

コンクリートから発生するアンモニアの低減に関する実用化研究

Effects of Aggregate and Admixture on the Prevention of Ammonia Emission from Concrete

依田 和久
武 廣 絵里子
澤 田 瑞 恵

要 約

コンクリートから発生するアンモニアの低減対策として、骨材に結晶化石材を用いたコンクリートの効果を明らかにしてきた。しかし、結晶化石材によるアンモニア低減コンクリートを全国展開しようとする場合、結晶化石材は、現況、製造が関西の一工場に限定されるため、運搬面で必ずしも実用的な材料とはいえない。このことから、結晶化石材と同等以上の低減効果のある材料の選定を目的として改めて実験的検討を行った。実験の結果、普通コンクリートに対するアンモニア低減効果は、結晶化石材を用いたコンクリートが1/7であるのに対し、骨材として石灰石を用いた場合は1/12、人工軽量骨材を用いた場合は1/6であり、混和剤として活性炭を用いた場合は1/10～1/16であった。これらの材料を用いたコンクリートにおいて実用的なアンモニア低減効果を確認した。

目 次

- I. はじめに
- II. 実験計画
- III. 実験結果及び考察
- IV. まとめ

I. はじめに

コンクリートから発生するアンモニアは、美術館・博物館においては収蔵品である絵画を変色させたり、電子デバイス施設においては製品歩留まりを低下させたりする原因物質として指摘されている^{1), 2)}。アンモニア発生メカニズムは、コンクリート中に存在する水酸化カルシウム等の強アルカリ成分が含水状態でイオン化し、電離平衡により弱アルカリのアンモニウムイオンがガス化し、アンモニアとして空气中に放出されると考えられている³⁾。この対策としては、①枯らし期間を設けて発散が収まるまで待つ方法、②発生するアンモニアを積極的に吸収または吸着する方法、③コンクリート材料と調合で対応する方法があり、対費用効果の点で③の方法が最も優れているとされている⁴⁾。これらのことから結晶化石材を骨材とした場合、コンクリートから発生するアンモニアを低減できることを明らかにし⁵⁾、現場実証実験を行ってきた⁶⁾。しかし、結晶化石材によるアンモニア低減コンクリートを全国展開しようとする場合、結晶化石材は、現況、製造が関西の一工場に限定されるため、運搬面で必ずしも実用的な材料とはいえない。このため、結晶化石材と同等以上の低減効果のある材料・調合手法の選定を目的として改めて実験的検討を行った。

II. 実験計画

1. 実験目的

結晶化石材と同等以上の低減効果のある材料・調合手法の選定を

目的とする。また、コンクリートのアルカリ放出量は脱型直後が大きく、時間とともに小さくなることは知られているものの³⁾、初期の減衰特性について定量的に明らかにされていない。この初期の減衰特性を明らかにするほか、コンクリートの含水率とアンモニア放出量の関係³⁾についてもコンクリートの種類別に明らかにして基礎資料としての蓄積を行う。

2. 実験概要

実験条件の組合せを Table 1 に示す。材料の検討においてセメント、骨材、混和剤の種類を対象とした。

コンクリートからのアンモニアの発生量を調べるのに先立ち、各使用材料個別の窒素含有量を調べて材料の事前選定を行うことが考えられる。しかし、予備的に検討した吸光光度法⁷⁾による全窒素量の実験結果や、JIS G 1228 附属書 4 不活性ガス融解-搬送熱伝導度法による窒素含有量の結果²⁾は、アンモニア発生量との関係をおおよそ関連付ける程度のものであり、定量的に裏付けられるものではない。このことから、材料選定は、既往の研究結果の知見から行うこととし、実験的には行わないこととした。

材料の内、セメントは、高炉スラグ等の添加剤の少ないものほどアンモニアの発生が少ないとされ⁸⁾、普通セメントに比べ、早強セメントは有利であり、高炉セメント B 種は不利となる。本研究ではセメント種類の影響を定量的に検討するため、これら3種類のセメントを対象とするほか、コンクリートの早強性により、アンモニアの経路と考えられている毛管孔隙が早期に減少することを期待して早強セメントにカルシウムアルミネート系急硬性混和材を添加して製造したセメント（ここでは以降、超速硬セメントという）も検討対象とした。

