

京都大学工学部 正員 小西 一郎
 京都大学工学部 正員 白石 成人
 阪神道路公団 正員 笹戸 松二
 京都大学工学部 正員 ○松本 勝
 京都大学大学院 学生員 酒井 基一郎

1. まえがき

現在、大阪湾南港に建設中の南港連絡橋は、現存するトラス橋としてはケベック橋、フォース鉄道橋に次いで世界オ3位の総スパン長980m、幅員19.25mをもつ長大ゲルバートラス形式の橋梁である。そのため、設計上解明されなければならない力学的な多くの問題点があるものと考えられるが、本研究はそれらのうち耐風性状を調査することにより南港連絡橋の空気力学的な安定性に検討を加えるものである。一般にトラス橋の空気力学的な性状を調べるに当っては、その断面形状が複雑であるため、理論的な解析は現状段階では不可能であり、そのため縮尺模型を用いた風洞実験により解析することが有効である。本研究では各種の縮尺模型を用いて南港連絡橋の静的空気力性状ならびに動的空気力学性状について実験的な考察を加えた。

2. 模型

本研究に用いられた模型は右図に示される縮尺1/500全径間模型、主塔左右9パネルを有する縮尺1/200部分模型および中央吊部10パネルの縮尺1/200部分模型の3基である。

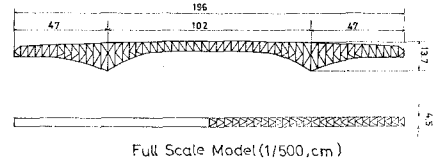


Fig. 1

3. 水平迎え角と充実率

従来より、Biggs 等によつて報告されているように、トラス橋に作用する抗力は充実率と密接な関係にある。そのため上記の各模型について充実率 (ϕ) $= S_R(\alpha) / S_T(0)$, α : 水平迎え角, $S_R(\alpha)$: 水平迎え角 α に対する模型の実質面積, $S_T(0)$: 水平迎え角 0° に対する模型の外形面積) を求めた。なお図2に全径間模型に対する充実率と水平迎え角の関係を1例として示す。

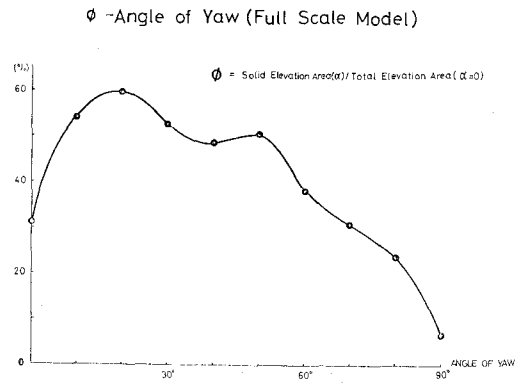
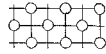


Fig. 2

4. 風洞内におけるせん断流れ

自然風においては、風速および乱れの強さが鉛直方向にある分布をしていることは周知のとおりである。そのため南港連絡橋(上弦材は海面より約70m)も当然せん断流れの作用を受けるため、模型実験においても同じような風のもとで行なうことが必要となる。そこで本研究ではつぎのような、(i)角柱配列, (ii)円錐配列, (iii)曲線平板配列 の3種類の境界層発生装置を用いて風洞内にせん断流れを作り出した。なおこれらの発生装置に便宜上記号 $R_i, C_i, P(i)$; 配列形式を示す) をつけ、図

3にC4およびPの略図を示す。また、風洞内の床組上にC4およびP形式の発生装置を設置したとき、模型設置点で得られる境界層をそれぞれ記号AおよびBで表わす。これらの境界層における高さ方向の速度変化ならびに乱れの強さをそれぞれ図4および図5に示す。これらの境界層A,Bは、縮尺1/500模型に対しては、風速勾配および乱れの強さの変化特性について、それぞれ都市部外および海上風の特徴をある程度表わし得るものと考えられる。



