

## 千振湖橋（吊床版橋）の設計と施工

上迫田 和人\*1・徳山 清治\*2・佐野 健一\*3・大沼 孝司\*4

### はじめに

千振湖橋は、那須高原で開発を進めている（仮称）那須レイクヒルズゴルフリゾートにおいて、農業用水湖千振湖を横断する橋梁であり、ホール間の連絡道路として人、カート以外に管理用車両も通行することになる。本橋は橋台間に張り渡されたケーブルの帯をコンクリートで巻いて路面とした吊床版橋であり、道路橋としては日本で最初である。本稿では、その設計と施工について報告する。

支 間：88 m  
 幅 員：3.0 m（全幅：3.8 m）  
 基本サグ量：2.3 m  
 下 部 工：アンカー式橋台  
 自動車荷重：6.0 tf/台  
 群集荷重：(430-L) kgf/m<sup>2</sup>, Lは支間長(=88)  
 温度変化：±15℃  
 風 荷 重：600 kgf/m  
 水平震度：0.2  
 主要工事数量を表-1に示す。

### 1. 橋梁の概要

以下に橋梁緒元を示す（図-1）。

橋 種：道路橋  
 構造形式：単径間吊床版橋  
 橋 長：100 m

表-1 主要数量

	仕 様	数 量
床版コンクリート	$\sigma_{ck}=400$ kgf/cm <sup>2</sup>	88 m <sup>3</sup>
床版ケーブル	FLO-BOND, SWPR 7A, $\phi 15.2$	21 t
橋台コンクリート	$\sigma_{ck}=300$ kgf/cm <sup>2</sup>	883 m <sup>3</sup>
グラウンドアンカー	SEEE, F 170 TA, $l=25\sim 30$ m	52 本

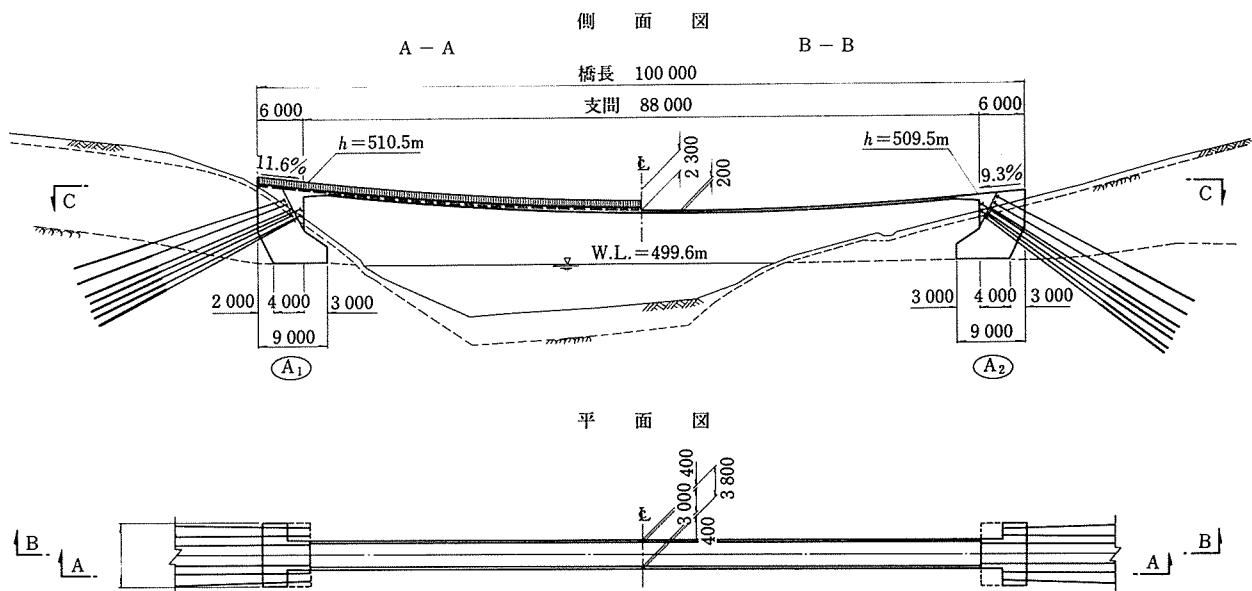


図-1 千振湖橋一般図

\*1 Kazuto KAMISAKODA：鹿島建設(株) 土木設計本部第2設計部副主査  
 \*2 Seiji TOKUYAMA：鹿島建設(株) 技術研究所第1研究部第1研究室長  
 \*3 Ken'ichi SANO：鹿島建設(株) 関東支店那須千振工事事務所長  
 \*4 Kouji OHNUMA：鹿島建設(株) 関東支店日立那珂工事事務所工事課長代理

