

(S6-21) 土壤汚染調査・対策における CO₂ 排出量の把握

○亀谷美智康¹・佐藤秀之¹・大村啓介¹・小関喜憲¹・宮城盛¹

¹土壤環境センター CO₂ 排出量検討部会

1. はじめに

地球温暖化対策に伴う国内排出権取引等の低炭素化への取り組みの諸制度の整備が推進されるなか、土壤・地下水汚染対策による CO₂ 排出量の見える化は今後重要な課題と考える。そこで、筆者らは、若手技術者を中心に平成 20 年 12 月より『土壤汚染調査・対策における CO₂ 排出量の把握』をテーマとして 3 年間の期限として検討を行っている。今回の発表では 2 年目の検討成果として、大規模モデルを対象に数種の工法について、昨年度と同じ試算方法を用いて CO₂ 排出量の違いを把握した結果を報告する。

2. 試算の考え方

土壤・地下水汚染対策のプロセスフローを図-1 に示す。試算方法として下記の 2 方法が挙げられる。

- ①：施設・設備・重機等で使用するエネルギー起源による CO₂ 排出量のみを対象とするケース
- ②：①に加え、使用資材等の製造や廃棄における排出量等も含めるケース

今回はより多くのモデルケースの排出量を比較することに重点を置くことにしたため①での検討とした。すなわち試算は右図に示す資材製造・廃棄や場外処理を除いた実線枠内について行った。

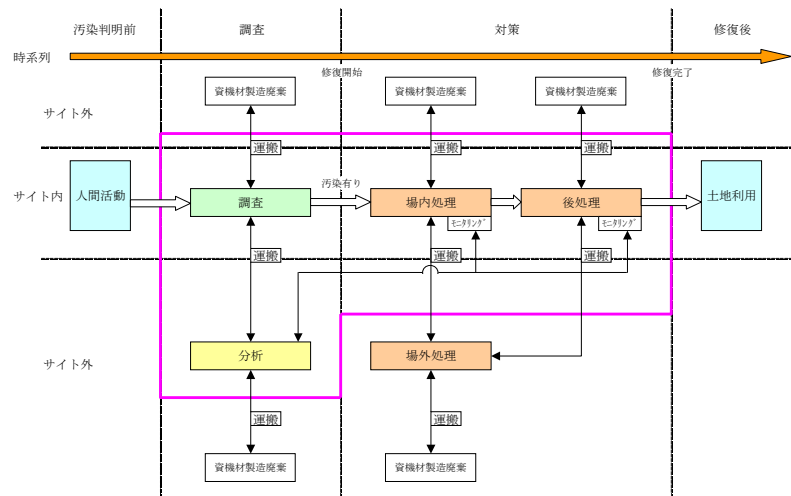


図-1 プロセスフロー及びシステム境界

2.1 数量の抽出

試算は、各プロセスにおける機械、資材、材料の数量および燃料使用量を抽出し、それぞれの排出原単位を乗じて算出する「積み上げ方法」にて行うこととした。

2.2 原単位

燃料ごとの CO₂ 排出係数は「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令（環境省）」に従い以下とした。

表-1 排出係数一覧¹⁾

	排出係数 α		発熱量 β		参考 (二酸化炭素排出量)
	数値	単位	数値	単位	
イ：燃料の燃焼に伴う排出					
ガソリン	0.0183	(kg-C/MJ)	34.6	(MJ/L)	2.32(kg-CO ₂ /L)に相当
軽油	0.0187	(kg-C/MJ)	38.2	(MJ/L)	2.62(kg-CO ₂ /L)に相当
ロ：他人から供給された電気の使用に伴う排出	0.555	(kg-CO ₂ /kWh)			

2.3 試算方法

試算は調査、分析、対策の各段階における各工程毎に関係機関から公表されている式を用いて下記に示すように行った。

1) 調査

- ・ハンマードリルおよび土壤ガス分析による CO₂ 排出量(1 地点) (kg-CO₂)

$$= \text{小型発電機軽油燃料消費量}^{2)} (\text{時間}) \times \text{地点あたり運転時間}^{3)} \times \text{燃料ごとの CO}_2 \text{ 排出係数}^{1)} \times \text{実施地点数}$$
(ハンマードリルは地点あたり 10 分、土壤ガス分析は 15 検体/8 時間と仮定した)

