

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18159

研究課題名(和文)塗膜系防水の適切な膜厚確保に向けた施工条件の最適解マトリックスの構築

研究課題名(英文) Appropriate combination of viscosity and application tool to ensure appropriate film thickness and good workability of fluid-applied polyurethane waterproofing membrane

研究代表者

石原 沙織 (ISHIHARA, Saori)

千葉工業大学・創造工学部・准教授

研究者番号：00589046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ウレタン塗膜防水において最も重要である、適切な膜厚を確保するための条件を、施工のしやすさも加味しながら提案することを目的としたものである。
施工段階の様々な要因が膜厚と施工性に影響を及ぼすと考えられるが、本研究では防水材の粘度と施工工具を取り上げ、屋上を想定し平場(平らな部分)は40通り、立上り(垂直な部分)は18通りの施工実験を行い、施工中に実施した官能検査より施工性が良く、且つ完成後に膜厚測定より適切な膜厚が確保できる粘度と施工工具の組み合わせを示した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, fluid-applied polyurethane membranes have been widely used in waterproofing repairs. The most important quality is thickness. Several factors can influence the accuracy and variability of thickness, including the state of a concrete substrate, liquid polyurethane viscosity, application tool, and so on.
The purpose of this study is to examine the effects of liquid polyurethane viscosity and the application tool on thickness and workability for ensuring the appropriate thickness with good workability.
The experiments were carried out by dividing into flat part and vertical part. The flat part was 40 ways, and the vertical part was carried out in 18 ways. Thickness was measured at 50mm intervals, and the workability under each condition was evaluated by sensory tests using the method of successive categories. As a result, it was clarified that the combination of viscosity and application tool which can secure appropriate film thickness with good workability is very limited.

研究分野：建築材料

キーワード：建築材料 ウレタン塗膜防水 耐久性 膜厚 施工性 粘度 施工工具 官能検査

1. 研究開始当初の背景

建築物の屋根等に施工される主要な防水材料として、近年では塗膜系防水がシート系防水と並び広く使用されている。塗膜系防水は液状の防水材料を現場で塗布し、それが硬化することで防水層を形成するものであるが、複雑な形状の下地にも塗布できるため、改修にも適している。今後は既存建築物の大規模改修等の増加が見込まれており、更に需要が増加することが予測される。このようなメリットがある一方で、シート系のような形のある材料ではないため、硬化後に適切な膜厚が確保されていない事による不具合が発生している。

日本建築学会標準工事仕様書・同解説 JASS8 防水工事には、平均膜厚として平場（水平面部分）は 3mm、立上り（垂直面部分）は 2mm 施工する様記載されている。しかしこれまでの筆者らによる膜厚の実態調査では、一部には目標膜厚の半分に満たないものや、部位によっては限りなく 0mm に近いものが見つかった。このような不適切な膜厚の場合、膜厚が薄い部分では劣化が進行し、早期に防水材料が破断し漏水を引き起こしてしまう。すなわち塗膜系防水の場合、適切且つ均一な膜厚を確保することが必要不可欠である。しかし適切な膜厚を確保するための具体的な指標はなく、職人毎の経験に基づく手法で施工されているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、塗膜系防水で最も重要な適切な膜厚を確保するための施工条件を、施工のしやすさも加味しながら提案することを目的とした。

塗膜系防水は、前述の通り現場で液状の材料を塗り、それが硬化することで防水層を形成するため、施工段階における材料（防水材料の硬さ等）、施工（使用する施工工具、工法、技能水準等）、環境（下地の状態、天候及び気温等）の様々な因子が複合的に作用し、完成後の膜厚に影響を及ぼす。本研究では、これらの因子の中から、特に膜厚に大きな影響を及ぼすと考えられる、防水材料の粘度と施工工具を取り上げ、適切な膜厚を確保しやすい防水材料の粘度と施工工具の組み合わせを提示する事を目的とした。また、適切な膜厚を確保しやすい条件であっても、施工し難いものは現実的ではない。そこで、施工時に官能検査を行い、施工のしやすさも加味しながら検討する事とした。