骨材は、既に実績のある結晶化石材のほかに、窒素化合物の含有率が低くアンモニア発生抑制効果を期待できる石灰石²⁾と、製造時の焼成により骨材表面に窒素化合物が付着し難い人工軽量骨材を対

キーワード：コンクリート、アンモニア、石灰石、人工軽量骨材、活性炭、増粘剤、結晶化石材

象とした。これらの細骨材のうち、結晶化石材及び人工軽量骨材は微粒分が不足しており、また、砕砂は粒形が角張っており、粗粒率が3.21と比較的大きい。これらの細骨材は単味で用いる場合、コンクリートの一体性を確保することが難しいことから増粘剤を補助的に添加した。このため、増粘剤添加の有無がアンモニア発生に及ぼす影響を合わせて調べた。混和剤については前報⁵⁾で効果の見たれた次亜塩素酸、活性炭、アンモニアを中和する効果のあると考えられるリン酸を添着させた活性炭とした。

比較用のコンクリートは、普通セメント、川砂、砕石（硬質砂岩）というレディーミクストコンクリートとして一般的な材料による水セメント比60%のもの（以降、N60という）とした。

調合の検討において水セメント比を対象とし、実用性を考慮して水準を60%のほかに50%、40%とした。

過去の実験においてコンクリートから発生するアンモニアの量は、コンクリートの材齢ではなく、封緘状態においたコンクリート供試体を開封してから期間と相関傾向があることを把握した⁶⁾。本実験ではこの再現性の確認を行った。

初期の減衰傾向を定量的に把握するため、N60において、封緘状態の供試体を開封してから試料採取までの最短時間を、0時間、1.5時間、3時間、6時間、12時間、24時間とした。

以上、これらコンクリートのアンモニア発生量を調べた。アンモニアの計測は、供試体数と計測設備の兼ね合いから4実験に分けて行い、期間として6か月要した。合わせてコンクリートの含水率を、アンモニアの計測の開始直前（開封直後）時点及び最終時点において調べた。また、コンクリートのスランプ、空気量、温度、練り上がり性状、ブリーディング性状、圧縮強度（材齢7日、28日、91日、182日）を調べた。

3. 使用材料・調合

使用材料をTable 2に、コンクリートの調合をTable 3に示す。比較用のN60の目標値はスランプ18±2.5cm、空気量4.5±1.5%、コンクリート温度20±3℃とし、試し練りにより調合を決定し、これを標準調合とした。材料の検討におけるコンクリートの調合は、検討対象の材料を単純に置き換えたものとした。また、セメントの種類及び水セメント比を水準としたコンクリートは、比較対象のコンクリートが全て一体性を有し、成型可能となるように、標準調合に対し単位水量を10kg/m³減じたものとした。

4. 練り混ぜ及び供試体成型

練り混ぜ方法は次のとおりとした。容量55Lのパン型ミキサーを用い練り混ぜ量45Lとして、モルタルを30秒混練し、掻き落し後粗骨材を投入し90秒練り混ぜて行った。N60を除くコンクリートにおいてフレッシュ試験の結果、必ずしも目標値を満足しなくとも、供試体成型には問題ないと判断したものは供試体を作製した。供試体成型はJIS A 1132を参考にして行った。供試体の形状については、圧縮強度はJIS A 1138に準拠し、アンモニアの発生量測定用の供試体は、内法寸法が10×10×10cmの亚克力製型枠を用いた。また、亚克力製型枠表面の付着物質の影響を除去するため、透明のビニールシートで内張りした。

5. 試験項目及び方法

コンクリートの試験項目及び方法をTable 4に示す。

アンモニア測定装置の概要をFig.1に示す。20℃、60%RHの恒

Table 1 実験条件の組合せ
(Design of Experiments)

