

論文・報告

幸魂橋(斜張橋部下り線側)工事報告

Construction Report of SAKITAMA Bridge

宮本 義雄*
Yoshio MIYAMOTO

安藤 修**
Osamu ANDO

高田 英一***
Eiichi TAKATA

渋谷 哲夫***
Tetsuo SHIBUYA

白石 文伸***
Fuminobu SHIRAISHI

内海 靖****
Yasushi UCHIUMI

This paper presents Sakitama Bridge to cross Arakawa river, of which the bridge length over the river extends for 1490 m. And two-span continuous cable-stayed steel bridges as the landmark for the Tokyo Outer Loop Road have been constructed on the regulating reservoir.

This report is to describe on the cable-stayed bridge, construction works of the down lane the synchronized liquid dampers adopted as the countermeasure for controlling the oscillation of towers and the viscous shear type dampers adopted as the countermeasure for controlling the oscillation of cables.

Keywords : SAKITAMA bridge, cable-stayed bridge, construction work, T.L.D., cable damper

1. まえがき

東京外かく環状道路は、首都圏の15 km圏域を環状に結ぶ延長85 kmの新設道路で、一般部(国道298号)と専用部(高速自動車国道)を併用し、沿道の環境保全の観点から環境施設帯を設けた標準幅員62 mの路線である。

幸魂橋は、東京外かく環状道路が一級河川の荒川(調節池を含む)を渡河する橋梁で河川内橋長が1 490 mに及ぶ長大橋梁である。調節池上には、将来この周辺に予定している公園との調和を考慮して、2径間連続鋼斜張橋が採用され、上り線、下り線の2橋並列に施工されている。写真-1に全景写真を示す。

本報告は、斜張橋部下り線側の架設工事について報告するものである。

2. 橋梁概要

本橋の主な特徴は、以下のとおりである。

- ① 端支点には、大きな正負の反力が作用するため、正反力に対してはローラー支承、負反力に対してはペンデル支承で負担する構造を採用した。
- ② 塔の現場継手形式は、本橋周辺に公園などが計画されていることから、特に景観面を配慮し現場溶接とした。



写真-1 幸魂橋(斜張橋部)全景

- ③ 塔の制振方法として、斜張橋では初めて同調液体ダンパー(T.L.D.)を採用した。
 - ④ 最近、注目されているケーブルの振動に対しては粘性せん断型ダンパーを採用した。
 - ⑤ 河川の制約により、途中出水期(6月1日~10月31日)を挟むため、主桁の架設は2 渇水期(11月1日~5月30日)施工とした。
- 一般図を図-1に、主要諸元等を以下に示す。
- 路線名：東京外かく環状道路
- 道路規格：国道298号 4種1級， $V=60$ km/h
- 東北縦貫道路 1種3級， $V=80$ km/h

