

◆ 報文 ◆

木製車両用防護柵の実験・検討

安藤和彦* 森 望** 若月 健***

はじめに

本報文で述べる車両用防護柵は、車両が路外に逸脱しようとした場合に、これを防ぎ本線に安全、円滑に誘導する役割を持つ施設であり、代表的なものにガードレールがある。

道路付属施設への木材の利用は、間伐材の有効利用などとして注目¹⁾されており、防護柵のほか遮音壁などが検討²⁾されている。

防護柵は、車両が衝突することを前提として設計される施設であり、強度性能は基本的に求められる要件となる。これまで防護柵の材料として、比較的高い強度を有し、かつたわみ・伸びがある金属材料が、防護柵に適した材料として利用されてきた。これに対して木材は、伸びが少ない、せん断破壊しやすいなど、金属材料とは異なる特性を持っている。

ここでは、木製防護柵の特性を踏まえた設計方法を確立するために、実車衝突実験により防護柵の構造、問題点などを把握するとともに、設計の考え方、実用化を図る上での課題などについて整理したので、その結果を報告するものである。

1. 木材の特徴

材料にたわみ・伸びがあるかどうかによってその材料を使った防護柵の設計の考え方を変える必要がある。防護柵の設置基準³⁾では、金属製防護柵についてはその変形性能を活かし、車両衝突時に防護柵が変形し衝突エネルギーの吸収、車両を円滑に誘導するたわみ性防護柵の設計を行うこととしている。これに対してコンクリート製防護柵のように剛性の高い防護柵では、防護柵の形状で衝撃緩和や車両の誘導を行い、構造として弾性域(許容応力度)内の設計を行うものとしている。

これらを木材に当てはめると、木材は鋼材のように伸びを確保することは難しく、たわみ性防護柵としての設計は難しい。また、防護柵が路側の

限られたスペースに設置される小型の構造物であることを考えると、コンクリート製防護柵と同程度の剛性が得られる木製防護柵を作ることも容易ではない。従って、多少変形する程度の強度を持った防護柵として設計することが考えられるが、現在のところ適切な設計方法は確立されていない。

2. 実車衝突実験

2.1 実験用防護柵構造の検討

木材の特性を踏まえ、実験用防護柵の構造検討を行った。設計の考え方としては、変形量が少ないとわみ性防護柵として、橋梁用車両防護柵の設計方法が示されている³⁾のでこれに準拠し、同等の剛性が得られる横梁の検討を行った。

防護柵の種別は最も一般的に利用されているC種とし、木材は、均一的な品質の確保を目的として支柱、横梁とともに唐松集成材(JAS構造用集成材による樹種区分3、E105-F300)とした。

表-1に実験に用いた木材の強度特性を示す。

表-1 防護柵に用いた木材の強度特性

ヤング係数 × 10 ⁴ kN/cm ²	長期許容応力度 (kN/cm ²)		
	引張	曲げ	せん断
178	307	514	89

注) 曲げ、せん断試験: JAS構造用集成材による。
引張試験: JIS Z 2201 及び JIS Z 2241 に準拠。

防護柵構造は、材料などについて強度検討を行い図-1に示す実験供試体を用いるものとした。

防護柵種別C種についてみると、金属製防護柵の主要横梁と同程度の剛性を得るには、上下に1~2本の木製横梁を渡す必要がある。本実験では、ガードレールと同様に車両誘導面を広くした断面として、横梁断面を上・下面15cm、衝突面30cmの矩形断面とし、横梁は1本で対応するものとした。また柱は、断面を17cm×17cm、基礎構造は木製柱の施工性を考慮して40cm角の基礎ブロックに支柱を建て込む形式とし、支柱の変位をブロック内で収束させる目的で支柱建て込み部にアスファルト充填する構造とした。支柱および横梁間

