

# 型枠取りはずし後のコンクリート浸水養生工法 (アクアカーテン)の開発 —鉛直壁面やトンネル覆工での給水養生—

古川幸則<sup>1</sup>・庄野昭<sup>2</sup>・齋藤淳<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 ハザマ 九州支店 土木営業部 (〒812-8562 福岡市博多区下呉服町1番1号)

<sup>2</sup>正会員 ハザマ 土木事業本部 土木設計部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門2丁目2番5号)

<sup>3</sup>正会員 ハザマ 技術研究所 技術研究第一部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1)

型枠取りはずし後のコンクリート鉛直面や傾斜面に対し、給水養生が可能な浸水養生システムを開発し実用化を行った。本システムは浸水養生シートとコンクリートとの間の空気を吸い出すことによってシートをコンクリート面に密着させ、さらに、密着した空間に水を供給することにより、コンクリート表面に水膜を形成させるものである。これにより、従来困難とされていた型枠取りはずし後のコンクリート鉛直面や傾斜面の給水養生が可能となり、コンクリートの強度、耐久性向上等の可能性を実大規模の浸水養生システムにより確認した。さらに、実構造物における試験施工により、実用性に優れていることを確認した。

**キーワード:** 養生, 浸水養生, 脱枠, 耐久性, 透気性

## 1. はじめに

コンクリート工事における作業工程の中で、養生はコンクリートの性能を発揮させる上で極めて重要な工程のひとつである。コンクリートが所要の性能、すなわち、所要の強度、物理作用に対する抵抗性や物質移動抵抗性等の耐久性を発揮するためには、セメントが十分に水和することが前提となる。コンクリートが所要の性能を確保するために必要な水和水が達成されるよう、所要の期間水和水に必要な水分を供給するとともに、適切な温度を保持する養生が必要である。湛水、水を含ませた養生マットの敷設が可能な水平面においては水分の供給は可能であるが、鉛直面における養生は極めて困難である。

以上の観点から、著者らは、型枠取りはずし後のコンクリートの鉛直面や傾斜面に、外部から養生水を供給する養生が可能な浸水養生システムを開発した<sup>1)</sup>。

本報告では、開発した浸水養生システムの位置付け・意義を明確にするため、国内外の養生に関する規定を概観するとともに、本システムで可能となる給水養生の効果に関する研究の一例を示すこととする。次に、本システムの概要、効果の評価および実構造物への適用例について紹介する。

## 2. コンクリートの養生に関する規定

### (1) 養生に関するわが国の規定

土木学会、建築学会の基準において湿潤養生の期間が示されているが、ここでは、これらの基準で、湿潤養生がどのように定義されているかをまとめておく。

示方書<sup>2)</sup>では、養生の基本として養生方法を分類している。養生の目的毎に分類されているが、湿潤に保つための養生として、水中・湛水・散水・湿布(養生マット、むしろ)・湿砂・膜養生を挙げている。さらに、用語の定義の解説において、湿潤養生とは、「セメントの水和に必要な水を、打込んだコンクリートから逸散させないだけでなく、必要量だけ確保するために行う養生である。」としている。必要量を定量的に示すのは困難であるが、養生においては、水分の逸散を防ぐだけでは不十分で、外部から水の供給を行う必要があることを示している。JASS5<sup>3)</sup>では、示方書と同様、湿潤に保つための養生方法を挙げているが、その中で、透水性の小さいせき板による被覆も含まれており、「型枠存置は、湿潤養生と考えてよい。」としている。

## (2) 米国の基準の一例

ACI Committee 308のレポート<sup>4),5)</sup>の記述を以下に紹介する。

CHAPTER 1において次のように養生の定義がなされている。十分な水と熱の存在下のセメントの継続的な水和の結果、コンクリートが成熟し硬化特性を発揮するために行われるプロセスを記述する用語として用いられるとしている。具体的には、コンクリートがそのポテンシャルを発揮するのに必要なセメントの水和が達成されるように、水分と温度条件を維持する行為と定義されている。また、養生は、コンクリートが所要の性能を達成できるように行うべきであると明記されている点が注目される。記述は次のようである。

養生は、要求されるコンクリートの性能が発揮されるまで、あるいは、養生終了後コンクリートが自然環境に曝される間にコンクリートが所要の性能を達成しようと理論的に保証することができるようになるまで、継続すべきである。

養生条件から達成されるコンクリートの性能を理論的に推論できるように、コンクリートの各種性能に及ぼす養生の影響に関する実験データが示されており、本文中には、養生期間の最小値は、要求される性能が達成できることを示す試験に基づいて設定すべきであると記述されている。適用事例におけるデータがなく、打ち込まれたコンクリートの強度を保証するための試験を実施せず、また、コンクリート温度が10℃以上に維持される場合に限って、表-1に示す推奨される最小の養生期間を参照してよいとしている。