## 2. 設 計

### 2.1 上部工の設計

#### (1) 橋軸方向の検討

設計計算は、ケーブルの変形理論を応用した解析を基とし、大変形解析により補足検討を行った。コンクリート応力度、鋼材応力度の照査は、次の荷重状態について行った。

- 1) 死荷重時  $t=0, \infty$
- 2) 活荷重時  $t=0, \infty$
- 3) 温度変化  $\pm 15^\circ\text{C}$
- 4) 活荷重+温度変化

表-2 サグと張力の関係

荷重ケース	ケーブル張力 (tf)	サグ量 (m)
$t=0$ 時		
死荷重時	1 193 (0.27 $P_u$ )	2.43
活荷重時	1 521 (0.34 $P_u$ )	2.56
温度変化時 ( $\pm 15^\circ\text{C}$ )	1 151 (0.26 $P_u$ )	2.52
温度変化時 ( $-15^\circ\text{C}$ )	1 239 (0.28 $P_u$ )	2.34
活荷重+温度 ( $+15^\circ\text{C}$ )	1 473 (0.33 $P_u$ )	2.65
活荷重+温度 ( $-15^\circ\text{C}$ )	1 575 (0.35 $P_u$ )	2.48
$t=\infty$ 時		
死荷重時	1 263 (0.28 $P_u$ )	2.30
活荷重時	1 599 (0.36 $P_u$ )	2.44
温度変化時 ( $+15^\circ\text{C}$ )	1 214 (0.27 $P_u$ )	2.39
温度変化時 ( $-15^\circ\text{C}$ )	1 318 (0.30 $P_u$ )	2.20
活荷重+温度 ( $+15^\circ\text{C}$ )	1 543 (0.35 $P_u$ )	2.53
活荷重+温度 ( $-15^\circ\text{C}$ )	1 661 (0.37 $P_u$ )	2.35

エポキシコーテッドストランド (Flo-Bond)  
SWPR7A,  $\phi 15.2$

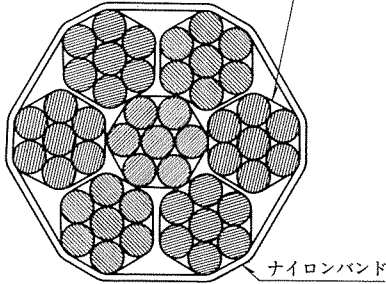


図-2 床版ケーブル断面図

活荷重としては、群集荷重と自動車荷重を考慮した。群集荷重強度は、道路橋示方書に基づき  $342 \text{ kgf/m}^2$  とした。自動車荷重は、総重量 6 tf を考慮し、「道路橋示方書」の  $L$  荷重を比例倍して求めた。また衝撃係数としては、支間 46.5 m の吊床版橋における走行試験の結果より、「道路橋示方書」の鋼橋に対する値を採用した<sup>1)</sup>。

床版の伸び剛性は、ケーブルとコンクリートの剛性の和とし、コンクリートの引張剛性は、吉川らの研究<sup>2)</sup>による評価式から  $1.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  とした。

各荷重状態におけるサグと張力の関係を表-2 に示す。ケーブル張力は、通常の PC 部材に比べて応力変動幅が大きいことから、疲労強度を考慮し、設計荷重作用時の許容張力を  $0.4 P_u$  とした。

床版ケーブルは、表面にエポキシ樹脂をコーティングし、その表層部にけい砂を埋め込んだ  $\phi 15.2 \text{ mm}$  の鋼より線 (FLO-BOND) を 7 本束にして 1 ケーブルとしている (図-2)。ケーブルは、ストランド 1 本ごとに緊張し、くさびで定着される。また、リングナットによりケーブルごとの再緊張 (サグ調整) が可能である (図-3)。

床版コンクリートは、プレキャスト版と場所打ちコンクリートの合成構造となっている (図-4)。プレキャスト版は長さ 2 m のパネルをエポキシ樹脂で接着し、ボ

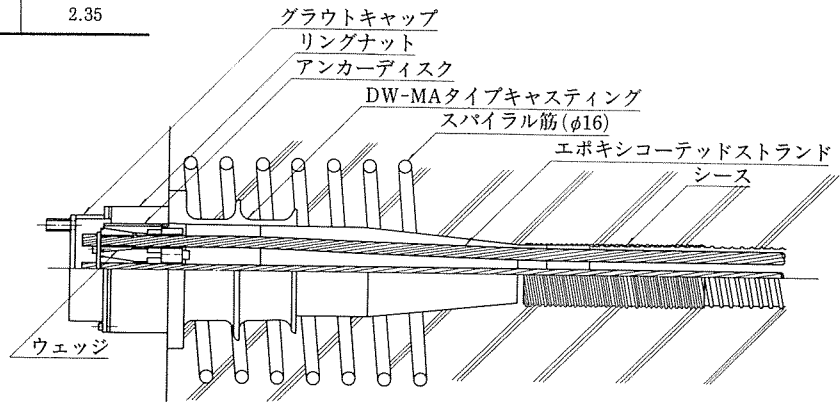


図-3 床版ケーブル緊張側定着具 (ディビダーク工法)

