

三遠南信 20 号橋の施工

— ミスト養生を用いた PC 橋の継続養生 —

國富 康志*1・松尾 朋春*2・下貞 典之*3・浅井 聡*4

三遠南信 20 号橋は、三遠南信自動車道のうち長野県飯田市に位置し、山間部に架橋する PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋である。三遠南信自動車道は、愛知県豊橋市を中心とする三河地域の「三」、静岡県浜松市を中心とする遠州地域の「遠」、長野県飯田市を中心とする南信州地域の「南信」をそれぞれ示しており、県境を越えた広域ネットワークの形成により、ライフラインも含めた地域交流に重要な役割を期待されている道路である。近年の土木構造物への社会的要求として、構造物の長寿命化、高耐久化が求められているなか、本橋のような片持ち張出し架設でのサイクル施工である条件においても、工程に影響を与えず型枠解体後の継続養生を実施することによる、さらなる品質・耐久性向上を目的に、ミストを用いた養生を実施した。本稿では、三遠南信 20 号橋にて実施したミストを用いた養生について、施工方法とその効果確認結果について報告する。

キーワード：ミスト養生、品質向上、耐久性向上

1. はじめに

コンクリート部材に関して、養生工は部材の品質・耐久性に大きな影響を与える要因の一つであり、長期間養生を継続することで品質・耐久性のさらなる向上につながる。しかし、PC 構造物において、プレストレス導入のため早期に型枠を取り外す必要があることや、張出し施工のようなサイクル施工の場合は、工程順守のために長期間の継続養生を実施することは困難である。そのような背景のもと、ミストを用いて型枠解体後の露出したコンクリート面を養生（以下、ミスト養生と記載）することにより、工程に影響を与えず継続養生を実施することを試みた。

ミストは粒子が細かいため、風の影響を大きく受ける特徴を有している。そこで、現場で施工される PC 橋におけるミスト養生の有用性確認を行うにあたり、はじめに、外気にさらされる環境下においてミストを利用して高湿度環境を確保できるかを検討した。その後、同環境下でミスト養生を実施した場合のコンクリートの品質・耐久性向上効果を確認しており、その検討内容を報告する。

2. 橋梁概要

橋梁概要を以下に示し、構造一般図を図 - 1 に示す。

工事名：三遠南信 20 号橋 PC 上部工事

工期：2013 年 2 月～2014 年 1 月
(張出し施工は 9～12 月)

構造形式：PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋

橋長：123.000 m

支間長：60.70 m + 60.70 m

有効幅員：12.00 m

横断勾配：2.0 %

縦断勾配：5.0 %

架設工法：片持ち張出し架設（14 ブロック）

3. ミスト養生の概要

3.1 ミストの粒径と噴霧方法

ミスト養生は、50 μm 以下の粒径の霧を、養生を実施するコンクリート周辺に噴霧し、コンクリート部材周辺を高湿度環境に保つことで、コンクリート表面からの水分逸散を抑制する養生方法である。ミストの粒径として、一般的な使用用途を表 - 1 に記載するが、ミストの粒径と養生に関して、粒径が細かいミストは、長時間にわたり気中に漂うことが可能であるが、風によって飛ばされやすい。逆に、粒径が大きくなると風の影響は受けにくい、地面に落ちやすくなる。これらの特徴を考慮し、養生を実施するコンクリート周辺の高湿度状態を確保するものである。

ミストの噴霧方法としては、水圧を利用して比較的狭い範囲を対象としたノズルパイプ方式（写真 - 1）や、送風機を利用して遠方までミストを飛ばして広い範囲を対象と

表 - 1 ミスト粒径の概要

ノズル 粒 径 (ミクロン)	05	10	20	30	40
水量 cc/min 6 MPa時	30	40	76	125	152
水量 cc/min 7 MPa時	35	46	89	145	178
推奨用途	熱中症対策				
	加湿 (ウイルス対策)				
	浮遊粉塵			粉塵対策	

