

(50) P I C フォーム 複合部材の耐久性に関する研究

大成建設 (株) 会員 ○新藤竹文^{しんとうたけみ}
大成建設 (株) 会員 内藤隆史
大成建設 (株) 会員 松岡康訓

1. はじめに

塩分飛沫体に構築されるコンクリート構造物の表面には、多量の塩分を含んだ海水が付着する。これらは日光の直射および風雨等の乾湿繰返しにより高濃度化した状態で徐々にコンクリート内部へ浸透して行き、最終的に鋼材が腐食する結果となる。

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塩害をはじめとした種々の劣化環境にさらされている場合が多い。このような養生不足による材料自体の不完全さ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に影響を及ぼし、遮塩性能や止水性能をさらに低下させることが予想される。

筆者らは、コンクリート表層物性を改善することによって構造物の耐久性を向上させることを目的とした研究を進めてきたが、ここに、ポリマー含浸コンクリートの版 (以下、P I C フォームと略す) を打込み型枠として構造物の表面に配置する工法 (写真-1) を開発するに至った。P I C フォームは写真-2 および図-1 に示すように厚さ15mm~40mmで裏面は粗骨材を埋込んだ粗面構造になっており、アンカー等の取付け治具を用いなくても打設コンクリートと確実に一体化させることが可能である。

本工法の特徴は、緻密性に優れたP I C フォームをコンクリートの表面に配置することによって、外部からの腐食因子の侵入を防止すると同時に、内部コンクリートからの水の発散を抑え、乾燥収縮の少ない理想的な養生状態を確保して、内部コンクリート自体の高品質化を図ることに集約される。

本報告は、P I C フォーム工法における外部からの腐食因子の侵入に対する遮塩性能・防食性能等を評価した腐食促進試験、および、乾燥収縮の低減による内部コンクリートの品質向上効果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。

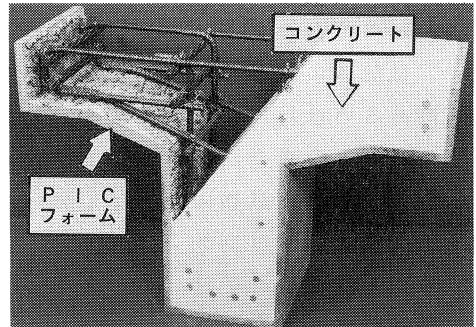


写真-1 PICフォーム工法 (例)

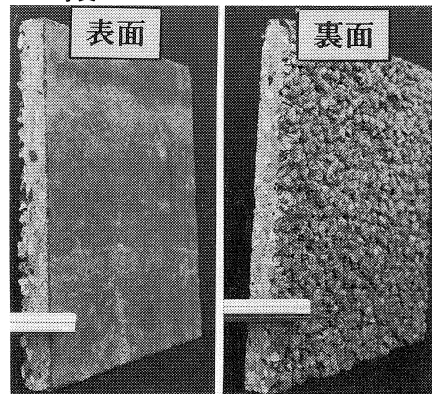


写真-2 PICフォーム形状

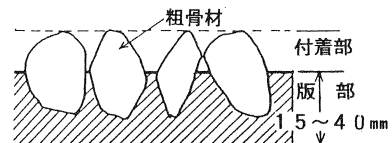


図-1 PICフォーム断面形状

2. 試験方法

2.1 腐食促進試験

本試験は、コンクリート中へ塩分が浸透し高濃度化を生じる乾湿繰返し環境下に着目し、P I Cフォーム工法の遮塩性能・防食性能を評価することを目的に行ったものである。

試験の方法は、図-2に示すような乾湿繰返し装置を使用し表-1に示す乾湿繰返し条件の下で行う腐食促進試験とした。

2.1.1 試験体

腐食促進試験に供した試験体の形状は、図-3に示すように厚さ15mmのP I Cフォームを配置して内部にコンクリートを打込み複合したものである。また、内部鋼材としてはD13mm異形棒鋼を純かぶり25mmおよび35mmの位置に各々2本ずつ合計4本を配筋した。

試験体の種類は表-2に示すように、接合目地の有無あるいは目地材料の異なるP I Cフォームとコンクリートとの複合試験体、および、コンクリートのみで製作した基準試験体の合計4ケースである。

