

有義値の統計的性質と応用性の検討

A study on statistical assessment and applicability of the significant value

当麻庄司*, 黒田保博**

Shouji TOMA and Yasuhiro KURODA

*Ph. D. 北海学園大学教授, 工学部社会環境工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南 26 西 11)

**工修 中央コンサルタンツ (株) (〒065-0836 札幌市東区北 36 東 17)

The significant value, which is defined by the average of the upper one-third of random values, is studied for use to represent a set of statistical data. The live loads, which take in nature statistical values, are generally represented by some deterministic design loads in structural design. If the statistical background of these representative design loads is simple, the comparisons can be made easily when the live loads change from one place to another or as the time passes. The paper shows that the significant value has good features to represent a set of statistical data such as live loads by only one parameter. A probabilistic study finds that the significant value has very narrow exceeding probability for various kinds of distributions. An example is also given by applying to the vehicle loads.

Key Words: significant value, structural design, design load, bridge design, live load, probability design

キーワード: 有義値, 構造設計, 設計荷重, 橋梁設計, 活荷重, 確率設計法

1. まえがき

周知のように, 早くから確率過程である波浪を荷重として扱ってきた港湾関係では, 有義波高を確率過程の特性値として用いてきた. 有義波高 (有義値) とは, 波高を高いものから順次並べたときの上位波数 1/3 に対する平均値と定義される. 現在では, 波の不規則性をより精密に考慮した確率分布法やスペクトル法等の高度な手法が取り入れられてきているが¹⁾, 確率分布値を一つの有義値で代表させるという経験的な手法もその簡便性から捨てがたい特長を有している.

有義値は, 多くの荷重を確率値として扱うその他の構造物にも広く応用できると考えられ, 本論文ではまずその基本的な統計的性質を調査する. 次に, 設計への応用性を検討するために, 自動車荷重の実測値に対して有義値の概念を適用した場合と実測値を確率分布にモデル化した場合とを比較する.

構造物の設計荷重は, 安全側をとって単純に最大荷重をとることが多いが, 最近では確率論的なシミュレーション手法を利用して決定することが一般的に行われている. そこには, 長い年月や一日の時間サイクルによって変動する要素 (時間的変動), 地域や場所によって変動する要素 (空間的変動), そして種々の荷重の組み合わせの問題等複雑な要素が関わり合っている. しかし, 本論文で扱う有義値法は, その簡便性からこのような要素を含まない 1 次元的数据の検討である

ことを断っておく.

2. 荷重基準値の設定方法と有義値法

2. 1 荷重基準値の設定方法

確率過程の荷重を設計用の基準値として設定するためには, 実測値や荷重作用のシミュレーションによるデータが必要とされる. そして, そのデータを基に設計荷重を決定する方法は, 次のように分類することができる.

- (1) 最大値をとる方法: 構造物の寿命期間中に予想される再現期待値としての最大荷重をとる.
- (2) 超過確率から特性値をとる方法: 5%あるいは10%の超過確率値をとる.
- (3) 平均値と標準偏差による方法: 確率過程を平均値と標準偏差の2つのパラメータで表わし, これらから得られる安全性指標により安全率を管理する.

(1)の方法は, 荷重分布の最大値を設計荷重とする方法であるが, 最大値を定めるのに困難が伴う. また, (2)の方法はシミュレーションがある仮定の下に行われ, さらにその右裾部分を対象として特性値を設定しようとするものである. 理論的には最も整合性が高いが, 実務的には何%をとるのかにおいて合理性に欠ける面がある. (3)の方法は, 分布形の全体を扱っており確率論的に合理性を備えているが, 2つのパラメータを用いる必要がある. また, 左右非対称の分布形を表

わすには、この2つのパラメータだけでは不十分である。

2. 2 有義値法の提案

以上のようなこれまでの荷重の評価法に対して、ここでは有義値を用いることを提案する^{2) 3)}。有義値は、図-1に示すように、上位 1/3 の平均値と定義される。

構造物に作用する活荷重の実状は実測により得られる。多くの場合、この実測値を基にモデル化あるいはシミュレーションを行って荷重の基準値を決める。このとき、直接情報はあくまで実測値であり、それをモデル化やシミュレーションを通した結果は間接的な加工情報になり、その手法次第では信頼性が問題となる恐れも出てくる。その点、有義値の場合は、一次元的な大きさの評価だけに限定されるものの直接実測値から得られるので、モデル化やシミュレーション等の煩わしい過程を経る必要がない。

3. 有義荷重の統計的性質

3. 1 有義値の定義

有義値は分布形を下位、中位および上位に三分割し、その上位部分の平均値である。構造物の活荷重は一般に上位部分が問題となり、中位と下位部分の影響は小さい。上位部分の活荷重にしても、その中の一つの最大荷重が構造物の設計に決定的な影響を与えると考えるよりは、上位部分の荷重が全体として影響を与えると考えた方が合理的である。たとえば、橋梁のような構造物の寿命に与える活荷重の影響は、その崩壊過程を考えると疲労設計的な見地が必要であり、一つの最大値よりはどのような活荷重群が全体として作用するかが重要となる。そして、それらの代表値としての意味を有義値はもっていると言うことができる。

有義荷重は上位 1/3 のみを対象としているので一見その他の部分は考慮されていないようにも見えるが、実現象では分布の全体が上位、中位および下位で連続性を持っており、上位 1/3 はその意味で分布全体を代表していると考えられることもできる。たとえば、図-1に示す二つの分布形を比較すると、最大値と最小値は同じであるが内容は大きく異なる。これらの荷重分布を実用的なある一つの特性値で表わすとすれば、上位 1/3 部分の平均値としての有義値をとることも一つの合理的な手法であることが理解されよう。

3. 2 有義値の超過確率

図-2に同じ平均値 50 と標準偏差 25 (変動係数 0.5) をもつ 5 種類の分布形を示す。それらは対称形のものからかなりひずみ (skewness) の大きい分布形まである。

