

平成20年度 土木学会技術開発賞候補「技術概要書」 「キャビテーション噴流技術を用いた高速清掃装置の開発」

1. 開発の背景

道路トンネル内には安全で快適な走行を目的として照明設備が設置されており、照明器具は排気ガスや路面の粉塵及び雪氷作業による凍結防止剤の付着により明るさが低下するので、定期的な清掃が必要である。

従来のトンネル照明器具の清掃は回転ブラシで擦るようになっており（図-1）、器具のガラス面とブラシ位置を正確に合わせながら進む必要があるため、清掃速度が1~2km/hと非常に遅い。このため一般車への渋滞や事故を引起す要因となる交通規制が必要であり、さらに規制内の清掃作業は清掃員にとっても危険であった。

そこで非常に清掃効果の高い気泡を含んだキャビテーション噴流技術をトンネル照明器具の高速清掃に活用し、高速道路の最低走行速度である50km/hでの高速清掃を実現し、事故や渋滞等の原因となる車線規制、及び危険な規制内作業を削減することを目的に「キャビテーション高速清掃装置」の開発を行った（図-2）。



図-1 従来の回転ブラシ式清掃 1~2km/h



図-2 キャビテーション高速清掃 50km/h

2. 候補技術の概要

2.1 トンネル照明器具清掃の過去の検討状況

回転ブラシによるトンネル照明器具清掃の清掃速度の遅さ、非効率さは従前から問題となっ

ており、過去にも様々な検討がなされてきた（表-1）。

表-1 過去の検討状況のまとめ

評価項目	高圧水噴射	水溶洗剤噴射	ドライアイスブラスト	重曹噴射(ソフトブラスト)	スチーム噴射
①高速清掃が可能	△	×	×	×	×
②清掃効果が高い	×	△	○	○	△
③照明器具等を損傷しない	○	○	×	×	△
④一般車へ影響がない(飛散)	×	×	○	×	○
⑤汚水廃棄物処理施設が不要	○	×	○	○	○
高速清掃実用化	×	×	×	×	×

トンネル照明器具に付着する汚れは、排気ガスに含まれる油脂分や凍結防止剤が照明の熱(130℃程度)により固着しており、単なる高圧洗浄や洗剤溶液をかける程度ではきれいに落とすことができない。

また洗浄汚水の処理が必要な手法や、隣の車線には一般車両が通行しているため、周囲へ洗浄物が飛散するような手法も実用では使えない。それぞれの清掃方法にそれぞれの課題や問題があり、現在まで清掃速度の高速化はできなかった。

2.2 キャビテーション噴流技術について

高速で照明器具を清掃するため、非常に清掃効果が高いキャビテーション噴流の活用を図っている。水は流れ中での圧力が飽和蒸気圧より低くなったときに、液体が蒸発し気泡が生じる（図-3）。

気泡は間もなく周囲の圧力により一瞬で潰れるが、このとき金属をも破壊する衝撃力が発生する。この気泡発生から消滅までの現象のことをキャビテーションという。

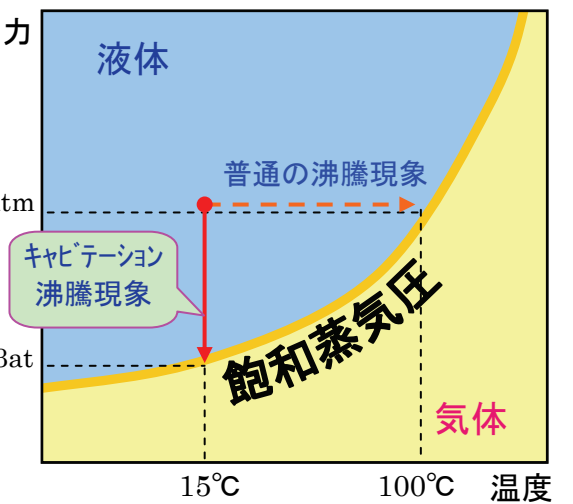


図-3 キャビテーションと飽和蒸気圧

古くから船舶のスクルーやポンプ等が破壊され、また騒音や振動を引き起こす破壊現象として知られており、キャビテーションに関する研究は、主に発生を抑制することを目的として

