

I-212 角柱の風琴振動に関する一考察

東京大学 正員 ○ 宮田 利雄
 東京大学 正員 小栗 英和
 東京大学 正員 大竹 寛治

充腹断面柱の渦の発生にともなう風琴振動に関しては古くから多くの研究が重ねられてきた。振動の発生機構については、これを強制振動ととらえるか、あるいは自励振動と考えるか、両者の合わせつたものと見るべきであるとかの論議がある。ここでは、風琴振動がすなわちに発生する、断面比1:2の長方形断面柱を選び、その振動応答と非定常空気力の関係を見、振動発生に関する一つの考察結果を示すこととする。

◆風琴振動の構造減衰率との関係◆ 風琴振動の振動応答が構造減衰率 ζ_0 の影響をうけて振幅が変化することはよく知られている。断面比1:2の長方形断面柱の部分模型を水平に、バネを介して弾性支持し、種々の構造減衰率に対して振動応答を観測した。図1はその実験結果であるが、横軸は換算風速 $U_r = U/\zeta_0 D$ 、縦軸は片振幅 Z_0 と断面高さ D の比 Z_0/D ととり、構造減衰率をパラメータとして示してある。これはよく見なれた応答図であるが、 $\zeta_0 = 0.063$ (対象減衰率)において早や振動は発生しない。 ζ_0 の下限を実験装置の制約から0.015以下に成し得なかったため、これより小さい場合の挙動についてはわからない。図2は特定の換算風速における振幅比と構造減衰率の関係を見るものである。この実験での固有振動数は $N_0 = 5.16 \text{ Hz}$ であったが、振動数はこの値に近い。

◆風琴振動発生域の非定常揚力と振動振幅の関係◆ 風琴振動を発生せしめる外力には、振動と直接に関係しない強制外力(渦の発生に原因する成分)と振動に原因する自励力がある、この二つの力が換算風速、振動振幅、構造減衰率に応じて複雑に作用するであろうことは想像に難くない。図3は、いわゆる強制振動法によって、風琴振動が発生する換算風速域前後について、種々の振動振幅に対して非定常揚力を測定したが、その速度に比例する虚部 L_I 成分を示す。このとき空気力係数は揚力を

$$L = \pi \rho D^3 \omega^2 [L_R + i L_I] e^{i\omega t} \quad (1)$$

と求めていく。図4から、振動振幅比 $Z_0/D = 0.19$ の場合に、わずが $U_r = 5$ 付近にて L_I が正(負減衰)となることがわかるが、これより大きい振幅では L_I は常に負となると考えられる。図4は、特定換算振動数における L_I の振動比に対する変化の状態を見るものである。図に例示した換算風速では、図1に見るように、比較的大きい振幅が観測されており、これらの場合には、渦の発生が振動に規制される、いわゆる Locking-in 現象を生じていると見られる。このとき、作用外力は自励力成分、すなわち非定常力が卓越していると考えられる。