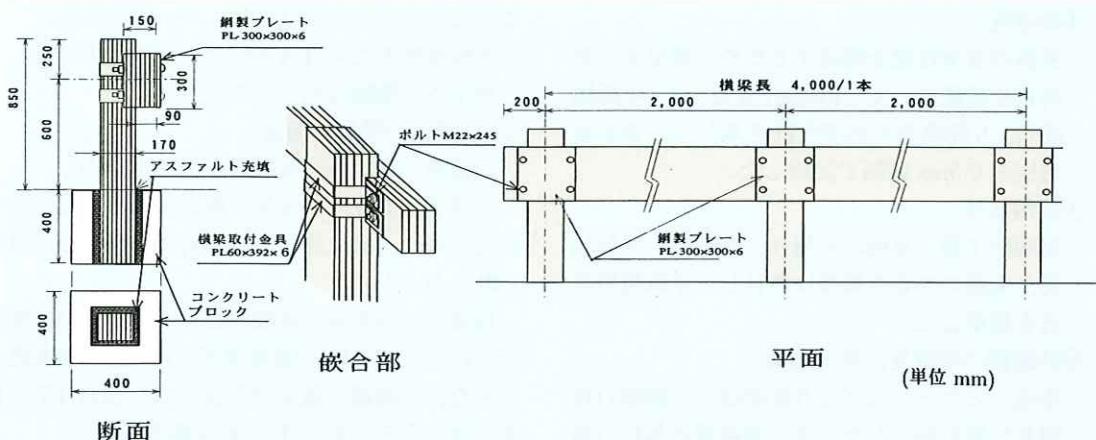


図-1 実験用防護柵構造

の接続部は、柱の位置で金属板および鋼製ボルト (M22) 2本によって接続するものとし、支柱に奥行き 6cm の嵌合部 (切り欠き) を設け横梁との一体化を図った。横梁と支柱の接続は、支柱の断面に合わせた金具を巻き付けて結合し、この金具をボルトによって締め付ける構造とした (図-1 参照)。

2.2 実験条件

実験は、防護柵の設置基準³⁾ および防護柵試験マニュアル (案)⁴⁾ に準拠した。

防護柵の強度および車両の誘導性を検証する大型車実験、乗員の安全性と車両の誘導性を検証する乗用車実験について実施した。実験条件は、防護柵の設置基準による C 種条件であり、大型車の最大重量、車両性能、防護柵衝突の事故実態などから設定されている条件である。

本実験の実験条件を表-2 に示す。

表-2 実験条件

衝突車両	実験条件			
	車両質量	衝突速度	衝突角度	衝撃度
	(t)	(km/h)	(度)	(kJ)
乗用車	1.0	60.0	20.0	16.3
大型車	20.0	25.0	20.0	56.4

2.3 計測方法

(1) 実験方法

実験は国土技術政策総合研究所衝突実験施設において行った。衝突実験施設は、車両を牽引するワイヤーに金具を介して車両を接続し、所定の速度まで牽引して、所定の位置で切り離して慣性により車両を防護柵に衝突させる施設である。

実験に使用する実験車両は、大型車が 3 軸、20 ト

ン貨物車 (空車重量約 10 トン)、および乗用車が排気量 1,300cc の 1.0 トン車の中古車であり、通常の走行が行えるよう車体整備を行った。

また、貨物車両は所定の積載量を均等に積載し、衝突時に外に飛び出さないようにワイヤロープ等で拘束した。

(2) 測定項目および計測方法 (図-2 参照)。

① 車両の衝突速度および離脱速度

車両の衝突速度は、衝突開始箇所直前に設置されている 2 個の光電管により検出され、制御盤に表示される速度を衝突速度として記録した。また離脱速度は、衝突開始位置から防護柵と平行に離脱方向へ 20m 離れた地点の路面上に設けられたテープスイッチ式速度計によって計測するものとした。

② 車両の軌跡及び防護柵への接触跡

路面に残された車両前後輪の摺痕およびわだちの跡より走行軌跡を求め、軌跡から車両進入角、離脱角度を求めた。車両の防護柵への接触跡は、実験直前に前輪に黄色、後輪に赤色、車体前部に緑色、車体後部に青色のペイントを塗布し、防護柵に衝突車両がどの様な状態で接触したか判明できるようにした。

