

## 新天辻トンネルのプレキャスト PC 版打換えによる 補修工事の設計と施工

西 川 一 清\*  
亀 田 正 彦\*\*  
杉 浦 寛 久\*\*\*

### 1. まえがき

一般国道 168 号線は、枚方市と新宮市を結び奈良県を南北に縦貫する産業と観光を主とした道路として極めて重要な道路である。

この路線中に奈良県西吉野村と大塔村との界に天辻峠（標高 635 m）があり、これを延長 1 174 m で貫くトンネルが新天辻トンネルである。

このトンネルは、奈良県総合開発事業の一環として昭

和 34 年に建設されたものである。

既設コンクリート舗装厚は 25 cm の NC 舗装版である。建設後すでに 28 年経過しており、舗装版の損傷が著しく、伸縮目地も十分に設けられず、スリップバーも当時としては設置されていないため版相互の段差が最大では 30 mm 程度生じている箇所が多く見受けられる。

現在の日交通量は大和平野で使用する骨材の運搬等もあり、重量物の交通が多く時間交通量は 8 079 台/12 h である。

特に損傷がはげしい部分については、アスファルトパッチングあるいは部分的に打換えとして超速硬コンクリートを使用してきた。

本トンネルは、幅員が 5.3 m と狭く、トンネル断面が図-2 のごとく電話線が架設されている。昼間工事の

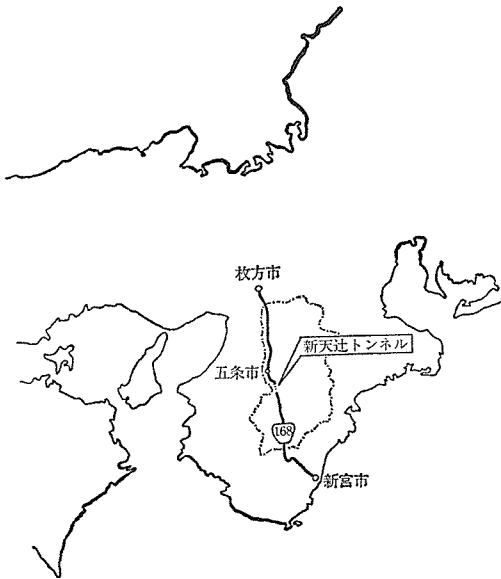


図-1 位置図

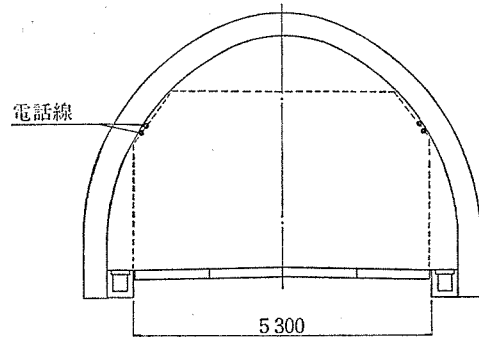


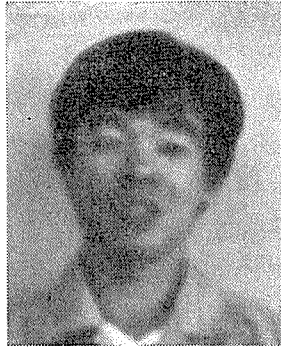
図-2 トンネル断面図



\* Kazukiyo NISHIKAWA  
奈良県五条土木事務所所長



\*\* Masahiko KAMEDA  
奈良県五条土木事務所管理  
課長



\*\*\* Hirohisa SUGIURA  
奈良県五条土木事務所主  
査

場合、大型車の片側交互通行が不能となるので、夜間施工で早期に交通開放ができる補修工法としてプレキャスト PC 版（以下 PC 版）による打換え工法のみ施工可能となった。

