

文化施設ゾーン連絡橋の施工

～他碇ケーブルとグラウンドアンカーとで
バランスを取る単純吊り桁橋～

Construction of BUNKA-SHISETSU-ZONE Connection Bridge

鵜飼 宏二

Koji UKAI

川田建設(株)東京支店工事事務課

塚本 康博

Yasuhiro TSUKAMOTO

川田建設(株)北陸支店工事事務次長

今井 平佳

Hirayoshi IMAI

川田建設(株)東京支店工事事務課課長

伏見 勉

Tsutomu FUSHIMI

川田建設(株)九州支店九州工場製造課
課長代理

吉松 秀和

Hidekazu YOSHIMATSU

川田建設(株)工事総括部技術開発部開発課

本橋梁は、「桁下の交差道路」、「建築限界による桁高制限」、「中間橋脚の設置が不可能」、「航空航路の制限から塔を立てることが不可能」等の制約条件から、橋長71.2 mを有する単純吊り桁構造を採用している。なお、同構造は、自碇ケーブル、他碇ケーブル、グラウンドアンカーの3種類のケーブルでバランスを取り安定を図った構造形式である。

本報告書は、文化施設ゾーン連絡橋の施工において実施したバランス管理および維持管理計画について報告するものである。

キーワード：桁高制限、単純吊り桁橋、他碇ケーブル、グラウンドアンカー

1. はじめに

文化施設ゾーン連絡橋は、国営昭和記念公園内に増設される緑の文化施設ゾーンと本園（立川口広場）とを結ぶ橋長71.2 m、有効幅員12.8 mを有する歩道橋である。全体一般図を図1に、主桁断面図を図2にそれぞれ示す。

本橋梁は、橋梁下は総幅員60 mの交差道路による桁下空頭制限を受け、かつ、中間橋脚を設置することができないこと、橋梁上空は近隣に飛行場があり、離発着する飛行機のための高度制限等の制約条件から橋面上に塔を立てることが不可能であることから「単純吊り桁橋」を採用し、単純桁構造で低い桁高（支間中央での桁高2.050 m：桁高／支間長＝1／34）を実現している。

また、上部構造は自碇ケーブルと橋台間に渡架された他碇ケーブルのプレストレスにより成り立っており、下部構造は他碇ケーブルとグラウンドアンカーとで引き合ってバランスを取り安定している。

そのため完成時はもちろんのこと、施工中においても各張力がバランスを失うと構造物は安定性を失い転倒する。また、上部構造は下部構造が内側に変位すると他碇ケーブルの張力が減少し耐力を失う。そこで、各施工段階における各ケーブルの張力管理が重要となり、適切な施工手順を計画し、かつ、確実に実施することが要求される。本文では、本工事における施工計画、施工管理および維持管理について報告する。

