

# 地下水位変動による埋設コンクリート廃棄物 間隙部への覆土の流入特性とその防止方法

高津 忠<sup>1</sup>・今井 淳<sup>2</sup>・柳澤 栄司<sup>3</sup>・三田地 利之<sup>4</sup>・唯野 英輝<sup>5</sup>・安部 聡<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 (株)銭高組 技術研究所 主任研究員 (〒160-1011 東京都新宿区西新宿3-7-1)

<sup>2</sup>(財)原子力環境整備センター 研究第1部 課長 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-10)

<sup>3</sup>フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉)

<sup>4</sup>フェロー 工博 北海道大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

<sup>5</sup>正会員 (株)銭高組 原子力統轄部 部長 (〒160-1011 東京都新宿区西新宿3-7-1)

<sup>6</sup>正会員 (株)銭高組 原子力統轄部 副課長 (〒160-1011 東京都新宿区西新宿3-7-1)

原子力設備解体時に発生する極低レベル放射性コンクリート廃棄物は、現時点で地下水位以上の地中に埋設処分する計画となっており、その際、土砂等を充填することにより、廃棄物間隙部へ空隙が残らないように措置することになっている。筆者らは、これまでに埋設施工時条件を想定して、締固め特性と締固め後の間隙分布に関する実大規模試験を実施し、間隙部に覆土を混入し締固めることによって地表面の沈下や亀裂が防止できることを明らかにした。本研究では、埋設完了後に廃棄物周辺の地下水位が一時的に上昇・下降する状況を想定した試験を実施し、廃棄物間隙部に覆土を混入し締固めることで覆土流入防止が可能なのことがわかった。また、廃棄物と覆土の境界に適切な粒度分布のフィルターを設置することによっても覆土流入防止が可能で、地表面に変状を生じないことが確認された。

**Key Words :** concrete waste, grain size analysis, groundwater level, coverig soil, filter

## 1. はじめに

原子力発電設備においては、供用期間の延長に関する技術的・経済的検討が進められているが、21世紀初頭にはその役割を終え、解体されるものが徐々に出現する。発生する廃棄物のうちの放射性廃棄物でない廃棄物は、一般廃棄物と同様に可能なものは再利用される計画となっている。

一方、非常に放射能濃度の低いコンクリート廃棄物は、解体等がなされた時のままの形状で掘削した土壌中(素掘りトレンチ)へ埋設処分しても安全性に支障がないと考えられている<sup>1)</sup>。このようなコンクリート廃棄物をここでは極低レベル放射性コンクリート廃棄物と称しているが、この埋設処分に当たっては、「土砂等を充てんすることにより、当該廃棄物埋設地の埋設が終了した後において空隙が残らないように措置すること」とされている<sup>2)</sup>。そのためには、

①コンクリート廃棄物自体が十分締固まっており、安定性が確保されていること

②コンクリート廃棄物上に敷設された覆土が、埋設処分完了後、コンクリート廃棄物内の間隙に侵入し地表面に沈下や亀裂等の変状が生じないこと

が必要である。

そこで、筆者らは、柱状と壁状の実大コンクリート構造物を解体し、発生するコンクリート廃棄物の粒度特性を把握するとともに、基本的な締固め特性を把握した<sup>3)</sup>。次に、地中埋設処分する際に必要となる施工管理上の基礎資料を得ることを目的として、締固めたコンクリート廃棄物に超微粒子セメントを注入・硬化させ、中央部を切断し、廃棄物中の間隙分布を把握した<sup>4)</sup>。さらに、コンクリート廃棄物上部に覆土を敷設し締固め、廃棄物中の間隙に覆土が混入するか否かを把握するとともに、間隙部に強制的に覆土を混入し締固めすることによって、地表面の沈下や亀裂を防止することが可能であることを明らかにした<sup>4)</sup>。しかし、極低レベル放射性コンクリート廃棄物が原則として地下水位以上のトレンチに埋設処分されることになっていることから、これらの試験は施工時の状況を想定して、コンクリート廃棄物が水に接しない状態で実施したものである。したがって、地中埋設処分後の地下水位の変動や降雨によって覆土およびコンクリート廃棄物が一時的に帯水する状態を想定しておらず、帯水によって廃棄物間隙部へ覆土が流入し、地表面に変状する可能性については検討していない。

そこで本研究では、埋設処分後に地下水位が一時的に上昇した場合を想定し、コンクリート廃棄物間隙部への覆土および周辺地山を構成する土(以下、周辺地

表-1 主な試験項目

試験名	覆土試験	周辺地山試験 (その1)	周辺地山試験 (その2)	事前混合試験
模式図				
方向	鉛直	水平	水平	鉛直・水平
内容	・地中埋設処分後、地下水 上昇時と通水時における コンクリート廃棄物間隙部 へ流入する覆土の基本特 性を把握する。	・コンクリート廃棄物間隙部 へ流入する周辺地山の基 本特性を把握する。	・地中埋設処分時の法面勾 配を考慮したときの地下 水上昇時と通水時の周辺地 山流入状況を把握する。	・コンクリート廃棄物間隙部 に覆土材料を混入して締 固めたときの覆土あるいは 周辺地山の流入状況を把 握する。
備考	・上記模式図は、試験ケースの代表的なものとしてコンクリート廃棄物と覆土あるいは周辺地山を組み合わせたもの。 ・方向は水位上昇後実施する通水試験の通水方向を示す。 ・事前混合試験については、鉛直方向、水平方向の2方向の水位上昇試験および通水試験を実施するが、本模式図はこのうち鉛直方向の試験を示す。			

山と略す)の流入特性を把握するとともに、流入によって発生する地表面の沈下や亀裂等の有無を確認した。

本文中に示すように、埋設時のコンクリート廃棄物間隙部に強制的に覆土を混合し締固めること(以下、事前混合方法と称す)によって、上部に設置される覆土の沈下や亀裂等を防止することは可能である。しかし、事前混合方式による場合、室内試験では十分に覆土を混合し締固めることが可能であっても、粒状体である以上完全に空隙のない状態を作り得ないことは自明であり、まして実際の施工においては、十分な混合締固めが100%保証されるとは限らない。したがって、施工後に地表面の沈下や亀裂を生じさせる原因となる有害な空隙が存在する可能性も否定できない。そこで、コンクリート廃棄物間隙部への覆土の流入を防止するため、次善の策として、両材料の境界にフィルターを設置する場合を想定した試験を実施し、適切なフィルター材料の選定方法についても検討を加えた。

## 2. 試験内容および試験条件

### (1) 目的

本研究では、図-1および図-2に示すように、コンクリート廃棄物の地中埋設処分後に地下水位が一時的に上昇・下降変動した状況を想定し、地下水上昇と地下水の流れの影響による覆土および周辺地山のコンクリート廃棄物間隙部への流入状況を把握するとともに、覆土および周辺地山の流入防止方法の効果と適用性を検討することを目的として試験を実施した。

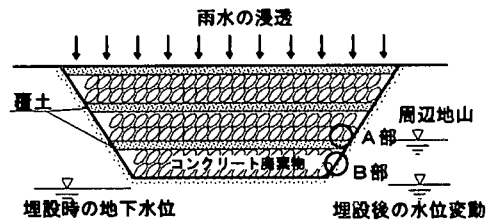


図-1 コンクリート廃棄物埋設処分後の地下水位上昇想定模式図

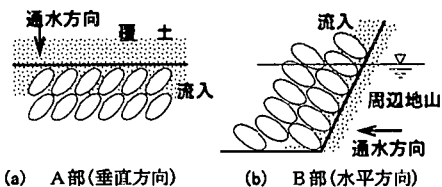


図-2 A・B部における覆土・地山流入状況想定模式図

### (2) 試験項目

試験項目を表-1に示す。コンクリート廃棄物地中埋設処分後に地下水位が上昇・下降変動した場合と地下水の流れが生じた場合を想定し、覆土と周辺地山を対象として水平方向と鉛直方向の2方向に着目した4種類の試験を実施した。

### (3) 試験条件

#### a) 試験体材料

試験に用いた材料の粒度特性と粒度分布を表-2および図-3に示す。

試験に用いたコンクリート廃棄物は、比較的小規模な試験に用いる最大粒径10cmのものと、実大規模の試験

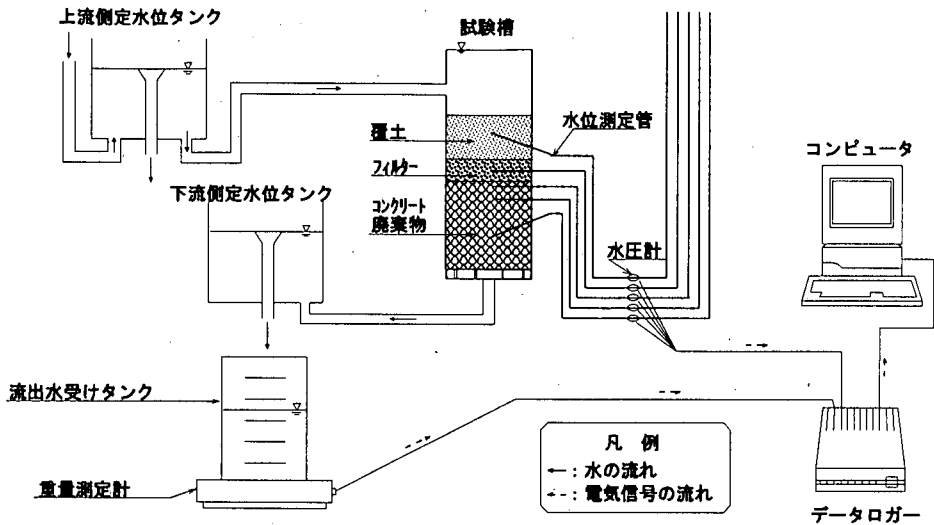


図-4 試験装置全体システム

に用いる最大粒径30cmのもの2種類とした(以下10cm, 30cmのコンクリート廃棄物と称す)。実規模試験の最大粒径は、コンクリート構造物を解体する際に用いられる一般的な破砕機等の仕様と、解体後のハンドリング等を考慮して設定した<sup>3)</sup>。このコンクリート廃棄物は、厚さ80cm×幅80cm×高さ180cmの柱状無筋コンクリートをジャイアントブレーカで目標最大粒径10cmと30cmに解体したものである<sup>3)</sup>。コンクリート廃棄物については、30cmは5mm以下分を除去したもの、10cmは5mm以下分を除去したものとし、3種類の粒度構成とした。コンクリート廃棄物の5mm以下分を除去した理由は、今回使用した覆土と周辺地山を模擬した材料が5mm以下であり、水位上昇・透水試験後に試験体を解体し、流入した覆土・周辺地山材料をコンクリート廃棄物と分離するためである。

