

新幹線トンネル内の風が集電性能へ及ぼす影響

電力技術研究部 電車線構造研究室
研究室長 清水政利

1. はじめに

トンネル内ではパンタグラフに作用する風速が明かり区間に比べて大きく、パンタグラフの揚力が増加するため¹⁾、トンネル内の集電性能が集電系の安全性を確認するための指標の一つとなっている。このため、速度向上時等の電車線設備の余裕度や改善方向を明らかにするためには、トンネル内の風速を適切に考慮した検討が必要となる。

近年の新幹線速度向上に対応し、これらの検討を行うため、トンネル内の列車通過時における電車線付近の風速・風向を測定した。同時に、線条と金具類の変位、応力等の電車線の挙動を測定し、トンネル内の風速・風向が集電性能のうち地上側での確認項目である支持点押上量やひずみ等に与える影響を考察した。また、得られた風速測定結果（線路平行方向）からトンネル内を走行するパンタグラフ揚力を推定し、架線・パンタグラフ系の運動シミュレーションにより新幹線高速域での集電特性能を予測し、設備の改善方向を示した²⁾。

2. 風速・風向と電車線挙動の測定条件

トンネルとトンネル内の電車線の条件を表1に示す。測定箇所は、比較的大きな風速が発生する可能性がある2箇所とした。トンネルAは比較的に長いトンネルで、トンネル内で対向する列車のすれ違いがあり、電車線はトロリ線にGT-PHC110を用いた高速対応のヘビーコンパウンドである。測定箇所は列車がすれ違う可能性がある地点としてトンネルの中間付近を選定した。

トンネルBは比較的に短いトンネルで、トンネル内で列車のすれ違いはなく、電車線はトロリ線にGT-Sn170を用いた一般的なヘビーコンパウンドである。測定箇所は、列車がトンネルに進入した際に発生する圧力波がトンネル出口で反射し、折り返して列車と遭遇すると想定される箇所を選定した。

表2に測定箇所における通過列車の条件を示す。測定した列車は、標準断面の車両の編成、小断面の車両と標準断面の車両の併結の編成で、それぞれパンタグラフの数と先頭からの位置が異なる2種類の形式がある。測定箇所は下り線であり、併結の編成は小断面の車両が前方となる。

測定項目はトロリ線から約400mm上方の風速、風向と、線条や金具類の各部の変位、応力、加速度である。ハンガ点の上下、左右変位は加速度の積分値から算出した。

表1 測定を行ったトンネルと電車線の条件

トンネル名 (全長)	トンネル A (9730m)	トンネル B (2620m)
測定箇所	トンネル入口から 4051m	トンネル入口から 743m
電車線	高速対応ヘビーコンパウンド ¹⁾	標準ヘビーコンパウンド ²⁾
線種 (標準 張力)	Me St180 (21.6kN)	St180 (24.5kN)
	Ax PH-Ag150 (12.7kN)	PH-Ag150 (9.8kN)
	Tr GT-PHC110 (19.6kN)	GT-Sn170 (19.6kN)
径間長	45m	45m

Me：ちょう架線 Ax：補助ちょう架線 Tr：トロリ線

表2 通過列車の条件

編成	車両断面 (パンタグラフ数)	列車先頭からのパンタグラフ距離 [m]			
		第1	第2	第3	第4
A	標準 (1)	180			
B	標準 (2)	124	173		
C	小 (2) + 標準 (1)	43	103	308	
D	小 (2) + 標準 (2)	43	103	252	301
E	小 (1) + 標準 (1)	108	329		

3. トンネル内にける列車通過時の風速

3.1 線路平行方向の風速

(1) 風速，風向の特徴

図1にトンネルAをD編成が270km/hで走行した場合の線路平行方向の風速，風向の測定チャート例を示す。図中にはトロリ線の支持点押上量も同時に示している。列車のすれ違いがない場合は，測定点を列車が通過する前は列車進行方向，通過中は列車進行と逆方向，通過後は列車進行方向の風が発生している。また，列車の後方ほど風速が大きい傾向がある。

対向列車とのすれ違いがある場合は，自列車が測定点を通過中で，その前方に対向列車がある場合には列車進行と逆方向，自列車が測定点を通過後で，対向列車が測定点の反対側線路を通過中には自列車の進行と逆方向の風が発生し，その風速はすれ違いがない場合より大きい。また，測定点に両方向の列車がある場合はそれぞれの列車により発生する風が相殺され，測定点の風速は減少している。

