工作機械構造に適用されるエポキシレジン コンクリートの熱的・機械的特性*

田 辺 郁 男^{*1}, 高 田 孝 次^{*2}, 中 村 晃 嘉^{*2}

Thermal and Mechanical Characteristics of Epoxy Resin Concrete Used in Machine Tool Structures

Ikuo TANABE, Koji TAKADA, and Akiyoshi NAKAMURA

Resin concrete is increasingly used in machine tool structures in order to improve the dynamic properties and to reduce the lead time of production. However, it has been pointed out that the thermal and mechanical characteristics of resin concrete are not clarified as yet. In this paper, the thermal conductivity, the specific heat, the coefficient of linear expansion, the Young's modulus and the Poisson's ratio of epoxy resin concrete have been experimentally investigated, and also some theoretical models have been investigated to calculate the thermal and mechanical characteristics. It is concluded from the result; that the thermal and mechanical characteristics of epoxy resin concrete depend strongly on the constituent materials; the relationships between characteristics and constituents are clarified to some extent. It is confirmed that the proposed models can be used to estimate some of the fundamental thermal and mechanical characteristics from the physical properties and volume fluctuations of the constituent materials, which can be used for designing an appropriate resin concrete.

Key Words: Machine Tool, Epoxy Resin Concrete, Calculation Model, Thermal Conductivity, Coefficient of Linear Expansion, Specific Heat, Young's Modulus, Poisson's Ratio, Thermal Characteristics, Mechanical Characteristics

1. 結 言

最近, 高い制振効果, 熱変形特性の向上, 製造の容易さなどから工作機械の構造材⁽¹⁾として各種のコンクリートが使用されつつある。コンクリートのより効果的な利用や鋼, 鋳鉄との複合技術などを検討する場合にコンクリート自身の詳細な熱的・機械的特性が必要となる。建築用構造材として長い歴史を持つセメントコンクリートについてはかなり研究がなされているが, レジンコンクリートについてはこれまでのところ断片的な報告^{(2)~(4)}がみられるのみである。

そこで本報では, レジンコンクリートの中でも工作機械構造材料としてこれまで利用度の高いエポキシレジンコンクリートについて, その構成成分と熱伝導率, 比熱, 線膨張率, ヤング率, ポアソン比などの関係を実験的に求めた。さらにそれらの熱的・機械的特性を構成成分, 成分重量比, 成分体積率, 各成分の熱的・機械的特性値から計算するモデルを検討した。特に, セメントコンクリートに対して適用されている計算式が

レジンコンクリートにも適用可能かどうか検討した。

2. 実験に用いた試料

実験に使用した試料は大別するとエポキシレジンモルタル (以後モルタルと呼ぶ) とエポキシレジンコンクリート (以後コンクリートと呼ぶ) の2種類である。モルタルは粒度指数80の珪砂を骨材, エポキシ樹脂を結合材として混練成型したものである。コンクリートは粒度指数80の珪砂を細骨材, 粒径5 mm以上7 mm以下の花コウ岩を粗骨材, エポキシ樹脂を結合材として混練成型したものである。実験に使用した試料の各構成成分の熱伝導率, 比熱, 線膨張率, ヤング率, 密度を表1に示す。

できるだけコンクリートの強度ならびに剛性を高めるためには, 細骨材と粗骨材が最充てん状態になるようにする必要がある⁽⁵⁾。そこで, 図1にエポキシ樹脂を除いた材のみを混合した場合の充てん状態を実験的に求めた結果を示す。図より, 実験では細骨材と粗骨材の重量比を45:55として, 最充てん状態 (実積率75.8%) が得られた。以下の実験で用いたコンクリートの細骨材と粗骨材の混合比はこの値を用いた。

モルタルおよびコンクリートの各成分の混合状態を図2に示す。この図において, 細骨材・粗骨材・エポキ

* 平成元年11月21日 九州支部・中国四国支部合同長崎地方講演会において講演, 原稿受付 平成元年5月26日。

^{*1} 正員, 富山工業高等専門学校 (〒939 富山市本郷町13)。

^{*2} 正員, 長岡技術科学大学 (〒940-21 長岡市上富岡町1603-1)。

^{*3} 長岡技術科学大学大学院。

表 1 構成成分の常温における熱的・機械的特性

Component Characteristics	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	Epoxy Resin	Air
Density kg/m ³	2630	2600	1100	1.17 ₁
Thermal Conductivity W/(m·K)	3.3 ₂	2.9 ₁	0.4	0.026 ₁
Specific heat kJ/(kg·K)	0.80	0.75	1.60	1.00 ₁
Coefficient of Linear Expansion ×10 ⁻⁶ 1/K	10.0 ₂	8.3 ₂	96.5	-
Young's Modulus GPa	50.0	50.9 ₃	2.6	-

