

不飽和ポリエスチルレジンモルタルの粘性を考慮した 配合設計に関する実験的研究

A EXPERIMENTAL STUDY ON THE DESIGN OF MIX PROPORTION OF UNSATURATED POLYESTER RESIN MORTAR IN CONSIDERATION OF ITS VISCOSITY

山崎 竹博*・宮川邦彦**

By Takehiro YAMASAKI and Kunihiko MIYAKAWA

The yield value of unsaturated polyester resin mortar is not clearly observed and the viscosity of resin varies depending upon the change of temperature and the mix proportions of diluent. Therefore, it is difficult to decide the mix proportions of the resin mortar according to the same design procedure as that of cement mortar.

In order to make clear the relation between the mix proportions of resin mortar and its workability, viscosity, flow, and segregation tests were carried out. From these test results, the workability of the resin mortar was found to be estimated by the viscosity of resin and resin paste.

Based on the results, the mix design of the resin mortar with a constant viscosity is proposed in this paper.

1. まえがき

骨材を液状合成樹脂の重合反応により一体化したレジンコンクリートは、1950年代後半からソビエト、西ドイツ、アメリカ、イギリス等を中心に建設用材料としての研究が進められてきた。使用される樹脂の種類は用途や使用する国の工業事情によって異なるが、日本およびアメリカでは不飽和ポリエスチル樹脂を用いた例が多く、本研究でも経済性、施工性、強度特性上優れた性質をもつ不飽和ポリエスチルレジンコンクリートを対象にその配合設計法を考察することにした。

不飽和ポリエスチルレジンコンクリートの実用配合については、すでに岡田ら、大浜ら、筆者らによってその概略値が定められている^{2), 3), 6)}。しかし、それらの決定方法は、高強度が得られる範囲内で骨材間を満たすレジン量が最小となるような配合を実験的に求めたものであり、配合とワーカビリチーとの関係を考慮した配合決定手法を確立するまでは至っていない⁵⁾。

レジンコンクリートの配合を定めるための基本的な考

え方は、単位レジン量を少なくし、高強度を得、作業に必要なコンシスティンシーを確保し、材料分離を少なくすることである。これらの考え方とは、セメントコンクリートの配合にも共通するが、レジンコンクリートはセメントコンクリートに比べ、高価であること、ビンガム流体としての降伏値が明瞭でないこと、材料分離によって硬化時の収縮が不均一となり部材の変形や部材内部のレジンコンクリートに強度のばらつきを誘起すること、温度や希釈剤の配合によってレジン自体の粘度が変化すること等その基本的性質が異なっている。このようなレジンコンクリートの配合とワーカビリチーとの関係を正確に把握するためには、レジンコンクリートを構成するレジン、レジンペースト、レジンモルタル等の配合とレオロジー的性質との関係を解明し、それらのコンシスティンシーを表す共通の尺度を用いることが必要となる。

そこで、本研究では、レジンが水に比べて数百倍の粘度をもつため、レジンペースト（レジンと充填材との混合物）ならびにレジンモルタルの見掛け粘度が回転粘度計で容易に測定できることに着目して、レジンモルタルの配合とワーカビリチーとの関係をその実測粘度を用いて考察することにした。

* 正会員 工修 九州産業大学助手 工学部土木工学科
(〒813 福岡市東区松香台2-327)

** 正会員 工修 九州産業大学助教授 工学部土木工学科
(同上)

2. 実験概要

レジンモルタルに使用する材料は、レジン（不飽和ポリエステル樹脂、スチレンモノマー、硬化促進剤、硬化剤の混合物）、充填材（炭酸カルシウム粉末）および細骨材であり、そのワーカビリチーは細骨材粒子間の空隙を埋めるレジンペーストの容積と粘度に依存すると考えることができる。このとき、レジンペーストの粘度はレジンの粘度および充填材量によって変化し、さらに、レジンの粘度は温度、希釈剤量、不飽和ポリエステルの分子量等によって変化する。ただし、不飽和ポリエステルの分子量については、今後、レジンコンクリート用樹脂として規格化されるべきであり、ここでは特にワーカビリチーへの影響因子としては考えない。

以上の観点から、本実験ではレジンモルタルのワーカビリチーへの影響因子として、材料温度、希釈剤配合比（スチレンモノマー質量／不飽和ポリエステル樹脂の質量）、充填材比（炭酸カルシウム質量／レジン質量）、単位レジンペースト容積を選び、実用配合の範囲で、粘度、材料分離および強度との関係を調べた。

（1）使用材料

本実験で使用したレジンの成分ならびに性質を表-1に示す。このとき、基材としての不飽和ポリエステルにはすでに架橋剤としてのスチレンモノマーが40%含まれており、それ以外に粘度調整用の希釈剤として使用するスチレンモノマーをスチレンとして表-1に示している。

