

I-12. 充腹断面構造物の流体力学的挙動について

徳島大学工学部	正員	宇都宮英彦
徳島大学工学部	正員	沢田 勉
香川県庁	正員	○天野 拓

1. まえがき

土木構造断面としてよく用いられる矩形断面、H型断面は、一般に充腹断面と呼ばれ、風洞実験によるとその動的応答特性は大きく二つの現象に分類されている。⁽¹⁾一つは、低風速で起こる断面背後の周期渦による風琴振動である。もう一つは、高風速で起こる静的揚力曲線の負勾配に起因すると考えられるギャロッピング振動である。これは、準定常空気力学理論により説明されており、高風速では理論値と実験値が一致することが確かめられている。本研究では循環型水路を用いて実験を行ない、断面形状による流速応答曲線の相違を調べた。同時に、ピトー管、差圧計を用いて後流流速変動の検出、flow visualization法、等により断面回りの流れを調べ、不安定現象のメカニズムを究明することを目的とした。

2. 静止模型に対する Strouhal 数の算定

静止模型の Wake 内に、周期的に発生する Kármán 渦の発生振動数は、次式で示される。

$$f_v = S \frac{V}{D} \quad (1)$$

f_v は、Kármán 渦の発生振動数 (1/sec)、 V は平均流速 (cm/sec)、 D は模型の流に鋭直な長さ (cm) であり、 S が Strouhal 数である。 S は断面形状、迎え角、 Re 数により変化するが、一般に充腹断面では、はく離点が固定しており Re 数には無関係であるとされている。Fig. 1 に各モデルの断面を示す。水路実験における S の値はつぎのようになった。

正方形断面 $S = 0.107$ (2)

長方形断面 $S = 0.08$ (3)

H型 (1:1) $S = 0.11$ (4)

H型 (1:2) $S = 0.10$ (5)



Fig. 1

3. 充腹断面の水路内応答特性

風洞実験と水路実験の相違点はつぎの二点で顕著である。

- (1) 水路実験では、付加質量効果が無視できない。
- (2) 水路実験では、付加的な粘性減衰効果が無視できない。

正方形断面の流速応答曲線を、Fig. 2 に示す。Model A、B の質量パラメーター ($\varepsilon = Z^m / \rho D^2$)、質量減衰パラメーター ($\bar{\varepsilon} = Z^m / \rho D^2 \cdot \delta_0$)、水中固有振動数 (f_0) は、

$\varepsilon_A = 8.036$ $\bar{\varepsilon}_A = 2.39$ $f_0 = 1.98$ (1/sec) (6)

$\varepsilon_B = 15.53$ $\bar{\varepsilon}_B = 2.89$ $f_0 = 1.145$ (1/sec) (7)

である。応答曲線と無次元表示すると両者は一致し、その特性は大きく三つに分類される。flow visualization 法によりその原因を究明した。まず、 $V \div 2$ の近傍の固有振動数で

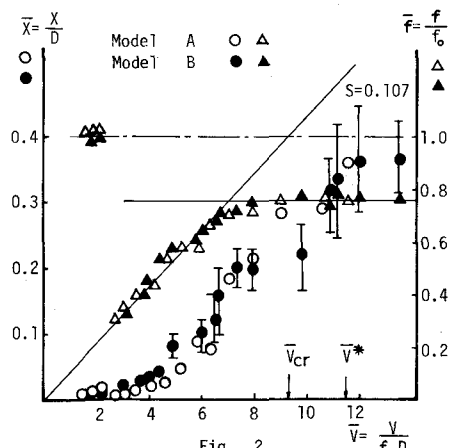


Fig. 2

ゆれる微小振幅振動は、はく離境界層が未発達のため振動糸との相互作用で周期的に側壁に再付着することによる不安定振動である。 $3 < \bar{V} < 7$ の領域は、応答振動数が Strouhal 振動数に一致して流速とともに線形的に増大することにより Kármán 渦による強制振動とみなせ、flow visualization の結果も、相当後流まで明確な Kármán 渦の存在を示していた。 $\bar{V} > 7$ では、準定常理論で示される断面の不安定性に起因するギャロップング振動と考えられる。応答振動数が固有振動数と一致せず $\bar{f} = 0.76$ となる原因は、質量パラメーターが小さいことによると考えられる。準定常理論よりギャロップングの発振流速を求めると、 $\bar{V}^* = 11.5$ となる。

