

国土交通省総合技術開発プロジェクト

社会資本のライフサイクルを とおした環境評価技術の開発

技術政策課題 : 地球環境への負荷の軽減

関係研究部 : 国土技術政策総合研究所 環境研究部

プロジェクト研究期間 : 平成20年度～平成22年度

1. LCAの必要性(1/2)

- 近年の地球温暖化問題の高まりから、二酸化炭素排出量を把握することが求められている。
- 二酸化炭素総排出量の把握には、LCA(ライフサイクルアセスメント)に基づいた計算手法が必要。



電力



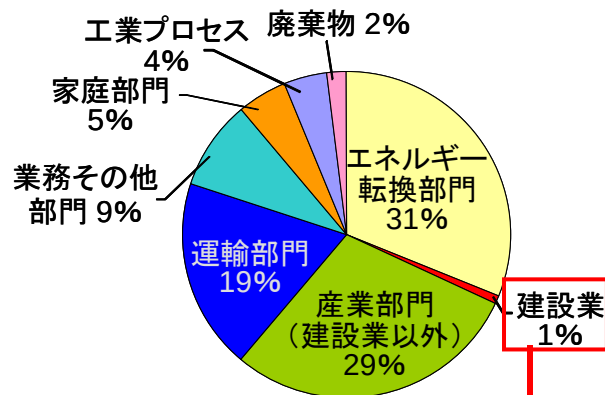
ガソリン



1. LCAの必要性(2/2)

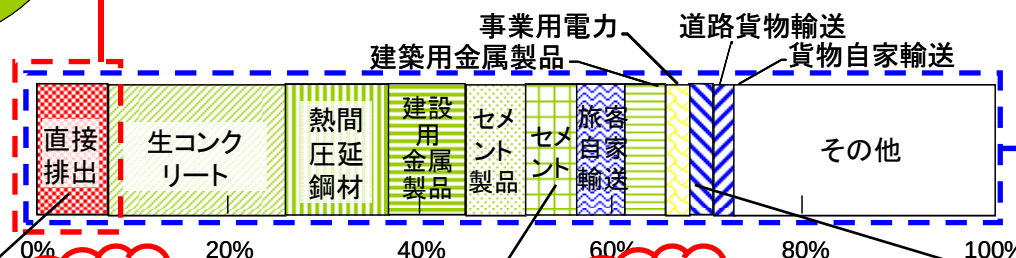
- 建設部門からの二酸化炭素の**直接排出量はわずか1%**。
- **最終需要別排出量**は建設と土木を合わせて**全体の約14%**。
- 資材製造・運搬・現場の直接排出を含めた**二酸化炭素総排出量の計算手法が必要**。

日本の二酸化炭素直接排出量の
部門別内訳

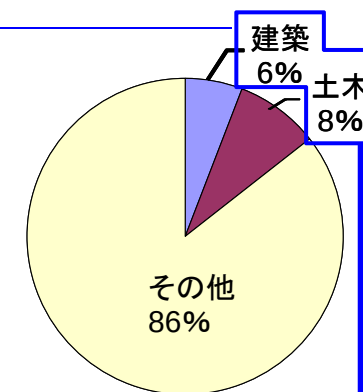


従来対策の対象である直接排出はごく僅か

建設部門の二酸化炭素排出量内訳



日本の二酸化炭素最終需要別排出量
の内訳



出典: 2005年度集計値

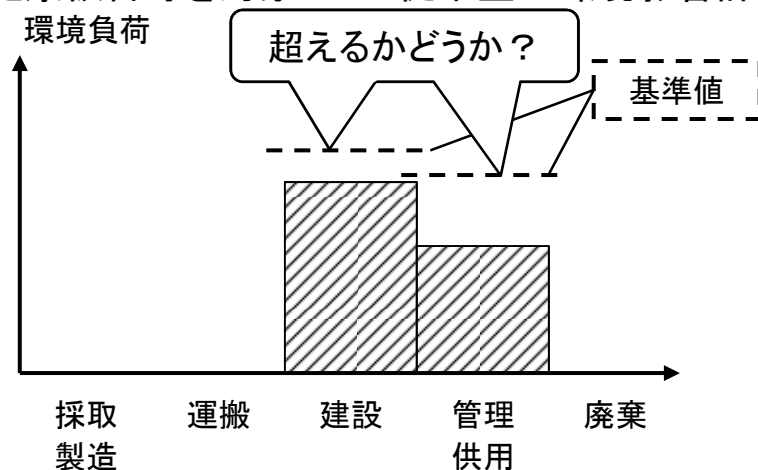
2. 研究の背景

研究の背景

- 環境問題の中心が健康被害・自然保護から二酸化炭素・廃棄物へ移行。
- 基準値との比較を前提とした従来の環境影響評価手法に代わって、総量評価を行なえる手法の開発が必要。

従来のインパクト評価

(健康被害等を対象とした従来型の環境影響評価)

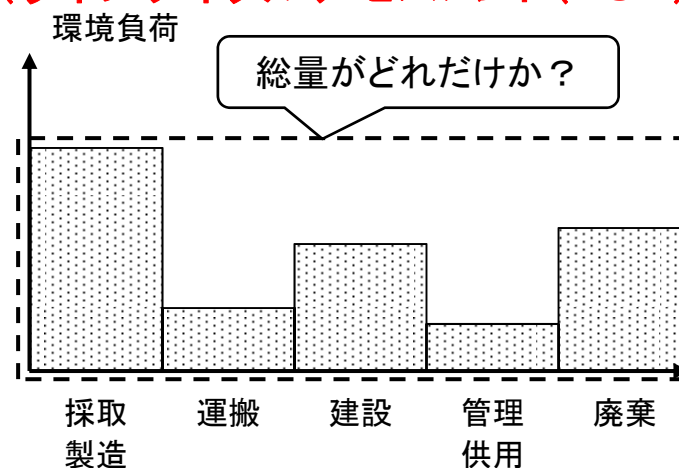


評価の指標:

- ・基準を超えないか?
- (例えば、幹線道路沿いの地区の環境基準
昼間:70dB、夜間:65dB)

持続可能性の評価

(ライフサイクルアセスメント(LCA))



評価の指標:

- ・ライフサイクル全体の総量がどれだけか?
- (例えば、日本全体の二酸化炭素排出量の削減
目標-6%)

