ドリル削孔粉末から得られた溶液 pH を用いたセメント硬化体の劣化深さ推定方法

東京理科大学　学生会員　○金子　泰明
東京理科大学　正会員　江口　康平
東京理科大学　正会員　加藤　佳孝

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化には中性化，化学的侵食，ASR などがあり，多くの場合水酸化カルシウム（以下 CH）に代表されるセメント水和物との化学反応により劣化が生じる．この際，劣化に伴い CH が消費されることで，コンクリート内部の pH は表面から低下する．このため，内部の pH の分布を知ることで，劣化の進行状況を推察することが出来ると考えられるが，簡易的な pH の測定方法について検討した例は少ない．

本研究では，硬化体からドリル削孔粉末を採取し，粉末から溶出するアルカリイオン濃度の相対的な分布を得ることで，劣化深さを簡易的に推定する方法の開発を目指した．

2. 実験概要

2.1 実験供試体

実験には W/B=50%のセメントペーストおよびモルタル供試体を使用し，普通セメントのみの OPC，高炉スラグ微粉末 45%内割り置換の BB，フライアッシュ 20%内割り置換の FB 供試体の 6 種類を作製した．供試体寸法は 10×10×10cm，初期水中養生を 7 日間行った．養生後，劣化因子の浸透が一次元となるように試験面以外をエポキシ樹脂でシールした．

表－1 に各促進劣化環境を示す．促進期間は 4，8，13 週とした．なお，測定に用いる粉末はドリル削孔により採取し，その削孔深さは 0.5，1.0，1.5，2.0，3.0，4.0，5.0cm とした．**表－2** に測定項目および測定方法を示す．pH は後述する粉末から溶出させた溶液の pH を計測している．

表－1　試験環境と解体期間

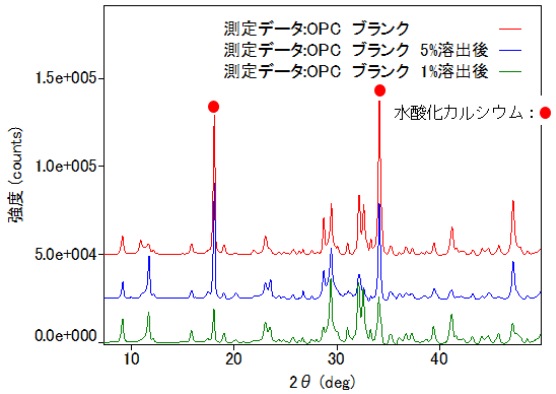
劣化条件	促進中性化(濃度5%，R.H.60%)
	硫酸浸せき(濃度5%)
	硫酸塩浸せき(Na_2SO_4濃度10%)
	溶出試験(蒸留水)
解体期間	4,8,13週(n=4)

表－2　測定項目と測定方法

測定項目	測定方法
pH	粉末からの溶出
中性化深さ	フェノールフタレイン法
$Ca(OH)_2$，$CaCO_3$，石こう系生成物	XRD，TG-DTA
SO_4^{2-}浸透深さ	イオンクロマトグラフィー

2.2 pH の測定方法

本研究では，既往の研究[1]を参考にドリル削孔により得られた粉末を用いて pH を測定した．具体的な方法は次の通りである．①ドリル削孔により粉末を採取．②150μm のふるいを通過した粉末と蒸留水を粉体濃度 1%（粉末 0.3g，蒸留水 29.7g）で混合する．③所定の時間溶出させ pH メーターで測定する．なお，既往の研究では粉体濃度 5%で検討していたが，本検討では，健全部の粉末から CH が完全に溶出すれば，劣化による pH の低下を捉えやすいと考えた．ここで，健全なペースト中に含まれる CH 量を健全部の TG-DTA 測定結果より 160mg/g と設定し，20℃の水に対する溶解度 1.5mg/g[2]として CH が完全に溶出する粉体濃度を計算すると約 1%となる．これを確認するために，溶出後の粉末試料の CH を XRD にて測定した．結果を**図－1** に示す．粉体濃度 5%では CH のピークが強く確認されたが，1%では仮定の通りに CH が完全に溶出する状況を大凡作り出せていることから，本検討での粉体濃度は 1%とした．また，本研究では，現場での適用性を念頭に，既往の研究より短く設定した溶出時間（0（混合直後），0.5，1，3，6，12 時間）に関しても検討する．また，得られた pH の分布から，劣化の進行予



図－1　XRD 測定結果

キーワード：pH，点検技術，コンクリートの劣化，ドリル削孔
連絡先　〒278-8510　千葉県野田市山崎 2641　TEL04-7124-1501　Email:7612030@alumni.tus.ac.jp

測も試みる. pH 値の経時変化の予測には，境界条件を一定として，Fick の拡散方程式の理論解である式(1)を用いた. また, 0cm 位置の pH は, 完全に中性化していると仮定して, 試験に使用した蒸留水の pH である 9.0 とした. 拡散係数 D は，中性化期間 4 週の結果を回帰分析して得られた数値を用いた.

$$pH = pH_0\left(1-erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)\right) \quad (1)$$

ここで，pH_0：供試体表面での pH，x：供試体表面からの深さ(cm)，D：拡散係数(cm²/year)，t：暴露期間(year)

3. 実験結果

3.1 溶出時間の検討

溶出時間の検討結果を**図−2** に示す. なお，検討に用いた供試体は，促進中性化試験 8 週後の BB ペースト供試体である. 結果より，溶出直後から 12 時間までの溶液の pH 分布状況は同程度であり，アルカリイオンの溶出時間は混合直後にほぼ終了すると考えられる. このことから, 試料混合直後から測定可能であると考えられる.

