

# 鋼道路橋の鋼重データに基づく 構造的特徴の分析

当麻庄司<sup>1</sup>・鈴木巧<sup>2</sup>・黒田保博<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー Ph. D. 北海学園大学教授 工学部土木工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南26西11)

<sup>2</sup>正会員 工修 ドービー建設工業(株) 設計部 (〒060-0001 札幌市中央区北1西6安田火災ビル7F)

<sup>3</sup>学生会員 大学院修士課程 北海学園大学工学研究科 (〒064-0926 札幌市中央区南26西11)

鋼橋の鋼重は単位道路面積当たりで表され、その橋の構造的特徴を反映するものである。本論文は過去に建設された橋の鋼重データを集めてデータベースを構築し、様々な角度から分析を行う。まず橋種別の比較を行って構造形式の特徴を論じ、また年度別の比較から設計基準や設計概念の変化をみる。最近提唱されている合理桁橋や平成6年度の活荷重改訂の影響についても鋼重の面から検討する。そしてこれらの比較を簡単に行う手法として偏差値の導入を提案する。本論文の分析結果は橋梁技術者にとって計画時における貴重な資料となるものである。

**Key Words :** *steel structure, steel bridges, bridge design, steel weight, statistical analysis*

## 1. まえがき

橋梁は、地盤、交通量、地形等を考慮して経済的かつ周囲の景観に適合した形式を選択して建設するため、それぞれの設計条件は異なりまったく同一の橋は存在しない。それぞれの橋は、構造形式、支持形式、支間、幅員、主桁間隔、歩道の有無、使用鋼材の種類等々の構造的特徴をもっている。また、同一の条件で設計したとしてもそこには設計者の意図がある程度導入され、まったく同じものとはなり得ない。このような設計に係わる様々な要件を包含した結果として橋は建設される。そして、その結果を総合的に表す一つの指標として鋼重が挙げられる。鋼橋の鋼重は通常路面の単位面積当たりに換算した値で表現され、それを比較することにより構造的特徴を評価することができる。同じような橋でも単純な構造の橋は比較的鋼重も小さく、複雑な橋は鋼重も大きい。設計者は常に自らの設計結果をその橋特有の条件を考慮しながら他の設計と比較して設計の妥当性を自己評価することが求められるが、鋼重はそのような目的でよく用いられている。鋼重は経済性に密接に結びついており、設計者にとっては大きな関心事である。

また、鋼重に関する正確な情報は死荷重として設計に先立ち不可欠なものである。その目的のためには多くの文献<sup>1)</sup>があるが、そこでは大まかな鋼重推定曲線を与えているのみで詳細な鋼重分布は報告されていない。ま

たこれまで鋼重に関して系統立てて調査した論文も見当たらない。そこで、本論文では各種の鋼重データを幅広く統計的に整理して設計者に提供すると共に、鋼重からその橋の構造的特徴を分析する手法を示す。まず最初に、これまで建設された鋼橋の鋼重データを集積し、橋種別にデータベースを構築した結果について述べる。それを用いて各構造形式について統計的な比較を行い、各形式の特徴を論じる。次に、この鋼重データベースに基づき個々の橋の鋼重評価に偏差値を用いて簡単に表す方法を2主桁橋等の具体例を示して提案する。設計者はその偏差値で設計結果をより具体的に評価することができる。最後に、平成6年に改訂された道路橋示方書の新荷重によりどの程度鋼重変化が現れるのかを分析する。

## 2. 鋼重データベース

### (1) 鋼重データベースの構築

鋼重データベースは、昭和53年から平成5年(完成年度)までの16年間に建設された鋼道路橋から集積した。入力件数の総数は8471橋になり、それらの橋種および年度別内訳を表-1に示す。これらの鋼重データは「橋梁年鑑」(日本橋梁建設協会)<sup>2)</sup>に掲載されている資料からとったもので、鋼道路橋としての1次部材、2次部材、連結用ボルトおよび省等の全ての鋼材を含んでいる。データはパソコン用ソフト EXCEL (マイクロソ

表-1 入力件数

橋種	完成年度(昭和)										完成年度(平成)					合計	
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	元年	2	3	4		5
単純鋼桁橋	35	33	22	25	31	34	30	39	28	41	70	49	33	38	39	30	577
〃(鋼床版)	6	2	5	4	6	9	6	8	10	12	12	10	14	6	4	8	122
単純合成鋼桁橋	266	216	202	174	135	109	121	126	97	100	114	92	75	86	69	61	2043
単純箱桁橋	30	29	34	24	24	12	29	33	24	36	41	36	35	40	32	44	503
〃(鋼床版)	15	12	6	6	4	7	6	10	16	5	16	14	14	21	20	28	200
単純合成箱桁橋	42	36	18	23	9	13	10	13	12	17	21	18	11	8	6	10	267
連続鋼桁橋	155	146	95	109	112	118	140	139	139	168	187	172	178	180	147	150	2335
〃(鋼床版)	0	4	4	0	0	5	6	6	6	1	4	5	6	5	0	2	54
連続箱桁橋	48	44	45	49	50	38	50	46	68	62	65	55	72	104	85	66	947
〃(鋼床版)	9	18	19	16	11	16	19	24	23	17	25	20	23	27	28	42	337
単純トラス橋	16	26	15	7	11	16	11	14	9	15	15	10	17	8	10	11	211
連続トラス橋	10	13	9	10	0	6	12	8	6	12	7	6	13	5	6	2	125
ランガ橋	19	12	8	12	7	10	7	12	4	5	3	7	5	4	8	11	134
トラスランガ橋	2	9	4	5	2	2	0	3	2	1	5	2	4	1	4	1	47
ローゼ橋	11	12	12	10	9	11	11	8	19	7	8	11	13	17	17	7	183
ニールセン橋	2	0	0	0	1	4	4	2	4	3	4	5	5	7	5	7	53
ラーメン橋	17	12	5	15	3	9	8	10	11	12	17	15	10	9	14	18	185
〃(元型)	3	6	4	6	4	4	4	5	2	5	6	6	7	6	8	7	83
アーチ橋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4	3	4	2	15
斜張橋(鋼床版)	0	0	2	2	0	2	1	5	4	—	—	2	4	5	5	6	48
合計	686	630	509	497	419	425	475	511	484	524	622	539	544	580	511	513	8469