Verification Report of Carbon Footprint for Site Investigation and Remedial Treatment of Contaminated Land

Michiyasu Kamegai, Hideyuki Sato, Keisuke Ohmura, Yoshinori Koseki, Sakari Miyagi¹(GEPC.)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麴町4 丁目2 番地 第二麴町ビル7 階

TEL03-5215-5955 FAX03-5215-5954 Email: info@gepc.or.jp

- ・ボーリングマシンのエネルギー消費による CO₂ 排出量(対策においても使用)

ボーリングマシンによる CO₂ 排出量 (kg-CO₂)

$$= \text{掘進長 (m)} \times 10 \text{ m 当たり軽油消費量}^3) \div 10 \text{ (L/m)} \times \text{燃料ごとの CO}_2 \text{ 排出係数}^1)$$

2) 分析

- ・直接の分析工程で使用する機器の電力消費に伴う CO₂ 排出量 (kg-CO₂)

$$= \text{分析機器の使用時間} \times \text{最大出力時(ないしは定格)電力 (kW)} \times \text{電力 CO}_2 \text{ 排出係数 (kg-CO}_2\text{/kWh)}^1)$$

※表層土壌ガスの分析については、発電機の燃料消費による CO₂ 排出量として調査段階で計上した

3) 対策

- ・内燃機関の燃料消費による CO₂ 排出量

$$\text{時間当り燃料消費量(L/h)} = \text{定格出力(kW)}^2) \times \text{燃料消費率(L/kWh)}^2)$$

$$\text{燃料使用量(L)} = \text{稼働時間(h)}^4) \times \text{時間当り燃料消費量(L/h)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2) = \text{燃料使用量(L)} \times \text{燃料ごとの CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2\text{/L)}^1)$$

- ・電動機、電気設備の電力消費による CO₂ 排出量(「燃料」を「電力」に置き換えて計算した。)

$$\text{実負荷出力(kW)} = \text{定格出力(kW)}^2) \times \text{負荷率(\%)}^2)$$

$$\text{電力使用量(kWh)} = \text{稼働時間(h)}^4) \times \text{実負荷出力(kW)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2) = \text{電力使用量(kWh)} \times \text{電力 CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2\text{/kWh)}^1)$$

- ・土壌の運搬による CO₂ 排出量

土壌の運搬による CO₂ 排出量 (kg-CO₂)

$$= (\text{稼働時間(h)}^4) \times \text{機関出力(kw)}^2) \times \text{燃料消費率(L/kWh)}^2) \times \text{燃料ごとの CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2\text{/L)}^1)$$

4) 機械、資材の運搬 (調査、対策で使用)

ライトバン (ガソリン、普通貨物車 1,000~1,999 kg^{*}) : 1(km)/6.57(km/L)⁵⁾ = 0.152(L/km)

ワンボックス (軽油、普通貨物車 1,000~1,999 kg^{*}) : 1(km)/6.19(km/L)⁵⁾ = 0.161(L/km)

4tトラック (軽油、普通貨物車 2,000~3,999 kg^{*}) : 1(km)/4.58(km/L)⁵⁾ = 0.218(L/km)

15tトレーラ (軽油、普通貨物車 12,000~16,999 kg^{*}) : 1(km)/2.62(km/L)⁵⁾ = 0.382(L/km)

※ 重量は最大積載量を示す。

3. 試算モデルケース

モデルケースは、第一種特定有害物質(トリクロロエチレン)による汚染を想定した右図に示す「大規模モデルケース (VOC)」(土壌環境センター独自モデル)を用いた。下記に各調査・分析・対策の試算条件を示す。

