

首都高速中央環状線山手トンネル内の温度上昇抑制対策の概要

OUTLINE OF TEMPERATURE RISE FACTORS AND MEASURES IN THE YAMATE TUNNEL OF METROPOLITAN EXPRESSWAY CENTRAL CIRCULAR ROUTE

矢崎 巧¹

Takumi YAZAKI¹

This paper describes measures to suppress the temperature increase inside tunnels on urban roads. The Yamate Tunnel is a long tunnel extending a total of 18km in the center of Tokyo. About 8km of this tunnel is under construction. In the part which is now open, the tunnel interior temperature has increased during the summer. So we investigated and analyzed the causes of the temperature increase. To suppress the increase of the temperature, we installed mist spraying equipment inside the tunnel. This system successfully cooled the inside of the tunnel.

Key Words : Road tunnels, Temperature Rise Controlling Measures, Tunnel Ventilation System, Mist spraying

1. はじめに

首都高速中央環状線は、都心環状線に集中している高速交通の流入分散を目的として整備している。このうち西側区間に位置する山手トンネルは、重交通路線である高速3号渋谷線と高速5号池袋線を繋ぐため交通量も多く、また延長が約10kmと都市内の道路トンネルとしては我が国でも最大級の延長を有している。さらに現在整備を行っている中央環状品川線区間（高速湾岸線大井JCTから高速3号渋谷線大橋JCT）が供用すると全長が約18kmの日本一長い道路トンネルとなる。図-1に位置図を示す。

現状の山手トンネルは約10kmで9換気所（9区間）あり、横流換気方式にて換気を行っている。山手トンネル開通した平成22年の夏季にトンネル内温度が高くなる事象が確認されており、温度上昇抑制対策を行っている。

2. トンネル内温度上昇要因

(1) トンネル内温度上昇箇所の把握

平成22年度は、夏季より発生しているトンネル内温度上昇について、トンネル内の位置による温度状況を把握



図-1 山手トンネル位置図

するため、4パターンの換気運転時に、車両に設置した温度計にて移動しながらトンネル内温度を測定した。

パターン①トンネル全線：換気運転

パターン②トンネル前半区間：換気停止

後半区間：換気最大運転

パターン③トンネル前半区間：換気停止

後半区間：換気30%運転

パターン④トンネル全線：換気運転停止

キーワード：道路トンネル、温度上昇抑制効果、トンネル換気システム、ミスト噴霧

¹ 非会員 首都高速道路株式会社 保全・交通部 点検・保全計画課 係長 Chief, Inspection and Maintenance Planning Division, Maintenance and Traffic Management Department, Metropolitan Expressway Company Limited (E-mail:tyazaki814@shutoko.jp)

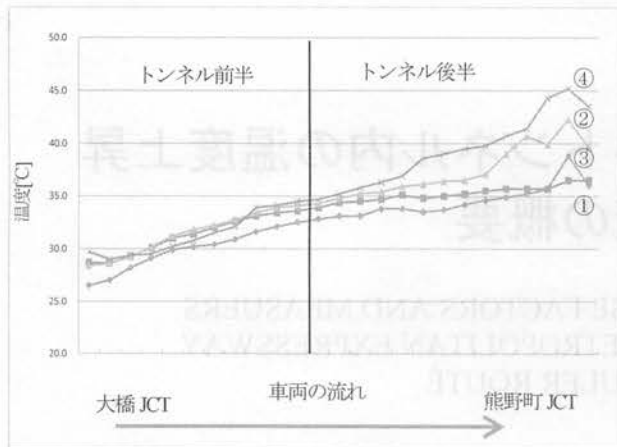


図-2 山手トンネル外回りトンネル内温度状況

図-2に山手トンネル外回りの温度状況を示す。トンネル入口から出口に向かうにつれて温度が上昇すること、また、トンネル内最高温度は、換気設備を全区間にて停止した場合に最大で45℃に達することが確認された。

