

防護工への実大衝突実験および衝突解析

西松建設(株)土木技術部 正会員 ○鈴木 健
西松建設(株)土木設計部 正会員 大谷 達彦
中日本高速道路(株)金沢支社敦賀保全・サービスセンター 正会員 鈴木 俊雄

1. はじめに

矢板工法により建設されたトンネルは、NATM とは異なり、覆工背面に防水シートがないことから、覆工の経年劣化により漏水が発生している。寒冷地では、漏水が原因となり、氷柱（ツララ）が発生するため、走行車両への安全対策としてツララ落とし作業を実施しているが、実施に際し、渋滞の発生や交通事故を誘発するリスクがある。これらの課題に対する抜本的な対策の一つとして「覆工再生工」¹⁾が検討されている。覆工再生工は、供用下での施工を想定し、トンネル中央部に「防護工」と称するプロテクターを設置し、防護工内に一般車両を通行させながら、既設覆工の切削、防水シートの設置および再生覆工コンクリートを構築するものである。

この防護工に対する要求要件には、「設計要領第五集交通安全施設（防護柵編）（平成28年8月）2-2 種別の選定で示す、衝突条件 A（車両総重量 25t、走行速度 15km/h、衝突角度 15°）の作用に対して、防護工が作業空間を阻害しないこと。なお、防護工の移動防止に関して既設覆工や監査歩廊、路面、排水工などにアンカー等で引張強度を期待しない。」²⁾がある。この要求要件を確認するため、実大の防護工を構築し、実際に 10t 級ダンプトラックにて衝突条件 A を作用させた衝突実験、さらには、実施工を想定した衝突解析も合わせて実施した上、防護工が作業空間を阻害しないことを確認した。

2. 防護工

防護工は SS400 材で構築した。部材間の連結は普通ボルトとし、連結の仕様は、全断面スチールフォーム相当とした。防護工の内空は、一般車両通行を想定し、以下の通り規定²⁾されていた。防護工と 2 車線断面級模擬トンネルは、衝突実験他等の実験のため進行方向 10.5m 構築した（図-1）。

- ・内空幅 5250mm 以上（車線幅 3250mm、路肩 750mm@2、防護柵幅 250mm@2）
- ・内空高 4500mm 以上

3. 実大衝突実験および衝突解析

実大衝突実験および衝突解析は、以下の仕様で実施した。

- ・衝突荷重 A を再現するため、10t ダンプを準備し、荷台にウェイトを積載して総重量 25t とした。衝突車両（運転：スタントマン）は、技術実証ヤード内を走行させて、衝突時の車両速度 45km/h を確保した。
- ・衝突実験前後の変動量は、トータルステーションを用いて、防護工脚部（レール）の移動量、防護工の変形程度および防護工 GH+1.5m の変化を確認した。また衝突実験前後に 3D スキャン計測を実施して防護工全体（内空）の変化も確認した。加えて、衝突時の防護工の挙動を検証するため、防護工や衝突車両にカメラを設置し、動画にて記録した（設置カメラ数：10 台）。
- ・上記に加えて、防護工内空側（防護柵含む）および衝突車両を塗装し、車両が衝突した箇所および範囲が、衝突実験終了後に計測、目視確認できるよう工夫した。
- ・衝突解析は、3 次元解析（解析ソルバー：Ansys LS-DYNA）とし、かつ、時刻歴解析を実施して、衝突車両が防護工に衝突時の防護工への影響、移動量を予測した。

キーワード 覆工再生工 防護工 衝突実験 衝突解析

連絡先 〒160-6407 東京都港区虎ノ門 1-17-1 西松建設(株)土木技術部 TEL 03-3502-0218

- ・衝突解析において、防護柵は実際の衝突によって塑性変形することが想定される。よって防護柵部の構成則は非線形モデルを採用した。
- ・衝突実験は2回実施した。1回目：2021年12月上旬に実施した。1回目の実験は予備実験とし、防護工と既設覆工間にパイプサポートを配置して実施した。衝突実験後、衝突解析を実施し、計測値と解析値の同定させた。この結果から衝突実験2回目に対する予測解析を実施した。
- ・衝突実験2回目：2022年3月上旬に実施（図-2）した。本実験では、実施工を想定して、防護工と既設覆工間の補強はなしとした。ただし、防護工変動対策としてレール下面にブチルゴムを全面敷設した。
- ・衝突実験2回目の計測結果と衝突解析を再度同定後、衝突解析にて、防護工を31.5mモデル化した状態で、衝突荷重Aを防護工に作用させ、防護工の変動量を計測した。