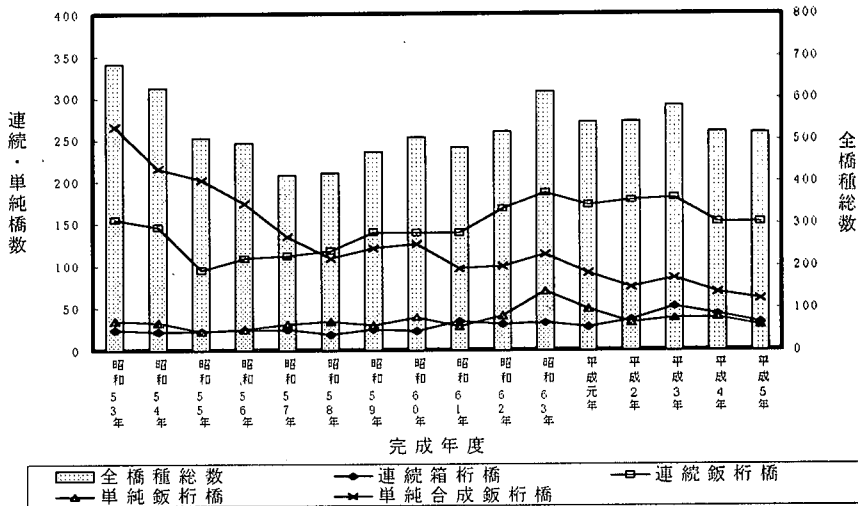


図-1 橋種別施工数による比較

フト社)を用いて整理した。入力した橋梁は、同資料に掲載されている以下のような条件に制約されている。

(1) 鋼道路橋, (2) 有効幅員4m以上, (3) 支間30m以上

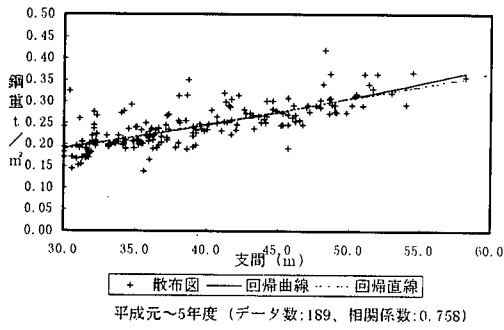
入力項目は、橋種、支間、車道および歩道幅員、使用鋼種、完成年度である。鋼重はこれらの入力データから道路面の単位面積当たりとして算出している。その場合、車道と歩道の路面積は同等に扱った。

表-1の各入力件数は各種橋梁の施工実績でもあり、そこから橋種別の施工傾向が分析できる。同じ入力件数を図-1にグラフで示す。施工総数で見ると昭和53年の約690橋から昭和57年の約420橋までは減少傾向にあったが、それ以降は毎年約500橋余とあまり大きな変化は見られない。単純合成鋼桁橋に注目すると年々減少しているのがわかる。特に昭和58年を境に連続鋼桁橋の方が多く施工されるようになり、単純合成鋼桁橋の減少とは対照的であるのがわかる。単純合成鋼桁橋の減少

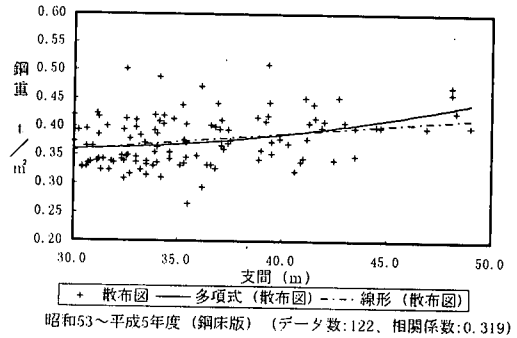
の背景には、経済設計の名のもとにできるだけ軽い橋を作った過去への反省があるように思われる。当時の単純合成鋼桁橋は床版厚も薄く設計されており、そのため床版の損傷が多く発生した。その補修によるコストが増えライフコストで考えた場合不経済となることにより、単純合成鋼桁橋は敬遠されるようになってきたと推測される。また、連続鋼桁橋の増加傾向は最近多くなってきた伸縮継ぎ手の損傷を避けたいためでもあると思われる。

## (2) 鋼重分布

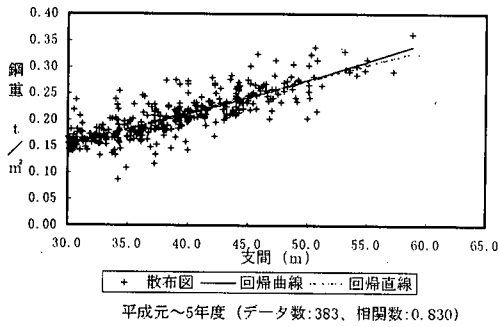
鋼重分布の代表的なものを橋種別にまとめて図-2~4に示す。図-2は単純桁橋、図-3は連続桁橋そして図-4はその他の骨組橋である。桁橋についてはRC床版橋と鋼床版橋とを区別したが、ここでは特に記述において断らない限りRC床版の場合を意味するものとする。各分布図の中には、平均値を表す1次と2次の回帰曲線も示している。これらの回帰曲線は最小2乗法により



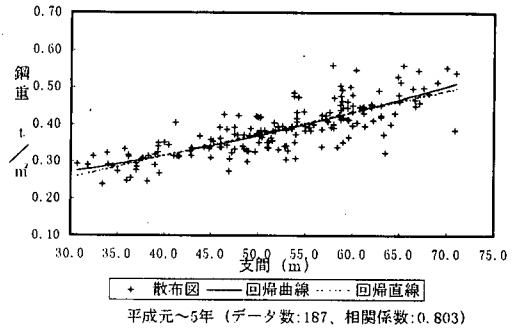
(a) 単純鉄桁橋



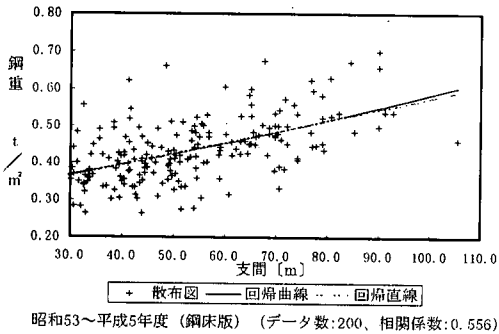
(b) 単純鉄桁橋 (鋼床版)



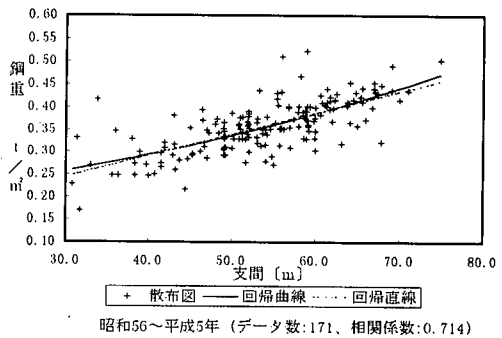
(c) 単純合成鉄桁橋



(d) 単純箱桁橋

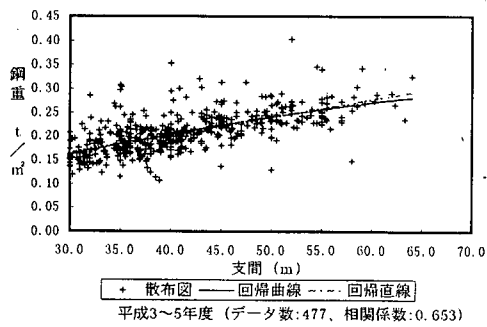


(e) 単純箱桁橋 (鋼床版)

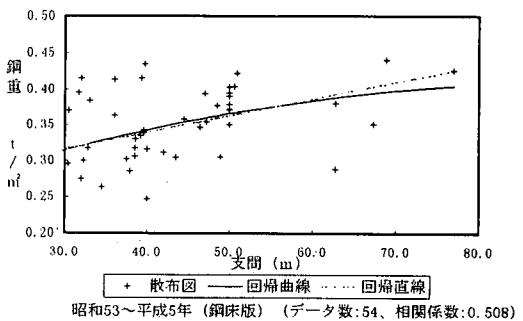


(f) 単純合成箱桁橋

図-2 単純桁橋の鋼重分布



(a) 連続鉄桁橋



(b) 連続鉄桁橋 (鋼床版)

