

統計的手法による歩掛りデータ利用の研究 (その1)

データ分析研究グループ 池田将明(京都大学)*

1. はじめに

建設工事の計画・管理においては、それぞれの業務目的に応じた情報をいかに収集・蓄積し、利用していくかは、非常に重要である。

しかるに一般の建設現場では、日々の作業にともなって発生する種々の実績データの収集はされているが、実施状況の診断並びに次工事への計画情報としてのデータ活用は充分に行われていないのが現状であると考ええる。

この点が、工事マネジメント問題の中での大きな課題の一つであり、ここに「データ分析研究グループ」設立の目的がある。

当グループは、昭和59年3月にシステム開発研究分科会の3番目のグループとして4名の少人数で発足した。(*1)この時の設立主旨を示すと、次のようになる。

【データ分析研究グループの設立主旨】

(1) 研究目的

建設工事において利用できるデータの分析手法に関する調査および実験的な適用を行う。

(2) 研究内容

- ①データ分析や利用目的の明確化
- ②データ分析手法の調査および検討
- ③データ利用実施例の調査
- ④実験的なデータ分析適用の検討

以後、月に1～2回の会合を持ち研究を重ねてきたが、その中で具体的な分析対象として建設工事の各場面において重要な動きをする歩掛りを取り上げることにした。

以下、その研究成果について報告するが、まだ歩掛りデータを研究対象として日が浅いために実際のデータ分析に至るまでにはなっていない。そこで今回は、建設工事で使用される歩掛りの利用法に関する考え方と今後の研究方針について報告したいと考える。

2. 研究の目的

建設工事の作業環境は、技術の進歩、社会的制約や要請により変化が著しい。このように多様化する工事に対して、その都度施工条件を加味して積算・見積り・計画などを行おうとすると、そこには担当者の経験をはじめとする個人的要素が入るために、その結果には大きなバラツキが現れる。そこで、このバラツキを小さくし業務結果の信頼性を大きくするために、業務手法の標準化が求められている。

また、消化した作業量とそれに投入した資源量や費した時間は、作業の実施状況に関する基礎的なデータであり、これらから求められる歩掛りは、日程・費用を管理する上で重要な指標である。それにもかかわらず、利用の目的に応じた収集・分析・整理の方法が統一されていないため、この歩掛りを積極的に利用するまでには至っていないのが現状である。

そこで我々は、工事マネジメントにおけるデータ分析手法の適用研究の一環として歩掛りデータに着目し、工事の各段階における利用場面に適したデータの収集・分析方法についての研究を行うこととした。また、この研究により以下のような効果が期待できると考える。

- ①経験に基づき判断していたことについて、統計的処理を通じて経験の少ない人にも同様の判断が可能となる。
- ②経験の異なる人に対して、共通の目安を与える。
- ③とかく偏りがちな主観的判断に対して、客観的手法により補正できるようになる。
- ④統計処理からの情報により、当該工事についての新たな知見を得る可能性が高くなる。

3. 歩掛り利用の現状と問題点

歩掛りの利用形態は工事の見積りから計画・管理・評価の各段階によって多少異なることから、ここでは建設工事を図-1のように4段階に分けて考える。

そして、その各々の段階における歩掛り利用の現状とその問題点について整理した。

3.1 積算見積段階

積算見積段階では、発注者より提示された工事諸元により、入札のための見積価格の算出、および見積価格算出のための概略工程を作成する。この時、概算見積だけでなく詳細見積を行う場合もある。従って、この段階では見積価格の算出や概略工程作成のために歩掛りデータを使用する。

この段階で使用する歩掛りは、過去の工事からの実績値や公表されている各種標準歩掛り表を基に決められる。この時、外注契約における相場単価から逆算された歩掛りを加味する場合もある。

〔問題点〕

- ①現場からフィードバックされるデータが少ない。
- ②歩掛りに関する基準が統一されておらず、データの精度も悪い。
- ③歩掛りデータが、作業条件などの必要な形式で分類されていない。
- ④企業内での標準歩掛り表が整備されていない。
- ⑤過去の工事や標準歩掛り表から得られるデータでは、対象工事の条件に合わない場合が多く補正を必要とするが、この補正方法が明確にされていない。

