

論文 アルミ合金システム型枠における CO₂ 排出原単位の見直しと CO₂ 削減量の算定

友岡 輝秀*1・森田 紘輝*1・古賀 一八*1・本田 悟*2

要旨： 2050 年までのカーボンニュートラルに向けて、合板型枠をアルミ型枠に置き換えることで CO₂ 削減に繋がるものと考え、建設業界の CO₂ 削減モデルとなるアルミニウム型枠システムを構築した。2021 年度報告では、CO₂ 排出量を検証し、実建物の CO₂ 排出量を比較してきた。本研究では、環境省等が提出した「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」を参考に CO₂ 排出量の見直しを行い、削減効果を検証した。

キーワード： アルミ型枠、型枠合板、CO₂、カーボンニュートラル、SDGs

1. はじめに

型枠においては 1960 年代から大きな変化がなく、合板を用いた従来工法が主流となっているが、型枠合板は数回使用するだけで廃棄処分となってしまう、カーボンニュートラルな使い方とは言えない（写真－1）。一方、アルミ合金システム型枠（以下、アルミ型枠という。）工法は 6000 系材を用い、表面処理として腐食防止剤を施しており、適切なメンテナンスを行うことで、ほぼ恒久的に繰り返し使用することが可能であり、持続可能な消費と生産の促進を目標とする SDGs にも有効活用できる工法である（写真－2）。また、CO₂ 削減の観点から型枠合板をアルミ型枠に変えることでカーボンニュートラルに寄与し、2050 年に向けた建設業での CO₂ 削減の一つのモデルとなる工法であると考え、既報「アルミ型枠システムによる CO₂ 削減量の検証（以下、既報）」では CO₂ 排出原単位の検証および実建物での CO₂ 排出量の比較を行なった¹⁾。しかし、既報で設定した CO₂ 排出原単位がスコープの観点から課題が残っており更なる検討の必要性があり、本報の第 2 章で既報の CO₂ 排出原単位の設定状況を引用した¹⁾。CO₂ 排出原単位は木材炭素含有率や LCA 指針より設定されており、型枠材のフォールライフカーボン（材料調達、製造、運用、維持、リサイクル）の全てを網羅したスコープが CO₂ 排出原単位として相応しいとすれば、一部のスコープしか対象とされていないと判断される。そこで、本報では型枠材ごとに排出活動を検討し、排出活動ごとの CO₂ 排出原単位を設定した。一方、既報では産業連関表ベース等による算定方法を用いたが、本報では詳細な分析を可能とする積み上げベースも含めた算定方法とした。さらに、既報では型枠材ごとの耐用性の差異に着目し、時間軸を考慮した CO₂ 排出原単位として使用年数を取り上げたが、本報では新たに時間軸を転用回数および再利用物件数に変更した。以上のように本報では、既報の課題であった CO₂ 排出原単位

を見直すとともに CO₂ 排出量の算定を行ったものである。



写真－1 従来型枠工法（型枠合板）¹⁾



写真－2 アルミ型枠工法¹⁾

2. 既報における CO₂ 排出原単位の設定状況

既報では型枠使用部材の CO₂ 排出原単位を以下のように設定した¹⁾。

・木材の CO₂ 排出原単位

1kg の木材が燃焼して発生する CO₂ 量は式(1)、廃棄物となった木材はその 60%がリサイクルされるとものとし、式(2)のように木材の 40%が CO₂ として発生するものと考えた。

$$0.5 \times 44 / 12 = 1.833 (\text{kg-CO}_2 / \text{kg}) \quad (1)$$

$$1.833 (\text{kg-CO}_2 / \text{kg}) \times 0.4 = 0.733 (\text{kg-CO}_2 / \text{kg}) \quad (2)$$

N 年間使用時の CO₂ 排出原単位は、式(3)で表される。

木材の CO₂ 排出原単位＝

$$[0.733 - 0.733 \times (N - 1) / 50] / N (\text{kg-CO}_2 / \text{kg} \cdot \text{年}) \quad (3)$$