図-3 連続桁橋の鋼重分布

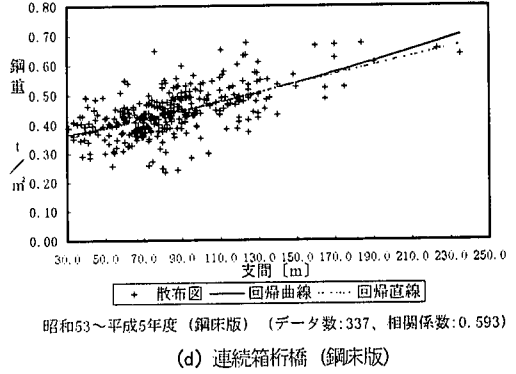
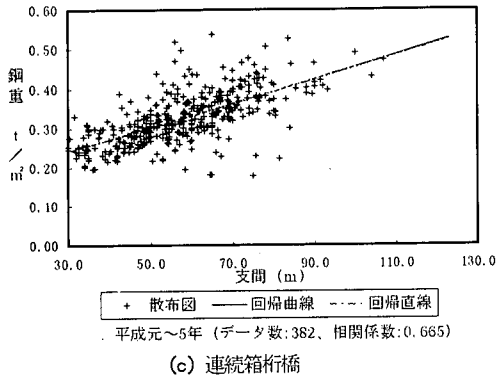


図-3 連続桁橋の鋼重分布 (続き)

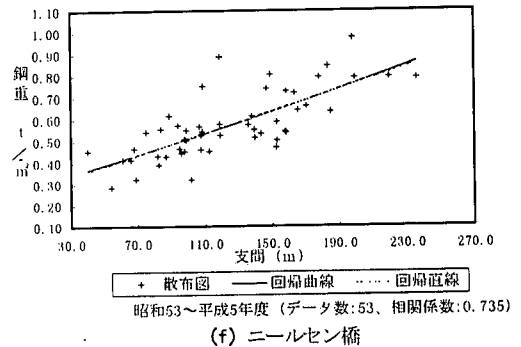
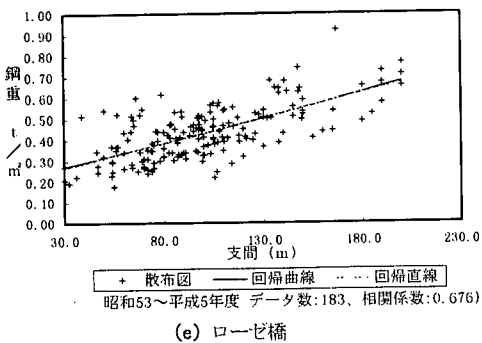
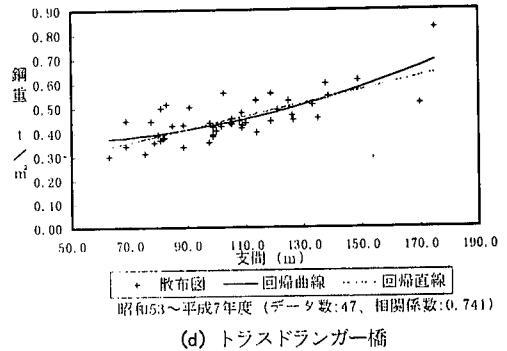
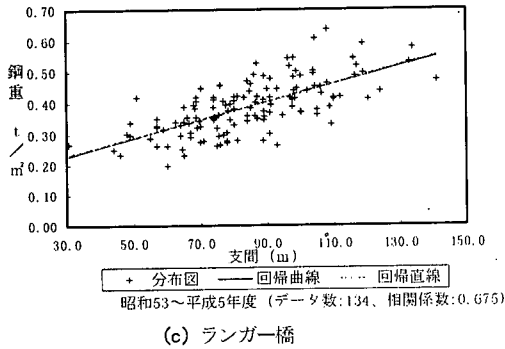
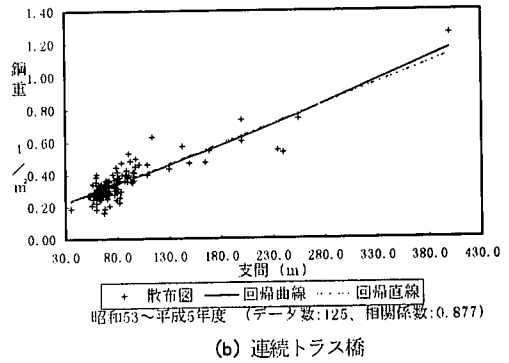
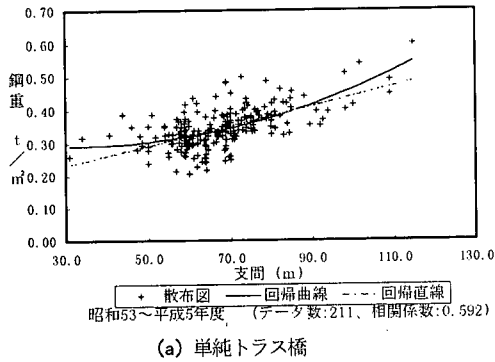


図-4 骨組橋の鋼重分布

表-2 鋼重の回帰曲線式

橋種	a		標準偏差 (1)	β		γ	標準偏差 (2)	年度	データ数	相関係数	図番
	( $\cdot 10^{-2}$ )	b		( $10^{-4}$ )	( $10^{-2}$ )						
単純版桁橋	0.5866	0.0124	0.0325	0.4621	0.2075	0.0881	0.0324	平元-5	189	0.758	図-2(a)
”(鋼床版)	0.2882	0.2726	0.0439	1.7756	-0.9805	0.4945	0.0430	昭53-平5	122	0.319	図-2(b)
単純合成版桁橋	0.6084	-0.0306	0.0249	0.3824	0.2985	0.0307	0.0249	平元-5	383	0.830	図-2(c)
単純箱桁橋	0.5917	0.0778	0.0410	0.4350	0.1488	0.1866	0.0409	平元-5	187	0.803	図-2(d)
”(鋼床版)	0.3019	0.2738	0.0709	0.0616	0.2303	0.2930	0.0709	昭53-平5	200	0.556	図-2(e)
単純合成箱桁橋	0.4765	0.1007	0.0412	0.3329	0.1290	0.1887	0.0411	昭56-平5	171	0.714	図-2(f)
連続版桁橋	0.3729	0.0533	0.0331	-0.3092	0.6425	-0.0035	0.0330	平3-5	477	0.653	図-3(a)
”(鋼床版)	0.2329	0.2464	0.0484	-0.2413	0.4482	0.2022	0.0481	昭53-平5	54	0.508	図-3(b)
連続箱桁橋	0.3029	0.1510	0.0499	0.0099	0.2906	0.1546	0.0499	平元-5	382	0.665	図-3(c)
”(鋼床版)	0.1516	0.3110	0.0634	0.0213	0.1080	0.3307	0.0633	昭53-平5	337	0.593	図-3(d)
単純トラス橋	0.2993	0.1421	0.0504	0.3711	-0.2355	0.3284	0.0493	”	211	0.592	図-4(a)
連続トラス橋	0.2471	0.1435	0.0617	0.0093	0.2145	0.1627	0.0615	”	125	0.877	図-4(b)
ランガー橋	0.2907	0.1433	0.0632	-0.0135	0.3140	0.1338	0.0632	”	134	0.675	図-4(c)
トラスドラングー橋	0.2696	0.1700	0.0609	0.1693	-0.1173	0.3794	0.0592	”	47	0.741	図-4(d)
ローゼ橋	0.2372	0.1956	0.0942	0.0110	0.2128	0.2076	0.0941	”	183	0.676	図-4(e)
ニールセン橋	0.2372	0.1956	0.1019	0.0110	0.2128	0.2076	0.1018	”	53	0.735	図-4(f)
ラーメン橋	0.3972	0.0723	0.0816	0.3205	0.0651	0.1821	0.0804	”	185	0.599	図-4(g)
”(π型)	0.4982	0.0050	0.0555	0.2477	0.1528	0.1160	0.0544	”	83	0.813	図-4(h)
斜張橋(鋼床版)	0.2102	0.2944	0.2056	0.0407	-0.0014	0.4736	0.1937	”	48	0.784	図-4(i)
算定式 ( $t/m^2$ )	a L + b … (1)			$\alpha L^2 + \beta L + \gamma … (2)$						L = スパン (m)	

