

コンクリート施工の合理化を評価する手法の開発

Evaluation Method for Concrete Construction

東京大学工学部 ○小澤一雅*

東京大学大学院 袴田英宏**

By Kazumasa OZAWA and Hidehiro HAKAMADA

本研究は、コンクリート構造物の建設における施工の合理化を評価する手法を開発することを目的としたものである。施工性に優れた施工を工期が短く、現場に必要な作業員が少なく、各作業に特殊な技能を必要としないものであるとの認識に立ち、施工性指数を算定する方法を提案した。安全性については、建設にかかわる人間の死亡災害のみを取り上げ、各作業中に事故が発生する確率に基づいて、安全性指数を算定する方法を考案している。これらの評価指標を用いて、断面が中空の橋脚を例として取り上げ、4つの施工法を比較評価した。

普通コンクリートを締固め作業が不要の自己充填コンクリートに代えただけでは、最大15%程度施工性が向上するが、スリップフォーム工法や埋設型枠工法と組み合わせると最大75～85%程度と大幅に施工性を上げることが可能となり、安全性も向上する結果が得られた。これらの評価を貨幣単位に換算することで総合的に施工の合理化を評価する手法についても提案している。

[キーワード] コンクリート工事, 合理化施工, 施工性, 安全性, 自己充填コンクリート

1. 序論

本研究は、コンクリート構造物の建設における施工の合理化を評価する手法を開発することを目的とするものである。構造物の建設においては、所要の品質の構造物が構築されれば良いだけでなく、その建設過程において種々の品質（工期、安全性、周辺環境への影響等）が求められている。現場施工の合理化の推進は、建設事業の高品質化、コストダウン、工期の短縮など、効率性の確保とともに、労働災害の防止、危険苦渋作業の軽減など、労働環境改善対策の一環としても急務となっている[1]。施工における省人化や合理化を目指した材料・施工・設計における新技術は、その効果が事前に評価される必要があり、技術開発の方向を明確に示すことに対しても評価手法の開発は大きな価値を持つ。

一方、自己充填性ハイパフォーマンスコンクリート[2]は、コンクリート構造物の信頼性を向上させることを目的として、施工（締固め作業等）の良否の影響を受けない、締固め不要の自己充填コンクリートとして開発された。このコンクリートを用いることにより、打設時の省人化、締固め作業に伴う騒音の解消、施工システムの改革等のコンクリート工事の合理化、近代化を図ることも可能となる。しかし、単にコンクリート施工における締固め作業を不要としただけでは、そこから得られる省人化や合理化はそれほど大きいものではないことが指摘されている[3]。このコンクリートの有効な活用のためには、コンクリート施工の合理化を施工システム全体で積極的に考える必要がある。本研究では、現場施工の合理化を推進することを目標とし、コンクリート構造物の建設における施工性と安全性を取り上げ、施工の合理化を定量的に評価する方法を提案し、この手法を用いて橋脚についての各種施工を在来の工法と比較評価することを試みたものである。

* 工学部土木工学科 03-3812-2111

** 工学系研究科土木工学専攻 03-3812-2111

2. 施工の合理化の評価方法

(1) 施工の合理化の定義

a) 効率的な施工

本研究では施工の合理化を、効率的な施工、確実な施工、簡略な施工、安全な施工と考えている。合理的という言葉は、狭い意味で捉えると、能率的あるいは効率的ということができる。コンクリート構造物の施工は、現場に運ばれてきた材料を、人間や機械によって加工し、組み立てる作業であり、能率的あるいは効率的施工とは、同じ人数の作業員が働くのであれば短い期間で仕上がる、また同じ期間で仕上がるのであるならば少ない人数の作業員しか必要でないということができる。本研究では、効率的な施工として、少人数・短期間で行うことが可能な施工を考える。

建設業における就業者数や雇用者数は、全産業における就業者数や雇用者数の約10%を占めるものの、労働力の高齢化が進んでおり、今後もこの傾向が一段と進むものとみられる。このような現状を鑑みると、施工の省人化を検討する必要がある。また、建設用地取得に時間がかかる一方で、社会基盤施設の早期完成への要求は高く、急速施工の期待は大きい。効率的な施工を考えることにより、このような状況に対応することが可能となる。

b) 確実な施工

確実な施工とは、要求された性能の構造物を予定された期間内に完成させることができる施工ということである。現場における施工は、屋外で行われることが多く、悪天候などの自然現象の影響により、施工が中断されることが度々ある。そのため、工場などの屋内で行われる作業よりも、不確実であると言われている。本研究では、確実な施工として、自然現象の影響を受けることが少ない施工を考える。施工を不確実にする自然現象としては、強風、大雨、大雪を念頭においている。

施工に不確実な要因が多ければ多いほど、作業員の手配や機械の準備などさまざまなもの、特に、工期の設定に余裕を持たせなければならない。確実な施工を考えることにより、工期に余裕をみる必要が少なくなり、無駄を省くことが可能となる。

c) 簡略な施工

簡略な施工とは、一部の作業員しか保持していない特別な技能に負うところが少ない施工ということである。現場における施工は、さまざまな職種の建設労働者、さまざまな技能を持った技能労働者によって行われている。これらの作業員が、各々の技能を発揮することにより、はじめて構造物が完成するのである。本研究では、簡略な施工として、特別な技能を持っていない普通作業員にでも、施工の大部分を行うことが可能なもの考える。

