

## コンクリートの表層と内部の湿度の相違が乾燥収縮と耐久性に与える影響

芝浦工業大学 学生会員 ○井ノ口 公寛  
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

### 1. はじめに

トンネルの覆工コンクリートに発生しているひび割れの原因はさまざまであると考えられるが、養生不足や貫通前後における急激な湿度低下による乾燥収縮量の増大も一つの要因であると考えられる。そこで、著者らは既往の研究より<sup>1)</sup>乾燥収縮ひずみと内部湿度には相関関係があることが確認されている。表層部と内部では内部湿度に差が生じており、乾燥収縮ひずみと相関関係があることによってひび割れが生じる可能性があると考えられる。したがって本研究では、脱型時期による養生の効果を真空吸水試験<sup>2)</sup>により定量的に評価したうえで、コンクリート表層部と内部の乾燥収縮ひずみと内部湿度の測定を実施した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 真空吸水試験

##### (1)コンクリート試験体の概要

試験に使用した供試体のセメント種類は、普通ポルトランドセメント[N]と高炉スラグ微粉末が50%置換された高炉セメント B 種[BB]を用いたコンクリートとし、 $W/C=45, 60\%$  ,  $W=168\text{kg}/\text{cm}^3$ で試験を実施した。また、試験体は構造物からのコア試験体を模擬するため、寸法を $\phi 100 \times 200\text{mm}$ とし、脱型時期を1日、3日、5日、7日後とし、外部環境の影響を受けるように上面と底面を解放させた。脱型後は恒温恒湿槽( $20^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH}60\%$ )で暴露し、14日経過後に試験を実施した。

##### (2)試験方法

試験の前処理として、供試体を試験材齢時に $40^\circ\text{C}$ の乾燥炉で5日間乾燥させ、絶乾状態とした。試験は試験体側面からの水の浸入を防ぐため、側面にアルミテープを張り、水を張ったバットに浸けデシケーターに設置した。その後、デシケーターを真空ポンプで3時間吸引した後、試験体を割裂し、水の吸い上げられた領域と試験前後の重量変化を確認した。本研究では、全断面積に対する吸水面積割合を画像解析で算出し、真空吸水面積率と定義した。また、1cmごとで真空吸水面積率を算出し、深さ方向の影響を確認した。真空吸水試

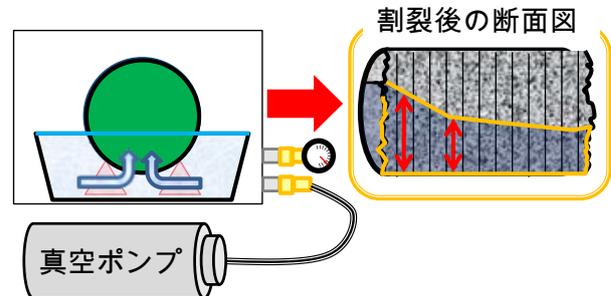


図-1 真空吸水試験概要と試験結果の一例

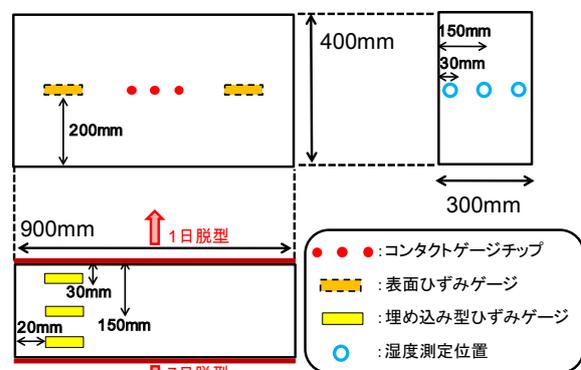


図-2 測定機器設置位置

験概要と割裂後の試験体断面の一例を図-1 に示す。

### 2.2 表層と内部の湿度の違いが乾燥収縮に与える影響

#### (1)コンクリート試験体の概要

試験に使用した試験体は、 $W/C60\%$  ,  $W=168\text{kg}/\text{cm}^3$ の普通ポルトランドセメント[N]と高炉スラグ微粉末が50%置換された高炉セメント B 種[BB]を用いたコンクリートとした。

