

I-381

振れフラッターに対する乱れの周波数・気流変動効果に関する考察

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、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、H型構造断面における静的空力モーメントと振れフラッターを取り上げ、格子乱流中と、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=3H型断面 Fig. 1 に示す、一樣流、乱流中における迎角-モーメント係数曲線より、乱流中においてモーメント係数勾配の絶対値 $|dC_M/d\alpha|$ が大きくなる傾向が見られる。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 $|dC_M/d\alpha|$ が大きくなること、中村らによって明らかにされていることから¹⁾、乱流は、連行作用の促進により、見かけ上断面辺長比を伸ばし、 $|dC_M/d\alpha|$ を大きくしたものと考えられる。一方 Fig. 2 に示す、脈流中におけるモーメント係数曲線より、高周波の脈流($fpD/U=0.40, 0.50$)中で、乱流中の特性と類似した $|dC_M/d\alpha|$ が大きくなる傾向が見られる。すなわち、この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=9.4H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伴い著しくなる。また乱れの強さがほぼ等しい乱流(I-1)と乱流(II-3)では、比較的低周波数成分のパワーが大きい前者の方が、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、この断面の剝離せん断層の不安定性増幅領域に相当する、臨界周波数 $fpD/U=0.25$ に近づくに従い、

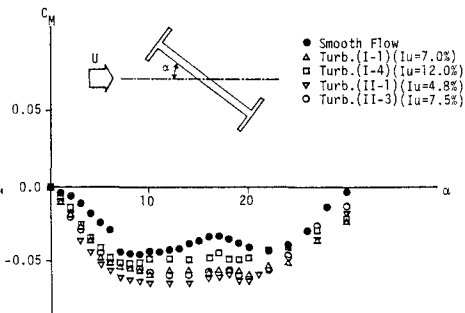


Fig. 1 迎角-ピッチングモーメント係数曲線(B/D=3H型断面, 乱流中)

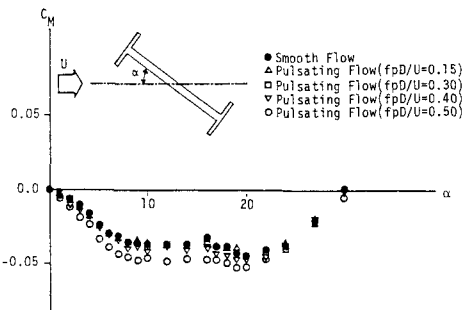


Fig. 2 迎角-ピッチングモーメント係数曲線(B/D=3H型断面, 脈流中)

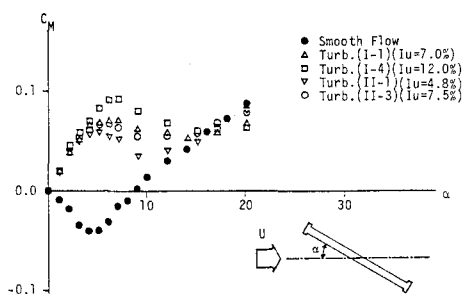


Fig. 3 迎角-ピッチングモーメント係数曲線(B/D=10H型断面, 乱流中)

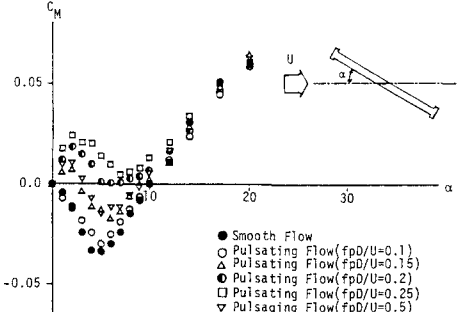


Fig. 4 迎角-ピッチングモーメント係数曲線(B/D=10H型断面, 脈流中)

乱流中の特性に似た傾向を示し、モーメント係数勾配が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力係数 A_2^* 特性 無次元風速 $U/fB=7.5$ における、断面辺長比と、R. H. Scanlan の提唱した非定常空力係数 A_2^* との関係を、一様流及び乱流 $I-4$ ($Iu=12\%$), $II-1$ ($Iu=4.8\%$) 中において測定した結果を Fig. 5 に示す。 A_2^* の値の大小は、振れフラッターの励振力の大小に対応する。測定結果より明らかなように、一様流中では $B/D=5.5$ 断面の A_2^* が最大となり、ピーク値を示している。

乱流 $II-1$ ($Iu=4.8\%$) が、各断面の非定常空力係数 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、 $B/D=5.5$ 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、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。ただ偏平な断面である $B/D=9.4$ 断面のモーメント係数勾配は、乱流で正の値を示したが、振れフラッターは乱流中においても発現しており、偏平な断面の振れフラッターの発現機構は、流れの遅れの効果など非定常的要素が強いものと思われる。この点に関しては、別途測定された、振動変位に対する断面後縁の変動圧力の位相遅れが、非常に大きいことによっても確認できる。

一方、乱れの強い乱流 $I-4$ ($Iu=12\%$) 中では、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 ($f_p D/U=0.8$) 中における、断面辺長比と非定常空力係数 A_2^* の関係を示す。脈流が、各断面の非定常空力係数 A_2^* に与える影響は、乱流 $II-1$ ($Iu=4.8\%$) 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 ($f_p D/U=0.8$) の脈流は大きな影響力を示し、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、両者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し、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。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、また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な特性に影響をもたらすという意味で、大スケール効果とそれぞれ対応づけられる。

参考文献 1) 中村泰治 他, "矩形およびH型断面柱の空力3分力特性について", 九州大学応用力学研究所所報, 第40号, 昭和48年

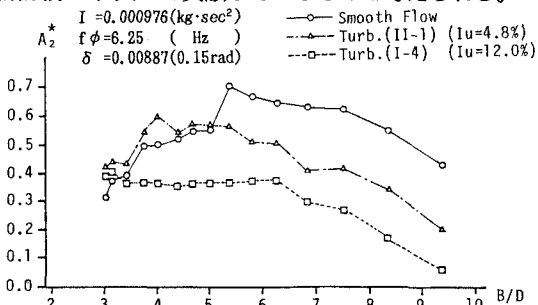


Fig. 5 断面辺長比と非定常空力係数 A_2^* 特性 (一様流および乱流, $U/fB=7.5$)

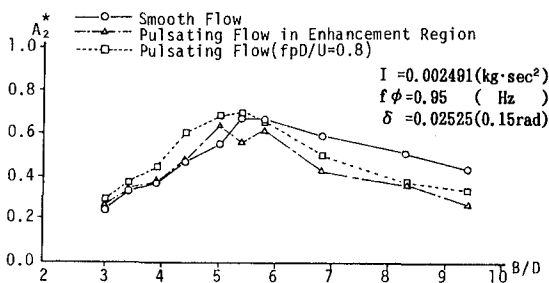


Fig. 6 断面辺長比と非定常空力係数 A_2^* 特性 (一様流および脈流, $U/fB=7.5$)