表-1 最小養生期間の推奨値<sup>4)</sup>

	最小養生期間
ASTM C 150 Type I (普通ポルトランドセメント)	7日
ASTM C 150 Type II (中庸熟ポルトランドセメント)	10日
ASTM C 150 Type III (早強ポルトランドセメント)	3日
ASTM C 150 Type IVまたはV (低熱ポルトランドセメント) (耐硫酸塩ポルトランドセメント)	14日
混合セメント ASTM C595, C845, C1157に 準拠した混和材との併用使用	2.9節参照

## 3. コンクリートの養生の効果に関する研究

### (1) 概要

コンクリートの養生効果に関する研究の歴史は古

く、多くの研究事例が存在する。ここでは、給水養生がコンクリートの強度、耐久性に及ぼす効果に関する研究に限定し、近年の研究の一例を紹介することとする。

### (2) 給水・水中養生の効果に関する研究例

建築学会の暑中コンクリートの施工指針・同解説<sup>6)</sup>では、森永らが行った養生方法がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響の調査結果を引用し、暑中コンクリートの適切な養生方法を示している。同指針では、コンクリート中の水分を制御する方法として、外部から水を供給する給水養生と練混ぜに使用した水を外部へ逸散させない保水養生に大別して検討を加えている。上記の調査結果では、外部への水の逸散を防止する封かん養生では、圧縮強度および炭酸化に対する抵抗性を得るための効果が水中養生に比較して少ないことを明らかにしている。特に水セメント比が小さい場合には、封かん養生期間を長くとっても、期間延長の効果は少ないとしている。このことから、暑中コンクリートにおける養生は、原則として外部から水を供給する給水養生を行うものとし、給水養生が実用的でない場合には、次善の策として養生剤、シート養生などの保水養生を行うこととしている。

同指針は、暑中コンクリートを対象とした施工指針であるが、一般的な気象条件における養生に関しても参考となる有益な知見を示しているのので、そのいくつかを紹介する。

#### ①水セメント比の影響

ブリーディング特性は、水セメント比の影響を受け、水セメント比が低い場合、ブリーディング量も少なく、湧出から吸込み過程に移るまでの時間が短い。コンクリート上面にブリーディング水が存在する間は、湿潤養生が保持されていると見なせるとし、水セメント比が低くコンクリート上面からブリーディング水が消失するまでの時間が短くなると湿潤養生の期間が実質上短くなると推論している。

#### ②型枠取りはし後の鉛直面の給水養生方法

独立柱などでは、吸水性の材料を柱に紐で巻き付けて水を吸わせ、蒸発防止のため、さらにその上から不透水性のシートを巻き付ける方法により給水養生を行うことが可能である。しかし、シートをコンクリートに密着させる必要があること、連続的に水を供給しなければ乾燥・湿潤が繰り返されるため、ひび割れなどの問題が生じること、などを指摘している。

### (3) 長期耐久性に及ぼす影響に関する研究例

岡崎らは、圧縮強度が決まれば物質移動抵抗性が一意に決まると言う単純な関係でないことの可能性を指摘し、養生条件が強度と物質移動抵抗性に与える影響感度を定量的に評価している<sup>7)</sup>。圧縮強度は、水和率にほぼ一意に依存するのに対し、養生の相違による影響を受けた空隙の連続性などの形態因子の相違には、ほとんど影響を受けないことを確認している。一方、物質移動抵抗性には、空隙の連続性などの形態因子の方が支配的であるとしている。これらの結果から、養生が強度に及ぼす影響より、耐久性に関わる物質移動抵抗性に及ぼす影響は相当に大きいとしている。

## 4. 浸水養生システムの概要

### (1) 浸水養生システム開発の位置付け

前章に示したとおり、水分逸散を防ぐだけでなく、外部から積極的に水を供給する給水養生がコンクリートの性能に及ぼす効果は、非常に大きいことは明らかである。実施工においても型枠存置により水分の逸散を防ぐだけでなく、積極的に水を供給する給水養生を実施するのが望ましい。しかしながら、スラブ上面やダム等のマスコンクリートの露出面などは、湛水、水を含ませた養生マットの敷設などが容易で給水養生は可能であるが、型枠を取りはずした鉛直面や傾斜面での給水養生は極めて困難とされていた。ここで紹介する浸水養生システムは、保水養生だけでなく、外部から水を積極的に供給することを可能としている。建築学会の暑中コンクリートの施工指針・同解説の考え方に浸水養生を追加した養生方法の区分を図-1に示す。

