ウレタン塗膜防水層の下地不連続部での耐疲労性におよぼす補強布の効果

EFFECT OF REINFORCING FABRICS TO FATIGUE RESISTANCE OF FLUID-APPLIED POLYURETHANE MEMBRANES AT JOINT OF SUBSTRATE

塚越 雅幸^{*1}, 宮内 博之^{*2}, 田中 享二^{*3}*Masayuki TSUKAGOSHI, Hiroyuki MIYAUCHI and Kyoji TANAKA*

The effect of reinforcing fabrics to fatigue resistance of fluid-applied polyurethane membranes is described in the study. The membranes reinforced by the two kinds of reinforcing fabrics such as glass fiber and polyester fiber at various height in cross section were prepared. They were moved at three levels of movements of 0.5-1.0mm, 1.0-2.0mm, 2.5-5.0mm by the fatigue machine. It was made clear that the reinforcing fabrics improve the fatigue resistance of the membranes and the effect of them is noticeable for the membranes inserted at the lower position in cross section. It was also found out that fatigue resistance of the membranes is related to the property of reinforcing fabrics.

Keywords : *Polyurethane Waterproofing membrane, Reinforcing fabrics, Fatigue test, Joint movement, Glass fiber, Polyester fiber*

ウレタン防水層、補強布、疲労試験、ジョイントムーブメント、ガラス繊維、ポリエステル繊維

1. はじめに

ウレタン防水層は防水層開発の当初から補強布の使用が推奨され、それがそのまま日本建築学会標準仕様書・防水工事(JASS8)、公共建築工事標準仕様書に標準仕様として組み込まれており、実際多くの建築防水工事では、当然のこととしてそれを使用している。

しかし、何故補強布が必要なのか、そして必要ならばどのような効果が期待され、どのような補強布が望ましいのかといった点は、ほとんど議論されないまま今日に至っているように見える。そして最近では、ウレタン防水材料自身の物性が向上しており、補強布は不要ではないかという議論さえもある。それは防水層の開発の当初から議論されていたこと、すなわち補強布がウレタン防水層の持つ、数百パーセントも変形できる大きな伸び能力を抑制することに対しての、明確な説明が今もってないことに起因する。また、JASS8において、繰り返し疲労における補強布の効果については記載されているが、補強布が潜在的にもっている補強効果については十分に明らかにされていない。

ただ現状で、防水技術者の大方の同意が得られるのは、塗膜厚さの確保に有効という点である。確かに補強布を敷設しておく、軽微な不陸があっても補強布にウレタン防水材料を均等に塗り込むことが可能となる。だから最低限の膜厚確保に有効であることは間

違いない。もしそのことだけだとすると、膜厚確保材として位置づけられるべきで、補強布という名称は不適切ということになる。

ただ実績として過去 30 年以上も長い間、習慣的であったかもしれないが、補強布は使い続けられてきており、しかもウレタン防水層の故障を格段に低減させてきたという過去の実績を踏まえると、補強といった面でもそれなりの意味はあったのではないかと推定される。特にウレタン防水材が市場に出始めた頃は、物性に劣るものも多くあり、その使用は不可欠であったのかもしれない。

しかし現在、その使用の意義に対して疑問視する意見も出されており、その有効性について改めて議論することが望まれている。本研究はこのことを背景になされるものである。補強布の効果が期待されるのは、防水層を形成した時の耐疲労性である。そのためコンクリートのひび割れや断熱材接続部等の下地不連続部のムーブメントに着目し、補強材の種類、補強布の挿入位置、ウレタン防水層の特性をパラメータとして系統的に実験を行い、防水層に対して補強布の持つ意味を明らかにすることを目的とする。

2. 既往の研究

防水層に対する補強材の効果に関する研究は極めて少ない。その中で補強布の使用に積極的意味を見出そうとした研究が 1980 年代

*1 東京工業大学 大学院生・工修

*2 東京工業大学建築物理研究センター 助教・博士(工学)

