

# コンクリートの養生と表層品質

## ◎ コンクリート品質に与える養生の効果 ◎

伊代田 岳史

### 4. コンクリートの品質を 確保するための養生方法

養生は前号でも紹介したとおり、「水分の補給，保持を目的とした養生」と「温度抑制を目的とした養生」，さらに「有害な作用に対して保護する養生」が必要となる。いずれもコンクリートの品質を確保するために必要なことであり，構造物の建設においては，適切な選択が必要となる。表-1は養生方法として提案されている具体的な対策手段を一覧表にしたものである。使用環境や構造物，コンクリートの種類などにより養生方法を使い分ける必要があることを示唆している。

### 5. 各種養生条件とコンクリートの品質

#### 5.1 温度条件

コンクリートは，前号でも紹介したとおり，セメントの水和反応という化学反応にて硬化が進む。そのため，温度による反応活性または反応抑制が著しいことから，周囲温度やコンクリートの発熱に注意を払う必要がある。

##### <高温の場合>

高温環境であれば，セメントの反応は活性化し強度特性や品質が早期に発現する。図-1はコンクリートをさまざまな温度で養生したときの圧縮強度を表しているが，高温であれば，強度が早期に発現していることがわかる。しかしながら，長期的な強度発現は見込

めず，若材齢にて頭打ちとなっていることがわかる。これは，高温環境であるとセメントが反応を開始すると生成した水和物がセメント粒子表面に析出するタイミングが早いため，未反応のセメント核へ水が供給できなくなるものと推測されており，全体的なセメントの水和反応度は低く抑えられるとされる。具体的には給熱養生である，蒸気養生やオートクレーブ養生を施す二次製品では注意が必要となる。一方で，暑中コンクリートやマスコンクリートの場合においても注意が必要となる。コンクリート構造物の内部において水和発熱により高温となることが想定され，内部と外部における温度差が大きくなることから，昇温抑制養生やパイプクーリング等の冷却養生を施して，温度ひび割れに注意が必要とされる。しかしながら，コンクリート自体の水和反応や強度発現もコンクリート内外において差が生じている可能性もあり，ひび割れ等の懸念も存在する。

##### <低温の場合>

低温環境におけるコンクリートの物性発現は，さらに注意が必要となる。低温環境になると，セメントの水和反応は著しく鈍化する。そのため，硬化が遅延することが想定され，特に発熱抑制を考慮した，混合セメントや低熱ポルトランドセメントのようなセメント種類では，型枠をはずした時点で所要の強度・耐久性を得られていない可能性も示唆される。その場合には，速やかな対策を施さなければ，将来的に構造物としての品質を得られない恐れがある。特に初期凍害を受けたしまったコンクリートは，その後のいかなる施術に

筆者：(いよだ・たけし) 芝浦工業大学工学部 准教授

表-1 さまざまな養生方法一覧

目的	対象	対策	具体的な手段
湿潤状態に保つ (湿潤養生)	コンクリート 全般	給水	湛水, 散水, 散布, 養生マット等
		水分逸散抑制	せき板存置, シート・フィルム被覆, 膜養生剤等
温度を制御する (温度制御養生)	暑中コンクリート	昇温抑制	散水, 日覆い等
	寒中コンクリート	給熱	電熱マット, ジェットヒーター等
		保温	断熱性の高いせき板, 断熱材料
	マスコンクリート	冷却	パイプクーリング等
保温		断熱性の高いせき板, 断熱材料等	
有害な作用に対して保護する (有害な作用に対する保護)	コンクリート全般	防護	防護シート, せき板存置等
	海洋コンクリート	遮断	せき板存置等