記号	検討項目		使用材料				W/C (%)	最短試料採取時間	試験開始材齢
	大分類	小分類	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤			
N60	材料	比較用	普通	川砂	砕石	—	60	0時間（直後）	5~112日
H60			セメント種類	早強	川砂	砕石			
S60		超早強							
B60		高炉B種							
J60		骨材種類	普通	人工軽量	人工軽量	増粘剤			77日
C60				石灰石	石灰石	増粘剤			
T60				結晶化	結晶化	増粘剤			
M60		増粘剤の影響	普通	川砂	砕石	増粘剤			112日
Z60		混和剤種類	普通	川砂	砕石	次亜塩素酸			111日
K60						活性炭			
P60						活性炭+リン酸			
W60	調合	水セメント比	普通	川砂	砕石	—	60	0時間（直後）	5日
W50							50		
W40							40		
0H							0時間		
1.5H	初期の減衰傾向の把握	普通	川砂	砕石	—	60	1.5時間	40日	
3H							3時間		
6H							6時間		
12H							12時間		
24H							24時間		

Table 2 使用材料
(Properties of Materials)

材料	種類	メーカー・産地等	物性等
セメント	普通	S・T・U社均等混合	密度3.16g/cm ³
	早強	S・T・U社均等混合	密度3.14g/cm ³
	超速硬	D社製	密度3.05g/cm ³
	高炉B種	S・T・U社均等混合	密度3.04g/cm ³
細骨材	川砂	静岡県小笠産	表乾密度2.62g/cm ³ 、吸水率1.26%、FM2.83
	人工軽量	N社製	表乾密度1.88g/cm ³ 、吸水率10.0%、FM4.57
	石灰石	鳥形山産	表乾密度2.63g/cm ³ 、吸水率2.19%、FM3.21
	結晶化石材	T社製	表乾密度2.92g/cm ³ 、吸水率0.71%、FM3.24
粗骨材	砕石	東京都奥多摩産	表乾密度2.65g/cm ³ 、吸水率0.51%、FM6.62
	人工軽量骨材	N社製	表乾密度1.79g/cm ³ 、吸水率18.0%、FM6.52
	石灰石	北海道峨朗産	表乾密度2.70g/cm ³ 、吸水率0.68%、FM6.70
	結晶化石材	T社製	表乾密度2.91g/cm ³ 、吸水率0.31%、FM6.24
混和剤	次亜塩素酸ナトリウム	W社製	試験1級
	活性炭	N社製	ヤシガラ活性炭
	薬剤添着型活性炭	N社製	ヤシガラ活性炭+リン酸
	増粘剤	S社製	主成分：水溶性セルロースエーテル
	AE減水剤	N社製	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体

Table 3 コンクリートの調合
(Mix Proportions of Concrete)

記号	W/C %	細骨材率 %	単位量(kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
N60	60	47.8	180	300	852	941	—
H60	60	48.9	170	283	891	941	—
S60		48.7			883		
B60		48.7			883		
J60	60	47.8	180	300	627	646	—
C60		47.7			852	959	
T60		47.8			949	1033	
M60	60	47.8	180	300	852	941	
Z60	60	47.8	180	300	852	941	15*1
K60					822		30
P60					822		30
W60	60	48.9	170	283	891	941	—
W50	50	47.6		340	844		
W40	40	45.5		425	776		
0H	60	47.8	180	300	852	941	—
1.5H							
3H							
6H							
12H							
24H							

*1単位水量の一部として内割置換した

*2AE減水剤の添加量はセメント100kgに対し、250mLとした

恒温恒室内で、供試体の封緘状態を解き直ちに 10L のデシケータに入れ、ガス吸収瓶中の超純水に流量 400mL/min で 24 時間通気させ、濃縮捕集してアンモニア計測用の試料を採取した。採取した試料はイオンクロマトグラフィーで分析し、⁵⁾ アンモニアの発生量を測定した。また、アンモニアの定常発生を促すべく、測定が終了するまでの 28 日間流量 400mL/min の通気を継続して行った。

アンモニアの発生量は、材齢ではなく、封緘状態の供試体を開封してから期間と相関がある⁶⁾。実験進行の便宜上、アンモニアの発生量の計測は、開封直後 (0 日)、開封 1 日後、同 7 日後、同 28 日後の計 4 回の時点で実施した。

