圧力トランスデューサーを用いた開水路底面圧力変動計測に関する精度検証

九州工業大学工学部　学生会員　○白石達郎　　九州工業大学大学院　学生会員　尾関弘明
九州工業大学工学部　学生会員　後藤伸一　　九州工業大学工学部　正会員　鬼束幸樹
九州工業大学工学部　フェロー会員　秋山壽一郎　　九州工業大学工学部　正会員　重枝未玲

1. はじめに

開水路乱流の底面圧力変動を測定する際に，可変リラクタンス圧力トランスデューサーを用いる場合，センサー部とアンプ部を接続するためにフレキシブルなチューブを使用せざるを得ない．チューブは剛体ではないため変形が予測され，検出される圧力の平均値，標準偏差および検出時間への影響が懸念される．

本研究は圧力計に長さの異なる複数のチューブを接続し開水路乱流における底面圧力変動の同時計測を行い，それらの瞬間値を比較しその精度を検証したものである．

2. 実験の概要

用いた圧力計(可変リラクタンス圧力トランスデューサー)には2つの孔があり，1つは大気圧を，もう1つが対象の圧力を計測し，差圧が検出される．圧力計から対象物までは内径4mm，外径6mmのビニールチューブによって接続されている．仮にビニールチューブが圧力変動によって変形するならば，その影響を評価し，補正方法を確立することが求められる．そこで，ビニールチューブの長さが計測精度に及ぼす影響を検討した．

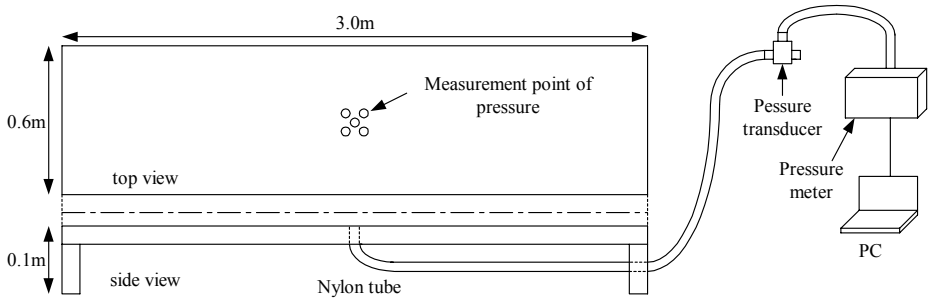

図-1 実験装置

長さ 20.5m，幅 0.6m，高さ 0.6m の水平な水路の底面に，図-1 に示すような長さ 3.0m，幅 0.6m，高さ 0.1m の木製のボックスを設置した．底面には直径 6mm の 5 個の孔が隣接している．それぞれの孔には長さ 2.5，3.0，4.0，5.0 および 10m のビニールチューブが接続されており，末端が圧力計にそれぞれ接続されている．水深が 0.4m の静止状態で長さ 0.4m，幅 0.2m，厚さ 0.01m の板を水路長手方向に振幅 0.3m，振動数 1Hz で振動させた．この振動により底面付近では乱流が発生し，様々なスケールの渦によって圧力変動が発生する．上記の 5 個の圧力計を用いて測定周波数 20Hz，測定時間 51.2s で計測を行った．

3. 結果および考察

図-2に精度検証実験で得られた圧力の時系列を示す．ここに，$\tilde{p}$ は瞬間圧力，t は時間，添字cは精度検証実験，数字はビニールチューブの長さを示し，例えば，$\tilde{p}_{c25}$ はビニールチューブの長さが2.5mの瞬間圧力を意味する．それぞれ異なる変動となっていることが認められる．

