プレストレス木床版橋による木材需要と環境性能について

Timber demand on the Stress-Laminated Timber Deck Bridge and its enviromental effect

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

*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)
**(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)
***博(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 The market size of timber bridges was assumed based on Stress-Laminated Timber Deck Bridge(Timber Bridge),on which the comparison of the reducation rate of carbon dioxide was investigated between Prestressed Concrete Bridge(PC Bridge). Assuming that the service life of bridge was 50 years; and the bridges under consideration in this paper, which are of the scale to L=2 to 15m, was rebuilt 3,000 Timber Bridges per a yaer, utilization timber volume resulted in approximately 91,000m^3 a year, converting the value into carbon fixation amount, it led to 2,300t-C. However, if the same number of PC Bridge is rebuilt, the discharge of carbon becames 6,000t-C. Furthermore, if the carbon fixation amount in the Timber Bridge is added to the value, the amount of the carbon can be reduced by 29,000t-C: 107,000t-CO_2 in terms of carbon dioxide amount.

Keywords : プレストレス木床版、木材需要、炭素固定
stress-laminated timber deck , timber demand , carbon fixation

1. はじめに

近年、様々な分野において環境への配慮が懸念されている。橋梁分野においても資材生産から運搬、構造物製造、解体などライフサイクルに要するエネルギー消費が考慮されてきている。現在、橋梁材料として鋼材・コンクリートが主材料となっているが、これらは環境に優しい材料とは言いがたい。そこで期待されているのが木橋である。循環型資源である木材は炭素固定能力などがあり、環境負荷が少ないためである。木橋が他の材料を用いた橋梁と比較して、温暖化ガス排出など環境性能の面から有利であることが考慮されれば、木橋の選択の可能性が増すと考えられる。また、このような木材の「機能」に着目しVE(Value Engineering)の考え方を流用すれば、木橋の「環境機能」を明確に数値化でき、木橋の課題である建設コストを抑える効果が期待できる。

本研究では、近代木橋であるプレストレス木床版橋（以下PS木床版橋と記す）を基に木橋の市場規模を仮定し、CO_2削減効果を試算した。現在供用中の橋梁耐用年数を50年とし、床版橋の対象となる支間2m以上15m未満の橋梁（平均橋長5.3m）を年間3,000橋（全体の40～50%）PS木床版橋に架け替えると仮定した。これらの仮定から木橋への架け替えによる木材需要を求め、木材の炭素固定量や木橋とPC橋のCO_2排出量について比較した。PC橋を比較対象に選択した理由は、最も実績が多いためである。

本研究の目的は、橋梁建設にあたってCO_2削減効果などから木橋の「環境性能」を見出すことである。

2. 検討対象となる橋梁規模と架け替え橋梁数

2.1 市町村道橋梁の割合

道路統計年報2006では、橋梁数がL=2m以上からカウントされている。これによると、比較的小規模であるL=2m以上15m未満（以下15m未満と記す）の橋梁が箇所数で78.1%、延長で23.7%を占

めている。ちなみに、木橋は箇所数で0.19%(1,264箇所)と1%にも満たない。木橋の普及を図るには、これら小規模な橋梁を無視できないと考え、検討対象をL=2m以上15m未満とした。架け替え橋梁数については、道路統計年報2006の「橋梁現況の推移」を参考にした。しかし、これには「国道、都道府県道における橋梁数」のみの推移しか記載しておらず、市町村道分を考慮した推移を把握する必要があった。また、そのうえで「2m以上15m未満の橋梁数割合」、「毎年架け替えが行われる割合」を考慮する必要があった。これらの計算手法を以下に示す。

表－1 全国の橋梁個所数と延長

橋梁規模		個所数	延長(m)	平均橋長(m)
(a)	2m以上	676,095	11,865,000	17.5
(b)	15m以上	148,223	9,052,992	61.1
(a)-(b)	2m以上15m未満	527,872	2,812,008	5.3

