

ペーパースラッジ焼却灰の利用について (その2)

高 橋 正 紘*

On a Use of Paper Sludge Ash (Part two)

Masahiro Takahashi

The Paper Sludge is the sludge obtained at the recycling process of the pulp from the old paper. The Ash remained after burning the Paper Sludge at 900°C~950°C is the Paper Sludge Ash. The Ash contain SiO_2 , Al_2O_3 , CaO etc. and are possible to be a valuable resource. The purpose of this study is to make a building material of the pastes using the ash as the main raw material.

The last paper (Part One) reported on the chemical components of these Ashes from some documents first, and discussed the test results of sieve analysis of aggregates, bulk density of aggregates and solid content in aggregates etc.

In this paper, we discuss the test results of the mix design laid weight on Workability, for Pastes using the ash as main raw material.

1. はじめに

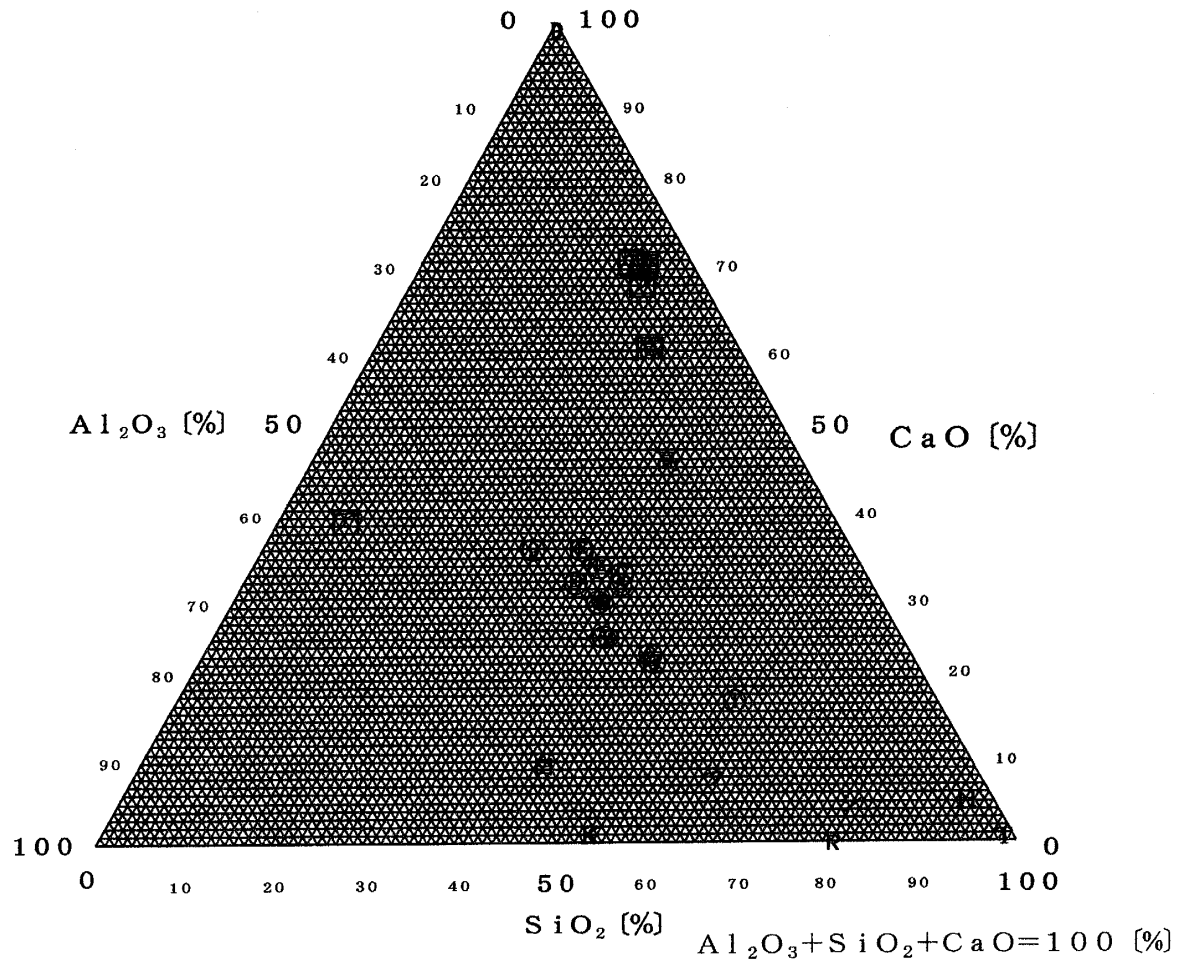
ペーパースラッジ (製紙スラッジ) は、古紙をリサイクルし、パルプを再生する過程で出る廃棄物で、これを焼却した残灰がペーパースラッジ焼却灰である。このペーパースラッジ焼却灰は、珪酸分 (SiO_2)、アルミナ分 (Al_2O_3) および酸化カルシウム分 (CaO) を多く含み、これら3者で全体のおよそ80%近くになり、再資源化が求められているものの1つである。

