

筑波研究・学園都市大角豆地区 7 号歩道橋

高 橋 保 雄*
 小 野 隆 義**
 富 田 价 彦***

1. ま え が き

筑波研究・学園都市は、高水準の研究教育拠点として東京およびその周辺から移設される国の研究機関、および新設される研究機関を中核とし、これに民間の研究機関等を加え、そこで働き学ぶ人達と家族の住宅と生活関連施設等が、総合的、組織的に建設整備されている。

このような、新しい都市を建設する事業は世界にもその例をみない画期的なもので、今後のモデルケースになると思われる。ここは首都東京の中心から東北約 60km、国鉄常盤線土浦駅の西方およそ 8 km の位置にあり東西約 6 km、南北約 18 km の細長い地域で 2700 ha の用地を有し、昭和 60 年度には、既存の周辺人口を併せて約 22 万人を予定している。

幹線街路としては南北方向に 3 路線（学園東大通り線、学園西大通り線、牛久学園線）があり、これを横断的に東西方向で結ぶ 5 路線（土浦学園線、学園北大通り線、学園南大通り線、学園中央通り線、学園平塚線）がある。なかでも中心部の東西両大通り線は新都市の骨格を形成する主要な道路で歩道、自転車道のほかに広い植樹帯を確保し、車道を宅地面より 1 段低くし歩行者専用路との立体交差を容易にしている。

歩行者専用道路は、自動車道路とは別系統に設けられており、その総延長は、約 48 km にも及び新都市の大きな特徴の一つでもある。

各路線と交差する歩道橋は 33 橋あり、この中でも 7 号歩道橋は東大通り線上の地区南端部に架設され、研究・学園都市の南からの玄関口としてのランドマークを目的の一つとして架設されたものである。

2. 7 号歩道橋（並木大橋）の概要

（図-1 全体一般図参照）

橋 名：大角豆地区 No. 7 歩道橋

- * 日本住宅公団研究・学園都市開発局工事設計課長
- ** 千代田コンサルタント設計部次長
- *** 鹿島建設土木設計本部設計長

路線名：東大通り線

橋 種：ディビダーク式プレストレストコンクリート歩道橋

構造形式：（上部工）2 径間連続 PC 斜張橋
 （基礎工） ϕ 1.5 m, リバース杭

橋 長：80.9 m

支 間：40.0 m + 40.0 m

有効幅員：5.0 m, 8.0 m（主塔部）

活荷重、群集荷重：350 kg/cm², 500 kg/cm²（床版）

設計震度： $K_H=0.2$

勾 配：横断 2.0%

縦断 8.0%

主要鋼材：主桁用 SBPR B種 2号 ϕ 32 mm
 95/120 kg/mm²

斜材用 ゲビンデスターブ ϕ 32 mm
 95/110 kg/mm²

3. 設 計 概 要

3.1 橋梁形式の選定

本橋梁の計画にあたっての条件としては

- ①両サイドのアプローチとの取合上計画高に制限がある。
- ②東大通りの建築限界 4.7 m を確保する。
- ③地質条件が悪いため上部構造の軽減をはかる。
- ④シンボルマークとしての意味をもたせる。

