

活性炭を混入したセメント系壁材の 施工性, 付着強度および水蒸気吸着性能に関する研究

麓 隆 行*

Fluidity, Bond Strength and Water Vapor Sorption of Wall Material with Cement and Activated Carbon

Takayuki FUMOTO*

The purpose of this study is to develop a wall material adsorbing the toxic substance contained in the exhaust gas from the car. Cement and activated carbon were mixed as the wall material. Then the properties of the wall material were investigated. As the results, the following became clear in this study. Particles of the activated carbon were angular and coarse. These properties influenced fluidity of mortar. Therefore, it was understood to be desirable to mix the activated carbon with the cement paste. Then, properties of the cement paste mixing the activated carbon were investigated. Workability of the cement paste mixing the activated carbon was able to decide by difference between the paste flow after 15 times impact and one after 30 times impact. If the cement paste contains 10-15% the activated carbon in volume, the paste has reasonable bond strength as the wall material and it is possible that the active carbon absorbs some suspended dust.

Key words : absorbent, wall material, activated carbon, fluidity, bond strength, water vapor sorption

1 はじめに

都市環境問題の一つである排出ガスには, 水蒸気や二酸化炭素だけでなく, 窒素酸化物や一酸化炭素, 浮遊粒子状物質(SPM)など, 環境や人体に影響を及ぼす物質も多く含まれている [1]. これらの物質は, 発生源から排出され, 拡散する. 拡散すると被害が拡大する. このため, 排出を防ぐか, できるだけ排出直後に吸着・回収することが望ましい. 車の排気ガスであれば, エンジン排気口のフィルタとして設置することや, 排出直後の道路周辺にて吸着することが考えられる. 排気口へのフィルタの設置が普及するには時間を要する. 一方, 道路周辺に設置して, 環境や人体への影響を緩和すべく対策が考えられている. 例えば, NOx 等の除去のため, 道路舗装への光触媒の塗布である [2]. しかし, 粒子状物質の有効な吸着, 除去方法は確立されていない. そこで本研究では, 道路周辺に浮遊する物質を吸着できる壁を配置することを考え, その材料として吸着剤を混入したセメント系壁材を考え, 吸着剤として, 一酸化炭素や SPM を吸着できる物質の一つである活性炭を対象とすることとした. なお, モルタル表面に活性炭を圧着することも考えられるが, 付着の不十分等により飛散

すれば別の被害を及ぼすことから, 本研究では活性炭をモルタルに混入することを考えた. 手順として, 活性炭の品質がそれを混合したモルタルの流動性や強度に及ぼす影響を確認した. その後, その影響を考慮し, 活性炭を 0~15%混合した適度な施工性能を持つセメントペーストを作製し, 接着強度や水蒸気の吸着性能を調べ, 有効な混入量とその評価方法について検討した.

2 活性炭の品質がモルタルの 流動性や強度に及ぼす影響

2.1 実験概要

本研究では, 早強ポルトランドセメント (密度 3.13g/cm^3 , ブレーン値 $4600\text{cm}^2/\text{g}$), 川砂(表乾密度 2.59g/cm^3 , 吸水率

Table 1 Adsorbent used in this experiment

Absorbent	Activated carbon	Synthetic zeolite	Artificial zeolite
Average of particle size (μm)	51.2	4.35	29.1
Density (g/cm^3)	1.09	2.09	1.58
Bulk Density (g/cm^3)	0.24	0.67	0.55
Filling factor (%)	22	32	34.8

平成 20 年 6 月 21 日受理

* 社会環境工学科 講師

Table 2 Mixture proportions of mortar with absorbent

Absorbent	W/C (%)	Mixing volume rate of absorbent in mortar (%)	Unit Weight (kg/cm ³)			
			Water	Cement	Sand	Absorbent
Non-mixed	40	0	418	1045		0
	50	0	458	917		0
	60	0	490	818		0
Activated carbon	40	5	457	764		55
		10	424	709		109
		15	392	655		164
	50	5	428	856		55
		10	397	795		109
		15	366	734	647	164
		5	457	764		55
		10	424	709		109
		15	392	655		164
Synthetic zeolite	60	5	457	764		104
		10	424	709		209
		15	392	655		313
Artificial zeolite	60	5	457	764		79
		10	424	709		158
		15	392	655		237

