

報告 揮発速度を変えたアロマ水を混入したモルタルの香り持続性と印象評価に関する研究

宇野 彩葉*1・川崎 佑磨*2・新 大軌*3・兵頭 正浩*4

要旨：人間の重要な感覚である五感とコンクリートの調和は、コンクリートのイメージアップ戦略として有効であると考えられる。そこで本研究は、コンクリート+香りに着目し、芳香成分を付与したモルタルの香り持続性、強度特性等を確認することを目的とした。アロマ水のアルコール率、精油の種類を変化させた試料を使用してモルタルを作製して検討を行った。その結果、香りは3か月持続することが確認できたが、香り強度には揮発速度によって差が確認され、揮発速度の遅い精油は香り強度が弱い結果が得られた。圧縮強度は、アルコール成分が水和反応を阻害するため、アルコール率が高いほど低下する結果を得た。

キーワード：アルコール、香り持続性、揮発速度、強度特性、水和反応

1. はじめに

昨今の土木・建築業界において、新規公共事業の減少などから、セメントの需要が低下している¹⁾。そこで、セメント系材料の新規用途を開拓することができれば、セメント産業の市場拡大に寄与することが可能であると考へた。JCIでは、2016年度から「イメージアップ広報戦略検討委員会」を立ち上げ、コンクリートのイメージアップを図る広報戦略に関する活動が進められている²⁾。そのような中で、従来の土木・建築資材としての利用に加えて、人間の感覚として重要な五感（視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚）とコンクリートが調和できれば、コンクリートのイメージアップがより進むと考えられる。例えば、視覚は緑化コンクリートなどの環境にやさしいコンクリート³⁾、聴覚はセメント系材料で作製した楽器やスピーカー⁴⁾、触覚はコンクリート表面への模様付けやポーラスコンクリートもそれに当たると考えられる。味覚は現時点では非現実的であることから、本研究では、これまで研究成果が皆無である嗅覚に着目し、コンクリートと香りの融合について焦点を充てた。

これまでに、セメント系材料に香りを融合させた商品の開発は公表されているが、芳香成分を添加することによる水和反応への影響、香りの持続性や印象評価などの人が感じる嗅覚に対する評価は明確にされていない。そのような中、著者らは先行研究⁵⁾として、セメントペーストへの芳香性付与の可能性および芳香性を付与したセメントペーストの基礎的性状について検討した。芳香性の付与可能性の検討については、セメントペーストのW/C、セメントの種類、芳香成分の付与方法が香りの持続性に及ぼす影響についての実験を行った。その結果、W/Cが30%では、香りの持続性が最も低く、40%と50%

ではほとんど差異はみられなかった。また、早強ポルトランドセメントよりも普通ポルトランドセメントの方が、硬化後のセメントペーストにアロマ水を吸着させるよりも硬化前にアロマ水を添加する方が、香りの持続性が高い結果が得られた。さらに、これらの要因のうち、芳香性の付与可能性への影響が最も大きい要因は、使用するセメントの種類であることが確認できた。基礎的性状への影響では、硬化前にアロマ水を添加する場合の初期の水和反応の影響について確認した。その結果、アロマ水を添加したケース全てにおいて、アロマ水を添加していないケースと比べて、初期の水和発熱速度が約75%低く、積算水和発熱量は約50%下回る結果となった。したがって、硬化前に芳香性を付与する場合、水和反応の遅延が生じることが明らかとなった。

先行研究ではセメントペーストを対象としていたため、単位水量が多くなることから添加する芳香成分の使用量も多くなる。そのため、水和反応への影響が非常に大きく、ノーマルと比較して50%程度水和発熱量が低下しており、硬化するまでにブリーディングも多く発生していた。そこで本研究では、水和反応および材料分離の影響を低減するためにモルタルを対象として、アルコール率を変化させた芳香成分を添加した。強度試験や香り持続性、香りに関する印象評価を行い、セメント系材料への芳香性の付与可能性と香りの強度、水和反応への影響について検討した。

モルタルに香りを融合させることができれば、芳香性を有したオブジェとして利用することが可能である。モルタルは任意の形に成形できるため、様々なニーズに対応できると考へる。また、香りを持続させることや後から香りを付けることが可能になれば、特定の生物を寄せ

*1 立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 (学生会員)

*2 立命館大学 理工学部環境都市工学科准教授 博(工) (正会員)