型枠合板の場合、N=1 年とすれば、式(4)で表される。

$$\text{木材の CO}_2 \text{ 排出原単位} = 0.733 (\text{kg-CO}_2 / \text{kg} \cdot \text{年}) \quad (4)$$

*1 森田建設株式会社（正会員）

*2 福岡大学 工学部建築学科（正会員）

・アルミのCO₂排出原単位

産業連関表に基づく日本建築学会編の「LCA データベース」によれば、アルミのCO₂排出原単位は、9.5(kg-CO₂/kg)という値が示されており、N年間の使用による1年当たりのCO₂排出原単位は式(5)、N=10とすれば、式(6)のように表される²⁾。

$$\text{アルミの1年間当たりのCO}_2\text{排出原単位} = 9.5/N \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{アルミのCO}_2\text{排出原単位} &= \\ 9.5/10 &= 0.95(\text{kg-CO}_2/\text{kg} \cdot \text{年}) \end{aligned} \quad (6)$$

・鋼材のCO₂排出原単位

「LCA データベース」によれば、鋼材のCO₂排出原単位は、概ね1.0(kg-CO₂/kg)程度の値と見ることができ、アルミと同様にN=10年とすれば、式(7)で表される²⁾。

$$\begin{aligned} \text{鋼材のCO}_2\text{排出原単位} &= 1.0/N \\ &= 1.0/10 = 0.1(\text{kg-CO}_2/\text{kg} \cdot \text{年}) \end{aligned} \quad (7)$$

3. CO₂排出原単位の見直し

3.1 算定方針の設定

算定方針は、建築で使用する型枠作業を従来型枠工法（型枠合板）からアルミ型枠に切り替えることによるCO₂排出量の削減を算定することであり、「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガスの排出量算定に関する基本ガイドライン(ver.2.4)」を参照した³⁾。

3.2 排出活動の抽出

前記した算定方針を「カテゴリ区分ごとの算定対象」に照らし合わせ、算定を行う排出活動を抽出した。

- ・型枠材の製造に伴うCO₂排出量
- ・型枠材の運搬に伴うCO₂排出量
- ・型枠材の廃棄に伴うCO₂排出量

3.3 カテゴリ区分の設定

- ・型枠材の製造に伴うCO₂排出量

従来型枠工法の型枠合板が購入品、アルミ型枠が仕入商品であり、上流のカテゴリ 1（購入した製品・サービス）と設定した。

- ・型枠材の運搬に伴うCO₂排出量

自社への物流であり、上流のカテゴリ 4（輸送、配送）と設定した。

- ・型枠材の廃棄に伴うCO₂排出量

自社及び作業所（現場）で発生した廃棄物の輸送および処理に伴う排出であり、上流のカテゴリ 5（事業から出る廃棄物）と設定した。

3.4 算定方法の比較

算定方法には、活動単位の削減対策等の検討が可能な積み上げベースと、平均的な排出原単位が示されている産業連関表ベースが挙げられ、「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位について（Ver.3.2）」において両方の原単位のメリットお

よびデメリットが記述されており、その概要は以下のとおりである⁴⁾。積み上げベースでは、現実のプロセスに対応しており、データの代表性が高い等のメリットがあるものの、ライフサイクルに含まれるプロセスは非常に複雑で排出原単位を作成するには多大な労力が必要となる。一方、産業連関表ベースでは社会に存在するすべての排出量が把握されているため、必要な原単位が入手可能であるものの、平均的な排出量が示されているだけであるため、詳細な分析は困難である。

3.5 型枠材ごとの算出方法の設定

排出活動ごとの算定方法は表-1 に示すように、製造に伴うCO₂排出量は産業連関表、運搬に伴うCO₂排出量は産業連関表および積み上げベース、廃棄に伴うCO₂排出量は「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver.2.5)」をそれぞれ参照した⁵⁾。なお、運搬に係る積み上げベースの算定方法は「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver.4.9」、産業連関表は「AIJ-LCA 原単位データベース 2015年産業連関分析データ版 Ver.1.01」を参照した⁶⁾⁷⁾。

