

部分係数設計法に基づく荷重係数の設定方法

間瀬 利明¹・玉越 隆史²・生田 浩一³

^{1~3} 国土技術政策総合研究所 道路研究部 道路構造物管理研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

道路橋の設計基準を信頼性の概念を取り入れた性能照査型とすべく、現行の許容応力度設計法から部分係数設計法の体系への転換を図るため、設計で必要となる荷重の特性値及び荷重係数について検討を進めている。そのなかで、代表的な橋梁形式及び着目すべき部位、応力に対して、確率統計的なデータ処理に基づく時系列シミュレーションを行い主たる荷重の組合せを考慮した荷重係数を試算した。その結果、シミュレーション上の制約や実現象に関するデータ整備状況に応じて仮定される条件設定が係数の試算結果に極めて大きな差異となって現れることが明らかとなった。

キーワード 性能規定, 部分係数設計法, 荷重係数, 荷重の組合せ

1. はじめに

社会活動や生活水準の維持・向上に不可欠な社会資本の整備にあたっては、ユーザーである国民に保証すべき性能の水準とこれを達成するための決まり(=技術的な基準)が必要とされる。

道路橋の基準については、現在のところ「橋、高架の道路等の技術基準」(以下「道路橋示方書」という。)が国土交通省都市・地域整備局長、道路局長から通達されており、時代の要請にしたがって逐次改訂を重ねながら運用されている。平成13年度の道路橋示方書改訂では、新技術・新工法への対応、ライフサイクルコストの縮減、国際的潮流への対応を目指して「性能照査型設計」の導入について積極的に検討がなされ、従来の仕様規定型の条項を残しつつも性能規定を指向した記述へと書き改められた。

今後は、より合理的かつ柔軟に性能照査を行える環境を整え、多様な技術や新材料等も適正な評価のもとで導入が図られるよう、次期改訂において道路橋に求める性能水準をさらに明確化し、信頼性を考慮のうえ性能を具体的に照査できるような基準体系に移行することが必要であると考え。その一環として、従来の許容応力度設計法から、道路橋のおかれる様々な条件の差異や導入される技術の信頼性等に応じて合理的に必要な性能が確保できる設計を具体的にやりやすくなる「部分係数設計法」の体系への転換を図る検討を現在進めている。

本稿では、この部分係数設計法への転換作業のうち、荷重側の条件について種々の統計データを分析し、時間変動や季節性を考慮した時系列シミュレーションを行うことにより、道路橋の設計において考慮されるべき様々な荷重及びそれらの組合せが道路橋の性能水準の設定に

及ぼす影響について検討した結果について報告する。

2. 荷重係数の設定方針

(1) 部分係数を用いた設計書式

許容応力度設計法では、荷重側及び抵抗側における様々な不確実性の要因(外力、材料の力学特性、断面の形状・寸法等)にかかる安全余裕が一つの安全率として集約されている。一方、部分係数設計法は、この安全率を種々の要因や作用の種類毎に合理的に設定できるようにすることを意図したものである。

耐荷力の性能照査式は、設計状況において橋の限界状態に対応する部材又は構造の応答値(設計応答値 S_d)と橋の限界状態に対応する部材又は構造の限界値(設計限界値 R_d)を用いて、例えば次式のように表すことができる。

$$Y_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1 \quad (1)$$

ここで、 Y_i : 全体にかかる係数

(1)式の例は、荷重係数、抵抗係数のいずれにも含まれない係数として仮に「全体にかかる係数」を設定している。ただしこのような所要の安全余裕をとるために全体に乗じる係数の必要性やそこに含むべき内容については現在のところ十分な検討が行われておらず、ここでは明らかに荷重側に含むべき要因に関する係数のついでのみ着目している。設計応答値 S_d は、荷重 F_d の作用効果による部材又は構造の応答値関数 $S(F_d)$ を用いて次式のように示すことができる。なお、道路橋のように複数の荷重が同時に作用する構造物の設計では、個々の荷重要因毎の統計的性質とこれらが複数の荷重要因が同時に作用する可能性などの組み合わせ状況に左右される統計