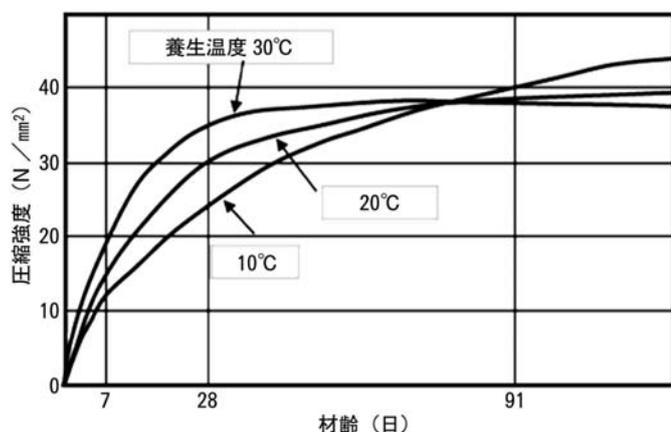


図-1 養生温度が異なるコンクリートの圧縮強度発現性<sup>1)</sup>

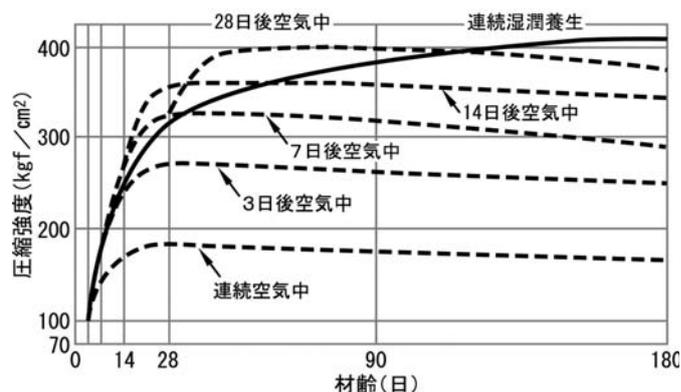


図-2 養生方法(水中および気中)の違いが圧縮強度に与える影響<sup>1)</sup>

おいても、物性回復が認められないとの報告もあり、最善の注意が必要となる。このようなことが予測される場合には、保温養生や給熱養生を施す必要がある。尚、低温でしっかりと養生することで図-1のように長期強度が増進することも知られている。

## 5.2 有害作用に対する保護

基本的には、まだ固まらない養生時のコンクリートに、打込み時の降雨や水和反応に障害を与えるような有害物質、海水などの作用が起こると、適切な水和反応ができず、想定していたコンクリートの品質を確保できない。そのために、そのような作用からの遮断や防護を施す必要がある。また、衝撃や過大な荷重・想定していない地震などの振動などが加わると、構造物としての機能を果たせなくなるために、注意が必要である。施工計画を綿密に立てた上で、施工する必要がある。

## 5.3 養生時の水分

前号でも紹介したが、養生時の水分を保持・供給す

ることは、セメントの水和反応にとって著しく重要なこととなる。コンクリートを早期に環境に曝すことで、水分が逸散してしまい、水和に必要な水分が確保できない可能性がある。その結果、強度不足やコンクリートの品質を低下させる可能性がある。例えば、図-2は養生条件とコンクリートの強度発現を示した有名な図<sup>1)</sup>であるが、乾燥を伴った場合、強度が発現していないことが認められる。そこで、次章にて湿潤養生を施すことによる効果を実験の実験結果とともに紹介する。

## 6. 湿潤養生を施すことによる コンクリート品質に与える効果

ここから、筆者が実際に実施した室内実験における養生方法・日数がコンクリートの品質に与える影響についての結果<sup>2), 3), 4)</sup>を紹介する。なお、ここでの試験は養生の影響を一様に受けたコンクリートの品質と仮定して整理している。本来ならば、養生の影響範

表-2 養生方法と養生期間の一覧 (実験)

養生期間	養生方法			
	(1)乾燥 D	(2)湿布 C	(3)水中 W	(4)封緘 S
1	D1	—	—	—
3	—	CD3	WD3	S3
5	—	CD5	WD5	—
7	—	CD7	WD7	S7
28	—	C28	W28	S28

