1995年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

配管最短経路問題での距離値の取扱いについて

01704034　三菱重工　山田　康吉
01302694　大阪府大　寺岡　義伸

1. はじめに

プラント配管設計CADの数理モデルについて，前回及び前々回で報告した。即ち配管ラインの形状，及び属性を中心とした従来のモデルに加え，配管を取り巻くプラント空間の定量的把握及び配管ラインとの関係情報を数式化しモデル化した。前回，部分空間（以降領域直方体と言う）の隣接関係を表現した3次元隣接関係グラフ，及びそれに基づく配管ラインの最短経路問題を報告した。今回，その距離定義の際発生する問題，即ちルート途上でルートの一部が重複する問題と対策について報告する。

2. 基本概念

空間情報をも含んだプラント配管設計CAD統合モデルを以下の様に纏める。

〔定義　1〕プラント配管設計CAD統合モデル：W

$$W = (P,\ E,\ V,\ F,\ V_A\ V_B\ V_C\ V_D\ V_a\ V_b\ V_c\ V_d\ V_e\ V_f\ V_g\ V_h) \quad (1)$$

ここで，

P，E　：全配管ラインの頂点及び辺全体の集合
V　：領域直方体全体の集合
F　：領域直方体の面全体の集合
$V_A \sim V_D$：配管ライン辺と直方体との関係関数
$V_a \sim V_h$：配管ライン頂点と直方体との関係関数

〔定義　2〕領域直方体とその隣接関係グラフ：G_V

領域直方体とは，配管ライン辺又は頂点によりプラント空間が分割される小空間を言う。
形状は直方体でその6つの境界面はプラント座標系のXY，YZ及びZX面のいずれかに平行とする。

プラント配管設計CADに於いて上述の様にモデルWは完全に全ての情報を集約すると，各種設計業務にその威力をする事になる。例えば配管相互干渉チェック作業やスペース探索業務等が挙げられる。

更に，システム化を進め配管ルーテイングの自動化をも考慮する場合，最終的に必要になるのが領域直方体間の隣接関係である。その関係情報をグラフを用いて表現した。この隣接関係グラフはCADモデルWを補足するものである。この隣接関係グラフを次の様に定義する。

〔隣接関係グラフ〕

$$G_V = (P_V,\ E_V) \quad (2)$$

P_V：個々の直方体を表す節点（ｎｏｄｅ）の集合
E_V：各直方体間の隣接関係を示す弧(edge)の集合

又，隣接方向を明確にするため，G_V の弧E_V を次の様な部分集合の直和で表現する。

$$E_V = E_{X+} \cup E_{X-} \cup E_{Y+} \cup E_{Y-} \cup E_{Z+} \cup E_{Z-} \quad (3)$$

ここに，E_{X+}：X軸＋方向に隣接する関係弧の部分集合
E_{X-}：X軸－方向に隣接する関係弧の部分集合
以下$E_{Y+} \sim E_{Z-}$はY軸，Z軸方向関係弧の部分集合

3. 最短経路問題のための隣接関係グラフ

新設配管が空きスペース部分を通過してそのルートが決定される時，配管ラインが通過する点，その点間の距離の測定，及び直方体間を通過するための条件等について考える。
(2)の隣接関係グラフを配管ラインの最短経路問題に適用するに当たり，配管ラインは必ず直方体の節点を通過するものとする。又，弧に長さを与え節点間距離とする。その節点の座標及び弧の長さを次の様に定義する。

