

PC 単 弦 ア ー チ 橋 の 設 計

——いちのみや自転車歩道橋（仮称）——

千 賀 坦*
赤 名 弘 名**
山 本 武 司**

1. 概 要

いちのみや自転車歩道橋は、千葉県長生郡一宮町に位置し、太平洋岸自転車道に連絡する長生茂原自転車道線の一部として、一宮川横断箇所には架橋する。

当地は、県立九十九里自然公園区域内であるとともに、近年首都圏の通勤圏に入り、レクリエーション、住宅都市として、新しい街づくりを計画している。

架橋地点の長生茂原自転車道は、このような地域条件により、住民の生活と深く係わる通勤、通学の生活道路とともに、太平洋岸自転車道、千葉県外房地方への行楽、観光のためのアクセス的役割も果たすものである。

このような地域的条件の特色をもつ長生茂原自転車道の性格を活かしつつ、県立自然公園に指定される一宮川の歴史、風土も合わせ、地域環境を十分に配慮し、経済性を最優先に考慮するとともに、住民の期待に応える橋梁計画を行う。

図-1 に、架橋位置図を示す。

2. 比較設計

橋梁の構造形式の選定に当たっては、経済性や構造上の安全性の工学的考察は当然であるが、これらのほかに、河川条件、地形条件などにより大きく左右される。

しかし、橋本来の目的である『川の兩岸を結び人々を渡す』という基本的機能に重点をおくとともに、住民生活に密着した橋梁となるべきもの、または地域特色である観光産業の一助となりこの地のシンボルとなる橋梁形式について、比較検討した。

2.1 比較設計条件

(1) 河川条件

- a. 河 川 名：二級河川一宮川
- b. 架 橋 地 点：千葉県長生郡一宮町船頭給
- c. 計画高水流量： $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{sec}$

* 千葉県長生土木事務所副主査

** (株) アール・エス・ケー設計事務所

位置図

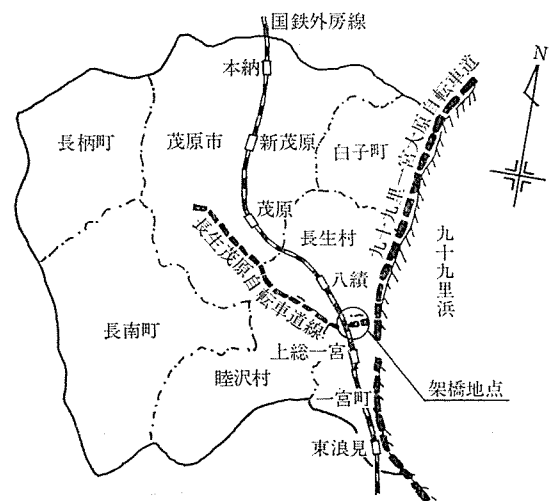
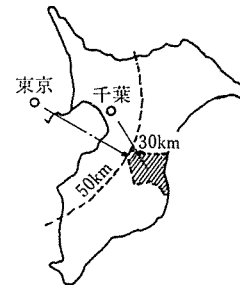


図-1 架橋位置図

- d. 計 画 断 面：計画幅 96.824 m
計画河床高 TP=-2.576 m
計画高水位高 TP=+2.880 m

e. 桁下余裕高： $H_c=1.000\text{ m}$

f. 支 間 長：20 m 以上

——ただし、本橋については、上流に近接して、国鉄外房線一宮川橋梁があるため、河川管理のうえから橋脚は見通し線上に設置する。

g. 河川改修計画との調整：架橋計画は、河川の将来計画に合わせる事となるが、計画

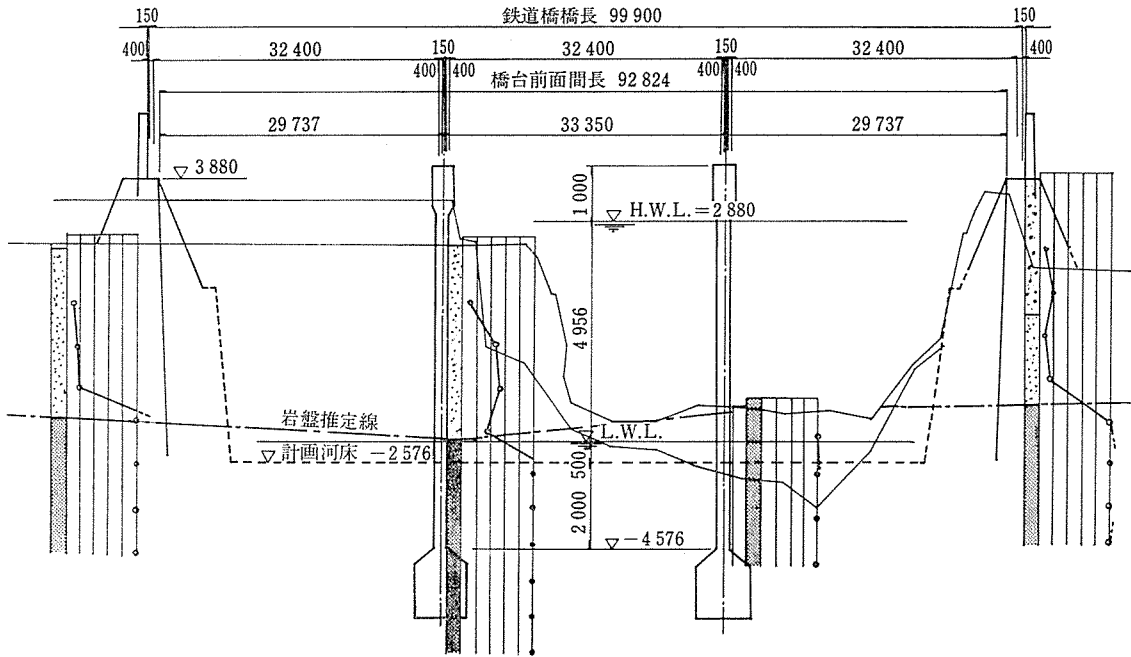


図-2 河川条件図

年次が異なるため、当面現況河川部を架橋し、残る支間は河川改修時に同時に施工する。

以上の河川条件をとりまとめ、図-2 河川条件図として示す。

(2) 自転車歩道の条件

- a. 幅員：通行帯 2車線 (1.0m+1.0m)
路肩 0.5m

- b. 最急勾配： $i_{max}=5\%$

——ただし、橋梁取付け部など特別の場合は、 $i_{max} \leq 12\%$ とする。

(3) 橋梁形式選定条件

橋梁形式の選定では次のような条件を、土地利用との調和、維持管理上の条件、施工上の問題点など考慮して定めた。

- a. 河川条件により、桁下高を計画堤防高とするために、周囲の土地利用状況から、最小橋梁取付け高とすること。
- b. 完成後の維持管理を考慮して、メンテナンスの少ないコンクリート構造とすること。
- c. 地質的に河床部は、岩盤であるので、河川内での下部工の施工性について留意すること。

