

千葉工業大学

博士学位論文

ウレタンゴム系塗膜防水層膜厚確保のための
プロセス管理に関する研究

2021年3月

法身 祐治

論文要旨

本論文は、『ウレタンゴム系塗膜防水層膜厚確保のためのプロセス管理に関する研究』と題し、ウレタンゴム系塗膜防水工法における現状の課題を整理し、工学的視点から見たばらつきの少ない実用的な膜厚管理方法を提案することを目的とした研究である。

全6章から構成されており、各章の概要は以下のようになっている。

第1章「序論」では、研究の背景、及び、ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚管理の必要性を施工品質管理の観点から示し、研究目的を述べている。

第2章「ウレタンゴム系塗膜防水膜厚測定方法の検討と実態調査」では、コンクリート平板で作製した試験体を用いて各膜厚測定方法の作業性や精度を比較し、その適用性について整理している。同時に、膜厚試料採取方法を検討し、内径10mmのポンチ切り取り法の適用が可能であることを提案している。また、集合住宅、学校等の新築・改修物件（184件）で、平場・立上り部の膜厚実態調査を行っている。その結果、各膜厚測定方法は、防水仕様や構成によって正確に測定できるものとできないものがあり、塗布量管理だけでは不十分な防水層が作られる危険性があることを示した。

第3章「平場部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討」では、ウレタンゴム系塗膜防水施工時の最適な区割り方法について検討している。平場部施工時の区割り方法が膜厚に与える効果を把握するため、作業観察および施工実験を行っている。その結果、ウレタンゴム系塗膜防水の塗布は、下地に材料を撒く作業と塗り広げる作業で構成されており、膜厚のばらつきを低減するためには、塗布量管理に加え事前に区割りを明示し、区画幅、区画長さのバランスが重要であることを明らかにした。

第4章「立上り部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討」では、施工工具と粘度について検討している。立上り部施工時にこれらが膜厚に与える効果を把握するため、平場部と同様に作業観察および施工実験を行っている。

その結果、実務では下地に防水材料を配る作業と塗り広げる作業を明確に分けており、施工工具を作業によって使い分けていることを明らかにした。そして、立上り部の膜厚のばらつきを低減するためには無希釈の防水材料を用いて補強布を敷設し、配り作業にローラー、仕上げ作業にポリベラを使用することが有効であることを示した。

第5章「プロセス管理を用いた膜厚管理の提案とその導入効果」では、第2～4章までの検討結果をもとに、施工工程における膜厚管理の考え方とその要点を整理し、プロセス管理

を用いたウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚管理方法を提案している。安定した膜厚を確保するためには、各工事プロセスにおける施工の積み重ねが極めて重要であり、実務ではプロセス管理を用いた膜厚管理が有用であることを示した。

第6章「結論」では、各章で得られた研究成果を要約し、本論文の結論を総括して述べている。

Abstract

Studies on Process Management to Ensure Thickness of Polyurethane Waterproof Membrane Layer

Polyurethane waterproofing membrane is a technique that forms a waterproof layer by coating the base of the construction site with waterproof material. The waterproof membrane layer must have sufficient resistivity and durability against the movement of the base. The thickness of membrane is also of utmost importance. This study was conducted to clarify the problems faced by existing waterproofing methods for thickness of polyurethane waterproofing membrane and presenting construction-based methods for controlling the thickness of the coating.

This study was initiated by verifying the accuracy of the coating thickness assessment. A field survey was then conducted on the coating thickness distribution of the test pieces assembled from concrete slabs at an actual construction site. As a result, it was shown that depending on the construction or composition method, the thickness of the coating may or may not be measured accurately. At this stage, the risk of failing to create a sufficient waterproofing layer was found to be inherent when relying entirely on current practices for controlling coating volumes.

Further, a study was conducted during construction to investigate the coating thickness of the polyurethane waterproofing membrane in order to minimize variability in thickness measurements.

Regarding the coating thickness at the time of construction, the standard specifications of the Architectural Institute of Japan only stipulate that “to secure coating thickness, construct with coating volume allocated for each set of waterproofing materials.” The lack of detailed instructions on this issue indicates that the partition allocation is left to the discretion of the constructor and the need for detailed construction management methods.

The above issues justify the observation and testing of waterproofing work on thickness of polyurethane waterproofing membrane during construction. Therefore, the present study revealed that the work involved in dispersing and spreading waterproofing material is done separately on flat surfaces.

In addition to controlling the amount of coating to create a uniform waterproof layer, it is necessary to predetermine the allocation and find the right balance between the allocated width and length. In addition, this research revealed the efficacy of using undiluted waterproofing material when laying reinforcing fabrics on vertical surfaces, rollers for distribution work, and polyethylene spatulas for finishing.

When working to ensure a stable coating thickness, such insights show a significant property of overlapping construction processes during installation. In addition to controlling the amount of coating in practice, the findings also support the effectiveness of monitoring the coating thickness using process control methods.

目 次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	
1.2 ウレタンゴム系塗膜防水工法の概要	
1.3 標準仕様書の膜厚管理	
1.4 研究の目的	
1.5 本研究の構成	
1.6 既往の研究	
第2章 ウレタンゴム系塗膜防水膜厚測定方法の検討と実態調査	13
2.1 はじめに	
2.2 膜厚測定方法に関する検討	
2.2.1 ウレタンゴム系塗膜防水層の構成	
2.2.2 膜厚測定方法の分類	
2.2.3 切り取り式測定法の改良	
2.3 膜厚測定方法とその精度を調べるための実験	
2.3.1 実験概要	
2.3.2 膜厚測定方法と順序	
2.3.3 膜厚測定結果と考察	
2.3.4 各膜厚測方法の適用性	
2.4 ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚実態調査	
2.4.1 実建物の膜厚調査概要	
2.4.2 微破壊・非破壊検査と破壊検査の精度	
2.4.3 平場・立上り部の膜厚測定結果と考察	
2.5 まとめ	

第3章 平場部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討

29

- 3.1 はじめに
- 3.2 ウレタンゴム系塗膜防水平場部の作業内容と区割りの検討
 - 3.2.1 実験概要
 - 3.2.2 実験結果と考察
- 3.3 ウレタンゴム系塗膜防水平場部の膜厚に与える施工要因
- 3.4 撒き作業の検討
 - 3.4.1 実験概要
 - 3.4.2 実験結果と考察
- 3.5 広げ作業の検討
 - 3.5.1 実験概要
 - 3.5.2 実験結果と考察
- 3.6 膜厚確保の視点からみた最適区画
- 3.7 平場部膜厚確保のための好ましい施工条件
- 3.8 まとめ

第4章 立上り部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討

51

- 4.1 はじめに
- 4.2 立上り部施工時の作業内容と補強布の効果を確認するための実験
 - 4.2.1 実験概要
 - 4.2.2 実験結果と考察
- 4.3 ウレタンゴム系塗膜防水立上り部の膜厚に与える施工要因
- 4.4 配り作業を検討するための実験
 - 4.4.1 実験概要
 - 4.4.2 実験結果と考察
- 4.5 配り作業時の施工具と粘度の検討
 - 4.5.1 実験概要
 - 4.5.2 実験結果と考察
- 4.6 膜厚確保の視点からみた粘度の影響
- 4.7 立上り部膜厚確保のための好ましい施工条件
- 4.8 まとめ

第5章	プロセス管理を用いた膜厚管理の提案とその導入効果	71
5.1	はじめに	
5.2	ウレタンゴム系塗膜防水工法のリスク対策	
5.3	プロセス管理を用いた膜厚管理の提案	
5.3.1	プロセス管理の考え方	
5.3.2	施工による膜厚のばらつきの概念	
5.4	プロセス管理を用いた膜厚管理の施工手順	
5.4.1	プロセス管理を用いた膜厚管理の進め方	
5.4.2	膜厚重点管理項目	
5.5	プロセス管理を用いた膜厚管理の検証と導入効果	
5.5.1	プロセス管理の検証実験概要	
5.5.2	プロセス管理の検証実験結果と考察	
5.5.3	実物件における導入検証概要	
5.5.4	実物件における導入検証結果と考察	
5.5.5	防水材料の使用量	
5.6	まとめ	
第6章	結論	93
■	参考文献	95
■	研究に関連して著者が発表した論文	99
■	添付資料	103
	ウレタンゴム系塗膜防水材の膜厚測定マニュアル	
	ウレタンゴム系塗膜防水における施工管理に関するアンケート調査結果	
■	謝辞	124

第 1 章

序論

第1章 序論

1.1 研究の背景

ウレタンゴム系塗膜防水は、施工現場で下地に液状材料を塗布し、その硬化により防水層を形成するものである。その特徴を表1.1⁽¹⁾に示す。この工法は作業性がよく、防水末端の雨仕舞や複雑な形状でも施工が容易で、連続一体化した防水層が形成できる。また、改修時期を迎えても塗り重ねが可能なため、既存の防水材料の撤去も不要となり廃材が少ないという利点がある。

この防水層は、現場で防水材料を下地に塗布して作り上げるため、実務では膜厚の管理が最も重要な品質管理項目となる。膜厚は、下地ムーブメントに対する抵抗性や防水層の耐久性に直結するからである。ただその塗布作業は、下地の状態、施工時の環境、作業者の技能等の影響を受けるため、結果として膜厚が不均一になりやすい。

日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説JASS8防水工事⁽²⁾や公共建築工事標準仕様書⁽³⁾⁽⁴⁾では、所定の厚さの均一な防水層を作るため、単位面積あたりの総使用量で膜厚を管理することになっている。これは合理的な考え方であるが、施工後の膜厚を確認することができないため、部分的に膜厚の薄い防水層が存在する危険性があることも指摘されている。この問題は、ウレタンゴム系塗膜防水工法が一般に受け入れられてから懸念されていたことであるが、いまだに解決されていない。その背景には、単位面積あたりの使用量で記述されている、現在の仕様書そのものにも原因があると思われる。

ウレタンゴム系塗膜防水の施工品質は、単位面積あたりの使用量を満足している防水層ではなく、所定の膜厚が確保されている防水層でなければならない。近年は、建物細部までしっかりと品質管理を求められる時代であり、防水性能を確保する上で膜厚は、重要な品質管理項目となる。しかし、施工の過程における実用的な膜厚管理方法に関する検討は、これまで行われていない。そのため、現状では厚さにばらつきの多い防水層であるといわれている。

表 1.1 ウレタンゴム系塗膜防水の特徴

【メリット】	【デメリット】
<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業性が良く、継ぎ目の無い防水層 ・ コストが安価で軽量 ・ 新築時から改修まで、塗り重ねが可能 ・ 膜厚を自由に設定 ・ 複雑な下地形状でも、施工が可能 ・ 工事騒音が少ない ・ 用途や施工方法、耐久性等種類も多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天候に左右されやすい ・ 防水層の劣化 ・ 膜厚が不安定

1.2 ウレタンゴム系塗膜防水工法の概要

ウレタンゴム系塗膜防水は、1976年にJIS A 6021「屋根防水用塗膜材」⁽⁵⁾、1981年に日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説JASS 8 防水工事4節に「塗膜防水工事」が制定されている。改修工事を中心に年々増加傾向であり、2019年の防水工法別施工実績（図1.1）では全体の33%を占め、堅調に推移している。

現在のウレタンゴム系塗膜防水仕様は、2011年のJIS A 6021の改正により、高伸長形（旧1類）と高強度形（新設）の2区分となっている。防水工法の種別を表1.2に示す。

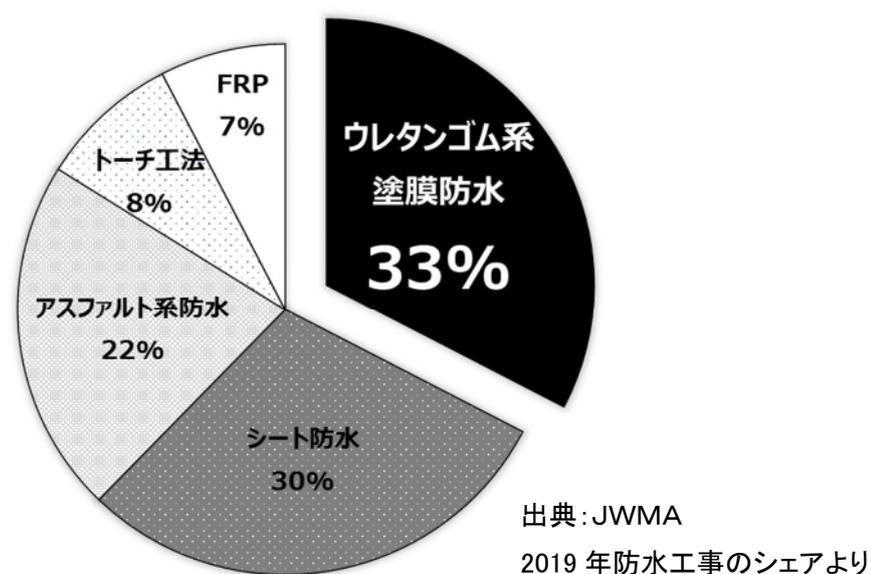


図 1.1 防水工法別施工実績

表 1.2 ウレタンゴム系塗膜防水工法種別

仕様	屋根用ウレタンゴム系塗膜防水材料 (JIS A 6021 : 2011)	
	高伸長形 (旧 1 類)	高強度形
密着仕様	L-UFS	L-UFH
絶縁仕様	L-USS	L-USH

公的機関のウレタンゴム系塗膜防水仕様の変遷を、表1.3に示す。初期の防水層は密着仕様で、建物の重要度と使用部位で塗布回数と厚さが決定され、概ね2.0mmであった。その後、複合防水工法（防水機能付き脱気シート）絶縁仕様が開発されている。

「防水層の厚さ」の管理方法については、1981年に発刊された日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説JASS 8 改定第2版で、使用量表示（kg/m²）と塗膜厚さ（mm）表示が検討されている。その際、施工中段階では厚さチェックが難しいことから、使用量表示が採用された。ウレタンゴム系塗膜防水層は厚くすることが望ましいが、経済性の観点から、総使用量平場3.0 kg/m² 平均3.0mm、立上り2.0 kg/m² 平均2.0mm（硬化物密度1.0Mg/m³）が標準となり、現在に至っている。

表 1.3 ウレタンゴム系塗膜防水材：公的仕様の変遷

年	日本建築学会 JASS8	国土交通省(建設省) 公共建築工事共通仕様書	JIS A 6021
1965年			ウレタンゴム系塗膜防水使用開始
1969年			材質・施工上の問題点指摘
1972年	第1版 アスファルト防水のみ		
1976年			屋根防水用塗膜材制定
1978年			通気緩衝工法使用開始
1981年	改訂 第2版 塗膜防水材が新規追加 L-PU2 使用量 3.8kg/m ² 平均比重1.2		
1986年	改訂 第3版 密着仕様と緩衝仕様追記 L-UF 平場 使用量 3.5kg/m ² (約3.0mm平均)		
1989年		ウレタンゴム系塗膜防水仕様が新規追加	
1993年	改訂 第4版 立上り仕様変更 L-UF 立上り 使用量 2.5kg/m ² (約2.0mm平均)		
1997年		硬化物比重換算追記	
2000年	改訂 第5版 硬化物比重換算追記		建築用塗膜防水材に名称変更
2001年		塗膜防水材 立上り平均2.0mmに改定	
2008年	改訂 第6版 総使用量表示導入		
2014年	改訂 第7版 高強度型仕様追記		

(1) 密着仕様

ウレタンゴム系塗膜防水工法・密着仕様の構成と工程を図1.2、表1.4に示す。施工工程は、平場部、立上り部ともに、プライマー塗布、補強布張付け、ウレタンゴム系防水材2回塗り、仕上塗料塗りである。膜厚は、平場で平均3.0mm、立上りで平均2.0mmが一般的である。

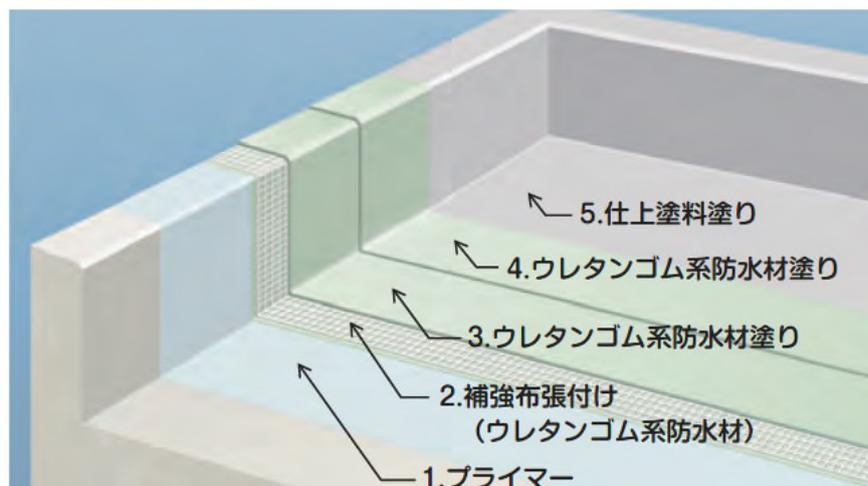


図 1.2 ウレタンゴム系塗膜防水工法・密着仕様

表 1.4 ウレタンゴム系塗膜防水工法・密着仕様の工程

部位 工程	平場(RC・PCa下地) (勾配 1/50~1/20)	立上り(RC下地)	
工程-1	プライマー塗り[0.2kg/m ²]	プライマー塗り[0.2kg/m ²]	
工程-2	補強布張付け (ウレタンゴム系高伸長形防水材)	[3.0kg/m ²]	補強布張付け (ウレタンゴム系高伸長形防水材)
工程-3	ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り		ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り
工程-4	ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り		ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り
保護・ 仕上げ 工程	軽歩行用仕上塗料	仕上塗料 (平場と同一材料とする)	
工程-1	軽歩行用仕上塗料塗り [0.2kg/m ²]	仕上塗料塗り [平場と同一使用量とする]	

[RC：現場打ち鉄筋コンクリート，PCa：プレキャスト鉄筋コンクリート部材]

(2) 絶縁仕様

ウレタン系塗膜防水工法・絶縁仕様の構成工程を図1.3、表1.5に示す。平場部の施工工程は、通気緩衝シートを張り付けた上に、ウレタンゴム系塗膜防水材2回塗り、仕上塗料塗りで、立上り部は密着仕様と同様である。膜厚は、平場部で平均3.0mm、立上り部で平均2.0mmが一般的である。

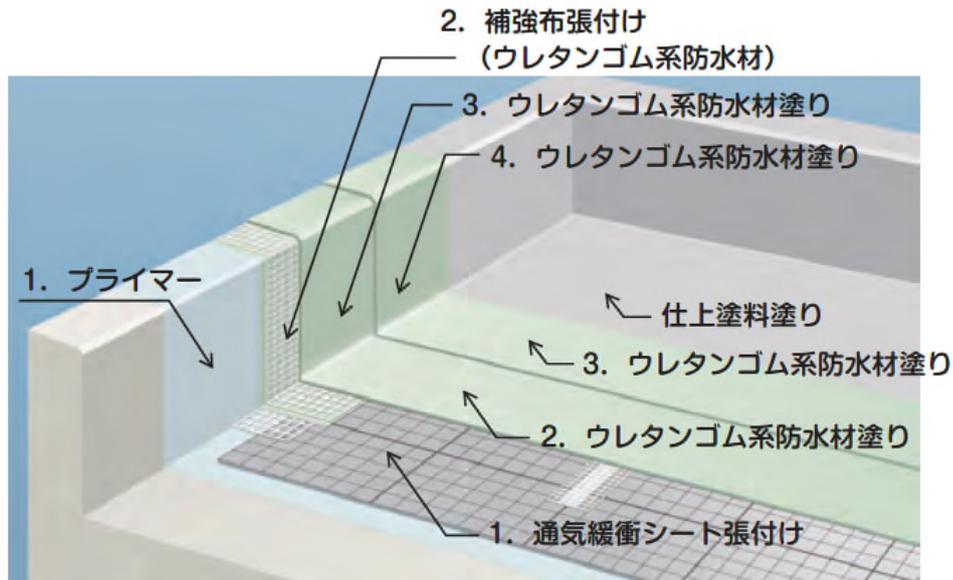


図 1.3 ウレタンゴム系塗膜防水工法・絶縁仕様

表 1.5 ウレタンゴム系塗膜防水工法・絶縁仕様の工程

部位 工程	平場(RC・PCa・ALC下地) (勾配 1/50~1/20)	立上り(RC下地)	
工程-1	通気緩衝シート張付け	プライマー塗り[0.2kg/m ²]	
工程-2	ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り	[3.0kg/m ²]	補強布張付け (ウレタンゴム系高伸長形防水材)
工程-3	ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り		ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り
工程-4	-	ウレタンゴム系 高伸長形防水材塗り	
保護・ 仕上げ 工程	軽歩行用仕上塗料	仕上塗料 (平場と同一材料とする)	
工程-1	軽歩行用仕上塗料塗り [0.2kg/m ²]	仕上塗料塗り [平場と同一使用量とする]	

[RC：現場打ち鉄筋コンクリート, PCa：プレキャスト鉄筋コンクリート部材, ALC：ALCパネル]

1.3 標準仕様書の膜厚管理

日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説JASS8防水工事や国土交通省の標準仕様書（改修仕様書を含む）では、硬化物密度で換算された防水材の使用量で目標膜厚を算出する塗布量管理になっている。

防水材の使用量は、硬化物密度が1.0Mg/m³（メガグラム／立方メートル）の場合の単位面積あたりの質量（kg/m²）で表す。それ以外の硬化物密度（Mg/m³）の場合は、それを換算して使用量を決める必要がある。一般的に市販されている防水材は、硬化物密度（Mg/m³）が1.0～1.6 と分散しており、それを換算して使用量を算出する。

使用量の算出式を以下に示す。

$$\text{(平場)} \quad \text{使用量 (kg/m}^2\text{)} = 3.0 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times \frac{\text{硬化物密度 (Mg/m}^3\text{)}}{1.0 \text{ (Mg/m}^3\text{)}}$$

$$\text{(立上り)} \quad \text{使用量 (kg/m}^2\text{)} = 2.0 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times \frac{\text{硬化物密度 (Mg/m}^3\text{)}}{1.0 \text{ (Mg/m}^3\text{)}}$$

硬化物密度が異なる場合のウレタンゴム系塗膜防水材の使用量例を、表1.6に示す。

表 1.6 ウレタンゴム系塗膜防水材の使用量・密着仕様の工程

工程	平場	立上り																				
1	下地の確認	下地の確認																				
2	プライマー塗布 (0.2kg/m ²)	プライマー塗布 (0.2kg/m ²)																				
3	1) 平場用ウレタン下塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5	塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5	1) 立上り用ウレタン下塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5	塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5
	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5																	
	塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5																	
硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5																		
塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5																		
2) 補強布張り付け	2) 補強布張り付け																					
3) 平場用ウレタン下塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5	塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5	3) 立上り用ウレタン下塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5	塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5	
硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5																		
塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5																		
硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5																		
塗布量 (kg/m ²)	0.3	0.4	0.4	0.5																		
4	平場用ウレタン1層目塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.2</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>1.2</td> <td>1.4</td> <td>1.6</td> <td>1.7</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.2	1.3	1.4	塗布量 (kg/m ²)	1.2	1.4	1.6	1.7	立上り用ウレタン1層目塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>0.7</td> <td>0.9</td> <td>1.0</td> <td>1.1</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5	塗布量 (kg/m ²)	0.7	0.9	1.0	1.1
硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.2	1.3	1.4																		
塗布量 (kg/m ²)	1.2	1.4	1.6	1.7																		
硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5																		
塗布量 (kg/m ²)	0.7	0.9	1.0	1.1																		
5	平場用ウレタン2層目塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.2</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>1.2</td> <td>1.4</td> <td>1.6</td> <td>1.7</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.2	1.3	1.4	塗布量 (kg/m ²)	1.2	1.4	1.6	1.7	立上り用ウレタン2層目塗り <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>硬化物密度 (Mg/m³)</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>塗布量 (kg/m²)</td> <td>0.7</td> <td>0.9</td> <td>1.0</td> <td>1.1</td> </tr> </table>	硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5	塗布量 (kg/m ²)	0.7	0.9	1.0	1.1
硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.2	1.3	1.4																		
塗布量 (kg/m ²)	1.2	1.4	1.6	1.7																		
硬化物密度 (Mg/m ³)	1.0	1.3	1.4	1.5																		
塗布量 (kg/m ²)	0.7	0.9	1.0	1.1																		
6	仕上塗料の塗布 (0.2kg/m ²)	仕上塗料の塗布 (0.2kg/m ²)																				

ウレタンゴム系塗膜防水の目標膜厚は、使用量 (kg/m²) と表1.7に示す防水材の硬化物密度に応じて換算する。目標膜厚の算出式を、以下に示す。

$$\text{目標膜厚 (mm)} = \frac{\text{使用量 (kg/m}^2\text{)}}{\text{面積 (m}^2\text{)} \times \text{硬化物密度 (Mg/m}^3\text{)}}$$

※硬化物密度は1.0～1.6 Mg/m³で材料メーカーによる。

表 1.7 硬化物密度の異なる防水材の総使用量 (単位 : kg/m²)

硬化物密度 (Mg/m ³)	平場	立上り
1.0	3.0	2.0
1.1	3.3	2.2
1.2	3.6	2.4
1.3	3.9	2.6
1.4	4.2	2.8
1.5	4.5	3.0
1.6	4.8	3.2

1.4 研究の目的

ウレタンゴム系塗膜防水は、流動性のある防水材料を現場に塗布し、その硬化により防水層を形成する工法である。そのため、防水性能は施工が大きな影響をもつ。施工については、従来から関心もたれてきたが、それは作業のしやすさのみに限定されていた。ただ建築物の側からみると、防水性能には膜厚が強い影響を与え、膜厚確保の観点からの施工が非常に重要であるといえる。

これまで、ウレタンゴム系塗膜防水工法は、均一でしっかりとした膜厚の防水層を作るという観点からほとんど研究がなされてこなかった。結果として膜厚不足の防水層が蔓延することになり、いろいろと不具合と紛争をもたらしている。これを是正するためには、適切な膜厚の防水層をいかに作るかの施工研究が必要である。

そのため本研究では、まずウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚を正確に測定する方法と、膜厚の現状を明らかにする検討を行った。次に、平場部と立上り部を対象として、その各々についてばらつきの少ない適切な膜厚の防水層を作るため施工管理項目と技術を検討し、その結果をもとに実用的な膜厚管理方法を提案することを目的とした。

防水仕様は、高伸長形手塗りタイプを研究範囲とし、吹付けタイプは範囲外とした。

1.5 本研究の構成

本研究の構成を、図1.4に示す。

本論文は全6章から構成され、ウレタンゴム系塗膜防水膜厚測定方法の検討と実態調査、平場・立上り部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討、プロセス管理を用いた膜厚管理の提案とその導入効果に大別される。

各章の概要は、以下の通りである。

第1章「序論」では、研究の背景、及び、ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚管理の必要性を施工品質管理の観点から示し、研究目的を述べる。

第2章「ウレタンゴム系塗膜防水膜厚測定方法の検討と実態調査」では、コンクリート平板で作製した試験体を用いて膜厚測定法の作業性や精度を比較し、その適用性を明らかにする。また、実建物で膜厚実態調査を行い、各膜厚測定法の適用条件と膜厚分布の実態を提示する。

第3章「平場部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討」では、ウレタンゴム系塗膜防水平場部施工時の区割り方法が膜厚に与える効果を、作業観察と施工実験で明らかにする。

第4章「立上り部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討」では、立上り部施工時の施工工具と粘度が膜厚に与える効果を、作業観察および施工実験で明らかにする。

第5章「プロセス管理を用いた膜厚管理の提案とその導入効果」では、第2～5章までの検討結果をもとに、施工工程における膜厚管理の考え方とその要点を整理し、プロセス管理を用いた膜厚管理の導入を提案する。また、実現場でプロセス管理を用いた膜厚管理を試行し、その導入効果の有用性を明らかにする。

第6章「結論」では、各章で得られた研究成果を要約し、本論文の結論を述べる。

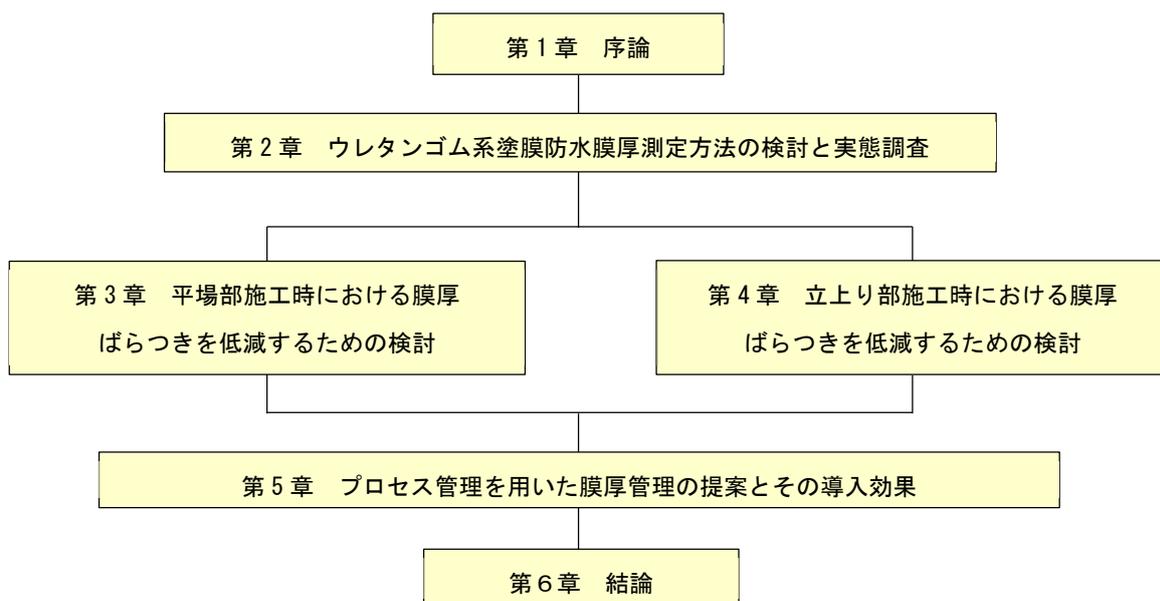


図 1.4 本研究の構成

1.6 既往の研究

実現場でウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚を確保するためには、材料面だけでなく、施工面からの品質管理が重要となる。しかし、ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚測定法や不具合事例に関する文献は若干行われているが、膜厚分布の実態や、施工に関する研究報告は非常に少ない。

(1) ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚測定法に関する文献

小倉哲義, 近藤照夫, 渡辺光, 鈴木博

「ウレタン塗膜防水層の硬化塗膜厚さ測定方法」

日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.157-160, 2006.7

小倉、川見ら⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾は、ウレタンゴム系塗膜防水材の品質管理に適用するものとして、針入式膜厚計に関する透水性評価と超音波膜厚計の導入検討を行っている。しかし、これらは断片的なものであり、膜厚測定法全体を俯瞰した調査や精度に関する研究は行われていない。

「電子式膜厚計による非破壊検査でウレタンの膜厚管理を義務化」

防水ジャーナルNo467, pp.30-32, 2010

横浜市防水協同組合⁽¹²⁾では、2010年度よりウレタンゴム系塗膜防水の防水改修工事において膜厚測定を義務化している。しかし、膜厚測定器の校正や測定結果にばらつきがあり、膜厚管理方法の改善が課題となっている。

(2) ウレタンゴム系塗膜防水層の不具合事例とその要因に関する文献

「ウレタン防水材から施工管理を学ぶ」

防水ジャーナルNo508, pp.25-28, 2014

東京都塗膜防水技能検定協議会⁽¹³⁾では、ウレタンゴム系塗膜防水における不具合事例とその要因について分析している。不具合発生の要因は、施工前の条件、施工中の天候、施工技術、技能、材料・工法の選定、施工後の養生、維持・保全等複数の要因が関連して発生していると考えられている。特に、膜厚不足は重要な品質管理項目であるが、その具体的な施策は示されていない。

(3) ウレタンゴム系塗膜防水層の施工に関する文献

渡辺啓三郎, 土田恭義

「ウレタン系塗膜防水工法の施工管理に関する一考察」

日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.209-210, 1976.8

渡辺ら⁽¹⁴⁾は、建築材料を使うユーザーの立場から、施工条件と気泡や混合比の変動等の材料物性に関する相関性の検討を行っている。この中で、ウレタンゴム系塗膜防水工法は、諸々の施工条件、施工技術が品質に与える影響が大きく、施工管理体制確立が急務であるこ

とが述べられている。

奈良圭一，田中英雄，林幸一，西村岳志，石原沙織，鶴田裕，田中享二

「実建物のベランダ部分ウレタン塗膜防水層の膜厚検査」

日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.755-756，2013.7

奈良ら⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾は、集合住宅ベランダを対象として、施工具と防水材料の希釈が、完成後の膜厚に及ぼす影響について施工実験を行っている。これらの研究では、ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚を確保するためには、防水材の希釈と施工具の影響が大きく、粘度が低くなると薄くなることが述べられているが、区割りに関する検討は行われていない。

鶴田裕，石原沙織，梅本康裕，林幸一，奈良圭一，西村岳志

「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」

日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.1123-1124，2015.9

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

「立上り部におけるウレタン塗膜防水層の膜厚と施工性」

日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.1129-1130，2015.9

鶴田、奈良、梅本ら⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾は、平場部と立上り部施工段階の要因が、膜厚と施工性に及ぼす影響について検討がなされている。ここでは、技能水準に応じた施工具や粘度を組み合わせることで、適切な膜厚確保を行える可能性を示している。

(4) 塗膜厚さを基としたウレタンゴム系塗膜防水工事仕様に関する文献

山宮輝夫，田中享二，竹本喜昭，渡辺光，小関晋平，鈴木博，島村浩之，田中基樹

「ウレタンゴム系防水材の塗膜厚さ管理基準に関する一提案」

日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.815-816，2017.7

山宮ら⁽²¹⁾は、塗膜厚を基としたウレタンゴム系塗膜防水工事仕様を作るとしたら、どのようなものになるか、またその具体化にはどのような問題があるかを考察している。ウレタンゴム系塗膜防水層の性能は膜厚に依存するため、仕様書も膜厚で記述されるのが自然であることが提案されている。しかし、ここではその具体的な施工方法は示されていない。

第 2 章

ウレタンゴム系塗膜防水膜厚測定方法の検討と 実態調査

第2章 ウレタンゴム系塗膜防水膜厚測定方法の検討と実態調査

2.1 はじめに

実務ではウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚を確認するため、写真2.1及び2.2に示すように、膜厚測定検査が行われている。防水材硬化後の膜厚測定検査には、様々な方法があるが、測定された値の精度とその信頼性については十分な情報がなく、結果の判断に苦慮することも多い。また、実際の建物における防水層の膜厚分布に関する研究報告はほとんどなく、十分な知見が得られていない。

これらを背景に、本章では膜厚測定に用いられる各種測定方法の作業性や精度について比較を行い、実建物屋上パラペット部分を利用して、各膜厚測定法の適用性と膜厚分布の実態を明らかにすることを目的とした。



写真 2.1 ウレタンゴム系塗膜防水施工状況



写真 2.2 膜厚測定検査状況

2.2 膜厚測定方法に関する検討

2.2.1 ウレタンゴム系塗膜防水層の構成

ウレタンゴム系塗膜防水層は、写真2.3に示すような下地に直接防水材を塗布した密着仕様、膨れ防止や下地ひび割れ抵抗性向上のため、通気緩衝シートを敷設した絶縁仕様がある。絶縁仕様は脱気装置がつけられていることが一般的であり、両者区別の参考となる。

防水層の構成断面図を、図2.1に示す。密着仕様では下地から上の部分すべてが防水層の膜厚であるが、絶縁仕様では通気緩衝シートより上の部分のみとなる。



密着仕様



絶縁仕様

写真 2.3 防水層の施工状況

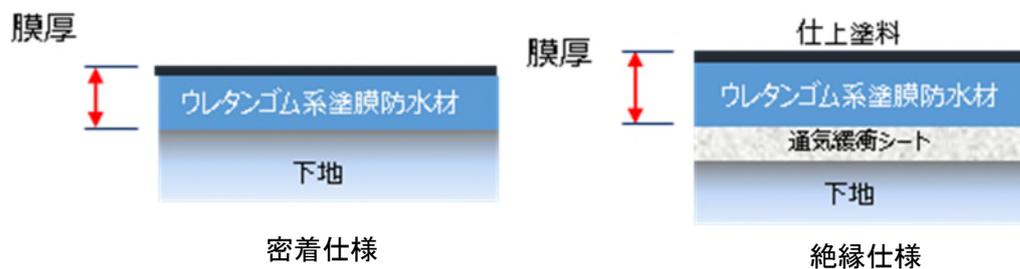


図 2.1 防水層の構成断面図

2.2.2 膜厚測定方法の分類

完成したウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚測定方法は、防水層への損傷の程度に応じ異なる。これらは、防水層に全く傷をつけずに測定する「非破壊検査」、傷はつくがその程度はわずかである「微破壊検査」、かなりの部分に傷をつける「破壊検査」に分類した。