充填材には、一般に使用されている炭酸カルシウム粉末（粒径30μm以下）、比重2.70を用いた。

細骨材には比重2.55、単位容積質量1590kg/m³、実積率62.4%，粗粒率2.87、吸水率1.38%の海砂を使用した。

レジンコンクリートの強度は使用材料の含水量増加に伴って低下することが報告されているので、本実験では正確を期して105°Cで24時間乾燥した充填材および細

骨材を密封冷却して使用した^{2),4)}。

（2）使用配合

配合を明示するために、本論文では次の記号を用いる。

F：単位充填材質量（kg/m³）

U_p ：単位不飽和ポリエステル質量（kg/m³）

D：単位希釈剤質量（kg/m³）

A：単位硬化促進剤質量（kg/m³）

H：単位硬化剤質量（kg/m³）

R：単位レジン量（ $U_p + D + A + H$, kg/m³）

\bar{R} ：レジンモルタル質量に対するレジン質量の比（%）

D：希釈剤配合比（D/U_p%）

A：硬化促進剤配合比（A/U_p%）

H：硬化剤配合比（H/U_p%）

F/R：充填材比

コンシステンシー試験には、希釈剤配合比が0~24%，充填材比が0~2.0、単位レジンペースト容積が450~650l/m³の範囲の配合5×6×4=120種類を選んで使用した。

強度試験には、単位レジンペースト容積を390~770l/m³、希釈剤配合比を0~30%，充填材比を0~1.5の範囲で変化させた53種類の配合を使用した。このとき、既報の結果から、硬化促進剤配合比および硬化剤配合比の値は、硬化時間が40分程度となるように、それぞれ0.5%，0.7%とした¹¹⁾。

供試体数は圧縮試験用に6個、割裂試験および曲げ試験用に各3個とし、合計483個を使用した。

（3）コンシステンシー試験

上記の配合に相当するレジン、レジンペーストおよびレジンモルタルの粘度は、直径11cmのビーカーに入れた試料中で回転する円板のトルクを、KK 東京計器製造所製 BH型回転粘度計（回転数2,4,10,20rpm、最大トルク7g·cm）で測定し、算出した。

測定時の粘度計指針の読みは、レジンおよびレジンペーストの場合、図-1(a)のようにローター始動後の

経過時間とともに収束する傾向を示すが、レジンモルタルでは粘度が低い場合材料分離によって図-1(b)のように、また、粘度が高い場合には回転板と試料の間の肌離れによって図-1(c)の

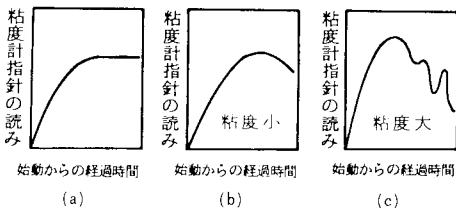


図-1 粘度計指針の読みの経時変化

表-1 レジンの成分ならびに性質

名 称	外 観	主 成 分	構 造 式	比 重 20°C	役 目
不 饱 和 ポリエステル	淡 黄 色 液 体	不 饱 和 ポリエス テル 60 % スチレンモノマ ー 40 %	- (O-CH ₂ -CH ₂ -COO-CH=CH- COO-CH ₂ -CH ₂ -O)-	1.11	基 材
スチレン	無 色 液 体	スチレンモノマ ー	CH=CH ₂ Cyclohexene	0.91	希 釈 剂 粘 度 調 整
硬 化 促進 剤	青 黒 色 液 体	ナフテン 酸 コ バルト	(C _n H _{2n} -COO) _n -CO ₂	1.05	硬 化 促進 剤
硬 化 剂	無 色	メ キ ル エ テ ル ケ ト ン パ ー オ キ サ イ テ 55 % ジ メ チ ル フ タ レ ー 45 %	CH ₃ HO-(O-C(=O)-O)n-OH C ₂ H ₅ n=1 ~ 4	1.12	重 合 剤 開 始 制

よう、変化するものがあった。このとき、(b) および (c) の状態となるものについては、指針の読みの最大値を探ることにした¹⁾。

この方法で、おのおの 3 種類の回転速度についてレジンモルタルのトルクを測定した結果、レジン量や単位レジンペースト容積が少ない場合、あるいは希釈剤配合比が大きい場合等では、回転速度とトルクは直線的関係からやや外れるものの、2,500 P 以内ではほぼ直線的関係を示した。ちなみに、各配合について、3 種類の回転速度から求めた粘度の値のそれぞれの平均値からの平均的ばらつきは 7 % 程度であった。よって、本研究では、要求されるコンシスティンシーを満たすようなレジンモルタルの配合設計法を考察することを目的として、設計上の便宜も考え、以下に、このようにして求めた見掛け粘度を「粘度」と称する。

また、粘度測定値と従来のコンシスティンシー試験値とを比較するため JIS R 5201 に準じてフロー試験も行った。

レジンペーストおよびレジンモルタルのコンシスティンシー試験はすべて 20 °C で実施している。

(4) 強度試験

レジンモルタルの圧縮および引張の各強度試験には φ 5 cm × 10 cm 円柱供試体を使用し、載荷速度はそれぞれ JIS A 1108 および JIS A 1113 に規定する値の 3 倍とした。曲げ強度試験は JIS R 5201 に準じて行った。供試体は 20 °C の室内で 7 日間空気中養生している。

