

プレキャストコンクリートを用いた マイクロパイル工法のCO₂排出量

稲富芳寿¹・吉武 勇²・杉本 健³・前田志保⁴・三浦房紀⁵

¹正会員 極東興和株式会社 (〒114-0023東京都北区滝野川7-2-13)

E-mail: inatomi@kkn.co.jp

²正会員 山口大学大学院准教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

yositake@yamaguchi-u.ac.jp

³学生会員 山口大学大学院 理工学研究科 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: k017vf@yamaguchi-u.ac.jp

⁴学生会員 山口大学大学院 理工学研究科 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: m035vf@yamaguchi-u.ac.jp

⁵正会員 山口大学大学院教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: miura@yamaguchi-u.ac.jp

本研究は、プレキャストコンクリートを用いたマイクロパイル工法のCO₂排出量を定量的に評価することを目的としている。本報では、プレキャストコンクリートをしばしば用いるL型擁壁およびボックスカルバートのモデルケースについてCO₂排出量を推定した。さらに現場打ちコンクリート構造と対比しながら、マイクロパイルを基礎としたプレキャストボックスカルバート建設の実施工例について、CO₂排出量の推定を行った。その結果、プレキャストコンクリートを用いたマイクロパイル工法は、一般的な工法に比べ、CO₂排出量の低減に有効であることが示された。

Key Words : CO₂ emission, pre-cast concrete, micropile, retaining wall, box culvert

1. はじめに

土木コンクリート構造物の建設工程において、資材製造、輸送、施工に大別すると、資材製造に関する環境負荷(主にCO₂排出)の割合が極めて大きいことが知られている^{1),2)}。

ここで躯体構造のプレキャスト化は、断面寸法を縮小できるため構成材料の使用量が少ない上に、施工期間を短縮でき、それに伴う建設機械の稼働時間の短縮にも寄与するため、CO₂排出量の低減に効果的である。しかしながら、計画構造物が杭基礎形式となる場合、プレキャストコンクリートを積極的に活用されない現状もある。

杭基礎とプレキャストコンクリートを組み合わせる場合、両者の施工誤差の調整が課題であることから、図-1に示すような杭基礎と現場打ちベースコンクリートを結合した連続版上に、プレキャストコンクリートを敷設する構造がしばしば採用されている。

このような構造では、現場打ちコンクリートの作業を要し、躯体構造のプレキャスト化の有効性(工

期の短縮、施工の省力化・機械化)が十分に発揮できない可能性もある。

本研究の主眼とするマイクロパイル工法は、杭径が200mm程度、長さが1~3m程度の短尺鋼管を主部材として、小型のボーリングマシンを用いて施工する杭基礎工法である。そのため、橋梁の桁下などで空頭が制限される場合や、既設構造物や現道交通に近接して十分な施工スペースが確保できない場合など、厳しい施工条件の現場で採用されている³⁾。

これまで著者らは、現場打ちコンクリートをほと

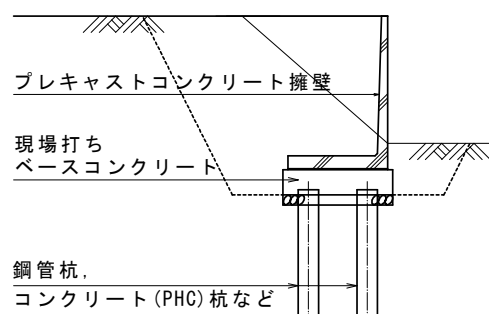


図-1 プレキャストコンクリート擁壁と杭基礎の結合例

んど用いず、マイクロパイルの杭頭をプレキャスト部材に直接結合する構造について検討してきた⁴⁾。

この構造は、プレキャストコンクリート部材にあらかじめ埋設した鋼製筒状部材内でマイクロパイルの杭頭をモルタル充填結合するものであり、マイクロパイルの施工誤差をある程度許容しながら、比較的容易に両者を一体化できる特徴がある。

本研究では、このマイクロパイルとプレキャストコンクリートを直接結合する構造に着目し、同構造を適用して構造物を構築した場合の環境負荷を定量的に把握するために、現場打ちコンクリート構造と対比しながら、CO₂排出量の推定を行った。

特に本論文では、プレキャストコンクリートのモデルケースとして、道路構造物や水路構造物でプレキャストコンクリート製品が多用されているL型擁壁およびボックスカルバートを取り上げ、さらにはボックスカルバートの実施工例について、CO₂排出量の推定を行った。

一般的な杭基礎や従来のマイクロパイルでは、現場打ちコンクリートによる施工が必須となるが、本研究で対象としたマイクロパイルとプレキャストコンクリートの結合構造を用いることで、構造物の建設におけるCO₂排出量の低減が期待される。

2. CO₂排出量の推定方法

(1) CO₂排出量推定の方針

本研究で対象とするマイクロパイルと（プレキャスト）コンクリートの組み合わせでは、同等の機能とした各形式の耐久性は同程度であり、維持管理・更新のサイクルによる差異は小さいと予想される。

そこで本研究では、構造物の建設によるCO₂排出量のみに着目し、維持管理、解体・処分および更新のライフサイクルは含めないものとした。そのため、CO₂排出量の推定対象は、構造物建設時における資材製造、材料・製品の運搬、および現場施工（土工等を除く基礎工、現場打ち躯体工、プレキャストコンクリートの設置工）とした。本研究におけるCO₂排出量の推定には、資源の採掘輸送を含む積み上げ法に基づく原単位^{5),6)}を用いた。

(2) 資材製造によるCO₂排出量

マイクロパイルを基礎とする構造物の建設に用いる資材は、コンクリート、セメント系固化材、鉄筋および鋼管・鋼板である。ここで、セメントについては、コンクリートの2次製品工場で一般的に用いられる普通ポルトランドセメントを対象とした。

