

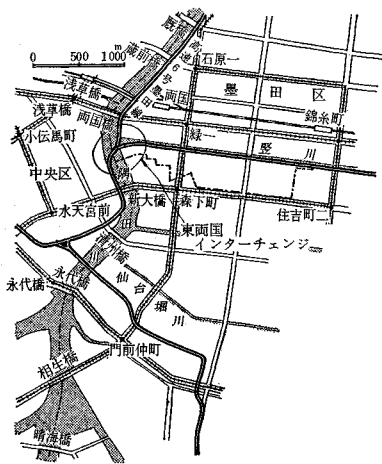
首都高速道路東両国インターチェンジ工事の概要

中村正平*・加藤正晴**
内藤誠一**・三浦尚**

1. まえがき

東両国インターチェンジは、東京都中央区と墨田区にまたがる隅田川上にあつて首都高速道路6号線と7号線との分岐点を形成し、その大部分が河川上に位置する特殊な構造物である。首都高速道路6号線は中央区日本橋に位置する江戸橋インターチェンジから分岐して、徳川時代に建設された古い運河である日本橋川、箱崎川などの中を高架橋で通過し、隅田川右岸に出てから北上して東両国インターチェンジに至る。さらに、インターチェンジにおいて隅田川を西から東へ横断した後、再び左岸に沿って北上し、墨田区堤通付近において都道の環状4号線に接続するものである。また、首都高速道路7号線は東両国インターチェンジから分岐して古い運河の堅川の上を高架で通過し、江戸川区谷河内町において日本道路公団京葉道路と接続する(図-1)。

図-1 東両国インターチェンジ位置図



*正会員 首都高速道路公団工務部第二設計課長

**正会員 首都高速道路公団工務部第二設計課

東両国インターチェンジは6号線の江戸橋方に対してのみ7号線との分岐、合流が可能な型となっており、7号線の京葉道路側と6号線の環4側とは連絡できない。

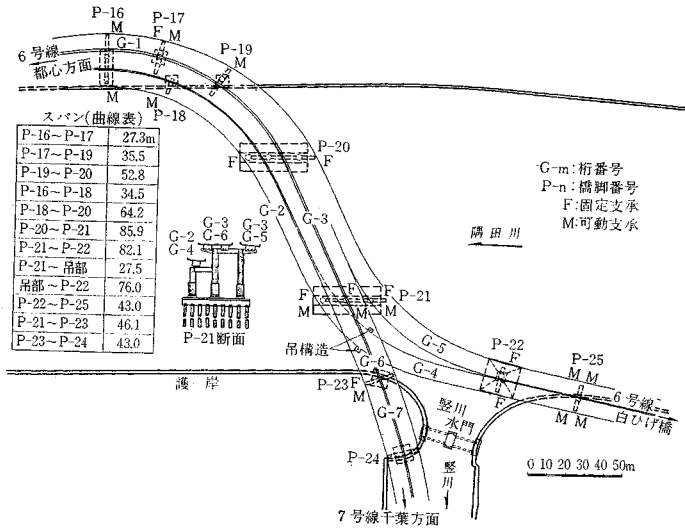
下部構造はこの地点の上流側にある両国橋と下流側の新大橋の各橋脚、および堅川水門や防潮堤などの既設河川構造物のために、その位置の設定に当って大きな制約を受けた。したがって、上部構造も曲線桁や吊構造を含むきわめて複雑な構造となった。

2. 構造形式選定経過

1. において述べたように、このインターチェンジでは① 隅田川横断、② 6号線と7号線との分合流、の二役を果たす必要がある。河川の横断に当っては、河川工学上からできるだけ流れに直角に橋脚を配置するのが好ましいが、一方、道路側から見ればできるだけ、前後の線形に適応した形で渡るのがよい。また、隅田川のような軟弱地盤地帯を流れる大河川では、建設費の点から見ても橋脚の数をできるだけ少なくすることが有利である。

