

豊田工業高等専門学校 正会員 ○大野俊夫
豊田工業高等専門学校 渡辺興作

1. はしがき 配水管網の流量および損失水頭を求める方法は多くある。管網と電気回路網との類似性によるシミュレーションでは、測定した電流、電圧より簡単に管網の流量、損失水頭が求まる利便から多く用いられている。筆者は従来の電気回路網と双対な関係にある回路網の配水管網へのシミュレーションの適用について検討し、良好なシミュレーションが可能であることが判明したので報告する。

2. 原理 電気回路網を使う管網のシミュレーションは図1のA↔Bの類似関係を利用してゐる。他方、回路論の示すところによると、図1の回路網：Bに双対な回路網：B'が存在し、回路網B'によつても目的の配水管網Aのシミュレーションは可能であると考えられる。ただし、系の物理量同の対応関係、法則、そして方法は表1のⅡ欄とⅢ欄のような、いわゆる双対(Dual)な関係にある必要がある。従つて回路網B'は目的の配水管網AとDualの関係にあることになる。

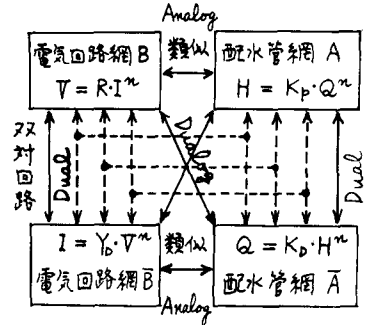


図1 管網系同の類似、双対関係

配水管網Aの支管に対して回路網Bの枝路に使う抵抗器は電圧が電流の n 乗($n=1.85 \sim 2.0$)に比例するが、本法の回路網B'で使う枝路には電流が電圧の n 乗に比例するバリスターを使つてゐる。その特性の代表例を図2に示す。

表1に示した回路網B'に双対な回路網B'をつくる規則は次の通りである。

- (1) Bのおおのの網目 m_i の中に、1つずつ m_i' をとる。これらはB'の節点となる。回路網の外側に ∞ をとる。これはB'での接地点となる。
- (2) 2つの網目 m_i と m_k とが1つの枝路 g_j によつて接してゐるときは、 m_i' と m_k' とを1つの枝路 g_j' で g_j を横切つて結ぶ。 m_i と m_k とが2つ以上の枝路に接してゐれば、それぞれ枝路について、別々に g_j' をつくる。

- (3) g_j が R_i であるときは、 g_j' はこれと双対の素子(大きさ $1/R_i = Y_i$)とする。

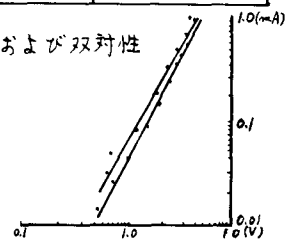
- (4) g_j が定電圧源であれば、 g_j は同じ値をもつ定電流源、 g_j が定電流源なら同じ値をもつ定電圧源とする。

上の規則の適用例を図3に示した。

図2 バリスターの特性 →

	配水管網 A	Aに類似の回路網 B	Bに双対な回路網 B'
線形回路網	H : 損失水頭 R : 流水抵抗 Q : 流量 (支管の直列接続) {網目 (ループ)} {交差 (節点)} 交差から出入する流量 和が零である Kirchhoffの1法則 Kirchhoffの2法則 水圧源	V : 電圧 R : 電気抵抗 (インピーダンス) I : 電流 (枝路の直列接続) {網目 (ループ)} {節点} 節点から出入する電流 和が零である Kirchhoffの1法則 Kirchhoffの2法則 電圧源	I : 電流 Y : アドミタンス V : 電圧 (枝路の並列接続) {節点 (node)} {網目} 網目(1)周した電圧 差の総和が零である Kirchhoffの1法則 Kirchhoffの2法則 電流源
非線形回路網	K_p : 流水抵抗 $H = K_p \cdot Q^2$	K_v : 電圧係数 $V = K_v \cdot I^2$ $K_v = \rho K_p$ $\rho_v = V/H$ $\rho_i = I/Q$ ρ_v : 水頭換算係数 ρ_i : 流量換算係数 $\rho_v = \rho \cdot \rho_i^2$	K_i : 電流係数 $I = K_i \cdot V^2$ $K_i = \frac{1}{\rho_i}$ $\rho_v' = I/H$ $\rho_i' = V/Q$ ρ_v' : 水頭換算係数 ρ_i' : 流量換算係数 $\rho_v' = \rho' \cdot \rho_i'^2$

