

「鉄道・車輜（設計編）」*

流川 博光**, 稲 佳彦**, 宮本 俊治**, 高井 英夫***

Railway Rolling Stock (Design)*

by NAGAREKAWA Hiromitsu**, INA Yoshihiko**, MIYAMOTO Toshiharu** and TAKAI Hideo***

キーワード 鉄道車両, 構体, 設計

1. はじめに

鉄道は1825年にジョージ・スティーブソンが実用的な蒸気機関車を開発して営業を開始して以来190年近い歴史を有する交通機関である。鉄の車輪が鉄のレール上を走行するという特徴のため、定められた線路上しか走行できず、運行の自由度は限られるが、その転がり抵抗は非常に小さく、航空機や自動車と比較して少ないエネルギーで大量の人員や物資を輸送するのに適する。

運転動力は初期において蒸気機関が主であったが、その後、内燃機関駆動や電気駆動が開発され、現在ではほとんどが内燃機関駆動と電気駆動により運転されている。特に電気駆動は排気ガスを出さないため、地下区間や長大トンネル区間に最初適用されたが、その効率の良さ、架線を用いた電力回生システムの開発による省エネルギー性などにより大都市近郊の運転密度の高い区間や300km/hを超える超高速鉄道はほとんど電気駆動によっている。

また、他の地上交通と隔離された専用軌道を有する高速鉄道や高架鉄道、地下鉄道などは高速性と合わせて非常に高い安全性と定時運転性を有しており、稠密な集積がなされている大都市内や大都市間の輸送機関として活躍している。

一方、鉄道は産業革命初期から開発されて使用されてきたため、「経験工学」と呼ばれる側面も有している。各種技術が未発達の際に先人たちはとりあえず動くものを作る必要があり、詳細な計算技法や解析技術、技術基準などが確立されていない時代に、その当時として出来る限りの検討や計算をして作ってみて、壊れたり不具合があればそ

の都度直す、改善するという、トライアンドエラーを繰り返しており、現在の鉄道車両工学や鉄道に関する各種法規・規制などは過去の失敗の反省と改良の集大成でもある。

2. 製品概要

2.1 全体システム構成

鉄道は壮大な輸送システムであり、大別すると下記のようなサブシステムから成り立っている。

<輸送プランニング>

- 1) 新たに線路を引く場合の需要予想と輸送力計画、何をいくらどこからどこへ運ぶか、運行計画
- 2) 地政学的な要因等に配慮し、最小エネルギーで最も効率よく輸送できる路線計画→最短の距離で最小限の曲線、勾配で
- 3) 他交通システムとの連携、他鉄道との相互乗り入れ
- 4) 企業としての収支目論見、資金調達方法、料金システム
- 5) 購入資材の調達方法→電力、鋼材、コンクリート、レール、枕木、信号、通信、車両など
- 6) 車両基地の配置、変電所、運行管理本部、駅配置
- 7) 官公庁への許認可申請、免許取得、用地買収、環境アセスメント
- 8) 人員調達

<インフラ>

- 1) 鉄橋、トンネル、高架、土盛り、プラットホーム、切りとおし、保安林、シェルター、踏切
- 2) 線路システム、レール、枕木、分岐、側線
- 3) 駅舎、車両保守工場、保線基地、地上側接客設備
- 4) 発電所、変電所、送電システム、き電システム、運行指令基地、無線局
- 5) 信号通信システム、運行管理システム、要員管理システ

*原稿受付 平成24年5月31日

** 株式会社日立製作所 笠戸度交通システム本部 Hitachi Ltd.

***正 員 株式会社日立製作所 笠戸度交通システム本部 Member, Hitachi Ltd.

ム、料金収受システム、安全管理システム、防災設備（消火設備、火災通報システム、地震観測システム、気象観測システム）

<車両システム>

- 1) 車両コンセプト策定、新製計画、廃車・用途変更計画
- 2) 車両制御システム；最高速度、定格速度、加速度、減速度、所要出力、架線電圧、冗長系の思想、非常時の救援、電磁障害対策、RAMS
- 3) 車両補助電源システム、バッテリー電源、バックアップ電源
- 4) ブレーキシステム；制動距離、制動頻度、最急勾配、フェールセーフ思想
- 5) 車上信号システム；ATS、ATO、車上無線、電話
- 6) 走り装置、台車、輪軸、駆動装置、振り子制御装置
- 7) 空調装置、換気装置、連続換気装置
- 8) 車体；構体、床下機器配置、床上配置、座席配置、窓、側扉、貫通路、屋根上機器配置他

<運行管理>

- 1) 列車計画、ダイヤ作成、車両運用
- 2) 乗務員運用システム
- 3) 車両保守管理システム
- 4) 線路保線システム

<サービス、用役>

- 1) 診療所、鉄道病院運営
- 2) 給食、物品供給
- 3) 社員宿舎、寮、保養所

<その他関連システム>

- 1) 関連事業；ホテル業、旅行業、バスタクシー事業、宅地開発、デパート・ショッピングセンター・駅内売店経営など
- 2) 人材養成；専門学校等の運営管理、研修訓練施設の運営など
- 3) 車両製作メーカ、車両保守会社、保線会社、サービス会社など運営
- 4) メセナ；博物館、芸術活動、スポーツチーム運営など

日本における大手鉄道事業者の多くは上記のような業容となっており、鉄道輸送事業以外に多くの事業を抱えているし、鉄道事業自体もインフラから列車の運行、保守に至る非常に幅広い業務範囲となっている。これは明治初期の文明開化において鉄道がその先兵を務めたため、何もかも一から自前で準備する必要があったことの名残でもある、昨今は外注化の方向が主流となっているが、今でも海外で未開の土地に一から鉄道輸送システムを構築する場合はこのような体制が必要となる。

