

酸性雨成分の作用によるセメント硬化体の物性変化

久田 真¹・松谷竜一²

¹正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所 技術推進本部 (〒305-8516 つくば市南原1-6)

²学(工) 株式会社福田組 名古屋支店 (〒453-0804 名古屋市中村区黄金通一丁目11番地)

本論文は、供用中の構造物に作用すると考えられる酸性雨成分に着目し、これがセメント硬化体の物性変化に及ぼす影響について検討を行ったものである。新潟県域における降雨中に含まれる成分の調査結果から、コンクリートに化学的な浸食作用を与える成分として硝酸ならびに硫酸を一定の割合で混合した溶液を暴露溶液とし、溶液中にセメントペースト供試体を暴露して硬化体中の各種水和物量、空隙量ならびに曲げ強度の経時変化を把握した。この結果、各水和物量間の変化に関係性が見出され、水和物量の減少にともなう空隙の増加や曲げ強度の低下傾向にも相関性があることが明らかとなった。

Key Words: acid rain, H_2SO_4 , HNO_3 , cement paste, $Ca(OH)_2$, CSH, AFm, bending strength

1. はじめに

供用期間中のコンクリート構造物は、降雨や日照などの様々な気象条件に曝されており、コンクリートの品質が一定であっても、環境条件の違いによって劣化の進展性状が異なることは良く知られている^{1), 2), 3), 4)}。

コンクリートの劣化現象のうち、下水処理施設や低pHの降雨等に曝された構造物などに生じるとされている化学的侵食は、現象が複雑であり、その劣化進展メカニズム等については未だに解明されていない部分が多いのが現状である。特に、酸性雨成分が作用するような、一般の構造物が曝される可能性のある環境条件下におけるコンクリートの劣化メカニズムを明らかにすることは、コンクリートの性能設計において極めて意義深いものと考えられる。

このような状況を鑑みて、本論文では、酸性雨成分環境下におけるコンクリートの劣化メカニズムを明らかにすることを目的とした。

まず、実際の降雨中に含まれる成分の調査結果に基づいて暴露溶液を準備し、pHによって酸性雨成分による作用の強弱を設定した。次に、水セメント比の異なる薄片状のペースト供試体を作製し、準備した溶液に暴露し、所定の暴露材齢における各供試体中の各種セメント水和物量の経時変化を把握した。なお、セメント硬化体の物理的性質として空隙量を、また、硬化体の力学的性能として、供試体の曲げ強度をそれぞれ測定し、供試体の化学的侵食による物理的ならびに力学的性能の変化に関する実験的な検討も行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料・配合

供試体は、市販の普通ポルトランドセメントと一般の水道水のみを使用したセメントペーストとし、W/Cを0.30、0.50 および 0.65 として配合した。使用したセメントの物理的性質および主な化学成分を以下の表-1に示す。

なお、W/C=0.30 のセメントペーストに関しては、流動性を確保する目的で混和剤として空気連行性のない高性能減水剤(ナフタレンスルホン酸系)を使用した。また、W/C=0.65 のセメントペーストに関しては、材料分離の抑制を目的として、高流動コンクリート用増粘剤(メチルセルロース系)を使用した。

(2) 供試体の作製

セメントペーストは、ホバート型モルタルミキサ(容量2000cc)を使用し、セメントおよび水を投入後、90秒間の練混ぜ(低速)を行い、一旦停止させて15秒間かき落とし、再び60秒間練り混ぜた。練り上がったセメントペーストは、40×40×160mmの角柱型枠に打設し、ブリーディングが生じない程度に突き棒を用いて突き固め、打設後24時間後に脱型した。

脱型後の供試体は、ペースト中のイオン等の成分が溶出しないように留意して、20℃の恒温室内で打設日から計算して28日間の湿空養生を行った。

湿空養生の後、湿式コンクリートカッターを用いて供試体を20×40×2mmの薄片状(図-1)に切断し、暴露開始まで再び湿空中に静置した。

表-1 普通ポルトランドセメントの物理的性質および主な化学成分

物理的性質			主な化学成分 (%)								
密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	lg. loss (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Cl
3.16	3270	2.05	21.20	4.83	2.81	64.65	1.24	0.34	0.45	2.14	0.008

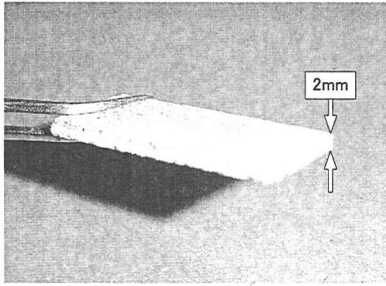


図-1 薄片供試体の概略

(3) 暴露実験の概要

酸性雨成分を含有した溶液を準備するため、平成11年度の新潟県主要都市部において採取された降雨中に含まれる成分の分析結果を表-2に示す。これによれば、酸性雨成分は、対象とした各地区で大きくは異ならず、いずれも硫酸イオン:硝酸イオン比率が平均でおおよそ2:1となっていること、また、降雨水のpHはおおよそ4.8程度であることがわかる。このことから、酸性雨成分を含有した溶液の製造においては、硫酸(H₂SO₄):硝酸(HNO₃)=2:1として混合し、溶液のpHがそれぞれ3, 5および7となるように蒸留水を用いて調整したものを暴露溶液とした。

