

新幹線構造物の設計

—鉄道構造物の近代化—

河野通之*

東海道新幹線増設工事は、全線にわたって着工を終っている。よいよ工事の最盛期をむかえ、モデル線における試運転も10月末より200km/hの高速試験に入っている。

新幹線の計画、工事の概要、建設基準などについては、すでに本誌にも紹介されているが、ここに土木構造物の設計基準、実際の設計、ならびにそれに関連した問題点などについて、その概要を述べる。

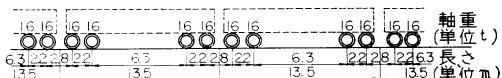
新幹線の構造物の設計に関して現在線と異なるところは、主として列車の形式を旅客、貨物とも電車としたこと、その運転速度がきわめて高いことにある。

列車の形式は、輸送方式、車両および施設の経済性に關係する基本的事項であるため、種々検討し審議がくり返された。当初想定された電気けん引貨物列車、貨物電車および旅客電車（普通電車および関節車）について、予想された実重量に近い仮想荷重N-I、N-IIおよびN-III（PおよびS）の橋梁に対する垂直荷重の静的影響をKS相当値で表わすと図-1のようである。とりあえず橋梁の設計荷重としては、(1)スパン10m以上はKS15相当値、(2)スパン10m未満は特殊荷重を考える、(3)旅客電車に対する特殊荷重体系を考慮する、とされたが、さらに審議を重ねた結果、貨物電車および関節車をやめ、KS荷重ではなく電車荷重に対する新たな荷重体系を採用し、建設基準においては橋梁負担力について、つぎのとおり決定された。

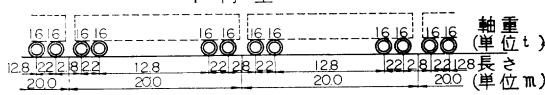
橋梁は図-2に示す標準活荷重（N荷重およびP荷

図-1

N荷重



P荷重



* 正員 国鉄新幹線総局作業局土木部設計課長兼構造物設計事務所次長

重）に耐えるものでなければならない。ただし、旅客専用線に使用する橋梁に対してはP荷重のみによることが可能である。

この荷重をKS相当値で示すと図-1のNおよびPの太線のようになる。

N荷重およびP荷重はそれぞれ貨物電車および旅客電車の軸重および軸配置を考えて定めたもので、垂直荷重については、一般に貨物電車（N荷重）のみを考えればよいが、高速運転のため旅客電車に対する車両の走行安全度、旅客の乗心地などから、橋台、橋脚部などにおけるレール面の折れ角を制限しなければならない。また遠心力は旅客電車の方が大きくなる場合が多い。したがって、遠心力および橋梁のたわみ度についてはN荷重のほかにP荷重についても検討しなければならない。

電車荷重としたため、機関車荷重を対象としている現在線に比し、載荷回数がいちじるしく多いので、荷重のくり返しによる影響を考慮して、現行の設計示方書に定められている許容応力を修正を考える必要がある。しかし、許容応力を一様に低下することは、活荷重に対してのみでなく、死荷重に対しても許容応力を低下することになって不合理であり、また設計にあたって構造物および部材によって許容応力をいちいち変えることは、事実上きわめて繁雑となるとともに、許容応力をいくらにと

走行テスト中の車両

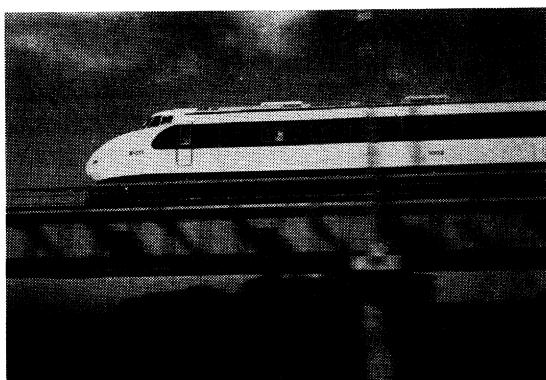
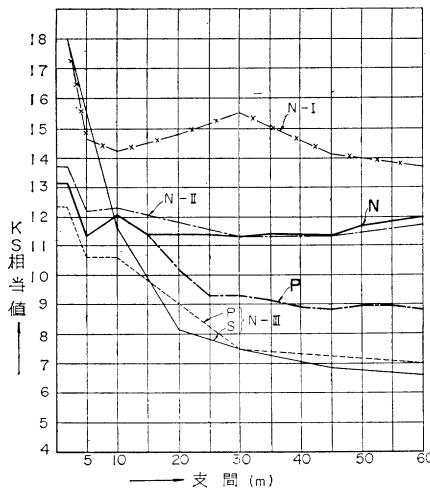


