2012 年度日本建築学会
関東支部研究報告集
2013 年 3 月

環境配慮型打継ぎ資材の施工システムにおける複合的環境側面の評価

準会員 ○ 有賀拓矢[*1]　　正会員　田村雅紀[*2]

打継ぎ　環境配慮　環境側面　経済性

1.はじめに

建築分野における環境負荷排出量の割合約 42%のうち，施工段階の割合は約 1.3%と少ないが，施工計画において使用する製品の発注量や単価，搬入経路，公害問題等々，環境負荷の潜在的影響では削減の機会が多い。そのため製品の環境負荷量や環境貢献を定量的に表示し，他製品と比較することによって環境配慮への実効性の程度を示すことが重要であり，経済性のような計画段階に反映することを考慮すると，環境負荷量のみならず環境側面についても明確にすることが重要である[1)]。

本研究では，環境負荷量を確認する環境配慮型の施工資材として，空気導入により用いるチューブ型の打継ぎ材(以下チューブ打継ぎ材)を対象とし，従来型の打継ぎ材と比較し，輸送段階を含む施工段階における環境負荷量を算出，作業能率の測定，経済性評価を目的とする。研究 1 として現場調査を行い，チューブ打継ぎ材の施工性能やリユース性能を調査し，研究 2 として環境配慮型資材を実際に使用することによる環境負荷量や作業能率，経済性を評価する(図 1 参照)。

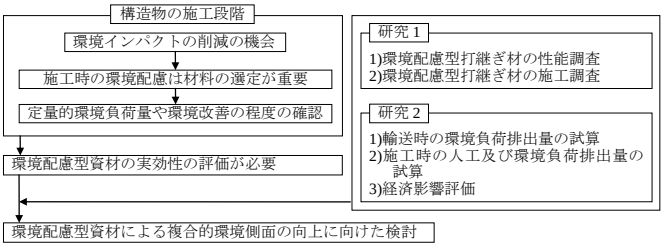
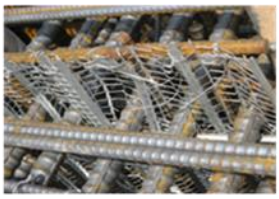


図 1　研究の流れ

表 1　使用材料

打継ぎ材名称	空気導入型打継ぎ材 (チューブ打継ぎ材)	ラス
材料	ポリプロピレン 塩化ビニール複合材	亜鉛メッキ鋼板
規格	長さ 1.2m，8m　φ80	長さ 1829mm，幅 914mm

チューブ打継ぎ材

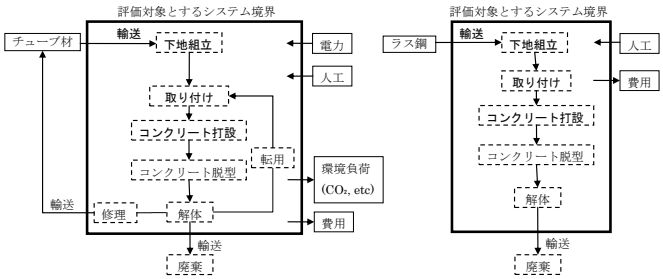

ラス鋼

2. 研究概要

2.1. 打継ぎ材の使用材料と水準

表 1 に使用材料を示す。コンクリート打設能力には限界があるため打ち継ぎ部が多くなり，打継ぎ資材の投入量も多くなる。そのため定量的に比較しやすい打継ぎ資材を研究対象とした。環境配慮効果が期待できるチューブ打継ぎ材を対象とし，環境配慮効果を示すために比較対象として従来型打継ぎ材のラス鋼を用いる。

図 2 に評価対象の水準とシステム領域を示す。本研究では輸送段階を含む施工段階のみ評価を行い，製造段階についてチューブ打継ぎ材は転用して用いるため，製造数量が少なく単価で評価ができないため含まない。また廃棄段階についてチューブ打継ぎ材は転用回数が多く，



