

## 導電性複合材料を用いたヘルスマonitoring機能を有するパイプの成形に関する研究

日大生産工 (院) ○佐々木 優 日大生産工 坂田 憲泰 日大生産工 邊 吾一

## 1 緒言

現在の日本で使用されている多くのライフラインは高度成長期に作られたもので、老朽化による事故が社会問題になっている<sup>1)</sup>。これらの事故の発生は、耐用年数以上の使用や、設備の健全性の情報がないことにより、事前に明確な予防措置が取りにくいことが主な原因と考えられる。この問題の解決法の一つとして、損傷による電気抵抗の変化を利用したヘルスマonitoringがある<sup>2)</sup>。

現在、生活する上で欠かせない社会インフラである上水道、下水道、電力、ガス、通信などのライフラインの多くは地下埋設形であり、これらのライフサイクルコストは膨大なコストとなるため、耐用年数をできるだけ延ばすことが必要とされている。また、補修や交換などの工事を実施する場合、道路を掘り返す必要があるが、車道掘削に伴う制約条件のため新たな管路の設置や老朽管の更新の障害となっている<sup>3),4)</sup>。

そこで本研究では、耐震性と耐食性に優れた高密度ポリエチレンをマトリックスとし、導電性フィラーにカーボンブラックと山武杉木炭を使用した低コストで成形性に優れた導電性パイプを開発した結果について報告する。

## 2 導電性複合材料の成形

## 2.1 使用材料

ペレットの成形に用いた材料をTable 1に示す。マトリックス樹脂には高密度ポリエチレン (HDPE) パウダー、導電性フィラーにはカーボンブラック (CB)、導電性サブフィラーには山武杉木炭の粉体 (CP) を用いた。

Table 1 Material properties

	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Volume resistivity (Ω・cm)
HDPE	0.35	10 <sup>17</sup>
CB	0.13	10 <sup>-2</sup>
CP	0.39	—

## 2.2 成形条件

ペレットの成形にはサイドフィーダーを取り付けた2軸押出機(テクノベル製, KZW15TW-45MG, スクリュー径15mm, L/D比:45)を使用した。成形条件はシリンダー温度210°C, スクリュー回転数100rpmとし、熔融混練法を用いてマトリックスのHDPE中にTable2のようにフィラーを分散させた。また、Specimen No.2とNo.4は逐次混練を行いHDPE/CB/CPペレットを作成した。

CPは体積抵抗率と成形性を考慮して20wt%一定とし、より少ないCBの添加量で体積抵抗率が10Ω・cm以下となる条件を求めた。CPを20 wt%一定とした理由は、少なすぎると導電性に効果がなく、多すぎると成形性が劣るためである<sup>2)</sup>。

Table 2 Tests specimens

Specimen number	Main hopper	Side hopper
Specimen No.1	HDPE	CB+CP
Specimen No.2	HDPE	CB
	(HDPE+CB) pellets	CP
Specimen No.3	HDPE	CP
	(HDPE+CP) pellets	CB
Specimen No.4	HDPE+CP	CB

## 2.3 導電性の評価結果

導電性評価用の試験片はJIS K 7194に準拠し、射出で成形し、体積抵抗率は抵抗率計 (三菱アナリテック製, Loresta GP) を使用し、JIS K 7194に基づいて1枚の試験片 (50mm×80mm) に対して5回測定を行った。体積抵抗率の測定結果の平均値をTable 3に示す。CBの添加量を10%とした場合、Specimen No.2とSpecimen No.4で体積抵抗率が目標である10Ω・cm以下となった。CBの添加量の下限値を調査するため、さらにCBの添加量を減少させた結果、Specimen No.2のCB9wt%で16.50Ω・cm, Specimen No.4のCB9wt%で7.263Ω・cmとなった。Specimen No.4のCBを更に減少させ8wt%にすると体積抵抗率は17.16Ω・cmと目標以上となったため、本試験片でのCBの下限値はSpecimen No.4の9wt%となった。

Table 3 Results of volume resistivity test

	CB (wt%)	Volume resistivity (Ω・cm)
Specimen No.1	10	247.3
Specimen No.2	10	7.154
	9	16.50
	8	28.51
Specimen No.3	10	71.26
Specimen No.4	10	8.409
	9	7.263
	8	17.16

## 2.4 引張試験結果

引張試験はJIS K 7161に基づいて行い、引張強さおよびヤング率を測定した。試験片は射出成形機 (住友重機械, SE75DUZ-C250, スクリュー径36mm) を用いて成形し、成形条件はノズル温度210°C, 射出圧120MPaとし、試験機にはオートグラフ(島津製作所,

AG-1) を用い、ひずみは伸び計で測定した。2.3節の導電性試験の結果から、試験片は体積抵抗率が $10\Omega \cdot \text{cm}$ 以下となった Specimen No.2のCB10wt%と Specimen No.4のCB10wt%, 9wt%の3種類とした。応力-ひずみ線図をFig.1に、引張強さとヤング率の結果をFig.2とFig.3に示すが、参考データとしてNet HDPEの結果についても記載した。

Fig.1より、Net HDPEでは破断ひずみが約70%あったが、Specimen No.2とNo.4では20%以下となった。これはCPを20wt%添加したことにより、材料が脆化したことが原因と考えられる。

Fig.2より、すべての試験片で引張強さはポリエチレン管の性能評価に使われている「PE100」の基準値である18.7MPa以上<sup>7),8)</sup>となった。また、Net HDPEの引張強さに対しSpecimen No.2のCB10wt%で約7%、Specimen No.4のCB10wt%で約11%、CB9wt%で約6%向上した。また、Fig.3よりヤング率はNet HDPEに対しSpecimen No.4のCB10wt%で約116%向上し、Specimen No.4のCB9wt%で約83%向上した。これは、フィラーを添加するとその補強効果により、HDPEの引張り特性が増大したためと考えられる。

