

不等辺三角カムによる揺動特性について

秋 田 晃

On Oscillation by Inequilateral Triangular Cam

Akira AKITA

In the automatic machine and various machinery, it is convenient to use positive cam having no springs, and is important to save return time by using of quick return motion mechanism.

Preceding papers dealt with oscillated quick return motion mechanism by triangular cam, i.e. equilateral & isosceles triangular cam in F.I.T. research report No.18 & 19.

This report shows some consideration on the results of applying inequilateral triangular cam.

1. ま え が き

自動機械はじめ各種機械類に、バネの使用を必要としない確動カムを使用するのが便利であり、又早戻り運動機構を使用して戻り時間を短くする事が重要である。

前報において、三角カムによる早戻り揺動機構について述べた。即ち、福井工大研究紀要第18号に正三角カムを、第19号に二等辺三角カムを応用した場合について述べた。

この論文では、不等辺三角カムを応用した場合についての考察を述べた。

又、この論文に使用した主な記号は次の通りである。

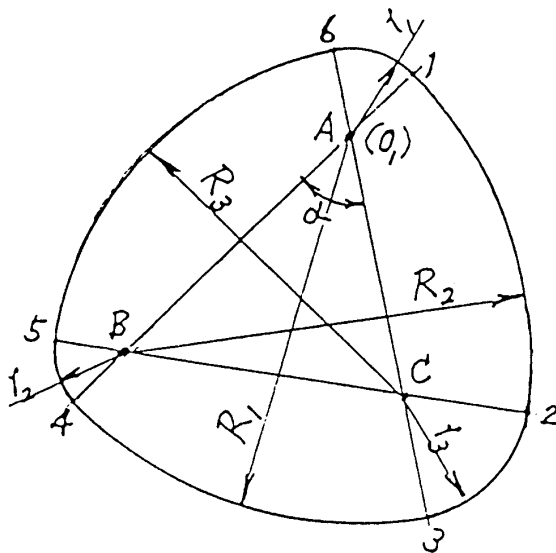
- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| θ : カムの回転角 | ϕ : 従動節の揺動角 |
| ω : カムの角速度 | ℓ : カムの回転中心と従動節の揺動中心との距離 |
| a, b, c : 三角カムの基盤となる三角形の各辺の長さ | |
| R_1, R_2, R_3 : 三角形の各辺に対応する円弧の半径 | |
| r_1, r_2, r_3 : 各隅部の丸味の半径 | |
| B : 従動節の溝部の幅 | α : 三角カムの基盤となる三角形の一頂角 |
| i : 早戻り比 | |

2. カム及び従動節の形状とその運動

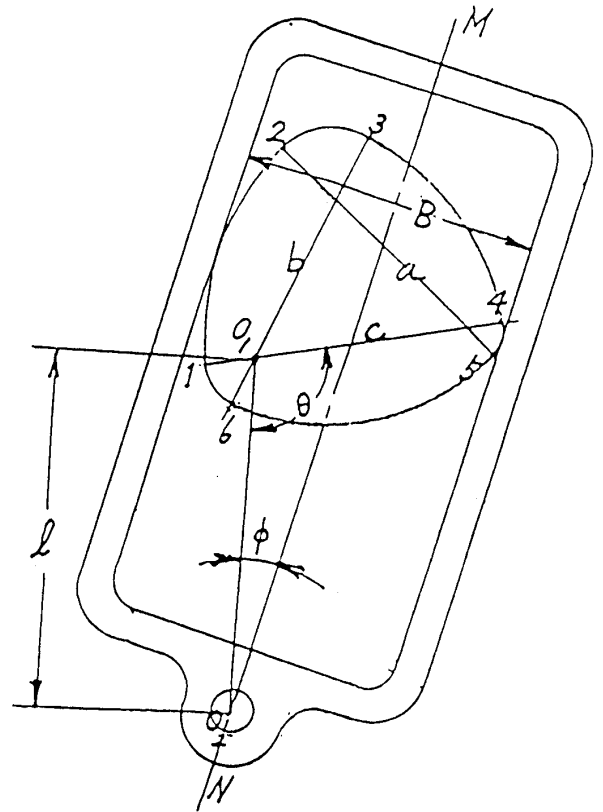
カム及び従動節の形状は、図1及び図2に示す通りである。カムの輪郭を1～6の部分に分ける。即ち、半径 R_2 の $\widehat{1 \cdot 2}$ 、半径 R_1 の $\widehat{3 \cdot 4}$ 、半径 R_3 の $\widehat{5 \cdot 6}$ 、及び半径 r_1 の $\widehat{6 \cdot 1}$ 、半径 r_3 の $\widehat{2 \cdot 3}$ 、半径 r_2 の $\widehat{4 \cdot 5}$ とする。同図によって明かな如く、辺の長さとの間には、次の関係がある。(図1において、 $BC = a$ 、 $AC = b$ 、 $AB = c$)