3. 主な研究成果・研究体制

成果①: 社会資本LCAに基づく計算手法の枠組みの確立

LCA計算手法に関する課題(主要5課題)を解決し、枠組みを確立。

成果②: 社会資本LCAに用いる計算手法の開発

確立した枠組みに基づいて、LCA計算手法・環境負荷原単位を開発。

成果③: 社会資本LCAの適用性検討

開発したLCA計算手法・環境負荷原単位を用いてLCA計算を実施し、その計算結果に基づいて社会資本LCAの適用性を検討。

研究体制

○ 土木学会に設置した委員会による研究体制(LCA活用方策検討委員会・インベントリ・データ作成手法検討委員会・LCA理論検討委員会・インベントリ・データ・ベース作成委員会・LCI試算ワーキンググループ)を確立し、延べ42回の議論により、社会資本LCAの枠組み・LCA計算手法・環境負荷原単位について精査・検証を受けた。また、具体的なLCA計算結果に基づいたLCAの適用性の検討を行った。

○ 150回以上のヒアリング調査により、業界団体との原単位の確認等を行った。

※ 本研究に関連して38編の論文発表(全文査読5編、概要査読2編、依頼原稿11編、海外発表1編)を行った。

4. 研究成果①:社会資本LCAに基づく計算手法の枠組みの確立(1/4)

報告書p1-25、3-1

従来の二酸化炭素排出量の計算手法

- 従来の二酸化炭素排出量の計算手法は、**金額若しくは資材量に基づく手法**。
- 金額に基づいた計算手法では、二酸化炭素削減対策は**事業費・事業量の削減**が中心となってしまう。
- 資材量に基づいた計算手法では、二酸化炭素削減対策は**資材使用量の削減**が中心となってしまう。



新しい社会資本LCA手法

- **二酸化炭素削減の技術を適切に評価できる新たな手法を開発。**
- 以下の要件を満たしている。
 - 1. 設計レベルから資材選定レベルまで様々な意思決定に適用できる。⇒課題1
 - 2. 異なる業種間で論理的整合がとれている。⇒課題2
 - 3. 二酸化炭素排出量の多寡が判断できる資材等の分類となっている。⇒課題3
 - 4. リサイクル資材の環境負荷の取り扱い。⇒課題4
 - 5. 現場施工と工場生産の取り扱いを同じにする。⇒課題5

4. 研究成果①:社会資本LCAに基づく計算手法の枠組みの確立(2/4)

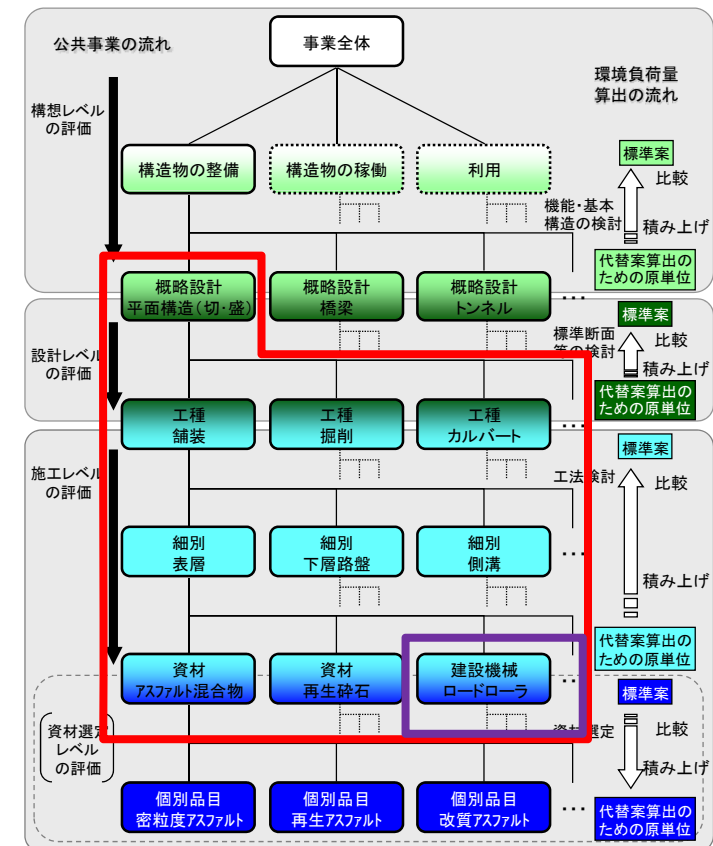
報告書p1-25、3-1

課題1. 設計レベルから資材選定レベルまで様々な意思決定に適用できる。相互に整合がとれた計算を行うためにはどのようにすれば良いか？



設計・施工・資材選定の各意思決定レベルに適用可能な計算手法と資材間で同一の条件の環境負荷原単位を開発。

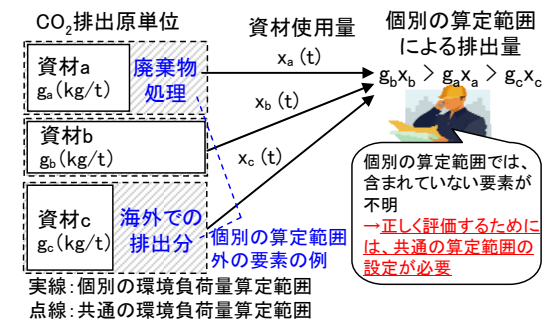
→関連論文「社会資本整備へのLCAの応用に向けた国土技術政策総合研究所の検討」(日本LCA学会誌,Vol.7、平成23年10月)



4. 研究成果①:社会資本LCAに基づく計算手法の枠組みの確立(3/4)

報告書p1-25、2-1

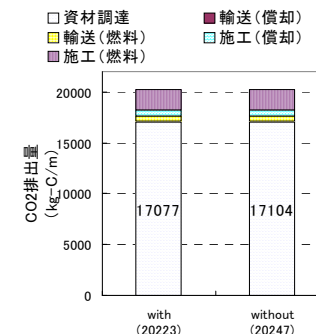
課題2. 異なる業種間で論理的整合がとれている。資材
毎の集計範囲をどのように統一するのか？



未集計分等見込み値を設定。考えられる項目を全て含める。

→関連論文「建設資材の二酸化炭素排出量計算手法の共通化に関する検討」(土木学会論文集G(環境)Vol.67、平成23年10月)

課題3. 二酸化炭素排出量の多寡が判断できる資材等の分類となることが必要。資材の環境負荷原単位をどうやって詳細化するのか？



明らかに優劣を判断できるだけの環境負荷の差がない



被覆・根固工に用いる資材の違い
(with: スラグ, without: 砕石、砂)

業界団体の集計値と総務省発行の産業連関表を組み合わせた社会資本LCA用金額物量混合型産業連関表を作成。

→関連論文「社会資本LCAに用いるインベントリ・データ・ベースの対象品目のスクリーニングに関する検討」(土木学会環境システム研究論文集Vol.38、平成22年10月)