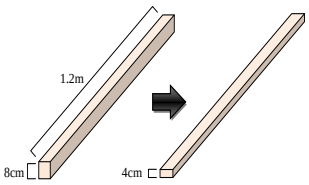
a) チューブ打継ぎ材　　b) ラス鋼

試験要因	水準
対象資材	ラス鋼，チューブ打継ぎ材
対象行為	打継ぎ材組立，打継ぎ材取付，工区分割(2 工区，3 工区)，打継ぎ材輸送
評価指標	CO_2, NOx, SOx, PM，時間，人工，仕事量，円，

備考）もの：□　行為：[ ]ゴシック表記：評価単位プロセス

図 2　評価対象とする水準とシステム領域

表 2　チューブ打継ぎ材の補修，輸送方法調査結果（研究 1）

概要	概要：補修方法の調査 日時：平成 24 年　7 月 20 日 場所：東京都江戸川区 材料：チューブ打継ぎ材 結果：軽度の傷は傷口を火で溶かし，接着する。重度の傷は傷口を裁断し，その断面にウレタンを溶かし，接着する。	概要：運搬方法の調査 日時：平成 24 年　7 月 20 日 場所：東京都江戸川区 材料：チューブ打継ぎ材， 結果：チューブ打継ぎ材は空気を抜いた状態で体積が 1/2 に減少するので，折りたたんだ状態での輸送が可能である。
写真	摩擦による傷 補修後	 チューブ打継ぎ材の輸送時状態

ラス鋼と比較できないため含まない。チューブ打継ぎ材とラス鋼では施工に伴うプロセスが異なるため，評価する要素が変化する。そのため評価を行う際に評価指標を金額換算し，結果を統一する。

2.2　チューブ打継ぎ材の性能調査（研究 1）

2.2.1 チューブ打継ぎ材の補修・輸送条件調査結果

表 2 にチューブ打継ぎ材の補修と輸送条件調査結果を示す。コンクリートの側圧や組み立てた鉄筋間に押し入れる際に摩擦により，端部に傷をつける。修理は 2 段階に分けて行い，ウレタンを用いた修理方法では裁断するために寸法が短くなるが，施工性能に問題なくそのまま使用できる。また補修数量は使用されるチューブ打継ぎ材のうちの 2%のみで、1 本につき約 100 回繰り返して利用が可能であるため高いリユース力が認められ，施工時において資材投入量を削減できる。輸送について，チューブ打継ぎ材は輸送時には空気を排出した状態で折りたたむことにより体積を 1/2 に縮小でき，積載重量による環境負荷量の低減が可能である。また，建設現場では繰り返し使用するため輸送回数が少なく，輸送車からの排気ガスの削減が可能である。

2.2.2　チューブ打継ぎ材の施工調査概要と結果

表 3 にチューブ打継ぎ材の施工概要を示す。チューブ打継ぎ材の施工時における性能は，ラスに比べると施工をする手間が少なく，チューブ打継ぎ材への空気の導入時間は 100V の加圧式エアコンプレッサーで 8 秒であり，施工速度が速く，全体工期の短縮が可能である。チューブ打継ぎ材を使用する際には施工前処理が必要となり，補強筋，番線を用いて下地を組み立てる。施工方法に関して，壁，梁等においては主筋と主筋の間に入れ，チューブ打継ぎ材を縦におき，梁底まで押し入れる。耐圧盤，スラブにおいては上端筋と下端筋の間及び下端筋からカブリ部に横置きにして取り付ける [2)]。打設時においてラス鋼の場合であると躯体内に残り，錆びやクラック処理等が必要となるが，チューブ打継ぎ材であると打設後解体するため後処理が容易であり，工期を短縮できる。

2.3　打継材の施工システムでの複合的環境側面（研究 2）

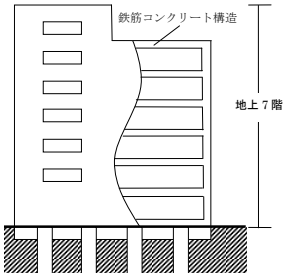
2.3.1　モデル建物概要

図 3 に環境負荷算出の対象になるモデル建物概要，表 4 にモデル建物の図面調査結果に示す。2009 年に竣工された RC 造の特別養護老人ホームに設定した。前提として図面を元に単位ユニット階を想定し，全階層を単位ユニットで構成し，建物の規模が変化した場合に対しても単位ユニット図に比例することとした。またヒアリング調査により打継ぎ箇所を確認し，打継ぎ材投入量の試算を行った。条件としてリユース量や資材投入量を比較するために打継ぎ箇所については工区区分を行い，2 工区と 3 工区に分けて考え，3，2 工区共に柱・壁・床・梁は

