

設置後10年経過した木製ガードレール

性能部 構造・環境グループ 今井 良

■はじめに

平成16年度から開発に着手してきた北海道型木製ガードレール「ビスタガード」（以後、ビスタガード）は、21年度に国土交通省が定める性能確認試験である実車衝突試験を実施し、車両用防護柵〔B種・土中建込用〕として実用化されました。また、25年度には車両用防護柵〔B種・構造物建込用〕としても実用化されています。B種というのは道路の設計速度（道路構造上安全に走行できるとされる速度）が60km/h以上の一般道路に適用できるタイプです。下位規格としてC種という設計速度50km/h以下に適用が可能なものもありますが、B種とC種の性能の違いは単純に強度のみなので、B種のビスタガードはC種区間にも適用することができます。なお、上位のA種やS種は自動車専用道路用です。

18年度には、一般道路以外の散策路や林道向けに、構造計算と静的荷重試験の実施のみによりビスタガードが製品化（以後、初期型製品）され、渡島総合振興局の林道（八雲町熊石、ふるさと林道栄豊線）工事において転落防止目的の視線誘導施設として初めて施工されました。今年が施工後10年にあたるため、ビスタガードの耐朽性の検証を目的とした調査を実施しましたので、その結果をご報告します。

■ビスタガードの耐朽設計

ビスタガードは写真1に示すとおり、車両を受け止める木製の横梁（以後、ビーム）を等間隔に並んだ鋼製支柱で支える構造で、ビームのたわみ変形で

エネルギー吸収を図る「たわみ性防護柵」と分類されます。ビームはカラマツ集成材を背面の山形鋼材により補強した構成で、鋼材の引張強度と集成材の曲げ剛性によって車両用防護柵に求められる性能を満たしています。また、山形鋼材を併用したことにより、万が一集成材が腐朽等によって強度低下した状態で車両が衝突してもただちに重大な事故につながるフェイルセーフ（『必ず壊れる』ことを前提とした信頼性設計）機能を有しています（写真2）。

とはいえ、木材側が高い耐朽性を有することは、安全性はもとより経済性や意匠性の点からも重要です。耐朽性を高めるためには木材に防腐薬剤を注入すること（薬剤保存処理）が最もスタンダードかつ信頼できる方法ですが、カラマツは難注入性樹種のため、製材のJAS（日本農林規格）で規定（表1）される屋外環境向けの区分（K4）に相当する薬剤を低コストで確実に注入することは困難であるという課題がありました。そこで、木材が腐朽するために必要な温度、水分、酸素などの条件のうち、屋外環境でコントロールできない温度や酸素ではなく、水分をコントロールすることによって、薬剤保存処理を必要としない耐朽設計の実現を目指しました。

これまでの知見より、雨水が材面上に溜まる構造や、乾燥により生じた材割れから内部に雨水が浸透することが腐朽を生じさせる主な原因であることが



写真2 フェイルセーフの一例

（事故で木材が折れても背面の鋼材が無事であれば車両を受け止める強度は保たれ、交換されるまで最低限の機能は果たせる）



写真1 ビスタガード

表1 製材のJASにおける保存処理区分

性能区分	樹種区分	基準
K1	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が90%以上
K2	耐久性D ₁ の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が20%以上
	耐久性D ₂ の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
K3	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
K4	耐久性D ₁ の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上
	耐久性D ₂ の樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ15mm(木口の短辺が90mmを超える製材にあたっては、20mm)までの心材部分の浸潤度が80%以上
K5	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ15mm(木口の短辺が90mmを超える製材にあたっては、20mm)までの心材部分の浸潤度が80%以上

(注) 1 耐久性D₁の樹種は、ヒノキ、ヒバ、スギ、カラマツ、ベイヒ、ベイスギ、ベイヒバ、ベイマツ、ダフリカカラマツ及びサイプレスパインとする。
 2 耐久性D₂の樹種は、1に掲げる樹種以外のものとする。

明らかとなっています。そこでまず、ビームは雨水が材面上に溜まらないように傾斜をつけました。遊具や外構の手すりなどでは材の上部を斜めにカットされる事例が多いですが、ビスタガードではなるべく木材加工にコストをかけないことと、積雪荷重の分散効果などを考慮し、断面を水平面に対して45度傾けて配置する設計としました(図1)。

次いで、ビームの木材には製材ではなく集成材を採用することにしました。製材の場合は材の中心部から材縁部までの含水率を均一に低い状態に保つこ

とは難しく、経年による乾燥割れが避けられません。一方、集成材の場合は、厚さ2~3cm程度の板材(ラミナ)を乾燥させてから、ねじれや反りを調整したうえで接着剤によって張り合わせて製造されているため、含水率がほぼ均一に低い状態に仕上がります。また、万が一表面に割れが生じても接着剤の層で割れ止まるため、雨水が内部深くまで浸透する確率は製材に比較しても相当低くなると考えられます。