建設業における技能労働力は、常に不足しているという状況である。特に、型枠工、鉄筋工、とび工、鍛冶工などの一部の職種においては、不足が顕著にみられる。簡略な施工を考えることにより、これら技能工の不足に関係なく、施工を行うことが可能となる。

d) 安全な施工

安全な施工とは、作業中に事故の発生しない施工、あるいは、作業中に事故の発生する確率の小さい施工である。ここでは、事故のうち人身災害を伴う事故について考えることとし、さらに、死亡事故、重傷事故から軽傷事故までさまざまな程度の事故の中で、本研究では、現場での作業中に発生した、死亡事故および労働不能となり休業を必要とする人身災害を考えることとする。

建設業における就業者数や雇用者数は、全産業における就業者数や雇用者数の約10%を占めている。しかし、建設業における労働災害の死傷者数は、全産業の約30%を占めており、死亡者数にいたっては、約40%を占めている[4]。建設業が他の産業と比べて危険であるといわれる所以である。建設業における死亡災害の発生状況の調査[5]をみると、建設工事における死亡災害の特徴がはっきりとわかる。すなわち、墜落による災害と建設機械による災害で全体の50%以上を占めているのである。自動車による災害（交通機関による事故）、その他の災害（病気等）といった、建設現場以外で発生した災害を除くと、その割合は約70%ともなる。また、土木工事では、死亡災害は、施工現場以外で発生した事故を除くと、建設機械による災害が約40%、墜落による災害が約20%、土砂崩壊等による災害が約20%を占める。この3つで、全体の約80%

を占めているわけである。コンクリート工事においては、土工事のように建設機械を使うことが少ない。そのため、コンクリート工事の安全な施工を考える際には、地上構造物の場合には、墜落事故に対する安全を、地下構造物の場合には、墜落事故と土砂崩壊事故に対する安全を重点的に考えるのが得策である。これらの原因を念頭において、危険な作業を減らした施工が望まれている。

安全な施工を考えることは、人命尊重、労働福祉の見地から、建設業の社会的責務と考えられる。また、安全な施工を考え、作業中の危険な状態を軽減することにより、建設業の魅力を多少なりとも増すことができる。

(2) 施工の合理化を評価する指標

施工の合理化を考えるにあたっては、どのくらい施工の合理化が達成できているのかをわかりやすい指数で示すことのできる指標があると便利であり、いくつかの施工法を定量的に比較することも可能となる。そこで、ここで考えた施工の合理化を評価する指標として、施工の効率性、確実性、簡略性を同時に評価する指標と、施工の安全性を単独で評価する指標との、2つの指標を提案する。

施工の効率性、確実性、簡略性を評価する場合には、施工の開始から終了までの施工全体を通しての総合値で評価することが可能である。しかし、施工の安全性を評価する場合には、安全という問題が人命に関わる問題であるため、施工全体を通しての総合値や平均値よりもむしろ個々の工程の安全性の最低値、つまり最も危険な場面が問題となる。

また、施工の効率性、確実性、簡略性に関しては、これらが少しでも大きければより合理的であり、逆に少しでも小さければより非合理的であるということができる。一方、安全性に関しては、これとは異なるものと思われる。

両者は性格の違ったものであるため、1つの指標で同時に評価することは難しい。よって、ここでは、両者を別々に評価する2つの指標を提案する。本研究では以下において、施工の効率性、確実性、簡略性を評価する指標を施工性指標と呼び、施工の安全性を評価する指標を安全性指標と呼ぶ。

a) 施工性指標

施工の効率性、確実性、簡略性を評価する施工性指標の構成は、図-1に示す通りである。施工の工程は、施工数量と施工歩掛より求められた、施工に必要な作業員の人数と作業日数をもとにして考えることができる。次に、自然現象の影響による不確実性に対して工期に余裕をみることにより、施工全体を通しての作業工程をたてることができる。ここから、施工の開始から終了までに作業員を確保しておかなければならない日数が求まる。これを、作業員の拘束日数と呼ぶ。

一方、施工中に必要である、作業員の保持する技能に対する重みを考えたものが、作業員の技能指数である。施工性指標の指標値、施工性指数は、この作業員の拘束日数と、作業員の技能指数より、式(1)を用いて求めることができる。

全作業員

$$\text{施工性指数} = \Sigma [(\text{各作業員の拘束日数}) \times (1 + \text{各作業員の技能指数})] \cdots (1)$$

施工性指数は、施工に携わる全作業員の動きに着目して、その効率性、確実性、簡略性の総合値を一元的に表す指数である。その単位は、人・日で表される。施工性指数は、0以上の値をとり、その値が小さいほど、効率性、確実性、簡略性が高い施工であることを表す。