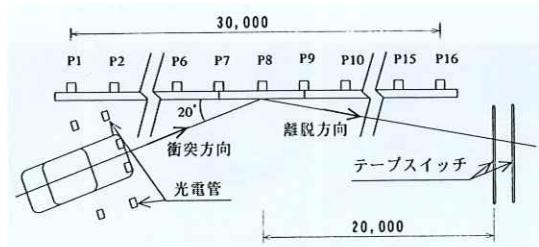


図-2 衝突条件の設定状況 (単位 mm)

③加速度

乗員の安全性能を確認するため、乗用車の車両重心位置に、X (車両軸) 方向、Y (車両軸直角) 方向成分の加速度計を取り付け、発生加速度を 0.5ms 間隔で記録した。

④損傷状況

実験終了後、車両の足廻り、車室内の変形状況、乗員の生存空間等に着目し、車両損傷状況を観察した。

⑤防護柵の残留変位量・破損

水糸、スケールなどより衝突後の防護柵の残留変位量を測定した。また防護柵各部材の損傷、飛散状況などについて調べた。

⑥衝突状況撮影

撮影速度 24 コマ/秒～400 コマ/秒の 16mm 撮影機により、車両の衝突から離脱までの車両の挙動を撮影した。

2.4 実験結果

2.4.1 乗用車実験

(1) 車両の挙動、損傷

車両の衝突状況を写真-1 に示す。

車両質量 1.0t、衝突速度 60.2km/h、進入角度 20.5 度、衝撃度 17.15kJ で車両は衝突した。

車両の損傷は、左前部が凹み左前照灯、サイドランプが破損した。また左前輪が支柱に衝突し、

このときタイヤが取り外れ、バーストした。

車輪損傷のため自力走行は不可能であった。

車室内の損傷は見られなかった。

(2) 防護柵の挙動、損傷

防護柵への車両の接触痕を図-3 に示す。

防護柵は支柱への接触、横梁への擦り傷が見られたものの、構成部材の取り外れ、飛散などはみられなかった。

防護柵への車両の接触は 2 回あり、初期接触箇所で約 4m、2 回目の接触箇所で約 7m の接触痕があった。防護柵の最大残留変位は、支柱 P7 で頂部が路外方向に最大 3cm 程度観測された。

支柱については、左前輪による接触痕が残された支柱が 1 本 (P7)、左前車体による接触痕が残された支柱が 5 本 (P8, P12～P15) あったほか、支柱と横梁との嵌合部で嵌合部上端から支柱天端までの貫通ひびわれが 1 箇所 (P7) で認められた (写真-2 参照)。

