

正会員 大浜 嘉彦 ○正木 慎一 (日本大学工学部)

1. はじめに

一般に、ポリマー含浸コンクリート (Polymer-Impregnated Concrete, 略称PIC) は、普通セメントコンクリートにモノマーを含浸し、重合することによって製造され、強度、水密性、耐凍結融解性、耐摩耗性、耐薬品性に優れた性能を発揮する。これに用いられるモノマーは主に、メタクリル酸メチル、スチレン、酢酸ビニル、アクリロニトリル、不飽和ポリエステル-スチレンなどのビニル系化合物であり、ソ連では、ウレタン、尿素-ホルムアルデヒド樹脂も用いられている。

本報告は、これらのモノマーの代りに、耐久性、可とう性、耐薬品性、接着性などに優れたエポキシ樹脂を用いたエポキシ樹脂含浸コンクリートに関するものである。エポキシ樹脂は、高粘度 ($14 \sim 16 \times 10^3 \text{ cP}$, 20°C) であるため、それ自体では含浸できないが、反応性希釈剤を添加し、粘度を下げることににより、含浸を容易にすることができ、この方法により、9種の含浸材の配合を設定し、最適な含浸材配合を検討した。次に、含浸時間及び含浸圧などの含浸条件を変化させ、最適条件を検討した。その結果、得られた最適条件下で完全含浸法によって、エポキシ樹脂含浸コンクリートを製造し、その圧縮強度、曲げ強度、引張強度及び変形特性を水中養生コンクリート (材令28日)、未含浸コンクリート、ポリメタクリル酸メチル含浸コンクリート及びポリスチレン含浸コンクリートの性能と比較検討した。

2. 使用材料

2.1 基材用材料

(1) セメント

供試セメントは、市販の普通ポルトランドセメントを用いた。

(2) 骨材

供試骨材は、阿武隈川旧河川敷産の川砂 (粒径, 25 mm 以下) 及び山梨県初産の安山岩砕石 (粒径, $10 \sim 20 \text{ mm}$ 及び $5 \sim 10 \text{ mm}$) を用いた。

2.2 含浸材用材料

(1) エポキシ樹脂含浸材用材料

エポキシ樹脂含浸材用材料は、ビスフェノールA型のジグリシジルエーテルであるエポコート828 (シェル化学社製, 略称, E-828), 硬化剤としてジエチルアミノプロピルアミン (略称, DEAPA) 及び反応性希釈剤としてスチレンオキシサイド (略称, SO) を用いた。なお、これら材料の一般的性質は、表-1に示す通りである。

表-1. 含浸材用材料の一般的性質

材 料	分 子 量	比 重 (20°C)	粘 度 (20°C , cP)
E-828	380.0	1.160	$14 \sim 16 \times 10^3$
DEAPA	130.2	0.828	1.46
SO	120.1	1.052	1.99

(2) メタクリル酸メチル系含浸材用材料

メタクリル酸メチル系含浸材用材料は、工業用メタクリル酸メチル (略称, MMA), 触媒として過酸化ベンゾイルの50% DOP溶液 (略称, BPO) 及びカップリング剤としてγ-メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン (略称, Silane) を用いた。

(3) スチレン系含浸材用材料

スチレン系含浸材用材料は、工業用スチレン (略称, St), 架橋剤としてトリメチロールプロパントリメタクリレート (略称, TMPTMA), 触媒として2, 2'-アゾビスイソブチロニトリル (略称, AIBN) 及びカップリング剤 (Silane) を用いた。

3. 試験方法

3.1 基材の作製

基材コンクリートは、表-2に示す配合で、JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) に従って練り混ぜ、寸法 $\phi 75 \times 150 \text{ mm}$ 及び $60 \times 60 \times 240 \text{ mm}$ に成形した。その後、1日湿空 (20°C , 80% R.H.), 6日水中 (20°C) 養生を行った。養生後、温度 180°C で48時間恒量になるまで乾燥し、基材コンクリートとした。

3.2 含浸材の調製

エポキシ樹脂含浸材は、エポキシ樹脂100部に対し、

硬化剤を10、12及び15部、反応性希釈剤を25、35、40部と変化させて、表-2に示す計9種の配合に従って調製した。

表-2. エポキシ樹脂含浸材の配合

配合 No.	E-828	phr	
		DEAPA	SO
1	100	10	25
2	100	10	35
3	100	10	45
4	100	12	25
5	100	12	35
6	100	12	40
7	100	12	25
8	100	15	35
9	100	15	40