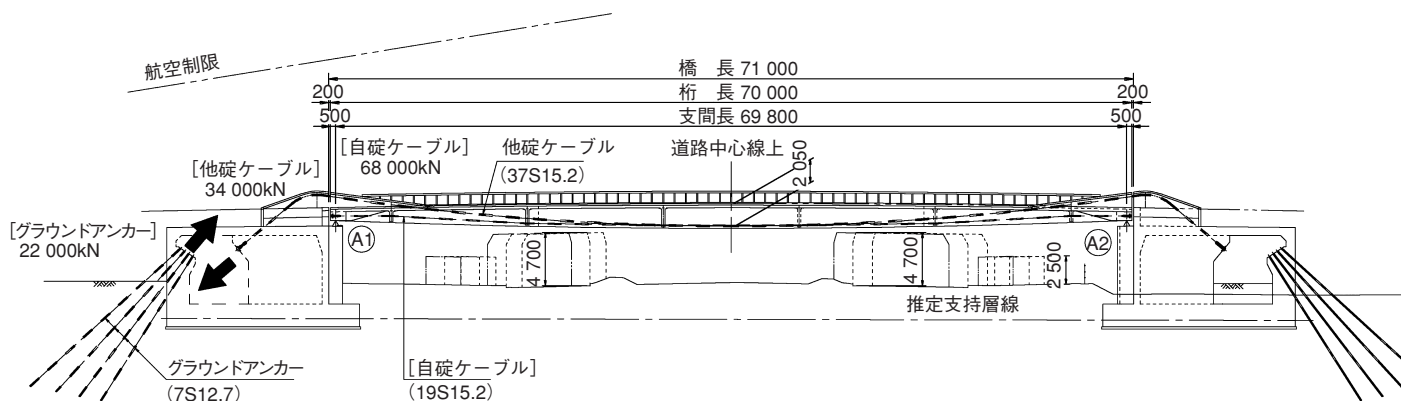


図1 文化施設ゾーン連絡橋全体一般図

2. 設計条件

橋 長：71.200 m
 桁 長：70.800 m
 支 間 長：69.800 m
 有効幅員：12.800 m（標準部）
 活 荷 重：群集荷重
 縦断勾配：2.000 %～－2.000 %
 平面線形：R＝∞

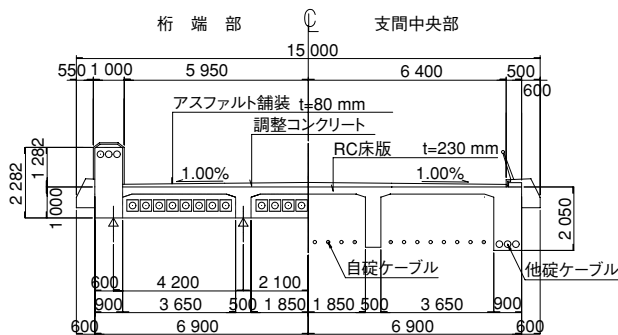


図2 主桁断面図

3. 下部構造の安定性

下部構造は、他碇ケーブルの張力、下部工自重、上部工反力およびグラウンドアンカーの張力とでバランスを取っており、構造完成時における荷重バランスは図3に示す通りである。使用ケーブルの材料諸元、本数および張力は表1の通りである。

構造完成時、活荷重時および地震時における安定照査結果は表2の通りであり、下部構造は転倒に対する安定照査が最も支配的となる構造物である。

そのため、下部構造の安定に大きく影響する他碇ケーブルおよびグラウンドアンカーの張力、導入手順および各施工段階における各ケーブルの張力管理が重要となる。

また、下部構造の安定照査は、橋台の剛性や地盤定数の影響を受けるため、実構造物における橋台の変形および変位等を計測し実際の地盤定数を把握する必要もある。

表1 材料諸元

	鋼材	本数	鋼材張力	
		(本)	(kN/本)	(kN)
グラウンドアンカー	7S12.7	32	688	22 000
他碇ケーブル	37S15.2	6	5 667	34 000

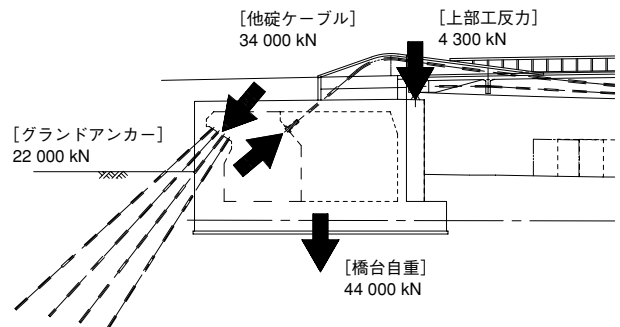


図3 荷重バランス図

4. 施工手順

各施工段階における部材の応力検討および安定性照査の結果、施工手順は以下になった。

- ① 両橋台の構築およびグラウンドアンカーの設置
- ② グラウンドアンカーのクリープ促進
- ③ 固定支保工による上部工構築
- ④ グラウンドアンカーの緊張
- ⑤ 自碇ケーブルの緊張
- ⑥ 他碇ケーブルの緊張
- ⑦ 橋面工施工
- ⑧ 張力調整