以上のような諸条件が比較設計条件としてまとめられる。

2.2 比較設計

橋梁形式選定のために、「2.1 比較設計条件」を考慮し次の形式を立案し比較検討した。

- a. 第1案：3径間単純プレストレストコンクリート
ポストテンションT桁橋
- b. 第2案：鉄筋コンクリート+プレストレストコン
クリートゲルバーホロスラブ橋（ピル
ツ橋）
- c. 第3案：プレストレストコンクリート単弦アーチ
橋+プレストレストホロスラブ橋
- d. 第4案：3径間単純プレストレストホロスラブ
橋

橋梁形式比較表を、表-1 に示す。

検討の結果、上部工は事例のない「第3案 PC 単弦アーチ橋+PC ホロスラブ橋」を採用したが、従来の設計・施工技术で充分対応できると思われる橋梁であるが、施工実績が乏しいため、模型実験を行い、橋梁の安全性を確認する。この形式では、橋梁形式選定条件の、最小桁高で架橋でき、周囲の土地利用の状況とよく調整ができ、また自転車、歩行者の利用しやすさも向上する。条件bのコンクリート構造であり、維持管理の条件からも望ましい形式である。

条件cの土質が岩盤であるので、河川内の下部工施工は、大規模な仮設を必要とし、経済性、施工性から橋脚基数は少ない方が望ましい。

全体工事費の経済性を検討した結果「第1案 PC ポストテンションT桁橋」と同程度の経済性である。橋梁の美観は、周囲環境と調和し、自転車道のシンボルとしての効果もある橋梁形式であると評価できる。

報 告

アーチライズ比： $f/l=1/6.5$

アーチ形状： $f/l=1/6.5$ パラボラ軸線

活荷重：主要部材の設計 $q=350 \text{ kg/m}^2$

床版の設計 $q=500 \text{ kg/m}^2$

衝撃：なし

温度変化： $\Delta T=15 \text{ deg}$

風荷重： $q=300 \text{ kg/m}^2$

地震荷重： $K_H=0.18, K_V=0$

クリープ、乾燥収縮（材令 t_0 日）：施工順序、施工法を定め下記のように設定した。なお補剛桁は全面支保工上で施工した後、アーチ材、吊り材を施工し、アーチ橋完成後に支保工を撤去するので、自重によるクリープは考慮しない。

部 材 名	プレストレスに対して	死荷重に対して
補 剛 材	10日	65日
吊 り 材	10日	20日
アーチ材	—	20日

コンクリート設計基準強度： $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$

適用示方書：立体横断施設技術基準・同解説

昭和54年度 日本道路協会

道路橋示方書・同解説 I. 共通編

III. コンクリート橋編

昭和55年 日本道路協会

コンクリート標準示方書

昭和49年制定 土木学会

プレストレストコンクリート標準示方書

昭和53年制定 土木学会

F.K.K. フレシノー工法施工基準

昭和55年改訂 F.K.K.

3.2 構造計画

PC単弦アーチ橋は、その主要部材を大別すると、アーチ材、吊り材、補剛桁に区分される外的静定、内的不静定構造である。

アーチ構造の特色として、アーチ材には軸方向圧縮力が、補剛材については軸方向引張力が作用し、吊り材には、軸方向引張力が卓越して作用する。このようなアーチ構造の特性を考慮して、アーチ材は鉄筋コンクリート構造とし、補剛桁はPCケーブルを配置したプレストレストコンクリート構造とし、吊り材はPC鋼棒で支持するプレストレストコンクリート構造として計画した。