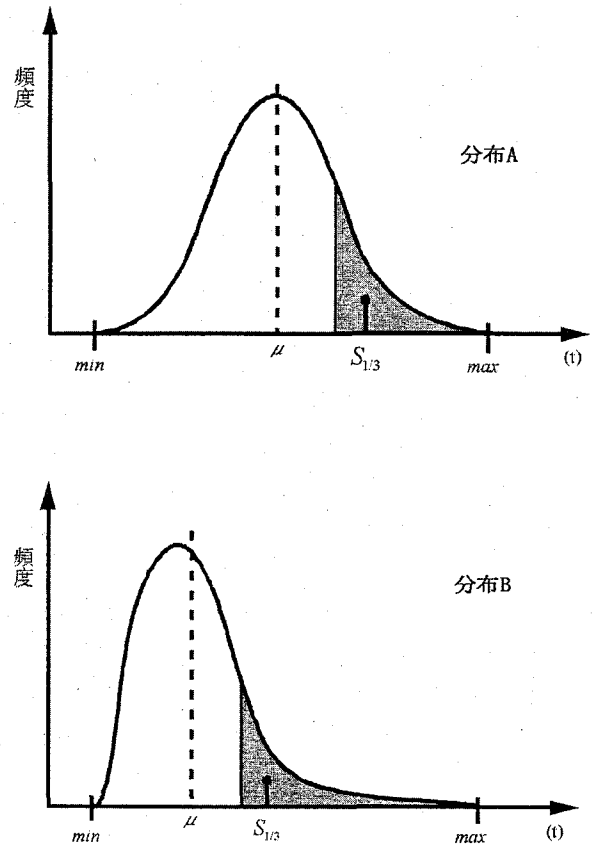


図-1 分布形の比較

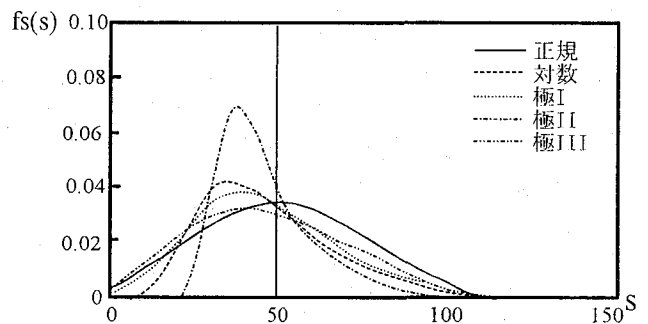


図-2 各種分布形 ($\mu=50, \sigma=25$)

ここで、次式により、上位 $P\%$ の平均値 S_p を求めることにする。

$$S_p = \frac{\int_{S_0}^{\infty} f_S(s) s ds}{\frac{P}{100}} \quad (1)$$

ここに、 f_S は確率変数 S の確率密度関数であり、 S_0 は上位値 $P\%$ をとるとき境界値である。上式によって求めた各分布形の S_p に対して、超過確率を算定すると表-1に示すようになる。ここで、上位 $P=10 \sim 50\%$ の範囲に対し、変動係数は $0.1 \sim 0.5$ まで変化させている。また、上位 $P=33\%$ が有義値に相当する。

表-1 超過確率表

上位値P	分布形	変動係数 Vs					範囲
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
10%	正規分布	3.96					3.14 } 4.11
	対数正規分布	3.89	3.82	3.74	3.67	3.6	
	第Ⅰ種極値分布	3.7					
	第Ⅱ種極値分布	3.57	3.43	3.32	3.21	3.13	
	第Ⅲ種極値分布	4.11	4.06	4.03	3.98	3.93	
20%	正規分布	8.08					6.29 } 8.42
	対数正規分布	7.92	7.75	7.59	7.42	7.26	
	第Ⅰ種極値分布	7.47					
	第Ⅱ種極値分布	7.18	6.91	6.67	6.46	6.29	
	第Ⅲ種極値分布	8.42	8.32	8.22	8.10	7.98	
30%	正規分布	12.33					9.49 } 12.91
	対数正規分布	12.05	11.78	11.5	11.24	10.97	
	第Ⅰ種極値分布	11.30					
	第Ⅱ種極値分布	10.85	10.45	10.09	9.76	9.49	
	第Ⅲ種極値分布	12.91	12.73	12.55	12.35	12.14	
33%	正規分布	13.77					10.58 } 14.44
	対数正規分布	13.46	13.14	12.83	12.52	12.22	
	第Ⅰ種極値分布	12.59					
	第Ⅱ種極値分布	12.10	11.64	11.23	10.87	10.58	
	第Ⅲ種極値分布	14.44	14.25	14.03	13.78	13.54	
40%	正規分布	16.71					12.75 } 17.59
	対数正規分布	16.32	15.92	15.52	15.13	14.76	
	第Ⅰ種極値分布	15.21					
	第Ⅱ種極値分布	14.60	14.06	13.55	13.11	12.75	
	第Ⅲ種極値分布	17.59	17.31	17.03	16.71	16.37	
50%	正規分布	21.25					16.08 } 22.46
	対数正規分布	20.73	20.18	19.64	19.12	18.61	
	第Ⅰ種極値分布	19.20					
	第Ⅱ種極値分布	18.46	17.74	17.10	16.54	16.08	
	第Ⅲ種極値分布	22.46	22.07	21.67	21.22	20.74	

図-3は、表-1の変動係数 $V_s=0.1, 0.3$ および 0.5 について、種々の分布形に対する超過確率の比較を示したものである。これらの結果を見ると、当然ながら上位値 P の比率が大きくなるほど超過確率は大きくなり、変動係数が大きくなるほど各分布形間のばらつきが大きくなっている。しかし、平均値 S_p に対する超過確率の幅はいずれも割合に小さいことがわかる。

図-4は、各分布形について変動係数に対する比較を示したものであるが、変動係数が変わっても同様に超過確率にはそれほど差がないことがわかる。そして、図-5は有義値である $P=33\%$ のときの超過確率を示している。これを見ると、ある特定の分布形に対しては、変動係数が大きく変化しても1~2%程度の差しかないことがわかる。また正規分布と第1種極値分布は、変動係数に依存しないで一定である。以上のように、有義値の超過確率は変動係数や分布形の違いにかなり鈍いところがあり、特性値として採用するのに適した性質をもっていると言える。

また、有義値の超過確率はおおよそ13~14%が多い(表-1参照)。これは、交通工学において有義値と同様な1次元的指標としてよく用いられる速度の特性値、すなわち85%速度(超過確率15%)⁴⁾にも近い。港

湾工学における有義波高の例も含めて、これらの工学的指標の間には共通性があるように思われる。

3. 3 有義値と安全性指標との関係

最近、限界状態設計法が信頼性を考慮した設計法として、許容応力度設計法に代わって用いられるようになってきた。ここでは、有義荷重の性質を調べるために、限界状態設計法の代表的な設計手法である米国の荷重抵抗係数設計法(Load and Resistance Factor Design, LRFD)で用いられている安全性指標との関係を求めることにする。荷重抵抗係数設計法における安全性指標 β は、次式で与えられる⁵⁾。

