

## 変断面箱桁橋の耐風安定性評価におけるストリップ理論適用性の検討

横浜国立大学大学院 学生会員 ○清水 勇作

横浜国立大学 フェロー 勝地 弘 横浜国立大学 正会員 王 嘉奇

## 1. 背景・目的

橋梁の耐風安定性評価においては、橋全体の3次元モデルを使用する全橋模型実験を使用することが望ましい。しかしながら、実験可能な施設の小ささやコスト面の問題から実際には行えないことも多い。一方、橋のある断面を切り取り、その断面を基に作る2次元剛体モデルを使用する部分模型試験という手法がある。この部分模型試験の結果にストリップ理論を適用することで、橋全体の耐風安定性が評価できるとされている<sup>1)</sup>。しかしながら、変断面箱桁橋のストリップ理論に基づく結果と全橋模型試験の結果が大きく異なるという報告もある<sup>2)3)</sup>。

そこで、本研究では、変断面箱桁橋におけるストリップ理論の適用性を検討することを目的とし、ストリップ理論の前提とされている「作用する空気力は局所的な運動にのみ支配される」という点で無視されている橋軸方向の風の流れが耐風安定性にどのような影響を及ぼすかについても検討する。

## 2. 研究の流れ

本研究では実際に箱桁橋で問題となったたわみ渦励振を対象とし、ロックイン状態での振幅からストリップ理論の適用性を判断する。風洞実験では傾き一定の理想化した変断面箱桁橋を全橋模型とする。橋の両端の桁高さDが比率1:2, 1:3の模型を使用し、これを勾配1:2, 勾配1:3と呼ぶ。また、仕切り板を模型に設置するケース、しないケースの両方の実験を行う。これは、ストリップ理論の前提を壊す橋軸方向の風の流れを食い止めるためのものである。図1に変断面模型の写真を示す。



図1 仕切り板の有無による変断面模型の違い

キーワード 風洞実験, ストリップ理論, 渦励振, 全橋模型試験, 部分模型試験

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 横浜国立大学都市イノベーション学府 TEL 045-339-4041

部分模型試験は全橋模型の両サイド、左からL/3点, L/2点, 2L/3点の5断面を切り取った模型について行う。

## 3. 応答推定

本研究では、以下の式から空力モデルを作成し、部分模型試験からの応答推定を行った<sup>4)</sup>。

$$m\ddot{y} + \left[ 2m\xi\omega_1 - \frac{1}{2}\rho U D Y_1(K) \left( 1 - \epsilon \frac{y^2}{D^2} \right) \right] \dot{y} + \omega_1^2 y = 0$$

ここで、 $m$ : 単位長さの質量,  $\xi$ : 構造減衰比,  $\omega_1$ : 固有角振動数,  $\rho$ : 空気密度,  $y$ : 構造物の振幅,  $U$ : 風速,  $D$ : 桁高,  $K = D\omega/U$ ,  $Y_1$ ,  $\epsilon$ は $K$ の関数でパラメータとなる。

式中の減衰項が0の時、渦励振が定常状態となり求める定常振幅が求まる。構造減衰項 $2m\xi\omega_1$ は全橋模型, 空力項 $1/2\rho U D Y_1(K)(1 - \epsilon y^2/D^2)$ は部分模型試験の結果から導出することで全橋模型実験結果と応答予測の比較ができるようにする。また、5つの部分模型は図2のように全橋模型の一部分を受け持っており、その合計が空力項となる。

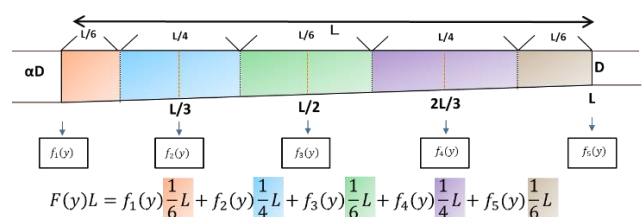


図2 各部分模型の空力項受け持ち割合

以上の手法に基づき導出した部分模型試験から全橋の応答予測をした結果と全橋模型試験の結果を以下に示す。なお、全橋模型試験の結果は渦励振の定常振幅と構造減衰が反比例するという関係を用いて、部分模型の構造減衰と統一したものとなる。

表1 全橋模型試験と応答予測の比較

渦励振定常振幅(mm)		仕切り板なし	仕切り板あり
勾配1:2	全橋模型試験	3.97	3.96
	応答予測	3.86	3.78
勾配1:3	全橋模型試験	1.23	0.90
	応答予測	0.93	0.93

