

温度変化を含む組合せ荷重下での構造物の信頼度評価

京都大学工学部 正員 山田 善一

京都大学工学部 正員 家村浩和

京都大学工学部 正員 野田 茂

愛知県 正員○河野修平

1. 緒論 本研究は、高架橋橋脚を対象として各種設計荷重の確率統計的モデルを設定し、組合せ荷重効果の最大値の確率分布を算定することより構造物の信頼度評価と荷重係数に関する考察を行ったものである。なお対象とした荷重は死荷重 D 、活荷重 L 、風荷重 W 、地震 E Q と温度変化 ΔT の影響である。

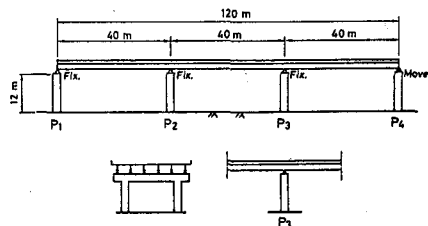


图 1 对象构造物

表 1 变换系数

Coefficient of Transformation from Load to Load Effect		
	Pattern 1	Pattern 2
Live Load : C_L	8.6618×10^{-7}	8.6860×10^{-7}
Wind Load : C_W	—————	1.9985×10^{-4}
Earthquake : C_{EQ}	1.6810×10^{-2}	7.2714×10^{-3}
Temperature : C_T	3.8619×10^{-1}	6.5358×10^{-2}
Dead Load Effect (kg/cm^2)	5.8097×10^1	8.4536×10^1

2. 対象構造物 図1は対象とした三径間連続高架橋と一様断面一層 π 型鋼製ラーメン橋脚である。荷重効果には橋脚下端の曲げモーメントと軸力による最大応力を考えた。Pattern 1には主荷重および橋軸方向に作用する荷重による荷重効果の組合せを、Pattern 2には主荷重および橋軸直角方向に作用する荷重による荷重効果の組合せを設定した。表1は荷重（有次元）から荷重効果（無次元）への変換係数（ C_L , C_T , C_{EQ} , C_W ）である。以後の解析では死荷重効果を1として正規化した各種荷重効果を用いた。

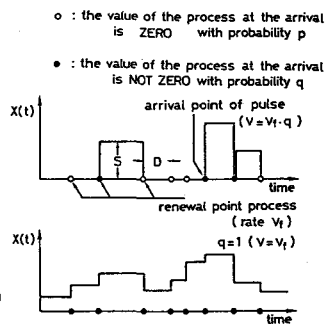
$$r = 1 + C_L \cdot P_L + C_T \cdot \Delta T + C_{EP} \cdot a + C_W \cdot v^2 \quad - (1)$$

ここに、 r : 荷重効果, P_L : 活荷重 (kg), ΔT : 温度変化 (deg), a : 最大応答加速度 (gal), v : 風速 (m/s)

3. 荷重モデル 死荷重は不変量とした。活荷重、風速、地震による最大応答加速度は、図2に示すポアソン再帰過程でモデル化した。このとき必要なパラメータは、1) 荷重発生率 λ 、2) 荷重平均継続時間 μ 、3) 荷重発生時の強度の確率分布である。

活荷重に対しては自動車列荷重実態調査などにより表2に示す

ように Case 2 と Case 7 を考えた。風速は大阪地区の 10 分間平均風速値の年最大値より推定した藤野¹⁾らの結果を参照した。地震効果としては亀田²⁾の加速度応答スペクトルのアテニュエーション式と地震危険度解析より各パラメータを設定した。次に、部材温度と気温が等しいと仮定して、温度変化の影響を考えた。大阪地区の気温データ³⁾より、式(2)に示すような気温のモデル式を提案した。



Renewal Pulse Process
図 2 荷重モデル

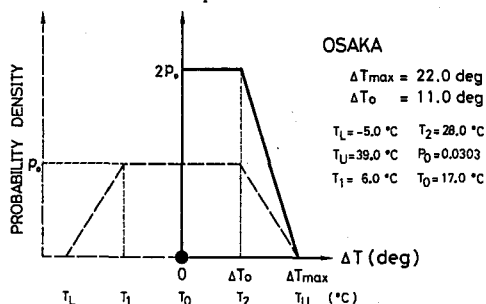


図 3 温度変化の確率分布

$$T\ (^{\circ}\text{C}) = T_o + T_y \sin t_{\text{annual}} + T_d \sin t_{\text{daily}} \quad - (2)$$

T_o, T_y, T_d : 正規変量

式(2)とシミュレーションにより図3に示す温度変化 ΔT の確率分布を求めた。

4. 理論解析手法 活荷重、風荷重と地震の影響に関してはWenによるLoad Coincidence Method⁴⁾を用いて組合せ荷重効果の最大値の確率分布

を求めた。さらに温度変化の影響を含めるため、その荷重効果の任意時間の確率分布(図3)と他の荷重組合せの最大値の確率分布のたたみ込み積分によって評価した。その結果、組合せ荷重効果の最大値の確率分布 $F_s(r)$ が推定される。