表 3　チューブ打継ぎ材の施工概要

日時：平成 24 年　8 月 29 日　　場所：埼玉県所沢市
概要：チューブ打継ぎ材の施工方法調査

概要	写真
結果：コンクリート打設後解体するためレイタンス処理等，後工程が容易になり，工期を短縮できる	打設時のラス鋼
	解体時の打継ぎ面



モデル建物概要	
場所	大阪府大阪市
構造	鉄筋コンクリート造，杭基礎
工期	2007/4/1 着工～2009/11/16 竣工
用途	特別養護老人ホーム
階層	地上 7 階
建築面積	950m²
延床面積	5,300m²

図 3　モデル建物概要

表 4　モデル建物の図面調査

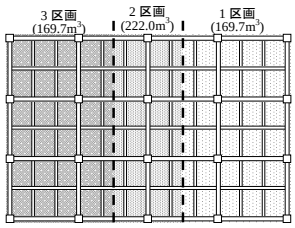
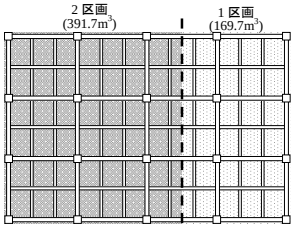
図面調査	
概要	日時：平成 24 年　10 月 3 日 概要：モデル建物の図面調査 結果：図面を元に単位ユニット作成後，打継ぎ箇所の確認を行った。またヒアリング調査によりモデル建物の工区区分を行い，2 工区と 3 工区に分け，打継ぎ材投入量を試算した。 工区区分：梁について 曲げモーメントの小さい箇所であると剪断力が働くため，剪断補強筋を入る必要がありコストが増大するためスパンの中央とする
単位ユニット図	 a) 3 工区単梁伏図(mm)  b) 2 工区梁伏図(mm)

表 5　環境負荷量係数

最大積載量(kg)	積載率（%） 輸送トンキロ当たり燃料使用量（ℓ/t・km）					
	10%	20%	40%	60%	80%	100%
～999	1.67	0.954	0.543	0.391	0.309	0.258

CO_2排出量係数			
軽油単位発熱量 (GJ/kℓ)	排出係数 (t-C/GJ)	44/12 (t-CO_2/t-C)	CO_2排出係数 （ｔ-CO2/kℓ）
38.2	0.0187	3.666667	2.619247

環境負荷排出係数			
単位(*)	SOx 排出量 (g-SOx/*)	NOx 排出量 (g-NOx/*)	PM 排出量 (g-PM/*)
km・t	7.68×10^{-4}	7.42×10^{-3}	6.27×10^{-4}

同時打ちにし，水平打継ぎ部を設けないこととした。工区区分の結果としてモデル建物の総打継ぎ部は 3 工区では 98 カ所，2 工区では 56 カ所である。

2.3.2　施工システムにおける環境負荷量の試算方法

表 5 に環境負荷量係数を示す。輸送時の試算は改良トンキロ計算によって環境負荷量を算出する [3]。チューブ打継ぎ材は転用回数を考慮した必要数量，ラス鋼は実際に使用する必要数量を算出し，1 工区当たりの輸送重量を算出する。片道距離は同出発点より現場内への搬入までとし，総輸送距離を搬入までの片道距離と往復数の積とする。ルートはゼンリンによるルート検索情報システムを用いて最短距離を条件とし，一般道路を使用する。輸送重量と総輸送距離を掛け合わせた値をトンキロ値とし，表 5 で示した各々の環境負荷量係数 [4]とトンキロ値を掛け合わせ，環境負荷量を算出する。施工時における試算はチューブ打継ぎ材に空気を導入する際にかかるエアコンプレッサーの消費電力量を CO_2排出量に換算し，環境負荷量として算出する。ラス鋼は施工時に環境負荷を排出しないため試算を行わない。

