

L-RTM成型品の機械的特性について

Mechanical Characteristics of L-RTM Molded Articles

西堀由章*

Yoshiaki Nishibori

FRPの成型法に、L-RTM (Light Resin Transfer Molding) 成型がある。L-RTM成型は近年急速に普及してきた成型法で、簡便な型で高強度および外観に優れた製品を製造することが可能である。今回、このL-RTM成型を導入し、電力ケーブル保護用防護トラフの開発を行った。その開発過程に於いて得られたL-RTM成型品の基礎物性について報告する。

L-RTM (Light Resin Transfer Molding) is one of the molding methods. This method has rapidly become popular in recent years, and it enables manufacturing of products with high strength and superior appearance, by using simple molds. By applying the L-RTM, we have developed a protection trough that protects power cables. We will report the basic properties of the L-RTM molded articles discovered through the development of these troughs.

1. はじめに

当社化成事業部では、FW (フィラメント・ワインディング) 成型、プレス成型、引抜成型およびハンドレイアップ成型と4種類の成型法にてFRP製品を製造している。

今回、電力会社様向けに、電力ケーブル保護用防護トラフを開発したが、製品形状、生産性および品質のバランスを考慮すると、既存の成型法での対応は困難であった。そこで、L-RTM成型を導入し、本開発案件に対応した。本報では、防護トラフ開発の過程で得られたL-RTM成型品の基礎物性データについて報告する。

2. L-RTM成型とは

L-RTM成型は真空成型に属し、成型用樹脂型、真空ポンプ (図1) および樹脂注入器 (図2) を用いる。手順としては、まず下型に強化基材 (ガラス繊維など) を敷き詰めた状態で上型を被せ、真空吸引で型締めをし、型内を真空状態にする。その後、型周辺より樹脂 (不飽和ポリエステル樹脂など) を注入し、同時に型中央で真空引きをし、成型する手法である。

この成型方法は、成型品の表面および裏面を平滑に仕上げることが可能で、小中量生産に適している。

3. 基礎物性データの収集

3.1 試験概要

L-RTM成型は、専用の樹脂および専用のコア材を用いる。L-RTM専用のコア材とは、樹脂の流動性を確保するために用いる基材であり、図3のようなコア層の両側にチョップドストランドマットを配したサンドイッチ構造となっている。

