時間的に変動する荷重の組合せモデルについて

綜合技術コンサルタント　正会員　久保 雅邦
〃　正会員○明田 修
〃　正会員　渡辺 光弘
阪神高速道路公団　正会員　北沢 正彦

1. まえがき

構造物設計に荷重係数設計法を導入する上で，各種荷重の組合せを考慮した安全性解析が必要となる。これまでに多くの研究が進められ，概念的にはかなり明確になって来たが，さらに設計のより実際的な面における評価が必要と思われる。本研究では，そのような視点からの評価を目的として，荷重の組合せモデルについて考察した。

2. 組合せ荷重による超過確率の評価

図－1に示すように，時間的に変動する2種類の荷重（たとえば，温度荷重と地震荷重）を考え，"B－Cモデル"にモデル化する。各荷重はすべて独立とし，発生頻度はポアソン過程によって表わされると仮定する。抵抗力（強度）は確定値とする。構造物の耐用期間L（年）に発生する荷重状態は，表－1に示す4つの排反事象によって表わされる。ただし，Dは恒常的に作用しているとする。したがって，期間Lにおいて各事象E_iによって構造物がある限界状態を超過する確率P_iとその上界値P_i^u，下界値P_i^Lが次式で定義される。Prob[・]は確率を表わす。

表－1 排反な荷重状態

	荷重状態
E_1	D
E_2	D＋T
E_3	D＋E
E_4	D＋T＋E

P_i＝Prob[(E_iのどれかで超過する)∩(このEi以前の他のE_j ($j \neq i$)では超過しない)]　――(1)

P_i^u＝Prob[E_iのどれかで超過する]　――(2)

P_i^L＝Prob[(E_iのどれかで超過する)∩(すべてのE_j ($j \neq i$)では超過しない)]　――(3)

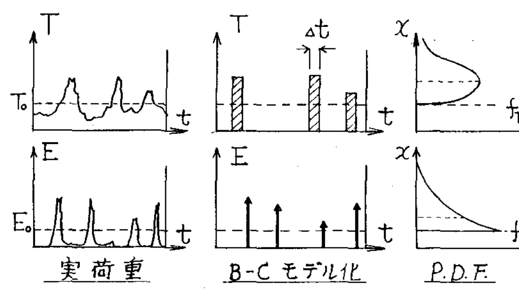
多項定理を用いて式(2)と式(3)を展開し，P_i^uとP_i^Lを求めることはできるが，P_iを誘導することは難しい。そこで，その近似値として次式で表わす$\tilde{P}_i$を定義する。

$\tilde{P}_i$＝Prob[(E_iのどれかで超過する)∩(各E_j ($j \neq i$)による荷重の平均値では超過しない)]　――(4)

$\tilde{P}_i$はP_i^u，P_i^Lと同様に求められるが，次の関係からこの両者が近似的に等しい場合には，P_i^uを用いてP_iとすることができる。

$P_i^L \leqq P_i \leqq P_i^u$　――(5)

良く知られているWenの"Load Coincidence Method"[1)]は上記のP_i^uに等しい。P_i^uとP_i^Lの結果を表－2に示し，一例を図－2に示す。これから見ると，変数の大きい範囲（たとえば，終局限界状態）ではP_i^uとP_i^Lとは十分に



図－1 実荷重の発生とモデル化

Masakuni KUBO, Osamu AKETA, Mitsuhiro WATANABE, Masahiko KITAZAWA

表-2　P_i^u, P_i^L の誘導式

$P_i^u = 1 - e^{N\ln(1-\Phi_i G_i)}$
$P_i^L = e^{N\ln(1-\sum_{j\neq i}\Phi_j G_j)} - e^{N\ln(1-\sum_{j\neq i}\Phi_j G_j - \Phi_i G_i)}$
ここに, $N = L/\Delta t$
Φ_i : ΔtにおけるE_iの発生率
G_i : E_iの荷重による超過確率

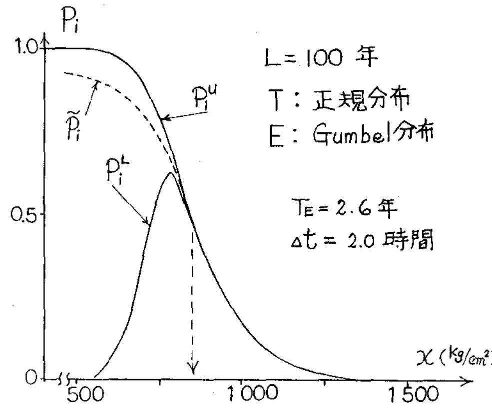


図-2　超過確率の一例

接近しており, P_i^uによってP_iを評価することができる。しかし, xの小さい範囲（たとえば, 使用限界状態）においてはP_i^uでは過大な評価となり, $\tilde{P}_i$を用いる方が妥当と思われる。上界値と下界値の接近の程度および変数の範囲は, 組み合わされる個々の荷重（T, E）の強度分布と発生頻度とに関係する。これらに応じて, 近似式を使うべきであろう。

3. 考慮すべき過載荷重の範囲

構造物が最大荷重によって限界状態に至る場合には, 各荷重について比較的厳しい過載荷重の状態のみを考慮すれば良く, 図-1に示した下限値T_0やE_0以下の荷重を無視できる。下限値が小さい程荷重の発生頻度が増加し, また荷重強度の確率分布を設定する上で裾部が十分に評価されにくい。逆に, 下限値が大きすぎると荷重の発生頻度さらには超過確率を過少評価することになる。つまり, ある意味で最適な下限値の設定が期待される。荷重EがGumbel分布に従うとして, 下限値E_0を変化させた時の確率密度関数$f_E(x)$と再現期間T_Eを図-3に示す。この場合, $f_E(x)$はそれぞれ全範囲の面積が1.0となるようにする。図-2の例で, E_0のみを変化させた場合のP_i^u, P_i^Lを図-4に示す。これによると図のE_0^*以上に下限値を設定するとP_iを過少評価することになり, E_0^*以下に設定すべきことを示している。

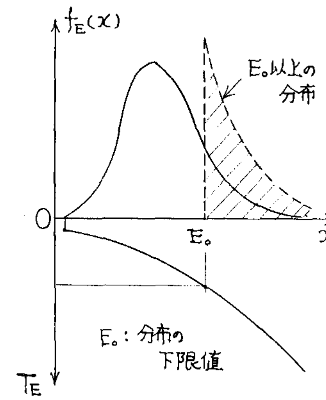


図-3　下限値と再現期間の関係

4. あとがき

"B-Cモデル"を用いた荷重組合せを行う中で, 排反事象としての各組合せ荷重による構造物の超過確率の評価方法と, モデル化に際して考慮すべき下限値の設定とについて検討した。これらの問題は具体的な構造物の安全性評価を行う上で重要と思われるが, 今後はさらに簡単な形で評価式を求めることが課題である。

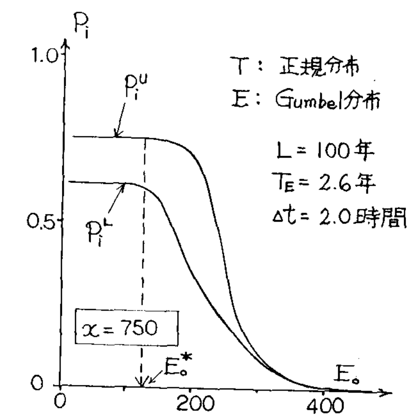


図-4　下限値と超過確率の例

(参考文献) 1) Y. K. Wen: Statistical Combination of Extreme Loads, ASCE, ST5, May, 1977