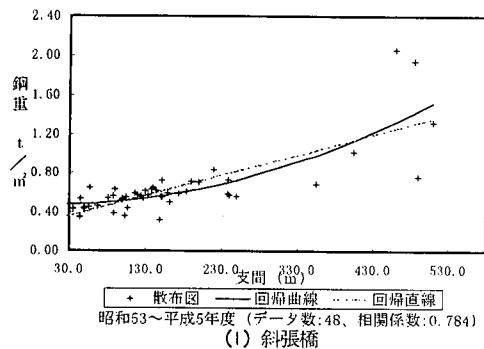
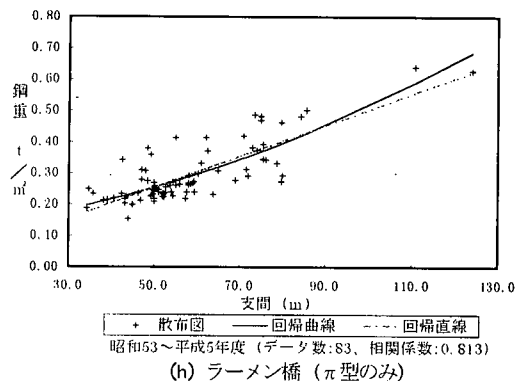
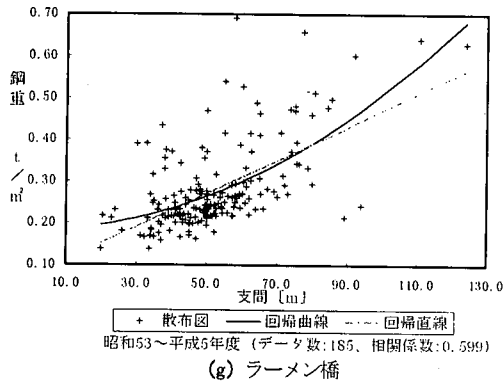


図-4 骨組橋の鋼重分布(続き)

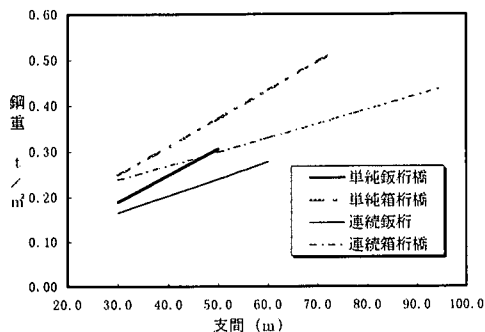
求めたが、それらの式に対する係数を表-2に示す。ここで、十分なデータ数が得られる形式については比較的新しいデータの方がより現在の傾向をよく捉えていると思われるので、新しい年度のデータを用いた。データの少ない形式に対しては十分なデータ数を得るために全期間のデータを用いた。ここで示した鋼重の回帰式は、このようにしてそれぞれ現在適用するのに最も信頼性の高いと思われるデータを選別して導いたものである。

連続橋はそのほとんどが3径間連続であるが、径間数で区別はせずまた支間として中央支間をとってプロッ

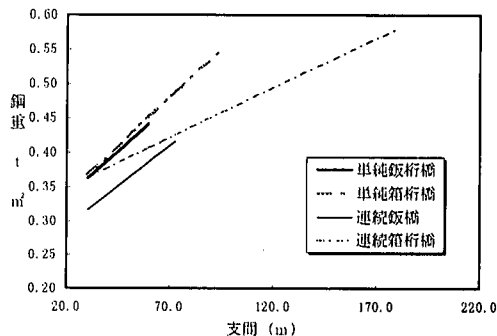
トした。また使用鋼種や橋の等級による区別はしなかった。ほとんどの橋は1等橋であるが中には若干の2等橋も混ざっている。以上のように細かい区別はとらずにまとめたが、ここでのデータはそれらのすべてを包含したものとなっている。各橋の構造的特徴はそれらの総合の中から相対的に評価されるものである。さらに詳しい各年度別の分布図は、昭和53年から昭和63年(完成年度)までに建設された道路橋を対象としてまとめた文献<sup>3)</sup>に与えられているので参照されたい。

### (3) 標準偏差および相関係数

表-2には各鋼重分布のデータ数、回帰式とそれに対する標準偏差として回帰直線との相関係数を示している。これを見ると、一般的にデータ数の多い桁橋の方が骨組橋よりも標準偏差が小さいことがわかる。また標準偏差はRC床版橋の方が鋼床版橋よりも小さい。そして相関係数はRC床版の方が鋼床版よりも高い。このことはRC床版の方が鋼床版よりも支間と鋼重の相関性が強いことを示している。ラーメン橋では門型やπ型等幾つかの形式があるが、それらをひとまとめにしたものとπ型のみでまとめたものとで示している。この2つを比較した場合、π型の標準偏差の方が小さい値を示している。



(a) RC床版



(b) 鋼床版

図-5 各種桁橋の比較

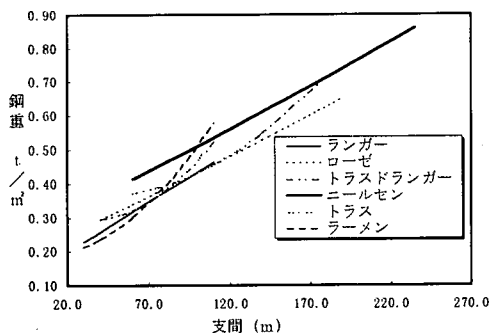


図-6 各種骨組橋の比較

## (2) 骨組橋の比較

骨組橋の場合、表-1 からわかるように総施工実積が桁橋に比べ約 1/6 と少ないため、それぞれ昭和 53 年から平成 5 年の全データをひとまとめにして比較する。各種骨組橋について、平均値を表す 2 次曲線の比較を図-6 に示す。同図に示す曲線の支間範囲は各橋種の施工された範囲である。これをみるとニールセン橋の支間範囲が比較的長く、鋼重は他橋より重い。トラスドランガー、トラス (単純支持) およびラーメン橋は支間が長いほど回帰曲線 (平均鋼重曲線) の傾きが急になり、鋼重が他橋に比べ重くなっている。それに対してニールセンおよびローゼ橋はほぼ直線に近い 2 次曲線である。これらの比較により設計者は与えられた支間長に対して最適な構造形式を選択することができる。これらの橋の実際の鋼重分布は図-4 に示されているので参照されたい。

これは対象となる橋種を狭めることで、鋼重分布の傾向がより明確になることを表している。

## 3. 橋種別比較

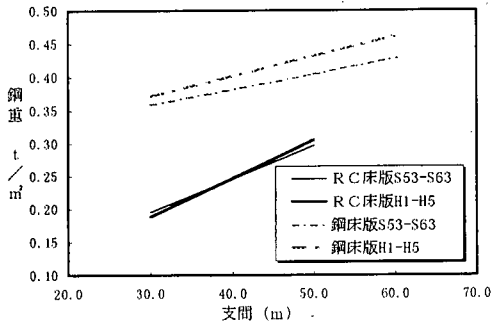
### (1) 桁橋の比較

ここでは前節で求めた鋼重の平均曲線を基に様々な分析を行うことにする。設計者はここで示した比較を構造形式の選定に当たった基礎資料として用いることができる。まず図-5 は各種桁橋について、鋼重平均値直線を床版種類別に比較したものである。図-2 および図-3 を見るとわかるとおり、桁橋の平均鋼重は 1 次と 2 次の曲線が非常に近いので、ここでは 1 次の直線を用いて比較することにする。これらの図の回帰直線はそれぞれの桁橋のデータにある最大支間までを引いており、これによりその桁橋の適用支間も比較することができる。