- * 1) 伝熱工学資料 (日本機械学会)
- * 2) 理科年表 (丸善)
- * 3) 岩の工学的性質と設計施工への応用 (土質工学会) その他は著者の測定値

図 1 細骨材と粗骨材を混合した場合の充てん状態

(a) エポキシモルタル

シ樹脂・空気各の体積率は式(1)から求めた、

$$\left. \begin{aligned} V_s &= W_s \cdot \frac{\rho_c}{\rho_s} \\ V_g &= W_g \cdot \frac{\rho_c}{\rho_g} \\ V_e &= W_e \cdot \frac{\rho_c}{\rho_e} \\ V_a &= 100 - (V_s + V_g + V_e) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 V :体積率(%), W :重量比(%), ρ :密度(kg/m³)で、添字は s :細骨材, g :粗骨材, e :エポキシ樹脂, a :空気, c :コンクリートないしはモルタルをそれぞれ示す、

図2(a)に示すようにモルタルの場合、エポキシ樹脂重量比 W_e が20%以下では細骨材の体積率 V_s が60%とほぼ一定で、残りの体積(骨材間の空けき)を空気とエポキシ樹脂が占めている。エポキシ樹脂重量比20%以上ではエポキシ樹脂の増加に伴ってエポキシ樹脂が細骨材に置き換わって、細骨材がエポキシ樹脂中に点在する傾向を示す。この時、空気の体積は7~10%程度で一定になっているが、これはエポキシ樹脂を混練する際に含有されたものである。今回はその空気を除去するために特別な処置は施さなかった、

図2(b)に示したコンクリートの場合はエポキシ樹脂重量比が13%程度まで細骨材と粗骨材の体積率の和が72~73%とほぼ一定であり、その他の傾向はモルタルと同様である、

3. 実験結果

3.1 熱伝導率 エポキシ樹脂重量比と熱伝導率の関係を図3に示す。図中の○印と破線は実験値を示

(b) エポキシコンクリート

図 2 各構成成分の混合状態

す。熱伝導率の測定は絶対定常法⁽⁶⁾によって行った。

モルタルの場合、図3(a)のように、熱伝導率は始めエポキシ樹脂の増加とともに大きくなり、エポキシ樹脂重量比15%~20%程度でピークに達して、その後減少傾向を示す。これは図2(a)から明らかなように、エポキシ樹脂重量比が0~20%程度までは細骨材の体積率が一定であり、熱伝導率の小さい空気がその10倍ほどの熱伝導率のエポキシ樹脂に置き換えられるためモルタルの熱伝導率は大きくなり、またエポキシ樹脂重量比20%以上ではエポキシ樹脂の10倍ほどの熱伝導率の細骨材の体積率が減少してモルタルの熱伝導率は小さくなるためである。

コンクリートの場合〔図3(b)〕も細骨材と粗骨材

の熱伝導率がほぼ等しいためモルタルと同様の傾向を示した。

図3(a),(b)の実線は、図4のように不連続相として立方体の物質がマトリックス中に立方配列しているものとして二相混合物の熱伝導率を理論的に求めたRussell⁽⁷⁾のモデル〔式(2)〕を用いて、計算した結果を示す。

$$\lambda_c = \lambda_t \frac{K V_d^{2/3} + (1 - V_d^{2/3})}{K(V_d^{2/3} - V_d) + (1 - V_d^{2/3} + V_d)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 λ_c :混合物の熱伝導率[W/(m・K)], $K = \lambda_t/\lambda_d$, λ_t :連続相の熱伝導率[W/(m・K)], λ_d :不連続相の熱伝導率[W/(m・K)], V_d :不連続相の体積率(一)をそれぞれ示す。

すなわち、モルタルについては、まずエポキシ樹脂を連続相、細骨材を不連続相とした二相混合物の熱伝導率を計算し、次にその混合物を連続相、気孔を不連続相として空気を含んだモルタルの熱伝導率を計算した。コンクリートについては、上で求めたモルタルを連続相、粗骨材を不連続相として、同様に式(2)を用いてその熱伝導率を求めた。