3.2 施工計画段階

施工計画段階とは工事受注後、着工に至るまでの期間で、施工技术計画・調達計画・工程計画および管理計画などを行い、実行予算を作成する。

この段階では、工事条件（担当協力業者・資機材在庫状況・労務状況・資金状況および近隣状況など）が前段階より更に明らかになっているので、より詳細な検討が行われる。

〔問題点〕

- ①詳細な作業条件に対応した歩掛り表が、整備されていない。
- ②施工計画立案者の経験度合いにより、算定された歩掛りの精度が大きくばらつく。
- ③歩掛りを算出するための資料（工事完了報告書・施工計画書・その他の歩掛り資料）が多く、歩掛りの検討に時間がかかる。

3.3 施工管理段階



図-1 建設工事の各段階

施工管理段階とは、着工から竣工に至るまでの期間で、日常的な作業能力の分析や、計画と対比した進捗管理・品質管理・安全管理などを行うことにより、工事を実施する。

ここでは、投入資源数量や消化工事量より作業能力を求めたり、実績値のバラツキや経時変化の程度、および作業条件の分析などによる作業管理に歩掛りを用いる。また、残工事の工程や最終原価を推定するのにも歩掛りを用いる。

〔問題点〕

- ①現場から詳細な作業条件による歩掛りデータを収集する体制が整備されていない。
- ②収集されたデータには様々な作業条件のものが集約されている場合が多く、詳細な分析ができない。

3.4 施工評価段階

竣工後の段階で、協力業者の作業能力の評価や完了工事についての評価を行う。また作業条件の変化による歩掛り変動の分析などにより、次工事の積算や計画に利用するための実績値を整理し蓄積する。

ここで歩掛りは、評価基準や代表的な実績値として用いられる。

〔問題点〕

- ①作業条件ごとに整理して歩掛り報告書を作成するのに、非常に手間がかかる。
- ②今後の同種工事の目標設定の基礎データとなるため、収集されるデータの値が実績値と異なり、余裕を持ったものになりやすい。
- ③建設工事は多種多様であり、相当多くのデータを収集しないと、ある工種や条件の作業に対して妥当性のある分析結果が得にくい。

4. 歩掛りの概念整理

4.1 現状における歩掛りの使われ方

歩掛りは、工事量・投入資源数量および所要時間から求められる指標であると考えられるが、実際には用いられる場面によって意味、内容が異なっていることが多い。

そこで、まず歩掛りに関する用語を文献やヒヤリングにより調査し、それらを整理したものが表-1である。この調査結果を要約すると、次のようなことが言える。

①歩掛りには、利用目的や精度、または対象とする資源の種類などにより種々の用法がある。

②一般に歩掛りとは、単位工事量を処理するのに必要となる延投入資源数量を表わす指標である。

③投入資源の種類としては、作業員・機械および材料がある。

④主に歩掛りは、当該工事量を施工するのに必要となる延投入資源数量を求めて、それに資源単価を乗じて所要費用を算出するのに用いられている。

⑤投入資源が作業員や機械の場合は、作業員1人・日あるいは機械1台・日あたりの消化作業量を指すことがあり、作業能力の把握に用いられている。

4.2 歩掛りの定義と分類

次に、工事計画や管理において利用される歩掛りについて、現状における定義や分類法を以下のように整理してみた。

(1) 歩掛りの定義

歩掛りとは、ある工事において必要とされる投入資源数量を、単位工事量当りで示した数値で、その工事の原価や作業期間の算定に用いる。ここで投入資源とは、作業員・機械・材料などを指す。

$$\text{歩掛り} = \frac{\text{延投入資源数量}}{\text{工事量}} \quad \text{式-1}$$

例) ・型枠組立の歩掛り 0.1人・日/m²

・鉄筋組立の歩掛り 2.5人・日/t

一方、上記の歩掛りの逆数で表わされた数値も歩掛りと称されている場合もあるが、ここではこれを作業能力と呼ぶこととする。

(2) 歩掛りの分類

①使用目的による分類

a) 標準歩掛り (積算歩掛り)

標準 (もしくは概略) 作業状態を設定して、概略工事原価の予想や概略工程計画を作成するために

用いる。

b) 所要歩掛り (施工歩掛り)

各工事の個別 (もしくは詳細) 作業状態を設定して、詳細工事原価の算定や詳細工程計画の作成を行うために用いる。

②投入資源の種類による分類

a) 作業歩掛り

対象となる資源が、作業員または機械である作業の歩掛り。

・労務歩掛り : 主要資源が作業員の場合

・機械歩掛り : 主要資源が機械の場合

b) 材料歩掛り

対象となる資源が、その工事に附随する材料である歩掛り。

5. 歩掛り利用におけるデータ分析の視点

ここでは、歩掛りデータを工事の計画や管理の中で利用するために、鉄筋組立や型枠組立といった単位作業について、データの分析・収集および利用の基本的な考え方について述べる。

