# プレストレス木床版橋のＶＥについて

**Value Engineering of Stress-Laminated Timber Deck Bridge**

○中嶋学夫*　戸嶋　英**　堀江　保***
NAKAJIMA Manabu , TOSHIMA Ei , HORIE Yasushi

*（社）秋田県建設技術センター (〒010-0941 秋田市川尻町字大川反170-177)
**秋田工業高等専門学校 環境システム工学専攻 (〒011-8511 秋田市飯島文京町1-1)
***博士（工学）秋田工業高等専門学校 (〒011-8511 秋田市飯島文京町1-1)

**ABSTRACT:** Timber bridges are at a disadvantage in price competition compared to other bridges. To support the effectiveness of timber bridges, we have applied VE, Value Engineering, and examined the value of the Stress-Laminated Timber Deck Bridges as an example. VE is a method of improving the value of the product in terms of the function and it is already an established technique in the construction field. Comparing the value of the stress-laminated timber deck bridge and the prestressed concrete bridge, we limit the object scale to L=5.0m and propose the implementation of the stress-laminated timber pedestrian deck bridge annexed to concrete bridge, which eventually upgrades the value of the bridge.

***Keywords*** : プレストレス木床版、工事費、ＶＥ
*stress-laminated timber deck , construction cost , value engineering*

## 1. はじめに

財政の逼迫から公共事業が縮小するなかで、橋梁形式を選定する基準も価格一辺倒になりがちである。一方、環境に対する関心の高まりから、環境負荷の少ない材料を採用することの意義が認められる傾向にあり、木橋に対する期待は高まっている。しかしながら、実際は価格競争で木橋が不利になるケースが多い。

今まで筆者らは、プレストレス木床版橋（以下、ＰＳ木床版橋と記す）のコストを検討してきたが、その価格的な課題は大きい。特に集成材を必要とする規模では、集成材価格が工事費の大部分を占めることから、割高になる。今回、価格的な課題に対するアプローチとして、橋梁の「機能」や「価値」に着目し、試行的にＶＥ手法を用いることとした。以下にＰＳ木床版橋へのＶＥ適用の一例を紹介する。

## 2. 橋梁の機能に基づいたＰＳ木床版橋の評価

ＶＥは機能本意の原則により、製品やサービスの価値向上を目指した組織的活動をいう。技術的な課題を解決する手法に標準的な分類はないといわれているが、

① システムズアプローチ
② 創造的問題解決
③ ＱＣ的問題解決

などが手法として知られている。ＶＥは、②創造的問題解決の手法を取り入れたものである。公共事業においてもコスト縮減、事業の価値向上のた

表-1 桁橋とＰＳ木床版橋のコスト比較

| 秋田県北部B桁橋 | | PS木床版橋 | |
|---|---|---|---|
| 費 目 | 金額(千円) | 費 目 | 金額(千円) |
| 桁床版材料 | 1,785 | 床版材料 | 1,925 |
| 支承 | 27 | 支承 | 109 |
| 架設 | 67 | 架設 | 27 |
| 床組・横組 | 207 | 床組・横組 | 403 |
| 伸縮目地 | 3 | 伸縮目地 | 6 |
| 間接工事 | 477 | 間接工事 | 550 |
| 工事価格 | 2,566 | 工事価格 | 3,020 |
| 消費税 | 128 | 消費税 | 151 |
| 工事費 | 2,694 | 工事費 | 3,171 |
| B桁橋諸元 | | 諸元(B桁橋に準じて試設計) | |
| 橋長(m) | 6.000 | 橋長(m) | 6.000 |
| 有効幅員(m) | 4.000 | 有効幅員(m) | 4.000 |
| 設計荷重 | TL-14 | 設計荷重 | TL-14 |
| 桁高(mm) | 525 | 床版厚(mm) | 290 |
| 集成材積 | | 集成材積 | |
| 床版($m^3$) | 3.3 | 床版($m^3$) | 7.7 |
| 桁($m^3$) | 3.2 | ― | ― |
| 架設年 | 1987 | ― | ― |

めに使用されている手法である。本研究では、まずＶＥ手法に基づき、ＰＳ木床版橋の価値の評価を行った。なお、研究対象の木橋形式としてＰＳ木床版形式とした理由は、桁橋形式に比べて桁高制限が少なく、数多く普及している径間の短い（L<15m）ＰＣ床版橋と競合し、もっとも普及が見込めると考えたためである。経済比較では表-1に示すとおり、桁橋よりＰＳ木床版橋が、15%程度不利であった。これは、主に材積の差による。この比較は、秋田県内北部に架設された桁橋（橋長6m）と同じ諸元で試設計したＰＳ木床版橋の上部工工事費を平成21年度単価で積算した結果である。

