

カルシア改質土バックホウ混合専用バケットによる 施工効率化と CO₂ 排出量削減効果

澤口大夢・浜谷信介

カルシア改質土は、軟弱な浚渫土にカルシア改質材（転炉系製鋼スラグを原料として成分調整と粒度調整を施した材料）を混合して強度発現させた材料であり、浅場、干潟、藻場などの造成に有効活用することができる。

浚渫土とカルシア改質材を混合する際、バックホウ混合工法では時間がかかることが課題となっていたが、近年、混合時間を短縮できるカルシア改質土混合専用バケット（以降カルシアバケットと記載）が開発され、多くの公共工事で用いられている。またカルシアバケットを使用することにより、施工効率化に伴う CO₂ 排出量削減効果を期待することができる。

キーワード：浚渫土、カルシア改質土、バックホウ混合、カルシアバケット、施工効率化、CO₂ 排出量削減

1. はじめに

わが国では港湾機能の維持拡大のために航路・泊地浚渫は不可欠であるが、その際、大量の浚渫土が発生する。浚渫土が細粒分が多い軟弱土である場合にはそのままサイクルすることは難しくなっており、従来土砂処分場や埋立地へ投入処分されることが多かった。しかしながら近年では土砂処分場の確保が困難となり、また循環型社会形成の促進の観点からも浚渫土の有効利用が課題となっている。

このような背景のもと、軟弱浚渫土に鉄鋼製造過程の副産物である転炉系製鋼スラグを混合して改良し、海域での自然再生や建設事業に有効利用する「カルシア改質土」の技術開発が、鉄鋼会社と港湾土木会社を中心に実施され、実用化されている。

カルシア改質土の混合方法には落下混合工法、バックホウ混合などがあり、施工場所や使用可能面積、施工数量などによって適切な混合方法が選定される。中でもバックホウ混合は小規模施工において経済的である。バックホウ混合工法適用時の一般的な施工フローを図-1に示す¹⁾。現場作業は大きく分類すると浚渫→混合→投入であり、これらが循環して施工サイクルとなる。

浚渫土とカルシア改質材を混合する際、品質にばらつきが生じないことが重要であるが、標準バケットを使用すると均一に混合するまでに長時間を要するため、施工サイクルのボトルネックとなることが多い。

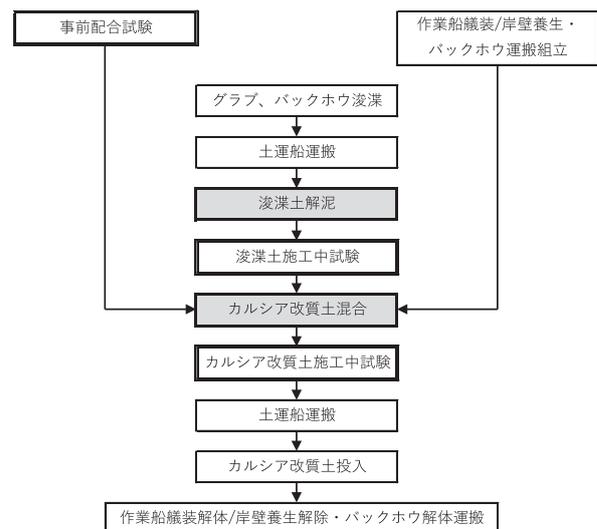


図-1 バックホウ混合の施工フロー¹⁾



写真-1 カルシアバケット

そこで近年、バックホウ混合工法において短時間で安全に品質の均一化を図るため写真-1に示すカルシア改質土バックホウ混合専用バケット（以下、「カル

シアバケット」とする。)が開発され、多くの公共工事に用いられている。本稿ではカルシアバケットを使用した施工事例、及び、作業時間の短縮によるCO₂排出量削減効果について紹介する。

2. カルシアバケットの概要

(1) カルシアバケットの特長

浚渫土とカルシア改質材の混合に標準バケットを用いると、品質が均一になるまで時間がかかる。これに当たり、従来の油圧の攪拌バケットは一般的にコストが高く、また油圧への負荷が大きくなると作動不良や油漏れのリスクがある。そのため動力を用いず油漏れのリスクの無いバックホウアタッチメントを検討した。

