

皇居内北桔橋の設計と施工

根岸 明廣^{*1}・所 博之^{*2}・長谷 隆充^{*3}・中井 督介^{*4}

1. まえがき

北桔橋は、皇居東御苑の内堀（乾濠と平河濠の間の空濠）を跨ぐ橋であり、江戸城旧本丸天主台のすぐ北側に位置している。この橋は、昭和初期に架設されたもので、スパン10.9 mの鉄筋コンクリート単純T桁橋である。

当工事は、老朽化した旧北桔橋を撤去し、新しく架設し直すものであるが、橋梁形式を決めるにあたっては、皇居内という立地に鑑み、旧北桔橋のもつ雰囲気を最大限尊重し、周辺の歴史的な環境との調和を図ることが最優先とされた。それとともに、十分な耐力をもつ安全な橋梁とすることが求められた。

新北桔橋は、皇居内では初めての場所打ちプレストレストコンクリート単純桁を採用した。また、施工の省力化・高品質化をめざして、高流動コンクリートを用いて

いる。本文は、その計画と設計並びに施工について報告するものである。

2. 工事概要

工事名称：皇居内北桔橋架替工事
 位置：東京都千代田区千代田1番
 橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 橋格：二等橋(TL-14)
 形式：ポストテンション単純箱桁橋
 橋長：11.84 m
 支間長：11.10 m
 有効幅員：4.6 m
 橋梁全幅：5.4 m
 横断勾配：2.0%（クラウン型）
 縦断線形： $i=7\%$ ，曲率 $r=100$ m
 工期：平成3年12月～平成4年3月

3. 北桔橋の環境条件

北桔橋は、皇居東御苑の乾濠と平河濠の空濠を跨ぐ橋であり、旧江戸城本丸天主台のすぐ北側に位置している（図-1、2）。江戸城は、もともと太田道灌が16世紀のはじめ頃にその基礎を築き、その後徳川氏により大規模に拡張され、本格的な城郭となったものである。旧江戸城がほぼ完成したのは1630年頃とされるが、北桔橋は、それより以前に架設されていたものと思われる。皇居の橋としては二重橋が有名でよく知られているが、北桔橋も同じく歴史のある橋である。なお、旧江戸城にはもう一つのはね橋（西桔橋）があったが、現在はこの橋も普通の単純桁になっている。

北桔橋は、その名称から想像されるように当時は“はね橋”であり、緊急時には橋桁をはね上げて通行不能にできる構造であった。この橋は天主台に一番近い橋であり、戦術上重要な役割を担っていたのである。当然のこ

