

建設現場施工における安全と生産性に関する一考察 A Study on Safety and Productivity on a Construction Site

高知工科大学 ○渡邊 法美*
 東京大学 國島 正彦**
 東京大学 吉田 恒昭**
 三菱重工業(株) Kishore BHATTACHARJEE***

By Tsunemi WATANABE, Masahiko KUNISHIMA, Tsuneaki YOSHIDA, and Kishore BHATTACHARJEE

最近10年間、建設労働災害安全の状況の著しい改善が見られない中で、現場の安全管理と事故・災害との関連を表現できる概念モデルを構築することの意義は大きいと考えられる。

本論文の前半部では、建設業者の多様性と施工の生産性を考慮しながら、現場の安全管理と事故・災害との関連を表現できる概念モデルを構築することを試みた。後半部では、ガス管の埋設工事を例に取り、施工の生産性に影響を与える要因を明らかにし、それらの影響要因と生産性との関係を定量的に表現することのできる統計モデルを構築することを試みた。

【キーワード】労働災害、安全管理、施工生産性

1. はじめに

筆者らは、これまで建設現場の労働安全に関する事実関係を明らかにするために、現場の安全管理の実態調査や施工時に発生した事故・災害の追跡調査を行ってきた[1、2、3]。

労働安全衛生法の強化や現場における安全管理の一層の充実にもかかわらず、最近10年間建設労働安全の状況は、著しい改善が見られない状況にある[4]。新たな安全対策を打ち出すために、現場の安全管理と事故・災害との関連を表現できる概念モデルを構築することの意義は大きいと考えられる。

上記の概念モデルを構築するためには、①元請業者の多様性と②施工の生産性を考慮する必要があると考えられる。元請業者の形態は、従業員が10人未満である経営規模の極めて小さい業者から「スーパーゼネコン」と呼ばれる超大手企業まで極めて多様である。各業者の安全意識レベルや安全管理のあり方にも大きなばらつきがある。こうした元請業者の多様性を的確に捉えモデルの中に取り込んでいく必要がある。

安全管理の達成状況は、品質、費用、工期など他の施工管理の達成状況を表すバロメーターであると考えられる。建設労働災害の死亡者数が年間約1,000人であるという事実は、多くの建設生産が必ずしも健全な形で行われていないことを示唆していると思われる。事実、工期面、予算面での無理な受

注が見られる場合があり、このことが安全衛生管理に大きな影響を与えることが指摘されている[4]。すなわち、施工の生産性を阻害する要因は、施工の安全性の確保をも阻害する可能性がある。施工の安全性を確保するためには、それらの阻害要因が生産性さらには安全性に与える影響を定量的に把握することが重要であると考えられる。

本論文は、2つの部分から構成される。

前半部では、元請業者の多様性と施工の生産性を考慮しながら、現場の安全管理と事故・災害との関連を表現できる概念モデル[5]を構築することを試みる。

後半部では、ガス管の埋設工事を例に取り、施工の生産性に影響を与える要因を明らかにし、それらの影響要因と生産性との関係を定量的に表現することのできるモデルを構築することを試みる。さらにそれらの要因が施工の安全性の低下に及ぼす影響について若干の考察を試みる。

2. 元請業者の安全意識レベルと労働災害発生パターンに関する一考察

従来の労働災害発生パターンを表すモデルでは、管理的欠陥が不安全状態(物的欠陥)と不安全行動(人的欠陥)を誘発し、両者が融合して事故・災害が発生するメカニズムが一般的に考えられてきた[6、7](図1)。

* 社会システム工学科 08875-7-2408

** 大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 03-3812-2111

*** 土木部 078-672-2963

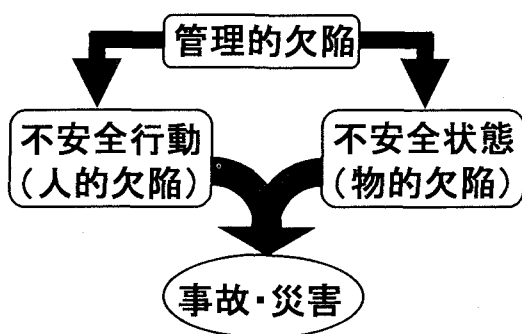


図1：従来の労働災害発生パターンを表すモデル

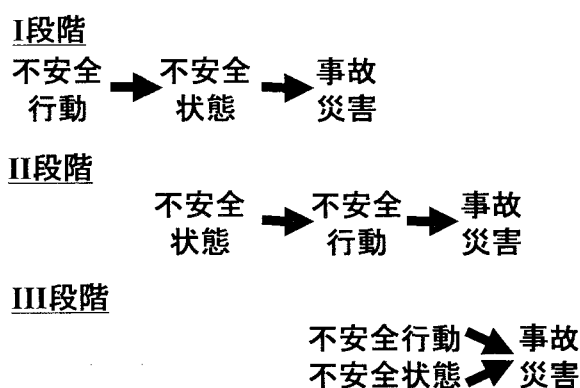


図2：元請安全意識実現化レベルと労働災害発生パターンの一例

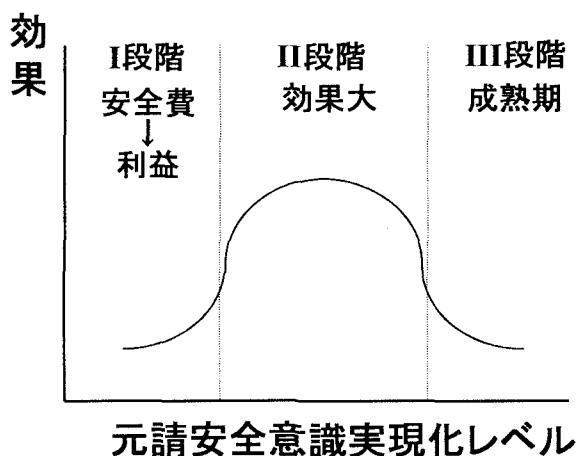


図3：元請の安全意識実現化レベルと安全関連施設費の限界効用との関係推測図

しかし、大手企業の安全管理は最近厳しくなっている。特に超大手企業では、「物的欠陥」の排除に関する対策はかなり充実してきており、最近の安全管理の課題は如何に作業員の注意力を喚起し、「人

