



東海道新幹線について

藤井松太郎*

東京～大阪間を515 kmで結ぶ東海道新幹線が、昭和34年9月に着工以来、いろいろな問題に逢着しながらも予定通り5カ年の日子で工事を完成し、さる10月1日営業開始の運びとなったことは、まことに喜びに耐えないところであって、関係各方面のご協力と、工事関係者一同のご苦心に対し衷心より敬意と謝意を表すものである。東海道新幹線については世間一般の関心が高く、その外ぼうについてはすでに土木学会誌第49巻第10号などでご承知の向きが多かろうと思われるので、ここでは主としてその計画の発端や、建設基準、さらに工事関係者の反省といったものを中心にのべて見たいと思う。

1. 東海道新幹線着手までのいきさつ

日本国有鉄道の在来線は軌間1067 mmの狭軌であるが、東海道新幹線は軌間1435 mmの標準軌間となっている。そもそも明治の初年わが国最初の鉄道が新橋～横浜間に敷設された際、当時の顧問技師であったイギリス人プレストン・ホワイト (Preston White) は、彼のインドにおける経験などにもとづき、狭軌1067 mmを採用したのである。

当時のわが国の財政状態や、他方わが国の地形などを考えるとこの決定は必ずしも誤りとはいえないが、その後のわが国鉄道の発達に大きな問題を残したことは事実である。狭軌で出発したわが国鉄道を広軌に改築して、欧米なみの輸送力を持たせようという考えは、明治19年、当時の陸軍によって口火が切られ、それ以来、後藤新平氏などを中心とする広軌論者によって30余年にわたって論争がくり返されたのであるが、すでに狭軌で出発し敷設の相当進んだ鉄道を、輸送を中断することなしに広軌化することは、技術上も、工費の上からも容易のわざではない。大正7年9月、当時の原内閣は現下の急務は鉄道の普及、および速成にあって、広軌改築は急務を要しないということで、ひとまず30余年の論争にピリオドを打ったが、その後、満州事変、支那事変の勃発

* 正会員 工博 日本国有鉄道技師長

により、大陸連絡輸送の問題に直面した国鉄は、昭和13年幹線調査会を設置して東海道、山陽両線の輸送力を再検討した結果、東京～下関間約1000 kmを軌間1435 mmの標準軌で結び、到達時間約9時間を目標とするということで再び広軌の問題が台頭してきた。これが東京～下関間弾丸列車計画と称せられるもので、昭和15年1月第75議会を通過し、総工費5億5600万円余、昭和15年度以降29年度までの15カ年継続事業として着工を見ることとなり、路線の計画も一部分を除き大半が決定し、必要な用地も15%程度確保され、新丹那トンネル、日本坂トンネルが着工された。しかしながら第二次世界戦争の深刻化とともに工事事資材、労務者の不足などから工事の進行は鈍化し、昭和19年あたり弾丸列車計画も緒についたばかりで挫折するのやむなきに至ったのである。

終戦後、国鉄は戦争によって荒廃した諸施設の取替復旧に専念していたのであるが、昭和31年頃に至って、わが国経済の復興により東京～大阪を結ぶ大動脈である東海道線の行きづまりがはなはだしくなってきた。そもそも東京～大阪を結ぶ東海道線は、延長においては国鉄全線の3%に過ぎないが、沿線人口に全国の43%、工業生産は全国の68%を産出し、鉄道輸送量は全国鉄の25%を占めて、これが年率旅客7.6%、貨物4.8%の割合いで増加している。ひとたびこれが行きづまることになると、わが国経済の発展をはばみ、大変なことになるので国鉄内部には昭和31年5月、東海道幹線増強調査会を設け、運輸省内にも、また日本国有鉄道幹線調査会を設けて検討を重ねた結果、広軌別線によって東海道本線を増強すべきであるという結論が出され、ようやく今回の東海道新幹線が生まれ得ることとなったのである。

東海道新幹線を広軌とするか、狭軌にするかについて、日本国有鉄道幹線調査会分科会は「新規路線は広軌別線案が妥当である」との結論をだした。この問題はきわめて高度の判断を要するむずかしい問題と思われるが、幹線調査会はわが国経済発展の長期的な見通し、さらに将来交通機関の中で鉄道の占めるべき地位などについて十二分の検討を重ねた結果、以上のような結論をだ