本稿ではその中の鉄道車両、特に車体の設計に際して留意する事項を主に述べる。

2.2 車両システム

一般的な電車の構成を図1に示す。車体はレール方向に長い長方形の箱、あるいはかまぼこ形であり、床下には車体を支持する2台の台車、電気品、制御装置などの床下機器を取り付け、屋根上には集電装置、空調装置などの屋根上機器を搭載するものが多い。鉄道車両の車体金属構造部分、自動車などで言うホワイトボディーを鉄道車両では構体と言う。

以下、主に構体構造の進化について述べる。

車両構体の歴史と変遷

(1) 木製から鋼製構体へ

鉄道車両の構体は船の船体、自動車のボディーなどと同じく最初は木骨、木張りの木造構体からスタートした。その後輸送量の増加に伴う連結数量の増加は連結器荷重の増加を招き、車両寸法、特に全長の増加は構体の梁としての強度増加を要求されるようになった。このため、まず構体の床部分（台枠という）を強度の高い鋼製とし、その上に木製の構体を載せるようになった。

しかしながら、鋼製台枠に木製構体を載せた構造の車両は脱線や衝突の際に木製構体部分が飛散して原型を留めず、車内の乗客に大きな被害を及ぼすことから、上屋部分も鋼製とした鋼製構体に置き換えられた。最初は鋼製台枠上に載っていた木製部分をそのまま鋼製に置き換えた骨で強度を負担して、それに皮を貼るものであったが、次第に構体全体の皮（外板）でも応力を負担するセミモノコック構体へと進化していった。セミモノコック構体は構体全体の骨と皮（外板）でバランスよく強度を受持ち、骨や外板の板厚を薄くすることが出来るため、従来構造に比較して大幅に軽量化された。しかしながら薄くなった鋼板は経年による発錆により、絶え間ない塗装修繕、再塗装、必要に応じて錆穴補修などに追われることとなった。

(2) ステンレス構体

構体の錆対策として、まず一番板厚が薄く錆で穴のあきやすい外板をSUS304ステンレスとしたセミステンレス車が登場し、その後骨もSUS304ステンレスとしたオールステンレス車両が登場した。その後、SUS304よりも強度の高いSUS301ステンレスを用い各部板厚を減らした軽量ステンレス車両が登場し、主に通勤車両に使用されて現在に至っている。SUS304やSUS301ステンレスは歪や加熱による材質変化の問題があるため、その接合には主に溶接入熱の少ないスポット溶接を使用する。このため気密構体とすることは困難であり、気密性を要求される新幹線には使用されていない。

(3) アルミ合金構体

駅間距離が短く、加速減速頻度の高い地下鉄車両などでは消費エネルギーを削減しトンネル内の温度上昇を抑制する為、また高速で走行する新幹線車両などは走行性能を上げると共に線路・地盤への影響を減らす為には軽量化が非常に重要であり、構体に、鋼板の代わりに比重が低く比

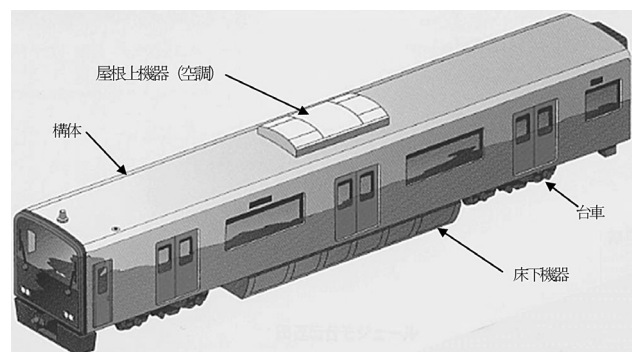


図1 電車の主要構成

強度の大きいアルミ合金を使用するようになった。最初は鋼製車の構造をアルミに置き換えた構造であったが長尺広幅の押出形材が生産可能となると、断面形状が列車全長にわたって同一であると言う鉄道車両の特質に応じ、車両断面形状を全てレール方向に延びる大型押出形材で構成するようになった。更に中空押出形材が実用化されると、それを使用して内部骨組みを全て押出形材として外板と一体化し、大幅に部品点数や溶接線長さを削減した構体が製作されるようになった。これら中空押出形材を使用した構体をダブルスキン構体、従来の内部骨組みと外板の組み合わせ構造をシングルスキン構体と呼んでいる。

アルミ合金の接合は鉄道車両の場合 MIG (Metal Inert Gas), TIG (Tungsten Inert Gas) などのガスシールドアーク溶接が主に使用されてきた。アルミ合金のアーク溶接は

- ① アルミの溶融温度は鉄に比べて低いが、比熱・溶融潜熱が大きく、熱伝導も良い為、多量の熱を急速に与える必要がある。
- ② 熱による膨張・収縮が鉄の約2倍であり、溶接による歪みが発生しやすく、冷却時に割れやすい。
- ③ ブローホールが発生しやすく開先清掃、シールドガスや雰囲気中の水分管理が重要

などの課題があり、その溶接は高度の技量を要するとともに良好な出来栄え外観を得るのが難しいといった問題があった。そこで上述の①～③を解決するために、1990年代後半より、アルミの融点以下で接合する摩擦攪拌接合（以下 FSW と称す）の適用が急激に拡大している。

鋼製構体技術確立後の車両構体と溶接方法の変遷を表1に示す。

3. 溶接構造物としての設計思想

鉄道は2本の線路の上を走行する。線路の幅には数種類ありこれを軌間（ゲージ）と呼んでいる。軌間は鉄道発達の歴史の中で多くの種類が生じたが、発祥地イギリスで最初に用いられた 1435mm 軌間を標準軌と呼びそれより広

