

群馬県における木製遮音壁の ライフサイクル GHG 排出量

野田 龍¹・町田 初男²・加用 千裕³

¹ 正会員 秋田大学講師 大学院理工学研究科 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1)

E-mail:noda@gipc.akita-u.ac.jp

² 非会員 群馬県林業試験場 (〒370-3503 群馬県北群馬郡榛東村新井 2935)

E-mail:machi-hat@pref.gunma.lg.jp

³ 正会員 東京農工大学准教授 大学院農学研究院 (〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8)

E-mail:kayoc@cc.tuat.ac.jp

日本における木製遮音壁の先進自治体である群馬県において、同県で開発された 2 種類の木製遮音壁とコンクリート製遮音壁を対象として、ライフサイクルにおける GHG 排出量を評価し、コンクリート製遮音壁を木製遮音壁に代替することによる GHG 排出削減効果を明らかにした。

その結果、評価期間 30 年における原材料調達から建設までの GHG 排出量合計では、コンクリート製に比べ、木製 2 種ともに GHG 排出量が多くなることが明らかとなった。供用期間終了後の廃木材の燃料利用による重油代替および廃鉄、廃コンクリートによる材料代替を行えば、GHG 排出削減に繋がり、また、コンクリート製を木製に代替することで遮音壁延長 1m あたり、木製 (ログタイプ) で 60 kg-CO₂-eq、木製 (テクスチャータイプ) で 58 kg-CO₂-eq の GHG 排出削減効果が得られることが分かった。

Key Words: roadside noise barrier, life cycle assessment (LCA), greenhouse gas emissions, Gunma Prefecture, Japanese cedar

1. はじめに

木材は鉄鋼やアルミニウムといった他の材料と比べて製品製造時のエネルギー消費量および CO₂ 排出量が小さいことから¹⁾、木材利用によって地球温暖化の緩和に貢献できる。近年、地球温暖化問題への対応や利用適齢期を迎えた人工林の有効活用といった観点から、木材の有効利用が求められている。中でも、土木分野への木材利用が推進され、そのひとつとして遮音壁への木材利用が進められている^{2,3)}。土木構造物への木材利用を進めるうえで、工種・工法選定時の検討項目となり得る地球温暖化緩和効果を定量的に明らかにしていく必要がある。

他材料から木材への代替による地球温暖化緩和効果を検討する際、資源の採取から製品が製造され、廃棄されるまでのライフサイクル全体に関わる環境負荷を考慮するライフサイクルアセスメント (LCA) の適用が必要である。LCA 手法を用いた木材利用による温室効果ガス (GHG) 排出削減効果について、これまで多くの研究が進められている。土木構造物に着目した先行研究とし

ては、地盤の液状化対策に用いる地盤補強⁴⁾、溪流の荒廃防止対策に用いられる木製治山ダム⁵⁾や木製ガードレールを対象にした事例⁶⁾などがある。これらの先行研究の全てで、木材の他材料代替による GHG または CO₂ 排出削減効果が確認されている。ただし、鉄鋼等の他材料と混合利用する木製構造物では GHG 排出削減効果が得られない可能性も示されている⁶⁾。他材料と混合利用する主要な木製構造物として、その他にも木橋や木製遮音壁などが挙げられる。そのうち、遮音壁への木材利用による LCA の先行研究として、長野県で開発された 2 種 (スギ製、カラマツ製) とコンクリート製を比較評価した事例がある⁷⁾。上記の先行研究と同様の結果が得られているが、長野県の地域特性を反映した樹種、構造、データ等による結果であるため、日本全体の代表性は評価できておらず、他の地域やタイプを対象とした研究知見を蓄積していくことが課題として挙げられる。

そこで本研究では、主要な木製構造物のひとつである木製遮音壁を対象に、長野県と同様、日本における木製遮音壁の開発・普及の先進自治体の一つである群馬県において、同県で開発された 2 種類の木製遮音壁 (ログタ

イプ, テクスチャータイプ) を対象として, ライフサイクルにおける GHG 排出量を評価し, コンクリート製遮音壁を木製遮音壁へ代替することによる GHG 排出削減効果を明らかにする. さらに, 長野県と群馬県の木製遮音壁について, 地域間の違いによる GHG 排出量について比較検討する.

2. 評価方法

(1) 対象とした遮音壁

評価対象とした木製遮音壁は, これまでに群馬県で開発された 5 種類の木製遮音壁のうち, 今後も使用が見込まれる 2 種類 (ログタイプ, テクスチャータイプ, いずれも反射型, スギ製) ⁸⁾ とし, これら 2 種を遮音板 (反射型) として一般的なコンクリート製遮音壁と比較した. 遮音壁の構造形式は図-1 に示すように, 支柱と基礎部は標準タイプを, 遮音壁高さは設置事例が多いタイプを選定した. 具体的には, 基礎部は鋼管杭タイプ, 支柱は H 形鋼で高さは 3.5m, 遮音板の高さは 2.0m, 土留板の高さ 1.5m である. 木製遮音板 2 種の断面形状は図-2 に示す通りで, ログタイプ, テクスチャータイプともに加工した材 10 本をボルトで連結して 1 パネル (高さ 1.0m) としたものを 2 枚取り付けて 2.0m としている.

木製, コンクリート製の諸性能はともに遮音壁設計要領 ⁹⁾ に準拠した構造であり, 機能単位は統一されている. 具体的には, 400Hz に対して 25dB 以上, 1000Hz に対して 30dB 以上の音響透過損失を有し, かつ, 風荷重 (土工部で 1.5kN/m²) に耐えうる構造である.

