ISSN 1346-7328
国総研資料 第969号
平成29年 3月

国土技術政策総合研究所資料

Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.969 March 2017

変位計による地震後の道路橋被災状況把握システムの開発に関する技術資料

梶尾 辰史・長屋 和宏・松本 幸司・金子 正洋

Technical note on development of system to clarify state of damage to road bridges by an earthquake

Tatsushi KAJIO, Kazuhiro NAGAYA,Koji MATSUMOTO
Masahiro KANEKO

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure,Transport and Tourism,Japan

国土技術政策総合研究所資料　　Technical Note of NILIM
第 969 号　2017 年 3 月　　No.969　March2017

変位計による地震後の道路橋被災状況把握システムの開発に関する技術資料

研　究　官	梶尾　辰史	*
主任研究官	長屋　和宏	**
室　　長	松本　幸司	***
上席研究員	金子　正洋	****

Technical note on development of system to clarify state of damage to road bridges by an earthquake

Researcher	Tatsushi KAJIO	*
Senior Researcher	Kazuhiro NAGAYA	**
Head	Koji MATSUMOTO	***
Chief Researcher	Masahiro KANEKO	****

概要

首都直下地震や南海トラフ地震等の大規模地震に備え、本研究では大規模地震発生後に迅速かつ効率的に道路啓開を行うことを目的として、道路橋の地震被災や通行障害を面的情報としてリアルタイムに把握する技術を開発した。

なお、本研究は平成 24 年度から平成 26 年度に実施したものである。

ｷｰﾜｰﾄﾞ　：

道路橋、道路啓開、地震被災把握技術、リアルタイム情報

Synopsis

As preparation for large-scale earthquakes such as the Tokyo Inland Earthquake or the Nankai Trough Earthquake, this research developed technology for real-time clarification of earthquake damage and obstruction of traffic on road bridges as areal information in order to be able to more quickly and efficiently open roads to traffic after a large-scale earthquake.

This study was researched from 2012 to 2015.

Key Words :　Road bridge, road opening, earthquake damage clarification technology, real-time information

*

道路構造物研究部　道路地震防災研究室

Earthquake Disaster Management Division, Road Structures Department

**

企画部企画課（前　国土技術政策総合研究所 防災・メンテナンス基盤研究センター 国土防災研究室）

Planning Division, Planning and Research Administration Department（Formerly, Disaster Prevention Division, Research Center for Land and Construction Management, National Institute for Land and Infrastructure Management）

***

桶川市（前　国土技術政策総合研究所 防災・メンテナンス基盤研究センター 国土防災研究室）

Okegawa city（Formerly, Disaster Prevention Division, Research Center for Land and Construction Management, National Institute for Land and Infrastructure Management）

****

土木研究所 技術推進本部（元　国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター 地震防災研究室）

Construction Technology Research Group, Public Works Research Institute（Formerly, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Management, National Institute for Land and Infrastructure Management）

目　　次

１．はじめに 1
　１．１ 背景 1
　１．２ 研究内容 1

２．道路橋被災状況把握技術の検討 3
　２．１ 東北地方太平洋沖地震における道路橋の被災事例分析 3
　　２．１．１ 被災状況の詳細整理 3
　　２．１．２ 被災状況のパターン化と相関分析 7
　　２．１．３ 橋台背面アプローチ部の段差に関する詳細分析 9
　２．２ 道路橋被災状況把握技術の具体的手法の検討 10
　　２．２．１ 既存技術の整理 10
　　２．２．２ 被災状況把握に有効な計測方法の選定 16

３．実物大実験による検証 17
　３．１ 目的 17
　３．２ 計測装置の要求性能 17
　　３．２．１計測値の要求性能 17
　　３．２．２機器の要求性能 18
　３．３ 実物大実験による計測方法の検証 19
　　３．３．１ 「橋台背面盛土の沈下」計測に関する動作確認 19
　　３．３．２ 桁端部の変位計測に関する動作確認 27

４．試行フィールドにおける検証 50
　４．１ 目的と検証内容 50
　４．２ 設置橋梁の選定 50
　４．３ センサの設置方針 51
　４．４ 閾値の設定 53
　４．５ 試行フィールドにおける検証から得られた課題と反映内容 56
　４．６ 被災状況把握システムの設置計画及び設置状況 57
　４．７ 今後の課題 76

５．まとめ 78

参考文献 79

巻末資料１　道路橋地震被災状況把握システム設置要領(案) 80

巻末資料２　道路橋地震被災状況把握システム設置事例集 132

巻末資料３　システム仕様（案） 179

１．はじめに

１．１ 背景

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では緊急輸送道路の早急な交通確保の重要性が再認識され、確実な緊急輸送道路の確保、整備が強く求められている。また、現在、国土交通省では災害復旧等の迅速化・効率化に関する ICT やロボット技術の活用へ向け、調査研究を行っている。そこで、センサ技術を活用し、道路における災害復旧等の迅速化・効率化を目指している。

東北地方太平洋沖地震では多くの橋梁が被災[1)、2)]し、緊急輸送道路の早急な交通確保の重要性が再認識され[3)]、様々な研究が進められている[4)]。また、今後発生が懸念されている南海トラフ地震等の大規模地震に備え、確実な緊急輸送道路の確保、整備が強く求められている。特に大規模地震による損傷の恐れのある道路橋についてはハード対策だけでなく、迅速かつ効率的な道路啓開を可能にするためのソフト対策として地震後の道路橋の早急な被災状況把握が重要である。

そこで、大規模地震発生後に迅速かつ効率的に道路啓開を行うことを目的として、東日本大震災での道路橋の被災状況を分析し、地震後の道路橋の被災状況把握手法を検討してきている 5)～12)。道路橋の通行障害を把握する計測手法については、実物大実験や長期観測を通して、具体的な仕様及び手法を検討した。また、試行フィールドとして構造形式等の異なる道路橋を抽出し、各橋梁の構造特性に応じた計測方法を具体化した。実際にそれらの橋梁に計測装置を設置して実験的観測を行うとともに取得データを分析し、被災状況の把握技術の信頼性を検証した。

１．２ 研究内容

本研究では、大規模地震発生後、迅速、かつ、効率的に道路啓開を行うことを目的として、道路橋の地震被害や通行障害を、面的情報としてリアルタイムに把握する技術について検討した。

はじめに、東北地方太平洋沖地震後、東北地方整備局が、直轄国道本線橋 1,831 橋に対して実施した緊急点検結果の整理・分析を行った。その結果、地震後に通行障害をおこしていた被災橋梁 450 橋のうち約 8 割が、桁端部及び背面盛土アプローチ部の桁端支点部付近に変位（段差等）をきたしていた事が判明した。

さらに、450 橋の中でも、緊急点検において、「路面段差による通行注意」と判定されていた 376 橋に着目し、フォールトツリー分析（以下、「FTA」という）を行った結果、路面段差の約 90%が橋台背面アプローチ部で発生しており、その要因は、「橋台背面盛土の沈下・流出」であった。また、残りの約 10%は、桁端部で発生しており、その要因は、「伸縮装置の変位」、「支承本体の損傷」であった。

前述より、本研究では、桁端部及び背面盛土アプローチ部の桁端支点部の変位を把握することが、道路橋の殆どの通行障害の把握に繋がると考え、桁端部と橋台背面アプローチ部の変位量を計測する手法、及び、変位計測システムの構築を目的とした研究を進めた。

計測手法の確立、及び、計測システムの構築に当たっては、限られた財源でも実現出来るような経済性、技術者不足を補えるようなシステム取扱いの簡便性、継続的なシステムと出来るよう

な維持管理性に重点を置いた。

本研究で開発した道路被災状況把握システムを、実際に、構造形式等が異なる道路橋（試行フィールド）に設置し、実験的観測を行うと共に、取得したデータを分析することで、被災状況の把握技術の信頼性を検証した。

本資料では、東北地方太平洋沖地震後に実施した緊急点検の結果に基づいて、研究・開発を進めた道路状況把握システムの具体的な開発経緯、仕様、及び、検証内容などについて詳述している。試行フィールドによる検証では、全国から実橋 5 橋を抽出して計測・検証を行い、その内容を示している。この 5 橋は、単純な構造形式や複雑な構造形式、多径間の橋梁の長いものであった。複雑な構造形式は、複雑な挙動となることが想定されるため、計測装置の省略が難しく、多径間の橋梁は、計測位置の選定のために地盤条件等から被害想定を行う必要が生じ、工夫を要した。実際には、他にも複雑な構造形式の橋梁もあるが、一般的な構造形式については、効果的かつ確実に被災状況を把握するシステムを開発することができた。そのため、今回、設置要領（案）やシステム仕様（案）を取りまとめた。複雑な構造形式についての具体的な検証方法等の検討は、今後進める必要があり、本システムを設置した橋梁が増え、災害覚知技術の発展につながることを期待している。

また、平成 24 年度版の道路橋示方書では、橋台アプローチ部の構造に関する詳述も追加され、今後、様々な構造形式の橋台が採用される可能性も高い。さらには、平成 28 年熊本地震が発生し、道路橋においても甚大な被害が発生した。これを踏まえて、本システムの改良等を現在実施しているところであり、研究成果については同様に取りまとめ、公表する予定である。

今後も新技術・新材料の開発や普及が日々進み、道路管理の場に取り入れられることが想定され、このような被災把握技術の開発が必要となる。本研究が被災把握技術に関する調査研究の発展に資することを期待する。

※　FTA は、JIS C 5750-4-4 において、「故障の木解析」と言い、設定した頂上現象の発生原因、潜在的に発生可能性のある原因、若しくは、発生要因を抽出し、頂上現象の発生条件、及び、要因の識別・解析を行う手法のことで、FTA は、Fault Tree Analysis の略である。

２．道路橋被災状況把握技術の検討

２．１ 東北地方太平洋沖地震における道路橋の被災事例分析

東北地方太平洋沖地震後に実施された橋梁緊急点検結果（直轄国道本線橋 1,831 橋）の内、対象橋梁 1,504 橋について、通行障害をおこしていた橋梁の損傷原因や損傷箇所、適用基準、構造形式、耐震補強の有無等の整理を行い、被災パターンの類型化を行った。[1)2)]

２．１．１．被災状況の詳細整理

本研究の目的が、道路橋の地震被害や通行障害を、面的情報としてリアルタイムに把握する技術の検討にあるため、対象橋梁 1,504 橋のうち、耐荷性、及び、走行性に関して、何らかの被害を受けた 485 橋（走行性に関する被災橋梁 450 橋＋耐荷性に関する被災のみの 35 橋）について、特に着目して被災状況の詳細整理を行った。詳細整理は、後述する（1）～（13）の項目について実施した結果、以下の内容が判った。

- 対象橋梁（485 橋）の内、98%以上が計測震度Ⅴ弱以上の地震によって被災していた。
- 対象橋梁（485 橋）の約半数が、1961～1980 年の高度経済成長期に架設されていた。
- 本線橋の 98%が桁橋形式の橋梁であった。
- 本線橋、側歩道橋ともに、支承形式はタイプ A 支承が殆どであった。
- 本線橋、側歩道橋ともに、杭基礎形式が約半数と最も高い割合を示しており、ケーソン基礎を有する橋梁は少なかった。
- 本線橋での踏掛版設置有無の割合は、同程度であった。
- 本節橋、側歩道橋ともに、昭和 55 年以前の基準で設計された橋梁が約 60%を占めていた。
- 本線橋の殆どは、「3 箇年プログラム」以上の耐震補強が実施されていた。

対象橋梁と被災度の関係を表 2-1 に示す。

表 2-1. 対象橋梁と被災度の関係

		耐荷性に関する被災度					合計	
		As：落橋	A：大被害	B：中被害	C：小被害	D：被害なし		
走行性に関する被災度	a：通行不能	11	1	5	3	9	29	450
	b：通行注意	1	12	15	70	323	421	
	c：被害なし	0	0	10	25	1019	1054	
合計		12	13	30	98	1351	1504	

耐荷性のみに関する被災橋梁
(走行性に関する被災なし)：35 橋

耐荷性に関する被災橋梁：153 橋

走行性に関する被災橋梁：450 橋

※「As：落橋」の 12 橋は総て、津波により流出した橋梁であったが、内 1 橋は、流出後に仮橋が設置されており、緊急点検時には、「b：通行注意」の判定となったものである。

（１）計測震度

対象橋梁は、計測震度Ⅳ以上で何らかの被災を受けており、被災橋 485 橋の内、98%以上の計測震度がⅤ弱以上となっている（図 2-1）。

（２）地盤の最大加速度（PGA）

被災橋 485 橋の約 94%が 300gal 以上となっている（図 2-2）。

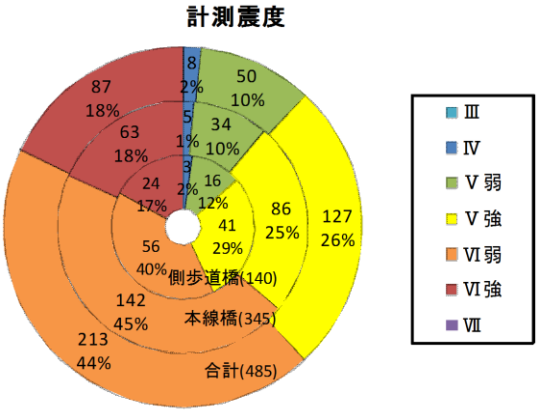


図 2-1. 計測震度（被災橋 485 橋）

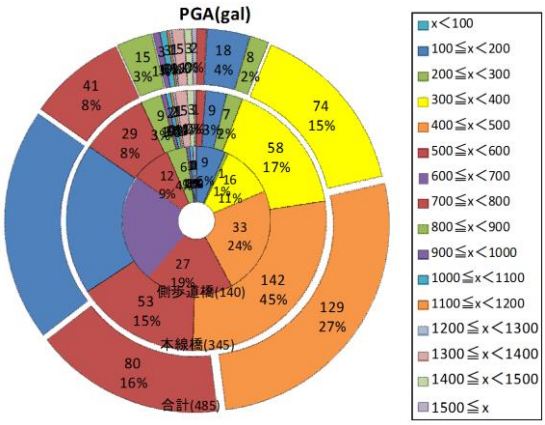


図 2-2. 最大加速度（被災橋 485 橋）

（３）地盤種別

被災橋の内、約 80%がⅡ種地盤以上であり、Ⅲ種地盤（軟弱地盤）は少ない。「不明」は、ボーリング調査結果等、地盤条件が判る資料が見付からなかった橋梁である（図 2-3）。

（４）橋の等級

本線橋の内、70%が 1 等橋であったが、側歩道橋については「等級不明」が殆どである（図 2-4）。

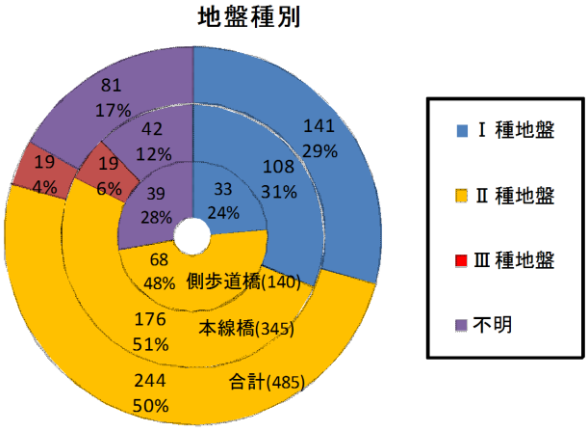


図 2-3. 地盤種別（被災橋 485 橋）

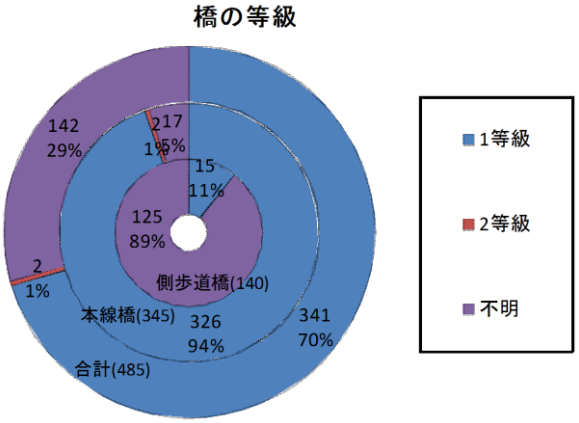


図 2-4. 橋の等級（被災橋 485 橋）

（５）架設年

1961 年～1980 年の 20 年間に架設された橋梁が約半数を占めており、側歩道橋については、比較的、1971 年以降に架設された新しいものが多い（図 2-5）。

（6）材料

被災橋は、鋼橋とコンクリート橋でほぼ同数となっている。「その他」に類する橋梁は、鋼橋とコンクリート橋から構成されている連続橋であった（例．PC プレテン方式単純 T 桁橋+鋼 3 径間連続鈑桁橋）（図 2-6）。

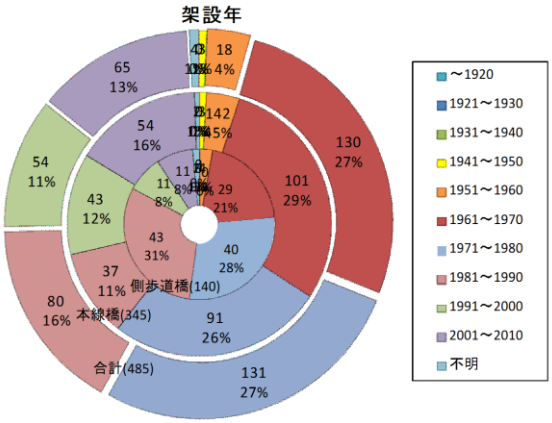


図 2-5．架設年（被災橋 485 橋）

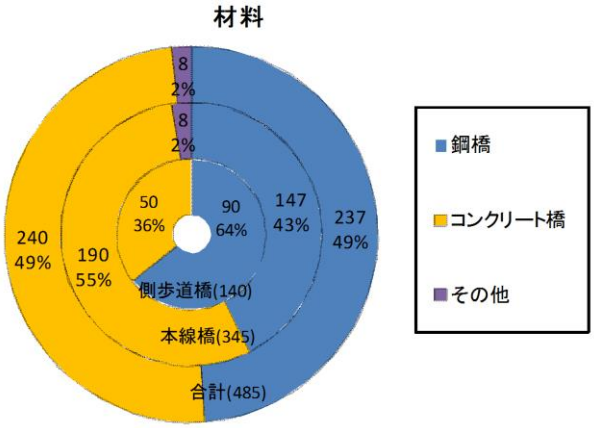


図 2-6．材料（被災橋 485 橋）

（7）上部構造形式

本線橋の 98%が桁橋形式となっている。「特殊橋梁」に類するものは、ラーメン橋（4 橋）、ボックスカルバート（2 橋）、トラス橋（3 橋）、アーチ橋（3 橋）となっている（図 2-7）。

（8）支承形式

本線、側歩道橋ともに、タイプ A 支承が殆どである（図 2-8）。

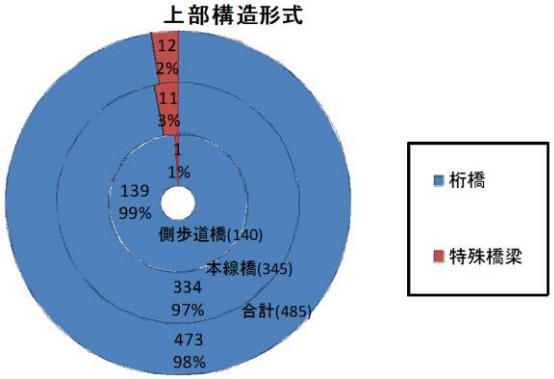


図 2-7．上部構造形式（被災橋 485 橋）

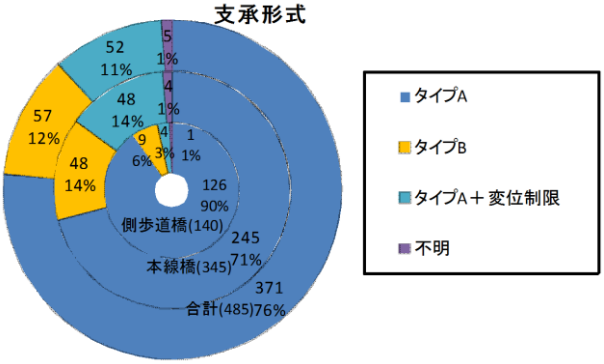


図 2-8．支承形式（被災橋 485 橋）

（9）橋台の基礎形式

本線橋、側歩道橋ともに、杭基礎形式が約 50%と最も高い割合を示しており、ケーソン基礎を有する橋梁は少ない。「不明」は、橋梁定期点検調書、橋梁台帳、図面がなく、基礎形式を特定出来なかった橋梁である（図 2-9）。

（１０）橋台アプローチ部の形式

本線橋では、踏掛版の有無の割合は同程度となっている。平成 14 年道示以前は、側歩道橋に踏掛版を設置する必要がなかったため、設置されている側歩道橋は少ない。「不明」は、橋梁台帳等に記載がないため確認出来なかった橋梁である（図 2-10）。

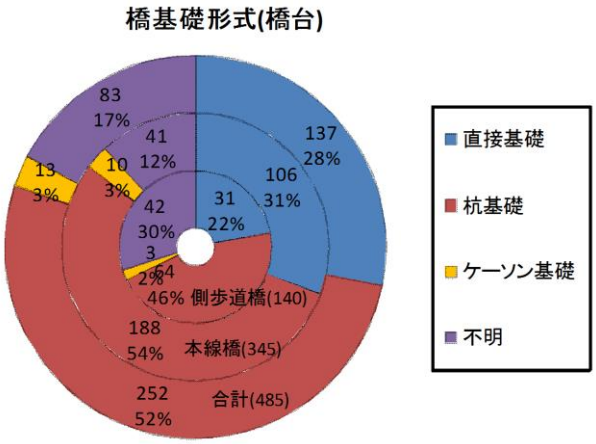


図 2-9. 橋台の基礎形式（被災橋 485 橋）

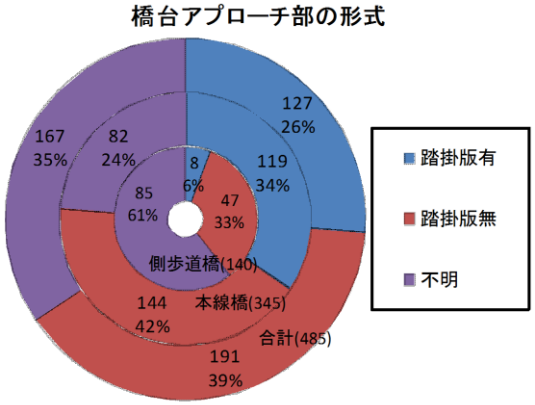


図 2-10. 橋台アプローチ部の形式（被災橋 485 橋）

（１１）設計当初基準

本線橋、側歩道橋ともに、昭和 55 年以前の基準で設計された橋梁が約 60%を占めている。「不明」は、定期点検調書、橋梁台帳等の資料が入手出来なかった橋梁である（図 2-11）。

（１２）耐震補強の有無

本線橋の殆どで「3 箇年プログラム」以上の耐震補強が実施されている。側歩道橋は、「3 箇年プログラム」に該当する橋台を有しない単純橋が多い傾向にあり、耐震補強実施率も低くなっている。「不明」は定期点検調書、橋梁台帳等が無く、耐震補強の経緯が不明な橋梁である（図 2-12）。

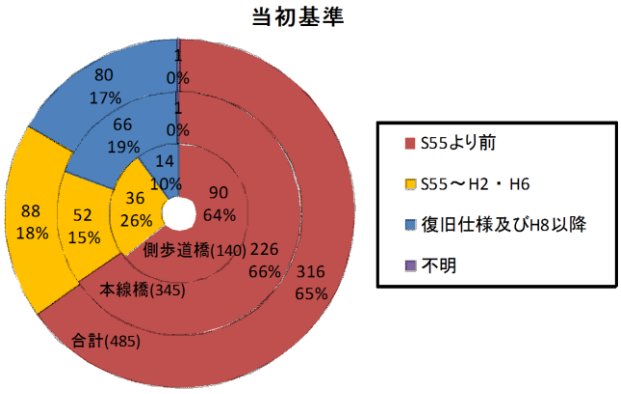


図 2-11. 設計当初基準（被災橋 485 橋）

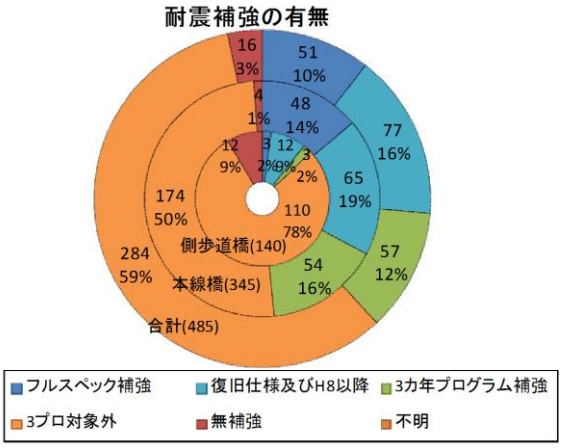


図 2-12. 耐震補強の有無（被災橋 485 橋）

（１３）落橋防止システムの設置

本線橋の落橋防止システムは、殆どが、落橋防止構造となっている。集計は、被災橋 485 橋の内、定期点検調書や橋梁台帳から判断出来た 148 橋のみで行った（図 2-13）。

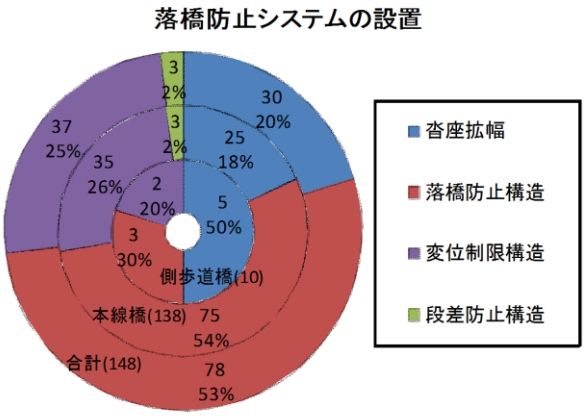


図 2-13. 落橋防止システムの設置

２．１．２．被災状況のパターン化と相関分析

予め、通行障害の原因となる主な被災形態は、「落橋」、「橋脚の傾斜」、「橋台背面盛土の沈下」、「伸縮装置の段差」の 4 つを想定していたが、情報整理の結果、「橋台背面盛土の沈下」に類するものが全体の約 8 割、「伸縮装置の段差」が約 1 割である事がわかった（図 2-14）。そこで、被災橋梁の被災状況（走行性）を確認する方法としては、桁端部及び橋台背面アプローチ部に着目した変位計測が有効であると結論付けた。

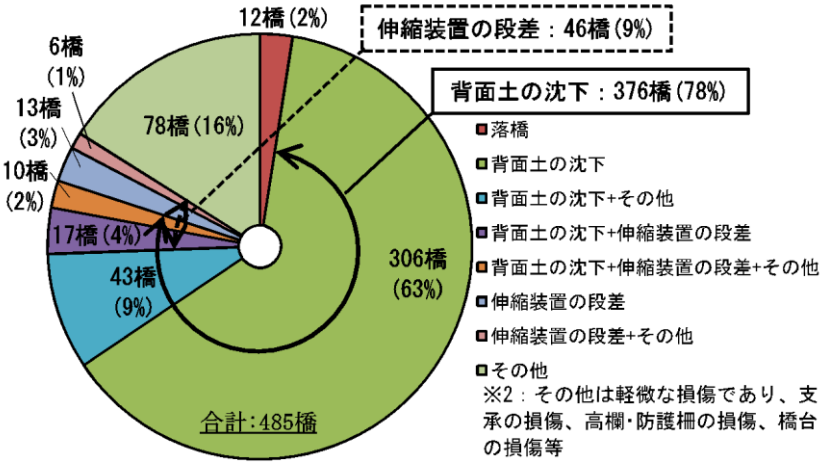


図 2-14. 道路橋の被災原因別の内訳

（１）フォールトツリー分析（FTA 分析）

地震後に通行障害をおこしていた被災橋梁 450 橋の中でも、緊急点検において、「路面段差による通行注意」と判定されていた 376 橋に着目し、フォールトツリー分析（以下、「FTA」という）

を行った。

【FTA 分析の実施手順】

① 分析対象としたい事象（トップ事象）を決め、FT 図の最上位に置く。

② トップ事象を引き起こす要因となる中間事象を列挙し、上位事象との因果関係を AND ゲート（下位事象が総て発生した場合に、上位事象が発生する）、及び、OR ゲート（下位事象のいずれか一つが発生した場合に上位事象が発生する）等を用いてツリー状に展開し、再開に基本事象を設定する。

③ 得られた分析結果から、トップ事象を引き起こす主要因を明らかにし、対策等を立案する。

本研究では、「As：落橋」等、通行障害となる被災項目を頂上事象として FTA を実施し、道路橋の被災状況を把握するために必要な基本事象を明らかにする判断材料とした。

FTA 分析の結果、路面段差の約 90%が橋台背面アプローチ部で発生しており、その要因は、「橋台背面盛土の沈下・流出」であった。また、残りの約 10%は、桁端部で発生しており、その要因は、「伸縮装置の変位」、「支承本体の損傷」であった。「路面段差による通行注意」の FT 図を図 2-15 に示す。

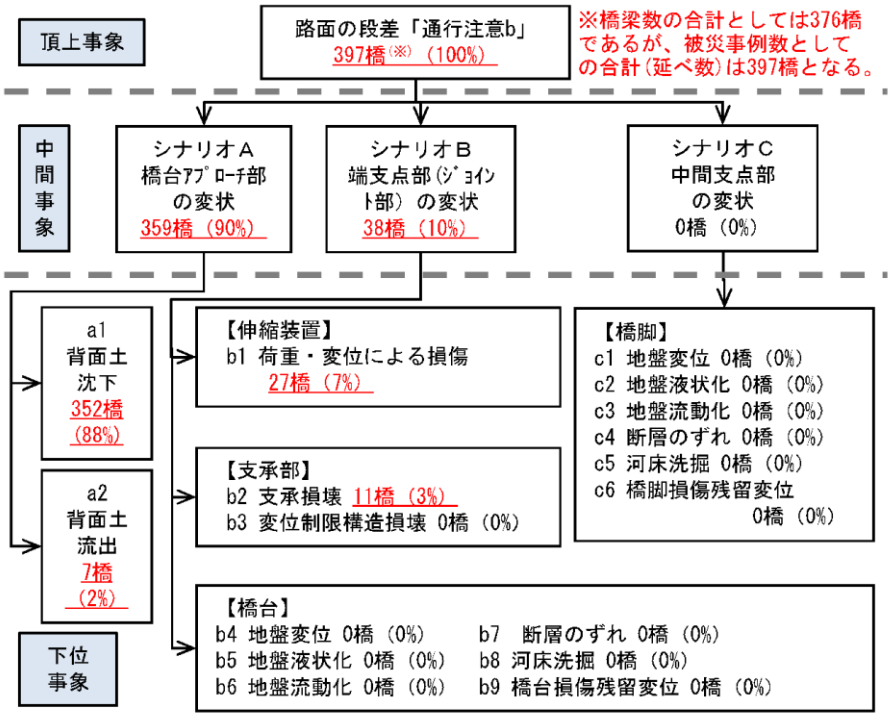


図 2-15. 「路面段差による通行注意」の FT 図

２．１．３．橋台背面アプローチ部の段差に関する詳細分析

地震後に通行障害を起こしていた被災橋梁 450 橋のうち、本線橋 317 橋を対象に橋台背面の異常有無と踏掛版の設置有無を整理した。橋台背面盛土の沈下量と舗装摺付有無の関係を表 2-2 に、橋台背面盛土の沈下量と踏掛版設置有無の関係を図 2-16 に示す。

地震後の摺付補修は、段差 10cm 未満では実施されていなかった。緊急点検からも、10cm 以下の路面段差は、緊急車両の通行に致命的な影響を与えないことがわかった。

表 2-2 より、橋台背面アプローチ部の段差が 10cm 以上の橋梁では、すべての橋梁で舗装摺り付けが実施されており、10cm 未満の段差の場合では舗装摺り付けが実施されていない橋梁も存在した。このことから、橋台背面アプローチ部の段差が 10cm 以上となると、通行車両の走行に支障になると想定される。この結果を後述する背面盛土アプローチ部の段差の閾値設定に反映した。

また、図 2-16 より橋台背面盛土の沈下量が 10cm を超える橋梁は、すべて踏掛版がない橋梁であり、踏掛版の設置が橋台背面盛土の沈下抑制に効果があることが確認できた。このことから、踏掛版が設置されている橋梁においては、橋台背面アプローチ部の変位把握は省略できると考えられる。

なお、「橋台背面盛土の沈下」や「伸縮装置の段差」を原因とする、橋台背面アプローチ部の段差は、多くの橋梁で、車道部全体に、面的に発生していたが、一部の橋梁では、車道の一部のみに段差が生じており、段差発生箇所を一部に限定することは出来なかった。

表 2-2. 車道部橋台背面盛土の沈下量と舗装摺付有無の関係

車道部の通行注意bの125橋	舗装摺り付けの有無		
背面土の段差量	有り	無し	合　計
50mm未満	22 橋	64 橋	86 橋
50mm以上～100mm未満	14 橋	17 橋	31 橋
100mm以上～150mm未満	3 橋	0 橋	3 橋
150mm以上～200mm未満	2 橋	0 橋	2 橋
200mm以上	3 橋	0 橋	3 橋
合　計	44 橋	81 橋	125 橋

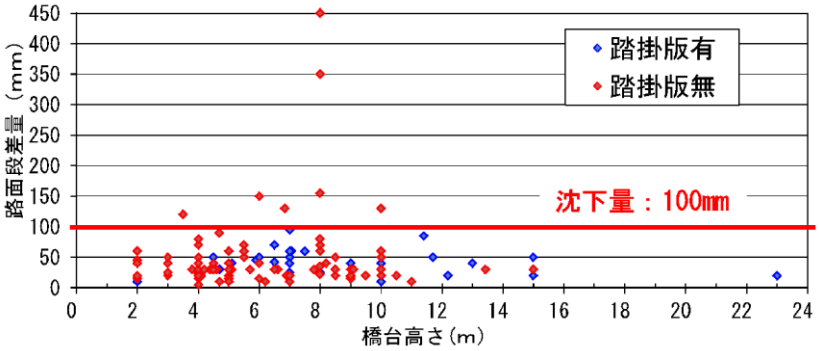


図 2-16. 橋台背面盛土の沈下量と踏掛版有無の関係

２．２ 道路橋被災状況把握技術の具体的手法の検討

２．２．１．既存技術の整理

「橋台背面盛土の沈下」、及び、「伸縮装置の段差」を把握するもっとも簡便な手法は、変位計測となる。「橋台背面盛土の沈下」では、計測対象が「土」となるが、「土」は、一度沈下すると元には戻らない性質がある。一方、「伸縮装置の段差」では、計測対象が「構造物」となるが、「構造物」は、地震時に伸縮装置の許容変位内を動き、その後、元に戻る性質がある。従って、道路被災状況把握技術の具体的手法の検討は、「橋台背面盛土の沈下」と「伸縮装置の段差」の計測に分けて行った。

（１）「橋台背面盛土の沈下」に関する既存計測装置

「橋台背面盛土の沈下」について、既存の変位計測装置の整理を行った（図 2-17）。総合評価の結果（表 2-3 参照）、接触型のワイヤー巻取り式変位計（詳細を図 2-18 に示す）が推奨案となったが、地中への設置方法に課題が残った。なお、表 2-3 の評価は、客観的に評価できるように、目安として各機器の性能や他の機器との相対的な評価を行い、5 段階評価としている。

