

山岳トンネル工事現場のシステム化に関する研究

A Study on a Development of Construction Management System on Tunnelling Project

立命館大学 春名 攻*

(株)奥村組 北角 哲**

(株)奥村組 ○五十嵐善一**

By Mamoru Haruna, Akira Kitazumi, Zenichi Igarashi

建設業の施工条件は従来に増して複雑多岐にわたっており、工事の施工管理に関する基準や項目も増加の傾向にある。一方、コストダウンによる管理費用の削減のため、1現場当りの職員数は減少しており、職員不足が顕在化している中でロボット化に伴う安全・品質管理の変化など新たな管理問題も生じている。このような状況のなかで、少ない職員で現場を運営していくためのマネジメントシステムの構築が必要であると考え。

このマネジメントシステムは、現場のロボット化や自動化により発生する施工情報や計測情報を活用して、現場職員のルーチン業務の軽減（OA化）を行うとともに、専門技術者としての技術的判断の支援を行うことを目的としている。

本報告は、現場に対するアンケート調査をもとにして現状の現場施工管理業務の構造を解明し、その問題点の明確化を行うとともに、AI、ニューメディア、通信技術といった新しい技術を応用した個別システムを組み合わせることによる合理的な現場生産システムの概念について1つの提案を行うものである。

【キーワード】 マネジメントシステム、システム開発、アンケート調査、建設現場、トンネル工事

1. はじめに

建設業の施工条件は、従来に比較して大変複雑で困難な状況を迎えている。特に、過密な市街地での都市土木事業や大規模・広域的な建設事業では、経済性や迅速性さらには目標品質達成の確実性や施工の安全性を確保していくための高度なマネジメント技術が必要であると考え。

一方、コストダウンのために1現場当りの職員数は減少しており、職員不足は顕在化している。

また、施工に関する管理項目や基準は、ロボット化とあいまって、複雑多岐化の傾向にあり、専門技術者としての現場職員の担当業務は高範囲にわたり多忙であると考え。

このような背景の中で、土木が対象とする土質や岩盤の不確実性については計測施工が、また新しい生産システムとしてはロボット化やOA化が始まっているが、工事そのものをシステム化するための試みや研究は、いまだ体系的に行われているとは言

ない。幸い、AI、ニューメディア、通信技術といった新しい生産システムが現実のものとなりつつある中で、これらを現場のマネジメントの道具として取り入れることにより、比較的困難とされてきた現場職員の実作業（下請業者等との打合わせ、現場巡視等）を機械化し、すでに開発済みの管理システム（OAシステム）と組み合わせることにより、合理的な現場生産システムを構築することが可能であると考え、研究を行うことにした。

新しい生産システムを実現するためのプロセス¹⁾は、春名の提案する方法であるI. 概念システムの設計、II. 実験システムの設計、III. 実働システムの設計という3段階のステップを踏むことにし、まず概念システムの設計段階として、本社～支店～現場という会社組織の階層構造のなかで、現場の組織構造に起因する問題についての構造化と解決のための視点を明確にすることにした。

方法としては、現場へのアンケート調査を実施することにして、比較的システム化の効果が高い（発

* 理工学部 土木工学科 075-465-1111 内線3701

** 本社 電算センター 06-621-1101

注者側を含め、マネジメントと意思決定が比較的システム化されている）NATMの現場を対象とした。今回の報告では、この結果を報告するとともに、システム化のための1提案を行うものである。

2. 工事管理システム開発の手順

近年、パソコン等の情報処理機器は長足の進歩をとげている。土木工事分野においても、その利用は今まで計測管理業務が中心であったが、施工管理技術面で積極的に活用する場合が増加している。これに加え、施工に関する様々な業務を効率よくマネジメントするために、マルチメディアシステム、通信技術などを有効に利用した本社や支店をも含めた範囲での工事管理システムの開発が活発に進められている。

ところで、工事管理システムの開発にあたっては、その対象となるシステムの構造を明確にすることが必要である。その構造は、トップマネジメント（本社）のレベル、ミドルマネジメント（支店）のレベルおよび現場レベルの階層構造となっていることが知られており、どの階層でのシステム開発であるかを事前に想定することが必要である。この研究では、主に現場レベルの工事管理システムを想定しており、現場を中心にして、施主の担当者および支店の担当部署の範囲と限定している。

