

膜溶着部の溶着不良が接合性能に及ぼす影響に関する基礎的研究
 一溶着不良発生条件の実験的評価および溶着条件が接合強度に及ぼす影響—
Basic Study on Effect of Poor Welding of Membrane Welding Parts on Bonding Performance
-Experimental Evaluation of Welding Failure Conditions and Effect of Welding Conditions on Joint Strength-

○董淼³, 宮里直也¹, 岡田章², 鴛海昂¹
 *Miao Dong³, Naoya Miyasato¹, Akira Okada², Akira Oshiumi¹

Abstract:This paper focuses on heat plate welding of membrane materials. Existing standards describe weld appearance, strength, and width but provide only approximate procedures, and few studies have investigated welded joints in detail. Current practice relies on fabricator experience, and quantitative evaluation of welding conditions is lacking. This study aims to clarify suitable welding conditions through manual peel and tensile tests on specimens welded under controlled temperature and time, examining their effects on weld quality and strength.

1. はじめに

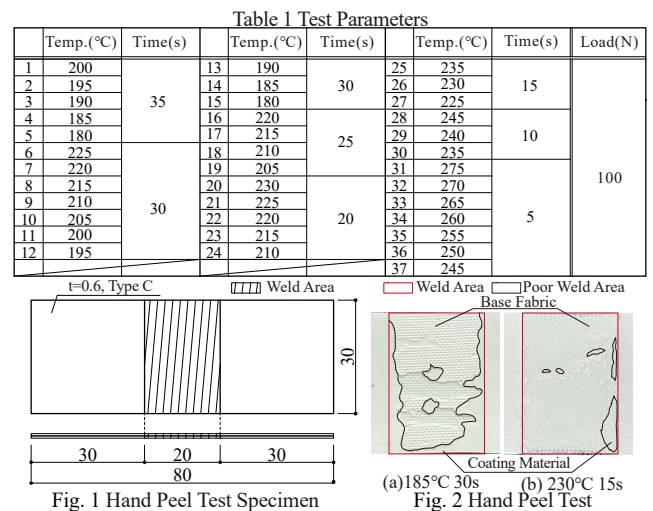
本報では膜材料等相互の接合方法の内、熱板溶着接合(以下「溶着接合」)に着目する。溶着接合に関する規定として、文献[1]では溶着の接合幅、温度、押圧力、時間に規定が設けられているが、その数値は目安程度の扱いである。また、溶着部に着目した既往研究は、著者らの知る限りほとんど報告されていない。このため、現在の膜構造の溶着接合部の品質は膜製作者の経験および実績に依存しており、溶着部の溶着条件等による影響に関する定量的な評価や最適な溶着方法は明らかにされていない。加えて、溶着部は一般にテストピースを対象とした室内の引張試験により、性能を評価しているが、実建物での検査は外観検査が主であり、想定していない溶着不良の可能性も内在している。

以上より、本報では溶着不良による影響を把握することを目標として検討を行う。本報ではその検討に先立ち、適切な溶着条件を明らかにすることを目的として、手動剥離試験および引張試験を実施する。具体的には溶着温度(以下「温度」)および溶着時間(以下「時間」)を制御した試験片を用いて、溶着条件の違いが溶着状況および強度に及ぼす影響の把握を試みる。

2. 手動剥離試験

2-1. 試験概要

本試験におけるパラメータをTable 1, 試験片詳細をFig. 1に示す。本試験では、押圧力の条件を一定(100N)とし、温度と時間をパラメータとして、パラメータ毎に20体の試験片を製作し、人力による剥離試験を実施後、溶着状態を目視および画像解析にて確認した。試験片は厚さ0.6mm, 幅30mm×80mmのC種膜2枚を溶着幅20mmで溶着し



たものである。パラメータは時間5~35s, 温度180~275°Cの範囲で設定し、試験結果を考慮しながら、概ね完全溶着できる条件を探索した。

本試験では、手動剥離試験後の溶着部が基布のみの場合を「完全溶着」、コーティング材が「残っていた場合を「溶着不良」と定義した。ここで、手動剥離試験後の試験片の溶着不良の例をFig. 2に示す。目視で完全溶着したと判断できた場合でも、画像解析では若干の溶着不良が存在するため、本報では画像解析における溶着不良面積の割合が5%以下を「完全溶着」とした。

2-2. 試験結果および考察

手動剥離試験の結果をTable 2に示す。記号○は全ての試験片で「完全溶着」、×は全ての試験片で「溶着不良」を確認した場合であり、△は「完全溶着」と「溶着不良」が混在する場合である。また、上段が溶着不良が存在した試験片数とその溶着不良面積比率の平均値である。Table 2により、温度と時間が増加することで、溶着精度が向上