(2) ライフサイクル GHG 排出量の評価方法

評価対象としたライフサイクル過程は原材料調達・製品生産, 製品輸送, 建設, 廃棄・再利用の各過程とし, 評価対象範囲 (システム境界) を図-3 に示す. 図中の囲み線実線が本研究で評価対象とした過程, 破線は評価対象外とした過程, 網掛けは廃材の再利用による新規製品の代替過程を示す. 各過程における化石燃料消費由来の GHG (CO₂, CH₄, N₂O) 排出量を算出した. 木材の炭素貯蔵については考慮しなかった. また, 木材の燃焼により発生する CO₂ については, カーボンニュートラルの考え方を適用し, 本稿では評価対象外としたが, CH₄ と N₂O は ISO の規定 ¹⁰⁾ に従い評価対象に含めることとした. 各 GHG は地球温暖化係数 100 年値 (GWP₁₀₀) (CO₂: 1, CH₄: 34, N₂O: 298) ¹¹⁾ を用いて CO₂ 換算した GHG 排出量 (kg-CO₂eq) で示した. 機能単位は, 各遮音壁延長 1m 当たりの GHG 排出量 (kg-CO₂eq/m) とした.

本研究における耐用年数は, 先行研究 ⁷⁾ を参考に木製遮音壁, コンクリート製遮音壁のどちらも 30 年と想定

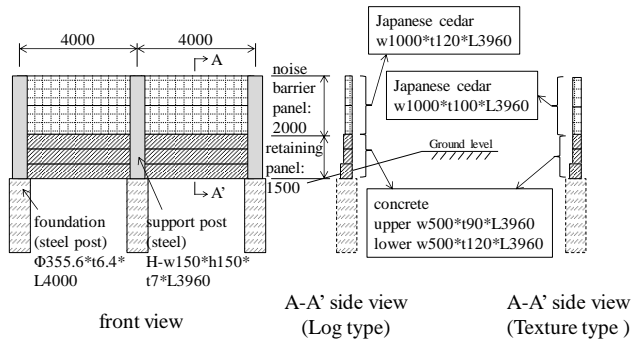


図-1a 遮音壁の構造模式図 (木製) (単位: mm)

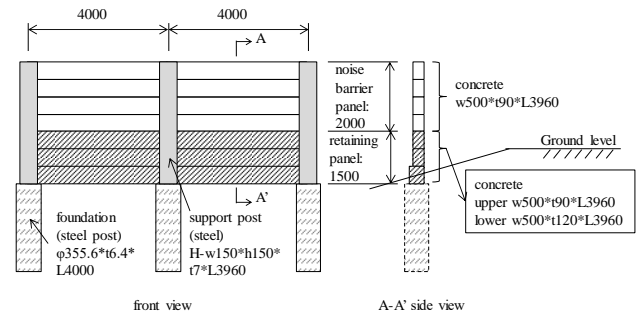


図-1b 遮音壁の構造模式図 (コンクリート製) (単位: mm)



図-2 木製遮音板の断面形状

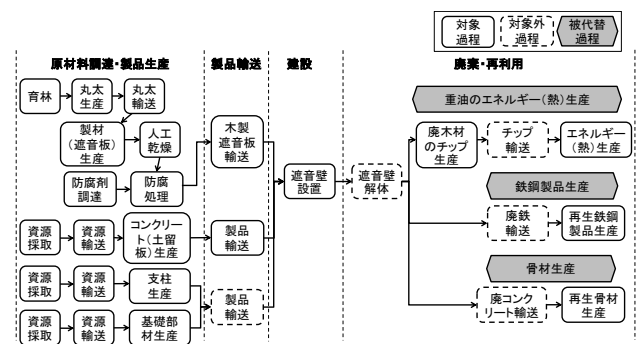


図-3a 評価対象範囲 (木製)

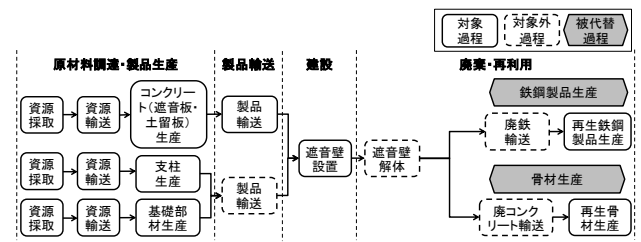


図-3b 評価対象範囲 (コンクリート製)

した。いずれの遮音壁についても維持管理における点検頻度や管理方法等が把握できなかったため、本研究では維持管理によるGHG排出量は評価しなかった。GHG排出量を評価する際のフォアグラウンドデータとして収集

した材料・燃料使用量を表-1に示す。木製遮音壁とコンクリート製遮音壁の材料使用量および木製遮音板の製造過程時の人工乾燥に伴う燃料使用量は群馬県林業試験場から、木製遮音板の防腐処理による電力使用量は下仁

