

巻頭言

次の橋梁設計基準が目指すべきもの

埼玉大学大学院 理工学研究科環境社会基盤国際コース
教授 奥井 義昭



道路橋示方書が平成29年11月に改定された。今回はかなり大幅な変更で、照査式のフォーマットとしては荷重係数も含めた部分係数法を採用し、限界状態も定義された。日本の道路橋の設計基準の発展という面からみても、今回の改定は画期的な一歩と言って良いかもしれない。

設計の実務に携わっている方々からすれば、新道示に対する対応で、多忙な時期を過ごされていることと思う。こんな時に、次の改定の話をするのは、「実務の実態を知らない大学人の理想論」との謗りを受けることを覚悟で、敢えて言いたい。官、学、民、総出で直ぐに次の改定に向かって動き出すべきだと思う。理由は単純で今回の改定でも設計基準の世界標準から見ると、まだ後陣を拝しているからである。

私が考える次期の改定すべきポイントは2つで、多段階設計法と維持管理のための既設橋の評価基準の導入である。

多段階設計法は使用時と終局時において異なる荷重レベルと限界状態を設定し、2段階の照査を行う方法である。耐震設計のレベル1, 2の設計と同様に、鉛直荷重に対しても、常時の荷重レベルで使用限界状態を、終局時の荷重レベルで終局限界状態を照査する方法である。多段階設計法を用いると、荷重レベルの低い段階で降伏などの非線形性が発生するが、その後、耐力が上昇する部材を合理的に設計できる点である（詳しくは拙文1）を参照されたい）。具体的には合成桁や合成柱の設計と非常に相性がよい。

AASHTO LRFD, Eurocode, Canadian Highway Bridge Design Code, Australian standards 等の基準において多段階設計法が導入されていて、私の知る限り多段階設計法が導入されていない最近の海外基準はない。多段階設計法は世界標準の考え方である。米国ではAASHTO LRFDの第1版が1994年に発刊され、多段階設計法と部分係数法が導入されてから既に20年以上が経過している。新道示では部分係数法は導入されたが、多段階設計法は見送られた。新道示では、トータルとしての安全率は1.5程度に下げられたものの、結局の所、許容応力度設計法と同じ限界状態（弾性限界もしくは座屈による終局限界）に対して照査を要求している。世界標準の方向性が既に確定している状況を考えると、日本独自のオリジナリティーを出すより、一刻も早く多段階設計法を導入し、世界標準に追いつくことを目指すべきだと思う。

次に、2つめの次期改定のポイントである既設橋の評価基準の導入について説明する。ここで、評価と言っているのは、点検結果をA, B, …のようにランク付けすることではなく、点検結果を利用して、橋の耐荷力や疲労余寿命を評価する手法でいわゆるLoad ratingのための基準である。

Load ratingの基準は米国²⁾、カナダ³⁾、オーストラリア⁴⁾などで用いられている。このうち、最近改定されたカナダやオーストラリア^{3), 4)}の基準では、設計基準の1つの章もしくはパートが既設橋の評価の内容であり、既設橋の評価も含めて設計基準という考えが世界的趨勢になっている。

個人的には、カナダの設計基準³⁾の先進性と直接的に本質を基準化している点に魅力を感じる。先進的と感じるのは、信頼性設計の考え方を新設設計、既設橋の評価においても取り入れていて、目標とする安全性のレベルを信頼性指標で明示的に示し要求性能としている点である。

具体的にカナダの設計基準³⁾のSection 14 Evaluationの内容を紹介すると、この章は既設橋のLoad ratingの章である。この章では、まず、既設橋の保有すべき安全性のレベルを目標信頼性指標 β で表1のように規定している（信頼性指標については注を参照）。目標信頼性指標は3つの要因 (a), (b), (c) で異なり、(a) はいわゆるシステムリダンダンシーの項目で、照査対象の部材が破壊すると橋が崩壊する場合はS1、橋梁全体の崩壊は無いが主要部材であればS2、局所的な破壊のみであればS3に分類される。(b) は部材の破壊形態が脆性的かもしくは延性的かによるカテゴリーで、E1が最も脆性的に破壊する可能性のある鋼部材の座屈やコンクリートのせん断破壊、E2は座屈であっても後座屈強度が期待できるもの、E3は鋼材の引張降伏のように延性破壊の場合である。

