

鋼道路橋の設計例による日米の比較

Comparative study between Japan and USA by a design example of steel highway bridges

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○フェロー 当麻 庄司 (Shouji Toma)

同上

菅原 洵 (Jun Sugawara)

1. まえがき

同じ構造物に対する設計基準を異なった国の間で比較することは、その国の構造設計の考え方が分かり、非常に興味深い。本論文は、アメリカの橋梁設計基準であるLRFD (Load and Resistance Factor Design) ¹⁾ に基づいて設計された単純支持合成桁橋を、同じ設計条件を用いて、道路橋示方書²⁾ により設計して比較する。ただし、日本における単純支持桁橋の設計では、主桁荷重の算定は通常格子桁によって荷重分配を行うが、ここでは単純に1-0法によって算定する。

また、**LRFD**では当然ながら荷重や断面力は最終的に係数倍されて安全照査されることになるが、ここでは道路橋示方書（許容応力度設計法）との比較であるので、これらの係数倍される前の数値で比較する。

2. 設計基準について

我が国の道路橋示方書は、現在まだ許容応力度設計法によっている。一方、アメリカのAASHTOの設計基準は2種類から成り、Standard³⁾ (Allowable Stress Design、Load Factor Design) および LRFD (Limit States Design) がある。Limit

States Design (限界状態設計) の特徴は、荷重と抵抗の間に確率論を導入して安全性により統一性をもたせたことにある。アメリカの技術者も古い Standard から LRFD への転換がなかなか出来ないでいるが、現在設計基準は LRFD しか維持されていなく、Standard は廃止の方向にある。

荷重抵抗係数設計法（LRFD）は限界状態設計法であり、本橋の設計に当たっては、使用限界状態、強度限界状態および疲労限界状態によって設計されている。

各種設計法の論理性は論じられても良いが、よくどちらの設計法の方が経済的であるとか、設計法の違いで経済性が論じられることがあるが、その様なとらえ方は間違っている。設計結果から、設計法に違いはあっても荷重や使用材料が同じである限り、安全性の比較を行うことが出来る。それは安全性の比較であって、経済性の比較ではない。

本論文では同一設計条件の下で、日米の設計基準で設計した最終結果である主桁断面を比較する。日米では当然設計活荷重の取り方に相違があるが、実際の交通状況に大きな差はないと考えられ、ここで行う主桁断面の比較は安全性の比較として意味あることと考えられる。

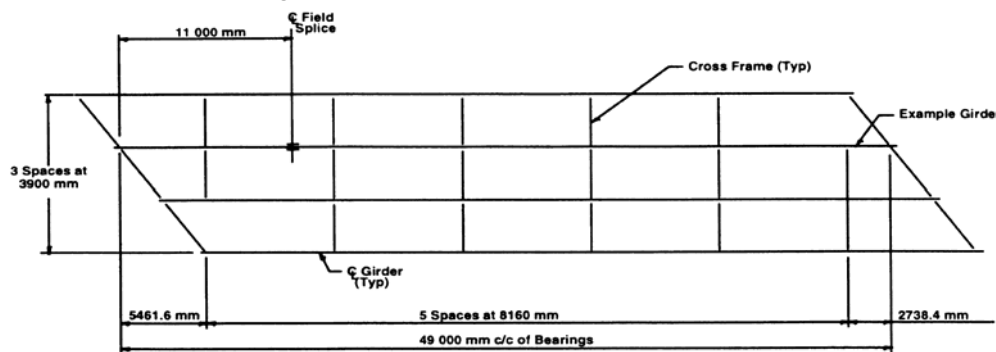


図-1 平面図 (支間=49m、4本主桁)

