

1. はじめに

土木構造物は、その供用期間が長く、また自然環境下に設置されるため、種々の荷重を受ける。しかも、これらの荷重が単独に作用するのみでなく、複数の荷重が同時に作用する場合も多い。従って、構造物の設計に際しては、①考慮すべき荷重の組合せの種類 ②各々の荷重の組合せに対する安全性の評価 が重要課題となってくる。わが国の現行の道路橋示方書等においては、(1)生起頻度の低い荷重どうしの組合せは無視する (2)許容応力度の割増しをする などの方法で荷重の組合せに対処している。ここで、特に (2)の許容応力度の割増しに着目してみると、割増し係数は、非常に稀にしか生起しない荷重の組合せを考える場合には、常時作用する荷重と同様の安全率を考えるのは不合理であるとの理由により導入されている。しかしその値は高度な技術者の長年の経験や勘から決定されたものも多く、理論的根拠は乏しいといわれている。本研究は、現行の示方書等で用いられている許容応力度の割増し係数の値を確率論的に裏付けすることができかどうかを、モンテカルロ法を用いた荷重組合せのシミュレーション結果をもとに検討するものである。

2. シミュレーション手法による荷重の組合せ

土木構造物に作用する荷重は一般に、図1に示す3種類のタイプに分類される。そこで、図2に示すように、個々の荷重は荷重強度 X_i 、継続時間 d_i 、発生時間間隔 T_i の3個の確率変数で構成されると仮定する。そして、各々の変数に適当な分布形およびパラメータ値を与えることによって単一荷重モデルを作成する。この単一荷重モデルを複数個(本研究では3個および4個)作成した後、時間軸上で重ね合わせることにより組合せ荷重モデルを作成し、供用期間 T_0 での最大値を求める(図2参照)。この操作を100回繰り返すことにより、100個のデータから、組合わされた荷重の供用期間最大値分布を求める。なお数値実験に使用した諸数値・分布形等は表1に示す通りである。このうち、各荷重強度の供用期間最大値分布の平均値の比は、死荷重のそれを1.0として実際のラーメン橋・トラス橋の設計例より求めている。また分布形・変動係数等については、常識的で、かつ計算が容易となるようなものを用いている。

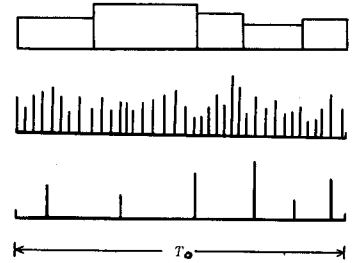


図1 荷重の分類

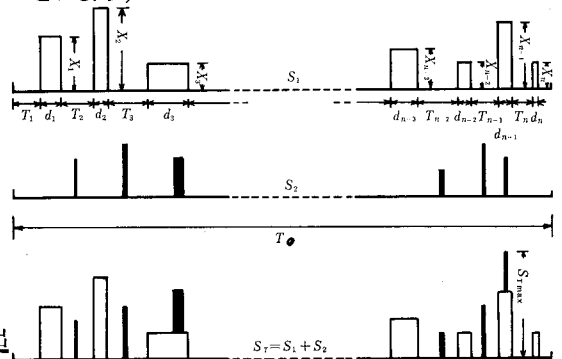


図2 シミュレーション手法による荷重の組合せ

3. 許容応力度の割増し係数(に相当する値) α の算出

現行の示方書における安全性照査式は一般に

表1 数値実験上の仮定

荷重	発生時間間隔		荷 重 強 度			荷重継続時間		
	分布形	平均発生率 (常時発生)	分布形	平均値	変動係数	分布形	平均値	変動係数
死荷重 D			極値1型 最大値分布	1.0	0.05	対数正規 分布	5年	0.10
活荷重 L	約ソ 到着	1回/年	"	8.6	0.15	"	2時間	0.15
温度荷重 T	"	1回/日 2回/年	"	6.0	0.1 ~0.3	"	12時間 24時間	0.15
風荷重 W	"	2回/年	"	9.6	0.2	"	24時間	0.20
地震荷重 E	"	5,10,30,50 年に1回	"	5.3	0.5 ~0.9	"	3分間	0.30

$R/\gamma \geq S$ [R:強度の設計値, S:荷重の設計値, γ :安全率]

で表わされる。従って、常時作用する荷重として死荷重Dと活荷重Lが作用する場合、すなわち

$$R/\gamma \geq (S_D + S_L) \quad \dots \textcircled{1} \quad [S_D: D \text{の設計値}, S_L: L \text{の設計値}]$$