覆土および周辺地山の模擬材料は、灰色のコンクリート廃棄物間隙部への流入状況が目視で識別できるように、10cmのコンクリート廃棄物に対しては比較的小粒径の褐色の稲城産山砂を、30cmに対しては黒色の青梅産砕砂を使用した。なお、覆土の模擬材料として透水性が良好な砂を用いたのは、設計上の観点からより厳しい条件を設定したものである。

また、コンクリート廃棄物と覆土の境界部に設置するフィルター材料としては、コンクリート用骨材を粒度調整した砕砂を使用した。

### b) 試験装置

試験装置全体システムを図-4に、各試験装置模式図を図-5～図-7に示す。

10cmのコンクリート廃棄物を用いる小規模試験槽は、水位上昇時と透水時に覆土流入状況を観察できるように全面アクリル製となっており、鉛直方向試験槽(図-

表-2 試験材料の粒度特性

		最大粒径 D <sub>max</sub> (mm)	平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)	均等係数 U <sub>c</sub>	曲率係数 U <sub>c'</sub>	
廃棄物	10cm	100	22	16	1.6	
	5mm以下有		31	4.6	0.60	
物	30cm	300	160	2.6	1.2	
	5mm以下無		0.18	2.1	0.93	
	山砂	2	4.75	1.1	7.7	0.94
	砕砂	20	3.8	7.8	2.0	
	フィルター-1	40	9.4	6.7	0.61	

・廃棄物横の10cm, 30cmは最大粒径を示す。  
 ・フィルター-1は最大粒径10cmのコンクリート廃棄物と山砂の境界に設置するものを示す。  
 ・フィルター-2は最大粒径30cmのコンクリート廃棄物と砕砂の境界に設置するものを示す。

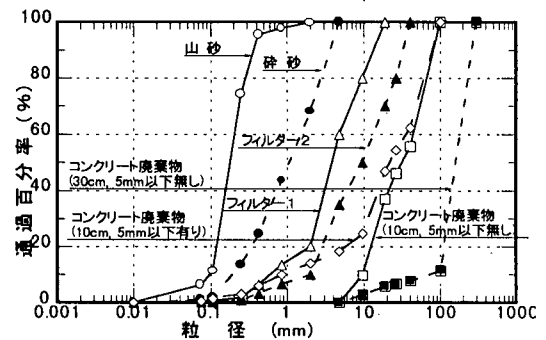


図-3 試験材料の粒度分布

5)は直径40cm×高さ100cmの円筒形、水平方向試験槽(図-6)は高さ50cm×幅60cm×長さ100cmの直方体である。透水試験に使用する試験槽は、通常、直径が試験体最大粒径の5倍以上<sup>9)</sup>のものが使用されるが、本試験は締固めた試験体間隙部への覆土流入状況を把握するものであり、締固め試験と同様に直径が試験体最大粒径の4倍以上<sup>9)</sup>のものとした。鉛直方向試験槽は、

後述するように、コンクリート廃棄物間隙部への覆土流入量を測定するため、半円筒形に分割可能な仕様となっている。

30cmのコンクリート廃棄物を用いる実規模試験槽(図-7)は、奥行120cm×幅120cm×高さ210cmの全面分割可能な鋼製直方体形状で、1面のみアクリル製となっている。この総質量約5tの試験槽は、水平・鉛直方向試験が兼用できるように、駆動装置で回転可能な構造となっている。水平方向試験を実施する場合や鉛直方向試験後にコンクリート廃棄物間隙部へ流入した覆土量を測定する場合には、この試験槽を回転させて使用する。

鉛直方向試験後に、そのままの状態上部の覆土から順次撤去すると、この作業中に新たにコンクリート廃棄物間隙部へ覆土が混入し、覆土流入状況が観察できないため、試験槽を90°回転させて水平に設置し直した後に覆土とコンクリート廃棄物を撤去し、中央部の覆土流入状況を目視観察できるような構造とした。

#### c) 測定項目と測定方法

測定項目および測定方法を表-3に示す。本試験では、水位上昇・通水時のコンクリート廃棄物間隙部への覆土流入状況を目視観察するとともに、試験体解体時に覆土流入質量と粒度分布を把握する。

西垣ら<sup>9)</sup>は、粗粒土と隣接した細粒土が通水時に粗粒土間隙部へ流入したか否かを判定する方法として、粗粒土中の水位と流量を測定することによって透水係数の変化をとらえ、この透水係数の変化により細粒土の流入を判定することを提案している。そこで、通水時においては、覆土流入状況を目視観察だけでなく、覆土や周辺地山とコンクリート廃棄物中の水位と流量を測定し、透水係数の経時変化を把握する。

#### d) 試験体作成方法

10cmのコンクリート廃棄物試験体は、鉛直方向は層厚40cmを4層に、水平方向は層厚50cmを5層に分割して締固め作成した。また、30cmのコンクリート廃棄物試験体は、鉛直・水平方向とも層厚120cmを4層に分割して作成した。

分割して締固めた各層の境界部には直径0.5mmのポリエチレン糸製5mmメッシュ網を設置し、水位上昇・通水時に流入した覆土量を解体時に層別に測定できるようにした。なお、境界部に設置したメッシュの影響については、事前に同試験体を用いて実施した水位上昇・通水試験によって、覆土侵入への抵抗がほとんどないことを確認している。また、覆土試験と周辺地山試験(その1)においては、コンクリート廃棄物と覆土あるいはフィルターの境界に、試験槽周辺部の間隙が比較的大きい面に沿って覆土が流入することを防止するため、図-5～図-7に示したように、10cmのコンクリート廃棄物には幅3cm、30cmのものには幅10cmの砂用ジオテキスタイル

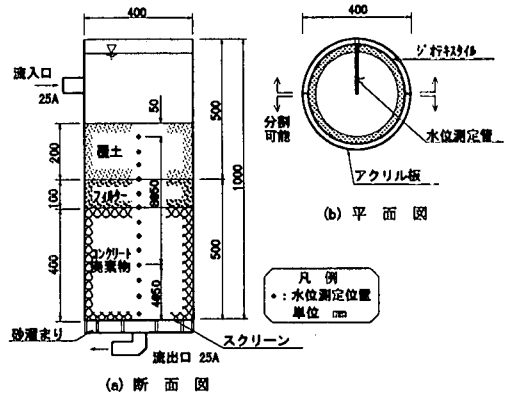


図-5 鉛直方向試験槽 (Dmax10cm)

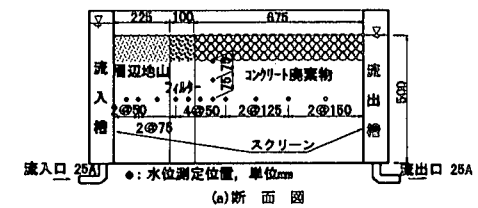


図-6 水平方向試験槽 (Dmax10cm)

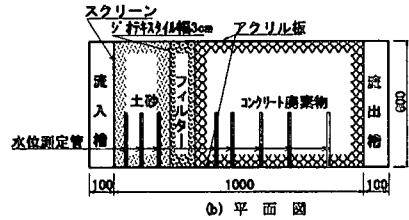


図-7 鉛直・水平方向試験槽 (Dmax30cm)

表-3 測定項目および測定方法

状態	測定項目	方法	測定・算定項目	
1	水位 上昇・ 通水時	覆土または 周辺地山の 流入量	目視 層毎に水洗い	外周部・中央部流入分布 流入質量と粒度分布
2	通水時	測定点水位	水位測定管	各層毎の透水係数
3	通水時	流量	電磁式重量計 (図-4参照)	

(ナイロン・ポリエステル二成分フィラメント)を試験槽周辺部に設置した。

試験体の締固めは、試験槽がアクリル製のため、タンバ等の締固め機械を使用できないことから、各試験材料とも10cm角のバタ角を用いて人力で突き固めた。締固め時の各試験材料は、コンクリート廃棄物とフィルターが表乾状態、山砂と砕砂が最適含水比15.8%と11.7%の状態である(密度については後述(6)参照)。なお、コンクリート廃棄物については、製作後室内に2年以上放置した状態の柱状構造物を解体し、シートで表面を覆い養生したものである。

#### (4) 試験ケース

各試験項目毎の試験ケースを表-4に示す。

覆土試験と周辺地山試験(その1)では、コンクリート廃棄物を3種類、覆土・周辺地山を山砂と砕砂の2種類とし、フィルターの有無と水位上昇回数を考慮して試験ケースを設定した。また、覆土試験では、フィルター層厚による覆土流入量の相違を把握するため、フィルター層厚も変化させた。

周辺地山試験(その2)では、周辺地山材料の特性を把握するため、自立した周辺地山試験体作成後、試験槽にコンクリート廃棄物がない状態で水位を上昇させ、周辺地山崩落後の形状を把握した。この試験結果を踏まえて、周辺地山の法面勾配を変化させた試験ケースを設定した。

