

養生の異なるコンクリートの耐久性試験方法が耐久性の評価に与える影響

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○澁谷 亜香里
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. 目的

コンクリートは、セメントの水和反応によって硬化するため、コンクリート打込み後の水分状態つまり養生は非常に重要である。養生とコンクリートの耐久性の関係についての研究では、様々な試験が用いられている。しかし、水分状態は周囲の環境に影響を受けるため、試験方法や条件によって実際と異なる結果となる可能性がある。

また、近年では環境負荷低減のために、セメントに混和材を置換することが多い。混和材の中でも高炉スラグ微粉末は、潜在水硬性があり、置換率を大きく設定できることから注目されている。高炉セメントを用いたコンクリートは、十分に水分を保って養生することで、長期強度が増進すること、耐久性が向上することが知られている。促進中性化試験において、高炉セメントを用いたコンクリートは中性化が速いといわれているが、松田ら¹⁾は実構造物の調査により、高炉セメント B 種と普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートは、中性化速度が同程度であることが報告されている。また、塩分遮蔽性能に優れているといわれているが、中性化試験のように試験方法によって異なる結果となる可能性が考えられる。

ここでは、普通ポルトランドセメント (OPC) および高炉スラグ微粉末 (BFS) を置換した高炉セメントを用いたコンクリートにおいて、養生と耐久性の関係、試験方法について考える。耐久性を検討するために、中性化と塩害について試験する。中性化については、促進環境と実環境においての中性化試験、塩害については、塩水浸漬試験と非定常状態電気泳動試験を行う。周囲環境や水分状態がコンクリートの物性に及ぼす影響を考察する。

2. 中性化に関する試験および考察

2. 1. 試験概要

促進環境と実環境において中性化深さの計測を行った。供試体は、表-1 に示すように、水セメント比

50%とし、BFS の置換率を 0,50,70%とした。促進中性化試験では、温度 20℃、湿度 60%、CO₂ 濃度 5%に保った環境に二面開放した供試体を静置し、「コンクリートの促進中性化試験(JIS A 1153)」に準拠して行った。実環境においての中性化試験は、雨がかりのない屋外 (温度平均 28.6℃、湿度平均 64%、CO₂ 濃度平均 0.05%) に二面暴露した。また、表-1 には標準養生を行った各供試体の材齢 28 日における圧縮強度も示している。

2. 2. 実験結果

図-1 に促進環境においての中性化深さ、図-2 に実環境においての中性化深さを計測した結果を示す。どちらの環境においても、BFS を高置換するほど中性化深さが大きいことが明らかとなった。養生を施すほど中性化抵抗性が向上した。普通コンクリート (N) よりも高炉セメントを用いたコンクリートの方が、養生の影響が大きいことが考えられる。

また、図-1, 2 のグラフにおいての傾きが中性化速度係数となるが、高置換になるほど促進環境と実環境で差があるように考えられる。したがって、促進環境においての中性化速度係数を魚本・高田式²⁾において実環境に換算した値 (促進換算中性化速度係数) を算出し、実環境と比較を行った。図-3 に、養生なしと水中養生 4 週間行ったコンクリートに関して、促進換算中性化速度係数と実環境の中性化速度係数の関係を示す。概ね相関があるが、養生を行わなかったコンクリートでは、B70 で促進換算中性化速度係数の方が大きい結果となった。

表-1 計画配合、圧縮強度 (中性化試験)

	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				圧縮強度 (N/mm²)	
			W	B		S		G
				OPC	BFS			
N	50	46	165	330	-	826	1000	36.4
B50				165	165	821	993	32.7
B70				99	231	819	990	29.4

