

施工のプロセスが環境に及ぼす影響を考慮した建設技術の 総合評価システム

東京大学大学院 ○三木浩司*

東京大学 小澤一雅**

By Koji Miki and Kazumasa Ozawa

本研究は、建設工事における施工のプロセスが社会や自然環境に及ぼす影響を考慮し、建設工事計画全体の良否を建設に係わるコストとして総合的に評価するシステムを構築することを目的としている。まず、施工のプロセスの影響を施工の合理化、周辺環境への影響、地球環境への影響に大きく分け、それぞれについて定量的に評価する指標を考え、それらを貨幣換算して労務費、安全費、周辺環境費、地球環境費とした。そして、さらに、これらに材料費、機械損料を加えて、建設工事全体を総合評価する方法を考案した。

高さ20mの橋脚の施工を対象として、様々な施工法について、提案するシステムを用いて総合評価を行った結果、基礎工事に場所打ちコンクリート杭を用い、躯体工事にプレキャスト埋設型枠工法を用いた施工は、鋼管杭と従来の工法を組み合わせた場合と比べて総合的な建設コストが約10%安くなると評価され、環境への影響も考慮した定量的な評価が可能であることが示された。

[キーワード] 施工計画、施工プロセス、施工の合理化、周辺環境、地球環境、
建設コスト、総合評価システム

1. 序論

建設工事において、施工計画は構造設計、材料設計とともに施工完了後の構造物が要求品質を満たしているかどうかという品質確保の観点（構造安全性や耐久性など）と、出来る限り安い工事費で完成させられるかどうかという経済性の観点から考えることが重要である。

一方、将来、間違いなく減少する労働人口や高齢化の問題を考えると作業の効率化や現場の安全性向上などの現場における施工の合理化が求められている。また、近年、都市部における工事が増大し、住民の生活環境意識も向上してきていることから、建設工事における騒音・振動などが周辺環境に与える影響についても考える必要がある。さらに、空間軸を広げて考えてみると、建設工事に伴う環境破壊だ

けでなく、建設副産物の有効利用やコンクリート工事で用いる型枠に熱帯木材を使用することによる森林破壊や地球温暖化などの、現場で使用する材料やエネルギーの地球環境への影響も考慮する必要性が生じてきている。すなわち、施工のプロセスが社会や自然環境に与える影響も含めて考えていく必要がある（図-1）。

そこで、将来の理想の建設工事を想定し、より良い施工が高く評価される評価体系を構築することを目標に、施工を総合評価するシステムの開発を本研究の目的とした。

すなわち、施工のプロセスの影響を「現場環境」、「周辺環境」、「地球環境」の3つに分け、各問題について、より良い建設工事の施工とは何かを考えながら、それらを定量的に評価する指標を選定し、さらにそれらを貨幣単位に換算することで一元的な指標として評価システムに用いることを試みたのである。そして、これらに材料費や機械損料などの現場で必要な経費を加え、総合的に建設工事を評価するシステムを構築した。

* 工学系大学院土木工学専攻修士 03(3812)2111

**工学系大学院土木工学専攻助教授 03(3812)2111

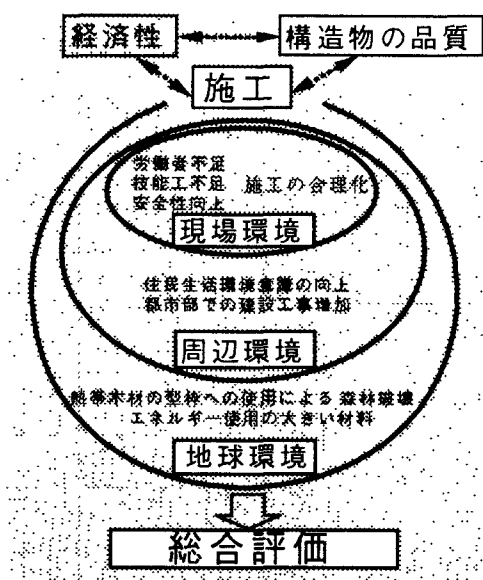


図-1 施工の総合評価

2、現場環境への影響の評価

現場環境への影響では、建設現場における施工の合理化を取り扱うことにした。施工の合理化が現場における労働環境や安全性などの作業環境の改善につながると考えたからである。施工の合理化の評価方法としては、袴田⁽¹⁾の用いた評価指標を用いる。

袴田は施工の合理化を、効率性、確実性、簡略性、安全性と定義し、最初の3項目については、施工性指数を用い、残る安全性に関しては、安全性指数を用いて評価した。この評価手法は当初コンクリート工事を対象として構築されたが、その後コンクリート工事のみならず施工全体（基礎工事、土工事、躯体工事）に対しても適用可能なことが確認された⁽²⁾。各指数の求め方は次の通りである。

(1) 施工性指数

施工性指数は、施工数量と施工歩掛を基にして、縦軸に各作業員を、横軸に作業日数をとった作業工程図（図-2）を書き、全作業員について、各作業員の技能指数を考慮しながら拘束日数の和をとることで求められる。つまり、これは作業員の技能を考慮した延べ作業日数を表し、単位は人・日である。

ただし、各作業員の拘束日数とは施工の開始から終了までに確保しておかねばならない日数であり、作業員の技能指数は作業員の保持する技能に対して重みを考えた数値である。施工性指数は、0以上の値を取り、その値が小さい施工ほど、効率性、確実性、簡略性の高い施工であることを示すものである。