トンネル内に対向列車がある場合は，ない場合に比べて自列車通過中の風速が増加するが，すれ違い時において特に過大となる風速や複雑な風向の変化は観測されなかった。

(2) 線路平行方向の最大風速

図2はトンネルAにおける対向列車の有無による風速の比較で，自列車が測定点を通過した場合の線路平行方向の風速の最大値を示している。対向列車がある場合には，対向列車がない場合に比べて風速が大きくなる傾向がある。風向は列車の進行方向と逆方向（対向風）である。

図3はトンネルBにおける最大風速で，対向列車がない場合であるが，トンネルAに比べてやや大きい傾向がある。この要因として，列車がトンネル突入時に発生した圧力波の伝搬が考えられ，列車はトンネルAではトンネル出口で反射した圧力波と遭遇した後に測定箇所へ到達し，トンネルBでは圧力波と遭遇する前に測定箇所へ到達することによるものであると推定される²⁾。

(3) パンタグラフ点における対向風の風速

走行する列車のパンタグラフ揚力は，一般的にパンタグラフと対向する線路平行方向の風速の2乗に比例するため，その風速は集電性能への影響を把握する上で重要な指標となる。

図4はトンネルAで測定した第1パンタグラフ点における風速の比較である。第1パンタグラフを搭載している車両の断面積が大きいA編成とB編成は，断面積が小さいC編成とD編成に比べて風速が大きくなる傾向がある。これは，トンネル断面積との比が異なることによるもの

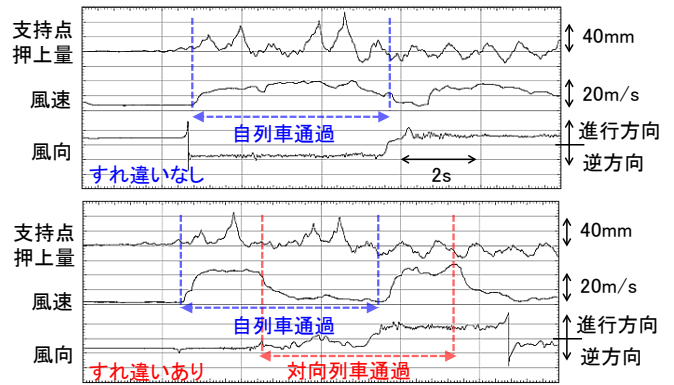


図1 風速，風向の測定チャート例

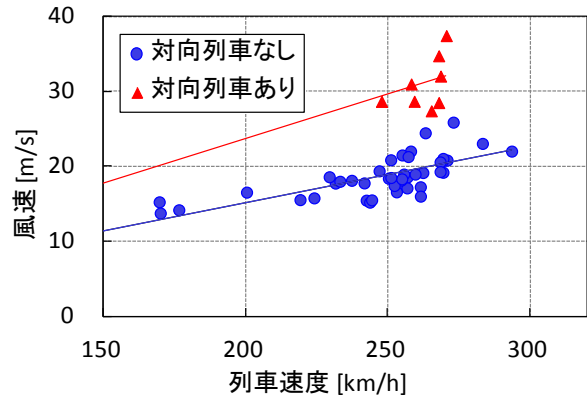


図2 トンネルAにおける対向風速の最大値

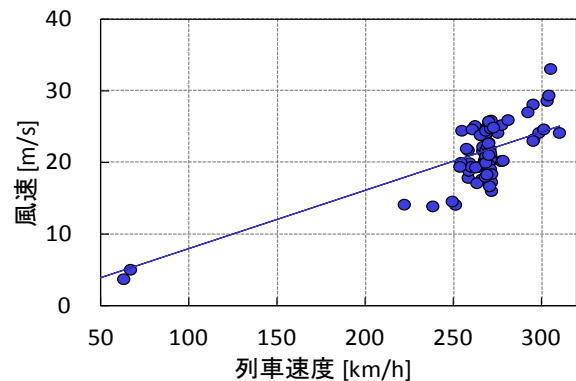


図3 トンネルBにおける対向風速の最大値

と考えられる。また、同じ断面積でも、先頭から第1パンタグラフまでの距離が長いA編成は、距離が短いB編成に比べて風速が大きくなる傾向がある。これは、列車先頭から後尾部にかけて、トンネル壁面と列車表面での境界層の厚さが増加し、主流速度が増加したことによるものと考えられる。トンネルBでも、列車の断面積や先頭から第1パンタグラフまでの距離と風速の関係については同様の傾向が観測された。