2.2 市町村道分を考慮した割り増し

道路統計年報2006では最新データが2004年となっているため、それ以前の10年間のデータを採用することにした。表－2の(d)－(c)は市町村道における橋梁数を示している。割り増し係数は(d)/(c)で計算されている。すなわち、[(c)国道、都道府県道における橋梁数] を何倍すれば [(d)全体の橋梁数] に達するかというのが割り増し係数である。各年のデータから求められた割り増し係数を平均したものを「市町村道考慮による割増係数」とした。

表－2 市町村道考慮による割り増し係数

	(c)国道、都道府県道	(d)高速～市町村道	(d)-(c)	割り増し係数	参考値(%)
1995年	49,121	128,350	79,229	2.613	61.7
1996年	50,233	130,833	80,600	2.605	61.6
1997年	51,276	133,455	82,179	2.603	61.6
1998年	51,922	135,230	83,308	2.604	61.6
1999年	52,596	137,092	84,496	2.607	61.6
2000年	53,344	139,185	85,841	2.609	61.7
2001年	53,876	141,063	87,187	2.618	61.8
2002年	54,390	142,407	88,017	2.618	61.8
2003年	55,225	144,756	89,531	2.621	61.8
2004年	56,068	146,959	90,891	2.621	61.8
平均値				2.612	61.714

→①

なお、参考値は [(d)全体の橋梁数] に対する [(d)－(c)市町村道] における橋梁数の割合を表している。参考値より、市町村道における橋梁数は全体の約60％を占めており、無視できないことが分かる。「割り増し」には高速道路分の割り増しも含まれているが、高速道路における橋梁数は2004年時点で全体の約1％(7,385箇所)程度なので「市町村道分を考慮した割増」として計算している。

2.3 15m未満の橋梁数割合

表－1より15m未満の橋梁数割合は(1)式により求めた。

$$\frac{(a)-(b)}{(a)}\times 100=\frac{527,872}{672,095}\times 100 \fallingdotseq 78.1\% \longrightarrow ② \qquad (1)$$

2.4 架け替えが行われる橋梁数の割合

耐用年数を50年と仮定し、データは今後10年間に耐用年数に達する年の橋梁数を採用すること

にした（図－1)。例えば、2010年の架け替え橋梁数を求めたい場合、(1960年－1959年)の橋梁数で求められる。「架け替えが行われる橋梁数の割合」は平均値①と平均値②より(2)式により求めた。

$$\frac{\text{平均値②}}{\text{平均値①}} \times 100 = \frac{3{,}516}{98{,}416} \times 100 \fallingdotseq 3.57\% \longrightarrow ③ \qquad (2)$$

これより、年間、全橋梁数の3.57％が耐用年数を向かえ、架け替えられることが分かる。
なお、図－1の橋梁数は国道、都道府県道を対象としている。

(n+50)年後の架け替え橋梁数＝(n－1)年橋梁数－n年橋梁数

n年	橋梁数
1958年	80,076
1959年	84,002
1960年	86,981
1961年	91,128
1962年	95,319
1963年	99,523
1964年	102,192
1965年	106,168
1966年	108,950
1967年	112,999
1968年	115,236
平均値①	98,416

(n+50)年	橋梁数
2009年	3,926
2010年	2,979
2011年	4,147
2012年	4,191
2013年	4,204
2014年	2,669
2015年	3,976
2016年	2,782
2017年	4,049
2018年	2,237
平均値②	3,516

図－1　架け替え橋梁数

2.5 15m未満の架け替え橋梁数

15m未満の架け替え橋梁数は、各年における50年前の橋梁数（国道、都道府県道）を基に次式により求めた。

$$\left(\text{各年の国道、都道府県道}\right) \times \left(\text{市町村道考慮による割り増し係数}\right) \times \left(\text{15m未満の橋梁数割合}\right) \times \left(\text{架け替え橋梁数割合}\right) \qquad (3)$$