- ・調査：当該汚染状況を反映可能な調査仕様を設定した。調査内容は、土壌汚染概況調査、詳細調査、地下水調査とした。
- ・分析：上記した調査仕様に基づく検体数を設定した。また、実際の分析作業を想定し、再分析試料数は基準超過試料数の 2.5 倍と設定した。
- ・対策：土壌：掘削+場外処分、掘削+生石灰混合、原位置処理 (バイオレメディエーション、フェントン) 地下水処理：揚水、原位置処理 (バイオレメディエーション、フェントン) の工法とした。

調査から対策までの試算条件の流れを次頁の図-3 に示す。

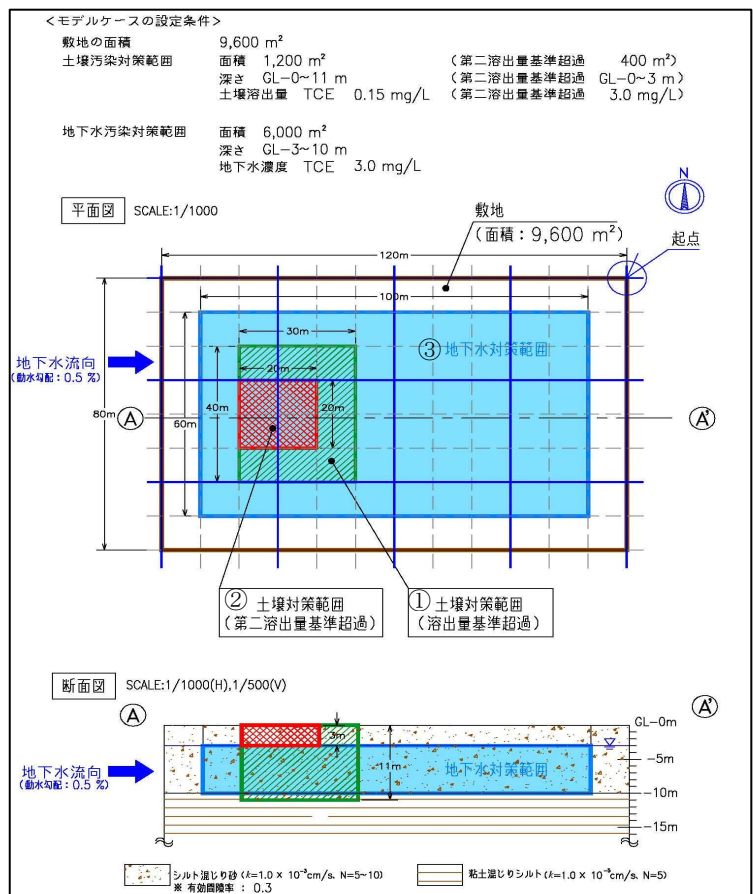


図-2 大規模モデルケース (VOC)

