

設置後6年が経過したぐんま型木製ガードレールの状況

State of the gunma type wooden guardrail that 6 years passed after setting

町田初男・工藤康夫・小黒正次*

I はじめに

人口の自然減や生産年齢人口の減少等から、従来の木材利用の大半を占める住宅建築の指標である住宅着工戸数は、大きく上向くことが期待できない状況にある。国産材需要を喚起するには、外材や木材以外の材料が使用されている住宅部材の国産材への逆代替を進めることや、住宅以外の木材の用途を開発する必要性に迫られている。非住宅用途として、土木利用は大きな可能性を秘めている。

近年の土木分野での木材利用は、比強度が高い、適度な弾性がある等の材料としての長所や、木材を利用することによる森林活性化効果、地球温暖化防止に資する効果といった効率性だけでは計れない価値が見直され、木材を積極的に活用する動きがでてきている。日本森林学会、土木学会、日本木材学会の3学会による「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」の2013年3月に公表された提言「土木分野における木材利用の拡大に向けて」では、2010年度に年間100万m³の土木分野での木材使用量を、2020年度に400万m³にするために、従来の土木利用以外の新しい用途が言及されている（土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会，2013）。

しかし、使用する立場の土木サイドからは、より一層の低コスト化や、耐久性性能等で優れた土木用材の供給、及び木製土木構造物の標準仕様書への記載などの問題点が指摘されており、これらが解消されていないため、需要増に繋がらないのが現状である。（土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会，2013）。

こうした中、2008年～2010年にかけて、県産材活用のため、景観に配慮した車両用C種木製ガードレールであるぐんま型木製ガードレールの開発を行った（町田ら，2011・2013）。ぐんま型木製ガードレールは、上ビーム径180mm下ビーム径160mmのスギ丸棒のビームと、既存C種鋼製ガードレールの支柱を使用した構造を特徴とし、先行開発されたほとんどの木製ガードレールよりも安価で設置できる。しかし、開発してからの年数が少ないため、劣化の進行についての知見がなく、設置者に対して維持管理方法を提示できていない。

木材を屋外で使用する場合、最も大きな劣化要因は木材腐朽菌やシロアリ等による生物劣化である。屋外使用において、これらの生育に必須である水分の供給を防ぐことはかなり困難なことから、保存薬剤の浸潤層をつくることで生物劣化の進行を防ぐことが、重要な劣化対策になる。しかし、材中央部までは保存薬剤が浸潤していないので、大きな割れが生じた場合、保存薬剤の未浸潤部分に割れが到達し、水が浸入して劣化の原因となることが一般的である（日本木材保存協会，2004）。そのため、このような劣化が発生することを想定して、割れ幅、割れ数等のモニタリング調査を行うこととした。

また、このような木材の特性があることから、ぐんま型木製ガードレールでは、以下の2点の耐久設計を意図した。①製造工程において水分計で含水率30%以下の確認、または幅1mm以上の複数の割

*元群馬県林業試験場

れが発生してからの保存薬剤注入とした。これは、注入前に発生した割れの周辺及び材中心部まで保存薬剤が浸潤することを意図して、上記の保存薬剤未浸潤部分に水と腐朽菌が侵入することが端緒となる劣化を防止することを目的としている。

②ぐんま型木製ガードレールは、衝突時において上ビームよりも下ビームが車両の荷重を多く負担する構造となっている。そのため、下ビームが健全であることがガードレールの道路外への車両逸脱防止機能を果たすために重要である。上ビームの径が大きいため、下ビームへの直接の降雨を防ぐことで、下ビームの含水率上昇を抑制する笠木効果を期待した。

これら開発時に意図した耐久設計である、大きな割れからの劣化の抑制、下ビームの耐久性能を重視した構造の2点について、最大6年経過後にどの程度の有効性があるかを検証するため、本調査を行った。

