

PIC板による水路トンネルの補修

REPAIR OF UNDERGROUND WATER TUNNEL USING P.I.C. BOARD

○坂本全布*・山本和彦**・志田 亘***・八木修治****

masanobu SAKAMOTO, kazuhiko YAMAMOTO, wataru SHIDA and syuuji YAGI

This report is written to show several cases on repair of old underground water tunnels using P.I.C. (Polymer Impregnated Concrete) board. P.I.C. board is a permanent from which is high density and strength and gives higher durability for concrete structures.

keywords; P.I.C. (Polymer Impregnated Concrete) board, underground water tunnels, repair of lining concrete

1. はじめに

大正時代および昭和時代初期に建設された水路トンネルは、建設以来60～80年経過しており、経年による劣化が激しく、覆工コンクリート表面が豆板状を呈しているものや、インバート部が洗掘されているものが多い。このような水路トンネルの補修工事は、一般に吹付けコンクリートによる方法、旧コンクリートを切削あるいは壊して新しいコンクリートを打設する方法、モルタルの塗布による方法などが行なわれている。これらの方法では、平滑性・均一性・長期安定性の点で欠点があること、産業廃棄物が発生すること、工期が長くなることなどの問題点も指摘されている。これに対し、厚さ25mmの工場製品であるPIC板は、品質が一定しており、圧縮強度が 1500kgf/cm^2 の高強度なので摩耗・すりへりに強く、耐久性に優れるなどの特性を有している。このPIC板をトンネル内側に巻く内張工法は、工期が短縮できるなどの特長を有している。本報告は、PIC板を用いたトンネル内張工法による発電用水路トンネルの補修工事例について述べる。

2. PIC板による水路トンネル補修（内張工法）の利点

PIC板（ポリマー含浸コンクリートによる高耐久性埋設型枠材、商品名称；PICフォーム）は、工場製品であり、コンクリート板の小さな空隙までアクリルポリマーを充填しているために水や空気を通さず、遮塩・遮水性、耐凍害性、耐摩耗性および化学抵抗性に優れ、圧縮強度が 1500kgf/cm^2 の高強度である。さらにコンクリートおよびモルタルとの付着面は、図-1に示すように粗骨材を埋め込んだ形状であるため、コンクリートおよびモルタルとの一体性が確保でき、コンクリート構造物の有効断面として考慮できる。¹⁾

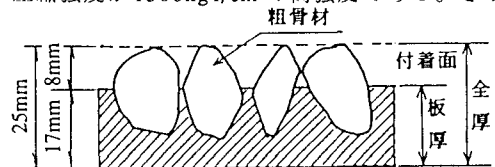


図-1 PIC板の形状

*正会員 大成建設（株）技術研究所 **正会員 大成建設（株）土木技術部

大成建設（株）土木技術部 *大成建設（株）横浜支店

PIC板を水路トンネルの補修に用いるいわゆるPIC板トンネル内張工法の利点は以下のとおりである。

- ①PIC板を既設の覆工コンクリートの内側に設置しても、PIC板とモルタル部分を含めて50mmの厚さであり、水路断面の減少が小さい。
- ②PIC板はコンクリート二次製品であり品質が均一で粗度係数が小さいのでトンネル断面が縮小しても、必要な通水量が確保できる。
- ③PIC板は耐久性、耐摩耗性に優れており、止水性も良好である。
- ④一日当たりの施工速度が早いので、工期を短縮できる。
- ⑤PIC板は現場で容易に組み立て加工ができ、施工性、安全性に優れ、作業環境が良好である。
- ⑥セントル方式による組み立ての場合には、作業員の技量を問わず、迅速・自動施工ができる。
- ⑦既設の覆工コンクリートの上に設置するために、既設の取り壊しによる産業廃棄物が発生しない。
- ⑧PIC板と打設されるモルタルとの付着性は、完全であり、既設の覆工コンクリートと一体化し強固なアーチを形成できるので、荷重に対する断面耐力が増加する。
- ⑨PIC板は構造物の有効断面として考慮することができるので、引張り補強材として使用することができる。この場合の常時の許容引張応力度としては30 kgf/cm²をとることができる。表－1にPIC板の設計標準値を示す。

表－1 PIC板の設計標準値

圧縮強度	1300	kgf/cm ²
曲げ強度	200	kgf/cm ²
引張強度	80	kgf/cm ²
弾性係数	3.5×10 ³	kgf/cm ²
ポアソン比	0.2	
比重	2.4	
線膨張係数	1.1×10 ⁻⁵	/℃