N60 は比較用として毎回ごとに実験行っている。このため、全試験項目とも各回のデータの平均値を N60 の値とした。

Ⅲ. 実験結果及び考察

1. フレッシュ時の性状

(1) 基礎的性状

コンクリートのスランプの結果を Fig.2 に示す。標準調合の N60 をはじめ大部分のコンクリートで目標値を満足したが、H60, C60, K60, P60, W60, W40 で目標値を下回った。コンクリートの空気量の結果を Fig.3 に示す。空気量は、人工軽量骨材 J60 や増粘剤 M60 では多くなる傾向を、活性炭を用いた K60 や P60 は減少する傾向を示した。コンクリートの温度は、19.1~20.5℃の範囲にあった。コンクリートの性状は、N60 をはじめ大部分良好なものであったが、W60, C60, K60 でやや硬い感じが、W40 ではもったりした性状が、J60 ではバサバサした性状がみられた。フレッシュ時のスランプや練り上がり性状及び空気量は、使用材料の特性や調合の影響によるものと考えられる。ここでは、目標値を満足しないコンクリートにおいても供試体成型には問題ないと判断し、全コンクリートとも供試体を成型した。また、目標値を満足しなかったコンクリートを実用に供する場合は、使用材料や調合の修正で対応する予定である。

(2) ブリーディング性状

コンクリートのブリーディング量を Fig.4 に示す。ブリーディング量は、N60 に対し、T60 のみ 1.5 倍程度多くなり、ほかは小さくなった。特に、S60 は 1/21, M60 は 1/4, W40 は 1/5 程度までそれぞれ小さくなった。T60 は密度の高い骨材を用いているためブリーディング量が多くなり、S60 はセメントの早強性が、M60 及び W40 は増粘剤やセメント量増加による保水性の向上が影響していると考えられる。

Table 4 試験項目及び方法
(Test Items and Methods)

性状	試験項目	試験方法
フレッシュ	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	温度	棒状温度計
	性状	目視観察
	ブリーディング	JIS A 1123
強度	圧縮強度	JIS A 1108
アンモニア	アンモニアガス発生量	試料を液体捕集後、イオンクロマトグラフィーで分析
	コンクリートの含水率	高周波容量式水分計

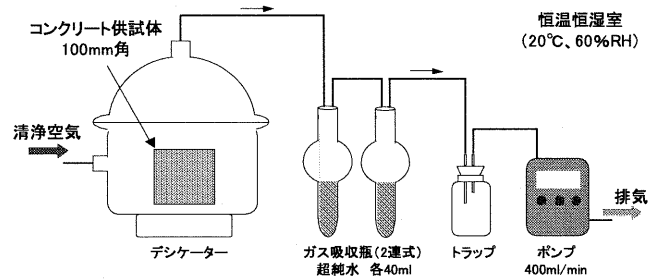


Fig.1 アンモニア測定装置の概要
(Sampling Device of Ammonia)

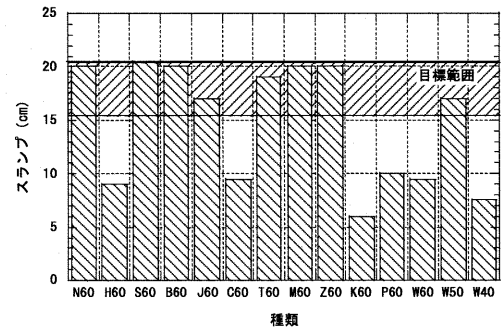


Fig.2 コンクリートのスランプ
(Concrete Slump)

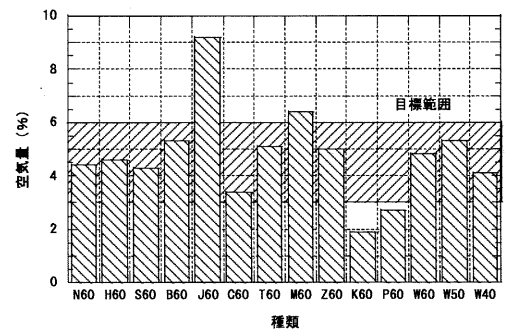


Fig.3 コンクリートの空気量
(Air Content of Concrete)