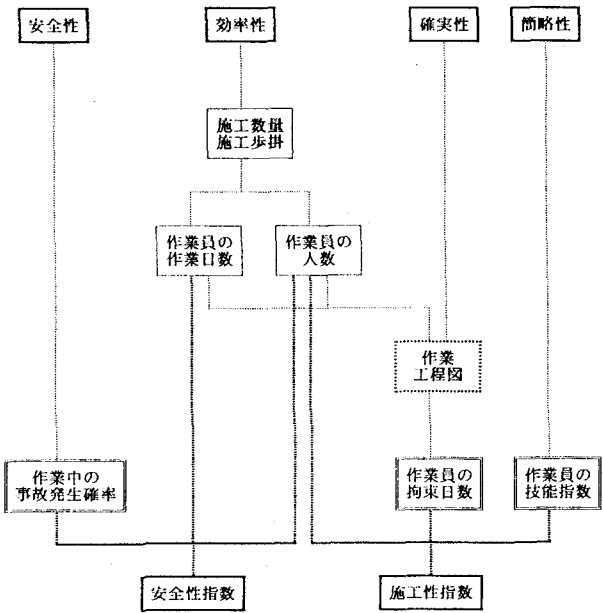


図-1 施工性指標と安全性指標の構成

施工性指数を求めるには、作業員の拘束日数、作業員の技能指数を決定する必要がある。作業員の拘束日数とは、作業員が作業を行う、行わないにかかわらず、施工の開始から終了までに作業員を拘束しておかなければならない日数のことである。ある作業員に作業のある日が連続していない場合、作業員を集めるのが容易な条件のもとでは、それぞれの作業がある日のみ、作業員を確保しておけばよい。一方、作業員を集めるのが困難な条件のもとでは、それぞれの作業がある日だけでなく、作業がない日も連続して、作業員を確保しておく必要がある。

施工を行う際には必ず作業の工程を考える。本研究では、施工数量と建設省の土木工事積算基準[6]などによる施工歩掛より、施工に必要な作業員の人数と作業日数を考える。次に、自然現象の影響による不確実性に対して工期に余裕をみることにより、施工全体を通しての作業工程をたてる。これを、図-2に示すような、縦軸に各々の作業員を考え、横軸に施工の開始から終了までの時間の流れを考えた作業工程図として表す。図中、文字が書かれてあるところはその作業員がその日にその文字の種類の作業をしていることを示している。この作業工程図から、作業員の拘束日数を求める。

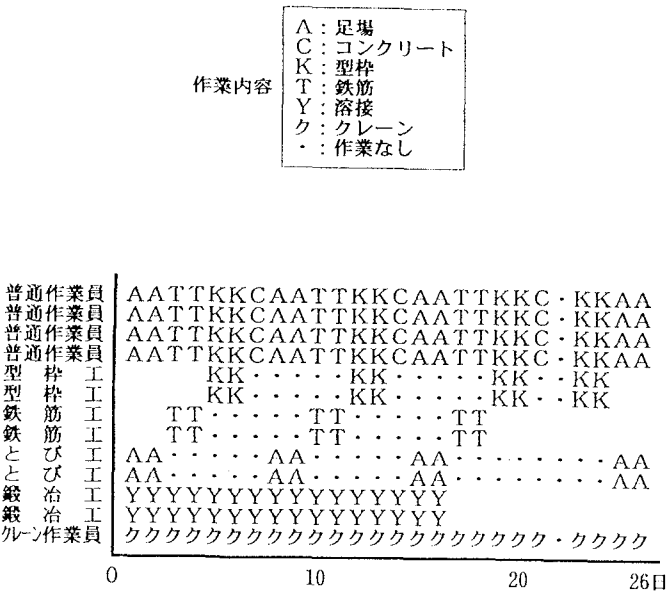


図-2 作業工程図の例

作業員の技能指数とは、型枠工、鉄筋工、とび工、鍛冶工などの技能工の技能を評価する指数である。札幌、東京、名古屋、大阪、福岡といった主要5都市について、土木工事の労賃の最新動向を調べたものの[7]によると、上記の技能工の労賃は、普通作業員の労賃の約1.3倍から1.5倍という結果がでている。これは、技能工1人が普通作業員1.3人から1.5人と同等の働きをすると評価されている、あるいは、技能工の技能に対する賃金が普通作業員の労賃の0.3倍から0.5倍と評価されていると考えることができる。作業員の技能指数を、技能工の技能が普通作業員の労賃のどのくらいの割合として評価されているのかを表す指数、と定義すると、0.3から0.5という値が各々の技能工の技能指数となる。普通作業員の技能指数は、つねに0ということになる。

普通作業員や技能工の労賃は、これらの需要と供給のバランスの影響を大きく受ける。労賃が需給関係を反映して決定される以上、作業員の技能指数もそれに合わせて変化することとなる。ここで定義される技能指数は、こういったものを含んだ指数と考えている。施工性指数は、式(1)を用いて、各作業員の拘束日数と技能指数の積の総和から求められる。作業工程図から求められる作業員の拘束日数は、作業員の過剰・不足、自然現象の影響による不確実性等の条件を反映して決定される。また、作業員の技能指数は、作業員の需給関係を反映して決定される。これらの条件をさまざまに設定したり、予測したりすることにより、各種条件下での評価を行うことが可能となる。

b) 安全性指標

施工の安全性を評価する安全性指標の構成は、図-1に示す通りである。安全性指標の指標値、安全性指数は、施工中の全作業員の全作業に関して、作業中に事故が発生する確率を積分したものとして求められる。これは、式(2)と表すことができる。

$$\text{安全性指数} = \frac{\sum (\text{全作業員} \times \text{全作業日} \times \text{各作業中の事故発生確率})}{\text{全作業員} \times \text{全作業日}} \quad (2)$$