カルシアバケットは本体の前面、内部、背面に3層の格子部材を有している。格子の開口は前面で広く、背面に向けて狭くなっており、かつ3層は交互配置になっている。これらの構造により、図-2のように動力を使用することなくバケットの前後移動と掬上げ落下で浚渫土とカルシア改質材を効率的に混合することができる。

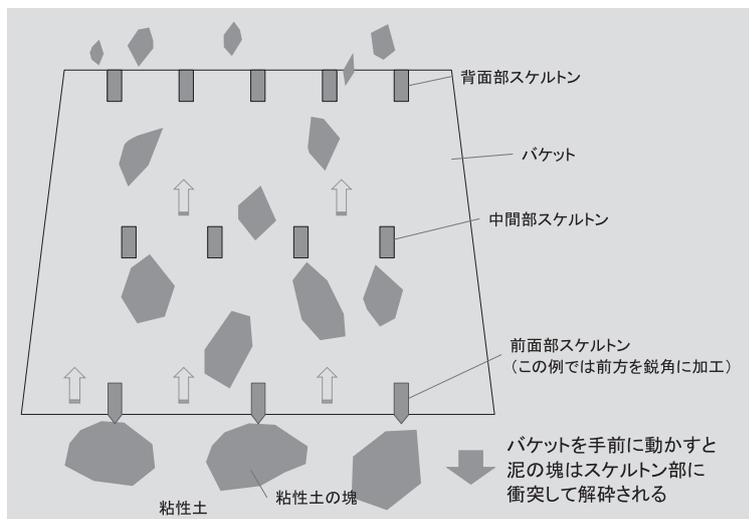


図-2 カルシアバケットの特長

(2) 標準バケットとの比較

カルシアバケットを使用した工事（以下、「A 工事」とする。）と標準バケットを使用した工事（以下、「B 工事」とする。）で、バックホウ混合で混合完了までの時間を確認する「混合時間試験」を行った²⁾。各工事の材料諸元を表-1に示す。A 工事の浚渫土は自然含水比 83.1%，液性限界 65.4%，細粒分含有率 81.8%～91.9%で改質材は 20% 配合であった。B 工事の浚渫土は自然含水比 258%，液性限界 115%，細粒分含有率 79.7%で改質材は 30% 配合であった。

混合時間試験では土運船を図-3のように左右に2等分(L・R)、船首側から船尾側に向けて前後に4等分(1～4)して計8カ所(R1～L4)のエリアを設定し、混合作業開始から一定時間ごとに各エリアから

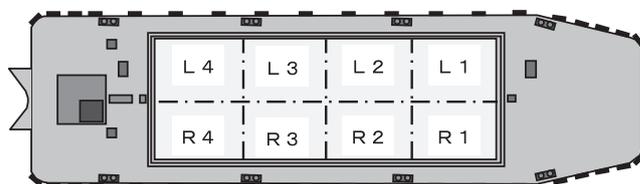


図-3 土運船内サンプリング位置図

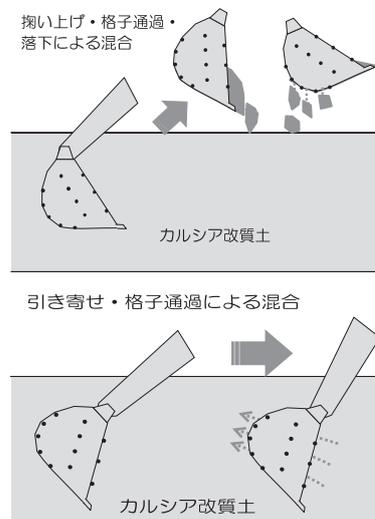
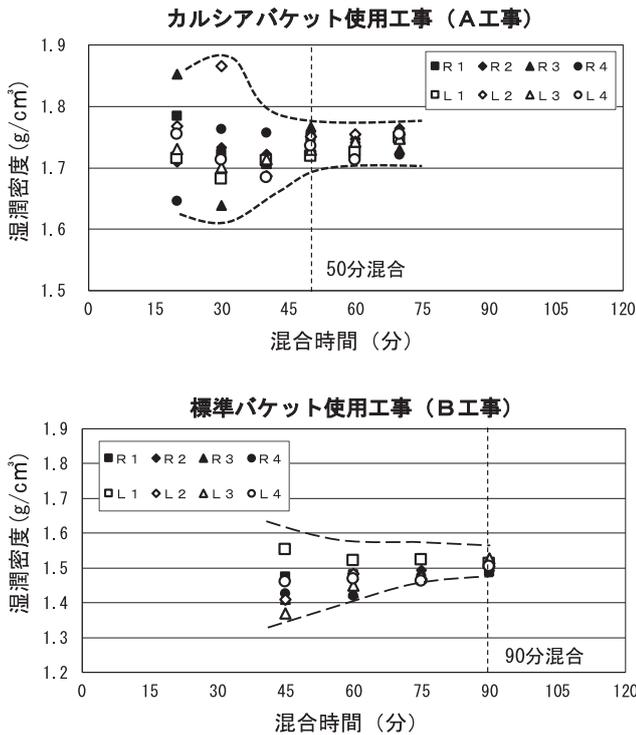


