

吊形式水管橋断面の三次元模型による耐風性の検討

九州工業大学工学部 正会員 ○ 加藤九州男
 九州工業大学工学部 正会員 久保 喜延
 九州工業大学工学部 鐘 廣喜
 川崎製鉄株式会社 正会員 川井 豊

1. まえがき 補剛形式の水管橋は、スパンが長く大型化すると補剛構造が複雑となり、設計・施工などが問題となる。一方、対象としている無補剛吊形式水管橋は、我国では報告例がないが、ケーブルで補剛されている構造で、主ケーブルの他に、耐風ケーブルなどの補助ケーブルを併用することにより構造的な安定を得ようとするものである。しかし、風などによる外力を受けた場合の動的挙動については、不明な点が多く残されている。水管橋が円形断面のみであれば、これまで数多くなされてきた円柱に関する風洞実験の結果から、その耐風安定性を推定することができる。しかし、本研究で対象としている水管橋の断面は、図-1に示すように、円形断面に点検用歩廊が設けられており、円形断面のみのものに比べて、耐風特性がかなり異なるものと推察される。そこで、本研究では、二次元風洞実験では検討できない振動モードの影響についての検討や一様流中の応答および乱流中でのパフェティング振動の挙動について、3次元模型実験により検討した。

2. 実験概要 実験は、境界層型波浪風洞を使い、図-2のように模型をセットして行なった。水管の長さは、風洞のサイズから2.5mである。水管橋の三次元模型は、実橋の縮尺(1/n)を1/60とした。水管部およびケーブル部は所定の剛性とするが、ケーブル部は入手可能でかつ製作可能な材料であるステンレス線(主ケーブル0.2mm径、耐風ケーブル0.1mm径)を用いた。水管部は、剛性棒(真鍮製3mm径)に木製の円形外皮(12mm径)を取り付けたものである。なお、水管橋の挙動は、ケーブル端部に取り付けた荷重計によってケーブル張力を測定し、レーザー変位計によって変位の測定を行う方法で、同時計測された。実験ケースは、歩廊無し(円形断面)、図-1のようなType 1およびType 2の3ケースについて、静的载荷および加振実験と一様流中および乱流中での応答実験を行なった。なお、応答振幅は、スペクトル解析により、卓越周波数毎に測定した。

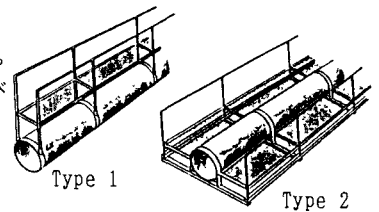


図-1 実験模型形状

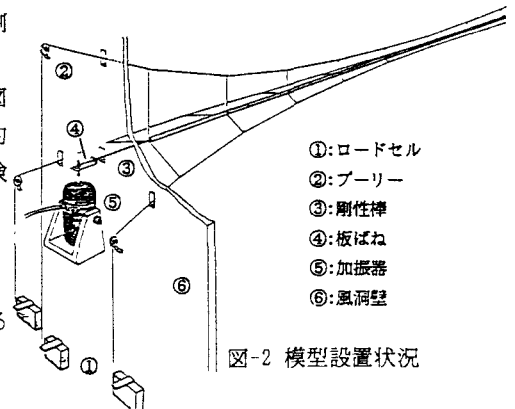


図-2 模型設置状況

3. 三次元風洞実験結果と考察

1) 静的载荷試験 紙面の都合上実験結果は、省略するが、それによると、鉛直载荷の場合は、主ケーブルのみに軸力が発生すべきところに、下流側耐風ケーブルにも軸力がわずかに生じているため、下流側タイケーブルの軸力の不均一性による影響が現われていると推察される。これに対して水管の変位は、鉛直および水平ともに荷重の増加に対してほぼ線形である。

2) 加振実験結果---水管端部に設けた加振器によって加振し、この模型の固有振動モードと固有振動数を測定した結果が表-1である。各振動モードに対して実験

表-1 鉛直振動モードの固有振動数 (H_z)

振動モード	歩廊無し	Type1	Type2
対称1次	2.32	-----	2.20
非対称1次	2.92 (0.010)	2.61 (0.010)	2.86 (0.016)
対称2次	4.45 (0.013)	4.09 (0.017)	4.43 (0.026)
非対称2次	6.97 (0.016)	6.63 (0.015)	6.88 (0.059)
対称3次	10.27 (0.030)	9.74 (0.025)	9.94 (0.039)
非対称3次	13.40 (0.029)	13.06 (0.030)	12.90 (0.080)

()は、対数構造減衰率

した3ケースは、ほぼ同じである。しかし、歩廊無しのケースに対してType 1およびType 2の固有振動数が小さくなっているのは、歩廊部分の重量増加のためである。なお、静的および動的載荷試験結果より判断して模型は、精度良く製作されていると考えられる。