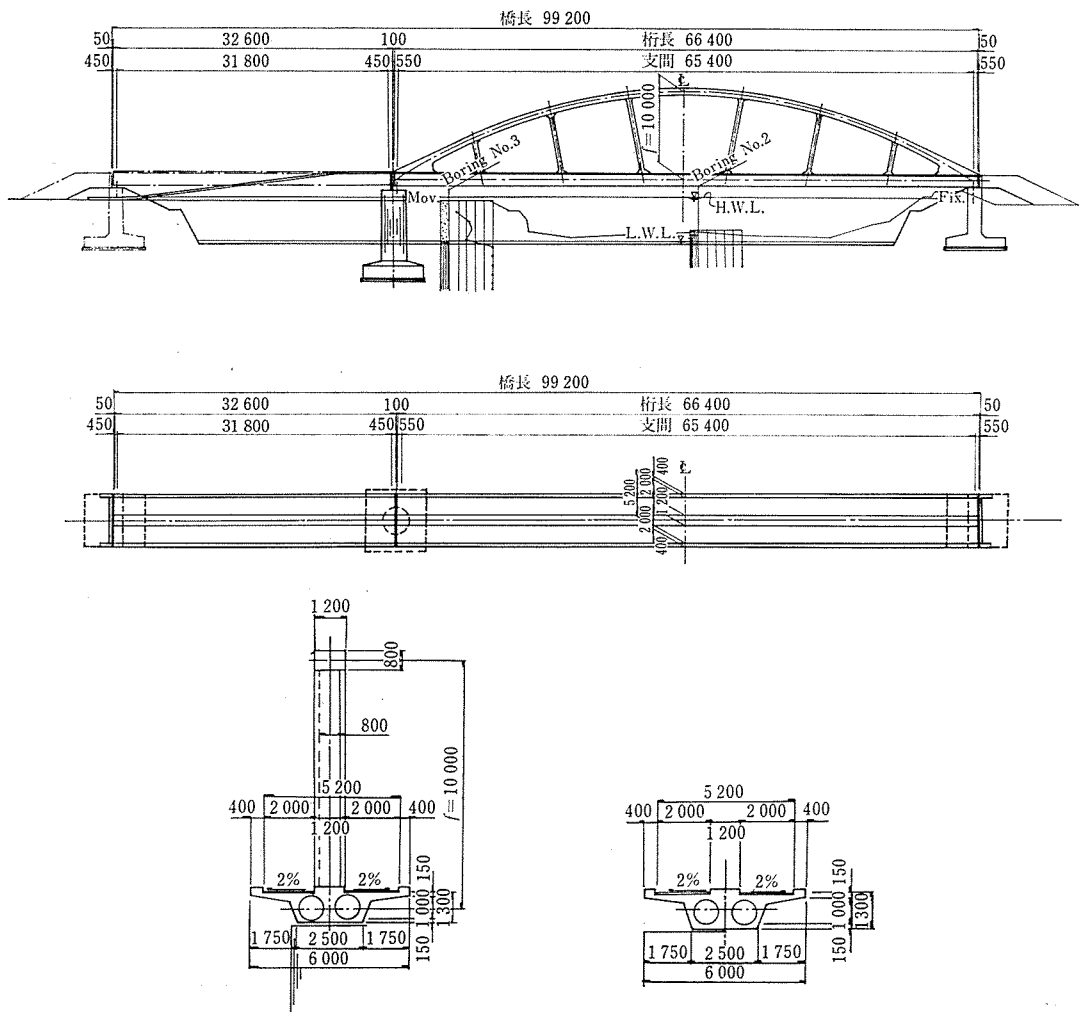


図-3 橋梁一般図

補剛桁は、ホロースラブ構造とし、3主桁よりなり、吊り材取付け部に横桁を配する格子構造である。

アーチ材、吊り材、補剛桁の節点の構造は、ピン結合と剛結合の方法があるが、本橋の構造では、曲げモーメントの分配性を高めるために剛結合を採用し、一般にいわゆるフィーレンデル構造と近似している。

以上のような基本構造計画による各部材の基本断面は図-4に示すとおりである。

補剛桁は、単弦のアーチ材を橋面中央に設ける構造の

単弦構造となるので、通路帯 2.00 m を両側に設け、張出し床版で支持する構造である。

また、吊り材に関しては、軸力のみ作用するのが理想的であるが、補剛桁と剛結合となるので、そのためにはアーチ軸線に対して吊り材が取付け位置で直角になれば、曲げモーメントの発生は最小となることから、美観なども含めて、斜角 $\theta=80^\circ$ の軸線とする。