(注) phr ; parts per hundred parts of resin

メタクリル酸メチル系含浸材は、MMA : BPO : Silane = 100 : 4.0 : 1.0 (質量比) なる配合で調製した。

スチレン系含浸材は、St : TMPTMA : AIBN : Silane = 90 : 10 : 1.0 : 1.0 (質量比) なる配合で調製した。

3.3 含浸及び重合条件

(1) エポキシ樹脂の含浸及び重合条件

エポキシ樹脂含浸材の最適配合決定のための含浸条件は、表-3のNo.8とした。又、最適含浸条件決定

のためには、表-3に示す条件を用いた。なお、脱気は、真空度10mmHg以下、脱気時間、1時間と一定にした。又、重合条件は、常温重合(24時間、20℃、50% R.H.) + 加熱重合(24時間、75℃)とした。

(2) メタクリル酸メチル及びスチレンの含浸及び重合条件

メタクリル酸メチル及びスチレンの含浸は、まず、基材を10mmHg以下で30分脱気した後、14kg/cm²の圧力で2時間行った。重合は、含浸直後の基材をメタクリル酸メチルは90℃、スチレンは80℃の熱水に3時間浸せきして行った。

3.4 含浸材の粘度測定

含浸材の粘度は、JIS K 6838 (接着剤の粘度測定方法)に従って測定した。

3.5 圧縮強度試験方法

圧縮強度試験は、JIS A 1182 (ポリエステルレジンコンクリートの圧縮強度試験方法)に準じて行った。

なお、圧縮強度試験では、縦ひずみ及び横ひずみを測定した。

3.6 曲げ強度試験方法

曲げ強度試験は、JIS A 1184 (ポリエステルレジンコンクリートの曲げ強度試験方法)に準じて行った。

なお、曲げ強度試験では、供試体中央部のたわみを測定した。

3.7 引張強度試験方法

引張強度試験は、JIS A 1185 (ポリエステルレジンコンクリートの引張強度試験方法)に準じて行った。

4. 試験結果及び考察

4.1 最適含浸材の選択

試験結果は、図-1、図-2及び図-3に示す通りである。

図-1、図-2及び図-3より、寸法φ75×150mmの円柱基材コンクリートを完全に含浸する最適含浸材配合は、E-828 : DEAPA : SO = 100 : 10 : 35 (質量比)である。含浸材の配合とポリマー含浸率の関係は、希釈剤の多いもの程、つまり、低粘度の方がよく含浸する。ポリマー含浸率と割断面内含浸面積率(完全含浸は100%)は高い相関性を示し、ポリマー含浸率が16.5 vol.%で完全含浸となる。ポリマー含浸率の大小は、粘度に左右され、硬化剤も希釈剤の役割をはたすので、図-1はDEAPA添加量が15、12、

10 phrの順にポリマー含浸率が低くならねばならない
(図-3参照), しかし、試験結果がこのような推測
と異なっているのは、基材コンクリートに含まれる、
水酸化カルシウムなどのアルカリ性不純物がエポキシ
樹脂に対して融媒の働きをし、含浸材の急激な粘度増
加を引き起こすためと考えられる。

