

V-569

鳥浜地区高架橋柱頭部におけるシースクーリングの適用（その1 基礎実験報告）

三井建設（株） 正会員 三厨 晋也 正会員 安芸 義兼
首都高速道路公団 正会員 吉原 忠 正会員 山口 正晃

1. はじめに

鳥浜地区高架橋柱頭部は鉄筋等が極めて密に配置されたP C構造物であるため高流動コンクリートを適用した。しかし同コンクリートでは水和発熱が大きく、その適用をふまえた予備解析では温度応力によるひびわれの発生が予想され、何らかのクーリング工法が必要となった。

一方、本構造物には図1のように橋軸直角方向に多くのシース（計98本）がある。そこで、これに空気を通すことによってクーリングを施すことができないかと考えたのが工法開発の発端であり、ここではその工法をシースクーリング工法と定義する。本報では室内・模擬試験、シースクーリングをふまえた予備解析と実施工への適用方法についての検討結果を報告する。

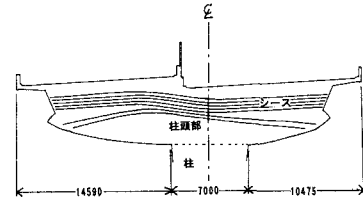


図1 鳥浜高架橋柱頭部シース配置図

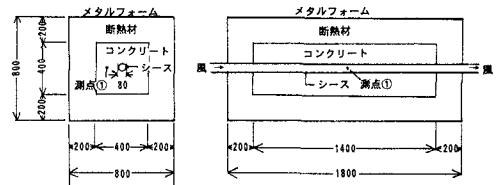


図2 室内試験体寸法図

2. 室内実験

2. 1 室内試験方法： 試験体の寸法を図2に示す。風は 0, 2, 7.5, 15m/sを設定し、コンクリート打設後約1週間与えた。計測は風速と温度に対して行った。試験用コンクリート材料には実施工にあわせて高炉セメントB種(500kg/m³)と高性能A E減水剤を用いた。

2. 2 2次元FEM温度解析方法： 温度解析ではシースクーリングの効果を対流境界すなわち熱伝達率とシース管内温度であらわすこととし、まず熱伝達率を室内試験結果と温度解析結果の比較により求めた。解析は図2左図をモデル化して行った。打設温度、断熱温度上昇曲線およびシース管内空気温度は実測値を用いた。シース管内の熱伝達率は土木学会標準示方書（施工編）の通常コンクリートの露出面の値を用いた。それらを表1に示す。その他の諸条件は通常の値である。

表1 各風速の熱伝達率

風速 (m/s)	熱伝達率 (kcal/m ² h°C)
0	0
2	12
7.5	25
15	48

2. 3 結果： 図2測定①の各風速での温度上昇量経時変化を図3に示す。ピーク時の温度上昇量は0m/sで約55°Cに対し 2m/sで約33°C、7.5 m/sで28°C、15m/sで約25°Cであり、シースクーリングの効果が確認できた。図4に各風速における計測と解析の温度上昇量最大値を示す。ほぼ一致しており、2次元FEM温度解析におけるシースクーリングの熱伝達率は土木学会標準示方書の値を用いて良いことがわかった。またシース入口から出口までの空気温度上昇量は風速2m/sの場合にピーク時で約6°Cあった。このことはシースクーリング効力の低下を意味し、注意すべき点である。

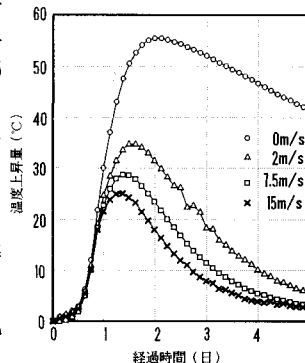


図3 各風速での温度上昇量変化

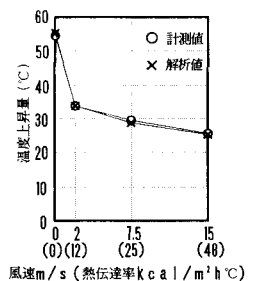


図4 各風速での計測と解析の温度上昇量の最大値

3. 模擬試験

3. 1 模擬試験方法： 模擬試験体は室内試験と同形状で大きくしたものを設定した。試験体はコンクリート部で $600 \times 600 \times 8000\text{mm}$ 、それに内径 70mm のシース管を1本通し、 200mm の断熱材と合板で覆った。風は $0.2 \sim 3\text{m/s}$ を設定し、コンクリート打設後約1週間与えた。配合は「その2 計測結果報告表1」と同等である。

