

ダム堆積土の活用化研究 (第1報)

—ダム堆積土の基礎性状—

福永 均 永柳 辰一 小沢 三彦
伊藤 征幸 中村 雅光

Utilization of Dam Sedimentary Clay (Part I)
— Characterization of Dam Sedimentary Clay —
by

Hitoshi FUKUNAGA, Tatsuichi NAGAYANAGI,
Mitsuhiko KOZAWA, Tatsuyuki ITO and Masamitsu NAKAMURA

天竜川、豊川、矢作川及び木曽川水系の7ダムより11種類のダム堆積土を採取し、化学組成、鉱物組成、粒度分布及び物理的性質等基礎性状試験を行った。

調査したダム堆積土はシルト分が大部分を占め、鉄含有量が多く、耐火度はSK 4 a~9と低い。

特に天竜川水系の佐久間ダム堆積土は、有機物量も少なく、焼結効果が大きく窯業建材品への利用性の高いことが分かった。

1. まえがき

三河地区窯業界は、地場産業として粘土瓦・普通れんが等の窯業建材品の生産企業が集中しており、その使用原料は年間約200万tにも及んでいる。

このため既存原料としての三河粘土が年々枯渇化し、かつ品質低下が著しくなり関係業界にとって、窯業原料の確保と安定化対策が深刻な課題となっている。

一方、愛知県内及びその周辺の河川水系においては、大量に流入する堆積土砂によりダムの埋没化が進み、貯水量の減少に伴い発電能力が低下している。生活用水、農業用水、工業用水等の安定確保のため、その再生化対策が社会的に強く要求されている。

このような背景から大量に供給可能でかつ品質の安定した窯業原料資源として、ダム堆積土の基礎性状を調べ、窯業製品への活用化を検討した。

2. 実験方法

2.1 ダム堆積土の採取状況

試験に用いたダム堆積土は河川水系及び採取場

所により化学組成、鉱物組成及び粒度分布等が異なるため、立地条件及び採掘条件等を考慮して、各河川水系・ダム別に次の11種類の試料を採取した。

天竜川水系……佐久間ダム (3種類)
豊川水系……宇連ダム (1種類)
 布里ダム (1種類)
矢作川水系……百月ダム (1種類)
 阿摺ダム (2種類)
 越戸ダム (2種類)

木曽川水系……大井ダム (1種類)

採取したダムの施設及び試料採取の状況を表1に示す。

2.2 採取地域の地質概要¹⁾

(1) 天竜川水系

佐久間地域周辺では領家帯の変成岩類があり、中央構造線に接し、ミロナイト、片状ホルンフェルス、斜長石斑状変晶縞状片麻岩が断続的に見られる。天竜川中流地域は全般的に見て粗粒~中粒の花崗閃緑岩質を主として、それに有色鉱物として角閃石、黒雲母等が混入している。

(2) 豊川水系

三河山地の東部すなわち南設楽郡の東部から北設楽郡の東南部にかけて、第三紀の堆積層及び火

表1 研究対象ダム施設及び試料採取の状況

水系名	河川名	ダム名	所在地	用途	※ 流域面積 (km ²)	ダム事業者名	採取試料
天竜川	天竜川	佐久間	静岡県磐田郡佐久間町 愛知県北設楽郡豊根村	発電	3827	電源開発(株)	(1): 大嵐付近の表土 (2): ゲートより10km付近 水面下約30mより採取 (3): 砂利採取後の廃土
豊川	宇連川	宇連	愛知県南設楽郡鳳来町	農業 生活 工業	26	水資源開発 公 団	湯水期における表土
	寒狭川	布里	愛知県南設楽郡鳳来町	発電	251	中部電力(株)	砂利採取後の廃土
		百月	愛知県西加茂郡小原村	発電	680	中部電力(株)	砂利採取後の廃土
矢作川	矢作川	阿摺	愛知県東加茂郡足助町	発電	768	中部電力(株)	(1): 砂利採取後の廃土 (沈澱槽より採取) (2): " " (排水口より採取)
		越戸	愛知県豊田市平戸橋	発電	941	中部電力(株)	(1): 砂利採取後の廃土 (枝下大橋付近より採取) (2): " " (勘八町付近より採取)
木曽川	木曽川	大井	岐阜県恵那郡蛭川村	発電	2083	関西電力(株)	砂利採取後の廃土