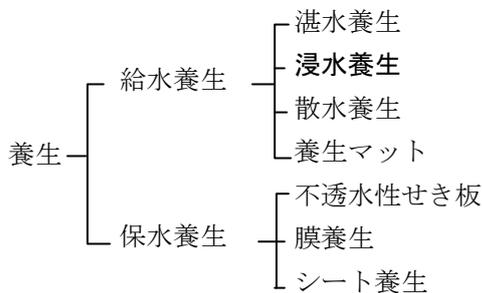


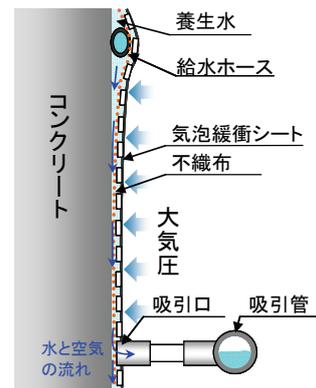
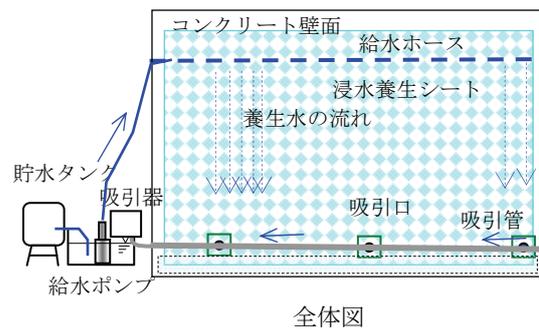
図-1 養生方法の区分

### (2) 浸水養生システムの概要

浸水養生システムの概要を図-2に示す。また、浸

水養生システムの構成を写真-1に示す。養生の実手順の基本は、次のとおりである。

- ① 型枠および支保材や緊結材を取りはずす。
- ② 給水ホースを取付け、浸水養生シートを仮留めする。
- ③ 浸水養生シートの下端部に4m間隔で吸引口を取付ける。
- ④ 吸引器と吸引管を接続する。
- ⑤ 浸水養生シート周囲端部の気密性を確保した後、吸引器を稼働する。
- ⑥ 給水ポンプに接続した給水ホースから養生水を供給し、浸水養生を開始する。



断面詳細図

図-2 浸水養生システムの構成(全体図)



写真-1 浸水養生システムの構成

なお、給水ホースは、延長70～100m程度まで均一に給水する（100～400cc/m・分）ことができるものを使用する。浸水養生シートは親水性の不織布と気泡緩衝シートの2層からなるシートで、保水性と保温性を兼ね備えている。吸引器は、浸水養生シートとコンクリート面の間の空気を吸引し、負圧（1.5hPa）とすることで、浸水養生シートをコンクリート面に押し付け、養生水を確実にコンクリートに伝え、シート自体の落下を防ぐために使用する。浸水養生期間は、型枠の存置期間を含めて、表-2に示した湿潤養生期間を満足する期間とするが、型枠取りはずしの後、浸水養生を1週間以上実施することが望ましい。

表-2 湿潤養生期間の標準<sup>3)</sup>

日平均気温	普通	混合B種	早強	中庸熱 <sup>注1)</sup>	低熱 <sup>注1)</sup>
15℃以上	5日	7日	3日	10日	12日
10℃以上	7日	9日	4日	12日	15日
5℃以上	9日	12日	5日	15日	18日

注1)：著者が追記

給水養生の管理は、コンクリートの吸水速度に応じて養生開始から終了に到るまで一定量を間欠的に給水する。

浸水養生の給水方法は、以下の2点を基本とする。

- ① 1回の給水量は、対象範囲のコンクリート面全体が濡れるのに必要な量を施工により確認する。
- ② 給水間隔は、コンクリート面が乾燥しない間隔とし、現場での実施状況によって判断する。

## 5. 浸水養生システムの効果

### (1)概要

浸水養生システムの効果を確認するため、強度試験用供試体および大型試験体を用いた実構造物レベ

ルの実験を実施した。

### (2)試験条件

#### a) 使用材料および配合

使用材料の一覧を表-3に示す。セメントは、4種類のポルトランドセメント（以下、普通、早強、中庸熱および低熱セメント）および2種類の混合セメント（以下、高炉B、フライアッシュB）を使用した。

コンクリートの配合を表-4に示す。コンクリートの練混ぜは、レディーミクストコンクリート工場で行った。荷卸時のコンクリート温度は、21.0～23.0℃であり、スランプ、空気量が所要の値であることを確認した後、試験体の打込みを行った。