2.3.3　輸送時における環境負荷量評価結果

表 6 に輸送時の環境負荷量の算出結果，図 6 に輸送時の環境負荷量の比較を示す。チューブ打継ぎ材のラス鋼との環境負荷量の差は 3 工区では約 8%削減しており，チューブ打継ぎ材は転用することにより輸送回数を抑えることができたが，ラス鋼は 1 工区毎に輸送を行うため総輸送距離が増え，環境負荷量を多く排出した。2 工区ではラス鋼に比べ約 73%増加しており，転用するため工区数によるチューブ打継ぎ材の必要数の変化はないが，ラス鋼の必要数は 2 工区で約 1/2 に減少しており輸送量が削減したため，チューブ打継ぎ材がより多く環境負荷量を排出する結果となった。

2.3.4　施工時における資材組立方法

表 7 に打継ぎ材の組立方法を示す。モデル建物の図面を元に大梁を想定した型枠を作成し，配筋を行った。複数名，複数回によりチューブ打継ぎ材とラス鋼を実際に組み立て，施工速度，人工量共に実測の平均値とした。図 7 に時間測定結果，図 8 に人工量結果を示す。組立時間において施工前処理である鉄筋結束時間はチューブ打継ぎ材，ラス鋼ともに等しく必要な処理として同時間とした。ラス鋼において剛性が弱く，取り付ける際に安定せず扱いづらい。チューブ打継ぎ材においては空気導入時間が 1 本につき約 8 秒かかるため時間を消費し，組立施工では鉄筋間に隙間なく押し入れることは困難であるが，ラス鋼よりも取付は容易である。人工量については組立時間を元に，必要な人工量を算出した。チューブ打継ぎ材はラス鋼に比べ約 38%低減できており，投入作業員を削減することができる。

表 6　輸送時における環境負荷量の算出結果

	チューブ打継ぎ材	ラス鋼
3 工区		
総輸送重量 (t)	0.096	0.105 (0.006982)
総輸送距離 (km)	13.2	198
トンキロ値 (t・km)	1.273	1.382
CO_2排出量 (kg-CO_2)	5.57	6.047
NOx 排出量 (kg-NOx)	4.23×10^{-2}	4.64×10^{-2}
SOx 排出量 (kg-SOx)	4.28×10^{-3}	4.64×10^{-3}
PM 排出量 (kg-PM)	3.49×10^{-3}	3.79×10^{-3}
2 工区		
総輸送重量 (t)	0.096	0.056 (0.006982)
総輸送距離 (km)	13.2	105.6
トンキロ値 (t・km)	1.273	0.737
CO_2排出量 (kg-CO_2)	5.57	3.22
NOx 排出量 (kg-NOx)	4.23×10^{-2}	2.48×10^{-2}
SOx 排出量 (kg-SOx)	4.28×10^{-3}	2.48×10^{-3}
PM 排出量 (kg-PM)	3.49×10^{-3}	2.02×10^{-3}