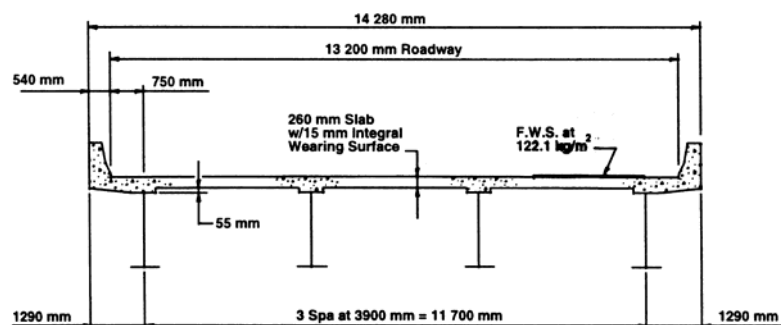


图-2 断面图 (幅員=14.28m)

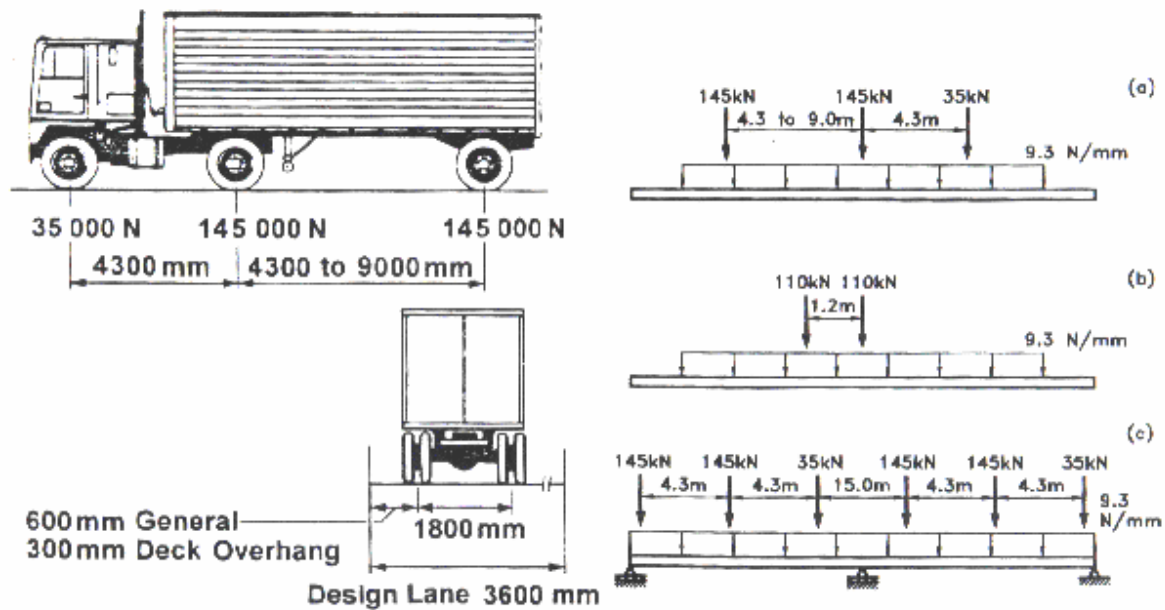


図-3 AASHTO LRFDの活荷重

(a)トラック荷重 (b)2軸荷重 (c)連行荷重

3. 設計例の概要

本論文では、文献⁴⁾に掲載されている設計例を取り上げる。図-1、2に平面図と断面図を示す。本橋は、図-1の平面図に示すように35度の斜角をもっているが、これを道路橋示方書では簡単のため直橋とみなして設計する。斜角の影響は比較的小さいと思われ、ここで導かれた結論には本質的な影響を与えないと考えられる。

この設計例に対して、道路橋示方書を適用して設計する場合、ここでは文献⁵⁾に掲載されている橋梁設計プログラムを用いて設計する。本プログラムによれば、単純合成桁橋の概略設計を行う場合、少ない入力に対話式に進めることが出来るようになっている。