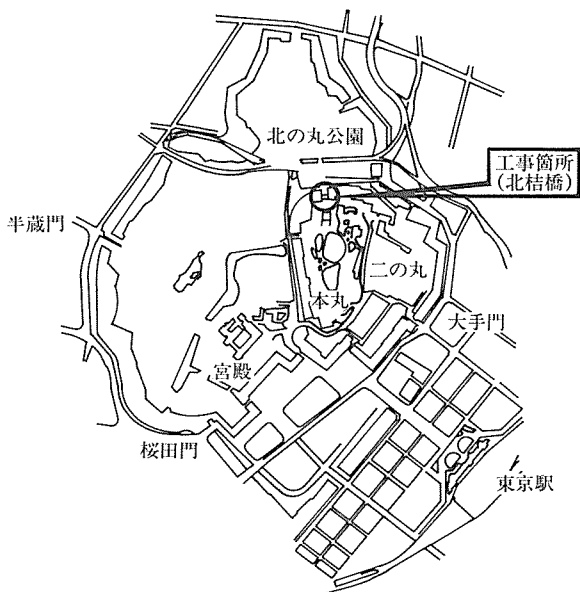


図-1 位置図

*1 Akihiro NEGISHI：宮内庁管理部工務課土木係長

*2 Hiroyuki TOKORO：大日本土木（株）エンジニアリング室

*3 Takamitsu HASE：大日本土木（株）エンジニアリング室

*4 Tokusuke NAKAI：大日本土木（株）エンジニアリング室

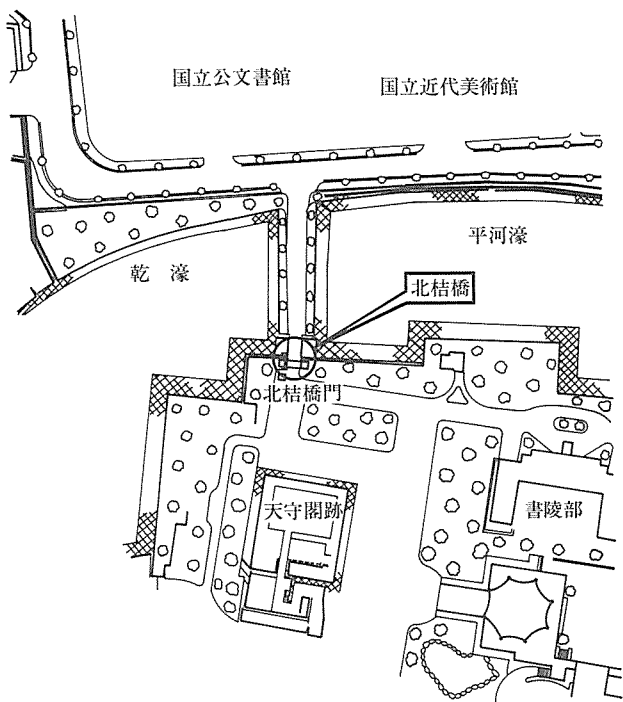


図-2 北桔橋周辺平面図

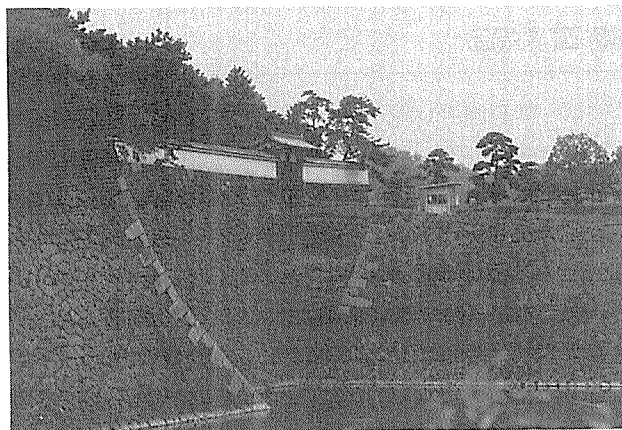


写真-1 旧北桔橋遠景(平河濠)

があり、その両側には城壁がつづいている。また橋台は、石垣の上に設置されている。これらのすべては文化財であり、北桔橋門、城壁、石垣などにできるだけ影響を与えない橋梁形式、施工工法が求められた。

旧北桔橋は、RC単純T桁橋(6主桁)であり、その桁高さは約100cmで、両サイドの張出し出版は厚さ20cmとなっていた(図-3)。高欄も鉄筋コンクリートでつくられていた。旧橋は、正面、側面、橋上といずれの方向より見てもシンプルで落ちついた感じを受け、周辺の城門・城壁・石垣や樹木などに対して目立たず、よく融合していた。特に縦断線形は景観上、大切な役割を果たしており、橋長(L=12m)のわりに桁高が大きい(h=1.0m)のために、重くなりがちな印象を軽快にしている。橋は全体として城門側が高く、外側に向かって路面が下がっている。そのため門側では縦断勾配が水平で、橋の終点では12%ほどの勾配となっている。歩行者が外より城内にはいる場合、わずかに上り勾配になる“たいこ橋”は親しみとあたたかさを感じ、周辺の雰囲気やわらげてくれるのである。

しかし、旧北桔橋は建設後すでに60年余り経過しており、一部のコンクリートがはがれ落ちて鉄筋が露出していた。またコンクリート表面にクラックも多くみら

とながらその構造は木橋であり、明治以後もおおむね原形に近い形で残されたようである。明治維新直後の写真でみると、昔からよくある柱と梁を組み合わせた形式の木橋で、城門側の3mほどの部分が軽い木桁で架設されており、この部分がはね上げられたようであった。昭和3年に当時としては新しい技術であった鉄筋コンクリート単純T桁橋として架設され、はね橋は廃止されて現在に至っている。

橋の名称は、慶長年間(1615年頃)には「土橋」「切門橋」あるいは「御裏門」などの記録が残されている。その後、はね橋ということより「北桔橋」または「北跳橋」とされたようである。なお、昔の文献では「北桔橋」とあり、現在の「北桔橋」とは字が異なっているが「桔」から「桔」へと変化した経緯は不明である。