*3 島根大学 総合理工学部物質化学科 博(工) (正会員)

*4 鳥取大学 農学部生命環境農学科 博(農) (正会員)

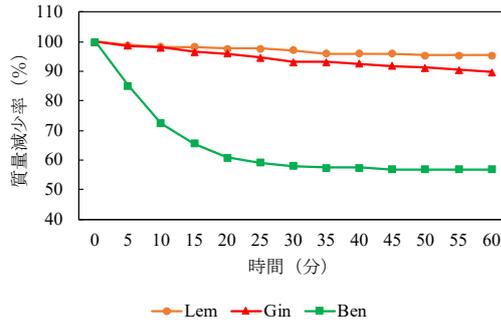


図-1 精油の時間経過による質量減少

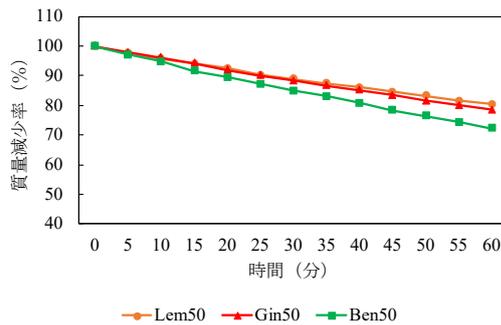


図-3 アロマ水（アルコール率 50%）の質量減少率

付けないような香りをモルタルに融合させ、それを吹き付けた壁などの需要もあると考える。

2.実験概要

2.1 精油

本研究では、揮発速度を変えるためにアルコール率を変化させるため、市販のアロマ水ではなく、精油からアロマ水を作製した。精油とは、植物から留出される芳香性のある油のことであり、どの種類の精油を使用するかによって、アロマ水の香りが決まる。また、精油は揮発性を有し、揮発速度が速い（香り持続性が低い）ものからトップノート、ミドルノート、ベースノートの3種類のノートに分類される。これは、香水の分類にも良く用いられている表現である。本研究では、精油の揮発速度に差を設けるために、使用する精油は各ノートから1種類ずつ選択した。トップノートにはレモングラス (Lem)、ミドルノートにはジンジャー (Gin)、ベースノートにはベンゾイン (Ben) の精油を使用した。なお、レモングラスはレモンのような香り、ジンジャーは名前の通り生姜の香り、ベンゾインはバニラのような甘い香りがする。

各精油の時間経過に伴う質量減少率の結果を図-1に示す。揮発速度の速い順番、すなわちレモングラス (Lem)、ジンジャー (Gin)、ベンゾイン (Ben) の順番に質量が減少すると推測されたが、ベンゾインが最も早く質量減少し、レモングラスの質量減少率が最も小さかった。したがって、この結果から精油の香り成分の揮発速度と質量

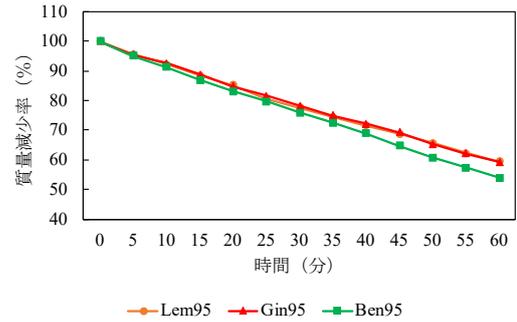


図-2 アロマ水（アルコール率 95%）の質量減少率

表-1 配合表

W/C (%)	s/c (%)	単位量 (kg/m ³)		
		W	C	S
50.0	48.9	300	600	1228

減少率には相関がないことが分かった。

2.2 アロマ水

アロマ水は、精油、エタノール、精製水を混ぜて作製した。本研究では、その配合を、1:95:4（アルコール率 95%）と 1:50:49（アルコール率 50%）の2ケースを設けて、アルコール率を変えることによりアロマ水の揮発速度を変化させた。それぞれの精油に対して2ケースのアロマ水を作製したため、合計6ケースのアロマ水を作製した。

各アロマ水の時間経過による質量減少率の結果を図-2、図-3に示す。図-1の結果と比べると、各精油の質量減少率の順番は同じ結果となった。しかし、精油の状態ではベンゾインが早期から著しく質量減少したが、アロマ水にすることで、レモングラス、ジンジャーと同じように直線的に減少する傾向が確認された。また、アロマ水の配合別に比較すると、アルコール率95%の方が、アルコール率50%よりも質量減少率は大きくなった。