表-1 材料・燃料使用量

ライフサイクル過程	材料・燃料		単位	木製		コンクリート製	
				ログ	テクスチャー		
原材料調達・製品生産	木製遮音板	製材使用量(丸太換算) ^{a)}	m ³ /m	0.41	0.43	-	
		製材使用量 ^{a)}	m ³ /m	0.24	0.20	-	
		全乾密度	kg/m ³	314.00			
		重油(人工乾燥用)使用量 ^{b)}	L/m ³	41.14		-	
		防腐剤(ACQ)使用量 ^{b)}	kg/m ³	24.00		-	
		電力(防腐処理用)使用量 ^{b)}	kWh/m ³	50.76		-	
	コンクリート製遮音板・土留板	生コンクリート使用量 ^{a)}	m ³ /m	0.16		0.33	
		普通鋼棒鋼使用量 ^{a)}	kg/m	22.00		38.50	
		支柱	普通鋼形鋼使用量 ^{a)}	kg/m	61.58		
			亜鉛めっき加工量 ^{a)}	kg/m	0.98		
		基礎部	構造用炭素鋼使用量 ^{a)}	kg/m	110.20		
			生コンクリート使用量 ^{a)}	m ³ /m	0.03		
		普通鋼棒鋼使用量 ^{a)}	kg/m	1.40			
製品輸送	木製遮音板	森林組合～設置現場の距離 ^{a)}	km	36.30		-	
	コンクリート製遮音板・土留板	製造工場～設置現場の距離 ^{a)}	km	10.30			
建設		軽油使用量	L/m	1.27			
廃棄・再利用	廃材	廃木材発生量 ^{a)}	m ³ /m	0.24	0.20	-	
		軽油(チップ生産用)使用量 ^{c)}	L/m ³	1.50		-	
		廃鉄発生量 ^{a)}	kg/m	83.58		100.08	
		廃コンクリート発生量 ^{a)}	m ³ /m	0.16		0.33	
	被代替燃料・材料	重油代替量	L/m	34.05	28.77	-	
		粗鋼代替量	kg/m	83.58		100.08	
		骨材代替量	m ³ /m	0.16		0.33	

a) 群馬県林業試験場, b) 群馬県下仁田森林組合, c) 農林公社

表-2 GHG排出量原単位

ライフサイクル過程	材料・燃料	単位	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG合計	原単位の対象範囲	参考文献		
原材料調達・製品生産	木製遮音板	製材(ひき角類)の生産	kg-CO _{2-eq} /m ³	56.6721	1.5112	0.9211	59.1045	育林～丸太生産～製材生産	(12)	
		重油の生産・燃焼	kg-CO _{2-eq} /l	2.9891	0.1137	0.0148	3.1176	資源採取～重油生産～重油燃焼	(12)	
		防腐剤(ACQ)の調達	kg-CO _{2-eq} /kg	-	-	-	6.3077	防腐剤(ACQ)調達	(13)	
		電力の使用	kg-CO _{2-eq} /kWh	0.5045	0.0058	0.0148	0.5250	資源採取～発電(東京電力)	(12)	
		10tトラックの輸送	kg-CO _{2-eq} /(t・km)	0.1265	0.0048	0.0006	0.1319	資源採取～軽油生産～軽油燃焼	(12)	
	コンクリート製遮音板・土留板	生コンクリートの生産	kg-CO _{2-eq} /m ³	289.5000	2.8155	1.0609	293.3764	資源採取～生コンクリート生産	(12)	
		普通鋼棒鋼の生産	kg-CO _{2-eq} /kg	0.8604	0.0089	0.0079	0.8772	資源採取～普通鋼棒鋼生産	(12)	
		支柱	普通鋼形鋼の生産	kg-CO _{2-eq} /kg	1.3790	0.0231	0.0071	1.4091	資源採取～普通鋼形鋼生産	(12)
			亜鉛めっきの加工	kg-CO _{2-eq} /kg	0.2890	0.0037	0.0068	0.2995	資源採取～亜鉛めっき加工	(12)
		基礎部	構造用炭素鋼の生産	kg-CO _{2-eq} /kg	1.8040	0.0324	0.0104	1.8468	資源採取～構造用炭素鋼生産	(12)
			生コンクリートの生産	kg-CO _{2-eq} /m ³	289.5000	2.8155	1.0609	293.3764	資源採取～生コンクリート生産	(12)
			普通鋼棒鋼の生産	kg-CO _{2-eq} /kg	0.8604	0.0089	0.0079	0.8772	資源採取～普通鋼棒鋼生産	(12)
製品輸送	木製遮音板、コンクリート製遮音板・土留板	10tトラックの輸送	kg-CO _{2-eq} /(t・km)	0.1265	0.0048	0.0006	0.1319	資源採取～軽油生産～軽油燃焼	(12)	
建設		軽油の生産・燃焼	kg-CO _{2-eq} /l	2.8207	0.1073	0.0140	2.9420	資源採取～軽油生産～軽油燃焼	(12)	
		軽油の生産・燃焼	kg-CO _{2-eq} /l	2.8207	0.1073	0.0140	2.9420	資源採取～軽油生産～軽油燃焼	(12)	
	廃材	木材の燃焼	kg-CO _{2-eq} /GJ	-	2.5160	0.1728	2.6888	木材燃焼(CO ₂ は対象外)	(12)	
		再生骨材の生産	kg-CO _{2-eq} /kg	0.0037	0.0001	0.0001	0.0039	再生骨材生産	(12)	
		廃スクラップの加工	kg-CO _{2-eq} /kg	0.0167	0.0003	0.0003	0.0172	廃スクラップ加工	(12)	
		再生粗鋼の生産(電炉法)	kg-CO _{2-eq} /kg	0.5840	0.0055	0.0052	0.5947	鉄スクラップからの粗鋼生産(電炉法)	(12)	
	被代替燃料・材料	重油の生産・燃焼	kg-CO _{2-eq} /l	2.9891	0.1137	0.0148	3.1176	資源採取～重油生産～重油燃焼	(12)	
		骨材の生産	kg-CO _{2-eq} /kg	0.0043	0.0001	0.0000	0.0044	資源採取～骨材生産	(12)	
		粗鋼の生産(転炉法)	kg-CO _{2-eq} /kg	1.4400	0.0307	0.0039	1.4746	資源採取～粗鋼生産(転炉法)	(12)	