図3において実験値と計算値を比較すると、モルタル、コンクリートの両方とも、エポキシ樹脂重量比がある程度以上になり、エポキシ樹脂相を連続相とみなせる場合には計算結果がわりあい良く実験値と一致しているが、エポキシ樹脂が少ない領域(斜線の領域)では実験値と計算値の不一致が著しい。この不一致は主として空気相の状態によるものと考えられる。そこで空気相の連続、不連続の程度を把握するため各試料の吸水性を調べたところ、エポキシ樹脂重量比がモルタルでは12%以上、コンクリートでは10%以上になると吸水性がほとんどないことから空気相が明らかに不連続で、エポキシ樹脂重量比をそれより下げて行くと、徐々に吸水性が増し、空気相が不連続相から連続相に変化する傾向があることが確かめられた。

Laubitz⁽⁸⁾は、空気が連続相となる場合の実験値がRussellのモデルによる計算値の2倍になることを指

(a) エポキシモルタル

(b) エポキシコンクリート

図3 エポキシ樹脂重量比と熱伝導率の関係

図4 Russellの計算モデル

摘している。これは、実際には粉体粒子が空気相に散在しているのではなく、粉体粒子同志がある確率で接触しているためである。そこで、図3(a)、(b)の一点鎖線は上記 Laubitz の指摘に基づいて、Russell のモデルで空気を連続相として計算した結果を2倍した値であるが、これは実験値とわりあい良く一致している。

このようにモルタル、コンクリートのいずれもその構成成分によって熱伝導率は大きく変化する。骨材として熱伝導率のより大きい材料（例えば、フェライト⁽⁹⁾など）を用いると、この傾向はさらに顕著になると考えられ、このような性質を活かして目的に合った熱伝導率を有するコンクリートを設計製作することも可能であろう。

なお経済的な理由などから増量材を使用する場合も、増量材を不連続相として入れて上述の計算を行うことによって熱伝導率の推定が可能であろう。

3・2 比熱 エポキシ樹脂重量比と比熱の関係を図5に示す。図中の○印が実験値を示す。比熱の測定は試料の細片を恒温槽内で均一加熱し、これをカロリメータに投入して熱量を求める方法で行った。モルタル、コンクリートともにエポキシ樹脂重量比の増加とともに比熱が直線的に増加している。

図中の実線は細骨材、粗骨材、エポキシ樹脂、空気が単純に混合したものとして、各成分の比熱と重量比を式(3)へ代入して求めた比熱を示している。

$$C_c = [W_s \cdot C_s + W_g \cdot C_g + W_e \cdot C_e + \{100 - (W_s + W_g + W_e)\} C_a] X \frac{1}{100} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 C ：比熱[kJ/(kg・K)]、 W ：重量比(%)、添字はs：細骨材、g：粗骨材、e：エポキシ樹脂、a：空気、c：コンクリートないしモルタルをそれぞれ示す。

モルタル、コンクリートのいずれについても実験値と計算値は良く対応している。

また増量材を添加した場合でも式(3)の右辺に増量材の項を設けることにより計算が可能である。

3・3 線膨張率 エポキシ樹脂重量比と線膨張率の関係を図6に示す。図中の○印と破線は実験値を示す。線膨張率は、直径51 mm、長さ150 mmの中実円柱試料を恒温槽内で均一温度に加熱した後、20℃の室内に放置し、その時の試料の温度変化と長さの変化を実測して求めた。モルタルはエポキシ樹脂重量比20%付近で、またコンクリートはエポキシ樹脂重量比15%付近で、それぞれ曲線の傾きが変化しているが、こ

れは図2に示した各構成成分の混合状態に良く対応している。

図6の実線は二相混合物の線膨張率を近似的に求める式(4)を用いて計算したものである〔式(4)の導出は付録に示す〕。

$$\alpha_c = \frac{\alpha_d \cdot V_d + \alpha_t \{1 + (Y-1) V_d^{1/3} - Y \cdot V_d\}}{1 + (Y-1)(V_d^{1/3} - V_d)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 α_c ：コンクリートないしモルタルの線膨張率(1/K)、 α_t ：連続相の線膨張率(1/K)、 α_d ：不連続相の線膨張率(1/K)、 Y ： E_t/E_d 、 E_t ：連続相のヤング率(GPa)、 E_d ：不連続相のヤング率(GPa)、 V_d ：不連続相の体積率(－)をそれぞれ示す。

