

2. 設計基準の動向

2.1 鋼構造の設計基準

2.1.1 鋼構造物の設計基準

鋼構造物には多岐の種類がある。表-2.1.1 に示すように鋼製の橋梁、海洋構造物、鉄塔、管路、タンクなどは日本では所管機関で作成された技術基準（示方書、マニュアル、指針などを含む）に基づいて長年構造設計がなされてきた。公共事業においてはこれら技術基準が法律的な拘束力を所持しており、民間での施設の構造設計でも準用されてきた。また土木学会、各種協会で作成された技術基準も参照されてきた。鋼構造物の設計基準で土木学会では鋼構造物設計指針、日本道路協会では道路橋示方書、鉄道での鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）が代表的な技術基準で、港湾構造物、パイプライン、水門鉄管などが個別に設計基準を作成している。また鉄塔、風力発電などのタワーは建築基準法に従っている。

表-2.1.1 各種鋼構造物の設計基準例

対象構造物	関連する法規	設計基準の名称など	主管団体・発行元など
港湾鋼構造物	港湾法	港湾の施設の技術上の基準・同解説	日本港湾協会
鉄道構造物	鉄道事業法	鉄道構造物等設計標準・同解説	鉄道総合技術研究所
道路構造物	道路法	道路橋示方書	日本道路協会
ダムゲート・堰	河川法	ダム・堰施設技術基準	ダム・堰施設技術協会
水圧鉄管	電気事業法	水門鉄管技術基準	水門鉄管協会
モノレール	鉄道事業法、軌道法	都市モノレール構造基準等	日本モノレール協会
送電鉄塔	電気事業法	電気設備技術基準・解釈	経済産業省
通信鉄塔	建築基準法	通信鉄塔設計要領・同解説	建設電気技術協会
煙突、照明塔・通信塔等	建築基準法	塔状鋼構造物設計指針・同解説	日本建築学会
クレーン	労働安全衛生法	クレーン構造規格等	厚生労働省
貯槽・容器	自治省告示 ガス事業法 電気事業法 高圧ガス保安法	鋼製石油貯槽の構造(全溶接製) 球形ガスホルダー指針 LPG貯槽指針 LNG地上式貯槽指針	自治省・JIS 経済産業省・日本ガス協会
		容器構造設計指針	日本建築学会
原子力施設	電気事業法等	原子力発電所耐震設計技術指針等	日本電気協会等
風力発電施設	電気事業法	発電用風力設備技術基準・解釈	経済産業省
		風力発電設備支持物構造設計指針・同解説	土木学会
石油パイプライン	石油パイプライン事業法	石油パイプライン技術基準(案)	日本道路協会
ガスパイプライン	ガス事業法、高圧ガス保安法、鉱山保安法、電気事業法	ガス工作物技術基準	経済産業省

2.1.2 許容応力度法から限界状態設計法

国内の鋼構造物の設計法は許容応力度が長年適用されてきた。材料が弾性域内で設計がなされているが許容応力度は事故や被害など経験的に定められてきて、問題が起きたり新しい現象が見られ

ると許容応力度を修正したりあるいは割り増し係数で対応してきた。各種載荷試験の実施、数値解析法の進展により弾性域の力学特性のみならず材料の塑性域での挙動も次第に把握されてきた。材料や構造の非線形性を構造設計法に反映できるようになるとともに、経済的な構造の要求からこの非線形性を考慮してより合理的な設計方法が構築されてきた。ヨーロッパでは終局強度法が採用され強度（耐力）と外力の比較で照査される構造設計法が提案採用された。ここでは強度係数と荷重係数の安全係数を採用している。これらの強度は実験や観測などで得られたデータを統計処理して設定された。この考え方をさらに進め構造物の不都合さを明確にし、終局限界状態と使用限界状態とに分類し、各安全係数を設定した。米国では 1973 年 AASTHO、に荷重係数法設計法、カナダでオンタリオ州では 1979 年 OHBD、イギリスでは 1982 年 BS5400、ドイツでは 1986 年 DIN18800 で限界状態設計法が導入された。日本ではこれらの情勢を踏まえて限界状態設計法の検討が各種学会や協会で行われ、検討結果を踏まえて本格的に導入され各設計基準に採用されてきた。土木学会では昭和 61 年にコンクリート標準示方書に限界状態設計法が本格的に導入され、鋼構造分野では一年遅れて鋼構造物設計指針で限界状態設計法での構造設計法が導入された。その後港湾の施設の技術上の基準・同解説（1999 年）、鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成 4 年）で限界状態設計法が許容応力度法に変わって導入された。