表1より、勾配1:2においては仕切り板の有無に関わらず、全橋模型試験の結果に大きな差はなく、いずれの場合も応答予測と良好な関係を示す。しかし、勾配1:3においては、仕切り板の有無で全橋模型試験の結果に大きな誤差が生じ、仕切り板なしの方が振幅は大きいという結果となった。仕切り板により同一模型内に異なる複数の渦励振が生じ、振動の不安定化することで、仕切り板ありにおいて振幅が小さくなっていると考えられる<sup>5)</sup>。また、仕切り板ありにおいては応答予測と良好な関係を示しているが、仕切り板なしにおいては関係が良好ではない。ここから、勾配が大きくなることでストリップ理論の適用性が低くなることが分かる。

#### 4. 流れの可視化実験

本研究では橋軸方向の風の流れを仮定して研究を進めていたが、実際に可視化することで検証を行う。実際にストリップ理論による応答推定が良好でない勾配1:3の模型において、レーザーで照射した面に煙を発生させ、高速カメラを使用することで煙の流れを撮影するPIV可視化試験を行った。撮影部は勾配のついた側の桁面から距離1cm部分である。図3は撮影機器の位置と撮影した写真である。ここから、剥離流の再付着による逆流に加えて、桁厚の厚い側から薄い側に向かう橋軸方向の風の流れが確認できた。この流れは、ストリップ理論の前提である'局所的な運動'を壊す流れとなっており、応答推定の誤差に繋がっていると考えられる。また、同様の可視化実験を辺長比2の等断面模型でも行っており、橋軸方向の流れは確認されなかったため、この流れは変断面模型においてのみ起こると言える。この橋軸方向の流れは、剥離した風が再付着する時の渦(剥離バブルという)の曲率の違いを原因として起こっていると考えられる。図4に概要図を示す。変断面模型においては、辺長比が断面により異なる。そのため、風が当たる場所によって剥離バブルの曲率の違いが生じて、各断

面の流れが均一でなくなり、橋軸方向に流れが向かうと考えられる。

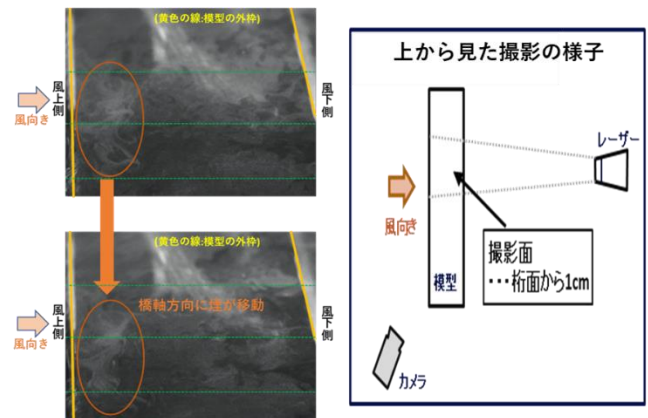


図3 可視化実験結果

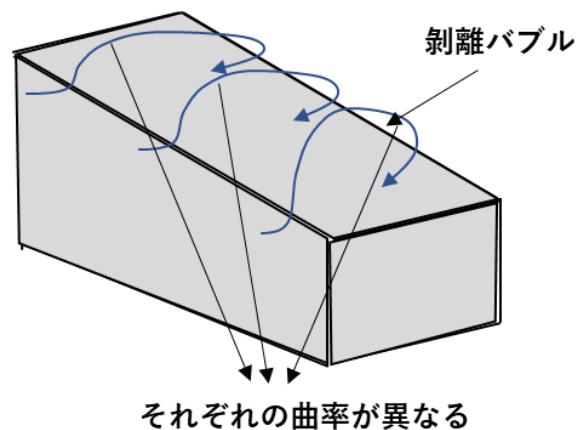


図4 剥離バブル曲率の不一致

#### 5. まとめ

一連の研究より、以下の結論を得た。

- 1) 変断面模型を使用した風洞実験では構造減衰が同一の場合、仕切り板を設置して実験を行うと振幅が小さくなる。これは、同一模型内に複数の異なる渦励振が発生することで、振動が互いに干渉し合うためと考えられる。
- 2) 変断面箱桁橋では、勾配による橋軸方向の流れによってストリップ理論の適用性が低下する。勾配1:2程度の緩勾配では適用性は高いが、勾配1:3のような急勾配では適用性は低い。

#### 参考文献

- 1) 山田ら, 部分模型試験の質量相似則とそれに基づく応答予測, 土木学会論文集, 1987. 2) 斎藤ら: 長大箱桁橋の耐風性及び制振対策法について, 構造工学論文集, 1990. 3) 吉田ら, 東京湾アクアライン橋梁部鋼箱桁橋に発現した渦励振とその特性, 土木学会論文集, 1999. 4) E. Simiu ら, WIND EFFECTS ON STRUCTURES, A Wiley-Interscience Publication, 1986. 5) 島田ら, 螺旋板の渦励振抑制効果と自立型煙突への適用, 日本風工学会誌, 1986. 6) 山田均, 耐風工学アプローチ, 建設図書, 1995. 7) 武田ら, 自然風下で橋桁に生じる渦励振の応答予測, 土木学会論文集, 1993.