

アクアカーテン -コンクリートの浸水養生工法-

※庄野 昭

ハザマ 土木事業本部 土木設計部

発表者
写真

縦 3.0cm 程度
横 2.5cm 程度
※発表者

型枠を取りはずした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工法を開発し実用化を図った。本工法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った。

本工法は、平成23年度土木学会賞(技術開発賞)、2012年日本コンクリート工学会賞(技術賞)を受賞した。

キーワード：湿潤養生，給水養生，かぶりコンクリート，耐久性

1. はじめに

コンクリート工事の作業工程の中で、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。特にかぶりコンクリートについては所要の性能を確保するために必要な水和が達成されるように、所要の期間、水和に必要な水分を供給するとともに適切な温度に保持する養生が必要である。湛水や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、水分の供給は容易であるが、鉛直面に水分を供給することは、極めて困難である。

以上の観点から、型枠を取りはずした後のコンクリートの鉛直面や傾斜面に、外部から水を供給する給水養生を可能とする浸水養生工法を開発した¹⁾。

本文では本工法の概要、効果の評価試験結果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) 規定の変遷

日本コンクリート工学会のコンクリート基本技術調査委員会養生WGでは、わが国の養生に関する技術基準の変遷を取りまとめている²⁾。これによると、土木学会コンクリート標準示方書(以下示方書)では、昭和6年制定(1931年)において既に養生に関して規定している。露出面を布、砂等で覆ってかつ散水し、7日間湿潤状態に保つ必要があり、また、せき板の乾燥の恐れがある場合は、これに散水する必要があるとしている。

普通セメントを用いる場合の養生期間に着目すると示方書昭和49年制定(1974年)において7日から5日間に變更され、以降、2007年版まで同様である。

養生の目的の中に耐久性の確保という記述が初めてなされたのは、平成3年制定からであり、さらに、鋼材を保護する性能という記述は、次の平成8年制定からである。ただ、耐久性確保ということが改めて強調されているにもかかわらず、湿潤養生期間の標準は、昭和49年以降変更されていない。昭和49年制定では、「内部はその間に硬化する」および「長期の養生は、利益は少ない」という記述もあり、当時は、表層部の耐久性の確保、鉄筋を保護する性能の確保という概念は必ずしも重要視されていなかったことが推察される。すなわち、その時点から變更されていない現行の示方書の湿潤養生期間の標準が、表層部の耐久性の確保の上で十分な期間であるのか、その根拠は、明瞭とはいえないのである。

(2) 湿潤養生の定義

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³⁾では、養生の基本として養生方法を養生の目的毎に分類しているが、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、打ち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。

建築工事標準仕様書⁴⁾では、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。

3. コンクリートの養生効果に関する研究

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が、ここでは、水中養生がコンクリートの強度、耐久性に及ぼす効果の研究例を引用する。

建築学会の暑中コンクリートの施工指針・同解説⁵⁾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として示している。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。上記の調査結果によれば、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としている。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

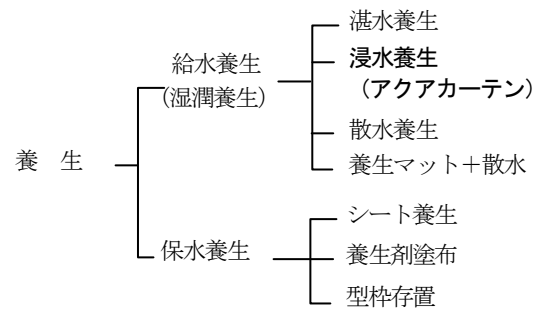
し、給水養生が実用的でない場合には、次善の策として養生剤、シート養生などの保水養生を行うこととしている。