的欠陥」を排除するかにある。これに対し、中小企業の安全管理は依然として「物的欠陥」の排除が重要な課題であると考えられる。

これらの考察から、元請の安全意識実現化レベルは時代及び企業規模とともに変化しており、それに伴い、労働災害発生パターンも図2のように変化していると考えられた。また、元請の安全意識実現化レベルの違いによって、安全関連施設費の限界効用、すなわち、現状の安全関連施設費にさらに費用を投じたときの効果は、図3のように推測された。

大手並びに中小元請企業職員への聞き取り調査を通して、元請企業の安全意識実現化レベルとそれに伴う事故・災害の発生パターンは3段階に分類できると判断した。まず、第I段階は、元請の安全意識実現化レベルが極めて低い段階である。この段階では、安全管理活動は活発ではない。作業員の不安全行動は見過ごされ、それが不安全状態と結びついて事故・災害が発生するケースが多いと推察される。多くの中小元請業者の安全意識実現化レベルは、この段階に留まっている可能性があると思われる。この段階では、安全関連施設費を新たに計上しても利益に振り替えられてしまう可能性が高いと考えられるため、安全関連施設費用の限界効用は小さいと思われる。

第II段階は、元請の安全意識実現化レベルが向上し、安全対策にも力を入れる段階である。優良中小元請業者や中堅元請業者の多くはこの段階に属すると考えられる。

しかし、安全対策には規模の経済性が存在する。このため、中小規模の現場では、十分な安全対策を実施することができず、不安全状態を生み出してしまう場合も少なくない。この不安全状態に、作業員の不安全行動が結びついて事故・災害が発生するパターンが第II段階の代表的な発生パターンであると思われる。この段階では、安全関連施設費用の限界効用は大きいと思われる。

第III段階は、元請の安全意識実現化レベルが極めて高い段階である。十分な安全関連施設を既に提供してきており、施設の提供についてはほぼ限界に達しつつあるため、更なる投資の効果は小さい。多くの大手元請企業はこの段階に属すると考えられる。

この段階では、不安全行動と不安全状態の両方が存在する可能性もあるが、どちらかと言えば作業員の不安全行動が不安全状態と結びついて事故・災害が発生するパターンが多いと思われる。

表1は、現場規模別災害発生状況を示したもので

表 1：現場規模別災害発生状況（度数率）

現場規模 (人)	～9	10 ～19	20 ～29	30 ～39	40 ～49	50～
地場店社	5.59	3.27	2.01	1.72	1.37	1.23
全国規模 の店社	1.71	2.22	1.37	1.18	1.53	1.18

（労働省 平成3年店社における安全衛生管理実態調査[9]より抜粋）

ある。統計データは、地場店社が担当する中小規模現場において、事故災害が多く発生していることを示している。中小規模現場は、図2、3における第I、II段階の安全意識実現化レベルを持つ元請業者が担当することが多い。中小規模現場における労働災害を防止するためには、まず第I段階の安全意識実現化レベルを持つ元請業者が担当する工事における事故災害防止に力点を置くことが重要であると考えられる。

また、これらのモデルに基づいて、労働安全問題の変遷を推測すると、

元請職員の安全意識実現化レベルの向上

→安全関連施設の提供

→専門工事業者・作業員の安全意識レベルの向上

という経緯を経るように思われる。21世紀の建設労働安全問題は、専門工事業者・作業員の安全意識レベルを如何に向上させていくかが主要なテーマになると考えられる。

3. 現場の安全管理と事故・災害との関連を表現できる概念モデルの構築

（1）タンクモデルによる建設労働災害低減問題のモデル化

建設労働災害を低減するためには、現場の危険度（以下、リスクレベルと呼ぶ）を最小化することが必要である。

本節では、現場のリスクレベルと安全管理との関連を分かりやすく表現するために、両者の関係を、流入水・水位・センサー・排水バルブから成るタンクによってモデル化することを試みる。

今、タンクがあり、その上部から絶えず2種類の液体が入ってくる時、タンク下部にある排出口のバルブを開閉して、タンクの液体の水位を調節する状況を想定する。

表 2：タンクモデルと建設労働災害低減問題との比較

タンクモデル	建設労働災害低減問題
縞模様液体水位	リスクレベル(RL)
斜線液体水位	進捗度
縞模様液体流入水	RL up を伴う狭義施工
斜線液体流入水	進捗度向上を もたらす狭義施工
センサー	現場把握、 情報公開・共有
バルブ	安全管理

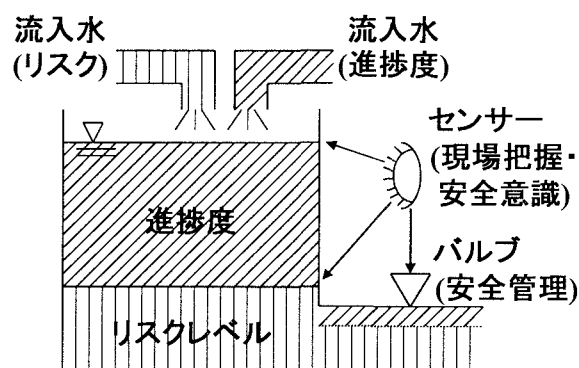


図 4：タンクモデルによる建設労働災害低減問題の表現

各現場には、現場の条件や様々な作業によって、「危険」が持ち込まれ、現場の「リスクレベル」として蓄積していく。これはタンクに「縞模様」で表される液体が流入し、この液体の水位が増加していくことに相当する。同時に現場は日々進捗しているので、「進捗度」を表す「斜線」の液体もタンクに流れ込む。縞模様の水位が低いほど、「斜線」の液体の水位が高いほど、良い現場であると言える。

技術者や職長は、現場のリスクレベルの上昇を素早くキャッチし、安全対策を施す必要がある。これは、「センサー」によって縞模様の液体の水位上昇を感知し、「バルブ」を開いてタンクの縞模様の液体を排出することに相当すると考えられる。