本研究で行った暴露実験の概略を図-2に示す。切断した薄片供試体は、全面が溶液に接するように、隣り合う2枚が重ならないように設置した。また、暴露期間は0, 1, 2, 4, 8 および 12 週とした。なお、図-2に示したように、暴露期間中における供試体表面部での溶液の滞留によって侵食速度に影響が出ることを避ける目的で、送液ポンプにて暴露溶液を循環させ、供試体からの浸出イオンによる循環液の変化を極力避けた。さらに、循環させた暴露溶液は、pH が著しく変化しないように、おおよそ1週間に1回の頻度で全量を交換した。

表-2 新潟県主要都市の降雨の分析結果
(新潟県保健環境科学研究所平成11年度分析結果より)

調査地点	pH	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
新潟市	4.84	1.06	2.43
長岡市	4.65	1.21	2.61
六日町	4.88	1.36	1.81
上越市	4.83	1.02	2.42
平均	4.80	1.16	2.32

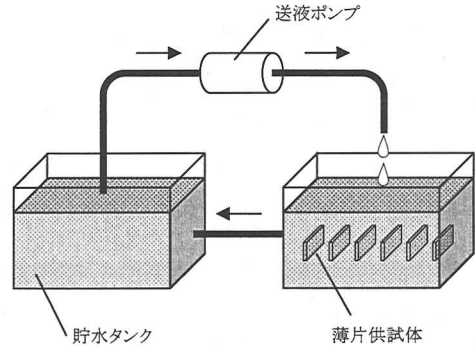


図-2 暴露実験の概略

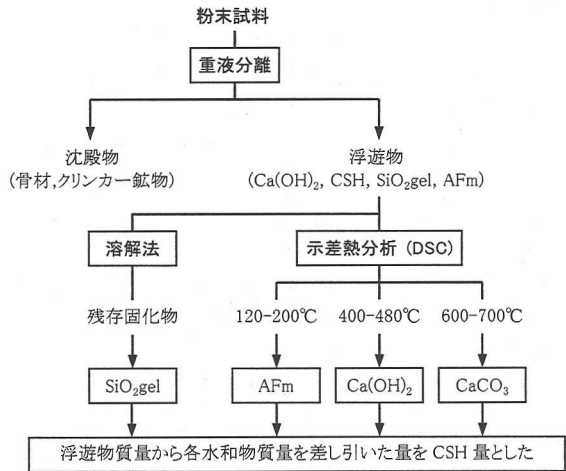


図-3 セメント水和物定量の分析フロー

(4) 測定項目

a) 供試体中のセメント水和物量

セメント水和物の定量に関する分析フローを図-3に示す^{5), 6)}。暴露終了後の供試体は、0.15 mm ふるいで全量が通過するまでハンマーにて粉末状に粉砕した。粉砕後の試料に対して、密度が 2.5 g/cm³ となるように

