

Chapter 1

鉄の基本

鉄骨構造（または鋼構造）は、構造用鋼から圧延された鋼板ならびに各種の形鋼を、ボルト、鋼力ボルト、溶接などの接合手段によって組み上げた構造または建築の総称である。その用途は、住宅、倉庫、体育館、工場などから高層、超高層ビルに至るまで極めて広範である。

1.1 鉄骨構造の沿革

1.1.1 鋼の沿革

鉄は「文明の母」と呼ばれ、現在は「鉄の時代」ともいわれている。人間が鉄を使い始めたのは紀元前 2000 年以前だといわれているが、鉄の道具と武器の使用が各地に広がり始めたのは紀元前 1100 年以降のことである。

鉄は、地殻の 5.05% を占めるほど大量に存在するが、純粋な元素の形で存在することはまれであり、通常は土壌や岩石、鉱物の中に化合物として含まれている。鉄を作る（分離する）ために古代からいろいろ方法が開発された。基本的には、高温で鉱石を溶かして、その中の炭素を除去する方法である。15 世紀後利に高炉法¹ が発明され、3~4% 炭素を含んだ銑鉄（せんとつ、Pig Iron）・鑄鉄（ちゅうてつ、Cast Iron）はドイツ、ベルギー、フランス、イギリスなどの各国に定着し、鉄の生産が行われていた。この鑄鉄は鑄造² ができるが、炭素が多いため鍛造³ には適さなかったため、構造物にほとんど使用されなかった。

18 世紀に入ると、木炭のかわりに石炭による高炉法がイギリスの中部で成功し、1779 年には、近くのセバーン (Severn) 河に史上初のスパン 30.6m の鑄鉄製のアーチ橋 Iron Bridge (図 1.1⁴) が建設された。

18 世紀後半には、反射炉で石炭を用いた火炎の反射熱によって鑄鉄を精錬するパドル法が完成し、鍛造可能な錬鉄 (Wrought Iron) を作ることができた。また、当時確立されていた蒸気機関による圧延法による鍛造と組み合わせて、板や I 形の部材に圧延し、構造物に大量に用いられるようになった。この錬鉄の時代は 19 世紀後半まで続く。フランス革命 100 周年を記念して、1889 年にパリで行われた第 4 回万国博覧会のために、1889 年建設されたパリのエッフェル塔 (La tour Eiffel, 図 1.2⁵) は 7300 トンの錬鉄で作られた。

¹ 高炉法では、鉄鉱石と、石炭を蒸し焼きにしたコークスを炉に投入、化学反応で鉄を取り出す。原形は 14-15 世紀にドイツで生まれ、16 世紀のイギリスでコークスを使う方法が確立した。大島高任の高炉は高さ 6 メートル程度とみられるが、今では 100 メートル以上も珍しくない。

² 鑄造（ちゅうぞう、Casting）は、材料（主に鉄・アルミ合金・銅・真鍮などの金属）を融点よりも高い温度で熱して液体にしたあと、型に流し込み、冷やして目的の形状に固める加工方法である。

³ 鍛造（たんぞう、Forging）とは、金属加工の塑性加工法の一つ。金属をハンマー等で叩いて圧力を加えて、金属内部の空隙をつぶし、結晶を微細化し、結晶の方向を整えて強度を高めると共に目的の形状に成形する。古くから刀工が日本刀など刃物や火縄銃の銃身の製造技法として用いており、刃物の品質を向上させる努力に伴い技法が発展してきた。

⁴ <http://keeperofthesnails.blogspot.jp/2011/07/coalbrookdale-and-iron-bridge.html>

⁵ <http://tabisuke.arukikata.co.jp/mouth/109/>



図 1.1 Iron Bridge (Severn, UK, 1779 年に建設、1986 年に世界遺産に登録、産業革命の象徴の一つ)



図 1.2 エッフェル塔 (Pari, France, 1889 年建設、1991 年に世界遺産。展望台は 3 つ：高さは 57.6m、115.7m、276.1m。)

19 世紀半ばに、銑鉄の精錬法として画期的なベッセマー (Sir Henry Bessemer) の転炉⁶、ジーメンス・マルティン (Carl Wilhelm Siemens) の平炉⁷が発明され、品質の良い鋼材を大量生産できる近代製鉄の方式が確立し、鋼の時代を迎えた。

⁶ ベッセマー法 (Bessemer Process) は、溶けた銑鉄から鋼を大量生産する世界初の安価な製法。鍵となる原理は、溶銑に空気を吹き込んで酸化還元反応を起こし、鉄から不純物を取り除くことである。酸化によって鉄の温度が上がり、溶けたままにしておくという効果もある。