〔直方体の節点座標〕

プラント空間内の各領域直方体の節点の座標p^v を直方体の重心とする。

$$p^v = (x^v,\ y^v,\ z^v) = (x_{Gi},\ y_{Gi},\ z_{Gi}) \quad (4)$$

〔直方体間の弧の長さ＝直方体間距離〕

$$l_1 = |x_{ij} - x_{ij}| + |y_{ij} - y_{ik}| + |z_{ij} - z_{ik}| \quad (5)$$

〔隣接関係弧の取捨選択〕

隣接関係情報としての弧情報を(3)で示した方向性を持った部分集合で表した。或る方向に配管ラインが進む時，その方向に隣接する直方体との共通隣接面の大きさが配管ラインの直径を通過させるに充分な容量があるかどうかが問題となる。
共通隣接面に次の様な判定関数を設定し配管ラインが通過出来るかどうかの判定を行う。その判定関数を以下に示す。

$$F_d = \mathrm{Min}\ \{t_d - r_{dmax} - r_p,\ t_1 - r_{1max} - r_p,\ t_2 - r_{2max} - r_p\} \quad (6)$$

ここに，t_d：隣接面の対角線の長さ
t_1：隣接面の長辺の長さ　t_2：隣接面の短辺長
r_{dmam}：隣接面頂点に存在する配管ライン部品点の中の最大管半径
r_{1max}：隣接面長辺上に存在する配管ライン辺の中の最大管半径
r_{2max}：隣接面短辺上に存在する配管ライン辺の中の最大管半径
r_p：新設配管の管半径

4. 最短経路問題の解法

既に何本かの配管ラインが敷設されている場所に新たに1本の配管ラインを次の条件を満たして始点から終点まで引く問題について考える。
①既設配管ラインに干渉しない。
②ラインの経路総長さを最短にする。
③曲がりを最少にする。
隣接関係グラフに3項で述べた判定関数を適用し配管ラインライン最短経路問題のための隣接関係グラフを構築する。そのグラフに分枝限定法を適用して問題の解法を行う。以下に分枝限定法を用いた解法の手順と例について説明する。

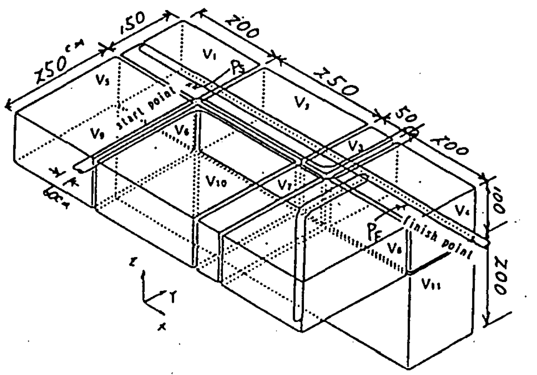
STEP−1：領域直方体の節点の取捨選択及びそれと隣接関係にある弧の取捨選択。即ち機器及び建屋構造物と重なりのある領域直方体を削除すると同時にその削除直方体と隣接関係にある直方体との関係弧を削除する。

STEP−2：判定関数による隣接関係弧の取捨選択。既設配管の直径及び新設配管の直径の値で隣接面毎に計算し，負又は0であればそれの隣接関係弧を削除する。

STEP−3：STEP-2で求めた隣接関係グラフに基づき隣接直方体間距離行列を求める。直方体節点の位置は(4)式で直方体間距離は(5)式を用いて求める。

STEP−4：隣接直方体間距離行列に基づき巾乗方により始節点から終節点までの最短経路を求める。

例題として図−1に示すようなS点からE点までの最短経路を求める場合を考える。但し，L_1 の直径を60cm L_2 の直径を20cm 新設配管の直径を60cmとする。



図−1　最短距離計算モデル

巾乗法による計算の結果 最短経路は次の通り。

・最短経路 その1 $p_{v1} \to p_{v2} \to p_{v10} \to p_{v11} \to p_{v4}$
　　　　　　　　$p_{v1} \to p_{v9} \to p_{v10} \to p_{v11} \to p_{v4}$
・最短経路総長さ　800 cm
・最短経路として2つ存在するが曲がりの個数はその1が3個 その2が2個のためその2の経路を最短経路とする。