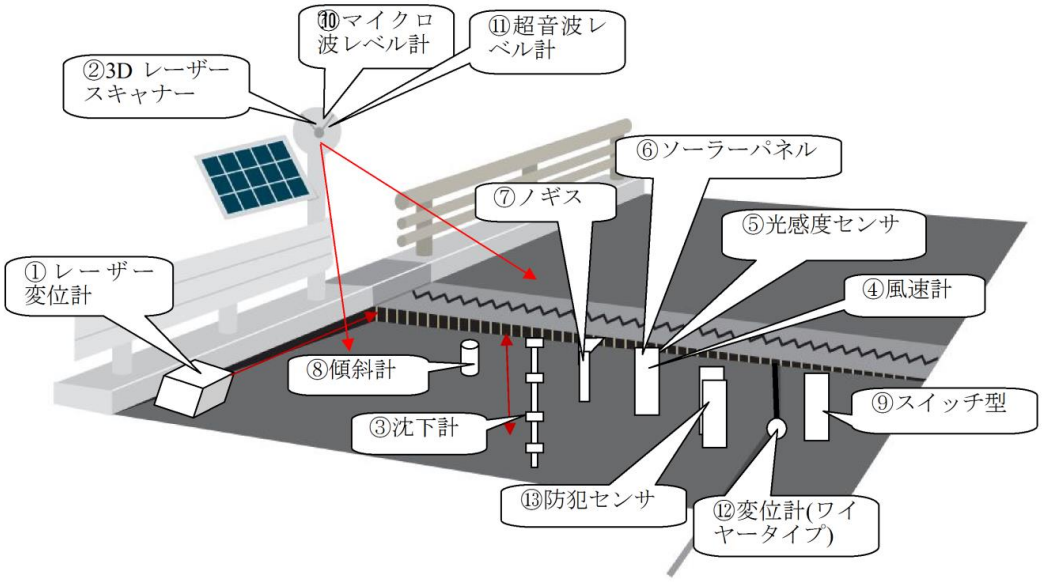


図 2-17. 「背面土の沈下」に対する既存計測装置

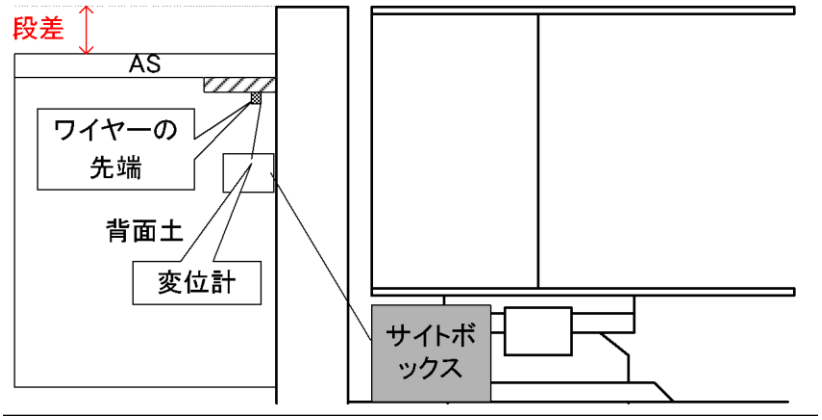
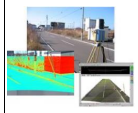


図 2-18. 接触型ワイヤー巻取り式の変位計

表 2-3 .「橋台背面盛土の沈下」に関する既存技術の比較

	沈下量を把握する計測方法						閾値以上の沈下の有無を把握する計測方法					
比較項目	②3D レーザースキャナー	③沈下計	⑦ノギス	⑩マイクロ波レベル計	⑪超音波レベル計	⑫変位計（ワイヤー）	①レーザー変位計	④風速計	⑤光感度センサ	⑥ソーラーパネル	⑧傾斜計	⑨スイッチ計
												
計測器設置箇所	路上	地中	地中	路上	路上	地中	路面	パラペット	地中	地中	地中	地中
概要	・レーザーによるスキャニングによって正常時との比較の差で検知	・ボーリング孔内でアンカーを不動点として、変位を計測する	・段差ができた際に、支持金具がノギスを動作し計測する	・路上 5m からマイクロ波で計測し変状を検知する	・路上 5m から超音波で計測し変状を検知する	・ワイヤーを固定した AS の下の板の変位を計測する	・路面で段差ができた際に、計測距離が短くなることで検知	・パラペットを貫通させ、段差ができた際に風が通れば検知する	・光感度センサをパラペット等に埋め込み、段差ができた際に光を感知する	・段差ができた際に固定されたソーラーパネルが発電し電圧を検知する	・沈下の際に指定の値の傾斜を検知する	・沈下の際にスイッチを板が触れて反応する
精度	2mm	1mm	0.01mm	20mm	1mm	0.01mm	0.5mm	設置位置	設置位置	設置位置	15 度	設置位置
防塵防水	2	5	5	4	4	5	2	2	1	5	5	2
電源（計測器側）	2 消費電力が多い	5 配線不要	5 配線不要	4 支柱に配線	4 支柱に配線	4 配線が必要	4 路上のため容易	4 橋台側に配線可能	3 路下に配線が必要	3 路下に配線が必要	4 配線が必要	5 配線不要
設置工事	1 路面のため設置検討が必要	1 路面工事有	1 路面工事有	2 照明柱等への設置検討	2 照明柱等への設置検討	1 路面工事有	4 路面のため設置検討が必要	1 パラペット及び路面工事が必要	1 路面工事有	1 路面工事有	1 路面工事有	1 路面工事有
計測器交換しやすさ	3 調整が必要	1 路面工事有	1 路面工事有	2 路面工事不要	2 路面工事不要	1 路面工事有	2 路上のため容易	1 路面工事有	1 路面工事有	1 路面工事有	1 路面工事有	1 路面工事有
動作確認とインタフェース	3 既存技術有	3 既存技術有	3 手動のロガー有	3 既存技術有	3 既存技術有	3 既存技術有	3 既存技術有	3 強制的	3 強制的	3 電圧計測のロガー有	3 既存技術有	3 既存技術有
その他	1 設備工事が大規模／比較処理に時間を要する	2 別の現場で実績あり	1 自動計測の開発が必要／無線の認識距離不明	1 電波法により屋外での利用不可	1 計測対象が原則フラット 風の影響有	3 地中への設置方法は検討が必要	1 環境による誤差が大きい	1 動作検証を事前に行う必要がある 検知できるか不明	1 動作検証を事前に行う必要がある 検知できるか不明	1 事前動作検証が必要（発電不足） 検知できるか不明	2 別の現場で実績あり	2 別の現場で実績あり
費用（起点のみ）	約 2,000 万円／台（計測器のみ）	約 300 万円／一式	14 万円（自動計測部分除く）	約 150 万円／一式	約 150 万円／一式	約 90 万円／一式	約 230 万円／式	約数千円～数万円／台（計測器のみ）	約数千円～数万円／台（センサのみ）	数万円（パネルのみ）	約 275 万円／一式	約 275 万円／一式
評価	1 高価で、大規模設備工事が必要	2 路側に配線不要 機器が大きい	1 動作検証が必要 一部新規開発有	1 現時点では利用不可	2 計測検証が必要	3 安価で種類も各社有	1 誤差が大きい	1 動作検証が必要 新規開発有	1 動作検証が必要 新規開発有	1 動作検証が必要 新規開発有	2 路下に配線不要	2 路下に配線不要

（２）「伸縮装置の段差」に関する既存計測装置

「伸縮装置の段差」についても、既存の変位計測装置の整理を行った（図 2-19）。総合評価の結果（表 2-4 参照）、防塵防水性、及び、経済性に優れる、接触型のワイヤー巻取り式変位計が推奨案となった（詳細を図 2-20 に示す）。なお、表 2-4 の評価は、表 2-3 と同様に、客観的に評価できるように、目安として各機器の性能や他の機器との相対的な評価を行い、5 段階評価としている。

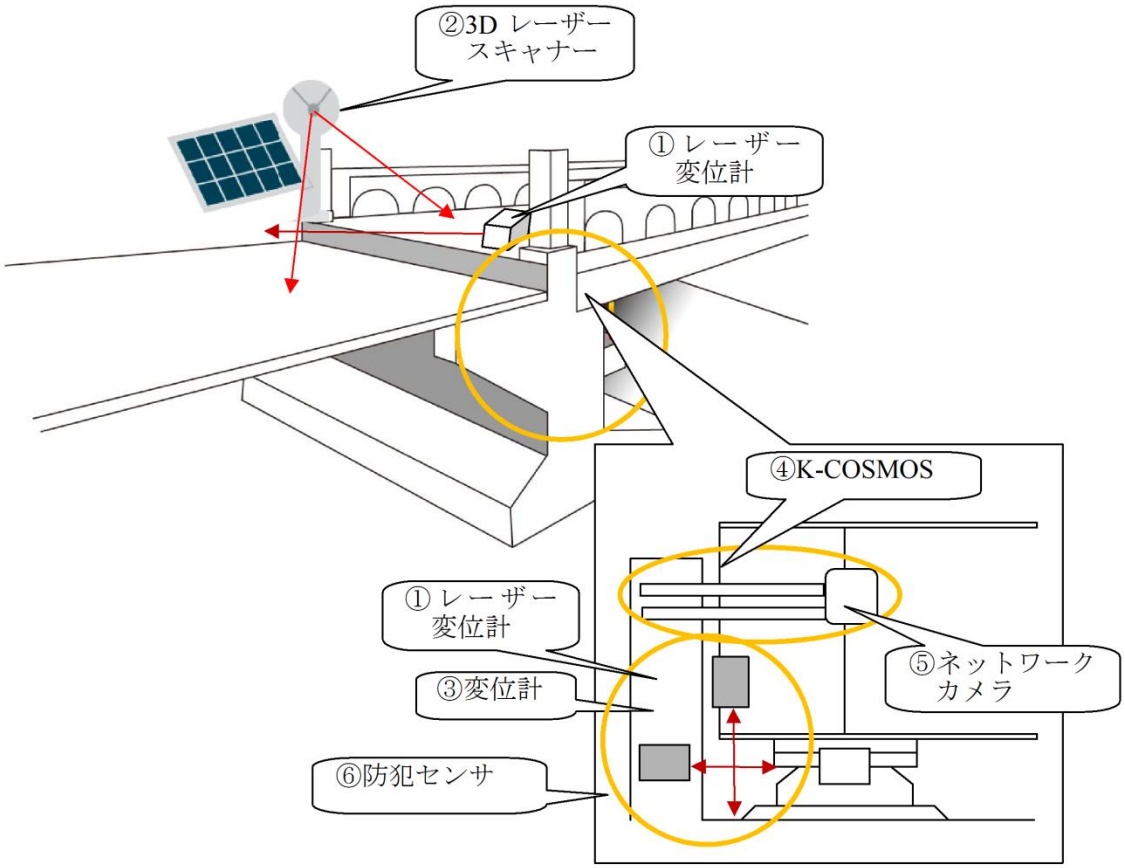


図 2-19.　「伸縮装置の段差」に対する既存計測装置

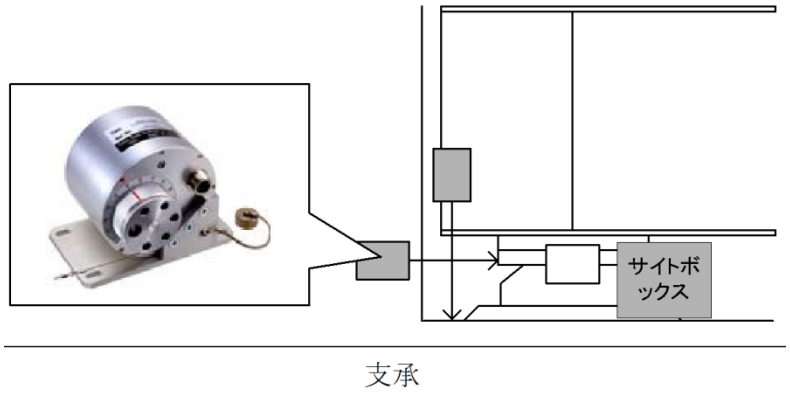
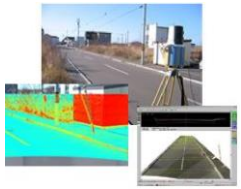


図 2-20.　接触型ワイヤー巻取り式の変位計

表 2-4 .「伸縮装置の段差」に関する既存技術の比較

	段差量を把握する計測方法			閾値以上の段差の有無を把握する計測方法		
	①レーザー変位計	②3D レーザースキャナー	③変位計	④K-COSMOS	⑤ネットワークカメラ	⑥防犯センサ
比較項目						
計測器設置箇所	路面または支承	路上	支承	路下	路下	路下
概要	・路上側：レーザーを用いて路面の変位を計測する ・支承側：段差ができた際に、計測距離が変位することで反応する	・レーザーによるスキャニングによって正常時との比較の差で検知	・橋台等の固定点と支承周辺を変位計とインバー線で接続し，支承の水平変位および鉛直変位を計測する	・K-COSMOS の車載型をセンサと見立てる ・アンテナ及び電源を管に通し、伸縮部分に固定し大きな変状があれば、配線の接続が外れ、不通になる	・ネットワークカメラをセンサと見立てて使用する ・ネットワーク及び電源を管に通し、固定し大きな変状があれば、接続が外れ、検知する	・段差ができれば、センサがスライドし、磁気パネルから離れるとセンサが検知する
精度	0.5mm	2mm	0.01mm	設置位置による	設定位置による	設置方法による
防塵防水	2	2	5	1	4	1
電源（計測器側）	4 路上のため容易	2 消費電力が多い	4 配線必要	4 配線必要	4 配線必要	4 配線必要（ロガーのみ）
設置工事	3 路面のため設置検討が必要	3 路面のため設置検討が必要	4 路面工事無	3 安価だが継続的運用が可能か	4 路面工事無	4 路面工事無
計測器交換しやすさ	4 路上のため容易	3 調整が必要	3 路面工事無	4 交換が容易	4 交換が容易	4 交換が容易
動作確認とインタフェース	4 既存技術有	4 既存技術有	5 既存技術有	1	4 既存技術有	4 既存技術有
その他	1 環境による誤差が大きい	1 設備工事が大規模／比較処理に時間を要する	4 ワイヤータイプのため、伸縮方向はどちらでも対応	1 変状があっても信号を自ら発するわけではない／数年後に廃止予定	3 ネットワークに簡単に接続できる	1 電池の寿命が短い（約 1 年程度）ので、電池交換が頻繁に必要
費用（起点のみ）	約 230 万円／式	約 2,000 万円／台（計測器のみ）	約 90 万円／一式	約 10 万円／台（材料費等）	約 15 万円／台 （省内ネットワーク利用）	センサ・ロガー・ソフト・通信費：月々490 円／式（2 年契約）
評価	1 誤差が大きい	1 高価で、大規模設備工事が必要	4 実績有／背面土の沈下にも可能性有	1 数年後に廃止予定	2 接続は容易／動作検証が必要	2 改良等がほとんどできない

（３）電源設備に関する既存技術

東北地方太平洋沖地震では、停電、光ケーブルの断線、電話回線の不通・混線等が発生し、通信機能の麻痺状態が続くことで、被災状況の把握に時間を要した。災害時に、リアルタイムで道路橋被災情報を入手する為には、地震発生時の計測手法や計測値の確実性だけでなく、電源確保、通信確保も重要となってくる。

電源設備に関する既存技術の整理を行った結果、日常は商用電源（写真 2-1）を使用することとした。バックアップ電源は、太陽光発電（写真 2-2）、及び、風力発電（写真 2-3）について、本研究にて検討することとした。

写真 2-1. 商用電源の現場設置状況イメージ

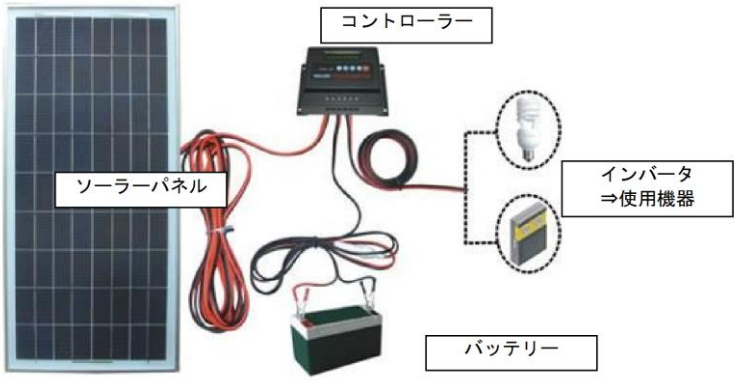


写真 2-2. 太陽光発電システムの全体イメージ

写真 2-3. 風力発電システムの全体イメージ

（４）通信に関する既存技術

データ通信に関する既存技術の整理を行い、初期コストは掛かるが、国土交通省の光通信網を利用することも併せて検討した結果、安価で利用し易い携帯電話による通信を推奨案とした。インターネットによるモバイル通信と道路管理用光ケーブル網の比較を表 2-5 に示す。

表 2-5. 通信回線の比較

	インターネット（モバイル通信）	道路管理用光ケーブル網
特　長	工事が不要 セキュリティ対策、バックアップ体制は契約した会社次第となる	高速通信、安定性 継続的な通信費はかからない
通信速度	５．７Ｍｂｐｓ（例）	１，０００Ｍｂｐｓ
通信機器	データ通信カード	メディアコンバータ（ＬＡＮ→光通信）
工　事	不要	道路管理用光ケーブル網への接続工事が必要
費　用※	6,000 円／月	・機器類：IP 変換装置，IP 変換 IF，光伝送設備等 1,400,000 円（機器類計） ・工事費：IP 変換装置据付調整，光伝送設備据付，ｼｽﾃﾑｲﾝﾃｸﾞﾚｰｼｮﾝ等 1,700,000 円（工事費計） ・合計 3,100,000 円（経費込み） ※CCTV 設置費用参考

※費用は概算額。

２．２．２．被災状況把握に有効な計測方法の選定

（１）橋台背面盛土内の沈下量を把握するための計測位置および計測装置

前述の通り、橋台背面盛土内の沈下量を計測する位置は、1 箇所に限定することが出来ず、面的に計測する必要がある。

また、既存技術では、コストが掛かる上、広範囲を計測出来ない等の課題が残る。そこで、センサを車線単位で橋台面盛土内に設置し、閾値を超えると反応するセンサを開発することとした。本研究では、前述した各仕様のセンサを比較した結果、表 2-3 及び表 2-4 において高い評価となった接触型のワイヤー巻取り式変位計を採用し、本研究の目的に対応したセンサを開発し、模擬実験、及び、実橋での試行により検証することとした。

センサの設置場所は橋台背面盛土内となるため、設置したセンサが故障した場合は大掛かりな工事が必要となる。そこで、センサ自体の故障を極力少なくするため、その耐久性も重視して、開発することとした。

（２）桁端部の段差量を把握するための計測位置および計測装置

桁端部の段差量を計測する手法としては、支承の沈下量（鉛直方向）、及び、水平方向移動量（橋軸方向・直角方向）を計測出来る機器として、表 2-3 及び表 2-4 において高い評価となった接触型ワイヤー巻取り式変位計（既存技術）を採用することとした。桁端部の段差量を計測するワイヤー式変位計の測定精度は 1cm もあれば良いため、精度は低くとも、低コストと出来るセンサを製作した。

桁端部周辺に設置したセンサが故障した場合、高所作業車や橋梁点検車、足場等の設置が必要となるため、センサの設置場所は、出来るだけアクセスし易い場所を選定することとする。尚、風雨に曝されるような場所を選定する場合は、防水対策等も行うこととする。

（３）センサの耐久性

センサの耐久性は、修理、及び、交換が 10～15 年は不要となるようにし、補修工事等で交換することとした。バッテリーは、橋梁定期点検（5 年ごと）での交換を想定し、最低でも 5 年間は交換不要となるようにした。

３．実物大実験による検証

３．１ 目的

本研究では、道路橋の被災状況を計測する装置として、既存技術である接触型センサであるワイヤー巻き取り式の変位計を採用した。この計測装置は、以降で示す要求性能を満足した上で、コスト縮減を図ったものとした。この計測装置を橋梁に設置し、必要な情報を効果的かつ確実に入手するには、計測精度等の性能を確認することが必要である。また、採用したセンサは既存技術であるが、地中に設置して計測する際の仕組みについては検討が必要であり、その計測精度は実験による検証を行う必要があった。

よって、ここでは実物大実験を活用して、計測方法や計測精度等の妥当性の確認を行った。この結果を用いて、試行フィールドに道路橋被災状況把握システムの試行的に設置し、設置要領（案）やシステム仕様（案）の取りまとめに反映させた。

３．２ 計測装置の要求性能

３．２．１．計測値の要求性能

道路管理者が被災情報を把握するためには、計測値の要求性能を整理して、その検証を行うことが必要となる。

また、桁端部の変位を把握するための計測装置は、計測精度や計測範囲だけでなく、変状への追従性やトリガー機能等の確認が必要である。

橋台背面盛土アプローチ部の変状を計測する計測装置は、既存技術では設置費用が大きくなる上、広範囲を計測できない等の課題が残るため、センサを車線単位で橋台背面盛土内に設置し、閾値を超えると反応するセンサ（ON/OFF センサ）を開発することとした。このような地中内に設置する計測装置は、地盤の沈下に計測装置が追従するかといったことが、確実かつ適正に観測を続けるために重要な項目である。実物大実験では、開発した ON/OFF センサを有する計測装置の精度（確実性）について確認した。

以下に計測値の要求性能を一覧に整理する。

表 3-1. 要求性能一覧

要求項目	内容・仕様
計測精度	1mm の精度を有することが必要である。 注意の閾値は 2cm と設定しており、1cm 単位の変状を正確に計測するために 1mm と設定している。
計測範囲	最大計測値を 500mm 以上とすることが必要である。 東北地方太平洋沖地震の事例から、通行障害となる段差は 100mm 程度である。しかし、緊急車両等が 100mm 以上の段差を通行する可能性があるため、最大計測値を 500mm 以上とした。

３．２．１．機器の要求性能

計測装置に求める要求性能は、表 3-2 の通りとした。

表 3-2. 要求性能一覧

要求項目	内容・仕様
設置位置等の配置条件、環境条件	・屋外に設置するため、監視局や測定器は防滴処理
データ確認・保存・伝送機能	・変位計からのデータを計測用 PC にて確認・保存するために、測定器、スイッチボックス、計測用ソフトウェア、データ通信用ソフトウェアを用いる
正常動作テスト機能	・計測用 PC に正常にデータが保存されているか、常時チェックし、正常に計測されない場合はエラーメールを配信
起動制御機能 遠隔操作機能	・計測値の異常、計測装置の異常を知らせる機能 （メール発報機能） ・インターネット接続の環境構築（携帯電話機能）
非常用電源切換機能	・停電により商用電源からの電源供給が不可能となった場合、バッテリーからの電源供給に切り替わること

３．３ 実物大実験による計測方法の検証

３．３．１.「橋台背面盛土の沈下」計測に関する動作確認

計測装置の動作確認は、予備実験（土槽実験）と実物大実験の 2 段階で実施した。

（１）予備実験（土層実験）

①実験概要

鋼製実験土層（H1.2m×W1.2m×L1.2m）を使用して、地盤の沈下法による挙動差異（単調載荷・両端単調載荷による違い、載荷板形状による違い、地盤高による違い)、計測ワイヤー保護管の地盤追従性、及び、沈下板形状の違いによる挙動差異の確認・検証を行った。各検討 CASE の内容は次の通りである（表 3-3、図 3-1 参照)。

CASE1、CASE2 は、計測ワイヤー保護管の地盤追従性を確認するため、沈下板を土槽底版に固定し、載荷板の形状の違いが計測値に影響するかどうかを検証した。

CASE3～CASE5 は沈下板形状や載荷方法の差異が計測値に影響するかを検証した。

表 3-3. 事前予備実験の検討 CASE 一覧

CASE	沈下板	載荷方法	載荷板	地盤高	ジャバラ管
1	３０×３０c 土槽底版固定	単調載荷	30×30cm	100cm	φ100mm、L=100cm
2	３０×３０c 土槽底版固定	単調載荷	φ15cm	100cm	φ100mm、L=100cm
3	L70×W30cm	両端単調載荷	３０×３７. （２個）	120cm	φ65mm、L=40cm
4	L20×W20cm	両端単調載荷	３０×３７. （２個）	120cm	φ65mm、L=40cm
5	L40×W20cm	両端単調載荷 (片持ち)	３０×３７. （２個）	120cm	φ65mm、L=40cm

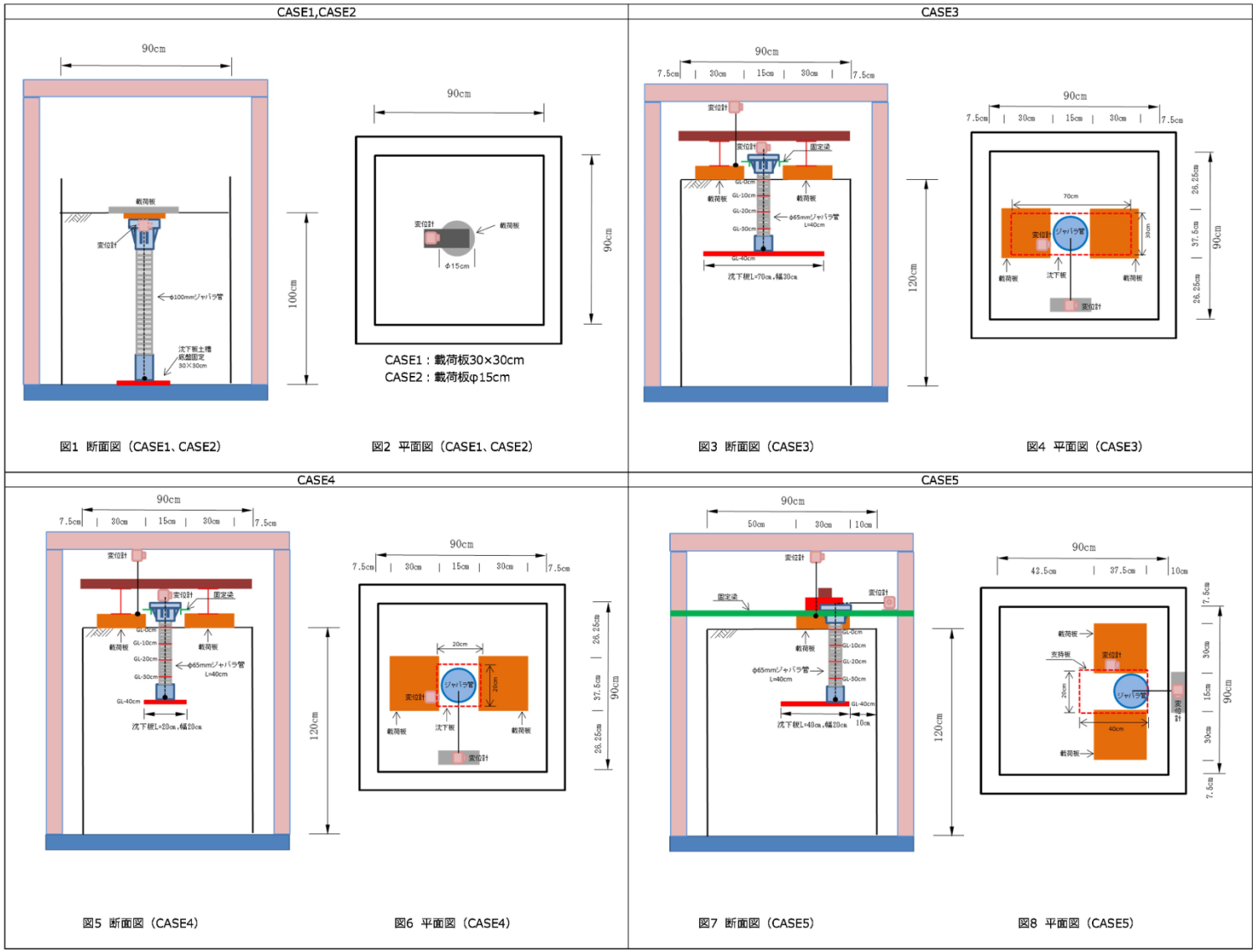


図 3-1. 各検討ケースの実験概要

②検証方法

土槽実験の検証方法と検証内容は、以下の通りである。

1. 地盤の沈下再現の確認
   地表面に設置した載荷板をジャッキにより強制沈下させ、実物大実験で実施予定の輪荷重による沈下状態を再現し、地盤の沈下挙動を確認した。沈下確認は、載荷後に土槽の一面を開き、沈下板を開削して、目視観察により行った（CASE1～CASE5）。
2. 変位計の動作確認
   沈下板を土槽底版に固定して、ワイヤー変位計のワイヤー変形防止策として設置する保護管（ジャバラ管）の追従性、及び、計測値の確認を行った（CASE1～CASE2）。
   ※ジャバラ管は、アルミ製で伸縮自在なものを採用した。
3. 沈下板の挙動確認
   3 種類の沈下板形状について、地表面載荷による地盤内部沈下の追従性確認を行い、沈下板形状の違いにより、変位計測値の違いが生じるかどうか検証した（CASE3～CASE5）。

③検証結果

土槽実験の結果、及び、次の実物大実験に向け、得られた課題となった。得られた課題を踏まえ、実際の被害で発生することが想定される背面盛土の沈下量 30cm 程度を実物大実験で強制的に発生させ、精度検証等を行った。また、実物大実験ではH鋼と油圧ジャッキを組み合わせることで、液状化や盛土流出等により橋台背面の盛土全体が沈下する現象を再現した。実物大実験の詳細については次節で述べる。

【実験結果】

1. 地盤の沈下再現の確認
   ジャッキによる強制沈下でも、輪荷重による沈下現象が再現出来た。沈下板は、地盤に追随して沈下しており、開削により確認した結果、沈下板と地盤の間に空洞は生じていなかった。また、地表面と地盤内部（深度方向）での沈下量を比較すると、地盤内部の方が、沈下量が少なく、深度が深くなるに従い変位量が減少していた。
2. 変位計の動作確認
   保護管（ジャバラ管）の設置により、計測用ワイヤーに直接、地盤変位による外力が加わることなく、安定した計測値を得ることが出来た。また、地盤中の保護管が、沈下にも追従していることが確認出来た。
3. 沈下板の挙動確認
   地盤内部の沈下に対して、沈下板の寸法、及び、設置位置を変化させても、地盤沈下に追従出来ていることが確認出来た（図 3-2）。

【得られた課題】

1. 土槽の境界条件、及び、土槽面積との関係から、沈下面積に制限が出来てしまうため、十分な沈下量まで計測することが出来なかった（CASE3～CASE5 の最大沈下量は 5cm～7cm 程度）（図 3-2）。
2. 地震時には、道路直下地盤の液状化などが原因で、盛土全体が沈下する様な現象が発生するが、そこまでの沈下現象を再現するには至らなかった。

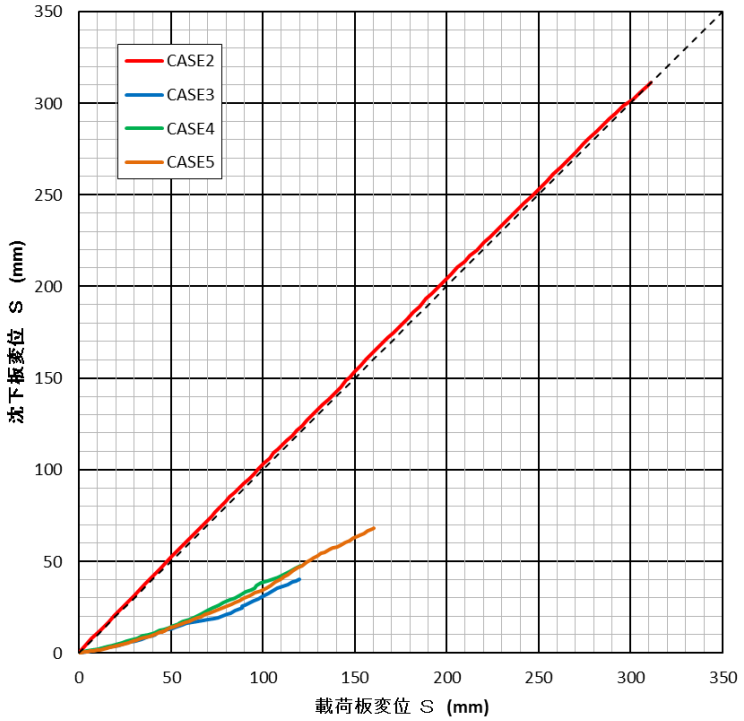


図 3-2. 予備実験での沈下板変位と載荷板変位の関係

（２）実物大実験

①実験概要

予備実験（土槽実験）結果を基に、実物大実験では、盛土規模、沈下板形状、変位計の種類、沈下板設置深度のバリエーションを増やして行い、地震時地盤沈下現象の再現、計測ワイヤー保護官の地盤追従性、沈下板形状の違いによる挙動、及び、従来型変位計と試作型変位計の計測値の確認・検証を行った。

各 CASE の沈下板重量は 5kg で統一されているが、その形状が異なっている。平面形状が異なることに因る沈下板の設置圧の差異、襞の有無による水平抵抗の差異等が比較できる様、各 CASE の沈下板形状を設定した。

各検討 CASE の内容は次の通りである（表 3-4、図 3-3 参照）。

表 3-4. 実証実験の検討 CASE 一覧

項　目	沈下方法	沈下位置	変位計	沈下板形状		沈下板設置深度	備　考
CASE2	背面側鉛直沈下 （全面平均沈下） 同一深度，板形状	地表面-1.74m	従来型	角型30×30cm　t=8mm 重量　5.0kg	上部ひだ有（十字タイプ） 襞H30mm	地表面から-1.2m	背面側の地盤を全面平均的に沈下させる。沈下板の大きさの違いによる基本沈下量を計測する。また、襞無しの沈下板を設置して襞の効果の確認を実施。
			従来型	角型15×15cm　t=28mm 重量　5.0kg			
			試作型	角型20×20cm　t=16mm 重量　5.0kg			
			試作型	角型20×20cm　t=16mm 重量　5.0kg	襞無し		
CASE3	背面側鉛直沈下 （全面平均沈下） 同一深度，板形状， 設置方向	地表面-1.74m	従来型	角型10×40cm　t=16mm 重量　5.0kg	縦断方向に長い 上部ひだ有（十字タイプ） 襞H30mm	地表面から-1.2m	背面側の地盤を全面平均的に沈下させる。沈下板の形状および設置方向による違いを把握する。
			試作型	角型20×45cm　t=0.8mm 重量　5.0kg			
			従来型	角型10×40cm　t=16mm 重量　5.0kg	横断方向に幅広 上部ひだ有（十字タイプ） 襞H30mm		
			試作型	角型20×45cm　t=0.8mm 重量　5.0kg			
CASE4	背面側鉛直沈下 （全面平均沈下） 深度調整，板形状， 設置方向	地表面-1.74m	従来型	角型15×15cm　t=28mm 重量　5.0kg	地表面-0.6m 上部ひだ有（十字タイプ） 襞H30mm	地表面から-0.6m	背面側の地盤を全面平均的に沈下させる。沈下板設置深度の違いによる計測値の違いを把握する。。
			従来型	角型20×20cm　t=16mm 重量　5.0kg			
			試作型	角型15×15cm　t=28mm 重量　5.0kg	地表面-1.5m 上部ひだ有（十字タイプ） 襞H30mm	地表面から-1.5m	
			試作型	角型20×20cm　t=16mm 重量　5.0kg			
CASE5	背面側鉛直沈下 （全面平均沈下） 深度調整，板形状， 設置方向	地表面-1.74m	従来型	角型15×15cm　t=28mm 重量　5.0kg	地表面-0.6m 上部ひだ有（十字タイプ） 襞H30mm	地表面から-0.6m 傾斜地盤	背面側の地盤を全面平均的に沈下させる。傾斜地盤および密地盤を施工し地盤状況違いによる沈下計測値を把握する。
			従来型	角型20×20cm　t=16mm 重量　5.0kg			
			試作型	角型15×15cm　t=28mm 重量　5.0kg	地表面-1.2m 上部ひだ有（十字タイプ） 襞H30mm	地表面から-1.2m 密地盤	
			試作型	角型20×20cm　t=16mm 重量　5.0kg			
CASE6	背面側鉛直沈下 （全面平均沈下） 深度調整，板形状， 設置方向	地表面-1.74m	無し	－	－	－	背面側の地盤全面を平均的に沈下させる。沈下を測定する変位計ボックスを取外し、障害物の無い状態で天端の沈下状況を確認する。
				－			
				－	－		
				－			