3. レジンの粘度

レジンの粘度は、希釈剤配合比の増加および材料の温度上昇に伴い低下する。それらの関係を定量的に表示するため、温度を 2 °C から 33.5 °C、希釈剤配合比を 0 から 22 % の範囲で変化させてレジンの粘度を測定した。その結果、レジンの粘度と温度の関係は図-2 の実線のようになり、ある希釈剤配合比の実測曲線を関数表示すれば、他の曲線は同関数に係数を乗じることによって表わされることがわかった。このとき、乗じる係数は希釈剤配合比によって定まるため、係数を求めるには希釈剤配合比とレジン粘度の関係を関数表示し、同関数より係数算定関数 $f(\bar{D})$ を誘導しておかなければならぬ。そこで、まず希釈剤配合比 0 を基準に取り粘度 η_b と温度 t との関係を分数関数で表示したところ、式 (1) が得られた。

$$\eta_b = \frac{327}{t + 3.33} - 5.50 \quad (1)$$

ただし、 η_b ：レジンの粘度 (P)、 t ：温度 (°C)

次に、係数算定関数 $f(\bar{D})$ を求めるため、図-2 の結果を希釈剤配合比と粘度との関係に直すとともに、温度

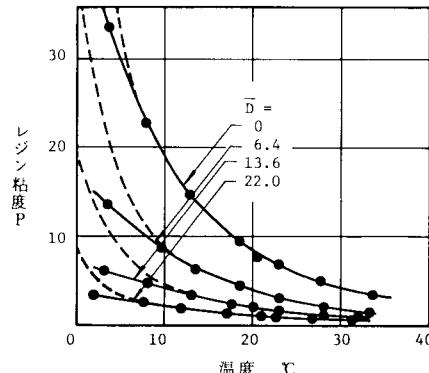


図-2 レジンの粘度と温度の関係

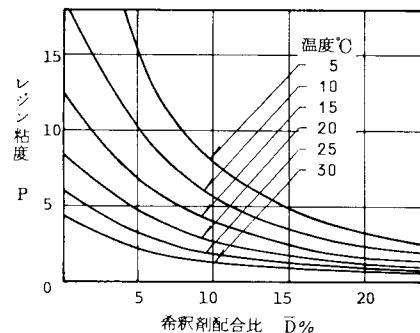


図-3 レジンの粘度と希釈剤配合比との関係

20 °C の曲線を実験より求めて図-3 に示した。図-3 の中から温度 20 °C での曲線を選び分数関数で表わせば粘度 η_b は式 (2) のようになるので、希釈剤配合比 0、温度 20 °C での粘度 8.50 P を基準に取れば、係数算定関数 $f(\bar{D})$ は式 (3) のように求めることができる。

$$\eta_b = \frac{100}{\bar{D} + 9.26} - 2.33 \quad (2)$$

$$f(\bar{D}) = \left(\frac{100}{\bar{D} + 9.26} - 2.33 \right) / 8.50 \quad (3)$$

よって、式 (1) と式 (3) を乗じて整理すれば、任意の温度および希釈剤配合比でのレジンの粘度は式 (4) のように表わされる。

$$\eta_b = 1.51 \frac{\bar{D} - 33.8}{\bar{D} + 9.26} \frac{t - 56.1}{t + 3.33} \quad (4)$$

式 (4) の適合性を調べるため、その計算値を図-2 中に破線で示した。その結果、実測値と計算値は温度 10 °C 以上で一致するが、5 °C 以下ではかなりの差異が生じた。これは、使用した関数の性質によるものであるが、レジンの重合反応は低温ではきわめて遅く、実用的な使用温度が 10 °C ~ 30 °C 程度であることを考えれば、実用上の粘度は式 (4) で推定可能である。ただし、原料や製造法、貯蔵期間の異なる不飽和ポリエステル樹脂

の粘度は必ずしも本結果とは一致しないので、それらの粘度式は式(5)のように一般表示することが望ましい。

$$\eta = a_1 \frac{\bar{D} + a_2}{\bar{D} + a_3} \frac{t + b_1}{t + b_2} \dots \dots \dots \quad (5)$$

ここで、2, 3の実験から、温度変化の影響を表わす係数 b_1 , b_2 は樹脂の種類によってあまり変化しない結果を得た。このような場合、係数 b_1 , b_2 に本実験値を用いるものとすれば、粘度式は係数 a_1 , a_2 , a_3 を決定することによって得られる。すなわち、希釀剤配合比 \bar{D}_1 , \bar{D}_2 , \bar{D}_3 (対象とする範囲の最小値、中央値、最大値)において測定した粘度および測定時の温度がそれぞれ η_1 , η_2 , η_3 および t_1 , t_2 , t_3 であれば、各係数は式(6), (7), (8)のように計算される。

$$a_1 = -\frac{\eta_1 \eta_2 c_3(\bar{D}_1 - \bar{D}_2) + \eta_2 \eta_3 c_1(\bar{D}_2 - \bar{D}_3) + \eta_3 \eta_1 c_2(\bar{D}_3 - \bar{D}_1)}{\eta_1 c_2 c_3(\bar{D}_2 - \bar{D}_3) + \eta_2 c_3 c_1(\bar{D}_3 - \bar{D}_1) + \eta_3 c_1 c_2(\bar{D}_1 - \bar{D}_2)} \dots \quad (6)$$

$$a_2 = \frac{\eta_1 \eta_2 (\bar{D}_1 - \bar{D}_2) + a_1 (\eta_1 c_2 \bar{D}_2 - \eta_2 c_1 \bar{D}_1)}{-a_1 (\eta_1 c_2 - \eta_2 c_1)} \dots \dots \dots (7)$$

$$a_3 = \frac{a_1 c_1 c_2 (\bar{D}_1 - \bar{D}_2) - \eta_1 c_2 \bar{D}_1 + \eta_2 c_1 \bar{D}_2}{\eta_1 c_2 - \eta_2 c_1} \quad \dots \dots \dots (8)$$