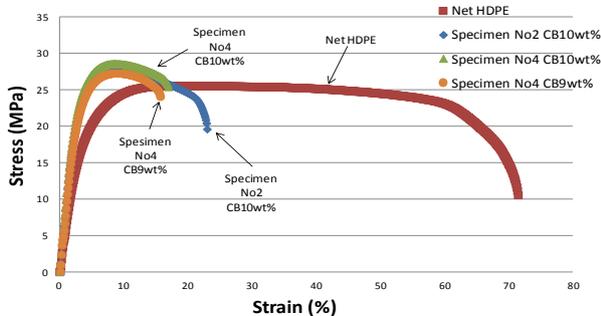


Fig.1 Stress-Strain curve of PE/CP/CB composites

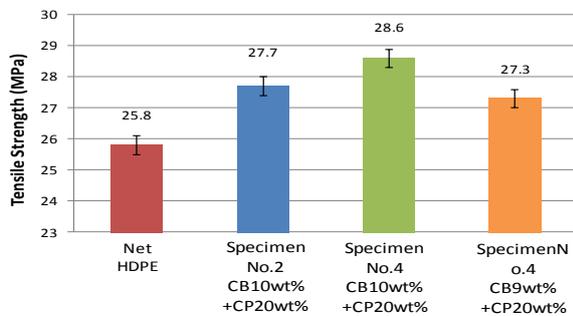


Fig.2 Tensile strength of PE/CP/CB composites

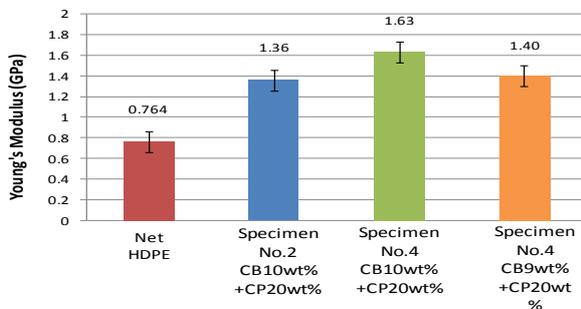


Fig.3 Young's modulus of PE/CP/CB composites

### 3 導電性パイプの成形

#### 3.1 成形方法

導電性試験と引張試験結果から、パイプ成形用のペレットの各割合をHDPE71wt%, CP20wt%, CB9wt%とし、異形押出機(池貝製, FS50-25)を使用し、外径60mm, 内径53mmのパイプを作成した。また、CPが吸水した水分を除去するため、パイプ成形前にはペレットを80°Cで48時間乾燥させた。成形条件はシリンダー温度160°C, スクリュー回転数27rpm, 引取速度0.3m/minとした。

#### 3.2 パイプの導電性の評価

成形したパイプの体積抵抗率の測定結果をFig.4に示す。試験片では体積抵抗率は $7.263\Omega \cdot \text{cm}$ であったが、パイプでの測定結果は $20.65\Omega \cdot \text{cm}$ を示した。これは、パイプの中に気泡ができ、その部分が導電性ネットワークを構築できず、体積抵抗率が大きくなったためと考えられる。気泡ができた原因としては、CP中に残っていた水分が押出機内で蒸発し、気泡になったと考えられる。

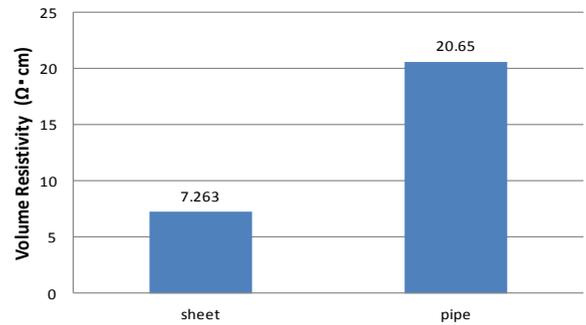


Fig.4 Volume resistivity of PE/CP/CB pipe

### 4 結言

- 1) HDPE/CP/CB コンポジットでの体積抵抗率が $10\Omega \cdot \text{cm}$ 以下となるCBの下限值を求めた結果、9wt%であった。
- 2) HDPE/CP/CB コンポジットで導電性パイプを成形することが出来た。
- 3) HDPE/CP/CB コンポジットでパイプを成形するとき、CP中に残っていた水分が押出機内で蒸発し、それがパイプ中で気泡となり体積抵抗率が大きくなった。今後、SEMやCTで気泡の観察を行い、気泡の割合や分散状態を確認する。

#### 謝辞

ペレットの成形にご協力頂いた出光ライオンコンポジット(株)および押出し成形にご協力を頂いた(株)藤井製作所の皆様に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 小林恭一：施設の老朽化と維持管理の時代, Voice, Vol.12(2007), 1-2.
- 2) 王経国, 邊 吾一：Fabrication and Characteristics of PE/Carbon Nanocomposites, Proceedings of The seventh Asian-Australasian Conference on Composite Materials, (2010.11)
- 3) 川合克実：材料から見た地下管路の設備の耐震化・長寿命化, 日本非開削技術協会, No-Dig Today, No.73 (2010.10), 5.
- 4) 丸山孝志：社会を支える地下管路設備のいま, 日本非開削技術協会, No-Dig Today, No.72 (2010.7), 4.