

報 徳 橋 架 換 工 事 報 告 (I)

神 奈 川 県 土 木 部
住 友 建 設 株 式 会 社

1. ま え が き

木製鋼製混成の単純ばり、幅員 2m の現存報徳橋は、再度の出水による基礎洗掘から、しばしば交通杜絶となった。近時の交通量と安全性を計るべく、このたび永久橋として架換えられるに至ったのであるが、現存橋桁下クリアランスをより高く、かつ広くとる意味で、堤防面から 3m 高く新路面を企画し 7 径間連続ばりとして桁高 1.5m の制限もなされたわけである。6 月現在、第 5 径間をまだ施工中ではあるが斜仮吊鋼棒材を施工上の補助手段に選んだ特異性を主としてここに御紹介したい。

(1) 工 事 概 要

- 架設場所：小田原市栢山 県道栢山曾我線（酒匂川）
- 形 式：PC 7 径間連続等高ばり
- 工 法：Pylon による吊上げをともなう Dywiday 式
カンティレバー架設法
- 橋 長：32+5 @ 37.6+32=252 m
- 活 荷 重：L-20, T-20 地震 $K_H=0.2, K_V=0.1$
- 有効幅員：6 m
- 上部工費：60 800 000 円，上下部総事業費 110 000 000 円
- 工 期：上部工 昭 37.8.15～昭 38.11.15
- 事業主体：神奈川県
- 施 工：上部工 住友建設KK
- 主要材料（上部主桁数量のみ）：

コンクリート	841.0 m ³
PC 鋼棒	住友電工製圧延鋼棒 84.1 t
	吊材として別途に 6.2 t
丸 鋼	35.3 t
型 わ く	3 146.0 m ²

ここに Pylon とは斜仮吊鋼棒緊張端を支持するための鋼製仮支柱で直圧 450 t の能力のものを使用（巻末付図参照）。

(2) 材 料 強 度 お よ び 許 容 応 力

PC 鋼 棒

引張強度/降伏点強度	105/80 kg/mm ²
許容応力度	60 "
コンクリート	
圧縮強度	$\sigma_{28}=400$ kg/cm ²
許容曲げ圧縮応力度	
設計荷重時	140 "
プレストレス導入時	180 "
許容曲げ引張応力度	
設計荷重時	0 "

不等沈下時	-15 kg/cm ²
プレストレス導入時	-15 "
許容斜引張応力度	
設計荷重時	$\sigma_1=-9$ "
破壊時	-20 "

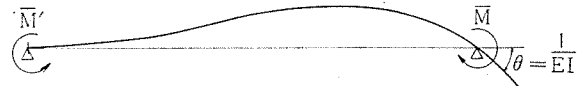
2. 設 計

(1) 影 響 線

構造が 6 次不静定であるために断面力の影響を求めなければならぬ。これには荷重と変形の相反定理を利用した。まず支点曲げモーメントの影響線を求め、その影響線より他の断面力の影響線を求めた。

支点曲げモーメントの影響線を求めるには、一つの径間を取り出しその両端に曲げモーメント \bar{M} および \bar{M}' を作用させて、求める支点上で $\theta=1/EI$ の折れ目を作る。

図-1



この折れ目を作ったまま両側の径間を剛接して曲げモーメント \bar{M} および \bar{M}' を荷重項として各支点上の曲げモーメントを Kani の方法で分配する。このようにして求められた各支点上の曲げモーメントから全径間の変形を計算すれば、その変形が影響線となる。その例を示せば図-2 のようになる。

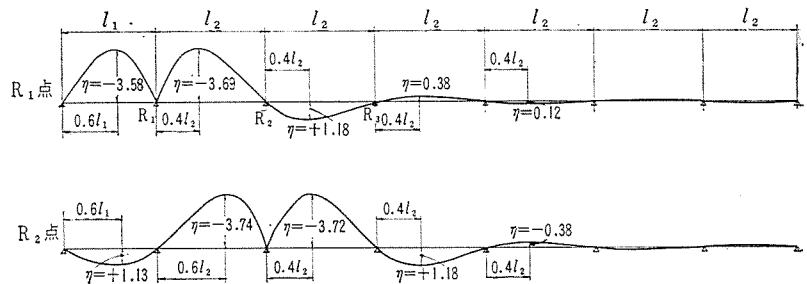
次に支間内の断面の曲げモーメント影響線 η_m は支点上の曲げモーメントの影響線から次のようにして求まる。