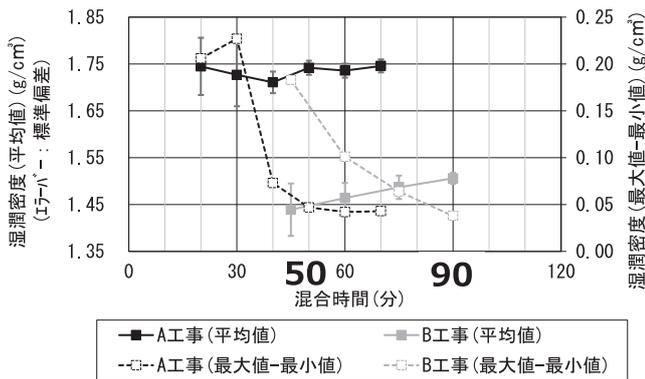
表-1 材料諸元

カルシアバケット使用工事 (A 工事)			
カルシア改質土 360 m ³ (土運船 (650 m ³ 積) 内)			
シリンダーフロー値 (cm)		8.6	
浚渫土 280 m ³	カルシア改質材 20 vol%		
湿潤密度 (g/cm ³)	1.48	最大粒径 (mm)	26.5
含水比 (%)	83.1	表乾密度 (g/cm ³)	2.85
液性限界 (%)	65.4		
シリンダーフロー値 (cm)	12.9	単位容積質量 (g/cm ³)	1.75

標準バケット使用工事 (B 工事)			
カルシア改質土 420 m ³ (土運船 (650 m ³ 積) 内)			
シリンダーフロー値 (cm)		13.3	
浚渫土 290 m ³	カルシア改質材 30 vol%		
湿潤密度 (g/cm ³)	1.20	最大粒径 (mm)	37.5
含水比 (%)	258	表乾密度 (g/cm ³)	2.53
液性限界 (%)	115		
シリンダーフロー値 (cm)	19.4	単位容積質量 (g/cm ³)	1.55