ここで、④～⑥については、図4に示すように各施工段階における橋台の安定性照査および部材の応力照査により、最終的に設計通りの張力が導入されるよう作業効率を考慮した各ケーブルの最適な緊張本数および緊張力を決定した。図5に各施工段階の概要を示す。

表2 安定照査結果一覧表

照査条件	照査項目	単位	計算値	許容値	計算値/許容値
構造完成時	転倒安定照査	m	2.563	2.833	90 %
	地盤反力度	kN/m ²	511	700	73 %
	地盤の鉛直支持力	kN	65 646	268 784	24 %
	地盤のせん断抵抗力	kN	19 304	26 259	74 %
活荷重時 (群衆荷重満載)	転倒安定照査	m	2.755	2.833	97 %
	地盤反力度	kN/m ²	563	700	80 %
	地盤の鉛直支持力	kN	69 908	258 866	27 %
	地盤のせん断抵抗力	kN	21 185	27 963	76 %
地震時	転倒安定照査	m	3.093	5.667	55 %
	地盤反力度	kN/m ²	578	1 050	55 %
	地盤の鉛直支持力	kN	67 529	362 350	19 %
	地盤のせん断抵抗力	kN	30 466	33 765	90 %

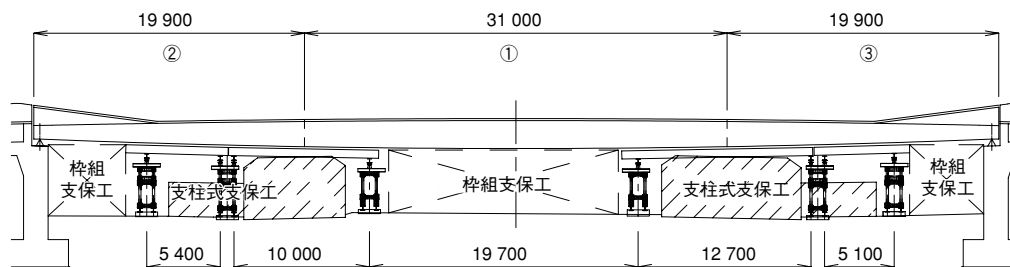
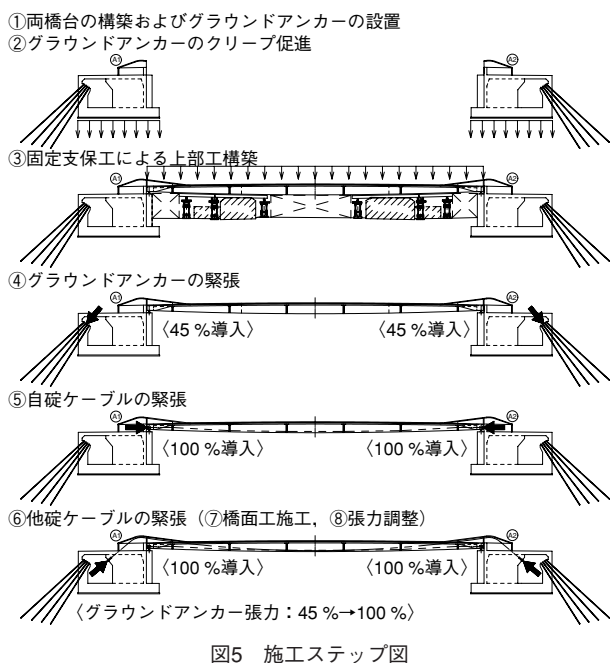
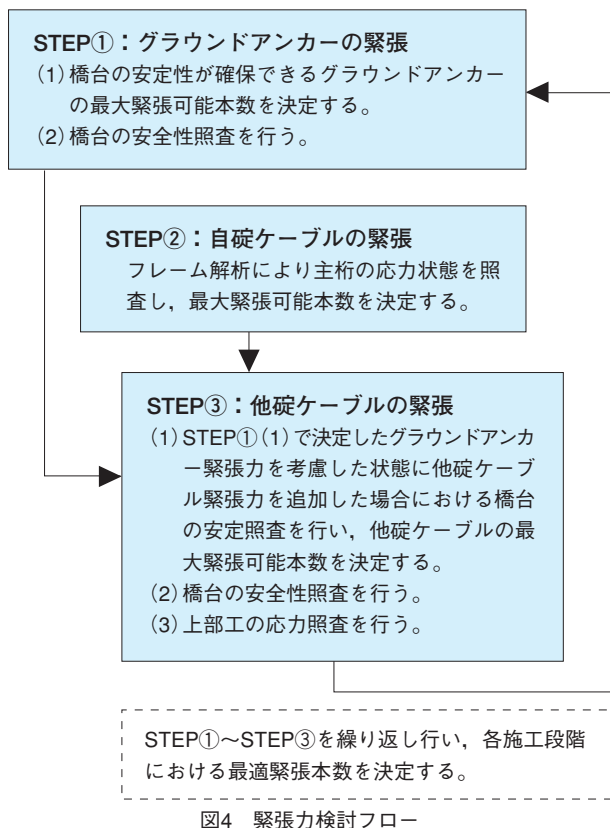