*3 東京工業大学建築物理研究センター 教授・工博

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

Assist. Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

前半に、小池¹⁾ およびそのグループ²⁾ によりなされている。当時のウレタン防水材料の中には、硬化途中の粘性から弾性に移行する性状の時に、下地のひび割れ等により伸長されると、容易に破断するものがあった。そのような現象防止には補強材挿入は明らかに有効であったとの結論が述べられている。また耐疲労性に及ぼす効果も調べられているが³⁾、補強布の違いにより、その効果には差のあること、それにはさらなる検討の余地があると報告されるに留まっており、それ以上の詳細な議論はなされていない。

3. ウレタン防水層試験体

3.1 補強布と防水材

(1) 補強布

試験に用いた補強布は、現在実務で多く使用されている写真1に示すガラス繊維織布とポリエステル繊維織布の2種とした。これらの引張り特性を図1に示す試験体を用いて調べた。引張り試験は、20℃の室温で 100mm/分の引張り速度で実施した。測定結果を図2に示す。ガラス繊維織布は、強度は極端に高いが伸びは非常に小さく、逆にポリエステル織布はガラス繊維織布に比べると強度は低い、伸びは大きくなる傾向が見られている。

(2) 防水材

防水材としては市販のウレタン防水材（JIS A6021 I 類適合品、比重 1.2）を用いた。基準はこの材料としたが、ウレタン防水層の耐疲労性にはウレタン防水材自身の物性、特に伸び能力が強く関与することが予想される。そのため伸び能力の異なる防水材が必要であると考えられる。そこで、本研究では、主剤と硬化剤の混合比を変えることにより硬化反応を制御し、伸びを変化させることとした。この時、材料に未硬化などの不具合が生じない範囲で両者の割合を調整した。今回の試験では、硬化剤の割合を多くする（主剤：硬化剤比を 1:1.1）ことにより伸び能力を向上させ、逆に少なくする（主剤：硬化剤比を 1:0.9）ことにより低下させた。従ってここでは、基準配合比（市販品で主剤：硬化剤比を 1:1）のものも含め3種類のウレタン防水材料を用いた。なおこれらのダンベル3号形試験片を用いての、引張り試験結果を表1に示す。これらに見られるように、防水層はほぼ意図通りに伸び能力には差が生じている。

3.2 試験体の作成

(1) 防水層の形状・寸法

JASS8 のメンブレン防水層性能評価試験方法・疲労試験を参考に、図3に示すように、幅 100mm、長さ 380mm、厚さは 3mm の防水層を下地スレート板の上に作製した。

(2) 補強布の挿入位置

補強布の効果は、防水層内の位置の影響を受けると考えられたため、挿入位置を、図4に示す4箇所とした。すなわち防水層の下から 3/4、中央、下から 1/4、できるだけ下地に近い JASS8 の標準仕様書で規定されている位置（塗布量 0.3kg/m² が規定されているので、下から約 1/12 の位置となる）である。

(3) 試験体の作成

下地として中央部に切断のための切り込みの入れたスレート板を用い、プライマー塗布、乾燥確認後、防水層の面積を幅 100mm、長さ 380mm となるようにせき止め枠を設置し、その中にまず下層のウレタンを塗布した。直ちに試験体の面積よりやや小さめに切り抜

図1 補強布の引張り用試験体

図2 補強布の引張り試験結果

表1 実験に用いたウレタン材の力学的性質

項目	破断時の強度(MPa)	破断時の伸び率(%)	抗張積
伸び能力を低下させたもの 主剤: 硬化剤=1:0.9	4.2	390	164
市販品(JIS適合品) 主剤: 硬化剤=1:1	4	540	216
伸び能力を向上させたもの 主剤: 硬化剤=0.9:1	3.9	645	252

※ 引張速度100mm/分 温度20℃ ダンベル3号型試験体

いた補強布（長手方向を使用）を敷設し軽くヘラでしごき固定した。翌日、上層のウレタンを塗布し、全体で厚さ 3mm とした。また比較のために、補強布を挿入していない試験体も作製した。この場合は 1.8kg/m² ずつを 2 回に分けて施工した。これら試験体は 20℃環境下で、4 週間以上養生した。