$$\eta_m = b \eta_l + a \eta_r + \eta_0$$

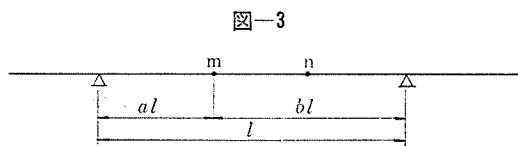
η_l ：左側の支点上の曲げモーメントの任意点 n 上の影響値

η_r ：右側の支点上の曲げモーメントの任意点 n 上の影響値

図-2 曲げモーメント影響線



η_0 : 単純桁としての m 点モーメントの n 点上の影響値 $=abl$



せん断力の影響線も支点曲げモーメントの影響線から断面より右側の荷重点については

$$\eta_Q = \frac{\eta_r - \eta_l}{l} + \eta_0$$

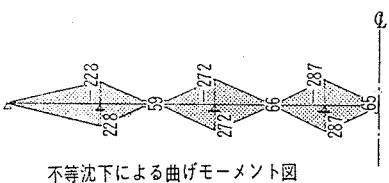
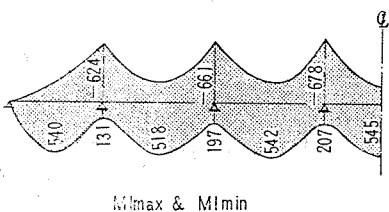
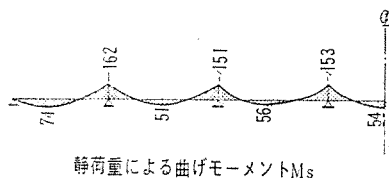
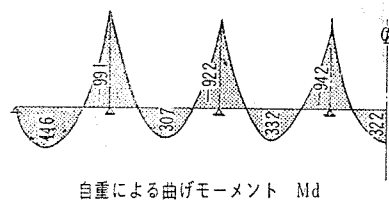
左側の荷重点については

$$\eta_Q' = \eta_Q - 1$$

として求められる。これらの影響線は活荷重および静荷重による断面力に

用いたのであって、自重やプレストレスおよび支点不等沈下により断面力は別個に全荷重を載荷して求めた。不等沈下は支点が一つおきに急激な 2 cm の沈下量を生じた場合を考慮した。このようにして求めた断面力のうち曲げモーメント量を示すと図-4のとおりである。

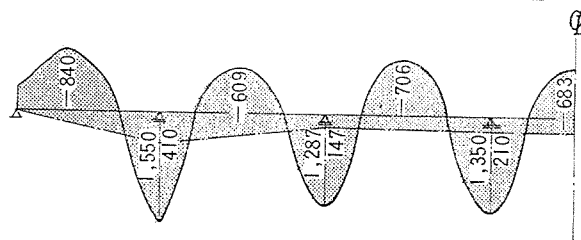
図-4 曲げモーメント図 (単位 t·m)



(2) PC 鋼材の配置

桁高の制限をうけたので支点付近で十分な偏心モーメント量をとりにくくなった。すなわちコンコダントな配置にしようと思えば支点付近で多数の鋼材を使えば目的は達せられるけれども、その付近における鋼棒端着数が余りに多くなりすぎる(支間中央近傍では少鋼材量で所要モーメント量がとれる)。したがってコンコダントな配置量を基準にして言うならば、支点付近は満足な定着スペース緊張作業スペースを設けて基準量よりも減らし、支間中央近傍はその量よりふやす配置として、結果的に大きな二次モーメントを生ずるようにした。

図-5 プレストレス偏心モーメントと二次モーメント



このために支間中央では鋼材量がふえる上に偏心を大きくとる必要もないという非能率的嫌いがあったが、このようにしても中央支点上鋼材との合計量ではほとんど変化はみられなかった(配置は巻末付図参照)。

クリープおよび乾燥収縮による断面力はすべての施工を終ってから起るものとしてクリープ係数 2, 乾燥収縮としては $\epsilon_s = 15 \times 10^{-5}$ を用いている。

以上の計算はすべて支保工上で施工した場合のみにあてはまるのだが、施工時の曲げモーメントが大体一つの径間の施工を終える約 1 カ月半の間に大きく変化するが、その後は支保工上で施工した際の曲げモーメント分布から、それほどずれないから、カンティレバー方式の本施工の場合にもあてはまると考えた。そのためにも施工完了時の曲げモーメント分布が、支保工上で施工した場合と同じになるように計った。すなわち橋脚上でコンクリート ロッカー 支承をそう入る際を利用して、同支点の上げ下げをジャッキで行なう所の反力調整工を実施する。

(3) スラブ

スラブの設計では主桁による拘束を考えた。主桁の両端では、ねじりに対して完全に固定であるとして、また腹部の厚さが変化するために平均のねじれ剛性を等分布ねじり荷重による中央のねじれ角から求めて Säger による次式から主桁の拘束度を算出した。

$$\nu = \text{sech } \epsilon \frac{l}{2} \quad \epsilon^2 = \frac{1}{\phi GJ_T}$$