(2) トンネル内温度上昇要因

トンネル内温度上昇について考えられる以下の5項目に着目して調査を行った。

- 外気温度
- トンネル内風速
- 交通量（車両）
- トンネル躯体
- 照明

a) 外気温度との関係

トンネル内温度と外気温度の関係について調査した。

図-3より、外気温度が変化するとトンネル内温度も変化することが確認された。

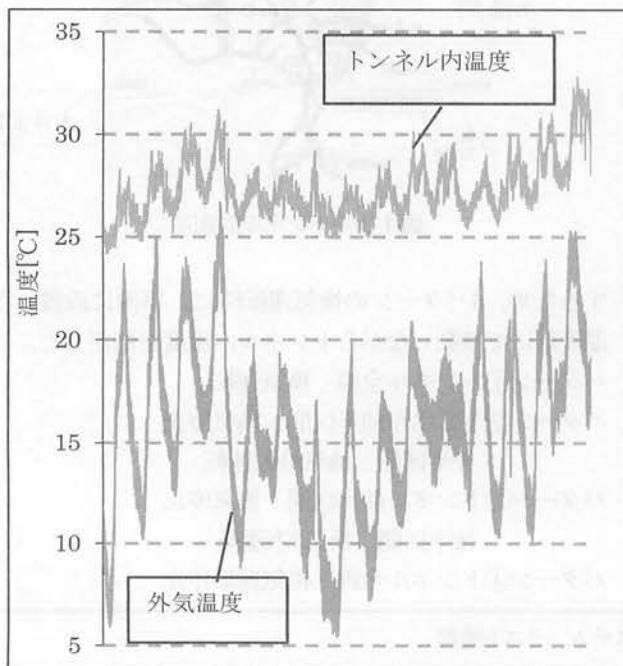


図-3 トンネル内温度と外気温の関係

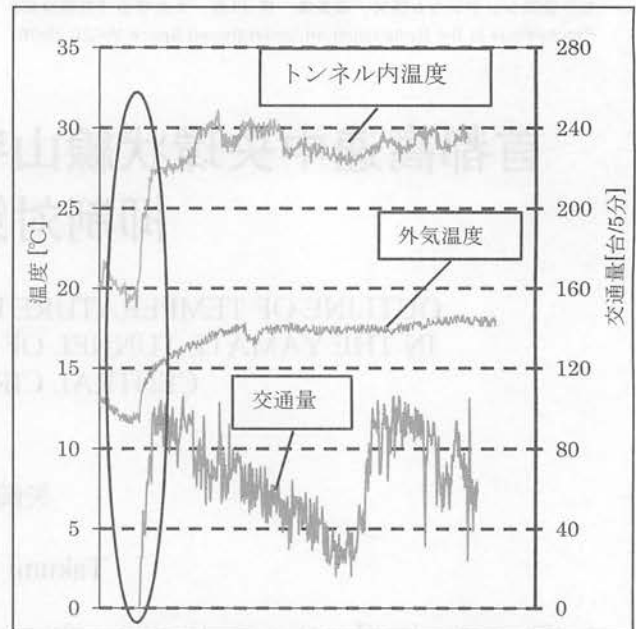


図-4 車道内風速とトンネル内温度の関係

b) トンネル内風速との関係

トンネル内温度と車道内風速の関係について調査した。図-4より車道内風速が上昇するとトンネル内温度が下降する傾向にあることが確認された。

c) 交通量（車両）との関係

トンネル内温度と交通量の関係について調査した。

図-5はトンネル内を通行止めにした後の温度分布を示したものであり、交通解放直後から温度が上昇している。このことより、車両からの排熱が温度上昇の一つの要因であることが確認された。

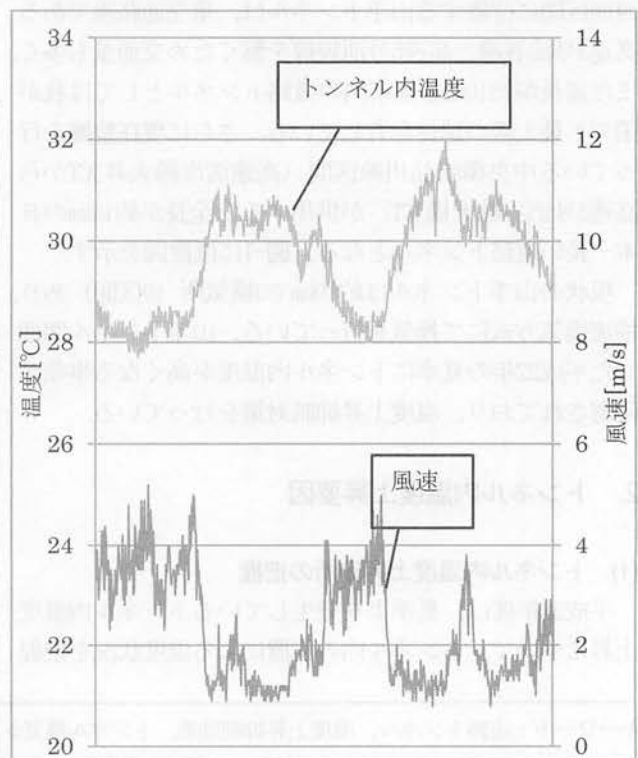


図-5 通行止め後のトンネル内温度

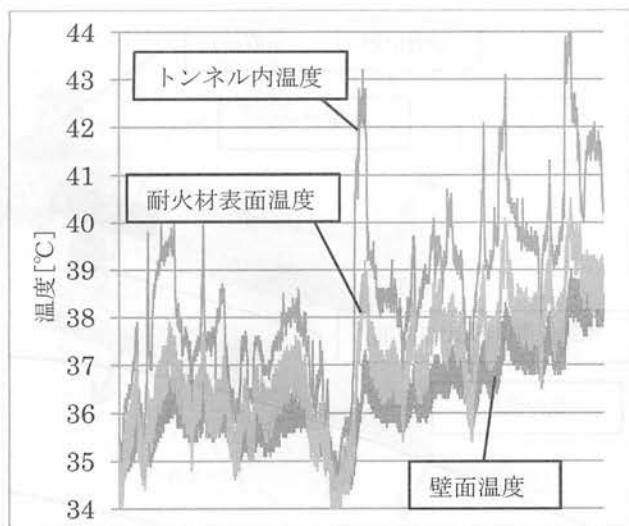


図-6 トンネル内温度と壁面及び耐火材温度の関係

d) トンネル躯体との関係

トンネル内温度とトンネル躯体の関係について調査した。

構造物がトンネル内温度に与える影響について検証するため、壁面及び耐火材表面に熱電対を設置し、継続的に温度状況を確認した。

図-6よりトンネル内温度変化に対して、壁面及び耐火材の温度がトンネル内温度に時間差なく追従していることが確認できる。このことから、壁面及び耐火材に熱が蓄積されトンネル内に放熱されるような現象は起きていないと考えられる。

e) 照明との関係

トンネル内温度と照明の関係について調査した。

トンネル内には多くの照明灯具が設置されており、灯具自体の影響も懸念されるため、減灯前後のトンネル内温度の比較を行ったが、減灯したことによるトンネル内温度の温度変化は見られなかった。(図-7)

