

建設工事の施工段階における 水使用原単位の推計 ～ウォーターフットプリントの確立に向けて～

澤上 晋¹・稲村 肇²・森地 茂³

¹正会員 大成建設株式会社 本社土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

E-mail:shin-s@ce.taisei.co.jp

²フェロー会員 東北工業大学教授 工学研究科 (〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町35-1)

E-mail:hajime.inamura@gmail.com

³名誉会員 政策研究大学院大学特別教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)

E-mail:smorichi.pl@grips.ac.jp

本研究は、建設工事の施工段階における水使用原単位を推計するものである。対象工事は工程管理のガントチャートに基づき詳細な工法に分割される。工法ごとの原単位は、現場の月別水使用量データを施工用、事務所用、宿泊施設用に分解して推計される。国内現場を対象に分析した結果、以下の結論を得た。①推計された工法ごとの水使用原単位が、対象工法の優位性比較を可能とする精度を持つことを確認した。②推計原単位は、事業での必要水量の総数量だけでなく、管理上重要となる工法ごとのピーク時数量の評価を可能にする。③ウォーターフットプリントへの応用に向けて、産業連関表など既存統計との整合性を検討した。④対象事業の機能と施工数量は水使用原単位の重要指標であるため、評価の段階（計画・設計）による原単位の適用分野について考察した。

Key Words : unit water usage, construction work, water footprint, process analysis, input-output table

1. 序論

世界の人口増加と経済発展のもとに高まり続ける水需要¹⁾に対して、持続可能な水利用の確保と総合的な水資源管理が求められている²⁾。このような状況下、水使用量の把握手段の一つとして、近年では、製品やサービスのライフサイクル全体で使用される水資源の投入量を算定する“ウォーターフットプリント”が注目されている。

また、最近の日本においては、環境省の主導により環境分野分析用産業連関表（以下「環境IO」とする）の整備が進められており³⁾、資源・環境負荷表（環境フロー表）として、部門ごとに投入または発生している資源および環境負荷等が、物量単位で記載されるようになる。表-1に示す通り、環境フロー表の現時点における9つの対象項目（大項目）には水資源の投入量も含まれており、水に対する関心の高まりを読み取ることができる。

ただし、環境IOで扱われる水資源は、現段階では工業統計⁴⁾で得られるデータを基本として整備されることになっている。従って、工業統計に載らない情報は反映されないため、網羅性は十分であるとは言えない。

表-1 資源・環境負荷表（環境フロー表）の大項目

No	大項目
1	エネルギー資源(投入)
2	原材料資源(投入)
3	水資源(投入)
4	温室効果ガス(排出)
5	廃棄物等(排出)
6	廃棄物等再資源(投入)
7	大気汚染物質
8	水質汚濁物質及び排水
9	有害化学物質

本研究の目的は、建設工事の施工段階において使用される水を対象として、その使用量の原単位を推計することにある。従来の水資源に関する研究では、農作物や工業製品といった輸送できるものを主対象とした原単位推計は行われている。しかし、社会資本の整備など、現地での活動が求められる建設工事の「施工」に伴う水の研究は、これまでには無い範囲である。

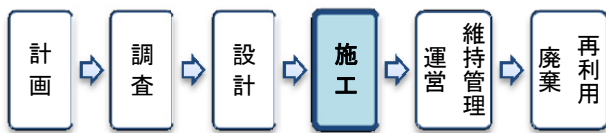


図-1 社会資本整備（建設工事）のプロセス概要

社会資本整備のプロセスは、簡略化すると図-1に示すような各段階に分けられるが、本研究では特にその中で現地要素の高い「施工」の段階に着目する。そして、国内の現場施工データから抽出するいくつかの施工方法に関して、本研究にて提示する推計方法を用いた分析を行い、対象とする工法の持つ水使用原単位の推計を試みる。さらに、推計の過程から得られる知見、および結果の含意を考察する。

ここでは、現場全体の月別集計程度の水使用量データを基にして、対象工事の施工期間と数量を組み合わせることで、特定の工法まで細分化して水使用原単位を推計する方法を提案する。

なお、日本は比較的水資源に恵まれているため、工事の施工に対する分析を行うならば、国内ではなく海外のデータを用いるべき、という考えもある。しかし、工法というものの工学的普遍性に鑑みれば、日本のデータを用いた推計であっても、その方法論やアプローチ手法は、最終的には水資源の乏しい他地域においても適用できるものと考ええる。

