

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 新幹線の発展を実現した 技術開発の成果



館山 勝  
Masaru Tateyama  
前 研究開発推進部長  
[専門分野] 地盤工学



佐々木 君章  
Kimiaki Sasaki  
研究開発推進部  
主管研究員  
[専門分野] 車両技術

世界初の高速鉄道である東海道新幹線は、東京・大阪間515kmを事業決定からわずか5年で完成させ、1964年10月東京オリンピック直前に開業しました。東海道新幹線の実現にあたっては、1957年に国鉄鉄道技術研究所が銀座ヤマハホールにて開催した講演会「東京ー大阪3時間への可能性」がきっかけであったことは有名です。残念なことに東京2020オリンピックは1年延期となりましたが、ここでは当時を偲び、東海道新幹線の実現を可能とした技術ならびに、その後の新幹線の発展を実現した技術開発の成果について紹介します。

## 土木構造物

東海道新幹線における構造物の内訳としては、土工274km(53%)、橋りょう・高架橋172km(33%)、トンネル69km(13%)であり、これらの土木工事を用地買収や協議の期間を除いて実質2年で完成させた建設の早さには、今更ながら驚かされます。

### 【土構造物】

東海道新幹線では、工期短縮と経済性の観点から盛土や切土といった土構

造物が多く用いられました。土構造物の施工にあたっては、戦後、アメリカから本格的に導入された機械施工がフル活用されました。また、盛土や路盤の新しい管理方法が示され、品質向上に大きく貢献しました。しかし、それでも開業当初においては、降雨によるのり面崩壊や橋台背面盛土の沈下、土留め壁の変状などにより運転規制が多発し、社会的にも大きな問題となりました。また、路盤噴泥により軌道保守

が増大する結果となりました。このような経験を経て山陽新幹線以降は、盛土や路盤材料の選定基準や締固め管理値を一段と厳しくするとともに、盛土内に層厚管理材(網状もしくはシート状の高分子材料)を配置することにより、のり面の強化が図られました。また、土留め壁や橋台背面盛土の変状対策として、安定性や経済性に優れた補強土(RRR)工法が開発されました。この工法は阪神・淡路大震災において



図1 補強土壁・補強土橋台の施工



図2 RCラーメン高架橋



図3 SENS工法シールドマシン



図4 土路盤上のスラブ軌道

高い耐震性を示したことから、以降の新幹線の標準工法となりました。また、補強土橋台も開発が進められ、耐震性の高い橋台として、現在、整備新幹線の標準橋台として用いられています(図1)。

#### 【高架橋】

東海道新幹線では、工費や工期の面から土構造物が多用されましたが、都市部や軟弱地盤が厚く堆積する区間では高架橋が用いられ、経済性や施工性、景観などの観点からもっとも合理的な構造形式として、2線2柱式鉄筋コンクリート(RC)ビームスラブ式ラーメン高架橋(図2)が設計されました。この構造形式は、現在でも新幹線のみならず鉄道高架橋の標準形式となっています。

基礎については、東海道新幹線が建設された頃は、ディーゼルハンマーによる打ち込み杭くわいが主流でしたが、施工中の騒音や振動の問題から敬遠され、ヨーロッパから導入された場所打ち杭(オールケーシング工法やリバース工法)が用いられるようになりました。現在は、環境への配慮や耐震設計の進展にとまひない、施工時の廃土量が少なく、より大きな支持力が得られるソイルセメント合成鋼管杭や回転貫入鋼管

杭などが開発されています。

#### 【トンネル】

東海道新幹線が建設された頃のトンネル工事は、木製から鋼製の支保工に代わった時期であり、広い施工空間を利用した大型施工機械による全断面掘削工法によって工期短縮が図られました。加えて、地下水の排水が容易な底設導坑先進工法が開発され、丹那トンネルをはじめとし多くの工事に用いられました。また、オーストリアから導入された吹付コンクリートとロックボルトを支保部材とするNATM工法が1977年上越新幹線中山トンネルで初めて採用され、経済性、安全性に優れることから、現在の新幹線トンネルの標準工法となっています。