以上の条件により数種の橋梁形式を比較検討の結果、PC 斜張橋を選定した。

基礎形式は、ボーリングデータをもとに検討し、さらに工法の選択、経済比較の結果、リバースサーキュレーション工法による杭径 1.5 m の RC 杭を採用した。

3.2 上部工の設計

断面力解析の基本構造系を 図-2 に示す。

i) 主桁プレストレス

主桁の PC 鋼棒配置は 図-3 のように主桁軸線に対称な配置をしている。

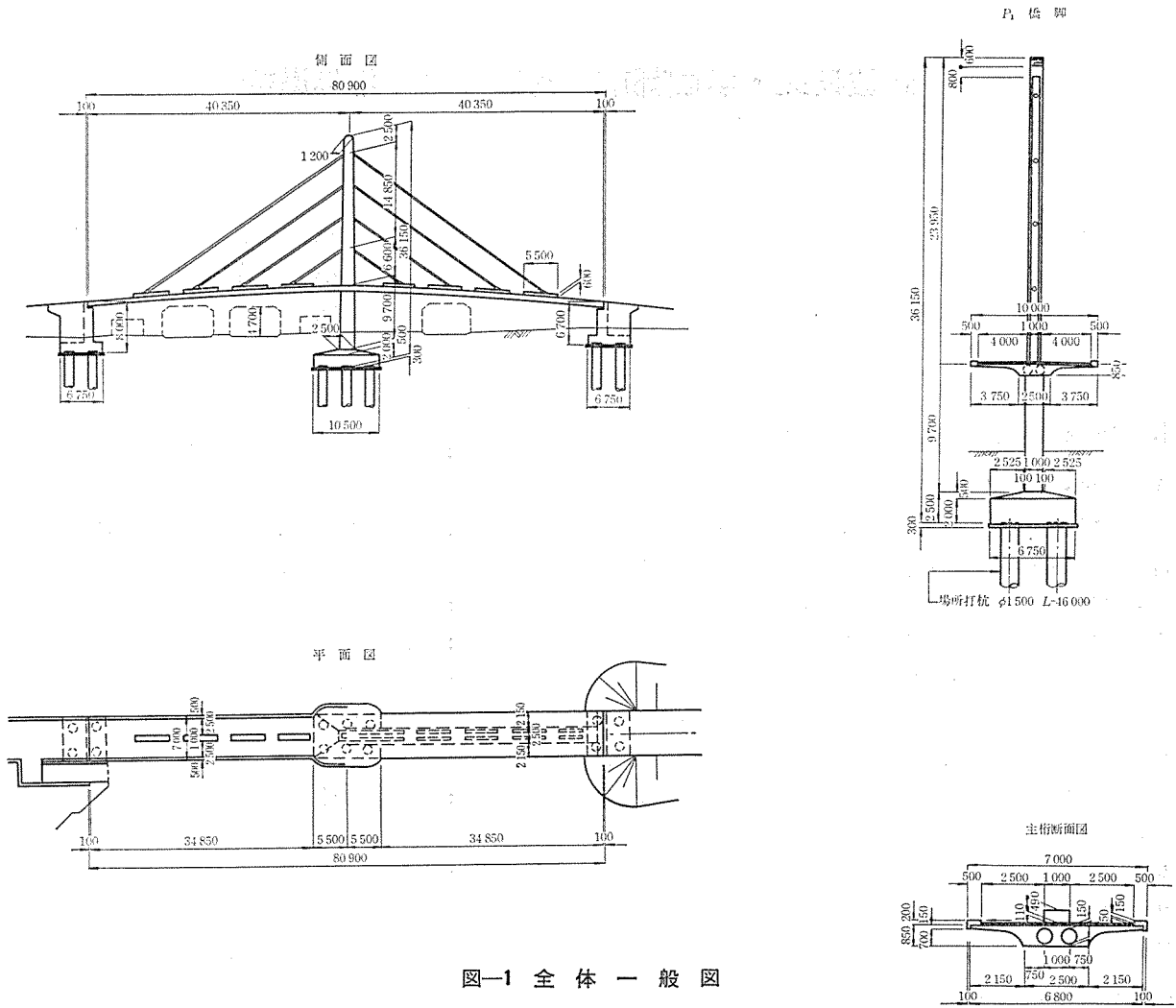


図-1 全体一般図

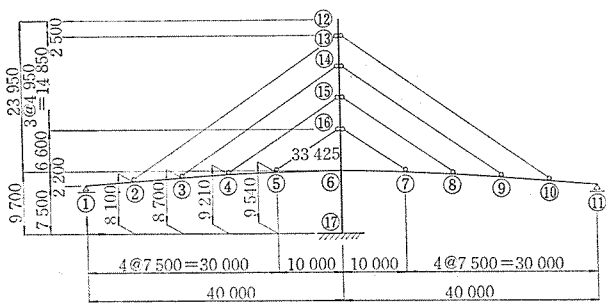


図-2 基本構造形

ii) 斜材張力

斜材の断面および設計荷重時の斜材導入力を 図-4, 図-5 に示す。

iii) クリープ乾燥収縮の計算

主桁のクリープおよび乾燥収縮によって、斜材張力が変化し、構造系全体の断面力に変化を生ずる。時間とともに生ずる断面力変化による変形増分の算出は、次のように仮定して計算をした。

(a) 時点 t_{n-1} , t_n での断面力を $X(t_{n-1})$, $X(t_n)$

とすると、時間 $\Delta t_n = t_n - t_{n-1}$ 間に生ずる弾性変形増分は、 $\{X(t_n) - X(t_{n-1})\}$ による弾性変形に等しい。

(b) 時間 Δt_n 間に生ずるクリープ変形増分は t_{n-1} , t_n 間の平均断面力、 $\{X(t_n) + X(t_{n-1})\}/2$ によって生ずるクリープ変形に等しい (図-6 参照)。

$$X_i = \frac{\left\{ \bar{r}_c \left(1 - \frac{1}{2} \Delta \varphi_i \right) + \bar{r}_s \right\} X_{i-1} - \delta_c \cdot \varphi_i}{\bar{r}_c \left(1 + \frac{1}{2} \Delta \varphi_i \right) + \bar{r}_s}$$