事前混合試験では、コンクリート廃棄物は30cmの1種類、覆土・周辺地山は砕砂の1種類とし、水位上昇回数のみを考慮した試験ケースとした。

#### (5) 試験材料のフィルター特性

表-5に示すように、ある材料がフィルター機能を有するか否かを判定する指標としては、種々のものが提案されている。本試験では、これら提案式の中から、ダム設計で用いられている式(1)および式(2)を判定基準として採用した<sup>10)</sup>。

透水則

$$\frac{D_{F15}(\text{フィルター材料の15\%粒径})}{D_{B15}(\text{フィルターで保護される材料の15\%粒径})} > 5 \quad (1)$$

パイピング則

$$\frac{D_{F15}(\text{フィルター材料の15\%粒径})}{D_{B85}(\text{フィルターで保護される材料の85\%粒径})} < 5 \quad (2)$$

各試験ケースのパイピング特性値を表-6に示す。

表中のフィルター1\*は、フィルター1(厚さ5cm)と同一の粒度分布で厚さが10cmのものを示す。各試験とも、山砂と10cmのコンクリート廃棄物を隣接させたケースと、砕

表-4 各試験項目毎の試験ケース

覆土試験										
No.	コンクリート廃棄物		覆土	フィルター厚さ	水位上昇回数	動水勾配				
	D max	5mm以下								
C-1	10cm	有	山砂	無	1回	1/10				
C-2		無		5cm						
C-3							10cm			
C-4								無		
C-5									5cm	
C-6										15回
C-7			無							
C-8		山砂								
C-9				1回						
C-10					15回					
C-11							砕砂			
C-12								30cm	15cm	15回
周辺地山試験(その1)										
No.	コンクリート廃棄物		周辺地山			フィルター厚さ			水位上昇回数	動水勾配
	D max	5mm以下								
G1-1	10cm	有	山砂	無	1回	1/10				
G1-2		無		10cm	無		3回			
G1-3							1回			
G1-4								15回		
G1-5									1/214	
G1-6			砕砂							
G1-7	15cm	15回		1/214						
周辺地山試験(その2)										
No.	コンクリート廃棄物			周辺地山		フィルター厚さ	水位上昇回数	動水勾配		
	D max	5mm以下		種類	勾配					
G2-1	10cm	無	山砂	90°	無	1回	1/10			
G2-2				60°						
G2-3				45°						
G2-4			砕砂	60°						
G2-5				45°						
G2-6				10cm				無		
G2-7									45°	
事前混合試験										
No.	方向	コンクリート廃棄物		フィルター厚さ	水位上昇回数	動水勾配				
		D max	5mm以下							
M-1	垂直	30cm	無	無	1回	1/55				
M-2					15回	1/52				
M-3					水平	1回	1/136			
備考	・水位上昇速度は10cm/時間。 ・周辺地山試験(その2)のコンクリート廃棄物がないケースは、周辺地山のみを所定の勾配で作成して水位上昇試験を実施し、崩壊後の形状を観察する。 ・事前混合試験の覆土および周辺地山は全て砕砂。									

表-5 フィルター材料の各種判定式<sup>7), 9), 10)</sup>

No.	提案者	判定式
1	日本大坝A会議	$\frac{D_{F15}}{D_{B85}} < 5, \frac{D_{F15}}{D_{B15}} > 5$
2	Terzaghi	$\frac{D_{F15}}{D_{B85}} < 4, \frac{D_{F15}}{D_{B15}} > 4$
3	Bertran	$\frac{D_{F15}}{D_{B85}} < 6, \frac{D_{F15}}{D_{B15}} > 9$
4	本城	$\frac{D_{F95}}{D_{B75}} < 7, \frac{D_{F15}}{D_{B85}} > 5.5 - 0.5 \frac{D_{B95}}{D_{B75}}$
5	中島 他	$\frac{D_{F15}}{D_{B85}} < 8, \frac{D_{F15}}{D_{B15}} > 20$
備考	・Dは材料の粒径を示す。また、添字のFはフィルター材料、Bはフィルターで保護される材料、15等の数字は粒度試験における15%粒径等を示す。	

表-6 試験ケースにおけるパイピング特性値判定結果

覆土試験						
No.	材料の組合せ		コンクリート廃棄物		パイピング則	
	上流側	下流側	D <sub>max</sub>	5mm以下	D <sub>15</sub> /D <sub>85</sub>	判定
C-1	山砂	廃棄物	10cm	有	6.6>5	×
C-2				無	33>5	×
C-3	フィルター1	廃棄物	10cm	無	3.2<5	○
				無	0.97<5	○
C-4	山砂	フィルター1*	10cm	無	3.2<5	○
				無	0.97<5	○
C-5	砕砂	廃棄物	10cm	有	0.69<5	○
C-6				無	3.4<5	○
C-7	フィルター1	廃棄物	10cm	無	0.33<5	○
				無	0.97<5	○
C-8	山砂	フィルター1	10cm	無	3.2<5	○
				無	0.97<5	○
C-9	山砂	廃棄物	10cm	無	33>5	×
C-10					3.4<5	○
C-11	砕砂	廃棄物	30cm	無	33>5	×
					0.75<5	○
C-12	フィルター2	廃棄物	30cm	無	3.5<5	○
周辺地山試験(その1)						
No.	材料の組合せ		コンクリート廃棄物		パイピング則	
	上流側	下流側	D <sub>max</sub>	5mm以下	D <sub>15</sub> /D <sub>85</sub>	判定
G1-1	山砂	廃棄物	10cm	有	6.6>5	×
G1-2				無	33>5	×
G1-3	フィルター1*	廃棄物	10cm	無	3.2<5	○
G1-4				無	0.97<5	○
G1-5	砕砂	廃棄物	30cm	無	3.4<5	○
G1-6				無	33>5	×
G1-7	フィルター2	廃棄物	30cm	無	0.75<5	○
G1-7	フィルター2	廃棄物	30cm	無	3.5<5	○
周辺地山試験(その2)						
No.	材料の組合せ		コンクリート廃棄物		パイピング則	
	上流側	下流側	D <sub>max</sub>	5mm以下	D <sub>15</sub> /D <sub>85</sub>	判定
G2-1	山砂	60°	無	10cm	無	33>5
G2-3						
G2-4	砕砂	60°	無	10cm	無	3.4<5
G2-6						
G2-7	45°	廃棄物	10cm	無	3.4<5	○

・フィルター1, フィルター1\*およびフィルター2の厚さは, 5cm, 10cm, 15cm.  
 ・パイピング則の判定の○はダムの設計式によるフィルター効果があることを, ×はないことを示す。  
 ・周辺地山試験(その2)における地山種類横の数字は, 試験体作成時の地山勾配を示す。  
 ・全試験ケースともダムの設計式による透水則を満足する。

砂と30cmのコンクリート廃棄物を隣接させたケースではパイピング則を満足せず, 覆土あるいは周辺地山がコンクリート廃棄物間隙部に流入する可能性が高いと推定される。しかし, これら以外の試験ケースは全てパイピング則を満足しており, 流入する可能性が低い判定結果となっている。また, 覆土あるいは周辺地山の流入に直接関係しないが, 透水則については, 全試験ケースで満足する判定結果となっている。

(6)試験体密度

試験体作成後の各試験材料の表乾・乾燥密度を表-7に示す。事前混合試験以外では, 山砂が1.23~

表-7 各試験ケースにおける試験体密度

覆土試験								
No.	コンクリート廃棄物		覆土	フィルター厚さ	密度 (t/m <sup>3</sup> )			
	D <sub>max</sub>	5mm以下			廃棄物	覆土	フィルター	
C-1	有	無	山砂	無	1.51	1.23	—	
C-2					1.31	1.26	—	
C-3	無	5cm	山砂	無	1.31	1.27	1.77	
C-4					1.31	1.29	1.77	
C-5	有	無	砕砂	無	1.51	1.54	—	
C-6					1.31	1.54	—	
C-7	無	5cm	山砂	無	1.31	1.59	1.77	
C-8					1.31	1.23	1.77	
C-9	無	10cm	山砂	無	1.31	1.23	—	
C-10					1.31	1.56	—	
C-11	30cm	無	砕砂	無	1.45	1.61	—	
C-12					1.36	1.66	1.87	
周辺地山試験(その1)								
No.	コンクリート廃棄物		周辺地山	フィルター厚さ	密度 (t/m <sup>3</sup> )			
	D <sub>max</sub>	5mm以下			廃棄物	地山	フィルター	
G1-1	有	無	山砂	無	1.48	1.25	—	
G1-2					1.42	1.32	—	
G1-3	無	10cm	山砂	無	1.40	1.33	—	
G1-4					1.48	1.38	1.61	
G1-5	無	30cm	砕砂	無	1.40	1.48	—	
G1-6					1.37	1.67	—	
G1-7	1.38	1.65	2.07	—	—	—		
周辺地山試験(その2)								
No.	コンクリート廃棄物		周辺地山種類	勾配	フィルター	密度 (t/m <sup>3</sup> )		
	D <sub>max</sub>	5mm以下				廃棄物	地山	山
G2-1	無	無	山砂	90°	無	—	1.35	—
G2-2						—	1.35	—
G2-3	10cm	無	山砂	60°	無	1.45	1.35	—
G2-4						1.45	1.35	—
G2-5	無	無	砕砂	60°	無	—	1.65	—
G2-6						1.45	1.65	—
G2-7	1.45	1.65	—	—	—	—		
事前混合試験								
No.	方向	コンクリート廃棄物		密度 (t/m <sup>3</sup> )				
		D <sub>max</sub>	5mm以下	廃棄物	覆土	混合土	混合体	
M-1	垂直	30cm	無	1.17	1.63	1.13	1.73	
M-2				1.29	1.73	1.37	1.89	
M-3	水平	—	—	1.16	1.33	1.10	1.71	
備考	・コンクリート廃棄物とフィルターは表乾密度, 覆土と周辺地山は乾燥密度を示す。 ・事前混合試験の覆土および周辺地山の材料は砕砂。また, 混合土はコンクリート廃棄物間隙部に混入した砕砂を, 混合体はコンクリート廃棄物と混入した砕砂を合わせたものを示す。							