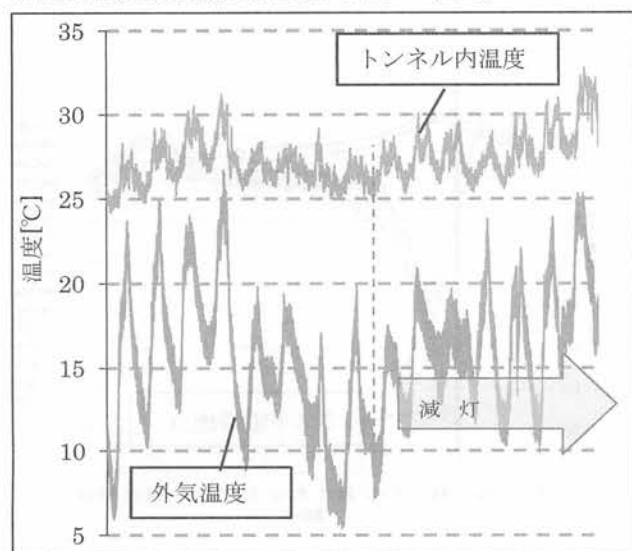


図-7 減灯前後のトンネル内温度

以上の検討から、トンネル内温度上昇については、外気温度、トンネル内風速及び交通量が影響していることが確認された。

3. 換気設備を用いた温度上昇抑制対策運転

(1) 換気運転方式

山手トンネルの換気方式は横流換気方式であり、送気と排気を同時に行うものである。2章(1)節で記載の通り、横流換気運転は温度上昇抑制に効果があることが確認されている。トンネル内温度は2章(1)節b)項で記載の通り、トンネル内風速との関係性が確認されており、この点に着目し、横流換気方式のバランスを変えるなど様々な検討を数値シミュレーションにて実施した。

その結果、9換気所全区間横流換気方式よりも一定区間を送気運転風量を増加させる等トンネル内に縦流風(以下縦流換気運用)を生じさせる方が効果があることが分かった。

(2) 換気運転効果の検証

シミュレーションで効果のあった縦流換気運用を実際のトンネル内にて確認することとした。なお、トンネル換気運転では、トンネル外への排ガス持ち出し抑制など周辺環境に配慮した運転モードとした。(以下対策運転)

平成23年夏に実施した24時間連続対策運転でのトンネル内温度グラフを図-8に示す。対策運転を24時間連続に行った結果、外気温度の上昇に比べ、トンネル内温度が上昇しないことから、対策運転には一定の効果があることが確認できた。

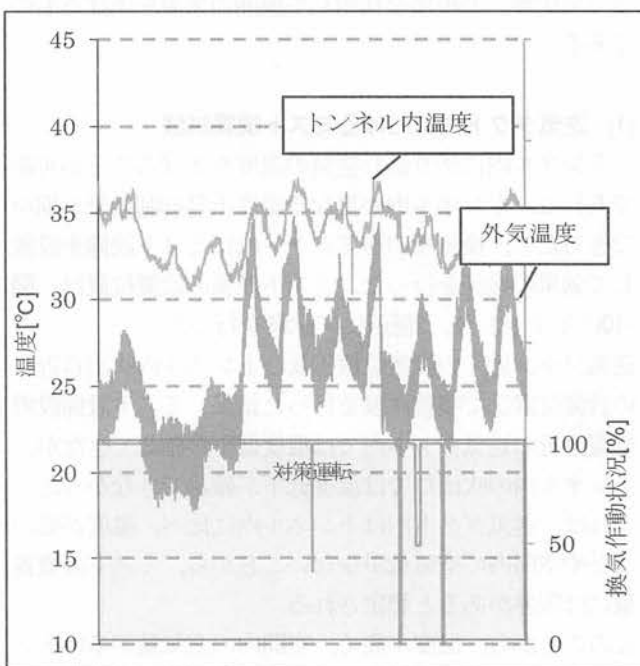


図-8 対策運転の効果

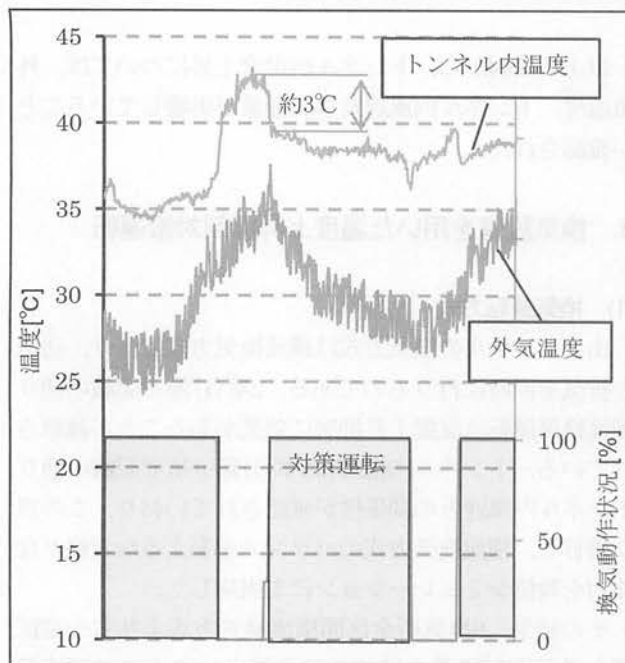


図-9 対策運転状態とトンネル内温度の関係

次に効果について、対策運転の稼働状態と停止状態のトンネル内温度の比較を行った結果、対策運転の温度上昇抑制効果は3°C程度あることが確認できた。(図-9)

