

## 論文

## [1110] PIC版複合部材の屋外暴露に関する研究

正会員○新藤竹文（大成建設株式会社技術研究所）

正会員 松岡康訓（大成建設株式会社技術研究所）

正会員 内藤隆史（大成建設株式会社技術研究所）

正会員 横田和直（大成建設株式会社技術研究所）

## 1. はじめに

コンクリートはセメント・水・骨材等の比重の異なる種々の材料を組み合わせた複合材料であるため、硬化するまでの製造・運搬・打込み・締固め等の各施工段階において材料分離を生じ易く、構造物全体として均等な品質を確保することが困難な材料である。さらに、通常の施工の場合、コンクリート打設後の養生方法・養生期間に多くの制約を受け、材料自体が本来有するはずの性能が不完全なまま、日光の直射・風雨等の乾湿繰返しや季節による外気温度の変動等さまざまな劣化環境にさらされている場合が多い。

このような施工段階における材料分離および養生不足による材料自体の不完全さ等に起因するコンクリートの品質低下は、暴露環境下での乾燥収縮を助長し、止水性能をはじめとする種々の耐久性能を著しく低下させる結果となる。

筆者らは、コンクリートの表層物性を改善することにより構造物の耐久性を向上させることを目的に研究を進めてきたが、ここに、優れた緻密性能・止水性能を有するポリマー含浸コンクリートの版（以下、PIC版と略す）を打込み型枠として構造物の表面に配置してコンクリートを打設し複合一体化する工法（以下、PIC版工法と略す）を開発するに至った。

本工法の特徴は、緻密なPIC版をコンクリート表面に配置することによって、腐食因子の侵入を防止し、さらに、内部コンクリートからの水の発散を抑制し乾燥収縮の少ない理想的な養生状態を確保し、コンクリート構造物の高品質化を図ることに集約される。

本工法が腐食因子の侵入に対して極めて高い遮蔽性能を有し、防食性能をはじめとするコンクリート構造物の耐久性を大幅に向上させることは既に報告したとおりである〔1〕。

本報告は、PIC版工法における『内部コンクリートの品質』に着目して行った、実大規模試験体の屋外暴露試験についてまとめたものである。

## 2. 暴露試験体

本試験は、コンクリートの打設・部材の厚さ・配筋等の施工および形状寸法等、実大規模と同等の条件の下で、PIC版を表面に配置したPIC版試験体、および、合板型枠を用いて通常の施工法を適用した基準試験体の2種類の大型壁状試験体を製作し、当社研究所敷地内にて1年間屋外に暴露し、乾燥収縮等に起因する側壁の寸法安定性ならびにコンクリートの止水性能の変化を調査し、暴露環境下での構造物の耐久性について定量的な評価を試みたものである。

## (1) 形状寸法

PIC版試験体および基準試験体の形状寸法は図-1に示すとおりで、コンクリートのスラブ基礎（幅2.5m×高さ1.0m×長さ10.0m）に、側壁（幅0.5m×高さ2.0m×長さ9.0m）を打継いだ構造である。スラブ基礎および側壁には、かぶり50mmの位置にD13mm異形棒鋼を250mm間隔で配筋したが、鉄筋の有無が止水性能に及ぼす影響を調査するため、断面寸法および施工条件を同