3.3 単純ひび割れ拡大時の力学的特性

これら試験体の単純ひび割れ拡大試験を行い、その基本的な力学

的挙動を調べた。防水層は下地スレート板に施工されているため、通常行われる1体だけの引張り試験では、補強布の存在による偏心が生じるため、下地を完全に平行に移動させることが難しい。その影響を除くため写真2に示すように、2体の試験体を抱き合わせて固定治具に装着することにより、平行に引張ることが出来るようにした。試験は20℃の環境下で、ひび割れ拡大速度は1mm/分で実施した。この測定結果を図5に示す。

補強布なしの試験体では、単調に荷重が増加し荷重のピークに達すると防水層全体が破断する。しかし、補強布を挿入することによりピーク時の荷重は高くなり、補強布が破断して一時的に荷重は低下する。その後は防水層が伸長し続けるため、直ぐには破断せず、ある程度の荷重を保ちながら、その後のひび割れ拡大に追随する。

補強布の挿入位置の影響であるが、最も低い位置（下から1/12）の場合以外は、それほど差は見られていない。最も低い位置の場合は、荷重ピーク時および防水層破断時のひび割れ幅はいずれも大きくなっている。特にその効果は伸びの良いウレタン防水材料を使用した場合に顕著である。

4. 疲労試験

4.1 試験条件

ムーブメントは、JASS8 メンブレン防水層の性能評価試験方法・疲労試験に準拠し、0.5-1.0mm, 1.0-2.0mm, 2.5-5.0mmの3水準とした。繰り返し回数は、最大100万回までとした。実際の防水層では、これだけの回数が繰返されるとはないと考えられるが、防水層の潜在的に持つ耐疲労性の限界を知ることが意図し、多数回の繰返し試験を行った。速度は試験時間短縮化を目的に、比較的早めの1Hzとした。なお、試験はすべて20℃環境下で実施した。また、防水層の伸長疲労による発熱に関しては別途測定しており、今回の実験の環境下では最大1℃程度の上昇であり、本試験装置での測定誤差範囲にあると考えられる。この為、疲労による発熱の影響は考慮しないものとした。

4.2 試験方法

下地スレート板に曲げによるひび割れを入れた後、疲労試験機に取り付けた。まず試験体を最小のひび割れ幅まで拡大する。次いで最大ひび割れ幅まで拡大し、防水層の状態を観察の後、所定のムーブメントでの繰返し試験を開始した。試験の状況を写真3に示す。

4.3 試験体の観察

繰返しの進行とともに、防水層はクラックが下側から上方に進展する。そのため、途中適当な回数ごとに、試験機を停止させ、クラックの進行深さを、スケールを用いて測定した。また1万、3万、5万、7万、10万回等の区切りの時には、端部から順次、幅5mm程度（長さはひび割れを跨ぐように40mm程度）を下地からカッターで防水層を切りだし、クラック部分を詳細に観察した。そして完全にクラックが表面まで到達した時、防水層は破断したと判断し、試験を終了させた。なお、破断しない場合は100万回まで試験を継続した。

4.4 試験結果

試験結果を図6に示す。繰返しの進行に伴い防水層の裏面から、写真4に示すようにクラックが発生し、それが上方に進行した。それが最上層まで到達した時、表面からもクラックは観察され、防水

図3 試験体の形状と寸法

補強布の位置	構成	塗布量
補強布なし	3mm	3.6kg/m ² (2回に分けて塗布)
高 (下から3/4)	0.75mm 2.25mm 補強布	← 0.9kg/m ² ← 2.7kg/m ²
中 (中央)	1.5mm 1.5mm 補強布	← 1.8kg/m ² ← 1.8kg/m ² 補強布
低 (下から1/4)	2.25mm 0.75mm 補強布	← 2.7kg/m ² ← 0.9kg/m ²
極低 (下から1/12、 JASS8仕様)	2.75mm 0.25mm 補強布	← 3.3kg/m ² ← 0.3kg/m ²

図4 防水層内における補強布の位置

写真2 防水層試験体の単純ひび割れ拡大試験
(2枚の試験体を抱き合わせて測定)