図-3にビニールチューブの長さ ℓ と時間平均圧力 P_c および圧力変動の標準偏差 p_c' の関係を示す．ビニールチューブの長さ ℓ が増加しても時間平均圧力 P_c はほぼ一定値を示しているが，標準偏差 p_c' は線形的に減少している．標準偏差 p_c' とビニールチューブの長さ ℓ の関係は次式で求められる．

$$\frac{p'_{ci}}{p'_{c25}} = -0.004\ell + 1.01 \tag{1}$$

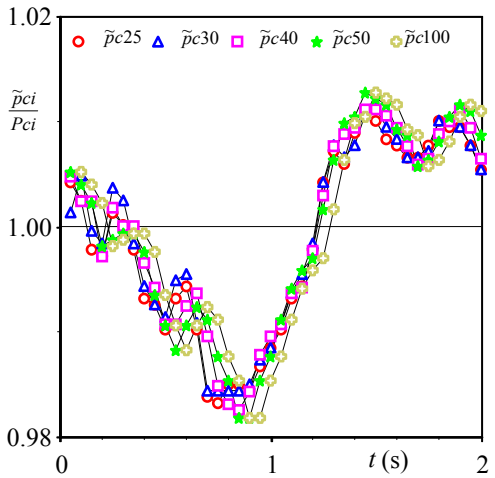

図-2 精度検証実験で得られた圧力の時系列

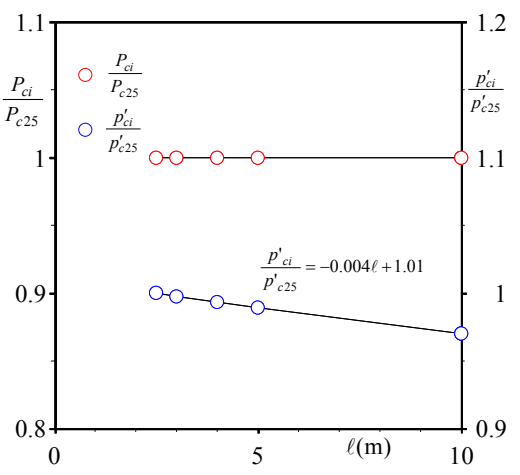

図-3 チューブの長さと平均圧力および標準偏差の関係

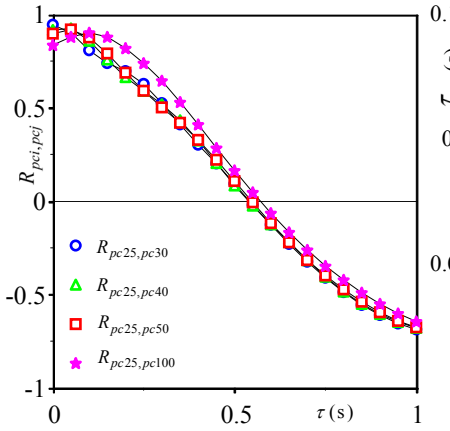

図-4 各圧力の相互相関係数

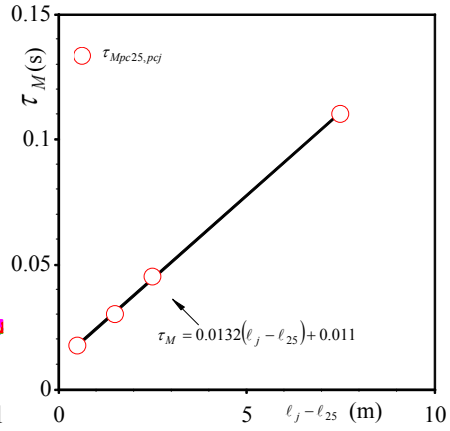

図-5 チューブの長さの差と遅れ時間との関係

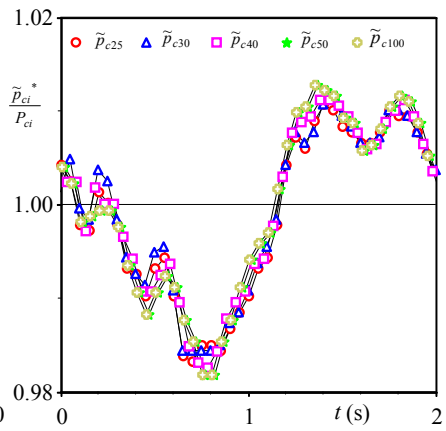

図-6 補正された圧力の時系列

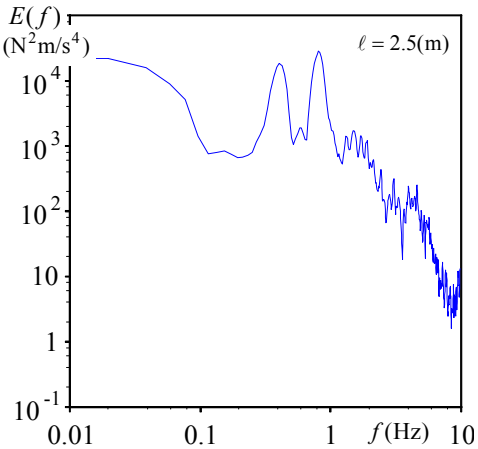

図-7(a) 2.5m のスペクトル

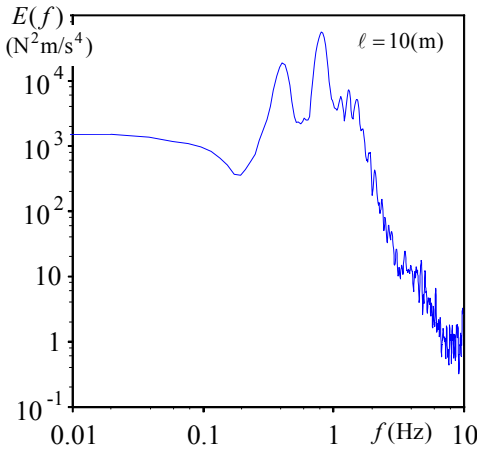

図-7(b) 10m のスペクトル

式(1)を外挿すれば，ビニールチューブの長さ ℓ を0とした場合の標準偏差の推定値 p'_{c00} が得られる．

図-4に各圧力の相互相関係数 $R_{pci,pcj}(\tau)$ を示す．

$$R_{pci,pcj}(\tau) \equiv \frac{\overline{p_{ci}(t) \times p_{cj}(t+\tau)}}{p'_{ci} \times p'_{cj}} \tag{2}$$