図一四 各工事の混合時間試験結果



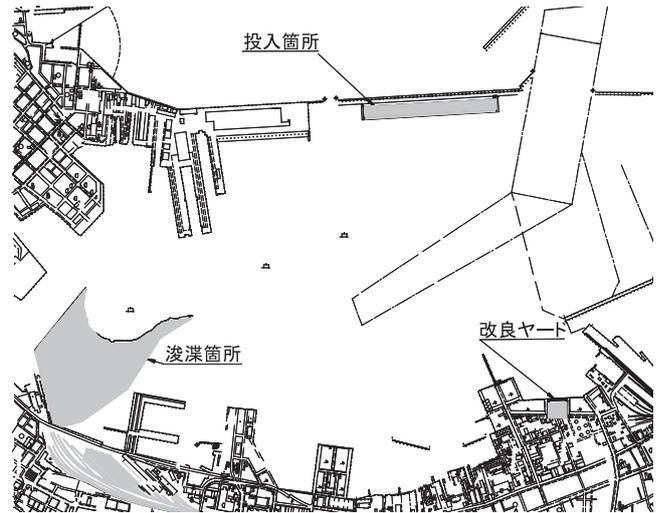
図一五 各工事の混合時間試験結果整理

サンプル採取して湿潤密度を測定した。

各工事の混合時間試験結果を図一四に、結果を整理したものを図一五に示す。湿潤密度の最大値と最小値の差に着目すると、A工事では混合後40分で0.073 g/cm³、B工事では混合後45分で0.183 g/cm³であり、混合後40分まででA工事のほうがB工事よりも均一に混合されている様子が確認できた。さらにその後、混合完了と判断した混合時間は、A工事では50分で、B工事では90分であり、カルシアバケットを使用することで混合時間を約45%短縮できることが示された。

3. 実施工への適用例

2023年度までのカルシアバケットを使用した工事



図一六 函館港泊地浚渫その他工事 全体平面図

表一 二 材料諸元

カルシア改質土 666 m ³ (土運船 (1,100 m ³ 積)内)	
シリンドーフロー値 (cm)	8.2
浚渫土 472 m ³	カルシア改質材 20 vol%
湿潤密度 (g/cm ³)	1.46
含水比 (%)	99.5
シリンドーフロー値 (cm)	10.7
最大粒径 (mm)	26.5
表乾密度 (g/cm ³)	2.76
単位容積質量 (g/cm ³)	1.81

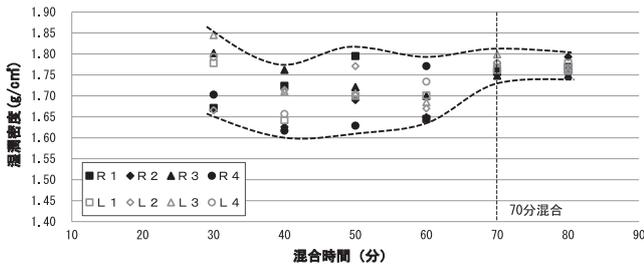
実績を以下に紹介する。

(1) 函館港泊地浚渫その他工事

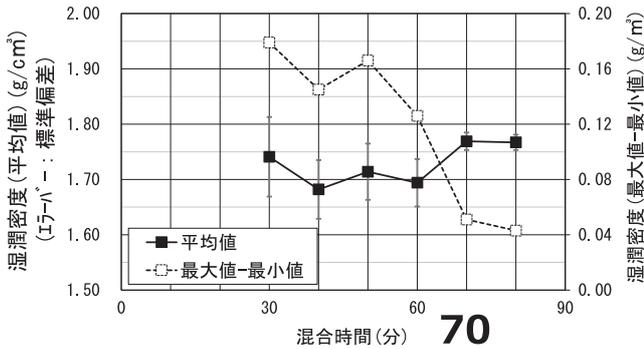
当工事は函館港若松地区岸壁整備に伴い、若松地区の泊地を-10.0 mまで浚渫し、発生した浚渫土をカルシア改良して、西防波堤内側へと投入し、背面盛土とする工事であり、2019年度～2022年度に10工事にわたって実施された。施工場所の全体平面図を図一六に、材料諸元を表一に示す。

この事業全体のカルシア改質土の施工数量は約470,000 m³であり、このうちカルシアバケットを使用した工事の施工数量は約250,000 m³で、全体の53%であった。2022年度のカルシアバケット使用工事の実績を見ると、カルシア改質土量的设计数量は26,563 m³、日当たり改良土量は1,096 m³/日、実施数量(ほぐし数量)は30,681 m³であった。