表-8 試験材料の透水係数

	密度 (t/m <sup>3</sup> )	最大粒径 D <sub>max</sub> (mm)	平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)	透水係数 (cm/s)
廃棄物	1.31	100	22	3.25×10 <sup>-1</sup>
覆土	1.69	2.0	0.18	8.00×10 <sup>-6</sup>
山砂	1.87	4.75	1.1	3.71×10 <sup>-4</sup>
砕砂	1.63	20	3.9	8.79×10 <sup>-2</sup>
フィルター1	1.81	40	9.0	4.36×10 <sup>-2</sup>
フィルター2	—	—	—	—
備考	・密度については, 廃棄物とフィルターは表乾密度を, 覆土は乾燥密度を示す。			

1.38t/m<sup>3</sup>, 砕砂が1.48~1.67t/m<sup>3</sup>, フィルターが1.61~2.07t/m<sup>3</sup>, コンクリート廃棄物が1.31~1.51t/m<sup>3</sup>となった。事前混合試験では, 覆土および周辺地山の砕砂が

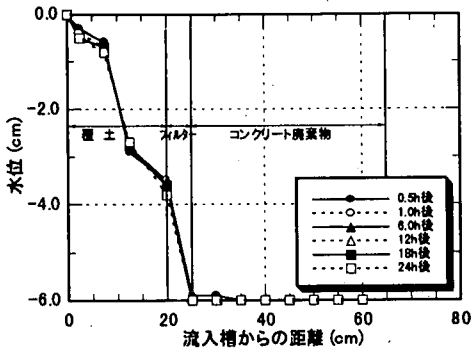


図-8 流入槽からの距離と水位の関係 (C-3, 山砂+フィルター厚5cm, Dmax10cm)

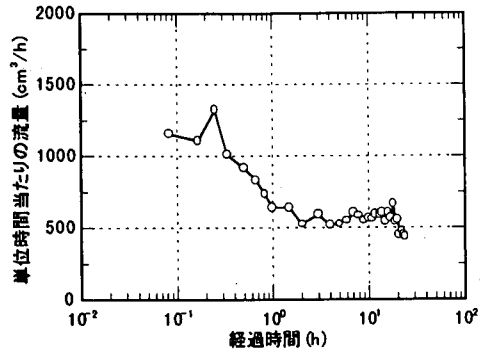


図-9 単位時間当たりの流量の経時変化 (C-3, 山砂+フィルター厚5cm, Dmax10cm)

1.33~1.73t/m³, コンクリート廃棄物間隙部の砕砂混合土が1.10~1.37t/m³, コンクリート廃棄物と砕砂の混合体が1.71~1.89t/m³となった。なお、砕砂混合土の密度については、コンクリート廃棄物の比重を2.3³として算定した間隙部体積と、投入した砕砂乾燥質量を用いて算定した。

### (7) 試験材料の透水係数

図-5に示した円筒形の透水試験槽を用いて、10cmのコンクリート廃棄物、山砂、砕砂およびフィルターの透水試験を行った。試験結果を表-8に示す。

表乾密度1.31t/m³の10cmのコンクリート廃棄物については、試験体最大粒径の4倍の直径の試験槽を用いているため、参考値ではあるが、透水係数は、5mm以下の有無で顕著な相違はなく、ともに10⁻¹cm/sのオーダーとなった。また、山砂、砕砂およびフィルターは、10⁻⁶, 10⁻⁴, 10⁻²cm/sのオーダーとなった。なお、30cmのコンクリート廃棄物については、試験装置の都合上、透水試験を実施することができなかった。

## 3. 覆土試験結果

### (1) 水位上昇時における目視観察結果

水位上昇時において、式(2)のパイピング則を満足する試験ケースでは、覆土の流入がほとんど目視観察されず、覆土表面に沈下や亀裂等の変状は生じなかった。また、フィルター効果がないと判定されたC-1でも覆土の流入が観察されなかった。5mm以下の小粒径分を含んだコンクリート廃棄物のC-1は、 $D_{F15}/D_{B85}$ 値が基準値の5よりやや大きな6.6となっている。表-5に示したように、パイピング則の判定式に種々のものが提案されていることを考慮すれば、この試験結果はほぼ妥当なものと考えられる。

一方、C-1以外の式(2)を満足しないC-2, C-9およびC-11の試験ケースでは、廃棄物密度がC-1の1.51t/m³よりやや小さな1.31~1.45t/m³となっており、

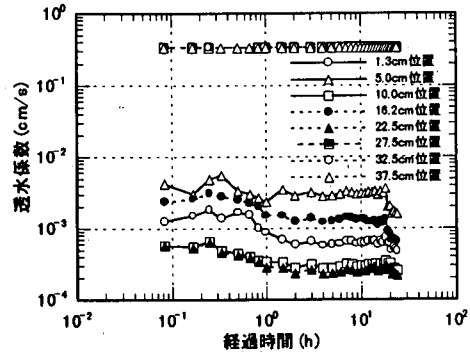


図-10 透水係数の経時変化 (C-3, 山砂+フィルター厚5cm, Dmax10cm)

表-9 覆土試験における流入結果

No.	Dmax	水位上昇	パイピング則		最大流入距離		覆土表面変状
			$D_{F15}/D_{B85}$	判定	周辺部	中央部	
C-1	10cm	1回	6.6	×	3cm	無	無
C-2			33	×	10cm	無	沈下
C-3			3.2	○	フィルター部へ	無	無
			0.97	○	3cm	無	
C-4			3.2	○	フィルター部へ	無	無
			0.97	○	2cm	無	
C-5			0.69	○	3cm	無	無
C-6			3.4	○	3cm	1cm	無
C-7			0.33	○	フィルター部へ	無	無
			0.97	○	2cm	無	
C-8			3.2	○	フィルター部へ	無	無
			0.97	○	3cm	無	
C-9	15回	33	×	40cm(最下端)	沈下	無	
C-10		3.4	○	5cm	2cm	無	
C-11	1回	33	×	124cm(最下端)	沈下	無	
C-12	30cm	15回	0.75	○	無	無	無
			3.5	○			

備考 パイピング則の判定の○はダムの設計式によるフィルター効果があることを、×はないことを示す。  
C-9とC-11のケースは、覆土が最下端部まで流入したことを示す。

多量の覆土流入が目視観察され、覆土表面に沈下や水みち等の変状が生じた。特に、30cmのコンクリート廃棄物で $D_{F15}/D_{B85}$ の値が33と大きなC-11では、1回の水位上昇によってコンクリート廃棄物間隙部に全覆土が流入した。これに対し、 $D_{F15}/D_{B85}$ 値が33と同一のC-2およびC-9の10cmのコンクリート廃棄物では、1回目

表-10 試験体解体時覆土流入状況模式図(中央部)

No	C-2	C-6	C-8	C-9	C-11
模 式 図	廃棄物：10cm 覆土：山砂 フィルター：無 水位上昇：1回	廃棄物：10cm 覆土：砕砂 フィルター：無 水位上昇：1回	廃棄物：10cm 覆土：山砂 フィルター：5cm 水位上昇：15回	廃棄物：10cm 覆土：山砂 フィルター：無 水位上昇：15回	廃棄物：30cm 覆土：砕砂 フィルター：無 水位上昇：1回
変 状	・覆土表面沈下 ・水みち発生	・覆土表面変状無し	・覆土表面変状無し	・覆土表面沈下 ・下端まで流入 ・水みち発生	・全覆土流入

の水位上昇でかなり覆土が流入するものの、C-11と比較すると流入程度はかなり小さかった。このことは、パイピング則の $D_{F15}/D_{B85}$ 値でフィルター効果の有無が判定できても、使用材料の種類や締固め密度、最大粒径等によって流入程度が異なることを示している。また、水位上昇回数を15回に設定したC-9のケースでは、上昇回数が増えるにつれて流入量が増加する傾向が観察された。

(2) 通水時における目視観察結果と水位測定結果

水位上昇試験終了後、同一試験体を用いて24時間通水試験を実施した。本試験の目的は、通水によって廃棄物間隙部に覆土が流入し、地表面に沈下や亀裂が生じるか否かを把握するものである。地表面への変状は、比較的大規模な覆土の流入によって通水初期から生じると考えられ、通水後24時間経過しても覆土の流入が観察されない場合には、その後、地表面が変状する程の覆土流入は生じにくいと考えられる。そこで、覆土の流入が観察された場合には、通水試験を継続するが、流入が観察されない場合には、24時間で試験を終了することとした。なお、通水時には、全試験ケースで覆土が流入する状況は目視観察されなかった。

通水時に試験体各位置で測定した水位から算定した透水係数にも全ケースで顕著な変化はなかった。測定結果の一例として、厚さ5cmのフィルターを設置したC-3の各測定位置での水位、流量および透水係数の経時変化を図-8～図-10に示す。流量については時間の経過とともにやや減少する傾向があり、覆土の微細粒分がフィルターおよびコンクリート廃棄物の間隙部に流入し目詰まりが生じた可能性もある。しかし、水位上昇によって生じる覆土流入量と比較すると、通水による覆土流入量は極微量で、流入による覆土表面への影響