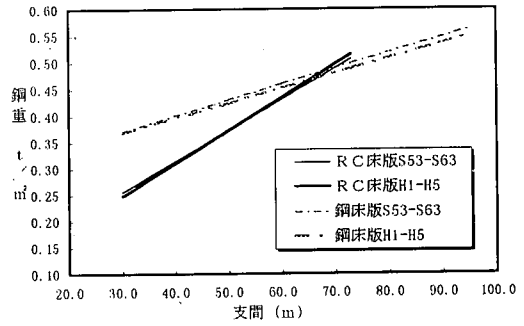
図-5 によると、適用支間では連続箱桁橋が両床版において他橋よりも大きく、鋼重では単純箱桁橋が最も大きく傾きも大きい。両床版において連続鉄桁橋の鋼重が最も小さいが、鋼床版 (図-5 (b)) では支間約 80m 付近で連続箱桁橋と鋼重がほぼ等しくなっている。単純鉄桁橋に注目すると、RC 床版では単純箱桁橋よりかなり軽くなっているが、鋼床版では単純箱桁橋に非常に近いことがわかる。

### (3) RC 床版橋と鋼床版橋の比較

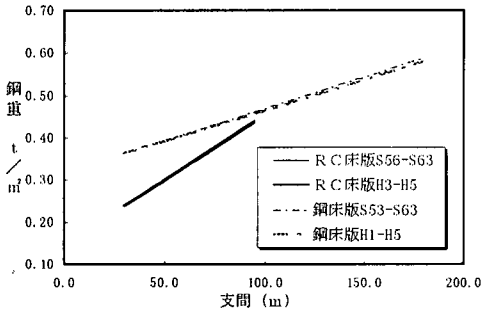
各種桁橋について、RC 床版と鋼床版の比較を図-7 に示すが、ここではさらに昭和期 (昭和 53~63 年) と平成期 (平成元~5 年) に分けて比較している。昭和期と平成期を比較すると単純鉄桁橋の鋼床版において平成期の方が重くなっているが、その他は特に差異は見られない。この年代間の鋼重変化についてはさらに詳しく次節で考察する。鋼床版橋は鋼床版の鋼重を含んでいるため当然 RC 床版橋よりも重くなるが、いずれも支間が大きくなるとその差が小さくなっている。すなわち鋼床版橋に比べ RC 床版橋の回帰直線 (平均鋼重曲線) は傾きが大きく、単純箱桁橋では支間約 65m、連続箱桁橋では支間約 100m で鋼重が逆転していることがわかる。このことは RC 床版橋ではスパンが伸びることによって RC 床版の重量が増大し、その負担のために鋼重が鋼床版橋より大きくなることを示している。図-7 は RC 床版と鋼床版の選択に当たった参考資料とすることができる。



(a) 単純鋼桁橋



(b) 単純箱桁橋



(c) 連続箱桁橋

図-7 RC床版と鋼床版の比較

#### 4. 単純合成鋼桁橋の年度別比較

鋼道路橋の設計荷重は、昭和 31 年の制定<sup>4)</sup>以来平成 6 年に改訂<sup>5)</sup>されるまで基本的に大きく変わっていない。しかし、設計の概念はその時の社会情勢を反映して微妙に変わってきている。鋼重を年度別に調査することによりその変化を把握することができる。ここではデータ数の多い単純合成鋼桁橋について、図-8 に昭和 53 年から平成 5 年(完成年度)のデータを回帰直線で年度別に比較して示す。これによると、昭和 53 年の鋼重はそれ以降と比べかなり小さいことがわかる。昭和 53~55 年のデータはここでは示していないが、ほぼ 53 年の値に近い<sup>3)</sup>。この頃までは昭和 40 年代の設計概念の名残で経済設計に重点が置かれていたものと思われる。

さらに詳しく見るため、支間 50m による各年度ごとの鋼重を棒グラフにして図-9 に示す。これをみると全体的に鋼重は増加の傾向にあるが、最後の 2 年間位は昭和 60 年代のレベルに戻っている。また、昭和 56、59 年および平成 2 年の値が大きくなっている。この内昭和 56 年の原因として、床版の設計基準が交通量の増大に対処して変更されたことが上げられる。年を増すごとに増大する交通量により床版の損傷が著しくなったので、建設省では昭和 53 年に道路局企画課長通達<sup>6)</sup>を出して床版を厚くするようにした。さらに、主桁は大型車両の車輪の軌跡にできるだけ近くなるように配置し、床版の支間を 3m 以下にする方向となった。このようなことが影響して昭和 56 年度(完成年度)の重量が大きくなったものと推測される。またその外の年度の鋼重変化に対する要因については、昭和 50 年代後半から発達してきたコンピュータによる自動設計あるいは標準設計<sup>7)</sup>の影響が関係しているのではないと思われる。なお、その外にデータ数の多かった単純非合成鋼桁橋については各年度ほとんど差がないので、ここではその比較は示さないことにする。また、その他の形式はデータ数が少なく年度別に分析するには至らなかった。

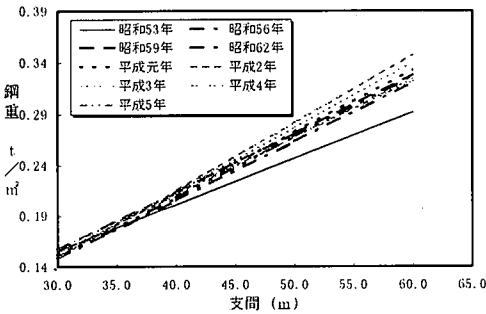


図-8 単純合成鋼桁橋の回帰直線による比較

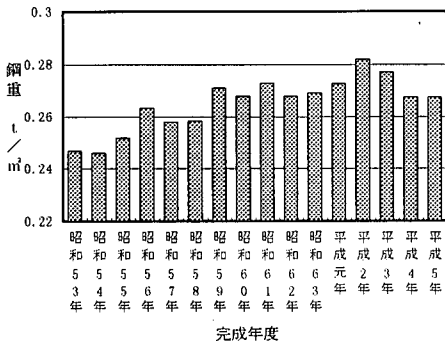


図-9 支間50mの鋼重比較

## 5. 鋼重の偏差値評価

### (1) 鋼重偏差値

設計者は自らの設計結果を図-2~4 で示した分布図の上に直接プロットして他との比較ができるが、ここではさらにその比較を容易にするために偏差値の概念を導入する。偏差値とは大学入試時の成績評価でよく知られているように、ある統計値がその分布状態の中でどのような位置を占めているかを簡単に表すことのできる指標である。すなわち、偏差値は分布状態が平均値 50、標準偏差 10 の正規分布とした時の位置を表し、次の式で求められる。

$$H = \frac{X - \bar{X}(L)}{\sigma} \times 10 + 50 \quad (1)$$

ここに、

$H$ : 偏差値,  $X$ : データ値 (鋼重値),  $\bar{X}(L)$ : 平均値

$\sigma$ : 標準偏差 (  $= \sqrt{\frac{\sum \{X - \bar{X}(L)\}^2}{n - 1}}$  )