最近の技術開発としては、地下水が多く切羽の自立性が悪い土砂地山に対して、シールドマシンを用いた場所打ち支保システム(SENS工法)が開発され、東北新幹線の三本木原トンネル(図3)や北海道新幹線の津軽蓬田トンネルに採用されています。

#### 軌道構造

新幹線を支える軌道技術として、ロングレールや高速分岐器、スラブ軌道があげられます。

ロングレールについては、東海道新幹線鴨宮モデル線において実軌道の軌道座屈実験により安全性の検証が行われて以来、新幹線は全線ロングレール化されています。また、分岐器については60kgレールを使用した新幹線用の高速分岐器(18番分岐器：分岐側通過速度70km/h)が設計製作されました。

スラブ軌道については、軟弱地盤や土工区間が多く、全線にわたり沈下が懸念された東海道新幹線においては使われることはありませんでしたが、山陽新幹線(岡山～博多間)の高架橋区間やトンネル区間において、省メンテナンスの観点からスラブ軌道が本格的に採用されました。一方、バラスト軌道とスラブ軌道の併用による保守の煩雑さを解消するため、土工区間におけるスラブ軌道の開発要求が高まってきました。土路盤上のスラブ軌道に関しては、昭和40年代から研究が進められていましたが、1991年に北陸新幹線安中付近に試験区間を構築し、各種試験にて安全性が確認されたのを契機に、本格的に適用されるようになりました(図4)。以降の新幹線では、9割以上の区間でスラブ軌道が採用されています。

## 車両技術

新幹線開業時の車両(0系)は最高速度210km/hでした。現在では最高速度320km/hのE5/H5系新幹線車両が営業走行しています(図5)。鉄道の高速度は多くの技術の総合力の結果ですが、この速度向上には車両技術の進歩も大きく貢献しました。ここでは車両の構成要素ごとにその変化をみていきます。

### 【動力系】

新幹線の特徴の一つとして動力分散方式(電車方式)の採用があげられます。動力分散方式は客車に比べて振動や騒音が大きく、長距離列車に向かないとする意見が多くありました。たとえばTGV(フランス)やICE2(ドイツ)は動力集中方式(機関車+客車)です。一方で、動力分散方式には高速走行時に軌道に与える負担が小さいことや、空転しにくく加速性がよいなどの優れた点があります。これは新幹線の高速・高密度運転に向けた性質であり、海外の高速列車もICE3(ドイツ)などのように動力分散方式に移行しつつあります。

新幹線は交流き電ですが、開業当初はこれを直流に整流して直流電動機を駆動する方式でした。直流電動機は最高回転数が低いため、出力当たりの重量や大きさで不利であり、保守が大変ですが、実績があり、当時の電気車はほとんどこの方式でした。

一方、半導体技術の進歩により、高耐圧で大容量の半導体素子が開発されると、インバータ装置で駆動電圧と周波数を同時に制御して交流電動機(誘導電動機)を駆動する方式が可能になりました。この方式は小型・軽量化が可能で、電気的な消耗部品がないため、保守面で有利です。また、制動時に主電動機を発電機として発電し、発生電力を架線に返す回生制動で消費電力を大きく下げることができま