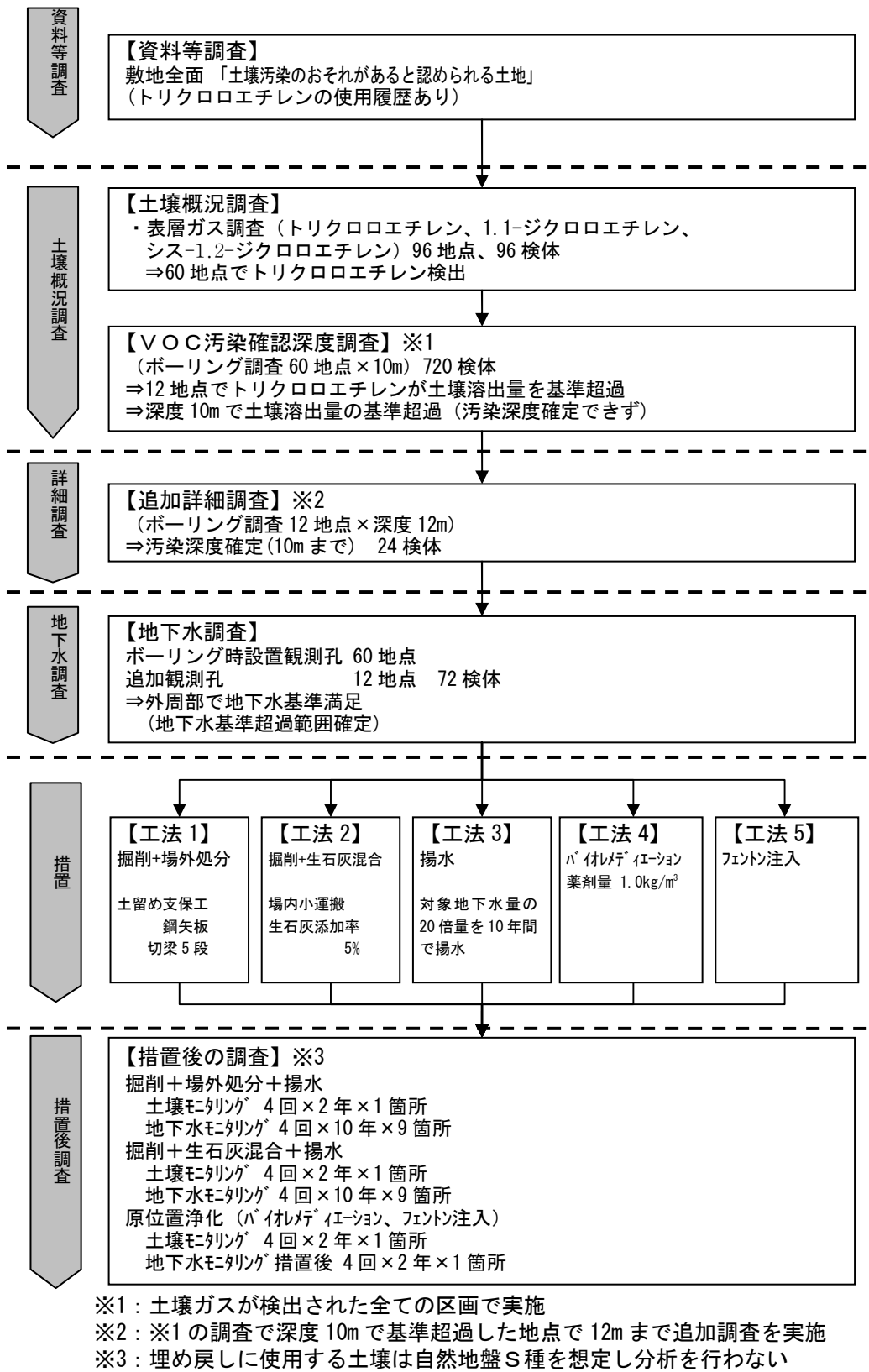


図-3 調査・分析・対策の試算条件(大規模モデルケース(VOC))

4. 試算結果

調査、分析、対策における CO₂ 排出量の試算結果を表-3 から表-5 に示す。また、図-4 には各工法の結果を示す。なお、資材の消費や機材の損耗および廃棄については検討範囲外とした。

表-3 調査における CO₂ 排出量

種目	機械名称	規格	数量	台数	稼動時間 (hr/検体)	単位エネルギー消費量	燃料種類	燃料消費量 (L)	CO ₂ 排出係数 (kg-CO ₂ /L)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)
【概況調査】 「土壌ガス調査」		土壌ガス採取 分析96地点								
土壌ガス採取	発電機	2KVA	96 検体	1	0.167	(L/h) 1.200	ガソリン	19.24	2.32	45
土壌ガス分析	発電機	2KVA	96 検体	1	0.533	(L/h) 1.200	ガソリン	61.40	2.32	142
資機材運搬	ワゴンボックス	1250kg積	40 km	1		(L/km) 0.161	軽油	6.44	2.62	17
「汚染確認深度調査」		10m×60地点								
試料採取	振動式貫入 ボーリング	砂	600 m			(m) 1.410	軽油	846.00	2.62	2,217
機械搬入・搬出	トラック	4t積	80 km	10		(L/km) 0.218	軽油	174.40	2.62	457
資機材運搬	ライトバン	400kg積	40 km	1		(L/km) 0.152	ガソリン	6.08	2.32	14
【概況調査】 「詳細調査・観測孔設置」		12m×12地点								
試料採取	振動式貫入 ボーリング	粘土	24 m			(m) 1.050	軽油	25.20	2.62	66
試料採取	振動式貫入 ボーリング	砂	120 m			(m) 1.410	軽油	169.20	2.62	443
機械搬入・搬出	トラック	4t積	80 km	2		(L/km) 0.218	軽油	34.88	2.62	91
資機材運搬	ライトバン	400kg積	40 km	1		(L/km) 0.152	ガソリン	6.08	2.32	14
【観測孔設置】 「追加観測孔設置」		10m×12地点								
試料採取	振動式貫入 ボーリング	砂	120 m			(m) 1.410	軽油	169.20	2.62	443
機械搬入・搬出	トラック	4t積	80 km	2		(L/km) 0.218	軽油	34.88	2.62	91
資機材運搬	ライトバン	400kg積	40 km	1		(L/km) 0.152	ガソリン	6.08	2.32	14
									合計	4,055