type C4

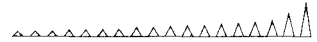


Fig.3

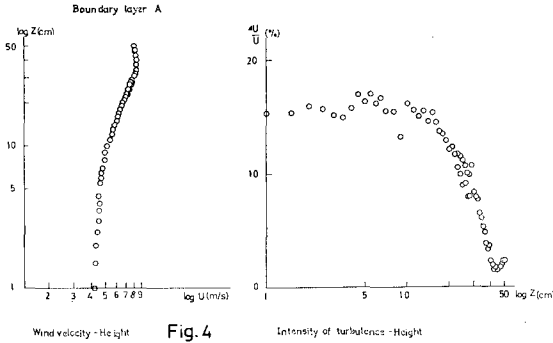
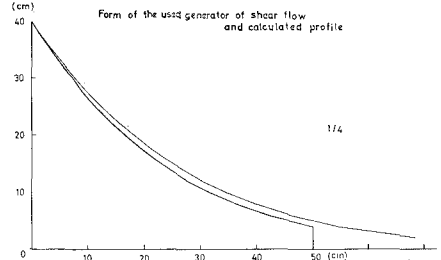


Fig.4

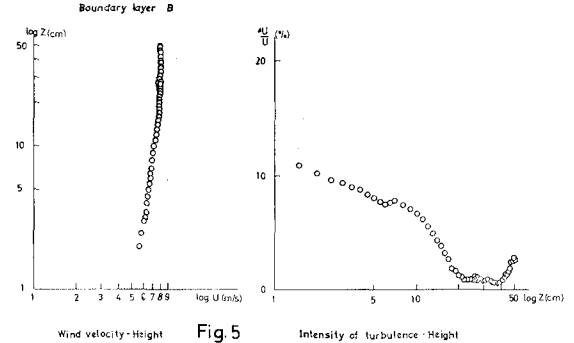


Fig.5

5. 水平迎之角と静的空気力係数

1/500全径間模型, 1/200部分模型に作用する静的空気力を3分力天秤で計測した。なお水平迎之角はターネータルによって任意の値に設置できる。実験より得られた空気力係数の結果の1例を図6~図8に示す。なお図中、 C_D , C_F は抗力係数および横力係数を表わし、また添字I, IIは全径間模型の風下側および風上側支承部の値を表わす。なお図中*印は、対象風速ならびに受風面積として、その鉛直分布性状を考慮したときに得られる値を示すものとする。

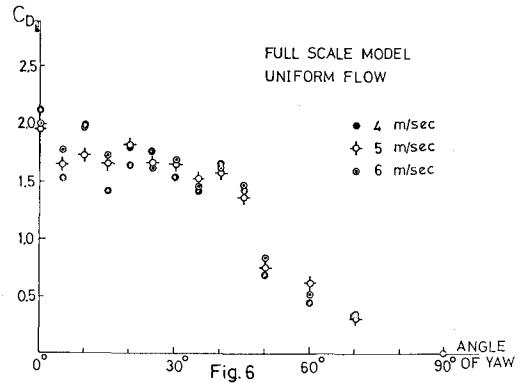


Fig.6

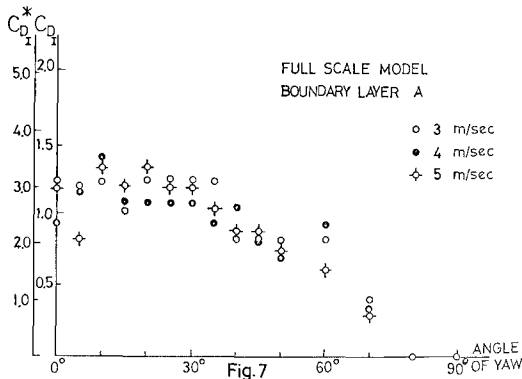


Fig.7

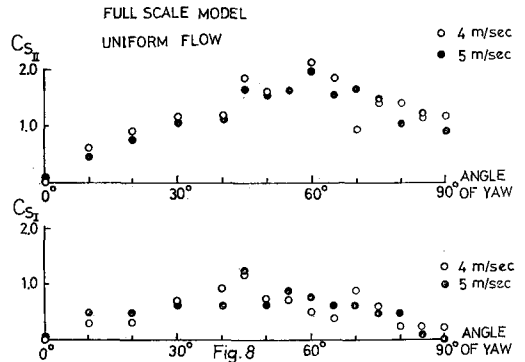
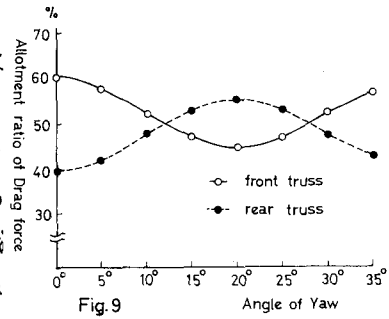