ただし ϕ : スラブの両端に $m=1 \text{ tm/m}$ のモーメントをかけたときの単純支持板の支点のたわみ角

GJ_T : 主桁のねじり剛性

l : 主桁の長さ

このとき支点付近では両主桁が上下のスラブで連結されているために、主桁の長さは完全に下スラブの存在する部分は減らして考えた。その結果、支間中央でスラブは主桁により 32% 拘束されていると求められた。支点付近では 100% 拘束されているから、スラブについては主桁によって 32% および 100% 拘束されている両極端の場合でも、コンクリート応力度が許容値に入るような一つの横方向 PC 鋼材の配置を定めた。このときはプ

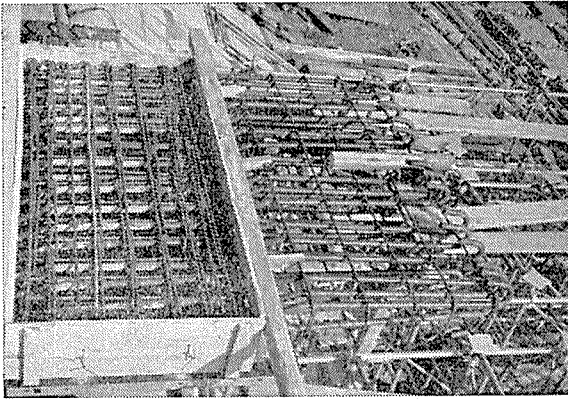
報 告

レストレスによる主桁の横方向の変形は考えに入れてないが、これも問題にあげられるものであろうが適確な解析ができないので無視している。

(4) 横 桁, 他

地震時の橋軸方向水平力 460 t を橋台に伝えるには、鉄筋コンクリート水平ロッカーを用い長さ 1.9 m 幅 1 m 厚さ 0.3 m の大きさを丸鋼 33- ϕ 32 を使い、くびれた両端部では 30° の傾斜角で交差させている。

写真-1 水平コンクリート ロッカー



この水平力は幅 1.3 m の橋端部横桁を通して伝わるので横桁自身には 14- ϕ 27 の P C 鋼棒で横締めした。中間支点部の横桁にはスラブからくるねじり荷重および支点の沈下した場合に備えて修正するときのジャッキアップ力をも外力と考えて 4- ϕ 27 P C 鋼棒で横締め配置させた。

3. 施 工

(1) 概 説

固定端橋台は右岸側にあり、Pylon 定着端を固定側におき VBW (Vorbauwagen) 一台による片押し施工システムとしたので、ミキシング プラントは橋台上に、その下に骨材置場や鋼棒鉄筋型わく加工場、事務所倉庫等すべての仮設物件をこの右岸側敷地に設けた。

写真-2 第 1 径間支保工上打設前 (1 回目延長 18 m)
支保工上は 2 区間に分けて打設した

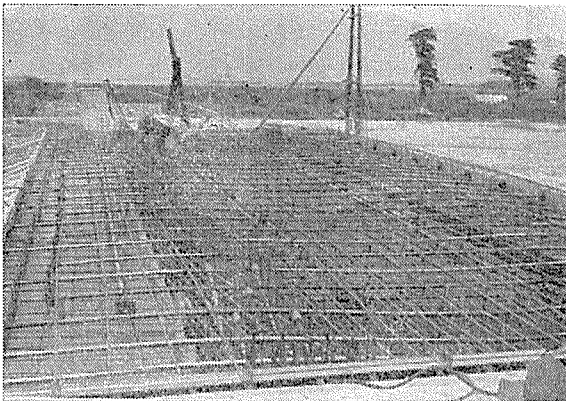


写真-3 第 1 径間支保工上 (2 区間目の打設前)