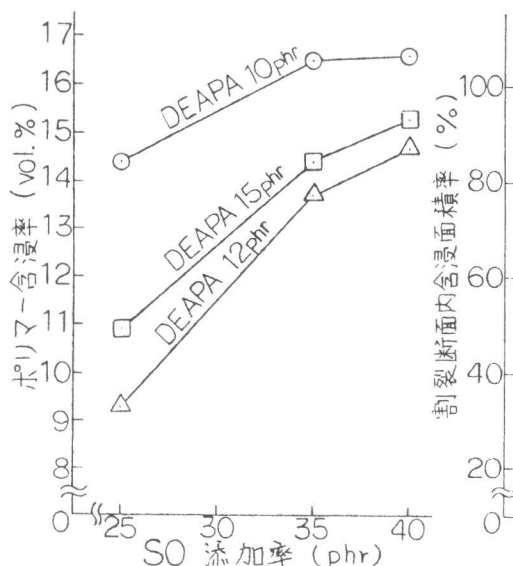


図-1. SO 添加率とポリマー含浸率の関係

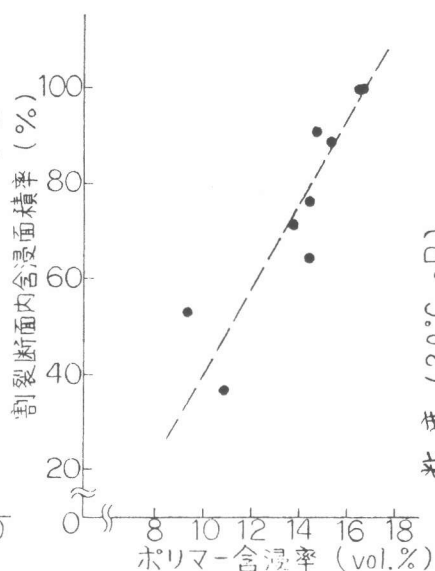


図-2. ポリマー含浸率と割裂断面内含浸面積率の関係

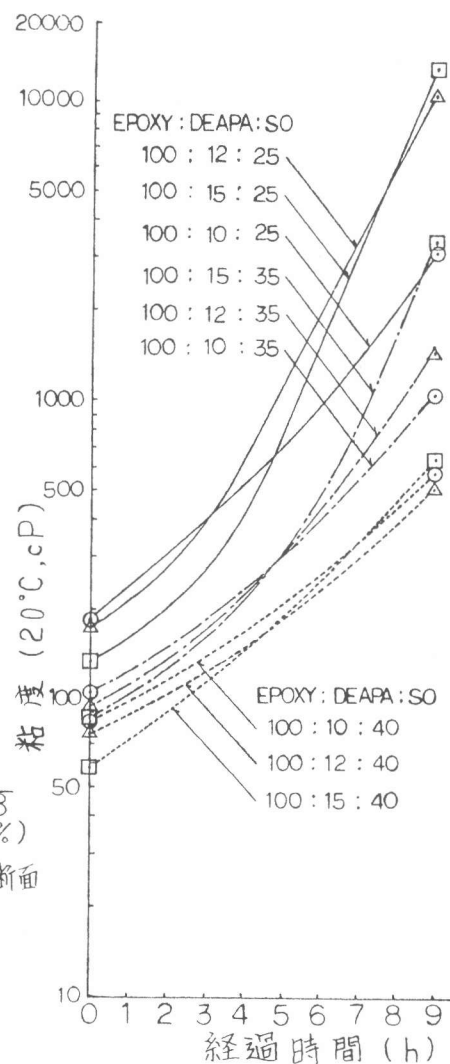


図-3. 経過時間に伴う含浸材の粘度変化

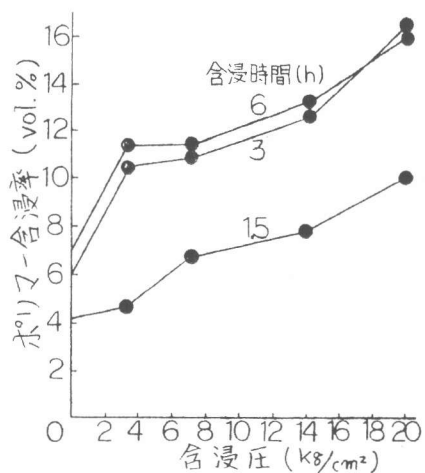


図-4. 含浸圧とポリマー含浸率との関係

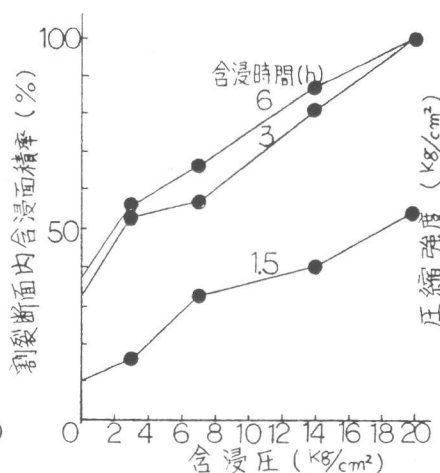


図-5. 含浸圧と割裂断面内含浸面積率との関係

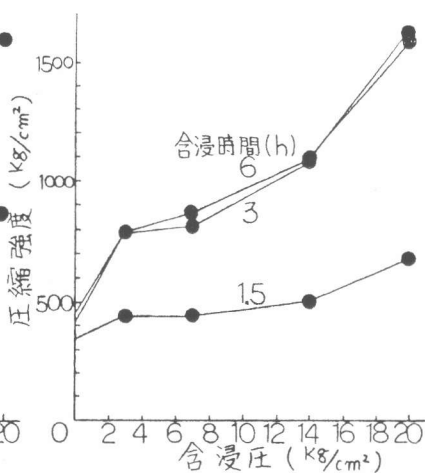


図-6. 含浸圧と圧縮強度との関係

表-4. エポキシ樹脂含浸コンクリートの性状

コンクリートの種類 性状	水中養生コンクリート (1日湿空、 27日水中養生)	未含浸コンクリート (1日湿空、6日水中養生、 後、180℃で48時間 乾燥養生)	ポリメタクリル 酸メチル含浸コ ンクリート	ポリスチレン含 浸コンクリート	エポキシ樹脂含 浸コンクリート
圧縮強度 (kg/cm^2)	349	249	1025	1137	1661
弾性係数 ($\times 10^4 \text{ kg}/\text{cm}^2$)	27	27	49	35	34
ポアソン比	0.22	0.18	0.36	0.33	0.24
曲げ強度 (kg/cm^2)	54	42	138	150	148
曲げ荷重-たわみ曲線による タフネス (kg mm)	13.4	17.6	55.5	54.4	94.2
割裂引張強度 (kg/cm^2)	31	28	89	84	106

4.2 最適含浸条件の選択

試験結果は、図-4、図-5及び図-6に示す通りである。

