

(33) 横梁に木材を用いた車両用防護柵の開発状況

The development status of timber beam traffic barriers

安藤和彦*

Kazuhiko Ando

* (財) 土木研究センター, 道路研究部長 (〒300-2624 茨城県つくば市西沢 2-2)

キーワード: 木材, 車両用防護柵, 構造
(:timber, traffic barrier, structure)

1. はじめに

道路の路側や歩道と車道の境界に設置されるガードレール等の車両用防護柵について、構成部材の一部に木材を用いた防護柵（以下木製防護柵という。）が近年利用されるようになってきている。これは、国内資源としての国産木材、特に間伐材の有効利用および地場産業の活性化、木材利用による CO₂ 削減などを主な目的として、道路管理者のみならず林業関係団体や民間企業が積極的に開発に取り組んでいるためである。

ここでは、木製防護柵の開発状況や構造について整理するとともに、今後の課題について述べるものとする。

2. 木製防護柵の開発経緯

米国では、1970年代の防護柵に関する基準¹⁾で、すでに支柱に木材を使った防護柵が標準的な構造の一つとして認められており、今日まで使用されてきている（写真-1）²⁾。また、1990年代からは、横梁に木材を使用した防護柵が一般的に用いられるようになってきた（写真-2）³⁾。欧州でもフランスの防護柵メーカーが木製防護柵を開発し、国際的な普及を図っている（写真-3）⁴⁾。これらの木製防護柵は、木材の材質や特性を活かし、主に景観に配慮した地域や乗用車の交通量が多い道路等で用いられている。

一方我が国では、2000年に、国土技術政策総合研究所が国内で初めて、木製材料を使った防護柵の実車衝突実

験（乗用車、大型車について各1回）を行った⁵⁾。このときの防護柵は、木製の支柱と木製の横梁を金具で接続する構造であり、支柱本体に木材を使った防護柵は、我が国では今日までこの実験で用いられた供試体のみである。このときの実験結果では、乗用車を誘導する性能は確認されたが大型車は防護柵を突破する結果となった。しかしこの実験により、木材同士を組み合わせる接合部は強度的な弱点となること、十分な支柱強度が求められること、乗用車を誘導する補助横梁の設置が望まれることなど、木製防護柵開発における基本的な要件が示された。

この実験に先立ち、1998年に、防護柵の設置に関する基準（以下防護柵基準という。）が改訂され⁶⁾、従前は防護柵材料が金属や鉄筋コンクリートに制限され寸法も規定されていた（仕様規定）ものが、実車衝突実験により性能が確認されればどのような材料でも利用できるようになった。これらを追い風として、宮崎県の和光コンクリート工業株式会社が開発したウッド Gr の衝突実

写真-1 支柱に木材を使った防護柵の例²⁾写真-2 米国の代表的木製防護柵³⁾写真-3 フランスの代表的木製防護柵⁴⁾

験が2001年に行われ(写真-4)⁷⁾、防護柵の性能を有することが認定されて実用化第1号となった。

その後、道路管理機関の他、林業関係団体や民間企業による開発が相次ぎ、防護柵基準に示された防護柵性能確認試験に、現在8種類の木製防護柵が合格している。

3. 木製防護柵の構造

防護柵基準では、防護柵の強度レベルとして、弱い順からC種、B種、A種、SC種、SB種、SA種、SS種の7段階が設定されているが、木製防護柵は一般道路等で用いることのできるC種、B種が開発されている。高速道路等の高規格道路に用いられるA種程度以上のものは未だ開発されていない。

C種、B種の衝突条件を表-1に示す。表中の衝撃度 I_s は、防護柵の強度を示す指標であり、車両衝突速度のうち防護柵直角方向の速度成分を用い運動エネルギーと同様の計算を行ったものである。

