

水管橋吊材の対風安定性について

住友金属工業(株) 中央技術研究所 渡邊泰昭
九州産業大学工学部 正員 吉村 健、奥井頼隆
同 東倉 聡、宮城元司

① さえがき ランガー補脚形式の水管橋では、吊材として鋼管が広く用いられている。水管橋が長大化して長径間のものが架設されると、固有振動数の低い鋼管吊材が用いられることになり、吊材に渦励振を生じることが予想される。事実、四徳大橋(スパン150mのトラストランガー橋)の鋼管吊材が微風で渦励振を生じ、ガセットに疲労クラックを生じた事故例がある¹⁾。

そこで、本研究では、鋼管より良好な耐風安定性が期待される高張力ねじ鉄筋などを吊材として使用することを考え、これらについて風洞による模型実験を行い、実用化の可能性を検討する。

② 水管橋吊材の渦励振防止対策 (1) 防止対策の一般論

まず渦励振防止対策の一般論について述べる。リミットサイクルにおける無次元振幅 $\bar{y}/d$ は、無次元風速 $V=V/fd$ 、質量比 $m/\rho d^2$ 、構造減衰 δ_0 およびレイノルズ数 $R=Vd/\nu$ の4つの無次元量で決定される。ここに、 y は振幅、 d は代表長、 V は風速、 f は気流中における系の振動数、 m は単位長さ当たりの質量、 ρ は空気密度である。質量比が大きく、 f が無風時の値と変わらないうち、 $2m/\rho d^2$ と δ_0 はさきとまり、質量・減衰パラメータ $K_s=2m/\rho d^2 \cdot \delta_0$ で表される。 K_s の大きい系ほど安定である。また、共振風速は $V_{cr}=V_{crf}d$ で与えられるから、渦励振の防止対策として次の手法があげられる。①剛性を増して固有振動数を高め、共振風速を上昇させる。②質量を増す。③構造減衰を増す。以上の他に、空力的手段として、トリップワイヤーやひねり状の突起物を付加して、部材の長手方向の渦発生位相あるいは周期を乱すことにより制振するなどがあげられる。

(2) 鋼管吊材

鋼管吊材について、渦励振発生の有無を検討する。たとえば、 $140^\circ \times 4.5^\circ$ の鋼管を考えると、 $2m/\rho d^2=1300$ (d は直径)となる。 $\delta_0=0.005 \sim 0.02$ と仮定すると、 $K_s=6.5 \sim 26$ 。田島の研究²⁾と後述の実

験結果によれば、この K_s の範囲で渦励振が発生する。よって、長径間の水管橋吊材では、渦励振の発生が予想されるわけである。

(3) 高張力ねじ鉄筋吊材

図-1aに示すスミネジバーと呼ばれる高張力ねじ鉄筋(50 ϕ)を吊材として使用することを考える。この鉄筋は、専用のナットを用いることにより、機械的接合が容易に行なえるよう工夫されている(図-1b)。鉄筋はケーブルの代用とみなし得るから、示方書における長さの規定には抵触しない。この鉄筋のメリットは次のようである。①質量比は約10000であり、鋼管より1桁大きい。②吊材の張力調整が容易に行なえ、水管あるいはアーチリブとの結合も容易である。③ねじ山という突起物により、空力的制振効果が期待される。

以上の考察に基づき、ねじ鉄筋の耐風安定性を調べることにする。

③ 実験概要 (1) 振動実験 鉄筋吊材の構造減衰を調べるために、 $d=50\text{cm}$ 、長さ約4mの丸鋼を長柱用万能試験機にセットし、1~5tonの引張力を加えて振動実験を行なった。手製の加振機で共振させ、その後の自由振動の記録から対数減衰率 δ_0 を求めることにしたが、系の固有振動数が高いために加振が困難であった。そこで、固定端付近の断面を減少させて弾性ヒンジを作り、固有振動数をいくらか低下させて実験した。

(2) 風洞実験

実験には九州産業大学が用風洞を用いた。同風洞は $1.5 \times 1.5\text{m}$ の矩形断面を有する吹出し式風洞である。本実験では図-1aに示したねじ鉄筋の他、丸鋼、異形鉄筋(図-1c)、アンカー用鋼棒(図-1d)等についても耐風安定性を検討することにした。模型は、直径10cm、スパン長1.4mの滑らかな表面の円柱を基本形とし、その表面にねじ山等の突起物を付加したものである(発泡スチロール製)。模型は気流と直角方向の曲げ1自由度振動するように弾性支持された。また、粘性ダ

ンパを用いて系の減衰を種々変化させ、 $K_s = 10 \sim 100$ の範囲で計測した。渦励振におけるレイノルズ数は $(1.5 \sim 3.5) \times 10^4$ であり、亜臨界域である。