ただし、 $\overline{D}_1 < \overline{D}_2 < \overline{D}_3$

$$c_1 = \frac{t_1 + b_1}{t_1 + b_2}, \quad c_2 = \frac{t_2 + b_1}{t_2 + b_2}, \quad c_3 = \frac{t_3 + b_1}{t_3 + b_2}$$

次に、これらのレジンと充填材を混合したレジンペーストの粘度について述べる。

4. レジンペーストの配合と粘度

レジンペーストの粘度は、主としてレジンの粘度と充填材比によって変化する。レジンは高価であるので、経済的には充填材比を大きくしてレジンペーストの增量を図ることが望ましいが、充填材の空隙がレジンで満たされなければならないことから、必然的にその最大値が存在することになる。そこで、充填材比の最大値を推定するため、炭酸カルシウムの含水率を変化させて締固め試験を行った。試料は直径 8 cm、高さ 4 cm の円筒に 1 cm ごとに、質量 340 g、直径 25 mm の突き棒を 10 cm の高さから 100 回落下させて締め固めた。試料の見掛け密度から求めた水隙率および空隙率を図-4 に示す。

レジンペーストに必要なレジンの最小容積は空隙と水隙を合わせた容積であり、図-4からその値は41%と読めるが、このときの含水率では空隙が4%も残存し、十分な締固めが困難である。そこで、締固めの程度を空隙率が1.5%以下になる程度とすれば、このときの水隙と空隙の和は全容積の50%となる。したがって、このときの充填材比の値は $2.70/1.11=2.4$ と計算される。ただし、レジンと水との粘度が異なるため、充填材比=

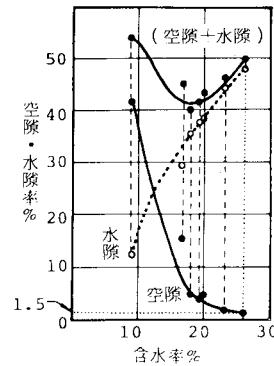


図-4 炭酸カルシウムの締固め試験結果

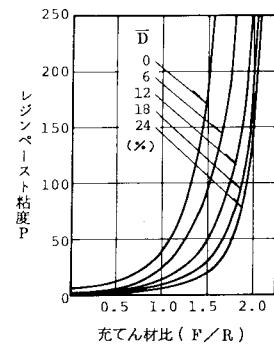


図-5 レジンペーストの充填材比 (F/R)
とペースト粘度の関係

2.4 はその概略値であると考えなくてはならない。

以上の考察に基づき充填材比を0から0.5間隔に2.5まで変化させて、レジンペーストの粘度を測定した。その結果、レジンペースト粘度は図-5に示すように、希釈剤配合比の増加につれて小さくなるが、充填材比が1.5~2.0程度になると急速に増大し、これらのレジンペーストを使ってレジンモルタルを作製したところ使用可能な最大充填材比は2.0程度までであることがわかった。このことはまた、希釈剤配合比を大きくしてレジンの粘度を低下させても、これ以上の增量効果は期待できないことを意味している。

5. レジンモルタルの配合と粘度

レジンモルタルは細骨材の空隙をレジンペーストで満たしたものであるから、その粘度はレジンペースト粘度と単位レジンペースト容積 (l/m^3) に依存するものと考えてよい。すでに前節でレジンペーストの配合と粘度の関係を明らかにしたので、ここではそれらのレジンペーストを用いたレジンモルタルの粘度と単位レジンペースト容積との関係について考察する。

レジンモルタルの粘度を単位容積別にそれぞれ図-6

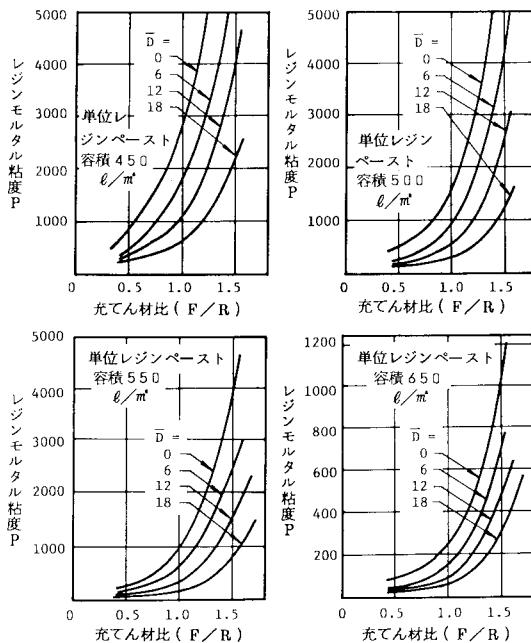


図-6 レジンモルタルの配合と粘度との関係

に示す。ただし、測定に当たっては回転粘度計のトルクが $7 \text{ g} \cdot \text{cm}$ 以下となるように回転板の速度を調整し、3種類の回転速度で測定した粘度の平均値を実測値とした。