写真-1で見られるように、橋のすぐ前には北桔橋門

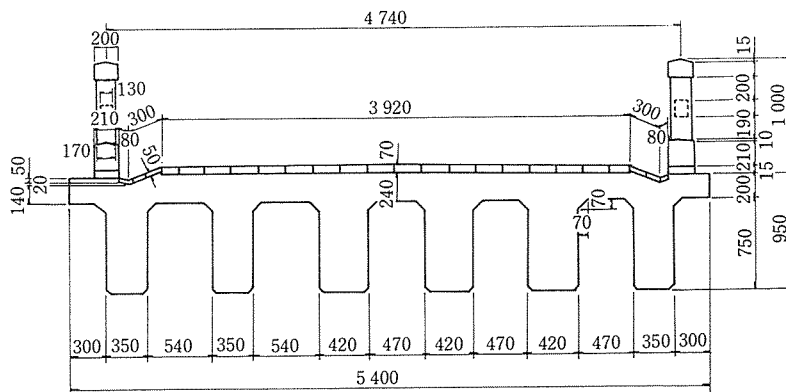


図-3 旧北桔橋断面図



写真-2 旧北桔橋損傷状況

れ、その老朽化はかなり進んでいた（写真-2）。

余談ではあるが、北桔橋周辺の石垣の石は1個60～80cmほどの大きさであるが、それぞれの石の表面には、家紋らしき各種の刻印がきざんであり、現在でもはっきりと残っている。石は当時、主に伊豆方面より運搬されたらしいが、その刻印は石材請負人がつけたもので、積み石の順番をまちがえないようにしたものともいわれている。当時の重量石の運搬方法は人力を中心としたもので、その施工には相当苦勞したことがうかがえる。

なお、現在皇居東御苑は一般の参観者にも解放されており、北桔橋はその主要な出入口の一つとなっている。

4. 橋梁形式の選定

4.1 基本条件

北桔橋は皇居内に位置し、道路構造令に定めるところの道路ではない。しかしその計画、設計は道路構造令および道路橋示方書に準じて行うこととした。

〔幅員〕

旧北桔橋の橋梁全幅員は $B=5.4$ mとせまい。しかし、北桔橋門側の石垣にさえぎられて橋梁幅をそれ以上広くすることはできないので現状と同じとした。

〔橋の等級〕

北桔橋は、通常歩道橋として使われる。しかし車輛の通過することをも想定して、橋の等級は2等橋とし、設計自動車荷重はTL-14を用いた。

4.2 計画方針

北桔橋を計画するうえでの主な基本方針は次のとおりである。

- a. 橋梁概観は旧橋梁形式を尊重すること
- b. 上部工自重は軽くすること
- c. 橋梁添加物は外部から見えなくすること

a. 橋梁外観

前章で詳しく述べたが、旧北桔橋は鉄筋コンクリートの落ちついた感じをもっていた。したがって新北桔橋に

おいても皇居内堀という周辺景観と違和感のない橋梁形式としなければならず、縦断線形についても旧橋と同じく、ゆるい“たいこ橋”を踏襲した。

高欄、橋面舗石についても派手なものは避け、両者とも天然に近い色感・量感をもつものとする。また橋体断面はできるだけシンプルで簡明な形状を採用することとした。

b. 上部工自重

旧北桔橋は、文化財に指定された石垣を橋台として利用している。その設計図面（昭和3年当時）によると、橋台は無筋コンクリート重力式（直接基礎）であり、石は橋台の前面に張りつけられている。

下部工である石垣には現在でも特に損傷が見られず、補修の必要はないと判断された。そこで今回の架替工事では、上部工のみをその対象とし、下部工は現状のまま利用した。

そのため新橋では上部工自重をできるだけ軽くし、石垣（既設橋台）に作用する荷重を小さくする必要があった。目標としては、旧橋に比べて新橋の自重を20%以上軽くすることとした。

c. 橋梁添加物

北桔橋には、ガス・水道・電気・その他の管や多数のケーブルが添架されている。

旧橋では、こうした添架物はT桁の間に設置され外部（側面）からは見えないように配置してあり、新橋においても、景観をさまたげないように外部から見えないように設置することとした。

ただし、維持管理の点から、ガスパイプ・水道管については橋体内部に埋め込まず、桁下から維持補修作業が可能であるように、旧橋同様に主桁間に添架することとした。

4.3 形式の選定

旧北桔橋がコンクリート橋のため、新橋もコンクリート系の橋梁から選ぶこととし、鋼橋は検討対象からはずした。

本橋程度（橋長12 m、幅員5.4 m）の2等橋では、一般にRC橋またはプレテンションPC桁が用いられる。

RC橋の場合、旧橋と同一形式であり最も望ましいものであった。しかし、RC構造では旧橋よりも死荷重を大幅に軽くすることは困難であり、また引張クラックの発生も心配されたので、プレストレストコンクリート橋についてのみ検討を行うこととした。