田森林組合からそれぞれ収集した。バックグラウンドデータとして用いた GHG 排出量原単位を表-2 に示す。次項よりライフサイクル過程ごとに評価方法を詳述する。

a) 原材料調達・製品生産過程

原材料調達・製品生産過程は、遮音壁に使用する材料や燃料の資源採取から資源輸送および製品生産までを考慮した。これらの GHG 排出量は、各材料および燃料の使用量（表-1）に各材料・燃料の GHG 排出量原単位（表-2）を乗じることにより算出した。ここで、木製遮音板に使用される木材については育林、丸太生産、丸太生産現場から製材現場までの丸太輸送、製材生産、人工乾燥、防腐剤調達、防腐処理の各段階を対象とした。育林から製材生産までの各段階では製材使用量に製材（ひき角類）の生産による GHG 排出量原単位を、人工乾燥では人工乾燥を行う際の重油使用量に製材使用量および重油の生産・燃焼による GHG 排出量原単位を乗じて求めた。ログタイプおよびテクスチャータイプの断面形状はいずれも金型を作成して製作しており、複雑な製作過程を経ないことから、製材（ひき角類）の生産による GHG 排出量原単位を用いた。製材の密度は乾量基準の含水率 20%¹⁴⁾および全乾密度（スギ：314 kg/m³）¹⁵⁾を用いて求めた。防腐剤調達では、防腐剤（ACQ）使用量に製材使用量および防腐剤の調達による GHG 排出量原単位を、防腐処理では防腐処理を行う際の電力使用量に製材使用量および電力の使用による GHG 排出量原単位を乗じることにより算出した。

b) 製品輸送過程

製品輸送過程は、木製遮音板では防腐処理現場から設置現場までの製品輸送によるGHG排出量を対象とし、製材使用量に密度、輸送距離および10tトラックの輸送によるGHG排出量原単位を乗じることにより求めた。今回、製品生産と防腐処理は下仁田森林組合にて行ったため、その間の輸送は考慮しなかった。設置現場は既往設置現場の一つを任意に選択し、そこまでの製品輸送距離を設定した。これについては、関係者へのヒアリング調査結果より、今後群馬県内で新たに木製遮音壁が設置されることを考慮した際、県内の移動距離として妥当な範囲内と判断した。なお、密度は前項 (2.(2).a) と同様の方法で算定した。

コンクリート製品（遮音板、土留板）は群馬県内のコンクリート製造工場から木製遮音壁と同一の設置現場までの製品輸送によるGHG排出量を対象とし、コンクリート製品の体積に比重、輸送距離および10tトラックの輸送によるGHG排出量原単位を乗じることにより求めた。その他の製品の輸送については、輸送経路の詳細を把握することができなかつたため、対象外とした。

c) 建設過程

遮音壁の建設過程は、木製2種とコンクリート製ではほぼ同様の工程、重機使用時間となる。そこで、遮音壁設置工事歩掛り¹⁶⁾を用いて、支柱建込、土留板設置、遮音板設置の各工程におけるクレーン装置付トラック（車両重量4.0t、最大吊上荷重2.9t）の使用時間を求め、軽油消費量を算出した。軽油消費量に軽油の生産・燃焼によるGHG排出量原単位を乗じることにより、建設過程のGHG排出量を算出した。

d) 廃棄・再利用過程

廃棄・再利用過程では、廃木材の再利用において、燃料利用による重油代替を検討した。具体的には、廃木材をチップ化し、チップボイラーによって熱供給を行うことで重油ボイラーと代替することを想定した。なお、廃木材の材料利用も考えられるが、防腐処理材であるため、木質リサイクルチップの品質規格¹⁷⁾に従って燃料利用を対象とした。以下の式(1)~(4)によって廃木材の燃料利用によるGHG排出削減量を算定した。

$$RGE = GEO - GEW \quad (1)$$

$$GEO = \frac{DWB \times d \times CW \times ehw \times e_h}{CH \times ehh} \quad (2)$$

$$GEW = DWB \times l_c \times e_l \times DWB \times d \times CW \times e_w \quad (3)$$

$$CW = gc_0 - 2.512 \times (9 \times h_0 + u_0) \quad (4)$$

ここで、RGE：廃木材由来のチップの重油代替によるGHG排出削減量、GEO：廃木材由来のチップにより代替される重油の生産・燃焼によるGHG排出量、GEW：チップの生産・燃焼によるGHG排出量、DWB：廃木材発生量、d：廃木材（製材）の全乾密度、CW：木材の低位発熱量（全乾時）（GJ/kg）、ehw：木質チップボイラーの熱利用効率（0.775）¹⁸⁾、e_h：重油の生産・燃焼によるGHG排出量原単位、CH：重油の低位発熱量（0.037 GJ/L）¹⁹⁾、ehh：重油ボイラーの熱利用効率（0.885）¹⁸⁾、l_c：廃木材からのチップ生産による軽油消費量、e_l：軽油の生産・燃焼によるGHG排出量原単位、e_w：木材の燃焼によるGHG排出量原単位、gc₀：木材の高位発熱量（全乾時）（0.021 GJ/kg）²⁰⁾、h₀：水素含有率（全乾時）（0.06 kg/kg）²⁰⁾、u₀：乾量基準の含水率 20%（0.2 kg/kg）を示す。