表-1 配合条件

項目	呼び強度	単位量 kg/m ³			
		水	セメント	細骨材	粗骨材
コンクリート	24	173	299	841	980
	30	177	353	790	978
	35	178	405	746	977
モルタル	50 N/mm ²	338	938	938	--
グラウト	30 N/mm ²	605	1,210	--	--

表-2 資材製造によるCO₂原単位⁶⁾

項目	原単位 (kg-CO ₂ /t)	
躯体	セメント	766.6
	細骨材	3.7
	粗骨材	2.9
	プラント	7.68
	蒸気養生	38.5/m ³
	鉄筋	767.4
	鋼製筒状部材	1,256.0
充填モルタル	セメント	766.6
	細骨材	3.7
マイクロパイル	セメント	766.6
	鉄筋	767.4
	鋼管	1,256.0

表-3 往復運搬距離

項目	往復(km)
生コンクリート	40
プレキャストコンクリート	200
その他の資材	100

表-4 運搬に伴うCO₂原単位⁶⁾

項目	原単位 (kg-CO ₂ /km/t)
アジテータ車 4.5m ³	0.253
トラック 4t	0.153
トラック 10t	0.122

表-5 現場施工におけるCO₂原単位

項目	原単位 [*] (kg-CO ₂ /日)	
コンクリートポンプ車	306.40	
アジテータ車 4.5 m ³	248.07	
ラフテレーンクレーン	25t	392.41
	50t	522.54
マイクロパイル機械	241.44	
クローラクレーン 4.9t	70.27	
発動発電機 45kVA	140.94	

※軽油 2.82kg-CO₂/lから換算⁶⁾

一般的な生コンクリートの配合条件から設定した各呼び強度（24・30・35）のコンクリート配合、ならびにこれまでの施工実績に基づき設定した充填結合用のモルタルおよびマイクロパイルの注入用グラウトの配合条件を表-1に示す。

本研究では、式(1)に示すように各条件の資材使用量 W_m (t)に、表-2に示す資材製造原単位 U_m を乗じることにより、資材製造によるCO₂排出量 E_m を推定した。

$$E_m = W_m \times U_m \quad (1)$$

(3) 材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量

現場施工に必要な資材の運搬に関する項目は、生コンクリート、鉄筋、型枠、セメント、鋼管・鋼板、仮設材およびプレキャストコンクリートである。各資材について設定した往復運搬距離を表-3に示す。

生コンクリートは、山口県内のJIS認定工場の分布状況を勘案し、概ね全域を網羅できる距離として往復運搬距離を40kmとし、そのほかの資材につい

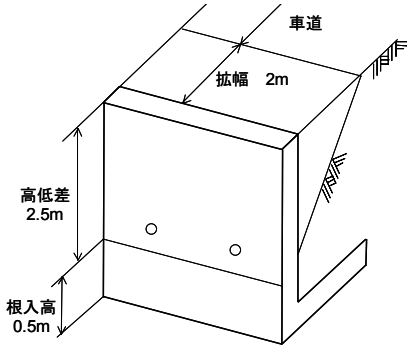


図-2 L型擁壁計画条件図

表-6 L型擁壁のモデルケースと部材構成

ケース	躯体	ベースコンクリート
L-C	現場打ち鉄筋コンクリート	
L-P-C	プレキャストコンクリート	現場打ち鉄筋コンクリート
L-P-P	プレキャストコンクリート	プレキャストコンクリート (杭頭結合構造含)
L-P	プレキャストコンクリート (杭頭結合構造含) (ベースコンクリート省略)	

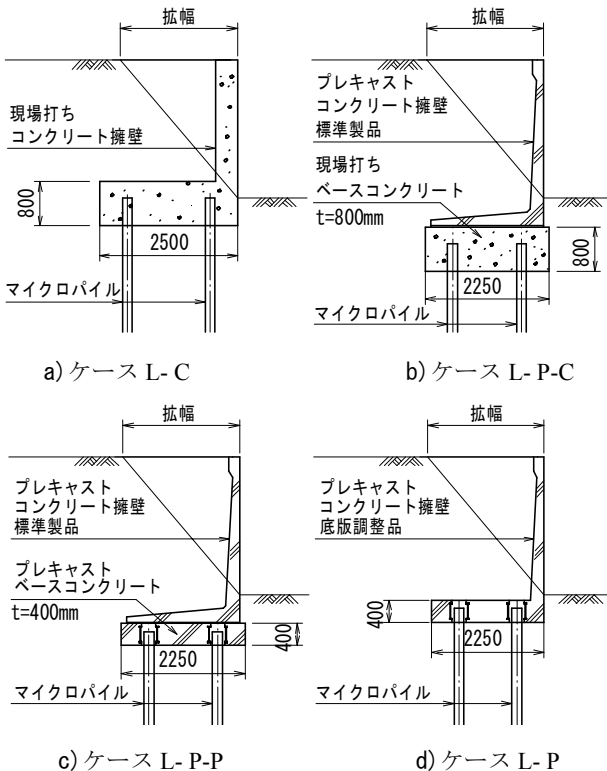


図-3 L型擁壁構造断面図(単位:mm)

ては、既往の文献⁵⁾を参考に往復運搬距離を100kmと設定した。さらにプレキャストコンクリートは、中国地方5県のJIS認定工場の分布状況を勘案し、概ね全域を網羅できる距離として往復運搬距離を200kmと設定した。