また、割れの未浸潤部分到達後、生物劣化開始前に、スプレー式の塗布型油性保存剤を塗布し、モニタリング調査を行うことで予防保全的維持管理を検討するとともに、生物劣化発生箇所については、塗布型油性保存剤の処理により生物劣化の進行を止められるか、検討を行った。

これら、適切な維持管理方法を確立するための様々なデータを収集し、一層の普及に繋げることを目的に、設置後6年目までの調査結果を報告する。

II 材料及び方法

(1) ぐんま型木製ガードレールの概要

ぐんま型木製ガードレールの構造の概要を図-1に示した。支柱スパンは土中、コンクリート中ともに2mとし、既存の鋼製C種の支柱を使用した。なお、ぐんま型木製ガードレールは穴あけ等の追加加工なしで使用可能である。

支柱にビームを取り付けるために、鋼板に穴あけ加工したt4.5mm×L600mm×W425mmの平ブラケットと鋼製ガードレールに使用する標準ブラケットを使用した。平ブラケットの補強と取り付け後の変形防止のため、下段ビーム位置にも標準ブラケットを使用した。

ビームにはスギ間伐材を使用し、上ビーム径180mm、下ビーム径160mm、長さ1,980mmとした。ビーム両端には平ブラケットとの接合用に各2箇所穴あけ加工し、表面に3cmの座堀を施した。また、背面には施工性を向上させるため5mm厚の面取りを施した。

ビームの保存処理は、水分計による含水率30%以下の確認、または材表面に幅1mm以上で数本以上の割れが生じてから、AQ屋外用1種相当のCuAz加圧注入を行うものとした。また、景観への配慮や材表面からの水分浸透の遅延を期待して、木材保護塗料の塗布を標準仕様とした。

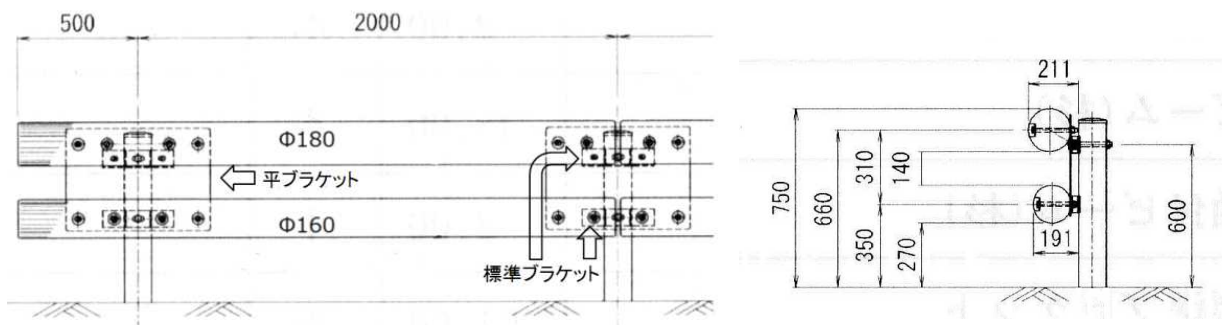


図-1 ぐんま型木製ガードレールの構造の概要

(2) 方法

表－1 に調査箇所の概要を示した。21世紀の森、赤城、今井2、及び根利については、延長の一部の割れ調査と全延長に対する劣化調査を行い、その他の箇所は全延長について割れ調査と劣化調査を行った。調査頻度は各地点1年に1回で、設置後2年目に調査を開始し、3年目以降は前年調査とほぼ同時期に行った。