キーワード 養生、耐久性、中性化、塩害、試験方法

連絡先

〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 TEL 03-5859-8356

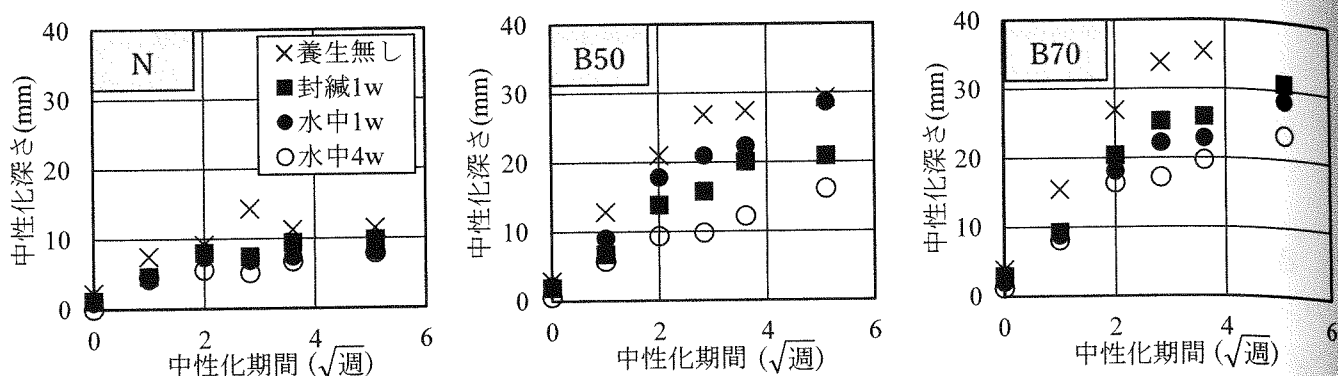


図-1 セメント種類ごとの中性化深さの比較（促進環境）

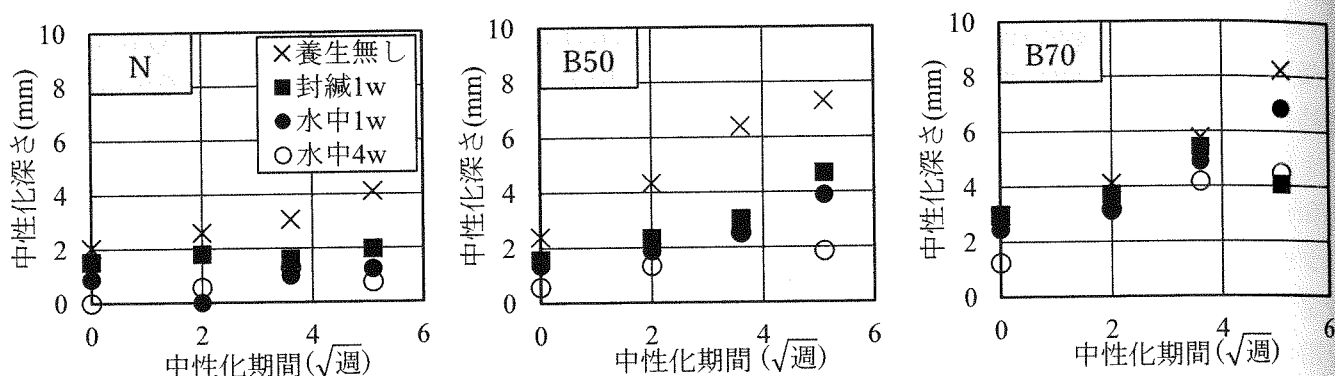


図-2 セメント種類ごとの中性化深さの比較（実環境）

2. 3. 中性化に関する試験方法の違い

図-3 の結果から、促進環境では BFS の置換率が大きく養生を十分行わなかった場合、実環境よりも炭酸化の進行を早く評価される可能性がある。BFS を置換したコンクリート内部の pH が低いことが原因のひとつであると考えられている³⁾。

また、促進環境と実環境において、二酸化炭素の濃度の他に温度も異なっている。水分が多い場合に中性化は抑制されることから、促進中性化試験は乾燥状態で行うことや、実環境の水分が多いことが試験結果に影響していると考えられる。今回は雨がかりがないが、水の供給が多い場合、再水和を起こすことも想定され、一般環境の中性化を正確に測定することは難しい。促進環境による試験によつての考察で、実際の構造物に適用する場合には、周りの環境条件も考慮した議論が必要である。

3. 塩害に関する試験および考察

3. 1. 試験概要

塩害に関して、養生や試験方法の影響を考察するために、乾湿繰り返し試験、塩水浸漬試験、非常状態電気泳動試験を比較した。乾湿繰り返し試験は、干満や飛沫帯などの海水がかかること、乾燥すること