一方、工事管理システムのような種々の資源（人材、資材、資金、情報等）を複合的に活用するシステムの開発の進め方として、概念システムの設計、実験システムの設計、実働システムの設計といった3つの段階的プロセスが著者の1人から提案されており、さらに設計手順も合わせて提示されている。²⁾

このシステム設計の3つの段階と主な検討内容および検討範囲を図-1に示す。

システム設計は、このように概念システムの設計段階、実験システムの設計段階を経てから実働システムの設計を行う手順をとる。

しかし、実際のシステム開発には、そのプロセスが抽象的であり分かりにくいいため、具体的な作業毎に5つの段階と3つのステージに機能を分割してフロー化して表示したものを、図-2に示す。

ここでは、システム開発の手順として、分析段階、構想段階、計画段階、開発実施段階および運用段階の5つの段階を示している。しかし今までの開発では主に社内の情報処理部門が、現場からの個別のニーズに対して適用した個別システムを作成することが多く、最後の2つの段階（開発実施段階、運用段階）を主に処理していた。

しかし、現場のロボット化や自動化にともなう施工情報や計測情報の増大、マルチメディアや通信技術の利用、現場に適用するシステムのデータの共有化、データベース化が進むにつれてシステムが拡大して複雑化・大型化する傾向にある。

今まではシステム開発に当って、情報処理部門のシステム開発担当者ごとの知識やノウハウに依存している部分が多く、個人により開発手順や手法が異なることが多く存在した。今後は複数のシステム開発担当者によるグループ開発となり、システム開発の標準化・マニュアル化が必要であると考える。

今回は、図-2に示すシステム開発のフロー図に従って現行の業務活動に関する調査から問題点の明確化を経て、その問題点を解決するためのシステム構想・開発を行った。

このなかで、現場システムのよしあしは、システム開発の初期の段階である概念システムの設計に依存していることが多く、情報処理部門のシステム開発担当者が、概念システムの設計段階からシステム開発に関与し、現場の要求を的確に理解し、良いア

概念的 検討レベル 実体的 検討レベル	概念論的検討	システムの 構想化	検討課題 の整理	方法論の 開発	設計情報の とりまとめ	設計条件 の整理	ハードウェア の選定	運用実験 (1)	運用マニュアル の作成			
				アルゴリズム の開発						ハードウェア の導入		
				運用実験								
	I. 概念システムの設計				II. 実験システムの設計				III. 実働システムの設計			