注）実証予備実験をCASE1として記述している。

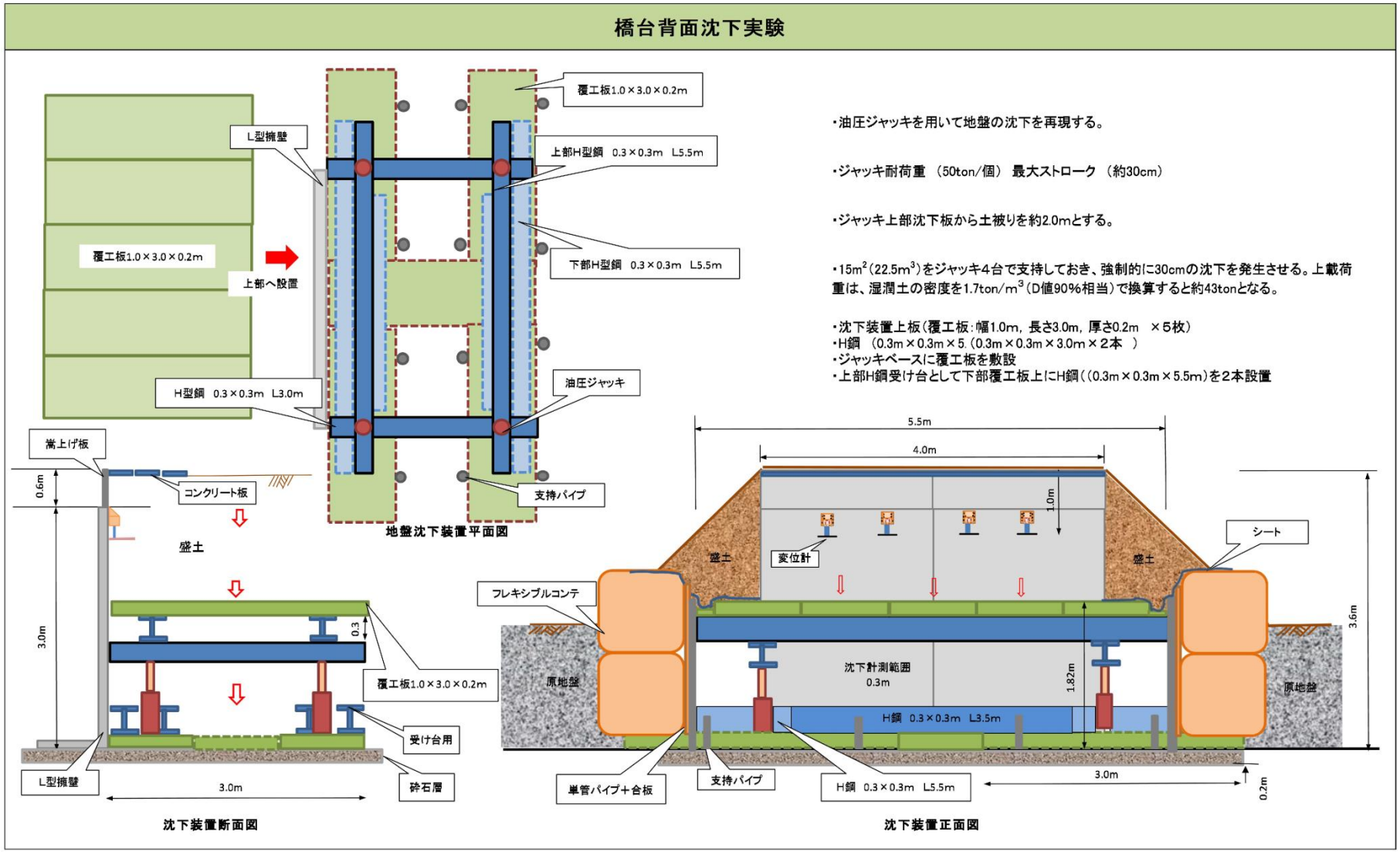

橋台背面沈下実験
覆工板1.0×3.0×0.2m
L型擁壁
上部H型鋼 0.3×0.3m L5.5m
覆工板1.0×3.0×0.2m
上部へ設置
下部H型鋼 0.3×0.3m L5.5m
H型鋼 0.3×0.3m L3.0m
油圧ジャッキ
支持パイプ
地盤沈下装置平面図
・油圧ジャッキを用いて地盤の沈下を再現する。
・ジャッキ耐荷重 (50ton/個) 最大ストローク (約30cm)
・ジャッキ上部沈下板から土被りを約2.0mとする。
・15m²(22.5m³)をジャッキ4台で支持しておき、強制的に30cmの沈下を発生させる。上載荷重は、湿潤土の密度を1.7ton/m³(D値90%相当)で換算すると約43tonとなる。
・沈下装置上板(覆工板:幅1.0m, 長さ3.0m, 厚さ0.2m ×5枚)
・H鋼 (0.3m×0.3m×5.(0.3m×0.3m×3.0m×2本)
・ジャッキベースに覆工板を敷設
・上部H鋼受け台として下部覆工板上にH鋼((0.3m×0.3m×5.5m)を2本設置
嵩上げ板
0.6m
コンクリート板
盛土
3.0m
0.3
覆工板1.0×3.0×0.2m
受け台用
L型擁壁
3.0m
砕石層
沈下装置断面図
5.5m
4.0m
1.0m
盛土
変位計
盛土
シート
フレキシブルコンテ
3.6m
原地盤
沈下計測範囲
0.3m
1.82m
原地盤
H鋼 0.3×0.3m L3.5m
単管パイプ+合板
支持パイプ
H鋼 0.3×0.3m L5.5m
3.0m
0.2m
沈下装置正面図

図 3-3. 実験概要

②検証方法

実物大実験の検証方法と検証内容は、以下の通りである。

1. 地盤の沈下再現の確認

予備実験（擁壁実験）結果を踏まえ、エアージャッキではなく、油圧ジャッキによる沈下装置を製作した。装置は、4 台の油圧ジャッキ（50t/台）と鋼材を組み合わせて強化し、油圧により沈下制御を行うものである。再現する沈下範囲は 10cm～30cm とした。

※沈下面積は 12.0m^2 とした。

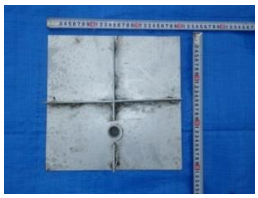
2. 変位計の動作確認

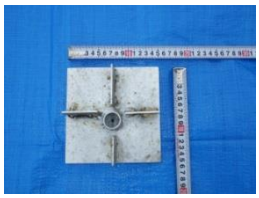
変位計は、従来型と試作型を 1CASE×各 2 台の計 4 台設置して、変位計の差異によって、計測値に差異が生じるかどうかを検証した。計測ワイヤー保護管（ジャバラ管）は、予備実験（擁壁実験）と同じく、ポリエチレン製、φ45mm の保護管を採用し、その地盤追従性の確認を行った。

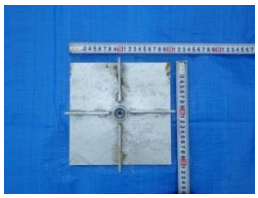
※ジャバラ管は、25cm～100cm の伸縮が可能なものを採用した。

3. 沈下板の挙動確認

沈下板は、地盤との馴染みが良く、地盤追従性がさらに向上する様、沈下板上部に、襞（ひだ）を十字に設けた鋼製板、及び、襞無の鋼製板を、重量 5kg で製作可能な平面形状と組み合わせた多種類、製作して設置し（写真 3-1～写真 3-3）、計測値に差異が生じるかどうかの検証を行った。検証項目としては、沈下板形状、沈下板設置方向、沈下板設置深度、及び、沈下時に側方移動が生じた場合の地盤密度による計測値の差異とした。


角型 30×30cm 襞有


角型 15×15cm 襞有


角型 20×20cm 襞有

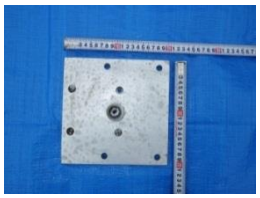
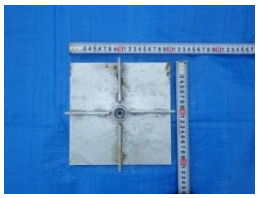

角型 20×20cm 襞無し

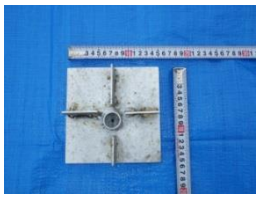
写真 3-1. CASE1 の沈下板形状

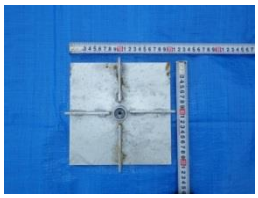
角型 10×40cm 襞有（横断方向、縦断方向）

角型 20×45cm 襞有（横断方向、縦断方向）

写真 3-2. CASE2 の沈下板形状


角型 20×20cm 襞有


角型 15×15cm 襞有


角型 20×20cm 襞有

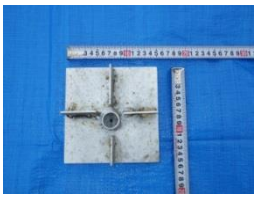

角型 15×15cm 襞有

写真 3-3. CASE3・4 の沈下板形状

③検証結果

実物大実験の検証結果を以下に示す。

1. 地盤の沈下再現の確認

盛土を作製し、各 CASE、約 30cm の盛土沈下を行ったが、総ての CASE において、沈下の再現が出来た。

2. 変位計の動作確認

従来型変位計に対し、試作型変位計の計測値は、ほぼ同様の値を示し、従来型と同程度の能力で計測可能であることが確認出来た。

計測ワイヤー保護管（ジャバラ管）は、実験後に、地盤開削による目視確認を行ったが、地盤沈下に充分追従しており、計測値等への影響は見受けられなかった。また、盛土作製時の破損が懸念されたが、損傷についても確認されなかった。

3. 沈下板の挙動確認

沈下板は、総ての CASE において、地盤沈下に追従していることが確認された。沈下板形状、及び、沈下板設置方向については、沈下追従性に大きな差異は見受けられなかった。検証結果より、以下に列挙する条件を満たせば、実際の現場状況に応じた沈下板形状を選択出来ることが確認出来た（図 3-4 参照）。

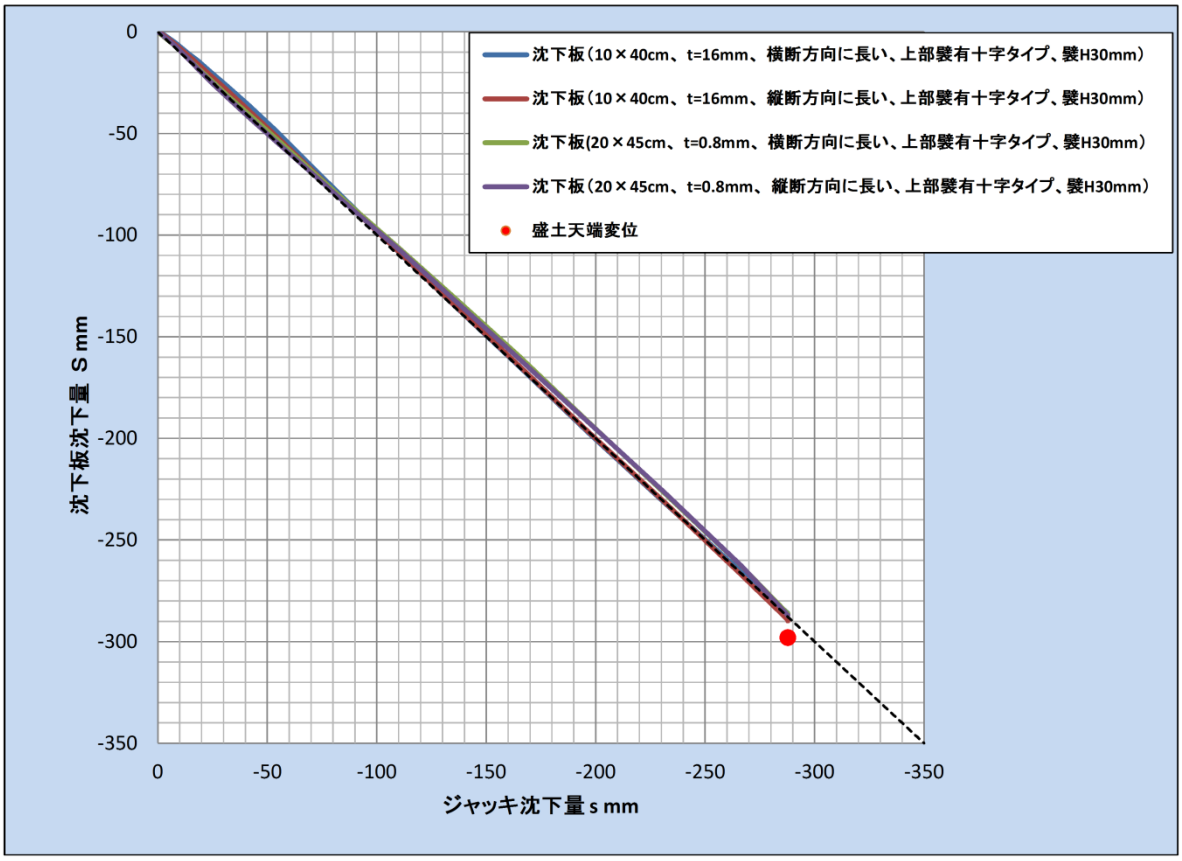


図 3-4. 実物大実験でのジャッキ沈下量と沈下板沈下量の関係

④成果

検証の結果、得られた成果を以下に記す。

1. センサ部と沈下板を繋ぐワイヤーが斜めになる、若しくは、沈下板が橋台背面盛土に干渉するなどしない。
2. 保護管（ジャバラ管）の伸縮に必要な 5kg 以上の重量の沈下板とする。
3. センサ部の大きさに影響されることなく、橋台背面盛土内に取り付け易い形状（あまり大きくなく、ハンドリングが良い形状）の沈下板とする。

３．３．２．　桁端部の変位計測に関する動作確認

桁端部の変位を計測する機器は、既存の接触型ワイヤー巻取り式変位計に、新たな機能を追加する改良を行った変位計を使用することとした。そこで、その精度（確実性）、耐久性、経済性等について、実物大実験による動作確認を行った。

計測装置の動作確認は、既存変位計の動作確認と新たに追加した機能の動作確認の 2 パートに項目別けして実施したが、各実験での検証項目と検証内容、及び、検証結果は表 3-5 の通りである。これらの検証内容の詳細は以降に記す。

（１）検証概要

①検証内容

表 3-5. 検証項目と検証内容の一覧

検証項目			検証内容	検証結果
既存機能の検証	1	正常動作確認	サーバに計測値が送信されているかどうかを検証する。	WEB上の計測値を閲覧し、正常作動を確認した。
	2	データ送信・閾値に関する観測データの確認	閾値を超える沈下を強制的に発生させ、設定メールへの送信が実行されるかを検証する。	異常値になった場合の発報を確認した。 強制変位量とシステムの計測変位量が一致していることを確認した。
	3	遠隔操作	システムをシャットダウンし、計測の強制終了を行った場合に、エラーメールの送信が実行されるかどうかを検証する。	システム異常であることを知らせる発報を確認した。
新たに追加する機能の検証	1	2段階閾値	強制沈下100mmで「走行注意」、強制沈下200mmで「走行不可」のエラー送信を実行するかどうか、検証する。	100mm増加でデータ送信/パトライト、200mm増加でデータ送信/パトライト/エラーフラグを確認した。
	2	トリガー機能	別途製作した監視局の小型試作機を、変位計に対応させ、アンプ等を介さずセンサを直接接続した場合にも、閾値を逸脱した時点でWEB側へデータが送信されるかどうかを検証する。	監視局の小型試作機の抵抗ボリュームを回し、設定された閾値を逸脱した時点でWEB側へデータが送信されることを確認した。 トリガー機能を利用して、電源ラインが正常かどうか、計測値が異常となった場合に、データ送信を行うことを確認した。
	3	同一橋梁内・別橋梁との無線化検討	同一橋梁の片側橋台に設置した無線センサが、別橋台に設置した監視局で受信出来るかどうかを検証する。 隣接橋梁の監視局を1つに集約し、無線を利用して、複数橋梁の監視が可能かどうかを検証する。	同一橋梁に取り付けた監視局間での無線による送受信を確認した。 別橋梁に取り付けた監視局間での無線による送受信確認を行った結果、障害の有無に関わらず、300mまでは90%以上の成功率で双方の送受信を確認した。
	4	商用電源からバッテリー駆動への切替	停電により商用電源からの電源供給が不可能となった場合に、バッテリーからの電力供給に切り替わるかどうかを検証する。	停電した場合の送信、エラーフラグ、バッテリー切替えを確認した。 復電した場合の送信、エラーフラグ機能を確認した。
	5	供給電源に関する検討	非常用電源として、太陽光発電、風力発電、及び、バッテリー電源の有用性を検証する。	バッテリー電圧と日照時間との関係をグラフ化し、各電源方法に必要な容量を算出した。
	6	ウェブシステム	閾値を超える沈下を強制的に発生させ、被災状況把握システムの作動と 被災発生箇所がウェブ上で確認出来るかとうかを検証する。	「注意：黄」、「警告：赤」、「落橋：黒」がWEB上の地図に表示されることを確認した。
	7	段差発生時の通行注意喚起	車両通行に障害を与えるレベルの段差が発生した場合に、トリガー機能を利用して、「注意喚起」のパトランプが点灯するかどうかを検証する。	パトライトの電源がONとなることを確認した。

②対象橋梁

実験は、構内の、鋼橋（北横断橋 1 号橋）と PC 橋（北横断歩道橋）の計 2 橋を対象橋梁として行った。各橋梁の全景写真を写真 3-4～写真 3-7 に示す。

橋 梁 名： 北横断橋二号橋
橋梁形式：鋼単純鈑桁橋
基礎形式：杭基礎
竣 工 年：１９７６年４月
橋　　長：４４．９ｍ（支間：４４．０ｍ）

写真 3-4. 全景

写真 3-5. 計測装置設置箇所

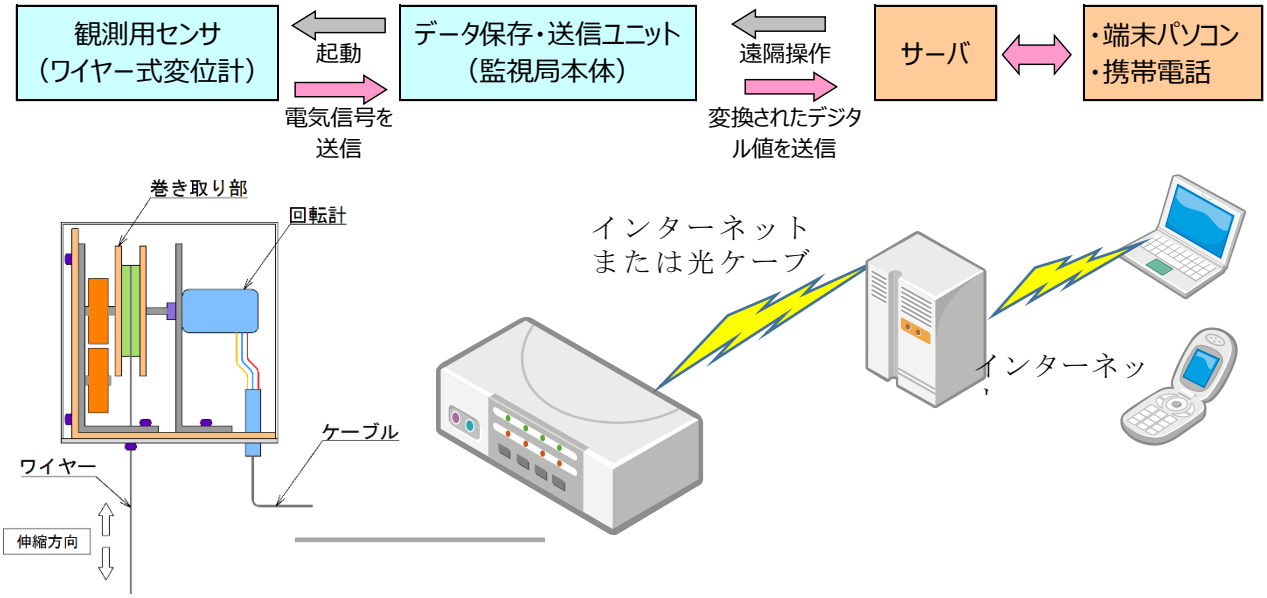
橋 梁 名： 北横断歩道橋
橋梁形式：PC 単純中空床板橋（想定）
基礎形式：杭基礎（想定）
竣 工 年：１９７８年６月
橋　　長：３５ｍ程度（想定）

写真 3-6. 全景

写真 3-7. 計測装置設置箇所

④　システム概要

システムの概要を図 3-5 に、監視局の写真を写真 3-8～写真 3-11 に、実験に使用した計測装置一覧を表 3-6～7 に示す。



監視局本体

図 3-5.　全体概要図

写真 3-8.　監視局設置状況：北横断橋 1 号橋

写真 3-9.　監視局設置状況：北横断歩道橋

写真 3-10.　監視局内部①

写真 3-11.　監視局内部②

表 3-6. 北横断 1 号橋（使用機器一覧）

項目	名称	仕様	数量	複数数量の内訳
観測機器 （桁端部）	大容量ワイヤ式変位計	ひずみゲージ式, 0～500mm=5.0mV/V(10000×10-6ひずみ), ケーブル長20m	3	3方向 （鉛直+橋軸+直角）
	3方向同時取付架台	SUS304製	1	
アナログIFユニット	センサ用アンプ基板	入力:5.0mV/V(10000×10-6ひずみ), 出力:0-2V	3	
	AD変換基板	入力数:8ch, 入力:0-2V, ADC:18bit,	1	
	有線通信機	RS-485双方向通信	1	
監視局	CPU基板	ADC10bit以上, アナログ入力6ch以上, 外部電源制御2ch以上	1	
	3G無線機	NTTDoCoMoFOMA用	1	
	3G無線機用アンテナ		1	
	有線通信機	RS-485双方向通信	1	
	GPS受信機		1	
	太陽電池パネル	DC12V60W	1	
	密閉型鉛蓄電池	DC12V60Ah	1	
	太陽電池充放電制御器	定格入力，19V6A 4段階充放電制御, 温度補正機能	1	PWM充電，トリクル充電、フロート充電、放電
	防水コネクタ	IP65以上	4	桁端部センサ3，太陽電池パネル1
	防水筐体	IP65以上	1	

表 3-7. 北横断歩道橋（使用機器一覧）

項目	名称	仕様	数量	複数数量の内訳
観測機器 （桁端部）	大容量ワイヤ式変位計	ひずみゲージ式, 0～500mm=5.0mV/V(10000×10-6ひずみ), ケーブル長20m	2	2方向 （橋軸+直角）
	大容量ワイヤ式変位計	可変抵抗式, 0～1000mm=0～10KΩ , ケーブル長20m	1	1方向 （鉛直）
	3方向同時取付架台	A6063 アルミフレーム製	1	白アルマイト仕上げ
アナログIFユニット	センサ用アンプ基板	入力:5.0mV/V(10000×10-6ひずみ), 出力:0-2V	2	
	センサ用信号変換基板	入力:0-5V, 出力:0-2V	1	1方向 （鉛直）用
	AD変換基板	入力数:8ch, 入力:0-2V, ADC:18bit,	1	
	有線通信機	RS-485双方向通信	1	
監視局	CPU基板	ADC10bit以上, アナログ入力6ch以上, 外部電源制御2ch以上	1	
	3G無線機	NTTDoCoMoFOMA用	1	
	3G無線機用アンテナ		1	
	有線通信機	RS-485双方向通信	1	
	GPS受信機		1	
	太陽電池パネル	DC12V6W	1	
	風力発電機	DC12V2W	1	
	密閉型鉛蓄電池	DC12V60Ah	1	
	太陽電池充放電制御器	定格入力, 19V6A 4段階充放電制御, 温度補正機能	1	PWM充電, トリクル充電、フロート充電、放電
	防水コネクタ	IP65以上	4	桁端部センサ3, 太陽電池パネル1
	防水筐体	IP65以上	1	

（２）動作確認の詳細

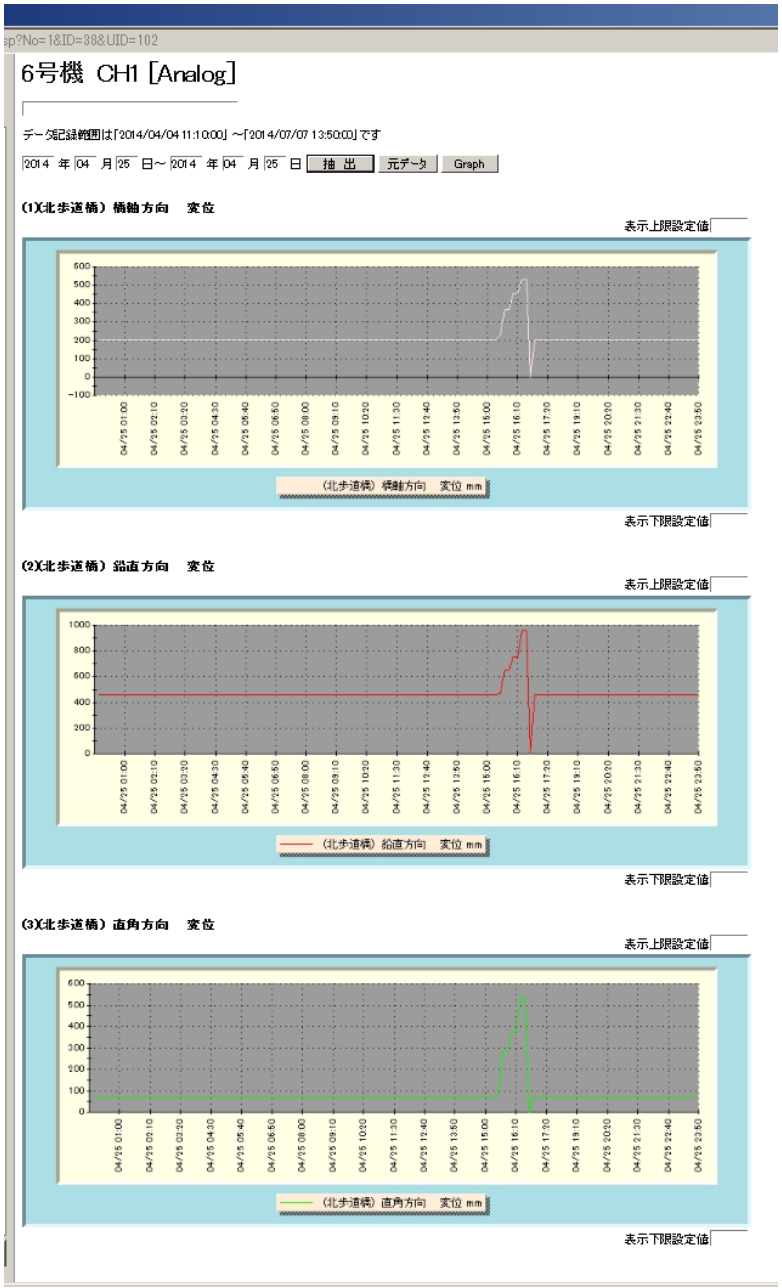
①既存変位計の動作確認

a. 正常動作確認

変位計に、閾値を超えない範囲の強制変位を与え、変位計の計測データが、監視局、及び、サーバに、計測値が送信されているかどうかを確認した結果、WEB 上で計測値を閲覧する事が出来、変位計の正常作業を確認出来た。

以下に、強制変位を与えた時間を含む、計測履歴を示す（図 3-6）。グラフ横軸は日付、縦軸は変位を示す。グラフ内の計測値が大きく変動している箇所が、強制変位を与えた時刻である。平常時は 1 日 4 回の正常動作確認としたが、強制変位を与える前後でも、安定して計測出来ていることが確認出来る。

【北横断橋１号橋】



【北横断歩道橋】

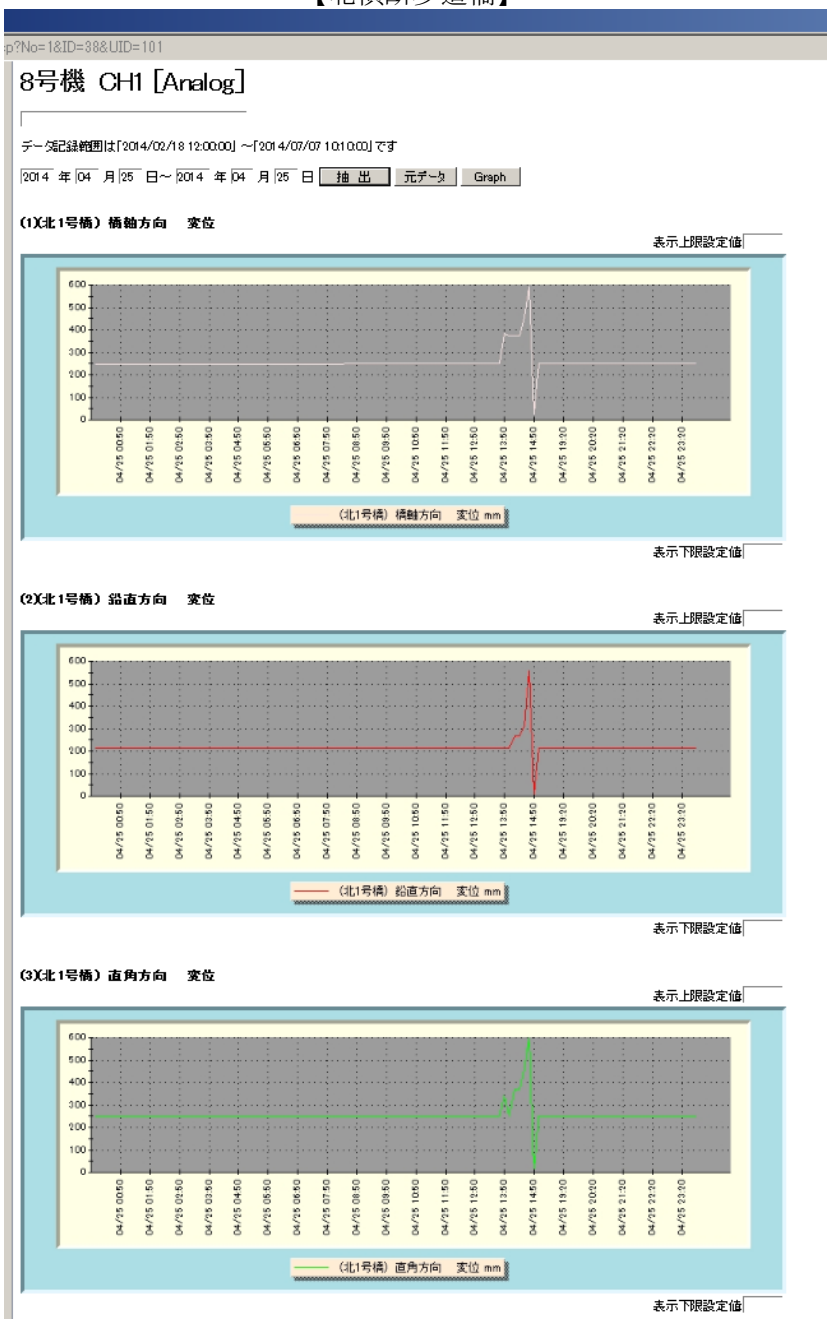


図 3-6. 変位量の計測履歴

写真 3-12. 計測機設置状況：北横断橋 1 号橋

写真 3-13. 計測機設置状況：北横断歩道橋

b. データ送信・閾値に対する観測データの確認

閾値を超える沈下を強制的に発生させ、端末 PC、及び、携帯電話へのメール送信が実行されるかを確認を行った。

結果、強制的に引っ張ってクリップで固定することで発生させた変位量とシステムが計測している変位量が一致していることを確認した（図 3-7）。

【北横断橋 1 号橋】

【北横断歩道橋】

図 3-7. 強制変位量とシステムに送信された計測値

c. 遠隔操作

監視局の電源を強制的にシャットダウンし、システム異常を知らせる警告メールが発進されることを確認した（図 3-8）。

【北横断橋 1 号橋】

【北横断歩道橋】

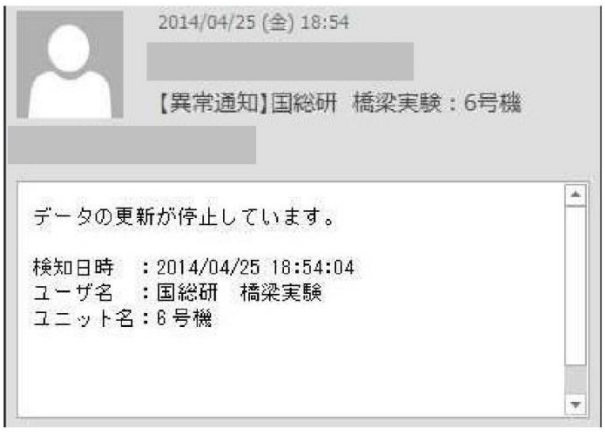


図 3-8. WEB 上での警告メール確認画面

②新たに追加した仕様の動作確認

a. 2 段階閾値

人工的に計測装置に強制沈下を与えることで動作確認を行った。強制沈下 100mm で「通行注意」、強制沈下 200mm で「警告（走行不可）」のエラー送信（異常通報）を実行するかについて検証した。その結果、WEB 上で計測値の変化を確認出来た（図 3-9）。ここで、「通行注意」とは段差等が発生し、通行に少なからず支障を与える状態を指し、「警告（走行不可）」とは段差等が発生し、物理的に走行できない場合、あるいは安全に走行できない状態を指す。また、強制沈下量とした 100mm、200mm については、後述する「４．４ 閾値の設定」にて設定した値としている。

は、強制変位 100mm（基準値 500mm→計測値 614mm）に増加したため、パトランプが点灯した。

は、強制変位 200mm（基準値 500mm→計測値 807mm）に増加したため、パトランプが点灯し、データ送信、エラーフラグを確認した。

図 3-9. WEB 上での確認画面

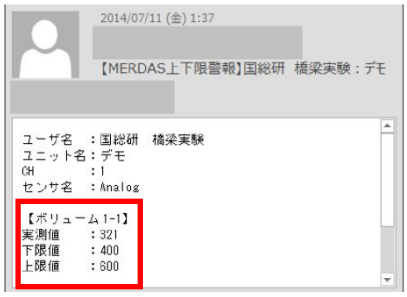
b. トリガー機能

別途製作した監視局の小型試作機を、変位計に対応させ、アンプ等を介さずセンサを直接接続した場合にも、閾値を逸脱した時点で WEB 側へデータが送信されるかどうかを確認した。

※トリガー機能：指定した条件に合致する変更が行われると自動的に起動され、指定された処理を行う機能のこと。

【実験 1】

監視局の小型試作機の抵抗ボリュームを回し、設定された閾値を逸脱した時点で WEB 側へデータが送信されることが確認出来た。図 3-10 中の表は、変位計に変化があった倍に送信されるメールと Web 上の変位を示す一覧である。計測変位が、499mm→340mm→321mm と変化した際にメールが送信されている事が判る。



No	記録日時	ボリューム 1-1 [mm]	ボリューム 1-2 [mm]	ボリューム 1-3 [mm]	センサ 1-1 [mm]	ボリューム 2-1 [mm]	ボリューム 2-2 [mm]	ボリューム 2-3 [mm]	センサ 2-1 [mm]	ダミー	
1114074	2014/07/11	499.000	501.000	505.000	410.000	510.000	511.000	511.000	504.000	509.000	
1114096	2014/07/11 1:33:40	340.000	501.000	505.000	410.000	510.000	511.000	511.000	505.000	497.000	
1114097	2014/07/11 1:34:30	321.000	501.000	504.000	410.000	510.000	511.000	511.000	504.000	515.000	
1114098	2014/07/11 1:35:10	321.000	501.000	504.000	410.000	510.000	511.000	511.000	505.000	511.000	

図 3-10. Web 上での確認画面

【実験 2】

トリガー機能を利用して、電源ラインが正常かどうか、計測値が異常となった場合に、データ送信を行うことが確認出来た。

c. 同一橋梁内・別橋梁との無線化検討

1. 同一橋梁内の無線化検討

北横断 1 号橋の A1 側を監視親局とし、A2 側を監視子局とし、両者間で、無線による双方向データ通信を行った。また、A2 側の観測データを A1 側から低消費電力指令（スリープ）を送信し、A2 側がスリープ状態となるのを確認した。図 3-11 に、無線通信記録を示す。1-2 行目は子機から親機へ応答反応していることを、3 行目は親機から子機に指令が出されていることを、4 行目は子機から親機へ応答反応していることを示している。