建設労働災害低減の問題は、タンクの縞模様液体の水位を最小化の問題に置き換えられると考えられる。（表2、図4）

ここで、リスクレベルは、各作業員、各作業班、現場全体、さらには業界全体で、それぞれ固有の値が階層的に存在すると考えられる。したがって、このタンクモデルも各階層に適用できると思われる[3]。

従来の安全管理或いは対策は、現場作業は危険であるとの前提に立って、その危険度を取り除くこと、言い換えれば、バルブの排水能力を高めて、タンクから縞模様の液体を如何に早く排出するかに力点が置かれていたように思われる。バルブの排水能力の強化が、1972年の労働安全衛生法施行後の約10年間に於いて、労働安全の状況を飛躍的に改善したと考えられる。

しかし、最近10年間は、著しい改善が見られない状況にある。これは、タンクの縞模様液体の水位が容易には低下しない状況に相当する。次節では、その原因を考察する。

(2) 建設労働災害低減の阻害要因に関する一考察

タンクの縞模様水位が低下しない理由は、大きく次の4つに分類できると考えられる。

- a) 流入縞模様水量変化の予測が不十分である可能性。
- b) タンク内縞模様水位上昇の過小評価の可能性。
- c) 排出管の径の不足または目詰まりなどによる排出不良の可能性。
- d) 進捗度を表す斜線液体の水位維持という制約。

a) 流入縞模様水量変化の予測が不十分である可能性

ある一定期間における、或いは一時的な流入水量の増加を予測することは、リスクレベルを恒常的に上昇させる背景的要因や、リスクレベルが一時的に高くなる非定常状態がどのような状況で発生するのかを明らかにすることに相当すると考えられる。

背景的要因は、不明確な安全対策費や厳しい工期など設計に起因する要因、休み明けの作業など作業時間に起因する要因、天候・温度など気象条件に起因する要因など、多岐に亘る。また、作業スペースが狭いことや、現場労働者が高齢化していることは、それぞれ、中小規模工事、建設業界共通の背景的要因である[3]。

リスクレベルが一時的に高くなる非定常状態をもたらす作業としては、急に決定された作業ややり直し作業などの「予定外の作業」や、単独作業、他から見えないところでの作業などの「孤立作業」などが挙げられる[3]。

また、「安全管理の第一歩は、作業計画・作業手順の点検と是正・確認と了解にある。総合工事業者

からの施工方針・工事運営計画などの品質情報の流れが正しければ、安全を確保した計画と施工の段取りが出来る。専門工事業者が施工計画の策定段階から参画することは、作業の安全を確保する上でも極めて有効である。」ことも良く指摘される。これらは流入水制御そのものであると考えられる。今後は、こうした「安全の先取り」を多くの現場で、実施していく必要がある。

b) タンク内縞模様水位上昇の過小評価の可能性

この問題は、センサーの感度不良から生じる問題である。建設労働災害低減問題では、現場内と業界全体における2種類のセンサーの感度改良が重要であると考えられる。

現場内では、様々な背景的要因や、非定常状態を誘発する要因が存在する。事故・災害はこれらの幾つもの背景的要因や非定常状態を誘発する要因が重なりあって、発生する場合が多いと考えられる。

各個人が、それぞれの役割と責任に基づいて、現場全体・各作業班・各個人のリスクレベルの「値(絶対値)」を絶えず認識出来るようになれば理想的であるといえる。また、労働安全衛生法で定められている統括安全衛生責任者の主な役割の一つは、現場内におけるリスクレベルの空間的「積分値」の最小化と解釈することが可能であるように思われる。さらに、リスクレベルの急激な上昇、すなわち「微分値」が急激に増加しつつある場合には、それを敏感に感じとり、迅速に対応することが、事故を回避するためには不可欠である。

このように、事故・災害を防止するためには、各人のセンサーの感度を出来るだけ良好な状態に維持し、リスクレベルの「絶対値」、「積分値」、「微分値」の上昇を絶えず認識することが理想であると考えられる。

しかし、現場構成員のセンサーの感度は、次の2つの場合において必ずしも良好でないように思われる。

一つは、縞模様液体の水位は低いですがそれが長期間に亘る場合、すなわち瞬間瞬間の危険度はさほど高くないが、その状態が長時間続く場合である。これを「(時間)積分型リスク」と定義する。多くの墜落災害が3～4m以下からの墜落の油断型災害であること、またバイオリズムが要注意日の時に災害が発生し易いとの声も随所で聞く。これらの事例は、「積分型リスク」に対して、現場構成員のセンサーの感度は必ずしも良好ではないことを示唆している

ように思われる。

次に縞模様液体の水位が急激に上昇する場合である。これを「(時間)微分型リスク」と定義する。現場ではよく「ちょっと〇〇する。」ことが多いと思われる。しかし、実はこの「ちょっと作業」では、危険度が急激に上昇するにもかかわらず、それが短時間であるが故に、それほど危険であると感じられないように思われる。筆者らが以前実施した事故の追跡調査の中でも、水を吸うためのホースがねじれてしまったので、稼働中のクレーンの作業半径内に入ってそれを直そうとしたところ、予想以上に手間取り被災してしまった事例があった。こうした「微分型リスク」に対しても、現場構成員のセンサーの感度は必ずしも良好ではないように思われる。

これらのリスクに対しては、以下の方策が一例として考えられる。

まず、積分型リスクについては、どういう状況において、積分型リスクが生じるのかを調査・認知し、認知されたリスクに対しては、決して油断しないように朝礼などで指導を徹底することが必要である。また、作業が極めて長時間に亘る場合は、集中力を維持できるよう、適切な時間に休憩を取るなどが要求される。特にリスクを認知するために総合工事業者と専門工事業者がどう協力するかが今後重要なテーマになると思われる。