3. 補修例

3.1 A発電所

(1) 概要

工期；193日間 断水期間；153日間 工事延長；560.8m 表面洗浄工；3906m² アーチ・側壁部型枠；3906m² インバート部型枠；1020m² 裏込モルタル；575m³ 空洞エアミルク；880m³

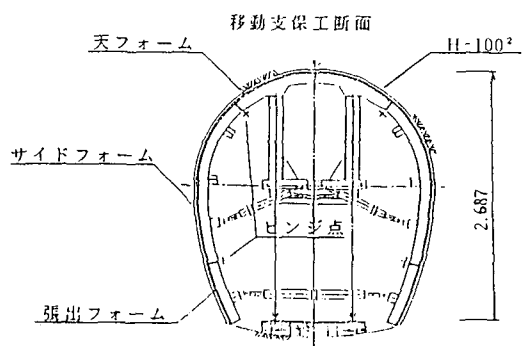
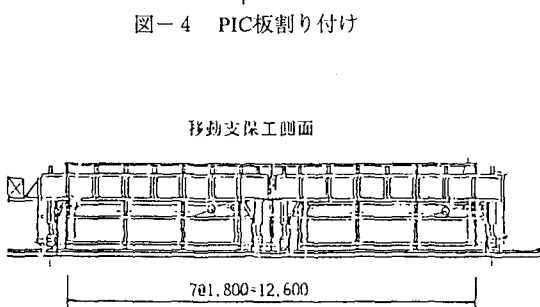
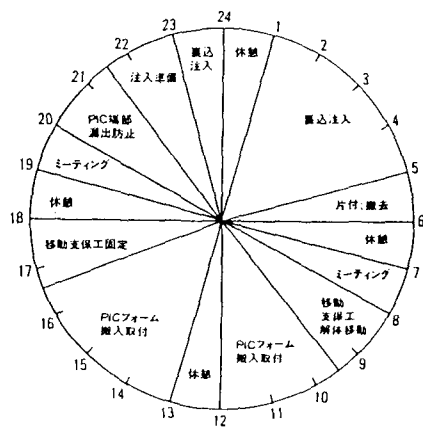
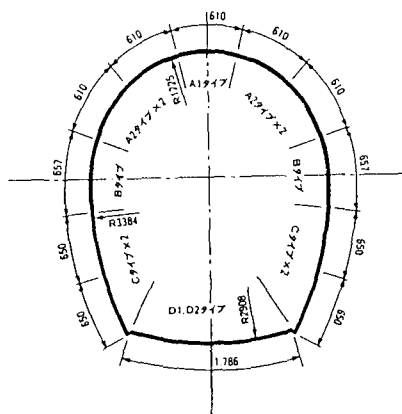
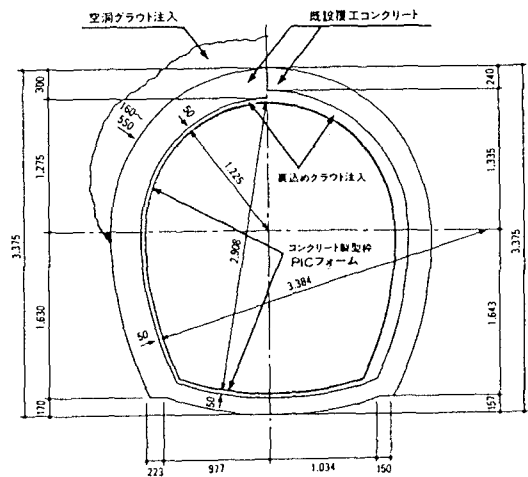
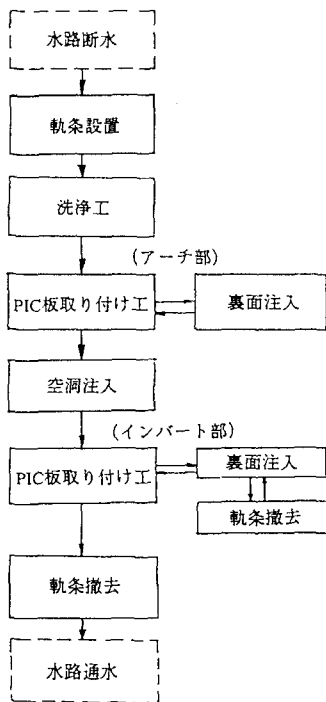
当発電所の水路トンネルは、建設以来71年を経過しており、覆工コンクリート表面が豆板状で劣化が激しく、インバートが洗掘され、さらに覆工背面の空洞も確認されていた。この水路トンネルの機能維持ならびに災害防止の目的で補修工事が行なわれた。

