

第1章 序 論

1.1 座屈問題の重要性

座屈問題を最初に取り扱ったのは、柱の中心軸圧縮に関するオイラーの1744年の論文である [Euler, 1744,1759 ; Timoshenko, 1961]. 1770年にはラグランジュが、オイラーの得た結論の再確認を行い拡張した理論を発表している [Bleich, 1952]. 柱の座屈についての理論が発表されて、実験的な検証もなされていたにもかかわらず、1907年には、多少原因は異なるものの組立柱のレーシングバーの不適切さが引き金になって柱全体が座屈現象を引きおこし、張り出し工法で架設中の完成間近のケベック橋が落橋した [Steinman,1957]. 座屈現象による事故としては、現在に至るまでのすべての鋼構造物の事故の中で、最大の事故の一つであろう。近年になってもオーストリア、ドイツ、オーストラリアなどで板の座屈現象が引き金になって、箱断面の大支間橋が架設中に落橋する事故をおこしている。最近は、示方書や設計基準が整備されているため、余程の過誤をおこさない限り、あるいは設計で想定している以上の極大地震以外では完成した鋼構造物が座屈現象によって、崩壊する事故は少なくなっているが、架設中の座屈現象による事故は、数は少ないものの、日本も含めて引き続けている。

架設中に事故の生じる大きな理由は、架設中の本体構造物について、あるいは本体構造物を一時的に支える仮設構造物について、きちんとした解析をしないこと、あるいは解析したとしても、境界条件として解析に用いた条件と現実の条件との間に大きな差があることなどにあろう。場合によっては、座屈現象を全く考慮せず、単に微小変位理論を用いて求まる応力が、材料固有の耐荷能力を十分下回るということで、安心して仮設構造物を用いて事故をおこすこともある。また、座屈パラメータの小さな範囲で、弾性座屈荷重のみを計算して十分な強度があるとして仮設構造で大きな誤りをすることもあるようである。

架設中ではなく、実際に供用されている鋼構造物の座屈現象があらためて注目されたのが、1995年1月に発生した兵庫県南部地震の甚大な被害である [土木学会, 1995, 1996a, 1997 ; JSCE, 1995]. 特に、実験室でしか見ることができなかった円形断面鋼橋脚の、いわゆる象の脚座屈や補剛鋼板の座屈などによる鋼製橋脚の座屈現象による崩壊や大規模な損傷は、技術者や研究者に大きな衝撃を与えた。地震荷重が想定以上であったこと [土木学会, 2000] なども大きな原因であったが、設計の考え方が不十分であった面も否めない。復旧に際して、座屈現象に伴う残留変位が大きな問題となり、変形性能（ダクティリティー）の重要性が再認識された。座屈現象を伴う繰り返し载荷における変形性能とエネルギー吸収能が耐震設計に不可欠の要素であることが明らかになった。兵庫県南部地震後、耐震設計における座屈問題および変形性能に関する研究が精力的に行われ、貴重な研究成果が多く得られている。座屈問題が耐震および制震においても重要な要素として検討されており [土木学会, 1996b,1999,2003 ; Fukumoto,1997 ; JSSC, 2001, 2003], その成果の一部は、設計示方書に反映されている [日本道路協会, 1996b, 2002].

兵庫県南部地震後、多くのシンポジウムなど [土木学会, 1996a] が開催されたが、座屈問題に関しては、1997年に「座屈安定とダクティリティーに関する国際コロキウム (SDSS'97)」が、名古屋で開催された [Usami ed., 1977, 1998 ; 伊藤, 1997].