調整したプロモホルムとエタノールの混合溶液(重液)による分離操作を行って未水和セメント分とセメント水和物を分離し、溶液中に浮遊したものをセメント水和物の分

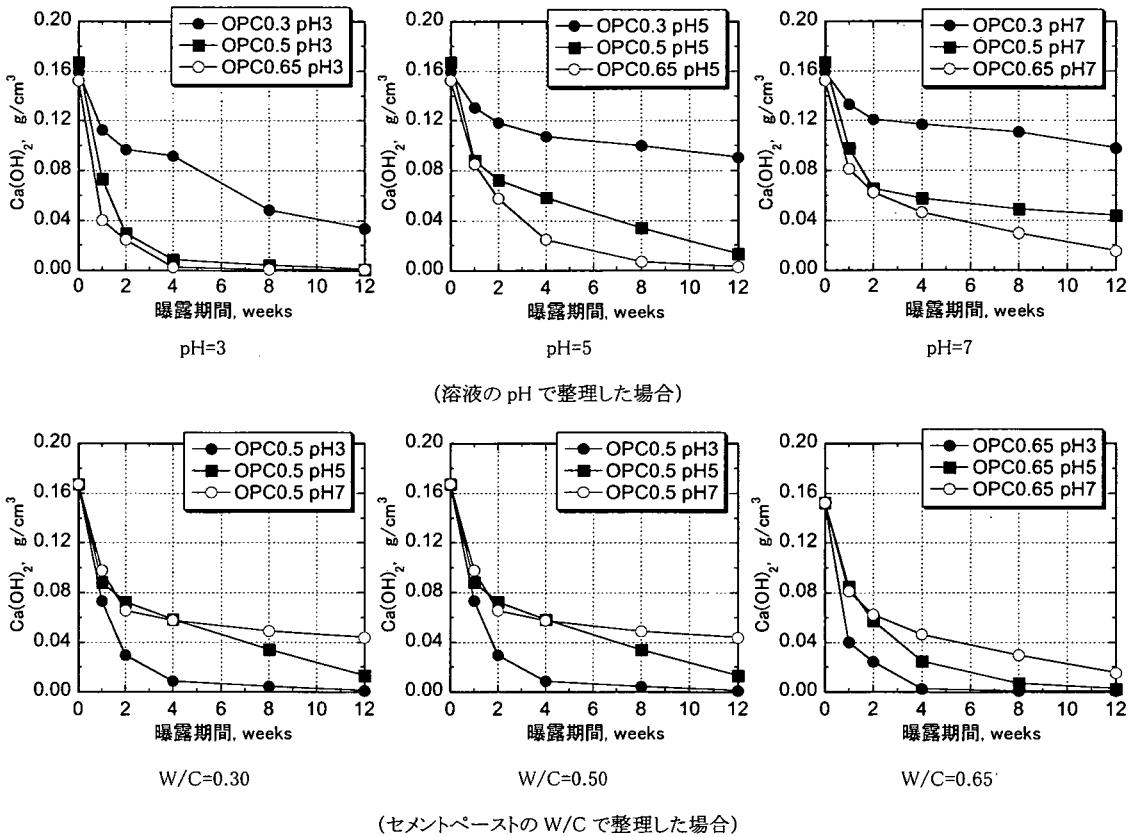


図-4 硬化体中の Ca(OH)_2 量の経時変化

析用試料として採取した。採取した試料は、真空デシケータ内で乾燥させた後に水和物の定量に用いた。なお、重液による分離操作後の試料の一部はさらに 5 g のサリチル酸を 40 ml のメタノールに溶解させた混合溶液に投入して溶解させ(溶解法)、残留固化物から SiO_2 gel を定量した。これらの結果を用いて CSH 量の計算を行った。

分析の対象とした水和物の種類は、硬化体中の主要水和物である水酸化カルシウム (Ca(OH)_2)、カルシウムシリケート水和物 (CSH) およびモノサルフェート水和物 (AFm) であり、試料の分析には示差走査熱量計 (DSC) を用いた。なお、試料の調整は大気中の CO_2 と反応しないように留意しながら速やかに行った。

b) 硬化体中の全空隙量

暴露終了後の供試体を、 $10 \times 10 \times 2$ mm 程度の大きさに切断した試料片を用いて、ピクノメータを用いて硬化体内部の空隙量を測定した。

c) 供試体の曲げ強度

セメント硬化体の力学的性質を評価する目的で、宮里⁷⁾によって提案されている曲げ強度試験を実施した。所定の暴露材齢を経過した薄片供試体を乾燥させないように一旦イオン交換水中に保存し、市販の微小載荷

試験機(最大荷重:500N)を用い、支点間距離 30 mm の 1点載荷により曲げ強度を算定した。

3. 硬化体中の水和物量の変化に関する検討

(1) Ca(OH)_2 量の経時変化

図-4に、酸性雨成分を作用させたセメントペースト硬化体中の Ca(OH)_2 量の経時変化を暴露溶液の pH 別およびセメントペーストの W/C 別に整理した結果を示す。全体として、酸性雨成分を作用させることによりセメントペースト硬化体中の Ca(OH)_2 量が急激に減少していることが明らかである。

暴露溶液の pH で整理した結果からは、いずれの pH の暴露溶液においても、W/C が 0.50 および 0.65 の硬化体で同様の減少傾向を示していることがわかる。また、硬化体の W/C で整理した結果からは、暴露溶液の pH が 5 または 7 の場合が同様の Ca(OH)_2 量の減少傾向となっており、pH が 3 の暴露溶液の Ca(OH)_2 量の減少傾向が著しいことが分かる。なお、これらの傾向は CSH も AFm も同様であった。