— ミスト養生使用粒径 —

*1 Yasushi KUNITOMI：(株)安部日鋼工業 技術工務本部

*2 Tomoharu MATSUO：(株)安部日鋼工業 中部支店

*3 Noriyuki SHIMOSADA：エスアールジータカミヤ (株) 営業本部

*4 Satoshi ASAI：国土交通省 中部地方整備局

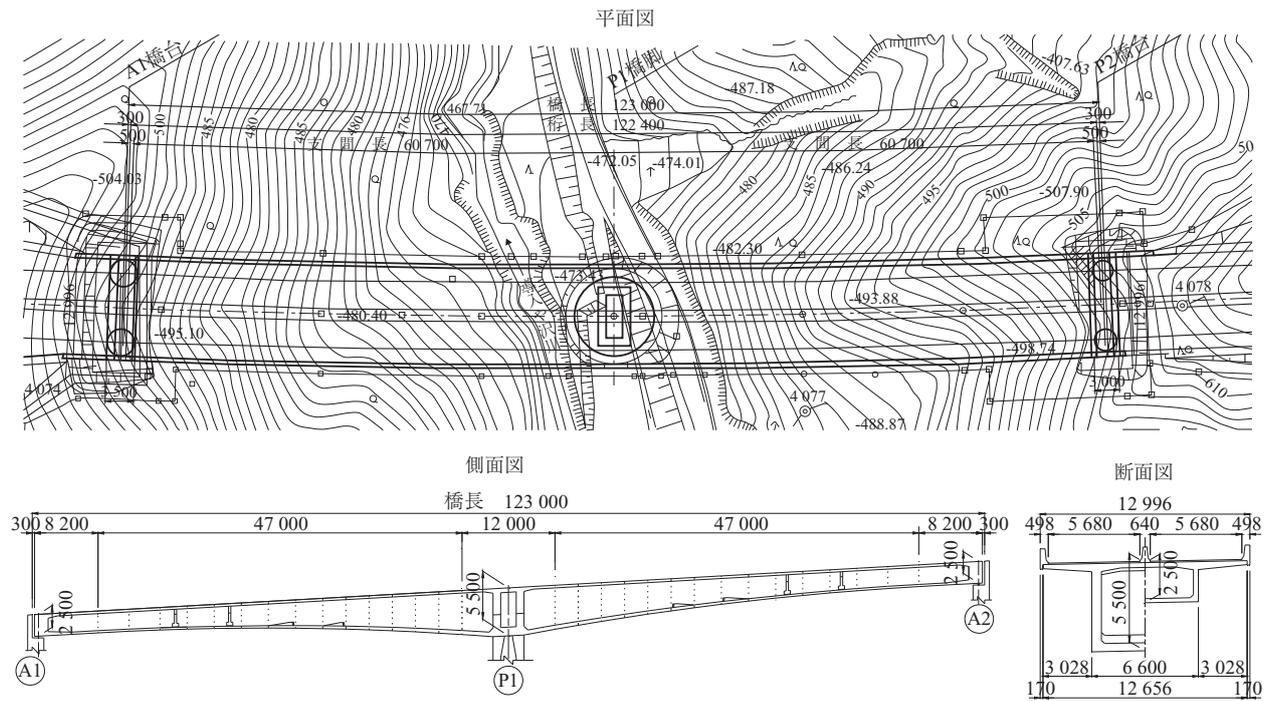


図 - 1 構造一般図

するバズーカノズル方式 (写真 - 2) などがある。

本橋はワーゲン (移動作業車) を用いた分割施工であるため、1度の施工範囲が比較的狭い。そこで、ノズルパイプ方式を採用し、ミストを噴霧させるノズルパイプを足場支保工に設置してミスト養生を実施した (写真 - 3)。