1.42%, 実積率 67.0%)および Table 1 に示す吸着剤を用意した。すなわち, 活性炭の使用を中心に考え, 比較として合成ゼオライト, 人工ゼオライトを使用した。Table 1 にある平均粒径はレーザー回折式粒度分布測定装置を用いて測定した。また, 密度を JIS A 1202 「土粒子の密度試験方法」およびかさ密度を JIS K 5101 「顔料試験方法」に準じて測定し, かさ密度を密度で除して充填率を求めた。

モルタルの W/C は 40, 50 および 60% とした。また, 配合設計では細骨材量を 647kg/m³ と固定し, 吸着剤をモルタル全体積の 5, 10 および 15% となるように加えた。配合表を Table 2 に示す。なお, W/C = 60% のみに 2 種類のゼオライトを混合し, 活性炭を用いた場合との比較を行った。容量 10 リットルのプラネタリー式ミキサでセメント, ゼオライトおよび細骨材を 15 秒低速で練り混ぜた後, 水を加えて低速 30 秒, 高速 90 秒練り混ぜてモルタルを作製した。

作製したモルタルの性状として, 練混ぜ直後に JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」に準じてモルタルフローを測定した。また, そのモルタルを 40×40×160mm の型枠に打設し, 翌日脱型, 材齢 7 日まで 20℃ の水槽で養生した。供試体は, JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」に準じて, 曲げ強度および圧縮強度を測定した。さらに, 同様に養生した供試体を室温 20℃, 相対湿度約 60% の部屋に設置し, コンタクトゲージ法により長さ変化を測定した。

2.2 実験結果と考察

Table 1 を見ると, 活性炭と人工ゼオライトは同程度の

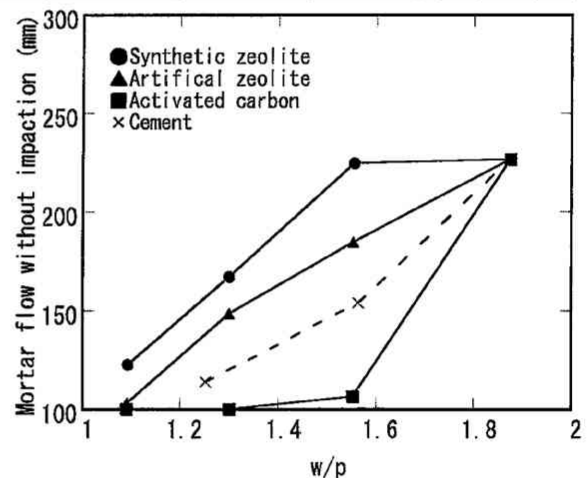


Fig. 1 Results of mortar flow without impactation

平均粒径であるが, それらに比べて天然ゼオライトの粒度が 1/10 程度細かいことがわかる。一方, 天然ゼオライトと人工ゼオライトの場合, 充填率は同程度であるが, 活性炭の場合, 充填率は小さい。充填率は, コンクリート用骨材の実積率と似ており, 活性炭粒子の形状や表面の凹凸が粗いことが影響し, タッピングによる充填を妨げていたと考えられる。

フロー試験結果を Fig. 1 に示す。w/p とは, 水と全粉体との体積比である。また, 比較として, セメントを W/C = 40, 50 および 60% とした配合を用いた結果を破線で示している。いずれの粉体であっても水粉体比が小さいとモル