4. 荷重の比較

4.1 死荷重の算定

アメリカの一般的な高欄はバリアーと呼ばれ、車の墜落防止壁の役割を負っているため、コンクリート製の重量の大きい構造物である。アメリカではこの高欄や舗装の死荷重は、通常各主桁全体で均等に受け持つとして設計するので外桁と中桁に負担の差が生じない。しかし、日本では一般的に外桁が受け持つとし、反力影響線を用いて算出するので、表-1に示すように、合成後死荷重は外桁の負担が中桁よりもかなり大きくなる。アメリカにおける高欄の荷重分配方法は、合理性に欠けている。

4.2 活荷重の算定

活荷重は、日本においても国際化に対応して平成6年よりトラック荷重を200 kNから250 kNに変更し、日米間の差が小さくなった。日本では、主桁の活荷重として、トラックを想定した部分等分布荷重 p_1 とその他の全体等分布荷重 p_2 荷重に分

かれる。本論文では、道路橋示方書のB荷重を用いて検討する。

アメリカの活荷重は図-3に示すように、トラック荷重、タンデム荷重および車線荷重の3つから成る。トラック荷重はトレーラー、タンデム荷重は特殊な軍用車を対象とした集中荷重である。一方、車線荷重はその他の一般的な自動車を対象とした等分布荷重であり、道路橋示方書の p_2 荷重と大差はない。

4.3 衝撃係数について

LRFDでは、衝撃係数は集中荷重にのみ適用し、車線荷重の等分布荷重には適用しない。衝撃係数を強度限界状態に対しては33%の一定値としており、道路橋示方書で考慮しているようなスパンの影響はないと考えている。道路橋示方書による本設計例の衝撃係数は0.202であり、本設計例はスパンが49mと長いことからかなりLRFDに比べて小さくなる。LRFDでは、疲労限界状態に対して、強度限界状態よりも小さい15%の衝撃係数を採用している。

5. 断面力の比較

5.1 死荷重モーメントの算定

先に見たように、死荷重は外桁と中桁とでは日米間に大きな考え方の差がある。表-1に示した死荷重を用いて断面力を計算すると、表-2に示すようになる。当然ながら、日本では外桁の死荷重モーメントが中桁に比べて大きい。

5.2 活荷重モーメントの算定

活荷重による断面力の比較を表-3に示す。これを見ると、LRFDよりも道路橋示方書の方が曲げモーメントは大きいことが分かる。日本の設計では、 p_1 、 p_2 荷重を用いて設計しているが、中桁の活荷重モーメントが外桁よりはかなり大きい。

表-1 主桁の死荷重強度

項 目		道路橋示方書		AASHTO LRFD (中桁)
		外桁	中桁	
合成前死荷重	床版 (kN/m)	21.999	24.843	23.866
	鋼桁自重 (kN/m)	5.424	5.424	5.424
	ハンチ他 (kN/m)	1.859	1.859	1.859
	合計 (kN/m)	29.282	32.126	31.149
合成後死荷重	舗装 (kN/m)	3.306	4.651	3.952
	高覧 (kN/m)	9.303	—	3.686
	合計 (kN/m)	12.609	4.651	7.638

表-2 死荷重による主桁の断面力
曲げモーメント (kN/m)

	道路橋示方書			AASHTO LRFD (中桁)
	外桁	中桁		
合成前死荷重	8788.260	9641.816	DC1	9348.594
合成後死荷重	3784.276	1395.881	DC2	1106.261
			DW	1186.094
			DC2+DW	2292.355

せん断力 (kN)

	道路橋示方書			AASHTO LRFD (中桁)
	外桁	中桁		
合成前死荷重	717.409	787.087	DC1	763.151
合成後死荷重	308.921	113.950	DC2	90.307
			DW	96.824
			DC2+DW	187.131

表-3 活荷重による主桁の断面力
曲げモーメント

道路橋示方書 (日本)			AASHTO LRFD (アメリカ)		
	外主桁	中主桁		外主桁	中主桁
P1×AP1 (kN・m)	3655.138	4931.806	LL+IM (kN・m)	7632.088	6299.498
P2×AP2 (kN・m)	3500	4709.595			
合計 (kN・m)	7155.138	9641.401			

