

5. 環境負荷を考慮した橋梁形式選定に関する2, 3の考察

Study on Bridge Type Selection Considering Environmental Impact

永田裕規* ・ 伊藤義人** ・ スリム ラクシュマン* ・ 西土隆幸***

Hiroki NAGATA, Yoshito ITOH, Laxman SUNUWAR, Takayuki NISHIDO

ABSTRACT ; A bridge is necessary to be environmental friendly and economic over its life. Suitable bridge type needs to be selected considering various criteria before construction. A bridge type selection system has been prepared considering environmental impact as one of selection criteria in addition to cost, driving comfort, and landscape. This paper illustrates the proportion of environmental impact of superstructure and substructure of various types of bridges with different span obtained from the system. This will be helpful in deciding the type of superstructure and substructure of new bridges. This system is planned to be supplemented by Analytic Hierarchy Process (AHP) to make it more interactive with decision makers. The decision system is thought to be helpful to select appropriate bridge type incorporating knowledge-base and expert judgment.

KEYWORDS ; environmental impact, bridge type, Analytic Hierarchy Process

1. はじめに

近年の地球環境の悪化は、全世界的に深刻な問題となっており、森林の砂漠化、人口増加、そして地球温暖化など様々な問題が生じている。このような状況に対して、1992年に国連開発会議が行われるなど、その対策が各国でとられ始めてきている。しかし、その一方で、世界の二酸化炭素排出量は増加傾向が続くとともに、二酸化炭素の排出量を2000年時点で1990年レベルに抑制することを目標として対策を進めることとされている先進国の多くでは、その達成がなお難しい状況にあり、一層の対策が必要となっている¹⁾。

このような環境問題を取り上げるとき、製造業などにおいては、LCA (Life Cycle Assessment) の手法を用いて考えることが多いが、近年、このLCAの概念を建設業にも取り入れようとする動きが出てきている。しかし、建設業における現在の段階のLCAでは、ある限られた条件でのケーススタディにおける評価がほとんどであり、様々な構造形態および工法を考慮した評価はまだ数少ない。

そこで、本研究では建設分野のなかでも河川橋梁に着目し、本研究室で開発した、経済性、走行性、景観、環境負荷の4つの項目において評価できる橋梁形式選定システムを利用し、種々の橋梁について考察を行った。なお、本研究で取り扱う環境負荷の指標は、エネルギー消費量とCO₂排出量とした。

考察した内容は以下の2点である。

(1) 橋梁形式選定システムを用いた各種橋梁の評価

橋梁形式選定システムを用いて、様々な橋梁計画で選択される橋梁形式について評価し、橋梁形式と環境負荷の関連を考察する。また、本システムの問題点および発展性について考察し、より環境負荷を少なくする社会基盤整備の方法について言及する。

*;名古屋大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Nagoya Univ., **;名古屋大学理工学総合研究センター Center for Integrated Research in Science and Engineering, Nagoya Univ., ***;川田テクノシステム Kawada Techno-System Co, LTD.

(2) 各評価項目間の重み付けに関する評価

橋梁計画を行うとき、その形式は様々な評価項目から決定される。従来は、経済性を重視して決定されることが多かったが、今後の地球環境を考えた持続可能な発展を考えると、経済性だけではなく、環境負荷についても充分考慮しなければならないと考えられる。このため、橋梁形式選定システムで取り扱う4つの評価項目について、4つの項目を重み付けするために、AHP (Analytic Hierarchy Process) を適用することを考え、その手法について考察する。

2. 橋梁形式選定システム

2.1 システムの概要

従来の橋梁形式選定システムでは、計画された地理的条件の許容内で、いかに経済的に建設するか、という点に主眼がおかれ、橋梁形式の選定においても走行性（快適に走行できる度合い）、景観なども考慮されるが、やはり経済性重視の選定が中心であった。しかし、今後、地球温暖化などの環境問題が深刻な状態になってくることを考えると、橋梁の選定に関しても、環境への配慮を行った選定が必要であると考えられる。そこで、従来の橋梁形式選定システム²⁾に、環境負荷の項目を付け加え、地球環境問題にも対応できるようなシステムを作成した。

本システムのフローを図-1に示す。本システムでは、設計条件として、橋長、幅員、地盤条件などを入力し、それらの諸条件により橋梁形式の候補を選定するようになっている。そして、最終的に各項目について5点満点で評価し、それに各評価の重みを乗じて、総合評価を行うようになっている。

