(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年3月15日(15.03.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/047737 A1

(51) 国際特許分類:
B22C 9/02 (2006.01) *B22C 9/00* (2006.01)
B22C 1/22 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/031602

(22) 国際出願日： 2017年9月1日(01.09.2017)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2016-174863 2016年9月7日(07.09.2016) JP

(71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所 (**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.)**) [JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目２番４号 Hyogo (JP).

(72) 発明者: 高川 優作 (**TAKAGAWA Yusaku**). 堤一之 (**TSUTSUMI Kazuyuki**).

(74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所 (**EIKOH PATENT FIRM, P.C.**); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目７番１３号 虎ノ門イーストビルディング１０階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：
— 国際調査報告（条約第21条(3)）

WO 2018/047737 A1

(54) **Title:** MOLD MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称： 鋳型造型方法

(57) **Abstract:** A mold manufacturing method having: a reaction amount calculation step for a binder that forms self-hardening sand; a room-temperature compression strength calculation step for a specimen; a room-temperature compression strength prediction step for a mold; and a room-temperature compression strength derivation step for the mold. When an actual mold is manufactured, the mold is removed immediately after the elapse of a time t1, which is a mold manufacturing condition parameter satisfying the room-temperature compression strength δce (θ, t) derived in the room-temperature compression strength derivation step for the mold.

(57) 要約：鋳型造型方法において、自硬性砂を構成する粘結剤の反応量算出工程と、試験体の常温圧縮強度算出工程と、鋳型の常温圧縮強度予測工程と、鋳型の常温圧縮強度抽出工程と、を有し、実際の鋳型を造型する場合は、前記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で抽出した常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足する造型条件パラメータとしての時間ｔ１が経過直後に抜型する。

明　細　書

発明の名称 ： 鋳型造型方法

技術分野

[0001] 本発明は、自硬性砂を用いて鋳型を造型する鋳型造型方法に関する。

背景技術

[0002] 一般的な鋳型造型方法として、原型を設置した枠内に、砂と粘結剤と硬化促進剤とを混練してなる自硬性砂を充填し、前記自硬性砂が硬化した後に前記原型を引抜き（以下、「抜型」と称す）、前記原型の形状が前記硬化した自硬性砂に転写されることで鋳型を造型する鋳型造型方法がある。

[0003] 上述した鋳型造型方法を用いて、スクリュ圧縮機の雄ロータや雌ロータのような、ねじれ形状を有する製品の鋳造に必要な複雑形状の鋳型を、原型を用いて造型する鋳型造型方法が知られている（たとえば、特許文献１参照）。

[0004] 上記特許文献１に開示されたような技術を用いることで、鋳物の加工代を低減させて、鋳物をニアネットシェイプ化することが可能になる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開２０１５－１２８７９１号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、上記特許文献１に開示された技術では、原型を引き抜く力や鋳型の強度に影響すると考えられる自硬性砂の常温圧縮強度に関して、自硬性砂の混練の終了後から抜型までの時間を単に考慮しているに過ぎない。

[0007] よって、実際の鋳型を造型する場合に、例えば、造型条件パラメータとしての自硬性砂を構成する砂の温度が変化すると、自硬性砂の常温圧縮強度が変化し、これまでの抜型タイミングが適用できなくなる。

[0008] したがって、上記抜型タイミングの適正化（すなわち、鋳型の損傷がなく

造型可能であり、かつ、抜型可能な抜型タイミング）を図るためには、その都度、実験を行わなければならないといった問題点があった。

[0009] 本発明の目的は、実際の鋳型を造型する場合に、造型条件が変化した場合でも、その都度、実験を行うことなく、鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な鋳型造型方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] この目的を達成するために、第１発明に係る鋳型造型方法は、

原型を設置した枠内に、砂と粘結剤と硬化促進剤とを混練してなる自硬性砂を充填し、前記自硬性砂が硬化した後に前記原型を引抜いて抜型し、前記原型の形状が前記硬化した自硬性砂に転写されることで鋳型を造型する鋳型造型方法において、

前記自硬性砂を用いて試験体を造型する際の造型条件パラメータとして、混練する前の前記砂の温度θ［℃］、前記混練の終了後から硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点までの時間ｔ１［ｍｉｎ］、および硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点の直後から前記試験体を圧縮試験する直前までの時間ｔ２［ｍｉｎ］を用い、前記粘結剤の反応量ΔＣ（θ，ｔｉ）［ｗｔ％］（ｉ＝１、２）を下記式（１）および式（２）に基づいて算出する粘結剤の反応量算出工程と、

前記粘結剤の反応量算出工程で算出した反応量ΔC（θ，ｔ1）およびΔＣ（θ，ｔ２）を下記式（３）に代入し、前記試験体の常温（ここで言う、「常温」とは、造型する際の雰囲気温度を言う）圧縮強度σｃ（θ，ｔ）［ＭＰａ］を算出する試験体の常温圧縮強度算出工程と、

前記自硬性砂を用い、前記造型条件パラメータの下で鋳型を造型した場合の前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）に、前記試験体の常温圧縮強度算出工程で算出した前記試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）を適用して、予め前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を予測しておく鋳型の常温圧縮強度予測工程と、

前記予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から前記鋳型

の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出しておく鋳型の常温圧縮強度抽出工程と、

を有し、

実際の鋳型を造型する場合は、前記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で抽出した前記常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足する前記造型条件パラメータとしての前記時間ｔ１が経過した直後に抜型することを特徴とする鋳型造型方法である。

[数1]

$$\Delta C(\theta, t_i) = \Delta C_{sat} \cdot \{1 - \exp(-k_{di} t_i)\} \quad \cdots(1)$$

ここで、

ΔC_{sat} ： 粘結剤の飽和反応量[wt%]

k_{di}（ｉ＝１、２）：粘結剤の反応速度定数[1／min]

[数2]

$$k_{di} = A_i \exp(\alpha_i \theta) \quad \cdots(2)$$

ここで、

A_i（ｉ＝１、２）、α_i（ｉ＝１、２）：用いる粘結剤の種類に依存したパラメータ

[数3]

$$\sigma_c(\theta, t) = \{\tanh(\beta \cdot \Delta C(\theta, t_1)) + \gamma\} + \{\tanh(\varepsilon(\theta) \cdot \Delta C(\theta, t_2) - \eta)\} \quad \cdots(3)$$

ここで、

β、γ、η :材料パラメータ、 ε :温度θによって決まる定数

[0011] また、第２発明に係る鋳型造型方法は、第１発明に係る鋳型造型方法において、前記常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）は、０．５［ＭＰａ］≦σｃｅ（θ，ｔ）［ＭＰａ］≦２．２［ＭＰａ］であることを特徴とする。

[0012] また、第３発明に係る鋳型造型方法は、第１発明または第２発明に係る鋳型造型方法において、前記砂の温度θは、５～３０℃であることを特徴とする。

発明の効果

[0013] 以上のように、本発明は、

原型を設置した枠内に、砂と粘結剤と硬化促進剤とを混練してなる自硬性砂を充填し、前記自硬性砂が硬化した後に前記原型を引抜いて抜型し、前記原型の形状が前記硬化した自硬性砂に転写されることで鋳型を造型する鋳型造型方法において、

前記自硬性砂を用いて試験体を造型する際の造型条件パラメータとして、混練する前の前記砂の温度θ［℃］、前記混練の終了後から硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点までの時間ｔ１［ｍｉｎ］、および硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点の直後から前記試験体を圧縮試験する直前までの時間ｔ２［ｍｉｎ］を用い、前記粘結剤の反応量ΔＣ（θ，ｔｉ）［ｗｔ％］（ｉ＝１、２）を上記式（１）および式（２）に基づいて算出する粘結剤の反応量算出工程と、

前記粘結剤の反応量算出工程で算出した反応量ΔＣ（θ，ｔ１）およびΔＣ（θ，ｔ２）を上記式（３）に代入し、前記試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）［ＭＰａ］を算出する試験体の常温圧縮強度算出工程と、

前記自硬性砂を用い、前記造型条件パラメータの下で鋳型を造型した場合の前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）に、前記試験体の常温圧縮強度算出工程で算出した前記試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）を適用して、予め前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を予測しておく鋳型の常温圧縮強度予測工程と、

前記予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から前記鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出しておく鋳型の常温圧縮強度抽出工程と、

を有し、

実際の鋳型を造型する場合は、前記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で抽出した前記常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足する前記造型条件パラメータとしての前記時間ｔ１が経過した直後に抜型することを特徴とする。

[0014] このように、本発明では、鋳型を造型する造型条件パラメータの下で、予

め前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を精度良く予測しておく鋳型の常温圧縮強度予測工程と、この予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から前記鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出しておく鋳型の常温圧縮強度抽出工程と、を有している。したがって、実際の鋳型を造型する場合に、上記造型条件パラメータが変化したとしても、その中から前記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で抽出した前記常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足するような造型条件パラメータを選択しさえすればよい。すなわち、この選択した造型条件パラメータ中の上記時間ｔ１が経過直後に抜型する構成であればよい。

[0015] これにより、実際の鋳型を造型する場合に、造型条件が変化した場合でも、その都度、実験を行うことなく、鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な鋳型造型方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]試験体を造型するための金型であり、（ａ）は上面図、（ｂ）は正面図である。

[図2]ｔ１＝２０ｍｉｎ経過直後に抜型した場合の経過時間ｔと樹脂の反応率δの関係を示す図である。

[図3]ｔ１＝３５ｍｉｎ経過直後に抜型した場合の経過時間ｔと樹脂の反応率δの関係を示す図である。

[図4]ｔ１＝５０ｍｉｎ経過直後に抜型した場合の経過時間ｔと樹脂の反応率δの関係を示す図である。

[図5]砂の温度θと樹脂の反応速度定数ｋｄ１の関係を示す図である。

[図6]砂の温度θと樹脂の反応速度定数ｋｄ２の関係を示す図である。

[図7]樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を示す図である（砂の温度θ＝５℃）。

[図8]樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を示す図である（砂の温度θ＝１０℃）。

[図9]樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を

示す図である（砂の温度θ＝２０℃）。

[図10]樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を示す図である（砂の温度θ＝３０℃）。

[図11]鋳型造型装置の構成を示す模式正面断面図である。

[図12]鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）と鋳型の出来具合の関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明者は、如何にすれば、実際の鋳型を造型する場合に、造型条件が変化した場合でも、その都度、実験を行うことなく、鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な鋳型造型方法を実現することができるのか鋭意研究を行った。その結果、以下に説明するような構成を採用することで初めて目的を達成できることを見出した。