3.2 左右，上下方向の風速

図5にトンネルAにおける左右方向の風速測定結果を示す。対向列車がある場合は、ない場合に比べて風速が大きくなる傾向がある。風向はトンネル中心から壁面へ向かう方向である。

一方，上下方向の風速の最大値は5m/s以下であり，速度に対する明確な相関や，対向列車の有無による明確な差は見られなかった。

3.3 トンネル内において考慮すべき風速

以上の測定結果を基に，列車通過時に電車線設備に対して考慮すべき風速を，列車速度に対する比率を用いて表3のように整理した。線路上下方向については，上述のように明確な速度特性が見られないため，測定された最大値を考慮して5m/s程度とした。

同様に，パンタグラフに作用する対向風として考慮すべき風速を表4のように整理した。トンネル内に対向列車がある場合は列車速度の1.5倍の風速を考慮する必要があり，パンタグラフ揚力についてもこれに応じた増加率を見込む必要があると考えられる。

4. 電車線の挙動

図6にトンネルAにおける支持点のトロリ線押上量の測定結果を示す。D編成での対向列車の有無による測定値を比較すると，対向列車がある場合の測定値が大きくなっており，対向列車がある場合の揚力増加を裏付けるものとなっている。編成の違いによる測定値の差は，対向風の風速の差やパンタグラフの揚力係数の差によるものであると考えられる。トロリ線ひずみの測定値も同様な傾向を示し，両者とも問題となる値は観測されなかった。

図7に，第1ハンガ点におけるトロリ線Trと補助用架線Axの上下変位，左右変位から算出した離隔の減少量と，両者の位置関係から求めた相対的な傾斜角度の変化量の関係を示す。離隔の減少量は，トンネルBに比べてトンネルAでの測定値が大きい。これは，トンネルBに比べて

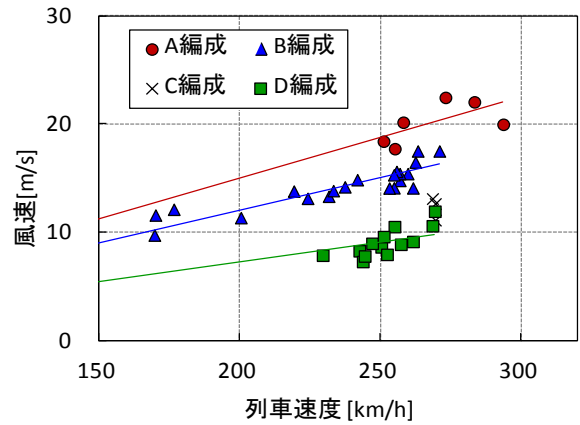


図4 第1パンタグラフ点での対向風の最大値

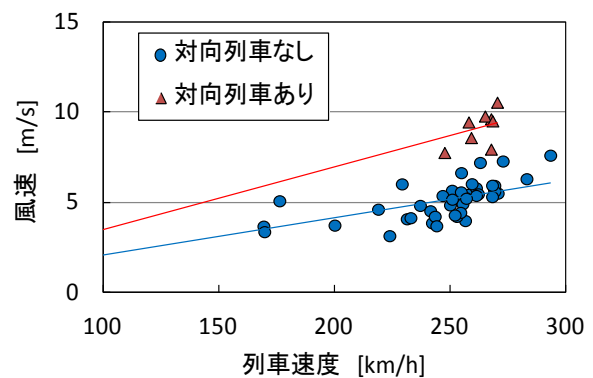


図5 線路直角方向風速の最大値

表3 電車線設備に対して考慮すべき風速

風向	対向車	列車速度比率	300km/h 走行時に考慮すべき風速
線路平行	なし	0.3	25m/s 程度
	あり	0.5	42m/s 程度
左右	なし	0.08	7m/s 程度
	あり	0.12	10m/s 程度
上下	—	—	5m/s 程度

表4 考慮すべきパンタグラフの対向風

対向列車	車両断面	列車速度比率	揚力の増加率 (速度の2乗に比例する場合)
なし	標準	1.3	1.7
	小断面	1.2	1.4
あり		1.5	2.3

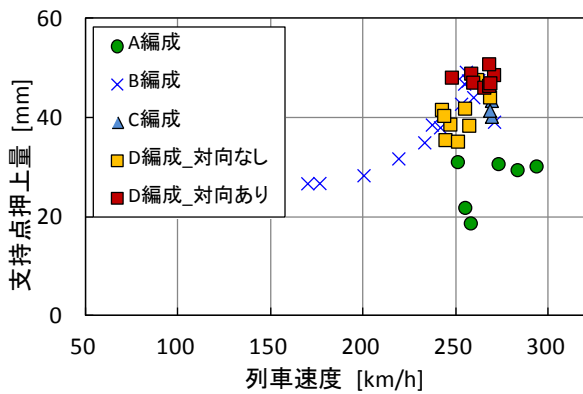


図6 支持点トロリ線押上量の最大値

トンネル A のトロリ線の線密度が小さいため、ハンガ浮きが生じやすいためであると考えられる。トンネル A における離隔の減少量は最大 20mm 程度であるが、ハンガグループの上下寸法等による離隔の限度値である 30mm に比べて余裕がある。