$n$ : データ総数,  $L$ : 支間長

ここで、鋼重の平均値  $\bar{X}(L)$  は表-2 の回帰直線 (1 次式) あるいは回帰曲線式 (2 次式) で与えられる。この平均値に対する偏差の分布は調査の結果正規分布に非常に近いことが確認されている。ここではさらに偏差値分布を単純化するために、図-10 に示すように 5 段階のランク分けをする。このようにすると、各ランクの確率は A (あるいは E) が 7%, B (あるいは D) が 24% および C が 38% となる。

### (2) 鋼重偏差値による構造的特徴の分析

鋼重偏差値による評価の具体例として、既設の単純合成鋼桁橋および単純鋼桁橋のいくつかを「橋梁年鑑」<sup>2)</sup> から抽出して偏差値を算出し、その結果を表-3 に示す。鋼重偏差値を導くにあたり平均値として 1 次式および 2 次式の 2 種類を使用することができるが、ここでは 2 次曲線により平均値を求めた。

表-3 をみると、まず歩道の有無が一般的に鋼重偏差値に大きく影響していることがわかる。歩道がある橋は活荷重が小さくなり、橋の鋼重は軽くなって偏差値は下がる。また曲線橋や斜橋は直線橋や直橋に比べ重くなる傾向にある。新大橋は歩道があるにもかかわらず偏差値が大きいのは、曲線橋であることによる。芦原橋は斜橋ではあるが、歩道があることに加え桁高を変化させているため偏差値が非常に小さい。さらに、一般的に主桁間隔が狭くなるほど鋼重偏差値は高くなっている。乙女橋は 2 等橋であるため当然ながら低い偏差値となっている。サカマ沢橋は表-3 には明記されていないが設計条件と

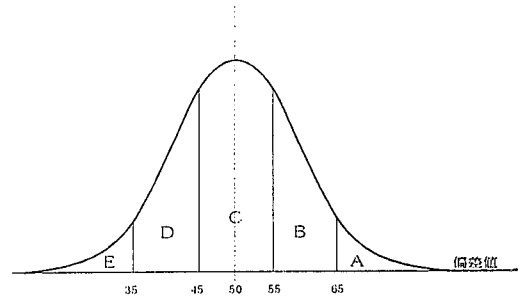


図-10 確率分布による 5 段階分け

して車道幅員が狭く (6m)、そのことが鋼重偏差値を高くしていると思われる。以上のように偏差値によりその橋の特徴をみる事ができるので、設計者は自らの設計結果を自己評価することができる。

### (3) 主桁橋の鋼重偏差値

#### a) 2 主合理桁橋

最近、鋼橋の製作と維持管理における省力化が叫ばれている。その設計概念に合わせて建設されたのがここで示す 2 主桁を採用したホロナイ川橋<sup>8)</sup> とキウス第 1 橋<sup>9)</sup> である。ホロナイ川橋は北海道縦貫自動車道の長万部 I.C から虻田 I.C 間に位置し、高速道路では日本初の本格的な省力化橋である。またホロナイ川橋と同様な構造形式をもつキウス第 1 橋が北海道横断自動車道に架かる橋として千歳市に建設されている。ここではこのような新しい設計概念によって設計された橋の鋼重比較を行う。これらの橋の設計条件を表-4 に示すが、いずれもわずかながら曲線橋となっている。

#### b) ホロナイ川橋

ホロナイ川橋は 2 径間連続鋼桁橋であるため、3 径間を主体とした連続鋼桁橋と単径間の単純鋼桁橋の鋼重データを用いて鋼重偏差値を求めるとし、その算定結果を表-5 に示す。ここで鋼重平均値を求めるとあたり 2 次式を用いた。同表には従来のように 4 主桁で設計した場合<sup>8)</sup> の偏差値も示している。4 主桁の通常設計の偏差値は既存の連続鋼桁橋との比較でほぼ平均値となっていることがわかる。

一方、2 主桁合理化橋では連続鋼桁橋に対して偏差値が 62.8 (ランク B) となり、単純鋼桁橋 (非合成橋) に対して 39.1 (ランク D) となっている。これをそれぞれの鋼重分布図にプロットすると図-11 のようになる。以上のことから、この 2 主桁橋が通常の連続鋼桁橋よりかなり重く、しかし単純鋼桁橋と比較するとかなり軽くなる。その原因として、ホロナイ川橋は平成 6 年に制定された新活荷重 (B 荷重) を用いて設計されていること及び各ブロックでは断面変化をしていないこと等が考えられる。また連続鋼桁橋のデータベースは 3 径



表-3 鋼重偏差値の具体例

(a) 単純鋼桁橋

橋名	使用鋼重データベース 平成3年～平成5年		構造的特徴				備考
	鋼重偏差値	ランク	主桁間隔(m)	床版厚(mm)	桁高(m)	歩道	
芦原橋	38.3	D	2.70	不明	2.24～2.60	両側	斜橋
乙女橋	44.5	D	2.50	170	2.00	無し	2等橋
滝波新橋	49.2	C	2.10	200	2.20	片側	
静原橋	63.0	B	2.15	180	1.20	無し	斜橋
新大橋	67.3	A	2.50	200	2.30	片側	曲線橋

(b) 単純合成鋼桁橋

橋名	使用鋼重データベース 平成3年～平成5年		構造的特徴				備考
	鋼重偏差値	ランク	主桁間隔(m)	床版厚(mm)	桁高(m)	歩道	
平和橋	37.8	D	3.10	210	1.80	両側	
二三成橋	43.4	D	2.90	240	1.70	両側	
大宝大橋	49.1	C	2.85	210	2.10	無し	
親宮下橋	56.0	B	2.70	230	2.30	無し	斜橋
サカマ沢橋	64.3	B	2.20	180	1.85	無し	

表-4 2主桁橋の設計条件

橋名	ホロナイ川橋	キウス第1橋
橋長	107m	86m
道路規格	第一種第3級B規格	第一種第2級B規格
荷重	B活荷重	B荷重
形式	鋼2径間連続2主桁橋(非合成)	
支間	53.000m+53.000m	42.500m+42.500m
有効幅員	10.000m	9.250m
平面線形	R=1000m	R=5200m
本体鋼重	313.0t	168.6t
鋼重	0.293 t/m <sup>2</sup>	0.212 t/m <sup>2</sup>
床版間	PC床版 t=31cm	PC床版 t=30cm
主桁間隔	6.0m	5.5m
適用示方書	設計要領第二集(平成2年7月) 道路橋示方書・同解説(平成6年2月)	

表-5 2主桁橋の鋼重偏差値

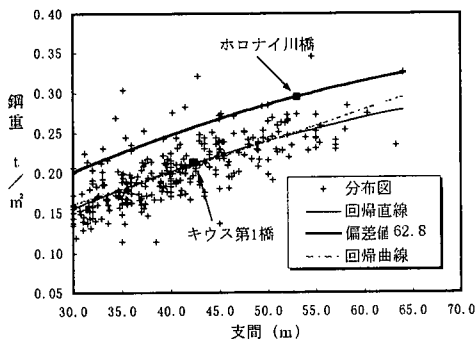
設計種別	橋名		キウス第1橋		
	ホロナイ川橋	連続桁橋	単純桁橋	連続桁橋	単純桁橋
4主桁通常	50.9	30.0	52.5	38.5	
4主桁合理化	—	—	74.0	60.1	
2主桁通常	45.6	21.5	—	—	
2主桁合理化	62.8	39.1	56.5	42.5	
2主桁合理化(LPフランジ)	—	—	49.5	35.5	

