

風洞実験法概論

田中 洋



テーマ 長大橋梁の風洞実験

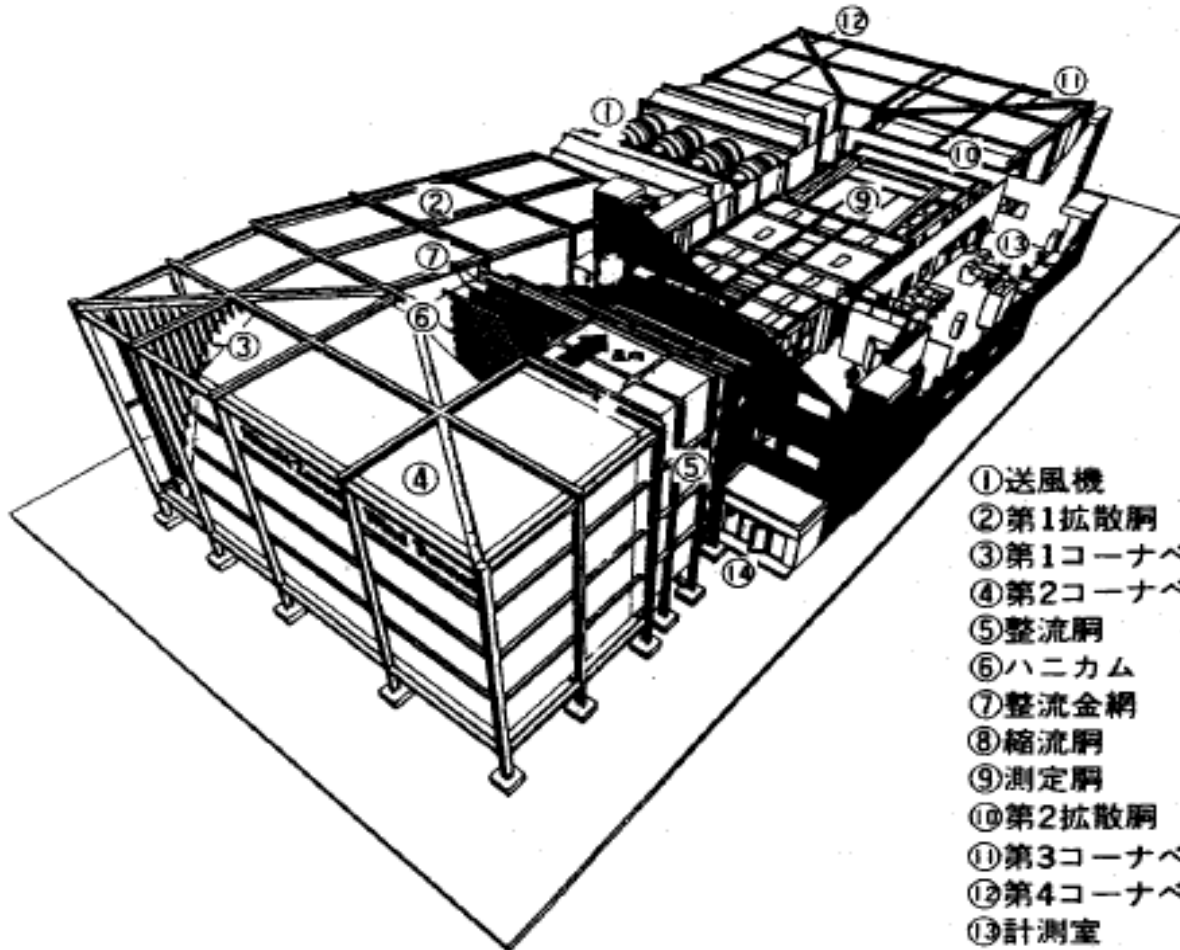
- なぜ風洞実験が必要か？Tacoma Br.事故
- 風洞実験装置の種類
- 風洞実験の分類
- 制振対策
- 実験の相似律
- 風洞実験の将来