図-2 標準活荷重の橋梁に与える静的な影響概略比較図



った構造物であるか不明確となるおそれもあるので、これに対して便宜上、許容応力を現行通りとし、荷重を割増して設計計算を行なうことにし、設計基準においては、建設基準に定めた標準活荷重に荷重係数として 1.125 を乗じたものを設計活荷重として使用することとした。これは、車両設計上の目標軸重は最大 15 t とし、これに荷重のくり返しによる影響の割増しを 20% としたものである。車両は実車両の重量が 1 軸 16 t を超過せず、軸配置が橋梁に対しこれ以上大きな影響を与えないものでなければならないこととし、構造物設計上の軸重を 18 t として計算することとしたもので、この方法は、現行の示方書を変更することなく、現状では実際上適切な方法であると考えている。これを KS 値で示すとほぼ KS 13 に相当する（戦前の新幹線基準では KS 25 以上となっていた）。

活荷重の衝撃については、現行の衝撃係数は 90 km/h 程度までの実験資料にもとづき、外国の規定を参考にして定められたものであり、高速運転に対しては未知な点があり、高速において幾分増大することが考えられるが、車両および軌道構造の改善により衝撃力は現在より増加しないと考えられ、さらに現行の係数そのものも、実測結果と比較すると余裕があるとも考えられたので、高速のための衝撃の増加は考えず、現行の規定によることとした。衝撃については、新幹線について高速の影響とともに、根本的には現行の衝撃係数そのものについても、さらに実験的、理論的に解明されなければならない問題であろう。

曲線軌道を通過する車両に作用する遠心力は、

$$F_c = W \cdot \frac{V^2}{127 R}$$

ここに F_c ；遠心力 (kg), W ；車両重量 (kg), R ；

曲線半径 (m), V ；車両の走行速度 (km/h)

で表わされ、速度の 2 乗に比例して大きくなる。新幹線では列車の最高速度は貨物電車 (N 荷重) で 150 km/h、旅客電車 (P 荷重) で 250 km/h までを考えることにし（計画最高速度は貨物で 130 km/h、旅客で 200 km/h である）、またカントは実カント最大 200 mm、カント不足最大 100 mm とした（計画としてはそれぞれ最大 180 mm、および 60 mm としている）ので、遠心力は設計活荷重につきの係数を乗じたものとすることに定めた。

N 荷重に対し $R \leq 900$ m のとき 0.2

$R > 900$ m のとき $180/R$

P 荷重に対し $R \leq 2500$ m のとき 0.2

$R > 2500$ m のとき $500/R$

現在線の遠心荷重は、軸重の 0.12 が最大となっているので、この係数は現在線の約 2 倍近くになっている。

制動および始動荷重については、現行の規定では車輪の位置に働くものとしているが、新幹線の車両および軌道構造を考えて、ロングレールがその軌道方向に対して弾性的に支持されたものと仮定すると、制動および始動時、各車輪からレールを通して軸に伝わる荷重は、これを加えあわせると全体として等分布に近くなる。

制動荷重は車輪とレールとの粘着係数を 0.2 とし、始動荷重は始動加速度の最大値を考慮して、理論的計算の結果を簡単にしてつきのように定めた。

制動荷重 $3 + l(t)$

始動荷重 $l \leq 100$ m の場合 $2 + 0.6 l(t)$

ここに l は部材に最大の影響を与える列車長 (m)

砂利道床の場合も橋まくらぎの場合とほぼ同じ値となるので区別しないことにした。

横荷重については、車両の振動または台車の蛇行動による 1 軌道当りの横力は、既往の試験結果および理論的検討によって、つきのように考えられた。

振動による横力（常時発生する）

$R \geq 300$ m の場合 $P = 2.4(t)$

$R < 300$ m の場合

$$P = 2.4 \times \frac{R}{300}(t)$$

ここに R : 曲線半径 (m)

台車の蛇行動による横力（まれに発生する）

$R \geq 5000$ m の場合 $P_1 = 5(t)$, $P_2 = 0$

または $P_1 = P_2 = 3.5(t)$

$5000 > R \geq 2500$ m の場合

直線的に減少し 2500 m で 0 となる。

ここに R : 曲線半径 (m)