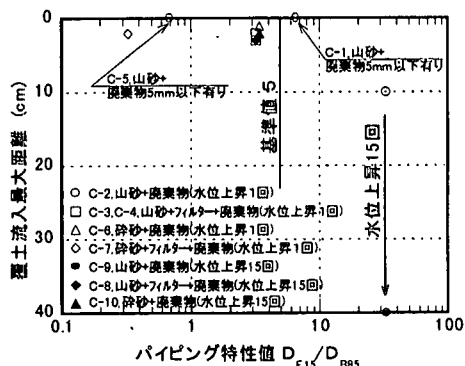


図-11  $D_{F15}/D_{B85}$ と覆土流入最大距離(Dmax10cm)

は極めて小さいと考えられる。

(3) 試験体解体時に確認された覆土流入状況

a) 覆土流入距離

試験体解体時に中央部で測定した覆土流入状況を表-9に示す。また、代表的な試験ケースの覆土流入模式図を表-10に示す。解体時に測定した覆土流入状況は、水位上昇時に目視観察した結果とほぼ同様な結果を示した。

覆土流入最大距離と $D_{F15}/D_{B85}$ 値の関係を図-11に示す。本試験条件の場合には、5mm以下分があるコンクリート廃棄物のC-1とC-5では覆土の流入が確認されなかった。また、5mm以下分がないコンクリート廃棄物間隙部への覆土流入状況は試験材料間の $D_{F15}/D_{B85}$ 値と密接な関係があり、 $D_{F15}/D_{B85}$ 値が大きいものほど流入最大距離が大きくなる。この傾向は $D_{F15}/D_{B85}$ 値が基準値の5を越えると特に顕著となる。また、同じ覆土とコンクリート廃棄物の組み合わせで、水位上昇回数を変化させた場合には水位上昇回数が増加するにした



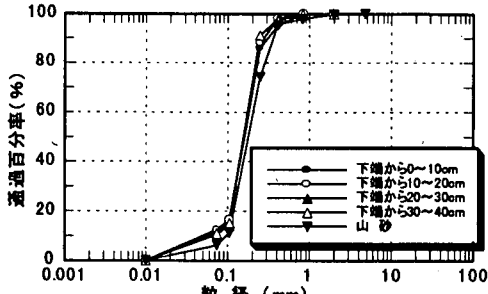


図-12 流入覆土の粒径加積曲線 (C-2, 山砂, Dmax10cm)

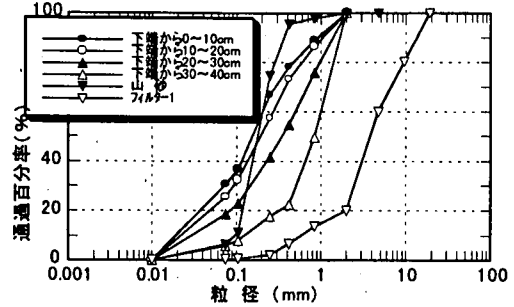


図-13 流入覆土の粒径加積曲線 (C-3, 山砂+フィルター, Dmax10cm)

がって、流入最大距離も大きくなる傾向を示す。以上の結果から、コンクリート廃棄物のフィルター効果を判定するに当たっては、ダム設計に用いられている式(2)のパイピング則の適用が可能と考えられる。

b) 流入覆土の粒度分布

試験体解体時に、コンクリート廃棄物間隙部への流入覆土を水洗いして分離・採取し、コンクリート廃棄物各層毎の粒度分布を把握した。

代表的な例として、覆土の流入量が多いC-2と、フィルターがあり流入量が少ないC-3およびC-12の粒度分布を図-12～図-14に示す。同図中には、試験体作成時の覆土とフィルターの粒度分布も併記した。フィルターがないC-2の流入覆土の粒度分布は、試験体作成時の覆土の粒度分布とほぼ同様の傾向を示しているが、やや小粒径分が多くなっている。一方、フィルターがあるC-3およびC-12の流入覆土の粒度分布は、試験体作成時の覆土の粒度分布とかなり異なった分布を示す。これは、使用したフィルターに5mm以下分の小粒径分が含まれていたためである。したがって、フィルターがある試験ケースの場合には、コンクリート廃棄物間隙部に流入した5mm以下分の大部分がフィルター材料である可能性が高いと考えられる。

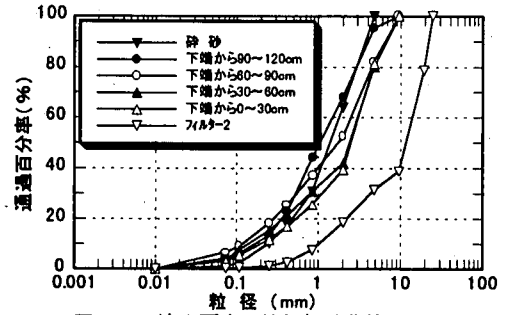


図-14 流入覆土の粒径加積曲線 (C-12, 砕砂+フィルター, Dmax30cm)

10cmのコンクリート廃棄物について、流入覆土の平均粒径と試験体覆土の平均粒径の比を平均粒径比とし、これと流入距離の関係を図-15に示す。D<sub>F15</sub>/D<sub>B85</sub>値が大きく覆土が多量に流入したC-2およびC-9では傾向が顕著とならないが、フィルター効果により覆土流入量が少ないケースでは、流入距離が大きいほど平均粒径比が小さくなる傾向がある。これは、覆土の小さい粒径ほど重力方向であるコンクリート廃棄物の間隙部下端方向に流入しやすいことを示している。また、フィルターがあるケースでは、試験体上部で平均粒径比が1を上回る結果となっているが、前述のように、これはフィルターの5mm以下分が流入したためと考えられる。なお、30cmのコンクリート廃棄物の試験結果については示していないが、ほぼ同様の結果となっている。

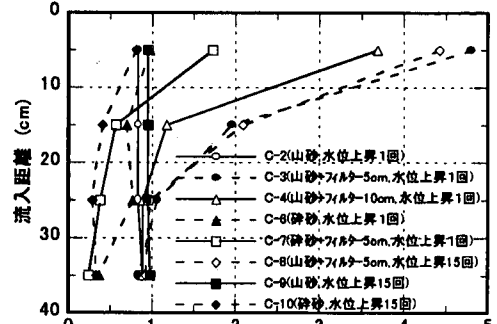


図-15 流入覆土と試験体覆土の平均粒径比分布 (Dmax10cm)

c) 間隙部へ流入した覆土の鉛直方向密度分布

10cmのコンクリート廃棄物間隙部へ流入した覆土の

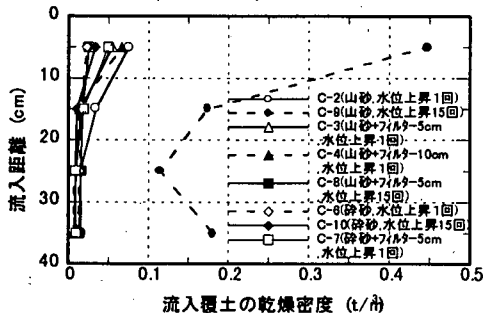


図-16 流入覆土の乾燥密度分布 (Dmax10cm)

鉛直方向乾燥密度分布を図-16に示す。各流入位置の乾燥密度は、試験体高さ10cm毎のコンクリート廃棄物間隙部に流入した覆土乾燥質量と、コンクリート廃棄物の比重を2.3<sup>3)</sup>として算定した間隙部体積を用いて算

定した。

流入覆土の乾燥密度は、流入距離が大きくなるほど値が小さくなり、図-15に示した平均粒径比分布とほぼ同様の傾向を示した。また、流入覆土の乾燥密度は、流入量が最も多いC-9で $0.5t/m^3$ とやや大きな値となったが、これ以外では全て $0.1t/m^3$ 以下と小さな値となった。したがって、流入した覆土は、コンクリート廃棄物間隙部を充填するまでは至らず、かなり緩い状態で堆積していると考えられる。なお、30cmのコンクリート廃棄物の試験結果については示していないが、全覆土がコンクリート廃棄物間隙部に流入したC-11では、乾燥密度が $0.933t/m^3$ と大きな値を示しており、コンクリート廃棄物間隙部が覆土で充填されている状況が目視観察されている。

#### d) 水位上昇回数・フィルター厚さと覆土の流入質量

10cmのコンクリート廃棄物における水位上昇回数と覆土流入質量の関係を表-11に示す。なお、同表中のフィルターがある試験体の覆土流入質量については、フィルター材料の5mm以下分が含まれている。

$D_{F15}/D_{BBS}$ 値が33と大きい5mm以下分の無いコンクリート廃棄物と山砂の組合せでは、水位上昇回数が増加するにしたがって、流入質量が大きく増加する傾向がある。しかし、フィルターを設置した場合には、15回水位上昇させても流入質量に変化はなく、フィルター効果が十分に発揮されていることがわかる。また、フィルターの厚さが5cmと10cmの場合を比較すると、覆土の流入質量にほとんど相違がないことがわかる。したがって、本試験で使用した最大粒径2cmのフィルターの場合には、最大粒径の2.5倍程度の厚さがあれば、フィルター効果が十分期待できると考えられる。

以上の結果から、実際にコンクリート廃棄物を地中埋設処分した後に、地下水位が一時的に上昇してコンクリート廃棄物と覆土が帯水しても、両層境界部に適切な仕様のフィルターを設置することによってコンクリート廃棄物間隙部への覆土流入を防止することが可能となり、地表面に沈下や亀裂等の変状は発生しないと考えられる。

## 4. 周辺地山試験結果(その1)

周辺地山試験(その1)における水位上昇時および通水時の目視等による観察結果は、覆土試験とほぼ同様の傾向を示し、水位上昇時に周辺地山の崩落によるコンクリート廃棄物間隙部への流入が観察されたが、通水時の流入は観察されなかった。そこで、ここでは、解体時に観察された結果のみを以下に示す。

### (1) 周辺地山流入状況

試験体解体時に中央部で測定した周辺地山流入状

表-11 水位上昇回数と覆土流入質量( $D_{max}10cm$ )