Old Tacoma Bridge

- 映像

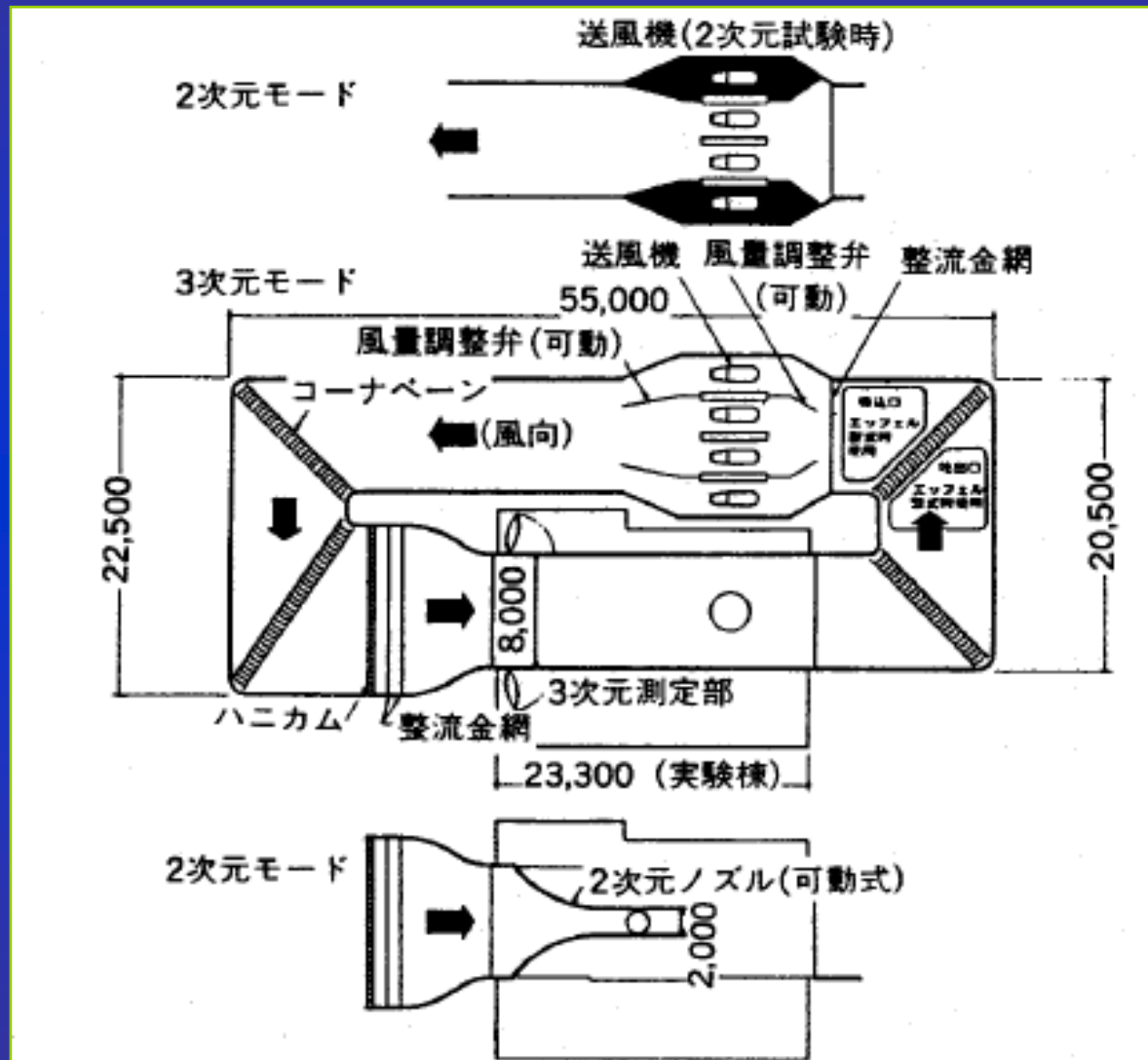
Wind Tunnel Facility

■ Low speed multi-purpose wind tunnel

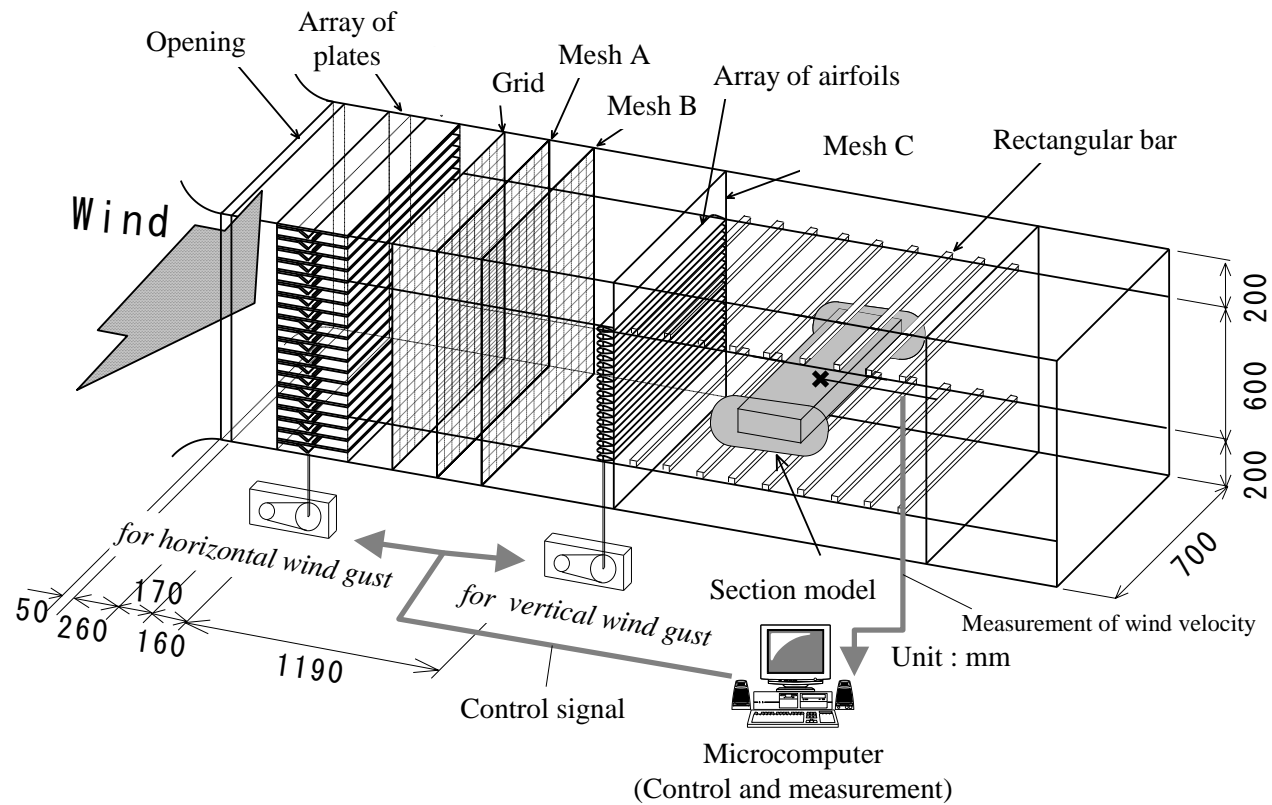


- | | |
|-----------|--------------------|
| ①送風機 | (Blower) |
| ②第1拡散胴 | (No.1 Diffuser) |
| ③第1コーナベーン | (No.1 Corner vane) |
| ④第2コーナベーン | (No.2 Corner vane) |
| ⑤整流胴 | (Screen) |
| ⑥ハニカム | (Honeycomb) |
| ⑦整流金網 | (Screen) |
| ⑧縮流胴 | (Contraction) |
| ⑨測定胴 | (Working section) |
| ⑩第2拡散胴 | (No.2 Diffuser) |
| ⑪第3コーナベーン | (No.3 Corner vane) |
| ⑫第4コーナベーン | (No.4 Corner vane) |
| ⑬計測室 | (Observation room) |
| ⑭風洞実験棟玄関 | (Entrance) |

■ Structure of wind tunnel



Active Gust Generation in 2-Dimensional Wind Tunnel



2-Dimensional Wind Tunnel Testing



3-Dimensional Wind Tunnel Model



3-Dimensional Wind Tunnel Test



Boundary Layer Testing (2-D)