コンクリート基礎の地際部と土との残留隙間は 5 箇所 (P5～P9) に発生し、最大 35mm であった。

2.4.2 大型車実験

(1) 車両の挙動、損傷

車両の衝突挙動を写真-3 に示す。

車両は、質量 20t、衝突速度 24.9km/h、進入角度 20.0 度、衝撃度 56.04kJ で衝突した。

車両は左側前部が接触した後、道路側に多少傾き誘導されか

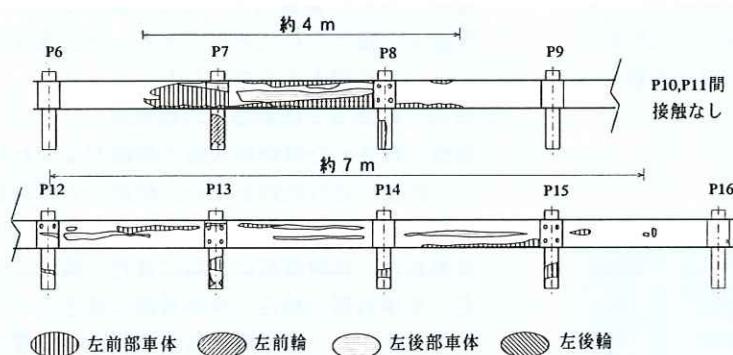


図-3 車両接触状況



写真-2 嵌合部のひび割れ状況



写真-1 乗用車の衝突状況

かるが、さらに車両が進行し前輪が防護柵に衝突した時点で、支柱を引きずり、横梁を飛散させながらほとんど進入角度を変えることなく突破した。

(2) 防護柵の挙動、損傷

車両衝突点付近の防護柵は車両に突破されたため、構成部材の支柱 3 本 (P7~P9) は車両に引きずられて引き抜け、また横梁 2 本 (P5-P7 間、P7-P9 間及び P9-P11 間) は破断飛散した。

横梁に破断、ひび割れが生じた箇所 5 箇所のうち中央 3 箇所は縦方向にひびが発生しているのにに対して、左右端の箇所は、それぞれ大きく斜めにひび割れが生じた。

2.5 考察

2.5.1 乗用車の誘導性

乗用車衝突実験で、横梁は支柱より前面に張り出し、横梁の高さを下端で 450mm とすることで、乗用車の車輪上部を押さえて支柱に衝突させない構造としたが、結果的には支柱に衝突している。これは、今回設定した支柱の張り出し量 90mm (図-1 断面参照) では、車体の変形が大きく車輪の横梁下への潜り込みによる支柱衝突を防ぐ距離としては少なかったこと、また、横梁下端の高さが車輪の潜り込みを防げるほど低くなかったことが原因として考えられる。

2.5.2 防護柵強度

乗用車の衝突で、支柱と横梁との嵌合部にひび

割れが発生している。これは、乗用車の衝突を受けた横梁が支柱を押し上げ、これに抵抗する支柱側の嵌合部の木材強度が不足したことが原因として考えられる。横梁と支柱の一体化を強化する目的として嵌合部を設けることは、強度的に必ずしも有利になっていない。

大型車の衝突では、車両はほとんど誘導されることなく、防護柵を突破した。破断した箇所の最両端部は、横梁と支柱との接続箇所から始まっており、接続部ボルト孔による横梁断面積の減少が、接続部の強度低下に影響を与えている。さらに、支柱の強度不足も車両突破に至った大きな要因となっている。

2.5.3 乗員の安全性

乗用車による衝突実験の結果、車両重心位置における 10ms 移動平均加速度は 118.9m/s^2 であった。この値は、防護柵基準³⁾で示されている許容値 90m/s^2 を 32% 上回っている。この加速度は、乗用車前輪の接地面(前面)が支柱に衝突し、前輪軸が変形した際に発生したものであり、支柱にタイヤを衝突・接触させないような構造の検討が必要である。

3. 木製防護柵の実用構造の検討

以下では、衝突実験結果から判明した課題を踏まえ、木材の性質や既往の調査研究結果などを参考に木製防護柵の構造の検討を行った。

3.1 防護柵構造の検討

防護柵に必要な木材強度は、材質、本数、寸法などを検討することで確保できる。しかし今回の実験からみて、変形が大きくなるたわみ性防護柵として検討するよりも、木材の耐力限界内に変形を抑え、木材の剛性に期待する構造とすることが適当と判断され、このために、以下の条件を満足することが必要と考えられる。