[0018] （本発明の鋳型造型方法）

すなわち、本発明の鋳型造型方法は、

例えば、木製や樹脂製あるいは金属製の原型を設置した枠内に、砂と粘結剤と硬化促進剤とを混練してなる自硬性砂を充填し、前記自硬性砂が硬化した後に前記原型を引抜き（以下、「抜型」と称す）、前記原型の形状が前記硬化した自硬性砂に転写されることで鋳型を造型する鋳型造型方法において、

前記自硬性砂を用いて後記試験体を造型する際の造型条件パラメータとして、混練する前の前記砂の温度θ［℃］、前記混練の終了後から硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点までの時間ｔ１［ｍｉｎ］、および硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点の直後から前記試験体を圧縮試験する直前までの時間ｔ２［ｍｉｎ］を用い、前記粘結剤の反応量ΔＣ（θ，ｔｉ）［ｗｔ％］（ｉ＝１、２）を下記式（１）および式（２）に基づいて算出する粘結剤の反応量算出工程と、

前記粘結剤の反応量算出工程で算出した反応量ΔＣ（θ，ｔ１）およびΔＣ（θ，ｔ２）を下記式（３）に代入し、前記試験体の常温（ここで言う、「常

温」とは、造型する際の雰囲気温度を言う）圧縮強度σｃ（θ，ｔ）［ＭＰａ］を算出する試験体の常温圧縮強度算出工程と、

前記自硬性砂を用い、前記造型条件パラメータの下で鋳型を造型した場合の前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）に、前記試験体の常温圧縮強度算出工程で算出した前記試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）を適用して、予め前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を予測しておく鋳型の常温圧縮強度予測工程と、

前記予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から前記鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出しておく鋳型の常温圧縮強度抽出工程と、を有し、

実際の鋳型を造型する場合は、前記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で抽出した前記常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足する前記造型条件パラメータとしての前記時間ｔ1が経過直後に抜型する構成を採用する。

[数4]

$$\Delta C(\theta, t_i) = \Delta C_{sat} \cdot \{1 - \exp(-k_{di} t_i)\} \quad \cdots(1)$$

ここで、

ΔC_{sat} ： 粘結剤の飽和反応量[wt%]

k_{di}（ｉ＝１、２）：粘結剤の反応速度定数[1／min]

[数5]

$$k_{di} = A_i \exp(\alpha_i \theta) \quad \cdots(2)$$

ここで、

A_i（ｉ＝１、２）、α_i（ｉ＝１、２）：用いる粘結剤の種類に依存したパラメータ

[数6]

$$\sigma_c(\theta, t) = \{\tanh(\beta \cdot \Delta C(\theta, t_1)) + \gamma\} + \{\tanh(\varepsilon(\theta) \cdot \Delta C(\theta, t_2) - \eta)\} \quad \cdots(3)$$

ここで、

β、γ、η：材料パラメータ、 ε：温度θによって決まる定数

[0019] ここで、鋳型材料としては、自硬性砂を用いる。自硬性砂は砂と粘結剤と

硬化促進剤（硬化剤とも言う）から成るものである。

[0020] 砂としては、その形状が多角形または球状で、粒度がＡＦＳ１３０以下の新砂または再生砂を用いることができる。

[0021] 粘結剤としては、フルフリルアルコールを含有する酸硬化性のフラン樹脂を用いることができる。その他、アルカリフェノール系の樹脂を用いることもできる。以下、粘結剤としては、フラン樹脂を中心に説明する。

[0022] 硬化促進剤としては、キシレンスルホン酸系硬化剤および硫酸系硬化剤を、単独あるいは混合したものを用いることができる。硬化促進剤としては、粘結剤としての樹脂に適合したものを選択しさえすればよい。以下、硬化促進剤としては、濃度の異なるキシレンスルホン酸系の硬化促進剤を混合したものを中心に説明する。

[0023] 例えば、砂に対する樹脂および硬化剤の添加量はそれぞれ０．８ｗｔ％、０．３２ｗｔ％であることが望ましい。

[0024] まず、本発明の鋳型造型方法における技術思想の基礎となる「フラン樹脂の反応」および「硬化した自硬性砂の常温圧縮強度」について、以下に説明する。

[0025] （フラン樹脂の反応）

上記自硬性砂を構成するフラン樹脂の脱水縮合反応を一次反応と仮定した場合、下記式（４）が成立する。

[数7]

$$\ln\frac{C_0}{C_t}=k_d t \qquad \cdots(4)$$

[0026] ここで、Ｃ０はフラン樹脂の初期濃度［ｗｔ％］、Ｃｔは自硬性砂としての砂と粘結剤と硬化促進剤とを混練終了後からある経過時間ｔ［ｍｉｎ］の時点での未反応の樹脂濃度［ｗｔ％］、ｋｄは樹脂の反応速度定数［１／ｍｉｎ］である。また、経過時間ｔは、前記混練の終了後から抜型直前（すなわち、硬化した自硬性砂の中に原型が存在する。または、後記試験体が金型内にある場合）までの時間ｔ１［ｍｉｎ］と抜型直後（すなわち、硬化した

自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点。または、後記試験体を金型外に取り出した時点）から硬化した自硬性砂が大気中に放置された状態で経過した時間（または、大気中に放置された後記試験体を圧縮試験する直前までの時間）ｔ２［ｍｉｎ］とで、樹脂の反応速度が異なると考えられる。

[0027] 造型条件パラメータとしての上記時間ｔ１と時間ｔ２のいずれの場合（すなわち、ｔｉ＝ｔ１、ｔ２の場合）においても一次反応であると仮定して、上記式（４）を下記式（５）のように、それぞれの時間ｔ１と時間ｔ２の場合に対して書き換える。

[数8]

$$\ln\frac{C_0}{C_{ti}} = k_{di}t_i, \quad i = 1,2 \qquad \cdots(5)$$

[0028] 上記式（５）の中のｋｄｉは、上記時間ｔ１と時間ｔ２の場合（すなわち、ｔｉ＝ｔ１、ｔ２の場合）における樹脂の反応速度定数［１／ｍｉｎ］である。

[0029] ＜粘結剤（樹脂）の反応量算出工程＞

また、造型条件パラメータとしての混練する前の上記砂の温度θ［℃］において、ｔｉ＝ｔ１、ｔ２［ｍｉｎ］をそれぞれ経過した時点での樹脂の反応量をΔＣ（θ，ｔｉ）［ｗｔ％］とすれば、上記式（５）を変形して下記式（６）のように書き換えることができる。

[数9]

$$\Delta C(\theta, t_i) = f_i(\theta)\cdot\left(1-\frac{C_{ti}}{C_0}\right) = f_i(\theta)\cdot\{1-\exp(-k_{di}t_i)\} \qquad \cdots(6)$$

[0030] ここで、ｆｉ（θ）は砂の温度θの関数であることを表す。また、樹脂の反応は、砂の温度θによらず時間ｔｉの経過とともに１００％に近づいていくことを考慮すると、上記式（６）を下記式（１）のように書き換えることができる。

[数10]

$$\Delta C(\theta, t_i) = \Delta C_{sat} \cdot \{1 - \exp(-k_{di} t_i)\} \quad \cdots(1)$$

ここで、

ΔC_{sat} ： 粘結剤の飽和反応量[wt%]

k_{di}（ｉ＝１、２）：粘結剤の反応速度定数[1／min]

[0031] また、樹脂の反応速度は砂の温度θによって変化すると考えられる。すなわち、温度が高いほど樹脂の反応が速くなると考えられる。そのため、樹脂の反応速度定数ｋｄｉの温度依存性を考慮する必要がある。この温度依存性に関しては、下記式（７）に示すアレニウスの式で表現することができる。

[数11]

$$k_{di} = A_i \exp\left(-\frac{\Delta E_i}{R\theta}\right), \quad i = 1, 2 \quad \cdots(7)$$

[0032] ここで、Ａｉ（ｉ＝１、２）は、発生因子で、ΔＥは活性化エネルギー［Ｊ／ｍｏｌ］、Ｒは気体定数［Ｊ／（ｍｏｌ・Ｋ）］である。簡単化のため、上記式（７）を下記式（２）のように書き換える。

[数12]

$$k_{di} = A_i \exp(\alpha_i \theta) \quad \cdots(2)$$

ここで、

A_i（ｉ＝１、２）、α_i（ｉ＝１、２）：用いる粘結剤の種類に依存したパラメータ

[0033] ここで、αｉは下記式（８）のように定義した。

[数13]

$$\alpha_i \equiv \frac{R}{\Delta E_i} \quad \cdots(8)$$

[0034] また、上記Ａｉ、αｉは、後記試験体の重量測定試験などから求めることができる。

[0035] 尚、砂の温度θは、５～３０℃が好ましい。砂の温度θが５℃未満である

と、砂が固まらず、鋳型の形状を保持することが困難であり、後述する実施例では試験温度を２０～５０分に設定しているが、５０分経過しても砂が固まらない。一方、砂の温度θが３０℃を超えると、粘結剤と硬化促進剤との反応が促進され、砂が速く固まりすぎることにより、可使時間が極端に短くなり、１分に満たなくなることもある。

[0036] （硬化した自硬性砂の常温圧縮強度）

＜後記試験体の常温圧縮強度算出工程＞

上記硬化した自硬性砂の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔｉ）［ＭＰａ］が、樹脂の脱水縮合反応によって決まっていると仮定する。また、上記時間ｔ１と時間ｔ２の場合では、樹脂の反応速度の違いを生ずる。したがって、この樹脂の反応速度の違いを考慮すると、硬化した自硬性砂の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）は、下記式（９）で表すことができる。

