



## 東海道新幹線に関する研究開発の回顧\*

—主として車両の振動問題に関連して—

松 平 精\*\*

### 1. まえがき

東海道新幹線は昭和39年10月1日開業以来、本年度で8年目を迎え、47年3月15日からは、かねて建設中の山陽新幹線が岡山まで開業のはこびとなった。東海道、山陽に引続いて、46年から成田、東北（盛岡まで）、上越新幹線の工事が着手され、さらに47年にはいってから、北海道、東北（盛岡以遠）、北陸、九州の各新幹線の建設計画が本決りとなり、いよいよ全国新幹線網の建設が急ピッチで進められることになった。これは東海道新幹線によって開発された新しい鉄道方式が、近代日本の陸上交通システムとして欠くことのできないものと認められた結果にほかならない。

開業以来新幹線がはこんだ乗客の総数は、47年3月末現在で4億4850万人にのぼる。46年度1年間の乗客総数は8535万人で、1日当たりの平均値は約23万人になる。また今までの1日乗客数の最高記録は53万人である。一方、列車の走行距離の総計は約1億9000万kmに達する。この距離は地球の赤道のまわりを4750周、月までならば約250往復したことに相当する。この間、乗客の死傷事故が皆無であることは、新幹線方式の鉄道の卓絶した安全性を物語るものであって、新幹線の持つ数多い記録の中で特に誇るにたるものといえよう。

新幹線は1960年代の日本のみならず世界の鉄道における、広くは陸上交通システムにおける最も輝かしい技術革新の一つであるといわれている。このことは、昭和46年 OECD から出された世界の技術格差に関する報告<sup>(1)</sup>の中でもとり上げられていることであるし、また新幹線建設に関係した多くの人が国内、国外の政府、学会、協会、新聞その他の機関から数多くの賞を与えられたことによっても明らかである（表1参照）。

東海道新幹線に関する文献<sup>(2)~(6)</sup>は無数にある。それを研究分野に限定しても、当時鉄道技術研究所から出された多数の報告や論文<sup>(7)(8)</sup>があり、個々の問題に

については今さら補足する余地はない。しかし新幹線の建設は最近の日本における代表的なビッグ・プロジェクトであり、その研究開発プロジェクトがどのようにして完遂されたかは、一般に研究開発に関係のある人々の関心の的であると思われるが、この面を一貫して展望したものはないようである。筆者は終戦後、鉄道技術研究所で車両の振動問題の研究に従事し、この分野で新幹線の研究開発に始めから終わりまでたずさわってきた。そこでこのプロジェクトを、車両振動問題の研究から台車の設計・試作・試験までの開発の経過を中心にして今一度ふりかえって見ようと思う。

表1 東海道新幹線に対する表彰一覧表†

	賞の名称	授与者	受賞者	年月日
1	内閣総理大臣表彰	総理大臣	日本国有鉄道	昭39.10.14
2	賜杯(銀杯1組) 賜杯(銀杯1個)	総理大臣 総理大臣	十河信二 島秀雄, 篠原武司, 友永和夫, 高坂紫明, 川本勇, 坂本貞雄, 鈴木隆吉	昭39.10.14
3	運輸大臣表彰	運輸大臣	宮沢吉弘, 戸坂直枝, 高坂好郎, 村瀬清, 杉田安衛, 田中行男	昭39.10.14
4	毎日工業技術賞	毎日新聞社	加藤一郎, 松平精, 坂本貞雄, 河辺一	昭39.12.21
5	朝日賞	朝日新聞社	新幹線を開発した技術グループ, 代表 島秀雄	昭40.1
6	科学技術庁長官賞	科学技術庁長官	国松賢四郎, 長浜正雄, 高橋輝雄, 松原健太郎, 吉村寛, 赤星国夫	昭40.4
7	土木学会賞	土木学会会長	日本国有鉄道代表 藤井松太郎	昭41.5
8	紫綬褒章	総理大臣	関四郎, 仁杉敏, 加藤一郎, 松平精	昭41.9
9	コロンブス賞	イタリア・ジェノア市	日本国有鉄道	昭41.10.12
10	スペリー賞	スペリー賞選考委員会	新幹線を開発した技術グループ, 代表 島秀雄, 藤井松太郎, 大石重成	昭42.5.22
11	ジェームズ・ワット賞	イギリス機械学会	島秀雄	昭44.7.10

\* 原稿受付 昭和47年5月20日。

\*\* 正員, 石川島播磨重工業会社(東京都江東区豊洲3-2-16)。

† 国鉄部内表彰を除く。

## 2. 新幹線プロジェクト開始までのいきさつ

昭和32年4月、鉄道技術研究所は創立50周年を迎えた。その記念行事の一つとして、同年5月30日に銀座の山葉ホールにおいて「超特急列車、東京一大阪間3時間運転の可能性」<sup>(9)</sup>と題する講演会を催した。

この企画は当時の研究所長 篠原武司氏（現鉄道建設公団総裁）の発案によるものであって、日本の大動脈である東海道線が、当時すでにその輸送力で行きづまりの状態になっていたのを抜本的に解決するために、従来の形式にとらわれない超高速鉄道を建設しようという同氏の構想に沿って、その技術上の可能性を広く世に知らせようとしたものである。