そこで、この河川横断部の前後において、設計速度から許される限りの小さい曲線半径を用い、できるだけ河川の流れに直角にこれを横断し、横脚の数を減らすことにした。また、7号線は堅川上を進むことに決定しているので、堅川と隅田川の合流点付近にできるだけ近く、かつ川を渡った高速道路の方向とが、できるだけ一致するように線形を定めた。しかし、この際、堅川はこの地区の重要な水上交通路であり、かつ隅田川との接合部には背の高い水門が設けられているので、インターチェンジの構造物がこれと十分な間隔を保つことはもちろん、船隻の水門への出入を妨げないことも重要な計画決定要素である。また、7号線との出入はセンターランプ方式であり、6号本線との分合流は右岸の堤防平行部において行なう計画になっているので、流心より左岸側では、道路は、構造的に7号本線、6号上、下線の3つに分れることになる。

図-2 東両国インターチェンジ平面図



このような条件によって、橋脚位置は図-2のように決定された。ここで、実は堅川水門上流側の橋脚の他に、下流側にももう1基の橋脚を設けたかったのであるが、前述のように船筏の堅川への出入りに非常に危険であるとの都水門管理当局の指示によって、これを設けないことにした。そのため、この部分では、6号本線を支持する主桁(G-4桁)は、曲線半径80m、支間長約100m(P-21~P-22間)を一径間で渡らねばならなくなった。

このような構造について、種々検討した結果、前後支間とどのように連続させてみても、また箱桁の剛性を高めても、きわめて不安定な構造となり、かつ支承も複雑となるので、ちょうどこの桁の直上を斜に横断している7号本線の主桁(G-6桁)から6号線の桁(G-4桁)を吊り上げる構造とすることにした。この構造系の設計に当っては、静的ならびに動的の模型実験を行なって理論値と対比して検討した。

橋脚はフーチング天端から23~26m程度と高く、かつ治水上から直径3mに押えられているので鋼管構造とした。また船舶の衝突を防ぐため、鋼管橋脚の上下流端に近く鋼製の防衝杭を設けた。

橋脚を支持するフーチングは、杭基礎としたので寸法が大きくなり、地震荷重が大となるので軽量コンクリートを用いることにした。

3. 基礎構造

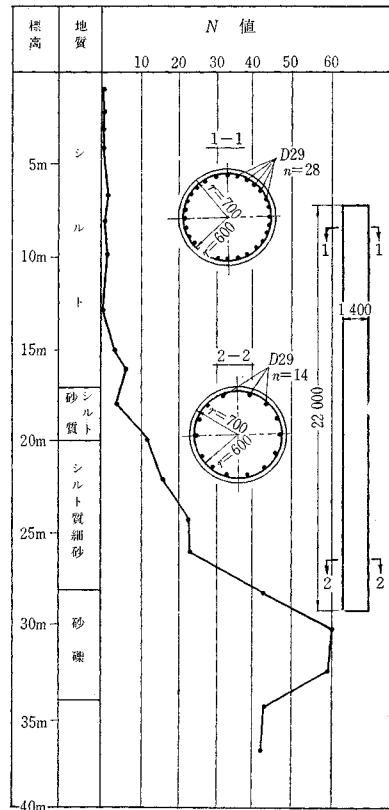
(1) 基礎杭

本工区の中央径間を支える橋脚 P-20 および P-21

は、それぞれ受け持つ橋面積が大きく、かつ、背が高いために、非常に大きな外力が加わる。P-20 を例にとれば、フーチング上端に加わる荷重は、地震時橋脚方向曲げモーメント $M=13\ 165\text{ t}\cdot\text{m}$ 鉛直力(地震時) $N=2\ 171\text{ t}$ 、水平力(地震時) $H=679\text{ t}$ である。この付近の代表的な地質柱状図は図-3に示すとおりであり、図から明らかなように、河床より下20m位は軟弱なシルト層であり、支持層はさらに10mぐらい下にある。

このような設計条件に対して、基礎構造としては、潜函基礎、鋼管杭基礎、大口径現場打杭基礎などが考えられる。本工区では、潜函基礎は工費の面で、鋼管杭基礎は打込時の騒音の面でこれを避け、直径1.4mの現場打ち鉄筋コンク