一にした無筋部も同時に製作した。なお、スラブ基礎には乾燥収縮等が生じないように表面をアスファルトによりコーティングした。

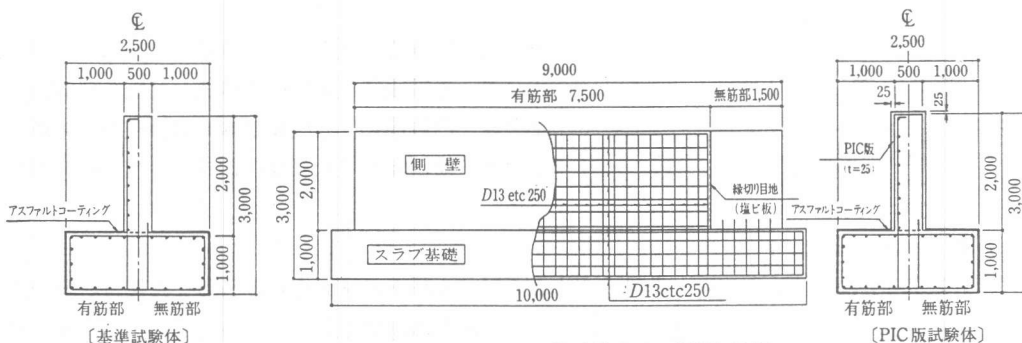


図-1 試験体形状寸法および配筋状況

### (2) 試験体製作手順

スラブ基礎はコンクリート打設後1ヶ月間の湛水養生を行い、さらに1ヶ月間放置し、コンクリート温度・歪みが安定した後、アスファルトによりコーティングを施した。

側壁はコンクリート打設後、1日間の散水養生および2日間の湿潤養生を行い、材令4日目から屋外暴露を開始した。(写真-1参照)

なお、コンクリートの打設はブーム付きコンクリートポンプ車により行った。また、PIC版試験体の側壁は5cm程低めに打設し、PIC版を上部に配置した後、モルタルを注入した。

### (3) 使用材料

#### 1) コンクリート

打設したコンクリートの配合を表-1に、フレッシュコンクリートの品質を表-2に示す。

また、標準養生(20℃水中)におけるΦ10×20cmテストピースの圧縮強度および静弾性係数の測定結果を表-3に示す。表-3に示すように両試験体に打設したコンクリートは、ほぼ同等の品質であったと言える。

また、本コンクリートの熱膨張係数(α)は $\alpha = 8.45 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であった。

#### 2) PIC版

PIC版は写真-2に示すように版厚25mm(版部15mm+骨材部10mm)で、版全体を含浸した全含浸部材を使用した。また、PIC版の基材(被含浸部材)の配合は表-4に示すとおりであり、ポリマー含浸処理は図-2に示す製作手順により行なった。含浸処理後のポリマー含浸率および諸強度は表-5に示すとおりである。

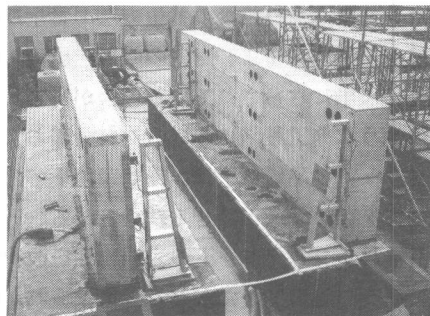


写真-1 暴露試験状況

表-1 コンクリートの配合

使用 セメント	粗骨材の 最大寸法 Gmax (mm)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材 率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AE減水剤
普通	25	56.5	46.7	158	280	862	1006	1.12

表-2 フレッシュコンクリートの品質

試験体種別	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位重量 (ton/m <sup>3</sup> )	打込温度 (℃)
基 準試験体	11.9	4.4	2.30	24
PIC版試験体	13.0	4.6	2.29	14

表-3 コンクリートの諸強度 [単位: kgf/cm<sup>2</sup>]

種別	材令	7日	28日	91日	1年
		基 準 試験体	圧縮強度	167	271
P I C 版 試験体	弾性係数	$2.14 \times 10^5$	$2.23 \times 10^5$	$2.56 \times 10^5$	$2.67 \times 10^5$
	圧縮強度	198	310	320	325
P I C 版 試験体	弾性係数	$1.94 \times 10^5$	$2.43 \times 10^5$	$2.52 \times 10^5$	$2.58 \times 10^5$

表-4 P I C版(基材)の配合

使用セメント	粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 融性融剤	繊維 SUS304
普通	10	36	58	180	500	912	734	6.0	1.5 *conc. vol%