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= b + r_3 = c + r_2 \\ R_2 &= a + r_3 = c + r_1 \\ R_3 &= a + r_3 = b + r_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

$$\left. \begin{aligned} B &= r_1 + R_1 \\ B &= r_2 + R_2 \\ B &= r_3 + R_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$



図・1 不等辺三角カム



図・2 不等辺三角カムと従動節

2.1 従動節の揺動角、及び角速度

1) カムの $\widehat{1 \cdot 2}$ が従動節の左側と接触する場合

$$\left. \begin{aligned} \sin \phi &= \left[\frac{B}{2} - \{R_2 - c \sin(\theta + \phi)\} \right] / \ell \\ \frac{d\phi}{dt} &= \frac{c \cdot \omega \cdot \cos(\theta + \phi)}{\ell \cdot \cos \phi - c \cdot \cos(\theta + \phi)} \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

2) カムの $\widehat{2 \cdot 3}$ が従動節の左側と接触する場合

$$\left. \begin{aligned} \sin \phi &= \left[\left\{ r_3 + b \cdot \cos \left(\frac{3\pi}{2} - \alpha - \theta + \phi \right) \right\} - \frac{B}{2} \right] / \ell \\ \frac{d\phi}{dt} &= \frac{b \cdot \omega \cdot \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \alpha - \theta + \phi \right)}{\ell \cdot \cos \phi + b \cdot \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \alpha - \theta + \phi \right)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

3) カムの $\widehat{3 \cdot 4}$ が従動節の左側と接触する場合

$$\sin \phi = (R_1 - \frac{B}{2}) / \ell, \quad \frac{d\phi}{dt} = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

4) カムの $\widehat{4 \cdot 5}$ が従動節の左側と接触する場合

$$\left. \begin{aligned} \sin \phi &= \left[\left\{ r_2 + c \cdot \cos \left(\frac{3\pi}{2} - \theta + \phi \right) \right\} - \frac{B}{2} \right] / \ell \\ \frac{d\phi}{dt} &= \frac{c \cdot \omega \cdot \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \theta + \phi \right)}{\ell \cdot \cos \phi + c \cdot \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \theta + \phi \right)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

5) カムの $\widehat{5 \cdot 6}$ が従動節の左側と接触する場合

$$\left. \begin{aligned} \sin \phi &= \left\{ b \cdot \cos \left(\frac{5\pi}{2} - \phi - \theta - \alpha \right) - \left(R_3 - \frac{B}{2} \right) \right\} / \ell \\ \frac{d\phi}{dt} &= \frac{b \cdot \omega \cdot \cos (\phi + \alpha + \theta)}{\ell \cdot \cos \phi - b \cdot \cos (\phi + \alpha + \theta)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

6) カムの $\widehat{6 \cdot 1}$ が従動節の左側と接触する場合

$$\sin \phi = \left(\frac{B}{2} - r_1 \right) / \ell, \quad \frac{d\phi}{dt} = 0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