また、樹脂についても流動性確保のため、表1に記すとおり低粘度となっており、常温硬化 (25℃) において

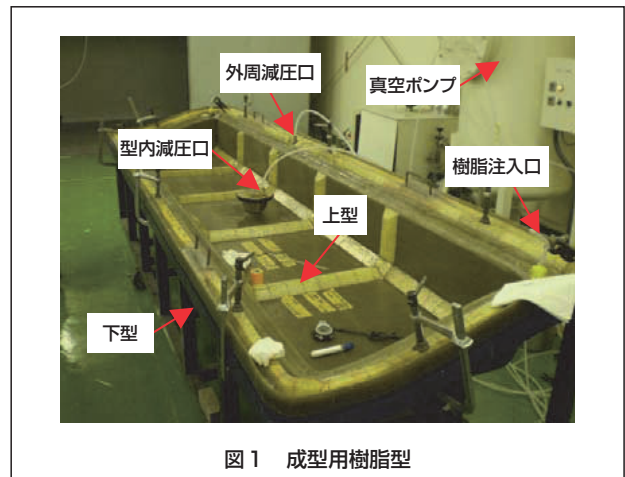


図1 成型用樹脂型



図2 L-RTM用樹脂注入器

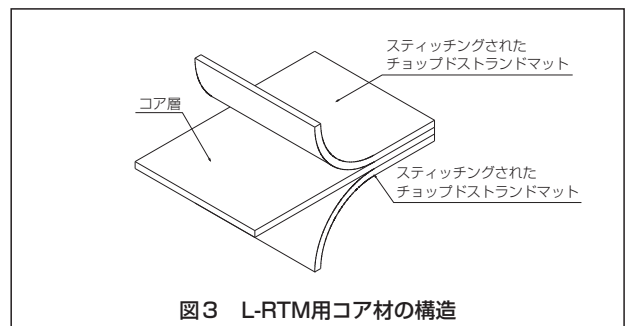


図3 L-RTM用コア材の構造

* 化成事業部 技術開発部

ゲル化まで約 25 分という速硬化性を有している。なお、防護トラフには難燃性が必要であることから、難燃品の樹脂を用いた。この成型品は JIS A 1322 において防火 3 級相当の難燃性を有しており、水酸化アルミニウムなどの添加剤を付与することで、さらに高い難燃性を発揮することが可能である。

このように専用の樹脂とコア材を用いる成型法のため、まずは基礎的な機械特性を把握する必要があった。そこで、表 2 に記す構成の平板(t-3)を製作し、表 3 の試験項目について、各規格に則った試験を実施し評価した。なお、樹脂は標準品を用い、試験片は図 4 に示す平板の短手方向および長手方向よりそれぞれの試験に対して n=5 の試片を採取した。

表 1 樹脂粘度比較

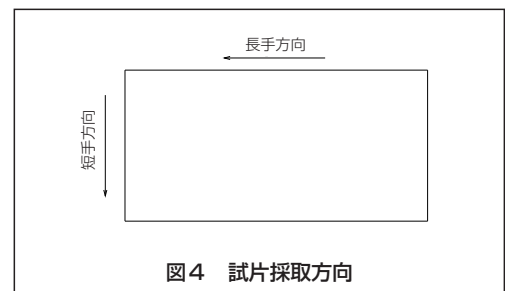
	FW 用	引抜用	L-RTM 用標準品	L-RTM 用難燃品
粘度 (dPa·s)	6 ~ 8	4 ~ 5	0.9 ~ 1.3	0.9 ~ 1.2

表 2 基材構成

試片番号	強化材の層構成			目的
	1 層目	2 層目	3 層目	
1	RTM 用ガラスコア材 (#300/#500/#300)	—	—	コア材単品での強度確認
2	RTM 用ガラスコア材 (#480/#500/#480)	—	—	コア材単品での強度確認
3	RTM 用ガラスコア材 (#600/#500/#600)	—	—	コア材単品での強度確認
4	ガラスクロス (#250)	RTM 用ガラスコア材 (#300/#500/#300)	ガラスクロス (#250)	クロス材の強度アップ効果確認
5	ガラスマット (#480)	RTM 用ガラスコア材 (#300/#500/#300)	ガラスマット (#480)	マット材の強度アップ効果確認
6	一方向ロービング (#600)	RTM 用ガラスコア材 (#300/#500/#300)	一方向ロービング (#600)	一方向ロービングの強度アップ効果確認
7	RTM 用 PP コア材 (#750/#180/#750)	—	—	コア材単品での強度確認
8	RTM 用 PP コア材 (#450/#250/#450)	—	—	コア材単品での強度確認
9	RTM 用 PP コア材 (#450/#180/#450)	—	—	コア材単品での強度確認
10	ガラスクロス (#250)	RTM 用 PP コア材 (#750/#180/#750)	ガラスクロス (#250)	クロス材の強度アップ効果確認
11	ガラスマット (#480)	RTM 用 PP コア材 (#750/#180/#750)	ガラスマット (#480)	マット材の強度アップ効果確認
12	一方向ロービング (#600)	RTM 用 PP コア材 (#750/#180/#750)	一方向ロービング (#600)	一方向ロービングの強度アップ効果確認

表 3 試験項目

試験項目	試験規格	試験片形状
曲げ強さ	JIS K 6911	
引張強さ	JIS K 7165	
圧縮強さ	JIS K 7018	
衝撃強さ	JIS K 7061	