いものを広軌、狭いものを狭軌と呼んでいる。軌間が異なると車両は相互に乗り入れることができず境界駅での乗換えや台車交換などをする必要が生じる。特殊な例として軌間可変車両の運行が行われる場合もあるが少数の実施例に留まる。

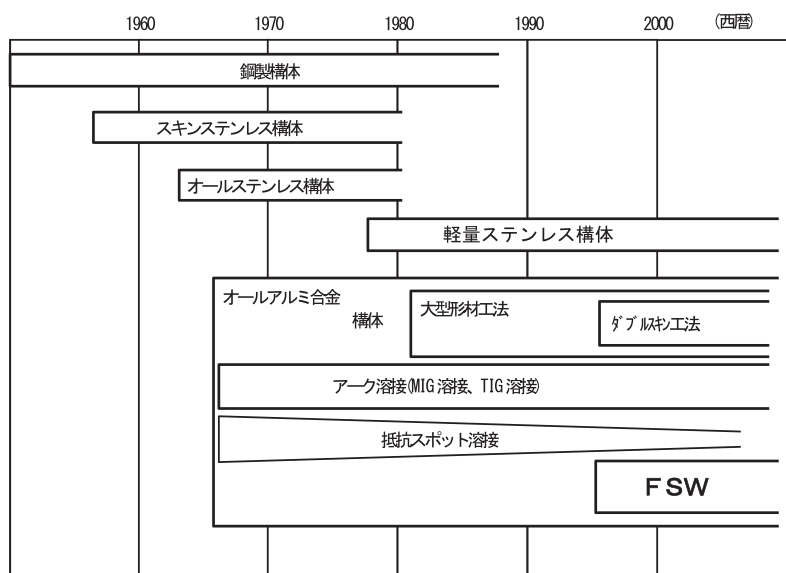
軌間のほかに車両が走行する場合鉄橋、トンネル、付近の建築物、駅のプラットホームなどのインフラ構造物は車両が接触することのないようにある限度以上軌道中心から離しておく必要がある、この限界を建築限界と呼ぶ。車両の最大長さや台車間距離を標準化すれば直線のみならず曲線や走行時の振動変位が生じたとしても上記建築限界と接触しない範囲を定めることができる、多くの鉄道においてはこれを車両限界として各鉄道ごとに定めており、特殊な車両をのぞき各車両は全て直線中立正位においてこの車両限界内に収まれば自動的に建築限界と一定の余裕を持って走行できるように定められている。日本における車両限界の例を図2に示す。

日本の法体系的には鉄道営業法第1章 鉄道の設備及び運送 第一条に「鉄道ノ建設、車両器具ノ構造及運転ハ国土交通省令ヲ以テ定ム規程ニ依ルベシ。」とあり、それを受けた国土交通省の「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」に車両限界やその他構造が定められている。この省令を受けて各鉄道事業者殿におかれてそれぞれの路線の特性に適した構造基準を定められて運用されている。

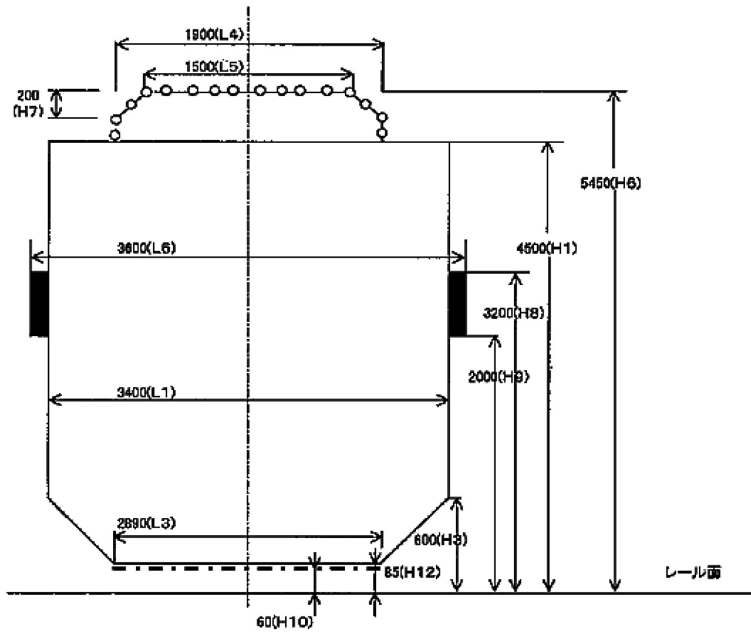
これら車両限界などにより車両の断面方向形状（これを車両コンターと呼ぶ）を定めることができる、車両コンターは同一顧客殿においても過去の歴史的経緯などにより路線ごとに異なることも多い。ヨーロッパの国際列車などでは通過する各国の最も小さい車両限界により制限されるため車両コンターは小さくならざるを得ず、駅ホームで車両とホームの隙間が大きくなったりする不便がある。

車両の長さは最小曲線半径等のインフラとの関係や検修設備、駅設備との関係で定められる、日本においては、最近は大体連結器間距離で 15m, 20m, 25m に統一されてきている。

表1 車両構体と溶接方法の変遷



第4図 車両限界(新幹線)(第64条関係)



限界項目		H1	H3	H12	L1
—————	基礎限界	H1	H3	H12	L1
—○—○—○—○—	作用した場合の集電装置における屋根上装置に対する限界	H6	H7	L4	L5
■	標識、標示灯、車側灯に対する限界	H8	H9	L6	
- - - - -	ばねの作用により上下動しない部分に対する限界	H10		L3	

砂まき管については、車輪のリム(タイヤのある車輪にあっては、タイヤの幅以内のもの)が車両の特性に応じてレール面上の40mmまでにある場合は車両限界を超えることができる
※寸法の単位はミリメートルとする