1.2 性能照査型設計における終局限界状態と座屈設計

性能照査型設計とは、構造物の目的とそれに適合する機能を明示し、機能を備えるために必要とされる性能（要求性能）を規定し、規定された性能を構造物の設計供用期間中確保することにより機能を満足させる設計方法と定義できる [JSSC,2001]. すなわち、仕様型設計が、示方書や設計基準の規定に従って設計するのに対し

て、性能照査型設計は要求性能を満足させるために、技術者が責任を持って設計するもので、最新の研究成果に基づく新技術や新材料を適用することができるとされている。しかし、自由度は増すものの、技術者の責任は重くなり、構造設計に関して深い知識とともに最新研究に対する幅広い理解力が求められることになる。

兵庫県南部地震後に、構造物の設計基準は仕様型設計から性能照査型設計に大きく移行しつつあり、座屈設計に関しても深い知識と十分な理解力が求められている。すなわち、仕様型設計であれば、示方書や設計基準に規定されている設計式やパラメータを使って設計を行っておけばよかったのに対して、性能照査型設計においては、仕様型設計で用いられる設計式やパラメータの背景や意味を十分理解するとともに、新しい研究成果や技術について幅広く理解し、それらを比較検討することによって、要求性能を満足する最適な方法を選択する必要があるためである。

たとえば、柱の座屈設計において、仕様型設計を適用するときは、示方書や設計基準に規定されている耐荷力曲線に従い設計して、製作における許容誤差も同様に規定値を守っておけばよかった。しかし、性能照査型設計を適用するときは、耐荷力のばらつきを信頼性に基づいて考慮した複数設計曲線などを使うことになる。また、極端な場合は、製作許容初期変形を設定して、それに対応する限界値としての耐荷力を決めて、応答値と比較するという手順をとることもできる。最新の研究成果に基づいて、限界状態やそれに対応する性能を明らかにするためには、高度な解析や実験が不可欠であり、かつ、信頼性に基づいた扱いが必要である [JSSC, 2001]。また、実験データベースや解析のベンチマークが重要な役割を果たすことになる [Itoh et al., 1996 ; 伊藤ら, 2001]。

さらに、構造物のライフサイクルにおける性能を保証する性能照査型設計において、構造安全性を確保するためには座屈設計の考え方も、新設時の構造物に対してだけでなく、供用段階での腐食などを考えた劣化した構造物についての検討も必要である [JSSC, 2001]。

1.3 構造物の座屈安定と変形性能照査

従来の仕様型設計手法に従う構造物の設計過程においては、座屈照査、すなわち座屈現象によって構造物が崩壊するのを防ぐための照査は、対象とする構造物に対して規定されている設計基準の座屈関連条項を用いて行われる。このため、当然のことながら座屈照査のための基本式の適用範囲、前提条件、式の精度を勘案し、さらに実際の荷重状態、境界条件を正確に把握し、照査することが必要である。一方、性能照査型設計法においては、設計の自由度が増すため前述したようにさらなる深い知識が必要となる。本書は、対象となる構造物に生じるであろう座屈現象を明確にし、座屈設計のための指針を示すことを主目的としている。

座屈照査に関連して、剛性の検討を行うことが必要なことも多い。薄板で構成された柱を考えた時、薄板そのものは耐荷力を十分に持っていて、座屈および降伏の影響によって板としての圧縮剛性が低下すれば、柱全体の曲げ剛性が低下し、柱の全体崩壊につながりかねない。一方、ボックス・ガーダーの圧縮フランジのように、主として板そのものの強度が問題となる構造物もある。したがって同じ板の座屈に対する照査といっても、対象とする構造物によって、照査の方法も目的も大きく異なることに注意する必要がある。

鋼構造物を構成する要素に分けると、最小要素として、平板あるいは曲面板が存在し、それらを接合して、直ちに全体構造物となる場合がある。水や油の貯蔵容器や穀構造物の大部分がこの範疇に入ろう。一方、骨組構造物といわれる構造では、平板や曲面板を接合して、骨組部材を組み立て、さらにこの骨組部材を組み合わせることで構造物が造られる。このような骨組構造物では、骨組部材や骨組部材を構成する薄板要素が健全であっても、構造物として座屈崩壊する場合がある。このような崩壊を構造物の全体座屈と呼ぶ。これに対して、構造物を構成する部材がまず座屈することもある。部材座屈と呼んでよいであろう。部材が座屈したとき、もともとその部材がなくても構造物が荷重に対して十分な耐荷力を有しているときは、構造物の全体崩壊につながらない