※ 84年ダム総覧(日本ダム協会出版)より抜粋

山岩類が広く分布している。堆積層は設楽層群と総称される海成層で、北部の地層は砂岩、泥質砂岩、泥岩、頁岩の順に堆積しており、上部には凝灰質の部分や凝灰岩が見られる。また南部の地層は主として凝灰質の地層と石英安山岩、流紋岩などの火山岩類よりなる。

(3) 矢作川水系

矢作川水系中流地域(百月～勘八峡)の地質は花崗岩類と段丘を構成する洪積層よりなり、花崗岩は粗粒斑状角閃石黒雲母で、石英、カリ長石、斜長石のほか有色鉱物(黒雲母及び角閃石)を含んでいる。また洪積層は大昔の矢作川による堆積物で、三好層、挙母層、碧海層、越戸層などに区分される。

(4) 木曽川水系

恵那峡付近には苗木・上松花崗岩といわれる粗粒の黒雲母花崗岩が露出し、領家帯の花崗岩類のうちで最も新しいものである。また恵那市付近の丘陵地帯には土岐砂礫層が広く分布している。

2.3 有機物の定量

有機物の定量法には、比色法、酸化法、過酸化

水素法、クロム酸硫酸法、加熱法等種々の測定法²⁾があるが、粘土の種類によって測定方法を選択する必要がある。本研究では、そのうち粘土中の有機物定量法として定められた加熱法により、110℃で前処理した試料を300℃で3時間加熱した時の重量減により求めた。

またフミン酸化色法(10%NaOH液処理、比色法によるフミン酸換算)により求め、2測定法による有機物量を比較検討した。

2.4 試験体の調整

試験体は有機質のバインダーを約1～2%添加し、水分13～26%で150×25×20mmの大きさに金型によりプレス成形した。110℃乾燥後、電気炉で昇温速度60℃/hr、最高温度(1050, 1100, 1150及び1200℃の4段階)で1時間保持し焼成した。焼成後、曲げ強さ、吸水率等物理的試験を行った。

3. 結果と考察

試験に用いたダム堆積土の試料名は表1による。

表2 ダム堆積土の化学組成、耐火度及び有機物

(単位: %)

記号	試料名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss	有機物		耐火度 (SK)
											(加熱法)	(比色法)	
①	佐久間ダム堆積土(1)	63.5	16.0	5.47	0.70	2.67	2.16	2.13	2.86	4.60	2.04	0.31	5a
②	佐久間ダム堆積土(2)	67.5	16.1	4.61	0.64	0.50	1.34	1.82	3.43	4.01	0.87	0.11	4a
③	佐久間ダム堆積土(3)	53.1	18.7	11.5	1.39	2.22	2.00	1.62	3.42	6.03	1.94	0.10	4a
④	宇連ダム堆積土	60.1	17.6	5.34	0.79	0.52	0.75	1.32	2.76	10.9	6.13	1.79	9
⑤	布里ダム堆積土	60.9	16.2	7.63	1.02	2.70	2.70	1.76	2.75	4.37	1.53	0.21	4a
⑥	百月ダム堆積土	58.8	19.4	5.14	0.53	2.22	0.93	2.24	2.71	7.99	3.78	0.74	6a
⑦	阿摺ダム堆積土(1)	63.5	18.1	4.63	0.48	2.35	0.87	2.01	2.96	5.87	2.76	1.06	6a
⑧	阿摺ダム堆積土(2)	61.3	16.9	4.62	0.47	2.30	0.81	2.16	2.84	8.57	4.10	1.16	9
⑨	越戸ダム堆積土(1)	61.3	19.1	4.54	0.40	1.95	0.68	1.96	2.66	7.43	2.78	0.83	6a
⑩	越戸ダム堆積土(2)	56.8	20.3	5.25	0.50	2.07	0.66	1.83	2.38	10.2	5.02	1.48	8
⑪	大井ダム堆積土	72.0	14.0	3.27	0.38	1.80	0.87	2.74	3.26	1.72	0.86	0.12	7
●	三河粘土	64.9	19.8	3.58	0.69	0.52	0.52	0.88	1.93	6.48	1.01	0.05	19