2.3 実験供試体

水道水と上記要領で作製したアロマ水を3:1の割合で混ぜたものを練混ぜ水としてモルタルを作製した。比較用として、アロマ水を混入していないノーマルのモルタル供試体も作製したため、合計で7ケースのモルタル供試体を作製した。配合表は表-1に示す。先行研究の結果⁹⁾から、セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、W/Cは50%、空気量は0%とした。また、細骨材は甲賀土山産（硬質砂岩碎石）を使用した。上述したように、精油の種類を3種類、アロマ水を作製する際のアルコール率を2種類変化させており、合計6種類の揮発速度を設けた。

各ケースに対して、φ5mm×10mmの円柱供試体を香り評価用に1体、圧縮強度測定用に9体ずつ作製した。さらに、4mm×4mm×16mmの角柱供試体を、曲げ強度

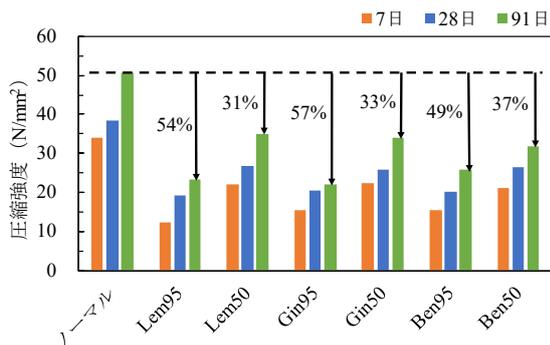


図-4 圧縮強度試験結果

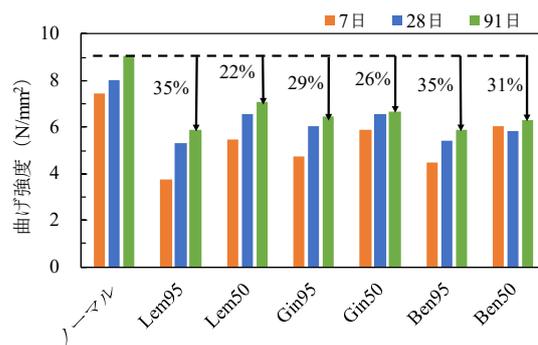


図-5 曲げ強度試験結果

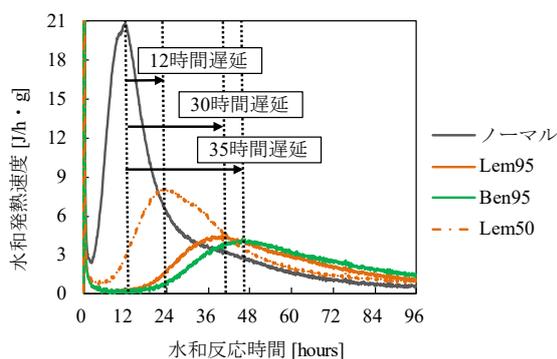


図-6 水和発熱速度

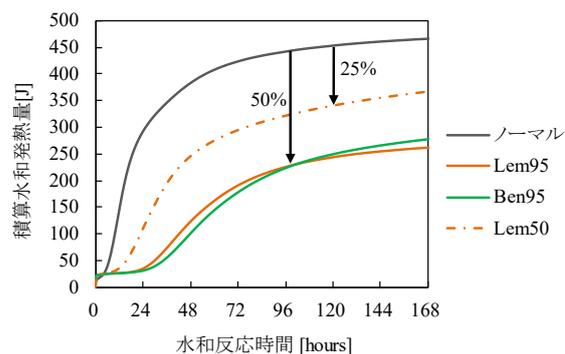


図-7 積算水和発熱量

測定用に9体ずつ作製した。練り混ぜ時間は、休止時間も含めて4分間とした。また、材齢7日目に脱型を行った。香り評価用供試体は、脱型後すぐに打設面と側面をアルミテープで覆い、空気と接触する面を底面だけに限定した。保管はデシケーターの中で行い、測定・評価時にそこから取り出して測定・評価を行った。香り評価を行う面は、底面のみとした。