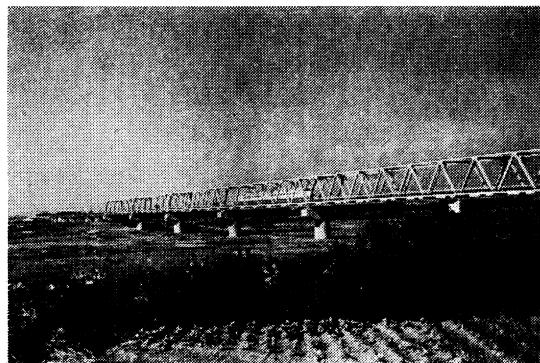
これらの横力を簡略化し、また列車に対する風荷重は等分布としているが、実際には車輪から集中荷重として

桁に働くことをも考えて、横荷重は 1 軌道当り 10 t の 1 つの集中荷重とした。なお曲線軌道では、遠心荷重と横荷重は同時に考えることとした（現行の規定では横荷重は 1 動輪軸重の 25% の集中移動荷重とし、曲線軌道を有する橋桁では、横荷重または遠心荷重のうちいずれか不利な影響を与えるものについて考えることにされている）。

橋梁は車両の荷重によってたわみを生じ、したがって車両は橋梁通過の際垂直方向の加速度を受ける。その量は車両の速度が大きいほど大きくなり、乗客の乗心地を害し、さらに車両の安全に影響するようになる。したがって新幹線の橋梁の設計に対して、この問題について、簡略化した基本的な場合について解析が行なわれた。橋桁は一般に橋台、橋脚上で折れ角を生じ、レールはその付近で上ぞりの円弧状になる。車両がそこを通過するとき、車両には上向きの力が働き、輪重はその瞬間減少し車体は上下に振動する。この場合のレール上そり部の長さおよび曲率半径（または折れ角）に対する輪重減少率ならびに車体振動加速度の関係から、この折れ角は乗心地上から 4.5/100 度におさえることとし、これから単純桁の場合についてのたわみは支間の 1/1 800 とした（現行の示方書では、プレートガーダーの活荷重によるたわみは、支間の 1/1 000 をこえないこととされている）。

新幹線の軌道は原則としてすべてロング レールとしているが、ロング レール中に橋梁がある場合には、橋桁およびレールの温度変化による伸縮が異なり、これらが締結装置によって相互に影響するため両者に軸力が加わり、したがって温度変化による応力がレール、桁およびその固定支承に縦荷重として作用することになる。

相模川橋梁全景



その大きさは主として締結装置の逼進抵抗力により異なり、逼進抵抗力はレールの破断、バックリング、破断時の開口量によってその範囲が制限され、また桁長、橋長およびレールの伸縮継目の位置により異なるが、予想

されるこれら線路の諸条件から使用される締結装置の逼進抵抗力の範囲を考えて、桁長および橋長に応じた摩擦抵抗によるロング レール縦荷重を定めた。また桁の支承の配置はこの影響をできるだけ軽減するように考慮することにした。すなわち、

橋長 60 m 未満の場合は締結装置の摩擦抵抗は 0 として設計し、ロング レール縦荷重は考えない。

桁長 60 m 未満で、橋長 60 m 以上の場合は固定または可動支承を同一橋脚上に集めた配置するのを原則とし、ロング レール縦荷重は 1 t/m、橋長 100 m 以上のとき 1.5 t/m とする。

桁長 60 m 以上の場合は、レールに伸縮継目を置くこととし、ロング レール縦荷重は 0.5 t/m とする。

このロング レール縦荷重は、現状で適當と考えられる条件のもとに理論的に導いた結果にもとづいたもので、今後実験により確かめなければならないと考えられる。

以上が新幹線の土木構造物設計の基準として定められた主要な事項であり、電車荷重を採用し活荷重は現在線に比し小さくなっているが、垂直荷重に比して水平荷重が大きく、また、たわみ、横剛度等の点で現在線とかなり条件が異なってくる。路盤についても高速運転に対する軌道の許容狂量と保守周期および保守方式との関係から、路盤沈下の許容量が制限される。

また線路選定上の問題として、新幹線は、主要駅で現在線と連絡して東京一大阪間ができるだけ短距離で結び、最小曲線半径は 2 500 m 以上を標準とし、しかも用地および補償費を少なくするよう線路を選定するため、地盤の不良箇所をも通過せざるを得ないので、軟弱地盤のところが多く、また、河川、道路などとの交差も斜角となる場合が多い。なお、踏切は全く設けず、河川、水路、鉄道、道路等耕作道にいたるまですべて立体交差としているが、比較的平地部を通過しているので、切取区間より盛土区間のところが多く、さらに経過地が人口密度の高い経済的に発達した地域であるので、橋梁その他の構造物、特に高架橋が非常に多くなっている。市街地においては、用地あるいは施工上の関係から、特殊の構造を採用しなければならない所も多い。