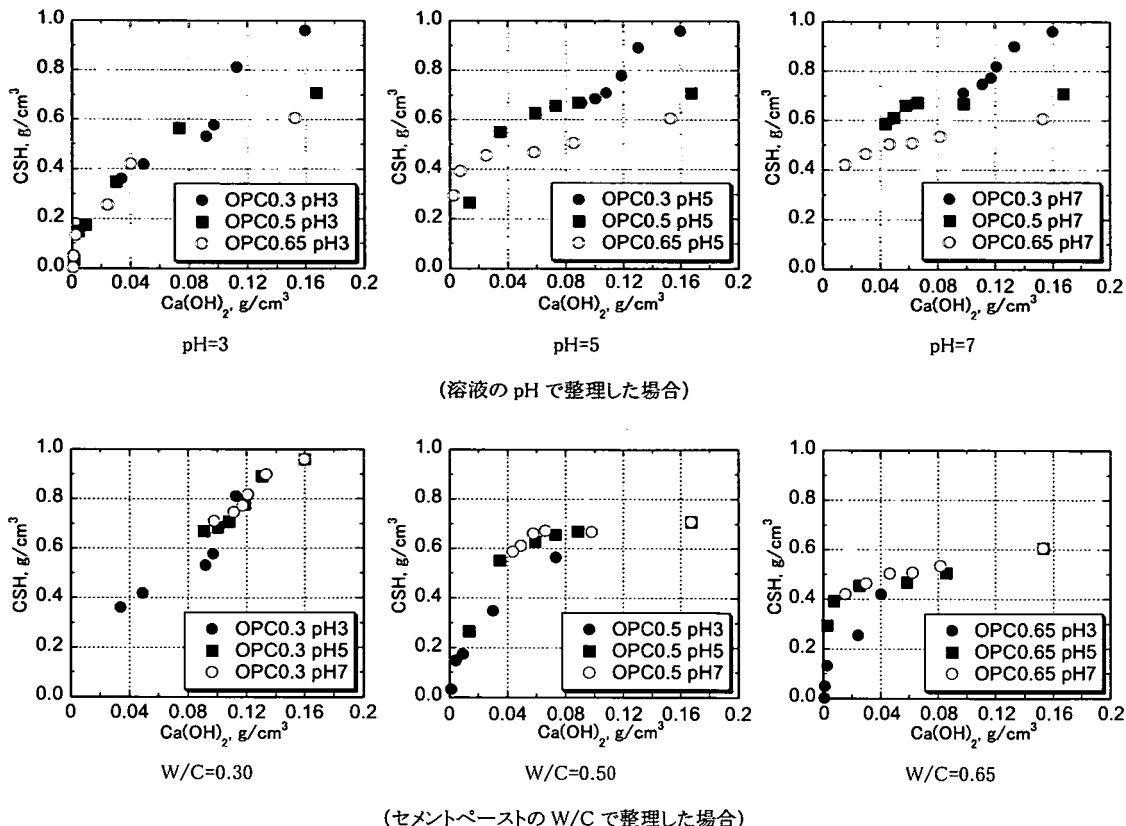


図-5 硬化体中の Ca(OH)_2 量と CSH 量との関係

以上より、酸性雨成分を作用させたセメントペースト硬化体中のセメント水和物は、暴露溶液としては pH が 5 程度で変化の傾向が異なり、pH が 3 程度の強い酸性雨成分が作用することでセメント硬化体からの水和物の減少が顕著になると考えられる。また、W/C では 0.50 程度で変化の傾向が異なり、0.30 程度の高強度コンクリートに用いられるような W/C の場合には、酸性雨成分が作用しても、水和物の減少の傾向が W/C が 0.50 あるいは 0.65 程度の場合よりも緩やかであると考えられる。

(2) Ca(OH)_2 量と CSH 量との関係

図-5に、所定の暴露材齢におけるセメントペースト硬化体中の Ca(OH)_2 量と CSH 量との関係を暴露溶液の pH 別およびセメントペーストの W/C 別に整理した結果を示す。全体的な傾向として、いずれのグラフにおいても図中の y 切片を有した傾向を示しており、このことから Ca(OH)_2 の方が CSH よりも先行して減少し、消失する傾向を示すと考えられる。なお、このような傾向は、蒸留水等の酸性雨成分を含まない場合と同様である^{8), 9)}。

暴露溶液の pH 別に整理した場合では、 Ca(OH)_2 量と CSH 量との関係は、暴露溶液の pH の違いによって若

干傾向が異なることが認められる。 Ca(OH)_2 と CSH との減少傾向に着目すると、今回設定した溶液のうちで酸性雨成分の最も強い pH=3 の溶液に暴露した供試体の結果では、 Ca(OH)_2 が消失する時点では、CSH 量はほぼ 0~0.1 g/cm^3 の範囲となっていることがわかる。これに対し、pH=5 の溶液に暴露した供試体の結果では、 Ca(OH)_2 の消失する時点を示す y 軸切片は pH=3 の場合よりも上方にあり、pH=7 の溶液に暴露した供試体の結果では、y 軸切片は pH=5 の結果よりもさらに上方に位置している傾向が認められる。

セメントペーストの W/C 別に整理した場合、酸性雨成分作用下における Ca(OH)_2 量と CSH 量との関係には明確な違いが見られた。まず、W/C=0.30 のペーストでは、 Ca(OH)_2 量と CSH 量との関係は、暴露溶液の pH に関わらず量的にほぼ一定の関係を保ちながら変化すると考えられる。次に、W/C=0.50 のペーストでは、 Ca(OH)_2 量と CSH 量との関係は上に凸の傾向、すなわち W/C=0.30 のペーストの場合よりも Ca(OH)_2 量の減少が卓越していることがわかる。さらに、W/C=0.65 のペーストでは、 Ca(OH)_2 の減少が卓越する傾向はさらに顕著になり、 Ca(OH)_2 量が大きく減少する一方で、CSH 量は緩