3.1 化学組成、耐火度及び有機物

表2にダム堆積土の化学組成、耐火度及び有機物量を示す。

採取したダム堆積土の化学組成範囲はSiO₂53.1~72.0%, Al₂O₃14.0~20.3%, CaO+MgO+Fe₂O₃+Na₂O+K₂O 10.6~20.8%であり, Riley³⁾の発泡する粘土の化学組成範囲SiO₂50~75%, Al₂O₃15~30%, CaO+MgO+Fe₂O₃+Na₂O+K₂O 10~20%に入っており, 焼過ぎにより堆積土

は発泡するものと思われる。

またFe₂O₃量は3.27~11.5% (平均5.64%) と三河粘土の3.58%に比べて多く含有しており, 焼成後の呈色は濃い赤色~ブラウン色を示す。

なお, SiO₂及びAl₂O₃量に比べて融剤として作用するCaO, MgO, Fe₂O₃, Na₂O及びK₂O量を多く含有しているため, 耐火度はSK 4a~9と低い。

前記2. 3で述べたとおり, 有機物の定量法には種々の測定法があるが, 顕微鏡観察では, 堆積土中には植物の残骸(NaOH液処理不溶部分)が含まれている。また, 動植物の分解途中における有機化合物(NaOH液可溶部分)も含有しているものと思われるため, 本研究で採用した加熱法と比色法の測定値の回帰分析を行い, 有機物量の判断基準とした。図1に結果を示す。その結果, 相関係数は0.95であり, 両法の間には直線関係があり, 相対的なものであるが, ダム堆積土中の有機物定量法として使用できることが分かった。

なお, 有機物量は矢作川水系のダム堆積土及び宇連ダム堆積土が三河粘土に比べて約15~35倍多く含有している。

3.2 粒度分布

44μm以上の粒子については篩分析により

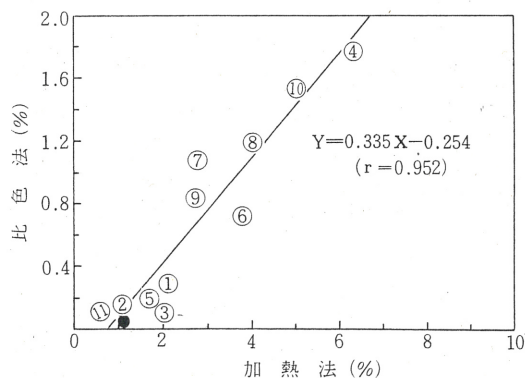


図1 有機物測定法の比較

表3 ダム堆積土の粒度分布

試料名	粒 子 径 (μm)							
	0~2	2~5	5~10	10~20	20~44	44~125	125~250	250~
佐久間ダム堆積土(1)	5.4	11.4	10.3	13.5	12.3	46.1	1.0	0
佐久間ダム堆積土(2)	11.3	13.4	15.5	18.2	26.8	14.8	0	0
佐久間ダム堆積土(3)	12.3	15.5	21.1	23.3	17.9	7.2	2.0	0.7
宇連ダム堆積土	18.5	26.3	19.1	18.9	10.7	6.0	0.4	0.2
布里ダム堆積土	2.7	7.0	7.8	10.3	10.4	39.4	18.2	4.2
百月ダム堆積土	5.4	14.5	14.8	17.5	13.3	27.0	5.3	2.2
阿摺ダム堆積土(1)	3.2	7.7	7.2	9.2	8.0	21.6	19.5	23.6
阿摺ダム堆積土(2)	6.0	12.3	13.3	18.5	16.7	30.5	2.1	0.6
越戸ダム堆積土(1)	7.6	12.6	10.1	11.8	11.2	39.0	7.0	0.7
越戸ダム堆積土(2)	4.4	10.4	10.9	13.9	13.3	40.4	6.0	0.7
大井ダム堆積土	0.8	2.0	2.1	2.7	2.5	12.2	52.1	25.6

