車両製造にみる機能接着・構造接着*

鈴木靖昭**

Functional Adhesion and Structural Adhesion on Manufacture of Rolling Stock / Yasuaki SUZUKI

Key words: functional adhesion, structural adhesion, rolling stock, body flaming, FRP, CFRP, honeycomb, sandwich panel, linear motor car, bogie truck

1. ま え が き

新幹線は、1964年に東海道新幹線（0系）が210 km/hで開業以来全国に拡充され、1982年には200系が240 km/h、1992年には300系が270 km/h、1997年3月にはE3系が275 km/h、500系が300 km/hと次第に高速化された。現在、350 km/hを目標にJR各社において車両の開発が進められている。車体材料も鋼からアルミニウム合金に変わって来ているが、さらなる軽量化のためにCFRPを用いた車体も研究されている。一方、在来線においては石油ショック以来省エネルギーのための軽量化ならびに低メンテナンスコスト化のための車体のステンレス鋼化およびアルミニウム合金化が進められてきたが、JR各社の発足後さらに高速化が課題となり、1989年に120 km/hから130 km/hに速度が向上するとともに、モデルチェンジを容易にするために低価格化も求められるようになった。

このような多様な要求に対応するためには、多種類の材料を組み合わせ有効に利用することが必要で、機能接着・構造接着の重要度も増加している。そのような状況の下で、国内外の車両における接着の現状および今後の動向について述べてみたい⁹⁾¹¹⁾¹²⁾。

2. 国内の現用車両における接着⁹⁾¹²⁾

現用車両の強度部材である構体には、鋼製、ステン

レス鋼製、およびアルミニウム合金製の3種類がある。在来線では格子状の骨組と外板とをスポット溶接したステンレス鋼製の構体が多く、300系新幹線電車（のぞみ型）には図1のようにアルミニウム合金大型押出型材を車両全長にわたり連続MIG溶接した構体¹⁾が用いられている。また、500系新幹線構体にはろう付けアルミニウムハニカムサンドイッチパネルが用いられ、一部の編成のE2系新幹線車両には図2のようなアルミニウム合金中空押出型材を連続溶接した構体²⁾¹⁴⁾が採用されている（残りの車両は300系と同一構造）。

以上はいずれも溶接より組立てられており、接着は主に内装材に対して用いられている。以下に接着の適用例を紹介する。

2.1 ゴム系接着剤による内装材の接着⁹⁾

車両における接着剤の使用量（約80 kg/両）の90%をゴム系接着剤が占めており、それらの主な使用例を次に示す。

- ① 天井風道内面への断熱材（クロロブレンゴムスポンジ）の接着（図3参照）

図1 300系新幹線電車構体¹⁾

* 原稿受付 平成9年12月8日
** 日本車輛製造(株)開発本部（名古屋市中村区三本松町1-1）
1965年名古屋工業大学工業化学科卒、工学博士。現在日本車輛製造(株)開発本部主幹。接着継手の破壊条件の研究、車両構体への構造接着の応用研究、材料の破壊原因の究明等。主な著書：接着ハンドブック（共著、日刊工業新聞社）、接着応用技術（共著、日経技術図書）、その他

図2 アルミニウム合金中空押出型材断面の一例

図3 冷房用風道（通勤形電車）⁹⁾

図4 アルミニウムコルゲートパネル¹²⁾

図5 200系新幹線の床構造²⁾⁹⁾

- ② 側外板・屋根板内面への断熱材グラスウールの接着
- ③ 難燃化ハードボードまたは硬質塩ビ製バックインの骨組およびメラミン化粧板への接着
- ④ 軟質塩ビ製床敷物のアルミニウム製床板またはエポキシ樹脂製塗床材への接着

2.2 天井板・風道板・仕切パネル・点検ふた

天井板および風道板下面は一般に図3のようなサンドイッチ構造となっており²⁾，新幹線電車の内装仕切パネルは，図3の風道板と同一構成で各層の厚さが異なるサンドイッチ板である⁹⁾。また300系および最近の特急型車両のデッキ部の天井および点検ふたは，図4のようなエポキシ

