

神経振動子を組み込んだ歩道橋の動的応答解析に関する基礎的研究

近畿大学理工学部 フェロー ○米田 昌弘  
 近畿大学理工学部 大西 悠加

1. はじめに

近年，群衆が歩道橋を移動するときに，引き込み現象が生じて大きな水平振動が生じることが報告されている．そこで，本研究ではロボットの運動制御に用いられる神経振動子に着目し，神経振動子を組み込んだ歩道橋の水平振動応答解析を実施した．

2. 神経振動子の概要

人間における神経振動子の存在は間接的にしか確認されていないが，そのモデルは松岡<sup>1)</sup>をはじめとする研究者によって解明されている．**図-1**に松岡の提案する神経子モデルを示す．この神経振動子モデルは，神経素子（ニューロン）の対を相互抑制的に結合することによって形成されており，以下のような2変数微分方程式で表すことができる．

$$\tau_1 \dot{x}_1 = -x_1 - \beta v_1 - \gamma [x_2]^+ + c - [u_f]^+ \quad (1)$$

$$\tau_2 \dot{v}_1 = -v_1 + [x_1]^+ \quad (2)$$

$$\tau_1 \dot{x}_2 = -x_2 - \beta v_2 - \gamma [x_1]^+ + c - (-1.0) \times [u_f]^+ \quad (3)$$

$$\tau_2 \dot{v}_2 = -v_2 + [x_2]^+ \quad (4)$$

ここに， $x_1$  と  $x_2$  は神経素子(ニューロン)の膜電位， $v_1$  と  $v_2$  は内部状態を表す変数， $\tau_1$  と  $\tau_2$  は時定数， $\beta$  は疲労係数とも呼ばれる順応の強度を表す係数， $\gamma$  は二つの順応素子の結合係数， $u_f$  は外部からの持続入力である．

また， $c$  は tonic な入力 (tonic は「元気づける」という意味) で  $c = 0$  だと振動は生じない．さらに， $[x]^+$  は閾値関数で

$$[x]^+ = \max(x, 0) \quad (5)$$

と表される非線形関数である．ちなみに， $x_1$  と  $x_2$  の正の部分が各神経素子の出力に対応することから，神経振動子の出力  $y_{out}$  は

$$y_{out} = y_1 - y_2 = \max(x_1, 0) - \max(x_2, 0) \quad (6)$$

で求められる．

なお，時定数の比  $\tau_1/\tau_2$  が同じ場合，神経振動子の固

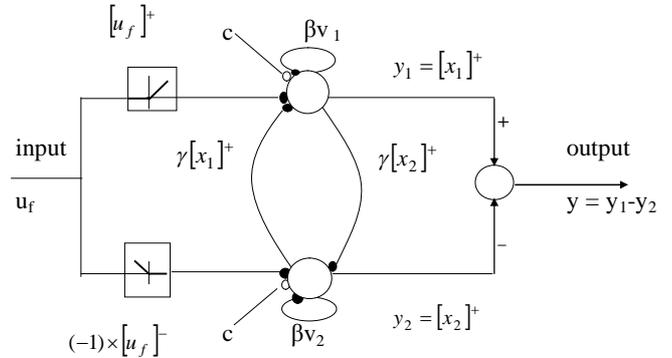


図-1 松岡の神経振動子モデル

表-1 神経振動子の固有周波数算定式 (CASE-151515)

$\tau_1/\tau_2$	固有周波数 (Hz)
0.1	$f=0.0454 \times 1/\tau_1$
0.2	$f=0.0689 \times 1/\tau_1$
0.3	$f=0.0861 \times 1/\tau_1$
0.4	$f=0.1012 \times 1/\tau_1$
0.5	$f=0.1125 \times 1/\tau_1$

有周波数は  $1/\tau_1$  に比例し， $\beta = 1.5$ ， $\gamma = 1.5$ ， $c = 1.5$  に設定した CASE-151515 の固有周波数は**表-1**に示す簡易式で算定できる<sup>2)</sup>。

3. 神経振動子を組み込んだ動的応答解析

歩行者に神経振動子を組み込んだ動的応答解析にあたっては，**表-1**に示した歩道橋（支間長が 50m で固有周波数が 1.000Hz）を対象とした．

神経振動子の固有周波数が 0.970Hz となるように，時定数  $\tau_1$ ， $\tau_2$  を  $\tau_1 = 0.046804$ ， $\tau_2 = 0.46804$  に設定するとともに，パラメーター  $\beta$ ， $\gamma$ ， $c$  を  $\beta = 1.5$ ， $\gamma = 1.5$ ， $c = 1.5$ （初期値は  $x_1 = 1.5$ ， $x_2 = -0.3$  に設定）とした歩行者が，対象とした歩道橋の入口から出口まで歩行する場合について動的応答解析を実施した．ここに，歩行者の歩行速度は 1.4m/s としたが，これは 2 歩/秒で歩行する場合の歩行速度に対応する．また，神経振動子の出力に，係数を乗じて歩行外力の最大値が 0.8232 kN となるように設定したが，この値は体重