試験体		覆土流入質量(kg)	
覆土	フィルター厚	1回	15回
山砂	無	0.759	4.945
	5cm	0.420	0.346
	10cm	0.382	—
砕砂	無	0.346	0.333

表-12 周辺地山試験(その1)における地山流入結果

No.	$D_{max}$	水位 上昇	バイング則		最大流入距離		周辺地山 表面変状
			$D_{F15}/D_{BBS}$	判定	周辺部	中央部	
G1-1	10cm	1回	6.6	×	無		無
G1-2			33	×	26cm	25cm	地山崩落
G1-3		3回	33	×	34cm	25cm	地山崩落
G1-4			3.2	○	フィルター部へ		無
			0.97	○	3cm		
G1-5		30cm	1回	3.4	○	無	5.5cm
G1-6	33			×	90cm		地山崩落
G1-7	15回		0.75	○	無		無
備考	バイング則の判定の○はダム設計式によるフィルター効果があることを、×はないことを示す。						

況を表-12に示す。また、周辺地山の流入が観察された試験ケースの流入模式図を表-13に示す。

コンクリート廃棄物間隙部に周辺地山が多量に流入したケースは、フィルター効果がないと判定されたG1-2、G1-3およびG1-6であった。これらのケースは、水位上昇時に周辺地山に崩落現象が生じたもので、10cmのコンクリート廃棄物と山砂の組合せでは、コンクリート廃棄物間隙部に流入した周辺地山が $55^\circ$ 程度の勾配で安定した。また、30cmの廃棄物と砕砂の組合せの勾配は、これよりやや小さい $40^\circ$ 程度であった。

フィルター効果があると判定された10cmのコンクリート廃棄物と砕砂を組み合わせさせたG1-5では、コンクリート廃棄物間隙部への周辺地山の流入が若干観察されたが、流入量は他の流入ケースと比較してかなり少なく、周辺地山の崩落現象も観察されなかった。一方、フィルター効果が無いと判定された5mm以下分がある10cmのコンクリート廃棄物と山砂を組み合わせさせたG1-1では、覆土試験と同様に周辺地山の流入が観察されなかった。

### (2) 流入周辺地山の粒度分布

流入した周辺地山の代表的な例として、周辺地山が多量に流入したG1-3とフィルターがあり流入がほとんど目視観察されなかったG1-4およびG1-7の粒度分布を図-17~図-19に示す。フィルターがあるG1-4およびG1-7の粒度分布が試験体作成時の周辺地山の粒度分布とかなり異なる理由は、覆土試験と同様に、使用したフィルターに5mm以下分の小粒径分が含まれていたためである。

表-13 周辺地山流入状況模式図(その1)

No.	G1-2	G1-3	G1-5	G1-6
模 式 図	廃棄物:10cm,周辺地山:山砂 水位上昇:1回 	廃棄物:10cm,周辺地山:山砂 水位上昇:3回 	廃棄物:10cm,周辺地山:砕砂 水位上昇:1回 	廃棄物:30cm 周辺地山:砕砂 
変状	・周辺地山崩落	・周辺地山崩落	・周辺地山表面変状無し	・周辺地山崩落

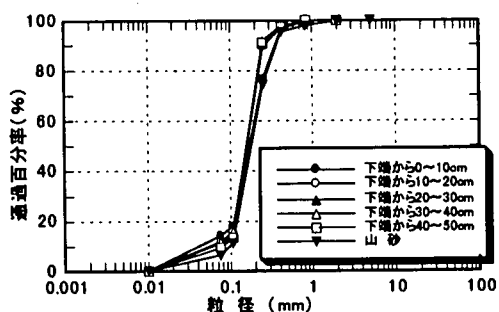


図-17 流入地山の粒径加積曲線 (G1-3, 山砂, Dmax10cm)

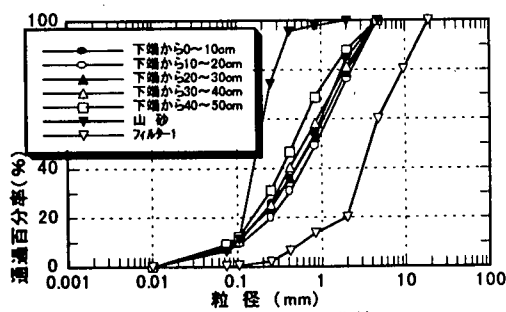


図-18 流入地山の粒径加積曲線 (G1-4, 山砂+フィルター, Dmax10cm)

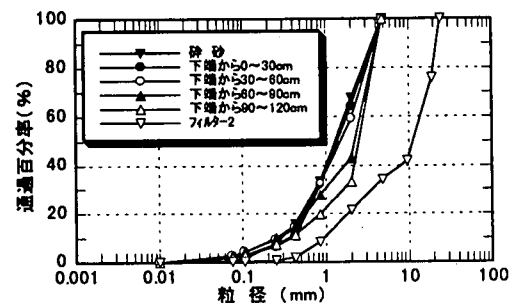


図-19 流入地山の粒径加積曲線 (G1-7, 砕砂+フィルター, Dmax30cm)

10cmのコンクリート廃棄物について、流入周辺地山と試験体周辺地山の平均粒径比と、下端からの高さの関係を図-20に示す。平均粒径比と下端からの高さの関係は、データが少なくややバラツキもあるが、覆土試験結果と異なり、下端からの高さが小さいほど平均粒径比が大きくなる傾向がある。コンクリート廃棄物間隙部に流入した周辺地山は、水位上昇にともない地山の見掛けの粘着力が徐々に失われ、自重との釣り合いが保てなくなった時点で瞬時に崩落し堆積したものである。したがって、覆土のように上部から順次流入してくる流入形態と異なり、崩落によって流入した周辺地山は、粒径の大きいものほど下部に沈降したと考えられる。

大きくなる傾向を示す。

### (3) 流入周辺地山の鉛直方向乾燥質量分布

周辺地山試験ではコンクリート廃棄物の側方からほぼ $40^{\circ}$ ~ $55^{\circ}$ の範囲までしか地山が流入しないため、流入範囲内のコンクリート廃棄物間隙部の体積を明確に算定することが難しい。そこで、周辺地山試験では、鉛直方向の質量分布に着目し、その結果を図-21に示す。

流入した周辺地山の鉛直方向乾燥質量分布は、覆土試験結果と異なり、下端からの高さが小さいほど値が

### (4) 水位上昇回数と周辺地山の流入距離

10cmのコンクリート廃棄物における水位上昇回数と周辺地山流入最大距離の関係を図-22に示す。

$D_{F15}/D_{B85}$ 値が33と大きい5mm以下分のないコンクリート廃棄物と山砂の組合せ(G1-2○印, G1-3▲印)では、覆土試験結果と異なり、水位上昇回数が1回から3回へと増加しても流入最大距離に顕著な相違はない。これは、覆土と周辺地山の流入形態が異なるためと考

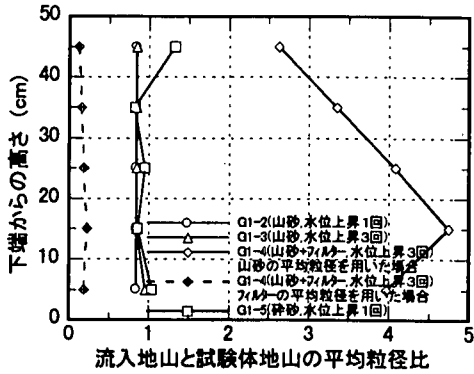


図-20 流入地山と試験体地山の平均粒径比分布 (その1)

えられる。水位上昇時に、覆土は上部から順次コンクリート廃棄物間隙部に流入するのに対し、周辺地山は瞬時に崩落が生じて流入する。このため、周辺地山試験では、一度崩落・流入した地山が安定すると、ある高さで水位が上下変動を繰り返しても、それ以上の崩落・流入は生じないものと考えられる。

以上の結果から、コンクリート廃棄物を地中埋設処分後に、地下水位が一時的に上下変動してコンクリート廃棄物と周辺地山が帯水しても、両境界層に適切な仕様のフィルターを設置することによってコンクリート廃棄物間隙部への周辺地山流入を防止することが可能となり、地表面に沈下や亀裂等の変状は発生しないと考えられる。また、フィルター効果の期待できない周辺地山とコンクリート廃棄物の組合せでも、地山が崩落しコンクリート廃棄物間隙部に流入する勾配等の状況を事前に把握できれば、これらを考慮した適切な周辺地山の掘削勾配にすることで、流入を防止することが可能と考えられる。

## 5. 周辺地山試験結果(その2)

### (1) 山砂および砕砂の内部摩擦角と安息角

周辺地山試験結果(その1)を踏まえ、周辺地山勾配を変化させた試験を実施した。試験を実施するに当たっては、地山材料の山砂と砕砂に対し、三軸圧縮試験(CD試験)と三浦ら<sup>11)</sup>が提案している安息角試験方法を用いて、内部摩擦角と安息角等の基本的な強度定数を把握した。

試験結果を表-14に示す。内部摩擦角および安息角は、山砂が34°と36°、砕砂が39°と40°となり、両定数とも砕砂の方がやや大きくなったが、各材料毎の内部摩擦角と安息角は、ほぼ同一の値となった。また、三浦らによれば、安息角は試験器のベースサイズによって値が異なるとされており、本試験でも7.5cmと15cmの2種

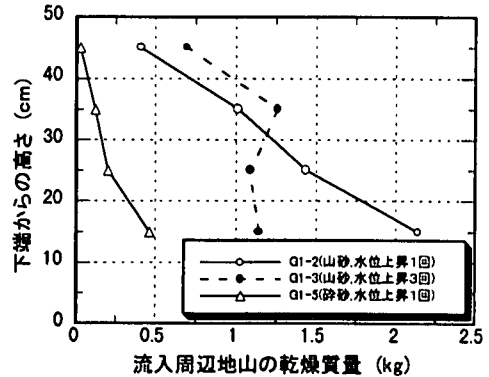


図-21 流入周辺地山の乾燥質量分布 (Dmax10cm)