図-3 P-21・地質柱状図



リート杭基礎によることにした。さらに杭打ち工法としては、水中作業に適したリバースサーキュレーション工法を採用した。本工法に重要な役割を果たす循環水としては、河水を利用した。また、沈殿槽(スラッシュタンク)としては、中埋土を未施工であった二重締切の鋼矢

板の間を利用するとともに、その堆積土砂を中埋土の一部とした。

前述のように、杭の水平抵抗力を左右するその上部付近の地質が、本工区においては非常に軟弱であるため、杭の所要本数は、杭に加わる水平力により決められた。

杭の許容水平力の決定の際最も重要なのは、杭の上端から4m~5mの地盤の横方向地盤係数 K_h の推定である。当地点では、プレシオメーターなどで直接 K_h を測定できなかったため、三軸圧縮試験および体積圧縮係数から弾性地盤係数(E_s)を10kg/cm²と推定した。これより、 $\phi=1.4$ mの杭に対する横方向地盤係数を計算すると $K_h=0.8$ kg/cm²/cmとなった。杭頭の許容水平変位量を0.75cmとして、 $K_h=0.8$ kg/cm²を用い杭1本当りの横方向抵抗を求めると約40tとなった(図-3に杭の配筋図、図-4に杭の配置を示す)。

使用した杭の横方向抵抗を確認するため、現地で施工した杭の水平載荷試験を行なった。その荷重-変位曲線から、逆算 K_h を求めると、表-1のようになった。

図-4 P-20・断面図および杭配置図

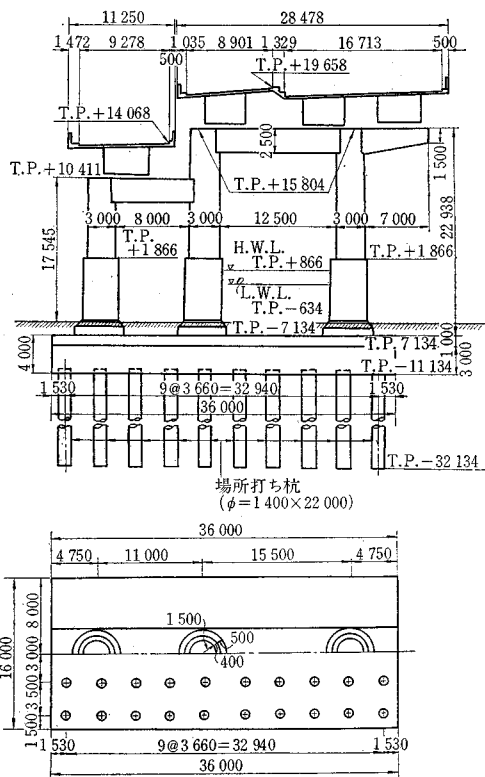


表-1 (単位: kg/cm²/cm)

水平荷重	橋脚名	P-20	P-21
25		3.22	2.92
30		2.83	2.83
35		2.40	2.85
40		2.20	-

この結果から、 K_h の値は杭のたわみ変化に対して一定でない、すなわち、杭に加わる水平荷重の増大とともに K_h の値が減少するという性質を考えに入れても、最初の K_h の仮定した値がやや小さすぎたことがわかった。

(2) 軽量コンクリート フーチング

杭の所要本数が、これに加わる水平力により定まることは先に述べたとおりである。したがって、杭より上の部分の死荷重を軽減し、地震時における水平力を減少させることが、全体工費節減に直接、かつ大きく影響する。

先に述べたごとく、フーチング上端に加わる水平荷重が非常に大きいので、これを支える杭本数に対してだけでも巨大なフーチングを必要とする。さらにこのフーチング自重を支えるためにも相当数の杭を要し、この杭のためにフーチング面積がさらに増加する。したがって、フーチング重量をできるだけ軽減することが必要であり、この解決手段として軽量コンクリートを用いた。

表-2は、フーチングに軽量コンクリート、普通コンクリートのそれぞれを用いた場合、および潜函基礎による場合の工費をP-21について比較したものを示す。なお、本表には現場条件を入れて施工法を検討するために仮設備費を含んでいる。