### 2.1 橋梁の機能の定義

参考文献1)では、道路事業における橋梁の予備設計を例にＶＥの成果を検証している。この実施例は、技術者がユーザーと市民の代弁者として事業価値の向上を試みたもので、図-1のように機能系統図を整理している。実施例では20%のコスト削減を達成している。今回は、この例を参考に床版橋形式の橋梁上部工の機能分野を図-2のF1～F4のように定めた。機能系統図は、橋梁をパーツに分解し、分解した要素ごとに機能の定義し、目的と手段の関連で整理したものである。

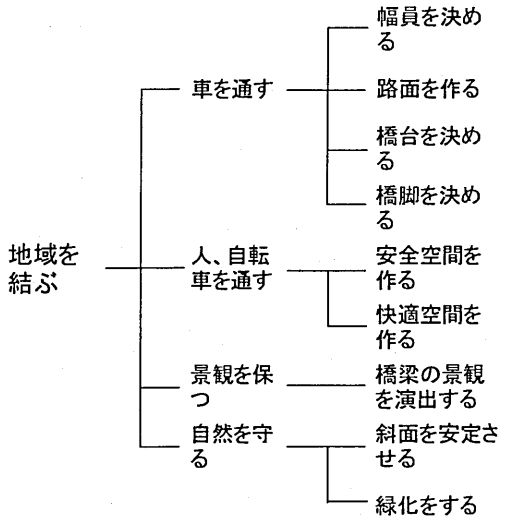


図-1 橋梁の予備設計における機能系統図

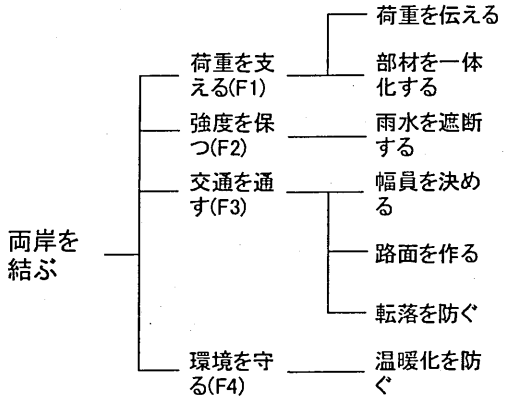


図-2 橋梁上部工の機能系統図

### 2.2 ＶＥ対象とするＰＳ木床版橋

ＶＥ対象とするＰＳ木床版橋は、筆者らが第4回木橋技術に関するシンポジウム[2]において報告した図-3の道路橋とした。ＰＳ木床版橋のコスト目標としてプレテンション方式コンクリート床版橋（以下、プレテン床版橋と記す）の標準設計（旧建設省標準設計[3] 04-PRS-1208 (S8m-W9.5m-F3.0m-A90-GB) H07）とした。

### 2.3 機能別コスト分析の結果

2.1節で定めた機能分野に従い、表-4,5のとおりＰＳ木床版橋とプレテン床版橋の機能別コスト分析を行った。あわせて各橋の部材等構成要素で分析した結果と機能分野で分析した結果を比較し、橋梁上部工が必要としている機能にいくらの費用をかけているかを明確にした。なお、プレテン床版橋では、「Ｆ４：環境を守る」機能はない。同じ土俵に乗せるため、カーボンオフセットの費用をプレテン床版橋に見込むことを検討したが、後述するとおり、現状ではわずかな費用増加であり、構成率にほとんど影響がなかった。また、機能分野への配分率の設定には、主観が入る余地がある。このため、床版製作輸送費の配分率は、表-6のとおり、床版材料の構成要素の費用を根拠に算定した。