さて、図-6に示す各結果を比較すれば、同一粘度のレジンペーストを使用した場合でも、単位レジンペースト容積によってレジンモルタル粘度の異なることがわかる。これらの関係から、各単位レジンペースト容積ごとに一定粘度のレジンモルタルを得るために配合を読み取れば、その配合は広範囲な組合せから選べる。すなわち、レジンモルタルの最適配合は、施工性から要求される粘度をもつ配合群から、物理的性能や経済性を考慮して定めることができるのである。しかし、図-6から直接このような配合を求めるることは困難であるので、次にその方法について述べることにする。

6. 定粘度レジンモルタルの配合設計法

レジンモルタルに要求されるコンシスティンシーは、その用途によって異なるので、ここでは説明を簡単にするため、セメントの強さ試験 JIS R 5201 の規定によるフロー値 185 に相当するコンシスティンシーのレジンモルタルについて考えてみる。

レジンモルタルの粘度とフロー値の関係を調べるためにフロー試験と粘度試験を並行した。レジンモルタル粘度の実測値を横軸に対数座標で示し、フロー値を縦軸に取って図示したところ、両者には図-7に示すような直

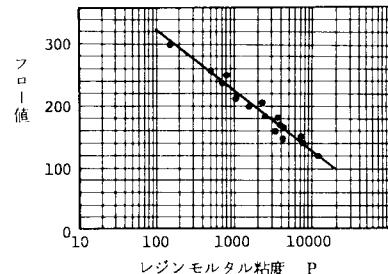


図-7 レジンモルタルの粘度とフロー値の関係

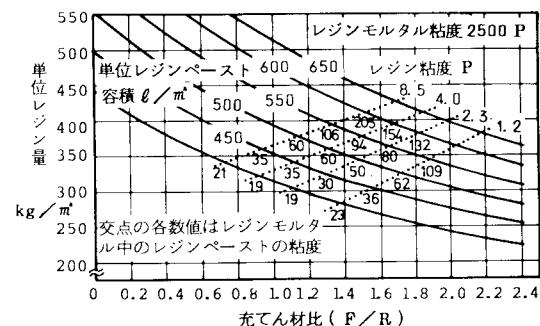
線の関係が認められた。図-7からフロー値 185 に対応するレジンモルタルの粘度を読み取ればほぼ 2500 P となるので、図-6を用いて、各単位レジンペースト容積ごとに 2500 P に対応する充填材比を読み取る。単位レジンペースト容積と充填材比がわかれば、式(9)から粘度 2500 P を与える単位レジン量 R を計算することができる。

$$R = P_v / \left\{ \frac{1}{\gamma_R} + \frac{(F/R)}{\gamma_F} \right\} \quad \dots \dots \dots (9)$$

ここに、 P_v : 単位レジンペースト容積 (l/m^3)、 γ_R : レジンの比重、 γ_F : 充填材の比重

このようにして求めた単位レジン量と充填材比の関係を図示すれば、レジン粘度の等しい配合ごとに、図-8の点線で示す直線が得られる。

また、単位レジンペースト容積が一定の場合、式(9)は単位レジン量と充填材比の関係式となるので、各単位レジンペースト容積ごとにその関係を図示すれば図-8の実線が得られる。すなわち、点線群と実線群の各交点が図-6より読み取ったレジンモルタルの粘度 2500 P を与える配合である。同配合は、当然、図-8中のあらゆる点から定められるわけであるが、この場合、図-8の点線を単位レジンペースト容積の座標に、実線をレジン粘度の座標に選び、求める点の配合を読みばよい。ここで、レジンの希釈剤配合比については、図-8から定めたレジン粘度が得られるように、使用時の材料温度を考慮して、図-2または式(4)から定めなければなら

図-8 レジンモルタル粘度 2500 P を得るための配合

ない。

以上粘度 2500 P のレジンモルタルの配合設計例について述べてきたが、実用に際しては、必要となるレジンモルタルの粘度について、図-6 の関係から図-8 と同様な配合図を作成しておけばよい。

7. 簡易配合設計法

レジンモルタルに使用する細骨材が変わった場合、前節に述べた方法では、図-8 に示すようなレジンモルタルの配合と粘度の関係を新たに実験より定めなくてはならない。それにはかなりの労力を要するので、ここでは、それらの関係を簡易的に求める方法について考察する。