比較検討した橋梁形式は、以下の3タイプのPC橋である。

- a) プレテンション標準桁
- b) ポストテンション工場製作桁

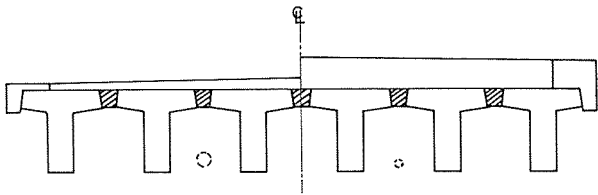


図-4 (a) プレテンション標準桁

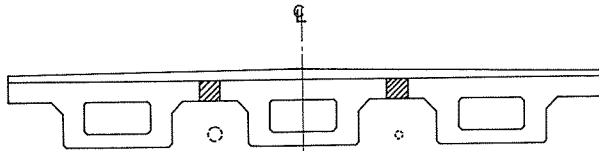


図-4 (b) ポストテンション工場製作桁

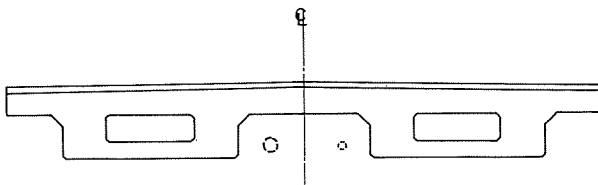


図-4 (c) ポストテンション場所打ち桁

c) ポストテンション場所打ち桁

各橋梁形式の断面形状を図-4 に示すが、それぞれの橋梁形式の架設工法・景観などの特徴は次のとおりであった。

a) プレテンション標準桁

- ・間詰めおよび地覆コンクリート打設後に横方向の緊張（横締め工）が必要である。
- ・標準桁の架設には 50 トンクラスの大きなクレーンが必要である。
- ・標準桁のため製作単価は安い。また、品質管理のうえからもすぐれている。
- ・標準桁は直線のため、横からみると「かまぼこ型」——上面は曲線、下面は直線——となり重苦しい。
- ・橋面高さ調整コンクリートなどで死荷重が増え、上部工反力は大きくなる。

b) ポストテンション工場製作桁

- ・主桁を 3 分割して工場製作し、運搬・搬入・架設する方法である。
- ・プレキャスト桁は 1 本当たり 20 トンになるためクレーン車は 100 トン以上が必要である。このため架設ヤードを整備しなければならない。
- ・分割施工のため横締め緊張が必要である。
- ・桁製作台、型枠などは特注品となり他に転用できないため、施工費は割高となる。
- ・工場製作のために品質管理にすぐれ、部材をうすくできる。その結果、全死荷重も少なくできる。

c) ポストテンション場所打ち桁

- ・固定式支保工で、コンクリート打設、緊張などすべての作業を現場で行う。
- ・支保工は既設桁の撤去用のものと兼用することができる。桁下の障害はなく、支保工の高さも低いので施工費は高くはならない。
- ・工場製作桁と比べると部材が少し厚くなる。
- ・縦横断の曲線施工ができるので総重量は比較的軽くできる。

〔橋梁形式の決定〕

各工法とも長所・短所があるが、美観の点から考えると、たいこ橋形式の施工ができないプレテン標準桁は採用しにくい。また経済性については、プレキャスト桁と場所桁では大差なく、施工性においてもプレキャスト桁が多少まさっているものの、場所打ち桁でも十分可能である。

