

I-71

鋼重偏差値による鋼橋の安全性評価

北海学園大学大学院 学生員 鈴木 巧  
 北海学園大学工学部 正員 当麻 庄司

1. 序論

一般に橋梁の設計は、橋種、規模、基礎工の難易、構造の合理性、施工法、および景観などを考え合わせ、最も経済的なものを選ばなければならない。経済性の指標として、使用鋼重が重要な要素となる。この鋼重は、橋梁設計における全鋼重を(スパン)×(幅員)で割ったもの、すなわち単位道路面積当たり( $t/m^2$ )で表すのが一般的である。鋼橋の場合この鋼重の大きさによって製作コストが積算されるので、鋼重が直接経済性を表す指標となる。一方、鋼重は鋼橋の安全性にも直接関係している。一般的に鋼材を多く使用することは、構造部材の断面が大きくなることであり、それだけ構造物の安全性は高まる。すなわち同一橋種の場合、鋼重を比較することによってその安全性を比較することができる。こうして経済性と安全性とは相反関係にあり、構造物の設計にはそのバランスが必要である。そして、鋼重はその経済性と安全性の両方の指標となっており、鋼重を分析することにより経済性と安全性を評価できることになる。

本論文ではこの鋼重に着目し、これに対して偏差値の概念を導入して簡単に鋼橋の経済性と安全性を評価しようとするものである。そして、その評価は橋の寿命の予測に用いることもでき、将来の維持管理を計画する上での参考資料となるものである。

2. 鋼道路橋の鋼重データベース

これまで各種の鋼橋に対して鋼重量のデータベースが、「橋梁年鑑」<sup>1)</sup>に掲載されている鋼重をもとに作成されている<sup>2)</sup>。そこでは、鋼重の分布状態を示すと共に各橋種に対する平均鋼重曲線が、回帰分析により求められている。図-1にその例として、単純鈹桁橋と単純合成鈹桁橋についてまとめたものを示す。なお、同図は単純鈹桁橋に対して昭和53年から63年までの鋼重データ(データ数:388)、単純合成鈹桁橋に対しては昭和61年から63年までのデータ(データ数:311)を整理したものである。

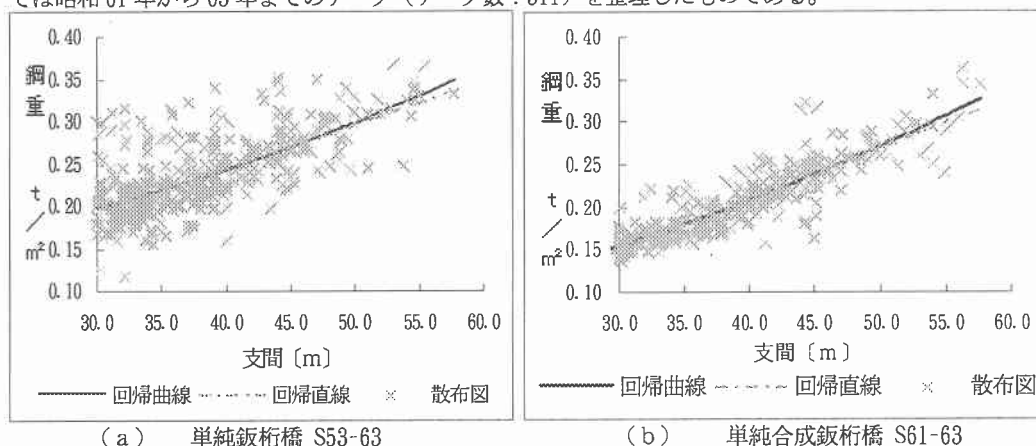


図-1 鋼重分布

Safety gradation of steel bridges by steel weight deviation  
 by Takumi Suzuki and Shouji Toma

これらの橋梁形式について、平均鋼重曲線は次の2次式で表されている<sup>2)</sup>。

$$\bar{X}(L) = \alpha \cdot L^2 + \beta \cdot L + \gamma \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\bar{X}(L)$  : 鋼重平均 (t/m<sup>2</sup>)、 $L$  : スパン (m)、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  : 回帰係数

回帰係数  $\alpha$ 、 $\beta$  及び  $\gamma$  の各値は表-1に示すように求められている。当然のことながら 単純鈹桁橋の鋼重は単純合成鈹桁橋よりも約10~20%重くなっている。

表-1 回帰係数

	$\alpha(\times 10E-4)$	$\beta(\times 10E-2)$	$\gamma$
単純鈹桁橋 (S53~63)	0.5434	0.0672	0.1295
単純合成鈹桁橋 (S61~63)	0.4862	0.1978	0.0514