表1 回路の類似性および双対性



3. 実験 図4-(a)に示した簡単な配水管網の各枝路の流量、損失水頭を求めるために図4-(c)のようなDualな回路網をバリスターで組んで実験した。参考のため図4-(b)に配水管網(図4-(a))にAnalogな回路網を示した。実験の手順は、以下の通りである。

- (1) 配水管網図4-(a)の各支管について流水抵抗 K_p を求める。
- (2) 各支管の流量、損失水頭がバリスターの許容電流、電圧内に入るように水頭換算係数 p'_h 、流量換算係数 p'_l を通きに定める。
- (3) 各支管に対応した電流係数 K_i をもつバリスターを選び出して、図4-(b)に双対な図4-(c)の回路網をバリスターで配線する。ここに、 $p'_h = p'_l \cdot p'_l$ の関係を使い p'_l を決めて $K_i = 1/p'_h \cdot K_p$ より K_i は決めればよい。

- (4) 各バリスターの端子電圧 V 電流 I をバルボ、電流計でそれぞれ測定する。
- (5) 測定した V 、 I より配水管網の対応した支管の流量 Q 、損失水頭 H を $Q = V/p'_h$ 、 $H = I/p'_l$ より求めればよい。

このようにして実験した流量損失水頭の結果と「ハーティ・クロス」法を使った計算値とを表2にまとめた。

表2 配水管網にDualな回路網によるシミュレーションの結果

4. むすび 表2の実験結果より本法による配水管網のシミュレーションは良好なる方法を与えるものと考えられる。測定器の許容誤差により流量は数パーセントの誤差がある。本方法を1都市の水道のような多数の円管路の集合体に適用する問題は今後の課題である。

参考文献 (1) 扇田孝一；管網流量の電圧的解法について 水道協会雑誌 昭和27.2
 (2) 長畑荒次郎；電気計算盤による配水管網の計算について 水道協会雑誌 昭和36.7
 (3) 高橋秀俊編；回路 裳華房 昭和37.12

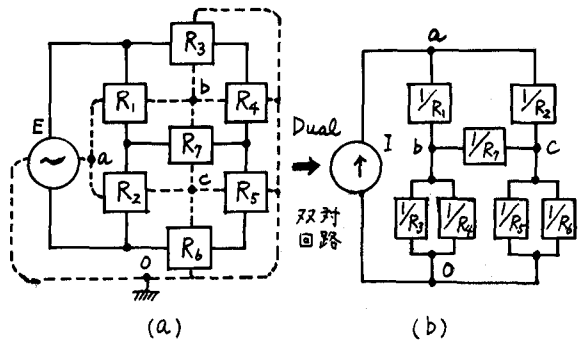


図3 双対回路の例

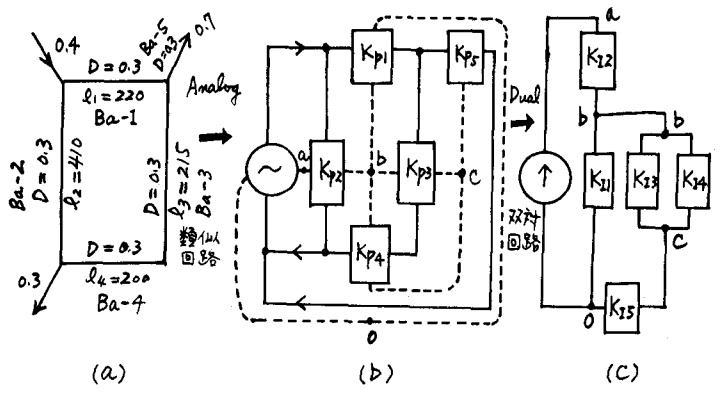


図4 簡単な配水管網のシミュレーション

配水管網				配水管網にDualな回路網による実験				計算値(ハーティ・クロス)			
$p'_l = 9.0$, $p'_h = 0.016$, $p' = 5000$				$K_i = 1/p'_h \cdot K_p$	測定値		測定結果		$H = kQ^2$		
記号	長さ(m)	内径(m)	流水抵抗 K_p		電圧 $V(V)$	電流 $I(mA)$	流量 Q	損失水頭 H	流量 Q	損失水頭 H	
Ba-1	220	0.3	200	0.040	1.90	0.12	0.211	7.4	0.211	8.9	
Ba-2	410	0.3	375	0.075	1.65	0.19	0.183	12.0	0.189	13.5	
Ba-3	215	0.3	195	0.039	1.00	0.04	0.111	2.5	0.111	2.38	
Ba-4	200	0.3	185	0.037	1.00	0.04	0.111	2.5	0.111	2.26	
Ba-5		0.3	430	0.086	0.90	0.07	0.100	4.4	0.100	4.30	