図-1 システム開発の段階と検討範囲

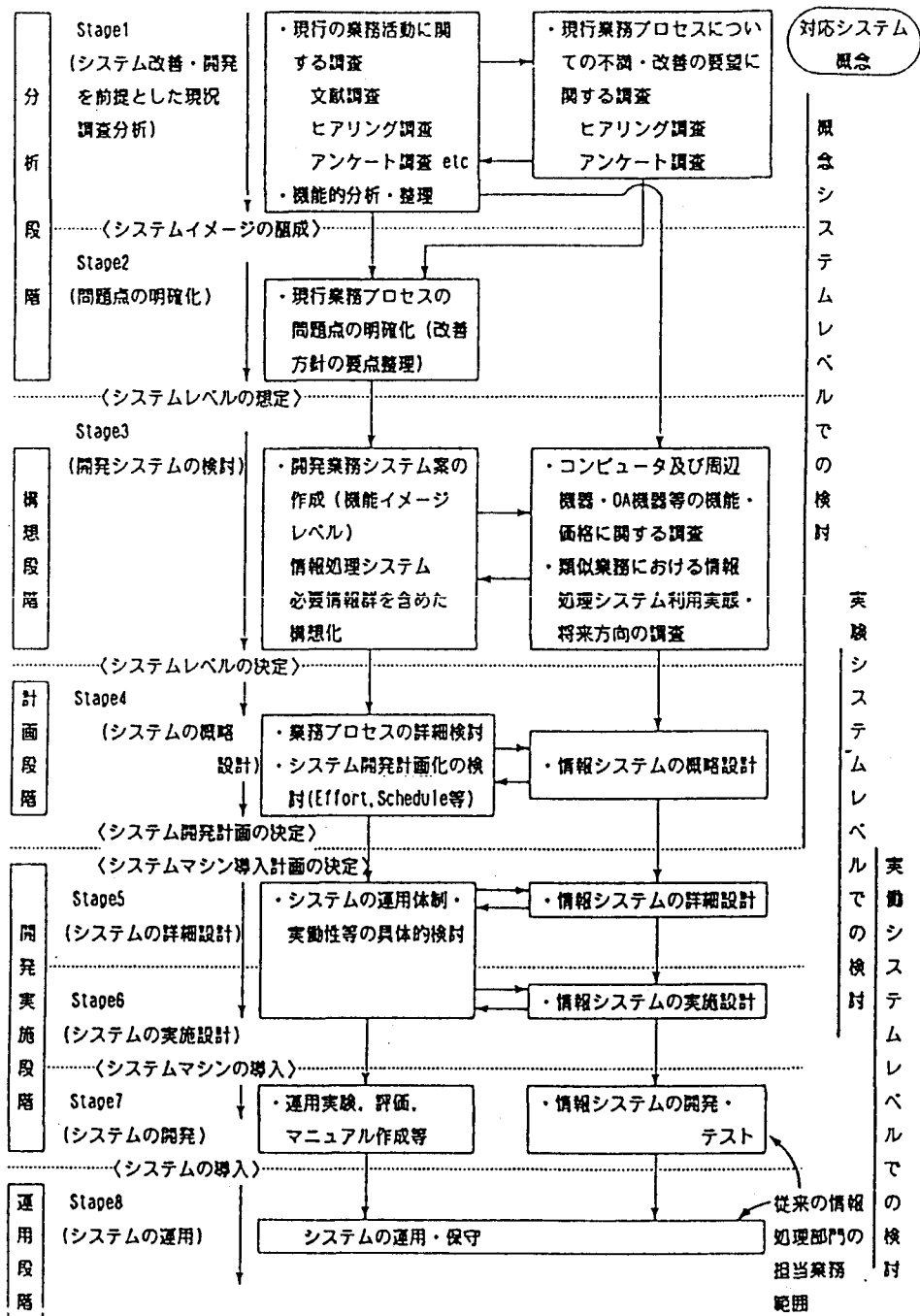


図-2 システム開発のためのフロー図

アイデアや着想を概念システムの設計に盛り込むことが新しく保持すべきシステム開発上の技術であると考える。

なお、現在実験システムの現場実証テストを行っており、今後は実験システムや実働システムでの設計手順の検討内容や整理に関する手法をまとめるつもりである。

3. アンケート調査による現状把握と分析

現場マネジメントのシステム開発のためには、その対象とする管理業務の現状認識と問題点の明確化が重要な課題であり、この段階での検討を十分に行っていないと、現場の要望と掛け離れたシステムとなり、実際に活用されない場合が多い。

そこで、図-2の分析段階のステージ1（システム改善・開発を前提とした現況調査分析）を行うこととし、具体的な手段としてアンケート調査を実施することとした。アンケート調査の項目や記述方式を検討するために、予め2現場において事前ヒアリング調査を実施し、アンケート調査のフォーマットを決定した。

その後、アンケート調査を実施して現場の職員の業務内容と問題意識に関する現状把握を行うことにした。

(1) アンケート調査の目的

アンケート調査の主な目的を以下に示す。

a) 現場業務の現状把握

- ・ 現場組織と職員の業務形態の把握
- ・ 現場業務管理上・遂行上の問題点の把握

b) 省力化・合理化を目指した理想的な現場像の検討

- ・ 問題点の解決策についてのまとめ
- ・ 今後期待される現場支援システムと周辺技術の役割の検討

(2) アンケート調査対象者

アンケート調査対象としては、平成3年7月時点で当社主体で施工中の山岳トンネル工事のうち、請負金額10億円以上の現場とした。該当する工事所

から10現場を抽出して適用したが、アンケート対象者は93名となった。この10現場の内訳は、単独工事1現場とJV工事（スポンサー）9現場であり、回答者は全ての現場担当者とした。回答者の役職による分類を図-3に示す。現場の役職としては、所長クラス18名（19.4%）、主任クラス28名（30.1%）、係員クラス47名（50.5%）である。