講演のしだいは次のとおりであった。

### (1) 車両について

車両構造研究室長 三木 忠直

### (2) 線路について

軌道研究室長 星野 陽一

### (3) 乗りごころと安全について

車両運動研究室長 松平 精

### (4) 信号保安について

信号研究室長 河辺 一

これらの講演の内容は、終戦後鉄道技術研究所において地道に行なってきた鉄道高速化の研究を、それぞれの専門分野について発表したものであって、結論を要約すると、東京一大阪間450~500kmに標準ゲージ、コンクリートまくら木、ロングレール軌道の線路を設け、最高速度250km/hの走行安定性のすぐれた高性能電車を走らせ、安全にかつ快適に3時間運転をすることは可能であるということである。

この講演の中で、それまでの鉄道にはなかった数々の新しい技術の着想または研究成果が示されたことは特筆すべきであろう。たとえば、模型車両の風洞実験に基づく列車抵抗の計算式の導入、車両の振動緩和のための空気ばねの適用、高速時に発生する車両のだ行動の解明、車内信号による列車自動制御など。これらはすべて実際の新幹線にとり入れられ、その成功に大きな役割を果たしたのである。

この講演会は一般に大きな反響を生んだが、最も大きな反応は、むしろ国鉄本社内に起こったのである。時の総裁 十河信二氏は、かねてからいわゆる広軌幹線論者として知られた方であり、たまたま国鉄本社内で東海道線増強策が真剣に論じられていた時機でもあったため、特にこの講演に注目され、その内容を詳しく聞くことを所望された。そこで同じ講演を再度国鉄本社で総裁はじめ全理事の前で行なうことになった。か

くして、この講演は、一方において研究所の分を越えたくわだてであるとの批判もあったが、少なくとも国鉄首脳部に対して東海道新幹線建設への技術上の自信を与え、その計画を促進するのに大きな役割を果たしたのである。

さて、広軌鉄道論というのは、狭軌(3ft 6in=1067mm)で出発した日本の鉄道に対する鉄道屋の宿命的な願望であって、将来の鉄道の発展のためには広軌(実は標準軌4ft 8<sup>1</sup>/<sub>4</sub>in=1435mm)に改築すべしという議論であるが、明治の終わりから、大正、昭和にかけて繰返し論争されながら実現されなかったものである。

昭和13年ごろにいたり、当時の政府の大陸政策に沿って、内地と大陸間の連絡輸送の必要上、東海道、山陽両線の輸送力を抜本的に増強する要請が出され、昭和15年には東京一下関間約1000kmを9時間で走るといふ当時としては驚異的な高速の、いわゆる「弾丸列車」に対する建設基準が決められたのである。この基準の内容は、ゲージ1435mm、曲線半径2500m以上、こう配13/1000以下、レール60kg/mなど、現在の新幹線とほとんど同じであることは興味深い。この弾丸列車の線路用地は一部買収が始められ、新丹那トンネルなどが着工されたが、まもなく第二次大戦の深刻化とともに、昭和19年にいたりその計画は放棄されたのである。

戦争によって極度に荒廃した国鉄は、戦後その復興に懸命の努力を払ったが、鉄道近代化のための根本的な設備投資にまではなかなか手が回らなかった。一方、戦後の旅客および貨物の輸送量は急激に増加してきたため、幹線の輸送力の不足は逐次深刻になってきた。当時の長距離列車は、輸送力の決定的な不足のため、乗客は駅に行列を作り、終日または夜を徹して待たなければ乗車できない状態がむしろ日常化していた。その中で東海道線は、その沿線区域に日本の総人口の約4割と、全工業生産量の約7割を擁する大動脈線であるので、その輸送の行きづまりはゆるがせにできない事態であった。

そこで昭和31年5月には国鉄本社内に島 秀雄技師長を委員長とする東海道幹線輸送増強調査会が設置され、この問題に対する真剣な検討が開始された。この調査会は、折しも前記の鉄道技研の講演会の影響もあり、32年6月には東海道線の増強は緊急を要する旨の答申をし、それに基づき十河総裁は同年7月運輸大臣に対して、東海道本線の増強についてその必要性を強調し、その具体策の決定については国家的観点から判定されるよう政府において適切な配慮をされること

を要請した。

これに呼応して昭和32年8月には運輸省内に日本国有鉄道幹線調査会が設置され、33年7月東海道新幹線建設の必要性に関する答申が運輸大臣に提出され、同年12月には閣議で承認され、翌34年4月新幹線建設工事が運輸大臣によって認可されたのである。

これと並行して国鉄では昭和32年4月に新幹線調査室が設置され、32年7月には新幹線建設基準委員会が設けられ、建設基準の作成が着手され、さらに34年4月には幹線局が設置されていよいよ本格的な建設活動が開始されたのである。

### 3. 鉄道技研における新幹線の研究開発プロジェクト

鉄道技術研究所では前記の講演会の直後、本社内で

表2 新幹線関係重点研究班一覧表

重点研究班	テーマ数
〔1〕 高速運転のための軌道構造	25
〔2〕 高 速 車 両	29
〔3〕 高 速 車 両 の 運 動	17
〔4〕 高速運転のための制動方式	18
〔5〕 高速運転のための電車線構造	25
〔6〕 交 流 電 化	18
〔7〕 高速運転のための信号方式	19
〔8〕 自動運転方式	22
合 計	173