#### b) 大型試験体概要

試験体は、厚さ0.3m、高さ1.2m、長さ8.4mの壁状の試験体とし、長手方向に1.2m毎に養生条件を変化させた。

表-3 使用材料

材 料	種 類	仕 様	
セメント	ポルトランドセメント	普通	密度3.16g/cm <sup>3</sup>
		早強	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
		中庸熱	密度3.21g/cm <sup>3</sup>
		低熱	密度3.22g/cm <sup>3</sup>
	高炉セメントB種	密度3.04g/cm <sup>3</sup>	
混和材	フライアッシュ	JIS A 6201 II種 密度2.25g/cm <sup>3</sup>	
細骨材	陸砂(70%) 茨城県鹿島産	密度2.60g/cm <sup>3</sup> 吸水率1.20%, F.M. 2.24	
	砕砂(30%) 栃木県佐野産	密度2.70g/cm <sup>3</sup> 吸水率1.18%, F.M. 3.07	
	粗骨材	最大寸法20mm 密度2.67g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.55%, F.M. 6.54	
混和剤	A E 減水剤	リグニンスルホン酸化合物	
	A E 剤	界面活性剤	

表-4 コンクリートの配合

セメントの種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
					水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S		粗骨材 G	混和剤 (×c%)
								細砂	粗砂		
普通	8.0 ± 2.0	4.5 ± 1.5	55	43.1	157	286	—	561	241	1073	1.0
早強				42.9	159	289	—	556	238		
中庸熱				43.5	156	284	—	569	244		
低熱				43.7	154	280	—	575	246		
高炉B				43.4	153	279	—	567	243		
フライアッシュB				43.5	151	225	50	569	244		

### c) 養生条件

初期の養生方法の影響を評価するため、表-5に示すような6種類の養生条件を設定した。なお、表中の気中養生は、強度用供試体では養生温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室での養生、大型供試体では温度、湿度を制御しない屋内試験室での養生である。また、浸水1W、2Wおよび3Wの養生は、強度用供試体では標準水中養生を行い、大型供試体では試験面をそれぞれ連続的な給水による浸水養生を行い、所定の期間養生を実施した。さらに、普通セメントにおける浸水養生の開始時期の影響を評価するため、別途製作した大型供試体を用いて、開始時期を3種類（2日、3日、4日）に変化させ浸水養生

表-5 養生条件

記号	養生条件
標準水中	標準水中養生(20℃)
示方書	示方書養生+気中養生
短縮	短縮養生+気中養生
浸水1W	短縮養生+浸水養生1週+気中養生
浸水2W	短縮養生+浸水養生2週+気中養生
浸水3W	短縮養生+浸水養生3週+気中養生

- ・示方書養生とは表-2に示す養生期間で脱型
- ・短縮養生とは示方書養生期間の6割で脱型

表-6 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
供試体	圧縮強度
大型試験体	促進中性化試験
	表層透気試験

JIS A 1108, φ10×20cm  
材齢7, 28, 91, 182日  
および初期養生終了時

試験体から採取したコア供試体  
ダブルチャンバー方式(Torrent法)

生を1週間実施した。表-6に試験項目と試験方法を示す。

### (3) 試験結果

#### a) 強度試験用供試体による評価

図-3に材齢と圧縮強度の関係を示す<sup>8)</sup>。いずれの場合も初期の湿潤養生以降気中養生した条件（示方書および短縮）では、長期的な強度増進は、ほとんど見られない。特に、中庸熱、低熱セメントなどの強度発現の遅いセメントを用いた場合には、水中養生との差が大きい。今回、中庸熱、低熱セメントでは、セメントの圧縮強さの試験結果から、他のセメントと同等の圧縮強さが得られるまで湿潤養生期間を延長したが、構造物の条件によっては、より長い湿潤養生期間を確保することが必要であると考えられる。いずれのセメントも水中養生期間を延長することによって強度増進が大きくなっており、効果は明確である。

#### b) 大型供試体による評価

材齢が1年経過した大型供試体において養生方法が異なる各面に対し、リバウンドハンマーの反発度を測定し次のような結果が得られている<sup>9)</sup>。

反発度に関しては、示方書に則した養生に比べ浸水養生の方が反発度は小さくなる傾向を示し、強度用試験体における圧縮強度試験結果とは異なる傾向を示した。しかし、材齢26週で採取したコアの中性化促進試験結果（促進期間13週）では、示方書に則した養生に比べ浸水養生の方が中性化深さは小さくなる傾向を示している。特に、フライアッシュ、中庸熱、低熱セメントを用いた場合にその傾向が顕著であった。