行ったが、44 μm 以下の粒子については、レーザー方式による自動粒度分析測定装置を用いて粒度分布を測定した。表3にその結果を示す。また図2にROBINSONの分類に基づいて堆積土を三角座標に示した。

宇連ダム堆積土では5 μm 以下の粒子含有量が44.8%と最も多く、ついで佐久間ダム堆積土(3)の27.8%、佐久間ダム堆積土(2)の24.7%の順であるが、他の堆積土は2.8~20.2%とあまり多く含有していない。5~44 μm の粒子含有量は佐久間ダム堆積土(3)が62.3%と最も多く、

以下佐久間ダム堆積土(2)の60.5%の順になっている。他の堆積土は布里ダム、阿摺ダム(1)及び大井ダム堆積土を除くと33.1~48.6%とほとんどの堆積土がシルト分であり、粒度分布は類似している。

また布里ダム、阿摺ダム(1)及び大井ダム堆積土は44 μm 以上の粒子を60%以上含有しており、粗粒子が多い。

同一ダムについて粒度分布を比較すると、佐久間ダム堆積土においては下流部で採取したものが微粒子を多く含有している。

3.3 X線回折による構成鉱物

表4に原土及び1100℃焼成物のX線回折による構成鉱物を示す。未処理及びエチレングリコール薬品処理(緑泥石とモンモリロナイトの判定)した堆積土の定方位X線回折図を図3に示す。

構成鉱物としては、原土においてはすべての堆積土に長石、 α -石英、カオリナイト鉱物及び雲母鉱物が存在しており、量的には長石が全般的に最も多く含まれている。佐久間ダム堆積土(2)、宇連ダム堆積土及び越戸ダム堆積土(2)は緑泥石が混入しており、他の堆積土にはモンモリロナイトと緑泥石が混入している。