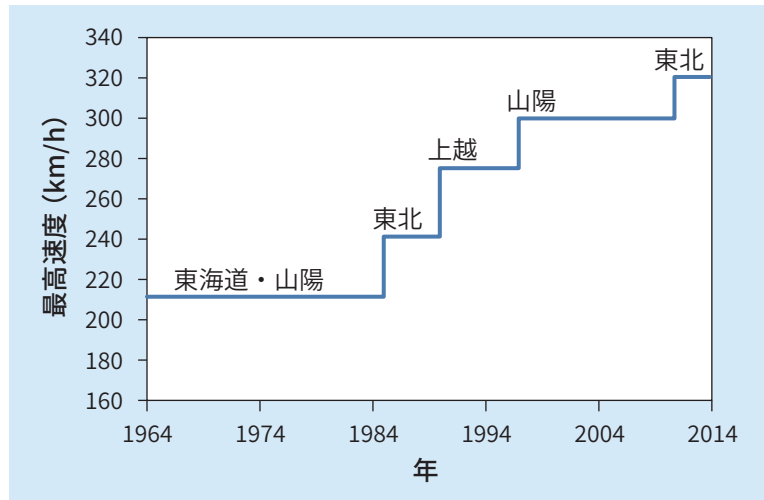


図5 新幹線の営業最高速度の推移

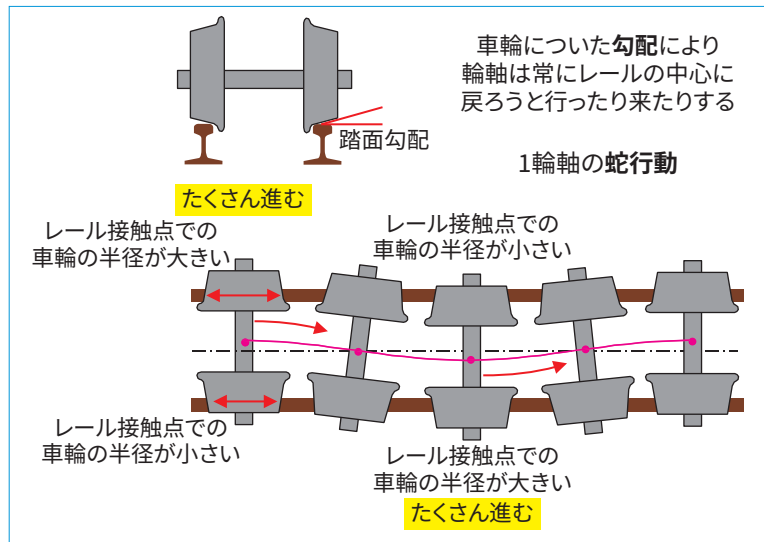


図6 輪軸の運動

す。この方式は270km/hに高速化した300系車両に初採用され、以後の新幹線はこの方式になりました。

### 【台車】

鉄道車両の車輪は図6のように外側が細くなっています。このため走行位置が偏ると、左右車輪の接触位置の径の大きい方が前に出て、線路中心に戻るように輪軸の向きを修正し、レールに沿って走ります。ところが、走行速度が限界を超えて高くなると、輪軸が自分で大きな左右振動を起こす現象(蛇行動)が発生します。この現象は高速列車では安全上とくに警戒すべき

ものであり、当初の新幹線車両では車輪の勾配を在来線の半分程度としたほか、輪軸の向きを決める支持装置にガタのない構造を開発するなど、高速時の安定性を高める方策が追求されました。

乗り心地の面では台車から車体への振動伝搬を減少できる空気ばねが当初から採用されています。また、高速化にともなって、トンネル内で働く大きな空気力による横揺れが顕在化してきました。300km/hへの高速化では従来の防振装置でこれを十分に抑えることが難しくなり、車体加速度を検出し