したものと思われる。東海道新幹線に広軌を採用すると全国2万余キロの現在線から集まってくる貨車は、軌間の相違で新線の流れ得ないことになり、旅客輸送においても大阪以遠の旅客は、大阪で現在線への乗換えを余儀なくされることとなる。もしも、東海道新幹線に狭軌を採用するとすれば、これらの問題は解消されるが、狭軌線では現在以上に飛躍した近代化や、発展は望み得ないこととなる。近時、鉄道の斜陽化が叫ばれているが、わが国の地形や道路事情を考えれば必ずしもそうとは思えない。もし、近代化によって鉄道の体質改善を行えば相当長期にわたって低廉な輸送を提供することができるものと思われる。現在、東海道線の貨物輸送量は140億トンキロで、そのうち約30%が線内の相互発着となっている。

線内の相互発着貨物はコンテナなどによって広軌新幹線を通し、その他は旅客の大幅な新幹線転移によって余力の生じた狭軌現在線を通すということが、新幹線に広軌をとった場合の貨物対策であった。しかし、いずれにせよ狭軌20000kmに対し、東京～大阪間わずか515kmの広軌を敷いたのでは、いかに近代化された鉄道であっても、その威力を十分発揮し得べくもないことは明らかである。将来わが国の経済伸長にともない西は博多、東は札幌ぐらいまでは広軌幹線を伸ばす時期が必ずくることを予期し、他方、近來の技術革新による新技術を十分おりこんだ近代鉄道を實現して、鉄道若返りの先駆たらしめようということが、新幹線に広軌を採ったおもなる根拠であった。日本国有鉄道幹線調査会の広軌別線案は、昭和33年7月9日閣議に報告され、同年12月19日その承認を受けて、翌昭和34年4月20日、新丹那トンネル坑口で新幹線起工式が行なわれ、いよいよこの大工事がスタートしたのである。ここに忘れてはならないことは、東海道新幹線の建設基準の決定や、その後の線路のルート決定に、先にのべた東京～下関間弾丸列車計画が非常に役立っていることであって、先人の努力、識見に対し今さらながら敬意を新たにせざるを得ない。

2. 東海道新幹線の概要および建設基準

東海道新幹線は、昭和34年4月20日の起工式から5カ年余の日子によって39年10月1日予定のように開業を行ない、東京～新大阪間515kmを「ひかり号」4時間、「こだま号」5時間で結んでいる。当初の計画は、超特急は3時間、特急は4時間であったが、路盤の整備が十分でないため、現在上り、下り線とも10カ所程度の速度の制限を行なっているので、所要時間が1時間ばかり伸びているが、日ならずして予定どおりの所要時間にちぢめることができるものと思われる。運転最高速度は、すでに38年3月の試運転で、毎時256kmに成功

しているが、乗心地などを考えて今のところ毎時200kmにおさえ、運転方式は自動列車制御(ATC)、列車集中制御(CTC)によって運転の万全を期している。

東海道新幹線のような新しい鉄道を、比較的短日月の間に生み出すためには、技術各分野の歩調の合った進歩が絶対に必要であるが、この意味では東海道新幹線は誠に好適な時期に出発したものと思われるのである。すなわち、こだま型列車による近代高速車両に対する自信、世界第5位の長大な北陸トンネルをわずか3カ年程度で仕上げた建設技術の進歩、敦賀線に始まる交流電化技術の発展、さらに電子工学の発展によるATC、CTCの開発などが一つでも欠けるならば、今日の東海道新幹線は生れ得なかったものと思われるのである。

つぎに建設基準のおもなものをのべて見ると、曲線半径は、将来とも速度制限をしないことをたてまえとして、2500m以上を基準としたが、東京付近には一部400m、熱海～京都間には一部1100mの曲線半径をやむをえず使った箇所がある。線路勾配は15%以下を原則としたが、勾配の延長が1km未満の場合は20%を許容することとした。