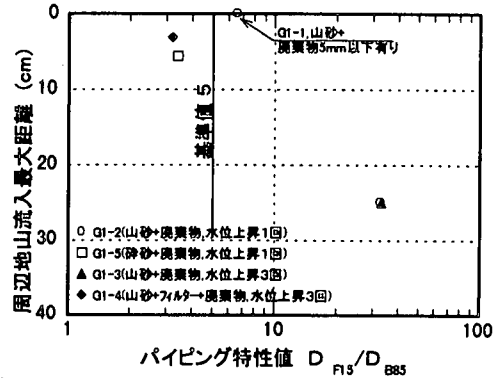


図-22  $D_{F15}/D_{B85}$ と周辺地山流入最大距離 (Dmax10cm)

表-14 山砂と砕砂の内部摩擦角と安息角

	三軸圧縮試験			安息角試験	
	乾燥密度 $\gamma_s(t/m^3)$	内部摩擦角 $\phi$ (°)	粘着力 $c(t/m^2)$	乾燥密度 $\gamma_s(t/m^3)$	安息角 $\phi_{rep}$ (°)
山砂	1.35	34	0.4	1.03	36
砕砂	1.65	39	0.4	1.54	40
備考	・安息角は、ベースサイズが15cmの平均値。				

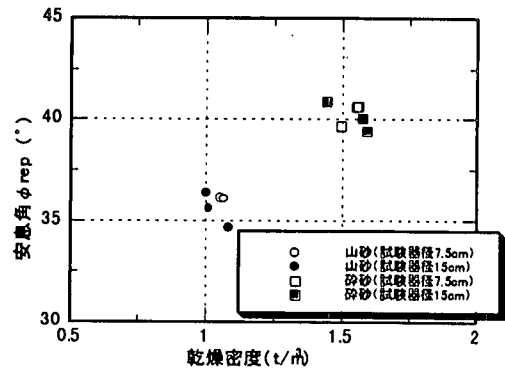


図-23 山砂と砕砂の試験器直径毎の安息角

類のサイズの試験器で試験を実施した。安息角試験で得られた乾燥密度と安息角の関係と、ベースサイズと  $\tan \phi_{rep}$  の関係を図-23および図-24に示す。ベースサイズと  $\tan \phi_{rep}$  の関係については、三浦らの試験結果と

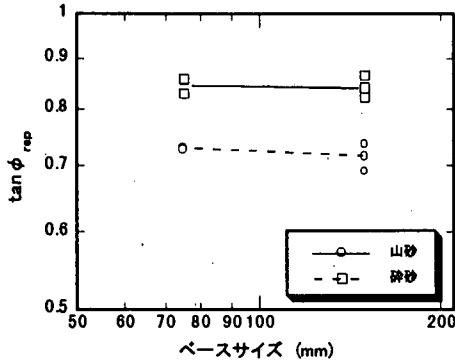


図-24 試験器ベースサイズと安息角の関係

表-15 周辺地山試験(その2)における地山流入結果

No.	周辺地山	Dmax	バイング則 D <sub>95</sub> /D <sub>85</sub>	判定	最大流入 距離	周辺地山 表面変状
G2-1	山砂	90°	—	—	—	地山崩落
G2-2			—	—	—	地山崩落
G2-3			33	×	4.5cm	無
G2-4	山砂	45°	10cm	33	×	無
G2-5			砕砂	60°	無	—
G2-6	砕砂	10cm	3.4	○	無	無
G2-7			45°	3.4	○	無

備考 バイング則の判定の○はダム設計式によるフィルター効果があることを、×はないことを示す。

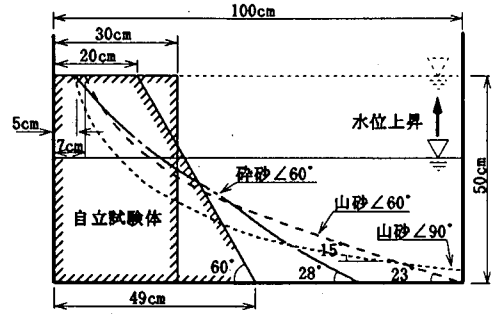


図-25 水位上昇で崩壊した周辺地山状況模式図(コンクリート廃棄物がない場合)

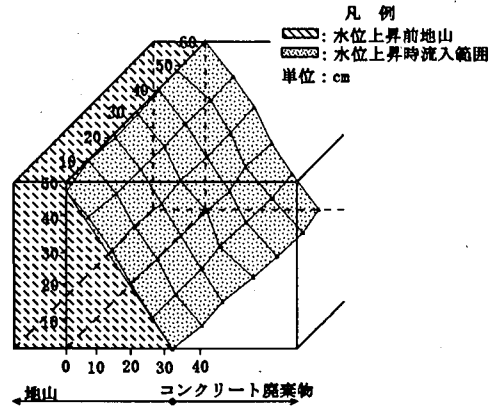


図-26 周辺地山流入状況模式図(山砂勾配60°)

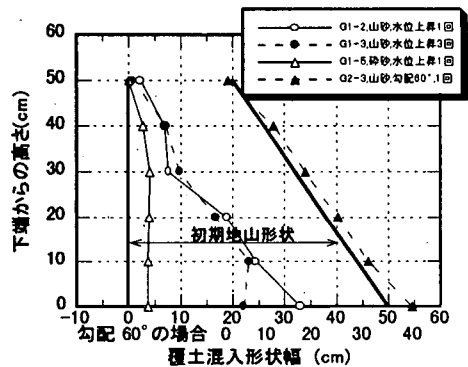


図-27 周辺地山の流入形状分布(Dmax10cm)

同様に、本試験でもベースサイズが小さいほど  $\tan \phi_{rep}$  が若干大きくなる結果となっている。

## (2) 周辺地山流入状況

### a) コンクリート廃棄物がない場合

山砂および砕砂の水位上昇時の崩壊状況を把握するため、自立した山砂および砕砂の試験体を試験槽内に作成し、コンクリート廃棄物がない状態で水位を上昇させた。試験結果を表-15および図-25に示す。なお、表-15にはコンクリート廃棄物がある場合の試験結果も併記している。

山砂の場合には、法面勾配を直角にしたケースで崩壊後の堆積勾配が15°、法面勾配が60°のケースで23°となり、法面勾配が60°の方がやや大きな堆積勾配となったが、両ケースとも安息角よりかなり小さな値となった。これは、水位上昇時における地山の挙動が、連続的に徐々に崩落する形態でなく、瞬時に崩壊する形態のため、崩落した地山が水中で舞い上がるような状態になってから沈降堆積したためである。また、法面勾配が60°の砕砂の地山も同様の崩落形態を示し、崩壊後の堆積勾配は28°となった。試験体法面勾配が60°の場合を比較すると、砕砂が山砂よりやや大きな勾配となっているが、これは砕砂の内部摩擦角および安息角が大きいためと考えられる。

以上の結果から、水位上昇時には、試験体の地山勾

配が小さいほど崩壊後の堆積勾配が大きく安息角に近づく傾向がある。したがって、試験体材料の地山勾配が安息角となると崩壊しなくなると考えられる。

### b) コンクリート廃棄物がある場合

山砂および砕砂の法面勾配が45°と60°の周辺地山上にコンクリート廃棄物を設置し、水位上昇試験を実施した。試験結果は表-15に示したとおりである。

山砂の60°以外では、コンクリート廃棄物間隙部への周辺地山の流入はなく、周辺地山の崩壊も観察されなかった。また、山砂の60°の場合でも、図-26に示すように、流入量は最大で4.5cm程度と極めて少なく、周辺地

山の崩落や表面部の沈下等ほとんど生じなかった。周辺地山を山砂および砕砂の安息角よりかなり大きな勾配で作成したにもかかわらず、流入が生じなかった理由としては、法面上に設置されたコンクリート廃棄物の上載圧によって地山の安定が増したことから、コンクリート廃棄物自体の粒度構成による流入抵抗があるためと考えられる。

山砂の60°と周辺地山試験(その1)における周辺地山のコンクリート廃棄物間隙部への流入状況を図-27に示す。両試験の周辺地山の流入勾配はほぼ一致している。周辺地山試験(その1)では、コンクリート廃棄物と周辺地山は鉛直面に沿って接触しており、コンクリート廃棄物による周辺地山への上載圧はない。したがって、本試験において、安息角より大きな勾配で作成した周辺地山がコンクリート廃棄物間隙部へ流入しなかった理由としては、コンクリート廃棄物自体の粒度構成による抵抗の方が大きかったためと考えられる。

以上の結果から、周辺地山の掘削勾配を安息角程度あるいは適切な勾配に設定すれば、水位上昇によるコンクリート廃棄物間隙部への周辺地山の流入は極めて少なく、表面に沈下や亀裂等の変状が生じないと考えられる。

### (3) 流入周辺地山の粒度分布と乾燥質量分布

水位上昇によりコンクリート廃棄物間隙部に流入した周辺地山の平均粒径比と下端からの高さの関係を図-28に示す。また、鉛直方向の乾燥質量分布を図-29に示す。なお、図-29には、周辺地山試験(その1)の結果も併記した。周辺地山に掘削勾配を考慮した試験ケースでも、周辺地山試験結果(その1)と同様の傾向を示している。

## 6. 事前混合試験結果

水位上昇時におけるコンクリート廃棄物間隙部への覆土あるいは周辺地山の流入防止方法として、事前にコンクリート廃棄物間隙部に強制的に覆土材を混合して締固め、覆土や周辺地山表面の沈下や亀裂を防止し、変状を生じさせない方法が考えられる。ここでは、覆土を事前混合したコンクリート廃棄物に対し水位上昇させた試験結果を示す。

