

古紙及び石炭火力発電廃棄物の建築材料への再利用

Recycle of used paper and fly ash as building materials

代表研究者	東北大学工学部助教授 Assoc. Prof., Faculty of Enging., Tohoku Univ. Hirozo MIHASHI	三橋博三
協同研究者	茨城大学工学部助手 Res. Assoc., Faculty of Enging., Ibaraki Univ. Tatsuya NUMAO	沼尾達弥
	東北大学工学部助手 Res. Assoc., Faculty of Enging., Tohoku Univ. Takeshi NARITA	成田健
	東北大学工学部助手 Res. Assoc., Faculty of Enging., Tohoku Univ. Satoshi ARIKAWA	有川智
	東北大学工学部技官 Tech. Assist., Faculty of Enging., Tohoku Univ. Kazuki KIRIKOSHI	桐越一紀

Although the amount of by-products such as fly ash from coal fire electric power plants and used paper from office automation machines increases very rapidly, quite few technologies to utilize them have been developed. Especially the huge amount of used paper causes a big problem in urban waste disposal facilities. On the other hand, saving forests in southern countries is desired from the view point of environmental problems in the world. Therefore some ideas of useful utilization of the used paper need to be developed.

The present study tried to develop cementitious composite materials for buildings with a newly developed artificial light weight aggregate which was produced by mixing a large amount of fly ash and shredded used paper. Potential weak points of this new material are poor strength, high water absorption which may cause large deformation due to shrinkage, rather poor fire resistance and resistance to frost damage.

Improvement of the strength property was carried out by means of fiber reinforcement with stainless steel fiber, vinylon fiber and carbon fiber. The idea of three layers fiber composite materials was more efficient.

The relation between the amount of aggregates and the shrinkage deformation was investigated. Since the deformation did not proportionally increase as the amount of aggregates, a rather large amount of aggregates can be used to decrease the weight of building elements.

While the plain mortar with the light weight aggregates has the sufficient fire resistance, two layers composite material with fiber reinforcement was more efficient.

From the view point of the resistance to the frost damage, the critical water content was studied. Below about 80% water content of the completely saturated condition, the frost damage becomes less serious.

These results may show that fiber reinforced composite materials with used paper and coal ash have a great potential as architectural finishing materials.

研究目的

産業の発達に伴い大量に発生している産業廃棄物の有効利用を図る技術開発が建設業界においても種々進められている。このうち、石炭火力発電への依存度の高まりに伴い増加の一途をたどっている石炭灰（フライアッシュ）は、未加工のまま使用する場合が多く、利用率が低いのが現状である。一方、森林資源の有効利用とゴミ処理問題への対応という観点から、古紙の有効利用が叫ばれているが、建築材料分野での有効な大量利用法は未だ開発されていない。

本研究は、石炭灰と古紙パルプを大量に用いた一種の人口軽量骨材を利用して、より付加価値の高い建築用仕上げ材を開発するための基礎的研究を行うものである。

通常のフライアッシュセメントにおける石炭灰の混入量はセメントの20~30%が限界であるのに対して、本研究で用いる人口軽量骨材では200%以上に達する事からもわかるように、石炭灰の有効な大量利用に繋がる事が期待され、資源の再利用への解決策の一つとなりうる。

また、混入される古紙パルプは、例えば通常の事務用紙をシュレッダーで切断したもので、パルプ抽出の手間は現行の化学的処理に比べて格段に簡単である。

材料工学的な側面からいうと、比較的弱いマトリックスを強い繊維で補強したセメント系複合材

料の開発により、軽量化を図る方法を検討する点、また精度の高い乾湿環境条件下での多孔質セメント系材料の変形挙動を明らかにする点が本研究の特色である。

古紙パルプを大量に用いた材料を建築用仕上げ材として利用しようとした場合、検討すべき点としては基礎的な強度特性の他に、耐火性の問題、乾燥湿潤に伴う変形の問題及び耐凍結融解性などに代表される耐久性の問題などが特に挙げられる。そこで、繊維補強による強度特性の改善法の検討、ハイブリッド複合化による耐火性能の改善法の検討、乾燥湿潤による長さ変化特性の把握とその対応策の検討及び耐凍結融解性の検討の4点に絞って研究を行うものである。