地球環境というグローバルな環境負荷評価を行う指標として、本システムでは、エネルギー消費量 (kcal) と CO₂ 排出量 (t: 炭素換算量) を採用した。エネルギー消費量は、橋梁を架設することによって消費されるエネルギー量を示す値であり、CO₂ 排出量は、橋梁を架設する時に排出される CO₂ の量を示す指標である。エネルギー消費量と CO₂ 排出量はそれぞれの持つ意味が違っているが、エネルギー消費量の多い橋梁は、CO₂ 排出量についても多い傾向があるため、これら2つの指標をあわせることにより、環境負荷評価値として用いることにした。環境負荷評価を行う際には、まず、これら2つの指標に対し、ここでは同等の重みを持つものとしてそれぞれ最も値の低いものに2.5点、最も値の高いものに0点を与え、中間値については線形補完を行っている。そして、2つの指標により得られた得点を合計することによって環境負荷評価を行っている³⁾。また、環境負荷の算出にあたり、本システムでは、データとして比較的多くの値がそろっている産業連関表を用いて算出されたエネルギー原単位と CO₂ 排出原単位を用いている⁴⁾。

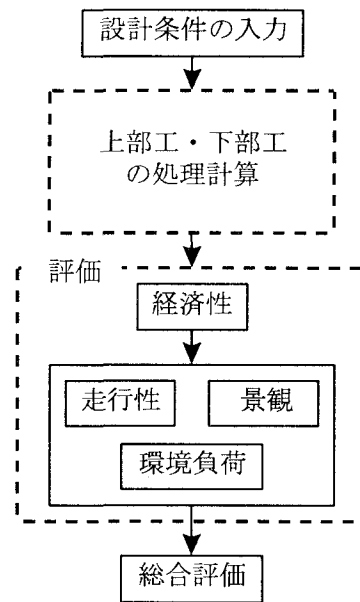


図-1 システムのフロー

2.2 橋梁形式選定システムの選定例

本システムは、設計条件を入力すれば条件に適合する橋梁形式を選定し、順位付けを行うことが可能なことは2.でも示した。本システムの選定例として、橋長215 m、有効幅員12 mという条件で橋梁の選定を行った。選定された橋梁形式の一部（鋼橋3種、PC橋1種）を表-1に示す。また、その評価結果を表-2に示す。

各評価項目間の重みの決定は、評価結果に大きく依存するため、十分な議論が必要であるが、ここでは、評価の例を示すことおよび各評価項目間の関連を考察することを目的とするため、最終的に橋梁選定の上で最も重要となる経済性を1とおき、その他の項目は、経済性の1/2の0.5として評価を行った。

表－１ 選定システムにより選定された橋梁形式と条件

橋梁形式	鋼下路ランガー橋 (2連)	2径間連続 鋼下路トラス橋	3径間連続 鋼非合成箱桁橋	5径間単純P C ボステンT型橋
径間割 (m)	107.5+107.5	107.5+107.5	66.2+82.6+66.2	43+43+43 +43+43
橋脚形式	コンクリート逆T型	コンクリート逆T型	コンクリート逆T型	コンクリート逆T型
橋脚高 (m)	9.3	10.0	8.4	9.0
杭形式	中堀鋼管杭	中堀鋼管杭	中堀鋼管杭	中堀鋼管杭

表－２ 橋梁形式選定システムによる評価

評価項目	重み	鋼下路ランガー橋 (2連)	2径間連続 鋼下路トラス橋	3径間連続 鋼非合成箱桁橋	5径間単純P C ボステンT型橋
経済性	1.0	1.00 (937 百万円)	1.09 (914 百万円)	1.50 (808 百万円)	3.00 (425 百万円)
走行性	0.5	1.00	2.53	3.00	1.12
景観	0.5	1.67	3.00	2.17	1.20
環境負荷 (エネルギー消費量) (CO ₂ 排出量)	0.5	1.00 12.97×10 ⁹ kcal 1180 t	1.19 12.24×10 ⁹ kcal 1120 t	1.73 9.81×10 ⁹ kcal 980 t	3.00 4.45×10 ⁹ kcal 600 t
総合評価 (順位)		2.84 ④	4.45 ③	4.95 ②	5.66 ①

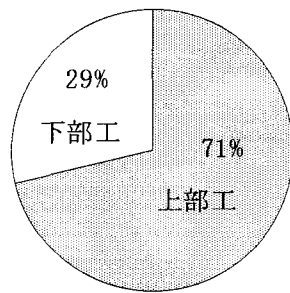
表－２より、今回設定した条件においては、経済的に有利で、環境負荷が最も少ない5径間単純P CボステンT桁橋が選定順位1位となった。これは、経済性においては、単純橋でかつ桁橋であり、構造的に最も施工しやすいことから経済性評価1位となっており、また、環境負荷においては、橋梁建設時における環境負荷のうち、90%程度が建設資材によってしめられることが文献3)により確認できており、鋼よりも環境負荷的に有利な、コンクリートを用いたP C橋が、環境負荷順位1位となっている。結局、経済性と環境負荷で順位が1位となった5径間単純P CボステンT桁橋が、総合評価で選定順位1位となった。