3. 2 模擬試験体と実構造物の相似関係： 実構造物と模擬試験体の断面とシース本数の関係を表2に示す。シース1本あたりに受け持つ面積は 0.36m^2 であり、実構造物を解析上 22.5m^2 と仮定すると風を通すシースが約60本であれば相似することがわかる。長さも熱伝達率と風速の関係を表3に示す。長手方向に長くなれば熱を奪う能力も大きくならなければならない。模擬試験体の8mと実構造物の約30mの比は3.75倍であり、熱伝達率も3.75倍でなければならない。すなわち熱伝達率は $12 \times 3.75 = 45\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ となり、風速は $13 \sim 15\text{m/s}$ となる。すなわち実構造物において模擬試験体は 15m/s を約60本で与えた場合に相当する。

表2 断面積、シース本数及びそれらの比

	断面積 (中央) m^2	シース本数	断面積 シース本数
模擬試験体	0.36	1	0.36
実構造物	22.5	62	0.36

表3 長さ、熱伝達率と風速の関係

	長さ m	熱伝達率 $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$	風速 m/s
模擬試験体	8	10~12	2~3
実構造物	30	37.5~45	14~15
比率	3.75	3.75	6

3. 3 試験結果： クーリング有りの場合のコンクリート温度がほぼピークに達する材齢2.5日での空気、シース管、コンクリートの長手方向温度分布とクーリング無しのコンクリート温度の1例を図4に示す。クーリング無しと有りのコンクリート温度を比較して十分な効果を確認でき、相似関係より風速 15m/s でシース約60本であれば実構造物でも同様の効果が期待できる。空気温度はシース管入口から急激に上昇する。入口から出口まで約 30°C の上昇である。それとともにシースおよびコンクリートの温度も急激な勾配を持つ。コンクリートに勾配を持たせることは温度ひびわれ対策において好ましくない。したがって、構造物両端から同じ本数だけ同じ風速で与え、内部の勾配を平均化させることとした。

4. 試験結果の実構造物解析への適用

実構造物の予備解析では、図1 センターライン断面でFEM温度解析を行い、それを橋軸直角方向に分布させて応力解析を行った。すなわち、シースクーリング効果をふまえた実構造物に対する解析を行う場合、センターラインでの熱伝達率とシース管内空気温度を正確に設定する必要がある。熱伝達率は土木学会の値を用いれば良いが、シース管内空気温度を算術により求めるのは困難である。そこで、実構造物と模擬試験体の相似関係から熱伝達率には $48\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ (15m/s)を与え、シース管内空気温度には模擬試験での中央部での測定値から外気温をのぞいた値を前後24時間の移動平均して管内空気温度上昇量の経時変化として与えた。これらをふまえてシース管60本、熱伝達率およびシース管内温度に前述の値を適用して、送風期間を3.5日に設定して予備解析を行った結果、温度応力によるひび割れは解消できた。

5. おわりに

室内・模擬試験により次のことが判明した。

- ・シースクーリング工法の効果が確認できた。
- ・2次元FEM温度解析でのシースクーリングの効果は対流境界で与えることができる。
- ・熱伝達率には土木学会標準示方書の値を使用して良い。
- ・シース管内空気温度の上昇は注意すべき点である。

これらの結果、実構造物での施工方法は次のようにした。

- ・風速 15m/s とする
- ・実構造物両端から30本ずつ計60本で風を与える。
- ・送風期間は3.5日とする。

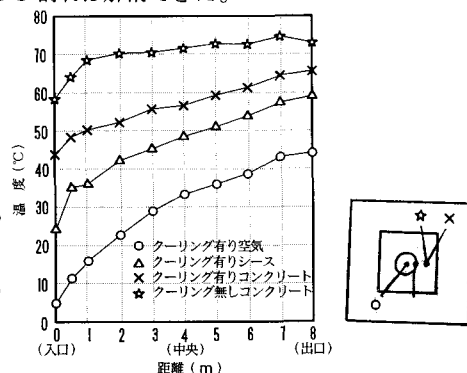


図5 材齢2.5日での長手方向温度分布