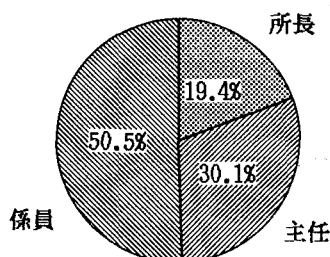


図-3 アンケート調査対象者の分類

(3) アンケート調査結果

調査結果としては、主に「現場組織と職員の業務形態の把握」と「現場業務上・遂行上の問題点の整理」について述べる。

a) 現場組織について

現場の業務を整理するにあたり、誰が（WHO）何を（WHAT）どのように（HOW）担当しているかがわかることが大切であると考えた。

このなかで、誰が（WHO）に相当するのが、現場を運営している組織であり、この現場組織を整理することからはじめることにした。

一般的な現場組織の特徴としては、工事を1つのプロジェクトとみなしたプロジェクト組織であり、プロジェクトを効率的・効果的に達成するために有期的に編成されている。この組織ではプロジェクト遂行の責任・権限・情報の一点化・集中化が必須であり、それらが各管理レベルに依拠して的確に委譲されることが最大のポイントであることが知られている。³⁾

アンケート調査結果では、2つのパターンに分類することができた。この2つの現場の組織構造を図-4および図-5に示す。

ここでは、所長を頂点としたトップダウンのマネジメント階層構造であり、ツリー状の構造となる。

パターン1は、工事課長の役職がなく、所長（あ

るいは副所長)の下位に直接、担当主任が所属し、その下位に係員が所属する3階層のツリー構造である。この形態は、所長の権限が大きく、所長は工事に精通していることが必須であり、工事規模としてはあまり大規模工事には不向きであると考えられる。しかし、トップの意思が下部に伝わりやすく、命令を徹底させることは容易である。今回の調査を行った現場のうち3現場(30%)がこのパターンであった。

パターン2は、所長(あるいは副所長)と工事主任の間に工事課長の役職をおいた構造であり、パターン1に比較して1階層増えて4階層である。

しかし、工事課長は業務内容から判断して所長と同等(あるいはそれ以上)に幅広い仕事量があるうえに、所長と主任の間のコミュニケーションのパイプ役・調停役を行う仕事もあり激務であると考えられる。今回調査を行った現場では、7現場(70%)がこのパターンである。

所長が複数の現場の統括所長である場合は、パターン2であり、所長(あるいは副所長)はある程度工事課長に施工管理・現場運営を任せて、営業活動や他の現場の状況把握を行っていると考えられる。

b) 役職と業務内容について

役職と業務内容との関係を整理するにあたり、業務の内容を総括管理業務、施主関連業務等14項目に分類し、役職毎に負担となっている業務を整理したものが表-1である。

この表の"○"は業務時間の割合の大きな業務であり、回答者の労働時間に対して、平均30%以上を担当している業務である。"□"は業務負担の大きな業務であり、業務時間とは関わりなく担当した時に、肉体的あるいは精神的に疲れ、ストレスの大きな業務のことである。アンケート調査では、回答者に、各業務ごとにチェックしてもらった。その結果、回答者の20%以上のチェックがある場合に"□"を記している。また、"△"はその他の担当業務である。

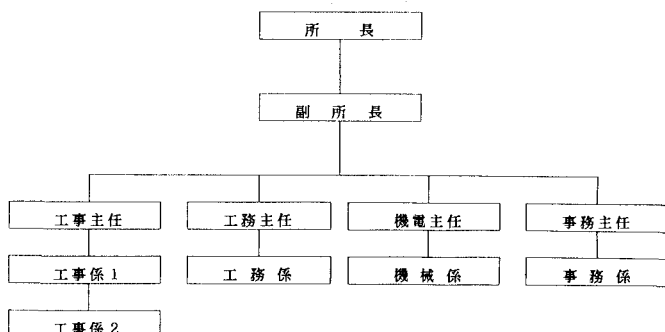


図-4 現場組織の構造 (パターン1)

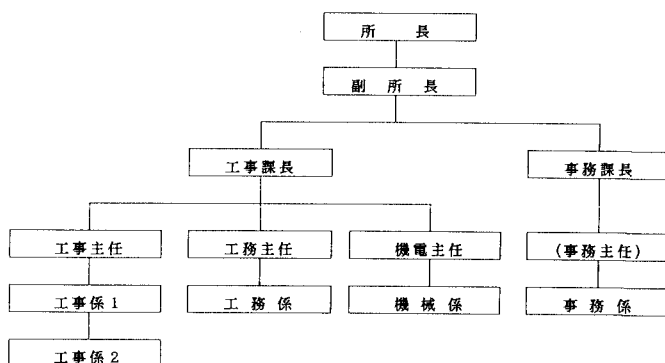


図-5 現場組織の構造 (パターン2)

