

矩形断面柱の空力特性とレイノルズ数との関係について

九州工業大学工学部 学生員 周 建芹 九州工業大学工学部 正 員 久保喜延
九州工業大学工学部 学生員 落田健太郎 九州工業大学工学部 学生員 前田 博

1. まえがき

経済発展によって長大橋に対する社会的な要求が高まりの一途を辿っている。最近では2000mを超えるような超長大橋までも計画されている。超長大橋は構造的には非常に可撓性に富んでいるため、風による影響が設計における決定的な要素になってきた。現在では耐風設計は、まだ風洞実験に依存する段階にある。風洞実験時、模型と実橋の現象が力学的に同一の現象であるようにするFroude, Reynolds数の相似則は同時に満足させることは極めて困難であるため、曲面を有しない流れの剥離点がほぼ一定している構造物に対して、Froude数相似則だけを適用することになっている。しかし、過去の実験結果から同一の断面形状であっても、模型の縮尺率によって応答特性が異なる場合に遭遇した。このような現象の原因がRe数の影響によるものではないかという見地から、流れの剥離点が変わらないとされている矩形基本構造断面柱について、渦励振と直接結びつくストローハル数効果に着目して検討した。得られたRe数効果をもとに二次元矩形断面柱を用いて模型の応答特性に及ぼすRe数の影響について検討を行った。

2. 実験概要

本実験では、Re数の幅広い範囲にわたる後流渦のSt数の変化を測定するため、図1に示すような長さ $L=34\text{cm}$ 、高さ $D=2\text{cm}$ 、断面比 $B/D=1, 2, 4$ (以下A組)の矩形断面柱と長さ $L=85\text{cm}$ 、高さ $D=5\text{cm}$ 、断面比 $B/D=1, 2, 4$ (以下B組)の矩形断面柱の二組の模型を用いて実験を行った。二組の模型はそれぞれ測定断面が $40\times 40\text{cm}$ と $107\times 107\text{cm}$ の小型風洞と中型風洞を使用した。風洞閉塞率はともに5%以下におさめている。後流渦の周波数は図1に示すように模型中心からの距離 $X/D=5.5\sim 15.0$ 、 $Y/D=1.5$ 位置に挿入した熱線プローブにより速度変動を検出し、周波数解析器により測定した。二次元矩形断面柱の応答特性実験ではA組の模型を利用してその模型に強さの違うバネを取り替えてつけることにより、それぞれのRe数が違う領域で渦励振を誘起させた。

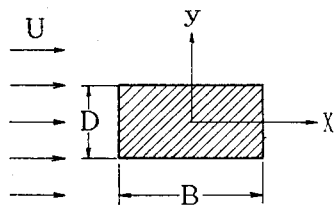


図1. 矩形断面柱模型

3. 実験結果

1) 矩形断面柱のSt数

図2はそれぞれ $B/D=1, 2, 4$ の矩形断面柱のRe数とSt数との関係を示したものである。○形と△形はそれぞれ小型風洞と中型風洞での実験結果を示している。図2(a)は $B/D=1$ の場合におけるRe数とSt数の関係を示したものである。図から見れば、St数は約0.135でほぼ一定値を示している。また、全風速域にわたって後流速度変動の卓越スペクトル成分は単一の鋭いSt数成分のピーク値を示している。二つの風洞でのRe数が重複した範囲では小型風洞のSt数は中型風洞のSt数よりごくわずかに大きいだけである。

図2(b)は $B/D=2$ の場合におけるRe数とSt数の関係を示したものである。 $Re<16000$ の範囲では後流速度変動の卓越スペクトル成分のSt数が二つの鈍いピーク値を示している。しかも、二つの卓越St数ピーク値がRe数の増加に伴って、変動することがみられる。 $Re>16000$ 範囲では卓越スペクトル成分のSt数が一つの鈍いピーク値に変わり、 $St=0.08$ でほぼ一定値を示している。二つの風洞のRe数の重複した範囲ではそれぞれのSt数がよい一致を示している。

図2(c)は $B/D=4$ の場合におけるRe数とSt数の関係を示したものである。中型風洞の実験結果では、全風速域にわたって $St=0.14$ でほぼ一定の値を示している。後流速度変動の卓越スペクトル成分は単一の鋭いSt数成分のピーク値を示している。小型風洞のSt数は中型風洞のSt数よりやや大きい。しかも、Re数の増加に伴って変動することがみられる。