限界状態設計法は信頼性設計法の一形態である。要求される性能を終局限界状態、使用限界状態および疲労限界状態の 3 種類の限界を設定しそれぞれに、耐力（曲げ耐力、せん断耐力など）と不都合さ（腐食、たわみ、振動など）を設定してそれぞれを照査する設計法である。信頼性設計法は材料、外力のばらつきを考慮して統計関数に置換し性能関数（抵抗力－外力）から破壊確率を計算する方法である。この手法で直接的に破壊確率を計算せず各種安全係数で構造設計するのが現在の限界状態設計法の元となっている。信頼性設計法は以前から合理的な設計法とされ研究が進められてきたが、計算の理念がなかなか技術者に理解されてこなかったこと、計算の煩雑さなどで採用されてこなかった。しかし性能設計法への変換に伴い再度構造設計法として検討され始めてきている。2007 年改訂の港湾の技術上の基準・同解説に信頼設計法が導入された。

2.1.3 仕様設計法から性能設計法へ

今までの設計基準が仕様設計法すなわち設計計算式、材料、規格値などが決められた条件下すなわち法律的な背景（遵守もってが求められる）で発注者が受注者に構造設計を依頼し、また設計計算の妥当性も設計基準に基づいてチェックされてきた。仕様設計法は、発注側の国、地方公共団体、公団（今は多くが民営化）が制定し、大量に急速に施設を整備するとき規格的な構造設計法は非常に有効といえる。しかし新しい考え方の施設、新材料の採用には相応しい設計法とはいえない。成熟してきた施設整備では、バリアフリー、景観など多様な国民の要望に答える必要がある。また民間での技術開発の成果が仕様設計法では反映が困難である。日本の経済力が低下してきた現在、より経済的な施設の整備やその元になる構造設計法の改定が要求されてきている。このような背景で性能設計法への転換の機運が出てきた。この状況はいち早くヨーロッパで性能設計法への転換が、国際標準化機構（ISO）で図られた。国際標準化機構（ISO）での国際規格の制定作業の進展にともない、東南アジア・中近東などでの海外工事の増加と関連して日本の技術基準が大きく見直されてきている。すなわち鋼構造物の建設目的、要求性能を明示し信頼性理論を基本とした限界状態設計法での性能設計法が採用されるようになって来た。すでに土木学会や各機関では構造設計法の改定に当たっては性能設計法の表示に変更されてきている。

2.2 世界貿易機関(WTO)での協定書

構造設計法は各機関で施設を国内で独自に建設している場合、技術的にも国際的にも問題なかった。構造設計法にとって大きな契機は、1996 年 1 月の WTO での協定書の発効である。この政府間

協定では、政府機関の定める技術基準については、施設の性能に着目して国際規格がある場合にはその使用を要求している。政府機関には、中央政府機関、地方都道府県、政令都市など 84 の政府関連施設を対象としている。協定書の趣旨は、各国独自の技術仕様により自由な貿易の障害にしているのではない、また各国の技術基準類をできる限り共通化することである。すでに各種施設に使用される鋼材などの工業製品の規格について、1975 年 2 月関税及び貿易に関する一般協定（GATT）で貿易の技術的障害に関する協定（TBT）が成立しており、この内容が WTO の協定書付属書に包含された。すなわち公共事業および民間事業でも基本的には施設を建設する場合、技術基準、材料の規格など国際規格がある場合にはこれに準拠し、また国内規格も他国にとって不利にしないことが義務となった。日本である技術的根拠を持って独自に作成された技術基準、規格が国際標準と整合しないと指摘された場合、国内の技術基準、規格の使用ができない可能性も否定できない。日本の技術基準などは、法律的に強制力ある部分でも国際規格に合わせる必要に迫られた。