これらは、コンクリート打設後、7日間の標準養生を行いさらに20℃、60%RHの恒温恒湿室にて3日間養生した後、材令11日時点で湿潤環境から乾湿繰返しを開始した。

2.1.2 使用材料

P I Cフォームの基材（被含浸部材）

および、打設コンクリートの配合を表-3に示す。また、P I Cフォームの製造方法を図-4に示し、ポリマー含浸率および強度を表-4に示す。なお、試験開始時における内部コンクリートの圧縮強度は2.38 kgf/cm²であった。

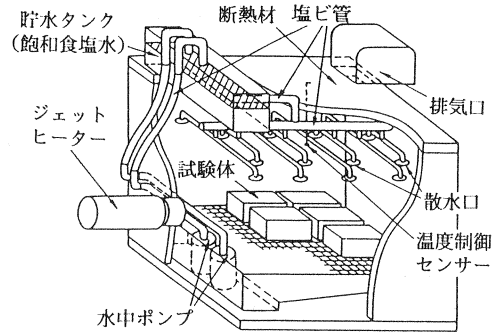


図-2 乾湿繰返し装置

表-1 乾湿繰返し条件

条件区分	作用方法	環境温度	作用日数	1サイクルの日数
湿潤	飽和食塩水の散水	20℃	3日	7日間
乾燥	熱風乾燥	55℃	4日	

表-2 試験体の種類

ケースNo	試験体種別	目地区分
CASE-1	P I Cフォーム	目地なし
CASE-2	+	エポキシ
CASE-3	普通コンクリート	シリコン
CASE-4	普通コンクリート	—

P I Cフォーム複合試験体（目地なし）

基準試験体

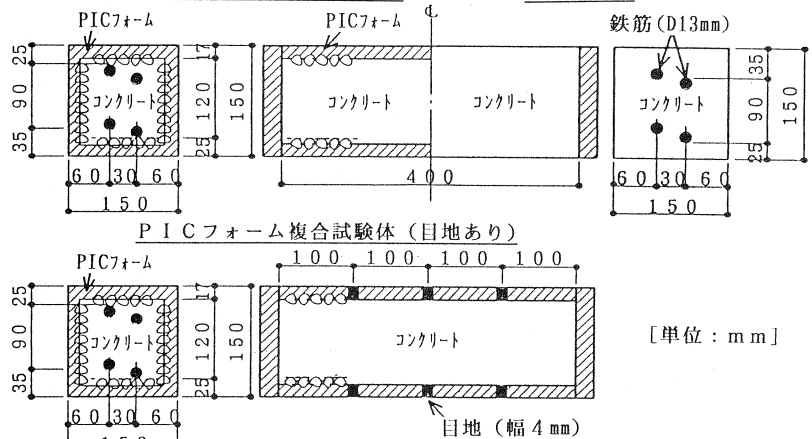


図-3 試験体形状寸法

表-3 使用材料の配合

材料種別	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 W / C (%)	単位量 (kg/m ³)	
			セメント C	混入繊維 SUS-304
P I Cフォーム (基材)	15	38	500	118
コンクリート	25	55	300	—

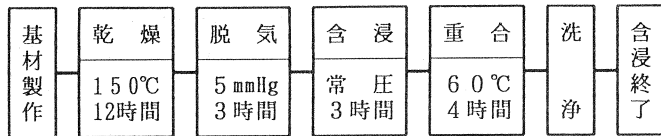


図-4 PICフォーム製造方法

2.1.3 調査内容

30サイクルの乾湿繰返し終了後、図-5に示す試験体の断面中央部にて内部塩分量の測定を行い、また、内部鋼材の腐食状況を調査した。

2.2 屋外暴露試験

本試験は、打設方法・部材寸法・配筋等の施工方法や形状寸法を実大規模と同等の条件の下で、PICフォーム複合試験体、および、合板型枠を用いた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1年間暴露したもので、乾燥収縮等に起因する側壁の寸法安定性を調査することにより暴露環境下での実構造物レベルでの耐久性を評価したものである。

2.2.1 暴露試験体

PICフォーム複合試験体および基準試験体の形状寸法は図-6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。また、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。なお、拘束体である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でコーティングした。