さらに、最も腐朽のおそれの高い地際部分(支柱)には木材を一切使用していないことも耐朽性を高める大きな要素です。道路に面した宙に浮いた位置にあることから常に乾燥状態に保たれるビームに比べ、常に湿った土壤に触れる支柱を鋼製とするハイブリッド構造により、高い耐朽性が発揮される設計です。

■調査地および調査方法

21年度の実車衝突試験以前の初期型製品も含め、表2にこれまでの施工地を示します。この中で、今回の調査対象は18~21年度施工の4件と、22年度(林産試験場敷地内)および24年度(るるもっぺ憩いの森)施工の2件の合計6件です。

調査対象ごとに設置延長は異なるため、各調査対

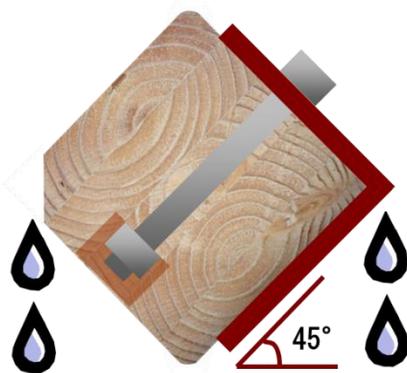


図1 45度の傾斜(ビームの断面イメージ)

表2 ビスタガードの施工実績

種別	建込方式	積雪 ランク	支柱 スパン(m)	住所	路線名	延長(m)	設置年
初期型 製品	土中用	2	2	二海郡八雲町熊石折戸	ふるさと林道 栄豊線	15	H18
	土中用	3	2	増毛郡増毛町暑寒沢	溪流の森 散策路	12	H19
	土中用	3	2	島牧郡島牧村字賀老	賀老の滝 散策路	70	H20
	土中用	3	2	増毛郡増毛町暑寒沢	溪流の森 散策路	20	H21
小計						117	
実用化 製品	土中用	4	3	旭川市西神楽1線10号	林産試験場敷地内	18	H22
	土中用	4	3	上川郡鷹栖町22線13号	鷹栖町 町道	4	H22
	土中用	4	3	石狩郡当別町青山奥三番川	道民の森 神居尻地区	16	H23
	土中用	4	3	上川郡東神楽町25号	ひがしかぐら森林公園	28	H24
	土中用	4	3	留萌市礼受町	るるもっぺ憩いの森	40	H24
小計						106	
合計						223	

表3 調査結果

種別	経過 年数	施工地	腐朽被害度 ^(注) 別 個体数			動的ヤング率(GPa)			
			被害度			最大値	平均値	最小値	下限値 ※
			0	1	2~5				
初期型 製品	10	熊石	9	1	0	12.3	9.7	7.5	6.6
	9	増毛	10	0	0	10.7	9.3	7.5	7.3
	8	島牧	10	0	0	13.4	12.2	10.3	10.2
	7	増毛	10	0	0	12.1	10.5	8.5	8.2
実用化 製品	6	旭川	7	3	0	13.6	11.5	9.6	9.2
	4	留萌	9	1	0	13.8	10.5	9.1	7.5

(注) 腐朽被害度は腐朽の程度に応じて0~5の6段階で示される。

- 0 健全
- 1 部分的にわずかな腐朽
- 2 全面的にわずかな腐朽
- 3 2に加え部分的に激しい腐朽
- 4 全面的に激しい腐朽
- 5 腐朽により形が崩れる

※下限値とは、木材のばらつきを考慮して算出する値で、平均値よりも安全側に評価することができるため、構造用木材の分野では標準的に用いられているものです。

象から等間隔に5スパン分のビーム10本を無作為抽出しました。それぞれのビームを取り外し、外観の観察、山形鋼材との接触面およびボルト穴内部の触診を行い、集成材の腐朽の有無を調べました。また、重量測定および木口面をハンマーで叩いた時の打撃音をFFTアナライザーにより固有振動数解析し、強度性能の指標となる動的ヤング率を算出しました。

■10年経過してもほぼ健全

表3に調査結果をまとめました。

設置後の経過年数に関わらず、動的ヤング率は平均値で9.3~12.2GPa、最小値でも7.5GPa（10年経過）と、健全なカラマツ材の標準的な値とほぼ同程度の結果となっていることから、10年程度の屋外環境への暴露は集成材の強度にほとんど影響を与えなかったと考えられます。



写真3 山形鋼材の接触面



写真4 実用化製品に発生した腐朽部位
(腐朽幅3~5mm×長さ200mm程度)

初期型製品については、7~10年経過しても、木材にほとんど材割れや腐朽が見られませんでした(写真3)。日射や積雪といった立地環境の影響もあるかもしれませんが、薬剤保存処理をせず木材保護塗料の塗布処理のみで、かつメンテナンスフリーの状態であったにも関わらず木材が劣化していないという結果は、ビスタガードの耐朽設計の妥当性の証明に繋がるものと判断できます。