間連続を主体としているが、ホロナイ川橋の場合2径間連続でありこの点からも多少鋼重の偏差値が大きくなっている。ホロナイ川橋はもともと設計概念として、鋼重の削減よりも構成材片数と溶接長を減らすことにより合理化を図ろうとしたものであり、その点から妥当な結果であると言える。図-11(a)にはホロナイ川橋の鋼重偏差値62.8に対応する曲線を示した。この曲線や先述の偏差値から、ホロナイ川橋と同様な設計概念をもつ2主桁橋の場合の鋼重を予測することができる。

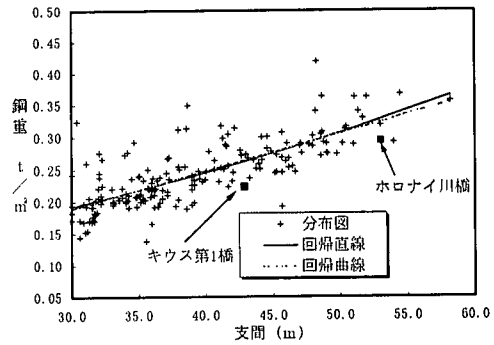
c) キウス第1橋

同橋の設計条件は表-4に示すが、特徴としてはフランジにLP鋼板を用いたことと全断面溶接構造であることが挙げられる。LP鋼板は板厚方向に両面からテーパがついた台形をしており、曲げモーメントの変化に対応できるようになっている。現場溶接と併せていずれも鋼重削減の要因となる。

種々の比較設計に対する鋼重偏差値の算定結果を表-5に示し、また図-11にキウス第1橋の鋼重偏差値をプロットしている。これを見るとホロナイ川橋に比べ先に

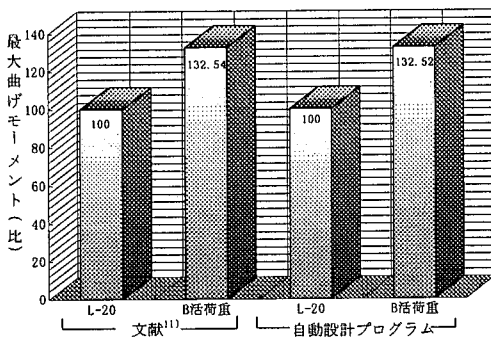


(a) 連続成鋼桁橋の分布図 (平成4~5年)

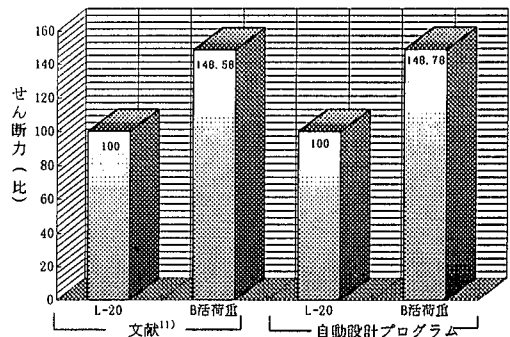


(b) 単純成鋼桁橋の分布図 (平成元~5年)

図-11 ホロナイ川橋の鋼重比較



(a) 最大曲げモーメント



(b) 最大せん断力

図-12 L荷重による断面力比較

表-6 比較設計の設計条件

示方書	改訂前	改訂後
支間長	30.000m	
幅員	8.000m	
桁長	30.400m	
橋長	30.600m	
地覆幅	0.600m	
地覆高	0.500m	
主桁数	4本	
主桁間隔	2.400m	
対傾構数	5本	
対傾構間隔	5.000m	
床版厚	21cm	
アスファルト厚	5cm	
活荷重	TL-20	B活荷重

述べた鋼重削減の要因からかなり偏差値が小さくなっているのがわかる。また4主桁設計では通常設計でほぼ連続桁橋の平均に近く、合理化設計ではかなり重い。

## 6. 道路橋示方書改訂に伴う鋼重変化の偏差値評価

### (1) 新旧示方書による比較設計

本論文での鋼重データベースは平成5年以前に完成し

た橋からなっているため、すべて設計は旧荷重に従っている。ここでは活荷重の見直しを行った平成6年2月の道路橋示方書<sup>9)</sup>とそれ以前の示方書をもとに比較設計し、鋼重を算出するとともに鋼重偏差値を用いて評価する。そして、既存の橋梁と比較することから示方書改訂後の鋼重を分析し、今後の橋梁設計の資料に供するものとする。

表-6に比較設計のための設計条件を示す。この同一設計条件をもとにして、新旧の設計示方書に従い自動設計プログラム<sup>10)</sup>を用いて設計を行う。橋梁形式は単純合成鋼桁橋を採用したが、これは既存の鋼重データと比較するためにはデータ数が十分にあることが望ましく、また単純橋の方が設計しやすいために選んだ。また、活荷重としては最も一般的な橋梁を設計するため、改訂前はTL-20、改訂後はB活荷重で行った。求められた主桁中央断面より鋼重を算出し比較する。床版厚はT-20よりはB活荷重の方が厚くなることが予想されるが、ここでは比較をわかりやすくするため同厚として設計した。

### (2) 断面力比較

図-12にはL荷重による最大曲げモーメントと最大

表-7 鋼重係数 (合成桁の標準設計)

	$\alpha_{o,i}$	$\beta_{o,i}$	$\alpha_{o,i} \times \beta_{o,i}$	$\gamma$
外 桁	0.830	1.209	1.003	1.184
中 桁	0.851	1.214	1.033	

1. 桁1本の重量  $W'_{o,i} = \alpha_{o,i} \omega A_{o,i} L$   
(補剛材、現場継手、スタッドを除く。)
2. 桁1本の重量  $W_{o,i} = \beta_{o,i} W'_{o,i}$   
(補剛材、現場継手、スタッドを含む。)
3. 橋全体の重量  $W = \gamma (2W_o + 2W_i)$  : 4本主桁の場合

$\omega = 7.85 \text{ t/m}^2$ ,  $A_{o,i}$  = 桁の中央断面積,  $L$  = 桁長  
o = 外桁, i = 中桁

示方書	改訂前(TL-20)	改訂後(B活荷重)	比
外桁中央断面図 (鋼桁)			B活荷重 TL-20
断面積	319.0cm <sup>2</sup> (330.2cm <sup>2</sup> )	342.3cm <sup>2</sup> (351.6cm <sup>2</sup> )	1.07 (1.05)
合成桁の断面2 次モーメント	4.0138E+6cm <sup>4</sup> (4.5510E+6cm <sup>4</sup> )	4.4104E+6cm <sup>4</sup> (4.9850E+6cm <sup>4</sup> )	1.10 (1.10)

注( )は中桁を示す。

図-13 中央断面寸法

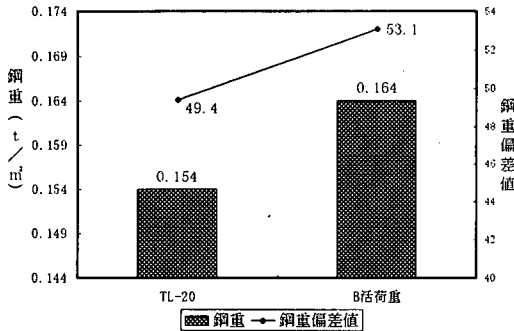


図-14 鋼重比較

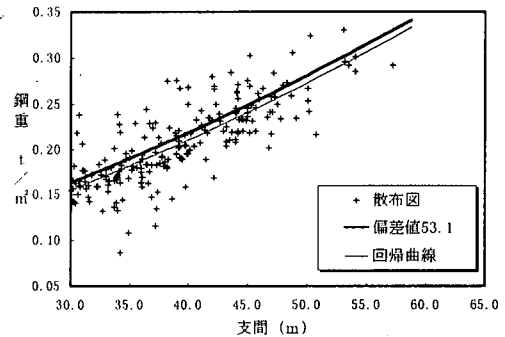


図-15 示方書改訂後の鋼重予測

せん断力の比較を示す。ここでは旧荷重 (L-20) による断面力を 100 として新荷重 (B 荷重) の断面力に対する比を示している。同図では自動設計プログラム<sup>10)</sup> の検証を兼ねて文献<sup>11)</sup> で求められている値との比較を行っているが、両者はよく一致していることがわかる。同図によると、B 活荷重は L-20 の曲げモーメントで約 1.3 倍、せん断力で約 1.5 倍に増加している。L 荷重は主桁の断面決定における支配的要因となっており T 荷重よりも鋼重に与える影響は大きいので、ここでは L 荷重による断面力の比較のみを示した。

