

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24760454

研究課題名(和文)環境配慮型製造施工のためのコンクリート材料工場の分析

研究課題名(英文)Environmental analysis of Concrete and related materials plants

研究代表者

藤本 郷史(Fujimoto, Satoshi)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30467766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート材料工場の製造パラメータとコンクリートの性能、環境負荷因子の非線形な関係を定量化した。具体的には、生コンクリート工場や砕石砕砂工場の電力量、重油、軽油、灯油、スラッジなどの排出量と、それに対応する製造パラメータ(出荷量、稼働時間、所在地の気温、製造設備の種別、生産物の品質など)を調査し、これらの定量的な関係性を導出した。

研究成果の概要(英文)：This research project aim to quantify the environmental factors of concrete and related material plants, in relations to the various manufacturing factors; product qualities, operation status and plant location etc. We have established the numerical models for the estimation of consumption os electricity, heavy oils, diesel oils, kerosene, sludge cakes in relations to production amount, operation time, temperature, types of facilities, and qualities of products.

研究分野：建築材料

キーワード：環境負荷 生コンクリート LCA 骨材 電力量 スラッジ

1. 研究開始当初の背景

地球環境問題への全世界的な取り組みを背景として、省エネルギーや廃棄物・副産物の排出抑制に対する各産業界への自律的案取り組みが求められている。このようななか、本研究の開始当初には、コンクリート材料施工分野において、コンクリート構造物の環境配慮型製造施工に関する指針案の策定が国内外で進みつつある状況であった。例えば、ISO/TC71, fib, 建築学会(2007),土木学会(2005)などである。このような指針は、これまでの包括的な LCA 評価から一歩進んで、材料製造や施工といったライフサイクルの各段階における個別の具体策を立案しようとする社会的動きを反映している。このような個別の具体策の立案・評価にあたっては、「構造物全体」あるいは「砕石」「生コンクリート工場」といった大区分ではなく、品質や工場の特性の違いを考慮した分析が必要となる。研究開始当初には、ほぼ全ての建築・建設分野の LCA に利用するインベントリ分析では、データ入手性の制約から「全ての工場は同じ製造特性」「環境負荷は生産量に比例」という仮定を設けており、コンクリート材料工場の実情を全く反映できていない状況にあった。

2. 研究の目的

本研究は、上述のような現状を背景として、コンクリート材料工場の製造パラメータとコンクリートの性能、環境負荷因子の非線形な関係を定量化し、それによって、生産量の削減以外の方法による環境負荷低減策を探索することを目的としていた。また、この探索の具体的手段として、ライフサイクルアセスメントのうち、インベントリ分析において、各種工場の製造パラメータを適切に考慮するための定量モデル構築をおこなうことを目的としていた。

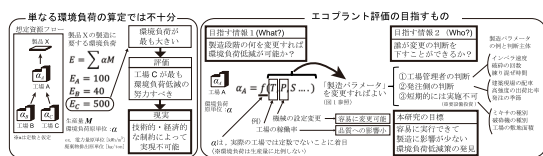


図1 研究の目的コンセプト図

3. 研究の方法

本申請研究では、コンクリート材料工場のエネルギー消費や副産物排出量等の数値情報を、入手性に依りて工場での実測や月報などから収集して分析することとしていた。具体的には、以下の手順で工場データを収集した。電力量は電力量計、輸送距離は GPS ログおよび GIS 分析、重油消費量はインターバルカメラによる工場センサ情報の取得、工場所在地の気温は温度計によってそれぞれ工場における現場実測を実施した。また、出荷量、設備稼働時間、電力量、重油消費量、

軽油消費量などは月報や出荷記録(計量印字記録)などを紙ベースで入手しデジタル化して分析に用いた。砕石・砕砂工場における製造パラメータの影響分析については、設備製造メーカーからの情報提供によって分析データを入手した。現場実測が難しいスラッジ排出量、軽油消費の時系列データ等は工場の協力および現地調査とアンケート調査により分析値を収集した。

なお、工場の地域性評価のために、寒冷地については北海道地区、亜熱帯地区については沖縄地区、一般地区については、研究開始当初については研究者所属機関に近い広島地区を、研究機関の移転後については再手配して茨城県地区を抽出して調査した。広島地区の調査では地区工業組合の協力を得た。北海道地区の調査では、地区工業組合のほか、室蘭工業大学 濱博士の支援を得た。沖縄地区の調査では、地区工業組合のほか、琉球大学 山田博士の支援を得た。茨城地区の調査では、地区工業組合のほか、杉山教授の支援を得た。



材料製造や建築施工の現場では、多数のセンサ情報が活用されている

図2 工場におけるセンサ群
(本研究ではインターバルカメラ等で取得)

