

汚泥処理に関する研究(その2)

川原 浩 土田 稔 吉井戸 良雄

遠藤 郁夫 左合 正雄

(早稲田大学理工学部)

(東京都立大学工学部)

前報¹⁾では各種下水汚泥、しゅんせつ汚泥を対象として固形成の可能性、経済性を加味しながら、固化体の圧縮強度をファクターとして、確実に硬化すると考えられる配合を検討した。そのなかで、汚泥の性状、とくに有機物含有量の強度に及ぼす影響が不明確であったことと、固化体からの渗出について報告できなかったため、それらについて報告する。

1 汚泥の固形成—有機物含有量と強度の関係

(1) 試料

試料は芝浦下水処理場の下水汚泥(含水率96%, 有機物含有率60%), 消化汚泥(含水率95%, 有機物含有率47%)である。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。

(2) 実験方法

配合はC/S (C=セメントの重量, S=下水汚泥の湿

潤重量) = 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 と変化させた。練りませには、モルタルミキサーを用い、その順序はまず試料を入れ、次にセメントを入れ、低速回転1分後、高速回転2分間練りませた。型枠は三連型枠を用いた。フロー値がかなり大きく液状なので、一層で型枠に流し込み、木槌で軽く型枠の側面をたたいて締固めた。

(3) 実験結果と考察

① 生汚泥の固形成

下水汚泥のセメントによる固形成は、汚泥に対するセメントの重量比、汚泥の含水率および汚泥の性質(とくに汚泥中の有機物含有量)によってかなりの影響をうけるものと考えられ、これらの関係について検討を加えた。

図1は、含水率96%、有機物含有率60%の生汚泥に市販のフライアッシュを加え、有機物含有量を調整した試料を用いて σ_{28} と C/S との関係を示したものである。

図2は各 C/S に対しての σ_{28} と有機物含有量との関

図1 生汚泥有機物含有率と σ_{28} 強度の関係

(含水率96%)

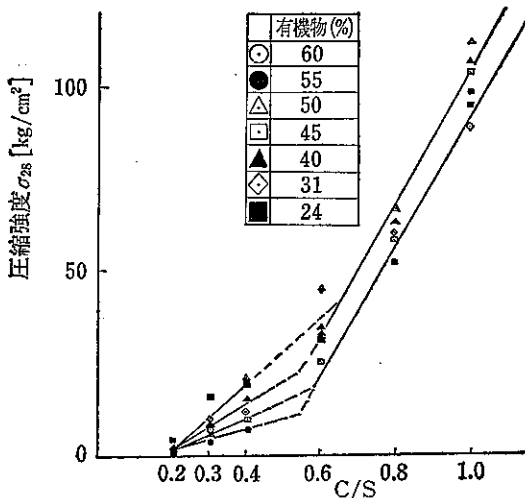
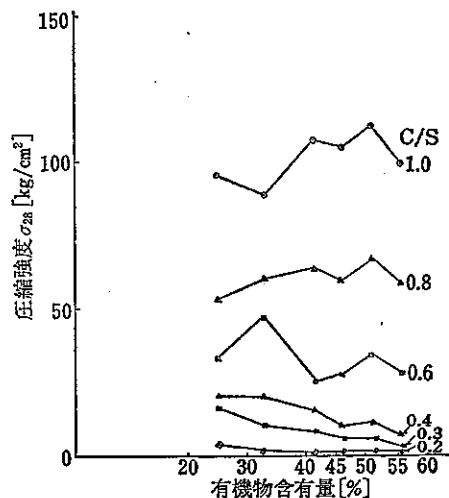


図2 生汚泥有機物含有率と σ_{28} 強度の関係

(含水率96%)



係である。

これらから、下水の生汚泥のセメントによる固化では、C/Sが0.6以上になると σ_{28} に対してセメント量の影響が大きく、有機物含有量の影響はほとんど見られなかった。C/Sが0.2~0.6の範囲では σ_{28} に対して有機物含有量の影響が大きくなっている。また、硬化のための最小セメント配合は、C/S=0.2であった。

図1から σ_{28} とC/Sの関係は、C/S=0.6を限界点として次の式を求めることができた。

C/S=0.2~0.6の場合

有機物含有量(%)