層は破断したと判断される。この状況を表現するために、結果の図ではクラックの深さの進行に応じて（1/4、1/2、3/4までクラック到達時点で作図）、横棒グラフの太さを細くすることにより表現している。

5. 考察

(1) 補強布の効果

破断するまでの繰返し回数について、補強布の有無及び挿入位置との関係を整理し図7に示す。基本的には補強布を使用することに

より、防水層の耐疲労性は向上している。これは防水層下層から表層へ向かうクラック進展を、補強布が抑制するためである。

(2) 耐疲労性に及ぼす補強布の位置の影響

全体的に見て補強布の位置は下方にあるほうが、耐疲労性の向上効果が見られる。中でも、最も低い位置に施工される仕様、すなわち 0.3kg/m^2 のウレタンで補強材を貼り付ける場合（JASS8に規定される施工法）は、すべての試験体において耐疲労性が良好である。これは補強布の存在により、それより下側のウレタン層を大きくせん断変形させ、補強布が大きな力を負担することにより、それより上層の防水層へ力の伝達を低減させるためと推定される。

今回の実験結果をみると、更に下の位置に設置した時の耐疲労性向上効果に興味のあるところであるが、実施工の観点からは、これより少ない塗布量では、安定的に補強布を敷き込むことができず、下地から $1/12$ の位置がほぼ限界に近い位置と思われる。

一方、補強布を高い位置に施工した場合は、下地ひび割れ拡大時に写真5にみられるように表面がへこみ、補強布には軽い曲げ変形が生じる。この場合は屈曲の影響も加味されたためと思われるが、早い時点で補強布が破損したものと推定される。その影響は曲げ繰

り返しの影響を受け易い、ガラス繊維織布に顕著であった。

(3) 補強布の疲労破断と防水層の疲労破断との関係

今回の疲労試験では、目視の観察に並行して定期的に試験体の一部を切り取り、クラック進行を調べている。そのため、切り取った試験体の切断面の観察により、補強布の破断を確認することができる。その観察を基にして補強布が破断するまでの回数を調べ、図6中に色の濃さの差で示した。補強布が早期に破断するものは、防水層の耐疲労性も良くない。

ただ補強布が疲労破断したからといって、すぐに防水層は破断するわけではなく、補強布の上側に残っているウレタン防水層部分が更なる繰り返しに耐える。しかしながら補強布の破断は、早晚防水層の破断を引き起こすので、防水層内部の補強布疲労破断回数の早いものは、防水層の耐疲労性は良くないと考えてもよいと思われる。

ただし、例外がある。補強布を最も低い位置に挿入し、しかも伸び能力の高いウレタンを使用した試験体の、ムーブメント $2.5\sim 5.0\text{mm}$ の試験の場合である。補強布は1回目のひび割れ拡大時に破断しているが、その時防水層を下地スレート板からわずかではあるが剥離させている。そのためウレタンの伸びの良い性質とも相

写真3 疲労試験の状況

写真4 試験体断面の観察

写真5 伸長による防水層の変形の状態

図5 防水層試験体の単純ひび割れ拡大試験結果

ムーブメント	補強布		伸び能力を低下させたもの 万回					市販品(JIS適合品) 疲労回数 万回					伸び能力を向上させたもの 万回				
	種類	補強布の位置	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
0.5-1.0mm	なし																
	ガラス繊維織布	高 (下から3/4)															
		中 (中央)															
		低 (下から1/4)															
		極低 (下から1/12)															
	ポリエステル繊維織布	高 (下から3/4)															
		中 (中央)															
		低 (下から1/4)															
		極低 (下から1/12)															
1.0-2.0mm	なし																
	ガラス繊維織布	高 (下から3/4)															
		中 (中央)															
		低 (下から1/4)															
		極低 (下から1/12)															
	ポリエステル繊維織布	高 (下から3/4)															
		中 (中央)															
		低 (下から1/4)															
		極低 (下から1/12)															
2.5-5.0mm	なし																
	ガラス繊維織布	高 (下から3/4)															
		中 (中央)															
		低 (下から1/4)															
		極低 (下から1/12)															
	ポリエステル繊維織布	高 (下から3/4)															
		中 (中央)															
		低 (下から1/4)															
		極低 (下から1/12)															