を基本と考えると、例えば風荷重WがD, Lと同時に作用する場合には、

$$\alpha (R/\gamma) \geq (S_D + S_L + S_W) \quad \dots \textcircled{2} \quad [\alpha: \text{許容応力度の割増し係数}, S_W: W \text{の設計値}]$$

により安全性照査がなされたとみなすことができる。ここで、①式、②式の右辺が共に(D+L)および(D+L+W)の供用期間最大値分布のp%超過確率値(本研究ではp=10)となるように α の値が決められているものと考えて α の値を求めることにする。ただし、設計値R, S_D , S_L , S_W 等はすべての荷重組合せに対し同じ値をとるものとする。また、荷重から荷重作用への変換式は線形であると仮定する。

4. 数値実験結果および考察

数値実験結果の一例を示したのが図3, 図4である。図3はD+L+Tの組合せを、図4はD+L+T+Wの組合せについて示してある。ただしTは温度荷重である。現行の道路橋示方書では、前者の組合せに対し1.15, 後者の組合せに対し1.35の割増し係数を設定しているが、これらの図より、平均して1年に2回生起する温度荷重を想定した場合の α の値と極めてよく一致していることがわかる。すなわち、現行の示方書で用いられている許容応力度の割増し係数の値は、常時作用する荷重の組合せと(非常に)稀にしか起こらない荷重の組合せに対し、荷重の設計値を超過する確率がほぼ等しくなるような値となっているといえよう。なお参考のため、わが国の鉄道橋示方書および米国の道路橋示方書で用いられている割増し係数の値も図中に示してある。

図5および図6は、現行の道示には含まれていないD+T+WおよびD+L+E [E:地震荷重]の荷重組合せについて示したものである。前者の組合せは、強風の吹き荒れるような時には自動車の走行が規制されたり、運転者自身が運転を差し控えたりすることを、また後者の組合せは、地震が発生した時に活荷重が載荷していないとは必ずしもいえないことを考慮して数値実験を試みた。図4と図5を比較すると、実際に生じうると考えられるD+T+Wの組合せについては、D+L+T+Wの組合せを考える場合よりも割増し係数を大きくしてもよいといえる。また図6より、地震を考慮した場合の現行の割増し係数1.7については、やや大きすぎるよ

うであるが、この場合は経済的な側面からの配慮がなされているとも言われており、さらに慎重な検討が必要であろう。

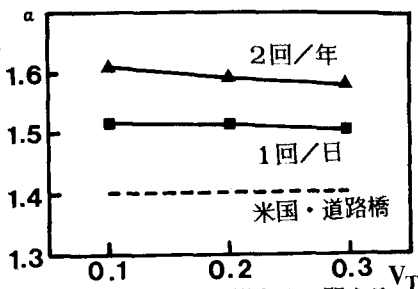


図5 D+T+Wの組合せに関する許容応力度の割増し係数 (V_T : Tの変動係数)

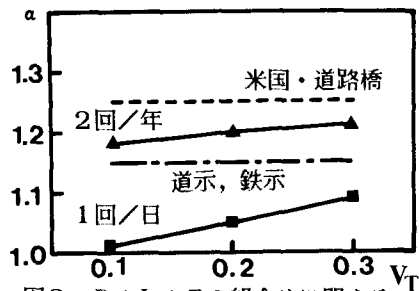


図3 D+L+Tの組合せに関する許容応力度の割増し係数 (V_T : Tの変動係数)

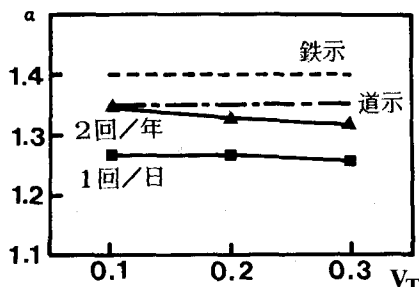


図4 D+L+T+Wの組合せに関する許容応力度の割増し係数 (V_T : Tの変動係数)

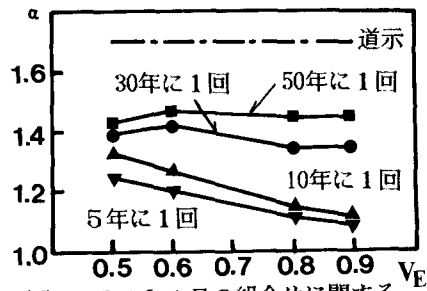


図6 D+L+Eの組合せに関する許容応力度の割増し係数 (V_E : Eの変動係数)