微分型リスクをもたらすもの、すなわち「ちょっと作業」の誘惑にかられてしまう直接の原因は、面倒になることを避ける点にあると考えられる。

「ちょっと作業」が頻繁に行われる可能性があるときは、監視人を配置することが考えられる。これは、新たな「センサー」を設置することに相当する。

また、経営者自らが「ちょっと作業」全廃を提唱することにより、現場で「ちょっと作業」を容認しない「文化」を育てていくことも一考に価すると思われる。さらに、様々な機会を通して、現場作業に従事する者一人一人に対して、「何のため、誰のために安全対策を行うのか。」を考えさせ周知徹底させることも重要であると思われる。これらは、一人一人の「センサー」の感度を向上させることに相当する。今後は、一人一人のセンサーの感度向上を図ることが、益々重要になると考えられる。

表2と図4のタンクモデルは、個々の現場だけでなく、建設業界全体にも適用することができる。業界のセンサーの感度を改良するための最重要な手段の一つは、情報公開であると考えられる。従来の事故報告書では、事故の背景的要因や非正常状態を誘

発する要因は、必ずしも十分に明らかにされていない[2]。このため、事故発生時の現場のリスクレベルがどの程度であったのかを理解することは、困難であったと考えられる。

事故調査において、責任追及を優先するいわゆる「仇討ちの文化」だけでは、労働災害問題の解決が困難である[8]。適切な安全対策を策定するためには、事故発生のプロセスや事故発生時のリスクレベルを調査し、その結果を広く共有化して、産官学が共同して知恵を絞って行くことが大切であると考えられる。

c) 排出管の径の不足または目詰まりなどによる縞模様液体排出不良の可能性

縞模様液体排出の円滑化は、有効な安全対策措置の実施に相当する。

中小建設業者への聞き取り調査では、安全費が「率」によって決定される方法では、特に小規模現場の安全対策費が不十分となる可能性があることや、都市土木の現場状況の特殊性が考慮されないなどの問題点が指摘された。

また、中小規模工事現場では、作業員の仕事に対する誇り・士気が大規模工事現場と比較して低い場合が多いと考えられるため[8]、安全指導の反復は却って作業員の反発を買う場合もあるようである。

これらの事例は、中小規模の工事では、流入量予測の難しさ、センサーの感度不良とともに依然として排出管の径の不足や目詰まりなど排出不良の問題が、深刻であることを示している。

排出不良の問題を解決するための一つの方策は、排出管の径を大きくすることである。

安全対策費は、今後とも率による計算が現実的である。しかし、全ての工事に同水準の対策が講じられるよう、工種や工事規模毎の率を決定する必要がある。さらに、工事現場の状況を考慮した率の割増も考慮されなければならない。

目詰まりを防止するためには、有効な安全教育の実施が不可欠であると考えられる。その具体的方策の一つとして、現場作業員への安全管理技法の講習さらには中小元請業者への安全教育において、労働安全コンサルタントを積極的に活用することが考えられる。

d) 進捗度を表す斜線液体の水位維持という制約

表3に示す通り、安全衛生確保における事業者の発注者に対する要望としては、適切な工期の設定を

表 3：発注者に対する要望の状況

(要望する店社数の割合%)

要望 事項	適正な 工期の 設定	適正な安 全経費の 設定	工事発 注の平 準化	安全な 設計の 実施	監督者 の安全 意識の 向上	そ の 他
地場店社	79.0	66.5	59.2	38.4	27.9	10.9
全国規模 店社	94.8	86.4	69.5	63.8	46.9	10.8

(労働省 平成3年店社における安全衛生管理実態調査[9]より抜粋)

あげるものが最も多い。この調査結果は、現場施工では、生産性維持の制約が非常に強いことを示している。

中小建設業者への聞き取り調査からは、中小規模の工事では、安全と品質・価格・工期などの「生産性」とがトレードオフの関係になり、所与の品質と工期を達成するために、或いは最低限の利益を確保するために、安全施工が犠牲となっている場合が多いように感じられた。

また、近年安全管理基準が厳しくなっていることから、安全管理のため作成しなければならない書類は膨大なものとなり、元請職員は土曜日は勿論日曜日でも仕事をしなければならない場合も少なくないようである。これ以上、元請責任を強化することは、施工の生産性を低下させる危険性を含んでいる[3]。

中小建設業者への聞き取り調査結果は、斜線液体の水位を維持するために、バルブを十分に開かない場合があることを意味している。休日出勤に関する事例は、排出管を必要以上に太くすることは、タンク内のリスクレベルを表す縞模様液体だけでなく、進捗度を表す斜線の液体まで排出してしまう危険性があることを示している。

b) で触れた「ちょっと作業」の誘惑にかられてしまう背景の一つには、「生産性の維持・向上」への思いがあることは否定できないように思われる。したがって、工程・原価・品質管理を余裕を持って行い、現場の構成員全員に「焦ることはないんだ。」という意識を浸透させることが出来て初めて、「ちょっと作業」の誘惑に打ち勝つための必要最低限の条件が整うように思われる。そのためには、各安全管理の効果とそれが工程・原価・品質に与える影響を明らかにすることが必要であると思われる。さらに、安全管理だけでなく施工管理全体において、総合工事業者と専門工事業者の望ましい役割分担とは

何かを考えることが益々重要になってくると思われる。

(3) 今後の課題

タンク内の縞模様液体の水位を低減するためには、排出機能の強化だけに依存するのではなく、縞模様液体の流入の正確な把握やセンサーの感度改良、排出管の錆落とし等の方策を効率的に組み合わせていくことが必要である。

さらに、生産性と安全管理のあり方を総合的に検討することが不可欠であると考えられる

4. 安全的生産に関する一考察

ところで近年、環境の分野では、「持続可能な発展」ということが良く言われる。図5は、環境工学の専門家である中西が表した「持続可能な発展」の概念図を描き直したものである[10]。横軸は国の発展における環境保全の達成度、縦軸は経済発展度を示す。I は、経済発展のために環境が犠牲にされる場合で、これは途上国のみに許される。III は、費用をかけて環境を保全する場合で、これは先進国がリーダーシップを取る必要がある。最後の II の環境保全と経済発展を同時に達成出来る場合が、「持続可能な発展」と呼ばれる。21世紀の地球環境問題を解決するためには、先進国も途上国もこの「持続可能な発展」を如何に実現するかが極めて重要であるといえる。