5.1 歩掛りデータ変動の考え方

(1) 歩掛りの変動要因

現場から収集されたデータには、大きなバラツキがあり、これには作業を実施した時の諸々の作業条件が強く影響していることは、これまでの経験から容易に想像ができる。

しかし、これらの要因の多くが作業員の技能とか足場状態とかの数量で表わされない質的なデータであることが多く、このためにある程度標準の作業状態を想定した標準歩掛りが用いられ、特殊な条件の場合はこれを補正する方法をとってきた。

しかし、この標準作業状態の定義が明確にされていないため、この標準歩掛りの信頼性を損なう結果となっている。

歩掛りデータの変動に影響すると考えられる要因としては、①工事の種類②構造物の種類・形状・規模③使用材料の種類④作業環境⑤作業の難易度⑥熟練度⑦自然条件などのように非常に多くのものが挙げられる。

(2) 歩掛り変動の統計的な取扱い

次に、この歩掛りの変動を統計的に表わす。

表－１ 歩掛りに関する用語と内容

用 語	内 容
歩 掛 り	・単位工事量に対する人工によって表わされ、人工は１日の標準作業量によって算出される。１) ・単位工事量を処理するのに必要な延投入人数。２) ・標準単位工事量を施工するための所要人工数および材料所要量。工種の歩掛り人工数は就労延人・日で表わす。３) ・標準工事量を施工するための所要労務延時間数。４) ・工事目的物の単位量（単位容積、単位体積など）に要する労務者数をいう。５) ・工事の各作業に要する所要人員。６) ・人間または機械の仕事量に対する割合を数字で示したものであり、結果として、その仕事量に対する価値を価格に結び付ける基準尺度である。７) ・建築の各部分工事の原価計算における原単位的な概念。部分工事量１単位当りの標準労働量、標準資材量などである。８) ・作業員１人・日あるいは機械１台・日当りの消化工事量。
標 準 歩 掛 り	・はん用的な各種の工法において標準的に用いられている機械、労働力、材料の組合せ、当該組合せによる標準的な施工能力、当該工法の標準的な適用範囲を定めたもの。９) ・建設工事を構成する各部分工事の１単位の生産量に対して、過去の実績などから設定した標準的な必要労働量、必要資材量。建設工事は、一般に施工条件が一樣ではないので、単位工事量当りの労働量、資材量も一樣ではないが、原価計算の便宜を図る上での標準を定めようとするものである。ただし、あらゆる工事に応用し得るような標準歩掛りは求めにくく、現状では各企業者や施工者ごとに、まちまちに数値を設定している。１１)
標 準 総 歩 掛 り	・工事種別と工事数量と施工条件の三つの条件から標準歩掛り表を検索し、工事種別ごとに、標準歩掛りと工事数量との乗算を行い、これを合計したもの。１０)
複 合 歩 掛 り	・細目工事レベルにおいて、各種の工事に対して共通に使用できるような標準化の可能なものについて、細分化された個々の標準歩掛りのかわりに、それらを統合したもの。９)
所 要 歩 掛 り	・適用することに決った項目の補正のための数値を、工事種別ごとに標準歩掛りに乗じて、これらを合計したもの。９)
工 事 歩 掛 り	・人間の労働の仕事量に対する割合を数字で示したもの。１１)
施 工 歩 掛 り	・時間当り作業量、時間当り機械経費、単位量当り労力等。９)
労 務 歩 掛 り	・建設工事において単位工事量を施工するのに必要な労務量。標準作業量の逆数に当るが、建設工事の場合は作業能率向上の目標としての意味はあまりなく、材料歩掛りと組合せて、専ら見積り原価計算のための資料として利用されている。８) ・労務費の見積り、作業員・宿舍の手配、継続の作業能率のチェック、PERTによる工程計画の基礎的資料に用いる。２)
労 力 歩 掛 り	・人工／時間、人工／作業量。９)
人 力 施 工 歩 掛 り	・人力のみによる作業能力によって定まる歩掛り。７)
機 械 施 工 歩 掛 り	・機械と機械作業だけでは完全に仕上げができないために必要となる人力作業（のり面仕上げや舗装仕上げ）、運搬路補修や交通整理など、現場条件によって必要な機械作業のための補助的な仕事に対する労務による作業能力によって定まる総合的歩掛りをいう。７)
材 料 歩 掛 り	・建築工事の単位工事量当りに必要な材料数量をいう。８)