この研究で、使用しているペーパースラッジ焼却灰は、中小の製紙工場から搬入されたペーパースラッジを焼却したもので、その組成は図1に示すようにあまり安定していない。

本研究は、こうした事柄を考慮して、ペーパースラッジ焼却灰を主な材料としたペーストをつくり、これにより、何らかの建築用材料、外構材料等を開発し、地元で生産しようとするものである。

先の報告では、文献等により調べた、ペーパースラッジ焼却灰の化学的組成の推移、および、骨材としての性質を、コンクリートの細骨材の試験法に準じて行った試験の結果を報告した。

* 建設工学科建築学専攻



ペーパースラッジ焼却灰の採取年月	記号	名称	記号
昭和63年2月	①	ドロマイト粉末	D
平成 元年2月	②	タルク	T
平成 元年8月	③	ろう石	R
平成 9年2月	④	カオリン	K
平成 9年8月	⑤	活性白土 (平均値)	白
平成11年8月	⑥	シラス (平均値)	シ
平成12年2月	⑦	豊浦産標準砂	H
平成12年8月	⑧	高炉スラグ	高
平成13年2月	⑨	フライアッシュ (平均値)	フ
平成13年8月	㉠	普通ポルトランドセメント	普
平成14年7月	㉡	早強ポルトランドセメント	早
平成15年8月	㉢	フライアッシュセメント (B種)	フ
平成16年4月 (A, B炉)	㉣	高炉セメント (B種)	高
平成16年4月 (C炉)	㉤	アルミナセメント	ア

図 1. ペーパースラッジ焼却灰の組成の変遷*1、*2

この報告では、ペーパースラッジ焼却灰を主な材料としたペーストの、施工軟度に重きをおいた調査の実験結果について報告する。

2. ペーストの調合と流動化剤の効果

ペーパースラッジ焼却灰を主な材料としたペーストは、ペーパースラッジ焼却灰、セメント、石灰と微細な紛体で構成され、練り混ぜたペーストの施工軟度や流動性が小さいと推測された。施工軟度や流動性を得るため、流動化剤を加えた調合を試すため、フロー試験と、湿気養生し、材齢28日の圧縮強度試験を行った。調合・フロー試験値・圧縮強度試験結果を表1に示す。図2に、流動化剤量とフロー試験値、図3に流動化剤量と圧縮強度の関係のグラフを示す。

加えた流動化剤量がペーパースラッジ焼却灰、セメント、石灰の粉分1000gに対して12ml程度から、練り上がったペーストの流動性が増し、振動を与えながらではあるが、型枠へいれやすくなった。また、圧縮強度は、小さくなる傾向を示した。