アーチ材、吊り材、補剛桁の断面は、全体構造系として、基本構造計画の方針に合致するような力学的 balan

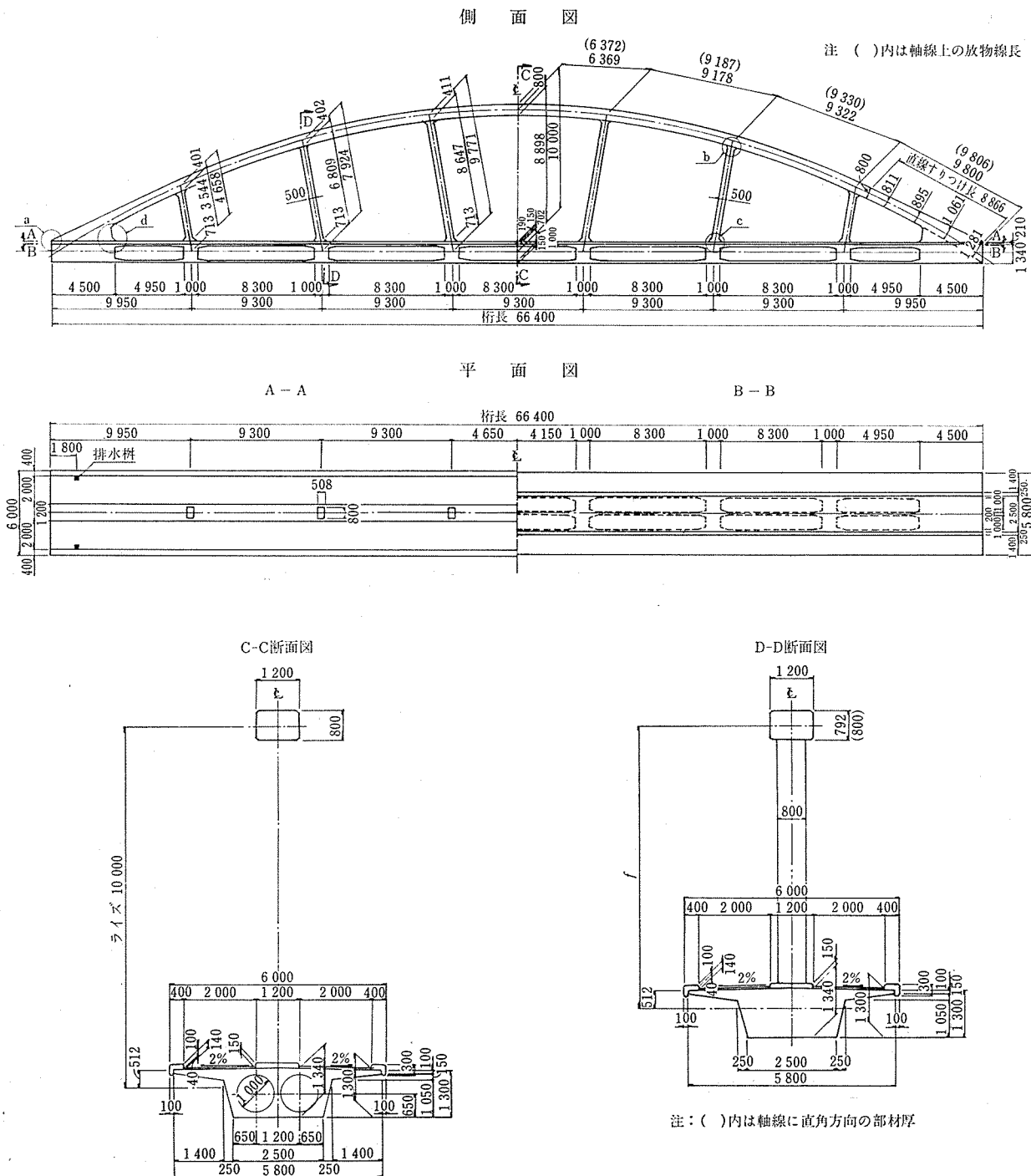


図-4 基本構造図

スを調和させ、合わせて部材断面の安全性についても単純な応力性状を示すよう配慮する。

3.3 構造解析

本橋は、支間に比べ幅員、桁幅が狭いので、道路橋示方書の規定に従い、補剛桁全断面を有効とした平面骨組構造として、全体構造系を解析した。全体構造系解析モ

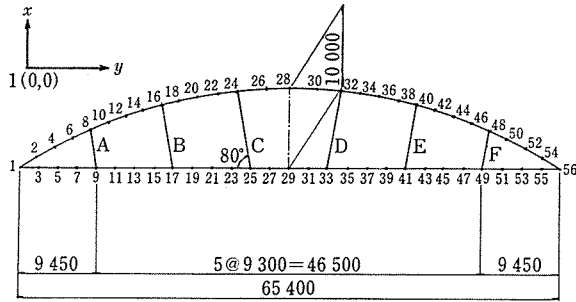


図-5 全体構造解析モデル

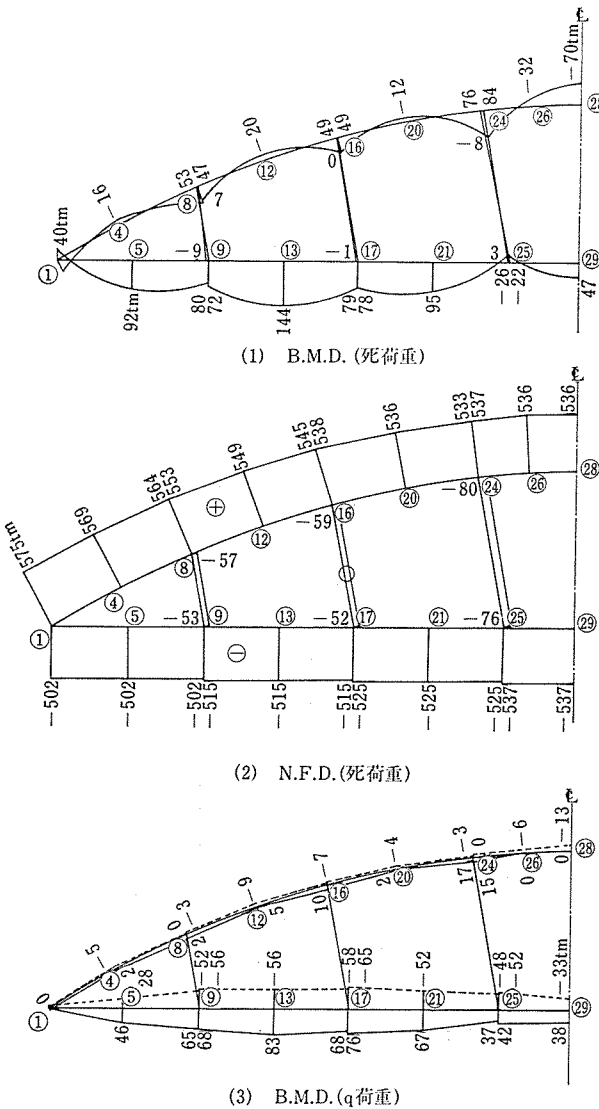


図-6

デルを 図-5 に示す。なお解析方法は、死荷重、温度変化、クリープなどの定荷重については、微小変位法で、活荷重の移動荷重については、影響線法により行った。

解析結果は曲げモーメント、軸力、たわみをとりまとめて 図-6 に示す。

解析結果の特色をまとめてみると次のように考察できる。

- 1) 死荷重が、全荷重の 90% 程度を占める構造体であり、道路橋と異なり応力の変動が少ないが、持続荷重が多く、応力の割合も大きいので、部材断面の設計では、十分な安全性を確認する必要がある。
しかし、断面の安全性の確認の方法としては、現行の示方書の規定による応力度照査と、終局安全度の照査で、安全性を確認すれば充分であると考え、荷重係数法などによる検討は行わない。
- 2) 軸力は、アーチ材、吊り材、補剛桁に生じているが、アーチ材と補剛材の取付け部、アーチ基部では相反する軸力が作用するので、応力の分布は複雑な性状を示し、隅角部での応力集中があると考えられる。これらの応力の分布性状については、模型実験の光弾性解析で解明したが、充分安全であることが確認されている。
- 3) 曲げモーメントの分布は、補剛桁第 1~2 吊り材間で最大となり、通常のアーチローゼ桁と大差ない。アーチ材の曲げモーメントの大きさは、補剛桁の $\eta=1/3$ 以下の大きさで分布し、吊り材の軸力による影響を受けるアーチ材は、連続梁構造の分布を示している。
- 4) アーチ材、補剛桁の連続的構造となる支点付近の充体構造部は、曲げモーメントの大きさは、他の各部に比べ小さく、応力分布は②で述べた軸力によるものが、大半であると考えられる。
- 5) アーチ材、吊り材のたわみは、共に近似し、 $\delta_{max}=43.9 \text{ mm}$ ($\delta/L_s=1/1490$) と微小であり、アーチ構造の特色が顕著に現われており、アーチ材が充分荷重分担していることが判明した。
- 6) 吊り材の曲げモーメント、軸力の分布は、アーチ軸線直角方向に最も近似した角度で設置した第 2 吊り材では、軸力のみを支持し曲げモーメントの発生が微小であることが明らかになった。第 1 吊り材、第 3 吊り材は、第 2 吊り材に比べ曲げモーメントの発生が大きいことがうかがえるが、基本構造計画で想定した軸力を受ける部材で曲げモーメントは微小となる構造体であることが判明できる。すなわち、吊り材は、補剛材の荷重を自身の軸力としてアーチ材に伝えているもので、アーチ橋全体の荷重分担の