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (2)$$

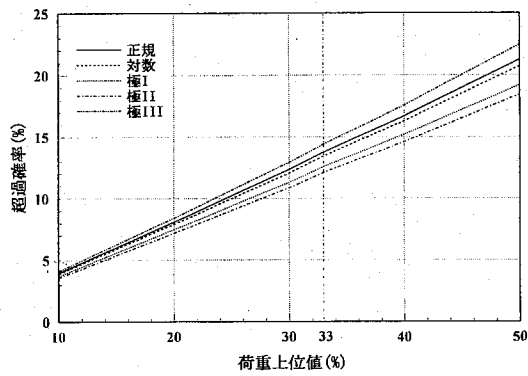
ここに、 μ_R 、 μ_S : 抵抗、荷重の平均値

σ_R 、 σ_S : 抵抗、荷重の標準偏差

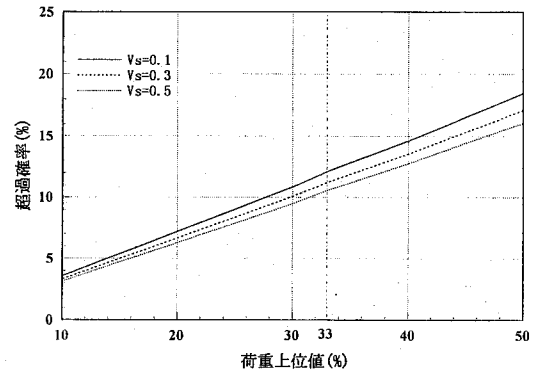
荷重と抵抗のそれぞれの平均値と標準偏差は、有義値と次のような関係がある。

$$S_{1/3} = \mu_S + k_{1/3} \sigma_S \quad (3a)$$

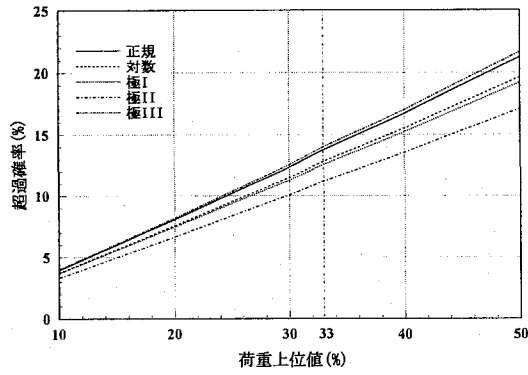
$$R_{1/3} = \mu_R - k'_{1/3} \sigma_R \quad (3b)$$



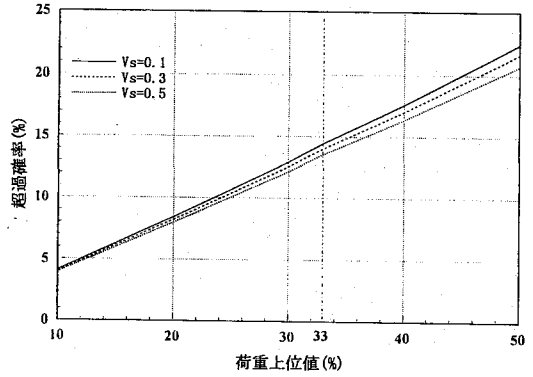
(a) 変動係数 $V_s = 0.1$



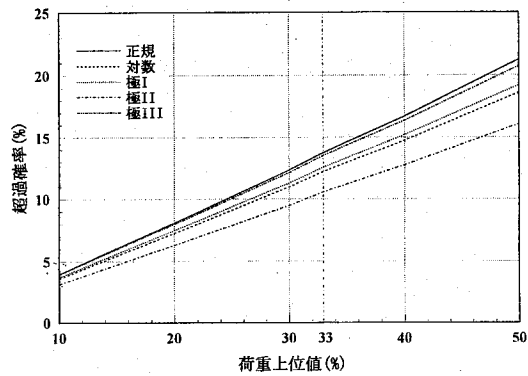
(a) 対数正規分布



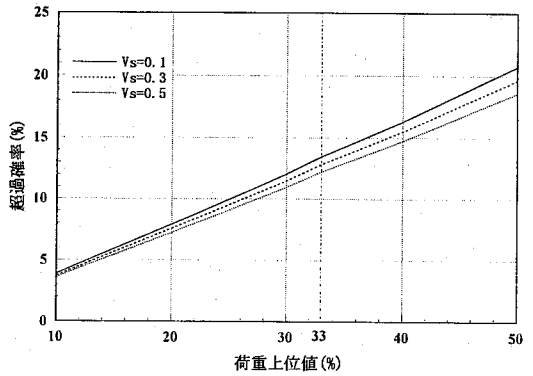
(b) 変動係数 $V_s = 0.3$



(b) 極値II型分布



(c) 変動係数 $V_s = 0.5$



(c) 極値III型分布

図-3 超過確率 (分布形比較)

図-4 超過確率 (変動係数比較)

ここに、特性係数 $k_{1/3}$ および $k'_{1/3}$ は図-6 に示すように平均値と有義値の距離を表わす特性係数であり、その値は各分布形に対して表-2 のように与えられる。ここで、荷重の有義値 $S_{1/3}$ は上位 1/3 平均値であるが、抵抗の有義値 $R_{1/3}$ は小さい方の値が問題となるので、下位 1/3 平均値と定義する。表-2 をみると、有義値はやはり分布形や変動係数によって大きく変化しないことがわかる。そして、特性係数は多くの分布形でほぼ 1.0 に近く、このことは有義値は平均値からほぼ標準偏差の分だけ離れていることを意味しており統計的にわかりやすくなっている。また、上位 1/3 の有義値と下位 1/3 の有義値の平均が、全体の平均値に近いと

