

汚泥の処理処分に関する研究 (第9報)

—底泥中の有機物とその固化強度への影響—

喜田大三 辻博和
久保博 炭田光輝

Studies on Treatment and Disposal of Mud (Part 9)

—Organic Matter in Bottom Deposited Mud and Its Influence on Solidified Strength—

Daizo Kita Hirokazu Tsuji
Hiroschi Kubo Mitsuteru Sumida

Abstract

Organic matter in bottom deposited mud in rivers, lakes and harbors cause water pollution and offensive odors, and affect the treatment and disposal of the mud. In this report are described investigations of the properties of organic matter, their relations with physical properties of mud, and influences on solidified strength of mud. (1) The organic matter content was 6 to 42% ($K_2Cr_2O_7$ method) and the ratio of organic matter to ignition loss ranged from 0.6 to 1.0. (2) The activity of mud containing more than 20% organic matter was 4 to 5. (3) The strength of mud solidified by cement-type solidifier was decreased with increased organic matter content. (4) With Mudfixer (cement plus gypsum), there was less reduction in strength due to organic matter than in the case of solidification with cement.

概 要

河川・湖沼・港湾の底泥に含まれる有機物は水質汚染や悪臭の原因となるだけでなく、底泥の処理処分の際に悪影響を及ぼすことが知られている。しかし、底泥中の有機物およびその影響には不明な点が多い。そこで、各種底泥を供試して、有機物の性状ならびに物理的性質との関係、固化強度への影響等を調べた結果、有益な知見が得られた。(1)有機物(重クロム酸法)は6~42%の範囲にあり、有機物量/強熱減量の比は有機物量15%以下で0.6~0.7、15~30%で0.7~1、30%以上で約1であった。(2)有機物量約20%以上の底泥の活性度は4~5と、Na-モンモリロナイトと同程度に高い。(3)セメント系固化剤による固化強度は、底泥の粘土量や含水比の影響をうけるが、これら条件を一定にしても、有機物が増大すると強度は低下する。そして、有機物の固化強度への影響には直接的なものと、水分状態を通じての間接的なものがあることが判明した。(4)マッドフィクサー(セメント+石膏)はセメントに比べて、有機物による強度低下の程度が少ない。

1. まえがき

河川・湖沼・港湾等の底泥(底質、ヘドロ)には、周辺からの産業・生活廃水、さらに水質の富栄養化に伴う植物プランクトン遺骸等の混入によって、多量の有機物が含まれることが多い。これら有機物は水中溶存酸素の減少を招くだけでなく、窒素・リン等を溶出して、赤潮や青粉、また悪臭の原因となっている。このように、水域環境への影響が大きいため、有機物は底泥の除去(浚渫)範囲決定の際、有害物質と同様、重要な判定基

準となる¹⁾。

一方、有機物は底泥の物理的工学的性質にも大きく影響する。有機物に富む底泥は一般に、含水比が高くて水分保持力が強く、塑性が大きく、圧縮性に富み、またセメント等の固化剤の効果が低いといわれる。このため、そのような底泥の処理処分に際しては、有機物の影響を考慮した設計・施工が必要となる。

しかし、底泥中の有機物およびその影響に関しては、不明な点が多い。そこで、本研究では、有機物の測定法・量・性状・物理的性質との関係、および固化強度へ

の影響等を検討したので、以下に報告する。

2. 有機物の測定法・量・性状および物理的性質との関係

2.1. 測定法と量

土中有機物の測定法には、強熱減量法・重クロム酸法・過マンガン酸法・過酸化水素法等があるが、ここでは一般的な前2者について検討した。

強熱減量法は粘土鉱物・遊離水酸化物・硫化物・炭酸塩等の影響をうけ、有機物の少ない土では誤差が大きいとされている。ところで、強熱減量法は試験法によって、試料量・温度・加熱時間等が異なる。そこで、代表的試験法である土質工学会法と底質調査方法(環境庁)について、試験方法の相違が底泥の強熱減量に及ぼす影響を検討した。その結果、表-1に示すように、4種底泥ともに土質工学会法の方が大きな値となった。しかし、その差はわずかであり、底泥の有機物量測定に両者試験方法の違いが問題となることは少ないと考えられ、本報告