以上のような結果から、PC 版打換えという関東以西では初めての工法を採用したものであり、ここにその概要の一端を報告するものである。

## 2. プレキャスト PC 版の採用

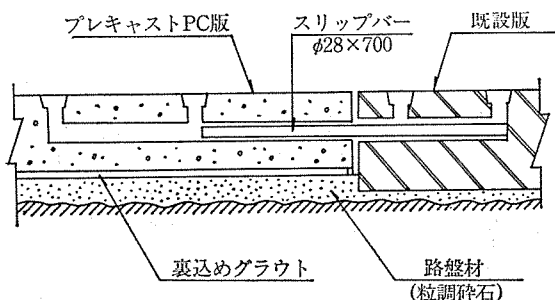
ひび割れの調査結果を、表—1 に示す。

調査方法は、供用上さして問題のないひび割れは調査対象からはずし、貫通クラックが亀甲状に発達し、舗装単位面積当たりのひび割れ長を示すひび割れ係数 (cm/m<sup>2</sup>) が高いと思われるものを B ランクとし、その中でとくに、ひび割れ幅が大きい、スケーリングを起こしているもの、段差あるいは陥没の生じているものを A ランクとした。本工事では、A ランクのうち特に損傷の著しい部分 291.5 m<sup>2</sup> について対象とした。

本工事の打換え工法の選定にあたっては、交通を早期に開放する必要と、大型車の片側通行不可能な幅員であるので、プレキャスト PC 版もしくは超速硬コンクリートによる工法が考えられた。

表—1 ひびわれの調査結果

損傷の区分	ひびわれのパターン	総面積 (m <sup>2</sup> )	全体に対する割合 (%)
A		795	12.8
B		507	8.1
C		調査から除く	—



図—3 水平ジョイント構造

表—2 工法選定比較

検討項目	超速硬コンクリート	プレキャストPC版
夜間作業	昼間交通開放可能	昼間交通開放可能
施工能力	13~16 m <sup>2</sup>	32~40 m <sup>2</sup>
既設版との一体化	—	スリッパの配置可能
不陸精度	現場打らで制限される	工場製品であり精度向上
重機械設備	連続ミキサー車	クレーン他設備大
品質	鉄網あるいは繊維補強湧水の影響もあり、品質管理が難しい。	PC 構造で工場製品であるため、高強度であり、安定した品質である。湧水、不同沈下にも強い。
経済性	本県の実績では PC 版が安価になるが、さらに経済性については研究をしてみたい。	

そこで既設版の損傷の主原因について調査を重ねてきたところであるが、湧水が路盤材を通じてミズミチをつくり、かなりのダメージを与えているとの考えに達し、再び段差が生じない構造にする必要があり、検討の結果水平ジョイント (図—3) を有する PC 版を採用することにした。工法選定比較は、表—2 に示すとおりである。

## 3. PC 版の設計

### 3.1 PC 版寸法の決定

PC 版の幅寸法は、PC 版製作工場よりトラックで運搬できる配慮のため幅員方向を 4 分割とした。PC 版重量は地元で大型のラフタークレーンがないため、20 t で吊上げ可能な範囲となるよう 5 m 以下とした。

製作数量は、

1 313×3 980×170……………4 枚

1 313×3 820×170……………24枚

1 313×4 653×170……………24枚

合計 52 枚である。

### 3.2 PC 版の設計

PC 版の設計にあたっては、PC 版 1 枚 1 枚が独立した版として、輪荷重 8 t が作用しても十分安全となるようⅢ種 PC 設計とした。「セメントコンクリート舗装要綱」のウエスターガードの修正式を用いて版縁部の輪荷重応力を計算した。版相互はスリッパを用いるが、計算は、全くの自由縁部として、 $C=2.12$  とした。

縁部載荷公式

$$\sigma_e = (1 + 0.54) \cdot C \cdot \frac{P}{h^2} (\log_{10} l - 0.75 \log_{10} a - 0.18)$$

ここに、

$\sigma_e$ : コンクリート版縦縁部の輪荷重応力 (kg/cm<sup>2</sup>)

$C$ : 係数 (縦自由縁部に対して 2.12, 適量のタイヤを用いた縦自由縁部に対して 1.59)

$P$ : 輪荷重 (8 000 kg)

$a$ : タイヤの接地半径 ( $12 + \frac{P}{1 000} = 20$  cm)

$h$ : コンクリート版の厚さ (17 cm)

$E$ : コンクリートのヤング係数 (35 000 kg/cm<sup>2</sup>)

$\mu$ : コンクリートのポアソン比 (0.15)

$l$ : コンクリート舗装の剛比半径

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K_{75}}}$$

$K_{75}$ : 路盤の支持力係数 (7 kg/cm<sup>3</sup>)