行われてきた。

しかし昨今では 80℃の沸騰し易い温水を、特殊ノズル（水圧の変動を起すノズル）から噴射し、噴流にキャビテーションの気泡を効率よく発生させて（図-4）、落書き落としやビル外壁の古くなった塗装の除去に活用される等、有効に利用されるようになった。

キャビテーション噴流は一般的なウォータージェットに比べて水圧と水量が少なく、時速 50km/h での清掃時には、洗浄水はほとんど霧散するため周囲の車や路面を濡らして、スリップ事故を誘発することもない。さらに洗剤等環境汚染物質を全く含んでいないため、洗浄後の汚水を処理する必要もなく環境にやさしい。

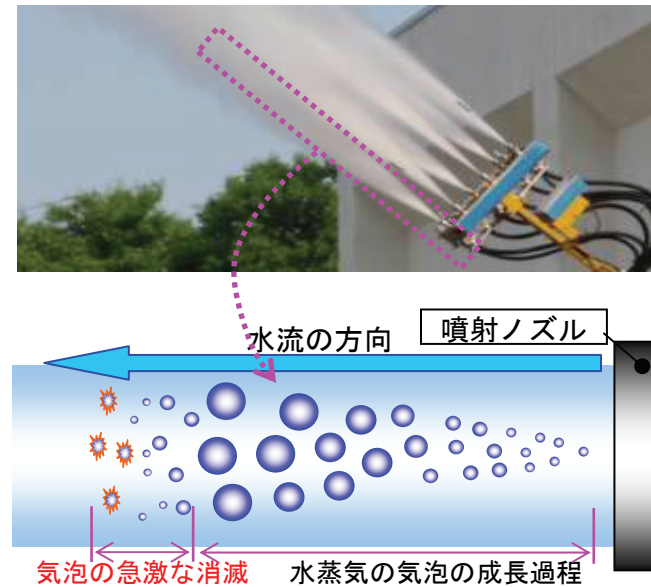


図-4 キャビテーションの気泡の発生と消滅

ただし雨天時等湿度の多い時には気化しないことがあるため、使用には注意が必要である。

2.3 従来回転ブラシとキャビテーション清掃の清掃能力比較

従来回転ブラシとキャビテーション高速清掃の清掃能力について要素試験により比較した。

回転ブラシ（清掃速度 1.5km/h程度）に対して、キャビテーション清掃は清掃速度が速くなると清掃効果は低くなり、さらにノズルと照明器具までの離隔が離れれば清掃効果は低くなる（図-5）。

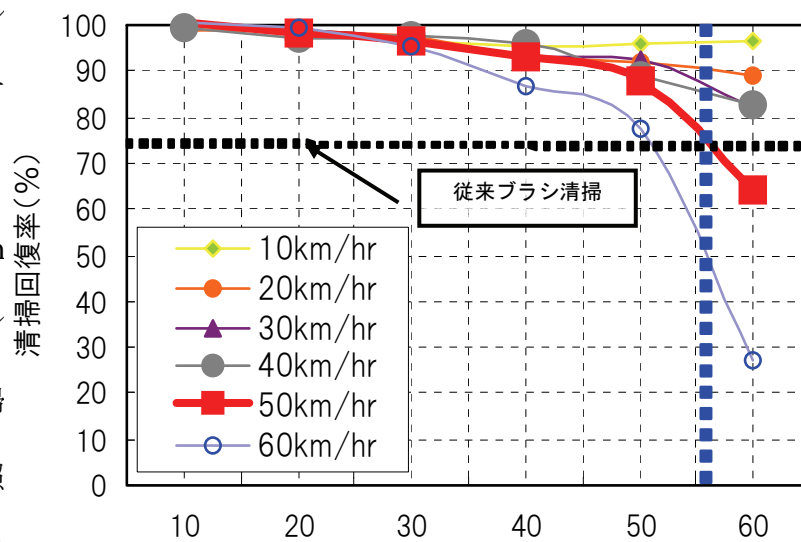


図-5 洗浄ノズルと照明器具までの離隔(cm)