⁷ 平炉 (へいろ、Open Hearth Furnace) とは、蓄熱室を有する反射炉の一種の平型炉で、主に鉄の精錬に用いられる。原料としては銑鉄と鉄スクラップを用い、酸化剤として鉄鉱石を用いる。脱リンが容易であり、良質な鋼を

1.1.2 日本の鋼構造の沿革



図 1.3 秀英舎印刷（現在の大日本印刷）工場（地上 3 階、地下 1 階基準階 52.5 坪。鉄材はフランスで購入、1894 年竣工、1910 年火災で全焼）

日本の高炉による製鉄は 1857 年、釜石鉄山で初めて成功した。1894 年東京の京橋に建築された秀英舎印刷工場（図 1.3）は日本最初の鉄骨構造建築である。設計者はフランスに留学した造船技術者の若山鉉吉であった。



図 1.4 官営八幡製鐵所修繕工場【北九州市】（1900 年建設、国内現存最古鉄骨建造物）

図 1.4 に示す官営八幡製鐵所修繕工場は、北九州市に位置する。1900 年、製鐵所で使用する機械の修繕、部材の製作加工等を行う目的で、ドイツのグーテホフヌクスヒュッテ（G.H.H）社の設計と鋼材を用いて建設されたものである。この修繕工場は、現存する国内最古の鉄骨建造物である。創業から 110 年以上経過した現在でも、修繕工場として稼働を続けている。⁸

明治末から大正の初頭にかけて、日本の鉄骨建築技術も定着し、1926 年には圧延鋼材の規格が公布され、1932 年には市街地建築物法施行規則が改正され、溶接の使用が規定されるなど技

得ることができたことから、長い間製鋼法の主流であったが、転炉や電気炉の発展により、現在では東欧などで生産が見られるだけである。

⁸ 参考：北九州市ホームページ <http://www.city.kitakyushu.lg.jp/soumu/01900101.html>

術的な発展をつつけたが、日本の鉄骨構造の設計理論は1941年、建築学会の制定した「鉄骨構造計算基準」によって一応の体系化がなされている。1950年には建築基準法が制定され、新しく建築される建築物は、その規定によることとなった。

1.1.3 鋼種・鋼材・接合法の沿革

1950年以前から鉄骨構造で使用されていた鋼材の鋼種は、普通鋼であるSS400（1994年のJIS規格⁹の改正以前は、SS41と呼ばれていた）のみであったが、1956年ごろから高張力鋼であるSM490（SS41同様にSM50と呼ばれていた）が使用され始めている。1994年には、建築構造専用のSN材が規定された。

圧延形鋼としては、山形鋼、みぞ形鋼、I形鋼が戦前から使用されていたが、1961年からH形鋼が生産され始め、鉄骨構造の普及とほぼ同じ時期となる。1975年からは冷間成形角形鋼管が使用され始めた。当初は、径の小さいサイズが中心であったが、1981年の建築基準法改正によってブレース構造に比べて構造的に有利な扱いがなされるようになったラーメン構造が増加したことに伴って、この主要な柱材として径の大きなサイズが多用されるようになった。冷間成形角形鋼管は、その製法上の理由から角部の力学特性に多少の問題点があるが、その点を改良したBCP、BCR材¹⁰が1995年から製造されるようになった。

鉄骨構造の接合法については、1950年から1960年にかけて現場接合に盛んに使われたリベット接合は、1965年ごろから高力ボルト接合に完全に替わられた。高力ボルトは、当初F9Tが主流であったが、1972年のJIS規格改訂後はやや強度の高いF10Tや、最近では、より強度の高いF14T級の高力ボルトも一部使用されている。

主として工場における鉄骨制作に使用される溶接については、1970年代初頭まで主流であった被覆アーク溶接（手溶接）から、いままでも効率の良い炭酸ガスシールドアーク溶接（半自動溶接）などがある。

