

# 覆工コンクリートの合理的な養生に関する研究

## A Study on Effective Curing of Lining Concrete

廣中哲也\* 石井敏之\* 東 邦和\* 白石祐彰\*

### 要旨

コンクリート構造物の品質向上には、密実な打ち込みを行い適切な養生が不可欠である。特にトンネルの覆工コンクリートの養生には従来の湿潤養生に加えて新しい技術が開発、実用化されている。しかし、コンクリートの配合や養生条件を変えてパラメトリックに養生性能を評価した事例は少ない。そこで、覆工コンクリートの標準的な配合を用いて、養生方法（水中養生、散水養生、湿布潤養生、乾燥収縮低減剤、改質材）、養生温度、養生湿度および養生実施期間等をパラメータとする小型試験体による模擬実験を行った。その結果から、乾燥収縮ひずみの低減率をひび割れ抵抗性の評価指標として養生方法を評価し適切な養生方法を提案した。

キーワード：養生、含水率、乾燥収縮、乾燥収縮ひずみ、透気係数

### 1. はじめに

トンネルの覆工コンクリートは、表面の出来映えや供用期間中の剥落防止対策に特段の注意が払われている。一般的な覆工コンクリートの施工では、コンクリートを打設してほぼ1日以内にセントル型枠が脱型され、養生期間は非常に短い。環境および施工条件によっては、コンクリート表面からの水分の蒸発による乾燥収縮や水和反応の阻害等からひび割れが発生し、品質低下が生じる場合がある。

そこで、覆工コンクリートの品質向上を目的に、一般的なコンクリート構造物と同等な養生（コンクリート標準示方書施工編に規定されているような気温とセメントの種類から定まる湿潤養生期間等<sup>1)</sup>）が必要と考えられ、散水養生、湿布養生、膜養生等の種々の養生方法が開発、適用されている<sup>2,3)</sup>。しかし、環境条件、施工条件に合致した合理的な養生方法を選定には養生方法や養生条件の違いがコンクリートに与える影響を整理しておく必要がある。

本研究では、覆工コンクリートの合理的な養生方法の選定に必要な基礎データを得るために、養生方法、養生温度と湿度および養生期間等の養生条件をパラメータとした要素実験を実施した。それらの結果から養生方法選定の基本的な考えを提案する。

### 2. 実験概要

覆工コンクリートの標準的な配合をもとに、養生方法、養生温度と湿度および養生期間等の養生条件をパラメー

タとして模擬試験体による室内試験を実施し、各種物理量の測定からひび割れ抵抗性および密実性等を評価した。

#### 2.1 コンクリートの配合および使用材料

表-1にコンクリートの配合および使用材料を示す。鉄道および道路の山岳トンネルで使用されている覆工コンクリートの配合を参考に、骨材の最大寸法40mm、スランプ15±2.5cm、水セメント比60%とした。また、セメントには、高炉セメントB種を使用し、コンクリート標準示方書施工編より単位水量を170kg/m<sup>3</sup>以下、単位セメント量を270kg/m<sup>3</sup>以上とした。

表-1 コンクリートの配合と使用材料

骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
40	15± 2.5	60	4.5± 1.5	41.0	163	272	749	①654 ②436	C× 0.35%

【使用材料】  
 セメント：高炉セメントB種、密度 3.14g/cm<sup>3</sup>  
 細骨材：富津産山砂、密度 2.66g/cm<sup>3</sup>、吸水率 1.95%、粗粒率 2.45  
 粗骨材：① 最大寸法 20mm、桜川産砕石、密度 2.66g/cm<sup>3</sup>、吸水率 0.53%、粗粒率 6.55  
 ② 最大寸法 40mm、桜川産砕石、密度 2.66g/cm<sup>3</sup>、吸水率 0.52%、粗粒率 9.12  
 混和剤：AE 減水剤、リグニルスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体、密度 1.04~1.10g/cm<sup>3</sup>  
 \*)粗骨材混合比①:②=60:40

#### 2.2 実験要因および測定方法

表-2に実験要因と水準を示す。養生温度を10~30℃の3水準、養生中の相対湿度を60%と80%に変化させた。材齢12時間で脱型後、水中養生、散水養生、湿布養生、乾燥収縮低減剤の噴霧、改質材の塗布を実施した。試験