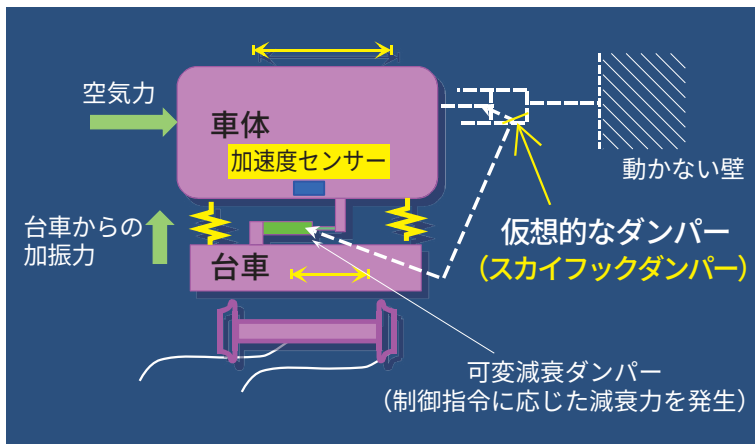


図7 振動制御の例

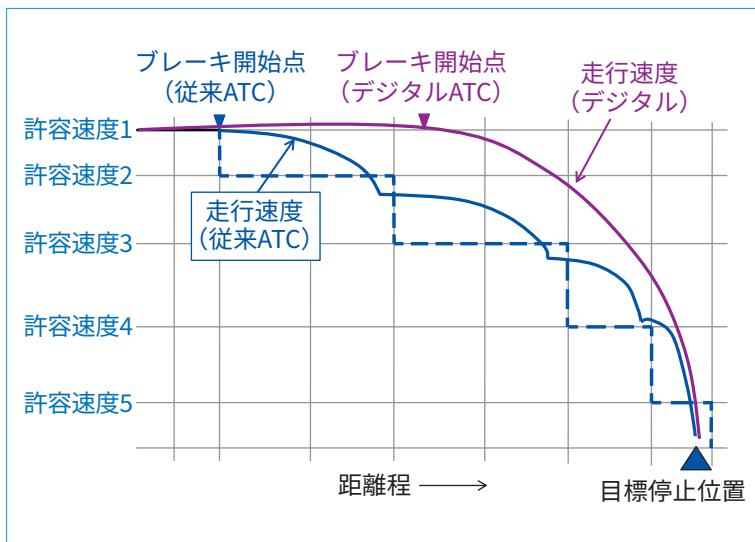


図8 ATCの動作の比較

て横揺れを抑える振動制御装置などが開発されて乗り心地の向上に寄与しています。図7にスカイフック制御という振動制御の例を示します。

**【車体】**

レールに伝わる衝撃や地盤振動は高速化により増大しますが、車両の軽量化によりこれらの軽減が可能で、省エネルギーの面でも有利となります。このため、車両の軽量化が図られてきました。0系では1軸当たり重量(軸重)が15t以上であったのに対して、最新の車両では11t程度です。この大幅な軽量化には電機品などの軽量化に加え、

車体構体の軽量化が大きく寄与しています。初期の車体は鋼鉄製で、骨組に外板を溶接して組み上げる構造でした。その後、中空断面のアルミ合金の長物を、縦に連続溶接して車体を作る技術が開発されました。この製造方法は自動化しやすく、軽量で高剛性にできるほか、中空部に防音材を充填して車内騒音を低減できるなどの利点があります。この車体構造を「ダブルスキン構造」とよび、現在の主流となりました。

**運行管理システム**

新幹線はATC(自動列車制御装置)

が当初から採用されました。高速走行する新幹線では車外の信号機を見て運転することが困難です。このため、レールを通じて信号を車両に伝えて運転席に表示するとともに、その信号で許される速度を超えると自動的に減速するようになっています。これは新幹線の安全性を支える非常に重要な仕組みです。

初期の方式は許容速度の段階が数段階であり、図8のように速度段の境目でブレーキの作動と緩めが発生して乗り心地が悪化することや、列車密度を上げにくいなどの難点がありました。そこで、列車の目標停止位置を車両に伝送し、車上データベースと現在の列車位置・速度から許容速度と適切なブレーキ力を車上で計算して減速するデジタルATCという方式が開発されました。現在は各社でこの方式が用いられています。

**おわりに**

新幹線は、さらなる安全性の向上や高速化への対応、海外輸出に向けた低コスト化など、今なお技術開発が求められています。これらに貢献できるよう、鉄道総研は、これからも研究開発を進めてまいります。[RRR]

**文献**

- 1) 高井秀之：新幹線を実現したキーテクノロジーと今後の研究開発，RRR，Vol.71，No.10，pp.4-7，2014
- 2) 構設史編集研究会編：鉄道構造物を支えた技術集団，日本鉄道施設協会，2009
- 3) 舘山勝，青木一二三：東海道新幹線の建設技術とその後の建設技術，基礎工，Vol.42，No.10，2014
- 4) 小島芳之：鉄道山岳トンネルの建設，RRR，Vol.70，No.10，pp.28-31，2013
- 5) 佐々木君章：新幹線のさらなる高速化をめざして，RRR，Vol.72，No.3，pp.4-7，2015