20~30 $\sigma_{28} = -16.6 + 93C/S \dots\dots(1)$

40 $\sigma_{28} = -11 + 65C/S \dots\dots(2)$

45~50 $\sigma_{28} = -7.0 + 45C/S \dots\dots(3)$

55~60 $\sigma_{28} = -3.4 + 27C/S \dots\dots(4)$

(1), (2)式, (3), (4)式をまとめると,

20~45 $\sigma_{28} = -11 + 65C/S \dots\dots(1')$

45~60 $\sigma_{28} = -7.0 + 45C/S \dots\dots(3')$

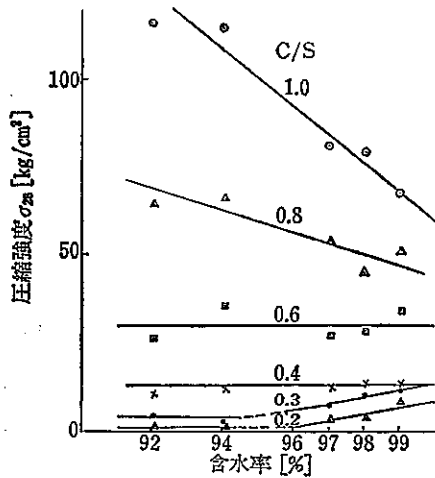
とすることができる。また,

C/S=0.6~1.0の場合

有機物含有量(%)=20~60で $\sigma_{28} = -a + 180C/S$;
($a=86\sim103$) $\dots\dots(5)$

であった。図3から含水率との関係は次のとおりであっ

図3 生汚泥 σ_{28} 強度と含水率の関係
(有機物含有量60%)



た。(含水率(%)) = $\frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100$, ただし W_d : 乾燥汚泥重量, W_w : 湿潤汚泥重量 - 乾燥汚泥重量。含水比 = W_w/W_d とは異なる。²⁾

C/S ただし, W: 含水率 (92~99%)

1.0 $\sigma_{28} = 125 - 8W \dots\dots(6)$

0.8 $\sigma_{28} = 70 - 3.3W \dots\dots(7)$

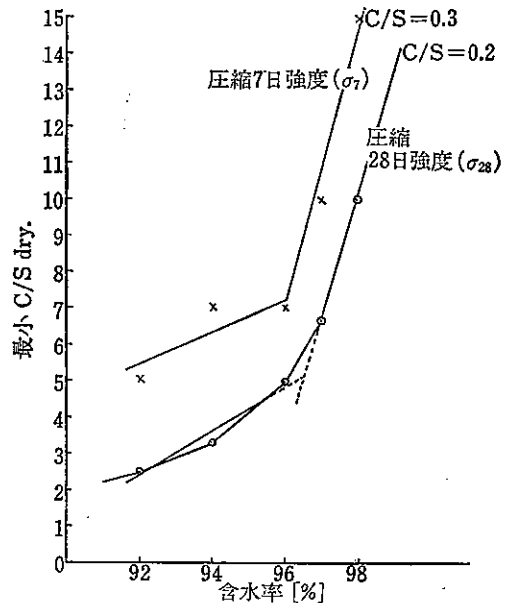
0.6 $\sigma_{28} = 30 \dots\dots(8)$

0.4 $\sigma_{28} = 13 \dots\dots(9)$

表1 生汚泥の硬化日数

		含水率 (%)					
養生水	C/S	92	94	96	97	98	99
海	1.0	3	4	3	1	1	1
	0.8	4	5	4	3	2	2
	0.6	5	7	12	6	6	6
	0.4	8	8	16	20	9	17
	0.3	10	19	16	23	19	20
水	0.2	29	27	41	40	34	28
	1.0	3	4	3	1	1	1
	0.8	4	4	4	2	2	2
	0.6	7	7	6	4	3	3
	0.4	7	7	6	6	5	5
水	0.3	14	13	13	14	6	6
	0.2	28	27	23	20	15	15

図4 生汚泥の単位固形物量に対する最小セメント量



$$0.3 \quad \sigma_{28} \begin{cases} =4 & (92\sim 96\%) \\ =-167+1.8W(96\sim 99\%) \end{cases} \dots\dots(1)$$

$$0.2 \quad \sigma_{28} \begin{cases} =1 & (92\sim 96\%) \\ =-162+1.8W(96\sim 99\%) \end{cases} \dots\dots(1)$$

図4は σ_7 および σ_{28} と含水率との関係である。含水率を96%以下に脱水するよりも、96%まで含水率を下げることがセメント使用量の低減率が大きい。また、下水汚泥中の固形分濃度が8%以上では攪拌が困難である。したがって、汚泥の含水率92~96%の範囲で、固形化のための最小セメント量は乾燥汚泥1kgに対し5~7.5kgである。実験室的にはC/S=0.2で含水率92~99%の汚泥が固化することが確かめられており、この場合乾燥汚泥

図5 消化汚泥の σ_7 強度とC/Sとの関係

(含水率96%)