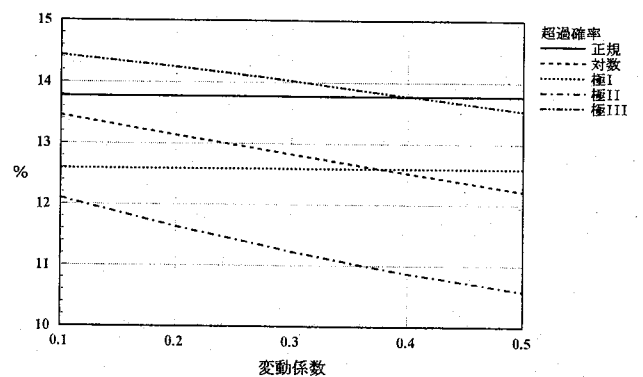
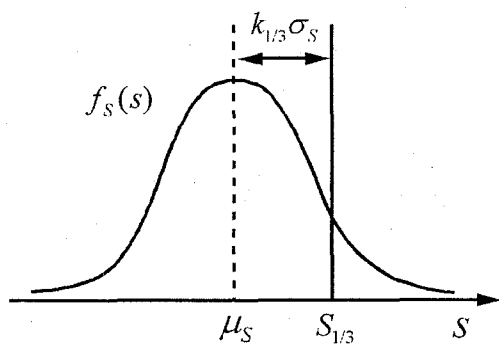
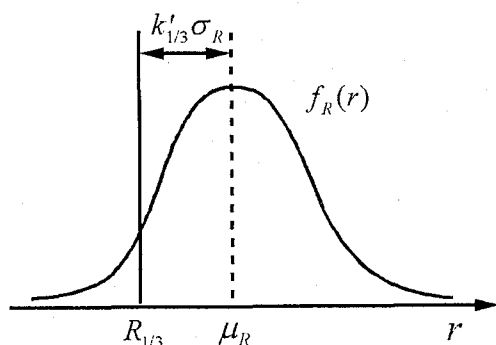


図-5 有義値の超過確率



(a) 荷重の特性係数 $k_{1/3}$



(b) 抵抗の特性係数 $k'_{1/3}$

図-6 特性係数

いうことになる。

式(3)を式(2)に代入すると、次式が得られる。

$$\beta = \frac{\frac{R_{1/3}}{1 - k'_{1/3} V_R} - \frac{S_{1/3}}{1 + k_{1/3} V_S}}{\sqrt{\left(\frac{\frac{R_{1/3}}{1 - k'_{1/3} V_R}}{V_R} \right)^2 + \left(\frac{\frac{S_{1/3}}{1 + k_{1/3} V_S}}{V_S} \right)^2}} \quad (4)$$

ここに、 V_R 、 V_S はそれぞれ抵抗と荷重の変動係数である。特性係数を 1.0 と近似すれば、上式は次のように表される。

$$\beta = \frac{\frac{R_{1/3}}{1 - V_R} - \frac{S_{1/3}}{1 + V_S}}{\sqrt{\left(\frac{\frac{R_{1/3}}{1 - V_R}}{V_R} \right)^2 + \left(\frac{\frac{S_{1/3}}{1 + V_S}}{V_S} \right)^2}} \quad (5)$$

上式により、荷重と抵抗の有義値を用いて荷重抵抗係数設計法の安全性指標を求めることができる。すなわち、荷重抵抗係数設計法では安全性指標を平均値と標準偏差で表わされたものが、有義荷重法では有義値と変動係数に置き換えて表わすことができる。

表-2 特性係数

(a) $k_{1/3}$

分布形	変動係数 V_S				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
正規分布	1.091				
対数正規分布	1.110	1.120	1.121	1.114	1.100
第I種極値分布	1.114				
第II種極値分布	1.089	1.054	1.011	0.962	0.910
第III種極値分布	1.012	1.058	1.094	1.122	1.136

(b) $k'_{1/3}$

分布形	変動係数 V_R				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
正規分布	1.091				
対数正規分布	1.066	1.038	1.008	0.977	0.944
第I種極値分布	0.959				
第II種極値分布	0.902	0.842	0.784	0.727	0.674
第III種極値分布	1.125	1.113	1.105	1.078	1.040

さらに、構造物や荷重の種類からある程度変動係数は決まってくると思われるので、その場合、安全性指標は式(5)から有義値のみで概略求められることになる。このように、有義値は平均値と標準偏差の二つのパラメータをさらに簡略した一つのパラメータで代行できるという側面ももっている。

4. 有義値法による許容応力度設計の破壊確率

ここで、有義値の性質をさらに理解するために、有義値を用いて設計した場合の破壊確率を求める計算を行ってみる。その前提として許容応力度設計の規範式を用いると、次式のようになる。

$$S_{1/3} < \mu_R / 1.7 \cong 140 \text{ MPa} \quad (6)$$

ここに、左辺の荷重は有義荷重をとり、右辺の抵抗値は降伏応力度の平均値を安全率 1.7 で割った値をとる。抵抗値は軟鋼の降伏強度分布とし、過去のデータから対数正規分布 LN(252, 27.7) (MPa) に従うものとする⁵⁾。一方、荷重効果の分布は種々の形をとるものとし、そうして求めた破壊確率の計算結果を表-3に示す。これをみると、破壊確率は荷重効果の分布の種類にほとんど依存していないことがわかる。また変動係数が大きくなると少し破壊確率の変動幅が大きくなるが、その程度は小さい。これは、表-1でみたように有義値の超過確率が安定しているためである。

このように有義値を用いた設計法は破壊確率も安定するので、この性質を実際の設計に応用することは可能であると思われる。ここで破壊確率は数パーセント以上となっており、通常の感覚から考えるとかなり大きいと思われるが、ここでの破壊確率は荷重として、例えば日最大荷重の分布等を対象とすれば、必ずしも大き過ぎるとは言えない。すなわち、荷重全体に対する破壊確率はもっと小さくなる。

表-3 有義値を用いた許容応力度設計の破壊確率(%)

分布形 変動係数	正規分布	対数正規分布	第I種極値分布	第II種極値分布	第III種極値分布
0.1	6.20	6.24	6.38	6.47	6.38
0.5	8.08	8.47	8.5	7.82	8.51

5. 有義値による自動車荷重の評価

5. 1 自動車荷重の有義値

ここでは、その有義値の応用性を検討するための適用例として、自動車荷重を評価する³⁾。現在の質的および量的な交通量の増加は、道路橋の耐久性に大きな影響を及ぼしている。この自動車荷重の変化を簡便に表現することのできる指標があれば有益であると考えられるが、有義値設計法が応用出来るかどうかを検討してみる。

自動車荷重の実測値として、東京都の国道 357 号線に位置する有明路線、埼玉県の国道 17 号線熊谷路線および首都高速の用賀路線で計測された 3 路線のデータ例⁶⁾を用いる。これらのデータ例は 24 時間計測された日交通量である。(ただし、有明路線は 48 時間計測されたものを 24 時間に換算した。)