ここで問題となったのは、既設下部工（石垣）の状況である。その桁座は既設桁を撤去するまで、その健全度

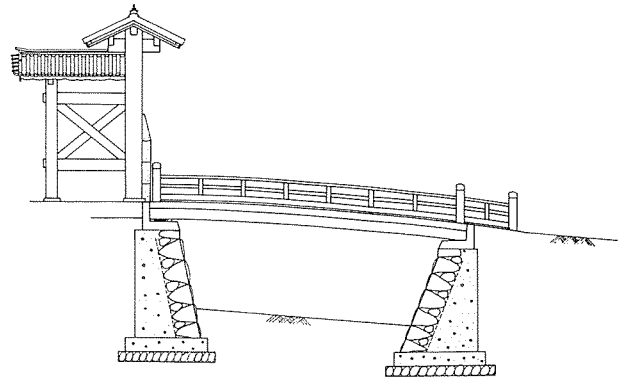


図-5 計画側面図

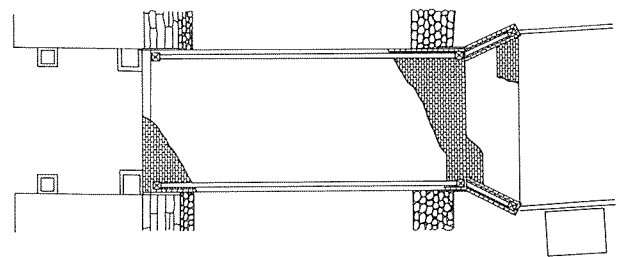


図-6 計画平面図

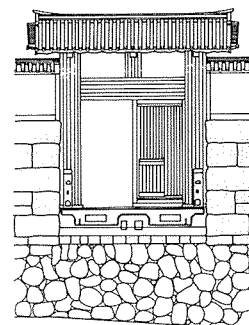


図-7 計画断面図

(コンクリートの劣化の程度、アンカーの詳細な位置など)が不明であった。既設桁撤去後に桁長やシューの位置を変更しなければならない可能性も残されていた。プレキャスト桁ではこうした状況の変化に対して迅速な対応がとれないことが懸念された。

以上の理由により北桔橋の橋梁形式はポストテンション場所打ちPC桁(固定支保工)を採用した(図-5, 6, 7)。

5. 設 計

5.1 設計条件(橋梁諸元は工事概要参照)

コンクリートの設計基準強度

主 桁 $\sigma_{ck}=350 \text{ kgf/cm}^2$

その他 $\sigma_{ck}=210 \text{ kgf/cm}^2$

鉄筋の許容引張応力度(SD 295)

床 版 $\sigma_{sa}=1\,400 \text{ kgf/cm}^2$

その他 $\sigma_{sa}=1\,800 \text{ kgf/cm}^2$

PC鋼材 SWPR 1 12φ7(フレシネー工法)

5.2 設計概要

北桔橋の基本構造系は2主桁(箱式)の単純桁である。しかし、スパン長が箱桁の桁高さも小さいので、橋軸方向には床版橋として設計した。なお、床版・箱桁のねじれの検討については格子梁モデルを用いた解析により行い、温度差荷重についても応力度の照査を行った。

主桁の設計用荷重は、1)橋体自重、2)橋面死荷重、3)活荷重(TL-14)、4)プレストレス力である。また終局荷重時の荷重組合せは以下の2ケースとした。

$$1.3 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重})$$

$$1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重})$$

床版は、1)床版自重、2)橋面死荷重、3)活荷重、4)衝突荷重について設計をした。衝突荷重は、 $H_1=0.25 \text{ tf/m}$ の推力と $H_2=0.7 \text{ tf/m}$ の衝突荷重を用いた。

橋台は、既設下部工の上に厚さ30cmほどの補強コンクリートを打設した。なお、下部工の照査は桁座コンクリートの支圧応力度およびせん断応力度の照査は行ったが、基礎の地耐力および安定計算等は省略した(上部工死荷重は、旧橋に比べて約20%軽くなったため)。

6. 施 工

6.1 施工概要

施工手順と施工工程表を図-8および図-9に示す。計画の章でも述べたように、北桔橋の周辺は文化財に指定されているものが多く、それらに被害を与えない慎重な施工が要求された。特に旧橋を撤去する際、北桔橋門の基礎に隣接して掘削をしなければならなかった。そのため北桔橋門や石垣などの既設構造物の沈下や変形について、異常のないことを確認しながら施工をすすめた。

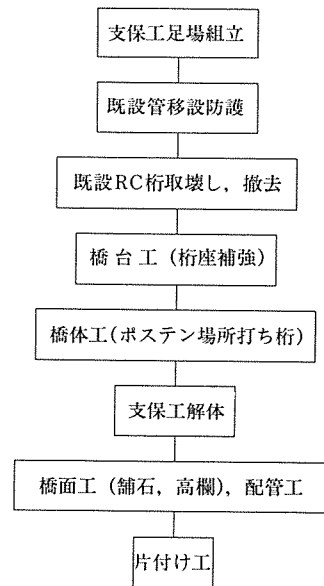


図-8 施工順序

工 種	平成3年	平成4年		
	12月	1月	2月	3月
準 備 工	—			
既設橋撤去工(支保工)		—		—
橋 台 工		—		
橋 梁 上 部 工			—	
橋面工(舗石、高欄)				—
配 管 工		—		—
片 付 け 工				—

図-9 工事工程表

また詳細な施工計画を作成し、請負業者社員をはじめ、各協力業者の職人に至るまで、すべての工事従事者は事前に登録をしておき、それ以外のものの入場を禁止した。皇宮警察とも事前に入念な打合せを行い、安全対策には万全を期した。