本研究では、資材ごとの往復運搬距離に資材質量を乗じた延べ運搬距離 L_t を算出し、さらに表-4に示す運搬機械の運搬原単位 U_t を乗じることにより、資材・製品の運搬に伴うCO₂排出量 E_t を推定した(式(2))。

$$E_t = L_t \times U_t \quad (2)$$

(4) 現場施工におけるCO₂排出量

現場施工には、コンクリート工、鉄筋工、型枠工、足場・支保工、仮設工およびマイクロパイル工などがある。本研究では、各使用機械の稼働日数 T_c を算出し^{7), 8)}、日当り燃料消費量⁹⁾から求めた施工原単位 U_c を乗じて、現場施工におけるCO₂排出量 E_c を推定した。本研究で用いた主要機械の施工原単位 U_c を表-5に示す(式(3))。

$$E_c = T_c \times U_c \quad (3)$$

3. L型擁壁モデルケースにおけるCO₂排出量

(1) モデル概要

L型擁壁のCO₂排出量の推定では、図-2に示す計画条件に対して、表-6に示すような部材構成の異なる4つのモデルを設定した。各モデルケースの構造断面図を図-3に示す。L型擁壁のモデルケースでは、

表-7 L型擁壁 100mあたりの施工数量

ケース		L-C	L-P-C	L-P-P	L-P
コンクリート	24*	288.0	180.0	--	--
	30*	--	90.8	177.9	130.8
型枠	m ²	600.0	160.0	--	--
鉄筋	t	16.1	16.8	13.3	9.7
鋼製筒状部材	t	--	--	2.9	2.9
モルタル	m ³	--	--	2.0	2.0
足場	掛 m ²	520.0	--	--	--
工場製品	5t以下	--	211.0	211.0	327.0
	10t以下	--	--	225.0	--
マイクロパイル	施工長	m	1,000.0	1,000.0	1,000.0
	グラウト	m ³	26.9	26.9	26.9
	鉄筋	t	15.9	15.9	15.9
	鋼管	t	46.7	46.7	45.0

*数値は表-1中の呼び強度を表す

表-8 L型擁壁モデルケースの資材製造によるCO₂排出量 (kg-CO₂/100m)

ケース		L-C	L-P-C	L-P-P	L-P
躯体	コンクリート	67,718	67,445	49,167	36,170
	プラント等	5,530	5,199	10,265	7,547
	鉄筋	12,355	12,892	10,206	7,444
	鋼材	--	--	3,642	3,642
	小計	85,603	89,032	73,280	54,803
マイクロパイル	モルタル	--	--	1,464	1,464
	グラウト	24,915	24,915	24,915	24,915
	鉄筋	12,202	12,202	12,202	12,202
	鋼管	58,705	58,705	56,463	56,463
	小計	95,822	95,822	95,044	95,044
合計		181,425	184,854	168,324	149,847
比(対ケース L-C)		100%	102%	93%	83%

表-9 L型擁壁モデルケースの資材等の延べ運搬距離 (km・t)

ケース		L-C	L-P-C	L-P-P	L-P
アジテータ車 4.5m ³		11,520	7,200	--	--
トラック	4t	576	154	--	--
	10t 躯体	4,210	43,880	87,200	65,400
	10t 基礎	9,514	9,514	9,716	9,716

延長100mのL型擁壁の建設、およびその基礎として2m間隔で各2本打設した計100本のマイクロパイル施工を含めてCO₂排出量を推定した。なお、各ケースの躯体構造は、同等の耐荷性能となるよう断面寸法・鉄筋量等を決定したものである。ここで、基礎(マイクロパイル)については、躯体構造に応じて杭頭に作用する荷重に若干の差異が生じるものの、土圧および上載荷重の影響が支配的であることから、マイクロパイルの仕様および配置条件を一定とした。

(2) 資材製造によるCO₂排出量

各ケースの施工数量および資材製造によるCO₂排出量E_mの推定結果をそれぞれ表-7, 表-8に示す。表-7に示すように、マイクロパイルに使用する資材は、各ケースでほぼ同じであるため、CO₂排出量の差異は躯体構造に用いる資材の使用量に左右される。そこで各ケースにおける資材製造によるCO₂排出量E_mを比較すると、ケースL-Cを基準とするとき、ケースL-P-Cでは約102%と微増し、プレキャストコンクリートのみを主に用いるケースL-P-P・ケースL-Pでは、同比較約93%、約83%と低減できることがわかる。これは、各ケースの躯体構造におけるコンクリートおよび鉄筋の製造によるCO₂排出量に強く依存する結果である。

ここで、各ケースの資材製造によるCO₂排出総量E_mの約24~37%を占め、最も影響の大きいコンクリ

表-10 L型擁壁モデルケースの資材等運搬に伴うCO₂排出量 (kg-CO₂/100m)

ケース	L-C	L-P-C	L-P-P	L-P
生コン	2,915	1,822	--	--
躯体用資材	602	5,377	10,638	7,979
基礎用資材	1,161	1,161	1,185	1,185
合計	4,677	8,360	11,824	9,164
比(対ケース L-C)	100%	179%	253%	196%

表-11 L型擁壁モデルケースの現場施工におけるCO₂排出量 (kg-CO₂/100m)

ケース		L-C	L-P-C	L-P-P	L-P	
躯体工	コンクリートポンプ車	1,226	919	--	--	
	アジテータ車 4.5m ³	992	744	--	--	
	ラフテレーンクレーン	25t	2,747	--	--	--
		25t	--	1,570	1,570	2,354
		50t	--	--	1,568	--
小計	4,965	3,233	3,138	2,354		
基礎工	マイクロパイル	9,658	9,658	9,658	9,658	
	クローラクレーン 4.9t	2,811	2,811	2,811	2,811	
	発動発電機	5,638	5,638	5,638	5,638	
	小計	18,107	18,107	18,107	18,107	
	合計	23,072	21,340	21,245	20,461	
比(対ケース L-C)		100%	92%	92%	89%	

表-12 L型擁壁建設のCO₂排出量総括 (kg-CO₂/100m)