3) 応答実験結果

a) 張力変動について 図-3は、歩廊無しの場合の初期張力（主ケーブル=500gf,耐風ケーブル=120gf）で無次元化された張力変動と風速の関係を示したものである。これによると一様流中において

ても、乱流中においても、各ケーブルの平均張力の挙動は、ほぼ同じである。Type 1の張力変動を歩廊無しの張力変動と比較すると歩廊無しの張力の約2倍の風荷重が作用している。これにともなう、下流側耐風ケーブルの張力変動も相対的に大きくなっている。Type 2は、他のケースと違って、主ケーブルに張力が発生しているため、下向きの揚力が水管に作用していると同時に、一様流中でも乱流中でも下流側耐風ケーブルの軸力の減少が大きくなっている様子がわかる。

b) 応答性について 図-4は、一様流中で歩廊無し断面のスパン中央点の応答と風速の関係を示している。この関係を二次回帰すると、無次元静的水平変位は $A/D=0.02V^2$ との関係式を得る。これらの関係は、乱流中や他の実験ケースにおいて同様な傾向であった。これを整理すると

表-2のようになる。無次元静的水平変位と風速の関係は、一様流中および乱流中に関わらず各ケース毎にほぼ同じ式で表される。歩廊無しおよびType 2に対しては、 $A/D=0.019V^2$ となり、Type 1に対しては、 $A/D=0.04V^2$ となっている。このことは、Type 1の抗力係数 C_D が歩廊無しおよび

Type 2のほぼ2倍であることを示している。次に、水平振動および鉛直振動の変位のR.M.S.値についてみると、一様流中では3ケースともほぼ同じである。それに対して、乱流中でのType 1は歩廊無しおよびType 2の約2倍となっている。また、抗力が大きいものは、乱流中での応答も大きくなっている。このことは、抗力の小さい断面を選ぶことにより、静的および動的変位を小さくすることができる。次に渦励振についてみると、一様流中での歩廊無しやType 1では、渦励振の振幅は小さくなるものの、各鉛直振動モードで生じている。Type 2では、鉛直対称2次モードでわずかな振幅の振動が発生している。

c) 抗力係数について 応答実験結果より、求めた抗力係数を表-3に示す。ここで求めた抗力係数 C_D は、水管の変形形状やReynolds 数の影響を受けていると考えられる。ここで、実橋の水管を円管と考え直径 $D=70\text{ cm}$ および風速 $V=20\text{ m/s}$ とするとReynolds 数 $Re=9.02\times 10^5$ である。これを見ると、本形式の水管橋は風荷重が主体となると推察される。そこで設計には、採用断面の風荷重を考慮する必要がある。

4.まとめ 以上の結果をまとめると次のようになる。

① 応答実験結果より、Type 1やType 2のように歩廊の種類によって、抗力係数が2倍近く変化する場合もあるので断面の選定には、細心の注意が必要である。

② 耐風ケーブルの剛性の効果により、風による動的な変形が小さいことがわかった。

参考文献 1) 中原,他:吊形式水管橋断面の二次元模型による耐風性の検討,西部支部講演集(1991.3)

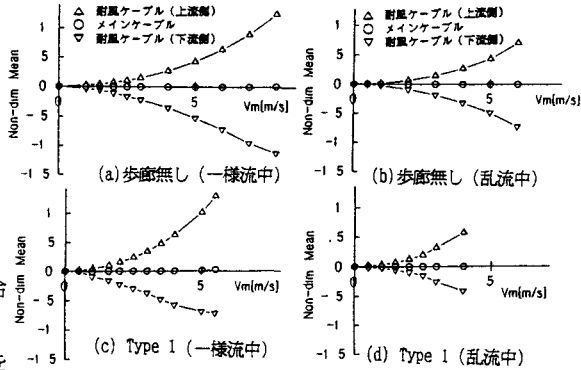


図-3 無次元張力と風速の関係

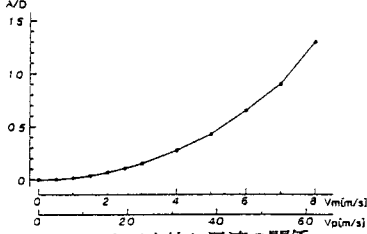


図-4 水平変位と風速の関係

表-2 風速に対する無次元水平変位

変位	静的変位		動的変位(R.M.S.値)	
実験ケース	一様流中	乱流中	一様流中	乱流中
歩廊無し	$0.02V^2$	$0.019V^2$	$0.0011V^2$	$0.0047V^2$
Type 1	$0.04V^2$	$0.035V^2$	$0.0013V^2$	$0.0059V^2$
Type 2	$0.019V^2$	$0.019V^2$	$0.0013V^2$	$0.0039V^2$

表-3 抗力係数

	一様流中	乱流中
歩廊無し	$C_D=0.6$	$C_D=0.6$
Type1	$C_D=1.2$	$C_D=1.0$
Type2	$C_D=0.8$	$C_D=0.7$

(Reynolds 数= 3.87×10^3)