表-1 排出活動ごとの算定方法

活動種類		算定方法		
		型枠合板	型枠鋼材	アルミ型枠
型枠材の製造に伴うCO ₂ 排出量		産業連関表		
運搬に伴うCO ₂ 排出量	他者からの購入・仕入	産業連関表	産業連関表	積み上げ
	自社から現場	積み上げ		
型枠材の廃棄に伴うCO ₂ 排出量		データベース		

注) 運搬に伴うCO₂排出量の積み上げ法とはトンキロ法である。

廃棄に伴うCO₂排出原単位：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver. 2.5)

4. 時間軸を考慮した型枠材料のCO₂排出原単位

4.1 型枠材の製造に伴うCO₂排出原単位

(1) 型枠合板（製造）

産業連関表の木材関連のデータベースのうち、「合板・集成材」の生産段階の値を用いた。

型枠合板（製造）：0.555(kg-CO₂/kg)

(2) 型枠鋼材（製造）

産業連関表の鋼材関連のデータベースのうち、個別作成データである「その他の普通鋼熱間圧延鋼材」の生産段階の値を用いた。

型枠鋼材（製造）：1.228(kg-CO₂/kg)

(3) アルミ型枠（製造）

産業連関表のアルミニウム圧延製品関連データベースのうち、個別作成データである「アルミニウム圧延製品（板材）」の生産段階の値を用いた。

アルミ型枠（製造）：8.337(kg-CO₂/kg)

4.2 型枠材の運搬に伴うCO₂排出原単位（他者からの

購入・仕入

(1) 型枠合板（運搬）

産業連関表の木材関連のデータベースのうち、「合板・集成材」の流通段階の値を用いた。

型枠合板（運搬）：0.147(kg-CO₂/kg)

(2) 型枠鋼材（運搬）

産業連関表の鋼材関連のデータベースのうち、個別作成データである「その他の普通鋼熱間圧延鋼材」の流通段階の値を用いた。

型枠鋼材（運搬）：0.024(kg-CO₂/kg)

(3) アルミ型枠（運搬）

アルミ型枠は、国産材に変更すべく鋭意研究を重ねているが、現状では韓国からの仕入商品であり、表-2に示すように押出成形および加工が韓国で行われ、船舶にて釜山港から博多港に輸送され、福岡にて塗装を行った後、自社に運び込まれている。アルミ型枠の運搬に伴うCO₂排出原単位は積み上げベースのトンキロ法を用い、トラックによる運搬を式(8)、船舶の運搬を式(9)により算定した。

表-2 アルミ型枠の搬入経路

区分	経路	運搬手段	概算距離(km)
押出成形→加工	安養市トンアン区→鎮川郡イウォルミョン	トラック	170
加工→釜山港	鎮川郡イウォルミョン→釜山港	トラック	320
出航	釜山港→博多港	船舶	250
博多港→塗装	福岡市→宇美町	トラック	20
塗装→自社	宇美町→うきは市	トラック	50
合計		トラック	560
		船舶	250

①算定方法

- ・トラック

CO₂ 排出量(tCO₂)=[輸送重量(t)×輸送距離(km)]×燃料使用原単位[l/(t・km)]×1/1,000×単位発熱量(GJ/kl)×排出係数(tC/GJ)×44/12

(8)

- ・船舶

CO₂ 排出量(tCO₂)=[輸送重量(t)×輸送距離(km)]×船舶の輸送トンキロ当たりCO₂排出原単位

(9)

②算定結果

アルミ型枠の運搬に伴うCO₂排出原単位を表-3に示す。

表-3 アルミ型枠の運搬に伴うCO₂排出原単位
(仕入れ商品)

輸送形態	概算輸送距離(km)	CO ₂ 排出原単位(tCO ₂ /t)
トラック	560	0.0853
船舶	250	0.0098
合計		0.095

注)表中の排出原単位は積載率が不明の場合であり、燃料使用原単位として、軽油(10,000kg以上～12,000kg未満)、事業用のその他の値である「0.0589」を用いた。