上記の1)及び2), 即ち式(3)及び(4)は, カムが点 o_1 (頂点A)を中心として, 反時計まわりに等角速度 ω で回転する場合に, 従動節が最右端の位置より左方へ揺動する状況を示し, 又, 4)及び5), 即ち式(6)及び(7)は, 従動節が最左端の位置より右方へ揺動する状況を示す。又, 3)即ち式(5)は従動節が最左端で静止, 6)即ち(8)は, 従動節が最右端で静止する事を示す。換言すれば, 1)と2)が往き(作業を行う)行程で, 4)と5)が戻り行程であり, 3)と6)が両端での静止を表わす。

2.2 従動節の早戻り運動

従動節の往き(右端より左方へ向う, 作業を行う)行程に対するカムの回転角を θ_1 とし, 従動節の戻り(左端より右方へ向う)行程に対するカムの回転角を θ_2 とすれば,

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 + \theta_2 + 2\alpha &= 2\pi \\ \alpha + \theta_2 + 2\phi &= \pi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

の関係により，早戻り比 i は次式で示す事が出来る。

$$i = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\pi - \alpha - 2\phi}{\pi - \alpha + 2\phi} \dots\dots\dots(10)$$

ここで， ϕ 及び α は，

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\frac{B}{2} - r_1}{\ell} \quad \text{又は} \quad \phi = \sin^{-1} \frac{R_1 - \frac{B}{2}}{\ell} \dots\dots\dots(11)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2b \cdot c} \dots\dots\dots(12)$$

3. 実 験

3.1 実 験 装 置

(1) 実験のため，NC加工により製作したカムは次の10種類である。

カム	不 等 辺 の 長 さ			丸 味 半 径					
	a	b	c	R_1	R_2	R_3	r_1	r_2	r_3
No. 1	40	45	35	50	45	55	10	15	5
2	45	30	35	40	55	50	20	5	10
3	45	25	30	35	55	50	25	5	10
4	35	25	30	40	50	45	20	10	15
5	30	35	25	45	40	50	15	20	10
6	30	20	40	45	55	35	15	5	25
7	40	30	20	35	45	55	25	15	5
8	45	35	40	45	55	50	15	5	10
9	45	37	32	42	50	55	18	10	5
10	42	40	38	48	50	52	12	10	8

表-1 不 等 辺 三 角 カ ム の 寸 法

- (2) 従動節は，前報及び前々報の場合と同様に，溝内側の幅 $B=60mm$ である。
- (3) カムの回転中心と従動節の動揺中心との距離も，前報及び前々報の場合と同様に $\ell=70mm$ である。
- (4) 駆動装置，及び計測装置等は，前報，前々報の場合と同一のため，記載を省略する。

4. 結果及び考察

不等辺三角カムを揺動機構に応用した場合の早戻り状況を調べるのが眼目であるため、各カムの頂角 α 、従動節の揺動角 ϕ （最大値）、及び早戻り比 i の値（計算により求めた値 i_1 、と実験結果より求めた値 i_2 ）を表2に示す。

カ ム	頂 角 α	揺 動 角	休 止 / 作 業		早 戻 り 比	
			往 き	戻 り	i_1	i_2
No. 1	58° 25'	33° 12'	0.38	0.66	0.57	0.5
No. 2	87° 17'	16° 26'	0.79	0.87	0.69	0.7
No. 3	109° 30'	8° 12'	1.39	1.75	0.79	0.8
No. 4	78° 24'	16° 24'	0.66	0.92	0.72	0.7
No. 5	58° 17'	24° 48'	0.39	0.59	0.66	0.6
No. 6	46° 36'	24° 48'	0.29	0.43	0.68	0.7
No. 7	104° 30'	8° 16'	1.24	1.55	0.80	0.8
No. 8	73° 24'	24° 48'	0.56	0.89	0.62	0.6
No. 9	81° 3'	19° 46'	0.68	1.02	0.66	0.7
No. 10	65° 3'	29° 46'	0.45	0.76	0.58	0.6