4. ミスト設備を用いた温度上昇抑制対策

換気運転のほか、更なるトンネル内温度上昇抑制対策として様々な設備について検討を行い、エネルギー効率の高いミスト設備について具体的な検討を行った。

ミスト設備は、微細な水の粒(霧)を発生させて、空気中で水が液体から気体になるときに周りから熱を奪う「気化熱」の現象を利用して周囲の気温を下げるものである。

(1) 送気ダクト内におけるミスト噴霧試験

トンネル内に送り込む空気の下げる事が可能であれば、トンネル内の更なる温度上昇抑制効果が期待できるため、換気所の送気ダクト内にミスト設備を設置して効果の検証を行った。ミスト設備の設置位置は、図-10に示すとおり、2箇所にて試験を行った。

送気ファン近くの設置位置①及びトンネル内吹出口近くの設置位置②で噴霧試験を行った結果、ミスト設備設置位置直近の送気ダクト内では温度低下が確認できたが、トンネル内の吹出口では温度低下が確認できなかった。これは、送気ダクト内はトンネル内に比べ、温度が低いことや空間内の空気量が少ないことから、ミストの噴霧量には限界があると想定される。

このことから、温度が高く、空間内の空気量が多いトンネル内にミスト設備を設置し、効果について確認することとした。

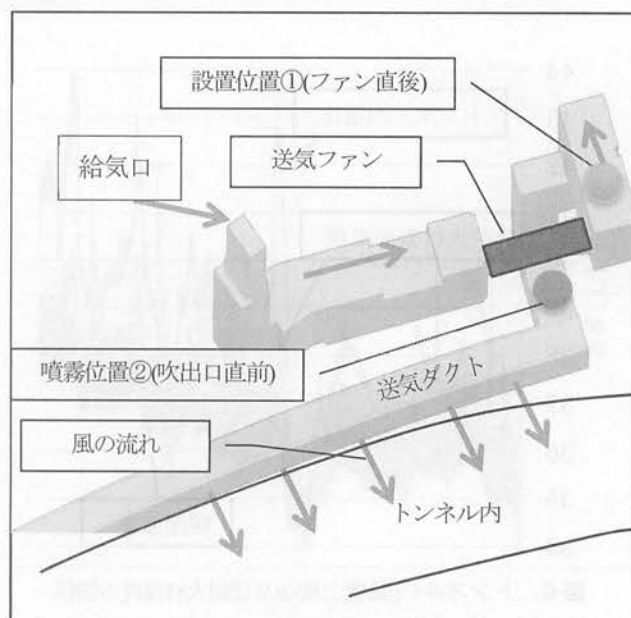


図-10 ミスト設備設置位置

(2) トンネル内におけるミスト噴霧試験(その1)

トンネル内に可搬式のミスト設備を設置し、温度上昇抑制効果についての試験を実施した。

この実験は、片側一車線を規制したトンネル内に一定間隔で10個の温度計を設置し、ミスト噴霧時の各地点での温度を計測したものである。

トンネル内温度状況を図-11に示す。噴霧地点から約15m下流地点にて温度低減効果が確認された。

以上の試験から、トンネル内への直接噴霧は、トンネル内の温度上昇抑制に対して効果があることが確認できたため、一部区間にて試験施工を行い、さらなる検証を行うこととした。また、走行車両より直接ミストが見え、走行安全性への影響があることから、視距についても確認することが必要となることもわかった。

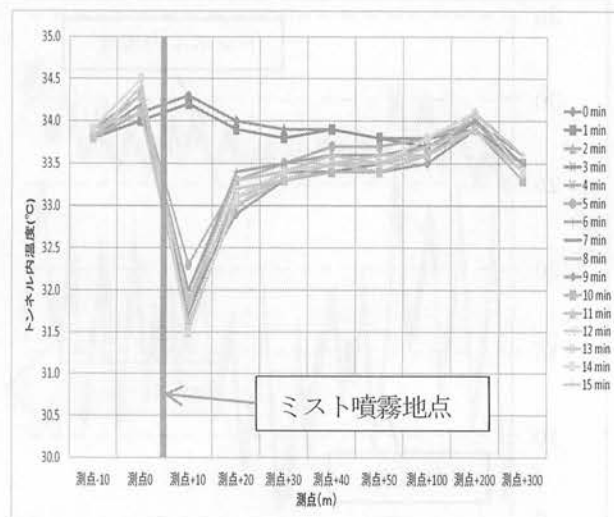


図-11 ミスト噴霧時の温度状況

(3) トンネル内におけるミスト噴霧試験（その2）

山手トンネルの外回り一部区間にてミスト設備を試験設置し、その効果等の確認試験を実施した。

a) 試験概要

以下に試験概要を示す。

- 試験箇所（図-12）
山手トンネル内回り（神山町換気所付近）
独立避難路通路区間
- 試験期間
平成24年8月7日～平成24年9月19日
- 計測器（温湿度計）設置位置（図-13）
ミスト設備の効果等を検証するにあたって、概ね50m間隔で温湿度計を設置し、データの収集を実施した。
- 試験条件等
ノズル設置延長、ノズル設置場所条件については表-1の通りとした。設置の断面図を図-14に示す。