ここに X_{i-1} ; 時点 t_{i-1} における不静定力

X_i ; 時点 t_i における不静定力

\bar{r}_c ; コンクリート部分だけを考えた単位不静定力による不静定方向の相対変位マトリックス

\bar{r}_s ; 鋼部分を考えて単位不静定力による不静定方向の相対変位マトリックス

δ_c ; 静定系におけるコンクリート部分だけを考えた不静定方向の死荷重による相対変位

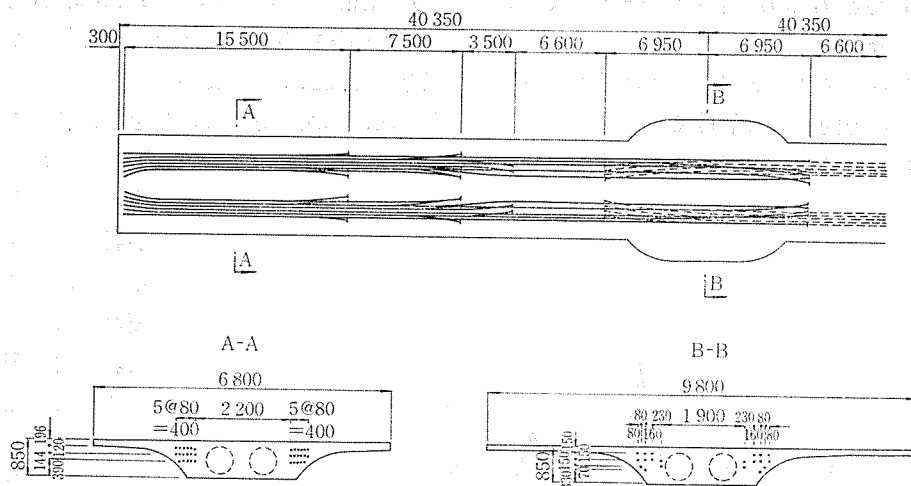


図-3 主桁PC鋼棒の配置

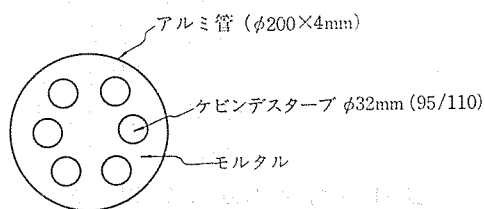


図-4 斜材の断面

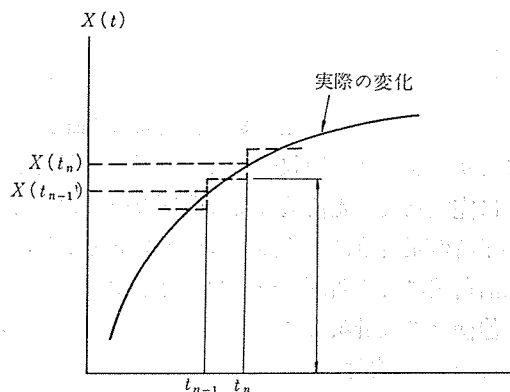


図-6 時間 t とともに変化する断面力 $X(t)$

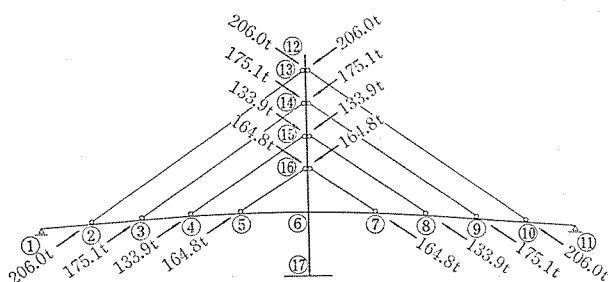


図-5 斜材の導入力

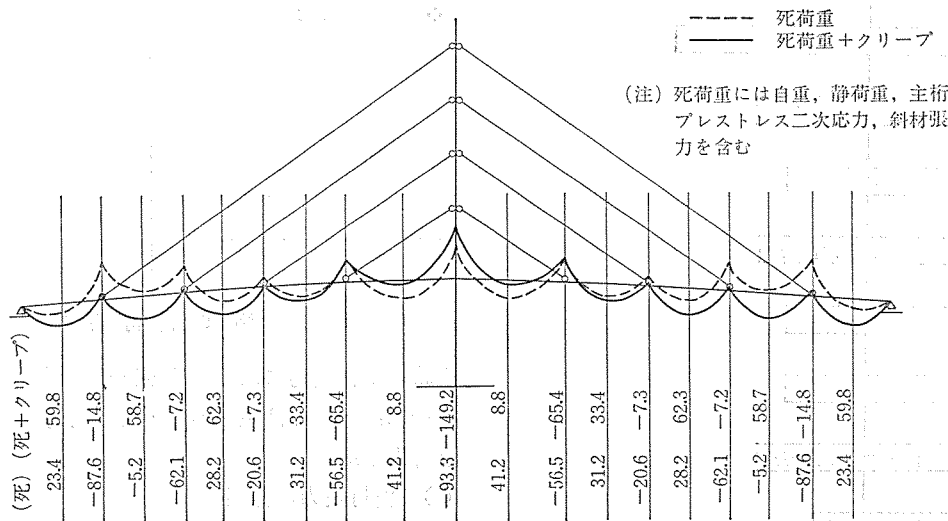


図-7 死荷重の曲げモーメント

$\Delta\phi$; 時点 t_{i-1} , t_i 間のクリープ係数の増分
 l_c ; コンクリート部分だけを考えた不静定方向の相対部材長
 $\Delta\epsilon$; 時点 t_{i-1} , t_i 間の乾燥収縮度増分

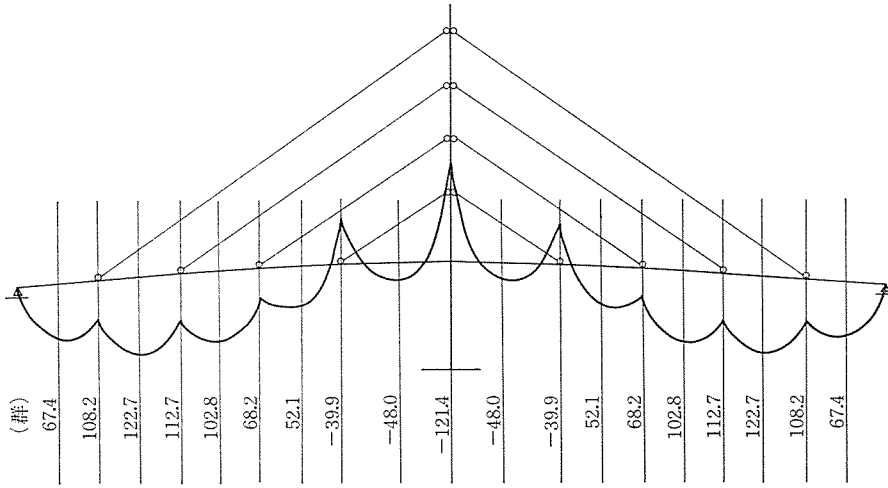


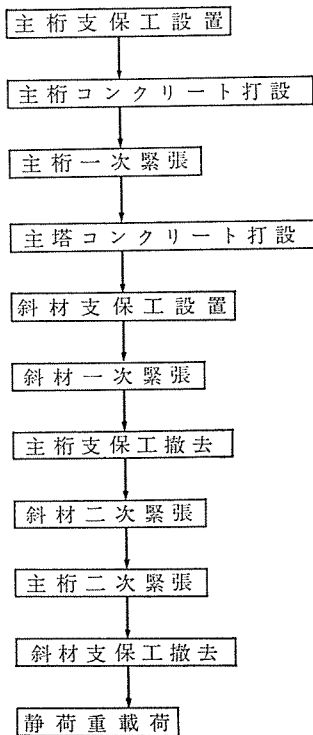
図-8 活荷重による曲げモーメント

上式によりクリープ乾燥収縮による断面力を算定した。図-7 に完成直後の死荷重による曲げモーメントとクリープ終了時の死荷重による曲げモーメントを示し、図-8 には活荷重による曲げモーメントを示す。