3.2 pH と生成物の関係

図−3 に OPC ペースト供試体の促進中性化後の pH と CH および炭酸カルシウム($CaCO_3$)の分布状況を示す. なお，pH の結果は 5cm 位置を健全部として各位置の測定値を健全部で除した値とした. 生成物の分布状況と同様に 2cm まで pH の低下が確認でき，pH の分布が CH の推移と類似するような結果となったことから, ドリル削孔法による pH 分布から CH の相対的な残存割合が推定できる可能性がある.

3.3 劣化の進行速度に関する検討

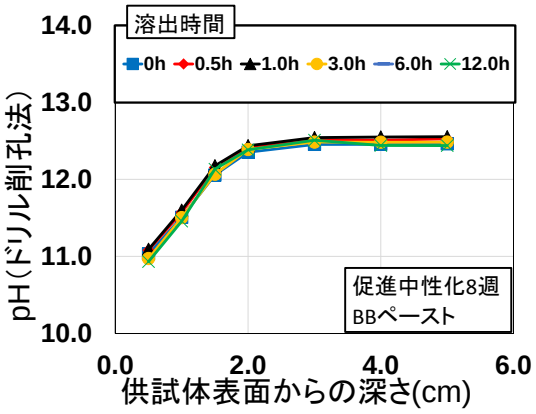
図−4 に促進 4 週の結果から得た拡散係数を用いて算出した 8, 13 週の予測結果と実測結果を併せて示す. まず，中性化期間 8 週では，劣化の進行深さは精度良く予測できているが, 供試体表面付近で実測値と計算値に差が生じた. これは，中性化期間 8 週では，供試体表面付近が本研究で仮定した完全に反応した状態では無かったためと考えられる. 中性化期間 13 週では，精度よく劣化進行を予測することができた.

4. まとめ

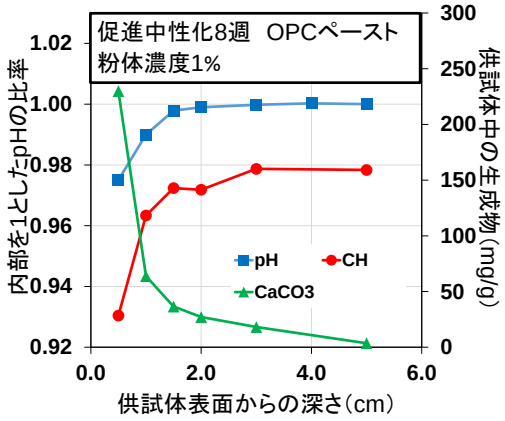
本研究の結果より，次の知見が得られた.

(1) ドリル削孔粉末を利用して，劣化の進行深さを推定するために妥当な粉体濃度は 1%未満であり，pH 分布から CH の相対的な残存割合が推定できる可能性がある.

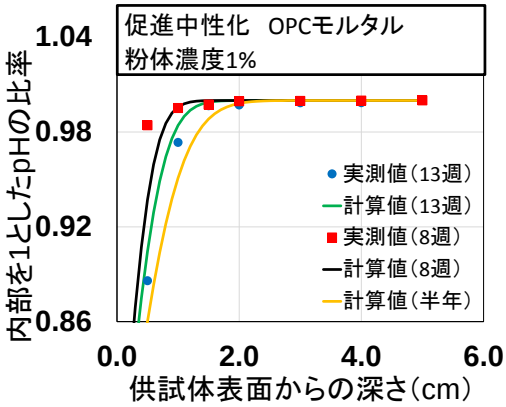
(2) pH の測定は粉末と蒸留水を混合した直後から可能である.



図−2 pH 分布状況



図−3 pH と生成物



図−4 回帰分析結果

(3) pH の分布状況から拡散係数を得ることで, 長期的な劣化の進行を予想できると考えられる.

謝辞：本研究は，SIP インフラ維持管理・更新．マネジメント技術の「トンネル全断面点検・診断システムの開発」の一環として実施したものである．関係各位に感謝する.

参考文献

1) 江口康平，加藤佳孝，菊地原潤一：ドリル削孔粉末から得られた pH 分布を利用した劣化因子浸透深さ推定方法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1711-1716，2015

2) 日本化学会編，化学便覧 基礎編，丸善発行，1993