

## 蒸気養生で製造されるコンクリートの表層品質

オリエンタル白石(株) 技術研究所 正会員 ○中村 敏之  
オリエンタル白石(株) 関東工場 北澤 利春  
オリエンタル白石(株) 東京支店 佐々木良太  
愛知工業大学 工学部都市環境学科 正会員 呉 承寧

Abstract : The pre-tensioned prestressed concrete members manufactured by steam curing receives a high temperature in very early ages, therefore, hydration of cement in the concrete is accelerated and high strength can be achieved in early ages. However, quality, such as long-term strength and durability of concrete is deteriorated. In order to satisfy both manufacture efficiency and quality, the setting situation of concrete at start of steam curing becomes important. So, some Proctor penetration resistance tests on the concrete placed in different temperatures at start of steam curing were carried out to investigate relationship between setting situation of concrete and surface quality of the concrete. The surface quality of the concrete was checked by the gas permeability test and water permeability test. As a result, it is clear that there is a good relationship between Proctor penetration resistance and surface quality of the concrete.

Key words : Pre-tensioned girder , Steam curing , Proctor penetration resistance, Surface quality

## 1. はじめに

プレテンション桁などの工場製品は蒸気養生で製造される場合、温度促進により水和が促進されることから早期強度が大きくなり、翌日に脱型・プレストレス導入ができる。一方で、初期に高い温度を受けるため、ペースト硬化体が粗となり、長期強度や耐久性などの品質が低下するといわれている<sup>1)</sup>。そのため、製造効率と品質を満足するためには蒸気による促進を開始するまでの前置き時間が重要となる。前置き時間の決め方について、道路橋用橋げた設計・製造便覧<sup>2)</sup>における記載ではコンクリートの練り混ぜ後から3時間以上たってから蒸気養生を開始するものとし、また、温度の上げ方を15°C/h以下、最高温度を65°C以下としている。これは、コンクリートの凝結・硬化の過程で、高温を与えることが表層品質などに影響を及ぼすことを意味していると考えられるが、その具体的な知見は少なく、現状では前置き時間を製造効率のなかでできるだけ長くとりなど経験的・定性的に決定している。その結果、製造便覧に従って蒸気養生を行っても、硬化後の仕上げ面に浮きや剥がれ(写真-1)など、外観を損なうような現象が見られる場合がある。特に前置き時間が短い場合や冬季製造の場合に顕著となる傾向が見られることから、コンクリートがまだ未熟な状態で蒸気養生による温度促進がされることが原因であると推察された。

そこで、前置き時間を要因としたコンクリート供試体を製造し、仕上げ面の浮きと剥がれの発生状況を確認することとした。さらに、各供試体で浮きや剥がれの有無とその程度による表層品質を測定し、その品質にもとづいた前置き時間を定量的に決定する根拠を示すための実験を実施することとした。



写真-1 硬化後の仕上げ面の剥がれ

## 2. 仕上げ面の剥がれの発生状況の確認

硬化後の仕上げ面の剥がれについて、その発生状況を試験体で再現して、コンクリート表面の状態を経過観察した。試験条件を表-1に示す。コンクリートはプレテンション桁で通常に使用している配合(50-12-20H)とし、前置き時間を3.5時間として、蒸気養生を恒温恒湿装置で再現した。写真-2に剥がれの発生状況を示す。練上りから3.5時間で表面に斑模様が見られ、4時間15分後にコンクリート内部からの水の析出が見られた。その15分後には析出した水がコンクリート表面の薄い膜を押し上げ、剥がれの原因となる浮きの発生が進行していった。また、観察と同時にプロクター貫入抵抗値を測定したところ、始発が4時間であった。このことから、始発前の未熟な状態で、自己発熱以外の外的な温度促進がされたことにより、浮きが生じたと推測された。つまり、前置き時間(促進開始時)と凝結の程度が剥がれの原因に関係しているものと考えられた。