表3 「高速車両の運動」研究班研究テーマ一覧表

分 類	番号*	研 究 項 目	32	33	34	35	36	37	38
車 両 運 動	M3	車両のだ行防止							
	M3	脱線係数の許容限度							
横 圧 関 係	C1	軌道の横圧限度							
	M3	曲線通過時の車輪横圧							
	C6	軌道狂いと車両動揺、横圧との関係							
	M3	車両および線路の諸条件が車両横圧に及ぼす影響							
"	C1	横圧試験車							
	C1	横圧試験車による軌道横圧実験							
乗 り ご ち	M3	乗りごち上の許容減速度							
	G2	乗りごち上の許容減速度							
	M3	曲線通過時の乗りごち							
"	M3	振動乗りごち							
	M3	高速台車の振動緩和							
振 動	M3	高速台車車輪踏面形状							
	M3	車輪踏面の摩擦と車両振動との関係							
緩 衝 装 置	M3	車両用空気ばね							
	M3	車端衝撃と緩衝装置							

\* M3：車両運動研究室，C1：軌道研究室，C6：土木機械研究室，G2：運転研究室

東海道新幹線建設に対する動きが活発化してきたのに呼応して、それまで各分野ごとにばらばらに行っていた高速鉄道に関する研究を、東海道新幹線の建設という一つの目標にしぼって、総合的なプロジェクトに組織化した。すなわち既存の研究室組織にとらわれない重点研究班を作り、各班に適任の研究室長を班長に任命し、その下に関連の専門研究者を集め、必要な研究テーマを選定し、強力に能率的に研究を推進することにした。

そのときの重点研究班は表2に示すように全部で8班で、各班が新幹線完成までにとり扱った研究テーマの総数は173である。研究テーマの例として、筆者が班長をしていた「高速車両の運動」班のテーマとその担当研究室名および実施期間を表3に示す。

これらの研究を実施した鉄道技研の総員は、昭和32年には790名であったが、その後漸増して39年には930名になった。研究費（人件費を除く）については、新幹線に直接関係のない研究所の経常費のほか、新幹線工事経費が年々配布され、その額は33～39年の7年間に総計7.85億円に達した。また、それまで浜松町にあった研究所が狭あい、老朽化したため、そして新幹線の研究を徹底的に行なう必要上、国立に近代的な総合研究棟を建設して、昭和34年10月に本部を移転し、その後順次諸設備を増築して、昭和36年3月に全部の移転を完了した。新幹線に関する本格的な研究・試験は大部分この国立の研究所で行なわれたのである。

### 4. 車両の振動研究の経過

終戦直後に鉄道技術研究所は、戦争中海軍または陸軍の技術研究機関、特に航空関係の研究機関で働いていた研究者や技術者を多数採用した。その中の1人である筆者は、海軍航空技術廠で専従していた飛行機の振動に関する研究を鉄道車両の振動研究に引継ぐことになった。

当時の車両の振動は、現在の車両にくらべると数倍の大きさであった。特に電車の振動はすこぶる大きく、その乗りごちはきわめて悪いものであった。したがってこのような電車を長距離列車にすることは思いもよらぬことであった。ところが当時工作局動力車課

長であった島 秀雄氏は、そのころから電車列車論者で、その持論を実現するためには、電車の振動を徹底的に改善する必要があるとし、その要望を筆者に依頼されたのである。

終戦直後の鉄道車両の振動がどんなに大きいものであって、それがその後年々いかに改善されてきたかは、図1によって明らかにわかる。この図は前述の研究所50周年記念講演会で使った図に、鴨の宮一綾瀬間のモデル線区における新幹線電車の振動の大きさを記入したものである。図でわかるように、新幹線車両の振動の大きさは、終戦直後の電車の速度80 km/hにおける振動に比し、200 km/hの場合でも約1/3、100 km/hの場合は約1/6以下に減少している。

戦後鉄道技研を中心として進められた車両振動の研究は、昭和21年12月から発足した「高速台車振動研究会」を足場として、着実に発展した。この研究会は島氏の提唱によるもので、そのねらいは上述の同氏の宿願である長距離列車用電車の開発にあったのである。第1回の参加者は、国鉄側では工作局および技術研究所、会社側では川崎車両、三菱三原車両、住友金属、日本車両、汽車製造会社であった。

この研究会は、戦後鉄道車両界にはいった航空機畑の技術者が、飛行機流の理論解析をだいたんに導入して、車両振動の理論を展開したのに対し、古くからの鉄道技術者が長年の経験を開陳する形で、きわめて活

発な討論が行なわれ、当時のまだ暗い世相の中で、楽しいふん囲気が進められたのである。このように鉄道技術の古い血の中に航空技術その他の新しい血が混じってこん然一体となったことは、後の新幹線の成功の最大の要因の一つと考えられる。この研究会はその後回を重ねるに従い、参加者も増加して盛大になったが、昭和24年12月の第6回をもって、高速台車の設計上必要な車両振動研究に対する方向づけをするという当初の目的を達成して、終了することにした。

さて、車両の振動問題の研究は多岐にわたり詳細に行なわれたが、ここでは新幹線台車の設計上特に重要であった3項目、すなわち車両の振動計算法、空気ばねおよびだ行動について研究の経過を概述しよう。

