

ラーメン高架橋の標準化

河 野 通 之※

松 本 嘉 司※※

1. ラーメン高架橋の経済性

ラーメン型式の高架橋は高次の不静定構造物であるので、従来は荷重、地盤の良否等に応じてその型式（スパン長、スパン割、高さ、部材の剛化、等）を定めて設計が行われているが、最近の鉄道路線建設に大幅に高架橋が使用されてきたので、高架橋の設計を標準化する必要が生じた。高架橋型式としてはRC桁、PC桁、鋼桁、合成桁、等と橋脚とによる単純な静定構造によるものと、RCラーメン高架橋、RCアーチ高架橋、等の不静定構造によるものとに大別される。またRCラーメン高架橋にも柱の剛性が異なる壁式連続はり構造とビームスラブ型式のラーメン構造とがあるが、ビームスラブ型式のラーメン構造が1)他の高架型式より経済的で、施工も容易であること、2)高架下の利用度が高いこと、等の理由から、一般によく用いられている。ラーメン高架橋の標準化を行うためには、次の3つの条件を満足する高架型式を定める必要がある。

- 1) 高架橋の経済性
- 2) 高架橋の高さ（基礎フーチングの上面よりスラブ上面までの距離で定義する）に対する適応性
- 3) 基礎地盤の状態に対する適応性

国鉄広軌新幹線用の電車荷重（図-1参照）に対してラーメン高架橋の経済性について研究し

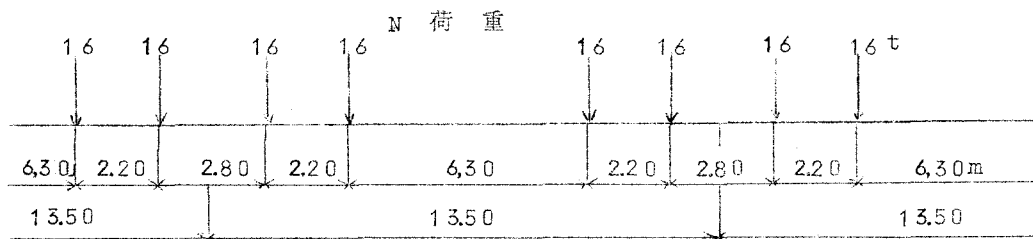


図 1

た結果、柱の剛度をはりの剛度より充分小さくした（はり柱の剛比が ≥ 3 以上）ビームスラブ型式のラーメン高架橋において、はり出し部材をもつてスパン長が約6mの2スパン～4スパン

※ 国鉄新幹線総局設計課

※※

ンの連続ラーメン高架橋（全長20～30m）が経済的であることが認められた。従来のラーメン高架橋は上記のはりと柱との剛比が1～2程度のもが多く、このため、部材断面をきめる荷重の組合せが複雑であり、また、柱の剛度が大きいため常時荷重によつて基礎フーチングに可成りの水平反力が作用することになり、これによる基礎フーチングの水平変位に対してラーメン部材を検討する必要があつた。柱の断面を小さくし、はりの剛度を高めることは

- 1) 柱に作用する温度応力を軽減する。
- 2) 柱は両端固定状態に近づき、このため柱の設計曲げモーメントを小さくする。
- 3) フーチングに作用する設計曲げモーメントが小さくなる。このため基礎工が簡単になる。
- 4) 常時荷重による水平不静定反力が減少するので、一般に基礎フーチングの水平変位に対する検討を要しない。

等の利点がある。このはり柱との剛比の高い型式のラーメン高架橋は構造自体が経済的であると共に、高架橋の設計を単純化し、設計の標準化を容易にすることができる。即ち死荷重および活荷重によつてはりに生ずる曲げモーメントは上記の構造においては、柱に殆んど伝達されない。従つて、はりおよびスラブは死荷重および活荷重の組合せで設計することができる。また、柱は両端固定柱に近い状態になるので、この設計荷重は主として地震荷重または横荷重（縦荷重）となり、上記構造（はりおよびスラブ）と下部構造（柱およびフーチング）とを分解して設計することが可能になる。このような上部構造と下部構造の設計の単純化のため、スラブおよびはりの設計と高さの異なる数種の柱および基礎フーチングの設計とを別個に行い、これを組合せることによつて、複雑なラーメン高架橋を構成させることができ、高架橋の高さに対する適応性を与えることができた。