表 1. 調合・フロー試験値・圧縮試験結果（その1）

供試体種別	72105000	72105003	72105006	72105009	72105012	72105015	備 考
材 齢	29	29	30	30	30	28	
調 合							
PS灰	700	700	700	700	700	700	全粉分質量1000gに対して
L [石灰]	200	200	200	200	200	200	全粉分質量1000gに対して
C [セメント]	100	100	100	100	100	100	全粉分質量1000gに対して
W [水]	50	50	50	50	50	50	全粉分1000gに対する%
混和剤 [ml]	0	3	6	9	12	15	流動化剤(粉分1000gに対して)
施工軟度							
フロー試験値 (mm)	101.00	141.60	141.20	148.00	199.00	214.05	平均値
供試体質量	316.30	311.50	319.00	317.00	306.00	280.00	試験時
見掛け比重	1.60	1.59	1.62	1.61	1.57	1.42	試験時
1 圧縮荷重 (Kgf)			1310.00	1140.00	2050.00	690.00	
圧縮強度 (Kgf/cm ²)			66.59	57.94	105.25	35.00	
圧縮強度 (N/mm ²)			6.53	5.68	10.32	3.43	
2 供試体質量	310.30	315.50	317.00	313.00	308.00	273.00	試験時
見掛け比重	1.58	1.60	1.61	1.59	1.59	1.39	試験時
圧縮荷重 (Kgf)			1700.00	1540.00	1825.00	820.00	
圧縮強度 (Kgf/cm ²)			86.41	78.23	93.88	41.68	
圧縮強度 (N/mm ²)			8.47	7.67	9.21	4.09	
3 供試体質量	309.20	314.30	316.00	311.00	309.00	273.00	試験時
見掛け比重	1.57	1.61	1.61	1.59	1.59	1.39	試験時
圧縮荷重 (Kgf)			1250.00	1780.00	1420.00	745.00	
圧縮強度 (Kgf/cm ²)			63.66	91.11	72.90	37.87	
圧縮強度 (N/mm ²)			6.24	8.93	7.15	3.71	
4 供試体質量	316.30	315.10	316.00	316.00	303.00	285.00	試験時
見掛け比重	1.60	1.62	1.61	1.59	1.56	1.44	試験時
圧縮荷重 (Kgf)			1520.00	1380.00	1640.00	1000.00	
圧縮強度 (Kgf/cm ²)			77.41	69.67	84.45	50.63	
圧縮強度 (N/mm ²)			7.59	6.83	8.28	4.97	
5 供試体質量	315.20	315.70	313.00	313.00	309.00	287.00	試験時
見掛け比重	1.60	1.61	1.59	1.59	1.60	1.46	試験時
圧縮荷重 (Kgf)			1250.00	1460.00	1840.00	980.00	
圧縮強度 (Kgf/cm ²)			63.66	74.06	95.04	49.91	
圧縮強度 (N/mm ²)			6.24	7.26	9.32	4.89	
6 供試体質量	313.20	315.20	314.00	312.00	314.00	283.00	試験時
見掛け比重	1.59	1.62	1.60	1.59	1.62	1.43	試験時
圧縮荷重 (Kgf)			1900.00	1400.00	1440.00	1065.00	
圧縮強度 (Kgf/cm ²)			96.67	71.52	73.78	53.92	
圧縮強度 (N/mm ²)			9.48	7.01	7.24	5.29	
AVE 供試体質量	312.84	314.44	315.80	313.20	309.20	279.20	
見掛け比重	1.59	1.61	1.61	1.59	1.59	1.42	
圧縮荷重 (Kgf)			1482.00	1464.00	1715.00	860.00	
圧縮強度 (Kgf/cm ²)			75.40	74.57	88.17	43.68	
圧縮強度 (N/mm ²)			7.39	7.31	8.65	4.28	
備 考							
供試体寸法	Φ50×100	Φ50×100	Φ50×100	Φ50×100	Φ50×100	Φ50×100	
	試験機不調	試験機不調					

