

早稲田大学理工学部 正員 ○依田 照彦
早稲田大学理工学研究科 学生員 津野 和宏
早稲田大学理工学部 居塚 宣明

1. まえがき

土木構造物の設計においては死荷重や活荷重のような主荷重のみを設計の対象とする事は少なく、発生頻度の低い荷重同士も組み合わせ設計荷重とするのが一般的である。このような場合、それぞれの荷重が同時に発生する確率は非常に低いために何らかの方法で確率統計的な調整を行う必要がある。現行の道路橋示方書においては許容応力度を割り増すことによってこの調整を行っている。

本研究では、確率論的手法を用いて変動荷重に対する荷重組み合わせ係数の計算を行い、この値を用いて荷重組み合わせ時の構造物の安全性・信頼性レベルの調整を行うことを目的とする。

2. 解析方法

1) 前提条件

本研究では荷重の組み合わせケースを死荷重+活荷重+風荷重(D+L+W)、死荷重+活荷重+風荷重+温度荷重(D+L+W+T)の2通りとし、以下の前提条件の下で荷重組み合わせ係数の計算を行い、その妥当性をシミュレーション手法を用いて検証した。

- ①供用期間は50年とする。②死荷重は常に一定値を取るものとする。③各荷重の供用期間最大値は極値Ⅰ型分布に従うものとする。④各荷重の設計値は、非超過確率90%の値とする。⑤使用する各荷重の特性は表1のように仮定する。

表1：荷重特性

荷 重	変動係数	発生頻度	継続時間
死荷重 D	—	—	—
活荷重 L	0.1, 0.15	1回/日	2時間
風荷重 W	0.1, 0.2	2回/年	24時間
温度荷重 T	0.1	2回/年	2時間

2) 荷重の組み合わせケース別発生回数の期待値

渋滞は1日に1回発生していると仮定しているため、24時間継続する強風が発生したときには必ず1回重なるものとし、考え得る全てのケースについて発生回数の期待値を計算する(表2)。例えば、L+W+Tにおいて、Lの発生する2時間前からその4時間後(Lの終了時)までにTが一回発生すればLとTは重なることになり、その確率は4/24となる。さらにWも重なる確率は4/24*2/365であり、それにTの発生回数を掛ければL, W, T全てが供用期間中に重なる回数が求まる。なお、表2の計算値はシミュレーション解析によって求めた値とほぼ一致した。

3) 合成された荷重Sの分布の計算

まず、表1より、L, W, Tが一回発生したときの分布を次式のいずれかによって決定する。

$$\mu_{x1} = \mu_{xn} - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_{xn} \cdot \ln(N) \quad (1)$$

$$\mu_{x1} = \mu_{xn} / [\ln(N) + 0.577215] \quad (2)$$

(μ_{x1} : 1回分の平均値、 μ_{xn}, σ_{xn} : 供用期間最大値の平均値及び標準偏差、N: 発生回数)

表2：荷重組み合わせケース別発生回数期待値

荷重組み合わせケース	供用期間中の発生回数期待値	
	L+Wの場合	L+W+Tの場合
L単独	18150	18133.88
W単独		
T単独		82.88
L+W	100	99.45
L+T		16.58
W+T		0.46
L+W+T		0.09

ここに式(1)は1回分も極値Ⅰ型分布に従う場合、式(2)は1回分が指数分布の場合であり、標準偏差 σ は常に保存されるものとする。これらを数値積分によって合成し、表2に示したケース別の分布を求めて次式によって供用期間最大値の分布に直す。

$$F_{yn}(y) = [F_x(y)]^n \quad (3), \quad f_{yn}(y) = n [F_x(y)]^{n-1} \cdot f_x(y) \quad (4)$$

ここに、最大値の累積確率及び確率密度が $F_x(y)$, $f_x(y)$ に従う分布が n 回発生したときの最大値分布の各値を、 $F_{x_n}(y)$, $f_{x_n}(y)$ とする。

以上のように求めた各ケース別の分布はそれぞれ重なることのない独立の荷重と見ることができるのでそのまま合成でき、最終的に合成荷重 S の分布が求まる。

4) 荷重組み合わせ係数 ϕ の計算

荷重組み合わせ係数 ϕ を次のように定義する。

$$\phi = \frac{S^*}{L^* + W^* + T^*} \quad (5) \quad (S^*, L^*, W^*, T^*: \text{荷重の設計値})$$