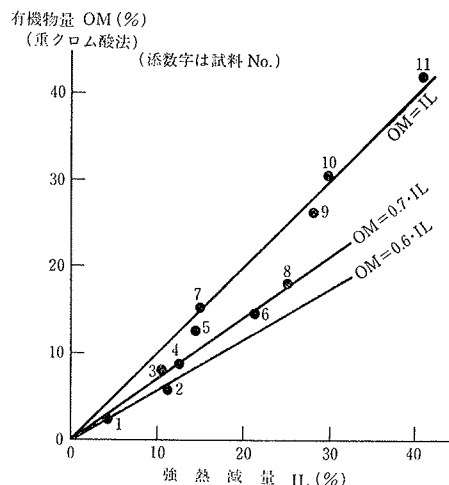


図-1 強熱減量と有機物量の関係

書では土質試験法による値を強熱減量として以下に表示した。なお、結果は省略するが、土質試験法と底質調査方法の相違の中で最も大きな影響を与える因子は温度であった。このことは、泥炭土等で従来得られた結果²⁾と一致している。

一方、重クロム酸法は硫酸酸性下で重クロム酸カリウムによって、有機物を酸化分解し定量する方法である。この場合、硫化物・第1鉄塩・亜硝酸等も酸化されるが土質工学会法では試料を予め110℃乾燥して、その影響を軽減している。また、重クロム酸法は泥炭土や有機物を50%以上含む土では誤差が大きいとされている。

各種底泥の強熱減量と有機物量(重クロム酸法)の関係を図-1および表-2に示す。図示するように、沖積土のNo.1を除くと、底泥は強熱減量が11~41%、有機物量が6~42%である。このことから、有機物が少ないほど、強熱減量に及ぼす有機物以外の成分の影響が大きいこと、したがって広範な有機物量の底泥の有機物量測定には重クロム酸法の方が妥当

であることが判明した。

2.2. 有機物の性状

土中有機物の性状を調べる試験には、図-2に示すように酸・アルカリへの溶解性の差異によってヒューミン・フルボ酸・腐植酸の形態に分ける方法がある³⁾。

そこで、各種底泥(表-2に示した底泥の一部)の有機物形態分析を行なった結果、試験方法の詳細は省略するが、表-3に示すようにいずれの底泥でもNaOH可溶炭素(フルボ酸+腐

		土質工学会法(A)	底質調査方法(B)	(A)-(B)
試験条件	試料量	約2g	5g以上(5g)	—
	温度	700~800℃(750℃)	600±25℃	—
	加熱時間	1~4時間(4時間)	約2時間	—
A 河川底泥		14.9%	14.6%	0.3%
B 河川 "		15.4	13.7	1.7
C 港湾 "		23.8	23.1	0.7
D 港湾 "		30.9	30.4	0.5

(試験値は3連の平均)

表-1 試験法の相違による強熱減量の比較

No	試料名	有機物 (%)	強熱減量 (%)	粒度分布				コンシステンシー			活性度	沈定状態含水比 (%)
				<2μ (%)	<5μ (%)	5~74μ (%)	74~2,000μ (%)	LL (%)	PL (%)	PI		
1	大阪沖積	2.5	4.3	20	25	61	13	45	26	19	0.95	153
2	霞ヶ浦	5.8	11.3	38	47	50	3	113	35	78	2.1	380
3	掛保川	8.3	10.9	8	10	39	51	67	35	32	4.0	215
4	東郷池	8.8	12.8	37	41	50	9	130	50	80	2.2	233
5	都堀川	12.0	14.9	16	20	63	17	98	33	65	4.1	270
6	中海	14.2	21.6	54	72	22	6	227	50	177	4.5	418
7	内川	15.5	15.4	22	27	61	12	116	25	91	4.2	298
8	手賀沼	18.2	25.3	45	63	35	2	177	78	99	2.2	331
9	高浜	26.3	28.3	33	42	42	16	213	54	159	4.8	482
10	田子の浦	30.9	29.1	34	40	38	22	217	53	163	4.8	480
11	W川	42.2	41.0	52	59	29	12	289	48	241	4.6	566