4. 研究成果①:社会資本LCAに基づく計算手法の枠組みの確立(4/4)

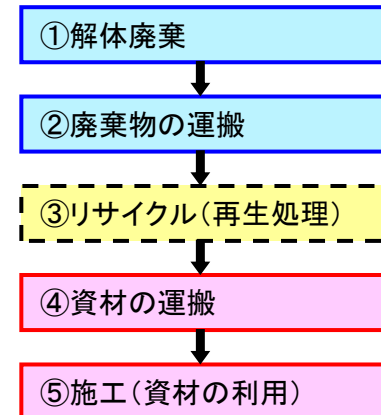
報告書p1-25、2-1

課題4. リサイクル資材の環境負荷の取り扱い。**リサイクルの環境負荷を解体廃棄した現場と資材を使用する現場にどうやって配分するのか？**



リサイクルにおいて解体廃棄(再生処理)プロセスと製造プロセスを一体として取り扱う。

→ 関連論文「社会資本ライフ・サイクル・アセスメントに用いる資材インベントリ・データのシステム境界の考え方について」(**土木学会環境システム研究論文集Vol.38、平成22年10月**)



課題5. 現場施工と工場生産の取り扱いを同じにする。**どのように計算条件を合わせるか？**



建設機械の償却・資材の製造設備の減耗に相当する環境負荷を追加。

→ **現在、土木学会論文の執筆中。**

5. 研究成果②：社会資本LCAに用いる計算手法の開発

5.1 設計レベルの計算手法・環境負荷原単位

報告書p3-21

設計レベルの計算手法

$$ES = \sum_k (W_k \times \overline{EW_k}) + ED$$

ES : 構造物の環境負荷量

k : 工種の種類

W : 各工種の作業量

$\overline{EW}$: 工種当たりの原単位(環境負荷量)

ED : 構造物の設計に係る環境負荷量
(コンサルタント等が設計を行うために使用する電気・ガス・ガソリン等に伴う環境負荷)

例えば、
「舗装道路」= 「下層路盤工」+ 「基層工」+
「上層路盤工」+ 「表層工」+
「フィルター層工」+ 「路床工」

工種当たりの環境負荷原単位(一部)

… 資材の環境負荷に、運搬・建設機械の稼働・建設機械の損耗・仮設材等の環境負荷が加わった原単位

工種	単位 (☆)	CO ₂ 排出 (kg-CO ₂ /☆)	循環資源 最終処分 (kg/☆)	天然資源 投入 (kg/☆)
下層路盤工	m ²	1.74～ 4.61	-642.59 ～0.28	84.35～ 391.03
基層工	m ²	7.88～ 8.68	-46.32～ -46.25	84.69～ 85.87
掘削工(土砂)	m ³	1.92～ 4.52	-0.02～ -0.01	0.90～ 2.51
掘削工(軟岩)	m ³	5.29	-0.02	2.51
上層路盤工	m ²	1.17～ 15.86	-220.50 ～-92.57	43.55～ 169.87
上層路盤基層工	m ²	24.84	-46.64	342.03
表層工	m ²	7.73～ 7.88	-46.25～ -45.30	83.96～ 84.69
表層工(歩道)	m ²	7.16	-34.81	65.08
フィルター層工	m ²	0.76	-192.27	37.84
歩道舗装工	m ²	5.39	-0.14	92.05
盛土工(購入土)	m ³	0.54～ 1.02	-0.004～ -0.003	0.27～ 0.46
盛土工(流用土)	m ³	0.54～ 0.85	-0.003	0.27～ 0.39
路床工	m ³	6.81	-0.03	3.14
路体工	m ³	6.70	-0.02	3.09

5.2 施工レベルの計算手法・環境負荷原単位

施工レベルの計算手法

$$EW = \sum_l (M_l \times \overline{EM}_l) + \sum_m (T_m \times \overline{ET}_m) + \sum_n (C_n \times \overline{EC}_n)$$

EW : 工種の環境負荷量

l : 資材の種類

M : 資材の数量

$\overline{EM}$: 資材の原単位(環境負荷量)

m : 運搬の車種等

T : 運搬距離

$\overline{ET}$: 運搬に係る原単位(環境負荷量)

n : 施工に係る環境負荷(建設機械、仮設材等)の種類

C : 施工に係る数量(掘削量 等)

$\overline{EC}$: 施工に係る原単位(環境負荷量)

資材(一般品)の環境負荷原単位(一部)

… 資材の製造(材料採取等含む)のみの環境負荷の原単位

社会資本用環境負荷原単位一覧 表品目名	単位 (※)	二酸化炭素 排出量 (kg-CO ₂ /※)
アスファルト	t	1.22E+02
アスファルト合材・混合物	t	5.97E+01
新規アスファルト合材・混合物	t	5.87E+01
再生アスファルト合材・混合物	t	5.72E+01
軽油	l	2.95E+00
碎石	t	1.05E+01
再生碎石	t	5.45E+00
軽油	l	2.95E+00
碎石	t	1.05E+01
再生碎石	t	5.45E+00

例えば、

「表層工」=「アスファルト合材」+「資材の運搬」+「ロードローラー等の燃料」+「稼働による損耗」

運搬距離(km) ×
自家輸送の場合1.04、それ以外の場合1.08(kg-CO₂/km)

「ロードローラー等の燃料」は燃料消費量 × 燃料の原単位、「稼働による損耗」は建設機械の重量 × 供用日 × 3.96(kg-CO₂/t・日)で算定

5.3 資材選定レベルの計算手法・環境負荷原単位

資材選定レベルの計算手法

$$EM = \sum_o (R_o \times \overline{ER}_o) + \sum_p (E_p \times \overline{EE}_p) + EO$$

EM : 資材の環境負荷量

o : 原材料の種類

R : 原材料の数量

$\overline{ER}$: 原材料に係る原単位(環境負荷量)

p : 投入エネルギーの種類

E : 投入エネルギーの量

$\overline{EE}$: 投入エネルギーに係る原単位(環境負荷量)

EO : 未集計分等見込み値に係る環境負荷量
(工場に併設する事務所で使用する電気・ガス等の一般に集計されない細かい環境負荷の合計(LCA用IO表から推計))

例えば、

「アスファルト合材」＝
「工場で使用する電力」＋「ストレートアスファルト」＋
「砂利・碎石」＋「A重油」＋「軽油」＋
「未集計分等見込み値」……

資材(個別品)の環境負荷原単位(アスファルト新規合材)