1.2 構造種別の比較

1.2.1 構造種別の沿革

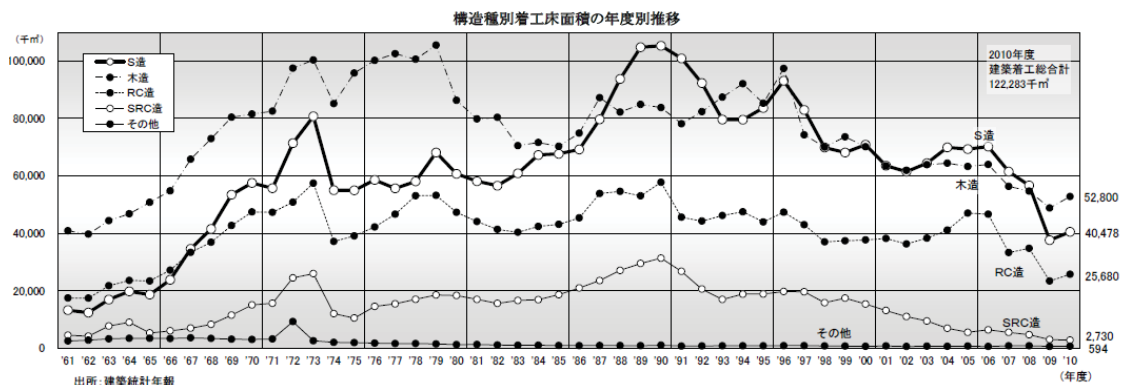


図 1.5 1961年から2010年まで日本における構造種別着工床面積の年度別推移

⁹ 日本工業規格, Japanese Industrial Standards

¹⁰ BCR と BCP はそれぞれ、冷間ロール成形角形鋼管、冷間プレス成形角形鋼管の規格名で、日本鉄鋼連盟の製品規定にもとづき製造されている。なお、「BCR」および「BCP」は、日本鉄鋼連盟の登録商標である。

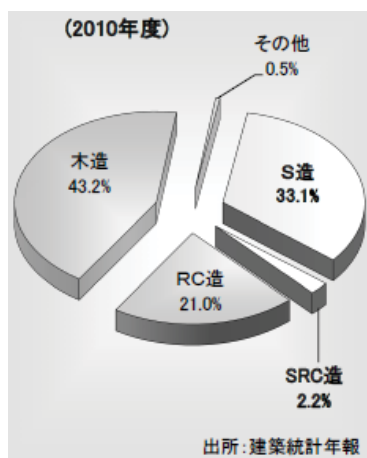


図 1.6 2010 年構造種別着工床面積の構成比

図 1.5には、1961 年から 2010 年まで日本における建築物の構造種別ごとの年間着工床面積の年度別の推移を示している。鉄骨構造は、1960 年ごろから急増し、主として戸建て住宅に使用されている木造建物を除いた場合、1967 年以降鉄骨建築物がほかの構造種別を圧している。図 1.6には、2010 年日本における建築物の構造種別ごとの着工床面積の構成比を示している。鉄骨建築物は全体の 1/3 ぐらいを占めている。

1.2.2 材料別のコストと耐用年数

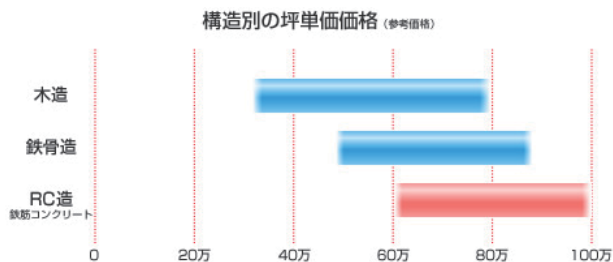
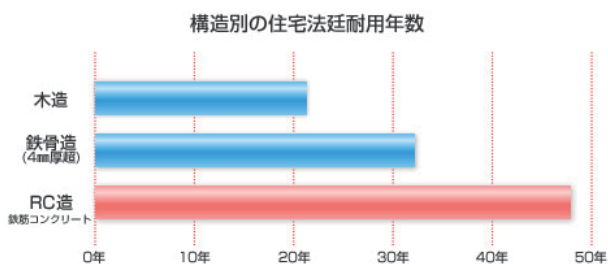
図 1.7 住宅の材料別の坪単価価格 (Taken from <http://www.ientakama.com/tips/page/?tid=628>)図 1.8 住宅の材料別の法定耐用年数 (Taken from <http://www.ientakama.com/tips/page/?tid=628>)

図 1.7と図 1.8には、住宅の材料別（木、鋼、RC）にその坪単価価格と法定耐用年数を示している。建築会社やグレードなどにより坪単価価格が影響されるが、一般的な坪単価の価格帯となっている。坪単価参考価格の中間値を取ると、木造住宅が坪単価価格 55 万円、鉄骨造住宅が坪単価価格 70 万円、鉄筋コンクリート住宅が坪単価価格 80 万円となる。一般的には、鉄筋コンクリート住宅の坪単価の価格が最も高い。