表-1 対象とした歩道橋の構造諸元

モデル	橋長	単位長さ当たりの重量	弾性係数	断面 2 次モーメント	1 次振動数
MODEL-100	50m	14.7kN/m	$20.58 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$	0.01844 m <sup>4</sup>	1.000Hz

0.686kN=686N の歩行者 30 人による水平歩行外力とおおむね一致する。

動的応答解析では、神経振動子を組み込んだ歩行者が桁上を移動するとともに、歩行者（神経振動子モデル）から歩行外力が出力され、その歩行外力で桁が加振されて応答変位が変化し、歩行者（神経振動子モデル）に引き込み現象が生じることになる。神経振動子の出力波形から、ゼロクロッシング法を用いて神経振動子の固有周波数を算定した結果を図-2に示す。この図より、0.970Hzであった神経振動子の固有周波数が徐々に増加していき、中央点付近で歩道橋の固有振動数である1.000Hzになった後は、歩行位置での応答振幅の低下とともに、周波数は低下していく様子が読み取れる。この場合の中央点における変位応答波形を図-3に示す。また、参考までに、神経振動子は引き込みを起ささない（出力の周波数が0.970Hzのまま変化しない）とした場合の解析結果を図-4に示す。図-3と図-4を比較すれば、神経振動子を組み込んだ動的応答解析を実施すれば、歩行者の引き込み現象を考慮した検討を実施できることがわかる。

4. まとめ

本研究から、歩行者に神経振動子を組み込んで、引き込み現象を考慮した動的応答解析を実施すれば、群衆による歩道橋の水平振動をより合理的に検討できる可能性が高いと考えられる。それゆえ、今後は、神経振動子についてさらに詳細な検討を行うとともに、実在歩道橋を対象として、群衆が移動する場合の動的応答解析を実施し、歩行者と歩道橋との動的相互作用についてより詳細な検討を実施する所存である。

参考文献

1) K.Matsuoka : Sustained Oscillations Generated by Mutually Inhibiting Neurons with Adaptations, Biological Cybernetics, Vol.52, pp.367~376, 1985.  
 2) 米田昌弘, 深江美妃 : 歩道橋の水平振動問題への適用を考えた神経振動子の基本特性, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.218~227, 2008年3月.

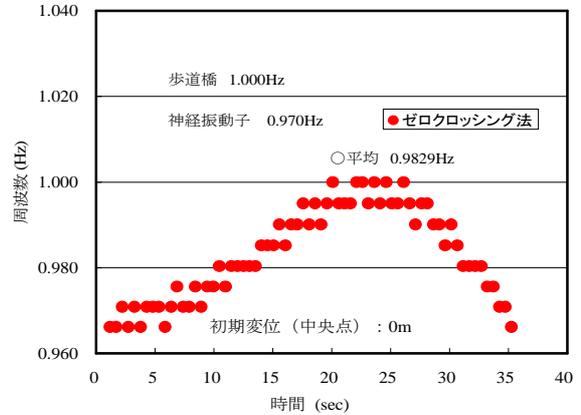


図-2 神経振動子の出力周波数(1.000Hzの歩道橋上を通行する場合)

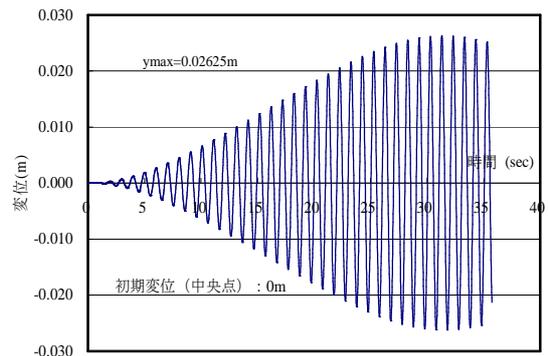


図-3 神経振動子(固有周波数は0.970Hz)を組み込んだ歩行者が歩道橋上を移動する場合の動的応答解析結果

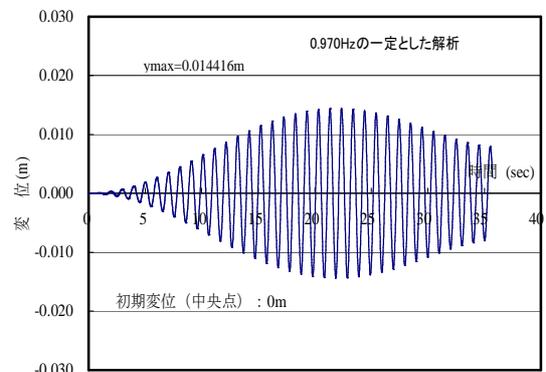


図-4 神経振動子の周波数が0.970Hzのまま変化しないと仮定した動的応答解析結果