

名神高速道路 PC 橋の計画と設計について (第 2 報)

日本道路公団
名神高速道路部第二課

第 2 編 採用した新形式 PC 橋の説明

ここに示す橋梁は、一形式を決めるとき少なくとも二形式以上の比較設計を行ない、その構造的、審美的、経済的あらゆる要素について検討し、その施行上の問題までふくめて最も合理的であるという結論を得たものである。

ゆえに PC 構造物としての橋梁本体はもちろん、高欄、伸縮継手から基礎杭に到るまで関係者一同確信を持っており、新しい形式の PC 橋梁として広く問題を提起しようと考えている。しかしここに発表してさらに広い範囲の橋梁技術者の御意見、御批判を受け—その発展をしたいと考えている。

Over Bridge Type 1

1. 設計要旨

本橋形式は名神高速道路跨高速道路橋の代表的形式で

最も多く設計されたものである。設計条件その他は 図-1 を参照することにし、ここでは、その主要点について述べることにする。

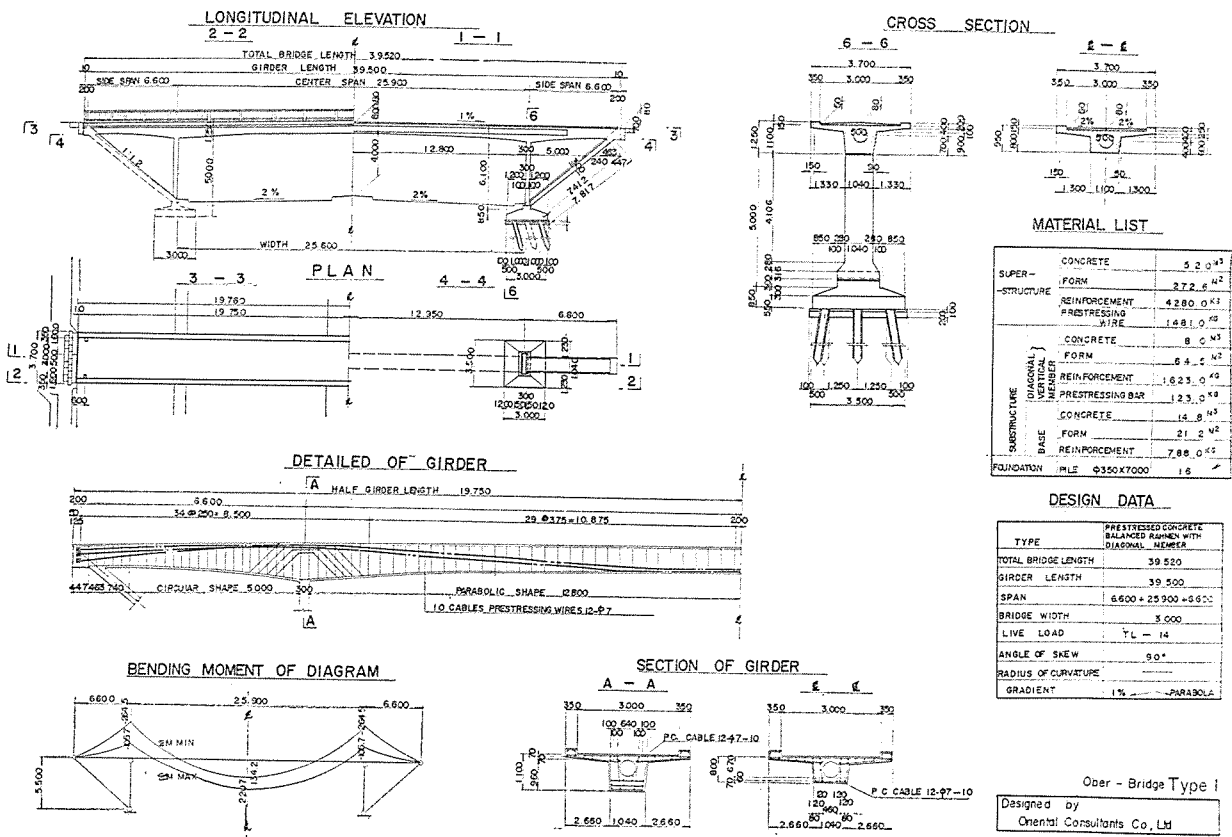
Over Bridge という性質から美観を重視してその外形を決定したもので、主桁はフレッシュネー方式による PC 桁とし、斜材は PC 鋼棒によって引張力をとり、鉛直材は、鉄筋コンクリート造とした。構造は、主桁、斜材、鉛直材をおのおののヒンジによって結合されたラーメン構造とし、主桁のプレストレス導入によって生ずる 2 次反力を調整できるよう、主桁と斜材の間に調節区間を設けた。

2. 構造設計

ラーメン支点に生ずる水平反力を不静定力に選び、斜材、鉛直材の弾性変形を考慮して次の式によって求めた。

$$H = \frac{\int_0^{l_2} \frac{M_0}{I} y dx - \frac{h}{l_1} \int_a^{l_1} \frac{x(x-d)}{I} dx - \frac{h \cos \alpha}{B_a \sin \alpha}}{\int_0^{l_2} \frac{(y^2 + r^2)}{I} dx + \frac{2h \cos \alpha}{l_1 \sin \alpha} \int_0^{l_1} \frac{x^2}{I} dx + \frac{2h}{\sin^2 \alpha} \left(\frac{1}{A_a \cos \alpha} + \frac{\cos^2 \alpha}{B_a} \right)}$$