	産業連関表部門・原燃料項目	単位	原単位	新規合材	
				財・サービス投入量	CO2排出量
		※	kg-CO2/※	※/t	kg-CO2/t
	電力 事業用電力	kWh	0.464	10.172	4.72
積み上げ計上項目	アスファルト	t	107.500	0.059	6.34
	砂利・採石<粗砂、細砂>	t	11.498	0.251	2.89
	砕骨材<6号砕石、7号砕石、スクリーニングス>	t	7.959	0.684	5.45
	石灰石<石粉(フィラー)>	t	5.402	0.031	0.17
	がれき類(アスファルトコンクリート塊)<再生骨材の原料>	t	0.000	0.000	0.00
	積み上げ計上項目計				21.11
間接環境負荷	道路貨物輸送(除自家輸送)	円	0.005	321	1.51
	うち砂利・採石相当分	トンキロ	0.216	1.91	0.41
直接環境負荷	A重油	l	2.710	6.778	18.37
	B重油・C重油	l	3.002	1.932	5.80
	灯油	l	2.491	0.055	0.14
	軽油	l	2.589	0.320	0.83
	積み上げ計上項目計				25.13
	都市ガス	m3	2.243	0.066	0.15
	鉱さい(高炉スラグ)(控除)	t	-37.087	0.001	-0.05
	その他				0.00
	未集計分見込み値計				0.10
	直接環境負荷量計				25.23
生産環境負荷	うち控除量				-0.05
	生産環境負荷量計				55.34
	うち資本減耗				3.24
間接環境負荷	道路	トンキロ	0.216	9	1.94
	卸	円	0.001	741	0.96
	小売	円	0.002	0	0.00
	鉄道	円	0.006	1	0.01
	沿海	円	0.013	21	0.28
	港湾	円	0.002	63	0.14
	航空	円	0.011	0	0.00
	利用運送	円	0.002	16	0.03
	倉庫	円	0.003	7	0.02
	未集計分見込み値計				1.43
出荷環境負荷	出荷環境負荷量計				3.38
	うち資本減耗				0.41
	うち控除量				-0.01
	環境負荷原単位				58.74