5. 計算結果および考察 図4~6には、縦軸に破壊確率 $P_f = 1 - F_s(r)$ を、横軸に組合せ荷重効果として式(1)の r をとり、各種荷重組合せについて示した。図中のDependenceとIndependenceとは活荷重質量を地震時の震動質量に含むか、含まないかを示している。計算結果より以下のことが考察される。1) 活荷重質量を震動質量に含む影響は大きく、活荷重と地震の影響の組合せを考える必要がある(図4, 5)。2) 風と地震の組合せを考える必要がない(図6)。3) 活荷重と風の組合せも破壊確率 P_f が 10^{-4} 以下のレベルに対しては考慮する必要がない(図6)。4) 本研究の設計への適用として、Pattern 1の荷重に対する荷重係数を表3のように試算した。これは各破壊確率に対する組合せ荷重効果 r (図5)を用いて求めたものである。

表2 荷重モデルのパラメータ

	荷重発生率 (1/year)	平均継続時間 (year)	強度の確率分布 m : 平均値, σ : 標準偏差
活荷重	Case 2 3.47×10^3 Case 7 6.95×10^3	1.71×10^4 (1.5hour)	$m = 1.44 \times 10^5, \sigma = 5.22 \times 10^4$ $m = 3.01 \times 10^5, \sigma = 9.04 \times 10^4$ (kg) Gumbel Dist.
風荷重 (風速)	1.0	1.90×10^{-5}	$F_V(v) = \exp[-\exp(-a(v-u))]$ $a = 0.112\text{s/m}, u = -0.2\text{m/s}; \text{for } v \geq 21.0\text{m/s}$ $a = 0.409\text{s/m}, u = 14.5\text{m/s}; \text{for } v < 21.0\text{m/s}$
地震の影響 (最大応答加速度)	Pattern 1 9.75×10^{-2} Pattern 2	1.14×10^{-6} (36 sec)	$F_{S_a}(a) = 1.0204 - 14.19a^{-1.0136}$ (13eas637) $F_{S_a}(a) = 1.0204 - 31.58a^{-1.1166}$ (22eas719) (a: gal)

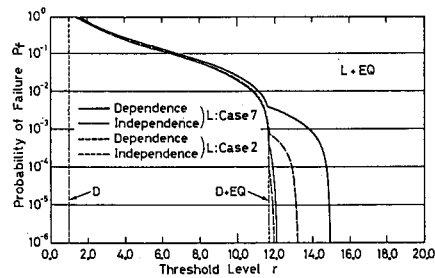


図4 L+EQ (Pattern 1)

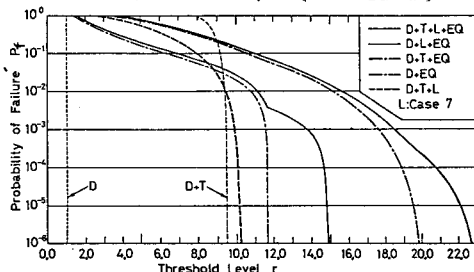


図5 Pattern 1の計算結果

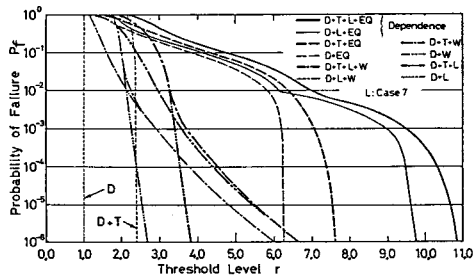


図6 Pattern 2の計算結果

参考文献 1) 藤野陽三, 伊藤学, 酒井利夫; 土木学会論文報告集, 第305号, pp.23-24, 1981年1月. 2) 家入龍太, 亀田弘行; 土木学会第37回年次学術講演会講演概要集第1部, I-329, pp.657-658, 昭和57年10月. 3) 総理府統計局編: 日本統計年鑑第1~32回, 1949~1982. 4) Wen, Y-K; J. of S.D., ASCE, Vol. 103, No. ST5, pp.1079-1093, May 1977.

表3 荷重係数 (Pattern 1)

P_f	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
D+T	Dn+Tn	Dn+Tn	Dn+Tn
D+L	Dn+6.0Ln	Dn+6.7Ln	Dn+7.3Ln
D+EQ	Dn+3.2En	Dn+3.2En	Dn+3.2En
D+T+L	Dn+Tn+4.0Ln	Dn+Tn+4.7Ln	Dn+Tn+5.3Ln
D+T+EQ	Dn+Tn+2.9En	Dn+Tn+3.0En	Dn+Tn+3.1En
D+L+EQ	Dn+6.0Ln+3.8En	Dn+6.7Ln+3.8En	Dn+7.3Ln+3.8En
D+T+L+EQ	Dn+Tn+4.0Ln+3.2En	Dn+Tn+4.7Ln+3.5En	Dn+Tn+5.3Ln+3.7En