## 3. 前置き時間と凝結の関係に関する実験

### 3.1 実験概要

前置き時間や凝結が剥がれに与える影響を確認するため、前置き時間を要因としたコンクリート試験体を複数作製した。凝結は環境温度により大きく異なるため、外気温25℃の夏季(シリーズI)と外気温10℃の冬季(シリーズII)の2種類の環境条件で実験を行った。前置き時間はシリーズIでは3~5.5時間の範囲で30分毎に6ケース、シリーズIIでは6.5~10時間の範囲で30分毎に8ケースとした。各試験体の前置き終了時のプロクター貫入抵抗値を測定し、前置き時間、凝結、剥がれの関係を整理した。

### 3.2 実験結果

試験体の種類と前置き終了時のプロクター貫入抵抗値を表-2に示す。凝結の始発は、シリーズIで4時間3分、シリーズIIで7時間16分であった。写真-3に試験体S1~S4およびW1~W4の硬化後のコンクリート表面の状態を示す。剥がれはS1, S2, S3, W1, W2に生じており、シリーズIでは前置き4~4.5時間、シリーズIIでは前置き7~7.5時間を境に前置き時間が短い場合であった。また、シリーズIおよびシリーズIIともに前置き時間が短いほど剥がれの面積と深さが大きかった。これをプロクター貫入抵抗値でみると、シリーズIでは3.45~8.15N/mm<sup>2</sup>、シリーズIIでは2.90~4.05N/mm<sup>2</sup>であり、シリーズI, IIともほぼ同様な凝結の程度であった。つまり、剥がれの発生は環境温度や前置き時間で決定するよりも、直接的に前

表-1 試験条件

試験条件		種別
試験体形状		350×350, 厚さ200mm
配合		50-12-20H
外気温		20℃ (試験室)
練上り温度		25℃
蒸気養生	前置き時間	3.5時間
	温度勾配	15℃/時間
	最高温度	55℃

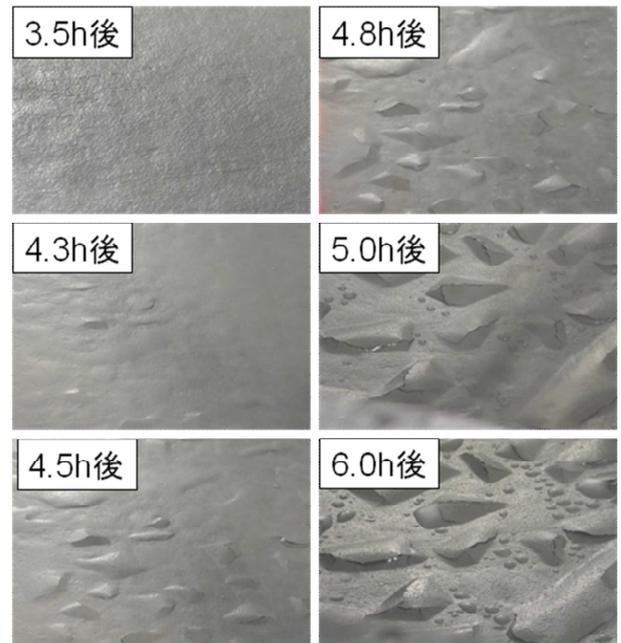


写真-2 剥がれの発生状況

表-2 試験の種類

シリーズI			シリーズII		
試験体 No.	前置き時間 (h)	貫入抵抗値 (N/mm <sup>2</sup> )	試験体 No.	前置き時間 (h)	貫入抵抗値 (N/mm <sup>2</sup> )
S1	3.0	2.27	W1	6.5	2.20
S2	3.5	3.05	W2	7.0	2.90
S3	4.0	3.45	W3	7.5	4.05
S4	4.5	8.15	W4	8.0	5.40
S5	5.0	19.90	W5	8.5	6.30
S6	5.5	36.00	W6	9.0	7.50
-	-	-	W7	9.5	11.00
-	-	-	W8	10.0	13.60