### 3. 鋼重偏差値

偏差値は、ある分散値がその分散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、偏差値は分散状態が平均値 50 標準偏差 10 の正規分布とした時の位置を表し、次の式で定義される。

$$H = \frac{X - \bar{X}(L)}{\sigma} \times 10 + 50 \quad \dots\dots\dots (2)$$

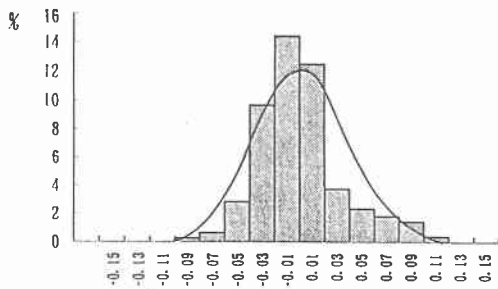
ここに、 $H$  : 偏差値、 $X$  : データ値 (鋼重値)、 $\bar{X}(L)$  : 平均値、 $\sigma$  = 標準偏差 =  $\sqrt{\frac{\sum \{X - \bar{X}(L)\}^2}{n-1}}$ 、

$n$  : データ総数

ここで、鋼重の平均値  $\bar{X}(L)$  は式(1)により与えられる。

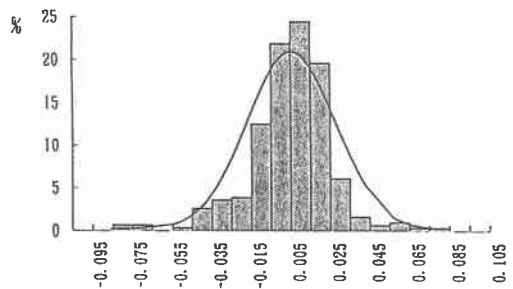
偏差値は正規分布とした時の位置を表すものであるから、分布形が正規分布でない場合は単に相対的な位置すなわち順位を表すに過ぎない。しかし、鋼重の評価を行う場合には単に他のデータとの順位を表すだけでは不十分であり、平均値に対してどの程度ずれた位置にあるのか、すなわち絶対的な位置を示さなければならない。そのためには鋼重データの平均値からのずれ分布が、正規分布に近いものでなければならない。

図-2は、図-1の鋼重分布に対して平均鋼重曲線(式(1))からの偏差の分布を表したものである。



標準偏差 = 0.0334  
 平均値 = 0.0000  
 階級幅 = 0.02

(a) 単純鈹桁橋



標準偏差 = 0.0207  
 平均値 = 0.0000  
 階級幅 = 0.01

(b) 単純合成鈹桁橋

図-2 相対度数密度及び正規分布

同図にはこの分布から求めた平均値と標準偏差から導いた正規分布曲線も示している。これを見ると分かる通り、鋼重の偏差分布は正規分布にかなり近い。このことは、ここで求められる鋼重偏差値は平均鋼重からの絶対的なずれ量を表し、安全設計の評価に用いることが妥当であることを意味する。また、図-2で求められた平均値は0に非常に近い値となっており、鋼重偏差の分布が対称形に近いことを示している。

なお、図-2を導くに当たりその階級幅は次の Sturges の公式により判断した<sup>3)</sup>。その計算結果を表-2に示す。

$$K = 1 + 3.32 \log_{10} n \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $K$  : 階級の数     $n$  : データ数

表-2 階級幅の決定

	n	K	データ幅	階級幅
単純鋼桁橋	388	9.595	0.1979	0.02
単純合成鋼桁橋	311	9.276	0.164	0.01

#### 4. 鋼重偏差値による安全性評価

図-3は一般的な偏差値の確率分布を示す。また、同図には偏差値をもとに5段階ランク分けをした場合を示しており、その詳細を表-3に示している。もし、施工の優劣あるいは設計上の特殊条件等を除外して同一条件の橋を考えるならば、鋼重が最も安全性を反映する指標とみなすことができる。ここで、偏差値を求める元となったデータ数は十分であると考えられ、これから得られた偏差値は設計資料として利用することができる。すなわち、もし交通量の要素を除外して考えるならば、ランクの高い橋程高級な橋であり寿命も長いと考えられる。また、ランクの低い橋程低級であり寿命も短く、早い時点での補修が必要となるであろう。もし交通量と対応して考えるならば、幹線道路における交通量の多い橋にはランクの高い橋が要求され、地方の支線道路にはランクの低い橋でよいと判断される。