キャビテーション清掃の速度を、高速道路の最低速度の 50km/h とすると、従来回転ブラシ

と同等以上の清掃効果を得るには、ノズルと照明器具の離隔を 55cm 程度以内に近づける必要があることがわかった。

またドライバーの運転技量で適切に離隔を保つことができるか確認を行うため、ノズル付近にレーザー距離計を備えて、走行清掃時の照明器具との離隔を測定した（図-6）。

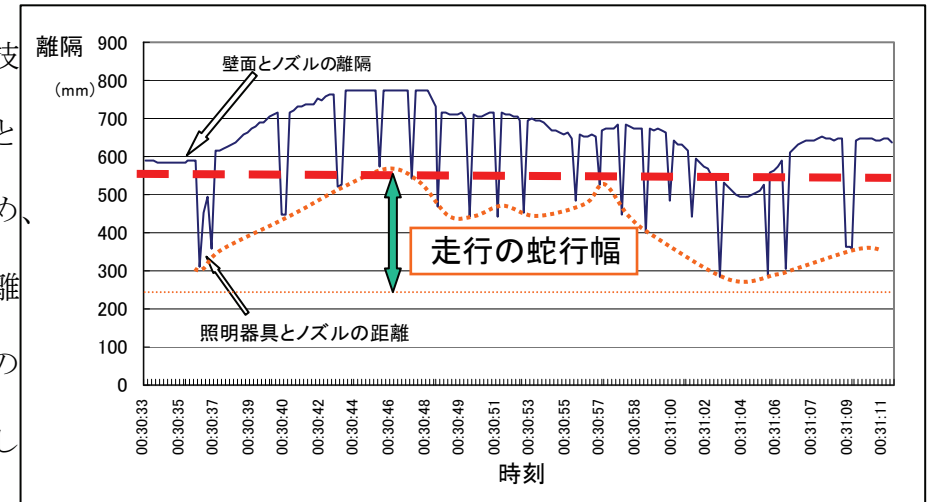


図-6 照明器具とノズルの離隔

測定により、照明器具とノズルの離隔は 25~55cm 程度であり、ほぼ 55cm 以内を保ちながら、25cm 程度の離隔マージンを保つことができることが確認された。

2.4 キャビテーション噴流の破壊力

キャビテーションは金属をも破壊する現象として知られていることから、噴流を長時間当てるとトンネル照明器具の表面や周辺設備も破壊してしまう恐れがある。よって、破壊力を把握し十分に安全対策を検討する必要がある。

基本的には時速 50km/h で清掃を行うため、1箇所を長時間集中的に噴射することはないが、路面に障害物がある場合等、清掃速度低下や停止状態になることも考えられるので、キャビテーション噴流の破壊力を確認した。



図-7 強化ガラス(8mm)の破壊試験



図-8 ケーブルの破壊試験

厚さ 8mm の強化ガラス（トンネル内非常電話ボックスのガラス）は、10cm 程度の至近距離から噴射させると 50 秒程度で破壊されてしまう（図-7）。またトンネル内に添架されている電力や通信等ケーブルは 10cm 程度の至近距離から噴射すると 5 秒程度で被覆がなくなってしまう（図-8）。

これら試験から装置を開発するにあたり近接時や速度低下時に噴流が 1 点に集中しないようにするために、自動噴射停止装置を備えることとした。

2.5 高速清掃装置のノズル位置合わせ制御装置（GPS 連動自動ノズル位置合わせ制御装置）

本装置を搭載した車両が 50km/h 以上の速度でトンネル内に進入し、トンネル照明器具の清掃を行う前に、予めトンネル毎に設置位置が異なる照明器具位置にノズルを合わせておく必要がある。