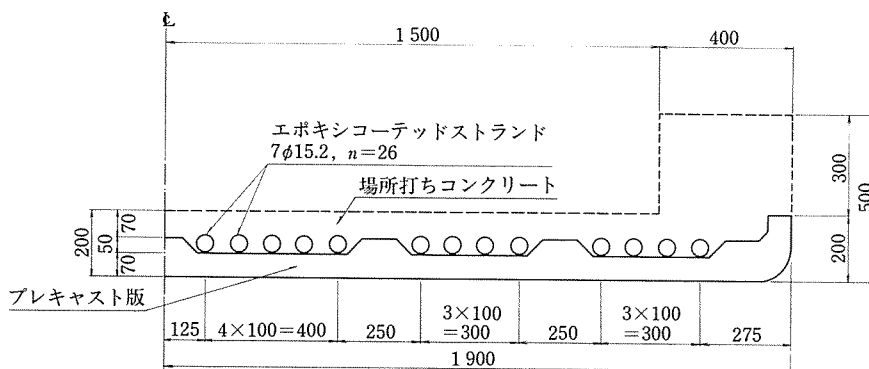


図-4 床版断面図

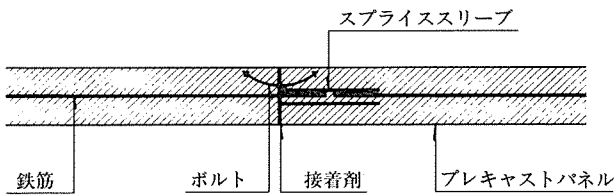


図-5 プレキャスト版接合方法

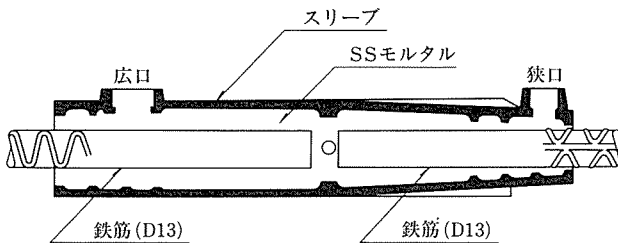


図-6 NMB スプライススリーブ

ルトで締め付けて連結する。また、橋軸方向鉄筋はモルタル充填継手 (NMB スプライススリーブ) で継ぐ (図-5, 6)。プレキャスト版と場所打ちコンクリートの一体性は、プレキャスト版表面の骨材洗い出しおよびジベルにより確保される。

本橋の一部を再現した模型により、プレキャスト版と場所打ちコンクリートとの一体性およびプレキャスト版相互の一体性を確認した<sup>3)</sup>。

(2) 横方向の検討

弾性床土上の梁として、活荷重による応力を照査した。荷重としては、500 kgf/m<sup>2</sup> の群集荷重および総重量 6 tf の自動車荷重を考慮した。

(3) 活荷重偏載荷、風荷重および直角方向地震に対する検討

格子桁解析により、活荷重偏載荷によるねじりモーメント、風荷重および橋軸直角方向地震による直角方向曲げモーメントおよびねじりモーメントを算出し、設計荷重作用時および終局荷重作用時の検討を行った。

(4) 局部曲げに対する検討

床版はその端部で橋台に剛結されており、拘束モーメ

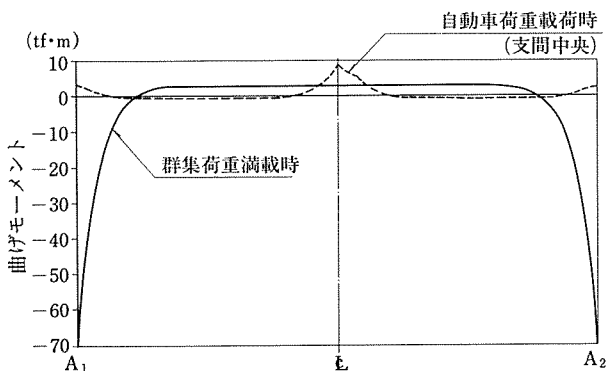


図-7 大変形解析による曲げモーメント分布

ントが発生する。また、自動車荷重により支間部に局所的な曲げモーメントが生じる。これらの影響を評価するために、床版の曲げ剛性を考慮した大変形解析を実施した。活荷重 (群集荷重) 満載時および支間中央に自動車荷重を載荷したときの床版コンクリートの曲げモーメントを図-7 に示す。大変形解析とケーブル理論による死荷重時および活荷重満載時のサグと張力の関係を表-3 に比較する。両者はほぼ一致しており、局部応力を除けばケーブル理論により設計を行えばよいことが分かる。