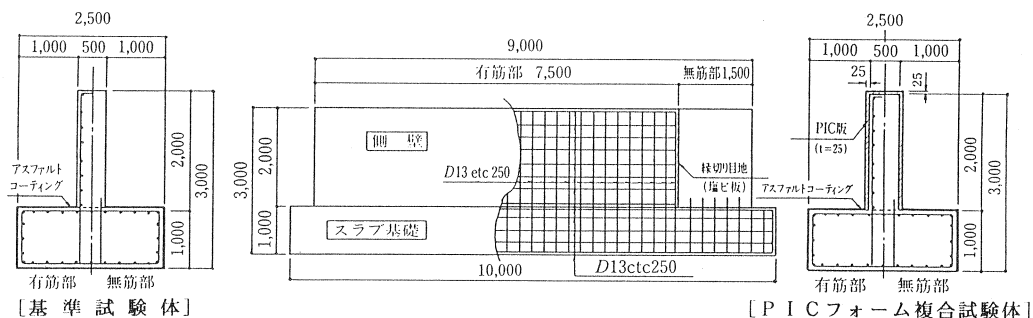


図-6 試験体形状寸法および配筋状況

2.2.2 試験体製作手順

スラブ基礎はコンクリート打設後2ヶ月間放置しコンクリートの温度および歪みが安定した後に、アスファルトで表面を被覆した。

次に、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-3）

なお、これらのコンクリート打設はブーム付きコンクリートポンプ車を使用して行った。

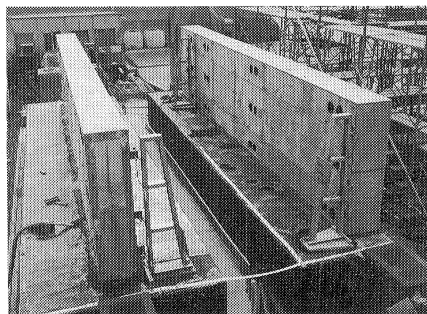


写真-3 暴露試験状況

表-4 PICフォームの諸強度

含浸率 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)
5.5	1626	228

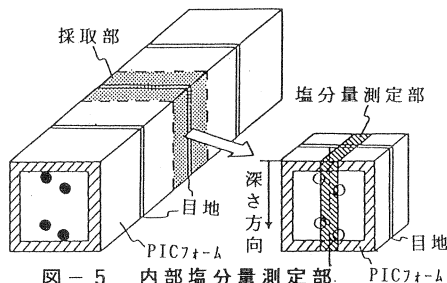


図-5 内部塩分量測定部

2.2.3 使用材料

P I Cフォームの基材および打設コンクリートの配合は表-5のとおりで、また、コンクリートの打設時フレッシュコンクリートの品質は表-6に示すとおりである。

両試験体に打設したコンクリートの標準養生における圧縮強度は表-7に示すとおりで、両試験体はほぼ同等の品質のコンクリートであったと言える。また、本コンクリートの熱膨張係数は $\alpha = 8.45 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であった。なお、使用したP I Cフォームは版厚15mmで、ポリマー含浸率および諸強度は表-8に示すとおりである。

表-5 使用材料の配合

材料種別	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 W / C (%)	単 位 量 (kg/m ³)	
			セメント C	混入繊維 SUS-304
P I Cフォーム (基材)	10	36	500	118
コンクリート	25	57	280	—

表-6 打設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 ³)	打込温度 (°C)
基準試験体	11.9	4.4	2.30	24
P I Cフォーム複合試験体	13.0	4.6	2.29	14

表-7 打設コンクリートの圧縮強度 [kgf/cm²]