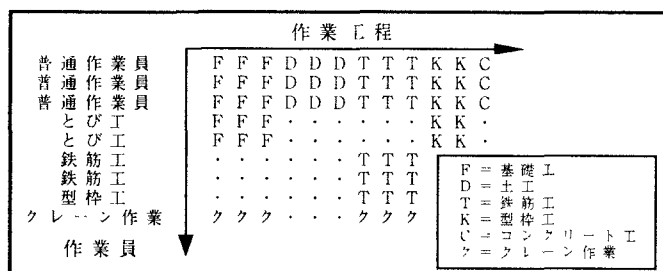


図-2 作業工程図の例

(2) 安全性指数

安全性指数は、施工中の全作業員の全作業に関して、作業中に死亡事故が発生する確率を積分したものととして求められる。これは、作業中に発生すると予想される事故による死傷者の延べ人数の期待値を表しており、その単位は人・日である。安全性指数は0以上の値を取りその値が小さいほど、安全性の高い施工であることを示している。

3. 周辺環境への影響の評価

(1) 周辺環境への影響の定義

近年の建設工事では、都市部で行われる工事の割合が増加し、周辺住民と近接施工となることが多い。さらに住民の生活意識も向上してきており、施工に際しては、周辺住民の生活環境に及ぼす影響について十分に考慮する必要がある。周辺環境に及ぼす影響としては、騒音・振動、粉塵、濁水、地盤沈下、廃棄物処理の問題などがあるが、この中でも最も苦情発生件数の多いのが、騒音・振動である。そしてその発生源は主として建設機械であると考えられる。そこで、周辺環境への影響として、施工中に使用する建設機械の運転による騒音・振動を取り上げ、これらが周辺住民の生活に悪影響を与える程度を、苦情が発生する頻度を用いて評価することとする。

(2) 周辺環境への影響を評価する指標

周辺環境への影響を評価する指標として、周辺環境指数を定義する。これは騒音・振動に関しての予想苦情発生件数を施工の全作業日において積分したものととして求められる。これを式(1)に示す。

周辺環境指数

$$= \sum_{\text{全作業日}} (\text{各作業日における予想苦情発生件数})$$

・・・式(1)

・・・式(4)

周辺環境指数は、施工中に発生すると予想される騒音・振動に関する苦情の発生件数の総和であり、単位は(件)で表される。周辺環境指数は0以上の値を取り、その値が小さいほど、周辺環境に与える影響の少ない施工であることを表す。次に、各作業日の予想苦情発生件数の求め方を示す。

苦情発生件数は、建設機械の運転時間と騒音・振動の大きさ、建設現場からの距離とその地域の特性(人口密度など)により変化するものと考えられる。そこで、これらの要因を独立に取り扱うことで以下の予想苦情発生件数を求める式を提案した。

$$\begin{aligned} & \text{各作業日の予想苦情発生件数} \\ & = \text{時間係数} \times \sum_{\text{全周辺地域}} (\text{地域係数} \times \text{苦情発生確率}) \end{aligned}$$

・・・式(2)

a) 苦情発生確率

苦情の発生する確率は、騒音や振動が大きくなるに従って大きくなると考えられる。そこで、騒音・振動の大きさを変数にとった苦情発生確率を考えることにした。ただし、騒音の大きさと振動の大きさにはある程度の相関関係が認められるので、変数としては騒音の大きさだけに限定して考えた。

騒音の大きさを表現する方法として、一般的に騒音レベル(L_{dn}: day and night level 単位はdB(A))が用いられているため、ここでもそれを用いた。

そして、U.S Environmental Protection Agencyは騒音のうるささの表現方法として、人が「非常にうるさい」と感じる比率をとる方法が精度の上で望ましく、OECDや各国の社会調査の結果から、騒音レベルと「非常にうるさい」と感じる比率(人の割合)の関係が以下の式で表現できるとしている^{③)}。

$$\begin{aligned} & \text{「非常にうるさい」の比率(\%)} \div 2 (L_{dn} - 50) \geq 0 \\ & L_{dn}: \text{騒音レベル(dB(A))} \end{aligned}$$

・・・式(3)

さらに、様々な社会調査の結果より、苦情の発生確率(%)と騒音のうるささ(%)には以下のような回帰関係をもとめている^{③)}。

$$\begin{aligned} & \text{騒音のうるささ(\%)} \\ & = 12.3 \sqrt{\text{苦情の発生確率(\%)}} + 4.3 \end{aligned}$$

ここで、以上の報告を基に、騒音のうるささが「非常にうるさい」と感じる比率と一致すると考えると式(3)、(4)より苦情発生確率と騒音レベルとの間に以下のような関係を導入することができる。

$$\begin{aligned} & \text{苦情発生確率(\%)} = \left\{ (L_{dn} - 52) / 6 \right\}^2 \\ & L_{dn}: \text{騒音レベル(dB(A))} \end{aligned}$$

・・・式(5)

式(5)を用いれば、騒音レベルより苦情発生確率を求めることができる。本研究では建設機械の騒音レベルを調べるために、建設工事に伴う騒音・振動対策ハンドブック^{⑤)}を参照した。ただし、距離減衰の影響を考慮するために、式(6)^{④)}を用いた。

$$\begin{aligned} & L_{r1} - L_{r2} = 20 \log(r_1 / r_2) + 0.025(r_1 - r_2) \\ & L_{r1}: \text{距離 } r_1(\text{m}) \text{ での騒音レベル(dB(A))} \\ & L_{r2}: \text{距離 } r_2(\text{m}) \text{ での騒音レベル(dB(A))} \end{aligned}$$

・・・式(6)