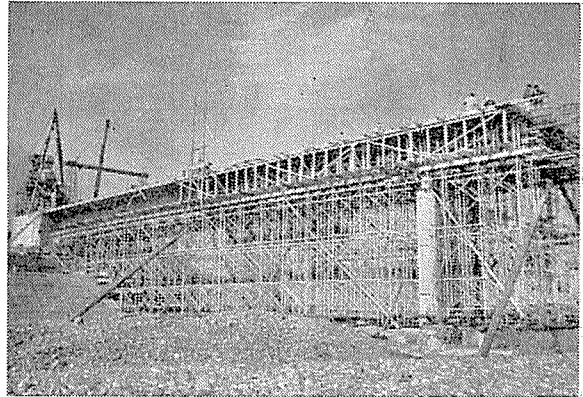


写真-4 VBW のセット 支保工解体中

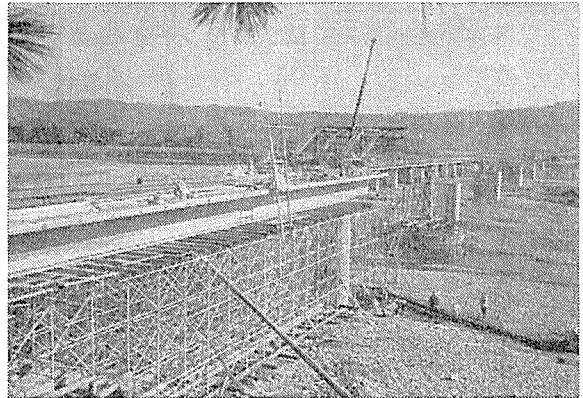
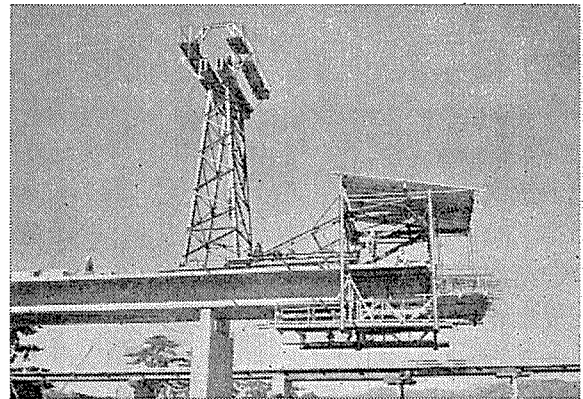
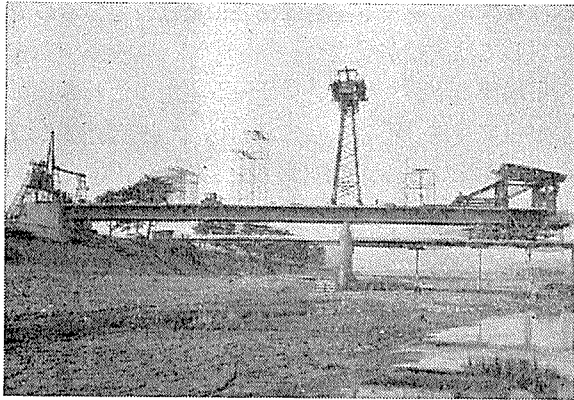


写真-5 VBW のみで施工 (第 2 径間第 3 ブロック)
Pylon のセット中



第一径間と第二径間の一部 32.0+4.4 m はビティ足場を河原に建てた (F.L. 下 8.5 m) 支保工上で実施しこれを基点として VBW によるカンティレバー 施工を総延長にわたって行なうが、各支点上の架設時曲げモーメントが完成時の自重による曲げモーメント約 1000 tm を超過する箇所(各径間について第 5 施工ブロック、すなわち各支点から 14 m 突出した点) から先は吊鋼棒によって、架設時と完成時自重の曲げモーメント量差を負担せしめるものである。ただし第 2 径間のみは固定部の橋端に上揚力が出るのでカンティレバー先端の第 9, 10, 11 ブロックの 3 カ所に仮支柱を建てて (水中杭打基礎上

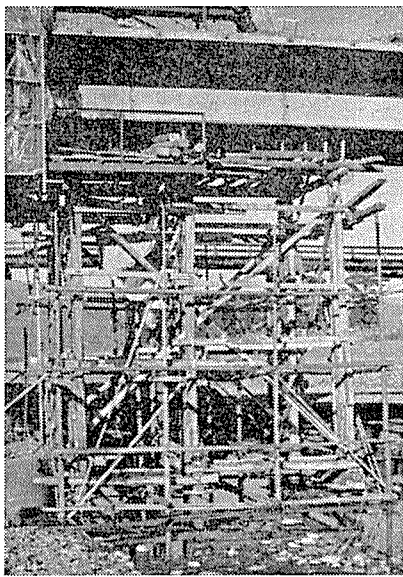
写真-6 第2径間第6ブロック



支持力 36, 64, 110 t) 吊鋼棒と共働補強させることにした。

第3径間以後の各径間とも、上記の第5ブロック施工前に Pylon の移設を行なう。使用した VBW は在来の有ヒンジばりに慣用されたコンクリートブロックを対重に持つ形式ではなく

写真-7 仮支柱



て、対重分だけでも軽くなるハンガータイプを採用した(巻末付図参照)。

型わくは断面外側部はシンプルな直線なので、すべてメタルフォーム(図-3.2)とし、拡幅部や底スラブの変化のつく内わくは木製(22mm板)としている。

工程は1サイクル平均5日相当で、施工ブロックによっては主桁内緊張本数の多少と、それにとまうグラウト作業時間、吊鋼棒緊張本数の多少等のため6日または4日工程となることもあるが、標準工程としては表-1のとおりである。

表-1

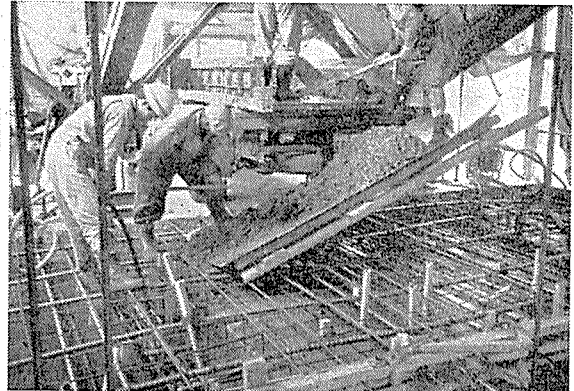
	1	2	3	4	5日目
コンクリート打養生(冬期ヒーター)	—	—	—	—	—
鋼棒緊張, グラウト	—	—	—	—	—
V B W 移設	—	—	—	—	—
型わく	—	—	—	—	—
鉄筋, 鋼棒設置	—	—	—	—	—
吊鋼棒工	—	—	—	—	—