的性質の二つの不確実性が表現されなければならない。
 ここでは荷重係数 Y_{ai} として組み合わせられたことの影響を含む形で代表させた値が表現される場合としての定式で検討した。

$$S_d = Y_a S(F_d) \quad (2)$$

$$= \sum (S(Y_{ai} F_{fi})) \quad (3)$$

ここで、 Y_a ：構造解析係数
 Y_{ai} ：荷重係数
 F_{fi} ：荷重の特性値

設計限界値 R_d は、部材又は構造の特性による限界値 f_d の関数を用いて次式のように示される。

$$R_d = Y_b R(f_d) \quad (4)$$

ここで、 Y_b ：部材係数

(1)式における全体にかかる係数としては、構造物係数 Y_i や構造解析係数 Y_a などが一般に考えられることが多い。構造物係数とは、構造又は部材が限界状態に達した時に橋の状態に及ぼす影響度の違いや所定の性能が満足されなかった場合に機能回復等の復旧に必要となる費用及び社会的影響に応じて、対象とする橋に適切な安全余裕を確保させるための係数である。また、構造解析係数とは、作用の効果による構造又は部材の応答値の計算に伴うばらつきに応じて、対象とする橋に適切な安全余裕を確保させるための係数である。いずれの係数も統計的扱いによって合理的に設定することは困難が予想されるため荷重係数とは別に既往の実績や基準によって達成すべき整備目標なども考慮して設定されることが想定されている。

(2) 係数の設定手順

現在入手可能な最新のデータを収集し、道路橋に作用する各種荷重要因についての確率統計的な扱いをデータの性質を考慮してそれぞれ設定する。それらを単独又は複数組み合わせることで、道路橋が設計供用期間（100年を仮定）に実際に履歴するであろう荷重作用の状況を模擬的する時系列シミュレーションを行う。検討の大きな流れを図-1に示す。

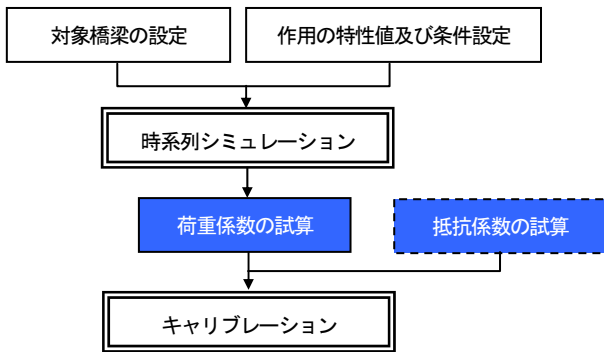


図-1 係数検討の流れ

3. 試算条件

(1) 標準的な橋梁形式・規模

道路橋は道路ネットワーク機能の一部を担う目的からは、被災時の復旧性や耐久性に対する信頼性などの性能は過不足ない適正な水準が確実に達成される必要があり、部分係数の設定にあたってはこれの高いレベルでの実現が目標となる。一方、極めて多様な条件下に架橋され、規模や形式によっては大きく異なる構造特性を有することとなる複雑な構造物である道路橋に対する性能水準を特定できる定量的手法は実用化されていない。そのため道路施設現況調査結果等から施工実績が多い又は今後の我が国で採用が増えること予想されるものから代表的な形式及び規模（支間長、径間数等）のモデル橋梁を設定し、シミュレーションの対象とする。

図-2に、道路施設現況調査（2007年）より得られた材料別・形式別の実績割合を示す。鋼橋では鉸桁や箱桁の実績が多く、PC橋では箱桁やT桁、床版橋の実績が多いことが分かる。なお、基礎構造では直接基礎が多数を占めていた。これらの結果に、橋長・最大支間長・径間数・基礎構造の比率を統計的に整理した。図-3に鋼橋の統計結果を一例として示す。