(a) エポキシモルタル

(b) エポキシコンクリート

図5 エポキシ樹脂重量比と比熱の関係

また、計算の手順は「3・1 熱伝導率」で述べた方法と同じである。計算途中で必要となるモルタルのヤング率は、図7(a) (後述) のモルタルの計算値を用いた。実験値と計算値はわりあい良く対応している。

後述するように、強度ならびに剛性の面からは、エポキシ樹脂重量比が15%前後のコンクリートが適当であり、その際のコンクリートの線膨張率は図6より鋼のそれに比して2倍程度である。コンクリートと鋼を複合して使用するには両者の線膨張率が同じくらいであることが望ましいが、これには骨材により線膨張率の小さい材料を用いれば良い。例えば図6(b)のエポキシ樹脂重量比13%のときのコンクリートの線膨張率が $21 \times 10^{-6}(1/K)$ であるのに対して、細骨材の珪

砂を同量のアルミナ(Al_2O_3)に、また粗骨材の花コウ岩を同量の窒化珪素(Si_3N_4)にそれぞれ替えることによりその線膨張率は $12 \times 10^{-6}(1/K)$ となり、鋼の線膨張率とほぼ等しくすることもできる。設計段階でこのようなことを検討するときに式(4)は有効であると考えられる。

3・4 ヤング率およびポアソン比 エポキシ樹脂重量比とヤング率の関係を図7に示す。図中の○印と破線は実験値を示す。測定は直径51、長さ150 mmの

(a) エポキシモルタル

(b) エポキシコンクリート

図6 エポキシ樹脂重量比と線膨張率の関係

(a) エポキシモルタル

(b) エポキシコンクリート

図7 エポキシ樹脂重量比とヤング率の関係

中実円柱試験片を用いて JIS A 1108 および ASTM C 469 に従った圧縮試験により行った。

図 7 (a) のモルタルの場合、エポキシ樹脂重量比 20 % まではエポキシ樹脂重量の増加に伴って、密に詰った細骨材間の結合が強くなるため、ヤング率が大きくなっている。エポキシ樹脂重量比 20 % 以上では細骨材間の関係が離散的になるため、エポキシ樹脂のヤング率の影響を強く受け、モルタルのヤング率は小さくなっている。図 7 (b) のコンクリートについてもエポキシ樹脂重量比 13 % を境にして同様のことが言える。

実験では 50 MPa まで圧縮応力を与えたが、モルタルではエポキシ樹脂重量比 3 %、7 % の試料の各 12 本全部が破断し、またコンクリートでは、エポキシ樹脂重量比 8 % の試料の 6 本中 2 本が破断したのみで、他の試料は破断せず、目視ではき裂も観察されなかった。

図 7 の中の実線は、図 4 と同様に立方体のマトリックスの中心に同じく立方体の不連続相が埋設されているモデルを用いて、いずれのポアソン比も零として混合物のヤング率を求める式 (5)⁽¹⁰⁾ を用いて計算した結果である。

$$E_c = E_t \left\{ 1 + \frac{V_d}{E_d(E_d - E_t) - V_d^{1/3}} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 E_c ：混合物のヤング率 (GPa)、 E_t ：連続相のヤング率 (GPa)、 E_d ：不連続相のヤング率 (GPa)、 V_d ：不連続相の体積率 (—) をそれぞれ示す。

式 (5) を多相混合物であるモルタル、コンクリートに適用する手順は「3・1 熱伝導率」の場合と同様である。ここで計算の際、モルタルの場合、エポキシ樹脂重量比 30 % 以上では熱伝導計算のときと同じ組合せで計算を行ったが、エポキシ樹脂重量比 30 % 以下では細骨材を連続相として計算を行った。これは「細骨材間におけるエポキシ樹脂相の厚さが薄くなるとエポキシ樹脂の横ひずみが拘束され、見かけ上のヤング率が上がる」という増岡らの考え方⁽¹¹⁾に基づいて、その極端な例として細骨材間の薄いエポキシ樹脂層のヤング率が細骨材と同じになったと仮定し、細骨材を連続相、

また残りの大部分のエポキシ樹脂は細骨材間の空げき部に不連続相として存在するとしてモルタルのヤング率を計算したものである。またコンクリートのヤング率の計算では、モルタルを連続相、粗骨材を不連続相として計算した結果である。