### (3) 鋼重比較

これらの算出した断面力を基に求めた中央断面の比較を図-13 に示す。これを見ると上フランジにはほとんど差が見られないが下フランジの断面積が増加しているのがわかる。上フランジは合成桁であるため床版が上フランジと一体に挙動し、多少の L 荷重増加でも断面を増加させずに済んだものである。また図-13 には各中央断面の面積および断面 2 次モーメントも示しているが、これによると B 活荷重の断面積は TL-20 の 1.07 倍、断面 2 次モーメントでは 1.10 倍と大きくなっている。先に述べた活荷重モーメントの比較では 1.3 倍になっていたが、死荷重を含めると約 10% の断面 2 次モーメントの増加で済むことになる。

次にこの中央断面から鋼重を算出する。このときの

鋼重の算出は、「土木構造物標準設計」<sup>7)</sup> に示されている中央断面と鋼重のデータから鋼重係数を求めて行った。その鋼重係数の値は以前著者らによって求められており、その結果を表-7 に示す<sup>12)</sup>。この方法では、まず桁中央断面から付属物を含めない桁一本の重量を求め、次にそれに桁の付属物を含めるための係数を乗じ、最後に桁本数と 2 次部材を含むための係数を乗じて橋全体の鋼重を求める。この手法により、標準的な橋に対して主桁中央断面から橋全体の重量を簡明に求めることができる。図-14 に算定結果の鋼重を示すが、これによると TL-20 が 0.154 (t/m<sup>2</sup>)、B 活荷重が 0.164 (t/m<sup>2</sup>) となってその比は 1.06 倍となり、当然ながら中央断面積による比とほぼ等しい。また、同図には鋼重偏差値も示しているが、ここでは平成 3 年から平成 5 年までの単純合成鋼桁橋の鋼重データを用いた。TL-20 では偏差値 49.4 とほぼ既存の橋梁の中で平均的な鋼重となっている。ここでは標準的な設計を行ったので、ほぼ平均値を示したことはこの試設計が妥当であることを意味している。一方、B 活荷重は偏差値 53.1 と増加している。このことは、活荷重体系の変更を行った示方書改訂により偏差値 50 の橋が偏差値 53 へと若干安全性を増した橋に変わったことを示している。

新旧活荷重に同様な鋼重比較が文献<sup>13)</sup> で行われているが、それによると単純合成鋼桁橋で 1.04 倍、単純非合成鋼桁橋で 1.09 倍となっておりほぼ本論文の結果に

等しい

#### (4) 示方書改訂後の鋼重

図-15には平成3年から平成5年までの単純合成鋼桁橋の鋼重分布およびその回帰曲線を示すと同時に、先に求めた偏差値53.1の曲線も示している。これにより示方書改訂による単純合成鋼桁橋の各スパンに対する鋼重が予測できる。しかし、今後、合理化を目的に主桁の断面変化をしない橋梁が増えれば、この予測よりもさらに鋼重を増加する必要がある。そのときには前節で示した2主桁橋の偏差値が参考になるとと思われる。

他の形式の橋梁についてはここでは比較しなかったが、鋼重は断面力と密接な関係があり、他の形式についてもほぼ同様な結果が得られるものと推測される。

## 7. 結語

鋼重は橋梁の設計者にとって大きな関心事である。それは、総鋼重は橋の規模を表す一つの指標ともなり、道路面積当たりの鋼重はその橋の構造的特徴を表す指標ともなるからである。本論文では道路面積当たりの鋼重のデータをまとめ様々な角度から分析を行った。まず橋梁形式毎にデータを整理して平均値および標準偏差を求め、設計者が他の同種類の橋梁と比較できるようにした。そのとき、偏差値の概念を用いて簡単に評価する方法を提案した。次に、各構造形式間での鋼重比較を行い、橋梁計画に当たっての基礎資料を提供した。特に最近の傾向である2主合理桁橋について詳しく分析を行った。また、データ数の多い桁橋では年度毎の比較を行い、時の経過に伴う設計概念の変化を分析した。最後に平成6年に改訂された新活荷重でどのように鋼重に変化が現れるのかを予測した。これらの検討結果は橋梁の設計実務者にとって有用な資料となるものである。

謝辞：本論文で用いた鋼重データベースは、高野真司

(昭和63年度)、小野塚豊昭(平成元年度)、細川真吾(平成3年度)および菅原寛(平成7年度)の諸君らの卒業研究によってまとめられたものを基礎にして見直しを行いまとめた。また、新示方書に対する自動設計プログラムの修正は中西哲也、広木亜央(平成7年度)および平記好(平成8年度)の諸君の卒業研究でまとめられた。これら多くの助力に対して深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 例えば、日本橋梁建設協会：'97 デザインデータブック、1997.3.
- 2) 日本橋梁建設協会：橋梁年鑑、1980~1995(発行年).
- 3) 当麻庄司、本多祐也：鋼道路橋の鋼重データベース、橋梁、pp.55-67、1993.8.
- 4) 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書、1956.5.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、I~IV編、1994.2.
- 6) 道路橋鉄筋コンクリート床版の設計・施工について、道路局企画課長通達、1978.4.13.
- 7) 全日本建設技術協会：土木構造物標準設計23、26、1979.3.
- 8) 高橋昭一、橋吉宏、志村勉、小西哲司：PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の設計および解析・試験検討、橋梁と基礎、96-2、1996.
- 9) 宮内博英、林芳文、塚島朗、高橋昭一、川尻克利：PC床版2主桁橋「キウス第1橋」の設計、土木学会第52回年次学術講演会概要集第1部(A)、pp.612-613、1997.9.
- 10) 当麻庄司：BASICによる橋梁工学、共立出版、1989.6.25.
- 11) 岩崎泰彦：道路橋示方書の改訂の要点、土木技術49巻7号、pp.39-45、1994.7.
- 12) 鈴木巧、当麻庄司：合成桁橋と非合成桁橋の合理性について、土木学会第50回年次学術講演会概要集第1部(A)、pp.630-631、1995.9.
- 13) 日本橋梁建設協会：A荷重・B荷重による鋼橋の解析、講習会用テキストNo.8、1995.3.

(1997.10.9受付)

## DESIGN ASSESSMENT OF HIGHWAY STEEL BRIDGES USING STEEL WEIGHT DATA-BASE

Shouji TOMA, Takumi SUZUKU and Yasuhiro KURODA

Steel weight of bridges reflects their structural features. The paper first constructs the data-base by collecting more than eight thousand weight data and then analyzes statistically from various points of view. Comparisons by structural types provide valuable information to engineers for selecting the most suitable type. Further, comparisons by years describe the change of design specifications or design concept which comes from the social situation. The current design for rational girder bridges is compared with other similar types of ordinary design. The influence of the change of the live load is also discussed.