また佐久間ダム堆積土(2)及び宇連ダム堆積土以外のダム堆積土には角閃石が認められた。

次にダム堆積土の1100℃焼成後の生成物についてみると、すべての堆積土に未焼結の α -石英が残存しているが、微粒子が多く焼結性の良い佐

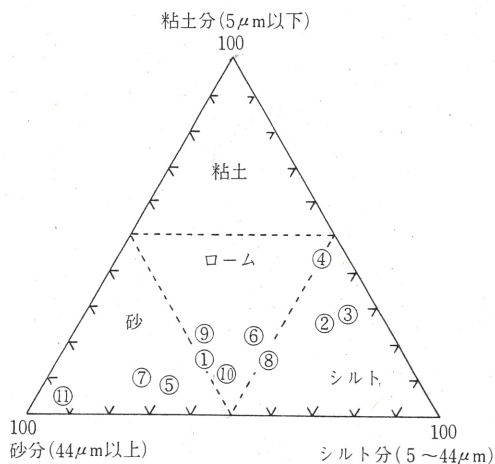


図2 ダム堆積土の粒度分布による分類

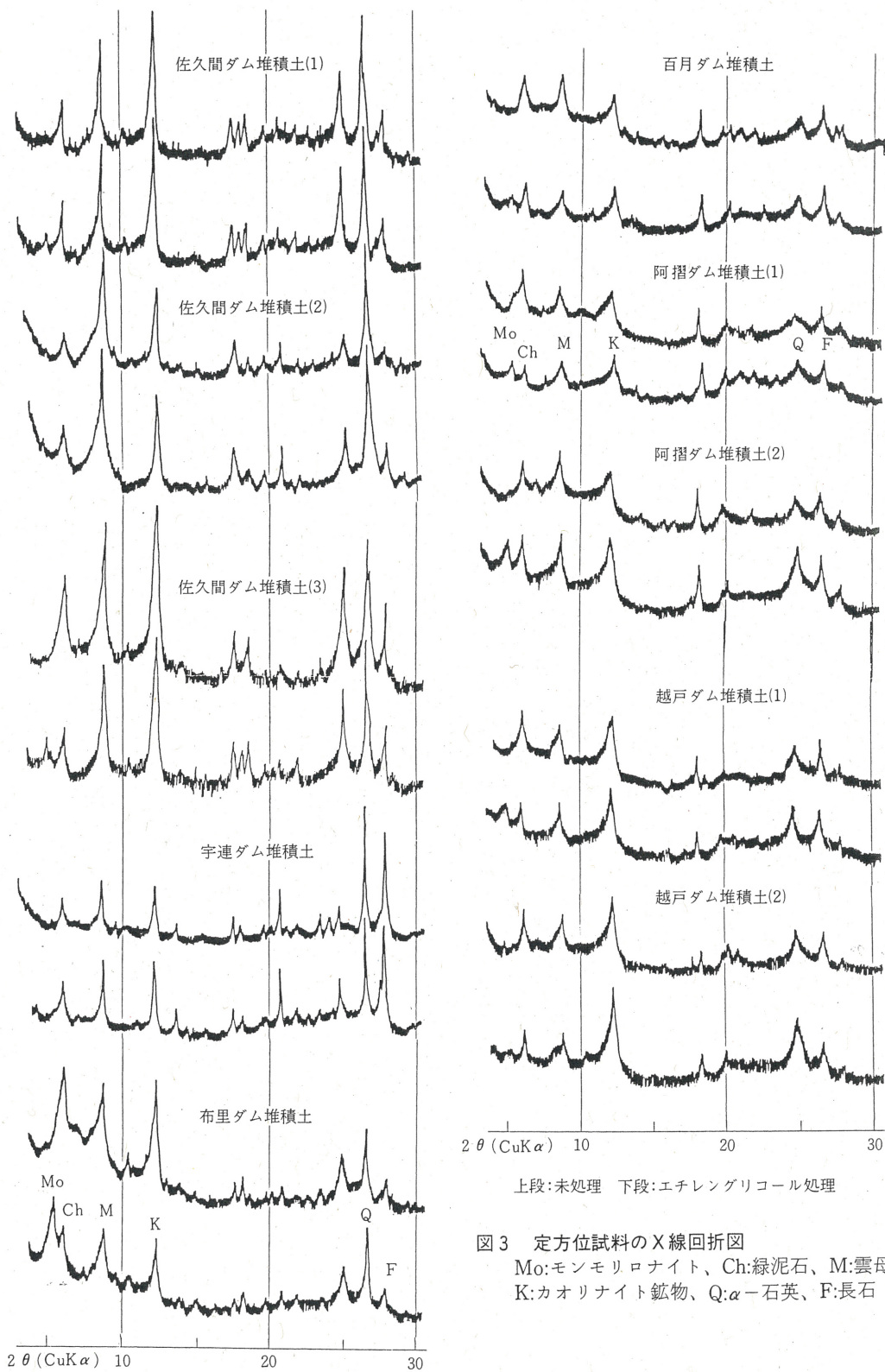


図3 定方位試料のX線回折図

Mo:モンモリロナイト、Ch:緑泥石、M:雲母鉱物
 K:カオリナイト鉱物、Q:α-石英、F:長石

表4 X線回折による構成鉱物

試料名	面間隔 d(Å)	原 土					1100℃焼成物				
		α-石英	長石	カオリナイト鉱物	雲母鉱物	モンモリロナイト 緑泥石	角閃石	α-石英	長石	赤鉄鉱	ムライト
		4.26	3.18	7.17	10.0	15.5 14.2	8.52	4.26	3.18	2.69	5.38
佐久間ダム堆積土(1)	◆◆◆◆	◆◆◆◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆◆◆	◆◆	◆◆	◆
佐久間ダム堆積土(2)	◆◆◆◆	◆◆◆◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆◆◆	◆	◆◆	◆
佐久間ダム堆積土(3)	◆◆	◆◆◆◆	◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆
宇連ダム堆積土	◆◆◆◆	◆◆◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆	◆◆◆	◆	◆◆	◆
布里ダム堆積土	◆◆	◆◆◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆◆	◆◆	◆◆	◆