さらに、建設現場において複数の建設機械を使用する場合、騒音レベルは単純な重ね合わせの解ではなく、表-1に示すような騒音レベルとそのエネルギー比との関係に着目して、騒音を合成しなければならない^{④)}。そこで、騒音レベルをエネルギー比に変換する関数をF(L)と定義すると合成騒音は式(7)^{④)}のように示すことができる。

$$\begin{aligned} & \text{合成騒音(dB(A))} = F^{-1} \left(\sum_i F(L_i - L_0) \right) + L_0 \\ & L_0 = \text{基準とする機械の騒音レベル(dB(A))} \\ & L_i = \text{その他の機械の騒音レベル(dB(A))} \end{aligned}$$

・・・式(7)

表-1 dB(A)とエネルギー比^{④)}

dB(A)	エネルギー比	dB(A)	エネルギー比	dB(A)	エネルギー比
-10	0.10	0	1.0	10	10.0
-9	0.125	1	1.25	11	12.5
-8	0.16	2	1.6	12	16.0
-7	0.20	3	2.0	13	20.0
-6	0.25	4	2.5	14	25.0
-5	0.32	5	3.2	15	32.0
-4	0.40	6	4.0	16	40.0
-3	0.50	7	5.0	17	50.0
-2	0.64	8	6.4	18	64.0
-1	0.80	9	8.0	19	80.0

b) 時間係数・時間帯補正

時間係数とは1日あたりの建設機械の運転時間による係数で、騒音・振動規制法^⑥による規制値（住居地域で1日あたり10時間以内）の半分の5時間を1とし、運転時間に対して実際には非線形と考えられるが、ここでは簡単のため線形を仮定した。

$$\text{時間係数} = 0.2X \quad \dots \text{式(8)}$$

X：建設機械の1日の延べ運転時間（h）

また、運転時刻による影響については、騒音レベルに時間帯補正を加えることにより考慮することができる。例えば、ISO R-1996^⑦を参考にすると、a)で求めた騒音レベルに対し、日中を補正0、夕方は+5、夜間は+10～+15(dB(A))として計算することで、時間帯による騒音レベルと苦情発生確率の関係を補正することが可能である。

b) 地域係数・地域補正

地域係数とは、建設現場の周辺地域の特性を表すものであり、その指標として、住宅の密度を考え、単位は（件）とした。一口に周辺地域と言っても、その範囲を限定して考えなければならないので、ここでは建設機械の中で最も大きな騒音・振動を生じる杭打ち機の騒音・振動が伝わる範囲を波の距離減衰から考えて、建設現場を点とみなした時の、その半径500mの範囲を周辺地域とした。

そして、その範囲を建設現場から100mごとに区切り、5つの地域に分類した。その各地域ごとに面積と世帯密度を算定し、地域係数を求めることが可能となる（式（9））。ただし、世帯密度に関しては、地域経済総覧^⑧を参照して求めた。

地域係数＝世帯数の密度（件/km²）

×各周辺地域の面積（km²）

・・・式（9）

また、周辺地域の特性では、人口密度だけでなく、その用途区分や近くに病院、学校など特に静寂を必要とする建物があるかないかなども考慮しなければならない。これらに対しては、騒音レベルに対して地域補正を加えることで対応が可能である^⑨。

d) 建設機械の運転時間と騒音レベル

周辺環境指数を求めるためには、まず施工数量を明確にする必要がある。そこで建設省土木工事積算基準^⑩を基に作成した建設機械の運転時間歩掛（表－2）を用いて、施工期間中の各建設機械の運転時間を求める。さらに、建設工事に伴う騒音・振動対策ハンドブック^⑪より建設機械の騒音レベルとその測定距離も調べ、必要に応じて補正し、その建設工事の行われる地域の世帯数密度も調べる^⑧。そして、式（1）～（9）を用いて周辺環境指数を求めることが可能となる。

表－2 建設機械の運転時間歩掛^⑨

基礎工	鋼管杭打工		
	クローラー杭打機	1.68h/本	
	クローラークレーン	1.0h/本	
	場所打杭工（オールケーシング式）		
	オールケーシング掘削機	7.0h/本	
	クローラークレーン	5.0h/本	
	コンクリートポンプ車	1.0h/本	
土工（掘削）			
	バックホウ	1.88h	100m ³
躯体工	トラッククレーン	8h/日	
	コンクリートポンプ車	0.7h	10m ³
土工（埋戻し）			
	ブルドーザー	1.2h	100m ³
	振動ローラー	2.8h	100m ³
	バックホウ	2.8h	100m ³
土工（敷均し）			
	ブルドーザー	1.7h	100m ³

4. 地球環境への影響の評価

（1）建設工事が地球環境に及ぼす影響

建設工事において、地球環境に悪影響を与えている行為としては、南洋材の型枠への使用、工事による生態系の破壊、廃棄物の排出、エネルギー消費の大きな材料が考えられる^⑩。そして、これらは、南洋材の型枠使用や、エネルギー使用の大きな材料の使用という材料面での問題と建設機械の運転に多量の化石燃料が用いられるというエネルギー面での問題であると考えることができる。

しかし、ある材料やエネルギーの使用が地球環境に対して、どれだけの損失を与えるかを定量的に評価する方法は、未だ確立されていない。人間が快適に生活するために必要な地球環境として、食糧資源の提供、快適な生活場の提供、生活するための材料資源・エネルギー資源の提供などを考慮する必要がある、これらそれぞれに対して影響を及ぼすと考えられる要因が数多く存在し、それらが複雑に影響を

5. 各指数の貨幣換算

これまで現場環境への影響を評価する指標として、施工性指数、安全性指数を、周辺環境への影響を評価する指標として周辺環境指数を、地球環境を評価する指数として地球環境指数を定義してきたが、これらを一元的に評価するために、貨幣単位に換算することにした。その貨幣換算の方法を以下に述べる。