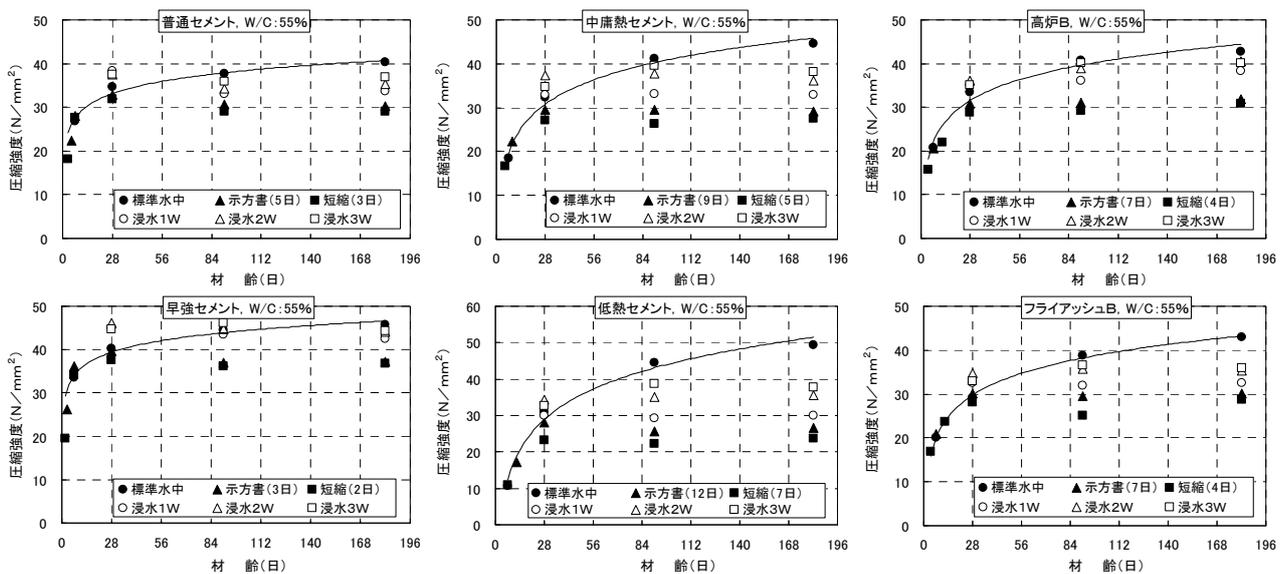


図-3 材齢と圧縮強度

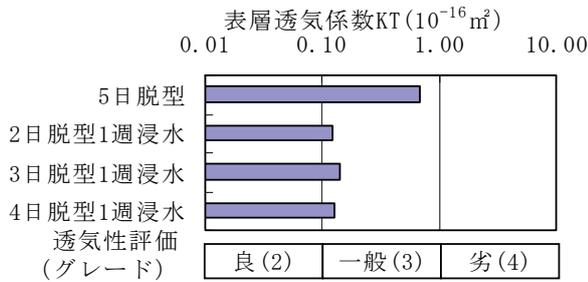


図-4 透気係数測定試験結果 (普通)

普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの表層品質を確認するため、ダブルチャンバー法 (Torrent法) による透気試験を実施した。なお、試験体材齢は屋内養生約4ヵ月である。試験結果を図-4に示す。浸水養生を1週間行うことで、型枠養生 (養生期間5日) よりも透気係数は小さくなり、コンクリート表層の品質が向上した。ただし、浸水養生の開始時期による透気係数の差異は認められない。

以上より、標準期間型枠内で養生されたコンクリートよりも、浸水養生を行ったコンクリートの方が透気係数が小さく、透気性のグレードで1弱、コンクリート表面の緻密性が向上することがわかった。

### c) 浸水養生の管理仕様に関する試験

#### ①コンクリートの吸水試験

浸水養生を効果的に実施するためには、給水管理の目安を得る必要がある。コンクリート供試体の吸水試験<sup>10)</sup> から次の項目を給水管理の方針とした。

- ・ 吸水量を多くするためには、浸水養生をできるだけ早い時期に実施する。
- ・ 浸水養生の実施期間は、型枠脱型後から1週間～2週間までとする。
- ・ 型枠存置期間およびセメント種類の影響は小さい。
- ・ 浸水養生シートは、水を保持できることから、浸水養生期間中、養生水を常時給水させる必要は無く、日当りの給水回数は浸水養生開始日には10回程度、次第に回数を減らし1週以降は2回/日程度が良い。

#### ②間欠給水による大型供試体試験

浸水養生の給水を連続的ではなく表-7に示した間隔で間欠給水した場合の材齢28日および91日において、リバウンドハンマーによる反発度を測定した (図-5)。連続給水の場合には、型枠養生に比べ浸水養生の反発度が低下するケースも認められたが<sup>9)</sup>、間欠給水で浸水養生した場合、型枠養生と浸水養生