図-7 は、有明路線と熊谷路線について計測結果のいくつかをヒストグラムで示すが、いずれもかなり不規則な分布形を有している。図中の車種番号は、表-4 に示すように 21 種類に分類したときの番号である。図-7 にはヒストグラムを対数正規分布で近似したときの曲線⁷⁾も示している。これらの実測値から有義荷重を計算した結果を表-4 の $S_{1/3}$ に示す。同表中の $N_{1/3}$ は $S_{1/3}$ に対応する自動車台数であり、実測値がヒストグラムで与えられているため、端数が生じている。

5. 2 有義値と超過確率値との比較

(実測値の場合)

表-1 によれば、有義値は超過確率の約 13% に対応しているので、ここでは実測値から求めた有義値と同じく実測値から求めた 13% 超過確率値とを比較する。

有明路線についての結果を表-4 に示す。また同じ比較を 3 路線について図-8 に示す。首都高速の用賀路線は計測の都合上車種が少なくなっている。

これらの結果をみると、実測値の分布はかなり不規則であるにも拘わらず(図-7 参照)、両者はよく一致している。ただし、熊谷路線(図-8 (b))の車種番号 11. 大型ダンプについては両者の間にかなり差がある。そこで、この分布(図-7 (f))をみると、極端に不規則な分布になっていることがわかる。ここでは 24tonf (235kN)を超える荷重がいくつかあり、それより小さい

表-4 自動車荷重の有義値比較(有明路線)

(1 tonf=9.8kN)

車種番号	13%超過値 (tonf)	$S_{1/3}$ 値 (tonf)	$N_{1/3}$ (台)
1.軽自動車	1.2	1.2	23.3
2.乗用車	1.8	1.7	83.3
3.貸客車	2.7	2.7	33.3
4.小型トラック	4.9	5.1	1227.2
5.ロングボディトラック	6.7	6.7	76.2
6.中型トラック	9.5	9.2	1332.5
7.大型トラック	13.7	13.6	195
8.大型トラック(後タンデム)	26.6	24.6	626.8
9.大型トラック(前タンデム)	20.6	19.8	184.8
10.大型トラック(前後タンデム)	21.0	21.2	44.2
11.大型ダンプ	12.4	12.7	77.8
12.大型ダンプ(後タンデム)	30.5	31.3	206.3
13.大型ミキサー	12.0	11.6	1.2
14.大型ミキサー(後タンデム)	23.1	21.9	10
15.大型タンクローリー(後タンデム)	23.1	21.8	79.3
16.大型タンクローリー(前タンデム)	22.4	21.2	103.8
17.セミトレーラー	39.3	40.0	383.3
18.フルトレーラー	42.1	43.0	6.2
19.マイクロバス	5.7	4.4	22.7
20.中型バス	15.5	15.3	19.2
21.大型バス	16.4	16.3	63.5

荷重は 14tonf (137kN) までない。超過確率値は上位の荷重の数だけに影響されるが、有義値ではモーメントをとっているため上位荷重の大きさも考慮されることになり、有義値法はより合理的であることがわかる。したがって、有義値の方が超過確率値より全体の分布形を代表する値として適当であると言える。

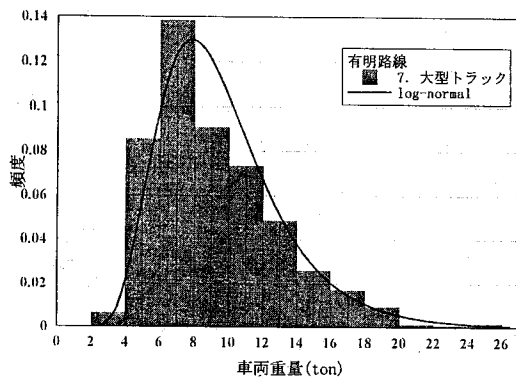
5. 3 有義値と超過確率値との比較(モデルの場合)

次に、実測値から求めた有義値と図-7 に示した対数正規のモデル分布から求めた有義値とを比較する。その結果を 3 路線について図-9 に示す。これを見ると、先に問題となった熊谷路線の大型ダンプを含めて両者はよく一致している。このことは、有義値はモデル化の過程を経なくても上位 1/3 の平均値として安定して得られることを示している。

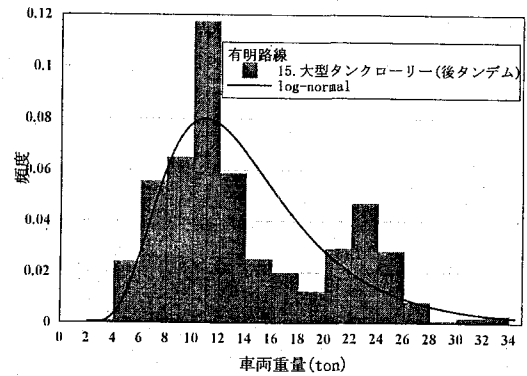
6. $S_{1/3}-N_{1/3}$ 図による荷重評価の提案

6. 1 $S_{1/3}-N_{1/3}$ 図

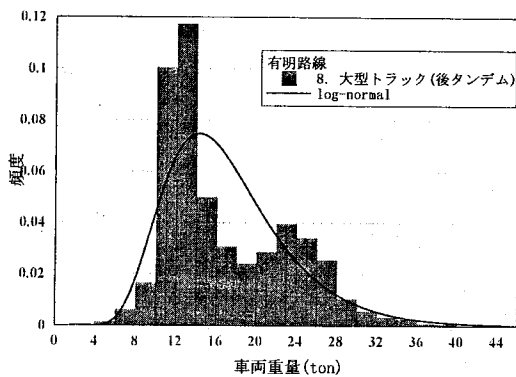
ここでは、自動車荷重の比較をより容易に行えるようにするため、有義値を図示する方法について検討す



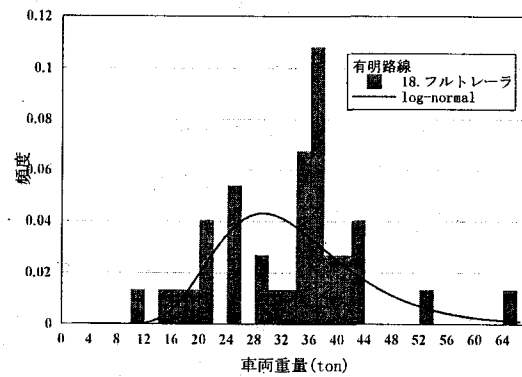
(a) 大型トラック



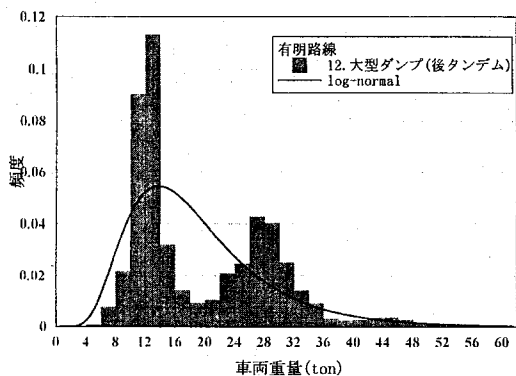
(d) 大型タンクローリー(後タンデム)