図6 支保工図

4. 1 グラウンドアンカーのクリープ促進

グラウンドアンカーは、地盤クリープにより張力が減少する。グラウンドアンカーの張力が減少すると橋台が変形し、他碇ケーブルの定着位置が移動することにより他碇ケーブルの張力も減少する。さらに他碇ケーブルの張力が減少すると上部工に必要なプレストレス力が減少し悪影響を及ぼす。したがって、このクリープによるグラウンドアンカーの張力減少量を極力小さくするため、上部工施工前に予めグラウンドアンカーを緊張し地盤の初期クリープを促進させることとした。ただし、一度に全本数を緊張すると橋台が安定しないため、橋台の安定性照査を行い最適な緊張本数を決定した。安定性照査の結果、16本/32本(50%)までであれば橋台の安定性が確保できることから、2回に分けて半数ずつを緊張し1週間以上放置し地盤の初期クリープを促進させた。

4. 2 固定支保工による上部工構築

本橋梁は総幅員60 mの交差道路上での施工であることから、図6に示すように桟組支保工と支柱式支保工の組合せにより架設した。なお、3ブロックに分けて①→②→③の順に施工した。

4. 3 グラウンドアンカーの緊張

グラウンドアンカーの張力は、他碇ケーブル緊張による橋台の弾性変形もしくは回転により増加するため、予め他碇ケーブル緊張によるグラウンドアンカーの張力増加量を算出し初期張力を決定した。他碇ケーブルをすべて緊張した時のグラウンドアンカーの張力増加量が、 $\Delta P_g = 12,000 \text{ kN}$ で、設計値が22,000 kNであることからグラウンドアンカーの初期張力は10,000 kN(45%)と設定した。

4. 4 自碇ケーブルの緊張

自碇ケーブルは、19S15.2の大容量外ケーブルを使用し、各桁間に8本ずつ合計24本配置する。

上部工の部材応力照査より、自碇ケーブルをすべて緊張した時の上部工の応力度は導入直後の許容応力度をすべての設計断面位置で満足することから、自碇ケーブルはすべての本数を緊張することとした。ただし、幅員12.800 mに対し桁高が2.050 mしかなく、橋軸直角方向のケーブル偏心量による影響が大きいため、緊張ジャッキを4台使用し左右同時に両引きにて緊張作業を行った。

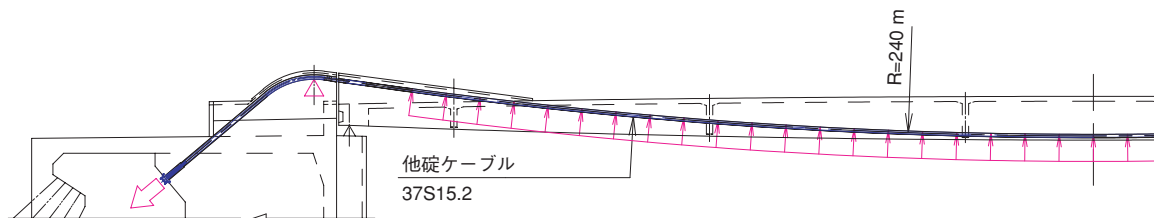


図7 他碕ケーブル配置図

4. 5 他碕ケーブルの緊張

他碕ケーブルは、図7に示すように主桁内に配置された $R=240\text{ m}$ の円弧状のシース管の中に後挿入し、緊張することにより橋台上の斜版部を支点として桁を吊り上げる構造である（一部は支承にて受け持たせる）。