4.3 型枠材の運搬に伴うCO₂排出原単位（自社から現場）

型枠材の運搬に伴うCO₂排出原単位（自社から現場）については、輸送距離を弊社の機材センター（うきは市）から福岡市内までの概算走行距離として算出した。

- ・輸送形態：トラック
- ・概算走行距離：60km
- ・CO₂排出原単位（tCO₂/t）：0.0091

4.4 型枠材の廃棄に伴うCO₂排出原単位

型枠材の廃棄に伴うCO₂排出原単位は「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver.2.5)」を参照し、表-4に示すようにリサイクルを前提とした排出原単位とした⁵⁾。

表-4 型枠材の廃棄に伴うCO₂排出原単位

廃棄物種類	リサイクル方法	排出原単位(輸送含む)(tCO ₂ /t)
木くず	ボード原料の木材チップへのリサイクル	0.0150
金属くず	金属工業へのリサイクル	0.0090

出典：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver.2.5)

4.5 転用回数の設定

一般的に型枠合板は製品生産までの環境負荷は小さいが、数回使用するだけで廃棄される。一方、アルミ型枠は製品生産までの負荷は大きい、ほぼ恒久的に繰り返し使用できる。このようにアルミ型枠は型枠合板と比べて、製造時の環境負荷は大きいものの、転用回数では型枠合板と比べて大きく上回っている。そこで、型枠材のメーカー実績や現場の使用実績を加味し、耐用年数と年間転用回数を設定した。

- ・型枠合板：10回
(耐用年数：1年、年間転用回数：10回)
- ・型枠鋼材およびアルミ型枠：300回
(耐用年数：20年、年間転用回数：15回)

なお、型枠鋼材については表面処理が溶融亜鉛めっき処理され、通常の鋼材と比べて転用性が向上される製品を用いている。

4.6 型枠材の再利用物件数の設定

型枠材は図-1に示すようなライフサイクルをたどるものと考えられ、型枠材ごとの転用回数によって、再利用される物件数も大きな差異を生じている。そこで、型枠材ごとに現場への再利用回数は、「4.5 転用回数の設定」で設定した転用回数を「総転用回数」と名称を変更し、後述する第5章の「実建物の型枠使用量に伴うCO₂排出量の算定結果」で取り上げた中層物件と超高層物件の「本算定物件ごとの転用回数」を用いて設定した。

①型枠合板

- ・総転用回数：10 回
- ・本算定物件ごとの転用回数:中層物件(14 階)で 7 回, 超高層物件(32 階)で 11 回, 平均で 9 回であり, 利用される物件数を 1 物件 (10/9=1.1, 少数は四捨五入) とした。

②型枠鋼材およびアルミ型枠

- ・総転用回数 300 回
- ・本算定物件ごとの転用回数：中層物件(14 階)で 14 回, 超高層物件(32 階)で 16 回, 平均で 15 回であり, 利用される物件数を 20 物件 (300/15=20) とした。

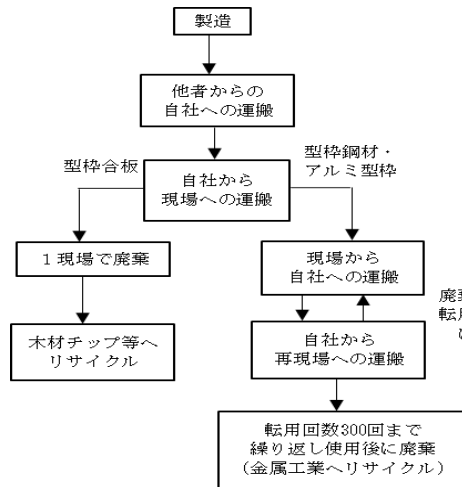


図-1 型枠材のライフサイクル

4.7 CO₂ 排出原単位の集計（フォールライフカーボン）

型枠材の CO₂ 排出原単位の集計結果（フォールライフカーボン）は表-5 に示すとおりである。なお、集計方法は、図-1 の型枠材のライフサイクルに基づき、以下のとおりとした。