そり拘束係数は、温度勾配 0.7°C/cm として目地間隔 5.0 m として拘束係数  $C_w=0.85$  として計算した。

縁部のそり拘束応力

$$\sigma_{te} = 0.35 C_w \alpha E \theta$$

ここに、

$\sigma_{te}$  : そり拘束応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$C_w$  : そり拘束係数

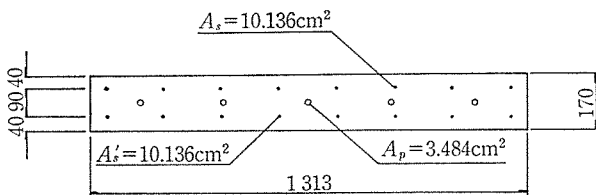
$\alpha$  : PC 版の線膨張係数 (1.0×10<sup>-5</sup>)

$E$  : PC 版のヤング係数 (350 000 kg/cm<sup>2</sup>)

$\theta$  : 版表面と底面の温度差 (°C)

プレストレス量は、長手方向に対して PC 鋼より線 T 10.8 (SWPR 7 A) を 5 本配置した。その有効プレストレス量は、16.4 kg/cm<sup>2</sup> である。

輪荷重応力とそり拘束応力を計算すると、42.8 kg/cm<sup>2</sup> と、12.4 kg/cm<sup>2</sup> が求められる。それらを合算して、曲げモーメントを逆算して、上下にそれぞれ配置された D13-8 本を考慮し、有効プレストレスは軸力として作用するものとして照査すると以下の結果となる。ひび割れ制御の観点から、許容引張応力度は、1 000 kg/cm<sup>2</sup> とした。



図—4

$$\sigma_c = 42.8 + 12.4 = 55.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = \frac{131.3 \times 17^2}{6} = 6\,324 \text{ cm}^3$$

$$M = 55.2 \times 6\,324 = 349\,085 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

これより、計算すると

$$\sigma_c = 120.1 \text{ kg/cm}^2 < 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s' = -215 \text{ kg/cm}^2 > -1\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_p = 337 \text{ kg/cm}^2 < 1\,000 \text{ kg/cm}^2$$

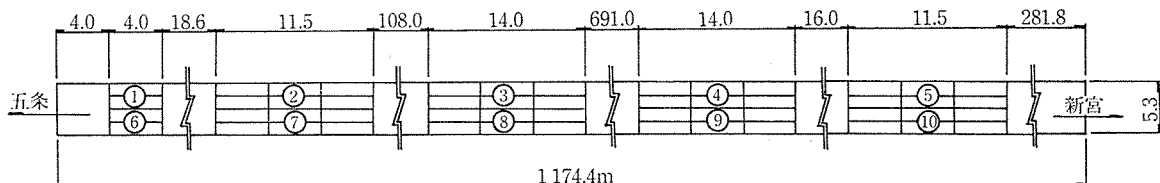
$$\sigma_s = 923 \text{ kg/cm}^2 < 1\,000 \text{ kg/cm}^2$$

版幅方向は、輪荷重応力は版長方向と同一の 42.8 kg/cm<sup>2</sup> であるが、そり拘束応力が 3.2 kg/cm<sup>2</sup> と小さく、鉄筋コンクリート構造とした。

## 4. 施工方法

### 4.1 交通規制

工事期間は、昭和 62 年 3 月の初旬から 12 日間で施



○数字は施工順序を示す。

図—5 全体図

工したものであり、交通規制は、19:00 より 6:30 まで 4 t 車以上通行止、4 t 車未満については片側交互通行とした。

### 4.2 施工要領

#### (1) PC 版製作

PC 版の製作は、版種が 3 種類あるため木製型枠とした。舗装面は滑り防止を目的とした粗面仕上げとするために、型枠底版に粗面を有する特殊なビニールシートを貼り、いわゆる“逆打ち打設”とした。設計基準強度は、400 kg/cm<sup>2</sup> であり、早強セメントを使用し、蒸気養生を行い翌日に導入時に必要な所要強度 300 kg/cm<sup>2</sup> を確認して、プレストレスを導入した。