実務で一般的に用いられる代表的な膜厚測定方法の分類と概要を、表2.1に示す。

表 2.1 膜厚測定試験体の種類

測定方法の分類	非破壊検査		微破壊検査	破壊検査
測定法の名称	超音波式測定法	渦電流式測定法	針入式測定法	切り取り式測定法
測定機器				
測定原理	超音波パルスを入射し、防水層下面との反射時間を膜厚換算して計測する。	非磁性体より上層部分の防水層を、渦電流で計測する。多点測定が可能。	針を防水層の上面より下地面まで押し込み、測定する。	防水層を切り取り、その断面を直接測定する。

※防水層施工時に、アルミシートなどの金属性シートを敷設してある防水層のみに適用可

(1) 非破壊検査

a) 超音波式測定法

超音波式測定法は、ウレタンゴム系塗膜防水層と下地界面で超音波を反射させ、その戻ってくる時間を測定して膜厚に換算する検査方法である。測定手順を、写真2.4に示す。事前に超音波速度と膜厚との相関を、キャリブレーションする必要がある。測定手順は、探触子の密着をよくするため接触媒体（グリセリン）を塗布し、測定位置に防水層上面から押し付ける。その後、超音波パルスを入射し防水層と下地境界で反射してくる音速を測定し膜厚に換算する。音速値が調整されていないと、正確に測定することができない。



写真 2.4 超音波式の膜厚測定手順

b) 渦電流式測定法

渦電流式測定法は、非磁性体（アルミシート等）を防水層裏面に予め敷設し、非磁性体からの渦電流値を膜厚に換算する検査方法である。測定手順を、写真2.5に示す。既知の非導電性標準板や調整用素地を用いて、事前にキャリブレーション調整する必要がある。測定手順は、測定器を用いて上層から防水層に、探触子を押し付けて膜厚に換算する。多点測定が可能であり、検査結果の記録も容易である。

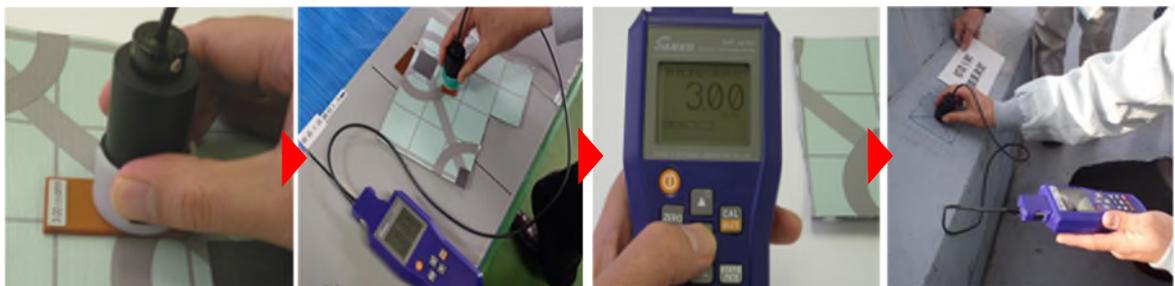


写真 2.5 渦電流式の膜厚測定手順

(2) 微破壊検査

c) 針入式測定法

針入式測定法は、針入式膜厚計を用いて、ウレタンゴム系塗膜防水層上面より針を押し付け、その針入量を膜厚とする。測定手順を、写真2.6に示す。平滑な板(例えばガラス板や金属板)の上に、膜厚計を垂直に乗せ、ゼロ設定してから測定する。防水層上面から針を押し込むだけであり、作業は容易である。ただ、針が下地まで到達したかどうかは感覚に依存しており、特に絶縁仕様の場合は、防水層と通気緩衝層界面が識別できず、誤差が大きくなる可能性がある。



写真 2.6 針入式の膜厚測定手順

(3) 破壊検査

d) 切り取り式測定法

切り取り式測定法は、カッター等を用いて、下地界面に沿って刃を入れ、防水層片を切り取る。測定手順を、写真2.7に示す。切り取ったウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚は、ノギス等を用いて直接測定する。切り取り作業は、絶縁仕様部分では無理なく行えるが、密着仕様部分は、採取した防水層裏面にカッターの切断跡が残りやすく正しい測定が困難となる。



写真 2.7 切り取り式の膜厚測定手順

2.2.3 切り取り式測定法の改良

切り取り式測定法は、ウレタンゴム系塗膜防水層の断面を直接確認することができるため、膜厚の精度や信頼性が最も高い。しかし、密着仕様は試料にカッターの切断跡が残りやすく、膜厚が不均一であった。そこで、新たな切り取り方法として容易に防水層が採取できる、ポンチ切り取り式測定法を提案した。

ポンチ切り取り法の施工手順を、写真2.8に示す。はじめに、直径10mmのポンチを試料に対して垂直に立て、ハンマーで打ち込み下地面まで到達させる。その後、ポンチを少し斜めに傾けて円状に回しながら打ち込み、表層下地コンクリート層を破壊させる。付着しているコンクリートを除去し、ノギス等で防水層の膜厚を測定する。

ポンチ切り取り式測定法で採取した防水断面は、写真2.9に示すようにきれいに露出しており、密着仕様・絶縁仕様ともに精度の高い膜厚が容易に測定できている。



写真 2.8 ポンチ切り取り式測定法の施工手順

防水仕様	膜厚 (mm)	
	0.5	3.0
密着仕様		
絶縁仕様		

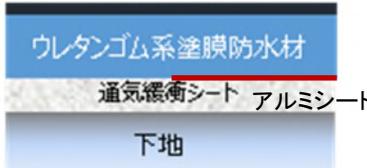
写真 2.9 ポンチ切り取り式測定法で採取した試験片

2.3 膜厚測定方法とその精度を調べるための実験

2.3.1 実験概要

各種膜厚測定方法を比較するため、コンクリート平板で試験体を作製し、作業性とその精度を確認した。

試験体は、図 2.2 に示す実務で多く用いられている密着仕様と絶縁仕様の 2 種類で、ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚は、0.5mm から 6.0mm の 6 段階とした。下地には 300mm 角のコンクリート平板を用いた。渦電流式測定法は、防水層下面に非磁性金属層が必要となる。そのため、通常の試験体と 0.1mm のアルミシートを平板の半分ずつ挿入した。その後、これら試験体を実験室内で 1 ヶ月間養生した。試験体作製状況を写真 2.10 に示す。

目標膜厚	防水仕様	
	密着仕様	絶縁仕様(不織布タイプ)
0.5 mm		
1.0 mm		
2.0 mm		
3.0 mm		
4.0 mm		
6.0 mm		

※1:特殊加工した不織布表層と、通気層となる不織布の下層を積層したもの

図 2.2 膜厚測定試験体の種類



写真 2.10 膜厚測定試験体の作製状況

2.3.2 膜厚測定方法と順序

破壊検査（ポンチ切り取り測定法）は、実際の防水層を採取し直接断面を測定するため、最も測定精度が高い。そのため、これを膜厚の基準として図 2.3 に示す各種測定法で比較した。

写真 2.11 に膜厚測定順序を示す。はじめに、各試験体測定位置にマーキングを行う。その後、各種測定法が防水層に与える損傷の程度を鑑み、非破壊検査（超音波式、渦電流式）2種類の機器、微破壊検査（針入式）、破壊検査（ポンチ切り取り式）の順序で同一箇所を測定した。なお測定は、すべて実験室で行った。

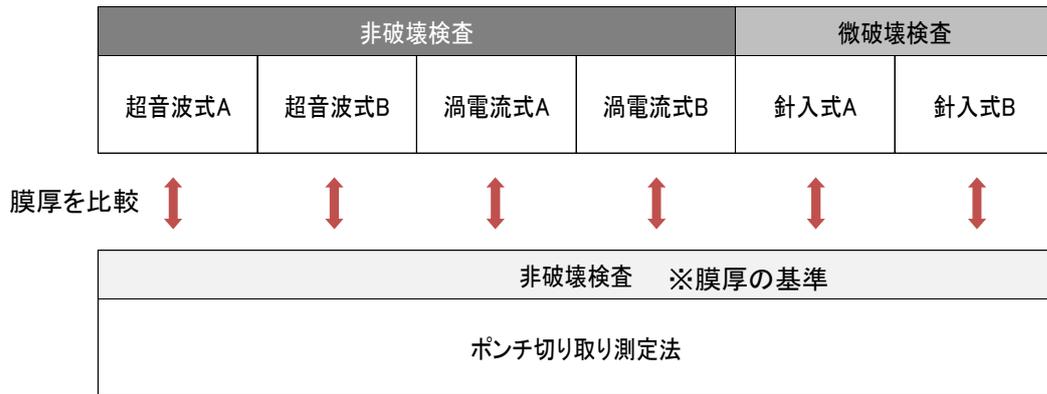
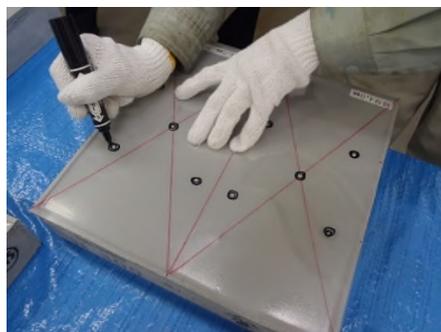


図 2.3 各種膜厚測定方法の比較



①膜厚測定位置のマーキング



②非破壊検査



③微破壊検査



④破壊検査

写真 2.11 各種膜厚測定方法の測定順序

2.3.3 膜厚測定結果と考察

図2.4に、密着・絶縁仕様の測定結果を示す。

(1) 密着仕様

a) 超音波式測定法

目標膜厚2.0mm 以内では、測定誤差も非常に少なく全て0.1mm 以内であった。

しかし、目標膜厚が3.0mm以上になると誤差が生じ機種によっては測定不能となった。

b) 渦電流式測定法

全体的に測定誤差は0.2mm 以内であり、全体的に精度の高い測定ができています。

c) 針入式測定法

測定誤差は0.3mm以内であり、概ね良好な結果であった。

(2) 絶縁仕様（不織布タイプ）

a) 超音波式測定法

絶縁仕様は、ウレタンゴム系塗膜防水層と不織布層という超音波速度の異なる材料が積層されている。そのため、積層部での超音波反射が識別しにくく、原理的には適していない。試験体によって、超音波が不織布層上面から反射する場合と、不織布層内部で反射する場合があった。膜厚が薄い場合は、防水層だけを測定できているが、それ以外の試験体では膜厚の違いと不織布層が超音波の拡散に影響を及ぼし、正しく測定されていない。

b) 渦電流式測定法

密着仕様と同様、全体的に測定誤差は少なく0.2mm 以内であった。

c) 針入式測定法

測定器の針が、ウレタンゴム系塗膜防水層を貫通して不織布層まで到達しているものもあり、全体的にばらつきが大きくなっている。針入式測定法では、ウレタンゴム系塗膜防水層だけの膜厚を測定することはできず、絶縁仕様には適していない測定法といえる。

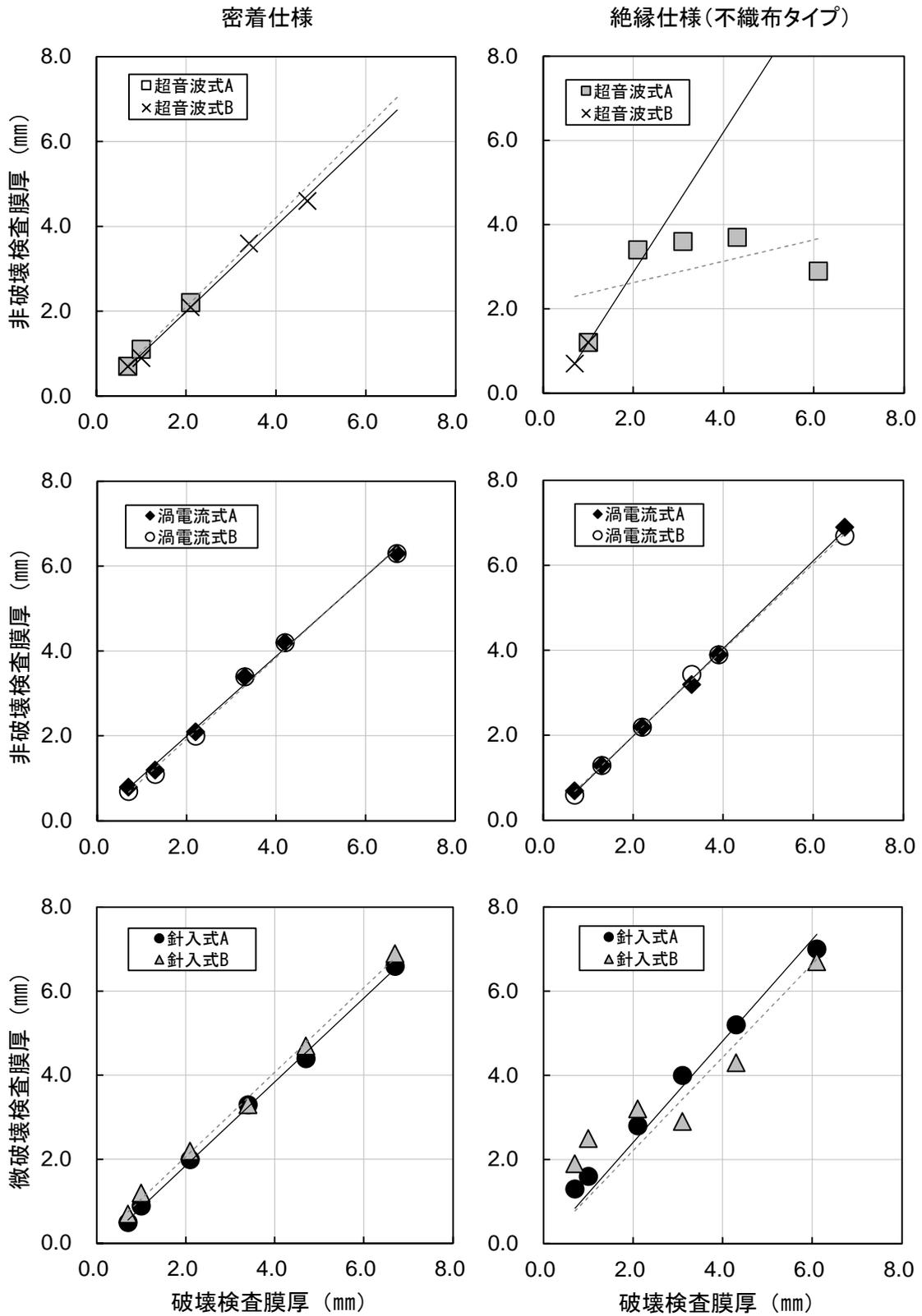


図 2.4 各種膜厚測定法の測定結果

2.3.4 各膜厚測定方法の適用性

各膜厚測定方法の適用性に関して、測定作業性、精度、測定上の制限をまとめ、表2.2に示す。ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚測定方法には、一長一短があり、防水仕様や構成によっては、測定できるものとできないものがあることを示した。

表 2.2 各種膜厚測定法の適用性

分類	膜厚測定法	防水仕様	作業性	測定値の精度	測定上の制限
非破壊検査	超音波式	密着仕様	○	△	<ul style="list-style-type: none"> 膜厚が4mmを超えると、測定不能となる。 既知の膜厚片で、しっかりした校正が必要。 既設の防水層は校正が困難なため、測定値の信頼性は低い。
		絶縁仕様	○	×	<ul style="list-style-type: none"> 絶縁仕様には、適さない。
	渦電流式	密着仕様	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 非磁性金属シートを、事前に敷設する必要がある。 既知の膜厚片で、しっかりした校正が必要。 膜厚測定値の記録が可能。 連続測定できる。
		絶縁仕様	○	○	
微破壊検査	針入式	密着仕様	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 新設・既設防水層で、膜厚測定が可能である。 押しつけ方や、下地硬度の影響を受けやすい。 測定作業は、簡便で容易。
		絶縁仕様	○	×	<ul style="list-style-type: none"> 絶縁仕様には、適さない。
破壊検査	切り取り式	密着仕様	※×	◎	<ul style="list-style-type: none"> 測定精度は高いが、時間がかかる。 防水層の切り取り跡は、補修が必要となる。 カッターによる切り取りは、膜厚片採取が困難 ※ポンチ式は容易。
		絶縁仕様	○		<ul style="list-style-type: none"> 測定精度は高いが、時間がかかる。 防水層の切り取り跡は、補修が必要となる。 カッター・ポンチ式による切り取りが容易。

2.4 ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚実態調査

2.4.1 実建物の膜厚調査概要

ウレタンゴム系塗膜防水平場、立上り部の膜厚分布を把握するため、実建物で膜厚調査を行った。調査した建物は、2000年から2018年の間に建設された集合住宅や学校等99棟（合計1535箇所）の新築、改修物件であり、対象部位は平場（目標膜厚 平均3.0mm）及び立上り（目標膜厚 平均2.0mm）部分である。調査した建物の棟および測定数を表2.3、測定状況を写真2.12に示す。膜厚測定は、針入式と渦電流式膜厚計を用いて行った。膜厚測定位置は施工時のばらつきを考慮し、約2.0～5.0mで均等になるように割付け、1棟あたり10～100箇所とした。また、250箇所の防水層を10φのポンチで切り取り、ノギスで測定した膜厚と針入式と渦電流式膜厚計の測定精度を比較した。

表 2.3 膜厚調査対象物件一覧

項目		物件数(件)	測定数(箇所)
平場(目標膜厚平均3.0mm)		85	1538
立上り(目標膜厚平均2.0mm)		99	1539
膜厚測定法	針入式	154	1418
	渦電流式	31	1655

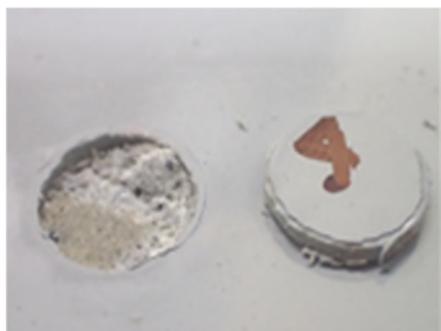
※一部改修物件含む



微破壊検査の膜厚測定



非破壊検査の膜厚測定



破壊検査の膜厚片採取



ノギスによる膜厚測定

写真 2.12 実現場における膜厚測定状況

2.4.2 微破壊・非破壊検査と破壊検査の精度

実建物で測定した、微破壊検査（針入式）及び非破壊検査（渦電流式）と破壊検査（ポンチ切り取り式）の膜厚比較を図2.5に示す。針入式は、測定時の押し付け方や下地の影響を受けやすく、渦電流式に比べばらつきが大きくなる傾向であった。ただ、相関係数は、針入式が0.93、渦電流式が0.98となり、どちらも強い正の相関がある。そのため、いずれの膜厚計も実用に供する精度を有していると判断した。

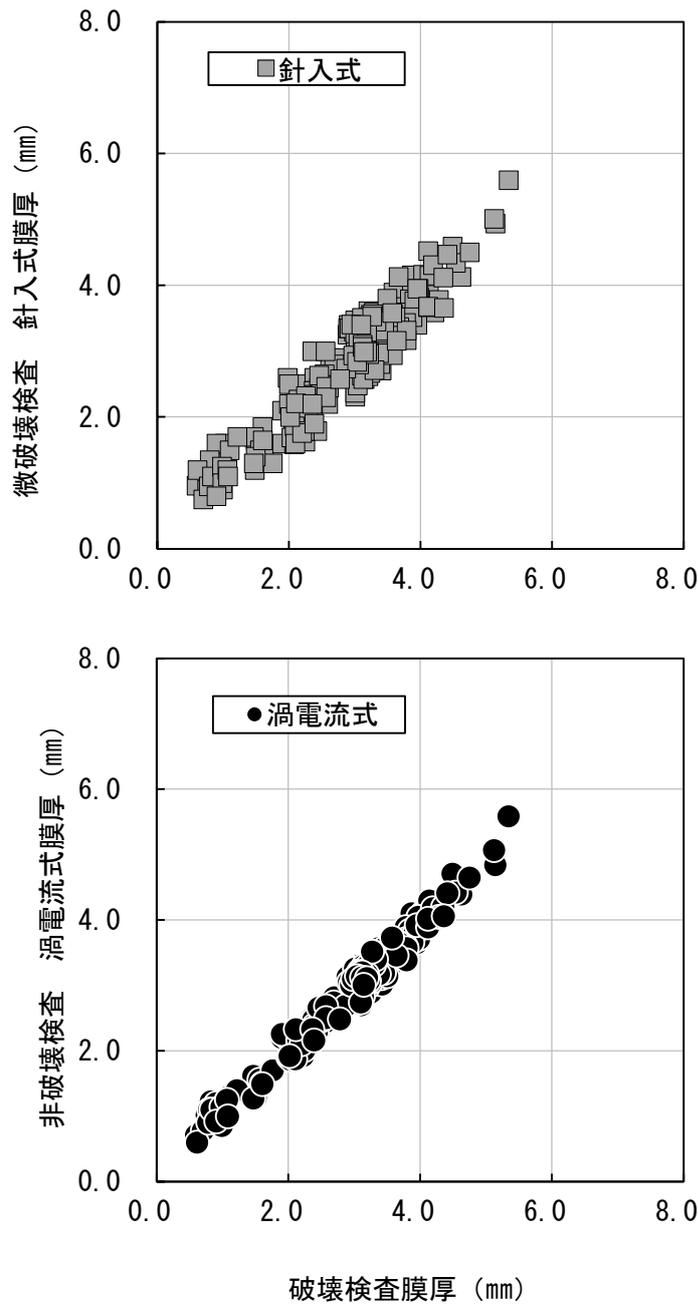


図 2.5 微破壊・非破壊検査と破壊検査の膜厚比較

2.4.3 平場・立上り部の膜厚測定結果と考察

調査された平場部の膜厚ヒストグラムを図2.6、立上り部を図2.7に示す。全棟（合計1535箇所）の平場部の目標膜厚（平均3.0mm）は2.9mm、標準偏差は0.78mm 変動係数0.27、立上り部の目標膜厚（平均2.0mm）は1.8mm、標準偏差は0.52mm 変動係数0.29であり、ばらつきがみられる。特に平場部は、膜厚のばらつきが大きく最低膜厚も0.6mm と極端に薄い箇所もみられた。5年間におよぶウレタンゴム系塗膜防水層の屋外動暴露試験⁽²²⁾によると、平場部の膜厚下限値は、2.0mm 以上必要であることが明らかになっている。

このように、実現場の膜厚は不均一であり、平均膜厚を満足しても所定の防水性能を満足できない防水層が内在していることが明らかとなった。塗布量管理だけは、防水性能に必要な膜厚下限値を確保することは困難であり、膜厚管理方法の改善が必要であることを示した。

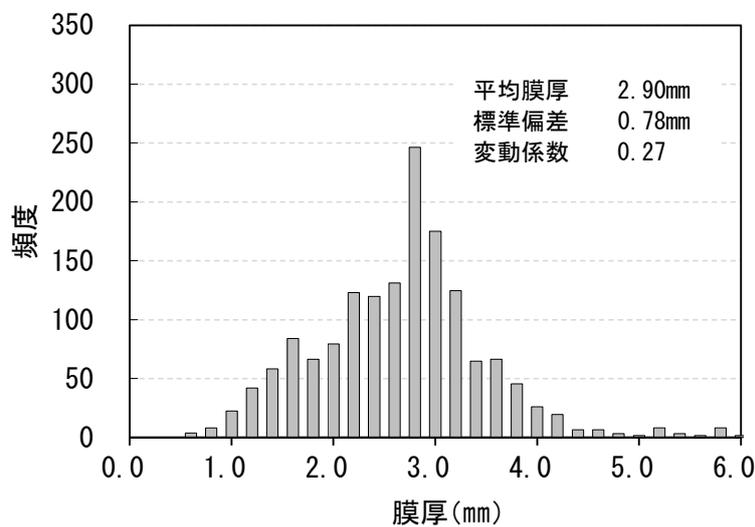


図 2.6 実建物調査における平場部の膜厚分布

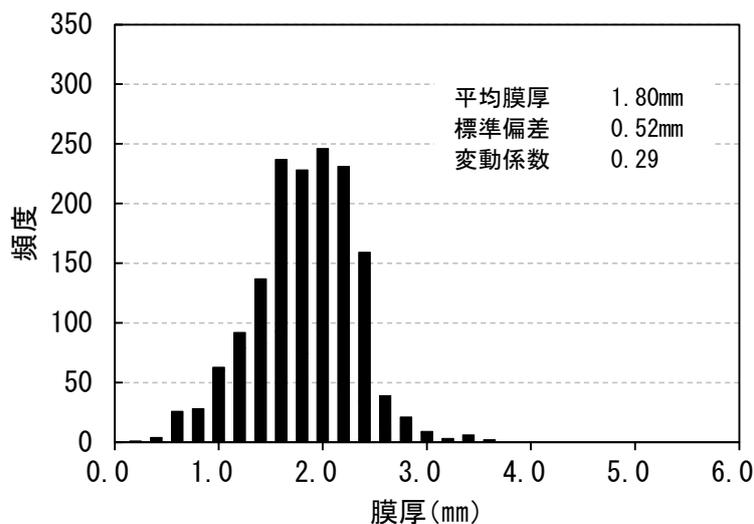


図 2.7 実建物調査における立上り部の膜厚分布

2.5 まとめ

ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚測定方法について、作業性や精度を比較しその適用性を評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 膜厚測定方法には一長一短があり、防水工法や構成で、測定できるものとできないものがあることを明らかにした。
- (2) 実現場の膜厚は不均一であり、平均膜厚を満足しても、不十分な防水層が作られる危険性がある。そのため、塗布量管理だけは防水性能に必要な膜厚を担保することは困難であり、改善が必要であることを示した。

第3章

平場部施工時における膜厚ばらつきを低減する
ための検討

第3章 平場部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討

3.1 はじめに

日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説JASS 8 防水工事や公共建築工事標準仕様書では、施工時の膜厚は、単位面積あたりの使用量で規定されている。これらは、防水層の信頼性向上を図るため、膜厚が平均3.0mm に仕上げることを意図されたものである。ところが、防水材の塗布については、“塗膜防水材の所定の膜厚を確保するためには、防水材の1セットあたりの使用量を区割りして施工する”とあるだけで、それ以上の詳細な記述はない。また、この区割りの定義はあいまいなため、多くの場合施工者の判断でなされている。実務では一度に広い面積を施工することができないため、写真3.1に示すようにある程度の施工面積を区分する必要がある。これも施工者の経験や感覚にゆだねられており、その具体的な方法や管理基準も明確ではない。

このようなことを背景に、本章ではウレタンゴム系塗膜防水の膜厚を確保するため、施工時の区割りについて検討した。また、防水材の塗布が適切な時間内に行われることも重要であり、これらを考慮した最適な区割りを示すことを目的とした。なお、防水材の希釈や下地の平滑度、環境条件は固定要因とした。



写真 3.1 ウレタンゴム系塗膜防水層平場部の施工状況

3.2 ウレタンゴム系塗膜防水平場部の作業内容と区割りの検討

3.2.1 実験概要

ウレタンゴム系塗膜防水施工時の作業内容と、区割りが膜厚に与える効果を把握するため、集合住宅屋上の改修工事を利用して施工実験を行った。防水層の下地は、既存防水層の比較的勾配の少ない平場を選定した。区割りは、1セット27kg（主剤+硬化剤）の防水材料を目標膜厚1.5mm（ウレタンゴム系塗膜防水は2層に分けて施工されるが、これはJASS8の計算式から1層目に相当する）で換算し、面積14.0m²（4.0m×3.45m）の2面を用意した。区割りの効果を見るため、写真3.2に示すような区画ラインをしっかりと引いたA工区と4隅に目印だけをつけただけのB工区とした。防水材料は、JIS A 6021:2011（建築用塗膜防水材料）に準拠した硬化物密度が1.3Mg/m³で市販の2成分形手塗りタイプ平場用（材料粘度5,000mPa・s）を使用した。

実験の施工手順を、以下に示す。まず、屋上全面に通気緩衝シートを貼り付け、表面に1.0m間隔で3列、幅50mmのアルミテープを設置した。これは、膜厚測定に渦電流式膜厚計を使用するためである。前述の通り区割りを行い、ウレタンゴム系塗膜防水を目標膜厚平均1.5mmとして施工した。施工者は、経験年数20年以上の経験をもつ1級防水施工技能士であり、施工には防水施工技能検定の標準工具である金ごてを使用した。施工時の外気温は12℃、湿度45%であった。

実験中は、施工者の作業内容を観察するとともに、作業開始から終了まで全工程の動画撮影を行った。翌日防水層の硬化を確認した後、渦電流式膜厚計を用いて膜厚を測定した。なお、測定点は各工区ともにアルミテープ上の45箇所とした。

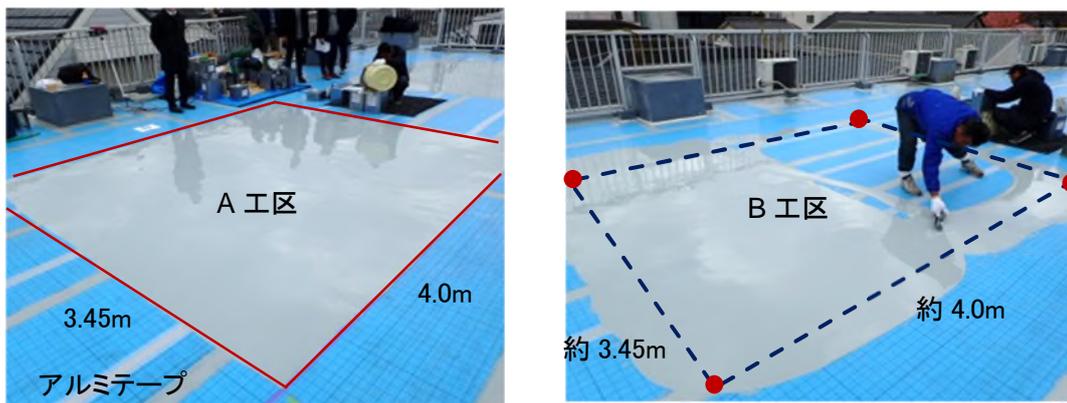


写真 3.2 ウレタンゴム系塗膜防水の区割り

3.2.2 実験結果と考察

(1) 施工者の作業内容

ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚は、塗布量管理が一般的である。作業観察より、実務における塗布量管理は以下のような手順で施工されていた。

- ① 施工者は、提供した区割り（幅4.0m×長さ3.45m）をさらに作業のできる区画に2分割した。この時の施工する幅（以下、区画幅と記す）は、やや広めの2.0mであった。
- ② 施工区画を決定し、目標膜厚および防水材の数量を算出する。
- ③ 使用した防水材は2成分形のため、現場で主剤と硬化剤を防水材製造業者の指定する割合で計量し、かくはん機を用いて混合した。
- ④ 分割した施工区画（幅2.0m×長さ3.45m）に合わせ、混練した防水材を半分（13.5kg）に分け、運搬用のペール缶を用いて筋状に撒いた。
- ⑤ この撒かれた防水材を、金ごてを用いて左右に押し広げた。
- ⑥ 残り半分の区画についても、同様の作業を行った。

以上の観察結果から、ウレタンゴム系塗膜防水の塗布は、写真3.3に示す下地に材料を撒く作業（以下、撒き作業と記す）と写真3.4に示す材料を塗り広げる作業（以下、広げ作業と記す）で構成されていることが見出された。また、実務では施工者が作業しやすい区画幅で分割しており、撒かれる防水材の使用量もこれに応じて計量されていた。

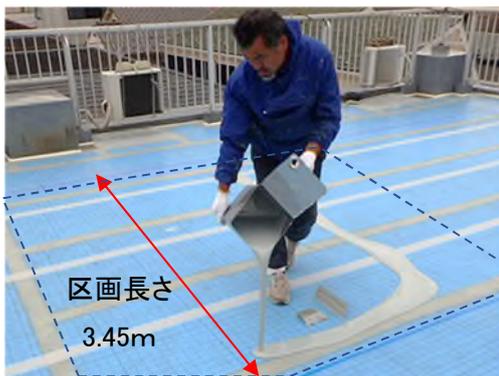


写真 3.3 撒き作業

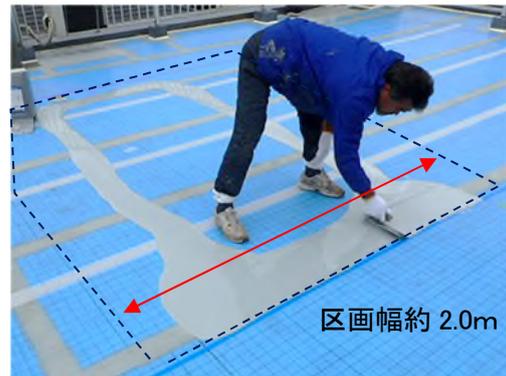


写真 3.4 広げ作業

(2) 膜厚測定結果

膜厚測定結果を図3.1に示す。膜厚測定誤差もみられたが、両工区とも膜厚にはかなりのばらつきがあった。ただ、施工者に区画を強く意識させたA工区では、平均膜厚は1.2mmであった。一方、あまり区画を意識させずに施工したB工区では、防水材が無秩序に枠からはみ出していた。そのため、A工区に比べ区画内の塗布量が不足し、平均膜厚も0.9mmと薄くなっていた。このことから、区画を明示することは、ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚確保に有効であると考えられた。

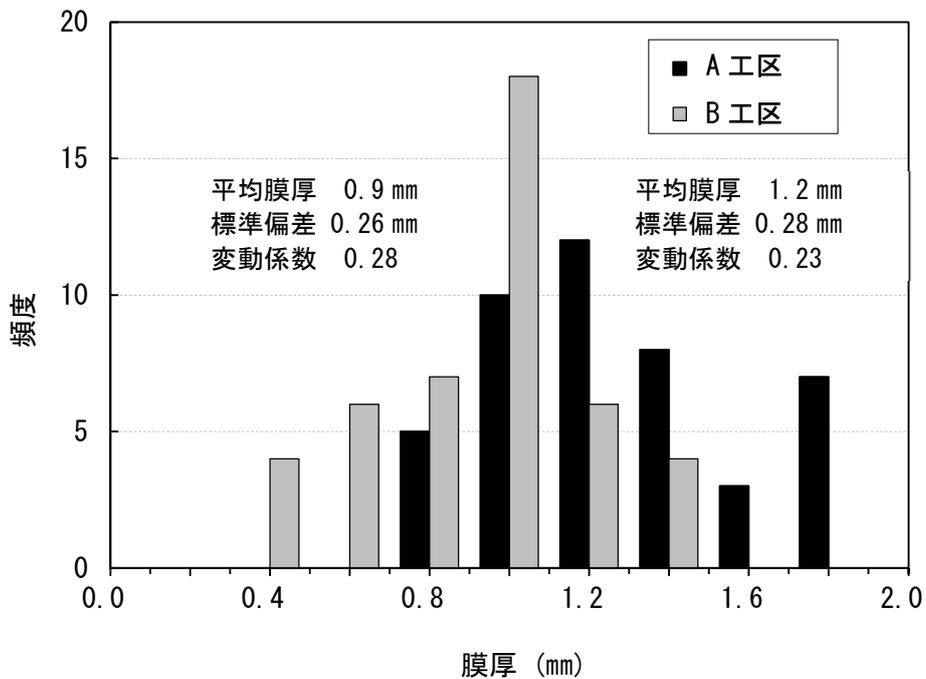


図 3.1 A工区とB工区の膜厚測定結果

3.3 ウレタンゴム系塗膜防水平場部の膜厚に与える施工要因

ウレタンゴム系塗膜防水平場部の施工に関する実態を把握するため、全国31都道府県の専門工事会社134社を対象に、アンケート調査を行った。主な施工工具と区画幅を図3.2、写真3.5にそれぞれ示す。

平場部の施工工具は200㎡以内の比較的狭い面積では金ごてが多く、200㎡を超えるとスクイージーの採用割合が多くなっている。このように、実務では面積によって施工工具を使い分ける傾向がある。一方、区画幅は施工者の経験や感覚に依存しやすく、図3.3に示すように1.0～2.0mとまちまちであった。