3.2 試験結果

各物性試験の結果を表4に記す。なお、各表の試験結果は5試片の平均値を表す。

図5に、RTM用コア材の比較結果を示す。結果より、RTM用コア材は曲げ強さ、圧縮強さに対して高い強度を有している事が伺える。また、RTM用ガラスコア材

(試片1～3)は、総じて長手方向に於いて強度が高い結果となっており、異方向性が顕著にあらわれた。一方、RTM用PPコア材(試片7～9)は、方向性による強度差が少なく、両方向で安定した強度を維持でき、等方向性に近いことが判った。

表4 試験結果

方向	短手方向				長手方向			
	試片番号	曲げ強さ (MPa)	引張強さ (MPa)	圧縮強さ (MPa)	衝撃強さ (kJ/cm ²)	曲げ強さ (MPa)	引張強さ (MPa)	圧縮強さ (MPa)
1	134.0	48.5	199.3	56.6	240.5	81.2	237.7	81.2
2	196.4	73.6	229.9	73.6	267.8	118.0	251.4	93.3
3	184.9	81.7	227.0	67.9	320.3	119.0	271.8	115.2
4	220.9	79.1	194.5	74.5	290.3	128.7	217.4	89.1
5	254.0	103.4	259.8	93.1	296.5	119.7	280.0	106.8
6	154.9	71.4	182.0	61.5	726.6	332.8	303.3	269.9
7	217.2	69.9	220.7	63.5	245.4	84.6	220.4	69.2
8	177.3	44.1	138.8	42.2	168.7	49.1	148.9	43.0
9	180.3	57.1	178.4	51.3	194.7	66.8	181.8	70.2
10	292.5	115.3	196.6	99.0	316.2	122.0	211.3	97.1
11	309.9	135.1	224.7	101.0	303.9	136.1	206.1	128.0
12	210.3	92.7	186.9	90.8	749.5	328.2	280.2	155.9