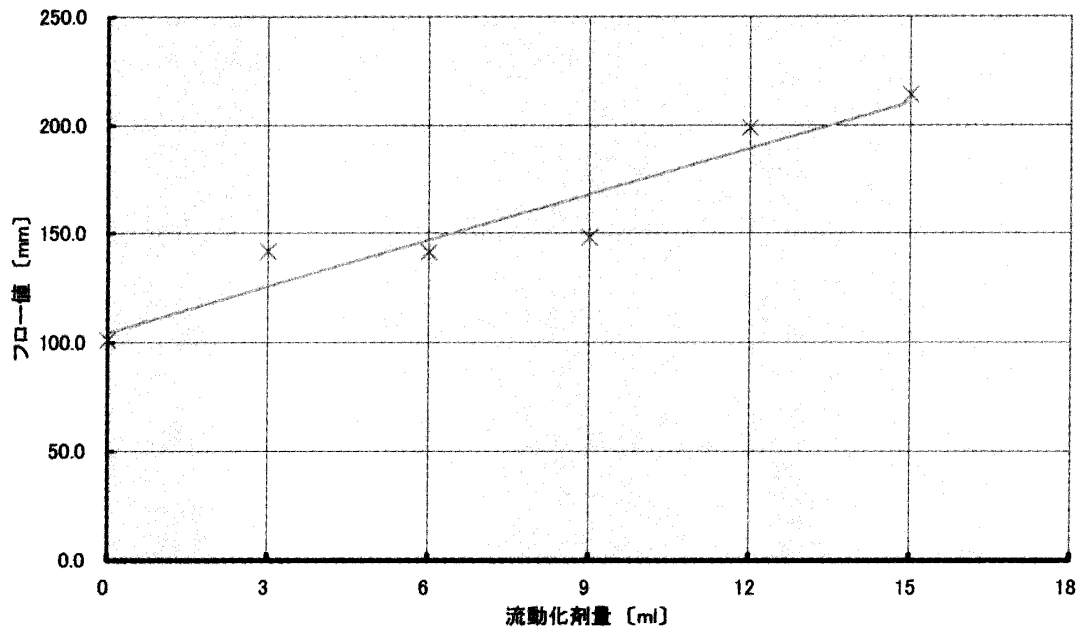


図 2. 流動化剤量とフロー値 (調合 7 2 1 0 5 0 ** の場合)

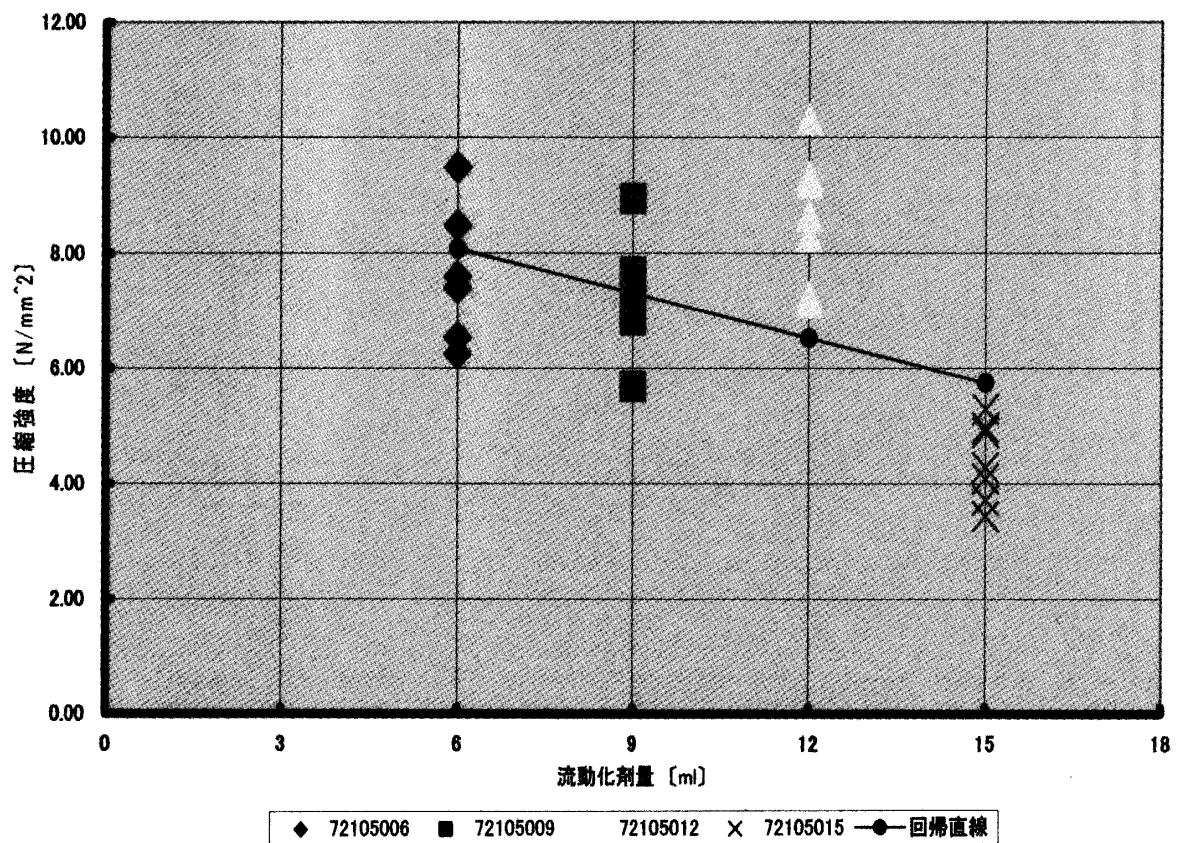


図 3. 流動化剤量と圧縮強度 (調合 7 2 1 0 5 0 ** の場合)