3. 研究の方法

(1) 全体を通した実験概要

本研究は平場と立上りを分け、それぞれにおいて防水材料の粘度と施工工具を変数とし各組み合わせで実験を行った。実験では実際の施工現場の一部を模した試験面を作製し、日常的に施工業を行っている一級防水施工技能士に施工を行ってもらった。完成後の膜厚は

平場は渦電流式膜厚計を、立上りは針入式膜厚計を用いて測定した。

また、併せて施工性の官能検査を系列範疇法で行った。質問項目は防水材料の硬さ、体の疲労の 2 項目とし、防水材料の硬さは 7 水準、体の疲労は 4 水準の判断範疇を準備し、施工者に判断を求めた。

(2) 平場の実験概要

対象とした粘度

事前の予備試験において、施工可能な粘度の範囲内を明らかにし、本研究では 1.5, 3, 5, 7, 9, 11, 15, 18, 20, 25Pa・s の 10 水準の粘度を対象とした。所定の粘度とするために必要な希釈剤をウレタン塗膜防水材料に混入し、材料の攪拌後、回転式粘度計で測定された粘度が、所定の粘度となった時点で施工を開始した。

使用した施工工具

写真 1 に示す施工現場でよく使用されている 4 種類の施工工具を対象とした。具体的には、平角金ごて（幅 86mm 長さ 270mm 厚み 5mm）、レーキ（厚さ 3mm 長さ 600mm、幅 92mm のプラスチック板の片側に幅 10mm 高さ 4mm の波目を入れたものに柄を取り付けたもの）、片櫛金ごて（平角金ごての片側に幅 10mm 高さ 5mm の櫛目を入れたもの）及びローラー（6 インチ毛丈 12mm のウールローラー）である。

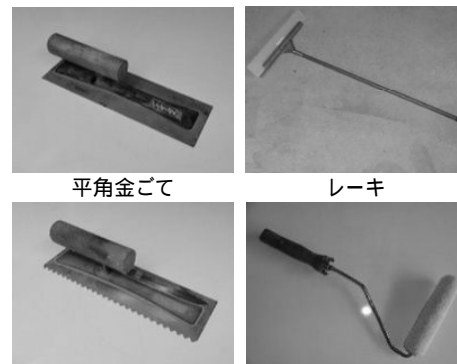


写真1 平場の試験に使用した施工工具

施工方法

施工面にプライマーを塗布し、その上に自着式補強布を敷設した。その上に前述の各粘度と各施工工具の組み合わせで、目標膜厚 1.5mm で 1 層目を施工し、翌日硬化を確認後に目標膜厚 1.5mm で 2 層目を施工した。即ち全体の目標膜厚は 3.0mm である。尚、施工の際には目標膜厚より算出した規定量の防水材料を施工者に渡し、それを全て使い切るように施工をしてもらった。

施工面及び膜厚測定箇所

施工面は図 1 に示す幅 1500mm 長さ 1850mm 面積約 2.8 m²とし、下地は改修工事を想定し、ウレタン塗膜防水が予め施工されている面とした。施工面には 1/50 の勾配が付与されており、図 1 に示す膜厚測定箇所、勾配方向に 50mm 間隔で測定した。即ち、

1区画当たりの膜厚測定点数は185点である。

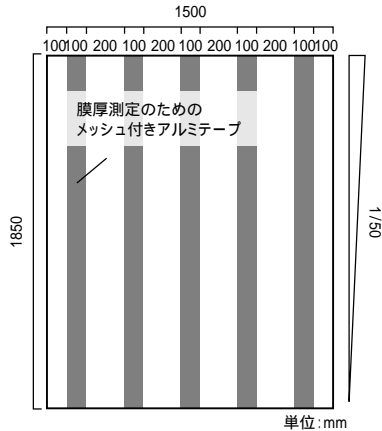


図1 1区画当たりの試験面と膜厚測定部分

(3) 立上りの実験概要

対象とした粘度

立上りでは2, 4, 8, 17, 28, 59Pa・sの6水準とし、所定の粘度とするために必要な希釈剤をウレタン塗膜防水材料に混入し、材料の攪拌後、回転式粘度計で測定された粘度が、所定の粘度となった時点で施工を開始した。尚59Pa・sは防水材料を20分静置することで、所定の粘度となるようにした。