4. 研究成果

(1) 生コンクリート工場の電力量消費に与える因子の定量的把握

生コンクリート工場の電力消費量に与える各種の製造パラメータや工場設備等の地域性について定量的に把握し、提案モデルを改良した。具体的には、以下の成果を得た。

- ①寒冷地における骨材等の材料加温による電力消費量増加量を定量化した。
- ②工場間で比較すると、1000 倍以上の電力消費量原単位の差異があることを、多数の工場調査データから発見した。
- ③ミキサ容量、ベルトコンベヤ総延長などが電力消費に与える影響を把握した。また、これらの製造設備が地域によって異なることから、電力消費に地域的な差異が生じていることを指摘した。
- ④スラッジ発生量は電力消費量に大きな影響を与えることが明らかとなっているので、その地域的な傾向をアンケート調査により把握した。
- ⑤以上のような、工場間の設備等の差異を定量的に分析し、電力量消費モデルの各係数パラメータを導出した。

以上の成果は、「エネルギー消費量は生産量に比例する」としていた建設 LCA の基本的な仮定が全く成立しないという新しい発見を含んでいる。また、この知見を元に数値モデルを改良し、工場間の製造特性の差異を考慮した数値的予測を実現した。本成果の一部は、コンクリート工学会が発行する「コンクリートの環境テキスト（改訂版）」に取り入れられたほか、招聘講演（学会講演①）においても紹介した。

なお、スラッジ排出量特性分析については、当初、沈澱水槽水位やスラッジケーキなどについても工場実測を予定していた。計測機器の選定を進めたが機器予算額が当初を大幅に上回ったほか、大学異動によって協力工場が非常に遠方となったために、代替としてアンケートによるデータ収集をおこなって研究を進めた。

調査の海外展開については、予算の減額や大学異動によって実施が難しくなったが、現在、本研究を継続する形で海外調査も進展しつつある。

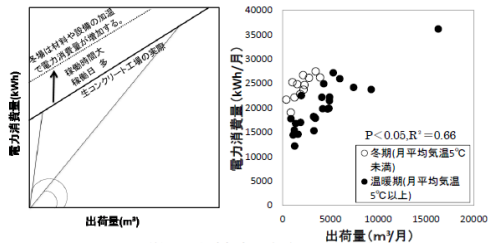


図 3 寒冷地における電力消費の増加

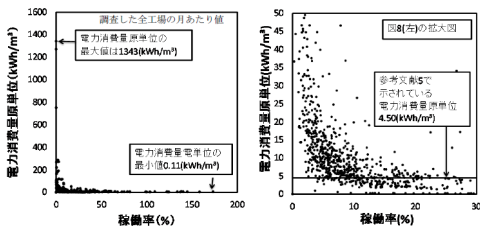


図 4 工場間の電力消費原単位の違い

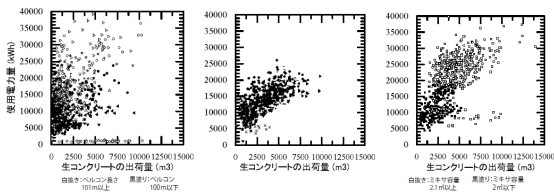


図 5 工場設備が電力消費量に及ぼす影響

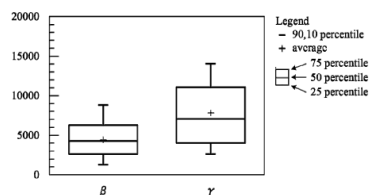


図 6 電力量予測モデルのパラメータ推定

$$\gamma \geq \beta \doteq \alpha$$

settlement tank air compressor mixer
Trommel screen conveyer

図 7 省エネ策立案のための機器ごとのエネルギー消費寄与率の分析結果の例

(2) 輸送や工場内重機が軽油消費にもたらす影響の定量的な把握

生コンクリートの輸送や構内重機の運用に用いられる軽油消費量について、工場面積や輸送経路による影響を分析し、以下の成果を得た。

①工場の敷地面積が大きいほど、軽油消費量原単位が大きくなる。敷地面積は北海道など郊外部の工場で大きいので、郊外の工場では軽油消費量原単位が大きくなる。

②アジテータ車等の工場構外での運搬用車両については、軽油消費原単位 2~5km/L 程度である

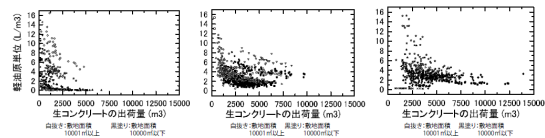


図 8 軽油消費量原単位に対する工場の敷地面積の影響

(3) 寒冷地の生コンクリート工場における重油・灯油消費特性の把握

寒冷地においては、生コンクリート製造時に設備や材料の加温がおこなわれている。本研究の開始当初、このような寒冷地の特殊性は LCA で考慮されることがなかった。工場実測および月報を収集して分析した結果、以下の成果を得た。