その他個々の設計項目についての説明は省略する。

iv) 施工時の検討

a) 上部工施工順序



b) 主桁のプレストレスおよび斜材の張力

東大通り線の交通規制を、早く解放するために、支保工を早く撤去する必要がある。したがって斜材、主桁とも一次、二次に分けて緊張をし、斜材の一次緊張は、主桁と斜材接点の位置で、反力が0となるように緊張し、主桁のプレストレスはPC鋼材が軸線に対称に配置されているため、ほぼ設計荷重時に必要な量に近い緊張力を導入した。斜材の緊張順序の違いにより緊張時に大きな応力異差が生じるので、緊張による梁の応力変動をできるだけ少なくするため、表-1 に示す順序で斜材の緊張を行った。また2回に分けて緊張することによって応力変動を少なくした(斜材番号は図-9参照)。

斜材の二次緊張は、設計荷

表-1 斜材の緊張力および緊張順序

| 斜材番号 | 一次緊張 | | 二次緊張 | |
|-------|------|---------|------|--------------------|
| | 順番 | 導入力 (t) | 順番 | 増分導入力 (t) |
| No. 1 | 2 | 128.593 | 1 | (182.96) 40.916 |
| 2 | 4 | 110.723 | 3 | (132.15) 37.165 |
| 3 | 3 | 95.311 | 4 | (81.91) 19.994 |
| 4 | 1 | 131.157 | 2 | (136.16) 17.975 |
| 5 | 1 | 131.157 | 2 | (136.16) 17.975 |
| 6 | 3 | 95.311 | 4 | (81.91) 19.994 |
| 7 | 4 | 110.723 | 3 | (132.15) 37.165 |
| 8 | 2 | 128.593 | 1 | (182.96) 40.916 |

※ () は緊張力

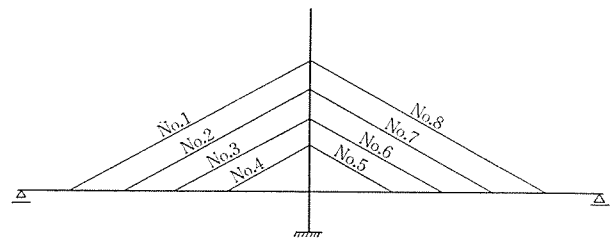


図-9 斜材番号

重時の斜材張力になるよう表-1 に示す緊張力を導入し主桁二次緊張では主桁の縮み分を考慮に入れて微調整分を導入した。

c) 斜材張力の算出

一次緊張時の斜材張力は、各斜材位置を支点とした連

連続梁として構造解析を行い算出する。この連続梁において自重および斜材支保工荷重による各斜材位置での反力を RD とし、斜材の一次緊張で緊張順序に従った構造系での単位斜材張力での各斜材位置での反力を RU とする。自重および斜材支保工荷重による反力 RD が 0 となるような斜材導入張力 TL として次式を解く。

$$[RU][TL] = -[RD]$$

この TL が斜材導入一次緊張力となる。

斜材二次緊張力は設計荷重時の斜材張力から、斜材一次緊張の最終段階の斜材張力を差し引いた張力 TD となるような $T2$ を求める。各斜材の単位張力 TU として、次式によって斜材導入二次緊張力 $T2$ を求める。

$$[TU][T2] = -[TD]$$

3.3 下部工の設計

i) 地質概要

ボーリングデータより、上部 GL-4m~7m までは関東ロームを含めて凝灰質粘土 (LmDc₁ 層) GL-28m~29m まで粘土分の多い砂質土および砂層と粘性土の互層状を示している (Dcs 層)、それ以深から GL-49m 付近まで粘性土 (Dc₂ 層)、以下砂礫層 (Dg 層) となっている (図-10 参照)。

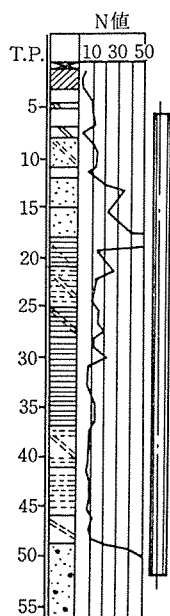


図-10 土質柱状図

ii) 基礎形式

信頼できる基礎地盤が GL-50m 付近にあり、この地層まで杭を打設する必要がある。杭の種類には、鋼管杭、コンクリート既成杭、場所打ちコンクリート杭があるが、地質状態、施工性、経済性、さらに、近接構造物 (水路) 等を考慮して比較検討の結果、リバース杭 (杭径 $\phi 1.5$ m) を採用した。

