

無溶剤形エポキシ樹脂塗装を用いた管路におけるエネルギー損失 の現地試験結果について

Field experiment results of energy loss in pipelines using solvent-free epoxy resin coating

○稲垣仁根*・藪口貴啓**・吉岡敏幸***

INAGAKI Hitone, YABUGUCHI Takahiro, YOSHIOKA Toshiyuki

1. はじめに

主に上水道で採用されている無溶剤形エポキシ塗装は、農業用の内面塗装管として普及している液状エポキシ塗装よりも表面の均一な塗膜が得られるので表面粗さ(絶対粗度 k)が減少している。

そこで、無溶剤形エポキシ塗装の流速係数 C を検証するために水理実験を行ったところ、通常は概ね一定値である流速係数が、レイノルズ数 Re に連動して変化しており、ヘーゼン・ウィリアムスの式の概念から逸脱している結果が得られた(水資源, 2018)。

これらの点について、流体力学の知見を用いて、どのような現象が生じているのかを考察した。その結果、「高レイノルズ数の乱流でありながら、流れの乱れが小さい流速分布になり、管路内のエネルギー損失が抑えられる」という仮説を得た(稲垣ら, 2020)。

無溶剤形エポキシ塗装を用いた供用中の水道パイプラインにおける現地実験を行い、抵抗則[(1)式]と流速分布について検証したところ、口径の大きい場合においても、仮説を補充する知見が得られた。

2. 無溶剤形エポキシ樹脂塗装した管の流速係数

表 1 に示すケース A~D で、タール・無・溶剤形エポキシ樹脂塗装の実験を行い、ケース E で、無溶剤形エポキシについて、新たに現地実験を行った。

流速係数を整理すると、図 1 に示す結果が得られている。無溶剤形エポキシ(C)では、流速の大きさに比例して、流速係数 C が 150~170 の範囲で増加している(藪口・笠原ら, 2018)。また、新たに現地実験で得られた無溶剤形エポキシ(E)の流速係数は、156~162 の範囲にある。

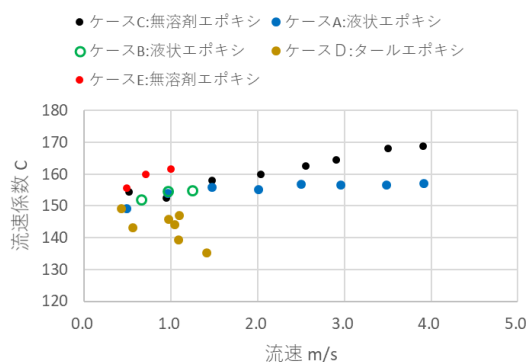


図 1: 流速と流速係数

表 1: 水理実験一覧表

ケース	塗装	年	実験場所	現地	屋外	口径 m	延長 m	流速 m/s	実験設備
C	無溶剤形エポキシ樹脂	2018.6	水資源機構 総合技術センター		○	0.3	10	0.5~4.0	吸水槽, ポンプ, 高架水槽, 循環管路
A	液状エポキシ樹脂				○				
B	液状エポキシ樹脂	2019.5	水資源機構 木曽川用水	○		1.1	265	0.7~1.3	自然流下
D	タールエポキシ樹脂	1983.7~ 1986.8	日野川 土地改良区	○		1.5	668	0.4~1.4	自然流下
E	無溶剤形エポキシ樹脂	2020.10	愛知県企業庁 豊橋城下線	○		0.9	209	0.5~1.0	自然流下

*宮崎大学農学部(Faculty of Agriculture University of Miyazaki), **日本水道鋼管協会(Japan Water Steel Pipe Association), *** (独)水資源機構(Japan Water Agency) キーワード: 無溶剤形エポキシ樹脂塗装, パイプライン, エネルギー損失