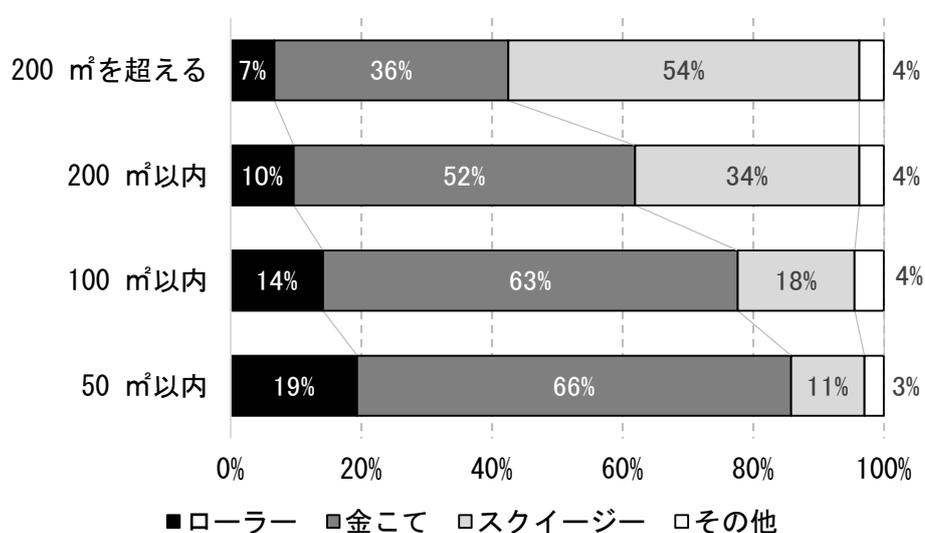


図 3.2 平場部に用いられる主な施工工具

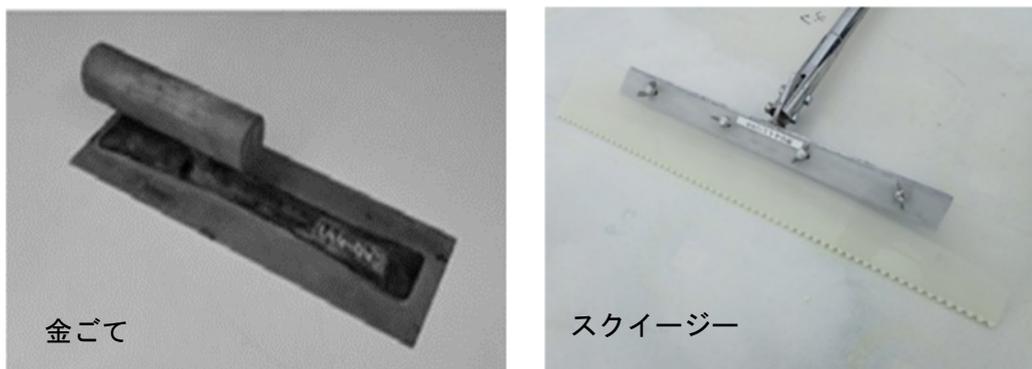


写真 3.5 平場部で用いられる主な施工工具

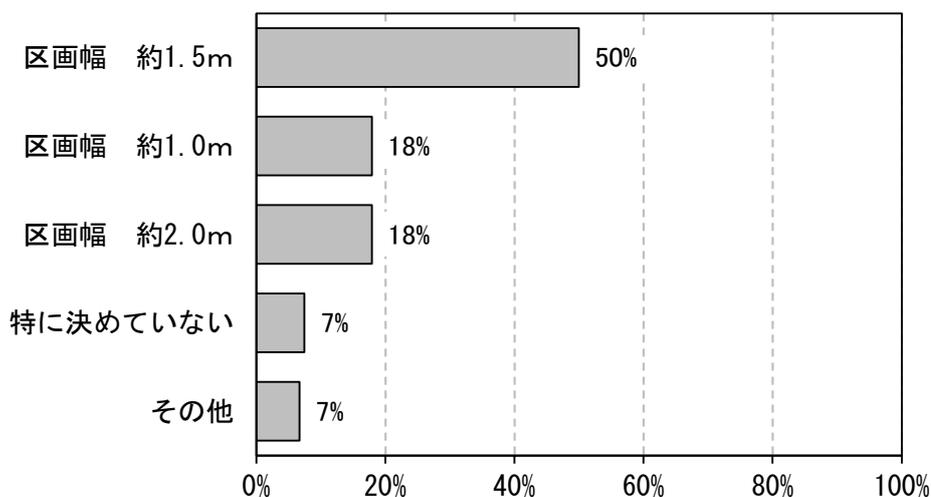


図 3.3 平場部施工時の区画幅

区画幅と区画長さの関係を図3.4に示す。塗布量管理は区画内の防水材使用量が一定であるため、区画幅が広くなると区画長さが長くなり、これらは相反関係にある。

撒き作業は、施工者が缶又は容器から所定の区画に防水材を撒いていく行為である。これは、できるだけ均一に撒かれていることが望ましい。ただ、撒き長さが長いと撒き量が不安定になりやすく、これには「区画長さ」が関係すると思われる。また、金ごての場合防水材を押し広げる作業は、区画が広くなると防水材を均一に塗布することが困難となり、狭くなると作業時間が長くなるため作業効率が低下する。そして、これには主に「区画幅」が関係すると思われる。そのため、撒き作業については「区画長さ」を、広げ作業は「区画幅」を変数として検討することとした。

塗布量管理では、施工面積と防水材使用量は一定

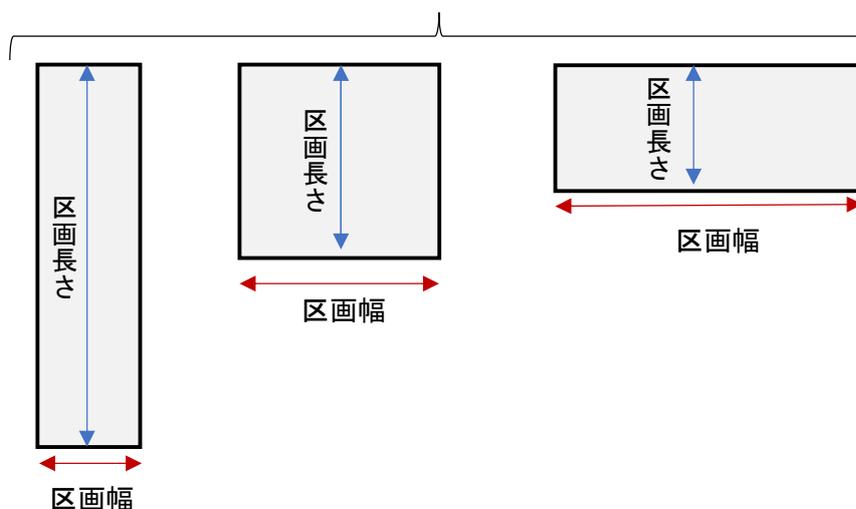


図 3.4 区画幅と区画長さの関係

3.4 撒き作業の検討

3.4.1 実験概要

下地は、屋内実験室のコンクリート床（精度3/1000 未満）を利用した。施工者は区割り面積14.0 m²を更に半分ずつに分けて施工していた。この結果を参考に、本実験では面積を約半分の7.2 m²とし、区画長さ9.0m（幅0.8m）、5.15m（幅1.4m）、3.6m（幅2.0m）の3水準とした。防水材料は、現場での混合作業を省くためJIS A 6021:2011（建築用塗膜防水材）に準拠した硬化物密度が1.3Mg/m³で市販の1成分形平場用（材料粘度5,400mPa・s）とした。

作業の手順は、以下の通りである。

- ① 防水層硬化後に下地から剥離しやすいように、ポリエチレンフィルムシートを敷設した。これは、ここで使用した防水材の質量を測定するためである。
- ② 前述の区画長さでこの上に施工区割りを行った。
- ③ 目標膜厚平均1.5mmに見合った防水材（硬化物密度1.3Mg/m³のため塗布量14.0kg）を、写真3.6に示すように運搬用のペール缶を用いて区画幅中心に直線的に撒いた。なお、これらの施工は経験年数20年以上の技能者と施工経験1年の非技能者が、室温約23℃、湿度60%R.H.の環境下で行った。
- ④ 防水層硬化後、写真3.7に示すように帯状に広がった防水層を10分割に切断し、質量を測定した。



写真 3.6 防水材料の撒き作業状況



写真 3.7 防水材料硬化後の切断状況

3.4.2 実験結果と考察

(1) 観察結果

防水層硬化後の広がり状態のスケッチ図を、図3.5に示す。撒き作業を観察したところ、容器から同程度の量が一定の速度で流し出されているように見えたが、硬化後の形状をみると必ずしも均一に撒かれておらず、幅の広い部分と狭い部分とが混在していた。

(2) 防水材の質量と標準偏差

質量の測定結果をもとに、1.0m あたりの使用量を求め、そのばらつきを示すため標準偏差を計算した。図3.6に計算結果を示す。標準偏差で比較すると、技能者では撒き長さが9.0m の場合0.43kg、5.15m の場合0.38kg、3.6m の場合0.34kg 非技能者では撒き長さが9.0m の場合0.60g、5.15m の場合0.58kg、3.6m の場合0.48kgとなり、各区画に同じ量を撒いているにもかかわらず、区画長さが長くなるほどばらつきが大きくなる傾向がみられた。

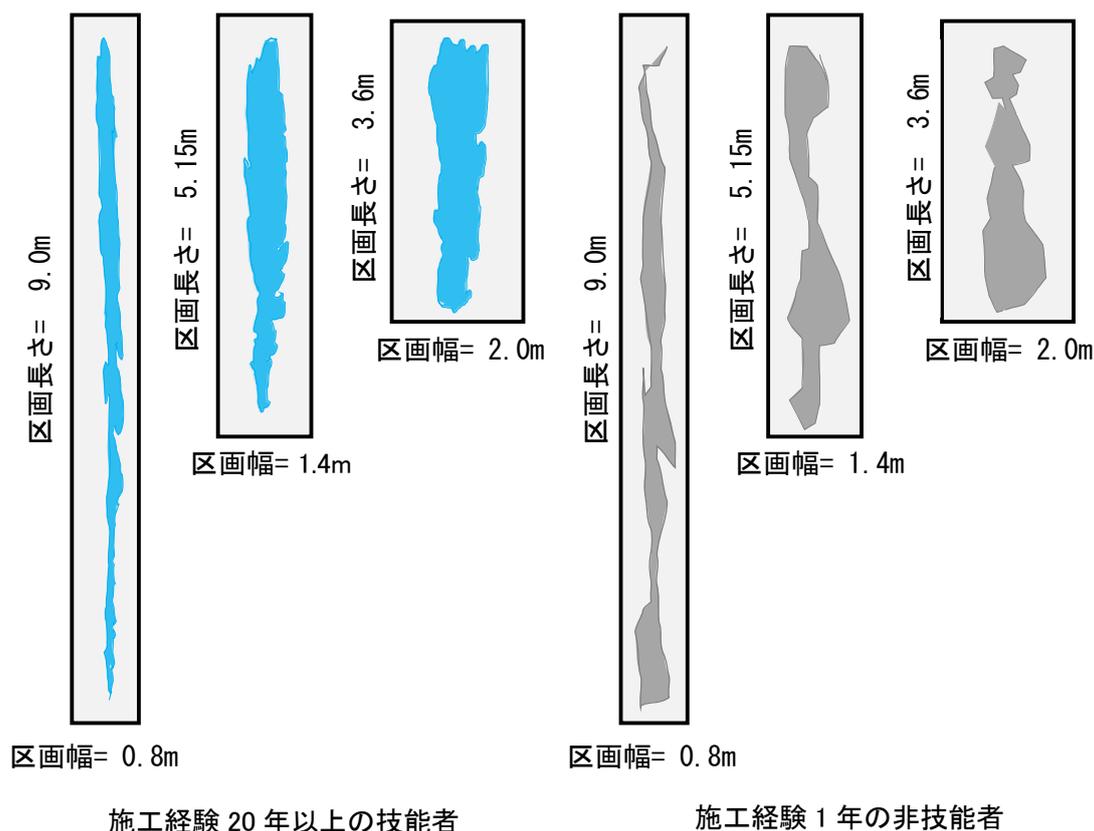


図 3.5 下地に撒かれたウレタンゴム系塗膜防水材料硬化後のスケッチ

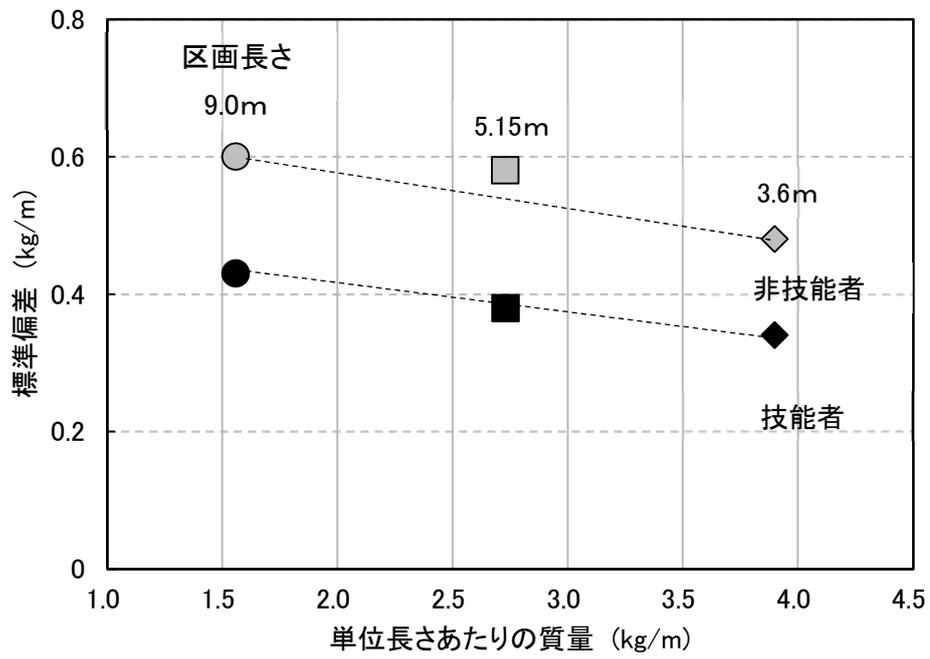


図 3.6 撒かれたウレタンゴム系塗膜防水材のばらつき (標準偏差)

3.5 広げ作業の検討

3.5.1 実験概要

防水層の下地と施工面積は前節と同様に、屋内実験室のコンクリート床を利用し7.2m²とした。区割りは、施工者（身長170cmの1級防水技能者）が無理なく金ごてを左右に動かすことのできる区画幅1.4m(長さ5.1m)を基本とし、それより狭い0.8m(長さ9.0m)、かなり広めの2.0m(長さ3.6m)の3水準とした。施工具は、防水施工技能検定で使用されている金ごてと、ポリエチレン製の溝深さ5mm、幅600mmの柄付スクイージーとした。ウレタンゴム系塗膜防水の目標膜厚は、1層目平均1.5mm、2層目平均1.5mmずつ合計平均3.0mmとした。防水材料も前節と同様に硬化物密度が1.3Mg/m³でJASS8の計算式から換算し、市販の1成分形平場用（材料粘度5,400mPa・s）を使用した。なお、室温は約23℃、湿度60%R.H.の環境下で行った。作業の手順は、以下に示す。

- ① まず、下地にアルミニウム合金薄膜処理された通気緩衝シートを敷設した。これは、膜厚測定に渦電流式膜厚計を使用するためである。
- ② 前述の区画幅で、所定の区割りを行った。
- ③ 区画幅の影響を正確に評価するためには、防水材料を均一に撒く必要がある。そのため、写真3.8に示すように10mm角の発泡ポリエチレン材を区画中央部に貼付けて枠を作り、計量した防水材料を枠内にむらなく流し込んだ。
- ④ 流し込んだ防水材料を均一に広げ、その後ポリスチレン材を撤去する。その後、写真3.9に示すように金ごてを用いて左右に押し広げながら広げ作業を行った。
- ⑤ スクイージーは、写真3.10に示すように、区画幅に合わせて8の字状に動かしながら防水材料を押し広げた。
- ⑥ 翌日防水層の硬化を確認し、渦電流式膜厚計を用いて1層目の膜厚を測定した。
- ⑦ 膜厚測定後、同じ施工要領で、2層目の広げ作業を行った。
- ⑧ さらにその翌日、1層目と2層目の合計膜厚を測定した。

膜厚測定位置を図3.7に示す。区画幅の中心から左右それぞれ0.3m間隔で105箇所を選定し、同時に広げ作業の開始から終了までの作業時間を計測した。



写真 3.8 下地にあらかじめ均一に撒かれた防水材料

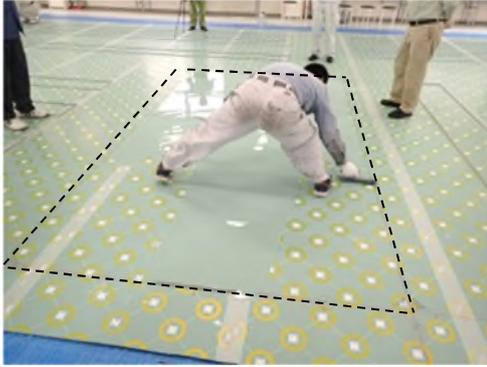


写真 3.9 広げ作業（金ごての場合）

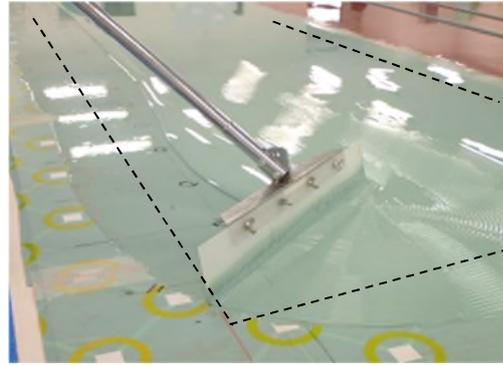


写真 3.10 広げ作業（スクイージーの場合）

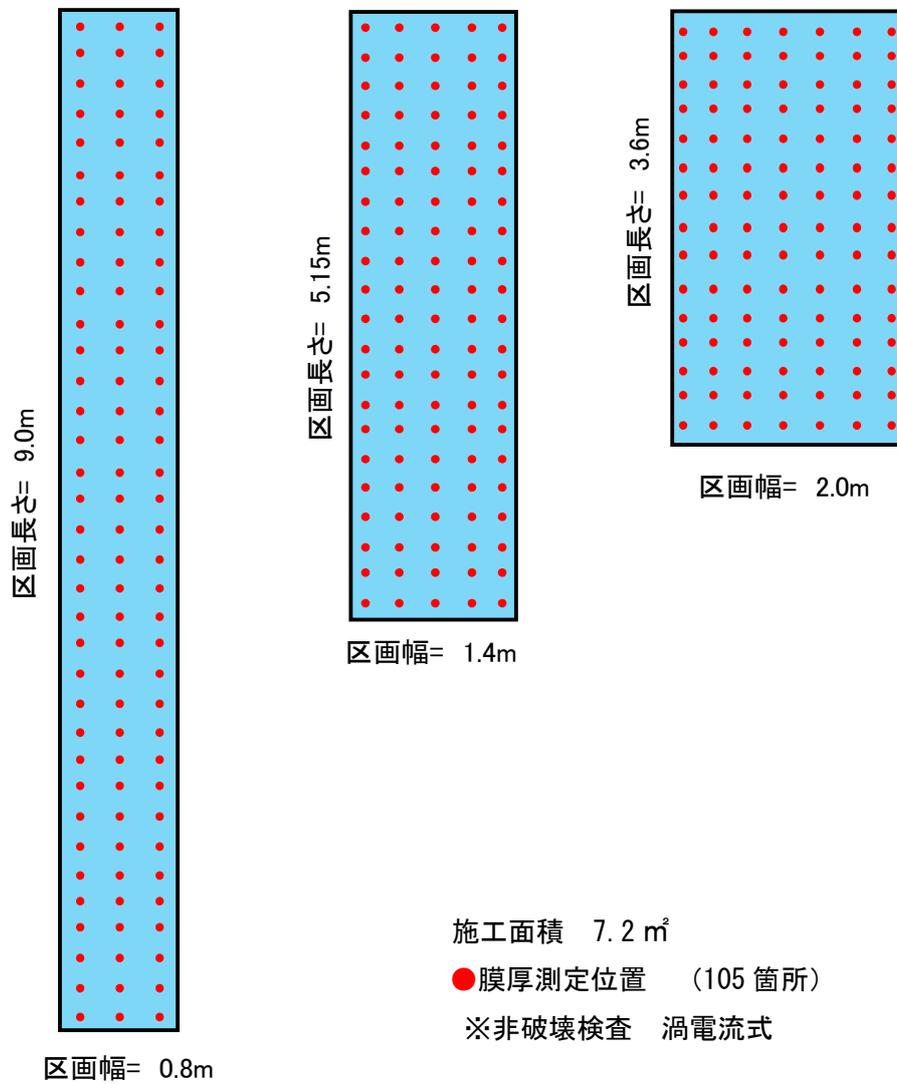


図 3.7 膜厚測定位置

3.5.2 実験結果と考察

(1) 膜厚分布について

渦電流式膜厚計で測定した金ごてとスクイージーの膜厚測定結果を図3.7、膜厚分布状況を図3.8～3.10に示す。ここでの実験では、防水材ができるだけ均一になるように配慮して撒かれたにも関わらず、広げ作業による膜厚のばらつきがみられた。このばらつきの幅は、1層目より2層目の方が多少大きくなる傾向となっている。また、図3.11に示す金ごてとスクイージーによる膜厚分布の相関関係を比較すると、後者の方がばらつきも少なく、全体的に中央部で尖った形の分布になっている。

さらに、膜厚測定結果をもとに、平均膜厚と標準偏差を求めた。図3.12に金ごてとスクイージーの場合を示す。

a) 金ごての場合

平均膜厚は、すべての区画幅で1層目1.3～1.4mm、2層目2.8mmであり、目標膜厚に近い値となった。これは、前節と同様の傾向である。このように施工区画を明示して、所定量の材料が区画内に確実に供給されれば、平均膜厚は区画形状に関わらず、目標膜厚に近づくことを示している。ただ、膜厚の変動係数は、1層目0.16～0.30、2層目0.15～0.26となり、区画幅が広がるほどばらつきは大きくなる傾向がある。これは、金ごてを左右に移動する距離が長くなると、防水材を均一に押し広げることが困難になるためと思われる。

b) スクイージーの場合

平均膜厚は、1層目では全て1.3mmであったが、2層目2.5～2.7mmとなり区画幅が広い場合に少し減少した。施工後の状況を観察したところ、施工工具を切り返すことによって防水材が区画から若干はみ出していた。そのため、施工区画内の防水材が不足し、平均膜厚に影響を与えたと考えられる。一方膜厚の変動係数は、区画幅が広がるにしたがって、低下する傾向がみられる。1層目が0.18～0.15、2層目が0.13から0.10となり、金ごてに比べるとかなり均一な膜厚になっている。

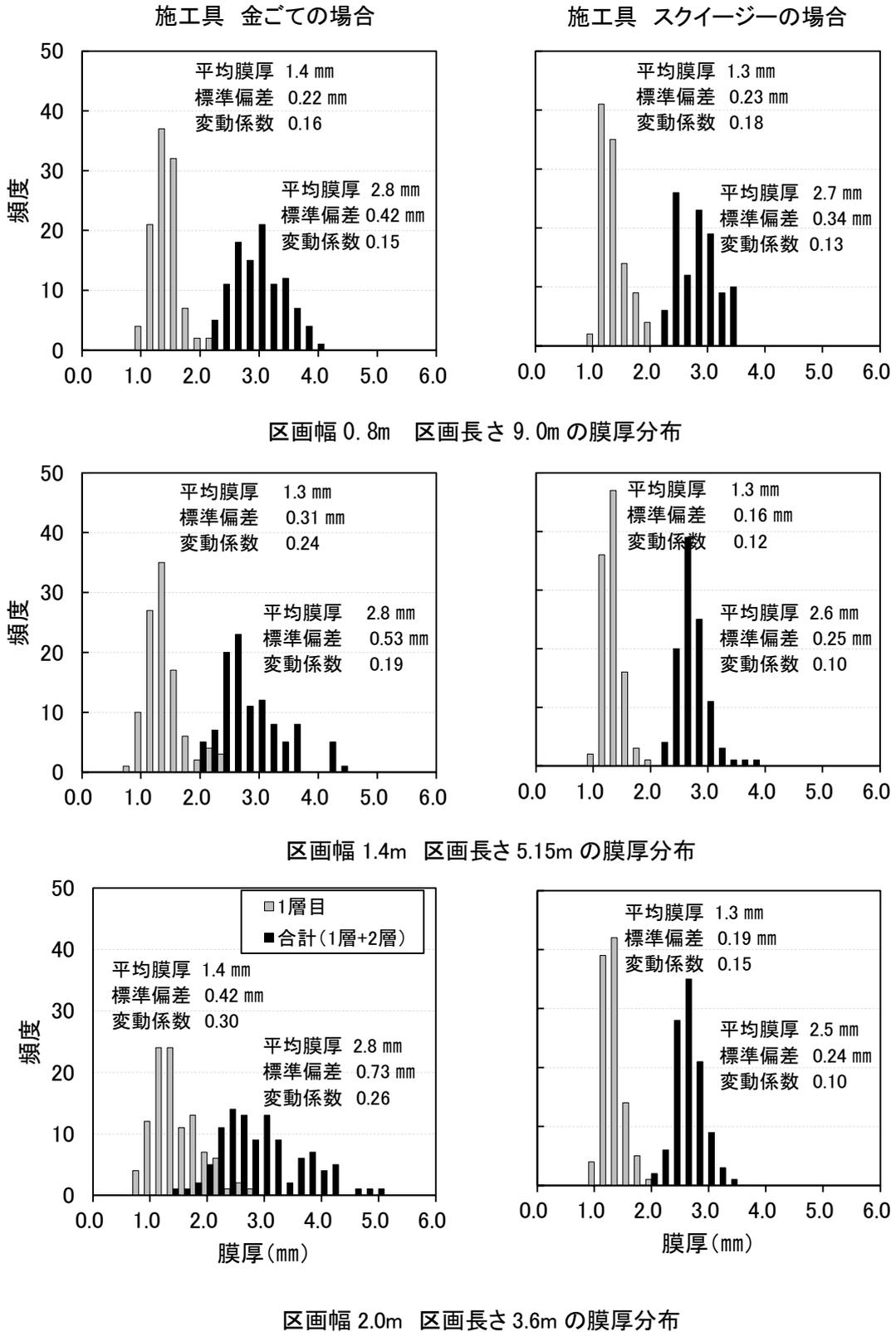


図 3.7 広げ作業の膜厚分布結果 (左: 金ごて 右: スクイージー)

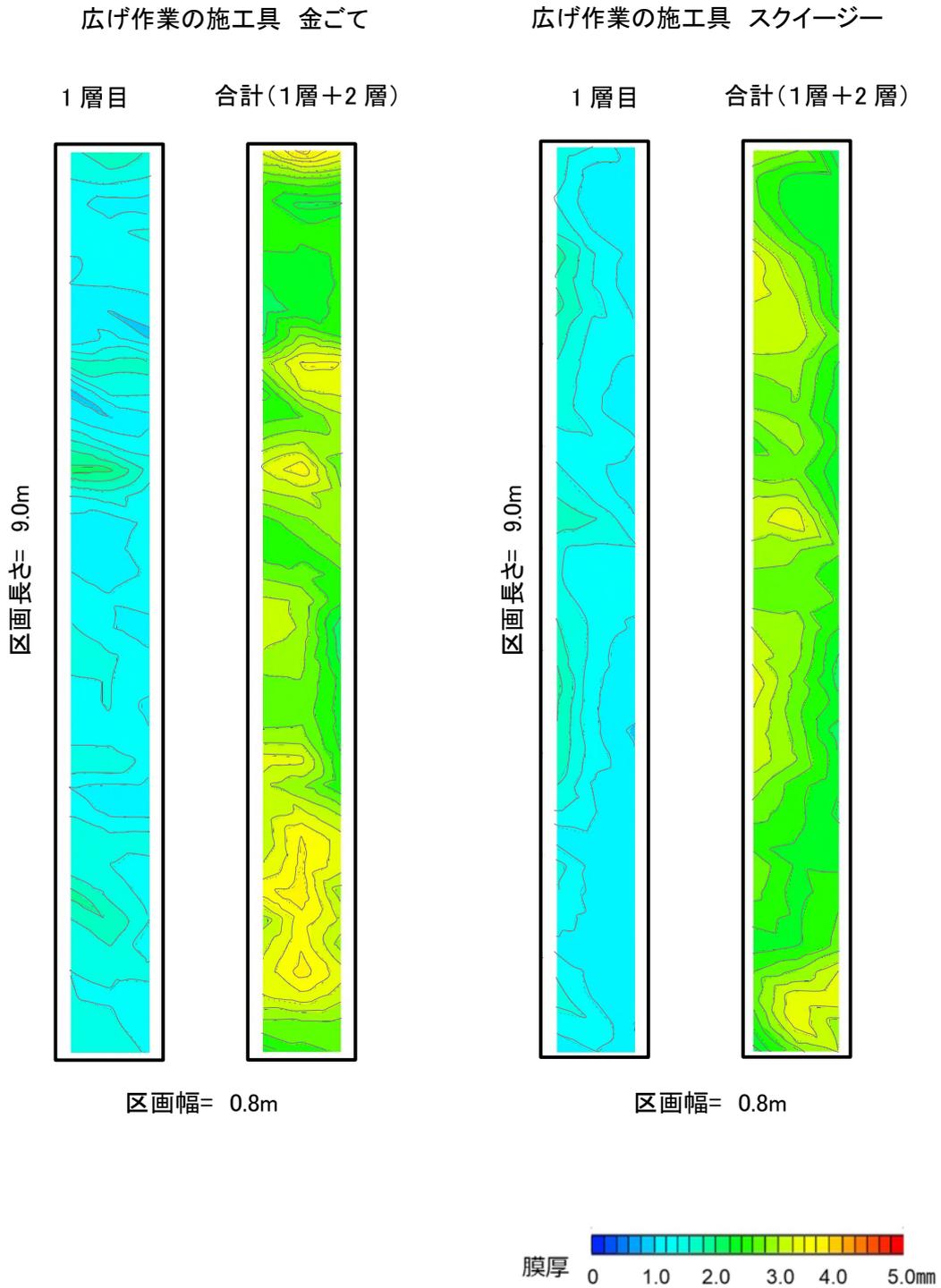


図 3.8 平場部の膜厚 (区画幅 0.8m 長さ 9.0m)

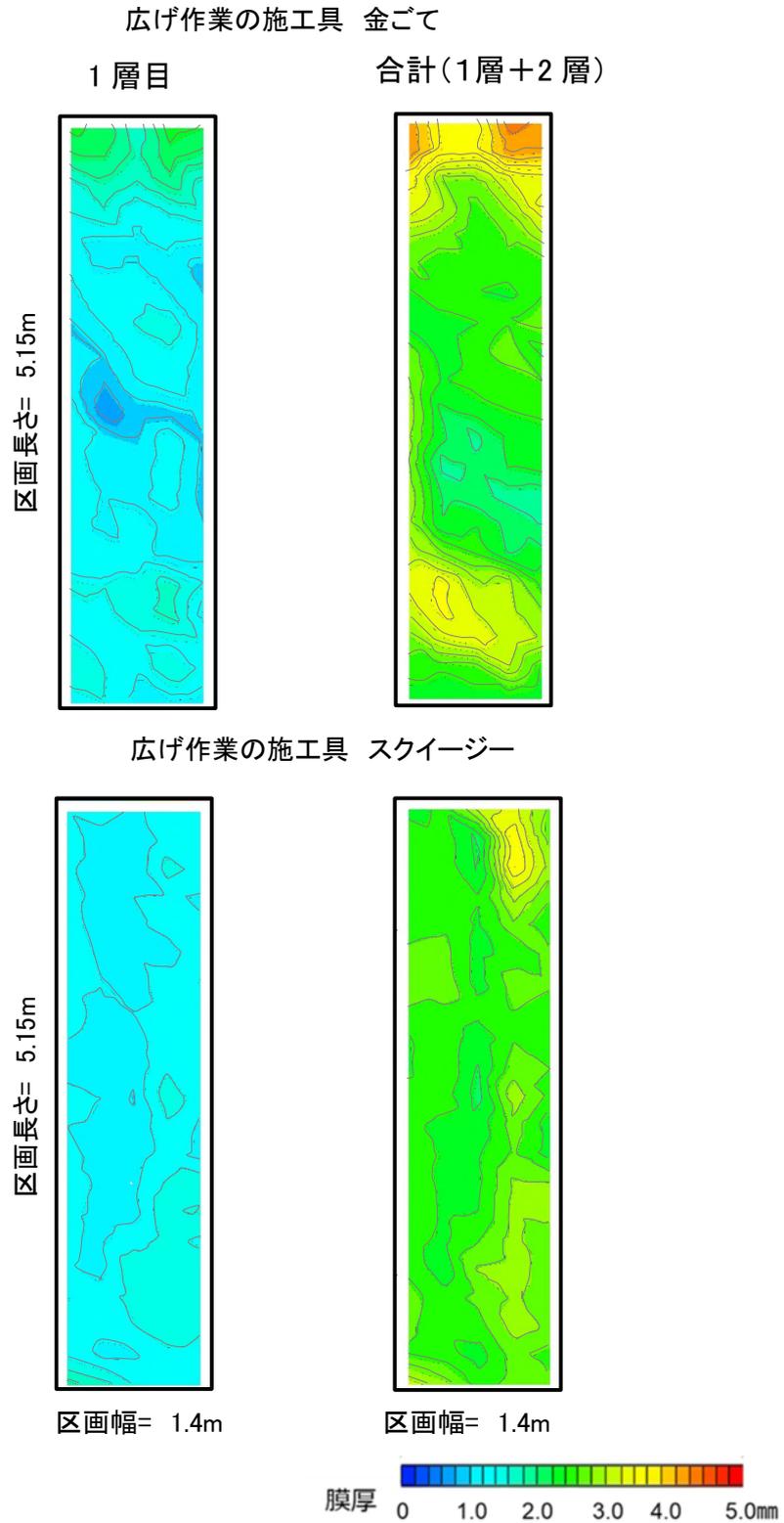


図 3.9 平場部の膜厚 (区画幅 1.4m 長さ 5.15m)

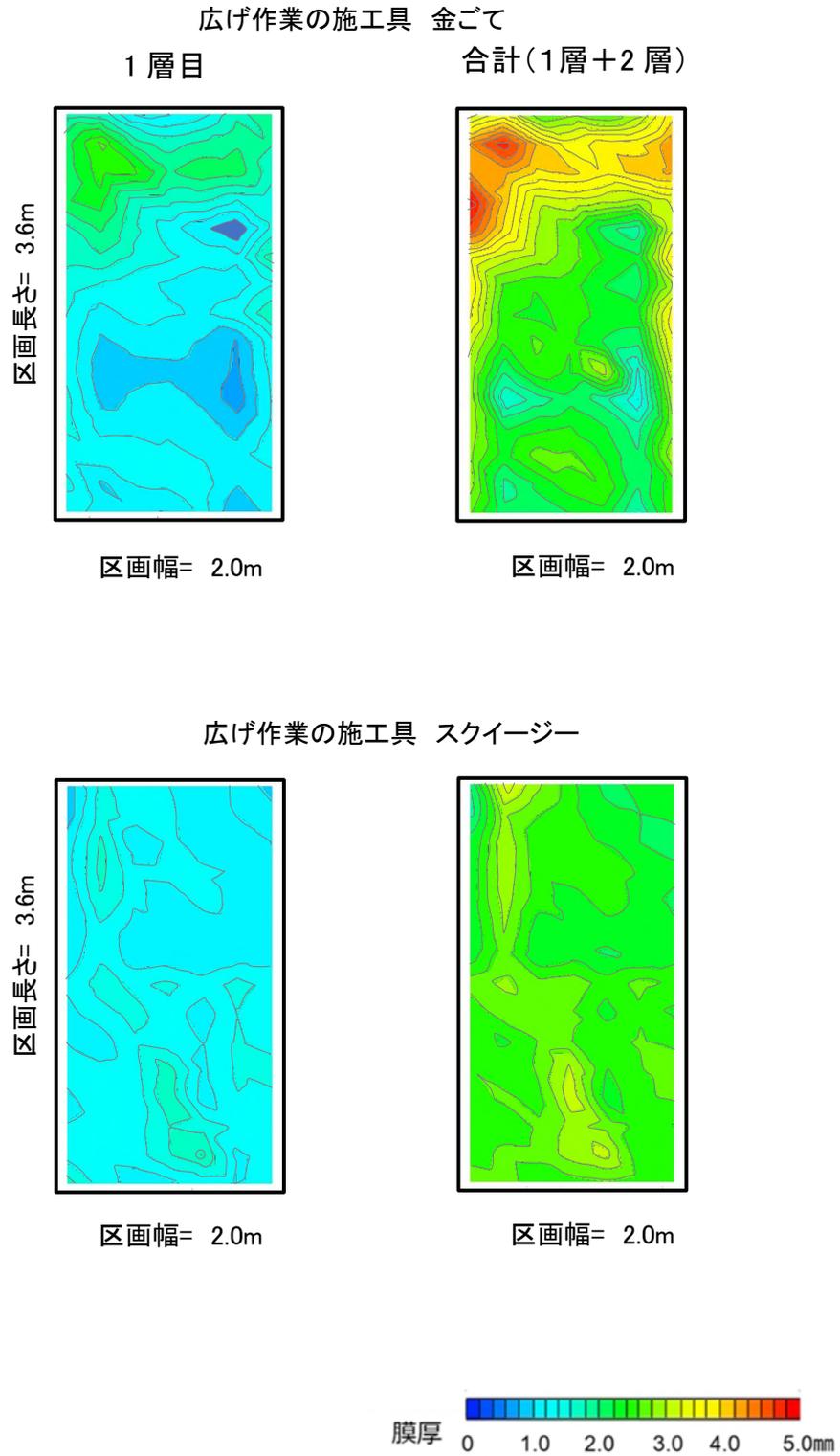


図 3.10 平場部の膜厚 (区画幅 2.0m 長さ 3.6m)