\*技術研究所

のパラメータは養生期間、乾燥収縮低減剤および改質材の種類とした。また、湿度80%養生は、脱型後の相対湿度を80%一定、養生効果を確認するための供試体(以降、無体策と呼ぶ)は脱型後の相対湿度を60%一定とした。なお、養生の終了、乾燥収縮低減剤の噴霧および改質材の塗布以降を乾燥期間と定義した。

表-3に養生方法、写真-1に散水および湿布養生状況を示す。散水養生では、1ℓ/m<sup>2</sup>の水を30分に1回の頻度で散布、湿布養生では、保湿シートで試験体を覆い、1ℓ/m<sup>2</sup>の水を3日に1回の頻度で散布して保水させた。また、乾燥収縮低減剤の噴霧および改質材の塗布は、脱型後直ちに実施し、その噴霧量と塗布量は、150ml/m<sup>2</sup>とした。

表-2 実験要因と水準

	要因	水準
基本条件	配合	水セメント比 60%, 高炉セメント B 種
	養生温度	3 水準 (10, 20, 30°C)
	相対湿度	2 水準 (60, 80%)
養生方法	無対策	材齢 12 時間で脱型後, 相対湿度 60% 養生
	湿度 80% 養生	材齢 12 時間で脱型後, 相対湿度 80% 養生
	水中養生	養生実施期間 3 水準 (材齢 7, 14, 28 日)
	散水養生	養生実施期間 3 水準 (材齢 7, 14, 28 日)
	湿布養生	養生実施期間 3 水準 (材齢 7, 14, 28 日)
	乾燥収縮低減剤	2 水準 (アルコール系)
	改質材	2 水準 (シラン系)
【備考】 ・各養生の実施期間終了後以降、乾燥収縮低減剤の噴霧後および改質材の塗布後以降を乾燥期間と定義する		

表-3 養生方法

種類	方法
無対策	相対湿度 60%にて養生
湿度 80% 養生	相対湿度 80%にて養生
水中養生	20°Cの水中にて養生
散水養生	1ℓ/m <sup>2</sup> の水を 30 分に1回の頻度で散布
湿布養生	保湿シートで試験体を覆い、1ℓ/m <sup>2</sup> の水を3日に1回の頻度で散布して保水
乾燥収縮低減剤	噴霧器で 150ml/m <sup>2</sup> を噴霧
改質材	刷毛で 150ml/m <sup>2</sup> を塗布
【備考】脱型材齢は、すべて 12 時間とした	



写真-1 養生状況  
a) 散水養生 b) 湿布養生

表-4に測定項目と試験体形状、写真-2に埋込み型ひずみゲージの設置状況、写真-3に表面透気係数試験状況を示す。ひび割れ抵抗性の評価には、コンクリートの表面含水率およびコンクリート表面から深さ方向のひずみ分布、密実性の評価には、表面透気係数を使用した。表面透気係数の測定には、トレント法を採用した<sup>5)</sup>。トレント法の測定は、直径 150mm、厚さ 100mm 程度の平滑なコンクリート面を確保できれば、1箇所 12分程度と迅速に測定できる方法である。覆工厚を考慮した縦 300×横 500×高さ 500mm の試験体 (以降、小型試験体と呼ぶ) をひずみ、表面含水率、表面透気係数およびコア強度測定用とし、直径 125×高さ 250mm の標準試験体を強度測定用とした。脱型は、小型試験体および標準試験体ともに材齢 12 時間で行い、小型試験体は、横 500×高さ 500mm の両側面を各種養生、乾燥および測定面とし、それ以外の面は、アルミテープを貼付して乾燥を防止した。

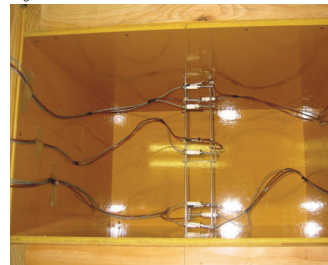


写真-2 ひずみゲージの設置



写真-3 表面透気試験状況

表-4 主な測定項目と試験体形状

評価項目	測定項目	試験体形状
ひび割れ抵抗性	表面からのひずみ分布 (埋込み型ひずみゲージ: 表面から 10, 30, 50, 150mm に設置)	縦 300×横 500×高 500mm
	表面の含水率 (高周波式水分計)	
強度発現性	標準試験体 材齢 7, 28, 56 日	直径 125×高 250mm
	コア試験体 材齢 56 日	直径 75×高 150mm (縦 300×横 500×高 500mm より採取)
密実性(耐久性)	表面透気係数(トレント法)	縦 300×横 500×高 500mm
【備考】 ・脱型材齢 12 時間 ・縦 300×横 500×高 500mm 試験体の養生、乾燥および測定面は、横 500×高 500mm の両側面とし、それ以外の面は、アルミテープを貼付して乾燥を防止		