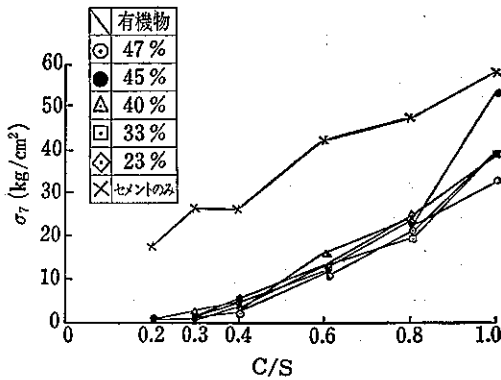
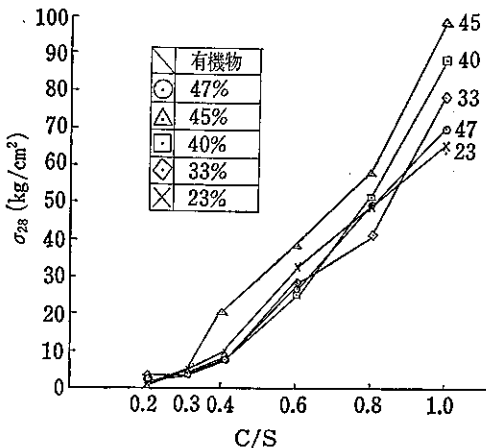


図7 消化汚泥のC/Sと σ_{28} 強度との関係

(含水率96%)



1kgに対し最小セメント量は2.5~5kgとなる。

表1は汚泥とセメントを練り混ぜた後、淡水および海水で水中養生し、硬化日数を調べたものである。硬化日数は、淡水養生より海水養生の方が長く、同一含水率の汚泥においては、いずれも淡水養生の方が強度は大きい。海水の場合、セメントペーストが凝集沈澱を起こし淡水に比較してかなり体積が膨化するためと思われる。

② 消化汚泥の固形化

図5.6は消化汚泥中の有機物含有量と σ_7 の関係である。

これらの図から σ_7 は有機物含有量にほとんど影響されず、C/Sによって決定されることがわかる。

図6 消化汚泥の σ_7 強度と有機物との関係

(含水率96%)

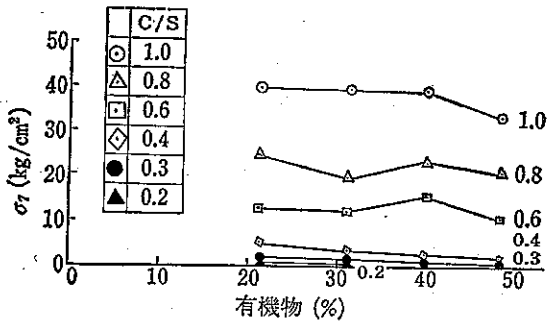


図8 消化汚泥の有機物含有量と σ_{28} 強度との関係

(含水率96%)

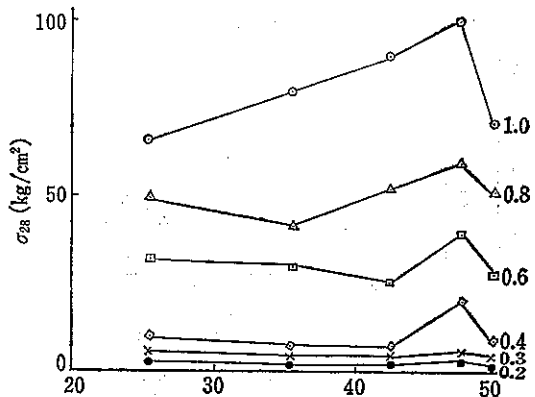


図9 消化汚泥の C/S と σ_{28} との関係

.....(16)

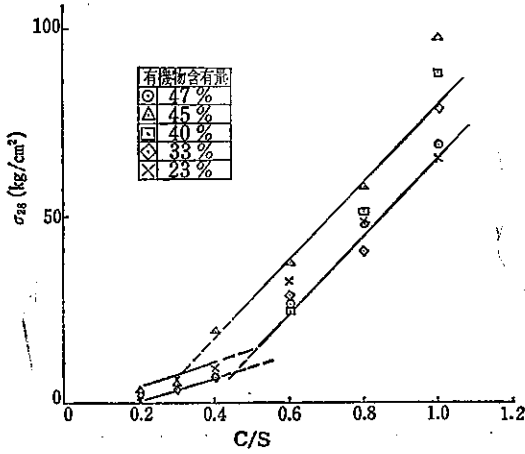


図7, 8は σ_{28} と C/S および有機物含有量の関係である。さらに図9から C/S と σ_{28} の関係を求めると C/S = 0.4 を限界として、次の関係が得られた。

C/S

0.2~0.4 $\sigma_{28} = -a + 35C/S$; (a=3~6)(12)

0.6~1.0 $\sigma_{28} = -b + 106C/S$; (b=26~40)(13)

図10, 11は含水率96%, 有機物含有量47%の消化汚泥に水道水を加え、含水率97, 98, 99%の試料を製し、 σ_7 と C/S および含水率の関係を示したものである。

図12, 13は σ_{28} と C/S および含水率の関係を示したものである。含水率と強度の関係は C/S = 一定ならば96~99%の範囲では含水率の影響は小さい。