Fig.8

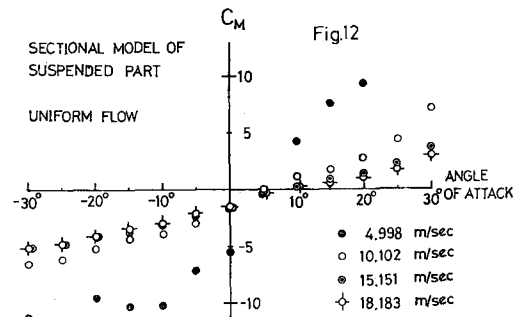
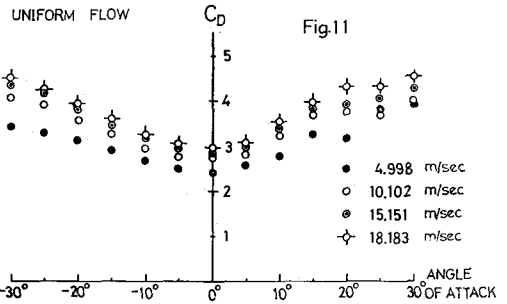
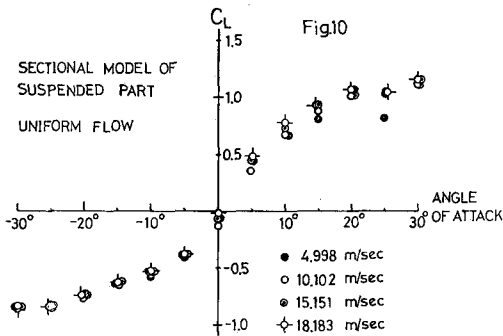
6. 抗力の分担率

南港連絡橋は、2つのトラス面をもつため、下流トラス面は、上流トラス面によって攪乱された空気流の作用を受ける。そのため、これらの2面に作用する抗力にはある程度の差があるものと考えられる。そこで本研究では、風洞内の格子背後の速度変化に関する Parkinson の結果⁽²⁾を利用し、さらに南港連絡橋のトラス部材を単に鉛直材と水平材のみに置き換えることにより、2面トラスに作用する抗力のそれぞれの分担率と水平迎之角の関係を求めた。その結果を図9に示す。



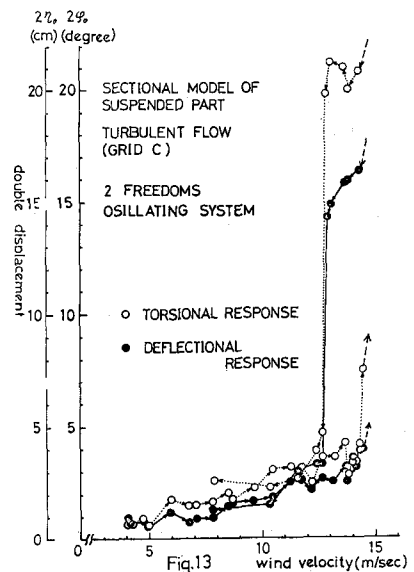
7. 迎之角と静的空気力係数

南港連絡橋に作用する風は、海面からの吹き上げや上空からの吹き下げの場合もあり、これらの場合に、どの程度の大きさの空気力が作用するかは重要な問題である。そのため本研究では、1/200吊部部分模型を用いて、6分力平秤により迎之角 $-30^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の範囲で空気力を測定した。その結果得られた揚力係数、抗力係数およびモーメント係数をそれぞれ図10、図11および図12に示す。



8. 動的実験結果

南港連絡橋の耐風上の動的性状を調べるため、吊部部分模型を用いて、たわみ1自由度、ねじれ1自由度およびたわみ・ねじれ2自由度振動実験を行なった。1自由度実験では風速増加に伴って振動系の減衰は増加し、不安定現象は生じなかった。一方、2自由度実験では、ある限界の風速を越えると、典型的な2自由度連成振動が生じた。その様子を図13に示す。なお実験は、格子により乱された空気流を対象にして行なわれた。