[数14]

$$\sigma_c(\theta,t)=\sigma_c(\Delta C(\theta,t_1))+\sigma_c(\Delta C(\theta,t_2)) \quad \cdots(9)$$

[0037] 上記式（９）の右辺第一項は、時間ｔ１［ｍｉｎ］の間（すなわち、硬化した自硬性砂の中に原型が存在する間、または、後記試験体が金型内にある間）に樹脂の反応が進んだことによる自硬性砂の常温圧縮強度の上昇分である。また、上記式（９）の右辺第二項は、時間ｔ２［ｍｉｎ］の間（すなわち、抜型により、硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時から硬化した自硬性砂が大気中に放置されている間、または、後記試験体を金型外に取り出した時点から大気中に放置された後記試験体を圧縮試験する直前までの間）に樹脂の反応が進んだことによる自硬性砂の常温圧縮強度の上昇分である。

[0038] 後述する「樹脂の反応量を変化させた場合の後記試験体の常温圧縮試験の結果」から、上記式（９）の右辺第一項を下記式（１０）のような双曲関数で近似できることが分かった。

[数15]

$$\sigma_c(\Delta C(\theta,t_1))=\tanh(\beta\cdot\Delta C(\theta,t_1))+\gamma \quad \cdots(10)$$

[0039] ここで、β、γは材料パラメータ（定数）である。また、上記同様の常温圧縮試験を行った結果から、上記式（９）の右辺第二項は下記式（１１）のような双曲関数を用いて近似できることが分かった。

[数16]

$$\sigma_c(\Delta C(\theta,t_2))=\tanh(\varepsilon(\theta)\cdot\Delta C(\theta,t_2)-\eta) \quad \cdots(11)$$

[0040] ここで、ηは材料パラメータ（定数）である。また、εは砂の温度θとともに変化する定数で、下記式（１２）で表されることが分かった。

[数17]

$$\varepsilon(\theta)=a\theta+b \quad \cdots(12)$$

[0041] ここで、aおよびbは定数である。

[0042] 上記式（１）および式（２）に基づいて求まる樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ１）［ｗｔ％］およびΔＣ（θ，ｔ２）［ｗｔ％］を下記式（３）に代入することで、後記試験体（硬化した自硬性砂）の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）［ＭＰａ］を求めることが可能になる。

[数18]

$$\sigma_c(\theta,t)=\{\tanh(\beta\cdot\Delta C(\theta,t_1))+\gamma\}+\{\tanh(\varepsilon(\theta)\cdot\Delta C(\theta,t_2)-\eta)\} \quad \cdots(3)$$

ここで、

β,γ,η :材料パラメータ、 ε :温度θによって決まる定数

[0043] ＜鋳型の常温圧縮強度予測工程＞

上述した試験体とは別に、上記同様の自硬性砂を用い、上記同様の造型条件パラメータの下で鋳型を造型した場合の鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）に、上記試験体の常温圧縮強度算出工程で算出した試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）を適用して、予め前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を

予測しておく鋳型の常温圧縮強度予測工程を有している。これにより、様々な造型条件パラメータの下で造型する鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を予測しておくことが可能となる。

[0044] ＜鋳型の常温圧縮強度抽出工程＞

上記予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出しておく鋳型の常温圧縮強度抽出工程をさらに有している。これにより、様々な造型条件パラメータの下で造型する鋳型の中から、どの範囲の鋳型の常温圧縮強度を満足すれば、発明の目的を達成できるのかが事前に分かる。

[0045] したがって、実際の鋳型を造型する場合は、上記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で抽出した常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足する造型条件パラメータとしての上記時間ｔ１が経過直後に抜型する構成を採用すればよい。

[0046] （実施例１）

図１は試験体を造型するための金型であり、（ａ）は上面図、（ｂ）は正面図である。図１に示すような金型を用いて、試験体を造型し、この試験体の重量変化を測定することにより、自硬性砂を構成する樹脂の反応率を評価する試験を行なった。また、試験体の重量変化は、全て樹脂の脱水縮合反応によるものと仮定して、樹脂の反応率を算出している。

[0047] 図１において、１は鋳鉄製の造型用金型、２は造型用金型１を構成する割型Ａ、３は造型用金型１を構成する割型Ａ（２）に対向する割型Ｂ、２ａ、３ａは割型Ａ（２）、割型Ｂ（３）にそれぞれ設けられた自硬性砂を注ぎ込むための漏斗状半口部、２ｂ、３ｂは割型Ａ（２）、割型Ｂ（３）にそれぞれ設けられた円柱状の試験体を造型するための半円柱状の空洞部、２ｃは割型Ａ（２）と割型Ｂ（３）をボルト（図示せず）により締結するための割型Ａ（２）に設けられた貫通孔、３ｃは貫通孔２ｃに挿入したボルトがネジ込まれる割型Ｂ（３）に設けられたメネジ部である。

[0048] 試験体を造型するための自硬性砂は、砂として再生５号けい砂、粘結剤と

してフラン樹脂（カオーライトナー製ＥＦ５３０２）、硬化促進剤として濃度の異なるキシレンスルホン酸系の硬化促進剤（カオーライトナー製ＴＫ－１およびＣ－２１）を混合したものを用いた。

[0049] なお、上記フラン樹脂は上記再生砂に対して０．８ｗｔ％、上記硬化促進剤の混合液は上記再生砂に対して０．３２ｗｔ％添加した。

[0050] 汎用ミキサーを用いて、所定の温度に加熱・冷却した上記再生砂に上記硬化促進剤の混合液を加えて４５ｓｅｃ、さらにフラン樹脂を加えて４５ｓｅｃ混練し、自硬性砂（これをフラン自硬性砂と称す）を準備した。

[0051] 上述したようにして準備したフラン自硬性砂を、混練直後に鋳鉄製金型１の漏斗状半口部２ａ、３ａから構成される漏斗状口内に投入し、半円柱状の空洞部２ｂ、３ｂから構成される円柱状の空洞部で、φ３０×６０ｍｍの試験体に成型した。

[0052] 本試験では、フラン樹脂（以下、単に、樹脂とも言う）の反応速度に影響する造型条件パラメータとしての、混練する前の上記再生砂の温度θ［℃］、上記混練の終了後から抜型直前までの時間ｔ１［ｍｉｎ］、および抜型直後から上記試験体を圧縮試験する直前までの時間ｔ２［ｍｉｎ］を考慮して樹脂の反応率を評価した。

[0053] ここで、本試験における抜型の定義は、上記時間ｔ１が経過直後に金型１から試験体を取り出すことを指す。

[0054] なお、本試験では、試験体と大気との接触面積を変化させるために、時間ｔ１とｔ２を変化させた。

[0055] 本試験における造型条件パラメータとして、砂の温度θを５、１０、２０、３０℃と変化させ、時間ｔ１を２０、３５、５０ｍｉｎと変化させ、時間ｔ２を１０、２５、４０ｍｉｎと変化させ、樹脂の反応率δを下記式（１３）で定義する試験体の重量変化に基づき評価した。それらの結果を図２～図４に示す。

[数19]

$$\delta = \frac{w_0 - w_1}{w_0 - w_2} \times 100\% \quad \cdots(13)$$

[0056] ここで、ｗ０は初めに金型１内に投入した自硬性砂の重量（＝初期の試験体重量）［ｇ］、ｗ１は混練終了からある経過時間ｔ［ｍｉｎ］経過したときの試験体重量［ｇ］、ｗ２は樹脂の反応が完全に終了したと考えられる混練終了から２４ｈｒ経過後の試験体重量［ｇ］である。なお、経過時間ｔとは、上記時間ｔ１と、上記時間ｔ２および、さらに上記時間ｔ２後の時間も含めて言う。

[0057] 図２～図４において、横軸は経過時間ｔ［ｍｉｎ］、縦軸は樹脂の反応率δ［％］である。

[0058] 図２は、ｔ１＝２０ｍｉｎ経過直後に抜型した場合の経過時間ｔと樹脂の反応率δの関係を示す図である。図２において、砂の温度θを５、１０、２０、３０℃と変化させ、各温度θに対して、時間ｔ１は２０ｍｉｎに固定し、時間ｔ２のみ１０、２５、４０ｍｉｎと変化させた。

[0059] 図２において、同じｔ１＝２０ｍｉｎ経過直後の抜型であっても、砂の温度θが異なると、樹脂の反応率δは大きく異なる。また、時間ｔ2の経過とともに樹脂の反応率δは、それぞれさらに増加している。

[0060] 図３は、ｔ１＝３５ｍｉｎ経過直後に抜型した場合の経過時間ｔと樹脂の反応率δの関係を示す図である。図３において、砂の温度θを５、３０℃と変化させ、各温度θに対して、時間ｔ１は３５ｍｉｎに固定し、時間ｔ２のみ１０、２５、４０ｍｉｎと変化させた。

[0061] 図３において、同じｔ１＝３５ｍｉｎ経過直後の抜型であっても、砂の温度θが異なると、樹脂の反応率δは多少異なる。また、時間ｔ２の経過とともに樹脂の反応率δは、それぞれさらに増加している。

[0062] 図４は、ｔ１＝５０ｍｉｎ経過直後に抜型した場合の経過時間ｔと樹脂の反応率δの関係を示す図である。図４において、砂の温度θを５、１０、２０、３０℃と変化させ、各温度θに対して、時間ｔ１は５０ｍｉｎに固定し

、時間ｔ２のみ１０、２５、４０ｍｉｎと変化させた。

[0063] 図４において、同じｔ１＝５０ｍｉｎ経過直後の抜型であっても、砂の温度θが異なると、樹脂の反応率δは異なる。また、時間ｔ２の経過とともに樹脂の反応率δは、それぞれさらに増加している。