表2 各 カ ム の 特 性

4.1 頂角について

不等辺三角カムの基盤となる不等辺三角形の頂点A（即ち回転中心 O_1 ）における頂角 α は、式(12)により明らかな如く、対辺 a の長さが一定の場合には b 、 c が小である程、又辺 b 、 c の長さがそれぞれ一定の場合には a の長さが大である程、 b と c が小で a が大である程、 α は大となる。又、 α は従動節の静止区間に対応するので、 α が大である程、従動節の静止時間が大となる。表2に示す如く、No. 3 及びNo. 7 のカムの頂角が大であり、No. 6 のカム、次いでNo. 5、No. 1 のカムの頂角が小である。

4.2 揺動角について

従動節の揺動角 ϕ は、カムの回転中心 O_1 と従動節の揺動中心 O_2 とを結ぶ直線 O_1O_2 と、従動節の中心線MNとのなす角で、各カムに対する ϕ （最大値）を表2に示す。 ϕ 、従って 2ϕ の値が大である程、この機構をピック・アンド・プレイスに応用する際には好都合となる。 2ϕ が最も大きい値となるのは、カムNo. 1 の場合で、次いでNo. 10の場合である。又、 ϕ の値は、(11)式で解かる通り、 R_1 の値が大である程、又、 r_1 の値が小である程、揺動角 ϕ が大となる。

4.3 早戻り比について

従動節の早戻り比は、式(10)より明らかな通り、揺動角 ϕ の値が大である程、 i の値が小とな

り、早戻り効果が大きい。この事は、表2の i_1 及び i_2 の値に示されている。 i_2 は実験に基づく値のため、製作されたカム、従動節及び諸装置の誤差によって幾分明確さを欠いているが、傾向は充分に知る事が出来、特に i_1 の値からは明確に早戻り状況を知る事が出来る。

No. 1のカムの場合が最も早戻り効果が大きく、No.10のカムがそれに次いでいるが、No. 1とはほぼ同様である。又、No. 8のカムもNo.10と大差なく早戻り効果大である。又、逆に、No. 7のカムの場合は、早戻り効果が最も小であり、No. 3も同様に早戻り効果が落ちる。しかし、実験及び計算に使用した10個のカムは、何れの場合も、早戻り揺動を行う点では全く同様である。

4.4 他の三角カムとの比較

(1) 形状について

不等辺三角カムの場合は、二等辺三角カムの場合同様に、正三角形カムに比べて、不規則な形状のため、製作の点でやや面倒であるが、NC加工の発達している現在では、それ程問題にはならない。カムの回転中心位置における頂角は、正三角カムが 60° であるのに対し、二等辺三角カムでは(取扱ったカムの場合) $38^\circ 57' \sim 106^\circ 16'$ であり、今回の不等辺三角カムでは $46^\circ 36' \sim 109^\circ 30'$ である。

(2) 早戻り比について

従動節の早戻り比は、正三角カムの場合に0.57(一辺 $a = 40mm$, 円弧半径 $r = 10$, $R = 50mm$) \sim 0.72($a = 24$, $r = 18$, $R = 42mm$)であり、二等辺三角カムの場合には0.58(等辺 $a = 40$, 底辺 $= 44$, 丸味半径 $r_1 = 12$, $r_2 = 8$, $R_1 = 52$, $R_2 = 48mm$) \sim 0.77($a = 30$, $b = 48$, $r_1 = 24$, $r_2 = 6$, $R_1 = 54$, $R_2 = 36mm$)であったのに対し、今回の不等辺三角カムでは、0.57($a = 40$, $b = 45$, $c = 35$, $R_1 = 50$, $R_2 = 45$, $R_3 = 55mm$) \sim 0.80($a = 40$, $b = 30$, $c = 20$, $R_1 = 35$, $R_2 = 45$, $R_3 = 55mm$)で、正三角カム及び二等辺三角カムに比して早戻り比の値の範囲がやや広いが大差なく、略々同様という結果になった。