**4.1 車両の振動計算法の発展<sup>(10)(11)</sup>** 車両の振動研究の最初の着手は車体-台車系の固有振動数の計算から始められた。この計算は、車体-台車から成る振動系が近似的に単純な2自由度系に置換できることから、簡単に行なわれるわけであるが、その計算結果は実際の車両の走行時の振動測定結果とはなかなか合致しなかった。その原因は従来からの台車構造に経験的に巧妙にとり入れられていた摩擦とガタの影響にあることがまもなく判明した。すなわち従来からの台車はすべて、台車のまくらばねに重ね板ばねを使って摩擦によるダンピングを与えており、また車軸と台車わくとの間には横方向に、車体と台車の側受の間には上下方向に意識的にある程度のガタを与えているため、車体-台車系が複雑な非線形系を形成しており、そのために固有振動数が振幅依存形になって、単純な計算と合わないものであった。

そこで、台車を合理的に設計するためには、台車の構造を振動計算が可能にすることが先決であると考えた。そのため、まずまくらばねの重ね板ばねを廃止して、コイルばねとオイルダンパとにおきかえた。このオイルダンパは自動車のショックアブソーバとして戦後発達した技術を利用することによって、大きな困難なしに鉄道車両用のものを開発することができた。

この形式にすると、車両の上下振動については車体-台車系が基本的な線形の2自由度系になるので、振動計算が簡単に正確にできる。そして軌道から正弦波の振動が与えられた場合の強制振動の理論計算によって、まくらばねと軸ばねのばね定数比およびダンパの減衰係数の最適値が容易に求められるので、台車のばね系の設計が合理的にできるようになった。戦後新たに設計製作された台車はすべてこの形式となり、その振動性能は旧式台車に比して格段と改善されたのであ

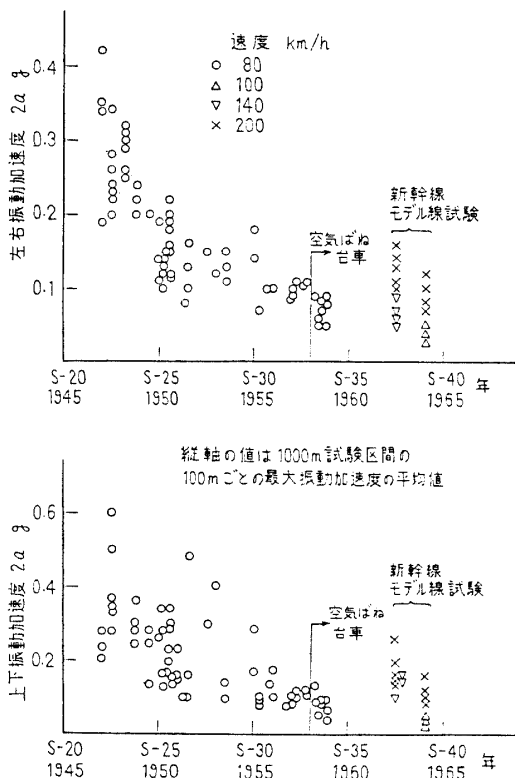


図1 電車の振動の大きさの変遷

る。さらに上下振動性能のいっそうの改善をはかるため、コイルばねに代わって空気ばねが開発され、新幹線用台車には独特の空気ばねが使用されたのであるが、これについては次節で述べる。

車体の横振動に関しても、台車構造の横方向に存在するガタを極力なくすことに努力が払われた。特に台車わくに対する軸箱の支持方式にくふうがこらされ、慣用のしゅう動式軸箱支持方式の代わりに各種の方式が考案され試験された。新幹線用台車に対しては、後述するだ行動防止上の必要から、一對の薄い板ばねで軸箱を前後に支持し、その両端をゴムブシュで台車わくに結合する方式が採用された。

車体の横振動の緩和には、従前からゆれまくらつりリンク装置が使われており（今でも多く使われているが）、このリンク装置と台車のばね装置の組合わさった場合の車体の横振動の計算法も確立された。しかしリンクのピンの部分に摩擦が存在すること、構造がやや複雑になることのため、新幹線用台車に対してはまくらばねに使った空気ばねの横弾性を利用することによってつりリンクを廃止する方式が採用された。こうして新幹線電車の台車では上下方向にも左右方向にも摩擦とガタが完全に追放され、その結果、車体-台車系の振動計算が容易に、かつ正確にできるようになり、したがって台車のばね装置の設計を合理的に行なうことができたのである。

**4.2 空気ばねの開発<sup>(13)(14)</sup>** 台車の振動絶縁効果をあげるためには、台車のばね系のばね定数を小さくするほどよいことは周知の事実である。ところが鉄道車両は多数連結する必要上、車体の空車時と満載時のレール面上高さの差をある限度内におさめなければならない。そのため、普通の金属ばねの場合は、ばね定数をあまり低くすることができないのである。ところが空気ばねは、自動高さ調整弁を設けることによって、ばね高さを荷重状態に無関係に一定に保つことができるので、ばね定数を思い切って下げることができ、したがって振動絶縁効果を決定的によくすることができる。これが空気ばねが特に鉄道車両として適しているゆえんである。

