

トンネル換気用ジェットファン吊金具の 軸力計測に関する一考察

原 翔平¹・日下 敦²・小出 孝明³・砂金 伸治⁴

¹正会員 国立研究開発法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail: s-hara44@pwri.go.jp

²正会員 国立研究開発法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail: kusaka@pwri.go.jp

³正会員 国立研究開発法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail: t-koide@pwri.go.jp

⁴正会員 公立大学法人 首都大学東京 (〒192-0397 東京都八王子市1-1)
(元 国立研究開発法人 土木研究所)
E-mail: nisago@tmu.ac.jp

笹子トンネル内の天井板落下事故を受けて、トンネル内附属物の落下に対する安全性についての重要度が高まり、維持管理に関しても点検要領が発出されるなどの対応が取られている。しかし、実際のトンネル内附属物に関しては附属物の自重による影響、地震等による外的要因の影響、劣化の進行による影響について不明確な部分が多い。

本研究では、道路トンネルに設置したジェットファンの取付金具に作用する軸力計測を行い、ジェットファン本体の据付時、試運転時、重量物運搬車の通行時、トンネル供用後の繰返し of ジェットファン運転時の軸力変動を分析した。その結果、各金具に作用する軸力は設計時のそれとほぼ同等であることを確認し、また、ジェットファンの運転と重量物運搬車通行による軸力への影響は微小であることが判明した。

Key Words : tunnel, jetfan, axial force, measurement, turnbuckle

1. はじめに

平成 24 年に発生した中央自動車道笹子トンネル内の天井板落下事故を受け、トンネル内附属物等（トンネルジェットファン等の重量構造物）に関わる一斉点検が実施された。その結果、安全上大きな問題はなかったと報告されているものの、附属物を定着するアンカーボルト等の不具合が確認され、その中にはジェットファン（以降 JF）の吊金具定着部のコンクリートのひび割れも含まれていた¹⁾。

道路トンネル内に換気設備として設置されるJFは取付金具を用いて吊り下げて設置する方法が一般的であり、設計に当たってはJF本体の静荷重に対して所定の安全率を確保する場合が多い²⁾。JF本体の静荷重はトンネル覆工に設置した4本の吊金具で均等に支持するという前提で設計されている場合が多いが、設置したJFは不静定構造であるため、何らかの不均衡要因が働いた場合には設置に使用しているアンカーボルトの軸力分担率が変動す

る可能性がある。しかし、実際に計測を行っている事例はほとんど無く、変動の程度等も明確になっていないというのが現状である。

本研究はJFの取付金具に実際に作用する軸力を計測することで、合理的な取付金具の設計および維持管理に資する基礎資料を作成することを目的として検討する。本稿ではその計測概要と据付時、試運転時および重量物運搬車の通行による軸力変動と、トンネル供用後の繰返し of JF運転による影響を確認した結果について報告する。

2. 計測概要

JFの設置方法として、吊り下げ式と固定式の二つの方法があり、一般的には吊り下げ式が用いられることが多い。この方法ではJF本体はトンネル覆工に設置された吊金具とターンバックルにより接続しているため、ターンバックルの軸力を計測することで吊金具に作用する

荷重を計測することとした。

計測対象としたトンネルは、山岳工法により建設された国土交通省北海道開発局小樽開発建設部が管理する国道トンネルであり、図-1に位置図を、表-1にトンネル諸元を示す。トンネル延長は1,742mで、JFは図-2に示す位置に片側1台（1250型、諸元を表-2に示す）で2箇所を設置されており、1箇所目は起点側坑口から168m、2箇所目は326mの地点にある。電気室は起点側坑口からさらに200m程度の離隔があり、計測時の電源は電気室から延長するため、本計測では施工や計測等を考慮して起点側坑口から近接した位置にある1台に対して計測を実施した。

吊り下げ式で設置する場合には、JFは本体前後の2つの方向安定金具と中心部の4つの吊金具にターンバックルを接続することにより覆工に固定されている。各ターンバックルの役割として、方向安定金具に接続する2本はJF本体の向きを調整するために使用することが主目的となっているため、吊金具に接続する4本のターンバックルにてJFの重量（約2000kg）を支持するように設計されている。本研究では各金具に接続する6本のタ