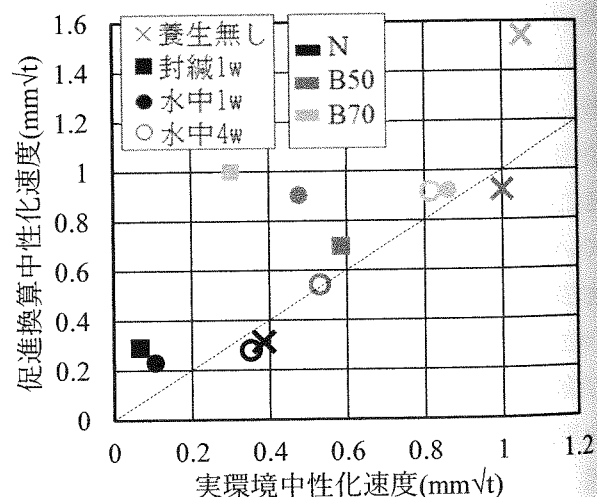


図-3 中性化速度係数の比較

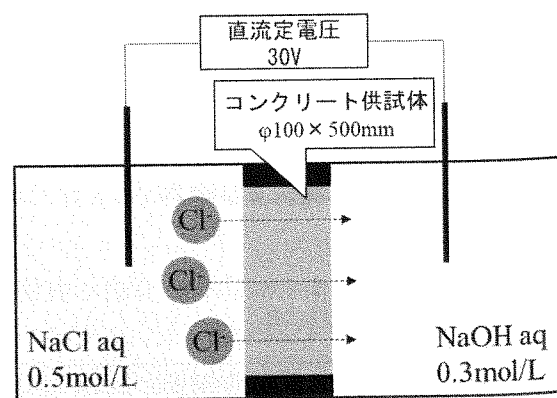


図-4 非常状態電気泳動試験イメージ図

を繰り返す場所を想定した塩分浸透の検討が可能である。濃度 3.0% の塩水に 5 分間浸漬，その他の時間は乾燥のサイクルを 1 日 1 回繰り返した。塩水浸漬試験は，濃度 3.0% の塩水に浸漬し続けた。非定常状態電気泳動試験は，供試体を養生終了後，真空飽和处理を行い，図-4 に示すように，試験装置の陰極側に NaCl 溶液，陽極側に NaOH 溶液を注入し，直流定電圧で通電した。

3. 2. 乾湿繰り返し試験・塩水浸漬試験結果

普通コンクリート (N) と高炉セメント B 種を用いたコンクリート (BB) で，水セメント比 45% とし，7 日間養生を行った供試体を乾湿繰り返し試験と塩水浸漬試験を行った。養生は，気中・水中・封緘の三種類で比較する。図-5 に N，図-6 に BB の塩分浸透深さの結果を示す。N の乾湿繰り返し試験では，気中の塩分浸透深さが最も大きい結果であった。一方で N の塩水浸漬試験では，初期には気中の塩分浸透深さが大きい，2 週目以降は封緘養生が最も大きく，気中養生が最も小さい結果であった。浸漬による再水和が原因だと考えられる。したがって，乾湿繰り返し試験では，再水和の影響が少なく評価することが可能である。

BB での塩分浸透深さは，初期は違いがあるものの，その後は養生の種類，試験方法による差はあまり見られなかった。水セメント比や置換率による変化が大きくなると考えられる。

3. 3. 非定常状態電気泳動試験

図-7 に非定常状態電気泳動試験の結果を示す。ここでは，水セメント比 60% の N と BB で，28 日間気中，封緘，水中の養生を行った試験体を用いた。養生の種類による差が大きいことが明らかとなった。浸漬試験や乾湿繰り返し試験で塩化物浸透深さに差がつかなかった BB は，非定常状態電気泳動試験では，大きく差が生じた。N と BB 両者で，気中・封緘・水中の順に塩化物イオン浸透深さが大きくなった。早期に実験をすることが可能なため，再水和などの影響を抑えることができる。しかしながら，電気勾配を生じさせることにより，塩化物イオンを移動させており，強制的に移動させるため，実際の浸透のメカニズムと異なる可能性が考えられる。

3. 4. 塩害に関する試験の違い

乾湿繰り返し試験は，干満帯や飛沫帯，凍結防止剤

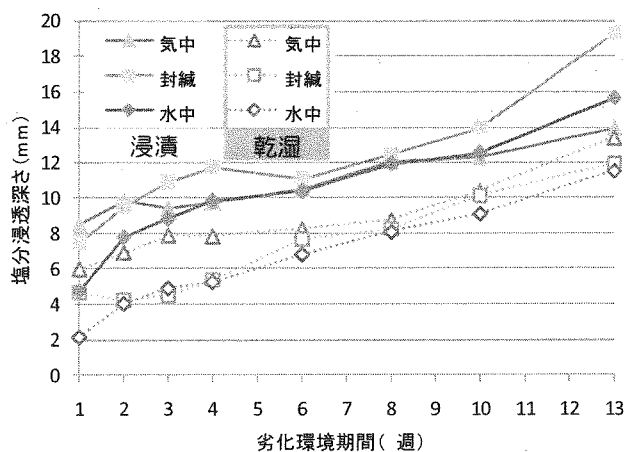


図-5 塩分浸透深さ (N)