ここで、以降の調合では、加える流動化剤量を粉分1000gに対して12mlと決めた。

3. セメント量を変えた調合

ペーパースラッジ焼却灰、セメント、石灰の粉分1000gに対する割合で、ペーパースラッジ焼却灰の量を700gに固定し、セメント量と石灰の量を変えた4種、水は粉分に対し質量比50%、混和剤〔流動化剤〕は12mlと固定した調合について、練り上がり時のペーストの流動性等の観察、フロー試験と圧縮強度試験を試みた。

練り上がり時の流動性は、すべての調合ともあり、振動を与えながら打ち込むには十分であった。しかし、時間の経過とともに流動性はなくなる。練り上がりから、50分程度経つと、振動を与えながら打ち込むにしても、かなり難しくなる。また、硬いため、中に閉じ込められた空気が浮上できずに、球状の空隙をつくる傾向がみられ、脱型後の多く供試体の表面に、その痕跡が見られた。養生は20℃での湿気養生とし、試験まで養生した。

表2に、調合・フロー試験値・圧縮強度試験結果を示す。図4に、セメント量と圧縮強度、図5に、材齢と圧縮強度の関係のグラフを示す。

図4のセメント量と圧縮強度のグラフからは、各調合、各材齢ともに、ばらつきが大きい、材齢28日、90日ともに、この試験の範囲では、セメント量に比例し、ほぼ等しい勾配をもつ。

図5は材齢と圧縮強度のグラフで、横軸（材齢）は対数目盛りである。材齢が増すと、圧縮強度も増える傾向が、多くの場合で見られるが、一部の供試体では、材齢が進んでも、圧縮強度が小さいものも見られた。ばらつきの大きさを示すものである。

圧縮強度の大きさは、平均値では、セメントがはいっていない、「73005012」でも、材齢28日で、11.8〔N/mm²〕、材齢90日で、23.41〔N/mm²〕を、セメント量が多い、「70305012」では、材齢28日で27.39〔N/mm²〕を、材齢89日では、35.6〔N/mm²〕を示した。しかし、初期の材齢では、脱型が難しく、材齢が7日以降に脱型したので、初期材齢の圧縮強度がとれなかった。

圧縮強度のばらつきが大きいことの原因は、一つには、流動性の欠如から来る、ペーストのつめ方に起因するものである。また、一つには、前述したように、打ち込み後の残った空気による空隙によるものと思われる。

4. 終わりに

これらの調合では、目的とした施工軟度は、まだ満足の行く状態ではないが、初期材齢時の強度の発現も求められる。流動化剤の使用を増すと、初期材齢時の強度の発現は難しくなる。

しかし、長期の材齢では、建築材料・部材を造るに足る十分な強さを出すことが出来る。

表 2. 調合・フロー試験値・圧縮試験結果 (その2)