機構が想定されたものと同じであることが判明した。

構造解析により以上のような事項が明らかになり、これに基づき、部材各部の設計を行った。

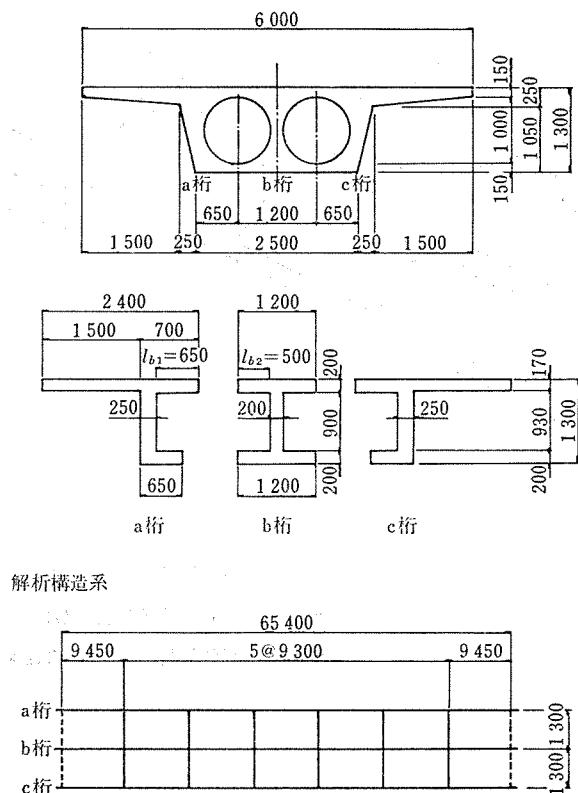
しかし、アーチ材、吊り材の矩形の小さい部材断面と補剛桁の大きく、二つのホローにより3主桁で基本構成される平面格子構造では、外桁、内桁の荷重分配はどのようであるか。また、アーチ材直下の内桁とアーチ材の合成効果が生じ、あたかも重ね梁の構造としての、補剛桁の3主桁の荷重分配が等価でない状態なども想定されるので、補剛桁の荷重分配性について検討する必要があると考えられる。

3.4 全体構造系の照査

上記で述べた全体構造系の解析の問題点——補剛桁の荷重分配性については、次のような解析法により検討した。

補剛桁の外内桁の荷重分配性の検討では、平面格子桁構造として、外桁、内桁の荷重分配係数を求め、部材力を算定した。構造モデルは図-7に示す。

また、第2の問題点として考えられるアーチ材と補剛桁内桁の合成効果による、荷重分配性については、立体骨組モデルを図-8のように定め、解析した。



(1) 構造解析モデル

平面格子構造と、立体骨組構造の解析結果は、図-9、表-2に、平面骨組構造(3.3の解析法)と合わせて、比較して示す。

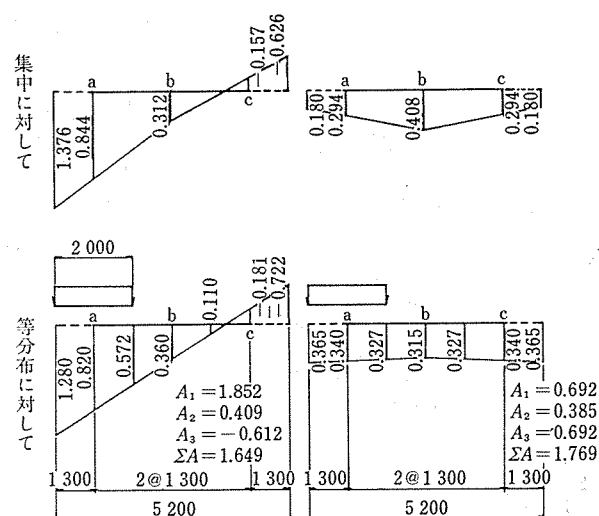
これらを検討の結果、補剛桁の a, b, c 桁の曲げモーメント、軸力の分析は、極めて近似していることがわかり、その変動差は5%程度にすぎない。これは補剛桁の a, b, c 桁は、充分な横分布性をもつことを示すとともに、平面骨組構造解析で、補剛桁の全断面を有効とすることの妥当性が、判明した。また模型実験においても、この問題について種々検討を行い、明らかになった。

3.5 アーチ基部の検討

アーチ材と補剛材の結合部では、各々相反する軸力を発生し、連成している個所であり、二部材の剛性、断面積などの構造形態は連続した漸近形状でなく、アーチ材軸力の補剛桁への伝達は、不明確であるので、有限要素法による解析を実施し、応力の分布性状、集中度、補剛桁の有効断面の考え方などを検討した。

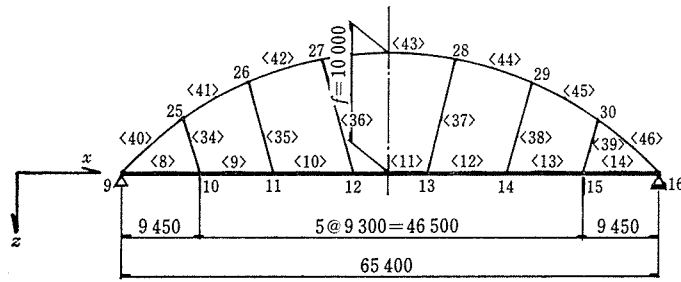
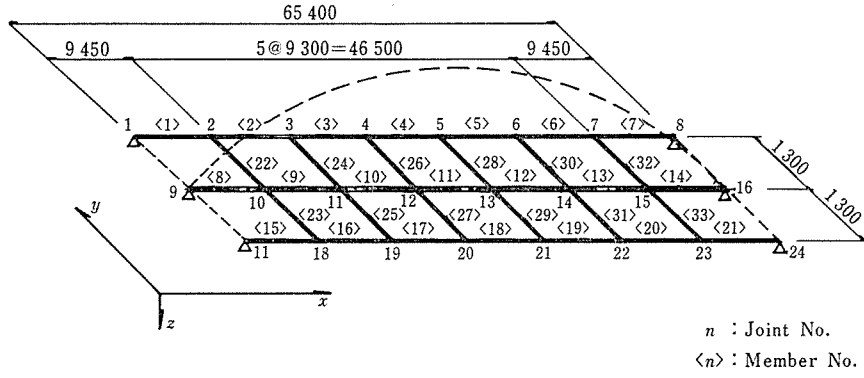
解析の手法は、取付け部の補剛桁上面のスラブ面について着目し、有限要素法により、アーチ軸力の補剛桁への分布を調査した。有限要素法解析のモデルを図-10に示す。