#### (2)試験方法

表層と内部の内部湿度の相違が乾燥収縮に与える影響を調査するため、試験に使用した試験体( $900 \times 400 \times 300\text{mm}$ )は打設後上面をラップし、翌日に片面( $600 \times 400\text{mm}$ )のみ脱型し、7日間後に脱型した面と反対側の型枠を脱型し、残りの面は型枠を存置した。内部の乾燥収縮ひずみの測定を埋め込み型ひずみゲージを使用し、表面の乾燥収縮ひずみは表面ひずみゲージと JIS A 1129 のコンタクトゲージ法を使用した。測定機器設置位置を図-2 に示す。

キーワード 乾燥収縮 コンクリートの内部湿度 表層と内部 真空吸水試験

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 E-mail m510008@shibaura-it.ac.jp

コンクリート打設時に埋め込み型ひずみゲージを表面から 30mm, 150mm に設置した。コンクリートの内部湿度は試験体の側面(300×400mm)に小型温湿度センサーを用いて試験を行った。センサーがコンクリートに直接接触することを避けるため二重構造の直径 13mm のアクリルパイプをコンクリート打込み時に埋設した。センサーの埋設深さは試験体中央の一律 50mm とし、打ち込み後、打設面が吸水しないベニヤ板にて封緘しアクリルパイプの内部を空洞にしたうえでゴム栓とゴム製のキャップに密閉して計測を開始した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 真空吸水試験結果

##### (1)セメント種類と脱型時期が吸水性に与える影響

セメント種類及び脱型時期が真空吸水面積率に与える影響を図-3 に示す。真空吸水面積率(断面積に対する吸水面積割合)は、セメントの種類によらず、脱型時期が遅いほど真空吸水面積率が低下する傾向を示した。これは脱型時期の相違が、水和反応の過程で空隙組織に影響を与えたことによるものだと考えられる。セメントの種類に着目すると、BB は N に比べ脱型時期が早いほど真空吸水面積率が大きく、特に 1 日で脱型したときに顕著に影響を受けていることが確認できた。脱型時期が3日以降では N よりも真空吸水面積率が低い傾向を示していることが確認できた。

##### (2)W/C が深さ方向の吸水性に与える影響

W/C が真空吸水面積率に与える影響を図-4 を示す。真空吸水面積率(コンクリート深さ 1cm ごとの真空吸水面積率)は、W/C の増加に伴い増加する傾向が確認できた。セメント種類に着目すると、W/C によらず BB のほうが N よりも真空吸水面積が大きい傾向を示した。また、どちらのセメント種類でも、表層部では真空吸水面積率が大きくなり、内部では小さくなる傾向を示していた。その理由としては脱型時期が早いため、表層部では乾燥の影響を受けたためだと考えられ、セメント種類の差は、BB は N に比べてセメントの反応速度が遅いためだと考えられる。

##### (3)脱型時期が深さ方向の吸水性に与える影響

脱型時期が深さ方向の真空吸水面積率に与える影響を図-5, 6 に示す。脱型時期が遅いほど、深さ方向の真空吸水面積率が低下する傾向を示した。深さ方向の影響に着目すると、影響範囲は N では 3cm 程度であり、BB では、脱型時期が 1 日の場合は 4~5cm 程度まで影響受けていたが、それ以降に脱型したものについては N と同様の傾向を示して