一方、設計では他碕ケーブルを独立した部材として解析モデルを設定しており、2 m毎に節点を設けて解析している。また、地震時における他碕ケーブルとシース管との接触面については、摩擦力に見合う非線形バネを設定し地震時の解析モデルに反映している。しかし、他碕ケーブルとシース管との摩擦が接地面全長に渡り均一に働くかどうかは不明確であり、万が一摩擦が偏って働いた場合には上部工耐力にも影響するため、実施工では、摩擦の影響を明確化するため設計通り2 m毎に支持材を設け、そこを支点として他碕ケーブルの緊張力を上部工へ伝達させる構造とした（図8）。

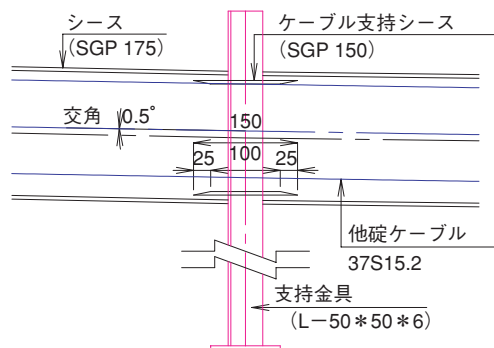


図8 支持金具詳細図

さらに、本橋梁で使用する他碕ケーブルはポリエチレンで被覆されており、このポリエチレンとシース管との摩擦係数について事前に試験を行い、緊張時における静摩擦係数および地震時における動摩擦係数を確認し実施工に反映させた。

4. 6 他碕ケーブルの摩擦試験

摩擦試験は、緊張時における静摩擦係数と地震時における動摩擦係数について行った。摩擦試験で使用したケーブルは実橋で使用するケーブルと同じ37S15.2（アンボンダマルチケーブル）を採用した。このケーブルは、図9に示すようにアンボンダPC鋼より線の外周にポリエチレン一括被覆を施したケーブルである。アンボンダPC鋼より線は、PC鋼より線に防錆グリースを塗布し、さらにその上からポリエチレン被覆を行ったものである。

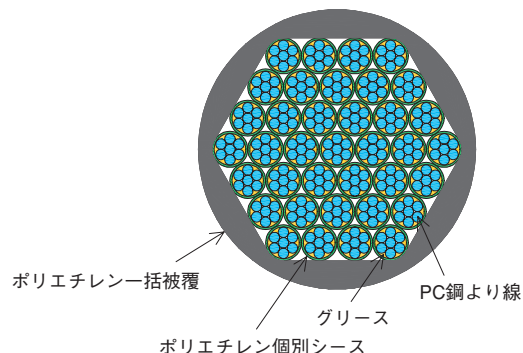


図9 他碕ケーブル断面図

また、試験体は図10に示すように偏向管を2箇所取り付けて、交角が実橋と同じ0.5度となるように配置し、片引き緊張方式にて実験を行った。動摩擦係数の測定は、緊張力を0.6 Puで一定に保持したまま、固定側ジャッキのストロークを徐々に戻しながら緊張側ジャッキのストロークを伸ばし、その時の固定側の緊張力を読みとる方法で測定した。

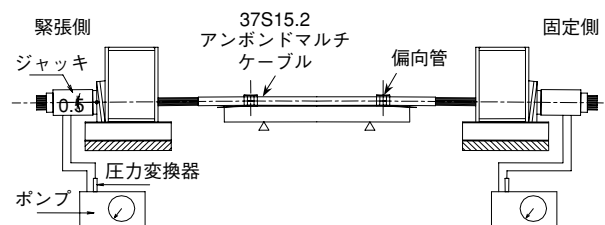


図10 摩擦試験装置

(1) 静摩擦試験結果

静摩擦係数は、1回目は0.10(1/rad)であったが2～4回目については平均0.75(1/rad)程度となり、設計値0.30(1/rad)に対し若干大きい値となった。なお、実橋での試験緊張による結果は0.01～0.07(1/rad)程度であった。