せん断力

道路橋示方書 (日本)			AASHTO LRFD (アメリカ)		
	外主桁	中主桁		外主桁	中主桁
P1×AP1 (kN)	359.034	483.116	LL+IM (kN)	640.016	730.177
P2×AP2 (kN)	285.714	384.457			
合計 (kN)	644.748	867.573			

6. 断面の比較

LRFDによる設計と道路橋示方書による設計例の結果を、表－4に主桁の中央断面の比較で示す。これを見ると、両者の設計結果に大きな相違があることが分かり、LRFDの設計断面は道路橋示方書の設計断面よりはかなり小さい。主桁高さで見ると、道路橋示方書はスパン比で 1/18.8 であるのに対し、LRFDでは 1/27.6 とかなり低い。鋼材は両設計共に HT-500 クラスを用いている。

断面決定には床版の有効幅も関係するが、この点は道路橋示方書とLRFDで大差がなかった。

7. たわみの制限

道路橋示方書のたわみ制限は、支間の大きさによって許容値が分類されているが、LRFDでは一律 $L/800$ と規定されている。スパンが短い場合（スパン ≤ 10 m）、道路橋示方書の $L/2000$ よりもかなり緩い規定であるが、スパンが大きくなる（スパン > 40 m）と道路橋示方書の $L/500$ より厳しくなる。ただ、LRFDのたわみ制限では荷重を、(1)トラック荷重のみ、あるいは(2)トラック荷重の 25%と車線荷重の組み合わせ、のいずれか大きい方を考えればよいとしているので、道路橋示方書よりは荷重が小さい。また、このときLRFDでは衝撃荷重を考慮する。

本設計例では、道路橋示方書の場合たわみが $36\text{cm} < \text{制限値 } 98\text{cm}$ であるのに対し、LRFDではたわみが $32\text{cm} < \text{制限値 } 61\text{cm}$ となる。

8. 対傾構の間隔

アメリカでは対傾構の間隔を従来 7.6m以下としていたが、LRFDでは合理的な理由があればこの制限値以上であってもよいとしている。一方、道路橋示方書では対傾構の間隔は6m以下にとりとしている

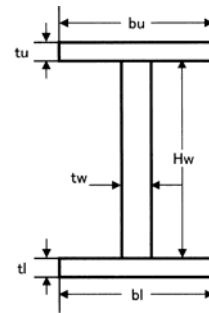
9. あとがき

ここでは、日米の鋼道路橋の設計基準の相違を、設計例に基づいて検討した。その結果、アメリカの設計は日本の設計に比べ主桁断面がかなり小さいことが判明した。したがって、主桁高さや剛性もLRFDの設計結果は小さく、道路橋示方書の基準には適合しない。この差がかなり大きいので、今後より詳細にその原因を分析していく必要がある。

また、たわみの制限、衝撃係数、対傾構の間隔等の設計の詳細においても考え方に様々な違いがあり、興味深い点が多い。

表－4 主桁断面の比較

項目	道路橋示方書	AASHTO LRFD
使用部材	SM490Y	SM490Y相当
Hw (mm)	2600	1775
tw (mm)	14	14
tu (mm)	28	28
bu (mm)	490	575
tl (mm)	50	50
bl (mm)	690	575



謝辞

本論文では、北海学園大学工学部社会環境工学科（旧土木工学科）の卒研生であった伊藤寛造君および庄司覚紀君の計算結果を一部用いたので、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) AASHTO : LRFD Bridge Design Specifications, 1994.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、平成 14 年 3 月。
- 3) AASHTO : Standard Specifications for Highway Bridges, 1992.
- 4) American Iron and Steel Institute; Four LRFD Design Examples of Steel Highway Bridges SI units Vol. II, Chap. 1A Highway Structures Design Handbook, May 1996.
- 5) 中井 博、当麻庄司、丹羽量久：対話形式による橋梁設計シミュレーション、共立出版、2005。