レジンモルタルの粘度は、一般に、単位レジンペースト容積と、その粘度に支配されると考えられるので、その関係を実証するため、図-8 の点線と実線の交点に相当する配合のレジンペースト粘度を図-5 から調べ、図-8 に併記した。その値をみると、単位レジンペースト容積が等しい実線上ではレジンペースト粘度はほぼ一定となることがわかる。つまり、使用する材料について、単位レジンペースト容積別にレジンモルタルの粘度とレジンペーストの粘度との関係を調べておけば、要求される粘度のレジンモルタルを作る際に必要なレジンペースト粘度がわかり、図-5 に示すレジンペースト粘度と配合の関係から配合を決定することができる。

そこで、種々のレジンモルタル粘度について、図-8 と同様な配合図を作成し、各単位レジンペースト容積曲線ごとにそのレジンペースト粘度を調べた。その結果、レジンモルタルの粘度とレジンペースト粘度との関係は、図-9 に示すように、原点を通る直線で表わされることがわかった。

たとえば、レジンペーストの粘度が零であれば、骨材間の摩擦による抵抗力はあるものの、レジンモルタルの粘度はほぼ零と考えられるので、両者の関係が座標原点を通ることは理論的にも理解できる。

したがって、対象となるレジンモルタルの粘度とレジンペースト粘度の関係は、使用される材料について数種の単位ペースト容積を選び、各実測点と座標原点とを直

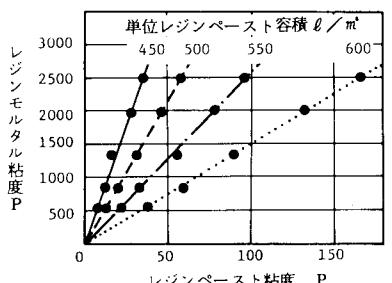


図-9 レジンモルタル粘度とレジンペースト粘度の関係

線で結べば図示することができる。

一定粘度のレジンモルタルが任意に配合できるようになれば、それらの配合から用途に応じて、材料分離、強度、経済性等の各性質を満足するように、使用配合を決定すればよい。

8. レジンモルタルの配合と材料分離

硬化前のレジンモルタルは流動性に富み、プラスチマーに乏しいため、打設時に比重の軽いレジンペーストが徐々に浮き上がり、層を形成する。このように分離した材料は、硬化時に部分的な収縮量の差異を生じ、反りや内部応力発生の原因になるので、使用する配合は材料分離が小さくなるように定めることが望ましい。

炭酸カルシウムを使用したレジンペースト層は乳白色を呈するため、材料分離を容易に識別できる。そこで、硬化後の強度試験用円柱供試体のレジンペースト層の厚さを計ることにより、レジンモルタルの材料分離を測定した。その結果を式(10)に示すペースト分離率で表わし、配合との関係を考察した。

$$\text{ペースト分離率} = \frac{\text{分離したレジンペースト容積}}{\text{全容積}} \times 100 \quad \dots \dots \dots (10)$$

実験では、充填材比を 0.5, 0.7, 1.0 とし、単位レジン量を 350 kg/m³ から 700 kg/m³ まで変化させてペース

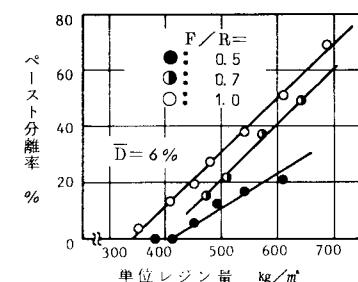


図-10 レジンモルタルの単位レジン量とペースト分離率の関係

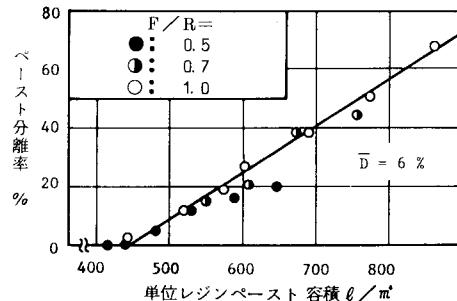


図-11 レジンモルタルの単位ペースト容積とペースト分離率の関係

ト分離率を測定した。その結果、単位レジン量とペースト分離率の関係は図-10に示すように、各充填材比別に直線で示されることがわかった。

ここで、レジンモルタルの材料分離の程度は、細骨材間の空隙を満たすレジンペーストの容積と粘度とに関連していると考えられるので、図-10の結果を単位レジンペースト容積とペースト分離率との関係として改めて図-11に示した。図-11には多少のばらつきはあるものの、両者の関係はほぼ单一の直線で表わされ、材料分離がほぼ零となる単位レジンペースト容積は450 l/m³と推定された。この量は、実験に用いた細骨材の空隙率が37%であるので、その空隙容積の1.2倍に相当する。

次に、レジンペースト粘度の相違による材料分離への影響を調べる目的で、先に求めた単位レジンペースト容積450 l/m³の配合について、希釈剤配合比ならびに充填材比を変化させて測定したペースト分離率を図-12に示した。その結果、代表的な実用配合、充填材比=1.0、希釈剤配合比=6%の場合、単位レジンペースト容積450 l/m³で材料分離はほぼなくなるが、さらに粘度が低下すれば材料分離の生じることがわかった。そこで、レジンモルタルのペースト分離率とレジンペースト粘度との関係を求めてみたところ、本実験の場合は図-13に示すように、レジンペースト粘度が21P以上であれば、材料分離は零となることが判明した。