4. 衝突実験および衝突解析結果

2022年3月上旬に実施した衝突実験2回目の実験結果、衝突実験後の衝突解析（同定解析、図-3）および、衝突実験および衝突解析を考慮した実施工を想定した衝突解析結果の概要を以下に示す。今回の衝突実験および衝突解析（予測，同定）が、今後の同様な衝突解析を実施する際のモデル化の参考になれば幸いである。

- ・衝突実験時の防護柵変位およびレール変位は概ね同定させることができた。また、この結果をもとに衝突実験1回目についても再解析した結果、実験値と解析値は概ね同定させることができた（図-4）。
- ・上記の結果を基に、実施工を想定した衝突解析を実施した結果、防護工の最大変位量は17mmとなった。

以上より、技術実証で構築した防護工は、衝突荷重A作用時の変位量は小さく、要求要件が満足できることが確認できた。なお、防護工は衝突実験でも塑性変形するような損傷は確認されなかった。

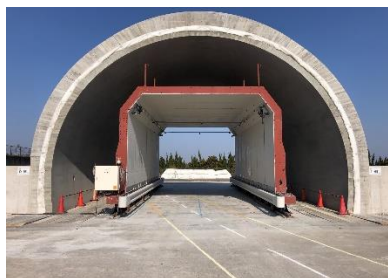


図-1 防護工



図-2 衝突実験（2回目）

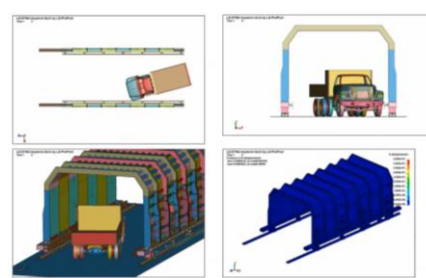


図-3 衝突解析

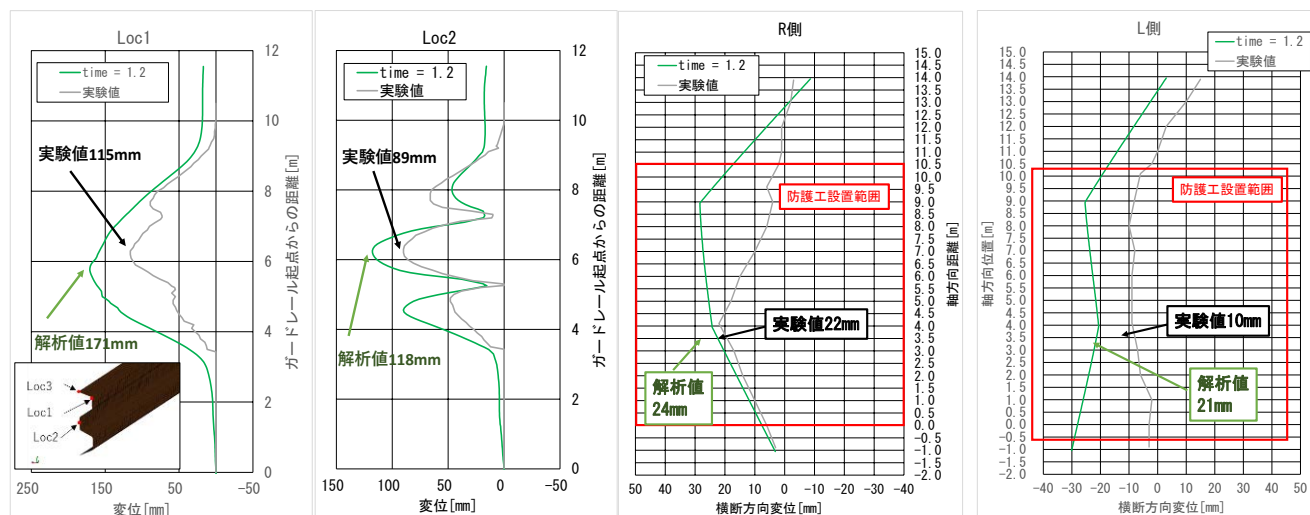


図-4 衝突実験，衝突解析同定結果（左：防護柵変位，右：レール変位）

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社金沢支社：供用下における矢板工法トンネル覆工再生工に関する手引き（案），2020年1月
- 2) 中日本高速道路株式会社金沢支社 敦賀保全・サービスセンター：「北陸自動車道 覆工再生工に関する技術開発業務」基本性能・基本条件書，令和2年10月