

トンネル排気用ダクトの気密試験の報告 —首都圏中央連絡自動車道 裏高尾橋(鋼上部工)工事— Air-Tightness Tests on Tunnel Exhaust Ducts - Metropolitan Inter-City Expressway, Uratakao Viaduct(Steel Girder part of Mixed Girder Bridge) -

田中 伸尚*¹ 熱海 晋*² 木村 光宏*³
Nobunao TANAKA Shin ATSUMI Mitsuhiro KIMURA

Summary

There is increasing concern about the natural environment. For environmental reasons, this tunnel of the bridge has ventilation ducts in the beams for automobile exhaust. This paper reports the method of testing the air-tightness of the tunnel exhaust duct.

キーワード：トンネル排気用ダクト、気密試験

1. はじめに

国道468号首都圏中央連絡自動車道（以後、圏央道という）裏高尾橋は、中日本高速道路株式会社東京支社八王子工事事務所が建設を進めている波形ウェブを有するPC桁と鋼桁との混合4径間連続ラーメン箱桁橋で、本工事は鋼桁部が施工範囲である。本橋は、東京都八王子市裏高尾町で中央自動車と圏央道が交差する地点に設けられる八王子JCT内に設置される圏央道延伸部の高架橋

であり、現在、地域の生活、自然に十分に配慮しながら急速に事業が進められている。

図-1に施工位置図と全体一般図（下り線）を示す。本橋は、図に示すように高尾山トンネル（仮称）と八王子城跡トンネル（仮称）とを結ぶ高架橋で、高尾国定公園、都立高尾陣場自然公園に近接しており、高尾山を始めとした自然豊かな地域を通過することから、周辺の自然環境の保全には細心の注意を払いながら事業を進める必要がある。そのため、八王子JCT内には、八王子城跡トンネル入口手前にトンネルからの排気ガスを排出する換気塔を設けている。よって、本橋では、高尾山トンネルからの排気ガスを排出するためのダクトを桁内に設けている。

本報告では、トンネル排気用ダクト気密性の性能確認のために実施した気密試験について報告を行う。

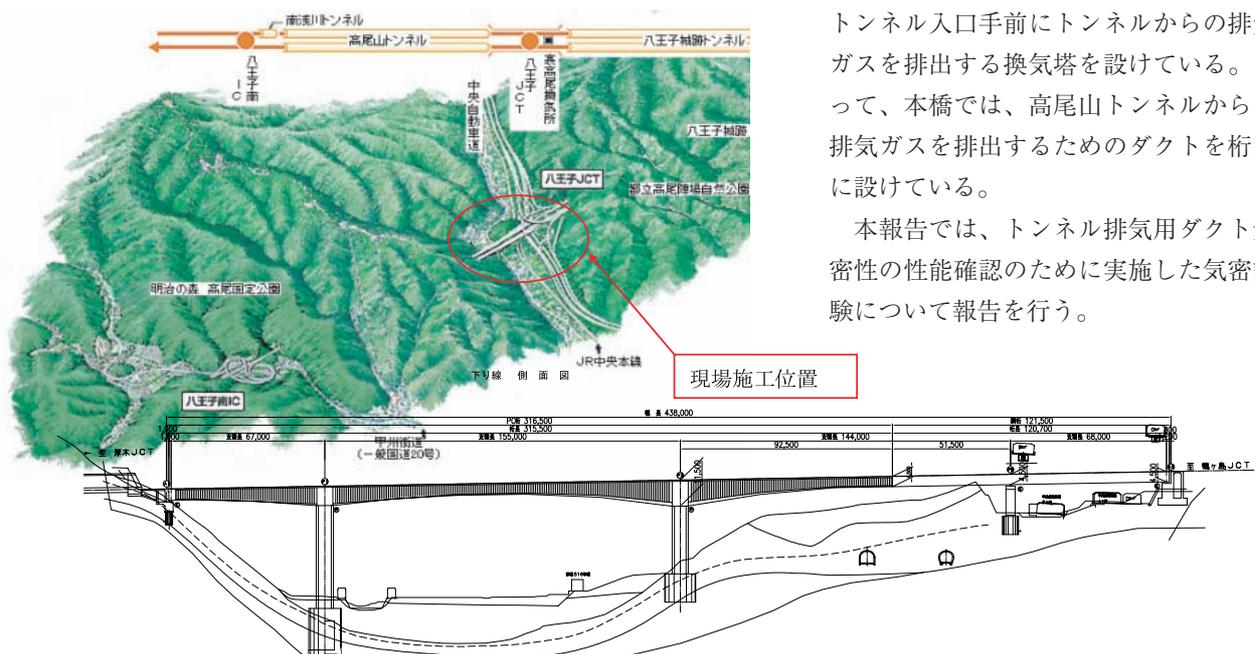


図-1 施工位置図と全体一般図（下り線）

*¹(株)宮地鐵工所 千葉工場技術部設計1グループ係長（サブリーダー） *³(株)宮地鐵工所 千葉工場計画部計画グループ課長代理
*²(株)宮地鐵工所 千葉工場技術部設計1グループ主任