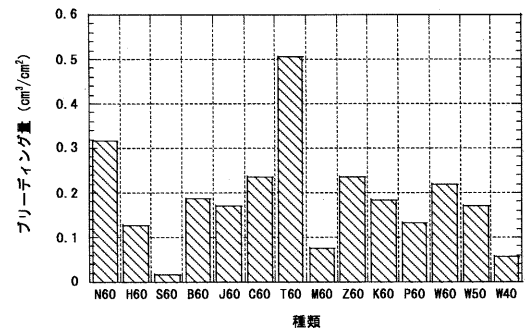


Fig.4 コンクリートのブリーディング量
(Amount of Concrete Bleeding)

2. 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度を Fig.5 に示す。コンクリートの圧縮強度は、いずれも材齢 7 日から材齢 182 日にかけて増進傾向にある。N60 に対し、W40 及び W50 を除き概ね同等の値となった。W40 及び W50 の圧縮強度は水セメント比が小さいため大きくなった。また、J60 の圧縮強度は空気量が 9.2%と極端に大きかったことから比較対象から除外した。

3. アンモニア発生量

(1) 材料検討

アンモニア発生に及ぼすセメント種類の影響を Fig.6 に示す。アンモニア発生許容値の目安は、前報⁵⁾と同様に、 $6.8 \sim 17 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ とし、関連する図にその範囲を示した。アンモニアの発生量は全て経過日数に伴い減少している。高炉セメント B 種による B60 コンクリートのアンモニア発生量が卓越している。これは、混和材として混合する高炉スラグに含まれる窒化アルミニウムの影響であると指摘されている²⁾。B60 を除く、測定期間 1 日までにおいて、普通セメントによる N60 や早強セメントによる H60 の発生量は同等であり、これらの値は、超速硬セメントによる S60 に比べ少ない。構成原料や生成される水和生成物が異なることから一概に比較は難しいが、単に早強性が優れていても、アンモニア発生抑制には寄与していない結果となった。

骨材種類別のアンモニア発生量を Fig.7 に示す。アンモニアの発生量は全て経過日数に伴い減少している。結晶化石材による T60 に対して、石灰石 C60 や人工軽量骨材 J60 においてアンモニア発生の低減効果が見られた。石灰石は粘土質の不純物を含んでいない良質のものであれば窒素化合物が少ないこと²⁾、人工軽量骨材は加熱による表面部の窒素化合物の除去されたことによる効果と考えられる。また、補助的に用いた増粘剤を添加した M60 は、無添加の N60 (比較用) に比べ、アンモニア発生量が少なく低減効果が見られた。これは、増粘剤のもつ保水性により水分移動に伴うアンモニアの放出が抑制されたためと推測される。ただし、詳細については検討する必要がある。

混和剤の種類別アンモニア発生量を Fig.8 に示す。アンモニアの発生量は全て経過日数に伴い減少している。活性炭による K60 やリン酸を付着させて活性炭による P60 は、前報⁵⁾と同様に効果が見られた。また、次亜塩素酸による Z60 では効果が見られなかった。K60 や P60 で効果が見られたのは活性炭による吸着効果と考えられる。

(2) 水セメント比の影響

水セメント比別アンモニア発生量を Fig.9 に示す。開封後 0 日 (材齢 5 日) においては、 $W40 > W60 \geq W50$ であり、同 1 日において僅差であるが $W60 \geq W50 \geq W40$ であり、同 7 日以降は大差ない結果となった。開封後 0 日 (材齢 4 日) において W40 が大きくなったのは、単位セメント量の多少の影響が考えられるが、再現性を含めた検討が必要であると思われる。いずれにしても、開封後 1 日以降、水セメント比の異なる 3 種のコンクリートにおいてアンモニア発生量に顕著な差は見られなかった。

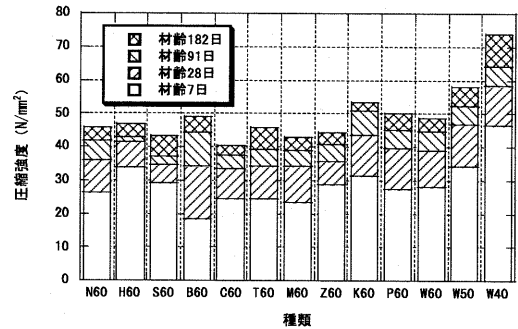


Fig.5 コンクリートの圧縮強度

(Compressive Strength of Concrete)