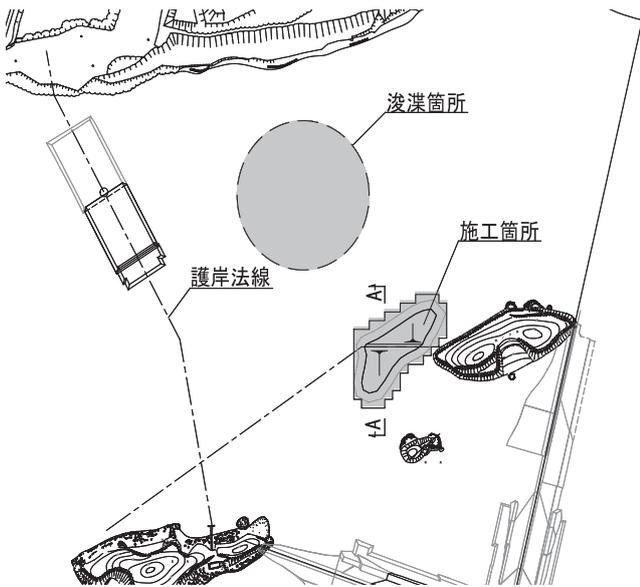
2022年度工事における混合時間試験の結果を図一七、八に示す。混合時間70分で湿潤密度が収束したと判断した。混合前の解泥作業についても同様に「解泥時間試験」を行ったところ解泥時間は30分であり、改質に要する時間は全部で100分であった。一方、「カルシア改質土工法積算マニュアル(第2版 Ver.2.1)」(以下、「積算マニュアル」とする。)により標準バケット使用の場合の混合時間を計算すると195分(解泥を含



図一七 2022 年度函館港浚渫工事の混合時間試験結果



図一八 2022 年度函館港浚渫工事の混合時間試験結果整理



図一九 大築島施工箇所

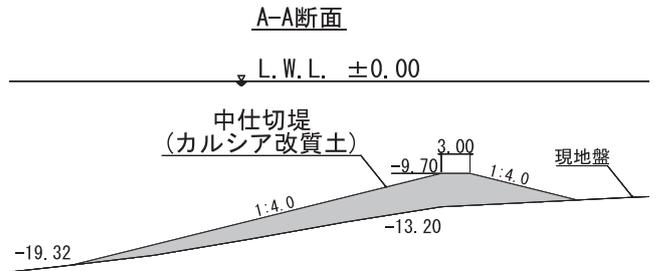
む) となり、カルシアバケットを用いることで、改質に要する時間を短縮できることが示された。

(2) 2023 年度八代港大築島土砂処分場中仕切堤工事

当工事は、八代港大築島土砂処分場の中仕切堤を施工するものである。施工場所は図一九に示す、熊本県八代市植柳下町大築島地先である。材料諸元を表一三に示す。工期は2023年10月4日～2024年3月27日、カルシア改質土量の設計数量は6,723 m³、日当たり改良土量は784 m³/日、実施数量(ほぐし土量)は9,412 m³であった。

表一三 材料諸元

カルシア改質土 480 m ³ (土運船(750 m ³ 積)内)			
シリンダーフロー値 (cm)	13.3		
浚渫土 372 m ³	カルシア改質材 20 vol%		
湿潤密度 (g/cm ³)	1.67	最大粒径 (mm)	20
含水比 (%)	56	表乾密度 (g/cm ³)	3.30
シリンダーフロー値 (cm)	18.1	単位容積質量 (g/cm ³)	2.22

