時に観察を行った。図-6に解体時に確認した中央列の着色箇所を示す。着色箇所は中央列のみに認められ隣りの列には見られなかった。この縁切れの形成は、温度上昇・降下による体積変化によるものと考えられるが、採取コアの目視観察では判断できず、また着色は外部あるいは隣りの列と連続していない。なお、ドラム缶同士の狭い隙間部(最小8mm)にもモルタルが充填されていることを確認した。

4.4 温度上昇特性

モルタルの温度変化は概ね図-7に示すような履歴を示す。すなわち、モルタルの充填温度に比べて壁部およびドラム缶の温度並びに外気温が低いため、壁部およびドラム缶による熱吸収、並びに外気への放熱によって充填後初期にモルタル温度は降下する。その後、モルタルの発熱量の増加に伴い温度は上昇する。

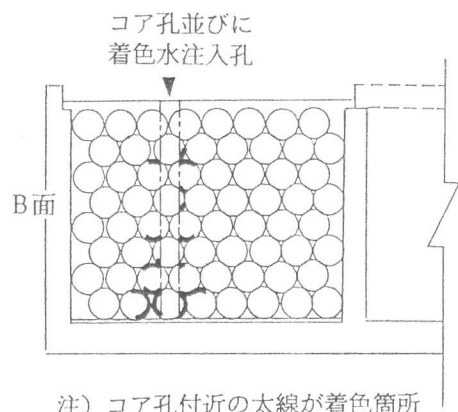
表-6に温度計測断面①および③におけるモルタルの温度特性を示す。モルタルの充填時温度は平均15.4℃であるが、温度降下により10.1℃となり、その後の温度上昇量は最大で16.2℃である。これは、断熱温度上昇量50.7℃の3.2%にあたり、充填モルタルの発熱が非発熱体に吸収されることがわかる。

図-8に練上がり温度12.2℃の場合の充填モルタルの断熱温度上昇試験での温度上昇特性および充填試験での中央付近の測定点; 1Dの温度上昇特性(図-7のt2時以降)を示す。これによれば、断熱温度上昇試験の場合初期の温度上昇速度は



(注) 図中の数字はモルタル液面の勾配 (%)

図-5 モルタル高さ測定結果



注) コア孔付近の太線が着色箇所
図-6 着色水観察結果(中央列)

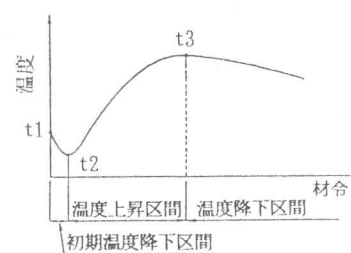


図-7 モルタルの温度履歴の概念図

およそ10℃/日であるのに対し、充填試験の測定結果では中央部でも2.7℃/日である。非発熱体が内在するコンクリートピットは水和発熱が非発熱体に吸収されることにより温度の上昇が押さえられたものと考えられ、非発熱体の吸熱の影響が予想される場合にはこれまでのように断熱温度上昇特性を用いて単純に解析することは適当でないと言える。

表-6 モルタルの温度特性 (温度測定断面①および③)

測点番号	充填温度 t1 (°C)	最低温度時		最高温度時		初期降下量 t1-t2 (°C)	最大上昇量 t3-t2 (°C)	
		材令 (日)	温度 t2 (°C)	材令 (日)	温度 t3 (°C)			
① 断面	1 A	15.9	0.6	12.7	5.8	18.5	3.2	5.8
	1 B	15.9	0.2	10.2	9.6	24.0	5.7	13.8
	1 C	15.0	0.2	10.1	10.7	25.0	4.9	14.9
	1 D	15.9	0.2	10.5	11.4	26.7	5.4	16.2
	1 E	15.2	0.2	10.1	13.8	26.2	5.1	16.1
	1 F	15.8	0.2	11.0	9.6	25.8	4.8	14.8
③ 断面	3 A	15.4	0.7	10.6	3.1	15.2	4.8	4.6
	3 B	15.9	0.2	10.0	8.3	22.3	5.9	12.3
	1 E	15.2	0.2	10.1	13.8	26.2	5.1	16.1
	3 C	16.2	0.2	12.5	11.3	26.4	3.7	13.9
3 D	16.3	0.3	13.1	14.6	24.5	3.2	11.4	

5. まとめ

低レベル放射性廃棄物貯蔵施設用の充填モルタルとして、水中不分離性混和剤を用いた配合を選定し、実規模での充填性に関する試験を実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 水中不分離性混和剤を混入することによりブリージングがなく、流動性に優れ、低発熱の充填モルタルの製造が可能である。
- ② 充填モルタルの圧縮強度は流動距離5m程度で約10%低下し、透水係数も5~10倍大きくなるが、ブリージング等の材料分離は認められず十分均等質な状態を保っている。
- ③ 充填モルタルは、ドラム缶が俵積みとなった狭い隙間部を通しても流動勾配5%程度の優れた流動性能を有している。
- ④ 既設のコンクリート壁と充填モルタルは高い付着性能を有し、打継部の遮水性も高い。
- ⑤ 非発熱体が内在することによる吸熱現象により最大温度が大幅に低下し、温度上昇速度も低下する。温度解析にあたっては非発熱体の吸熱を考慮した解析が必要となってくる。

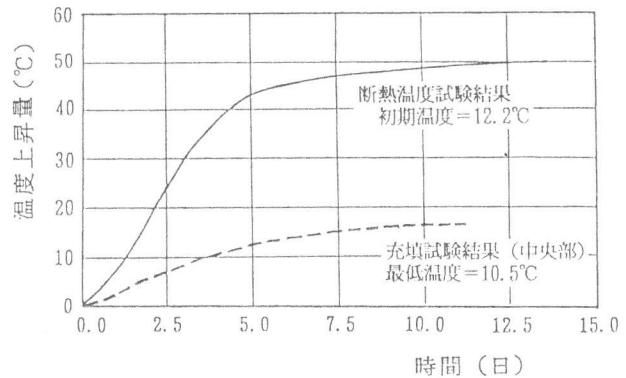


図-8 温度上昇特性 (12.2℃打設の断熱試験および充填試験中央部測定結果)

[参考文献]

- 1) 財団法人 原子力環境整備センター：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 昭和63年度、1989.3
- 2) 国分正胤：新旧コンクリートの打継目に関する研究、土木学会論文集、第8巻、pp.1-24、1950
- 3) 村田二郎：コンクリートの水密性の研究、土木学会コンクリートライブラリー、第7号、1963.6