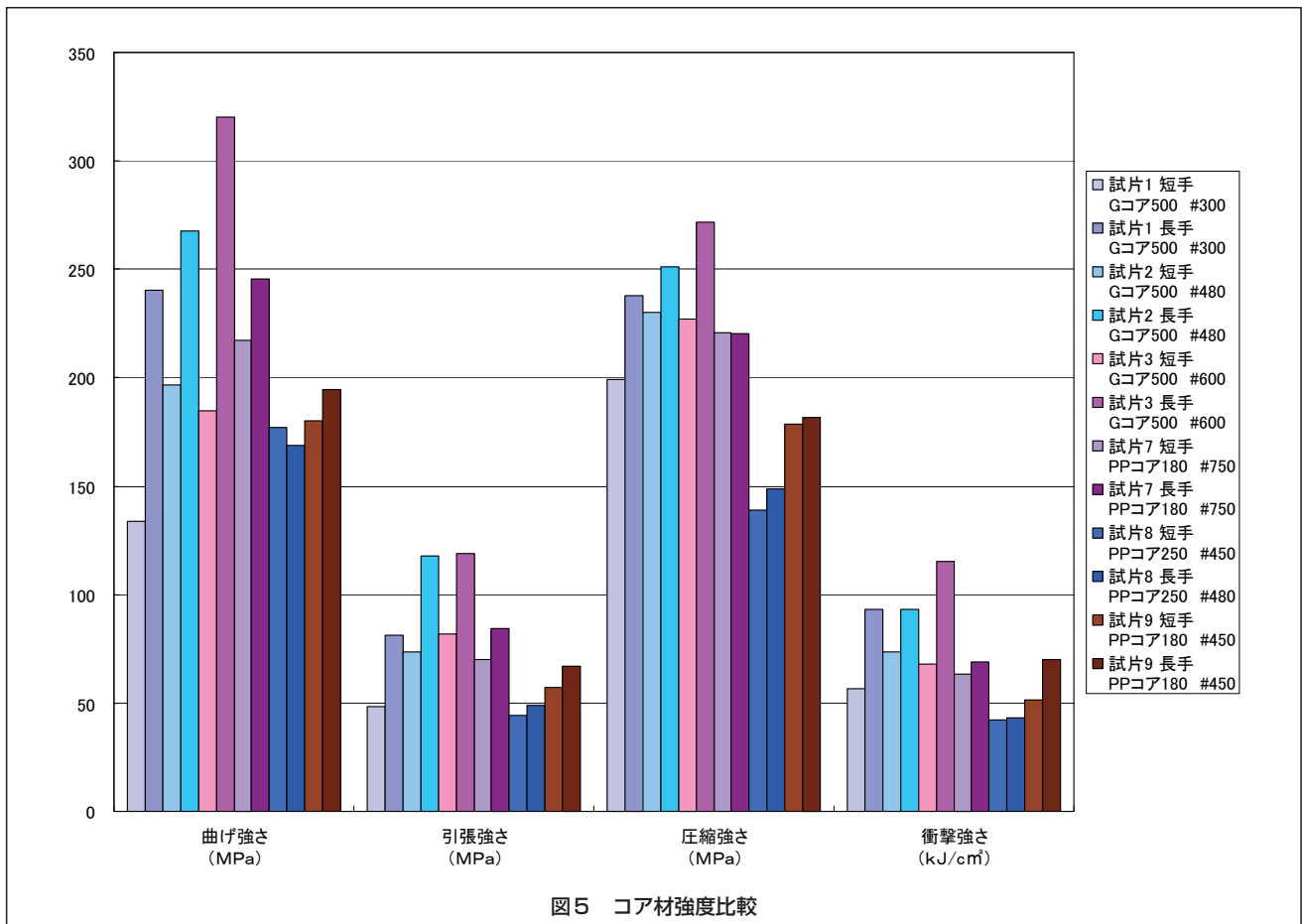


図6は試片番号1および試片番号7のコア材単品に、ガラスクロスなどで補強を図った試験結果の比較である。曲げ強さ、引張強さおよび衝撃強さについては、補強効果を確認できたが、圧縮強さについてはあまり効果が得られなかった。これは、試片の破壊状況より、層間破壊による界面強度の影響が支配的であると思われる。

図7に、プレス成型品(t-3)の物性比較(長手方向)について記載する。なお、プレス成型品はSMC+ガラスクロスで構成されていることから、比較対象はガラスクロスを使用している試片番号4および試片番号10とした。結果、衝撃強さのみプレス成型品が高い値となっているが、それ以外はL-RTM成型品が高い値となっている。特に曲げ強さはプレス成型品の約1.7倍であり、

L-RTM成型品は曲げ強さにおいて高い強度を有していることが伺える。

4. 地絡試験による評価

L-RTM成型品の強度実例として、防護トラフの地絡試験について記す。

防護トラフは、トラフ内のケーブルが地絡した場合、その爆発力で破片が飛散し、他ケーブルなどの損傷を防ぐため、高強度および難燃性が規定されている。そこで、製品要求事項に見合った基材構成を設計し、2011年2月28日に一般社団法人電力中央研究所(横須賀地区)にて、地絡試験を実施した。