以上の検討結果より、標準的と考えられる橋梁形式と規模として表-1を選出した。

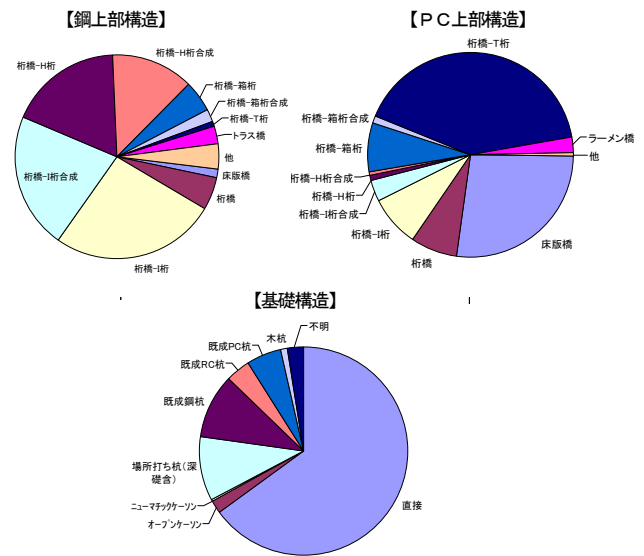
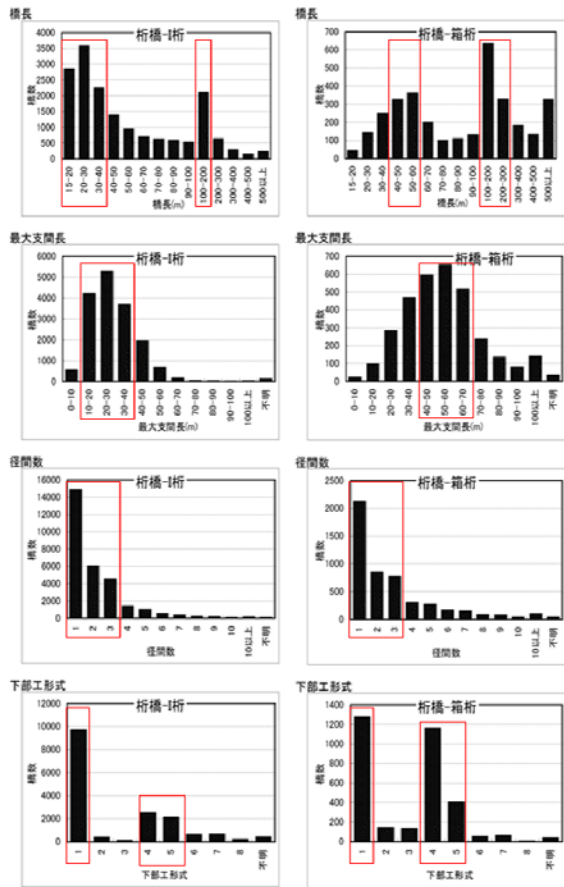


図-2 既設橋の実績（材料・形式別）

表-1 標準的な橋梁形式と規模

	鋼上部構造	PC上部構造
単純桁	鉸桁(支間長 30~40m) 箱桁(支間長 60m程度)	箱桁(支間長 40m程度) T桁(支間長 20~40m) 床版橋(支間長 30m程度)
連続桁	鉸桁(支間長 40m×2~3 径間) ※少数主桁では 50m 程度 箱桁(支間長 70m×2~3 径間)	T桁(支間長 40m×4 径間)



※下部構造形式：1 直接基礎、2 オープンケーソン、3 ニューマチックケーソン
4 場所打ち杭（深礎杭含む）、5 既成鋼杭、6 既成RC杭
7 既成PC杭、8 木杭

図-3 鋼橋の統計結果

(2) 荷重の特性値及び作用条件

現行の道路橋示方書では表-3の荷重が定義されている。火災の影響など必ずしも道路橋が設計供用期間中遭遇する可能性のある状況の全ては網羅されていない。しかし発生頻度や人為的要因との関係、内外の基準の状況などを考慮して、橋を構成する部材及びその部材に主たる影響を及ぼす作用を整理(表-2)し、表-3の種類から代表的なものについて荷重係数の試算を優先的に実施した。

荷重係数の試算は、死・活・風・雪荷重・温度変化・地震について検討を行った。本稿では紙面の関係により、作用の設定に関して死荷重、活荷重及び地震について記述することとする。

表-2 橋の構成要素とその役割

橋の構成要素	役割	主として抵抗する方向	主たる影響を受ける作用
上部工	床版	鉛直	死・活
	主桁	鉛直	死・活・温度・地震
	縦桁	鉛直	死・活・温度・地震
	横桁	鉛直・水平	死・活・風・地震
	対傾構	鉛直・水平	死・活・温度・地震
下部工	横構	水平	風・地震
	支承	鉛直・水平	死・活・温度・地震
	梁	鉛直	死・活
	柱	鉛直・水平	死・温度・地震
下部工	底版	鉛直	死・地震
	基礎	鉛直・水平	死・温度・地震