ーンバックル全てを対象として軸力を計測する。計測方法としては、ひずみゲージを用いてターンバックルの抵抗値の変化を計測し軸力を算出する。ひずみゲージに関して、長期的な計測を計画していることから焼き付け加工によりターンバックルへの接着を実施し、表面には防水処理を施している。JFの設置状況および計測器の取付概要を図-3および写真-1に示す。計測したデータは坑内に設置したデータロガーを通して坑外の電気室まで送り、電気室内にて回収作業等を行う。

JF本体の据付後に各ターンバックルに作用する軸力

表-2 ジェットファン諸元

型名	口径 (mm)	全長 (mm)	噴流速度 (m/s)	風量 (m ³ /s)	概算重量 (kg)
1250型	1250	4,250	35	43	2,000



図-1 トンネル位置図

表-1 トンネル諸元

道路種別・等級	車線数	交通方向	設計速度	トンネル延長
第3種2級	2車線	対面交通	60km/h	1,742m

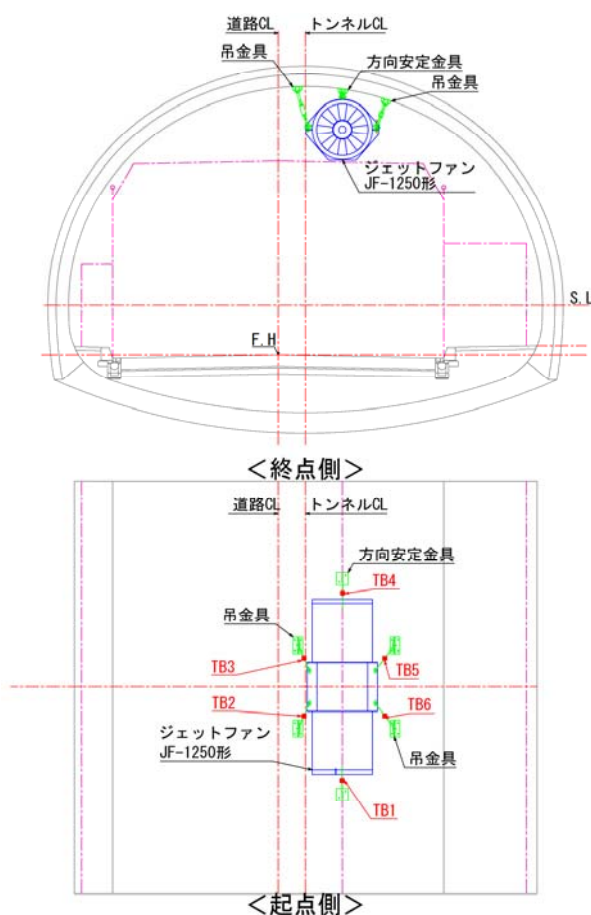


図-3 計測機器取付概要

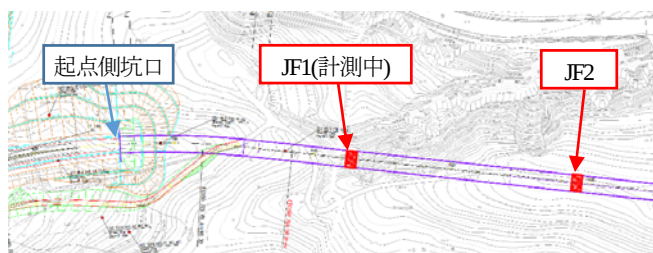


図-2 ジェットファン位置図



写真-1 軸力計測状況

分担と JF 試運転を実施した際の起動・停止による軸力変動を計測して、設計時に見込んでいる計測結果（設計軸力）との整合性、重量物運搬車の通行、繰返しの JF 運転による影響を確認する。

3. 計測結果

(1) JF 据付時

表-3 に JF 据付時の各ターンバックルにおける軸力変動の計測結果を示す（ターンバックル番号との整合は図-3 参照）。引張方向を正、圧縮方向を負としている。これより、JF 本体の据付時に方向安定金具に接続したターンバックルに対して作用した軸力（TB1・4）は平均で 0.288kN、吊金具に接続したターンバックルに作用している軸力（TB2・3・5・6）は平均で 7.615kN となっており、前者は後者と比較して非常に小さく、吊金具に接続した 4 本のターンバックルに荷重の大部分が作用していることが分かった。図-4 に設計時の強度計算結果との比較を示す。設計段階では JF 本体の荷重は 4 つの吊金具に作用するように計画されているため、据付時の計測結果は設計方針と整合が取れている。本来は TB2=TB3、