が、一般には部材が座屈すると、構造物全体が崩壊の危険にさらされる場合が多いと考えてよい。同様に骨組部材を構成する板要素が座屈することもある。このような形で板要素の座屈を板の局部座屈と呼んでいる。板の局部座屈の場合には、一般に部材の座屈との連成座屈を考慮して設計する。場合によっては骨組部材の崩壊、ひいては骨組構造物の全体崩壊につながる場合もある。

局部座屈、部材座屈、全体座屈と分類したが、実際の構造物においては、これらのいくつかが連成して生じる場合がある。その際、実際の設計においては、要素の寸法、すなわち、板の幅厚比や、細長比、あるいは、この両者と同じく座屈に直接関係する量全てを含めた座屈パラメータと呼ばれる無次元量を構造形態に応じて適当に選べば、この連成の影響を小さくすることができ、それぞれを個別に照査して、座屈に対する安全性を確保することができる。歴史的にはこのような設計法が採用され、座屈照査が行われてきたが、当然予測されるように、安全側の近似を多く採用するため、材料の最適配分からは離れた設計となることが多く、不経済な設計となることはやむを得ない。一つの例をあげれば、骨組み部材に対しては、プレート・ガーダーのような要素も含めて、局部座屈をしないように板の幅厚比を制限する、あるいは十分な剛性を有する補剛材で補強する形の設計が行われてきた。したがって、座屈崩壊に対する安全性を確保するための座屈照査は、骨組を構成する部材および全体構造に対してのみ行われるのが普通である。計算機を使えば、全体構造に対して座屈照査することは不可能ではないものの、かなり面倒になることは避けられない。このため、計算機が発展する以前にはほぼ出来上がり、現在でもその内容は本質的には変化していない現行の設計基準で、全体構造に対して座屈照査を規定しているのはアーチ橋のような特殊な構造に限られている。ただし、幅員が非常にせまく支間が長いトラス橋や2主桁のプレート・ガーダー橋などのスレンダーな構造物では、全体座屈として座屈照査を行うことが必要である。この意味では、現行の骨組構造物に対する設計基準は基本的には個々の部材について座屈照査を行い、これによって、全体の座屈に対する安全性を確保する考えに基づいているといえる [福本, 1987b]。

静的な荷重を受ける鋼構造物の設計では、単調に増大する荷重と弾性設計を基本にしているため、耐荷性能(力の限界値)に基づいて行われる。ただし、塑性設計においては、全塑性崩壊に達するまで部材が十分な回転容量 (*Rotation Capacity*) を持つことが要求されるので、変形性能 (ダクティリティー) が、静的荷重を受ける構造物でも問題にされる。

一方、大地震に対しては、構造物の塑性変形による履歴減衰を期待して設計が行われるため、繰り返し荷重下における部材・板要素の変形性能が構造物の耐震性能を支配する重要なパラメータである。変形性能 (ダクティリティー) を考えるときに、座屈問題は避けて通れない。座屈問題と変形性能 (ダクティリティー) の重要性は、兵庫県南部地震以前から認識されており、1981年に大阪で開催された日米セミナー [Fukumoto et al., 1982] は、繰り返し荷重を受ける鋼構造物の座屈安定と変形性能というテーマで実施されている。兵庫県南部地震以後、特に地震時の鋼構造物においては、座屈強度だけでなく、繰り返し荷重による座屈による変形性能 (ダクティリティー) が重要であることが再認識された。変形性能の照査は、種々の考え方があるが、変位またはひずみを用いて行われる [JSSC, 2001,2003]。詳しくは本書の第19章で記述されている。