4. アクアカーテンの概要

ここに紹介するアクアカーテンは、外部への水分の逸散を防止する保水養生だけでなく、外部から水を積極的に供給する給水養生を可能としている。

養生方法の区分を図-1に示す。

アクアカーテンの構成を写真-1、図-2に示す。



給水養生：外部から水分を供給する養生

保水養生：外部への水分の逸散を防止する養生

図-1 養生方法の区分

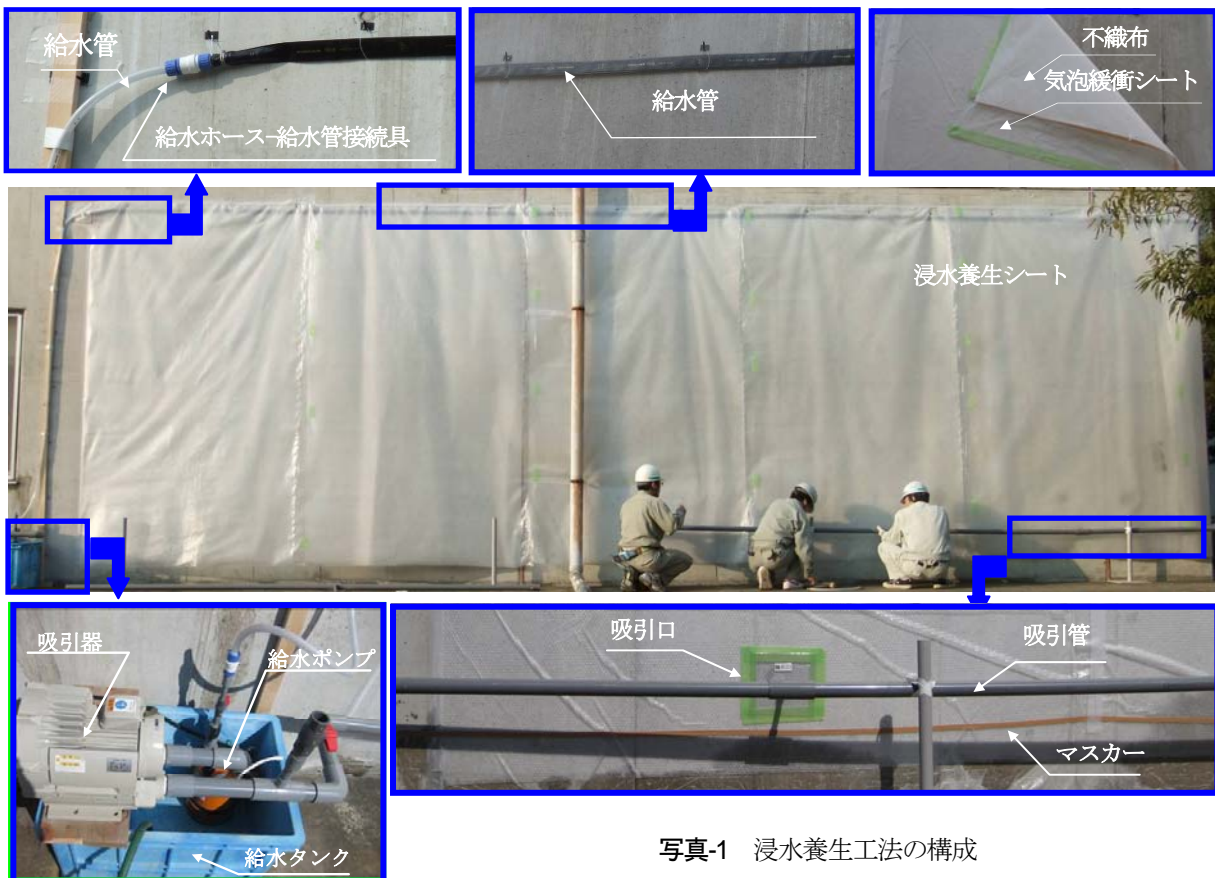


写真-1 浸水養生工法の構成

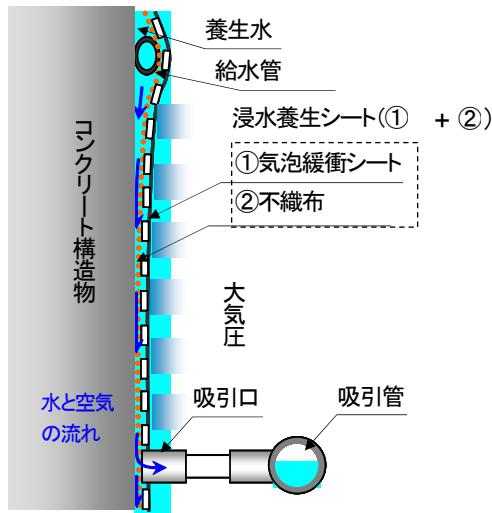


図-2 アクアカーテンの構成

給水管は、延長100mまで均一に散水することができる。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るとともにシート自体の落下を防ぐ。