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大名誉教授 3 : 日大理工・院(前)・建築

Table 2 Hand Peel Test Results(Visual Observation)

| Temp. (°C) | Time (s) | +Fig.3(a)のケース +2Fig.3(b)のケース | | | | | | Temp. (°C) | Time (s) | +Fig.3(a)のケース +2Fig.3(b)のケース | | | | | | | |
|------------|------------------|------------------------------|------------------|------------------|----|----|----|------------|----------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|----|----|----|------------------|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | | | 35 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| 275 | 14(6.1) 6(-) | - | - | - | - | - | - | 225 | - | - | 20(19.5) 0(-) | 18(7.6) 2(-) | - | - | - | - | 13(3.8) 7(-) |
| 270 | 13(9.3) 7(-) | - | - | - | - | - | - | 220 | - | - | 20(10.4) 0(-) | 17(3.7) 3(-) | - | - | - | - | - |
| 265 | 12(8.6) 8(-) | - | - | - | - | - | - | 215 | - | - | 20(8.0) 0(-) | 15(5.0) 5(-) | 14(4.8) 6(-) | - | - | - | - |
| 260 | 16(8.9) 4(-) | - | - | - | - | - | - | 210 | - | - | 20(8.0) 0(-) | 18(8.3) 3(-) | 17(7.2) 4(-) | - | - | - | - |
| 255 | 20(11.4) - | - | - | - | - | - | - | 205 | - | - | 20(12.7) 0(-) | 20(9.2) 0(-) | 20(9.2) 0(-) | - | - | - | - |
| 250 | 20(25.2) - | - | - | - | - | - | - | 200 | - | - | 20(14.6) 0(-) | 20(12.7) 0(-) | 20(9.2) 0(-) | - | - | - | - |
| 245 | 20(31.7) - | 5(1.8) 15(-) | - | - | - | - | - | 195 | - | - | 20(12.7) 0(-) | 20(9.2) 0(-) | 20(9.2) 0(-) | - | - | - | - |
| 240 | - | 9(7.8) 11(-) | - | - | - | - | - | 190 | - | - | 20(12.9) 0(-) | 20(17.9) 0(-) | 20(9.2) 0(-) | - | - | - | - |
| 235 | - | 13(7.9) 7(-) | 13(4.5) 7(-) | - | - | - | - | 185 | - | - | 20(17.9) 0(-) | 20(17.9) 0(-) | 20(9.2) 0(-) | - | - | - | - |
| 230 | - | - | 20(9.2) 0(-) | 14(4.9) 0(-) | - | - | - | 180 | - | - | 20(41.0) 0(-) | 14(6.2) 0(-) | 14(6.2) 0(-) | - | - | - | - |

Result: No. of Defectively Welded Specimens (Poor welding area ratio(%)) ○ All 20 specimens completely welded △ 20 specimens included both completely and poorly welded
 No. of Fully Welded Specimens (Poor welding area ratio(%)) × All 20 specimens poorly welded × Extracted Conditions - Inferred Results Area

することを確認した。ただし、C種膜の融点が250°C付近のため、融点を越えた温度条件で製作した試験片 (Fig. 3 (a)) は膜面が融解し、美観性に問題があることを確認した。一方、185~200°Cの低温条件では時間を35sとすることで、ほとんどの試験片が美観を損なうことなく、完全溶着が可能であることを確認した (Fig. 3 (b))。以上より、完全溶着が可能な条件として、時間35sで温度185~200°Cが適切であることが把握された。

3. 引張試験

3-1. 試験概要

本章では、溶着条件の違いおよび溶着不良が引張強度に及ぼす影響を把握するため、前章の一部のパラメータに対して引張試験を行った。パラメータをTable 3に示す。パラメータは時間5~30sにおけるTable 2の完全溶着 (○) から溶着不良 (×) までの範囲である。また、本試験は文献[1], [2]を参考に実施した。

引張試験片の概要をFig. 4に示す。試験片は、厚さ0.6 mm, 30mm×230mmのC種膜を2枚重ね合わせ、溶着幅を40mmとした。試験は油圧式万能試験機を用いて、試験片が破断するまで載荷した。試験片端部はゴムシートを介して治具に固定し、荷重は試験機からの出力値とした。なお、試験結果のばらつきを考慮し、各パラメータの試験片は10体とした。