表-3 据付時軸力計測結果

計測時期	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5	TB6
据付前	0.048	0.051	-0.051	0.144	-0.048	0.093
据付後	0.382	4.929	5.368	0.385	10.694	9.515
軸力変動	0.334	4.878	5.419	0.241	10.742	9.422

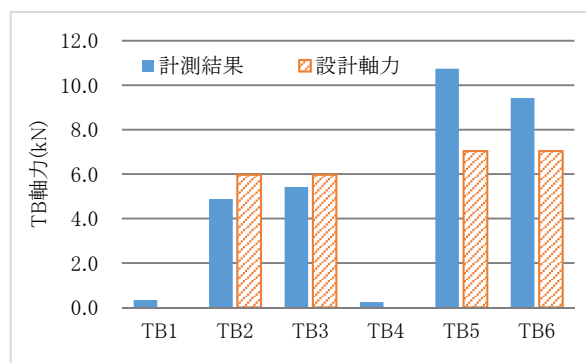


図-4 設計軸力との比較(据付時)

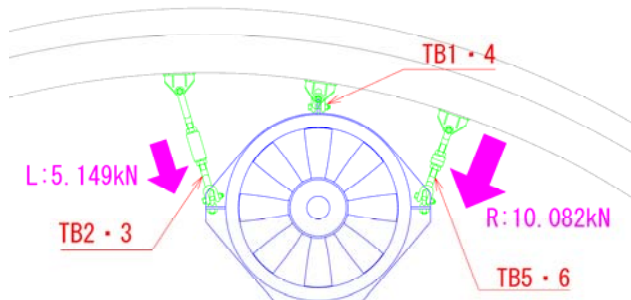


図-5 ジェットファン位置図

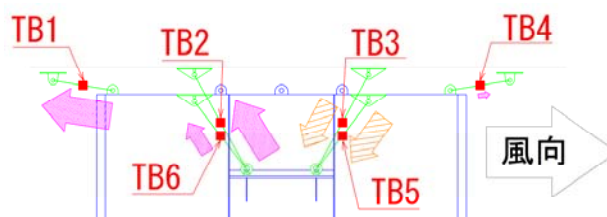
TB5=TB6 となると考えられるが、TB3 は TB2 よりも 11% 程度、TB5 は TB6 よりも 14% 程度大きな軸力が作用している。図-5 に示すようにトンネル起点側から JF 本体を見た際の L 側のターンバックル（TB2・3）にかかる軸力の平均が 5.149kN に対して、R 側（TB5・6）では 10.082kN となっており 2 倍程度の差が生じている。L 側と R 側でターンバックルの軸力に差はあるものの、設計時のターンバックルおよび吊金具の強度計算結果と同様の傾向となっている。これは、ターンバックル本体の覆工への接続角度が異なっているため荷重に差が生じている。単独のターンバックルに作用する軸力は TB5 で計測した 10.742kN が最大値となっている。設計時の強度計算結果より、実際の計測結果においても十分な強度を有しており、所定の安全率を満足していることを確認できた。

(2) 試運転時

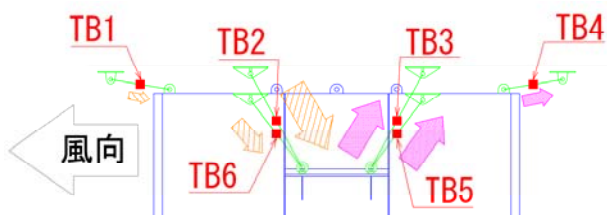
JF 試運転は正転（風向：起点から終点方向）と逆転（風向：終点から起点方向）の検討を行っている。推力が作用した方向と各ターンバックルに作用する軸力の向きと大きさの概要を図-6 に示す。これより各運転時において推力が働いている側（空気のパイプ側）の吊金具に接続されたターンバックルでは引張方向に荷重が作用し、逆側では圧縮方向に荷重が作用していることを確認した。方向安定金具でも正転時の TB4 を除いて同様の傾向が認められている。また正転時には方向安定金具（TB1）に最も大きな変動が出ているのに対して、逆転時には吊金具（TB2）に最も大きな変動が出ている。各運転時における軸力変動について各ターンバックルでばらつきがあり、今回の計測結果からは軸力変動に傾向は認められな