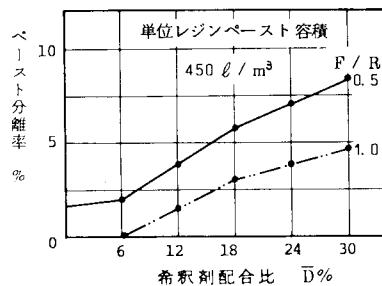


図-12 レジンモルタルのスチレン配合比とペースト分離率の関係

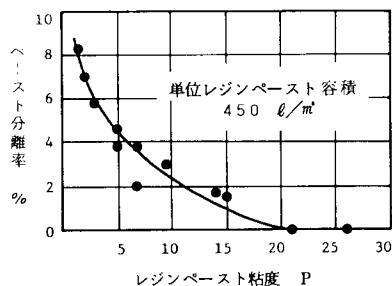


図-13 レジンペースト粘度とレジンモルタルのペースト分離率の関係

レジンモルタルの材料分離は以上の要因のほかにも可使時間、締固め度、骨材の粒形、型枠の形状や寸法などによって異なるので、実用に当たっては、それらの影響を前もって確かめておくことが必要である。

9. レジンモルタルの配合と強度

レジンモルタルのワーカビリティーは、主として単位レジンペースト容積と、レジンペーストの粘度に依存すること述べてきた。ここでは、それらの要因がレジンモルタルの強度に与える影響を調べるために、充填材比を0.5, 0.7, 1.0として単位レジンペースト容積を390～870 l/m³で変化させ、圧縮強度を測定した。測定結果は図-14に示すように単位レジンペースト容積が500～600 l/m³でレジンモルタルの圧縮強度は最大となったが、この配合では10～20%のレジンペーストが分離する。この現象は、余剰のレジンペーストが10～20%ある場合に内部の気泡が放出されやすくなるものと解釈さ

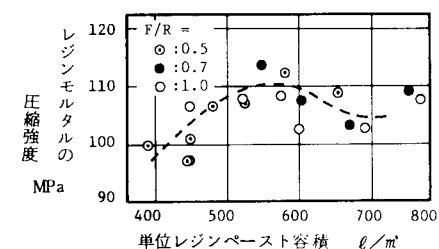


図-14 レジンモルタルの単位レジンペースト容積と圧縮強度の関係

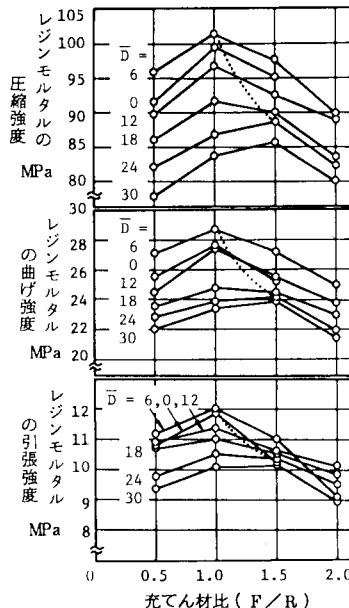


図-15 レジンモルタルの強度と充填材比の関係

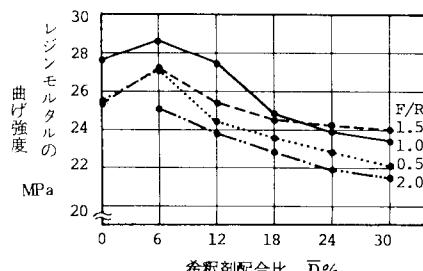


図-16 レジンモルタルの希釈剤配合比と曲げ強度の関係

れる。しかし、この強度は単位レジンペースト容積が 450 l/m^3 のときの値に対して 10 % の増加に過ぎず、レジン量の増加に伴う経費高を考慮すれば、単位レジンペースト容積は 450 l/m^3 程度が好ましい。

よって、単位レジンペースト容積を 450 l/m^3 として希釈剤配合比ならびに充填材比の変化がレジンモルタルの各種強度に与える影響を検討した。

充填材比の変化に伴うレジンモルタルの圧縮強度、引張強度および曲げ強度の変化を図-15に示す。同図で希釈剤配合比 0、充填材比 2.0 の配合はレジンペースト粘度過大のため締固め困難となり、打設できなかった。

図-15 から各希釈剤配合比についてみれば、最大強度を与える充填材比の値は、希釈剤配合比の増加に伴って大きくなることがわかる。いま、各希釈剤配合比について、材料分離が零となるペースト粘度 21 P の位置をそれぞれ図-15 内の強度曲線上に記し、それらを点線で結んだ。点線は各希釈剤配合比における最大強度位置とほぼ一致し、レジンモルタルの強度は、材料分離が少なく、適度のコンシスティンシーを有する場合に最大となることを示している。

