

I - B 341 架設時斜張橋の斜風により生じる水平ガスト応答解析

東京大学大学院工学系研究科 学生員 大原大志 東京大学大学院工学系研究科 正員 木村吉郎
 東京大学大学院工学系研究科 フェロー 藤野陽三 オタワ大学工学部 田中 宏

1. はじめに 架設時斜張橋においては剛性が小さいために対風応答が大きくなることから、架設時のガスト応答により生じる応力が設計において支配的になることがある。架設中の橋桁は自由端を持つ3次元な形状であるため、その空力的な影響などにより橋軸直角方向以外の風（本研究では「斜風」と呼ぶ）によるガスト応答が必ずしも小さくない。実際、既往の風洞実験結果の中には水平偏角が大きくなっても応答値が小さくならないものもある。通常ガスト応答解析は橋軸直角方向の風に対するものであり、斜風時に対する解析法は鉛直応答に対するものが提案されているのみである¹⁾。そこで本研究では、架設時斜張橋を単純化した片持ち梁を対象とし、斜風時の水平ガスト応答解析手法を確立することを目的とした。

2. 斜風時における水平ガスト応答の定式化 架設時斜張橋のガスト応答では橋桁に作用する空気力が支配的であると考え、本研究での解析対象は片持ち梁とする。主塔やケーブルが振動特性におよぼす影響については、モード形状、固有振動数および一般化質量に対して橋梁の動特性に対応する値を用いることにより考慮可能である。主塔やケーブルに作用する空気力の影響については、より正確な予測のために別途考慮する必要がある。x, y 座標を図1のように取ると、変動風速により斜風時に橋軸直角方向に水平に作用する空気力は準定常空気力を用いて、

$$dF(y, \beta, t) = \frac{1}{2} \rho \cdot dS \cdot (U + u)^2 \cdot C_n(y, \beta + \theta(t))$$

$$\approx \frac{1}{2} \rho \cdot dS \cdot U^2 \cdot C_n(y, \beta) \quad \text{と表される。}$$

$$+ \frac{1}{2} \rho \cdot dS \cdot 2U \cdot u \cdot C_n(y, \beta) + \frac{1}{2} \rho \cdot dS \cdot U^2 \frac{dC_n(y, \beta)}{d\beta} \cdot \theta(t)$$

ただし、① $dF(y, \beta, t)$: dS に作用する橋軸直角方向水平空気力、② β : 橋軸直角方向を 0° とし、自由端部方向を正にとった橋軸直角とのなす水平偏角、③ dS : 微小スパン長さ dy あたりの投影面積 ($h \times dy$)、④ ρ : 空気密度、⑤ U : 平均風速、⑥ u : 主流方向変動風速成分、⑦ v : 主流に直角方向水平変動風速成分、⑧ $C_n(y, \beta)$: 橋軸直角方向水平空気力分布を表す定常空気力係数、である。したがって空気力の変動成分、すなわちガスト空気力は $\theta(t) \approx \frac{v}{U}$ として

$$dF(y, \beta, t) = \rho \cdot U \cdot dS \cdot C_n(y, \beta) \cdot u + \frac{1}{2} \rho \cdot U \cdot dS \frac{dC_n}{d\beta} \cdot v$$

と近似される。なお、斜風時に水平方向に振動するモデルに作用する空力減衰については、 $\beta = 90^\circ$ においてはほとんど空力減衰が作用しないと考えられること、また、鉛直方向に振動する物体に作用する空力減衰の変化はほぼ $\cos \beta$ に比例することから、 $\cos \beta$ に比例するものと仮定した。変動風速のパワースペクトルおよびクロススペクトルについては、カルマンの式に基づくことにした。また、抗力に対する空力アドミッタンスとして、Davenport の提案した式をコヒーレンスの形に応じて修正した式を用いた。

定式化したガスト空気力からモード外力のパワースペクトルを計算し、空力減衰を考慮したメカニカルアドミッタンスを用いて応答のパワースペクトルを求めて、r.m.s. 応答を算出した。

3. 風洞実験による空気力分布の推定 以上に示した定式化では、斜風が作用する時の水平ガスト空気力の橋桁

キーワード：水平ガスト応答，斜風，水平偏角，架設時斜張橋

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部橋梁研究室 TEL03-3812-2111(内線 6097)

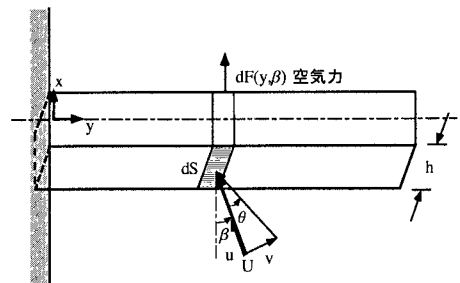


図1 変動風速成分によるガスト空気力

スパン方向の分布を表現するために $C_n(y, \beta)$ を知る必要がある。その推定を目的として、橋桁を単純化した直方体模型軸の直角方向に作用する空気力とヨーイングモーメントを風洞実験で求めた。模型は鋼の丸棒で支持し、サンプリング周波数は 500Hz、測定時間は 60 秒、水平偏角は 10° きざみで -10° から 90° 、測定風速は 10m/s とした。スパン 606mm×幅 80mm×厚さ (h) 20mm の模型に対して得られた値を基に、空気力分布を一意に決められる単純な分布形として一次関数を仮定して $C_n(y, \beta)$ を推定し、解析に用いた。