PIC板は、覆工コンクリートの劣化が激しいので補強部材として用いられた。施工方法は、工事延長が長いこと、ほぼ単一断面であること、工期が短いことなどから移動セントルを採用した。既設の覆工コンクリートとPIC板の間には早強モルタルを注入し、覆工背面にはエアミルクを注入した。

(2) 施工

施工順序は図－2に示すように、①軌条設置②PIC板取り付け工（アーチ・側壁部）③裏面注入工④空洞注入工⑤インバート工（軌条撤去、PIC板取り付け工、裏面注入工）で行なった。なお、アーチ・側壁部のPIC板取り付け工および裏面注入工は1日1サイクルで行ない、全線終了後に空洞注入、一部の軌条撤去、インバート部のPIC板取り付け工・裏面注入工の順序で行なった。

図－3にトンネル標準断面を、図－4にPIC板割り付けを、図－5に標準施工サイクルを、図－6に移動セントル概要を示す。



本工事の施工位置は、立坑（深さ約10m）から約250mが始点であり、施工終点まで約900mである。補修延長の560mを実施日50日で施工するためには、1日当たり11.2m以上の進捗でなければならない。このような条件から移動セントルの長さは、PIC板の1枚当たりの大きさ1800×600～650mmよりPIC板7枚分の12.6mとした。この移動セントル構造形式は、自動で内空断面が得られるように天フォーム、サイドフォーム、張出しフォームに5分割しており、油圧で運転される。なお、施工区間に曲線部が有るためにセントルの中央部にはヒンジ点を設け2両連結式で行なった。

PIC板取り付け工（アーチ・側壁部）は、セントル位置決め、PIC板運搬、接着剤塗布、PIC板組立て、裏面モルタル注入、セントル移動、これを繰返して行なった。PIC板とPIC板との接着には、湿潤面硬化型エポキシ樹脂を用いた。

(3) 通水による影響調査

施工完了後に通水による影響を調査した。PIC板とPIC板との接続部の状況を調査するためにPIC板とPIC板との接着部にひずみ計を設置し、通水時および排水時の応力を測定した。計測は、PIC板施工部のトンネル断面内で3箇所、コンクリートの打設により補修した区間（コンクリートの圧縮強度が240kgf/cm²以上の健全な部分）のトンネル断面内で3箇所の計6箇所で行ない、通水および排水を3回繰返した。計測の結果、PIC板の施工部と補修後の覆工コンクリート部との応力が同等であった。このことより、PIC板とPIC板との接着部は、十分な強度を有していることが確認された。

断面縮小による水量の影響を調べるために、通水した水路トンネル約1500mの区間で、水位を調査した。この測定結果では、PIC板の施工部は、コンクリートで補修した区間よりも水位が低く、PIC部の粗度係数は、マンニングの水利公式によれば0.011～0.012の範囲と推定された。このように、PIC板によるトンネル内張工法によってトンネル断面が縮小しても、PIC板の粗度係数が小さいので必要水量は、確保されることが明らかになった。

3.2 B発電所

(1) 概要

工期；160日間 断水期間；134日間 工事延長；324m 表面洗浄工；3179m² アーチ・側壁部 PIC板型枠；3143m² インパートコンクリート；139m³ 裏込モルタル；340m³ 空洞エアミルク；108m³

当発電所の水路トンネルは、昭和5年に建設されたもので約62年経過しており、A発電所の水路トンネルと同様に覆工コンクリート表面が豆板状で劣化が激しく、覆工背面の空洞も確認されていた。本工事は、この水路トンネルで特に劣化の著しい部分の3区間（116、114、94m、作業立坑より施工区間の最長距離は、約585m）をPIC板によるトンネル内張工法で補修した。図-7にトンネル標準断面を示す。