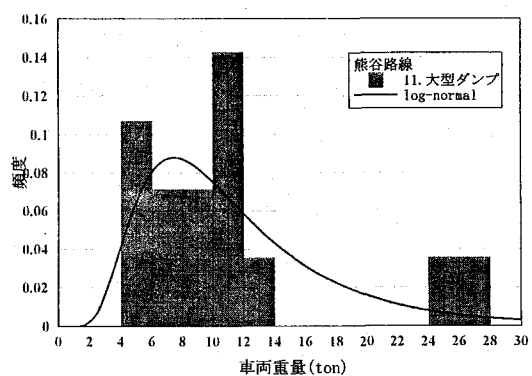
(b) 大型トラック(後タンデム)



(e) フルトレーラー



(c) 大型ダンプ(後タンデム)



(f) 大型ダンプ(熊谷路線)

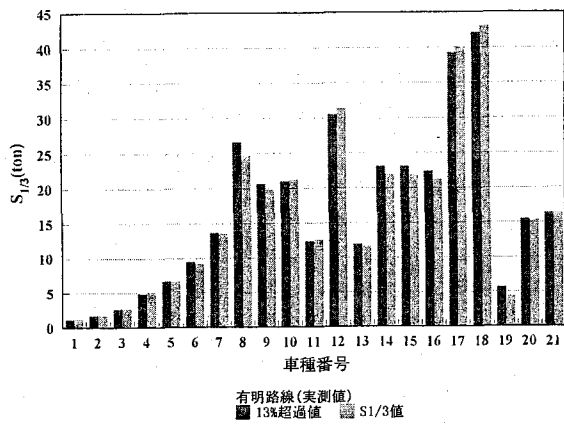
図-7 自動車荷重の実測値分布 (有明路線, 1 tonf=9.8kN)

る。表-4 に示した有明路線の有義値 $S_{1/3}$ とそれに対応する作用回数 $N_{1/3}$ を 21 車種について図示すると、図-10(a) のようになる。図-10 には他の 2 路線の $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図も示している。この図では、右上の位置にプロットされる方が荷重は厳しくなる。3 つの路線を比較すると有明路線が最も右上寄りであり、次に熊谷路線、そして用賀路線は最も左下寄りであることがわかる。このように、有義値とその作用回数を $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図に表わすことにより、荷重比較がわかりやすくなる。

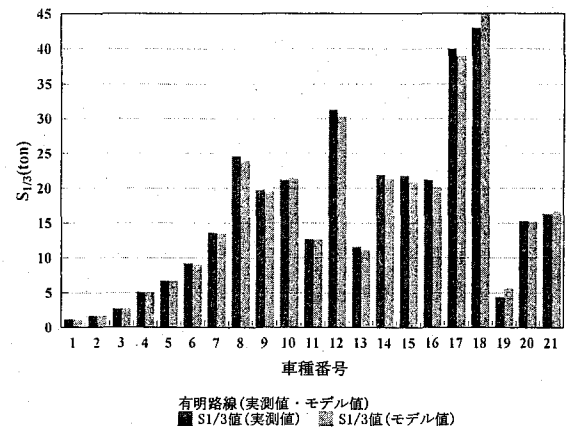
図-11 は車種数を減らして、設計への影響が大き

い 3 種類の大型車とそれらの全体の 4 つに限定して示したものである。この図より、3 つの路線を比較すると、同車種であれば有義値は路線に拘わらずほぼ同じであることがわかる。

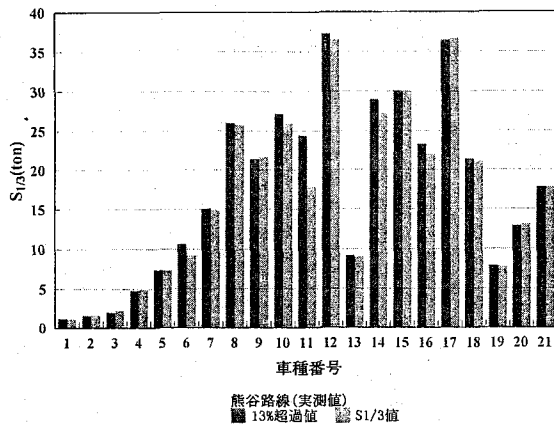
このように、車種ごとに有義値の大きさが決まってくるので、荷重の比較は作用回数のみでできることになる。つまり点が右にある方が荷重が厳しいということになる。そのようにみると、図-11 から有明路線、熊谷路線そして用賀路線の順に荷重が厳しいことがより明確に把握できる。