[0064] 図２～図４に示す結果は、造型条件パラメータが変化すると、樹脂の反応率δが変化することを示している。

[0065] 上述した結果に基づき同定した樹脂の反応速度定数ｋｄ１、ｋｄ２と砂の温度θの関係を図５および図６に示す。

[0066] 図５、図６は、それぞれ砂の温度θと樹脂の反応速度定数ｋｄ１、ｋｄ２の関係を示す図である。ここで、樹脂の反応速度定数ｋｄ１、ｋｄ２とは、それぞれ時間ｔ１、時間ｔ２の樹脂の反応速度定数を指す。図５、図６において、◇印は上記実験結果から求めた樹脂の反応速度定数ｋｄ１、ｋｄ２であり、実線は下記式（５）で予測した樹脂の反応速度定数ｋｄ１、ｋｄ２である。

[数20]

$$\ln\frac{C_0}{C_{ti}} = k_{di}t_i, \quad i = 1,2 \qquad \cdots(5)$$

[0067] 図５において、砂の温度θ＝５℃から３０℃に向かって、樹脂の反応速度定数ｋｄ１が、約０．０１１［１／ｍｉｎ］から約０．０００５［１／ｍｉｎ］に急激に低下している。これは、上述した自硬性砂を構成する砂と樹脂と硬化剤の混練中にも樹脂の反応が進んでいることに起因していると考えられる。すなわち、砂の温度θが高いほど混練中における樹脂の反応の進行具合が大きく、混練の終了後から抜型直前までの時間ｔ１では、樹脂の反応速度定数ｋｄ１が、砂の温度θが高いほど、むしろ低下したと思われる。

[0068] 図６において、砂の温度θ＝５℃から３０℃に向かって、樹脂の反応速度定数ｋｄ２が、約０．００５［１／ｍｉｎ］から約０．００３５［１／ｍｉｎ］に多少低下している。しかし、砂の温度θの増加に対する樹脂の反応速度定数ｋｄ２の減少傾向は、砂の温度θの増加に対する樹脂の反応速度定数

ｋｄ１の減少傾向に比べて小さい。

[0069] また、上記実験結果から、Ａｉおよびαｉを同定した結果、Ａ１＝－０．００４、α１＝０．０４５、Ａ２＝０．００５、α２＝－０．０１７であった。

[0070] 以上の結果から、上述した式（１）および（２）を用いることで、粘結剤としての樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔｉ）［ｗｔ％］（ｉ＝１、２）を予測できることが判明した。

[0071]（実施例２）

次に、上述した樹脂の反応率を評価する試験のために準備したものと同一の造型条件パラメータで成型したφ３０×６０ｍｍの試験体を用いて圧縮試験を行なった。すなわち、砂の温度θがそれぞれ５、１０、２０、３０℃の場合に、各温度θに対して、時間ｔ１、時間ｔ２を変化させ３水準の樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔｉ）となる試験体をそれぞれ複数造型し、これらの試験体を用いて圧縮試験を行ない、平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）［ＭＰａ］を求めた。その実験結果をそれぞれ図７～図１０に示す。

[0072] 図７は樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を示す図であり（砂の温度θ＝５℃）、◇印は上記実験結果、実線は下記式（３）で予測した平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）である。

[数21]

$$\sigma_c(\theta,t)=\{\tanh(\beta\cdot\Delta C(\theta,t_1))+\gamma\}+\{\tanh(\varepsilon(\theta)\cdot\Delta C(\theta,t_2)-\eta)\} \quad \cdots(3)$$

ここで、

β,γ,η :材料パラメータ、 ε :温度θによって決まる定数

[0073] 図８は樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を示す図であり（砂の温度θ＝１０℃）、■印は上記実験結果、実線は上記式（３）で予測した平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）である。

[0074] 図９は樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を示す図であり（砂の温度θ＝２０℃）、▲印は上記実験結果、実線は上記式（３）で予測した平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）である。

[0075] 図１０は樹脂の反応量ΔＣ（θ，ｔ）と平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）の関係を示す図であり（砂の温度θ＝３０℃）、×印は上記実験結果、実線は上記式（３）で予測した平均常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）である。

[0076] また、上記実験結果から、材料パラメータ（定数）であるβ、γ、ηを同定した結果、β＝０．２５、γ＝１．０、η＝４．８であった。

[0077] また、下記式（１２）で表されるεは、砂の温度θとともに変化する定数であり、右辺の定数ａおよびbは、ａ＝－０．０１６１、ｂ＝０．６２２２であった。

[数22]

$$\varepsilon(\theta) = a\theta + b \qquad \cdots(12)$$

[0078] 以上の結果から、上述した式（３）を用いることで、上記試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）を算出することが可能であるとともに、同造型条件パラメータの下で鋳型を造型した場合の鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）に、前記算出した試験体の常温圧縮強度σ（θ，ｔ）を適用すれば、予め前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を予測しておくことが可能であることが判明した。

[0079] （実施例３）

次に、上述した手法により、予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から前記鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出（鋳型の常温圧縮強度抽出工程）しておくための鋳型造型装置を図１１に示す。

[0080] 図１１は鋳型造型装置の構成を示す模式正面断面図である。図１１において、１０は支柱、１１はモータ、１２はモータ１１を支柱１０に固定するための固定具、１３はモータ１１を駆動するためのインバータ、１４はインバータが接続された電源、１５は回転テーブル、１６はモータ１１を回転テーブル１５に取り付けるための連結具、１７は回転テーブル１５の上に取り付けられた円筒形の木枠、１８は釣り合い装置、２０は釣り合い装置１８に連

結されるとともに、スクロールチャック１９が取り付けられた軸保持具、２１はスクロールチャック１９に取り付けられた軸２２が取り付けられたねじれ形状を有する原型、２３は原型２１を設置した木枠１７内に充填された、本実施例１に記載したものと同様なフラン自硬性砂である。

[0081] 上述した同造型条件パラメータの下（すなわち、上記フラン自硬性砂２３を構成する砂の温度θと時間ｔ１を変化させ）、前記時間ｔ１が経過直後に、釣り合い装置１８で釣り合いを確保しながら、原型２１をその軸２２回りに回転させながら抜型し、鋳型を造型した。このようにして造型した鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）（すなわち、予め予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ））と鋳型の出来具合の関係を図１２に示す。

[0082] 図１２において、造型した鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）が０．５［ＭＰａ］を下回る場合は、鋳型の一部もしくは大部分に欠けや割れが発生し造型が不可能であった。また、造型した鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）が２．２［ＭＰａ］を上回る場合は、鋳型から原型を抜型することが不可能であった。これらに対して、造型した鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）が、０．５［ＭＰａ］～２．２［ＭＰａ］の範囲（すなわち、図１２の右側の縦軸に示す常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）が、０．５［ＭＰａ］≦σｃｅ（θ，ｔ）［ＭＰａ］≦２．２［ＭＰａ］）である場合は、健全な（鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な）鋳型造型が可能であった。

[0083] 上述したように、予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から前記鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出しておくことが可能であることが判明した。

[0084] したがって、実際の鋳型を造型する場合は、上記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で抽出した常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足する上記造型条件パラメータとしての時間ｔ１が経過直後に抜型する構成を採用すればよい。このようにすることにより、実際の鋳型を造型する場合に、造型条件が変化した場合でも、その都度、実験を行うことなく、鋳型の損傷がなく造型可能であり

、かつ、抜型可能になる。

[0085] 以上、本発明の実施形態を説明したが、具体例を例示したに過ぎず、特に本発明を限定するものではなく、具体的構成などは、適宜設計変更可能である。また、発明の実施の形態に記載された、作用及び効果は、本発明から生じる最も好適な作用及び効果を列挙したに過ぎず、本発明による作用及び効果は、本発明の実施の形態に記載されたものに限定されるものではない。

[0086] 本出願は、２０１６年９月７日出願の日本特許出願（特願２０１６－１７４８６３）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0087] 本発明は、実際の鋳型を造型する場合に、造型条件が変化した場合でも、その都度、実験を行うことなく、鋳型の損傷がなく造型可能にする。

符号の説明

[0088] １　造型用金型

２　割型Ａ

３　割型Ｂ

２ａ、３ａ　漏斗状半口部

２ｂ、３ｂ　半円柱状の空洞部

２ｃ　貫通孔

３ｃ　メネジ部

１０　支柱

１１　モータ

１２　固定具

１３　インバータ

１４　電源

１５　回転テーブル

１６　連結具

１７　円筒形の木枠

１８　釣り合い装置

１９　スクロールチャック

２０　軸保持具

２１　原型

２２　軸

２３　フラン自硬性砂

請求の範囲

[請求項1] 原型を設置した枠内に、砂と粘結剤と硬化促進剤とを混練してなる自硬性砂を充填し、前記自硬性砂が硬化した後に前記原型を引抜いて抜型し、前記原型の形状が前記硬化した自硬性砂に転写されることで鋳型を造型する鋳型造型方法において、

前記自硬性砂を用いて試験体を造型する際の造型条件パラメータとして、混練する前の前記砂の温度θ［℃］、前記混練の終了後から硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点までの時間ｔ１［ｍｉｎ］、および硬化した自硬性砂の中から原型が存在しなくなった時点の直後から前記試験体を圧縮試験する直前までの時間ｔ２［ｍｉｎ］を用い、前記粘結剤の反応量ΔＣ（θ，ｔｉ）［ｗｔ％］（ｉ＝１、２）を下記式（１）および式（２）に基づいて算出する粘結剤の反応量算出工程と、

前記粘結剤の反応量算出工程で算出した反応量ΔＣ（θ，ｔ１）およびΔＣ（θ，ｔ２）を下記式（３）に代入し、前記試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）［ＭＰａ］を算出する試験体の常温圧縮強度算出工程と、

前記自硬性砂を用い、前記造型条件パラメータの下で鋳型を造型した場合の前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）に、前記試験体の常温圧縮強度算出工程で算出した前記試験体の常温圧縮強度σｃ（θ，ｔ）を適用して、予め前記鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）を予測しておく鋳型の常温圧縮強度予測工程と、