表-2 各種底泥の物理的・化学的性状

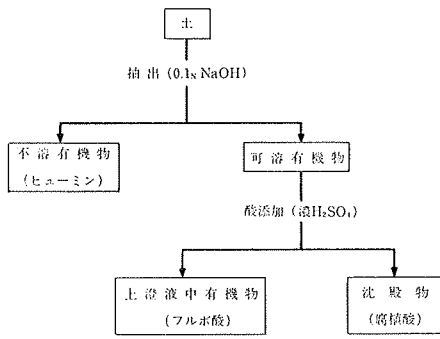


図-2 土中有機物の形態分析フロー

No.	試料名	有機物 (%)	炭素量			
			全体 (%)	0.1N NaOH 可溶分 (%)	フルボ酸 (%)	腐植酸 (%)
2	霞ヶ浦	5.8	3.4 (100)	0.10 (2.9)	0.03 (0.9)	0.07 (2.1)
7	内川	15.5	9.0 (100)	0.18 (2.0)	0.10 (1.1)	0.08 (0.9)
9	高浜	23.9	13.8 (100)	0.40 (2.9)	0.21 (1.5)	0.19 (1.4)
10	田子の浦	30.4	17.6 (100)	0.91 (5.2)	0.22 (1.3)	0.69 (3.9)
11	W川	42.2	24.5 (100)	1.10 (4.5)	0.37 (1.5)	0.73 (3.5)

表-3 各種底泥の有機物形態

植酸)は全炭素の2~5%である。この値は、陸上土では一般に50~80%であるのに比べて、非常に小さい。したがって、底泥中有機物には、ヒューミン、すなわち未分解性の植物残渣、無機成分と強く結合した腐植酸、あるいはこれらと類似の性状の有機物が多いと推察される。

2.3. 物理的性質との関係

各種底泥の塑性図上の位置を図-3に示す。有機物が多いほど、LL, PIともに増大の傾向が認められる。そして、底泥はNo. 8を除くと、A線またはA線より上側に

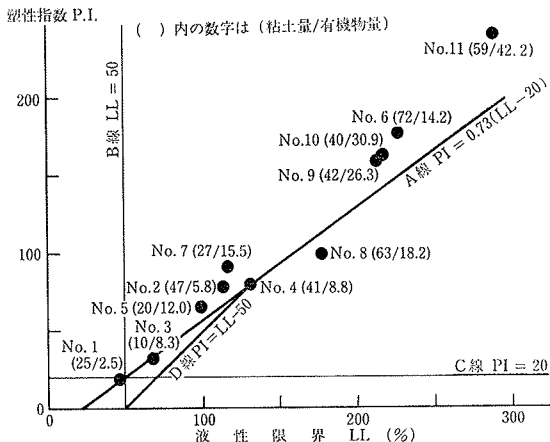


図-3 各種底泥の塑性図上の位置

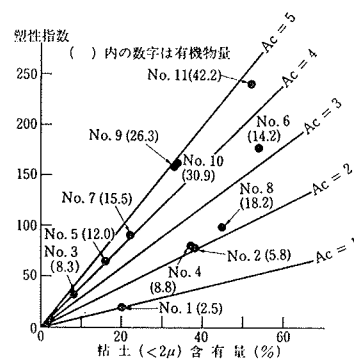


図-4 各種底泥の活性度 Ac

に位置しており、CH (粘土)に分類されることが多い。このように、底泥は有機物に富む場合でも、OH (有機質土)すなわちA線より下側に位置することは少ない。

また、活性度(<2μ粘土量/塑性指数)は図-4に示

すように、沖積土のNo. 1を除くと、2~5の範囲にあり、特に有機物量20%以上の底泥では4~5である。このように高い活性度を示す粘土には、Na-モンモリロナイトがあるが、別途調べた結果では、これら底泥中にモンモリロナイトは少なく、活性度の低いイライトやカオリナイト等が多い。故に、底泥の高活性度の原因として有機物の影響が大きいと判定される。

3. 固化強度に及ぼす有機物の影響

3.1. はじめに

固化は底泥処理の有効な手段であるが、ソイルセメント工法等で知られているように⁴⁾、有機物を多量含む場合、効果が低いといわれる。そこで、固化強度に及ぼす底泥中有機物の影響機構等について検討した。