ケース		L-C	L-P-C	L-P-P	L-P
躯体	資材製造	85,603	89,032	73,280	54,803
	運搬	3,516	7,199	10,638	7,979
	現場施工	4,965	3,233	3,138	2,354
	計	94,084	99,464	87,056	65,136
基礎	資材製造	95,822	95,822	95,044	95,044
	運搬	1,161	1,161	1,185	1,185
	現場施工	18,107	18,107	18,107	18,107
	計	115,090	115,090	114,336	114,336
合計		209,174	214,554	201,393	179,472
比(対ケース L-C)		100%	103%	96%	86%

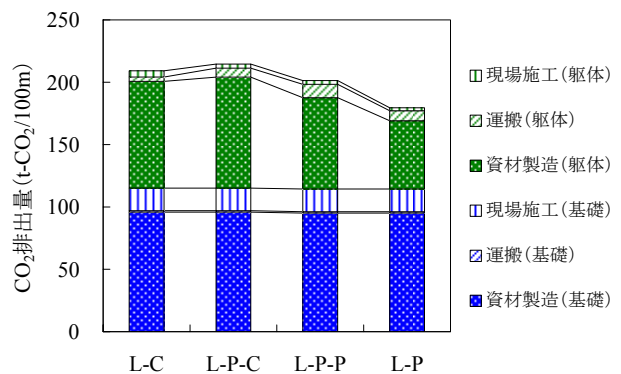


図-4 L型擁壁建設の全工程におけるCO₂排出量

ート製造によるCO₂排出量に着目する。ケースL-Cのコンクリート製造によるCO₂排出量を基準とするとき、ケースL-P-Cは約100%(=67,445/67,718)と同程度であるが、ケースL-P-Pは約73%(=49,167/

67,718)、ケースL-Pは約53%(=36,170/67,718)となることから、プレキャストコンクリートを用いて、断面寸法を小さくすることが、大幅なCO₂排出量の低減につながる事が窺える。

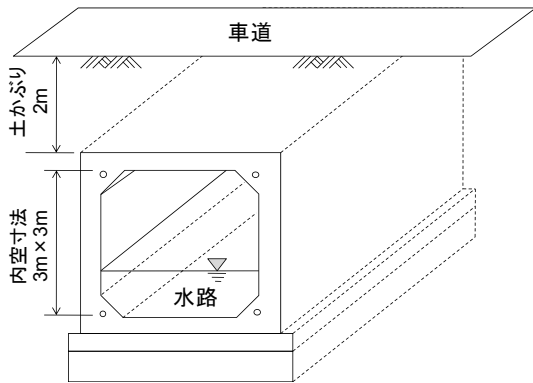


図-5 ボックスカルバート計画条件図

表-13 ボックスカルバートのモデルケースと部材構成

ケース	躯体	ベースコンクリート
B-C	現場打ち鉄筋コンクリート	
B-P-C	プレキャストコンクリート	現場打ち鉄筋コンクリート
B-P-P	プレキャストコンクリート	プレキャストコンクリート (杭頭結合構造含)
B-P	プレキャストコンクリート (杭頭結合構造含) (ベースコンクリート省略)	

(3) 材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量

各ケースの延べ運搬距離を表-9に表し、材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量E_iの推定結果を表-10に示す。ケースL-Cの材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量E_iを基準とするとき、ケースL-P-Cは約179%、ケースL-P-Pは約253%、ケースL-Pは約196%となった。

この結果は、最も運搬距離の長いプレキャストコンクリートを多用するケースが、材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量E_iが多いことを表している。しかしながら、これらの運搬に伴うCO₂排出量E_iは、前述の資材製造に伴うCO₂排出総量E_mに比して約3~7%であり、その影響はあまり大きいものではない。

(4) 現場施工におけるCO₂排出量

各ケースの現場施工におけるCO₂排出量E_cの推定結果を表-11に示す。これらの結果に示すように、各ケースの基礎工におけるCO₂排出量は、躯体工も含めた現場施工の全CO₂排出量において約78~88%に相当し、高い割合を占めている。

各ケースのCO₂排出量の差異は、躯体工におけるCO₂排出量によるため、その影響はあまり大きくないが、ケースL-Cを基準とするとき、ケースL-P-C・ケースL-P-Pでは約92%、ケースL-Pでは約89%と低減できる推定結果が得られた。

(5) CO₂排出量の総括

L型擁壁の建設に伴う全工程(資材製造、材料・製品の運搬、現場施工)におけるCO₂排出量の集計結果を表-12および図-4に示す。

各ケースの全工程におけるCO₂排出量は、ケースL-Cを基準とするとき、ケースL-P-Cでは約103%と微増し、プレキャストコンクリートのみを主に用いるケースL-P-Pでは約96%、ケースL-Pでは約86%と低減できている。これは、図-4の棒グラフにも明らかかなように、各ケースの躯体の資材製造によるCO₂排出量に強く依存した結果である。

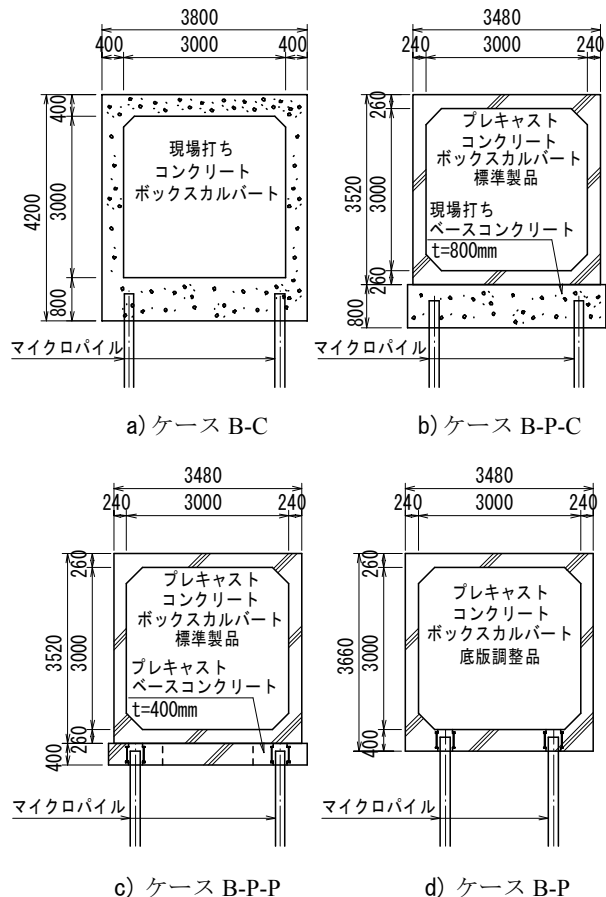


図-6 ボックスカルバート構造断面図(単位:mm)