写真 - 1 ノズルパイプ 写真 - 2 バズーカノズル

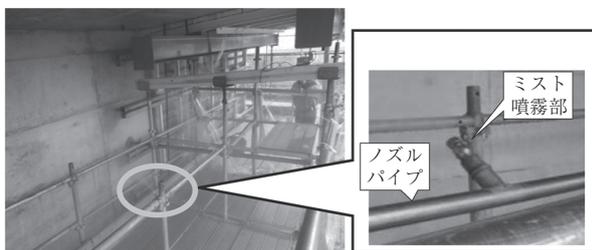


写真 - 3 現場ミスト噴霧状況

ここで、ミスト養生の大きな特徴として、養生を実施しながら、対象部の仕上げ作業を平行して実施可能なことである。また、PC橋の施工において、PC鋼材緊張作業の関係で早期に型枠の解体が必要となるが、ミスト養生を用いた場合、型枠の解体直後から養生を開始できるため、場所

打ちのPC橋には適した養生方法だと期待できる。

3.2 ミスト養生専用シートによる密閉方法

現場でのミスト養生は、張出し施工区間を対象としている。選定理由として、張出し施工ではサイクル施工となるため、工程の関係から、型枠置留などの継続養生が困難となるためである。ミスト養生は型枠解体後のコンクリート面を対象とするため、養生設備はワーゲン移動後の型枠解体部 (旧施工ブロック) となる、ワーゲン後方足場へ設置した。

ここで、養生にミストを利用するためには、噴霧したミストが風の影響を受けず、長時間空气中に漂っている必要があり、ミスト養生を実施する空間に直接風が吹き込まないようにしなければならない。その対応策として、ミスト養生の対象となる躯体周辺のみを専用シートで囲うこととし、その内部にミストを噴霧した (図 - 2)。躯体周辺のみをシートで囲うのは、噴霧するミストの量を極力抑制するためである。