新幹線構造物の実際の設計にあたっては、近代的な構造物としての形態を考え、設計、施工の能率化を考慮して、できるだけ簡潔な単純な構造とし、かつ標準化するよう努めた。新幹線は、前述のように、橋梁、高架橋等の構造物がきわめて多く、したがって、その工費が全体の工事費に大きく影響するので、特に経済的な設計とするとともに、短期間に設計、施工するために、できる

だけ標準設計を現場に適用することが特に必要である。標準設計は適用範囲の広いものとし、また現地の各種の条件に応じて変更の容易であるように努めたが、実際に標準設計の利用できない場合も多く、特殊な構造とした所もかなり生じた。確実な構造とすること、および工期ならびに要員の関係から、新しい試験的な構造物は原則として採用しなかった。

大橋梁は 60 m 3 スパンの連続ワーレントラスを標準としたが、桁長最大のものは 70 m 3 スパンの連続トラスであり、鋼桁の最大のものは 45 m + 52 m + 52 m + 45 m の連続上路鋼桁である。これらの桁はすべて開床式としたが、橋まくらぎの取付けには、まくらぎ下の防食をも考慮した受金具を使用している。高速運転であるため、有道床中に短区間無道床桁を設けることは、車両振動および軌道保守の面から好ましくないので、短い橋梁はすべて有道床としたので、合成桁をかなり採用している。立体交差箇所は、桁高を制限される場合が多く、複線 3 主桁の鋼床版下路鋼桁を用いた所が多い。これら鋼桁はすべて溶接構造を原則とし、現場継手は鉄接としたが、一部に高張力ボルトを使用している。また剛性と経済性の関係から、支間の長い鋼桁は箱形桁とし、曲線軌道を有する上路鋼桁は原則として桁を傾斜してカントを桁底面でとることとした。支間 15 m 以下の桁は鉄筋コンクリート桁を主として用いたが、箱形断面とした鉄筋コンクリート桁を支間 15 m 以上にも用いている。桁高、保守、工費および施工上の関係から、P C 桁を用いた所も多い。P C 桁は一般に 35 m までとしたが、42 m 3 スパン連続桁とした所がある。

河川および道路、鉄道などと斜角で交差する所が多いが、これについてもなるべく直角桁を使用するよう努めたが、斜角に桁を使用する場合もかなり多く、特に斜角の小さい桁を使用しなければならない場合もあり、これに対して模型実験と P C 桁および鉄筋コンクリート桁に

ついて試験を行なって、反力の分担、荷重の分配、ねじり応力などについて、実験および理論的検討を行ない、十分安全な設計とするようにしている。

桁のシューとしては、桁の種類と支間とに応じ、合成ゴム、鋳鉄、鋳鋼を用いたが、フレシパット、ケルメット（またはオイレス）、コンクリートヒンジ、コンクリートロッカーなどについて、実験を行なうとともに内外の資料を参考として、一部にこれらを使用した。

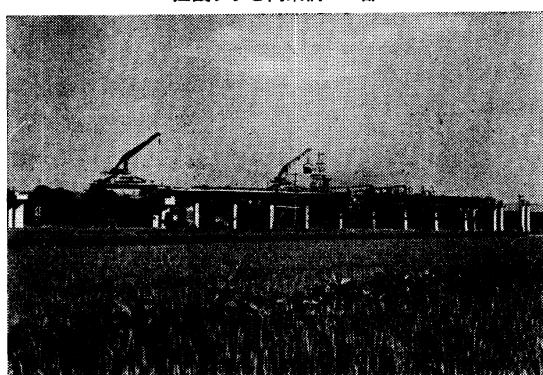
支間 10 m 以下の鉄筋コンクリート桁または I ピーム埋込桁には、橋台の安定を桁で取る考え方を用い、桁の両端をヒンジとした橋台を用いている。

橋台裏には、一般に地盤面から約 45° の範囲に裏込めとして切込み砂利を十分締固めることとし、橋台裏の排水を良くするとともに、橋台部における路盤の不連続性をなるべく少なくするように考慮しているが、特に橋台裏に補助の桁を設けた所もある。地盤の不良な箇所では、側径間を設け、その橋台を中間層で支持した埋込橋台とし、路盤を盛りこぼしすることにより、盛土部分と橋梁部分の沈下の相違を緩和し、大きな土圧に耐える橋台および翼壁を設ける必要がなく、経済的にも有利となる場合がある。一部には U 型橋台も用いている。