図-1 Over Bridge Type 1



主桁の PC 鋼線配置は、コンコーダント ケーブルでないため、プレストレス導入による 2 次反力が生ずる。その値は、死荷重反力 $H_d=11.2t$ に対し $H_p'=-4.8t$ となり、43%の割合を示す。2 次反力の生じないケーブル配置または 2 次反力に抵抗できる PC 力を選ぶとすれば、現設計の PC 力の 25% 増しとなる。したがってこの設計では 2 次反力の調整が可能になるよう、主桁と斜材の間を一時的に構造上きり離し、主桁のプレストレス導入後、その位置で 2 次反力を調整し、 H_d と同じ水平反力となるように設計した。このようにするとクリープによる 2 次反力の移動はなくなる。しかし、主桁のクリープによる軸方向縮みによって、2 次反力を生じ、 $H_p=1.3t$ となった。この値は主桁中央断面総応力度の 3% 程度であるため、全体的には大して影響はなかった。

3. 本橋の特性と問題点

プレストレス導入によるコンクリートの弾性変形をもたらす不静定 2 次反力の調整 (除去) を行なうため、PC 鋼材は比較的少なくなり、かつクリープによる 2 次反力の移動という点を設計計算から除外できるところに本橋設計上の特性を持っている。しかし、施工上は比較的

多くの手間を要するのと、一応べつべつにプレストレスされた PC 材を組み合わせることになるため、その後、クリープによって、反力移動が生じる。この点、今後の研究の余地がある。

Over Bridge Type 2

1. 設計要旨

Over Bridge Type 1 と同形式であるが、鉛直材を傾斜させたところにこの橋の特徴がある。設計条件その他は、図-2 を参照されたい。

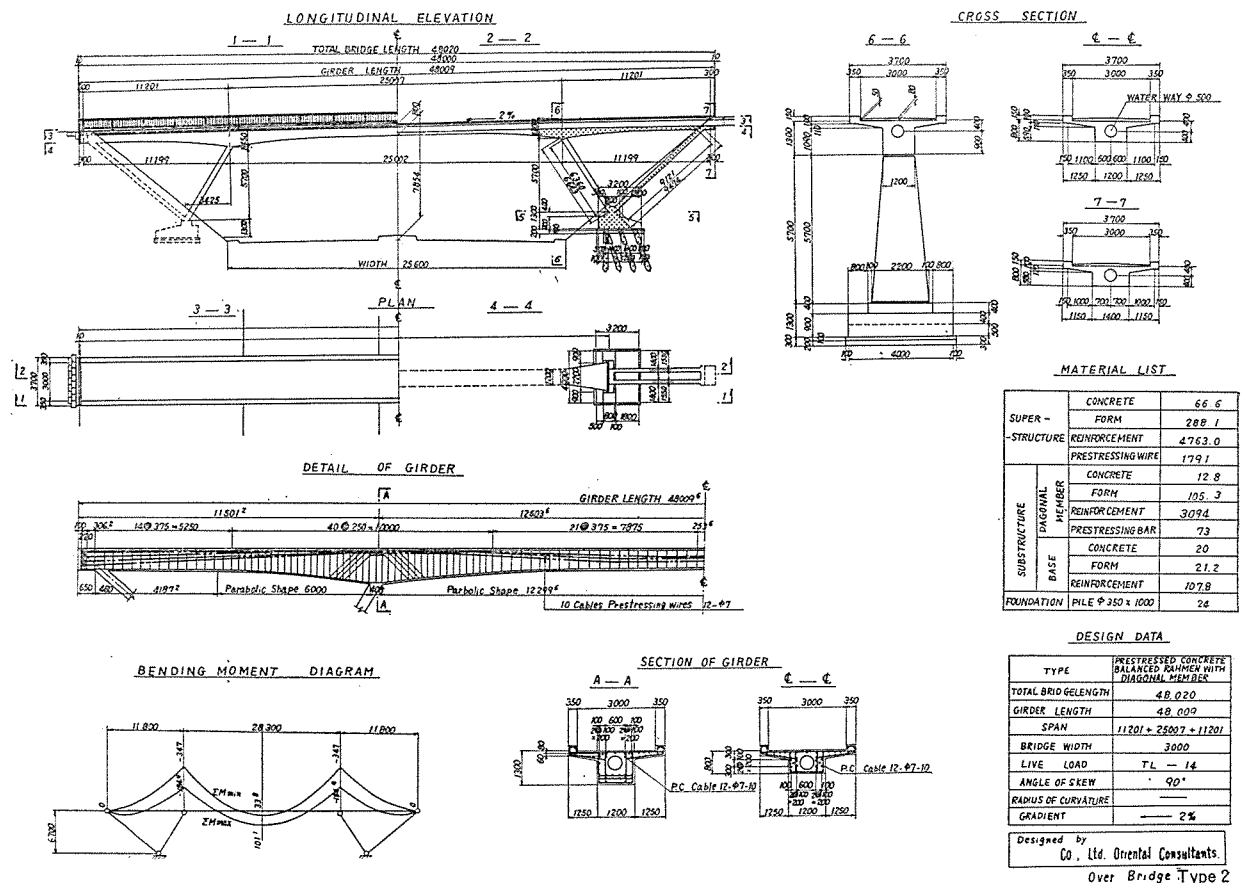
鉛直材を傾斜させることにより、高速道路走行者に快感を与えるであろう。構造は主桁、斜材のおのおのが、ヒンジによって結合されたラーメンとし、主桁はフレッシュナー方式により、斜材(A)は鋼棒によってそれぞれプレストレスされ、斜材(B)は鉄筋コンクリート造とした。主桁の PC 鋼線配置はコンコーダント ケーブルに近いものとし、一体として施工するように計画したものである。