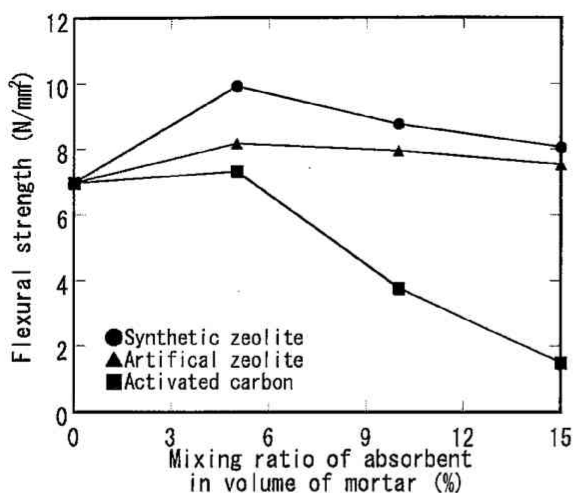


Fig. 2 Results of flexural strength tests

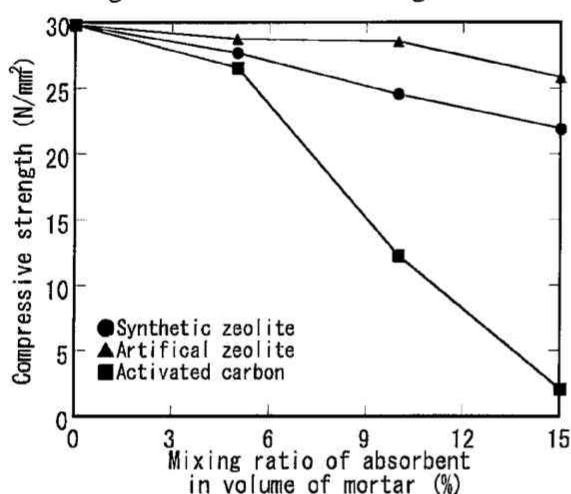


Fig. 3 Results of compressive strength tests

タルフローは減少した。水粉体比が同じであっても、ゼオライトを使用した場合、セメント量が増えた場合と比較してモルタルフローが増加したのに対し、活性炭を用いた場合は、モルタルフローが大きく低下した。これは、先に述べたとおり、セメントに比べ、ゼオライトの形状が丸いためと推測される。特に、合成ゼオライトの場合、粒径が小さく、ベアリング効果が大きかったと推察される。一方、活性炭の場合、充填率が小さく、形状に角があるため、流動性の低下が大きかったと考えられる。

Fig. 2 および Fig. 3 に、曲げ強度試験、および圧縮強度試験の結果を示す。ゼオライトをモルタル全体の5~15%混入しても曲げ強度の低下はほとんど見られない。むしろ、合成ゼオライトを混合した場合、5%の混合で強度増加が見られた。5%程度であれば充填効果があるが、それ以上では空隙としての影響が大きいことが考えられる。活性炭では、今回の配合では10%以上混合すると流動性の低下をまねき、供試体が十分に締め固まらなかったため、強度が大きく低下した。一方、圧縮強度では、曲げ強度とは異なり、添加量に比例して、圧縮強度の低下が見られた。吸着剤を15%混合すると、混入前に比べて合成ゼオライトでは25%程度、人工ゼオライトでは15%程度の低下となった。