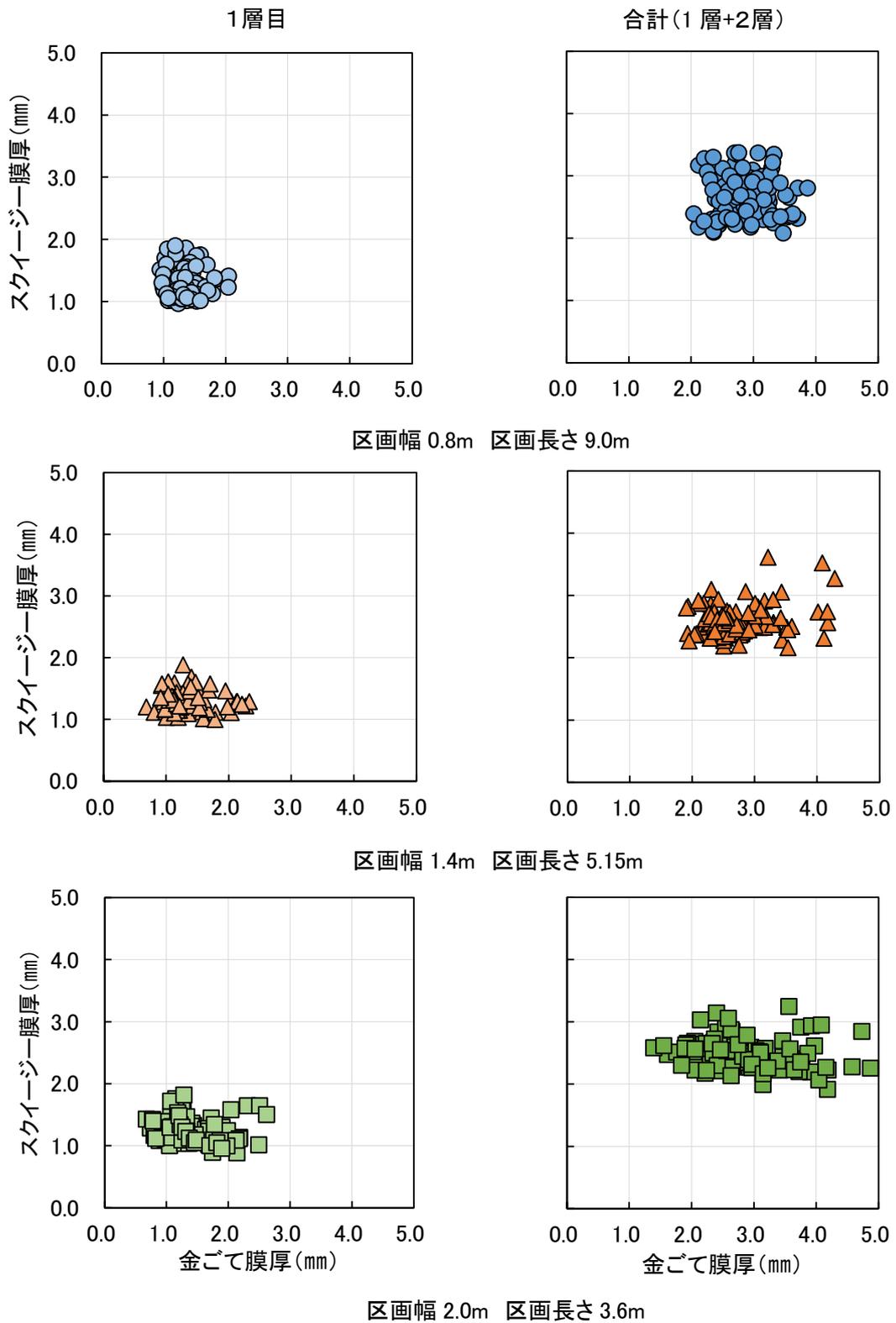


図 3.11 区画幅の違いによる金ごてとスクイジーの膜厚相関図

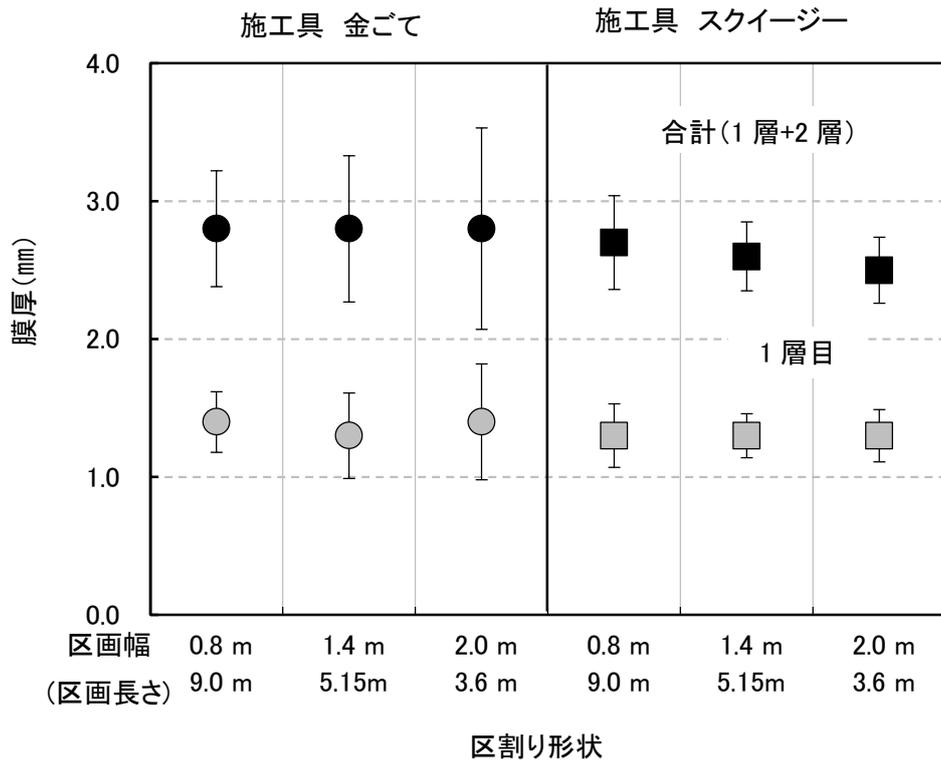


図 3.12 膜厚に及ぼす区画幅の影響

3.6 膜厚確保の視点からみた最適区画

ウレタンゴム系塗膜防水の施工区画は、施工者が面積や材料の可使時間等を鑑み、作業量と歩掛を考慮して決めることが実務では求められる。以下にその観点から見た、施工区画の考え方を示す。

(1) 金ごての場合の施工区画

図3.13 左に、金ごての場合の撒き作業と広げ作業の標準偏差を示す。安定した膜厚の防水層を形成するためには、撒き作業では区画の幅が広く長さの短い区画が望ましい。一方、広げ作業では、逆に区画の幅が狭く細長い区画が望ましく、両者はトレードオフの関係にある。所定の膜厚の防水層を作るためには、両者のバランスを考慮して施工区画を決定する必要がある。実務ではこれらの良いバランスが求められる。両者の交点が最も効率的で望ましく、これらを総合的に判断する必要がある。

(2) スクイージーの場合の施工区画

図3.13右に、スクイージーの場合の撒き作業と広げ作業の標準偏差を示す。撒き作業は、金ごてと共通である。広げ作業は区画幅が広くなると、標準偏差は低下する傾向にある。これは、スクイージー先端部の刃先が楕円形状となっているため、塗布量が制御しやすいためだと考えられる。そのため、膜厚のばらつきが金ごてに比べて小さく、施工面積が広い場合に有効な施工工具であると思われる。

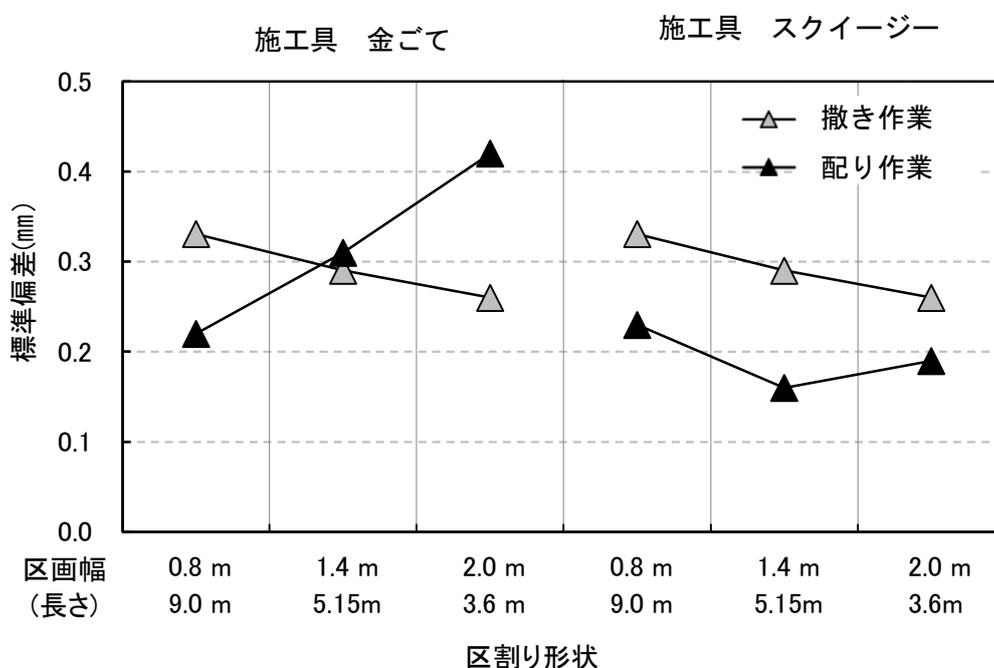


図 3.13 区割り形状の違いによる撒き作業と広げ作業の標準偏差

3.7 平場部膜厚確保のための好ましい施工条件

本実験をもとに、実務における平場部膜厚確保の観点から好ましい施工条件を整理し、表3.1に示す。今回対象とした範囲では、区画幅1.4m 区画長さ5.15m が比較的バランスの良い区割りであると考えられた。

表 3.1 平場部膜厚確保のための好ましい施工条件

項目		好ましい	⇔	好ましくない
施工区画		あり		なし
撒き作業	区画長さ	短い		長い
広げ作業	区画幅	金ごて		広い
		スクイージー	広い	狭い
膜厚精度 (標準偏差)	区画幅	金ごて		広い
		スクイージー	広い	狭い
平均膜厚	区画幅	金ごて	区画幅に関わらずほぼ同等	
		スクイージー	狭い	広い

3.8 まとめ

ウレタンゴム系塗膜防水の平場部分を対象に、施工区画が膜厚に及ぼす影響について検討した。本章の結論は以下の通りである。

- (1) ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚を確保するためには、従来から一般的に行われている塗布量管理に加え、事前の区割りと区画の明示が重要である。
- (2) 撒き作業の施工区画は、区画長さが短い方が望ましく、過度に長くなると防水材の撒き量が不安定になる。
- (3) 広げ作業の施工区画は、施工具によって異なり、金ごてでは区画幅が狭く、スクイージーでは区画幅が広くなるにしたがって、ばらつきが小さくなる傾向となる。特に前者の場合は、施工者の体格や技能も考慮して区画幅を設定する必要がある。
- (4) ただし、実務では区画幅、区画長さ及び作業時間のバランスが重要である。今回対象とした区画では、金ごて・スクイージー共に、幅1.4m、区画長さ5.15m が比較的バランスの良い区割りであると考えられた。

第4章

立上り部施工時における膜厚ばらつきを低減する
ための検討

第4章 立上り部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討

4.1 はじめに

ウレタンゴム系塗膜防水の立上り部は、施工面が垂直であるため膜厚の確保が難しく、平場より施工技能が必要な部位である。立上り部の膜厚を確保するためには、補強布を敷設することが有効であると考えられている。しかし、写真4.1に示すように膜厚実態調査では、補強布がないまま施工されているケースもみられ、膜厚不足や経年劣化によってひび割れ、漏水等の不具合も報告されている。

立上り部の膜厚については、日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説JASS 8 防水工事や公共建築工事標準仕様書では、平場部と同様に単位面積あたりの使用量で管理するとされている。ところが、防水層の施工については、“気泡・ピンホールが生じないように、防水材の1セットあたりの使用量を区割りしてゴムべらなどを用いてむらなく塗布する”とあるだけで、それ以上詳細な記述はない。そのため、膜厚確保は写真4.2に示すように施工者の経験や感覚にゆだねられており、具体的な管理基準も明確ではない。

本章はこのようなことを背景に、ウレタンゴム系塗膜防水立上り部の膜厚を確保するため、施工具と防水材の粘度に着目し、最適な膜厚確保のための施工条件を提示することを目的とした。

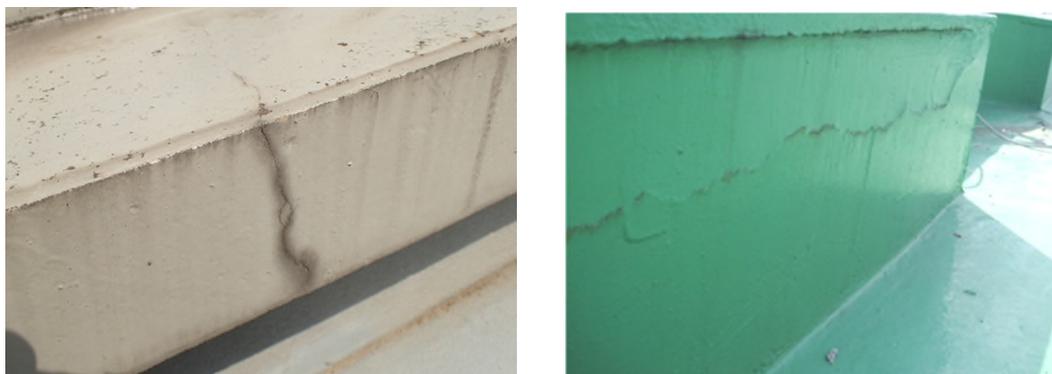


写真 4.1 膜厚不足による欠陥事例

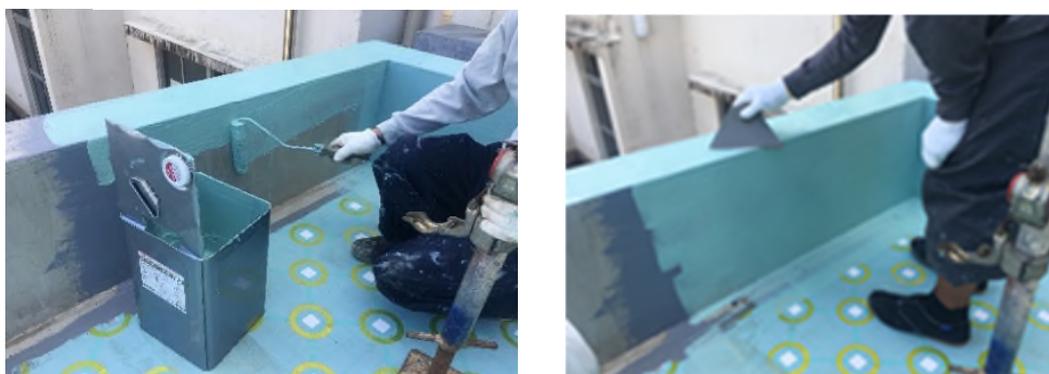


写真 4.2 ウレタンゴム系塗膜防水層立上り部の施工状況

4.2 立上り施工時の作業内容と補強布の効果を確認するための実験

4.2.1 実験概要

ウレタンゴム系塗膜防水立上り施工時の作業内容と、補強布の効果を確認するため、写真4.3に示すコンクリート壁の2区画（1区画は高さ0.5m、長さ6.7m）を利用して施工実験を行った。防水材は、JIS A 6021:2011（建築用塗膜防水材料）に準拠した市販の2成分形手塗りタイプ立上り用（硬化物密度 1.5Mg/m³）を使用した。目標膜厚は、平均2.0mmである。

施工に先立ちコンクリート壁表面に、渦電流式膜厚計での膜厚測定のための準備として、0.5m 間隔で上下2列、幅50mm のアルミテープを設置した。施工者は、経験年数20年以上の1級防水施工技能者（A 工区）と施工経験1年未満の非技能者（B 工区）2名とした。また、施工工具はゴムべらとポリべらを用意した。実験中は、作業開始から終了まで全工程の作業内容を詳細に観察した。翌日防水層の硬化を確認した後、渦電流式膜厚計を用いて、膜厚を測定した。測定点は、各工区ともにアルミテープ上の60箇所である。

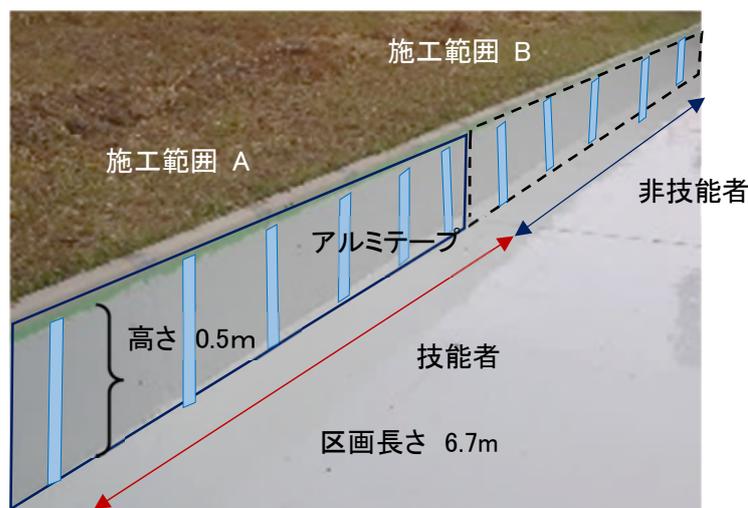


写真 4.3 立上り補強布の効果を確認する実験の防水下地

4.2.2 実験結果と考察

(1) 施工者の作業内容

作業観察からウレタンゴム系塗膜防水立上り部は、写真4.4に示す手順で施工されていた。

- ① 施工者は、提供された施工区画（長さ6.7m×高さ0.5m）をさらに作業のしやすい区画幅に分割した。この区画幅は、補強布の幅（概ね0.9m程度）で割りつけられていた。
- ② 使用した防水材は2成分形であるため、現場で主剤と硬化剤のかくはん・混合作業を行った。
- ③ まず、補強布をコンクリート下地に、少量の材料を用いて張り付けた。
- ④ 防水材を施工面へ配る作業は、ゴムべらを用いて行った。
- ⑤ 配られた防水材は、ポリべらを用いて左右に塗り広げて仕上げた。

作業観察の結果、以下のことが明らかになった。

ウレタンゴム系塗膜防水立上り部の施工は、下地に防水材を配る作業（以下、配り作業と記す）と塗り広げる作業（以下、仕上げ作業と記す）とで明確に分かれて構成されている。施工工具も、作業によって使い分けていた。また、防水材の塗り付け量は、施工者の経験と感覚でなされており、これらは膜厚のばらつきに影響を与える要因であることが推定された。



防水材の混合



配り作業



仕上げ作業



膜厚測定

写真 4.4 立上り部の施工手順

(2) 膜厚分布

膜厚測定結果を、技能者については図4.1、非技能者については図4.2に示す。1層目の膜厚は、両者とも平均膜厚1.0mmであり、標準偏差は技能者では0.23mm、非技能者では0.26mmと、どちらも尖度が高い分布になっている。これは下地に軽微な不陸等があっても、防水材料を補強布に均一に塗り込むことで、施工者の技能に関わらず膜厚のばらつきが小さくなる傾向にあることを示している。一方、2層目では補強布が使用されていないため、膜厚のばらつきが大きくなっている。標準偏差は技能者では0.34mm、非技能者では0.57mmとなり施工技能による差が明確にみられた。このことから補強布は、施工技能によるばらつきを小さくする効果があり、膜厚確保に有効であると考えられた。

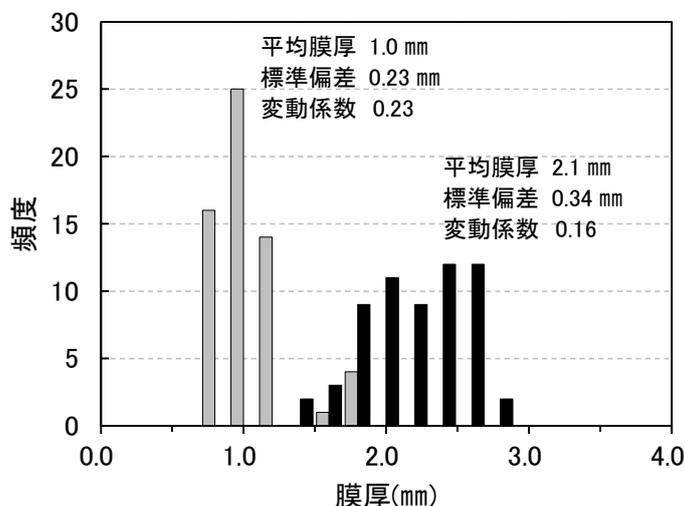


図 4.1 施工経験 20 年以上の技能者施工測定結果(23°C RH60%)

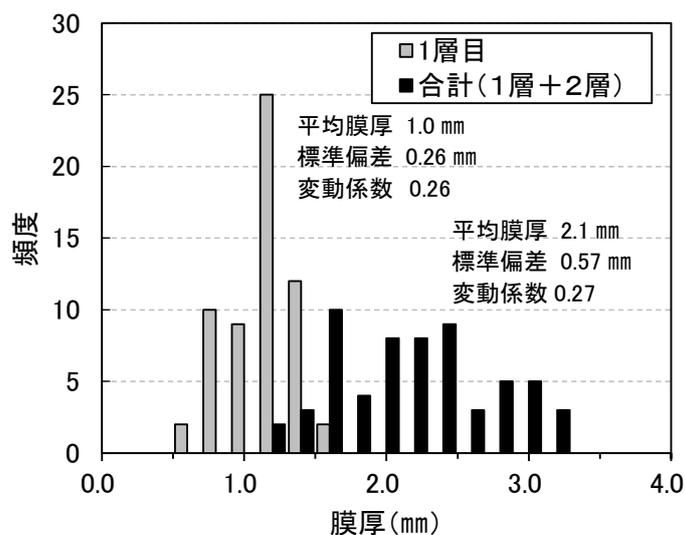


図 4.2 施工経験 1 年の非技能者膜厚測定結果(23°C RH60%)

4.3 ウレタンゴム系塗膜防水立上り部の膜厚に与える施工要因

ウレタンゴム系塗膜防水立上り部の施工に関する実状を把握するため、全国31 都道府県の専門工事会社128 社を対象に、アンケート調査を行った。立上り部の配り作業と仕上げ作業に使用する主な施工工具を調べ、その結果を図4.3に示す。配り作業ではゴムべら以外にも、写真4.5に示すようなローラーが多く用いられている。一方、仕上げ作業ではポリべらや刷毛等が多くなっている。このように、実務では、配り作業と仕上げ作業で、施工工具を使い分ける傾向がある。各施工工具の防水層仕上がり状況を、写真4.6に示す。均一な膜厚を確保するためには、仕上げ面を平滑にする必要があり、ポリべらは仕上げ作業に適した施工工具であると思われた。一方、ローラーやゴムべらは、仕上げ面に凹凸や塗りむらがみられ、この作業には不向きな施工工具であるといえる。

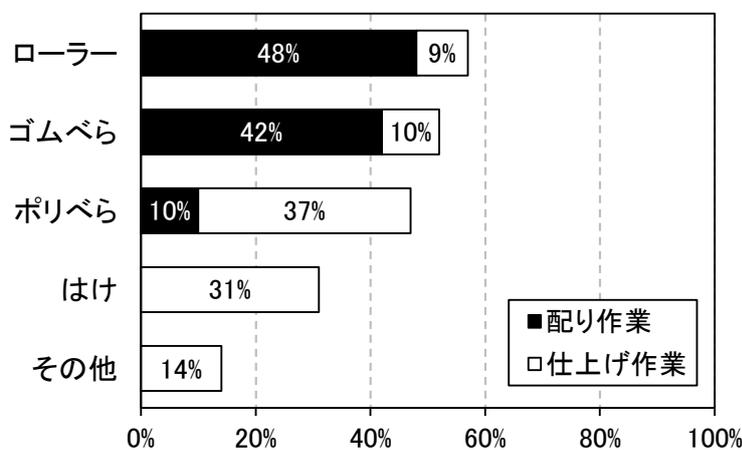


図 4.3 立上り部に使用する施工工具の割合



写真 4.5 立上りに使用する施工工具

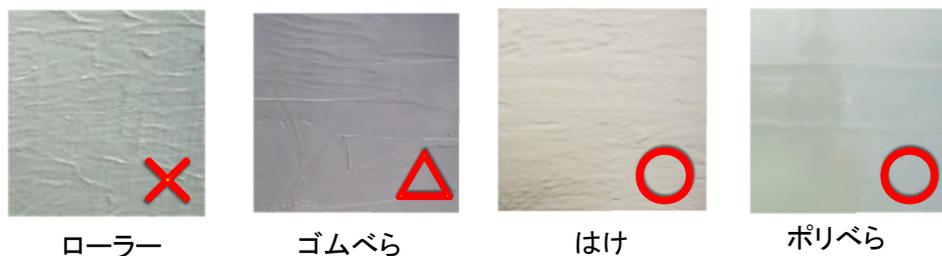


写真 4.6 仕上げ作業後の施工表面

立上り部の希釈割合結果を、図4.4に示す。立上り部に使用する防水材は、粘度調整のため希釈することも多く、これらは施工者の経験や感覚に依存するため、その程度もまちまちであった。粘度は、立上り部の塗り付け量や仕上げの程度に影響を与えると思われる。そのため、施工の観点から防水層の品質に影響を与える要因は「施工具」と「粘度」と考えられ、この後の実験ではこれらを変数として検討することとした。

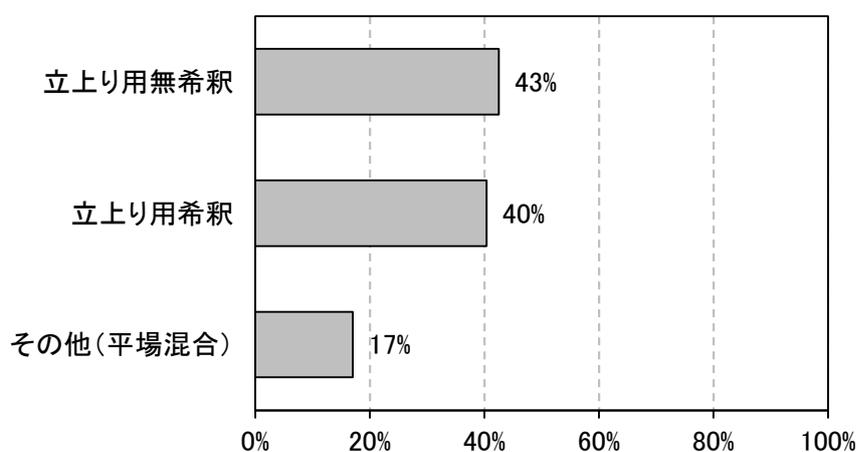


図 4.4 立上り部の防水材希釈割合

4.4 配り作業を検討するための実験

4.4.1 実験概要

配り作業時に塗り付けられた防水材の質量を測定するため、ゴムべら（幅125mm）とローラー（幅100mm）を用いて比較した。これは、両者の使用頻度が高いためである。試験架台は立上りを模したものであり、下地は図4.5に示す幅0.9m高さ0.9mの合板下地である。配り作業と仕上げ作業の両作業に兼用して用いており、上方0.3mを配り作業に、下方0.6mを仕上げ作業に使用した。

実験には、JIS A 6021:2011（建築用塗膜防水材）に準拠した2成分形防水材料を使用した。配り作業においても粘度の影響が想定されるため、立上り用希釈材を添加して粘度を数段階に変えた材料（希釈率0%、5%、10%）とした。これを試験架台上部（面積：0.3m×0.9m）に材料配りをしてもらい、硬化後保持された防水材料の重量を測定した。具体的には、事前に仮の下地材として薄ベニヤ板を架台にさらに張っておき、使用量に制限を与えずに施工者の判断で適量と思われる量の防水材を、ゴムべらとローラーを用いて3回ずつ塗り付けた。翌日防水材の硬化を確認した後、写真4.8に示す薄ベニヤごと取り外し、立上り部に保持された防水材の重量を調べた。

なお、施工者は経験年数20年以上の1級防水施工技能者であり、実験は写真4.7に示すように屋内実験室で、室温約23℃、湿度約60%R.H.の環境下で行った。

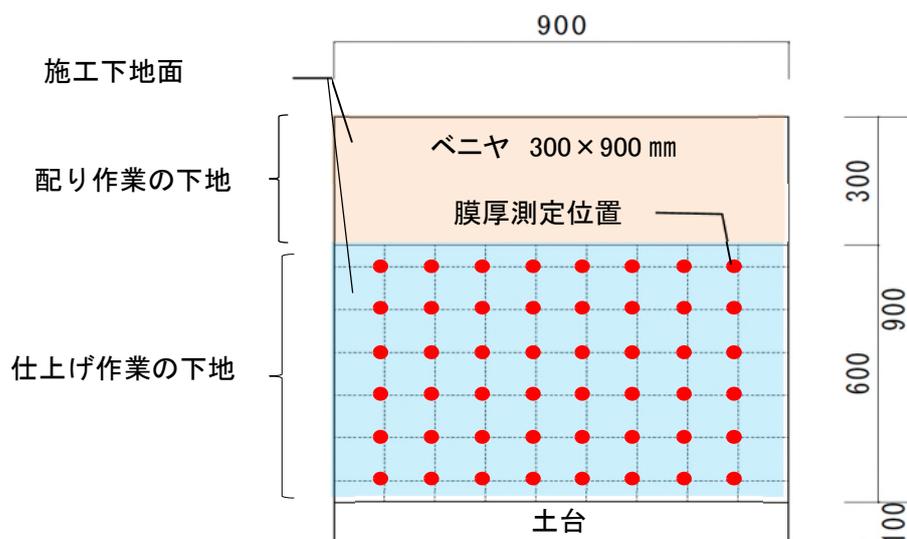


図 4.5 試験体の下地 (立面図)



配り作業の施工具 ゴムべら



配り作業の施工具 ローラー

写真 4.7 立上り部への防水材塗り付け作業



無希釈



希釈率 5%



希釈率 10%



配り作業の施工具 ゴムべら

配り作業の施工具 ローラー

写真 4.8 下地に塗り付けられた防水材

4.4.2 実験結果と考察

a) 施工工具の影響

粘度と施工工具毎の平均塗り付け量の関係を図4.6 に示す。施工者の判断で適量となった塗り付け量を比較すると、ローラーは、ゴムべらに比べ全体的に20~35 g 程度多くなった。これは、ローラーの繊維部分に防水材が含みやすいためである。結果として、配り作業は使用する施工工具によって、塗り付け量が大きく異なることが明らかとなった。また、希釈することによって配り回数も多くなるため、防水材の使用量はこれらを考慮して塗布量管理する必要がある。

b) 粘度の影響

配り作業時の塗り付け量は、施工工具の種類に拠らず、粘度が低くなるにしたがって少なくなる傾向がある。特に、ゴムべらではその傾向が顕著であった。1回の塗り付け量が少なくなると、塗り付け回数を増やす必要があり作業時間は長くなる。一方、塗り付け量が少ないまま、次の作業を行うと当然膜厚不足となる。このように、配り作業における材料粘度はウレタンゴム系塗膜防水立上り部の施工において、最も重要な要因であると思われた。

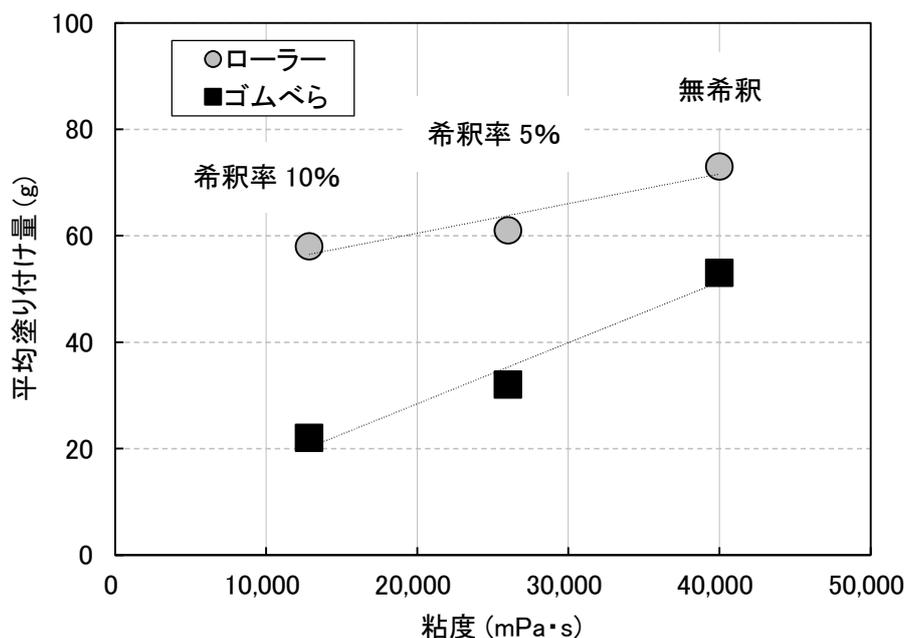


図 4.6 ウレタンゴム系塗膜防水材の粘度と塗り付け量の関係 (23°C 60%RH)

4.5 配り作業時の施工具と粘度の検討

4.5.1 実験概要

施工具と粘度が膜厚に及ぼす影響を確認するため、前節で用いた試験架台の下部分（高さ0.6m 幅0.9m、施工面積0.54 m²）を使用して実験を行った。膜厚測定は渦電流式膜厚計を使用するため、下地にあらかじめアルミニウム合金薄膜処理された通気緩衝シートを敷設した。目標膜厚は標準仕様書JASS8 に準拠し、1層目平均1.0mm、2層目平均1.0mmとした。実験開始時の粘度は、図4.7に示す約40,000mPa・s（無希釈、混練10分後）と25,000mPa・s（希釈率5%、混練10分後）である。作業は、ローラーで材料を配りポリベラで仕上げる方法と、ゴムベラで配りポリベラで仕上げる方法の2種で行った。施工者と試験環境は、前節と同一条件とした。

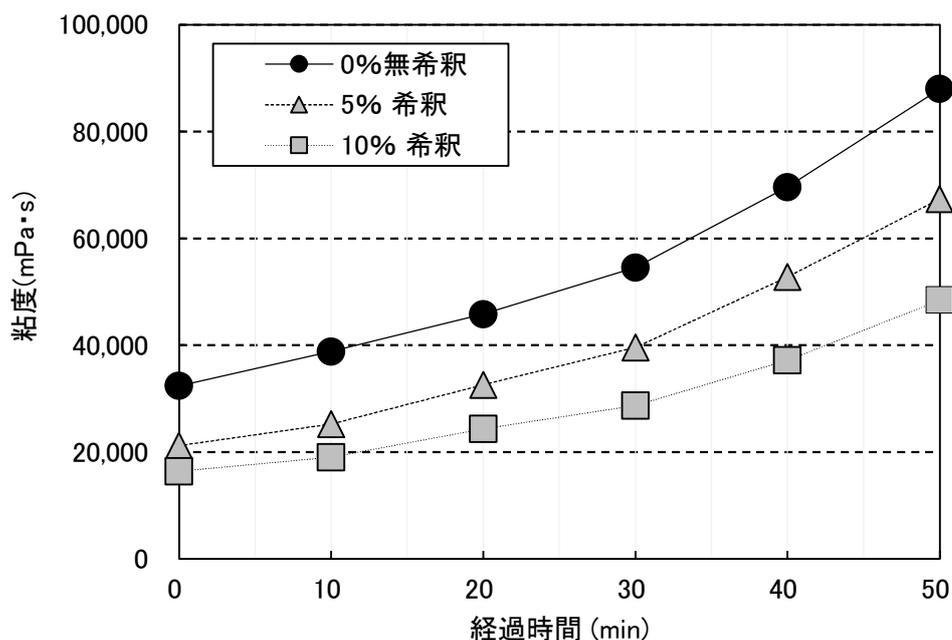


図 4.7 立上り防水材の粘度の経時変化（23°C RH60%）

実験は、写真4.9に示す作業手順で行った。

- ① ゴムべらもしくはローラーを用いて、施工面へ防水材をそれぞれ塗り付けた。
- ② おおよそ厚さ0.3mm 分の材料で補強布を張り付けた後、全体の厚さが1.0mm となるように施工した。
- ③ その後、ポリベラ用いて防水材を左右に塗り広げながら仕上げた。
- ④ 翌日防水層の硬化を確認後、渦電流式膜厚計を用いて、1層目の膜厚を測定した。
- ⑤ 膜厚測定後、同じ施工要領で、2層目の仕上げ作業を行った。
- ⑥ さらにその翌日、1層目と2層目の合計膜厚を測定した。