百月ダム堆積土	◆◆	◆◆◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆
阿摺ダム堆積土(1)	◆◆◆◆	◎	◆	◆◆	◆	◆	◆◆	◆◆◆	◆◆	◆◆	◆
阿摺ダム堆積土(2)	◆◆◆	◆◆◆◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆
越戸ダム堆積土(1)	◆◆◆	◎	◆	◆	◆	◆	◆	◆◆◆	◆◆	◆◆	◆
越戸ダム堆積土(2)	◆◆◆	◎	◆	◆	◆	◆	◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆
大井ダム堆積土	◆◆◆◆	◎	◆	◆◆	◆	◆	◆	◆◆◆	◆◆	◆◆	◆

◆ 1つはピーク高さ10mm ◎スケールオーバー

久間ダム堆積土(2)及び宇連ダム堆積土では、長石が熔融・ガラス化によりピークが消失したが、他の堆積土は未焼結で残存した長石の存在が認められた。

また、宇連ダム堆積土及び越戸ダム堆積土(1)にはムライトが見られ、すべての堆積土に赤鉄鉱が認められた。

3.4 示差熱分析

図4に堆積土の示差熱分析曲線図を示す。全般的に100~120℃の吸着水分の脱水による吸熱ピークがあり、300℃付近の吸熱ピーク⁴⁾は水酸化鉄の脱水によるものと思われる。このことは前述X線回折により焼成後の堆積土に赤鉄鉱が認められていることから判断できる。500~600℃の吸熱ピークは粘土鉱物の結晶水の放出によるものであるが、佐久間ダム堆積土(2)及び(3)の吸熱ピークは約610℃でカオリナイト鉱物ではなく、緑泥石の脱水によるものであろう。900~1000℃の発熱はスピネルの晶出によるものであるが、900℃付近の発熱ピークについては緑泥石の分解によるものと考えられる。