2. 構造設計

ラーメンの支点に生ずる水平反力を不静定力に選び、斜材の弾性変形を考慮して次の式によって求めた。

$$H = \frac{\int_0^{l_2} \frac{M_0}{I} dx + \frac{1}{l_1} \frac{\cos \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \int_0^{l_1} \frac{x^2}{I} dx - \frac{1}{l_1} \int_a^{l_1} \frac{(x-d)x}{I} dx + \frac{1}{\sin^2(\alpha + \beta)} \left(\frac{\sin \beta \cos \beta}{A_a \cos \alpha} - \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{B_a \cos \beta} \right)}{\frac{1}{h} \int_0^{l_2} (y^2 + r^2) \frac{dx}{I} + \frac{2}{l_1} \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \int_0^{l_1} \frac{x^2}{I} dx + \frac{2}{\sin^2(\alpha + \beta)} \left(\frac{\cos^2 \beta}{A_a \cos \alpha} + \frac{\cos^2 \alpha}{B_a \cos \beta} \right)}$$

図-2 Over Bridge Type 2



主桁のPC鋼線配置は、比較的容易にコンコールドケーブルを選ぶことができ、したがって反力調整を行なう必要がなく、このためすべての部材は一体となって施工される方式とした。スパン割の関係から斜材(A)は、圧縮力および引張力の両方が同程度に生じるため、完全な引張材とはなっていない。

クリープによる応力変化は、一体として施工されているため大した値とはならないが、主桁の軸方向縮みによる応力変化はさけることができない。この値は $H_p = -1.0^+$ 程度の値を示している。

3. 本橋の特性と問題点

跨高速道路橋の形式としては、構造外観ともすぐれた橋の一つであると考えられる。斜材の施工に多少複雑なところがあると思われるが、その他は施工上問題になる箇所はない。スパン割の関係上、引張材となる斜材が、かなりの圧縮力を受ける結果となったが、この点は、多少問題があり、今後の設計では、側スパンと中央スパンの比が 1:2.5 程度以上に選ぶべきであると思われる。

Over Bridge Type 3

1. 設計要旨

高速道路巾員が広く、また取付道路の関係上この橋梁形式を選んだ。主桁は2本のT型バリを用い中央支点上

のみ箱型断面とした。本橋は取付道路の関係により、できるだけ桁高を低くし、しかも縦断曲線を入れた曲りバリとしたものである。構造は、主桁をフレッシュナー方式によるPC桁、橋脚は2本の壁を三角形にヒンジによって主桁と結合されたものである。両側支点は可動支承とし、全水平力(橋軸方向)を橋脚によって持たせることにした。床版、横桁は鉄筋コンクリート構造とし、横方向プレストレスは導入しない。

2. 構造設計

構造計算上の仮定は原則的に2径間連続桁と同じであるが、橋脚が2本に分れ、鉛直荷重によって作用する橋脚反力は、おのおのが常に等しくなる。不静定反力を橋脚に選ぶと次の式によって求まる。

荷重が $0 \leq x \leq l_1$ にある場合 ($P=1$)