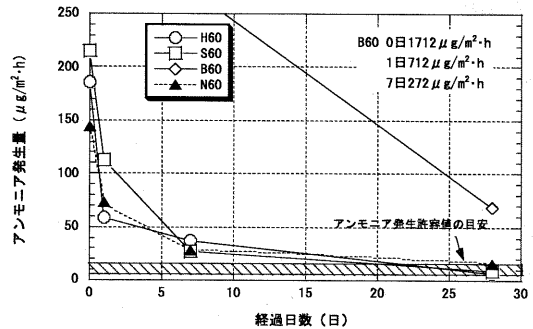


Fig.6 セメントの種類別アンモニアの発生量

(Relationship between Cement Types and Ammonia Emission Rate)

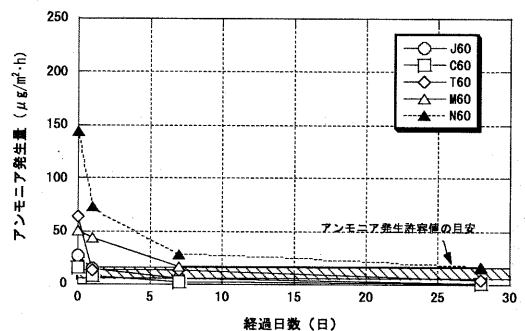


Fig.7 骨材の種類別アンモニアの発生量

(Relationship between Aggregates and Ammonia Emission Rate)

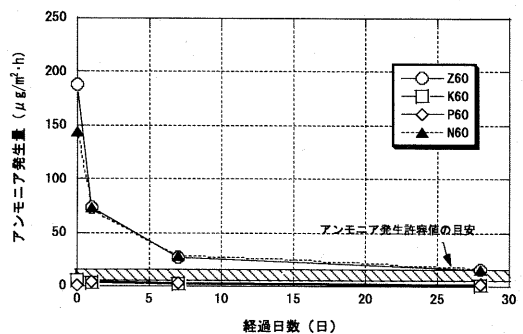


Fig.8 混和剤の種類別アンモニアの発生量

(Relationship between Admixtures and Ammonia Emission Rate)

(3) 全材料の比較

材料について検討した全コンクリートのアンモニア総発生量を Fig.10 に示す。ここでは総発生量を開封後 7 日間までと同 28 日間までの 2 ケースについて試算した。比較用の N60 に比べ発生量が小さくなったコンクリートは、少ない順に、活性炭による K60<石灰石による C60<リン酸を付着させた活性炭による P60<人工軽量骨材による J60<結晶化石材による T60<増粘剤による M60 であった。N60 に対するアンモニア低減効果は、T60 が 1/3 であるのに対し、C60 が 1/12, J60 が 1/6 であり、混和材として活性炭を用いた K60 及び P60 が 1/10~1/16 であった。なお、増粘剤を用いた M60 においても 1/1.5 程度のアンモニア低減効果が見られることから、石灰石、人工軽量骨材、結晶化石材をそれぞれ用いたコンクリートにおいては、増粘剤による効果が助長された結果であると考えられる。

(4) 供試体の開封期間とアンモニア発生量の関係

N60 における材齢とアンモニア発生量の関係を Fig.11 に示す。コンクリートから発生するアンモニア量は、材齢との間に明瞭な関係は見られない。しかし、開封期間別にグループ分けをして発生量をみると、開封期間 0 日>同 1 日>同 7 日>同 28 日という傾向が見られる。このことから既往の結果の再現性を確認した。また、各開封期間における変動範囲は、開封期間 0 日では $112 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ となり、ほかの期間では $37 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 以下となった。開封期間 1 日以降、データの変動は小さいものとなった。開封期間 0 日の変動が大きかったのは、発生量の絶対値が大きいくほかに、供試体の含水状態が均一でないなど定常状態でなかったことが影響している可能性が考えられる。