2. 既往研究レビューと本研究の位置付け

水資源消費量の推定については、産業連関分析（産業連関表を用いた分析）に基づいて研究された例が国内外において報告されている。

例えば小林ら⁵⁾は、工業統計をはじめとする各種統計資料を基にして、農業、水産業、工業およびその他サービス業における水資源消費量を推定し、そこから作成した直接投入係数表に対して産業連関表⁹⁾（以下「I-O」とする）から作成したレオンチェフの逆行列係数表を乗じることで、水消費原単位を算出している。これにより、経済活動に伴って直接消費される水資源量だけでなく、間接的に消費される分についても推定を行っている。ただし、作成している直接投入係数は、水源の区別はせずに、総消費量のみを用いたものである。

また、上記研究における指摘事項として、水需要の推定方法であるI-Oベースの“産業連関法”は、水資源の総消費量をマクロ的に捉えるには有用であるとする一方で、個々のデータを積み上げて原単位を求める“積み上げ法”による分析結果との整合性確認が重要であることを挙げている。

最近の研究として、小野ら⁷⁾⁸⁾は、水の取水源（雨水、河川水、地下水、回収水）と用途（消費水、利用水）を分けた水資源投入量を分析するためのデータベースを開発し、産業別ではなく部門別に直接投入係数を検討し、取水源別および用途別に原単位を作成している。そして、消費と汚染について網羅したウォーターフットプリント原単位データベースまで発展させている。

ただし、公開されているデータベース⁹⁾による水使用量の原単位は、住宅建築や土木建設などの「施工」に類する分野については間接水のみが計上されており、直接水がゼロとなっている。これは、当該データベースが、工業統計等の既存の統計情報を用いて産業連関法によって作成されているためであり、統計に載らないデータは計算結果に反映されないためである。

これらの先行研究をレビューした結果を、以下の4点にまとめる。

1点目として、農作物や工業製品に関する水の研究は数多くあり、水使用原単位も明らかになり始めている。

2点目として、社会資本整備の分野に関しては、材料としての建設資材については研究されているが、建設工事における「施工段階」に着目した水使用については、研究がほとんどない。

3点目として、建設分野の水使用原単位については、I-Oを用いて、水使用量を工業用水などの平均料金から逆算して推計したものである。従って、実際の現場施工における使用量などとは大きな誤差があると考えられる。

4点目として、建設施工に伴って直接的に使用される水については、既往研究では扱われていない。従って、原単位データベースをより網羅的にしていくためには、現場におけるデータを蓄積して、積み上げ法によって補足する必要がある。

本研究では、既往研究がまだ対象としていない建設工事の施工段階において直接使用される水について扱う。そして、国内現場の実測データを用いた積み上げ法によって、水使用原単位を推計する。

なお、水の利用方法に関しては、元の流域に戻される水利用を「使用」、量的な消失や質的にそのままでは利用できない形へ変える利用方法を「消費」とする分類がある¹⁰⁾。本研究で取り上げている、現場にて用いられる水は、上水や工業用水を利用する場合のほか、湧水や河川水など現地での取水、あるいは回収水など再利用する場合も考えられる。どのような取水源からの水であろうと、実際のところは、施工の一環で利用されたのちに排水として元に戻る水（適切に濁水処理・pH中和処理等を行ってから）と、施工に用いる材料の一部として化学反応等により消失する水が混在すると言える。

本稿では、施工という過程において現地にて使う必要がある水については、「使用」と呼称するものとする。

3. 枠組みと分類

(1) 産業連関表の視点（既存統計との接続）

本研究が対象としている「建設工事の施工段階における水」がどのような存在なのか、また、将来的な利用に向けて、どのように既存統計と接続させるか確認する。

経済活動の構成要素は多様である。その中のいずれの場所や局面においても水は使用されている。水資源を大量に消費する産業分野には農業や工業などがあるが、本研究では建設産業の土木工事に着目する。工事の中にも多数の分類があり、各分類の中にいくつもの要素がある。

そこで最初に、経済活動をマクロ的に把握できる枠組みであるI-Oに視点を置く。建設産業では、図-2にまとめているように、建設部門分析用産業連関表¹¹⁾（以下「建設I-O」とする）において、金額単位のみであるが道路工事や港湾工事といった工事種類別の投入・産出を扱っている。しかしながら、各場面のどこに、どんな質で、どれだけの水が使用されているかは見えづらい。