	国道、都道府県道
2008年	80,076
2009年	84,002
2010年	86,981
2011年	91,128
2012年	95,319
2013年	99,523
2014年	102,192
2015年	106,168
2016年	108,950
2017年	112,999

×①×②×③

15m未満架け替え橋梁数
5,832
6,118
6,335
6,637
6,942
7,248
7,442
7,732
7,935
8,229

このうち40～50%を
木橋のターゲットにする

図－2　15m未満の架け替え橋梁数

これによって、計算されたのが図－2右側の「15m未満の架け替え橋梁数」である。しかし、この橋梁数を全て木橋に架け替えることは困難と考えられる。そこで、15m未満の架け替え橋梁数のうち40～50％程度を木橋架け替えのターゲットとした。このような絞込みにより、現実性を考慮し年間3,000橋を木橋に架け替えることにした。

3. 床版橋の選択と歩道の設置形態

3.1 床版橋を選択する理由

表－3は秋田県内に架設されているB桁橋と同規模のPS木床版橋を設計し、比較したものである。この比較結果より、床版橋を選択する理由として次のことが挙げられる。

①PS木床版橋と桁橋の間には有意な価格差が無かった（PS木床版橋の方が15％程度不利）。

②PS木床版橋の方が桁橋に比べて桁高が制限されにくい。

③木材利用の面から考えるとPS木床版橋の方が使用材積が多い。

①で多少のコスト的なマイナス面があったとしても、②によってPS木床版橋の方が比較的小規模なPC橋と競合しやすいことが考えられる。また、③はPS木床版橋の方が使用材積が多いため、後述する木材の炭素固定量や木橋建設時のCO_2削減効果をより発揮させることができると判断した。

表－3 PS木床版橋と桁橋の比較

	PS木床版橋	B桁橋
橋長(m)	6.0	6.0
有効幅員(m)	4.0	4.0
設計荷重	TL-14	TL-14
材積(m^3)	7.7	6.5
床版厚・桁高(mm)	290	525
コスト(万円)	317	269

なお、B桁橋の材積の内訳は床版：3.3m^3、桁：3.2m^3となっている。

3.2 歩道の設置形態

表－4 歩道設置形態の違いによる比較

	歩・車一体型	歩・車分離型	
		歩道部	車道部
橋長(m)	5.3	5.3	5.3
有効幅員(m)	10.0	3.0	7.0
設計荷重	B活荷重	歩道対応除雪機 6.9t	B活荷重
床版厚(mm)	450	290	430
使用材	スギ構造用集成材	スギ構造用製材	スギ構造用集成材
コスト(万円)	1090	190	804
総コスト(万円)	1090	994	

歩道の設置形態には歩道と車道が一体となった歩・車一体型（以下一体型と記す）とそれが分離した歩・車分離型（以下分離型と記す）の２つがある。それぞれについてPS木床版橋の設計を行った結果を表－4に示す。橋長は表－1において木橋のターゲットとなる15m未満の平均橋長を参考にした。

表－5 材料費の比較

	集成材	製材
材料費(円/m3)	19,000	6,700

この比較の結果より、分離型の方がコスト的に有利であることが分かる。これには集成材と製材の材料費が大きく影響しているものと考えられる。表－5に示す通り、集成材は製材の約３倍のコストを要する。一方、製材は厚さ300mmを超える材料の入手が困難と言われている。一体型は床版厚が450mmと製材の適用範囲を超えているため、集成材を用いる必要があった。分離型の車道部でも同じことが言えるが、歩道部の床版厚は300mm未満であるため、製材を適用することができた。このような理由により、分離型の方が96万円分コストを抑えることができた。以上のことから、検討対象とする木橋は歩・車分離型で設計することにした。