表－1 調査箇所の概要

地点名	所在地	標高 (m)	設置 延長 (m)	設置ス パン数	割れ調査 延長 (m)	割れ調査 スパン数	道路側 方位*	設置年	調査年**	備考
原町	東吾妻町原町	365	39	19	39	19	SW	2010	2010,12,13, 14,15,16	市街地
野反湖	中之条町入山	1525	53	26	53	26	NW	2010	2012,13,14, 15,16	草地
21世紀の森	沼田市上発知町 川場村門前	750～ 1000	1868	926	146	50		2010	2012,13,14, 15,16	林地
今井	嬭恋村今井	1050	69	34	69	34	NW	2011	2013,14,15, 16	農地
白井	渋川市白井	205	54	26	54	26	SSW	2011	2013,14,15, 16	農地
赤城	前橋市富士見町	945～ 1005	617	305	86	40	SW-NNW	2012	2014,15,16	林地
武尊	片品村花咲	1300	46	22	46	22	WSW-W	2012	2014,15,16	林地
原町2	東吾妻町原町	365	47	23	47	23	E-S	2012	2014,15,16	市街地
藤原	みなかみ町藤原	880	107	51	107	51	NW-ENE SE-WSW	2012	2014,15,16	林地
今井2	嬭恋村今井	1050	174	85	59	29	NW	2013	2015,16	農地
根利	沼田市利根町	950～ 1250	326	157	68	33		2013	2015	林地

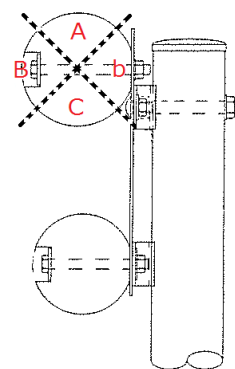
*:21世紀の森、及び根利の道路側方位は様々であるため、表示せず

**：調査年の斜体は割れ調査と劣化調査を行った、強調なしは劣化調査のみ行った

割れ調査は、製造時からの割れを含んだ幅1mm以上長さ50cm以上を対象として、図－2に示すように、上側(A)、道路側側面(B)、支柱側側面(b)、下側(C)の90°毎に4分割した各部位に存在する割れの幅と長さ及び本数を測定した。また、各ビームに発生する最も大きな割れ幅を最大割れ幅と定義し、発生位置別の発生量を記録した。これは、材の中心部まで到達するような大きな割れから劣化が発生することが多いため、最大割れの発生傾向とその後の劣化発生を関連づけることを意図したものである。

劣化調査は、徒歩で目視診断を行い、劣化や劣化の兆候が見られた箇所については、ハンマーと千枚通しを使用した打診と触診を行った。劣
図－2 割れ調査断面区分
化の評価は、表－2に示す国立林業試験場(現(研)森林総合研究所)の杭の6段階評価とした(雨宮、1963)。

また、旧来の損傷が発生してからの事後的な維持管理でなく、早期に損傷やその兆候を見つけ事故や大規模な修繕に至る前に対策を講じることで、維持管理コストの低減を図る予防保全的維持管理の可能性を探るため、現場に設置してから追加的な塗布型保存剤処理を行うことで、生物劣化の抑制が可能であるか、検討を行った。設置から2年経過時に、地点名原町、原町2、21世紀の森、野反湖、



図－2 割れ調査断面区分

白井、今井の割れ調査を行った延長の一部（各10スパン前後）で、断面の上半分に発生した幅3mm以上の割れに対して、スプレー式の塗布型油性保存剤（有効成分ナフテン酸銅（油剤）＋クレオソート）の塗布を行い、劣化調査時に追跡調査を行った。

また通常の事後的な維持管理手法として、生物劣化箇所について、上記の塗布型油性保存剤の塗布により生物劣化の進行を止められるか、検討を行った。

表-2 被害度の目視評価方法

被害度	状態
0	被害なし
1	部分的に軽度の腐朽または蟻害
2	全面的に軽度の腐朽または蟻害
3	2+部分的に激しい腐朽または蟻害
4	全面的に激しい腐朽または蟻害
5	腐朽または蟻害によって形が崩れる

III 結果及び考察

(1) 割れの発生箇所と経年変化

図-3、4に設置から2年経過時の上下ビームの部位別平均割れ本数を示した。調査箇所は表-1のすべての地点で、調査スパン数は353スパンである。

下ビームに比べて上ビームに割れ数が多い。ビームの部位別では、上ビーム下ビームを問わずAの割れ数が最も多く、最も割れ数が少ないのはCであった。

また図-5、6に2～5年目までのビーム1本あたりの割れ数の推移を示した。同一箇所での変化を見るため、2010年設置の原町、野反湖、21世紀の森のデータを使用した（n=95）。