- ・製造、運搬（購入・仕入）および廃棄における CO₂ 排出原単位はそのまま加算した。
- ・運搬（自社から現場）の CO₂ 排出原単位は表-5 に示した「型枠材の運搬に伴う CO₂ 排出原単位」に「型枠材の再利用物件数」を乗じて算定した。なお、「×2」とした根拠は、自社から現場の往復分として乗じたものである。

表-5 CO₂ 排出原単位の集計（フォールライフカーボン）

型枠材の区分	CO ₂ 排出原単位 (t-CO ₂ /t)				
	製造	運搬		廃棄	合計
		他者からの運搬	自社からの現場への運搬		
型枠合板	0.555	0.147	0.0091	0.0150	0.726
型枠鋼材	1.228	0.024	0.3640	0.0090	1.625
アルミ型枠	8.337	0.095			8.805

注) 運搬（自社から現場への運搬）については以下のとおりとした。

- ・型枠合板：0.0091×1現場（片道）
- ・型枠鋼材・アルミ型枠：0.0091×20現場×2（往復）=0.3640

4.8 転用回数を考慮した CO₂ 排出原単位（フォールライフカーボン）の設定

型枠材の CO₂ 排出量を比較する上では、生産から廃棄までの環境負荷を表す CO₂ 排出原単位を構築するとともに、その製品の使用頻度の増減効果を踏まえた解釈が必要である。そこで、産業連関表ベースと積み上げベースの両方により算定した「CO₂ 排出原単位の集計（フォールライフカーボン）」で示した CO₂ 排出原単位を転用回数で除することにより「1 回当たりの CO₂ 排出原単位（フォールライフカーボン）」を求めることとし、表-6 に示した。

表-6 1 回当たりの CO₂ 排出原単位（フォールライフカーボン）

型枠材の区分	転用回数 (回)	CO ₂ 排出原単位 (t-CO ₂ /t)	1回当たりの CO ₂ 排出原単位 {t-CO ₂ /(t・回)}
型枠合板	10	0.726	0.0726
型枠鋼材	300	1.625	0.0054
アルミ型枠	300	8.805	0.0294

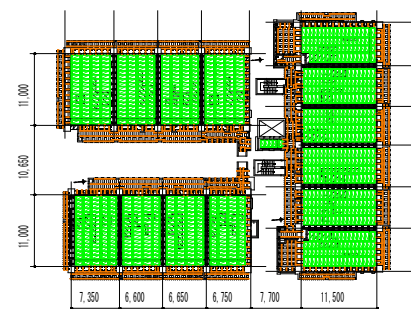
注) 1 回当たりの CO₂ 排出原単位とは CO₂ 排出原単位 (転用回数考慮前) を転用回数で除した値である。

5. 実建物の型枠使用量に伴う CO₂ 排出量の算定結果

5.1 中層物件

(1) 型枠材ごとの建物情報（中層物件）

型枠施工計画は建物高さ約 44m, 延床面積 18,924.63m², 長辺方向ラーメン構造, 短辺方向耐力壁付きラーメン構造, RC 造, 地上 14 階, 基準階型枠割付図を図-2, 基準階スラブ型枠重量を表-7 に示す。



(単位:mm)

図-2 基準階型枠割付図（中層物件）¹⁾

(2) 型枠使用時の CO₂ 排出量の算定結果（中層物件）

①比較対象工法ごとの重量

- ・従来型枠工法：26.6（木材）+69.7（鋼材）=96.3 (t)
- ・アルミ型枠工法：3.0（木材）+22.2（アルミ）+22.9（鋼材）=48.1(t)