研究経過

1. 繊維補強による強度特性の改善法の検討

古紙パルプと石炭火力発電により廃出されたフライアッシュ及び少量のセメントと水を混合造粒して作られた軽量骨材は（以下、パルプサンドと呼ぶ）、絶乾比重で0.73と軽い点に特徴があるものの強度は小さい。したがって、モルタルにこれを骨材として混入したパルプサンドモルタルの強度特性は、建築用部材として用いるには不十分である。そこで、種々の繊維補強材を混入する事で強度特性の改善を試みた。

実験1では、ステンレス繊維を混入し、その混入率によって強度特性がどのように変化するかを

表1. モルタルの調合

水結合材比	砂結合材比	水 (g)	セメント (g)	シリカフェーム (g)	パルプサンド (g)	流動化剤 (g)
1.115	1.00	562.0	352.8	151.2	504.0	10.6

表2. コア材部モルタルの調合

記号	使用繊維	水結合材比	砂結合材比	セメント (g)	シリカフェーム (g)	水 (g)	パルプサンド (g)	繊維 (g)	流動化剤 (g)
2-1		0.95	1.00	4074	1746	5557	5820	0	0
2-2	ステンレス	1.04	1.00	4074	1746	6057	5820	2310	0
2-3	ビニロン	1.13	1.00	4074	1746	6557	5820	390	122
2-4	炭素	1.11	1.00	4074	1746	6432	5820	600	122

調べた。用いられたモルタルの調合は表1に示す通りであり、繊維長15mmのステンレス繊維を容積率で0%、1%、3%、5%混入した。供試体の寸法は幅約50mm、長さ約200mm、厚さ約20mmで加圧成形を行い、余剰水を取り除いた。強度試験としては、中央集中荷重による曲げ試験並びに2面せん断試験を行った。

実験2では、コア材と表層材の計3層からなる複合材とすることによって強度特性を改善することを試みた。コア材のパルプサンドモルタルの補強材には実験1と同じく長さ15mmのステンレス繊維 ($E=2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$) を用いた他、同じく繊維長15mmの高弾性ビニロン繊維 ($E=3.01 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)、並びに繊維長12mmのピッチ系炭素繊維 ($E=2.50 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$) を用いた。表層部分には、長さ25mmのピッチ系炭素繊維と水結合材比0.3の珪砂モルタルからなるセメント系複合材(厚さ約2mm)を用いた。表2にコア材部モルタルの調合を示す。第1層に表層用セメント複合材、第2層にパルプサンドモルタル複合材、第3層に再び表層用セメント系複合材を重ねて加圧成形し、幅約50mm、長さ約200mm、厚さ約20mmの供試体を製作した。

2. 複合化による防火性能の改善法の検討

先の研究で、筆者らは既にパルプサンドモルタルの難燃性について小型試験体を用いた簡易試験によって実験的に明らかにしているが、今回JIS規格の難燃性試験を行い確証実験をするとともに、表層を不燃材で覆うことによって更に防火性能を上げる事を試みた。

用いた試験体は、1.の実験2で示した材料構成で、試験体寸法は約305×445×20mmである。ただし、比較のために表層部分を付さないパルプサンドモルタル層のみの平板(2-0シリーズ)も作製した。防火試験は、JIS A 1301(建築物の木造部分の防火試験方法)に準じて行い、2級加熱曲線を採用した。

3. パルプサンドモルタルの乾燥収縮・湿潤膨張特性の評価

多量の高紙を含むパルプサンドは、必然的に水分を吸収しやすい。したがって、梅雨期の多湿と

冬期の乾燥が毎年繰り返される我が国において、パルプサンドモルタルを建築内外装材として用いる場合には、乾燥収縮・湿潤膨張特性を知悉しておく必要がある。

この実験を行うに当たって重要な事は、試験体内部での湿気の動きや分布をどう捉えるか、また空気中の炭酸ガスによる炭酸化収縮と乾燥収縮を実験においていかに分離するかという点である。本研究では、高精度の相対湿度調整機器を用いて、温度と湿度を精密にコントロールしながら長さ変化の測定を行い、乾燥収縮・湿潤膨張特性を評価する。ここで特徴的なことは、空気中の炭酸ガスを完全に遮断した人工環境を作り出し、試験体の炭酸化収縮の影響を取り除く工夫を施すことにある。用いた試験体は、直径15mm、長さ100mmの円柱供試体である。