表-3 大変形解析とケーブル理論の比較

	大変形解析		ケーブル理論	
	死荷重時	活荷重時	死荷重時	活荷重時
サグ量 (m)	2.30	2.40	2.30	2.44
ケーブル張力 (tf)	1 258	1 565	1 263	1 599

(5) ひびわれ幅の検討

吊床版橋では、コンクリートの乾燥収縮、活荷重および温度変化等により床版に引張力が生じる。本橋は、構造の合理化と施工の省力化を図るために、床版にプレストレスを導入せず、ひびわれを許す構造としている。各荷重状態におけるひびわれ幅を表-4 に示す。このひびわれ幅は、軸引張ひびわれについては「CEB-FIP MODEL CODE 1990」で、曲げひびわれについては「コンクリート標準示方書」でそれぞれ算定した。また、ねじりモーメント最大時 (群集荷重偏載時) におけるねじりひびわれについては、「コンクリート標準示方書」の規定により照査し、設計ねじりモーメントによりひびわれが発生しないことを確認した。

表-4 ひびわれ幅の計算値

荷重ケース	ひびわれ幅 (mm)
死荷重時	—
群集荷重 + 温度 (-15°C)	0.07 (軸ひびわれ)
自動車荷重 (W=6 tf)	0.10 (曲げひびわれ)

(6) 振動限度に関する検討

歩行による振動が利用者に不快感を与えないように、その限度の検討を行った。「立体横断施設技術基準」により、構造物の固有振動数と 2 Hz の強制周期力による最大加速度について照査した。固有振動解析により、たわみの固有振動数は、 $f_1=1.02$  Hz、 $f_2=1.20$  Hz であり、1.5 Hz~2.3 Hz の範囲外なので、歩行周期力との共振は避けられる。また、歩行者が不快感を感じるといわれる最大加速度が 0.1 G となる活荷重強度は、平均体重を 70 kgf とすると 51 人に相当する。51 人以上の間人が同歩調で歩行することは、現実的にほとんど考えられないので、限度に関して問題はないと考えられる。

◇工事報告◇

2.2 下部工の設計

橋台は、上部工反力により谷側へ引っ張られるとともに、アースアンカーにより山側に押さえられている。これらの力を考慮し、地盤反力度が許容値以下であることを照査した。ただし、鉛直荷重は橋台底面地盤の鉛直地盤反力のみで、また水平荷重は橋台背面地盤の水平地盤反力のみで抵抗させた。なお、地盤のバネは、同一土層内の  $N$  値の最大値と最小値について算出し、どちらのケースについても安全であることを確認した。

(1) 設計条件

以下の荷重を考慮した。

1) 躯体自重

2) グラウンドアンカー張力

グラウンドアンカーとしては、SEEE タイプアンカー A 型 (F 170 TA) を用いている (図-8)。本アンカーは、防錆油およびポリエチレン樹脂により二重防食加工された永久アンカーである。

グラウンドアンカーの初期張力は、「グラウンドアンカー設計・施工基準」の永久アンカーの許容引張力を満足するように  $0.6 T_{us}$  ( $T_{us}$ : テンドン極限荷重) とした。また、基礎地盤のクリープ変形によるアンカー張力の減少率は 10% と仮定した。

なお、施工に先立ち、地盤が所定の引抜き抵抗力を

有しており、かつ、クリープ変形によるアンカー張力の減少率が設計で仮定した値以下であることを現地試験で確認した。

3) 上部工反力

表-2 に示す床版張力の最大値と最小値について検討した。

4) 地震時慣性力

5) 土 圧

橋台背面上部の正の地盤反力が生じない部分については、主動土圧を作用させた。

(2) 解析方法

橋台を基礎地盤でバネ支持された 2 次元要素 (平面ひずみ) にモデル化し、各荷重を載荷させたときの橋台の変位量より地盤反力度を求めた。

(3) 地盤反力度

基礎地盤は、 $N$  値 50 以上の砂れき地盤であり、「道路橋示方書・下部構造編」に従い、地盤反力度が常時で  $70 \text{ tf/m}^2$ 、地震時で  $105 \text{ tf/m}^2$  以下となるようにグラウンドアンカーの本数と勾配を決定した。このとき、橋台底面の鉛直地盤反力は、台形分布となるように設計した。また、架設時には上部工反力が徐々に変化するので、地盤反力度が  $105 \text{ tf/m}^2$  以下となるようにグラウンドアンカーの緊張時期を決定した。