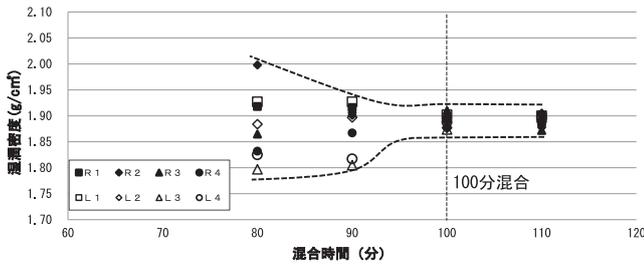


図一十 八代港大築島カルシア改質土投入箇所断面図

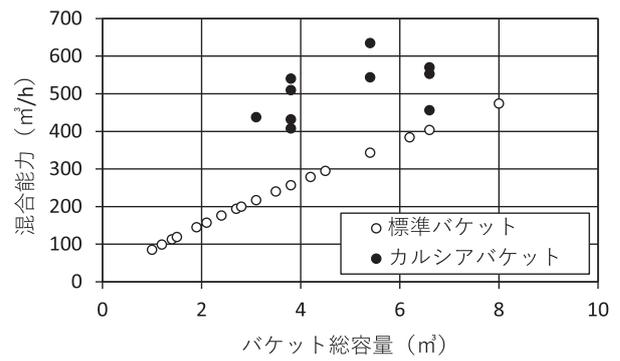


写真一 二 土運船養生状況

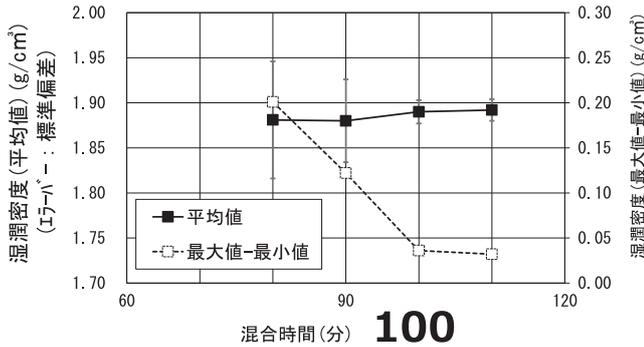
当工事の日当たり改良土量784 m³/日は2022年度函館港浚渫工事の1,096 m³/日と比べて30%程度低かった。当工事の投入箇所海底は傾斜がきつく、従来通りの施工方法では円弧滑りを引き起こす可能性があった(図一十)。そこで、混合作業後は写真一 二のように土運船内で中1日程度の養生を実施し、所定の強度が確認されたのちに投入する必要があったためである。当工事の混合時間試験の結果を図一 11, 12に示す。混合時間100分で湿潤密度が収束したと判断した。解泥時間試験から得た解泥時間30分と合わせて、改質に要する時間は全体で130分であった。函館の事例と同様に積算マニュアルを基に標準バケット使用の場合の混合時間を計算すると210分(解泥を含む)であり、カルシアバケットを用いることで効率的に施工を行えることが示された。



図一 11 2023 年度八代港中仕切堤工事の混合時間試験結果



図一 13 バケット山積総容量と混合能力



図一 12 2023 年度八代港中仕切堤工事の混合時間試験結果整理

例を表一 4 に示す。事例 1 以外は標準バケットとカルシアバケットを 1 台ずつ使用しているが、これもカルシアバケット使用として扱った。

バケット総容量と混合能力の関係について、積算マニュアル記載の標準バケットのデータ（複数台のバケットでの施工を含む）と表一 4 のカルシアバケットのデータを合わせて図一 13 に示す。カルシアバケットの混合能力は、同容量の標準バケットと比較すると平均 1.67 倍である。

次に、標準的なバックホウ規格と土運船の組合せの中から 650 m³ 積土運船と 1.9 m³ のバックホウ 2 台を使用したカルシア改質技術適用工事を想定して、混合能力、混合時間、CO₂ 排出量を算出した。カルシア改質土は製鋼スラグを含むため、湿潤密度が大きく、土運船に満載にすることはできない。そこで、表一 3 の各事例の土運船規格に対するカルシア改質土積載量の比率を算出し、その平均値である 59% を用いて 650 m³ × 59% = 384 m³ をカルシア改質土の混合量とした。標準バケットとカルシアバケットの混合能力、混合時間、CO₂ 排出量の比較を表一 5 に示す。

1.9 m³ のバックホウ × 2 台使用時の混合能力は「積算マニュアル」より 257 m³/h である。カルシアバケッ

4. カルシア改質土施工時の CO₂ 排出量試算

カルシア改質材は鉄製造過程の副産物であるため製造時の CO₂ 排出量は小さいが、カーボンニュートラル社会の実現を目指す上では、さらにカルシア改質土を施工する際の CO₂ 排出量を低減することも重要となる。

そこで、まずカルシアバケットを用いた工事の施工条件や混合時間の整理を行った。また、積算マニュアルに記載されている標準的なバックホウ規格と土運船の組合せをもとに標準バケットとカルシアバケットの CO₂ 排出量の比較を行った³⁾。工事において混合時間試験で設定したカルシアバケットによる混合時間の事