※ 表中の１）・・・は参考文献を示す

まず、歩掛りデータが得られた時の施工条件をつぎの例のように $a_i, b_j, c_k, \dots$ と表わす。

例) 要因 (アイテム) 条件 (カテゴリー)

a : 構造物部位	$\left\{ \begin{array}{l} a_1 : \text{床} \\ a_2 : \text{スラブ} \\ \dots \dots \end{array} \right.$
b : 天候	$\left\{ \begin{array}{l} b_1 : \text{晴れ} \\ b_2 : \text{雨} \end{array} \right.$
c : 技能レベル	$\left\{ \begin{array}{l} c_1 : \text{上級} \\ c_2 : \text{中級} \\ c_3 : \text{低級} \end{array} \right.$
.....	

ある特定の施工条件 ($a_i, b_j, c_k, \dots$) における歩掛りデータ Y と、この中の1つの要因 c の条件が c_k' に変った施工条件 ($a_i, b_j, c_k', \dots$) における歩掛りデータ Y' の分布が図-2となる時、この差を要因 c の条件の違いによるものと考えれば、要因の歩掛りデータに与える影響度を定量化できることになる。

(3) 変動要因の考え方

歩掛りデータの変動要因には、前述したように非常に多くのものがある。そこで、一般の標準歩掛りでは建設工事全般に共通かつ簡便に利用できるように、その分類に使っている要因を限定している。このために、個々の施工条件への対応がとりにくいの、さらに詳細なレベルの要因を組込んだ歩掛り (所要歩掛りのようなもの) が必要となる。

しかし、現実には施工条件 (要因ごとの条件の組合せ) を個々に変化させて歩掛りデータを収集することは容易ではなく、しかも建設工事の施工条件は多種多様であるため、歩掛りデータの変動に影響する要因 (アイテム) とその条件 (カテゴリー) を列挙し、それらの全てについての影響度を把握することは非常に困難である。

従って、要因とその条件を歩掛りの利用レベルである程度集約して設定し、そのレベルでの歩掛りデータの変動を把握するほうが实际的である。

このためには、歩掛りの各利用場面に必要とされるレベルの要因を抽出し、歩掛りデータの変動に対する各要因の影響度および要因以外によるバラツキの大きさを定量的に把握することが重要な課題となり、これには統計的な分析手法を適用することが良

要因: c の条件が変化することによる差

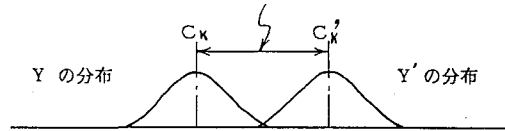


図-2 条件の違いによる歩掛りデータ分布

いと考える。

5.2 歩掛りデータ分析の方法

個別工事から得られた歩掛りデータ Y が、それぞれの施工条件 ($a_i, b_j, c_k, \dots$) による影響と、それ以外の確率的なバラツキによって変動すると考えると、次のような歩掛りデータの構造モデルが想定できる。

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \dots + E \quad \text{式-2}$$

ここで μ : 歩掛りデータの全平均

α_i : 要因 a の条件 i の影響

β_j : 要因 b の条件 j の影響

γ_k : 要因 c の条件 k の影響

.....

E : 取上げられた施工条件以外の要因によるバラツキ

工事の計画・管理業務の中で歩掛りを利用する場合、それぞれの業務で考慮する施工条件のレベルや内容は異なることから、各業務で要求される歩掛りの正確さや精度もそれに対応したものになる。

これをデータ構造モデルと関連づけて表わしたものが図-3である。このように歩掛りデータの分析においては、歩掛りが必要とされる施工条件のレベルに対応した構造モデルを求めることが重要と考えられる。

また、これにより歩掛りデータの変動をうまく説明することができれば、施工条件と歩掛りの値との対応関係が定量化され、種々の施工条件における歩掛りを精度良く推定することが可能となろう。

5.3 歩掛りデータの収集と利用

歩掛りデータは施工の結果として全ての工事から発生するものであり、これを図-4のように個別工事内での計画・管理や、個別工事の実績を集約した形で次工事の計画に活用できるようにするためには、