*川田工業㈱大阪支社工事部工課課長 **川田工業㈱橋梁事業部工事部工課課長 ***川田工業㈱橋梁事業部工事部工課係長
****川田工業㈱技術本部技術部長大橋課

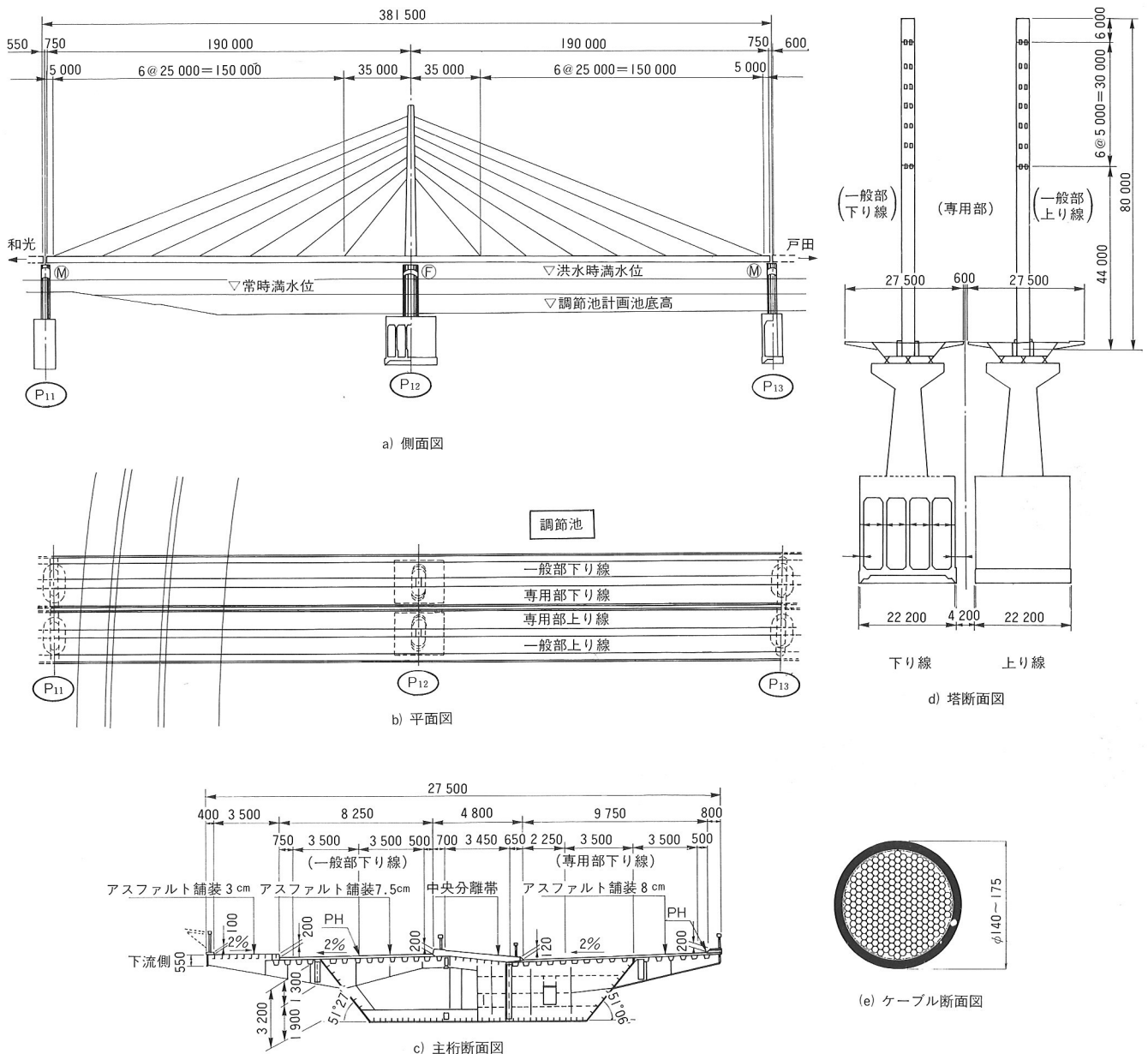


図-1 一般図

橋 格	1等橋 (TL-20, TT-43)
形 式	2径間連続鋼斜張橋
橋 長	381.5 m
支 間 割	190 m + 190 m
有効幅員	専用部 9.75 m
	一般部 車道8.25 m + 歩道3.5 m
鋼 重	主 桁 4508 t
	塔 607 t
	ケーブル 457 t
	付 属 物 657 t
	合 計 6229 t

3. 架設工事

(1) 工事の概要

主桁の架設は、安全性、経済性、工期、河川の制約などについて比較検討するとともに、技術上の諸問題について検討を加えた結果、300 t吊りクローラークレーンによるオールベント工法とした。また、塔についても主桁と同様に650 t吊りクローラークレーンによるブロック架設とした。図-2, 3に架設一般図および全体架設フローチャートを示す。

本橋は、河川管理上の制約から渇水期内施工となるため、主桁を2渇水期に分けて施工する必要がある。P₁₂橋脚から通年ベントまでを第一渇水期、通年ベントより端橋脚までを第二渇水期に架設した。