②投入層数

- ・従来型枠工法：2 層、アルミ型枠工法：1 層

表－7 基準階スラブ型枠重量（中層物件）¹⁾

品名	寸法規格	従来型枠工法				アルミ型枠工法				備考
		数量	単重 (kg)	重量 (t)	投入数	数量	単重 (kg)	重量 (t)	投入数	
パイプサポート	7尺	848	13.70	11.6	2層	585	13.70	8.0	1層＋α	2層：13.7×6本 ×14室/1000
せき板（ベニア）	3×6	551	11.00	6.1	2層	20	11.00	0.2	1層	
せき板（アルミ）	600×1050					409	11.78	4.8	1層	
	600×1350					585	14.87	8.7	1層	
	300×1050					13	6.99	0.1	1層	
	300×1350					26	8.84	0.2	1層	
大引材	木-90×90	236	16.09	3.8	2層					
大引材（アルミ）	L-1200					442	9.73	4.3	1層	
	L-900					63	7.41	0.5	1層	
	L-600					0	5.14	0.0	1層	
支柱受け（アルミ）						585	2.10	1.2	1層＋α	2層：2.1×6本 ×14室/1000
支柱連結材						1,170	0.61	0.7	1層	
連結ピン・クサビ ロング	ショート					4,928	0.30	1.2	1層	
	ロング					1,170	0.25	0.3	1層	
根太材	□-50×4.0m	1,102	13.36	14.7	2層					
補助枕木	25×50×4.0m	220	2.50	0.6	2層	72	2.50	0.2	1層	
支柱下部敷板	210×4.0m	236	12.00	2.8	2層	219	12.00	2.6	1層	
根がらみ・ 水平つなぎ	○48.6×4.0m	471	10.92	5.1	1層	439	10.92	4.8	1層	
	○48.6×2.5m	1,696	6.83	11.6	1層	1,170	6.83	8.0	1層	
クランプ		565	0.75	0.4	1層	1,170	0.75	0.9	1層	
1層目（NF）計				56.7				46.8		
2層目（NF）計				39.6				1.3		パイプサポート ＋支柱受け
計				96.3				48.1		
区分	重量（t）									
	木材	アルミ	鋼材	計						
従来型枠工法	26.6	0.0	69.7	96.3						
アルミ型枠工法	3.0	22.2	22.9	48.1						

③本算定物件ごとの転用回数

本算定物件ごとの転用回数は式(10)により算出した。

本算定物件ごとの転用回数(回)=階数/投入層数 (10)

- ・従来型枠工法：14/2=7 回
- ・アルミ型枠工法：14/1=14 回

④本算定物件ごとのCO₂排出量

本算定物件ごとのCO₂排出量は、式(11)により算出した。

本算定物件ごとのCO₂排出量(t-CO₂)=重量(t)×1回
当たりのCO₂排出原単位(t-CO₂/t・回)×本算定物件ご
との転用回数(回) (11)

- ・従来型枠工法：13.52（木材）＋2.63（鋼材）
=16.15(t-CO₂)
- ・アルミ型枠工法：3.05（木材）＋9.14（アルミ）＋
1.73（鋼材）=13.92(t-CO₂)

⑤削減率

CO₂排出量は、従来型枠工法が16.15(t-CO₂)に対し、
アルミ型枠が13.92(t-CO₂)であり、13.8%の削減となっ
た。

5.2 超高層物件

（１）型枠材ごとの建物情報（超高層物件）

型枠施工計画は建物高さ約100m、延床面積
65,914.57m²、RC造、地上32階、免震構造とし、基準階
型枠割付図を図－3、基準階スラブ型枠重量を表－8に示
す。

（２）型枠使用時のCO₂排出量の算定結果（超高層物件）

①比較対象工法ごとの重量

- ・従来型枠工法：58.2（木材）＋147.0（鋼材）=205.2(t)
- ・アルミ型枠工法：8.6（木材）＋65.0（アルミ）＋

54.1（鋼材）=127.7(t)

②投入層数

- ・従来型枠工法：3層、アルミ型枠工法：2層

③本算定物件ごとの転用回数

本算定物件ごとの転用回数の算出方法は中層物件と
同様である。

- ・従来型枠工法：32/3=11 回(少数は四捨五入)
- ・アルミ型枠工法：32/2=16 回

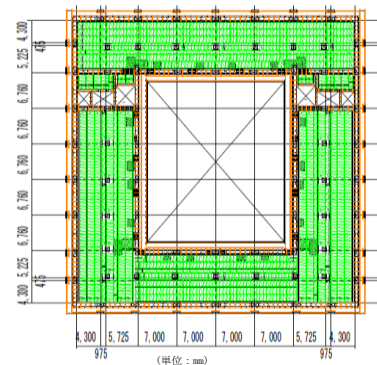
④本算定物件ごとのCO₂排出量

本算定物件ごとのCO₂排出量の算出方法は中層物件と
同様である。

- ・従来型枠工法：46.48（木材）＋8.73（鋼材）
=55.21(t-CO₂)
- ・アルミ型枠工法：9.99（木材）＋30.58（アルミ）＋
4.67（鋼材）=45.24(t-CO₂)

