

新幹線高架下交差道路における桁下防護工の構造検討

東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 東 隆介
東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 並木 高志

1. はじめに

国土交通省は、静岡県静岡市から長野県佐久市に到る延長約 150km の中部横断自動車道を計画している。この道路は、北陸新幹線と佐久平・上田間において交差する計画である。中部横断自動車道は建設コスト縮減のため、新幹線交差部前後の高架構造が地平構造になり、4 車線であったものが暫定 2 車線に見直された。新幹線高架下に道路を通すことになり、高架橋柱への衝突防護工や空頭制限の担保、車両の衝突を防止する等の措置が必要となる。

本研究では、新幹線高架下交差道路に設置する桁下防護工に関して、適切な設計理論と構造案の提案をすることを目的としている。

2. 現状分析

本研究に際して、架道橋への自動車の積荷等による衝突防止を目的とした防護工の設計に適用すべき技術基準として、「橋桁防護工設計マニュアル(平成 16 年 12 月)東日本旅客鉄道株式会社」(以下、マニュアルと呼ぶ。)がある。マニュアルによると橋桁防護工は、桁下空頭が 4.5m 未満の架道橋に設置することとなっている。今回の新幹線交差部では、余裕高 0.2m を加えた 4.7m の道路建築限界を確保しているため、桁下防護工は不要であると判断することもできるが、高規格道路と新幹線の交差という特殊性を考慮して、道路と新幹線交差部の現状分析と過去の事故事例調査を行い桁下防護工設置の要否を検討した。

(高速自動車道と新幹線の交差部)

- ・ 上越新幹線高崎・本庄早稲田間、上信越自動車道藤岡 IC 付近で上越新幹線の桁下を上信越自動車道が交差している。桁下空頭は 6.5m となっており、桁下防護工は設置されていない。
- ・ 上越新幹線高崎・本庄早稲田間、関越自動車道本庄児玉 IC 付近で上越新幹線の桁下を関越自動車道が交差している。桁下空頭は 5.2~5.02m となっており、桁下防護工は設置されていない。

その他の事例においても、上記以上の桁下空頭が確保されており、高速道路と新幹線の交差部で桁下防護工の設置事例は確認されなかった。

(過去の事故事例)

- ・ 平成 12 年 3 月、大型トレーラーが国際海上コンテナを積載し運行中、JR 東海道本線の架道橋防護桁に接触させた。これにより、防護桁が架道橋橋脚に衝突し、架道橋橋脚が 135mm ずれた。この事故により、東海道線に 55 分、京浜東北線及び山手線に 37 分の遅れが生じた。
- ・ 平成 12 年 4 月、兵庫県で運送会社の大型トラックに載せられた積荷が、JR 線橋りょう前の桁下防護ガードに衝突、ブレーキをかけたがそのまま 10m 先の橋桁に衝突し、衝撃で橋桁が大きく曲がった。事故直後に通過した列車の脱線は免れたが、その後 JR 線が長時間にわたり不通となった。

その他、新幹線と一般道の交差部で 4.75m の余裕をもって交差している箇所でも積荷により橋桁が損傷しているなど、多くの事故事例が確認された。

現状分析の結果、新幹線と高速道路の交差部であっても 5m 程度の桁下空頭が確保されていれば桁下防護工の設置を行っていないことがわかった。

しかし、今回の新幹線交差部では 4.7m の道路建築限界に対し最小で 12mm 程度しか空頭余裕が確保できないことや、事故事例のように想定外の事故が新幹線に及ぼす影響の大きさを考えると、桁下防護工の設置が必要であると考えられる。

3. 研究成果

(1) 橋桁防護工設計マニュアルに準じた設計

マニュアルでは、自動車が衝突により防護桁に持ち込む運動エネルギーが、防護桁の可能吸収エネルギー(防護桁が全塑性モーメントを生じる荷重と変位量により線形的に算出)以下となるように防護桁の断面を決定している。この設計法により、図-1に示すフローに従い、橋桁防護工の検討を行う。