使用した施工具

写真2に示す施工現場でよく使用されている3種類の施工具を対象とした。具体的には、ローラー(幅153mm)、ゴムべら(幅125mm)、ポリエチレンべら(幅230mm)である。



ローラー ゴムべら ポリエチレンべら

写真2 立上りの試験に使用した施工具

施工方法

施工面にプライマーを塗布し、その上に補強布を目標厚さ0.3mmで貼り付けた。その上に前述の各粘度と各施工具の組み合わせで、目標膜厚0.7mmで1層目を施工し、翌日硬化を確認後に目標膜厚1.0mmで2層目を施工した。即ち全体の目標膜厚は2.0mmである。尚、施工の際には施工者の判断で目標膜厚と思われる量の防水材料を塗布してもらった。

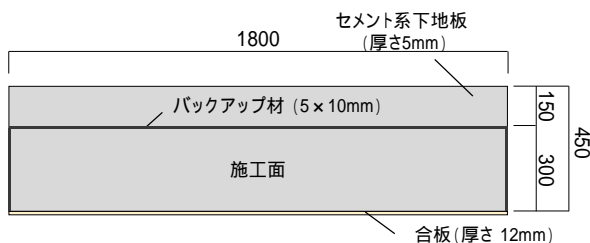


図2 試験下地

施工面及び膜厚測定箇所

実際の立上り部の施工状況を踏まえ、本研究では図2に示す高さ300mm幅1800mm面積0.54m²を施工面とした。施工面は厚さ5mmのセメント系下地を用いた。尚、施工面の外周部には幅10mm高さ5mmのバックアップ材を貼り付け、施工面にのみ施工されるようにした。膜厚は施工面全体に渡り50mm間隔で測定を行った。即ち1試験体当たりの膜厚測定点数は175点である。

4. 研究成果

(1) 平場の実験結果

膜厚の測定結果

膜厚の測定結果を図3に示す。いずれの施工具も粘度が低過ぎる場合は、平均膜厚及び最小膜厚が薄くなる傾向が見られた。また、施工具毎の特徴として、平角金ごてとローラーは全体的に膜厚のばらつきが大きくなるが、レーキと片櫛金ごての様に、波目や櫛目のある施工具の場合、全体的に膜厚のばらつきが小さくなる傾向が見られた。

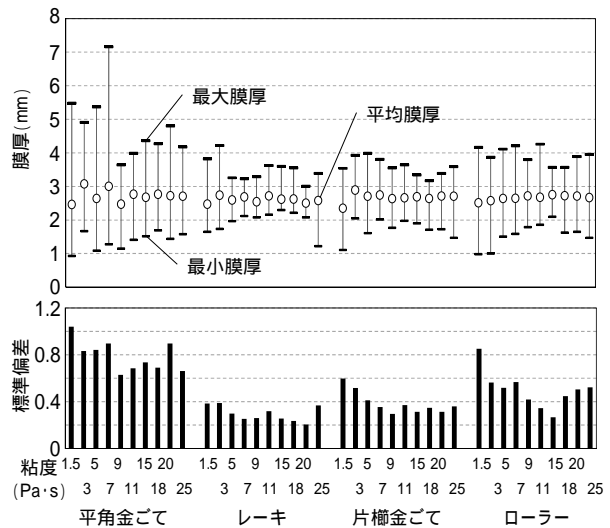


図3 平場の最大、最小、平均膜厚及び標準偏差

施工性の官能検査結果

官能検査結果を図4に示す。いずれの施工具でも粘度の増加と共に硬いと感じていた。「かなり硬い」と感じ始める粘度は、ローラーが最も低かった。また、レーキを用いた場合、1層目と2層目の差が他の施工具と比べ大きくなった。これは1層目は補強布の上に施工しているが、2層目は硬化したウレタン防水材料の上に施工しており、レーキの場合は柄が長いため、施工面の影響をより感じ取りやすかったためだと考えられる。