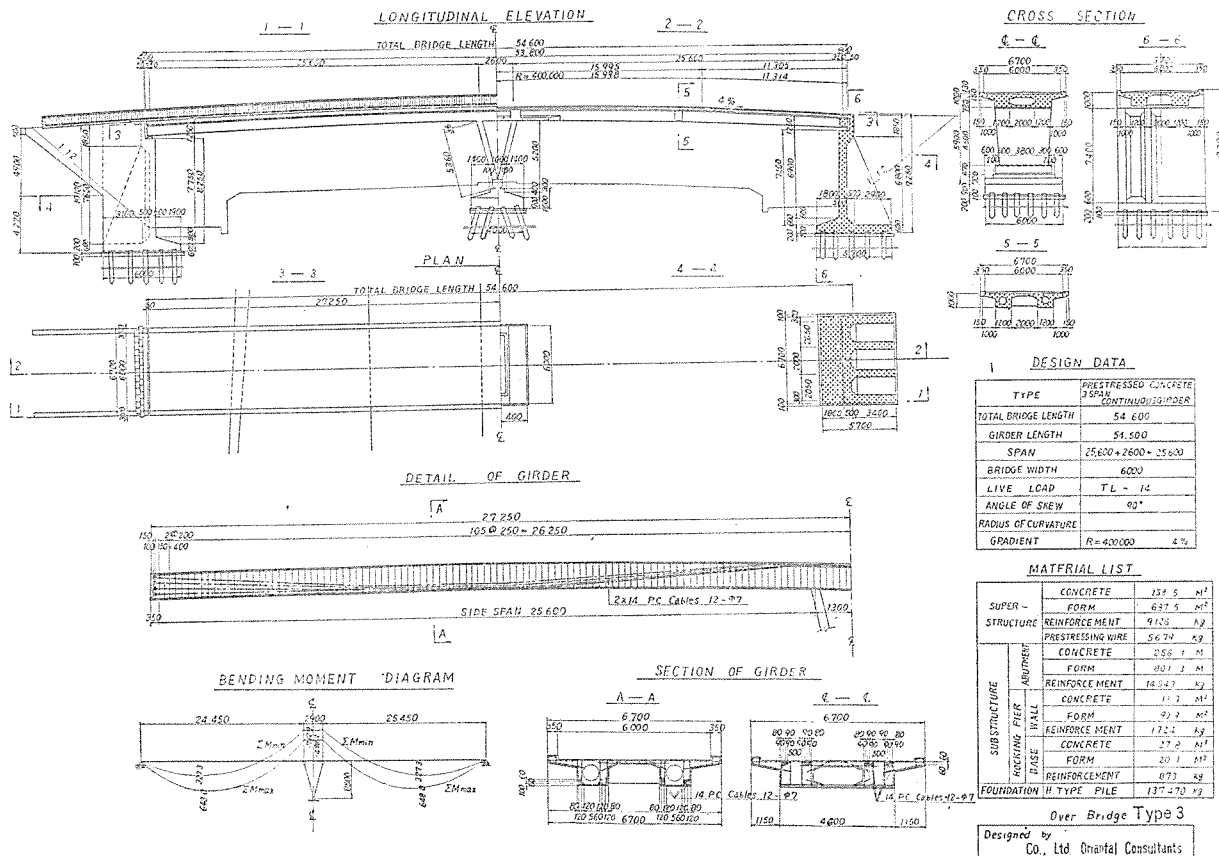
$$N = \frac{x[l_1(l-l_1)(2l-l_1) + l_1(l_1+l_2)(2l-l_1-l_2) - lx^2]}{2l_1^2l(3l-4l_1)} \dots\dots\dots (1)$$

荷重が $l_1 \leq x \leq l_1+l_2$ にある場合 ($P=1$)

$$N = \frac{x[l_1(l-l_1)(2l-l_1) + l_1(l_1+l_2)(2l-l_1-l_2) - lx^2 + (x-l_1)^2l]}{2l_1^2l(3l-4l_1)} \dots\dots\dots (2)$$

主桁のPC鋼線配置は、コンコールドケーブルとされていないため、プレストレスによる2次反力が生ずる。この値は、両側支点で約 $R_{P'} = 9.9t$ の反力増加と

図-3 Over Bridge Type 3



なり中央支点では $M_{P1}=253 \text{ t}\cdot\text{m}$ となる。この2次反力は、コンクリートのクリープによって変化するものであるが、計算が複雑となり正確な値はわからない。またこの計算では、PC力の変化率と同じだけ移動した場合と $1-e^{-\epsilon}/\epsilon$ の割合で変化した場合の両方とも安全であるように設計されている。

3. 本橋の特性と問題点

この構造は原則的に2径間連続桁と同じであるが、その応力を比較すると、設計荷重時に作用する曲げモーメントは、約30%程度少なくなるし、プレストレスによる2次反力も少なくなり、全体的に非常に経済的設計となっている。地震荷重が作用した場合(橋軸方向)全水平力を橋脚で受け持たせるため、その応力が直接主桁に伝達し曲げモーメントが生ずる。本橋では地震荷重によってその断面が決定されるに至らなかったが、橋脚が高い場合では、この点注意しなければならないであろう。

Over Bridge Type 4

1. 設計要旨

跨高速道路橋の計画高が高く、側スパンが長くなることその他を考慮して本橋形式を選ぶことにした。設計条件その他は図-4を参照されたい。

この橋は中央部を台形ラーメンに両側を単純桁とした

いずれもフレッシュナー方式によるPC橋である。各桁を一体の構造とした方丈形ラーメン橋とすることも考えられるが、地盤の不等沈下、プレストレスによる2次反力その他の条件を考慮して、この形式に決定したものである。

施工は、まず台形ラーメンを一度に施工し、所定の構造とした後、両側の桁を片方ずつ施工するように計画設計されている。

2. 構造設計

両側単純桁は一般に施工されているものであるからここでは台形ラーメンについて述べることにする。

ラーメンの各部材は変断面であるが、大差がないため等断面とし次の式によって不静定反力 H を計算する。

桁上に荷重が作用する場合 ($P=1$)