＜A1 側監視親局＞

＜A2 側監視子局＞

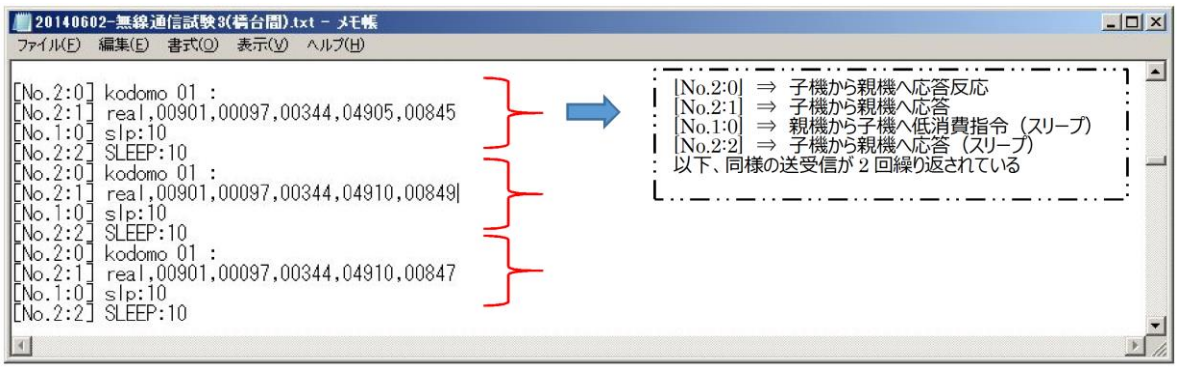


図 3-11. WEB 上での確認画面

2. 別橋梁との無線化検討

障害物のない道路上で、監視子局を監視親局から徐々に距離を離し、無線による通信が不可能となる距離を確認した。また、親局と子局の間に障害がある場合についても確認したが、障害の有無に関わらず、300m までは 90%以上の成功率で双方の受送信を確認出来た（表 3-7）。

表 3-7. 無線通信結果

	200m	250m	300m	350m	400m
通信回数	79	152	264	116	123
不通回数	4	8	25	40	92
成功率	94.9%	94.7%	90.5%	65.5%	25.2%

無線検討には、以下に記述する 3 機能を重視して、TOCOS ワイヤレスエンジン TWE-Strong を使用した。

【検討に使用した無線の性能】

①低消費電力

非常に小さい消費電流（送信時：28mA、受信時：23.5mA、ディープスリープ時：1.3μA）で動作する。

②瞬速起動

IEEE802.15.4/Zigbee 無線モジュール TWE-Strong は、起動時間が短く、無駄な電力消費が少ない。そのため、低レイテンシ（遅延時間）での通信が可能である。

③長距離通信

パワーアンプを追加しながら低消費電力を保ち、内臓アンテナで最長 1,700m、外部アンテナで最長 3,110m の長距離通信が可能である（数値はカタログ値）。

図 3-12 に、別橋梁との無線化検討を行った結果を示す。

図 3-12.　無線化検討結果図

d. 商用電源からバッテリー駆動への切替

停電により商用電源からの電源供給が不可能となった場合に、バッテリーからの電力供給に切り替わるかどうかを確認した。

1. バッテリー低下を知らせるシステムの構築

北横断歩道橋の補足電源である太陽電池は 6W と小さく、日照時間によっては、必要電圧まで復元出来ない場合があり、以下の内容のメールを確認し、システムの確実性を確認した（図 3-13）。

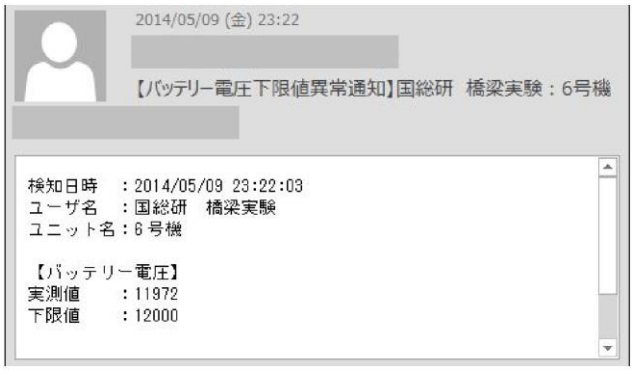


図 3-13. WEB 上での確認画面

2. バッテリーからの電源供給に切り替えるシステムの構築

強制的に停電を発生させ、以下システム（図 3-14）の動作確認を行った。

・AC 停電発生：1 回のみデータ送信→バッテリーに切り替え

・AC 停電復旧：1 回のみデータ送信→エラーフラグ

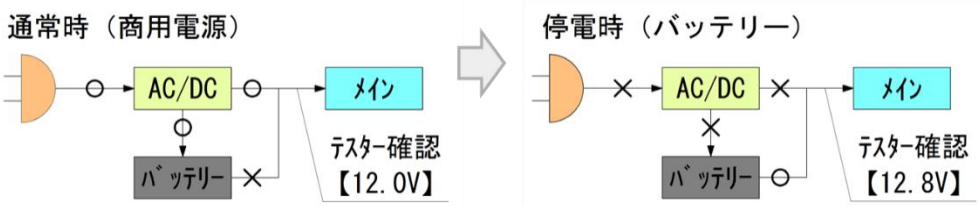


図 3-14. 供給電源の切替イメージ

3. 通電の確認

テスターによる確認（商用電源 12.0V、バッテリー12.8V）と WEB によるエラーフラグの確認を行った。図 3-15 は、Web 上の電源状態の確認画面で、 は、正常時「0000」、異常時「0800」の内、総て正常時「0000」を表示していることが確認出来る。

記録日時	ユニットID	機器名	ソーラーパネル電圧	バッテリー電圧	空き容量	観測間隔	データ送信間隔	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	ErrNo	グラフ比較
2014/05/17 6:00:00	103	デモ	14000	12160	2004221952	10min	01	Analog						0000	過去履歴
2014/05/17 17:00:00	102	6号機	14000	12229	2030006416/2004221952	10min	01	Analog						0000	過去履歴
2014/05/17 17:00:00	101	8号機	14000	14083	1996880768/2004221952	10min	01	Analog						0000	過去履歴

図 3-15. WEB 上での確認画面

e. 供給電源の検討

電源設備は大きく別けて、商用電源、発電機、太陽光発電システム、風力発電システムの 4 つが存在するが、本実験では、非常時の供給電源として、太陽光発電システム+バッテリーを使用した。太陽光発電の容量は、60W（写真 3-14）と 6W（写真 3-15）の 2 タイプを比較し、その適用性を検討した。また、積雪地域で有効となる小型風力発電（写真 3-16）についても、その適用性について検討した。

写真 3-14. 60W 太陽光発電
（8 万円程度）

写真 3-15. 6W 太陽光発電
（8 千円程度）

写真 3-16. 小型風力発電
（3 万円程度）

実験の結果、風力発電ではシステム稼働時に必要な発電量が得られず、太陽光発電の方が充分な発電量が確実に得られることが確認出来た（図 3-16）。

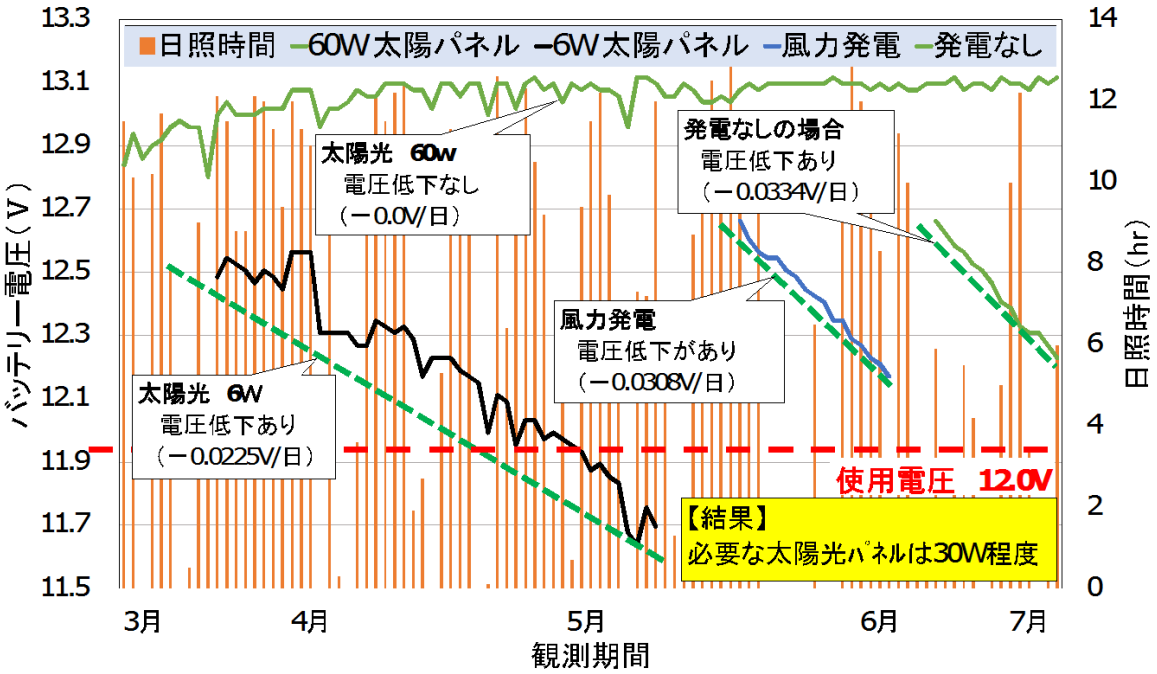


図 3-16. 風力発電と太陽光発電の検証結果

※太陽光パネルに必要な発電量 30W は、別途、以下に示す電力計算により算出した値。

【太陽光パネルに必要な発電量の算出】

・平均使用電流　0.0655A　（1 時間あたり）
・太陽電池パネルの必要ワット数 計算
1 日あたりの使用消費電流（平均電流×24 時間）
0.0655A×24 時間＝1.572A
・充電必要電流量（使用電流×1.2(充電効率)）
1.572×1.2＝1.8864A
・1 日の充電時間（昼間の光線が安定している時間：平均 3.5 時間と仮定）
必要太陽電池電流　　電源電圧を 12V とすると
1.8864/3.5＝0.539A　　0.539×12＝6.468W

以上より、6.468W 以上の太陽電池パネルで O.K.

悪天候で無充電状態が連続 5 日程あっても監視可能なように考慮すると、
6.468W×5 日＝32.34W の太陽電池パネルが必要である為、30W 程度出力可能な
太陽電池パネルを使用することとした。

f. ウェブシステム

計測対象橋梁を含む地図を表示し、計測値が閾値を超過した場合に、「津波による被害（落橋）」、「警告」、「注意」の 3 段階で表示フラグ色を変化させて、地図上に反映させる。その他、全橋梁のリストから平面図へリンクさせる、橋梁のフラグをクリックすることで計測値（詳細情報）を確認することが出来る、等の機能も有したシステムとした（図 3-17）。

図 3-17. 被災状況把握システム画面

g. 段差発生時の通行注意喚起

車両通行に障害を与えるレベルの段差が発生した場合に、トリガー機能を利用して、「注意喚起」のパトランプが電源 ON となった事を確認出来た（写真 3-17）。

写真 3-17. パトランプ点灯

（３）外部環境条件における計測値の検証

ここでは、外部環境条件が影響する、計測値、及び、計測機について、参考文献 12)～15)に基づき検証を行った。外部環境条件は、温度、湿度、風、紫外線、雨水、車両荷重、動植物、排泄物、結露、粉塵、塩分、材料特性（コンクリートのクリープ・乾燥収縮等）等が挙げられるが、ここでは、特に、当該システムへの影響が大きい条件として、①温度、②雨水、③凍結、④車両荷重に着目した検証を行った。検証内容と検証結果一覧を表 3-9 に示す。

表 3-9. 検証内容と検証結果一覧

対象項目	環境条件	検証内容	検証結果	評価
①桁変位	温度	温度変化による変位	橋軸：温度差 9℃⇒9㎜ 理論値（8.9㎜）と相関性が非常に良い 鉛直：ほとんど発生しない	理論値による変位を考慮して評価する
	車両荷重	たわみ（桁端回転）による移動（水平）	最大 3㎜ （理論値は 6㎜）	変位は瞬間的に生じる弾性変位で、システムの計測サイクルも加味すると、無視して問題ない。
		たわみ（桁端回転）による変位（鉛直）	最大 0.1ｍｍ程度	変位は微小であり無視して問題ない
②計測装置の作動	常時	恒温・同変位による値の変化（初期段階での測定値の変化）	変化は生じない	影響ない
	温度	温度による影響	-5℃～50℃：問題ない -20℃：計測器内部が凍結	作動可能温度 -5℃~50℃
③計測装置の防水	雨水	計器内への水の侵入（散水試験・水中試験）	水中に入れた場合、浸水確認	一般的な風雨は影響ない
④太陽光パネルの妥当性	太陽光	電圧低下量	日中（12：00）に 14V 以上確認 （使用限界電圧：11.5V）	妥当である。
⑤橋台背面アプローチ部の計測値	車両荷重	車両荷重による鉛直変位	確実に作動していることを確認	妥当である。

①桁変位

a. 温度

鋼 2 径間連続鈑桁橋（支間長 Ls=44.5m, 伸縮桁長 Lt=89.0m）を対象橋梁として、上部工桁の変位を 1 週間（1 時間毎）計測した結果を図 3-18 に示す。グラフより、理論値と計測値の相関性が非常に良い事が判る。

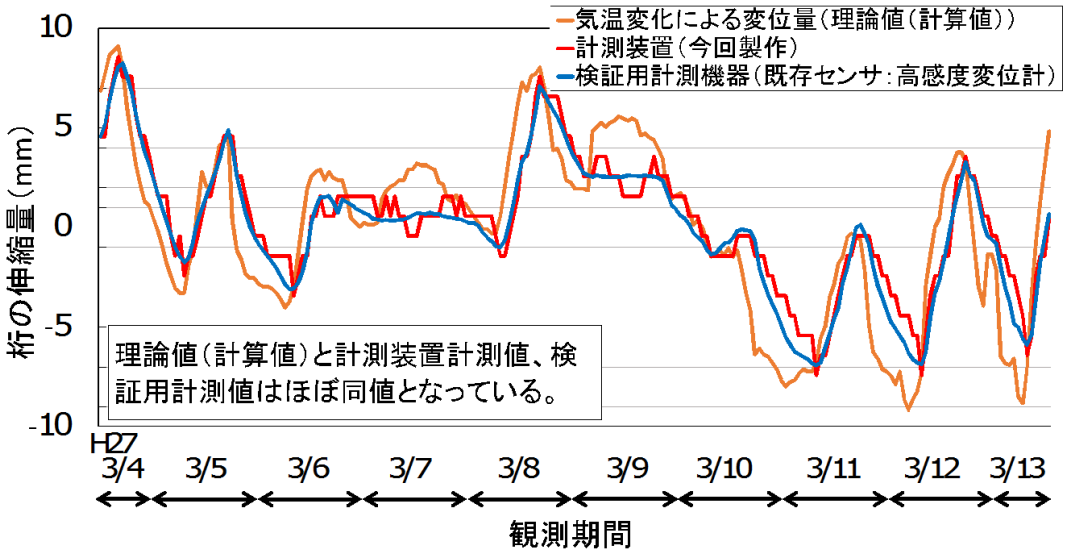


図 3-18. 温度変化による計測誤差の検証結果

b. 車両荷重

車両通行での桁回転による変位が 3mm 程度生じている（図 3-19 参照）が、相対的に大きな変位量でないことや、車両による変位の発生は瞬間的であること、弾性変位であることなどから、段差計測への影響を考慮する必要はないと判断した。

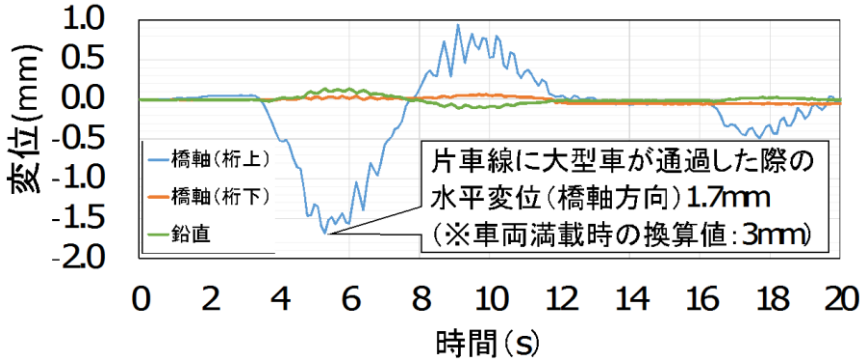


図 3-19. 交通荷重による計測誤差の検証結果

②計測装置の作動

a. 常時状態

初期設置時として 6 時間計測した結果、総て同変位量であり、問題ないことが確認出来た。

b. 温度変化による作動確認

・低温状態（5℃）：常時状態と同値であり、問題ないことが確認出来た。

・高温状態（ドライヤーで 5 分間加熱した状態）：常時状態と同値であり、問題ないことが確認出来た。

・作動可能な最低温度：-5℃では計測器内部のスプリングは凍結せず、計測可能であった。

・凍結状態（-20℃）：ケーブル引込み口からのケーブル引出しは可能であったが、計測器内部のスプリングが凍結したため、ケーブルが巻き上げられず、戻らない状態となった。解凍後は、常温状態と同値を示し、復旧することを確認した。

③計測装置の防水

センサを 30 分間、完全に水中に入れた場合、浸水が確認された（写真 3-18 参照）。

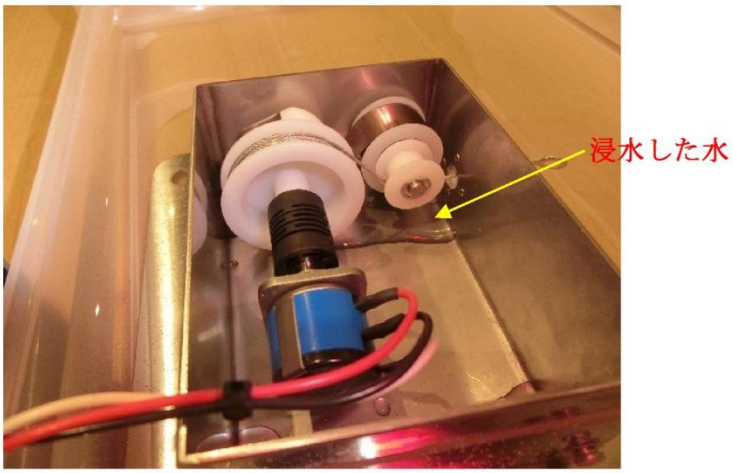


写真 3-18. 浸水試験結果

④太陽光パネルの妥当性

太陽光パネルを実橋に設置し、電圧量変動により、太陽光パネルの妥当性を確認した。日中（12:00）に 14V 以上に蓄電されており、健全に作動出来ることが確認出来た（図 3-20 参照）。

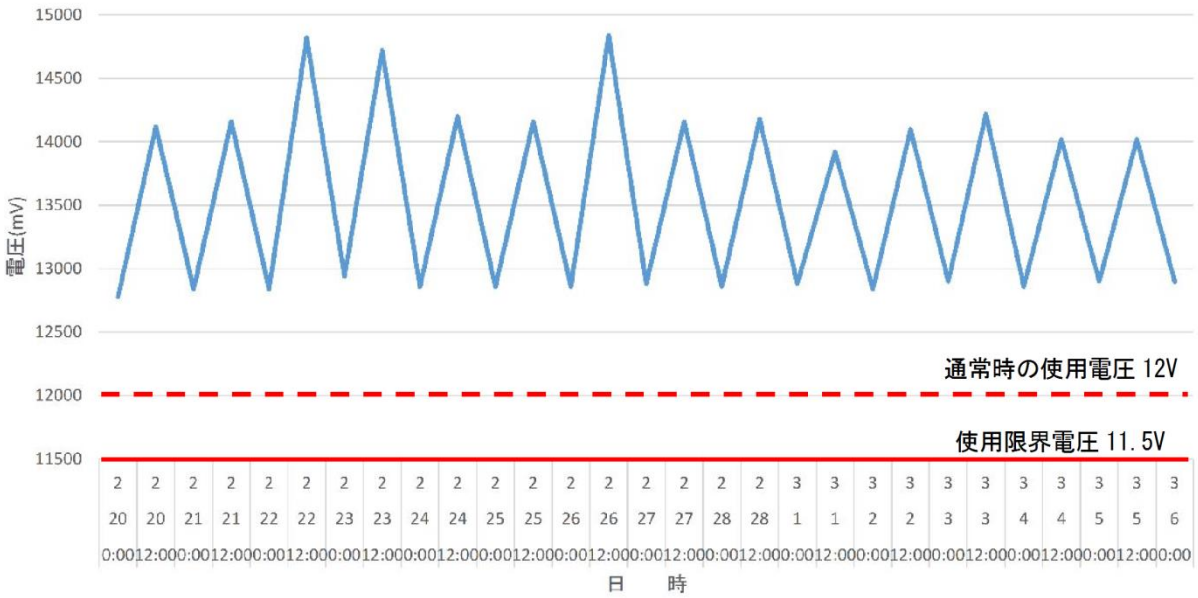


図 3-20. バッテリー電圧の確認（太陽光パネル）

⑤橋台背面アプローチ部の計測値

橋台背面アプローチ部の計測装置を利用して、使用するロガーに直接接続して計測を行い、確実に作動していることを確認した（図 3-21 参照）。

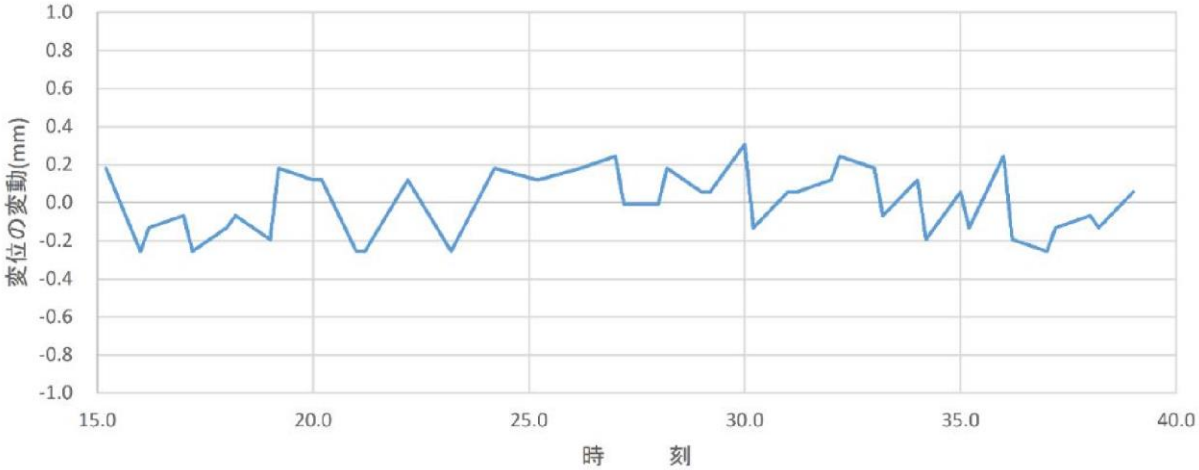


図 3-21. 橋台背面アプローチ部計測の変位変動

４．試行フィールドにおける検証

４．１ 目的と検証内容

開発した道路橋被災状況把握システムを、通常の道路管理下に置かれている橋梁に、実際に、設置・観測することで、既存把握システムへの組込み等を含めた、災害時の適用性を検証した（試行フィールドにおける検証）。

４．２ 設置橋梁の選定

国内に存する実橋の中から、実際に計測装置の設置が可能で、道路管理上、設置が必要な橋梁を全国から選定した。また、選定に当たっては、以下の条件を考慮して、各地方整備局（関東地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局）より 1 橋、計 5 橋、選定した。

【選定条件】

① 今後、大規模地震の発生が懸念される津波浸水地域や緊急時のアクセスが困難な地域にある橋梁
② 緊急輸送路に指定されている路線上にある橋梁
③ 踏掛版が設置されていない橋梁、橋台背面盛土が沈下する可能性が大きい橋梁
④ 老朽化等により、常時観測を実施しており、地震時に変状する可能性が大きい橋梁
⑤ 液状化が考えられる地盤上の橋梁

選定された 5 橋と各橋の計測装置設置状況は、表 4-1 の通りである。

表 4-1. 試行フィールド選定橋梁と各橋の計測装置状況一覧

橋梁名		神宮橋		新緑橋		古座大橋		海部大橋		朝日橋	
地方整備局		関東		中部		近畿		四国		九州	
都道府県		茨城県		三重県		和歌山県		徳島県		大分県	
路線名		国道51号		国道42号		国道42号		国道55号		国道10号	
橋長（m）		950.00		90.00		324.00		329.20		34.16	
架設年（西暦）		1960		1967		1968		1967		1971	
橋齢（基準年：2016年）		56		49		48		49		45	
全幅員（m）		10.18		7.60		7.70		7.72		30.80	
径間数		76		2		10		9		2	
橋種		PC		鋼		鋼/PC/RC		PC		PC	
センサー設置箇所数	背面部（個）	－		2	A1・A2（鉛直）	－		2	A1・A2（鉛直）	4	A1・A2（鉛直）×2
	桁端部（個）	4	A1・A2（橋軸）	4	A1・A2（橋軸・鉛直）	2	A1・A2（橋軸）	2	A1・A2（橋軸）	4	A1・A2（橋軸）×2
	橋梁部（個）	12	P15・P19・P37・P42 P48・P50・P52・P55 P58・P73（橋軸） P48・P50（鉛直）×2	－		8	P2・P4（橋軸） P5・P6 （橋軸・直角・鉛直）	4	P1・P3・P5・P7 （橋軸）	－	
電源種別		商用電源		太陽電池		商用電源		商用電源		太陽電池	
監視局設置位置	親局（個）	1	A1橋座	1	A1翼壁側面（山側）	2	A1翼壁側面（山側） A2翼壁側面（山側）	1	A2橋座	1	A2背面スペース （上り線）
	子局（個）	1	A2橋座	1	A2翼壁側面（山側）	0		0		1	A1橋座（上り線）

４．３ センサの設置方針

（１）橋台背面盛土の段差計測

橋台背面盛土の段差計測は、図 4-1 の設置フローにより、橋台背面アプローチ部に段差が生じる恐れがあるかどうかを検討し、設置要否を決定することとした。これは、緊急点検結果より、踏掛版を有する橋台や橋台高の低い直接基礎橋台では、殆ど段差を生じていなかったことに基づいて作成したものである。

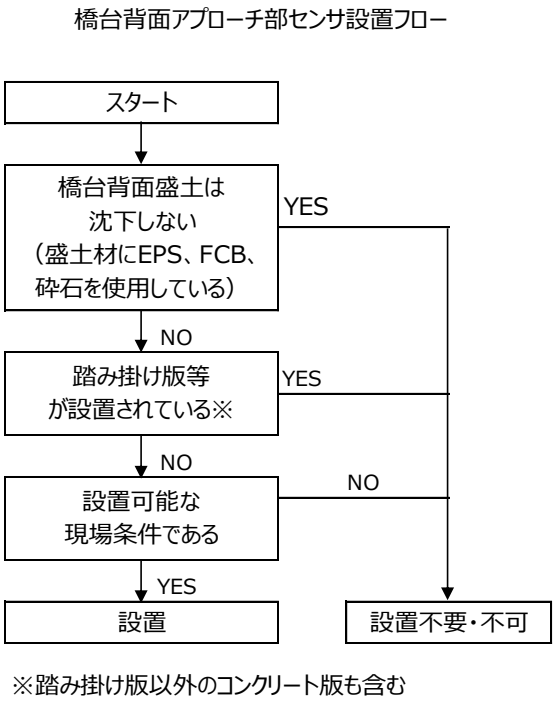


図 4-1. 橋台背面アプローチ部のセンサ設置要否決定フロー

センサの設置位置は、胸壁背面とし、1 橋台に 1 箇所設置することとした。ただし、道路幅員が広く、段差に大きな左右差が生じることが予想される場合には、複数のセンサを設置することとした。横断方向の設置位置は、道路中央付近を基本とするが、道路規制などが極力最小限と出来る位置を現地で確認した上で決定する。

橋台背面盛土が沈下しても、アスファルト舗装や路盤工が沈下しないケースが想定される為、センサの設置高さは路盤工の下面付近とし、沈下板は、路盤工より深く、盛土内に設置することとした。

（2）桁端部の計測

車両の通行に支障を与える桁端部の変位には、橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向の 3 方向の変位がある。各方向に変位が生じる原因としては、鉛直方向には支承からの桁落下、橋軸方向には伸縮装置部の異常遊間、橋軸直角方向には上部工桁の回転等が考えられる。

橋梁構造によっては、変位が制限される構造、ある方向には変位が発生しない構造等があるため、予め、センサ設置が不要と判断出来る場合がある。本研究では、図 4-2 に示すフローに従って、センサ設置要否を決定することとした。[3)4)]

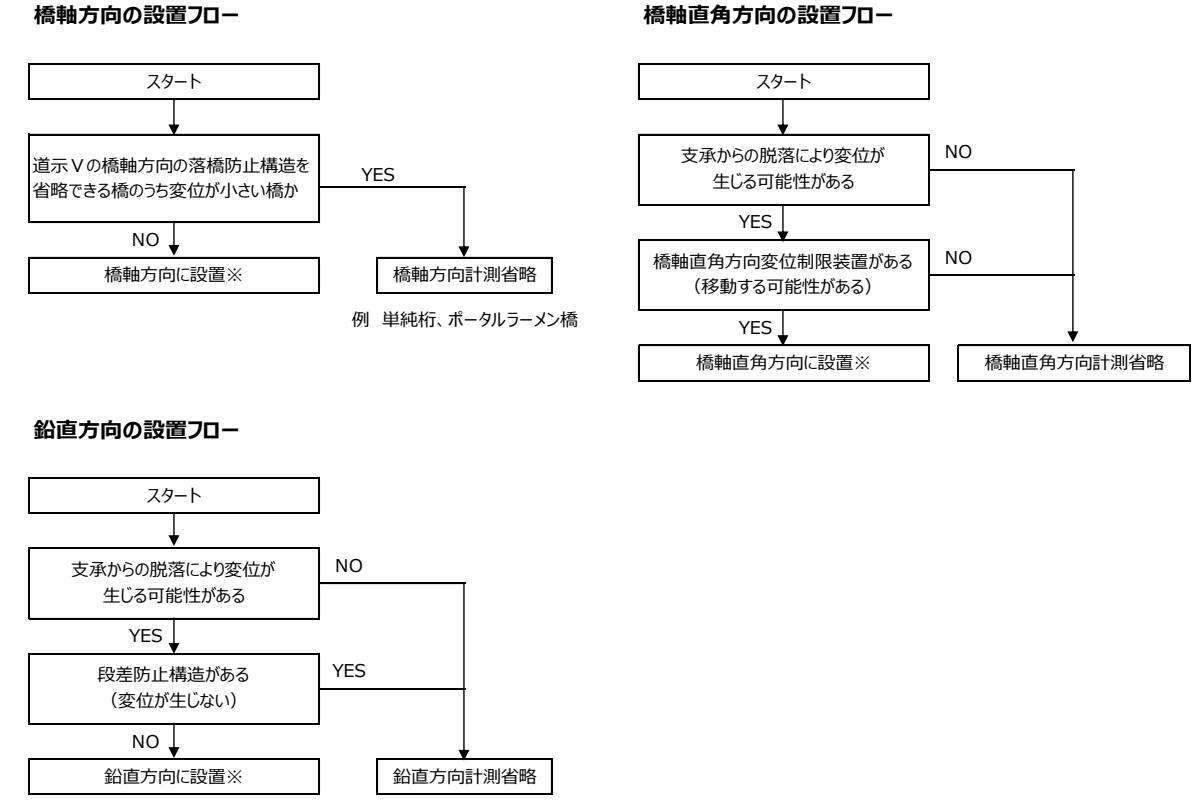


図 4-2. 桁端部のセンサ設置要否決定フロー

４．４ 閾値の設定

（１）橋梁の変位方向

車両の通行に支障を与える桁端部の変位には、橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向の 3 方向があり、その発生原因としては、橋軸方向は伸縮装置部の異常遊間、橋軸直角方向は上部工桁回転、鉛直方向は上部工桁が支承から落下したことによる段差などが考えられる。

（２）通行障害を与える変位量の設定

通行障害を与える変位量は、各変位方向別に、表 4-2 のように設定した。

表 4-2.　通行障害を与える変位量の設定 [12)～15)]

	通行障害の変位量		備　　考
	通行注意	警告	
鉛直方向	2cm 以上	10cm 以上	被災時の状況から判断
橋軸方向	伸びる側：温度による桁伸縮量+20mm 縮む側:20mm	伸びる側：温度による桁伸縮量＋100mm 縮む側:100mm	桁長が長い橋梁は別途検討
橋軸直角方向	鋼製支承：橋軸方向 5mm（支承の橋軸直角方向移動量より）	100mm 以上	支承部破壊による橋軸直角方向のズレ

橋軸方向の閾値については、温度変化の影響を考慮する必要がある。そこで、標準温度時と計測装置設置時の温度変化分の桁の伸縮量を加味した閾値を算出した（図 4-3 参照）。[5)6)]

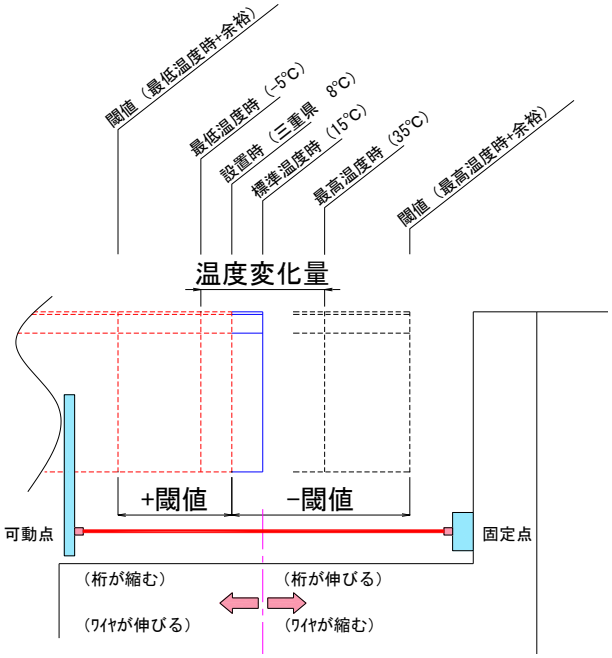


図 4-3.　桁端部の温度変化イメージ

表 4-3、及び、表 4-4 に、各橋梁の閾値算出結果を示す。

表 4-2. 各橋梁の閾値算出結果①

橋梁名(場所)				新緑橋(三重)		古座大橋(和歌山)					
支承条件				F	M	F	MF	MF	M	F	M
構造物名称				A2(三重)	A1(和歌山)	A1(和歌山)	P2	P4	P5	P6	A2(三重)
伸縮桁長	L		m	0	89	0	34.65	34.65	85.8	0	37.5
最高温度	Th		℃	40	40	40	35	35	40	40	35
最低温度	Tl		℃	−10	−10	−10	−5	−5	−10	−10	−5
設置温度	Ts		℃	8	8	8	8	8	8	8	8
標準温度	TT		℃	15	15	15	15	15	15	15	15
温度差	Tss	TT−Ts	℃	7	7	7	7	7	7	7	7
温度変化量	Tsr	Th−Tl	℃	50	50	50	40	40	50	50	40
1/2温度変化量	1/2Tsr	1/2Tsr	℃	25	25	25	20	20	25	25	20
標準温度時伸縮量	Δ Lh	1/2Tsr・α ・L	mm	0.0	26.7	0.0	6.9	6.9	25.7	0.0	7.5
温度差伸縮量	Δ Ls	Tss・α ・L	mm	0.0	7.5	0.0	2.4	2.4	7.2	0.0	2.6
計算値(注意)	LLT	Δ Lh−Δ Ls+15	mm	15.0	34.2	15.0	19.5	19.5	33.5	15.0	19.9
計算値(警告)	LLK	Δ Lh−Δ Ls+100	mm	100.0	119.2	100.0	104.5	104.5	118.5	100.0	104.9
採用値 (桁縮む ＋側)	注意	M:LLT or 20の大きい方、F:20	mm	20.0	34.2	20.0	20.0	20.0	33.5	20.0	20.0
	警告	M:LLK、F:100	mm	100.0	119.2	100.0	104.5	104.5	118.5	100.0	104.9
採用値 (桁伸びる ー側)	注意	M:LLT−2Δ Lh−30, F:−20	mm	−20.0	−49.2	−20.0	−23.9	−23.9	−47.9	−20.0	−25.0
	警告	M:LLK−2Δ Lh−200, F:−5.0	mm	−100.0	−134.2	−100.0	−109.4	−109.4	−132.9	−100.0	−110.1