2. 国鉄新幹線用標準ラーメン高架橋

前節の結論に基づいて、国鉄広軌新幹線用標準ラーメン高架橋は前節でのべた形式のラーメン構造とし、上部構造と下部構造とを分離させて設計を行つている。上部構造は直線型（軌道の曲線半径5000m以上）と曲線型（軌道の曲線半径1500m～5000m未満）の2種類とし活荷重および死荷重で断面および配筋が定められており、スパン（スパン長は6m）が2スパン～4スパンまではほぼ同一設計を適用する（図-2,3,5）。曲線型は直線型より配筋が約20%増である。柱の剛性を小さくしたため、上部構造の許容水平変位量を定め、これによつて柱の断面を定め、配筋は地震荷重（設計震度0.2）と温度変化（乾燥収縮を含む）の組合で定めている。この場合温度変化の影響は地震荷重の15%程度にすぎない。上部構造の許容水平変位量はコンクリートの弾性係数を $300,000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ として計算した場合には次のように定めている。

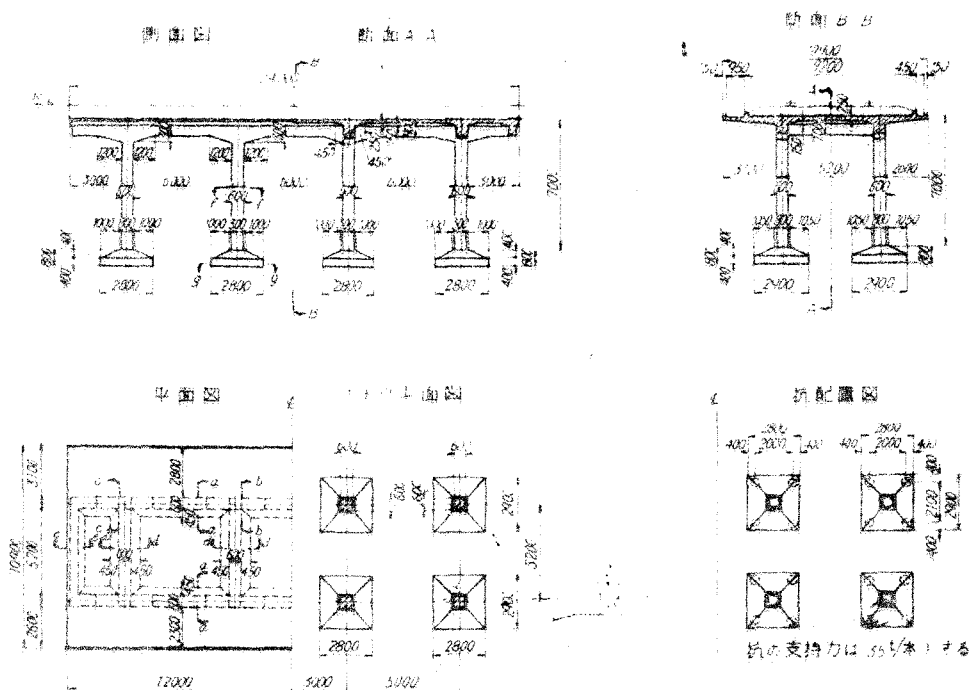


図-2

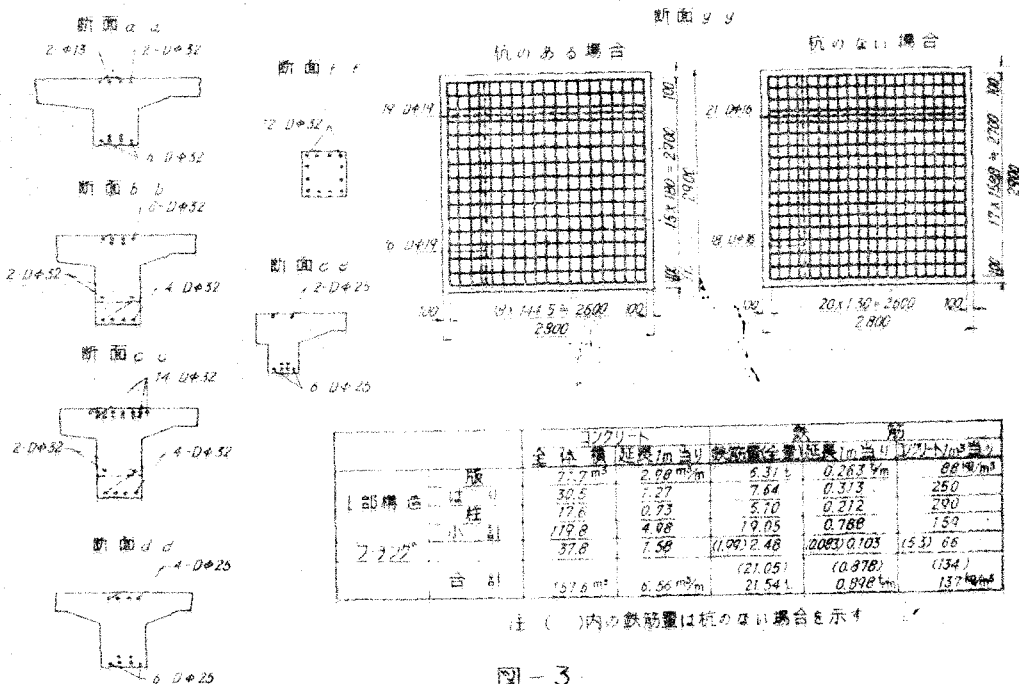


図-3

- 1) 常時水平荷重（遠心荷重、等）に対しては $\frac{1}{4}cm$ 以下
- 2) 一時水平荷重（横荷重、制動荷重、等）に対しては $\frac{1}{2}cm$ 以下
- 3) 地震荷重（設計震度 0.2）に対しては $1cm$ 以下