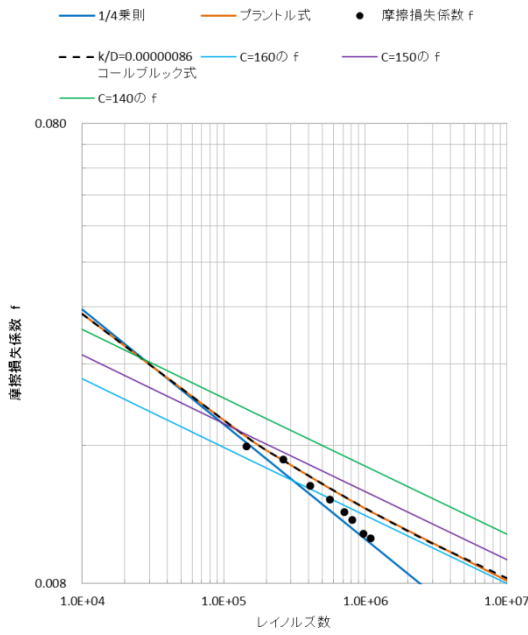


図 2: 無溶剤形エポキシ樹脂塗装のムーディー線図

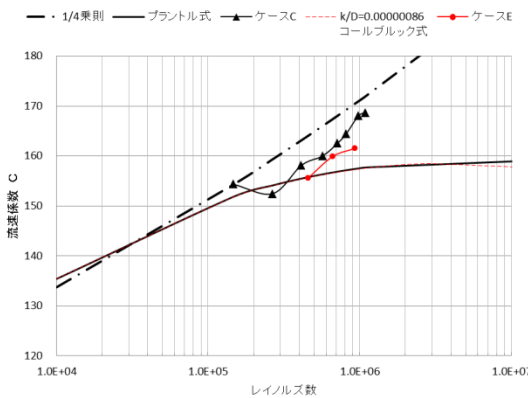


図 3: 無溶剤形エポキシ樹脂塗装の C と Re の関係

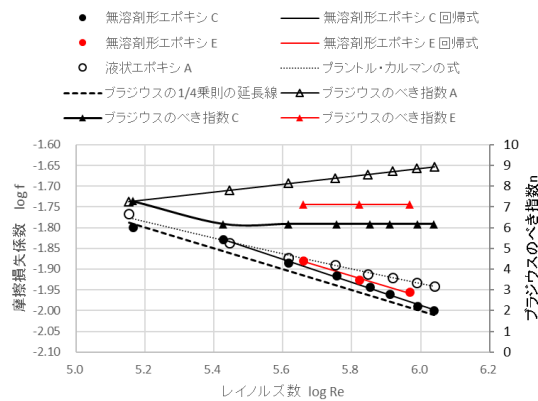


図 4: 無・溶剤形エポキシ樹脂の Re, f, n の関係

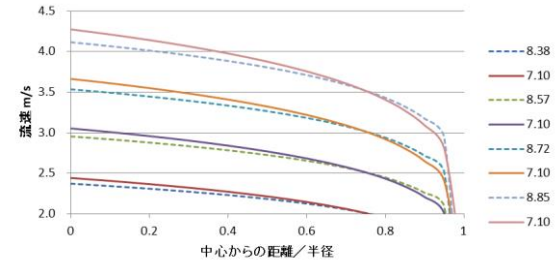


図 5: 無・溶剤形エポキシ樹脂管の管内流速分布 (実線: 無溶剤形 E, 点線: 液状エポキシ A)

3. 無溶剤形エポキシ(E)の f, C と Re の関係

図 2 において, Re が増加しても, f はプラントル・カルマンの式に漸近せず, ブラジウスの 1/4 乗則の延長線に平行している. また, f は, $C=150 \sim 160$ のラインを横切るように分布しており, Re に連動して, 変化している. さらに, ケース C においてサンプルプレートの表面粗さを計測して求めたコールブルック式のラインは, プラントル・カルマンの式に重なっている.

f と Re の回帰式は, (1) 式のように与えられ, $m=0.247$ となり, $m=1/4$ 乗則に一致する.

$$f = 0.484Re^{-m} = 0.484Re^{-0.247} \quad (1)$$

図 3 において, C は, Re が 10^5 レベルであれば, f と同様に, Re の増加に合わせて, プラントル・カルマン式のラインからブラジウスの 1/4 乗則の延長線に平行している.

4. 乱流領域の滑面の流速分布

円管内の乱流速度分布に関しては, 指数法則のブラジウスの 1/7 乗速度分布則が用いられている. ブラジウスのべき指数 n は, $m=0.247$ より, $Re=4.6 \sim 9.3 \times 10^5$ の範囲では, $n = (2-m)/m=7.10$ となり, 図 4 のように一定値に維持されている.

図 4 のべき指数を用いて, 平均流速から求めた最大流速の分布を, 図 5 に示す. 無溶剤形 E は, Re が増加しても, $n=7.10$ 近傍の流速分布であるので, 液状エポキシ A より壁面近傍の流速が小さく, 管軸地点の最大流速が大きくなり, 流線が放物線の形となる.

引用文献 1) 稲垣・藪口・吉岡(2020): 令和2年度 応用水理研究部会講演集, pp.30-41., 2) 水資源機構総合技術センター(2018): 流速係数確認実験報告書, 3) 藪口・笠原ら(2018): 第69回NN学会関東支部大会講演会要旨集, pp.118-119