表一 4 カルシアバケットによる混合時間の設定事例

区分	内容	項目	単位	事例 1	事例 2	事例 3-1	事例 3-2	事例 4-1	事例 4-2	事例 5-1	事例 5-2	事例 6-1	事例 6-2
材料の性状	浚渫土	含水比	%	162.0	82.2	112.4	83.1	115.9	71.5	114.9	88.0	114.4	87.1
		液性限界	%	111.3	63.2	65.6		70.0		71.2		71.2	
		細粒分含有率	%	99.3	84.8	88.8		91.6		84.1		84.1	
	カルシア改質土	カルシア改質材混合率	%	40	20	20		20		20		20	
シリンダーフロー		mm	83	86	86	86	130	86	82	82	139	85	
施工状況	土運船	規格	m ³	1,300	1,100	600		600		600		1,100	
		カルシア改質土積載量	m ³	730	645	380		340		360		635	
	バックホウ	通常バケット容量	m ³	-	3.5	3.5		1.9		1.9		3.5	
		カルシアバケット容量	m ³	3.1	3.1	3.1		1.9		1.9		1.9	
		バケット総容量	m ³	3.1	6.6	6.6		3.8		3.8		5.4	
		混合時間	分	100	70	40	50	40	50	40	50	60	70
混合能力	m ³ /h	438	553	570	456	510	408	540	432	635	544		

表一5 標準バケットとカルシアバケットの比較

区分	項目	単位	標準バケット	カルシアバケット
土運船	規格	m ³	650	
	カルシア改質土積載量	m ³	384	
バックホウ	通常バケット容量	m ³	1.9×2	1.9
	カルシアバケット容量	m ³	—	1.9
	バケット総容量	m ³	3.8	3.8
	混合時間	分	90	54
	混合能力	m ³ /h	257	429
	混合時 CO ₂ 排出量	kg-CO ₂	248	149
	標準バケットに対する CO ₂ 排出量の比率	%	100	60

トは標準バケットの1.67倍の混合能力があるとする
と、 $257\text{ m}^3/\text{h} \times 1.67 = 429\text{ m}^3/\text{h}$ となる。これをもと
に 384 m^3 のカルシア改質土の混合時間を計算する
と、標準バケットは $384\text{ m}^3 \div 256\text{ m}^3/\text{h} = 90$ 分、カル
シアバケットの混合時間は $384\text{ m}^3 \div 429\text{ m}^3/\text{h} = 54$ 分
となる。

次に 1.9 m^3 のバックホウの燃料使用量 $32\text{L}/\text{h}^4$ と混
合時間等をもとに、式(1)を用いて土運船1隻あた
りのバックホウ混合時のCO₂排出量を求めた。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (kg-CO}_2) = \text{燃料使用量 (L/h)} \times \text{混合時間 (h)} \times \text{使用台数} \times \text{軽油の排出量原単位 (kg-CO}_2/\text{L)} \quad (1)$$

この結果、土運船1隻あたりのバックホウ混合時の
CO₂排出量は標準バケットの248 kg-CO₂に対し、カ
ルシアバケットでは149 kg-CO₂となり、標準バケッ
トと比べて40%減少することが試算された。

5. おわりに

カルシアバケットを使用することの有用性と施工事
例、および施工時間の短縮に伴うCO₂排出量の削減
効果を紹介した。昨今の働き方改革やカーボンニュー

トラル社会の実現に向け、本技術がより広く普及され
るよう努めていきたい。



《参考文献》

- 1) カルシア改質土研究会「カルシア改質土工法積算マニュアル」第2版 Ver.2.1 2021.8
- 2) 野中宗一郎, 泉総, 浜谷信介「カルシア改質土バックホウ混合専用バケットを用いた混合作業の効率化について」VI-66 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会 2021.9
- 3) 田中裕一, 浜谷信介, 野中宗一郎, 中川雅夫「カルシア改質土施工時のCO₂排出量の試算と低減方法の検討」土木学会論文集B3(海洋開発) Vol.78, No.2, I_157 - I_162 2022
- 4) (一社) 日本建設機械施工協会「令和6年度版建設機械等損料表」2024.4

【筆者紹介】



澤口 大夢 (さわぐち ひろむ)
五洋建設(株)
環境事業部 海域環境グループ
係員



浜谷 信介 (はまたに しんすけ)
五洋建設(株)
環境事業部 海域環境グループ
担当部長