ビーム1本あたりの割れ数の推移は、上ビームは3年目まで割れ数が増加しているが、3～5年目にかけての変化は少なく、新しい割れはほぼ発生しなくなった。一方、下ビームでは、4年目まで割れが増加し、5年目にやや減少していた。なお、部位別では、年数が経過してもA>B≒b>Cという傾向に変化はなかった。

割れが発生しやすい箇所は、材内の含水率傾斜が大きく材表面に大きな引張り応力が発生する箇所である（寺沢、2004）。木材を屋外で使用する場合、降雨により含水

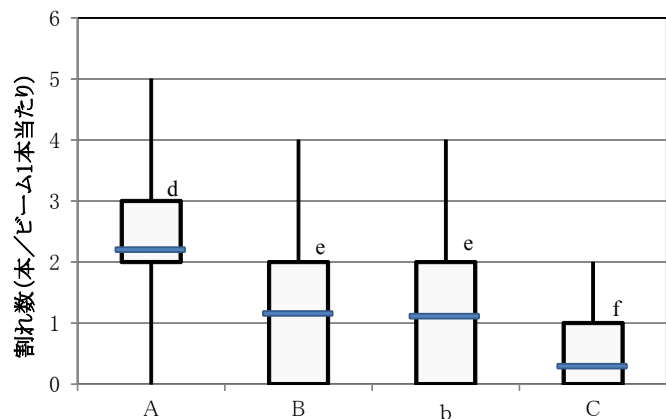


図-3 部位別割れ数（2年経過時・上ビーム）

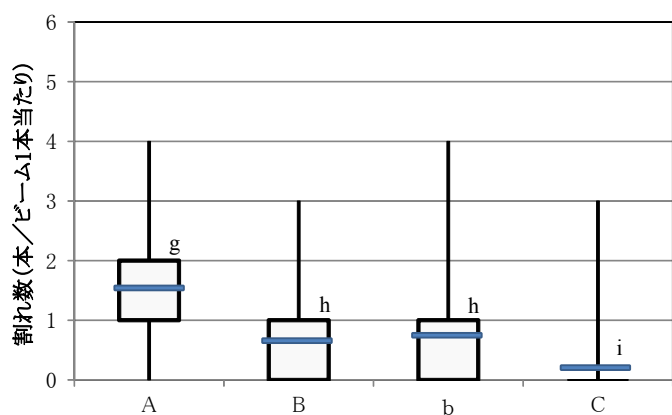


図-4 部位別割れ数（2年経過時・下ビーム）

ボックスは四分位点、ボックス内の横線は平均値、エラーバーは最大最小、ボックス右肩のアルファベットは5%水準以下の有意差が存在する場合に異なる文字とした。

下ビームC部位の四分位値は25%値75%値ともに0である。

率が上昇し、その後日射と風により急激に表面の乾燥が進むため、材内部との含水率傾斜が大きくなり、上ビームや部位Aの割れが多くなると考えられる。また年数が経過して材内部の含水率が減少すると、内部との含水率傾斜が少なくなるため、新しい割れが発生しにくくなると考えられる。

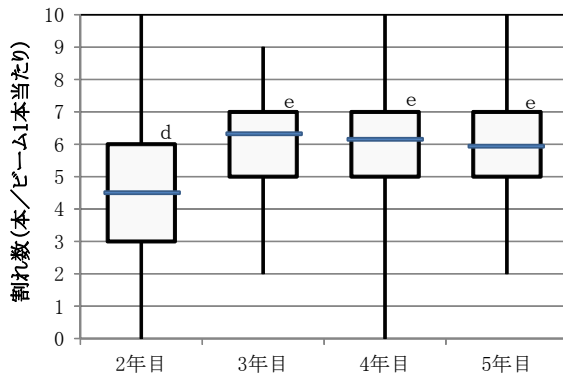


図-5 ビーム1本当たりの割れ数の推移
(上ビーム)