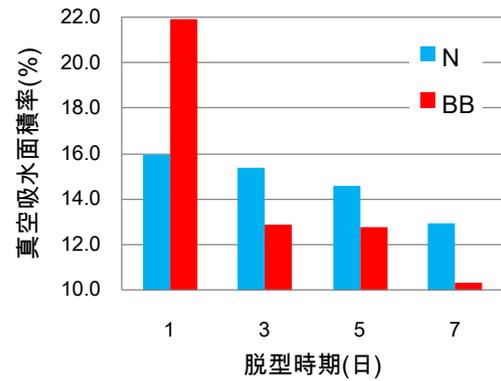


図-3 脱型時期と吸水面積率の関係

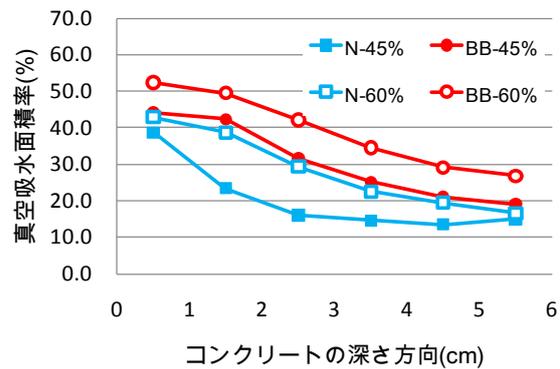


図-4 W/C と深さ方向の真空吸水面積率の関係

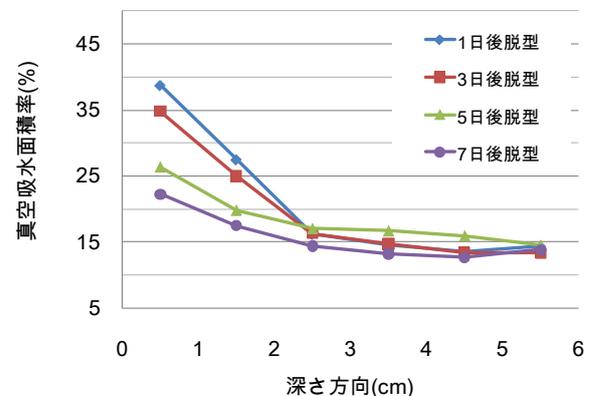


図-5 脱型時期と深さ方向の吸水面積率の関係(N)

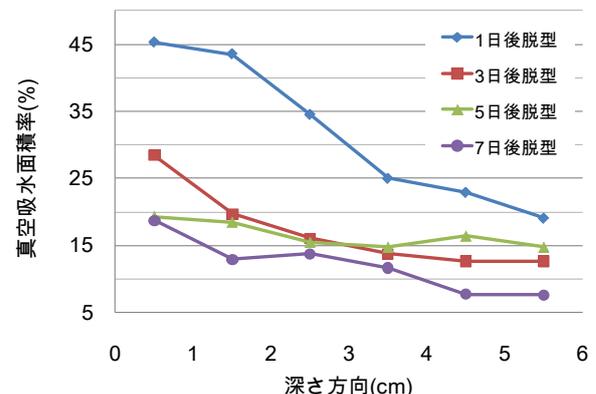


図-6 脱型時期と深さ方向の吸水面積率の関係(BB)

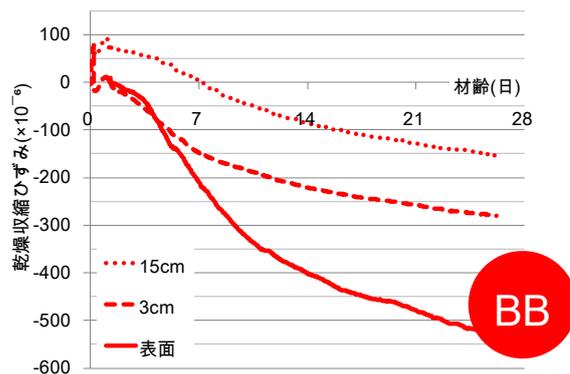
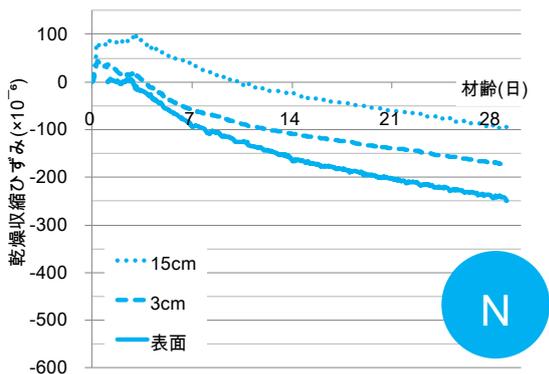


図-7 乾燥収縮ひずみ測定結果

(左:N使用, 右:BB使用, 脱型1日)

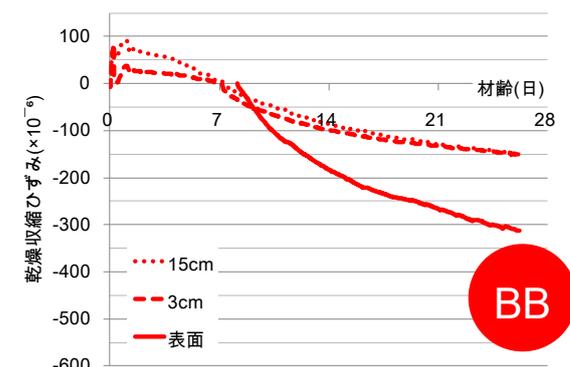
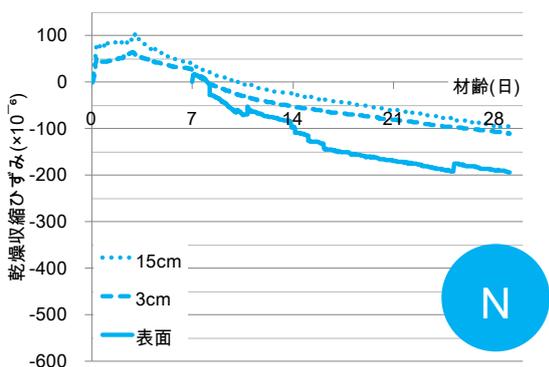