杭の配置は両橋台に 4 本、橋脚に 6 本配置した (図-

1 参照)。

4. 施工概要

以上、本橋の設計についてその概要を述べたが、以下に、上部工の施工の概要を報告する。

4.1 上部工施工区分および施工順序

上部工の施工は大別すると主桁工、主塔工、斜材工に区分できる。主桁は全橋支保工上で施工し、主塔は、主桁完成後、橋面に足場を組立て、5 ロットに分けて施工する。また斜材は、主塔の施工完了後、橋面に支保工を設け、組立て配置を行っている。施工順序は

- i) 主桁支保工組
- ii) 主桁型枠組、鉄筋および P C 鋼棒の配置
- iii) 主桁コンクリート打設
- iv) 主桁の緊張
- v) 主塔の足場組および鉄骨組
- vi) 主塔の型枠組、鉄筋の配置、コンクリート打設 (5 ロットに分割)
- vii) 斜材支保工組および斜材の組立配置
- viii) 斜材一次緊張
- ix) 主桁支保工撤去
- x) 斜材二次緊張および主桁二次緊張
- xi) 主桁および斜材のグラウト
- xii) 斜材支保工撤去
- xiii) 主桁、主塔の吹付タイル工および橋面工

である。

4.2 上部工の施工概要

上部工は、前述のように、主桁工、主塔工、斜材工、に区分できる。以下に各施工区分ごとの施工概要を報告する。

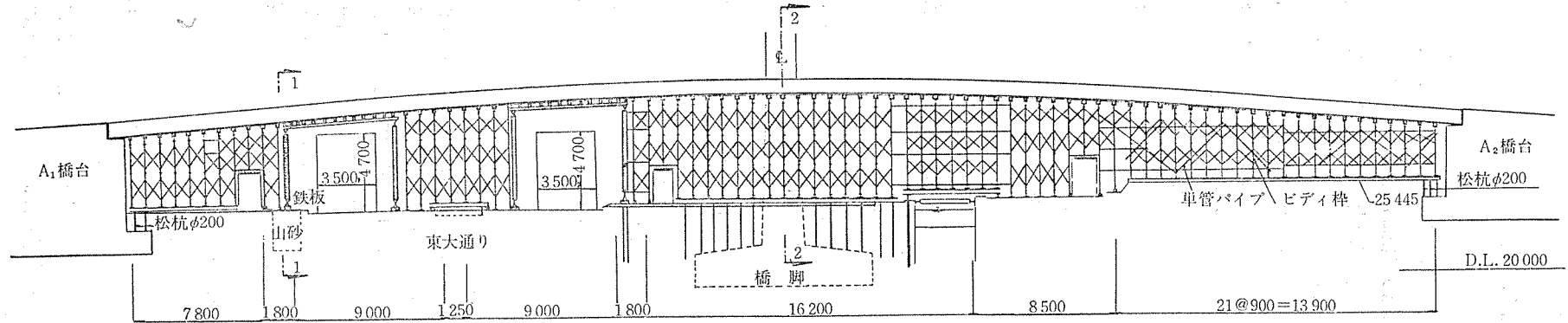
i) 主桁工

① 支保工

主桁は全面支保工上で施工した。支保工の制約条件は東大通りおよび左右 2 個所の歩道の交通を遮断しないことである。したがって、図-11 に示すように、東大通り上は、H 鋼と 4 角支柱の組合せ、歩道部は H 鋼とパイプサポートの組合せにより、それぞれ桁下空間を確保した。その他の部分はすべて枠組支保工とした。

② 型枠工

型枠は厚さ 12 mm の合板を使用した。ただし主桁側面の半径約 1.3 m のカーブの部分は、厚さ 6 mm の合板を 2 枚重ねにして櫛型枠を作成した。また櫛型枠と底版型枠の突合せ部には図-12 に示すように特製の面木を使用した。コンクリート面の仕上りは良好であった。