膜厚測定は、図4.5に示す位置で0.1m 間隔に48箇所選定した。また、1層目、2層目の施工ともに、配り作業開始から仕上げ作業終了までの作業時間も計測した。



立上り部の配り作業



補強布の張付け作業



立上り部の仕上げ作業



渦電流膜厚計による測定状況

写真 4.9 立上り部における作業手順

4.5.2 実験結果と考察

(1) 膜厚分布

無希釈の場合の膜厚分布を図4.8、希釈率5%の場合を図4.9に示す。粘度が低くなると全体的に上方で薄く、下方に行くにしたがって厚くなる傾向がみられる。これらの測定結果をもとに、膜厚のヒストグラムを図4.10、ゴムべらとローラー同一膜厚測定位置の膜厚相関図を図4.11に示す。

平均膜厚は、1層目0.9~1.0mm、2層目施工後全体の平均膜厚は1.9~2.1mmとなり、すべての試験体で目標膜厚に近い値となった。これは、施工面積あたりの使用量をあらかじめ計量してから下地に供給しているためである。すなわち、施工に先立ち適切な面積に区割りしそこに所定量の防水材を確実に塗り付けることができれば、平均膜厚は目標膜厚に近づくことを示している。このことは、膜厚を確保するための必要条件であり、施工時における塗布量管理の重要なポイントと思われる。

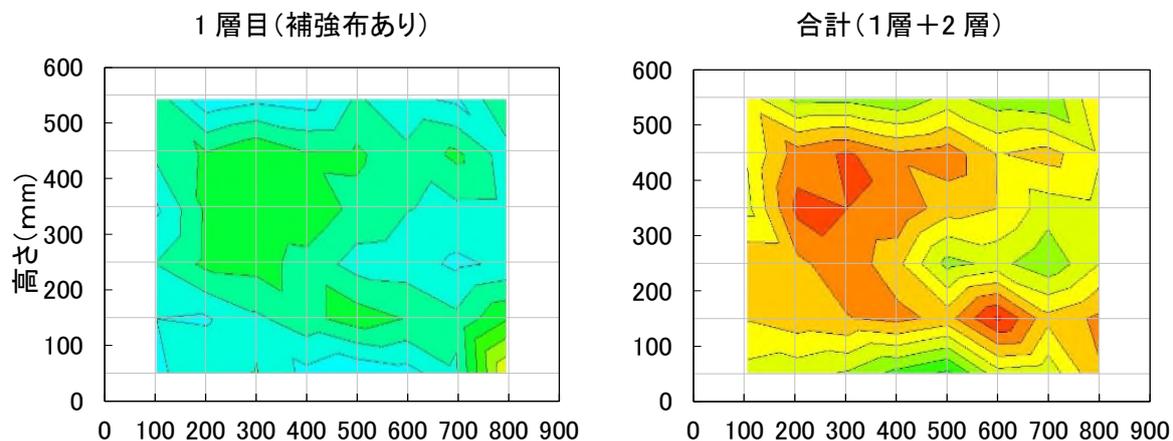
a) 施工工具の影響

配り作業におけるローラーとゴムべらを比較すると、前者の方が膜厚のばらつきは少なく、ヒストグラムも全体的に中央部で尖った形の分布になっている。また、膜厚平均値はゴムべらの方が若干厚めとなったが、膜厚最大値と最小値の差は大きくなり、部分的に不均一になっていることがわかる。これは、防水材を希釈した場合も同様の傾向であった。このことから、ローラーは防水材を下地に比較的均一に塗り付けやすいが、ゴムべらでは難しく、施工者の経験や技能が必要な施工工具であると思われた。

b) 粘度の影響

1層目に補強布を敷設した試験体の膜厚を、各施工工具の標準偏差で比較した。ローラーでは、0.17mm（無希釈）と0.17mm（希釈率5%）、ゴムべらでは0.25mm（無希釈）と0.32mm（希釈率5%）となり、ローラーでは粘度による影響はほとんどみられなかった。これは、補強布によって防水材が垂れにくくなり下地に保持されているためである。補強布を敷設しない2層目の標準偏差は、ローラーでは0.22mm（無希釈）と0.28mm（希釈率5%）、ゴムべらでは0.34mm（無希釈）と0.49mm（希釈率5%）となった。図4.11に、粘度の違いによる膜厚分布の相関関係を示す。このように、施工工具に拠らず粘度が低くなると、膜厚のばらつきが大きくなっている。特にゴムべらでは粘度が低くなると、垂直方向のばらつきが大きくなる傾向がある。

配り作業 ゴムべら
仕上げ作業 ポリべら



配り作業 ローラー
仕上げ作業 ポリべら

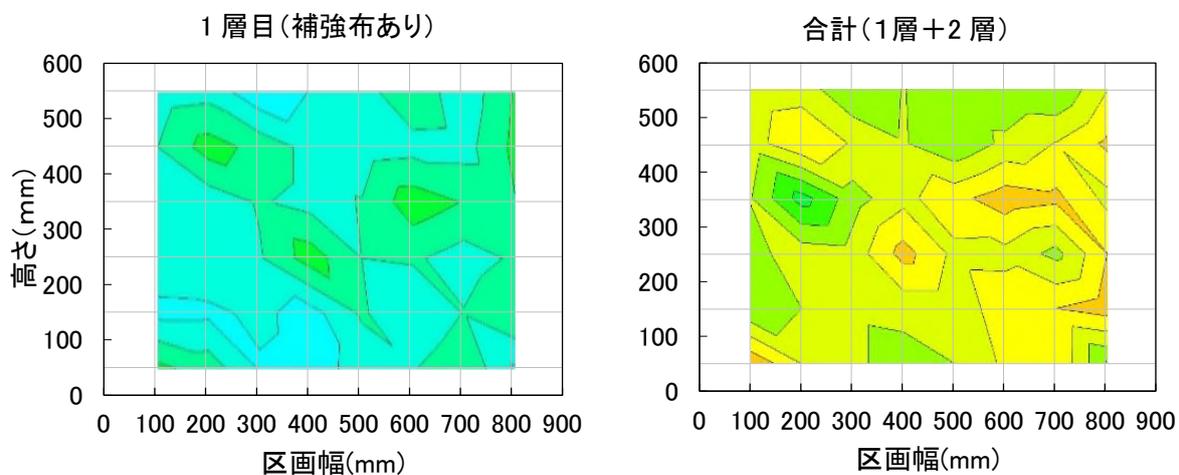
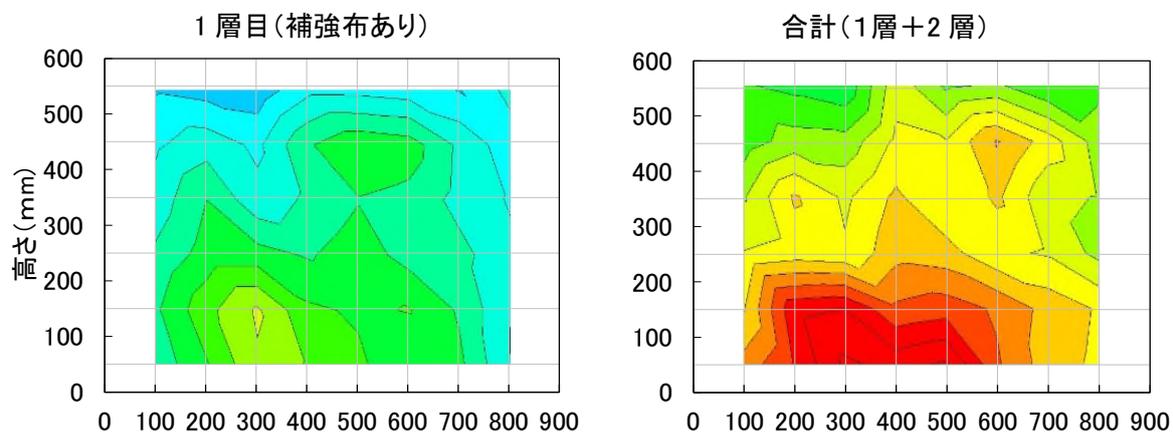


図 4.8 立上り部の膜厚（無希釈 粘度 40,000mPa）

配り作業 ゴムべら
仕上げ作業 ポリべら



配り作業 ローラー
仕上げ作業 ポリべら

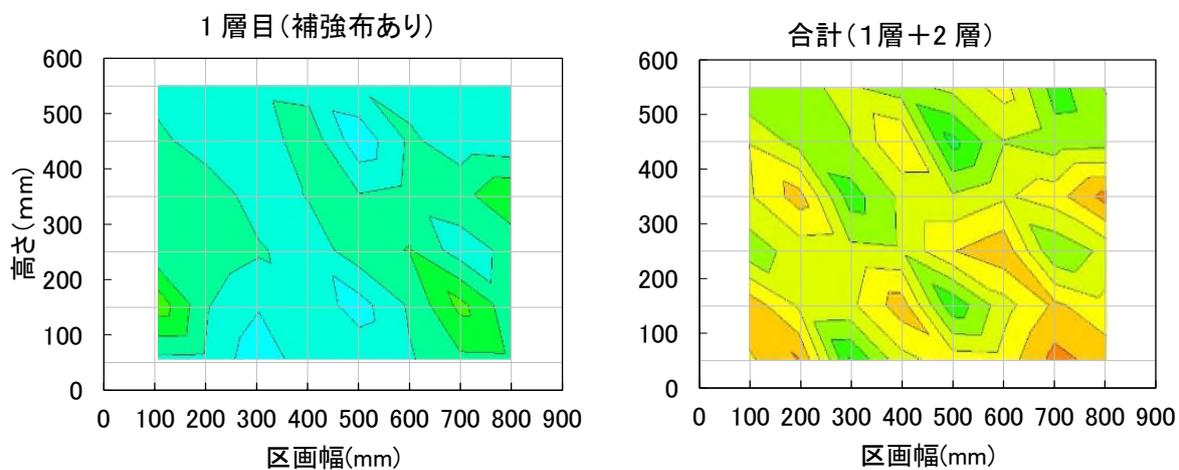


図 4.9 立上り部の膜厚 (希釈率 5% 粘度 25,000mPa)

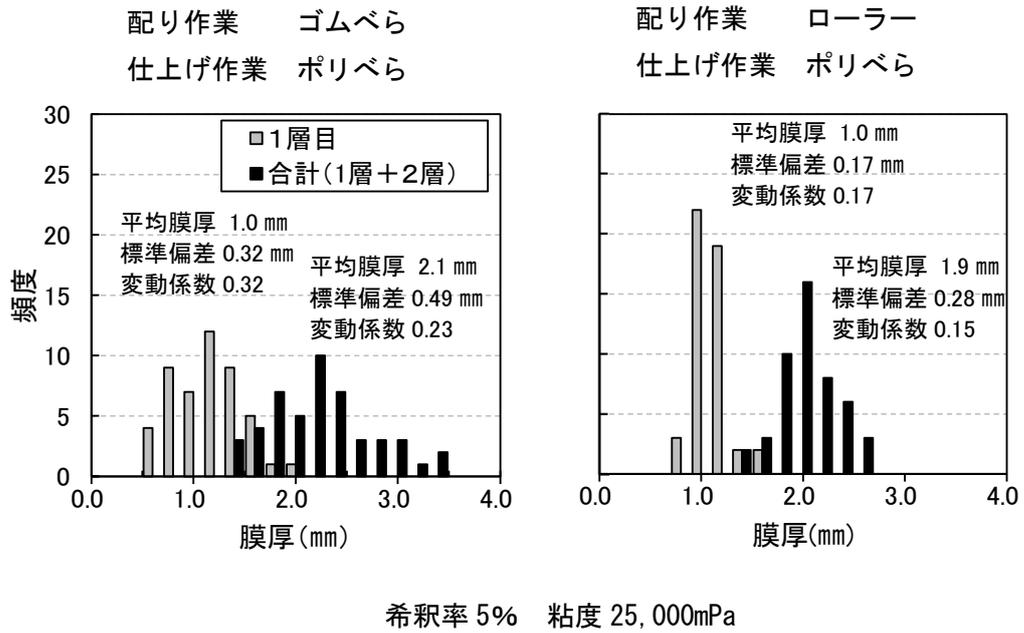
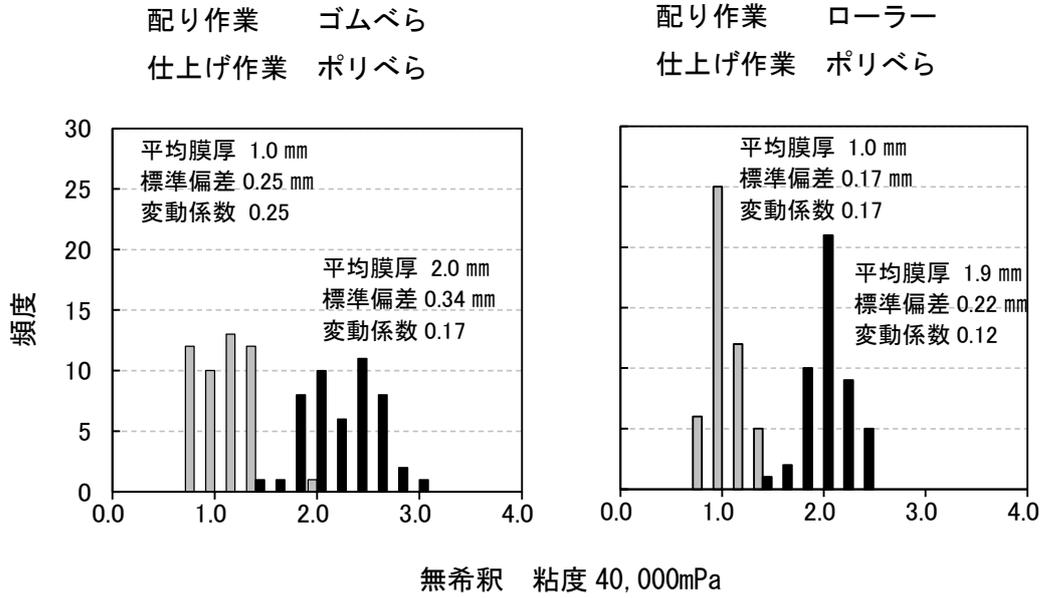


図 4.10 立上り部の膜厚分布

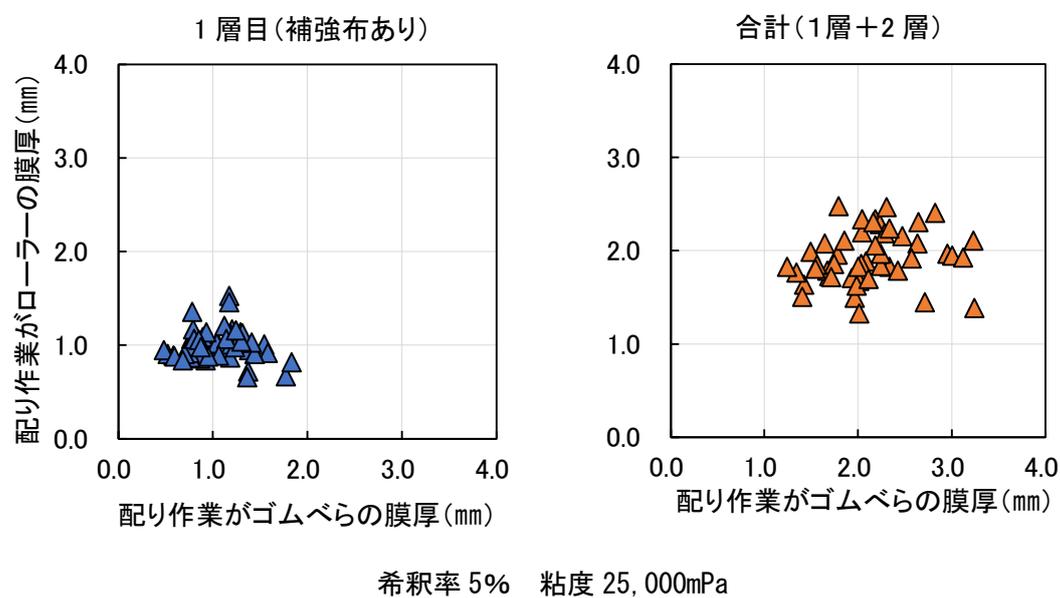
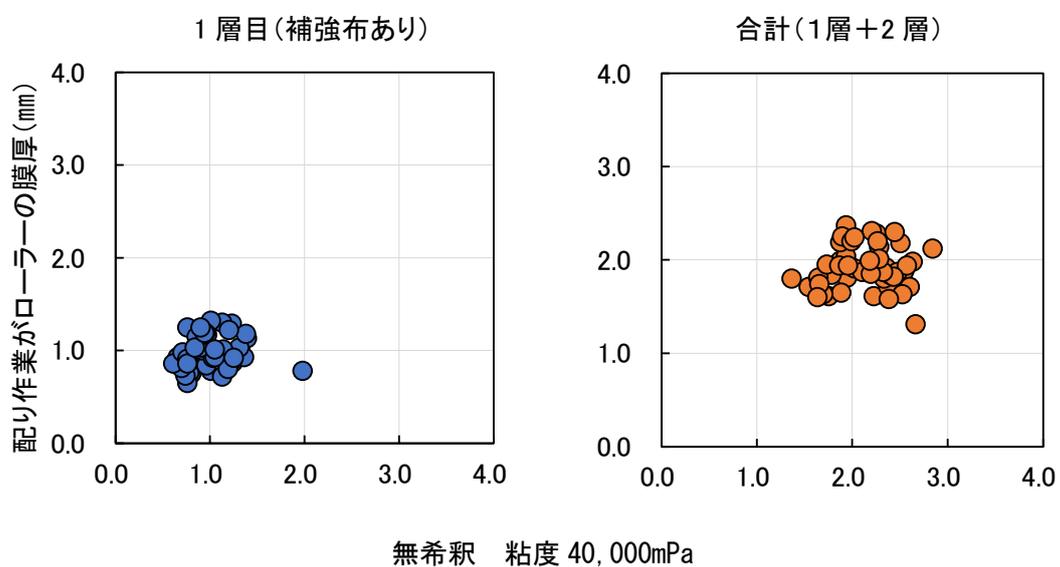


図 4.11 粘度の違いによるゴムべらとローラーの膜厚相関図

4.6 膜厚確保の観点からみた粘度の影響

立上りの膜厚を確保するためには、施工工具と粘度は最も重要な要素である。実務では、施工者が面積や防水材の可使時間を鑑み、作業量と歩掛を考慮して決定することが求められる。以下に、その観点からみた膜厚管理方法の考え方を示す。

(1) 防水材の希釈

建築工事標準仕様書・同解説JASS8 防水工事では、粘度が高く施工が困難な場合は、防水材製造所の指定する希釈剤を用いて、5%以内までその使用が許容されている。しかし、これらは防水性能や低温時等の施工性を鑑みたものであり、膜厚に及ぼす影響を考慮して決められているものではない。

膜厚確保の観点からみると、希釈することによって過度に粘度の低い防水材で施工すると膜厚不足になる危険性がある。そのため、ウレタンゴム系塗膜防水立上り部は、これらを十分考慮して施工する必要がある。

(2) 作業時間と粘度の関係

図4.12に、各施工要因（粘度、施工工具）と作業時間の関係を示す。配り作業にローラーを用いた場合は、粘度が低くなると作業時間が短くなっている。これは、希釈することによって防水材の塗り付けが容易となり、施工性が向上したためである。一方、ゴムべらでは粘度が低くなると作業時間が長くなっている。ゴムべらは、粘度が低くなると防水材が垂れやすくなるため施工性が著しく低下し、作業時間に影響したと思われる。

施工歩掛の観点からみると、作業時間も重要な要素である。防水材の粘度は時間の経過とともに高くなり、作業性が著しく低下する傾向がある。そのため、可使時間と施工者の技能を考慮して施工面積を決定することが望まれる。

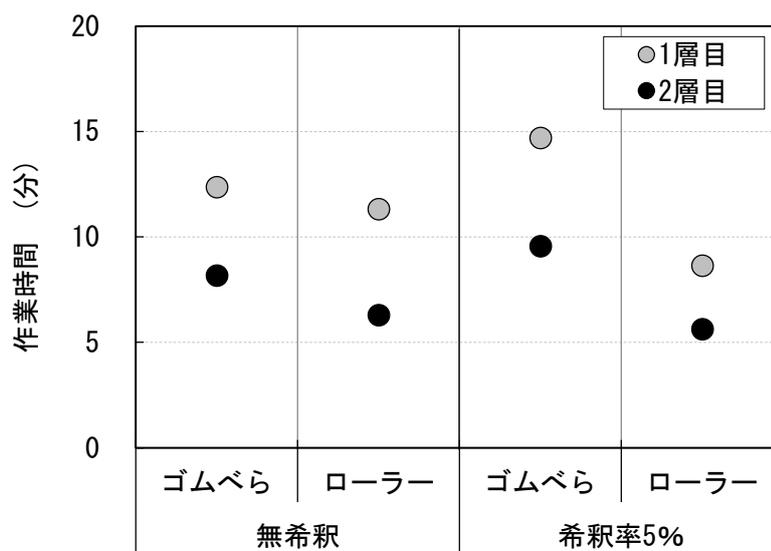


図 4.12 粘度と施工工具の違いによる作業時間の関係

4.7 立上り部膜厚確保のための好ましい施工条件

本実験をもとに、実務における立上り部膜厚確保の観点から好ましい施工条件を整理し、表4.1に示す。今回対象とした範囲では、塗布量管理を行った無希釈の防水材料を用いて補強布を敷設し、配り作業にローラー、仕上げ作業にポリベラを使用することが比較的バランスの良い施工方法と思われた。ただ、配り作業にローラーを使う場合は、防水材料の希釈率に十分留意する必要がある。

表 4.1 立上り部膜厚確保のための好ましい施工条件

項目		好ましい	⇔	好ましくない
防水材料の希釈		なし		あり
粘度		高い		低い
補強布		あり		なし
膜厚精度	配り作業	※ ローラー		ゴムべら
作業時間	配り作業時の 施工具	※ ローラー		ゴムべら
仕上り	仕上げ作業時の 施工具	ポリベラ	ゴムべら	ローラー

※防水材料の希釈率に留意が必要

4.8 まとめ

ウレタンゴム系塗膜防水立上り部分を対象に、施工工具と粘度に着目し、膜厚に及ぼす影響について検討した本研究の結論は、以下の通りである。

- (1) 立上り部の補強布は、膜厚のばらつきを低減する効果があり、施工技能に拠らず膜厚確保に有効である。しかし、粘度が低くなると、垂直方向のばらつきが大きくなるため、この点に留意する必要がある。
- (2) ウレタンゴム系塗膜防水立上り部の配り作業は、仕上げ作業はポリベラを使用することが望ましく、膜厚を確保する上で重要な作業工程である。
- (3) 作業時間は配り作業の施工工具によって異なり、ローラーでは希釈あり、ゴムべらでは無希釈の場合に短くなる。そのため、可使時間と施工者の技能を考慮して施工面積を決定することが実用的である。
- (4) 実務では、従来から一般的に行われている塗布量管理に加え、施工工具と粘度、作業時間のバランスが重要である。

第 5 章

プロセス管理を用いた膜厚管理の提案と その導入効果

第5章 プロセス管理を用いた膜厚管理の提案とその導入効果

5.1 はじめに

ウレタンゴム系塗膜防水工法の膜厚は、硬化物密度や塗膜厚さに換算した防水材の塗布量で管理されている。しかし、現場施工であるため、下地の状態、環境、作業者の技能、工法等の影響を受け、膜厚が不均一となる。このような湿式の防水工事は、出来上がり後の膜厚を管理しても、そこに潜む原因を特定することが難しい。また、完成した防水層は、実際に膜厚を測定して管理することが本来の姿であるが、現在の仕様書では膜厚を表示する仕様書になっていない。そのため、図5.1に示すような、ばらつきの少ない膜厚管理が求められている。

本章では、ウレタンゴム系塗膜防水施工時において、第2～5章までの検討結果をもとに、プロセス管理を用いた膜厚管理を提案し、実現場で導入検証を行った。

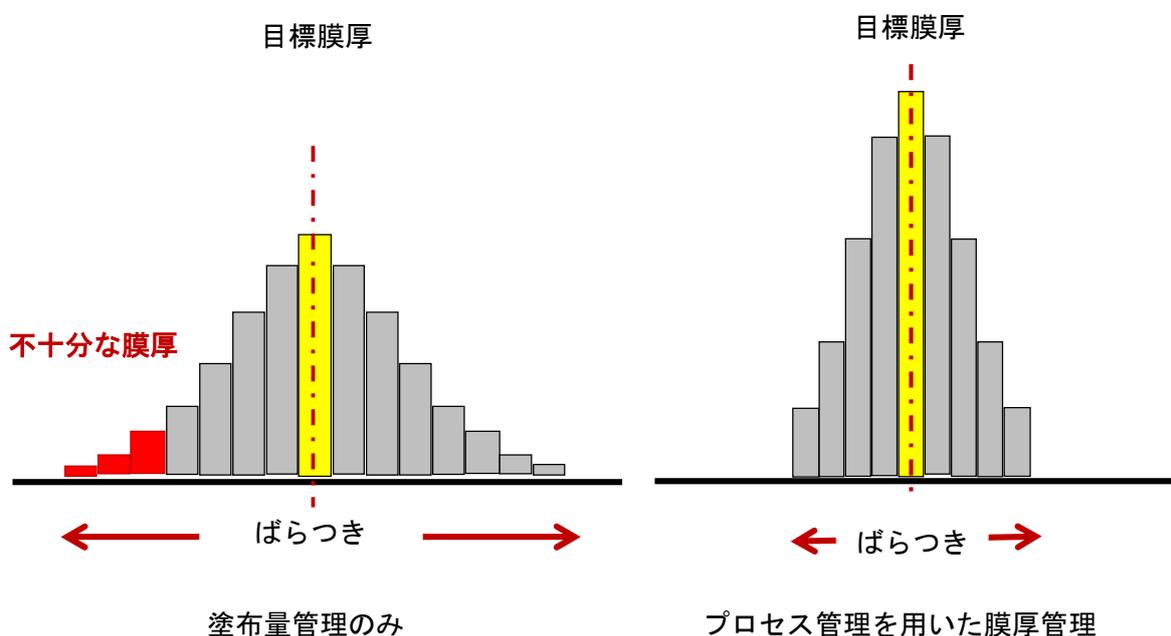


図 5.1 塗布量管理とプロセス管理を用いた膜厚分布の考え方

5.2 ウレタンゴム系塗膜防水工法のリスク対策

ウレタンゴム系塗膜防水は、継ぎ目のない仕上りとなるため、比較的漏水のリスクが少ない工法である。その一方で、膜厚の不十分な防水層が作られるという危険性もあり、その対策が不可欠となる。

図5.2に、ウレタンゴム系塗膜防水膜厚不足のリスク対策を示す。JISQ31000⁽²⁴⁾のリスク対策では「回避・低減・移転・保有」の4種類が存在する。ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚を確保するためには、リスクの発生確率・影響の大きさから優先順位を決め、膜厚のばらつき低減し、膜厚不足を回避することが最も重要な対策となる。

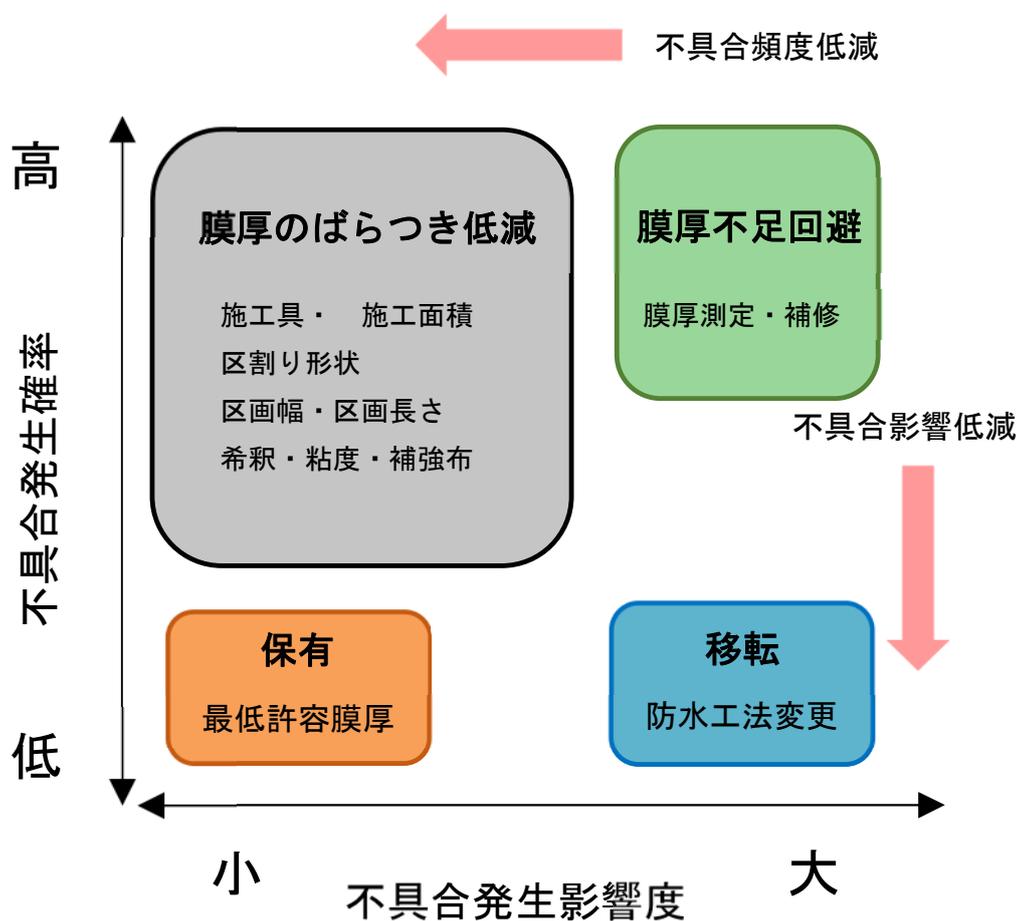


図 5.2 ウレタンゴム系塗膜防水膜厚不足のリスク対策

5.3 プロセス管理を用いた膜厚管理の提案

5.3.1 プロセス管理の考え方

ウレタンゴム系塗膜防水の施工は、管理項目が多く繰り返し作業となる。膜厚のばらつきを低減するためには、各プロセスで重点管理項目を絞りそれを管理することが重要である。プロセス管理は、作業のポイントでクリアすべき目標を明らかにしておき、それを丁寧に実行することにより、最終的に良好な製品を提供するためのマネジメント手法である。これはタイル工事の施工分野で導入⁽²⁴⁾され、効果をあげている。

本研究では、これらを参考にウレタンゴム系塗膜防水工法の施工面からみた、ばらつきの少ない膜厚管理方法を提案する。施工プロセスと結果の関係を (1) 式、プロセス管理の考え方⁽²⁵⁾を、図5.3に示す。

$$Q (\text{目標膜厚}) = P1 (\text{ばらつき要因①}) \times P2 (\text{ばらつき要因②}) \times \dots \times Pn \dots (1)$$

Q : 出来上がりの膜厚完成度 (0~100)

P1~Pn : 各工程における品質の完成度 (0~100)

出来上がりの膜厚完成度は、各施工プロセスにおける品質の完成度の積で表すことができる。

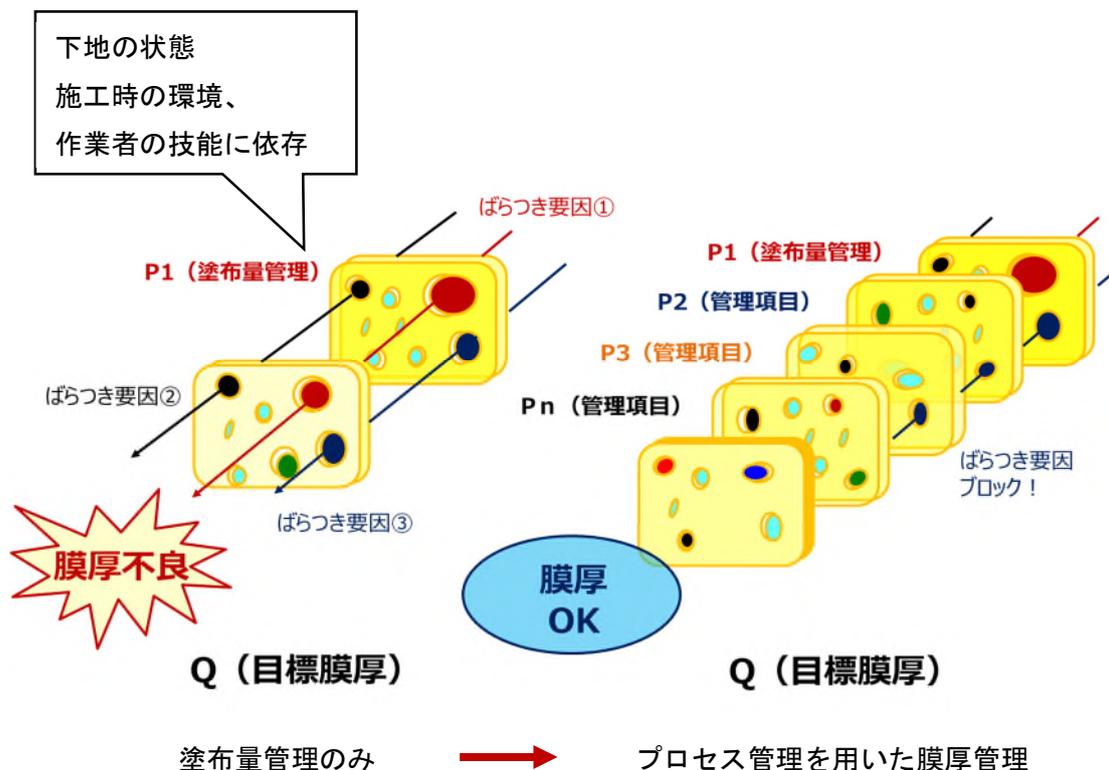


図 5.3 プロセス管理の考え方

従来の膜厚管理とプロセス管理の概念図を、図5.4に示す。プロセス管理は、膜厚に関わる重点管理項目を設定し、それを施工途中で確実に実行することにより膜厚を確保する考え方である。加えて、1層目終了後膜厚検査・補修することによって、膜厚不足を回避できると考えられる。

また、ウレタンゴム系塗膜防水の新技术として吹付工法があるが、これらも塗布量で膜厚管理することになっており、本提案の考え方が適用できる。

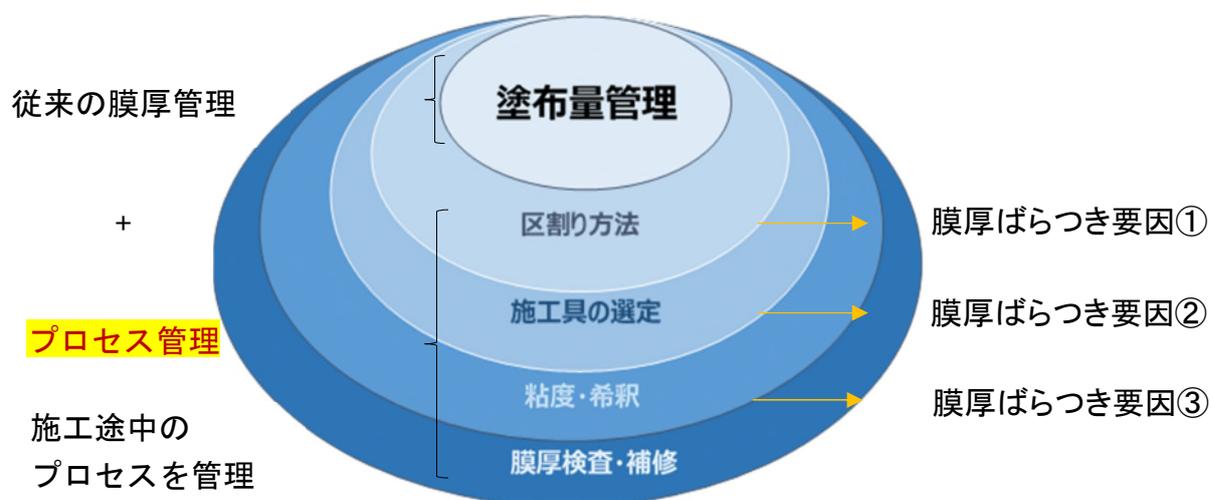


図 5.4 プロセス管理を用いた膜厚管理概念図

5.3.2 施工による膜厚のばらつきの概念

ウレタンゴム系塗膜防水の平均膜厚と、施工によるばらつき概念図を図5.5に示す。防水性能は、平均膜厚を下回っても品質管理上の膜厚下限値までは保有されるが、それを下回ると不良として扱われる。不良が多い場合は、防水工法変更の検討が必要になる。

第2章の実建物調査における膜厚分布の結果が示すように、現在標準的に行われている塗布量管理だけは、防水性能に必要な所定の膜厚を確保することは不十分であり、膜厚管理方法の改善が必要である。