養生の実施手順の基本は次のとおりである。

- a) 型枠および支保材や緊結材の撤去。
 - b) 養生面に給水管、浸水養生シートを設置。
 - c) 浸水養生シート下端部に4m間隔で吸引口を設置。
 - d) 吸引器と吸引管の接続
 - e) 浸水養生シート周囲端部の気密性を確保、吸引器の稼働。
 - f) 給水ポンプに接続した給水ホースから養生水を供給。
- 浸水養生期間は、型枠の存置期間を含めて、表-1に

示す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。

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。

- a) 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確認して決定する。
- b) 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。

トンネルの場合の工法概要を写真-2に示す。

表-1 湿潤養生期間の標準³⁾

日平均気温	普通	混合B種	早強	中庸熱 ^{注1)}	低熱 ^{注1)}
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

5. アクアカーテンの効果

浸水養生工法の効果を確認するために、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⁶⁾。

5.1 試験条件

(1) コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-2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）と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。



写真-2 トンネルでのアクアカーテンの概要図

表-2 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 ³)						
					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 (×%)
								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		

コンクリートの製造は、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。

(2) 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。

(3) 養生条件

初期の養生方法の影響を評価するために、表-3 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、湿度を制御しない室内養生である。また、浸水 1W, 2W, 3W の養生は、強度用供試体では標準水中養生を行い、大型供試体ではそれぞれを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を 1 週間実施した。

表-4 に試験項目と試験方法を示す。

表-3 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+気中(20℃, RH60%)
短縮	短縮養生+気中
浸水1W	短縮養生+浸水1週+気中
浸水2W	短縮養生+浸水2週+気中
浸水3W	短縮養生+浸水3週+気中

短縮養生とは示方書期間の6割の期間で脱型

5.2 試験結果

(1) 強度試験用供試体による評価

材齢と圧縮強度の関係を図-4に示す。

コンクリート打込み後型枠で封かん養生し、その後型

表-4 試験項目と試験方法

試験項目		試験方法
供試体	圧縮強度	JIS A 1108, φ10×20cm 材齢7, 28, 91, 182日 および初期養生終了時
	促進中性化試験	試験体から採取したコア供試体
大型試験体	表層透気試験	ダブルチャンバー方式(Torrent法)

枠を取りはずして気中養生した条件(示方書および短縮)では、いずれのセメントを用いた場合も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型枠存置期間を延長したが、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、この効果は明確である。

(2) 大型試験体による評価

材齢が1年経過した養生方法が異なる大型供試体の各養生面に対してリバウンドハンマーの反発度を測定した。反発度に関しては、示方書に則した養生に比べその増減は確認できない傾向を示した⁷⁾。

一方、材齢26週で採取したコアの中性化促進試験(促進期間13週)の測定結果では示方書に則した養生よりも浸水養生を行った面の中性化深さが小さくなる傾向を示している。特に、フライアッシュB、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る⁷⁾。

コンクリート表面の品質を確認するため、ダブルチャンバー法(Torrent法)による表層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。

浸水養生を行うことで、型枠養生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する。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したコンクリート