1.4 座屈設計指針の各国の現状

1969年末から1971年にかけて世界各国において大小いくつかの箱桁橋の架設時の事故が発生し、51名にもよる人命を失ったが、中でも重要な建設事故は、(1)1969年11月のオーストラリアのウィーン市にある第4ダニューブ河橋、(2)1970年6月の英国のミルフォード・ヘブン橋、(3)1970年の10月のオーストラリアのメルボルン市のウェストゲート橋、(4)1971年11月の西ドイツのコブレンツ市に架るライン橋の4つである。

これらの事故原因の究明と再発防止のため、主に箱桁橋のフランジと腹板に注目した補剛板の圧縮強度、曲げ強度、せん断強度、支点上ダイヤフラムの強度などの評価の研究が大学などの研究機関において精力的に行

われ優れた研究成果が続々と発表された。これらの事故調査を通して、それまで使用されてきた構造設計基準と構造解析法の見直しと新たに限界状態設計法の導入が加速された。

英国では、1970年にメリソン委員会を組織し、大型鋼箱桁橋の設計と架設に関する調査を行い、1973年に箱桁橋暫定設計製作規準 (IDR) をまとめ、さらに1978年道路橋設計指針 BS5400 の新たな制定を行い、限界状態の原理に立った構造物の安全照査式を定め、その第3部「鋼橋の設計指針」に座屈関連規定の大幅な見直しが行われた。

西ドイツでは、鋼構造の座屈安定計算規準 DIN4114 (1952年) がわが国をはじめ各国の座屈関連規定に大きな影響を及ぼしてきたが、その後の鋼構造の設計、製作の進歩のもとでは適用範囲の狭さをはじめ不備な点が多く、また前述の箱桁橋の落橋事故を契機として、同規定の再検討、改訂作業が進められた。鋼板の座屈安定規定についてはドイツ鋼構造委員会によって DAST 指針 012 「板の座屈安定度の照査」 (1978年) にまとめられており、シェルの座屈に関する規定も DAST 指針 013 (1980年) として発行されている。これらの成果を含んだ形で DIN18800 第1部「鋼構造の設計計算と構造」 (1986年)、第2部「鋼構造の安定規準—部材および骨組構造」 (1980年案)、第3部「鋼構造の安定規準—板の座屈」、第4部「鋼構造の安定規準—シェルの座屈」が発刊された。

ECCS (欧州鋼構造連合) では、かねてから EC 加盟国内での構造設計基準の統一化を図るための委員会活動を続け、ECCS Recommendations (1975年版、1978年版) を作成し、そしてその一部として鋼構造の座屈安定に関する規準を含んだ「ECCS Manual」 (1976年) を完成させた。この ECCS Recommendations をさらに手直しして、Eurocode3 の原案 (1983年) を作成した。また、ECCS の構造安定委員会の板構造に関する小委員会では、15年間の板構造の極限強度に関する調査研究を行い、座屈設計への提案も含めてその成果をまとめている。1990年以後は、欧州標準化委員会 (CEN) が Eurocode の改訂作業を引継ぎ、鋼橋の ENV1993-2 [Eurocode, 2003] は最終案の段階にある。各国は国内規準とこの ENV を比較をして、国内提要文書 (NAD) を完成している。鋼構造の EN1993 (Eurocode 3) は、2005年以降に完成する予定である。