3.2. 供試土と試験方法

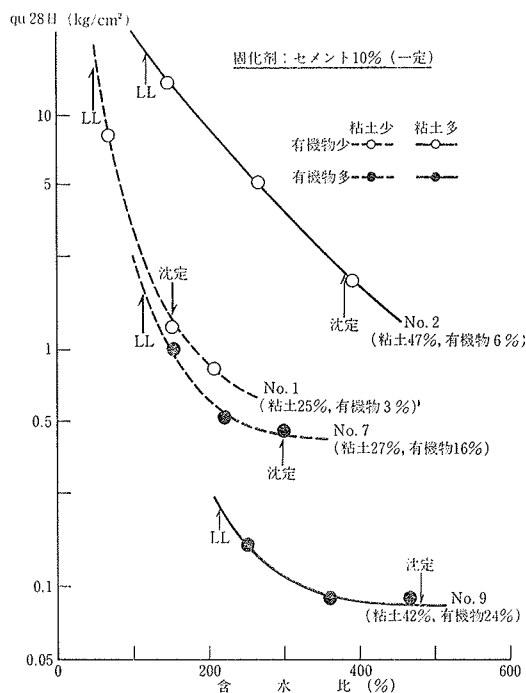
供試土は表-2のNo. 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10である。また、固化剤はセメント(普通ポルトランド)およびマッドフィクサー(セメント:石膏=8:2)である。試験方法を以下に述べる。

(1) 固化試験: 底泥に固化剤を粉状で所定量(重量比)混合し、φ3cm×h7cmモールドに入れて密閉し、20°Cで養生して、一軸圧縮強度(qu)を測定した。

(2) 底泥からの抽出有機物添加のモルタル強度試験: 底泥に0.1N NaOHを添加して、固化剤10~20%混合時のpHと類似のpH 12.5~13.1に調整し、30°C恒温器で3日間養生(その間、攪拌・pH調整を毎日実施)した。そして、加圧脱水して得た抽出液を用いて、固化剤:砂(標準砂):水(抽出液)=1:2:0.65のモルタルを作製し、quを測定した。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 有機物量の異なる各種底泥の固化試験 沖積土および3種類底泥のセメント10%添加における含水比と固化強度(qu 28日)の関係を図-5に示す。図示する

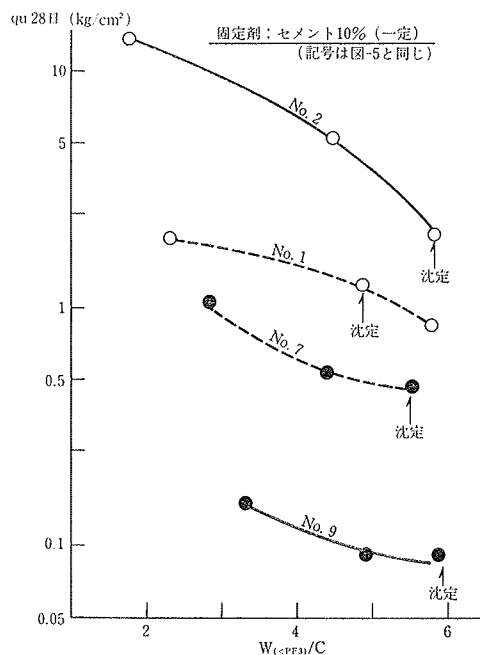


図一五 沖積土および3種底泥の各種含水比における固化強度 (セメントの場合)

ように、同一含水比での強度は No.2>No. 1>No. 7>No. 9 の順であり、強度は粘土量が同程度ならば、有機物が多いほど低下している。また、水分エネルギー一定、すなわちそれぞれの液性限界あるいは沈定含水比 (試料を水に5%濃度で懸濁し、1~10日間放置沈殿後の含水比)において、強度を比較すると、有機物の影響はいっそう顕著に認められる。さらに、筆者らは先に⁴⁾、汚泥のセメント固化への含水比の影響は pF 3 分離水とセメントの比、すなわち $W(<pF\ 3)/C$ で表示できることを報告したが、これによって整理しても、図一六に示すように、有機物の影響は同様に顕著である。

このように、固化強度には粘土量や含水比も影響するけれども、これらの条件を一定にしても、固化強度は有機物が多いほど低下することが判明した。このことは、底泥中有機物が固化強度に直接影響する機構が存在することを示唆している。