→ : 圧縮方向 ← : 引張方向

※各矢印の面積は軸力の大きさに比例



(a) 試運転時：正転



(b) 試運転時：逆転

図-6 JF 推力方向および荷重方向

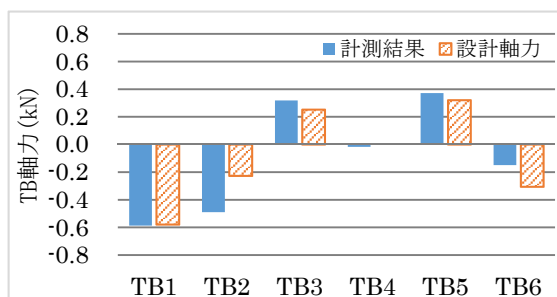
かった。

起動時のJF推力の影響によるターンバックルの軸力変動と強度計算結果との比較を図-7に示す。方向安定金具類にはJF推力による引張力を考慮した強度計算を行っている。軸力変動は設計時の計算結果と類似した傾向となっており、変動量はJF据付時に作用する軸力と比較して10分の1程度であり、非常に小さいという結果を得た。

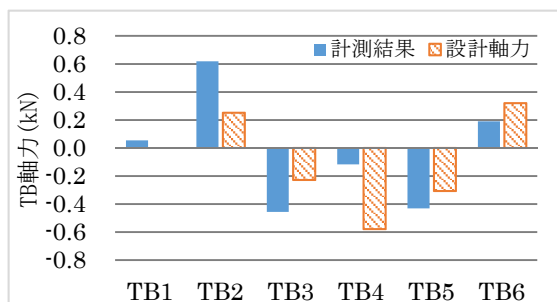
(3) 重量物運搬車通行時

トンネル供用前に重量物運搬車（除雪車）を通行させ、車両通行のみによる軸力変動を分析した。車両重量はおおよそ20t、通行速度は30～40km/h程度で、上り線（JF設置側）と下り線を一度ずつ走行した。車両の通行状況を写真-2に、軸力計測結果を図-8示す。軸力変動が顕著に認められたTB1およびTB4の計測結果を示しており、それぞれ車両のJF近傍通過時のおおよその位置を破線で示す。

これより、車両通行時には両金具において圧縮方向に0.1kN程度の荷重が作用していることが分かった。変動



(a) 試運転時：正転

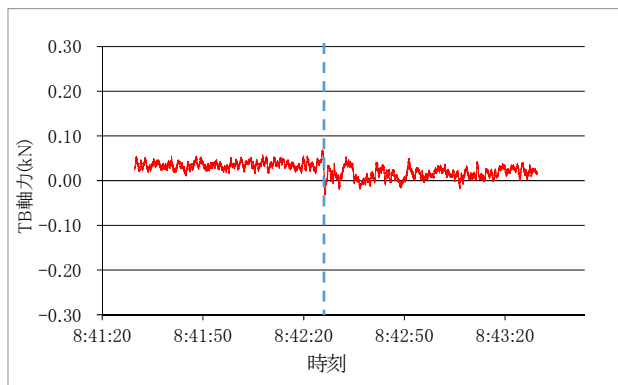


(b) 試運転時：逆転

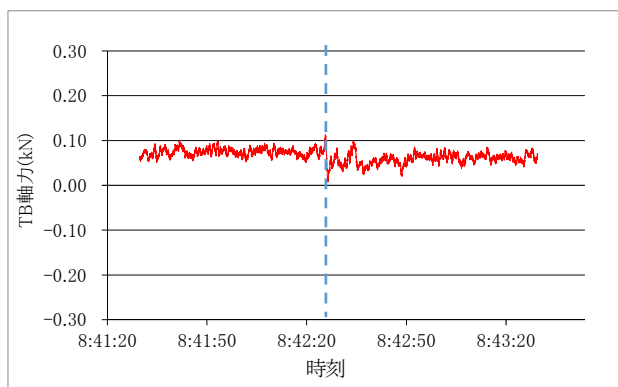
図-7 設計軸力との比較(試運転時)