新幹線の列車はすべて電車列車で動力を分散しているので、けん引力は粘着力ではなく、主電動機の温度上昇に支配されることとなる。主電動機の許容最高温度を120°Cにおさえ、線路勾配の途中から再起動した場合120°Cの許容温度に達するまでの走行距離を計算し、上記のような基準値をつくった。建設後、線路勾配を緩和することは容易なわざではないし、東海道新幹線はさらに延長されてわが国の大動脈になるべきことを考えると、たとえ建設費の増加をとんでも、勾配は10%程度にすべきではなかったかと考えられる。カントは曲線半径2500m、速度毎時200kmを考え、180mmを設定した。軌道中心間隔は、列車が最高速度ですれ違った場合の衝撃を現在線程度とするためには、車体側面間隔が0.8m必要なので、これに車両限界幅3.4mを加え、4.2mとした。停車場構内は作業の安全を期し、作業員の受ける風速を毎秒10mにおさえたので4.6mとなっている。車両限界は、高さ4450mm、幅3400mmであり、建築限界は、高さ6450mm、幅4400mmとなっている。構造物の設計荷重は、貨車はいわゆるN荷重客車はP荷重を使っているが、いずれも軸重16t、軸距それぞれ2.2m、2.8m、2.2mの4軸ボギーが、N荷重においては、ボギー中心間隔13.5m、P荷重においては20.0で連続して通過するものと仮定している。普通の計算はN荷重で設計し、車両遠心力などをP荷重でチェックすれば十分である。NP荷重は従来国鉄で使っているKS荷重では、大体KS13ぐらいに該当するものである。電気方式は、国際標準規格の商用周波数60

の単相交流 25 kV を採用した。新幹線の 16 両編成を考えると電動車入力は、10 000 kVA のごとき大きな値となり、直流 1 500 V 方式では運転不可能となるため 25 kV の交流によることとしたのである。

東海道沿線は、富士川を境として東は 50 \sim 、西は 60 \sim 地帯となっているため、この対策として種々研究した結果、小田原、横浜にそれぞれ 60 000 kVA の周波数変換変電所を設置し、新幹線全線を 60 \sim で運転することとした。電車線架線の高さは、現在線電化の場合とこととなり、トンネルや跨線橋などの既成構造物の制約を受けないため、一貫して軌条面上 5 m とした。

東海道新幹線を走る列車は、客貨とも総括制御の電車方式とし、特に旅客列車はすべて電動車のみの編成とした。

列車を機関車けん引方式にするか、新幹線のように電車方式にするかは、議論の分れるところでまだ定説化はされていないが、東海道新幹線に電車方式を採用した理由としては、列車全体に動力が分散され、軸重が均等化して軽くなるので、軌道や構造物の規格を大きくしないですむこと、高速からのブレーキは電気ブレーキが合理的であるが、このためには各軸に電動機を持った電車列車が好都合であること、電車列車のけん引力は主電動機の温度上昇のみに支配されるので、距離が短ければ急勾配を許しうること、けん引力が各車両に分散されているので、車体および引張装置の必要強度が少なくてすむこと、二両よりなる各ユニットに等しく電動機を持っているので、輸送の要求に合致した連結両数の列車が仕立てられること、折返し運転が簡単で始末端駅の設備や作業が簡素化されること、動力を分散しているので一部車両に故障があっても運転を続行することができることなどがあげられる。しかしながら、この半面動力消費は、電車方式の場合、機関車けん引に比し 2 倍近くを要することとなり、他方、車両費もはるかに高くなるのである。鉄道営業費中、動力費の占める割合は 8% 弱に過ぎないので問題がないといえないこともないが、電車方式によるか機関車けん引によるかは、全体の要因を総合的に考えて決定すべき重要な問題であると思われる。

路線選定の経過についてのべると、まず駅をどこに設けるかということが第一である。東海道新幹線は、単に東京～大阪を結ぶだけではなく、将来東は札幌、西は博多ぐらゐまでは伸びることを考えておかなければならない。したがって、始末端駅の東京～大阪は将来新幹線が伸長される場合の便と、現在線との連絡を考えて決めなければならない。