(2) 動摩擦試験結果

動摩擦係数は、摺動の往復回数が増すにつれ1.58→0.83→0.69(1/rad)と低減するものの、設計で想定している動摩擦係数0.22に比べ大きい値となった。しかし、設計では摩擦係数が0.00および1.00の場合、または局部的に摩擦が働いた場合における照査を行っており、いずれの場合でも構造上問題ないことは確認されている。

4. 7 橋面工施工

橋面工は、地覆、調整コンクリート、アスファルト舗装、高欄、添架物等があり、これらを施工する時においても、上部工のキャンバー、橋台の変位およびグラウンドアンカーの張力確認を行い設計通りであるか確認した。

4. 8 張力調整

構造完成時における各ケーブルの張力が設計通り導入され、構造物のバランスが成り立っているか確認し、もし管理値から外れているようであれば張力調整を行う。張力調整とは、グラウンドアンカーおよび他碇ケーブルの張力調整あるいは下部構造の自重増加（カウンターウェイト）等が考えられ、その時の計測結果を考慮し再設定するものとした。

5. 施工中における管理

5. 1 管理計画

施工手順に従い計画通りの張力が導入され、橋台および上部工の安定性・安全性が確保されていることを確認するため、各施工段階におけるケーブル張力、上部工のキャンバー（上がり量）、グラウンドアンカーの張力変動等を計測し管理した。また、地盤バネの影響および橋台の弾性変形等による張力変動も考えられるため橋台の変形および変位についても計測し管理した。

(1) グラウンドアンカーの張力管理

管理段階は、上部工施工前、グラウンドアンカー緊張時、緊張後および供用後とした。上部工施工前は長期クリープ試験を行い、初期張力から1週間後の張力減少量を確認し、50年後のクリープによる減少量を推定した。また、地盤の初期クリープを進行させるためグラウンドアンカーを予め半数ずつ緊張し（688 kN/本）クリープ促進を行った。なお、緊張時の張力管理はマノメータおよびディスクセンサー（3箇所/32箇所）にて管理した（図11）。

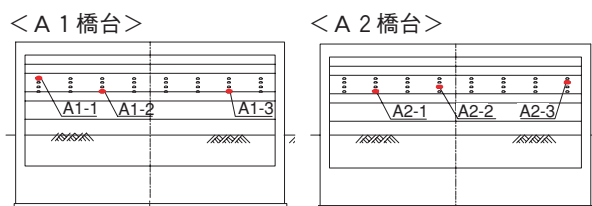


図11 ディスクセンサー設置位置

グラウンドアンカー緊張時の緊張力は設計計算による張力（310 kN/本：45 %導入）とした。緊張後および供用後は、地盤クリープにより張力が減少する恐れがあるため、ディスクセンサーにて張力管理するものとした。

(2) 自碇ケーブルの張力管理

自碇ケーブルは上部構造内のみで定着されるため、以後の施工による影響が少ないことから緊張時のみの管理とした。緊張力は設計計算より2 800 kN/本としマノメータにて管理した。また、自碇ケーブル緊張時の主桁の上がり量は、フレーム解析結果より支保工との縁が切れないことから管理値は0 mmとした。

(3) 他碇ケーブルの張力管理

管理段階は、他碇ケーブル緊張時、供用直前とし、緊張力は設計計算より5 375 kN/本としマノメータにて管理した。また、主桁の上がり量は設計計算より支間中央部で134 mmである。なお、地盤の初期クリープによりグラウンドアンカーの張力が減少し、これにより他碇ケーブルの張力も減少する恐れがあるため、供用直前に再緊張を行い設計通りの緊張力を再導入するものとした。