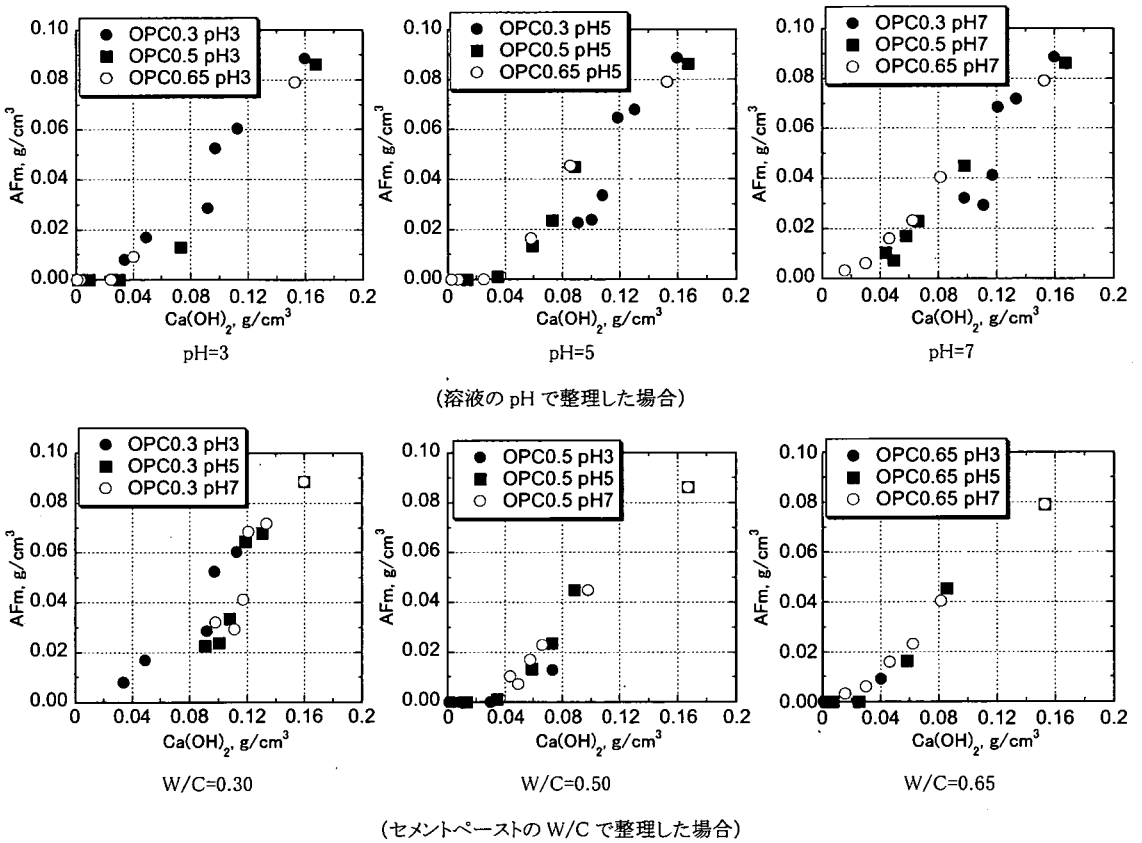


図-6 硬化体中の Ca(OH)_2 量と AFm 量との関係

やかに減少する傾向が認められた。なお、 $W/C=0.65$ のペーストの場合、 $\text{pH}=5$ および 7 の場合では Ca(OH)_2 量が CSH 量の減少を伴わずに減少するのに対し、 $\text{pH}=3$ の場合には、 Ca(OH)_2 量が CSH 量の減少を伴って減少していることが認められ、暴露溶液の pH が 3 程度になると CSH 量の減少が顕著になると思われる。

以上の結果をまとめると、おおよそ次のことが言える。すなわち、暴露溶液の pH が 3 程度の場合、セメント硬化体の W/C に関わらず Ca(OH)_2 量は CSH 量の著しい減少を伴いながら減少する。このような傾向は暴露溶液の pH が大きくなるにつれて変化し、暴露溶液の pH が 5 および 7 となるにつれて、セメント硬化体中の Ca(OH)_2 量は CSH 量の著しい減少を伴わずに減少する。このような傾向には硬化体の W/C の影響も認められ、 W/C が 0.30 、 0.50 および 0.65 と大きくなるにつれて、セメント硬化体中の Ca(OH)_2 量は CSH 量の著しい減少を伴わずに減少する傾向となる。

ただし、 W/C が 0.65 程度のセメント硬化体の場合には、暴露溶液の pH の影響をさらに受け、暴露溶液の pH が 3 程度になると CSH 量の著しい減少を伴いながら Ca(OH)_2 量が減少する傾向となる。

ここで、 Ca(OH)_2 量ならびに CSH 量の減少傾向については、 W/C の違いによる硬化体内部に形成される空隙構造、セメントの水和率ならびに水和物組成の違い、暴露溶液の pH との関係が影響しているものと考えられる。今回の結果では、 Ca(OH)_2 量の減少に対して CSH が著しく減少したのは、 W/C が 0.30 あるいは暴露溶液が $\text{pH}=3$ の場合であった。このことから、 W/C が小さい場合、硬化体内部の CSH は酸性雨成分により溶解しやすい傾向を示すと考えることができる。なお、CSH の溶解性については、CSH の Ca/Si 比に依存することが知られている¹⁰⁾が、今回の結果から、セメント硬化体中の CSH は、 W/C の違いによって Ca/Si 比の異なるものが生成されていると考えることができる。しかしながら、セメント硬化体中のセメント水和物組成の違いについては、本研究の範囲外であり、詳細は今後の検討課題である。

(3) Ca(OH)_2 量と AFm 量との関係

図-6に、所定の暴露材齢におけるセメントペースト硬化体中の Ca(OH)_2 量と AFm 量との関係を暴露溶液の pH 別およびセメントペーストの W/C 別に整理した結果を示す。