図14から C/S と σ_{28} の関係は、C/S=0.5 を限界点として、次の関係が得られた。

C/S 含水率(%)

0.2~0.5 { 98~99 $\sigma_{28} = -4 + 35C/S$ (14)

{ 96~97 $\sigma_{28} = -2 + 16C/S$ (15)

0.5~1.0 96~99 $\sigma_{28} = -c + 115C/S$; (c=36~42)

図15は σ_7 における単位固形物量に対する最小セメント量である。最小セメント量は汚泥の含水率92~96%の範囲では生汚泥と同様、乾燥消化汚泥 1kg 当たり 5 ~ 7.5kg である。

2 固形化汚泥の滲出試験

セメントによる汚泥の固形化において考慮しなければならないことは、固化体の強度とともに固化体からの重金属類の滲出の抑止である。今回はしゅんせつ汚泥、下水汚泥を対象に、セメント量が少なくて確実に固化すると思われる配合で固形化し滲出試験を行なった。

(1) 試験方法

しゅんせつ汚泥、下水汚泥の固化体 (4cm x 4cm x 16cm) 3本を4.5ℓの海水・淡水に浸漬させた。浸漬液は浸漬後7日目、28日目、56日目で更新し、それぞれの重金属類濃度を測定した。浸漬液は、実験期間中約20°Cに維持された。

(2) 実験結果

① セメント固化体の滲出試験

固形化のブランクテストとして早強ポルトランドセメントを用いて試験した。表2には固形化に用いたセメント中の重金属類含有量を示した。このセメントで固形化し、固化体 (4cm x 4cm x 16cm) 3本を4.5ℓの水に浸漬させた。表3はその結果である。

表2 セメントに含まれる重金属類含有量 (μg/g)

試料	Cd	Pb	As	Cr	Cu	Zn	備考
A	0.9	60	28	190	125	959	普通ポルトランドセメント
B	2.3	99	56	51	94	570	早強セメント
C	0.9	135	9	42	179	1,490	早強セメント

表3 セメント・ブランク試験

養生期間	配合			養生水量 (ml)	圧縮強度 (kg/cm ²)	浸出液中濃度 (ppm)						
	c/w	セメント(g)	注水量(g)			シアン	総水銀	有機リン	カドミウム	総クロム	ヒ素	鉛
7日	0.4	360	900	1500	29	0.00	0.000	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02
28日	0.4	360	900	1500	63	0.00	0.000	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01
56日	0.4	360	900	1500	84	0.00	0.000	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00