前記予測しておいた鋳型の常温圧縮強度σｃａ（θ，ｔ）の中から前記鋳型の損傷がなく造型可能であり、かつ、抜型可能な常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を予め実験で抽出しておく鋳型の常温圧縮強度抽出工程と、

を有し、

実際の鋳型を造型する場合は、前記鋳型の常温圧縮強度抽出工程で

抽出した前記常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）を満足する前記造型条件パラメータとしての前記時間ｔ1が経過した直後に抜型することを特徴とする鋳型造型方法。

[数23]

$$\Delta C(\theta, t_i) = \Delta C_{sat} \cdot \{1 - \exp(-k_{di} t_i)\} \quad \cdots(1)$$

ここで、

ΔC_{sat} ： 粘結剤の飽和反応量[wt%]

k_{di}（ｉ＝１、２）：粘結剤の反応速度定数[１／min]

[数24]

$$k_{di} = A_i \exp(\alpha_i \theta) \quad \cdots(2)$$

ここで、

A_i（ｉ＝１、２）、α_i（ｉ＝１、２）：用いる粘結剤の種類に依存したパラメータ

[数25]

$$\sigma_c(\theta, t) = \{\tanh(\beta \cdot \Delta C(\theta, t_1)) + \gamma\} + \{\tanh(\varepsilon(\theta) \cdot \Delta C(\theta, t_2) - \eta)\} \quad \cdots(3)$$

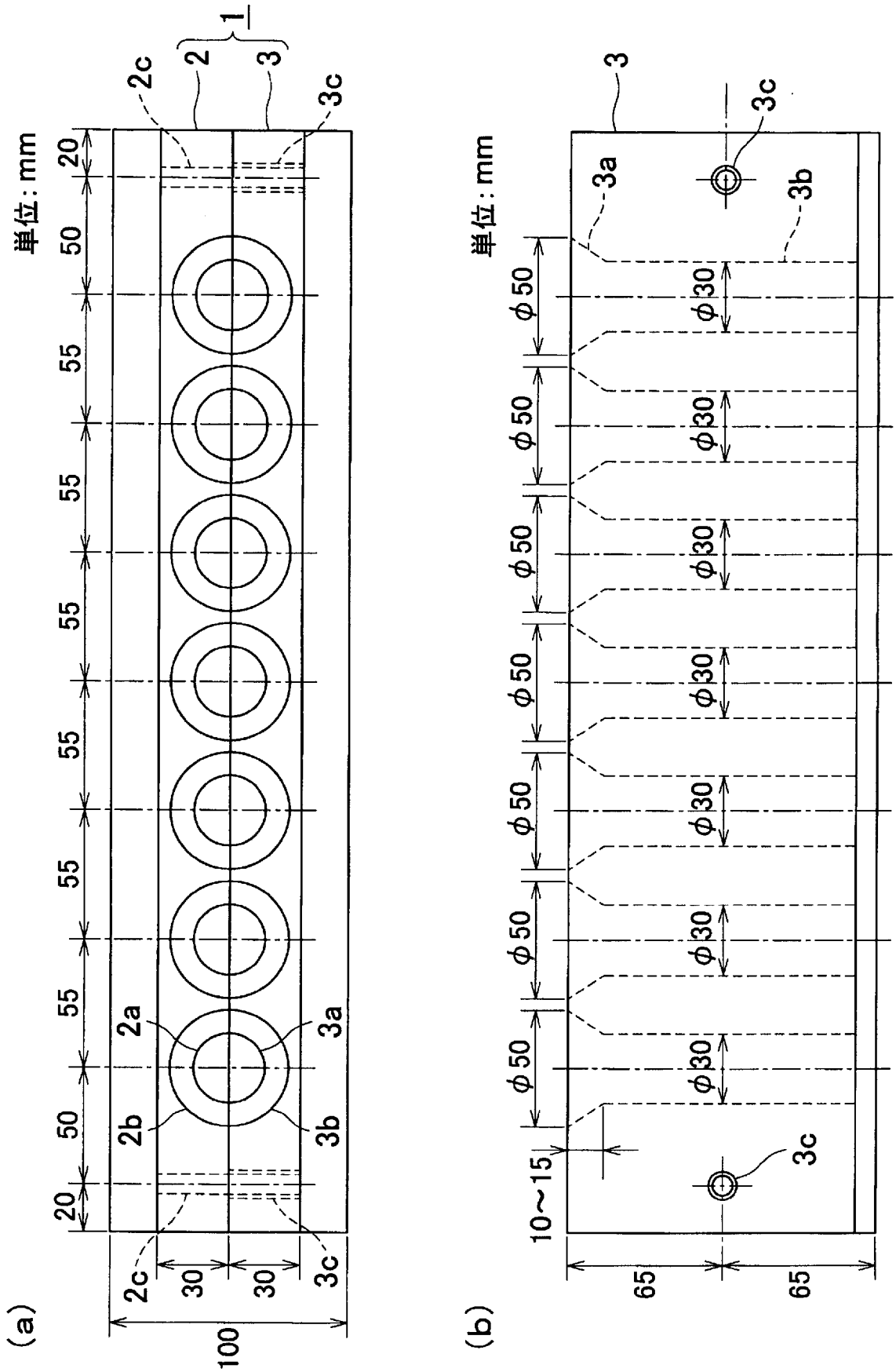
ここで、

β、γ、η :材料パラメータ、 ε :温度θによって決まる定数

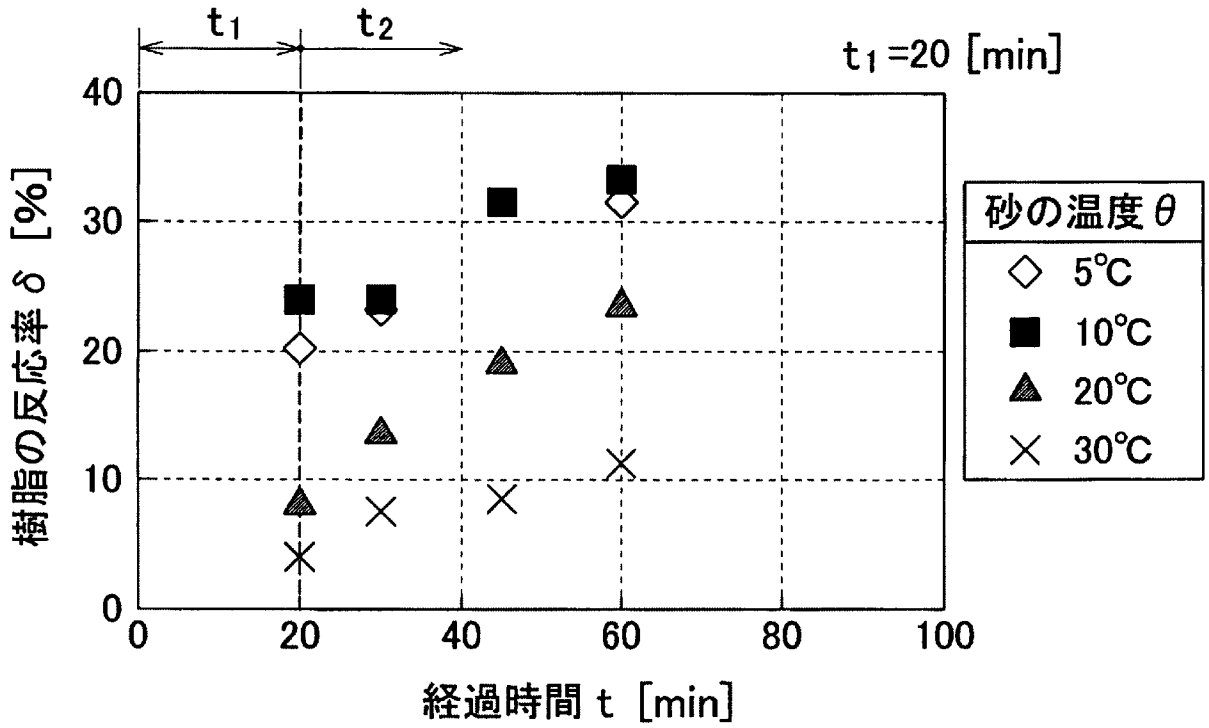
[請求項2] 前記常温圧縮強度σｃｅ（θ，ｔ）は、０．５［ＭＰａ］≦σｃｅ（θ，ｔ）［ＭＰａ］≦２．２［ＭＰａ］であることを特徴とする請求項１に記載の鋳型造型方法。

[請求項3] 前記砂の温度θは、５～３０℃であることを特徴とする請求項１または２に記載の鋳型造型方法。

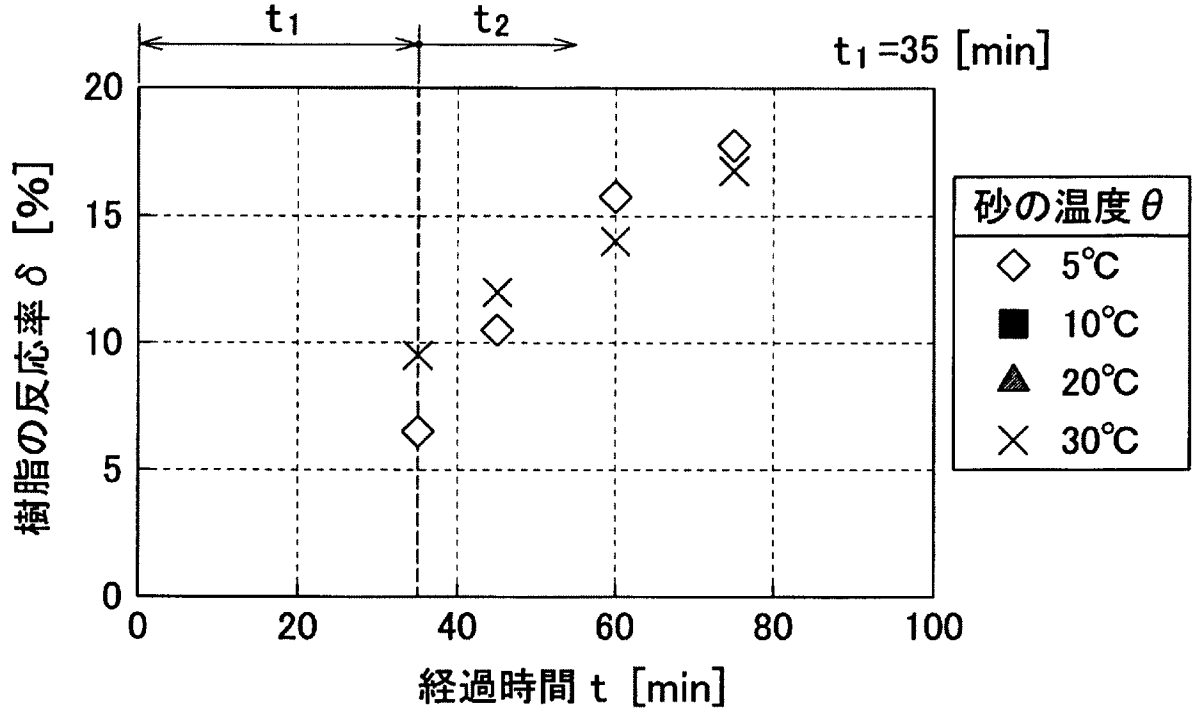
[図1]