表-2.2.2 鋼構造設計法の歴史的項目

年	鋼構造物の設計に関連した事項
1901	英国で鉄鋼基準に関する協会設立（BS の最初）
1912	鋼鉄道橋設計示方書（日本での最初の鋼構造物の基準）
1921	米国の橋梁示方書（AASHTO などの最初の米国での基準）
1927	BS 最古のバージョン
1939	鋼道路橋設計示方書案（日本の道路橋示方書のもと）
1947	ISO 設立
1958	BS153 を制定
1959	港湾工事設計要覧で鋼部材の設計法制定
1964	道路橋下部構造設計指針（杭基礎）
1971	米国の鋼構造物基準（建築）AISC
1973	道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編
1973	AASHTO で荷重係数設計法を導入
1974	石油パイプライン技術指針（案）
	港湾の施設の技術上の基準・同解説
1979	GATT TBT 協定結ばれる
1982	BS5400 で限界状態設計法を導入
1983	建造物設計標準（鋼、鋼鉄道橋、合成構造）
1987	JIS が規定される
	土木学会：鋼構造物設計指針 PARTA 一般構造物，PARTB 合成構造物
1991	ウィーン協定で ISO と CEN の連携
1992	鉄道構造物等設計標準（鋼・合成構造）
1997	土木学会に ISO 対応委員会設立
1998	建築基準法で性能規定導入
1998	ISO2394 構造物の信頼性に関する一般原則の性能規定化の公表
1998	建設省に基準調整委員会設置
2002	国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本の公表
2002	CEN Eurocode 1 の公表
2003	土木学会包括設計コードの公表
2007	港湾の施設の技術上の基準・同解説で信頼性設計を本格的導入
2007	土木学会：鋼・合成構造標準示方書

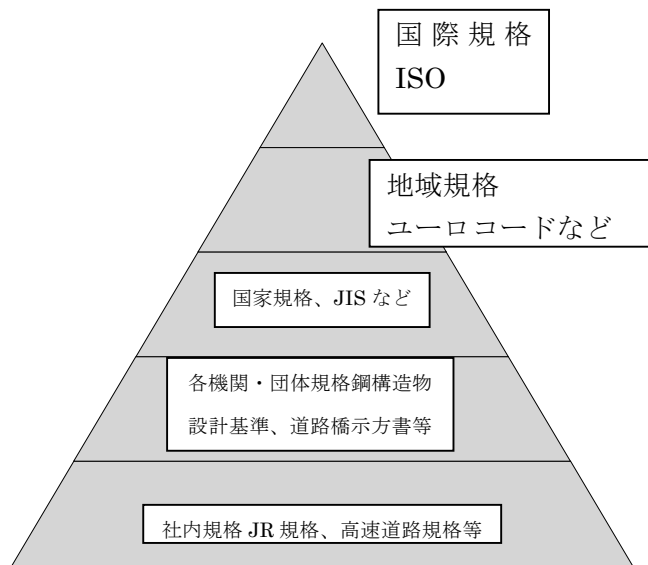


図-2.2.1 構造設計法の階層

2.3 国際標準化機構（ISO）の動向

ISO は工業規格の国際的統一を目的として 1947 年正式発足し 1952 年日本が加入した。現在 130 国あまりが参加している。この組織では管理部門の下に専門委員会 TC (Technical Committee), 分科会 SC(sub-committee)および作業グループ WG (working group) に階層化され実質的な基準制定作業を行っている。鋼構造に関する分科会 TC17, 溶接に関する分科会 TC44, 構造物の設計の基本分科会 TC98 などいくつかの鋼に関連する分科会が存在し技術管理評議会 (TMB) の下に組織されている。SC1 から提出された材料と設計 (ISO10721-1) は 1994 年 8 月に, SC2 から提出された組み立てと建設 (ISO10721-2) は 1999 年 3 月に正式に ISO 規格となった。主に建築を対象としているが疲労設計, 溶接などに関する規定は橋梁などの鋼構造物も対象としている。とくに 1998 年に公表された ISO2394 構造物の信頼性に関する一般原則はその後の日本の構造設計基準の作成の基本概念となった。すなわちここでの基本的な要求事項として施工時と使用時とに予期される荷重に対して使用性(serviceability limit state)と極限状態 (ultimate limit state) に対して適切な信頼性の基に安全性を確保することを要求している。構造設計法で限界状態設計法の推奨となっている。既に日本では, ISO の動向を見て限界状態設計法を土木学会の基準類に導入していた。