表-3 荷重の種類¹⁾

分類	設計で考慮する荷重	記号
主荷重	1 死荷重	D
	2 活荷重	L
	3 衝撃	I
	4 プレストレス力	PS
	5 コンクリートのクリープの影響	CR
	6 コンクリートの乾燥収縮の影響	SH
	7 土圧	E
	8 水圧	HP
	9 浮力又は揚圧力	U
	10 風荷重	W
従荷重	11 温度変化の影響	T
	12 地震の影響	EQ
	13 雪荷重	SW
	14 地盤変動の影響	GD
主荷重に相当する特殊荷重	15 支点移動の影響	SD
	16 波圧	WP
従荷重に相当する特殊荷重	17 遠心荷重	CF
	18 制動荷重	BK
	19 施工時荷重	ER
	20 衝突荷重	CO
	21 その他	

a) 死荷重 (D)

不確実性の支配的要因と考えられる材料や出来形のばらつきに関して、従来の基準によって施工された実績について経年的な傾向を過去の研究報告から調査した。

表-4 材料による寸法・単位体積重量のばらつき

寸法のばらつき	材料		平均値(μ)	標準偏差(σ)
	鋼部材	鋼部材		1.0098
コンクリート		ボス桁	1.0043	0.00361
		プレート桁	1.0051	0.00364
RC床版			1.0500	0.0120
舗装		1.0300	0.0500	
単位重量のばらつき	鋼部材		—注2	—注2
	コンクリート	RC床版	2.30t/m ³	0.05t/m ³
		橋脚	2.50t/m ³	0.016t/m ³
	鉄筋コンクリート		2.40t/m ³	0.011t/m ³

注1：コンクリート桁は、断面積の相対誤差を示す。

注2：-は特別な調査を実施していないが単位重量のばらつきはないとされている。

その結果、材料品質がJIS等の公的基準に準拠するとともに製作・架設技術に極端な変化がない限り、今後も従来の実績と同程度を見込むことが適当と考えられる。

そのため、実績調査結果の寸法誤差等のデータを基本に正規分布で代表させたばらつきの特性を考慮する。なお各時系列シミュレーションで期間を通じて値は一定としている。

b) 活荷重 (L)

活荷重は、現行基準では大型自動車の交通状況を考慮できるように2種類 (A, B活荷重) を規定している。これは大型車の混入率が高い場合に重量車両の連行状態がより高い頻度で発生しうるとの解釈とみなせる。そのため路線の性格の異なる複数地点での車両重量頻度計測を実施した。実測結果を表-5及び図-4に示す。

表-5 車両構成比一覧表

No.	軸数	形式	イメージ図	車種	BWI Mによる車両構成比		
					噸槽	北方高架構	重沼橋
1	2軸	2-1		採用車種、77t-10t、清掃車等	23.41%	35.86%	37.98%
2	2軸	2-2		単車、普通トラック、バス、トラック	36.07%	40.39%	45.51%
3	3軸	3-1		単車、セミトラ	5.38%	4.58%	0.85%
4	3軸	3-2		単車、普通トラック、バス、トラック	19.70%	11.64%	12.59%
5	3軸	3-3		普通トラック	0.25%	0.13%	0.03%
6	3軸	3-4	その他3軸車	その他	0.47%	1.52%	0.36%

7	4軸	4-1		単車、セミトレー	8.99%	3.53%	1.58%
8	4軸	4-2		セミトレー	0.26%	0.03%	0.00%
9	4軸	4-3		単車	0.01%	0.00%	0.00%
10	4軸	4-4		単車、普通トラック	1.19%	0.69%	0.55%
11	4軸	4-5		その他4軸車	1.22%	0.56%	0.16%
12	5軸	5-1		セミトレー	0.49%	0.13%	0.04%
13	5軸	5-2		フルトレー	0.03%	0.03%	0.00%
14	5軸	5-3		単車、セミトレー	0.88%	0.27%	0.27%
15	5軸	5-4		単車	0.00%	0.00%	0.00%
16	5軸	5-5		フルトレー	0.00%	0.00%	0.00%
17	5軸	5-6		その他5軸車	0.53%	0.37%	0.05%
18	6軸	6-1		セミトレー	1.09%	0.25%	0.01%
19	6軸	6-2		単車	0.00%	0.00%	0.00%
20	6軸	6-3		単車	0.00%	0.00%	0.00%
21	6軸	6-4		その他6軸車	0.01%	0.03%	0.00%
実測による大型車混入率					76.6%	64.2%	62.0%
H17道路交通センサによる大型車混入率					50.4%	17.4%	11.0%