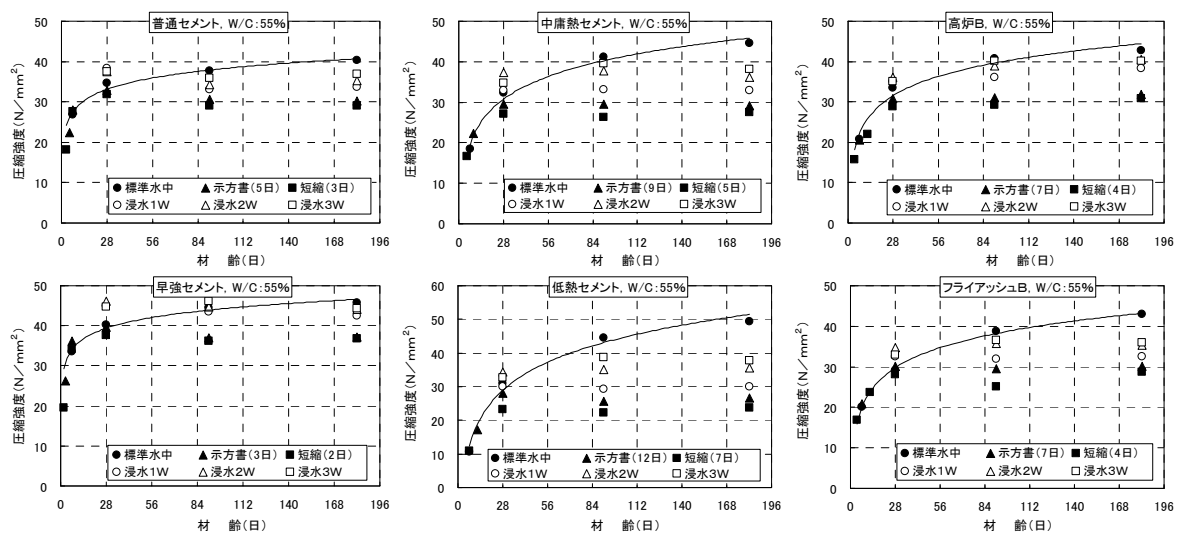


図-3 種々のセメントを用いたコンクリートの圧縮強度

よりも、1週間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。

(3)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。型枠を取りはずし、吸水条件下においてコンクリート供試体の吸水速度試験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1～2週間までとする。
- ・型枠存置期間および水セメント比の影響は小さく、給水管理にこれらを考慮する必要はない。
- ・浸水養生シートは、養生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、次第に給水回数を減らし1週以降は3回/日程度で良い。間欠給水事例を表-5に示す。

表-5 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

6. アクアカーテンの施工実績

アクアカーテンの施工実績は順調に増加しており、一般構造物 6 件 4,100m²、トンネル 3 件 65,000m²の実績に加え、今後 5 件 19,000m²を計画している。

写真-3に示す施工写真のうち、No.1の浄水場は、温度ひび割れを制御するために、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アクアカーテンを適用した。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160m²であった。せき板の取りはずしから作業の準備、養生開始まで当日作業であった。

No.2 および No.3 のトンネルは、延長が1kmを越える内空断面積 94 m²の道路 2 車線トンネルである。有害なひび割れの発生を防止することを目的に採用している。1 スパンの養生面積は 250m²である。打込み終了後半年以上経過しているが有害なひび割れは確認されていない。

No.4 のトンネルは、延長は 315m、内空断面 44m²の 2 車線道路トンネルであり、掘削完了後の覆工コンクリートの養生に適用した。専用のシート展張台車を用いずに簡易な移動台車を用い、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。最近のトンネル覆工の養生では写真-2 に示すユニットフレームと移動台車を用いる方法に変遷している。

No.5 の水路は、大型移動鋼製型枠を用い、型枠存置期間を 2 日とし、その後 1 週間本工法を適用、本来必要な養生期間 7 日の確保と施工の急速化とを両立させることを目的に採用した。また、凍結融解抵抗性の向上についても期待している。

No.6 のPCタンクは、内径 9m、壁厚 25cm の水槽で、かぶりコンクリートの密実化および乾燥収縮ひび割れの抑制を目的に適用した。

No.7の橋脚は、日平均気温が低下する冬季においても型枠存置期間を延長せず必要な保湿養生期間を確保すること、外気温の急激な低下に対する保温効果および表面ひび割れの抑制を目的に適用した。