(5) アンモニアの初期減衰の傾向

本実験の結果を含めて、アンモニア発生量は、開封期間の初期ほど大きく、時間の経過に伴い少なくなる傾向がある。アンモニアの初期減衰の傾向を詳細に把握すべく、開封後試料採取までの時間を 0~24 時間まで変化させた条件での、通気 24 時間でのアンモニア発生量を Fig.12 に示す。アンモニアの発生量は、試料採取までの時間を 0 及び 1.5 時間としたグループと 3 時間以降のグループに大別される。1.5 時間までの極初期においてアンモニアの発生が多いことがわかる。

また、全コンクリートとも、アンモニア発生許容値の目安である $6.8\sim 17 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ を開封後 28 日後には満足する値となった。しかし、本実験に用いた供試体は、 10cm^3 の立方体であり、6 面とも開放しており、さらに実部材に比べコンクリートボリュームが小さいことから、コンクリート含水率の低下とそれに伴うアンモニア発生量の低減が早いと考えられる。また、実部材においては温湿度の変動等使用環境の変化がアンモニアの発生に及ぼす影響を把握する必要がある。今後、実部材での含水率及びアンモニア発生量のデータを蓄積し、供試体と実部材の関係を明らかにしていきたい。

(6) アンモニア発生量と含水率の関係

既往のデータ⁶⁾を含めたコンクリートの含水率とアンモニア発生量の関係を Fig.13 に示す。同一の含水率の場合、アンモニアの発生量は、(高炉セメント B 種+普通骨材) > (普通セメント+普通骨材) > (普通セメント+結晶化石材) という傾向が見られた。3 種類のコンクリートにおいて種類別に含水率とアンモニア発生量の間に、明瞭な相関を確認できた。このことは、種類別にこの関係を明らか

にしておけば雰囲気環境(温度及び湿度)を特定すれば、含水率からアンモニア発生量を予測することが可能であることを示唆している。

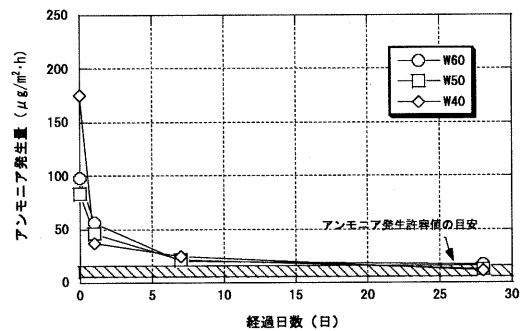


Fig.9 水セメント比別アンモニアの発生量
(Relationship between Water-Cement Ratio and Ammonia Emission Rate)

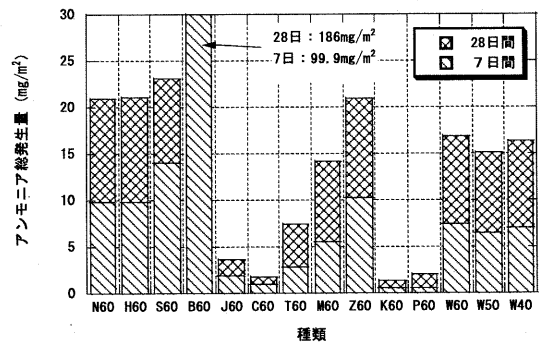


Fig.10 コンクリートからのアンモニアの総発生量
(Ammonia Emission Amount of Concrete)

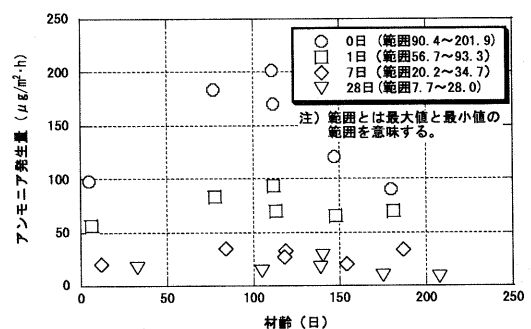


Fig.11 N60 コンクリートの材齢とアンモニア発生量の関係
(Relationship between N60 Concrete Age and Ammonia Emission Rate)