(1) 施工性指数、安全性指数の貨幣換算

施工性指数、安全性指数に関して、袴田⁽¹⁾は次のような貨幣換算の方法を提案している。

施工性指数は、普通作業員の延べ作業日数を表すので施工性指数1を普通作業員の1日あたりの賃金に換算することで、労務費として求めることができる。ここでは日経コンストラクション⁽¹⁷⁾の労賃速報より施工性指数1＝17,000円として計算した。

さらに安全性指数は、施工期間中に作業により発生すると予想される事故による死者の数を表すので、安全性指数1＝7,000万円と仮定し、安全費を計算した。これは現在の積算体系の中での共通仮設費に含まれる安全対策費に相当するものと考えられる。

(2) 周辺環境指数の貨幣換算

周辺環境指数は建設機械の騒音・振動により施工中に発生すると予想される周辺住民の苦情件数を表すので、迷惑料として1件あたりいくら支払うかによって貨幣換算し周辺環境費とした。これは、積算体系⁽¹⁸⁾では共通仮設費の中の事業損失防止施設費に相当するものと考えられる。

ここでは、見積もり計算の上で、安全費などの他の指標と比較して、周辺環境費というものが同程度

の値となり得るようすることが、今後の建設工事の適切な方向付けを可能にするものだと考え、周辺環境指数1＝3,000円と設定した。つまり予想される苦情1件あたりに、1日につき3,000円支払うことを施工計画の段階で想定することを意味する。

(3) 地球環境指数の貨幣換算

地球環境指数は、「質」×「量」(式10)で定義し、「質」に関しては、資材・燃料の単位使用量あたりの特性値を表-3に示した。ここで、地球環境指数を貨幣換算するために、資材・燃料の単位使用量あたりの使用に関して、一定の税金を課すという「地球環境税」の考え方をを用いることにした。つまり、「質」を「地球環境税」という貨幣単位で表現することにし、その結果得られた値を、地球環境費と呼ぶことにした。これは従来の積算体系には存在しないものである。

まず、熱帯型枠の税率を100%にすると課税額は753円となる。これを基準として、各資材の課税額を特性値に応じて算出した(表-4)。各資材の単価⁽¹⁹⁾から税率を併せて計算した。

表-4 地球環境税

材料・エネルギー	特性値	税額(円)	単価(円)	税率(%)
鋼材(kg)	0.016	12	40	30
熱帯型枠(m ²)	1	753	753	100
複合型枠(m ²)	0.65	490	734	67
鋼製型枠(m ²)	3.7	2786	5111	55
コンクリート(m ³)	1.3	979	11300	9
軽油(kl)	0.03	23	81	28

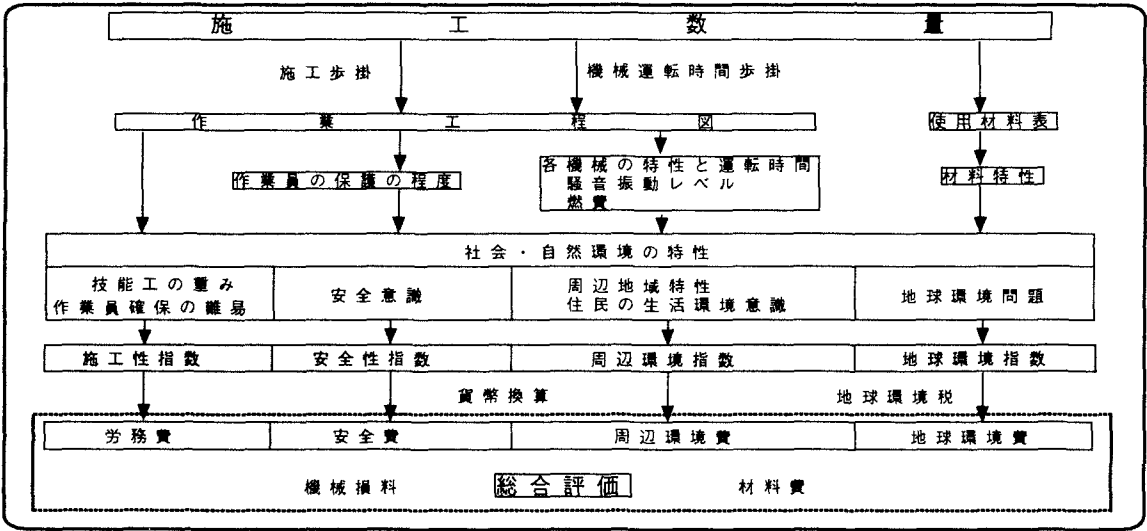


図-4 総合評価の体系図

(4) 総合評価システム

これらの貨幣換算された労務費、安全費、周辺環境費、地球環境費に材料費、機械損料を加えて、総合評価を行うことが可能になった(図-4)。ただし、この評価システムでは、現在の積算体系の中の純工事費のうち、直接工事費に含まれる光熱費と、共通仮設費に含まれる運搬費、仮設費、役務費、営繕費、技術管理費、準備費については考慮していない。また、周辺環境費は事業損失防止施設費に近い性質を持つ費用であると考えている。

この総合評価システムは、現場における施工の合理化・周辺環境への影響・使用する資材および機械の地球環境へ及ぼす影響を考慮して、建設工事の技術を評価するものであり、設定した各特性値がその技術をどの程度考慮するかを意味している。材料費や機械損料も含めて評価することで、これらとのバランスを考慮した形で評価していることが、この評価システムの特徴と言える。