3.5 物理的試験

表5に堆積土の乾燥及び焼成性状を示す。

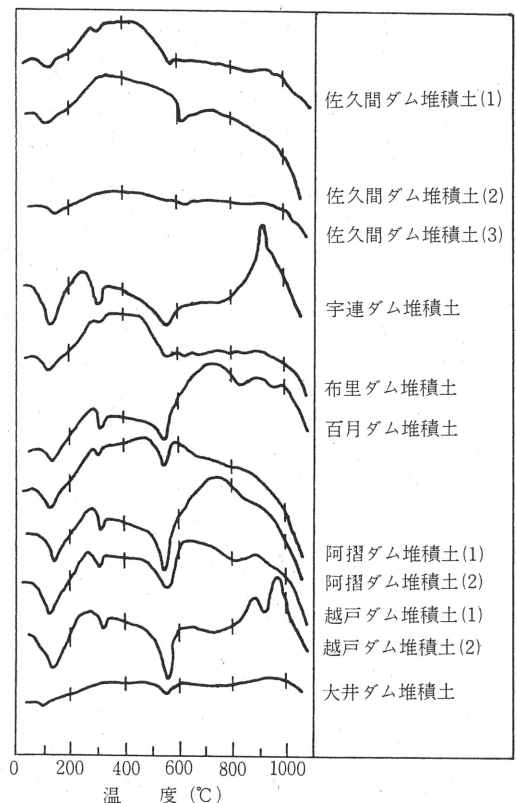


図4 ダム堆積土の示差熱分析曲線図

表5 乾燥及び焼成性状

試料名	乾燥収縮率 (%)	焼成収縮率 (%)				曲げ強さ (kgf/cm ²)				吸水率 (%)				かさ比重			
		焼成温度 (°C)				焼成温度 (°C)				焼成温度 (°C)				焼成温度 (°C)			
		1050	1100	1150	1200	1050	1100	1150	1200	1050	1100	1150	1200	1050	1100	1150	1200
①	0.27	-0.19	4.26	14.5	17.9	0.85	14.4	90.0	240	42.9	30.6	8.94	1.03	1.17	1.38	1.97	2.26
②	0.79	3.86	11.2	13.0	4.86	52.2	157	250	175	17.5	5.88	0.69	0.53	1.70	2.09	2.24	1.70
③	1.71	12.5	19.8	22.8	22.8	32.8	81.0	221	237	24.1	7.73	0.83	0.13	1.58	2.10	2.44	2.46
④	2.15	6.98	18.2	23.3	26.3	11.3	85.6	205	351	50.1	20.6	7.05	0.68	1.08	1.60	2.04	2.31
⑤	0.37	-0.21	2.11	6.85	14.4	1.35	7.05	25.1	160	34.7	28.5	18.8	1.00	1.30	1.41	1.64	2.29
⑥	1.04	1.97	5.80	12.2	19.9	3.64	17.6	51.4	168	45.1	33.2	19.3	3.15	1.14	1.31	1.61	2.16
⑦	0.38	-0.51	-0.11	1.79	6.76	—	1.09	4.21	20.1	—	41.3	33.2	16.7	—	1.19	1.32	1.66
⑧	0.95	2.52	4.68	11.5	21.1	2.09	14.4	46.6	221	51.7	41.5	26.5	4.61	1.06	1.18	1.45	2.11
⑨	0.79	1.41	4.15	9.30	18.3	2.76	11.3	39.5	159	43.7	36.2	24.1	4.77	1.16	1.26	1.50	2.08
⑩	1.18	2.09	4.66	8.24	14.7	1.89	6.88	20.8	62.3	56.7	46.2	35.4	19.9	1.02	1.11	1.27	1.59
⑪	0.10	—	-0.79	1.99	8.17	—	0.60	13.0	49.2	—	29.0	20.4	5.98	—	1.44	1.60	2.03
F	6.02	3.41	4.29	5.51	5.60	97.0	112	130	135	14.5	10.7	7.01	3.92	1.86	1.94	2.04	2.17

試料名は表2と同一、F: 瓦用配合粘土

3.5.1 乾燥及び焼成収縮率

いずれの堆積土についても、乾燥収縮率は瓦用配合粘土の6.02%に比べて小さく、最大の収縮率を示す宇連ダム堆積土でも2.15%であった。他の堆積土は0.10~1.71%と小さく、乾燥時には、ほとんど収縮がないものと思われる。

焼成収縮率は佐久間ダム堆積土(3)及び宇連ダム堆積土がどの焼成温度でも収縮率は大さいが、他の堆積土は1100~1150°C焼成において、収縮率が急激に増加する。

3.5.2 曲げ強さ及び吸水率

焼成後の曲げ強さは1100°C焼成では、佐久間ダム堆積土(2)、(3)及び宇連ダム堆積土を除いて、17.6 kgf/cm²以下と瓦用配合粘土に比べて小さいが、1150°C以上の焼成では、ほとんどの堆積土は焼結により曲げ強さが増加し、特に微粒子を多く含有する佐久間ダム堆積土(2)、(3)及び宇連ダム堆積土は205 kgf/cm²以上と曲げ強さが大きくなることが分かった。

1200°C焼成になると佐久間ダム堆積土(2)は曲げ強さが低下するが、他の堆積土は増加する。

なお、阿摺ダム堆積土(1)及び大井ダム堆積土は粗粒子が多く焼結性が悪いいため、曲げ強さは小さい。

吸水率については、曲げ強さとほぼ同じ傾向を示しており、佐久間ダム堆積土(2)及び(3)を除いてすべての堆積土が焼成温度1100°C以下では、吸水率20.6%以上となっている。1200°C焼成では阿摺ダム堆土(1)及び越戸ダム堆積土(2)を除いては吸水率5.98%以下となり、1150~1200°C焼成でほとんどの堆積土は焼結する