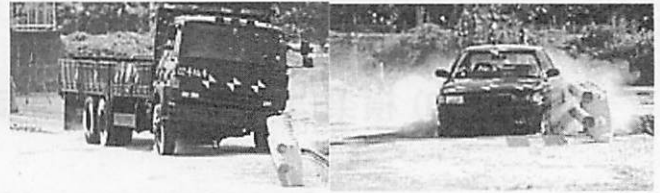
表-1 C、B種防護柵の衝突条件

種別	車種	車両質量 M (t)	衝突速度 V (km/h)	衝突角度 θ (度)	衝撃度 I_s^* (kJ)
C種	大型車	25	26	15	45
	乗用車	1	60	20	17
B種	大型車	25	30	15	59
	乗用車	1	60	20	17

$$*I_s = 1/2 \times M \times (V/3.6 \times \sin \theta)^2$$

木製防護柵の代表的な構造例を写真-5、図-1に示す。現在の木製防護柵は、横梁に木材、支柱に鋼材や鉄筋コンクリート材を用いた複合構造になっている。支柱を木製装飾版で覆い外見上木製になっているものもあるが、この場合も強度を受け持つ支柱本体には鋼材が使われている。支柱に木材が使われない理由としては、我が国の多雨、多湿な気候では、地際部の腐朽を防ぎ、支柱の強度を維持することが難しいことが挙げられる。

防護柵の横梁本数に着目すると、欧米で開発された防護柵は、横梁が1段の構造が多い(写真-2、写真-3)が、我が国の木製防護柵は上下2段か主要横梁の下に補助横梁を付加した構造(写真-5)になっている。これは、欧米の防護柵は主として乗用車等の衝突を想定した条件で設計されているのに対して、我が国の防護柵は、基準上乗用車とともに大型車の衝突に対しても誘導機能を発揮することが求められ、乗用車および大型車の誘導に必要な強度と高さを確保す



大型車実験 乗用車実験

写真-4 衝突実験状況⁷⁾

るには2段横梁か補助横梁を付加した構造が適するためである。

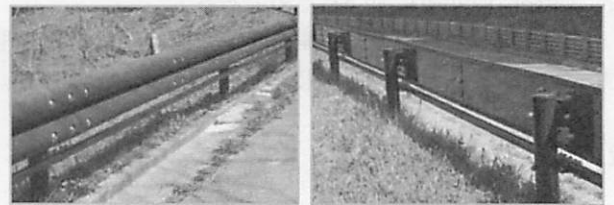
横梁の構造としては、木材のみのタイプ(以下木製横梁という。)と、木材を鋼材で補強したタイプ(以下複合横梁という。)の2種類がある。

横梁と支柱を接続するブラケットは、ほとんどの防護柵で連結金具と連結ボルトで構成されている。

木製防護柵の外観は、写真-5及び図-1をみればわかるように、支柱や接続部を背面側に隠し、運転者側(正面側)には木製横梁を目立たせる構造になっており、防護柵機能のみならず景観にも配慮したものとしている。