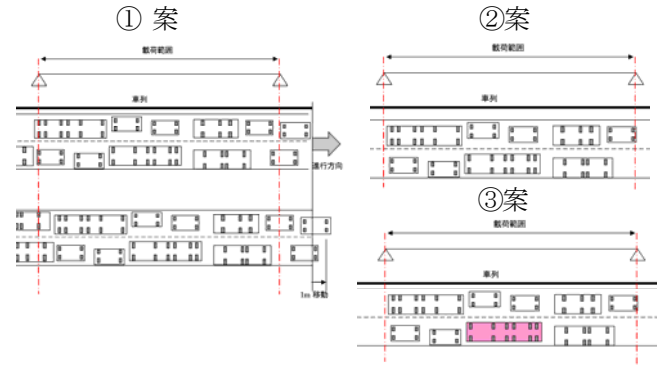


図5 各案の車列荷荷イメージ図

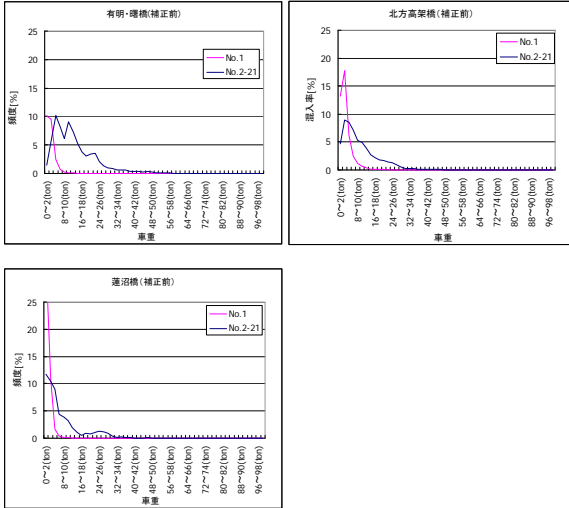


図4 車両重量頻度分布

上図に示すように路線特性によって車両重量頻度分布に顕著な差があることが確認された。そのため、これらの頻度分布から重量車両の混入率が異なる3つのモデル交通特性²⁾(大型車混入率10%, 30%, 50%)を設定し、シミュレーションに用いることとした。

同時刻に荷重される軸重列の影響を代表できるモデル荷重(活荷重)は荷重強度と荷重方法を事前に特定することはできないため、上記3タイプの交通条件に対応する軸重列を車種・車重・車間距離をランダム発生させて生成し、通常時(走行速度30km/h)と渋滞時(走行速度15km/h)とに区分した時系列でシミュレーションを行う。なお、渋滞の発生頻度は朝・夕の2回とし、シミュレーション上の時間刻み幅1つ分(2時間)で発生させた。

車列の荷荷方法は、最大応答値の抽出や渋滞状態の実状の観点から以下の3案(図-5)について検討を行った。

- ①案：十分な長さ(100万m)の車列を1つ発生させ、1mずつ移動してその都度応答値を記録する。
- ②案：高速道路で観測された渋滞列を1回の渋滞に相当する長さの車列とし、着目点での応答値を記録する。(渋滞状態の実状に着目)
- ③案：着目点の影響線縦距の最大位置付近に大型車を配置し、周囲には任意の車両を荷荷範囲に収まる分だけ配置する。(最大応答値の抽出に着目)

表-6 各案の利点及び欠点

	利点	欠点
①案	<ul style="list-style-type: none"> ・一回の渋滞長さ、着目点及び影響線形状に影響されない。 ・②及び③案の利点を包括する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・他案に比べ車列が長くなる。
②案	<ul style="list-style-type: none"> ・実渋滞に近い荷荷状態を表現している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・車列が与え得る最大応答値を抽出せず、過小評価となる可能性がある。 ・一回の渋滞長さを設定するための検討が必要となる。
③案	<ul style="list-style-type: none"> ・最大応答値が抽出される可能性が高い。 ・現行基準に近い考え方 	<ul style="list-style-type: none"> ・車線や着目点毎に大型車の配置する位置を変える必要があり、処理が煩雑となる。

検討の結果(表-6)、②案は最大応答値の抽出において、恣意性が入り不安が残る。また③案は作業が煩雑となり膨大な量のシミュレーションに対しては不向きと判断する。①案は、様々な長さやパターン複数の渋滞列が連結している状態と考えられ、比較的狭い間隔で荷荷状態の応答値を記録するため、最大応答値が抽出される可能性が高く、②及び③案の利点を包括できるものと考えられる。従って①案を採用することとした。

c) 地震の影響(EQ)

時系列シミュレーションでは、設計供用期間中に比較的生じる可能性の高い地震(レベル1地震動)による影響を考慮し、いわゆる既往最大級の地震(レベル2地震動)については別途検討するものとした。