業務内容から判断すると、所長、副所長および工事課長がほぼ同じ業務を担当しており、主任と係員とがグループ(工事担当グループ、工務担当グループ、機電担当グループ、事務担当グループ)として業務を担当していることがわかる。ただ、工事担当グループと工務担当グループとは、ほぼ同じ業務を行っている。これは、現場ではいわゆる土木屋の仕事を互いに協力しているためと考える。

現場組織が3階層の管理レベルで表現できるとして表-1の役職と担当業務の関係を再整理したものが表-2である。

主担当となる業務であり、かつ負担の多い業務としては、所長レベル(レベル1)は、総括管理業務、施主関連業務であり、工務担当の主任クラス(レベル2)では施主関連業務である。工事施工担当としては、主任クラス(レベル2)では現場巡視業務、施主関連業務、下請管理業務であり、係員クラス(レ

表－１ 役職による担当業務と負担度

業務内容 役 職	総括管理業務	施主関連業務	近隣対策業務	工事計画業務	下請管理業務	現場巡視業務	測量関連業務	計測関連業務	品質管理業務	出来高集計業務	資機材関係業務	請求書関係業務	支店関係業務	日報作成・ 帳票管理業務
所 長	○	□	□	△	△	△	－	－	－	－	－	－	△	－
副 所 長	○・□	△	△	△	△	□	－	－	－	－	－	－	△	－
工事課長	□	□	△	△	△	△	－	－	－	△	－	△	△	－
工事主任	△	△	－	△	□	△	△	△	△	△	△	－	－	△
工 事 係	－	△	－	△	△	□	□	□	□	－	□	－	－	△
工務主任	－	○・□	△	△	－	△	－	△	△	△	－	－	－	－
工 務 係	－	□	－	－	△	△	□	□	□	－	－	－	－	△
機電主任	－	－	－	△	△	○・□	－	－	－	－	△	△	－	－
機 電 係	－	－	－	△	－	△	－	△	－	－	△	△	－	△
事務主任(課長)	－	□	□	－	△	△	－	－	－	－	□	□	○・□	△
事 務 係	△	△	△	－	△	△	－	－	－	△	△	□	○・□	－

凡例；"○"：業務時間の割合の大きな業務
 "△"：業務負担の大きな業務
 "□"：その他の担当業務

表－２ 現場管理レベルによる担当業務

レベル	役 職	主 要 業 務
レベル１ (所長レベル)	所 長	・ 総括管理業務
	副 所 長	・ 施主関連業務
	工事課長	・ 近隣対策業務 ・ 現場巡視業務 ・ 支店関係業務
レベル２ (主任レベル)	工事主任	・ 下請管理業務、・ 現場巡視業務
	工務主任	・ 施主関連業務、・ 現場巡視業務
	機電主任	・ 現場巡視業務、・ 工事計画業務、・ 資機材関係業務
	事務主任	・ 支店関係業務、・ 請求書関係業務、・ 資機材関係業務
レベル３ (係員レベル)	工 事 係	・ 測量関係業務、・ 計測関係業務、・ 品質管理業務、・ 現場巡視業務
	工 務 係	・ 計測関係業務、・ 測量関係業務、・ 品質管理業務
	機 電 係	・ 工事計画業務、・ 現場巡視業務、・ 資機材関係業務
	事 務 係	・ 支店関係業務、・ 請求書関係業務

レベル３）では測量関連業務、計測関連業務、品質管理業務、現場巡視業務である。

従って、これらの業務の省力化・効率化を目指したシステム開発を行うことが大切であると考えた。

また、技術系職員の担当業務のなかで、出来高集計業務、請求書関係業務、支店関係業務および日報作成・帳票管理業務等の事務処理関連業務において

業務負担が少なくなっているのは、当社では既にこれらの一部処理をパソコンで実施しており、業務のＯＡ化がある程度進んでいるためと思われるが、事務系の職員では支店関係業務、請求書関係業務の改善が依然問題であり、事務システムの一層の発展が課題である。

C) 問題点の整理

アンケート調査のなかで、表－1の14項目の業務内容について現場担当員から具体的な問題点について記述してもらった内容をWBS(Work Breakdown Structure)で整理することにした。これは、図－2のステージ2(問題点の明確化)に相当するものである。