6.2 旧橋の撤去

支保工架設後、旧橋のコンクリート橋を切断した。旧橋は、架設後60年以上を経過しているにもかかわらず、露出していなかった鉄筋には、さびなどはほとんど見られなかった。当時のことで丸鋼が用いられていたが、主桁の主筋にはφ35mmが配筋されていた。配力筋も数多く設置されていた。

当時と現在とでは設計基準が異なるので一概にはいえないが、相当安全な設計と施工がされていたようである。そのためコンクリートのはつり・切断作業は予想をはるかに越えた手間が必要であった。細かく分割した橋体は、支保工の上に一度仮置きし、クレーンで吊り上げ撤去した。

主桁撤去後の旧桁座には、ほとんど損傷がみられな

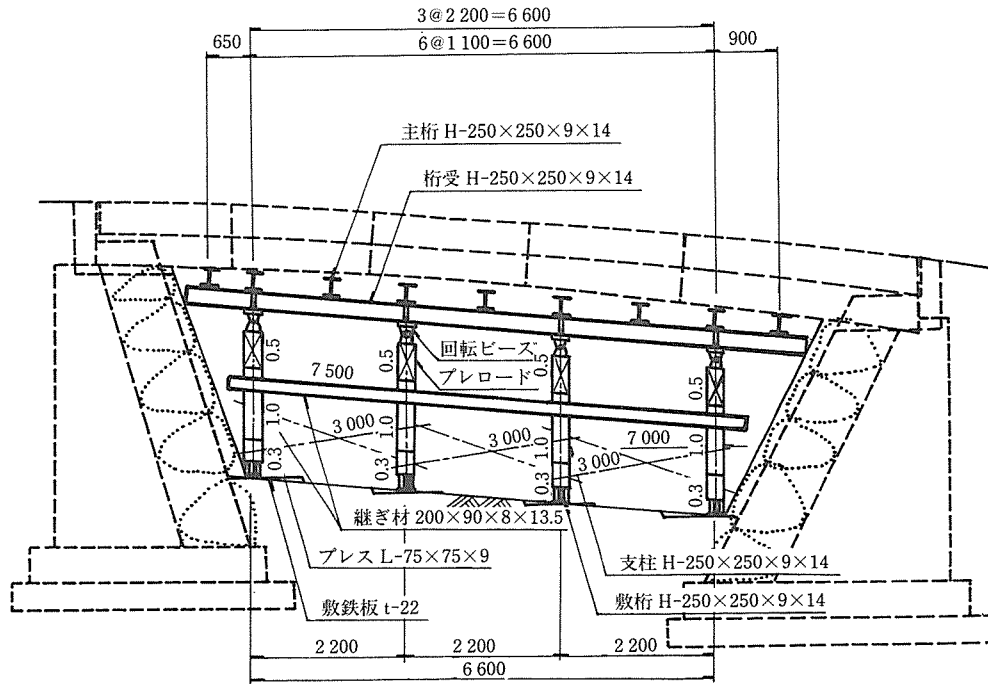


図-10 支保工側面図

かったので、表面をピッチングしコンクリートを打ち継いで新しい桁座とした。

6.3 型枠・支保工

支保工は、旧橋撤去と新架設の両方に使用できるものとし、H鋼で架台を構築した(図-10)。基礎地盤の地質は、関東ロームを主とした普通土で比較的軟弱であった。しかし載荷荷重は平均して、 $q=2 \text{ tf/m}^2$ 以下と小さいので、全面に鋼板を敷き均して地盤を補強するにとどめた。

箱桁の内型枠は、コンクリート打設後撤去ができないので木製型枠で埋殺しとした。

6.4 プレストレス導入

PC鋼線の長さは、 $L=11.6 \text{ m}$ と短いため片引き緊張とした。また、鋼材の角度変化はほとんどなく、緊張管理結果より判断すると、鋼材の摩擦損失はほぼ設計値どおりで、所定のプレストレス力が導入できた。

緊張作業は、コンクリート打設後材令5日で行ったが、プレストレス導入による桁の弾性圧縮量・桁の弾性たわみ量は、いずれも設計値に近い値を示した。グラウト材にはコンベックス208を用い入念に注入した。

6.5 高流動コンクリート

主桁の断面は、桁高さが60cmで上床版と下床版の厚さがそれぞれ20cm、15cmと薄い。また鉄筋は上床

版でダブル配筋、下床版ではシングル配筋となっており、鉄筋間隔は縦横ともすべて125mmである。4本のウェブには、それぞれに4本のPC鋼線用シースが配置されているなど、コンクリート打設作業のための空間は非常に小さいものであった。