この議論は、「安全」の問題にもそのまま当てはまると考えられる。図6は、図5の横軸の「環境保全度」を「安全」に、縦軸の「経済発展度」を「生産性」に置き換えたものである。図6のIは、総合工事業者の安全意識レベルが低く「生産性」向上のために「安全」が犠牲にされてしまう「生産第一」のケースであり、III は総合工事業者の安全意識レベルが極めて高い「安全第一」のケースに相当すると考えられる。このIとIIIは、図2で検討した元請業者の安全意識レベルのIとIIIに相当する。「生産性」と「安全」の双方を達成できる第1象限が、「安全的生産」または「安全優先」として「持続可能な発展」に相当すると思われる。

そこで、この「安全的生産」をどう実現するかが、次に重要となる。

これには安全性向上が生産性向上に結びつく場合、例えば、朝礼、清掃、規律、休憩、作業空間確保等と、生産性向上が安全性向上に結びつく場合、例え

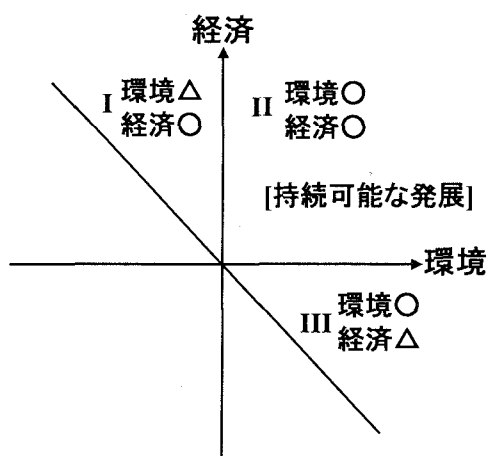


図5：持続可能な発展の概念図

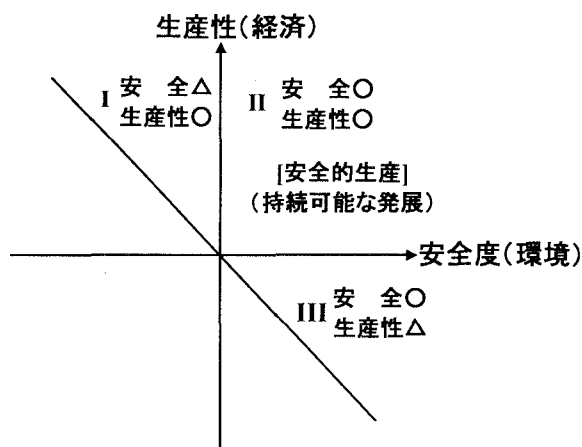


図6：持続可能な発展と安全的生産

ば、平易な作業方法、技能習得、費用・工期短縮のための知恵、技能間相互のマネジメント・段取り、技術開発等との2種類があり、こうした「安全的生産」を作り出すための知恵を各現場のみならず業界全体で考えていくことが益々重要になると思われる。

5. 建設現場の生産性分析

以上の考察からも明らかになったように、建設現場における安全と生産性には密接な関係がある。建設現場の安全性向上を検討するためには、生産性と安全管理のあり方を総合的に検討することが不可欠であると考えられる。

本節ではその第一歩として、生産性に影響を与える要因と生産性との関係を表現するモデルを構築することを試みた。

調査対象とした建設現場は、A 県郊外の現場であり、直径 400mm のガス管を 5,734m に亘って埋設す

る工事である。本工事の工期は3ヶ月と短期間に完成することを求められた工事であったため、工事は6班に分かれて行われた。

本工事の手順は以下の通りである。

①掘削②土留め工設置③掘削土砂運搬④管理設
⑤埋め戻し⑥転圧⑦舗装

本建設現場を調査対象に選んだのは、以下の理由による。まず、本現場を施工した会社は、図2、3で示した第II段階後半の意識レベルを持つと思われる地場の優良ゼネコンであった。

次に、土砂崩壊による労働災害死亡者数は、近年60名前後で推移しているが、その半数以上が小規模な掘削溝での災害である。管理設工事は、土砂崩壊が発生してしまうと死亡者が発生する確率が高い危険な工事である。

さらに、これらの死亡災害の中で、土止めの設置または除去中に被災したもの(約3割)を含めると土止めをしていない場合の災害が全体の9割を超える[11]。これらの土砂崩壊災害で、土止めをしていなかった理由は明らかにされていないが、生産性を維持するためにやむを得ず土止めを設置せず作業をしていた場合があることも推測される。管理設工事において、生産性と安全との関係を調査することの意義は大きいと考えられる。

(1) 生産性に影響を与える要因の抽出

本工事の生産性に影響を与える要因を分析した結果、主な要因として以下のものが抽出された。

a) 制御が不可能または困難である要因

①地上構造物の存在

管と管の継ぎ目は、溶接によって結合されるが、溶接のための作業空間が必要となるため、継ぎ目の部分では、広く掘削する必要がある。このため、桜の木や電柱の真下では、溶接することができない。これを避けるために、管長の短い管を埋設し、地上構造物の手前で管を溶接結合することが行われる。

②地下構造物の存在

地下には、上水管、下水管、雨水管など様々な既設埋設管が存在する。

既設埋設管の有無は、設計図と「試掘」によって確認される。

しかし、本工事の現場代理人によると、すべての施工区間を予め試掘することはできないため、実際に掘ってみないと分からない部分が多いとのことであった。

また、設計図に記載されて既設埋設管についても、例えば担当した業者が設計で定められている深さより浅めに埋設するなど独特の「癖」を持っている場合もあり、正確な埋設位置を事前に把握することが必ずしも可能なわけではない。

施工中に既設の埋設管を発見した場合は、それらとの接触を避けるために、変形管を新たに注文しなければならない場合もある。その場合は、「手待ち」の状況が生まれる。

これらの影響を以下にまとめる。

i) 埋設管の長さを与える影響

①と同様な理由で、既設埋設管が横断する箇所では、溶接のための作業空間を設けることができない。このため、短い管を埋設することを余儀なくされる。

ii) 作業時間を与える影響

既設の埋設管が存在する場合、それらとの接触を避けるために、変形管を埋設する。変形管の埋設は、直線型の管を埋設するよりも長い時間を要する。さらに、この変形管を横向きではなく立てて埋設しなければならない場合、その作業は極めて困難となるため、その管1本を埋設するだけで、一日の作業は終了となる。