水資源データの実態を捉えるためには、構成要素の実現象を最小単位にまで細分化する必要がある。例えば、道路工事の掘削作業も鉄道工事の掘削作業も、同じ工法で掘削するのであれば、分類する先が異なるだけで積み上げるべき内容は同様である。さらには、ある要素を別のものに置き換えること、つまり、代替手段や臨時的対応策等の立案に役立てることができる。ただし、全要素を積み上げて処理することは現実的ではない。従って、図-2にも示しているように、代表的な分類の中でサンプル集計し、全体を推計するやり方が採られる。統計的な処理のためには、分類が必要である。

本研究の結果も、広く実用的なものにしていくためには、汎用性を持たせることが重要である。将来的な利用や、他産業との関連および波及効果を見出すためには、I-O分析に結びつけた利用を考える必要がある。また、今後整備される環境I-Oも、I-Oによる部門分類が基本となることから、環境I-Oとの接続も考慮する必要がある。

ただし、全要素を積み上げて処理することは現実的ではない。従って、図-2にも示しているように、代表的な分類の中でサンプル集計し、全体を推計するやり方が採られる。統計的な処理のためには、分類が必要である。

本研究の結果も、広く実用的なものにしていくためには、汎用性を持たせることが重要である。将来的な利用や、他産業との関連および波及効果を見出すためには、I-O分析に結びつけた利用を考える必要がある。また、今後整備される環境I-Oも、I-Oによる部門分類が基本となることから、環境I-Oとの接続も考慮する必要がある。

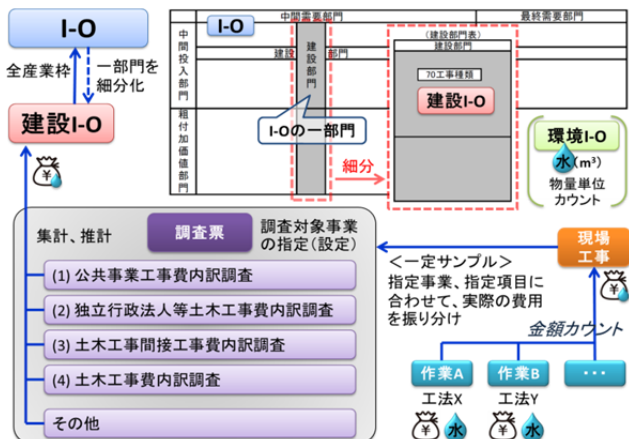


図-2 産業連関表の構造内における水¹¹⁾

(2) 工事種類別の視点

次に、視点を工事種類別の構成要素に移す。図-3は、構成要素の例を示すマトリクスである。本研究は、マトリクスを構成している一つ一つの工事分類（図の縦軸）に着目し、そのうち施工における水の要素（図の横軸）について取り上げている。

どの分類にあらうとも、各工事は細分化すると材料や施工などの要素によって構成されている。そして、それぞれの要素は基本的には金額を指標の主軸としている。しかし、ここでは同時に考えるべきものとして、資源・環境影響の観点から、「物理量」として扱う必要のある水使用量などが含まれることを挙げる。

なお、工事で用いる建設資材なども、製造の過程において水を使用している。従って、工事全体を見る場合には、用いる材料などについても検討の対象とすべきである。しかし、今回は特に、物体として輸送ができない現地要素の強いものを取り上げる。つまり、材料などは除き、工事現場における現地施工のための水、あるいは、現場事務所における水や、現場宿泊施設の生活用の水など、現地活動に付随する水を、研究の対象とする。

なお、それぞれの工事分類についても、一時点だけでなく、時間の概念を取り入れてライフサイクルで見る必要がある。工事全体を考える場合には、ライフサイクルを構成する各段階について、考慮することが求められる。

(3) 工法分類

施工の中にも、掘削や地盤改良などの種類があり、さらには同じ掘削の中でも工法は多数ある。水使用の実態を捉えるためには、最小単位としての工法レベルまで細分化する必要がある。

大枠としてのI-Oや建設I-Oなど、既存の統計や枠組みは、さまざまな都合や観点によって工種分類されている。しかし、工種よりもさらに細かいレベルまで落とし込ん



図-3 工事種類別の要素マトリクス

だ工法に関しては、体系立てて分類されていない。

なお、IOなどと直接的に結びついていないが、工法単位まで扱っているものの例としては、積算の際に用いる工事工種体系ツリー¹²⁾などがある。施工段階の水使用を全体的に網羅していく場合には、このような積算上の分類など、工法まで細分化されている情報と組み合わせることを考える必要がある。