ところで、実際の底泥固化処理では、含水比は一般に液性限界~沈定含水比の範囲のエネルギー状態にある。したがって、固化処理の難易は一定の水分エネルギー状態で比較する必要がある。そこで、液性限界・沈定含水比における pF 3 分離水と有機物量の関係を調べた結果、図一七に示すように、pF 3 分離水は有機物が多いほど増大している。これらの結果は、有機物に富む底泥において固化強度が低い原因として、pF 3 分離水に示されるような固化強度低下に働く弱保持水の増大があること



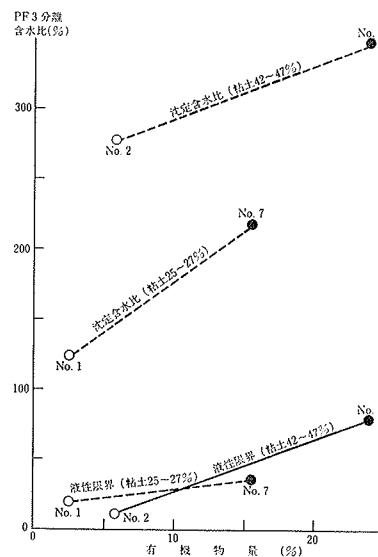
図一六 pF 3 分離水/セメントと固化強度の関係

を示唆している。

以上、有機物の固化強度低下への影響の機構には、固化剤の硬化を直接妨害する機構と、弱保持水の増大を通じて間接的に強度を低下させる機構があることが判明した。

なお、No. 2, 4, 7, 9, 10 の底泥について、それぞれの沈定含水比で、セメント15%添加の場合の固化強度を、図一八に示す。図示するように、沈定含水比が同程度であっても、強度は有機物量とともに低下する傾向が認められる。この結果は、有機物の固化強度への影響に直接的なものと、間接的なものがあるという結論によって説明できる。

一方、マッドフィクサー 10% 添加の固化強度は、図一九に示すように、セメントの場合 (図一五) と類似の傾向である。すなわち、強度には粘土量や含水比も影響するけれども、それら条件を一定にすると、強度は有機物が多い



図一七 液性限界・沈定含水比における pF 3 分離水と有機物量の関係

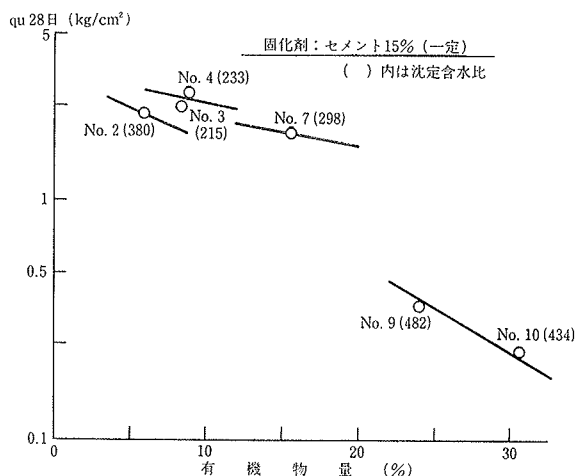


図-8 沈定含水比における有機物量と固化強度の関係

ほど低下している。そして、マッドフィクサーの場合にも、有機物の固化強度への影響には、直接的なものと同接的なものが存在した。

また、マッドフィクサー固化強度とセメント固化強度の比は、図-10に示すように1.1~3.2で前者の方が全般的に大きな強度を示し、その程度は有機物の多い底泥において著しい。すなわち、マッドフィクサーも有機物の影響をうけるけれども、その程度はセメントよりも少ない。この理由としては、3.3.2.で後述するように、マッドフィクサーの場合にはエトリンジャイト($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)の生成が有効に作用したことが考えられる。