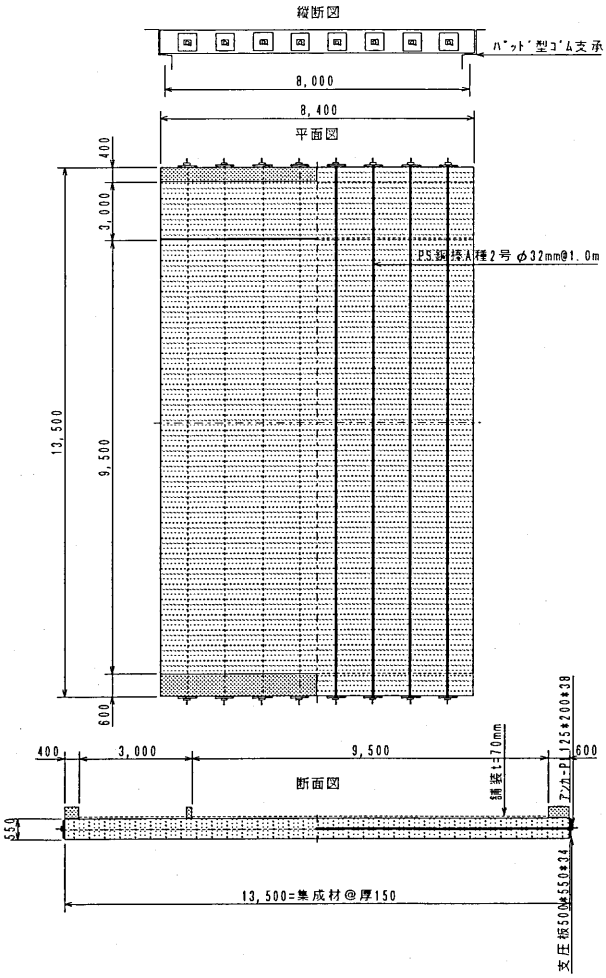


図-3 PS 木床版橋

表-2 PS木床版道路橋の設計諸元

| | |
|---|---|
| 構造形式 | ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ木床版橋 |
| 橋長 | 8.4m |
| 支間 | 8.0m |
| 全幅員 | 13.5m |
| 活荷重 | B活荷重 |
| 使用材 | ｽｷﾞ構造用集成材(E65-F225) |
| 舗装厚 | 70mm |

表-3 積算に用いた材料費 (円/m$^3$)

| 名称 | 仕様 | 単価 |
|---|---|---|
| 既製集成材 | 高≦450mm | 190,000 |
| 特注集成材 | 高＞450mm | 240,000 |
| 防腐処理 | 再乾燥に+10,000円/m3 | 60,000 |

表-4 PS木床版橋(S=8m)機能別コスト分析結果

*上段:配分率*
*下段:機能別のコスト*

単位:千円

| | 構成要素 | コスト | F1 荷重を支える | F2 強度を保つ | F3 交通を通す | F4 環境を守る | 合計 | 構成率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 床版(桁)の製作輸送 | | 50 | 25 | 0 | 25 | 100 | 85.5 |
| | | 26,805 | 13,403 | 6,701 | 0 | 6,701 | 26,805 | |
| B | 支承 | | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 2.0 |
| | | 636 | 636 | 0 | 0 | 0 | 636 | |
| C | 架設 | | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.6 |
| | | 201 | 201 | 0 | 0 | 0 | 201 | |
| D | 横組 | | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 5.8 |
| | | 1,813 | 1,813 | 0 | 0 | 0 | 1813 | |
| E | 付属物 | | 0 | 0 | 100 | 0 | 100 | 4.1 |
| | | 1,280 | 0 | 0 | 1,280 | 0 | 1280 | |
| F | 舗装 | | 0 | 10 | 90 | 0 | 100 | 2.0 |
| | | 612 | 0 | 61 | 551 | 0 | 612 | |
| | 合計 | 31,347 | 16,053 | 6,763 | 1,831 | 6,701 | | |
| | 構成率 | 100 | 51 | 22 | 6 | 21 | | |

表-5 プレテン床版橋(S=8m)機能別コスト分析結果

*上段:配分率*
*下段:機能別のコスト*

単位:千円

| | 構成要素 | コスト | F1 荷重を支える | F2 強度を保つ | F3 交通を通す | F4 環境を守る | 合計 | 構成率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 床版(桁)の製作輸送 | | 60 | 40 | 0 | 0 | 100 | 47.9 |
| | | 6,305 | 3,783 | 2,522 | 0 | 0 | 6,305 | |
| B | 支承 | | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 6.9 |
| | | 909 | 909 | 0 | 0 | 0 | 909 | |
| C | 架設 | | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 3.6 |
| | | 474 | 474 | 0 | 0 | 0 | 474 | |
| D | 横組 | | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 7.3 |
| | | 957 | 957 | 0 | 0 | 0 | 957 | |
| E | 付属物 | | 0 | 0 | 100 | 0 | 100 | 29.2 |
| | | 3,841 | 0 | 0 | 3,841 | 0 | 3841 | |
| F | 舗装 | | 0 | 10 | 90 | 0 | 100 | 5.1 |
| | | 677 | 0 | 68 | 609 | 0 | 677 | |
| | 合計 | 13,163 | 6,123 | 2,590 | 4,450 | 0 | | |
| | 構成率 | 100 | 47 | 20 | 34 | 0 | | |