支保工断面図

張出し支保工および防護工

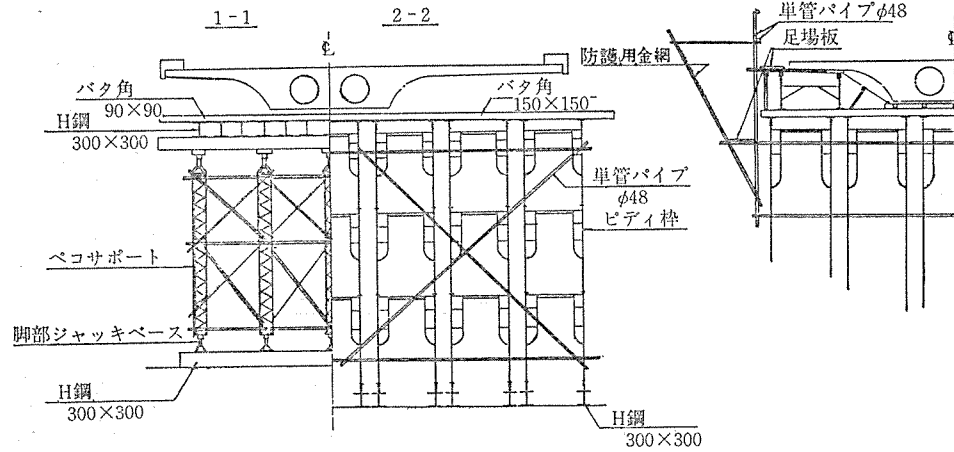


図-11 主桁支保工図

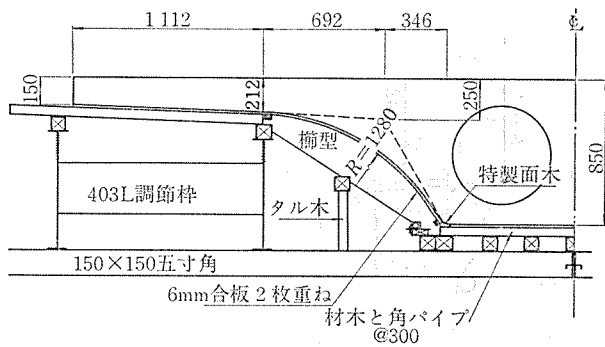


図-12 上部型榑標準断面図

③ PC鋼棒工

PC鋼棒工は通常の場合と変るところはないが、斜材のPC鋼棒のうちの主桁に埋込まれる部分の配置は、入念に行わなければならない。前述のように斜材は主桁、主塔の完成後、施工するので、斜材PC鋼棒の一部を主桁施工時に埋込む必要がある。配置にあたっては、角度、位置、方向を正確に施工し、特にコンクリート打設時に位置がずれないように強固に固定する必要がある。したがって写真-1に示すようにフラットバーと、丸鋼によるスペーサーで橋面上の位置、



写真-1 斜材 PC 鋼棒主桁埋込み部



写真-2 主桁 PC 鋼棒および鉄筋の配置

角度を確保し、埋込み部分の定着部では、スターラップ、補強筋により十分固定した。その結果、斜材のPC鋼棒配置時にはなんのトラブルもなく、十分な施工精度を得ることができた。

④ コンクリート工

コンクリートの打設はポンプを使用し、橋脚を中心に左右2班に分けて施工した。打設順序で考慮した点は、東大通り上の支柱式支保工部分を先行打設し、支保工の沈下の影響を少なくし、支柱に均等な反力が生じるように考慮したことである。また、コンクリートの天端均しも、600m²と多いので、2班に分けて入念に施工した。なお、支保工の沈下は、打設中に、測定点を設けてチェックしたが、ほぼ計画どおりで5mmから1cmであった。

ii) 主塔工

① 足場工、鉄骨工

主桁コンクリート施工後、主塔の鉄骨および主塔施工用の足場を組立てる。鉄骨は約7m~9mのあらかじめ組立てたものを現場に搬入しクレーンで建込み組上げる方法をとった。足場はすべてビティ榑を使用し、昇降のための階段を設けた。

② 鉄筋工およびPC鋼棒工

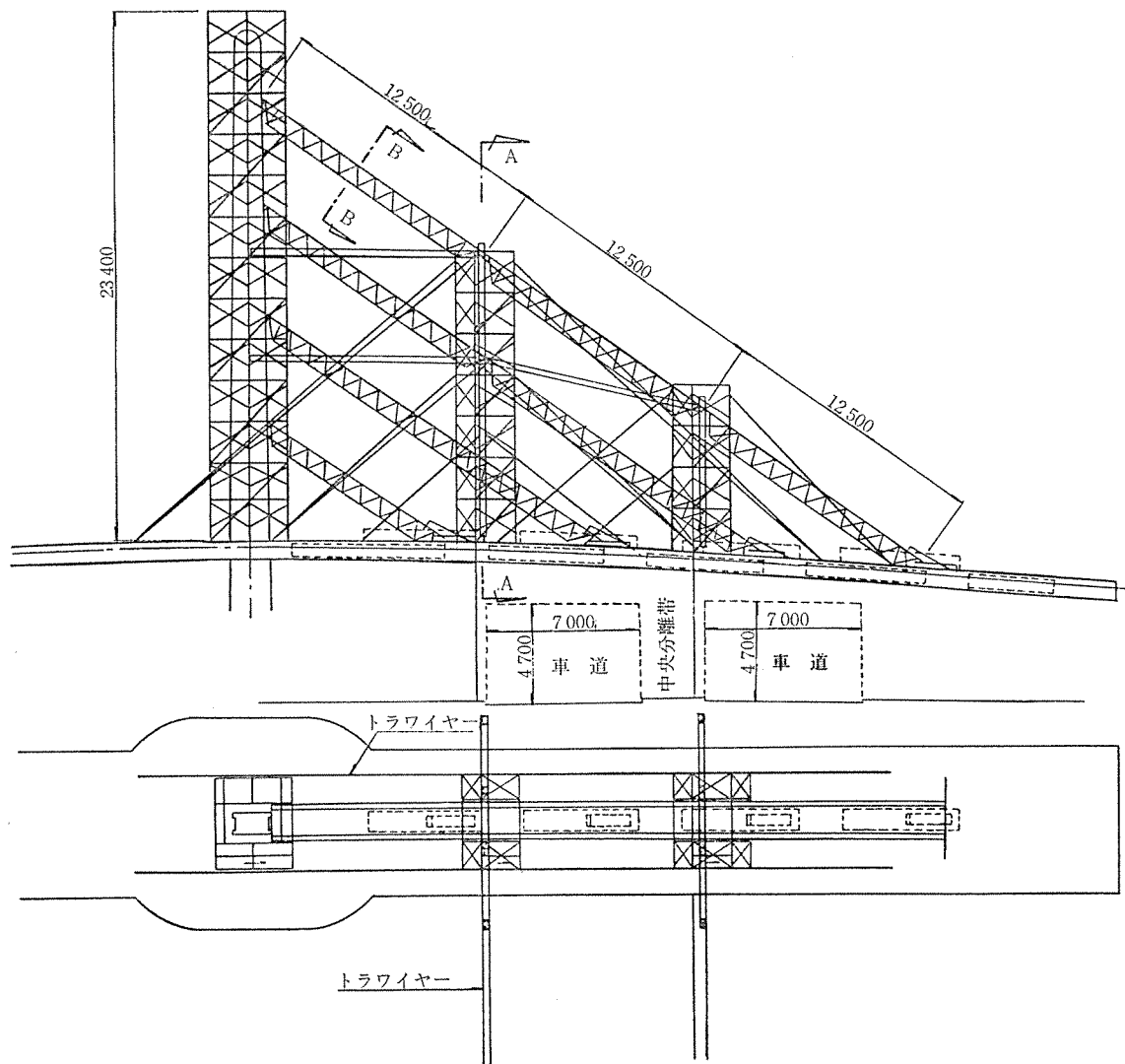
主塔は斜材の埋込み部下端に打ち継目を設け、5ロットに分けて施工することとした。主鉄筋はすべてガス圧接継手であり、各ロットごとに圧接作業を行った。斜材のPC鋼棒の主塔埋込み部の施工は特に入念に行う必要がある。主桁に埋込んだ部分と同様、位置と角度を正確に確保するため、主塔の鉄骨と鉄筋を利用して位置を定め、コンクリートの打設によりずれないように強固に固定した(写真-3参照)。



