地盤液状化対策への木材利用による温室効果ガス排出削減効果の評価

(独)国立環境研究所　正会員　○加用　千裕
(独)国立環境研究所　正会員　橋本　征二
飛島建設　正会員　沼田　淳紀
早稲田大学　正会員　濱田　政則

１．目的

地盤の液状化対策への木材利用に着目し，丸太打設(LP)工法の温室効果ガス(GHG)排出削減効果を評価するために，砂杭を利用するサンドコンパクションパイル(SCP)工法やセメント固化による深層混合処理(CDM)工法の GHG 排出量との比較を行った．なお, LP 工法については, 木材の GHG 収支(CO_2 と CH_4)に影響を与える項目として，木材伐採後に再植林を行い森林管理が持続的なものかどうか，地中の丸太を廃棄せず半永久的に固定するかどうか，その際に嫌気性分解によりメタン(CH_4)排出があるかどうか，林地残材や廃棄後の丸太を石炭や石油の代替燃料として利用するかどうか，を検討するために複数のシナリオを想定し評価を行った．

２．方法

２．１．化石燃料等の消費による CO_2 排出量

実務者の経験を基に，いずれの工法も基礎として同等レベルとなるように施工条件を設定し，各工法の材料と燃料の使用量を表-1 に示した．各工法における化石燃料と石灰石(化石燃料等)の消費に伴う CO_2 排出量は，使用される材料の生産，施工機械に使用される燃料の生産，その燃料の燃焼の各過程を評価対象とし，式(1)により算出した．

$$EF = U_{(M)} \cdot ef_{(M)} + U_{(F)} \cdot ef_{(F)} \quad (1)$$

ここで，$EF(t\text{-}CO_2)$は化石燃料等の消費に伴う CO_2 排出量，$U_{(M)}(t,\ m^3)$は材料(砂，高炉セメント，丸太)の使用量(表-1)，$ef_{(M)}(t\text{-}CO_2/t,m^3)$は材料の CO_2 排出量原単位，$U_{(F)}(L)$は化石燃料(軽油)の使用量(表-1)，$ef_{(F)}(t\text{-}CO_2/L)$[1)]は化石燃料の CO_2 排出量原単位を示す．

３．１．木材の GHG 収支

LP 工法における木材のライフサイクルを図-1 に示した．木材の GHG 収支に影響する項目として，木材伐採後の再植林による持続的森林管理の有無(F0, F1)，地中の丸太の永久固定の有無(S0，S1)と CH_4 排出，林地残材と廃丸太の燃料利用の有無(R0，R1，W0，W1)を検討し, それらの組み合わせによる木材シナリオを設定し，表-2 に示した．また，各シナリオにおける GHG(CO_2 と CH_4)収支を表-3 に示し, 式(2)～(10)により算出した．

$$C_{emi(L)} = L \times D \times CC \times 44/12 \quad (2)$$

表-1　各工法における施工条件と材料・燃料使用量

		Unit	SCP	CDM	LP
Pile length		m	8	8	8
Improvement area		m^2	500	500	500
Placing pitch		m	1.60	1.34	0.50
Pile diameter		m	0.70	-	0.17
Placing cross-sectional area		m^2	-	1.50	-
Improvement rate		-	0.15	0.84	0.15
Cement content		t/m^3	-	0.10	-
Material use	Sand	m^3	848	-	-
	Blast-furnace cement	t	-	368	-
	Log	m^3	-	-	586
Fuel use (Light oil)	Construction machinery	L	417	1,701	-
	Electric generator	L	3,581	14,732	-
	Compressor	L	1,527	-	-
	Wheel loader	L	558	-	-
	Backhoe	L	-	3,157	5,865
	Total	L	6,083	19,590	5,865