図2 車両限界の例；国土交通省「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」より

ただ、乗客の乗り降りのための側ドアはその数量、幅、配置位置など各路線ごとの特異性や車両の運用形態の差、車内椅子配置の差などがあり多くの種類がある。例えば特急用では片側1ヶ所～2ヶ所、近郊用で2ヶ所～3ヶ所、通勤用、地下鉄用で4ヶ所～5ヶ所などとなっている。

荷重条件計算の基となる定員の定め方、乗客の健康や快適性を維持するための換気必要量、照明の照度、空調の能力、構体の必要剛性などについてはJISに規定されている³⁾。

構体に加わる荷重

構体に加わる荷重には次のようなものがある。

- 1) 垂直荷重；全長15m～25mの構体は2ヶの台車で支持されるため図3に示すような2点支持の梁と考えられ、分布荷重、集中荷重を受け、それらによる曲げモーメントが車体に加わる。負荷荷重としては、静荷重分と振動に伴う変動分(動荷重分)がある。静荷重分は車両定員に対しその路線や車両の特徴により定める乗車率を掛けた満員荷重を用いる、変動分は台車の支持バネ特性により異なり通常±0.1～0.3g(gは重力加速度=9.8m/s²)を考慮する。
- 2) 車端圧縮荷重；鉄道車両特有の荷重であり、車両がお互いに連結されているため図4に示すように連結器から加わる荷重である、車両が機関車で牽引されるもの

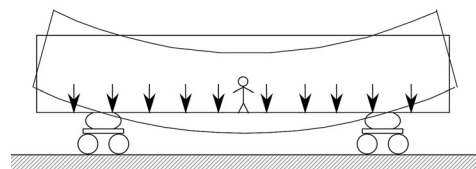


図3 垂直荷重

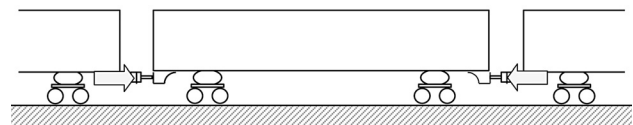


図4 車端圧縮荷重

か電車のように分散動力のものか、編成の長さや勾配条件によって変わる。日本の場合電車では、在来線電車50トン、新幹線電車100トンという数値を用いている、この荷重は静荷重であり各部応力は耐力以下になるように設計する。

- 3) ねじり荷重；線路のねじりや車体を支持している空気バネが1ヶだけパンクした状態等の荷重。図5に空気バネが1ヶパンクした場合のねじり荷重の例を示す。
- 4) 左右荷重；図6に示すように車両の振動により取り付

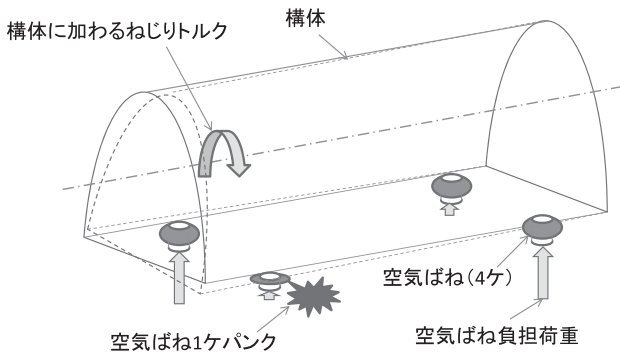


図5 ねじり荷重の一例(空気ばねが1ヶパンクした場合)

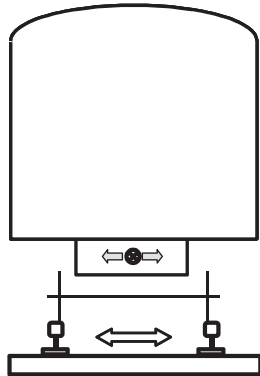


図6 左右荷重

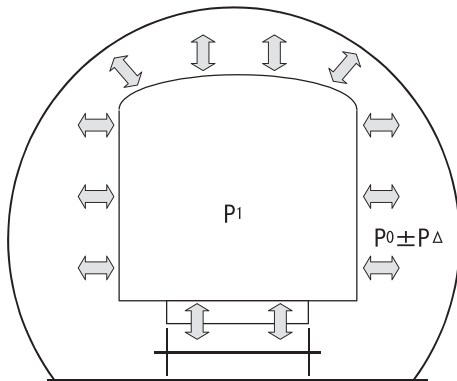


図7 気密荷重

け機器に加わる変動荷重

- 5) 気密荷重；新幹線などの高速車両は高速でトンネルに突入するため車外圧が変動して開放構体だと乗客が耳つんを感じて不快であるので気密構体となっている。このような気密構体の場合、図7に示すように車内圧と車外圧の差分が気密荷重として構体に加わる、トンネル断面積と車体断面積の比、速度、対向列車の種類などにより差圧は変化するが大体±数百mmAq程度である。繰り返し数はその路線のトンネルの数、すれ違い列車の数により路線ごとに異なってくる。新幹線構体の場合、この荷重が繰り返し荷重として最も厳しい荷重になることが多い。

新幹線は初代0系以来外板の継ぎ目には連続溶接を用いる気密構体となっている。ステンレス構体の場合は外板継手にスポット溶接を用いるため気密の確保が困

難であり現在に至るまでステンレス構体制の新幹線が製作されない大きな理由となっている。

航空機の与圧荷重と似ているが、航空機の場合は地上で差圧=0、飛行中は機内プラス、機外マイナスであり、機外圧が機内圧より大きくなることは無く完全な片振り荷重である。鉄道の場合はトンネル突入時は車外圧の方が車内圧より高くなるが、その直後にトンネル内の空気が進行方向に押し出される慣性により車外圧の方が車内圧より低くなる、この圧力波がトンネル内を行き来して±の両振り繰り返し荷重を負荷することとなり、航空機とは荷重条件が異なる。