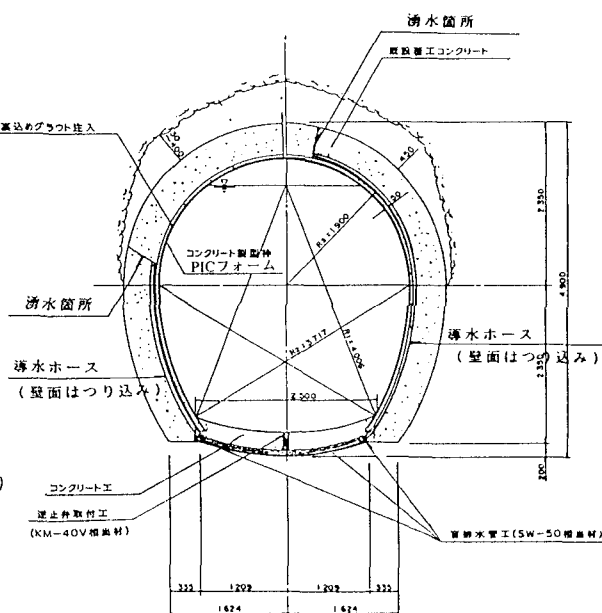


図-7 トンネル標準断面

(2) 施工

施工方法は、A発電所とはほぼ同様の軌条・移動セントル方式で行なったが、A発電所の施工実績を踏まえて、様々な改良、改善を行なった。PIC板に関して、PIC板1枚当たりの大きさ1800×550～652mm厚さ25mmに対して、ボルト穴を4個から6個に増加、PIC板の固定間隔を1800mmから900mmに縮小し、PIC板の目違いを防止した。移動セントルの長さは、トンネルの曲線半径、トンネルの断面積、1日当たり施工量、作業時間などから9mと定め、2分割できるタイプとした。なお、インバート部は、生コンクリートを打設した。

(3) 通水による影響調査

施工完了後に通水による影響調査を行なった。調査の目的は、①PIC板とPIC板との接着部・PIC板（中央部）の耐力の確認②既設コンクリートとPIC板との一体化の確認であった。計測位置は、土被り約15m、立坑から104m付近、設置の計器は、ひずみ計8個、温度計1個および間隙水圧計1個の合計10個で行なった。図-8に計測位置を示す。計測は、施工完了後の通水までの20日間、通水してから7日間の計27日間連続で行なった。図-9に計測結果を示す。この図は、通水直前を基準（零点）とし、1日当たり3点（計測時間8：00、12：00、16：00）で作成したものである。

PIC板とPIC板との接着部・PIC板（中央部）の計測結果について、PIC板とPIC板との横継目は、左側および右側ともに同様の挙動を示し引張ひずみ10～17 μ の範囲で変動していた。PIC板とPIC板との縦継目は、横継目よりやや大きく引張ひずみ20～27 μ の範囲で変動していた。PIC板の中央部は、左側が引張ひずみ1～6 μ の範囲で変動し、天端部が圧縮ひずみ-5～-7 μ の範囲であった。これらのひずみの変動は、水の温度に依存していた。すなわち、温度変化に伴って変動していた。ひずみの値は小さく変動範囲も小さいことから、PIC板とPIC板との接着部およびPIC板は、十分な耐力を有していると判定された。

既設コンクリートの計測結果について、既設コンクリートの天端は、PIC板の天端とひずみの値および挙動がほぼ同様であり、既設コンクリートの左側および右側は、PIC板の左側および右側と同様であった。すなわち、PIC板と既設コンクリートは、その挙動が同様であり、一体化していることが確認できた。

なお、間隙水圧の計測結果は、通水後定常状態であった。

4. おわりに

PIC板を内張りする水路トンネル補修工法は、コンクリートを切削しないことから工期が短縮できること、トンネルの断面が縮小しても通水量が確保できること、耐久性が向上すること、作業環境が良好で安全であることなど多くの利点を有しているので水路トンネルの補修には適切な工法と考えられる。

参考文献

- 1) 財団法人土木研究センター 土木系材料技術・技術審査証明 報告書（技審証 第0107号）「ポリマー含浸コンクリートによる高耐久性埋設型砕材 PICフォーム」平成2年3月