安全性指数は、作業中に発生すると予想される事故による死傷者ののべ人数である。その単位は、人・日で表される。安全性指数は、0以上の値をとり、

その値が小さいほど、安全性が高い施工であることを表す。安全性指数が0とは、作業中に発生する事故による死傷者が全くいないと予想されるという、きわめて安全な施工のことである。

安全性指標を求める際に必要な、作業中の事故発生確率について、以下に説明する。施工中の事故は、自然災害等の予測できない事態が生じる場合を除けば、普通に作業しているときにはめったに起こらず、必ず作業に携わる人間のなんらかのミスが引金となって起こると考えられる。しかし、ミスが生じたからといって、全てが事故要因に繋がるわけではない。また、事故要因が存在したからといって、全てが事故に結びつくわけでもない。ある確率で施工中になんらかのミスが起こり、ある確率でそのミスが事故要因に繋がり、さらにある確率でその事故要因が事故に繋がると考えることができる。つまり、作業中に事故が発生する確率は、作業中にミスが起こる確率と、ミスが事故要因につながる確率と、事故要因が事故に結びつく確率を掛け合わせたものということができる。これは、式(3)に示すような形で表すことができる。

作業中の事故発生確率

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{事故}}{\text{作業}} \\ &= \frac{\text{ミス}}{\text{作業}} \times \frac{\text{事故要因}}{\text{ミス}} \times \frac{\text{事故}}{\text{事故要因}} \quad \cdots \cdots (3) \end{aligned}$$

式(3)を、作業員の墜落による事故について考えると、式(4)のように表すことが可能である。

作業員の墜落による事故発生確率

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{ミス}}{\text{作業}} \times \frac{\text{作業員の墜落}}{\text{ミス}} \times \frac{\text{事故}}{\text{作業員の墜落}} \\ &= f1(\text{人間の過誤率}) \times f2(\text{保護の程度}) \\ &\quad \times f3(\text{落下高さ}) \quad \cdots \cdots (4) \end{aligned}$$

ここで、作業中にミスが起こる確率とは、人間の過誤率と考えることができる。安全性評価・解析のための過誤率のガイドライン[8]によると、人間の過誤率は、同一の人物による同一の行為であっても環境や状況によって異なるが、過誤率のめやすとして $10^{-2} \sim 10^{-4}$ という値が示されている。

ミスが事故要因である作業員の墜落につながる確率とは、作業員が墜落に対する危険性からどの程度保護されているかということである。ここでは、墜落する可能性がある方向として、上下左右前後の6方向のうち上方向を除いた5方向を考え、その各々の方向がどの程度墜落に対する危険性から保護されているかということの数値で表し、ミスが墜落につながる確率とする。

また、作業員の墜落が事故に結びつく確率とは、作業員が墜落した場合の落下高さに関する関数と考えることができる。ここでは、作業高度が2mまでは0%、作業高度が2mから4mまでは0%から100%まで直線的に増加、作業高度が4mをこえるものは100%事故につながると仮定した。

その他の種類の災害に関しても、同じような仮定をすることにより、各々の事故要因に対する、作業中の事故発生確率が求められる。

安全性指数は、式(2)を用いて、各作業中の事故発生確率から求められる。各作業中の事故発生確率は、発生しうる事故要因に対する事故発生確率の和と考えられる。しかし、作業中の事故発生確率とは、作業員や作業時間、作業環境などの違いにより、刻々と変わる性質の値である。そこで、各工程の代表値を考えることにより、作業中の事故発生確率とし、安全性指数を求めることとした。この安全性指標を用いることにより、施工中の安全性を定量的に表すことが可能となる。

3. 橋脚の施工の評価例

(1) 施工法

ここでは、代表的なコンクリート構造物として、橋脚を例にとり、各種施工法の施工性(効率性、確実性、簡略性)と安全性を、施工性指標と安全性指標を用いて評価する。

a) 在来の一般的な施工法

施工する構造物が同じであっても、施工条件によって施工方法はさまざまである。そこで、ここでは以下に示すような施工法を在来の一般的な施工法と考え、在来工法と呼ぶこととした(図-3)。まず、作業項目を、足場設置・撤去、鉄筋組立・設置、型枠製作・設置・撤去、コンクリート打設・養生の