2.4 各地域での技術基準

2.4.1 欧州規格 (EN) の制定機関 (CEN) の動向

欧州規格の制定機関 (CEN:Commite European Normalisation) は ISO と密接な関係にあり規格の相互承認と平行作業の調整を行っている。1991 年のウィーン協定の存在は大きく CEN が欧州の地域の基準の制定組織であるにも変わらずここで制定された基準類が ISO と重複する場合そのまま ISO の国際基準になることを意味している。ISO と CEN との大多数のメンバーは重複している背景もあるが, ヨーロッパが国際基準の制定の中心であるとの意思表示ともとれる。具体的には CEN の TC250 (Eurocodes for Structures) の SC 3 (Design of Steel Structures) では鋼構造物に関する設計標準を定めた Eurocode 3(ENV1993 Design of steel structures)を改定してヨーロッパ基準を制定した, これに伴いヨーロッパ各国の国内基準は順次改定廃止となった。両機関の密接な関係から CEN での規格が ISO 規格とほぼ同じとなった。この意味では CEN の動向も常に視野に入れておく必要がある。ユーロコードでの全体構成は以下のようである。

- EC 1 設計荷重
- EC 2 コンクリート構造
- EC 3 鋼構造
- EC 4 鋼コンクリート合成構造
- EC 5 木構造
- EC 6 組積造構造
- EC 7 基礎および地盤
- EC 8 耐震設計
- EC 9 アルミニウム構造

このなかで EC 3 の鋼構造では 8 のパーツより構成されている。(1)一般原則および建築物, 耐火性, 冷間加工薄肉部材(2)鋼橋および板構造(3)タワー, マスト, 煙突(4)タンク, サイロ, パイプライン(5)杭(6)クレーン(7)海洋構造(8)農業施設である。ここでは土木, 建築, 農業と幅広く鋼構造物を取り扱っている。

各ユーロコードは基本的にはヨーロッパの参加国で作成され 日本と米国が各委員会に参加し意見を述べて修正した。ただ耐震設計では日本の意見が大きく取り入れられている。

2.4.2 米国の技術基準

米国の設計基準は各州により異なり各種の設計基準が存在している。鋼構造物の規格は AISC (米国鋼構造委員会) が担当している。ここでは Steel Construction Manual, 13 版が出版されており許容応力度法 (ASD : Allowable Stress Method) と荷重強度係数設計法 (LRFD : Load Resistance Factor Design Methods) が併記されている。また構造細目と施工法に関する設計基準も併せて出版されている。道路橋を対象とした AASHTO (米国高速道路協会) では Section 6 鋼構造で記述されている。ただカルフォルニア州では独自に CALTRANS (Bridge Design Specification) を所有している。鉄道橋は AREA (米国鉄道技術協会) また海洋構造物は API (米国石油協会)、タワーは ASCE (米国土木学会) から鋼構造送信タワー設計指針が出されている。いずれも LRFD と ASD が使用されている。鋼構造物の溶接, 加工, 品質管理に関しても関連の協会で作成している。このように米国では多種の鋼構造物の設計基準が存在している。

2.4.3 東南アジアでの鋼構造基準

東南アジアでの鋼構造物の技術基準は基本的にはヨーロッパと米国の基準に準拠しており独自の技術基準は日本以外ない。日本とともに経済的発展の著しい中国と韓国とも日本の基準をかつては参考にしていたが現況は米国とヨーロッパの技術基準を適宜選択しながら自国の技術基準を模索している。例えばインドネシアでは DUTCH (オランダ) と ASSHOTO を元に、フィリピンでは ASSHOTO, マレーシアでは BS の鋼構造の設計基準をもとに修正して独自の設計基準を作成している。ベトナムではロシア, 中国, ASSHOTO など時代とともに設計基準の元が変遷してきている。この方向は東南アジア各国ともほぼ同様である。各国が、旧宗主国の設計基準や ASSHOTO を元に鋼構造の設計基準を作成している。東南アジアではヨーロッパや北米のような地域的な統一は図られていない。これは現在日本, 中国, 韓国で構造設計の合意が得られていないことと、米国と欧州が東南アジアの統一コード作成に警戒しているからである。日本の経済協力 ODA のときしか日本の技術基準は使用されていない。