体の疲労も硬さ同様、いずれの施工具でも粘度の増加と共に疲れを感じていた。「かなり疲れた」と感じ始める粘度は、ローラーが最も低く、レーキが最も高かった。すなわち、レーキは比較的広い粘度域でさほど疲れを感じずに施工ができる施工具であると言える。更に硬さ同様、1層目と2層目の差はレーキが最も大きくなった。この理由も前述の通り、柄が長いため施工面の影響を増幅し

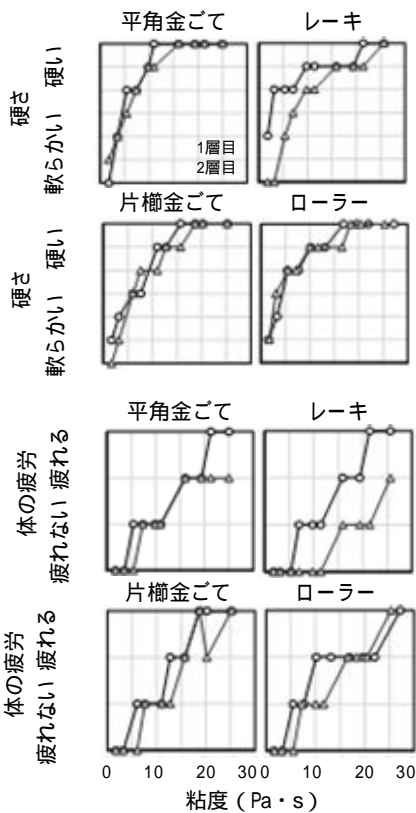


図4 平場の官能検査結果

て感じ取っていたためだと考えられる。

適切な粘度と施工工具の組み合わせ

実務では、施工性が良く且つ適切に膜厚を確保できる事が望まれる。そこで以上の試験結果より、施工性を加味した適切な膜厚確保のための粘度と施工工具の組み合わせについて検討した。

施工性は本研究では体の疲労とし、図4の結果の「全く疲れていない」、「やや疲れた」までの範囲の場合、実務で無理なく施工が行えると考えた。また膜厚については、平均膜厚と最小膜厚の観点より、適切な膜厚が確保されているか否かを判断した。

適切な膜厚が確保され、且つ体の疲労も比較的少ない粘度について、施工工具ごとに整理したものを図5に示す。

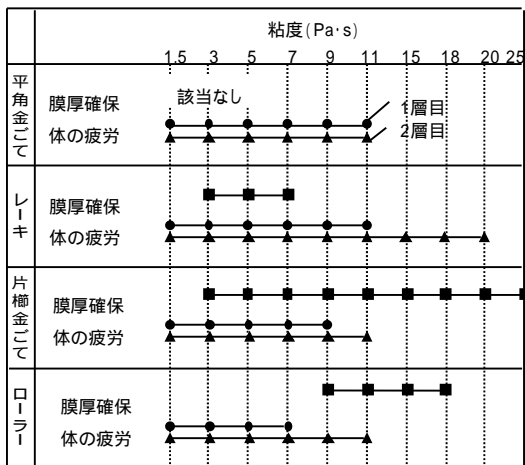


図5 平場における施工性を加味した適切な膜厚確保のための施工工具と粘度の組み合わせ

平角金ごては、粘度に係らず最小膜厚が薄いものが多い、適切な膜厚を確保できる粘度は該当がなかったが、レーキでは3~7Pa·s、片楯金ごては3~11Pa·sの範囲で膜厚の面からも施工性の面からも望ましい組み合わせである事が明らかとなった。またローラーは9~11Pa·sと比較的高い粘度範囲でのみ望ましい施工工具であり、粘度が低い防水材を用いた施工は適切な膜厚が確保できず、危険である事が明らかとなった。

(2) 立上りの実験結果

膜厚の測定結果

膜厚の測定結果を図6に示す。平場と同様に、いずれの施工工具も粘度が低い場合は、平均膜厚及び最小膜厚が薄くなる傾向が見られた。一方で、ばらつきは粘度が高くなるに従い大きくなる傾向が見られた。