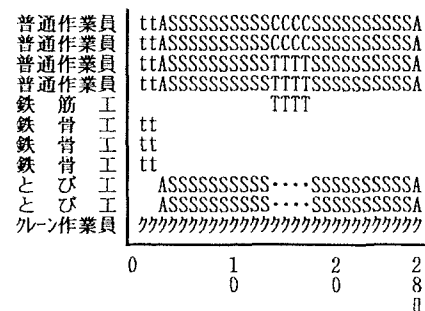
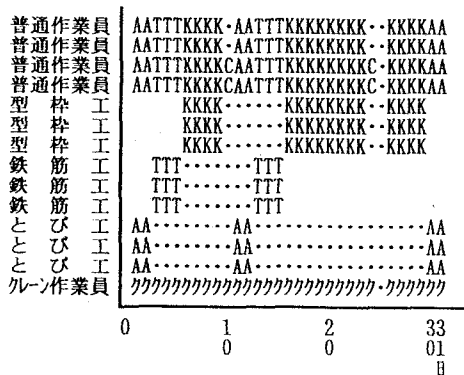
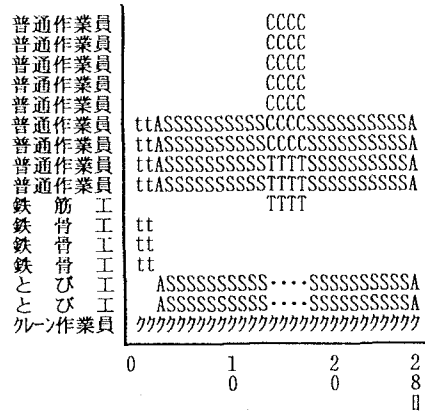
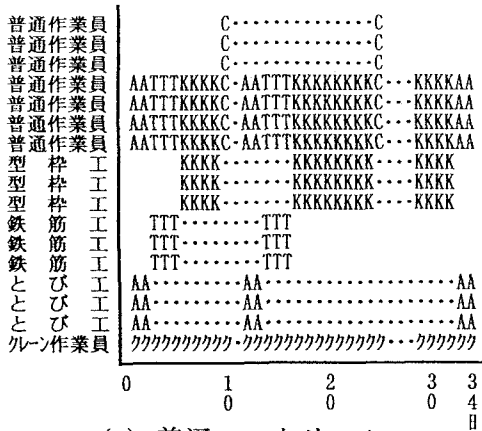


図-3 在来工法の作業工程図

図-5 スリップフォーム工法の作業工程図

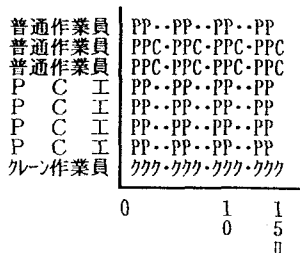
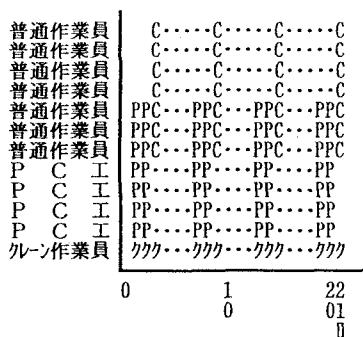


図-4 埋設型枠工法の作業工程図

4工程に分けて考える。このうち、足場の撤去を除いたものを1サイクルと考える。次に、1回にコンクリートを打設する打設高さを設定する。コンクリートの打設1回ごとに、1サイクルの工程を行い、これを繰り返すことにより、橋脚を完成させる。そして、最後に足場を撤去する。

b) プレキャスト埋設型枠工法

コンクリート製のプレキャスト型枠にあらかじめ鋼材を配置したものを用い、それを埋設型枠とする施工法を考える(図-4)。断面が中空である橋脚を施工する場合には、内型枠にもプレキャスト部材を用いる、あるいは、内型枠を鋼材で代用させるという方法をとる。さらに、その内型枠の内側に足場(昇降階段)を取り付けておくことにより、足場の設置・撤去の工程を省く。つまり、作業項目としては、外型枠の役割を果たすプレキャスト材と、内型枠の役割を果たすプレキャスト材または鋼材の設置、コンクリートの打設・養生を考える。

この施工法には、作業項目の減少による施工性の向上を期待することができる。また、足場の設置・

撤去作業を無くしたり減らしたりし、さらに、外型枠の内側で墜落の危険性から保護された状態での作業としていることにより、安全性の向上も期待することができる。以下では、この施工法を埋設型枠工法と呼ぶ。

c) スリップフォーム工法

スリップフォームを移動型枠として用いた施工法を考える(図-5)。スリップフォーム工法は、コンクリートの打設の進行にしたがって、型枠を上方に滑動させ、この操作を繰り返しながらコンクリート構造物を築造するものであり、橋脚の構造をハイブリッド構造としたハイブリッド・スリップフォーム工法が既に試行されている[9]。作業項目としては、足場の設置・撤去、鋼材の設置、スリップフォームの設置・撤去と、スリップフォーム装置内での鉄筋の組立・設置、コンクリートの打設・養生を考える。

この施工法には、コンクリート打設期間の短縮による施工性の向上を期待することができる。また、型枠の設置・撤去作業が減り、スリップフォーム装置内での作業が増えることにより、安全性の向上も期待することができる。以下では、この施工法をスリップフォーム工法と呼ぶこととする。