上記の規準によつて柱の断面を定めると、高架橋の高さが高くなるに従つて柱の断面が大きくなるので、高さ 10m 以上には柱の中間につなぎばりを配置する。柱およびフーチングの標準設計は、高架橋の高さ 7m、8.5m、10m、12m、14m について設計し、この中間の場合は高い場合の断面を用いることによつて、実際の適用を簡単にすることができる。（図-2.3.5 参照）。

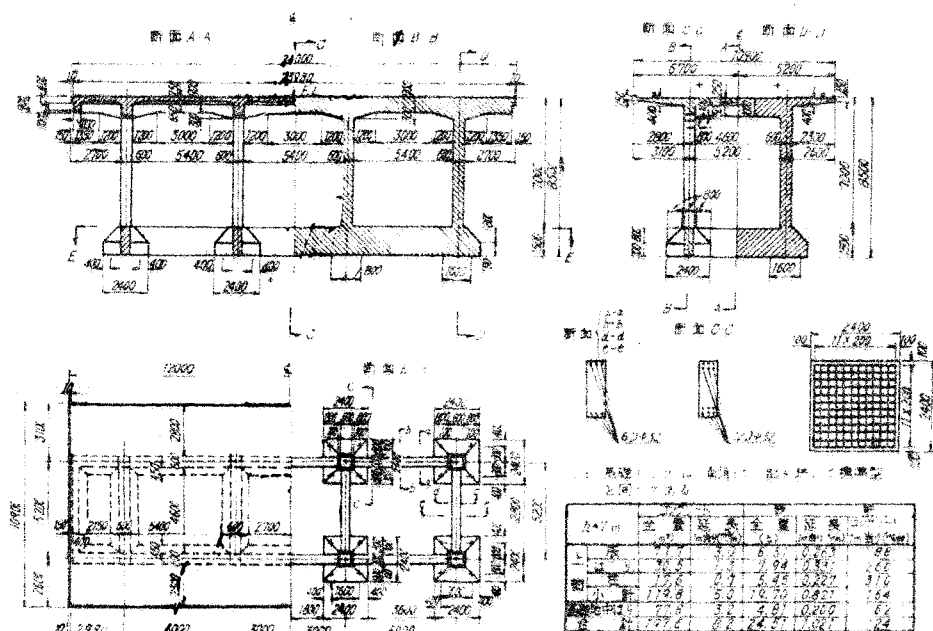
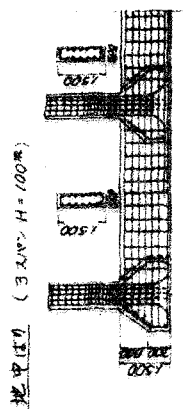
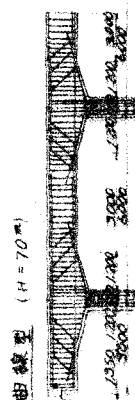
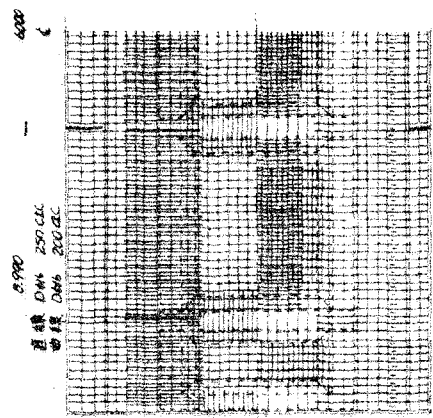
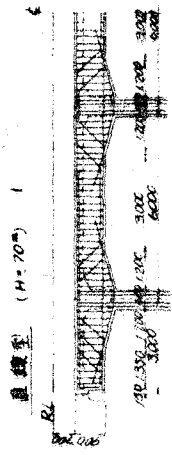
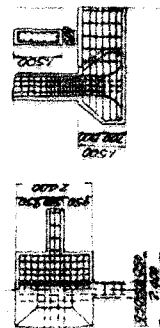
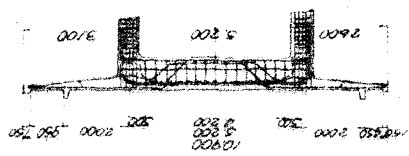
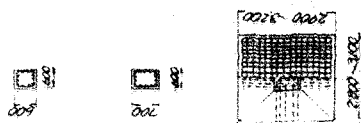
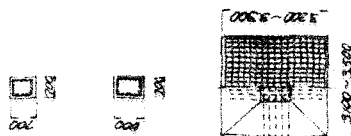
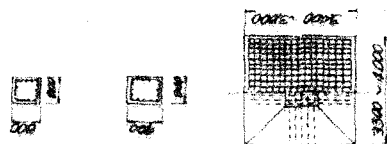
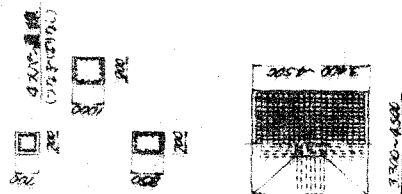
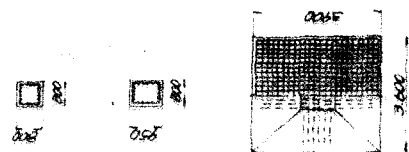