また、飽和塩溶液を用いて、パルプサンドモルタルの吸・放湿履歴曲線を求め、パルプサンド含有率の影響を調べた。用いられた供試体は1.の強度特性を調べるのに作製されたパルプサンドモルタル加圧成形板から切り出された15×15×10mmの角型試験体である。実験に用いられた各種塩固有の飽和湿度を表3に示す。

測定方法は以下の通りである。まず、三角フラスコ状の透明な容器にそれぞれ固有の飽和湿度を持つ塩を適量入れ、容器の底の端を水で濡らす。これら湿度の異なった5本の容器の口を塞ぎ、中央に穴を開け釣り糸で結ばれた供試体を通して置く。20℃で測定した時は恒温室内に放置し、40℃で測定した時は乾燥炉内を40℃に設定してこの中に放置した。この釣り糸の先を電子天秤の爪にひっかけて容器内に放置された供試体の重

表3. 実験に用いられた各種塩固有の飽和湿度

使用塩	20℃のとき (%)	40℃のとき (%)
KOH	9	6
MgCl ₂	33	32
Mg(NO ₃) ₂	55	49
NaCl	79	75
KCl	86	82

量を計る。供試体の重量が変化しなくなったら、一度すべて KOH の入った容器内に放置し、この塩の飽和湿度に平衡状態になるまで待つ。これは同じ供試体を使って水分吸着現象を測定する為である。KOH の塩で平衡状態に達した各供試体を、それぞれの塩の入った容器内に再び放置して、各環境湿度に平衡状態になるまで、1日1回電子天秤で重量を測定する。平衡状態に達したら、各供試体を乾燥炉で 105°C で加熱乾燥させて、絶乾重量を求める。そして供試体内部の水分移動量を含む含水率で表示し、各環境湿度との関係をグラフ上にプロットして水分特性曲線（ヒステリシス曲線）を描く。

4. パルプサンドモルタルの耐凍結融解性

セメント硬化体は、多かれ少なかれ水分を含むために寒冷地においては凍結融解の作用により材料の劣化を生じる場合がある。そのために、とりわけ外壁材としてパルプサンドモルタルを用いる場合には、耐凍結融解性の検討が必要である。

耐凍結融解性の代表的な評価手法として、ASTM（米国材料試験協会）の方法と RILEM（材料構造試験研究機関国際連合）の提案してい

る方法とがあげられる。ASTM の方法では含水条件を一定のまま多数回の凍結融解作用を繰り返し、動弾性係数の相対的低下を調べる。一方の RILEM の方法では凍結融解作用による劣化を生じる含水量の限界値を調べるために、種々異なる含有水分量で比較的低回数回の凍結融解作用を繰返し、動弾性係数の相対的低下を調べるものである。

飽水状態にあるパルプサンドモルタルは、極めて多孔質であるために凍結融解作用に対して十分な耐久性を有しないことが予想されたこと、実際の建築部材として用いられた場合にその含有水分の状態は種々変化することが予想されることなどから、本研究では RILEM 試験法に基づいて耐凍結融解性の評価を行うこととした。

研究成果

1. 繊維補強による強度特性の改善法の検討

実験 1 ステンレス繊維混入によるパルプサンドモルタルの補強効果

曲げ及びせん断試験の結果を表 4 に示す。表より、ステンレス繊維無混入の場合、曲げ強度は 94.4 kgf/cm²、せん断強度は 58.9 kgf/cm² であ

表 4. ステンレス繊維混入による補強効果

試験体 No.	繊維混入率 (%)	曲げ強度 σ_b (kgf/cm)	せん断強度 σ_s (kgf/cm)	比重	含水率 A (%)	含水率 B (%)
SO-1	0	87.1	56.1	1.34	14.42	13.12
SO-2	0	99.2	63.2	1.41	13.85	12.86
SO-3	0	97.0	57.6	1.31	12.56	11.96
平均	0	94.4	58.9	1.36	13.61	12.65
S1-1	1	95.3	69.9	1.41	12.88	11.50
S1-2	1	98.8	79.2	1.40	11.91	11.24
S1-3	1	88.0	68.5	1.41	11.84	11.26
平均	1	94.0	72.5	1.41	12.21	11.33
S3-1	3	138.1	113.0	1.58	12.23	11.36
S3-2	3	126.1	102.9	1.57	11.84	11.32
S3-3	3	127.3	102.4	1.53	11.67	10.87
平均	3	130.5	106.1	1.56	11.91	11.18
S5-1	5	109.6	91.1	1.58	9.69	9.32
S5-2	5	122.2	130.1	1.58	9.59	8.97
S5-3	5	92.4	131.7	1.59	9.63	9.13
平均	5	108.1	117.6	1.58	9.64	9.14

