

# 土木工事二酸化炭素排出量評価システムの 開発と実用化

米倉博志<sup>1</sup>・鈴木道哉<sup>2</sup>・江渡正満<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 清水建設株式会社 土木東京支店 (〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3)

<sup>2</sup>清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

<sup>3</sup>正会員 清水建設株式会社 土木事業本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3)

本年2月に京都議定書が発効し、これまで以上に二酸化炭素排出量の削減が求められている。建設3団体でも施工段階で発生する二酸化炭素量の目標値を掲げ、削減活動に取り組んでいる。これまで、関連研究機関において、二酸化炭素排出量の削減に向けての調査・研究が行われてきているが、現状では、土木施工分野において、建設時に発生する二酸化炭素の排出量および削減策の実施に伴う排出削減量を、工事全体で精度よく算定・評価する手法は確立されていない。このような状況にあって、清水建設ではこのほど幅広い工種で、工事全体の二酸化炭素排出量と削減量をシミュレーションできる「土木工事二酸化炭素排出量評価システム」を開発・実用化した。本報告では、本システムの概要と活用事例を紹介する。

**Key Words :** CO<sub>2</sub> Estimation Software for Civil Engineering, CO<sub>2</sub> reduction

## 1. はじめに

1997年、わが国の京都で開催された「地球温暖化防止京都会議」(COP3)において、約束された京都議定書がロシアの批准により、本年2月16日に発効した。京都議定書は、国際的に温室効果ガス排出削減を規定した世界唯一の枠組みであり、その発効により、世界は長期にわたる地球温暖化対策の第一歩を踏み出したと言える。

わが国においては、京都議定書の発効を受けて、本年4月に、地球温暖化対策要綱を引き継ぐ「京都議定書目標達成計画」を策定し、目標達成に向けて具体的な新たな取組みが開始された。クールビズという国民運動もその一環である。

建設に係る二酸化炭素(以下CO<sub>2</sub>)排出量は、わが国の全産業の約2割を占めるといわれており、建設業界においても、日建連・土工協・建築業協会の3団体は「建設業の環境保全自主行動計画」<sup>1)</sup>を策定し、施工段階で排出するCO<sub>2</sub>を1990年度を基準年度として2010年度までに施工高当りの原単位で12%削減すべく取組みを行っている。建設分野においても、早急に具体的かつ実効力のある施策が求められている。

国土交通省、土木学会、日本建築学会、土木研究

所、日本建設機械化協会などの関連機関・団体では、CO<sub>2</sub>排出量の削減に向けて、これまで調査・研究<sup>2)</sup>が積極的に行われている。しかしながら、現在まで土木施工分野においては、削減量を個別に計算する手法はあっても、建設時に発生するCO<sub>2</sub>の排出量および削減策の実施に伴う排出削減量を、工事全体で精度高く評価する手法は確立されていない。

清水建設においては、建築分野でCO<sub>2</sub>の排出量、削減量をシミュレーションできる「GEM-21」<sup>3)</sup>というツールを既に開発・実用化しているが、このほどこの土木版ともいえる「土木工事CO<sub>2</sub>排出量評価システム「GEM-21C」(ジェム21シー)」<Global Environmental Model/Management-21 for Civil Engineering>を開発・実用化した。

本文では、以下「GEM-21C」の概要、活用事例、今後の展開について述べる。

## 2. 「GEM-21C」の概要

### (1) 全体概要

本システムは、Windows 対応のパソコンを使ったシミュレーションシステムで、特に土木工事の設計段階、施工段階において使用するものである。工種を選択し、施工法、使用資材、工事数量、工事金額