図6 疲労試験結果

図7 破断までの繰返し回数

まっとと推定されるが、疲労によるひび割れ進展を著しく遅延化させ、結果として100万回まで防水層の破断は見られなかった。

(4) 単純ひびわれ拡大試験結果と疲労試験結果との関係

単純なひび割れ拡大試験では、伸び能力を低下させたウレタン防水材でも下地ひび割れ幅は6mm程度まで、伸び能力を向上させたものでは数十mm程度までのひび割れ幅に耐えるものが、疲労試験では、わずか数mm以内の小さなムーブメントの多数回の繰返しにより破断した。ただし、補強布の挿入位置や、ウレタン防水材の伸び

の影響等については、単純ひび割れ拡大試験結果と疲労試験結果とは、非常に類似した傾向が見られ、低い位置への挿入、あるいは伸びの良いウレタンの使用による性能の向上は同様であった。

(5) 補強布の力学的性質の耐疲労性に及ぼす影響

この試験の範囲では、耐疲労性は補強布の伸び能力と若干関係がありそうであり、伸び能力の高いポリエステル繊維織布の方が、ガラス繊維織布よりも多少耐疲労性が良いという結果が得られた。ただ織布は単に力学的性質以外にも、目付け量や厚さ、ウレタンとのなじみやすさ等の考慮しなければならない多くの事があり、総合的に判断する必要がある。

(6) 防水層の耐疲労性とウレタンの伸び能力との関係

ウレタン防水材の伸び能力の良い物に補強布を挿入した場合、特に優れた耐疲労性を示しているのに対し、伸び能力の低い場合にはその効果はそれほどでもない。これは補強布を挿入した効果が最も低い位置に挿入した場合に顕著であったことから判断して、下地ひび割れ拡大時の補強布下のウレタン層の大きなせん断変形に、伸び能力に優れる材料の方が有利に対応できたためと考えられる。この観点から防水層の耐疲労性の向上には、まずウレタン防水材料自身の伸び能力の向上が重要である。

6. 結論

ウレタン塗膜防水層の耐疲労性に及ぼす補強布の効果について検討した本研究の結論は以下のとおりである。

- (1) 補強布を適切な位置に挿入すれば、ウレタン塗膜防水層の耐疲労性は向上する。
- (2) 補強布の耐疲労性向上効果には挿入位置が重要であり、防水層の低い位置に設置した場合に、特に有効である。その観点からは、現行の JASS8 ウレタン塗膜防水層の仕様に示される位置は、比較的良い位置であると判断される。
- (3) ウレタン防水層の耐疲労性に対して、一義的にはウレタン・補強布ともに伸び物性が重要であり、さらに補強布には伸長時のウレタンの変形に追従して生じる曲げに対する抵抗性が必要である。これらの向上が、耐疲労性に優れた防水層を作る要件と考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、日本建築学会・材料施工委員会・防水工事運営委員会・塗膜防水補強WGの委員各位の協力を得た。また、東京工業大学応用セラミックス研究所研究支援推進員石原沙織氏、東京電機大学4年生藤崎圭吾氏には、実験および論文作成に協力して頂いた。ここに、深く感謝するものである。

参考文献

- (1) 小池迪夫：ウレタン防水材の硬化途中における下地ムーブメントの影響；日本建築学会論文報告集、第313号、pp. 12-18、1982. 3
- (2) 小池迪夫、田中享二、今井啓介：ウレタン防水材の硬化途中での下地ムーブメントによる損傷とその対策に関する研究（その2 硬化途中の材料の物性と下地ムーブメントによる損傷との関係）；日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 405-406、1983. 9
- (3) 小池迪夫、田中享二、今井啓介：ウレタン防水材の硬化途中での下地ムーブメントによる損傷とその対策に関する研究（その3 補強布の効果）日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 399-400、1984. 10

(2007年11月10日原稿受理、2008年3月17日採用決定)