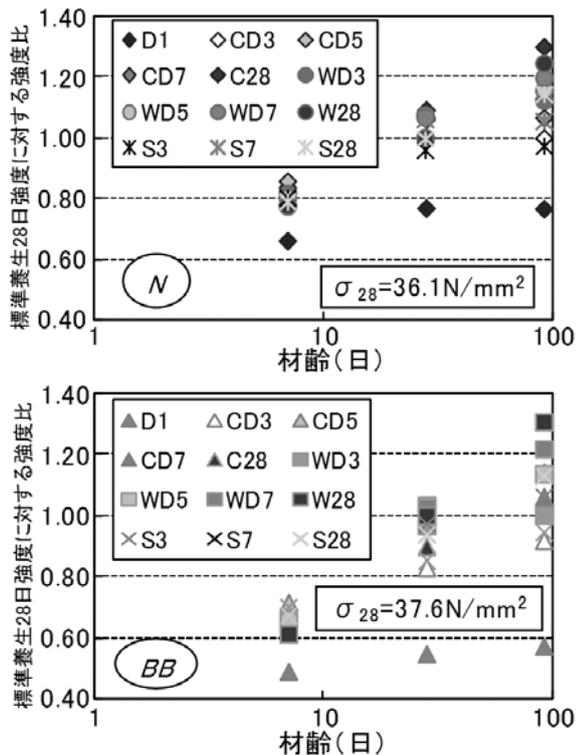


図-4 NおよびBBの養生条件が異なる場合の圧縮強度発現

囲が存在するが、そのことについては、次号にて詳細に解説する。使用したセメントは、一般的に用いられる普通ポルトランドセメント (N) とNに置換率50%とした試製高炉セメントB種 (BB) であり、W/Bは55%とした。表-2および図-3は、養生条件を記載しており、材齢28日において各種試験を実施した。

### 6.1 強度特性

図-4に円柱試験体により計測した、標準養生材齢28日の圧縮強度に対する強度比をNとBBで示した。脱型直後より乾燥環境に曝されるD1では強度発現が停滞しており、Nでは標準養生の80%程度、BBでは60%程度であった。また結合材によらず養生期間が長くなれば、強度発現することがわかる。長期材齢における強度発現を考慮すると、Nでは養生条件や日数に

養生方法	材齢(日)				
	1	3	5	7	28
(1) D1	乾燥(D:RH60%)				
CD3, WD3					
(2) CD5, WD5					
(3) CD7, WD7					
C28, W28	養生(C:湿布, W:水中)				
S3					
(4) S7					
S28	封緘(S:型枠存置)				

図-3 養生方法

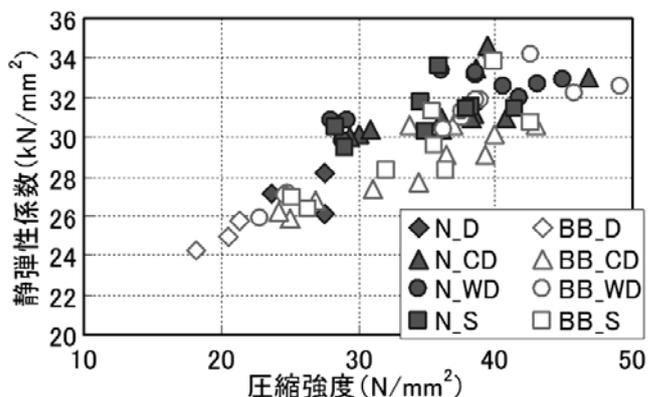


図-5 養生条件が異なるコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係

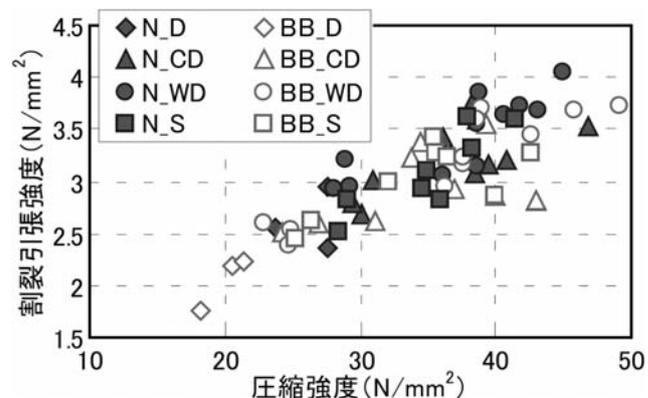


図-6 養生条件が異なるコンクリートの圧縮強度と割裂引張強度の関係

よる影響は大きくないといえるが、BBでは影響が大きく、養生が不足すると強度発現に影響があると想像できる。さらに、図-5, 6は圧縮強度と静弾性係数、割裂引張強度との関係を表しているが、これらの関係には養生の影響は小さくなく、養生と共に変化する圧縮強度と相関があることといえる。