希釈剤配合比とレジンモルタルの各種強度との関係は、各強度とも同様な傾向を示すことから、ここでは図-16 のように、曲げ強度の例を用いて説明する。

図-16 に示すように、レジンモルタルの強度が最大となる希釈剤配合比は、いずれの充填材比についても 6 % であった。その理由は、樹脂そのものの強度が、ある希釈剤配合比で最大になるためと考えられる。ちなみに、ここでいう希釈剤配合比 6 % を、純粋な不飽和ポリエチレンとスチレンモノマーの混合比に換算すれば、それぞれ 57 % と 43 % になる。

10. まとめ

レジンモルタルの配合とワーカビリチーならびに強度に関する実験から、レジンモルタルの配合手順についてまとめると次のようになる。

- ① 使用骨材の粒度分布を調整する。
- ② 単位レジンペースト容積を骨材の空隙率、使用性、

施工性などを考慮して定める。

- ③ 施工上必要なレジンモルタルの粘度を定める。
- ④ 定めた粘度が得られ、かつ、強度、施工性、使用性等の条件を満たすように、図-8 に示す配合図から充填材比および希釈剤配合比を定める。

上記の配合設計法に関連して、本実験から明らかとなつた知見を以下に記す。

(1) レジンの粘度は主として材料温度と希釈剤配合比に依存し、式(5)に示す分数関数で推定可能である。

(2) レジンペーストの粘度はレジン粘度と充填材比によって定まる。このとき、実用的な充填材比は 1.0~1.5 であり、最大でも 2.0 を越えない。

(3) 同一の骨材を使用した場合、レジンモルタルの粘度はレジンペーストの粘度と一次比例の関係にあり、図-9 に示すように、単位レジンペースト容積ごとに異なる。

(4) レジンモルタルの粘度とフロー値は、図-7 に示すように、片対数座標上で直線的関係になる。

(5) レジンモルタルの材料分離の程度は、主として単位レジンペースト容積によって異なるが、レジンペースト粘度によっても変化する。

(6) 標準粒度の海砂を使用した本実験の場合、単位レジンペースト容積を骨材空隙の 1.2 倍とし、レジンペーストの粘度を 20 P とすることにより材料分離を防ぐことができた。

(7) レジンモルタルの強度は一定の希釈剤配合比で最大となる。本実験では希釈剤配合比 6 % で最大強度が得られた。

(8) 単位レジンペースト容積 $500\sim600 \text{ l/m}^3$ でレジンモルタルは最大強度に達するが、その値はレジンペースト容積 450 l/m^3 のそれの 1.1 倍程度である。

レジンモルタルの配合とワーカビリチーおよび諸強度との関連性が明らかとなれば、レジンコンクリートのワーカビリチーは、粗骨材を取り除いた残りのレジンモルタルの粘度とレジンコンクリートのワーカビリチーとの関係を細骨材率別または単位モルタル容積別に定めることによって、レジンモルタルの配合から推定できるものと考えられる。

謝 辞：最後に、本研究が、昭和 50 年から 10 年間、九州産業大学土木工学科の卒業研究の一環として行われた実験に基づくものであることを付記し、実験に尽力された卒業生諸氏に謝意を表する。

参考文献

- 1) 木村 熟：プラスチックセメントのレオロジー的研究、セメント技術年報 X V, pp. 219~226, 1962.

- 2) 岡田 清・坂村 杲・村井信夫・佐藤泰敏：レジンコンクリートについて，材料，Vol. 6，No. 167，pp. 91～99，1967.
- 3) 大浜嘉彦：レジンコンクリート，BRI Research News，No. 4，pp. 1～4，1971.
- 4) 向井 賢：レジンコンクリートおよびレジンモルタルとその性質，コンクリートジャーナル，Vol. 11，No. 4，pp. 10～17，1973.
- 5) 岡田 清・小柳 治・手塚泰子：レジンコンクリートのワーカビリチーについて，昭和 50 年度土木学会関西支部年次学術講演概要集，pp. V. 14. 1～V 14. 2，1975.
- 6) 山崎竹博・渡辺 明・是石俊文：不飽和ポリエステルレジンコンクリートの配合と力学的特性，九州工業大学工学部研究報告，No. 14，pp. 69～81，1977.
- 7) 清水茂夫：実用レジンコンクリート，山海堂，1979.
- 8) 小林一輔・田澤栄一：繊維補強コンクリート・ポリマーコンクリート，山海堂，1980.
- 9) 出村克宜：建築用レジンコンクリートの開発に関する研究，日本大学博士論文，1982.
- 10) 山崎竹博・宮川邦彦・渡辺 明：補強されたレジンコンクリートの硬化収縮応力算定に関する研究，土木学会論文報告集，No. 318，pp. 127～137，1982.
- 11) 山崎竹博・宮川邦彦：レジンコンクリート添加剤配合比による可使時間の推定について，第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp. 353～356，1984.
- 12) 山崎竹博：不飽和ポリエステルレジンコンクリートの最適配合について，昭和 58 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp. 440～441，1984.
- 13) 山崎竹博：不飽和ポリエステルレジンコンクリートの温度依存的性質，土木学会第 39 回年次学術講演会講演概要集 V，pp. 555, 556, 1984.
- 14) 山崎竹博：レジンコンクリートの構造材料への適用に関する実験的研究，九州産業大学工学部研究報告，No. 21，pp. 97～110，1985.

(1985.1.28・受付)