注) 含水率 A: 曲げ試験時, 含水率 B: せん断試験時

るが、繊維の混入によって、曲げ強度は 130.5 kgf/cm²、せん断強度は 117.6 kgf/cm² にまで増大している。

また、繊維混入率が増加するに従いせん断強度は線形的に増加するが、曲げ強度はそのような増加傾向はみられず、繊維混入率 3% の場合が最も高い値を示している。以上の結果より、破壊メカニズムの違いによる補強繊維混入率の最適化が必要ことが確認され、せん断破壊に対しては繊維の絶対量が影響し、曲げ破壊にはその他の要因、例えば繊維の配向性、付着、長さ及び繊維の強度等が影響するものと考えられる。

実験 2 3 層複合材化による繊維補強効果

表 5 に曲げ及びせん断試験の結果を示す。コア材のパルプサンド繊維無混入の場合で曲げ試験 127.5 kgf/cm² 及びせん断強度 84.4 kgf/cm² を得ており、表層材に用いた炭素繊維補強セメント系複合材層の補強効果が明確に認められる。

各種繊維の補強効果を見てみると曲げ強度では、①ステンレス、②ビニロン、③炭素、の順となり、炭素繊維は繊維無混入の場合よりも低い曲げ強度を示す結果となった。

一方、せん断強度について見てみると、①ビニ

ロン、②ステンレス、③炭素、の順となり、いずれも繊維無混入の場合よりも大きな値を示した。これより炭素の水和性が著しく悪いためにモルタルマトリックスとの付着性が良くないことが曲げ強度の低下につながったと考えられる。曲げ試験の荷重変形曲線を図 1 に示す。いずれの繊維であっても繊維の混入によってピーク後の軟化挙動がより安定し、破壊靱性が増大する傾向が顕著に認められる。

以上の結果より、各種繊維をパルプサンドモルタルと複合化する場合には、繊維自体の引張強度もさることながら、モルタルマトリックスとの付着性、繊維の靱性が大きく影響するものと考えられる。また、今回は全ての供試体について表層部に炭素繊維混入モルタルによる補強を行っているため、パルプサンドモルタルへの繊維無混入の場合にもせん断強度の向上がなされているものと考えられる。

2. 複合化による防火性能の改善法の検討

防火性能の結果を表 6 に示す。供試体 No. 2-0 シリーズは、単層パルプサンドモルタル板である。表より、すべての供試体の裏面温度は、JIS A 1301 に規定されている裏面最高温度 260℃ を越

表 5. 2 層複合型パルプサンドモルタルの繊維補強効果

試験体 No.	使用繊維	曲げ強度 σ_b (kgf/cm)	せん断強度 σ_s (kgf/cm)	表乾比重	含水率 A (%)	含水率 B (%)
2-1-2-2	なし	133.2	79.6	1.70	21.78	16.38
2-1-2-3	"	125.7	86.3	1.68	14.85	16.10
2-1-2-4	"	123.7	87.4	1.68	15.23	16.50
平均	"	127.5	84.4	1.69	17.29	16.33
2-2-1-2	ステンレス	154.5	115.9	1.85	17.99	13.82
2-2-1-3	"	165.8	98.1	1.88	13.52	13.37
2-2-1-4	"	154.9	92.8	1.84	13.52	13.37
平均	"	158.4	102.2	1.86	15.01	13.52
2-3-2-3	ビニロン	132.9	144.4	1.68	16.30	16.15
2-3-2-4	"	128.0	101.8	1.65	23.23	15.63
平均	"	130.4	123.1	1.67	19.77	15.89
2-4-1-2	炭素	136.7	93.6	1.64	11.60	13.74
2-4-1-3	"	112.7	94.2	1.66	12.37	11.48
2-4-1-4	"	112.6	111.5	1.63	20.16	13.14
平均	"	120.7	99.8	1.65	14.71	12.79