まず東京であるが、現在すでに交通の飽和点に達している都心部をさけ、副都心部に選ぶべきであるという議論と、将来の地下鉄網などの発展に期待し、現都心部に

選ぶべきであるという意見に分れたが、結局は用地取得の難易などによって、現東京駅に併設することとなった。大阪駅についても、東京駅と全く同じような検討が進められたが、東淀川地区は現在の大阪駅付近に比し、山陽方面への新幹線の延伸、工期、工費などの点できわめて有利であるため、同地区に新大阪駅を設置することとした。中間駅については、現在線の客貨をできるだけ多く吸収し、しかも新幹線運転の速度と時間の関係上、最小数の駅におさえるという主旨から、新横浜、小田原、熱海、静岡、浜松、豊橋、名古屋、岐阜羽島、米原、京都の 10 駅が設置されたのである。このようにして選定された 12 駅間を、建設基準にもとづき将来の防災、運転上の諸問題をも考え、しかも工事費が低廉になるように選定されたのが新幹線の路線である。

3. 主体土木関係工事について

(1) 路盤および構造物

東京～新大阪間 515 km、工事の実延長は 517 km 弱で、うち、切取盛土の延長約 280 km、橋梁約 59 km、高架橋約 119 km、トンネル約 69 km となっており、その盛土総量は 2 400 万 m^3 、切取り 544 万 m^3 、打設コンクリートの総量は 505 万 m^3 におよぶほう大な工事である。

用地取得の困難さのため、駅の間ではできるだけ人家の集まった村落をさけたため、各所で相当の軟弱地盤の箇所を通過することとなり、その対策になやまされた。

なかでも袋井付近、羽島付近、鳥飼付近などは盛土当初からの総沈下量 2 000 mm を越えた。これらの沈下は地盤の圧密によるもので漸次おちつき、現在、鳥飼付近で最大値 1 日 1 mm 程度におさまってきたが、なお安全を期するため 10 月 1 日の開業時は、上り線、下り線ともそれぞれ 10 カ所程度の速度制限を行なっている。地盤沈下のはなはだしい箇所は、施工に際し路盤置換、サンドドレーン、あるいは盛土の両側に沈下防止の盛土をするなどの処置を講じ、相当の効果があつたものと思われるが、地盤の不良箇所は、むしろ、高架橋にあらためたほうが良かったのではないかと思われる。新幹線の盛土高さは 6 \sim 7 m 程度で、一率にのり勾配 1 割 5 分をとっているが、盛土の高さに応じてのり勾配を緩和すべきであった。新幹線の盛土は、工期の関係で急速に行なわれたため、のり面防護の芝の成長するいとまがなく、雨裂その他によるのり面の崩壊になやまされた。適正な芝の種子の植付け、張ブロック、コンクリート格子わくなど種々な対策が施こされている。橋台と盛土との境界は路盤の沈下が不連続で弱点をなすので、橋台背面 45 $^\circ$ に切込み砂利を入れ、十分締め固める設計をしたが、切込み

砂利そのものの空げきが多く、十分な効果があがらなかった。将来は空げきの少ないものを十分入れて、切込砂利を締め固めることがのぞましい。橋梁、高架橋などの構造物については、標準化、単純化、外観などの諸要素を考えて設計した。構造物の活荷重は前述のように KS-13 程度で比較的小さいのに対し、運転速度が高いため、遠心荷重、横荷重などは現在線の約 2 倍にもなり、また、橋桁の許容たわみを小さく採ったので、構造物は鉛直、水平とも剛性が大きくなっている。全線延長の約 20 %にもおよぶ高架橋については、経済性を根本として高架下の利用、道路などとの交差を考え、3 m の片持ばりを持つ 6 m×3 鉄筋コンクリート ラーメンが標準となっている。また、温度変化や乾燥収縮の影響の少ない、壁状の柱と、連続桁を組み合わせたいわゆる壁式高架橋も各所に設けられた。最近、応力解析の進歩と、材料の品質向上のため、かつては見られなかったスレンダーな構造物が至るところに見られるようになったが、これはあくまでも完全な施工を前提とするものであって、設計者は常に施工者が果たして自己の設計をいかし得るかに、従来以上に留意しなければならないものと思われる。

路盤を盛土にするか、高架橋にするかは、道路、その他との交差、地質、状況などが許せば、工費の少ない盛土によることを原則としたが、用地取得の困難さや、設計協議の結果、高架橋にせざるを得なかったところもある。施工の結果からいうと路盤地質に問題のあるところは、保守などを考えると高架式がよく、また、地価坪当たり 10 万円を越すようなところは、工費の上からも高架橋がまさっている。