材令種別	材令			
	7日	28日	91日	1年
基準試験体	167	271	334	350
P I Cフォーム複合試験体	198	310	320	325

表-8 P I Cフォームの諸強度

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

2.2.4 調査内容

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で測定するものである。

長さ変化量の測定は図-7に示す位置の側壁断面中央に埋設した鉄筋計により行い、側壁コンクリート打設と同時に開始した。

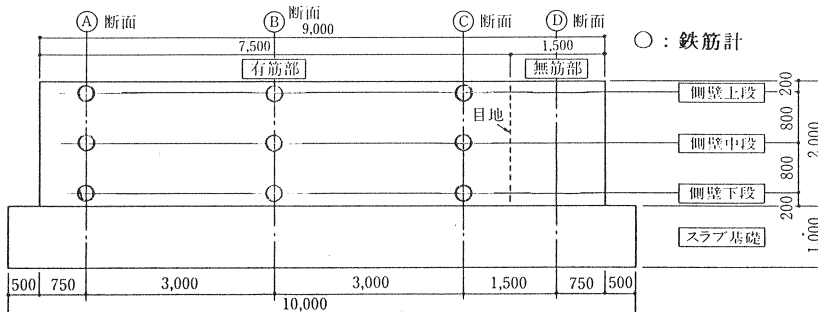


図-7 寸法安定性の調査位置

3. 結果および考察

3.1 腐食促進試験

各試験体の内部塩分量を試験体上面から深さ方向にプロットし図-8に示す。

ここで、内部塩分量はコンクリート重量に対するNaCl重量の百分率で表示する。図-8を見ると、基準試験体の浸透塩分量の最大値は表面付近で1.85%であり、試験体の中心部まで塩分が浸透しているのがわかる。これに対して、P I Cフォーム試験体は目地の有無に拘らずいずれの場合も、表面に付着していたと考えられる0.01%程の微量の塩分が測定された以

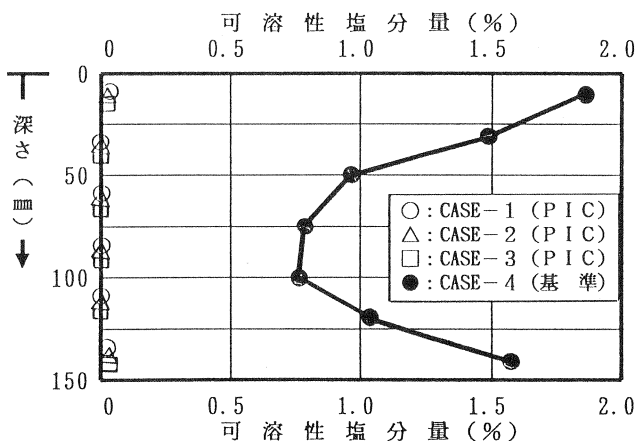


図-8 可溶性塩分量深さ方向分布

外、内部のコンクリートには全く塩分が浸透していないのが分かる。

また、写真-4は各試験体に配置した鉄筋の腐食状況である。基準試験体に配置した鉄筋は、かぶり25mmおよび35mmのいずれの場合もほぼ全面にわたって腐食しているのがわかる。

これに対して、PICフォーム試験体に配置した鉄筋はかぶりの大小に拘らず全く腐食していないのがわかる。また、PICフォームの接合目地にエポキシ系あるいはシリコン系の材料を充填した場合においても腐食は認められなかった。

以上のことから、PICフォームを配置することによって遮塩性能および防食性能は大幅に向上することが明かとなり、さらに、適切な材料で目地処理を行うことで、PICフォームの性能を損なうことなく期待した効果を得ることが可能であることが確認された。

なお、PICフォーム工法はかぶり量の大小によらず高い防食性能が得られることから、かぶり量不足に起因する防食性能の低下を防止するだけでなく、さらに、かぶり量を低減して部材断面を縮小する等の2次防食としての適用が期待できる。

3. 2 屋外暴露試験

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-9、図-10に示す。また、同図に外気温の経時変化も併記する。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 μ 、壁中段で200 μ 、壁下段で120 μ 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 μ 、壁中段で250 μ 、壁下段で200 μ 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と考えられる。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と言える。これに対して、PICフォーム複合試験体のB断面の最大収縮量は、壁上段で