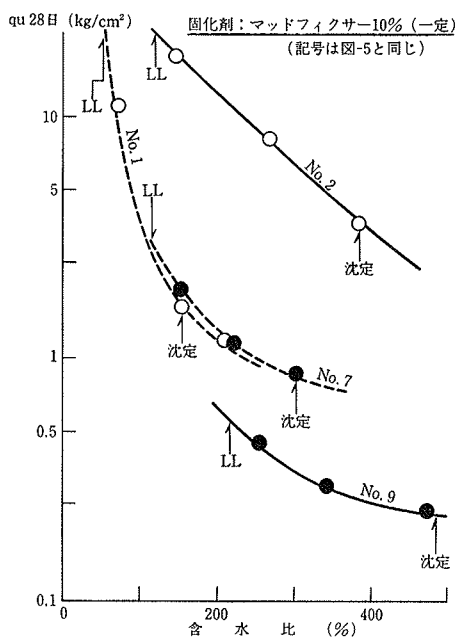


図-9 沖積土および3種底泥の各種含水比における固化強度 (マッドフィクサーの場合)

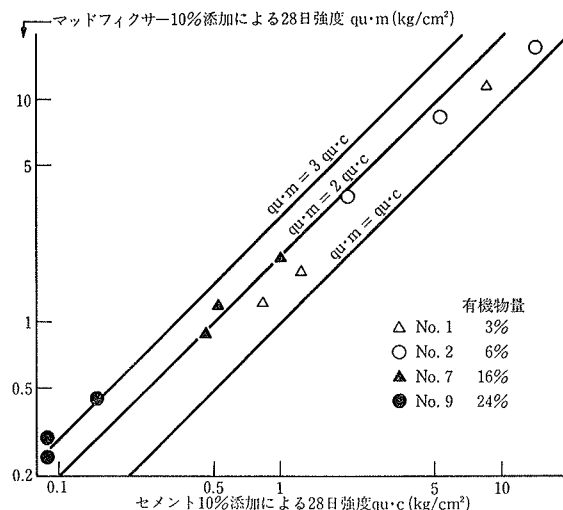


図-10 セメント固化強度とマッドフィクサー固化強度の比較

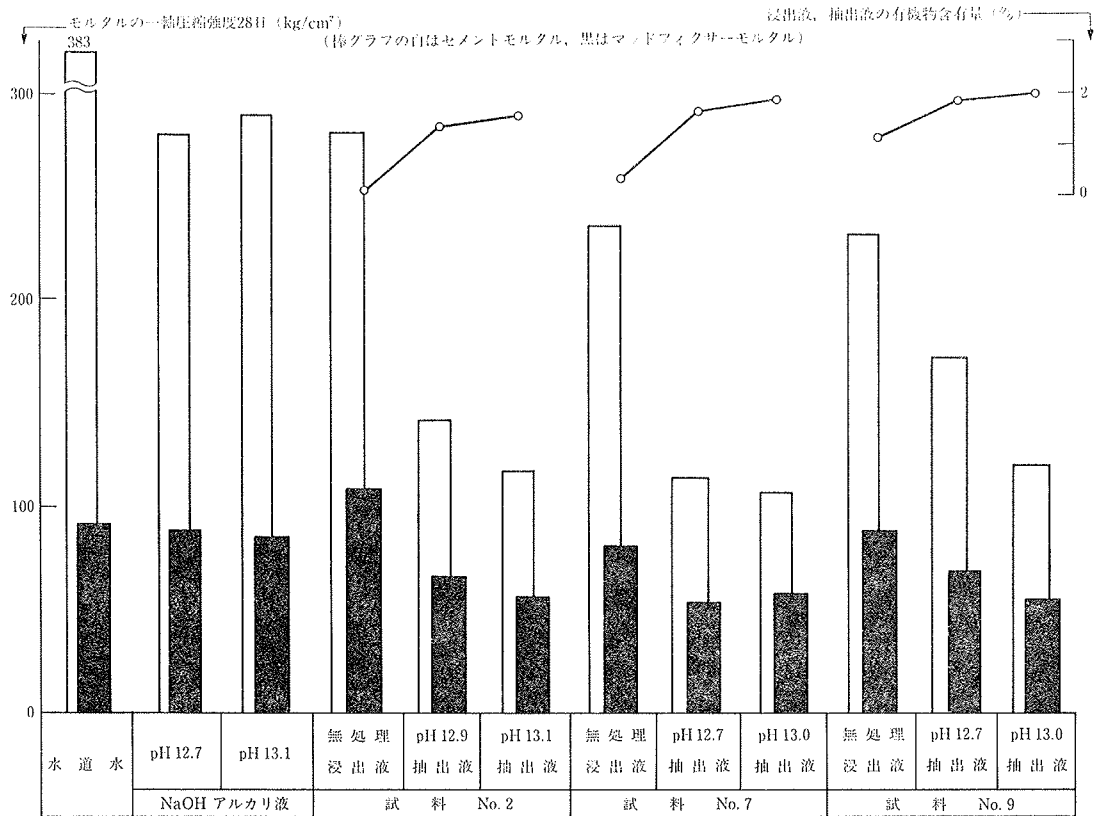
3.3.2. 底泥からの抽出有機物添加のモルタル強度試験

固化強度への有機物の影響には、直接的なものと同接的なものがあることを述べた。本項では、前者すなわち、有機物が固化剤の硬化を直接妨害することについて調べるために、底泥からアルカリ抽出した有機物を添加した場合のモルタルの強度を測定した。結果を図-11に示す。

(1) セメントモルタルの場合：アルカリ溶液および無処理浸出液のモルタル強度は水道水のモルタル強度の60~76%である。一方、アルカリ抽出液のモルタル強度は水道水のその28~45%である。このように、セメントの凝結硬化は底泥から抽出される有機物によって妨害される。なお、抽出有機物量が類似するにもかかわらず、No. 9がNo. 7よりも高強度であるのは、有機物の質的差異によると考えられる。

(2) マッドフィクサーモルタルの場合：アルカリ溶液および無処理浸出液のモルタル強度は水道水のその89~118%、またアルカリ抽出液のモルタル強度は水道水のその57~76%である。このように、マッドフィクサーも有機物の影響をうけるけれども、その程度はセメントに比べて少ない。このことは、マッドフィクサーの場合、アルカリで抽出されたアルミニウムがエトリンジャイトの生成を促し強度増大に寄与したため、有機物による強度低下の程度が軽減されたことによると考えられる。

以上、セメントおよびマッドフィクサーのモルタル強度は、底泥から抽出した有機物の添加によって低下しており、底泥中有機物の固化強度への影響機構として、有機物が溶出し固化剤の硬化反応を直接妨害する機構の存