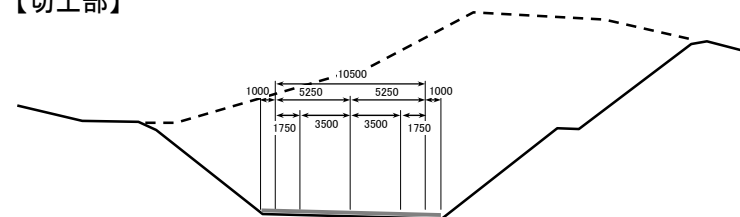
6. 研究成果③:社会資本LCAの適用性検討

6.1 施工レベルの計算事例-土工-

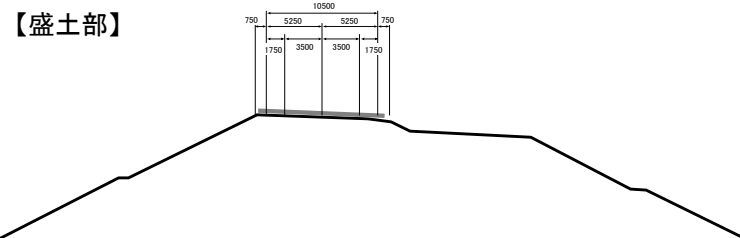
報告書p4-27

一般的な土工工事イメージ

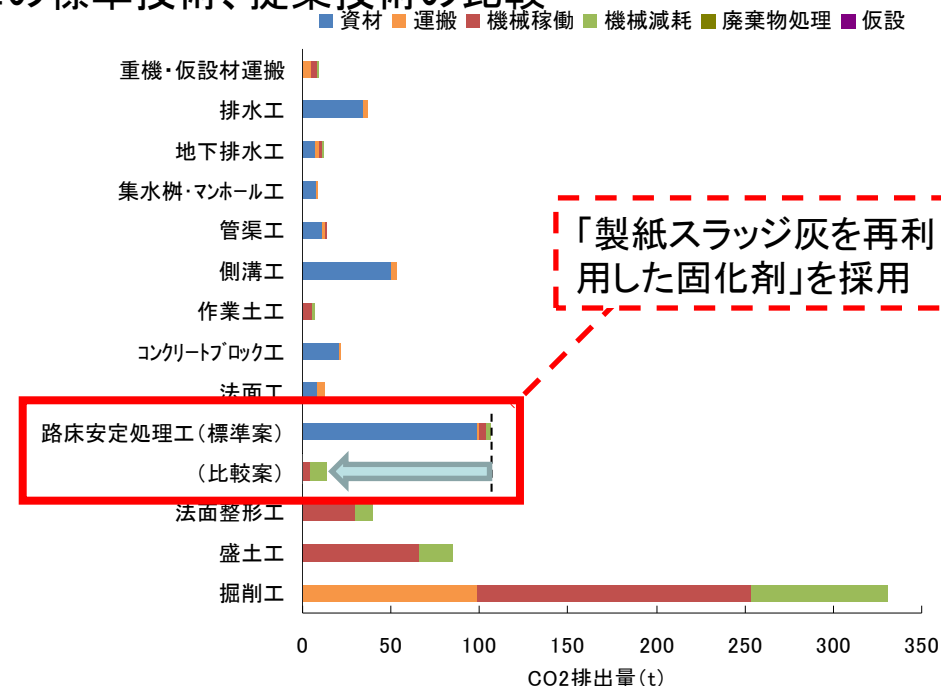
【切土部】



【盛土部】

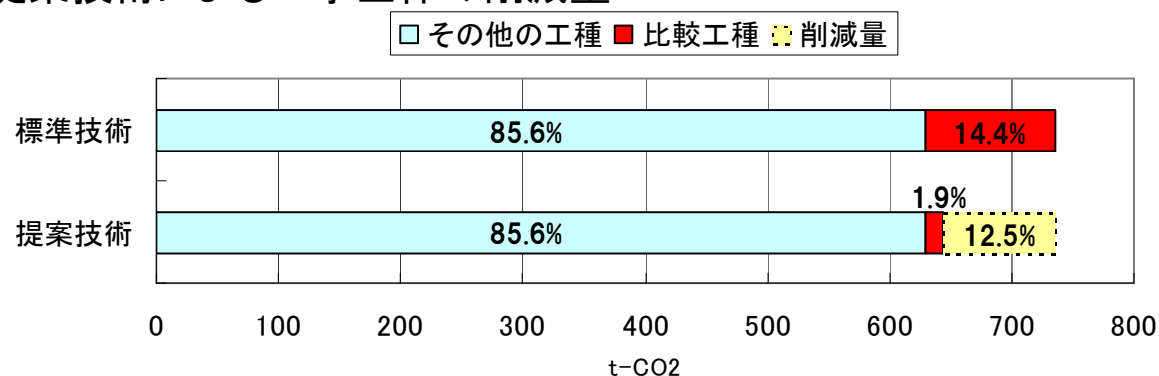


工種毎の標準技術、提案技術の比較



「製紙スラッジ灰を再利用した固化剤」を採用

提案技術による工事全体の削減量



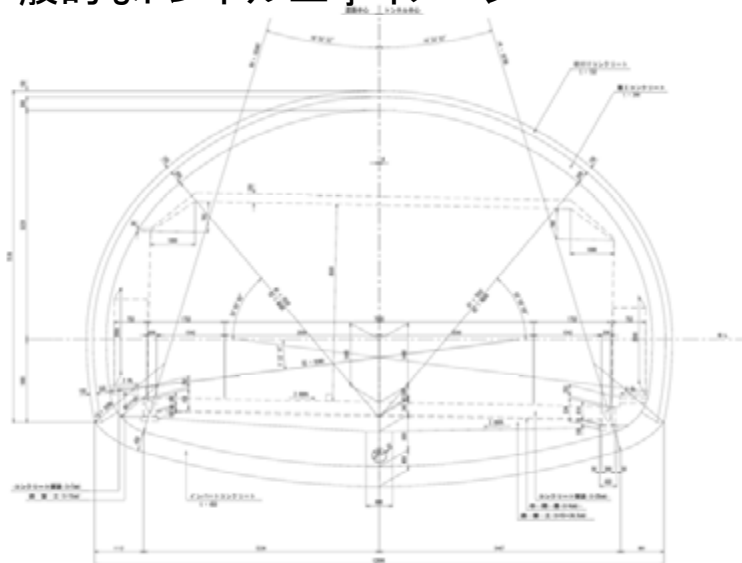
○ 工事全体では、二酸化炭素
約13%削減。

新しい価値

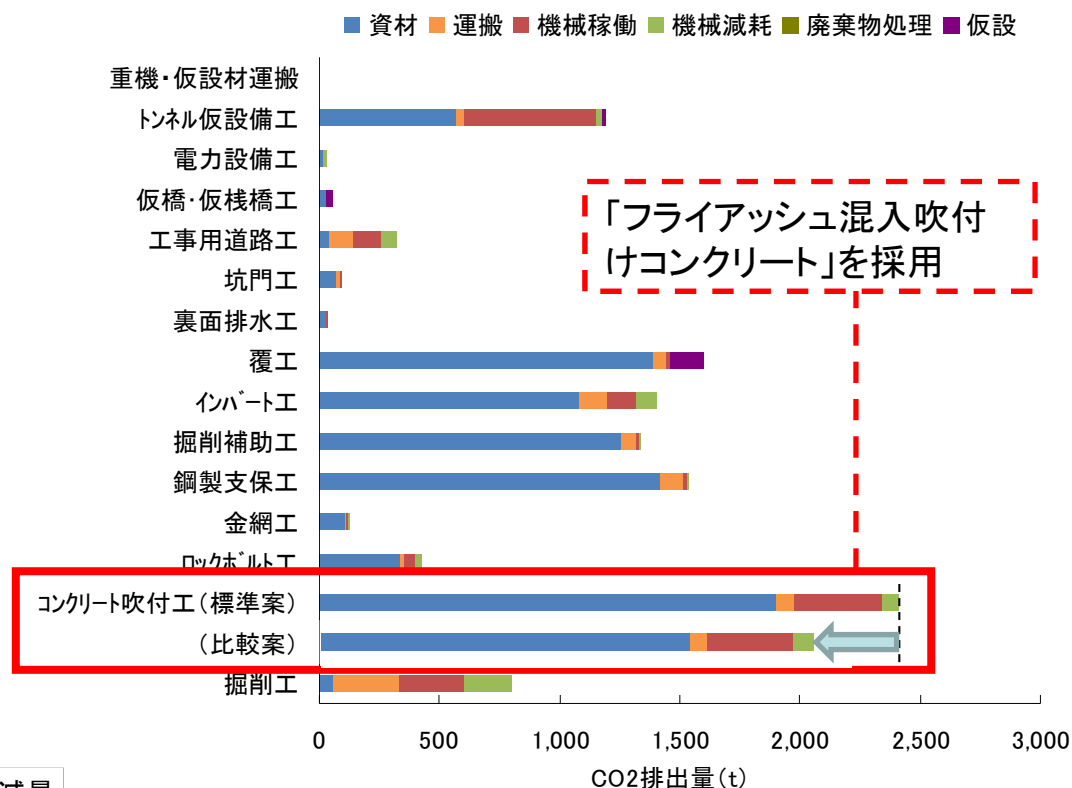
製紙スラッジ灰の最終処分量削減 + 二酸化炭素排出量の削減

6.2 施工レベルの計算事例-トンネル-