4. ボックスカルバートモデルケースにおけるCO₂排出量

(1) モデル概要

ボックスカルバートのCO₂排出量の推定では、

表-14 ボックスカルバート 100mあたりの施工数量

ケース		B-C	B-P-C	B-P-P	B-P	
コンクリート m ³	24 [*]	700.0	294.4	--	--	
	30 [*]	--	--	94.9	--	
	35 [*]	--	343.0	343.0	388.8	
型枠	m ²	1,716.6	160.0	--	--	
鉄筋	t	54.1	67.1	51.9	50.2	
鋼製筒状部材	t	--	--	2.9	2.9	
モルタル	m ³	--	--	2.0	2.0	
足場掛	m ²	840.0	--	--	--	
支保工	空 m ³	896.0	--	--	--	
工場製品	10t 以下	--	857.0	1,101.5	979.3	
マイクロ パイル	施工長	m	1,000.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0
	グラウト	m ³	26.9	26.9	26.9	26.9
	鉄筋	t	15.9	15.9	15.9	15.9
	鋼管	t	46.7	46.7	45.0	45.0

*数値は表-1 中の呼び強度を表す

表-15 ボックスカルバートモデルケースの資材製造による CO₂ 排出量 (kg-CO₂/100m)

ケース		B-C	B-P-C	B-P-P	B-P
躯体	コンクリート	164,616	177,613	134,627	122,915
	プラント等	13,440	25,444	25,267	22,434
	鉄筋	41,516	51,493	39,828	38,523
	鋼材	--	--	3,642	3,642
	小計	219,572	254,550	203,364	187,514
マイクロ パイル	モルタル	--	--	1,464	1,464
	グラウト	24,915	24,915	24,915	24,915
	鉄筋	12,202	12,202	12,202	12,202
	鋼管	58,705	58,705	56,463	56,463
小計	95,822	95,822	95,044	95,044	
合計	315,394	350,372	298,408	282,558	
比 (対ケース B-C)	100%	111%	95%	90%	

図-5に示す計画条件に対して、L型擁壁と同様に表-13に示すような部材構成の異なる4つのモデルを設定した。各モデルケースの構造断面図を図-6に示す。

ボックスカルバートのモデルケースにおいてもL型擁壁のモデルケースと同様に、延長100mのボックスカルバートの建設、およびその基礎として2m間隔で各2本打設した計100本のマイクロパイル施工を含めてCO₂排出量を推定した。なお、本例においても、前章に示したL型擁壁と同様に、各ケースの躯体構造は同等の耐荷性能を有するものとし、基礎（マイクロパイル）についても、上載荷重の影響が支配的であることから、マイクロパイルの仕様および配置条件を一定とした。

(2) 資材製造によるCO₂排出量

各ケースの施工数量を表-14 に表し、また資材製

表-16 ボックスカルバートモデルケースの資材等の延べ運搬距離 (km・t)

ケース	B-C	B-P-C	B-P-P	B-P	
アジテータ車 4.5m ³	28,000	11,776	--	--	
トラック	4t	1,648	--	--	
	10t 躯体	14,090	178,110	220,304	195,860
	10t 基礎	9,514	9,514	9,716	9,716

表-17 ボックスカルバートモデルケースの資材等運搬に伴う CO₂ 排出量 (kg-CO₂/100m)

ケース	B-C	B-P-C	B-P-P	B-P
生コン	7,084	2,979	--	--
躯体用資材	1,971	21,753	26,877	23,895
基礎用資材	1,161	1,161	1,185	1,185
合計	10,216	25,893	28,062	25,080
比 (対ケース B-C)	100%	253%	275%	246%

表-18 ボックスカルバートモデルケースの現場施工における CO₂ 排出量 (kg-CO₂/100m)

ケース		B-C	B-P-C	B-P-P	B-P
躯体 工	コンクリートポンプ車	2,758	1,226	--	--
	アジテータ車 4.5m ³	2,233	992	--	--
	ラフテレーン クレーン	25t	9,810	--	--
		50t	--	6,793	8,883
基礎 工	マイクロパイル	9,658	9,658	9,658	9,658
	クローラクレーン 4.9t	2,811	2,811	2,811	2,811
	発動発電機	5,638	5,638	5,638	5,638
合計	32,908	27,118	26,990	25,945	
比 (対ケース B-C)	100%	82%	82%	79%	

表-19 ボックスカルバート建設の CO₂ 排出量総括 (kg-CO₂/100m)

ケース	B-C	B-P-C	B-P-P	B-P	
躯体	資材製造	219,572	254,550	203,364	187,514
	運搬	9,055	24,732	26,877	23,895
	現場施工	14,801	9,011	8,883	7,838
	計	243,428	288,293	239,124	219,247
基礎	資材製造	95,822	95,822	95,044	95,044
	運搬	1,161	1,161	1,185	1,185
	現場施工	18,107	18,107	18,107	18,107
	計	115,090	115,090	114,336	114,336
合計	358,518	403,383	353,460	333,583	
比 (対ケース B-C)	100%	113%	99%	93%	