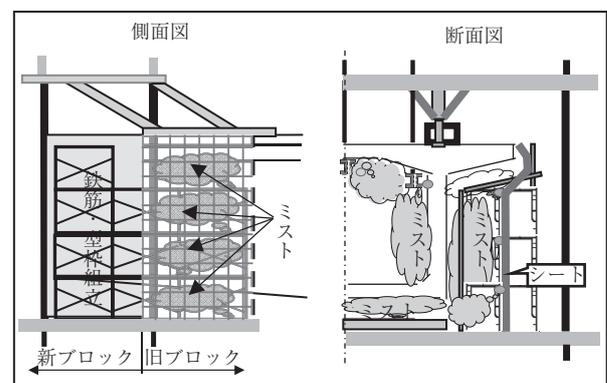


図 - 2 現場でのミスト養生イメージ図

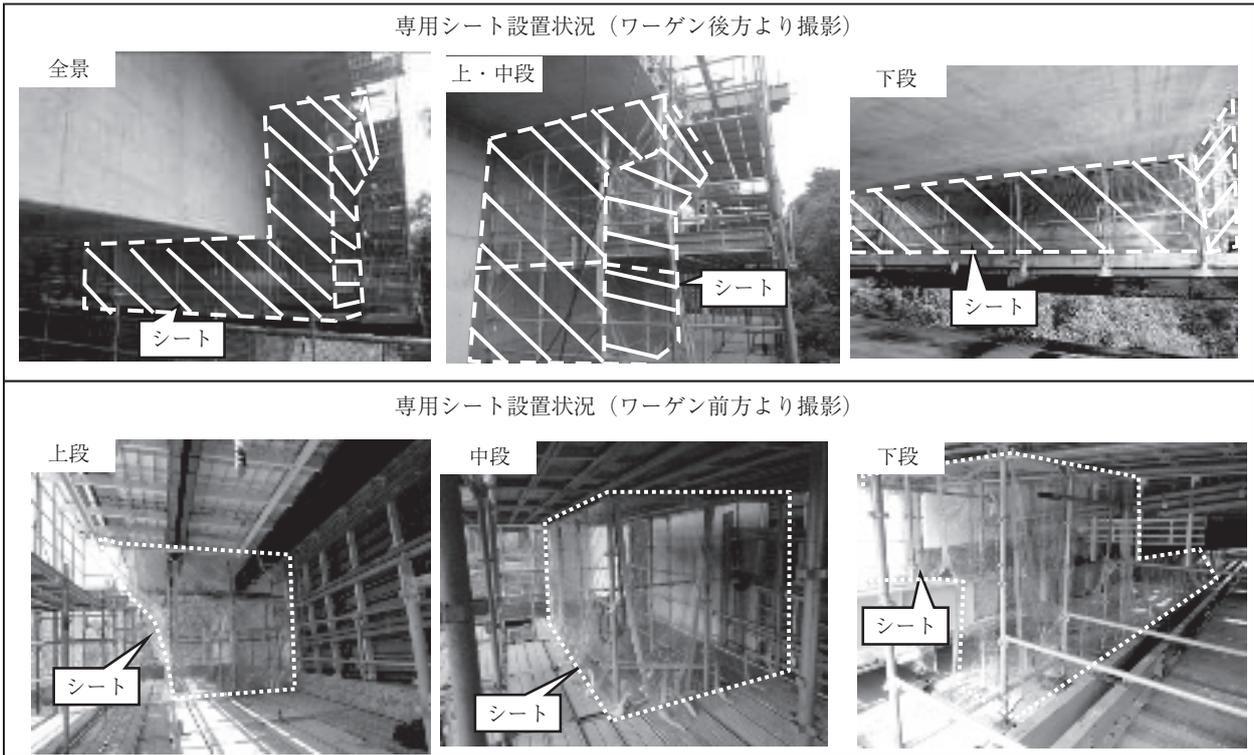


写真 - 4 現場での専用シート設置状況

現場で用いた養生用の専用シートは、以下の4項目に配慮して準備しており、現場でのシート設置状況を写真 - 4 に示す。

- ① シート寸法：現場で使用するクサビ式足場に合せて、シートの幅を1800mmと900mmとし、現場でのシート設置作業の効率化を図った。
- ② シート同士の連結：シートの4辺(上下左右)に面ファスナーを設置して、シート同士の連結部の密閉性向上を図った。
- ③ シートの色：ミスト養生を実施する空間内では、仕上げ作業などを平行して実施するため、安全性を考慮して内部が見える透明の材料を用いて、視認性の向上を図った。
- ④ 桁高変化への対応：桁高変化に伴ない、桁下面のシート設置高さが変化するため、伸縮可能なポールを用いて桁下面にシートを密着させることで桁高変化に対応した。そのため、シート設置高さを自由に変えられるように、桁下方部に使用するシートは前述の「①シート寸法」とは異なる、長物のシートを準備した。

3.3 給水方法

ミスト養生を実施するためには、水の供給が常時必要であったが、本現場は水道水が無い状況であったため、水タンクを用いて給水を行った。ただし、本橋は橋脚高が30m程度あり、ミストを噴霧するポンプの性能上、ポンプを橋面上に設置することが望ましかった。そこで、水タンクを地上の施工ヤードと、柱頭部の2箇所に設置し、散水車で地上の水タンクに直接水を供給し、橋面上の水タンクには、水位が低下したら地上の水タンクから自動で供給

されるシステムを構築し、ミスト噴霧用のポンプへ給水した。また、ポンプからミストを噴霧する養生位置へは耐圧ホースで送水するが、その養生位置は張出し施工と伴に前方へ移動していく。そのため、耐圧ホースは最大張出し時の長さを考慮して、必要長さを事前に設置しておくことで、張出し施工にともなう耐圧ホースの延長作業を排除した。また、ミスト養生を実施する空間内では、仕上げ作業を平行して実施するため、養生空間内に噴霧される水が人体に影響を与えないようにする必要があった。そこで、供給する水は飲用可能な地下水を利用し、さらには橋面上の水タンクとミスト噴霧用のポンプの連結部にはフィルターを設置して対応した(写真 - 5)。