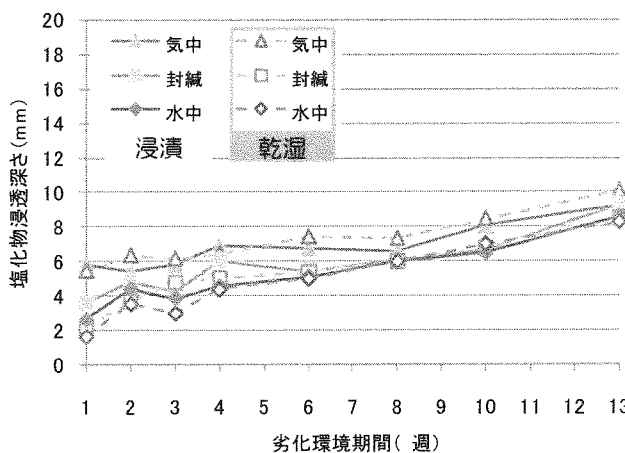


図-6 塩分浸透深さ (BB)

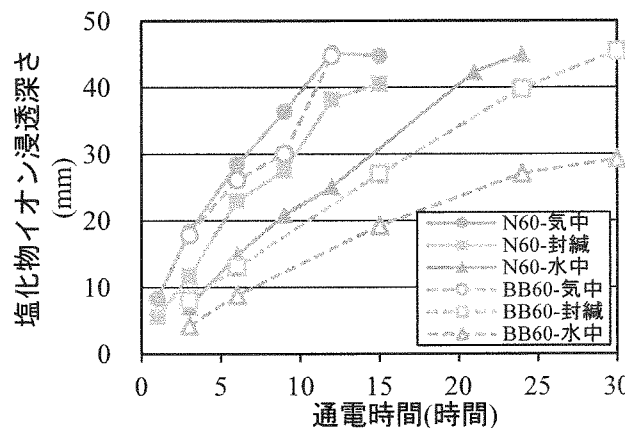


図-7 非定常状態電気泳動試験結果

が原因の塩害などを想定した。既往の研究⁹⁾によると，浸漬と乾燥が繰り返されることにより，塩化物イオンが濃縮され，コンクリート中の塩化物イオン濃度が高くなるといわれている。高濃度となるものの，上記の結果からわかるように，塩水浸漬試験よりも浸透の速さは遅くなることが明らかとなった。塩化物イオンの固定化が行われることが原因であると考えられる。浸漬試験では，溶液に浸漬し続けるため，

水中養生を行うような状況となり、再水和や空隙の緻密化が行われる可能性が考えられる。したがって、養生の影響を明確にすることは、難しいと考える。その点では非定常状態電気泳動試験は、再水和の影響を抑えることが可能であり、養生の影響を評価することが可能である。試験の目的や実際に対象とする構造物の環境によって試験方法は議論が必要である。

4. まとめ

(1)緻密なコンクリートにするためには、水分を保った養生は必要不可欠である。

(2)中性化抵抗性においては、水中養生が有効である。特に高炉スラグ微粉末を置換したコンクリートは、水分を保った養生を十分に行うことで中性化抵抗性が向上する。高置換するほど促進中性化試験は、実環境における試験よりも中性化速度が大きい可能性がある。

(3)塩害に関しては、試験方法によって結果が大きく異なる。塩分の影響を受けるコンクリートの実構造物を考える場合、試験方法について議論が必要である。

謝辞

本論文はこれまでの伊代田研究室の8年の結果を取りまとめたものである。ここに卒業生の方々への感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 松田芳範・上田洋・石田哲也・岸利治：実構造物調査に基づく中性化に与えるセメントおよび水分の影響，コンクリート工学年次論文集，vol.32，No.1，pp.629-634，2010
- 2) 魚本健人・高田良章：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集 No.451，V-17，pp.119-128，1992
- 3) 三坂岳広・末木博・伊代田岳史：高炉コンクリートの炭酸化が物質移動抵抗性に与える影響，第72回セメント技術大会講演要旨，pp248-249
- 4) 豊村恵理・青山和樹・伊代田岳史：塩分供給方法と養生条件の相違が塩分浸透に及ぼす影響，土木学会第67回年次学術講演会講演概要集，v-090，2012
- 5) 伊代田岳史・原沢蓉子・畠山敬宏：非定常状態電気泳動試験を用いた高炉コンクリートの養生影響評価，セメントコンクリート論文集，Vol.34，No.1，pp1348-1353，2012
- 6) 佐川康貴・畠山繁忠・濱田秀則・今村壮宏：高濃度 NaCl により乾湿繰返し作用を受けたコンクリートの塩分浸透性状，コンクリート工学年次論文集，vol.35，No.1，2013