表-2

区 分	形 状	工費(円)
潜 函	7.0m×30.0m×32.0m	134,000,000
普通コンクリート フーチング	31.0m×21.0m×4.0m 杭 $\phi 1.4$ m $l=22.0$ m 54本	87,000,000
軽量コンクリート フーチング	31.0m×14.0m×4.0m 杭 $\phi 1.4$ m $l=22.0$ m 36本	63,000,000

表中に示すフーチングの厚さ4mは、アンカーフレームに加わる押抜き力、引抜き力、および基礎杭への荷重分布を考慮して定めた。したがって、軽量コンクリートを用いた場合でも、コンクリート体積は1,000m³を超える。このように体積の大きいコンクリート構造物を施工する場合、硬化熱による温度上昇が構造物に与える影響について十分注意しなければならないことは周知のことであるが、本構造物ではさらに①基礎杭により強く拘束されている、②軽量コンクリートは引張強度が低く、かつ熱拡散係数、熱伝導率が小さく、また比熱が大きい、などの悪条件が重なっているため、よりひび割れが生じ易いと考えねばならない。また、このフーチングは、河中に没するため表面ひび割れが構造物におよぼす影響が大きいことも十分に考慮しなければならない。

本工区では硬化熱によるひび割れを防止するため次のように配慮した。

①可能なかぎり貧配合なコンクリートとした(表-3参照)。

表-3

粗骨材の 最大寸法	スラブ の範囲	空気量	単位水量 (W)	単位セメント量 (C)	水セメント 比	粗骨材 率	細骨材の 絶対容積	粗骨材の 絶対容積	単位混和材		σ_{ck}
									ポリス No. 8	リターダー	
15 mm	7 cm	6%	160 kg	288 kg + 32 kg (フライ アッシュ)	50%	43%	478 kg	481 kg	800 g	640 g	210 kg/ cm ²

⑤ 上下・左右 1 m 間隔に 25 mm のパイプを配置し、河水を利用してクリーニングを行なった。

⑥ 打継目については施工時に十分な注意を払うこととして、上下 2 層に分けて打設した(下層 1.8 m, 上層 2.2 m)。

このような配慮の結果として、表面ひび割れを十分に防止することができ、また構造的な弱点となることが懸念された打継目についても、入念な施工の結果として、十分高い強度を持っていることがコア ボーリングにより確認された。

なお、軽量コンクリートの熱特性などについては、施工に先立って各種の試験を行なっており、現場においても熱電対により温度測定を行なった。

温度特性に関する試験については、セメント技術年報 22 号(昭和 43 年度版)、施工についてはコンクリートジャーナル(第 6 巻第 9 号・1968 年)に登載された“軽量コンクリートを用いた大型アーチングの設計と施工”(大内・平塚)に詳述されているので参照されたい。現場の温度測定結果については、後日まとめて発表される予定である。

4. 上部構造および鋼橋脚

(1) 鋼橋脚

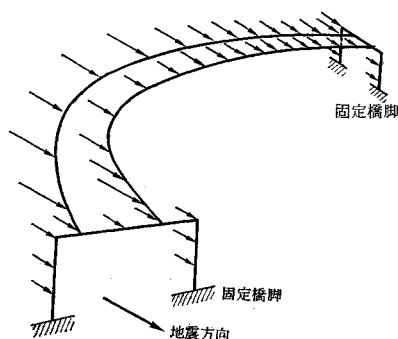
当工区の上部構造は曲率半径の小さな曲線桁である上にスパン割りも不規則となっており、さらに橋脚は陸上にあるもの、河川の中にあるもの、コンクリートでできたもの、鋼でできたものと、高さ、剛度、方向がまちまちで、種々の問題を含んでいる。

そのうち、橋脚の設計に関するものとしては水平反力の推定がある。すなわち地震時におおのこの橋脚にどのくらいの反力がどのように分配されるか予測しにくいということ、またそれぞれの橋脚によって最大の水平力が作用する地震の方向が異なるであろうということである。特に当工区は固定支承位置の橋脚の高さが高くなっているため、地震時にその剛度の影響を無視することができない。すなわち、解析する場合は立体構造物として考えなければならないことになる。そこで橋脚水平反力の解析に当り、本インターチェンジ全体を立体的に取り扱い、さらに支承の可動方向も含めて計算することにした。