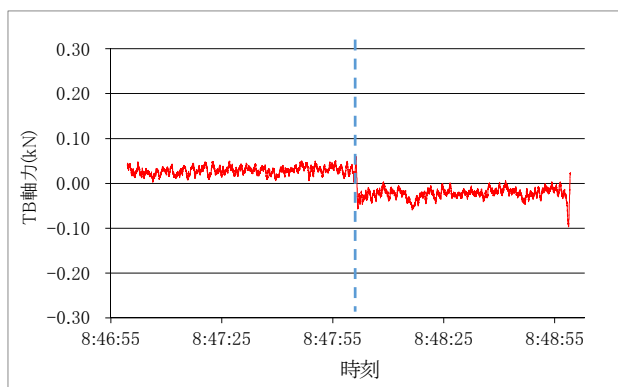
写真-2 車両の通行状況



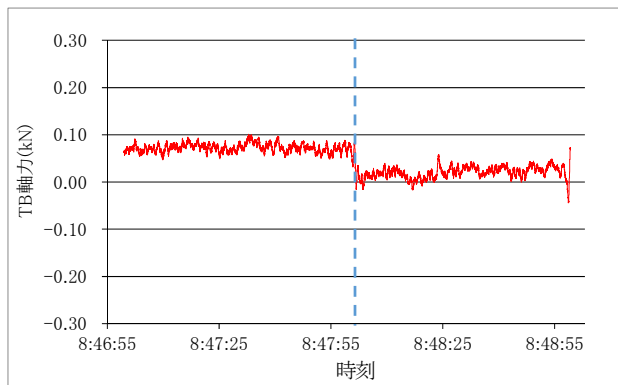
(a) 上り線通行時の軸力変動：TB1



(b) 上り線通行時の軸力変動：TB4



(c) 下り線通行時の軸力変動：TB1



(d) 下り線通行時の軸力変動：TB4

図-8 重量運搬車通行時の軸力変動

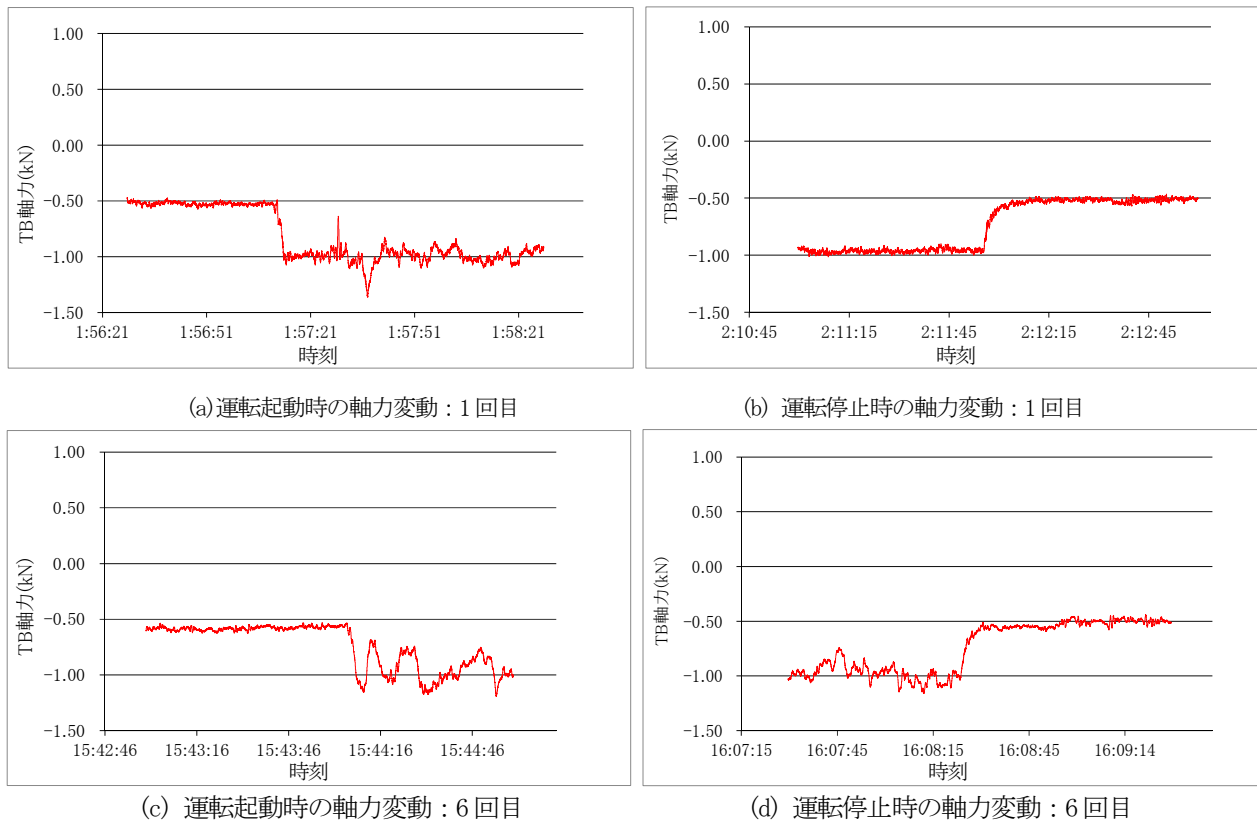


図-9 繰返しのJF運転による軸力変動(TB1)

量はJF推力による影響と比較してもさらに小さいため、構造上の問題はないと考えられる。また、車両通行時に変動した軸力は車両通行後に時間が経過しても同様の軸力を維持していることを確認した。本計測では方向安定金具（TB1・4）に軸力変動は認められたが、4つの吊金具（TB2・3・5・6）では軸力変動はほとんど確認できなかった。車両通行による縦流の風力や自然風による影響をうけた可能性も考えられるが詳細は不明であり、その他のデータを確認し要因を精査している。

(4) 繰返しのJF運転時

トンネル供用後にJF稼動状況を確認し、一定の期間内での繰返しのJF運転による軸力変化を分析した。本節では1日当たりの運転回数が最も多い日を対象としており、運転回数は6回で運転時間は累計で2時間程度であった。期間内の1回目運転時と6回目運転時の軸力変動の結果を図-9に示す。軸力変動が顕著に認められたTB1の計測結果を示している。

1回目運転起動時には0.5kN程度の圧縮方向の軸力が働き、運転停止時には当初の荷重状態に戻っている。その後繰返し運転し、6回目運転時の軸力も1回目と同様に0.5kN程度の圧縮方向の軸力が働き、運転停止時にも同様に稼動前に近い軸力に戻っていることが分かった。この結果より繰返しのJF運転自体による軸力変動は発生するが、運転が停止すれば荷重状態は運転前と同等程度

に戻ることを確認した。

4. まとめ

道路トンネルに設置したJFの取付金具に作用する軸力計測を行い、据付時の計測結果について確認し、吊金具に作用する軸力と比較して方向安定金具に作用する軸力は非常に小さいという結果が得られた。この結果は設計時の計算結果と整合が取れている。また、供用前のJF試運転時の計測結果より起動および停止による軸力変動は比較的小さく、JF運転単独での影響は小さいことを確認した。また、重量物運搬車を通行させ、車両のみの影響による軸力変動を分析したところ、車両通行前後で軸力に微小な変化が認められた。トンネル供用後の繰返しのJF運転時の軸力変動はJF単独運転時と同様の傾向となっており、運転停止後の軸力は運転前と同程度になることを確認した。本報告は、限定的な条件の1JFにおける計測結果であり、全てのトンネルに対する普遍的な傾向に言及するには更なる検討を要する。対象トンネルは平成30年3月より供用を開始しており、地震の影響、覆工や取付金具等の材料劣化の進行によって作用する荷重は変動すると考えられるため、今後も長期的に計測を継続して諸要因による影響を検討していく予定である。

謝辞：忍路トンネルで実施した計測について、北海道開発局より多大なご支援をいただいた。ここに記して関係者に謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：トンネル内の道路附属物等(重量構造物)の一斉点検結果について，報道発表資料
http://www.mlit.go.jp/re-port/press/road01_hh_000316.html，2018年8月参照
- 2) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説，pp.136，2008.

(2018. 8. 10受付)

STUDY ON AXIAL FORCE MEASUREMENT ABOUT TUNNEL VENTILATION TURNBUCKLE OF JETFAN

Shohei HARA, Atsushi KUSAKA, Takaaki KOIDE and Nobuharu ISAGO

After happened fall accident of ceiling board on Sasago tunnel, it was more important about safety of appendages in rock tunnel. And it was established standart of inspection about tunnel maintenance. But it has many uncertainty fact in actual tunnel about infulgence of various factors and progress of degradation.

In this study, the authoras installed measurement facilities on axial force about ventilation turnbuckle of jetfan at an actual road tunnel. when setting jetfan, testing trial , passing heavy vehicle, repeating work. As a result of measurement, load action on each turnbuckle fitted for design principle. And axial force were effected little by some factors.