2.4.4 日本で 2007 年度改変された設計基準

2007 年は日本において本格的な性能設計法が作成された。土木学会 : 鋼・合成構造標準示方書では性能設計法により鋼コンクリート合成構造の設計基準が示された。鋼製橋梁を主に対象としているが他の鋼構造物にも適用可能である。港湾の施設の技術上の基準・同解説で信頼性設計を本格的導入し各港湾施設を対象に安全性指標と安全係数が示された。日本の鋼構造物の設計基準である道路橋示方書も近いうちに限界状態設計法が導入されようとしてきている。

2.5 ISO に対する日本の対応

日本からは日本鉄鋼連盟, 日本溶接協会, 建築・住宅国際機構などが国内審議団体として ISO の各 TC に参加している。例えば TC167 は鋼とアルミニウムの専門委員会がこの下に分科会 SC として材料と設計に関する分科会 (SC1) と施工に関する分科会 (SC2) とが設けられ日本からは JISC が正式メンバーとして参加している。また日本鉄鋼連盟も日本鉄鋼連盟標準化センターを 1997 年 9 月に創設して ISO 対応の標準化作業を進めるため ISO の各種委員会に参加している。

WTO, ISO, CEN などの技術基準の動向と関連して国土交通省では“土木・建築にかかる設計の基本”を検討するため平成 10 年 12 月委員会を設置し平成 14 年 10 月に報告がなされた。ここでは ISO 基準とは基本的に整合するように性能設計を基本とした包括的なコードが提案された。地震の記述は日本での成果を ISO などに反映させる提案をし、また日本の地域性・構造物の個性も配慮した形式となっている。諸外国では建築分野と土木分野とで構造設計に関して共通に議論している。日本のように別個に設計基準を作成した経緯を考えると包括的なコードとして共通な理念を示したことは画期的なことである。

参考文献

- 1) 土木学会：構造物の安全性・信頼性，昭和 51 年 10 月
- 2) 土木学会関西支部：鋼構造設計法の総合化と将来展望，1993 年 9 月
- 3) 土木学会：鋼構造物設計指針 PART A 一般構造物 平成 9 年度版
- 4) 港湾学術交流会：平成の黒船 ISO と我が国の技術基準の進路，港湾学術交流会年報，No.26，平成 11 年 6 月
- 5) 日本鋼構造協会：各種構造物の設計とその思想，1987 年 10 月

(清宮 理)