北米では、SSRC (米国構造安定研究会議、2005年の本部はミズーリ大学ローラ校) のもとに、Johnston 教授を編者とする「鋼構造の安定設計規準へのガイド」 (第3版1976年) [Johnston ed., 1976] を出版し、鋼構造研究者、構造設計技術者に広く利用されてきたが、その後の10年間の研究成果をもとに Galambos 教授を編者に第4版 [Galambos ed., 1988] を1988年に出版している。さらに、同じ編者で第5版 [Galambos ed., 1998] が1998年に出版されている。この版では、第4版と章の数は同じであるが、章立てや内容は大幅に変更されており、8章分がほとんど新しい記述となっており、3つの新しいテクニカルメモランダムも追加された。また、SSRC が中心となって各国の構造安定研究者の分担による各国示方書の構造設計のアプローチの比較、座屈関連規定の対比、相違点の背景、問題点の共同研究の可能性などについて、わが国、北米、西欧、東欧、中国、豪州の地域別研究調査が進められており、その成果は Stability of Metal Structures, A World View, 第2版として1991年に刊行された。

土木学会からは、1987年に座屈設計ガイドライン [土木学会, 1987a] が刊行された。その後、1994年には鋼構造物の終局強度設計 [土木学会, 1994] が刊行された。一方、日本建築学会では、座屈に関連した事項が多く含まれている「鋼構造設計規準」 [日本建築学会, 1970] を誤りなく運用するために、規定された数値や設計式の根拠を明らかにするための「鋼構造座屈設計指針」 [日本建築学会, 1980] を刊行している。その後、1996年に全面改訂 [日本建築学会, 1996] された。また、鋼構造物の座屈に関する諸問題を扱った本 [日本建築学会, 2001] が出版され、その中で性能設計と座屈設計についても述べられている。なお、「鋼構造設計規準」は、1979年に英語版 [AIJ, 1979] が出版され、日本語版の第3版 [日本建築学会, 2002] は2002年に出版された。

1995年1月の兵庫県南部地震における構造物の挙動において、米国でのノースリッジ地震 [土木学会, 1997] やロマープリータ地震と同じように多くの問題点が明らかになった。とりわけ、兵庫県南部地震における鋼構造物の崩壊や損傷は、実験室でしか観察されていない座屈現象が実構造物レベルで発生し、構造工学者に大きな課題を与えた。単に強度問題ではなく、動的応答における変形性能が重要な要素であることが明らかになった。局部座屈を伴った全体構造物の残留変位が、構造物の地震後の復旧使用性を判定する重要な要素であることが明らかになった [土木学会, 1996b, 1998, 2003]。

日本においては、1995年1月に発生した兵庫県南部地震以後、急速に仕様型設計から性能照査型設計に移行するための研究が盛んになり、各種の報告書が作成されている [JSSC, 2001; 土木学会, 2003]。道路橋示方書 [日本道路協会, 2002] についても2002年版では、性能照査型設計の基準を目指して、要求する事項とそれを満たす従来からの規定とを併記する書式として改訂された。座屈設計に関する諸外国の設計規準については、第3章で詳しく記述されている。今後、日本を含む諸外国の設計基準は、本格的に性能照査型設計手法を取り入れる方向にあり、座屈設計の重要性は増すと考えられる。

1.5 本書の構成

1987年10月に、「座屈設計ガイドライン」(旧版) [土木学会, 1987a] が土木学会から発刊された。20年近くを経過して、その間の研究成果を取り入れて、改訂版(本書)の必要性が認識されるようになってきた。そこで、実務設計者などにアンケートを行うことによって、「座屈設計ガイドライン」がどのように使われ、また、その存在価値がどのように認識されているかを明らかにした。その結果、「座屈設計ガイドライン」は、この分野を体系的に学ぶときに必須であり、示方書に規定されていない座屈・耐荷力に関しての貴重な参考資料として位置づけられていることが分かった。また、仕様型設計から性能照査型設計に移行しつつある最近の動向から、技術者に高度な判断が求められるため、この種のガイドラインの必要性が増していることも分かった。