また、法定耐用年数¹¹では、木造住宅が 22 年、鉄骨造住宅が 34 年、鉄筋コンクリート住宅が 47 年と定められている。

1.3 建築基準法

建築物は、重力、地震、風、雪などの自然現象から人間の命と財産を守らなければならない。大地震に関する建築基準法は、1968 年十勝沖地震以来の研究成果を反映して 1981 年に大幅改正された。現在、日本の建築物の耐震構造設計は、基本的にこの時の体系に基づいて行われている。

この体系は、

- 高さ 60m をこえる高層建築物に対しては、従来と同様、地震動を動的に扱った動的設計法を適用する。
- 高さ 60m 以下の建築物に対しては
 - 比較的発生頻度の高い中地震に対しては、構造の各部が弾性範囲内で無被害であることを目標として構造材料の許容応力度に基づいた静的弾性設計（一次設計・許容応力度設計）を行う。
 - 比較的頻度の低い大地震には、建物が崩壊しないことを目標に構造材料の塑性状態を考慮した塑性設計（耐震二次設計）を行う。この耐震設計法では、ごくまれにしか起こらないような大地震に対しては、建物の一部が弾性をこえて塑性状態に入るなど、ある程度の被害はやむを得ないものとして許容するが、構造体に十分な変形能力（大きな粘り）を持たせて、崩壊を防止し、人命の安全を確保しようとする。

1981 年の建築基準法の耐震規定の大改正により、鉄骨構造の耐震安全性は大きく向上したが、1995 年 1 月の兵庫県南部地震では鉄骨構造物の柱脚（ちゅうぎゃく）、溶接による梁端接合部で大きな被害が生じた。その被害を調査・検討および数多くの構造実験のもとで、1998 年改正の建築基準法に反映された。

1.4 科目概要

1.4.1 内容

建築構造学という科目には、鉄骨構造と鉄筋コンクリート構造の構造設計問題を半々ぐらいの割合で講じる。

鉄骨構造の部分では、中小規模地震に対応する一次設計および大地震に対応する二次設計において、各構造部材（柱・梁・ブレースなど）および部材をつなげるための接合部（ボルト接合・溶接接合）の設計問題を説明する。

1.4.2 位置づけ

建築構造計画学は、3 年生前期に建築構造分野の専門科目の一つである。他の構造系科目の内容は以下のように予定されている。

¹¹ 法定耐用年数は、建物の資産を計算する便宜上、財務省が一律で決めたものであり、実際に使用される年数ではない。

- 2年生前期・構造力学：トラスやラーメンなど基本な構造物に対して、断面力および変形の計算
- 2年生後期・建築構造学：建築材料、構造形式、建築の構造設計などの一般的な話
- 3年生前期・建築構造計画学：鉄骨構造と鉄筋コンクリート造の構造設計
- 3年生後期・構造設計法：荷重論、振動論、塑性論、構造設計法

1.4.3 講義ノート

本講義では、講義ノートを中心に説明する。講義ノートは下記のホームページよりもダウンロードできる。

<http://zhang.AIStructure.net/lectures/steel2018>

また、本配布資料には誤字やミスや誤りなどがあつたら担当の張¹²まで知らせてください。コメントと意見も大歓迎。

1.4.4 参考資料

ほかに以下のような参考書もできれば参考にしてください。

1. 日本鋼構造協会：「わかりやすい鉄骨の構造設計」、技報堂出版
2. 井上一朗, 吹田啓一郎：「建築鋼構造—その理論と設計」、鹿島出版会
3. 桑村 仁：「鋼構造の性能と設計」、共立出版

1.4.5 宿題

適宜宿題を用意しているので、原則として各自解答を規定の時間内に提出してください。

正当な理由なしで、遅れたものは、受け取らないとしている。

また、演習問題は、A4用紙を使用し、1枚目に学籍番号、氏名および提出日を明記してください。演習問題が複数ページになる場合には、左上をとめてください。

1.4.6 評価方法

鋼構造とRC造はそれぞれ50%となる。

前半の7回は鋼構造、後半の7回はRC造となる。また、鋼構造の試験は8回目に実施する。具体的な時間と場所については、決まり次第連絡する。

出席率は7割未満の場合は、定期試験の試験資格はないことを注意してください。

また、原則的には、再試験を実施しない。

¹² Email: zhang@sda.nagoya-cu.ac.jp、研究室：管理棟414室・張研究室