

溶出試験によるセメント硬化体の細孔溶液 pH 検討方法の確立

東京理科大学 学生会員 ○直町 聡子
東京理科大学 正会員 加藤 佳孝

1. 目的

RC 構造物中の鉄筋腐食は、鉄筋周囲の細孔溶液が影響する。セメント硬化体の細孔溶液の pH を測定する方法として、抽出試験¹⁾と溶出試験²⁾がある。抽出試験は、載荷し細孔溶液を抽出するため、ある一定の供試体体積が必要であり、セメント硬化体表面からの内部への細孔溶液組成分布を測定することが難しい。溶出試験は、セメント硬化体の粉末を水に溶出し組成を測定するが、粉末と水の比率（固液比）により、測定結果が異なることが考えられる。本研究では、既往の研究で多く用いられている抽出試験により得られる細孔溶液組成を基準として、その測定結果を模擬できるような溶出試験の固液比を検討することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

細孔溶液組成は、練込み溶液のイオン種類により変化すること³⁾、および練込みと浸せきでは結果が異なること³⁾が報告されている。そこで、練込みと浸せき供試体で検討した。溶液種類は NaCl と人工海水の 2 種類とした。水セメント比 50% のセメントペーストを用いた。練込み供試体寸法は $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ であり、NaCl と人工海水 ($\text{Cl}^- = 1, 2, 3, 5, 10 \text{ wt\%}$) を練混ぜ水とし、64 日間封かん状態で静置した。浸せき供試体寸法は、反応が平衡に達する時間を短くするため $\phi 50 \times 3 \text{ mm}$ とし、

NaCl と人工海水 ($\text{Cl}^- = 1.0, 1.95, 3.72\%$) に約 170 日間浸せきした。

2.2 細孔溶液 pH 分析方法

練込み供試体は、所定の材齢期間が経過した後、ブリーディング部分を排除するため上面から 10mm 切断し、 $\phi 50 \times 90 \text{ mm}$ を分析試料とした。さらに $\phi 50 \times 90 \text{ mm}$ を切断し、抽出試験用には $\phi 50 \times 80 \text{ mm}$ 、溶出試験用には $\phi 50 \times 10 \text{ mm}$ の供試体を用いた（図-1 参照）。浸せき試験は、 $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ を 91 日間水中養生した後、浸せき供試体とした。 $\phi 50 \times 3 \text{ mm}$ を 27 枚重ねて抽出試験し、溶出試験は $\phi 50 \times 3 \text{ mm}$ を 3 枚粉碎し試験した。

抽出試験は、毎秒 2.8kN で最大 1350kN まで載荷し得た細孔溶液 pH（抽出 pH）を測定した。溶出試験は、プラスチック製のビーカー内で攪拌後溶液の pH（溶出 pH）を測定した。

3. 固液比の検討結果

図-2 に、溶出試験の固液比を検討した結果を示す。図-2 は、W/C50% のセメントペーストで練混ぜ水は水道水を用いて、64 日間封かん養生した供試体の測定結果である。図-2 より、抽出 pH を溶出 pH で模擬できる固液比は 1:0.5 であり、以降はこの固液比で検討した。