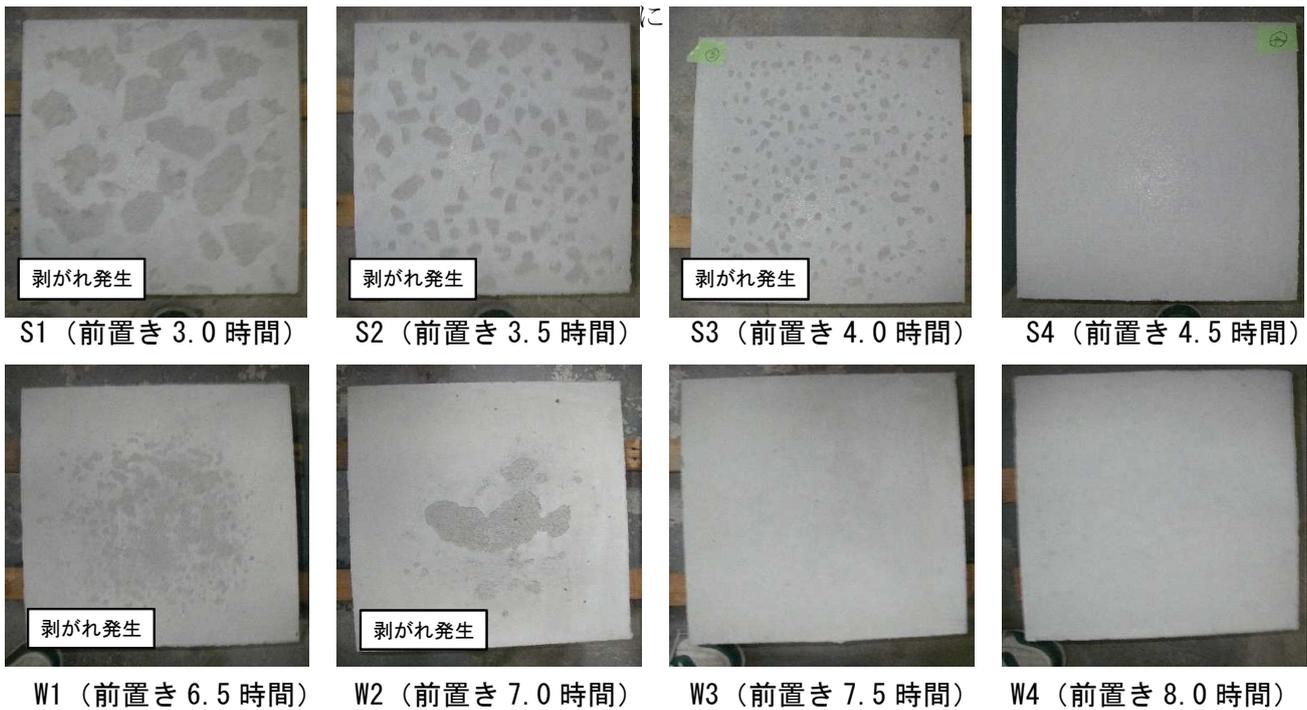


写真-3 硬化後のコンクリート表面の状態

置き終了時の凝結の程度に関連し、およそ凝結始発付近を境に剥がれの有無が分かれたと考えられる。したがって、剥がれを生じさせない前置き終了時の凝結の程度は、シリーズ I, II の結果からプロクター貫入抵抗値  $3.45 \sim 4.05 \text{ N/mm}^2$  であることがわかった。