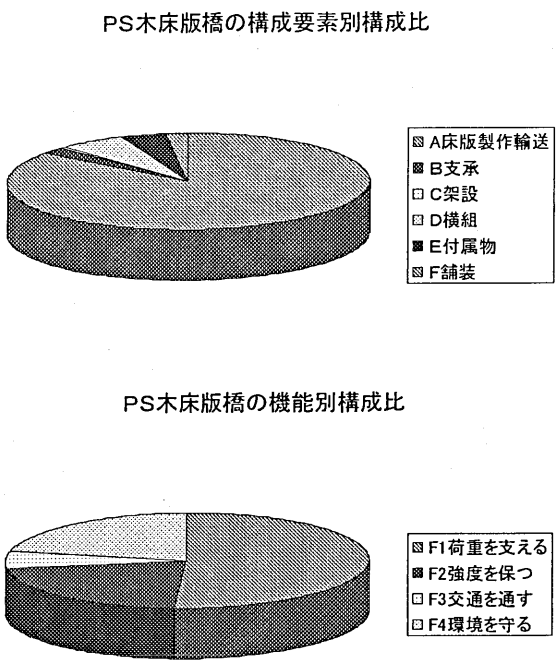


図-4 PS木床版橋のコスト分析結果

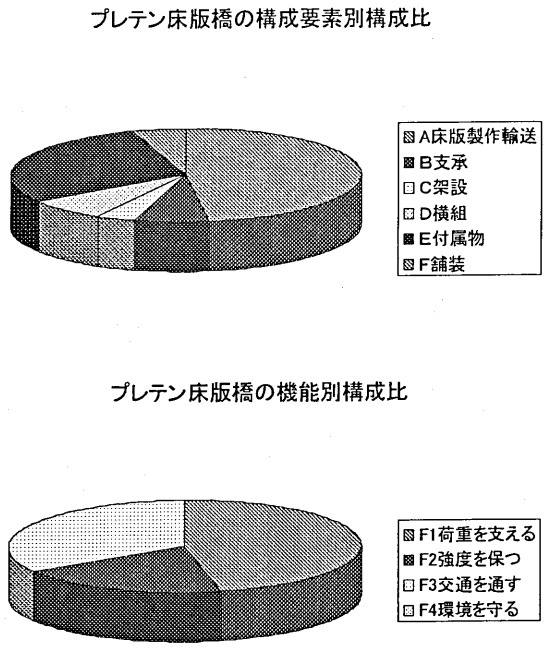


図-5 プレテン床版橋のコスト分析結果

表-6 床版製作輸送費配分率の設定

| 木床版材料の要素 | 材料費 | 配分率 | | | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|
| 集成材 | ¥240,000 | → | 機能分野F1 | 50% | F2,F4配分率の残り |
| 防腐処理・乾燥 | ¥60,000 | → | 機能分野F2 | 25% | 集成材との材料費率より |
| 製材 | ¥60,000 | → | 機能分野F4 | 25% | 〃 |
| プレテン床版材料の要素 | 工事費 | 配分率 | | | 備考 |
| 鋼材・圧縮側コンクリート | | → | 機能分野F1 | 60% | F2配分率の残り |
| 引張側コンクリート | ¥2,600,000 | → | 機能分野F2 | 40% | 43.4m$^3$の1/2をF2機能と見なす |

## 2.4 ＰＳ木床版橋の価値の検討

ＶＥでは「価値」を次式で定義している。[4)]

Ｖ（価値）＝Ｆ（機能）／Ｃ（コスト）　…（式-1）

価値=1.0ならば、必要とされる機能とコストが一致している状態を示すこととなる。ここで(式-1)のＦ（機能）は、表-7でＤＡＲＥ法[4)]による機能評価値として求められる。この機能評価値は、合計欄の目標コストにウェイトを掛けて算出した。

目標コストにプレテン床版橋の工事価格を設定し、ＰＳ木床版橋の価値を計ると表-8となる。表-8

表-7 DARE法によるウェイトの設定

| 項目 | 相対比較値 | 絶対比較値 | ウェイト値（%） | 機能評価値 F（千円） |
|---|---|---|---|---|
| F1:荷重を支える | 2 | 2 | 33.3 | 4,384 |
| F2:強度を保つ | 0.5 | 1 | 16.7 | 2,198 |
| F3:交通を通す | 2 | 2 | 33.3 | 4,383 |
| F4:環境を守る | | 1 | 16.7 | 2,198 |
| | | | | |
| | | | | |
| 合計 | | 6 | 100 | 13,163 |