⑤削減率

CO₂排出量は、従来型枠工法が55.21(t-CO₂)に対し、
アルミ型枠工法が45.24(t-CO₂)であり、18.1%の削減と
なった。

図－3 基準階型枠割付図（超高層物件）¹⁾表－8 基準階スラブ型枠重量（超高層物件）¹⁾

品名	寸法規格	従来型枠工法				アルミ型枠工法				備考
		数量	単重 (kg)	重量 (t)	投入数	数量	単重 (kg)	重量 (t)	投入数	
パイプサポート	7尺	1,524	13.70	20.9	3層	1,140	13.70	15.6	2.5層	3層：15.6/2
せき板（ベニア）	3×6	816	11.00	9.0	3層	20	11.00	0.2	2層	
せき板（アルミ）	600×1200					1,489	11.78	17.5	2層	
	300×1200					63	6.99	0.4	2層	
	600×600					12	5.89	0.1	2層	
大引材	木-90×90	343	16.09	5.5	3層					
大引材（アルミ）	L-1200					6	9.73	0.1	2層	
	L-900					1,018	7.41	7.5	2層	
	L-600					6	5.14	0.0	2層	
支柱受け（アルミ）						1,140	2.10	2.4	2.5層	3層：2.4/2
支柱連結材						2,280	0.61	1.4	2層	
連結ピン・クサビ ロング	ショート					6,266	0.30	1.9	2層	
	ロング					2,280	0.25	0.6	2層	
根太材	□-50×4.0m	1,632	13.36	21.8	3層					
補助枕木	25×50×4.0m	326	2.50	0.8	3層	163	2.50	0.4	2層	
支柱下部敷板	210×4.0m	343	12.00	4.1	3層	305	12.00	3.7	2層	
根がらみ・ 水平つなぎ	○48.6×4.0m	1,067	10.92	11.7	3層	895	10.92	9.8	3層	
	○48.6×2.5m	381	6.83	2.6	1層	285	6.83	1.9	1層	
クランプ		6,096	0.75	4.6	1層	4,560	0.75	3.4	1層	
1層目（NF）計				80.9				67.0		
2層目（NF）計				62.1				51.8		
3層目（NF）計				62.1				9.0		パイプサポート ＋支柱受け
計				205.1				127.8		
区分	重量（t）									
	木材	アルミ	鋼材	計						
従来型枠工法	58.2	0.0	147.0	205.2						
アルミ型枠工法	8.6	65.0	54.1	127.7						

6. 既報と本報の CO₂ 排出原単位の比較

既報では産業連関表ベースに基づく CO₂ 排出原単位を用い、使用年数および 1 年間当たりの転用回数をメーカー実績等により設定し、1 回あたりの CO₂ 排出原単位を設定した。本報ではフオールライフカーボンを考慮した CO₂ 排出原単位を構築すべく製造、運搬及び廃棄の排出活動に着目するとともに、既報で設定した使用年数および転用回数に対し、製品の製造から廃棄までに使用する転用回数に変更させたものである。1 回当たりの CO₂ 排出原単位を比べると、全ての型枠材ともに本報の方が大きくなった。

表－9 CO₂ 排出原単位（既報）¹⁾

型枠材 の区分	CO ₂ 排出原 単位(t-CO ₂ /t)	使用年数 (年)	転用回数 (回)	1回当たりの CO ₂ 排出原単位 (t-CO ₂ /t・回)
型枠合板	0.733	1	15	0.0489
型枠鋼材	1.0	10	100	0.0010
アルミ型枠	9.5	10	100	0.0095

