

1. 序論

1.1 性能設計と耐震設計の高度化

性能照査型（あるいは性能規定型）設計という言葉が土木分野でも盛んに使われるようになってきた。土木関係の学協会の中にも性能設計に関する検討委員会が数多く設置されてきている。道路橋示方書は、現在の仕様型設計から性能設計に移行すべく、2000年末までに第一次改訂を行い、その後5～10年をかけて第二次改訂を行う予定と聞く。また、コンクリート標準示方書は2005年には性能設計に全面的に改訂されるとのことである。

性能照査型耐震設計とは何かについては色々な受け止め方がされているようである〔川島, 1998〕。性能を明示した設計、重要度に応じて耐震性能のレベルに差を設けることができる設計、設計者が既存の技術基準にとらわれず自由裁量に基づいて計算法を自由に選択することのできる設計等である。性能設計の理想的な形態はそれらを包含したものと考えられるが、そのような設計への全面的な移行のためには、乗り越えなければならないハードルは多い〔土木学会, 2000〕。

性能設計では設計者の技量・判断力に委ねられる部分が従来の設計より格段に多くなる。さらに、耐震性能のレベルに差を付ける（すなわち、構造物に許容される損傷度に差を付ける）設計を採用するためには、従来よりも詳細で精緻な、しかも多くの技術者にとって不慣れな非線形域での静的・動的解析が必要とされる。従って、性能設計を十分機能させるためには、まず第1に耐震設計に用いられる解析手法ならびに解析ソフトの整備、精度検証用のベンチマークの作成等が必須である。

次に、性能設計においては、従来は設計示方書に陽に規定されていた安全性等照査の方法の選択・実行が、安全係数の設定を含めて設計者に委ねられることになることである。これまで座屈・耐荷力の研究者が数十年にわたって行ってきた研究の主要な部分は、実験・解析から耐荷力推定式を作り、さらにその下界値を定めるための抵抗係数（安全係数の一つ）を統計的に定めることなどであった。ところが、性能設計ではこのような行為の一部は設計者自らが実行しなければならなくなるのである。例えば、新材料を使った圧縮部材を設計する場合に、その性能（圧縮耐荷力）を実験的に求める際、どのような実験を、どのような方法で、どの程度の本数実施し、設計用の性能をどのように統計的に定めるかを、設計者が判断しなければならない。そのようなことは、これまで、主として耐荷力関係の研究者が研究用に行ってきたことであり、設計者がそれを行うには適切なガイドラインなくしては無理がある。従って、第2に重要なものとして、照査法、照査に用いる性能の算定方法、安全係数の定め方、標準的実験手法等に関するガイドラインをしっかりと準備しておくことである。

さらに、発注者側には、設計された構造物が果たして所要の性能（要求性能）を満たしているのかどうかを判定する作業が新たに加わる。それを誰が（どのような機関が）実施するかは大きな問題であるが、それ以外に、どのような方法・判断基準によって実施するかが問題となってくる。場合によっては、設計で用いられた解析方法より高度な解析あるいは実験による検証が必要になるかもしれない。さらに、時間軸を考えた、ライフサイクルアナリシスの視点からの検証も必要かもしれない。従って、第3に、通常的设计に用い

られる解析手法より高いレベル，すなわち従来は研究用と考えられていたレベルの解析手法の整備も必要になってくるかもしれない。例えば，橋脚の変形性能の算定のため，シェル要素を用いた繰り返し弾塑性解析などがある。

1.2 研究目的

以上述べてきたように，性能照査型の耐震設計を導入する際に，検討を要する技術的課題は数多く存在する。本委員会での調査研究の主目的は，それらの技術的課題を解決することによって耐震設計の高度化を図り，性能設計への移行を速やかに行うことのできる基盤を造ることである。そのために，下記の4項目を研究テーマとして取り上げて活動を行ってきた。

- (1) 耐震照査方法の開発
- (2) 耐震解析手法，耐震解析ソフトおよび精度検証用ベンチマークの作成
- (3) 鋼製橋脚の耐震設計法および耐震補強法のコンセプトの整備
- (4) 耐震実験手法の標準化