しかし、実際に計算する段階になって橋脚 P-21 の所で問題が出てきた。それは橋脚上で可動支承と固定支承の両方がある場合には橋脚の剛度と、おのおのの支持条件を適切に近似させる方法がなく、所定の誤差範囲内におさめることが不可能となったからである。そこで、近似的にインターチェンジを P-21 の所で 2 分して別々に解析することにした。

計算方法は変形法により、荷重はそれぞれの部材の自重に比例した等分布横荷重を静的に載荷した(図-5 参照)。この計算方法の結果が一番顕著に表われたのは橋

図-5 荷重の載荷方法を示すモデル



脚 P-18, P-19 である。平面図を見ればすぐわかるように G-2, G-3 桁の固定位置である橋脚 P-20, P-21 のラーメン方向が隅田川の流れに平行につくられており、その上に基礎からの高さが高い。したがって、地震の場合は上部構造が川岸の方へ動く傾向を持っている。そして、P-18, P-19 はその動きを止めているためである。図-6 に 2 種類の地震方向による桁の動きを示す。これから、P-20, P-21 のラーメン方向が桁の動きに大きく影響していることがわかる。表-4 に G-2, G-3 による水平反力の各橋脚の分担を示す。表-4 の幅で合計が 100% より大きくなるのは、橋脚反力が最大になる地震方向を各橋脚ごとに変えているためである。

ただし、この計算方法は地震力を静的に考えたという問題点を含んでいる。現実には桁および橋脚の剛度によっては地震の場合に静的反力とかなり異なる反力が生ずることがあり、曲線桁でさらに可動支承の移動を考えた実際の構造物の動きは非常に複雑なものとなる。

そこで G-4 桁において模型実験を行ない、種々の地震方向においてどのくらいの範囲の振動数のときに静的反力と同じ動的反力を生ずるか、また実際の地震の振動

図-6 X方向およびY方向の地震力によるG-3桁の動き

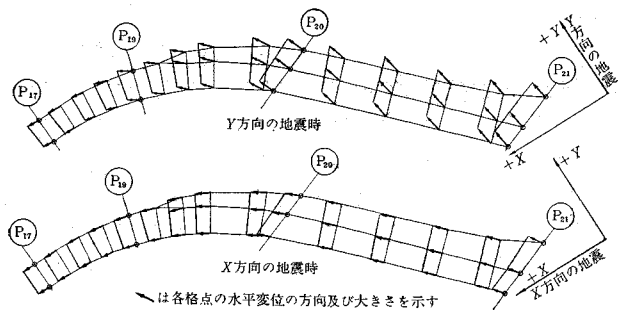


表-4 G-2, G-3 による各橋脚の水平反力の分担率

区分	P-16	P-17	P-18	P-19	P-20	P-21	合計
設計反力(t)	16	20	140	515	1049	499	
全水平力に対する割合(%)	1.1	1.4	9.7	35.5	72.2	34.5	154.4

数における動的反力と、静的に考えた場合の反力のちがいはどのくらいになるかのチェックを試みたが、結果は現在整理中である。

(2) 吊 構 造

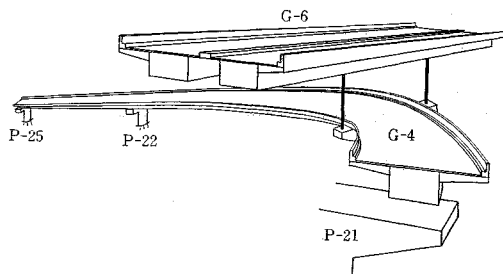
本工区に採用した吊構造は、支間約 45 m の単純 2 箱断面鋼床版桁 (G-6) から、支間約 43 m と 100 m の 2 径間連続単箱断面曲線鋼床版桁 (G-4) の 100 m 支間部を吊上げたものである (図-7 参照)。

吊材は、上下の桁の横移動に対するヒンジ構造の問題、架設の問題、万一破損した場合の交換の問題などからケーブルを採用することにし、直径 75 mm の平行線ケーブル 4 本 1 組として車線の両側を 2 組で吊った。