Rain Vibration Experiment



空力現象

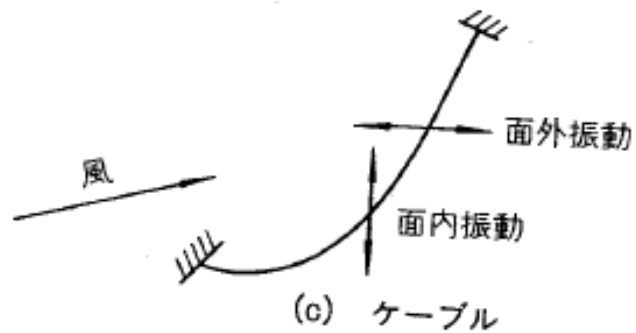
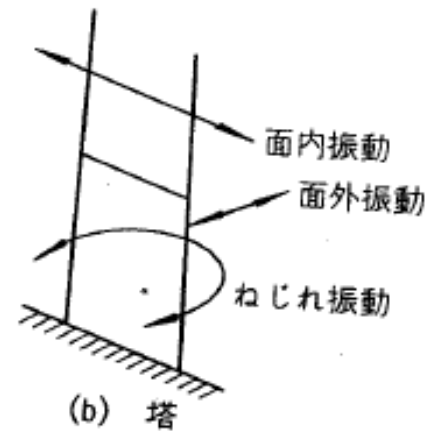
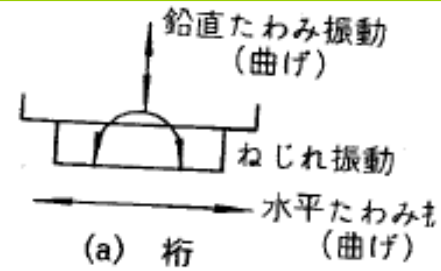
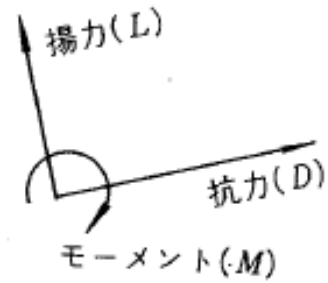
- 静的挙動
 - 定常空気力による変形と応力
 - 不安定現象
 - 横座屈
 - ダイバージェンス
- 動的挙動
 - 限定振動
 - 風の乱れによるガスト応答
 - 渦励振
 - 発散振動— 自励振動
(ギャロッピング、フラッター)

風による構造物に生ずる現象の種類

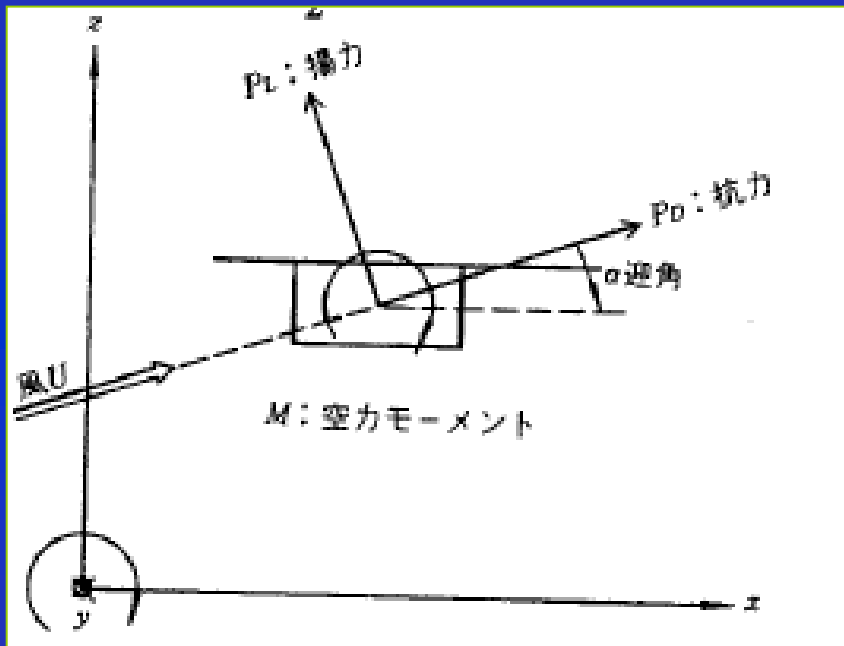
(「風の橋」による分類)

静的現象 (風から受ける力の 問題)	風荷重による応答	定常(静的)空気力の作用に伴う静的な 変形や転倒・滑動
	ダイバージェンス、座屈	定常空気力の作用に伴う静的不安定
動的現象 (風による振動の問題)	渦励振	物体からの渦生成に伴う非定常 空気力の作用によりもたらされる振動
	バフェティング	接近流の乱れに伴う変動空気力の作用 によりもたらされる強制振動
	曲げねじれフラッター (連成フラッター)	物体の運動の流体系へのフィードバック によって生ずる。非定常空気力の作用に 伴う自己励起型の振動
	ねじれフラッター (ねじれ1自由フラッター)	
	ギャロッピング (曲げ1自由フラッター)	
	その他 振動	レインバイブレーション
ウェイク中の振動		物体の後流の影響により生ずる種々の 振動