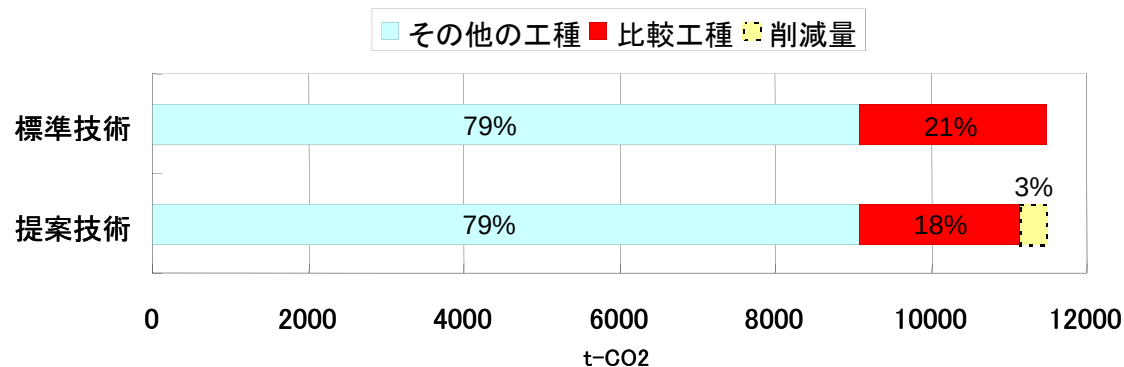
一般的なトンネル工事イメージ



工種毎の標準技術、提案技術の比較



提案技術による工事全体の削減量



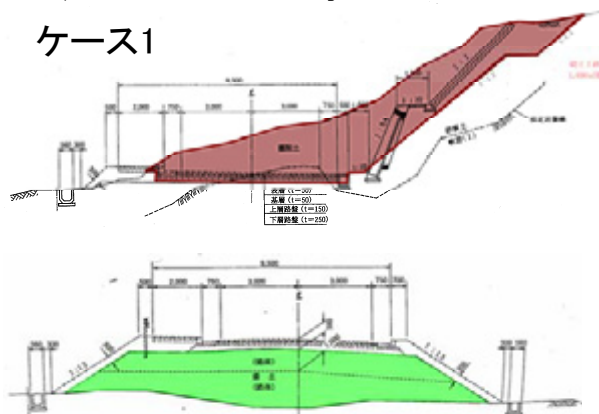
○ 工事全体では、二酸化炭素
約3%削減。

フライアッシュの最終処分量削減 + 二酸化炭素排出量の削減

6.3 設計レベルの計算事例-道路(平面道路)-

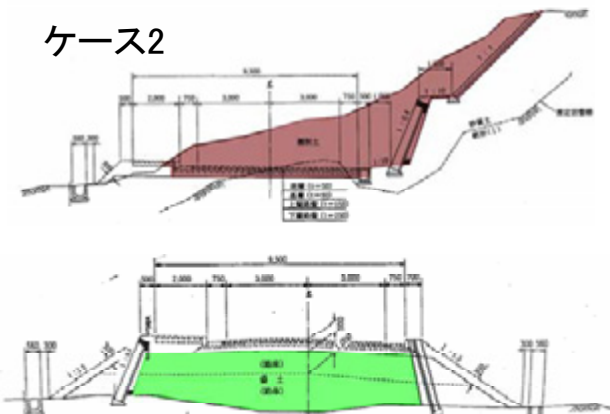
一般的な土工工事イメージ

ケース1



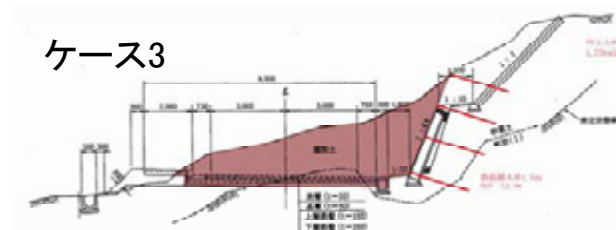
切土:のり面 盛土:のり面
(切盛土量が最大)

ケース2

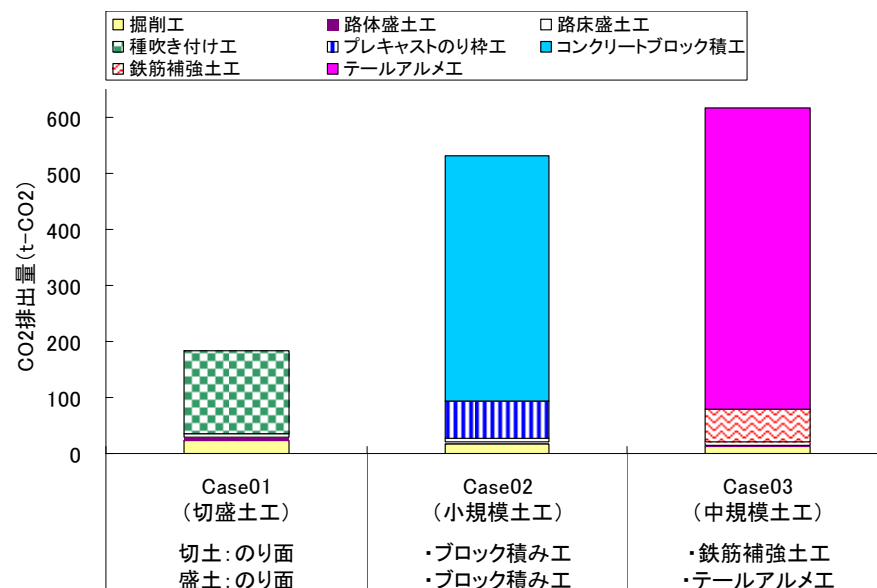


切土:ブロック積み 盛土:ブロック積み

ケース3



切土:鉄筋補強土工 盛土:テールアルメエ
(切盛土量が最少)