表 4-4. 各橋梁の閾値算出結果②

橋梁名(場所)				神宮橋(茨城)		海部大橋(徳島)		朝日橋(大分)		備考
支承条件				F	M	F	M	M	M	
構造物名称				A1(潮来)	A2(鹿嶋)	A1(徳島)	A2(高知)	A1(北九州)	A2(大分)	
伸縮桁長	L		m	0	12.5	0	36.46	17.083	17.083	
最高温度	Th		℃	35	35	35	35	35	35	
最低温度	Tl		℃	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
設置温度	Ts		℃	8	8	8	8	8	8	
標準温度	TT		℃	15	15	15	15	15	15	
温度差	Tss	TT-Ts	℃	7	7	7	7	7	7	
温度変化量	Tsr	Th-Tl	℃	40	40	40	40	40	40	
1/2温度変化量	1/2Tsr	1/2Tsr	℃	20	20	20	20	20	20	
標準温度時伸縮量	Δ Lh	1/2Tsr・α ・L	mm	0.0	2.5	0.0	8.8	3.4	3.4	
温度差伸縮量	Δ Ls	Tss・α ・L	mm	0.0	0.9	0.0	3.1	1.4	1.2	
計算値(注意)	LLT	Δ Lh-Δ Ls+15	mm	15.0	16.6	15.0	20.7	17.0	17.2	
計算値(警告)	LLK	Δ Lh-Δ Ls+100	mm	100.0	101.6	100.0	105.7	102.0	102.2	
採用値(＋側)	注意	M:LLT or 20の大きい方、F:20	mm	20.0	20.0	20.0	20.7	20.0	20.0	
	警告	M:LLK、F:100	mm	100.0	101.6	100.0	105.7	102.0	102.2	
採用値(－側)	注意	M:LLT-2Δ Lh-30, F:-20	mm	-20.0	-20.0	-20.0	-26.8	-20.0	-16.8	
	警告	M:LLK-2Δ Lh-200, F:-5.0	mm	-100.0	-103.4	-100.0	-111.8	102.0	-104.6	

４．５ 試行フィールドにおける検証から得られた課題と反映内容

試行フィールドにおける検証を踏まえて、システムの運用方法（機能性・操作性）について、各事務所にヒアリング調査を行い、現状の課題と反映内容を整理した（表 4-5）。

表 4-5. 現状の課題と反映内容（ヒアリング結果）

	現状の課題	反映内容
1	システムはシンプルな方が良い。	計測箇所、計測項目が一目で判る様、単純・明解な表現を使用し、簡単なシステムとした。
2	マニュアルが判りにくいと使いづらい。	マニュアルを読まずとも,視覚的に作動させることが出来るシステムを構築した。
3	数値だけでは計測内容が理解出来ない。計測状況が不明であれば、変位の方向などの計測値の評価が的確に出来ない。 被災状況と併せて、関連資料（一般図や点検調書等）と照らし合わせることが出来れば、有用な情報となる。	計測している箇所を解り易く表現し、専門家でなくても理解出来る様、凡例を充実させた。 システム内に一般図、橋梁台帳、点検結果などを収録出来る機能を付加した。
4	被害が進行途中なのか停滞しているのかが判る様にして欲しい。	時刻歴変位量等を判断し、被災度を評価出来る様にした。
5	あまりに過敏に反応するシステムは現場確認の回数が増えるので困る。	誤作動による異常値を判断するシステムとした。 短期的な平均値との比較により、計測値の異常性を判断出来るシステムとした。

４．６ 被災状況把握システムの設置計画及び設置状況

（１）神宮橋（関東地方整備局、常陸河川国道事務所、茨城県）

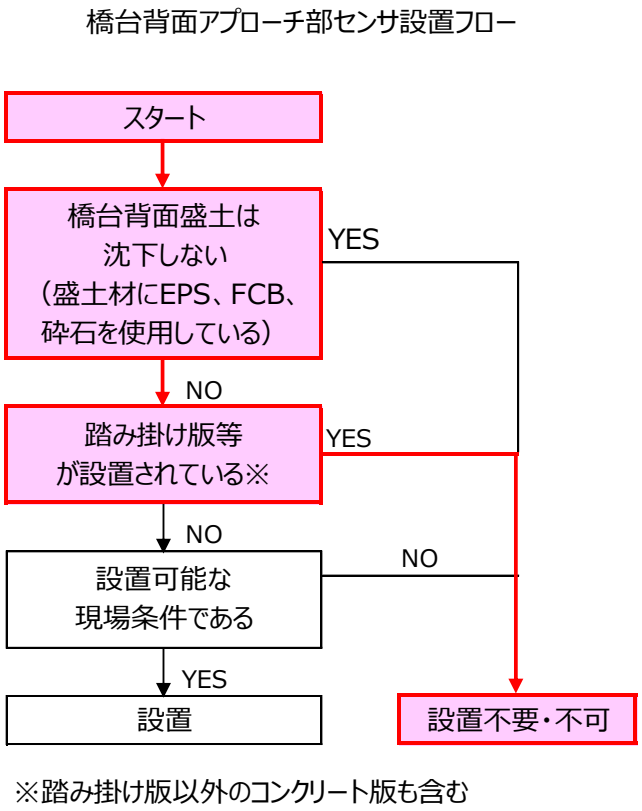
本橋は、PC 単純プレテン方式 T 桁橋（76 連）であり、A1 橋台と A2 橋台に、2 方向（橋軸方向・鉛直方向）のセンサを設置した。橋台付近には、変位制限装置が設置されているため、変位制限装置のコンクリートブロックにセンサを設置し、主桁側に固定点を設けて変位計を設置した。

また、75 基の掛け違い橋脚のうち、液状化層にある橋脚、地盤変位をきたしている橋脚、沈下量が最大となる橋脚、基礎断面が変化している橋脚、下部工の損傷が著しい橋脚、構造が異なる橋脚等、10 基を選定し、T 桁の下フランジに変位計を設置した。

監視局（子局・親局）の設置は、下部工ひび割れに対するモニタリング監視局を設置している CCTV 支柱とした。

電源は、下部工ひび割れをモニタリングのための商用電源を、監視局近傍に引いているため、電圧を確認した上で、利用することとした。

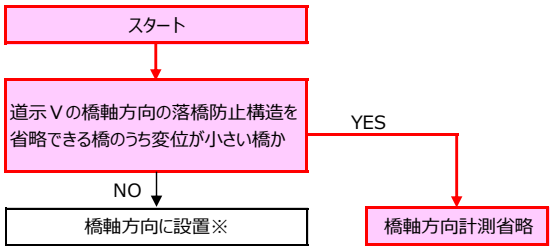
通信は、施工性から、無線通信が望ましいが、橋長が長く（L=950.0m）、無線通信が届かない範囲となるため、すべて有線で接続する方針とした。



※本橋の基礎形式はケーソン基礎

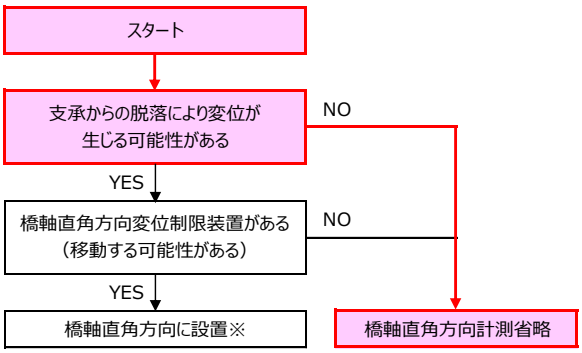
図 4-4. 橋台背面アプローチ部の計測装置要否フロー

橋軸方向の設置フロー　（A1・A2）
（P15・P19・P37・P42・P48・P50・ P 52・P55・P58・P73）

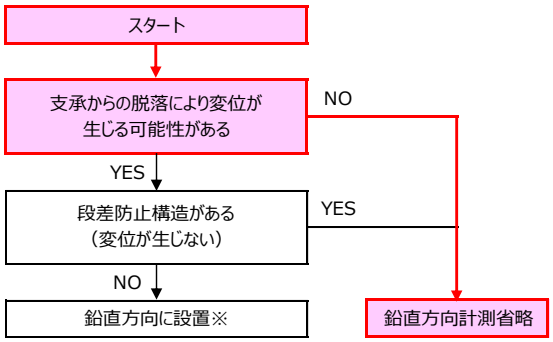


例　単純桁、ポータルラーメン橋

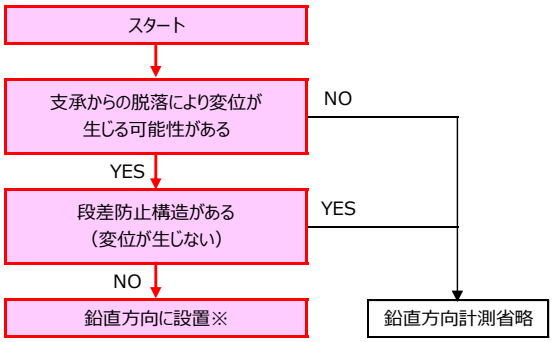
橋軸直角方向の設置フロー　（A1・A2）
（P15・P19・P37・P42・P48・P50・ P 52・P55・P58・P73）



鉛直方向の設置フロー　（A1・A2）
（P15・P19・P37・P42・ P 52・P55・P58・P73）



鉛直方向の設置フロー　（P48・P50）

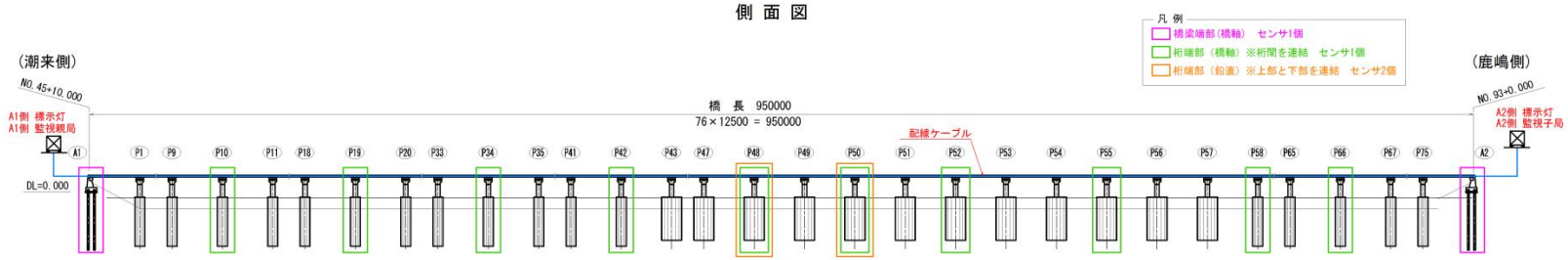


※フローでは「設置」となった場合でも、隣接桁を計測することで省略できる場合もあるため、対象橋梁の架橋状況などに合わせて判断すること。

図 4-5.　桁端部の計測装置要否フロー

神宮橋　計測装置配置図

側 面 図



A1側 標示灯

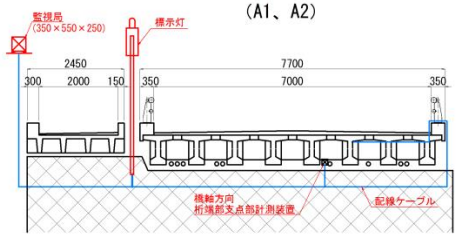
A1側 監視局（350×550×250）

配線ケーブル

A2側 監視局（350×550×250）

A2側 標示灯

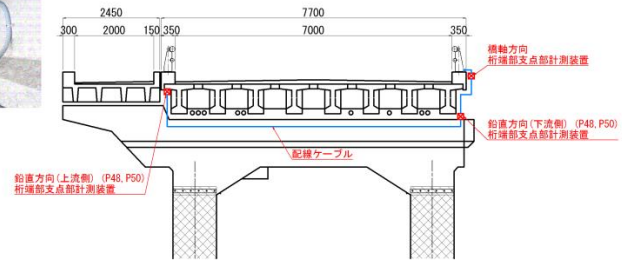
橋台部断面図
（A1、A2）



橋台部 橋軸方向　桁端部支点部計測装置

橋脚部断面図
（P10, 19, 34, 42, 48, 50, 52, 55, 58, 66）

橋脚部 鉛直方向　桁端部支点部計測装置（上流側）



橋脚部 橋軸方向　桁端部支点部計測装置

橋脚部 鉛直方向　桁端部支点部計測装置（下流側）

設置橋脚	センサ数	設置箇所	設置理由
A1	1	桁端部（橋軸）	・橋軸方向のズレ、地震による落橋確認
P10	1	桁端部（橋軸）	・液状化層、1段橋梁部の橋脚が高い箇所
P19	1	桁端部（橋軸）	・地盤変化橋脚
P34	1	桁端部（橋軸）	・沈下量最大の橋脚
P42	1	桁端部（橋軸）	・基礎断面変化箇所（P43広径は太い断面）
P48	3	桁端部（橋軸、鉛直）	・P47～P48がU字凹れ連続あり、その中間橋脚
P50	3	桁端部（橋軸、鉛直）	・P51～P54が下部工の損傷が著しいため　当該段ヒンジ（ゴム）橋脚の隣
P52	1	桁端部（橋軸）	・P51～P54が下部工の損傷が著しいため　当該段ヒンジ（ゴム）橋脚の隣
P55	1	桁端部（橋軸）	・P51～P54が下部工の損傷が著しいため　当該段ヒンジ（ゴム）橋脚の隣
P58	1	桁端部（橋軸）	・基礎断面変化箇所（P57広径は太い断面）
P66	1	桁端部（橋軸）	・1段橋梁部の橋脚が高い箇所
A2	1	桁端部（橋軸）	・橋軸方向のズレ、地震による落橋確認
合計	16		

図 4-6. 神宮橋 計測装置配置図

図 4-7. 神宮橋 桁端部計測装置詳細設置図

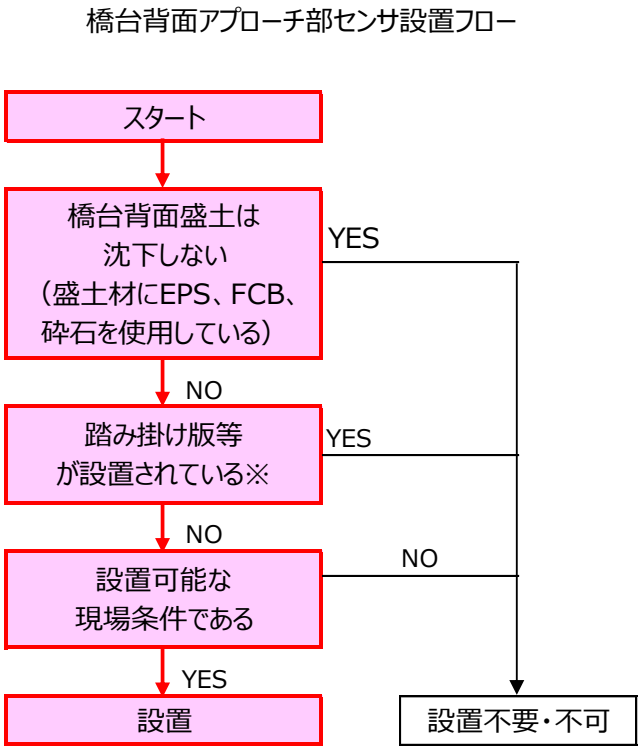
（２）新緑橋（中部地方整備局、紀勢国道事務所、三重県）

本橋は、鋼 2 径間連続非合成鈑桁であり、A1 橋台、A2 橋台の胸壁に、2 方向（橋軸方向・鉛直方向）のセンサを設置し、張出床版下の桁端部に固定点を設けて変位計を設置した。

監視局（子局・親局）の設置は、供用車両などに影響を与えない、沓座周辺部とした。A1 橋台沓座へのアクセスが困難であったため、検査路を設置することとした。また、津波による影響を考慮して、山側に設置した。

電源は、近隣に商用電源がないため、太陽光パネルによる電源供給とした。周辺環境に太陽光パネルの障害となるものはなかったが、反射光がドライバーの運転に影響しない向きに配置した。

通信は、信頼性から有線配線を基本としたが、本橋は無線通信が可能な環境であったため、施工性を重視して、無線通信とした。無線通信の採用に当たっては、草木の繁茂により通信阻害されることがないよう、ブラケットを設けた上で設置した。また、上向きに配置したセンサは水滴がセンサ内に侵入しない様、防滴対策を行った。

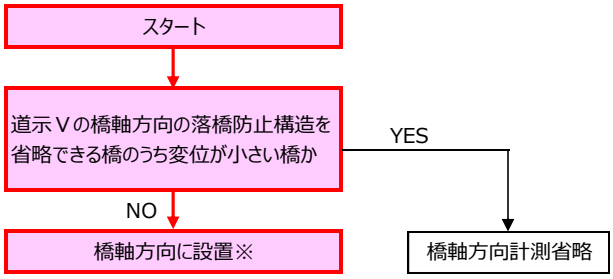


※踏み掛け版以外のコンクリート版も含む

※本橋の基礎形式はケーソン基礎

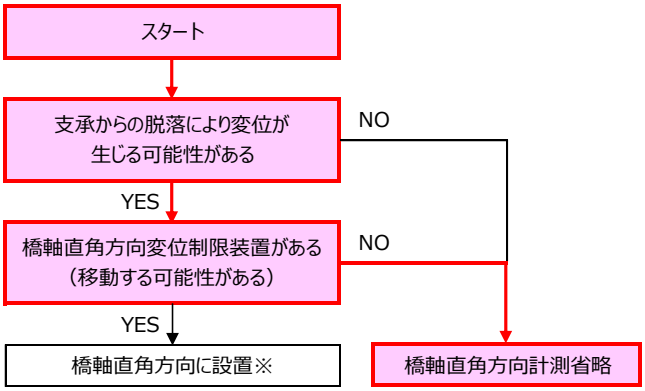
図 4-8. 橋台背面アプローチ部の計測装置要否フロー

橋軸方向の設置フロー　（A1・A2）

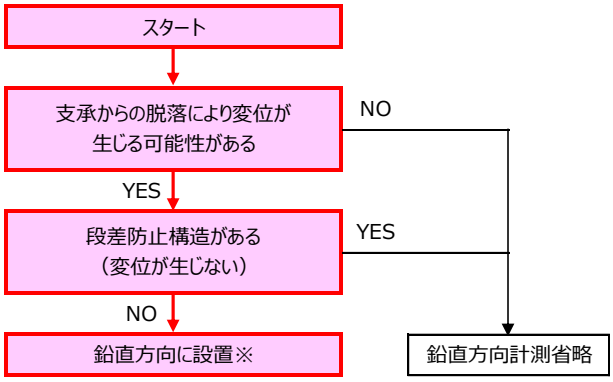


例　単純桁、ポータルラーメン橋

橋軸直角方向の設置フロー　（A1・A2）



鉛直方向の設置フロー　（A1・A2）



※フローでは「設置」となった場合でも、隣接桁を計測することで省略できる場合もあるため、対象橋梁の架橋状況などに合わせて判断すること。

図 4-9.　桁端部の計測装置要否フロー

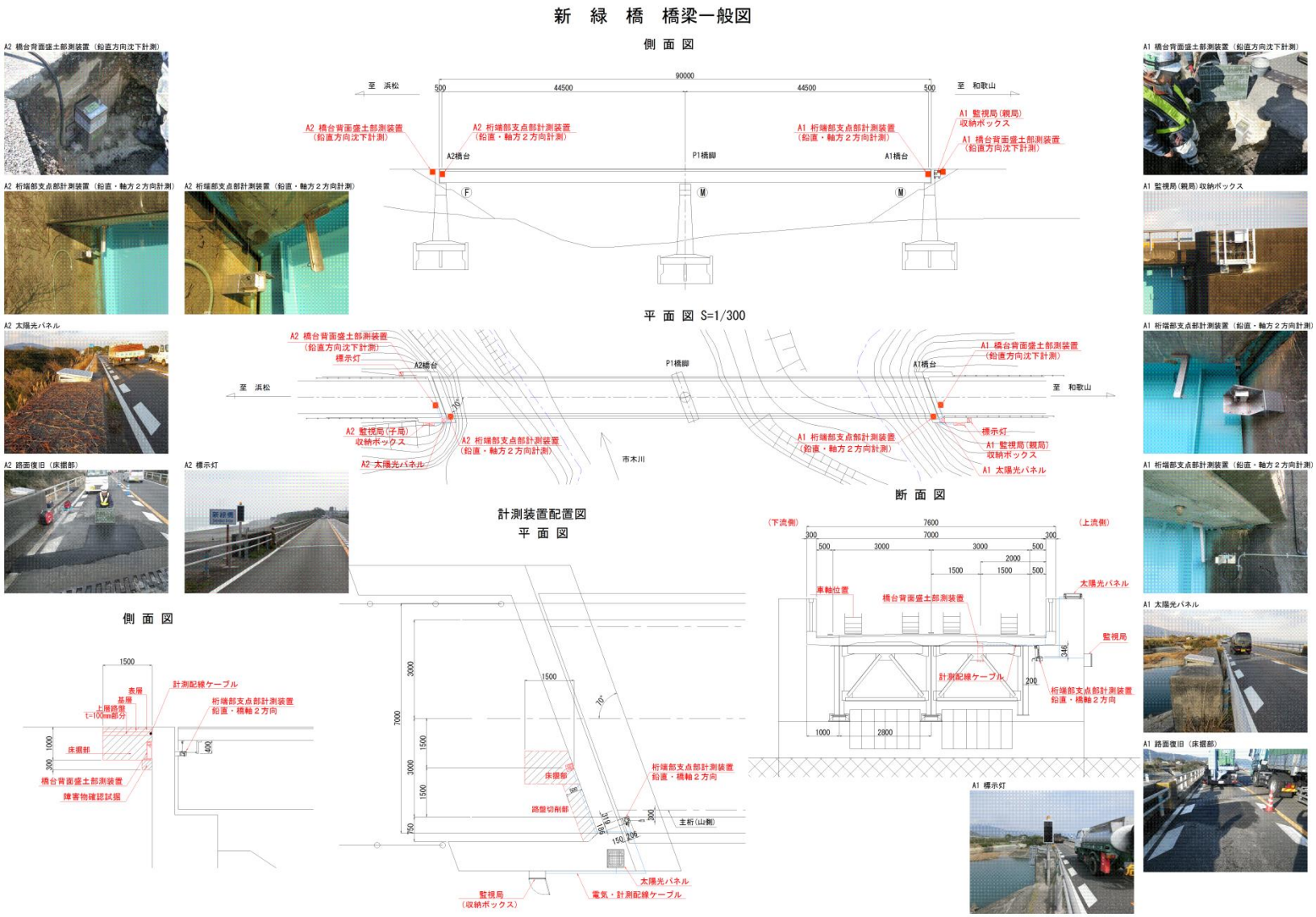


図 4-10. 新緑橋 計測装置配置図

（３）古座大橋（近畿地方整備局、紀南河川国道事務所、和歌山県）

本橋は、PC5 径間単純 T 桁橋+鋼単純ランガー桁橋+RC4 径間連続中空床版橋であり、A1 橋台、P2 橋脚、P4-6 橋脚、A2 橋台の 6 箇所にセンサと変位計を設置した。（P1 橋脚、P3 橋脚への設置を省略したのは、有事が生じた場合でも、単純桁のもう一方側で異常を検知出来るとの判断による。）ランガー部以外は、胸壁と地覆（A1）、桁と桁（P2、P4）、胸壁と張出床版（A2）に、各々、センサと変位計を設置した。計測方向は橋軸方向のみとした。ランガー部は、横桁と橋座を連結する方法とし、計測方向は、橋軸・橋軸直角・鉛直の 3 方向とした。

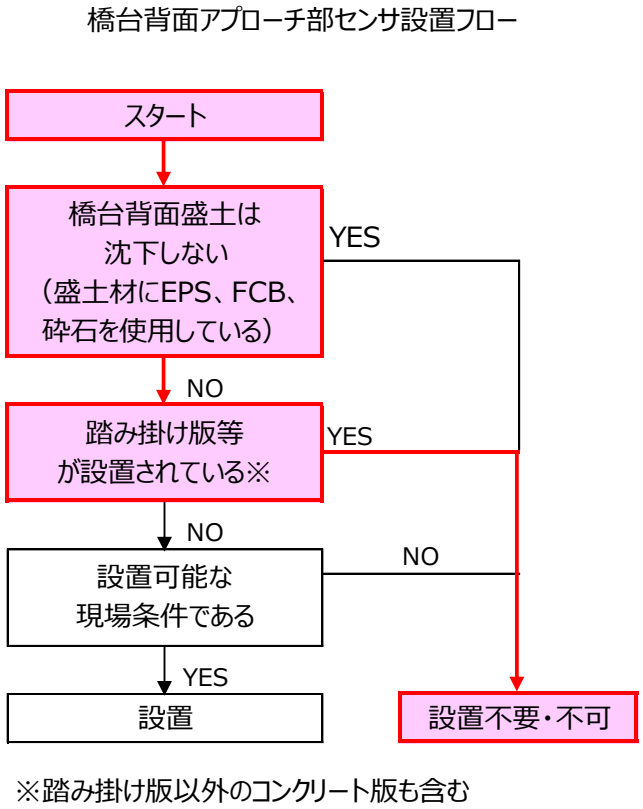
橋台背面盛土内のセンサ設置を計画していたが、実際に現場を掘削した際、踏掛版ではないが、無筋のコンクリート版が見付かったため、センサを設置することが出来なかった。

監視局（子局・親局）の設置は、供用車両などに影響与えない沓座周辺部を基本に、維持管理可能な高さに設置した。また、津波による影響を考慮して、山側に設置した。その他、電源供給の関係で、A1 橋台と A2 橋台の両方に親局を設置した。

電源は、A1 橋台は、監視カメラなどに使用している引き込み柱から分電し、A2 橋台は、照明などが使用している橋台背面の商用電源（引き込み柱）から分電した。

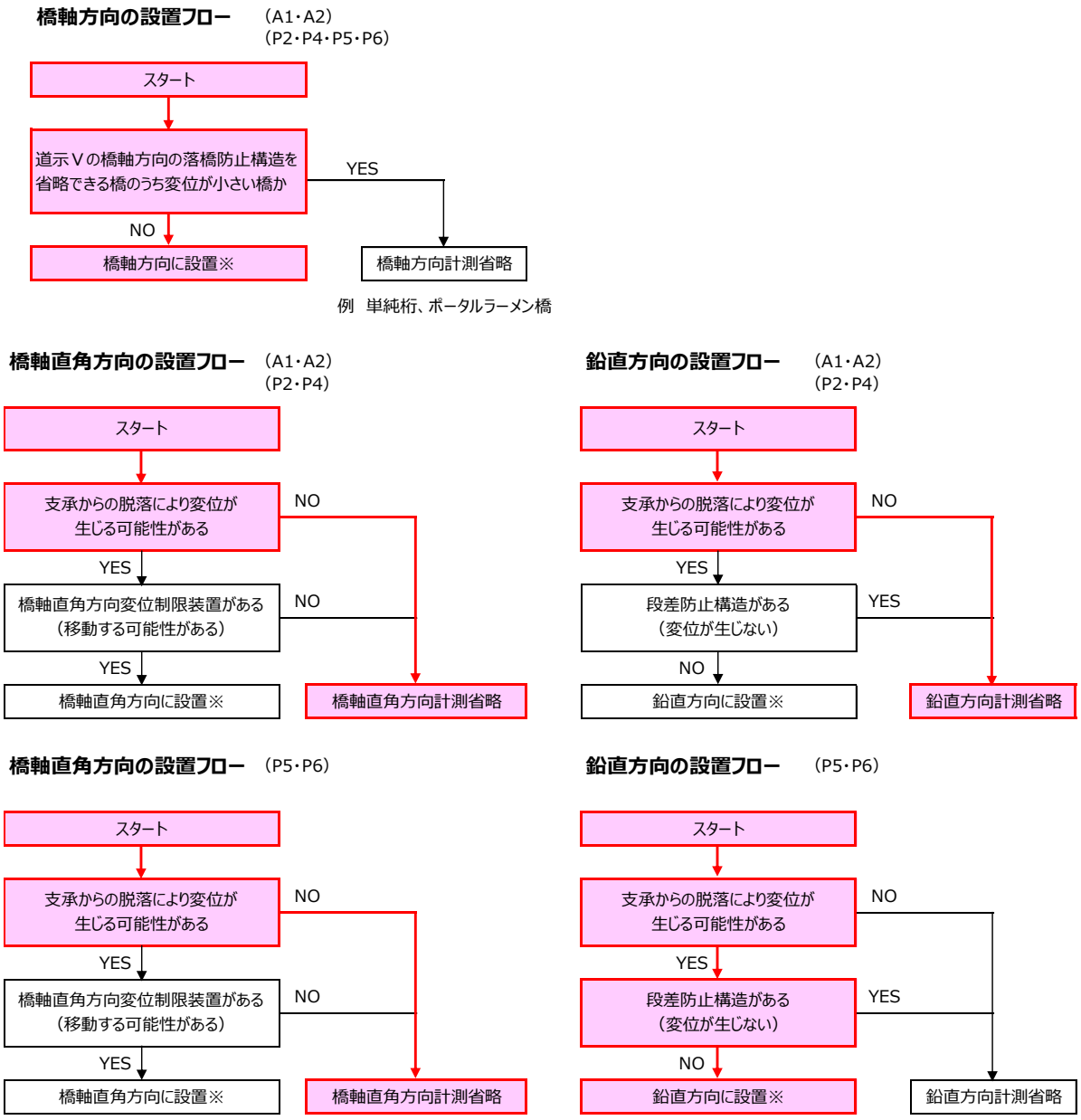
通信は、電源設備が A1 橋台と A2 橋台に別れたため、各々の親機に独立した通信機能を持たせる計画とした。

本橋は電気防食が実施されているため、該当箇所に取り付ける際には、非金属金具を使用した。



※本橋の基礎形式はケーソン基礎

図 4-11. 橋台背面アプローチ部の計測装置要否フロー



※フローでは「設置」となった場合でも、隣接桁を計測することで省略できる場合もあるため、対象橋梁の架橋状況などに合わせて判断すること。

図 4-12.　桁端部の計測装置要否フロー

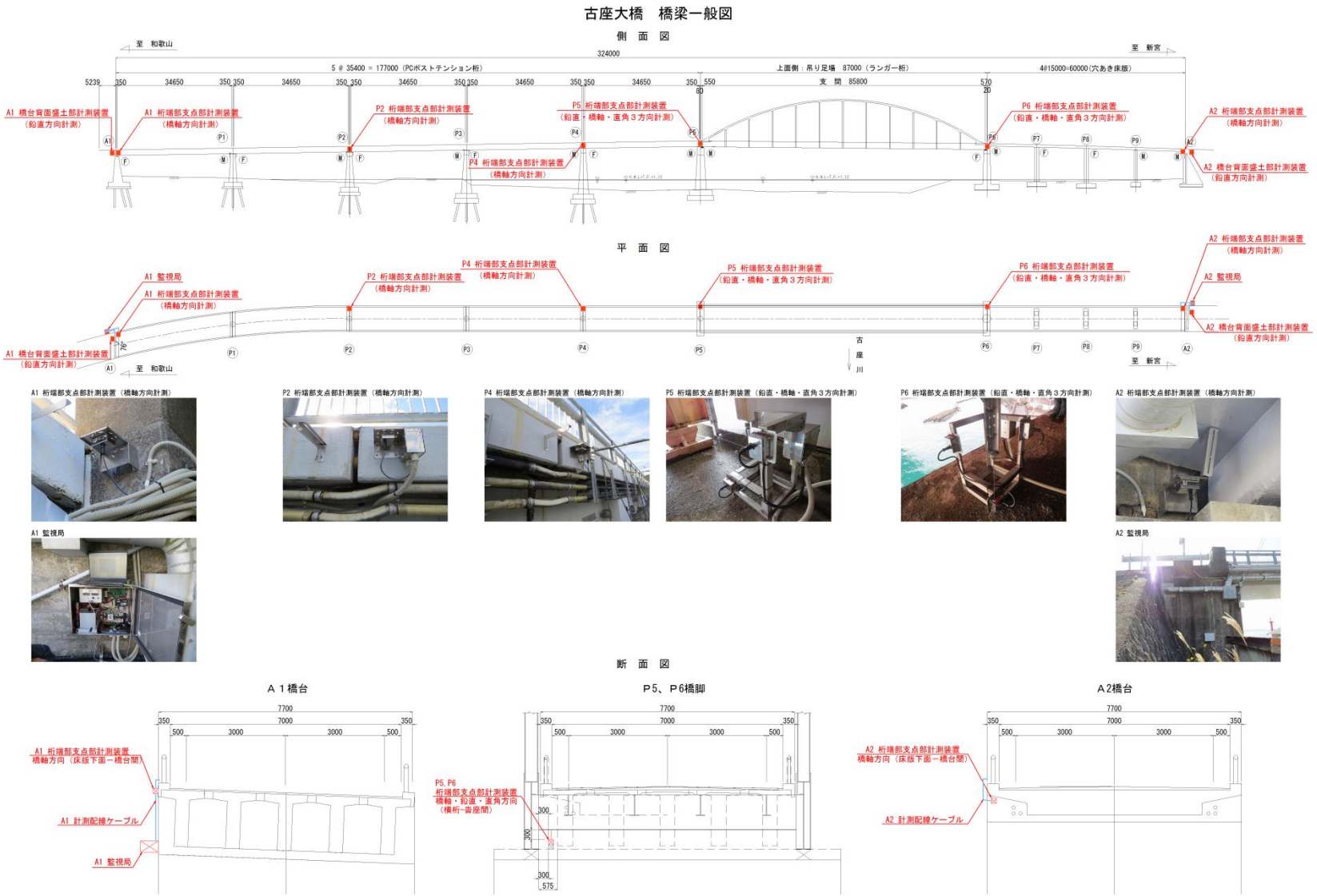


図 4-13.　古座大橋 計測装置配置図

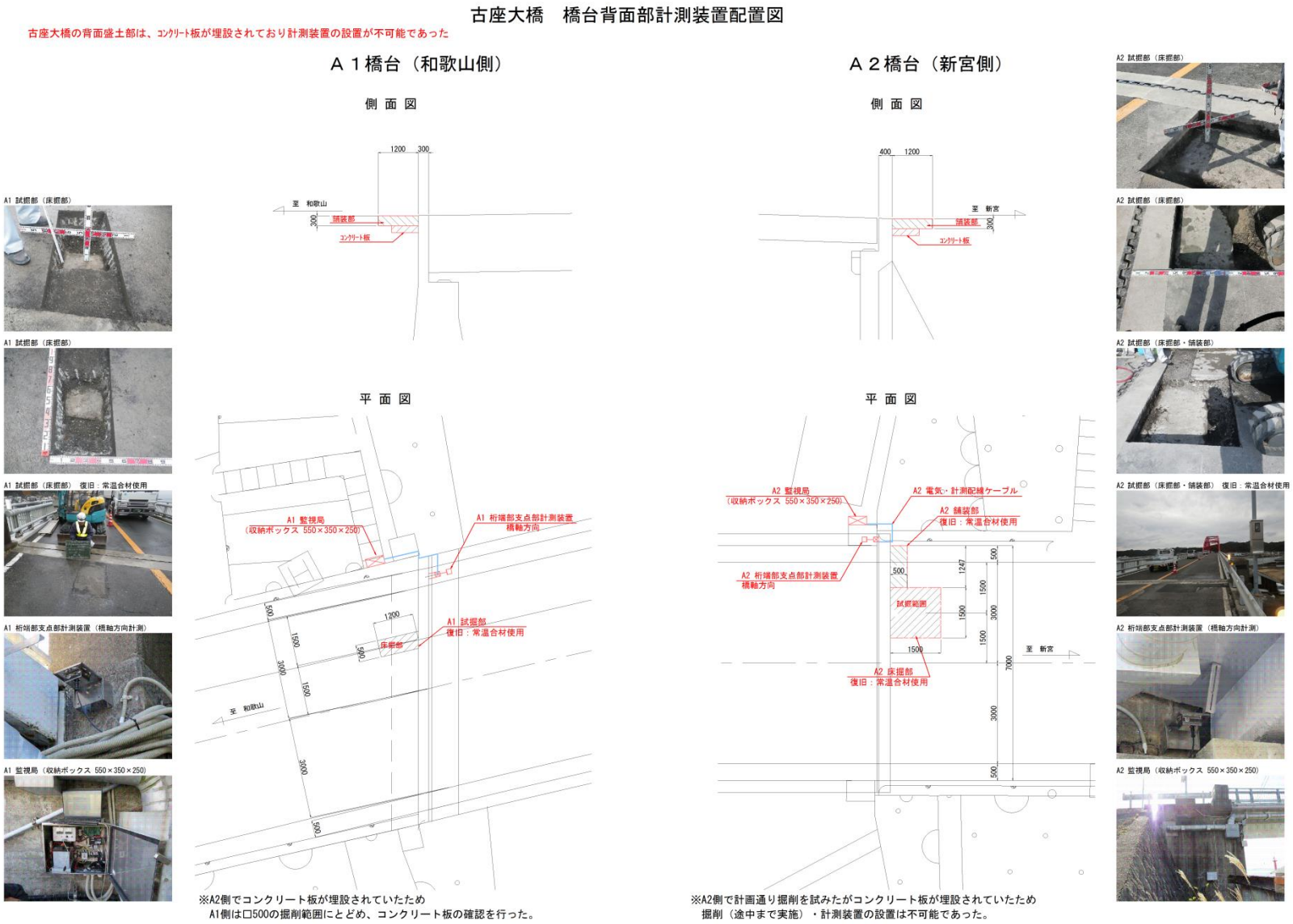


図 4-14.　古座大橋 橋台アプローチ部計測装置配置図

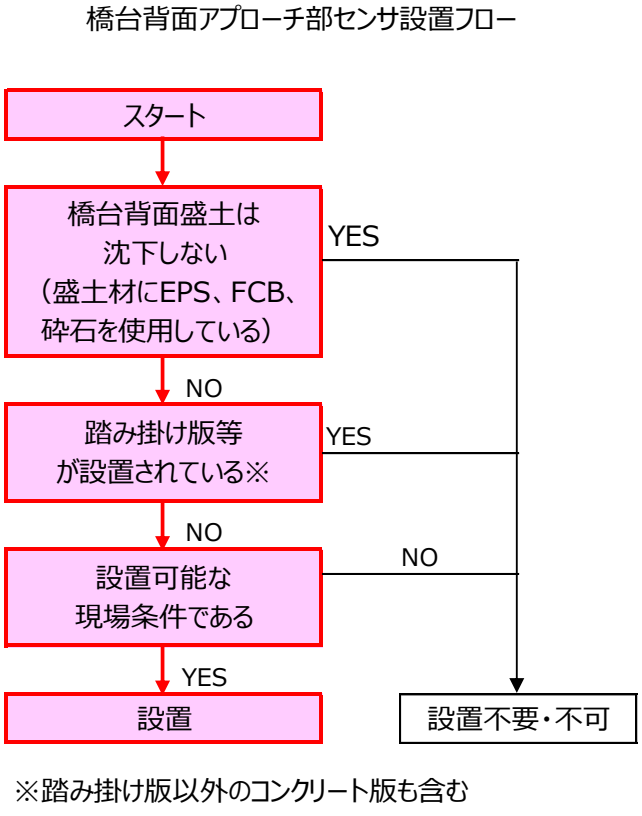
（4）海部大橋（四国地方整備局、徳島河川国道事務所、徳島県）

本橋は、PC 単純ポステン方式 T 桁橋（9 連）であり、A1 橋台、P1 橋脚、P3 橋脚、P5 橋脚、P7 橋脚、A2 橋台の 6 箇所に、橋台部は、胸壁と主桁、橋脚部は、掛け違いの主桁部に、各々、センサと変位計を設置した。パッドゴム支承であることから、橋軸方向のみの設置とした。(P2 橋脚、P4 橋脚、P6 橋脚への設置を省略したのは、有事が生じた場合でも、単純桁のもう一方側で異常を検知出来るとの判断による。)