3. 評価項目および結果

3.1 強度試験

モルタルにアロマ水を添加することで、水和反応への阻害があると推測される。そこで、圧縮および曲げ強度にどのような影響を与えるのかを確認するために各強度試験を行った。圧縮強度と曲げ強度は、材齢7, 28, 91日目に測定した。

図-4に圧縮強度試験の結果を、図-5に曲げ強度試験の結果を示す。まず、精油毎に比較すると、顕著な相違は確認されなかった。これは、精油をアロマ水に対して1%しか添加していないため、精油の種類の影響が非常に小さいためと考える。

一方で、アルコール率で比較してみると、アルコール率95%の方が各強度とも低下していることが確認できる。すなわち、アロマ水のアルコール成分が特に水和反応に影響を及ぼしていると考えられる。そこで、アロマ水が

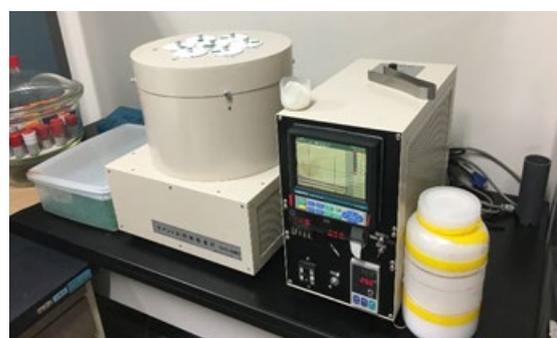


写真-1 カロリーメーター

水和反応にどの程度影響を与えているかを確認するために、写真-1に示すカロリーメーターを用いて水和発熱量および速度を測定した。当機器は、セメントペーストの水和発熱速度を測定している。本実験では、ノーマル、Lem95、Lem50、Ben95の4ケースの測定を行った。この4ケースを選んだ理由は、Lem95とLem50でアルコール率による比較を、Lem95とBen95でノートによる比較を行うためである。その結果を図-6、図-7に示す。ノーマルとLem95、Lem50の結果を比較すると、アルコール率95%の方が水和反応の初期ピークが18時間遅延し、積算水和発熱量も25%程度低下していることが確認された。したがって、アルコールは有機物であるため、水とセメントの水和反応を化学的に阻害し、強度低下したと考えられる。

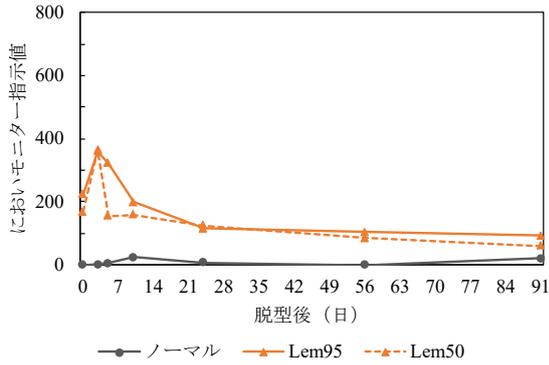


図-8 においモニター測定結果 (Lem)

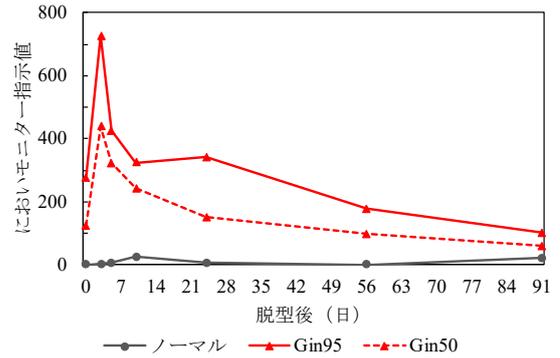


図-9 においモニター測定結果 (Gin)

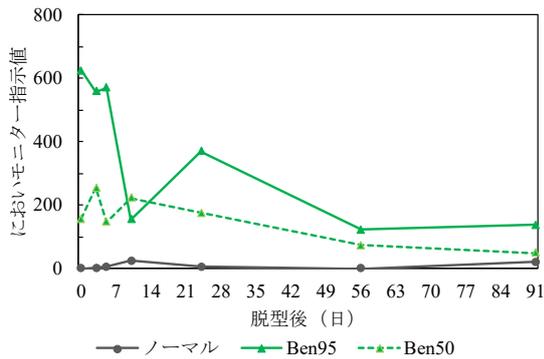


図-10 においモニター測定結果 (Ben)

