

I-168 信頼性理論に基づく組み合わせ荷重の評価

首都高速道路公団 正 員 津野 和宏
早稲田大学大学院 学生員 丸山 順也
早稲田大学理工学部 正 員 依田 照彦

1. まえがき

土木構造物の設計で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ことは少なく、発生頻度の低い荷重同士も組み合わせで設計荷重とするのが一般的である。このような場合、それぞれの荷重上限値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、変動荷重に対する荷重組み合わせの確率統計的考え方を検討し、構造物の安全性・信頼性レベルを考慮した組み合わせ荷重の値を具体的に提案することを目的とする。

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組み合わせ荷重の評価を行い、その妥当性をシミュレーション手法を用いて検証した。

表1: 荷重特性

- 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を表1のように仮定する。

荷 重	変動係数	発生頻度	継続時間
死荷重 D	一 定 値		
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の期待値が求まる。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。

表2: 荷重組合せケース別発生回数期待値

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)

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、 $F_{yn}(y)$, $f_{yn}(y)$ は、それぞれ最大値の累積確率及び確率密度が $F_x(y)$, $f_x(y)$ である

分布が n 回発生したときの最大値の累積確率及び確率密度である。

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。

$$\phi = \frac{S^*}{L^* + W^* (1 + T^*)} \quad (5)$$

(S^*, L^*, W^*, T^* : 荷重の設計値)

ϕ を L^*, W^*, T^* の関数(一定値を含む)とし、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すれば、設計式は次式のようにおける。

$$R \geq \nu \{ D^* + \phi (L^* + W^* (1 + T^*)) \} \quad (6)$$

(R : 限界抵抗値、 ν : 設計安全率)

3. 解析結果及び結論

計算結果を図1、2のプロットのある線で示す。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。図を見る限り、(6)式において荷重組み合わせ係数 ϕ を一定値とするのは無理がある。そこで、 ϕ を陰に表現し、設計式を次のように置き換える。

$$R \geq \nu (D^* + S^*) \quad (7)$$

変動荷重の合成設計値である S^* は以下のように求める。

- ① 変動荷重の1日最大値の設計値を(1)、(2)式より求める。
- ② 変動荷重の設計値のうち1つだけ供用期間最大値、残りを1日最大値のものとして合計する。
- ③ 全ケースについて求めた合計値のうち最大のものを S^* とする。これを(5)式の S^* に代入して求めた ϕ を図中にプロットの無い曲線として示し、両者を比較すると、その形状はほぼ似ており、式(7)

によれば、荷重占有率や荷重強度の変動係数の影響も多少考慮できることが分かる。しかし、荷重の分布形状や継続時間

等の影響については検討の余地が残されているので、詳細な研究が必要と思われる。終わりに本文の作成に当たっては、鋼・コンクリート共通構造設計基準小委員会(委員長 尾坂芳夫 東北大学教授)の委員の方々の御意見を参考にさせて頂きました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) C. J. Turkstra and H. O. Madsen: "Load Combinations in Codified Structural Design," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 106, No. ST12, December, 1980, pp. 2527-2543.
- 2) Yi-Kwei Wen: "Statistical Combination of Extreme Loads," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 103, No. ST5, May, 1977, pp. 1079-1093.

プロット有り: — 活荷重変動係数 $V_L=0.1$
 - - - 活荷重変動係数 $V_L=0.15$
 ● 風荷重変動係数 $V_W=0.1$
 ○ 風荷重変動係数 $V_W=0.2$
 プロット無し: — $V_L=0.15, V_W=0.2$
 - - - $V_L=0.1, V_W=0.1$

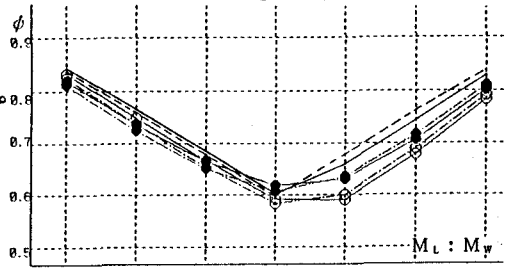


図1: $D+L+W$ における $M_L : M_W$ と ϕ の関係

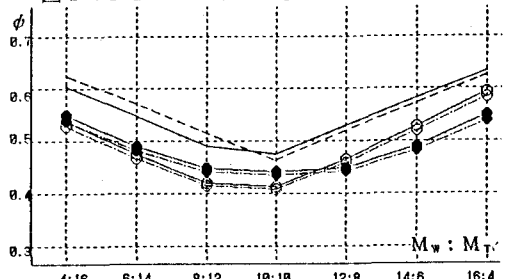


図2-a: $D+L+W+T$ における $M_W : M_T$ と ϕ の関係

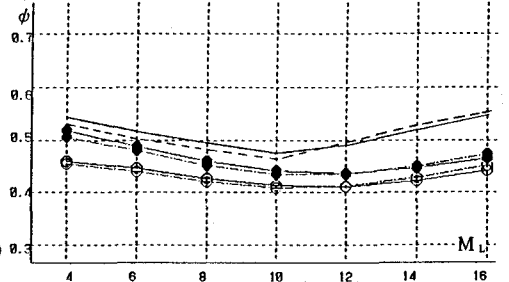


図2-b: $D+L+W+T$ における M_L と ϕ の関係