変形管を垂直に立てて埋設する場合、既に埋設されているガス管と新たに埋設するガス管との結合を円滑にするために、「切り合わせ」と呼ばれる作業が必要となり、さらに長い作業時間を要する。

③土の状態

土の状態は、土留め工の設置作業時間に大きな影響を与える。現場代理人によると土の状態は大きく5種類に分類され、各状態に適切に対応するためには、異なる水準の土留め工が必要となる。状態1が最も施工の容易な状態であり、以下状態5まで順次施工は困難となる。特に状態5では、土留め工を設置して土を「状態4」とするために、特殊な設備が必要となる。この設置作業に一日一杯かかるため、本作業（管の埋設作業）は翌日に持ち越すことを余儀なくされる。

④地上障害物の存在

地上の電線や電話線、さらには木々の枝葉などもバックホーのバケットを操作する上で障害となる。

⑤作業空間

十分な道路幅がない場合も、バックホーの使用が制限されるため、作業時間の増加を招く。

⑥天候

雨が降った場合、作業は当然中止される。長雨

は深刻な工事の遅れをもたらす可能性がある。

⑦交通規制

工事のために道路を占有できる時間は通常午前8時から午後5時までであり、全ての作業は原則としてこの時間内に終了させなければならない。幹線道路を横断して管を埋設する場合は、幹線道路の占有時間は短いため、作業可能時間はさらに短縮される。

⑧交通渋滞

本現場では、掘削土砂と埋め戻し土砂は、1台のトラックによって数回運搬されていた。運搬の途中で交通渋滞に巻き込まれると、以後の作業全般に亘って影響を与える。

⑨住民からの苦情・要望

大きな騒音が出る工事を実施する場合は、近隣住民に事前に案内を通知するなど調査員の目からは近隣住民には万全の体制を取っているように思われた。しかし、それでも住民からの苦情は皆無ではなく、苦情があった場合は、工事を一時中断することであった。また、本日はお葬式があるので、或いは盆踊りがあるので工事を中止して貰えないだろうかといった住民からの要望も少なくないように感じられた。

b) 制御が可能である要因

⑩機械の故障

バックホー、土砂運搬用トラック、散水車などの機械の故障は、作業全般に亘って多大な遅れをもたらす可能性がある。生産性を最大化するための適切な維持管理方策を立て実行していく必要があると考えられる。

⑪車両の適切な手配

土砂運搬用トラック、散水車など車両の手配の遅れも、以後の作業全般に亘って多大な影響を与える。各作業が円滑に実施されるよう、適切に車両を手配する必要がある。

⑫工事の実施または中止を決定するための判断力

現場代理人によると、作業当日に雨が降ることも予想される場合、作業を中止するか決行するかの判断が難しいとのことであった。例えば、作業中止を決定したにもかかわらず、雨が降らなかった場合は、工事進捗のための貴重な機会を逸したことになる。逆に、作業決行後に雨が降り出してしまった場合、工事を中止しても、本現場では作業員にその日の賃金を支払う必要があるとのことであった。作業の決行・中止を決定するためには、天気予報の情報その他に自己の経験や勘を駆使しているとのことであ

った。このように工事を中止するか決行するかを決定するための判断力も、生産性に影響を与える。

⑬各作業班の作業効率性

現場代理人によると、各班の作業効率性には少ない相違があるとのことであった。

(2) 生産性を表現できる統計モデルの構築

本工事の手順はさほど複雑ではないが、1日の埋設長は大きく変動した。

本節では、生産性とそれに影響を与える要因との関係を簡便に且つ定量的に表現することのできる統計モデルを構築することを試みた。

ここでは、生産性[P]を以下のように定義した。

生産性[P] (m/人・時間) =

1日の埋設長さ(m) / 延べ労働時間(人・時間) (1)

上式で定義した生産性を計算するために、まず各班の各施工日における①進捗長さ、②作業人員、③作業時間を作業日報から拾い出した。

次に、生産性に影響を与える要因として以下のものを抽出した。

ECdiff : 土留め工の設置時間の長さを表す係数。安全な作業環境を確保するためには、土の状態が悪い場合十分な土留め工を設置する必要がある。土の状態は、土留め工の設置時間に大きな影響を与える。ここでは、現場代理人の説明に基づき4つの状態に対して以下の値を設定した。

状態1 : 最も簡便な土留め工を設置できる場合であり、変数の基準値として1.0を与える。

状態2 : 簡便な土留め工を設置できる場合であり、変数の値として1.1を与える。

状態3 : 簡便な土留め工では十分ではない場合であり、変数の値として1.4を与える。

状態4 : 十分な土留め工の設置が必要な場合であり、変数の値として1.6を与える。

EP : 既設埋設管の有無を表す変数。上水管、下水管、雨水管など既設埋設管が有る場合を1、無い場合を0とする。

SP : 埋設管の変形の有無を表す変数。真っ直ぐな管には0、変形管には1の値を与える。

MP : 管の「切り合わせ」の有無を表す変数。切り合わせのある場合は1、そうでない場合は0を与える。

Geff : 各班の作業効率性を表す変数。現場代理人によると、各班の作業効率性は同一ではなく、生産性

に少なくない影響を与えるとのことであった。最も作業効率の高い班の値を1とし、他の班の作業効率性を0から1の間で相対的に評価した値を与えた。

OV : 一日の残業時間。これは一日の通常の作業時間である8時間を超えて作業を行う場合に生じる。

次に、以下の変数を補助的な説明変数として導入した。

NP : 一日に埋設された管の本数

この変数も、作業日報から拾い出すことが可能であったものである。ただし、これは生産性に直接影響を与える因子ではない。なぜなら、この変数の値は、労働投入量や(1)節で示した生産性に対する影響要因によって自動的に決定される変数と考えられるからである。