図10 消化汚泥の σ_1 強度と C/S との関係 有機物47%

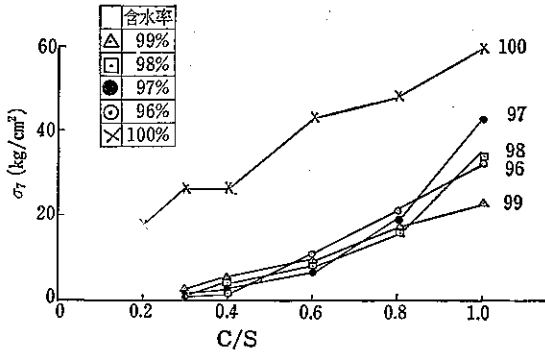


図11 消化汚泥の σ_1 強度と含水率との関係 有機物47%

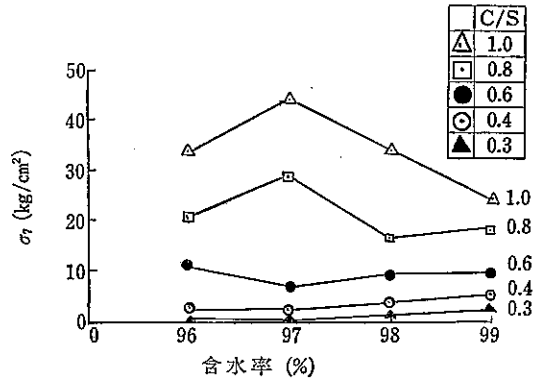


図12 消化汚泥の C/S と σ_{28} との関係 有機物47%

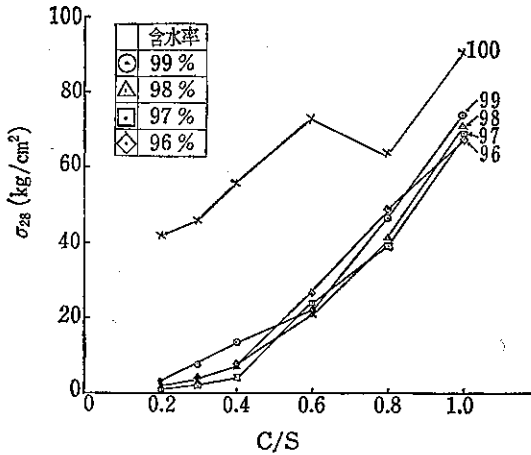


図13 消化汚泥の含水率と σ_{28} との関係 有機物47%

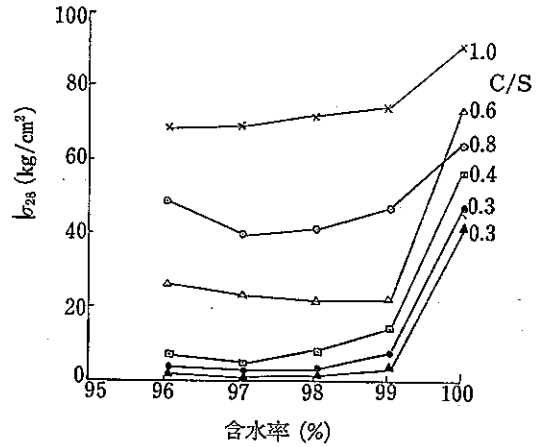


図14 消化汚泥の σ_{28} と C/S との関係 有機物47%

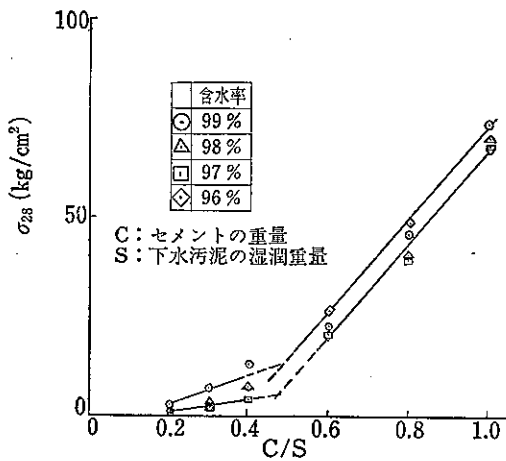


図15 消化汚泥 (7日強度) の単位固形物量に対する最小セメント量 有機物47%

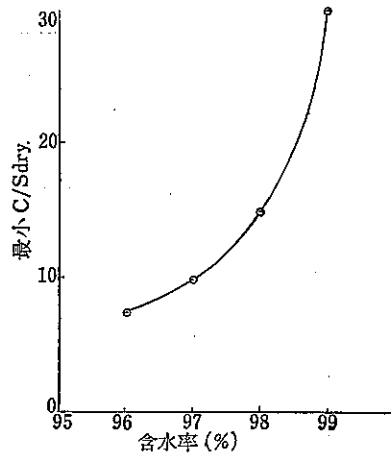
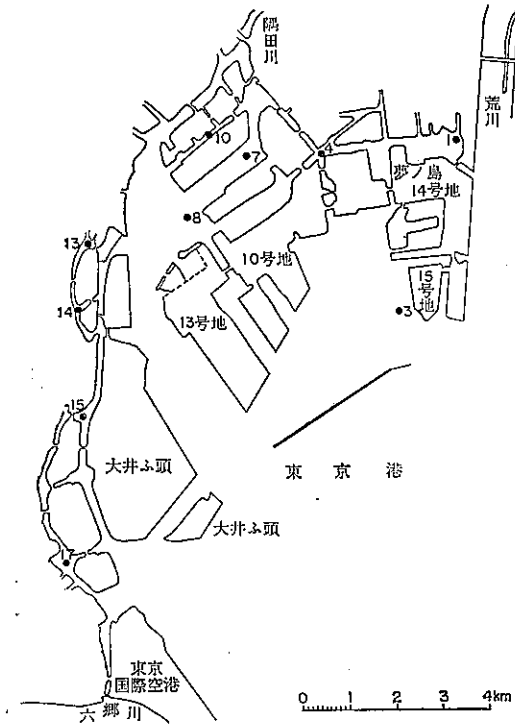


図16 しゅんせつ汚泥採取地点



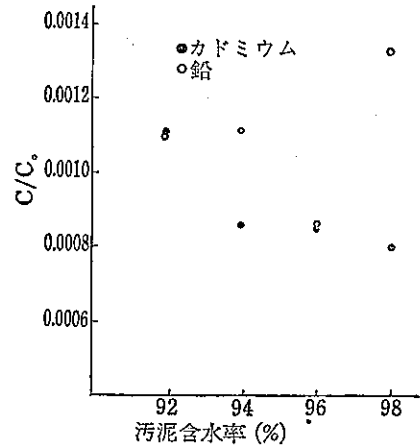
② しゅんせつ汚泥固化体の渗出試験

4日間恒温恒湿室(20°C)で養生・固化させた供試体(4cm×4cm×16cm)を(i)試験方法で述べた方法で渗出試験を行なった。図16は試料の採取地点、表4は試料の重金属類含有量、表5は渗出試験結果である。