基材製作	乾燥	脱気	含浸	重合	洗	含浸終了
	150°C 24時間	5mmHg 1.5時間	常圧 1時間	80°C 1時間	浄	

図-2 P I C版の製作手順

表-5 P I C版の諸強度

含浸率 (%)	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
5.7	1529	281

### 3. 調査の内容

#### (1) 寸法安定性の調査

本調査は1年間の屋外暴露下での乾燥収縮等に起因して生じる側壁の長さ変化を経時測定するものである。長さ変化量(歪み)の測定は、側壁の断面中央に埋設した鉄筋計によった。測定位置は図-3に示すとおりである。なを、本測定は側壁コンクリートの打設と同時に開始した。

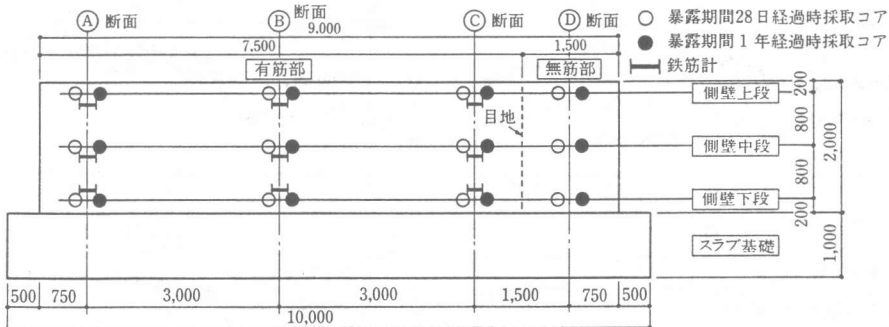


図-3 寸法安定性および止水性能の調査位置

#### (2) 止水性能の調査

本調査は1年間の屋外暴露下での側壁コンクリートの止水性能の変化を調査するものであり、暴露期間28日および1年経過時点で、図-3に示す側壁位置からΦ15cmのコアを採取しインプット方法にて加圧透水試験を行い、水の浸透深さを測定し、コアの拡散係数を求めた[2]。ここで、透水試験条件は水圧15kgf/cm<sup>2</sup>、加圧期間7日間である。また、透水時のコアの含水状態を一定にするため、採取コアは予め20°C~60%R.H.の恒温恒湿室にて7日間養生した。

各コアは写真-3に示すように側壁表面部(①・③)と内部コンクリート(②)に3分割し、各々、写真に示す矢印の面から透水した。ここで、P I C版試験体の表面部(①・③)とはP I C版を除いたそのすぐ内側のコンクリートである。

浸透深さの測定はコア割裂面に指示薬(チモールブルー)の粉末を散布し浸透部分を濃紺色に変色させる方法を考案し採用した。変色部の面積をプランメータにより計測し、測定長さで除す

(表面) (側面) (裏面)

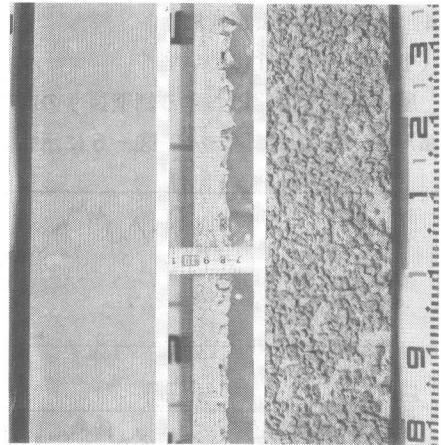
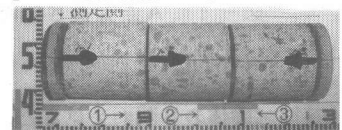


写真-2 P I C版の形状

[P I C版試験体コア]



[基準試験体コア]

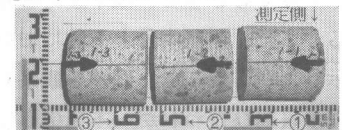


写真-3 コア分割方法

ことにより平均浸透深さを求め、この平均浸透深さから拡散係数を算出した。

#### 4. 調査結果および考察

##### (1) 寸法安定性について

屋外暴露1年間における側壁長さの経時変化を、A断面（側壁端部）およびB断面（側壁中央部）を一例として図-4、図-5に示す。また、同図に外気温の経時変化も併記する。