造による CO₂ 排出量 E_m の推定結果を表-15 に示す。各ケースにおける資材製造による CO₂ 排出量 E_m は、ケース B-C を基準とすると、ケース B-P-C は約 111%と増加し、プレキャストコンクリートのみを主に用いるケース B-P-P およびケース B-P では、同比約 95%、約 90%と低減できることがわかる。

この傾向は、先述の L 型擁壁の推定結果と同様であり、コンクリート製造による CO₂ 排出量は、

ケース B-C を基準とすると、ケース B-P-C は約 108% (= 177,613 / 164,616), ケース B-P-P は約 82% (= 134,627 / 164,616), ケース B-P は約 75% (= 122,915 / 164,616) の推定結果が得られた。

(3) 材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量

各ケースの延べ運搬距離を表-16に表し、材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量E_lの推定結果を表-17に示す。ケースB-Cの材料・製品の運搬に伴うCO₂排出量E_lを基準とすると、ケースB-P-Cは約253%、ケースB-P-Pは約275%、ケースB-Pは約246%となり、

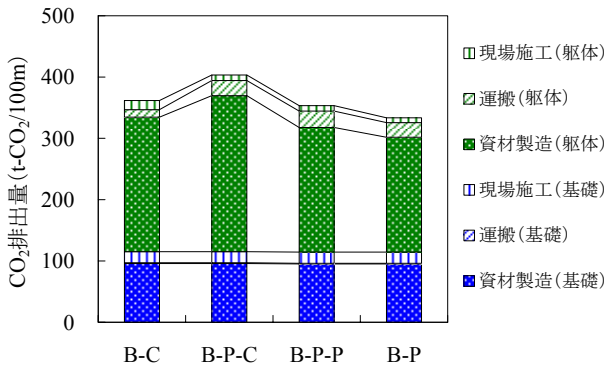


図-7 ボックスカルバート建設全工程のCO₂排出量

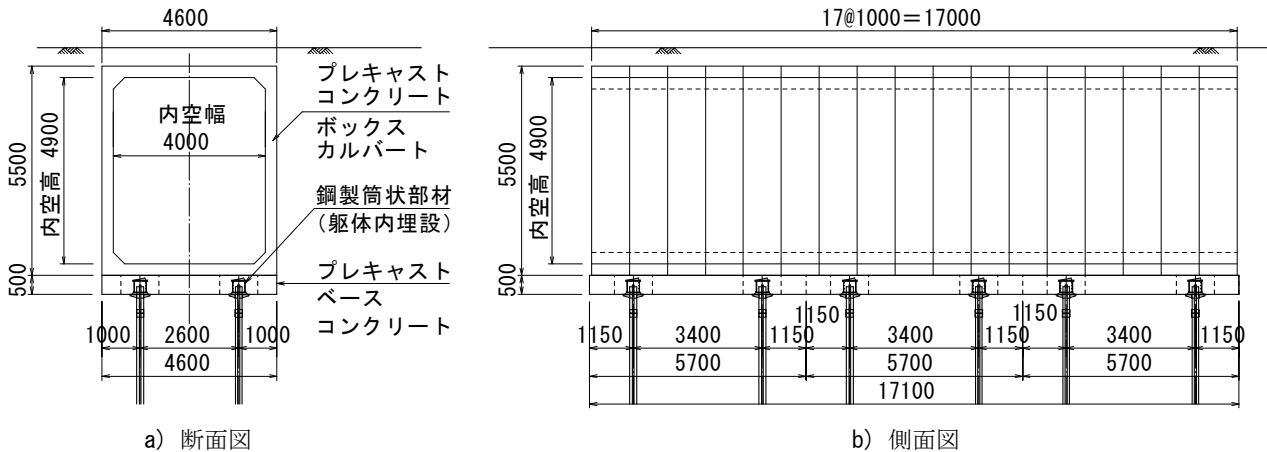


図-8 計画図 (単位: mm)

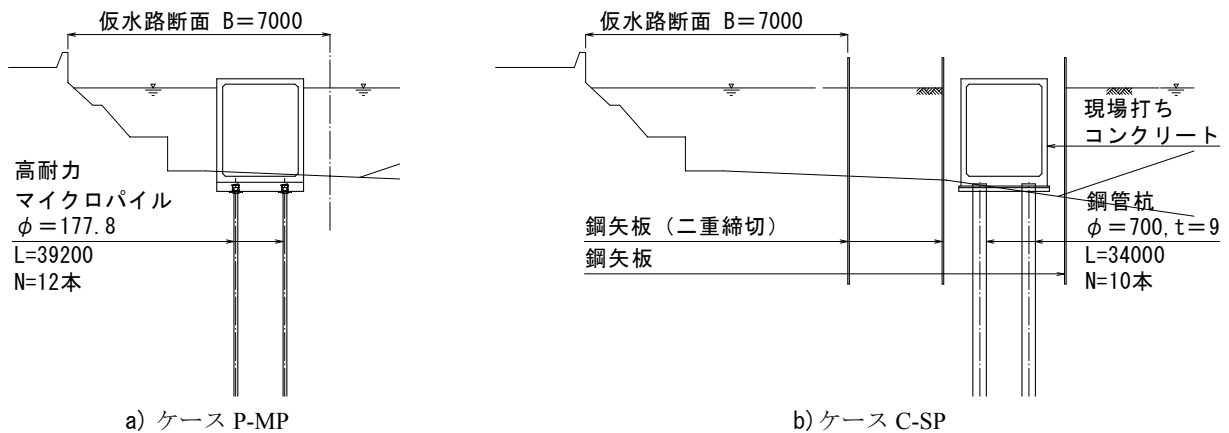


図-9 施工断面図 (単位: mm)