主桁、塔ブロックおよびケーブルの輸送は、東京湾より荒川を経て架橋地点付近に設置された水切り栈橋まで水上輸送し、水切り栈橋に設置した450 tクローラークレーン

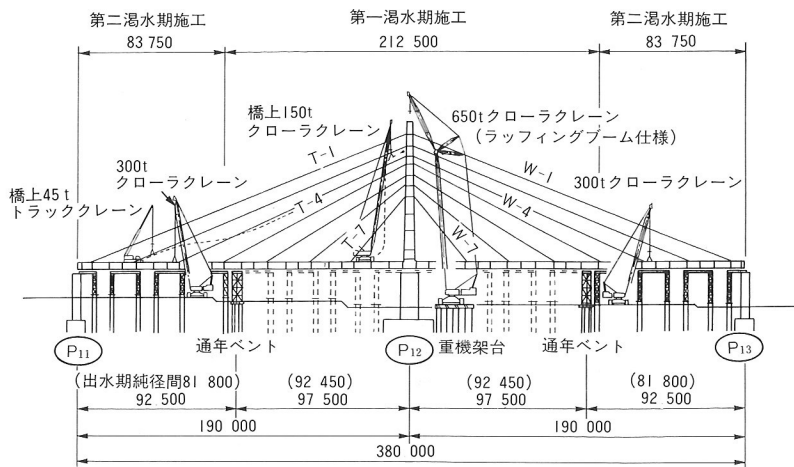


図-2 架設一般図



写真-2 水切り(塔基部)

ンあるいは150tクローラークレーンにて水切り後、トレーラーにより河川敷内を架設地点まで輸送した。写真-2に水切り状況を示す。

(2) 主桁の架設

主桁断面は5ブロックに分割されており、その架設順序は、①内主桁、②一般部外主桁、③一般部ブラケット、④専用部外主桁、⑤専用部ブラケットの順序とした。なお、主桁の最大ブロック重量は約31tであった。写真-3に主桁架設状況を示す。



写真-3 内主桁の架設

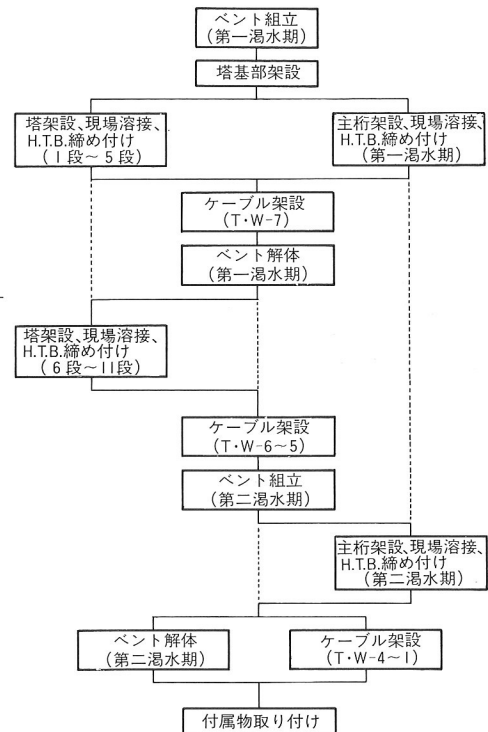


図-3 全体架設フローチャート

主桁の現場継手部の施工は、以下の順序で行った。

- ① 下フランジの全量およびウェブの下側1/3の高力ボルトの本締め(残り2/3は仮ボルトで支持)。
- ② 鋼床版の現場溶接(橋軸方向、橋軸直角方向)。
- ③ ウェブの残り2/3およびUリブの高力ボルトの本締め。

なお、ブラケット部のウェブは、ボルト本数が少ないことから、すべて仮ボルトで支持し、鋼床版現場溶接完了後に高力ボルトの本締めを行った。

ベント高さは、製作キャンバーと鋼床版現場溶接によるキャンバーを考慮して決定した。なお、橋軸直角方向の現場溶接によるキャンバーは、1継手あたりの溶接による収縮量を2mmと仮定して算出した。また、ブラケット部は、橋軸方向の溶接による跳ね上がりを考慮して、ブラケット先端部を約5mm下げ越した形状で架設した。現場溶接による鋼床版の収縮量は、測定結果より、橋軸方向の溶接に対して約1.5mm、橋軸直角方向の溶接に対して約1.8mmであった。