4. 原単位推計の考え方

(1) 原単位推計の概要

a) 推計原単位

本研究において推計する水使用原単位は、対象工法の施工数量1単位当たりの水使用量とする。なお、施工期間が異なっても、同様条件の同工法であれば、基本的に原単位は同じとみなす。

b) 使用するデータ（2点）

1点目は、「対象現場の期間別水使用量集計値」である。これは、一ヶ月程度単位で、水使用量の物理量を集計しているデータとする。

2点目は、「対象現場の実施工程表」（ガントチャート）である。これは、対象工法の施工数量・期間が読み取れるデータとする。

c) 単純化

推計作業につき、推計式の内容はできるだけ単純化するものとする。なお、一工種の施工期間内に、使用する水の量にばらつき（凹凸）や集計タイムラグがある可能性がある。その場合は、期間個別の使用量の整合よりも、まとまった期間での合計値の整合を図る。つまり、累計量の増加率の整合のほうに、重きを置くものとする。

d) 考慮すべき付随情報（2点）

1点目は、「従事人員に係る水」である。これは、現場作業期間における飲食分の水や、宿舎を設営する場所で用いる生活水などを考慮するものである。

2点目は、「取水源や水質の違いによる区別」である。これは、河川水、井戸水など、取水源や水質別に分ける必要がある場合を考慮するものである。

(2) 水使用原単位の推計式（本研究の提案式）

本研究で提案する水使用原単位の推計式を示す。

$$W_{use} = \sum_i (C_i \times \overline{WC}_i) + \sum_j (M_j \times \overline{WM}_j) \quad (1)$$

$$W_{use} = \sum_k (\alpha_k \times T_k) \quad (2)$$

$$\overline{WC} = \frac{\alpha \times T}{C} \quad (3)$$

ここに、

W_{use} : 工事全体の水使用量 (水³)

- i : 施工法の種類
※取水源や水質の違いを区別する場合は別種類として追加
- C : 施工数量 (延長 m 等)
- \overline{WC} : 施工に係る水使用原単位
(資源使用量: 水 m³/延長 m 等)
- j : 従事人員の集計単位
- M : 従事人員 (人 ※平均人数)
- \overline{WM} : 従事人員に係る水使用原単位
(資源使用量: m³/人)
- k : 推計項目の種類
※水質区別等がある場合は項目数追加で対応
- α : 推計項目ごとの係数 (期間/水 m³)
- T : 推計項目の期間
(施工期間, 従事期間)

式(1)、式(2)は、ともに工事全体の水使用量を計算する式として提案している。

式(1)は基本式であり、右辺の第一項を施工に係る水使用量、第二項を従事人員に係る水使用量として、両項とも考慮すべき項目・種類の数だけ積み上げた形の数式としている。ただし、それぞれの項に含まれる水使用原単位が未知の状態では算定できないため、原単位が整備されたのちに利用することを目的として作成したものである。原単位を推計する段階においては、式(2)および式(3)を利用する。

ここで、式(3)は、式(1)の右辺第二項を除いたものを式(2)に代入して導出したものである。このときの第二項の扱いに関しては、現場の人員一人当たりが使用する生活用水等は一般値としての実績から予測推計が可能、とみなすことで除外できるとしている。

水使用原単位推計の手順は、図-4に示すフローの通りである。

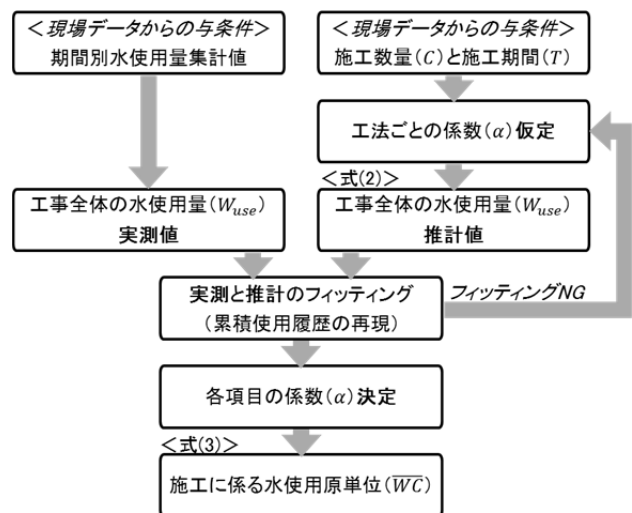


図-4 水使用原単位推計フロー

5. 原単位推計の結果と考察

(1) 推計過程からの考察（推計上の留意点）

a) データの収集について

集計されている水使用量データは、基本的には複数工事・工種の合計値である。作業上は、特定したい工種に分解・ふるい分けした上で推計する必要がある。

厳密なふるい分けをするためには、収集するデータにも高い精度が求められる。また、取水源（水質）が異なる水が混在する場合には、データも区別されている必要がある。これは、データ集計時の課題である。