図6 引抜き法によるCFRPパネルを用いた構体内部⁴⁾

図7 CFRP製台車枠構造⁵⁾

系接着剤によるAlコルゲートパネルが用いられている³⁾。

2.3 サンドイッチパネル床板

200系新幹線電車の床および100系新幹線電車の2階の床板は，図5のようなサンドイッチパネルが用いられている²⁾⁹⁾。

3. 国内の試作車両における接着

3.1 CFRP構体⁴⁾

鉄道総研，日本車輛，および東レは，幅約300mmの曲面外板と補剛材（リブ）を一体にした断面のフェノールCFRP（不燃性）を引抜き成形法で成形し，それらのパネルをアルミニウム合金製の骨にハックボルトと室温硬化型のエポキシ系接着剤の併用により接合して図6のような長さ6mの部分構体を試作した。垂直荷重試験，ねじり試験，気密荷重試験，およびFEM解析が行われた結果，必要な強度を持つ車両構体が得られることがわかった。

3.2 CFRP製台車枠⁵⁾

鉄道総研において，図7のような構造のCFRP製台車枠が試作された。側はりはハニカムサンドイッチ構造，横はりはパイプ構造であり，両者を接着接合して台車枠としている。

図8 CFRP シェル構造の MLX 01 用軽量腰掛 (カットモデル)⁷⁾
((財)鉄道総合技術研究所提供)

図9 山梨リニア実験線エアロウェッジ型先頭車 M_{c2} ¹³⁾
((財)鉄道総合技術研究所提供)

図10 MLX 01 標準中間車 (M_1) の側窓構造図¹⁰⁾
((財)鉄道総合技術研究所提供)

3.3 超電導磁気浮上式リニアモーターカー試作車 MLX 01

鉄道総研とJR東海の共同開発による山梨実験線用 MLX 01 型式車両先頭車 (M_{c1} , M_{c2}) の腰掛 (図8) の背ずりは曲面構成の2枚のCFRP成形品を接着およびリベット (接着が主体) により接合したシェル構造であり、軽量、高強度、高剛性化が図られている⁷⁾。

また側窓ガラスは、エアロウェッジ型先頭車 M_{c2} (図9) の場合、アルミニウム合金型材製の窓枠に外側からポリウレタン樹脂で接着し、ユニット化と軽量化が図られ⁸⁾、標準中間車 M_1 の場合は、図10のように構体に直接内側からポリウレタン系樹脂で接着している⁸⁾¹⁰⁾。これらの方法

図11 客車の天井パネル¹²⁾¹⁵⁾

図12 組立ジグ上の英国近郊型客車側構体モジュール¹⁵⁾

により車体が平滑化され、500 km/h 以上の速度での走行時に発生する騒音のほとんどを占める空力騒音の減少に有効に働くものと考えられる。両側窓構造は 1×10^5 回の気密荷重疲労試験に耐え、その実用性が証明済み⁸⁾ である。

M_{c2} の床構造には、Al/ペーパーハニカム/Al のサンドイッチパネルが用いられている¹⁰⁾。

4. 外国の車両における構造接着の応用例

4.1 英国国鉄の車両における構造接着の応用例¹²⁾¹⁵⁾

現用車両における構造用接着剤の使用例は我が国の現用車両の場合に比較的似ている。

また、開発中の構造用接着剤の応用例としては以下のものがあげられる。

(1) アルミニウム製天井パネル

最近の都市間客車の天井パネル (図11) においては、下面のエポキシ仕上げ塗装を傷めないように、上面へハット型補強材を接着している。

(2) 客車の側構体

現在の近郊型車両の側構体は亜鉛鋼板とハット型補強板とをスポット溶接して製作している。図12は、組立ジグの上に置いた側構体モジュールであり、このパネル3枚を溶接して片側側構体としている。このスポット溶接を接着に置き換えた場合、製作工数がかかなり低減される。この接着構造のFEM解析および実構造レベルでのスポット溶接構造との比較により、前者は後者と同等以上の静的および疲労強度ならびに剛性を有することが確認され、フルス

図13 構体の製作方法¹⁶⁾

図14 フィラメントワインディングを用いて高度に一体化された車両構体のコンセプト⁶⁾

ケールの接着パネルを実車に組み込んで15か月にわたり試験が行われた。

4.2 インドネシア Jabotabek プロジェクト用電車構体

この構体は、骨組が軟鋼製、屋根板は軟鋼板製に塗装、前面妻はFRP製、後面妻および側外板はステンレス鋼板製となっている。側外板は骨組に二液性室温硬化型エポキシ系接着剤を用いて接着されている。この電車は4年間の使用実績がある。