コンクリートは季節の外気温によりポゾリス No. 10 と No. 8 に使い分け下記示方配合にしたがう。骨材は酒匂川産である。

表-2

粗骨材最大寸法 40 mm	スランブ 4 cm	空 気 量 2.5%	w/c 36%	絶体細骨材率 37%
単位水量 130 kg	単位セメント量 早強 361 kg	単位 砂 689 kg FM 3.11	単位砂利 1 273 kg FM 7.01	ポゾリス 規 定 量

写真-8 コンクリート打設中



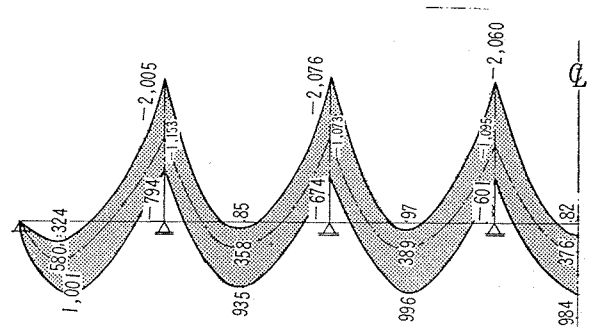
その他 Dywidag 式架設に関してはこれまでの同種施工報告があるので省略し、以下は吊鋼棒工の実施課程について記述する。

(2) 吊鋼棒工

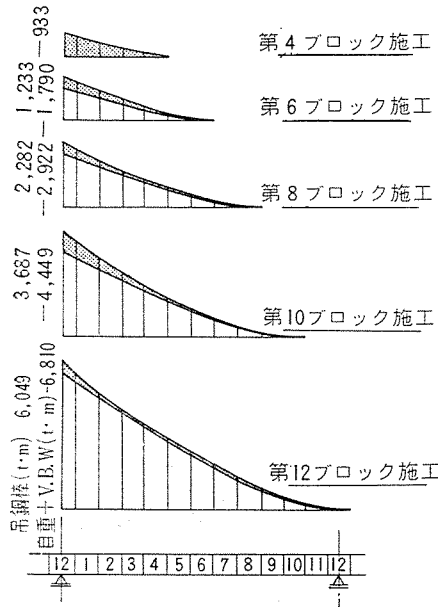
概説に述べたように架設時の自重とVBWによる曲げモーメント量と吊鋼棒による曲げモーメント量の差が自重による曲げモーメント量($M_d + M_s$, 図-6参照)を越えないように吊上げることが本工の主目的である。

吊鋼棒緊張作業力の求め方として、鋼棒許容力や鉛直荷重による Pylon の能力およびその直下にすえられている支点支承(コンクリート ロッカー 2-28 t能力)の強さ等を考えに入れて、計算上決められた一つの方針は、いずれの施工ブロックにあってもコンクリート打設後に、VBW がその次の施工ブロック打設のため移動した位置の状態ですべての吊側の吊鋼棒張力が 30 t となるような緊張力を前もって、この吊鋼棒に与えておくこ

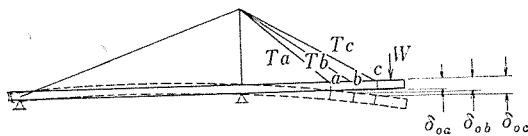
図-6 M_{max} と M_{min} と $M_d + M_s$



図一七 第2径間ブロック施工(自重+VBW)+(吊鋼棒)



図一八



とである。

いま 図一八のように吊鋼棒 a, b, c が配置され, W が載荷したとし, コンクリート主桁は吊鋼棒によって弾性的に支持されていると想定する。

○荷重による各点のたわみ

荷重: コンクリート max 32 t
VBW と型わく等の計 22 t

○ a, b, c の各点で δ_{0a} , δ_{0b} , δ_{0c} とする。

○吊鋼棒張力による a 点のそり

T_a, T_b, T_c の張力を与えたときに a 点に生ずるそりは

$$T_a \bar{\delta}_{aa} + T_b \bar{\delta}_{ab} + T_c \bar{\delta}_{ac}$$

$\bar{\delta}_{aa}$: T_a 張力 1t による a 点のそり

$\bar{\delta}_{ab}$: T_b " " "

$\bar{\delta}_{ac}$: T_c " " "