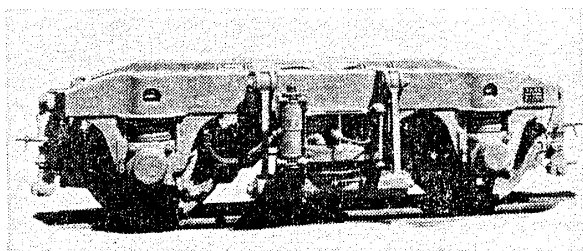


図 2 特急あさかぜ用空気ばね台車

車両用空気ばねの研究は鉄道技研で昭和30年から開始された。その当時すでにアメリカでは自動車用空気ばねが開発され、有名なグレイハウンド・バスに使用されたということを雑誌の記事で知ったが、その技術上の詳細は不明であった。そこでわれわれ独自の考えて鉄道車両用空気ばねの開発にとり組み、幾多の研究・試作・試験を経て、昭和33年にはその実用化に成功し、当時の東京-博多間の寝台特急列車「あさかぜ」および東京-大阪間の特急電車「こだま」に採用して好成績を収めた（図2）。この成功によって、その後の優良列車用の車両には必ず空気ばねが採用されることになり、空気ばねは日本の鉄道車両の大きな特長の一つとなったのである。

この時代の空気ばねは3段ベローズ形（図3）で、台車のまくらばねとして、従来のコイルばねとおきかえて使われた。この種の空気ばねの上下方向（軸方向）の挙動については、当時十分な研究が行なわれ、静的なばね定数のほか、ばね本体と補助タンクとの間の空気通路に設けた絞りの効果を入れた動的ばね定数や減衰係数が正確に計算され、台車のばね系の設計に有効に使用されるようになっていた。

図2の形の空気ばね台車には、左右振動の緩和に従前どおりのゆれまくらつりリンク装置が使われていたが、次の段階として、前節に述べた理由により、このリンク装置を止めて、空気ばね自身に横方向のばね作用をさせようという試みが登場した。昭和35年ごろからはこの形の台車が試作され、それに並行して空気ばねの横方向の挙動に対する研究が盛んになった。そして新幹線の試作台車もこの形にすることが決められた。

ところで初期のベローズ形空気ばねは横方向の荷重-変位曲線に極端な非線形性と大きなヒステリシスが存在し、これが車両の横変位や振動特性の上に致命的な悪影響を与えた。この欠点を直すために大きな努力が払われ、新幹線用試作台車には改良形のベローズ形空気ばねが採用されたが、車体の横の復原性に問題があり、満足なものではなかった。この欠点は、昭和37

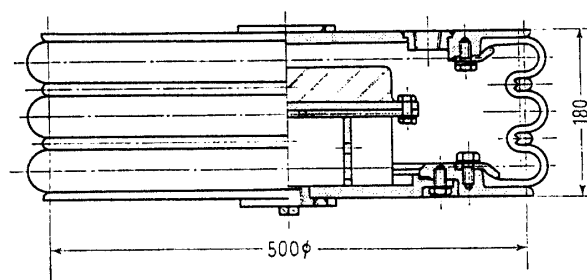


図 3 特急あさかぜ用空気ばね

年にいたり、住友金属、住友電工両社の共同研究によりダイヤフラム形空気ばねが開発されるにおよんで、根本的に改善された。この形のものでは、横方向の荷重-変位曲線はほぼ直線状となり、ヒステリシスはほとんどなくなったのである。新幹線の営業用台車に採用された空気ばね（図4）は、この形を発展させたものである。

4.3 車両のだ行動の解明とその防止法の確立<sup>(14)~(16)</sup>  
だ行動とは鉄道車両に特有の自励的な横振動で、高速走行時にこれが発生すれば、乗りごちを著しく害するだけでなく、時としては台車構造または軌道に損傷を与え、脱線の危険すら招くおそれがある。したがってこのだ行動を防止することは高速車両の設計上のキーポイントの一つである。新幹線用台車の設計にもこの点に最大の考慮が払われた。

筆者は以前に海軍で同じ自励振動である飛行機のフラッタの研究に従事していた関係で、このだ行動現象に特別の興味をおぼえ、戦後、鉄道技研にはいるとさっそくこれの研究にとり組んだ。最初に、この現象を詳しく観察するために1/10スケールの模型車両の転走試験装置を作った。これは飛行機の風洞実験で模型を止めて風を吹かせるのと同じように、レールに相当する支持輪の上に模型車両の車輪を乗せ、模型は前後方向のみを拘束して、支持輪を回転させ、車両を相対的に走行状態に置いて、その横運動を観測するものである。

この装置は車両のだ行動の研究にきわめて有効で、これによってだ行動の基本的な性質が明らかにされ、その防止法を探究するのにおおいに役立ったのである。たとえば、この装置による最初の研究対象であった2軸貨車に対しては、昭和26年にはだ行動防止策として「2段リンクばねつき装置」が開発され、この2段リンク装置は現在国鉄の全2軸貨車に適用され、貨物列車の速度向上に一役買っている。