本装置は清掃機能を改善しながら車線規制を削減することを目標としているので、ノズル位置を照明器具に合わせる時も、一旦停止することなく 50km/h 以上で走行しながら行う必要がある。しかし、この速度でオペレーターの目視によるレバー操作で位置を合わせることは困難であるため、GPS で現在位置とトンネル入口までの距離を計測しながら、段階的にノズルを照明器具位置に自動で合わせる「GPS 連動自動ノズル位置合わせ制御装置」を開発した（図-9）。

作業に当たっては、トンネル毎、走行車線側、追越車線側それぞれで、事前にトンネル入口の緯度経度データと照明器具位置の計測データが必要であるが、この GPS 連動制御装置により準備段階から清掃まで 50km/h 以上で実施することが可能である。

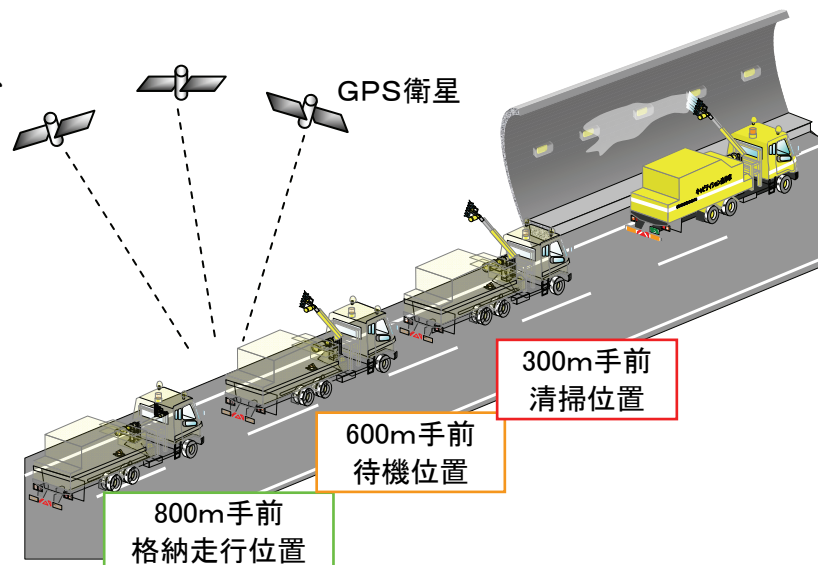


図-9 GPS連動自動位置合わせ制御装置

なお、ノズルと器具の離隔が 55cm 程度まで離れても従来清掃と同等以上の清掃効果があることを確認しており、位置合わせ精度の要求はさほど厳しいものではなく、ある程度の走行揺れによるノズルの揺れに対しても清掃効果は十分確保できる。

2.6 安全装置

周囲に一般車両が通行している高速道路で、安全に高速で清掃作業を行うために、以下の安全対策機能を開発した。

①ノズル部分の路上設備等への接触回避機能

ノズル部付近のレーザーセンサーが近接を感知するか、またはタッチセンサーが障害物

に接触すると自動でアクチュエーターが収縮して回避する機能を設けた（図-10）。回避動作時は作動油の油量を通常操作時より増して速やかに回避することが可能である。

②ノズル部が路上設備に接触した場合の被害軽減対策

上記回避機能で回避しきれずにノズル部が照明器具等に接触した場合に、設備破壊を軽減するためノズル部に各種衝撃緩和対策を行った（図-11）。なお、ノズル部が脱落して後方の一般車両に衝突しないようにするため、落下防止ワイヤーを取り付けている。