### 6.2 透気・吸水性能

図-7に養生方法を変化させたコンクリートのアウトプット法にて算出した透気試験の結果を示す。養生

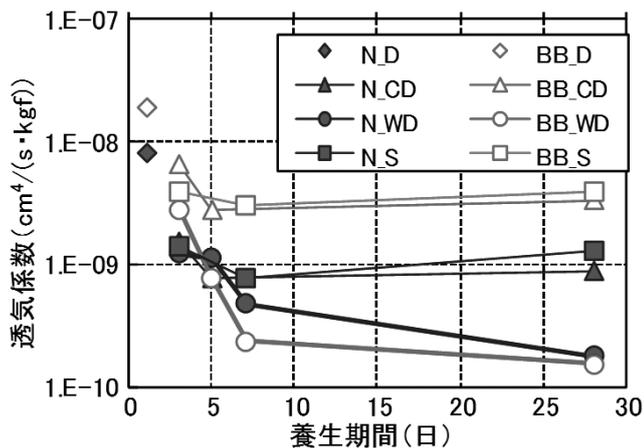


図-7 養生条件が異なるコンクリートの透気係数

を施していないDにおいては、透気係数が大きくなっており、Nに比べBBが大きい結果であった。一方、水中養生を施したWDにおいては、養生日数が長くなるほど透気係数が著しく小さくなっていることがわかる。さらに水中養生を5日以上施すことでNよりもBBのほうが、透気係数が小さくなっていることがわかる。それに反して、BBにおけるSやCでは養生日数を長期化しても、Nには及ばないことがわかる。このように結合材種類により特性は異なっており、特に高炉スラグ微粉末を混入した場合、水分が供給されないとコンクリートの品質を改善するに至らないことがわかる。

図-8は試験体が半分程度漬かるようにバットに水をいれ真空試験装置にて1時間吸引、2時間真空保持したときの水の吸い上げられた領域を試験体断面との割合で算出した、真空吸水面積率と養生期間の関係を示したものである。水分の吸い上げられやすさを定量化したものであり、連続空隙の存在を示しているものと考えている。これより、NとBBを比較すると、Dでは明らかにBBがNに比べて大きな面積率となっているが、養生を施すことでその差は急激に小さくなっており、NとBBでは大差が認められなくなる。これは、BBに養生を施すことで、BBの本来所有する品質を発揮できることを示しており、逆に言えばBBでは養生を施さないと著しい品質の低下を招くことを示している。

### 6.3 耐久性

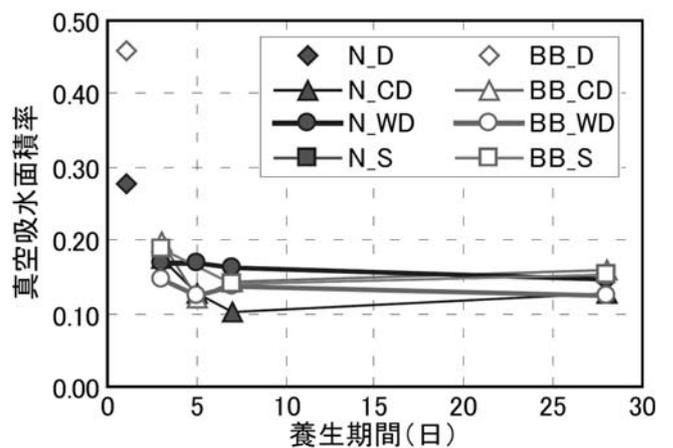


図-8 養生条件が異なるコンクリートの真空吸水試験結果

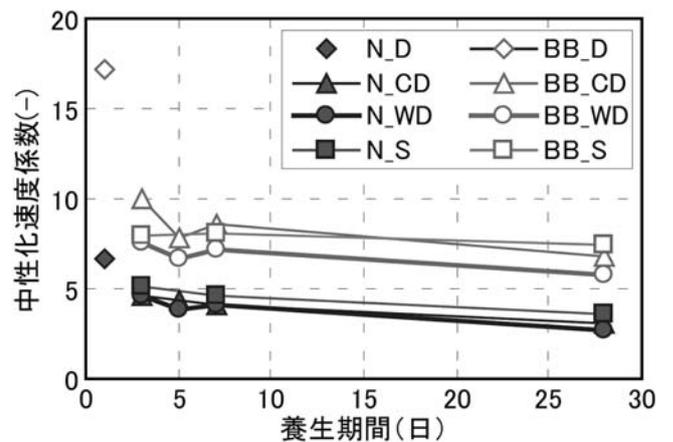


図-9 養生条件の異なるコンクリートの中性化抵抗性

図-9は中性化促進試験から得られた中性化速度係数を示したものである。ここでは、NとBBを比較すると、BBのほうが、中性化速度係数が大きくなっているが、これは、高炉セメントコンクリートは、元来pHが低いことやCa(OH)<sub>2</sub>が少ないことで、促進試験においては中性化しやすいことが知られている。養生条件に着目すると、やはりDではBBで著しく大きな中性化速度係数であるが、養生を施せばその日数に応じて徐々に速度係数も小さくなっている。