盛土ののりすそは、線路立入防止、用地の節約、水に対する防護などを考え、原則的に高さ 2 m 強のコンクリート壁で巻くことがのぞましい。

(2) トンネル

新幹線のトンネルは 67 カ所もあり、総延長 69 km にもおよんでいる。延長 2 km 以上の長大トンネルを拾って見ても、新丹那以下 12 カ所が数えられる。新幹線最長の新丹那は延長約 8 km で、現東海道線の丹那トンネルに並行掘削されたもので、現在線丹那トンネルが 16 年間の日子を費して悪戦苦闘のすえできあがったのに比し、新丹那は、約 4 年間の日子で、さしたる事故もなく仕上げる事ができた。これは現丹那以後のわが国トンネル技術の進歩を如実に物語るものであるが、新丹那に先行して掘られた北陸トンネル、さらにさかのぼって峯トンネルなどの研究や経験に負うことを忘れてはならない。新幹線トンネル工事で特に記すべきことは、従来の木製支保工に代えるに、軌条、あるいは H 型鋼などの鋼製支保工を使い、工事の安全性をいちじるしくたかめた

こと、および坑口を地山より若干突出さして落石などに対する防災処置を講じたことである。工費、工期などの関係で意に委せなかったが、少なくとも坑口付近の覆工、背面にもいっそう注入を施し、地震時などの安全をはかるべきだったと考えられる。

(3) 停車場

新幹線 12 駅のうち、新横浜、岐阜羽島、新大阪の 3 駅以外の駅はすべて東海道本線の現在駅に併設されている。各駅のほとんどが繁華な市街地にあるので、駅の前後に大きな曲線を使うことができないところもあったが、通過列車に大きな速度制限を与えない程度の曲線を使用した。すべての列車の停車する駅は 2 本の島式ホームの両側で旅客を扱い、超特急列車の停車しない駅では 2 本の相対式ホームにより、停車列車のみを扱うこととした。

(4) 軌道

新幹線の軌道構造については、毎時 200 km のごとき高速運転に対する保守の経験がなかったので、通過トン数、列車速度、車両のバネ常数などに支配される破壊外力と、道床圧力、道床加速度、衝撃係数などに支配される破壊量の理論的研究と、軌道構造の試作試験の結果、レール、レール締結装置、まくらぎなどを適切に設計すれば、従来からの有道床軌道構造で十分保守できるとの確信を得たので、そのうち最も経済的な軌道構造を選んだ。すなわち、50 T レールに、PC まくらぎ、ゴムパットとスプリングクリップによる二重弾性締結、まくらぎ下最小 300 mm の砕石道床ということに落ち着いたのである。

レールは AAR が研究した 115 ポンドの RE 断面に近似し、1 m 当り 53.3 kg で、重量のわりに縦方向の剛性が大きく、上道、下首部の半径が大きくて、いわゆるヘッドフリー型である。化学成分は、マンガンの含有がやや多いこと以外は従来のもものと変わりがない。曲線半径 1000 m 以上の高速運転区間は、すべてロングレールで、信号用軌道回路の絶縁をするため、その長さは 1.5 km とした。レール溶接の口数は全線で 9 万に近く、フラッシュパット、高周波圧接、ガス圧接、テルミット、エンクロズドアークの 5 種類の溶接を行なっている。溶接部の信頼性を確認するため、まず全数の超音波探傷を行ない、その結果の疑わしいものはさらにコバルト 60 透過によって信頼性を確かめた。テルミット溶接は、工期、施工時の天候などの関係もあったと思われるが、成績がいがいして良好でなく、溶接部用仮継目板などで安全を期している箇所もある。新幹線軌道の設計では、伸縮継目の構造や、クロッシングの弾性可動ノーズの開発などがあげられるが、特筆すべきものとしては、高速軌道検

測車の開発がある。この車両は総重量 68 t のボギー車で、旅客列車の後部に連結し、東京～大阪間 515 km の軌道の軌間、水準、通り、高低、ねじれなどの軌道狂いならびにこれらの時間的変化をわずか数時間で測定することができ大いに威力を発揮している。列車の高速運転時の安全や乗心地のため、軌道狂いの整備限度をいかにおさえるかは、保守とも関連し重要な問題であるが、種々研究の結果、水平方向 10 m につき通り狂い 3 mm、同じく 10 m につき垂直方向高低狂い 7 mm を整備目標としている。