6. ケーススタディ

(1) 仮定と概要

これまでに求めた4つの指標に材料費、機械損料を加えた6つの指標で総合的に建設コストの評価を行う方法を総合評価システムとして体系的にまとめることが可能になったが、ここではそれを用いて実際に評価を行ってみた。対象とした建設工事は図5のような高さ20mの橋脚の施工である。

このような構造物の施工について、本研究では次のような3つの施工方法を比較した。

A: 鋼管杭打工法(基礎工事)

+ 在来工法(躯体工事)

B: 場所打コンクリート杭工法(基礎工事)

+ 在来工法(躯体工事)

C: 場所打コンクリート杭工法(基礎工事)

+ プレキャスト埋設型枠工法(躯体工事)

基礎工事に関して、鋼管杭打工法と場所打コンクリート杭工法を比較するのは、施工期間中に最も大きな騒音・振動を発生させる大型機械を用いる基礎工事において、場所打コンクリート杭工法の方が、周辺環境に与える影響が小さいと考えたからである。

また、躯体工事に関して、在来工法とは足場設置・

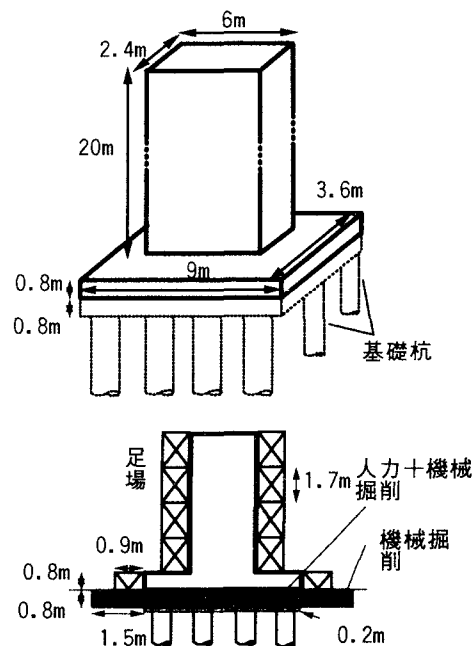


図-5 評価対象構造物

撤去、鉄筋加工・組立、型枠製作・設置・撤去、コンクリート打設・養生というサイクルを繰り返して施工する一般的な工法である。さらに、プレキャスト埋設型枠工法とは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、それをプレキャスト埋設型枠とし、最後に後打ちコンクリートを打設する方法である。この2つの工法を比較しているのは、後者の方は、地球環境への影響が大きいと予想される従来の木製の型枠を用いずに施工できるため、地球環境への影響が小さいと考えられるからである。そして、評価するにあたって、次のような条件を設定した。

- ・橋脚部の施工については、在来工法では1リフト5mとする。またプレキャスト埋設型枠工法では、1リフト2.5mとする。
 - ・コンクリート打設3日目から足場作業は行える。
 - ・施工性指数の計算の際、技能指数は0.5とし、作業員確保は容易な場合を考える。
 - ・この施工は東京23区内で日中に行われるものとし、地域経済要覧^⑧より、世帯数密度は5779(件/km²)である。また、近くに学校・病院はないものとした。
 - ・型枠には、熱帯材を主材としたものを使用する。
- これらの3つの工法のそれぞれについて、施工数量を表-5に示す。

(2) 各指標の算出手順

a) 労務費

	普通作業員	技能工
鋼管杭打工	0.54人日/本	溶接工0.54人日/本 とび工0.54人日/本 杭打機運転4.7人日/本 クレーン運転1人日/本
場所打杭工	2.4人日/本	とび工2.4人日/本 ポンプ車運転1人日/本 クレーン運転1人日/本 掘削機運転1人日/本
機械掘削 人力・機械掘削	— 4.2人日/100m ³	運転手0.53人日/100m ³ 運転手0.53人日/100m ³
型枠製作・ 設置・撤去 コンクリート 打設	16.1人日/100m ² 7人日/回	型枠工15.9人日/100m ² 型枠工2人/回 鉄筋工1人/回 均し1人/回 ポンプ車運転1人日/回
鉄筋加工 ・組立	2.4人日/t	鉄筋工2.4人日/t
足場組立 ・解体	5.6人日/100掛m ²	とび工3.8人日/掛100m ²
P C緊張	2.6人日/10cables	P C工4.5人日/10cables
埋戻し	1.6人日/100m ³	運転手2.76人日/100m ³ (タンバは1人/日必要)
敷き均し	0.2人日/100m ³	運転手0.48人日/100m ³

	工法 A	工法 B	工法 C
基礎工			
鋼管杭(本)	8	—	—
コンクリート(m3)	—	104	104
鉄筋(t)	—	18.9	18.9
土工			
機械掘削土量(m3)	64.36	64.36	64.36
人力・機械掘削土量(m3)	15.84	15.84	15.84
躯体工			
フーチング部			
コンクリート(m3)	58.32	58.32	58.32
型枠(m2)	45.36	45.36	45.36
鉄筋(t)	7.9	7.9	7.9
足場(掛m2)	—	—	—
橋脚部	5m毎		2.5m毎
コンクリート(m3)	72.0	72.0	28.0
型枠(m2)	84.0	84.0	—
鉄筋(t)	9.7	9.7	—
足場(掛m2)	55.08	55.08	55.08
	0~5mは81.0		
P C 緊張(ケーブル)	—	—	10
プレキャスト型枠(個)	—	—	1
鉄筋(t)	—	—	4.85
コンクリート(m3)	—	—	8.0
土工			
埋戻し土量(m3)	46.8	46.8	46.8
敷均し土量(m3)	32.4	32.4	32.4