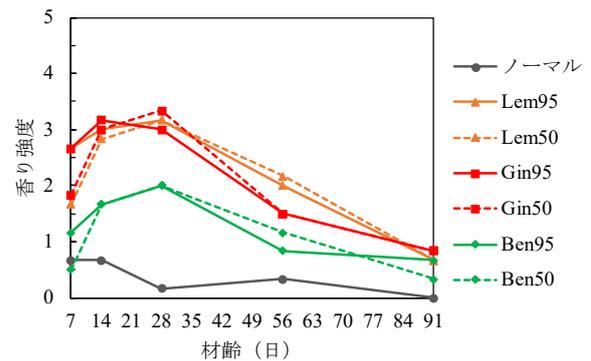


図-11 官能評価結果



写真-2 ハンディにおいモニター

表-2 ハンディにおいモニターの製品仕様

検出素子	半導体ガスセンサ×2
対象ガス	エタノール, アセトン, 水素など
ガスサンプリング方式	ノズルを通しての連続吸引
検知濃度域	0.1ppm~200ppm (エタノール濃度の場合)
表示機能	におい強度Lowレンジ: 0.0~99.9 におい強度Highレンジ: 0~999
使用温度範囲	0℃~40℃ (結露無きこと)



写真-3 臭気強度標準液

表-3 6段階臭気強度表示法

5: 強烈におい
4: 強いにおい
3: 楽に感知できるにおい
2: 何のにおいであるかがわかる弱いにおい
1: やっと感知できるにおい
0: 無臭

表-4 本実験で用いた形容詞対

好きな-嫌いな	甘い-甘くない	落ち着く-落ち着かない
明るい-暗い	あたたかい-つめたい	派手な-地味な
男性的な-女性的な	軽い-重い	やわらかい-かたい

3.2 においモニターによるにおい指示値

写真-2 に示すハンディにおいモニターを使用して定量的に把握できるか検討した。製品仕様については、表-2 に示す。試料底面部の任意の箇所にノズルを接近させて測定した。

においモニターによる測定結果を図-8, 図-9, 図-10 に示す。アロマ水配合と比較すると、アルコール率

95%の方が高い値を示し、アルコール率 50%はアルコール率 95%とノーマルの測定値の間を取るような結果が得られた。しかし、Lem95 に関しては、Lem50 と同じような結果が得られた。Lem95 はトップノートであるレモン

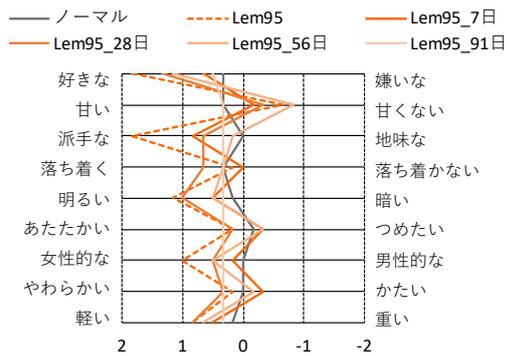


図-12 印象評価結果 (Lem95)

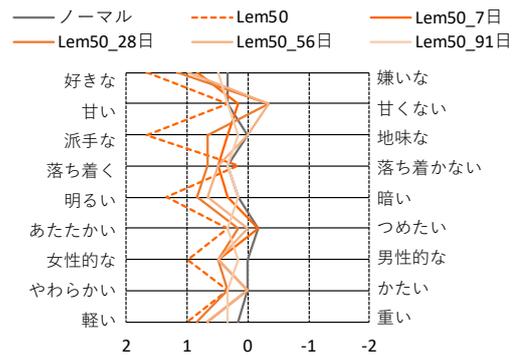


図-13 印象評価結果 (Lem50)

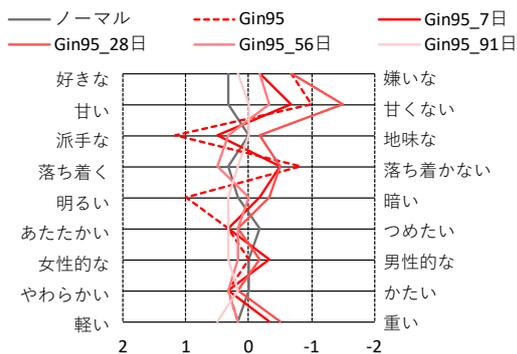


図-14 印象評価結果 (Gin95)