(3) 塔の架設

塔は、最初に1段目～5段目まで縦リブを仮ボルトで支持しながら架設し、現場溶接および縦リブの高力ボルトの本締めを行い、その後、6段目～11段目までを下段と同様の順序で架設した。なお、塔の最大部材重量は、

塔部材は、本橋の輸送方法が水上輸送のため、輸送途中の既設橋梁の桁下クリアランスから部材を横積状態で輸送し、現場ヤードで立て起こし設備と650t吊りクロー

ラクレーンを用いて部材の立て起こしを行った。写真-4に塔の立て起こし状況を示す。

塔の現場溶接に際しては、溶接によるひずみを考慮して図-4に示すように両側のフランジあるいはウェブを同時に溶接した。なお、現場溶接による収縮量は測定結果より、フランジが平均1.6 mm、ウェブが平均1.7 mmであった。

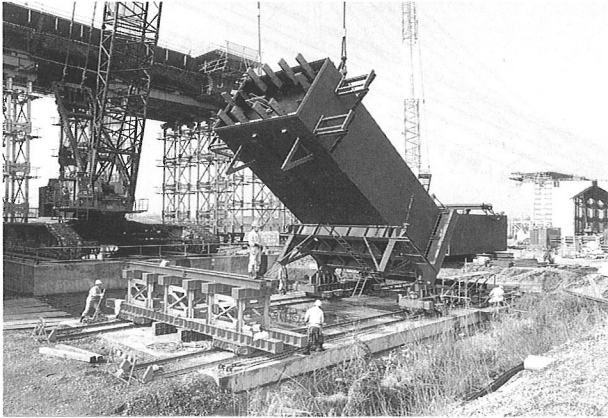


写真-4 塔の立て起こし

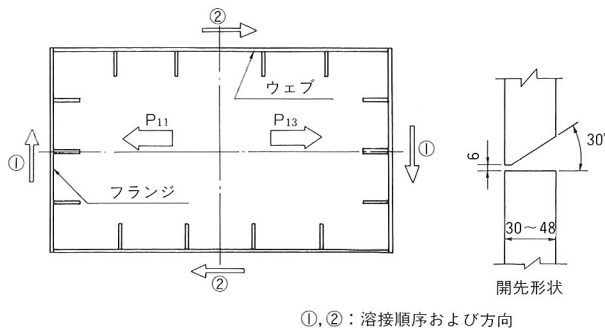


図-4 塔の溶接順序および開先形状

(4) ケーブルの架設

ケーブルは、1面吊り7段のマルチファン形で1段が2本のケーブルで構成されている。

本橋で使用したケーブルは、直径7 mmの垂鉛メッキピアノ線を束ねポリエチレン被覆されたセミパラレルワイヤケーブルである。また、素線数は、253本~397本までの6種類を使用した。

ケーブルの展開作業は、桁端部(P₁₁, P₁₃)に設置したアンリーラーから塔に向かって橋上展開設備を用いてケーブルを塔付近まで引き出し、ケーブル吊り上げ治具を取り付けたのち、150 tクローラクレーン(タワークレーン仕様)にて吊り上げた。その後、塔壁にケーブル吊り上げ治具を取り付け、塔内に設置した35 tセンターホールジャッキによりケーブルを引き込み、ソケットを定着した。主桁側の定着は、塔側ソケット定着後、以下の順序に従って行った。

- ① ウインチにより、ケーブルを引き戻す(ケーブル張力約20 t)。
- ② 図-5に示すようにPCストランドおよびプルロッドの連続引き込み可能な800 tセンターホールジャッキにてPCストランド部を引き込む(ケーブル張力約40 t)。
- ③ PCストランドからプルロッドに盛り替え、800 tセンターホールジャッキにより下段ケーブルを越えるまで引き込む(ケーブル張力約150 t)。
- ④ 塔壁に固定してあるケーブル吊り上げ治具を撤去する。①~④の作業によりケーブルの一次引き込みが完了。
- ⑤ ①~④の作業をとなりあう残り1本のケーブルについて行う。
- ⑥ となりあう2本のケーブルを同時に800 tセンターホールジャッキで所定の位置まで引き込み(二次引き込み)、座金および設計で想定したシムプレート(100 mm)を挿入する。