応答加速度は、現行基準の地域区分(A, B, C)でそれぞれ代表地点における100年最大値加速度分布を用いて1年に1回ランダムに発生させることとした。

地震の発生頻度は、現行基準のII種地盤(ピーク値)を対象に、適当な再現期間2時間(シミュレーションの時間刻み幅)・1ヵ月・1年・50年について地震ハザード確率密度関数との最大値分布比較により、妥当性を検討した。検討結果を図-6及び表-7に示す。

表-7 震度の100年最大値分布比較表

非超過確率	(A)シミュレーションによる100年最大値分布				(B)地震ハザード確率密度関数100年最大値分布
	再現期間2時間	再現期間1ヶ月	再現期間1年	再現期間50年	
36.6%	0.21 (0.88)	0.22 (0.92)	0.23 (0.96)	0.30 (1.25)	0.24 (1.00)
50.0%	0.23 (0.79)	0.25 (0.86)	0.28 (0.97)	0.35 (1.21)	0.29 (1.00)
60.5%	0.25 (0.74)	0.27 (0.79)	0.31 (0.91)	0.40 (1.18)	0.34 (1.00)
95.0%	0.50 (0.63)	0.58 (0.73)	0.75 (0.95)	0.82 (1.04)	0.79 (1.00)

注1：条件は、地域区分A・II種地盤・固有周期1.0s

注2：()内の数字は(B)に対する(A)の各震度の比率

<100年最大値分布の作成方法>

(A)シミュレーション

- ①(B)の確率密度関数をもとに、各再現期間の最大値分布を作成
- ②当該期間を再現期間とするポアソン過程により震度を入力
- ③1000回繰り返して100年最大値分布を作成

(B)地震ハザードの確率密度関数(年最大値)
べき乗則を用いてN年最大値分布を作成

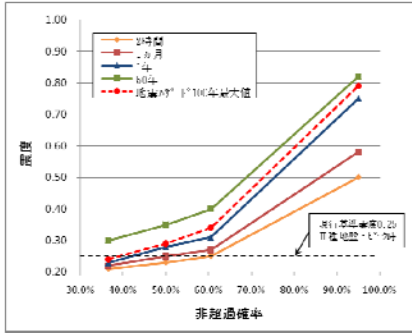


図-6 各再現期間と地震ハザードの震度比較

側の分布には、設計供用期間である100年で発生した最大値を1000個抽出して作成した最大値分布を用いることとした。これは、同じ箇所と同じ橋梁を1000回建設したとしても、ある非超過確率のもとで100年間の供用を達成できる信頼性を担保しようとする考え方に基づくものである。作業においては、一つのケースに対して100年間の時系列シミュレーションを1000回繰り返すこととなる。手順の概略を以下に示す。

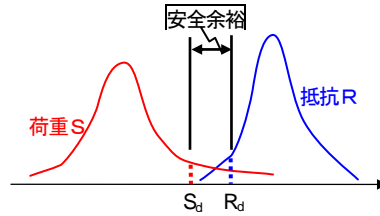


図-7 耐力照査の図式

以上の検討結果より、次のことが確認された。

○現行基準震度との比較

- ・各再現期間の非超過確率95%における最大値分布の震度は、現行基準0.25の2～3.3倍程度となっている。
- ・非超過確率50%では、1ヵ月以下の再現期間で現行基準を下回り、過小評価となる可能性がある。

○地震ハザード関数による100年最大値分布との比較

- ・再現期間50年は、非超過確率の小さい領域で過大となる傾向にある。
- ・再現期間1年では、誤差が1割以内となる。
- ・再現期間1年以下では誤差が大きくなる傾向にある。

従って、時系列シミュレーションには地震ハザード関数との誤差が少ない、再現期間1年による100年最大値分布を用いることが妥当であることがわかった。ただし、非超過確率が高い領域で現行基準との震度差が大きく、今後ランダムに発生させる応答加速度の非超過確率について設定方法を検討していく必要がある。

4. 時系列シミュレーション

設計で着目すべき代表的な箇所に対して、3.(2)に示した各荷重の組合せにより生じる部材の応答値を算出する。荷重係数の設定手法について、ISO2394をはじめとする海外基準ではFORMなどの信頼性解析も示されているが、ここではモンテカルロ法による時系列シミュレーションを行うこととした。活荷重のように政策的に決定されるものも含め、まずは荷重側の組合せを考慮した荷重係数を試算し、別途算出された抵抗係数とあわせて現行基準とのキャリブレーションにより係数を調整していくという作業の流れを踏まえた場合、荷重側と抵抗側の係数を同時に設定するFORMよりも適当であると判断したためである。