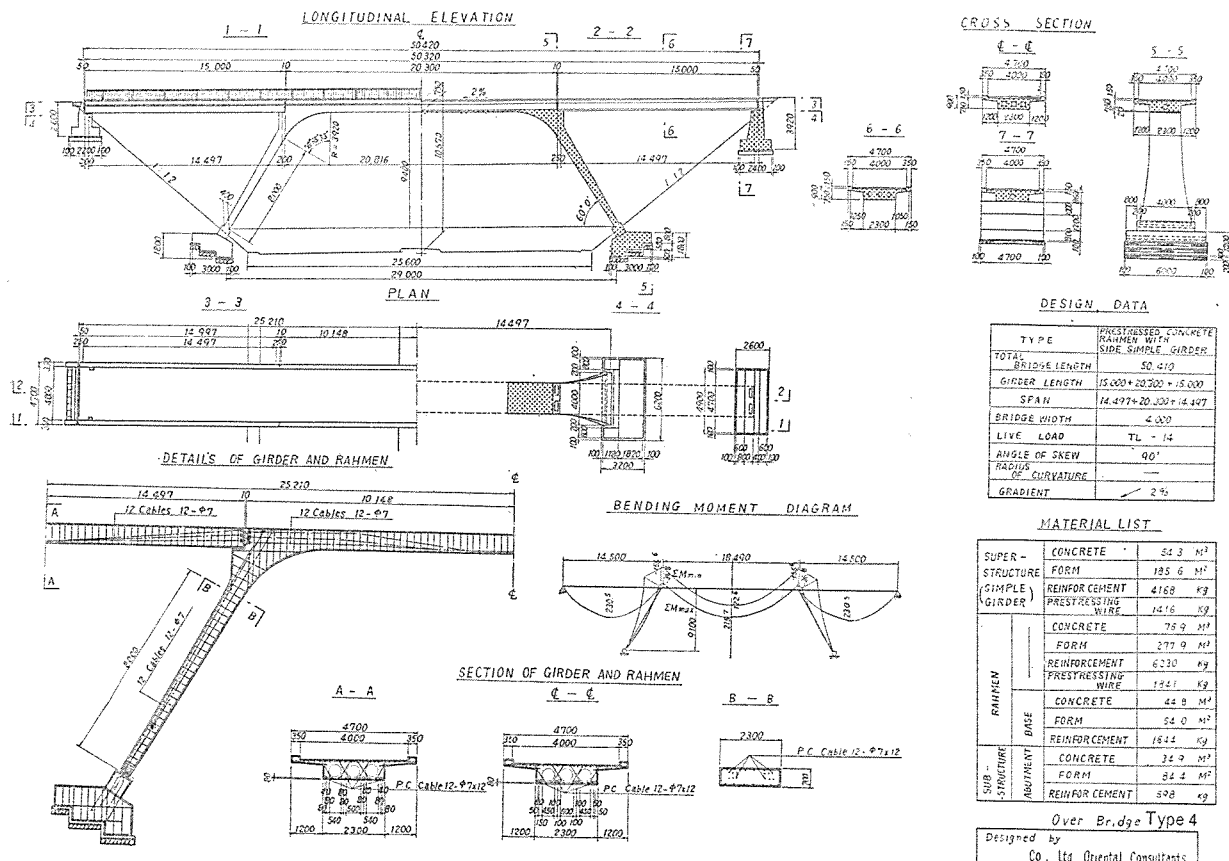
$$H = \frac{\frac{1}{3} S^3 \sin \theta \cos \theta - \frac{h}{2k} \{\beta^2 - b(a + \beta)\}}{\frac{2}{3} S^3 \sin^2 \theta + \frac{h^2 b}{k}} \quad (k = I_2 / I_1)$$

柱上に荷重が作用する場合 ($P=1$)

$$H = \frac{\frac{1}{2k} \alpha h b \cos \theta - \frac{1}{6} \cos \theta \sin \theta (\alpha^3 - 3 S^2 \alpha)}{\frac{2}{3} S^3 \sin^2 \theta - \frac{h^2 b}{k}}$$

ラーメンはコンコーダントケーブルになるよう設計したため、プレストレスによる2次反力も、クリープによる反力移動も生じないことになる。

図-4 Over Bridge Type 4



Over Bridge Type 4
Designed by
Co. Ltd Oriental Consultants

橋軸方向に作用する地震力は、すべてラーメンによって抵抗できるような構造としたが、断面は常時応力によって決定されたものである。

3. 本橋の特性と問題点

この形式によるPC橋は、耐震的であると同時に、各点に有利な性質をもっている。しかし施工は多少複雑になるであろう。特にプレストレス導入順序を十分考慮しなければならない。この場合は比較的簡単に施工できるように柱より桁へ、約半分ずつ進行し全体を2回に分けて行なうように設計したものである。

この橋は一般的構造としたが、なおPC特有の性質を考えた構造形式を研究すると有意義であろう。

Over Bridge Type 5

1. 設計要旨

本橋は Type 4 の場合と同様に跨高速道路橋の計画高が高い場所に適用したものである。広い空間を構成する部材は、三角形の組み合わせの感じを与えるよう、アーチと2径間連続桁とから成っている。

アーチは鉄筋コンクリート3ヒンジ構造とし、細い感じの2次曲線とした。アーチに直接荷重が作用する区間は少なく、しかも頂部付近であるため、3ヒンジアーチは有利となる。側径間の2径間連続桁は薄いPCスラ

ブ橋とし、橋脚はロッキングウォールで、直接アーチの基礎に結合されている。したがって基礎に生ずる水平反力の方向をかえ安定度がよくなっている。

橋軸方向の水平地震力は、すべてアーチによって抵抗できるように計画した。

2. 構造設計

アーチは静定構造であるため各応力は容易に求めることができる。アーチにプレストレスを導入することも考えたが、鉄筋コンクリートでも十分その耐力をうるることができるため複鉄筋構造とした。