③ 下水汚泥固化体の渗出試験

恒温恒湿室で養生・固化させた供試体(4cm×4cm×

図17 ブリージング液中濃度と汚泥含水率の関係



16cm)を(i)試験方法で述べた方法で渗出試験を行なった。表6は試料の重金属類含有量、表7,8は渗出試験結果である。

(3) 考察

① しゅんせつ汚泥固化体からの重金属類の渗出はみられなかったが、下水汚泥の一部分にクロムの渗出がみられた。これは灰の固化体であるSAとOAのうち前者においてみられた。この差は表6,9に示したように、汚泥の圧縮強度の影響ではなく、表6に示したように固化体のクロム濃度の違いによるものと思われる。寺島・岩井らの研究によれば、金属によって溶出形態が異なり、たとえば⁹⁰Sr, ¹³⁷Csは固化体内拡散が支配的であり、それは空隙性などに依存し、⁶⁰Coはセメント水和物との結合性が高く、固化体の表面の溶解・はくりに基

表4 しゅんせつ汚泥中の含有量

試料名	乾燥汚泥に対する含有量 μg/g								含水率 (%)
	ツアン	アルキル水銀	総水銀	有機リン	カドミウム	総クロム	ひ素	鉛	
TS-1	0.0	0.00	1.87	0.4	2.4	178	8.7	46.2	39.07
TS-3	0.0	0.00	0.36	0.2	0.6	16	4.7	23.4	66.10
TS-4	0.0	0.00	0.72	0.4	1.6	142	12.2	65.2	45.89
TS-7	0.0	0.00	2.36	0.1	2.8	112	11.8	120	58.03
TS-8	0.0	0.00	0.34	0.0	0.4	110	7.3	17.9	51.21
TS-10	0.0	0.00	1.68	0.3	2.2	109	12.8	114	53.45
TS-13	0.0	0.00	1.43	0.9	5.6	224	1.8	105	81.03
TS-14	0.0	0.00	0.33	0.1	1.2	136	5.9	25.6	55.14
TS-15	0.0	0.00	0.50	0.0	0.4	123	4.8	12.9	44.57
TS-17	0.0	0.00	0.40	0.4	3.8	142	4.5	26.9	74.05

表5 しゅんせつ汚泥滲出試験結果

(水温 20°C)

試料名	配合重量比 注：水： 料 量	浸水期間中 の材令(日)	浸水 期間 (日)	水の 種類	浸 漬 水 中 の 濃 度 (ppm)							
					シアン	アルキル 水 銀	総水銀	有機リン	カ ド ミ ウ ム	総 クロ ム	ひ 素	鉛
TS-1	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-3	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-4	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-7	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-8	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-10	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-13	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-14	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-15	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
TS-17	5:0:2	4~11	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	11~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	4~11	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	13~32	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	//	32~60	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0

表6 各処理場の調査結果

(単位 $\mu\text{g}/\text{湿汚泥 } 1\text{g}$)