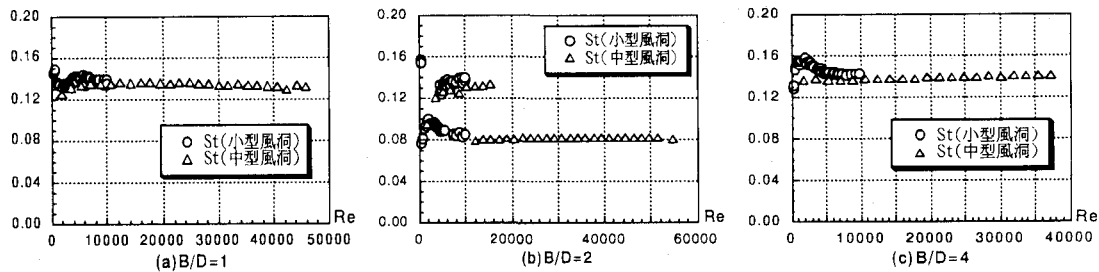


図2. 種々の辺長比の矩形断面柱におけるレイノルズ数とストローハル数の関係

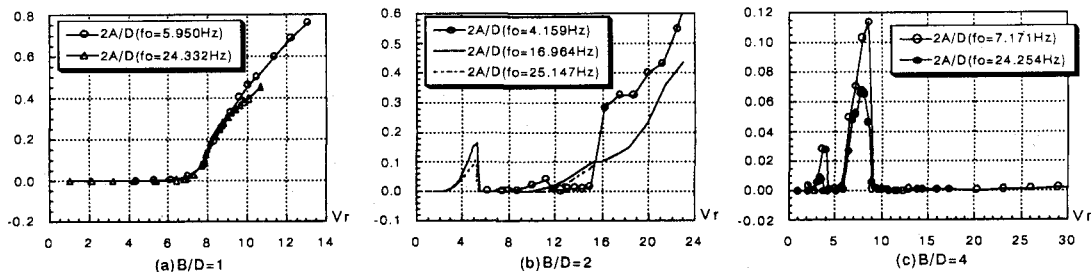


図3. レイノルズ数が異なる場合の種々の辺長比の矩形断面柱における応答

2) 矩形断面柱の応答特性

図3はそれぞれ $B/D=1, 2, 4$ の矩形断面柱の換算風速 V_r ($V_r=V/(f_0 \cdot D)$, V は風速, f_0 は二次元模型の固有振動数, D は模型断面の高さ)と無次元倍振幅 $2A/D$ (A は模型の片振幅)の関係を示したものである。図3(a)は $B/D=1$, 模型固有振動数がそれぞれ $f_0=5.950\text{Hz}$ (A1ケース)と $f_0=24.332\text{Hz}$ (A2ケース)の場合における換算風速と無次元倍振幅の関係を示している。A1ケースとA2ケースとの二つの応答曲線がほぼ一致して、渦励振の発振風速も共に $V_r=7.4$ で、図2(a)の $St=0.135$ の逆数7.4とよく一致している。 $B/D=1$ の模型の構造減衰が小さいので、渦励振からそのまま自励振動に変わることが分かった。ちなみに、渦励振発振風速時の Re 数はA1ケースにおいては $Re=1100$ で、A2ケースにおいては $Re=4500$ である。このことより、 $B/D=1$ の矩形断面柱に対して、渦励振発振風速が Re 数の影響を受けないことが分かった。

図3(b)は、 $B/D=2$, 模型固有振動数がそれぞれ $f_0=4.159\text{Hz}$ (B1ケース)と $f_0=16.964\text{Hz}$ (B2ケース)と $f_0=25.147\text{Hz}$ (B3ケース)の場合における換算風速と無次元倍振幅の関係を示している。B1ケースの換算風速と無次元倍振幅の曲線はB2、B3ケースと合っていない。ただし、B1ケースにおいては、 $V_r=10.5$ (対応している Re 数は1100)の所に一個の渦励振発振風速が見られて、図2(b)の $St=0.095$ の逆数の10.5と一致している。B2ケースとB3ケースの応答曲線の変化の傾向がよく一致している。図2(b)の $St=0.135$ と0.9に対応して、換算風速 $V_r=7.4$ と11.5の所には渦励振発振が見られる。ただし、 $V_r=7.4$ の所の渦励振が図3(b)からは判別しにくい。また、 $V_r/2$ ($V_r=7.4$)の所に渦励振がみられる。このことより、 $B/D=2$ 矩形断面柱においては、 St 数が Re 数の影響を受けることによって、渦励振発振風速も Re 数の影響を受けることが分かった。

図3(c)は $B/D=4$, 模型固有振動数がそれぞれ $f_0=7.171\text{Hz}$ (C1ケース)と $f_0=24.254\text{Hz}$ (C2ケース)の場合における換算風速と無次元倍振幅の関係を示している。C1ケースとC2ケースの応答曲線の変化の傾向が一致している。このことより、渦励振発振風速は Re 数の影響を受けないことが分かった。また、換算風速 $V_r=6.4$ とその $V_r/2=3.2$ の所に渦励振発振が見られる。図2(c)の $St=0.15$ の逆数6.7にほぼ対応している。

4. まとめ

- 1) 矩形断面柱においては、渦励振発振風速は $1/St$ の値に等しいことが確認された。
- 2) St 数が Re 数の影響を受けるとき、渦励振発振風速も同じようにその Re 数の影響を受ける。従って、応答特性実験は St 数の安定する Re 数領域で行うべきであると考えられる。