廃木材発生量（DWB）は先行研究⁷⁾を参考に、木材の腐朽等による質量ないし材積の減少はないものとし、製材使用量と同量とした。算定の結果、木材の低位発熱量（CW）は、0.0191 GJ/kgとなった。

廃鉄、廃コンクリートの再利用方法は先行研究⁷⁾を参考に、廃鉄からの再生粗鋼（電炉法）生産による新規の鉄鉱石からの粗鋼（転炉法）との代替、廃コンクリートからの再生骨材生産による新規の骨材との代替を想定し

た. 下記の式(5)~(9)によって, 廃鉄, 廃コンクリートの材料利用による GHG 排出削減量を算定した.

$$RGM = GEM_s - GER_s + GEM_c - GER_c \quad (5)$$

$$GEM_s = DST \times y_s \times e_s \quad (6)$$

$$GER_s = DST \times r_d + DST \times y_s \times r_s \quad (7)$$

$$GEM_c = DCO \times dc \times e_c \quad (8)$$

$$GER_c = DCO \times dc \times r_c \quad (9)$$

ここで, RGM : 廃鉄, 廃コンクリートの材料代替による GHG 排出削減量, GEM_s : 新規の粗鋼 (転炉法) の生産による GHG 排出量, GER_s : 廃鉄からの再生粗鋼 (電炉法) の生産による GHG 排出量, GEM_c : 新規の骨材の生産による GHG 排出量, GER_c : 廃コンクリートからの再生骨材の生産による GHG 排出量, DST : 廃鉄発生量, y_s : 電炉法における鉄スクラップから再生粗鋼への歩留まり (0.9)²⁾, e_s : 粗鋼 (転炉法) の生産による GHG 排出量原単位, r_d : 鉄スクラップの加工処理による GHG 排出量原単位, r_s : 再生粗鋼 (電炉法) の生産による GHG 排出量原単位, DCO : 廃コンクリート発生量, dc : コンクリートの容積密度 (2400 kg/m³)¹²⁾, e_c : 骨材 (碎石) の生産による GHG 排出量原単位, r_c : 再生骨材 (路盤材用) の生産による GHG 排出量原単位を示す.

群馬県内においてこれまでに設置された遮音壁は現存しており, 実状に即した解体方法や廃棄処理・再利用場所等が定かでないため, 遮音壁の解体およびチップ (廃木材), 廃鉄, 廃コンクリートの輸送による GHG 排出量は対象外とした.

3. 結果と考察

(1) 木製遮音壁のライフサイクル GHG 排出量

評価期間30年におけるGHG排出量を表-3に示す. 原材料調達・製品生産過程から建設過程までのGHG排出量の合計は, ログタイプ464 kg-CO₂eq/m, テクスチャータイプ451 kg-CO₂eq/mとなった. ログタイプに比べてテクスチャータイプでGHG排出量が少なくなった要因は, ログタイプに比べて木材使用量が少なく (表-1), それにより木材の加工処理, 人工乾燥処理および防腐処理に伴うGHG排出量が少なくなったためである.

ライフサイクル過程ごとにみると, ログタイプ, テクスチャータイプともに, GHG排出量合計のうち, 原材料調達・製品生産過程が99.0%, 製品輸送過程が0.2%, 建設過程が0.8%となり, GHG排出量のほぼすべてを原材料調達・製品生産過程が占めていることが明らかとなった. この傾向は, 土木構造物を対象としたこれまでの先行研究⁴⁾と同様の結果である. 原材料調達・製品生産

過程は支柱生産, 木製遮音板生産, コンクリート製遮音板・土留板生産, 基礎部生産の各過程に分かれる. 各過程が占める割合をみると, ログタイプではそれぞれ18.7%, 19.6%, 14.5%, 46.2%, テクスチャータイプではそれぞれ19.3%, 17.2%, 14.9%, 47.6%となり, 非木製である支柱, コンクリート製遮音板・土留板および基礎部の生産過程に占める総排出量が多いことが分かった.

廃棄・再利用過程に着目すると, 廃木製遮音板の燃料利用による重油代替に伴い, ログタイプでは101.3 kg-CO₂eq/m, テクスチャータイプでは85.6 kg-CO₂eq/mのGHG排出削減効果が得られた (表-3). これはライフサイクルGHG排出量のうち, ログタイプで21.8%, テクスチャータイプで19.0%に相当する. さらに, 廃鉄, 廃コンクリートの材料代替に伴うGHG排出削減量を考慮すると, GHG排出量の合計をログタイプで64.2%, テクスチャータイプで66.6%まで削減することが可能となり, 廃棄・再利用過程におけるエネルギー利用および材料代替の有無は, ライフサイクルGHG排出量全体に対して非常に大きい影響があることが分かった.

(2) 木製遮音壁とコンクリート製遮音壁の比較

木製2種とコンクリート製を比較すると, 原材料調達・製品生産過程から建設過程までのGHG排出量の合計はコンクリート製で436 kg-CO₂eq/mとなり, 木製2種よりもGHG排出量は少なくなる結果が得られた. 木製2種の方がGHG排出量が多くなった要因として, 防腐処理前の人工乾燥に伴う重油消費と防腐処理に伴う電気消費によるGHG排出量が多いことが挙げられる.