(2) 施工性の評価

橋脚の形状は、さまざまな条件によって決定される。ここでは、評価の対象として、図-6に概略を示す橋脚を考える。橋脚の断面の決定には、橋脚の高さも関係するが、ここでは、図に示した断面が変化しないものとして、いろいろな高さの橋脚を考え

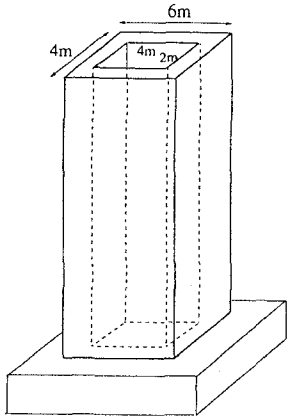


図-6 評価対象とした橋脚の概要

表-1 各作業項目の施工数量(5m当り)

コンクリート (m³)	80.0
型枠 (m²)	160.0
鉄筋 (t)	10.8
足場 (空m³)	195.0

表-2 各作業項目の施工歩掛

作業内容	施工歩掛	
	普通作業員	技能工
コンクリート打設・養生	7人日/回	—
普通コンクリート	2人日/回	—
自己充填コンクリート	16.1人日/100m²	15.9
型枠製作・設置・撤去	1.0人日/t	0.9
鉄筋組立	5.6人日/100掛m²	3.8
足場設置撤去(幅0.9m)	2.6人日/10ヶ-フル	4.5
P C緊張		

ることとした。各作業項目の施工数量(5m当たり)は、表-1に示す通りである。

施工歩掛は、建設省の土木工事積算基準[6]を参考にして、表-2に示す値を仮定した。コンクリートの打設は、1リフトにつき1日かけて行うこととし、普通コンクリートを用いる場合には7人、自己充填コンクリートを用いる場合には2人の作業員が必要であると考えた。また、コンクリートの養生期間は、普通コンクリートを用いた場合は3日、自己充填コンクリートを用いた場合は1日と設定した。そして、養生期間中には、次のリフトの作業のための足場や昇降階段の設置のみ行うことができるものとし、その他の同時作業は行わないものとした。クレーンは、施工の開始から終了まで1台配置しておくものとした。

施工数量と施工歩掛より、作業工程を決定した。その際、施工実態調査資料の分析[3]を参考に、1日当たりの作業員数になるべく6～7人となるように考慮した。また、在来工法は1リフトを5m、埋設型枠工法は1リフトを2.5mとした。スリップフォーム工法は、スリップフォームの上昇を1日に2.5mとした。

以上に述べた仮定のもと、橋脚を1基施工する際に、それぞれの施工法に普通コンクリートを用いる場合と自己充填コンクリートを用いる場合を考え、さらに、極端なケースとして作業員の確保が容易で

ある場合と困難である場合、技能工の技能の評価（技能指数）が低い場合（技能指数0）と高い場合（技能指数1）を想定した。それぞれの場合において、橋脚の高さの設定をかえることにより比較評価した（図-7～10）。普通コンクリートを在来工法に用いた場合を基準として、他の場合との比較を行うことにより、明らかとなったことを以下に示す。

a) いずれの条件においても、在来工法に比べて埋設型枠工法およびスリップフォーム工法の施工性指数は小さい結果となった。

b) 同じ施工法に普通コンクリートを用いた場合と自己充填コンクリートを用いた場合とでは、自己充填コンクリートを用いた場合の方が、施工性指数が小さくなる。その差は、作業員の確保が容易な場合には最大で12%だが、作業員の確保が困難な場合には最大で39%となる。特に、作業員の確保が困難な場合に、自己充填コンクリートの有効性が発揮されることを示している。

c) 埋設型枠工法で普通コンクリートを用いた場合と自己充填コンクリートを用いた場合との施工性指数の差は、在来工法の場合よりも大きい。これは、埋設型枠工法と自己充填コンクリートとを組み合わせることが有効であることを示している。

d) スリップフォーム工法では、施工性指数は橋脚が高くなるにつれて小さくなり、高い橋脚においてスリップフォーム工法が有効であることを示している。

e) スリップフォーム工法が埋設型枠工法と比較して施工性指数が小さくなる橋脚の高さは、条件によって異なる。作業員の確保が困難な場合、また技能工の評価が高い場合に、スリップフォーム工法がより有効である範囲が広がる結果を示している。

(3) 安全性の評価

安全性指標を用いて、それぞれの施工法の安全性指数を求めた。ここでは、墜落による安全性指数をもって、施工を通しての安全性指数とし、3つの工法を比較評価した（図-11）。普通コンクリートを在来工法に用いた場合を基準として、他の場合との比較を行うことにより、明らかとなったことを以下に示す。

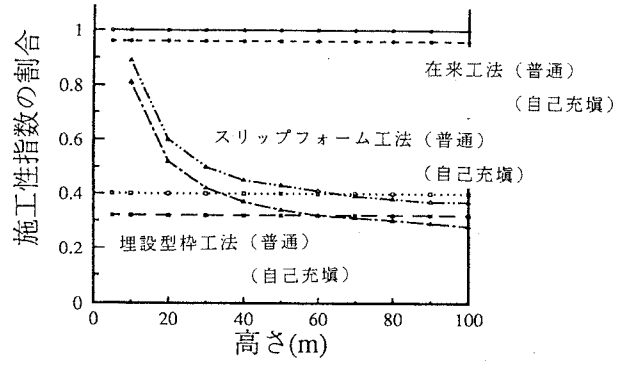


図-7 施工性の評価
(作業員確保容易, 技能指数0の場合)