図-4

表-1はこの標準ラーメン高架橋の基礎フーチングを含めた材料を示したもので $1.2 \text{ 万円}/\text{m}^2$ ~ $1.5 \text{ 万円}/\text{m}^2$ 程度になつている。



(表 1)

標準ラーメン高架橋材料比較(基礎フーチングを含む)

適用の範囲	高架橋延長 1 m 当りのコンクリート量	高架橋 1 m ² 当りのコンクリート量	コンクリート 1 m ³ 当りの鉄筋量	直線型の柱の寸法
5.5 m < 高さ ≤ 7 m	6.6 m ³ /m	0.6 m ³ /m ²	140 Kg/m ³	60 × 60
7 m < 高さ ≤ 8.5	7.7	0.7	140	70 × 70
8.5 < 高さ ≤ 10	8.7	0.8	130	80 × 80
10 < 高さ ≤ 12	9.7	0.9	145	70 × 70
12 < 高さ ≤ 14	11.3	1.05	150	80 × 80

3. 軟弱地盤に対するラーメン高架橋の適応性

ラーメン高架橋は、従来は地盤の良好の所に用いてきたが、ラーメン高架橋の標準化を行う場合には、その地盤に対する適用範囲を明らかにする必要がある。更に、所謂軟弱地盤においても、ラーメン高架橋が他の型式より経済であり、全体としての安定性がよいため、軟弱地盤の性格を確めた上で、その適応性について検討を行っている。軟弱地盤における基礎フーチングは一般に杭基礎によつて支持層に荷重を伝達している場合が大部分で、軟弱地盤の高架橋として問題になるのは、主として次の事項である。

1. 基礎フーチングの常時荷重による水平抵抗性
2. 基礎フーチングの不等沈下による高架橋の抵抗性
3. 軟弱地盤における高架橋の耐震性

高架橋に作用する水平荷重は主として活荷重に伴つて生ずるもので新幹線の標準ラーメン高架橋のようにはり出ばりをもつラーメン構造においては、常時に持続的に作用しているものでない。従つて、基礎フーチングに期待する水平抵抗抗力は、活荷重による常時水平荷重(遠心荷重)に対しては1柱当り4 t、一時水平荷重(横荷重、縦荷重)に対しては1柱当り8 t程度の、比較的小さい値であるので、普通地盤では特別の考慮を必要としない。地盤上層が相当軟弱である場合は、基礎フーチングを地中ばりで連結することによつて、基礎フーチングの独立な運動を抑制し、水平抵抗性を増加させることができる。現在までに行つてフーチングの試験の結果より基礎工に対して、次の様な結論を得ている。