◆非線形非定常力による風琴振動の記述◆ 非定常揚力の虚部 L_I が図4に示すようであり、しかもこれが振動振幅の三次曲線、すなわち

$$L_I = C Y (Y^2 - Y_1^2), \quad C < 0, \quad Y = Z_0/D \quad (2)$$

によって表わされるとすると、振動振幅は各換算風速について

$$Y^2 = Y_1^2 \left[1 - M_0(U_r) \frac{S_0}{|C| Y_1^2} \right] \quad (3)$$

と書ける。ここで、 M_0 は質量比を表わす量である。(3)式から、図4に示すような振幅比と構造減衰率の関係が求められることは興味深いことである。

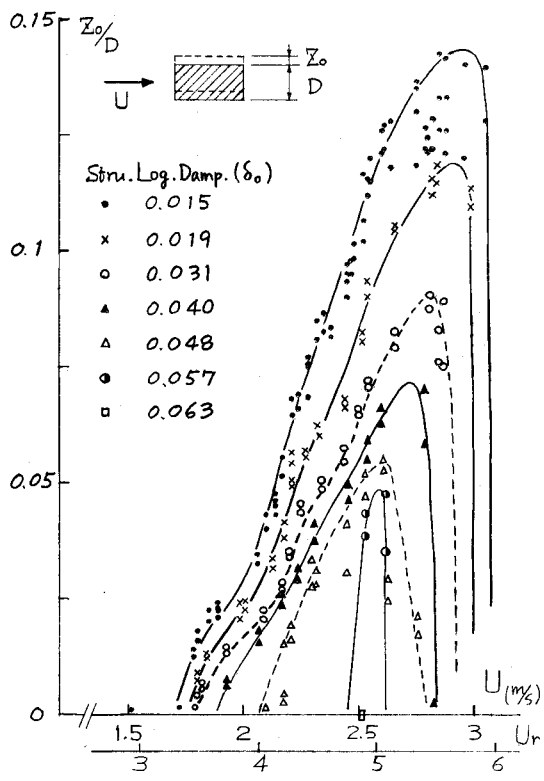


図1 長方形柱の風琴振動応答と構造減衰率

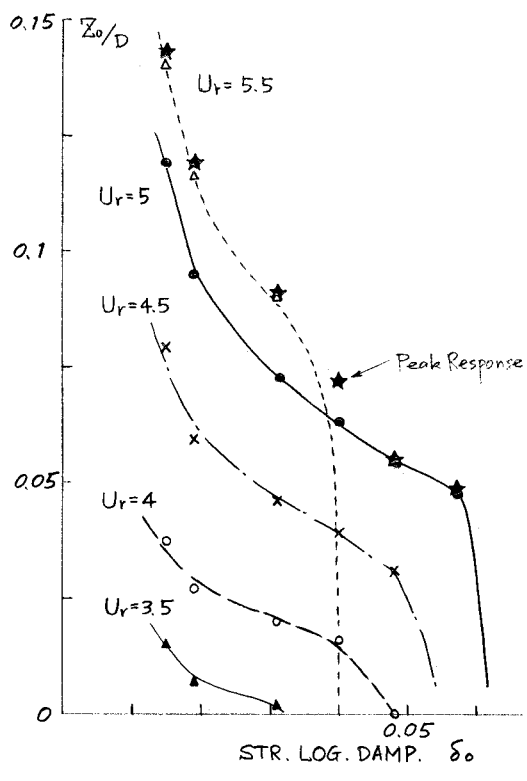


図2 特定換算風速における振幅と減衰率の関係

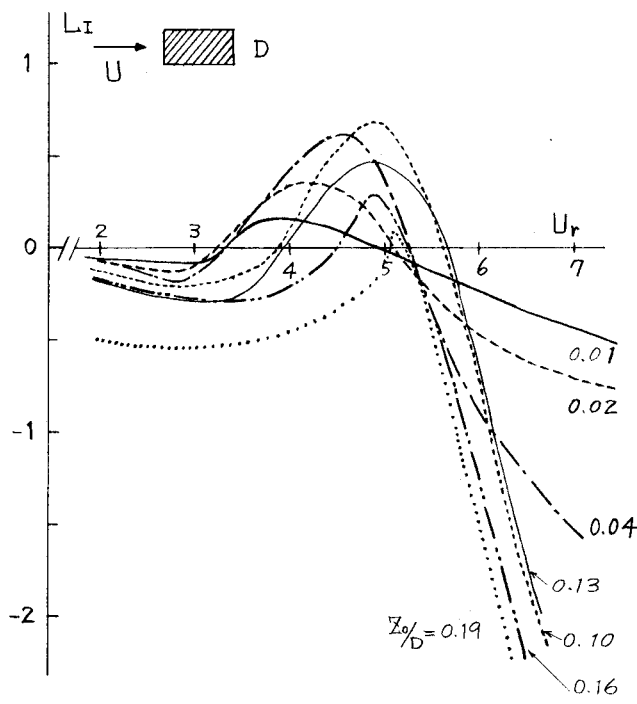


図3 風琴振動の非常揚力の虚部と振動振幅の関係

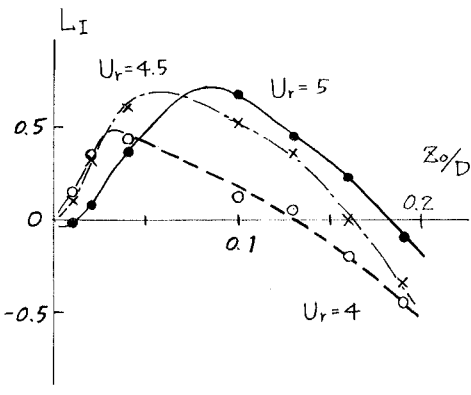


図4 特定換算風速における振幅と非常揚力の虚部の関係