①重油や灯油の消費原単位は、生コンクリートの生産量と比例しない。

②重油や灯油の消費量は、工場所在地の気温低下と相関が高い。

以上の成果は、「エネルギー消費量は生産量に比例する」としていた建設 LCA の基本的な仮定が全く成立しないという新しい発見を含んでいる。また、所在地の気温という容易に入手できる情報によるエネルギー消費予測を実現している。本成果の一部は、コンクリート工学会が発行する「コンクリートの環境テキスト（改訂版）」に取り入れられたほか、招聘講演（学会講演①）においても紹介した。

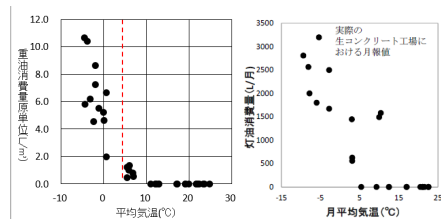


図 9 重油・灯油消費量と所在地気温の関係

(4) 骨材工場の製造パラメータや品質が副

産物発生量に与える影響の定量的把握

砕石・砕砂のコンクリート用品質は、破砕機のインペラ速度等の破砕機製造パラメータの影響を受ける。この製造パラメータによって、破砕機の電力消費量、破砕によって発生する副産物（砕石粉）の発生量が増える。研究開始当初には、製造設備の実測も予定していたが、実務者の協力が得られなかったために、主にデータ提供によって分析を進めた。本研究では、以下の成果を得た

- ①破砕機の製造パラメータと電力消費量の特性データを調査した。
- ②骨材の品質と副産物発生量の関係を定量的に把握した。

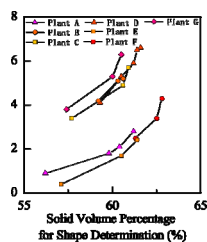


図 10 骨材の品質と副産物発生量の関係

以上の成果は、「廃棄物発生量は生産量と比例し、骨材品質とは無関係である」としていた建設 LCA の基本的な仮定が全く成立しないという新しい知見を示したものである。また、粒形判定実積率という製造時に定期的に計測する数値から副産物発生量、エネルギー消費予測を実現している。本成果の一部は、コンクリート工学会が発行する「コンクリートの環境テキスト（改訂版）」に取り入れられたほか、招聘講演（学会講演①）においても紹介した。

(5) 得られた成果の国外における位置づけと今後の展望

本研究の進展にともなって、研究代表者は、コンクリートの環境マネジメントに関わる国際標準化対応国内委員会に参画しており、研究成果の国際的な発信など、更なる進展が期待される状況にある。また、連携研究者の広がりによって、プレキャストコンクリート工場等にも調査の展開が期待される状況にある。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 3 件）

① Satoshi Fujimoto: Analyzing Factors Of Variability In Energy-Use In Concrete Production, Durability and Sustainability of Concrete Structures Workshop Proceedings, ACI Technical Publication SP-305, ISBN-13: 978-1-942727-44-6, pp. 37.1-37.10, Oct.1st-3rd, Bologna, Italy,

2015 （査読有）

② 藤本郷史：材料施工分野の環境配慮においてセンサ情報の果たす役割と可能性、日本建築学会、建築雑誌、vol.129, No.1658, pp.31, 2014.05（査読無し・総説）

③ Satoshi Fujimoto, Takafumi Noguchi, Takaaki Ohkubo: Survey on Implementation Status of Countermeasures in Ready-mixed Concrete Plants Against Worsened Electric Supply in Tokyo, Proceedings of The 11th Korea/Japan Joint Symposium on Building Materials and Construction, Vol.11, pp.78-81, 2012.08 (in Japanese) (査読無)

〔学会発表〕（計 3 件）

① Satoshi Fujimoto : Inter-industry collaboration: another keystone for sustainability in future construction, Concrete Sustainability Workshop, Kagawa, pp. 37-38, May.7th 2014, (査読無) (招聘講演)

② 河村千秋, 藤本郷史, 濱幸雄：寒冷地の生コンクリート製造におけるエネルギー消費特性の調査～その2 灯油・電力の消費特性に関する調査結果～, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.637-638, 2015.09.4-6 (査読無)

③ 藤本郷史, 濱幸雄：寒冷地の生コンクリート製造におけるエネルギー消費特性の調査, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1387-1388, 2014.09.12-14 (査読無)

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

・本研究成果の一部は、所属学会が発行する専門家向けテキストに掲載された。

（公社）コンクリート工学会：コンクリート環境テキスト（案）[改定版], 2015.11, ISBN978-4-86384-069-0-C3050

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本郷史 (FUJIMOTO SATOSHI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・地球環境デザイン学専攻・准教授

研究者番号：30467766