また、走行性においては、3径間連続鋼非合成箱桁が1位となっているが、これは橋梁上に視界をさえぎるものがない構造であり、さらにエキスパンションジョイントが無いため、走行中の振動が少ないため、という理由が考えられる。

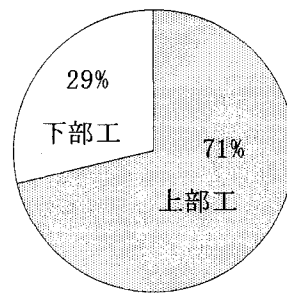
さらに、選定された4種の橋梁において、この例では、経済性と環境負荷の順位は一致していることがわかる。

2.3 環境負荷に関する考察

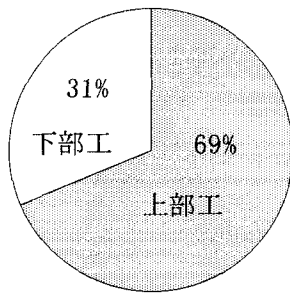
2.2において、形式が異なる橋梁間の環境負荷の関係が明らかになり、環境負荷の少ない橋梁形式が把握できた。これで極力環境負荷の少ない橋梁形式を選定できるが、その次の段階として、個々の橋梁において、橋梁のどの部分がより大きな負荷を与えているかを知ることは、橋梁建設自体の環境負荷削減において、重要であると考えられる。そこで、2.2で選定された4種の橋梁のCO₂排出量において、上部工と下部工の比較を行った。その結果を図－2に示す。



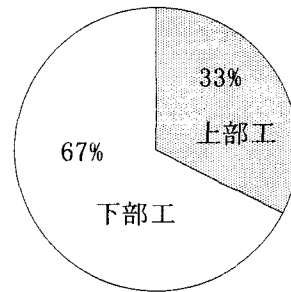
鋼ランガー橋



連続鋼下路トラス橋



連続鋼非合成箱桁橋



単純PCポステンT型橋

図－2 各橋種における上部工と下部工の環境負荷分担率

鋼ランガー橋、連続鋼下路トラス橋、連続鋼非合成箱桁橋は、ほぼ同じ割合で上部工と下部工の割合は7 : 3である。しかし、PCの単純ポステンT型橋は、上部工と下部工の割合が鋼橋と逆で3 : 7となっている。これは、PC橋の杭に鋼管杭が選択されているために、コンクリートで建設されている上部工よりも鋼で建設されている杭基礎の方が大きくなったためと考えられる。

3. 環境負荷の重要度に関する考察

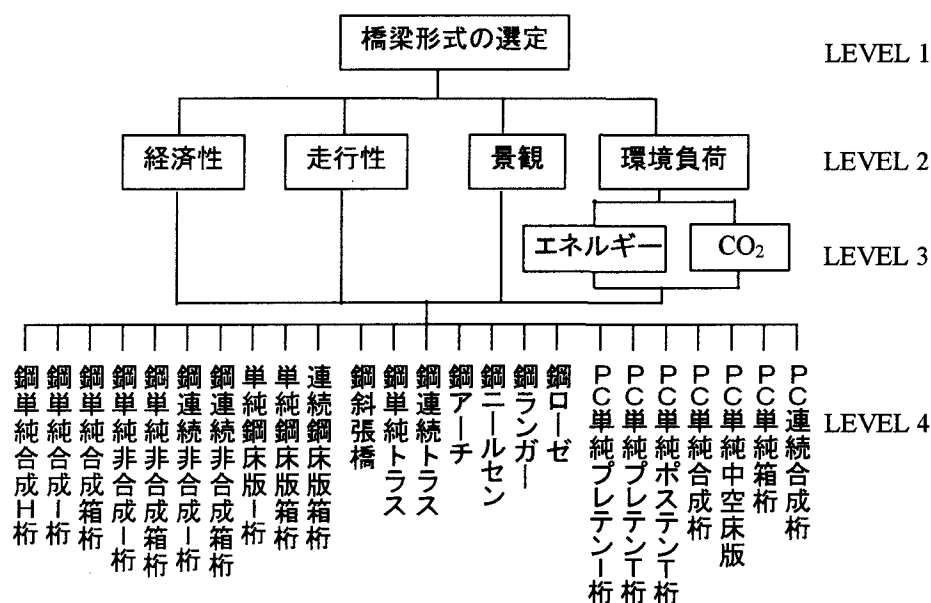
2.2においては、各評価項目間の重みは経済性1に対して、その他の項目は0.5と固定したが、この値は、慎重に吟味されたものではなく、経済性以外の評価項目の意義がはっきりしていない。すなわち、経済性に対する環境負荷の重要度、また景観に対する環境負荷の重要度といった各項目間の関連性がはっきりしていない。したがって、意味のある橋梁形式の選定をするためには、経済性、走行性、景観、環境負荷の各項目間の関連性を考察し、重みを決定する必要がある。これは、各項目間の関連性についての重要度に関する最適化問題としてとらえることができる。そこで、最適化問題を解決するために、意志決定手法を用いて解決することを考える。意志決定手法には、線形計画法、階層分析法（AHP）、ファジイ理論などがあるが、本システムでは、各項目間の関連性が少なく、直接定量的に比較することが困難であることを考慮すると階層分析法を（AHP）用いることが最も適当であると考えられる。