(4) 橋台の変位管理

グラウンドアンカーおよび他碇ケーブルの緊張による橋台の変形量を計測することで、計画通りの緊張力が導入されることが確認できるため、橋台の変形量（移動量および沈下量）を管理した。なお、橋台の変形量は微小であることとリアルタイムに変形量を把握する必要があることから、精度が良く自動化された自動追尾式トータルステーションを用いて計測した。管理値は設計計算による変形量とした。さらに、計測された変形量から地盤定数を逆算し、橋台の安定照査等に使用する地盤条件に反映させるものとした。

5. 2 管理結果

(1) 上部工キャンバー

他碇ケーブル緊張時における主桁の上がり量が、設計値134 mmに対し実測値は118 mmと想定していたものより小さかったが、上部工に生じているひずみによると設計通りに張力が導入されていることは確認できた。

これは、PC鋼材とシースの摩擦係数が設計で想定していたものより小さかった（設計：0.23、実測：0.04）ため、支間中央における設計張力を導入するためのジャッキ端張力が小さくなり全体的に主桁に導入される張力が小さくなったことが原因であったと考えられる。（ $\mu = 0.23$ を0.04とした時の主桁上がり量の差は24 mm）

(2) グラウンドアンカーの張力増加量

グラウンドアンカーの張力は、他碇ケーブル緊張により310 kN/本（45 %）が設計値の688 kN/本（100 %）まで増加する計画であったが、実測値は420 kN（61 %）までしか増加しなかった（図12）。また、他碇ケーブル緊張による橋台の変形量が図13および図14に示す通り設計値より小さかった。