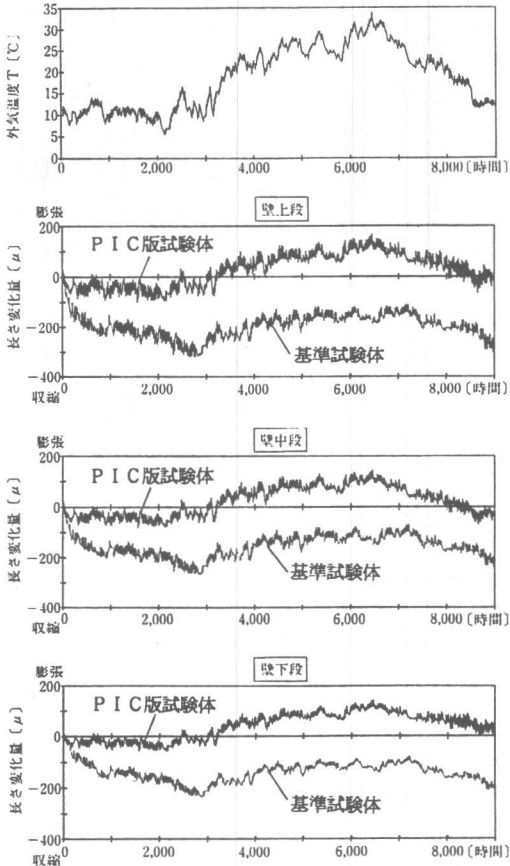


図-4 A断面長さ経時変化

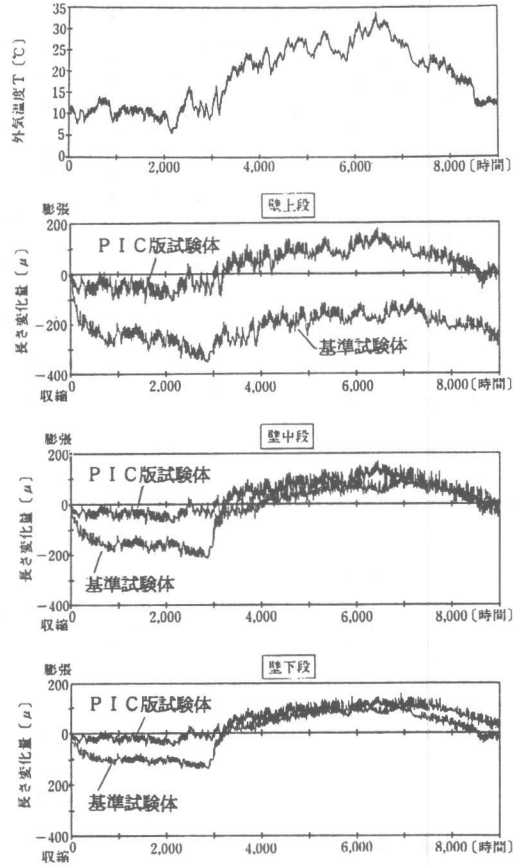


図-5 B断面長さ経時変化

基準試験体のB断面を見ると、暴露期間3000時間程度まで収縮量が増加し、最大収縮量は壁上段で350 $\mu$ 、壁中段で200 $\mu$ 、壁下段で120 $\mu$ 程度と側壁の下方ほど小さいのがわかる。また、側壁中段と下段において暴露3000時間経過時点で急激に原点に戻る特異な履歴を示したが、ここで、側壁を観察したところB断面付近に側壁下段から中段に向かって幅0.1mm程の貫通ひびわれが一本発生しているのが確認された。

基準試験体のA断面を見ると、側壁の下方ほど収縮量が小さくB断面と同様の傾向となっているが、最大収縮量は壁上段で300 $\mu$ 、壁中段で250 $\mu$ 、壁下段で200 $\mu$ 程度と高さ方向の差はB断面に比べて小さく、また、ひびわれの発生も認められなかった。