注) 含水率 A: 曲げ試験時, 含水率 B: せん断試験時

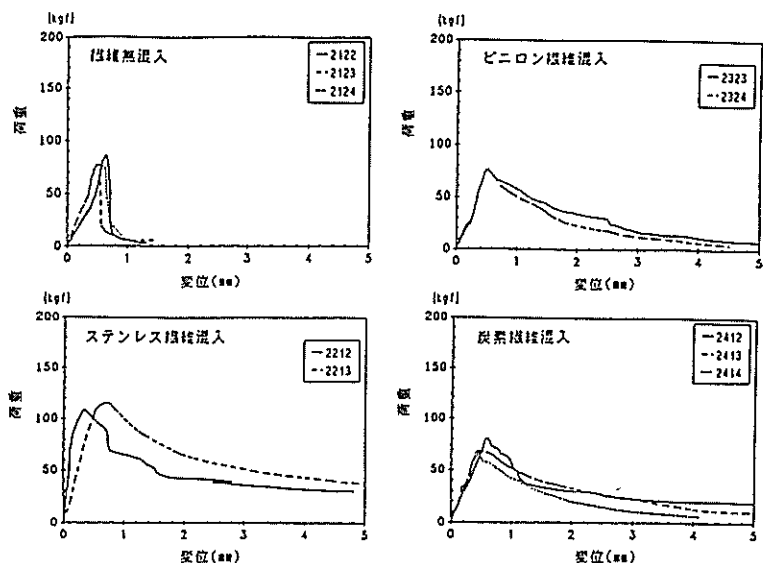


図 1. 曲げ変形挙動への混入繊維の影響

表 6. 防火試験結果

供試体 No.	使用繊維	中央たわみ (cm)	表面最高温度 (°C)	裏面最高温度 (°C)	質量変化 (%)
2-0-1-1	なし	0.59	864	235	14.82
2-0-3-1	"	0.79	878	146	14.86
平均	"	0.69	871	191	14.84
2-1-1-1	なし	0.78	864	77	18.14
2-1-2-1	なし	0.92	874	91	13.73
平均	"	0.85	869	84	15.94
2-2-1-1	ステンレス	0.26	821	110	14.72
2-2-2-1	"	0.51	869	187	12.53
平均	"	0.39	845	149	13.63
2-3-1-1	ビニロン	1.43	878	120	20.01
2-3-2-1	"	1.05	864	130	17.02
平均	"	1.24	871	125	18.52
2-4-1-1	炭素	0.31	854	145	20.58
2-4-2-1	"	0.33	775	145	18.17
平均	"	0.32	815	145	19.38

えていない。裏面最高温度が最も高い温度を示したのが、パルプサンドモルタルのみの供試体(2-0-1-1)で235°C、その値が最も小さいのが繊維無混入の3層複合化供試体(2-1-1-1)で77°Cと150°C以上の差がある。又、ステンレス繊維を混入した供試体の温度比率の範囲が広いのが特徴である。混入したステンレス繊維、炭素繊維及びビ

ニロン繊維によりこのような温度比率の違いが現れたのは、それぞれの繊維の熱伝導率の影響があったものと考えられる。

単層パルプサンドモルタル板では、特に2-0-1-1供試体において、裏面に達する亀裂が生じ、他の供試体も含めて、加熱面に無数の亀裂が発生した。表面に薄い炭素繊維混入モルタル層を付した

3層複合化のものでも表面の剝離がパルプサンド層に達し、大きな亀裂も生じていた。また、供試体の反りも大きく、裏面には小さなひびが数カ所あり、そこにしみ出た跡が見られた。

ステンレス繊維混入供試体は、モルタルが爆裂し始めたが、爆裂はすぐに治まった。このシリーズは、亀裂や剝離の損傷が最も少なく、パルプサンド層には達していなかった。又、反りも小さく、裏面に変化は見られなかった。

ビニロン繊維混入供試体においては、表面温度300℃付近で加熱面のモルタルが爆裂し始めた。450℃付近で大きく爆裂、異臭が発生するとともに気体に引火し燃え上がり、720℃付近で裏面から水蒸気が吹き出した。表面は、完全に焼けただれており亀裂が裏面にまで達していた。又、供試体の反りは本実験中最も大きいものであった。