データ収集の一つの方法として、水道料金の支払い記録等を利用することも可能である。この場合、実際の水使用の時期と支払いの時期にタイムラグがあって、データにずれが生じる可能性がある。推計時には調整が必要である。

正確なデータを収集するためには、何よりも現地にて施工実施時に適切な計測を行う必要がある。手段としては、水供給のメーターを複数準備して、工法や用途ごとに切り替えるなどの措置が考えられるが、管理費は増加する。将来的に、水資源に対して利用規制などが生まれるならば、集計する強制力やインセンティブが働くようになる。

b) 推計対象としての適合性

推計を行うに当たっては、使用水量が突出して多い期間に着目し、その間に行われている作業内容を整理することが重要である。大型機械を用いる作業などは、特に水使用量が多くなる傾向が見受けられるため、注視すべき期間であることが読み取れる。

また、施工数量が極端に小さい項目、あるいは施工期間が非常に短い項目などを推計対象にすると、実際の水使用データとのリンク精度が得られず、推計値の誤差も大きくなる。

c) 工種の分離

比較的大きな工法の中には、その準備工として単独に評価すべき工法が含まれる可能性がある。例えば、ケーソン工事の準備工としてのグラウンドアンカー工や、シールドトンネルの掘進工事に付随する発進防護の地盤改良工などである。これらについては、工程上のデータが分離されていないなど、所与のデータ精度に限界がある場合には、分解しての推計は困難である。仮に推計した場合にも、誤差が大きくなる。

このような例では、準備工を含んだ一式を一つの工法として扱うこともできるが、準備工を別の工法に変更できる場合には、切り離したほうが適切である。

d) 推計作業上の調整

工法固有の水使用原単位が定まるならば、推計作業上で項目ごとに与える係数 α は、施工数量 C と施工期間 T

の比率に依存する。ただし、建設工事の場合は、たとえ同現場内であっても作業条件は同一とは限らない。累計値としてのフィッティングの整合状況によっては、係数 α の値は比率計算で求めたものとせず、個別値として与える必要がある。

(2) 実際のデータを用いた推計結果

国内現場17箇所計測した実際の水使用量データから、今回の検討で抽出した3種類の工事（①シールド、②地盤改良、③土留め壁）に対して、提案方法によって水使用原単位を推計した結果を示す。

表-2、表-3は、同じ3現場のシールド工事における推計結果である。工事数量の取り方（機能、施工数量）による原単位比較を行うため、2通りの計算値を個別に記載している。

表-4は、3現場・4種類の地盤改良工法について、推計結果を示している。工法ごとの水使用原単位の差異や、同工法でも現場ごとの水使用原単位の差異を確認することができる。

表-2 原単位推定結果①(1/2)

(工事種類：シールド、機能単位での集計)

工事	シールド工法	工事数量 (延長) m	使用水量 推計値 m ³	原単位 (延長当たり) m ³ /m
洞道工事	泥土圧式	315	960	<径2.9m> 3.05
鉄道工事	泥土圧式	622	9,000	<径6.9m> 14.48
共同溝工事	泥水式	3,998	29,400	<径5.2m> 7.35

表-3 原単位推定結果①(2/2)

(工事種類：シールド、施工数量単位での集計)

工事	シールド工法	工事数量 (掘削土量) m ³	使用水量 推計値 m ³	原単位 (掘削土量当たり) m ³ /m ³
洞道工事	泥土圧式	2,052	960	0.47
鉄道工事	泥土圧式	22,908	9,000	0.39
共同溝工事	泥水式	84,910	29,400	0.35

表-4 原単位推定結果②

(工事種類：地盤改良、施工数量単位での集計)