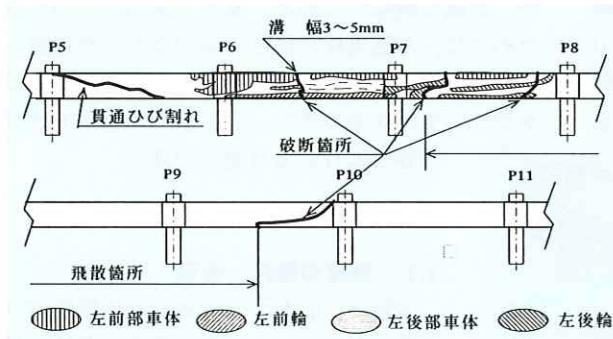


図-4 車両接触状況

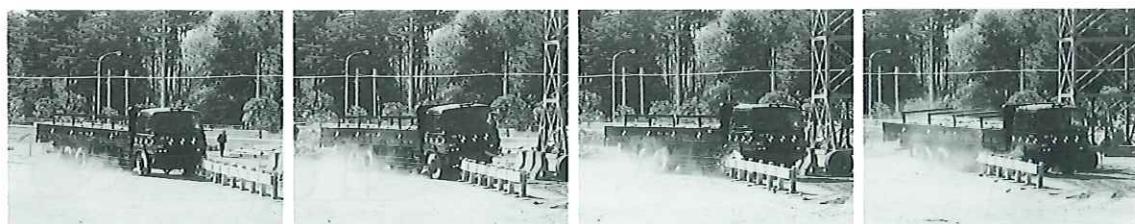


写真-3 大型車の衝突状況

- ①支柱は大きな傾きを許容できないので、比較的大きな断面を有する支柱を現行の金属製防護柵同様に深く埋め込み、衝突時の傾きを抑える。
- ②乗用車の車輪が支柱に接触・衝突するのを防ぎ、横梁の側面で車輪を誘導するため、車輪の位置に補助横梁を設ける。補助横梁の強度は、車輪衝突時の荷重に耐え得る強度を有するものとする。
- ③横梁間の結合による張力の伝達は期待せず、主として各横梁の曲げ剛性で抵抗するものとする。嵌合部は設けない。
- ④横梁の接続部は強度的な弱点になるので、強度低下を防ぐため支柱前面にもって来る。構造例を図-5に示す。

3.2 その他の構造

3.2.1 たわみ性防護柵

木製防護柵をたわみ性防護柵として設計する場合は、木材自体のたわみを期待できないので、たわみ・変形が生じる箇所を特に設ける必要がある。一般には、横梁間の接続部でこの伸び、変形を生じさせることになり、接続部の設計が最も重要な点になる。

横梁の接続部としては、衝突荷重を分散させることや防護柵強度の急激な低下を避けるために、横梁間の張力の連続性が確保できることが望ましいが、張力の連続性が期待できる接続方法は現段階では明確でない。横梁間の張力の伝達がある程度期待でき、ねばりを有する(容易に破断しない)接続方法を考える。このためには、横梁間を接続するボルトを細くし、本数を増やすことで応力を

分散する方法⁵⁾などが考えられる。また、接続部にも横梁と同様に衝突荷重が作用するので、これによって破断しない強度も要求される。

支柱が大きく変形した際に、横梁が支柱に接合されたまま柵高を低下させることは、横梁のねじれ破断や柵高低下による車両の乗り越しなどを生じさせて好ましくない。ある程度変形したら、横梁と離れる工夫が必要となる(図-6)。

ただし、このように支柱を横梁から切り離す場合は、横梁の横移動距離が大きくなることから、防護柵背後の平坦性がある程度確保されていなければならない。

3.2.2 複合型たわみ性防護柵

木材と金属材料の組合せによる複合防護柵も可能性がある。例えば、木製横梁と鋼製横梁を組み合わせた構造とし、衝突初期の防護柵の抵抗を木材の剛性に期待し、その後の防護柵変形による車両誘導を鋼製横梁に依存する方法が考えられる。この方法は、すでに実用化されたものもある⁶⁾が、比較的衝撃度の小さい防護柵が対象になっている。木製横梁と鋼製横梁との荷重分担など、検討すべき事項は多いが、材料の組合せなどで多様な構造形式に発展する可能性のある防護柵である。

3.3 防護柵支柱としての利用

木材を防護柵の支柱として利用する方法もある。この場合、金属製横梁と組み合わせた構造になるが、金属製横梁のたわみ、変形を適切に行わせるためには、木製支柱の強度も適切なものを選択しなければならない。ただし、米国などで現在までかなりの実績があるので、我が国での適用も比較的容易に行える可能性が高い。

