

H型構造断面の静的空力モーメントおよび振れフラッター振動 に対する乱流効果に関する周波数効果についての実験的研究

京都大学大学院 学生員 ○伊藤裕一
京都大学工学部 正 員 白石成人

京都大学工学部 正 員 松本 勝
住友金属工業(株) 正 員 湯川雅之

1. まえがき 実際の構造物に作用する自然風は、時間的・空間的に乱れを有する境界層乱流を形成している。そのため、この気流の乱れが各種空力現象に及ぼす影響（乱流効果）を明らかにすることは、構造物の空力挙動に対する安全性を、より現実に近い形で評価できるという点で、非常に重要なことと考えられる。

従来、乱流効果に関する研究では、乱流特性を表すパラメータとして、主に乱れの強さや乱れのスケールが、用いられて来たが、本研究では乱流を様々な周波数を持つ流れの集合体であると考え、格子乱流における空力諸特性と、脈流（主流方向にわずかな単一周周期変動を有する気流）中における空力諸特性を対比することにより、乱れの周波数効果について検討を加える。

2. 静的空力モーメント特性

a) $B/D=3$ H型断面 Fig. 1 に、一樣流、乱流中における迎角—モーメント係数曲線を示す。図より明らかなように、乱流中において、モーメント係数勾配の絶対値 $|dC_M/d\alpha|$ が大きくなる傾向を示している。ここで、断面辺長比 B/D (B : 幅員, D : 桁高) が 3、4、5 と大きくなるに伴い $|dC_M/d\alpha|$ が大きくなるが、中村らによって明らかにされていることから、乱流は、連行作用を促進することにより、見かけ上断面辺長比を伸ばしたような効果をもたらし、 $|dC_M/d\alpha|$ を大きくしたものと考えられる。一方 Fig. 2 に、脈流中におけるモーメント係数曲線を示す。図より明らかなように、高周波の脈流中 ($fpD/U=0.40, 0.50$) で、 $|dC_M/d\alpha|$ が大きくなる傾向を示す。この特性は、乱流の特性と類似したものである。

以上、この $B/D=3$ H型断面の空力ピッチングモーメントに対しては、乱流効果として、高周波数成分の変動が重要な働きをしているものと考えられる。

b) $B/D=9.4$ H型断面 Fig. 3 に、一樣流、乱流中における迎角—モーメント係数曲線を示す。一樣流中において負の値であったモーメント係数勾配が、全ての乱流中において正の値に変化しており、乱流がこの断面のモーメント係数に与える影響は、非常に大きいことが伺われる。この傾向は、乱れの強さの増加にともない著しくなる。また乱れの強さがほぼ等しい乱流 (I-1) と乱流 (II-3) を比較すると、比較的低周波数成分のパワーが大きい乱流 (I-1) の方が、モーメント係数の値が大きくなっているようである。

一方 Fig. 4 に、脈流中における迎角—モーメント係数曲線を示す。脈流無次元周波数が剥離せん断層の不安定性増幅領域に相当する、この断面の臨界周波数 $fpD/U=0.25$ に近づくに従い、乱流中の特性に似た傾向を示し、モーメント係数勾

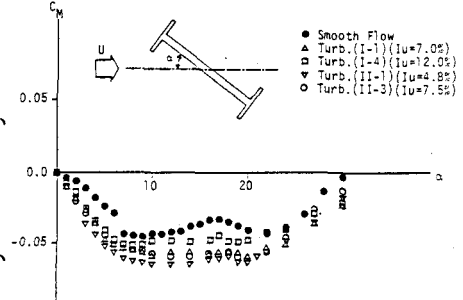


Fig. 1 迎角—ピッチングモーメント係数曲線 ($B/D=3$ H型断面, 乱流中)

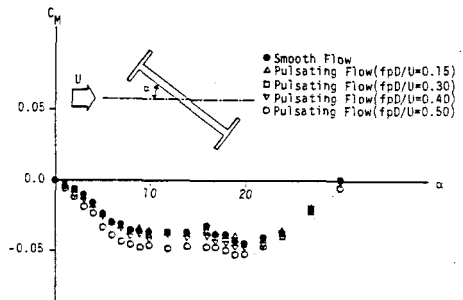


Fig. 2 迎角—ピッチングモーメント係数曲線 ($B/D=3$ H型断面, 脈流中)

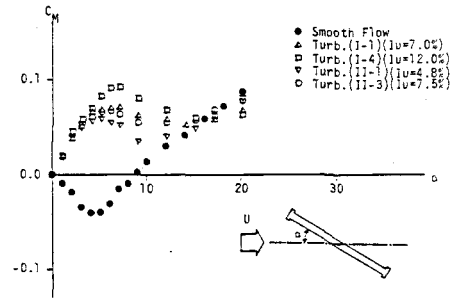


Fig. 3 迎角—ピッチングモーメント係数曲線 ($B/D=10$ H型断面, 乱流中)

Yuichi ITO Masaru MATSUMOTO Naruhito SHIRAIISHI Masayuki YUKAWA

負の値から正の値に移行する。しかし、さらに脈流無次元周波数が大きくなると、その傾向は弱まる。すなわち、この断面の空力ピッチングモーメントに対する乱流効果としては、いわゆる臨界周波数を有する変動成分が、大きく貢献しているものと考えられる。