4. 車両、電気、信号保安

(1) 車 両

列車の高速性能を発揮するために、もっとも苦心した部分は走行装置のボギー台車である。車両が高速となると、軌条と車輪の関係運動として台車の蛇行動が生じやすくなり、列車走行の安全性、乗心地をおびやかすこととなる。そこで、蛇行動防止の研究が技術研究所の新しく設置された台車試験装置によって行なわれ、供試台車を毎時 250 km 相当の速度まで回転駆動して研究が進められた。その結果 2 軸ボギー台車で、まくらバネに特殊ダイヤフラム式の空気バネを用い、振動吸収と、横剛性による横方向の復元力を持った高速台車が生まれた。モーターの軸と車軸は平行ないわゆる平行カルダン式で車輪は一体圧延構造とし、輪心の内外にはデスクブレーキを取付けた。この台車は、こだまなどの台車を基調にして生れた、高速度用の近代設計が加えられた国鉄独特の台車である。

(2) 電 気 関 係

一列車当たり 1 万 kW 近くの大きな電力を必要とするので 1500 V 直流によらず、国際標準規格の商用周波数 60 の単相交流 25000 V 方式を採用したことはすでに述べた。単相による電源の不均衡に対しては、スコット変圧器、交流による沿線の通信線に対する誘導障害防止には地中ケーブル使用、負き電線、吸上変圧器などが使用

されている。変電所間隔は 20 km を基準とし、上下線別異相き電方式をとった。電力関係で最も苦心した点はいかにして高速運転時、架空トロリー線とパンタグラフの離線率を低めて完全な集電を可能にするかという点で、各種の研究試験の結果、合成素子ダンパーを有するコンパウンド架線が採用された。これにより集電は満足すべき結果が得られたが、パンタグラフの不具合がときどき起こり、目下対策を研究中である。

(3) 信号保安など

高速運転の安全を確保するため、自動列車制御、列車集中制御を行なっていることはすでに述べたが、これらはいずれも最近発達した電子技術に負うものである。自動列車制御は、約 3 km 程度に分割された軌道回路を使い、1000 \sim に列車の許容速度別で異なる変調周波、たとえば毎時 210 km は 10 \sim 、160 km は 15 \sim 、30 km は 36 \sim のごときを乗せて軌道回路に流し、車上でこれを受けて車内に許容速度を現示し、速度がこれより高いときは、現示信号と連動したブレーキが自動的に速度を下げる。地上設備はある軌道回路から、たとえば 30 km 信号を受信すると、後方の軌道回路に 160 km 信号を発信し、160 km を受信すれば、後方に 210 km 信号を発信する構造である。

列車集中制御は、全線の列車位置および列車番号、信号の現示、装置の故障の有無などの情報を東京の中央司令部に現示し、司令員はこの現示にもとづき、列車の運行を遠方から集中制御する装置である。これらの装置は若干鋭敏に過ぎて、わずかの不具合で列車を止めるなどの事故を起こしているが漸次落付いて行くものと思われる。

以上、きわめて概括的に東海道新幹線についてのべたのであるが、新幹線の計画、施工に従事した技術陣は、東海道新幹線そのものの成果を十二分に熟知し、これ以上のものを作り得る力を蓄積しているものと思われるので、将来の新幹線の延長、あるいは現在線の改良などにおいてたくわえられた力を十分発揮し、さらに新機軸を開くことによって国民一般の負託にそい得ることを確信し、東海道新幹線の完成を心から喜んでいる次第である。
(1964.11.7・東京文化会館にて講演)

トンネル工学シリーズ 2

最近のトンネル工学——工事の実例と話題——

- 内 容：■トンネル標準示方書制定について／加納俊二■青函トンネルについて／粕谷逸男■国鉄新丹那トンネルについて／足立貞彦■羽田海底トンネルについて／岡沢 裕・仲田忠夫■富士川用水導水トンネル工事について／遠藤虎松・高山一郎■AN—FO 爆薬とその発破法／下村弥太郎■
- 体 裁：B 5 判 8 割横 2 段組 図・写真多数 116 ページ
- 定 価：一般；500 円 会員；400 円 送料；50 円