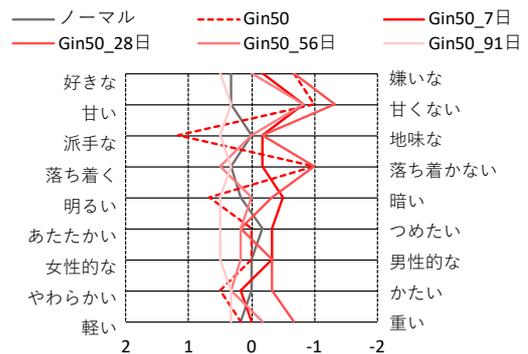


図-15 印象評価結果 (Gin50)

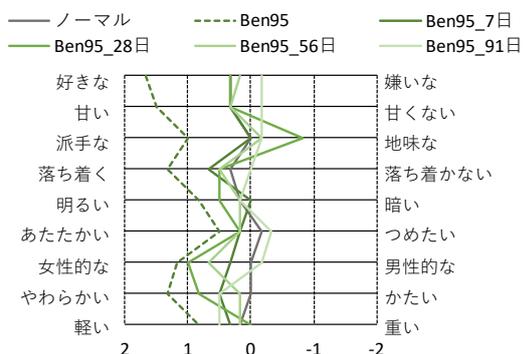


図-16 印象評価結果 (Ben95)

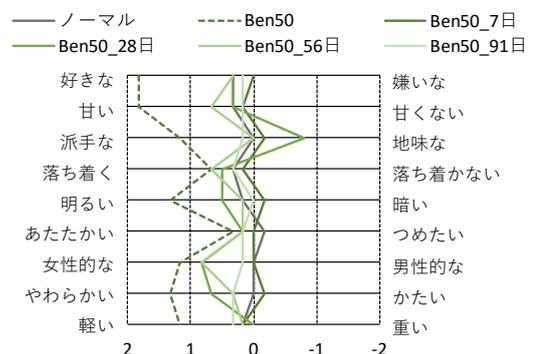


図-17 印象評価結果 (Ben50)

グラスを使用し、かつ、アロマ水のアルコール率も95%であるため、全ケースの中で一番揮発しやすいアロマ水を用いていることから、アルコールが早く揮発して、Lem50と同じような結果となったと考えられる。

また、アロマ水を添加した供試体は、脱型後3日目にピークとなり、その後は低下していることが分かる。さらに、現時点で、香りが3か月間持続しており、アロマ水の配合に関係なく、指示値100前後の同じような値に収束しており、精油の種類によっては、アルコール成分による揮発の影響が香りの持続性に影響を与えている可能性も示された。

3.3 被験者による香りの官能評価

実際に人の鼻では香り強度はどのように感じ取れるのかを確認するために、官能評価を実施した。主に悪臭

の強さと悪臭原因物の濃度の関係を示す尺度として用いられている6段階臭気強度表示法⁶⁾を用いた。評価方法は、写真-3に示す臭気強度標準液と供試体の香り強度を比較し、表-3のように点数をつけた。評価する被験者の人数は、簡易嗅覚測定法マニュアル⁷⁾に基づき、6名以上とした。また、被験者は、全員20代前半で男女の比率は2:1である。

官能評価の結果を図-11に示す。香り強度は28日前後で最も高くなっている。この理由は、今回の条件ではアルコール揮発量が28日頃に安定してくるタイミングだったと考えられる。しかし、条件が変化すればそのタイミングも変化するため、モルタル中の芳香成分の拡散メカニズムについて、今後検討していく予定である。アロマ水の配合による顕著な相違は確認されなかった。ま

た、ベンズインの香り強度が小さく、レモングラスがジンジャーと同程度となり、においモニターの結果とは異なる傾向が得られた。すなわち、人の鼻では、アルコールの揮発量だけではなく、香りの種類によっても香り強度の評価が変わる可能性があることが示された。しかし、香りの持続性においては、3か月経過するとアロマ水配合に関係なく「1: やっと感知できるにおい」となり、香りをほぼ感知できない結果が得られた。