長方形断面の応答特性を Fig 3 に示す。静止模型における Strouhal 数は、 $S = 0.08$ より、周期渦による共振流速は、 $\bar{V}_{cr} = 12.5$ となるが、応答振幅は、 $1/2 \bar{V}_{cr} \approx 6$ 近傍で、ピークを示す。この $1/2 \bar{V}_{cr}$ における渦振動は風洞実験でも確認されておりその原因は不明とされている。⁽²⁾ この原因を、究明するために flow visualization を行なった。Fig 4 に静止模型、Fig 5 に振動模型の結果を示す。静止模型においては、前縁でははく離した境界層は側壁に再付着することなく、Wake に達して周期渦を形成している。しかし振動模型においては静止時と異なり、はく離境界層は振動糸との相互作用により、周期的に側壁に再付着をくり返しており、その結果、周期外力が糸に作用し $1/2 \bar{V}_{cr}$ における渦振動となって現われている。これは、正方形断面における $\bar{V} \approx 2$ の微小振動と同じメカニズムであるが、長方形断面のように afterbody の長い断面では、特に顕著である。

実験結果を用いて 1 自由度振動方程式より変動揚力係数を求めた。正方形断面では、渦外力が最大と考えられる $\bar{V} \approx 7$ において $C_{L5} = 1.5$ 前後の値を示し、変位との位相差は零に近い。長方形断面では、 $1/2 \bar{V}_{cr}$ において $C_{L5} = 0.5$ の最大値をとり、その時の位相差は変位より 90° 進んでおり、渦外力が共振的に作用している。

4. おまけ

以上、充腹断面の流体内部運動は流速の増大とともに大別して 3 つの現象が存在する。

(1) 振動糸との相互作用により、はく離境界層が周期的に再付着することによる渦振動。(2) Strouhal 数で示される Wake における周期渦が強制振動的に作用する渦振動 (3) 流れの非定常性が無視できるギャロップング振動 特に (1) の $1/2 \bar{V}_{cr}$ における渦振動のメカニズムが、flow visualization により究明できたことが、本研究の大きな成果であった。

参考文献

- (1) Scruton, C "On the Wind-Excited Oscillation of Stakes, Towers and Masts" National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex England.
- (2) Novak, M "Galloping and Vortex-Induced Oscillation of Structures" International Wind Conference, 1971, Tokyo.

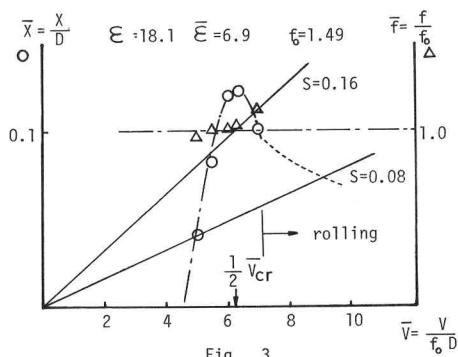


Fig 3

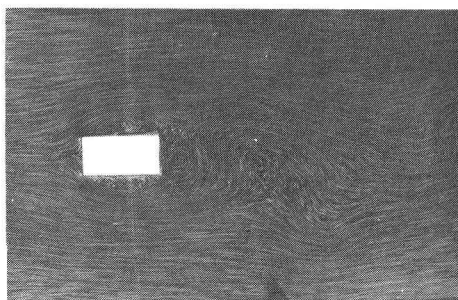


Fig 4

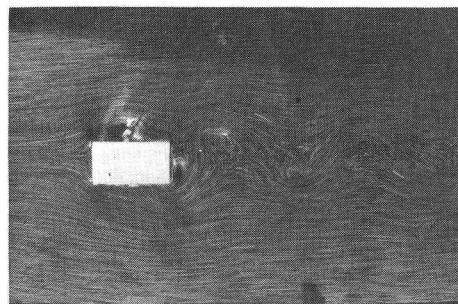


Fig 5