①塗布量管理を用いた膜厚管理

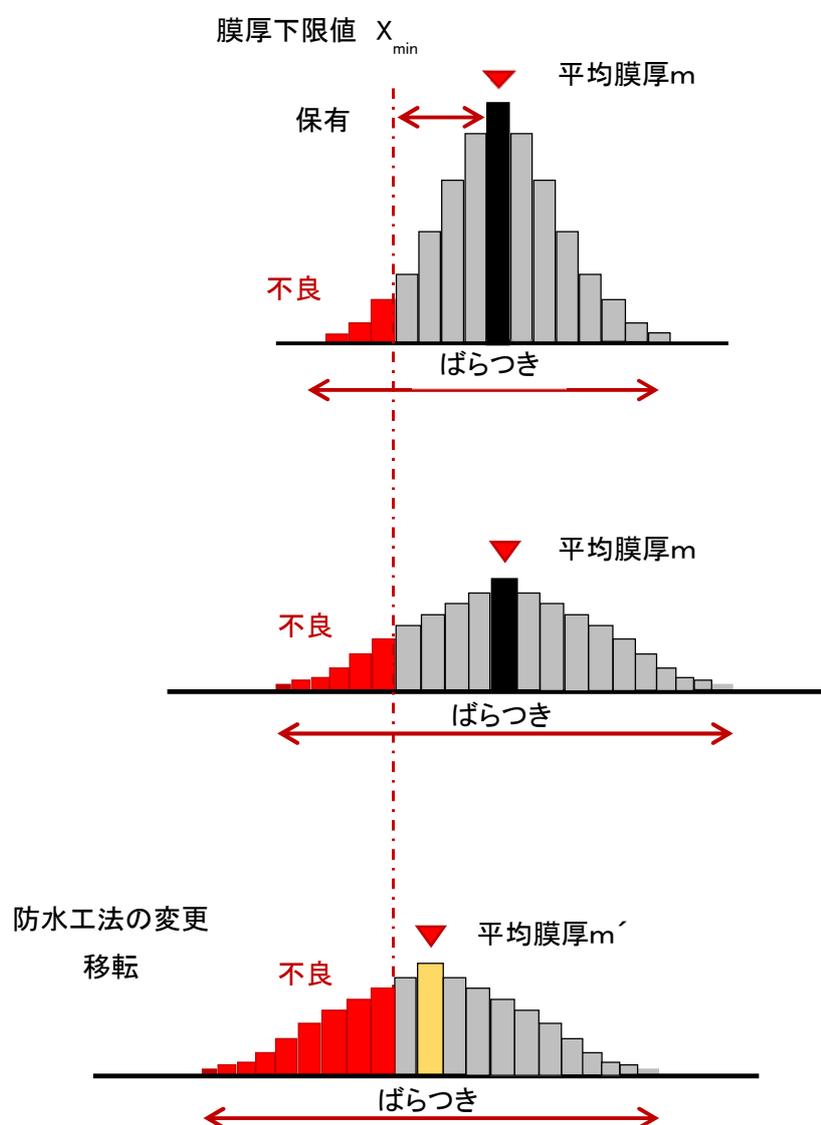
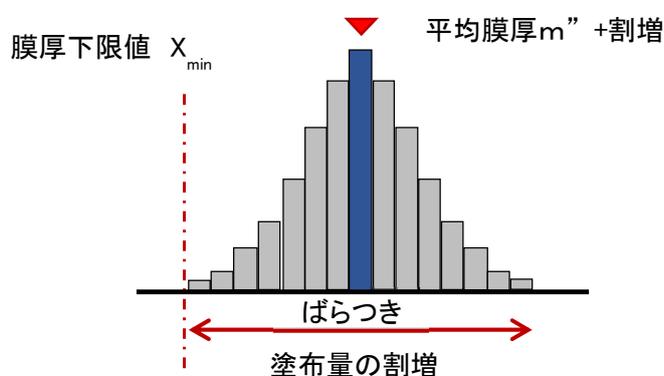


図 5.5 塗布量管理による膜厚のばらつきの概念

プロセス管理による膜厚管理の概念を、図5.6 に示す。上段のヒストグラムは、ばらつきを考慮して、平均膜厚を割り増したものである。塗布量を割増ことで膜厚下限値を満足もので、アップグレードとなる。これは、より多くの材料を塗布する必要がある、根本的に膜厚のばらつきを低減させる解決策ではない。一方、下段は、膜厚のばらつきを低減・回避したヒストグラムである。ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚確保を目的としたプロセス管理の導入は、この膜厚分布を狙う管理手法である。

②塗布量管理のアップグレード



③プロセス管理を用いた膜厚管理

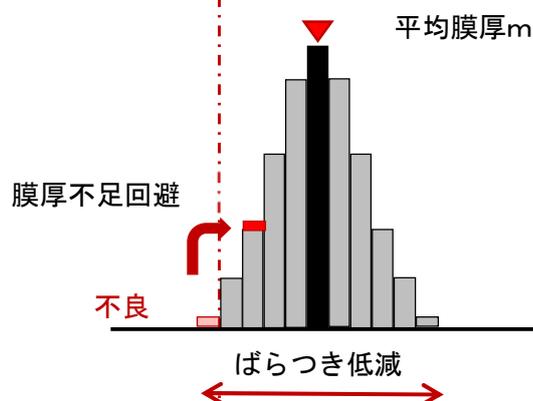


図 5.6 プロセス管理による膜厚管理の概念

5.4 プロセス管理を用いた膜厚管理の施工手順

5.4.1 プロセス管理を用いた膜厚管理の進め方

ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚は、区割りをあらかじめ決め、必要な使用量を均一に施工する塗布量管理が基本である。これに加え、プロセス管理を用いた膜厚管理は、施工者自らが各プロセスにおける重点管理項目を確認しながら工事の質を高める方法である。具体的な重点管理項目として、施工面積の区割り形状や区画の明示、施工工具、均一な材料の配り方・材料の希釈・粘度等を管理しながら、防水工事を進めることになる。

図5.7に、従来から行われてきたウレタンゴム系塗膜防水の塗布量管理と本研究で提案するプロセス管理を用いた膜厚管理のフローチャートを示す。

ウレタンゴム系塗膜防水の施工標準は2層塗りである。1層目完了後に針入式膜厚計や渦電流式膜厚計などを用いて膜厚検査を行うことによって、膜厚不足箇所を確認することができる。膜厚検査の頻度は、施工者の技能や施工の難易度に応じて過不足なく適切に設定し、不具合箇所の補修手順と方法をあらかじめ決めておく。その後、2層目の防水材を施工する。膜厚不足箇所は是正後に再度検査を行い、合格した場合は工事完了となる。この施工手順で膜厚管理することによって、膜厚下限値を下回らない防水層を効率的に構築することが可能となる。

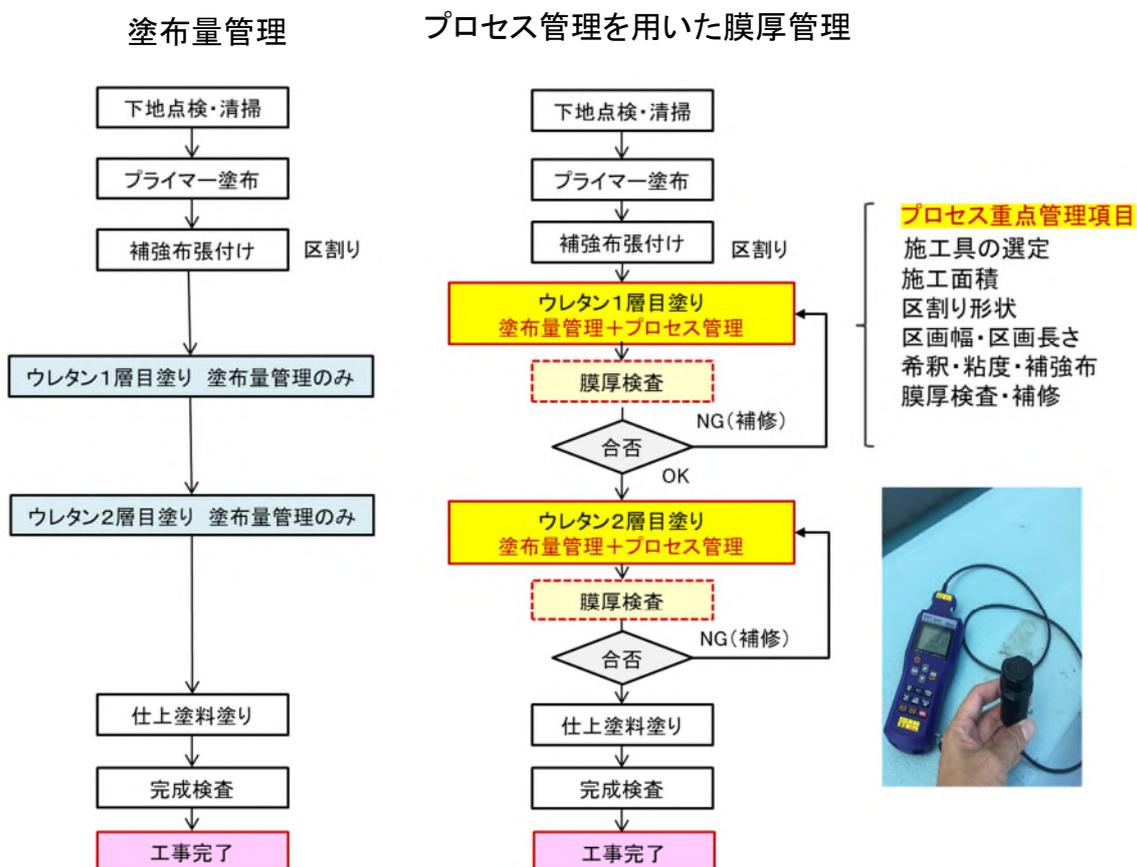


図 5.7 プロセス管理を用いた膜厚管理フローチャート

5.4.2 膜厚重点管理項目

ウレタンゴム系塗膜防水平場部の重点管理項目と施工手順を、図5.8と5.9に示す。均一な膜厚の防水層を造り込むためには、施工者が工程ごとに管理項目と管理方法を明確にして、これらを確実に実施していくことが重要である。平場部における膜厚のばらつきを低減するためには、塗布量管理に加えて、第3章で検討したウレタンゴム系塗膜防水平場部の好ましい施工条件で管理することが実用的である。

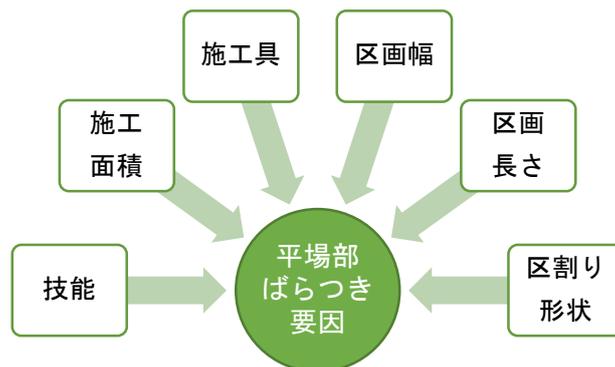
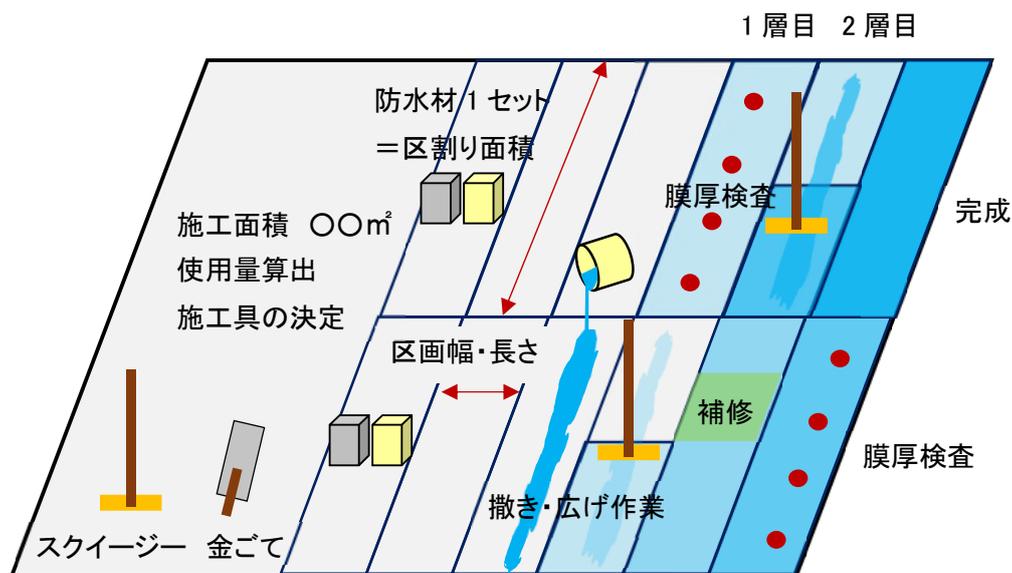


図 5.8 平場部のプロセス重点管理項目



区割りは、防水材 1 セットの量で決まる。

- ① 施工面積○○㎡
- ② 目標膜厚の設定と使用量を算出する。
- ③ 施工工具を決定する。
- ④ 区割り：区画幅・長さを用いて決定する。
- ⑤ 施工区画を明示する。
- ⑥ 施工面積内の使用量を計量する。
- ⑦ 防水材を区画内に均一に配り、塗り広げる。
- ⑧ 1層目の膜厚検査
膜厚不足部は補修する。
- ⑨ 2層目の施工（④～⑦繰り返し）

図 5.9 プロセス管理を用いた平場部の膜厚管理施工手順

ウレタンゴム系塗膜防水平場部の重点管理項目と施工手順を、図5.10と5.11に示す。立上り部における膜厚のばらつきを低減するためには、塗布量管理に加えて、平場部と同様に第4章で検討したウレタンゴム系塗膜防水平場部の好ましい施工条件で管理することが実用的である。

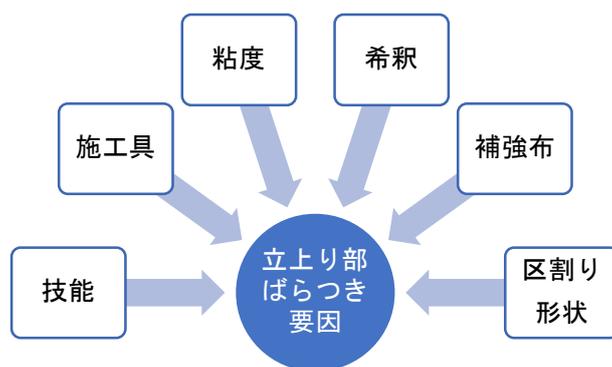
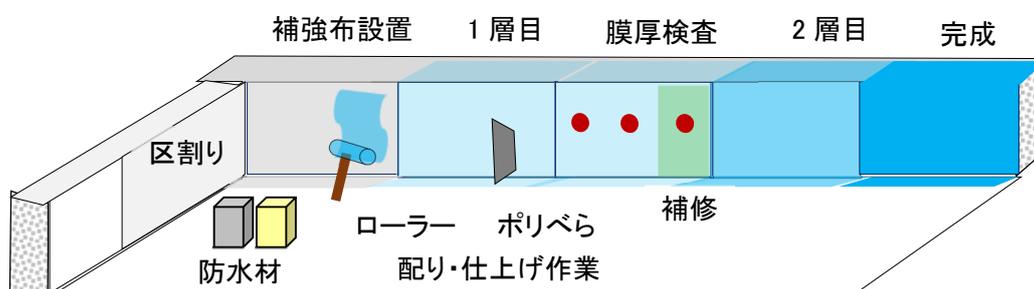


図 5.10 立上り部のプロセス重点管理項目



施工面積 〇〇㎡
 使用量算出
 施工工具の決定

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 施工面積〇〇㎡ ② 目標膜厚の設定と使用量を算出する。 ③ 施工工具を決定する。 ④ 区割り：区画幅・長さを決定する。 ⑤ 施工区画を明示する。 | <ul style="list-style-type: none"> ⑥ 施工面積内の使用量を計量する。 ⑦ ローラーで防水材を均一に配り、ポリべらで均一塗り広げる。 ⑧ 1層目の膜厚検査
膜厚不足部は補修する。 ⑨ 2層目の施工（④～⑦繰り返し） |
|--|--|

図 5.11 プロセス管理を用いた立上り部の膜厚管理施工手順

5.5 プロセス管理を用いた膜厚管理の検証と導入効果

5.5.1 プロセス管理の検証実験概要

プロセス管理を用いた膜厚管理の効果を把握するため、屋内実験室で検証を行った。防水下地は、図5.12に示す面積 50.0m^2 ($7.0\text{m} \times 7.15\text{m}$) の平場を2面用意した。A工区は、従来から一般的に行われている塗布量管理のみ、B工区は、塗布量管理に加え、区画幅 1.0m 、長さ約 7.15m 間隔で割付けて区画を明示し、 $13.9\text{kg}/\text{m}^2$ ずつ均等に撒いたプロセス管理である。防水材は、JIS A6021 に準拠した1成分形（硬化物密度 $1.3\text{kg}/\text{m}^3$ ）を、目標膜厚平均 1.5mm で換算した総使用量 $97.5\text{kg}/\text{m}^2$ とした。施工者は、経験年数20年以上の経験をもつ1級防水施工技能士で、施工具は金ごてを使用した。

作業手順を写真5.1～5.2に示す。膜厚測定に渦電流式膜厚計を使用するため、下地全面にアルミニウム合金薄膜処理された通気緩衝シートを貼り付ける。その後、前述の通り区割りを行い、区画内に防水材を均等に撒いて、金ごてでむらなく押し広げた。

膜厚測定は、渦電流式膜厚計を用いて1層目硬化後に行った。測定点は各工区約 400mm 間隔で均等に割付けた240箇所とした。

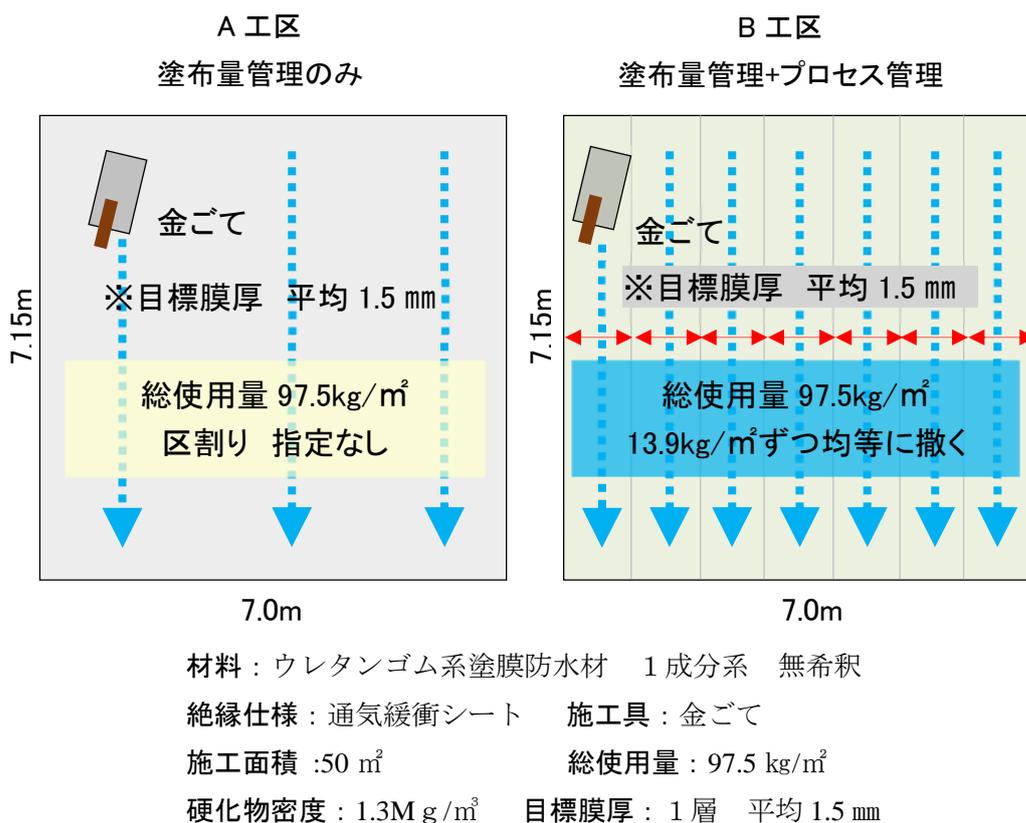


図 5.12 検証実験平面図と概要

(左:塗布量管理のみ 右:塗布量管理とプロセス管理)



写真 5.1 A 工区 塗布量管理のみの施工手順

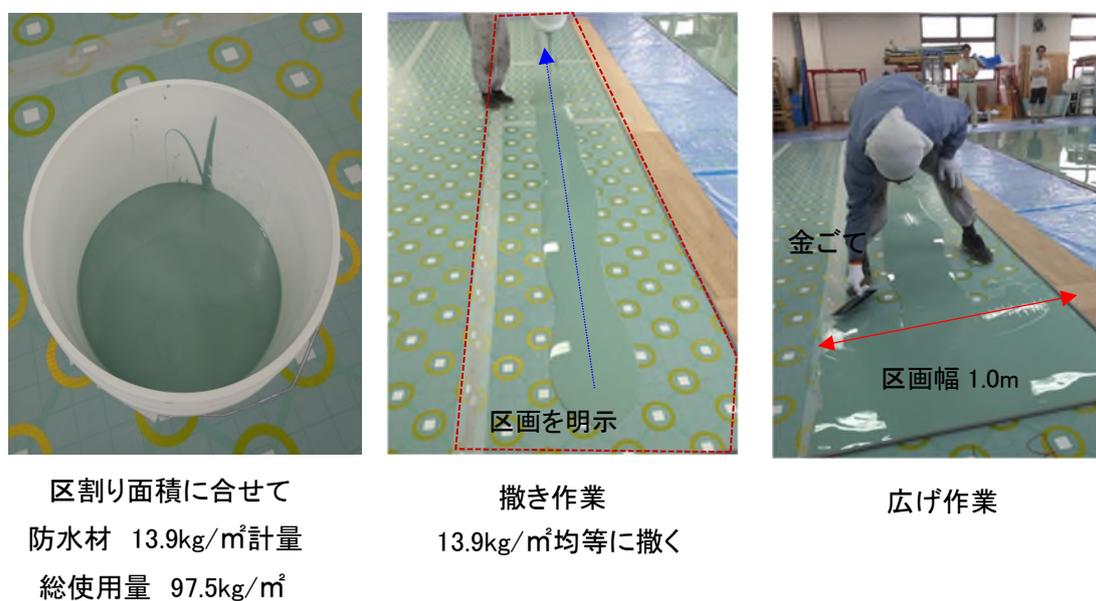


写真 5.2 B 工区 塗布量管理+プロセス管理施工手順

5.5.2 プロセス管理の導入検証実験結果と考察

図5.13、14にプロセス管理を検証実験の膜厚測定結果を示す。

(1) 膜厚分布

平均膜厚は、A工区1.3 mm、B工区1.4 mmとなり、どちらも目標膜厚に近い値になっている。しかし、膜厚分布をみると、塗布量管理のみのA工区では膜厚最大値が3.3mm、最小値は0.4 mmとなり、薄い部分と厚い部分のむらが大きいがわかる。一方、プロセス管理を導入したB工区では、膜厚最大値は2.6mm、最小値は0.6 mmとなり、ばらつき低減がみられ、尖度の高い膜厚分布となっている。このことから、プロセス管理を用いた膜厚管理が有用であることが確認できた。

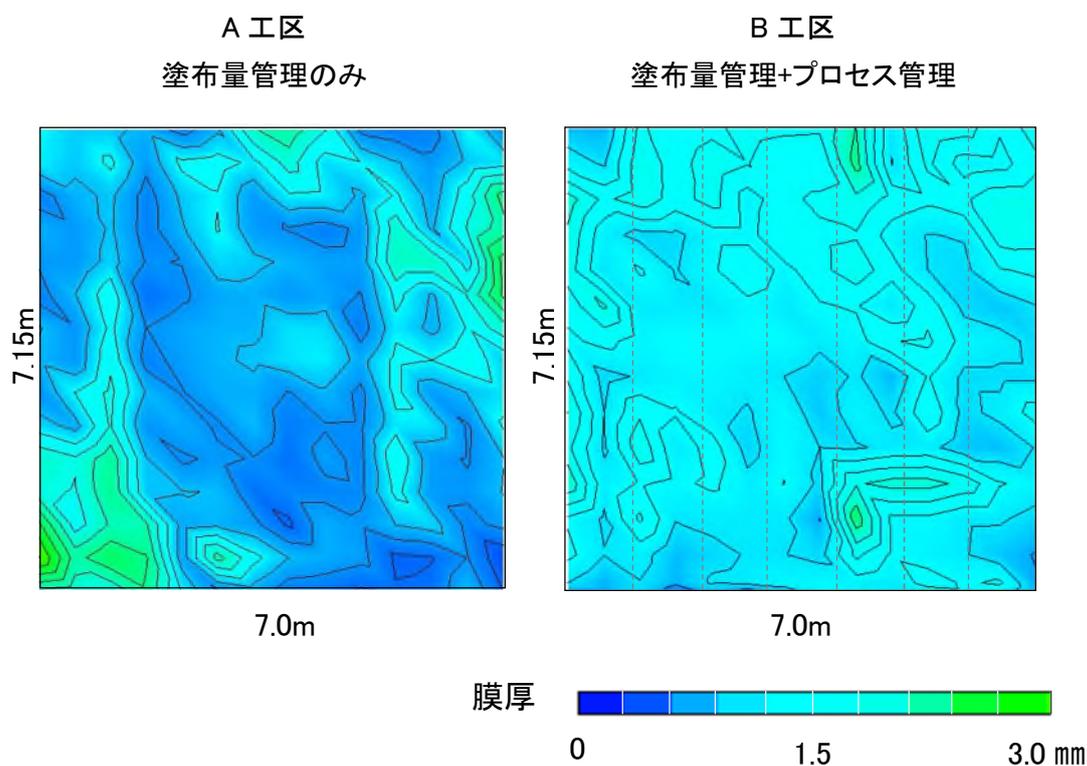


図 5.13 プロセス管理を検証実験の膜厚
(左:塗布量管理のみ 右:塗布量管理とプロセス管理)

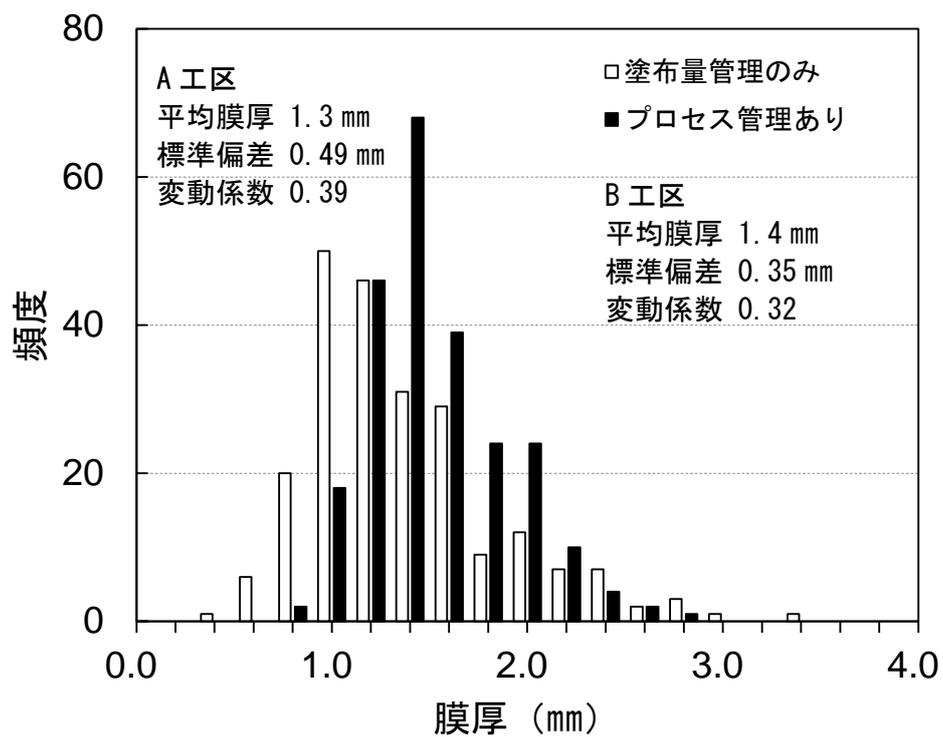


図 5.14 プロセス管理の導入検証実験の膜厚分布

5.5.3 実物件における導入検証概要

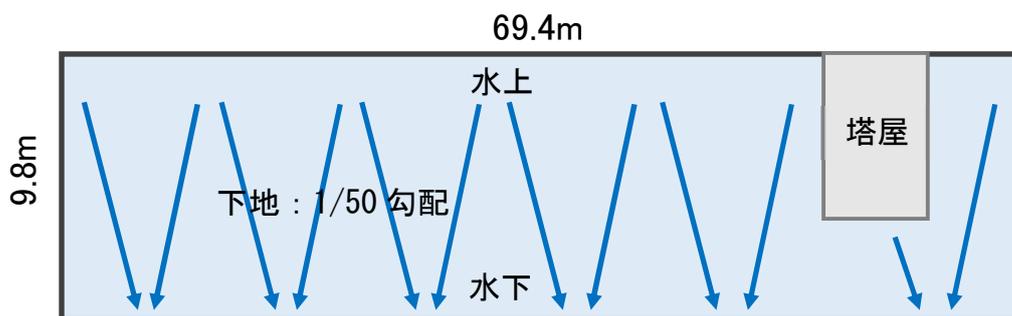
プロセス管理を用いた膜厚管理の効果を把握するため、実際の建物屋上を利用して導入検証を行った。施工場所は、神奈川県横浜市の学校屋上である。建物の概要を、表5.1に示す。防水仕様は、平場部はウレタンゴム系塗膜防水工法の絶縁仕様、パラペット立上り部は密着仕様で、防水材は、JIS A6021 に準拠した1成分形硬化物密度1.3kg/m²のものを使用した。膜厚測定に渦電流式膜厚計を使用するため、通気緩衝シートは不織布表面に非磁性金属が積層されているものを採用した。防水層の施工者は、経験年数8年の技能者とした。

図5.15と写真5.3～5.5に、屋上平面図とプロセス管理の膜厚管理作業手順を示す。

- ① 既存の塩ビシート防水を撤去して、下地処理を行う。
- ② ウレタンゴム系塗膜防水の目標膜厚は、平場部1層目と2層目に平均1.5mmずつ合計3.0mm、立上り部1層目、2層目平均1.0mmずつ合計2.0mmの使用量を算出する。
- ③ 平場部の施工具は、スクイージー（溝深さ5.0mm、幅0.6m）、立上り部の配り作業はローラー、仕上げ作業はポリベラを使用する。
- ④ 平場部の区割りは、施工面積約11.3 m²、区画幅1.4m、長さ約6.6m間隔で割付け、施工区画を明示した。立上り部は、高さ0.3m、区画長さ6.0m間隔で割付ける。
- ⑤ 使用した防水材は1成分形のため、現場で防水材のかくはんを行う。
- ⑥ 立上り部を先行してローラーで配り、ポリベラで仕上げた。その後、平場部の施工区画内に防水材を均一に撒き、スクイージーでむらなく押し広げる。
- ⑦ 膜厚測定は、渦電流式膜厚計を用いて、1層目と2層目の硬化後にそれぞれ行う。測定位置は、平場部約3.0m²、立上り約3.0m間隔でそれぞれ76箇所（5点の平均値/箇所）を算出する。
- ⑧ 1層目の膜厚が1.0mm以下となった平場部は、2層目施工前に3.0～5.0 m²程度、立上り部は、膜厚が0.7mm以下となった箇所に増し塗りを行うこととした。

表 5.1 プロセス管理を検証した建物の概要

項目	概要	
所在地	神奈川県横浜市	
用途	学校	
構造・規模	RC造・4階	
屋上面積	平場	676.4m ² 立上り 50.52m ²
防水仕様	既存	塩ビシート防水・密着仕様
	改修	既存防水撤去+ウレタンゴム系塗膜防水工法・絶縁仕様



材料:ウレタンゴム系塗膜防水材料 1成分系 無希釈

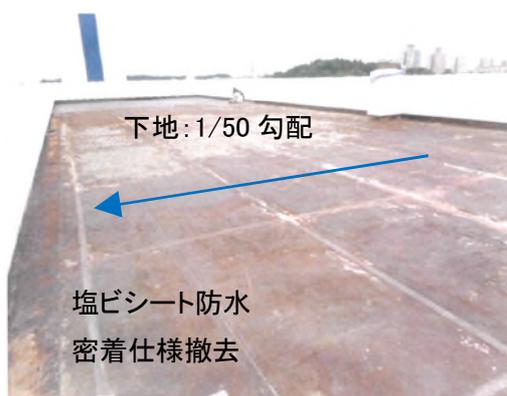
絶縁仕様:通気緩衝シート 施工具:スクイージー

施工面積:約 680 m² 総使用量:1319 kg/m²

硬化物密度:1.3M g/m³

目標膜厚:平場 平均 3.0 mm 立上り 平均 2.0 mm

図 5.15 屋上平面図と検証条件

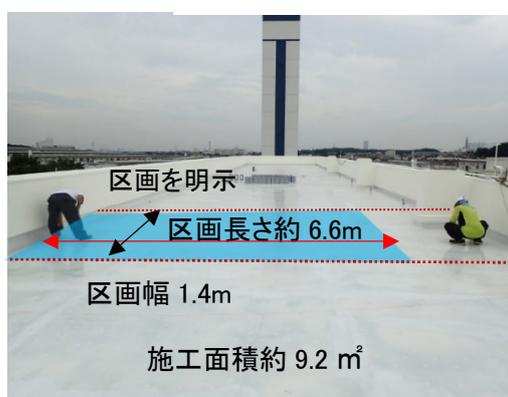


防水施工前

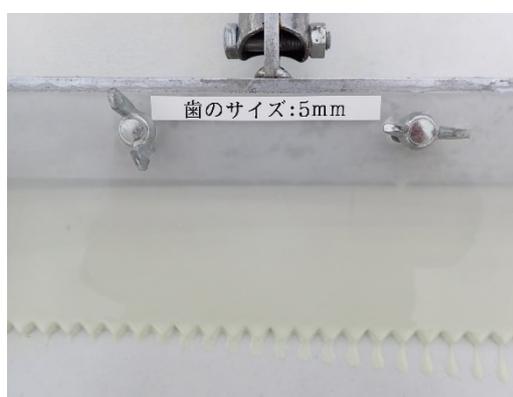


防水施工後

写真 5.3 プロセス管理を検証するために使用した屋上



防水材1セットの面積で区画を明示



施工具の決定(スクイージー)

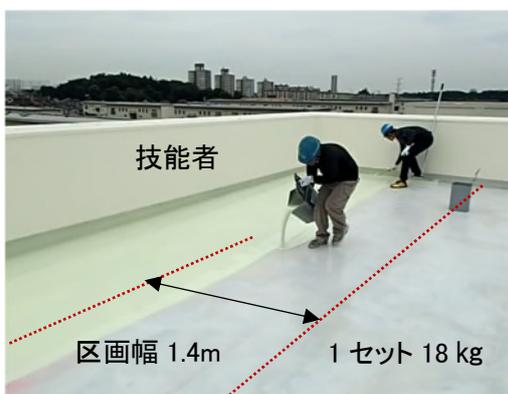
写真 5.4 区割り面積と施工具の決定



防水材のかくはん作業



立上り部は先行してローラーで配り作業



平場部の防水材撒き作業



区画幅 約 1.4mで広げ作業



1層目硬化後の膜厚検査(5箇所ノ平均値)



膜厚不足部(1.0 mm以下)は補修塗り

写真 5.5 プロセス管理法を用いた膜厚管理施工手順

5.5.4 実物件における導入検証結果と考察

(1) 1層目の膜厚分布

膜厚測定位置と補修増し塗り箇所を図5.16、1層目の膜厚測定結果を図5.17、18に示す。平均膜厚は、平場部1.5mm、立上り部1.1mmとなり、どちらも目標膜厚を満足した。施工具の選定、区画の明示、区画形状（区画幅・長さ）、粘度を重点管理することで、全体的に膜厚のばらつきが低減されている。一方、平場部の膜厚最大値は3.0mm、最小値は0.6mmとなり、補修の目安である1.0mmを下回る箇所がみられた。これは、実物件のコンクリート下地は片勾配屋根（1/50）であり、下地の凹凸等による影響が大きいと考えられる。立上り部の膜厚最大値は1.6mm、最小値は0.8mmであり良好な膜厚分布となった。

(2) 2層目の膜厚分布

合計（1層+2層）の膜厚測定結果を、図5.19、20に示す。平均膜厚は、平場部3.7mm、立上り部2.0mmとなり、どちらも目標膜厚を満足した。平場部の最大膜厚は6.0mm、最小膜厚は2.6mmとなり、2.0mmを下回った箇所はなかった。これは、増し塗りした効果であり施工途中に膜厚検査・補修を行うことは、膜厚確保に有効であった。また、立上り部の膜厚最大値は2.6mm、最小値は1.6mmであり、ばらつきの少ない良好な膜厚分布となった。

このことから、ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚を確保するためには、各工事プロセスにおける施工の積み重ねが重要であり、プロセス管理を用いた膜厚管理が有用であることを示した。