図-1　LP 工法における木材のライフサイクル

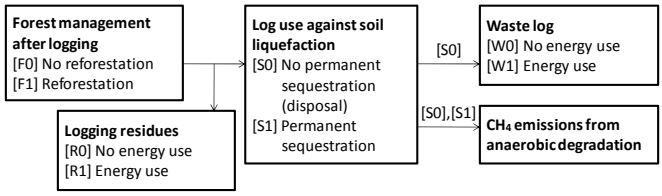

表-2　木材シナリオ

	LP(a)	LP(b)	LP(c)	LP(d)	LP(e)	LP(f)	LP(g)
F	0	0	0	0	1	1	1
S	0	0	1	1	0	0	1
R, W	0	1	0	1	0	1	0

表-3　木材シナリオにおける GHG(CO_2 と CH_4)収支

	LP(a)	LP(b)	LP(c)	LP(d)	LP(e)	LP(f)	LP(g)
F	$C_{emi(L)}, C_{emi(R)}$	$C_{emi(L)}, C_{emi(R)}$	$C_{emi(L)}, C_{emi(R)}$	$C_{emi(L)}, C_{emi(R)}$	-	-	-
S	$M_{emi(L)}$	$M_{emi(L)}$	$C_{seq(L)}, M_{emi(L)}$	$C_{seq(L)}, M_{emi(L)}$	$M_{emi(L)}$	$M_{emi(L)}$	$C_{seq(L)}, M_{emi(L)}$ C
R, W	-	$C_{sub(L)}, C_{sub(R)}$	-	$C_{sub(R)}$	-	$C_{sub(L)}, C_{sub(R)}$	-

キーワード　地盤液状化，木材，砂，セメント，炭素収支，メタン排出
連絡先　〒305-8506　茨城県つくば市小野川 16-2　（独）国立環境研究所　ＴＥＬ029-850-2967

$C_{emi(R)} = L \times (BEF-1) \times D \times CC \times 44/12$ (3)

$C_{seq(L)} = L \times D \times CC \times 44/12$ (4)

$M_{emi(L)} = L \times D \times CC \times MC \times 16/12 \times 21$ (5)

$MC = GC \times MG$ (6)

$C_{sub(L)} = F_{sub(L)} \times ef_{(F)}$ (7)

$F_{sub(L)} = L \times D \times cal_{(L)}/cal_{(F)}$ (8)

$C_{sub(R)} = F_{sub(R)} \times ef_{(F)} - L \times (BEF-1) \times ef_{(R)}$ (9)

$F_{sub(R)} = L \times (BEF-1) \times D \times cal_{(L)}/cal_{(F)}$ (10)

ここで，$C_{emi(L)}$と $C_{emi(R)}$ (t-CO_2) (CO_2換算)はそれぞれ丸太伐採と林地残材からの炭素排出量(森林の炭素貯蔵量の減少)，L(m^3)は丸太使用量(表-1)，D(t/m^3)は容積密度，CC(t-C/t)は炭素含有率，BEF は丸太部分を枝葉などの地上部樹木全体へ拡大する係数，$C_{seq(L)}$(t-CO_2)(CO_2 換算)は地中の丸太の炭素固定量，$M_{emi(L)}$(t-CO_2)(CO_2換算)は地中の丸太からの CH_4排出量，MC は木材中の炭素の CH_4化率，GC は木材中の炭素のガス化率，MG は発生ガス中の CH_4比率，$C_{sub(L)}$と $C_{sub(R)}$(t-CO_2)(CO_2換算)はそれぞれ廃丸太と林地残材の燃料利用による化石燃料(石炭あるいは重油)由来の炭素代替量，$F_{sub(L)}$と $F_{sub(R)}$(t, kL)は廃丸太と林地残材の燃料利用による化石燃料(石炭あるいは重油)代替量, $ef_{(F)}$(t-CO_2/ t, kL)は化石燃料(石炭あるいは重油)の CO_2排出量原単位, $ef_{(R)}$(t-CO_2/ m^3)は林地残材のCO_2排出量原単位, $cal_{(L)}$(GJ/t)は木材の発熱量, $cal_{(F)}$(GJ/t, kL)は化石燃料(石炭あるいは重油)の発熱量を示す.