振動の方向



作用する空気力

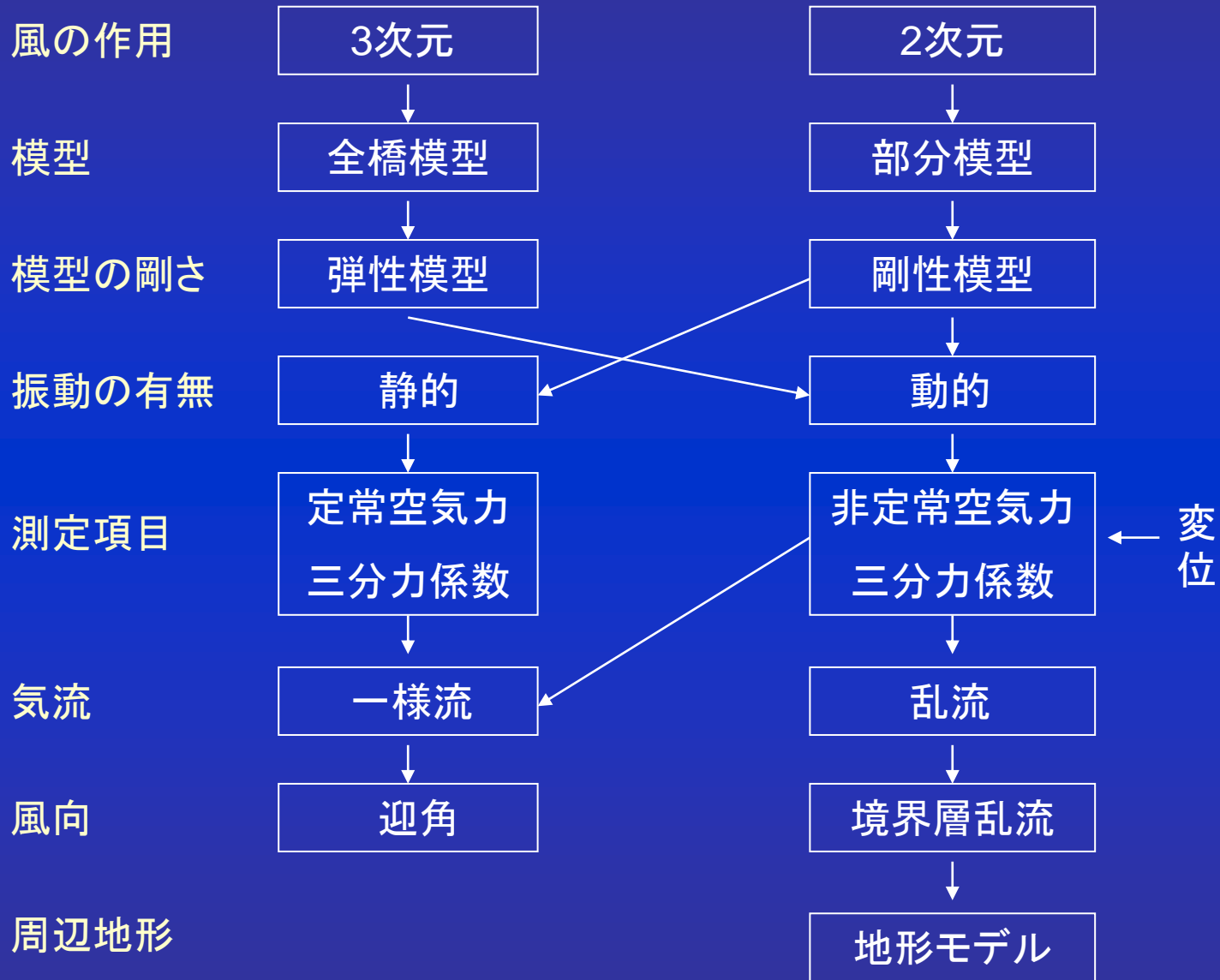


$$C_D = \frac{P_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_m}$$

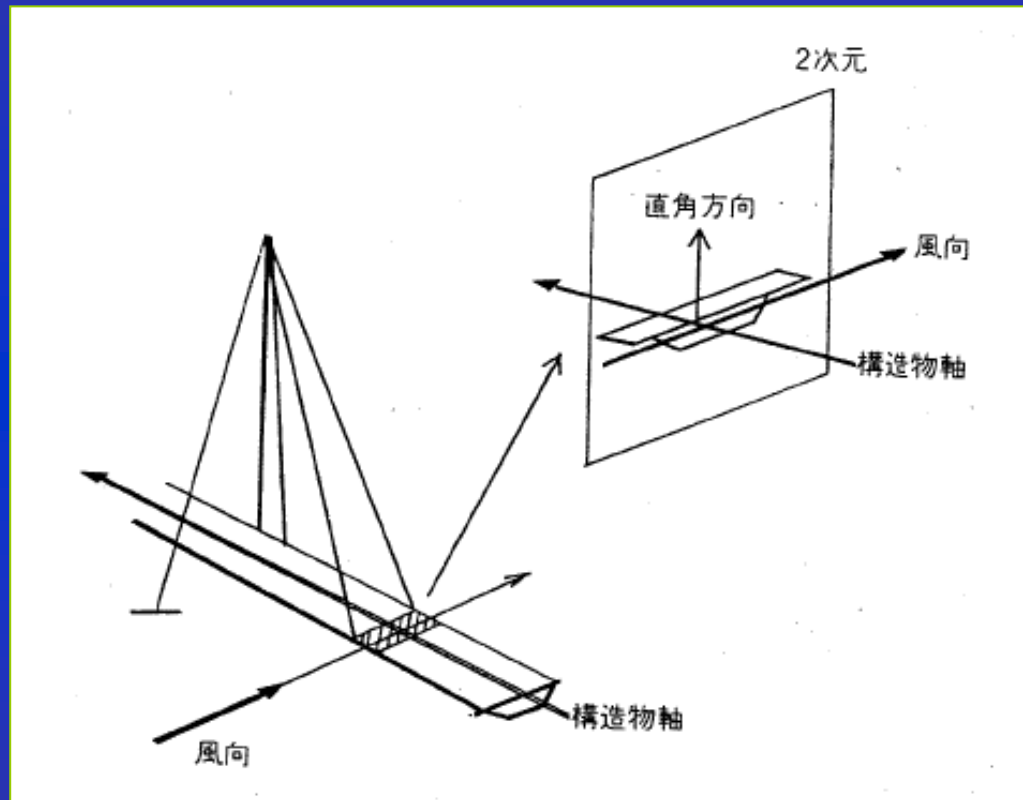
$$C_L = \frac{P_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 B}$$