構造解析は上下の桁を一体と考え、変形法によって立体的に解いた。

温度変化などによる横方向の相対移動のため、ケーブルの上下部におおの 図-8 に示す特殊サドルを設けて

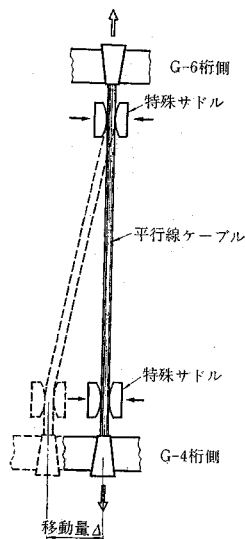
図-7 吊 構 造



すべての方向に無理なく動けるようにした。また架設時のケーブルの応力調整および取り換え時の便利さを考え、おおののケーブルにジャッキを取り付けて別々に引張ることができるようになっている。

また、この吊構造は万一事故あるいは火災などのため

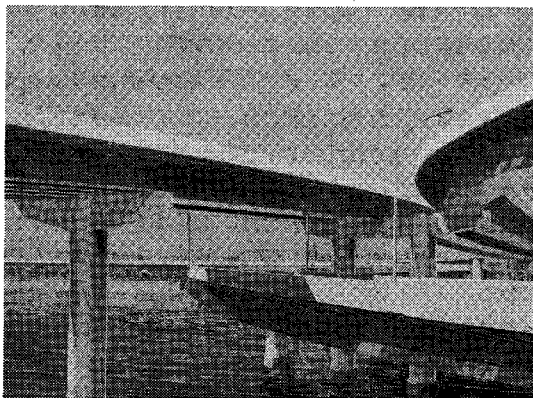
図-8 吊材水平移動図



吊材が破断した場合でも桁の落下は防ぐように、吊材がない場合でも死荷重に対しては下の桁のみで抵抗できるようになっている。

このような吊構造形式で懸念される問題は、地震時における動的な挙動である。本構造物の場合には、G-4桁 (下側)、G-6桁 (上側) おおのの固有振動数がそれぞれ 0.58 c/sec, 3.6 c/sec とかなり離れており、静止の状態において G-4 桁全死荷重の 42% が吊材に加わって

写真-1 吊構造部完成予想図



いるため、計算上では地震時においても構造系が一体となって共振すること、あるいは、吊材に過大な張力が加わることなどはないと予測された。しかし、これらをより確実に把握するために、固有振動数の比を相似させた 1/100 模型を用いて振動実験を行ない、さらに安全を確認した。

風による振動に対する照査は、支間が特に大きくないため吊材についてのみ行なった。計算では、風速 14.2 m/sec で発振する可能性があるが、この場合の振動数は

38 c/sec とかなり高く、実際上は問題がないと判断した。

ここで曲線連続箱桁の固有振動数を正確に求めることは困難なので、たわみ性状がほぼ等価と推定できる直線単純箱桁に置き換えて求めたものである。

(3) 鋼床版現場溶接継手

本工区の鋼床版の現場継手には、現場溶接工法を用いることにした。当公団においては、昭和 43 年供用開始した横羽線多摩川橋梁において、すでにこの種の施工を試験的に実施したが、鋼床版の現場継手では、一面が必ず上向きとなるが、上向き施工が可能な適当な自動溶接法のない現段階では、両面溶接を行なうことはかなりの工期延長、工費増を招く。したがって、当公団の施工例も含めて、従来はいずれもが鋼裏あて金を用いた片面自動溶接（サブマージ アーク溶接）によっている。しかし、この施工法には、完成後も裏あて金が残っている構造的な問題がある。また、施工面でも、裏あて金と鋼床版との合せ面に生じるさび、あるいは、裏あて金の仮付溶接時にこの間げきに忍びこむヒュームなどが、本溶接時にブローホールなどの溶接欠陥の原因となり易い。