2. 試験体モデル

(1) 試験体モデル

図-2に試験体モデルを示す。試験体モデルは、実際に使用する部材とジョイント部での空気漏れを確認するために作製した試験体を普通ボルトで綴じ合わせたものを使用した(写真-1参照)。両端部には、密閉用の蓋を設置した。その蓋の片側には、気密試験時に使用する孔φ150mm、φ10mmをそれぞれ1つずつ設けた。

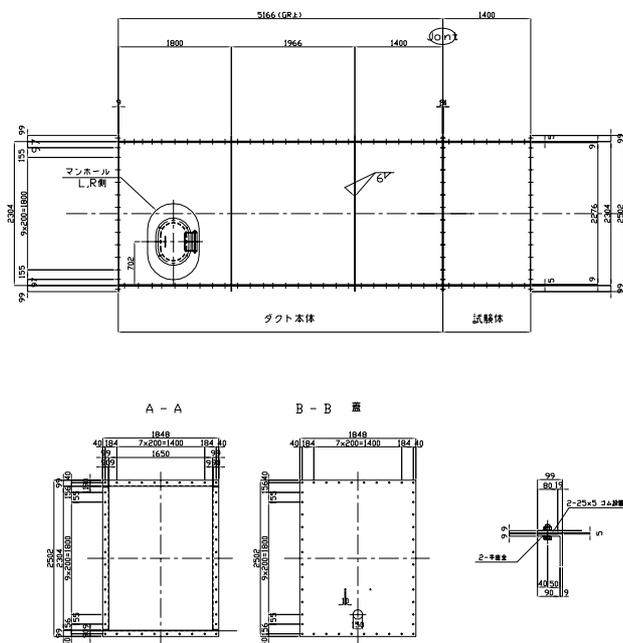


図-2 試験体モデル



写真-1 試験体(外観)

(2) シールクラス

シールクラスは、(社)空気調和・衛生工学会の「ダクトの新標準仕様・技術指針・同解説*1」にダクトの圧力分類に合わせてシールクラス、Nシール、Aシール、Bシール、Cシールがあり、シールの必要箇所が定められている。表-1にシールクラスとシール必要箇所を示す。本工事では、ダクトの接合部にゴムとシール材を使用しているため、シールクラスは、N+Aシールと同等とみなした。ゴムは、材質がクロロプレンゴムで、板厚5mm、硬度45度±5のものを使用した。ゴム厚については、予備試験を行った際、空気漏れが明らかだったため、3mmから5mmに変更したものをを使用することにした。写真-2は、ダクト接合部にシールを施工した状況を示したものである。

表-1 シールクラスとシール必要箇所

シールクラス	シール必要箇所
Nシール	ダクト接合フランジ部のダクト折返し四隅部 コーナー金物とフランジ部
Aシール	縦方向のはぜ部
Bシール	ダクト接合部 同上
Cシール	ダクト合せ部のすべて(縦方向と横方向のはぜ部、 ダクト接合部などを含む) ダクト貫通部(ボルト、リベットなどすべて含む)

シールクラスと制限漏れ量を表-2に示す*1。制限空気漏れ量は、N+Aシールの算定式に準じて算出した。

表-2 シールクラスと制限漏れ量

シールクラス	制限空気漏れ量
Nシール	$Q=2.0 \times P^{0.75}$
N+Aシール	$Q=1.0 \times P^{0.75}$
N+A+Bシール	$Q=0.75 \times P^{0.75}$
N+Cシール	$Q=0.5 \times P^{0.75}$