○吊鋼棒伸びによる吊鋼棒の下がり

a 点については $T_a \bar{\delta}_{Ta}$

$\bar{\delta}_{Ta}$: T_a 張力による吊鋼棒の下がり

吊鋼棒とコンクリート主桁は相互に結ばれているので各点に対しては次式が成立つ。

吊鋼棒の下がり=コンクリート主桁のたわみしたがって荷重 W によって a, b, c 各吊鋼棒に T_a, T_b, T_c の張力変化があれば

a 点について

$$T_a \bar{\delta}_{Ta} = \delta_{0a} - (T_a \bar{\delta}_{aa} + T_b \bar{\delta}_{ab} + T_c \bar{\delta}_{ac})$$

または

$$T_a (\bar{\delta}_{aa} + \bar{\delta}_{Ta}) + T_b \bar{\delta}_{ab} + T_c \bar{\delta}_{ac} = \delta_{0a}$$

以下 b, c 点の同様連立式から T_a, T_b, T_c が求まる。結局これらの張力変化量が決めれば各所要緊張力トン数は

$$30 - T_a, 30 - T_b, 30 - T_c$$

となる。

実施にあたっての施工は 図一九 にしたがって以下の順序で行なわれる。

第2径間: 施工ブロック1までは支保工上終了で, 2より4までは VBW のみにより進行させる。

第5ブロック打設前に吊鋼棒⑤を配置する。

第6ブロック打設前に吊鋼棒⑤⑥を配置する。

第7ブロック打設前に吊鋼棒⑤⑥⑦を配置する。

第8ブロック打設前に吊鋼棒⑥⑦⑧を配置する。

この場合⑤をゆるめながら同時に⑧を緊張(⑤と⑧交換)。

第9ブロック打設前に吊鋼棒⑦⑧⑨を配置(⑥と⑨交換)。

第10ブロック打設前に吊鋼棒⑧⑨⑩を配置(⑦と⑩交換)。

第11ブロック打設前に吊鋼棒⑧⑨⑩を配置(⑩は撤去)。

第12ブロック打設前に吊鋼棒⑧/2⑩を配置(⑨⑩は撤去)。

図示中のすべての吊鋼棒は両主桁に各2本ずつ配置されており, ⑧/2は吊鋼棒⑧の4本中2本の撤去を意味する。また⑩はジャッキダウン, ⑩⑩はジャッキアップの反力調整を行なう。これは後で記す各支点上の反力調整と同様の意味を持っている。

第3径間: 第1, 2ブロックは第2径間第12ブロックの吊鋼棒配置のままで進行する。第1ブロック打設前にピヤー上にジャッキをのせ第12ブロック下面で支持(ジャッキ反力は0で)させる。

第2ブロックが終って VBW が前進したときに, 高さ 1m のコンクリートロッカーをそう入し支点反力調整を行な

図一九

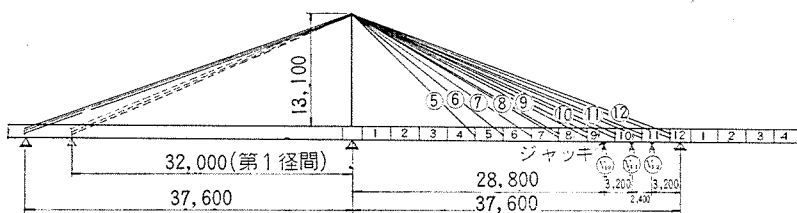


写真-9 コンクリート ロッカーそう入
(中央は 200t ジャッキ2台)



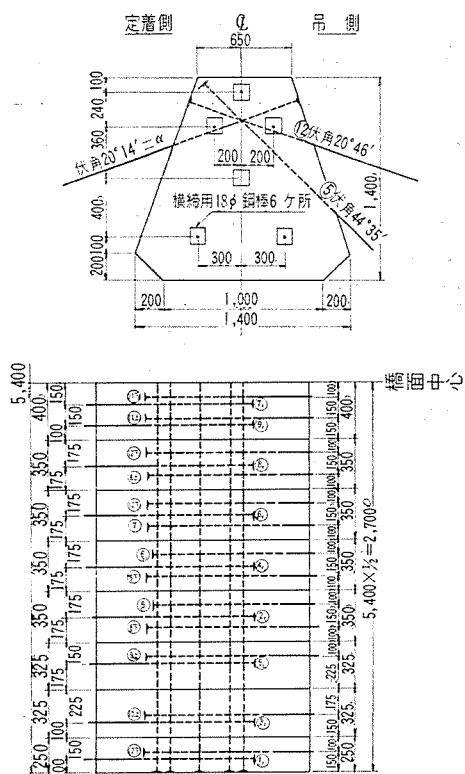
う。この調整は設計の項でもふれてあるが、支保工上で施工した場合の各支点反力に軌一するように行なわれるもので、VBW ならびに吊鋼棒を取払った状態で生ずる各支点反力とくらべて両者の差異が無くなるように決められねばならない。しかも今後次々の支点上で行なわれる影響力もふくめたジャッキ揚程が決められている。そう入が終れば⑩は撤去した形になっている。