■ディテールにこだわることの重要性

一方で、実車衝突試験を経て設置された22年度、24年度の製品(以下、実用化製品)については、一部で山形鋼材との接触部に腐朽が確認されました(写真4)。いずれの腐朽もほぼ同じ部位に発生していました。

腐朽した実用化製品と腐朽しなかった初期型製品との大きな構造的な違いは、集成材と山形鋼材とを複合化するボルトの配置の違いです。初期型製品が山形鋼の凸部分から集成材の対角方向にボルトが貫かれているのに対して、実用化製品では山形鋼の面部分から集成材の面方向にボルトが貫かれています(図2)。初期型製品の場合は集成材と山形鋼材との接触部がそれぞれの角の部分であることから、断面図では点で接触していることとなります(三次元で

考えると奥行があるので線状に接触しています)。それに対して実用化製品の場合は断面図では線(三次元では面状)での接触となるので、初期型製品に比べると鋼材と集成材との密着度が高く、いったん入ってしまった雨水が抜けにくくなっていることが腐朽の要因と考えられます。

実用化製品の開発にあたり初期型製品からの仕様変更は、強度面や意匠性、さらには施工性の観点から実施したのですが、結果的にはこのように耐朽性に負の影響を及ぼしてしまいました。耐朽設計は、ほんのわずかなディテール(細部)の違いが結果に大きな影響を与える可能性があるということがわかりました。近代建築の三大巨匠にも挙げられるドイ

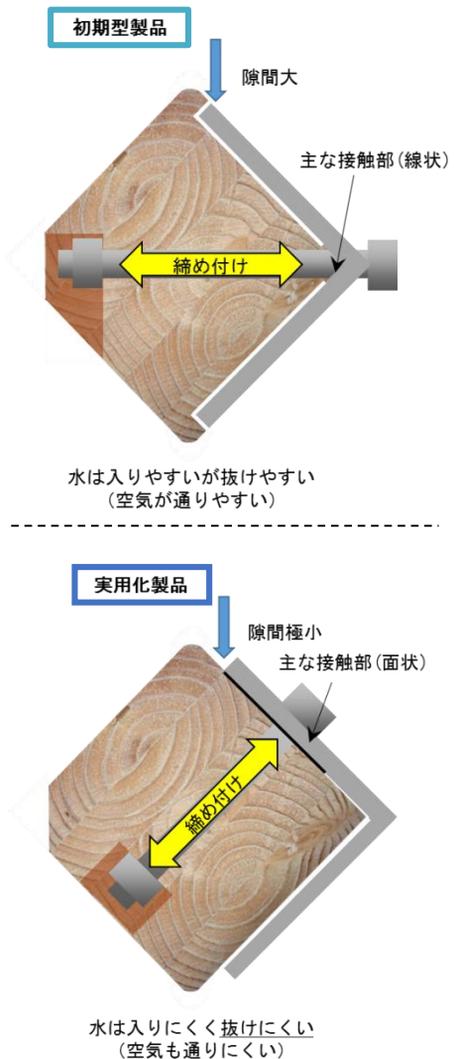


図2 ボルト配置の違いによって異なる水(空気)の通り方(断面イメージ図)

ツのミース・ファン・デル・ローエが、「細部をおろそかにしては良い建築は出来ない」という意味の『神は細部に宿る』という格言を好んで使っていたそうですが、まさにその通りだと痛感しました。幸い腐朽が確認された部位は強度への関与がほとんど無い箇所でした。仮に腐朽が強度に大きく関与する箇所であっても、ビスタガードはフェイルセーフ機能により背面の鋼材に多くの強度を負担させている

ことから、性能へただちに影響が生じるとは考えにくい製品です。もちろん、腐朽箇所を切除して塗布型の防腐薬剤を塗って埋め木するなどの対処療法もありますが、数年おきに腐朽の進行状況を確認し、腐朽が著しくなってから交換するだけでも十分と思われれます。

■おわりに

初期型製品は、耐朽性が高いことが明らかとなりましたが、車両用防護柵としての認可を受けていないため、現在は販売されていません。代わりに認可を受けた実用化製品が全道各地に展開され始めていくところです。今回明らかになった欠点は前述のとおり通気性の悪さが要因ですので、集成材と山形鋼材のボルト部にワッシャーやゴムシート等を挟み込むことによって通気性を改善させて（図3）、入り込んだ雨水を速やかに流れ落とすようにする等の対応を考えています。

今後も継続して数年おきに調査を実施していくとともに、今回調査対象とならなかった他の施工製品についても調査を行い、データや実績の積み重ねをして、製品の改良や耐朽設計技術の確立に繋げていく予定です。



図3 ワッシャー挿入による通気の確保