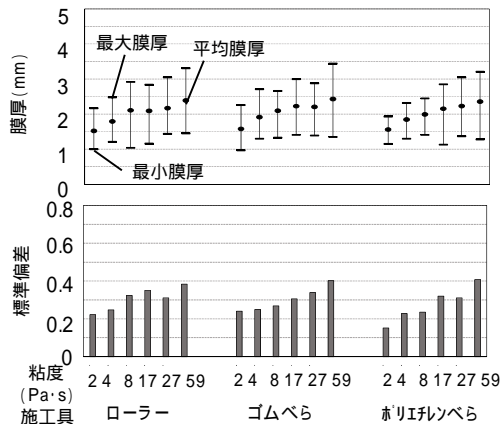


図6 立上りの最大、最小、平均膜厚及び標準偏差

施工性の官能検査結果

官能検査結果を図7に示す。粘度が高くなるに従い防水材が硬いと感じ、体の疲労を感じやすくなった。硬さに関する感覚の施工工具による差はごく僅かであり、施工工具よりも粘度の影響が卓越していると言える。一方で、体の疲労に関する施工工具による差は、1層目では見られなかったが、2層目では見られ、8Pa·sではゴムべらでは疲れを感じにくく、17Pa·sではローラーとポリエチレンべらでは疲れを感じにくい。また、20Pa·sを超えるとゴムべらとポリエチレンべらでは「非

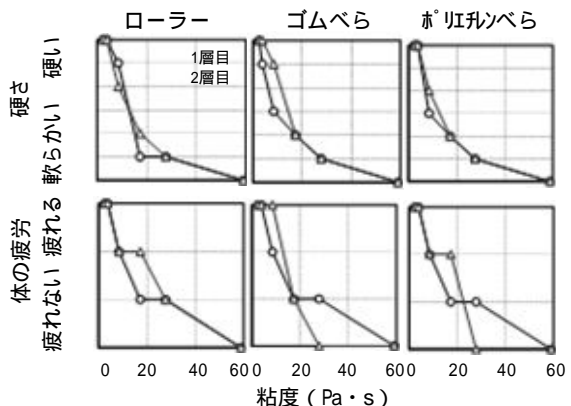


図7 立上りの官能検査結果

常に「疲れる」と感じるのに対し、ローラーではその一段階前の疲労感覚となっていた。

適切な粘度と施工工具の組み合わせ

平場と同様に適切な膜厚が確保され、且つ体の疲労も比較的少ない粘度について、施工工具ごとに整理したものを図8に示す。

いずれの施工工具でも、1層目では8Pa・s以下の粘度では体の疲労を感じにくいと判断されていたが、適切な膜厚が確保されると判断されたのは、ゴムべらの8Pa・sとポリエチレンべらの8Pa・sのみであった。すなわち、体の疲労を感じずに適切な膜厚を確保できるのは非常に限定的な粘度と施工工具の組み合わせである事が明らかとなった。

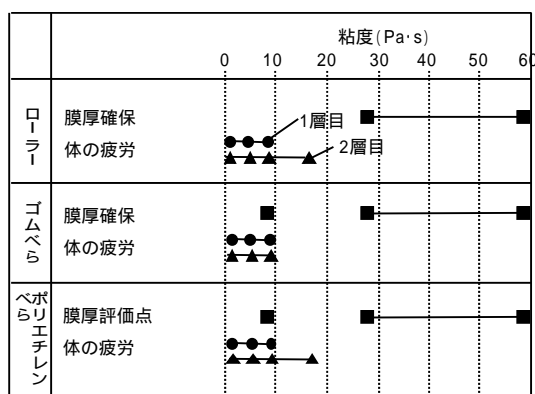


図8 立上りにおける施工性を加味した適切な膜厚確保のための施工工具と粘度の組み合わせ

(3)まとめ

これまでウレタン塗膜防水材の施工は、現場での判断や職人毎のやり方に依存している部分があり、場合によっては適切な膜厚が確保できていない事もあった。今回の一連の研究では、防水材の粘度と施工工具を取り上げ、それらが膜厚と施工性に及ぼす影響を明らかにした。その結果、適切な膜厚を確保でき、且つ施工性が良い粘度と施工工具の組み合わせは、平場も立上りも限定的である事が明らかとなった。