#### 4. 硬化後の表層品質の測定

##### 4.1 前置き時間・凝結と表層品質の関係

実験結果から剥がれの程度は凝結の程度（プロクター貫入抵抗値）と相関していることから、表層品質などの耐久性もそれに関連していると推察される。そこで、硬化後の各試験体の表面の透気係数と透水量を測定した。透気係数はトレント法で測定し、透水量は JSCE-K 571-2010 表面含浸材の試験方法（案）<sup>3)</sup>にもとづいて、材齢 7 日に透水を開始し、7 日間測定した。測定箇所はいずれも各試験体の仕上げ面の 2 か所とした。図-1 に透気係数および透水量とプロクター貫入抵抗値の関係を示す。それぞれ 2 点を除いては、前置き終了時のプロクター貫入抵抗値が大きいほど品質が向上する傾向が見られた。相関から外れた 2 点は S5 および S6 であった。本実験では、前置き中のコンクリート表面はシートなどで養生をしていないため、外気温  $25^\circ\text{C}$  の環境の中で、それぞれ前置き時間が 5 時間、

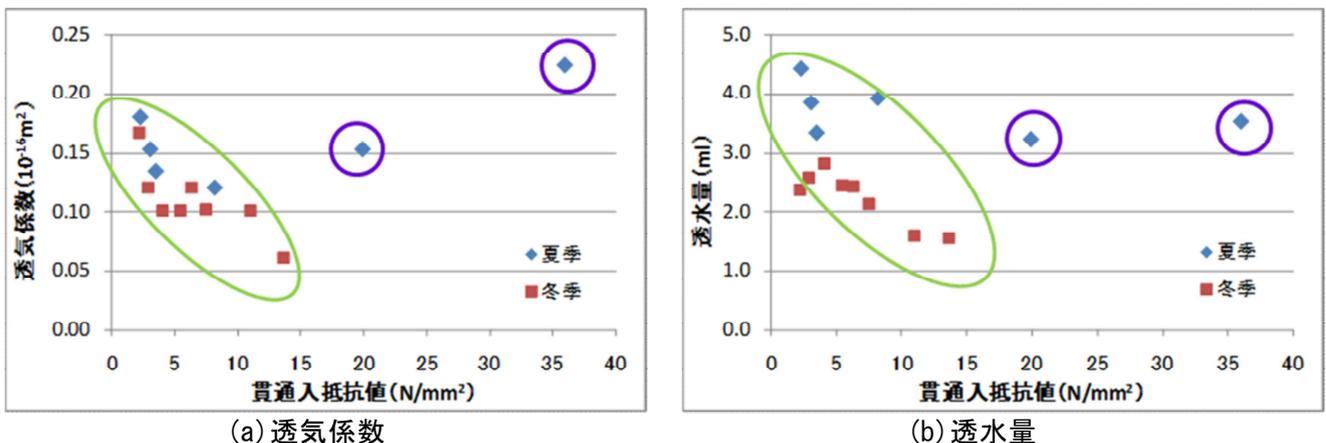


図-1 表層品質とプロクター貫入抵抗値の関係

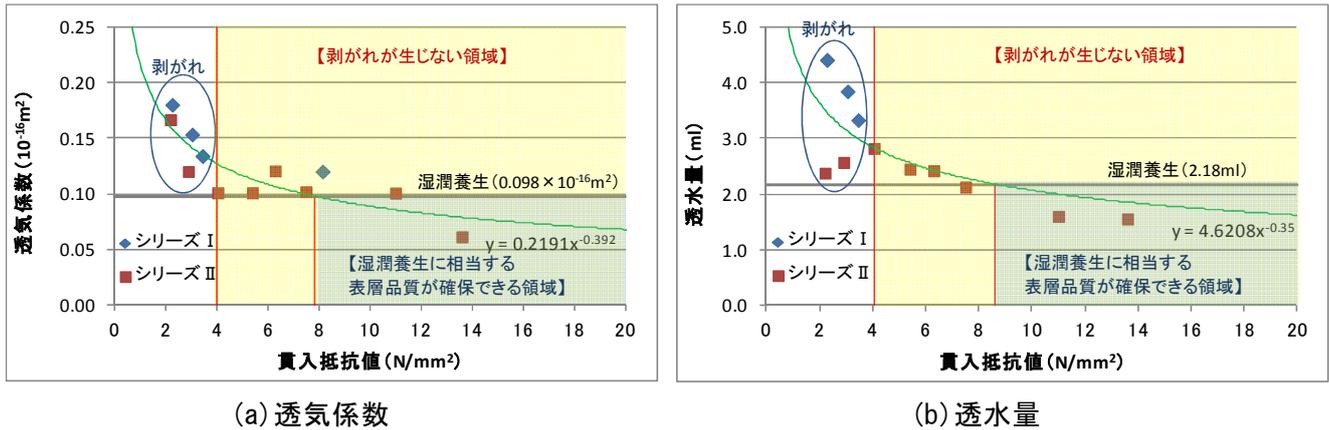


図-2 表層品質を満足するための凝結の程度

5.5 時間で、いずれもプロクター貫入抵抗値が 20N/mm<sup>2</sup> 程度以上であったことから、表層の乾燥によって品質が低下したものと考えられる。したがって、前置き時間を長くすることは表層品質を向上させる傾向にあるが、前置き中の表面には乾燥を防ぐ対策を行う必要があると言える。

#### 4.2 表層品質を確保するための前置き時間の定量的決定

表層品質を低下させない前置き時間を定量的に決定するため、別途に同じ配合のコンクリートを用いて、環境温度 20℃で湿潤養生した試験体の透気係数と透水量を測定した。その結果、透気係数が  $0.098 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、透水量が 2.18ml であった。図-2 に本実験で得られた透気係数および透水量とプロクター貫入抵抗値の近似式を示す。