照査の対象とする設計応答値 S_d 及び設計限界値 R_d は、図-7で示すようにしかるべき安全余裕を確保できることを前提に、ある非超過確率の値をとるものとする。荷重

(1)入力データの設定及び試算ケース

外力となる各荷重の作用条件は、3.(2)に示したとおりである。また、時系列シミュレーションでは、設計供用期間に起こり得る事象をより忠実に再現するため、季節性を考慮することが望まれる。従って、ここでは紙面の都合上、詳細な検討説明は省略するが各地域の特性を踏まえた荷重の作用条件及び季節性を設定した。

これらの作用を受けて生じた着目箇所の設計断面力を算出する。表-8に試算ケースの一例を示す。

表-8 試算ケース例

No.	橋梁形式	橋脚形式	地盤種別	着目箇所
11	3径間 連続 鋼箱桁	張出し式	II種	1 橋台下部工反力 2 橋脚下部工反力 3 中間支点曲げ 4 中間支点せん断 5 端支間曲げ 6 中間支間曲げ 7 橋脚梁曲げ
	最大支間長 60.0m	基礎形式 杭基礎 場所打ち φ1500	地域区分 B地域	8 橋脚基部軸力・曲げ(橋軸) 9 橋脚基部軸力・曲げ(直角) 10 橋台杭基礎支持力(EQ橋軸) 11 橋台杭基礎支持力(EQ直角) 12 橋台杭基礎抗鉄筋(EQ橋軸) 13 橋台杭基礎抗鉄筋(EQ直角)

(2) 応答値の最大値分布の作成

荷重毎に算出した各要素の断面力を応力度に変換して積み上げ、図-8に示すように組合せ後の応答値の時系列(100年分)を作成する。そして、応答値の大きさで並び替えその最大値にあたる荷重の組合せを抽出する。

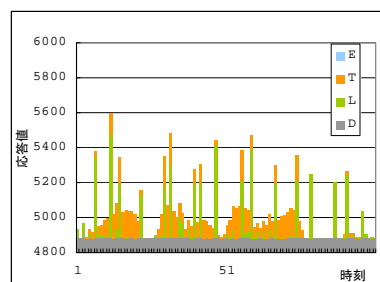


図-8 応答値の時系列 (イメージ)

一つの着目箇所に対してここまでの過程を1000回繰り返し、1000個のデータで100年最大値分布を作成する。

(3) 荷重係数の算出

上記(2)の最大値分布から、非超過確率95%±1%の範囲に存在する荷重の組合せを抽出する。各荷重の応答値を断面力まで遡って特性値(=現行基準値)による断面力との比率を算出し、これを荷重の組合せを考慮した荷重係数とする。

このような手順としたのは、断面力のままでは軸力・曲げ・せん断の成分を単純に積み上げることができないためである。例えば、RC橋脚等の断面は軸力と曲げの関係から応力度が算出されるため、方向の異なる作用の組合せを直接評価できる応力度とした方が荷重強度としての最大値(最小値)抽出を的確に行えると考えられた。

しかしその一方、応力度に変換した時点で抵抗側の要素が含まれてしまうため、着目箇所によってはその影響に左右される荷重係数となる可能性が懸念された。この点については、幾つかのケースで断面力ベースの最大値分布を作成し、応力ベースの場合と比較を行い妥当性について検証する必要がある。

5. 試算結果

時系列シミュレーションにより作成された着目箇所の応力度最大値分布のうち、非超過確率95%±1%の範囲に出現した荷重の組合せを抽出した。表-9は荷重の組合せの出現パターンと各組合せにおいて主荷重が最大・最小となる場合の荷重係数の試算値を整理したものである。