図 7 (a) から、エポキシ樹脂重量比 30 % 以下では細骨材を連続相とした場合、またエポキシ重量比 50 % 以上ではエポキシ樹脂を連続相とした場合がそれぞれ実験値と良く対応している。またエポキシ樹脂重量比 30 ~ 50 % ではどちらの場合でも合わなかった。ちなみにエポキシ樹脂重量比 30 % 以下では一辺 0.3 mm (平均値) の立方体の細骨材に対して、細骨材間のエポキシ樹脂厚さは 0.08 mm 以下、エポキシ樹脂重量比 50 % 以上では細骨材間のエポキシ樹脂厚さは 0.15 mm である。コンクリートは図 7 (b) のように実験値と計算値がわりあい良く合っていた。

コンクリートを工作機械構造材として使用する場合、剛性を上げるためにヤング率の大きいことが望ましい。そのためには骨材にヤング率の大きいセラミック片を用いることや、各骨材の粒径、形状をうまく組合せて骨材密度を上げることが考えられる。

ポアソン比の測定結果を表 2 に示す。実験に用いた範囲では、モルタル、コンクリートともポアソン比はほぼ一定であった。

4. 結 言

工作機械の構造材として使用する場合、剛性および経済性の面から考えてエポキシレジンモルタルよりエポキシレジンコンクリートのほうが適している。またエポキシ樹脂重量比は 10 ~ 20 % 程度が適当であろう。この範囲で言えることは次のとおりである。

(1) エポキシレジンコンクリートの各特性を鋼のそれと比較すると熱伝導率 1/30、比熱 2 倍、線膨張率 2 倍、ヤング率 1/8 程度であった。

(2) ヤング率が鋼の 1/8 程度と小さいため構造材として使用する場合、断面二次モーメントや断面二次極モーメントの大きな形状にして剛性を補う必要がある。

表 2 エポキシ樹脂重量比とポアソン比の関係

(a) エポキシモルタル

Weight percentage of epoxy resin (%)	3	7	10	20
Poisson's ratio	0.25	0.22	0.24	0.27
Standard deviation	0.034	0.035	0.035	0.038

(12 samples in each specimen)

(b) エポキシコンクリート

Weight percentage of epoxy resin (%)	8	13	18	50
Poisson's ratio	0.24	0.23	0.25	0.27
Standard deviation	0.040	0.032	0.035	0.034

(6 samples in each specimen)

図 8 従来のヤング率の計算モデル

図 9 本研究におけるモデル

(3) コンクリートの熱的特性や機械的特性を使用目的に合わせて改良するために新しい骨材を入れたり、新たに増量剤の添加を検討する場合、熱伝導率、比熱、線膨張率については、本研究で検討した計算モデルで推定が可能と思われる。また、ヤング率についても定性的な推定は可能と思われる。

より精度の高い計算式が待たれるが、セメントコンクリートに対して用いられる計算式がある程度適用可能である。

付録 線膨張率の計算モデルの誘導

図 8 (a) 平行モデル、(b) 垂直モデルはコンクリートのヤング率の下限と上限を計算するために用いられてきたモデルである⁽¹⁰⁾。ここでは線膨張率の計算モデルを誘導するための基本モデルとしてこの二つのモデルを用いることにする。両モデルとも縦×横×奥行が $1 \times 1 \times 1$ の立方体モデルで、この二つのモデルに対する線膨張率の計算式の導出は、コンクリートの平行モデルおよび垂直モデルのヤング率を導出する過程⁽¹⁰⁾で、荷重によるひずみ量を熱膨張による伸び量に置き換えることにより求めることができる。その結果平行モデルの線膨張率は式(6)、垂直モデルのそれは式(7)となる。式(8)は垂直モデルのヤング率を計算する式である⁽¹⁰⁾。

$$\alpha = \frac{\alpha_a \cdot E_a \cdot L_a + \alpha_b \cdot E_b \cdot (1 - L_a)}{E_a \cdot L_a + E_b \cdot (1 - L_a)} \quad \text{.....(6)}$$

$$\alpha = \alpha_a \cdot L_a + \alpha_b \cdot (1 - L_a) \quad \text{.....(7)}$$

$$E = \frac{E_a \cdot E_b}{E_a \cdot L_a + E_b \cdot (1 - L_a)} \quad \text{.....(8)}$$