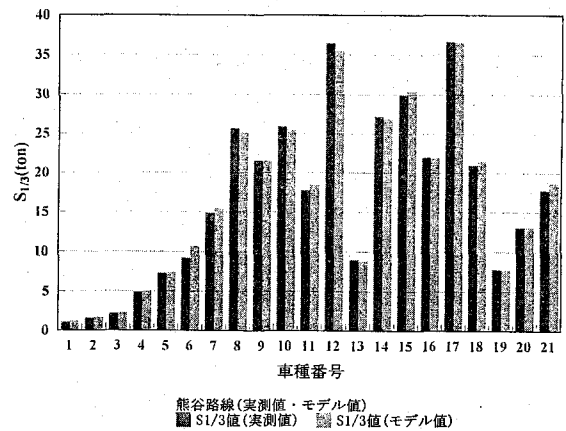
(a) 有明路線



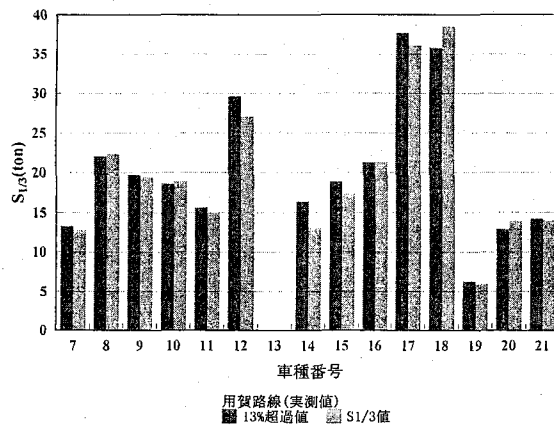
(a) 有明路線



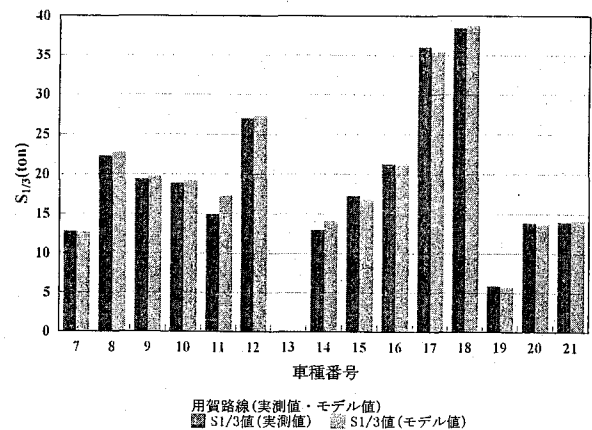
(b) 熊谷路線



(b) 熊谷路線



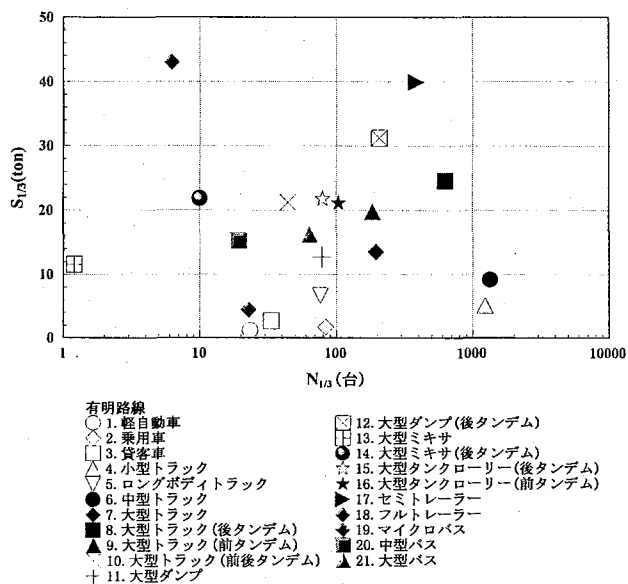
(c) 用賀路線



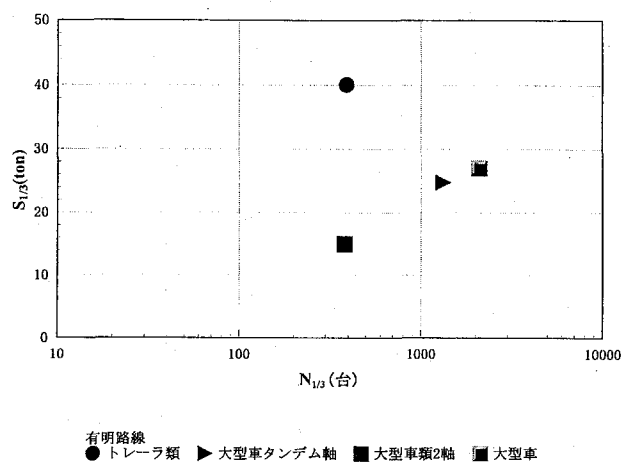
(c) 用賀路線

図-8 自動車荷重の有義値比較(実測値の比較)
(1 tonf=9.8kN)

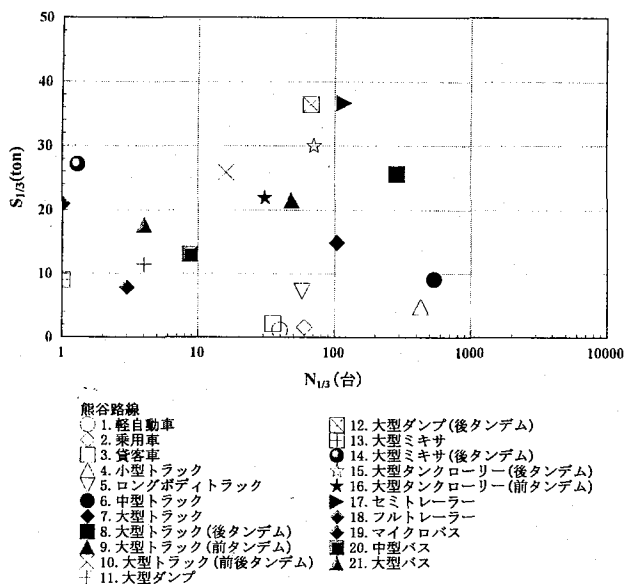
図-9 自動車荷重の有義値比較(実測値とモデル値の比較)
(1 tonf=9.8kN)