などを選択・入力することにより工事全体のCO2排出量を、またCO2削減策を入力することによりCO2排出削減量を簡単に精度よく算定できるように作られている。

以下に本システムの主な特徴を示す。

- ①一般地上構造物、土地造成、トンネル、橋梁、シールド、ダム、LNG地下タンクなど、ほぼ全工種の土木工事で活用できる。
- ②工種ごとに、入力データを工事請負金額や工事項目の主要数量など数十項目に絞り込んでいるため、わずか2～3時間の簡単なデータ入力ですぐに計算結果が得られる。
- ③はじめての人でも使いやすいように市販の表計算ソフト「エクセル」をベースとして作成している。
- ④施工はもとより、使用資材の製造過程で発生するCO2も含んだ総排出量を計算できる。
- ⑤CO2削減手法がメニュー化されているので、さまざまな削減対策が簡単に検討できる。
- ⑥グラフ出力ができるようになっており、結果がビジュアルに表示できる。

なお、計算に用いたもともとのCO2の原単位は「GEM-21」との整合性を考え、日本建築学会LCA指針小委員会が作成した原単位のデータベースを使

用している。

また、工事単位のCO2発生量原単位（たとえば、コンクリート打設1m<sup>3</sup>あたりのCO2発生量原単位）は、「国土交通省土木積算基準」（建設物価調査会）、「建設機械等損料算定表」（日本建設機械化協会）などの資料をもとに計算を行い設定している。

本システムを活用する際の基本フローを図-1に示す。次に、このフローに従って、本システムの活用方法を説明する。

#### (1) 対象工種の選択

CO2排出量を算定しようとする工事の工種を選択する。工種は複数を選択することも可能である。工種を選択することにより、選択された工種が抽出され、入力シートにその入力項目が一覧表の形で出てくる。

#### (2) 主要工事・主要資材のCO2排出量の算定

たとえば、一般地上構造物においては、鉄筋・型枠・コンクリート工事、杭工事、地盤改良工事、土工事、またシールド工事においては、セグメント製作工事、シールド工事（シールド機製作を含む）などの主要工事・主要資材のCO2排出量を計算する。

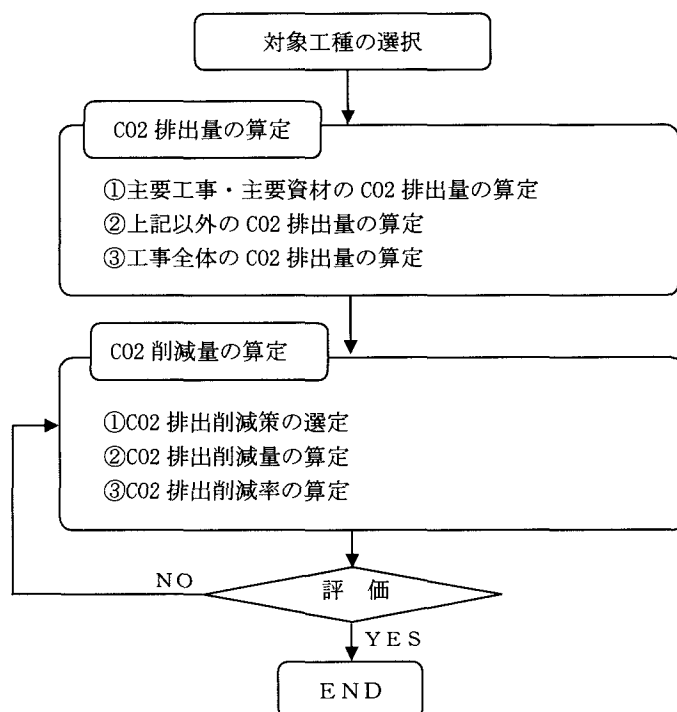


図-1 システム活用の基本フロー

主要工事・主要資材はおおむね、全工事金額の8割～9割以上をカバーすることを目安にプログラムを作っている。資材の使用については、多くの機械などに比べ多量のCO<sub>2</sub>を発生することが分かっているため、なるべく漏れなく拾い上げるように努めた。