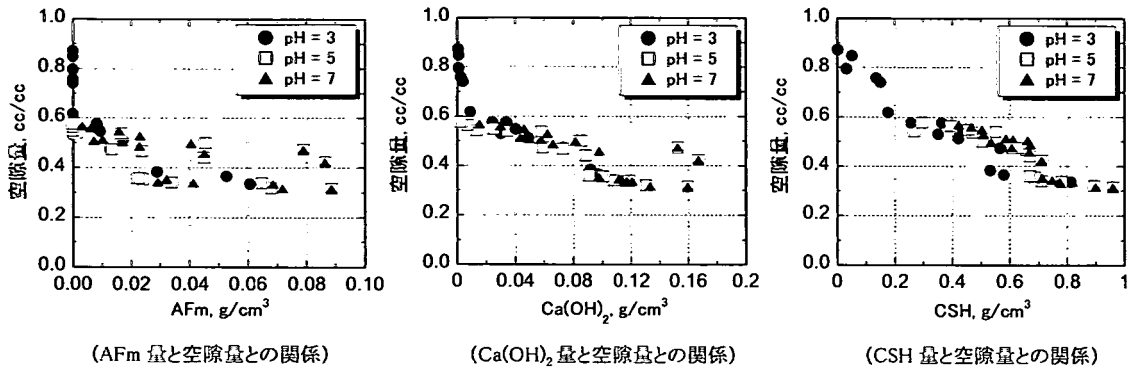


図-7 硬化体中の各水和物量と空隙量との関係

これらによれば、Ca(OH)₂量とCSH量との関係における傾向とは異なり、いずれのW/Cおよび暴露溶液のpHにおいてもほぼ同様の水和物の減少傾向を示していることがわかる。なお、図-6においては、各図中のx軸切片が認められ、このことからAFmがCa(OH)₂よりも先行して減少し、消失すると考えることができる。また、このような傾向は、蒸留水等の酸性雨成分を含まない場合と同様である。さらに、AFmが消失した時点でのCa(OH)₂残留量は、いずれのW/Cおよび暴露溶液のpHにおいてもおよそ0.4 g/cm³程度以下と判断することができる。

(4) 水和物量の変化に関するまとめ

水和物量の変化に関するこれらの結果をまとめると、以下のようになる。

まず、酸性雨成分のpHに着目した場合では、pHが3程度の強い酸性雨成分が作用することでセメント硬化体からの水和物の減少が顕著になり、pHが5あるいは7程度であれば同様の水和物量の変化の傾向を示す。

また、硬化体のW/Cに着目した場合、W/Cが0.50程度で水和物量の変化の傾向が異なり、0.30程度の高強度コンクリートに用いられるようなW/Cの場合には、酸性雨成分が作用しても、水和物の減少の傾向がW/Cが0.50あるいは0.65程度の場合よりも緩やかである。

次に、普通ポルトランドセメントの主な水和物であるCa(OH)₂、CSHならびにAFmに着目した場合、酸性雨成分が作用させることにより、硬化体中からAFmが先行して減少し、次いでCa(OH)₂が減少し、CSHは最後まで残留することが明らかとなった。

なお、このような溶解過程においては、Ca(OH)₂量とAFm量、Ca(OH)₂量とCSH量とがそれぞれ一定の関係を保ちながら減少し、その傾向はセメント硬化体のW/Cならびに暴露溶液のpHの組合せによって異なると考えられる。

4. 水和物量の変化と硬化体の空隙量および曲げ強度との関係に関する検討

(1) 水和物量の変化と空隙量との関係

図-7に、所定の暴露材齢におけるセメントペースト硬化体中の各水和物量と空隙量との関係を示す。これらのグラフより、硬化体中の空隙量は、W/Cや暴露溶液のpHに関わらず、いずれの水和物量とも関係性が認められることが明らかである。なお、これまでの検討結果によれば、Ca(OH)₂量とAFm量およびCa(OH)₂量とCSH量との間にそれぞれ関係性が見出されている。このため、図-6においていずれのグラフも関係性が見出されることは当然ではあるが、ここでは、各水和物量が消失した時点での空隙量がどの程度となるかを明らかにすることを目的としているので、再び各水和物量全てについて掲載した。

図-7によれば、各水和物によってグラフのy軸切片すなわち各水和物量が消失する時点での空隙量に違いが認められる。まず、水和物量の変化における検討結果から、最も先行して減少し、消失する水和物であることが明らかとなったAFmが消失した時点では、硬化体中の空隙量はおよそ0.5cc/cc程度であることがわかる。次に、Ca(OH)₂との関係においては、Ca(OH)₂が消失した時点での空隙量はおよそ0.6cc/cc程度であることが認められる。さらに、本研究で対象とした水和物で最も減少し難い傾向を示したCSHに着目すると、CSHが消失した時点での硬化体中の空隙量は0.8cc/cc程度となっていることがわかる。

(2) 各水和物量と曲げ強度との関係

図-8に、所定の暴露材齢におけるセメントペースト硬化体中の各水和物量と曲げ強度との関係を示す。図-7と同様に図-8においても、硬化体中の曲げ強度は、W/Cや暴露溶液のpHに関わらず、いずれの水和

