pH に着目したモルタル中への劣化因子浸透深さ推定に関する実験的検討

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
東京理科大学　学生会員　菊地原　潤一

1.　目的

近年，我が国では高度経済成長期に建造されたコンクリート構造物の老朽化が深刻な問題となっており，効果的かつ簡単な診断方法が求められている．また，コンクリートに生じる劣化には，中性化や硫酸イオンによる化学的侵食のようにコンクリート内部の pH に影響を及ぼすものがある．そのため，内部 pH 値を測定することで劣化因子の浸透状況を簡易に把握することができると考えられる．そこで本研究では，モルタル供試体からドリル削孔粉末を採取し，粉末から蒸留水中にアルカリイオンを溶出させることで pH を推定し，供試体内の健全部における pH と，劣化因子の影響を受けた劣化部の pH の相対的な分布状況から劣化因子の浸透深さ推定方法について検討した．

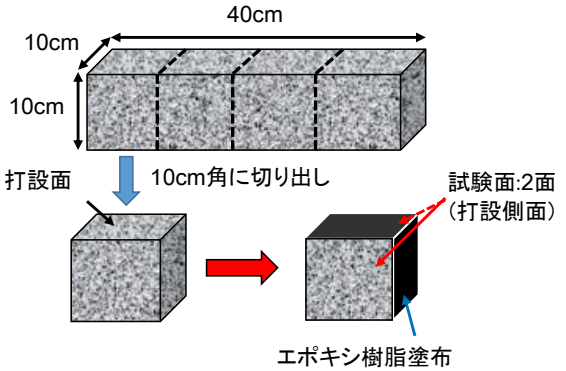
2.　実験概要

2.1 供試体概要

実験にはセメントペーストおよびモルタル供試体を使用した．供試体配合を**表－1** に示す．まず，セメントペースト供試体の配合は水結合材比(W/C)50%の普通セメント(C)ペースト供試体とした．モルタル供試体は，W/C50%, S/B2.0 とした．セメントペースト供試体は φ5×10cm の円柱，モルタル供試体は 15×15×15cm の角柱供試体とした．いずれの供試体も初期水中養生は 7 日間とし，モルタル供試体は養生終了後，**図－1** に示すように打設側面以外の 4 面をエポキシ樹脂で被覆した．

表－1　供試体配合

	使用セメント	W/C	S/B	単位量(kg/m^3)		
				W	C	S
セメントペースト供試体	普通セメント	50%	-	2447	4893	-
モルタル供試体			2.0	317	635	1270



図－1　モルタル供試体

2.2 pH の測定方法および劣化深さに関する検討

本研究は，ドリル削孔粉末を利用して，pH の変化から劣化因子の浸透状況を把握することを目的としている．そのため，まず，pH の相対的な分布を得るための最適な試験条件を検討した．削孔に使用したドリル径はセメントペースト供試体に対しては，φ24mm の掘削用ドリルを使用し，モルタル供試体に対しては，φ50mm コア抜き用ドリルを使用した．養生終了後の供試体から所定の深さまで(0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0cm)にドリル削孔粉末を採取し，150μm の篩を通過した粉末を測定試料とする．溶出させる手順としては，既往の研究[1)]を参考に，蒸留水 29.700±0.001g に対して粉末試料を 0.300±0.001g 混合(溶液中の粉体濃度＝1.0%)し，撹拌した後，24 時間後の溶液 pH 値を測定することを基準とする．そして，粉体濃度を 1.0%とした試料を用いて，アルカリイオンが粉末から溶媒(蒸留水)に溶出するまでに要する時間について検討する．また，劣化因子による pH 値の変化を敏感に捉えるには，基準となる健全時の試料溶液中のアルカリイオンが平衡状態となっていることが望ましい．そのため，粉体濃度を変化させて最適な測定条件を検討した．次に，pH の分布と劣化深さの関係を検討するため，モルタル供試体を用いて促進中性化試験，硫酸浸せき試験を実施した．まず中性化試験の試験条件は CO_2 濃度 5%，温度 20±2℃，湿度 60±5%の環境で 60 日間静置した．促進後，所定の深さ毎にドリル削孔粉末を採取し pH を測定する．次に，硫酸浸せき試験については濃度 5%の H_2SO_4 溶液に 7 日間浸せきさせた後に，同様に粉末を採取して pH を測定した．また，いずれの試験についても，採取した粉末は示差熱分析を行い，$Ca(OH)_2$，$CaCO_3$ および石膏系生成物に相当する 130~200□温度域での質量減少率についても算出する．

キーワード：ドリル削孔法，pH，微破壊診断，中性化，硫酸
連絡先：〒278-8510　千葉県野田市山崎 2641　5 号館 1F コンクリート工学研究室

3. 実験結果および考察

3.1 pH の測定条件に関する検討

ドリル削孔粉末から溶液中にアルカリイオンを溶出させる時間についての検討結果を**図－2** に示す．なお，検討に用いた供試体は，促進中性化試験を行ったモルタル供試体である．そのため，表層部では中性化によって pH 値が低下している．結果より，いずれの深さでも，粉末を溶液に投入してから 12 時間~48 時間溶出させた時の pH 値は同程度となっている．このことから，粉末を利用する場合，アルカリイオンの溶出は比較的早く，12 時間程度で十分に測定可能であると考えられる．一方，60 時間以上の結果を見ると，pH 値が低下している．これは，CO_2 が溶液に溶解し，中性化が生じたことが考えられる．