つづく

供試体種別		73005012	72105012	71205012	70305012	備 考
調 合	PS灰	700.00	700.00	700.00	700.00	全粉分量質量1000gに対して
	L〔石灰〕	300.00	200.00	100.00	0.00	全粉分量質量1000gに対して
	C〔セメント〕	0.00	100.00	200.00	300.00	全粉分量質量1000gに対して
	W〔水〕	50.00	50.00	50.00	50.00	〔粉分1000gに対する%〕
	混和剤〔m l〕	12.00	12.00	12.00	12.00	流動化剤〔粉分1000gに対して〕
施工軟度	フロー試験値 (mm)	120.05	105.55	111.30	139.70	2004年
		124.00	102.10	109.70	134.40	モルタルミキサー
		139.65	116.90	168.75	148.7	2005年
		143.50	116.60	169.25	154.9	平練りミキサー
					167.4	
					163.7	
1	材 齢〔日〕	15	15	20	15	
	見掛け比重	1.49	1.45	1.48	1.32	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	51.71	65.03	137.67	104.73	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	5.07	6.38	13.50	10.27	
2	材 齢〔日〕	15	15	20	15	
	見掛け比重	1.53	1.46	1.45	1.32	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	109.39	101.47	284.42	234.12	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	10.73	9.95	27.89	22.96	
3	材 齢〔日〕	15	15	20	15	
	見掛け比重	1.51	1.47	1.43	1.33	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	70.15	115.57	358.01	74.04	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	6.88	11.33	35.11	7.26	
4	材 齢〔日〕	15	15	20	15	
	見掛け比重	1.48	1.47	1.47	1.26	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	—	104.6	274.38	60.24	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	—	10.26	26.91	5.91	
5	材 齢〔日〕	15	15	20	15	
	見掛け比重	1.51	1.46	1.48	1.27	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	139.41	93.63	255.28	235.45	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	13.67	9.18	25.03	23.09	
6	材 齢〔日〕	15	15	20	15	
	見掛け比重	1.51	1.45	1.43	1.25	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	59.94	82.66	270.26	262.61	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	5.88	8.11	26.50	25.75	
Ave	材 齢〔日〕	15	15	20	15	
	見掛け比重	1.51	1.46	1.46	1.29	
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	86.12	93.87	263.34	161.87	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	8.45	9.20	23.97	15.87	
1	材 齢〔日〕	28	28	28	28	
	見掛け比重	1.46	1.5	1.43	1.25	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	102.22	125.51	129.55	246.59	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	10.02	12.31	12.70	24.18	
2	材 齢〔日〕	28	28	28	28	
	見掛け比重	1.47	1.39	1.44	—	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	120.87	86.32	137.63	266.08	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	11.85	8.47	13.50	26.09	
3	材 齢〔日〕	28	28	28	28	
	見掛け比重	—	1.43	1.48	1.21	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	132.15	133.06	165.53	269.93	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	12.96	13.05	16.23	26.47	
4	材 齢〔日〕	28	28	28	28	
	見掛け比重	1.49	1.43	1.46	1.32	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	148.57	126.43	111.77	270.17	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	14.57	12.4	10.96	26.50	
5	材 齢〔日〕	28	28	28	28	
	見掛け比重	—	1.45	1.43	—	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	114.62	115.41	100.29	359.25	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	11.42	11.32	9.84	35.23	
6	材 齢〔日〕	28	28	28	28	
	見掛け比重	1.46	1.44	1.45	1.36	試験時
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	101.44	130.72	168.73	263.66	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	9.95	12.82	16.55	25.86	
Ave	材 齢〔日〕	28	28	28	28	
	見掛け比重	1.47	1.44	1.45	1.29	
	圧縮強度〔Kgf/cm ² 〕	119.98	119.58	135.58	279.28	
	圧縮強度〔N/mm ² 〕	11.80	11.73	13.30	27.39	

表 2. 調合・フロー試験値・圧縮試験結果 (その2)