監視局（子局・親局）の設置は、供用車両などに影響与えない沓座周辺部を基本に、桁下空間が比較的広く、維持管理可能な高さである側道橋（歩道）の桁下とした。また、津波による影響を考慮して、山側に設置した。監視局は、電源供給を A2 橋台近傍の電柱としたため、A2 橋台に監視局を設置することとした。

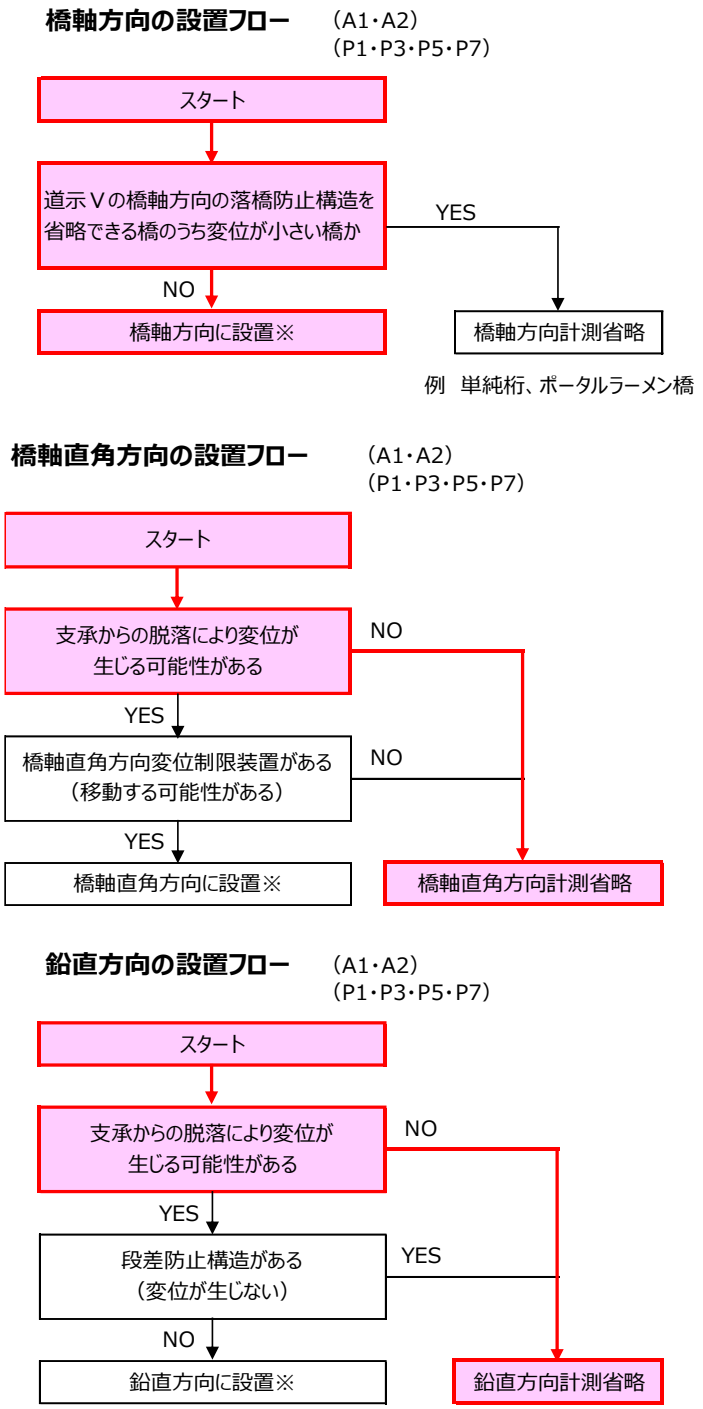
電源は、海部大橋の照明電源へも引き込んでいる、A2 橋台近傍の商用電源（電柱）から供給することとした。公民館下側擁壁への添架、BOX カルバートへの添架、擁壁部への添架、地中埋込み、護岸への添架等を行い、商用電源から引き込んだ。

通信は、施工性から、無線通信が望ましいが、橋長が長く（L=950.0m)、無線通信が届かない範囲となるため、すべて有線で接続する方針とした。



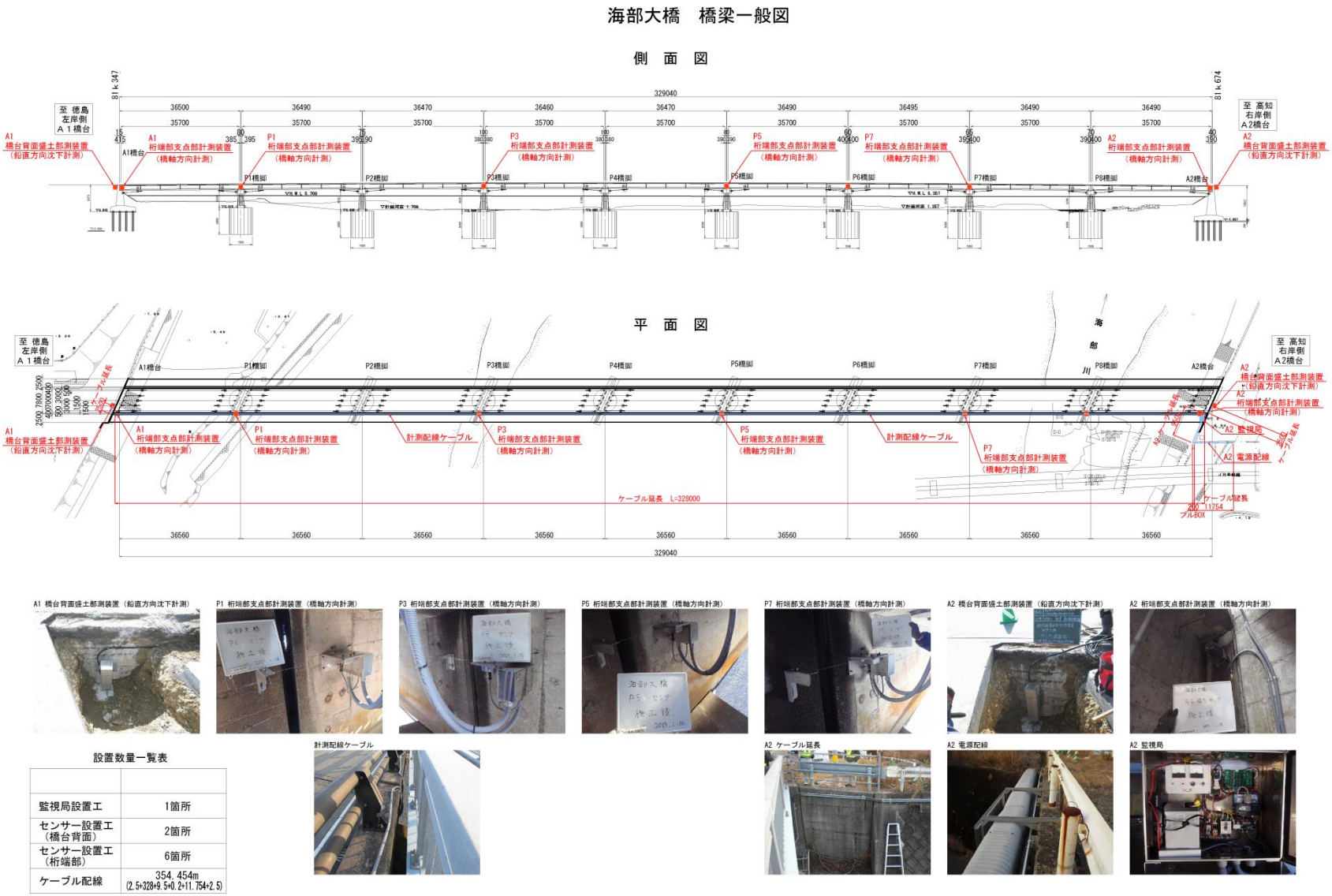
※本橋の基礎形式はケーソン基礎

図 4-15. 橋台背面アプローチ部の計測装置要否フロー



※フローでは「設置」となった場合でも、隣接桁を計測することで省略できる場合もあるため、対象橋梁の架橋状況などに合わせて判断すること。

図 4-16.　桁端部の計測装置要否フロー



設置数量一覧表

監視局設置工	1箇所
センサー設置工（橋台背面）	2箇所
センサー設置工（桁端部）	6箇所
ケーブル配線	354, 454m (2.5+328+9.5+0.2+11.754+2.5)

図 4-17. 海部大橋 計測装置配置図

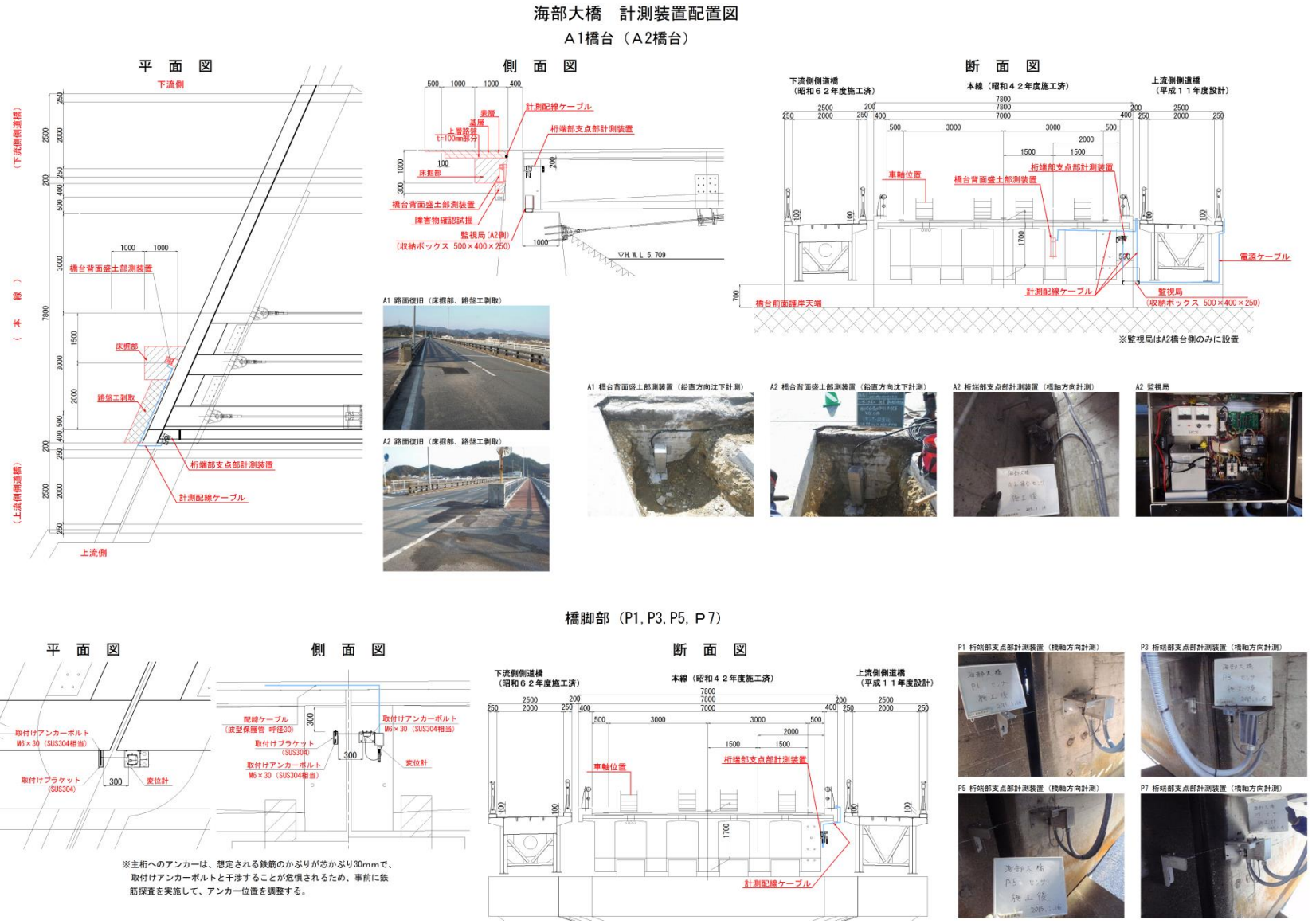


図 4-18. 海部大橋 橋台アプローチ部/桁端部計測装置配置図

（５）朝日橋（九州地方整備局、大分河川国道事務所、大分県）

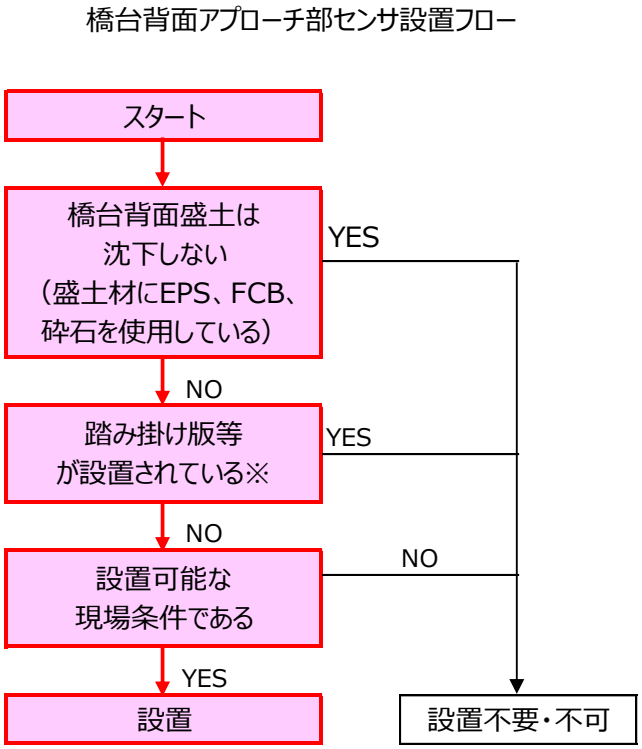
本橋は、PC 単純プレテン方式 T 桁橋であり、A1 橋台と A2 橋台の上下線それぞれに、計 4 箇所、センサと変位計を設置した。下り線は、桁下に橋台前面と連結する方法とし、上り線は、胸壁と桁側面を連結する配置とした。計測方向は、橋軸方向のみとした。

監視局（子局・親局）の設置は、供用車両などに影響与えない沓座周辺部を基本に、維持管理可能な高さに設置した。また、津波による影響を考慮して、山側に設置した。その他、電源供給の関係上、A2 橋台に親局、A1 橋台に子局を設置することとした。

電源は、P1 橋脚に設置した太陽光パネルより供給することとした。太陽光パネルの設置に当たっては、ビルの陰の影響を考慮して設置方向を決定した。

通信は、橋長が短く（L=36.16m）、橋軸直角方向幅が広い橋梁（6 車線+中央分離帯+両側歩道）で、センサ数が多くなるため、子局で配線を取り纏め、そこから親局に接続する方法とした。

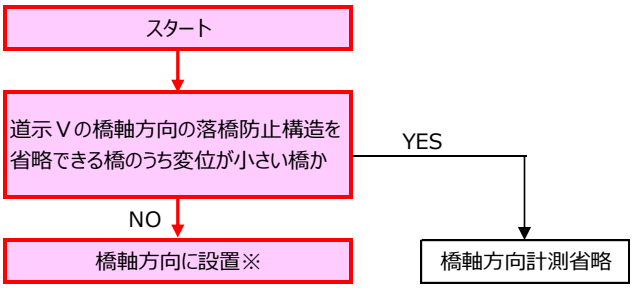
橋台背面アプローチ部が傾斜していることから、背面取付ユニットにも傾斜を付け、センサが鉛直に作動するよう工夫した。



※本橋の基礎形式はケーソン基礎

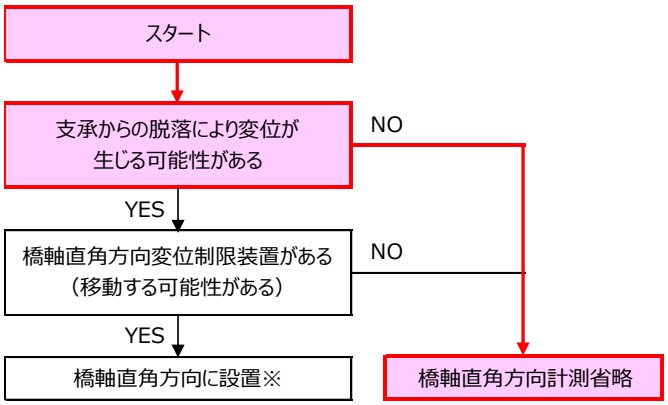
図 4-19. 橋台背面アプローチ部の計測装置要否フロー

橋軸方向の設置フロー　（A1・A2）

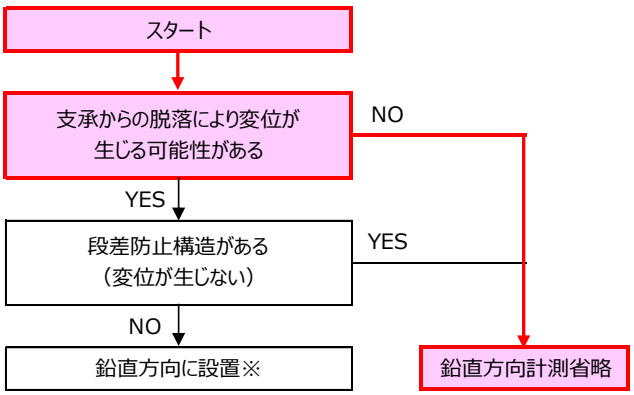


例　単純桁、ポータルラーメン橋

橋軸直角方向の設置フロー　（A1・A2）



鉛直方向の設置フロー　（A1・A2）



※フローでは「設置」となった場合でも、隣接桁を計測することで省略できる場合もあるため、対象橋梁の架橋状況などに合わせて判断すること。

図 4-20.　桁端部の計測装置要否フロー

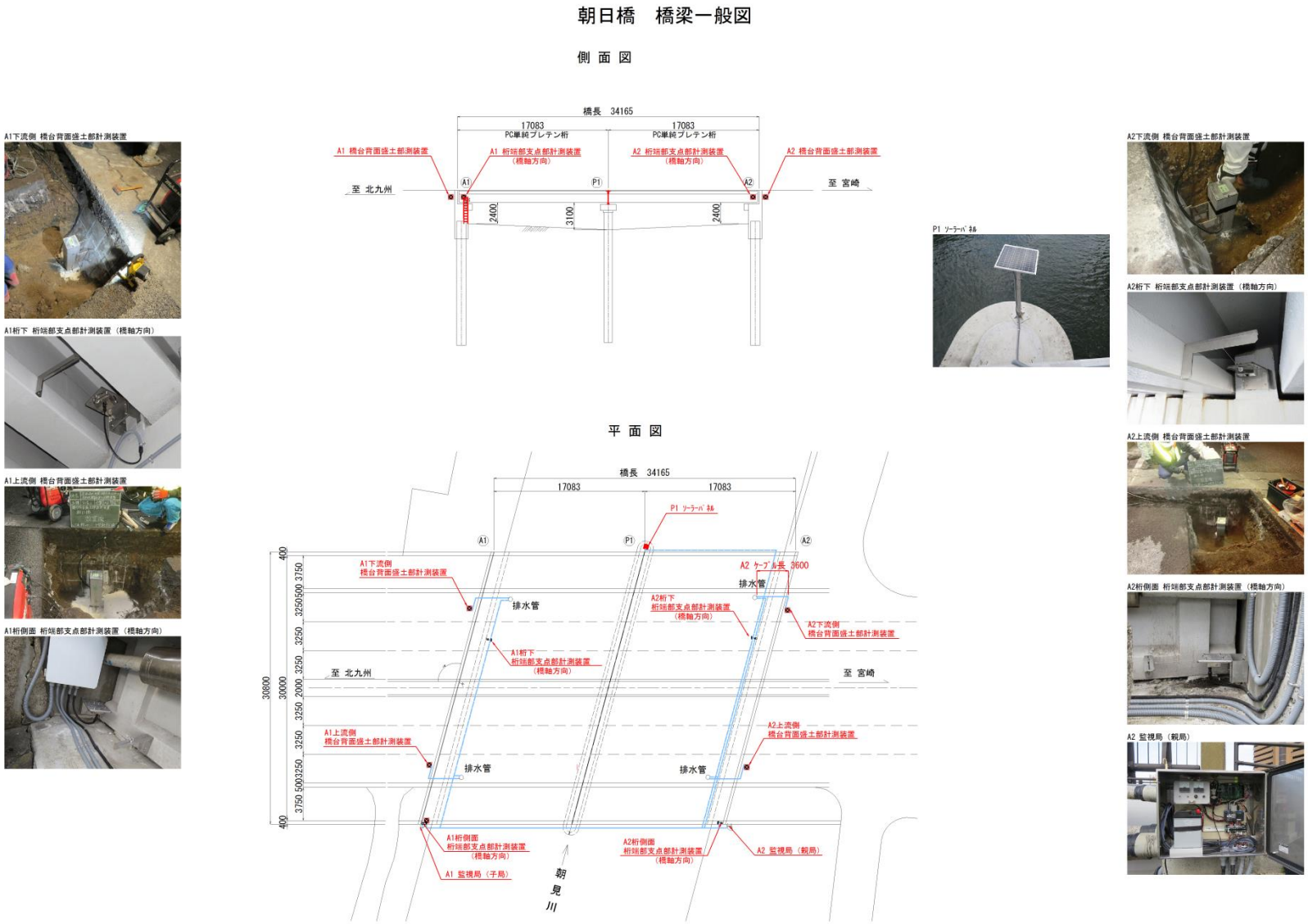


図 4-21. 朝日橋 計測装置配置図

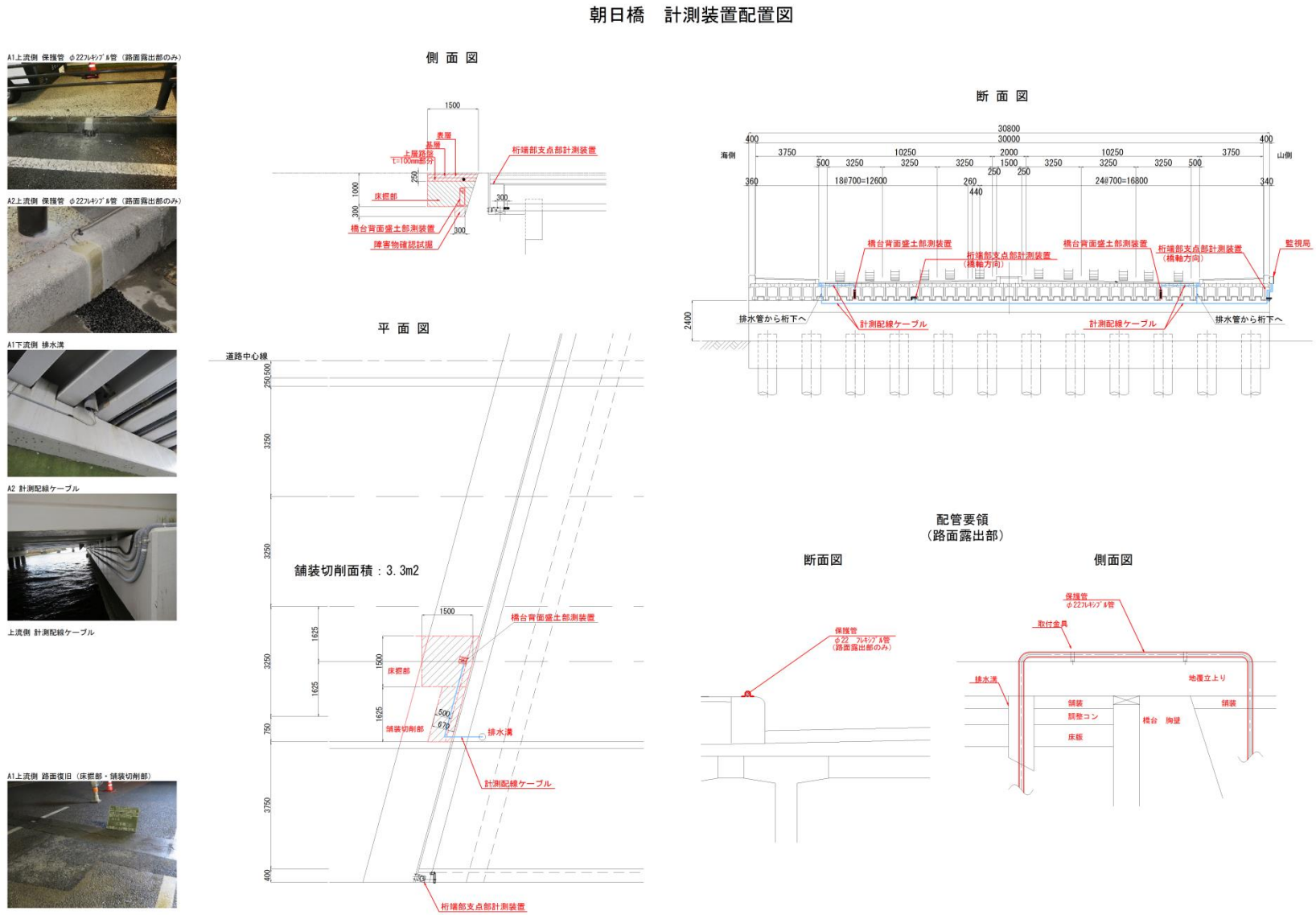


図 4-22. 朝日橋 橋台背面アプローチ部計測装置配置図

４．７ 今後の課題

本研究において、実橋５橋の試行フィールドに本システムを設置し、試行運用を開始した。その過程で、明らかとなった今後の課題を以下に示す。

（１）閾値超過に対する判断方法

複数のセンサが設置されている箇所では、センサが閾値を超えたことに対する注意・警告メールの発報情報の信頼性を高める為、他のセンサの変位状況を詳細に評価して発報するシステムについて、さらに、検討を進める必要がある。

（２）閾値と温度変化

橋梁は気温により桁が温度伸縮を繰り返している。そのため、温度変化に対する桁の伸縮量を考慮した閾値（閾値+年間の桁伸縮量を考慮した値）を設定するのが望ましい。

（３）ウェブカメラ機能

トリガー機能を活用して、安価に追加出来る、ウェブカメラ機能の検討を実施するのも効果的と考えられる。CCTV と比べ、簡単に実用化、設置箇所の増加の実現性が高いと思われる。

（４）計測装置の機能兼用

橋梁端部に設置する変位計は、1 箇所当り 3 つ設置する必要があるため、1 つでも設置個数を減らすことが出来れば、設置手間、維持管理、消費電力などの負担を軽減出来る。レーザー等による反射を利用した手法も案としては挙げられるが、変位計に比べて高価であるため、当該システムに使用した計測装置の改良が適していると思われる。1 つの変位計で 2 方向以上の変位を計測出来る装置等の開発が有効と思われる。

（５）計測値を各方向成分に変換するプログラムの追加

橋梁の挙動を正確に把握するためには、計測値から各方向成分変位を算出する必要があるが、そのためには、計測値を計測システムに抽出する前段階で、各方向成分に変換するプログラムの追加が必須となる。

（６）他機能を有する計測装置との併用、及び、効率化

システム設置前に、各地方整備局や事務所に対してヒアリング調査を行った結果、橋台背面の段差以外に、落橋に対しても、被災状況が把握出来るようなシステムの開発を求める要望が多かった。単純桁のように径間数が少ない橋梁では、桁端部に設置したセンサで把握することが可能となるが、多径間橋梁の場合、各掛け違い部にセンサを設置することは、非効率、かつ、不経済となる。このため、ケーブルタイプのセンサなどの開発を併せて行う必要があると思われる。

（７）標示灯

今回、被災状況把握システムを設置した 5 橋梁を管理する各事務所に、標示灯の設置要否を確認したところ、設置要請は 2 事務所のみであった。設置しなかった理由として、誤作動を起こした場合の維持管理方法が難しいとの意見があり、今後は、さらなる作動内容の信頼性向上、誤作動時に遠隔操作が行えるような機能の開発が必要と思われる。

（８）監視局

1 つの監視局で複数の橋梁を監視できるような改良の検討が必要と考えられる。

（９）背面盛土内の支障物件確認方法

古座大橋、及び、朝日橋は、既存資料、及び、鉄筋探査による事前調査では、踏掛版を有しない橋梁となっていたが、実際に掘削した際に、無筋のコンクリート床版が見付かり、センサを設置することが出来なかった。計画段階で、非破壊試験を実施する等の対策を講じる必要があると思われる。

（１０）ケーブル無線化

計測装置の設置において、最も時間を要した現場作業は、ケーブル配線であった。特に、神宮橋、古座大橋については、片側交通規制を行いながら、橋梁点検車での設置となったが、供用車両の走行時間や走行燃費の増加、交通事故に対する安全管理等、課題が残る結果となった。

ケーブル配線を少なくするには、無線通信を採用することとなるが、平成 26 年 7 月時点の実証実験では、無線距離は 300m が限度であった。中継点を設けた無線化の検討などが、今後は必要と思われる。

（１１）システムの維持管理

老朽化の進展や外的要因（鳥・小動物等）によるセンサワイヤーの伸縮に対して、システムの効率的な維持管理方法、不具合時の対処方法等を検討しておく必要がある。

５．まとめ

本研究では、先ず、東北地方太平洋沖地震後に実施された橋梁緊急点検結果（直轄国道本線橋 1,831 橋）の内、対象橋梁 1,504 橋について、通行障害をおこしていた橋梁の損傷原因や損傷箇所、適用基準、構造形式、耐震補強の有無等の整理を行い、被災パターンの類型化を行った。

その結果、地震後に通行障害をおこしていた被災橋梁 450 橋のうち約 8 割が、桁端部や橋台背面アプローチ部の桁端支点部付近に変位（段差等）をきたしていた事が判明した。

そこで、桁端支点部の変位を把握することが、道路橋の殆どの通行障害の把握に繋がると考え、桁端部と橋台背面アプローチ部の変位量を計測する手法、及び、変位計測システムの構築を目的とした研究を進める事とした。

計測手法の確立、及び、計測システムの構築に当たっては、限られた財源でも実現出来るような経済性、技術者不足を補えるようなシステム取扱いの簡便性、継続的なシステムと出来るような維持管理性に重点を置いた。

道路橋被災状況把握システムの構築に当たっては、第一に、既存システムの整理を行い、「橋台背面盛土の沈下」、及び、「桁端部の変位」を計測する技術や課題を抽出した。

「橋台背面盛土の沈下」の計測方法は、既存技術ではコストが掛かる上、広範囲を計測出来ない等の課題が残った。そこで、センサを車線単位で橋台背面盛土に設置し、閾値を超えると反応するセンサを開発することとした。

「伸縮装置の段差」計測では、既存技術でも、十分な精度を有していたため、最低下必要な精度を確保した上で、低コストと出来るセンサを選定、または、製作することとした。

電源設備については、日常は商用電源+バッテリー電源を使用することとした。また、現地条件によっては、太陽光発電+バッテリー電源を検討することとした。

道路橋被災状況把握システムの試作は、（１）構内の実橋観測による検証、（２）地震時地盤沈下現象の再現、計測ワイヤー保護管の地盤追従性、沈下板形状の違いによる挙動、及び、接触型ワイヤー巻取り式変位計と試作型変位計の計測値の確認・検証を行うための実物大実験など、段階を踏んで、その要求性能や課題等を整理しながら、検討を行った。

開発した道路橋被災把握システムの実用性を検証するため、国内に存する実橋の中から、実際に計測装置の設置が可能で、道路管理上、設置が必要な橋梁を全国から選定した。

選定に当たっては、以下の条件を考慮して、各地方整備局（関東地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局）より 1 橋、計 5 橋、選定した。

選定した 5 橋については、各橋の構造特性や周辺環境等に配慮して、設置する計測装置等を選定し、システムの検証を行い、本システムが、災害時の道路橋被災状況を早期に把握するためのツールとして有効なシステムであることを確認出来た。今後も、試行観測を継続して計測状況等を整理・分析し、改良を重ねながら、確実性、信頼性の高い技術を確立していきたい。