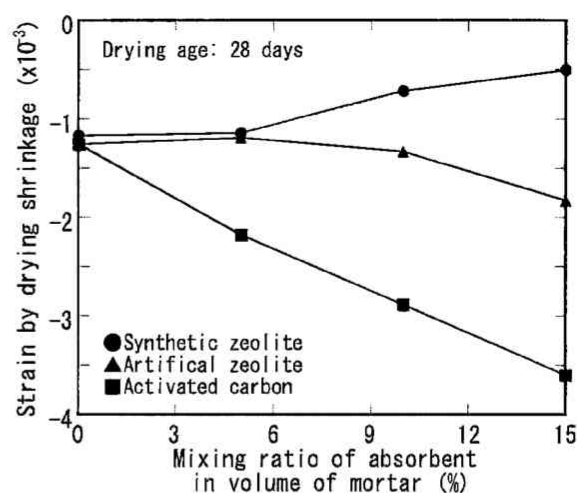


Fig. 4 Results of drying shrinkage tests

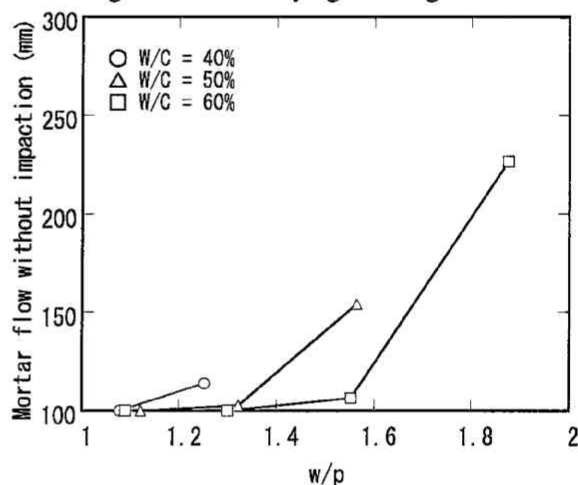


Fig. 5 Results of mortar flow in case of W/C = 40, 50 and 60%

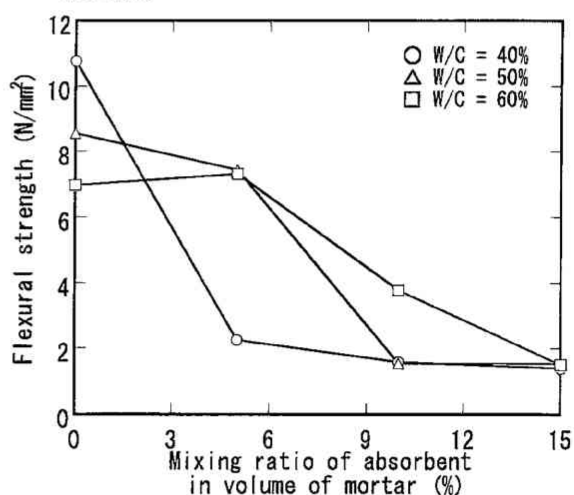


Fig. 6 Results of flexural strength tests in case of W/C = 40, 50 and 60%

また、活性炭を用いると、流動性が低く、十分な締め固めができないため、15%混合すると曲げ強度と同様にほとんど強度が得られなかった。

Fig. 4 に乾燥収縮試験結果を示す。合成ゼオライトを用

いると、モルタルの乾燥材齢 28 日の乾燥収縮ひずみが、混入前と比べて小さくなった。これは、吸着剤の保水性の効果と考えられる。一方、活性炭にも同様の効果があると考えられるが、本実験でのモルタルの流動性が極端に低く、供試体の密実性が損なわれたため、結果的に混入前の 2~3 倍の乾燥収縮ひずみとなった。

Fig.5~Fig.7に活性炭をW/Cの異なるモルタルに混合した結果を示す。W/Cが小さいほど、モルタルフローは小さくなり、いずれのW/Cでも活性炭を10%以上混合すると、モルタルフローが100mmとなり、自重では変形を起

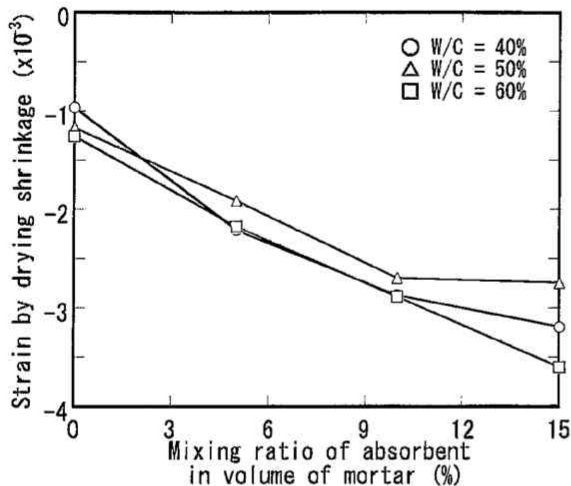


Fig. 7 Results of drying shrinkage tests in case of W/C = 40, 50 and 60%

こさないことがわかる。曲げ強度では、W/C = 50, 60%で、混入率 5%であれば、曲げ強度の低下は見られないが、W/C = 40%では、混入に伴う流動性低下が大きく、施工不良により十分な強度が得られなかった。乾燥収縮ひずみは、W/Cによる違いは見られず、ほぼ同程度となった。

以上から、活性炭の形状や表面の凹凸が粗いため、セメント材料に混合した場合、流動性が極端に低下する。それを解決するため、細骨材を混入せず、セメントペーストに粉末状の活性炭を混入する方法がよいと考えられる。また、施工性の改善方法として、セメントペーストの流動性を混和材料の添加により調整することとし、次の壁材としての適用性実験を行った。

3 セメント系壁材の施工性, 付着強度および水蒸気吸着性能から見た活性炭混入量の検討

3.1 実験概要

2章の実験結果を受けて、セメントペーストに活性炭を0~15%まで混入することとし、その際の施工性, 付着強度および吸着性能について検討する。

使用材料に、早強セメント(密度 3.13g/cm³, プレーン値 4600 cm²/g), フライアッシュ(Ⅱ種, 密度 2.29 g/cm³, 3690 cm²/g), シリカフューム(密度 2.2 g/cm³), 活性炭(密度 1.09 g/cm³, 平均粒径 65.7 μm), ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤および水道水を用いた。練混ぜ方法は全て一定とし、モルタルミキサで早強ポルトランドセメントとフライア

Table 3 Mixture proportions of paste with activated carbon for flesh paste test

W/B (mass.%)	Mixing rate of activated carbon (vol.%)*	Mixing rate of material admixture (mass.%)	Superplasticizer (C×mass.%)
50	5~10	SF/B=0.05~0.15	1.5~2
		FA/B=0.2~0.4	
55	10		1.5~2
68	12.5	SF/B=0.05	3
90	15		4

* Volume rate of activated carbon included in mortar

Table 4 Mixture proportions of paste with activated carbon for hardened paste test