の反発度は同等の値が得られている。ただし、浸水養生開始時期による反発度の差異は認められなかった。

表-7 間欠給水の例

養生日	~6時間	6~1日	2~3日	4~5日	6日~
給水間隔	1時間	3時間	4時間	6時間	8時間

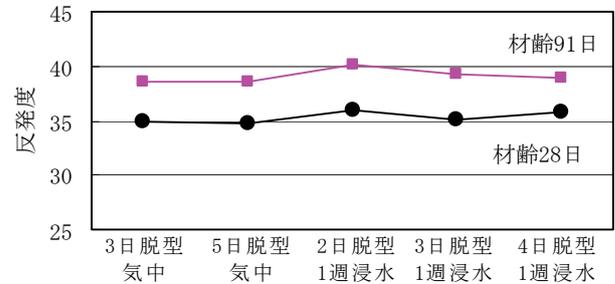


図-5 間欠給水した場合の反発度 (普通)

## 6. 浸水養生工法の適用事例

### (1)道路2斜線断面トンネルでの実施例

国土交通省北陸地方整備局発注の能越道氷見第10トンネル工事において、覆工コンクリートに浸水養生システムを採用する上で、アンカー等の埋設物を利用することなく浸水養生シートを展張する方法を確認するため、実証実験を行った。

トンネルは、幅員10m、高さ7m、内空断面積78m<sup>2</sup>の道路2車線断面トンネルである。覆工コンクリートの施工単位は1スパン10.5m (養生面積約200m<sup>2</sup>) であり、今回の実証実験は2スパンにわたって施工を行い、6名の作業グループで、1スパン当たり1時間強で浸水養生シートを展張した。浸水養生シート展張完了状況を写真-2、システム概要図を図-6に示す。



写真-2 浸水養生シート展張完了状況

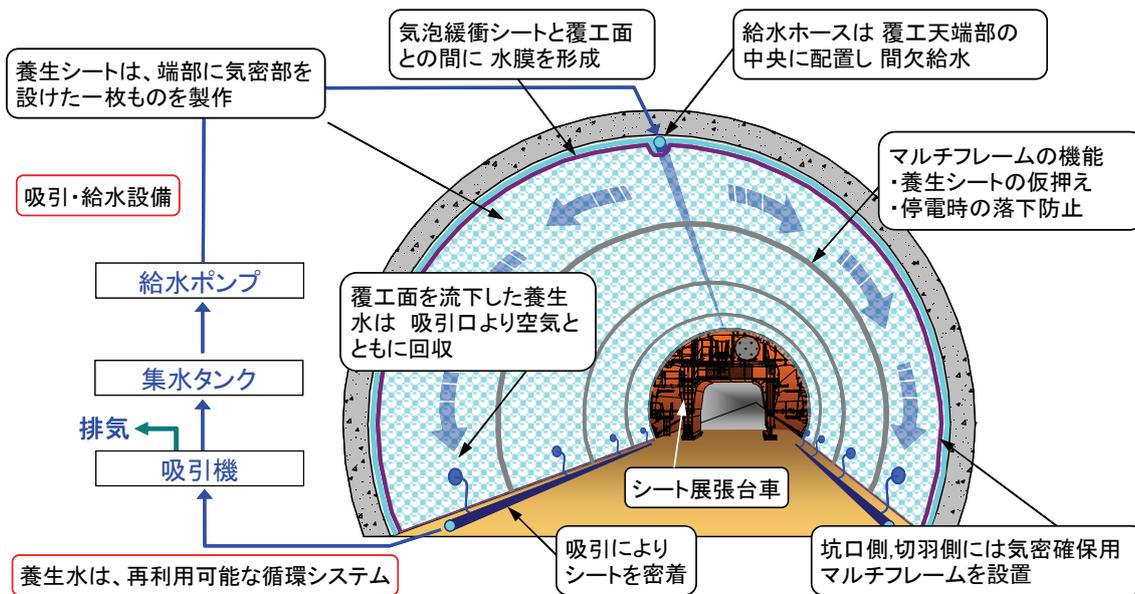


図-6 トンネルでのアクアカーテンシステム概要図

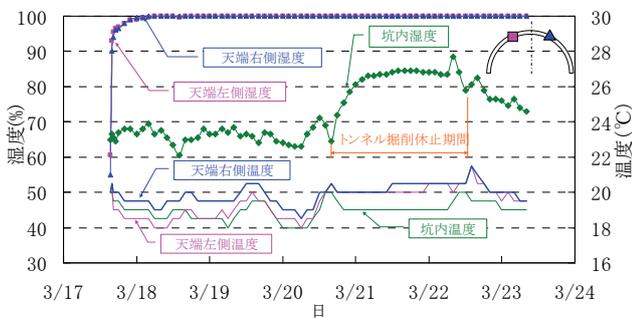


図-7 坑内温度・湿度の測定結果

なお、専用のシート展張台車を用いることで、安全かつ確実に浸水養生シートを展張することができた。本来は脱型直後のコンクリートに対し養生実験を行うべきであるが、施工の都合上、材齢約1ヶ月のコンクリートを対象として実験を行った。