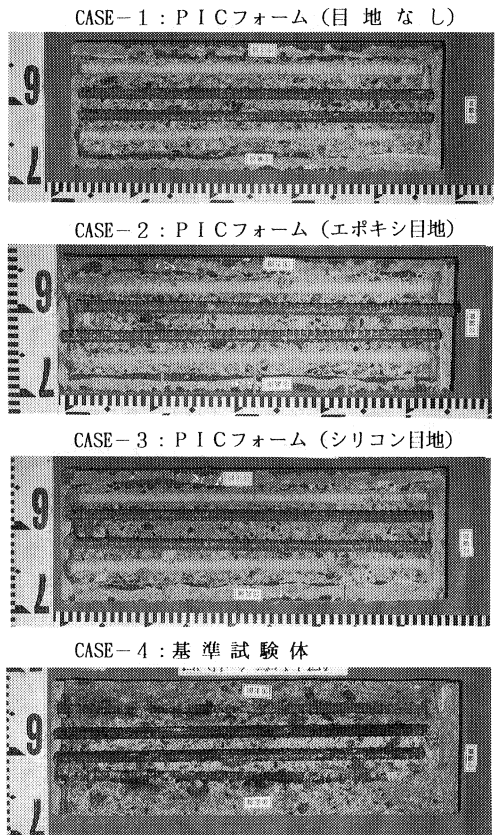


写真-4 内部鋼材腐食状況

100 μ から壁下段で50 μ 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るのがわかる。

以上のことから、PICフォームを構造物の表面に配置することで乾燥収縮が減少し、1年間の暴露を通じて優れた寸法安定性が確保されることが明かとなった。

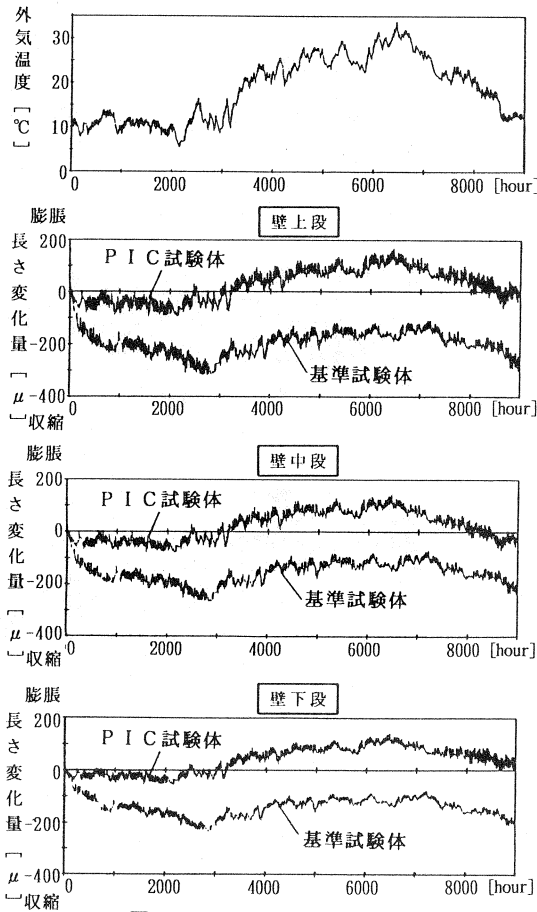


図-9 A断面長さ経時変化

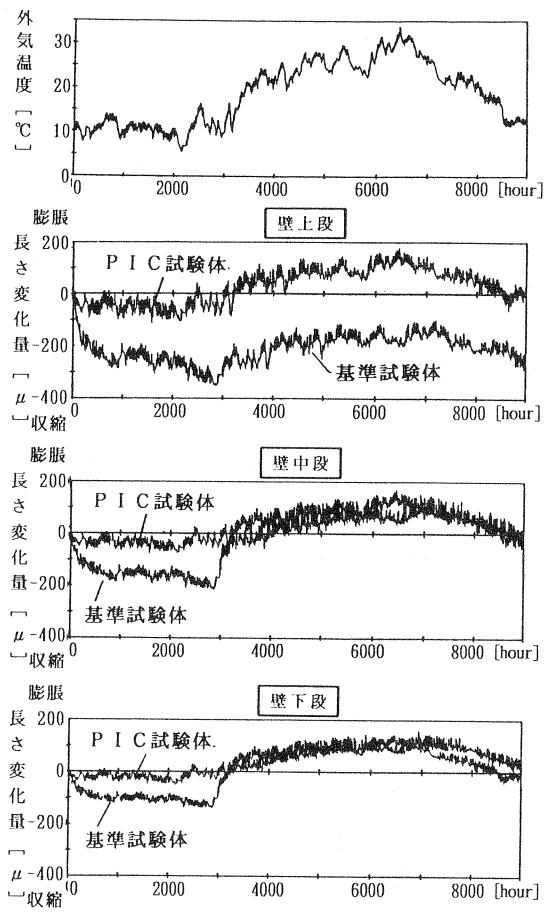


図-10 B断面長さ経時変化

4. ま と め

乾湿繰返し環境を対象とした腐食促進試験により、PICフォーム工法の遮塩性能および防食性能を評価した結果、本工法が極めて優れた遮塩性能を有し、また、完全な防食性能が得られることが確認された。PICフォームどうしの接合目地についても、適切な材料によって処理することで、PICフォームの優れた性能を十分に確保することが可能であることが明かとなった。

さらに、実大規模の試験体を用いた屋外暴露試験により、PICフォームを表面に配置することにより、乾燥収縮等に起因する寸法変化は大幅に低減され、長期の暴露を通じて優れた寸法安定性が確保されることが実証されたものと結論される。