4. PS木床版橋建設による使用木材量

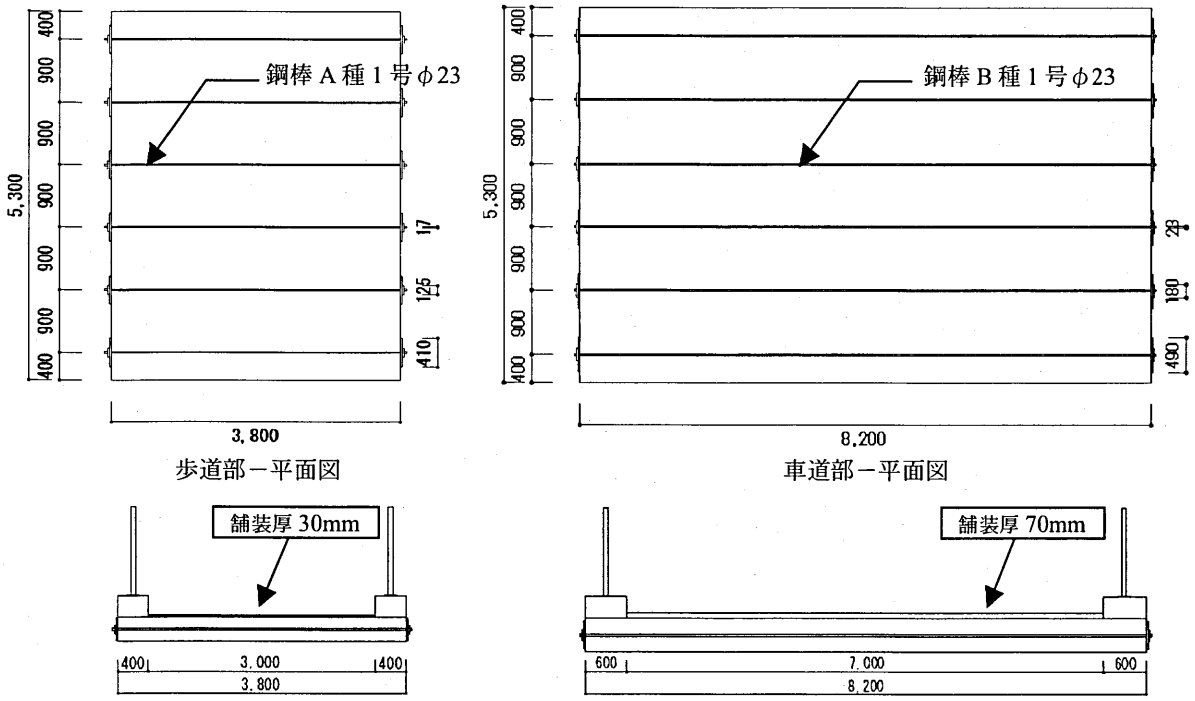
PS木床版橋の設計結果を図－3に示す。また、その使用材積を表－6に示す。歩道部は両側歩道となっているため、その内訳は(5.84m^3×2)となっている。年間3,000橋を架け替えるとすれば、年間91,110m^3、重量にして45,783tの木材を利用できることが分った。表－7に挙げられているのは構造用材として用いられている主な種類の木材である。これらの平均値をもって木材の比重とした。

表－6 PS木床版橋の使用材積

	木材使用材積(m^3)
車道部	18.69
歩道部	11.68
合計	30.37

表－7 木材の比重

種類	比重
スギ	0.39
カラマツ	0.53
ナラ	0.68
ヒノキ	0.41
平均	0.503



図－3 PS木床版橋設計図

5. 木材市場規模の比較

住宅市場における木材需要は表－8を基に(4)式から求めた。木造・非木造について、それぞれ(4)式を適用させ、その合計をもって「住宅市場における木材需要」とした。

$$木材需要＝平均床面積\times(木造or非木造)\times着工数\times(木造率or非木造率) \quad (4)$$

表-8 年間住宅着工数と木造・非木造の割合

着工数(万戸/年)	110
木造率(%)	45
非木造率(%)	55
一戸建て住宅平均床面積(m^2/戸)	135
木造(m^3/m^2)	0.2
非木造(m^3/m^2)	0.04