本工区においては、これらの問題点を避け、また、将来に進むべき方向を見出すために、当初より裏あて金を用いない溶接方法により現場施工を行なうことを計画した。

裏あて金を用いない片面溶接法はいくらかあげられるが、これらのうち実用化されている大部分の方法は、何らかの裏あてを用いて溶融金属の溶け落ちを防ぎ、裏波を形成させる溶接法である。この裏あての種類によって、銅バックリング法、フラックス バックリング法、フラックス銅バックリング法などに分類され、造船所における板継ぎ作業などに利用されている。この中でもフラックス銅バックリング法は、前 2 者の長所を組み合わせた折衷型で、利用度が高い。本工区においては、これの特殊型に属する固化フラックス銅バックリング法を用いる予定である。すなわち、(株)神戸製鋼所で開発されたバックリングフラックス RF-1 と鋼裏あてを併用する片面裏波溶接法による施工を計画している。

バックリング フラックス RF-1 は、常温では粉末であるが、100~150°C で固化する性質を有する点で通常のバックリング フラックス と異なる。利用方法としては、通常のフラックス バックリング法と同様な施工法による場合と、本工区に用いる方法のように鋼裏あての上にこれを盛り、パーナーなどで加熱し、あらかじめ焼結固化せしめた後に継手にセットする場合とがある。いずれの利用方法においても、固化した状態で溶融金属を受けとめ、裏波を形成せしめる点が、通常の フラックス バックリング法あるいはフラックス銅バックリング法とは異なる特徴

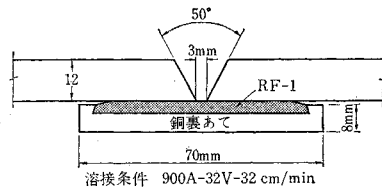
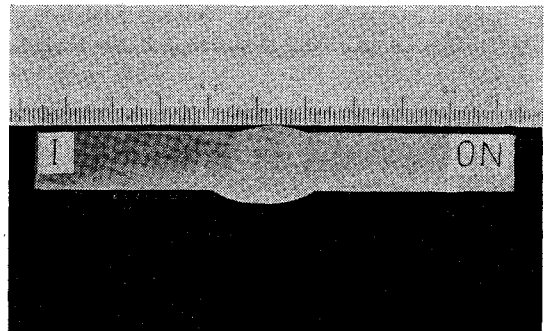
である。この 2 つの利用法の中でも、鋼床版の現場継手のように、突合せ面の目違い、ルート間隔の不整などの悪条件が重なり易い現場では、鋼裏あてを併用する施工法がより施工性がよい。

新しい施工法を用いる場合には、実際の施工に先立って適用可能な継手条件の限界を知り、施工細目についての仕様を定めることが必要である。本工区の場合にも、開先間隔、目違い、縦・横断勾配、開先面に塗布された防錆ペイントなどが継手性能に与える影響を調べるため各種の試験を行なった。試験の細目については紙面の都合上詳述できないが、板厚 12 mm の 50 キロ鋼板を対象とした標準条件と、試験の結果えられた許容しうる条件の変動は次のとおりである。

① 標準条件

開先形状：図-9 のとおり

図-9



溶接材料：フラックス	MF 38(20×D)
ワイヤー	US 36(4.8 φ)
バックリング フラックス	RF-1(10×D)
充填剤	RR-0
溶接条件：電流	900 A
電圧	32 V
速度	32 cm/min

図-9 は、標準条件で溶接された試片の断面マクロ写真である。

② 許容しうる条件の変動

開先間隔： 1~8 mm

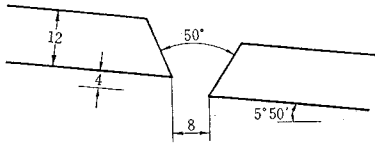
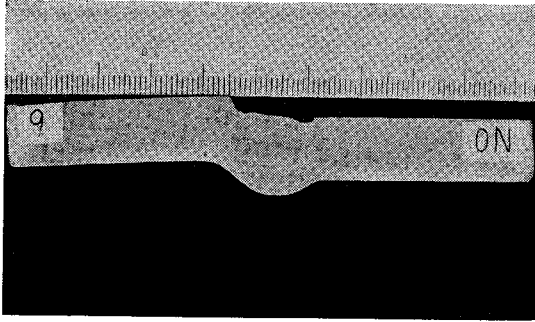
開先の目違い： 0~4 mm

母材の傾斜： 溶接線方向 6% (3°30')