工事	地盤改良工法	工事数量 (改良対象土量) m ³	使用水量 推計値 m ³	原単位 (改良対象土量当たり) m ³ /m ³
造成工事	深層混合処理	13,706	15,600	1.14
共同溝工事	高圧噴射攪拌	421	1,300	3.08
共同溝工事	高圧噴射攪拌	2,618	8,050	3.08
共同溝工事	薬液注入	726	720	0.99
洞道工事	薬液注入	281	384	1.37
洞道工事	薬液注入	316	429	1.36
洞道工事	薬液注入	1,399	1,891	1.35
洞道工事	薬液注入(低圧)	167	150	0.90

表-5 原単位推定結果③

(工事種類：土留め壁，機能単位および施工数量単位での集計)

工 事	土留め壁 工 法	工事数量	使用水量	原単位	原単位
		(造成面積) m ²	推計値 m ³	(造成面積 当たり) m ³ /m ²	(造成体積 当たり) m ³ /m ³
道路工事	SMW	876	910	1.04	1.15
道路工事	SMW	1,320	1,350	1.02	1.20
道路工事	SMW	3,132	3,900	1.25	1.70
道路工事	SMW	4,124	4,250	1.03	1.15
道路工事	SMW	6,565	6,250	0.95	1.28
道路工事	SMW	6,734	5,600	0.83	1.06
道路工事	SMW	10,445	15,950	1.53	1.70
道路工事	TRD	8,990	10,800	1.20	1.15

SMW：柱列式連続地中壁
TRD：等厚式連続地中壁

表-5は、土留め壁工法を対象とした同現場内での複数の推計結果である。計算値を比較するために、1つの表に2通りの水使用原単位を併記している。

(3) 推計結果からの考察

a) 推計値からの考察

推計した水使用原単位を概観すると、同じ工種で類似する施工法の場合には、水使用原単位も大きく異ならないことが確認できる。値の分散も小さいことから、推計値として有意なものであると言える。

一方で、地盤改良のケースでは、注入系、高圧噴射系などの種類があるが、工法としての性質・機構が他と異なる場合には、原単位の違いが鮮明である。要求性能を満たす複数の地盤改良工法を選定できる場合には、どちらの工法が水使用の観点から優位であるか、判断材料とすることができる。

b) 原単位推計時に考慮すべき単位（指標）

原単位推計時に考慮すべき単位としては、以下の2種類の指標が考えられる。

1種類目は、「機能単位」（あるいは積算上の単位）である。これは、供用する構造物の機能を分母にとった原単位である。道路工事の例として示すと [水m³ / (車線数・延長m)] のように表されるものである。

2種類目は、「施工数量単位」である。これは、物理的な施工数量を分母にした原単位である。道路工事の例として示すと [水m³ / 掘削m³] のように表されるものである。

工事の内容について個別に具体的な設計検討を行う段階などで、工法そのものの原単位を評価する場合には、物理的な量を扱っている「施工数量単位」とすべきである。一方で、工事全体の計画を行う段階で、供用機能が同一の構造物同士で資源・環境影響等を比較検討する際には、「機能単位」に換算しての評価が必要である。評価を分ける理由としては、例えば同じ2車線100m

の道路でも、施工数量としての掘削が 1,000m³ と 10,000m³ とでは、資源・環境への影響は明らかに異なるためである。

機能単位で集計することで、最終的には、資源・環境影響評価として、他の指標との接続が可能となる。

c) 施工に伴う水使用原単位の性質

本稿にて取り上げたどの工法も、施工に際して「材料」としての水利用を伴っている（セメント等の固化材に混ぜる水として）。混ぜ入れる水の量は、設計配合から決まるが、今回の推計値は設計値よりも大きいことが確認できる。つまり、現場施工に伴う水使用量とは、単なる材料としての水だけにとどまらず、純粋に施工に必要な水があることを意味している。あるいは水使用に何らかのロスがあることになる。

まとめると、以下のように表される。

$$[\text{工法の水使用量}] = [\text{施工そのものに必要な水}] + [\text{材料としての設計の配合水量}] + [\text{計画と実際の差分 (条件差)}] + [\text{ロス等}]$$