表-1 試験条件等一覧表

項目	内容
ノズル設置延長	230m（独立避難通路区間）
ノズル設置場所	独立避難通路上部3.8m以上（第一走行車線側）
ノズルピッチ、段数	1.5m [※] 7つ、1段
ノズル噴霧水量	0.09L/min(5.5L/h)
噴霧後最大湿度	80%
トンネル内風速	1.5m/s程度
トンネル断面積	約70m ²

条件の検討においては、視距への影響他を工場等で確認し、その結果を反映している。

b) 確認項目

- ミスト噴霧時における走行車線と追越車線の温度傾向（走行車線側からの噴霧）
走行車線側と追越車線側の温度を計測し、冷却効果の分布等を確認する。
- ミスト噴霧による温度上昇抑制効果（冷却効果）
ミスト噴霧前後及び噴霧区間の温度を計測し、冷却効果がどの程度得られるかを確認する。

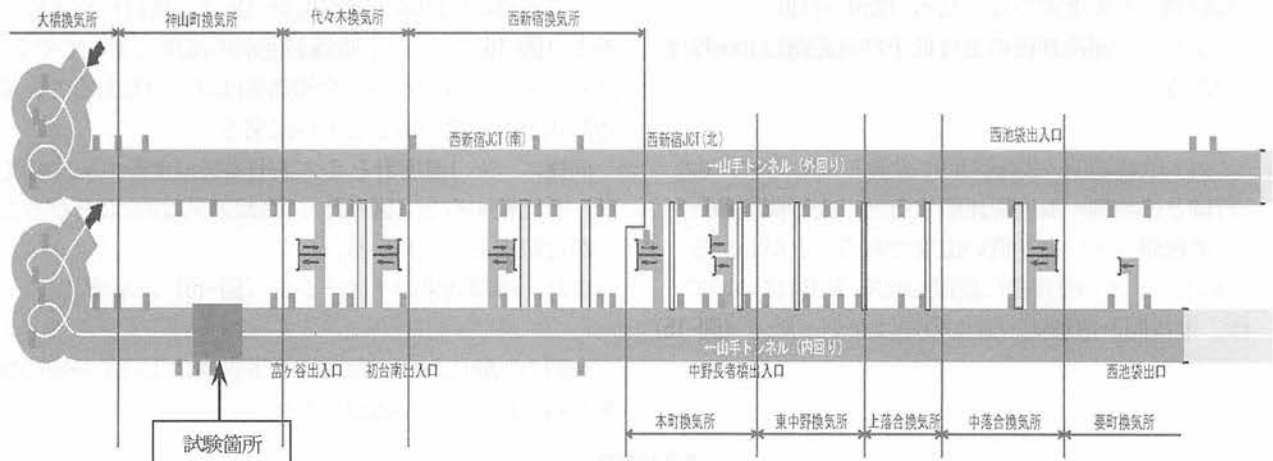


図-12 試験箇所

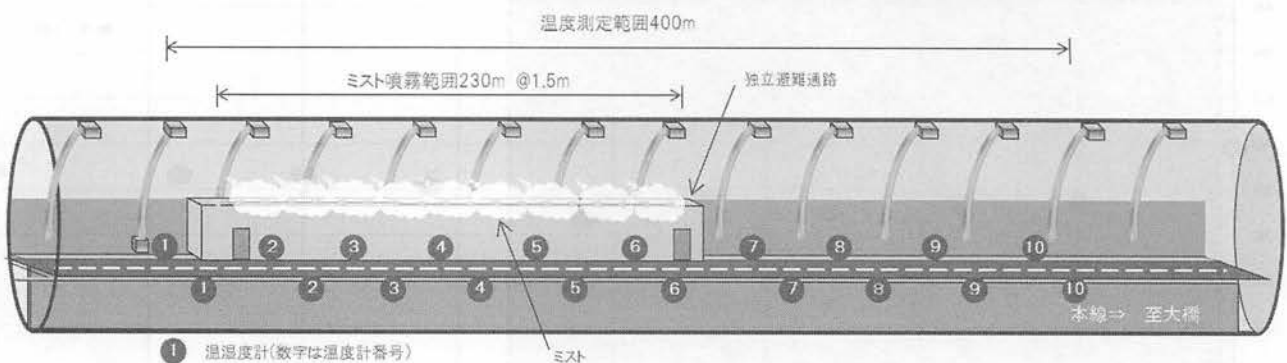


図-13 計測器設置位置イメージ

ミストノズル設置拡大図

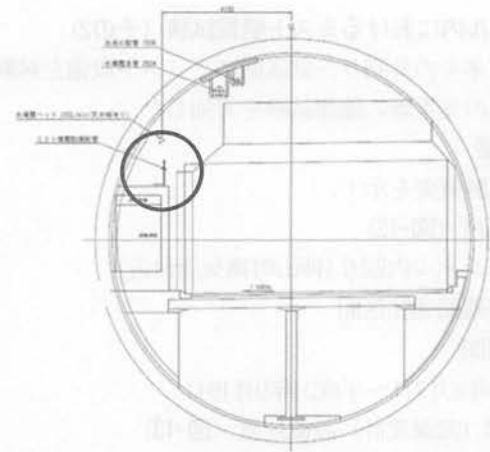
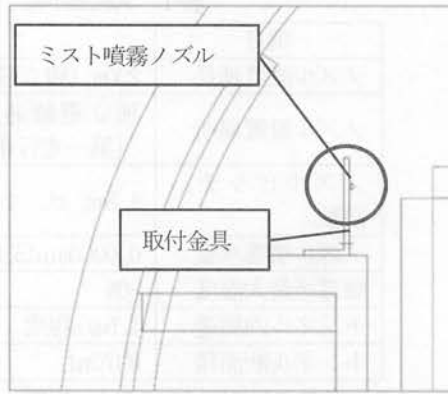