a. 木製横梁タイプの例



b. 複合横梁タイプの例

写真-5 木製防護柵の例

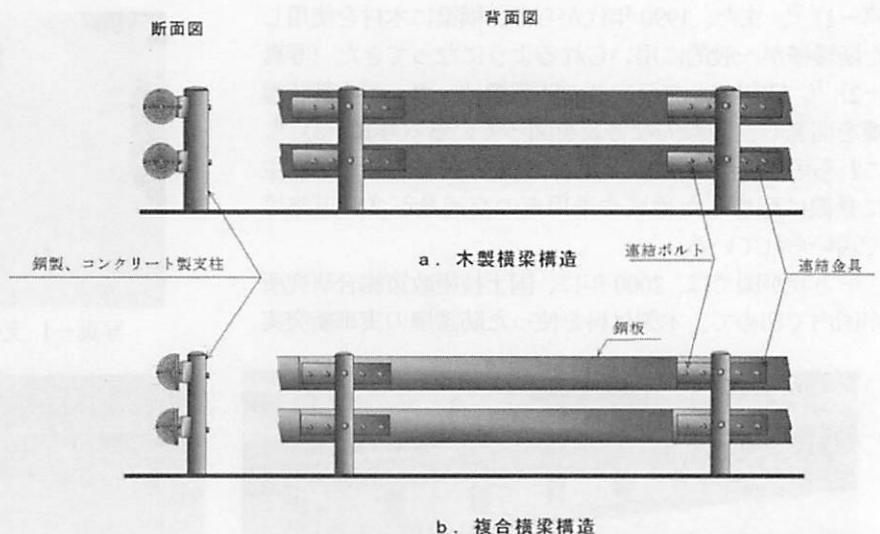


図-1 木製防護柵の代表的部材構成の例

4. 木製防護柵の形式と強度・変形特性

4.1 防護柵形式

防護柵形式には、車両衝突時に塑性変形するガードレール等のたわみ性防護柵と、車両が衝突しても塑性変形しないコンクリート製防護柵等の剛性防護柵がある。

木材の変形特性を考慮した場合、鋼材のような大変形時の粘りは有していないものの比較的曲げ剛性は高いので、許容応力度の範囲内で強度設計を行う剛性防護柵の設計が適するが、塑性変形を抑えるには横梁、支柱、ブラケットともに大断面で不経済な構造にせざるを得ず実現的でない。従って実際は、支柱およびブラケットを変形させるたわみ性防護柵として開発されている。

4.2 変形特性

図-2 に木製横梁と鋼製横梁の荷重-変位関係を示す。鋼製横梁は、変位が大きくなっても荷重が急激に低下することなく、衝突に対する抵抗力が持続し、設計上は面積の等値換算による二直線近似として仮定される。一方木製横梁は、ある程度変形すると破断し、抵抗力は急激に低下するので、許容応力度の範囲内で設計されることが多い。

図-3 に、木製横梁タイプの防護柵に車両が衝突した場合の変形状況について示す。

図により防護柵に作用する力の方向と変形状況についてみると、横梁間の張力が卓越する (a) 箇所と、圧縮力が卓越する (b) 箇所があるが、いずれでもブラケットは塑性変形する。このとき、ボルトが取り付けられている木製部材の接続箇所には、連結ボルトの塑性変形に伴う変形（接続穴の拡大等）が生じて木製部材本体には破損が生じない強度が求められる。また、(b) 箇所ではブラケットの変形とともに支柱は路外方向に移動・変形する。

防護柵全体の変形状況としては、接続部は変形するが横梁には変形がなく、鋼製ガードレールのような一体的で滑らかな変形は期待できない。このような状況で車両の誘導性を高めるには、木製横梁間を滑らかに無理なく接続できる変形性能を備えた接続構造が必要になるが、一方で変形性能を高めると張力の伝達はほとんど期待できない (a 箇所)。この欠点を補ったこのものが複合横梁である。複合横梁は鋼

製部材によってある程度の大きな変形とエネルギー吸収が期待でき、支柱強度も木製横梁を使った場合ほど高い強度は必要としない。

これらの関係を整理したものが表-2 である。

4.3 木製部材の強度

木材の品質を定める JAS 規格には、JIS 規格に相当する材料強度の直接的な規定はなく、材料強度に係わる規定としては曲げヤング係数による 6 段階の機械等級区分がある。

木製横梁は、通常、材料の品質検査のため縦振動ヤング係数を独自に計測しており、5kN/m² 程度以上のものが用いられている⁸⁾。木製横梁の曲げヤング係数は明らかにされていないが、縦振動ヤング係数と曲げヤング係数