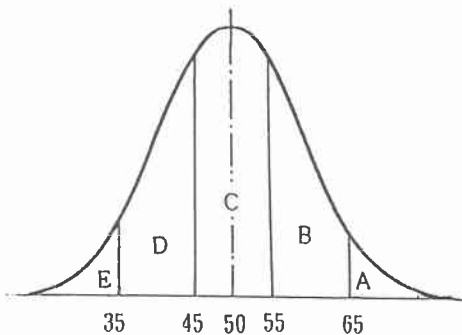


図-3 確率分布によるランク分け

表-3 偏差値による5段階評価

ランク	鋼重偏差値	全体に占める割合(%)
A	~35	7
B	35~45	24
C	45~55	38
D	55~65	24
E	65~	7

#### 5. 鋼重偏差値の実例

ここでは、鋼重偏差値が実際にどのようなものかを示すため具体的な橋梁の例について評価する。表-4には単純鋼桁橋と単純合成鋼桁橋の鋼重偏差値を示している。ここでとり上げた橋梁は、昭和55年~平成5年にかけて竣工した中から幅広い鋼重偏差値になるように選んだものである。また備考にはその橋の鋼重偏差値に関する特徴を記した。なお、橋B以外の橋はすべて1等橋である。

表-4 鋼重偏差値の具体例

(a) 単純鉄桁橋

橋名	主 径 間 ( I 連分 ) 内 訳				備 考
	支間 (m)	幅員(m) <車道+歩道>	鋼 重 (tf) tf/m <sup>2</sup>	鋼重偏差値 (ランク)	
A	48.6	7.00 + 2@2.5	(152.48) 0.260	40.9(D)	歩道有(両)、斜橋、S=2.7m
B	39.1	6.00	(52.00) 0.222	45.0(C)	歩道無、斜橋、2等橋、S=2.5m
C	50.0	9.70	(159.52) 0.327	58.4(B)	歩道無、斜橋、道路公園、S=2.2m
D	31.2	7.00	(52.42) 0.240	61.0(A)	歩道無、斜橋、S=2.15m
E	43.0	9.00 + 2.00	(151.10) 0.319	68.0(A)	歩道有(片)、曲線橋、S=2.15m

(b) 単純合成鉄桁橋

橋名	主 径 間 ( I 連分 ) 内 訳				備 考
	支間 (m)	幅員(m) <車道+歩道>	鋼 重 (tf) tf/m <sup>2</sup>	鋼重偏差値 (ランク)	
合A	33.9	7.00 + 2@2.2	(55.66) 0.143	34.9(E)	歩道有(両)、S=3.1m
合B	32.0	8.00 + 2@2.5	(61.44) 0.148	42.0(D)	歩道有(両)、S=2.8m
合C	41.6	6.50	(59.00) 0.218	50.1(C)	歩道無、S=2.85m
合D	44.9	8.50	(98.27) 0.257	59.1(B)	歩道無、斜橋、S=2.7m
合E	40.0	5.00	(50.00) 0.250	70.1(A)	歩道無、S=2.2m

S: 主桁間隔

同表を見るとまず歩道の有無による影響が鋼重偏差値に顕著に現れている。歩道がある橋は活荷重が小さなり、橋の鋼重は軽くなって偏差値は下がる。さらに、主桁間隔が狭くなるほど鋼重偏差値は高くなっており、橋梁の安全性が評価されていると言える。

単純鉄桁橋の橋Eの曲線橋は偏差値68.0と高く評価されているが、曲線橋は直橋と同じスパンを渡すにも鋼材を多く必要としていることが分かる。橋Bの2等橋は1等橋よりも設計荷重を低くおいているため、それだけ鋼材が少なくなりここでは当然低い偏差値となる。橋Cは道路公園が発注しており TL-20、TT-43 で設計されているため、偏差値が比較的高く評価されている。単純合成鉄桁橋では橋合Cがちょうど鋼重偏差値50と過去の建設実績において平均的な橋とすることができる。また、橋合Eはとり上げた例の中で最も車道が狭く、そのことが鋼重偏差値を高くしていると言える。

## 6. 結論

本論文では鋼重に関する過去のデータを元に、ある鋼重値を偏差値に換算し安全性評価の指標として用いる手法を示した。橋梁設計の考え方も時代と共に変遷する。昭和40年代には経済性重視の橋が多く設計されたが、それらは比較的鋼重偏差値の低い橋であることを実証することができる。また、最近では床版の疲労を考慮して、3mを越える主桁間隔をとらなくなったり床版の厚さを大きくしたりしているが、そのような傾向も鋼重偏差値を求めることにより示すことができる。

偏差値はその外にも構造的な各々の橋の特徴を反映することを示した。例えば歩道の有無、曲線橋、直橋、斜橋主桁間隔の大きさ等により偏差値が影響される。

今後は、本手法をここで示した単純鉄桁橋と単純合成鉄桁橋の2橋種以外にも適用し設計資料に供することとしたい。

### < 参考文献 >

- 1) 日本橋梁建設協会、「橋梁年鑑」.
- 2) 当麻庄司・本多祐也、「鋼道路橋の鋼重データベース」、橋梁、1993.8.
- 3) 岸根卓郎、「理論応用 統計学」、養賢堂、1981