#### (2) カッター工

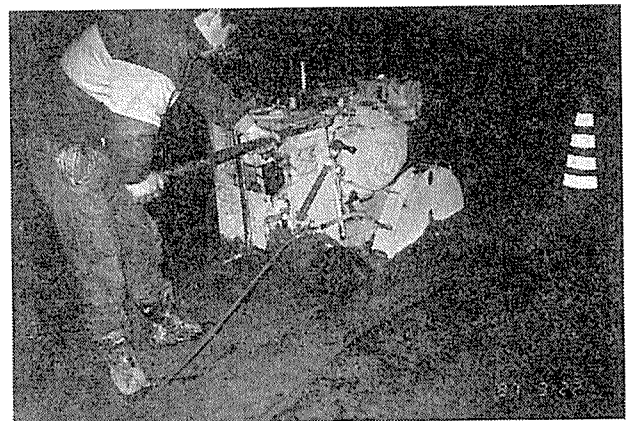
カッター工は、既設版の撤去、PC 版の敷設の前日まで終了しているのが前提となるが、本工事では数量が少ないのと深夜の交通量がきわめて少ないこともあり、2 日間ですべてを終了した。25 cm の版厚に対して 2 回に分けてカッターを実施した。

#### (3) 既設版撤去工

既設版撤去工は、ジャイアントブレーカーを使用して 40 cm 程度の大割りにして、ユンボにより 4 t ダンプ車に積み込み撤去した。

日工程短縮のために、できるだけ作業を先行させた。そのため、撤去後の措置として粒調碎石を入れ、ローラー転圧を十分行い交通開放した。

#### (4) 水平ボーリング工



写真—1 カッター工



水平ボーリングは、既設版と PC 版の段差を生じないためと、荷重を伝達させるためのものであり、既設版に  $\phi 64$  のボーリング孔を深さ 350 mm 削孔した。

水平ボーリングというのは、種々その結合方法が考えられている中で、特に表面に残る跡埋め部が小さい面積ですむこと、スリップバーを上から落とし込む方法のようにカッター（溝）を必要としないことに特徴がある。PC 版には、スリップバーの全長を包み込む長さの外とう管を有し、既設版に約半分の長さのボーリング孔をつくり、外とう管の上部にあけた穴より圧搾空気を送り込み、スリップバーを押し込むものである。もう一つの穴は、圧搾空気の逃げ道となると同時にバーの縁端が確認できる位置に設けられている。この2つの穴は同時に外とう管内を高強度グラウトで充填するための注入口ともなるものである。

高速水平ボーリングマシンは、特殊に開発されたもので、油圧により作動し、圧力を自由に变化させることで5分/本の能力を有するものである。

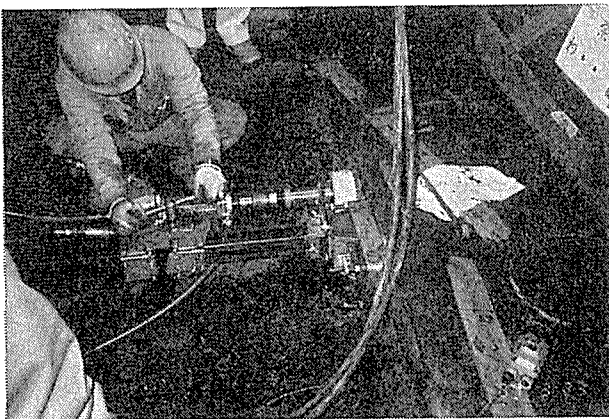
(5) 路盤整正工

水平ボーリングが終了後、粒調碎石を PC 版との隙間が 1cm 以上確保されるように入れ、表面に細砂をまいた。転圧はローラー (1t) および振動コンパクタを用いた。湧水のにじみ出しがある部分はセメント安定処理とした。

PC 版の4隅には、塩ビプレートで高さを合わせ、ビニールフィルム ( $t=0.1\text{mm}$ ) を敷いた。ビニールフィルムは、裏込めグラウトが、路盤に吸収されることなく流れ易くし、すみずみまで充填させることを目的としたものである。

(6) PC 版敷設

PC 版の敷設は、トンネル内の建築限界内の限られた空間の中での作業であり、荷を吊ったままの状態での移動が必要となるので、ラフタークレーン (20t) を使用した。トンネル内にはトレーラーで版2枚を持ち込み、