参考文献

1) 国土技術政策総合研究所、独立行政法人 建築研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）（東日本大震災）、国総研資料　第 636 号、建築研究資料　第 132 号、2011.5
2) 国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み　ー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国総研研究報告　第 52 号、2013.1
3) 国土交通省東北地方整備局：東日本大震災の実体験に基づく災害初動期指揮心得、2013
4) 国土技術政策総合研究所：東日本大震災に対して国土技術政策総合研究所が行った 5 年間の調査研究の全記録、国総研研究報告　第 57 号、2016.9
5) 梶尾辰史、金子正洋、長屋和宏：地震後の道路橋の通行障害に関する調査、第 30 回日本道路会議論文集、No.2037、2013.10
6) 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司：地震発生時の道路橋の被災状況把握技術の開発、国総研レポート、pp.76、2015
7) 松本幸司、長屋和宏、梶尾辰史：道路橋の地震被害計測技術の研究、土木技術資料、pp.44-45、2015.5
8) 伊藤茂也、貴志豊、梶尾辰史：道路橋の地震被災状況把握技術の研究事例、第 31 回日本道路会議論文集、No.2P05、2015.10
9) 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司：変位計による道路橋地震被災把握システムの開発に関する考察、第 6 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集、pp.118-123、2016.1
10) 石井洋輔、梶尾辰史、片岡正次郎：変位計を用いた道路橋被災状況把握システムの構築、日本地震工学会・大会-2016 梗概集、P3-29、2016.9
11) 石井洋輔、梶尾辰史、片岡正次郎：平成 28 年熊本地震の地震動強さと道路橋被災に関する検討、第 36 回地震工学研究発表会論文集、A11-1033、2016.10
12) 石井洋輔、梶尾辰史、片岡正次郎：2016 年熊本地震の被害を踏まえた道路橋被災状況把握システムの改良の検討、第 7 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集、No.23、pp.145-150、2016.12
13) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ、2012.3
14) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ、2002.3
15) 国土交通省 国道・防災課：橋梁定期点検要領（案）、2004.3
16) 社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧、2004.3

道路橋地震被災状況把握システム設置要領(案)

目　　次

§1. 総則 ･･ 81
1-1. 背景 ･･ 81
1-2. 目的 ･･ 82
1-3. 適用範囲･･ 83
1-4. システム概要･･ 84

§2. 対象橋梁の選定 ･･ 86

§3. 設置計画 ･･ 87
3-1　設置基準･･ 87
3-2　被災状況把握システム」設計例･･････････････････････････････････ 88
(1) 被害予測、システム設置の必要性の確認･･････････････････････････ 88
(2) 事前調査･･ 88
(3) 計測項目の選定，設置方法の検討･････････････････････････････････ 90
(4) システム材料供給・製作･･･ 102
(5) 橋台背面アプローチ部の段差計測機器･････････････････････････････ 105
(6) 配線計画･･ 108
(7) 監視局･･･ 110
(8) 電源確保･･ 111
(9) 注意喚起装置･･ 113
3-3　施工計画･･ 114
(1) 施工方法･･ 114
(2) 計測ユニットの設置手順およびチェックリスト･････････････････････ 115
(3) 関係機関協議･･ 117
3-4　維持管理計画･･ 118
3-5　システム概要仕様例･･･ 119
(1) プログラム構成･･･ 119
(2) 正常確認プログラム･･･ 119
(3) 停電時のバッテリー切替え機能･･･････････････････････････････････ 119
(4) 無線機能（新緑橋のみ）･･･ 119
(5) トリガー機能･･ 119
(6) 監視局プログラムフロー･･･ 120
(7) 使用機器･･ 122
(8) システム配線図･･･ 123
3-6　被災状況把握システム　操作マニュアル･･････････････････････････ 125

§1. 総則

1－1. 背景

東北地方太平洋沖地震では緊急輸送道路の早急な啓開の重要性が確認され、首都直下地震や南海トラフ巨大地震等の大規模地震に備えた緊急輸送道路の確実な確保・整備が必要であると再認識された。特に、現行の耐震基準レベルに適合せず、大規模地震による損傷の恐れのある橋梁については、耐震補強が急務である。すべての橋梁に対して、その対策完了するには長期間を要するため、橋梁の耐震補強対策の着実な推進に加え、道路啓開の迅速かつ効率的な対応を可能にするため、地震後の早急な被災状況把握が求められている。

一方、東北地方太平洋沖地震後の通行障害に関する主な原因は、橋梁と土工部の境界や桁端部の段差であり、約 8 割が橋台背面土の段差によるものであった（図 1-1）。これらの通行障害について、把握の遅れ（緊急点検の遅れ）が生じた場合、「人命救助・支援物資輸送の遅れ」「復旧・復興の遅れ」となり、道路啓開・応急復旧等の発災後の効果的で的確な災害対応が重要である。

以上から、通行障害を迅速に面的情報として遠隔に把握するために、橋台背面盛土や橋梁端支点部に計測装置を設置した被災状況把握システムを開発した。

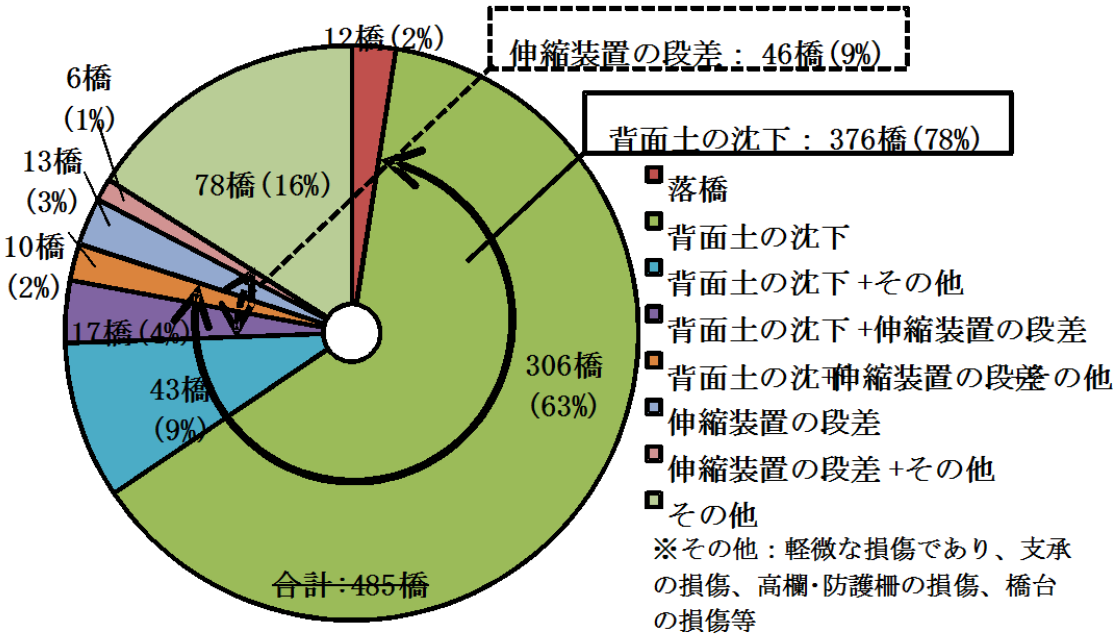


図 1-1　道路橋の被災原因

1－2. 目的

人命救助、消火活動等、効果的な現場対応を可能とするなど「助かる命を確実に助ける（政府 IT 総合戦略室 HP　防災・減災班）より」災害に強い社会を実現するため、橋台背面の盛土部と伸縮装置の段差に着目し、通行障害を迅速に面的情報として遠隔で把握することが目的である。

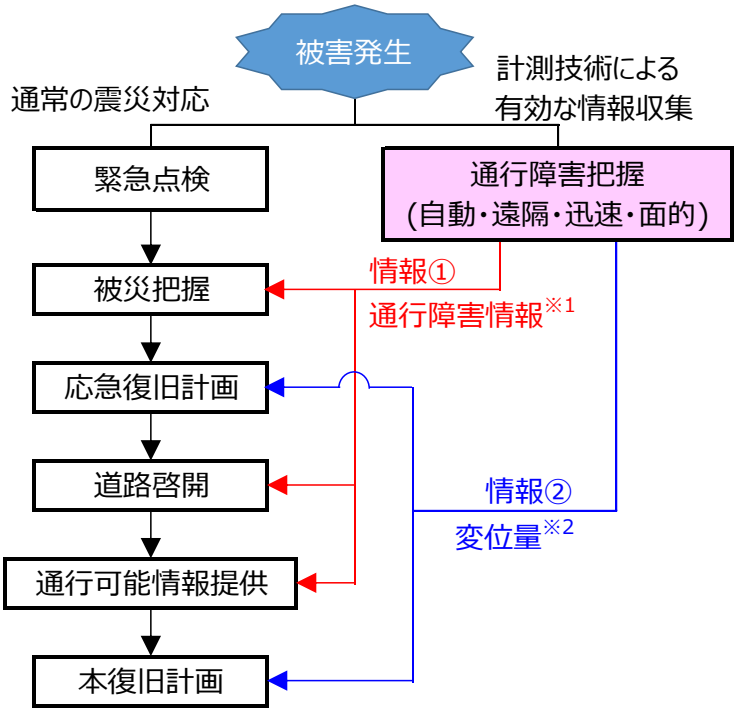
被災把握計測を設置するメリットは、下記のとおりである。

【情報①：通行障害情報】

- ➢長時間を要す緊急点検より前に、被災した位置を把握
- ➢迅速な道路啓開で、人命救助の効果が向上
- ➢危険施設を迅速に把握し、早急な通行止情報を発信可能
- ➢通行可能な情報提供で、計画的な支援物資輸送が可能

【情報②：変位量】

- ➢常時観測データの保存により、経年的な変位量の把握が可能であり、日常の維持管理への活用が可能
- ➢同じ監視局で、老朽化橋梁の常時モニタリングセンサーの追加が可能



※1　通行障害情報　⇒　危険な施設，通行不可など

※2　変位量 ⇒　段差量，桁移動量など

図 1-2　通常の震災対応と計測技術を利用した対応フロー

1－3. 適用範囲

（1）現代の背景

社会インフラの老朽化が社会問題となっているが、道路や橋梁は人々の生活や経済活動だけでなく、災害時の救助や復旧・復興に不可欠なインフラである。しかしこれらの施設量は膨大で、十分な維持管理を実施できずにいる。このため、限られた予算の中で十分な精度を確保し、効率的かつ確実な監視体制の整備が求められている。このため、限られた予算の中で十分な精度を確保し、効率的かつ確実な災害に対する監視体制の整備が求められている。

このような現状から今回、維持管理に関わる省力化・省コスト化の視点で、道路橋の被災状況把握システムの開発に取り組んだ。

（2）今後のシステム開発について

今回は、道路管理者の災害対応能力向上を目的として、道路橋の被災状況把握システムの開発に取り組んだが、更なる事例，知見の蓄積が必要である。本研究がその一つの参考資料となることを期待し、事例紹介するものであり、今後の調査研究により改善していくことを望む。

1－4. システム概要

橋台背面の盛土部、橋梁桁端部に地震時の異常変位を検知する計測装置（センサー）を設置し、閾値を超過する変位が発生した場合に、自動的にメール配信を行うとともに被災状況把握システムにも閾値超過の位置および計測データを配信するシステムである。

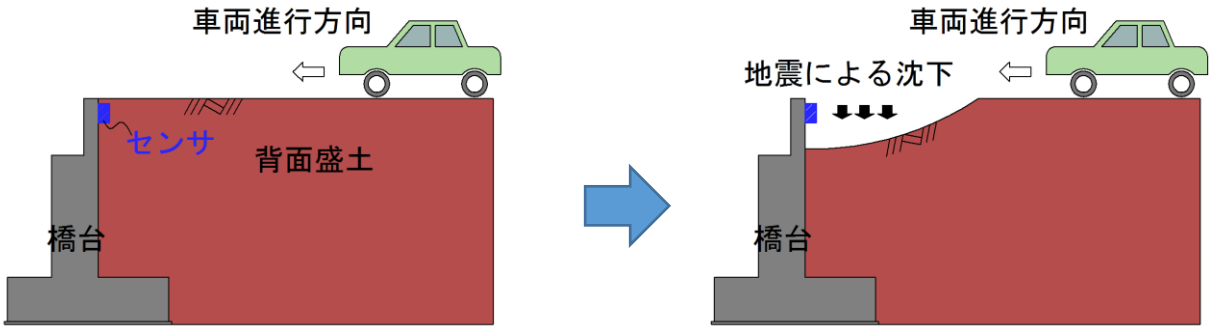


図 1-3　橋台背面盛土の基本パターン図

図 1-4　適用箇所　基本パターン図

橋台背面は、盛土の沈下に追随できる計測機器を設置する。

橋梁桁端部には、「段差、ずれ、開き」の３方向の異常を確認できる計測機器を設置する（橋梁端部は橋梁形式や橋梁規模に応じ計測方向を減じることも可）。

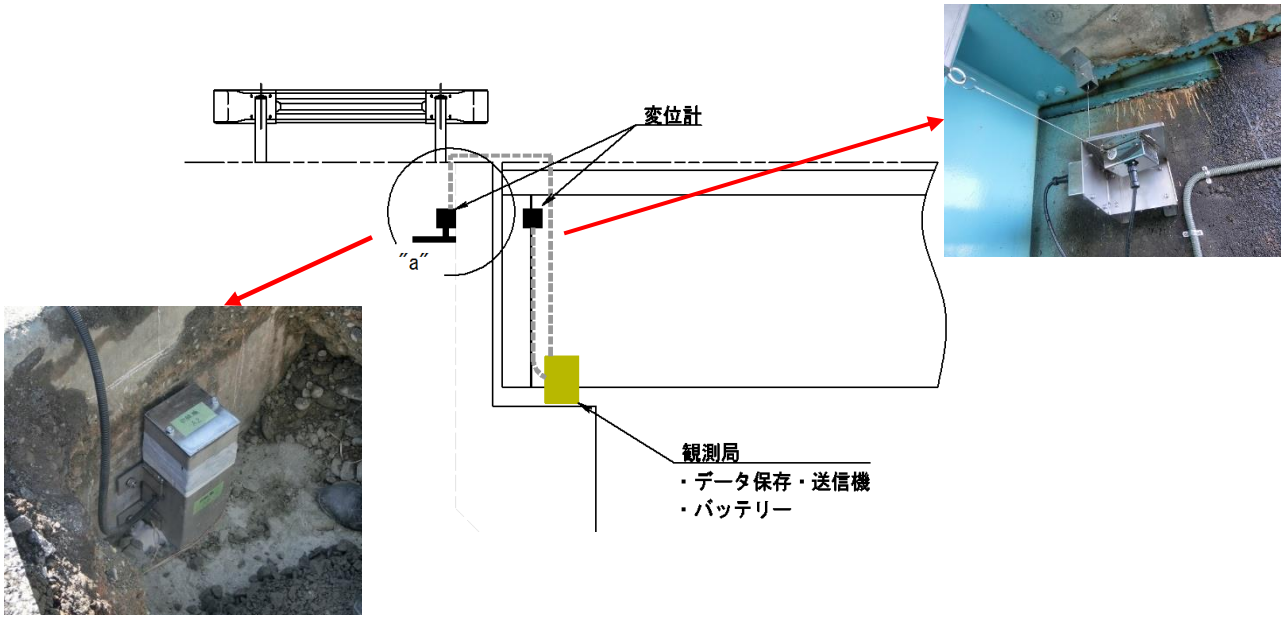


図 1-5　センサ設置概要図

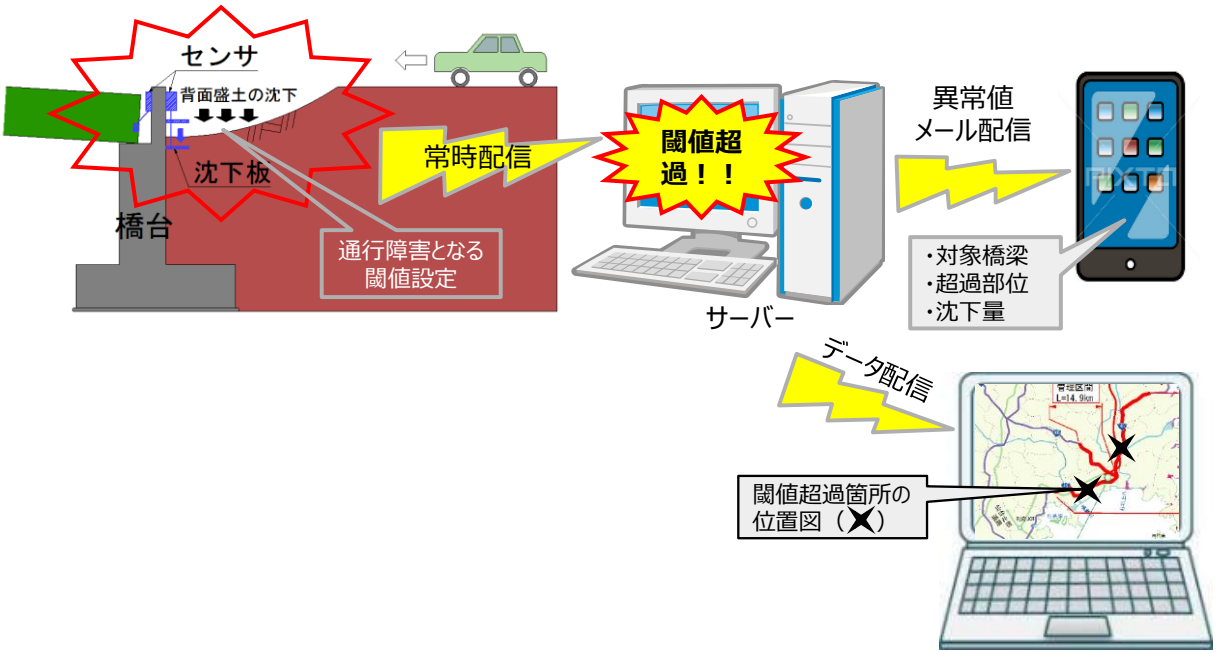


図 1-6　被災把握システム概要図

§2. 対象橋梁の選定

被災把握システムによる監視を行う対象橋梁は、表 2-1 に示すような架橋条件の場合は、本システムを設置することが望ましい橋梁である。対象橋梁の選定にあたっては、項目毎に優先順位をつけて、段差が生じたときに影響が大きな橋梁について選定を行う。

表 2-1　被災把握システムの対象施設の選定表

項　目	対象橋梁の状況
(1) 地域	・大規模地震が想定される地域，津波浸水地域 ・緊急時のアクセス性（時間を要する場所など）
(2) 路線	・緊急輸送道路 ・復旧の優先順位が高い路線 （重要施設への連絡路、1way ルート、）
(3) 施設構造	・踏掛版が設置されていない橋梁 ・古い構造の橋梁（パイルベント橋脚など）で耐震性が低い橋梁
(4) 供用年数 （適用基準）	・老朽化により耐荷力が低下している橋梁 （耐震補強も含めて）
(5) 架橋条件	・液状化が考えられる地盤上の橋梁
(6) その他	・外的な要因により変状の進行により常時観測が必要な橋梁

§3. 設置計画

3－1. 設置基準

計測機器設置～維持管理までの流れ

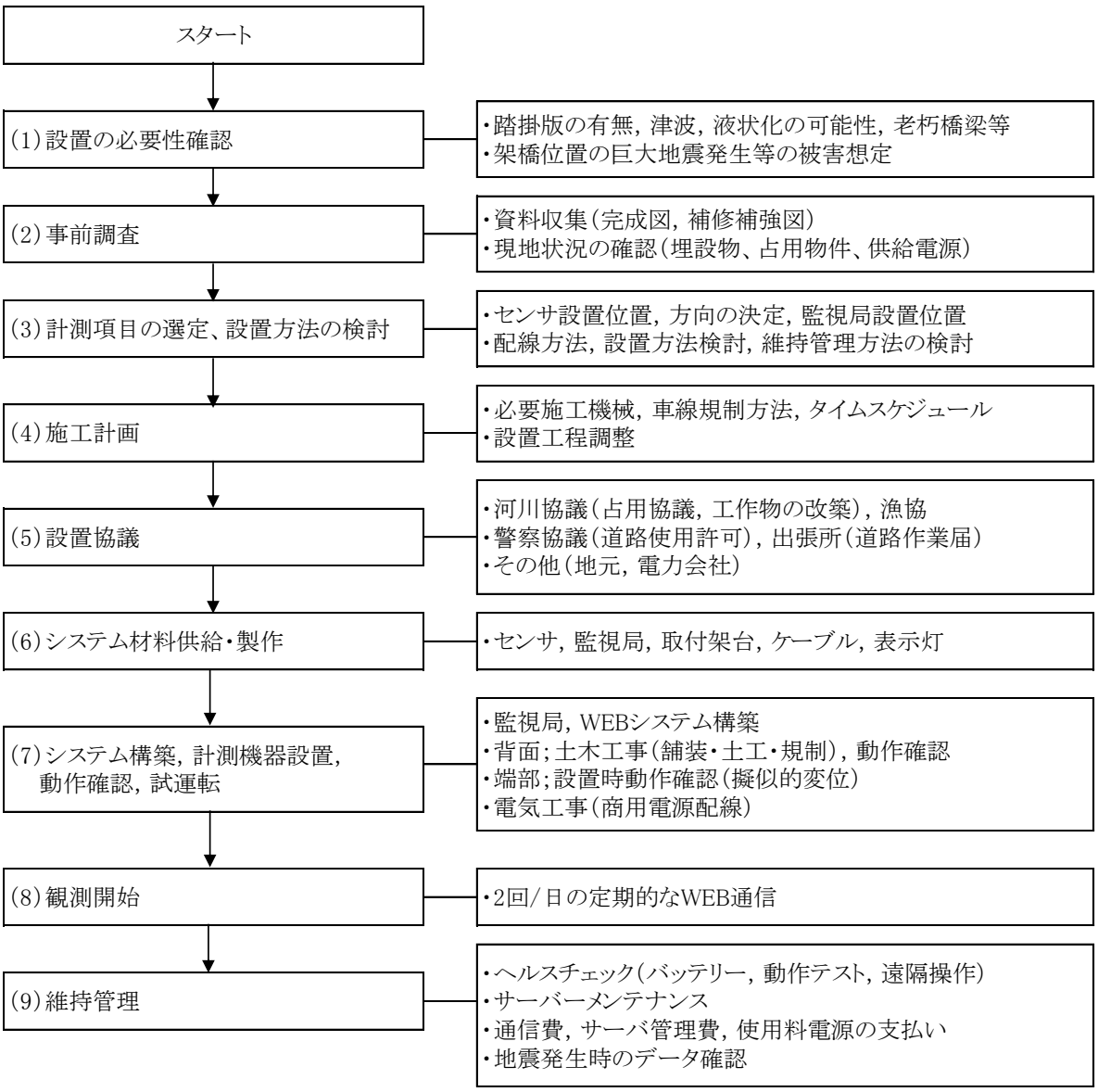


図 3-1　全体計画

3－2. 被災状況把握システム設計例

（1）被害予測，システム設置の必要性の確認

「§2. 対象橋梁の選定」に記載された橋梁は、地震時に段差が生じた場合に被災状況を把握することが望ましい橋梁である。このような架橋状況の橋梁においては、被災状況把握システムの設置の必要性を検討する。

（2）事前調査

被災状況把握システムの計測装置の設置に際し、現地状況の確認やセンサおよび監視局の設置位置、設置時の各種申請書類の作成などを行い、設置時に不具合が無いように、現地や既存資料などの事前調査を行う。

1）現地状況確認事項

対象橋梁決定後、下記の項目について現地状況の確認を行う。

① 橋梁形式	：橋梁形式により計測機器の設置方法が異なる
② 橋梁下面	：沓座付近に計測機器の設置スペースが確保できるか、落橋防止装置や添架物などの支障物があるか
③ 地覆	：沓座に計測機器の設置が不可能な場合計測機器の設置スペースが確保できるか
④ 高欄形式・形状	：配線の障害とならないか
⑤ 交差点形状および位置	：橋台背面の計測に障害となるような位置関係になってない
⑥ 規制の可否	：計測機器の設置時に交通規制が行えるか
⑦ 監視局・センサ設置位置	：設置箇所は確保できるか
⑧ 電源供給	：電源供給（商用電源）の利用が可能な箇所か、自然エネルギー（太陽、風力）の併用が可能か
⑨ 配線方法	：設置箇所は確保できるか
⑩ 橋台背面状況	：橋台背面のセンサや配線と干渉する埋設物や踏み掛け版の有無を確認するためコアドリルやコアボーリングによる試掘
⑪ 交通量，施工条件	：重交通路線であるか，河川上の橋梁においては水位など

2）必要な資料収集

橋梁と土工部の境界や桁端部の段差に計測装置（センサ）の設置計画を行うにあたり、現地状況確認では不明確な部分や詳細の寸法を確認するために、以下の資料を事前に収集する。

① 道路台帳　　：橋梁周辺の道路や施設確認のため
② 橋梁台帳　　：竣工年月や適用基準等の確認のため
③ 橋梁一般図　　：設置計画図作成用
④ 竣工図　　：詳細寸法の確認のため
⑤ 添架計画図　　：計測装置設置計画や橋台背面の支障物件の確認のため
⑥ 共同溝計画図　　：橋台背面の支障物件の確認のため
⑦ 現況埋設物　　：橋台背面の支障物件の確認のため
⑧ 補修・補強履歴　　：損傷しやすい個所の特定、今後の補修等の妨害にならない計画の立案
⑨ 補修履歴　　：損傷しやすい個所の特定、今後の補修等の妨害にならない計画の立案

（3）計測項目の選定，設置方法の検討

1）全体計画

本システムは、橋梁端部の段差を計測することを目的としたものであるが、大別すると橋台背面盛土部の段差と、上部工桁が支承から落下することで生じる桁端部の段差の２種類がある。

橋台背面盛土の計測は、踏掛版の有る橋梁や踏掛版が無くても沈下が生じにくい橋梁は、段差が生じないと考えられることから、計測は不要となる。

一方、桁端部については、支承が高い橋梁や地震時の回転が生じる恐れがある橋梁，津波により落橋する恐れがある橋梁などが考えられる。単純桁橋の場合、設置箇所は２箇所となるが、連続する単純桁橋などの場合は、設置個所数が多くなり設置費用が増加することになる。このような場合は、下部工の損傷が著しい橋脚や基礎地盤が比較的悪い下部工位置など、損傷が生じる恐れが高い場所を厳選して設置場所を選定する必要がある。

設置方法では、電気設備や通信状況，センサ設置位置などを検討し、場合によっては太陽光パネルによる電源の確保や子監視局から親監視局への無線化，センサ設置用固定治具形状の工夫などの検討が必要となる。

2）橋台背面アプローチ部の段差計測

①計測部位の選定フロー

橋台背面盛土の段差計測は図 3-2 の設置フローにより、橋台背面に段差が生じる恐れがあるか否かを検討し、設置要否を決定することとした。これは、緊急点検結果により、踏掛版を有する橋台や橋台高の低い直接基礎橋台では、殆ど段差が生じていなかったことに基づいて作成したものである。

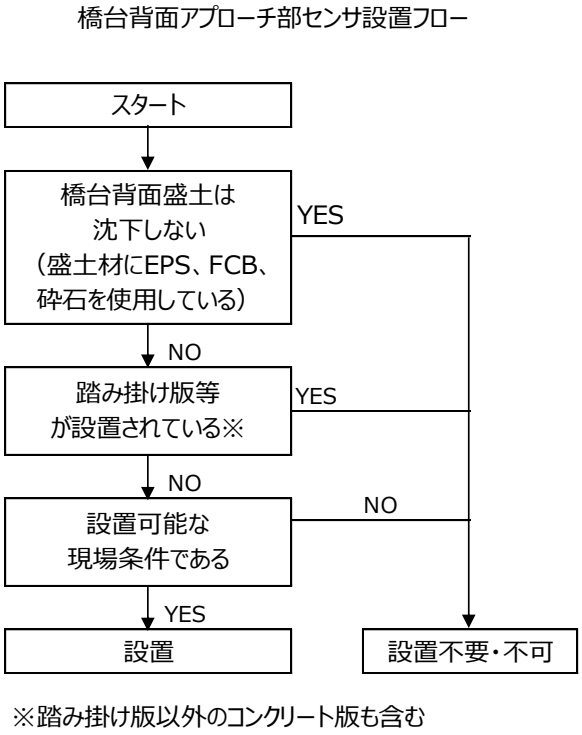


図 3-2　橋台背面盛土部の計測装置設置の可否フロー

②設置箇所

鉛直方向のみ 1 橋台に 1 箇所の計測装置の設置を基本とするが、幅員が広い橋台で局部的な段差が考えられる場合は、複数の計測装置を設置も検討する。

橋軸方向や橋軸直角方向への盛土の変形についても、沈下板に十字のひだを設置していることから、盛土の変形に追従し橋軸方向や橋軸直角方向の変位量を把握できる構造とした。

写 3-1　沈下板

写 3-2　センサ設置状況

3）橋梁桁端部計測

①計測部位の選定フロー

車両の通行に支障を与える橋梁端支点部の変形には、橋軸方向、直角方向、鉛直方向の 3 方向の変形がある。各方向に変形が生じる原因としては、鉛直方向には支承からの桁落下、橋軸方向には伸縮装置部の異常遊間、直角方向には上部工桁の回転等が考えられる。

橋梁構造によっては、移動が制限される構造、ある方向には変位が発生しない構造等があるため、予め、センサ設置が不要と判断出来る場合がある。このため、図 3-3 に示すフローに従って、センサ設置要否を決定することとした。

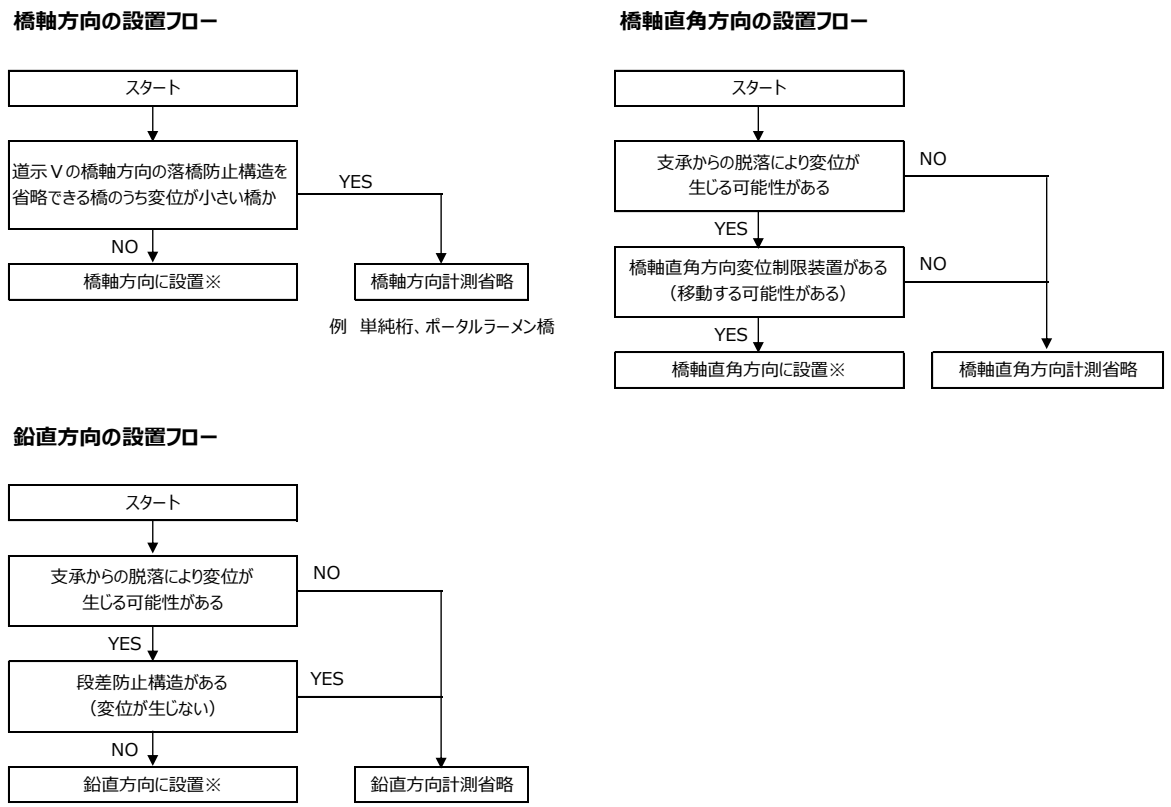


図 3-3　　設置が不要となる構造選定フロー

②設置箇所

橋梁の構造によっては、移動が制限される構造や構造的に変位しないことから、計測装置の設置が不要となる方向がある。このため、現地確認や資料収集により、設置が不要となる構造であるか確認する必要がある。

センサ（変位計）設置位置は、上部工桁，橋台，支承が集まっており供用車両や自転車歩行者，既設部材などに影響を与えないこととするため、沓座周辺部を計測位置とする。また、センサ等の維持管理の行いやすさや雨風からの保護を考慮して、床版張出付近に設置することを前提とする。

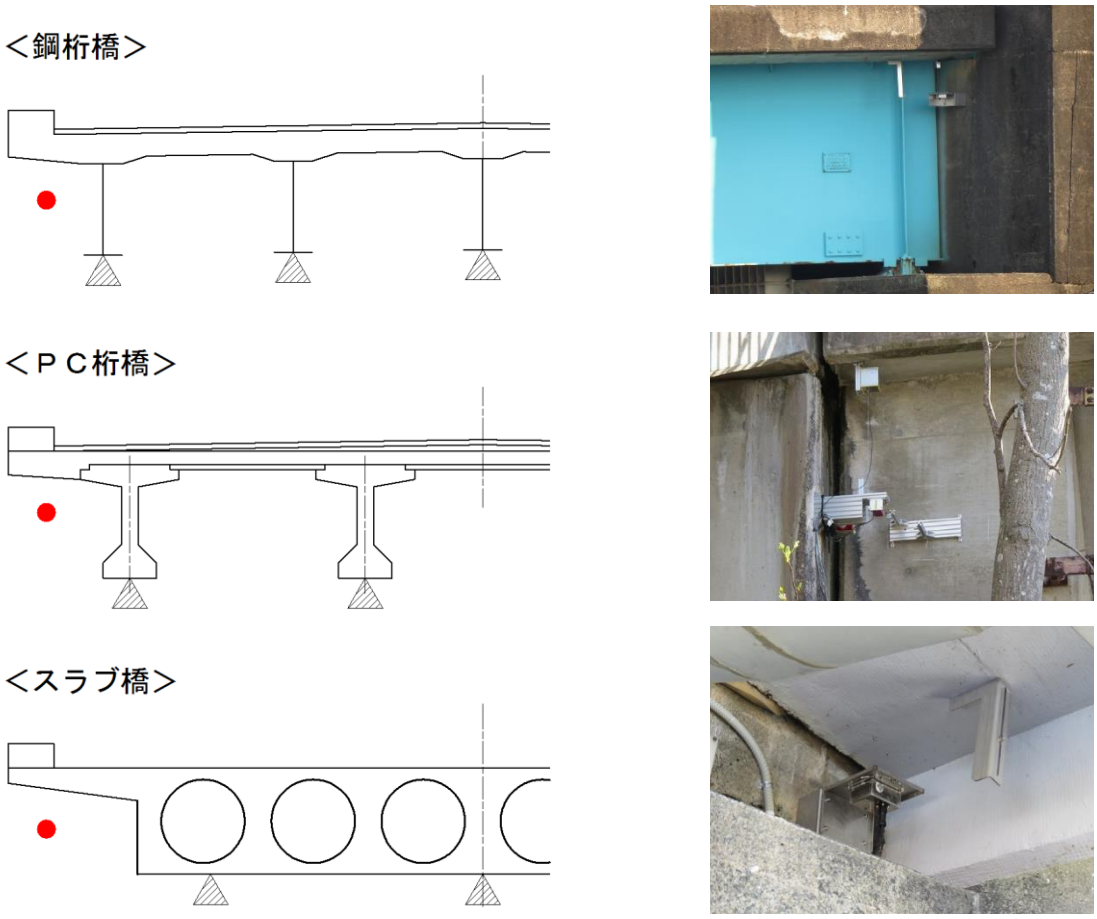


図 3-4　センサ設置位置（床版張出タイプ）

● センサ設置位置

写真 3-3　鋼桁橋

写真 3-4　PC 桁橋

下記の橋梁形式については、構造的に桁下の設置が困難であることが予想されるため、設置位置の検討が必要である。

ＰＣプレテンションホロー桁の場合、床版張出構造ではないため、桁下の庇の空間が無いため、地覆部に設置するなどセンサや監視局の設置位置の確保に検討を要す。

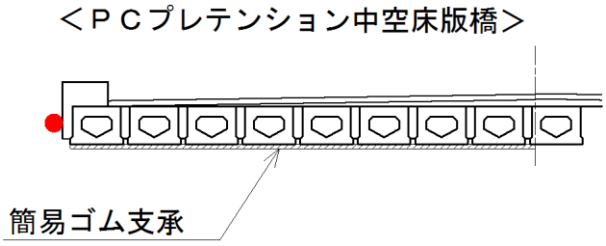


図 3-5　PC ﾌﾟﾚﾃﾝｼｮﾝ中空床版橋

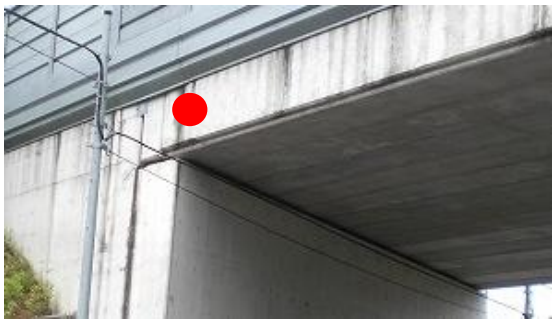


写真 3-5　PC ﾌﾟﾚﾃﾝｼｮﾝ中空床版

写真 3-6　地覆部設置事例

垂直補剛材の無い鋼桁（1 支承の鋼箱桁）：垂直補剛材が無いため、吊金具部に専用アングル等の設置など工夫が必要である。

鋼床版桁：ＲＣ床版や支承上の垂直補剛材が無いため、床版ブラケットの設置や吊金具の利用などの工夫が必要である。

写真 3-7　鋼箱桁橋

写真 3-8　鋼床版箱桁橋

4）橋梁桁端部の方向別のセンサ設置方法

①設置方法の基本方針

橋梁桁端部のセンサを鉛直・橋軸・直角方向の設置する場合は、上部工の段差やズレが確実に計測できるように、上部工桁と橋台パラペット部を接続する構造を基本とする。

その他、設置位置及び設置方法の基本方針は下記のとおりとする。

（ｉ）設置位置

・小動物の通過による不具合の発生や第三者によるいたずら防止のために、極力上側に設置することが望ましい。

・上部工の常時移動（温度変化など）を阻害しない位置とする。

・上部工が支承から外れ、落橋もしくはズレが生じて橋台パラペット側に固定した設置アングルに干渉しない位置とするため、設置アングル位置は橋座面から桁下高（支承高＋台座コンクリート）の空間分は確保する（図 3-11）。