項目 試料名	ンアン	アルキル 水銀	総水銀	有機リン	カドミ ウム	総クロム	ひ素	鉛	水分(%)
O・R・S	0.0			0.3	3.30	114	1.7	38.7	
O・D・S	0.0			0.2	1.90	75.7	0.6	24.7	
O・Dw・S	0.6			0.3	1.63	55.4	0.5	34.2	
O・D・C	10.2		12.2	1.6	13.8	379	4.8	186	72.1
O・Sp・L	0.1			0.0	0.10	2.2	0.0	0.9	
O・Fi	0.1			0.0	0.09	0.0	0.0	0.0	
O・A	0.4	0.00	0.03	0.4	20.9	1664	19.1	782	4.7
ORHSpL	0.0			0.0	0.0	3.5	0.2	0.1	
O・R・HFi	0.0			0.0	0.1	3.5	0.3	0.2	
O・R・H・C	0.0		14.1	2.4	18.6	566	6.0	222	68.0
O・R・C・Fi	0.0			0.0	0.00	0.3	0.0	0.1	
O・R・C・C	12.9		9.00	2.5	8.80	274	4.1	110	79.5
O・R・F・Fi	0.0			0.0	0.01	0.5	0.0	0.5	
O・R・F・C	0.0		11.5	2.3	14.0	682	4.7	1116	76.2
U・R・S	1.2			0.2	6.70	374	0.3	861	
U・R・Dw・S	7.9			0.1	2.70	164	0.3	395	
U・R・C	29.3	0.00	0.74	0.7	22.7	1205	1.7	3660	74.5
U・R・Fi	0.5			0.0	0.20	13.9	0.0	31.0	
助剤FeCl ₃ (38%)	0.0			0.0	0.00	381	0.0	17.1	
URHSpL	0.0			0.0	0.01	6.80	0.2	1.0	
U・R・H・Fi	0.0			0.0	0.10	11.4	0.1	14.0	
U・R・H・C	2.8		0.80	1.2	44.3	2738	4.0	7029	66.9
U・R・C・Fi	0.4			0.0	0.02	1.00	0.1	3.3	
U・R・C・C	54.2		0.90	1.0	24.3	1316	2.6	3435	75.7
U・R・F・Fi	0.1			0.0	0.03	1.20	0.1	4.8	
U・R・F・C	13.6		1.30	1.0	32.3	2045	3.7	4950	72.5
S・R・S	0.0			0.3	1.00	194	2.4	24.9	
S・D・S	0.0			0.3	4.30	180	1.7	23.0	
S・R・C	8.9	0.00	1.02	2.7	6.10	771	9.0	148	76.3
S・D・C	0.5		1.12	1.3	7.40	989	8.5	17.3	74.9
S・R・Dw・S	0.7			0.2	0.60	79.7	1.1	15.6	
S・D・Dw・S	0.1			0.2	1.05	184	1.4	21.1	
S・R・Sp・L	0.0			0.1	0.30	19.6	0.2	4.5	
S・R S・D}Fi	0.2			0.0	0.00	0.3	0.0	0.1	
S・A	1.4	0.00	0.03	0.4	9.30	4096	49.6	294	0.80
助剤 Ca(OH) ₂	0.0	0.00	0.03	0.0	1.00	12.0	0.4	4.1	0.49
S・R・H・SpL	0.0			0.0	0.03	5.30	0.3	0.9	
S・R・H・Fi	0.0			0.0	0.01	4.10	0.3	0.3	
S・R・H・C	0.0		2.06	1.3	13.0	2509	24.0	374	70.1
S・DHSpL	0.0			0.0	0.01	3.70	0.3	0.2	
S・D・H・Fi	0.0			0.0	0.05	8.50	0.2	1.1	
S・D・H・C	0.0		2.46	1.4	13.0	2316	16.8	337	3.5
S・R・C・Fi	0.1			0.0	0.01	0.60	0.0	1.2	
S・R・C・C	0.0		0.73	1.5	5.00	94.5	22.3	134	81.6
S・D・C・Fi	0.1			0.0	0.01	1.60	0.0	0.4	
S・D・C・C	0.5		0.94	0.7	6.70	1115	13.2	166	8.0
S・R・F・Fi	0.0			0.0	0.00	0.70	0.0	0.2	
S・R・F・C	0.0		1.65	2.1	6.80	1304	16.1	198	78.2
S・D・F・Fi	0.1			0.0	0.01	2.00	0.0	0.4	
S・D・F・C	0.0		1.31	0.6	25.5	1561	7.0	2402	81.7

表7 下水汚泥滲出試験結果

(水温 20°C)

試料名	配合重量比 注セメント :水:量	浸水期間中 の材令(日)	浸水 期間 (日)	水の 種類	浸 漬 水 中 の 濃 度 (ppm)								
					シアン	アルキル 水銀	総水銀	有機リン	カドミ ウム	総 クロム	ひ 素	鉛	
SRS-1	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.001	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
ORS-1	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.1	0.00	0.0
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
URS-1	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.2	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.2	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.1	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.2	0.00	0.0
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.1	0.00	0.0
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
URS-2	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.3	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.2	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.1	0.00	0.1
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
SRS-3	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
SDS-1	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
SDS-3	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
ODS-1	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
	5 : 0 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.1	0.00	0.0
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
SRC-1	4 : 1 : 2 // //	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
	4 : 1 : 2 // //	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	
		35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	

表8 下水汚泥滲出試験結果

(水温 20°C)

試料名	配合重量比 注 :水: 料 量 メント	浸水期間中 の材令(日)	浸水 期間 (日)	水の 種類	浸 漬 水 中 の 濃 度 (ppm)							
					シアン	アルキル 水 銀	総水銀	有機リン	カドミ ウム	総 クロム	ひ 素	鉛
URC-1	4 : 1 : 2	7~14	7	淡水	0.1	0.000	0.001	0.00	0.00	0.0	0.00	0.4
	〃	14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.1
	〃	35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
URC-1	4 : 1 : 2	7~14	7	海水	0.1	0.000	0.001	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	14~35	21		0.1	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.1
	〃	35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
SDC-1	4 : 1 : 2	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.001	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
SDC-1	4 : 1 : 2	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.001	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
ODC-1	4 : 1 : 2	7~14	7	淡水	0.0	0.000	0.001	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
ODC-1	4 : 1 : 2	7~14	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	14~35	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	35~63	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
SA-1	10 : 8 : 1	1~8	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.2	0.00	0.0
	〃	8~24	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
SA-1	10 : 8 : 1	1~8	7	海水	0.1	0.000	0.000	0.00	0.00	1.9	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.1	0.000	0.000	0.00	0.00	1.1	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.4	0.00	0.0
SA-2	10 : 8 : 1	1~8	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.2	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
SA-2	10 : 8 : 1	1~8	7	海水	0.1	0.000	0.000	0.00	0.00	1.8	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.1	0.000	0.000	0.00	0.00	0.9	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.3	0.00	0.0
SA-3	10 : 8 : 1	1~8	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.3	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.2	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
SA-3	10 : 8 : 1	1~8	7	海水	0.1	0.000	0.000	0.00	0.00	1.4	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.4	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
OA-1	10 : 8 : 1	1~8	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
OA-1	10 : 8 : 1	1~8	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
OA-2	14 : 8 : 1	1~8	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
OA-2	10 : 8 : 1	1~8	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
OA-3	10 : 8 : 1	1~8	7	淡水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.1	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
OA-3	10 : 8 : 1	1~8	7	海水	0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.2	0.00	0.0
	〃	8~29	21		0.0	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
	〃	29~57	28		0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0