L型擁壁のモデルケースと比較して、ケースB-Cとの比が大きくなる推定結果が得られた。

これは、延べ運搬距離に影響を及ぼすプレキャストコンクリートの質量が、L型擁壁のモデルに比して2.5~4.0倍程度と大きいことが主要な要因である。

(4) 現場施工におけるCO₂排出量

各ケースの現場施工におけるCO₂排出量E_cの推定結果を表-18に示す。ケースB-Cの現場施工におけるCO₂排出量E_cを基準とすると、ケースB-P-C・ケースB-P-Pでは約82%、ケースB-Pは約79%となり、L型擁壁の推定結果よりも高い効果が得られた。

これは、プレキャストコンクリートを多用することで、足場・支保工にかかる施工を省力化できるため、現場施工におけるCO₂排出量E_cの低減につながったものと判断される。

(5) CO₂排出量の総括

ボックスカルバートの建設に伴う全工程におけるCO₂排出量の集計結果を表-19および図-7に示す。

各ケースの全工程におけるCO₂排出量は、ケース

B-Cを基準とするとき、ケースB-P-Cでは約113%と増加し、ケースB-P-Pは同比約99%とほとんど差異は生じず、ケースB-Pでは同比約93%と低減できる推定結果が得られた。

本研究の推定結果によれば、ボックスカルバート躯体に杭頭結合部を有するプレキャストコンクリートを用いて、ベースコンクリートを省略することが、CO₂排出量低減に有効と判断される。

5. ボックスカルバート実施工例におけるCO₂排出量の評価

(1) 概要

本研究では、前章までに示したモデルケースを用いたCO₂排出量の推定・評価に加え、より実用的な評価例を示すことを目的に、港湾の埋立造成工事の一環として施工された水路用ボックスカルバートの実施工例¹⁰⁾を取り上げ、その建設に伴うCO₂排出量の推定を行なった。前章同様にプレキャストコンクリートを用いたマイクロパイル工法によるCO₂排出量を主対象とし、さらに比較のため現場打ちコンクリートと鋼管杭を組み合わせた、一般的な構造形式のCO₂排出量を求めた。

対象とした計画構造物は、図-8に示すように延長L=17m、内空寸法B×H=4.0m×4.9mのボックスカルバートであり、主要部材の構成は、プレキャストボックスカルバート、杭頭結合部を有するプレキャストベースコンクリート、およびそれらを支持するマイクロパイルである。

(2) 比較ケース

本研究では、プレキャストコンクリートとマイクロパイルを組み合わせた構造（ケースP-MP）と、現場打ちコンクリートと鋼管杭を組み合わせた構造（ケースC-SP）について、CO₂排出量の推定を行った。両ケースの施工断面図を図-9に示す。

ここで、前述のモデルケースによる試算と同様に、両ケースにおけるボックスカルバートの躯体構造は、同等の耐荷性能となるよう断面寸法・鉄筋量等を設定した。さらに、異なる性能の杭の支持力を合わせるため、ケースP-MPではマイクロパイル（φ178mm×39.2m）を計12本配置し、ケースC-SPでは、鋼管杭（φ700mm×34.0m）を計10本配置するものとした。

図-9 a)に示すように、躯体（ボックスカルバート本体およびベースコンクリート）をすべてプレキャスト化したケースP-MPでは、躯体を水中に投入

して設置することが可能であるため、仮締切を省略することができる。一方、躯体を現場打ちコンクリートで構築するケースC-SPでは、足場、鉄筋、型枠を含むコンクリート作業をドライ環境で行なう必要があるため、図-9 b)に示すような二重締切工を伴う仮締切が必要となる¹⁰⁾。

本章におけるCO₂排出量の推定対象は、前述のモデルケースと同様に、構造物建設時における資材製造、材料・製品の運搬、および現場施工とした。両

表-20 主要資材の数量

ケース		C-SP	P-MP
躯体	コンクリート m ³	24 ^{**}	179.9
		35 ^{**}	--
		40 ^{**}	111.9
	鉄筋 t	16.7	20.6
工場製品 t	20t以下	--	327.0
基礎	鋼管杭 (t=9mm)	施工長 m	340.0
		鋼管 t	52.1
	マイクロパイル	施工長 m	--
		グラウト m ³	--
		鉄筋 t	--
		鋼管 t	--
仮設	足場 掛 m ²	276.0	
	支保工 空 m ³	333.2	
	鋼矢板 III型 10m 枚	290.0	
	仮設鋼材 t	20.0	
	覆工板 m ²	--	
土工	掘削 m ³	1,040.0	
	埋戻 m ³	2,093.0	

*数値は呼び強度を表す

表-21 実施工例におけるCO₂排出量 (kg-CO₂)

項目	C-SP	P-MP
躯体		
現場打ちコンクリート	63,720	--
プレキャストコンクリート	--	78,626
仮設	55,805	11,380
基礎	70,417	67,550
合計	189,941	157,556
比較 (P-MP/C-SP)	83%	

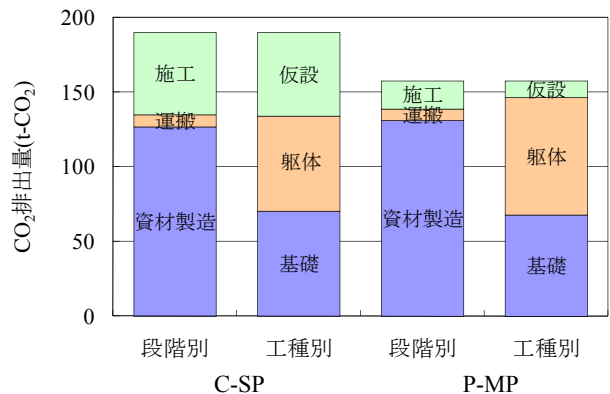


図-10 実施工例におけるCO₂排出量の比較

ケースの施工数量を表-20に示す。

なお、ケースP-MPにおける各資材数量、コンクリート配合およびプレキャストコンクリート製品の運搬等は実現場の条件を用いており、ケースC-SPでは同条件を考慮した上で、標準的な材料・数量等を設定したものである。