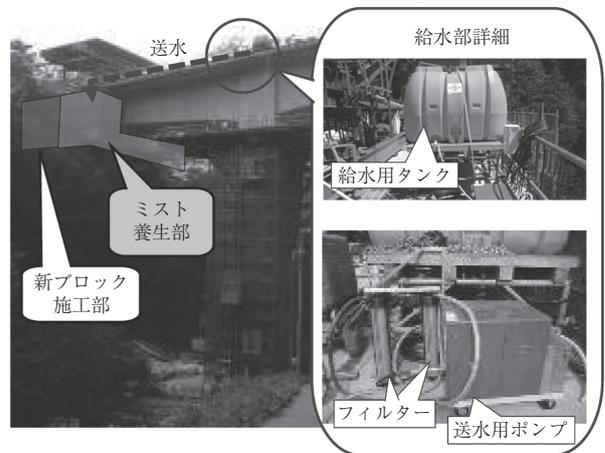


写真 - 5 現場でのシート設置状況

4. 計測概要

ミスト養生では、養生範囲を高湿度に保つことがもっとも重要となる。そこで、ミスト養生によるコンクリート品質への効果を確認する前に、ミスト噴霧による養生空間内の湿度保持性能を確認(写真-6)し、その後に、コンクリートの品質・耐久性への効果確認を実施した。湿度計測はミスト養生の要となるため、ミスト養生実施期間はずねに計測を実施した。ここで、高湿度とは相対湿度95%以上(JIS A 1132において、水中養生と同程度の養生環境と記載されている相対湿度)¹⁾を目標値としている。

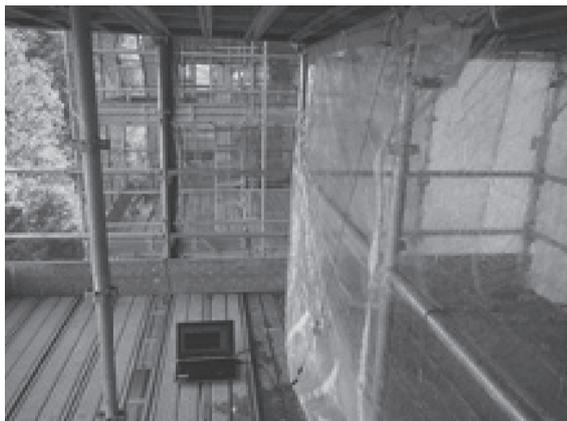


写真 - 6 養生空間内湿度計測状況

4.1 効果確認試験項目

○湿度計測：ミストによる養生空間内の高湿度保持性能を確認するため、養生設備内の湿度計測には、高湿度対応の湿度計を使用し、計測は養生期間中、定間隔の自動計測にてつねに計測した。現場での湿度計測位置を図-3に示す。

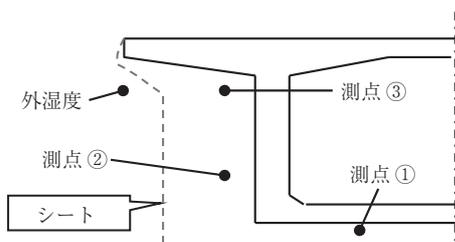


図 - 3 湿度計測位置図

○品質・耐久性試験：ミスト養生によるコンクリートの品質・耐久性への効果を確認するため、次項に記載する3パターンの養生方法に対して比較検討を行った。実施した品質・耐久性確認試験を以下に示す。

- i) 圧縮強度試験 (JIS A 1108 に準拠) …材料特性値への影響確認 ($\phi 100 \times 200$ mm の円柱供試体)
- ii) 質量変化率試験 (脱枠時質量に対する変化率) …コンクリート保水性確認 (圧縮強度用供試体を利用)
- iii) 表面透気試験 (トレント法) …コンクリート表面の緻密性確認 (600×200 mm, 厚さ 100 mm の矩形供

試体)

4.2 供試体種類

ミスト養生による効果を確認するため、供試体の種類は型枠解体後の養生方法を変えて制作した。供試体の種類としては、ミスト噴霧空間内で養生を実施する供試体(以下、ミスト養生と記載)と、現場施工に合せた養生方法(以下、気中養生と記載)、理想的な養生方法として水中に浸漬させた供試体(以下、水中養生と記載)の3種類であり、制作した供試体の種類を改めて以下に示す。

- i) 気中養生…型枠解体後、気中に暴露。
- ii) ミスト養生…型枠解体後、ミスト噴霧空間に暴露。
- iii) 水中養生…型枠解体後、現場に設置した簡易プールの中に浸漬。