WBS手法は、問題点を階層的にまとめることで、その原因を把握し、改善方針の要点整理を行うのに、有効であると考える。

具体的な例として、下請管理業務における問題点についてのWBSによる整理結果を図－6に示す。

アンケート回答例を分類して具体的な問題点をレベル4として整理し、レベル2とレベル3の2階層でグルーピングしてWBSを作成した。

d) 開発システムのイメージ

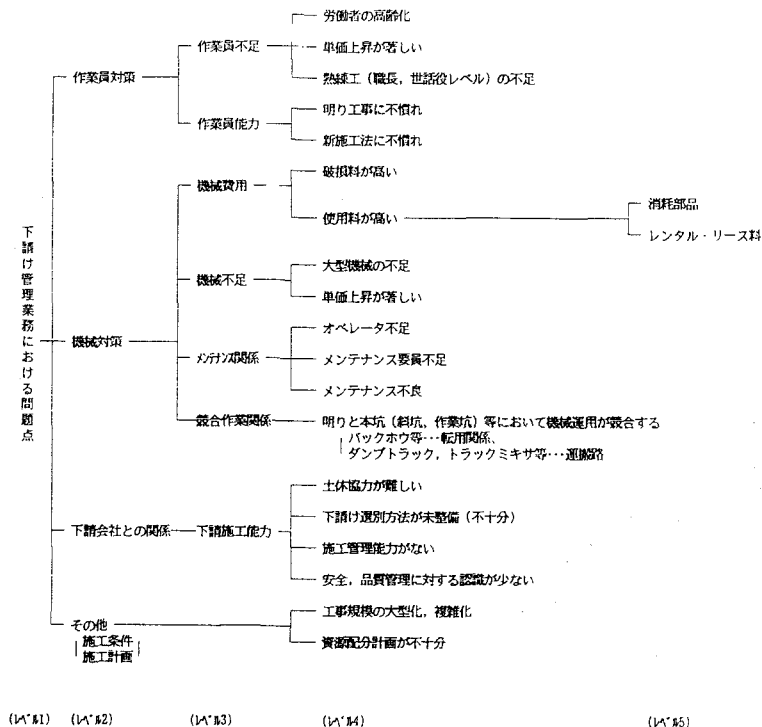
アンケート調査のなかで、問題点の解決策として記述されている項目を整理し、問題点との結び付きを行うこととした。

これは、図－2の構想段階のステージ3(開発システムの検討)に相当していると考えられる。

解決策としては、具体的なイメージを的確に表現している手段やシステム名としている。

図－6のレベル4の項目と、その改善策として提案された項目とを対比して整理し、各々関連している項目について線で結んで表示したのが、図－7である。これらの線の密度が、個別システムの開発優先順位を決定する1つの評価指標になると考えた。

また、問題点に対する解決策についてシステムの持つイメージ・機能等から考えられるキーワードを添付して整理を行った。これらにより、開発すべき



レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5
問題点	問題点大分類	問題点中分類	問題点小分類(単位)	問題点内訳・特記事項

図－6 WBSによる問題点の構造化(下請管理業務)

システムの全体イメージや有効性について検討することができると考える。他の13の業務についても同様の整理を行った。

4. 現場のシステム化の方向

(1) 現場組織形態について

現在の現場組織は前述したプロジェクト組織である。この組織は、それを構成する人員の活動形態によりタスクフォース組織(task force organization)とマトリックス組織(matrix organization)の2つに分類される。