しかし、ここでは、式(1)で定義された生産性を簡便に表現できるモデルを構築することを第一の目的とした。**NP** (一日に埋設された管の本数) を含む7つの変数の線形和によって、生産性を表現する次式の回帰モデルを構築した。

$$P = a_0 + a_1 \cdot \text{ECdiff} + a_2 \cdot \text{EP} + a_3 \cdot \text{SP} + a_4 \cdot \text{MP} + a_5 \cdot \text{Geff} + a_6 \cdot \text{OV} + a_7 \cdot \text{NP} \quad (2)$$

現場作業の観察は毎日6つの作業班全てについて行った。これらの現場観察並びに作業日報の調査より得られた133組のデータについてSPSSを用いて解析を行った。これらのデータの中で、回帰の標準化された残差の値が3を越えるデータは2組存在した。各班の作業人員は通常6ないし7人であるが、2組のデータでは、作業人員が4、3人と極端に低く記録されていた。これらの記録は誤ってなされた可能性もあるため、これら2組を異常値とみなし、131組のデータについて、解析を行った。

ステップワイズ法を用いて説明変数を選定した結果、以下の回帰式を得た。

$$P = -0.051 + 0.127\text{NP} - 0.0286\text{OV} - 0.0632\text{EP} + 0.291\text{Geff} - 0.0654\text{ECdiff} - 0.078\text{SP} \quad (3)$$

分析結果の概要を表4に示す。得られた回帰係数の二乗値は高く、各推定値の符号も生産性向上に寄与する変数の係数は正、逆に生産性低減に寄与するものは負の値となっている。本分析結果は、線形回帰式という簡便な方法で、管の埋設という比較的単純な工事の生産性に影響を与える要因を定量化できる可能性があることを示していると思われた。

表 4： 分析結果の概要

変数	係数の 推定値	標準 誤差	t 値	有意水準
切片	-0.051	0.075	-0.684	0.495
NP	0.127	0.010	12.953	0.000
OV	-0.0286	0.006	-5.187	0.000
EP	-0.0632	0.012	-5.229	0.000
Geff	0.291	0.073	3.975	0.000
SP	-0.0654	0.017	-3.861	0.000
ECdiff	-0.078	0.024	-3.311	0.001

回帰係数の二乗 = 0.837

表 5： NP を除いた分析結果の概要

変数	係数の 推定値	標準 誤差	t 値	有意水準
切片	-0.160	0.098	1.638	0.104
ECdiff	-0.254	0.030	-8.589	0.000
SP	-0.0682	0.026	-2.592	0.011
Geff	0.486	0.095	5.109	0.000
EP	-0.0664	0.018	-3.705	0.000
MP	-0.0628	0.031	-2.016	0.046

回帰係数の二乗 = 0.622

NP（1日に埋設された管の本数）は、生産性に直接影響を与える要因ではない。**NP**は、今回調査できなかった地上構造物の存在等の影響を表していると考えられる。現場技術者にとって真に有益な生産性モデルとは、（1）節で示した要因のみによって生産性を表現できるモデルである。

そこで、**NP**を除いた6つの変数によって、ステップワイズ方式により再度分析を行った結果、表5と式（4）の結果を得た。

$$P = -0.160 - 0.254ECdiff - 0.0682SP + 0.486Geff - 0.0664EP - 0.0628MP \quad (4)$$

NPを含めた場合と比較して、モデルの説明力は低下する。回帰式を用いた生産性分析の精度を向上するためには、地上構造物の影響や5節b)で述べた制御可能な要因を説明変数に加えて分析を行う必要がある。

（3）結果の一考察

表6は、ステップワイズ法を用いて分析した際、各ステップで求められた回帰モデル式の結果をまとめたものである。

表 6： ステップワイズ法による変数選択の経過

モデル #	モデル構成変数	R ²	Δ R ²
1	切片, ECdiff	0.315	0.315
2	切片, ECdiff , SP	0.498	0.183
3	切片, ECdiff , SP , Geff	0.569	0.071
4	切片, ECdiff , SP , Geff , EP	0.609	0.041
5	切片, ECdiff , SP , Geff , EP , MP	0.622	0.012

R²は回帰係数の2乗値を、Δ R²は変数をつずつ増加させたときの回帰係数の増分を表す。

分析結果は、**ECdiff**によって生産性全体の分散の約30%を説明していることを示している。**SP**と**Geff**を順次追加することによって、回帰モデルによる分散の説明力は、それぞれ約18%、約7%増加することを示している。

今回は、地上構造物の影響や制御可能な要因による影響を除いて分析を行った。このため、これらの回帰係数の2乗の増分値が、各要因による影響を正確に表している訳ではない。しかし、回帰式に適切な説明変数が用いられた場合、表6の分析結果は、各要因による影響を大まかに知る手がかりの一つになると考えられる。

（4）現場施工の観察結果に関する一考察

本工事の工期は3ヶ月で、工事の大部分は住宅密集地の中での作業であり、しかも原則として毎日午後5時までに全ての作業を終了させる必要があった。

本現場は、このように決して易しくはない施工条件下にあったが、現場代理人による指示が良く行き届いており、十分な品質、安全管理がなされているように思われた。

しかし、もし経験が十分ではない技術者が現場代理人になった場合、工期内に全工程を終了させることは勿論のこと、一日の全ての作業を午後5時までに終了させることも必ずしも容易ではないように思われた。工期内或いは一日の作業終了時刻迄に工事や作業を終了するためには、作業を迅速化する必要がある。しかし、この場合は本来実施されるべき安全や品質管理の一部が省略される可能性もあるように思われた。

本工事における、不十分な安全管理の例としては、簡易な土留め工の設置、また不十分な品質管理の例としては、土砂を埋め戻した後の転圧回数の削減などが考えられる。

小規模な管理設工事でも、安易に経験のみに頼

るのではなく、合理的な安全対策を立てる必要がある[12]。施工管理において、S(安全)と他のD(工程)、Q(品質)、C(費用)とのサイクルを円滑に循環させることが重要であると考えられる[3]。