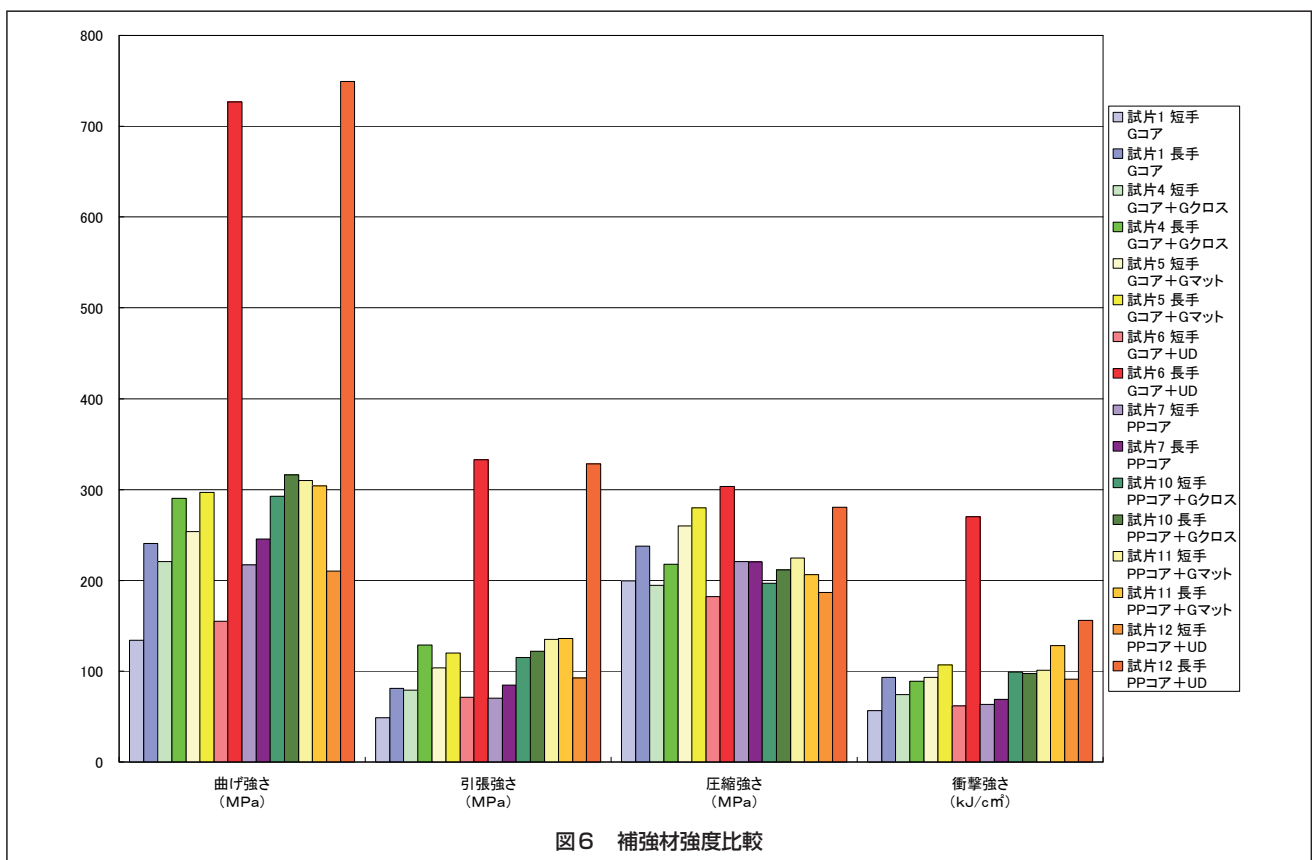


図6 補強材強度比較

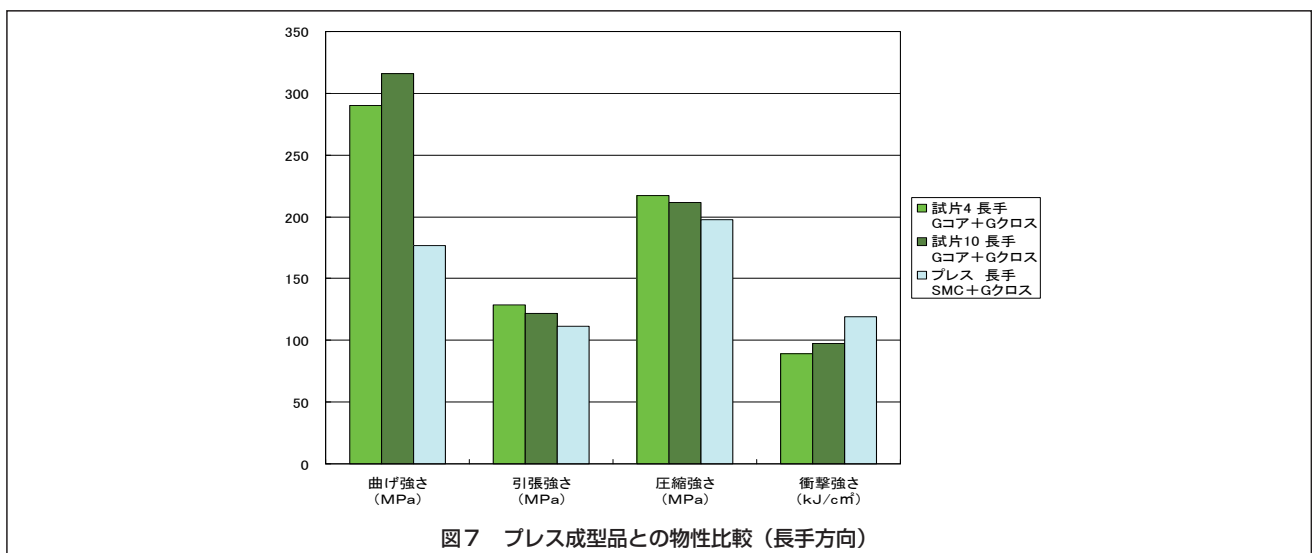


図7 プレス成型品との物性比較(長手方向)

4.1 試験概要

試験は、模擬洞道内に防護トラフ（3本連結）および地絡用ケーブルを設置し、ケーブルの1本に地絡点を設け、表5の試験条件に則って通電させ、地絡後の防護トラフの状態確認を行った。なお、試験は2回実施した。試験準備状況を図8～図11に示す。

表5 試験条件

項目		1	2
試験番号			
試験電圧	kV	12	
試験周波数	Hz	50	
導体電流	最大波高値	60	
	3サイクル後実効値	50	
通電時間	s	0.4	
地絡方法	地絡箇所	地絡用ケーブル（275kV）中央横方向	
	短絡線	シース～導体間釘打ち	
敷設形態		防護トラフを3台連結し、模擬洞道の架台上に敷設	

4.2 試験結果

試験結果を表6に記す。試験体1、2ともに図12、13のとおり地絡させたが、地絡後の試験体（図14～17）には燃焼および飛散物は確認されず、地絡に対する防護性能を有していることを確認した。

表6 試験結果

試験番号		1	2		
試験電圧		kV	12.0	12.0	
試験周波数		Hz	50	50	
試験電流	導体電流	最大波高値	kA	135	146
		3サイクル後実効値	kA	45.7	51.4