表-9 荷重の組合せの出現有無と荷重係数の試算値

荷重の組合せ	双ループの 主荷重の割合	荷重 係数	D	L	L (群集)	T	W	EQ	SW	着目箇所	現行基準での 位置付け
D+L(+SW)	(A活荷重)	max	1.06	0.82						橋台(上部支反力)	◎
		min	1.11	0.25						北橋中間支点(曲げ)	
	(B活荷重)	max	1.01	1.97					1.00	橋脚梁支点(曲げ)	
		min	0.99	1.33	1.00				1.00	橋脚(曲げ)	
D+W	(C活荷重)	max	1.01	1.42						北橋端支点(せん断)	◎
		min	1.03	0.54						北橋端支点(せん断)	
D+EQ(+SW)	●	max	1.02					5.74		橋脚柱基部(軸力・曲げ(軸))	◎
		min	1.00					1.23		橋脚柱基部(軸力・曲げ(軸))	◎
D+L+T	●	max	1.03	1.51		0.64				北橋中間支点(曲げ)	◎
		min	1.00	0.31		0.49				橋脚柱基部(曲げ)	◎
D+L+W	●	max	0.99	0.27			3.93			床版突出部(曲げ)	◎
D+L+EQ(+SW)	●	max	0.98	0.02				6.57	1.00	橋台たて壁(軸力・曲げ)	◎
		min	1.00	0.31				1.15		橋脚柱基部(軸力・曲げ(軸))	◎
D+L+T+W	●	max	1.00	0.01		0.14		7.38		橋脚梁中央(曲げ)	◎
		min	1.02	0.02		0.56		2.98		橋脚柱基部(せん断)	◎

主な試算結果は以下の通りである。

○荷重の組合せについて

現行基準で示されている「D+W」や「D+L+T+W」といった組合せは、時系列シミュレーションでは確認されなかった。一方、「D+L+EQ」や「D+L+T+EQ」の現行基準では示されていない組合せが確認された。

○活荷重について

活荷重を主荷重とする荷重係数については、過年度において検討を行っており、図-9に示すように、橋の支間長によっては活荷重の細分化が安全率の合理的な設定に寄与する可能性があることが分かっている³⁾。また、これと表-8中「D+L」の組合せにおけるLの荷重係数を比較すると、A活荷重やC活荷重では最大時で概ね近い値となった。一方、B活荷重については、

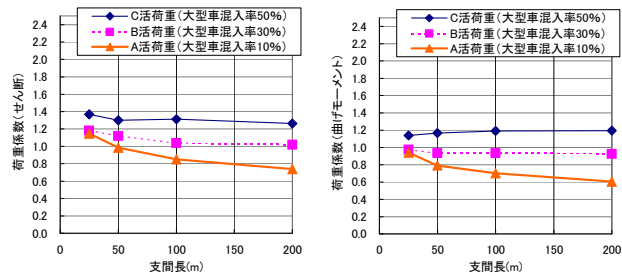


図-9 支間長による荷重係数(L)の変化

梁支点で1.97と突出して大きな係数となったが、これは中間支点の反力に対して影響面の範囲が広く変動が大きいことに起因したものである。その他の部位では、最大で1.33となった(表中*印)。

○風荷重と地震の影響について

WやEQについては、他の荷重と組合せた時に特性値を大きく上回る係数となった。例えば「D+L+W」の結果では、 $\sqrt{3.93} \approx 1.98$ 倍となり風速は80m/s(現行基準40m/s)にも及ぶ。また、EQの組合せでは、設計で想定している以上の規模(レベル1とレベル2の中間規模)と考えられ、現行基準では弾性範囲内であるものがシミュレーションでは降伏に至る結果もみられた。

○その他

複数の荷重の組合せでは係数のばらつきが大きい。

7. まとめ

本稿では、道路橋の設計基準に用いる部分係数のうち荷重係数について実橋を想定した時系列シミュレーションによる検討について記述した。その結果得られた主な知見は以下の通りである。

○標準的な橋梁形式・規模を対象にした時系列シミュレーションでは、風(W)の影響は支配的になりにくく、台風の影響の考慮の有無による荷重係数の差異は生じにくい。なお強風常襲地域等の特殊な風環境の地域に対しては個別に妥当性の検証を行う必要があるものと考えられる。

○複数の荷重の組み合わせ状態で算出される荷重係数は、極めて大きなばらつきをもった試算結果が得られ、限られたモデルケースでの係数の妥当性の検証には限界がある。このため係数の設定にあたっては試算ケースを増やすと同時にそれらの結果からの代表値の抽出手法の確立が必要である。

○風と地震(レベル1まで)については、現行基準による場合、概ね設計供用期間中に想定される最大級の影響が考慮されている。

参考文献

- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説I 共通編，平成14年3月
- 国土技術政策総合研究所年報；道路構造物の安全係数に関する試験調査，平成19年度
- 国土技術政策総合研究所年報；道路構造物の安全係数に関する試験調査，平成20年度