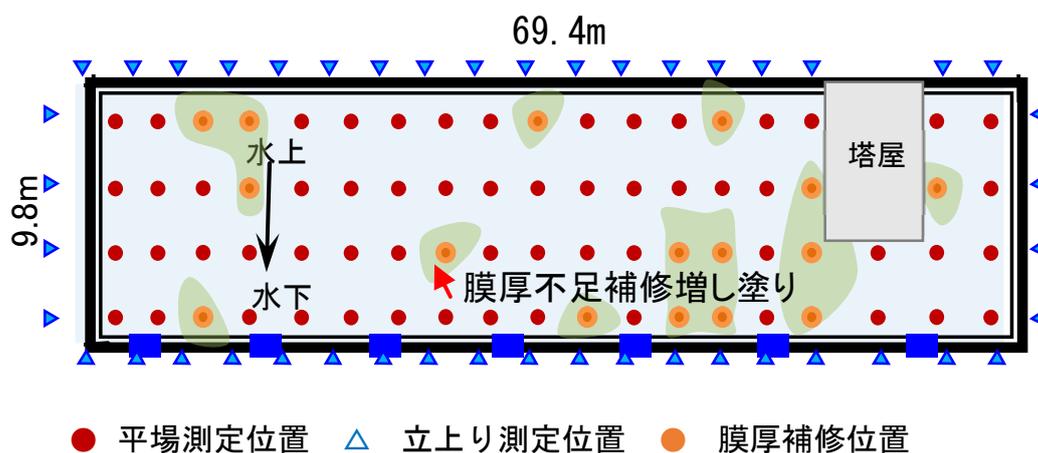


図 5.16 膜厚測定位置と増し塗り箇所

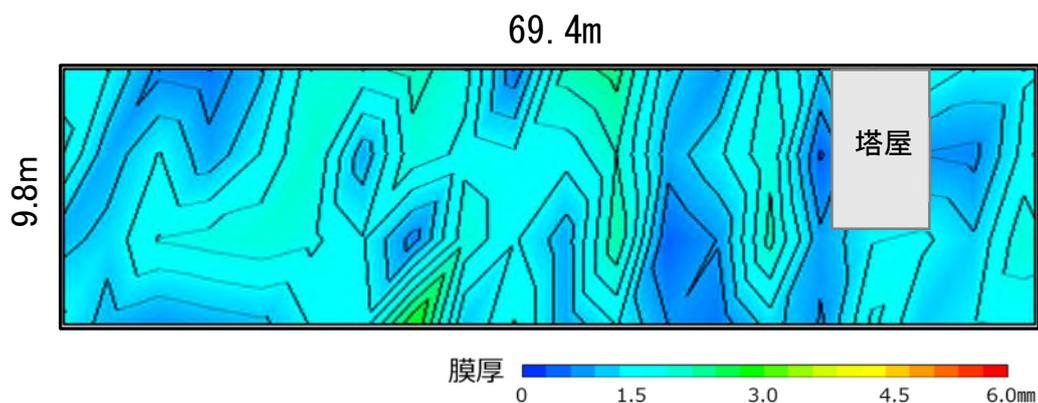


図 5.17 平場 1 層目の膜厚分布

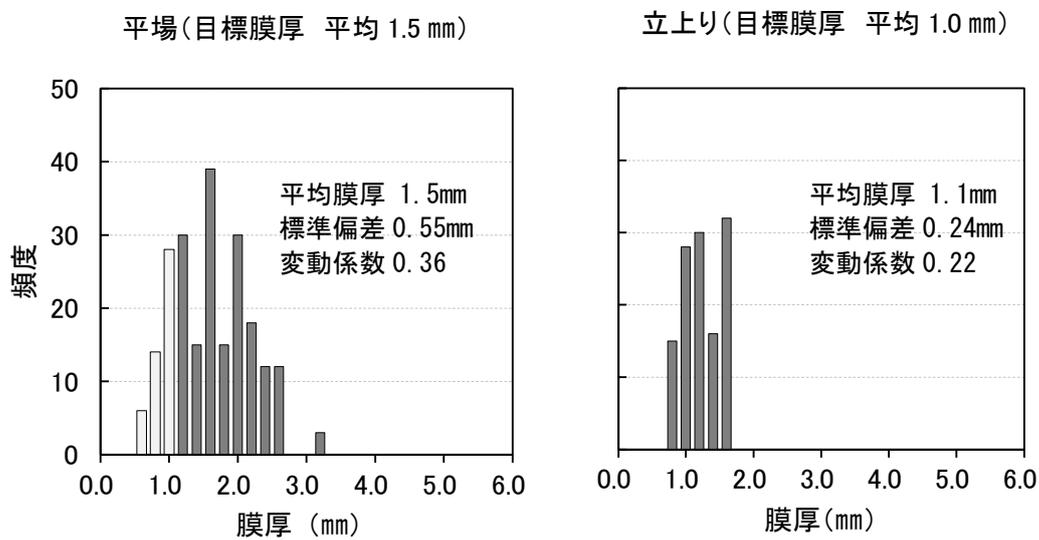


図 5.18 1 層目の膜厚分布 (施工工具 左 : スクイージー 右 : ローラー)

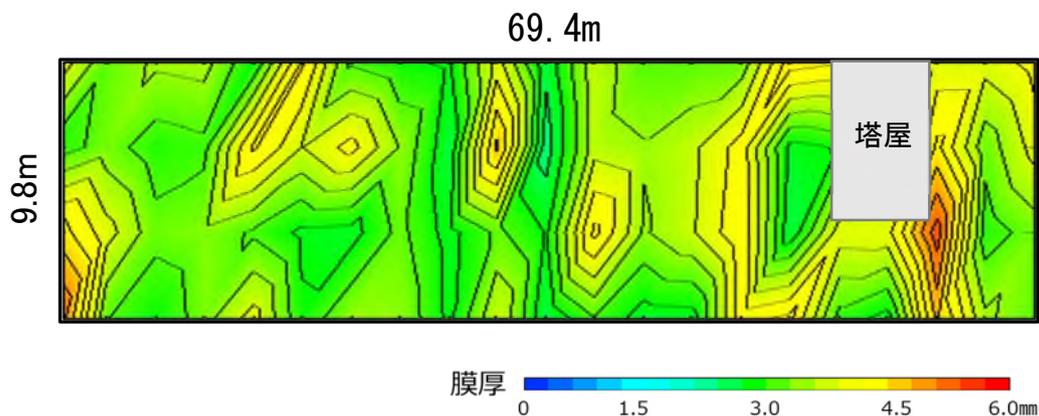


図 5.19 平場合計 (1層+2層) の膜厚分布

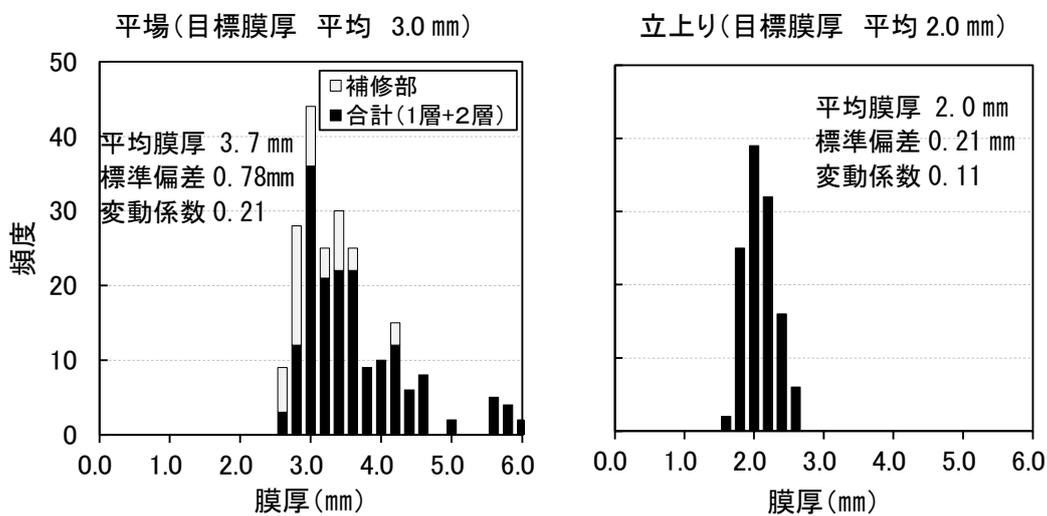


図 5.20 合計 (1層+2層) の膜厚分布 (施工工具 左:スクイージー右:ローラー)

5.5.5 防水材料の使用量

参考として、今回施工した防水材の設計数量と実使用量を図5.21 に示す。膜厚1.0mm以下の箇所に増し塗りをを行った結果、設計数量に比べ実使用量が約14%増加した。平場部は防水下地に1/50程度の排水勾配や下地の凹凸があり、実現場の防水材使用量はある程度の割増しを見込む必要があると考えられる。

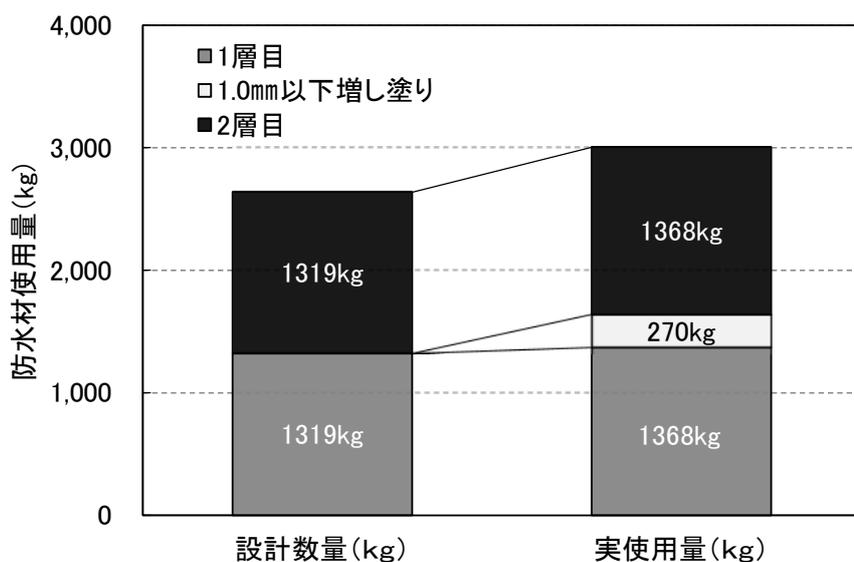


図 5.21 平場部の防水材の設計数量と実使用量

5.6 まとめ

ウレタンゴム系塗膜防水の施工工程におけるプロセス管理の進め方とその要点を整理し、プロセス管理を用いた膜厚管理を提案とその導入効果を検討した。本章の結論は以下の通りである。

- (1) ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚を確保するため、従来の塗布量管理に加え、プロセス管理を用いた膜厚管理を提案した。
- (2) ウレタンゴム系塗膜防水施工時の膜厚管理重点項目として、施工具の選定、区画の明示、区画形状(区画幅・長さ)は、膜厚のばらつきを低減する効果があり、施工途中に行う膜厚検査・補修は、膜厚の確保する上で重要である。
- (3) 実務では、プロセス管理を用いた膜厚管理が有用であることを示した。防水下地は排水勾配や下地の凹凸があるため、設計数量に対してあらかじめ補修等の割増を見込む必要がある。

第 6 章

結論

第6章 結論

本研究は、ウレタンゴム系塗膜防水工法における現状の課題を整理し、工学的視点から見た実用的な膜厚管理方法に関して研究したものである。

以下に、本研究の結論を述べる。

(1) ウレタンゴム系塗膜防水膜厚測定方法の検討と実態調査

ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚測定法を、非破壊・微破壊・破壊検査に分類した。各膜厚測定法には一長一短があり、防水層の工法や構成で、測定できるものとできないものがある。実現場の膜厚は、ばらつきが大きく不均一である。塗布量管理だけでは平均膜厚を満足しても、防水性能に必要な膜厚を確保することは不十分であり、改善が必要である。

(第2章)

(2) 平場部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討

平場部の膜厚は、塗布量管理に加え事前の区割りと区画を明示する必要がある。実務では、防水材を撒く作業と広げる作業に分類され、区画幅、区画長さのバランスが重要である。

(第3章)

(3) 立上り部施工時における膜厚ばらつきを低減するための検討

立上り部の膜厚は、補強布を敷設し、無希釈の防水材が望ましい。また、塗布量管理に加え、配り作業はローラー、仕上げ作業はポリベラを使用することが有効である。(第4章)

(4) プロセス管理を用いた膜厚管理の提案とその導入効果

ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚確保を確保するため、プロセス管理を用いた膜厚管理方法を提案し施工検証を行った。施工具の選定、区画の明示、区画形状(区画幅・長さ)粘度・補強布は、膜厚のばらつきを低減させる効果があり、各工事プロセスにおける施工の積み重ねが極めて重要である。ばらつきの少ない防水層を作るため、実務では塗布量管理に加え、プロセス管理を用いた膜厚管理が有用であることを示した。(第5章)

<参考文献>

＜参考文献＞

- (1) 日本ウレタン建材工業会：ウレタン塗膜防水ハンドブック2018年版，テツアドー出版，2018
- (2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS8 防水工事，2014.11
- (3) 一般社団法人 公共建築協会：公共建築工事標準仕様書（建築工事編）平成28年度版，2016
- (4) 一般社団法人 公共建築協会：国土交通省大臣官房営繕部監修 建築工事監理指針 2016
- (5) JIS A 6021 屋根防水用塗膜材：日本規格協会，1976.5
- (6) 小倉哲義，近藤照夫，渡辺光，鈴木博：超音波厚さ計を用いたウレタン塗膜防水材の厚さ測定：その1 厚さ測定条件の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.935-936，2003.7
- (7) 川見薫，秋元幸雄，鈴木博：超音波膜厚計によるウレタン塗膜防水材の膜厚測定，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.867-868，2004.7
- (8) 近藤照夫，小倉哲義，渡辺光，鈴木博：超音波厚さ計を用いたウレタン塗膜防水材の厚さ測定：その2 厚さ測定条件の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.865-866，2004.7
- (9) 小倉哲義，近藤照夫，渡辺光，鈴木博：針貫入式厚さ計を用いたウレタン塗膜防水材の厚さ測定：その1 測定によるピンホールと最低塗膜厚さ，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.863-864，2004.7
- (10) 小倉哲義，近藤照夫，渡辺光，鈴木博：針貫入式厚さ計を用いたウレタン塗膜防水材の厚さ測定：その2 針貫入式厚さ計による厚さ測定の有効性，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.865-866，2005.7
- (11) 小倉哲義，近藤照夫，渡辺光，鈴木博：ウレタン塗膜防水層の硬化塗膜厚さ測定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.157-160，2006.7
- (12) 防水ジャーナル：ウレタン防水の品質管理，新樹社，2010.10
- (13) 防水ジャーナル：ウレタン防水材から施工管理を学ぶ，新樹社，2014.3

-
- (14) 渡辺啓三郎, 土田恭義: ウレタン系塗膜防水工法の施工管理に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.209-210, 1976.8
- (15) 奈良圭一, 田中英雄, 林幸一, 西村岳志, 石原沙織, 鶴田裕, 田中享二: 実建物のベランダ部分ウレタン塗膜防水層の膜厚検査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.755-756, 2013.7
- (12) 奈良圭一, 石原沙織, 林幸一, 西村岳志, 田中英雄, 鶴田裕, 田中享二: ウレタン防水層の塗膜厚さに及ぼす希釈と施工工具の影響, 日本建築学会技術報告集, 第19巻, 第42号, pp.397-402, 2013.6
- (13) 鶴田裕, 石原沙織, 梅本康裕, 林幸一, 奈良圭一, 西村岳志: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1123-1124, 2015.9
- (14) 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: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1125-1126, 2015.9
- (15) 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: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1127-1128, 2015.9
- (16) 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: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1129-1130, 2015.9
- (17) 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: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1131-1132, 2015.9
- (18) 藤原康洋, 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: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1133-1134, 2015.9
- (19) 梅本康裕, 石原沙織: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.733-734, 2016.8
-

-
- (20) 三浦大和, 梅本康裕, 石原沙織: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.805-806, 2017.7
- (21) 山宮輝夫, 田中享二, 竹本喜昭, 渡辺光, 小関晋平, 鈴木博, 島村浩之, 田中基樹: ウレタンゴム系防水材の塗膜厚さ管理基準に関する一提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.815-816, 2017.7
- (22) 中島由美子, 石原沙織, 熊谷健二, 法身祐治, 渡辺光, 田中享二: 種々の塗膜厚さのウレタン塗膜層の屋外動暴露試験と5年間の結果, 日本建築学会学術梗概集, pp.1209-1210, 2018.7
- (23) JISQ31000 (ISO31000) リスクマネジメント指針 2019
- (24) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 タイル工事, 2012.7
- (25) Reason, J., *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate Publishing, 1997.

<研究に関連して著者が発表した論文>

＜研究に関連して著者が発表した論文＞

1. 査読付き論文

1. 法身祐治, 石原沙織, 渡辺光, 名知博司, 竹本喜昭, 熊谷健二, 中島由美子, 田中享二: ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚測定法の特徴とその信頼性に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, 第21巻, 第47号, pp.23-27, 2015.2
2. 名知博司, 法身祐治, 竹本喜昭, 石原沙織, 渡辺光, 熊谷健二, 中島由美子, 田中享二: プロセス管理法を用いたウレタンゴム系塗膜防水の品質管理, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第56号, pp.23-27, 2018.2
3. 法身祐治, 名知博司, 石原沙織, 中野克彦, 田中享二: ウレタンゴム系塗膜防水の施工時における最適区画に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, 第84巻, 第763号, pp.1145-1151, 2019.9
4. 法身祐治, 石原沙織, 中野克彦, 田中享二: ウレタンゴム系塗膜防水立上り部の膜厚に及ぼす施工工具と粘度の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第85巻, 第775号, pp.1123-1131, 2020.9

2. 国際会議

1. Yuji HOSSHIN, Saori ISHIHARA Kyoji TANAKA : Examination of Optimum Construction Area for Appropriate Thickness in Polyurethane Waterproofing Construction; International Conference on Durability of Building Materials and Components DBMC 2020, Barcelona, 2020.10

3. 口頭発表

1. 法身祐治, 渡辺光, 名知博司, 田中享二: ウレタン塗膜防水における膜厚検査方法に関する調査報告, 日本建築学会学術梗概集, pp.753-752, 2013.8
2. 中島由美子, 石原沙織, 熊谷健二, 法身祐治, 渡辺光, 田中享二: 種々の厚さのウレタン塗膜層の屋外動暴露試験といくつかの結果, 日本建築学会学術梗概集, pp.751-752, 2013.8
3. 法身祐治, 渡辺光, 名知博司, 田中享二: ウレタン塗膜防水における膜厚検査方法に関する調査報告, 日本建築仕上学会大会発表論文, pp.66-69, 2013.12
4. 熊谷健二, 法身祐治, 石原沙織, 渡辺光, 名知博司, 中島由美子, 田中 享二: ウレタン塗膜防水層の膜厚測定法の精度と適用性 (その1 試験体と膜厚測定方法), 日本建築学会学術梗概集, pp.1199-1200, 2014.9
5. 法身祐治, 熊谷健二, 石原沙織, 渡辺光, 名知博司, 中島由美子, 田中享二: ウレタン塗膜防水層の膜厚測定法の精度と適用性 (その2 試験結果と考察), 日本建築学会学術梗概集, pp.1199-1200, 2014.9
6. 渡辺光, 石原沙織, 法身祐治, 田中 享二: ポンチ打ち抜き試験体によるウレタン塗膜防水層の膜厚測定法の開発, 日本建築学会学術梗概集, pp.1203-1204, 2014.9
7. 中島由美子, 石原沙織, 熊谷健二, 法身祐治, 渡辺光, 田中享二: 種々の厚さのウレタン塗膜層の屋外動暴露試験と一年間の結果, 日本建築学会学術梗概集, pp.1221-1222, 2014.9
8. 法身祐治, 熊谷健二, 石原沙織, 渡辺光, 名知博司, 中島由美子, 田中享二: ウレタン塗膜防水層の膜厚測定法の精度と適用性, 日本建築仕上学会大会発表論文, pp.48-52, 2014.02
9. 中島由美子, 石原沙織, 熊谷健二, 法身祐治, 渡辺光, 田中享二: ウレタン塗膜防水層の屋外動暴露試験の2年間の結果とトップコートひび割れ部の観察, 日本建築学会学術梗概集, pp.1143-1144, 2015.9
10. 名知博司, 竹本喜昭, 法身祐治, 石原沙織, 渡辺光, 中島由美子, 熊谷健二, 田中享二: プロセス管理法を用いたウレタンゴム系塗膜防水の品質管理 その3 施工実験概要および作業時間の分析, 日本建築学会学術梗概集, pp.811-812, 2017.7
11. 法身祐治, 名知博司, 竹本喜昭, 石原沙織, 渡辺光, 中島由美子, 熊谷健二, 田中享二: プロセス管理法を用いたウレタンゴム系塗膜防水の品質管理 その4 膜厚の測定, 日本建築学会学術梗概集, pp.813-814, 2017.7

12. 法身祐治,丸山好清,名知博司,竹本喜昭,石原沙織,渡辺光,中島由美子,田中享二 :
ウレタンゴム系塗膜防水の膜厚現場実測調査, 日本建築学会学術梗概集, pp.1205-
1206, 2018.7
13. 中島由美子, 石原沙織, 熊谷健二, 法身祐治, 渡辺光, 田中享二 : 種々の塗膜厚さの
ウレタン塗膜層の屋外動暴露試験と5年間の結果, 日本建築学会学術梗概集,
pp.1209-1210, 2018.7
14. 渡辺光, 法身祐治, 石原沙織, 丸山好清, 中島由美子, 田中享二 : ウレタンゴム系塗膜
防水立上り部の膜厚管理 その1 アンケート調査, 日本建築学会学術梗概集,
pp.957-958, 2019.7
15. 法身祐治, 渡辺光, 石原沙織, 丸山好清, 中島由美子, 田中享二 : ウレタンゴム系塗膜
防水立上り部の膜厚管理 その2 実建物での膜厚調査, 日本建築学会学術梗概集,
pp.959-960, 2019.7
16. 渡辺光, 法身祐治, 石原沙織, 丸山好清, 中島由美子, 田中享二 : ウレタンゴム系塗膜
防水立上り部の膜厚管理 その3 配り作業時の施工具と粘度が膜厚に及ぼす影響,
日本建築学会学術梗概集, pp.751-752, 2020.7
17. 法身祐治, 渡辺光, 石原沙織, 丸山好清, 中島由美子, 田中享二 : ウレタンゴム系塗膜
防水立上り部の膜厚管理 その4 配り作業時の施工具と粘度が膜厚に及ぼす影響,
日本建築学会学術梗概集, pp.753-754, 2020.7

4. その他

1. ウレタンゴム系塗膜防水層の厚さ測定について (特集 ウレタン塗膜防水の膜厚管理) :
月刊リフォーム, pp.25-31, 2016.6
2. ウレタンゴム系塗膜防水層の厚さ測定マニュアル :
一般社団法人 建築防水安全品質協議会, 2015.6
3. 品質管理手法を導入したウレタンゴム系塗膜防水工事の施工管理ガイドライン :
一般社団法人 建築防水安全品質協議会, 2016.3
4. ウレタン防水層の施工研究 : 月刊リフォーム, pp.18-27, 2020.9

<添付資料>

添付資料1. ウレタンゴム系塗膜防水材の膜厚測定マニュアル

1. マニュアルの目的

ウレタンゴム系塗膜防水層は、流動性のある液状材料を下地に塗りあるいは吹付け工法でつくられています。この作業は現場で行われるため、下地状況や施工条件の影響を受やすく、防水性能の品質を確保する上で膜厚の確認は最重要項目となっています。膜厚測定法はいろいろありますが、各々特長があり、それらを十分理解した上で測定する必要があります。

本マニュアルは、防水工法によってどの測定法を適用すればよいか、測定時にはどのようなことに気をつけなければならないかをわかりやすく示し、ウレタンゴム系防水材の膜厚を測定しようとする方々に役立つことを目的に作られたものです。

2. ウレタンゴム系塗膜防水層の構成と防水材の膜厚

ウレタンゴム系塗膜防水層には図1、写真1に示すような下地に直接防水材を塗布した密着仕様、膨れ防止や下地ひび割れ抵抗性向上のために、図2、写真2に示すように防水層の下側に数ミリ厚さの通気緩衝シートの敷設した絶縁仕様の2種類があります。絶縁仕様では脱気装置がつけられていることが一般的のため、両者区別の参考になります。

密着仕様では、下地から上の部分すべてが防水層の膜厚になりますが、絶縁仕様では通気緩衝シートより上の部分のみが防水層の膜厚となります。



図1 密着仕様の構成

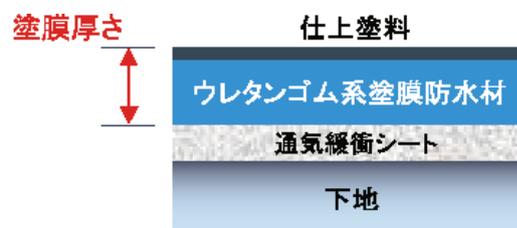


図2 絶縁仕様の構成



写真1 密着仕様の施工状況



写真2 絶縁仕様の施工状況

3. 測定法の種類と適用可能な防水層

ウレタンゴム系塗膜防水材の膜厚測定には、防水層への損傷の程度に応じて、表1に示す測定法があります。

表1 測定法の種類と適用可能防水層

防水層への損傷の程度	塗膜厚さの測定法	防水層の仕様	
		密着仕様	絶縁仕様
防水層に全く傷をつけない	超音波測定	可	困難
	渦電流測定*	可	可
防水層に傷をつけるが、ごく微小	針入量測定	可	困難
防水層に傷をつけてしまう	ポンチ抜き取り	可	可
	カッター等による切り取り	困難	可

*防水層施工時に、アルミシートなどの金属性シートを敷設してある防水層のみに適用可

4. 膜厚測定上の留意点

どの膜厚測定法も、ウレタンゴム系塗膜防水に関する専門的知識と技能を必要とします。特に、防水層に傷をつける測定法は、写真3に示すように補修しなければなりません。そのため、ウレタンゴム系塗膜防水を熟知している技術者（具体的には、設計者、ゼネコン、防水施工業者、防水材料メーカー技術者等）と相談の上、実施してください。



写真3 ウレタン系塗膜防水層の補修状況

5. 膜厚測定法

5.1 超音波式測定法

5.1.1 原理

超音波は物質と物質の境界面で反射し、また物質により音速が異なるという性質があります。この性質を利用して、探触子から発信した超音波を測定物の底面で反射させ、戻ってくる時間を測定して膜厚に換算します。

5.1.2 対象防水工法

膜厚が、厚さ 3.0mm 以下の密着仕様に適しています。(膜厚が厚すぎると、現在市販の機器では、超音波の反射がうまく捕らえることができない場合があります。) また絶縁仕様では、通気緩衝シートの影響により正しく測定するのが困難です。

5.1.3 測定に用いる器具

(1) 超音波式膜厚計

超音波探触子、高周波ケーブル、本体から構成されています。ウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚測定に使われている装置の性能は、表 2 に示すとおりです。

表 2 超音波式膜厚計の性能

項目	性能
測定方式	超音波パルス反射方式
測定範囲	0.5～3.0mm
測定精度	±0.5%以下
表示分解能	0.1mm



写真 4 超音波式膜厚計

*機器メーカーの膜厚測定範囲を確認してください。

(2) 接触媒質

探触子と防水層との密着性を高めるために用います。グリセリン溶液(写真 5)が一般的ですが、機器メーカーの指定するものが望ましいです。

(3) 校正用ウレタンゴム系塗膜防水層

校正用ウレタンゴム系塗膜防水材は、写真 6 に示すように実際の施工と同じ防水材料を下地板に塗布し、十分硬化させたものを用います。下地材には、せんい強化セメント板等(通称スレート板)を使用します。さらに、測定する防水層の膜厚に近いものを使用すると、測定値の精度が高まります。



写真5 接触媒質（グリセリン等）



写真6 校正用ウレタンゴム系塗膜防水

5.1.4 超音波式膜厚計測定の手順

(1) 超音波膜厚計の校正

- ①一定膜厚である、既知の校正用ウレタンゴム系塗膜防水材を準備します。
- ②校正用ウレタンゴム系塗膜防水材の表面に、接触媒質（グリセリン溶液）を塗布します。

(写真7左)

- ③探触子を測定面に密着させ、膜厚を測定します。(写真7中央)

- ④表示された値が、校正用ウレタンゴム系塗膜防水材の厚さとなるように、膜厚計の音速値を調整します。(写真7右)

- ⑤これで、測定機器の校正は終了です。



写真7 測定機器の校正手順

(2) 膜厚の測定

- ①測定位置を決定し、マーキングします。
- ②マーキング位置に、接触媒質（グリセリン溶液）を塗布します。(写真 8)
- ③ウレタンゴム系塗膜防水層表面に、探触子を十分密着させて測定します。(写真 9)



写真 8 接触媒質塗布状況



写真 9 膜厚の測定状況

5.1.5 測定上の注意点

膜厚計は、事前の校正がしっかり行われているか必ず確認してください。超音波式膜厚計は、音速値が正しく調整されていないと正確に測定できません。

5.2 渦電流式測定法

5.2.1 原理

図 1 に示すように、高周波電流を流したコイルを金属に近づけると、金属表面上に渦電流が発生し、コイルに流れる電流値が変化します。コイルと金属の距離が近ければ電流値の変化は大きく、逆に遠くなれば小さくなります。この関係を利用して、膜厚に変換します。

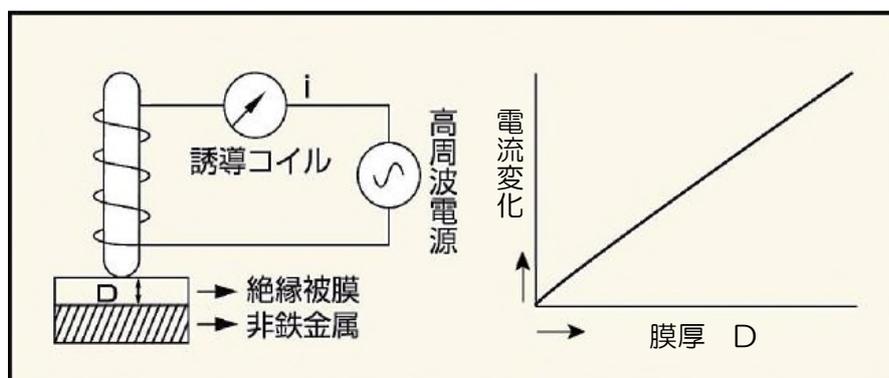


図 1 渦電流計測定原理

5.2.2 対象防水工法

ウレタンゴム系塗膜防水層の下側に金属シート（一般には、アルミシートが使われます。）が敷設されていれば、密着仕様、絶縁仕様のいずれも適用可能です。現在、市販されている測定機器の塗膜測定可能厚さは4.0mm程度です。

5.2.3 事前準備

ウレタンゴム系塗膜防水の施工前に、必ず下地となるコンクリート面、あるいは通気緩衝シート上に写真10、11に示すように、金属シート（アルミシート等）を敷設します。最近では、表層にアルミシートが付けられた通気緩衝シートが市販されており、これを使用する場合は事前準備を必要としません。



写真10 平場部金属シート敷設状況



写真11 立上り部金属シート敷設状況

5.2.4 測定に用いる器具

(1) 渦電流式膜厚計

膜厚計は、写真12に示すように測定探触子、本体から構成されています。機種によっては、測定探触子と本体一体型のものもあります。その性能は、表3に示すとおりです。

表3 渦電流式膜厚計の性能

項目	性能
測定方式	渦電流方式
測定範囲	0~4.0mm
測定精度	±3.5%以下
表示分解能	0.01mm



写真12 渦電流式膜厚計

*機器メーカーの膜厚測定範囲を確認してください。

(2) 校正用標準板

標準版には写真 13 に示すようなメーカーの推奨する、非導電性の板を用います。もし入手が困難な場合は、予め厚さのわかっている市販の塩ビ板、アクリル板を使用して下さい。

(3) 校正用アルミシート

校正用素地には写真 14 に示すような実際の施工に用いられる非磁性金属シート、もしくは表層アルミ通気緩衝シートを用います。



写真 13 校正用標準板

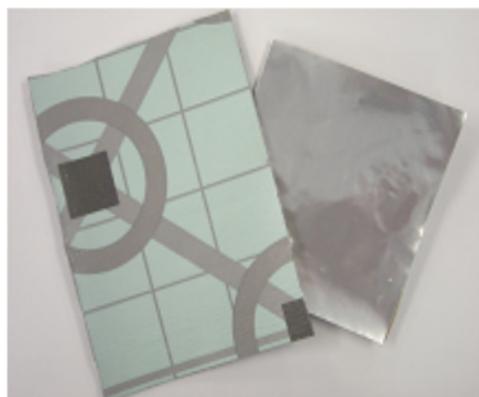


写真 14 校正用素地（アルミシート等）

5.2.5 渦電流式膜厚計測定の手順

(1) 渦電流式膜厚計の校正

- ①校正用素地（アルミシート等）を準備します。
- ②渦電流式膜厚計で、校正用素地（アルミシート等）を測定します。（写真 15 左）
- ③表示された値を、ゼロに調整します。
- ④校正用標準板を準備します。
- ⑤校正用素地（アルミシート等）の上に校正用標準板を載せます。
- ⑥渦電流式膜厚計で、校正用標準板の厚さを測定します。（写真 15 右）
- ⑦表示された値が校正用標準板の厚さとなるように、膜厚計の表示値を調整します。
- ⑧これで、測定機器の校正は終了です。

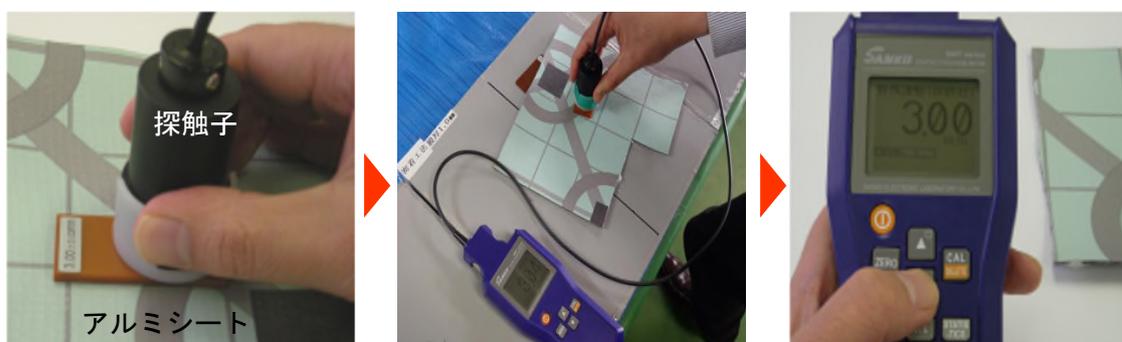


写真 15 測定機器の校正手順

(2) 膜厚の測定

- ①測定位置を決定し、マーキングします。
- ②探触子を測定面に垂直に設置し、写真 16 に示すように防水層の表面に軽く押し付け、厚さを測定します。ウレタンゴム系塗膜防水材が軟らかく、探触子先端の押し付け力により凹みが生じる場合は、写真 17 に示すように約 20cm 角程度の非導電性板(アクリル板等)を防水層の上に載せて測定してください。また、メーカーでは専用の治具を用意しているので、それを利用することもできます。
- ③膜厚を連続して測定する場合は、必ず探触子先端を一度測定面から 5cm 以上離れた後、行います。



写真 16 膜厚測定状況



写真 17 下地が軟らかい場合の測定状況

5.2.6 測定上の注意

- ①この測定方法は、原理上防水層の下側にアルミシート等の非鉄金属シートを設置する必要があります。これが敷設されていない防水層では、全く測定できません。そのため、既設のウレタンゴム系塗膜防水層の膜厚を測定する場合は、注意が必要です。
- ②膜厚測定にあたり、事前に測定機器の校正をしっかりと行われていることが大切です。正しく調整されていないと、正確に測定できません。必ず下に敷くアルミシート等と同じもので校正する必要があります。

5.3 針入式測定法

5.3.1 原理

ウレタンゴム系塗膜防水層の表面から針を突き刺し、下地面に到達するまでの針入量を測定します。

5.3.2 対象防水工法

この測定法は、密着仕様に適しています。絶縁仕様では、針が通気緩衝シートを貫通してしまうため、防水層だけの厚さ測定が出来ません。（自着層付タイプ等、表面が硬めの通気緩衝シートでは、測定できることもありますが、安定した測定値にはなりません。）

5.3.3 測定に用いる器具

(1) 針入式膜厚計

針入量をダイヤルゲージやデジタル計等により、測定する膜厚計です。これには、写真 18 に示すような 1 本針のものと 3 本針のものがあります。

1 本針の膜厚計



3 本針の膜厚計



写真 18 針入式膜厚計測定状況

5.3.4 針入式膜厚測定の手順

- ①針の進入しない平滑な板（例えばガラス板や金属板）の上に、針入式膜厚計を垂直に乗せ、測定器の示す値をゼロに設定します。
- ②測定対象の防水層の上に、針入式膜厚計を垂直に乗せます。
- ③針の部分を、静かに防水層に押し込みます。(写真 19)
- ④針先端が下地に到達した時の、針入量を読み取ります。