写真—2 水平ボーリング

敷設後はトンネル入口間近の仮設ヤードまでラフタークレーンとともに移動、運搬を繰り返した。

(7) 段差調整工

段差の微調整は、 $[-150 \times 75]$  を2本抱き合わせた長さ 1100 の金具を製作し、あらかじめ PC 版に埋設したインサートを、高張力ボルトで締め上げることによって調整した。PC 版相互の段差は平均 0.8 mm であった。

(8) グラウト工

裏込めおよびスリップバーの外とう管内のグラウト配合は表—3、表—4 のとおりである。

注入方法は、注入樹と称し 15 $\ell$  程度の樹にパイプを有し注入ヘッドが 1.2m になっているもので、自然流下方式にて行った。



写真—3 PC 版敷設



写真—4 段差調整

表—3 裏込めグラウトの配合

ジェットセメント	水	W/C	マイティ150	ジェットセッター	目標強度
40 kg	32 kg	80%	0.4 kg	20 g	$\sigma_{2H}=20\text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{38}=100\text{ kg/cm}^2$

表—4 ジョイントグラウトの配合

ジェットセメント	水	W/C	マイティ150	ジェットセッター	目標強度
40 kg	18 kg	45%	0.8 kg	40 g	$\sigma_{2H}=50\text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{38}=400\text{ kg/cm}^2$

表—5 全体実施工程表

工 種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
掘出し工	■											
カッター工	■	■										
既設版撤去工		■	■	■	■	■	■	■	■	■		
水平ボーリング工		■	■	■	■	■	■	■	■	■		
路盤工		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PC版敷設工		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
段差調整工		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
裏込めグラウト工		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ジョイントグラウト工		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
跡埋め工											■	■
注入目地工											■	■

表—6 日工程表 (標準サイクル)

工 種	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6
準備工	■										
既設版撤去工	■	■	■	■							
水平ボーリング工			■	■	■	■					
路盤工						■					
PC版敷設工						■	■	■	■		
段差調整工									■	■	
スリッパ挿入工									■	■	
裏込めグラウト工									■	■	
ジョイントグラウト工									■	■	
片付け工											■

(9) 跡埋め工

外とう管への注入口、インサート孔、裏込めグラウト孔は、上面より 3 cm 下がりに仕上げ、モルタルで跡埋めした。

(10) 目地工

目地部には瀝青系加熱注入目地材を注入した。

4.3 工 程

全体工程および PC 版 6 枚敷設時の日工程は表—5、表—6 に示すとおりである。

あとがき

本工事は、トンネル内の舗装を全面的な打換えと違って、点在する損傷版のみを PC 版に打換えする工法であり、良好な既設版と PC 版を水平ジョイントで結合することにより一体の構造とする大きな特徴がある。

また限られた交通規制の作業時間の中で水平ボーリングに要する時間が長くなるのが重要な課題であった。

その対策として、

- ① 高速ボーリングマシンの採用。
- ② 第 1 日目の敷設枚数を減らした。これは初めてのことであり作業状況を検討する必要があった。
- ③ 既設版の撤去と水平ボーリングを先行させた。

③については、既設版の撤去と水平ボーリングに要する時間が約 5 時間であり、時間規制の中での作業の割合が大きくかかり、したがって既設版の撤去とボーリング

を先行させた。先行部分については、粒調砕石で埋戻しを行い翌日の通行に支障を来たさぬようにするとともに翌日作業時間の短縮を図り、同時に重機械の作業混雑をさけることができた。作業の進め方はこの繰返しである。

新天辻トンネルは岩盤を掘削して施工されたもので、舗装は NC 版であり、撤去中に岩盤の切取不足部分があったり所要の設計厚の不足の箇所がみられた。

急抛ブレイカーで岩盤の撤去等を行ったが、今回の PC 版が 17 cm と薄いため、さほどの支障を来たすことはなかった。

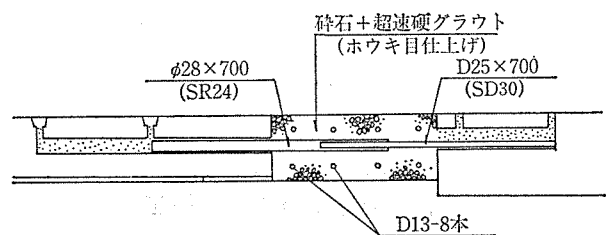
山岳トンネルで補修を行う場合、最悪の事態を考慮して、新設する版は薄版で設計できるものが好ましいと考える。