写真-5にケーブルの二次引き込み状況を示す。

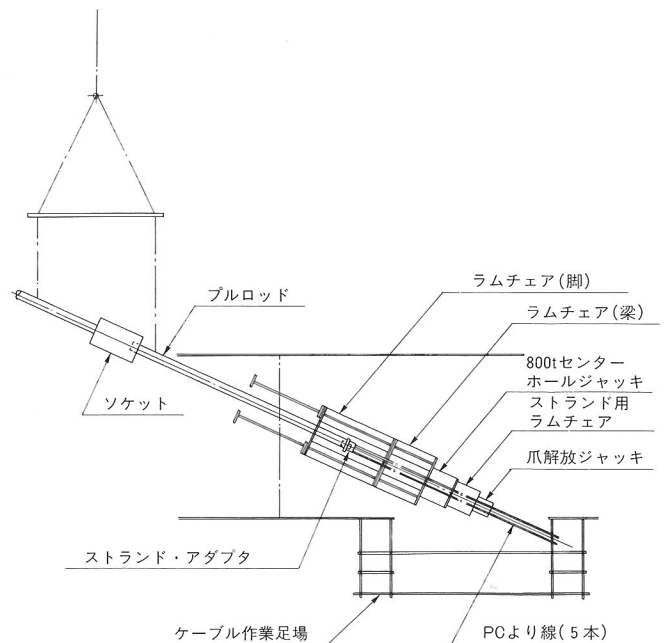


図-5 主桁側ケーブル引き込み設備

(5) 実施工程

表-1に実施工程表を示す。

(6) 精度管理

斜張橋は、高次の不静定構造物でありプレストレスを与えることにより、主桁、塔などの曲げモーメントを均等化し応力状態の改善を図っている。しかし、主桁、塔およびケーブルの製作・架設誤差、死荷重誤差などは避けることができず、場合によっては管理基準値を超えるこ

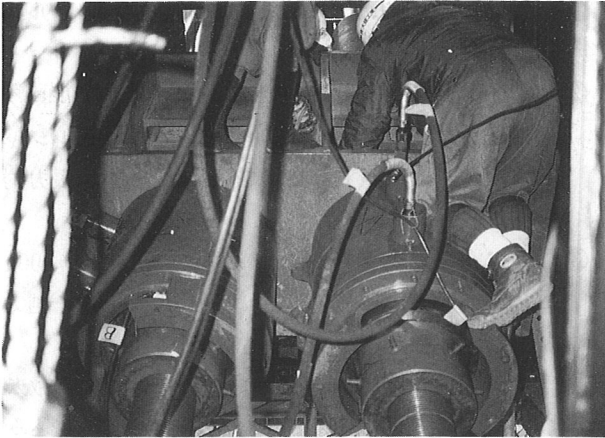


写真-5 ケーブル二次引き込み

表-1 実施工程表

年月	昭和63年												平成元年												平成2年		
項目	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3									
準備・片付け																											
支保工																											
桁架設																											
塔架設																											
ケーブル架設																											
付属物																											
備考	← 湯水期 →												← 出水期 →												← 湯水期 →		

とも予想される。これらの誤差は、一般にシムプレート进行调整することにより行う。

そこで、本橋では、当社所有の斜張橋架設時精度管理システム¹⁾を導入し、シムプレートを調整することにより、各架設段階に生じている誤差の吸収に努めた。また計測は、温度による影響が少ない夜間に行った。

ケーブル架設段階ごとに行った精度管理項目は、以下に示す3項目である。

- ① 主桁の形状（キャンバー）
- ② 塔の倒れ量（橋軸方向、橋軸直角方向）
- ③ ケーブル張力

以上の項目についてケーブル架設段階ごとに精度管理を行った結果、表-2に示す管理基準値以内に納めることができた。なお、シムプレートの調整量は、約±30mmの範囲であった。

表-2 管理基準値

管理項目	基準値	備考
主桁形状	±60mm	±(25+0.25(L-50)) L: 支間
塔の倒れ	±40mm	H/2 000 (計算書より) H: 塔高
ケーブル張力	±28t ~ 12t	架設時作用張力の±5%