廃棄・再利用過程における廃鉄, 廃コンクリートの材料代替に伴い, コンクリート製の正味のGHG排出量は358 kg-CO₂eq/mとなり, ログタイプ298 kg-CO₂eq/m, テク

表-3 評価期間 30年における GHG 排出量

項目	単位: kg-CO ₂ eq/m		
	ログタイプ	テクスチャー	コンクリート製
支柱間隔(m)	4.0	4.0	4.0
原材料調達・製品生産(支柱生産)	87.07	87.07	87.07
原材料調達・製品生産(遮音板(木製)生産)	90.98	77.51	—
原材料調達・製品生産(遮音板・土留板(コンクリート製)生産)	67.22	67.22	129.62
原材料調達・製品生産(基礎部生産)	214.62	214.62	214.62
製品輸送(木材・コンクリート)	0.96	0.89	1.07
建設	3.73	3.73	3.73
廃棄・再利用(廃木材による燃料代替)	-101.26	-85.57	—
廃棄・再利用(廃鉄, 廃コンクリートによる材料代替)	-64.97	-64.97	-77.97
GHG排出量	464.58	451.04	436.10
netのGHG排出量	298.35	300.51	358.13

スチャータイプ300 kg-CO₂eq/m³に比べて大きくなった。つまり、コンクリート製を木製に代替し、かつ廃材を再利用することで、ログタイプで60 kg-CO₂eq/m³ (約17%)、テクスチャータイプで58 kg-CO₂eq/m³ (約16%) のGHG排出削減効果が得られることが明らかとなった。

原材料調達・製品生産過程のうち、人工乾燥を行う際に使用している重油ボイラーをチップボイラーに変更した場合、さらなるGHG排出量削減の可能性はある。そこで、重油利用をチップ利用に変えた場合のGHG排出量の試算を行う。まず、人工乾燥に使用する重油は41.1L/m³ (表-1) である。遮音壁延長1mあたりの重油使用量は製材使用量 (表-1) からログタイプ9.78L、テクスチャータイプ8.26Lとなる。2.(2).d)で述べた計算方法を用いると、低位発熱量とボイラーの熱利用効率から、重油使用量に相当するチップ使用量はログタイプ0.068m³、テクスチャータイプ0.058m³となる。これらの数値を式(1)~(4)に代入して求めたところ、重油ボイラーをチップボイラーに変更することで、ログタイプ30 kg-CO₂eq/m³、テクスチャータイプで26 kg-CO₂eq/m³のGHG排出削減効果が得られる結果となった。ここでは、木材からチップの生産に伴う軽油消費量は考慮していない。以上より、人工乾燥処理を重油ボイラーからチップボイラーに変更したうえで、コンクリート製を木製に代替し、かつ廃材を再利用した場合、遮音壁延長1mあたりログタイプで90 kg-CO₂eq、テクスチャータイプで84 kg-CO₂eqのGHG排出削減に繋がることが分かった。

(3) 長野県版木製遮音壁と群馬県版木製遮音壁の比較

本研究結果は、群馬県の地域特性を反映した樹種、構造、データ等による結果である。そこで、木製遮音壁開

発のもう一つの先進自治体である長野県の結果と比較し、地域間の違いについて検討を行う。比較対象は群馬県 2種 (ログタイプ、テクスチャータイプ) と長野県 2種 (スギ製、カラマツ製) である。長野県 2種についても遮音壁設計要領⁹⁾に準拠した構造となっている (図-4)。支柱間隔は両県ともに同じであるが、標準的な遮音壁高さは群馬県の 3.5m (遮音板 2.0m, 土留板 1.5m) に対し、長野県は 4.0m (遮音板 3.0m, 土留板 1.0m) である。それに伴い、支柱および基礎杭のサイズが異なる。そこで、機能単位を統一するため、機能単位は遮音壁 1 m²あたりの GHG 排出量 (kg-CO₂eq/m²) とした。比較結果を表-4 に示す。

原材料調達・製品生産過程から建設過程までの GHG 排出量の合計は、群馬県の 2種 (129~133 kg-CO₂eq/m²) に比べ、長野県では 115~121 kg-CO₂eq/m² と小さくなった。この要因は、木製遮音板の厚さと人工乾燥日数の違いにある。遮音板の厚さは、群馬県ではログタイプ 120mm、テクスチャータイプ 100mm に対し、長野県ではスギ製 90mm、カラマツ製 75mm であるため、使用材積および製品重量は群馬県 2種の方が大きい。また、人

表-4 評価期間 30年における群馬県と長野県の木製遮音壁 GHG 排出量

項目	群馬県		長野県	
	ログタイプ	テクスチャー	カラマツ	スギ
支柱間隔 (m)	4.0	4.0	4.0	4.0
原材料調達・製品生産 (支柱生産)	24.88	24.88	23.65	23.65
原材料調達・製品生産 (遮音板 (木製) 生産)	25.99	22.15	10.56	16.52
原材料調達・製品生産 (遮音板・土留板 (コンクリート製) 生産)	19.21	19.21	18.98	18.98
原材料調達・製品生産 (基礎部生産)	61.32	61.32	61.18	61.18
製品輸送 (木材・コンクリート)	0.27	0.26	0.15	0.14
建設	1.07	1.07	0.93	0.93
廃棄・再利用 (廃木材による燃料代替)	-28.93	-24.45	-20.21	-18.80
廃棄・再利用 (廃鉄、廃コンクリートによる材料代替)	-18.56	-18.56	-17.30	-17.30
GHG排出量	132.74	128.87	115.45	121.40
netのGHG排出量	85.24	85.86	77.94	85.30