上段が下段の何倍重要か。

最下段を1と仮定して

プレテン床版橋のコスト「目標コスト」

は次節で説明する対象分野の選定表も兼ねている。表-8ではプレテン床版橋の工事価格を目標とすると、ＰＳ木床版橋の総コストにおける価値は0.4である。各機能別にみるとF1, F2, F4とも0.3の価値であった。

表-8 対象分野の選定(PS木床版橋S=8m)

| | F1 | F2 | F3 | F4 | ΣF |
|---|---|---|---|---|---|
| 機能分野 | 荷重を支える | 強度を保つ | 交通を通す | 環境を守る | |
| C値 | 16,053 | 6,763 | 1,831 | 6,701 | 31,347 |
| F値 | 4,384 | 2,198 | 4,383 | 2,198 | 13,163 |
| C－F | 11,669 | 4,565 | -2,552 | 4,503 | |
| V＝F／C | 0.3 | 0.3 | 2.4 | 0.3 | 0.4 |
| 優先順位 | 1 | 2 | 4 | 3 | |

現行コスト

DARE法によるF

## 3. ＰＳ木床版橋のＶＥ提案とその評価

### 3.1 改善策の検討（アイデア発想）

表-8では、機能分野ごとに改善の優先順位を判断することができる。価値が低く、Ｃ－Ｆの値が大きいほどコスト縮減余地が大きい機能分野となる。この優先順位を元にアイデア発想を試みた過程を図-6に示す。

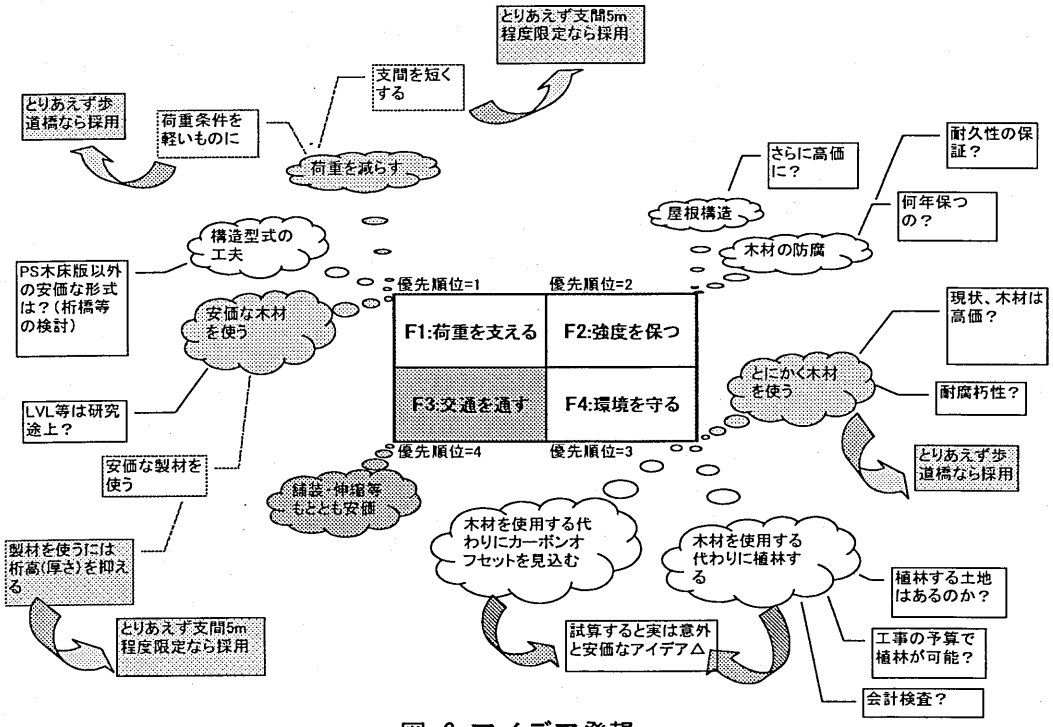


図-6 アイデア発想

「Ｆ１：荷重を支える」機能分野のコストを削減するための発想として

- 荷重を減らすため→荷重条件を緩和する
- 〃　　→適用支間を短くする
- 材料費を節約する→集成材→製材

などが発想された。これらの発想から、支間の短い歩道橋がＰＳ木床版橋に有利と考え、ＶＥ提案は、橋長5.3mのＰＳ木床版歩道橋をプレテン床版車道橋に併設する案とした。

一方、「Ｆ４：環境を守る」機能分野から、木材を材料として使用すれば、環境機能を橋梁上部工に付与できるが、木材を用いる代替えに植林とカーボンオフセットが考えられる。しかし、以