解析結果を図-11に示すが、ここで明らかなるよう



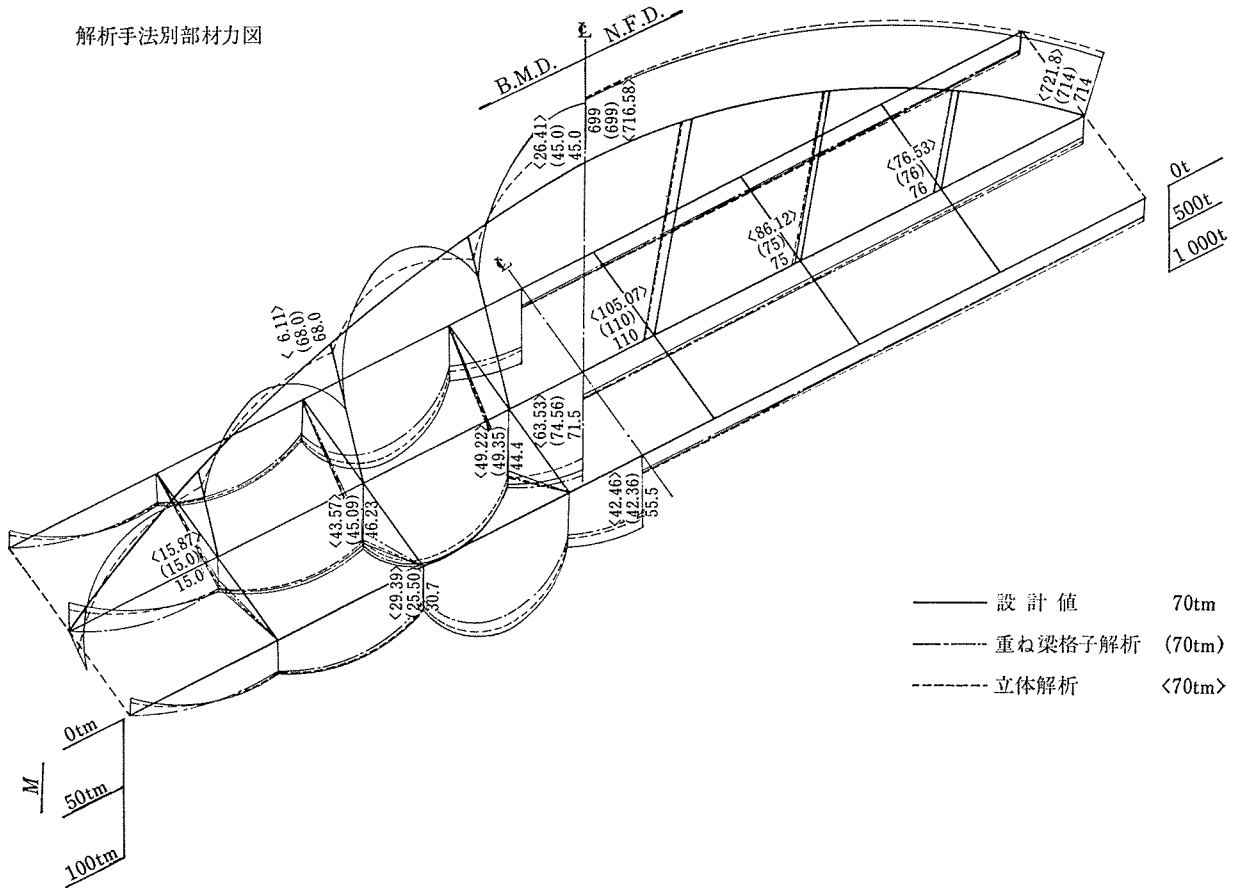
(2) 分配係数一覧

図-7



图—8

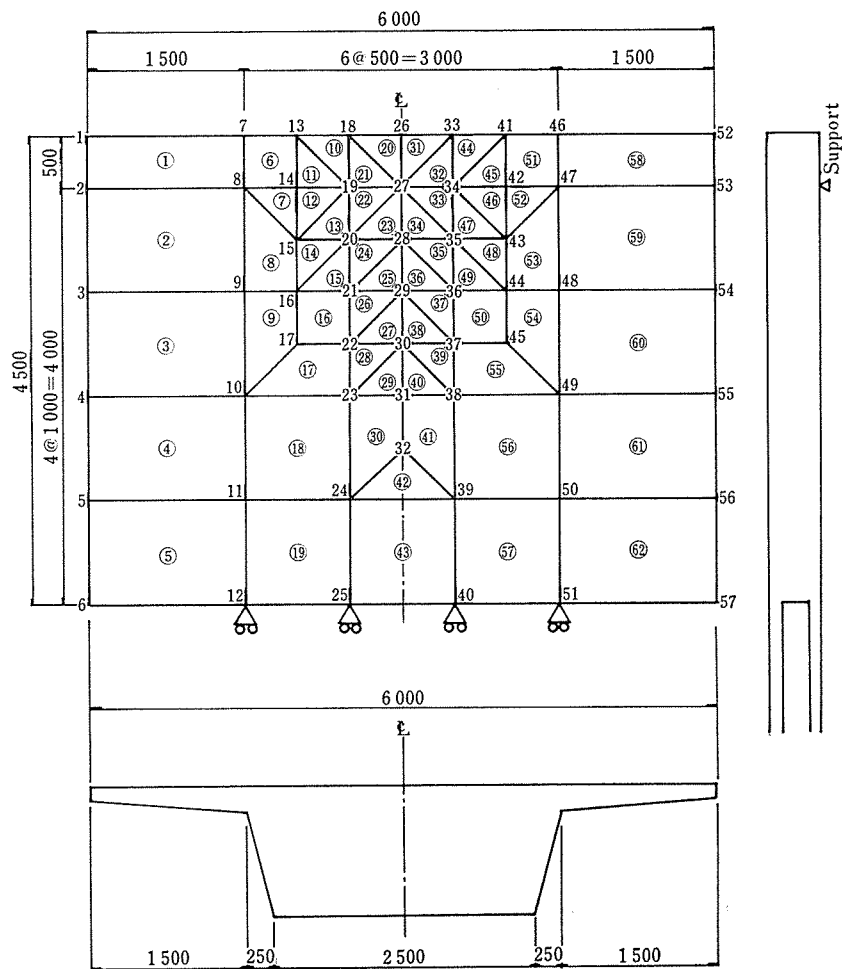
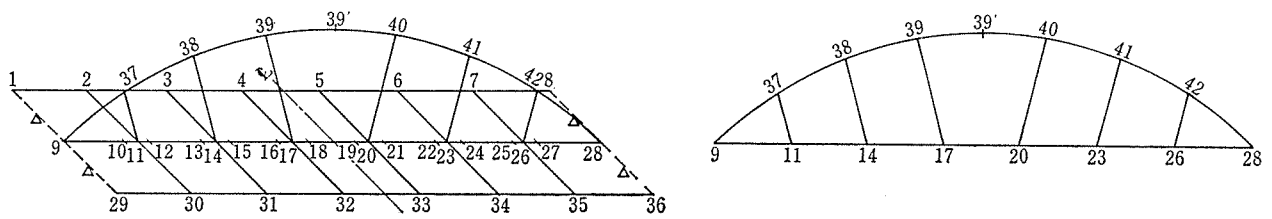
解析手法別部材力図



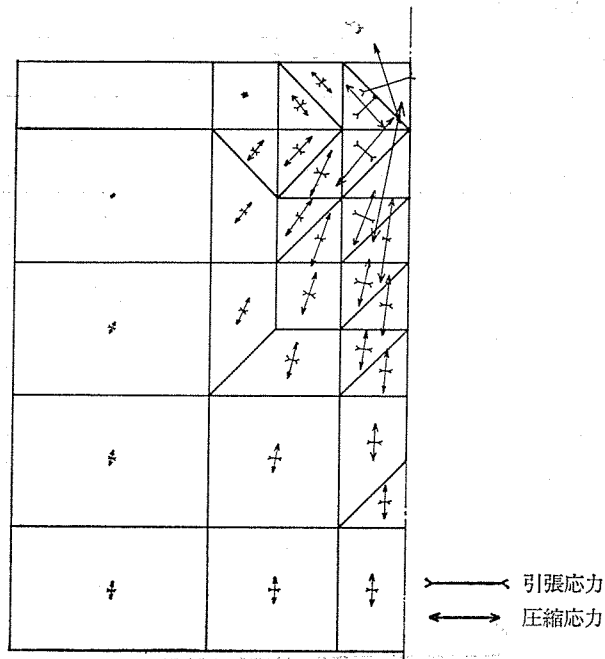
图—9 解析結果

表—2 PC 単弦アーチ橋、解析法別部材力比較表

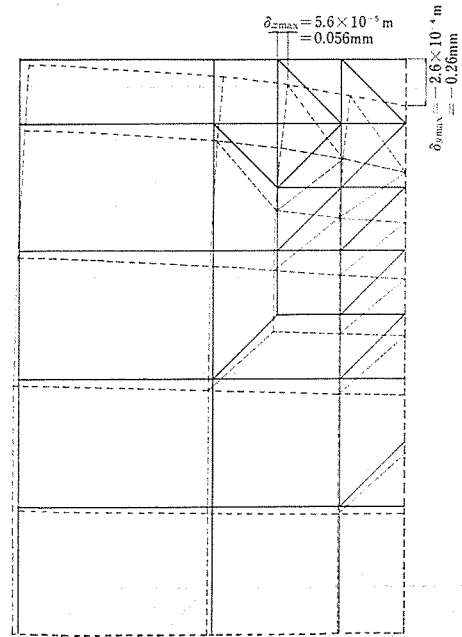
名 称		外桁 3'	外桁 4'	内桁 14'	内桁 18'	横桁 3-14'	横桁 4.16'	アーチ材 38'	アーチ材 39'	吊り材 37-11.5'	吊り材 38-14'	吊り材 39-17'
曲げ モーメント M	設計値	30.7	55.5	46.23	71.5	44.4	44.4	68	45	15	1	1
	重ね梁格子解析	25.50	42.36	45.09	74.56	34.78	49.35	68	45	15	1	1
	立体解析	29.39	42.46	43.57	63.53	41.97	49.22	6.11	26.41	15.87	0.70	0.73
曲げ モ 比 γ_M	設計値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	重ね梁格子解析	0.83	0.76	0.98	1.04	0.78	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	立体解析	0.96	0.77	0.94	0.89	0.95	1.10	0.09	0.59	1.06	1.00	1.00
軸 力 N	設計値	196	207	254	267	0	0	707	699	76	75	110
	重ね梁格子解析	172	181	305	319	0	0	707	699	76	75	110
	立体解析	201.55	208.20	284.68	290.90	0.01	0.01	721.60	716.58	76.53	86.12	105.07
軸 力 比 γ_N	設計値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	重ね梁格子解析	0.88	0.87	1.20	1.19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	立体解析	1.03	1.01	1.12	1.09	1.00	1.00	1.02	1.03	1.007	1.15	0.96



図—10 有限要素法要素図



(1) FEMによる応力図



(2) FEMによる変位図

図-11 解析結果

に、主応力は、荷重載荷点より $l=2.50\text{ m}$ 以上離れば、橋軸方向に流れ、補剛桁横断方向では均一に作用していることがわかり、補剛桁の外桁、内桁の荷重分配性が、均一であることが判明する。また、アーチ材軸力による応力集中はアーチ軸取付け付近で平均応力の1.2倍程度の集中度であり、また副応力の引張応力の発生も取付け点1m程度に分布し、その応力度も微小であることが判明し、コンクリート部材の圧潰破壊、引張クラックの発生はないと考察できる。