本報告書は，約3年間の委員会活動の成果を各委員が分担執筆したものである。この報告書は，「研究者向けのものではなく，ある程度の耐震設計の知識を持っている技術者が容易に理解でき，設計実務に利用できる内容のものを作成する」という基本原則のもとで執筆されたものである。そのために，記述が研究論文のように厳密になっていないところがあることをお断りしておく。

それぞれの研究項目の検討内容および成果の概要は第2章に示されており，第3章以降に詳しい説明がある。また，この委員会で十分検討ができなかった課題は，今後の研究課題として第8章にまとめられている。性能照査型耐震設計法の基本的枠組み，および安全係数の定め方等については，第1分科会の報告書[土木学会，2000]に詳細に記載されているので，本報告書では基本的概念の説明だけにとどめている。その他，耐震設計に用いられる用語の定義，耐震設計の基礎知識，設計技術者に対して行った鋼橋の耐震設計に関するアンケート調査の結果と分析等は付録に載せてある。

また，過去10年間の鋼橋の耐震設計に関する文献調査を国内外の12種類の論文集・雑誌について行い，995編の論文を収集した。これを文献集として付録に掲載する予定であったが，ページ数が膨大になるためこの報告書に載せることは断念した。他の何らかの方法で公表したいと考えている。

最後に，表1.1に上記(1)～(4)の検討項目を①概念の説明と②適用例（あるいは，ベンチマーク）に分けて，本報告書における記載場所をまとめて示す。①概念の説明の後，②適用例を読んでいただければ，内容がより深く理解していただけるものと思われる。

参考文献

- [川島，1998] 川島一彦：橋梁の耐震設計と性能クライテリア，第10回日本地震工学シンポジウムパネルディスカッション資料集，pp.159-162，1998.11.
- [土木学会，2000] 土木学会・鋼構造委員会・鋼構造物の耐震検討小委員会：鋼構造物の性能照査型耐震設計法，2000.4.

表 1.1 検討項目の記載場所

項目	①概念の説明		②適用例（ベンチマーク）	
	内容	章・節・項	内容	章・節・項
照査方法	<ul style="list-style-type: none"> ・設計規準・指針 ・安全性照査法 ・使用性照査法 	<ul style="list-style-type: none"> 3.2 4.5 4.6 	<ul style="list-style-type: none"> ・単柱式橋脚 ・ラーメン橋脚 	<ul style="list-style-type: none"> 6.2.2 6.3.4
解析手法とベンチマーク	<ul style="list-style-type: none"> ・解析法の分類 ・構成則 ・減衰 ・鋼製橋脚 ・アンカー部 ・連続高架橋 ・モデルの適用限界 ・微小変位理論の適用限界 ・解析方法の詳細 	<ul style="list-style-type: none"> 4.3, 5.1 4.4, 5.3.1, 5.3.2 5.2 5.3 5.4 5.5 5.7.1 4.3.3, 5.7.2 付録4 	<ul style="list-style-type: none"> ・静的解析（T, L, ラーメン） ・静的繰返し（T, L） ・時刻歴応答解析（T, L, 免震） ・時刻歴応答解析（連続高架橋） 	<ul style="list-style-type: none"> 5.6.2 5.6.3 5.6.4 5.6.5
設計・補強法のコンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ・設計フロー ・単柱式鋼製橋脚 ・ラーメン橋脚 ・耐震補強 	<ul style="list-style-type: none"> 6.1 6.2.1 6.3.1～6.3.3 7 	<ul style="list-style-type: none"> ・単柱式鋼製橋脚 ・コンクリート部分充填鋼製橋脚 ・ラーメン橋脚 	<ul style="list-style-type: none"> 6.2.2 6.2.3 6.3.4
実験手法	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震実験手法 	<ul style="list-style-type: none"> 付録5 		
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・性能設計の基本 ・耐震設計技術の現状 ・今後の研究課題 ・用語 ・耐震設計の基礎知識 ・アンケート調査結果 ・文献集（別冊） 	<ul style="list-style-type: none"> 4.1, 4.2 3 8 付録1 付録2 付録3 付録6 		

（注） T：上部構造重量が中心軸に作用する鋼製橋脚

L：上部構造重量が偏心して作用する鋼製橋脚

免震：頂部に免震支承を有する橋脚