9. 応答解析

2自由度系におけるたわみおよびねじれ応答の記録よ

りパワースペクトル, 確率密度関数, 確率密度分布関数を求め, 連成振動前後でこれらの各物理量の特性にどのような変化が生ずるかを調べた。なお1例として, 連成振動の生じている状態における応答記録(図14), パワースペクトル(図15)および確率密度関数, 分布関数(図16)に示す。(解析は相関確率解析器およびスペクトル解析器による。)

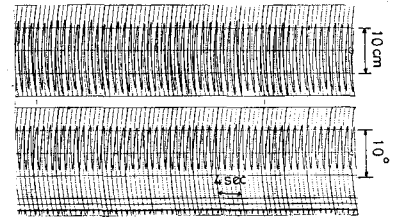


Fig.14 U=14.31 m/sec

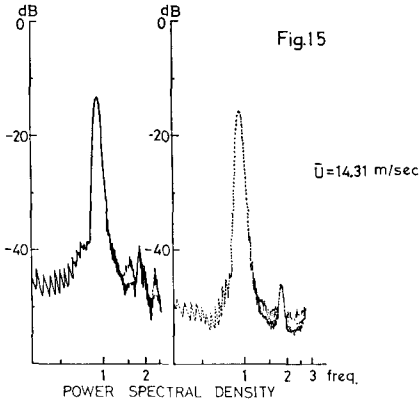


Fig.15

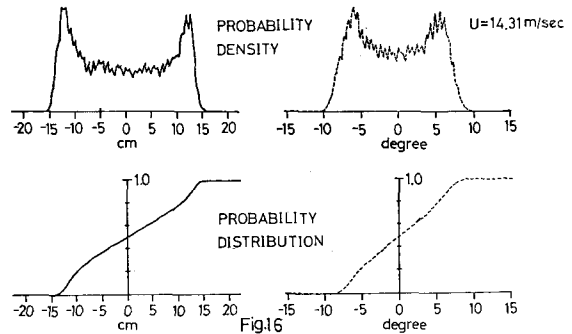


Fig.16

10. 南港連絡橋の空気力学性状に対する評価

本研究においては, 南港連絡橋の空気力学性状に対してつぎのように評価できる。(i)作用する空気力として横力と抗力が支配的である。(ii)抗力, 横力はそれぞれ水平迎角が約 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$, $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ のとき最大となる。(iii)水平迎角が $0^{\circ} \sim 12^{\circ}$ および $28^{\circ} \sim 35^{\circ}$ のとき上流トラス面の受ける抗力の大きくなる。(iv)充実率と抗力の間に高い相関がみられる。(v)抗力中心および横力中心は実橋でそれぞれ主塔支承部と共に約68 mの奥と考えられる。(vi)揚力係数勾配($dC_L/d\alpha$; α :迎角)は正となる。(vii)最長部材(断面 1400×1300 mmの斜材)の風琴振動による最大振幅は, 減衰比(ζ_0)が0.001のとき0.56 mと計算され⁽³⁾。各部材の風琴振動に関しては安全と考えられる。(viii)この部材のギャロップینگ風速は減衰比0.001, 固有振動数1 cpsのときでさえ 84.70 m/secとなり, 各部材のギャロップینگ振動に関しては安全である。(ix)南港連絡橋全体の連成振動限界風速を, 実橋の各モードを考慮し, また実験値をSelbergや白石により報告されている式に代入して求めた結果, どのようなモードの組み合わせに対してもおよそ 170 m/secとなり, 連成振動に対しても安全である。

以上の結果より, 南港連絡橋の耐風性状については, 動的にはまず問題はなく, 静的な空気力特に抗力と横力については十分考慮されねばならないものと思われる。なお結果は紙面の都合, ごく1部しか掲載できなかったが, 当日時間の許す限り他の結果についても報告したい。

参考文献

- (1) A.S.C.E., "Wind Forces on Structures", Trans. ASCE, Vol. 126, Part II, 1961.
- (2) Laneville, A. & Parkinson, G.V., "Effects of Turbulence on Galloping of Bluff Cylinder", Int. Conf. on Wind Effects on Building and Structures, Tokyo, Sept. 1971.
- (3) 白石, 松本, "二次元定常流れにおける正方形断面に作用する非定常揚力および応答特性", 土木学会論文報告集掲載中。
- (4) 白石 成人, "平板構造物の曲げねじれフックターに関する基礎的考察", 土木学会論文報告集, No. 135, Feb. 1971.