つづき

供試体種別	73005012	72105012	71205012	70305012	備 考
1 材 齢 [日]	90.00	89.00	99.00	89.00	
見掛け比重	1.51	1.50	1.49	1.46	試験時
圧縮強度[Kgf/cm ²]	182.46	288.48	427.40	509.67	
圧縮強度[N/mm ²]	17.89	28.29	41.92	49.98	
2 材 齢 [日]	90.00	89.00	99.00	89.00	
見掛け比重	1.55	1.53	1.51	1.48	試験時
圧縮強度[Kgf/cm ²]	241.69	287.32	438.98	184.83	
圧縮強度[N/mm ²]	23.70	28.18	43.05	18.03	
3 材 齢 [日]	90.00	89.00	99.00	89.00	
見掛け比重	1.51	1.54	1.53	1.49	試験時
圧縮強度[Kgf/cm ²]	241.20	280.16	348.31	395.65	
圧縮強度[N/mm ²]	28.65	27.47	34.16	38.80	
Ave 材 齢 [日]	90.00	89.00	99.00	89.00	
見掛け比重	1.52	1.52	1.51	1.48	
圧縮強度[Kgf/cm ²]	221.78	285.32	404.90	363.38	
圧縮強度[N/mm ²]	23.41	27.98	39.71	35.60	
1 材 齢 [日]	287.00	282.00	291.00	281.00	90日以降は室内に放置
見掛け比重	1.22	1.25	1.20	1.27	試験時
圧縮強度[Kgf/cm ²]	-----	210.17	397.25	374.14	
圧縮強度[N/mm ²]	-----	20.61	38.96	36.69	
2 材 齢 [日]	287.00	282.00	291.00	281.00	90日以降は室内に放置
見掛け比重	1.22	1.27	1.29	1.31	試験時
圧縮強度[Kgf/cm ²]	195.88	205.27	-----	247.00	
圧縮強度[N/mm ²]	19.20	20.13	-----	24.22	
3 材 齢 [日]	287.00	282.00	291.00	281.00	90日以降は室内に放置
見掛け比重	1.23	1.26	1.30	1.32	試験時
圧縮強度[Kgf/cm ²]	215.18	275.64	231.67	296.17	
圧縮強度[N/mm ²]	21.10	27.03	22.71	29.04	
Ave 材 齢 [日]	287.00	282.00	291.00	281.00	
見掛け比重	1.22	1.26	1.26	1.30	
圧縮強度[Kgf/cm ²]	205.52	230.36	314.46	305.77	
圧縮強度[N/mm ²]	20.15	22.59	30.84	29.98	