断面は地震時荷重によって決定されたが、常時応力との差は少ない結果となっている。

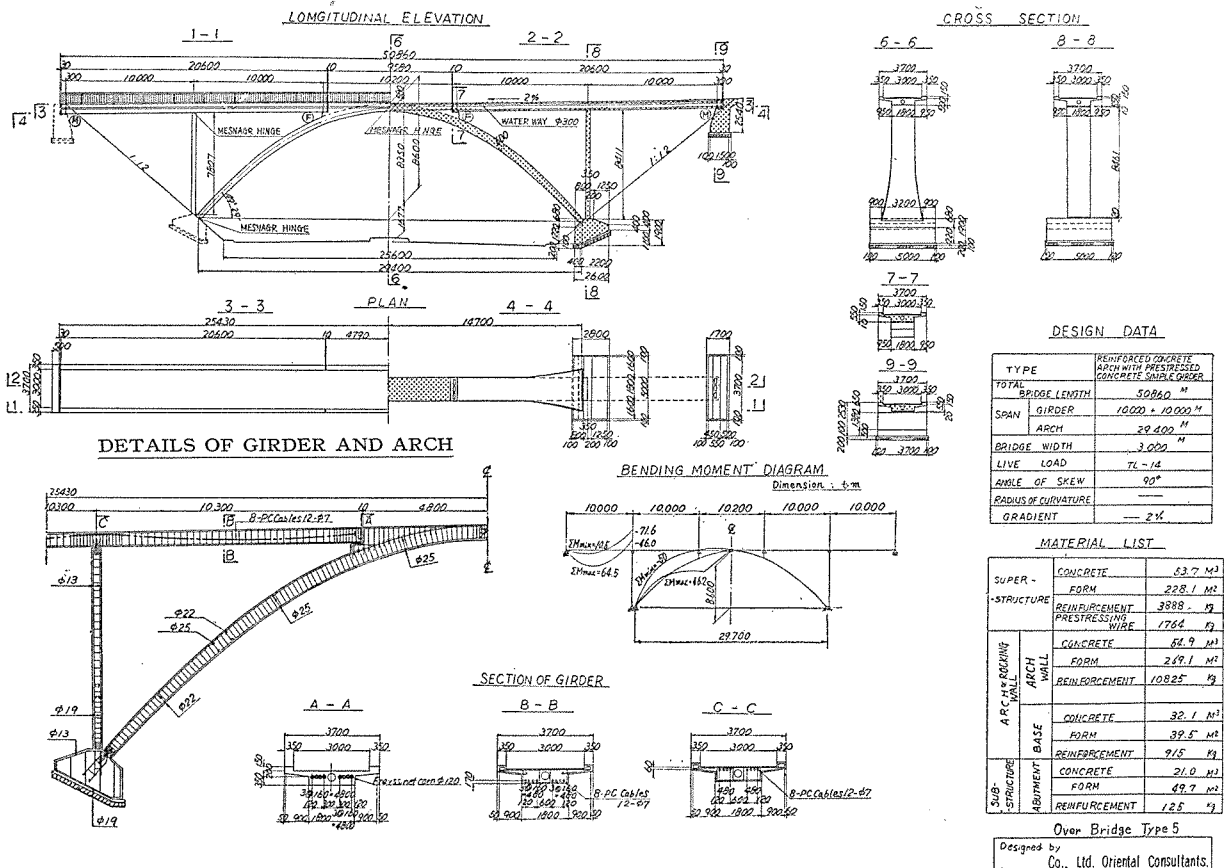
側スパンの2径間連続PC桁はフレッシネー方式によるもので、プレストレスによる2次反力が生じないようコンコーダントケーブルの配置を行なっている。したがって、その後のクリープによる反力移動は考えなくてもよい。

アーチの基礎は一般に大きな水平反力が作用し、安定上常に問題となるところであるが、連続桁橋脚反力を基礎に直接作用させることによって安定度が非常によくなる結果となった。

3. 本橋の特性と問題点

構造的には別に問題となる点はないが、PCとRCの

図-5 Over Bridge Type 5



特徴を生かし、すっきりした構造を選ぶことができた。

一般のアーチでは、アーチリング上に多くの鉛直材を建てそれによって桁を受ける場合が多いが、本橋ではその鉛直材を1本に選んだところに特徴がある。

鉛直材の位置はその選び方によって橋全体の経済性に大きく影響するから、注意しなければならない。

Expressway Bridge Type 1

図-6 に示すとおり、本橋は三径間連続ホロー スラブ橋であり、かつ斜角 31° の曲線橋である。元来このような複雑な構造の設計に際しては、きわめて複雑な理論的計算ならびに模型実験を必要とするものであるが、本橋の設計に当っては、下記のごとききわめて大胆な仮定のもとに、簡単な設計方法を試みることにした。

1. 床版は完全な等方性とし、近似的に直線橋と仮定する。この仮定は主曲げモーメントと直角方向の曲げモーメントに対しては安全側であるが、主曲げモーメントに対しては危険側となる。しかしこれは、下記のごとき種々の安全側仮定により、十分に補われるはずである。

2. Vogt¹⁾ によれば、主曲げモーメントの方向はあらゆる載荷状態に対し、一径間の斜版に生ずるものと大差ないのであるから、Rüsch の表²⁾に掲載されている単純支承版に生ずる主曲げモーメントの方向を、そのまま

本構造の支点およびスパン中央に生ずる主曲げモーメントの方向として採用する。

3. 主曲げモーメントの大きさは、本橋の橋軸方向支点間距離をスパンとし、支承線の長さを巾員とする矩形連続版の主曲げモーメントの大きさと同じものとする。

この際、斜橋に載荷する最大荷重量を採るべきであるから、上記矩形版の荷重の $\cos \theta$ 倍とする。

4. 主曲げモーメントと直角方向に生ずる曲げモーメントの大きさは、自重および静荷重に対しては反曲点間の距離をスパンとし、活荷重に対しては実際のスパンをとり、Rüsch の表から求める。

