

岐阜市長良川における河川風の現地観測と数値解析

岐阜大学	正会員	吉野 純
岐阜大学	学生会員	○伊藤 寛
岐阜大学	学生会員	浅井駿汰
大日コンサルタント(株)	正会員	飯田潤士
岐阜大学	正会員	小林智尚

1. はじめに

2014年4月の道路法施行令改正, および, 2012年7月の固定価格買取制度(FIT)の開始により, 今後, 橋梁や堤防などの河川周辺の道路施設に対して, 特に, 小型風力発電の導入が進むものと考えられる. 年間平均風速5m/sから発電可能な小型風力発電を導入すれば, イニシャルコストの回収が可能になると期待される. 河川付近には周囲に比べて強い風が吹くことが知られているが, 現状においては, 小型風力発電導入を目的として河川直上で吹く風速を評価した先行研究はほとんど存在せず, 河川風による発電量ポテンシャルについては明確となっていない.

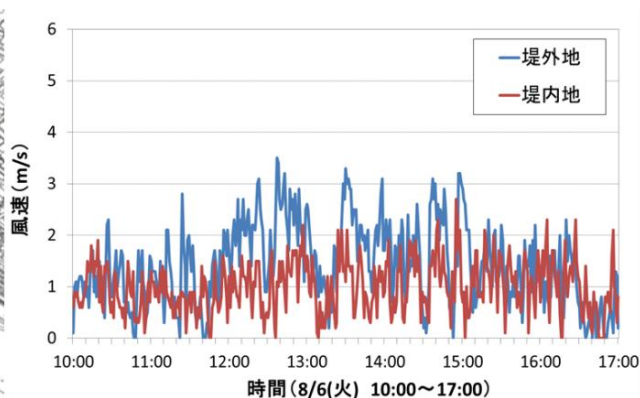
そこで本研究では, 岐阜市内を流れる長良川を対象として, 河川風に関する現地観測および数値解析を行うことを目的としている.

2. 河川風の現地観測

河川風の実態を把握するため, 2015年8月6日の日中に集中的な地上気象観測を長良川の堤外地(忠節橋)と堤内地(木曽川上流河川事務所屋上)にて実施した(図1). 地上気温の観測結果によれば, 正午頃には堤外地では30℃前後, 堤内地では35℃前後となり, 堤外地と堤内地の気温差は4~7℃にも達している. 地表面付近では顕熱フラックスが大きい状態にあり, 河川周辺の空気は強く加熱される. このように加熱された空気は傾斜面上向きの方向に滑昇する流れ, すなわち, 斜面上昇風が卓越するものと考えられる. また, 図2に同6日の風速の時系列について示す. 堤外地のほうが堤内地に比べて風速が大きい傾向があり, 比率で見れば, 堤外地の風速は堤内地の風速は堤内地の風速のおよそ2.5倍に相当している. このような風速差は, 11時半ごろから15時ごろまで継続しており, 特に太陽高度の高い時間帯にそれが顕著となることが明らかとなった.



図1 堤内地および堤外地における観測位置

図2 堤内地および堤外地における風速の時系列
(2015年8月6日)

キーワード 小型風力発電, 河川風, 斜面上昇風, 現地観測, 領域気候モデル MM5

連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻 自然エネルギー研究室
TEL 058-293-2439 FAX 058-293-2431

3. 河川風の理論的考察

日中に斜面を滑昇する風（斜面上昇風）については，定常かつ無限遠斜面を仮定することで次のような定常解を得ることができる（Ku wagata and Kondo, 1989）．

$$u_{\infty} \equiv \bar{u} = C_M^{-1/2} \beta h_{\infty} \quad (1) \quad h_{\infty} \equiv h = \left(\frac{C_M^{1/2} Q_0}{\beta \Gamma \sin \alpha} \right)^{1/2} \quad (2) \quad \beta = \left[\frac{\lambda \Gamma \sin \alpha}{2(1+F)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