下の理由から、今回はＶＥ提案として採用しないこととした。

なお、今回のＶＥ提案はユーザー視点の原則から、プレテン床版橋と同等コストで環境機能を実現できないかを発想したものであり、「なぜＰＳ木床版橋を架けたいのか」との問いかけに立ち戻った。ＶＥ活動では、コスト削減の目標値は10～20%程度であり、橋梁の支間条件も固定であることが普通である。

① 植林案：プレテン床版橋が排出する温暖化ガスを吸収するだけ、新たに造林する案である。支間8mのプレテン床版橋の主部材が排出する換算炭素量を吸収するための植林面積を見積もった。簡略化のため、主たる材料は、コンクリートのみとして費用を試算した。なお、プレテン床版橋では、ＰＣ鋼材・鉄筋などの鋼材3.3tを使用し、ＰＳ木床版橋でも横締鋼材2.0tを必要とするので鋼材についてはどちらでも同程度の環境負荷がある。また、施工においても環境負荷は発生するが、ライフサイクルで発生する二酸化炭素量として8割が材料から発生するとの報告（参考文献5)）があり、主たる材料である生コンのみに簡略化した。森林再生とバイオマスエネルギー利用促進のための21世紀グリーンプラン[6]から50年間の造林コストは200万円/ha、木材伐採量220m³/haとして試算した。造林による炭素固定量は、220m³×0.5t/m³×50%=55t-c/ha=55000kg-c/haとした。結果、表-9のとおり造林コストは13万円/橋となった。単純にＦ４の機能を果たすためには、植林するという選択肢もある。しかしながら、会計検査上の問題有りと判断し、提案としては見送った。

表-9 ﾌﾟﾚﾃﾝ床版橋排出炭素に相当する造林コスト

| | |
|---|---|
| (1)生コン | 43.4 $m^3$ |
| (2)$CO_2$排出原単位 | 84.9 kg-c/$m^3$ |
| (3)排出炭素(1)×(2) | 3685 kg-c |
| (4)造林の炭素固定量 | 55000 kg-c/ha |
| (5)造林・育林コスト | 2,000,000 円/ha |
| (3)/(4)×(5) | 133,988 円 |

※$CO_2$排出原単位は参考文献7)による

② カーボンオフセット案：プレテン床版橋のカーボンオフセット費用を試算した。同様に簡略化のため、主たる材料であるコンクリートのみに着目して費用を試算した。結果として表-10のとおり、カーボンオフセット費用は33,776円（床版材料費の1%未満）であり、現状のカーボンオフセットのしくみでは、わずかな費用で環境を守る機能をプレテン床版橋に付加できることとなる。しかし、カーボンオフセットは、間接的な環境投資であり、直接のコスト負担でないため、提案としては見送った。

表-10 ﾌﾟﾚﾃﾝ床版橋のｶｰﾎﾞﾝｵﾌｾｯﾄ

| | |
|---|---|
| (1)生コン | 43.4 $m^3$ |
| (2)$CO_2$排出原単位 | 84.9 kg-c/$m^3$ |
| (3)排出炭素(1)×(2) | 3685 kg-c |
| (4)単位換算(3)×44/12 | 13510 kg-$co_2$ |
| (5)ｶｰﾎﾞﾝｵﾌｾｯﾄ料 | 2.5 円/kg-$co_2$ |
| (4)×(5) | 33,776 円 |

### 3.2 ＶＥ提案とその評価

アイデア発想を基に支間を5mに限定し、歩道橋部分をＰＳ木床版とした橋梁上部工を提案することとした。ここで5mとする根拠は、筆者らが第５回木橋技術に関するシンポジウム[8]で報告した内容にもとづき、5m規模のＰＳ木床版歩道橋が価格的に有利であったことによる。提案は図-7のように標準設計のプレテン床版橋を車道部と歩道部に分割する案となる。（ＰＳ木床版歩道併設橋）歩道部分の仕様を表-11に示した。

歩道部分の設計はTimber Bridges Design, Construction, Inspection, and Maintenance [9]及び木歩道橋設計・施工に関する技術資料[10]にもとづいている。主部材（杉製材）の単価は、物価資料を参考に¥67,000円を想定し、本提案を評価した結果を表-12、図-9に示す。なお、コスト目標となる標準設計プレテン床版橋も支間5mのものに変更して評価している。