4. 制振対策

(1) 制振装置の設置

本橋では、以下に述べるような検討を実施し、塔およびケーブルの制振装置を設置した。これらの設置箇所を図-6に示す。

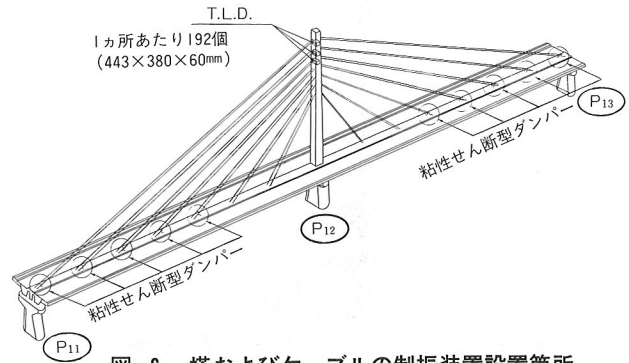


図-6 塔およびケーブルの制振装置設置箇所

(2) 塔の制振対策^{2),3)}

既往の1本柱1面吊り形式斜張橋の風洞模型実験結果⁴⁾を考慮し、本橋の塔の耐風安定性について検討した。その結果、構造対数減衰率 δ が $\delta=0.01$ の場合、橋軸直角方向については7.4m/sで渦励振、8.8m/sでギャロッピングが、それぞれ発現すると予想されるものの、 $\delta=0.03$ では非常に小さい渦励振しか発生せず、制振装置を設置することにより構造対数減衰率を $\delta \geq 0.05$ まで高めれば、塔の耐風安定性は十分であると推定できた。

従来、塔の制振対策として同調質量ダンパー (T.M.D.) 方式が一般に採用されてきたが、本橋では制振装置の製作工期、製作費用、設置の容易さなどを検討した結果、最近注目を浴びている同調液体ダンパー (T.L.D.) を採用した。

T.L.D.は非常に安価に風による振動に対処できるという利点を有するが、既応の斜張橋の塔の制振対策として採用された実例はない。そこで、本橋の塔の橋軸方向振動と橋軸直角方向振動をそれぞれ対象として、T.L.D.の減衰付加効果を実橋試験で確認した。以下にその結果を示す。実橋試験時の架設系を図-7に示す。

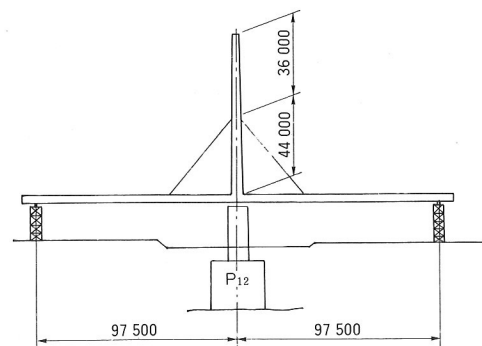


図-7 実橋試験時の架設系

T.L.D.を設置する前の、本橋の塔の橋軸方向と橋軸直角方向の固有振動数は、常時微動測定の結果、それぞれ0.625Hz、0.439Hzであった。これより、T.L.D.の水深を塔の固有振動数にはほぼ一致させるように考え、橋軸方向振動に対しては25 mm、橋軸直角方向振動に対しては15.5 mmとした。なお、橋軸方向振動は、架設ステップが進むにつれ変化し、耐風性も向上すると考えられたことから、まず初めに橋軸方向振動に対してT.L.D.の減衰付加効果を確認した後、主着目方向の橋軸直角方向振動に対して水深調整作業を実施し、減衰付加効果を確認することとした。

T.L.D.の寸法は図-8に示すとおりであり、図-6に示す位置にT.L.D.をそれぞれ192個(合計 $192 \times 3 = 576$ 個)設置した。写真-6にT.L.D.の設置状況を示す。