直角方向 10% (5°50')

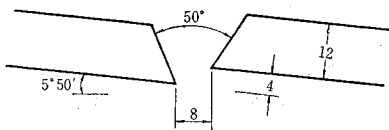
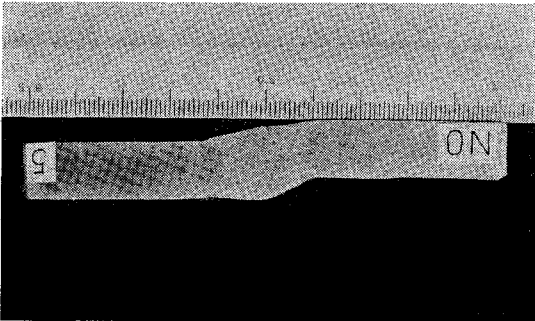
ただし、開先間隔、目違いが大きい場合は、たとえ施工が可能であっても正常開先と同一条件で施工すると、

図-10



横断勾配 10/100
溶接条件 900A-32V-32 cm/min
溶接線方向勾配 6/100(3°30')

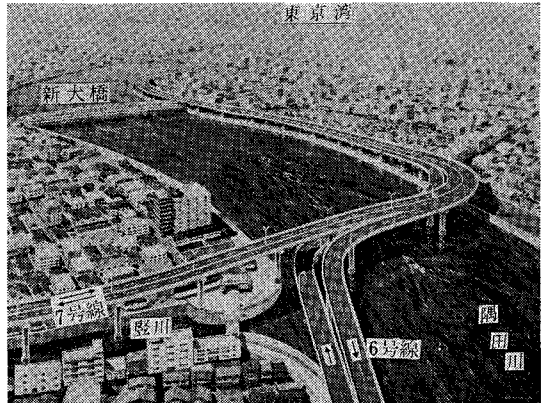
図-11



横断勾配 10/100
溶接条件 840A-32V-27 cm/min
溶接線方向勾配 6/100(3°30')

断面あるいは余盛の不足を生じる(図-10)。この場合には、追って2層目の溶接を行なうか、あらかじめ溶接条件を変えておく(図-11 参照)必要がある。また、この実験では、開先面の防錆ペイントは、ブローホールなどの内部欠陥を生じせしめなかった。しかし、発生するヒュームの量、表ビードおよび表スラグの形状の悪さか

写真-2 東両国インターチェンジ鳥瞰図
(完成予想図)



らみて、悪条件の重なる現場施工では、X線性能も劣化する恐れがあり、除去しておくのがよいと判断された。また片面溶接を行なう場合にしばしば問題になることであるが、溶接始端あるいは終端に大きな縦われを生じることがある。この現象は、この溶接法においても避けられない大きな問題であるが、溶接始、終端をあらかじめ手溶接で 20 cm 程度施工しておくことによりかなり防げることが知られている。現場施工時においても、このような対策を講じると同時に、X線検査などの施工管理を十分に行なう予定である。

5. あとがき

以上、首都高速道路公団の東両国インターチェンジの各種構造物の設計および施工上の問題点について、簡単に展望してみた。

この工区は昭和 45 年度末完成を目的に現在施工中であり、設計に当って考慮した事項もまだ実証を見ていないが、今後、施工中はもちろん完成後も、各種の実験や測定を行なって、将来のこの種の構造の計画と設計に役立つような資料をえたいと考えている。

文末になったが、この工区の設計、施工および実験を担当している施工業者のご協力に感謝の意を表すと同時に、特に上部構造の静的ならびに動の実験を担当した日本橋梁(株)、ご指導をいただいた東京大学 奥村教授ならびに久保教授に厚くお礼申し上げる次第である。

コンクリート標準示方書

B 6判 438 ページ 定価：1 000 円 会員特価： 800 円

コンクリート標準示方書解説

A 5判 356 ページ 定価：1 300 円 会員特価：1 000 円

人工軽量骨材コンクリート設計施工指針(案)

B 6判 53 ページ 定価： 300 円 会員特価： 250 円

プレパックド コンクリート施工指針(案)

B 6判 38 ページ 定価： 220 円 会員特価： 180 円