図-14 ノズル設置断面図

c) 試験結果

ミスト噴霧によって得られたデータを基に、確認項目である2項目について解析を行った。

- ミスト噴霧時における走行車線と追越車線の温度傾向

ミスト噴霧区間においては、走行車線側の方が追い越し車線側よりも冷却効果が高い（部分冷却）

ミスト区間終了後、50m程度で走行車線側と追越車線側との温度差がなくなる（断面冷却）

また、断面冷却後の温度低下持続距離は100m程度である

ミスト噴霧範囲の230m区間に設置したNo. 2～No. 6の行側と追越側の温度を比較すると、走行側（●）が追越側（×）より低い温度であることがわかる。

また、ミスト噴霧後に設置したNo. 7以降については、走行側と追越側の温度の差はなかった。（図-15）

- ミスト噴霧による温度上昇抑制効果

走行車線側（ミスト噴霧側）の噴霧区間における冷却効果は、 $2^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ （近似式上）であることが確認できた。

トンネル内の空気が混ざり合った後の断面冷却状態では約 2°C の冷却効果になることがわかった。

ミスト噴霧範囲前に設置してある温度計（No. 1温度計）とミスト噴霧区間最下流温度計（No. 6温度計）を比較すると（図-16）、ミスト噴霧範囲前の温度によってややばらつきはあるものの、冷却効果は $2^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ あること後近似式上から読み取ることが出来る。