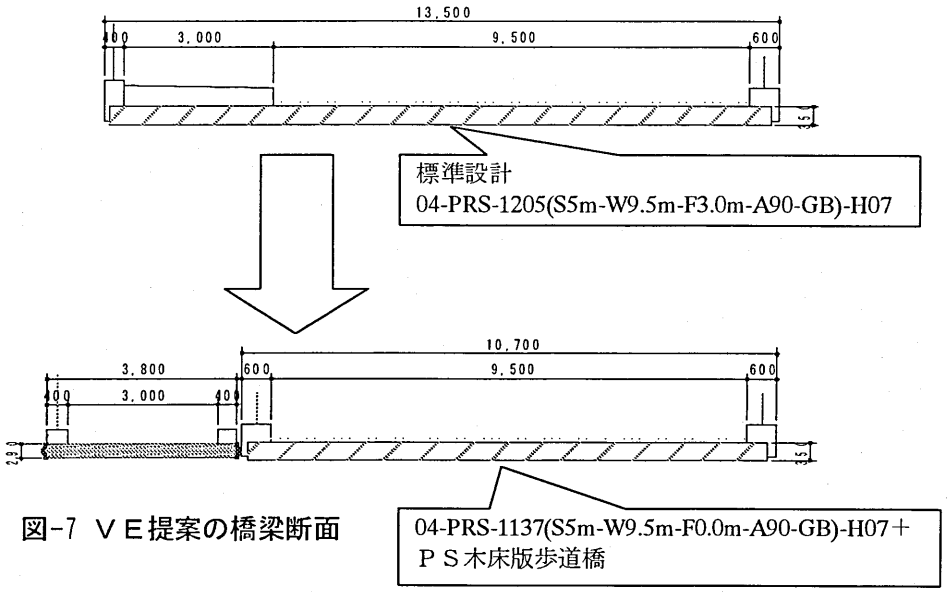


図-7 ＶＥ提案の橋梁断面

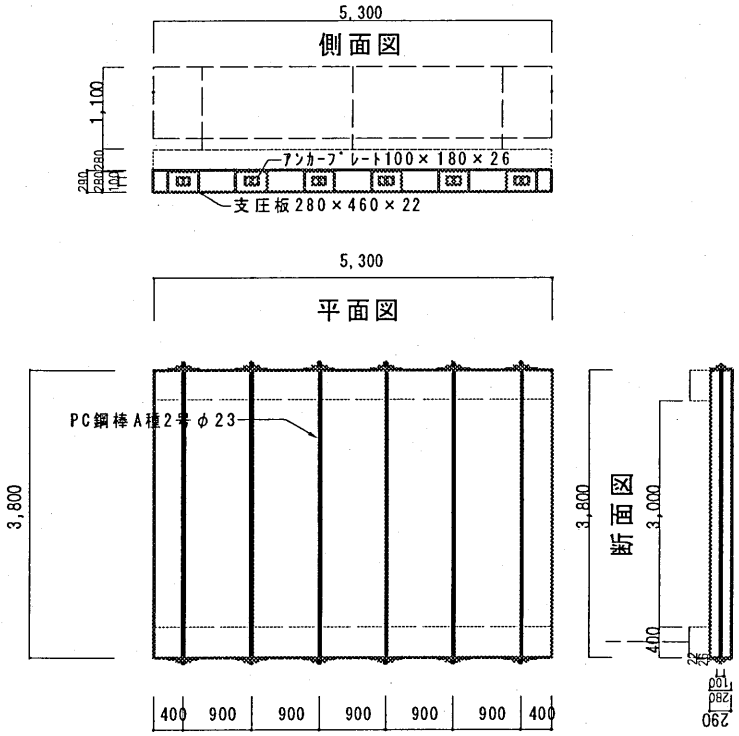


図-8 ＰＳ木床版歩道橋

表-11 PS木床版歩道橋
設計諸元

| | |
|---|---|
| 構造形式 | ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ木床版橋 |
| 桁長 | 5.3m |
| 支間 | 5.0m |
| 全幅員 | 3.8m |
| 活荷重 | 群衆荷重および除雪車 |
| 使用材 | ｽｷﾞ構造用製材 |
| 舗装厚 | 30mm |

表-12 VE提案の価値（ﾌﾟﾚﾃﾝ+木歩道橋）

| | F1 | F2 | F3 | F4 | ΣF |
|---|---|---|---|---|---|
| 機能分野 | 荷重を支える | 強度を保つ | 交通を通す | 環境を守る | |
| C値 | 3,980 | 1,113 | 3,773 | 1,069 | 9,935 |
| F値 | 3,351 | 1,681 | 3,352 | 1,681 | 10,065 |
| C－F | 629 | −568 | 421 | −612 | |
| V＝F／C | 0.8 | 1.5 | 0.9 | 1.6 | 1.0 |