(a)
単位：mm
1
2
3
2c
3c
2a
3a
2b
3b
20
50
55
55
55
55
55
55
50
20
30
30
100
(b)
単位：mm
3
3a
3b
3c
φ50
φ30
10～15
65
65

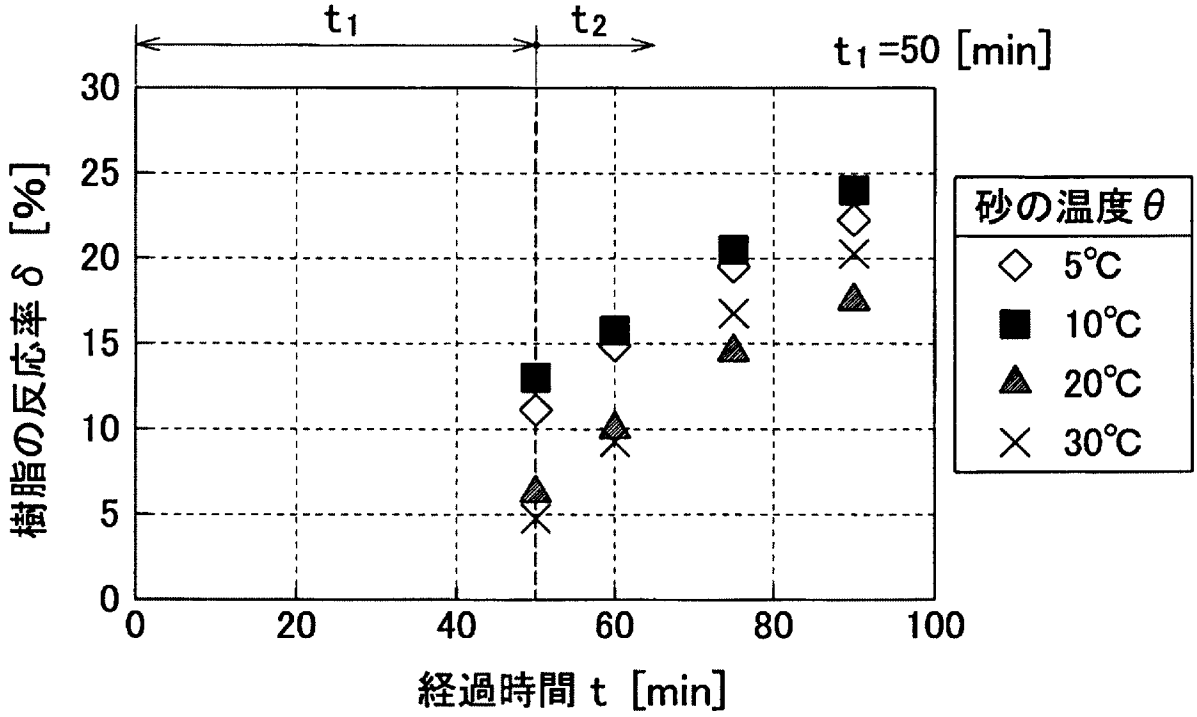
[図2]


t1
t2
t1 =20 [min]
樹脂の反応率 δ [%]
経過時間 t [min]
砂の温度 θ
5℃
10℃
20℃
30℃

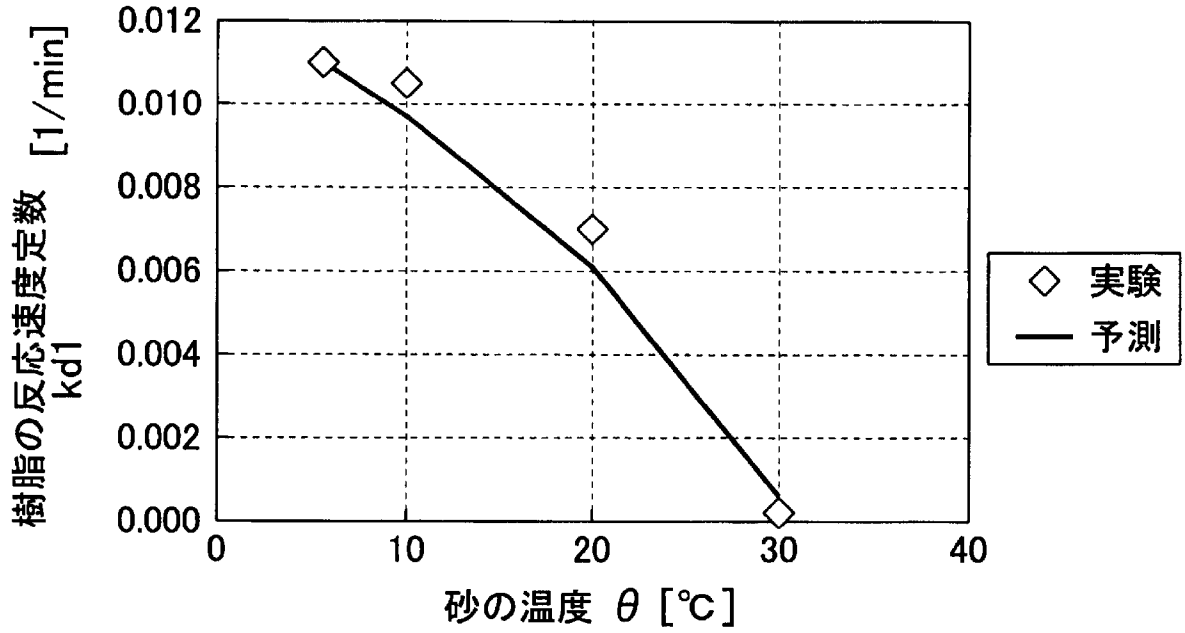
[図3]


t1
t2
t1 =35 [min]
樹脂の反応率 δ [%]
経過時間 t [min]
砂の温度 θ
5℃
10℃
20℃
30℃

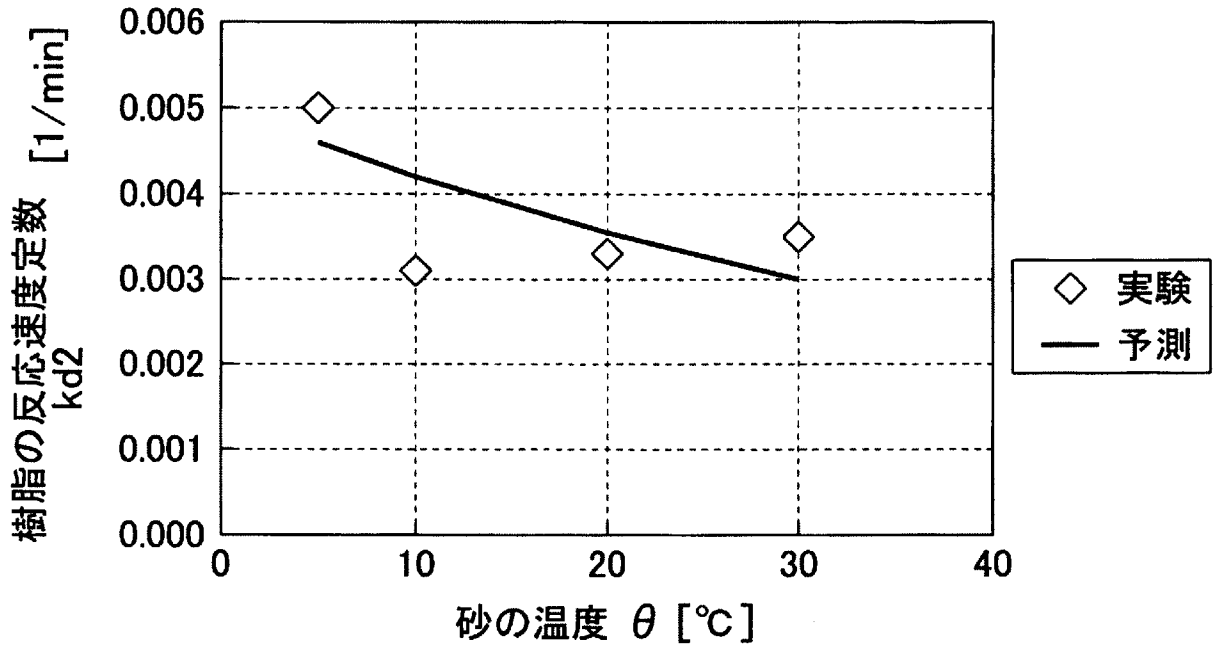
[図4]


t1
t2
t1 =50 [min]
樹脂の反応率 δ [%]
30
25
20
15
10
5
0
0
20
40
60
80
100
経過時間 t [min]
砂の温度 θ
5℃
10℃
20℃
30℃