図-4、図-5及び図-6より寸法 $\phi 75 \times 150 \text{ mm}$ の基材コンクリートにエポキシ樹脂を完全に含浸するため、最適含浸圧及び時間は、 $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ で3時間である。図-4より、含浸圧の増加に伴いポリマー含浸率は増加する。又、含浸時間が長くなる程、ポリマー含浸率は高くなるが、3時間と6時間では余り差がない。これは、含浸3時間目で含浸材の粘度は相当高くなるので、それ以後は、余り含浸されないものと思われる。これは、図-5及び図-6の割断面内含浸面積率及び圧縮強度についても同じことが言える。

4.3 エポキシ樹脂含浸コンクリートの性状

試験結果は、表-4及び図-7に示す通りである。

エポキシ樹脂含浸コンクリートの圧縮強度は、未含浸コンクリートの約7倍、水中養生コンクリートの約5倍と高強度が得られる。その曲げ強度も高く、ポリスチレン含浸コンクリートと同じ値を与え、又、その引張強度は、水中養生コンクリートの約3倍とかなり高い強度を示す。その弾性係数は、ポリスチレン含浸コンクリートと同程度である。そのタフネスは、かなり高くなっている。このように、エポキシ樹脂含浸コンクリートは、ポリメタクリル酸メチル含浸コンクリートやポリスチレン含浸コンクリートと比較して、優れた特性

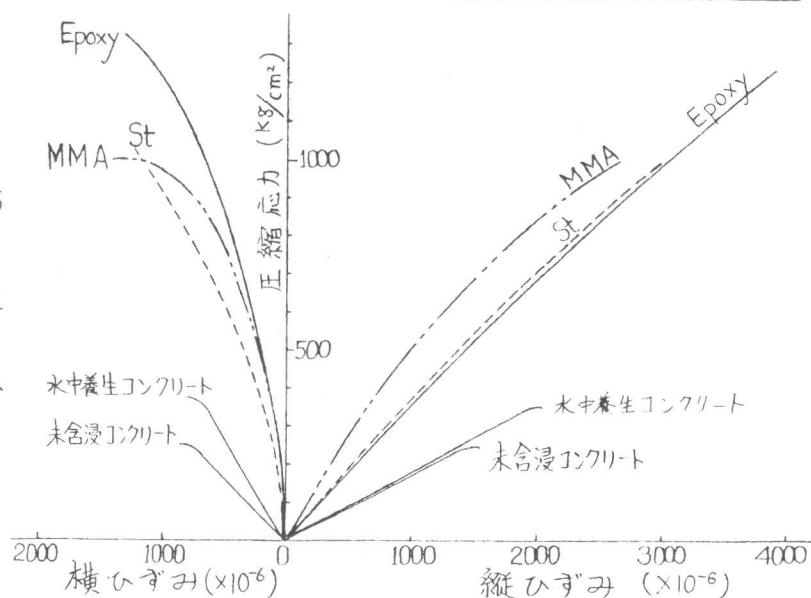


図-7. エポキシ樹脂含浸コンクリートの圧縮応力-ひずみ曲線

を有することが分かる。

5. 総括

以上の試験結果を総括すると次のごとくである。

(1) エポキシ含浸コンクリート製造用の最適含浸材配合は、E-828 : DEAPA : SO = 100 : 10 : 35 (質量比) である。

(2) エポキシ含浸コンクリート製造用の最適含浸条件は、真空度：10mmHg以下、脱気時間：1時間、含浸圧： $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、含浸時間：3時間である。

(3) エポキシ含浸コンクリートは、ポリスチレン及びポリメタクリル酸メチル含浸コンクリートよりも高い圧縮強度及び引張強度を示す。その弾性係数は、ポリスチレン含浸コンクリートと同程度であり、タフネスは、最も高い値を示す。