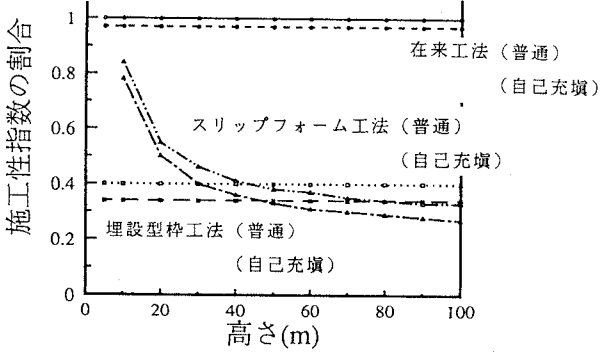


図-8 施工性の評価
(作業員確保容易, 技能指数1の場合)

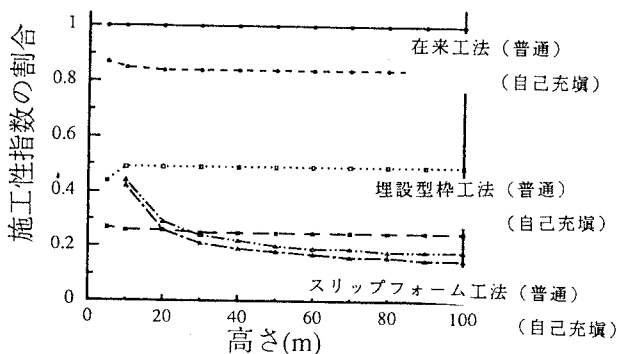


図-9 施工性の評価
(作業員確保困難, 技能指数0の場合)

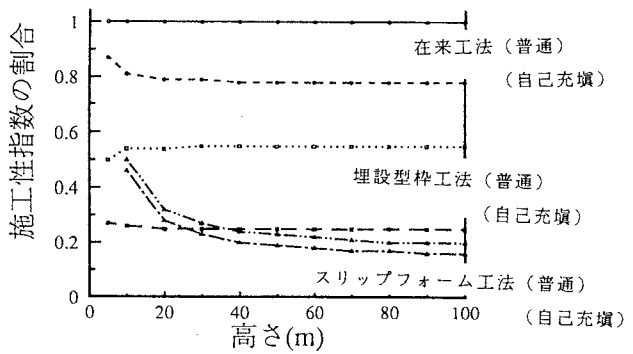


図-10 施工性の評価
(作業員確保困難, 技能指数1の場合)

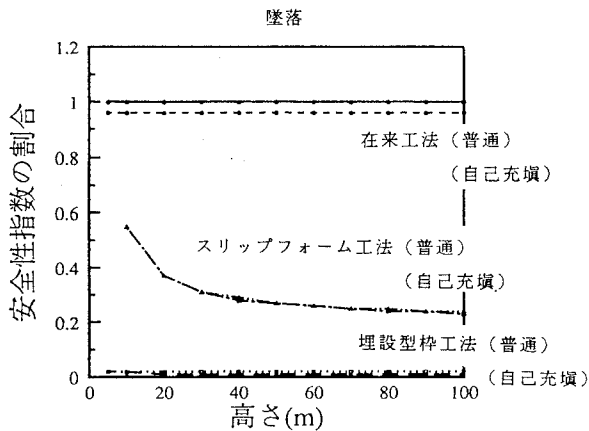


図-11 安全性の評価

a) 在来工法に比べ、埋設型枠工法およびスリップフォーム工法とも安全性指数は大幅に小さくなる。

b) 同じ施工法に普通コンクリートを用いた場合と自己充填コンクリートを用いた場合の差は小さく、その差は、最大でも7%である。

c) 橋脚が高くなるにつれて、スリップフォーム工法の安全性指数は在来工法に比べて小さくなる。

安全性指数の算定において、人間の過誤率の代表値として 10^{-3} を、またミスが事故要因である墜落に繋がる確率をとび工の場合0.2をその他の場合は0.1を仮定した。また、安全性指数は、作業の種類とその工程が決まれば算定することができ、施工性指数のように作業員確保の容易さや技能指数による影響は受けないものと仮定している。

4. 施工の合理化を評価する指標の 貨幣単位への換算

施工の合理化を評価するにあたっては、さまざまな特性や要因の評価結果を一元的な指標によって表現することが、有効であり、一元的な指標とするためには、貨幣単位に換算することが実用的である。ここでは提案した施工性指標と安全性指標を貨幣単位に換算する方法について検討する。

施工の効率性、確実性、簡略性を評価する施工性指数は、施工の開始から終了までに確保しておかなければならない作業員ののべ人数を、普通作業員に換算して表したものであり、人・日という単位で表される。したがって、普通作業員の労賃を用いることにより、貨幣単位に換算することが可能である。