表-4 分析における CO₂ 排出量

大項目	小項目	試料数 (内基準値 超過試料数)	機械名称・規格	分析機器使用時間			単位エネルギー消費量 (kWh/時間)	エネルギー消費量 (kWh)	CO ₂ 排出係数 (kg-CO ₂ /kWh)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	小計 (kg-CO ₂)
				単位使用時間 (時間/回)	使用回数 (回)※	(時間)					
				①	②	③=①×②	④	⑤=③×④	⑥	⑦=⑤×⑥	
土壌概況調査	TCE土壌 検液作成	720 (120)	電子天秤	2.8.E-03	840	2.3.E+00	1.2.E-02	2.8.E-02	0.555	1.6.E-02	2614.5
			pH計	8.3.E-03	45	3.8.E-01	4.0.E-03	1.5.E-03		8.3.E-04	
	自公転スターラー		4.0.E+00	177	7.1.E+02	1.0.E-01	7.1.E+01	3.9.E+01			
	ヘッドスペースサンプラー		6.7.E-01	1450	9.7.E+02	7.5.E-01	7.3.E+02	4.0.E+02			
TCE土壌 溶出試験	G C / M S 計	6.7.E-01	1450	9.7.E+02	4.1.E+00	3.9.E+03	2.2.E+03				
	電子天秤	2.8.E-03	24	6.7.E-02	1.2.E-02	8.0.E-04	4.4.E-04				
	pH計	8.3.E-03	2	1.7.E-02	4.0.E-03	6.7.E-05	3.7.E-05				
	自公転スターラー	4.0.E+00	6	2.4.E+01	1.0.E-01	2.4.E+00	1.3.E+00				
詳細調査	TCE土壌 検液作成	24 (0)	ヘッドスペースサンプラー	6.7.E-01	34	2.3.E+01	7.5.E-01	1.7.E+01	9.4.E+00	61.7	
			G C / M S 計	6.7.E-01	34	2.3.E+01	4.1.E+00	9.2.E+01	5.1.E+01		
	TCE土壌 溶出試験		ヘッドスペースサンプラー	6.7.E-01	322	2.1.E+02	7.5.E-01	1.6.E+02	8.9.E+01		
地下水調査	TCE土壌 試験	72 (60)	ヘッドスペースサンプラー	6.7.E-01	322	2.1.E+02	7.5.E-01	1.6.E+02	8.9.E+01	571.9	
			G C / M S 計	6.7.E-01	322	2.1.E+02	4.1.E+00	8.7.E+02	4.8.E+02		
合計CO ₂ 排出量										3248.1	

※回数は、基準値超過による再分析、ブランク・検量線・精度管理の数量を含む

表-5 対策におけるCO₂排出量

		(kg-CO ₂)								
	地下水対策工法	揚水	バ`イ	フェント	揚水	バ`イ	フェント	バ`イ	フェント	
	土壌対策工法	掘削+場外処分			掘削+生石灰混合			バ`イ	フェント	
地下水	資材・機材運搬	296	319	1,462	296	319	1,462	319	1,463	
	機械稼動	457,480	18,574	37,998	457,480	18,574	37,998	18,574	38,000	
	汚泥搬出	346	-	-	346	-	-	-	-	
	分析	1,788	195	195	1,788	195	195	195	195	
土壌	資材・機材運搬	4,092			8,570			251	2,834	
	機械稼動	156,408			213,716			29,668	42,812	
	土壌運搬	227,840			20,418			-	-	
	分析	-			-			1,099	1,099	
共通仮設		4,317			4,317			320	320	
合計		852,567	411,745	432,312	706,931	266,108	286,676	50,426	86,723	