マニュアルでは、設置区間を一般区間と重大な被害が発生する恐れのある区間に区分しそれぞれ設計速度に応じた衝突速度を表-1に示すように定めている。ここで、「重大な被害が発生する恐れのある区間」における衝突速度が設計速度 60km/h の場合までしか対応していないため、今回の中部横断自動車道の設計速度 80km/h に対応した衝突速度を、マニュアルを参考に 60km/h と設定する。自動車重量は「道路構造令」において 245kN と定められている。防護桁スパンについては、中部横断自動車道は対面交通であり上下車線の間には支柱を建植する余裕を確保できないため、図-2に示すように上下線を跨ぐ形式とし 13.2m、衝突位置は車線中央とする。またマニュアルより自動車が防護工に持ち込む運動エネルギーのうち、自動車の浮き上がりや車輪と路面との摩擦等の運動エネルギー損失量を 15%、H 鋼の許容できる最大変位量を塑性ヒンジ点の折れ角の安全限度 15° とする。以上の条件より、自動車衝突時の運動エネルギー：E を算出すると、

$$E = 0.85 \cdot w/2g \cdot (V/3.6)^2 = 2,951 \text{ (kJ)}$$

ここで、 w：自動車の重量(kN) V：自動車の衝突速度(km/h) g：重力加速度(m/s²)

この運動エネルギーを最大変位量以内で吸収可能な防護桁断面を検討すると、鋼材 SM490Y、箱形断面 1000mm × 1000mm × 50mm となる。

設置位置については橋桁防護工設置マニュアルに準じ、橋桁より 1.5m 以上離れた位置とする。

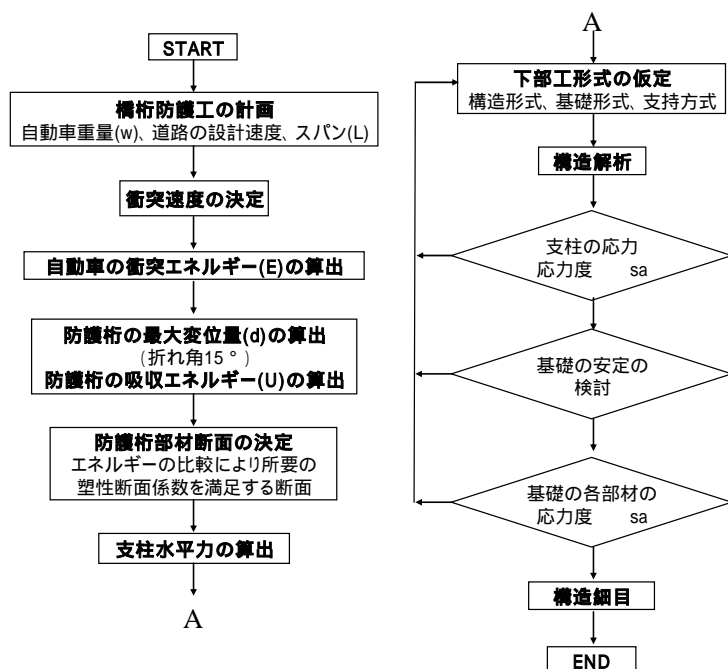


図-1 橋桁防護工設計のフロー

表-1 自動車の衝突速度の目安

区間	設計速度 (km/h)	衝突速度 (km/h)
一般区間	60	30
	50	26
重大な被害が発生する恐れのある区間	60	45
	50	30

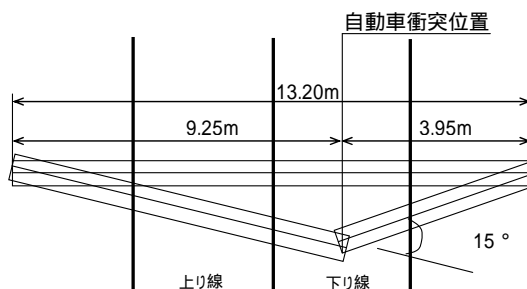


図-2 自動車衝突位置

(2) 衝突後の停止距離を考慮した設計

上記の設計法では防護桁断面が過大となってしまうため、マニュアルの適用範囲内の衝突速度で橋桁防護工の寸法を決定し、自動車が衝突した後、新幹線高架橋までに安全に停止できるような距離に設置することで高架橋に損傷を与えるような重大事故を避けられるような設計を検討する。

衝突速度をマニュアルの「重大な被害が発生する恐れのある区間」設計速度 60km/h に対応する、45km/h と設定し、形式を検討する。

設計条件を前述の検討と同様にすると、自動車衝突時の運動エネルギーは、

$$E = 0.85 \cdot w/2g \cdot (V/3.6)^2 = 1,660 \text{ (kJ)}$$

この運動エネルギーを最大変位量以内で吸収可能な防護柵断面は、鋼材 SM490Y、箱形断面 760mm × 760mm × 50mm となる。

また、この防護柵断面における吸収可能エネルギー：U は、

$$U = P_y \cdot d = 0.264 \cdot y \cdot Z_p = 1,888 \text{ (kJ)}$$

ここで、 P_y ：防護柵が全面降伏した塑性モーメントを生じる荷重(kN) d ：防護柵の変位量(m)

y ：降伏応力度(kN/m²) Z_p ：塑性断面係数(m³)