A: 足場組立・解体 B: 基礎工(場所打杭工) C: コンクリート打設 D: 土工(掘削) F: 基礎工(鋼管杭打工)
K: 物産設置・取外し T: 鉄筋加工・組立 H: 土工(埋戻し・巻きならし) クレーン作業

[illegible]

-88-

普通作業員	C....C....C....C....C....C....C....C....C....C
普通作業員	C....C....C....C....C....C....C....C....C....C
普通作業員	DDTTTKC...KC....C....C....C....C....C....C....C....C
普通作業員	DDTTTKC...KC....C....C....C....C....C....C....C....C..AA
普通作業員	BBBBBBBBDDTTTKC...PC...PC...PC...PC...PC...PC...PC...AA
普通作業員	BBBBBBBBDDTTTKC...APC...PC...APC...PC...APC...PC...APC...AA
普通作業員	BBBBBBBBDDTTTKC...APC...PC...APC...PC...APC...PC...APC...AAU
とび工	BBBBBBBB.....A.....A.....A.....A.....AA
とび工	BBBBBBBB.....A.....A.....A.....A.....AA
とび工	AA
とび工	AA
P C 工	P....P....P....P....P....P....P....P....P....P
P C 工	P....P....P....P....P....P....P....P....P....P
P C 工	P....P....P....P....P....P....P....P....P....P
P C 工	P....P....P....P....P....P....P....P....P....P
鉄筋工	TTTT-C....C....C....C....C....C....C....C....C....C
鉄筋工	TTTT
鉄筋工	TTTT
鉄筋工	TTT
鉄筋工	TTT
型枠工	KC
型枠工	KC
型枠工	K
型枠工	K
型枠工	K
コンクリート工	C....C....C....C....C....C....C....C....C....C
特殊運転手	DD.....U
特殊運転手	U
特殊運転手	U
掘削機運転	BBBBBBBB
トラクタ運転	?????.....?.....?.....?.....?.....?.....?.....?.....?
ローザクレーン運転	????????
ポンプ運転	CCCCCCCC....C....C....C....C....C....C....C....C....C....C
作業日数	10 20 30 40 50 60

(注) P:プレキャスト設置・ケーシング作業

図－8 工法Cの作業工程図

b) 安全費

安全性指数を求めるために、作業中の事故を最も発生件数の多い墜落事故と建設機械による事故に限定し、まず墜落による事故発生確率を式（11）のように仮定した⁽¹⁾。

作業員の墜落による事故発生確率・・・式（11）

$$= \frac{\text{ミス}}{\text{作業}} \times \frac{\text{作業員の墜落}}{\text{ミス}} \times \frac{\text{事故}}{\text{作業員の墜落}}$$

$$= f1(\text{人間の過誤率}) \times f2(\text{保護の程度}) \times f3(\text{落下高さ})$$

ここで、人間の過誤率を 10⁻³、ミスが墜落につながる確率をとび工は 0.2、その他 0.1 とし、墜落が事故に結びつく確率は、0～2 mは確率 0 で、2～4mまでは確率 100%まで直線的に増加するとした⁽¹⁾。これを用いて施工工程図（図6～8）から算出した。

さらに、建設機械による事故については、機械との接触による事故や、落下物による事故が考えられ、同様に事故発生確率を算定することが可能であるが、選定した工事では、墜落による事故に比べて、その予想事故発生件数が極めて少ないと考えられるので、ここではその算出を省略した。

c) 周辺環境費

まず、施工数量（表－6）と建設機械の運転時間歩掛（表－2）と作業工程図（図6～8）をから、各建設機械の各作業日における運転時間を求めた。そして、各建設機械の騒音レベルとその測定距離（表－7）を調べ、式（1）～（9）を用いて周辺環境指数を計算した。そして周辺環境費を求めた。

表－7 各建設機械の特性^{(5),(9)}

機械名	騒音レベル (dB(A))	測定距離 (m)	燃費 (l/h)	損料 (円)
クレー杭打機	105	7	22.5	25000/h
クレークレーン(40t)	80	5	11.0	43400/日
オールケーシング掘削機	90	7	15.4	25000/h
コンクリートポンプ車	85	5	17.0	15400/h
バックホウ(0.6m ³)	80	7	17.0	4670/h
トラッククレーン(15t)	80	5	6.5	21800/日
ブルドーザー	87	7	19.0	5840/h
振動ローラ	80	7	1.2	916/h
タンク	80	7	4.6	1070/日
油圧ジャッキ(100t)	—	—	—	2700/日

d) 地球環境費

まず施工数量（表－6）と各建設機械の運転時間と各建設機械の燃費（表－7）を基にして使用材料表（表－8）を作成した。これに地球環境税（表－4）を掛け合わせることで、地球環境費を求めた。

表－8 使用材料表

材料名	工法A	工法B	工法C
鋼管杭(t)	33.6	—	—
鉄筋(t)	46.7	65.6	26.8
P C 鋼棒(t)	—	—	0.56
プレキャスト部材(個)	—	—	8
鉄筋(t)	—	—	38.8
コンクリート(m ³)	—	—	64.0
コンクリート(m ³)	346.32	450.32	386.32
型枠(m ²)	168.0	168.0	—
軽油(リットル)	2890	3804	2827

e) 材料費

使用材料表（表－8）と材料単価⁽¹⁹⁾（表－9）を掛け合わせることで材料費を求めた。

表－9 材料単価⁽¹⁹⁾

材料名	単価
鋼管杭 (D=800, L=24m)	480,000円/本
コンクリート	11,300円/m ³
型枠	753円/m ²
鉄筋	40円/kg
P C 鋼棒 (17mm)	269円/kg
プレキャスト型枠	876,000円/個
足場 (レンタル)	1掛m ² で11.4円/日
軽油	81円/リットル

f) 機械損料

各建設機械の運転時間に損料（表－7）を掛け合わせることで機械損料を算定した。

（3）評価結果

a) 各指標の結果

各指標値ごとの結果をグラフにしたものを図－9に示す。

材料費に関しては、工法Cが他の2つの工法に比べてはるかに大きくなる。また、工法Bと工法Cを比較するとプレキャスト埋設型枠工法をとることで在来工法より約60%ものコスト増になることが分かる。これはP C工法に用いるプレキャスト埋設型枠の費用がかなり高つくためである。