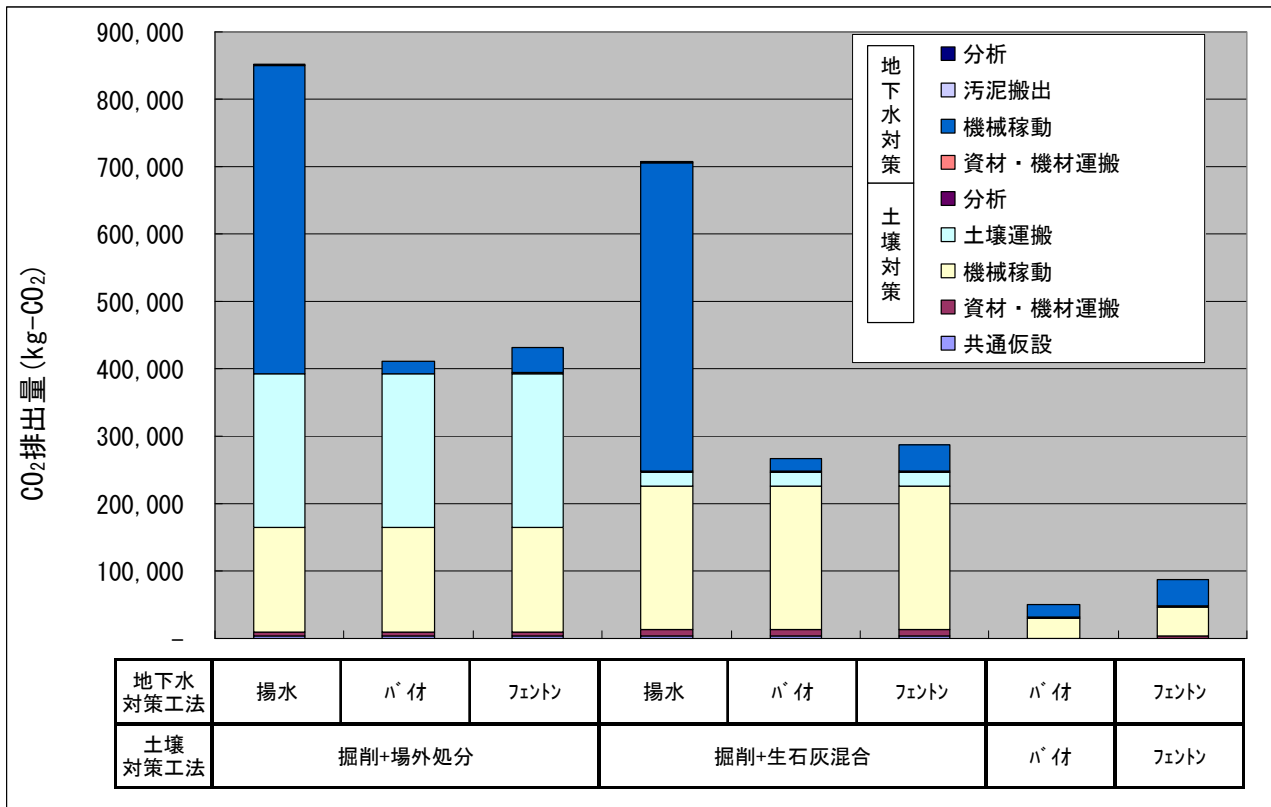


図-4 各工法におけるCO₂排出量

5. 成果のまとめ

5.1 調査

調査段階での CO₂ 排出量は 4,055 kg-CO₂ となり、このうちボーリング作業等の試料採取・分析に伴う排出量 3,356 kg-CO₂ と、資機材の運搬に伴う排出量 699 kg-CO₂ では 4.8 倍程度の差があった。昨年度の「小規模モデルケース」では試料採取・分析と運搬で同等程度の結果を得ており、規模の異なるモデルケースでの試算から土質や掘進長の違いによる燃料消費量の差異を把握する事ができた。