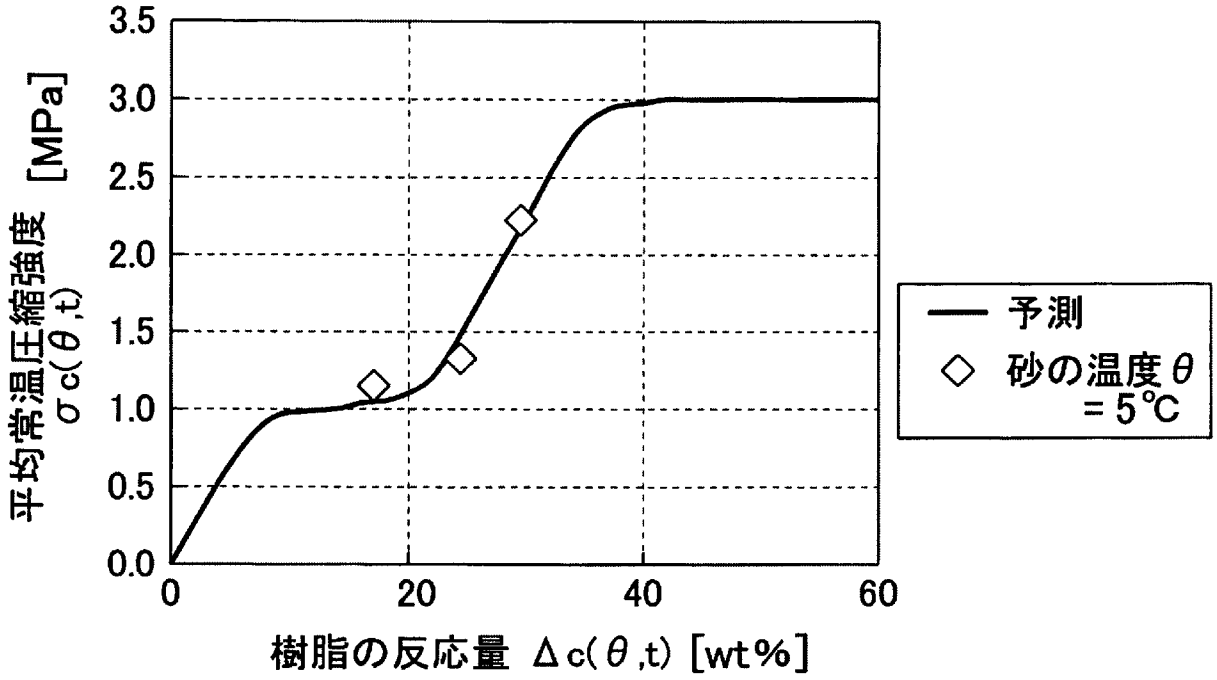
[図5]


樹脂の反応速度定数 kd1 [1/min]
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0.000
0
10
20
30
40
砂の温度 θ [℃]
実験
予測

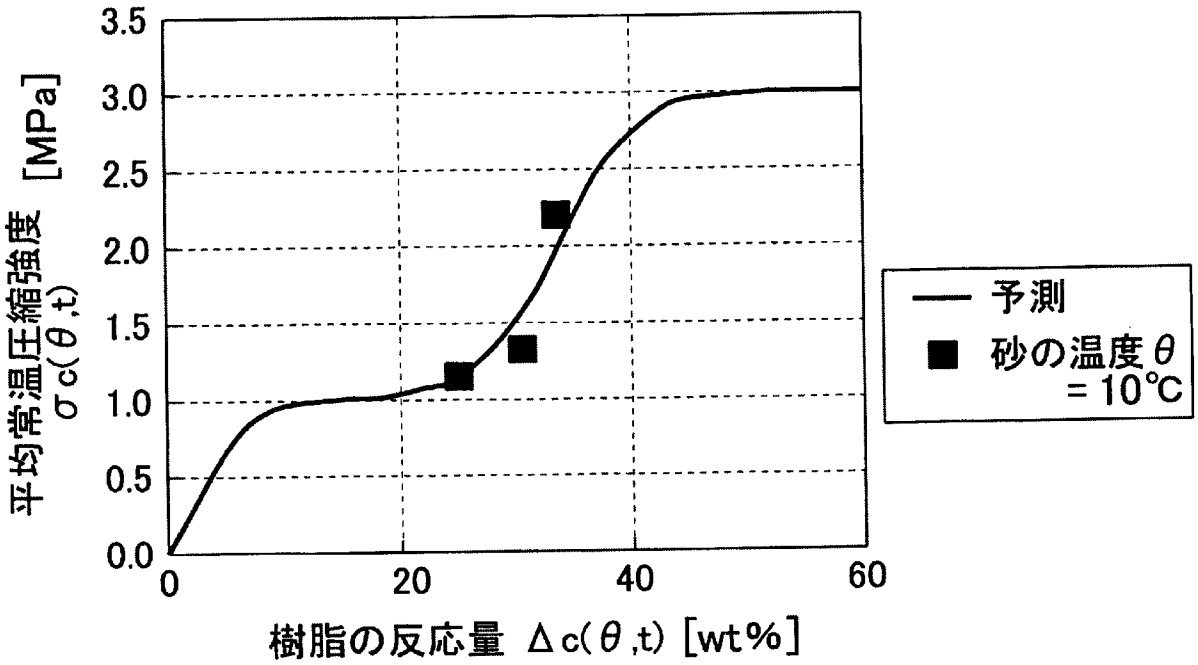
[図6]


樹脂の反応速度定数 kd2 [1/min]
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0.000
0
10
20
30
40
砂の温度 θ [℃]
実験
予測

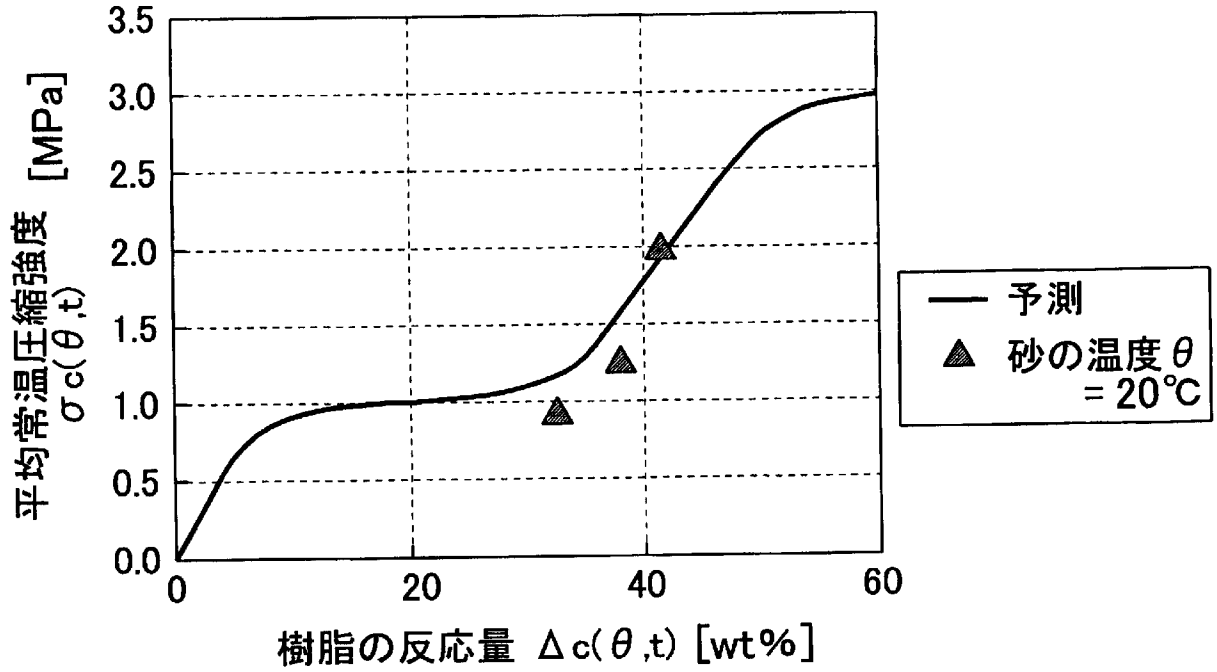
[図7]


平均常温圧縮強度 σc(θ,t) [MPa]
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
20
40
60
樹脂の反応量 Δc(θ,t) [wt%]
予測
砂の温度θ
=5℃

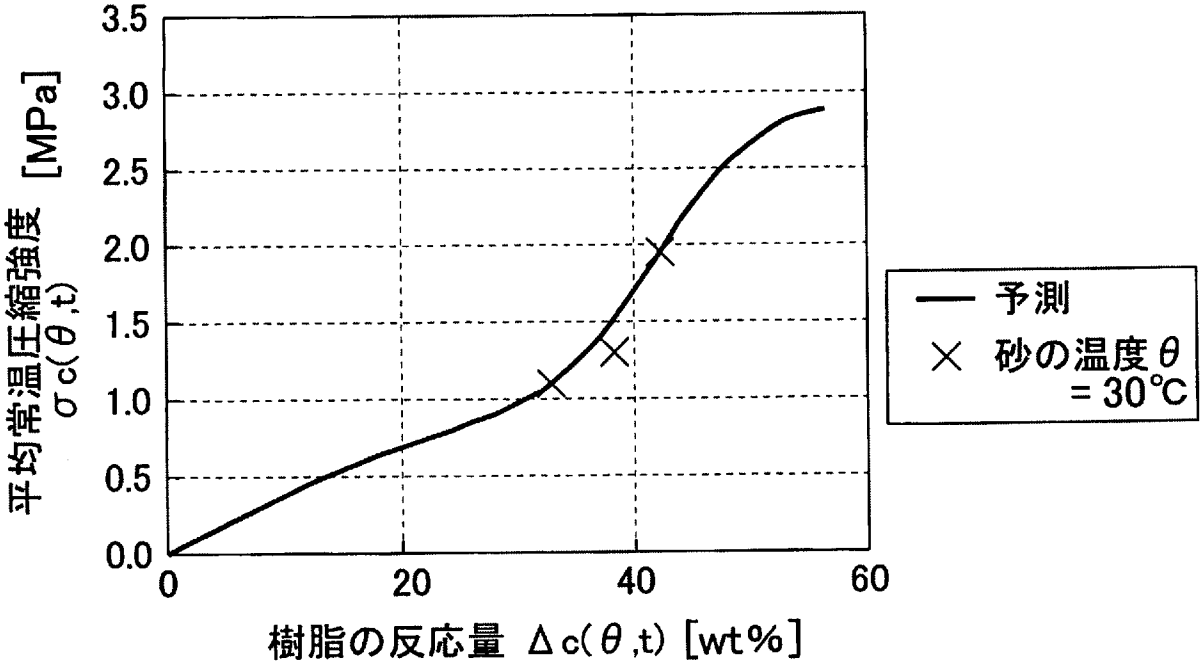
[図8]