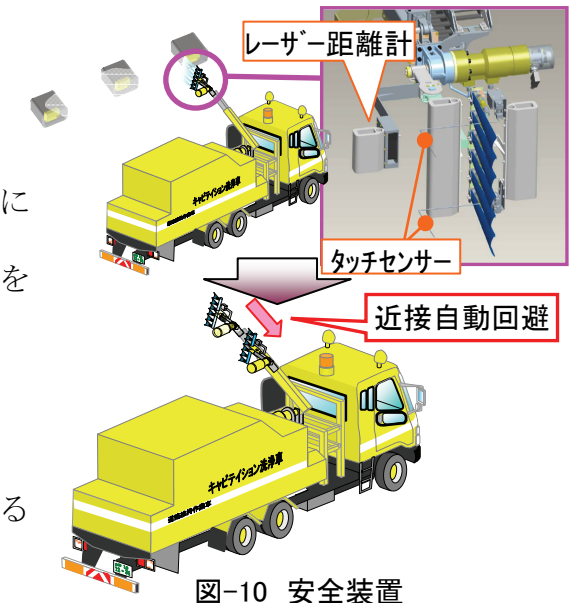


図-10 安全装置

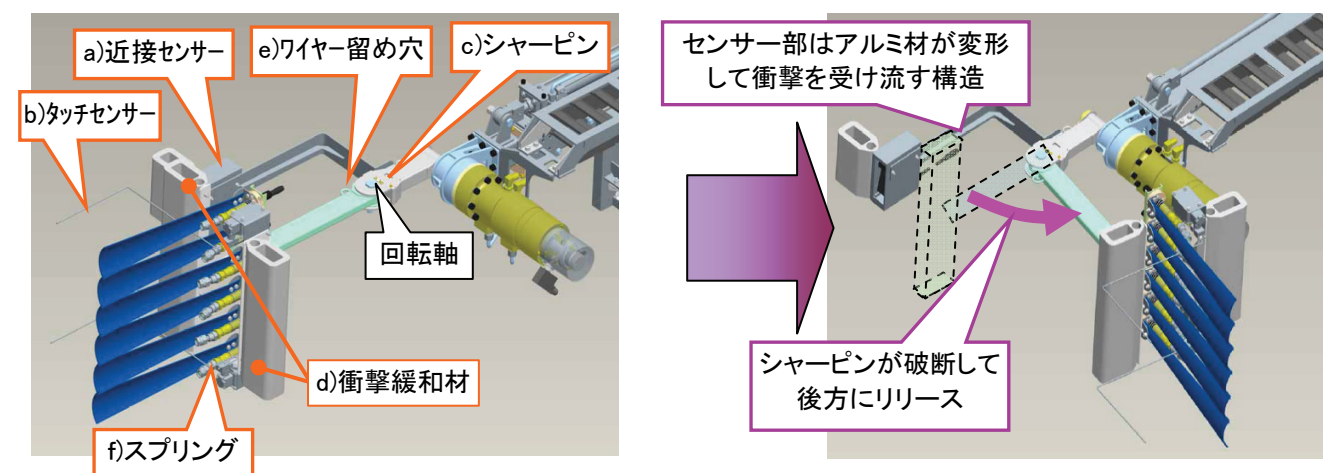


図-11 ノズル部付近の接触対策

③破壊力の強いキャビテーション噴流による路上設備の破壊防止対策

破壊力の強いキャビテーション噴流で路上設備を破壊してしまうことがないようにするため、近接時または低速時に自動でキャビテーション噴流を停止させる機能を開発した。これはノズル部付近のレーザー式距離計による近接監視、及び車両本体から車速パルス信号を取り出して常に車速監視することで可能とした。これによりキャビテーション噴流が1箇所集中して設備を破壊するのを防ぐことができる。