Mixing rate of activated carbon (vol.%)*	W/B (%)	SF/B (%)	Superplasticizer (C×%)	Unite weight (kg/m ³)			
				Water (W)	Binder (B)		Activated carbon (Ca)
					Cement (C)	Silica fume (SF)	
5	50	5	1.5	575	1092	57	55
7.5	50	8	1.5	514	926	82	82
10	55	5	1.75	568	981	52	103
12.5	68	5	3	597	834	44	127
15	90	5	4	628	663	35	158

* Volume rate of activated carbon included in mortar

ッシュまたはシリカフェームを低速 30 秒、一次水と高性能 AE 減水剤を加えて低速で 30 秒混ぜ、セメントペーストを作製した。その後、活性炭を加えて低速で 30 秒、掻き落として二次水を加え 60 秒練混ぜ、活性炭入りのペースト試料を作製した。

まず、活性炭を混入したセメントペーストの施工性能を評価し、施工性のあるペースト配合を模索した。Table 3 に使用した配合表を示す。練混ぜ直後の試料に対して JIS R 5201 を参考に 落下回数を 0 回、15 回、30 回とした場合のペーストフローを測定した。さらに、コテで試料をステンレス板へ厚さ 3mm に塗った際、実験者の感覚により、伸びやすさ、抵抗感、表面状態などを塗りやすさとして 10 点満点で評価した。比較として、市販の珪藻土、漆喰、壁材 A についても同様の試験を行った。

その後、塗りやすさ試験の結果に基づき、塗りやすいと判断された Table 4 に示す配合を用いて、付着強度試験と水蒸気吸着試験を行った。接着試験用供試体を、Fig.8 に示すとおり 40×40×40mm の型枠に 40×40×30mm のモルタルブロックを入れ、その上面にペーストを施工し、活性炭混入率ごとに 3 体ずつ作製した。そして、室温 20℃、相対湿度 60% の恒温恒湿室で 7 日間養生し、エポキシ樹脂にてモルタルブロック底面を鉄板に取り付けた後、建研式接着力試験器にて接着強度を測定し、3 体の平均を代表値とした。

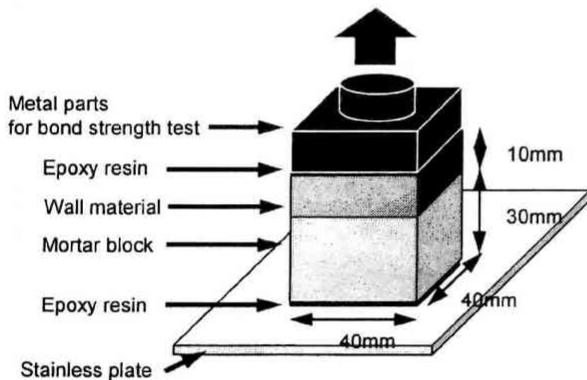


Fig. 8 Specimen of bond strength test



Fig. 9 Specimens of water vapor sorption test in temperature and humidity chamber

また、幅 10mm、厚さ 3mm のゴム片を 4 辺に張り付けた 100×100×2mm のステンレス平板型枠に、活性炭入りペーストを塗りつけた水蒸気吸着試験用試験体を各混入率で 5 体作製し、2 週間以上室温 20℃、相対湿度 60% で養生した。その後、Fig.9 に示すとおり、恒温恒湿槽にて温度 20℃ で相対湿度を 40 → 60 → 80 → 60 → 40(%) の順に変化させた。各相対湿度へと設定を変えた後、1 日ごとに供試体の質量を測定し、前日からの変化率が 0.3% 以下となった日の値をその湿度での平衡値とし、次の相対湿度へと設定を変更した。5 体の吸着水量を平均し、はじめの相対湿度 40% の状態からの増加量を、その混入率での水蒸気吸着量とした。比較として、活性炭混入前のペーストのみの吸着試験も行った。さらに、測定後の試料を平板からはぎ取り、一辺 5mm 程度の試料片にし、24 時間吸引乾燥後、水蒸気吸着装置にて 20℃ での吸着等温線を測定した。その結果と恒温恒湿槽での測定結果を比較し、測定方法の違いを考察した。