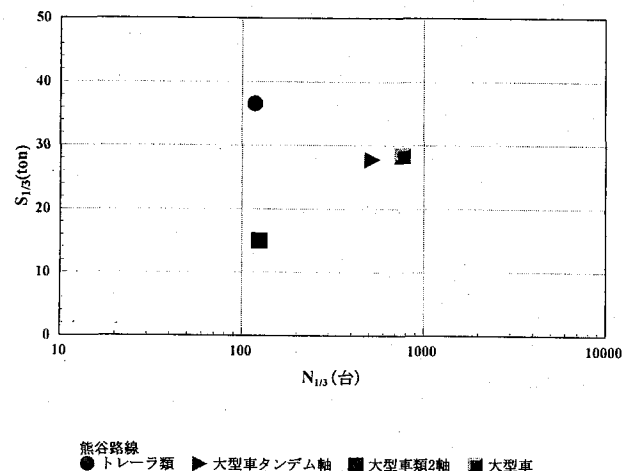
(a) 有明路線



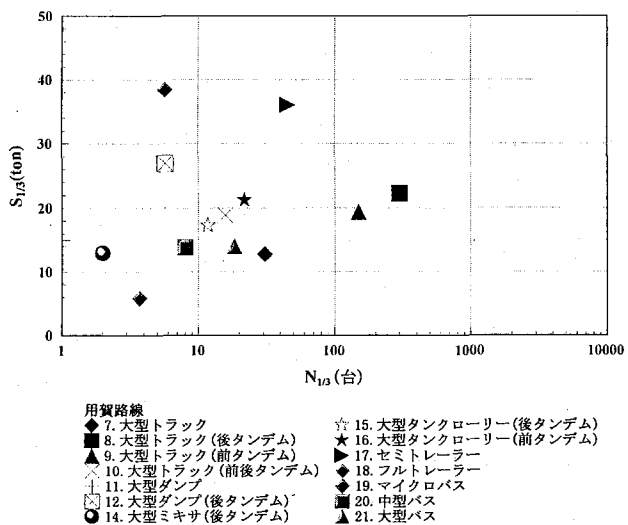
(a) 有明路線



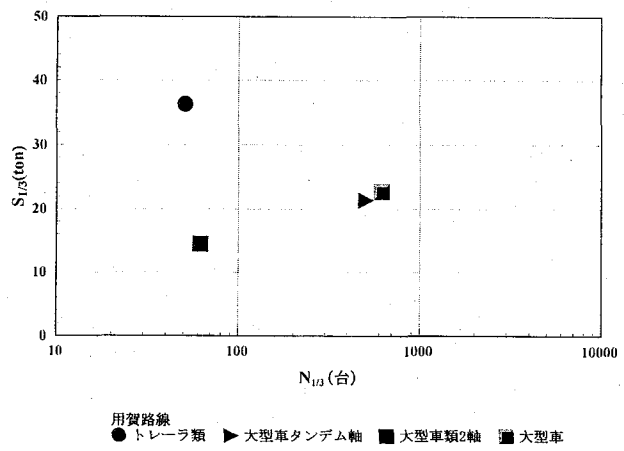
(b) 熊谷路線



(b) 熊谷路線



(c) 用賀路線



(c) 用賀路線

図-10 $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図 (全車種, 1tonf=9.8kN)

図-11 $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図 (大型車, 1tonf=9.8kN)

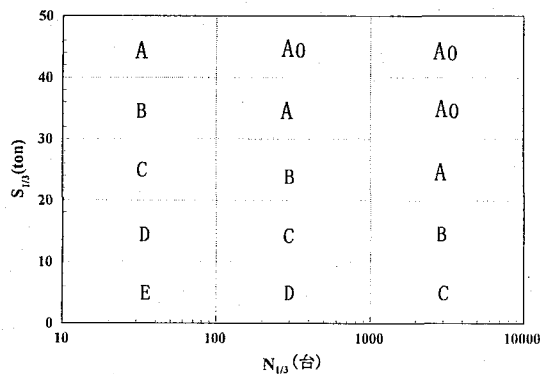


図-12 ゾーン分割 (1 tonf=9.8kN)

6. 2 $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ のゾーン分割による評価

$S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図による荷重評価を数量的に行うため、ここでは $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図をゾーンに分割して評価する。図-12にそのゾーン分割の例を示す。全体をA₀からEまでの6ゾーンに分割しており、右上に行くほど荷重は厳しくなる。表-5に各ゾーンに属する荷重の数を示している。ここで、同表中の(大型車)は大型車全体を示している。上のゾーンに属する荷重の数が多ほど荷重が厳しいので、同表より有明路線が最も厳しく、用賀路線が最も緩いことがわかる。

7. まとめ

昭和31年に制定された道路橋示方書において、その策定者は「荷重を示方書において設定するのは必要悪であって、本来設計者が路線の状況に応じて決定すべきである」という趣旨のことを言っている⁷⁾。設計者がそれぞれの構造物の状況に応じて設計荷重を決めることはかなり困難であるが、港湾構造物のように地形によって大きく外力が左右されるような場合には、それぞれの場所に応じて有義値が荷重の指標として有効に用いられてきた。

もし、確率過程としてのデータ群をある一つの特性値で合理的に代表させることができれば、非常に便利である。そのためには、その特性値のもつ確率的な意味が明確でなければならない。ここでは、有義値がそのために実用的に有用な特性値となり得ることを示した。すなわち、種々のケースの破壊確率を求めると、有義値は様々な種類の分布形に対して非常に幅の狭い超過確率をもっていることがわかった。このことは、有義値は種々の分布形をもつ実際の荷重に対して、分布形に依存せず大きさを表現できる指標となり得ることであり、実用上重要な意味をもっている。

次に、有義値の具体的な応用例として、自動車荷重をとり上げた。そこでは、自動車荷重を分類して有義

表-5 ゾーン分割評価

(a) 大型車評価

ZONE	有明路線	熊谷路線	用賀路線
A ₀	1	0	0
A	1 (大型車)	1	0
B	0	1 (大型車)	2 (大型車)
C	1	1	0
D	0	0	1
E	0	0	0
合計	4	4	4

(b) 全車種評価

ZONE	有明路線	熊谷路線
A ₀	1	0
A	1	1
B	3	3
C	7	4
D	3	4
E	6	9
合計	21	21

値で表わし、作用回数との関係を $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図としてプロットすると荷重評価が簡単にできることを示した。この自動車の有義値による評価方法は、単に橋梁の設計だけではなく、同様に自動車荷重を扱う道路の舗装設計やランダムな荷重を運搬するフォークリフトの作業場の舗装設計等にも応用できる。そして、ここで示した $S_{1/3}$ - $N_{1/3}$ 図の概念は将来疲労設計に応用できる可能性をもっている。

また、最近設計の概念として重要視されてきている性能設計においては、構造物の保有性能が要求性能を上回らなければならない。その要求性能を求めるためには荷重の設定が大きな課題となるが、この有義値の概念は荷重の簡便な評価方法として応用できると考えられる。

参考文献

- 1) 榎木 享, 出口一郎: 新編海岸工学, 共立出版, 1996.
- 2) 黒田保博, 当麻庄司: 構造物の荷重設定における基準値について, 土木学会北海道支部論文報告集, 1997. 2.
- 3) 黒田保博, 当麻庄司: 有義荷重を用いた道路交通荷重の一評価法, 土木学会第52回年次学術講演会, 1997. 9.
- 4) 福田 正編著: 交通工学, 朝倉書店, 1995. 10.
- 5) 星谷 勝, 石井 清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 昭和61年5月.
- 6) 藤原, 岩崎, 田中: 限界状態設計法における設計活荷重に関する検討, 建設省土木研究所資料, 第2539号, 1988年1月.
- 7) 川崎偉志夫: 道路橋の荷重について, 鋼橋示方書とプレストレスとコンクリート指針, 昭和30-8.

(2005年9月10日)