CO<sub>2</sub> 排出量の計算方法をコンクリート工事を例に示す。

工事において、コンクリートを使用（打設）した場合、以下のような段階でおおの CO<sub>2</sub> を排出する。

#### ①生コンクリートの製造・輸送の段階

1) 砂利・碎石の掘削・輸送に伴う軽油などの消費

2) セメントの製造・輸送に伴う電力・軽油などの消費

3) 生コン工場の稼働に伴う電力・軽油などの消費

4) 生コンの現場への輸送に伴う軽油などの消費

#### ②現場での生コン打設段階

1) コンクリート打設に用いる重機などの使用に伴う軽油・電力などの消費

（たとえば、コンクリートポンプ車）

コンクリートポンプ車を利用したコンクリート 1m<sup>3</sup> あたりのわれわれの計算では、②の現場での生コン打設段階の CO<sub>2</sub> 排出量は 4.8kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> で全体の 1%であり、①の生コンの製造・輸送段階の CO<sub>2</sub> 排出量は 472kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> で全体の 99%となり圧倒的に製造段階・輸送段階の排出量が多いことが分かった。

#### (3) 主要工事以外の工事などの CO<sub>2</sub> 排出量の算出

全体工事金額の中で 1～2 割弱を占める主要工事以外の仮設工事などの雑工事、使用量がきわめて少ない雑材料については、それらの合計工事金額にあらかじめ用意してある単位工事金額あたりの CO<sub>2</sub> 排出量原単位を乗じることによって算出する。

#### (4) 工事全体の CO<sub>2</sub> 排出量の算出

主要工事・主要資材の CO<sub>2</sub> 排出量と主要工事以外の工事などの CO<sub>2</sub> 排出量を合計したものが工事全体の CO<sub>2</sub> 排出量となる。

#### (5) CO<sub>2</sub> 排出削減策の選定

CO<sub>2</sub> 排出量を削減するために、まず削減策の選定を行う。本システムでは、設計段階で使えるメニューから、現場努力により実施できるメニューまで幅広く用意している。

削減策メニューのいくつかを以下に示す。

・ダンプトラックのアイドリングストップ

- ・バックホウの適正整備
- ・搬出土量の削減
- ・残土の運搬距離短縮
- ・廃棄物の削減
- ・再生鋼材の利用
- ・高炉セメント B 種の利用
- ・フライアッシュセメント B 種の利用
- ・高強度セグメントの利用
- ・代替型枠の利用
- ・変断面連壁の利用
- ・SMW 本体一体化

#### (6) CO<sub>2</sub> 排出削減量の算定

各削減策には、CO<sub>2</sub> 排出削減量の原単位を持っており、選択された各削減策ごとに基本数量を入力すれば、CO<sub>2</sub> 排出削減量が算定できる。

また、設計段階での検討で使用資材量が変更される場合は、CO<sub>2</sub> 排出量算定プログラムの中で、資材の使用量を変更することにより CO<sub>2</sub> 排出削減量を計算することができる。

#### (7) CO<sub>2</sub> 排出削減率の算定

CO<sub>2</sub> 排出削減率の算定は、CO<sub>2</sub> 排出削減量を CO<sub>2</sub> 排出量で除することで算定できる。

この場合、CO<sub>2</sub> 排出量を 1990 年度の標準的な施工方法で算定しておけば、「京都議定書」、「建設業の環境保全自主行動計画」などで設定されている 1990 年度を基準年度とする削減率を算定することが可能となる。

#### (8) 算定結果の評価

CO<sub>2</sub> 排出量、CO<sub>2</sub> 排出削減量、CO<sub>2</sub> 排出削減率などを算定することにより、どのような対策がどの程度の効果を生むか、目標値を設定した場合は、どのような対策の組合せを実施すれば目標値を達成できるかの評価が可能となる。