写真-2 接合部

3. 試験装置と試験方法

(1) 試験装置

試験装置は、送風装置と流量、温度、圧力の各測定装置により構成される。試験装置の構成を図-3に示す。

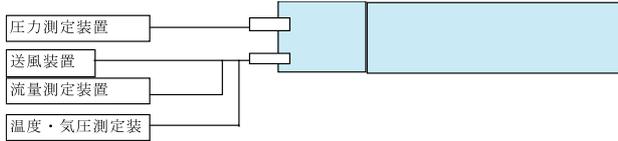


図-3 試験装置の構成

気密試験計測装置を写真-3に示す。気密試験は、文献1に示されている空気漏れ性能試験方法に準じて実施した。また、本試験は、第3者機関である財団法人 建材試験センターに委託をして検査を実施した。気密試験に使用した機器について簡単に説明する。試験体に明けた孔と送風機を漏気量測定装置である風量測定管（ベンチュリー管）で結び、そのベンチュリー管中央に、風速センサー（写真-4）を設置し、ベンチュリー管中央部を流れる空気の流れを測定する。その測定値は、写真-5に示す風速計で表示される。ダクト内の圧力は、送風機の回転速度を変化させることによって試験体の内側と



写真-3 気密試験計測装置



写真-4 風速センサー



写真-5 風速計と差圧計

チューリー管）で結び、そのベンチュリー管中央に、風速センサー（写真-4）を設置し、ベンチュリー管中央部を流れる空気の流れを測定する。その測定値は、写真-5に示す風速計で表示される。ダクト内の圧力は、送風機の回転速度を変化させることによって試験体の内側と

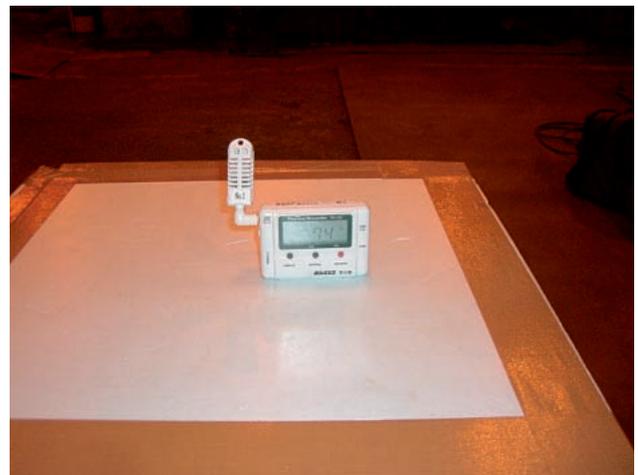


写真-6 温度・湿度・圧力計



写真-7 試験状況

外側の気圧差を調整することができる。ダクト内外の圧力差によって生じる試験体からの漏気量を風量測定管内部の風速値を計測することにより算出した。写真-5に差圧計を示す。写真-6に温度計、湿度計、気圧計が一体となった計測器を示す。写真-7は、気密試験の測定状況である。気密試験の計測回数は、2回とした。1回目は社内検査とし、2回目は立会検査とした。通気方向は、実際の通気方向と同方向とし、ダクト内部を減圧する方向のみとした。

本工事で使用するダクトは、低压ダクトより、試験圧力は、設計条件から想定される圧力より、常用最大圧力までの範囲で設定できる。実際の常用最大圧力は、356Paであるが、安全側を考慮して常用最大圧力を500Paとして実験を行うこととした。よって、1回の計測では、制限最大圧力500Paとし、100Pa、200Pa、300Pa、400Pa、500Paと変化させる。気密試験は、計画した試験圧力の最小値100Paより開始し、順次大きい圧力で試験を実施する。試験を実施する前に、送風機の回転速度を上げて、ダクトの内圧が低压ダクト最大圧500Pa以上になることを確認する必要がある。もし、圧力計が500Pa以下の場合、漏気量が大きすぎるため、接合してボルトを普通ボルトから高力ボルトに変更し、再試験とした。

4. 漏れ出し量の算出

(1) 推計漏気量

推計漏気量は、表-3に示す条件をもとに、ダクト試験体の寸法を考慮して算出した。その時のダクト内圧力と漏気量の関係は、文献1にならい、(1)式によって算出した。推計漏気量と許容漏気量を表-4に示す。文献1に、空気漏れの実測値は測定誤差を含め±20%を許容すると記載されていることより、許容漏気量は、推計漏気量の20%増しとした。

表-3 漏れ出し量の諸条件

ダクト内圧力	漏れ出し量	漏れ出し量
Pa	l/min・m	m ³ /s・m
356	14.834	0.000247
接合箇所長さ	ダクト1m当たり	漏れ出し率
m	漏れ出し量	%
20.77	0.005135	4.1

$$Q_L = 0.181 \times K \times \Delta P^{0.75} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 P ：ダクト内圧力 (Pa)
 K ：漏れ係数 $K=1$