現在、一般的には現場組織内の職員は現場内に専従していることが多く、タスクフォース組織である。

しかし、事務職員や機電職員では、複数の現場を兼任することが多く、マトリックス組織的になりつつある。

そこで、2つの組織の特徴を以下に示し、今後の現場職員の活動形態を考えることにする。

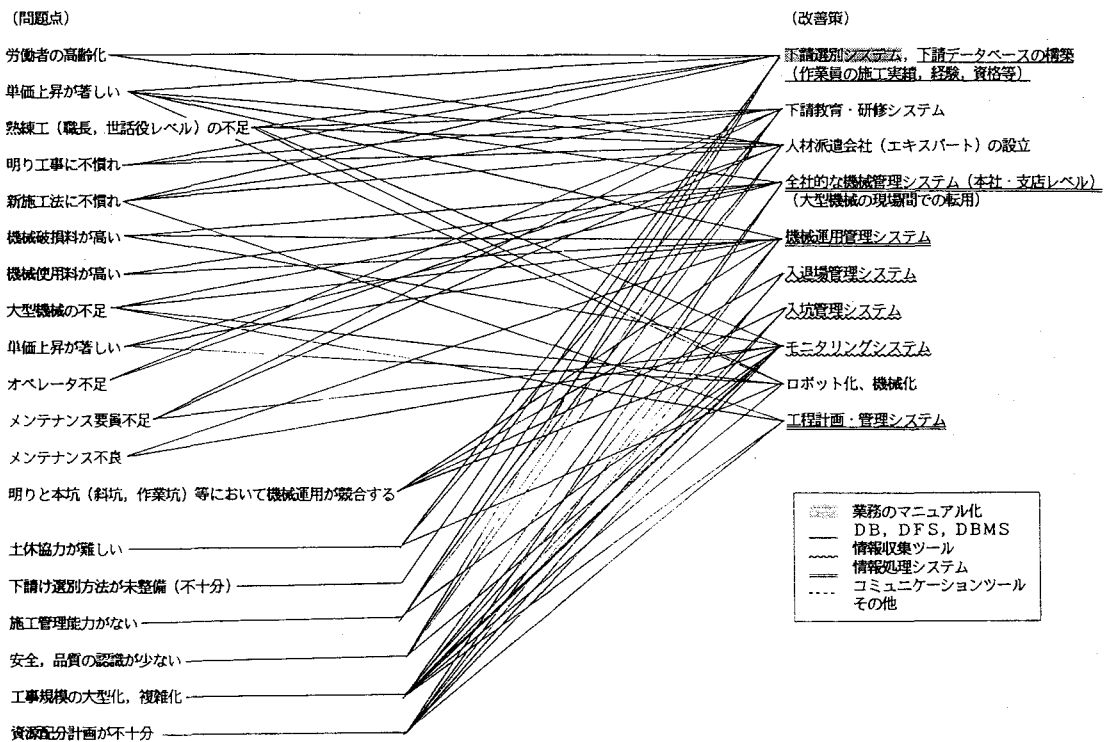


図-7 問題点と改善策の相関（下請管理業務）

a) タスクフォース組織(task force organization)
プロジェクトに必要な機能に関する全ての要員を必要期間そのプロジェクトに専従させ、プロジェクト・マネジャーの指揮下に置き、機能別組織(functional organization)からは完全に独立した形態の組織である。

施工現場では、今までこの形態で運用されている場合が多い。

(長所)

- ・指揮・命令系統が単純でトップダウン的である。
- ・情報の流れが単純で明確である。
- ・事象に対して迅速な反応・処理が可能である。
- ・プライオリティーがプロジェクト単独で決定できる。
- ・プロジェクトチームと機能別組織間の対立がない。

(短所)

- ・プロジェクトの目的と必要な技術・要員の供給の均衡が保たれにくい。
- ・情報が他のプロジェクトで利用されない。

- ・エキスパートの養成・保持が効果的に行えない。
- ・プロジェクト終了段階で要員の機能別組織への復帰が効率よく行えない。

また、機能別組織とは、企業活動を維持・発展させるために必要な全ての機能を備えた恒久的な組織であり、プロジェクト組織の母体組織として位置づけられる。この組織形態は、刻々進歩する技術を維持・開発し、人材を育成する重大な役割を担っており、通常機能別に組織化されている。当社では、本・支社（店）がこの機能を担っている。

b) マトリックス組織(matrix organization)

プロジェクトのマネジメントに従事するスタッフのみを、プロジェクト・チームに専従させ、実行作業は機能的組織で遂行する組織形態である。この形態のなかでも、純粋なマトリックス組織では、プロジェクト・チーム側にマネジメント要員のみが所属するが、これに対して一部の特定業務の実行作業の要員もプロジェクト・チームに所属させ、専任とし

たものが強化マトリックス組織（enhanced matrix organization）である。

マトリックス組織では、タスクフォース組織と長所と短所が反対となる。例えば、マトリックス組織では、ツーボス（２つの指揮系統）による指揮・命令の複雑さがあり、チームと機能別組織との利害の衝突がおこりやすい短所があるが、要員効率がよく、効果的な技術力の保持が可能である長所がある。

今後の現場組織は、少ない職員数で運営していくことになり、タスクフォース組織から強化マトリックス組織への移行が必要になると考える。つまり、工事管理のキーとなる要員だけが専任となり、それ以外の要員は機能別組織から提供を受ける形態である。現在でも、事務職や機械職および電気職では、複数現場の兼任が多くなっており、今後は土木職でも増加すると考える。特に、工事進捗に合わせた職員配置の柔軟性や同年代、同職種の実践教育の充実が必須となり、これらに対応した組織形態になると考える。