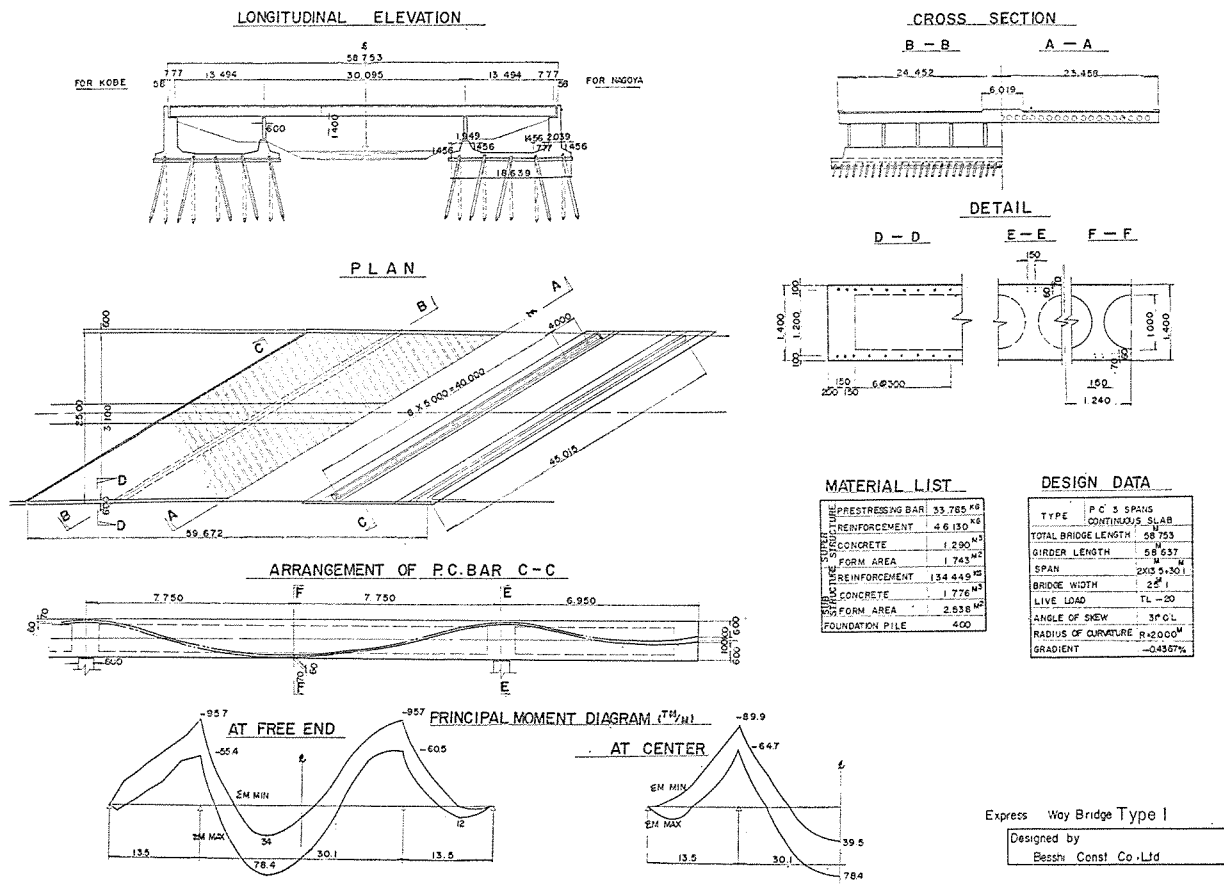
5. なお上記の方法では、ある特定点の最大最小曲げモーメントが求められるだけであるが、この特定点の曲げモーメントを基準にして、Vogt¹⁾ の方法により、各点の最大最小曲げモーメント図を画くことができる。

6. 上記の方法で求められた曲げモーメントは、同じく Rüsch の方法²⁾ に従って、鋼棒方向の曲げモーメントに換算し、鋼棒量を決定する。

なお中間支柱は床版のタワミを、どのような方向にも

- 1) "Die statische Behandlung von schiefen Plattenbrücken über mehrere Felder" von Dr. Ing. Helmut Vogt, Beton und Stahlbetonbau 53 Jahrgang Heft 8 August 1958
- 2) "Fahrbahnplatten von Straenbrücken" von Dr. Ing. Prof. Hubert Rüsch

図-6 Expressway Bridge Type 1



拘束しないよう、上下両端をメナーゼ ヒンジとしている。また橋端支承には、側径間・中央径間の比が非常に小さいため、大きな負の反力が生ずるので、これをとらせるため、図-6 に示すとおり、アバットメントは中間支柱の基礎と一体になっている。

Expressway Bridge Type 2

本橋は、図-7 に示されるとおり、斜材つきラーメン橋として設計されたもので、この形式の橋梁では最もスパンの大きなものである。

斜材つきラーメン橋は、本来 2 ヒンジ ラーメン橋とその力学的体系は全くおなじものであるが、在来の 2 ヒンジ ラーメン橋の曲げモーメントを受ける柱材を、2 本の部材におきかえたため、曲げモーメントは軸方向圧縮および引張力に分解され、その結果、部材の応力分布が矩形となり、全断面を有効に使用することができるようになってきているものである。