ここで，式(1)は斜面上昇風層の平均風速 u を，式(2)は斜面上昇風層の厚さ h を示す．ここで，堤外地（水域を想定）における各種変数（粗度長 $z_0=0.001\text{m}$ ，抵抗係数 $C_M=0.0021$ ，斜面勾配 $\sin \alpha=0.0016$ ，顕熱フラックス $H_0=200\text{W/m}^2$ ，大気安定度 $\Gamma=0.01\text{K/m}$ ）と，堤内地（都市域を想定）における各種変数（ $z_0=1\text{m}$ ， $C_M=0.0049$ ， $\sin \alpha=0.0016$ ， $H_0=200\text{W/m}^2$ ， $\Gamma=0.01\text{K/m}$ ）を設定し，式(1)に代入すると，堤外地の定常風速は $u=8.67\text{m/s}$ ，堤内地の定常風速は $u=3.94\text{m/s}$ と算出される．これらの数値は，観測値に比べてかなり過大評価している．実際には，日の出から日の入りまでの限られた時間の中で，斜面上昇風が発達することから，定常状態を仮定することは妥当ではないと考えられる．そこで，非定常かつ無限遠斜面を仮定すると，斜面上昇風層の平均風速 u と厚さ h を以下の時間発展方程式で表現できる．

$$h \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\lambda \Gamma h^2 \sin \alpha}{2} - \frac{1}{\rho} (\tau_0 - \tau_h) \quad (4) \quad \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{\Gamma h} Q_0 - u \sin \alpha \quad (5)$$

式(4)および式(5)において，日の出から斜面上昇風が発達して，顕熱フラックスのピークとなる正午頃（6 時間頃）に斜面上昇風の風速ピークが生じると仮定すると（その他の条件は上記の通り），図 3 に示す通り，堤外地においては $u=2.77\text{m/s}$ ，堤内地においては風速 $u=1.19\text{m/s}$ となり，図 2 が示す観測値と良い一致を示している．以上の結果より，2015 年 8 月 6 日の現地観測によって見いだされた長良川における河川風は斜面上昇風の理論により精度良く表現できることが明らかとなった．

4. 河川風の数値解析

3次元の領域気候モデル MM5 による河川風の再現計算を行った(Dudhia, 1993)．20km メッシュの気象庁 GSM を初期・境界条件として，5 段階ネスティングにより長良川周辺の 222m メッシュの気象場を再現した．その結果，堤内地においては日中に 34°C 近くまで気温が上昇しており，堤外地においては 29°C までの気温上昇に留まった．堤内地と堤外地の間には 5°C 近くの気温差が生じており，堤外地では河川の影響を受けて気温変化が小さく，堤内地では気温変化が大きいことが明らかとなった．また，図 5 は，2015 年 8 月 6 日の岐阜市忠節橋に最も近い堤外地における 10m 高度の風速と堤内地における風速の時系列を示す．特に堤外地において日射の強い日中に風速が増大する傾向があり，観測でも示されたように堤内地に比べて堤外地において風速が増大することが領域気候モデル MM5 によっても実証された．

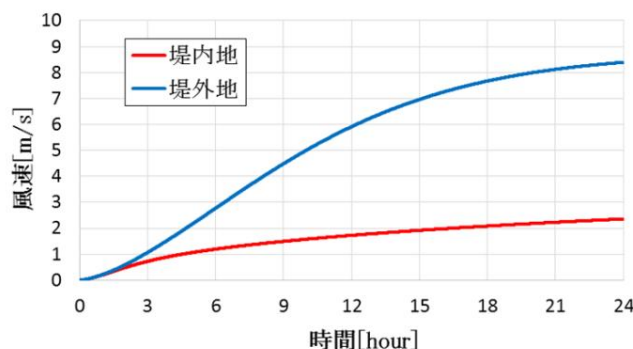


図3 堤外地および堤内地における風速の時間発展

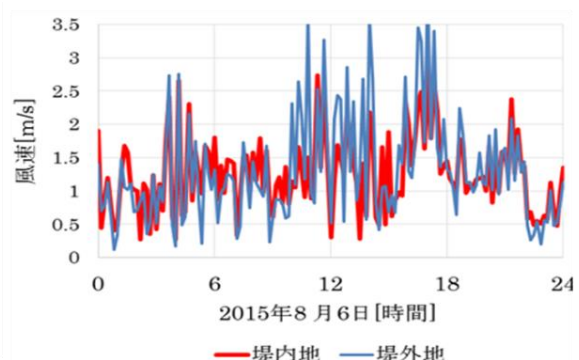


図4 領域気候モデルMM5による風速の時系列図

5. 結語

理論式の導入により，より強い斜面上昇風は，(1)斜面の抵抗係数 C_M が小さい，(2)斜面角度 $\sin \alpha$ が小さい，(3)顕熱フラックス H_0 が大きい，(4)大気安定度 Γ が小さい，といった条件で発達することが明らかとなった．つまり，降水量の少ない夏季において，人工物の少ない河川付近の低平地（堤外地）において，より強い斜面上昇流が発達しやすく，高い風力発電賦存量を有しているものと期待される．