3.6 アーチ材の横座屈

単弦アーチ橋では、圧縮力が作用するアーチ部材の横座屈に対する検討を行う必要がある。

これは単弦のアーチ材は、鉛直方向(面内)には、アーチ軸線と吊り材との結合により、充分補剛されている部材としてみなせ、座屈耐荷力は極めて大きく安全である。これに比べ、水平方向(面外)では、アーチ材の単独の横剛性と、吊り材の結合位置での、吊り材の横剛性によるわずかな拘束をうけるのみである。

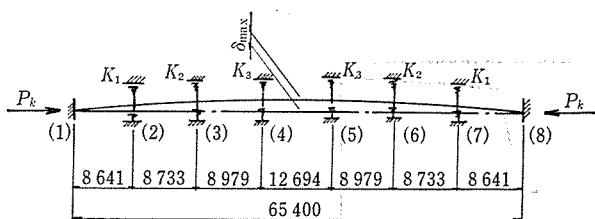


図-12 アーチ面外座屈の解析モデル
軸線——パラボラ曲線とする

水平方向の座屈耐荷力の解析モデルは、図-12に示すように、施工誤差などによりアーチ軸線が $\delta=1/500l_s$ ($=13.1\text{ cm}$)、 $\delta=1/1000l_s$ ($=6.5\text{ cm}$) の初期曲りの梁とし、これに吊り材の横方向剛性を等価のパネ支点と設定し、有限変位法にてその座屈安全度を求めた。

その結果は、 $P_R=4629\text{ t} > P_0=742\text{ t}$ で安全度 $F_s=6.2$ となる。アーチ材の面内座屈安全度は、道路橋示方書Ⅲでは明記されていないが、鋼橋と同程度との安全率とすると $F_a=2.0$ である。

また初期曲りを有する梁の曲げモーメントと軸力を考慮した、アーチ材断面の応力度は $\sigma_c=102\sim 52\text{ kg/cm}^2 < \sigma_a=152\text{ kg/cm}^2$ でコンクリート断面の圧潰破壊に対する安全も確認できた。

4. あとがき

以上のようにPC単弦アーチ橋の計画、設計について報告したが、PC単弦アーチ橋は施工実績のない橋梁形式であるだけで、構造設計上特異な性状を示すものではなく、現行の道路橋示方書による範疇にあると考えられる。本橋に記載した事項は、種々の解析法によったものであるが、同時に模型実験を実施しそれら解析の妥当性を確認している。これらの実験結果については、次回掲載の機会に報告したい。

PC単弦アーチ橋は、桁下制限をうける中～小規模の橋梁では、地形、地質、施工、架設条件などにもよるが、比較的経済的な橋種であり、効果的に使用できるで

あろうと考えられる。また幅員についても、アーチ材、補剛桁吊り材の全体的なバランスをはかれば、2車線程度の有効幅員 10~15m ほどの橋梁としても対応できるであろう。なお PC 単弦アーチ橋の今後の課題としては、中~大規模橋梁の使用可能範囲と、架設工法の対応性などであると考ええる。

最後に本橋の構造解析、設計に当たり、御指導いただいた建設省土木研究所橋梁研究室 佐伯室長、金井主任研究員をはじめ関係者の方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

1) 大浦弘夫ほか：君津新橋の設計と施工について，橋梁，1973年11月

2) Dipl.-Ing. Hans Wittocht, Dipl.-Ing. Heinz Reiß: Die neue Fuhrparkbrücke in Hagen, Beton-und Stahlbetonbau, Juni 1963
 3) 榊原 彰：地震滝橋の設計と施工，'72 土木工事施工例集 第2橋りょう編，土木施工編集委員会編
 4) 岡田哲夫，高尾孝二，佐藤信秋：一般国道 51 号成田橋の計画，橋梁と基礎，1979 年 9 月
 5) 佐藤信秋，西野 忠，梶田順一：成田橋上部工の設計・施工と模型実験，橋梁と基礎，1980 年 12 月
 6) 田井戸米好，江見 晋，前原 博，長谷川紀夫：南港水路橋（複床式単弦ローゼ桁）の設計と施工（上）（下），橋梁と基礎，1980 年 10 月，1980 年 11 月
 7) 川畑博信，坂田敦彦：泉北連絡橋の計画と設計，橋梁と基礎，1976 年 7 月
 8) 長柱研究委員会：弾性安定便覧，コロナ社，昭和 44 年 8 月
 9) チモシェンコ：挫屈理論，コロナ社，昭和 39 年 8 月
 【昭和 57 年 1 月 18 日受付】

◀新刊図書案内▶

PC 定 着 工 法

(1982 年改訂版)

前回，PC 定着工法（16 工法）を発行してから 5 年経過いたしました，各社に新入社員教育用として好評を得，一昨年来品切れとなりご不自由をおかけいたしておりました。この度，ようやく内容も一部更新または追加し，現在における最も新しいものとして編纂し直しました。

特に今回は斜張橋に関するアンカー方法等についても取り上げ，付録として PC 鋼材一覧表（改訂版）等を添付してあります。ご希望の方は代金を添え（現金書留かまたは郵便振替東京 7-62774）プレストレストコンクリート技術協会宛（電 03-261-9151）お申し込みください。

体 裁：B 5 判 94 頁

定 価：2,800 円（会員特価 2,500 円） 送 料：350 円

◀刊行物案内▶

“プレストレストコンクリート” 総目次

第 1 巻（1959 年）~第 21 巻（1979 年）

本書は，創刊 20 周年を記念し，編集委員会でこれを取りまとめ，本誌第 22 巻第 5 号と 6 号の 2 回にわたり掲載したものを 1 冊にしたものです。

過去の記録を調べる際，あるいはバックナンバー購入の際などに便利であると思います。なお，調査しやすいように，項目別に分類し，特に「報告」は，内容別に分け索引を付してあります。

体 裁：B 5 判 43 頁

定 価：1,000 円（会員特価 750 円） 送 料：250 円

お申込みは代金を添えて，（社）プレストレストコンクリート技術協会へ