4. 固液比 1:0.5 の妥当性の検討結果

図-3 に練込み供試体の抽出 pH と溶出 pH を示す。既往の研究によると、NaCl の場合 Cl^- 濃度増加に伴い細孔

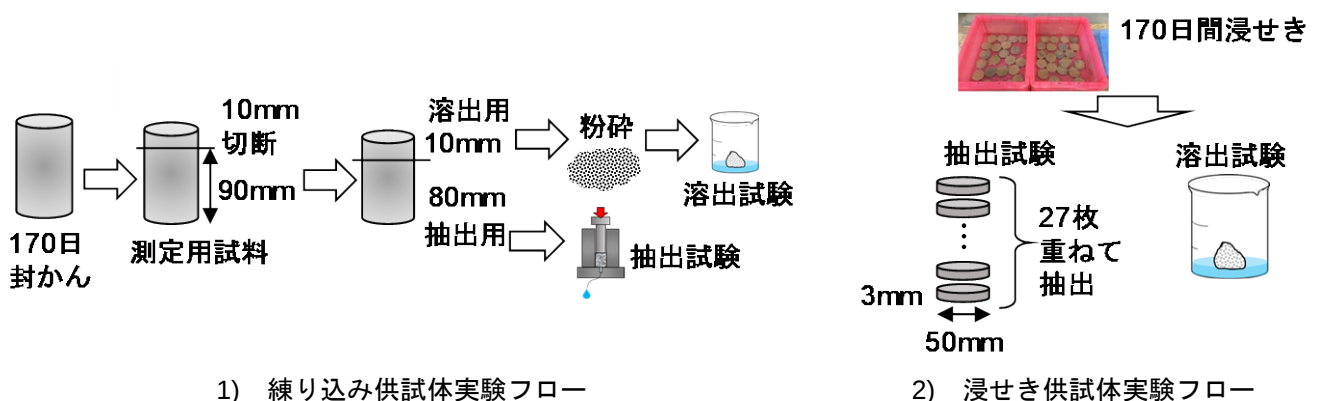


図-1 実験フロー

キーワード 細孔溶液, pH, 溶出試験, 抽出試験

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL04-7123-9766

溶液の pH も増加し²⁾, Ca^{2+} や Mg^{2+} が含まれる場合は Cl^- 濃度増加に伴い細孔溶液の pH は減少すること²⁾が報告されている. 図-3 の抽出 pH に着目すると, NaCl の場合は練込み Cl^- 濃度 3%まで pH が増加し, Ca^{2+} や Mg^{2+} が含まれる人工海水の場合は pH が減少することを確認した. 一方で, 溶出 pH に着目すると NaCl の場合は練込み Cl^- 濃度に関わらず溶出 pH が概ね同程度である. NaCl の抽出 pH の変化は 0.304 であり, この程度の pH 変化は溶出試験では把握不可能であることが考えられる. 溶出 pH の人工海水の場合は, 練込み Cl^- 濃度増加に伴い pH が減少している傾向を捉えた. 人工海水の抽出 pH の変化は 0.897 であり, この程度の pH 変化は溶出試験で捉えられる可能性があることが分かる. つまり, 練込み供試体の溶出試験の固液比 1:0.5 では, ある程度の大きな pH の変化であれば pH の増減を捉えることが出来ると考えられる.

図-4 に浸せき供試体の抽出 pH と溶出 pH を示す.

NaCl 溶液の場合, 浸せき溶液の Cl^- 濃度増加に伴い溶出 pH および抽出 pH とともに減少した. 浸せき抽出 pH の変化は 0.417 であり, 練込みの pH より小さい値であるため, 溶出試験でも変化を捉えられたと考えられる. また, 人工海水の場合, 浸せき溶液の Cl^- 濃度=1.95%で溶出 pH および抽出 pH とともに最小となった. 測定結果の妥当性を確認するために, セメントペースト中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量を XRD/Rietveld 法により定量した結果を図-5 に示す. NaCl に着目すると浸せき溶液の Cl^- 濃度増加に伴い $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量も減少した. 一方で人工海水の場合は, Cl^- 濃度=1.95%では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が存在しなかった. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量と pH の傾向が同様であることから, 図-4 の pH 測定結果には妥当性があることが考えられる.

5. まとめ

pH の変化量が大きい場合, 溶出試験の固液比 1:0.5 の pH は抽出試験の pH の傾向を測定可能であると考えられる.

謝辞

本研究の一部は, 平成 28 年度土木学会吉田研究奨励賞の研究計画, および SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術の「港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発」, JSPS 科研費 17J08356 の助成を受けたものである.

参考文献

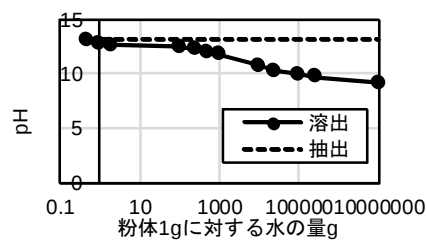


図-2 固液比の検討結果

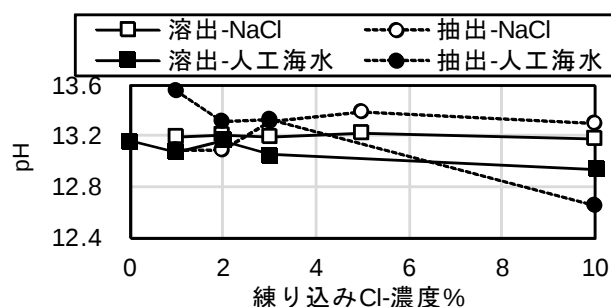


図-3 練り込み供試体の pH 測定結果

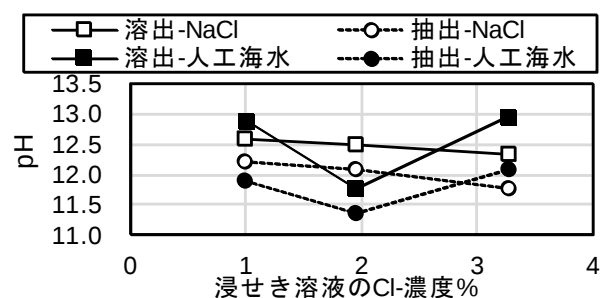


図-4 浸せき供試体の pH 測定結果

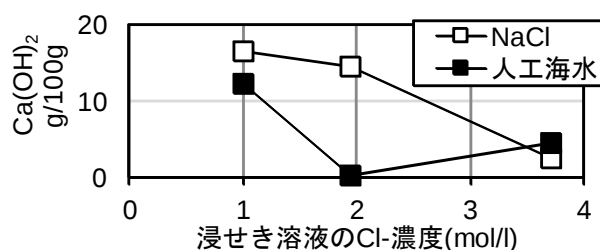


図-5 浸せき供試体の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量

- 1) 丸屋剛：コンクリート中の塩化物イオンの移動に関する解析手法の構築, 学位論文, 東京大学, 1995
- 2) Zhenguo Shi et al: Role of calcium on chloride binding in hydrated Portland cement metakaolin limestone blends, Cement and Concrete Research 95, pp.205-216, 2017
- 3) 七澤章：塩害と ASR の複合劣化を受けたコンクリート構造物の劣化機構と電気化学的補修工法の適用性に関する研究, 学位論文, 徳島大学, 2016