既設版撤去後、湧水のはげしい箇所については地下排水として  $\phi 100$  のネトロンを埋設し側溝に流し、セメント安定処理を施したが、補修が部分的なもので全延長に渡っての改良とはならない点があり、効果のほどは不明であるが、部分的にでも湧水を側溝に流すことができ、それなりの効果はあったと考えている。

測量によって PC 版寸法を決定したが、ひびわれの進行が予想以上に早く、PC 版寸法に合わせてカッターしたのでは、損傷箇所を残すこととなり、良好と思われる位置までカッターを広げた。その寸法は 350, 570, 700 mm の 3 箇所生じた。その処置方法としては、図—7 に示すとおり、砕石を入れ、その空隙に超硬セメントによるグラウトをジョイントグラウトと同一の水セメント比 45% で注入した。未注入をなくすため、4 回に層打ちをした。また、その部分が弱点とならないように鉄筋補強および既設版に水平ボーリングを実施して D25 mm を配置した。D25 mm は新設部と既設部が縁切れしたとき段差が生じること、版が移動することを防ぐためのタイバーの役割を期待したものである。

したがって舗装版決定の測量については、現地測量の際、実施時期等を見込みに入れ、悪くなるであろう部分の版決定に計上する必要があると考える。

今後、本工法の経済性を高めることと、引き続き追跡調査を進めていくことが、本工法の有効性を示すための課題であると考えている。



図—7 現場打ち部の処置方法

近畿地方におけるセメントコンクリート舗装は昭和35年から昭和45年の間に施工されたものが大部分である。

セメントコンクリート舗装は、平均的には15年でオーバーレイ、打換え等の維持修繕が行われているものと思われる。

トンネル内のアスファルト修繕は明色性が悪く、一般に迂迴路のない所にトンネルがつけられている事情等もあり、交通制限等があつてコンクリート打換えは規制さ

れる面が多い。

20年～30年経過とともに、打換への必要なものが増えてくると思われる今日、本工事が今後の計画の参考となれば幸いである。

最後にこの仕事を施工された株式会社浅川組（本社奈良市）と版製作等に協力をいただいたピー・エス・コンクリート株式会社に対し感謝の意を表し工事報告とします。

【昭和62年5月30日受付】

◀刊行物案内▶

## 第26回研究発表会講演概要

体 裁：B5判 96頁

定 価：2500円 送 料：300円

内 容：(1) 横補強筋を有するPS定着部の耐力評価に関する研究、(2) アルミニウム合金コーンを用いたPC定着工法について、(3) 防食処理を施したPC鋼棒の諸特性について、(4) FC板スラブ工法による人工地盤、(5) PPCS工法とその施工例、(6) 緊張管理グラフと導入緊張力についての考察、(7) PC桁のたわみ試験、(8) PC桁のせん断耐力に関する研究、(9) PC桁線支承の補修、(10) 清掃工場コンクリート壁のひびわれ防止対策、(11) プレストレッシングによるコンクリート壁体の収縮ひびわれ制御、(12) 円形補強筋をもつPC鋼材定着部の割裂ひびわれ耐力性状に関する研究、(13) プレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁の力学的性状に関する研究、(14) プレストレストコンクリート梁の復元力特性に関する研究（その1 復元力特性のモデル化）、(15) 同前（その2 実験結果との比較検討）、(16) 「特別講演」都市内PC構造物研究委員会報告、(17) PC板を用いたPC合成床版の実験報告、(18) 合成床版の力学的性状試験、(19) PC卵形消化タンクの設計施工について、(20) PCバージ用底板の強度、(21) PC連続2主版桁高架橋の設計と実橋載荷試験、(22) 北海道におけるPC高架橋の通年施工について、(23) 複線3主PC下路橋の設計・施工、(24) プレキャスト下路桁の設計と施工試験、(25) プレストレストコンクリート斜張橋の斜材張力の決定方法について、(26) プレキャスト方式PCイ型シェッド、(27) 双畑橋（4径間連続ラーメン橋）の設計と施工、(28) 阿木川大橋の設計施工、(29) 大蔵橋の塩害補修例、(30) 山陽自動車道八幡川橋の設計・施工、(31) 十王川橋の設計と施工、(32) バイプレ方式による新町橋の設計と施工