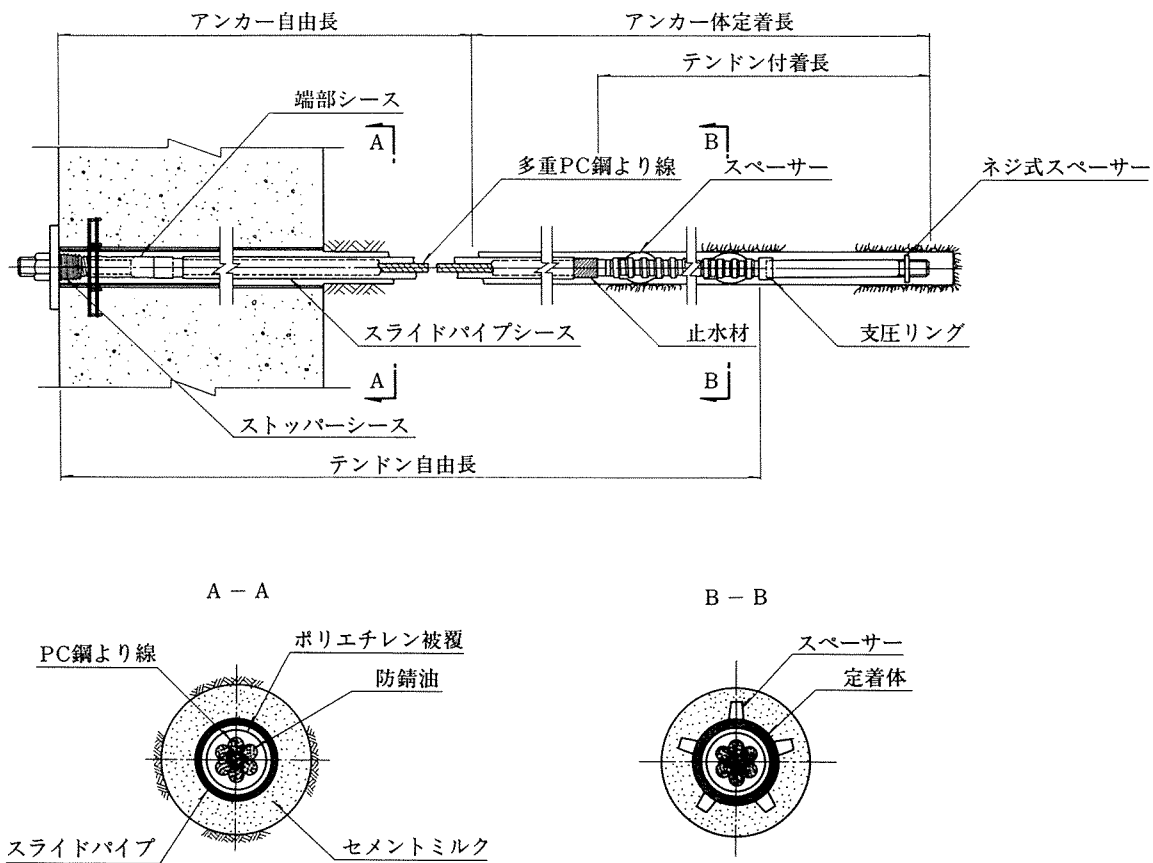


図-8 SEEE-A 型グラウンドアンカー

### 3. 施 工

床版は、ケーブルに吊り下げられ、お互いに接合されたプレキャスト版上でコンクリートを場所打ちし一体化することにより、型枠・支保工なしで施工することができた。

以下に施工順序を示す（図-9）。

#### 1) 橋 台 工

橋台部の掘削を行い、基礎碎石を敷き、均しコンクリートを施工した後、橋台を構築した。

#### 2) グラウンドアンカー工

ロータリーパーカッション方式で1橋台あたり26本の削孔を行い、孔内を洗浄した後、SEEEアンカーを挿入した。まず6本のグラウンドアンカーを緊張し、残りは橋体の施工に応じて順次緊張した（写真-1）。