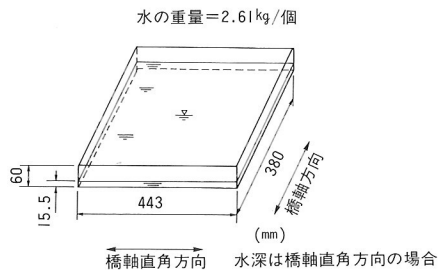


図-8 T.L.D.の寸法

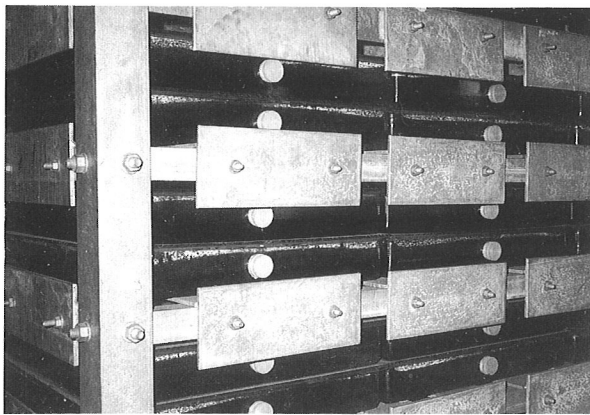


写真-6 T.L.D.設置状況

実橋試験は、塔にT.L.D.を設置しない場合と設置した場合について、塔の固有振動数にセットしたメトロノームに合わせながら、塔頂ダイヤフラム上で十数人が体重を左右に移動させ足踏みをする人力加振により行った。なお、人力加振試験時は、いずれの場合も桁上で風速1～3 m/s程度の微風状態であった。人力加振で得られた自由減衰振動波形の一例を図-9に示す。