湿潤養生と同じ透気係数、透水量となるプロクター貫入抵抗値はそれぞれ 7.7N/mm<sup>2</sup>、8.5N/mm<sup>2</sup> であった。したがって、前置き時間を決定する定量的な根拠として、剥がれが生じない最低限の品質を保つためのプロクター貫入抵抗値の目安は 4.1N/mm<sup>2</sup> 以上、蒸気養生によって品質を低下させることなく湿潤養生と同等の品質を得るためのプロクター貫入抵抗値の目安は 8.5N/mm<sup>2</sup> 以上であると考えられ、このしきい値に従って前置きを終了し、温度促進を開始すれば、より品質の向上した製品を提供できることとなる。

#### 5. まとめ

本研究では、蒸気養生で製造されるコンクリートについて、硬化後のコンクリート表面の剥がれの原因と透気性・透水性を実験的に検討し、以下の知見を得た。

- 1) 再現実験により、硬化後の表層の浮きと剥がれは、蒸気養生においてコンクリートが発発前のまだ未熟な状態で前置きを終了し、温度促進をすることによることがわかった。
- 2) 前置き時間を要因とした複数の試験体を用いた実験では、前置き終了時の凝結の程度が剥がれと関係していることを示した。
- 3) 試験体の透気係数、透水量は、前置き終了時のプロクター貫入抵抗値と相関しており、それが大きいほど透気性・透水性が向上することがわかった。
- 4) 本実験の範囲では、前置き時間の決定は、剥がれが生じない最低限の品質を保つためにはプロクター貫入抵抗値4.1N/mm<sup>2</sup>以上、蒸気養生によって透気性・透水性を低下させることなく湿潤養生と同等の品質を得るためには8.5N/mm<sup>2</sup>以上を目安とすればよいことを定量的に示した。

#### 参考文献

- 1) 中村敏之, 北澤利春, 前田道孝, 東洋輔: 蒸気養生で製造されるコンクリートの温度上昇特性, プレストレストコンクリート工学会第22回シンポジウム論文集, 2013.10
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会: 道路橋用橋げた 設計・製造便覧, 2004.6
- 3) 土木学会: 2010制定コンクリート標準示方書[規準編], 2010.11