同様に、No. 1温度計とミスト噴霧後温度計（No. 7温度計）を比較すると（図-17）、冷却効果は約 2°C となることが近似式上からわかる。

また、冷却効果のイメージを（図-18）に示す。

今回の試験においては、ミスト設備によって一定の効果が得られることが確認できた。

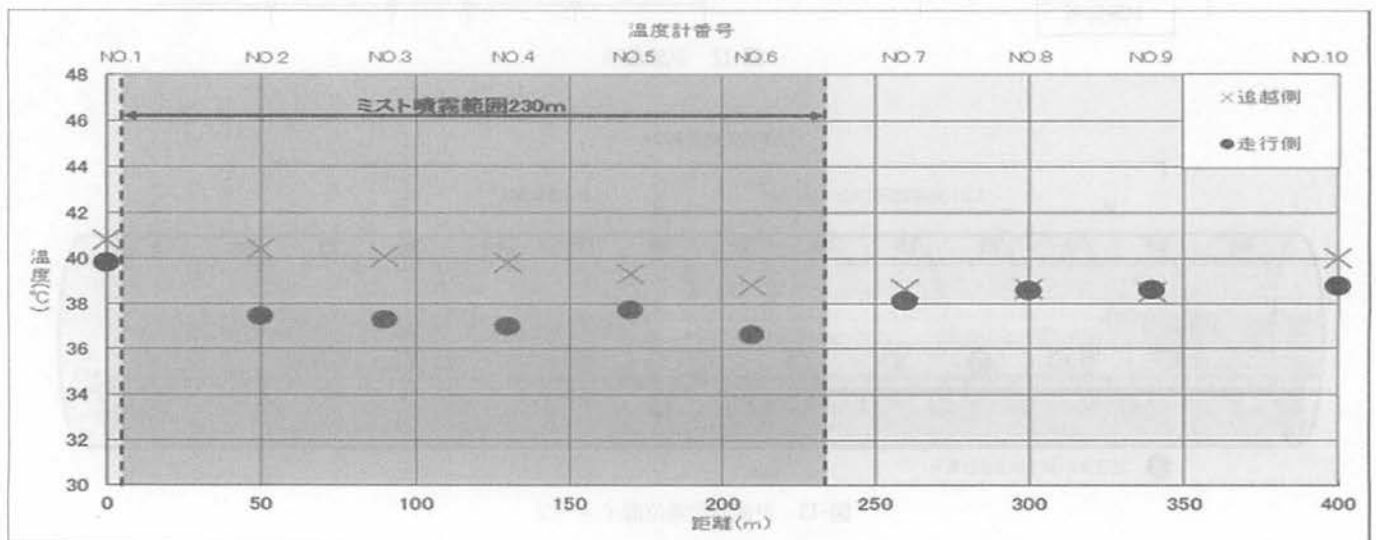


図-15 走行側、追越側温度比較

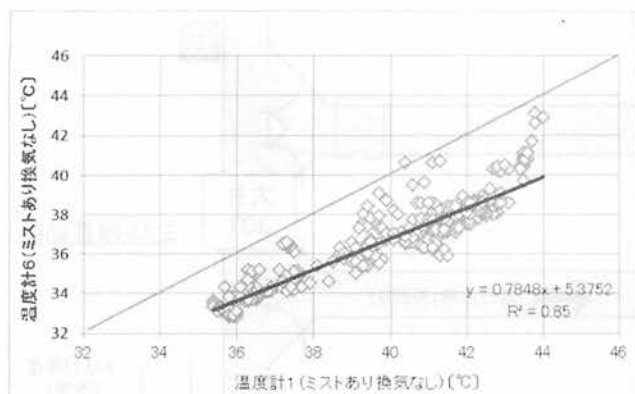


図-16 ミスト噴霧前後温度比較1

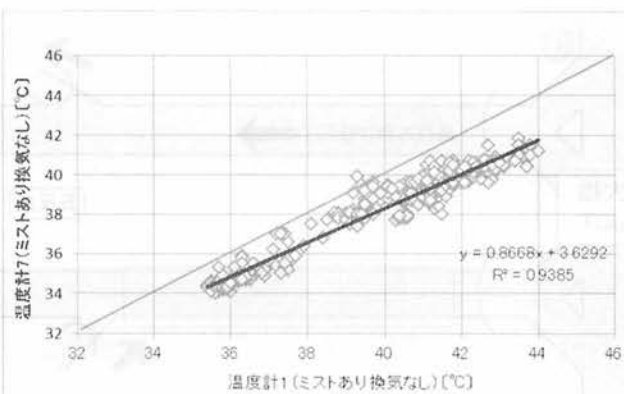


図-17 ミスト噴霧前後温度比較2

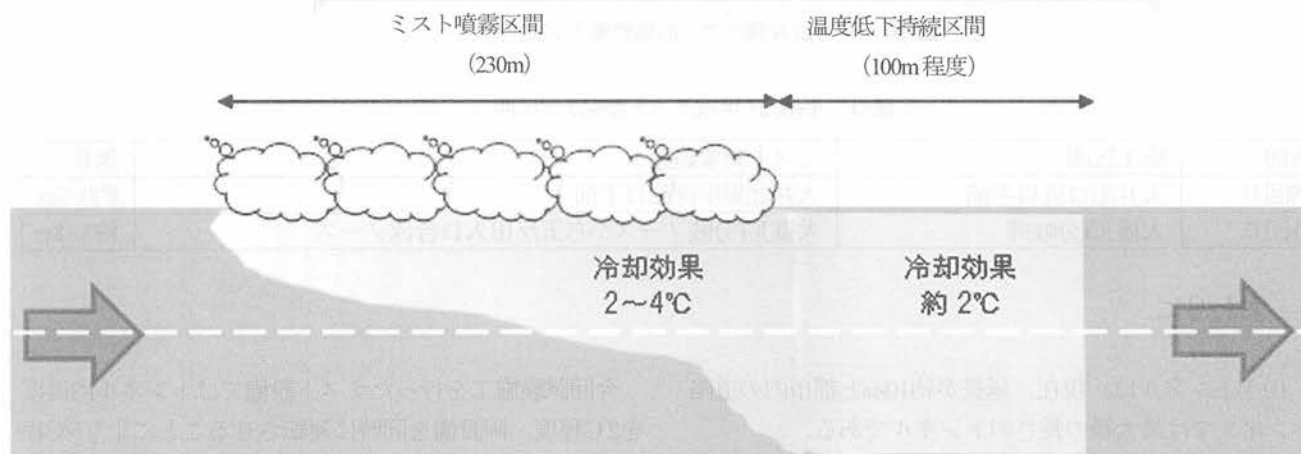


図-18 冷却効果イメージ

5. 今後の整備について

平成25年度より、山手トンネルでは本格的にミスト設備の整備を進めている。

平成26年度には、平成25年度と合わせて約6kmの整備

が完了し、運用を行っている。また、平成27年度には、更に整備区間が増える予定である。

平成26年度の整備後のミスト設備範囲を図-19及び表-2に、平成27年度の整備予定のミスト設備範囲を表-3及び図-20に示す。

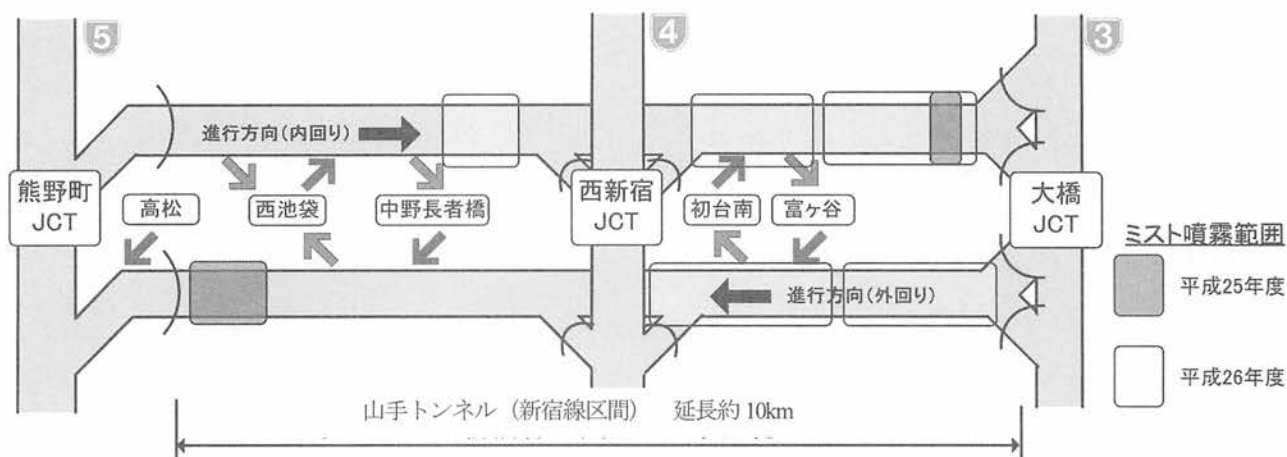


図-19 平成26年度ミスト設備整備範囲イメージ

表-2 平成26年度ミスト整備区間

方向	施工区間	ミスト対象範囲	延長
内回り	大橋JCT分岐部	大橋JCT分岐ノーズ～西新宿JCT合流ノーズ	約2.5km
	西新宿JCT分岐部	西新宿JCTノーズ手前	約0.5km
外回り	要町出口坑口手前	西新宿分岐ノーズ～大橋JCT合流ノーズ	約3.0km
		要町集中排気口手前	約0.5km