ここで、 α_a ：材料 A の線膨張率 (1/K)、 α_b ：材料 B の線膨張率 (1/K)、 E_a ：材料 A のヤング率 (GPa)、

E_b ：材料 B のヤング率 (GPa)、 L_a ：材料 A の代表長さ ($0 < L_a < 1$, 図 8 参照) をそれぞれ示す。

ここで、モデルを実際の状態に近づけるために図 9 (a) のような不連続相の一边の長さ d ($0 < d < 1$) の立方体 A が立方配列した二相混合物の 1 ユニットのモデルの線膨張率を考える。モデルの中央部が B 材—A 材—B 材の垂直三相構造となっており、この垂直三相構造とその周囲を取り囲んでいる B 材が上の平行モデルと同じ関係になっている。このモデルの線膨張率の計算式の誘導は図 9 (b) のように、まず中央部の B 材—A 材—B 材の垂直三相構造の線膨張率とヤング率を上記の垂直モデルの式(7)、式(8)から求め、次にこの B 材—(垂直三相構造)—B 材の平行三相構造の線膨張率を式(6)から計算すると、式(9)となり (このときポアソン比は零と仮定している)、これが図 9 (a) のモデルの線膨張率を計算する式となる。

$$\alpha = \frac{\alpha_a \cdot d^3 + \alpha_b \{1 + (Y-1)d - Y \cdot d^3\}}{1 + (Y-1)(d-d^3)} \quad \text{.....(9)}$$

ここで、 Y ： E_b/E_a 、 d ：立方体不連続相 (材料 A) の一边の長さをそれぞれ示す。

文 献

- (1) 田辺・堤・高田、機論、53-485, C(1987), 249.
- (2) 向井、コンクリートジャーナル、11-4(1973), 10.
- (3) 岡田・ほか 2 名、レジコンクリート、15-4(1971), 88, 別冊化学工業.
- (4) Saulg, H., Werkstatt und Betrieb, 115(1982), 5.
- (5) 森脇・ほか 3 名、精密機械、51-3(1985), 114.
- (6) Knappe, W., Z. Angew. Phys., 12(1960), 508.
- (7) Russell, H. W., J. Am. Ceram. Soc., 18, 1-5(1935), 153.
- (8) Laubitz, M. J., Can. J. Phys., 37(1959), 798.
- (9) 堤・ほか 2 名、機論、50-457, C(1984), 1673.
- (10) 岩崎、コンクリートの特性、(1975), 104, 132, 共立出版.
- (11) 例えば、増岡・ほか 2 名、日本接着協会誌、13-3(1977), 82.

討 論

〔質問〕 上 野 滋

〔(財)機械振興協会技術研究所〕

コンクリート材料に関する熱的設計法に関し、重要な指針を示している論文といえる。

高分子材料を用いたコンクリートの場合、温度依存性のクリープが発生すると考えられるが、この点についての見解、実験結果をお聞かせねがいたい。

また、モデル計算(付録)について、立方体モデルと球形モデルで、結果にどの程度の差があるか、ご教示願いたい(実際の骨材については球状により近いと思われるため)。

〔回答〕 本研究では、コンクリートの熱的・機械的特性の中で、熱伝導率、比熱、線膨張率、ヤング率、ポアソン比のみを実験検討している。これらは、設計段階で有限要素法などを用いて、コンクリートの機械構造への適用を検討する場合に必要とする特性値であ

る。しかし、ご指摘のようにコンクリートの温度依存性のクリープは、できたコンクリート構造工作機械の精度にとって大きな問題となる場合があると思われる(付1)。そのため、クリープの第1の原因となる結合材を減じるために、骨材の粒度を変えたり、増量材を入れたりして結合材以外の材料の充てん率を増加させることが考えられる。

次に、今回立方体モデルで特性を計算したのは、熱伝導率、線膨張率、ヤング率の三つである。このうち特に骨材形状が大きく影響するのはヤング率であるが、球状粒子を用いた Hashin (付2)のモデルで、本研究のヤング率と同じ成分、成分重量のコンクリートのヤング率を計算したところ3%程度の違いであった。

(付1) Ruetz, W., *Proc. Int. Conf. struct. concrete*, London, (1963-9), 365.

(付2) Hashin, Z., *J. Appl. Mech.*, 29 (1962), 143.