その後この試験装置を図5に示すようにボギー車用に発展させ、昭和31年以降はボギー車のだ行動の研究が進められた。その結果、ボギー車は、従来の形式

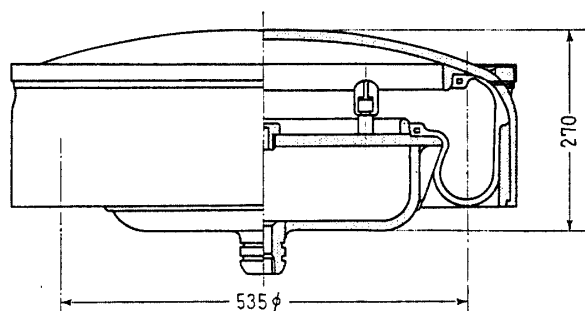


図4 新幹線電車用空気ばね

の台車の場合、速度100~150 km/h付近で車体が大きくゆれる第一次だ行動（または車体だ行動）を起こし、200 km/h以上では台車がはげしく振動する第二次だ行動（または台車だ行動）を起こす性質があることが明らかにされた。この台車だ行動はそれまで知られなかったものであったので、その後の研究は特にこれの制圧に努力がそそがれた。

この模型用の試験装置はその後さらに発達し、昭和35年には、実験精度を上げるために1/5模型用のもの（図6）が作られ、新幹線用の模型車両のだ行動実験に使用された。

一方同じ考えを発展させ、実物車両を乗せて試験することのできる車両試験台が31年ごろから計画され、慎重な検討が重ねられた後、34年にいたって完成し、新設の国立の研究所構内に設置された。この車両試験台は250 km/hの速度でだ行動試験ができるほか、支持輪に偏心を与えることによって、車両の強制振動試験も行なうことができる。そのほか、電気車やディーゼル車の性能試験、各種車両のブレーキ試験などもできるという当時としてはきわめてユニークな試験装置で、各国鉄道の注目の的となったのである。

この車両試験台を使って、昭和35年から1年あまりにわたって新幹線用1号試験台車のだ行動試験が行なわれた（図7）。続いて37年からは、鴨の宮-綾瀬間に設けたモデル線で走らせる6両の試験車両用の6

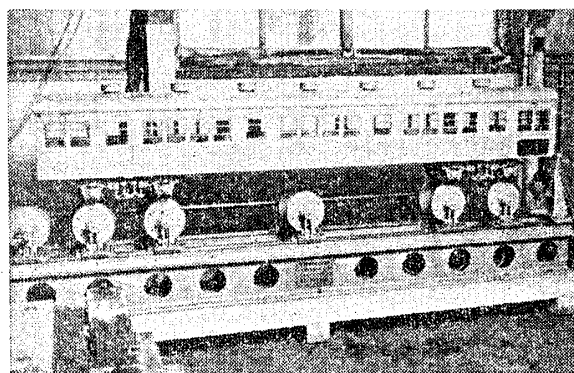


図5 1/10 模型車両転走試験装置

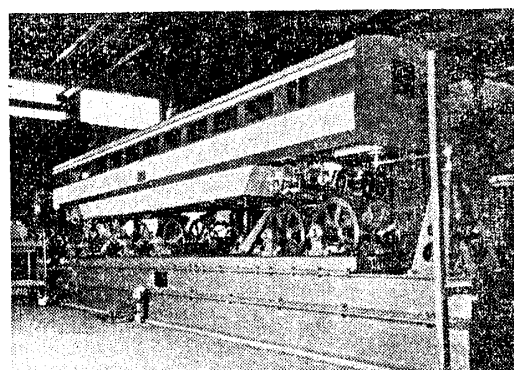


図6 1/5 模型車両転走試験装置

種類の台車についてだ行動試験および振動特性試験を行ない、台車設計上多くの資料を得ることができた。

このような実験的研究と並行して理論的研究も絶えず続けられた。車両のだ行動の理論計算は、車体-台車系の横運動の方程式を立て、その特性方程式を作り、その根を求めて運動の安定を調べる方法によって行なわれた。この場合の一つの困難は、関係する運動自由度が非常に多いということである。たとえばボギー車の場合、車体は剛体であるとし、車軸は台車わくに前後左右に固着されているとする簡単な場合でも、車両全体の運動自由度の数は7であり、もし車軸が台車わくに弾性的に結合されているとすれば、その数は15になる。したがってコンピュータの助けなしでは正確な計算は実際上不可能であった。

だ行動に関する研究の初期のころ、2軸貨車のだ行動防止に専念していた時期には、手計算にたよるを得なかったので、できるだけ簡略化をした上で、それでもなおたいへんめんどろな計算を行ない、模型実験の助けを借りて研究を進めたのである。したがって導かれた結果は多少不正確な点もあったが、少なくともだ行動の問題を理論的にとり組むという正統的な態度をつちかい、その後の発展の基礎を固めた点は評価されるであろう。

ボギー車のだ行動の研究に対しては、手計算は不可能なので、最初はおもに模型実験にたよっていたが、昭和36年ごろからコンピュータが鉄道技研で実用されるようになって、この困難は解消した。

この種の理論計算が実際の場合と合うかどうかは、その当時は必ずしも明らかにされなかったが、車体および台車の関係各因子のだ行動の限界速度におよぼす影響を少なくとも定性的に知って、それを台車の設計に反映させることができたという点でおおいに役立つ