4. 解析結果 既往の風洞実験を対象に斜風により生じる架設時斜張橋の水平ガスト応答を解析した。解析では最低次モードのみを考慮した。風洞実験結果よりも解析結果の方が全体的に値が小さくなったが、これは長大斜張橋ではケーブルの投影面積が桁のその 40~70% 程度と大きく、ケーブルに作用する抗力の影響も無視できないためと考えられる。図 2 に示すように Normandy 橋²⁾、図 3、図 4 に示す多々羅大橋³⁾では、水平偏角による応答の変化の傾向に関して橋軸直角以外の風でも応答がさほど小さくならない傾向をほぼ再現できている。一方、Kao Ping Hsi 橋⁴⁾、図 5、図 6 に示した名港中央大橋⁵⁾では、水平偏角が大きい場合に実験値は大きくなり続けるまたはほとんど変化しないが、解析結果は小さくなるために両者は一致しない。このような差異を生じた原因の一つとしてガスト空気力分布の形状の影響が考え、分布形状を 1.5 次および 2 次関数と仮定した解析も行った（図 7）。解析結果は空気力係数の分布形状に大きく影響されている。

5. まとめ 本研究で定式化した斜風による水平ガスト応答解析は対象をかなり単純化しているものの、水平偏角の違いによる応答の大きさの変化の傾向について、既往の風洞実験結果の傾向をおおむね表現できたと考えている。今後は作用する空気力分布や空力減衰についてさらに詳細な測定を行い解析に反映させていくこと、またケーブルや架設機材に作用する空気力が応答に及ぼす影響の検討することなどが必要である。

謝辞 実験結果を使用させていただいた本州四国連絡橋公団に感謝いたします。

参考文献 1)木村吉郎・田中宏：土木学会論文集 No.471/I-24, pp.95-104, 1993. 2) Danish Martine Institute: Report 92168, 1993. 3)本州四国連絡橋公団：多々羅大橋風洞試験(その5)報告書, 1989. 4) Danish Martine Institute: Report 92159.01 and 92159.03, 1993. 5)Akihiro Honda and Tetsuji Ohta: Bridge Assessment Management and Design, pp.61-66, 1994.

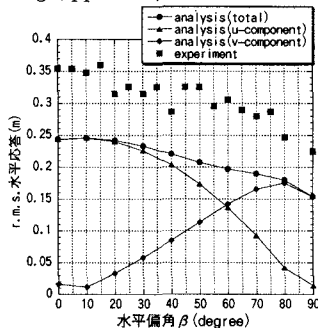


図 2 Normandy 橋 $U=44\text{m/s}$

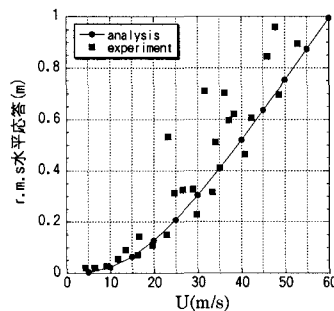


図 3 多々羅大橋 $\beta=10^\circ$

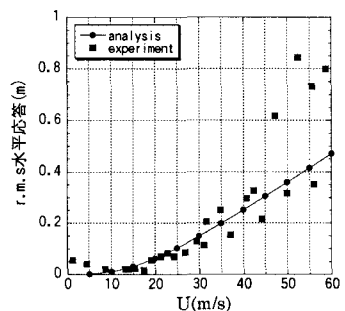


図 4 多々羅大橋 $\beta=90^\circ$

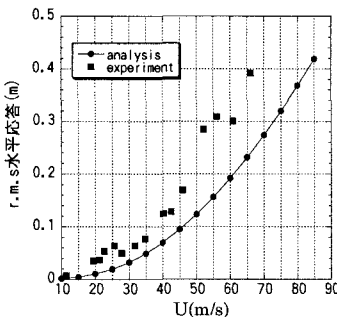


図 5 名港中央大橋 $\beta=30^\circ$

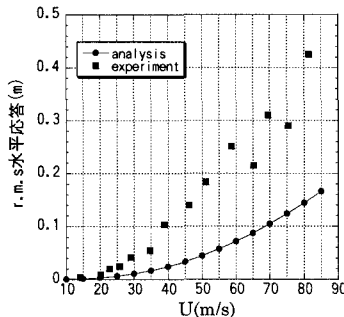


図 6 名港中央大橋 $\beta=90^\circ$

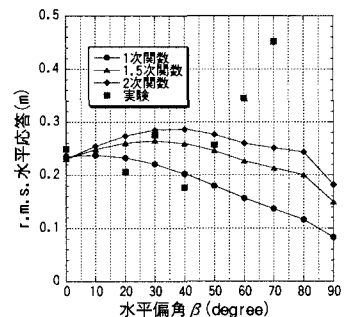


図 7 Kao Ping Hsi 橋 $U=64\text{m/s}$