改訂版を作るにあたって、実務設計者などへのアンケート結果を踏まえて以下のような方針をたてた。

- (1) 座屈設計に役に立つガイドラインの作成を第一義的な目標とするが、座屈設計に関する研究の最前線についても記述をする。すなわち、最低限、現行道路橋示方書の内容はカバーするが、性能設計の普及を視野に入れ、座屈設計に関する最新の研究成果も取り入れる。
- (2) 記述する内容あるいは設計式を慎重に選択し、それらの背景および誘導を明確に記述する。その際、多少の厳密性を犠牲にしても、技術者が理解できるように可能な限りやさしく記述する。
- (3) 複雑な過程を経て最終式に到達する場合(例:プレート・ガーダーの設計強度式)には、フローを用い、筋道が理解できるように記述する。
- (4) 設計式などは、表の形に極力まとめ、参照するときに本文を読まなくても探せるようにする。
- (5) 設計式を実構造物に適用する場合の具体例(例:中心軸圧縮柱の強度式→トラスの圧縮材, 端補剛材の設計)および計算例も可能な限り載せる。
- (6) 計算機利用を前提とした構造物のモデル化についても記述し、境界条件, 解析条件を明示する。また、荷重の増加方法(活荷重 L のみ増加, あるいは活荷重と死荷重 $(L+D)$ を一律増加など)も記述する。

旧版の座屈設計ガイドラインは、14章構成であったが、本書では上記の方針に基づいて20章構成として、内容の充実を図った。特に、兵庫県南部地震以後の耐震に関する多くの研究成果を記述するとともに、コンピュータの積極的な利用 [関西道路研究会, 1998] を前提としたときに、必須の知識や考え方を記述している。

なお、日本の研究成果を積極的に諸外国に発信するとともに、日本のこの分野の研究レベルの高さを示し、世界の構造分野に貢献できるように本書の英文版が出版できるとよいと思う。