注)1回当たりのCO₂排出原単位：CO₂排出原単位/(使用年数・転用回数)

表－10 CO₂ 排出原単位（本報）

型枠材 の区分	CO ₂ 排出原 単位(t-CO ₂ /t)	転用回数 (回)	1回当たりの CO ₂ 排出原単位 {t-CO ₂ /(t・回)}
型枠合板	0.726	10	0.0726
型枠鋼材	1.625	300	0.0054
アルミ型枠	8.805	300	0.0294

注)1回当たりのCO₂排出原単位：CO₂排出原単位/転用回数

7. まとめ

本報では既報において作成した CO₂ 排出原単位の課題に対する検討および見直しを行うとともに、既報で試算した実建物での CO₂ 排出量を再試算し、既報で得られたアルミ型枠の CO₂ 排出量の削減効果を再検証することを目的とした。CO₂ 排出原単位の課題への検討として、型枠材の製造から廃棄までのスコープ（排出活動範囲）を踏まえたフオールライフカーボンの導入、産業連関表ベースと積み上げベースの特性を踏まえ、現時点で対応できる算定方法をスコープごとに当て嵌め、両方の方法による算定を試みた。また、型枠合板に比べて型枠鋼材およびアルミ型枠は耐用性に優位性があるとして、既報では使用年数を考慮した CO₂ 排出原単位を構築したが、本報では耐用性の評価を時間の使用年数から使用頻度の転用回数および再利用物件数に切り替えることとした。以上のように、本報ではスコープ、算定方法および耐用性の様々な課題について検討を行い、既報および本報で行った型枠材の CO₂ 排出量の比較をする上での適正な CO₂ 排出原単位の構築を目指したものである。さらに、既報

で試算した実建物での CO₂ 排出量の再試算を行った結果、アルミ型枠が中層物件（14 階建て物件）で 13.8%、超高層物件（32 階建て物件）で 18.1%の削減となり、既報と同様に CO₂ 排出量削減の定量的な効果を示せた。また、型枠材の製造に伴う CO₂ 排出原単位は産業連関表ベースで作成されているため、型枠材の改良等に伴う CO₂ 排出量の削減効果を検証できない現状である。そこで、今後の課題としては型枠材の製造に伴う CO₂ 排出原単位を現実のプロセスに対応した「積み上げベース」とすることにより、詳細な分析を可能とするシステムを構築するとともに CO₂ 排出量の削減への取り組みを加速させたいと考えている。

参考文献

- 1) 森田紘輝, 古賀一八, 本田悟:アルミ型枠システムによる CO₂ 削減量の検証, 日本コンクリート工学会コンクリート工学年次論文,Vol.44.No.1,pp.1228-1233,2022 年 7 月
- 2) 日本建築学会：LCA データベース 1995 年産業連関分析データ版 Ver.3.1 2003 年 2 月 20 日公表 2006 年 3 月 17 日改定：<http://news-sv.aij.or.jp/tkankyo/s0/site/arc07.html>（閲覧日：2024 年 12 月 19 日）
- 3) 「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等算定に関する基本ガイドライン(Ver.2.4)」2017 年 3 月 経済産業省 環境省：https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/DB_V2-4.pdf（閲覧日：2024 年 12 月 19 日）
- 4) 「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位について(Ver.3.2)」2022 年 3 月 経済産業省 環境省：https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/unit_outline_V3-2.pdf（閲覧日：2024 年 12 月 19 日）
- 5) 「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver.2.5)」2018 年 3 月 経済産業省 環境省：https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/DB_V2-5.pdf（閲覧日：2024 年 12 月 19 日）
- 6) 「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver.4.9」令和 5 年 4 月 環境省 経済産業省：<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/manual>（閲覧日：2024 年 12 月 19 日）
- 7) AIJ-LCA 原単位データベース 2015 年産業連関分析データ版 Ver.1.01 発行 2024 年 3 月 11 日 日本建築学会（閲覧日：2024 年 12 月 19 日）