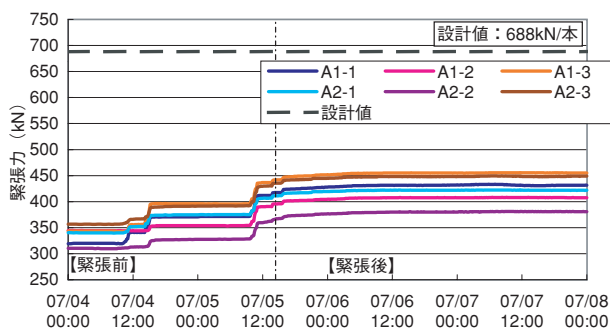


図12 グラウンドアンカー張力計測結果

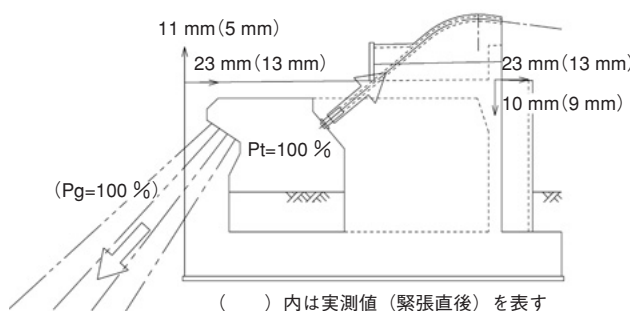


図13 他碕ケーブル緊張後の橋台変形量

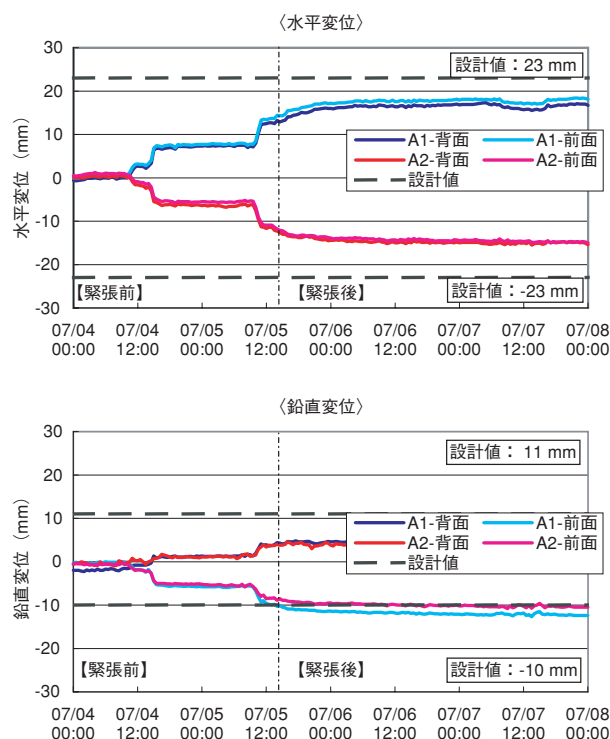


図14 橋台変位計測結果

これは、他碕ケーブル緊張時における地盤バネ定数とグラウンドアンカーの張力増加量および橋台の変位との関係より、地盤バネ定数が設計値より3倍程度硬かったことが原因であると考えられる。ただし、この状態ではグラウンドアンカーの張力が設計値より不足し橋台の安定性が確保できないため張力調整が必要となる。張力調整は、グラウンドアンカーを再緊張する方法と橋台内部にカウンターウェイトを充填し安定性を確保する方法が考えられる。ここでは、表2の安定照査結果一覧表に示すように、地盤反力度は2割程度、鉛直支持力は7割程度以上の余裕があるため、自重を増加することにより安定性を確保することは可能であり、かつグラウンドアンカーの張力はクリープロスによる張力減少が考えられるが、自重増加であれば将来的に確実に安全性を確保することができ、長期にわたって有効であることからカウンターウェイト方式を採用することとした。さらに、地震時についても上記に示すカウンターウェイトを載荷する

ことにより橋台の安定性を確保できることが確認できた。カウンターウェイト量は図15に示す通りである。

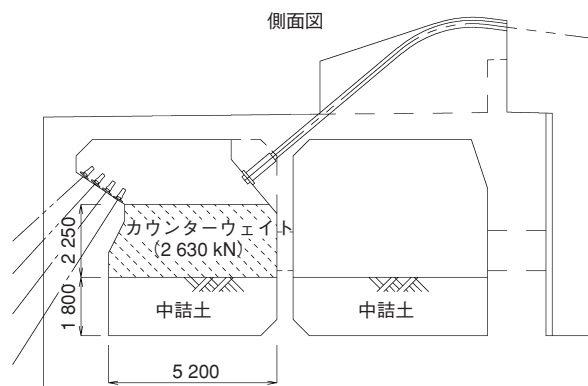


図15 カウンターウェイト図

6. 施工完了後（供用後）の管理

施工完了後の管理は、自碕ケーブルおよび他碕ケーブルの張力管理は不可能であるため、グラウンドアンカーの張力についてのみ行う。管理方法は、施工時に使用したディスクセンサーを用い直読式ブルドン管を目視し導入張力を読みとり、管理値内に収まっているか確認する。管理値内に収まっていない場合は、グラウンドアンカーの追加緊張により調整するものとした。なお、ディスクセンサーは耐用年数が10年程度であるため10年毎に交換することになる。管理値は、グラウンドアンカーの張力が減少することで他碕ケーブルの張力が減少し上部構造の耐久性を損ねることのないようひび割れ発生限界状態を確保するものとし、また下部構造については安定性を確保するものとして設定した（表3）。

表3 グラウンドアンカーの張力管理値

	<A1橋台>			<A2橋台>		
	A1-1	A1-2	A1-3	A2-1	A2-2	A2-3
施工完了時	434	400	448	410	376	444
	平均値：427 kN/本			平均値：410 kN/本		
管理値	377	346	388	355	326	385
	平均値：370 kN/本			平均値：355 kN/本		

7. まとめ

本橋梁のような上下部合わせた全体系で釣り合いが成り立つ構造形式は、施工段階毎に構造系が変化するため、適切な施工手順、施工管理が重要となる。

本工事では、各施工段階における上部工、下部工およびグラウンドアンカーの計測管理を行ったことで、本橋梁の施工時における構造安定性・安全性を確実に確保することができた。さらに、グラウンドアンカーの張力を維持管理していくことで「橋梁全体の構造安定性」を確実に確保できるものとする。

今後、同様な橋梁計画において本報告が一助となれば幸いである。