VE提案のコスト

標準設計プレテン橋(L=5m)を目標串とにしたF

機能別構成比

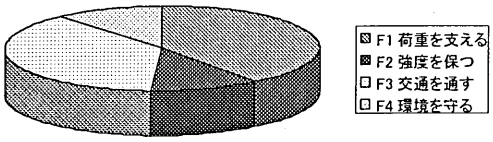


図-9 ＶＥ提案の評価

ＶＥ提案のプレテン床版橋にＰＳ木床版歩道橋を併設する案では、表-12に示したように標準設計プレテン床版橋に対して、トータルの経済性とF1, F3機能は同程度、F2, F4機能は、本ＶＥ提案が価値に優れる結果となった。機能別構成比の円グラフである図-9でも、支間8mのＰＳ木床版橋に比較して機能別の構成比の差が小さくなっている。なお、製材品で幅290mmのものは、地域や時期によって市場に流通していない場合がある。集成材を採用した場合、工事価格は約100万円増加となるが、それでもΣＦは0.9であり、F2, F4機能の価値は優位である。

表-13 PS木床版歩道併設橋のコスト

| PS木床版歩道併設橋 | | 標準設計ﾌﾟﾚﾃﾝ床版橋 | |
|---|---|---|---|
| 費 目 | 金額(千円) | 費 目 | 金額(千円) |
| ｺﾝｸﾘｰﾄ床版材料 | 1,834 | ｺﾝｸﾘｰﾄ床版材料 | 2,358 |
| 木床版材料 | 767 | 木床版材料 | − |
| 支承 | 459 | 支承 | 463 |
| 架設 | 187 | 架設 | 222 |
| 床組・横組 | 475 | 床組・横組 | 347 |
| 伸縮装置 | 1,466 | 伸縮装置 | 1,838 |
| 地覆高欄 | 591 | 地覆高欄 | 535 |
| 舗装 | 265 | 舗装 | 274 |
| 間接工事 | 3,891 | 間接工事 | 4,028 |
| 工事価格 | 9,935 | 工事価格 | 10,065 |
| 諸元 | | 諸元 | |
| 橋長(m) | 5.300 | 橋長(m) | 5.300 |
| 有効幅員(m) | 9.5+3.0 | 有効幅員(m) | 9.5+3.0 |
| 設計荷重 | B活荷重 | 設計荷重 | B活荷重 |
| 床版厚(mm) | 車道=350 | 床版厚(mm) | 350 |
| | 歩道=290 | | − |

## 4. まとめ

本検討は、ＰＳ木橋版橋についてＶＥの適用をシミュレーションしたものであり、対象物件の与条件、ワークショップのメンバー構成などの条件が異なれば、違った結果となる。本研究は木橋が抱えるコストの課題を解決する手法としてＶＥを適用した一例である。ＶＥの機能本意の原則により、「環境機能」に着目すれば、木橋は材料自身に環境機能を有しているといえ、コンクリートや鋼橋にない「価値」をもっていると説明できる。なお、今後は以下のことが課題となる。

① 維持管理費用（ライフサイクルコスト）までを対象とすること。
② ＰＳ木床版橋の構成要素の機能改善をはかること。
③ ＰＳ木床版橋形式以外の合理的な構造を模索すること。

謝辞：様々なケースのＰＳ木床版橋について検討いただいた秋田高専堀江研究室の卒業生の皆さん、ＶＥ全般についてご指導いただいた秋田県建設交通部技術管理室の方々に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

1) 黄逸鴻, 小泉淳：土木事業へのＶＥの適用に関する研究, 土木学会論文集F Vol. 63 No. 3, 251-262
2) 中嶋学夫, 今野岳, 堀江保：プレストレス木床版橋のコスト評価と試設計、第4回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、p.41-48

3) 社団法人 全日本建設技術協会：建設省制定土木構造物標準設計 18（プレテンション方式 PC 単純床版橋）
4) 土屋裕、産能大学ＶＥ研究グループ：新・ＶＥの基本　産業能率大学出版部刊
5) 中澤良直・徳重由利子：建設事業の環境負荷算定システム、Civil Engineering Consultant、Vol.218, p.042, 2003.
6) 森林再生とバイオマスエネルギー利用促進のための 21 世紀グリーンプラン（社）経済同友会 http://www.sanson.or.jp/sokuhou/no_856/856-3.html
7) 井村秀文：建設のLCA、オーム社、p.49
8) 中嶋学夫, 今野勇人, 堀江保：プレストレス木床版橋の初期建設コストについて、第 5 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、p.17-20
9) Michael A Ritter : Timber Bridges Design, Construction, Inspection, and Maintenance (Structural Engineer United States Department of Agriculture Forest Service)
10) 社団法人 国土技術研究センター：木歩道橋設計・施工に関する技術資料 平成 15 年 10 月