炭素繊維混入供試体においては、表面温度360℃付近で表面のモルタルが爆裂し始めた。450℃付近で大きく爆裂し、その後も爆裂を繰り返しながら、裏面温度145℃を越えたところで、

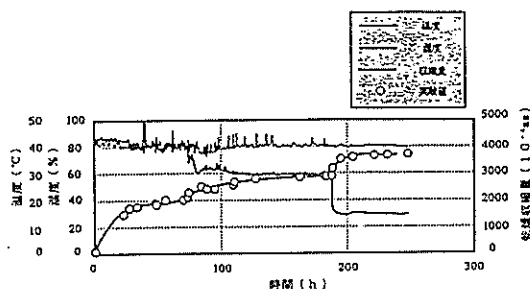


図2. パルプサンドモルタル乾燥収縮実験結果 (S/C=2.0)

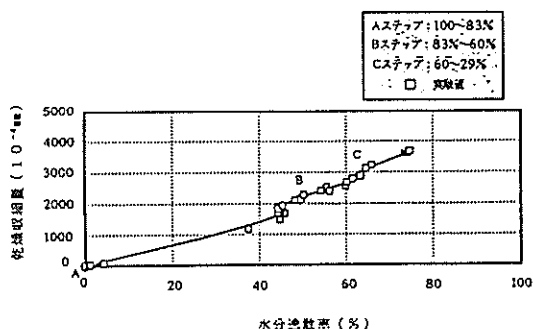


図3. パルプサンドモルタルの水分逸散と収縮変形の関係 (S/C=2.0)

裏面マット層が剝離し始めた。実験後の供試体の表面は完全に焼けただれており、亀裂が裏面にまで達していた。又、供試体の反りはさほど大きくなかった。

3. パルプサンドモルタルの乾燥収縮・湿潤膨張特性の評価

図2に環境条件の変化過程と乾燥収縮過程の関係の一例を、図3に水分逸散と収縮変形の関係の一例を示す。さらに図4には、パルプサンド混入率をセメント及びシリカとの重量比(S/C)で表し、S/Cと乾燥収縮量との関係を示した。水分逸散と収縮変形量の間には密接な関係があるものの、パルプサンド混入率と収縮変形量の間には、必ずしも線形関係がないことが確かめられた。したがって、強度などの問題を他の複合化技術で補うことが出来れば、パルプサンド混入率を上げることによって軽量化をはかることも可能であろう。

図5には、パルプサンドモルタルの吸・放湿履歴

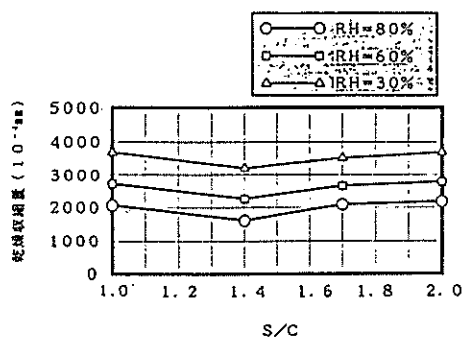


図4. 乾燥収縮量と砂セメント比(S/C)の関係

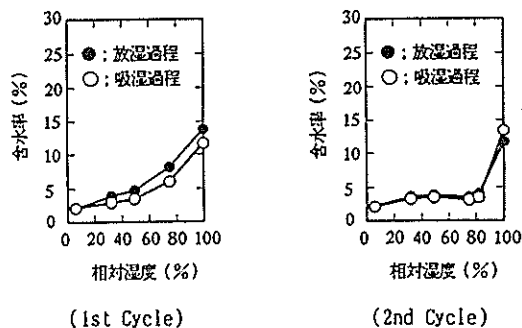


図5. パルプサンドモルタルの水分吸・放湿履歴曲線(40℃; S/C=1.4)

