

## 第5章 結論

## 5.1 各章の結論

第2章のRECの硬化収縮のモデル化において、レジンコンクリートの硬化収縮を予測するため、発熱反応と収縮反応の反応速度を基準反応速度項と温度依存項の積で表現するモデルの構築を試みた。各基準速度と温度活性の定量化の方法として、断熱環境下で温度上昇と収縮ひずみを測定し、それぞれのアレニウスプロットから温度活性と基準速度の同定を行った。また、モデルの基準速度が一般養生環境下においても適用できるか否かについて、検証を行った。

その結果、本研究の範囲で以下のことが明らかとなった。

- (1) レジンコンクリートの硬化過程において、発熱反応および収縮反応の反応速度とそれぞれの反応率の終局値は温度依存性を有する。
- (2) 打込み温度を変化させ、断熱環境下で温度上昇と収縮ひずみを測定して、アレニウスプロットから基準温度に対する反応速度項と反応の温度活性を定量化することができた。
- (3) 発熱モデルと収縮モデルにおいて、反応途中の反応速度から反応率の終局値を修正することによって、反応率の終局値の温度依存性を再現することができた。
- (4) 単位樹脂量を  $270 \sim 330 \text{kg/m}^3$  と変化させた REC において、打込み温度が同様の場合、単位樹脂量当りの発熱速度、収縮速度とも同じであることが検証できた。
- (5) REC 工場での一般的な養生環境下における各基準速度の検証において、基準発熱速度・基準収縮速度は、吸放熱量を配慮することによって、概ねモデルを再現することがわかった。
- (6) また、同モデルを用いた温度、収縮の解析結果は、実験結果を概ね再現することができた。

以上の結果、収縮モデルは、単位樹脂量  $270 \sim 330 \text{kg/m}^3$  の REC において、打込み温度が  $28 \sim 40$ 、養生温度が  $40 \sim 80$  の条件下で適用できることがわかった。

第3章のRECの品質改善の中で、遠心力と充填材の密度の影響と材料分離について検討した結果、次の事がわかった。

## (1) 遠心力の影響

遠心力を  $10G$  から  $4G$  に変更することによって、ひび割れ強度の増進が確認できた。

ひび割れ強度で約  $3 \text{N/mm}^2$  の強度改善が認められた。また、その原因と考えられる管体の内外面の材料分離は、強熱減量差で  $6\%$ 、単位樹脂量差で  $100 \text{kg/m}^3$  が確認できた。

## (2) 充填材の密度差が管の材料分離、ひび割れ強度へ与える影響

充填材を密度  $2.31 \text{g/cm}^3$  のフライアッシュから  $3.35 \text{g/cm}^3$  のスラグ粉末へ変更することにより、ペーストの密度を  $1.48 \text{g/cm}^3$  から  $1.81 \text{g/cm}^3$  に大きくでき、材料分離の低減が図られた。

その結果、材料分離において、強熱減量で約  $3\%$ 、単位樹脂量で  $50 \sim 60 \text{kg/m}^3$  の材料分離が改善でき、REC 製品のひび割れ強度で約  $3 \text{N/mm}^2$  が改善できた。また、充填材と樹脂は REC の中で、一体となって挙動することが確認できた。

この結果をもとに、REC 製造工程において、充填材をフライアッシュからスラグ粉末へ、遠心力の大きさを  $10G$  から  $4G$  に変更することによって、REC 製品のひび割れの減少に反映することができた。

第4章は、力学特性の温度依存性の解決策として、製造段階の養生方法に着目し、養生温度と養生時間を変化させ、RECの温度依存性の改善を試みた。また、フタル酸を含むオルソ系、イソ不飽和ポリエステル樹脂とビスフェノールを含むビニルエステル樹脂(VE)および不飽和ポリエステル樹脂(UP)の合計4種類の樹脂を使用し、レジンコンクリートの力学的特性の温度依存性に関して検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 試験時の温度が20 から 60 まで上昇すると圧縮強度は低下する。その低下率は最大のイソフタル酸系UPで約30%、最小のビスフェノール系UPで約10%であった。
- (2) 引張強度の低下は20 ~40 の範囲ではほとんどなく、40 ~60 の範囲で認められた。中でも、比較的耐熱性の大きいとされているビスフェノール系ビニルエステル樹脂において、40 ~60 の範囲の低下の大きいことが確認された。
- (3) ヤング係数に対する温度依存性は樹脂の種類によって大きく異なり、フタル酸を含む樹脂は温度依存性が大きく、ビスフェノールを含む樹脂の温度依存性は小さかった。特にビスフェノール系UPは、20 ~60 において高い耐熱性が確認できた。
- (4) 養生温度および養生時間を増加させ、樹脂の重合反応を促進させて力学的特性の温度依存性の改善を試みた。その結果、初期養生の変更による改善効果は、60 - 2 時間から 80 - 18 時間に伸ばすことにより、イソフタル酸系UPでは圧縮強度低下率を37%から17%に、弾性係数は35%から20%に改善できた。その他のオルソフタル酸系UP、ビスフェノール系VE樹脂の圧縮強度に対して改善効果は認められなかった。

## 5.2 今後の課題

今後の課題としては、以下の項目が挙げられる。

- (1) 今回の一連の研究では、基本的にRECの硬化収縮の影響をより明確に確認する目的で、収縮低減剤を用いない配合で実施した。しかし、現状では多くの収縮低減剤が使用されている。この収縮低減剤は、添加量や温度履歴によって、更に温度依存性の大きな材料である。本研究の範囲では、この収縮低減剤の影響を反映することができなかった。今後は、この収縮低減剤を用いた配合への展開が必要である。
- (2) REC製品の品質の改善の中で、多くの解析が行われる。解析の段階で、収縮モデル同様各温度履歴による時系列のヤング係数やクリープ性状、引張強度のモデル化必要となる。次の課題としては、この発熱・収縮連成モデルを基調とする各力学特性のモデル化の研究を提案するものである。
- (3) 付録に添付しているデジタル画像相関法は、REC製品等の変形や応力解析のツールとして、有効な解析手法と考える。今後のREC製品の改善には、デジタル画像解析やFEM解析などの併用した解析手法を提案するものである。