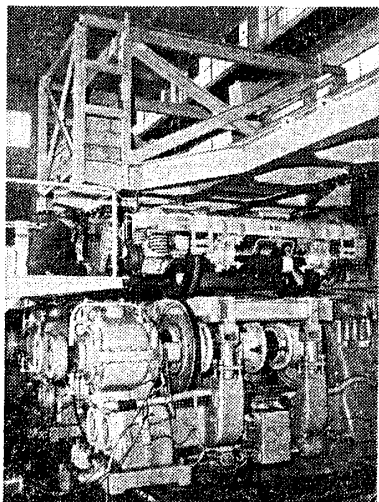


図7 車両試験台で試験中の新幹線用1号試験台車

たのである。

だ行動の理論計算上の今一つの困難は、非線形性の存在であった。たとえば、台車の回転に対し側受到働く摩擦抵抗の影響とか、特に台車だ行動の振幅が大きくなって、車輪フランジがレールに衝突する場合などの非線形性は無視できないものである。このような場合の解析にはアナログ・コンピュータが偉力を発揮し、通常行なわれている適当な線形化による近似計算の精度を補うのに役立つ。

前記の6種類の台車は、車両試験台上の試験を終えた後、車両に組込まれ、4編成および2編成の試験列車に仕立てられ、いよいよ37年6月からモデル線で走行試験が開始された。車体および台車の振動加速度、車輪に作用する水平横力および垂直力の測定によって慎重に走行安全性を調べながら、しだいに増速し、37年10月31日に200 km/h、38年3月30日には最高速度256 km/hの記録を達成した。

このモデル線における速度向上試験の過程において、たまたま2種類の台車にはげしい台車だ行動が発生したが、それぞれ適切な対策によってその制圧に成功し、その後の高速試験を完遂させることができた。このいきた実験記録によって台車だ行動の性質と防止法について貴重な資料を得たことは特記すべきであろう。

一つの台車に発生しただ行動は、約180 km/h以上の速度で、ある決まった箇所（おもに曲線）で現われた。だ行動の起こり始めのころは振動が数回繰返されるだけであったが、速度を増すにつれ、振動の回数もふえ、激しさも増した。このだ行動の振動数は速度200 km/hにおいて4.5~5.0 Hzで、これから波長を求めると11~12 mとなる。この値はこの台車の幾何学的だ行動の波長の計算値45.1 mに比してはるかに小さく、1輪軸のだ行動波長23.2 mにくらべても非常に小さい。この事実は、このだ行動が車輪フランジに対するレールの反ばつ作用に大きく支配されていることを示すものである。

今一つの台車のだ行動は243 km/hの速度で、ある曲線出口の緩和曲線から直線にかけての部分で発生した。このだ行動は同じ箇所をほぼ同じ速度で走っている間にしだいにそのはげしさを増し、ついにレールにかなりの通りくいを発生させるにいたった。このだ行動の振動数は240 km/hにおいて4.7 Hzで、このときの車輪横圧は9 tを越えた。試験後の軌道測定によって、だ行動発生区間のレールに連続9波、平均波長約12 m、最大振幅（全振幅）14 mmの通りくいが生じていることが見出された。

この貴重な経験によって、この種の台車だ行動は通常の線形理論では説明されないものであって、台車の回転に対する側受の摩擦抵抗および車輪フランジのレールに対する衝突による非線形性に大きく支配される非線形振動であることが判明し、それに対する理論解析が行なわれた。そして万一高速走行時にこの種の台車だ行動が生じれば軌道の破壊につながるので、非常に危険であることが実証されたのである。

以上に述べた模型実験、理論計算、車両試験台試験およびモデル線における走行試験によって、車両のだ行動の性質とその防止法がほぼ解明された。特にボギー車のだ行動防止のためには、車軸の台車わくに対する前後・左右の支持弾性、台車の回転に対する復元弾性および摩擦量、台車のばね系のばね定数ならびに減衰係数などが最も重要な因子であることが明らかにされ、新幹線用台車に対してこれらの諸因子の適値が示されたのである。

##### 5. 新幹線用台車の設計<sup>(6)</sup>

東海道新幹線電車の設計は、高速車両の走行性能を支配する台車の設計から始められた。昭和33年7月運輸省内に設けられた日本国鉄幹線調査会が東海道新幹線建設の必要性を運輸大臣に答申した直後、新幹線電気車両用台車研究会が国鉄の臨時車両設計事務所の主催で開始された。この研究会には国鉄側からは車両設計事務所のほかに鉄道技術研究所および幹線調査室(後の新幹線総局)、会社側からは住友金属、汽車製造、川崎車両、日本車両、近畿車両、日立製作所、東急車両、三菱電機、東洋電機、新三菱重工(三原車両)が参加し、主として高速時の走行安定を向上させるための台車構成、所要の研究試験の計画の検討立案が行なわれた。

この研究会は昭和35年9月までに4回開かれたが、ここでの検討の結果、台車の走行安定性および振動特性を徹底的に調査研究することが必要であるとされ、その目的のために、軸箱支持方式や台車のばね装置などがいろいろと変えられるように設計された特殊の試験用台車を作って、折しも技研内に完成設置された前記の車両試験台上で実験することに決められた。この試験用台車の設計会議は国鉄車両事務所と住友金属との間で34年1月から8月にかけて7回開かれ、11月には2台の台車が住友金属で製作された。この台車が35年から36年にかけて車両試験台上で実験されたことは既述のとおりである。