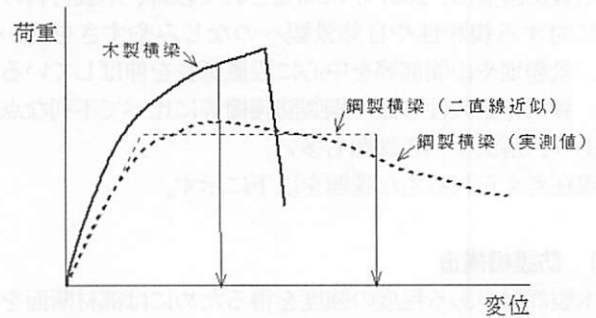


図-2 横梁の材質と荷重-変位との関係

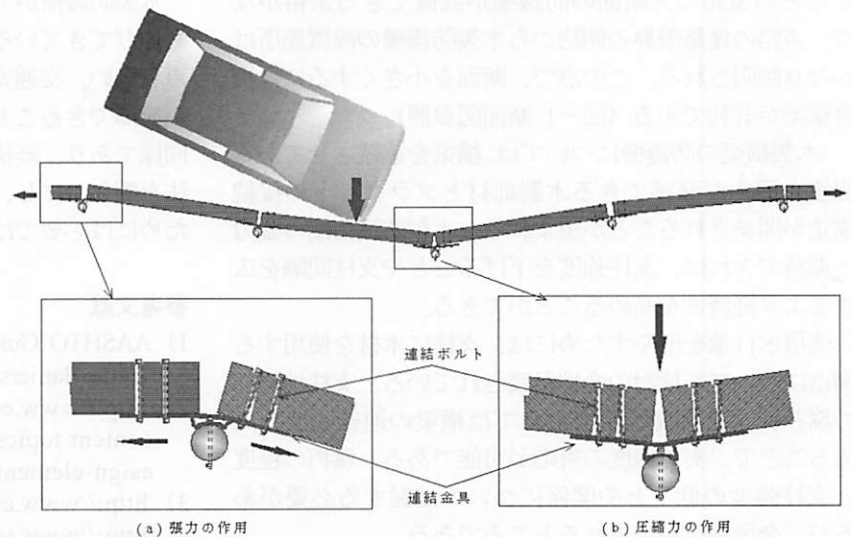


図-3 木製横梁タイプ防護柵の変形状況

表-2 木製防護柵の材料・特性比較

防護柵種類	横梁			支柱		接続部	変形特性	
	材料	曲げ剛性	張力	材料	支持力	材料		
木製防護柵	木製横梁	木材	大	小	鋼材 鉄筋コンクリート材	大	鋼材	主として支柱の移動と支柱・接続部の変形で衝撃を吸収 横梁間で伝達される張力が小さいため、防護柵変形は制限される
	複合横梁	木材・鋼材	中	大	鋼材 鉄筋コンクリート材	中	鋼材	主として支柱の移動、支柱・接続部の変形および横梁のたわみで衝撃を吸収の張力が期待できるので、大きな変形が許容できる
参考	ガードレール	鋼材	小	大	鋼材	中~大	鋼材	主として支柱の移動、支柱・接続部の変形および横梁のたわみで衝撃を吸収 横梁間の張力が期待できるので、大きな変形が許容でき

注) 表内の大、中、小は、各防護柵の相対比較によるものである。

はほぼ同じ値となることが確認されている⁹⁾ことから、木製防護柵の縦振動ヤング係数値をJAS規格の機械等級区分に当てはめると、最も低い区分であるE50(曲げヤング係数 $3.9\text{kN/m}^2\sim 5.9\text{kN/m}^2$)に相当する。従って、木製防護柵に用いる木材は、強度的に低ランクの木材が用いられていることになる。これは、間伐材等では高い強度が設定しにくいこと、土木資材として高価なものは利用しにくいこと等が理由として考えられ、一方で、強度の低い木材でも木製防護柵として利用できていることが分かる。

5. 木製防護柵の課題

木製防護柵は、2001年に開発されて以降、木製材料の人に対する親和性や自然景観へのなじみやすさを活かし、景勝地や山間部等を中心に設置延長を伸ばしているが、費用や耐久性の面で鋼製防護柵等に比べて不利な点もあり、解決すべき課題も多い。