平均常温圧縮強度 [MPa]
σc(θ,t)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
20
40
60
樹脂の反応量 Δc(θ,t) [wt%]
予測
砂の温度θ
=10℃

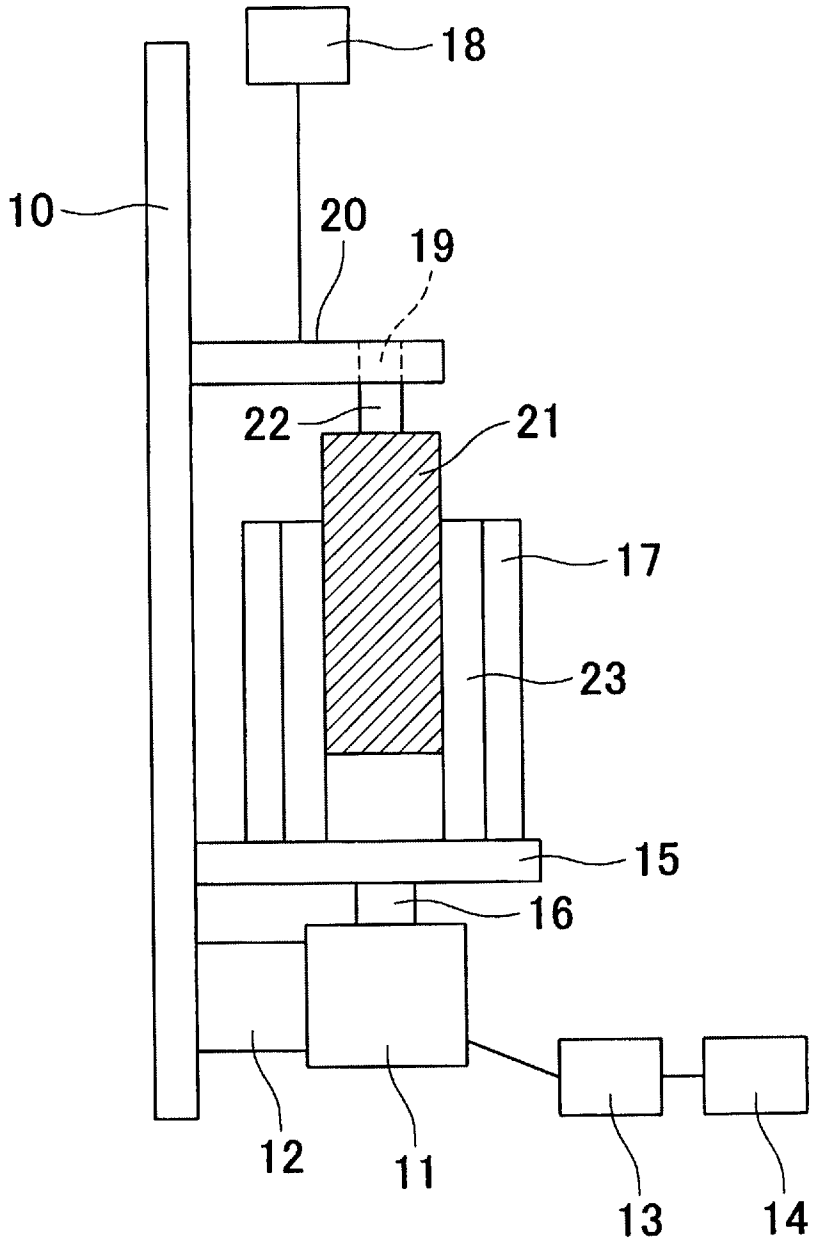
[図9]


平均常温圧縮強度 [MPa]
σc(θ,t)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
20
40
60
樹脂の反応量 Δc(θ,t) [wt%]
予測
砂の温度θ
=20℃

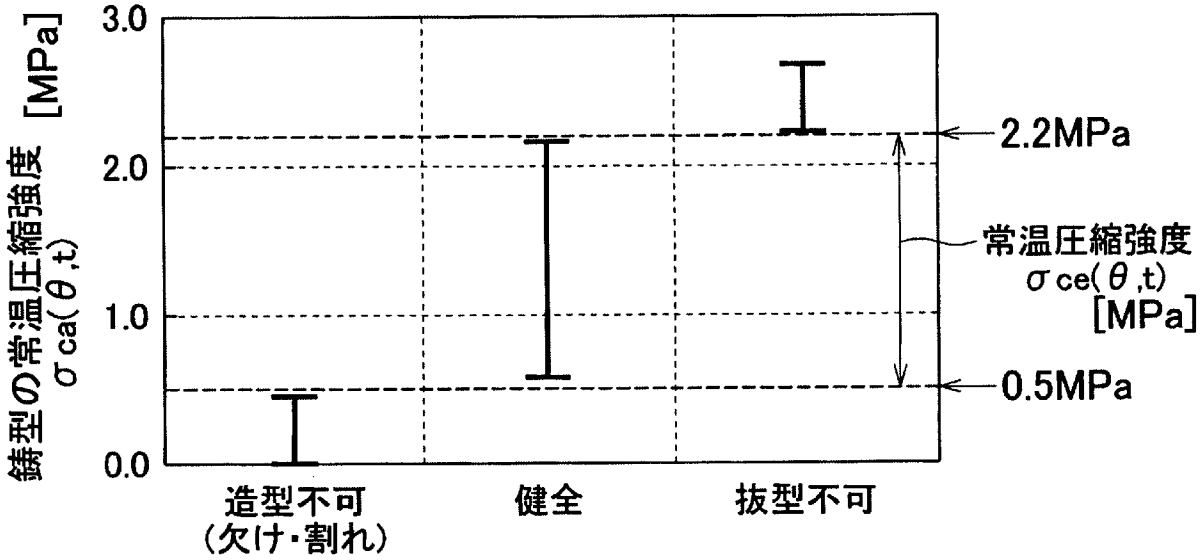
[図10]


平均常温圧縮強度 [MPa]
σc(θ,t)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
20
40
60
樹脂の反応量 Δc(θ,t) [wt%]
予測
砂の温度θ
= 30℃

[図11]



[図12]


鋳型の常温圧縮強度 σca(θ,t) [MPa]
3.0
2.0
1.0
0.0
2.2MPa
常温圧縮強度 σce(θ,t) [MPa]
0.5MPa
造型不可 (欠け・割れ)
健全
抜型不可

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/031602

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B22C9/02(2006.01)i, *B22C1/22*(2006.01)i, *B22C9/00*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B22C9/02, B22C1/22, B22C9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2009-285729 A (Kao Corp.), 10 December 2009 (10.12.2009), claims; examples & EP 2272603 A1 claims; Experiment Test & US 2011/0100578 A1 & WO 2009/133959 A1 & KR 10-2011-0006667 A & CN 102015152 A	1-3
X	JP 2011-224592 A (Kao Corp.), 10 November 2011 (10.11.2011), claims; paragraphs [0049] to [0055] (Family: none)	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
06 October 2017 (06.10.17)	24 October 2017 (24.10.17)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/031602

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2012-148340 A (Kao Corp.), 09 August 2012 (09.08.2012), claims; paragraphs [0048] to [0064] & WO 2012/090940 A1 & CN 103237614 A & KR 10-2013-0087598 A	1-3
X	WO 2011/115258 A1 (Kao Corp.), 22 September 2011 (22.09.2011), claims; examples & EP 2548674 A1 claims; examples & JP 2011-212746 A & US 2013/0008625 A1 & CN 102802833 A & KR 10-2012-0128689 A	1-3
A	JP 2002-316299 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 29 October 2002 (29.10.2002), (Family: none)	1-3

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０３１６０２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B22C9/02(2006.01)i, B22C1/22(2006.01)i, B22C9/00(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B22C9/02, B22C1/22, B22C9/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2009-285729 A（花王株式会社）2009.12.10, 特許請求の範囲，実施例 & EP 2272603 A1, Claims, Experiment Test & US 2011/0100578 A1 & WO 2009/133959 A1 & KR 10-2011-0006667 A & CN 102015152 A	１－３
X	JP 2011-224592 A（花王株式会社）2011.11.10, 特許請求の範囲，【００４９】－【００５５】（ファミリーなし）	１－３

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ０６．１０．２０１７	国際調査報告の発送日 ２４．１０．２０１７
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｅ　９７３６ 荒　木　　英　則 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４２５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2012-148340 A（花王株式会社）2012.08.09, 特許請求の範囲,【００４８】－【００６４】 & WO 2012/090940 A1 & CN 103237614 A & KR 10-2013-0087598 A	１－３
X	WO 2011/115258 A1（花王株式会社）2011.09.22, 請求の範囲，実施例 & EP 2548674 A1, Claims, EXAMPLES & JP 2011-212746 A & US 2013/0008625 A1 & CN 102802833 A & KR 10-2012-0128689 A	１－３
A	JP 2002-316299 A（日産自動車株式会社）2002.10.29 （ファミリーなし）	１－３