2.7 その他応用

本装置は、従来汚れが厳しく回転ブラシでも除去するのが困難であったレーンマーク(白線)の汚れを50km/hで除去することが出来る(別途専用ノズルによる)。

また、清掃以外への活用として、キャビテーション噴流に研磨剤を混合すると(図-12)ケレン等を行うことができる。特に研磨剤に重曹を用いた場合はキャビテーションの衝撃力と重曹の化学的性質の相乗効果で、鋼材表面の脆い赤錆を耐食性のある被膜に変質させることができた(図-13 黒錆状のものであるが強い被膜ではない。なお重曹はアルカリ性なので構造物や環境に対してやさしい)。本装置には他にも様々な可能性があるため、今後も清掃速度のさらなる向上とともに応用研究を行っていく予定である。

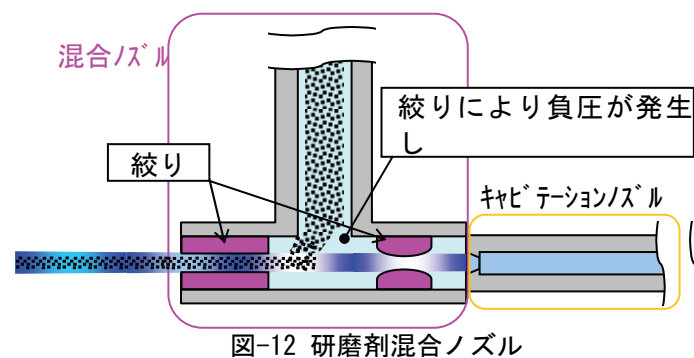


図-12 研磨剤混合ノズル

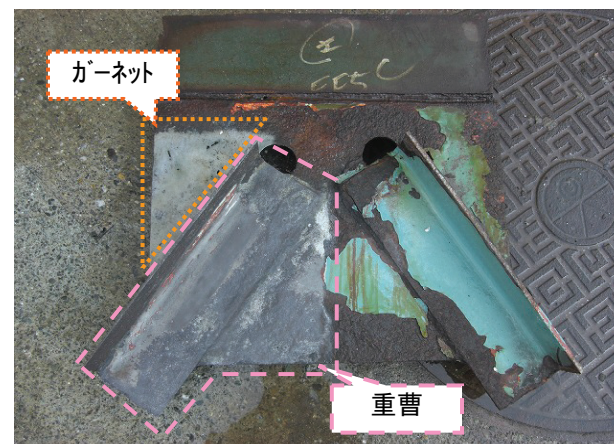


図-13 橋梁部材の錆落し状況

3. 開発の経緯

平成16年度：車線規制削減の検討の一環として研究開発を開始し装置の基本設計を行った。その後平成17年度に試作機を製作し、平成18年度のフィールド試験及び評価検証、平成19

年度の装置改良を経て、完成に至った。

4. 開発の効果

- ①一般通行車両に対して、事故や渋滞の原因となる車線規制を無くすことが可能となった。
- ②清掃作業員に対して、危険作業である規制内作業が不要となった。
- ③清掃の効率化と車線規制削減で、高速道路3会社で約1億7千万円/年削減させることができた。
トンネル約1500チューブとして試算。
 - ・交通規制費 → 百万円
 - ・清掃費 → 百万円 } ▲百万円 削減
- ④洗剤等を必要としない清掃方式なので、環境にやさしい。

5. 実績

平成20年7月に〇〇、平成21年1月に△△及び平成21年2月に□□へ各1台納車済み。
平成21年度夏：◎◎へ1台(2台目)納車予定。

6. まとめ

本装置は、本来の照明機器に対する清掃機能の改善だけでなく、高速道路等の事故や渋滞を引起す要因の一つにも掲げられている車線規制削減、ならびに維持管理コスト削減に寄与するものであり、さらに危険な規制内作業における清掃作業員の危険を回避させる上で、社会的な貢献が大きい技術開発である。

また、外部からの評価としては、学会等で様々な賞を受賞し((社)日本建設機械化協会 平成20年度会長賞を受賞)、また多くの新聞やテレビでも好意的に報道され、多くの組織や機関からも高く評価されている技術である。