施工の安全性を評価する安全性指数は、作業中に発生すると予想される事故による死傷者ののべ人数を表したものであり、人・日という単位で表される。これを、その事故による影響等を考慮した必要な保険金額等に換算することができれば、これを用いることにより、貨幣単位に換算することが可能となる。

建設省の土木工事積算基準[3]によると工事費を代表するものとして直接工事費を考えることができる。直接工事費は、材料費（型枠や足場の損料を含む）、労務費、機械損料を積算することにより求められ、それぞれの単価は、積算資料[10]を参考にすることができる。ここで、直接工事費の中に含まれる労務費のかわりに、施工性指数を貨幣単位に換算したものをを用いると作業員の確保が容易な場合や困難場合、技能工の評価が高い場合や低い場合の直接工事費を容易に計算することが可能となる。

さらに、安全性を積極的に評価する方法として、安全に関する費用を、直接工事費に係数を乗じることによって算定するのではなく、別個に求めて直接工事費に加えることを考えた。すなわち、安全に関する費用として、安全性指数を貨幣単位に換算したものをを用いて評価するのである。

このような方法で、施工性指標と安全性指標を貨幣単位に換算することにより、施工の効率性、確実性、簡略性、安全性といったものを、材料費や機械損料等とともに総合的に評価することが可能となるものと思われる。

5. 結論

本研究では、コンクリート構造物の建設における施工の合理化を定義し、その定義に基づいて、施工の合理化を評価する指標を提案した。さらに、これを用いて橋脚の施工を例にとり施工の合理化を比較評価した。本研究で得られた結論を、以下に記す。

(1) 施工の合理化を考えるにあたり、施工の効率性、確実性、簡略性、安全性の4点に着目し、これら进行评估する2つの指標、すなわち、施工の効率性、確実性、簡略性を評価する施工性指標と、施工の安全性を評価する安全性指標を提案した。さらに、この2つの指標を貨幣単位に換算する方法をあわせて示し、施工性、安全性を、さまざまな特性や要因と

ともに総合的に評価する道筋を示した。

(2) 施工性指数は、各作業員の拘束日数と技能指数の積の総和から求められるものであり、作業工程図を作成することで容易に算出できる。作業員の拘束日数を用いることにより、作業員の過剰・不足や自然現象の影響による不確実性等の条件を反映して評価することが可能である。また、作業員の技能指数は、その需給関係が反映され、これらの条件を種々に予測、設定することにより、各種条件下での評価が可能である。

(3) 安全性指数は、各作業中に発生しうる事故要因に対する事故発生確率の和として求められるものである。各作業中の事故発生確率は、作業員、作業時間、作業環境等の違いにより、時々刻々と変化する性質のものであるが、各工程の代表値を考えることにより、作業中の事故発生確率を求めることとした。これにより各種条件下での施工中の安全性を定量的に評価することが可能である。

(4) 代表的なコンクリート構造物として、橋脚を例にとり、締固め作業が不要の自己充填コンクリートを用いた場合や埋設型枠工法、スリップフォーム工法を適用した場合の施工を普通コンクリートと在来工法を用いた場合の施工と比較評価した。その結果、スリップフォーム工法は、橋脚が高いほど合理化を図ることができ、埋設型枠工法、スリップフォーム工法共、在来工法に比べて施工性指数および安全性指数を減少させることができることが明らかとなった。さらに、作業員の確保が困難で、技能工の評価が高い場合に自己充填コンクリートの活用が有効であることが明らかとなった。

本研究で扱った施工の範囲は、コンクリート構造物に係わる躯体工事のみであり、評価の対象として取り上げた施工性、安全性も限られている。工事の及ぼす周辺環境への影響や労働環境も今後益々重要となるものと思われる。今後は、本研究で提案した方法を修正、改良、拡張し、施工を定量的に評価する手法の確立に向けて研究を続けるとともに、より合理的な施工の開発を考えたい。

〔参考文献〕

- 1) 田崎忠行；技能工不足と合理化施工，セメント・コンクリート，No.523，1990.9
- 2) 岡村甫，前川宏一，小澤一雅；ハイパフォーマンスクンクリート，技報堂出版，1993.9
- 3) 加藤和彦，渡邊法美，國島正彦；締固め不要コンクリートの施工に関する分析，建設マネジメント研究 論文集，Vol.1，1993
- 4) 石井貴仁；建設現場の施工時における事故・災害に関する研究，東京大学卒業論文，1993
- 5) 建設業安全衛生年鑑 平成4 年版，建設業労働災害防止協会，1992.10
- 6) 土木工事積算研究会編；建設省土木工事積算規準 平成4 年版，建設物価調査会 建設行政出版センター，1992.3
- 7) 主要5 都市労賃速報，日経コンストラクション，No.91 ～102，1993.7 ～12
- 8) 林喜男編；人間工学 改訂版，日本規格協会，1987.3
- 9) 鋼管・コンクリート複合構造橋脚 ハイブリッド・スリップフォーム工法，大分自動車道横道橋，日本道路公団，1993
- 10) 積算資料，経済調査会，1994.2