5.2 分析

今回の試算手法は、機器仕様書等に示されている有効電力もしくは皮相電力を使用して試算しているため、実際の CO₂ 排出量よりも大きめに算出される可能性がある。

各段階の調査で再分析も考慮した分析の CO₂ 排出量を試料数当りにすると土壌概況調査 3.6 kg-CO₂、詳細調査 2.6 kg-CO₂、地下水調査 7.9 kg-CO₂ と 3 倍程度の開きであることが分かった。また、土壌調査・対策事業全体に占める CO₂ 排出量の寄与量は小さい事が確認できた。

土壌汚染調査・対策事業の CO₂ 排出量試算においては、全体に占める寄与率が小さい事を考慮し、煩雑な計算をするよりも、1 試料当りのエネルギー起源の CO₂ 排出量を一定値として扱い試料数に掛け合わせることに
よる方法の方が簡便な算定方法になる可能性があると考えられる。

5.3 対策

昨年度の「小規模モデルケース」と今年度の掘削+場外処分（地下水対策含まず）を比較すると「小規模モデルケース」は約 55.3 kg-CO₂/m³ に対し「大規模モデルケース（VOC）」では約 29.7 kg-CO₂/m³ と排出率が減少する結果となった。この違いは施工機械の大型化による作業効率上昇が原因と考えられる。

各工法の違いについては、掘削+場外処分と掘削+生石灰混合を比較すると、掘削+場外処分は処分先の CO₂ 排出量を考慮しなくとも 1.2~1.5 倍大きくなっており運搬距離の影響が大きいことがわかる。また、掘削+場外処分と原位置浄化（バイオ、フェントン）を比較すると、原位置浄化は掘削+場外処分の約 1/12 ~ 1/8 以下の CO₂ 排出量となり、CO₂ 排出量抑制に非常に効果的である結果が得られた。

一方、地下水対策で揚水工法における機械稼働の CO₂ 排出量が、10 年という期間を設定したこともあり揚水処理全体の約 83 % も占めており、長期間の機械運転は CO₂ 排出量に大きく影響する。

6. 今後の課題

- ①算出の標準化を目指すためには、種々の対策工法や、サイトの特性に応じた CO₂ 排出量を把握に加え、様々な汚染分布のモデルケースの設定等、算定ケースの拡大や積み上げを行う必要である。
- ②算出の精度、方法の合理性の向上を図るためには、他分野で行われている算出方法との整合性を図らなければならないため、国内外の動向を踏まえて算出範囲(システム境界)の設定手法や算出プロセスの詳細の洗い出しを行う必要がある。
- ③CO₂ 排出量の活用を考えた場合、その一つとして地球環境負荷のインベントリ(指標)とすることが考えられる。各種工法評価時に「コスト」「時間」「周辺環境リスク」に加えて CO₂ 排出量を「地球環境負荷」として工法評価を行う方法であるが、そのためには算出方法の一般性や結果の評価方法などの詳細な検討が必要である。

7. 謝辞

本検討に際して、名古屋大学エコトピア科学研究所 環境システム・リサイクル科学研究部門 井上助教に検討の進め方をはじめ、種々の方々にアドバイスや資料の提供を頂くなどご協力を頂いた。ここに記して感謝致します。

【参考文献】

- 1)地球温暖化対策の推進に関する法律施行令 排出係数一覧,環境省 (平成 11 年 4 月 7 日政令第四百四十三号)
- 2)建設機械等損料算定表,(社)日本建設機械化協会(2008)
- 3)全国標準積算資料 土質調査・地質調査 平成 20 年度改訂歩掛版,社団法人全国地質調査業協会連合会(2007)
- 4)土木工事積算基準,(財)建設物価調査会(2008)
- 5)温室効果ガス排出量 算定・報告マニュアル ver2.2,環境省(2008)