

増幅機構を用いた制震構造システムに関する基礎的研究

正会員 ○秦 一平^{*1}

(その2. トグル機構の増幅率について)

同 久保田雅春^{*2}

同 石丸 辰治^{*3}

同 新谷 隆弘^{*4}

§2-1 序

同名論文(その1)では、増幅機構としてトグル機構を用いる事を提案したが、その増幅率には大きな幾何学的非線形性があり、制振構造に応用するためにはその性質を正確に把握しておく必要がある。そこで本報では、トグル機構の増幅率を解析的に求め、有効な増幅率が保たれるストロークや、複数のトグル機構を併用することによる非線形性の改良方法について検討する。ただし、本報の解析では簡便の為、トグルを構成する部材の軸方向変形は無視した事を断っておく。

§2-2 トグル機構の原理

トグル機構の原理を図2-1に示すが、その構成は長さ L_1 , L_2 の二本のリンクを直列に接続しただけの単純な構造である。A点を原点にピン支持し、C点を $C(x_c, y_c)$ 点に移動させると、B点 (x_B, y_B) はA点を中心とする半径 L_1 の円弧上を $B'(x_B + \Delta x_B, y_B + \Delta y_B)$ まで移動する。この時、初期形状を適切に選定すれば、B点の移動量 $\sqrt{(\Delta x_B)^2 + (\Delta y_B)^2}$ のC点の移動量 $\sqrt{(\Delta x_c)^2 + (\Delta y_c)^2}$ に対する比、つまり倍率 β を非常に大きくする事ができる。

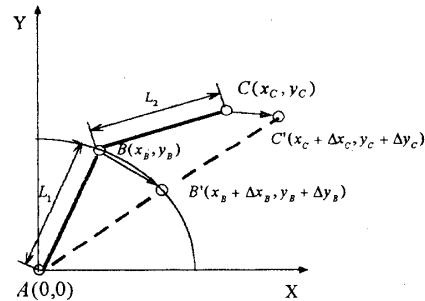


図2-1 トグル原理

以上がトグル機構で大きな移動距離が得られる原理である。次に解析のしやすさから、直交直線座標系に現象を分解して定式化する事とする。

§2-3 増幅率の定式化

図2-1に示した機構には、(2-1)式に示す幾何学的関係があるので、これを利用してB点の座標 (x_B, y_B) をC点の座標 (x_c, y_c) であらわすと(2-2)式ようになる。B点の変位 Δx_B , Δy_B の、C点の変位 Δx_c , Δy_c に対する比を増幅率 β として定義すると(2-3)~(2-6)式ようになる。尚、右下付添字は、たとえば β_y であれば、B点のy方向変位 Δy_B のC点のx方向変位 Δx_c に対する比という意味である。(2-3)~(2-6)式中の記号A~Dの定義は(2-7)式に示す通りである。

$$\left. \begin{aligned} x_B^2 + y_B^2 &= L_1^2 \\ (x_c + \Delta x_c - x_B)^2 + (y_c + \Delta y_c - y_B)^2 &= L_2^2 \end{aligned} \right\} (2-1)$$

$$\left. \begin{aligned} x_B &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{A \cdot (x_c + \Delta x_c)}{B} \mp (y_c + \Delta y_c) \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot L_1^2}{B} - \frac{A^2}{B^2}} \right\} \\ y_B &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{A \cdot (y_c + \Delta y_c)}{B} \pm (x_c + \Delta x_c) \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot L_1^2}{B} - \frac{A^2}{B^2}} \right\} \end{aligned} \right\} (2-2)$$

$$\beta_x = \frac{\Delta x_B}{\Delta x_c} = \frac{\partial x_B}{\partial x_c} = \frac{1}{2B^2} \left\{ (A+2C^2) \cdot B - 2 \cdot C^3 \cdot A \pm \frac{2C \cdot D \cdot (2L_1^2 \cdot B + A(B-A))}{\sqrt{4L_1^2 \cdot B - A^2}} \right\} (2-3)$$

$$\beta_y = \frac{\Delta y_B}{\Delta x_c} = \frac{\partial y_B}{\partial x_c} = \frac{1}{2B^2} \left\{ 2 \cdot C \cdot D \cdot (L_1^2 - L_2^2) \pm \frac{4L_1^2 \cdot D \cdot B - A(BA + 2 \cdot C^3) - 2A \cdot C^3}{\sqrt{4L_1^2 \cdot B - A^2}} \right\} (2-4)$$