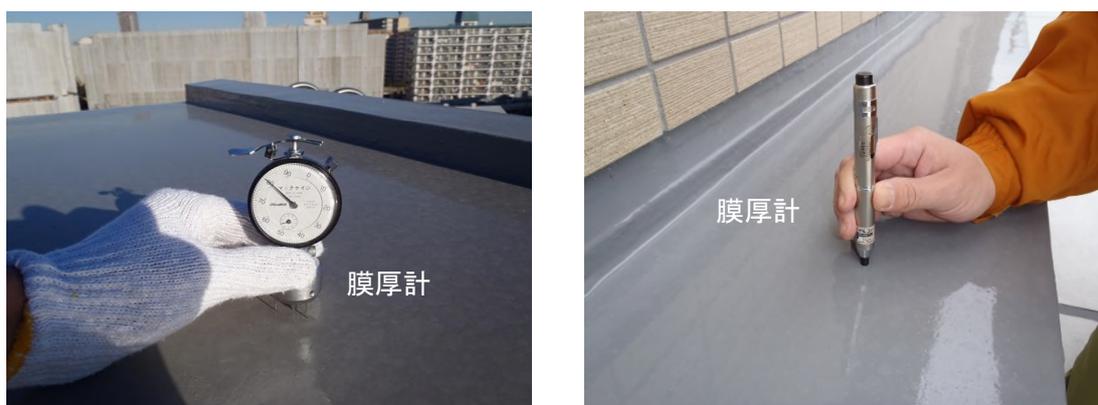


写真 19 針入式膜厚計測定状況

5.3.5 測定上の注意点

- ①針入式膜厚計を強めに押し付けると、読み値が大きくなる（膜厚が厚目に測定される）傾向があります。そのため、必要以上に大きな力で針を押し付けないでください。
- ②針入式膜厚計を引き抜いた後のことが心配になりますが、ウレタンゴム系塗膜防水材は比較的軟らかいため針跡を封印してくれます。そのため、補修が必要ない場合が多いです。ただし、防水層が劣化して硬くなっている場合や膜厚が薄い場合（1.0mm 以下）は、同じ材質の防水材で補修する必要があります。

5.4 ポンチによる抜き取り式測定法

5.4.1 原理

小口径のポンチを用いて、下地部分とウレタンゴム系塗膜防水層をはがし取り、その断面を直接測定する方法です。

5.4.2 測定対象防水工法

密着仕様、絶縁仕様のいずれの防水層にも適用できます。

5.4.3 測定に用いる器具

(1) ポンチ (写真 20 左)

直径 10mm のものが最適です。細いもの (5mm φ) も使用できますが、採取される試料の厚さ測定がしにくくなります。また太いものでは下地部分も含めての試料採取が困難となります。

(2) ノギス (写真 20 右)

大まかな測定の場合は、普通の物差しで十分です。0.1mm の精度で測定する場合はノギスが適しています。0.01mm 以上の精度の測定が必要な場合は顕微鏡を使用します。



写真 20 切り取り式測定法使用器具

5.4.4 ポンチによる抜き取り式膜厚測定の手順

(1) 試料の採取

- ①防水層の採取位置を決定し、マーキングします。
- ②ポンチを防水層の上に乗せ、下地まで到達するようにハンマーで上から打ち込みます。

(写真 21 左)

- ③次にポンチを少し斜めに傾け、打ち込み円に沿って下地コンクリートを叩くように、少しずつハンマーで打ちまわします。
- ④最後に少し強めに叩き、下地のコンクリートを付着させたままウレタン防水層を採取します。(写真 21 中)



写真 21 ポンチによる抜き取り式膜厚測定の手順

(2) 膜厚の測定

採取試料の膜厚は、定規やノギスを用いて直接測定します。(写真 21 右)

また、精度の高い膜厚を測定する場合は顕微鏡*を使用します。

(3) 顕微鏡を用いた膜厚の測定法

①採取したボタン電池状の試料を、小さな容器（20～30mm 程度のものが使いやすい）に入れる。

②これに流動性の高いポキシ樹脂（市販のエポキシ樹脂接着剤は粘度が高く使いにくいいため、鋳型用のものを使用するとよい）を流しこみ、試料全体を埋め込みます。これは、膜厚が薄い試料を切断しやすくするための作業です。

③硬化後、これを容器から取り出します。

④試料をコンクリートカッター等で中央部分より切断し、防水層の断面を露出させます。

(写真 22 左)

⑤切断面を顕微鏡で拡大（50 倍程度）して、防水層断面の膜厚を測定します。

(写真 22 中・右)

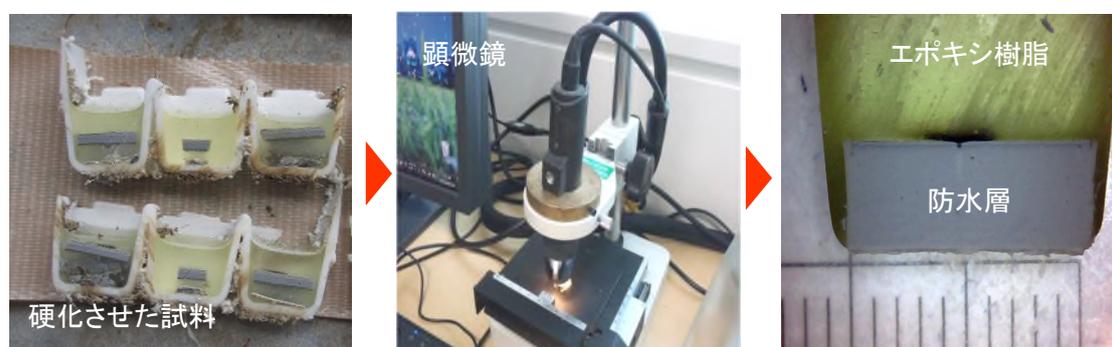


写真 22 顕微鏡を用いた膜厚測定の手順

5.4.5 測定上の注意点

膜厚測定試料を採取した部分は、必ず同種のウレタンゴム系塗膜防水材を流し込んで補修します。

5.5 カッター等による切り取り式測定法

5.5.1 原理

カッター等を用いて防水層を切り出し、膜厚を直接測定するものです。

5.5.2 対象防水工法

絶縁仕様に適しています。密着仕様では、ウレタンゴム系塗膜防水層が下地に密着しているため、防水層だけをはがし取ることが困難です。

5.5.3 測定に用いる器具

(1)カッター(写真 20 中央)

市販のカッターで十分です。

(2)スケール

市販の物差しで十分です。

0.1mm の精度で測定したい場合は、ノギスを使用します。

5.5.4 カッター等による切り取り式膜厚測定の手順 (写真 25)

- ①防水層の採取位置を決定し、マーキングします。※30mm×30mm 程度が、作業しやすい。
- ②防水層に、カッターで切り込みをいれます。(ウレタンゴム系塗膜防水層は、ゴム弾性があるため、一気に切り取ろうとすると危険です。定規をそえて、同じ位置を何度も繰り返して刃を入れると比較的に切ることができます。)
- ③防水層は(通気緩衝シートが付いたまま)はがしとります。
- ④採取試料の膜厚は、定規やノギスを用いて直接測定します。



写真 25 カッター等による切り取り式膜厚測定の手順

5.5.5 測定上の注意点

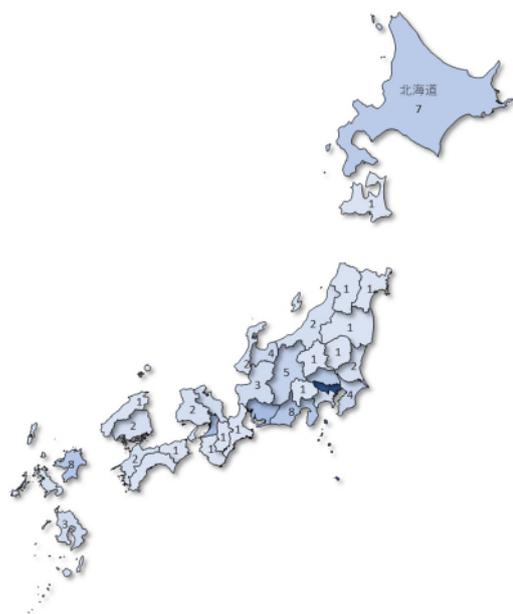
膜厚測定を試料を採取した部分は、必ず同種のウレタンゴム系塗膜防水材で補修してください。また、膜厚測定に針入量測定法を用いた微破壊検査、切り取り式測定法を用いた破壊検査を実施する場合は、防水性能や防水保証に関わります。そのため、必ず工事元請に相談の上対応してください。

■機器入手のための参考資料

超音波式膜厚計	㈱サンコウ電子研究所	http://www.sanko-denshi.co.jp/
渦電流式膜厚計	㈱ケツト科学研究所	http://www.kett.co.jp/
	㈱サンコウ電子研究所	http://www.sanko-denshi.co.jp/
針入式膜厚計	アワーブレイン環境設計株式会社	http://www.ourbrain.co.jp/
	土牛産業株式会社	http://www.dogyu.jp/

添付資料2. ウレタンゴム系塗膜防水における施工管理に関するアンケート調査

※ウレタンゴム系塗膜防水平場部の膜厚に与える施工要因（134件）



平場回答（件数）

東京都	30	新潟県	2
大阪府	11	広島県	2
愛知県	11	茨城県	2
福岡県	8	愛媛県	2
静岡県	8	和歌山県	1
北海道	7	福島県	1
埼玉県	7	奈良県	1
長野県	5	栃木県	1
富山県	4	徳島県	1
千葉県	4	島根県	1
神奈川県	3	青森県	1
鹿児島県	3	山梨県	1
京都府	3	山形県	1
岐阜県	3	三重県	1
兵庫県	2	高知県	1
長崎県	2	群馬県	1
石川県	2	宮城県	1

図1 アンケートを回答した都道府県

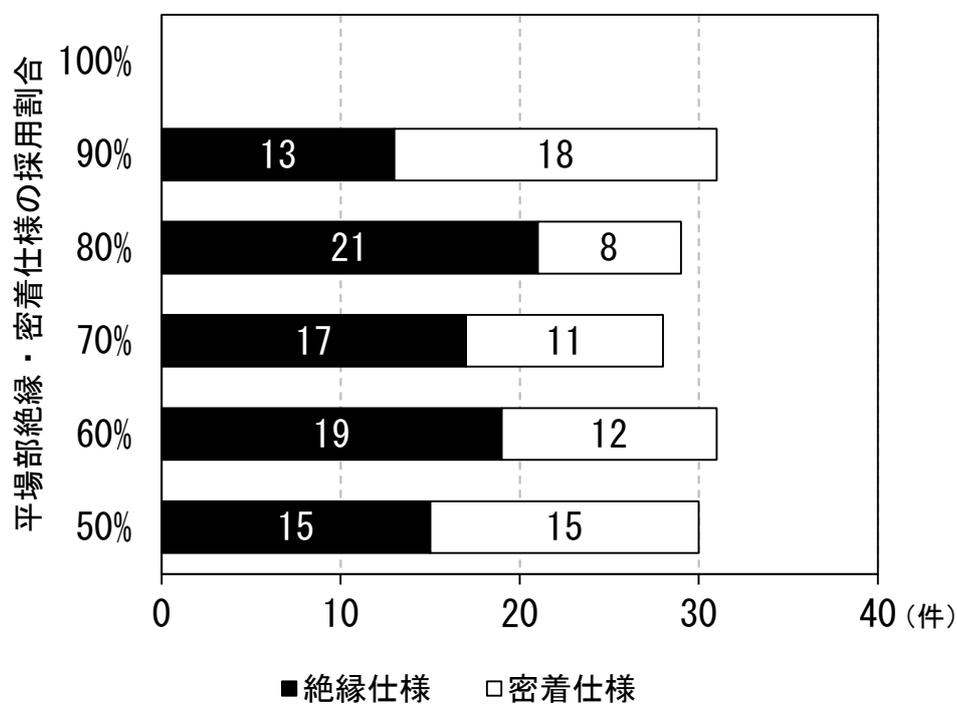


図2 平場部絶縁・密着仕様の採用件数

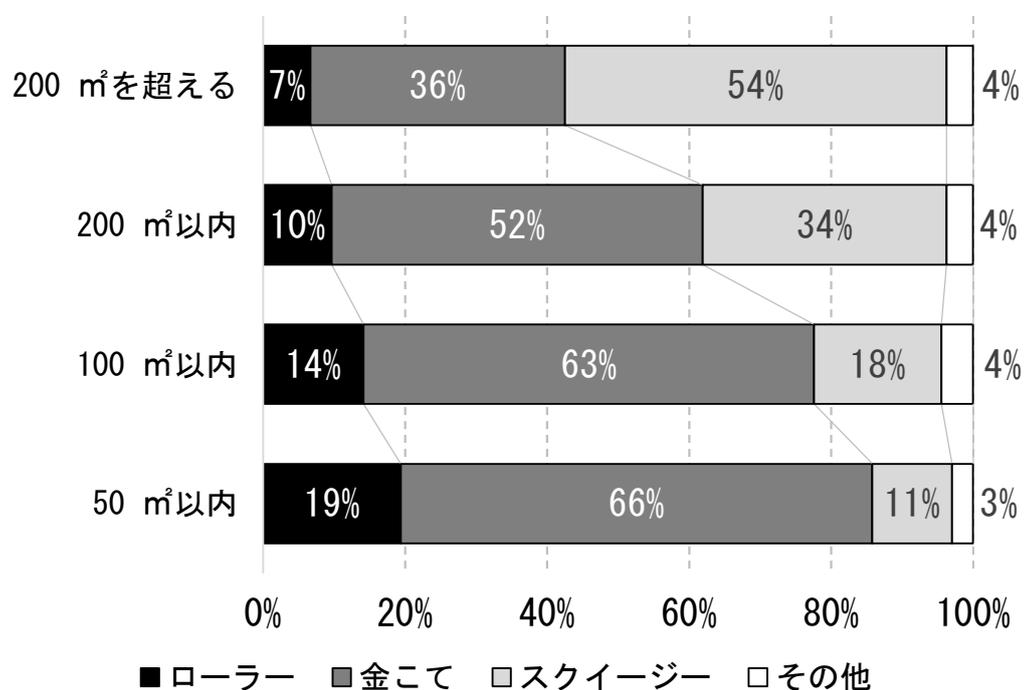


図3 平場（手塗り工法）で用いる主な施工工具

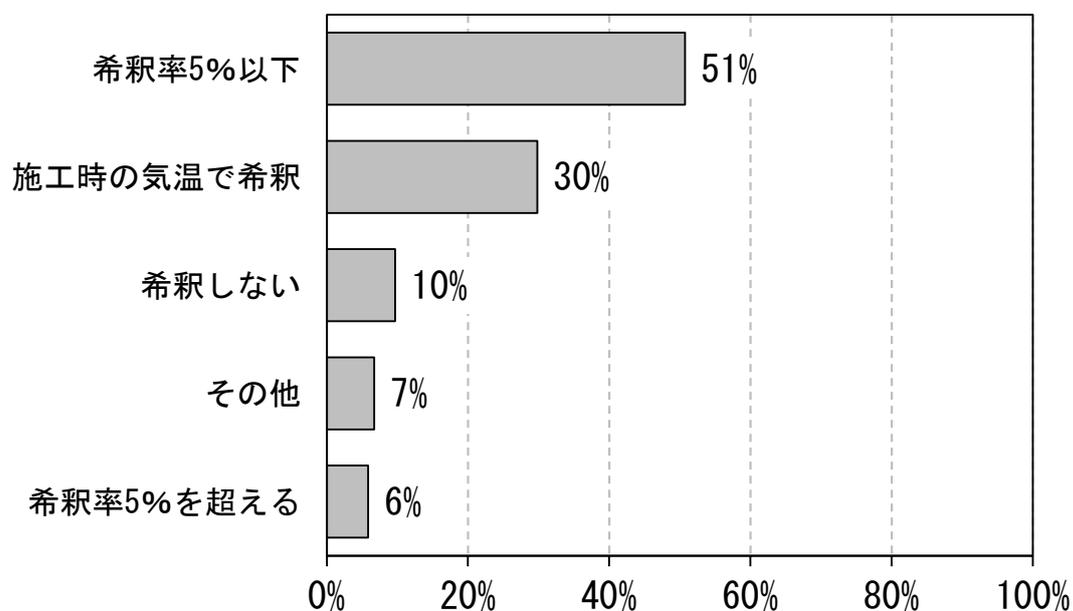


図4 平場防水材料の希釈割合（重量比）

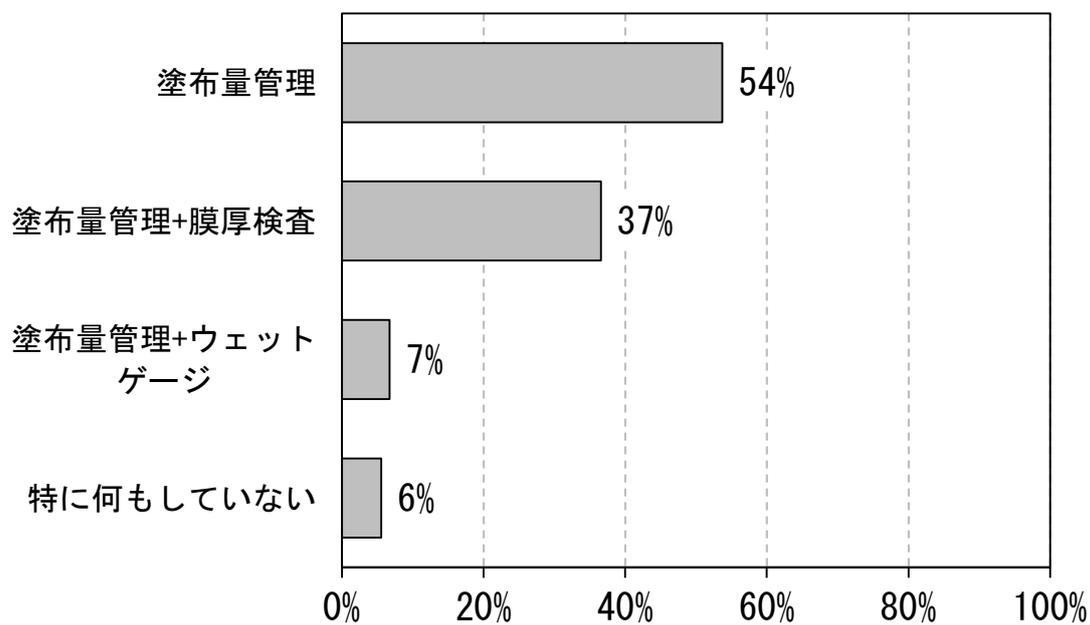


図5 平場部の膜厚管理方法

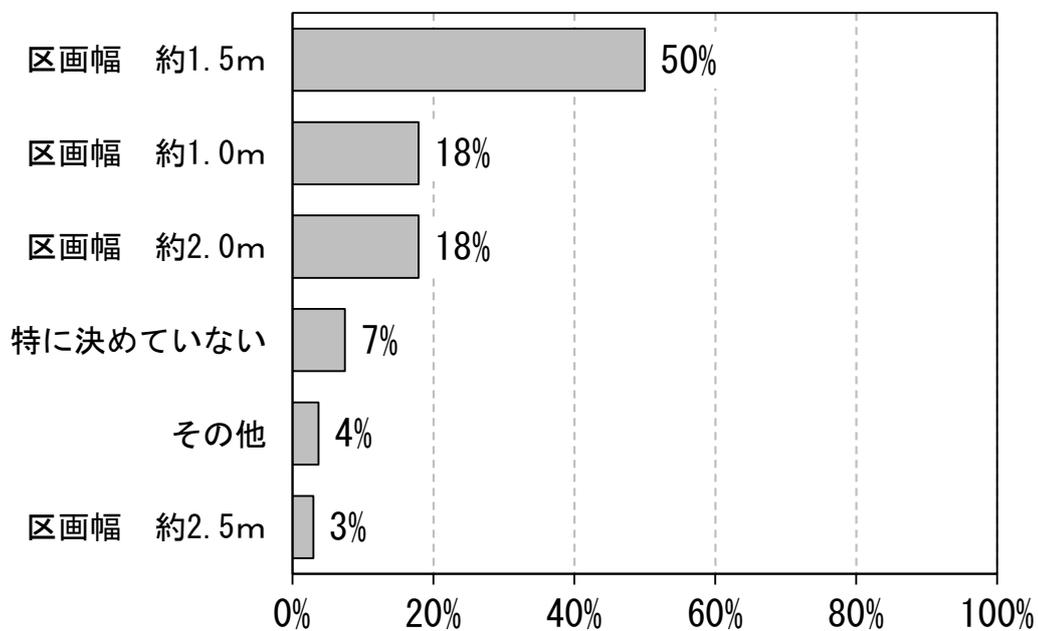
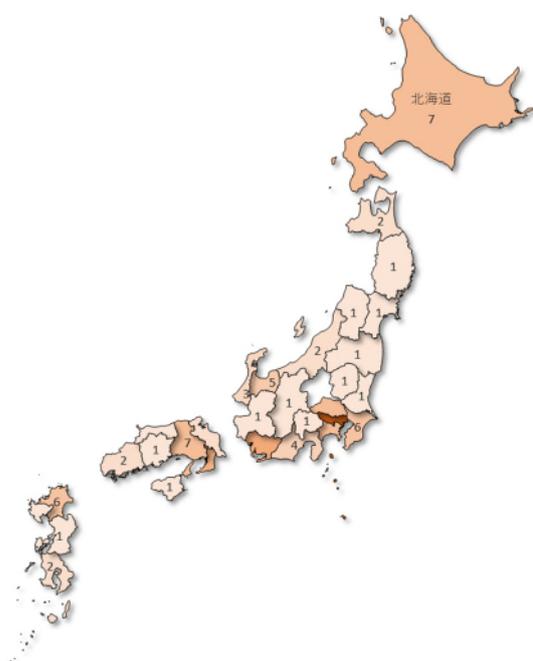


図6 平場施工時の区画幅

※ウレタンゴム系塗膜防水平場部の膜厚に与える施工要因（128件）



立上り回答（件数）

東京都	33	京都府	2
愛知県	10	福島県	1
大阪府	9	栃木県	1
北海道	7	徳島県	1
兵庫県	7	鳥取県	1
神奈川県	7	長野県	1
埼玉県	7	山梨県	1
福岡県	6	山形県	1
千葉県	6	佐賀県	1
富山県	5	熊本県	1
静岡県	4	宮城県	1
石川県	3	岐阜県	1
青森県	2	岩手県	1
新潟県	2	岡山県	1
鹿児島県	2	茨城県	1
広島県	2		

図7 アンケートを回答した都道

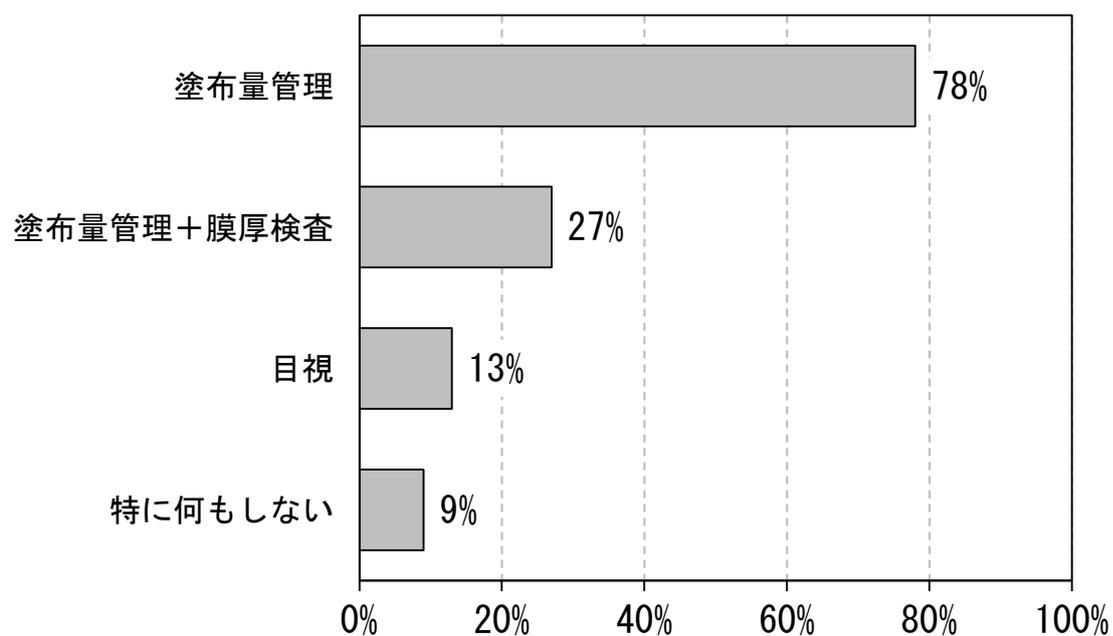


図8 立上り部の膜厚管理方法

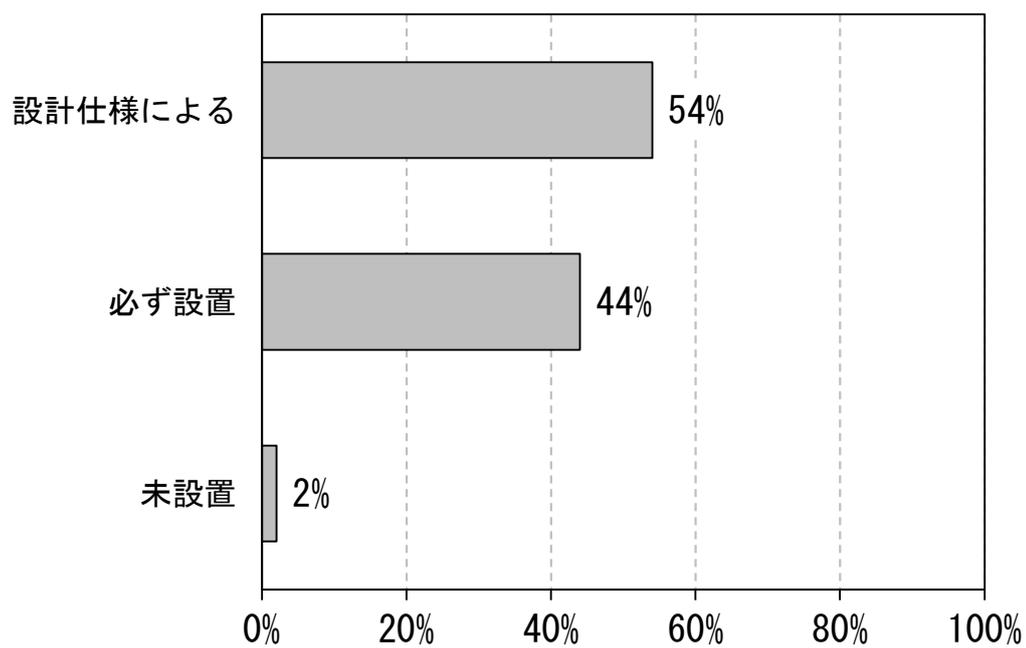


図9 立上り部の補強布設置状況

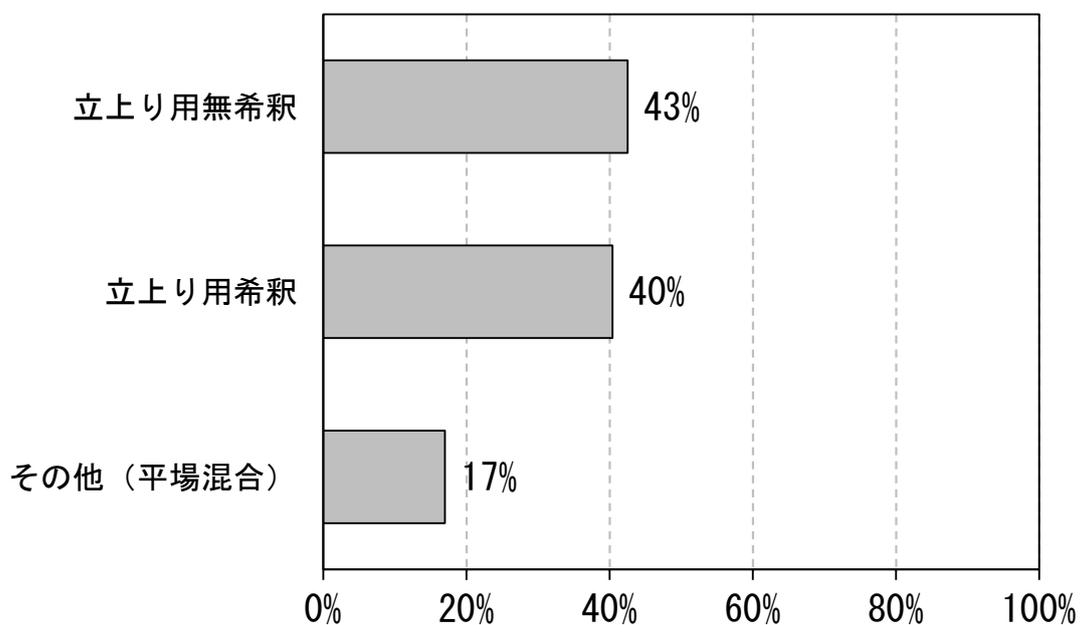


図10 立上り用防水材の希釈

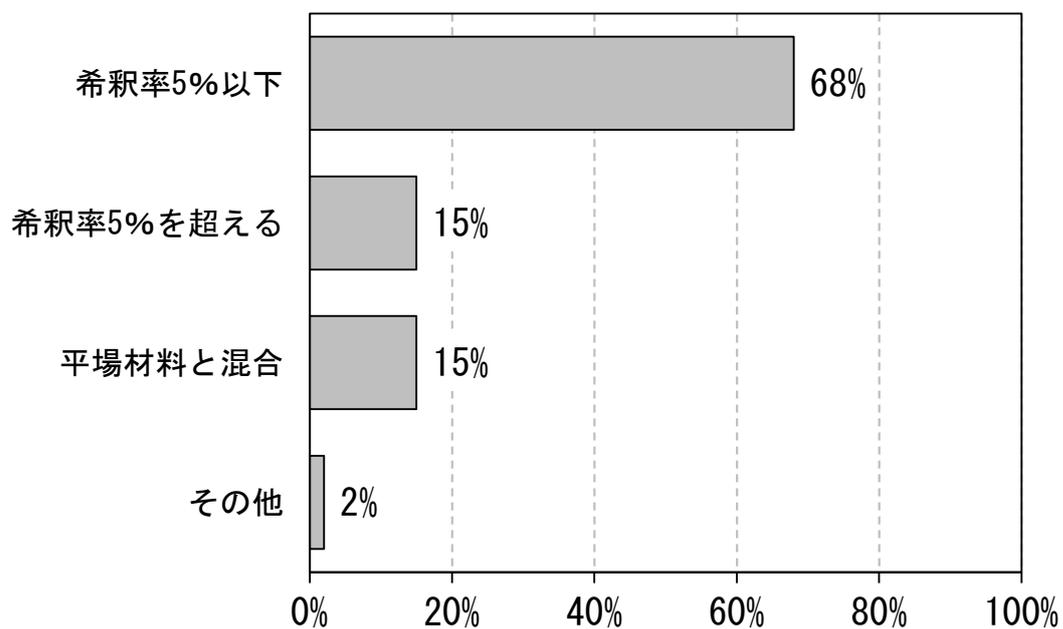


図 11 立上り用防水材の希釈割合（重量比）

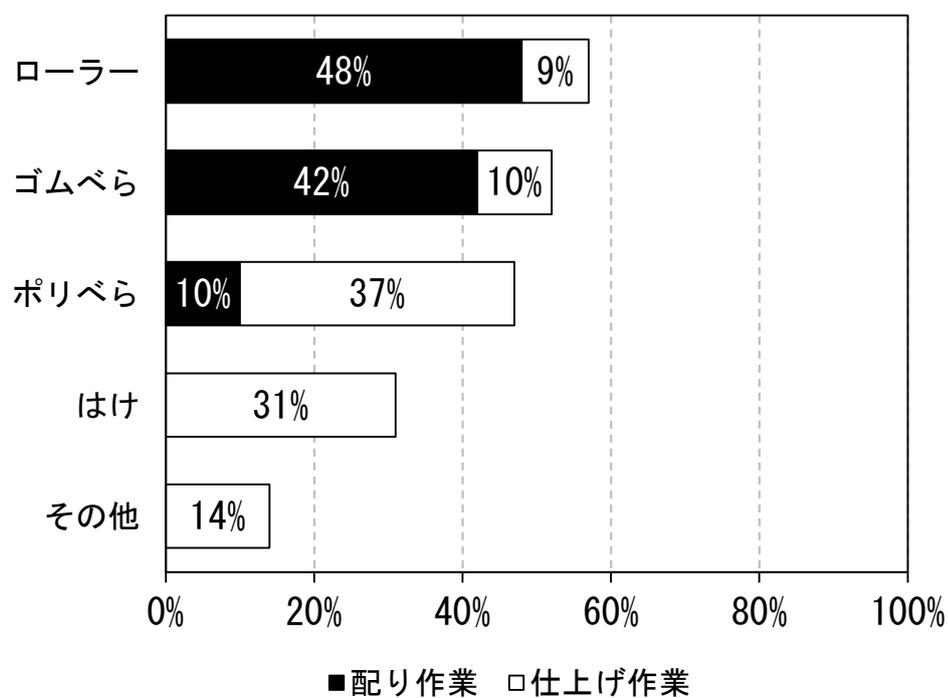


図 12 立上り（手塗り工法）に用いる主な施工具

<謝辭>

<謝 辞>

本論文は、筆者が（一社）建築防水安全品質協議会、千葉工業大学大学院工学研究科工学専攻・中野克彦研究室および石原沙織研究室、(株)長谷工コーポレーションで行った、ウレタンゴム系塗膜防水層膜厚確保のためのプロセス管理に関する研究をまとめたものです。

千葉工業大学教授 中野克彦先生、同大学准教授 石原沙織先生には、社会人学生として受け入れていただき、本研究の遂行ならびに本論文の取りまとめにあたり、懇切なる御指導を賜り、単眼的な筆者の研究の幅を広げる多くの示唆をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

東京工業大学名誉教授 田中享二先生には、筆者が今日に至るまで、本研究に終始懇切なる御指導、御助言を賜りました。また、社会人として博士課程への入学を勧めいただき、研究者としての心構え、研究に挑む姿勢を学ぶことができました。心より感謝と敬意を表します。

千葉工業大学教授中野克彦先生、同大学教授藤井賢志先生、同大学鈴木比呂子先生、東京工業大学教授 横山裕先生には、本論文の作成、審査にあたり、適切な御指摘と貴重なご意見をいただきました。篤く御礼申し上げます。

(株)長谷工コーポレーション建設部門 原巧三理事、技術部 石山淳部長には、社会人学生として博士学位取得へ挑戦する機会を与えていただくとともに、常に励ましの御言葉をいただきました。篤く御礼を申し上げます。技術部、超高層PJ推進部の皆様には、日頃から様々な助言をいただき、筆者が業務を行いながら研究を実施するために多大なご配慮をいただきました。皆様の御協力に心より感謝と御礼を申し上げます。

材料生産系ゼミを通して、研究に対し貴重な御意見を頂きました、東京工業大学准教授 三上貴正先生、ものづくり大学教授 高橋宏樹先生、東海大学准教授 横井健先生、AGCポリマー建材(株) 古澤洋祐氏、並びに各研究室所属の皆さまに、心より感謝申し上げます。

本研究の基礎を築き、研究への御助言や施工実験に多大なる御協力をいただいた、清水建設(株) 技術研究所 名知博司氏に深く感謝いたします。

研究を進めるにあたり、実験や現場実験に多大なるご協力、御意見をいただきました、(株)ダイフレックス 三浦慶政氏、熊谷健二氏、中島由美子氏、レオン工業(株) 渡辺光氏、清水建設(株) 竹本喜昭氏、福岡大学 塚越雅幸、丸山工業(株) 丸山好清氏、(株)ケット科学研究所 中村翔太郎氏、(株)サンコウ電子研究所 大西允人氏、(株)テツアドー出版 三原徹氏、三原希望氏、をはじめとする、(一社)建築防水安全品質協議会・建築防水品質委員会の皆さまに心より感謝いたします。

実験や現場実験に快く協力して下さいました、(株)ダイフレックス 熊谷健二氏 中島由美子氏 実験材料の供給や施工工事店へのアンケートに迅速に対応していただきました、渡辺光氏、丸山好清氏に心より感謝申し上げます。

千葉工業大学・石原沙織研究室の皆様には、試験体の作製や実験にご協力いただきました。心より感謝申し上げます。特に、鈴木実加氏、式田匠氏には、大変お世話になりました。篤く御礼を申し上げます。

最後に、心の支えになって下さいました全ての皆さまに深く感謝し、これを謝辞とさせていただきます。

令和3年3月
法身祐治