(注) 滲出試験に用いた淡水、海水の各項目の分析値は、いずれも検出せずであった。

表9 配合および試験結果表

(* 海水養生)

No	試料名称	試料の含水率 (%)	配 合					フロー値 (mm)	出来上り量 (kg/m ³)	硬化後の単位体積重量 (kg/m ³)				圧縮強度(kg/cm ²)			
			灰 A (g)	セメント C (g)	水 W (g)	C/W				材令 7日	材令 14日	材令 28日	材令 70日	材令 7日	材令 14日	材令 28日	材令 70日
						A	C+A										
1	OA-1	1.49	2000	200	1599	0.10	0.727	999	1600	1580	1590	1610	$\frac{1600}{1620^*}$	22	29	36	$\frac{42}{36^*}$
2	OA-2	0.48	2000	200	1599	0.10	0.727	192	1600	1590	1590	1620	$\frac{1600}{1610^*}$	27	31	33	$\frac{35}{48^*}$
3	OA-3	6.47	1900	190	1519	0.10	0.727	280	1540	1540	1560	1570	$\frac{1580}{1580^*}$	6	9	11	$\frac{13}{21^*}$
4	SA-1	0.68	2200	220	1759	0.10	0.727	281	1490	1530	1540	1570	$\frac{1550}{1560^*}$	11	17	21	$\frac{27}{28^*}$
5	SA-2	2.22	2000	200	1599	0.10	0.727	液状	1520	1610	1580	1580	$\frac{1580}{1620^*}$	6	10	13	$\frac{24}{25^*}$
6	SA-3	0.11	2000	200	1599	0.10	0.727	284	1540	1530	1550	1580	$\frac{1610}{1600^*}$	11	17	21	$\frac{33}{35^*}$

づく溶出が支配的であると報告されている³⁾。今回の実験において、クロム等の溶出に関する研究では溶出の機構解明はできなかったが、SAを除いて、しゅんせつ汚泥、下水汚泥を問わず、ほとんど溶出しなかった。今後は、溶出機構を明らかにしながら、溶出防止のための合理的な配合を検討する必要がある。

② 下水汚泥を含んだセメントミルクを直接水中打設する場合、ブリージング等による重金属類の溶出が存在する。図17に浮間処理場の生汚泥(有機物含有量52.5%)を用いて C/S=0.2のもとで汚泥含水率と C/Co (C:ブリージング液中の Cd, Pb 濃度, Co:固化体の Cd, Pb 濃度) の関係を示した。これは28日間養生のブリージング液についての図であるが、汚泥含水率が高くなると C/Co は若干下がりが気味にあり、汚泥含水率が高いと固化体濃度も低い(92%のそれに比べ98%では約1/2)点が影響していると思われる。

3 ま と め

① 汚泥を固形化するに必要な最小セメント量は、乾燥汚泥 1kg 当たり 5~7.5kg である。

② 汚泥のセメント固化体強度は有機物含有量をファクターとしながら、C/Sによって一次的に定まる。

③ セメント固化体からの重金属類の溶出は各種汚泥のなかで SA だけに見られた。SA は他の汚泥に比べ重金属類濃度が高く、なかでも性状が類似していると思われる OA と比べてもこの点で大きな違いがあることから、固化体と浸出液間の濃度勾配が影響していると思われる。

④ 汚泥を含んだセメントミルクを水中打設する場合、ブリージング等で重金属類が溶出するが、その比率は、固化体内部の約 1/1000 であった。

参 考 文 献

- 1) 古井戸ほか7名 「汚泥処理に関する研究(その1)」東京都公害研究年報, 108 (1972)
- 2) JIS A 1203
- 3) 寺島 泰ほか3名 「セメント固化体中¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁶⁰Co の溶出機構について」土木学会論文報告集(第201号), 51