３．結果

３．１．化石燃料等の消費による CO_2 排出量

各工法による化石燃料等消費由来 CO_2 排出量を評価した結果, LP 工法は 33 t-CO_2, SCP 工法は 34 t-CO_2 となり, 両者にあまり差は見られなかった. しかし, CDM 工法は 234 t-CO_2 となり，LP 工法の約 7 倍であった.

３．２．木材の GHG 収支

LP 工法における木材のネットの GHG 収支(＝[炭素排出＋CH_4 排出]－[炭素固定＋炭素代替])を評価した結果を図-2 に示した. LP(a)～LP(d)の結果から，木材伐採後に再植林を行う持続的な森林管理は，木材利用による GHG 排出削減に必須となることが確認された. また，LP(f)-(0,c)，LP(f)-(0,o)，LP(g)-(0)，LP(g)-(8.5)の結果から，木材中の炭素の CH_4 化率が 1.3%未満であれば，丸太を廃棄せず地中に永久固定する方が廃丸太を石炭の代替燃料として利用するよりも GHG 排出削減効果は大きく，CH_4化率が 4%未満であれば，丸太の永久固定の方が廃丸太の重油代替よりも効果が大きいことが分かった.

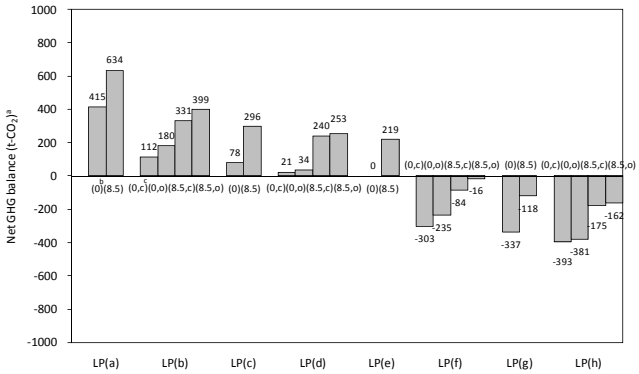

図-2　LP 工法における木材のネットの GHG 収支

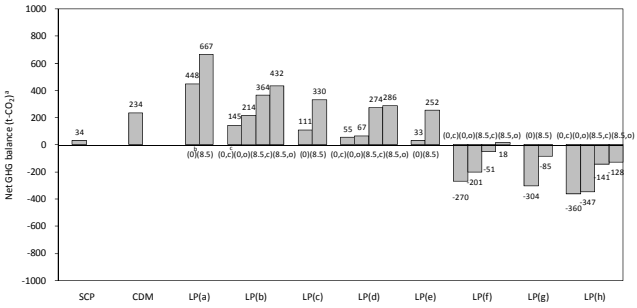

図-3　各工法におけるネットの GHG 収支

(注)図中の＋値は炭素排出と CH_4 排出，－値は炭素固定と炭素代替を示す. (0)と(8.5)は木材中の炭素の CH_4 化率(式[6]の MC)が 0%と 8.5%の場合，(c)と(o)は廃丸太や林地残材の石炭と重油の代替利用をそれぞれ示す.

３．３．化石燃料等の消費と木材の GHG 収支

SCP，CDM，LP の各工法における化石燃料等消費由来 CO_2 排出量と木材の GHG 収支を統合したネットの GHG 収支の評価結果を図-3 に示した. SCP 工法を LP 工法で代替する場合, 丸太伐採後に再植林を行う持続的な森林管理と地中の丸太からの CH_4 排出を防止することが GHG 排出削減のために必要となることが分かった. また，CDM 工法を LP 工法で代替する場合も地中の丸太からの CH_4 排出を抑制することが重要となった. 持続的な森林管理，地中の丸太の永久固定，CH_4 排出の抑制，林地残材の石炭代替利用を想定した LP(h)-(0,c)シナリオは, 炭素固定量と炭素代替量が最も大きく, SCP 工法の GHG 排出量の約 11 倍に相当する GHG 排出削減効果があることが分かった.