(3) CO₂排出量の比較結果

両ケースの水路ボックスカルバートの建設に伴うCO₂排出量の集計結果を表-21および図-10に示す。表-21に示すように、躯体構築に関するCO₂排出量は、ケースC-SPに対するケースP-MPの比が約123%(=78,626/63,720)に相当する推定結果となった。

結果は、先述のボックスカルバートのモデルケースにおける推定結果と異なる傾向であるが、これは大型断面のボックスカルバートのため、比較的高強度(35・40N/mm²)のコンクリートを用いたことに起因している。なお、先述のモデルケースの試算で示したように、ベースコンクリートを省略した結合構造とすることで、躯体構築におけるCO₂排出量の低減が可能になるものと推察される。

また、鋼管杭を用いるケースC-SPとマイクロパイルを用いるケースP-MPの基礎工においては、両者にほとんど差異はないものの、仮設におけるCO₂排出量では、ケースP-MPがケースC-SPの約20%となったことから、全体としてCO₂排出量を約83%(P-MP/C-SP=157,566/189,941)に低減することができた。これは、躯体構造をプレキャスト化することで、仮締切を省略したことが、大きな要因と考えられる。

6. まとめ

本研究では、マイクロパイルとプレキャストコンクリートを直接結合する構造に着目し、同構造を適用して土木コンクリート構造物を構築した場合の環境負荷の評価を試みた。

マイクロパイルとプレキャストコンクリートを組み合わせた土木コンクリート構造物の例として、L型擁壁およびボックスカルバートの各モデルケース、ならびにボックスカルバートの実施工例を取り上げ、現場打ちコンクリート構造と対比しながら、その建設に伴うCO₂排出量を推定した。本研究の範囲内において得られた知見を以下に要約する。

(1)L型擁壁のモデルケースの推定結果より、全工程におけるCO₂排出量は、現場打ちコンクリ

ートを用いるケースL-Cと比較して、プレキャストコンクリートのみを主に用いるケースL-P-PおよびケースL-Pは、約96%、約86%と低減できる。

(2)ボックスカルバートのモデルケースの推定結果より、全工程におけるCO₂排出量は、現場打ちコンクリートを用いるケースB-Cと比較して、杭頭結合部を有するプレキャストコンクリートを用いて、ベースコンクリートを省略するケースB-Pは、約93%と低減できる。

(3)L型擁壁、ボックスカルバートともに、構造物の建設に伴うCO₂排出量のうち、資材製造によるCO₂排出量の影響が最も大きく、全体の約83~88%を占めている。

(4)ボックスカルバートの実施工例におけるCO₂排出量の推定結果より、本例の施工条件においては、マイクロパイルとプレキャストコンクリートを組み合わせることで、仮締切工を省略できるため、鋼管杭と現場打ちコンクリートを組み合わせた構造形式に比べ、CO₂排出量を約83%に低減できる。

一般的な杭基礎工法では、プレキャストコンクリートを使用する場合でも、現場打ちベースコンクリートを用いることが必須となる。これに対して、著者らが考案したマイクロパイルとプレキャストコンクリートの結合構造では、現場打ちコンクリートの省略も可能となる。

そのため、資材使用量の削減によるCO₂排出量の低減効果や仮設工の縮小もしくは省略によるCO₂排出量の低減効果が期待できる。今後は、躯体構造のいっそうの合理化および施工の省力化、仮設工の合理化を含めた総合的な適用性の検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 堺 孝司, 草薙悟志: コンクリート構造物の環境設計に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.1-6, 2004.
- 2) 堺 孝司, 小嶋克宏, 草薙悟志, 入谷祥王: 交通渋滞交差点における鉄筋コンクリート地下道建設による環境便益評価に関する研究, 土木学会論文集G, Vol.63, No.1, pp.40-50, 2007.
- 3) 池水富美矢: 高耐力マイクロパイル工法の新しい活用事例, 土木施工, Vol.47, No.2, pp.73-79, 2006.
- 4) 稲富芳寿, 直野和人, 山根隆志, 吉武 勇, 三浦房紀, 中川浩二: 小口径杭とプレキャストRC部材の結合構造に関する実大実験, 土木学会論文集F, Vol.64, No.1, pp.15-23, 2008.

- 5) 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62，2004.
 - 6) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針
（試案），2005.
 - 7) 建設物価調査会：国土交通省土木工事標準積算基準
書，2007.
 - 8) 高耐力マイクロパイル研究会：高耐力マイクロパイ
ル積算資料，2006.
 - 9) 日本建設機械化協会：建設機械等損料表，2007.
 - 10) 宮田宏昭，板敷幸栄，多田英文，中古賀健吾：埋立
地ボックスカルバートの合理化施工，土木施工，
Vol.46，No.11，pp.84-91，2005.
- (2008. 7. 14 受付)

EVALUATION OF CO₂ EMISSION FROM CONSTRUCTION OF MICROPILE METHOD USING PRECAST CONCRETE MEMBER

Yoshikazu INATOMI, Isamu YOSHITAKE, Ken SUGIMOTO,
Shiho MAEDA and Fusanori MIURA

The purpose of the present study is to evaluate quantitatively CO₂ emission from micro pile method using pre-cast concrete member. This paper describes CO₂ emission by using typical models of L-shaped retaining wall and box culvert, which often employ pre-cast concrete member. Additionally, the authors estimated CO₂ emission of an actual pre-cast box culvert for micro pile construction as comparing with cast-in-place concrete. As these results, the micro pile method with pre-cast concrete indicated higher effectiveness of CO₂ emission reduction than normal construction.