図-8 乾燥収縮ひずみ測定結果

(左:N使用, 右:BB使用, 脱型7日)

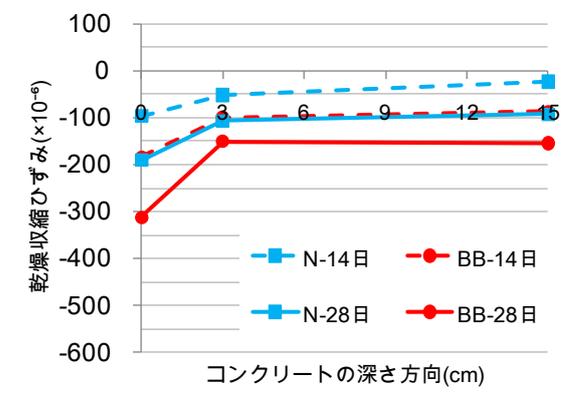
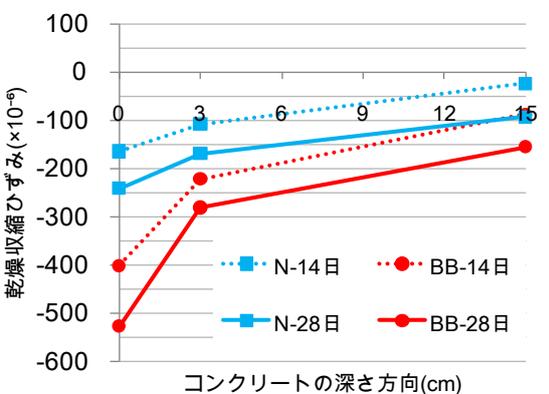


図-9 深さ方向と乾燥収縮ひずみの関係

(左:脱型1日, 右:脱型7日)

いることが確認できた。また、BBの脱型1日のものでは表層部で大きく環境の影響を受けており、環境の影響のないコンクリート内部においても吸水性が高いことを確認した。この理由としては、脱型が1日と早く、水和反応が十分進行していなかったためと考えられる。

### 3.2 表層と内部の湿度の違いが乾燥収縮に与える影響

#### (1) 乾燥収縮ひずみ測定結果

3.1と既往の研究より、乾燥収縮ひずみの測定位置を表層部では3cm、内部では15cmとして測定を行った。セメント種類と脱型時期の違いが表層と

内部の乾燥収縮ひずみに与える影響を図-7, 8に示す。セメント種類によらず、脱型1日のものは表面と3cm位置での乾燥収縮ひずみが増加していく傾向を示した。脱型7日のものは、セメント種類によらず、乾燥収縮ひずみが低減していたが、BBのほうがNに比べて顕著に低減する傾向が確認できた。次に、セメント種類が深さ方向の乾燥収縮ひずみに与える影響を図-9に示す。深さ方向に着目すると、セメント種類によらず、表面から近い距離ほど乾燥収縮ひずみが大きくなっていくことを確認した。また、脱型7日のものはセメント種類によらず3cm以降では内部の乾燥収縮ひずみと

同程度の値となっていることが確認できた。BBはNに比べて脱型時期が早くなると、表層部分での乾燥収縮ひずみが増大し、脱型時期の影響を顕著に受けていることが確認できた。この理由として、脱型時期が早いことで、養生が十分行われず、表層で乾燥の影響を大きく受けたと考えられ、脱型時期を遅くすることで水分の逸散を防ぎ、水和反応が進行したことで空隙組織が緻密化し表層での乾燥収縮ひずみが低減されたと考えられる。今後、乾燥収縮と大きく関係していると考えられる空隙量や空隙分布を調査し、表層と内部の組織の違いを検証していくことが必要だと考えている。

