I-275　鋼製ラーメン橋脚のための荷重係数の試算

阪神公団　正員　○北沢　正彦
綜合技術Ｃ　〃　久保　雅邦
〃　〃　明田　修

１．まえがき　阪神公団設計荷重委員会においては過積載車問題を発端に、実態荷重の調査を行い構造物の安全性について検討を行ってきた。さらに、その延長として荷重係数の試算も行った。ここにその概要を報告する。

２．対象構造物　荷重組合せ問題を扱おうとする場合に、多くの荷重効果が、ある程度影響を及ぼす構造物が調査の対象となる。またそれが代表的・標準的な構造物であることが求められよう。ここではこれらの点から死荷重・活荷重・温度荷重・地震荷重の影響をうける鋼製ラーメン橋脚と参考までにこれに支えられた２点固定の鋼箱桁をとりあげた。そして、支間長（４０～８０m）、橋脚高さ（１０～２０m）、橋脚柱間隔（２０～３０m）の３つを組合せた１２種類のモデルを対象とした。

３．荷重係数の設定のしかた　構造物は各種の荷重或いはその組合せ荷重を受け、ある荷重以上になると降伏或いは崩壊につながることになる。これら実態の様々の荷重を受けてもある破壊確率Ｐf以内におさえておく設計が初歩的ながらも基本的な考え方であろう。従って実態の荷重を設計荷重として定式化すればこのような設計ができることになろうが、実際には実態荷重を設計荷重にそのまま設定することは設計法としてはなじまない。そこで現行設計荷重を仮に公称荷重としてこれに何等かの荷重係数γを乗じて必要と思われる代表的荷重組合せについて照査式を設定し、これら各コードによって設計された構造物が、活荷重或いは地震荷重が支配的な部位においても結果として同じかつ目標とする破壊確率を有していれば都合がよい。このようになる荷重係数を設定できればその構造物は均等な安全性を有することになり地震荷重をうけてＡ点が崩壊する確率も、活荷重をうけてＢ点が崩壊する確率も同じことになる。さらに広げていえば橋梁を構成する橋脚群或いは桁群もそうあるべきと考えることにもなる。いずれにせよここでの荷重係数の求め方は、荷重係数設計法の照査式により設計された構造部材の各部が各種実態荷重の組合せをうけても目標とする破壊確率を同じように有しているように適切な荷重係数を設定するものである。式で示すと、

$$\phi_j\ \sigma^* \geqq \sum \alpha_m \cdot \gamma_{mj} \cdot X_m^* \quad \text{（荷重係数法照査式）}$$

ϕ_j ：　組合せ照査式コードjにおける強度係数（ここでは１．０とした）
σ^* ：　限界状態を表わす公称強度（ここでは降伏強度とした）
α_m ：　荷重mの荷重効果への変換係数（mはここではＤ、Ｌ、Ｔ、ＥＱ）
γ_{mj} ：　組合せコードjにおける荷重mの荷重係数
X_m^* ：　荷重mの公称荷重強度（ここでは道路橋示方書による）

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \gamma_{mj}} = 0、\quad \Omega = \sum_k \sum_n \left(\frac{\log Pf - \log Pf^*}{\log Pf^*} \right)^2 \quad \text{（荷重係数設定式）}$$

Ｐf ：　崩壊を想定し設定した限界状態を実態荷重をうけて超過する確率（ここではWenの方法によって求めた）
Pf^* ：　目標とする限界状態超過確率（ここでは10^{-3}、10^{-5}）
k ：　同形式の構造物群（ここでは橋脚１２ヶ、桁３ヶ）
n ：　構造物の各部（ここでは橋脚の柱梁部計４点、桁２点）

本検討においては、実際にはγ_{mj}を少しずつ変化させてΩが最小となる時を見つけるようにした。この場合、照査式コードjの全てを用いてΩを最小化する必要があるが、容易に適切なγ_{mj}を見つけ出す事ができないので、コードを２つ毎にしてγ_{mj}を求め１組の一致した値になることを確認した。