さらに、現実には安全衛生上問題がある設計条件の発注が行われている例があり、事業者は実態的に強い立場にある発注者の設計の変更を求めにくく、そのまま施工が行われ、それが原因で災害が発生している事例がある[13]ことも指摘されている。

施工管理の効率化並びに設計変更の理論的根拠の構築のために、現場施工における生産性と安全性との関係を表現することのできる「基礎方程式」を構築することは有用であると考えられる。工期全体の中で、予定していた進捗状況と実際の進捗状況との差に比例して、現場のリスクレベルの増大或いは品質管理の達成状況の悪化が見られないか否か、さらには、1日の作業の中でも同様な関係が成立していないか否かを検証さらには事前に予測・評価することの意義は大きいと考えられる。

(5) 今後の課題—回帰式の活用方法について

生産性を阻害する要因が頻発し、工事の進捗が遅れた場合、工期内で竣工を達成するためには、施工計画の適切な変更が求められる。計画変更検討時までの進捗状況と生産性の阻害要因に関するデータを用いて、式(3)または式(4)の回帰式を構築することができる。これにより、各現場における生産性阻害要因の影響を定量的に把握することが可能となる。将来の生産性の阻害要因発生頻度に関する「シナリオ」を想定すれば、回帰式を用いて将来の進捗状況を予測することができる。

将来の阻害要因発生頻度が大、中、小など複数のシナリオにおける進捗状況を予測し、それらの結果を比較することは、施工計画の変更を検討するための一つの指針を与えると思われる。

本工事のような管理設工事では、進捗の遅れを取り戻すための最も基本的な手段(オプション)は、労働者数や労働時間などの投入労働資源を増加することである。しかし、将来に亘って生産性阻害要因が頻発するという悲観的「シナリオ」の下では、投入資源の増加だけでは、工期内竣工を達成出来ない場合もありうる。さらに、投入労働資源の増加の検討においては、工事利益の確保、或いは、赤字幅の縮小など費用縮減の制約も無視できないと考えられる。

工期や費用の厳しい制約条件を担保するためには、

本来 **ECdiff** の水準の土止め工が要求される箇所に對して、**ECdiff** より低い水準の土止め工(**ECdiff'**と記す。)を設置して作業することも、やむを得ないオプションとして取られる可能性もある。本現場のような管理設工事では、十分な土止め工を設置しているか否かが、安全管理上の最重要課題となる。したがって、**ECdiff** と **ECdiff'** の差(ΔECdiff と記す)は、管理設工事におけるリスクレベルの一つの目安を表すと考えられる。すなわち、将来の施工日における ΔECdiff の一連の値を通して、変更された施工計画(オプション)がどの程度安全かを大まかにチェックすることが可能となるように思われる。

また、施工計画の変更に伴う投入資源費用増加を推定することは、比較的容易であると考えられる。式(4)、費用増加を表す式、 ΔECdiff の一連の値とを組み合わせることによって、施工計画の変更に伴う工程、費用、安全性との間のトレードオフ関係を定量的に表現できる可能性があると思われる。

6. おわりに

これまで日本の安全対策の方法は、大きな成果を上げてきた。

今後、安全対策をより効果的なものにしていくためには、対策の「多様化」と「総合化」が重要になってくると思われる。

多様化とは、元請業者の安全意識レベルや施工条件など、「多様」である現場の状況を正確に把握し、現場に密着したきめの細かい対策を施すことである。

総合化とは、安全を、費用・品質・工期など施工管理全体から「横断的」に、かつ設計・施工・維持補修など事業の流れについて「縦断的」に捉えることである。

本論文では、安全管理の多様化と横断的総合化への第一歩を考察したにすぎない。真に多様で総合的な安全対策を探求するための調査研究を今後も進めていきたい。

【参考文献】

- [1] 常見昌朗、渡邊法美、國島正彦「建設業の重層下請構造と安全管理に関する一考察」第25回安全工学シンポジウム、p.215-216、1995.6
- [2] 石井貴仁、渡邊法美、國島正彦「追跡調査による建設労働災害の事例研究」第25回安全工学シンポジウム、p.213-214、1995.6
- [3] 渡邊法美、石井貴仁、常見昌朗、國島正彦「建

- 設現場の労働災害に関する基礎的研究」、建設マネジメント研究論文集 Vol. 3、1995. 12
- [4] 國島正彦、庄子幹雄「建設マネジメント原論」、山海堂、1994. 12
- [5] 渡邊法美「労働安全の概念モデル」、建設施工現場における安全管理技術指針策定業務報告書、土木学会、p. 43-55、1997. 3
- [6] 高橋恒彦「グラフ、図表を使った安全衛生のすすめ方」、中央労働災害防止協会編、1993. 8
- [7] 細畑正治「建設の安全管理」、理工図書、1983. 9
- [8] 澤誠之助他5名「座談会：壁を超えるための新たな視点」、土木と労働安全 土木学会誌別冊増刊号、p. 119-131、1995. 4
- [9] 労働省「平成3年店社における安全衛生管理実態調査」
- [10] 中西準子「水の環境戦略」、岩波新書、1994. 2
- [11] 豊澤康男、堀井宜幸、玉手聡「掘削工事における土砂崩壊災害の分析、第25回安全工学シンポジウム、p. 217-220、1995. 6
- [12] 北山宏幸「改正労働安全衛生法と建設業の安全管理」、労働新聞社刊、1993. 5
- [13] 三井英昭「土砂崩壊災害の事例（その2）」、土木と労働安全 土木学会誌別冊増刊号、p. 29-31、1995. 4

A Study on Safety and Productivity on a Construction Site

The number of construction labor accidents has not decreased dramatically for the last ten years. To find a new direction of construction safety management, it seems useful to develop a conceptual model to represent the relationship between safety management and occurrence of accidents.

In the first part of this paper, an attempt is made to develop the above conceptual model considering the variability of general contractors' characteristics and construction productivity. In the second half of the paper, an field observation is made on a gas pipe installation site. A statistical model is developed to quantitatively obtain the effects of factors influencing site productivity. The relationship between safety and productivity on a construction site is then discussed