機械損料に関しては、工法Aが最も安い。これは場所打杭工法は鋼管杭打工法よりも多くの作業日数を必要とし、それだけ建設機械を運転する時間が増加するためである。

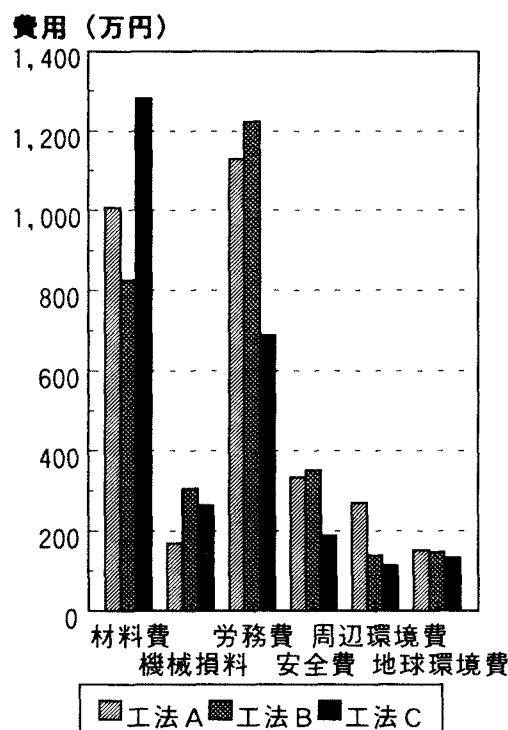
労務費に関しては、工法Cは工法Aに対して約40%、工法Bに対しては約45%の削減となっており、現場の省力化という点で効果があることが分かる。

安全費に関しては、これも労務費と同様に工法Cが約50%弱の削減になっている。これはP C工法では型枠作業や鉄筋作業という足場上での高所作業が減少するため、墜落事故の発生する危険性が下がり、安全性が向上するためである。

周辺環境費に関しては、工法BとCが工法Aよりも約50%減少する。これは場所打杭工法が騒音が小さく周辺環境への影響の少ない工法であることを示している。

地球環境費に関しては、3つの工法であまり差は生じていない。これは今回の評価対象のように1つの建設工事だけでは使用材料の量が少なく、また、工事の規模が小さいため、地球環境に与える影響がごくわずかであることを意味するが、1本の橋脚だけでなく、複数の橋脚を建設する場合を考えたり、地球規模での全建設工事を対象とすれば、各材料の使用量に大きな差が生じ、工法による地球環境費の差が明確に表れてくると考えている。ただし、結果からは、従来のような地球環境への影響の大きい木製や鋼製の型枠を必要とせず、また、鉄と比べて環境への影響の少ないコンクリートを基礎工事に使用する工法Cがわずかではあるが、地球環境への影響

が最も小さいことが示されている。



図－9 各指標値の結果

b) 総合評価

次に、求まった6つの指標値について、次に挙げる3つの場合の総合評価を行った。これらの結果を図－10に示す。

総合評価1：材料費＋機械損料＋労務費

総合評価2：総合評価1＋安全費＋周辺環境費

総合評価3：全部の指標値の合計

< 総合評価1 >

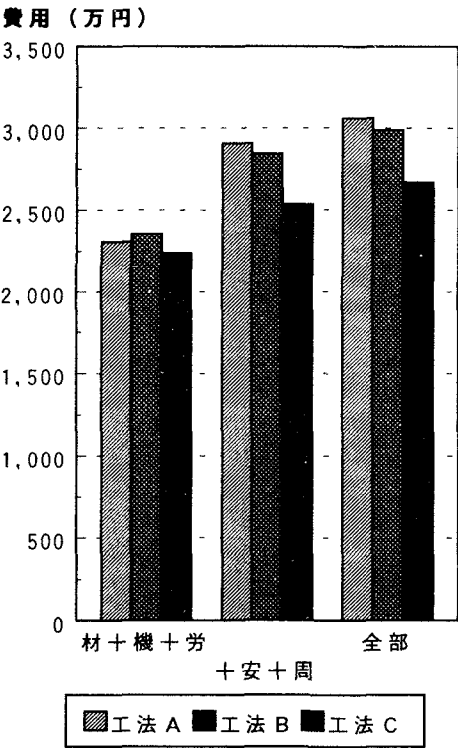
総合評価1で求めた値は、純工事費の中の直接工事費に近いものである。（ただし、本研究では光熱費は考えていない。）この直接工事費に、ある一定の比率を掛け合わせて共通仮設費を求めれば、純工事費を算出することができる。そのため、この結果は従来からの積算方法で評価した結果に近いものであると言える。

結果を見ると、工法Bは工法Aより2%高くなっている。これは、場所打コンクリート杭を用いた方が鋼管杭を用いた場合よりも労務費や機械損料が高くなるために生じた結果であるが、ここでは周辺環境に対して影響の少ない場所打コンクリート杭を用いた方が高く評価されている。また、工法Cは工法Aよりも4%安く、3つの工法の中では最も安くな