### 3. 実験結果

#### 3.1 コンクリートの表面含水率

図-1に各種養生方法とコンクリートの表面含水率、図-2に乾燥期間28日の無対策(相対湿度60%)に対する表面含水率の増加率を示す。無対策と比べたコンクリートの表面含水率は、乾燥収縮低減剤および改質材では乾燥期間3~7日では大きい傾向を示すが、28日ではほぼ等しくなっている。それに対して、湿度80%水中、散水および湿布養生では、乾燥期間28日ではコンクリートの表面含水率は高い状態にある。

また、乾燥期間28日の無対策に対する表面含水率の増加率は、水中、散水、湿度80%、湿布養生の順番で高く、コンクリート表面からの乾燥防止および保水効果が乾燥期間28日まで持続していることが分かる。これは、養生によりコンクリート中に水分を供給したこと、セメントの水和反応が促進されて密実な組織となったことに起因すると考えられる。ただし、水中養生および散水養生の高含水率の状態では養生を終了した場合、条件によっては微細な乾燥収縮ひび割れの発生を助長する現象が見られたため、養生期間、散水量や散水頻度等に留意する必要がある。なお、乾燥期間28日の乾燥収縮低減剤と改質材の無対策に対する表面含水率の増加率は、4%以下と小さく、乾燥防止および保水効果は、乾燥期間3~7日程度であると考えられる。

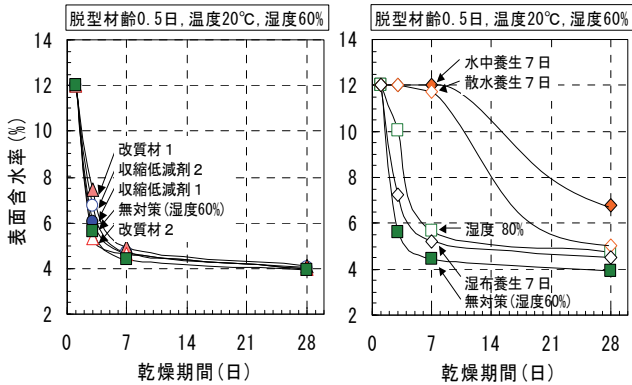


図-1 各種養生方法とコンクリート表面含水率

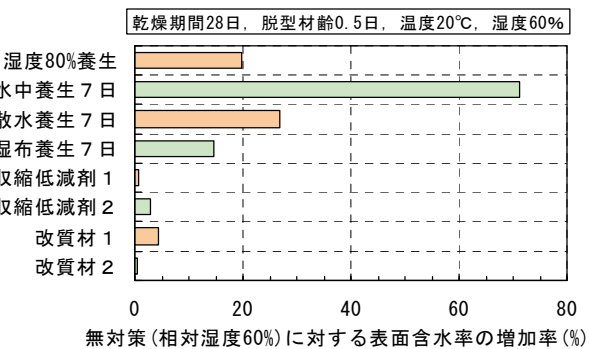


図-2 無対策(相対湿度60%)に対する表面含水率の増加率

#### 3.2 圧縮強度

図-3に材齢56日の標準試験体および小型試験体から採取したコア試験体の圧縮強度と各種養生方法の関係を示す。標準試験体の圧縮強度は、コア試験体の0.5~0.9倍と小さな値を示している。これは、コア試験体は片方の端面だけから乾燥するのに対して、標準試験体は全面から乾燥するため、乾燥の影響を大きく受け、セメントの水和反応が阻害されたものと考えられる。

