

## 強風時の橋梁上の車両走行の安全性確保と合理的な規制方法に 関する研究

労働安全衛生総合研究所 ○金 恵英 1\*  
横浜国立大学 勝地 弘 2\*\*  
東京理科大学 木村 吉郎 3\*\*\*

横風	走行車両	横転
主塔	橋梁	防風柵

### 研究の目的

海をまたぐ長大橋梁では、主塔付近で大型トラックの横転事故が発生している。これは、主塔裏では無風状態であった車両が主塔裏から出る際に加速された横風を受け、その急激な変化に運転手が対応できないためと推察されている。そして、現状では横転事故に対する安全対策が施されておらず、横転事故防止に効果的な防風壁の設置が求められている。過去に、大鳴門橋で横風対策として主塔付近に防風壁が設置される事例があったが、これは試験的に設置されたもので横風特性を十分に把握できていなかったため、風向によってはかえって増風されてしまうようなものであった。そのような事例を踏まえて、本研究では主塔周りの複雑な横風の流れ場を風洞実験により正確に再現し、車両横転の詳細な要因を特定する。そして、その結果をもとに最適な防風壁を設計・作製し、車両横転事故の未然防止につなげることを本研究の目的とする。

### 研究の内容

横転事故が発生した南備讃瀬戸大橋上の主塔付近の複雑な流れ場を詳しく調査し、横風が急激に変化する箇所や風が加速されるような箇所といった、車両横転につながる恐れがある危険な箇所を特定する必要がある。この複雑な流れ場を再現するため、本研究では精密に作製されたトラス橋桁模型および主塔模型を用いて実際の橋梁の様子を再現し、その模型に対し風洞実験を行った。風洞実験では、1/80 スケールの橋桁模型(主塔付近の部分)と主塔模型を設置し橋軸直角方向から送風することで、主塔周りの横風の計測を行った。

次に、風洞実験で判明した危険な箇所をもとに、横転事故の未然防止が期待できるような防風壁を設計し作製した。風洞実験において防風壁を設置した場合の主塔付近の流れ場を調査した。防風壁の形状を工夫して車両が横風を突発的に受けないようにする必要がある。本研究では、形状を直角台形(上底の長さ<下底の長さ)の防風壁とした。具体的には、矩形と直角三角形を組み合わせたような形状である。この形状を採用することで、車両は防風壁斜辺からの剥離流を走行方向に徐々に受けると予

想でき、横風を突発的に受けないことが期待できる。

最後に、車両走行装置を用いて主塔付近走行時に車両に作用する空気力を計測することで、制作した防風柵の効果を検証する。ここでは、1/50の縮尺の橋梁模型、主塔模型、車両模型を用いて風洞実験を行う。車両は走行装置を用いてレール上を走行させる。車両模型の中には六分力計を搭載しており、横風の中で走行する車両に作用する六分力(横力、抗力、揚力、ローリングモーメント、ピッチングモーメント、ヨーイングモーメント)をサンプリング周波数 1000Hz で計測する。

### 研究の成果、新知見

各点で得られた風速は、以下では無次元の「風速比」の形で評価する。風速比は、計測風速を流入平均風速で割ったものとして定義した。風速比が1を超えると横風は加速、1を下回ると減速されていることになる。この風速比を、(1)平均風速(比)、(2)最大瞬間風速(比)、(3)標準偏差、についてコンター図を作成し、主塔周りの横風特性を可視化した。

実際に車両横転事故が発生した車線1における、平均風速を図1に示す。最大瞬間風速の結果は、平均風速と傾向が似ていた。

図1で示したように、主塔からの距離  $X=3.2\text{m}$  以降、路面からの高さ  $Y=2\text{m}$  より上の領域で風速比が1を超えていて、さらに  $X=4\sim 7.2\text{m}$ 、 $Y=2.4\text{m}$  より上の領域では風速比が1.1の加速風領域が形成されていることが分かる。この領域は、橋桁での剥離せん断流と、主塔での剥離せん断流が複合して形成されたものと考えられる。また、この加速風領域は、走行するトラック(全高 3.8m)の荷台上部に相当する高さに存在している。風速比 1.1はそれほど大きい数値ではないが、主塔裏から出た直後( $X=0\text{m}$  付近)では風速比は0に近く、かつ車両走行方向に風速比が急激に増加していること( $X=0\sim 3.2\text{m}$ )を考慮すると、車両は走行に伴い横風を突発的に受けことが推察される。

風洞実験で判明した加速風領域を、車両全高よりも上側に逃がすように防風柵高さを設計した。また、形状は直角台形とし、主塔での剥離せん断流を制御し、走行車両に作用する防風柵斜辺からの剥離せん断流による風速変化が緩やかになるように上底・下底の幅を設計した。

防風柵の設置によって全体的に風速比は低減しており全体的な減風効果が確認できた(図2)。また、 $X=0\sim 3.2\text{m}$ で走行方向の急激な横風の変化が抑えられていることが確認できた。