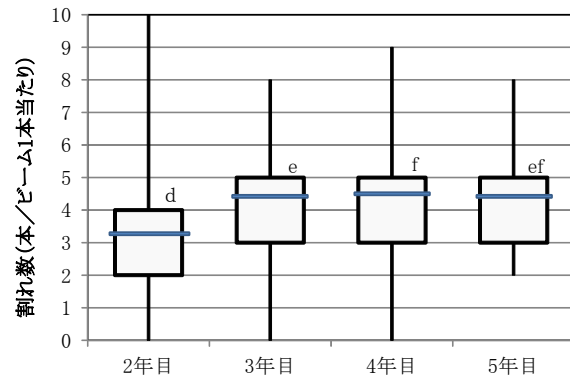


図-6 ビーム1本当たりの割れ数の推移
(下ビーム)

ボックスは四分位点、ボックス内の横線は平均値、エラーバーは最大最小、ボックス右肩のアルファベットは5%水準以下の有意差が存在する場合に異なる文字とした

(2) 最大割れの出現部位

図-7に部位別の最大割れ出現率の推移を示した。調査地点は、2年目が2010～2013設置地点 (n=353)、3年目が2010～2012設置 (n=291)、4年目が2010～2011設置 (n=155)、5年目が2010年設置 (n=95)であった。出現率=各部位に最大割れが出現したビーム数/全ビーム数×100として、出現率を求めた。異なる部位で最大割れ幅が同一の場合、どちらも最大割れが出現したとしているため、各部位の出現率の合計は100%を超えることとなる。

上ビーム下ビームともにAの出現率が高く、上ビームで70～90%がAに最大割れが出現しているのに対して、下ビームのAでは50～60%とやや少なく、Bやbで20～30%程度最大割れが出現している。また、上ビームではBやbでの出現率は徐々に減少する傾向にあるが、下ビームは年数経過による傾向の変化はあまり認められなかった。

最大割れが上ビームAより下ビームAに少ないのは、上ビームによって日射や雨が遮られ、材の含水率変動が上ビームに比べて少なく、含水率傾斜が小さいためと考えられる。また、同じ幅の最大割れが上ビームAとBで存在した場合、Aの方が日射と雨が良く当たるため、含水率傾斜が大きく、割れ幅が大きくなりやすいものと考えられる。前段で述べたように割れが発生しやすいのは含水率傾斜の大きな箇所であるが、すでに発生している割れがあると応力集中で引張り応力は既存の割れに集中する(マテック, 2006)ことから、新しく発生した割れは大きくなりやすく、出現率の傾向の経年変化が起こりにくいものと考えられる。