本来の設計速度 80km/h における車両の衝突時の運動エネルギーは、 $E=2,951\text{kJ}$ であるため、この防護柵に 80km/h で車両が衝突すると、防護柵が全面降伏した後も、 $E = 2,951 - 1,888 = 1,063\text{(kJ)}$ のエネルギーが残存することになる。このエネルギーを速度に換算すると、

$$E = 0.85 \cdot w/2g \cdot (V/3.6)^2 \text{ より、} V = 36.0\text{km/h}$$

つまり、防護柵に 80km/h で車両が衝突すると、防護柵を破損し更に 36.0km/h で走行を続けることになる。そこで、車両が衝突した後に運転者がブレーキを掛けることを前提とし、新幹線高架橋までに安全に停止できる距離から橋柵防護工の設置位置を検討する。

江守一郎著「自動車事故工学」によると、運転者が危険を感じ、ブレーキを踏み込んで効き始めるまでの距離（空走距離）は、人の平均的な反応時間を 0.75 秒として計算すると、

$$\text{空走距離} = \text{反応時間 (秒)} \times \text{車速 (秒速)} = 36,000/3,600 \cdot 0.75 = 7.5\text{m}$$

また、雨等により路面のコンディションが悪いことを想定し、路面の摩擦係数を 0.5 とすると、運転者がブレーキを踏んで車が停止するまでの距離（制動距離）は、

$$\text{制動距離} = (\text{車速})^2 / (2g \cdot \text{路面摩擦係数}) = (36,000/3,600)^2 / 2 \times 9.8 \times 0.5 = 10.2\text{m}$$

よって、自動車の停止距離は、 $7.5\text{m} + 10.2\text{m} = 17.7\text{m}$ となる。

以上より、新幹線高架橋から 17.7m 以上離れた位置に橋柵防護工を設置すれば防護柵に自動車衝突した後、高架橋までに安全に停止することが可能である。

同様の検討を、設計速度以上の車両が衝突した場合やエネルギー損失が無い場合を想定して、設計速度 120km/h として算出すると、防護柵が全面降伏した後に残留するエネルギーは、 $E = 6,641 - 1,888 = 4,753\text{(kJ)}$ 速度に換算すると、 $V = 76.1\text{km/h}$ となり、停止距離 = $15.9\text{m} + 45.55\text{m} = 61.45\text{m}$ となる。よって、自動車が衝突した後、高架橋までに安全に停止するためには新幹線高架橋から 61.5m 以上離れた位置に橋柵防護工を設置する必要がある。

以上の検討結果より、橋柵防護工設置位置は新幹線高架橋から可能な限り離すほうが良いため本事例では、図 - 3 に示すように下り線曲線部の視距と同等の 135m 程度離れた位置が適切であると考えられる。