#### 4. 深さ方向の相違による乾燥収縮ひずみと耐久性の関係

これまでの結果を基に、真空吸水試験と乾燥収縮の関係を示す。図-9のグラフより、材齢14日のデータから近似曲線を用い、深さ方向の乾燥収縮量を予測した値と深さ方向の真空吸水試験の関係を図-10に示す。脱型時期が真空吸水面積率と乾燥収縮ひずみに与える影響は、BBの場合、脱型時期が早くなると、コンクリート表層部での真空吸水面積率が大きくなるにしたがって乾燥収縮ひずみも増大する結果となっている。よって、グラフではプロットした点が横に広がるにつれて表層と内部での乾燥収縮ひずみのバラツキが大きくなる傾向を示しており、脱気時期が遅くなり養生されることで表層と内部のバラツキが小さくなる傾向を確認できた。セメント種類に着目するとBBでは脱型1日の場合、Nに比べて表層部で内部湿度が大きく低下することで、粗大な空隙が増加し、水分が逸散しやすくなったことから乾燥収縮ひずみが増加したと考えられる。真空吸水試験結果から脱型時期が早いものでは表層部で粗大な空隙が残存していると考えられ、内部では微小な空隙が増加し緻密化していると考えられる。今回測定した乾燥収縮ひずみでも表層部では乾燥収縮ひずみが増加しており内部にいくにしたがって減少していくことが確認できた。よって、乾燥収縮に寄与していると考えられる空隙径が真空吸水試験で把握することができれば、乾燥収縮ひずみが予測できる可能性があると考えられる。そこで今後は、真空吸水試験ではどの径の空隙径までに影響があるのかを把握した上で、今回測定した乾燥収縮ひずみの深さ方向の空隙径と空隙量の分布を試験予定である。課題としては、真空吸水試験では水の吸水を測定しているのに対して、乾燥収縮では水の逸散が関

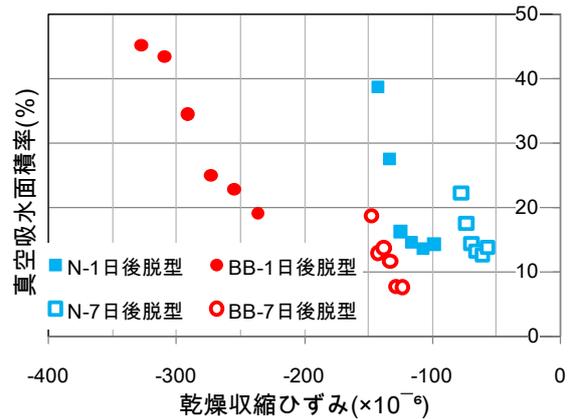


図-10 真空吸水面積率と乾燥収縮ひずみの関係

係するためその関係を明らかにする必要がある。

#### 5. まとめ

- (1)脱型時期がコンクリートの吸水性に与える影響はセメント種類によらず、脱型時期が遅いほど真空吸水面積率が低下する傾向が確認できた。
- (2)W/Cが真空吸水面積率に与える影響はW/Cの増加に伴い、真空吸水面積率が増加する傾向が確認できた。セメント種類に着目すると、W/CによらずBBのほうがNよりも真空吸水面積が大きい傾向を示した。また、どちらのセメント種類でも、表層部では真空吸水面積率が大きくなり、内部では小さくなる傾向を示していた。
- (3)脱型時期が深さ方向の吸水性に与える影響範囲はNでは3cm程度であり、BBでは、脱型1日の場合は4~5cm程度まで影響受けていたが、それ以降に脱型したものについてはNと同様の傾向を示していることが確認できた。
- (4)セメント種類と脱型時期が深さ方向の乾燥収縮ひずみに与える影響は、脱型時期が短いほど、表層部での乾燥収縮ひずみが増加する傾向が確認できた。脱型7日の場合、表層部での乾燥収縮ひずみが低減され、内部のひずみと同程度の値となる傾向を示していた。

#### 参考文献

- 1) 伊代田 岳史, 松崎 晋一郎, 井ノ口 公寛, 歌川 紀之: 養生とその後の環境による内部湿度の相違が乾燥収縮に与える影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, No.1, 2010
- 2) 松崎 晋一郎, 鈴木 肇, 伊代田 岳史: 養生期間がコンクリート表層から深さ方向への吸水性に与える影響, 土木学会全国大会, V-580, 2010