世界的に見ると、高速車両でもフランスのTGVのように路線計画の段階から高速運転区間のトンネルを排除し切り通しとすることで気密構体を用いない事例も存在する。

- 6) その他の荷重；車両の使用状況によっては修理工場で特定位置のジャッキポイントをジャッキアップした時のジャッキ荷重や、船積みの際台車と共吊りするための荷重などに対して耐えることを要求される場合もある。海外においてATC、ATOなどの信号システムの信頼性が低い場合などには万一の列車同士の衝突に対する荷重や衝撃吸収性能が要求される場合もある。その他、鉄道事業者の使用条件によりそれぞれに応じた特殊な荷重条件が要求される場合がある。

4. 溶接継ぎ手の特徴と要求性能

4.1 構体への要求性能

一般的には構体の設計と検証は下記の手順を踏んで行なわれる。類似構造構体で十分な実績がある場合は一部を省略することもある。図8に構体の設計フローを示す。

- 1) 概略構造設計
- 2) 概略構造設計を元に各荷重ごとの詳細な応力分布と変形量をFEMにより求める、図9にその一例を示す。車端圧縮荷重については各部の発生応力が応力集中係数を含んでも耐力以下であることを確認する。上下、左右、ねじり、気密など各種荷重で応力の発生する部位については静的荷重及び変動荷重をそれぞれの荷重につき計算して応力集中分を含む応力を求め、それが耐久限度線図に収まることを確認する。車端圧縮荷重で発生する部位にこれら荷重が重畳する場合には車端圧縮荷重による静的応力も含めて耐久限度線図に収まることを確認する、耐久限度線図や各種溶接継手ごとの一般的な疲労強度データは軽金属協会のデータベース⁴⁾やIIWの報告書⁵⁾等に記載されている。これら一般的なデータと条件が異なる場合は新たに疲労試験片を作成してデータを採用して判断する。
- 3) 上記結果を元に詳細設計を行い製作図面を作成する。
- 4) 製作図により構体を製作する。
- 5) 完成した構体を用いて下記試験を実施する。計算結果で応力が高い部位につき、完成構体に応力歪ゲージを張り付けて、実際に荷重を加えて応力を測定

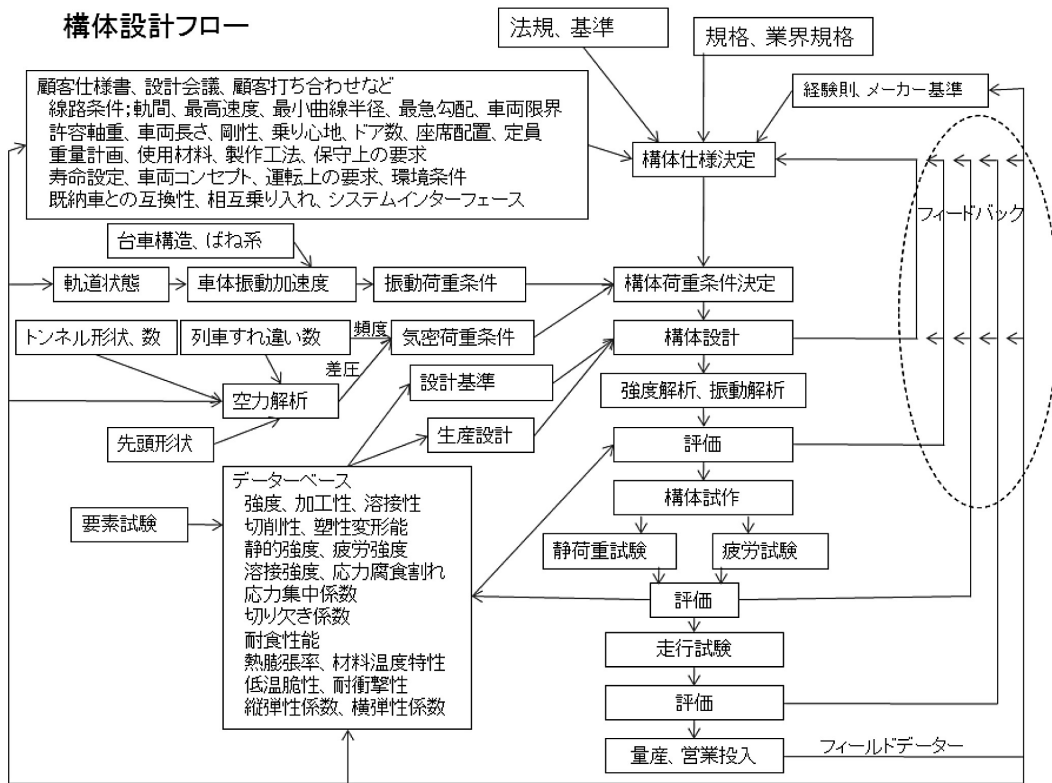
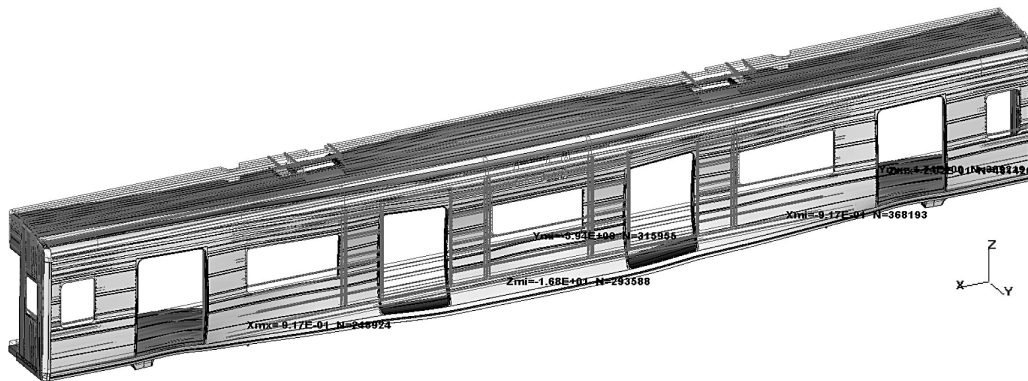
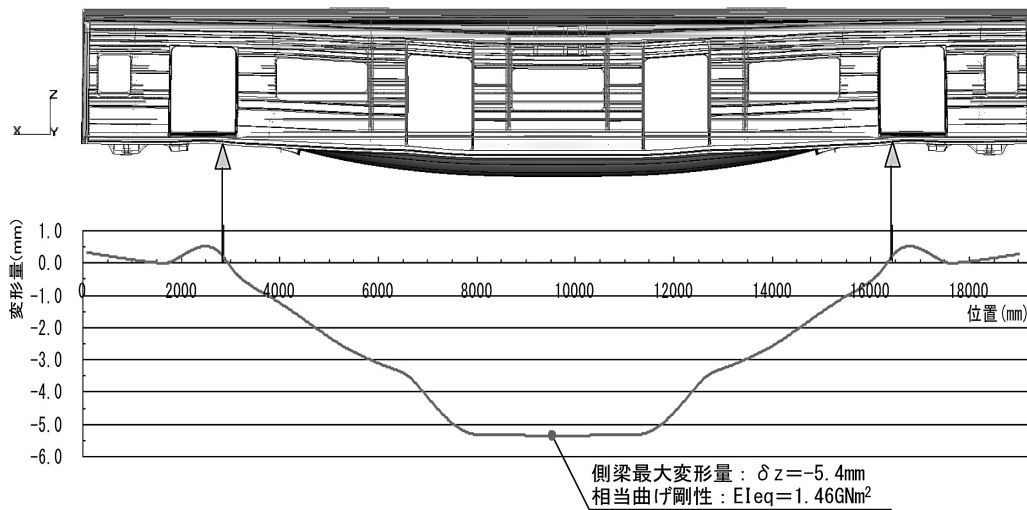