表－9 木材市場規模の比較

	木材需要(m^3/年)
木造住宅	13,365,000
非木造住宅	3,267,000
合計	16,632,000
木橋	91,110

この計算結果から、木橋と住宅における木材市場規模の比較を表－9に示す。これによると、住宅による木材需要の約８割が木造住宅によるものであることが分かる。比較の結果、木橋の木材需要は住宅による木材需要の約0.55%(1/180)程度であった。よって、木橋は住宅の木材需要からすれば微々たるものであり、それほど需要が大きいわけではなかったと言える。

6. PC橋と木橋のCO_2排出量比較

表－10 PC橋のコンクリート使用材積

	コンクリート使用材積(m^3)
主桁(1.2m^3×18本)	21.6
橋体	3.4
合計	25
年間	75,000

表－11 CO_2排出量の比較

	木橋	PC橋
使用材積(m^3/一橋)	30.37	25
炭素排出原単位(kg-C/m^3)	3.9	84.9
炭素排出量(kg-C)	119,035	2,123
CO_2排出量(kg-CO_2)	453	7,790
年間CO_2排出量(t-CO_2/年)	1,360	23,369

表－12 国民一人当たりのCO_2排出量

	CO_2排出量(t-CO_2/人・年)
家庭	2.4
工場等	9.8

今回、検討対象としているPS木床版橋と同規模のPC橋を基に、PC橋と木橋建設によるCO_2排出量の比較を行った。基にしたPC橋はプレテンテンション方式コンクリート床版橋の標準設計（旧建設省標準設計:04-PRS-2205(S5m-W7.0m-F3.0m×2-A90-GA)-H07）とした。このPC橋のコンクリート使用材積（表－10）から、生コンクリート製造によって発生するCO_2排出量と木橋の木材使用材積から発生するCO_2排出量を比較した（表－11）。表－11では、まず、炭素排出原単位からPC橋と木橋それぞれの炭素排出量を求め、CO_2排出量に換算した。年間CO_2排出量は年間3,000橋を架け替えた場合の排出量である。これによると、木橋はPC橋に比べて約94％のCO_2削減効果があることが分かった。さらに、木材の炭素固定量（使用材積重量の50％：22,891t-C＝84,010t-CO_2）を考慮すれば、年間約107,000t-CO_2のCO_2削減効果が期待できる。これは日本国民一人当たりが家庭で排出するCO_2量の約4万人分に匹敵する量である（表－12）。

7. まとめと今後の課題

本研究による検討の結果、住宅の市場規模との比較から言えば、1％にも満たない程わずかなものであったが、木材の炭素固定量を考慮することで、木橋の大きなCO_2削減効果を期待できることが分かった。本研究は、PC橋から木橋への架け替え橋梁数を仮定し、木橋のCO_2削減効果をシュミレーションしたものである。研究者の考え方次第では、様々な結果が予想されるが、数値的なオーダーに大差はないと考えられる。このようなCO_2削減効果等から、木橋の「環境性能」がより明確に認知されることにより、橋梁建設において木橋の選択の幅が広がると考えられる。今後の課題として以下の事が挙げられる。

①木橋の耐用年数を明確化させ、PC橋との架け替えの効用を比較する。

②VEを流用することで、「環境性能」を明確に数値化する。

参考文献

1) 井村秀文：建設のLCA、オーム社、p.49、p.82
2) Michael A Ritter : Timber Bridges Design, Construction, Inspection, and Maintenance(Structural Engineer United States Department of Agriculture Forest Service)
3) 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
4) 国土交通省道路局監修 全国道路利用者会議：道路統計年報2006 平成18年8月
5) 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）
6) 京都大学生存圏研究所「木質資源の自立的・持続的利用についての基本的な考え方」 http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/project/kawai01.html