この試験に引続き、さらに実際のレール上で走行性能を確かめるため、主として軸箱支持方式に各種の

くふうをこらした6種類の台車を試作することになった。これの設計会議は車両設計事務所を中心として、鉄道技研および新幹線総局、製作者側として日立、川崎車両、近畿車両、汽車製造、日本車両および住友金属の6社が参加して、36年1月から12月までに前後12回開催された。これらの各台車は完成後まず車両試験台上で250 km/hまでのだ行動試験および振動特性試験を行なった後、37年6月以降、鴨の宮一綾瀬間のモデル線上で高速走行試験その他各種の試験が行なわれたことも既述のとおりである。

上記の台車についての各試験において、振動関係のみでなく、各部材の強度、駆動装置およびブレーキ装置などに関してもそれぞれ綿密な試験研究が行なわれたのはもちろんである。これらの結果を総合して、いよいよ最終的の量産車台車の設計が38年2月から開始され、39年2月までに合計14回の設計会議が車両設計事務所を中心として開催され、その中途から設計を追って台車の製造が進められた。一方台車と並行して車体の設計製造も進められた。関係会社は次の12社である。

日本車両製造	東京芝浦電気
川崎車両	川崎電機製造
汽車製造	富士電機製造
近畿車両	三菱電機
日立製作所	日本エアブレーキ
東洋電機製造	住友金属工業

東海道新幹線の建設にはその資金の一部を世界銀行から借入れた関係から国際入札の必要上、上記の12社を連合した東海道新幹線電車製造連合体が組織され、これが入札に当たった。このようにして、12両編成30列車分、360両の電車が昭和39年10月1日の開業までに製作されたのである。図8に完成された新幹線電車用台車を示す。

これに先立ち、量産車の性能の確認、運転取扱上および保守上の問題点の調査のため、6両編成列車を作り、39年3月より、最初はモデル線区で、そのあとしだいに全線に足をのぼして各種試験を進め、8月25日に始めて東京—新大阪間を4時間で結ぶ全線総合試

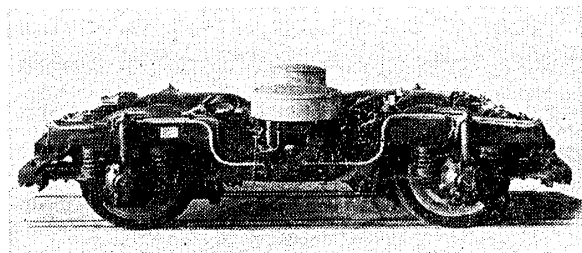


図8 新幹線電車用台車



運転試験を行なったのである。

39年10月1日の開業直後の東京—新大阪間4時間運転というのは、軌道が落ち着かない間の暫定的な処置であって、1年後の40年10月1日からは現在と同じく3時間10分運転に短縮された。この電車の振動性能は、専門的立場からはなお不満な点もあるが、実際的にはほぼ満足すべきものであって、今日までけ念された台車だ行動は全く生起せず、振動上大きな問題は報告されていない。

## 6. ま と め

東海道新幹線に関する研究開発プロジェクトを車両振動の面からとらえて縦覧し概述した。このプロジェクトが大きな成功をおさめた要因とその背面は、この記述の中に盛られているが、これらの要因を摘要すると次の事項があげられる。

(1) このプロジェクトの正式発足に先立つ約10年間にわたり鉄道技術研究所において行なわれた高速鉄道に関する地道な基礎的な研究の蓄積があったこと。

(2) 設計者と研究者との連けい協力が理想的な形で行なわれたこと。すなわち研究者の意見は卒直に設計者にとり入れられ、また設計者の要望は遅待なく研究試験で移された。

(3) 従来からの鉄道技術の中に航空機を主とする他

の技術が多量に注入されて、これらがこん然一体となり、従来の慣行にとらわれない新規の自主技術を開発する進取の気風が醸成されたこと。

(4) すぐれた指導者によって研究開発の方向づけと組織化が適切に行なわれたこと。

## 文 献

- (1) The Gaps in Technology between Member Countries, *Analysis Report*, (1968), OECD.
- (2) 角本, 東海道新幹線, (昭39-4), 中央公論社.
- (3) 建設者-東海道新幹線, (昭39-9), 山海堂.
- (4) 東海道新幹線工事誌(土木篇), (昭40-3), 東海道新幹線支社.
- (5) 東海道新幹線工事誌(電気篇), (昭41-10), 東海道新幹線支社.
- (6) 東海道新幹線電車発達史, 総論および各論, 国鉄車両設計事務所監修, (昭42-3), 東海道新幹線電車製作連合体発行.
- (7) 東海道新幹線に関する研究, 第1冊~第6冊, (昭34~昭40), 鉄道技術研究所.
- (8) 高速鉄道の研究—主として東海道新幹線について, (昭42-3), 鉄道技術研究所.
- (9) 東京—大阪間3時間への可能性(鉄道技術研究所創立50周年記念講演), 交通技術, 135~136号(昭32-8~9); および文献(7)の第1冊.
- (10) 文献(8)の268~283ページ.
- (11) 松井, 鉄道技研報告, 285号(昭37-4).
- (12) 文献(8)の300~305ページ.
- (13) 国枝, 鉄道技研報告, 6号(昭33-4).
- (14) 文献(8)の284~299ページ.
- (15) Matsudaira, T., *Proc. Inst. Mech. Engr.*, **180**, Part 3F, (1965-11), 84.
- (16) Matsudaira, T., ほか2名, *Trans. ASME*, Ser. B, **91-3** (1969-8), 879.