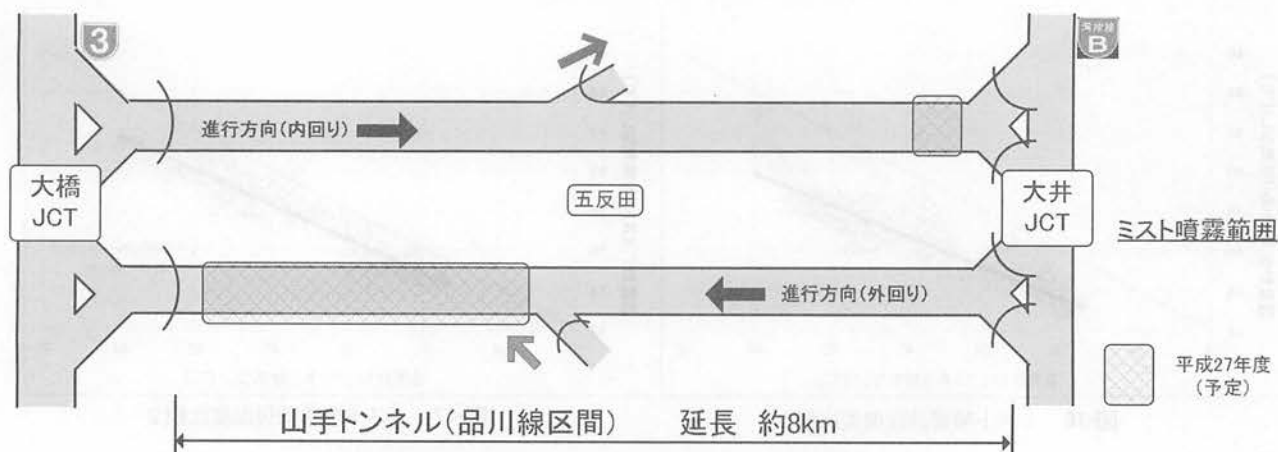


図-20 平成27年度ミスト設備整備予定範囲イメージ

表-3 平成27年度ミスト整備予定区間

方向	施工区間	ミスト対象範囲	延長
内回り	大井出口坑口手前	大井北集中排気口手前	約0.5km
外回り	大橋JCT分岐部	大橋JCT分岐ノーズから五反田入口合流ノーズ	約3.0km

6. おわりに

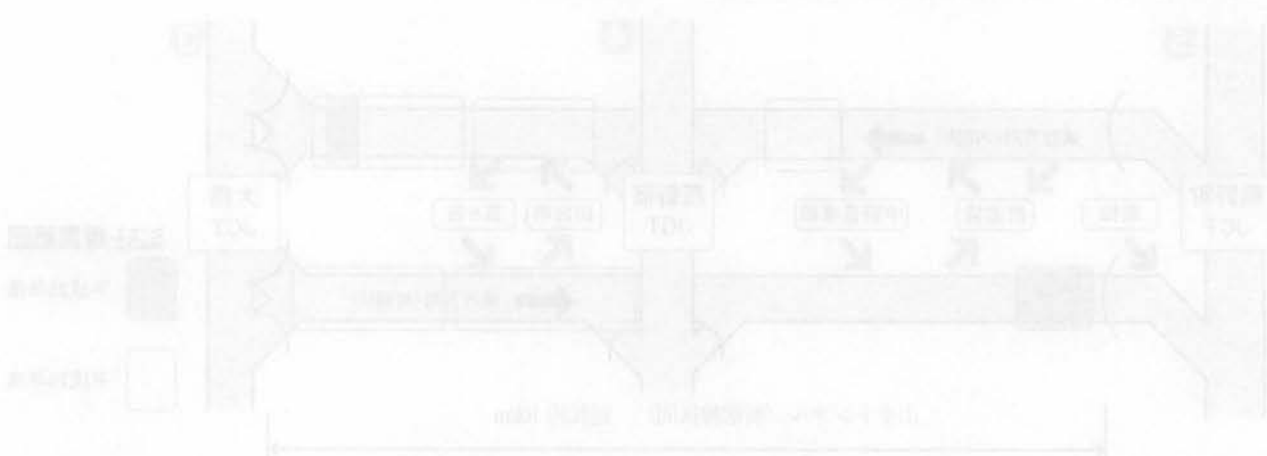
山手トンネルは、現在、延長が約10kmと都市内の道路トンネルでは最大級の長さのトンネルである。

その長さゆえに外気温・トンネル内風速及び交通量（自動車からの排熱）が主要因となり、トンネル内の温度上昇という新たな課題が発生した。

この課題について、平成22年度より対策を行っており、換気設備の対策運転で3℃程度の効果が確認されている。

今回試験施工を行ったミスト設備ではトンネル内温度を2℃程度、両設備を同時に運転させることにより5℃程度トンネル内温度上昇抑制が可能となった。

今後は、現在整備した箇所の温度上昇抑制効果について検証し、換気設備とミスト設備の効率的な運用方法を検討を行っていき、山手トンネルが全長約18kmと日本一の道路トンネルとして開通後も、検討結果を用いて温度上昇抑制対策を効率的に運用できるようにしていきたい。



項目	内容	備考
トンネル延長	約10km	
トンネル内風速	約1.0m/s	
トンネル内温度	約30℃	