推計される水使用原単位は、これらの要素を含んだものとなる。なお、材料に水を使う工種は、設計数量から得られる理論上の原単位との比較により、数値としての精度向上やロス把握ができるものとする。

d) 推計の意味合い

上記 c) で示した通り、材料としての水使用であれば、設計数量や配合量からの算定が可能であるが、実際の数量は、それだけにとどまるものではない。例えば、地盤改良をする際には、改良材を投入するまでの準備、削孔・掘削、片付けまでも含んでいる。細かく集計しないことには数値に表れないものが存在する。原単位を推計することの意味合いは、特に大量に水を必要とする工法を浮き彫りにするほかにも、表面化しづらい構成要素を浮き上がらせることにもある。

e) 原単位に違いが生まれる要因

同現場内においても、原単位の値にばらつきは生じ得る。この理由としては、工場などには無い現場固有の条件が挙げられる。つまり、施工エリアが広いことによる現場条件（特に地盤）に相違がある場合、施工時期が異なる場合、あるいは、施工グループが複数ある場合などが考えられる。

その他、原単位に違いが生まれる要因としては、例えば同じシールド掘進であったとしても、直線部や曲線部、急曲線部、並列部など、条件が異なる可能性も指摘できる。それにより、使用する材料の量が変わることもあるため、施工内容の違いについても考慮する必要がある。

また、注意すべき点として、実際には現場にて循環利用される水が存在することが挙げられる。この場合には、推計値の初期の投入水量と施工段階ごとに投入される水量について、データを明確に区別する必要がある。

f) 水資源管理上の重要事項

水資源の使用可能量の上限值は、当然のことながら供給量の上限值までである。工事が必要とする総水量が全工程で平均した場合には確保できたとしても、ピーク時の使用量が確保できない場合は、施工ができないことを意味する。つまり、管理上重要なことは、時間的な要素も踏まえることであり、ピーク時に必要とする水量が確保されていることである。水タンクなどを利用して事前の保存ができる場合は、その準備が必要である。

g) 水の評価特性

水の評価特性として、同じ水量でも一度に使うか、分散して使うかによって、資源・環境影響が異なることが指摘できる。ここで、一時期に需要が集中しないようにピーク時数量を制御することは、水を使用する“上流側”のみならず、排水する“下流側”や、循環させる場合の中間処理に対しても共通して取り入れるべき考え方である。従って、水の評価する一つの側面として、初期投入から最終排出までの一連の流れを考慮した総合的な管理が必要であることも指摘できる。

6. 結論

本稿において提示した手法を用いて国内現場を対象に分析を行った結果、工法別に見た水使用原単位の値に有意性を確認できた。なお、本研究は推計した数値自身の正確さを重要視する段階にはない。しかし、今回の推計結果を見る限りにおいては、機能単位での比較を行うと数値の分散が大きい、施工内容を純粋に反映する物理的な施工数量単位で比較を行うと、同一工法の前単位は値の分散が小さいものであり、数値として有意であると言える。従って、本推計の精度としては、工法の比較を可能とするレベルにあると考える。

このことから、施工に伴う水使用原単位を推計するための見通しは立ったものとする。諸条件により、推計結果は必ずしも同じものとはならないが、水を少しでも多く使う工法とそうでない工法がある場合に、施工金額の多寡だけで判断するのではなく、水使用量の大きさも判断要素に加えて議論することができる。例えば地盤改良は、いくつかの工法において、その工法間の水使用量に違いが存在するが、工法を選択できる状況下においては、水使用量の大小は一つの工法比較材料として資するものであると言える。

また、推計では対象物の機能単位で計算する場合と施工数量単位で計算する場合が考えられるが、その使い分けについて言及し、資源・環境に影響を与える他の要素と併せて評価する際の考え方について考察できた。そして、水の評価特性として、総数量への着目だけでなく、

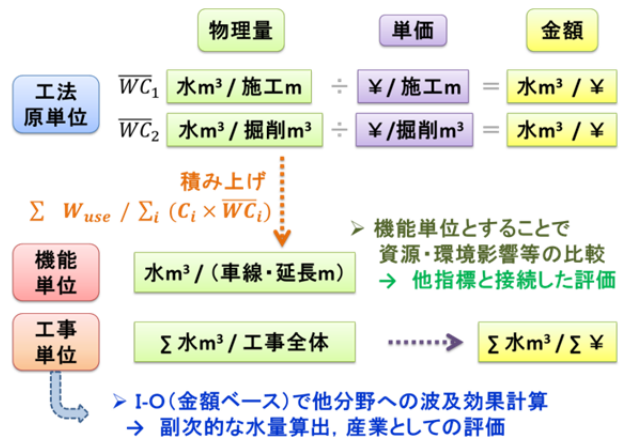


図-5 物理量の把握を原点とした展開

ピーク時数量の確保が管理上重要な点であることを指摘した。

その他として、本研究で得た原単位のような物理量の把握を原点として、将来的には図-5に示すような展開ができるものとする。水使用原単位は、金額換算することで一般化され、他との接続性が生まれる。積み上げることで工事単位となり、IOベースに接続できる。そうすることで、他分野への波及効果を算出でき、ある工法を用いることがもたらす副次的な水利用についても計算することができるようになる。