4. 実用化に向けての課題

4.1 強度の確保、管理

木材は、1本ずつの強度に比較的バラツキがあるため、品質の確保が非常に重要である。木材の許容応力度は、木材の

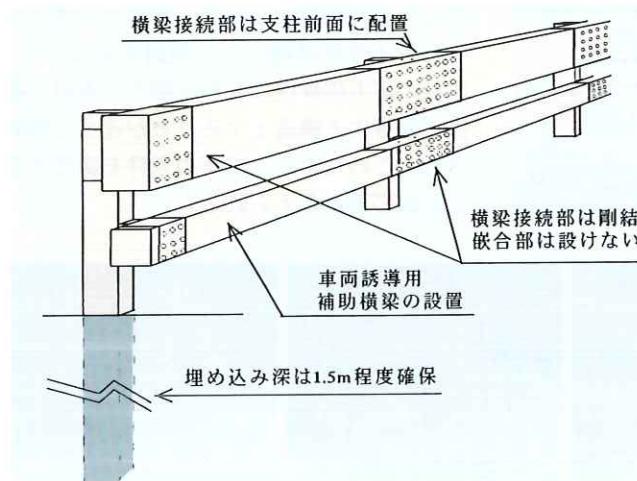


図-5 木製防護柵の構造の例

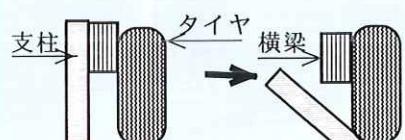


図-6 支柱と横梁の離れによる柵高低下防止

有する平均的な応力度の1/3程度に下げられている⁷⁾が、これは木材の強度のバラツキを考慮しているためと考えられる。従って、通常入手する木材は許容応力度からみてかなり高い安全性を有するものの、場合によっては許容応力度を下回る材料を使う可能性もある。

強度が低下しないような維持管理も重要である。特に木材の場合は、防腐対策が重要であり、強度を維持するための塗装方法、管理方法なども明らかにすることが必要になる。

木製防護柵は、景勝地、公園内などで多く用いられる可能性が高い。外観を良好に保つことも重要な課題であり、この面からも適切な表面処理方法の確立が必要となる。

4.2 供給体制

防護柵は、一連の区間に連続的に設置されることになるので、同一構造・強度となる木材が利用できなければならない。また、車両衝突によって変形した場合には、補修のため同一性能を持った木材の迅速な供給が可能であることも必要である。

このように、要求された段階で迅速に適切な部材を供給できる体制の確立は、木製防護柵を利用していく上で基本的な要件となる。

あとがき

今回の調査によって、木製防護柵の基本的な設計の考え方を明らかにすことができ、また木製防護柵の実用化を図る上での課題を明らかにすることができた。

今後は、今回の調査結果を踏まえて実用可能な防護柵構造を把握し、実車衝突実験によって機能を検証するとともに、実用化に向けた課題の整理を行う必要がある。

参考文献

- 1) 例えば国土交通省近畿地方整備局：近畿地方建設局公共事業コスト縮減に関する行動計画、平成12年11月
- 2) 例えば静岡県工業技術センター、高速道路用木製遮音壁の開発、第43回研究発表会、pp.3-8、平成9年4月
- 3) (社)日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説、平成10年11月
- 4) 森、安藤、岡田：衝突実験施設防護柵実車衝突試験マニュアル(案)、土木研究所資料第3763号、平成12年11月
- 5) American Association of State Highway and Transportation Officials : Road Side Design Guide, p.B-10, 1989.
- 6) フランス大使館産業技術広報センター：革新的な金属/木材混製ガードレール、平成13年1月
- 7) 林知行：エンジニアードウッド、日刊木材新聞社、平成10年3月

安藤和彦*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路空間高度化研究室主任研究官
Kazuhiko ANDO

森 望**



同 道路空間高度化研究室長
Nozomu MORI

若月 健***



同 道路空間高度化研究室研究員
Takeshi WAKATSUKI