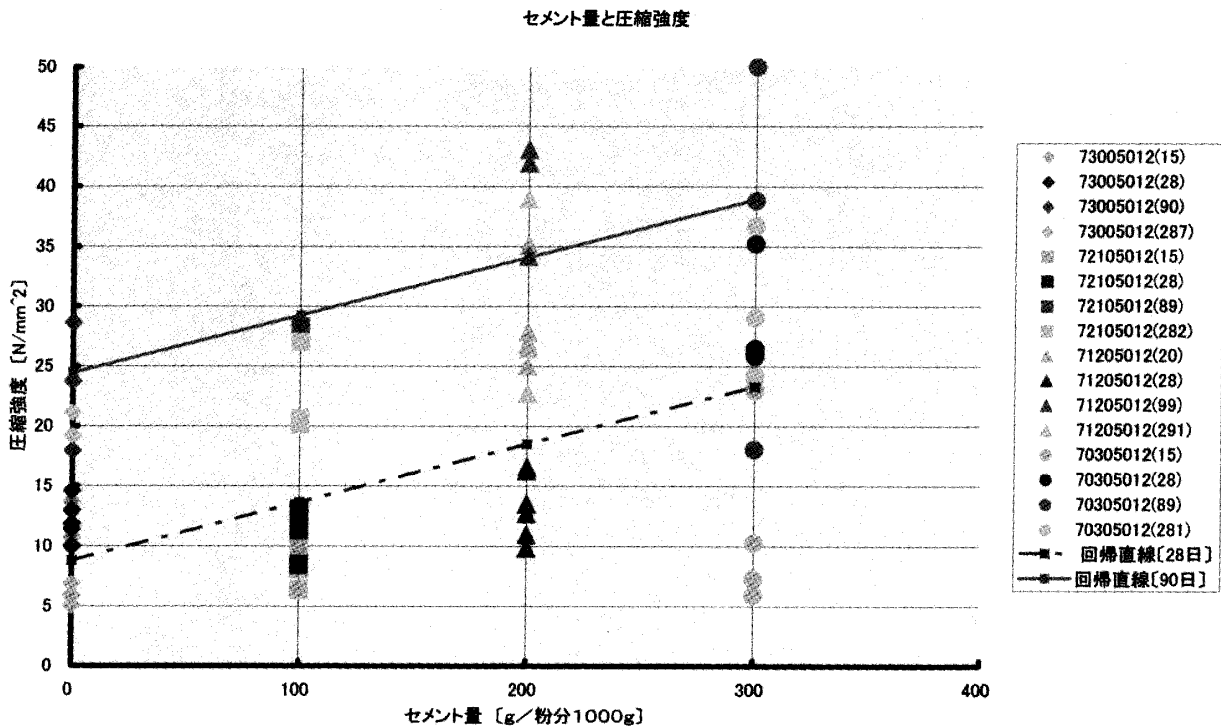


図 4. セメント量と圧縮強度

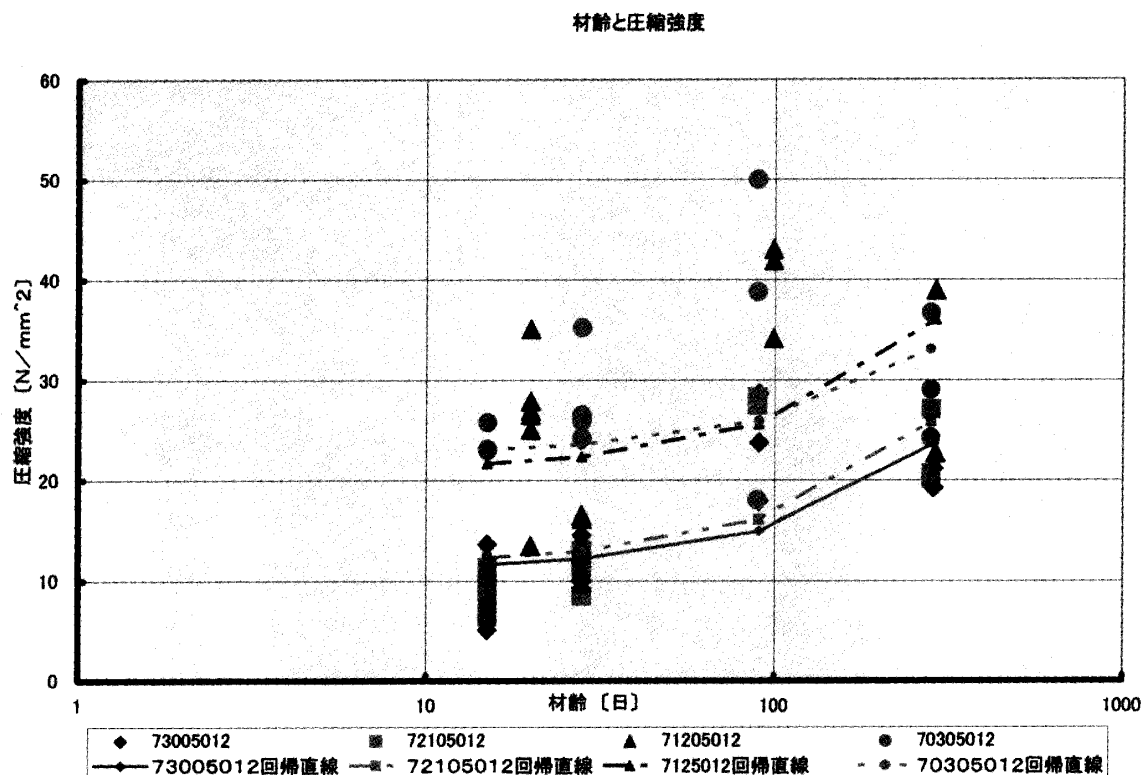


図 5. 材齢と圧縮強度

施工軟度を大きくし、圧縮強度のばらつきを小さくするために、練り込まれた空気の泡を小さくし、四方八方へ分散させるAE剤を併用した調合とミキサーの練り時間等の問題、および初期材齢時の圧縮強度を発現と硬化の促進を図るために、湿気養生の温度をどの程度にしたら良いのかという課題を、ペーパースラッジ焼却灰の活用を図るためには、解決して行かなければならない。

謝辞 本研究にあたり、本学からは特別研究費を頂き、富士製紙協同組合からは、主材料のペーパースラッジ焼却灰の供給を頂き、㈱リグエースからは、流動化剤の提供を頂き、静岡県富士工業技術センター製紙工業技術スタッフの先生方には、いろいろお世話を頂いた。ここに、心から謝意を表する。

参考文献

* 1 改定増補 紛体物性図説

紛体工学会、㈱日本紛体工業技術協会編

日経技術図書㈱ 1985年12月

* 2 建築材料教材

(社) 日本建築学会編

(社) 日本建築学会 2005年2月

(平成17年11月30日受理)