4．距離補正

隣接直方体間の距離として直角和 即ち(5)式に示す方式を用いた。そうすると，図−2のCASE−1及びCASE−2に示す様に，3点を結ぶ通路に重複する部分が発生する。ド点が同一平面上にある場合をCASE−1に，同一平面内に無い場合をCASE−2に示す。
3個の隣接する直方体をそれぞれp_{vi}，p_{vj}及びp_{vk}とすると，p_{vi}とp_{vj}間の距離d_{ij}及びp_{vj}とp_{vk}間の距離d_{jk}は

$$d_{ij}=|x_i^v-x_j^v|+|y_i^v-y_j^v|+|z_i^v-z_j^v|$$
$$d_{jk}=|x_j^v-x_k^v|+|y_j^v-y_k^v|+|z_j^v-z_k^v|$$

以下に重複部分を見つけ，補正する方法について説明する。

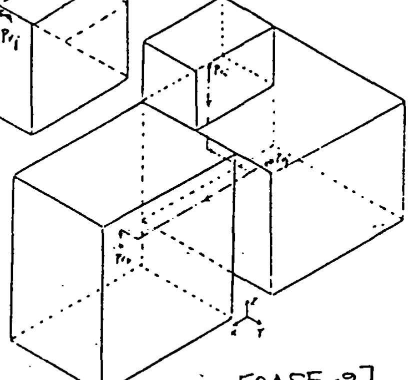
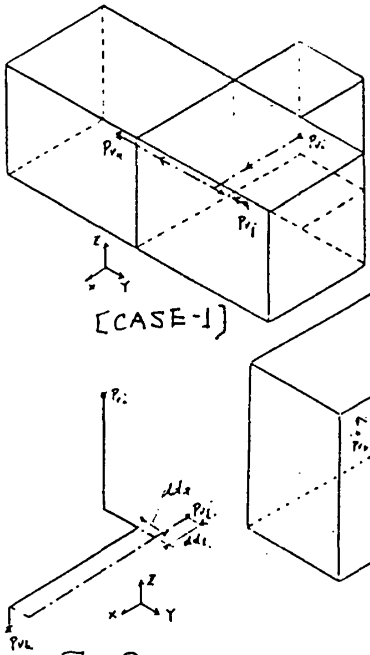


図-2



図−3

(重複部分の検出)
距離d_{ij}の3軸方向成分
$d_{ij}(x)=x_j-x_i$, $d_{ij}(y)=y_j-y_i$,
$d_{ij}(z)=z_j-z_i$.
距離d_{jk}の3軸方向成分
$d_{jk}(x)=x_k-x_j$, $d_{jk}(y)=y_k-y_j$,
$d_{jk}(z)=z_k-z_j$.
次の軸方向成分同志の積が負の場合，その軸部分に重複が生じている事になる。

$$d_{ij}(x)*d_{jk}(x)<0 \quad \text{or} \quad d_{ij}(y)*d_{jk}(y)<0 \quad \text{or} \quad d_{ij}(z)*d_{jk}(z)<0$$

(距離補正)
重複が生じている部分についてその重複している長さを計算し，直方体間距離から差し引く事により補正を行う。
図−2のCASE−2の場合，重複部分はx軸とy軸の両方に発生する。この重複部分を排除した結果の配管ルートを図−3に示す。この補正の結果のルートが最終的に正しいルートであるとは限らない。何故ならば図−3の場合，x軸方向の重複を補正した結果，y軸に沿う部分に他の既設配管ラインと干渉が発生する可能性がある。

重複のための補正作業・計算には，上述した様に2種類存在する。最短経路計算で求めたルートの位置が変らない補正と変ってしまう補正とである。変ってしまう補正作業は他の問題も絡み，一律に解決出来ないため今後補正とは別問題として取り扱う。

文献

(1)平成6年春季研究発表会アブストラクト集
(2)平成6年秋季研究発表会アブストラクト集
(3)平成7年春季研究発表会アブストラクト集