尚本研究では、本研究成果報告書に記載できなかった実験結果も多数あるため、5. 主な発表論文等を参照されたい。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 15 件)

- (1) ウレタンゴム系塗膜防水層施工における施工工具に掛かる荷重と施工性：梅本康裕, 石原沙織; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.803-804, 2017.8
- (2) ウレタンゴム系塗膜防水層の立上り部表面の仕上りに及ぼす粘度と施工工具の影響：三浦大和, 梅本康裕, 石原沙織; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.805-806, 2017.8
- (3) Effects of Viscosity and Application

Tool on Thickness and Workability of Fluid-Applied Polyurethane Waterproofing Membranes on a Parapet : Saori Ishihara and Kyoji Tanaka; ngs of International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST 2017), pp.116-124, 2017.5

- (4) ウレタン塗膜系防水層の立上り部表面の仕上りに及ぼす粘度と施工工具の影響：梅本康裕, 石原沙織; 2016年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.93-96, 2017.2
- (5) 屋上立上り部におけるウレタン塗膜防水層の粘度と施工工具が膜厚と施工のしやすさに及ぼす影響：石原沙織, 田中享二; 日本建築工学会大会学術講演会研究発表論文集, pp.125-128, 2016.10
- (6) ウレタン塗膜防水層の立上り部における施工工程種別が施工時間と膜厚に及ぼす影響：梅本康裕, 石原沙織; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.733-734, 2016.8
- (7) 立上り部におけるウレタン塗膜防水の膜厚に及ぼす粘度と施工工具の影響：石原沙織, 梅本康裕, 田中享二; 第五回韓中日防水シンポジウム論文集, pp.94-98, 2015.10
- (8) 屋上平場部を対象としたウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性 その1 試験概要：鶴田裕, 石原沙織, 梅本康裕, 林幸一, 奈良圭一, 西村岳志, 田中享二; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.717-718, 2015.8
- (9) 屋上平場部を対象としたウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性 その2 粘度, 施工工具, 施工技能が膜厚に及ぼす影響：工藤健, 石原沙織, 梅本康裕, 林幸一, 奈良圭一, 西村岳志, 鶴田裕, 田中享二; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.719-720, 2015.8
- (10) 屋上平場部を対象としたウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性 その3 粘度, 施工工具, 施工技能が施工性に及ぼす影響：林幸一, 石原沙織, 梅本康裕, 奈良圭一, 西村岳志, 鶴田裕, 田中享二; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.721-722, 2015.8
- (11) 屋上立上り部を対象としたウレタン塗膜防水層の施工可能粘度域：梅本康裕, 石原沙織, 林幸一, 奈良圭一, 西村岳志, 鶴田裕, 田中享二; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.723-724, 2015.8
- (12) 立上り部におけるウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性 その1 試験概要：奈良圭一, 石原沙織, 梅本康裕, 藤原康洋, 西村岳志, 鶴田裕, 田中享

- 二；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.725-726，2015.8
- (13) 立上り部におけるウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性 その2 粘度と施工工具と施工技能が膜厚に及ぼす影響：西村岳志，石原沙織，梅本康裕，藤原康洋，奈良圭一，鶴田裕，田中享二；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.727-728，2015.8
- (14) 立上り部におけるウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性 その3 粘度と施工工具と施工技能が施工性に及ぼす影響：藤原康洋，石原沙織，梅本康裕，奈良圭一，西村岳志，鶴田裕，田中享二；日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.729-730，2015.8
- (15) 粘度と施工工具と施工技能が屋上平場部のウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性に及ぼす影響：梅本康裕，石原沙織；Proceedings of 12th Japan/Korea Joint symposium on Building Materials & Construction，pp.227-232，2015.7

6．研究組織

(1)研究代表者

石原沙織 (ISHIHARA, Saori)
千葉工業大学・創造工学部・准教授
研究者番号：00589046