表-4 推計漏気量と許容漏気量

圧力差 ΔP (Pa)	推計漏気量 Q_1 (m ³ /S)	許容漏気量 Q_2 (m ³ /S)
100	0.004766	0.005720
200	0.008016	0.009619
300	0.010865	0.013038
400	0.013481	0.016177
500	0.015937	0.019125
800	0.022673	0.027207
1000	0.026803	0.032164
1500	0.036329	0.043595

推計漏気量 Q_1 は、上記1式に試験体の接合箇所長さ49.94 mを掛けて求めたものである。

(2) 漏気量の算出方法

本試験における漏気量の算出方法を以下に示す。
 本試験において、各圧力差における漏気量を次式により算出する。

$$q = V \times A \times X \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 q ：測定時の空気密度における漏気量 (m³/s)
 V ：ベンチュリー管中央部を流れる空気の風速 (m/s)
 A ：ベンチュリー管中央部の断面積 (m²)
 X ：管の校正係数

(2)式で得られた漏気量について、次式を用いて20℃、1013hPa時の基準状態の値に換算する。

$$Q = q \frac{P_1 \times T_0}{P_0 \times T_1} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 Q ：20℃、1気圧の空気の密度における漏気量 (m³/s)

P_0 ：1013 (hPa)
 P_1 ：測定時の気圧 (hPa)
 T_0 ：293 (K)
 T_1 ：測定時の空気温度 (K)

また、圧力差と漏気量の関係は、次式によって回帰することが可能である。

$$Q = a \times \Delta P^{1/n} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 ΔP ：試験体内外の圧力差 (Pa)
 a ：通気率 [(m³/s) / Pa^{1/n}]
 n ：隙間特性値 (無次元) 通常 1 ~ 2

なお、実測漏気量の他に計算による推計漏気量 (Q_1) および許容漏気量 (推計漏気量の 120% (Q_2)) についても回帰を実施し、以降に試験結果を示す。

4. 試験結果

(1) 試験結果

表一5に第1回試験結果を示し、表一6に第2回試験結果を示す。第1回、第2回の試験結果は、圧力差 300Paの時に、0.000036m³/sの差があるが、その他の実測値は同じであった。実測漏気量 Q と許容漏気量 Q_2 の比は、5.5%～6.2%程度であり、密閉度が十分確保されていることが分かった。本試験では、ほとんど空気が漏れていない結果となっているが、予備試験時には、苦労の連続であった。試験体へ空気を注入すると、接合部、マンホールや補剛材溶接接近傍から空気の漏れる音がし、気圧計がまったく反応しなかった。まず、試験体の接合部のボルトを強く締め付けたりしたがその現象を改善するまでには至らなかった。次に、結合部の間に設けているゴム厚を3mmから5mmに変更した。さらに、写真一2で示したように、フランジ結合部へ隙間にシール材の充填を実施したことにより、空気漏れの現象を改善することが出来た。

表一5 漏気量測定結果 (1回目)

圧力差 ΔP (Pa)	実測漏気量 Q (m ³ /S)	許容漏気量 Q_2 (m ³ /S)	Q/Q_2 %
100	0.000356	0.005720	6.2
200	0.000570	0.009619	5.9
300	0.000748	0.013038	5.7
400	0.000890	0.016177	5.5
500	0.001068	0.019125	5.6

表一6 漏気量測定結果 (2回目)

圧力差 ΔP (Pa)	実測漏気量 Q (m ³ /S)	許容漏気量 Q_2 (m ³ /S)	Q/Q_2 %
100	0.000356	0.005720	6.2
200	0.000570	0.009619	5.9
300	0.000712	0.013038	5.5
400	0.000890	0.016177	5.5
500	0.001068	0.019125	5.6

5. まとめ

本気密試験により、以下の知見が得られた。

- ①ゴムについては、材質がクロロプレンゴムで、厚さは5mm、硬度は45度±5のものを使用すれば、空気漏れに対して有効であることが分かった。
- ②シール材は、フランジコーナー部へ施工することにより気密性能が高くなることがわかった。
- ③低圧時の気密試験は、微圧力計や流量測定装置などの専用装置を用いる必要があり、建材試験センターなどの専門機関に依頼することをお薦めする。

最後に、八王子工事事務所の方々を始め、建材試験センターの方々に貴重なご意見、ご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表す。

<参考文献>

- 1) (社) 空気調和・衛生工学会：ダクトの新標準仕様・技術指針・同解説，平成5年11月

2010.3.2 受付