（２）個別システムの開発について

図一７に示した方法を用いて、解決策の中からウエイトが高く現状で実現可能なシステムを検討した結果、以下の個別システムを優先して開発することにした。

表一１の業務負担調査結果から、書類作成に係わる業務については、先述したように原価管理を中心とするＯＡ化が一巡したこともあってか問題点・改善策ともにあまり重要なものはなかった。

一方、工事施工担当者の業務として改善すべき主な業務は、施主関連業務のほか、測量・計測関連業務を含めた品質管理業務と下請管理業務および現場巡視業務である。これらの業務は、今まで日常業務として当然現場職員が自ら関与すべき業務、あるいは人間の手でのみ実施可能な業務として、合理化の対象外とみなされてきたものと考えられるが、昨今の合理化ニーズの中で見直され、あるいはニューメディア等の新技術の開発の現状の下で、その可能性が再発見されたものと考ええる。

これらの業務は、我々の実施している日常の管理サイクル、PLAN－DO－SEE（CHECK）の中で、DO（業務の打合わせ、改善策の打合わせ）

および、SEE（現場巡視、品質管理）であり情報システムで言えばI／O（Input/Output）に相当する。そして、この業務を改善するためのキーワードとしては、見る、聞く、触れるおよび測る等の行為を代行するセンサー技術やマルチメディア技術である。一方、考えるおよび判断する、を援助あるいは代行するものとしてAI技術が考えられる。よって、AI技術を中心にしてセンサー技術やマルチメディア技術等を統合化した改善策のイメージが、明確となった。

この結果、下記のシステムを優先して開発することにした。

- ① CCD (Charge Coupled Device) カメラによる切羽監視システム
- ② 非接触型個別認識装置による入退場管理システム
- ③ デジタルカメラによる切羽画像データベースシステム
- ④ トンネル切羽マーキングシステム
- ⑤ 電子黒板による作業打合せ簿作成システム

なお、この時点ではAI技術の導入について提案できなかったが、⑤の安全管理の知識DBの中で一部利用することにした。また、今回の提案は個別システムの提案にとどまっている。これは、アンケート方式の改善が個々の問題点の解決を中心に進められるという特徴を持つことに起因すると考えるが、今までに実施してきたOA化と上記個別システムとを統合化し管理サイクルのPLANの部分へAIを利用したシステムとして構築することにした。

また、施主関連業務に関する改善については、今回の調査からも両者のコミュニケーションの改善が提案されている。しかし、具体的な提案を行うには、両者が同一の目的で実施する調査および協議が必要であると考え、除外した。

今回のシステム化の提案は、OA化は既にある程度の進展を得たとの前提に基づき、技術系職員の日常の行為（現場巡視、発注者・下請との作業打合せ等）を分析し、いわゆる４大管理（工程・品質・原価・安全）を十分に満足するという条件下で、職員の行為を代行し、省力化された、より合理的で働きやすい職場環境を創出しようとするものである。

4 大管理と個別システムの関係について、表-3に示す。

表-3 個別システムと4大管理との関連

5. おわりに

現場システムの開発を行うにあたり、その設計手順を検証しながらシステム開発を進めてきた。その中で、現場からの要望を的確に把握し、これらの分析をもとに現場に導入するシステムを評価して開発の優先順位を決定する手段としてのアンケート調査の有用性の確認を行った。

今回、この結果として5つの個別システムを提案したが、個々のシステムの基本テストの結果およびシステム論的な整理と統合化については次回の報告にまとめたいと考える。

管理要素 システム	原価管理	工程管理	品質管理	安全管理
①CCDカメラによる切羽監視システム		○	○	○
②非接触型個別認識装置による入退場管理システム	○	○		○
③デジタルカメラによる切羽画像データベースシステム	○		○	○
④トンネル切羽マーキングシステム	○		○	
⑤電子黒板による作業打合せ簿作成システム		○		○

【参考文献】

- 1)春名攻；土木工事のマネジメントシステムの設計方法について、土木施工と情報、pp.19～23、土木学会土木計画学研究委員会、1982年7月
- 2)春名攻、武政攻、荒井清；マネジメントシステム開発の方法について、土木工事のマネジメント問題に関する研究討論会講演・資料集、pp.186～187、土木学会土木計画学研究委員会、1983年11月
- 3)エンジニアリング・プロジェクト・マネジメント用語辞典、プロジェクト・マネジメント用語研究会、pp.163～166、1986年3月発行