本書が、構造設計に活用されるとともに、技術者、研究者、大学院学生の座屈設計に関する座右の書になることを切望する。

参考文献

- Euler, L. (1744) : Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici lattissimo sensu accepti (Additamenta, De curvis elasticis(pp.245-310)), Marcum Michaellem Bousquet, Lausannae, 1744.
- Euler, L. (1759) : Sur la force de Colonnes, Memoires de l'académie des sciences de Berlin, tom 13(1759), pp.252-282, 1759.
- Bleich, F. (1952) : Buckling of Metal Structures, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1952. Timoshenko, S.P. (1961) : Theory of Elastic Stability, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1961.
- Steinman, D.V. and Watson, S.R. (1957) : Bridges and their Builders, Dover Publication Inc., New York, 1957.
- 日本建築学会 (1970) : 鋼構造設計規準, 丸善, 1070.5.
- Johnston, B.G. (1976) : Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- AIJ (1979) : Design Standards for Steel Structures, March, 1979.
- 日本建築学会 (1980) : 鋼構造座屈設計指針, 丸善, 1980.9.
- 福本嘸士 (1987) : 座屈設計研究に関する現状と課題, 研究展望, 土木学会論文集, No.380/I-7, 1987.4.
- 土木学会 (1987a) : 座屈設計ガイドライン, 土木学会鋼構造委員会, 座屈設計ガイドライン作成小委員会 (委員長: 福本嘸士), 鋼構造シリーズ2, 1987.10.
- 土木学会 (1987b) : 鋼構造設計指針 Part A,B, 土木学会, 鋼構造委員会鋼構造物設計指針小委員会 (委員長: 西野文雄), 鋼構造シリーズ3A, 3B, 1987.11.
- Galambos, T.V. (1988) : Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 1988.
- Fukumoto, Y. and Lee G. (1992) : Stability and Ductility on Steel Structures under Cyclic Loading, CRC Press, 1992.
- 土木学会 (1994) : 鋼構造物の終局強度と設計, 土木学会, 鋼構造委員会鋼構造終局強度研究小委員会 (委員長: 倉西茂), 鋼構造シリーズ6, 1994.7.
- 土木学会 (1995) : 阪神大震災における鋼構造物の被害報告と今後の耐震設計について, 土木学会, 1995.
- JSCE (1995) : Preliminary Report of the Great Hanshin Earthquake, JSCE, 1995.
- 土木学会 (1996a) : 阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集, 1996.1.
- 土木学会 (1996b) : 鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術, 土木学会, 構造委員会鋼構造新技術小委員会耐震設計研究WG (委員長: 宇佐美勉), 1996.7.
- 日本道路協会 (1996) : 道路橋示方書・同解説, 1996.12.
- 日本建築学会 (1996) : 鋼構造座屈設計指針2版, 丸善, 1986.1.
- Itoh, Y., Usami, T. and Fukumoto, Y. (1996) : Experimental and numerical analysis database on structural stability, Engineering Structures, Vol.18, No.10, pp.812-820, 1996.10.
- 土木学会 (1997) : 阪神・淡路大震災震害調査報告, 土木構造物の被害原因の分析, コンクリート構造物, 鋼構造物, 土木学会, 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会 (委員長: 片山恒雄), 1997.12.
- 伊藤義人 (1997) : 第5回鋼構造物の座屈安定とダクティリティーに関する国際コロキウム (SDSS'97) 報告, JSSC, No.26, pp.21-35, 1997.10.
- Usami, T. (1997) : Proceedings of the 5th International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, Nagoya, July, 1997.
- Fukumoto, Y. ed. (1997) : Structural Stability Design-Steel and Composite Structures, Pergamon, 1997
- 土木学会 (1997) : 1994年ノースリッジ地震震害調査報告, 土木学会, 耐震工学委員会 (委員長: 田村重四郎), 1997.2.
- 関西道路研究会・道路橋調査研究委員会 (1998) : コンピュータによる鋼橋の終局強度解析と座屈設計, 共立出版, 1998.2.
- Galambos, T.V. (1998) : Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 5th ed., John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- Usami, T. and Itoh, Y. ed. (1998) : Stability and Ductility of Steel Structures, Pergamon, 1998.
- 土木学会 (1999) : 阪神・淡路大震災における鋼構造物の震災の実体と分析, 土木学会, 鋼構造委員会鋼構造震災調査特別小委員会 (委員長: 福本嘸士), 1999.5.
- 土木学会 (2000) : レベル2地震動研究小委員会の活動報告書, 地震工学委員会 レベル2地震動研究小委員会 (委員長:

- 大町達夫), 2000.3.
- JSSC (2001) : 土木鋼構造物の性能設計ガイドライン, JSSC テクニカルレポート No.49, 日本鋼構造協会, 2001.10.
- 伊藤義人, 石山隆弘, 宇佐美勉 (2001) : Web 上での耐震解析用ベンチマーク公開システムの構築, 土木情報システム論文集, Vol.10, pp.1-10, 2001.10.
- 日本建築学会 (2001) : 鋼構造物の座屈に関する諸問題 2001, 日本建築学会, 2001.11.
- 日本道路協会 (2002) : 道路橋示方書・同解説, 2002.3.
- 土木学会 (2002) : 鋼構造に関する国際基準調査・分析報告書, 鋼構造委員会, 鋼構造に関する国際規格調査小委員会, 2002.
- 日本建築学会 (2002) ; 鋼構造設計規準, 丸善, 2002.2.
- ENV 1990 (2002) : Eurocode ; Basis of Structural Design, 2002.
- 土木学会 (2003) : 鋼構造物の性能照査型設計体系の構築に向けて, 土木学会鋼構造委員会, 鋼構造物の性能照査型設計法に関する調査特別委員会 (委員長: 市川篤司), 2003.4.
- JSSC (2003) : 土木鋼構造物の動的耐震性能照査法と耐震性向上策, JSSC, 鋼橋の性能照査型設計耐震設計法検討委員会 (委員長: 宇佐美勉), 2003.10.
- ENV 1993-2 (2003) : Eurocode 3 ; Design of steel structures - Part 2 Steel Bridges, 2003.