養生シート展張後は天端からの給水を行い浸水養生を実施した。覆工コンクリート表面の温湿度結果を図-7に示す。測定期間中コンクリート表面の温度は20℃、湿度はほぼ100%と安定しており、コンクリ

ート表面に水膜が形成されていることを目視によって確認したことから十分な浸水養生ができたと判断している。

## (2) 浄水場調整池の実施例

神奈川県川崎市上下水道局発注の生田浄水場調整池等築造工事に適用した。本工事では、温度ひび割れを制御するため、低熱ポルトランドセメントを用い、ひび割れ誘発目地を設けている。この調整池外壁に対して浸水養生システムを適用した(写真-3)。

調整池の平面寸法は36.7m×40.7mで、浸水養生システムを2セット使用し、4名からなる作業グループを2組編成した。1セットの施工延長は63.5m、養生高さ2.5mで養生面積は約160㎡であった。

浸水養生の作業は、浸水養生シートのカットなどの準備に1.5時間、シートと給水ホースの取付けに2.5時間、吸引口、吸引管の取付けに2時間を要し、型枠取りはずしの6時間後には浸水養生を開始した。

実構造物に対する測定として、コンクリート表面温度、外気温の測定と外壁のひずみ測定を行った。



写真-3 調整池への適用

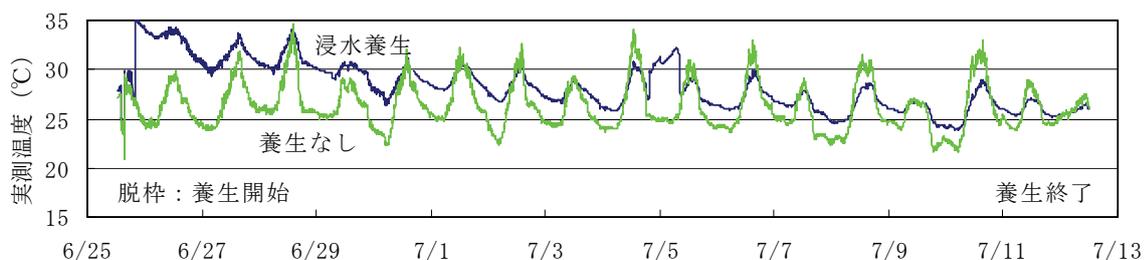


図-8 温度測定結果

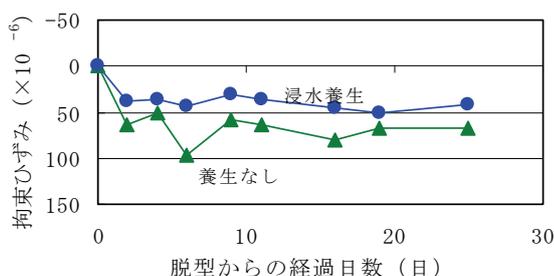


図-9 拘束ひずみ測定結果

浸水養生シート内および外気温の測定結果は図-8に示すように、浸水しても外気温より高く、保温性があり、長期的には気温の日変動の影響を抑制している。

ひずみの測定は、浸水養生実施箇所と脱型後養生しない箇所について実施した。型枠取りはずし後、コンタクトゲージ用のプラグを水平方向と鉛直方向に設置し、浸水養生開始直前から適時測定した。ひび割れ発生の危険性を評価するための拘束ひずみは、自由ひずみと考えられる鉛直方向ひずみと水平方向のひずみとの差から求めた。測定結果を図-9に示す。構造物に生じるひずみは、種々の応力や収縮によって複雑な挙動を示していると考えられるが、単純にコンクリート表面の拘束ひずみと判断すると、浸水養生によるひずみは $26 \times 10^{-6}$ 減少しており、ひび割れ発生ひずみを $150 \times 10^{-6}$ とすると、ひび割れ抑制効果が確認できる。

## 7. あとがき

従来施工が難しかった型枠取りはずし後のコンクリートへの給水養生を可能とする浸水養生システムは、コンクリート面に水膜を形成することを可能とし、あたかも水中養生のように養生できる。

コンクリート構造物の耐久性は、鉄筋を保護する

かぶりコンクリートの品質に左右されると言っても良く、本システムが、表層コンクリートの密実化に寄与することによって構造物の耐久性向上に貢献できれば幸いである。今後、実施工に適用し、効果の確認を図っていく予定である。