工事着手前の施工方法検討段階でいろいろなケースのシミュレーションが可能となる。

仮に、シミュレーションした結果が当初の目標値に達成しない場合は、再度削減策の選定の見直しや数量の変更を行い、シミュレーションを行う。

計算プログラムができ上がっているため、項目の追加や数値を入れ替えるだけで簡単に結果を得ることができる。算定結果については、グラフ出力を自動的に行うように作られており、ビジュアルに結果を見ることができる。

### 3. 本システムの活用事例

#### (1) 対象工事の概要

本システムを活用して、現在施工中のシールド工事でCO2排出量とCO2排出削減量を算定してみた。

対象工事の概要を以下に示す。

●工種：地下鉄シールド工事

●工事概要：泥水シールド工事

掘削外径 6.76m

トンネル施工延長 982m

シールド機重量 300t

コンクリートセグメント

コンクリート量 6,116m<sup>3</sup>

●工期：2004年～2006年

#### (2) CO2排出量の算定

本工事の積算資料等を参照しながら、本システムに組み込まれている項目に従って、主要工事・主要資材のCO2を算定した。入力画面の一部を図-2に示す。

|                  |             |
|------------------|-------------|
| A 主要工事等によるCO2排出量 | 9,523 tCO2  |
| B 主要工事等の工事金額     | 2,356 百万円   |
| C 全体工事金額         | 2,610 百万円   |
| D C-B            | 254 百万円     |
| E Dより計算されるCO2排出量 | 1,027 tCO2  |
| F 工事全体のCO2排出量    | 10,550 tCO2 |

| 項目          | 単位             | 入力値   |
|-------------|----------------|-------|
| トンネル延長      | m              | 982   |
| 掘削外径        | m              | 6.76  |
| シールド機重量     | t              | 300   |
| コンクリートセグメント | m <sup>3</sup> | 6,116 |
| 鉄筋          | t              | 1,027 |
| 鋼材          | t              | 1,027 |
| その他         | t              | 0     |

図-2 CO2排出量の計算(入力画面の一部)

#### (3) CO2排出削減量の算定

CO2排出削減策として、取組みやすい以下の対策を採用することにした。

- ・昼休み事務所の一斉消灯
- ・ダンプトラックのアイドリングストップ
- ・バックホウのアイドリングストップ
- ・ダンプトラックの適正整備
- ・バックホウの適正整備

削減策のメニュー選定画面を図-3に示す。

図-4にCO2排出削減量を計算するための入力画面の一部を示す。

以下は削減対象項目です。一つ以上選択して下さい。

- ☐ 昼休み事務所の一斉消灯
- ☐ 主要工事等によるCO2削減
- ☐ 主要工事等の工事金額
- ☐ 全体工事金額
- ☐ C-B
- ☐ Dより計算されるCO2削減
- ☐ 工事全体のCO2削減

図-3 CO2排出削減量の計算(削減策の選定)

| 削減策                | 削減量      | 削減率  |
|--------------------|----------|------|
| 昼休み事務所の一斉消灯        | 100 tCO2 | 1.0% |
| ダンプトラックのアイドリングストップ | 200 tCO2 | 2.0% |
| バックホウのアイドリングストップ   | 300 tCO2 | 3.0% |
| ダンプトラックの適正整備       | 400 tCO2 | 4.0% |
| バックホウの適正整備         | 500 tCO2 | 5.0% |

図-4 CO2排出削減量の計算(入力画面の一部)

#### (4) 算定結果と評価

CO2排出量の算定結果を表-1に示す。

表-1 CO2排出量の算定結果

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| A 主要工事等によるCO2排出量   | 9,523 tCO2  |
| B 主要工事等の工事金額       | 2,356 百万円   |
| C 全体工事金額           | 2,610 百万円   |
| D C-B              | 254 百万円     |
| E Dより計算されるCO2排出量   | 1,027 tCO2  |
| F 工事全体のCO2排出量(A+E) | 10,550 tCO2 |

工事全体のCO2排出量の内訳は図-5のようになった。セグメント(コンクリート2次製品)、シールド本体、セグメント(鋼材・鉄筋)といった資機材が上位を占めることがわかった。