図一十一 底泥からの抽出有機物添加のモルタル強度

在が明確となった。

4. まとめ

底泥中の有機物は水質汚染等の原因になるだけでなく、底泥の処理処分にも悪影響を及ぼす。そこで、各種底泥の有機物の測定法・量・性状・物理的性質との関係、固化強度への影響を検討し、有益な知見を得た。

(1) 底泥の強熱減量は11~41%、有機物量(重クロム酸法)は6~42%であり、有機物量30%以上では両者の比は約1である。なお、有機物量測定には、重クロム酸法の方が妥当である。

(2) 底泥中の有機物には、ヒューミン、すなわち未分解性の植物残渣、無機物と強く結合した腐植酸、あるいはこれらと類似の有機物が多く含まれている。

(3) 底泥は有機物を多く含む場合でもCHに分類されることが多く、また有機物を約20%以上含む底泥の活性度は4~5と非常に高い。

(4) セメント系固化剤による固化強度は、底泥の粘土量や含水比の影響を受けるが、これら条件を一定にしても、有機物が増大すると強度は低下する。このことから

その有機物の影響機構には、固化剤の硬化を直接妨害する機構と、水分(とくに弱保持水)の増加を通じて間接的に強度低下を引起す機構があることが判明した。

(5) マッドフィクサー(セメント+石膏)はセメントに比べて、有機物による強度低下の程度が少ない。

参考文献

- 1) 喜田: ヘドロのシュンセツ・処理処分, 土と基礎, Vol. 26, No. 239, (1978.1), pp. 55~64
- 2) 斎藤, 西林, 細谷: 有機質土の強熱減量法による測定結果について, 大林組技術研究所報, No. 15, (1977), pp. 89~94
- 3) 養賢堂: 植物栄養土壌肥料大事典, (1976)
- 4) 三木, 山内: 土質安定の理論と実際, オーム社, (1959)
- 5) 喜田, 久保, 炭田: 汚泥の固化処理に関する研究(第3報), セメント固化強度と水セメント比との関係へのpF水分の適用, 大林組技術研究所報, No. 14, (1977), pp. 104~108