#### 3) ワイヤブリッジ

床版ケーブルの架設およびプレキャスト版の架設時における作業通路と落下防止を目的として橋台間にワイヤブリッジを組み立てた。これは、橋台に埋め込まれたH鋼をアンカーとして、橋体形状に合わせてワイヤロープを張り渡し、その上に単管パイプと足

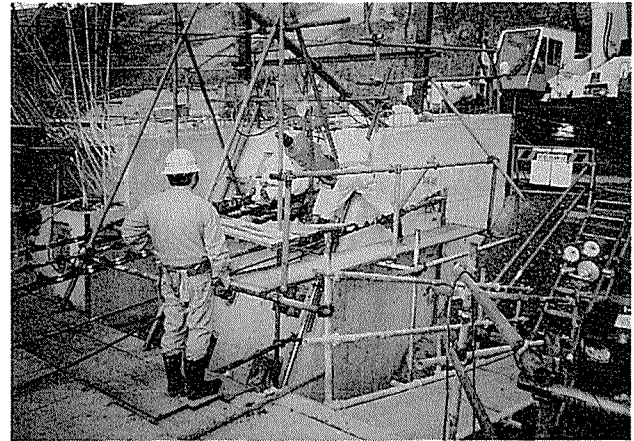


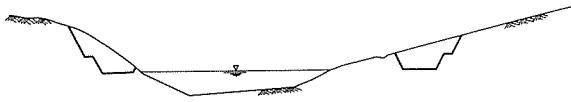
写真-1 グラウンドアンカー緊張状況

場板を取り付け作業通路としたものである。ワイヤブリッジは、床版コンクリート打設後解体した。

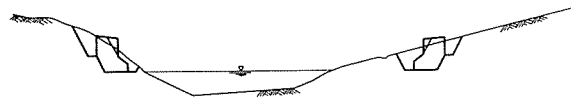
#### 4) 床版ケーブル架設（図-10）

プッシングマシンにてエポキシコーテッドストランドを送り出し、橋台内に引き込んだ（写真-2）。7本のストランドを引き込んだ後、シングルストランドジャッキにて1本ごとに所定のサグ量になるまで緊張し、くさびで定着した（写真-3）。7本緊張後、ナイロンバンドで束ねた。

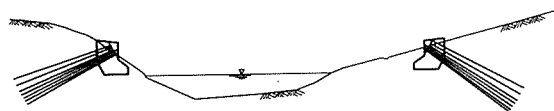
#### ① アバット部掘削



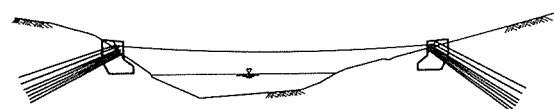
#### ② アバット部コンクリート打設埋戻し



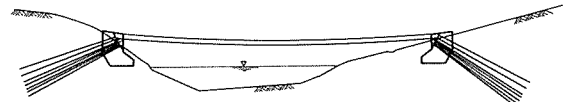
#### ③ グラウンドアンカー削孔、挿入（26本） グラウンドアンカー緊張（6本）