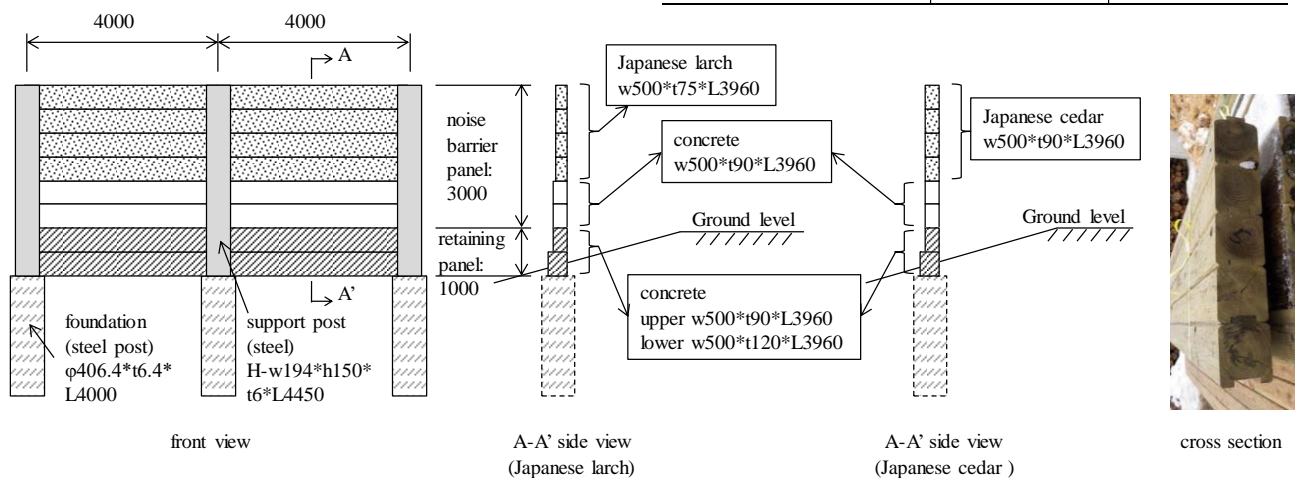


図-4 長野県版木製遮音壁の構造模式図と木製遮音板の断面形状 (単位: mm)

工乾燥処理は、群馬県では 12 日間実施するのに対し、長野県ではスギ製、カラマツ製ともに 10 日間と短く、これらに伴い、群馬県 2 種の方が GHG 排出量が大きくなっている。各タイプで遮音板の厚さが異なるのは、地域で使用したい樹種や木材寸法が反映された結果と考えられる。一方、人工乾燥処理日数は各処理業者の考え方が反映されているため、処理業者が異なる場合は同じ結果が得られるとは限らない点に留意する必要がある。

次に、廃棄・再利用過程に着目する。廃木製遮音板の燃料利用による重油代替と廃鉄、廃コンクリートの材料代替に伴う正味の GHG 排出量と比較すると、スギ製である群馬県 2 種と長野県スギ製では 85.2~85.9 kg-CO_{2eq}/m² となり、地域特性、構造特性等に関わらず同等の GHG 排出量となることが分かった。これは、使用材積が多くなった場合、原材料調達・製品生産過程から建設過程までの GHG 排出量が大きくなるのに比例して、廃棄・再利用による GHG 排出削減量が大きくなるためである。一方、カラマツ製では 77.9 kg-CO_{2eq}/m² とスギ製よりも GHG 排出量は少なくなった。この要因は、防腐剤使用量の差によるものである。難注入性であるカラマツは、スギに比べて防腐剤使用量が少なく、それに伴う GHG 排出量が少なく抑えられるためである。このことから、地域の事情や特性に応じて木材処理方法や構造、寸法が異なっても、廃棄・再利用過程を考慮すれば GHG 排出量は同等になることが示唆された一方、保存処理を行う場合は樹種による注入性の違いが GHG 排出量の大小に影響することが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、群馬県において新たに開発された2種の木製遮音壁（反射型、スギ製）と反射型遮音壁として一般的なコンクリート製遮音壁を対象に、ライフサイクルにおけるGHG排出量（CO₂, CH₄, N₂O）を評価し、非木製と比較した木製遮音壁のGHG排出削減効果の検討を行った。さらに、木製遮音壁の開発先進自治体として群馬県と長野県の木製遮音壁のGHG排出量を比較し、地域間の違いについて検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 評価期間 30 年における原材料調達から設置作業までの GHG 排出量合計では、コンクリート製 436 kg-CO_{2eq}/m に比べ、木製（ログタイプ）464 kg-CO_{2eq}/m、木製（テクスチャータイプ）451 kg-CO_{2eq}/m となり、いずれの木製もコンクリート製より GHG 排出量は多くなった。その要因として、防腐処理前の人工乾燥に伴う重油消費と防腐処理に伴う電気消費による GHG 排出量が多いことが挙げられる。
- (2) 廃木材の燃料利用による重油代替および廃鉄、廃コンクリートによる材料代替を行うことで GHG 排出

量の削減に繋がり、特に、廃木材の燃料利用による重油代替に伴い、木製（ログタイプ）では 101.3 kg-CO_{2eq}/m、木製（テクスチャータイプ）では 85.6 kg-CO_{2eq}/m の GHG 排出削減効果が得られ、廃棄・再利用過程におけるエネルギー利用の有無は、ライフサイクル GHG 排出量全体に対して非常に大きい影響があった。