軟弱地盤のくい基礎については、くいの水平荷重試験を行なって設計をきめている。大きな水平力をうける基礎に斜ぐいを用いた所があるが、斜ぐいの群ぐいとしての試験を行ない検討している。

高架橋は、全線路延長の約 2 割におよぶので、特に経済的な設計とすることを検討し、地域、地形、地質、高さ、高架下の利用、交差との関係など各種の条件を考慮し、片持ばかりを有する 6 m 3 スパンの鉄筋コンクリートラーメン構造を標準としている。これは従来のラーメン高架橋に比し、はりと柱の剛比を大きくした設計としたが、これにより、経済的な設計を得ることができるとともに、適用範囲が広く、設計も単純化することができ

壁式ラーメンの一部



た。

連続ラーメン構造は、従来地盤の良好な所にのみ用いられ、不静定構造物は沈下の予想される所には不適当であり、特に剛性の大きい構造物は不等沈下により大きい不静定力を生じるので望ましくないとされていることが多いが、上部構造の水平剛性を十分大きくすることにより、不等沈下の量はきわめて小さくなる。ラーメン高架橋において、基礎を剛性の大きい地中ばかりで連結することにより、柱の固定度を増し、基礎の移動を防止するとともに、沈下を均等化し、不等沈下を少なくすることができる、全沈下量の大きくないう場合には、特に地盤状態の不整な場合を除いて、ラーメン高架橋の利用される場合はかなり多い。

高架橋として、縦方向の剛性の小さい壁状の柱と連続桁とを組合せた構造のものを一部に採用した。この構造は縦方向の荷重特に地震時の水平力をとるための大きなラーメンまたは箱形の橋脚を必要とし、現状では必ずしも経済的でないが、温度変化ならびに乾燥収縮の影響を少なくすることができ、形も簡潔で外観もすぐれた構造であり、なお設計の検討をすることにより、今後経済的にも採用し得る構造であろう。

用地の関係で現在線の直上高架とした区間には、施工および保守を考えて、鉄骨鉄筋コンクリート構造を利用したが、この種の構造については明確な設計の基準がないので、建築の基準および鋼橋の示方書等を参考として十分安全なように設計した。

駅建物として利用される停車場の高架橋において、鉄

新幹線高架橋の一部（吉原工事区）



骨ラーメン構造とし、柱を円形断面としたものについて、特に柱と柱の結合部の構造について検討した結果、遠心铸造钢管を使用した新しい仕口形式が採用されたが、試験結果によると、応力の流れが円滑で隅角部における応力集中も少なく、円形柱と箱形ばかりの仕口として、耐力も十分であり、工作も簡単で、好結果を得ることができることが確かめられた。

現場における工期を短縮するため、プレキャスト部材による組立式構造を利用する必要となると考えられたので、その構造について検討し、実験も行なうとともに、試験的に組立式の橋脚を施工した。

鉄筋コンクリート構造物の主要鉄筋は、原則として異形丸鋼を使用することにしたが、設計荷重に近い荷重のくり返し回数が特に多い場合の疲労について検討する必要を認め、異形丸鋼の素材、圧接材および鉄筋コンクリート桁としての疲労試験を行なった。その結果、疲労の点からは、鉄道橋のように大きな荷重のくり返し回数の多い構造物について、特に正負の応力を受ける場合に用いるためには、材質、製造方法、ふしの形状などについて改良することが望ましいと考えられた。最近斜めふしの異形丸鋼が使用されているが、従来の横ふしのものより、疲労強度の点ですぐれている。

P C 桁については、施工の良否、特にプレストレッシングの適正であるかどうかが、安全度に影響するところが大きいが、新幹線においては、短期間に多数の桁を各所で施工することとなると予想され、さらに、荷重条件が道路橋その他より酷いことを考え、設計は学会指針

より幾分安全側とし、特に引張側には、設計荷重によってある程度圧縮応力が残るような設計としている。なお、新幹線としては、鉄道橋をパーシャル プレストレスとすることについて、実験を行なって研究を進めている。

以上、新幹線の構造物の設計に関する基本的な事項、実際の設計、およびそれに関連した問題点ならびに特に検討した事項等のいくつかについて、その概要を述べたが、説明が不十分であり、要領を得ない報告となつたことを御詫びする。

(1962. 11. 29・受付)