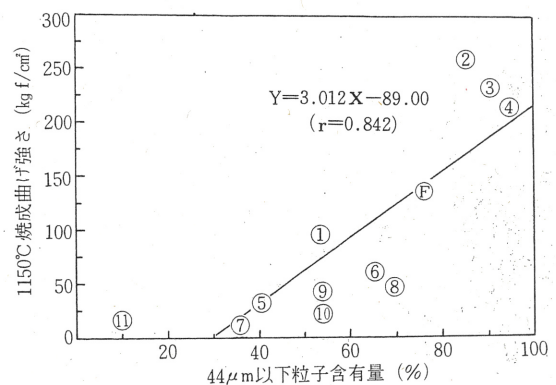


図5 粒度分布と曲げ強さ

ことが分かった。

なお、1150℃で吸水率10%以下になる堆積土は佐久間ダム堆積土(1)、(2)、(3)及び宇連ダム堆積土である。

3.5.3 焼結性と粒度分布

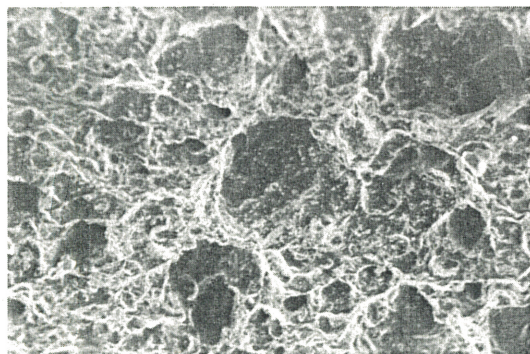
ダム堆積土の焼結性に関して、44 μm 以下の粒子含有量と1150℃焼成における曲げ強さとの関係を調べた。図5に結果を示す。

一部の試料を除いて、ほとんどの堆積土が直線関係を示しており、ダム堆積土の焼結性(曲げ強さ)には44 μm 以下の粒子が関与しているものと推測できる。

3.5.4 かさ比重及び組織観察

かさ比重については、有機物量が多い矢作川水系のダム堆積土が全般的に小さな値となっており、佐久間ダム堆積土(2)については、1150℃焼成で2.24であったものが1200℃焼成において1.70と低下したが、この原因を解明するため電子顕微鏡により焼成後の試験体破断面の観察を行った。

その結果、1050℃焼成では末焼結で組織は緻密でなく気孔もやや大きい、1100℃焼成で組織は緻密になり表面が一部ガラス化し、気孔も小さい。1150℃焼成で組織はより一層緻密化し、表面がガラス化しているが、ところどころに大きな気孔が現れる。更に1200℃焼成では組織は完全にガラス化し、発泡によると思われる大きな気孔(0.1~0.2mm)が多くみられた。写真に電子顕微鏡による組織状況を示す。



0.1mm

写真 1200℃焼成物の組織観察

4. まとめ

- (1) ダム堆積土は Fe_2O_3 量が3.27%以上と多く含まれており、耐火度はSK4a~9と低い。
- (2) 矢作川水系のダム堆積土及び宇連ダム堆積土は有機物量が多く、三河粘土に比べて約15~35倍多く含有する。
- (3) 粒度分布はシルト分が大部分を占め、採取場所により粒度分布が異なる。
- (4) 鉱物組成をみるとすべての堆積土は、長石、 α -石英、雲母鉱物、カオリナイト鉱物、緑泥石及びモンモリロナイトを含有し、角閃石を含むものが多い。量的には長石が最も多い。
- (5) ほとんどの堆積土は1150~1200℃で焼結するが、粗粒子を多く含有する阿摺ダム堆積土(1)及び大井ダム堆積土では1200℃焼成においても曲げ強さが小さく、焼結性が良くなかった。

また、堆積土の焼結性(曲げ強さ)に主として関与しているものは44 μm 以下の粒子含有量である。

謝 辞

本研究の試料採取にあたって、格別の御協力をいただいた電源開発中部支社佐久間電力所及び中部電力㈱総合技術研究所に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 井関弘太郎：愛知県の地質・地盤(その1)、愛知県防災会議地震部会('80)
- 2) 粘土ハンドブック：技報堂、P. 534~536
- 3) 素木洋一：建築用セラミック材料、技報堂、P. 67~71
- 4) 吉木文平：鉱物工学、技報堂、P. 202~204