$$\beta_x = \frac{\Delta x_B}{\Delta y_c} = \frac{\partial x_B}{\partial y_c} = \frac{1}{2B^2} \left\{ 2 \cdot C \cdot D(L_2^2 - L_1^2) \mp \frac{4L_1^2 \cdot C \cdot B - A(BA + 2 \cdot D^3) + 2A \cdot D^3}{\sqrt{4L_1^2 \cdot B - A^2}} \right\} (2-5)$$

$$\beta_y = \frac{\Delta y_B}{\Delta y_c} = \frac{\partial y_B}{\partial y_c} = \frac{1}{2B^2} \left\{ (A+2D^2) \cdot B - 2 \cdot D^3 \cdot A \mp \frac{2 \cdot C \cdot D \cdot (2L_1^2 \cdot B + A(B-A))}{\sqrt{4L_1^2 \cdot B - A^2}} \right\} (2-6)$$

§2-4 鈍角型トグル機構と鋭角型トグル機構

鈍角型トグル機構は図2-2による長さ L_1 , L_2 の二本のリンクにより構成され、C点のx方向に対するB点のy方向変位増幅率 β_y を利用するものである。この機構で大きい倍率が得られるのは、 $x_c \approx L_1 + L_2$ の近辺だけであり、ストロークを長く取ろうとすると、機構は非常に巨大なものになってしまうという欠点がある。これに対し、鋭角型トグル機構は、

$$\left. \begin{aligned} A &= (L_1^2 - L_2^2 + C^2 + D^2) \\ B &= (C^2 + D^2) \\ C &= x_c + \Delta x_c \\ D &= y_c + \Delta y_c \end{aligned} \right\} (2-7)$$

図2-3に示すように $x_c \approx L_1 - L_2$ の領域でC点のx方向変位に対するB点のy方向変位増幅率 β_{xy} を利用する事を意図したものである。両者のトグル機構で実現される倍率 β_{xx}, β_{yy} を、(2-3)(2-4)式を用い鈍角トグルでは、 $L_1=L_2=500(\text{cm})$ 、鋭角トグルは、 $L_1=500(\text{cm})$ 、 $L_2=475(\text{cm})$ の条件で、解析した結果を、図2-4、図2-5に示す。図の横軸は、C点のx方向変位、縦軸は増幅率 β_{xx}, β_{yy} であるが、両機構とも、死点の近く(鈍角型の場合は $x_c = 1000$ 、鋭角型の場合は $x_c = 25$)では β_{xy} が非常に大きな値を実現することができるが、鋭角型のほうが、鈍角型よりも広いストローク範囲で高い倍率を維持できるという長所がある事がわかる。また、鋭角型のC点y方向変位に対する倍率を表したものを図2-6に示す。 x_c の初期位置 $x_c = 30$ を基準とし、y方向にC点を変位させた。x方向に変位させた図(2-5)と比較すると倍率はやや落ちる

が、非線形性が弱く、使いやすい機構となっていることが分かる。図2-9、図2-10、図2-11は、上述のトグル機構の非線形性を緩和する目的で、図2-7、図2-8に示すように2個のトグルを対称に配置した場合について互いに対をなすトグルで実現される倍率の平均値を(2-8)式 ($\bar{\beta}, \bar{\beta}'$ はそれぞれB, B'点変位のC点変位に対する倍率)を計算したものである。結果を見ると、特に鋭角型でy方向に変位させた場合、倍率は落ちるものの、比較的広いストローク範囲でほぼ線形的な機構として一定の倍率を得られることが分かる。

§2-5 まとめ

トグル機構の倍率を定式化し、二対のトグルを組み合わせる事で、幾何学的非線形性を緩和して線形性を高める事で、比較的倍率の大きな使い易い機構が構成できる可能性を示した。