側壁上段から下段になるに従って収縮量が小さくなるのは、側壁の変形がスラブ基礎に拘束されることに起因するもので、長手方向では側壁中央ほど、高さ方向ではスラブ基礎に近いほど、

スラブの拘束度合が大きいためと考察される。従って、側壁中央部は乾燥収縮等の変形に対してスラブ基礎の拘束が特に大きかったために、ひびわれが発生したものと言える。

これに対して、P I C版試験体のB断面の最大収縮量は壁上段で100 $\mu$ から壁下段で50 $\mu$ と基準試験体の1/3~1/4であり、ほぼ外気温度の変化に追従した膨脹・収縮を繰返す程度であり、測定開始時と同時期にあたる暴露1年経過後にはほぼ初期の状態に戻っていた。

以上のことから、P I C版試験体は外気温度の年変化に追従した温度膨脹収縮を繰返す程度に止まり、最大収縮量においても基準試験体の1/3~1/4と小さく、P I C版を構造物の表面に配置することによって乾燥収縮等は減少し、1年間の暴露を通じて優れた寸法安定性を確保することが可能であることが明かとなった。

## (2) 止水性能について

暴露期間28日および1年経過時点での透水状況を、B断面の側壁中段を一例として写真-4、写真-5に示す。写真の黒色部が浸透部分であるが、P I C版試験体のコンクリートの浸透深さは基準試験体のコンクリートに比べて表面、内部ともに小さいのがわかる。また、両試験体ともに表面①・③部のコンクリートは内部②に比べて浸透深さが大きいのがわかる。

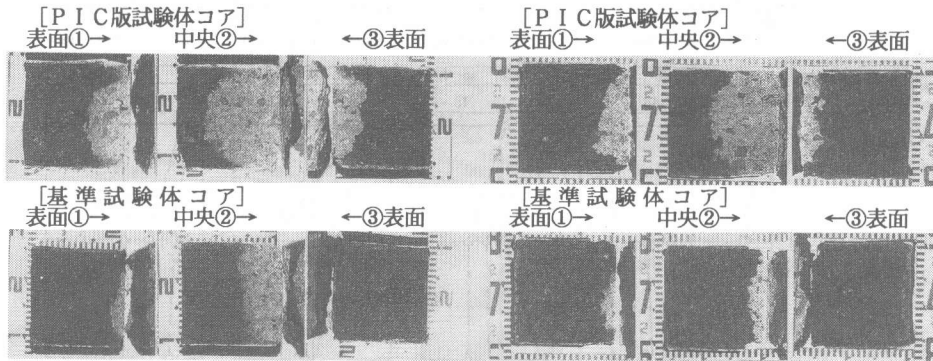


写真-4 暴露28日経過時点の透水状況

写真-5 暴露1年経過時点の透水状況

拡散係数を各断面ごとにプロットし図-6に示す。ここで、側壁表面の拡散係数は両表面①・③の平均値で表示する。図-6を見ると、表面部の拡散係数は内部コンクリートに比べて大きく、また、有筋部の拡散係数は無筋部に比べて大きくなる傾向にあるのがわかる。直射日光および風雨等が直接作用する表面部は内部のコンクリートに比べて劣化の進行が速いことは容易に推定されるが、ここで、コンクリートの打設・締固めの際に表面部に格子状に配置された鉄筋がフルイとなってコンクリートの材料分離を助長すること、さらに、乾燥収縮等によりコンクリートが変形する際に鉄筋に拘束され微細なひびわれを生じる可能性があること等、部材の表面部に鉄筋が配置されていることも止水性能を低下させる大きな要因の一つと考えられる。

図-6を見ると、基準試験体の内部コンクリートの暴露1年経過時点の拡散係数が28日時点から大幅に増加しているのに対して、表面部の変化は僅かであるのがわかる。

先の寸法安定性の調査において収縮量が1000時間でほぼ最大値に達していたことから推察されるように、乾燥収縮等によって生じる止水性能の低下は暴露1ヶ月程度の比較的初期段階で急激に進行してしまうものと考察される。