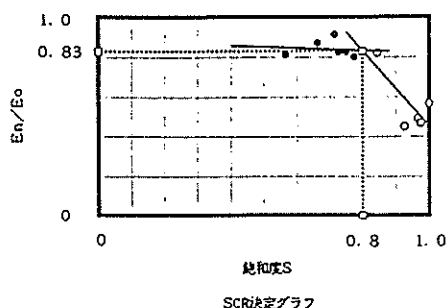


図 6. 限界飽和度の評価

歴曲線の一例を示す。1 サイクル目と比べて 2 サイクル目の履歴曲線は大きく異なり、約 80% の相対湿度まで環境湿度が高くなっても、含水率がほとんど変化しない点は注目される。例えば梅雨期の高湿度の時のみ吸湿機能を持ち、他の季節は環境の変化に左右されずに、安定した状態を保つ点を生かした建築内装材としての利用などが考えられる。

4. パルプサンドモルタルの耐凍結融解性

含水率を種々変化させて、凍結融解作用を行った結果、動弾性係数の低下率は図 6 のように得られた。この結果より、パルプサンド混入率 $S/C=1.0$ の場合には、飽和水量の約 80% が限界値である事がわかる。従って、飽水状態の 80% 以下に水分の進入を抑制し得る建築部位であれば、すなわち水分が頻繁に供給されないような条件下であれば、パルプサンドモルタルは外装材としても用いうる事が示された。

5. 利用

防火性能に関しては、有機質材の含有量が多くなるほど低下するものの、2 級加熱試験 (JIS A 1301) の結果によれば十分な防火性を持つものと判断できる。すなわち、加熱中において有害な変形・破壊・脱落などの変化はみられず、裏面の温度は 260°C 未満であり、また発煙も観察されない。今後、耐火性能試験等の詳細な検討が必要ではあるが、パルプセメント板や木片セメント板等の準不燃材料に準じた性能を有すると思われる。

パルプセメント板 (8 mm 厚: かさ比重 1.0~、曲げ強度 35~kgf/cm²) は、壁下地・壁・屋根下地・天井などに、普通木片セメント板 (80 (50)

mm 厚: かさ比重 0.5~0.8, 曲げ強度 210 (130)~kgf/cm²) はそれらに加えて床下地にも用いられる。今回の強度試験の結果 (20 mm 厚: かさ比重 1.6~、160~kgf/cm²) 及び可撓性や耐衝撃性を勘案すると、内外壁、間仕切壁及び床の下地として十分使用に耐えられ、特に吸放湿特性を活かした表面仕上げを施すことで内壁材として用いることが有効であると考えられる。また、天井に関しては防火性、強度に加えて軽量性或吸音性が求められるため、かさ比重で 1.0 程度を目標に更なる軽量化が必要である。

今後の課題と発展

種々の繊維で補強することにより、強度特性の改善を施すことが出来たものの、まだ比重は大きく、単位密度当たりの強度は必ずしも十分とはいえない。表層により強くして靱性の高い相を付すことにより、更に有効な補強が可能となることを示し得た。この方向でより軽くより強い複合材の開発を進める必要がある。

1992 年度の産業技術白書に「政府の取り組むべき産業科学技術の研究開発の緊急課題」としてアンケートの結果が示されているが、①地球環境問題の解決②新エネルギー、省エネルギー③未利用資源 (新素材・産業廃棄物のリサイクル) の 3 課題が挙げられている。本研究でとりあげた古紙と石炭灰の有効利用としてのパルプサンド及びそれを用いた複合材料の開発は上述 3 課題すべてに密接につながっていることから明らかなように、緊急かつ重要な課題であり、今後更なる発展が必要である。末筆ながら、本研究を行うに当たり、ご援助戴いた日産科学振興財団、多大なご協力を戴いた東北電力(株)電力技術研究所の山本忠氏及び東北大学大学院生の岩間一郎君、防火試験を行うに当たり、便宜をはかって戴いた東北工業大学の四戸英男教授に感謝申し上げます。また、繊維や混和材等の供与を賜りました新日本製鉄(株)、前田製管(株)、呉羽化学(株)、出光興産(株)、藤沢薬品工業(株)、ユニチカ(株)の各社に記して謝意を表します。

発表論文リスト

- 1) 古紙混入モルタルの水分吸収・放出特性に関する

る基礎的研究, 日本建築学会東北支部研究報告
集, 第55号, pp. 137-140 (1992年6月).
2) 古紙混入モルタルの収縮変形及び水分逸散特性

に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演
梗概集(北陸), pp. 997-998 (1992年8月).