IV. まとめ

本実験の結果から得られた知見を以下に示す。

- ①セメント種類の検討では、アンモニアの発生量は、高炉セメント B 種が卓越しているものの、早強セメントや超速硬セメントは普通セメントと同等であった。
- ②骨材種類の検討では、石灰石又は人工軽量骨材を用いたコンクリートにおいて、結晶化石材を用いたものと同等以上のアンモニア低減効果が見られた。また、補助的に用いた増粘剤においてもアンモニア低減効果が見られた。
- ③混和剤の検討では、活性炭又は活性炭にリン酸処理を付加したコンクリートにおいてアンモニア低減効果が見られた。
- ④封緘状態を解いた直後の供試体から発生するアンモニアの発生量は多い。その傾向は、開封してから通気 1.5 時間までの供試体において顕著であった。
- ⑤含水率とアンモニア発生量において明確な相関性を確認した。

今後、効果のあった材料について性能とコスト及び結果の再現性を確認するとともに、実部材において性能を実証した上で、実用化技術として、美術館・博物館や電子デバイス施設等の現場に適用を図っていきたい。

謝 辞

本実験を行うに当たり、住友大阪セメント、太平洋セメント、宇部三菱セメント、電気化学工業、アサノコンクリート（品川工場）、月島機械、日本ピュアテック、ポゾリス物産の各社から試料の提供等のご協力を頂きました。紙面を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 黒坂五馬；コンクリートから発生するアンモニア発生機構の研究，古文化財の科学，Vol.37，(1993)，pp.46-53.
- 2) 小林一輔ほか；コンクリートにおけるアンモニアの発生機構に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 532 号，(2000.6)，pp.27-33.
- 3) 荒井良延，武廣絵里子ほか；美術品保存展示室空間の温湿度・空気質環境計画の研究（その 1）コンクリート含水率とアルカリ放出量の関係，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集（名古屋），(1996.9)，pp.565-568.
- 4) 小林一輔；コンクリートにおけるアンモニアの発生問題とその対策，コンクリート工学，Vol.38，No.11，(2000.11)，pp.22-28.
- 5) 神本良一，柳田克巳ほか；コンクリートから発生するアンモニアの低減に関する研究，鹿島技術研究所年報，Vol.50，(2002.9)，pp.81-86.

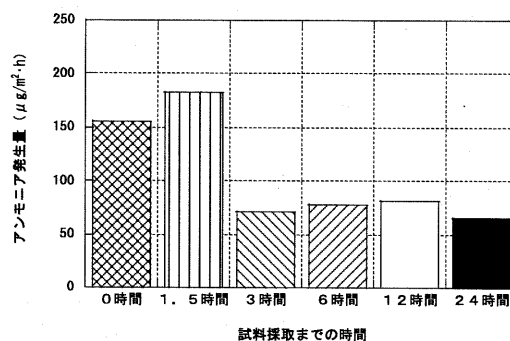


Fig.12 試料採取までの時間とアンモニア発生量の関係
(Relationship between First Sample From Each Specimen and Ammonia Emission Rate)

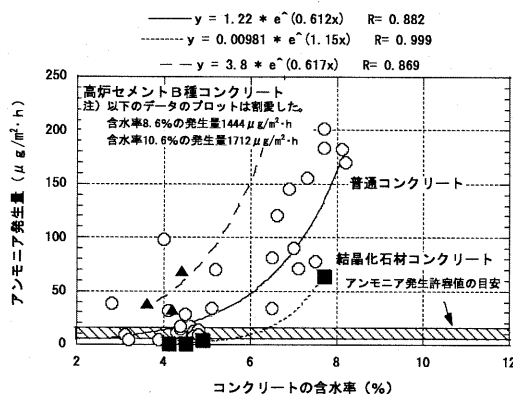


Fig.13 コンクリートの含水率とアンモニア発生量の関係
(Relationship between Water Content of Concrete and Ammonia Emission Rate)

- 6) 神本良一，依田和久ほか；アンモニア低減コンクリートの現場実証実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2003.9)，pp.677-678.
- 7) 建設省都市下水道部・厚生省生活衛生局水道環境部監修；下水試験方法 上巻，日本下水道協会，(1997 年版)
- 8) 田中勲，梶間智明；コンクリートから発生するアンモニアの影響とその対策，セメント・コンクリート，No.640，(2000.6)，pp.8-15.