次に、車両走行装置を用いて主塔付近走行時に車両に作用する空気力を計測することで、制作した防風柵の効果を検証する。対象橋梁の主塔付近の横風分布を調査した既往研究を参考に、防風柵は図3で示したようにA～Cの三種類で作成した。防風柵の形状は、車両が主塔裏に入る場合、もしくは出る場合に受ける横風の変化を緩やかにするために射角を付けた直角台形とした。

走行車両実験から、車線、防風柵の種類、風速をパラメーターとして走行車両に作用する空気力を計測する。その中、車両の不定性に最も影響を与えるヨーイングモーメントに着目し考察を行う。

車線1における防風柵なし、A、B、Cでのヨーイングモーメントを図4に示す。車線1では、防風柵がない場合、計測ステップが約400～1000の間でヨーイングモーメントが変化している。その間におけるヨーイングモーメントの変化は大きい。一方で防風柵を設置した場合では設置していない場合と比べて、ヨーイングモーメントが変化する範囲を明確に示すことが出来なかった。これは、急激な変化を抑えるために工夫した防風柵の形状の効果の影響であるといえる。また、ヨーイングモーメントの最大値、最小値も防風柵を設置していない場合と比べて小さな値となっており防風柵の効果が表れているといえる。

これらの結果から今回設置した防風柵のモデルはどれも効果があるということが示された。特に防風柵B、CはAと比べて防風効果が高いことも証明された。特に車線1では防風柵を設置することで受けるヨーイングモーメントが減少している。また、車線4ではヨーイングモーメントの減少率は低いが生計測範囲内の大きな変動がなくなりドライバーが横風に対して対応しやすくなったと言える。

#### 今後の予定

車両の走行速度と横風の風速に関して、強風時の横風の風速と走行速度を考慮しないといけない。本来であれば時間尺度を考慮して風速と車速を考える必要があるが、車両モデルの走行速度に制限があり実スケールでの強風時の車両速度の再現が難しいため車速と風速の成す相対角度を基準として組み合わせを考えた。今後は、車両モデル内部に設置する六分力計を低風速でも測定ができるセンサーに替えて、時間尺度を考慮して実スケールでの風速と走行速度を再現して実験する必要がある。

#### 謝辞

本研究は、風洞実験やデータまとめなど、東京理科大学4年の安田拓未さんとM1の今野秀哉にご協力をいただきました。ここに、謝意を表します。

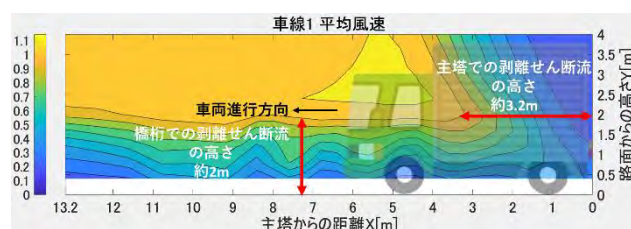


図1 平均風速(車線1)

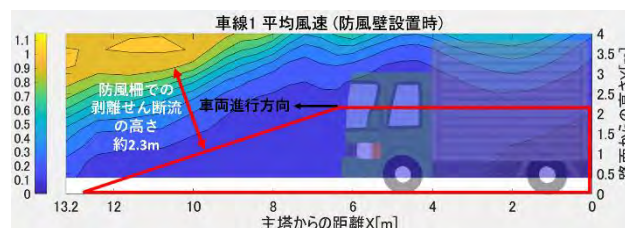


図2 防風柵設置時の平均風速(車線1)

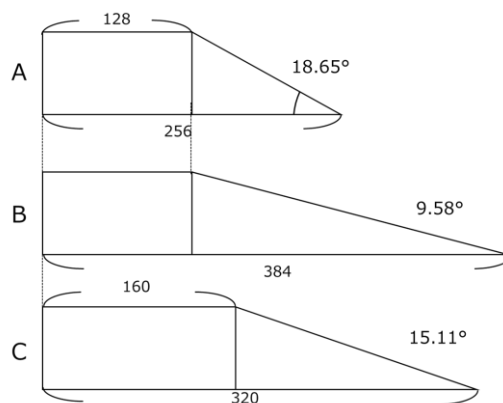


図3 防風柵の寸法

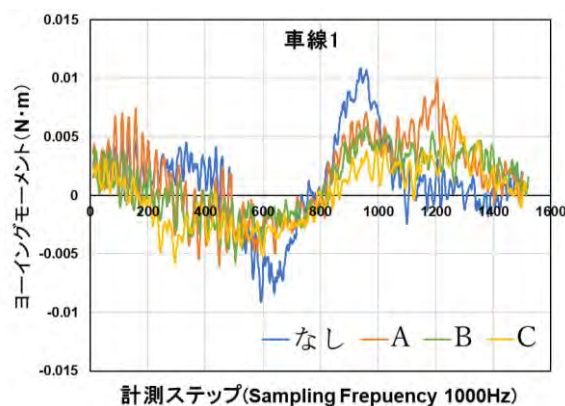


図4 車線1でのヨーイングモーメント比較

\*労働安全衛生総合研究所 1

\*\*横浜国立大学 2

\*\*\*東京理科大学 3

\*National Institute of Occupational Safety and Health 1

\*\*Yokohama National University 2

\*\*\*Tokyo University of Science 3