$$C_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho V^2 B^2}$$

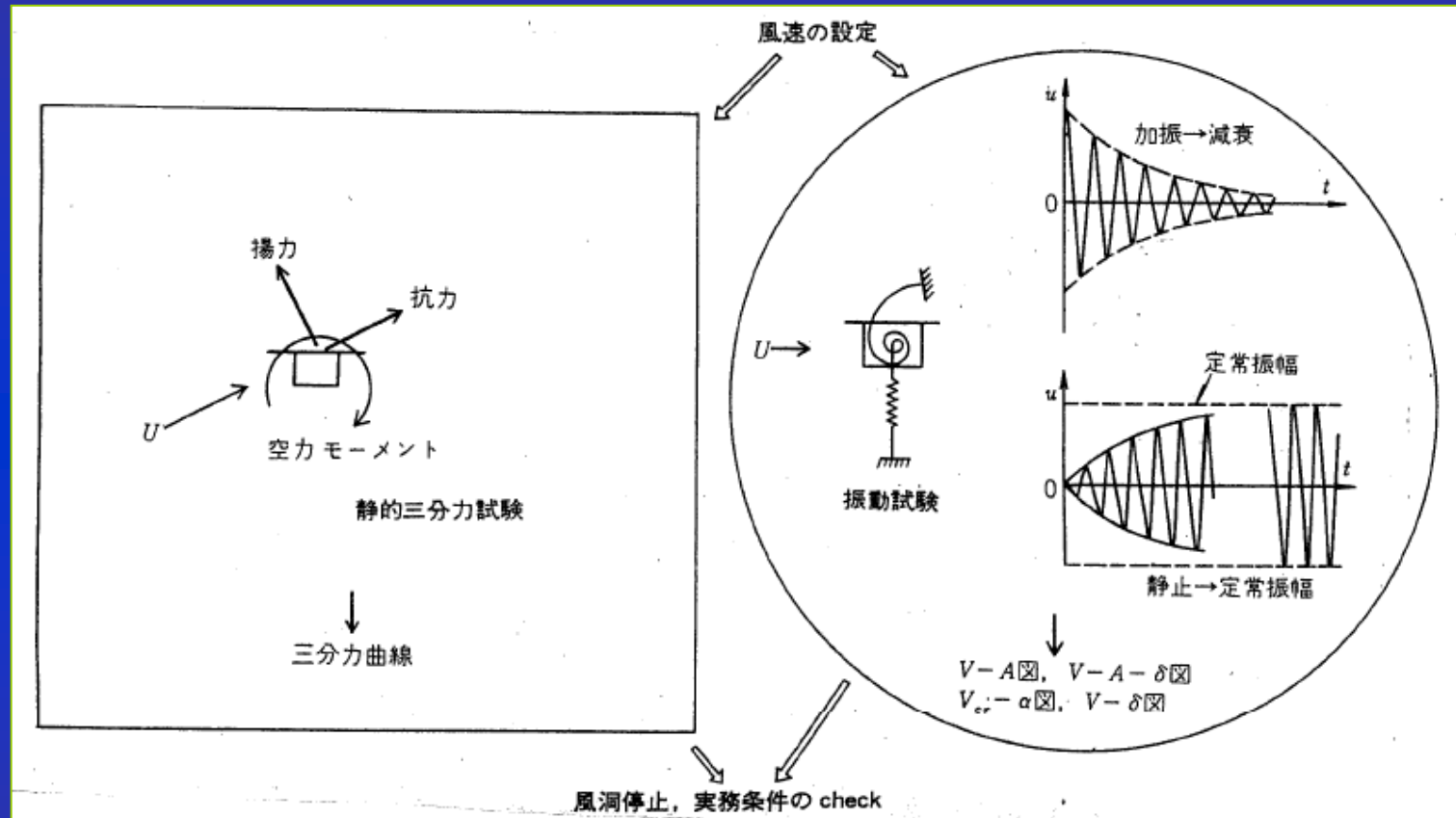
風洞実験の分類



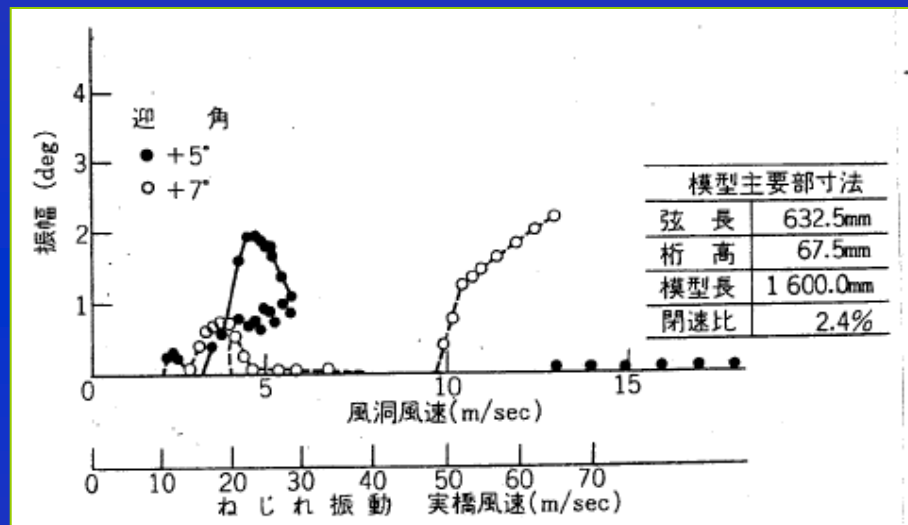
部分(2次元)模型とは？



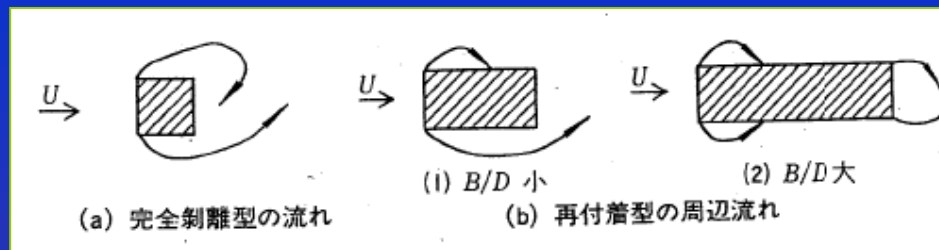
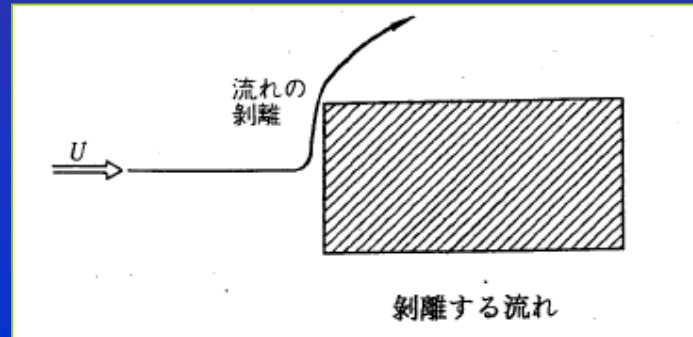
2次元実験手順