輸送時における試算方法

L：片道輸送距離（km）
N：輸送回数（回）
M：総輸送量（t）
E：環境負荷物質排出量係数

1) L × N = 総輸送距離（km）
↓
2) 総輸送距離× M =トンキロ値 (t×km)
↓
3) トンキロ値 ×E = 環境負荷排出量

備考）()内は 1 工区あたりの輸送重量

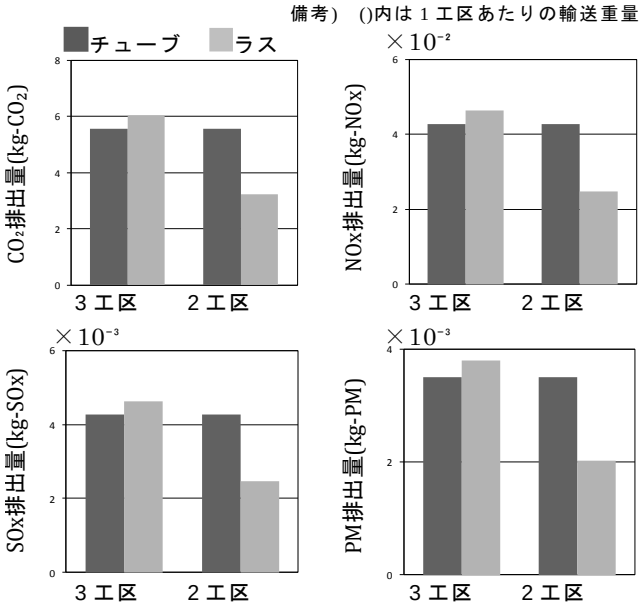
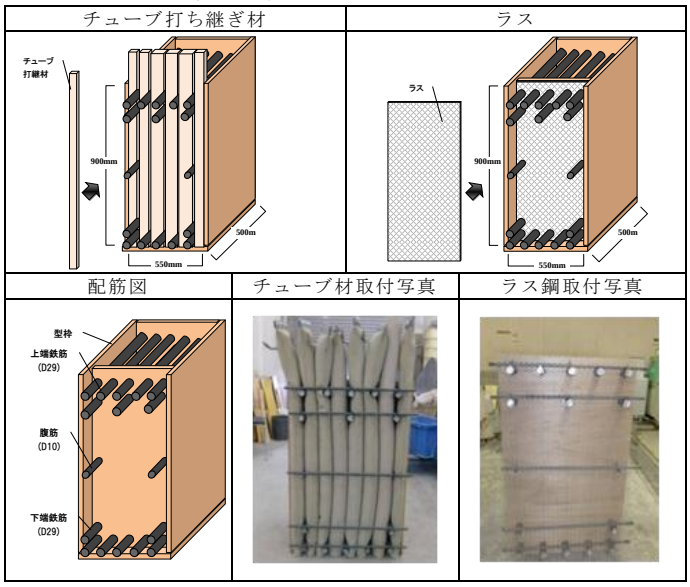


図 6　打継ぎ材の輸送時環境負荷量比較

表 7　打継ぎ材の組立方法



2.3.5　施工時における環境負荷量評価結果

図 9 に施工時における CO_2 排出量を示す。チューブ打継ぎ材はエアコンプレッサーにより空気を導入する必要があるため，電力の消費による環境負荷量を算出した。チューブ打継ぎ材の使用による環境負荷物量は多くないが，ラス鋼は取付の際に環境負荷量がないので，チューブ打継ぎ材と比較できない。しかし施工時における CO_2 排出量は多くなく，チューブ打継ぎ材は約 100 回の繰り返し利用が可能なので，生産する個数はラス鋼よりは少ない。そのためチューブ打継ぎ材とラス鋼のライフサイクルで排出される環境負荷量を考えた際に施工時のみならず，全体で考えた際に環境負荷量は低減できる。

2.3.6 打継ぎ材の施工システムにおける経済性評価

表 9 に経済性試算結果を示す[5)]。経済性試算において，ディーゼルは石油卸価格を適用し，CO_2 排出量を金額換算し，電力については kWh 単位で電気料金表を元に金額換算した。人工については現場施工での実数値を用いた。輸送時においてチューブ打継ぎ材は輸送回数が少ないので，輸送に伴う輸送員や燃料にかかる費用を抑えることができる。施工時においてチューブ打継ぎ材はリースコストでの費用となるので，工区が多くなると費用も多くなる。しかし，チューブ打継ぎ材の施工を行う作業員がラスと比べ少ないので，総金額値ではチューブ打継ぎ材が費用を低く抑えることができる。エアコンプレッサーの電力消費に伴う費用は微小であり，施工時におけるデメリットになりえないことが分かる。

3. まとめ

本研究よりチューブ打継ぎ材の結果で以下のことが明らかになった。

1) 輸送時では転用回数が多いため輸送回数が減り，環境負荷量の低減に繋がるが，工区が少ない場合輸送重量自体は変化しないため，環境負荷量が低減することはなく，ラス鋼と比べると多くなる。
2) 施工時では CO_2 を排出量するが微小であり，ライフサイクルでの CO_2 排出量を考慮してラス鋼と比較すると環境負荷量は少ないと言える。また施工時間が短いため工期短縮，人工量についても抑制が可能である。
3) 経済性において輸送時では輸送回数が少なく，輸送費用を抑える。施工時では施工時間が短いため人工量を減らすことができ，コスト削減の効果がある。