図8 構体設計フロー



(1) 全体



(2) 側面及び側梁変形図

図9 構体 FEM 解析の例、上下荷重による 1/2 モデル構体変形計算結果

し、計算結果との対応を確認する。構体静荷重試験で各種荷重を加える場合の要領図を図10に示す。静荷重試験の要領についてはJISに定められている⁶⁾。

必要に応じて実構体を用いて繰り返し荷重を加えて疲労耐久試験を行うこともある、上下荷重の場合は油圧アクチュエーターを用いた疲労試験装置にかける、気密荷重については試験用構体を気密疲労試験装置に入れて車内外圧力差を模擬した空気圧を繰り返し加えて所定の繰り返し数に対して各部が十分な疲労強度を有することを確認する⁶⁾。

- 6) 必要に応じて保存歪ゲージを張り付けた構体で現車走行試験を行い各部の実測応力が耐久限度線図内に収まること、想定した荷重条件が適正であることを確認する。
- 7) 各試験終了ごとに改善点があればフィードバックして設計の変更や場合によっては仕様の見直しなどを行う。
- 8) 量産を開始して営業に投入後も改善の必要な点がないか定期的にウォッチし、もしあればその原因を究明して設計条件や設計、場合によっては仕様にフィードバックを行う。

4.2 最近のアルミ合金製構体の特徴

最近のアルミ合金製押し出し型材を用いる構体の場合は、複数の押し出し型材を車両長手方向に並べてそれ同志を接合して床、側、屋根のパネルを製作する。図11に側構

体、屋根構体、台枠全てを中空押し出し型材で構成したいわゆるダブルスキン構体の例を示す。

図12には開断面形状のいわゆるシングルスキン押し出し材の例を、図13には閉断面形状を有するいわゆるダブルスキン押し出し材の例を示す。

構体パネル製作に当たってはこれら押し出し型材同士を突き合わせ継手で溶接する必要がある、アルミ合金の場合押し出し型材にあらかじめ溶接開先形状を設けることにより溶接に際して新たに開先加工をする必要がなくなるため、これら押し出し型材は全てその両端は溶接開先形状となっている。これにより長大な構体長手方向溶接開先形状をプレーナーやフライス盤で機械加工する手間を省くことができる。

この突き合わせ継手は車体長手全長にわたるため20m～25mと非常に長いことが特徴であり、型材の歪や製作公差によるルートギャップの変動に対応できるデュラビリティを要求される。

また中空押し出し型材を用いたダブルスキン構体の場合は車体外側と車体内側の両面に溶接継手が配置されるため、最初に接合した溶接線の熱影響による反対側の溶接継手のルートギャップ変動などについても配慮する必要がある。これら長手継手は溶融溶接の場合はV開先、FSWの場合は突き合わせ開先であり施工は自動溶接機を用いる。