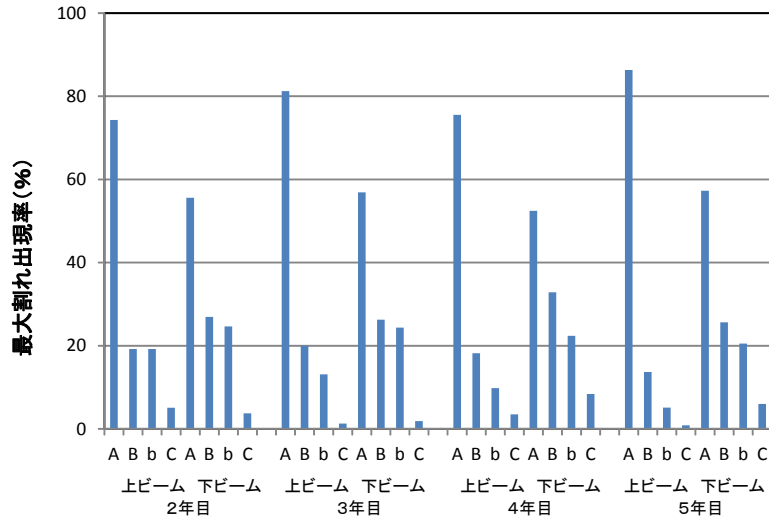


図-7 最大割れの出現率の推移

(3) 最大割れ幅の経年変化

図-8、9に、2～5年目まで割れ幅の測定を行った原町、野反湖、21世紀の森の最大割れ幅の経年変化を示した。

上ビームは2年目、3年目、4年目、5年目それぞれに有意差があり、年々割れ幅が大きくなっていく傾向が認められた。下ビームは2年目と3、4、5年目の間には有意差があるものの、3年目から5年目の割れ幅に有意差は認められなかった。

上ビームは下ビームに比べ日射や雨が当たりやすく、そこに深い割れが存在する場合、降雨時に含水率が大きく増加し(栗崎、2010)、降雨後に日射により材表面近くの含水率が急激に減少するため、含水率傾斜が大きい状態が続いて割れ幅が大きくなると考えられる。

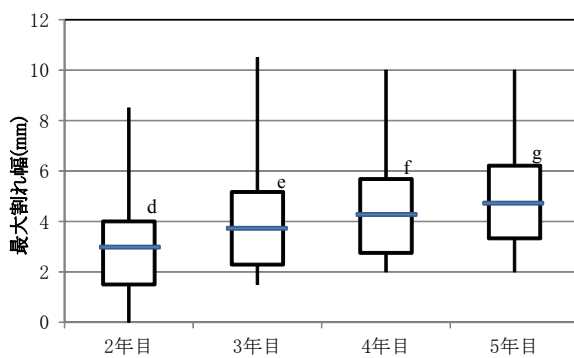


図-8 最大割れ幅の経年変化(上ビーム)

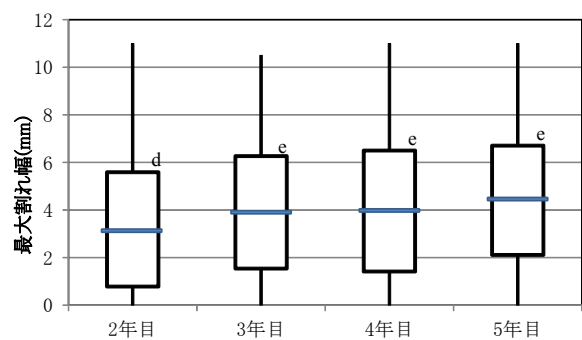


図-9 最大割れ幅の経年変化(下ビーム)

ボックスは四分位点、ボックス内の横線は平均値、エラーバーは最大最小、ボックス右肩のアルファベットは5%水準以下の有意差が存在する場合に異なる文字とした

(4) 生物劣化発生状況

表-3に生物劣化発生状況を示した。6年経過時点で、最初期の設置箇所である原町、21世紀の森、

野反湖の上下ビーム約2,000本中、原町と21世紀の森で計4本発生していた。なお、他の箇所では生物劣化は認められなかった。この時点での発生率は0.2%であり、木製ガードレールの先行事例では、無処理と考えられるが5～6年経過で被害度3以上が10%程度（「木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発」研究チーム、2010）や、工種は異なるが木製遮音壁の笠木なしの最上部部材の2.2%（町田、2010より笠木なし最上部本数を分母として再計算）に比べて、低い発生率である。

現時点での生物劣化の発生は、4本とも上ビームの部位Aで、いずれも割れから水と木材腐朽菌が入っての腐朽と考えられるが、割れは幅3mm以下で、心材深くまでは到達していない。被害度2の箇所は劣化の範囲がやや広いが、心材は健全であった。これらは、辺材部に生じた注入不良が生物劣化したものと考えられる。浅い割れはほぼすべての部材で存在するが、発生数が少ないことから、注入不良の発生率も同様に少ないと考えられる。

また、材中央部に達する大きな深い割れが原因となる生物劣化は、現時点では確認されていない。これら大きな割れは、製造時における割れ発生後の薬剤注入の効果で、割れ周辺に保存剤が良く浸潤して、生物劣化の発生が抑制されていると推察できる。