写真-3 斜材 PC 鋼棒主塔埋込み部

③ コンクリート工

コンクリートの打設は、1ロットごとの打設量も少なく、高所作業となるので、クレーンによるバケット打ちとした。斜材PC鋼棒の配置された部分は、斜材緊張時やグラウトの施工時にトラブルのないように特



断面図

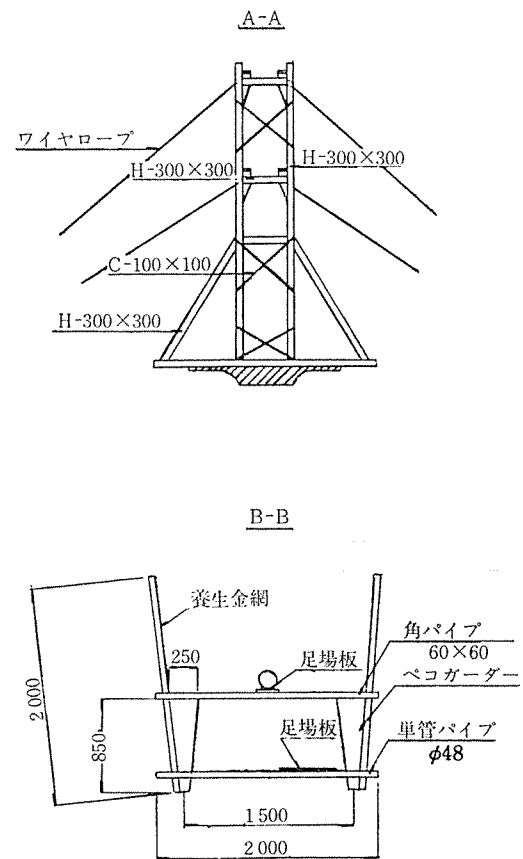


図-13 斜材支保工仮設図

に注意して入念に締固めを行った。

iii) 斜材工

① 斜材支保工

主塔の施工完了後、斜材の支保工の組立てを行う。斜材の支保工は、当初ビティ杵を使用する予定であったが、以下に記す理由により、図-13 に示すように H 鋼の支柱とペコガードを使用することにした。

② ペコガードを 1 スパン分地上で組立て、これに足場や手摺等の安全設備を同時に組込んでから、吊込みができるので、高所作業を減らすことができ、施工性もよい。

③ 風荷重を受ける面積を減らすことができる。

④ ペコガードを地上に組立てる時に、斜材の PC 鋼棒、アルミ管をセットしておくので、斜材用材料の小運搬を省くことができる。

⑤ トラワイヤーも支柱に集中できるので、アンカーコンクリートの設置場所も限定できる。

本橋の架設地点は東大通り上で、交通量も多く、落下物の防止には特に注意を要するが、ペコガード使用により、高所作業を減らすことができ、安全設備も集中して組込めるので、施工性、安全性の両方で、満足できる結果が得られた。写真-4 に斜材支保工の全景を示す。

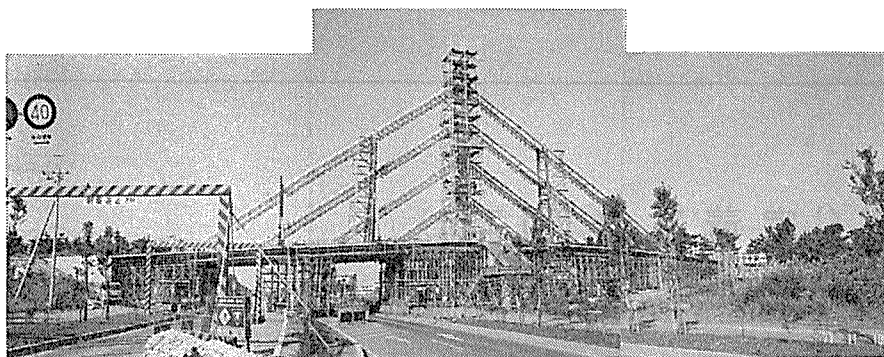


写真-4 斜材支保工全景

② 斜材の PC 鋼棒およびアルミ管の組立て

斜材は 5m ごとにジョイントが設けられている。したがって、5m のアルミ管に PC 鋼棒 6 本を挿入したものを、それぞれ地上でペコガードに仮止めし、ペコガードとともに吊込みセットした。組立ては主桁側から主塔側へ順次行う。まず PC 鋼棒 6 本をカップラーで接続し、次にアルミ管をボルト接続し、主塔側に向かって順次組上げ、最後に主塔部に埋込まれた部分に接続した。PC 鋼棒の接続は 20cm のアルミ管に 6 本配置されているので、互いにせり合って多少困難であった。またアルミ管の組立ては、5m 分の PC 鋼棒、アルミ管の重量が約 240kg と重いので、チェ