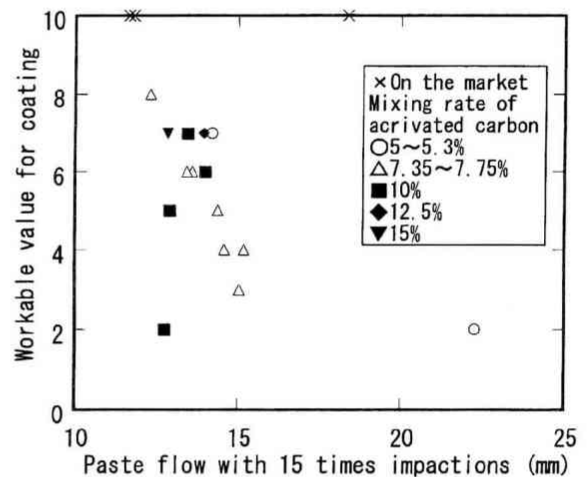


Fig. 10 Relationships between workable value and paste flow after 15 times impact

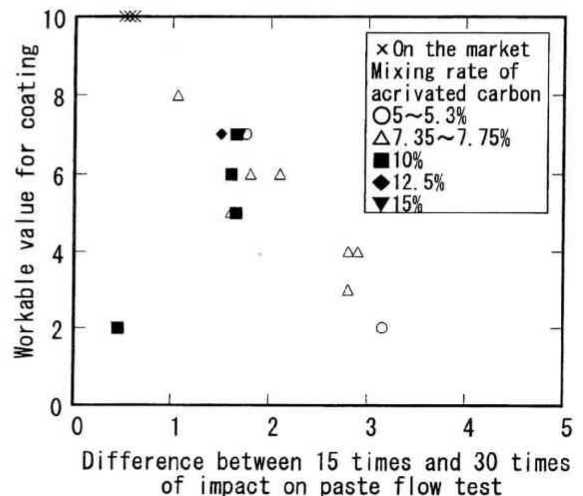


Fig. 11 Relationships between workable value and difference between paste flow after 15 times and one after 30 times impact

3.2 施工性試験の結果と考察

Fig.10 に示すとおり, 15 打フローと塗りやすさ試験結果との関係には, 特に相関関係は見られない. Fig.11 に 15 打フローと 30 打フローとの差と塗りやすさとの関係を示す. 材料の種類に関わらず, 15 打から 30 打でのフローの増加量は塗りやすさとおよそ相関関係があった. すなわち, フローコーンを引き上げ直後には, 高さ方向の変化が大きく, 広がりでの評価が十分できなかったが, 15 打以上となると広がり方向への変化が大きくなり, 作業時の変化を相対的に比較できるようになったと考えられる. なお, 広がった距離が小さいにもかかわらず, 塗りやすさの評価が低い点があるが, これは W/B=50%の中で活性炭の混入率を最も高くしたため, 流動性が大きく低下したことによる. すなわち, 15~30 打の広がりでは, 極端に流動性が低い場合は評価できないと考えられる.

以上の結果から, 塗りやすさの評価から選定した配合を Table 4 に示す. 活性炭混入量を増やすと, 混合するペーストの水セメント比を大きくする必要があり, 活性炭を 15%混入するためには, 水セメント比 90%となった. これは, 2章での結果のとおり, 活性炭の形状や粒子の吸水が影響したため, 水量が多く必要となったと考えられる.

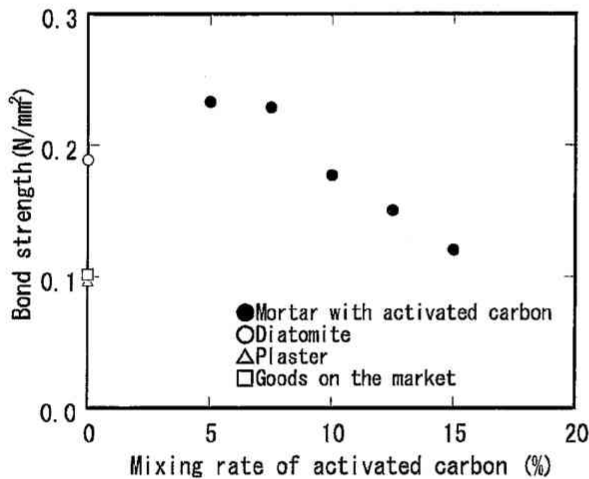


Fig. 12 Results of bond strength test

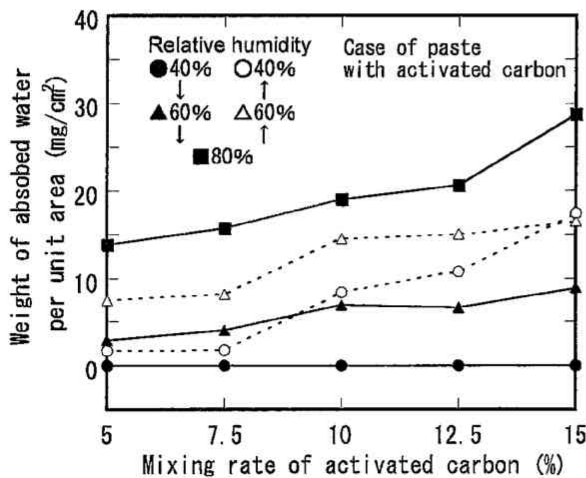


Fig. 13 Weight of water vapor sorption per unit area in case of paste with activated carbon