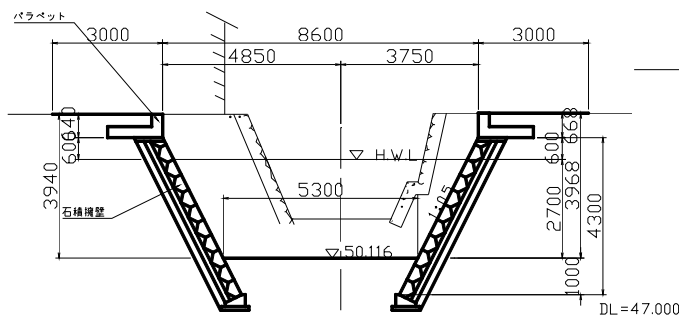
○鉄やコンクリートの使用量が
少ない**ケース1**の環境負荷が
最も小さい。

従来の構造形式の選定指標に「**二酸化炭素排出量**」が追加できる。

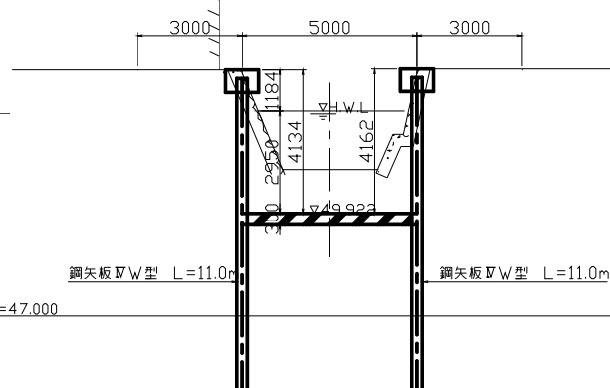
6.4 設計レベルの計算事例-河川(河川護岸)-

一般的な河川護岸工事イメージ

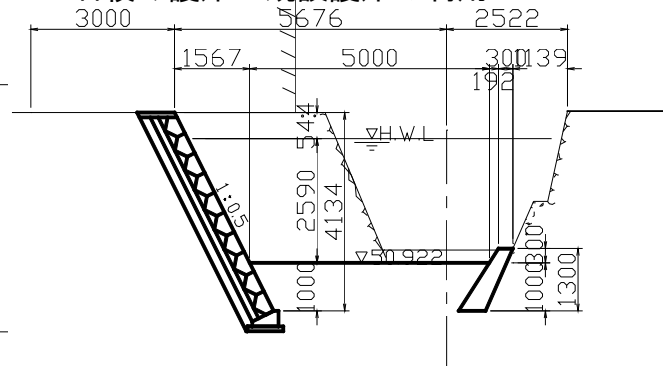
ケース1(直轄区間)
施工延長300m 河床勾配1/5000
石積み護岸



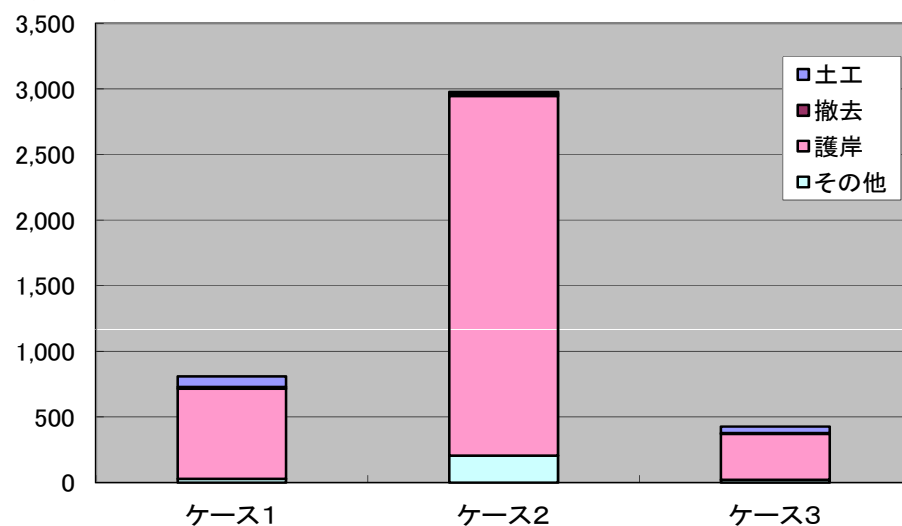
ケース2(県管理区間)
施工延長306m 河床勾配1/736
鋼矢板護岸



ケース3(県管理区間)
施工延長300m 河床勾配1/65
石積み護岸+既設護岸の利用



CO2排出量
(t-CO2)



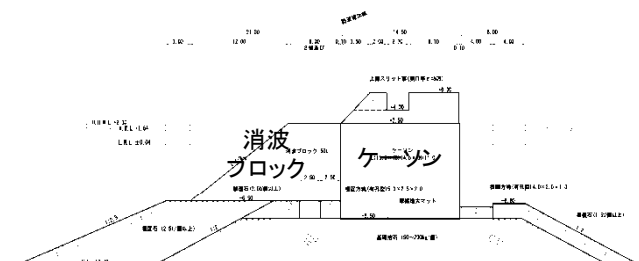
○ 既設護岸を利用としたケース3の環境負荷が最も小さい。

従来の構造形式の選定指標に「二酸化炭素排出量」が追加できる。

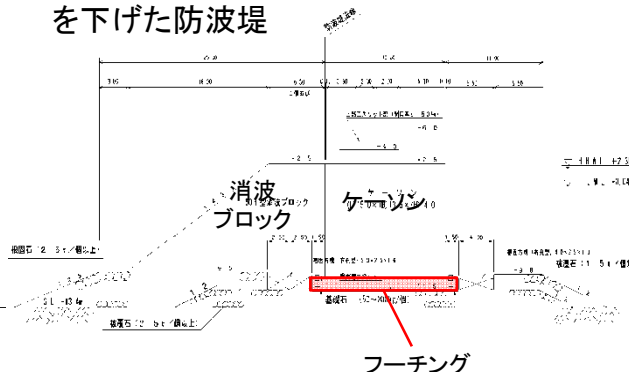
6.5 設計レベルの計算事例-港湾(防波堤)-

一般的な防波堤工事イメージ

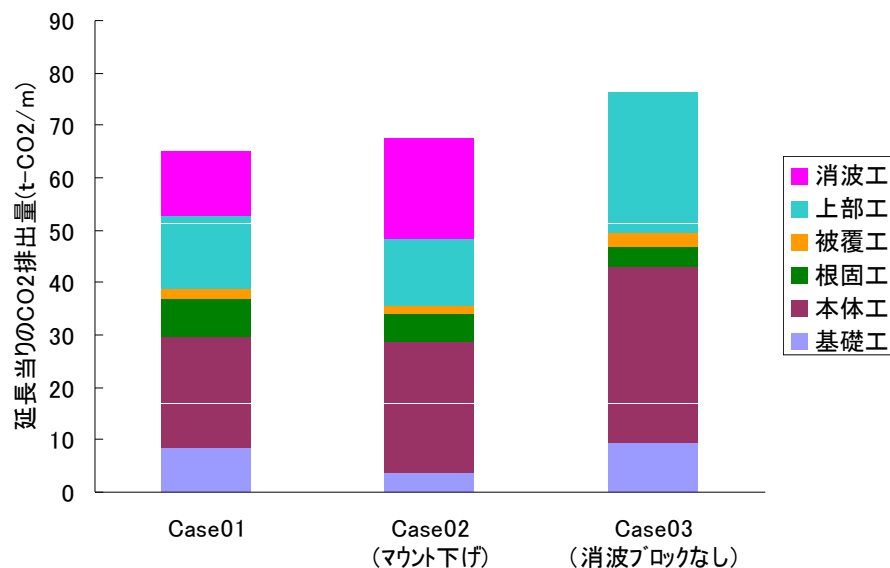
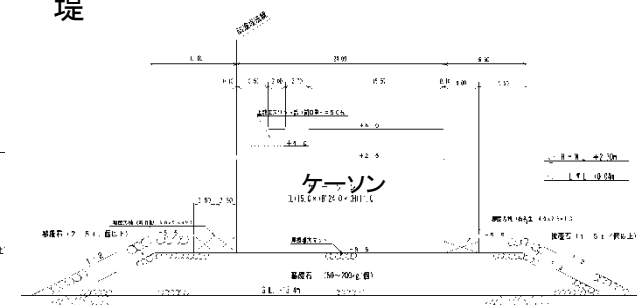
ケース1
消波ブロックとケーソンによる
一般的な防波堤