3. 断面辺長比と非定常空気力係数 A_2^* 特性 断面辺長比と、R. H. Scanlanの提唱した非定常空気力係数 A_2^* との関係を、一様流及び乱流II-4($I_u=12\%$)、II-1($I_u=4.8\%$)中において測定した。ここで A_2^* は、全て無次元風速 $U/fB=7.5$ における値である。測定結果をFig. 5に示す。図より明らかなように、一様流中において、 $B/D=5.5$ H型断面の A_2^* が最も大きくなり、ピーク値を示している。

乱流II-1($I_u=4.8\%$)が、各断面の非定常空気力係数 A_2^* に与える影響は、連行作用の促進により、見かけ上、断面辺長比を伸ばしたような効果となって現れている。すなわち、一様流中で A_2^* の値が最大となる $B/D=5.5$ 断面より鈍い($B/D<5.5$)断面では、乱流中で A_2^* の値が大きくなり、不安定化傾向を示す。これに対し、 $B/D=5.5$ 断面より偏平な($B/D\geq 5.5$)断面では、乱流中で A_2^* の値は小さくなり、安定化傾向を示すことが認められる。一方、乱れの強さの大きい乱流II-4($I_u=12\%$)中では、一様流よりも不安定化を示す断面は、 $B/D=3, 3.2$ の2断面だけであり、乱流II-1とは若干異なった結果が得られている。これは、乱れの強さの増加にともない、乱流のスパン方向のcoherenceが低下することにより現れた特性と判断される。

Fig. 6に、一様流と2種類の脈流、すなわち、それぞれの断面の剝離せん断層の不安定性を強く増幅する、いわゆる臨界周波数を持つ脈流と、高周波数の脈流($fpD/U=0.8$)中における、断面辺長比と非定常空気力係数 A_2^* の関係を示す。脈流が、各断面の非定常空気力係数 A_2^* に与える影響は、乱流II-1($I_u=4.8\%$)が A_2^* に与える影響と類似している。しかし、その影響が顕著に現れる脈流は、断面辺長比により異なる。すなわち、比較的鈍い断面($B/D<5.5$)には、臨界周波数を有する脈流は、ほとんど影響をもたらさないのに対し、高周波($fpD/U=0.8$)の脈流は大きな影響力を表し、不安定化効果を促す。一方、比較的偏平な断面($B/D\geq 5.5$)には、臨界周波数を持つ脈流、高周波数の脈流ともに影響力を有しており、2つの効果が存在しているようである。しかし、その程度は臨界周波数を持つ脈流の方が大きい。

4. 結論 乱れの周波数効果としては、次の2つの周波数領域が大きな影響力を有していると考えられる。一つは、剝離せん断層の不安定性増幅領域(臨界周波数)を超える高周波数領域であり、もう一つは、剝離せん断層の不安定性を強く増幅する周波数領域(臨界周波数)である。そして、前者は、比較的鈍い物体に対し大きな影響をもたらす、連行作用促進効果を強める。一方、後者は、比較的偏平な断面に対し大きな影響力を有することが明らかになってきた。さらに、臨界周波数を超える高周波数成分の気流変動は、連行作用を促進するという意味で、小スケール効果と、剝離せん断層の不安定性増幅領域(臨界周波数)の気流変動は、渦放出などの非定常特性に影響をもたらすという意味で、大スケール効果と対応づけられる。

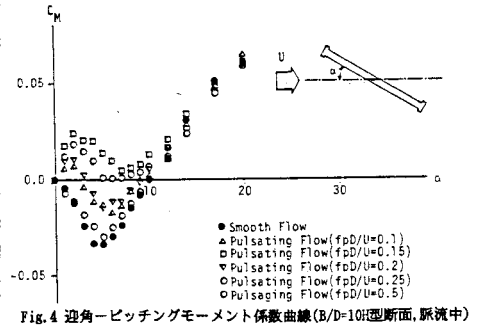


Fig. 4 迎角-ピッチングモーメント係数曲線 ($B/D=10$ H型断面, 脈流中)

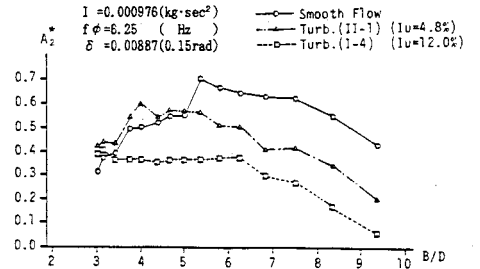


Fig. 5 断面辺長比と非定常空気力係数 A_2^* 特性(一様流および乱流, $U/fB=7.5$)

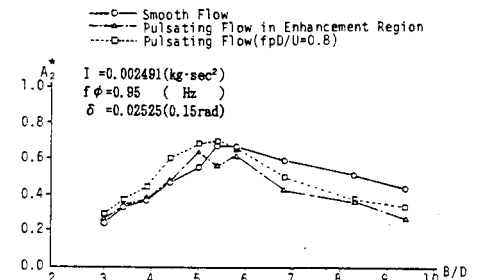


Fig. 6 断面辺長比と非定常空気力係数 A_2^* 特性(一様流および乱流, $U/fB=7.5$)