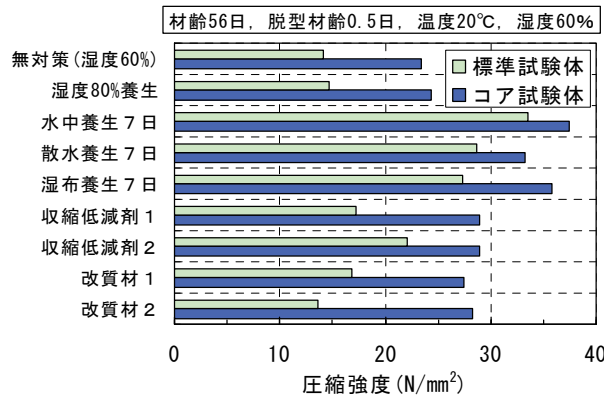


図-3 標準試験体・コア試験体と各種養生方法

図-4に材齢56日の無対策(相対湿度60%)に対するコア試験体の圧縮強度の増加率を示す。無対策に対するコア試験体の圧縮強度の増加率は、水分供給のある水中、湿布および散水養生で40~60%と大きな値を示し、3~7日程度の乾燥防止・保水効果のある乾燥収縮低減剤および改質材で20%程度を示している。なお、湿度80%養生では、5%程度と無対策に対する増加率は小さいことが分かる。

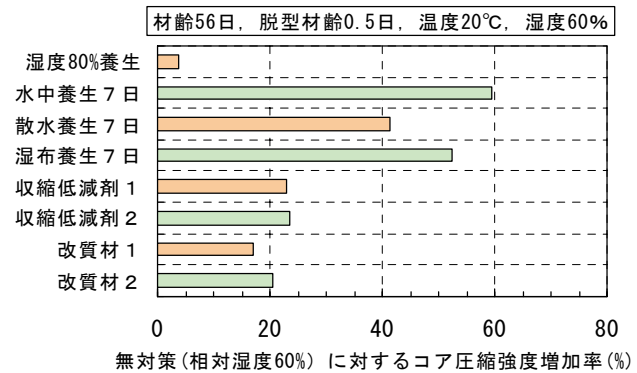


図-4 無対策(相対湿度60%)に対するコア圧縮強度の増加率

図-5に養生期間と材齢56日の無対策(相対湿度60%)に対するコア圧縮強度の増加率の関係を示す。養生期間の増加に伴って、水中、湿布および散水養生のコア圧縮強度の増加率は大きくなり、養生実施期間14日以降の増加傾向は小さくなっている。したがって、所要の圧縮強度を得るためには、養生実施期間を適切に選定する必要がある。

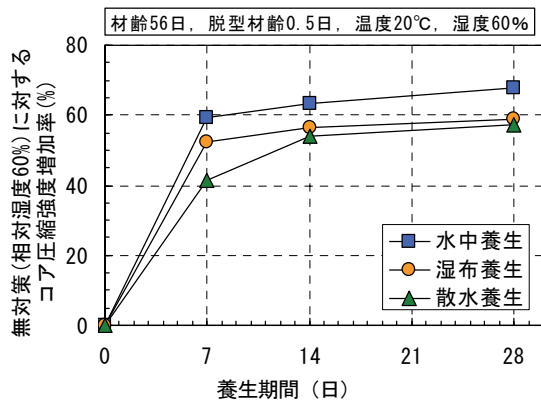


図-5 養生実施期間と無対策に対するコア圧縮強度の増加率

### 3.3 表面透気係数

図-6に養生方法と表面透気係数を示す。無対策に比べて、水中、散水および湿布養生の表面透気係数は小さくなっており、セメントの水と反応が促進されて密実な組織になっていることが分かる。乾燥収縮低減剤および改質材の噴霧では表面透気係数は改善されなかった。これは、材齢12時間の脱型直後の含水率が高いコンクリート表面に噴霧または塗布したため、含浸効果が十分に得られなかったものと考えられる。なお、表面透気係数と耐久性の関係を明確するため、現在、促進中性化試験を実施中である。

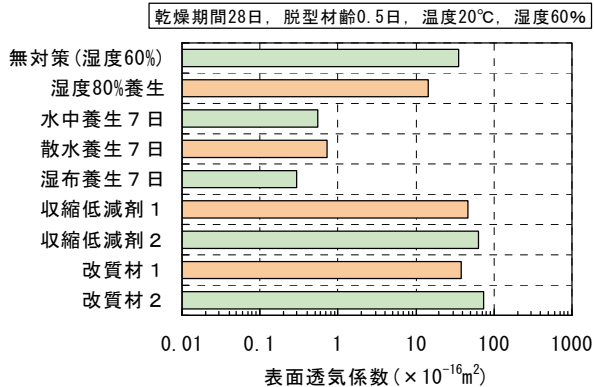


図-6 各種養生方法と表面透気係数

### 3.4 コンクリートの収縮ひずみ

図-7に養生方法と表面から30mmのコンクリートの収縮ひずみ、図-8に乾燥期間28日での無対策 (相対湿度60%) に対するコンクリートの収縮ひずみの低減率を示す。無対策に対する収縮ひずみの低減効果は、湿布養生、水中養生、散水養生、湿度80%養生、乾燥収縮低減剤の順番で高くなり、無対策に対する低減率は、20~80%と効果に大きな差があることを確認した。なお、改質材には、無対策に対する収縮ひずみの低減効果がほとんど見られなかった。