ϕ は死荷重 D の占有率が設計荷重に影響を与えないように、死荷重以外の設計値の合計に掛けるものとし、設計式を次式のようにおく。

$$R \geq \nu \{ D^* + \phi (L^* + W^* + T^*) \} \quad (6)$$

(R : 抵抗値、 ν : 設計安全率)

3. 解析結果及び結論

計算結果を図1、2に示す。図1の $D+L+W$ のケースでは活荷重と風荷重の平均値 M_L , M_W の比を変化させている。また図2の $D+L+W+T$ のケースにおいて、図2-aは活荷重の平均値 M_L を10に固定して風荷重と温度荷重の平均値 M_W , M_T の比を4:16~16:4と変化させた場合、図2-bは M_W , M_T を10に固定し、 M_L を4~16と変化させた場合の ϕ の値である。

設計に際して考慮すべき変動荷重はそれぞれ変動荷重の中である程度の占有率を持つ。現行の設計例に照らして見ると、 $D+L+W$ の場合は L と W の比が1/4~3/4程度の範囲となり、 $D+L+W+T$ の場合は L , W , T の中でどれも変動荷重中で少なくとも20%以上の占有率を持つと思われる。この範囲でみれば、 ϕ の値は図1、図2より、 $D+L+W$ の荷重組み合わせの場合は $\phi=0.8$ 、 $D+L+W+T$ の場合は $\phi=0.6$ 程度とおけ、式(6)のように変動荷重のみに ϕ を掛ければ安全性はある程度一定に保てるものと思われる。シミュレーション解析によってもほぼ同様の結果が得られていることから、荷重組み合わせ係数の具体的な値をいくつにするかという問題は残るものの、一つの評価法が提示できたと考えている。

参考文献

- 1) 伊藤学, 亀田弘行, 黒田勝彦, 藤野陽三: 土木建築のための確率統計の応用、丸善、昭和63年
- 2) 津野和宏 他: 確率論的考察に基づく許容応力度の割り増し係数の評価、第44回年次講演会概要集I-172, 1989
- 3) 岡本治 他: シミュレーションを用いた荷重組み合わせ係数の決定、第44回年次講演会概要集I-281, 1989

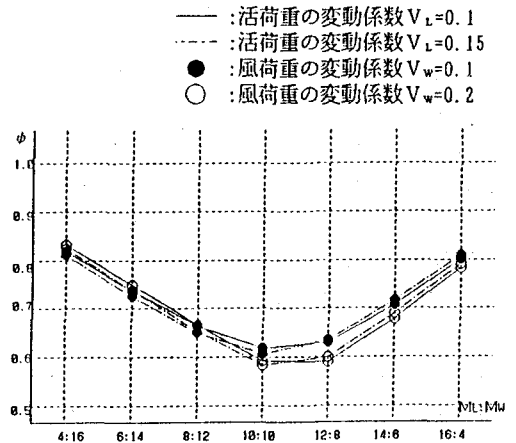


図1: $D+L+W$ における $M_L:M_W$ と ϕ の関係

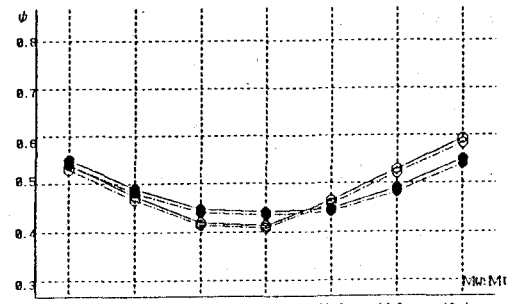


図2-a: $D+L+W+T$ における $M_W:M_T$ と ϕ の関係

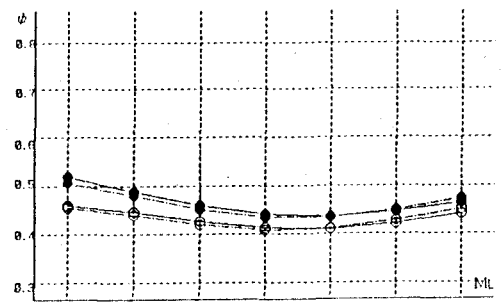


図2-b: $D+L+W+T$ における M_L と ϕ の関係