次に，粉末からアルカリイオンを溶出させる場合の最適粉体濃度についての検討結果を**図－3** に示す．結果を見ると，粉末濃度 5.0%以上粉末を混合しても，pH の増加はみられない．これは，溶液中のアルカリイオン濃度が高くなり，$Ca(OH)_2$ が溶解しにくくなったと予想される．劣化因子の浸透を健全部と劣化部の pH 値の相対比較によって把握するには，粉末試料の量を健全部のアルカリイオンが飽和する最低限の試料量が適していると考えられる．以上の結果から，劣化深さ推定に当たっては，溶出時間 12 時間，粉体濃度 5%として検討した．

図－4 には促進中性化試験後の供試体表面からの pH 分布と，示差熱分析による生成物量の測定結果を示す．結果を見ると，フェノールフタレイン法では中性化深さ 0.38cm と測定されたが，pH の分布を見ると内部 1cm 程度まで pH の低下が確認された．また，示差熱分析の結果を見ると，$Ca(OH)_2$ の減少と $CaCO_3$ の生成が同時に確認され，この結果からも CO_2 の浸透が確認できる．

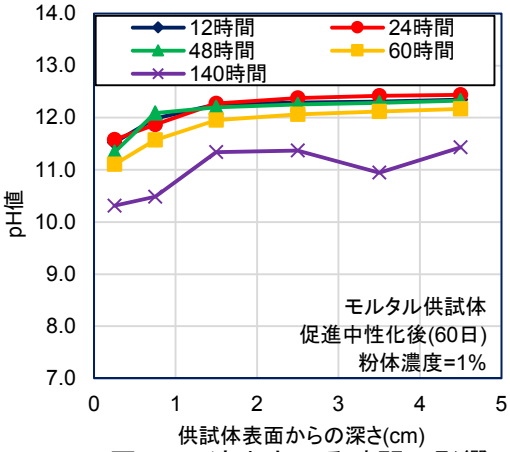
次に，硫酸浸せき後の供試体内部の pH 分布を**図－5** に示す．まず，フェノールフタレイン法による中性化深さは 0.15cm であったが，pH 分布をみると表層部の pH が 10.9 程度まで低下しおり，0.3mm の点まで pH の低下が確認できる．130~200℃の範囲での質量減量率を見ると，供試体表層部では減量率が約 10%と高い．0.75cm 以降の内部を見るとそれ以降では殆ど変化がない．

中性化試験，硫酸浸せき試験いずれの結果からも，劣化因子の浸透による内部生成物の変化と pH の相対的な分布の変化の傾向が一致しており，削孔粉末を利用して pH を測定することで，劣化深さを推定できることが示唆された．

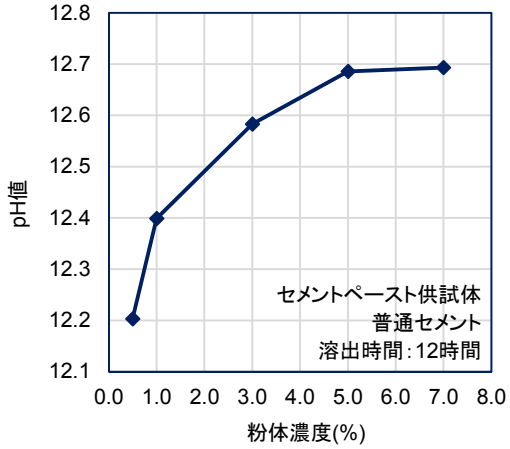
4. 結論

ドリル削孔粉末を利用する場合，粉体濃度を 5.0%，溶出時間を 12 時間とすることで，相対的な pH 分布状況からモルタルの劣化深さを推定できる可能性がある．

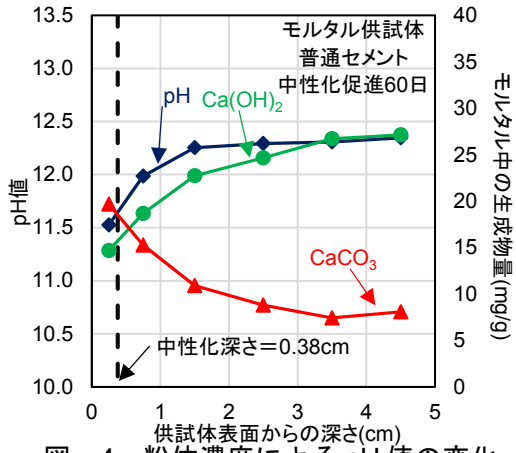
参考文献: 1)江口康平，武若耕司，山口明伸，久徳貢大：高炉セメントコンクリートの高耐久化を目指した人工ポゾランの品質改善効果，コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, pp.761-766, 2011.



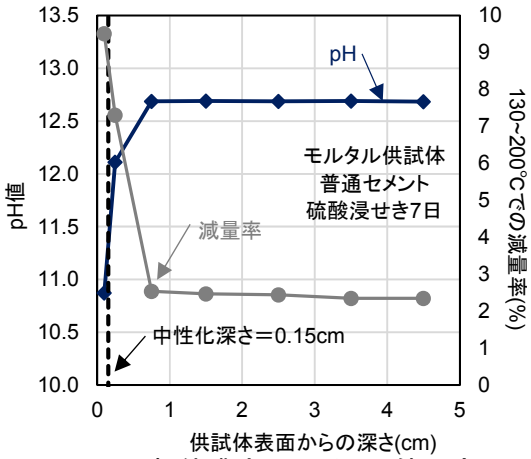
図－2 溶出させる時間の影響



図－3 粉体濃度による pH 値の変化



図－4 粉体濃度による pH 値の変化



図－5 粉体濃度による pH 値の変化