さらに在来のラーメン橋では、最も大きな曲げモーメントを受ける隅角部の応力分布状況がきわめてあいまいであり、これを P C 構造に用いた場合、プレストレスの分布状態は、さらに不明確なものとなるが、斜材つきラーメン橋とすることによって、これらの不明確さを完全に取りのぞくことができる。

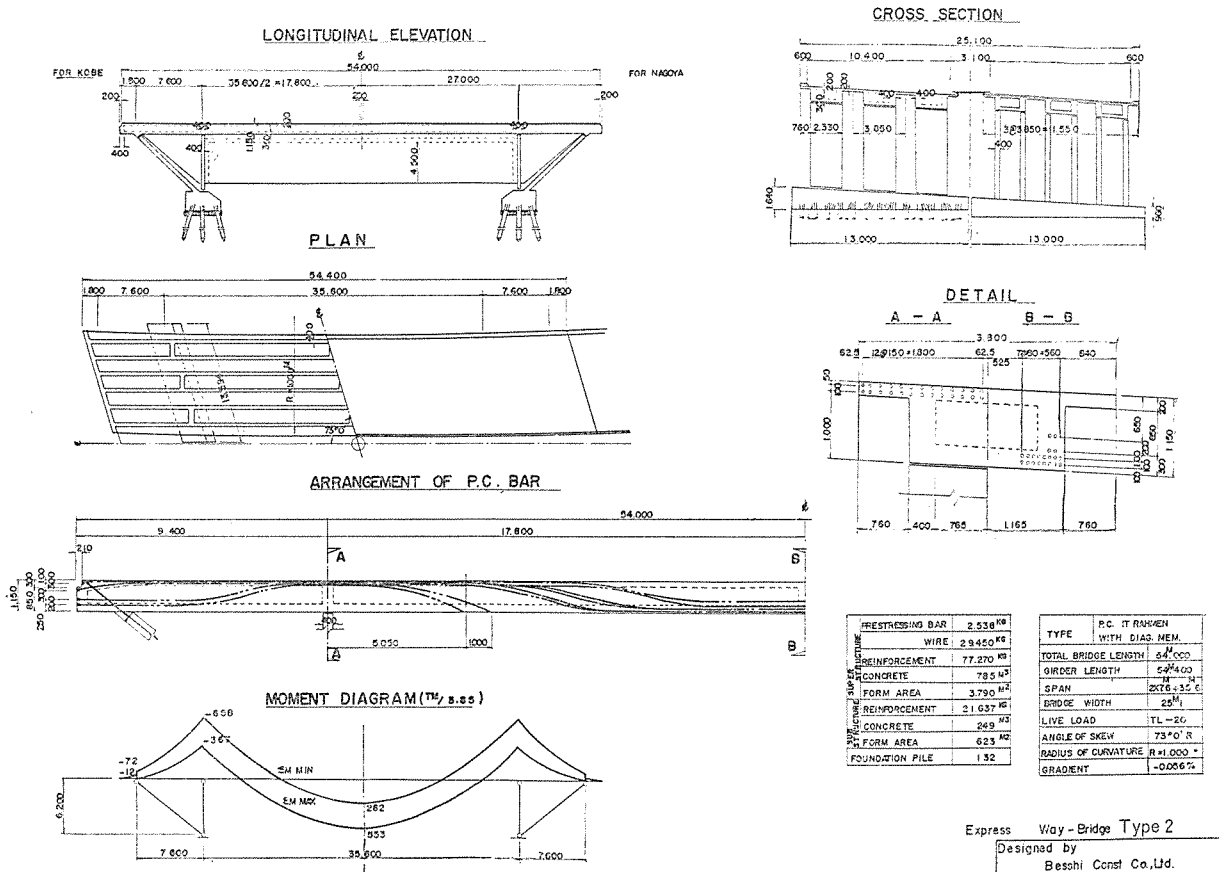
以上の点で、本構造は 2 ヒンジ ラーメンにくらべ、P C 橋に利用された場合、その優位性を発揮するものであるが、これがさらに盛土区間に用いられた場合には次のような利点をもつことになる。

すなわち 2 ヒンジ ラーメン橋の場合でも、橋長が本橋のように 50 m を越すような場合には、盛土からの土圧を直接柱材で受けさせることは無理なことであり、したがって相当大きな土留め構造が必要となってくるが、本形式を採用し、斜材の傾斜を盛土ノリ面の安息角と等しくすることによって、アバットメントまたは土留壁のごとき構造物が不要となるのである。

図-7 の平面図からわかるように、本橋は斜橋であり壁状の柱材は下部の道路に平行にではなく、橋軸と直角方向に配置されている。これは、もしこの柱材を橋軸と直角に配置しなければ、柱材の断面二次モーメントは、直角に配置された場合に比較して、かなり大きくなり、しかもその大きさを正確に把握することは、きわめて面倒な問題となるからであり、しかも各箱型断面は横桁によって連結することを避けたため、各箱型断面があたかも、独立のラーメンを構成するような応力状態となるのである。

註：本報告は次号すなわち第 12 巻第 6 号（12 月発行）に第 3 報を登載し完結の予定であります。なお巻末付図として「鶏林跨高速道路橋一般図」を掲載しておりますから御参照下さい。

図-7 Expressway Bridge Type 2



Express Way - Bridge Type 2
Designed by
Beschi Const Co. Ltd.