利用の目的を明確にした上で、できるだけ効率的な方法で収集できるシステムを構築することが重要な課題と考えられる。これには、最近現場事務所に普及してきているパーソナルコンピュータを利用したデータ収集および分析システムの作成が考えられる。

また施工管理段階において、その工事で発生した実績データを用いてフォローアップする場合、これまでに収集され統計処理された統計データと実績値の相違をどのように取扱うのかは、非常に難しい問題である。

6. 研究の進め方

歩掛りデータの変動特性を把握し定量化することにより、今後の工事の積算見積りや施工計画に利用できる形で整備するためには、統一した様式で詳細な作業条件とともに収集した大量の実績データが必要である。

しかし、その収集には多大な労力と時間を必要とするため、本研究では分析の対象を特定の工事種類に限定した上で、まず施工管理段階での利用のための歩掛りデータの収集・分析の方法論を中心にして、以下の手順で研究を進めることにした。

- ①対象工事および対象作業の設定
- ②歩掛り変動要因の抽出
- ③データの収集・分析方法の検討
- ④データの収集・整理と分析手法の適用
- ⑤歩掛りデータの変動特性の整理、予測式の作成
- ⑥組織的な歩掛りデータ収集とその蓄積方法の検討

6.1 対象工事・作業の設定

実際にデータ分析するためには、なるべく多くの実施データを収集する必要がある。また、作業の消費資源数量とそれによる出来高数量が、明

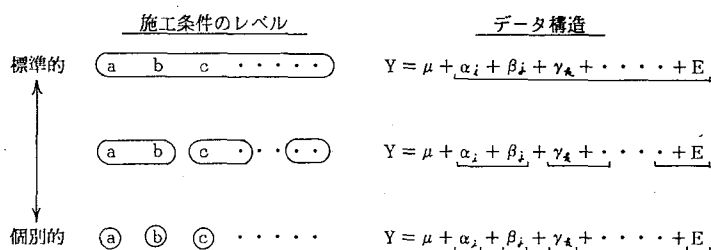


図-3 施工条件のレベルとデータ構造の対応

確であることも重要である。そこで、一連の作業がコンクリート打設の単位を基本としてサイクリックに行われるために同一作業の実施データが比較的多く収集でき、また作業区分もしやすい高架橋や地下鉄などのRC構造物工事を取上げて、その主要な鉄筋組立・型枠組立およびコンクリート打設の3作業の労務歩掛りを歩掛り分析の対象とした。

6.2 歩掛り変動要因の抽出

まず、歩掛りデータ収集の対象となる作業の範囲を明確にした。そして次に、その歩掛りの変動に影響すると考えられる要因を列举し、それ等の要因を分類して特性要因図に整理した。この図を基に現場技術者とのヒアリング調査を行い、各要因の影響度の強弱も考慮して、図-5のような特性要因図を作成した。

この図より、各作業の歩掛変動に及ぼす主な要因

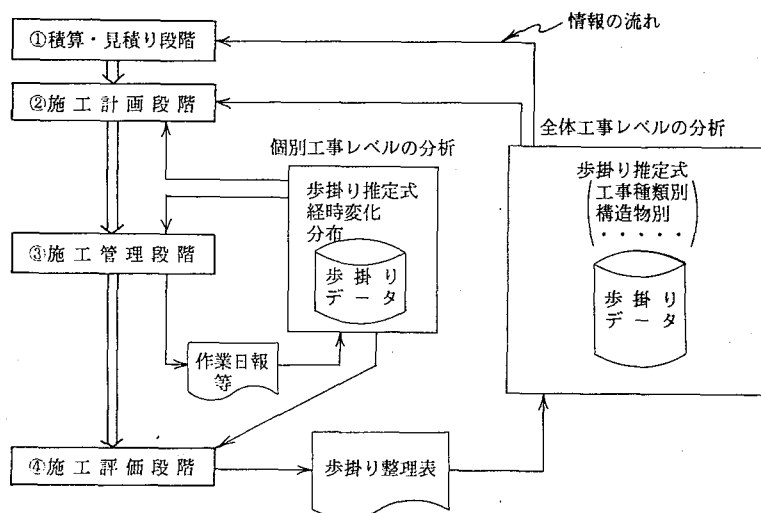


図-4 歩掛りデータ利用の構想

としては、次のようなものがあげられる。

(1) 型枠組立て作業

材質・職人の熟練度・型枠の複雑さ・材料の場内運搬距離および作業時間帯など。

(2) 鉄筋組立て作業

鉄筋の種類・職人の熟練度・組立形状・材料の場内運搬距離および作業時間帯など

(3) コンクリート打設作業

材質・打設量・気温・投入箇所数・打設方法および作業時間帯など。

6.3 データの収集方法の検討

(1) データの収集内容

特性要因図により各作業の歩掛り変動に影響する主要な要因が推定できるので、次にこれをどのような形でデータ化するかを検討する(例えば、5.1の例のように)