第3ブロック打設中に吊鋼棒⑧⑨の張力を徐々にゆるめ、打設終了時に張力0とする。Pylon は移設可能となる。

第4ブロックは吊材を使わない。

第5ブロック打設前に移設した Pylon (次の支点上へ) から従前どおりの方式で吊鋼棒⑤を配置しなければ

図-10 Pylon 用定着コンクリート ブロック



ならない。

Pylon の移動には全吊鋼棒を撤去し、頂部に置かれた定着端形成用のコンクリート ブロックが計 20 t もあるので、いったんこれをおろしてから Pylon(自重 14.5 t) のみで走行させる。定着用コンクリート ブロックは図のように上げおろしの便宜のため小割りに作り横締めして一体にして使用するが、ペアになる吊側と定着側鋼棒のシース孔は同一ブロックにまたがるように設けられ、前記の⑤と⑧あるいは⑥と⑨を交換する場合にも同一ブロック内に仕込まれるように配置されている。

写真-10 吊鋼棒の緊張

小ブロック内にペアにジャッキを配置(場所は Pylon 頂部)

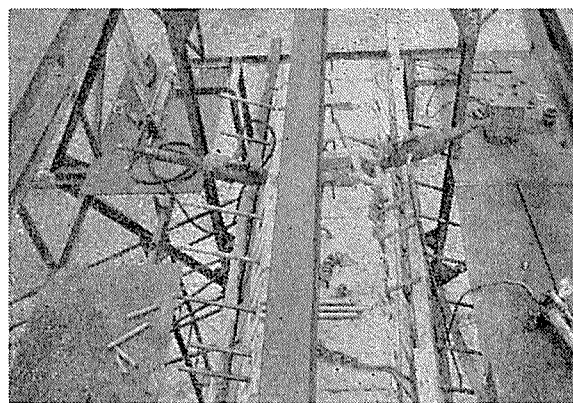
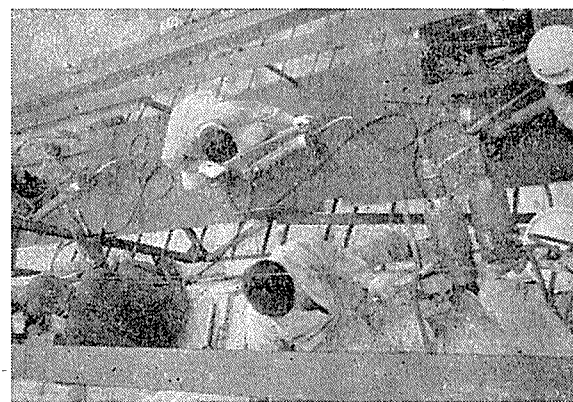


写真-11 ⑤と⑧の交換中



緊張時のジャッキは両主桁にしかもペアに作動させねばならないから都合 4 台の同時緊張作業を行なわねばならない。

吊鋼棒と主桁との連結は、あらかじめコンクリート打設の際にアンカーになる鋼棒を主桁両腹部内に吊鋼棒の方向に正確に埋め込んでおき、スラブ面においてカプラー継手とする。これは VBW の本体の主桁とのアンカーをとる際にあらかじめ埋込むのと同手段である。

以下第6ブロックから第9ブロックまでは第2径間と同様な吊鋼棒配置で進む。第3径間からは⑤がなくなるが、

第10ブロック打設前には⑧/2⑨⑩の配置とする。

写真-12 あらかじめ配置された吊側のアンカー（斜めの2本）とVBWのアンカー（縦方向の2本）

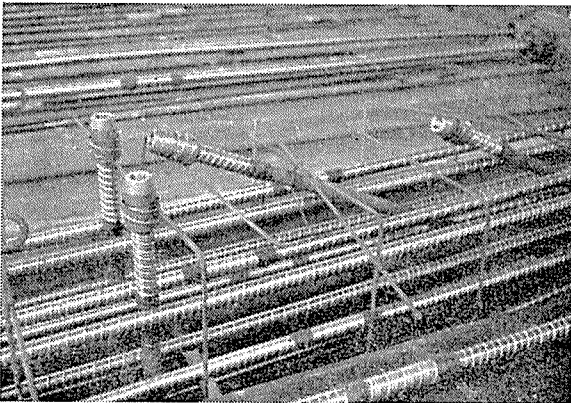


写真-13 同じく吊鋼棒定着側アンカー（両主桁で18本）



第11ブロック打設前には⑧/②⑨⑩⑪の配置とする。

第12 " " " ⑨⑩⑪⑫ "