試験を実施するに当たり実施した締固め試験結果と、本試験に用いた試験体の乾燥密度を図-30に示す。同図は30cmのコンクリート廃棄物中に5mm以下の砕砂を人力で投入・混合し締固めたもので、5mm以下分の混合量と締固め後の乾燥密度に密接な関係があることがわかる。砕砂を30%程度以上混合すると混合試験体

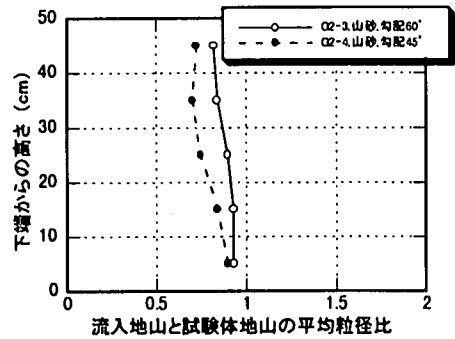


図-28 流入地山と試験体地山の平均粒径比分布(その2)

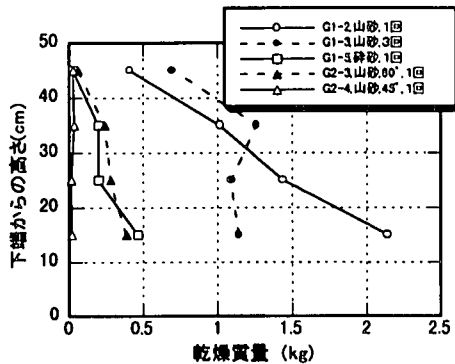


図-29 周辺地山試験における流入地山乾燥質量分布

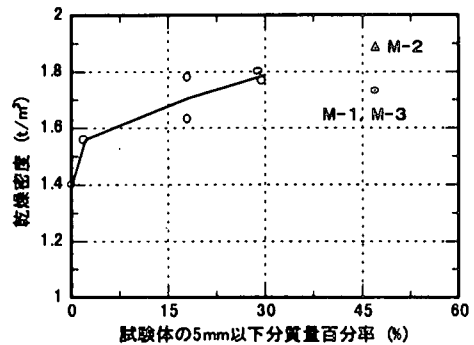


図-30 事前混合試験体の5mm以下分質量百分率と乾燥密度

の密度増加傾向は小さくなる。試験体乾燥密度が小さいものが試験ケースM-1およびM-3、大きいものがM-2を示す。

水位上昇試験結果を表-16に示す。試験ケースM-1およびM-3は、試験装置の都合上、10cm角のバタ角を用いて人力で試験体を締固めたため、混合した砕砂の乾燥密度が1.10~1.13t/m<sup>3</sup>とやや小さく、水位上昇によって混合砕砂の沈下が生じて、覆土および周辺地山がコンクリート廃棄物間隙部に流入した。そこで、タンパで締固めできるように試験装置を鋼板等で補強・改良し、M-2の試験を実施した。なお、M-2では試験装置を改良したため、水位上昇時に覆土流入状況を

表-16 事前混合試験覆土流入状況模式図

No.	M-1	M-2	M-3
模	鉛直方向 水位上昇:1回	鉛直方向 水位上昇:15回	水平方向 水位上昇:1回
式			
変状	・覆土流入	・覆土表面変状は四隅以外無し	・周辺地山流入
備考	・コンクリート廃棄物:30cm, 覆土および周辺地山: 砕砂		

観察することができなかった。

M-2はタンパで試験体を締め固めたため、混合した砕砂の乾燥密度が $1.37t/m^3$ とやや大きく、タンパで十分締め固めができなかった四隅で水みちが生じたものの、水位上昇を15回繰り返しても四隅以外の覆土表面部に沈下等の変状は発生しなかった。したがって、コンクリート廃棄物間隙部に強制的に覆土材を混合して締め固める事前混合方法でも、締め固めを十分実施することによって、水位上昇時にコンクリート廃棄物間隙部への覆土流入を防止できることが確認された。

## 7. まとめ

埋設処分された極低レベル放射性コンクリート廃棄物周辺の地下水位が一時的に上昇する場合を想定し、コンクリート廃棄物間隙部への覆土や周辺地山の流入状況と、流入によって引き起こされる地表面の沈下や亀裂等の有無を確認する試験を実施した。また、コンクリート廃棄物間隙部への覆土や周辺地山の流入を防止するため、両材料の境界部にフィルターを設置する方法と、コンクリート廃棄物間隙部へ強制的に覆土材を混合し締め固める方法について試験を実施した。その結果、以下のことがわかった。

- ①埋設時において、コンクリート廃棄物間隙部に強制的に覆土を混合し十分締め固めることによって、地下水位上昇時に覆土あるいは周辺地山の間隙部への流入防止が可能となり、覆土表面には沈下や亀裂が発生しない。
- ②地中埋設処分後のコンクリート廃棄物上に設置される覆土と周辺地山は、粒度分布の組合せによっては地下水位上昇時にコンクリート廃棄物間隙部へ流入することがあり、覆土表面に沈下や亀裂が生じる可能性がある。

③コンクリート廃棄物間隙部に流入する覆土量は、水位上昇回数が増加するにしたがって増える傾向を示すが、周辺地山の場合には1度の水位上昇でほとんど全ての周辺地山が崩落するため、その後、水位上昇回数が増加しても顕著な流入量の増加は少ない。

- ④覆土あるいは周辺地山がコンクリート廃棄物間隙部に流入するかどうかを判定するに当たっては、ダム設計のパイピング則の値が目安となる。しかし、 $D_{F15}/D_{B85}$ 値が6.6と基準値よりやや大きく、パイピング則を満たさない場合でも覆土が流入しないことがあり、あくまで覆土流入判定のための一つの目安を与えるものととらえるべきである。
- ⑤覆土あるいは周辺地山のコンクリート廃棄物間隙部への流入を防止する方法としては、境界部へ適切な仕様のフィルターを設置する方法がある。
- ⑥周辺地山については、フィルターを用いる方法と埋設時に事前混合する方法以外に、適切に地山掘削勾配を考慮することによってコンクリート廃棄物間隙部への流入を防止することが可能である。このときの掘削勾配は、本試験条件では $40^\circ \sim 55^\circ$ 程度であったが、安全を見込む場合には周辺地山の安息角が目安となる。

**謝辞:** 本試験は通産省資源エネルギー庁の委託により(財)原子力環境整備センターが受託し実施したものである。試験を実施するに当たっては、埼玉大学町田教授をはじめとする各検討委員の方々と、(財)原子力環境整備センター研究第一部長平田征弥氏、吉田弘明氏から多くの御指導と御助言をいただいた。ここに、関係各位の皆様深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 総理府原子力安全委員会: 低レベル放射性固体廃棄物

- の陸地処分の安全規制に関する基準値について(第2次中間報告), 科学技術庁, pp.4~5, 1992.
- 2) 通商産業省資源エネルギー庁長官官房総務課編: 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄物埋設の事業に関する規則, pp.783~821, ケイブزن出版, 1995.
  - 3) 高津忠, 今井淳, 柳澤栄司, 三田地利之, 唯野英輝, 安部聡: コンクリート廃棄物の粒度特性と締固め特性, 土木学会論文集, No.581, VI-37, pp.131~143, 1997.
  - 4) 高津忠, 今井淳, 柳澤栄司, 三田地利之, 唯野英輝, 安部聡: 締固めたコンクリート廃棄物の間隙分布と鉛直方向密度分布, 土木学会論文集, VI-40, pp.107~122, 1998.
  - 5) 土質工学会: 土質試験の方法と解説, pp.271~288, pp.201~214, 1990.
  - 6) 西垣誠, 黒川正宏, 河野伊一郎: フィルター材の目詰まりに対する実験的検討, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, pp.146~147, 1995.
  - 7) 永山功, 高須修二, 大根義男, 松本徳久: フィルグムの設計, 土木工学ハンドブック, pp.1347~1351, 1989.
  - 8) 伊藤克彦, 大北康治, 松澤宏: 砕石ドレーンにおける目詰り防止に関する研究, 土木学会論文集No.439/III-17, pp.53~63, 1991.12.
  - 9) 本城勇介: フィルター性能に関する統計解析と改良された設計基準の提案, 第21回土質工学研究発表会, pp.1659~1662, 1986.
  - 10) 中島豊, 伊藤克彦, 大北康治, 島岡久寿: 砕石ドレーンに用いる砕石粒度分布について, 第20回土質工学研究発表会, pp.749~750, 1985.
  - 11) 三浦均也, 前田健一, 土岐祥介: Method of Measurement for the Angle of Repose of Sands, Soils and Foundations, Vol.37, No.2, pp.89~96, 1997.
- (1998.1.8受付)

## INFILTRATION PROPERTIES OF COVERING SOIL INTO THE VOID OF BURIED CONCRETE WASTE DUE TO FLUCTUATION OF GROUND WATER LEVEL AND ITS PREVENTION

Tadashi TAKATSU, Jun IMAI, Eiji YANAGISAWA, Toshiyuki MITACHI,  
Hideki TADANO and Satoshi ABE

Low level radioactive concrete waste will be produced in future by breaking up the nuclear facilities, and the waste will be disposed in shallow depth of ground. In order to prepare for those situation, it is needed to clarify the infiltration properties of the covering soil into the void of buried concrete waste due to the fluctuation of ground water level and to develop the prevention methods against the infiltration of the covering soil.

In this study, full-scale concrete structure specimens were broken up, and were compacted in large scale testing boxes and a series tests changing water level up and down in the concrete waste and covering soil were performed. From the test results, it was found that the appropriate filter installed between the covering soil and the concrete waste, enables us to prevent the infiltration of covering soil into the void of concrete waste.