## 参考文献

- 1) 古川幸則, 塩崎修男, 白井孝昌: シート吸引方式による覆工コンクリート浸水養生システムの開発, 土木学会第 65 回年次学術講演会, VI-017, pp.36-37, 2010.9
- 2) 土木学会: 2007 年制定コンクリート標準示方書【施工編】, pp.126-129, 2007.
- 3) 建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, pp.270-277, 2009.
- 4) ACI Committee Reports: Guide to Curing Concrete, 2001.8
- 5) ACI Committee Reports: Standard Specification for Curing Concrete, 1998.4
- 6) 建築学会: 暑中コンクリートの施工指針・同解説, pp.106-116, 2000.9
- 7) 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, 2006.12
- 8) 福留和人, 庄野昭, 古川幸則: 各種セメントを用いたコンクリートの強度発現特性に及ぼす養生の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32-1, pp.1307-1312, 2010.7
- 9) 林俊斉, 古川幸則, 庄野昭: 浸水養生におけるコンクリートの品質改善について, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-292, pp.583-584, 2010.9
- 10) 白岩誠史, 古川幸則, 庄野昭: 型枠取りはずし後の給水養生による給水量および給水期間の検討, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-674, pp.1347-1348, 2010.9

# 積算温度管理による 脱型時期判定（T-JUDG）システムの適用

宇野 洋志城<sup>1</sup>・京免 継彦<sup>2</sup>・谷川 隆之<sup>2</sup>・桑原 嗣<sup>3</sup>・小泉 直人<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 佐藤工業株式会社 技術研究所（〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山14-10）

<sup>2</sup>正会員 佐藤工業株式会社 土木事業本部技術部（〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19）

<sup>3</sup>佐藤工業株式会社 東京支店土木事業部工務部（〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19）

<sup>4</sup>正会員 工博 佐藤工業株式会社 土木事業本部（〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19）

筆者らは、これまで覆工コンクリートの脱型強度を現位置で直接的に測定あるいは推定する方法について検討を行ってきた。今回開発し、山岳トンネル工事現場に初めて適用した覆工コンクリートの脱型時期判定（T-JUDG: Tunnel-JUDGement of removal time on site）システムは、積算温度管理により現位置でコンクリートの強度発現を推定するものである。本システムの導入効果により、脱型直後のトラブルは発生しなかった。覆工コンクリートが適切な強度に達した時期（脱型時期）を判定できることは、脱型までの初期養生期間中に環境温度が予想より低かった場合や、打込み工程にトラブルが生じて遅延した場合でも、安全と品質を確保した施工を保證できることが明らかとなった。

**キーワード：** 積算温度， 二次覆工， 脱型， 強度推定， コンクリート

## 1. はじめに

近年、覆工コンクリートの品質・耐久性の向上を目的とした技術開発が注目されている。

現在施工中のトンネル工事においても、覆工コンクリートの品質・耐久性を向上させるために脱型後の養生方法を工夫するケースが多く見受けられるが、覆工コンクリートの耐久性に影響を及ぼす項目として、脱型前の養生方法や脱型までのコンクリートの水和反応の進行度合いを無視することはできない。

一般的なトンネル工事現場における覆工コンクリートの構築は、1 サイクル 2 日の工程で脱型～セントル移動～セット～打込みが繰り返されるパターンで行われている場合が多い。脱型時におけるコンクリートの圧縮強度は 2.0～3.0N/mm<sup>2</sup> 程度が目安とされており<sup>1)</sup>、脱型はコンクリート打込み終了後 12～20 時間程度で行われている例が多く報告されている。

しかし、覆工コンクリートが目標の脱型強度に達したかどうかの判断は打込み終了後の経過材齢を基準に管理するケースが多く、コンクリートの圧縮強度の確認は毎回実施されていない。仮に実施されたとしても、現場養生した管理供試体による間接的な圧縮強度の確認であり、覆工コンクリートの圧縮強度を現位置で直接的に測定あるいは推定してはいない。

脱型までに養生温度が急激に低下したり、管理供試体作製後に発生するトラブル等により打込み終了時刻が遅れた場合などでも単純に経過材齢を基準にして脱型を行えば、覆工コンクリートの圧縮強度は目標に達していないため、結果的に材齢初期段階でのひび割れの発生や長期耐久性の低下に結びつく可能性があると考えられる。

そのため、覆工コンクリートの圧縮強度を現位置で直接的に測定あるいは推定する方法を確立することが、構造上の安全性や長期的な耐久性の向上を保證する上で必要である。

本報告は、覆工コンクリートの脱型時期判定方法に関する検討から適用までの経過について述べるものである。

## 2. 開発の経緯

### (1) 脱型時期判定の問題点

これまで一般的に採用されている覆工コンクリートの脱型時期判定は、ほとんどが間接的な管理方法によるものであり、これらには幾つかの問題点がある。

たとえば、打込み終了後の経過材齢による管理では覆工コンクリートの養生条件の変動を加味することは難しい。供試体強度による管理では養生期間中の存置場所の養生条件による影響が大きく、打込み毎に圧縮強度試験