本研究は、これまでの研究が対象としていなかった新しい分野として「建設工事の施工段階」に着目していることもあり、検討を行う上で必要とするデータや、事例として比較できる材料が、必ずしも十分にそろっていなかった。従って、本稿で示した方法を基礎として推計の事例を積み上げ、前章で考察したような課題に留意しつつ工法比較の材料を増やしていくことで、原単位推計に伴う検討も、より幅広く有効なものになるであろう。

今後は、建設現場の施工法のような分野に関しても、より多くの正確なデータを蓄積していくことが、水使用原単位の推計における分析精度の向上に寄与し、ひいては産業全体におけるウォーターフットプリントを確立するという長期的な目標の達成につながっていくものとする。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、東北工業大学・稲村肇教授、政策研究大学院大学・森地茂特別教授には、さまざまな視点から、手厚く熱心なご指導、ご助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。また、研究上の調査に際して、早稲田大学・中村慎一郎教授、東京都市大学・伊坪徳宏教授、慶應義塾大学・伊香賀俊治教授には、産業連関分析やライフサイクルアセスメントなどの専門分野に関するご意見や示唆をいただきました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) UNESCO : International Hydrological Programme, World Water Resources and their Use, a joint SHI/UNESCO product, 1999
- 2) United Nations : Report of the United Nations Conference on Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 20-22 June 2012
- 3) 環境省 : 平成 23 年度 環境分野分析用の産業連関表の充実に関する検討業務 報告書, 平成 24 年 3 月
- 4) 経済産業省 : 平成 22 年 (2009 年) 工業統計表 用地・用水編, 平成 24 年 4 月
- 5) 小林 由典, 親里 直彦 : 産業連関分析を用いた日本の水消費原単位の推定, 日本 LCA 学会誌, Vol.4, No.4, pp.359-366, 2008.10
- 6) 経済産業省 : 平成 17 年 (2005 年) 産業連関表, 平成 21 年 3 月
- 7) 小野 雄也, 本下 晶晴, 李 一石, 伊坪 徳宏 : ウォーターフットプリントへの応用を指向した水インベントリデータベースの開発, 第 5 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.240-241, 2010.03
- 8) 小野 雄也, 堀口 健, 伊坪 徳宏 : 水の消費と汚染に着目したウォーターフットプリント用データベースの開発, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.26-27, 2012.03
- 9) 東京都市大学伊坪徳宏研究室 : 水使用量・消費量データベース (ver.1) , 2010 年 12 月 24 日
<http://www.yc.tcu.ac.jp/~itsubo-lab/research/db/waterDB_ver1.0.pdf>
- 10) 本下 晶晴 : LCA における水資源消費の影響評価とその動向, 日本 LCA 学会誌, Vol.7, No.3, pp.234-241, 2011.07
- 11) 国土交通省 : 平成 17 年 (2005 年) 建設部門分析用産業連関表, 平成 21 年 12 月
- 12) 国土交通省 : 新土木工事積算体系 平成 24 年度改訂版 工事工種体系ツリー, 平成 24 年 10 月

(2013.?? 受付)

ESTIMATING UNIT WATER USAGE OF CONSTRUCTION WORKS FOR WATER FOOTPRINT MANAGEMENT

Shin SAWAKAMI, Hajime INAMURA and Shigeru MORICHI

This study estimates unit water usage of construction works for water footprint management. A construction process is subdivided by detailed construction method based on a Gantt chart. Referring to the monthly water usage, a unit water usage of each construction method is estimated by construction site, field office and accommodation facilities. Applying the method to some construction sites in Japan, major findings are as follows: 1) The estimated unit water usage indices have enough accuracy for comparing an advantage of the construction method in question. 2) The units can evaluate the peak time water usage by employed construction method, which is important for construction management, as well as the total amount of water required for a project. 3) In order to apply for water footprint scheme, a compatibility with existing statistics such as input-output tables is discussed. 4) Functions such as number of traffic lanes and construction performance such as excavate volume are the strong candidates as a basis of the units. Application field of the two bases is discussed.