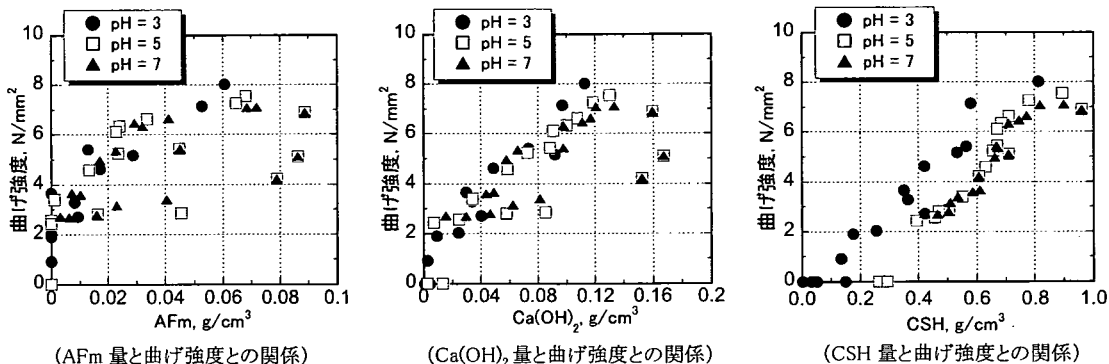


図-8 硬化体中の各水和物量と曲げ強度との関係

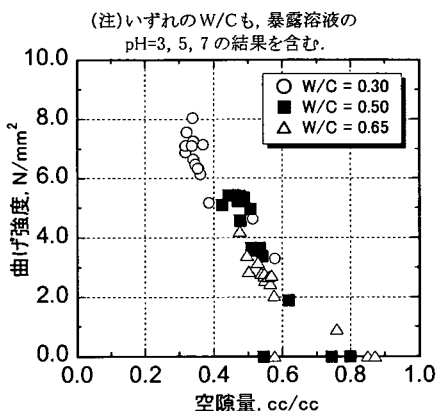


図-9 硬化体の空隙量と曲げ強度との関係

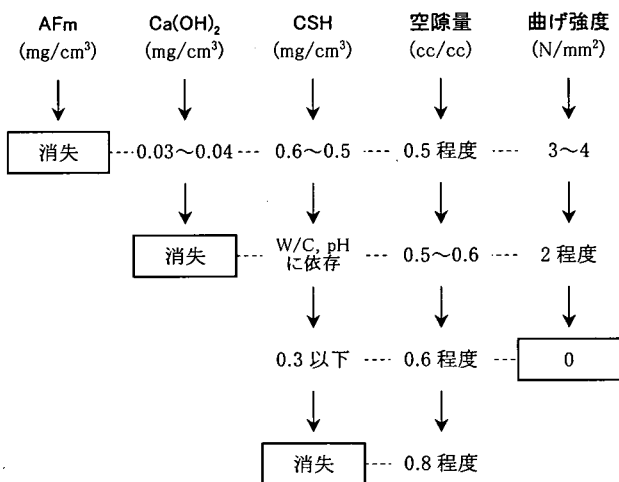


図-10 水和物量の変化と空隙量, 曲げ強度との関係

物量とも関係性が認められる。

図-8によれば、各水和物によってグラフのy軸切片すなわち各水和物量が消失する時点での曲げ強度に違いが認められ、最も減少し易いAFmが消失した時点では、硬化体中の曲げ強度はおおよそ4 N/mm²程度となり、次に減少し易いCa(OH)₂が消失した時点での曲げ強度はおおよそ2 N/mm²程度を示した。

なお、最も残留し易い傾向を示したCSHの場合では、グラフはy軸切片を持たず、むしろx軸切片を有すると判断できるが、このことは、硬化体中にCSHが残留していても、硬化体の曲げ強度は0 N/mm²となってしまうことを意味している。また、グラフからは、CSHが0.3 g/cm³程度以下になってしまうと、セメントペースト硬化体の曲げ強度はなくなってしまうことが認められる。

(3) 水和物量の変化に伴う硬化体の空隙および曲げ強度の変化に関する考察

これまでの検討結果から、検討の対象とした水和物であるCa(OH)₂量、CSH量およびAFm量は、酸性雨成分が作用することで、これらのうちのいずれか2者間(例

えば、Ca(OH)₂量とCSH量、Ca(OH)₂量とAFm量など)で一定の関係を保ちながら変化する傾向が認められた。また、水和物の変化に応じて生じる空隙や曲げ強度も、水和物の減少傾向と一定の関係を保ちながら変化する傾向が認められた。

ここで、空隙の変化と曲げ強度の変化との関係を、水セメント比で整理したところ、図-9に示すような関係が得られた。この結果から、酸性雨成分が作用した場合のセメントペースト供試体の空隙量と曲げ強度との関係は、W/Cや暴露溶液のpHには関わらず一定の関係を示すと考えることができる。

これらの傾向を総合すると、普通ポルトランドセメントを用いたセメントペースト供試体に酸性雨成分が作用した場合の水和物の変化、およびこれらに伴う空隙の増大と曲げ強度の低下を図示すると図-10のようにまとめることができ、酸性雨成分作用下におけるメカニズムを整理することができた。