4.3 TGV 用 FRP 試作構体¹⁶⁾

SNCF（フランス国鉄）では、350 km/h で走行する2階建 TGV 車両用として、炭素繊維＋ガラス繊維強化エポキシ樹脂が表皮で、ハニカムまたは発泡体を心材とするサンドイッチ構造の実物大の構体が試作された。この構体は真空吸引法により120℃で成形されたハーフチューブを、図13のように断面中央の上下で接着接合して一体化されている。軽量化により車内騒音の減少、下部構造に発生する動的応力の低減、省エネルギー化などの効果が得られる。近い将来この構造の2階建 TGV が350 km/h で走行する姿がみられる可能性がある。

4.4 FRP 構体⁶⁾

スイスの Schindler Waggon 社では、硬質発泡体の心材

と多軸ガラス織物の表皮とを用いて、湿式フィラメントワインディング法により、図14のような1/2.5大の矩形断面のサンドイッチ構造の構体が試作された。この組合せにより、構造強度および剛性、局所的な補強、断熱および防音、表面仕上げ、電線およびエアダクト、窓およびドアに対するけたなどの機能を一体化し、コスト上有効な構造とすることができる。この構体では、リング状の骨がフィラメントワインディングにより現場施工で製作されている。

5. む す び

以上国内外の車両における接着の現状および開発状況についてご紹介した。新幹線に対する高速化、軽量化、低騒音化（平滑化、ダンピング性向上）、在来線に対する高速化、軽量化、低メンテナンスコスト化、低コスト化という多様な要求にこたえるため、今後車両用材料および接合法も多様化する傾向がみられるが、接着は面による接合法であり、応力集中が小さく、接合部の剛性が高く、ダンピング特性が優れているという特長を有しており、継手の耐久性に関する研究の進展とともに次第にその用途が拡大することが予想される。

参 考 文 献

- 1) 浜田基彦：速くなる新幹線，日経メカニカル，5月4日号，(1992) 22.
- 2) 荒井 汎，中島 洋，高林盛久，安井義彦：これからの鉄道車両が求める新素材，冬樹社，(1990).
- 3) 菅野 武：日欧の超高速鉄道を支える軽量化技術，日経ニューマテリアル，7月13日号 (1992) 8.
- 4) 鈴木康文，佐藤 潔：FRP で車体を作る，RRR，6 (1993) 9.
- 5) 若生寛治，梅沢康裕，徳田憲暁：FRP 台車の開発，鉄道総研報告，6, 10 (1992) 19.
- 6) J. Romagna, K. Anderegg, G. Ziegmann and M. Flemming : New Construction Technology for Highly Integrated Rail Car Composite Structures, SAMPE, 第11回鉄道車両用新素材研究委員会資料，(1997. 7).
- 7) 高尾喜久雄，井上明彦：超電導磁気浮上式鉄道山梨リニア実験線 MLX 01 形式車両の FRP 製品，強化プラスチック，42, 4 (1996) 134.
- 8) 高尾喜久雄：山梨実験線車両用軽量構体の開発，溶接技術，43, 7 (1995) 89.
- 9) 鈴木靖昭：接着ハンドブック，第3版（日本接着学会編），日刊工業新聞社，(1996) 1261.
- 10) 松平頼治，高尾喜久雄：山梨実験線用車両の車体構体と先頭形状の開発，鉄道総研報告，8, 10 (1994) 7.
- 11) 鈴木靖昭：車両製造にみる機能接着・構造接着，工業材料，43, 10 (1995) 90.
- 12) 鈴木靖昭：鉄道車両，ファイナケミカルシリーズ 機能性接着剤の開発と最新技術（下巻）—構造接着の最近の進歩—（宮入裕夫監修），シーエムシー社，(1997) 89.
- 13) (財)鉄道総合技術研究所：山梨リニア実験線（資料），(1995).
- 14) 峯岸俊彦：新構想による軽合金軽量構体の開発，にっしや技報（日本車輌），36, 1 (1989) 47.
- 15) A. Seeds : The Future Use of Structural Adhesives in the Construction of British Rail Rolling-Stock, Int. J. Adhesion and Adhesives, 4, 1, (1984) 17.
- 16) L.-M. Cléon : Allégement des structures de caisse : faisabilité de structures en matériaux composites, Proc. World Congress on Railway Res., Vol. 2, (1994) 673.