

I-363

終局限界状態に着目した地震荷重の荷重係数

横河橋梁製作所 正員 高森博之
 大阪大学大学院 学生員 星加益朗

大阪大学工学部 正員 川谷充郎

1. まえがき 道路橋設計に限界状態設計法を導入するにあたり、各種限界状態における安全性の評価に基づいて、設計照査式の荷重抵抗係数を適切に設定しなければならない。種々の限界状態のうち、やはり終局限界状態が最も重要であり、わが国において、それは地震時に起こると考えられる。著者らはこれまで、限界状態の超過確率に基づいて荷重係数を求める研究において、終局限界を構造物の任意断面で、鋼材の降伏点に達する状態としていた¹⁾。本研究では、それに加えて、断面の全塑性化および構造物の崩壊メカニズム形成を取り上げ、荷重係数を試算する。

2. 荷重係数決定法 基本的な考え方は限界状態確率図²⁾による。構造設計における信頼性の概念は、力学的に類似した構造物において、その大きさおよび幾何学的形状の相違にかかわらず、各種限界状態に対して同レベルの安全性を保証することであると考えられる。そこで、それぞれの限界状態においてその超過確率(限界状態確率)の目標値を設定し、各構造物について限界状態確率の目標値まわりのばらつきを小さくすることで、各構造物に対して均一な安全性が得られるとする。本研究では、地震を含む荷重組合せに着目するが、D+T+Eは先の示方書改訂において削除されており、また、ここで対象とする構造系において支配的な荷重組合せになることが少ないことより、D+Eのみを扱うことにする。

3. 終局限界状態 「最もクリティカルな断面で降伏点に達する」状態、あるいは同じ断面が「全塑性化する」状態、および「構造物が崩壊メカニズムを形成する」状態を終局限界とする。断面降伏の判定は線形構造解析に基づいて行う。また、断面の全塑性化の判定には、非線形相関式が提案されているが、ここでは解析の簡略化を図るため、非線形相関式よりも安全側である次の線形相関式を用いることにする³⁾。

$$\frac{N}{\phi_P N_Y} > 0.15 \text{ のとき, } \frac{N}{\phi_P N_Y} + 0.85 \frac{M_y}{\phi_P M_{Py}} + 0.85 \frac{M_z}{\phi_P M_{Pz}} \leq 1.0 \quad (1)$$

$$\frac{N}{\phi_P N_Y} \leq 0.15 \text{ のとき, } \frac{M_y}{\phi_P M_{Py}} + \frac{M_z}{\phi_P M_{Pz}} \leq 1.0 \quad (2)$$

ここに、 ϕ_P : 耐力係数(ここで簡単に 1.0 とする)、 N_Y : 降伏限界耐力、 M_{Py} : 強軸回りの全塑性モーメント、 M_{Pz} : 弱軸回りの全塑性モーメント。

崩壊メカニズム形成の終局荷重は、地震荷重による外力仕事と塑性ヒンジにおける内力仕事が等しいという関係式から導くことができる⁴⁾。

4. 解析モデル⁵⁾ 対象とする構造物のモデルは、図-1に示す阪神高速道路の代表的な構造物とし、橋軸方向に10種類、橋軸直角方向に12種類を考える。実働荷重のモデルは、実測データを基に作成されたものを用いた。死荷重は、そのばらつきが他の荷重に比べて非常に小さく、ここでは荷重係数を $\gamma_D=1.05$ と確定して評価する。地震荷重は再帰期間が2年以上のものに対して次式のように極値Ⅲ型分布でモデル化する。

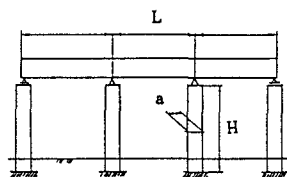
極値Ⅲ型分布の確率分布関数 F_E

$$F_E = 1 - \exp \left[- \left\{ (x - x_0) / \beta \right\}^\alpha \right]$$

α : 形状パラメータ 0.913

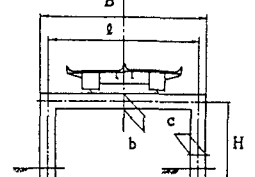
β : 尺度パラメータ 34.24

x_0 : 下限値 41.28 (gal)



スパン長L: 20, 40, 60, 80, 100m (5種類)
 幅員: 13, 19m (2種類)
 (3車線, 4車線に対応)

(a) 橋軸方向モデル



スパン長L: 40, 60, 80m (3種類)
 橋脚高H: 10, 20m (2種類)
 橋脚全幅B: 20, 30m (2種類)
 (4車線)