図-6においてP I C版試験体の表面部の拡散係数を見ると、暴露期間28日時点ではどれも同位置での基準試験体の表面部に比べて非常に小さく、また、止水性能の低下がまだ僅かである

と考えられる基準試験体の内部コンクリートとほぼ同等であるのがわかる。

さらに、暴露1年経過時点においてはP I C版試験体の表面・内部の両部分とも基準試験体の内部コンクリートよりも高い止水性能を有していることがわかる。

以上のように、P I C版を表面に配置することによって内部からの水の発散を抑制し、コンクリートを理想的な養生状態に保つことが可能であり、コンクリート自体の品質を向上させることによって長期間の暴露環境下においても安定した止水性能が確保されることが明かとなった。

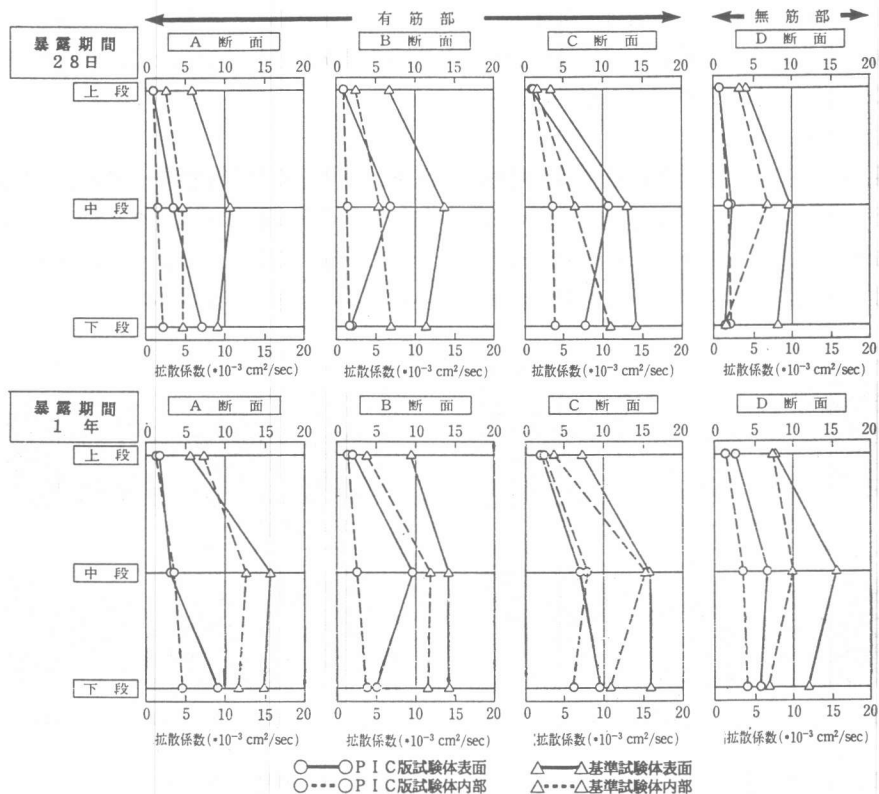


図-6 両試験体の拡散係数の比較

## 5. ま と め

本試験の結果、P I C版を構造物の表面に配置することによって、乾燥収縮等に起因する寸法変化は $1/3 \sim 1/4$ に低減し、長期の暴露を通じて優れた寸法安定性を確保することが可能であり、また、暴露の影響が直接作用する表面部のコンクリートを理想的な養生状態で保護することでコンクリート自体の品質を十分に向上させ、長期間の暴露環境下においても安定した止水性能が得られることが実証されたものと言える。また、本試験により表面部の鉄筋が止水性能に及ぼす影響についても知見を得ることができ、従来の無筋で小試験体を用いた室内実験では不十分であった実環境下での実構造物の耐久性について適確な評価が行えたものと結論される。

(参考文献)

- [1] 新藤竹文、松岡康訓、内藤隆史：ポリマー含浸コンクリートの耐久性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、第10巻第2号、pp. 415~420
- [2] 國分正胤編：土木材料実験、技報堂出版、pp. 292, 1988