次に図-10はNaClの3%溶液に91日間塩水浸漬を行った、NおよびBBのDの試験体のEPMAによる塩化物イオンの浸透結果である。この結果より、BBにおいて養生が施されていないにもかかわらず、塩化物イオンを遮蔽しており浸透深さが大きくなっていないことがわかる。これは、塩水浸漬試験において、塩化物イオンとともに水分が供給されることで、再水和の影響もあると考えられるが、明らかに塩化物イオンを固定化して

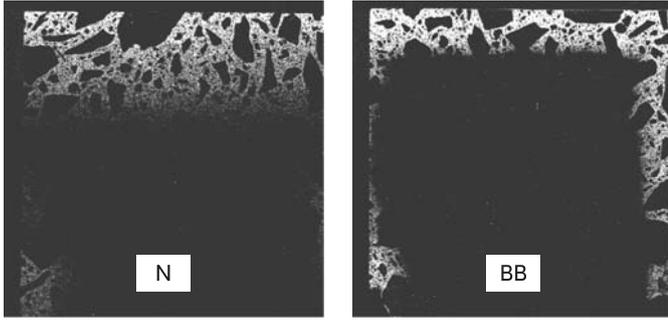


図-10 NとBBの塩分浸透結果（養生条件：D1）

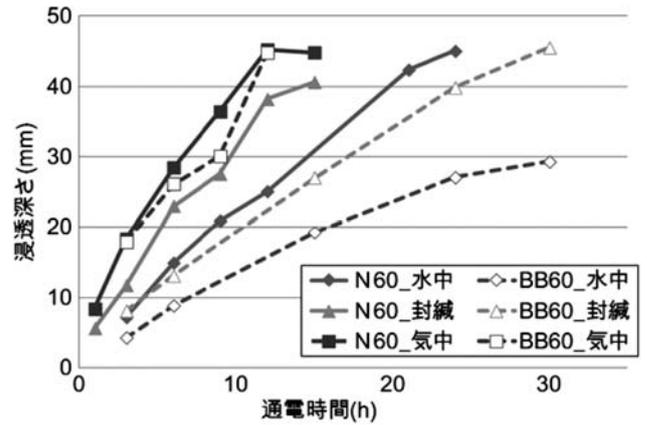


図-11 養生条件の異なるコンクリートの塩分遮蔽性（非定常状態電気泳動試験）

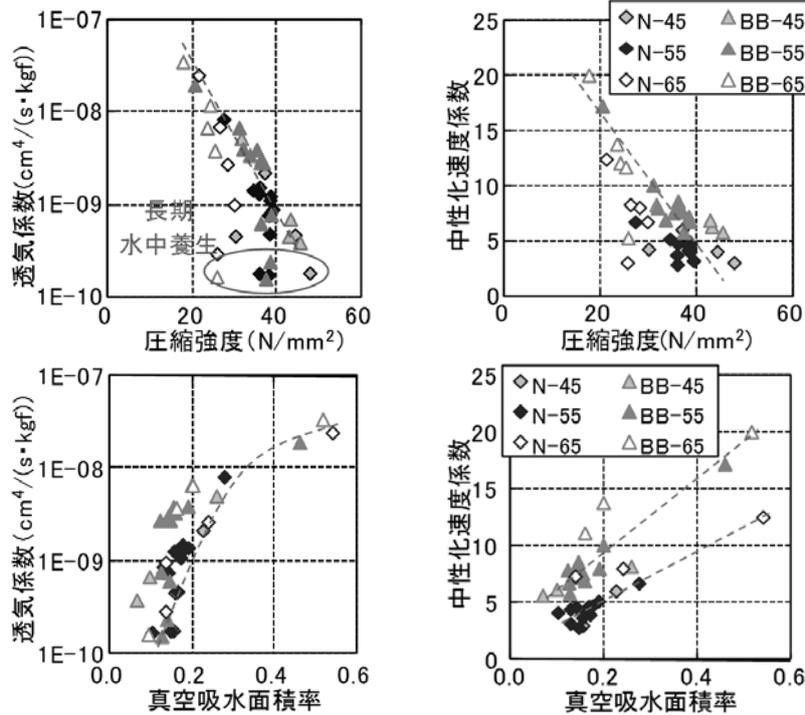


図-12 圧縮強度および真空吸水面積率と透気・中性化試験結果の関係

いることが言える。

図-11は筆者らが別途行った養生の異なったNおよびBBコンクリートの塩害に対する抵抗性を評価したものである。試験は、非定常状態電気泳動試験を用いて、通常の電気泳動セルにセットした試験体を通电時間ごとに取り出し割裂し、塩化物イオン浸透深さを測定したものである。W/B60%のコンクリートであるが、気中養生を28日、つまり1日で脱型後そのままRH60%で保存したNとBBでは塩分浸透速度には大差がなかった。一方、封緘養生および水中養生を施した場合には、Nと比較してBBで著しく浸透速度が抑制されているのがわかる。このように、塩化物イオンの

遮蔽性に関しては、養生条件によらずBBはNに比べて著しく効果が高いことがわかる。

#### 6.4 圧縮強度・真空吸水面積率と品質との関係

図-12は圧縮強度および真空吸水面積率と透気係数ならびに中性化速度係数との関係を表したものである。圧縮強度との相関はおおむね見られるが、一部その関係性が見出せない箇所も存在する。これは、圧縮強度とコンクリート品質が一定の関係であるとは言えず、圧縮強度が高いコンクリートが、耐久性が高いというわけではないことを示している。一方で、真空吸水試験と品質には、一定の関係が認められる。これは、連続空隙を計測していると想定しているため、物質移動

については関係性が認められる結果であるといえる。