3-3. 試験結果および考察

引張試験より、破断箇所は膜材の破断 (Fig. 5 (a)), 溶着部の破断 (Fig. 5 (b)), 定着部の破断の3箇所であった。ただし、各パラメータにおいて、定着部で破断した試験片数は10体のうち3体以下であり、定着部における応力集中が原因のため本報ではデータを除いて考察した。

引張試験から得られた各パラメータの破断荷重の結果をFig. 6に示す。赤色の実線は膜材で破断した場合、赤色の破線は溶着部で破断した場合、それぞれの破断荷重の平均値であり、試験片数を () 内に併記している。また、同サイズである膜母材のみの破断荷重平均値は30mm当たり約1.5kNである。

Fig. 6より、膜材の破断は膜母材のみの破断荷重と概ね一致していることがわかった。また、同じ時間では溶着不良に関わらず温度が高いほど溶着部の破断荷重が低下する傾向を示した。また、Fig. 6 (a) 時間30s, (b) 時間25s, (c) 時間20s (d) 時間15sにおける溶着部の破断荷重



Fig. 3 Hand Peel Test (a) Temp.275°C.Time 5s (b) Temp.185°C.Time 35s

Table 3 Extracted Welding Conditions

| Time (s) | Temp. (°C) | | | | |
|----------|------------|-----|-----|-----|--|
| 30 | 200 | 205 | 210 | 215 | |
| 25 | 205 | 210 | 215 | 230 | |
| 20 | 220 | 225 | 230 | 230 | |
| 15 | 225 | 230 | 235 | 235 | |
| 10 | 230 | 235 | 240 | 245 | |
| 5 | 255 | 260 | 265 | | |

× △ ○ Hand Peel Test Results

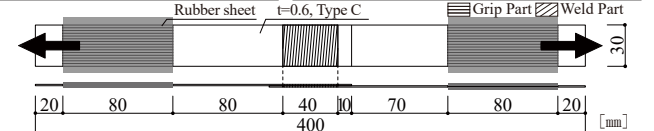


Fig. 4 Tensile Test Specimen Overview

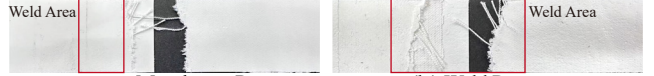


Fig. 5 Destruction Location after Tensile Test (a) Membrane Part (b) Weld Part

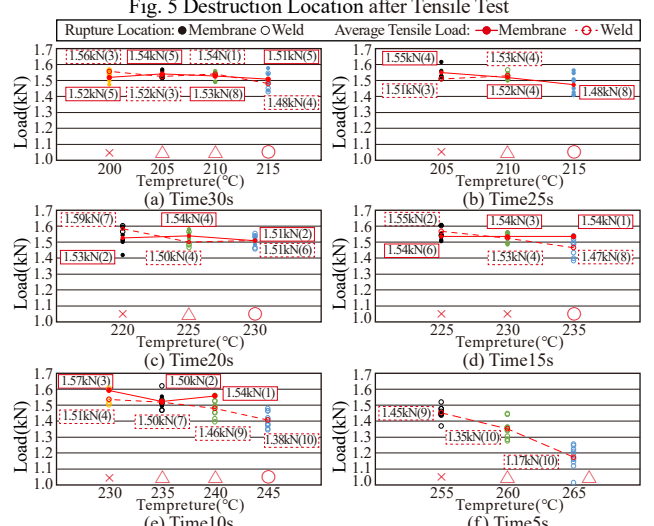


Fig. 6 Tensile Test Specimen Results

は、膜材の破断荷重と概ね同様であった。したがって、時間20s・温度230°C以下の溶着条件であれば溶着不良に関わらず、十分に引張強さを保持できると考えられる。一方、Fig. 6 (e) 時間10s, (f) 時間5sでは、温度240°C以上となることで溶着部の破断荷重が1.45kN以下に低下した。さらに、(f) 時間5sの場合は、全試験片で溶着部の破断となった。これは、温度による影響と考えられ、短い時間でも融点付近およびそれ以上になると膜面に何らかのダメージが生じ、引張強さが低下したと考えられる。

したがって、溶着部の強度を考慮すると、230°C以下で十分な時間を確保することが重要であると考えられる。

4. まとめ

本報では手動剥離試験および引張試験より、溶着可能な条件を定量的に評価し、溶着条件の違いが接合性能に及ぼす影響について検討を行った。

[参考文献]

[1] 日本膜構造協会, 『膜材料の品質及び性能試験方法』, pp. 30-34, 2003
 [2] 日本建築センター, 『膜構造建築物・膜材料等の技術基準及び同解説2020版』, 第1編, 第2章, pp. 38-43, 2020