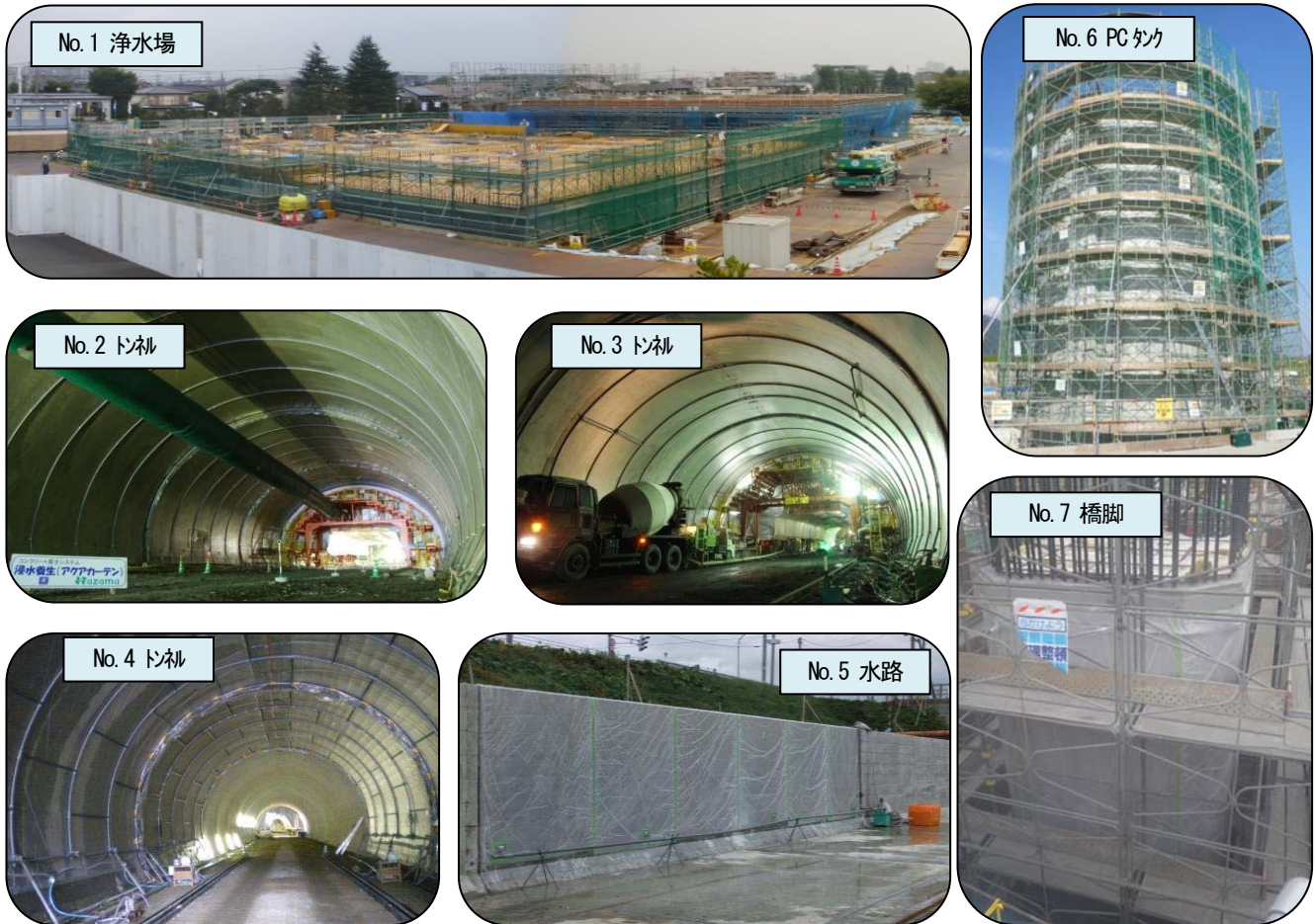


写真-3 アクアカーテンを適用した主な構造物

7. あとがき

最近、種々の養生方法がコンクリートの緻密性に及ぼす研究が進められ、コンクリートの養生の大切さが再認識されている。外気と接する表面付近のコンクリートの品質を高め、中性化を抑制したり、塩化物イオンなどの鉄筋腐食因子の侵入を抑制することが鉄筋コンクリート構造物の長寿命化に役立つものと考えられる。

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面への給水養生を可能する浸水養生工法は、コンクリート面に水膜を形成させることから、あたかも水中養生に匹敵する養生効果を期待できる。

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いっても良く、本工法が、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。

本工法は、平成 23 年度土木学会賞(技術開発賞)ならびに 2012 年日本コンクリート工学会賞(技術賞)を受賞しており、土木工学という幅広い分野の学識経験者やコンクリート工学の専門分野の研究者、技術者から高い評価を頂いている。

なお、アクアカーテンの普及に当たっては、NETIS 登録を完了し(登録番号 HR-110011-A)、アクアカーテン普

及会 (<http://www.aqua-curtain.jp>) を通じて広く情報を提供している。

参考文献

- 1)古川幸則, 福留和人, 庄野昭: コンクリートの浸水養生システムー型枠取りはずし後の給水養生工法の実用化と効果ーコンクリート工学, Vol. 49, 2011. 3, pp. 21-28
- 2) (社) 日本コンクリート工学会: 「コンクリートの施工技術の基本」に関する検討会討論資料, pp. 11-16, 2010. 7
- 3)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
- 4)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
- 5)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
- 6)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
- 7)林俊彦, 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