(b) 橋軸直角方向モデル

図-1 構造物の一般形状

5. 数値計算例 構造物の設計

計には現行設計法の設計荷重を用い、断面照査は降伏応力度で行った。崩壊メカニズムの種類としては、橋軸方向モデルは図-2(a)、橋軸直角方向モデルは図-2(b)に示すものの卓越性が確認されており⁶⁾、これらについてのみ限界状態確率の算出を行った。ただし、橋軸直角方向モデルで、図-3(b)に示したラーメンの高さ $H=10\text{m}$ 、幅 $B=30\text{m}$ のものについては、表-1から分かるように、他のモデルと比べて地震の影響を受けにくく、 $D+E$ により崩壊メカニズムが形成されにくいため、解析モデルから除外した。ここで設定した3種の終局限界状態に対して、得られた荷重係数を図-4に示す。目標限界状態確率については現行設計法とのコードキャリブレーションにより適切に設定すべきであるが、その資料が十分でないために、今回はいくつかに変化させて解析を行った。図-4から次のようなことが考察できる。

i) 橋軸方向モデルでは、1断面の全塑性化と崩壊メカニズム形成は同じ状態である。本解析

結果においても、1断面の全塑性化を終局限界とした場合と崩壊メカニズム形成を終局限界とした場合で、ほぼ同じ値の荷重係数が算出されている。

ii) 橋軸直角方向モデルでは、同じ目標限界状態確率において、崩壊メカニズム形成を終局限界としたときに得られる荷重係数が著しく小さくなっている。

iii) 橋軸方向モデルと橋軸直角方向モデルを比較した場合、断面の降伏および全塑性化を終局限界状態としたとき、同じ目標限界状態確率に対し、ほぼ同じ値の荷重係数が算出されているが、崩壊メカニズム形成を終局限界状態とした場合には、崩壊形式の相違から、得られる荷重係数に大きな差が生じている。

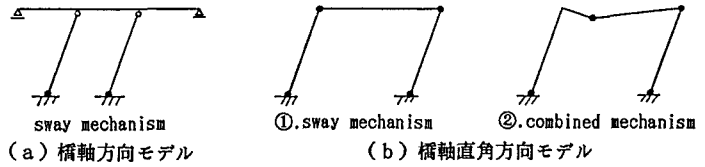


図-2 崩壊メカニズム

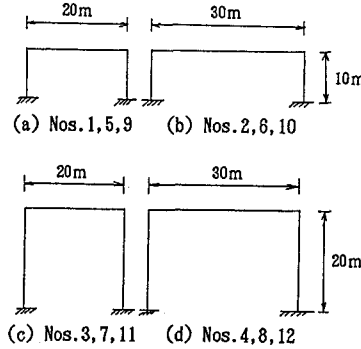
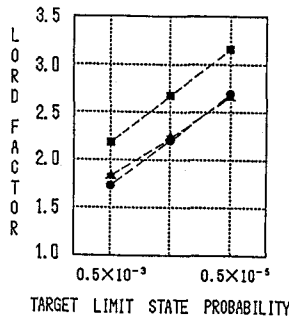


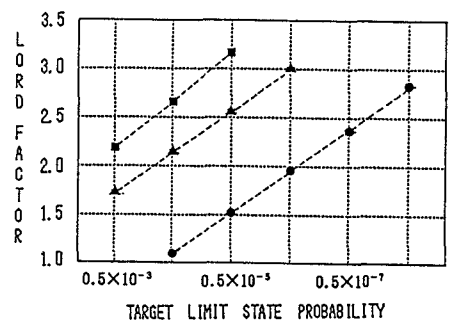
図-3 橋軸直角方向モデルの概形

表-1 設計荷重による発生応力比（基礎部断面）

structure No.	earthquake load/dead load
	transverse
1	0.806
2	0.440
3	1.759
4	0.983
5	0.788
6	0.432
7	1.696
8	0.952
9	0.778
10	0.426
11	1.658
12	0.933



(a) 橋軸方向モデル



(b) 橋軸直角方向モデル

図-4 地震荷重の荷重係数

- 断面が降伏点に達する状態
- ▲—▲ 断面が全塑性化する状態
- 崩壊メカニズムを形成する状態

《参考文献》

- 1) 高森博之・川谷充郎・星加益朗・久保雅邦・古田 均：土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，1-167，1990.9.
- 2) Shinozuka, M.: IABSE Symposium, pp.65-69, Sept. 1986, Tokyo.
- 3) 福本晴士編：座屈設計ガイドライン，土木学会鋼構造委員会，pp.137-143，1987.10.
- 4) 太田俊昭：構造物の非弾性解析，新体系土木工学⑩，技報堂出版，1980.1.
- 5) 阪神高速道路公団：限界状態設計法における荷重係数の算定方法に関する検討報告書，1988.3.
- 6) 白木渡・松保重之・高岡宜善：構造工学論文集，Vol.36A，pp.469-478，1990.3.