図-9に養生温度と表面から30mmのコンクリートの収縮ひずみ、図-10に養生温度10°Cに対するコンクリ

ートの収縮ひずみの比を示す。養生温度の増加に伴ってコンクリートの収縮ひずみの比は減少しており、養生温度10°Cに対して、養生温度20°Cで0.6倍、30°Cで0.5倍の収縮ひずみを示している。また、養生温度が低いほど収縮ひずみの増加割合が大きいことが分かる。なお、収縮ひずみは、温度変化によって生じる温度ひずみ成分を除去した値とした。

図-11に養生期間と乾燥期間28日の無対策 (相対湿度60%) に対するコンクリートの収縮ひずみの低減率を示す。養生実施期間の増加に伴って、水中、湿布および散水養生の無対策に対する収縮ひずみの低減率は大きくなり、散水養生では実施期間14日、湿布養生では実施期間7日ではほぼ収束している。これらの結果から、施工条件および養生条件等に応じて、適切な養生方法の選定ができる。

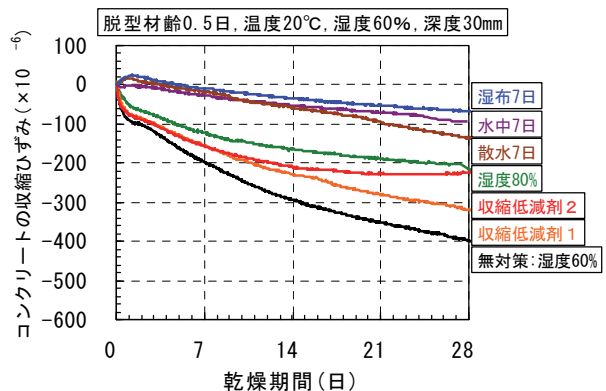


図-7 各種養生方法とコンクリート収縮ひずみ

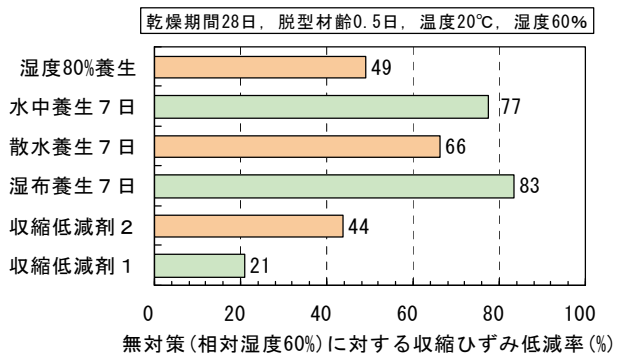


図-8 無対策(相対湿度60%)に対する収縮ひずみの低減率

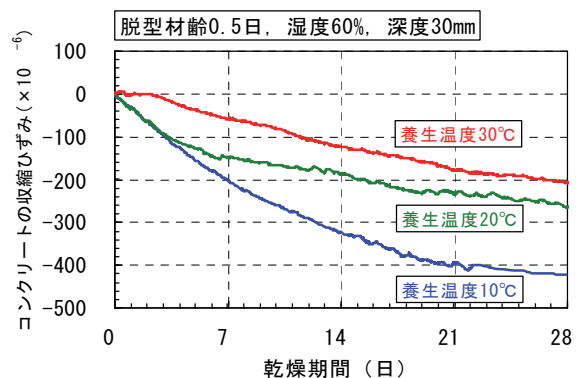
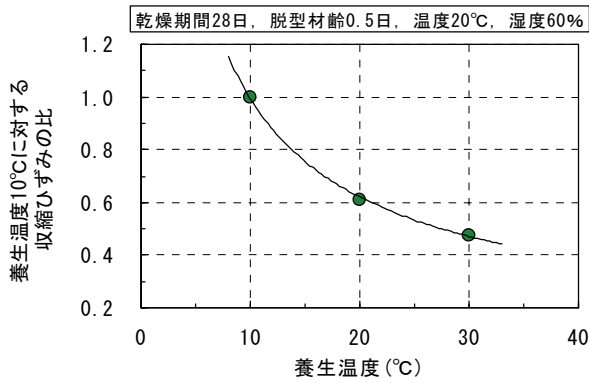
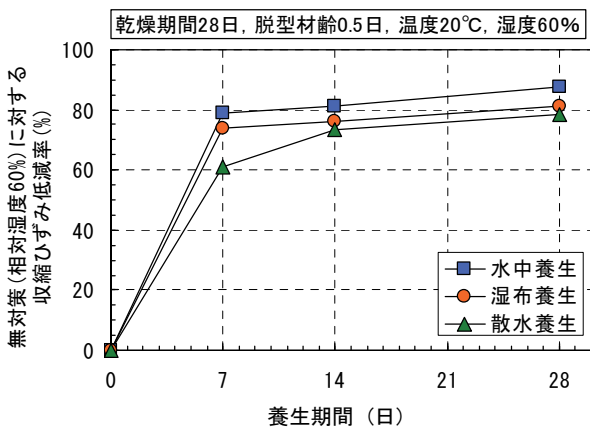