ケース2
ケーソンの底面にフーチング
を設けて、ケーソンのマウント
を下げた防波堤



ケース3
ケーソンの重量を増やし、消
波ブロックを設置しない防波
堤



○ ケース1の環境負荷が最も小さい。

従来の構造形式の選定指標に「二酸化炭素排出量」が追加できる。

6.6 社会資本LCAの適用性

- 工事事例を対象にしたLCA計算結果によって、設計・施工・資材選定の各意思決定レベルで二酸化炭素排出量の算出が可能であることを確認。
- これまで二酸化炭素削減施策と考えられていなかった施工方法についても、新たな価値として二酸化炭素の排出削減効果があることを把握。
- 従来の構造形式の選定指標（施工性・経済性等）に「二酸化炭素排出量」の追加が可能であることを確認。

⇒ LCAの計算に当たっては、日本建設業連合会、建設コンサルタンツ協会の協力を得た。そのことにより、本技術の実用性向上を図ることができた。

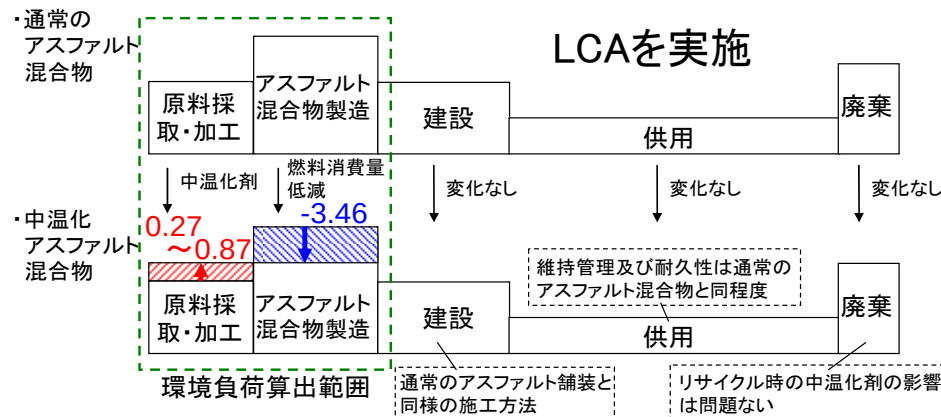
7. 研究成果の活用等

○ 環境物品等の調達の推進等に関する法律(グリーン購入法)の公共工事の特定調達品目の環境面の評価に活用。

特定調達品目に指定された中温化アスファルトの例



中温化舗装
(約130°C、通常の加熱
アスファルトは約160°C)



施工性の向上 +
二酸化炭素排出量の削減

⇒ 新たな技術に十分対応
できた。

今後の活用の予定

- 道路環境影響評価への導入に向けてマニュアル作成中。
- 舗装の技術指針である舗装性能評価法(別冊)の改訂に本成果を反映。

8. 研究成果の公表

- 今回発表した「研究結果」及び「各種の原単位」は、「国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室」のホームページで公表。また、印刷物として配布。



The screenshot shows the homepage of the Road Environment Research Laboratory. The header includes the NILIM logo and the text '国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室'. The main content area is titled '研究室概要' (Research Laboratory Overview) and contains a paragraph about the laboratory's research focus on road environment issues. Below this, there is a '新着情報' (New Information) section with a date '2011.11.01' and a link to '発表論文、記事等にH23上半期分を追加しました。' (Added H23 first half publication data to published papers, articles, etc.). There is also an 'お問い合わせ' (Contact Us) section with contact information: '〒305-0804 茨城県つくば市堀1 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室' and 'E-mail : do-kan@nilim.go.jp'. The footer includes the text 'アクセス数 0+7720' and 'All Rights Reserved, Copyright (C) 2002, National Institute for Land and Infrastructure Management'.

<http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/index.htm>



The image shows the cover of a printed report. The title is '社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する報告' (Report on the Development of Environmental Evaluation Technology Based on the Life Cycle of Social Capital). Below the title is the subtitle '・社会資本 LCA の実践方策・' (Practical Strategies for Social Capital LCA). The cover features a grid of nine small images showing various urban and natural landscapes. At the bottom, it says '平成 24 年 2 月' (February 2012) and includes the logos of the '国土交通省国土技術政策総合研究所' (National Institute for Land and Infrastructure Management) and the '公益社団法人土木学会' (The Japanese Society of Civil Engineers).

印刷物

今後、以下の課題を解決することによって、**社会資本LCAの一層の普及が推進される**と考える。

- **構造物の長寿命化施工等も対象とした評価手法の開発**
⇒ 構造物の長寿命化施工等を対象とした評価を行うことへの要請が高いことから、これに対応した評価手法の開発を行う。
- **二酸化炭素排出削減の貨幣価値換算の検討**
⇒ 二酸化炭素1t削減に係る貨幣価値に基づいた評価を行うことへの要請が高いことから、新たな貨幣価値換算手法の検討を行う。



国土技術政策総合研究所において、これらの課題を継続検討中。

10. まとめ(国土交通省研究開発評価指針における「評価の観点」の達成状況)

■ 必要性(科学的・技術的意義、社会的・経済的意義、目的の妥当性等)

社会資本整備における低炭素化の実現のためには、各種の取り組みを適切に評価できる手法が必要である。従来の手法は事業費・事業量がベースとなっており、施工業者の工夫等に基づく技術の評価が出来なかった。そのため、それぞれの技術を適切に評価できる新たな手法の開発が求められていた。

■ 効率性(計画・実施体制の妥当性等)

評価手法の開発に当たっては、学識者の専門的な知見、コンサルタント・ゼネコンが実際に評価出来るかの確認、資材製造者の理解が必要である。そのため、土木学会に各関係者が参画する検討委員会を設置し、本研究の精査・検証を行った。

■ 有効性(目標の達成度、新しい知の創出への貢献、社会・経済への貢献、人材の養成等)

社会資本LCAを開発したことにより、技術の評価が可能となった。これによって、従来、二酸化炭素削減対策として評価されてこなかった一部の技術についても二酸化炭素削減の効果があることがわかった。今後、社会資本LCAを社会制度に導入することによって、環境負荷低減技術の採用が進むことが期待される。また、検討委員会の開催・論文の投稿により社会資本LCAの一般への普及を図ることが出来た。

■ 目標の達成度

A: 十分に目標を達成できた

B: 概ね目標を達成できた

C: あまり目標を達成できなかった

D: ほとんど目標を達成できなかった

※ 関連する動きとして、社会資本LCAの道路環境影響評価への導入・グリーン購入法への導入・舗装性能評価法(別冊)の改訂に伴う導入を進めている。