ここに，τ は遅れ時間，p_c は時間平均圧力からの変動成分，i は25で，j は任意とした．図-4より相互相関係数が最大値を示す時刻 τ_M がビニールチューブの長さ ℓ に比例して増加していることが認められる．そこで，ビニールチューブの長さの差 $\ell_j - \ell_{25}$ と τ_M との関係を図-5に示す．同図より $\ell_j - \ell_{25}$ と τ_M との関係がほぼ線形的であるため，次式を求めた．

$$\tau_M = 0.0132(\ell_j - \ell_{25}) + 0.011 \tag{3}$$

以上のことから，ビニールチューブの長さが変化しても検出される圧力の平均値は影響を受けないが，変動成分および検出時間は影響を受けること明らかになった．そこで，式(1)および(3)を考慮し，次式のような補正式を提案した．

$$\tilde{p}^*(t) = \frac{\tilde{p}(t - 0.0132\ell + 0.011)}{1 - 0.004\ell} \tag{4}$$

ここに，$\tilde{p}^*$ は補正された圧力の瞬間値である．図-6 に式(4)を用いて補正された圧力の時系列を示す．全ての時系列のデータがほぼ一致しており，式(4)を用いて圧力値を補正すると高精度なデータになることが確認される．

図-7 にチューブ長 2.5 および 10m で得られた圧力変動のスペクトルを示す．両スペクトル形状はほぼ類似しており，また，そのオーダーも類似している．そのため，チューブ長 ℓ に関わらず，低周波から高周波までの圧力変動の計測が良好に行われていると推定される．

4. おわりに

可変リラクタンス圧力トランスデューサーにビニールチューブを接続して圧力を測定する場合，検出される圧力の平均値はビニールチューブの影響を受けないが，標準偏差および検出時間は影響を受ける．そこで，瞬間圧力の補正式を式(4)のように提案した．ここで示した計測装置により低周波だけでなく，高周波な乱流も計測可能なことを示した．