- (3) コンクリート製を木製に代替することで、廃材の燃料利用および材料利用を前提とすれば、木製（ログタイプ）では 60 kg-CO_{2eq}/m（約 17%）、木製（テクスチャータイプ）では 58 kg-CO_{2eq}/m（約 16%）の GHG 排出削減効果が得られる。人工乾燥処理を重油ボイラーではなく、チップボイラーで行った場合、木製（ログタイプ）では 90 kg-CO_{2eq}/m、木製（テクスチャータイプ）では 84 kg-CO_{2eq}/m のさらなる GHG 排出削減効果が得られる。
- (4) 木製遮音壁について、群馬県と長野県と比較したところ、評価期間 30 年における原材料調達から建設過程までの GHG 排出量合計では、地域特性による差がみられたが、廃棄・再利用を考慮した場合、同樹種であれば同等の GHG 排出量となる。その一方、保存処理を行う場合は樹種による注入性の違いが GHG 排出量の大小に影響する。

今後、他の地域や構造等を対象とした研究をさらに進め、日本全体の木製遮音壁の GHG 排出量の代表性を評価していくことが課題である。

謝辞：本研究を行うにあたり、下仁田町森林組合の関係各位には多大なご協力を頂きました。データをまとめるにあたり、当時秋田大学 4 年生の武川佑太君に協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。また、本研究は MEXT 科研費 16709683, JSPS 科研費 16K21023, MEXT 科研費 15H02863 の支援により行われました。

参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate change 2014, Fifth Assessment Report, Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press, 2014.
- 2) 町田初男：群馬県における木製遮音壁の設置及び維持管理の取り組み, 木材工業, Vol.62, No.12, pp.637-639, 2007.
- 3) 柴田直明：長野県における木製遮音壁の開発と施工 — 1985 年度試験施工 200m と 2012 年度新設 48m —, 木材保存, Vol.39, No.5, pp.256-260, 2013.
- 4) Kayo C, Hashimoto S, Numata A, Hamada M: Reductions in greenhouse gas emissions by using wood to protect against soil liquefaction, J Wood Sci., Vol.57, pp.234-240, 2011.

- 5) Noda R, Kayo C, Sasaki T, Takaoku S: Evaluation of CO₂ emissions reductions by timber check dams and their economic effectiveness, *J Wood Sci.*, Vol.60, pp.461-472, 2014.
- 6) Noda R, Kayo C, Yamanouchi M, Shibata N: Life cycle greenhouse gas emission of wooden guardrails: a study in Nagano Prefecture *J Wood Sci.*, Vol.62, pp.181-193, 2016.
- 7) 野田龍, 加用千裕, 山内仁人, 柴田直明: 長野県における木製遮音壁のライフサイクル GHG 排出量, *木材学会誌*, Vol.63, No.1, pp.41-53, 2017.
- 8) 土木技術者のための木材工学入門, 土木学会木材工学委員会, pp.194-195, 2017.
- 9) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: 設計要領 第五集 交通管理施設編 遮音壁設計要領, pp.7-8, 2015.
- 10) ISO/TS 14067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication. The International Organization for Standardization, Geneva, 52 (2013).
- 11) IPCC Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Mitigation of Climate Change, 2014.
- 12) 産業環境管理協会: MiLCA (IDEA Ver. 1.1.0), 産業環境管理協会, 東京, 2014.
- 13) NPO 法人才の木: 木材の環境貢献度表示に係る技術支援報告書, pp.14-17, 2013.
- 14) 全国木材検査・研究協会: 新しい製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説. 一般社団法人全国木材検査・研究協会, 東京, pp.193-195, 2009.
- 15) 環境省: 温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 第5部 森林等の吸収源分科会報告書, 環境省, 東京, p.10, 2006.
- 16) 経済調査会: 平成 27 年度版 工事歩掛要覧 土木編上, 東京, 2015.
- 17) 全国木材資源リサイクル協会連合会木質リサイクルチップの品質規格について, 全国木材資源リサイクル協会連合会, 東京, 2010.
- 18) 森のエネルギー研究所: 木質バイオマスボイラー導入指針, 森のエネルギー研究所, 東京, 2012.
- 19) 戒能一成: エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数の改訂案について, 2013 年度改訂標準発熱量・炭素排出係数表. 経済産業研究所, 東京, 2014.
- 20) Abe, F: Calorific value of Japanese coniferous wood, *Bull For & For Prod Res Inst* 338: pp.91-100, 1986.
- 21) 一般社団法人 日本鉄鋼連盟: 鉄鋼製品のリサイクル特性を反映した LCI 計算法, http://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/150804_3.pdf 2016 年 7 月 16 日参照.

(2017.8.31 受付)

LIFE CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF WOODEN ROADSIDE NOISE BARRIERS IN GUNMA PREFECTURE

Ryu NODA, Hatsuo MACHIDA and Chihiro KAYO

The local government of Gunma prefecture, which leads the field of wooden noise barriers in Japan, has developed two types of wooden noise barriers (Log type and Texture type). This study targeted these wooden noise barriers and concrete noise barriers to evaluate greenhouse gas (GHG) emissions throughout their lifecycle. The effect of replacing concrete noise barriers with wooden noise barriers on the reduction of GHG emissions was evaluated.

The results showed that the total amount of GHG emissions, from raw material procurement to construction, by both Log type and Texture type noise barriers was higher as compared to concrete noise barriers over an evaluation period of 30 years. After the service period ended, a GHG emission reduction effect by using disposed wood, steel and concrete as fuel and recycled material could be obtained. The results indicated that replacing concrete noise barriers with Log type and Texture type noise barriers resulted in emission reductions of 60 kg-CO₂-eq and 58 kg-CO₂-eq, respectively, for every 1 m length of the noise barrier.