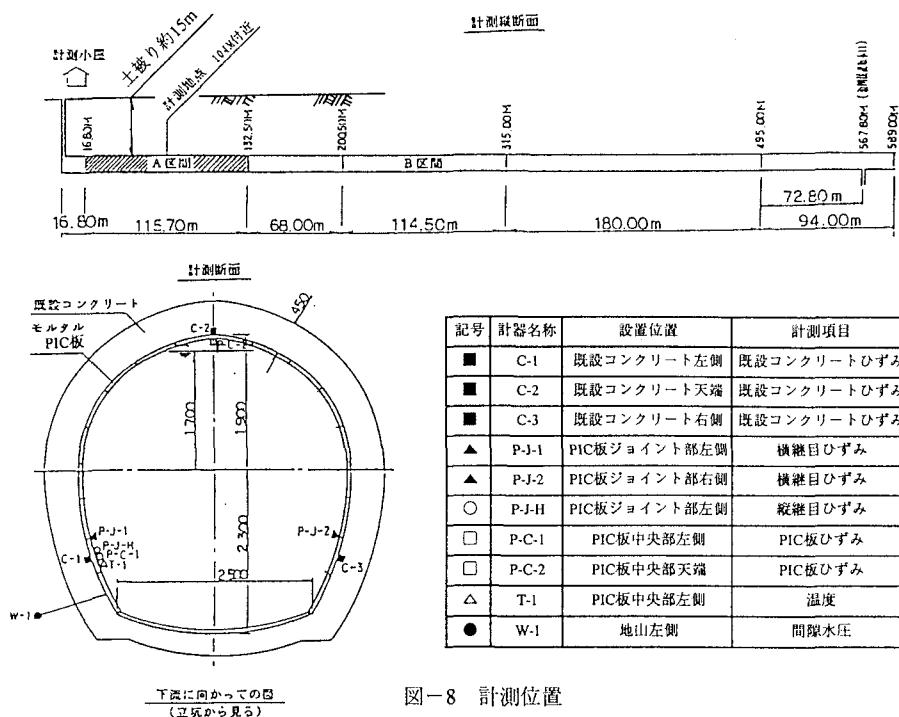


図-8 計測位置

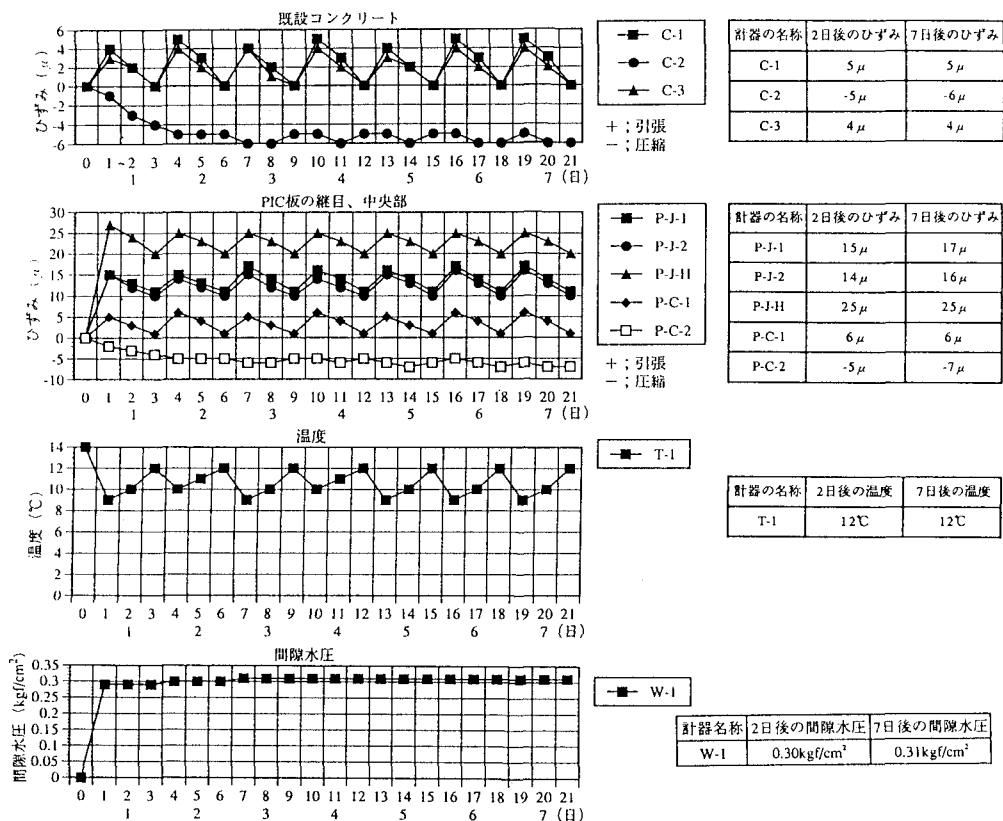


図-9 計測結果