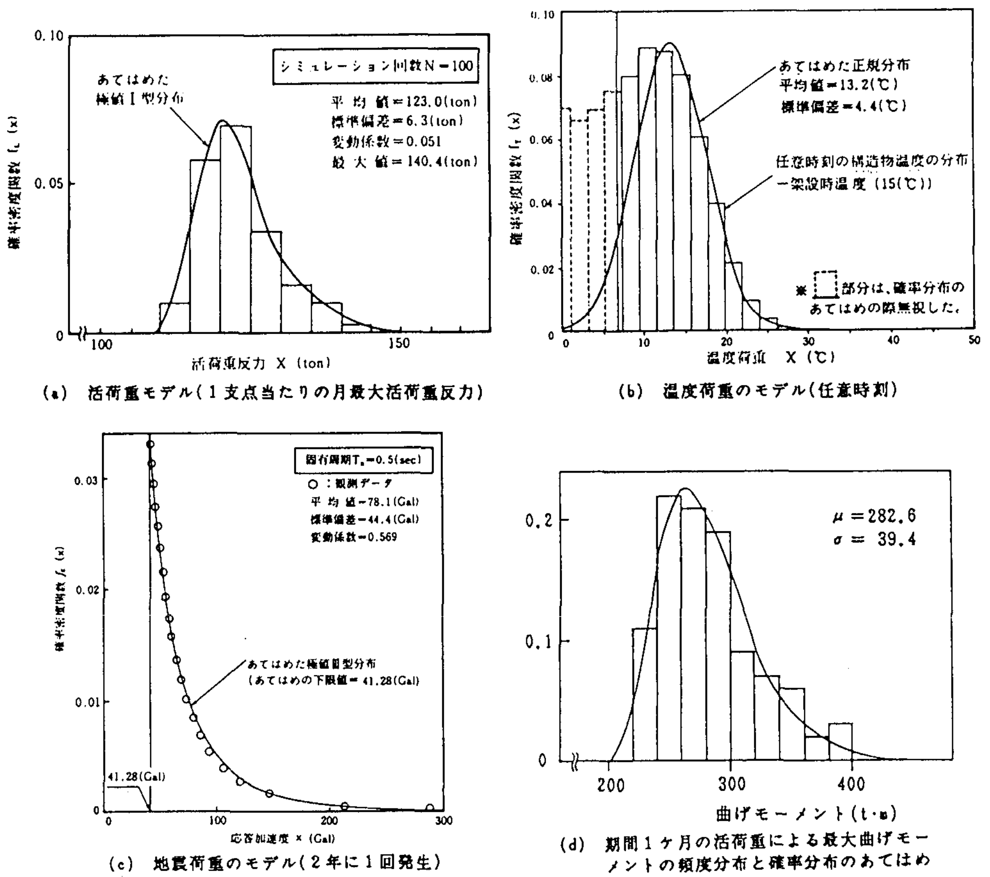
４．実荷重モデル　実荷重モデルは前述の委員会調査結果を用いて単位期間の最大値分布の確率密度を基本として求めた。すなわち、活荷重については４車線の荷重列による支点反力を月に１度発生する荷重強度を対象にしてその分布を求めた。地震荷重については再帰期間２年以上の発生地震による２種地盤、固有周期０．５秒の構造物の応答加速度の分布として求めた。なお、非線形応答の領域にまでは考慮していない。温度荷重についてはこれらと組合せることを考え１時間毎の構造物温度から架設時温度を引いたものとして求めた。死荷重については関連する構造物の分布特性を用いた。図－１にこれらの分布を示す。これを用いＰfを求めるに当っては、WenのLoad Coincident Methodを用いた。すなわち、

$$Pf(X) \fallingdotseq 1 - \exp[-\sum_{j'} nj' Gj'(X)]$$

nj'　：供用期間中に実荷重組合せケースj'が発生する回数

Gj'(X)：ケースj'の組合せが発生した時の終局限界状態Xを越える確率

Gj'(X)を求めるに当っては各実荷重をモンテカルロ法により発生させ組合せj'の確率密度関数を求めてこれより算定した。



(a) 活荷重モデル（1支点当たりの月最大活荷重反力）

(b) 温度荷重のモデル（任意時刻）

(c) 地震荷重のモデル（2年に1回発生）

(d) 期間1ケ月の活荷重による最大曲げモーメントの頻度分布と確率分布のあてはめ

図－1

5．荷重係数　$Pf^* = 10^{-3}$の場合の得られた荷重係数を表－1に示す。これより次のようなことが示された。

① Dの他に単一の荷重が組合さる照査式においては、その荷重係数はPf^*と同じ超過確率の荷重値になるような値になっている。（表－2参照）

② LあるいはEQと組合せられるTは比較的小さく、組合せの必要性は少ないと思われる。

③ EQと組合せられるLは比較的小さく、この組合せの必要性も少ないと思われる。

④ 設計対象が橋脚であれ桁であれD＋L＋Tの照査式はほぼ同じ結果を得た。

表－1　荷重係数（$Pf^* = 10^{-3}$）

対象	コード	D	L	T	EQ
橋脚	1	1.05	1.20		
	2	1.05	1.15	0.30	
	3	1.05			2.45
	4	1.05		0.25	2.35
	5	1.05	0.10		2.35
桁	1 2	1.05	1.15	0.00	

表－2　活荷重モデルの超過確率値（現行の設計荷重との比）

支間長 (m)	期間1ケ月の最大値分布の10(%)超過確率値	期間50年の最大値分布の超過確率値		
		0.10	10^{-3}	10^{-5}
3@40	0.84	1.04	1.20	1.35
3@60	0.86	1.05	1.18	1.31
3@80	0.88	1.05	1.17	1.29