3.4 被験者による香りの印象評価

実際に人の鼻では香りの印象はどのように感じ取れるのかを確認するために、印象評価を実施した。精油を中心とした120種類の香料を対象に印象評価を行った既往の研究⁹⁾を参考にして、SD (Semantic Differential) 法を採用した。これは、「好き-嫌い」などの反対語の対からなる評価尺度を複数用いて対象の評価を行う手法である。本実験で用いた形容詞対は表-4に示す。こちらも被験者は6名以上とした。また、被験者は、全員20代前半で男女の比率は2:1である。

印象評価の結果を図-12~図-17に示す。各グラフの左軸形容詞をプラス側、右軸の形容詞をマイナス側とした。これは、どちらの形容詞に寄っているかを評価するためであり、形容詞対同士の良し悪しを評価するものではない。すなわち、0から5として中心値を3とすることも可能であるが、本研究では0を中心値として評価した。また、凡例の日数は、材齢を表している。

各精油で比較すると、レモングラスはプラスの印象、ジンジャーはマイナスの印象、ベンズインはそのどちらでもない結果となっていることがわかる。

図-11に示した官能評価による香り強度と印象評価を併せて考察すると、どの供試体の結果も香り強度が小さくなるほど、印象評価は0に近い値、すなわち、ノーマルの供試体と同じような印象へと推移した。また、印象評価においては、ジンジャーは香りが薄れるほどプラスの印象へ、ベンズインは逆にマイナスの印象へ推移していることがわかる。このことから、嗅覚として芳香性を付与したモルタルを認識するには、定量評価としての評価は難しく、定性評価として官能評価と印象評価を組み合わせることが適切であると考えられた。

4. まとめ

本研究では、コンクリートのイメージアップに向けて、芳香性を付与したモルタル供試体を作製し、香り持続性、においモニターと官能評価による香り強度、強度特性を確認した。本研究で得られた結果を以下に示す。

(1) アロマ水を添加したモルタル供試体の圧縮強度試験、曲げ強度試験を行った結果、ノーマル供試体と比較して、圧縮強度では31~57%、曲げ強度では22

~35%低下することが確認された。この要因として、アロマ水を添加することで、アロマ水に含まれるアルコール成分の影響により、水和反応を阻害していることが確認できた。

- (2) においモニターの指示値は、アルコール率95%の方が高い値となった。また、現時点で、全ケースで香りが3か月間持続しており、指示値100前後の同じような値に収束していることが確認された。したがって、精油の揮発速度、アルコール率は香り強度には影響するが、持続時間には影響が薄いことが確認された。
- (3) 官能評価結果とにおいモニターの結果では、異なる傾向が得られたことから、人の鼻では、香りの種類そのものが香り強度に影響しやすいことが確認された。香りの持続性においては、3か月経過するとアロマ水配合に関係なく、供試体に鼻を接近させてようやく香りを感知できる程度の結果が得られた。
- (4) 以上のことから、アロマ水の揮発速度よりも、香りの種類そのものが嗅覚に影響を与えている可能性があるため、本試験範囲内では、モルタルの強度やコストを考慮すると、アルコール率95%よりも50%の方が望ましいと考える。

参考文献

- 1) セメント新聞社、安定供給向け各種課題解決、セメント新聞、pp.2, 2020.1
- 2) 日本コンクリート工学会：イメージアップ広報戦略検討委員会報告書、2018.3
- 3) 増田理子、青山宏昭、依田 眞：コケ類を利用した植生コンクリートの緑化事例、コンクリート構造物の高信頼性施工システム研究委員会報告書、Vol.45, No.5, pp.147-149, 2007.5
- 4) 加藤勇人、竹内正喜、小倉直幸、北原有希子、岡本享久：繊維補強コンクリートの楽音への適用性に関する基礎的研究、土木学会論文集 E2, Vol.67, No.1, pp.48-56, 2011.2
- 5) 榎平知弥、川崎佑磨、新 大軌、兵頭正治：芳香成分を付与したセメントペーストに関する基礎的研究、土木学会第73回年次学術講演会、Vol.5, No.191, pp.381-382, 2018.8
- 6) 環境省：臭気指数規制ガイドライン、2001.3
- 7) 環境省：簡易嗅覚測定法マニュアル~強度・確信度判定におい袋法~、2002.12
- 8) 若田忠之、齋藤美穂：香りの分類における心理学的検討—SD法を用いた印象による香りの分類—、日本感性工学会論文誌、Vol.13, No.5, pp.591-601, 2014