以上の理由により、コンクリート打設時の下床版へのコンクリートの充填性は、通常の施工方法では困難なことが予想された。したがってその対策として高流動コンクリートを用いることとした。

施工に先立ち、高流動コンクリートについて試験練りと室内充填性実験を実施した。

主な使用材料と配合設計は表-1、2のとおりである。流動性は分離低減剤(ポリアクリルアミド系)と高性能減水剤により高めることとした。試験練りの結果は、ス

表-1 使用材料

セメント: 早強ポルトランド ($\rho_C=3.14$)	
細骨材	細砂: 吉野産 ($\rho_{S1}=2.61$)
	粗砂: 葛生産 ($\rho_{S2}=2.64$)
粗骨材: 碎石; 青梅産 ($\rho_G=2.64$)	
分離低減剤: アクリル系 (HF)	
高性能減水剤: Mt-150	
AE助剤: ヴィンソルW	

表-2 高流動コンクリートの配合

配合条件		配合 (kgf/m ³)						
W/C (%)	S/a (%)	W	C	S	G	HF	Ad	AE
38.9	55.0	175	450	926	762	5.0	C×3.5%	C×0.045%

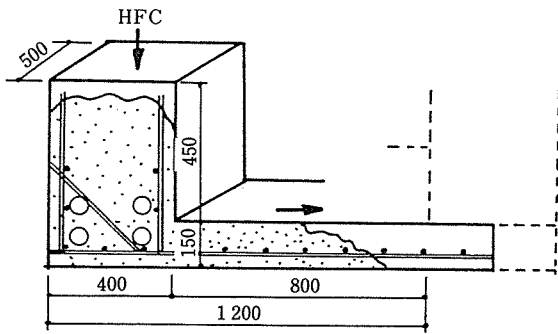


図-11 充填性モデル

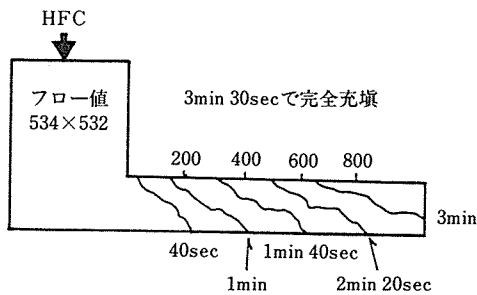


図-12 充填状況（目視）

ランプフロー値 566×588 mm, 空気量 3.5 % であり, 7日強度では 521 kgf/cm^2 に達した (設計基準強度 350 kgf/cm^2)。

充填性実験は, 図-11 に示す実物大モデルで行い, ① 充填状況 (透明型枠による目視), ② 表面の仕上り状況, ③ 施工性などの項目を調査した。実験の充填状況を 図-12 に示すが, バイブレータを使用することなくコンクリート投入後, 約 3 分 30 秒で完全に充填することが確認された。

実施工では, ポンプ車で高流動コンクリート打設した。締固め用バイブレータは, 上床版には用いたが, ウェブや下床版には用いず, この部分にはコンクリートを流しこんだだけであった。しかし, 空隙の少ないウェブや下床版にもよく充填することができ, 型枠脱型後のコンクリート表面には, 豆板などは見られず, 満足のゆく出来映えであった。

また, 当橋では, 橋面が最大 12 % の勾配で傾斜している。高流動コンクリートには, 打設後放置しておく, 表面が水平になるという性質がある。そのため, 表面の一部に金網を設置して, これでコンクリートを押し

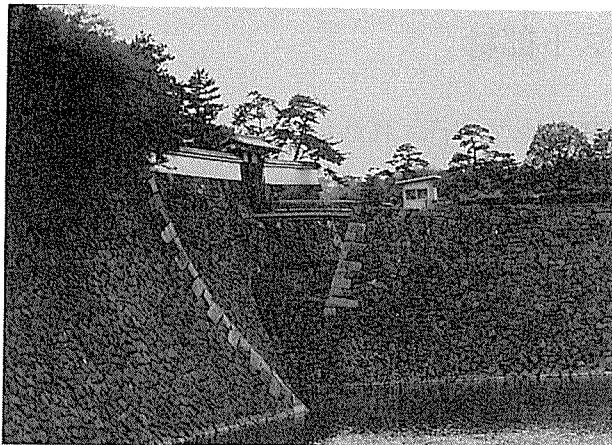


写真-3 新北桔橋遠景 (平河濠)