3.3 強度および水蒸気吸着試験の結果と考察

Table 4 に示す配合を用いて調べた活性炭混入率と接着強度との関係を Fig.12 に示す. 活性炭混入率が 7.5%以下では, 約 0.2N/mm²であったが, それ以上に混入すると W/B の低下により, 接着強度が直線的に低下した. 一方, 珪藻土では, 0.19N/mm², 漆喰, 壁材 A では接着強度が 0.1N/mm²程度となり, 本実験で活性炭を入れた場合と同程度となった. よって, 接着強度の観点から活性炭を 15%まで混入することが可能と考えられる.

次に, Fig. 13 および Fig. 14 に活性炭混入ペーストおよびそのペースト中の活性炭の水蒸気吸着量の変化を示す. なお, 活性炭の吸着量は, 活性炭混入ペーストの吸着量から同じ W/B のペーストの吸着量を差し引いて求めた. 活性炭混入量が多いほどペースト全体の吸着量は増加した. しかし, 10%以上混入しないと活性炭の吸着効果が見られない. すなわち, W/B=55%以上で活性炭を 10%以上混入しなければ, 表面に接触する物質が活性炭まで十分に達しないことを示している. また, 相対湿度の増加による吸着過程での結果に比べ, 相対湿度が減少する脱着過程では脱着量の変化が小さく, 吸着した水分がいくらか残存していると考えられる. このことから, 周囲にペーストがあるた

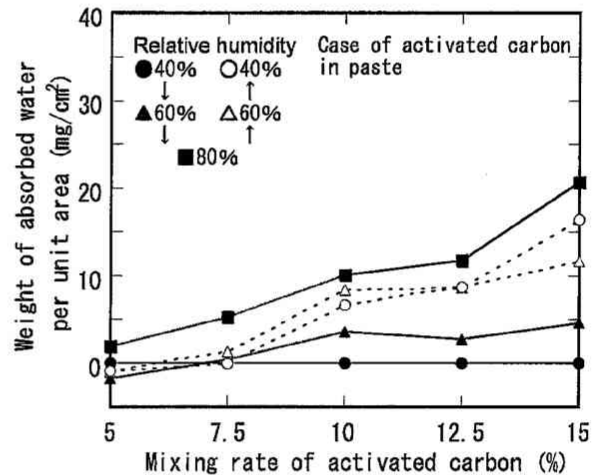


Fig. 14 Weight of water vapor sorption per unit area in case of activated carbon in paste