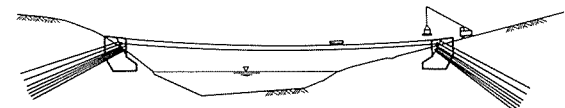
#### ④ ワイヤブリッジ組立



#### ⑤ 床版ケーブル緊張、サグ調整 グラウンドアンカー緊張（4本）



#### ⑥ プレキャスト版架設 グラウンドアンカー緊張（8本）



#### ⑦ 床版鉄筋組立 床版コンクリート打設 グラウンドアンカー緊張（8本）



#### ⑧ ワイヤブリッジ解体 高欄建込み 橋面舗装

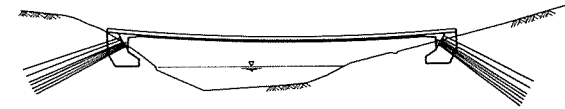


図-9 施工順序図

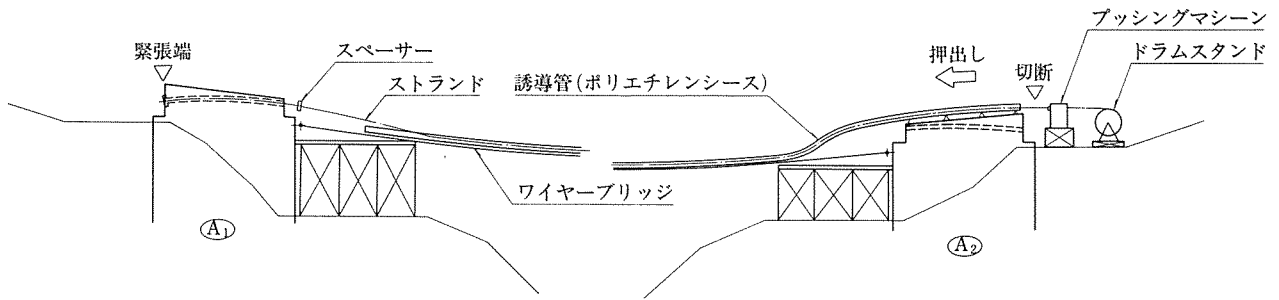


図-10 床版ケーブル架設図

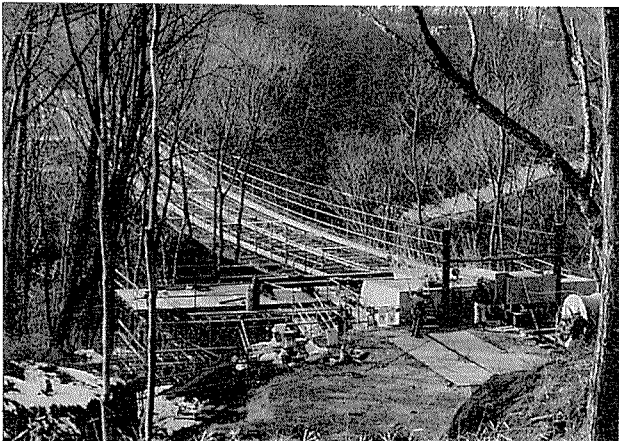


写真-2 エポキシコーテッドストランドの送り出し

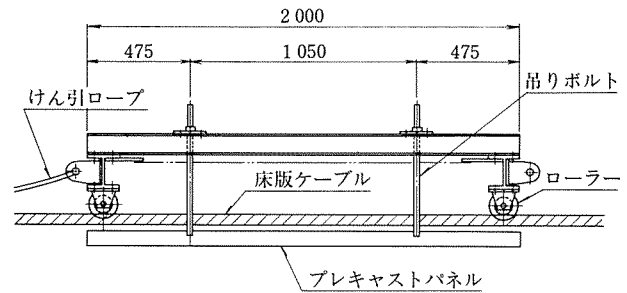


図-11 プレキャストパネル架設台車

5) プレキャスト版架設

工場製作されたプレキャスト版を順次 A<sub>2</sub> 橋台前面で架設台車 (図-11) を介して床版ケーブルに吊り下げ (写真-4), A<sub>1</sub> 橋台方向に運搬し, 前方のプレキャスト版と接合した。

6) 床版工

橋台前面から3 m の増厚区間については接地式支保工上で, その他の区間については, プレキャスト版上で鉄筋を配置し, コンクリートを打設した。なお, コンクリート打設前にリングナットによりケーブルごとに再緊張を行い, サグ量を調整した。コンクリートは, 両橋台後方にポンプ車を配置し, 支間中央部より両橋台側へ打設した。このとき, 地覆も同時に打設した。冬期の施工となったため, コンクリート打設後ブルーシートで橋体を覆い, クリーンジェットヒーターで温風を送り込んで養生を行った。