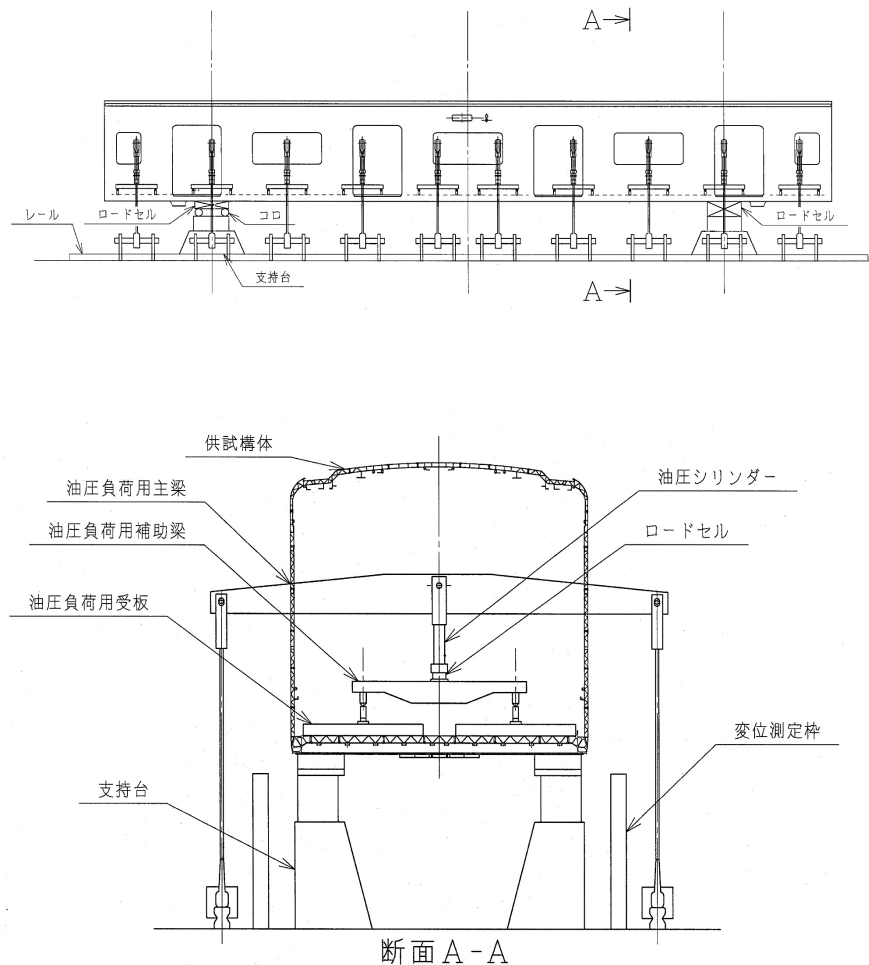


図10 構体静荷重試験の要領図 上下荷重負荷の場合

溶融溶接の場合の開先形状などについてはJIS, JRISなどに規定されている⁸⁻¹⁰⁾。

4.3 アルミ合金製構体設計上の配慮や注意事項, 特徴など

1) 応力集中部の溶接部からの排除

最近の押し出し材を用いたアルミ合金製構体の場合, 材質には押し出し性の良好なA6N01-T5合金が用いられることが多いがA6N01-T5合金の特徴として溶接部(詳しくは溶接部の熱影響部が軟化する)の耐力, 疲労強度が母材に比較して大きく低下するため構体の窓隅部などの応力集中部に溶接線を配置しないなどの配慮を行う必要がある。

2) 押し出し材の設計

押し出し材の場合その断面形状はダイス設計との兼

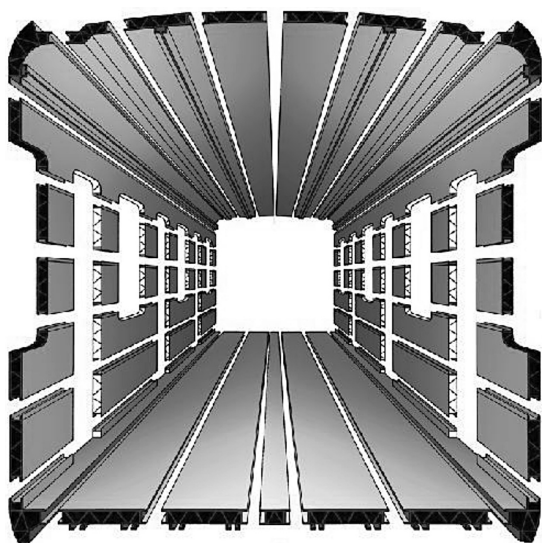


図11 アルミダブルスキン構体の押し出し材配置の例

ね合いもあり, 極端にアンバランスな形状にしたり, 大きな肉厚差を設けたり, 限度を超えた薄肉化は困難であるがそれ以外は比較的自由度が大きく, 押し出し材の形状にあらかじめ溶接開先形状や艀装部品の取付のためのカーテンレール溝やブラケット, 雨樋などを織り込んで設計することにより部品点数を削減できる。

3) 溶接部の入熱バランスへの配慮

アルミ合金は熱伝導率が高いため, 入熱が非常に早く拡散してしまう, MIG, TIG, レーザー溶接などの溶融溶接の場合は互いに接合するワークの熱容量差がある範囲内にしておかないと熱容量の少ない方のみが溶融し熱容量の大きい方が全く溶融せず, 融合不良や溶け落ちを起こすため, 溶接部の板厚差を規定値内に収めるなどの配慮が必要となる。FSWの場合はこの点に関しては裕度大きい。

4) リサイクルへの配慮

アルミ合金製構体をリサイクルする場合, 亜鉛を含む7000系合金はリサイクルの障害となるため構体に用いるアルミ合金を6000系および5000系アルミ材に限定する場合がある, このような構体をモノアロイ構体と呼ぶ, リサイクルに際して材質ごとの分別作業が不要となり効率のよいリサイクルが出来る。

5) 応力腐食割れへの配慮

A7N01合金は溶接部が自然時効硬化して溶接部についても非常に高い耐力, 疲労強度を示す材料であるが, 亜鉛を含有するため応力腐食割れ(SCC)を起こしやすい。応力腐食割れの要因は腐食環境(通常の電車が走行する環境は銅や鉄の摩耗粉が存在するし雨水に濡れるだけで十分な腐食環境である)と静的な引張り応力の存在であり, 特に溶接構造物の場合は溶接残留応力が大きな要因となる。A7N01を使用する場合はSCC対策として結晶粒の配置に注意し板材や押し出し材の切断面(端面)と溶接ビードを規程の寸法以上に離して配置する, そのような構造が取れ