ーンブロックで、所定の位置に設置した。写真-5 に斜材の組立て状況を示す。

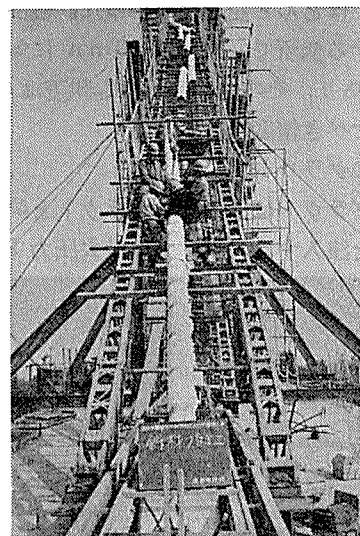


写真-5 斜材の組立て

③ 斜材 PC 鋼棒の緊張

設計の項で述べたように斜材の張力は、主桁の支保工反力が 0 となる張力まで導入する一次緊張と、最終設計張力まで導入する二次緊張に分けて導入した。一次緊張では各斜材によって異なるが、全張力の 70~90% を導入する。緊張方法は、ジャッキ 4 台で、タワーの左右 2 本ずつを緊張し、タワーに偏心モーメントが作用しないように 5t きざみに 4 台のジャッキの導入力を調整しながら緊張した。また 4 台のジャッキは分流器を用い 1 台のポンプで操作し、各ジャッキの張力差を少なくするとともに、各ジャッキにそれぞれダイナモメーターを取りつけ緊張力の精度を上げるように配慮した。斜材の主

桁定着部の張力のチェックは、各斜材中の PC 鋼棒 6 本の中の 1 本にロードセルを装着し、確認を行った。

緊張の結果は、伸び、張力とも十分な精度が得られたが、主桁定着部のロードセルによる値は 5% 程度の誤差がある個所があった。これは精度としては特にとりたてて問題はないが、原因としてはシースと鋼棒のマサツ係数の誤差による影響と思われる。

その他は 2% 程度の誤差となっており、十分な精度と考えられる。

斜材緊張中の測定として、張力測定の他に主塔の倒れの測定と橋面の高さの測定を各施工段階ごとに行った。主塔の倒れは、構造的にまったくの対称形であ

り、かつ斜材緊張時にタワーの左右にアンバランスモーメントが作用しないよう十分注意して緊張作業を行ったので、ほとんど変形はなかった。橋面の高さも最大に変形する個所で、設計値 19 mm に対して測定値 23 mm であり、その他の個所でも誤差は 2~3 mm で十分満足すべき精度であった。

④斜材のグラウト工

斜材のグラウトは、主桁のグラウトと同様、セメントミルクを注入する。ポンプは最大圧力 25 kg/cm² の

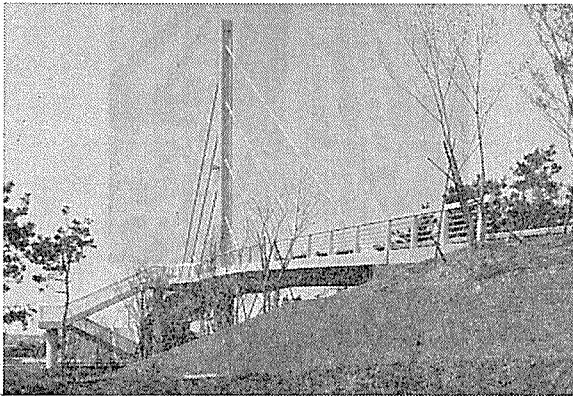


写真-6 完成全景

スネーク式、ミキサーはセメント 4 袋、120 l 練りのものを使用した。アルミ管の間には、10 m~15 m 間隔にグラウト排出孔を設け、グラウトの確認と最下端から注入不能の場合の予備注入孔としたが、最下端から十分注入できた。またアルミ管の接続は、ボルト止めであるため、注入中に漏れる恐れがあると考え、接続部をサニーホースで巻き、番線で十分締めつけを行った結果、トラブルもなく注入を完了することが出来た。写真-6 に完成写真を示す。

5. あとがき

以上筑波学園都市大角豆地区に架設した 7 号歩道橋—PC 斜張橋—の設計施工の概要を報告してきたが、説明不足の点は御容赦いただきたい。

本橋は 3 月に完成し、東大通り上に、優美な姿を現わし、研究・学園都市のランドマークとなっている。

今後、わが国において、この長大スパンの橋梁形式として最も適した斜張橋はますます発展すると考えられるが、本報告がその設計、施工の参考に少しでも役立てば幸甚である。

◀刊行物案内▶

PC 定着工法 (16 工法)

会誌 Vol. 19-No. 3 が品切れとなり、これに代わるべく、内容も一部改訂し、本書が発刊となりました。

現在、わが国で使用されている PC 定着工法 (16 工法) について、その概要、定着具、緊張方法、その他使用すべき鋼材およびシース、ジャッキ、工法の特長や注意事項等について、わかり易く説明してあります。

本書は学校・官庁始めコンサルタント、施工会社等の新入社員教材用としてご利用頂けるものと確信いたしております。

ご希望の方は代金を添えて、ハガキ (なるべく) または電話で (社) プレストレストコンクリート技術協会へお申し込み下さい。

体 裁 : B5 判 71 頁

定 価 : 1800 円 (会員特価 1500 円)

送料 200 円

送 金 : 振替口座番号 東京 7-62774 または 三井銀行銀座支店 (普通預金) 920-790