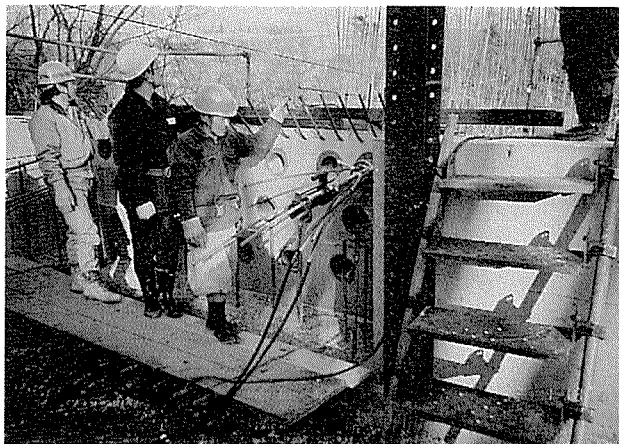


写真-3 床版ケーブル緊張状況

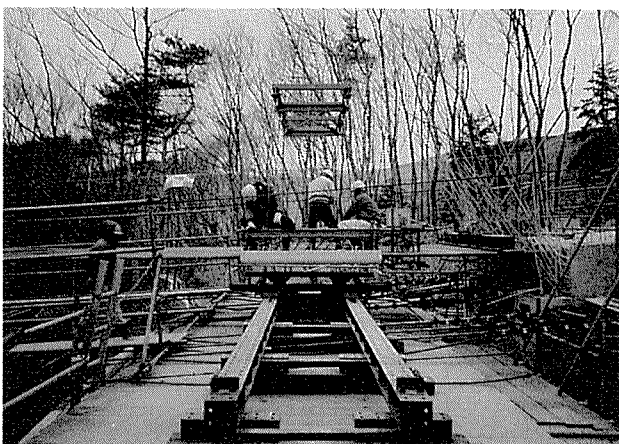


写真-4 プレキャスト版の吊下げ

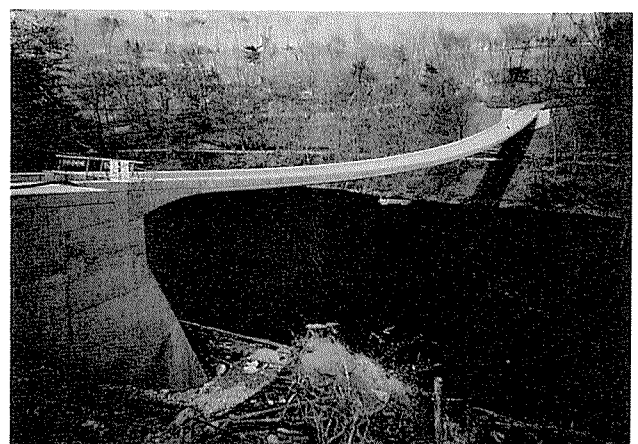


写真-5 橋体完成写真

ワイヤーブリッジ撤去後の状況を写真-5に示す。

#### 7) 橋面工

高欄を建て込み、舗装を施す。

#### おわりに

以上、千振湖橋の設計と施工について述べた。吊床版橋は構造が単純で、長大支間の橋梁に適した構造形式といわれている。しかし、構造がフレキシブルであるため、長大道路橋に適用するには、車両走行時の衝撃や耐

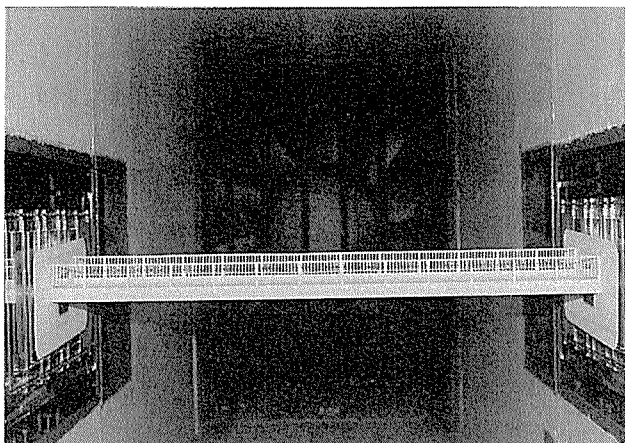


写真-6 風洞実験

風安定性の検討が必要と考えられる。本橋に関しては、2次元剛体模型で風洞実験を実施しており（写真-6）、実橋での振動試験結果を待って、フェアリング等の耐風対策を講じる予定である。また、車両走行試験を行い、さらに詳細な動的データを収集する予定である。

本橋は、吊床版を路面とした道路橋としては、わが国で初めての試みであり、長大道路橋への適用の礎となれば幸いである。

最後に、本橋の設計、施工にあたり種々の御指導と御援助をいただいた関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) S. Tokuyama, K. Kamisakoda : Design, Construction and Dynamic Characteristic Tests of a Stress Ribbon Bridge (Chiburiko Bridge), 8 th U. S.-Japan Bridge Engineering Workshop, May, 1992
- 2) 吉川, 田辺 : 鉄筋コンクリート部材の引張剛性に関する解析的研究, 土木学会論文集, 第 366 号, 1986 年 2 月
- 3) 信田, 山, 木村 : プレキャストコンクリート型枠相互の接合方法及び本体コンクリートとの一体化, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, 1992 年

【1992 年 5 月 8 日受付】

#### ◀刊行物案内▶

## PC 技術の役割と発展

<第 20 回 PC 技術協会講習会テキスト>

(平成 4 年 2 月)

頒布価格 : 4 500 円 (送料 : 450 円)

内 容 : プレストレストコンクリートの国際動向と役割 [池田尚治] / プレストレス導入理念の拡大と応用 [六車 熙] / 最近における PC 構造の展開と新材料 [山崎 淳, 近藤真一, 石橋悦治, 材寄 勉] / 都市内 PC 橋計画の手引—PC 橋のフォーム— [池田尚治] / 各地における注目すべき構造物 [各開催地域の講師] / PC 連結げたの設計・施工について [西川和廣, 箕作光一, 杉山 純, (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会]