供試体の養生期間は、図-4に示すように材齢3日目までは打設面を養生マットで覆い型枠を存置させ、型枠の解体後から各種異なる養生方法を実施した。また、養生は材齢7日までとし、養生時および養生終了後において、日射の影響を回避するため、養生時は桁下のつねに日陰となる位置で養生を行い、養生後は屋内にて暴露を材齢28日まで実施した。

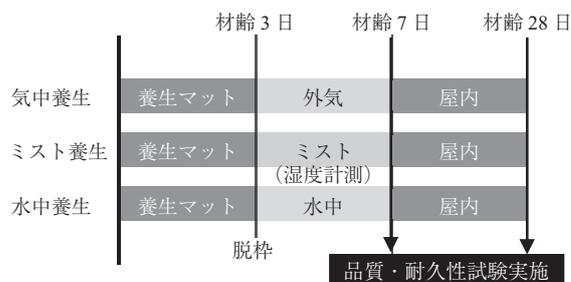


図 - 4 試験体ごとの養生工程

各種試験の実施時期としては、圧縮強度試験と質量変化率試験は、材齢7日と材齢28日に実施した。また、表面透気試験は、供試体の水分保有量が計測結果に影響を与えるため、養生終了直後の材齢7日は実施せず、材齢28日だけの計測とした(写真-7)。



写真 - 7 透気係数計測状況 (材齢28日)

5. 計測結果

5.1 湿度計測

現場での養生空間内の湿度保持性能確認は、張出施工開始前のワーゲン組立完了後、柱頭部の主桁部を利用して、湿度計測を実施しており、計画時のミスト噴霧量で満足するかを事前確認した。ここで、計画時のミスト噴霧量は、養生空間の容積を満足するように算出（1 m³あたり1 cc/分必要）し、養生空間内の換気（風の影響など）が5回行われると仮定して決定した。その結果、噴霧方法として、1分間のミスト噴霧後、5分間休止させる間欠運転とした。間欠運転は、送水用ポンプにタイマーを設置することで対応している。ただし、夜間は気温が下がりミスト噴霧量を減らしても湿度が比較的安定するため、休止時間を8分とした。

(1) 事前計測結果

柱頭部の主桁部を利用して行った事前確認計測結果を図-5に示す。ここで、図に記載している材齢の日数は、実施工時において材齢3日目から7日目までミスト養生を実施するため、それに対応させた標記であり、事前確認時にもミスト養生によって継続養生を実施したものではない。

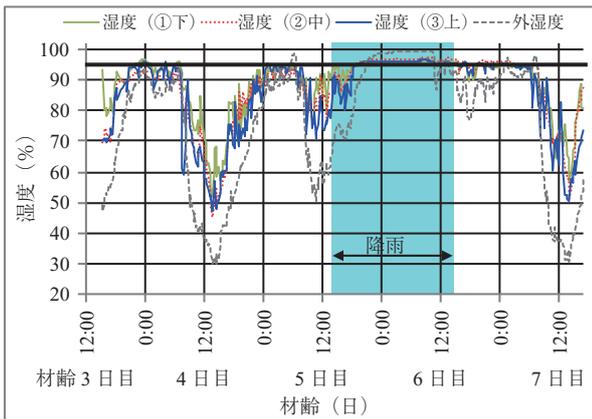


図 - 5 湿度計測結果（事前計測）

計測結果より、夜間において湿度95%以上確保できたのは、降雨の期間のみであった。また、昼間は大きく湿度が低下しており、噴霧量が不足する結果となった。不足した要因としては、主桁と専用シートの間だけに隙間があり、完全な密閉性を確保することができていなかったためと考えられる。ただし、外気の湿度に比べると昼間において10%以上の増加傾向があり、ミストの噴霧量を増加させることで高湿度環境を確保できる可能性はあると考えられた。そこで、昼間のミスト噴霧に関して、常時ミストを噴霧することで、ミスト噴霧休止時における湿度低下を回避し、養生空間の高湿度環境の確保を図った。また、夜間においては間欠時間を1分間の噴霧と5分間の休止とすることでミスト噴霧量を増加した。その結果、昼夜をとおしておおむね95%以上の高湿度環境を確保することが可能となり、その結果は次項の供試体養生時の湿度計測結果（図-6）として記載する。