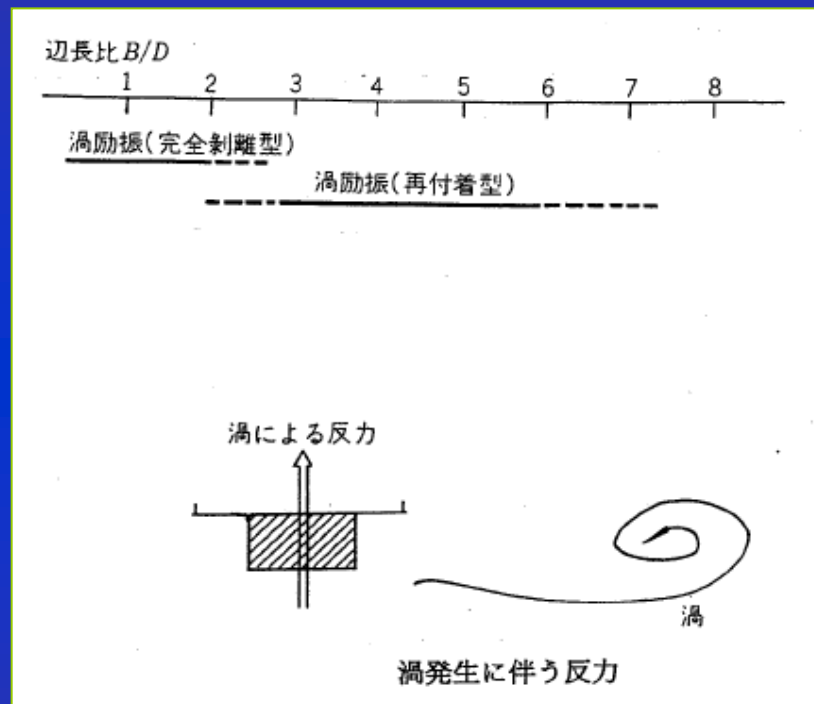
ある橋桁の「振幅—風速曲線」



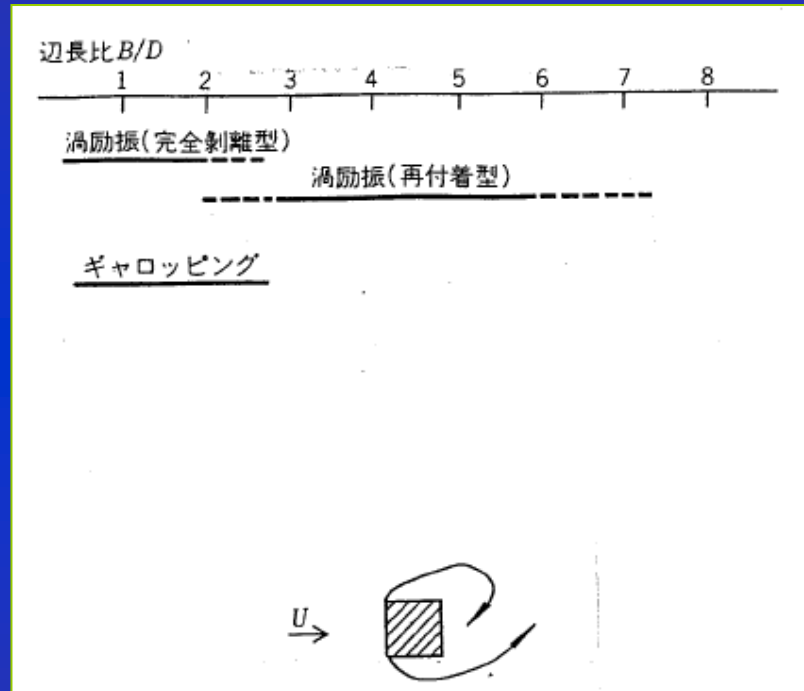
振動は流れの剥離が原因」

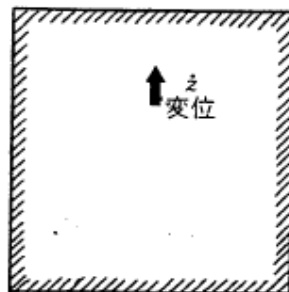
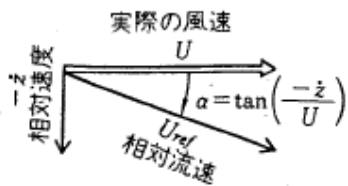


渦励振の原因



ギャロッピングの原因



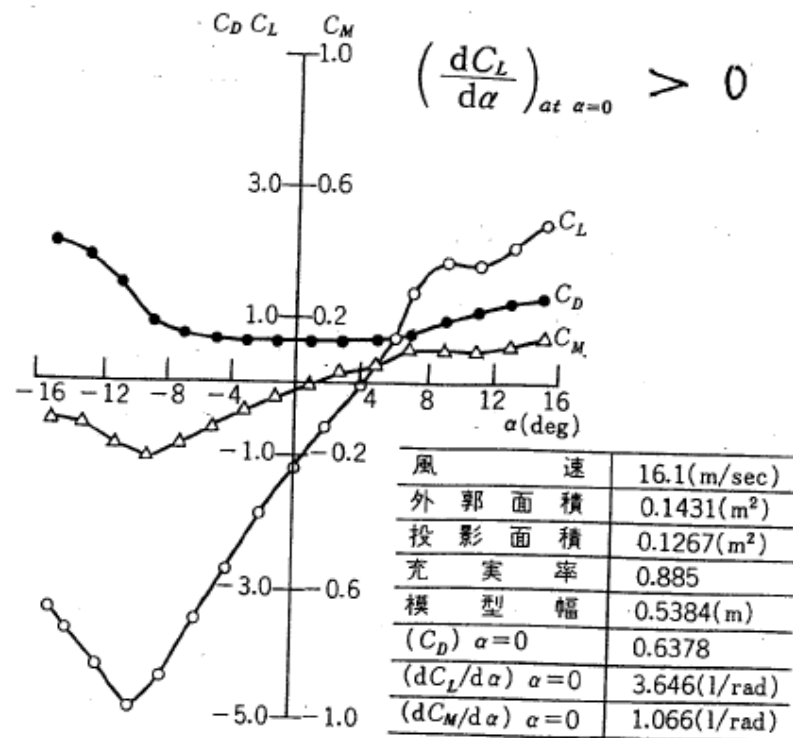


$$L \doteq P_{L,0} + \left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) \alpha$$

$$\doteq P_{L,0} + \left(P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} \right) \left(-\frac{\dot{z}}{U} \right)$$

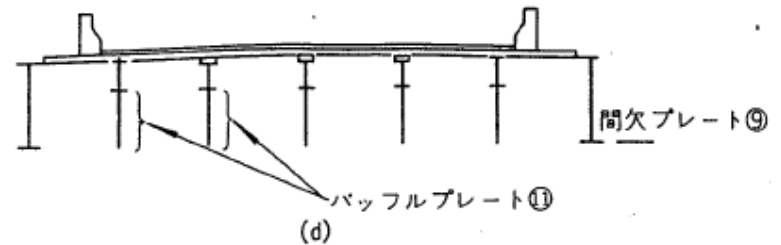
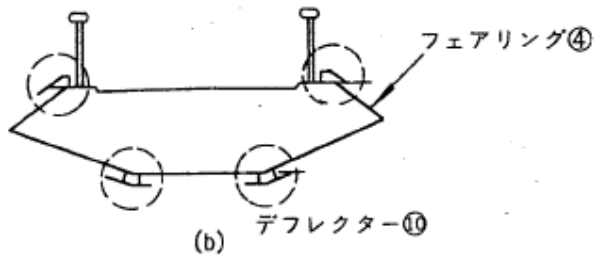
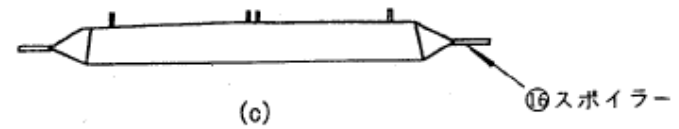
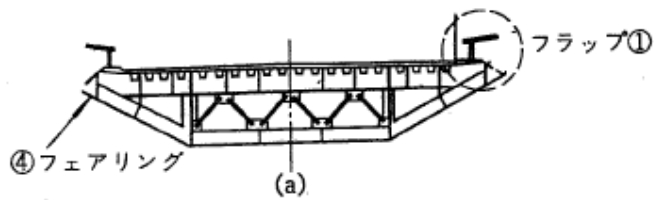
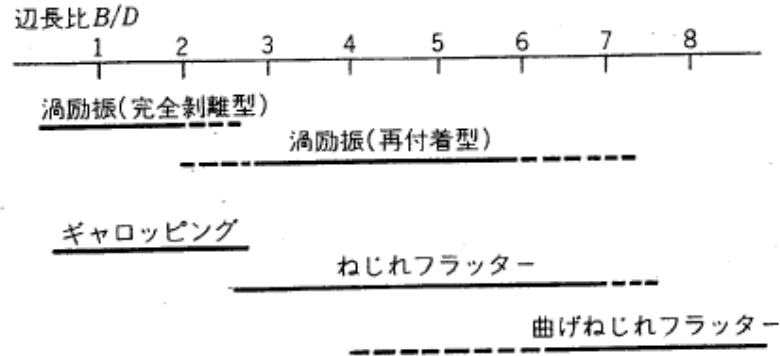
$$P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} > 0$$