表－3 生物劣化発生状況

地点名	設置延長 (m)	スパン数	被害度	設置からの経過年数					
				1	2	3	4	5	6
原町	39	19	1	0	0	0	1	1	0
			2	0	0	0	0	0	1
			3	0	0	0	0	0	0
			4	0	0	0	0	0	0
			5	0	0	0	0	0	0
21世紀の森	1868	926	1	0	0	0	1	1	2
			2	0	0	0	0	0	1
			3	0	0	0	0	0	0
			4	0	0	0	0	0	0
			5	0	0	0	0	0	0

（5）予防保全的維持管理の効果

表－4に、塗布型油性保存剤による予防保全的維持管理を行った箇所の劣化状況を示した。処理を行ったビームと無処理のビームは一連の箇所である。生物劣化の発生自体が少なく統計的な差異はないが、現状では予防保全的維持管理として油性保存剤の塗布を行ったビームについて、生物劣化の発生は確認できていない。一方で生物劣化の発生した箇所は表－3に示した箇所も含めてすべて無処理箇所であった。今後、継続してモニタリングを行い、予防保全的維持管理の効果について検討したい。

表－4 予防保全的維持管理処理箇所と無処理箇所の生物劣化発生状況

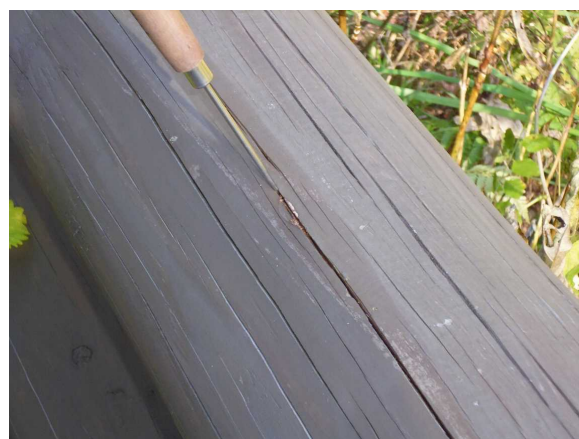
地点名	予防的維持管理	スパン数	被害度					
			0	1	2	3	4	5
原町	有	8	8	0	0	0	0	0
	無	11	10	0	1	0	0	0
原町②	有	11	11	0	0	0	0	0
	無	12	12	0	0	0	0	0
21世紀の森	有	11	11	0	0	0	0	0
	無	11	11	0	0	0	0	0
野反湖	有	13	13	0	0	0	0	0
	無	13	13	0	0	0	0	0
白井	有	13	13	0	0	0	0	0
	無	13	13	0	0	0	0	0
今井	有	16	16	0	0	0	0	0
	無	17	17	0	0	0	0	0

(6) 生物劣化発生箇所に対する塗布型油性薬剤処理の効果

表－3 で示した設置から4年目に生物劣化が発生した2箇所について、予防保全的維持管理に使用した塗布型油性保存剤を生物劣化箇所の割れから薬剤が溢れる程度に塗布して、劣化の進行を抑えることができるか検証を行ったところ、1箇所は図－10、11に示すように、目視、打診、触診いずれでも劣化範囲の拡大は確認できず、キノコの再発生もなかった。しかし残りの1箇所は図－12、13に示すように、劣化の範囲が拡大し、劣化の進行を止めることができなかった。両者とも劣化を最初に確認した4年経過時点で、打診と触診により材の劣化範囲をある程度特定した上で油性保存剤の塗布を行ったが、腐朽菌の生息範囲は材が劣化している範囲よりも広いことから、すべてを殺菌することができずに材中に菌が残ってしまったためと考えられる。材内における菌糸の伸長と劣化の発生について知見を得た上で、今後も生物劣化に対しての塗布処理を行い、効果を検証していく必要がある。