第4径間：第1, 2ブロックは第3径間第12ブロック終了後の吊鋼棒配置のまま進行し、ジャッキで支持する時期も第3径間と同様である。

第2ブロック終了（プレストレス導入後、以下同）後、ロッカーそう入（反力調整）を行ない⑨⑩⑪を撤去し⑫のみの緊張を施す。

第3ブロックが終了すれば⑫の張力を0に戻す。

以上同様方法で最終径間の第9ブロックまでくり返される。

この第7径間は第10ブロックが終点であるため（巻末付図参照）VBWを撤去し先端に型わく受けを吊り橋台支承部でジャッキ支持として打設を終える。終端支承用コンクリートロッカーは2個-140t用である。このブロックへのプレストレス導入とともに吊鋼棒⑦⑧⑨の張力を徐々にゆるめてゆき、導入完了時に吊鋼棒張力が0となるように作動する。使用している吊鋼棒はほとんどが9.6m長ものでカプラー連結とし上端定着部のコンクリートブロックを通るものだけを別個の長さにした。なおこの定着端の転造ネジ切り長さは配置の際にサグが大きいのので300~400mmにしている。緊張はこの大きなサグがあるために、いったん5tで緊張した

ときカウンターゲージを0とし、その後の圧力と伸びの関係をグラフ上にプロットした直線から規定量を記録するようにした。

吊側と定着側の緊張力の均衡をチェックする意味でPylon頂部の傾きを側面直角方向から緊張操作前後の差をトランシット観測する。これまでの所は10mm未満の数値が出ている。さらに本作業による吊側先端主桁のそりを同時にレベリングし規定のそり（計算値）に過不足があった場合、その過不足量そのものを打設ブロックの上越し量に加減する。

4. 設計計算仮定の検討計画

本橋は施工途上のために現在計測過程にあるが下記の項目を取上げている。

(1) スラブに対する主桁の拘束度

桁断面は径間中央でΠ型、支点付近で□型になっている。Π型断面部ではスラブに対して主桁のねじり剛性のために主桁が拘束するように働く。この仮定はある径間のスラブ中央に橋軸方向線荷重を載せ、そのスラブ中央と両端の曲げモーメントを橋軸方向の幾つかの点で決定すれば各点の拘束度が求められると考えた。

(2) 施工時吊鋼棒の張力変化

吊鋼棒の張力はコンクリート打設の前後、VBWの移動、吊鋼棒緊張作業中等により変化する。この変化量を計算で算定してあるが、これの妥当性を適当な吊鋼棒3組にペーパーゲージを貼つけ測定する。

(3) 施工時曲げモーメントの変化

反力調整によって、完成時に所期の全支保工施工の曲げモーメント状態に達したかどうかを確かめる必要がある。またクリープおよび乾燥収縮は全工程終了後に起こると仮定している。このため、ひずみ計を配置して曲げモーメントの変化および収縮の進行を測定する。曲げモーメントの分布を考える場合、本橋が連続ばりであるために両支点上曲げモーメントの決定ができれば支間内の分布がわかる（中間の箇所でも測定すれば誤差が少なくなる）。曲げモーメント決定のためには上下両縁のひずみを測定する。

参 考 文 献

- 1) Dywidag 方式嵐山橋の構造, 設計, 1950年12月号, 道路
- 2) Dywidag 工法による嵐山橋の設計, 昭34年6月, 材料試験
- 3) 名田橋上部構造の設計に際しての問題点, Vol. 3, No. 1, 本誌
- 4) 寺地橋の設計施工報告, Vol. 3, No. 6, 本誌
- 5) 最近の橋梁架設工法第一部 Dywidag 工法, 1960年10月, 建設の機械化
- 6) 越野尾橋架設工事報告, Vol. 5, No. 1, 本誌
- 7) 日刊建設工業新聞, 38.5.24, 技術欄

1963.6.19・受付

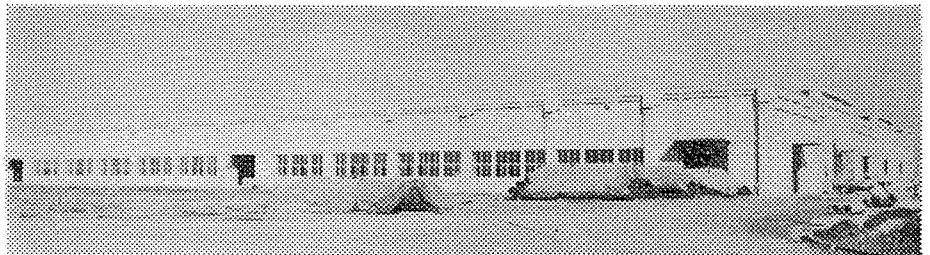


産業を支える…
スズキ、PC鋼線

PC鋼より線・異形PC鋼線

SUZUKI
STEEL WIRE

PC鋼線の製造をしている千葉習志野工場



鈴木金属工業株式会社

本社・赤羽工場 / 東京都北区袋町2丁目 TEL (901) 1121

習志野工場 / 千葉県習志野市東習志野2丁目 TEL 0474(7) 1131

名古屋支店 / 名古屋市中村区新名古屋ビル南館 TEL (55) 1798