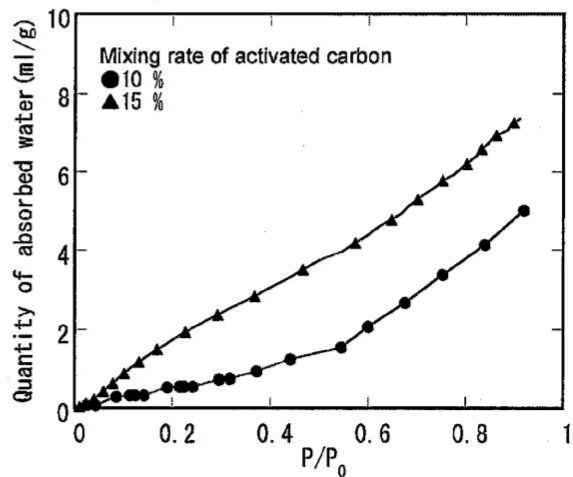


Fig. 15 Results of water vapor sorption measurement

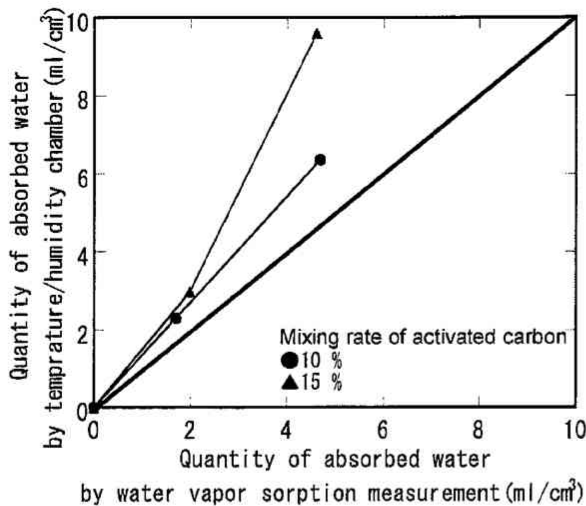


Fig. 16 Difference of measurement methods on water vapor sorption

め、相対湿度が低下してもセメントペースト中の活性炭は吸着した水分を保持する傾向があり、実際に使用した際、水分に可溶性物質や、浮遊物質を、活性炭混入セメント系壁材の中に取り込む可能性があると考えられる。なお、本実験のように供試体表面をコテ仕上げとした場合での吸着が認められたことから、表面を目粗しをすることで活性炭が表面に現れるため、さらなる吸着量が見込まれる。今後、そのメカニズムや実際の各浮遊物質の吸着量を検討する必要がある。

Fig. 15に水蒸気吸着測定装置により、活性炭混合率10%および15%に対して、吸着等温線を測定した結果を示す。 P/P_0 とは、飽和蒸気圧に対する測定時の蒸気圧の割合（相対湿度）である。 P/P_0 が増加すると吸着量は増加した。活性炭混入率10%と15%では、相対湿度が小さいと吸着量の差が大きいが、相対湿度が大きくなるにつれ、その差が小さくなることからわかる。これは、混入量の増加による活性炭の表面への出現率が高くなり、低い相対湿度でも有効に吸着できたためと考えられる。この測定結果から、相対湿度40%を基準として、そこから相対湿度60%および80%までの吸着量を算出し、先の恒温恒湿装置で測定した結果と比較した結果をFig. 16に示す。水蒸気吸着装置で測定した方が、恒温恒湿装置で測定した結果より小さな値となり、この傾向は活性炭の混入量が多いほど明確となった。これは、恒温恒湿装置での測定は設定湿度1段階あたり平均5日程度必要とするのに対し、水蒸気吸着装置では、全

吸着測定時間が3~5日程度であり、チップ状に破碎したことで水蒸気に接する面積が増加したとしても、平衡までの時間がその差に影響を及ぼしたと考えられる。実際の調湿では、数分から数時間での吸着量が必要となることから、水蒸気吸着装置での測定値が有効と考えられる。

4 まとめ

以上の活性炭を混合したセメント系壁材の実験の結果、以下のことがわかった。

- 1) 一定配合のモルタルに、吸着剤を混合すると、その吸着剤の粒径が小さいほど、また形状が球形に近いほど、流動性が改善され、強度低下も小さく、また初期の乾燥収縮ひずみも改善される。しかし、活性炭は、粒径が角張っており、セメントペーストに混入すると、流動性の低下が著しく、供試体作製も難しいことから、セメントペーストへの混合が良いと考えられる。
- 2) セメントペーストに活性炭を混合した壁材の施工性は、モルタルフロー測定時の落下回数15打から30打でのフローの増加量と高い相関がある。ただし、極端に流動性のない状態であれば、適用できない。
- 3) セメントペーストに活性炭を混合し、適度な施工性を持つ壁材を作製した場合、活性炭混入率が7.5%以上になると混入率に比例して接着強度が低下するが、15%までは市販の壁材の接着強度と同程度となる。また、 $W/B=55\%$ 以上で混入率10%以上となると、セメント系壁材中の活性炭も水蒸気を吸着できる。
- 4) 水蒸気吸着測定装置による吸着水量の測定は、恒温恒湿装置での吸着水量の測定値より小さな値となるが、実際の吸着時のことを考えると有効な測定手段の一つと考えられる。

以上から、セメントペーストに活性炭を10~15%程度混入した壁材であれば、適度な付着強度とある程度の吸着性能を兼ね備えた壁材となると考えられる。さらに、表面を目粗しをすることで、吸着量の増加も期待できる。

参考文献

- 1) 辻精三, 足立義雄, 大西博文, 桐越信: 新版道路環境, 山海堂 (2002) 262.
- 2) 竹谷徹: 都市環境改善に向けた道路・舗装の新たな取組み(7)光触媒舗装の取組み, 舗装, 461 (2004) 26.