AHP理論を取り入れるにあたって、以下にその特徴を挙げる^{5), 6)}。

- ・評価基準が多く存在し、互いに共通の尺度がないような問題の解決が可能である。
- ・複雑でかつ内部構造が不明確な問題を、階層化することにより整理し、部分的な比較・考察を積み上げることによって、全体の評価が可能である。

- ・システムアプローチと主観的判断を組み合わせることにより、勘や経験を生かした意志決定が可能である。

AHP を適用するにあたって、最終目標、評価基準、代替案と階層化する必要がある。本システムの最終目標は、橋梁形式の選定であり、評価基準が経済性、走行性、景観、環境負荷の各項目となる。本システムを AHP に適用するときの階層構造を図－3 に示す。



図－3 評価項目の階層化

図－3 は、本システムに基づいて、評価基準および代替案を階層化したものである。AHP を行うためには、各 Level 間での一対比較を行い、重要度を決定する必要があるが、この値は一意的に定まるものではない。したがって、橋梁専門家、建設業関係者、一般人などに対してヒアリングをおこない、値の信頼性を確認する必要がある。また、ヒアリングの行い方も重要になってくると考えられる。

また、この階層化は、一つの案であって、他にもさらにより階層化が存在することも考えられる。

4. 橋梁形式選定システムの問題点と発展性

本システムで環境負荷の指標としたものはエネルギー消費量と CO₂ 排出量を考えた。これは、地球環境というグローバルな視野のもとで評価を行おうと考えたためである。これは地球温暖化や資源枯渇問題などに対して、重要であると考えられる。しかし、橋梁建設時を考えたとき、施工作业による騒音問題、資材輸送などによる大気汚染、掘削による残土処分などの建設副産物問題のような、施工現場付近の地域環境を考えたローカルな環境問題を取り扱う必要もあると考えられる。特に建設副産物問題は、近年、リサイクルの問題とともに大きな問題となってきている。そのため、今後の橋梁形式選定システムには、グローバルな環境負荷と、ローカルな環境負荷の両方を評価できる必要があるのではないかと考える。

また、現在の橋梁形式選定システムは、計画された一つの橋梁に限られている。今後は、社会基盤施設システムネットワークとして、単一の橋梁だけでなく、道路をも含めたネットワークとしての社会基盤施設建設の環境負荷を考えられるよう検討を行っていく必要がある。

5. まとめ

本研究では、従来の経済性重視の橋梁形式選定システムに環境負荷の項目を加え、近年の地球温暖化問題に、橋梁建設分野でも対応できるようなシステムを構築した。また、経済性、走行性、景観、環境負荷の関連性についてその度合いを決定するための手法について言及した。さらに、地球環境のようなグローバルな環境問題のみならず、地域環境のようなローカルな環境問題についても同様に考慮する必要があることを示した。

参考文献

- 1) 環境庁編：平成8年度版 環境白書 総説，平成8年6月。
- 2) 西土隆幸，伊藤義人：異なる形式の河川橋梁に対する景観の評価支援システム，土木学会論文集，No.474/VI，pp.95-104，1993年9月。
- 3) 伊藤義人，平野徹，永田裕規，ハワード アシ，西土隆幸，加島章：環境負荷を考慮した橋梁形式選定支援システムの作成と利用に関する研究，土木学会論文集，No.553/VI，pp.187-199，1996年12月。
- 4) 建設省土木研究所編：資源・エネルギー消費，環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告（その2），1994年3月。
- 5) 木下栄蔵：AHP 手法と応用技術，総合技術センター，1993年8月。
- 6) 木下栄蔵：わかりやすい意志決定入門，近代科学社，1996年2月。