- 1) 地盤上層の地層が不良の場合は基礎フーチングを地中ばりで連結する(図-4.5参照)。
- 2) 地盤上層の地層が特に不良の場合は基礎フーチングを地中ばりで連結し、上層の不良土

を切込砂利で置換えるか、増杭するか、斜杭を用いる。

施工を完了した高架橋の基礎の水平載荷試験の結果より見ると、地盤上層のK値が約 $0.5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$ 程度の所で、基礎フーチングを地中ばりで連結し、増杭または斜杭を用いた場合の基礎フーチングの移動量は、活荷重による常時水平荷重に対して $\frac{1}{2}$ mm、活荷重による一時水平荷重に対して 1 mm 程度以下になつている（三島地区および米原地区での実測による）。

軟弱地盤における高架橋のオ2の問題点は、その沈下が構造物に及ぼす影響である。軟弱地帯の積層の状態は一般に類似しており、杭の支持層の下に更に圧密層があることが多く、また、上層の軟弱層の圧密沈下によつて杭に作用するネガティブリクシヨンの影響もあつて、基礎フーチングの沈下の推定量は数cm²～数10 cm²に及ぶ場合がある。この沈下が生ずる際、基礎フーチングが不等沈下すれば、構造物に影響を及ぼすが、これに対して検討した結果、次の処置によつてこの危険度を軽減させることができる。

- 1) 高架橋を軽くすること
- 2) 杭に作用する荷重を均等にする
- 3) 高架橋の水平方向の剛性を高めること。

従つて相当な沈下が予想される場合には、基礎フーチングを剛性の大きい地中ばりで連結した連続ラーメン構造を用いれば高架橋の水平方向の剛性を著しく高くすることができるので、沈下を均等化し、相当の沈下に対しても耐えることができるものとなる。

以上より、基礎フーチングを地中ばりで連結することにより、高架橋の水平抵抗性と不等沈下に対する抵抗性を増加させることが認められるが、これによる高架橋の単位面積または単位長さ当りの材料および工費の増加はそれぞれ $0.15 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$ ($0.2 \frac{\text{万円}}{\text{m}^2}$) および $1.6 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$ ($2 \frac{\text{万円}}{\text{m}}$) 程度にすぎない（図-4,5参照）。

高架橋の耐震性については、構造物の振動性状、強震の記録等が明らかでないので、明解な解析は困難である。標準ラーメン高架橋の柱の鉄筋量および基礎フーチングの大きさは静的な水平震度法（0.2）による地震荷重によつて定めているが、実際の構造物は地盤および構造物の剛性によつてその耐震性に差異があるものと推定されている。現在までに完成したラーメン高架橋について振動試験を行つて、その耐震性に対して検討中であり、これによれば固有振動数は地盤がよいときは実測値と計算値とほぼ一致し、地盤が悪いときは計算値より実測値は小さくなつてゐる。また、減衰係数は地盤が悪いと大きくなつてくる（0.02～0.05）。固有振動数の実測値は柱の剛度によつて異なるが、 $2.8 \frac{\text{〃}}{\text{s}} \sim 3.8 \frac{\text{〃}}{\text{s}}$ 程度である。これらは従来経適的に設計された構造物において得た数値にほぼ等しいものであり、地震時における振動は考慮しておく必要がある。

従来の震害の例から見ると、コンクリートは伸び能力が小さいために地震時の振動変形に追従できず、柱の上部のコンクリートが剝脱して鉄筋が露出し、これが挫屈して破壊に到つた例が多い。これを考えて柱の上下端の約1 mの部分の帯鉄筋の間隔をきわめて密にし（約10φ）、この部分の被りのコンクリートが落ちたのちの鉄筋の挫屈を防止している。

以上、ラーメン高架橋について標準化の方法を示したが、これは主として柱の剛性を小さくすることによつて得たものであり、そのために、新しい問題点が生じたわけである。現在、なお色々の角度から検討を進めているが、今の所否定的な結果は得られていない。また、高架区間における立体交叉に伴う長スパンのラーメン高架橋の設計の標準化についても、同じような考え方を適用することができる。国鉄新幹線荷重に対する異スパンラーメン高架橋の標準設計に対してもこの考え方を適用しており、現在中央スパンが8 m、10 m、12 m、15 m、17.5 m、20 m、25 m、30 m のものの設計が行われている。