④ 実験結果 (1) 振動実験 図-2は引張力 $2t$ 、 $3t$ 、 $5t$ を加えたときの $\bar{Y}-\delta_0$ 曲線である。 δ_0 は振幅の減少に伴って減少の傾向を示す。その値は $0.01 \sim 0.02$ の範囲にある。実橋と実験では、部材両端の固定条件が異なるので本実験結果をそのまま実橋に適用することはできないが、 $\delta_0 = 0.005 \sim 0.02$ と見補ってあげれば充分であろう。

(2) 風洞実験

図-3は、図中に示される種々の質量・減衰パラメータ K_s について行ったねじ鉄筋模型の実験結果であり、横軸に無次元風速、縦軸に無次元応答振幅を取り図示されている。図-4に示す丸鋼模型(円柱)の応答特性との間にはほとんど差異は認められず、ねじ山という突起物による空力的共振効果は期待できないことを示している。このねじ山はトリップワイヤーに類似するものであるが、トリップワイヤーによる共振効果はそのピッチによって異なり、ねじ鉄筋のようにピッチの小さい場合には効果がないようである³⁾。しかしながら、実橋吊材としてねじ鉄筋を使用する場合、図で述べたように $K_s = 50 \sim 200$ であり、図の結果から実橋における振動振幅を推定すると高々 1.3mm と低い($d = 50\text{mm}$)。振動モードの影響を考慮するとこの値はさらに小さくなる。よって、ねじ鉄筋吊材の耐風安定性は良好であると結論される。アンカー用鋼棒模型の応答も、図-4に示した円柱のそれとほとんど同様

の特性を示した。一方、異形鉄筋の場合、迎角によっては、円柱よりもかえって安定性の悪い事がわかった。また、上記ねじ鉄筋模型に、図-1bのナットを適当なピッチで配列したものについても検討した。その結果異形鉄筋と同様の指向性が認められた。

⑤ おまけ ねじ鉄筋を水管橋吊材として使用することを考え、その耐風安定性を検討した。その結果渦励振が生じながら、さめめて微小な振幅の励振であることがわかった。ねじ鉄筋は施工上のメリットもあることから、十分実用に供し得ると結論される。

参考文献

- 1) 田辺末信他; 橋梁と基礎, Vol 2, No. 9, 1968.
- 2) 岡島 厚; 九州大学応用力学研究所報, 第5号, 1982.
- 3) M.M. Zdravkovich; J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol 7, 1981.

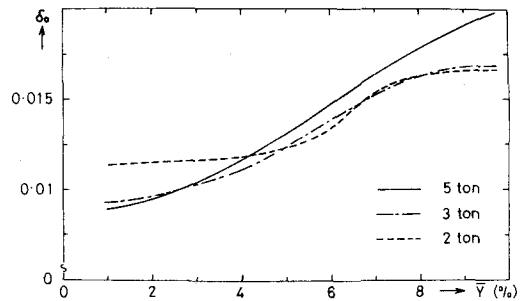


図-2. 丸鋼の構造減衰特性

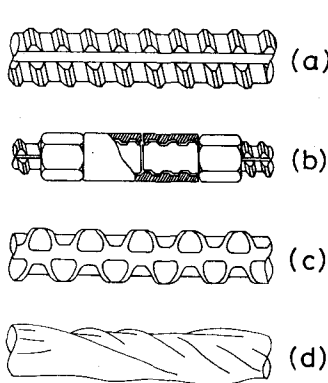


図-1. 吊材として検討した種々の鋼棒

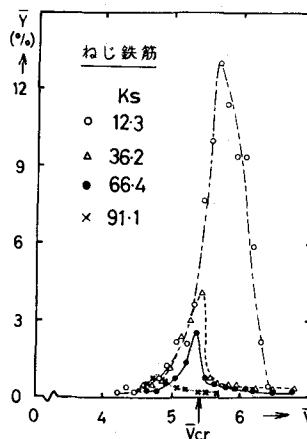


図-3. ねじ鉄筋模型の応答特性

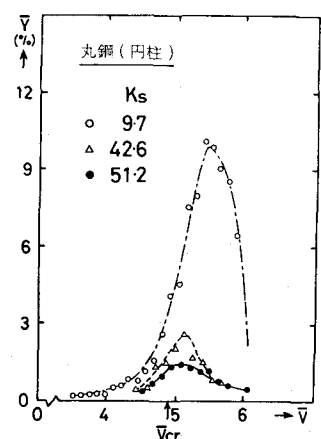


図-4. 丸鋼(円柱)模型の応答特性