5. まとめ

本研究で得た主な結論を以下にまとめる。

- (1) 酸性雨成分が作用した場合の普通ポルトランドセメントを用いたペースト硬化体の水和物の溶解メカニズムとして、まずAFmが消失し、次いでCa(OH)₂が消失し、最後にCSHが消失することを明らかにした。なお、この傾向は酸性雨成分を含まない蒸留水等での溶脱の順序と同様である。また、このような溶解過程においては、Ca(OH)₂量とAFm量およびCa(OH)₂量とCSH量とがそれぞれ一定の関係を保ちながら減少し、その傾向はセメント硬化体のW/Cならびに暴露溶液のpHの組合せによって異なる。
- (2) 暴露溶液のpHが3程度であると、セメント硬化体のW/Cに関わらずCa(OH)₂量とCSH量とはほぼ一定の関係を保ちながら変化すると考えられる。これに対し、暴露溶液のpHが5および7となるにつれて、セメント硬化体中のCa(OH)₂量はCSH量の著しい減少を伴わずに減少すると考えられる。
- (3) W/Cが0.30, 0.50および0.65と大きくなるにつれて、セメント硬化体中のCa(OH)₂量はCSH量の著しい減少を伴わずに減少する傾向となる。
特に、W/Cが0.65程度のセメント硬化体の場合には、暴露溶液のpHの影響を受け、暴露溶液のpHが3程度になるとCSH量の著しい減少を伴いながらCa(OH)₂量が減少する傾向となる。
- (4) 各水和物量の変化と供試体の空隙量の変化との関係から、各水和物が消失する時点での空隙量は、セメント硬化体のW/Cや溶液のpHに関わりなく一定の傾向を示すことが明らかとなった。
- (5) 各水和物量の変化と供試体の曲げ強度の変化との関係から、各水和物が消失する時点での曲げ強度は、セメント硬化体のW/Cや溶液のpHに関わりなく一定の傾向を示すことが明らかとなった。特に、硬化体中にCSHが残留していても、硬化体の曲げ

強度は0 N/mm²となることが明らかとなった。

謝辞: 本論文は、科学研究費補助金(基盤研究B(2)課題番号:12450177)の助成を得て、新潟大学 工学部 建設学科 社会基盤工学コースにおいて実施された実験結果に基づいたものです。また、新潟大学 竹田光明 技官におかれましては、実験等に関して甚大なるご助力を賜りました。この場を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 蔵重 勲: 硫酸によるコンクリート劣化のメカニズムと予測手法; 東京大学学位論文, 2002.
- 2) 岸谷孝一ほか編: コンクリートの耐久性シリーズ, 化学的腐食, 技報堂出版, 1986.
- 3) 坂井悦郎: コンクリート構造物の耐久性上の問題点とその対策 化学的腐食, コンクリート工学, Vol. 33, No. 2, pp. 66-72, 日本コンクリート工学協会, 1995.
- 4) 水上国男: コンクリート構造物の耐久性シリーズ, 化学的腐食, 技報堂出版, 1986.
- 5) 鈴木一孝, 西川直宏, 山出善章, 谷口幾哉: コンクリートの耐久性評価を目的とした水和組織の分析手法に関する研究; コンクリート工学論文集, No.2, pp. 39-49, 1990.
- 6) 小林一輔 編著: コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法, 森北出版, 1998.
- 7) 宮里心一, 大即信明, 松井孝治, 鬼塚良介: コンクリート中微小領域の曲げ強度および弾性係数測定方法の開発, セメント技術大会講演要旨, No.55, pp.96-97, 2001.
- 8) 久田 真, 松谷竜一, 酒井宗義: 化学的浸食作用によるセメント硬化体中の水和物量変化, 土木学会 コンクリート耐久性データベースフォーラムに関するシンポジウム論文集, pp. 51-56, 2002.
- 9) Hisada, M., Oguchi, M., Ooi, T. and Nagataki, S.: The Influence of The Characteristics of Cement Hydration on Leaching Calcium from Hardened Mortar; *fib-Int. Symp. on Concrete and Environment*, pp. 100-105, 2001.
- 10) 例えば, 土木学会編: コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状; コンクリート技術シリーズ No.53, 2003.

(2003. 2. 24 受付)

A STUDY ON THE CHEMICAL AND PHYSICAL DEGRADATION OF HARDENED CEMENT DUE TO ACID RAIN CONDITION

Makoto HISADA and Ryu-ichi MATSUYA

In this paper, the mechanisms of the chemical and physical degradation of hardened cement due to acid rain condition were investigated. HNO₃ and H₂SO₄ solution were prepared and blended which referred from the surveying result of rain in Niigata area. The cement paste specimens, carefully cured and sliced as 20 x 40 x 2mm, were exposed into the acid conditions. After exposing, Ca(OH)₂, CSH and AFm were measured as the chemical properties. Also, the bending strength and total pore volume were measured as the physical properties of specimen. As the results, the decreasing process of cement hydrates, and the relation between chemical and physical degradation were clarified.