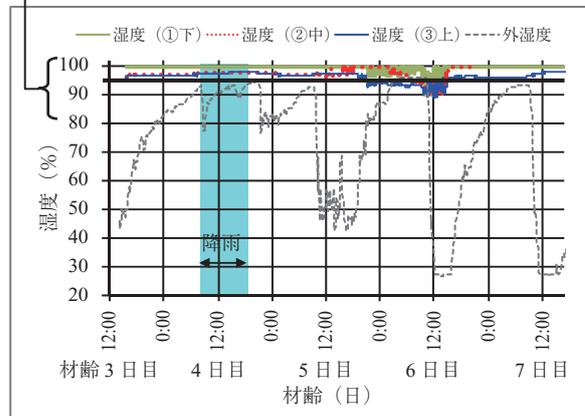
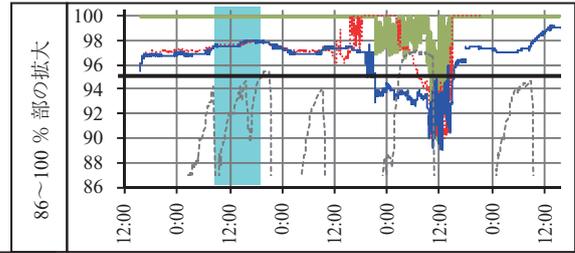


図 - 6 湿度計測結果（供試体養生時）

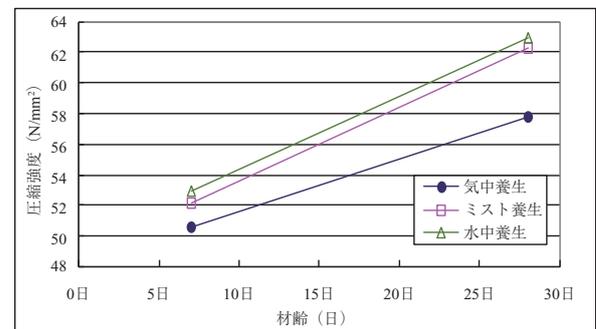
(2) 供試体養生時の湿度計測結果

張出し施工区間の実施工では、前述した変更後のミスト噴霧条件で継続養生を実施しており、供試体製作時の湿度計測結果を図-6に示す。

計測の結果、昼間の温度上昇にともなって外気の湿度は急激に減少するが、ミストの噴霧により養生空間内は、おおむね湿度95%以上を確保できており、ミスト噴霧量の変更と、専用シートで養生空間を覆うことで、高湿度環境を確保することができた。

5.2 圧縮強度試験

試験結果を図-7に示す。気中養生の試験結果に対する比率として、ミスト養生の供試体は材齢7日で3%、材齢28日で8%程度向上する結果であった。また、水中養生の供試体は、ミスト養生の供試体よりも圧縮強度はさら



材齢	気中養生	ミスト養生		水中養生	
	①圧縮強度 (N/mm ²)	②圧縮強度 (N/mm ²)	気中との比率 ②/① (%)	③圧縮強度 (N/mm ²)	気中との比率 ③/① (%)
σ7	50.6	52.1	103.0%	52.9	104.5%
σ28	57.8	62.3	107.8%	62.9	108.8%

図 - 7 圧縮強度試験結果

に向上しているが、その差はわずかであり、ミスト養生を実施することで水中養生と同程度の効果を得る結果となった。

5.3 質量変化率試験

試験結果を図-8に示す。質量変化率は、材齢3日目の型枠解体時に質量を計測しており、その結果を基準値として変化率を算出している。ミスト養生および水中養生では、材齢28日の質量減少率が0.1%と僅かであり、気中養生の0.5%減少と比較すると、改善が図られた結果となった。また、材齢7日と材齢28日の質量減少率に着目した場合、ミスト養生と水中養生が、気中養生と比較して変化量が多い。これは、若材齢時である養生期間中に部材内部の水分が逸散せず保水されていたため、養生終了後の更なる水和反応と表面からの乾燥による水分逸散量が多くなったものと考えられる。これは、圧縮強度試験結果において強度発現の増加量が、気中養生よりもミスト養生と水