## 7. 養生と強度

コンクリートは所定の強度が必要であり、強度レベルでのレディーミクストコンクリートの発注が行われているのが現状である。しかしながら前述したように、圧縮強度だけではコンクリートの品質確保が出来るわけではなく、養生も著しく重要である。さらに圧縮強度の評価方法に関しての疑問も残る。レディーミクストコンクリートにおける呼び強度の確認においては、標準養生28日の圧縮強度が利用されており、コンクリートは1日程度で脱型され20℃の水中にて養生を施される。当然のことながら、コンクリートのポテンシャルを把握する上では、共通の養生条件でコンクリートを評価する必要がある、重要でかつ理想的である。しかし、構造物の利用される環境は、養生条件として温度条件も環境条件も様々である。また、脱型時期も脱型後に曝される環境もさまざまである。万が一、急激に変化する環境作用によっては、前号で記述した通り、水和反応が継続できない可能性がある。その場合には、コンクリートの強度も所定の値を満足できない可能性がある。近年では、現場養生や現場封緘養生、ボス試験体による強度確認など、構造体のコンクリートの強

度確認の方法も提案されているが、養生や環境条件を組み入れた評価をすることは困難を極める。

いずれにしても、コンクリートの品質を確保するためには、若材齢時のコンクリートにおける養生は非常に重要な要因であることを理解して、養生不足に陥らないような方法を検討していく必要があると考える。次号は実際のコンクリート構造物での養生の必要性と近年開発されている新しい養生方法の紹介、さらに養生終了を判断するモニタリング技術を紹介する。

### 【参考文献】

- 1) 小林一輔 著：最新コンクリート工学 第3版，森北出版(株)，1992
- 2) 檀康弘，伊代田岳史，大塚勇介，佐川康貴，濱田秀則：高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの養生条件と耐久性の関係，土木学会論文集E，Vol. 65，No. 4，pp.431-441，2009
- 3) 伊代田岳史，井ノ口公寛：簡易な真空吸水試験を用いた中性化進行予測手法の提案，コンクリート工学年次論文集Vol.34，No. 1，CD-ROM，pp.748-753，2012
- 4) 伊代田岳史，原沢蓉子，亀山敬宏：非定常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.68，セメント協会，2014（掲載予定）