$$P_{D,0} + \frac{dP_L}{d\alpha} \Big|_{\alpha=0} > 0$$

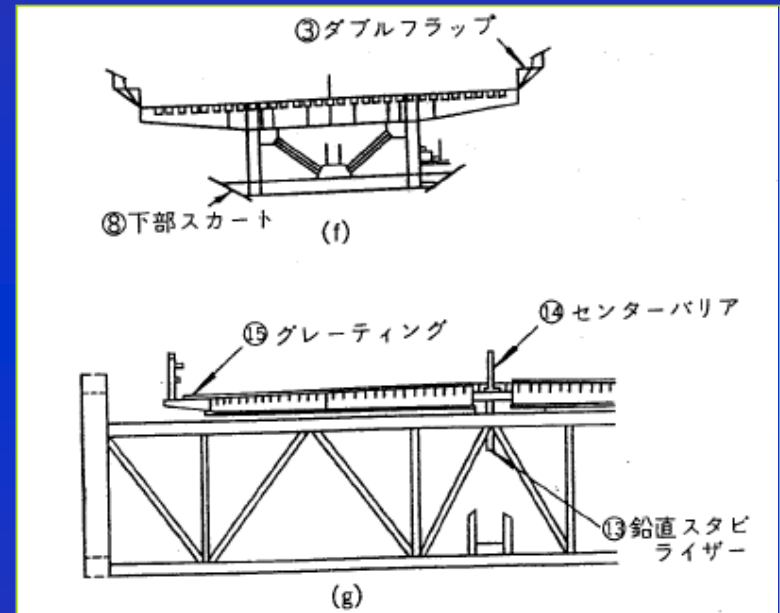
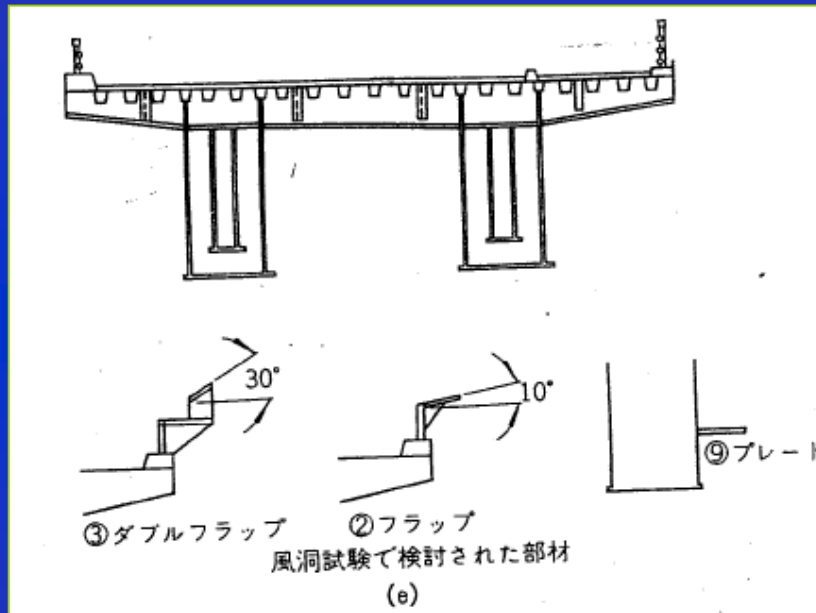


ある橋桁の三分力曲線

制振対策(1)

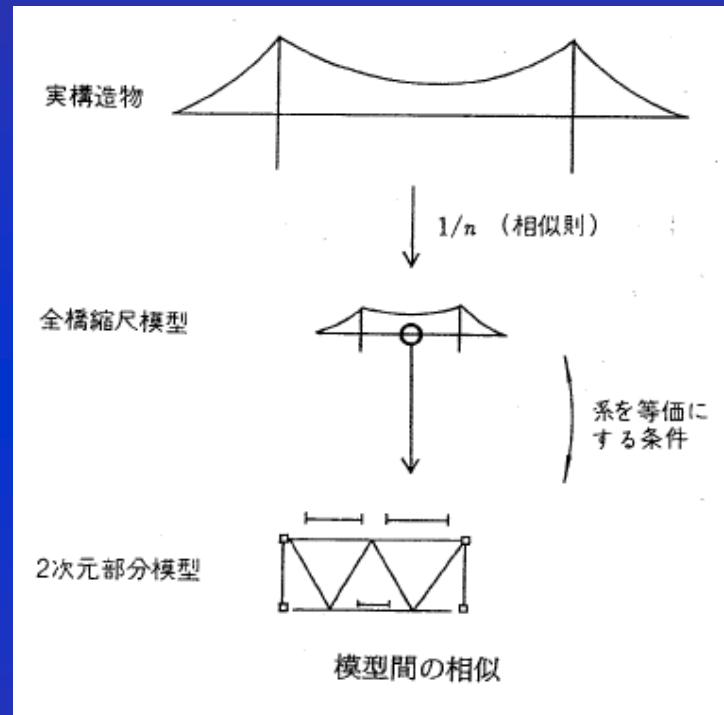


制振対策(2)