ると評価されたが、この程度の差では、もしプレキャスト埋設型枠の単価がもう少し高くなれば、逆に工法Cの方が高くなる。

＜総合評価2＞

総合評価2の結果を見ると、総合評価1の結果と異なって、工法Bは工法Aよりも2%安くなる。これは場所打コンクリート杭を用いた方が、鋼管杭を用いるのに比べて、周辺環境に与える影響が小さいことを評価にとりこむことが可能になったことを示すものである。また、工法Cと他の工法との差は総合評価1の場合よりも大きくなっており、工法Aに対しては9%安くなり、工法Cの環境への影響の少なさが、はっきりと評価できるようになっている。



図－10 総合評価の結果

＜総合評価3＞

総合評価3では総合評価2の結果と似た結果を示す。また、各工法の地球環境費を図－9から考えると、わずかではあるが各工法の差は大きくなり、地球環境への影響が少ないと考えられる工法の方がより安く評価されることが分かった。

以上の結果から、本研究で考えた評価方法は、環境への影響をコストとして評価に取り込み、定量的に評価することを可能にしたと言える。

8. 結論

本研究では、施工のプロセスが社会や自然環境に与える影響を定量的に評価し、建設工事を総合的に評価することを目的とし、施工のプロセスの影響を、現場環境における施工の合理化、周辺環境への影響、地球環境への影響の3つの視点から評価する指標を提案した。結論は以下の通りである。

(1) 周辺環境への影響を評価する指標としては、周辺環境への影響として建設機械の運転による騒音・振動が引き起こす苦情を取り上げ、建設機械の騒音レベルと苦情発生確率の関係をもとに、さらに周辺地域の世帯数密度や建設機械の運転時間や距離を考慮して施工期間中の予想苦情発生確率を表す周辺環境指数を算出する方法を示した。

(2) 地球環境への影響を評価する指標としては、地球環境への影響を、材料・エネルギー面から捉え、各資材や燃料を単位量使用した時の地球環境に与える損失を「質」とし、ある特性値を決定した。そして地球環境指数を「質」と「量」の積で表す方法を示した。さらに、それを利用して地球環境費に換算する方法として、地球環境税を提案した。

(3) 施工性指数を貨幣換算した労務費、安全性指数を貨幣換算した安全費、周辺環境費を貨幣換算した周辺環境費、地球環境指数を貨幣換算した地球環境費に、さらに材料費、機械損料を加えて総合的な建設コストを橋脚の施工を対象として計算した。基礎工事に鋼管杭打工法+躯体工事に在来工法(工法A)、基礎工事に場所打杭工法+躯体工事に在来工法(工法B)、基礎工事に場所打杭工法+躯体工事にプレキャスト埋設型枠工法(工法C)の3つの工法で比較を行った結果、工法Cが、材料費、機械損料は高くなったものの、労務費、安全費、周辺環境費、地球環境費はいずれも安くなり、総合的な建設コストも最も安くなった。これにより、この評価方法は環境への影響をコストとして取り込み、今後の建設工事にふさわしい工法を定量的に総合評価することが可能であることが示された。

今後は、各指数の算定方法の確立と精度の向上、貨幣換算の方法の妥当性の検証を種々の工事に適用しながら進めていきたいと考える。

【参考文献】

- 1) 小澤一雅、袴田英宏；コンクリート施工の合理化を評価する手法の開発、建設マネジメント研究論文集、vol.2.1994、土木学会建設マネジメント委員会
- 2) 三木浩司；環境に及ぼす影響を考慮した総合的
施工評価、東京大学卒業論文、1995.3
- 3) U.S Environmental Protection Agency,Information on level of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety,Rep.No550/9-74-004
- 4) 音響工学講座④騒音・振動（上）、日本音響学会編
- 5) 建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック 改訂版、日本建設機械化協会編、1987.6
- 6) 望月輝夫、建設工事における近隣対策の上手な
すすめ方、清文社、1994.6
- 7) International Organization for Standardi-
zation,ISO Handbook vol.35 acoustics-1990
- 8) '94 地域経済要覧、東洋経済新報社、1993.10
- 9) 土木工事積算研究会編、建設省土木工事積算基

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

- 10) 急増する「地球環境室」、日経コンストラク
ション、1991.9-27
- 11) ひと目でわかる地球環境データブック、地球
環境データブック編集委員会編、オーム社、1993.5
- 12) 地球時代の新しい環境観と社会像、エッソ石
油株式会社、創立30周年記念出版、1992.11
- 13) ソーラシステム研究グループ編、循環都市へ
のころみ、日本放送出版協会、1994.10
- 14) 環境白書 平成6年版 総説、環境庁、大蔵
省印刷局、1994.6
- 15) 地球環境キーワード事典、環境庁長官官房総
務課、中央法規出版、1990.5
- 16) 石谷久、地球環境セミナー⑦ 有限の地球と
人間活動、オーム社
- 17) 主要5都市 労賃速報、日経コンストラクシ
ョン、1994.10-28～12-9
- 18) 一目でわかる土木工事の施工と積算①、土木
工事積算研究会編、建設物価調査会、1994.2
- 19) 積算資料、経済調査会、1994.2

英文タイトル

Comprehensive Evaluation System of Construction Considering the Influence of its Process
on the Environment

英語論文要旨

The objective of this study is to develop the comprehensive evaluation system for construction considering the influence of its process on the social and natural environment. Rationalization of construction system, influences of construction on the neighborhood of the site, and influences of used materials and machinery on global environment were considered in the evaluation system. After the application of the system to the evaluation of pier construction using various kinds of construction methods, it was found that the quantitative evaluation can be done comprehensively using the developed system.