参考文献

1) 鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説，pp35，2008
2) エアーテック技術資料:エアフェンス施工例，公式 HP
3) 経産省・国交省：物流分野の CO_2 排出量に関する算定方法ガイドライン，2006
4) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その 2），コンクリート技術シリーズ 62，pp.32，2004
5) 一般財団法人経済調査会：建築工事の積算，pp141，2012

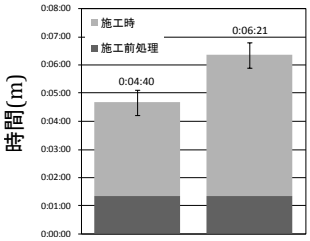


図 7 組立時間比較

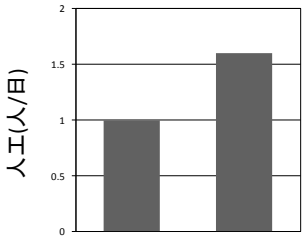
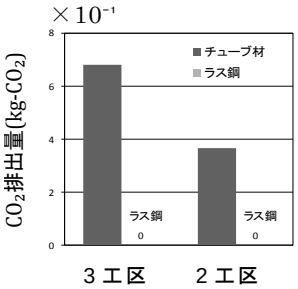


図 8 人工量比較



エアコンプレッサー使用による施工時の CO_2 排出量(kg-CO_2)		
資材	3 工区	2 工区
チューブ材	6.79×10^{-1}	3.66×10^{-1}
ラス鋼	0	0

エアコンプレッサー　1.12kW
電力原単位：0.376（kgCO_2/kWh）
1)1.12kW×空気導入時間=消費電力量
2)消費電力量 × 0.376 = CO_2排出量

図 9　施工時における CO_2排出量

表 9　打継ぎ材使用による経済効果算出結果

輸送時における経済効果					
工区	名称	単位	総数量	単価(円)	金額(円)
3	チューブ材輸送員	人	1	17,100	17,100
	輸送時排出 CO_2	kg	5.56	42.55	236.58
	燃料(軽油)	ℓ	0.87	110	96
	計				17,433
	ラス鋼輸送員	人	15	17,100	256,500
	輸送時排出 CO_2	kg	6.06	42.55	257.85
	燃料(軽油)	ℓ	13.03	110	1,433
	計				258,191
2	チューブ材輸送員	人	1	17,100	17,100
	輸送時排出 CO_2	kg	5.56	42.55	236.58
	燃料(軽油)	ℓ	0.87	110	96
	計				17,433
	ラス鋼輸送員	人	8	17,100	136,800
	輸送時排出 CO_2	kg	3.22	42.55	137.01
	燃料(軽油)	ℓ	6.95	110	764.
	計				151,265
施工時における経済効果					
工区	名称	単位	総数量	単価(円)	金額(円)
3	チューブ材(1.2m)	本	54	10,500	567,000
	チューブ材(8m)	本	3	21,000	63,000
	コンプレッサー	kWh	2.24	20.64	46.28
	作業員	人	15	18,700	280,500
	計				910,546
	ラス鋼(914×1829)	枚	19.52	3,210	62,646
	作業員	人	105	18,700	1963,500
	計				2026,146
2	チューブ材(1.2m)	本	54	56,00	302,400
	チューブ材(8m)	本	3	12,320	36,960
	コンプレッサー	kWh	1.21	20.64	24.92
	作業員	人	8	18,700	149,600
	計				488,985
	ラス鋼(914×1829)	枚	10.409	3,210	33,412
	作業員	人	56	18,700	1047,200
	計				1080,612

備考）人工については現場施工での実績値より

謝辞

本研究の実施にあたりエアーテック金本康来氏，清水建設名知洋子氏より貴重な助言を受けた。また本研究の一部は工学院大学 UDM・PJ 研究，H24 年度科研費(若手 A:23680681 田村雅紀)による。

*1　工学院大学工学部建築学科 4 年
*2　工学院大学建築学部建築学科生産系分野・准教授・博士（工学）