図-9 養生温度とコンクリートの収縮ひずみ



図一10 養生温度10°Cに対するコンクリート収縮ひずみの比



図一11 養生実施期間と無対策に対する収縮ひずみの低減率

#### 4. まとめ

養生方法および養生条件等をパラメータとした模擬試験体による室内実験結果から、以下の事項が明らかになった。

- i. 無対策に対する表面含水率の増加率は、水中、散水、湿度80%、湿布養生の順番で高く、コンクリート表面からの乾燥防止および保水効果は乾燥期間28日まで持続する
- ii. 乾燥収縮低減剤と改質材の無対策に対する表面含水率の増加率は小さく、乾燥防止および保水効果は乾燥期間3~7日程度と短い
- iii. 無対策に対するコア試験体の圧縮強度の増加率は、水分供給のある水中、湿布および散水養生で40~60%、3~7日程度の乾燥防止・保水効果のある乾燥収縮低減剤および改質材で20%程度、相対湿度80%養生では5%程度である
- iv. 散水および湿布養生により表面透気係数は小さくなり、セメントの水和反応が促進されて密実な構造となるが、乾燥収縮低減剤および改質材では表面透気係数は改善されない

- v. 無対策に対する収縮ひずみの低減効果は、湿布養生、水中養生、散水養生、相対湿度80%養生、乾燥収縮低減剤の噴霧の順番で高くなり、無対策に対する低減率は、20~80%と効果に大きな差がある
- vi. 養生温度が高くなると収縮ひずみは減少し、養生温度10°Cに対して、養生温度20°Cで0.6倍、30°Cで0.5倍の収縮ひずみとなる
- vii. 無対策に対する収縮ひずみの低減効果は、散水養生で実施期間14日、湿布養生で実施期間7日までにほぼ収束する

以上の結果から、コンクリートの収縮ひずみの低減率をひび割れ抵抗性の評価指標とした場合、トンネル覆工コンクリートの合理的な養生方法は、養生期間を過度に長く設定することなく、①湿布養生7日間後の乾燥収縮低減剤の噴霧または、②散水養生14日間後の乾燥収縮低減剤の噴霧の組み合わせが合理的であることを確認した。

また、養生温度が低くなる場合は、保温または給熱機能を付加することが必要である。

#### 5. おわりに

独自性のある合理的な養生方法の提案を可能にするデータベース化を目指して、今後、覆工コンクリートを対象とした湿布養生、保温養生と乾燥収縮低減剤の組み合わせ、湿度制御期間等の追加実験および一般のコンクリート構造物を対象とした要素実験を実施する。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会、「コンクリート標準示方書・施工編」、pp.126-129、2007
- 2) 辺見泰造、野々山栄治、溝手一憲、小野 稔、「システムチック養生台車による覆工コンクリートの品質向上」、トンネルと地下、Vol.39、No.4、pp.17-26、2008
- 3) 山田浩幸、後藤裕一、水町 実、坂本全布、「温度制御噴霧式覆工コンクリート養生法の開発」、トンネルと地下、Vol.39、No.4、pp.45-53、2008
- 4) 岡崎慎一郎、八木 翼、岸 利治、矢島哲司、「養生が強度と物質移動抵抗性に及ぼす影響感度の相違に関する研究」、セメント・コンクリート論文集、No. 60、pp.227-234、2006
- 5) 土木学会、「コンクリート技術シリーズ No.80 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335 委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集」、pp.30-36、2008