図－10 4年経過時の劣化状況 (21世紀の森、被害度1)



図－11 左から1年経過後の劣化状況 (被害度1)



図-12 4年経過時の劣化状況（原町、被害度1）



図-13 左から2年経過後の劣化状況（被害度2）

IV おわりに

設置から最長で6年が経過したぐんま型木製ガードレールについて、開発時に意図した耐久設計である、大きな割れからの生物劣化の抑制、下ビームの耐久性能を重視した構造の2点について、生物劣化調査等を通じて効果を検討した。また、生物劣化発生場所で予防保全的維持管理としてメンテナンスについての検討を行った。

割れの発生箇所や割れの数の推移、幅の大きな割れの発生状況などの調査とともに経年劣化調査を行い、大きな割れからの生物劣化抑制、及び下ビームを重視した耐久設計の有効性について、知見が得られた。

一方で、予防保全的維持管理や劣化発生箇所への塗布型防腐薬剤処理によるメンテナンスの効果については、生物劣化発生数が少ないこと、油性薬剤塗布後の期間が短いため、効果について検証できるだけのデータが集まらなかった。これらについては今後継続してモニタリング調査を行う必要がある。

他県の先行事例では、保存処理＋木材保護塗料塗布で目標耐用年数10年としているが、適切な維持管理を行うことでこれを上回る14、5年程度の耐用年数を目標とするとともに、開発時に意図した耐久設計については、予想どおりの効果が得られていることから、今後より利用が進むよう、機会を通じて普及を図りたい。

引用文献

- 「木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発」研究チーム（2010），木製防護柵・遮音壁の耐久設計と維持管理指針（案），「木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発」研究チーム編，48pp，（独）森林総合研究所，茨城，43-45
- 雨宮昭二（1963），浅川実験林苗畑の杭試験(1)杭の被害程度を評価する方法，林試研報150，143-156
- クラウド・マテック（2006）致命的な応力集中（樹木のボディランゲージ＝力学編＝物が壊れるしくみー樹木からバスケットまでー，213pp，街路樹診断協会，東京），76
- 土木学会（2012），木材工学委員会サイト<http://committees.jsce.or.jp/mokuzai/>（参照2016-12-26）
- 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会（2013），提言「土木分野における木材利用の拡大に向けて」http://committees.jsce.or.jp/mokuzai/system/files/Teigenbunshyo_0.pdf（参

照2017-2-23)

- 福田清春 (2001), 腐朽の発生と進行 (木材保存学入門, 日本木材保存協会編, 356pp, 日本木材保存協会, 東京), 68-71
- 栗崎宏, 谷口弘聡, 米澤尚美、明道祐司 (2010), 干割れによるスギ丸棒材の雨水吸収量の増加, 日本木材保存協会第26回年次大会研究発表論文集, 56-57
- 町田初男, 小黒正次, 工藤康夫, 長尾博文, 加藤英雄, 井道裕史 (2010), 木製遮音壁の経年劣化と劣化外力の影響, 木材保存36, 59-64
- 町田初男, 小黒正次, 松井春喜, 金子文男, 佐藤順一, 福島守, 齊藤孝信, 笛木元之 (2011), 群馬県における木製車両用防護柵の開発 (その1) 開発の過程と横梁に使用されたスギ材の強度, 第61回日本木材学会大会発表要旨集, CD-ROM
- 町田初男, 小黒正次, 佐藤博, 松井春喜, 金子文男, 佐藤順一, 福島守, 齊藤孝信 (2013), ぐんま型木製ガードレールの開発と使用初期の劣化状況, 木材利用研究論文報告集12, 117-124
- 日本木材保存協会 (2004), 木製外構材のメンテナンスの考え方 (木製外構材のメンテナンスマニュアル改訂版, 日本木材保存協会編, 48pp, (社) 日本木材保存協会, 東京), 8
- 寺澤眞 (2004), 割れ, (木材乾燥のすべて (改訂増補版), 737pp, 海青社, 滋賀), 365-375