ただし、これらの要因による歩掛り変動の影響度は、実際のデータ分析により検証することになるので、この段階ではそれほど要因を絞る必要はない。しかし、現実に収集してデータ化ができない要因を選定したり、重要な要因を忘れてしまわないように注意する必要がある。

(2) データの収集方法

歩掛りデータの主な収集源としては、日々の作業を記録する工事日報が考えられる。これより、作業日数、作業内容、構造物部位、時間帯、天候、業者などをデータ化できると考えられる。またその他の構造物形状、材料種類、作業環境条件などについては設計図書、施工図、現場担当者のヒアリングによって調査し、データ化する予定である。

6.4 データの分析方法の検討

分析に用いる主な手法には、以下のものを考えている。

(1) ヒストグラム

要因ごとに層別して歩掛りデータの分布特性を把握するのに用いる。このとき平均値、分散の他に歪度、尖度についても求め

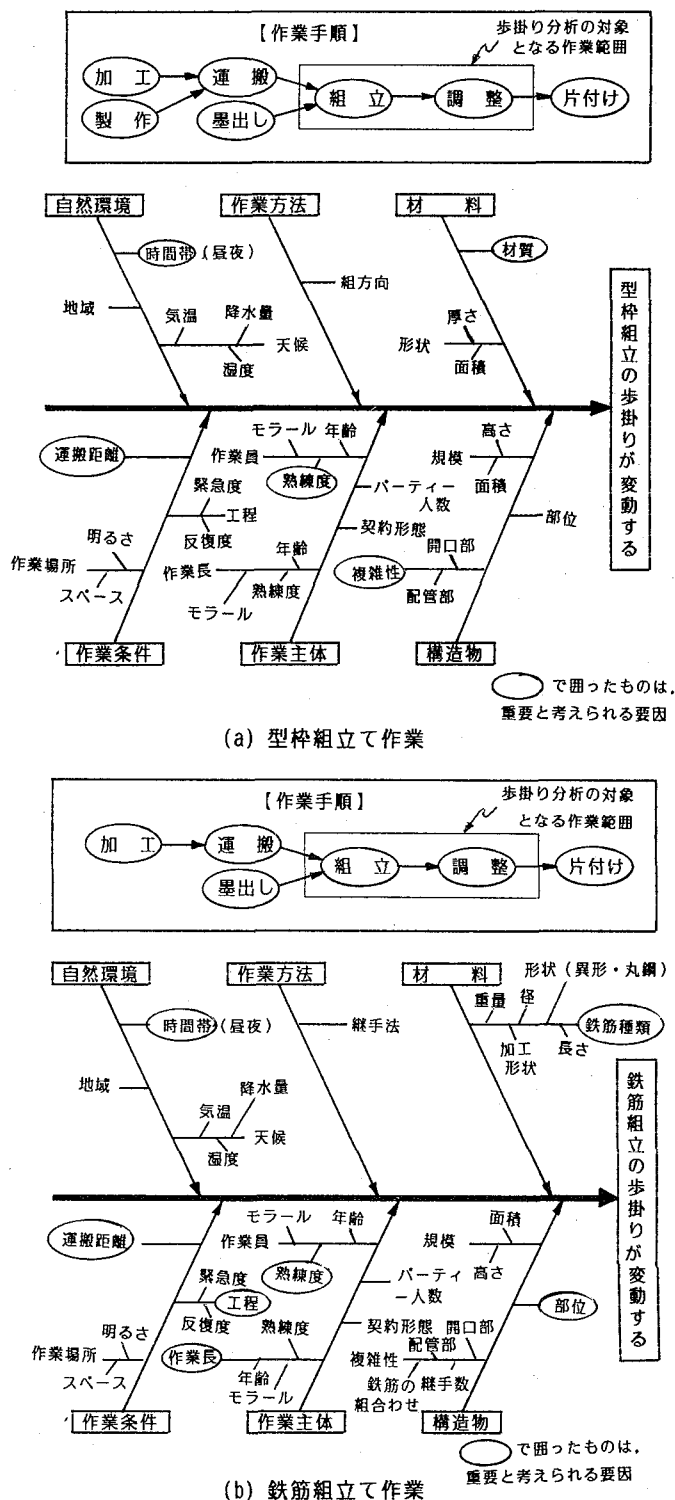


図-5 歩掛り変動の特性要因図

ておく。

(2) 分散分析法

歩掛りデータ変動に対する要因の効果を統計的有意性を分析し、要因の影響度を分類するのに用いる。

(3) 相関分析法

要因の独立性を積率相関係数や関連係数を用いて把握するのに用いる。

(4) 主成分分析法・数量化理論Ⅲ類

相関性のある要因をグルーピングし、歩掛りの推定式に組入れる要因をしぼるのに用いる。

(5) 数量化理論Ⅰ類

歩掛りデータ変動に関する要因には定性的なものが多いので、これらを含めた多くの要因の影響度を多次的に定量化するとともに種々の作業条件における歩掛りの推定式を求めるのにこの手法を用いる。