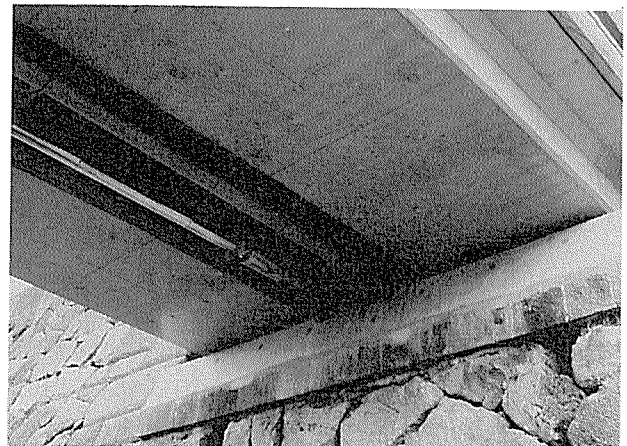


写真-5 新北桔橋桁下



写真-4 新北桔橋正面

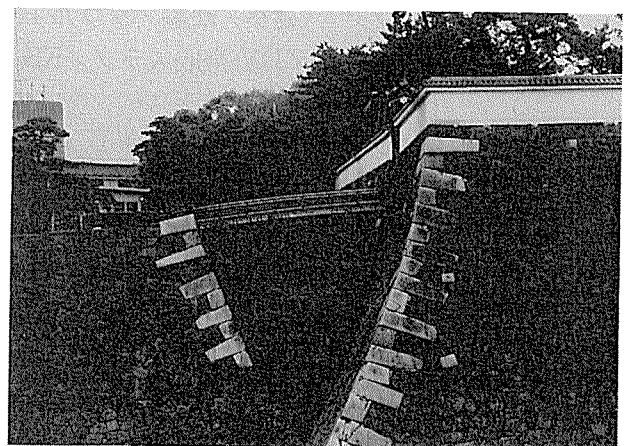


写真-6 新北桔橋遠景 (乾濠)

◇工事報告◇

え、計画勾配に仕上げた。

6.6 橋面工

高欄はアルミ鋳物を用いて製作した。形状は旧北桔橋の形を踏襲したが、色彩は北桔橋門および舗石に調和するような、落ちついた黒茶色とした。また舗石は、天然石と同等の質感をもつセラミック系材質の御影質を用いた。

7. おわりに

北桔橋は皇居におけるはじめての PC 橋である。その橋梁形式の選定においては特に景観を重視し、周辺の歴史的文化財との調和をはかった。また施工においても、美しい橋を建設するため関係者全員が協力した。

この橋が将来長い間にわたり存続し、周辺環境にとけ込みながら新しい歴史をつくってくれることを、心より願うものである。

【1992年4月16日受付】

◀刊行物案内▶

PC プレキャスト部材

本書は、プレストレストコンクリート第33巻特別号として刊行されたもので、最近の PC プレキャスト部材の概要・特色を分野別に分類し紹介したものです。

体 裁：B5判 162頁

頒布価格：3 000 円（送料：350 円）

内 容：〈総論〉 PC プレキャスト部材の展望 〈道路〉 概論／プレテンション方式プレストレストコンクリート橋桁／軽荷重スラブ橋用プレストレストコンクリート橋桁／ポストテンション方式プレストレストコンクリート橋桁／PC 合成床版工法／PPCS 工法／プレキャスト床版／PC スノーシェッド（逆L型）／PC スノーシェルター（アーチ型）／ロックシェッドプレキャスト PC 部材／ボルト連結式ロックシェッド ドーピーシェッド／キャンティール工法 〈鉄道〉 概論／PC マクラギ／軌道スラブ／ 〈建築〉 概論／ダブルTスラブ／FC 板スラブ工法／CS 版／ π スラブ／CST スラブ／DV 合成スラブ／KS 合成スラブ／DT アーチ合成スラブ／FPC 合成スラブ／アサノダイナスパン合成床工法／スパンクリート合成床工法／高層 PC ラーメン組立工法 プレストレス圧着接合による柱自立工法 〈地下〉 概論／プレストレストコンクリート矢板／既成コンクリート杭／PC ウェル工法／AJ パイル／PC ボックスカルバート／プレキャストボックスカルバート／プレキャストコンクリート共同溝／PC フレーム／KKE クローズビーム／PC-壁体／プレキャスト PC 可撓性樋管／地中横断構造物構築工法（非開削工法） PCR 工法用 PCR 桁 〈海洋〉 概論／PC 栈橋用プレキャストホロー桁／フローティングピアシステム／ベイテックポンツーンシステム 〈その他〉 PC プレキャスト版舗装／プレキャスト PC タンク／防火用水貯水槽 TAR 耐震性貯水槽