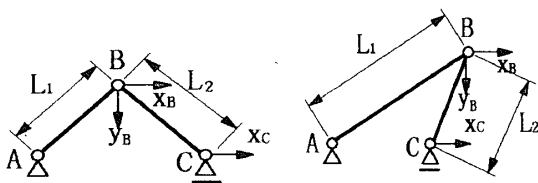


図2-2 鈍角トグル機構

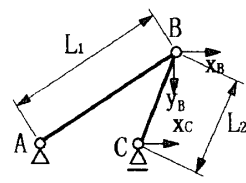


図2-3 鋭角トグル機構

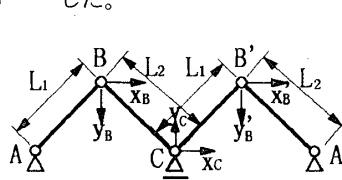


図2-7 併用型鈍角トグル機構

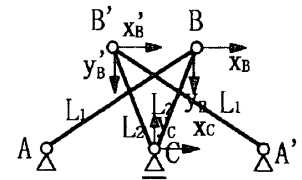


図2-8 併用型鋭角トグル機構

$$\bar{\beta}_{xx} = (|\beta_{xx}| + |\beta'_{xx}|) / 2, \bar{\beta}_{yy} = (|\beta_{yy}| + |\beta'_{yy}|) / 2 \quad (2-8)$$

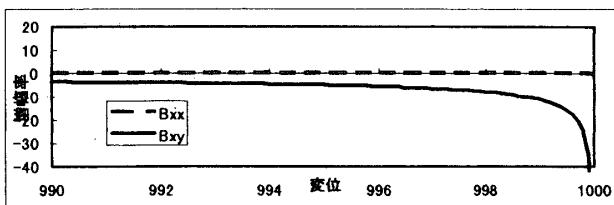


図2-4 鈍角型トグル (x方向)

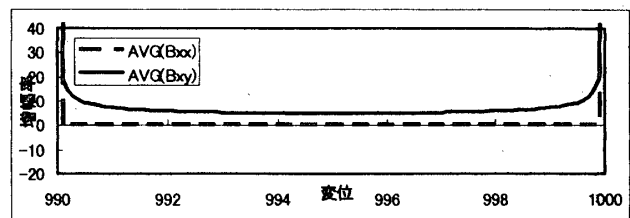


図2-9 併用した鈍角型トグル (x方向)

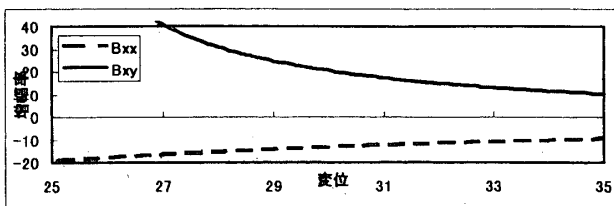


図2-5 鋭角型トグル (x方向)

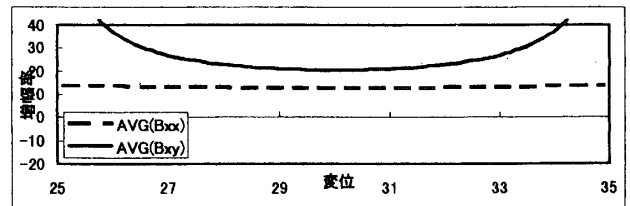


図2-10 併用した鋭角型トグル (x方向)

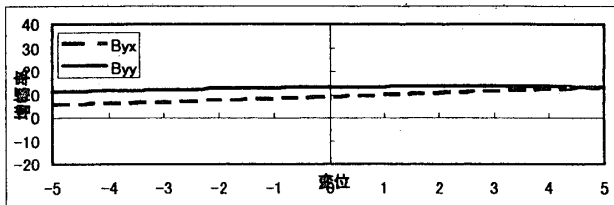


図2-6 鋭角型トグル (y方向)

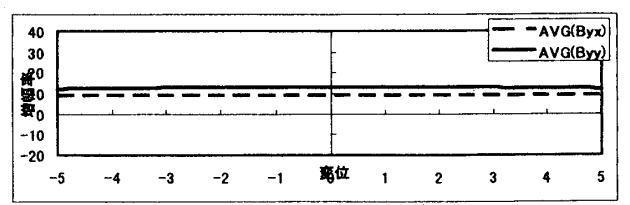


図2-11 併用した鋭角型トグル(y方向)

*1 日本大学大学院博士前期課程 Graduate Student, Master Course, Graduate School of Nihon University
 *2 飛鳥建設(株) Tobishima Corporation
 *3 日本大学理工学部 教授・工博 professor, College of Science and Technology, Nihon University
 *4 日本大学理工学部 助手 Research Associate, College of Science and Technology, Nihon University