5. シミュレーションによる集電性能予測

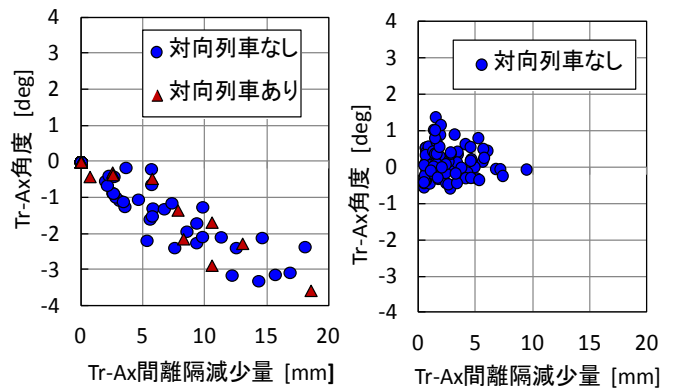
表 4 に示した揚力の増加率を用いて、架線・パンタグラフ系の運動シミュレーション³⁾により、集電性能の予測を行った。図 8 に支持点トロリ線押上量の速度特性を示す。トンネル内で対向列車がある場合を想定した風速 1.5 倍の条件では、速度向上とともに余裕が減少する傾向がある。トロリ線のひずみとハンガグループ部の浮き量についても現状では余裕があるが、速度向上時には同様に余裕が減少する傾向が確認された。これらの対策としては、支持点押上量やグループ部浮きの余裕度を向上した金具の採用が考えられる。

6. まとめ

- (1) トンネル内で電車線設備が考慮すべき風速は、線路平行方向では、列車速度に対して対向列車がない場合は 0.3 倍程度、対向列車がある場合は 0.5 倍程度である。
- (2) また、左右方向では、列車速度に対して対向列車がない場合は 0.08 倍程度、対向列車がある場合は 0.12 倍程度である。
- (3) トンネル内でパンタグラフに作用する対向風として考慮すべき風速は、対向列車がある場合は列車速度の 1.5 倍の風速を考慮する必要があり、パンタグラフ揚力についてもこれに応じた増加率を見込む必要があると考えられる。
- (4) 現在の電車線とパンタグラフ条件、営業速度では、問題となる電車線の挙動は認められない。営業速度を向上した場合、トロリ線のひずみ、支持点押上量、ハンガグループ部の浮き量の余裕度が減少すると予想される。

文献

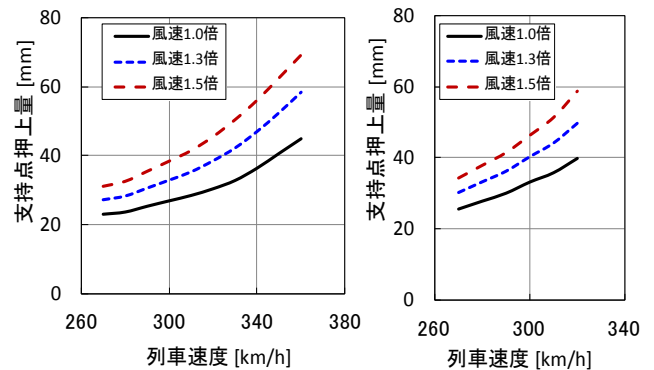
- 1) 池田充, 他:「列車走行時のパンタグラフまわりの風向・風速特性」, 鉄道総研報告, Vol.25, No.6, 2011
- 2) 清水政利, 他:「新幹線トンネル内の風が集電性能へ及ぼす影響」, 鉄道総研報告, Vol.27, No.8, 2013
- 3) 網干光雄:「動特性計算による架空電車線凹凸の評価法」, 電学論 D, 126 巻 7 号, 2006



(a) トンネル A

(b) トンネル B

図7 第1ハンガ点での離隔減少量と傾斜角



(a) トンネル A

(b) トンネル B

図8 支持点押上量の速度特性 (シミュレーション)