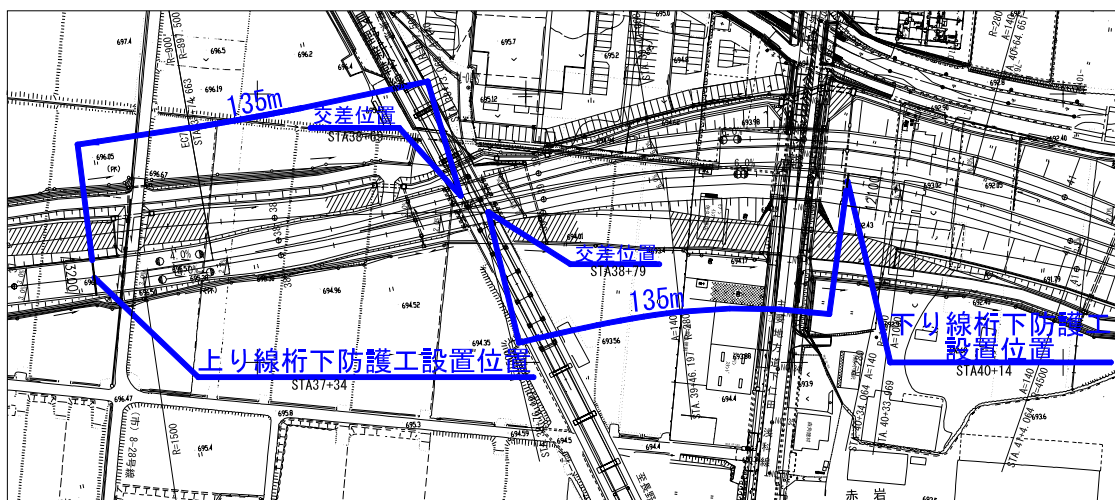


図 - 3 橋柵防護工設置位置

(3) 橋桁防護工を2基設置する設計

「衝突後の停止距離を考慮した設計」では、車両が衝突した後に運転者がブレーキを掛けることを前提に、新幹線高架橋までに安全に停止できる距離から橋桁防護工の設置位置を検討したが、新幹線高架橋の構造物としての重要性を鑑み、車両がブレーキを掛けない場合でも確実に高架橋への衝突を回避するために、橋桁防護工を2基設置することを検討する。

前述の検討結果より、防護桁に中部横断自動車道の設計速度 80km/h で車両が衝突すると、防護桁を破損し更に 36.0km/h で走行を続けることになる。そこでマニュアルに準じ、設計速度 36.0km/h の自動車が衝突により防護桁に持ち込む運動エネルギーを最大変位量以内で吸収可能な防護桁の断面を検討すると、鋼材 SM490Y、箱桁断面 450mm×450mm×50mm の寸法となる。同様の検討を、設計速度 120km/h として算出すると、鋼材 SM490Y、箱桁断面 900mm×900mm×50mm の寸法が必要となる。

以上の検討結果より、新幹線高架橋より 135m 程度離れた位置に鋼材 SM490Y、箱形断面 760mm×760mm×50mm の橋桁防護工を設置する対策に加え、その防護工を破損した後に車両が持つ残存運動エネルギーを吸収可能な防護工を新幹線高架橋付近に設置することで、高架橋への衝突を確実に防ぐ設計が可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、新幹線高架下を通る中部横断自動車道の設計において、高速で通過する車両が新幹線高架橋に衝突するような重大事故を防ぐ手立てとして、桁下防護工の構造・位置について、設計方法を提案した。表-2 に提案した3件の設計案について、性能の比較検討を示す。

マニュアルで対応していない設計速度 80km/h という高規格道路に桁下防護工を設置するにあたり、マニュアルから衝突速度を推定し、マニュアルの設計法に準じて寸法・設置位置を決定する設計方法(1案)と、マニュアルで対応している一般的な防護桁寸法で設計し、衝突から新幹線高架橋までに安全に停止できる距離を確保することで重大事故を防ぐ設計方法(2案)、更に、桁下防護工を2基設置することにより寸法の制約やブレーキ等の前提条件なく確実に高架橋への衝突を防止できる設計方法(3案)を提案した。

最終的な桁下防護工の形式・設置位置は、道路及び新幹線の管理者との協議により決定していくこととなるが、本研究により各案の優位性・問題点を把握することができた。

今後は桁下防護工による高架橋防護に加えて、出入口の保安システムや速度抑制措置などを提案していくこととする。

表-2 設計案の比較検討

		安全性	使用性	景観	コスト	設置条件
1案	「橋桁防護工設計マニュアルに準じた設計」	寸法は大きくなるが、マニュアルの設計法に準じた安全対策が施せる	防護桁の寸法が巨大になり速やかな取替えが困難	寸法が巨大で運転者に圧迫感を与える可能性がある	上部工・下部工とも2案よりも巨大になりコストがかかる	設置場所に制約が少ない
2案	「衝突後の停止距離を考慮した設計」	車両がブレーキを踏むことを前提とした設計	標準的な寸法に収まるため速やかな取替えが可能	標準的な寸法で景観上の問題がない	1案よりも小さな寸法で設計可能	停止距離以上離れた位置に設置する必要がある
3案	「橋桁防護工を2基設置する設計」	寸法が過大になることもなく、確実に新幹線高架橋への衝突を防止することが可能	2基になるが、それぞれ標準的な寸法に収まるので速やかな取替えが可能	標準的な寸法だが、2基連なるため、運転者に圧迫感を与える可能性がある	防護工が2基必要となるため、最もコストがかかる	2基分の設置スペースを確保する必要がある

<参考文献>

- ・ 「橋桁防護工設計マニュアル(平成16年12月)」 東日本旅客鉄道株式会社
- ・ 「自動車事故工学」 江守一郎