通電時間		s	0.42	0.42	
観察結果	燃焼	無し	無し		
	飛散	無し	無し		
	割れ	クラック有り	めくれ割れ、クラック有り		
判定		合格	合格		



図8 トラフ敷設



図9 ケーブル敷設



図10 洞道内敷設



図11 地絡点（試験前）



図12 地絡状況 (1)

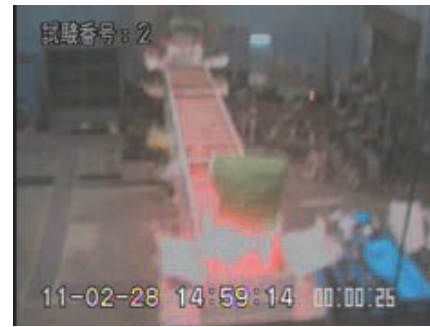


図13 地絡状況 (2)



図14 地絡後 (1)



図15 地絡後 (2)



図16 地絡点 (1)



図17 地絡点 (2)

5. まとめ

今回得られた基礎データにより、L-RTM 専用基材の特性を把握することができた。また、適切な汎用基材を組み合わせることにより、ニーズに対応した自由な強度設計が可能であると考えられる。

なお、今回開発した防護トラフは、2015年度の設置完了を目指し、2012年1月より納入を開始している。

6. おわりに

L-RTM 成型による成型品は、型内を真空状態にして樹脂を注入するため、強化材との含浸性が非常に良好であり、さまざまな強化材（カーボンおよびアラミドなど）と組み合わせて選択ができ、大型品の成型も可能である。

今後は、本研究結果を生かして鉄道および船舶分野の製品開発を目指したい。

執筆者

西堀由章

Yoshiaki Nishibori

2007年入社

FRP 関連の技術開発に従事