(3) 総合的に見れば、形状が複雑な割には二等辺三角カムを上廻る利点は見られなかった。しかし、結果に多様性を与える点で、少々の利点は認められる。

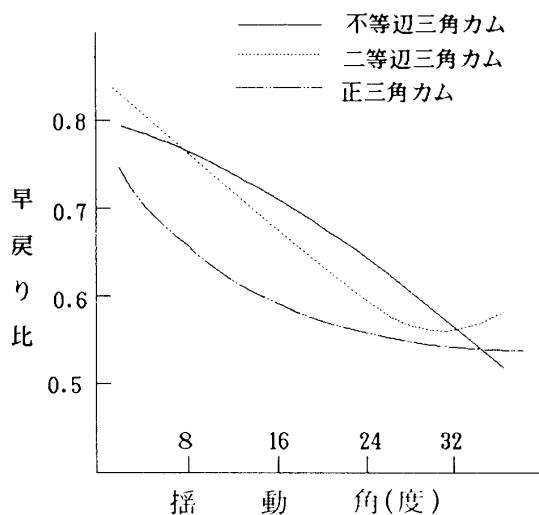


図3 揺動角と早戻り比

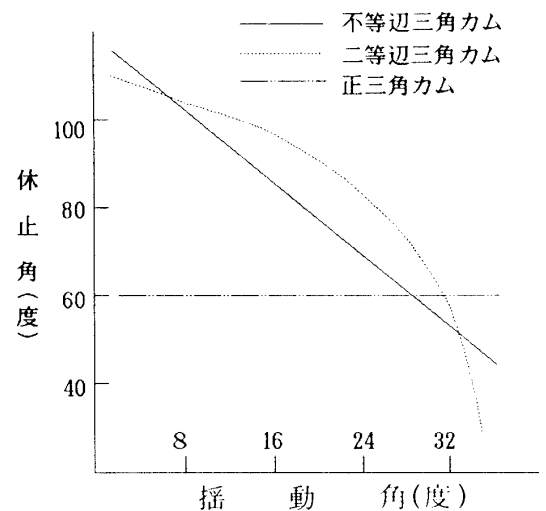


図4 揺動角と休止角

5. あ と が き

三角カムは、従来往復直線運動用に使用されたが、研究紀要第18,19号、及び本20号においては、三角カムを往復角運動用に使用した場合についての研究結果を述べた。この場合は何れも、早戻り揺動となるため、ピック・アンド・プレイス等の自動搬送に応用する事が出来て、戻りの行程に要する無駄な時間の節約を図る点で役立つ。又、正三角形カムの場合には静止時間の調節が出来ないのに対して、二等辺三角カム及び不等辺三角カムを使用する場合には、静止時間の変更、調節が可能という利点がある。この静止時間の調節は、頂角の異なるカムを使用する事により、又早戻りの比の変更、調節は寸法の異なるカムの使用によって、目的が達せられる。又、大幅な変更は、カム回転中心と従動節揺動中心との距離の変更、及び従動節の溝の幅の変更等により行う事が出来る。カムと従動節との隙間を適切な寸法にする必要性はあるが、バネを使用する必要がない確動カムであるという長所があるので、自動機械等への応用が充分考えられる。

カムのNC加工に際し、福井工大・機械実習工場の正津氏、その他の方々の御協力を頂いた事を感謝します。

参 考 文 献

- 1) 北郷 薫, 他 3 名: 機構学, 朝倉書店
- 2) 木内 石: 機械設計便覧, 朝倉書店
- 3) 機械設計便覧編集会: 機械設計便覧, 丸善
- 4) 窪田雅男: 機構学, 森北出版
- 5) 小川 潔: リンク・カムの設計, オーム社
- 6) 中井英一: 実用カム設計法, 日刊工業新聞社
- 7) 秋田 晃: 三角カムによる早戻り揺動機構について, 福井工大研究紀要第18号
- 8) 秋田 晃: 二等辺三角カムによる早戻り揺動機構について, 福井工大研究紀要第19号