最後の (c) は点検結果の有無と信頼度の項目である。INSP1は点検ができない部材、INSP2がLoad ratingを行う評価者が満足できるレベルの点検結果が入手可能な場合、INSP3が評価者の指示に従い全ての主要部材の点検を行い、その点検結果に基づきLoad ratingを行う場合である。

表1 カナディアン・コードにおけるLoad rating時の目標信頼性指標

(a) System behavior	(b) Element behavior	(c) Inspection level		
		INSP1	INSP2	INSP3
S1	E1	4.00	3.75	3.75
	E2	3.75	3.50	3.25
	E3	3.50	3.25	3.00
S2	E1	3.75	3.50	3.50
	E2	3.50	3.25	3.00
	E3	3.25	3.00	2.75
S3	E1	3.50	3.25	3.25
	E2	3.25	3.00	2.75
	E3	3.00	2.75	2.50

カナダの設計基準では、上記の目標信頼性指標に応じて死・活荷重係数が決定される仕組みになっている。新設時の目標信頼性指標が3.75であるので、表1を見ると分かるように、多くの場合において安全性のレベルが低減され、それに伴って荷重係数の低減が可能となる。

このカナダの基準において最も特筆すべき点は、点検できるか否か、Load ratingを行う評価者が納得できる点検結果か否かによって必要な安全性のレベルを変えているところである。不確定性の大きい点検できない部材には安全率を大きくし、点検できる部材は安全率を低減するのは、納得出来る方策である。このような基準があれば、点検しやすい構造を採用することへのインセンティブが働く。さらに、評価者が自ら点検を指示し納得出来る点検結果が得られたならば、更に荷重を割り引く事が可能となる。これにより責任も生じるが何のために点検を行い、何を評価するのも明確になり、不必要な補強を回避し、点検・維持管理の現場のやる気を喚起するのではないだろうか。

カナダの基準を読んだとき、設計基準は何のためにあるのかと考えさせられた。設計基準は「構造物が満足すべき最低の要求性能をまとめたもの」というのが、それまでの私の見方であったが、カナダの基準は明らかにその上を目指している。つまり、「橋梁の設計・施工・維持管理に関して望ましい方向にインセンティブを与える仕組みを社会にインプリメントする」、それこそが、日本においても、次の設計基準が目指すべきもののように思う。

注) 信頼性指標とは設計照査時の強度と荷重効果の間の安全余裕を表すパラメータである。図1はこのことを模式図的に表したもので、この図の横軸は性能関数 $Z=C-S$ で、 C は強度、 S は荷重効果を表す。設計では $Z>0$ を照査している。縦軸は確率密度関数で荷重や強度のバラツキを考えると、 Z は確定値ではなく、平均値 μ と標準偏差 σ をもつ確率変数として表される。 $Z<0$ の部分の面積が破壊確率を表す。破壊確率を直接求めることは、確率密度関数の裾野の形状が強度や荷重の極値に大きく依存するため信頼性が低い。そこで、その代わりに平均値 μ と限界値 $Z=0$ の間の離れが標準偏差 σ の何倍あるかを表すのが信頼性指標 β であり、信頼性のレベルを表すのに用いられる。

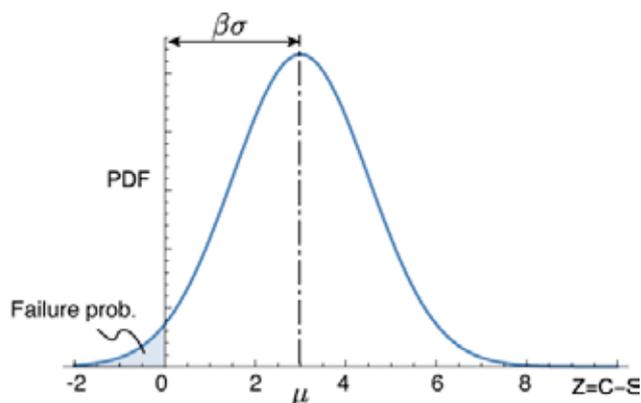


図1 信頼性指標 β と平均値 μ 、標準偏差 σ の関係

参考文献

- 1) 奥井義昭, 鋼橋の設計法の方向性, 橋梁と基礎, Vol. 49, No.8, pp.44-47, 2015
- 2) AASHTO, Manual for bridge evaluation, 2nd Edition, 2011
- 3) CSA Group, Canadian Highway Bridge Design Code, S6-14, 2014
- 4) Australia Standards, Bridge design, Part 7: Bridge assessment, AS5100.7, 2nd ed. 2017