現在考えられる主な課題を以下に示す。

5.1 防護柵構造

木製部材がある程度の強度を得るためには部材断面を大きくする必要があり、防護柵構造としては比較的大断面になってしまう。我が国の標準的な道路構造では、ほとんどの道路で大断面の防護柵が設置できる余裕がなく、道路の建築限界の制約から木製防護柵の設置箇所はかなり制限される。この点で、断面を小さくするには複合横梁が有利である(図-1 断面図参照)。

木製横梁の防護柵については、横梁を連続させてある程度の張力が発揮できる木製部材とブラケットの接続構造が開発されることが望まれる。木製防護柵間の張力が期待できれば、支柱強度を下げることや支柱間隔を広げてより経済性を高めることができる。

使用木材量を増やすためには、支柱に木材を使用する構造についても検討の余地が残されている。支柱地際部の腐朽による強度低下に対しては横梁の連結強度を高めることで、ある程度の対応が可能である。腐朽の程度と支柱強度の低下との関係について把握する必要があるが、今後検討が望まれるところである。

5.2 耐久処理

木製部材に防腐剤注入などの耐久処理を行わなければ、最終処分やリサイクルが容易になる利点もあるが、防護柵は車両衝突に対して常に必要な強度を維持すること、防護柵の交換費用等を考えると、防腐処理等を行い木製防護柵の耐久性を高めていくことは不可欠であると考えられる。特に屋外に設置される木材は、周辺環境等によって大きく耐久性が異なるので、周辺環境を踏まえた防腐処理方法を明らかにすることも重要である。

5.3 木材生産・供給体制

木製防護柵に用いられる木材は、森林を整備する途中段階で発生する間伐材の有効利用が目的の一つになっている。このような間伐材は規格品として大量に生産することが困難な場合も多く、大量需要に答えられる供給体制の整備が必要になる。維持修繕の面では、事故時の緊急復旧は不可欠であり、このとき、交換する部材の入手に手間取るようなことがあってはならない。ガードレール等は維持業者が部材を常時ストックしているので特に問題になっていないが、木製横梁等の場合部材が大きいこと、野ざらしにならないような保管が必要になることなど、保管スペースの確保、保管方法に新たな配慮が求められ、これら踏まえた、生産、管理を含む一連の供給体制を整備することが必要である。

経済的な観点では、現段階で木製防護柵は生産規模が小さく部材コストが割高になっている。1998年の防護柵基準改訂後、防護柵は性能規定化され構造の自由度が高まったが、木製防護柵については、むしろ大量生産が可能な標準構造を開発し、ブラケット等を含め部材の大量生産により費用を下げる工夫が必要であると考えられる。

6. おわりに

木製防護柵が開発されてから約10年が過ぎ、設置延長も伸びてきているが、耐久性や維持管理等で未だ不明な点も多い。交通安全施設は経済的で長期間にわたり機能が発揮できることが求められる。木製防護柵についても同様であり、経済的で長期間機能が発揮できる構造や方法を明らかにし、道路管理者に周知していただくことが普及のためには必要ではないかと考えられる。

参考文献

- 1) AASHTO Guide for Selecting, Locating, and Designing Traffic Barriers, 1977
- 2) http://www.contextsensitivesolutions.org/content/topics/css_design/design-amples/flexible-design-elements/barriers-clear-zones/
- 3) <http://www.cwsfence.com/gallery>
- 4) <http://www.tertu.com/securite/en/tertu-guardrails-t18-mixed-wood-steel.html>
- 5) 安藤、森、若月：木製防護柵に関する実験検討、土木技術資料 Vol.43, No.11, 2001.11
- 6) (社)日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説、平成10年11月
- 7) <http://www.wakocon.co.jp/products/woodgr/woodgr-2.html>
- 8) 国土交通省四国地方整備局：四国木製防護柵仕様書(案)、平成19年3月
- 9) 例えば大西裕二他：スギ材の性能区分と利用法に関する試験、宮城県林業試験場成果報告第16号、2007.3