相似律について

流れの中に置かれた物体に作用する物体力、及びその流体力により発生する振動現象を支配するパラメータは以下



① 構造物も幾何学的形状

形状の低表長 L

② 構造物の運動

重力 加速度 g

構造物の弾性係数 E

物体の慣性力より

物体密度 ρ_s

物体振動数 ω

物体減衰率 δ

③ 流体の性質

流体密度 ρ

動粘性係数 ν

音速 α

流速 v

以上のパラメータ主要な無次元量を求める。

$$\frac{UL}{\nu}, \frac{U}{a}, \frac{U^2}{gL}, \frac{E}{\rho U^2}$$

レイノルズ数、マッハ数、フルード数、剛性比

レイノルズ数 (Re) は角状構造物 ⇒ 無視

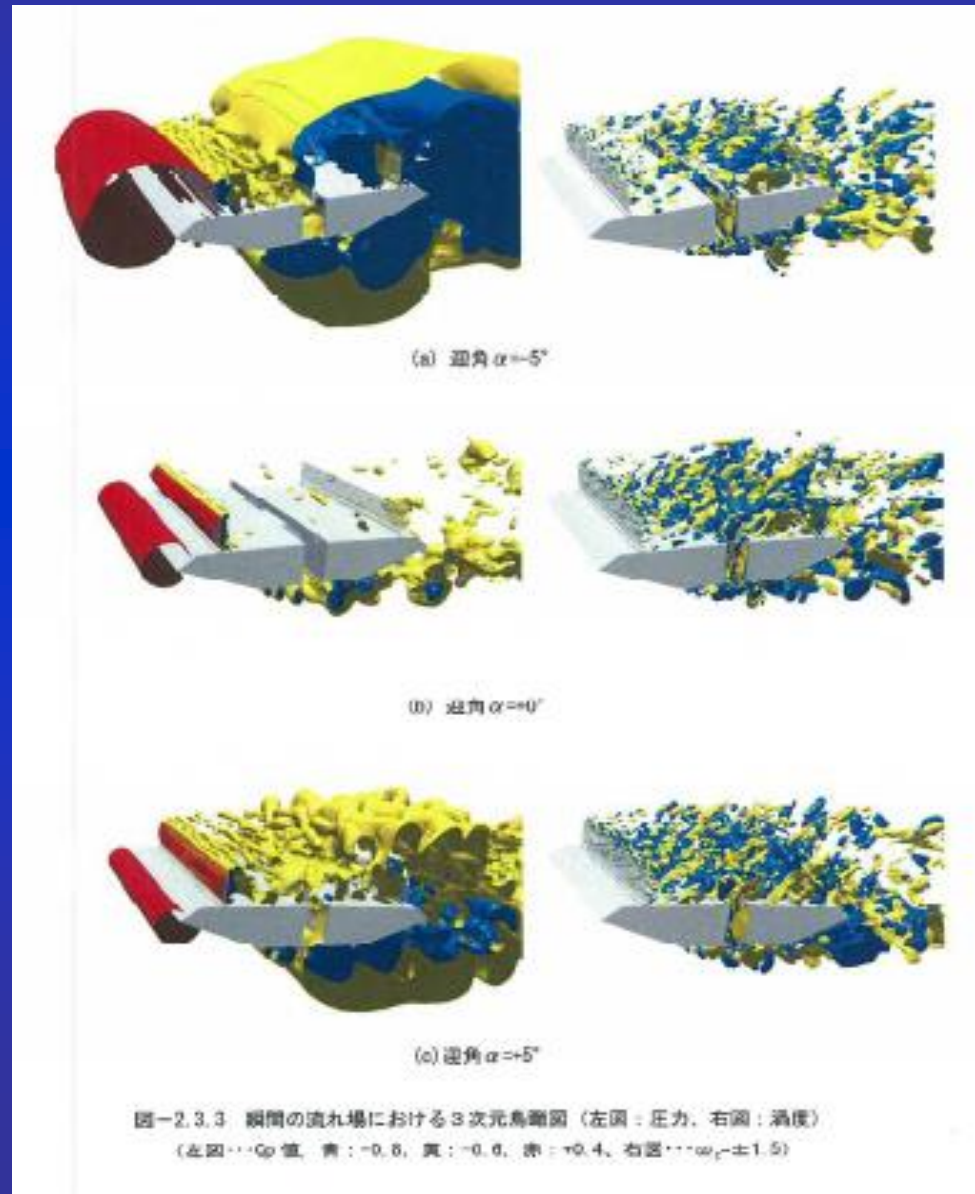
マッハ数 (Mach) は流速が低く ⇒ 無視

フルード数は重力(自重)作用の大きい吊橋には重要

- ① 幾何学的相似 |
- ② 剛性比 $\frac{E}{\rho U^2}$
- ③ 換算振動数 $\frac{Lw}{U}$
- ④ 構造減衰比 δ

①～④を守って風洞実験を行う

風洞実験の将来(数値計算に替わる?)



数値計算の精度は低い→22世紀まで風洞は必要か！？

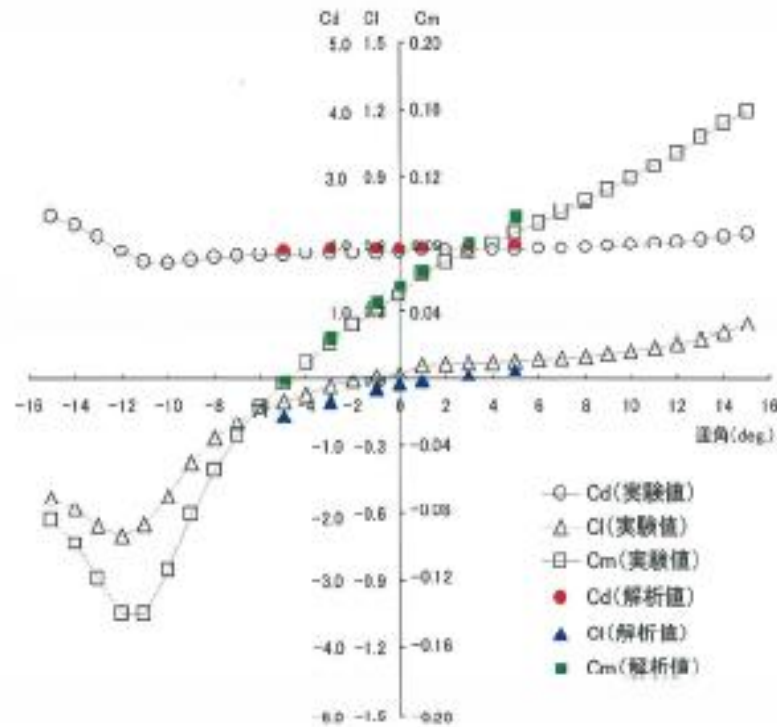


図-2.3.2 静的二分力係数（解析結果と風洞試験）

表-2.3.1 揚力・モーメント傾斜

	解析結果	風洞試験
揚力傾斜	1.20	1.49
モーメント傾斜	0.54	0.62