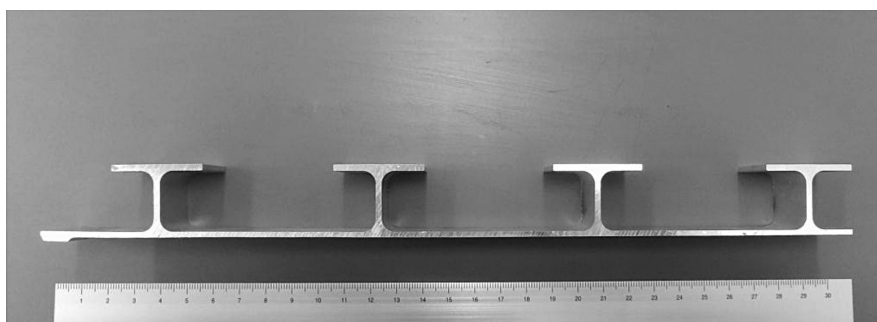


図12 シングルスキン押し出し材の例

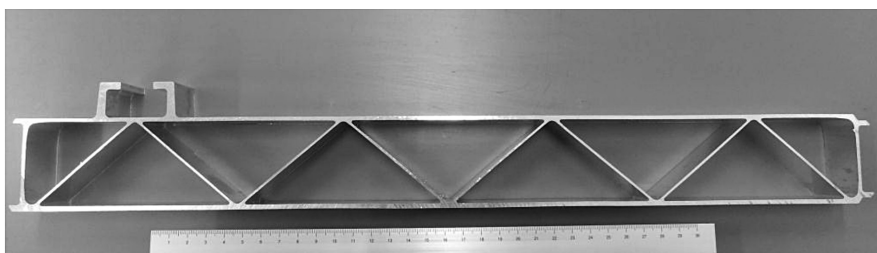


図13 ダブルスキン押し出し材の例

ない場合は端面にバタリングを行うなどの配慮が必要である。塗装はSCC対策としては効果が低く十分な注意が必要である。

6) 無塗装構体の場合の配慮

アルミ合金製構体を無塗装で使用する場合、熔融溶接を行うと型材の材質と溶加材の材質が異なることにより完成した構体表面の金属の地色が異なってくる。FSWの場合は溶加材を用いないので同材の接合部となり結晶粒の粒径が異なることによる若干の差がある程度でほとんど同質の継ぎ目の目立たない表面を得ることができる。

7) 溶接作業性への配慮

溶接線の配置につき、熔融溶接の場合は溶接トーチを溶接部に向けるのに十分なスペースがあるか、トーチの運用に支障となる補強やリブがないか、シールドガスが有効にシールドできるか、などの設計検討が必要である。FSWの場合はFSWツール及びFSWツールを保持するチャックなどが補強やリブと干渉しないか、またFSWツールの接合力を支えるに十分な定盤や位置決め治具の配置が出来るかを検討しておく必要がある。

8) 電食への配慮

アルミ合金製構体を用いる電車でも構体以外の台車や取付ブラケット、取付機器類には鉄製の物を用いる場合が多い、このような場合アルミと鉄ではイオン化傾向に差があるため直接接触すると雨水などに濡れた場合電池を構成してアルミが集中的に腐食される。これを防ぐため鉄製機器や部材との接触部には電食防止のためのジंकクロメートを塗装するか亜鉛メッキ板やステンレス板を介在させ、電池が構成されないように配慮する必要がある。

5. おわりに

古くからの歴史を有する鉄道業界であるが、旧国鉄の分割民営化、その後の規制緩和をうけて関係する法律や社会

状況も大きく変動してきた。最近では地球温暖化への懸念からエネルギー消費の少ない鉄道の優位性が改めて見直され、現在の活況がある。

しかしながら今後の日本の人口構成の変化に伴う輸送需要の減少を考慮すると、今までの国内基準や標準だけではなく世界的に通用する、あるいは世界中のだれもが納得する理論的な裏付けとそれを実現する確実な技術力がますます必要になると思われる。

そのためには単なる経験工学ではなく、理論に裏付けされた実践工学として鉄道技術を更に発展させる必要がある。その中でも溶接接合に関する技術はその中核を担うものであり、データや知見の蓄積を行うと共にさらなる技術開発に努めていきたい。

備考, 参考文献

- 1) 鉄道営業法, 明治33年3月16日法律第65号, 最終改正; 平成18年3月31日法律第19号.
- 2) 鉄道に関する技術上の基準を定める省令 平成13年12月25日, 国土交通省令第151号, 最終改正; 平成18年12月15日, 国土交通省令第110号.
- 3) JISE7103-1994制定 2001確認 通勤電車-車体設計通則
- 4) 軽金属車両委員会報告書 No.5 平成3年 軽金属車両委員会.
- 5) IIW document XIII-2151-07/XV-1254-07 May 2007 Recommendation for Fatigue Design of Welded Joints and Components.
- 6) JISE7105-1989制定 2001確認 鉄道車両構体の荷重試験方法.
- 7) 岡崎; 新幹線と共に歩む 日立評論 Vol190, No.08 2008-08.
- 8) JISE4050-1992制定 2003確認 鉄道車両用アルミニウム合金溶接継手-設計方法.
- 9) JRISW0181 鉄道車両-作業標準-アルミニウム合金材のミグ, ティグ溶接.
- 10) JRISW0191 鉄道車両-作業標準-アルミニウム合金材のスポット溶接.