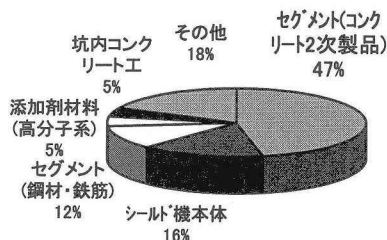


図-5 CO2 排出量の内訳

工事全体の CO2 排出量を工事単位数量でみると、以下のようになった。

シールド施工延長 1m あたり 10.7 tCO2

シールド掘削 1m3 あたり 299 kgCO2

CO2 排出削減量の計算結果を表-2 に示す。

表-2 CO2 排出削減量の計算結果

|                      |              |       |
|----------------------|--------------|-------|
| A 昼休み事務所の一斉消灯        | 395 kgCO2    | 1.4%  |
| B ダンプトラックのアイドリングストップ | 14,439 kgCO2 | 50.2% |
| C バックホウのアイドリングストップ   | 3,109 kgCO2  | 10.8% |
| D ダンプトラックの適正整備       | 8,994 kgCO2  | 31.3% |
| E バックホウの適正整備         | 1,836 kgCO2  | 6.4%  |
| CO2 排出削減量の合計         | 28,774 kgCO2 | 100%  |

CO2 排出削減率は、0.273%となった。

#### 4. 本システムの今後の展開

現時点では、本システムの開発を完了し、実工事での活用を始めたところであるが、今後は以下の展

開を図っていきいたい。

- ①本システムの活用事例を増やし、多くの事例からデータ収集、分析を行い、CO2 排出量削減の方策についての研究を進める。
- ②本システムを活用した CO2 排出量削減の研究成果を実工事に活用し、CO2 排出量削減活動を積極的に進めていく。
- ③CO2 排出量削減策のメニューの拡大を図る。
- ④環境マネジメントシステムの環境影響評価の一手法としての活用を図る。

#### 5. おわりに

地球温暖化がこのまま進み、最悪のケースをたどれば2100年には地球の平均気温が5.8℃上昇するといわれている。CO2排出量の抑制は、われわれ建設業界はもとより国民一人ひとりの責務といえる。

本システムを活用することにより、初めて建設工事全体の CO2 排出量の把握が可能となった。今後はさらにシステムの改良を図り、CO2 排出量の削減に貢献していきたい。

#### 参考文献

- 1) (社)日本建設業団体連合会、(社)日本土木工業協会、(社)建築業協会：建設業の環境保全行動計画 第3版、2003.2.
- 2) 国土交通省：建設施工における地球温暖化対策の手引き、2003.
- 3) 鈴木道哉、矢川明弘、東嶋武：建築版ライフサイクルアセスメントツールの開発と全社的環境負荷削減活動への展開、土木学会第32回環境システム研究論文発表会講演集、pp. 525-530、2004.10.

## DEVELOPMENT OF CO<sub>2</sub> EMISSION ESTIMATION SOFTWARE FOR CIVIL ENGINEERING WORKS

Hiroshi YONEKURA, Michiya SUZUKI and Masamitsu ETO

GEM-21C (Global Environmental Model / Management -21 for Civil Engineering) is developed to estimate the amount of carbon dioxide emission in civil engineering works. The merits of introducing this computer software include 1) calculation is completed within only 2 to 3 hours without time consuming inventory data collection, 2) not only CO2 emission by fuel consumption of construction machines but CO2 emitted at the manufacturing stage of various construction materials are estimated. In order to realize this performance the software installs CO2 emission database of various materials and construction works using Input / Output analysis method carried out by LCA subcommittee of Architectural Institute of Japan. This software also installed effect of various environmentally conscious method for construction. Those includes energy conservation at construction office, use of recycled steel, use of fly ash cement.

This paper shows the outline of this software and also describes the case study for real construction work.