(参考資料) 鋼材の分野別用途の量

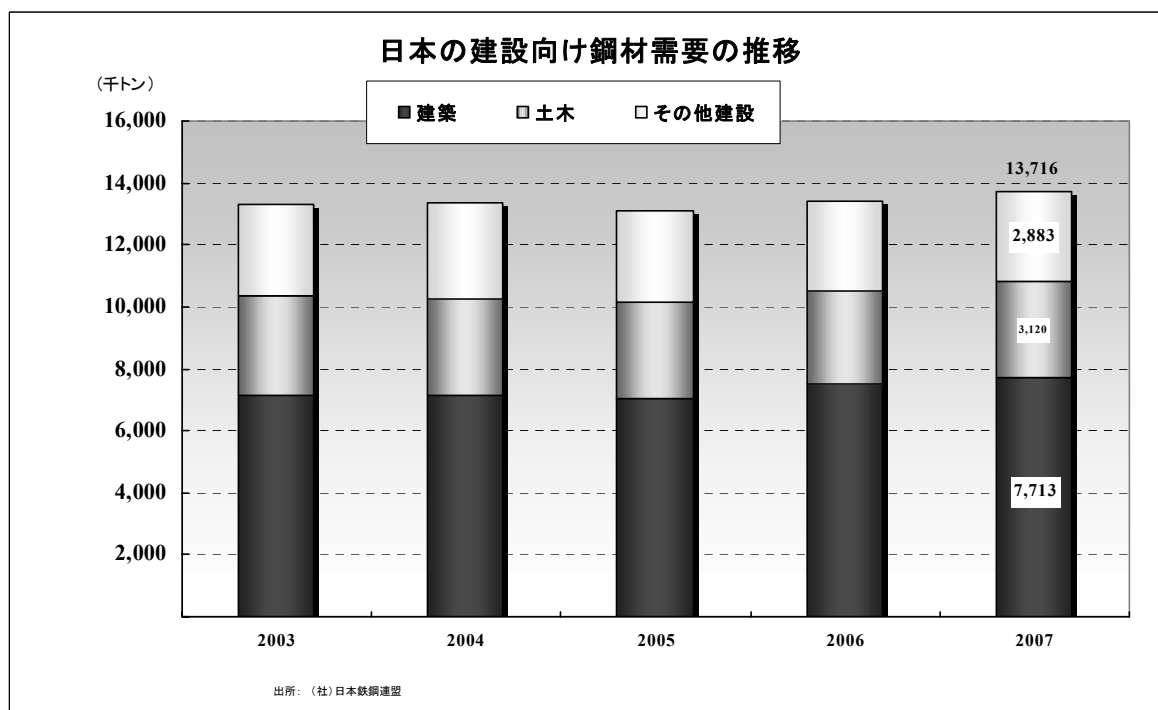


図-参-1 国内の建設向け鋼材

上図に示すように国内の建設向け鋼材は 2007 年度に 1371 万トンで約 1/4 が土木用に使用されています。

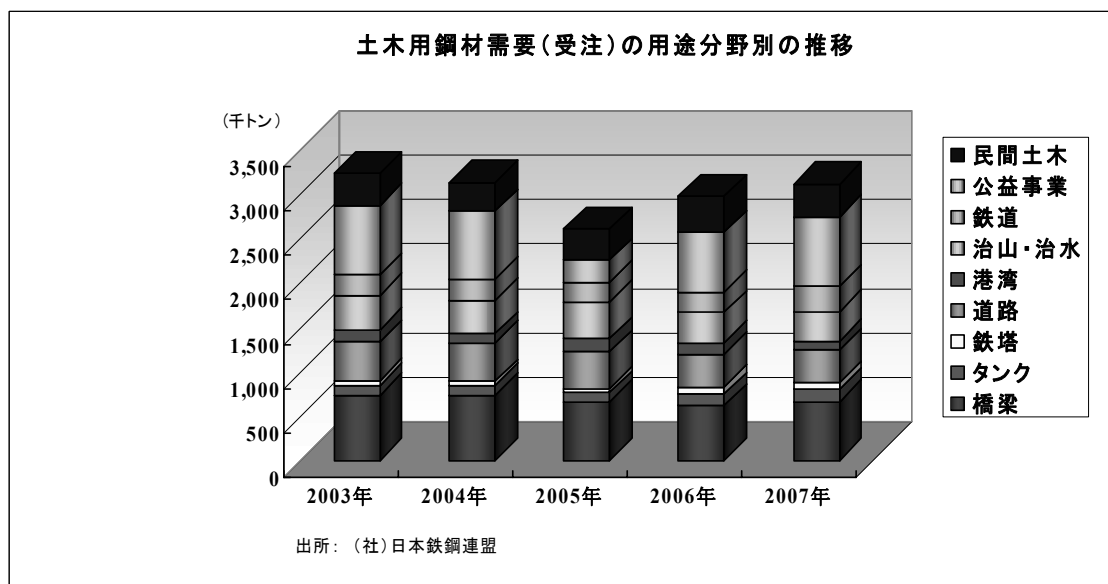


図-参-2 鋼材の分野別使用量

土木用の各分野別の鋼材料の使用量を示す。一番多い分野が橋梁で全体の約 1/6 を占め道路、鉄道、治山治水などの分野での使用量が多い。