(6) 回帰分析法

作業の繰り返しによる歩掛りの減少（作業能力の向上）の傾向を対数線形モデルにより回帰して習熟曲線を求め、総工事量に対応する平均的な歩掛りの推定式を求めるのに用いる。

7. おわりに

この研究はまだ始めてから日が浅いため、実際のデータを使った分析段階にまでは達していない。

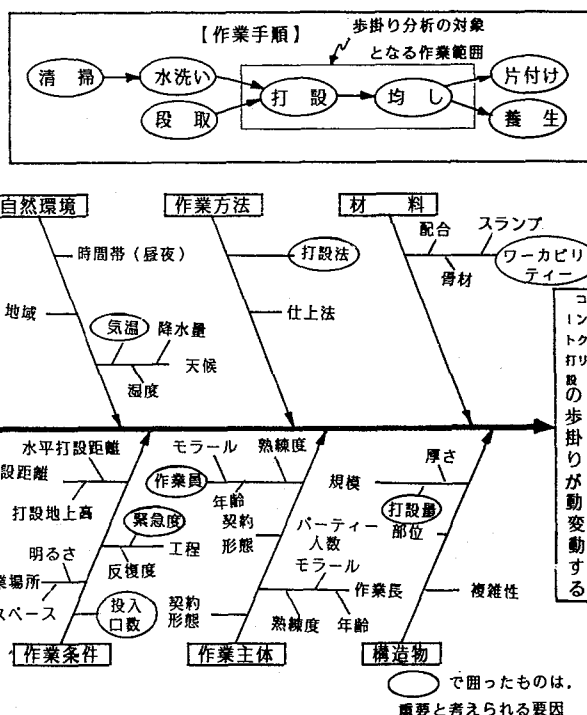
しかし、今後はいくつかの工事を選定して、実際のデータ収集ならびに分析手法の適用を進めたいと考えている。

最後に、本研究を進めるにあたって終始貴重な助言を賜った京都大学春名 攻助教授に謝意を表わす。

(*1) 【データ分析グループ構成メンバー】

池田将明（京都大学）*，安井英二（鴻池組）
中村正博（フジタ工業），島村直幸（大林組）

* 代表（フジタ工業より研究員として京都大学へ派遣中）



(c) コンクリート打設作業

図-5 歩掛り変動の特性要因図

【参考文献】

- 1) 古野二郎『建設技術者のための施工管理』山海堂
- 2) 河野 彰『現代土木工学6 土木施工管理』丸善
- 3) 佐用泰司『土木の見積りと工程管理』鹿島出版会
- 4) 佐用泰司『工事管理』鹿島出版会
- 5) 建築用語辞典編集委員会『建築用語辞典』技法堂
- 6) 建設物価調査会『土木工事の業務必携』
- 7) 田村 宥『新体系土木工学97 契約・積算』技法堂
- 8) 金春国雄『建築大辞典』彰国社
- 9) 土木工事積算研究会『昭和58年度版 建設省土木工事積算基準』建設物価調査会
- 10) 島 廣二『コンピュータによる工事積算』経済調査会
- 11) 『改訂13版建設工事標準歩掛り』建設物価調査会