今回の試験では、T.L.D.の有無にかかわらず、塔の構造対数減衰率には、振幅依存性が認められた。そこで、橋軸方向振動および橋軸直角方向振動のそれぞれに対し

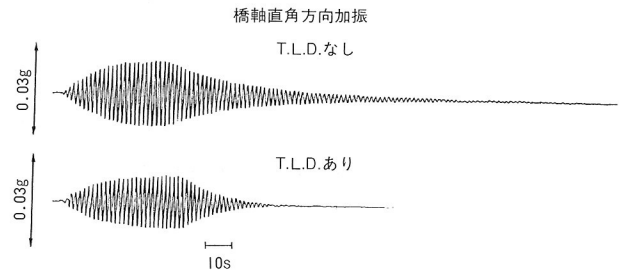


図-9 人力加振で得られた自由減衰振動波形の一例

て、図-10, 11に示すようなデータ整理を行い、T.L.D.による減衰付加効果をより詳細に検討した。

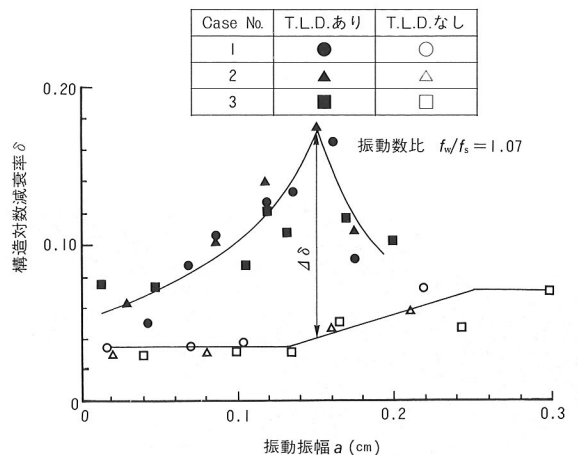


図-10 橋軸方向振動に対するT.L.D.の減衰付加効果

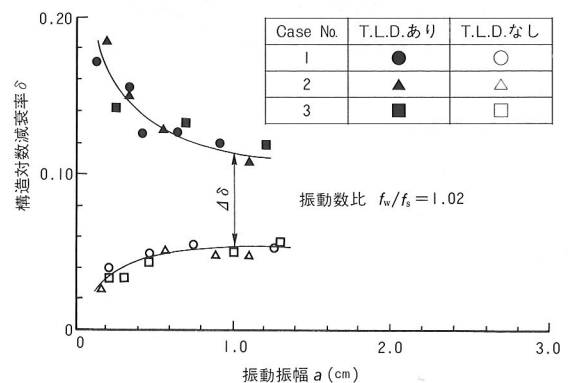


図-11 橋軸直角方向振動に対するT.L.D.の減衰付加効果

図-10より、橋軸方向振動に対する減衰付加効果は、着目する振幅 a によって変化するものの、たとえば、 $a = 0.02$ cmで $\Delta\delta = 0.02$ 、 $a = 0.15$ cmで $\Delta\delta = 0.13$ 、 $a = 0.20$ cmで $\Delta\delta = 0.04$ 程度期待できることがわかる。同様に、図-11より、橋軸直角方向振動に対する減衰付加効果も、 $a = 0.2$ cmで $\Delta\delta = 0.13$ 、 $a = 1.0$ cmで $\Delta\delta = 0.06$ 程度も期待できることがわかる。

(3) ケーブルの制振対策⁵⁾

近年、風的作用による斜張橋ケーブルの振動が数多く報告されている。

本橋を対象にケーブルの振動について検討した結果、本橋のケーブルは、2本のケーブルが750mmの間隔で平行に配置されているダブルケーブルであることから、風速約3m/s～13m/sでWake gallopingが発現する可能性が高いことが予想された。なお、実橋においても上から5段のケーブルでWake gallopingによる振動が発生した。

ケーブルの制振対策として、従来の方法などを踏まえ検討した結果、一つのダンパーで面内、面外の2方向に対処できる粘性せん断型ダンパーを採用した。なお、粘性せん断型ダンパーの設置に際しては、自動車防護柵より低い位置に設置し、美観を損ねないように努めた。

粘性せん断型ダンパー設置後は、有害なケーブルの振動が発生していないことを付記しておく。写真-7に粘性せん断型ダンパー設置状況を示す。

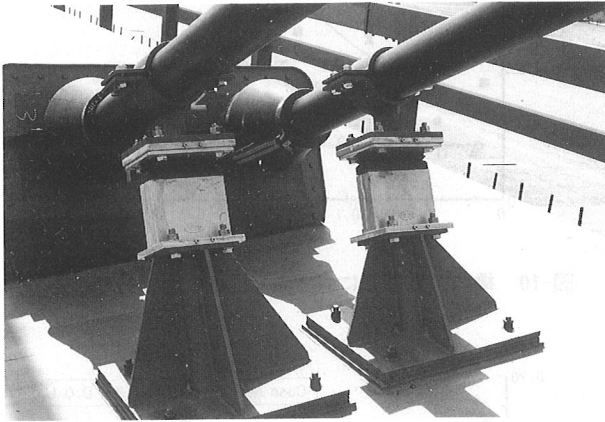


写真-7 粘性せん断型ダンパー設置状況

5. あとがき

幸魂橋は、平成2年3月に斜張橋部下り線が無事故、無災害で竣工し現在、平成3年度の東京外郭環状道路の開通に向け上り線などの工事が鋭意進められている。

最後に、本工事の施工にあたりご指導を賜ったとともに、T.L.D.および粘性せん断型ダンパーの採用にあたりご指導およびご理解をいただいた建設省北首都国道工事事務所の関係各位に、心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 西岡武雄・片山哲夫・内海 靖・前田研一・町田文孝・越後 滋：本四斜張橋・樫石島橋の面材架設時の施工管理システムの開発，川田技報，Vol.6，1987年1月。
- 2) 米田昌弘・藤野陽三・河田寛行・山本暢人・宮本義雄・安藤 修・前田研一・片山哲夫：幸魂橋主塔に対するT.L.D.の減衰付加効果について，日本風工学会誌，第41号，pp.105～106，1989年10月。
- 3) 宮本義雄・安藤 修・前田研一・米田昌弘・片山哲夫・

内海 靖：幸魂橋の主塔およびケーブルの制振対策について，川田技報，Vol.9，1989年1月。

4) 白石成人・藤沢政夫・石田 貢・斉藤 通：斜張橋の塔(1本柱)の耐風性の改善について，土木学会第42回年次学術講演概要集，I-322，pp.678～679，1987年9月。

5) 米田昌弘・前田研一・伊関治郎：新たに開発したケーブル制振用粘性せん断型ダンパーの減衰付加効果について，第11回風工学シンポジウム投稿中。