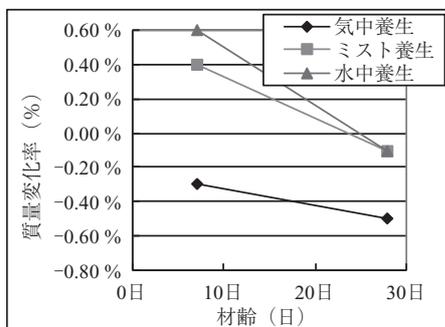


図-8 質量変化率試験結果

中養生の方が大きくなっていることから、推測される。

5.3 表面透気試験

試験結果を図-9に示す。計測を実施したコンクリートの水セメント比が38%であったため、すべての養生方法で透気係数が小さい計測結果となっており、気中養生に関しても良好な数値である。ただし、それぞれの結果の相対比較を行うと、ミスト養生を実施した場合、気中養生よりも30%低減する結果であった。また、圧縮強度試験や質量変化率試験結果と同様に、ミスト養生は水中養生と同程度の結果となっている。ただし、透気係数試験の特徴としては計測値が1桁オーダーの差がなければ、計測結果として、その差を確認できたとはいえないのだが、前述した圧縮強度試験と質量変化率試験結果と同様の傾向を示しており、ミスト養生による効果は確認できる結果と思われる。

6. おわりに

湿度計測では、外気の影響を受ける場所打ちPC橋梁の

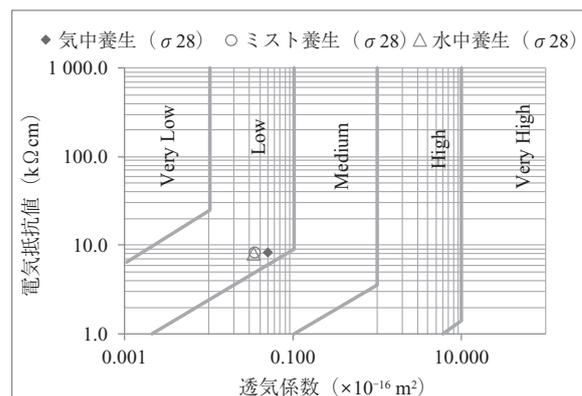


図-9 表面透気試験結果

現場においても、ミスト養生を実施するために必要となる高湿度環境を確保することが可能であることを実証できた。ただし、今回ミストを用いた養生空間の湿度計測を実施したのは長野県飯田市であり、比較的気温が低い地域であったため、気温が上昇する昼間においても湿度95%以上をおおむね確保できているが、温暖な地域など昼間の温度がより高くなる地域では、ミストの噴霧量を多くする必要がある。また、ミストの気化熱によって養生空間内は外気温よりも低くなるが、密閉された空間であるため、日射を受けると外気よりも温度が上昇してしまう可能性がある。そのため、温暖な地域ではシートに直接日光を当てないなどの工夫が必要と思われる。また、冬季においてもミストの気化熱によって温度は低下すること、噴霧するミストが凍結してしまうおそれがあるため、寒冷地で使用する場合には吸熱などの対策が必要と思われる。

現場打ちにおいても養生空間の高湿度環境を確保し、脱枠後から材齢7日までミスト養生を実施することにより、品質・耐久性試験において、気中養生よりも水中養生に近い結果が得られ、現場の養生でも水中養生と同程度の効果を得ることができ、ミスト養生の有効性を確認することができた。

最後に、ミスト養生の実施および計測に協力いただいた関係者の方々に改めて感謝申し上げますとともに、本報が場所打ちPC橋のさらなる品質・耐久性向上のための一助となれば幸いです。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [基準編 JIS 規格], 2013

[2014年11月18日受付]