・津波による上部工の流出や地震による落橋時でも、確実な計測ができるよう、センサ本体は下部工側に取り付ける。

（ⅱ）設置方法

・コンクリートに設置する場合は、コンクリートアンカー等で固定するが、この場合は鉄筋探査等を行い、既設鉄筋の干渉を避けた位置とする。

・コンクリートアンカー本数を極力減らすことや、現地でのアンカー位置の調整のために、設置位置を調整するために設置用アングルなどを用いる。

・コンクリートアンカー位置は、ひび割れやコンクリート剥離など損傷していない箇所を選定する。

・鋼桁橋の設置を現場溶接とした場合、鋼桁に熱を加えることによって、局部的に母材が塑性化することが考えられる。このため、応力部材には固定装置等で設置することを基本とする。

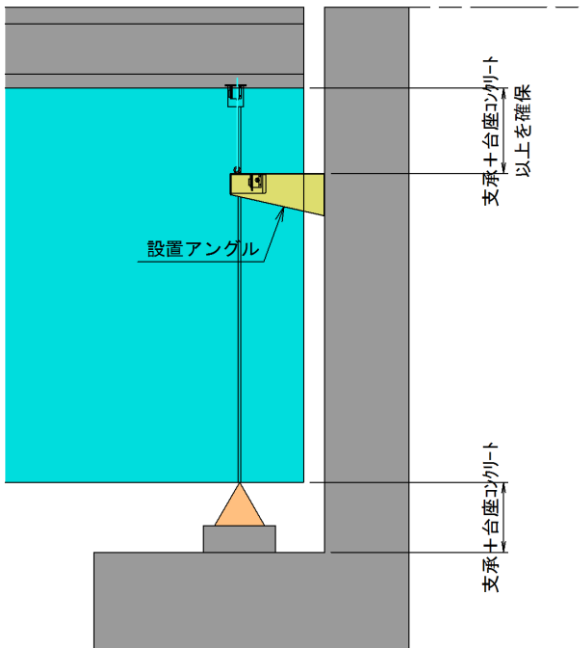


図 3-6　設置アングルの設置高さ

②鉛直方向

上部工桁と橋台の橋座面を変位計で接続し、段差が生じたことがわかる構造とする。

設置位置は、極力上側に設置することが望ましいため、床版と橋台パラペット部に設置アングルを介して設置する。なおＰＣ桁へのアンカー設置は、鉄筋探査を実施して鉄筋やＰＣ鋼線等の切断をしないように注意する。

表 3-1　鉛直方向の計測装置設置位置

	上部工桁側		下部工側	
	設置位置	設置方法	設置位置	設置方法
鋼桁	ＲＣ床版	アンカーボルト	パラペット	アンカーボルト (設置用アングル)
ＰＣ桁	主桁	アンカーボルト	橋座面	アンカーボルト (設置用アングル)

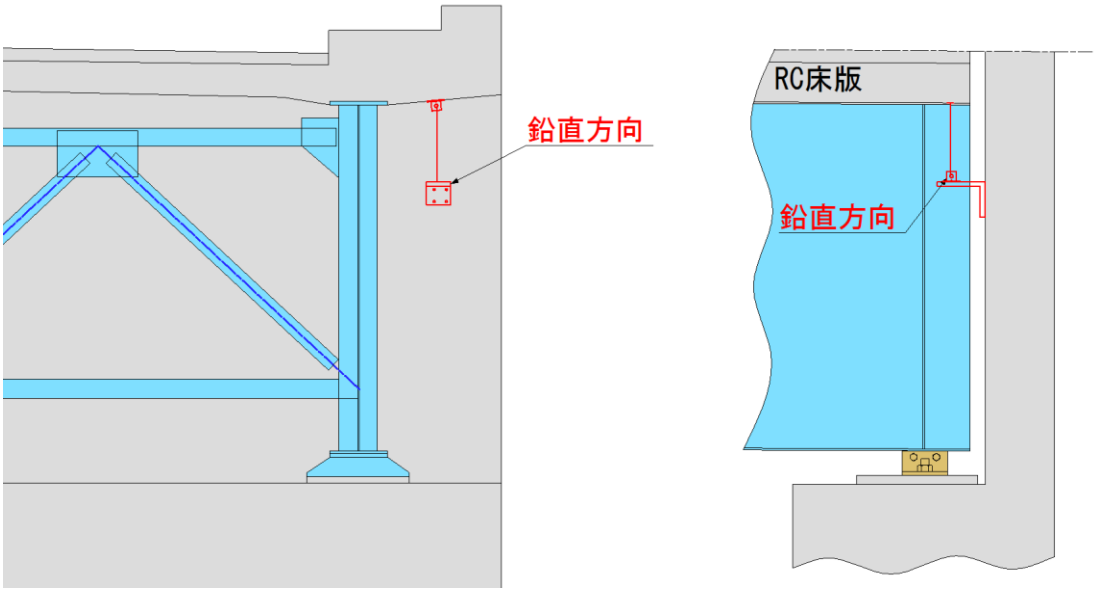


図 3-7　　鉛直方向変位計設置方法

③橋軸方向

上部工桁と橋台パラペットを変位計で接続する。

地震等による被害は、上部工が移動することが多いが、地震時の液状化や圧密沈下による側方移動で橋台が傾斜することも考えられる（図 3-8）。この場合、上部工桁の下方は変位量が生じていないが、上方のみ変位量が大きくなる。このため変位計の設置位置は、図 3-9 のように極力上側に設置する。

またＰＣ橋の場合、一般的には主桁取付が考えられるが、可能であれば床版下面側に吊り下げる形で設置することが良い（図 3-10）。

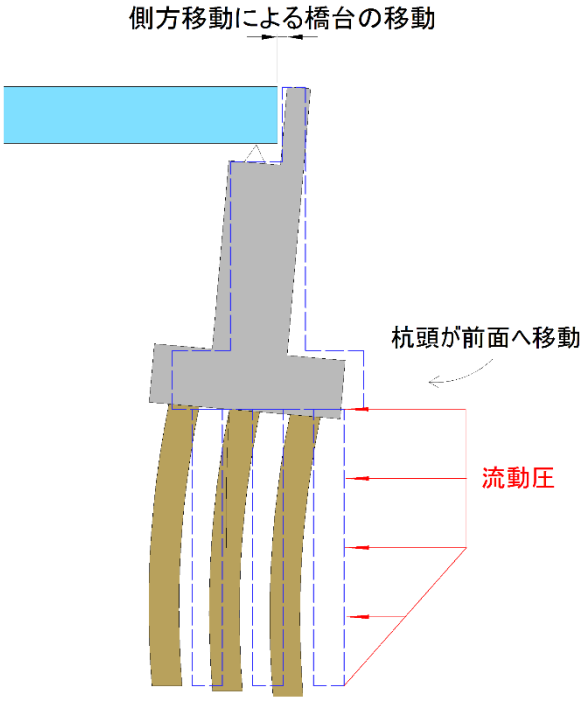


図 3-8　橋台の移動による橋軸方向の変位

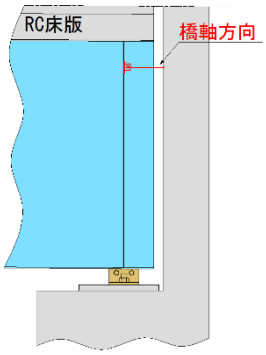


図 3-9　鋼橋の場合の設置方法

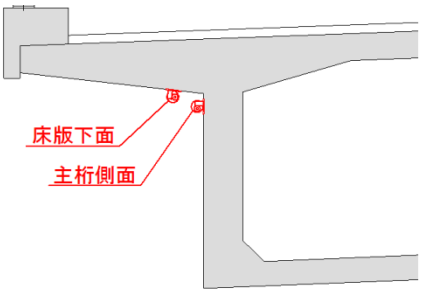


図 3-10　ＰＣ橋の場合の設置方法

④橋軸直角方向

直角方向は、上部工桁と橋台パラペットまたは橋座面に設置することを基本とする。変位制限構造など、下部工側に突起がある構造では、地震時の変位方向などに留意して設置位置を決定する。

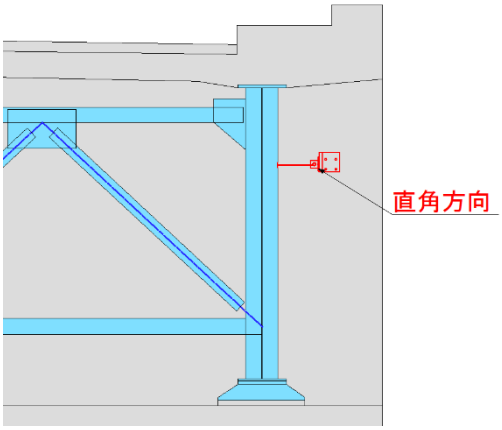


図 3-11　橋軸直角方向の設置方法（鋼橋）

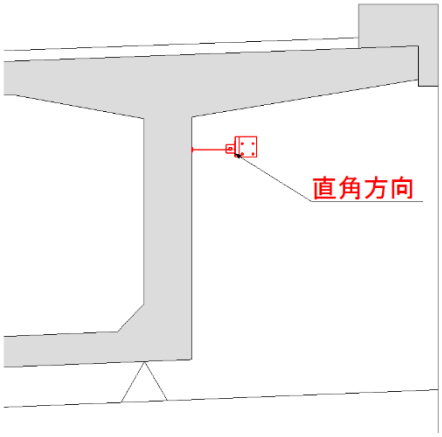
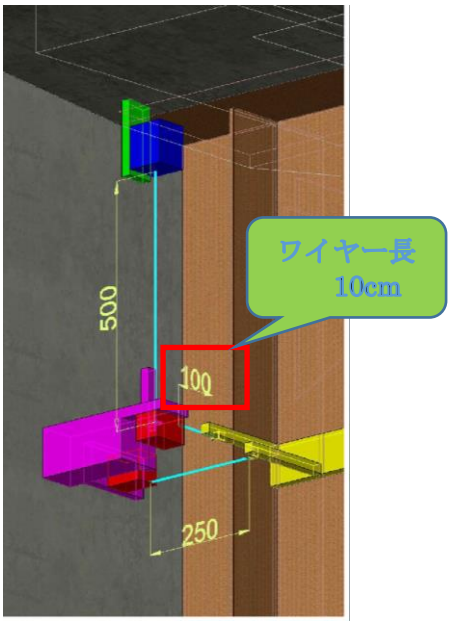


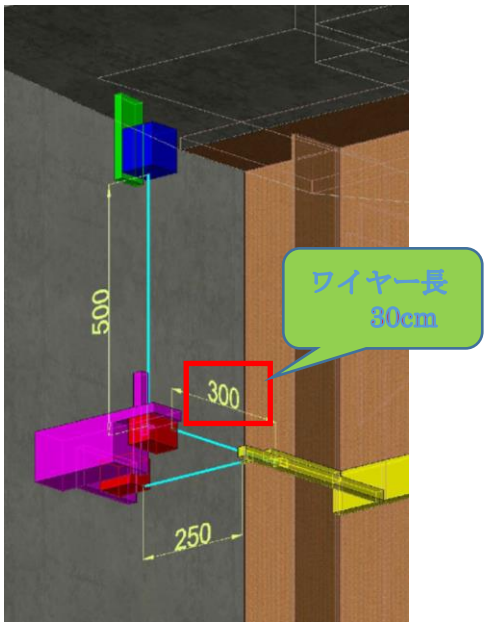
図 3-12　橋軸直角方向の設置方法（ＰＣ橋）

なお直角方向のワイヤーは、図 3-18 のようにワイヤー長が短いと温度変化等で橋軸方向に桁が伸縮するため、橋軸方向の常時移動量が橋軸直角方向の移動量把握に大きく影響しないように、極力ワイヤー延長を温度変化量の 10 倍程度以上に長くして配置することが望ましい。



【望ましくない例】

図 3-13　直角方向のワイヤー長 10cm



【望ましい例】

図 3-14　直角方向のワイヤー長 30cm

ワイヤー長が 10cm，30cm について、橋軸方向に上部工が移動した場合、直角方向のワイヤー移動量を 3D-CAD によるシミュレーションで確認した。その結果、ワイヤー長 10cm では温度変化で 1.2cm 程度の移動量となり直角方向の移動量に大きく影響する。一方、ワイヤー長を 30cm とすることで、移動量は 0.4cm となり、影響が少なくなる。

表 3-2　橋軸方向が移動した場合の直角方向の移動量

	温度変化量 5cm 移動 (-10℃～40℃)	地震時 20cm 移動 (支承損傷)	地震時 40cm 移動 (支承から桁落下)
ワイヤー長 10cm	11.2cm	22.4cm	47.9cm
ワイヤー長 30cm	30.4cm	36.1cm	55.6cm

※温度変化量 5cm は、鋼 3 径間連続鈑桁橋を想定して設定した。

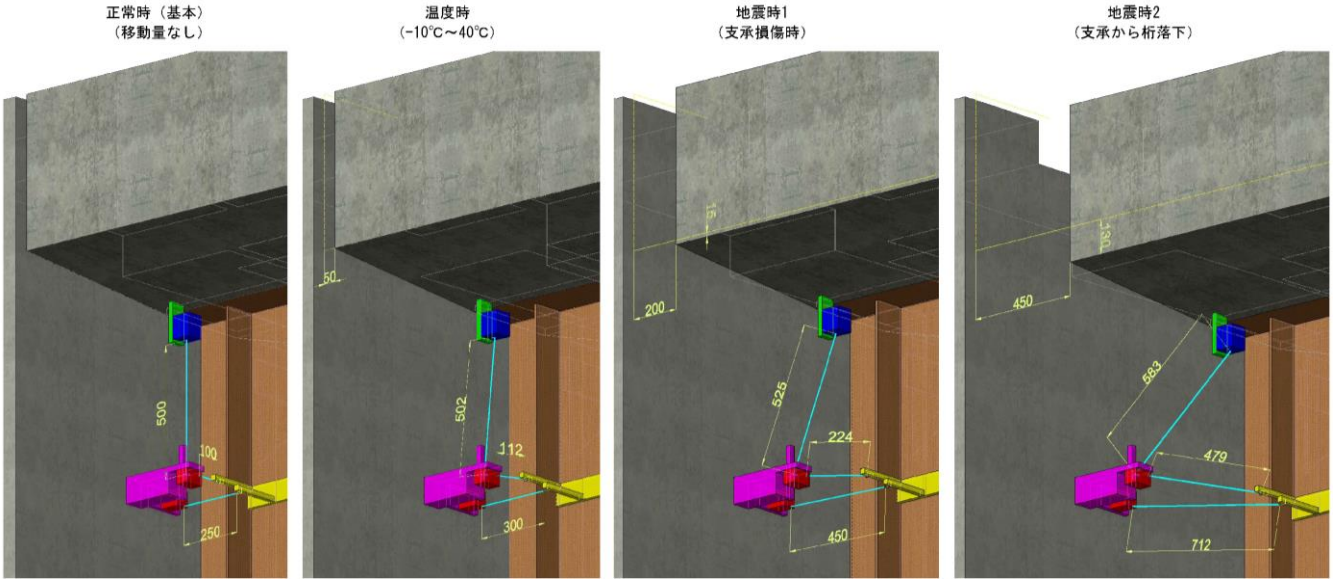


図 3-15　3D-CAD による直角方向のワイヤー長確認（直角方向 10cm）

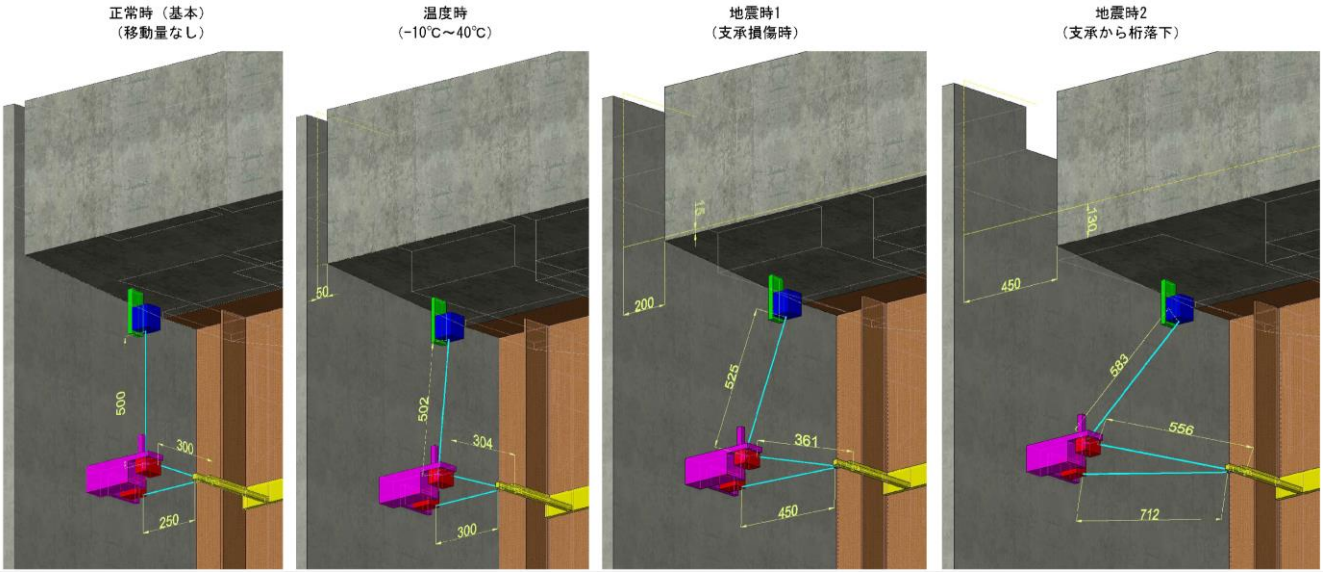


図 3-16　3D-CAD による直角方向のワイヤー長確認（直角方向 30cm）

5）橋台背面アプローチ部のセンサ設置位置および設置方法

センサ（変位計）設置位置は橋台パラペット背面とし、１橋台に１か所設置とする。ただし、道路幅員が広く段差量に大きな差が生じることが予想される場合には、複数のセンサを設置することもある。横断方向の設置位置は道路中央付近とするが、既設橋に設置することを考慮して、道路規制など極力最小限にできる位置を現地にて確認する必要がある。設置高さは、橋台背面盛土が内面で沈下してもアスファルト舗装や路盤工が残り沈下しないことが考えられるため、センサを路盤工の下面付近に設置し沈下板は路盤工より下側の盛土内に設置することとする。

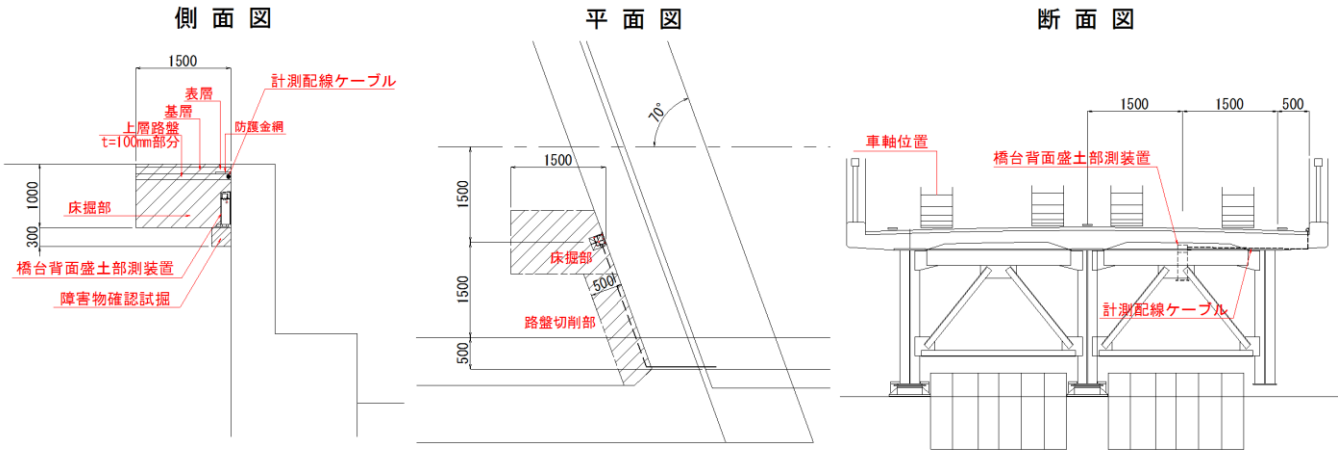


図 3-17　計測装置設置図（寸法は参考値）

＜その他の留意点＞

橋台背面の干渉物の調査は、既設資料や事前調査では限りがあり完璧な確認が不可能である。

このため、現場での計画変更や手戻りをなくすため、橋台前面側に添架管や落橋防止構造など無いか確認する必要がある。また必要に応じ、事前にコアボーリングやコアドリルにより削孔し、橋台背面盛土部内の干渉物件の有無を確認することが望ましい。

変位計の下方側については、沈下板の動きを阻害するもの（落橋防止装置や添架物など）が無いか試掘にて確認する必要がある。

盛土内部の配線場所や地上部への配線出口については、舗装打替えに影響が無い箇所や近隣交差点の車両通行方向など考慮して、維持管理のしやすい箇所を選定すること（センサ設置位置は、直接輪荷重が載荷されない配置とする）。

標準的な片側１車線と片側３車線の配置例を以下に示す。

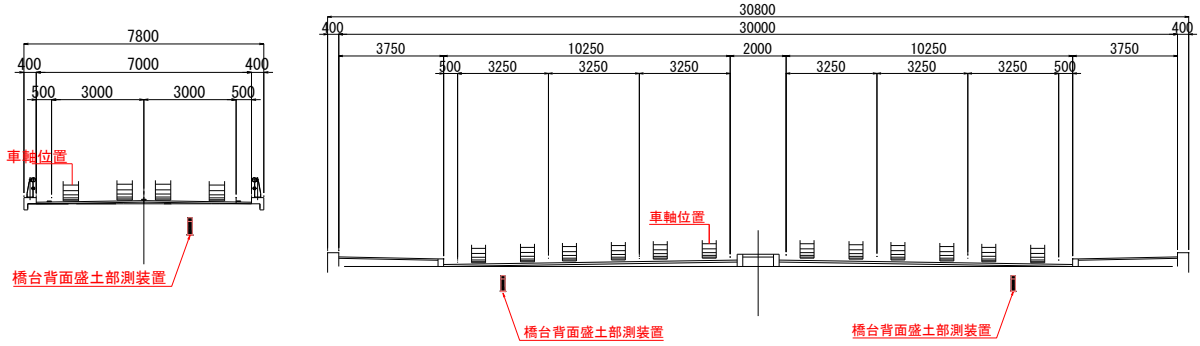


図 3-18　計測装置設置例

歩道がある場合の対応については、埋設物が設置されていることが多く、配線のために歩道部を掘削することが困難となることが想定される。そのため、歩車道境界部から歩道部の表面に溝を構築してそこに鋼管などで保護した配管を設置することが有効と考えられる。

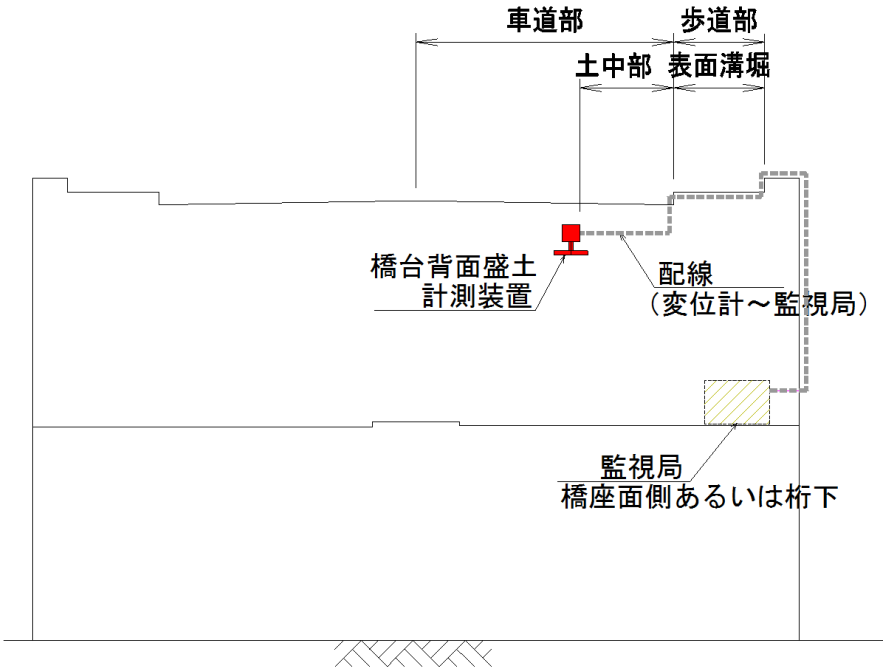


図 3-19　歩道がある場合の対応

写 3-9　歩車道境界部　溝掘り事例

写 3-10　歩車道境界部　溝掘り復旧事例

【工夫すべき事項】

・土中部の配線ケーブルは防水に配慮する。

・センサのワイヤー引出口が上向きとなる場合は、上からの水が浸入しないように水切りを設置する。

・埋設ケーブル上は舗装打ち直し時に切断することが無いように、ケーブル保護板を設置する。

・塩害環境の橋梁では、センサの金属部に錆対応として防錆処理を行う。

・電気防食など実施中の橋梁には、絶縁対策などを施して配線する。

・配線を行わないで無線を使用する場合には、無線の送受信環境を考慮した配置とする。

(4) システム材料供給・製作

1) センサ（変位計）

端支点部の段差および変位量を把握するための計測機器（センサ）は、支承の沈下もしくは桁の落下（鉛直方向），水平移動量（橋軸方向），上部工桁の横移動もしくは回転量（直角方向）が測定できる機器として、コスト面で有利となるワイヤー式の変位計を採用する（橋台背面盛土の段差計測センサと同じ）。

設置位置により計測する変位量が変化するが、計測位置や方向にとらわれず自由な位置に設置できるように、50cm 程度の変位量が計測できる容量のものを使用する。

①センサ本体

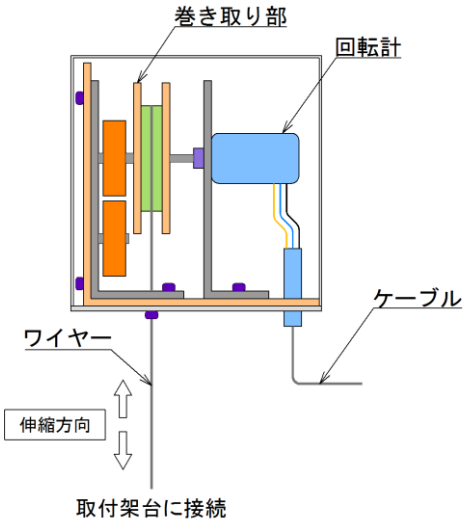
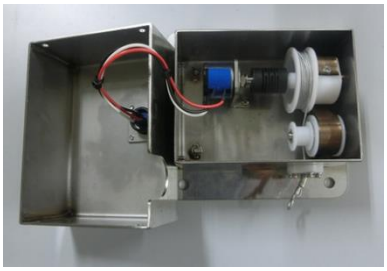


図 3-20　センサ（変位計）設計例



写 3-11　センサ（内部と外形）

表 3-3　センサ仕様（案）

主な用途	大きな変位測定
特　長	大容量，可変抵抗式
取付方法	橋台背面の保護 BOX に固定
ワイヤー長	0～1000mm
出力抵抗	0～10kΩ
精　度	1mm
サイズ	□50mm 程度
ケーブル長	20m 程度
許容温度範囲	-10 ～ +60℃（結露を除く）
外形箱	ステンレス
防水処理	ワイヤー付け根に完全防水処理

②センサ取付アングル

3 方向のワイヤー式変位計の設置が網羅できるセンサ取付アングルを製作・設置することで、ワイヤー式変位計を容易に設置することができ、橋台等の既設構造物へのアンカー数を減らすことができる。なお、この取付アングルを製作するために、設置前に現地確認と取付アングルの設計が必要となる。設置事例を以下に示す。

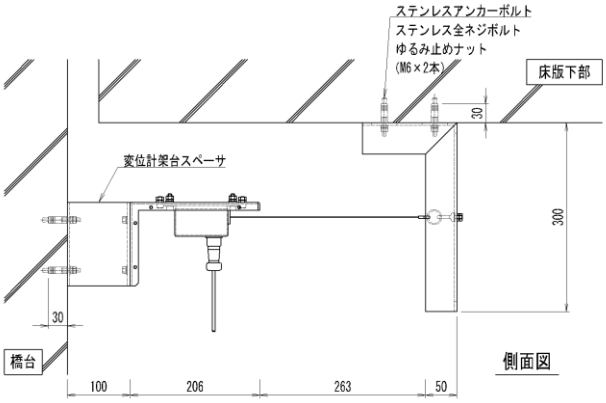


図 3-21　橋台パラペット設置用 1 方向アングル
（センサー橋軸方向）

写 3-12　1 方向アングル事例

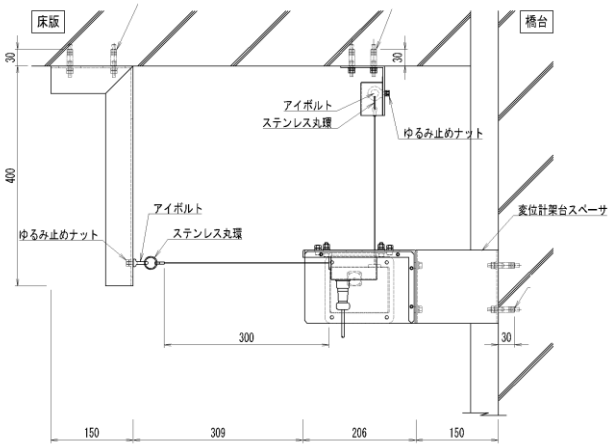


図 3-22　橋台パラペット設置用 2 方向アングル
（センサー橋軸方向，鉛直方向）

写 3-13　2 方向アングル事例

鉛直方向，橋軸方向，直角方向の３つのワイヤー式変位計が設置できる取付アングルの製作・設置事例を以下に示す。

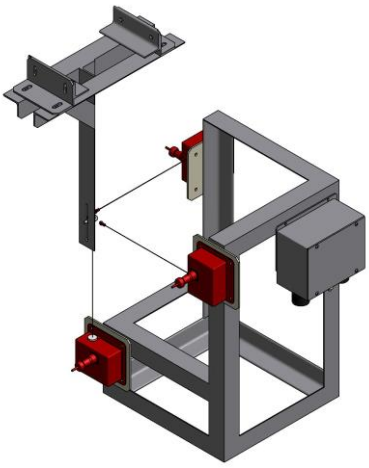


図 3-23　橋台パラペット設置用 3 方向アングル
（センサー橋軸方向,鉛直方向，直角方向）

写 3-14　3 方向アングル事例
（鋼橋用）

写 3-15　3 方向アングル事例全景（1）
（ＰＣ橋用）

写 3-16　3 方向アングル事例（2）
（ＰＣ橋用）

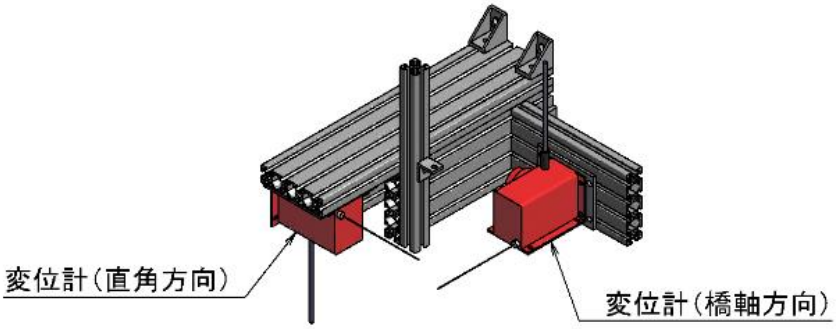


図 3-24　3 方向設置用アングル　詳細図

(5) 橋台背面アプローチ部の段差計測機器

1) センサ（変位計）

橋台背面盛土内に設置する段差計測機器（センサ）は、被災発生箇所を鉛直方向の段差に絞り込むことで、通常より取得データ量を極力少なくする計測機器であり低コスト化となる、ワイヤー式変位計を採用しワイヤーの先端に沈下板を設置する。

鉛直方向の段差では、10cm 以上であるとスムーズに通行できず、すりつけ補修工事を実施していることも踏まえ、50cm 程度の変位量が計測できる容量のものを使用する。

①センサ本体

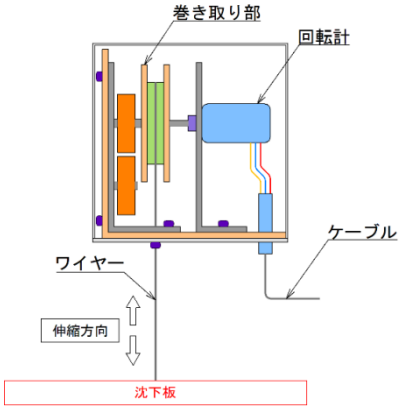


図 3-25　橋台背面アプローチ部のセンサ（変位計）

写 3-17　センサ（外形）

写 3-18　センサ（内部）

写 3-19　センサ（保護 box）

表 3-4　センサ仕様

主な用途	大きな変位測定
特　長	大容量，可変抵抗式
取付方法	橋台背面の保護 BOX に固定
ワイヤー長	0～1000mm
出力抵抗	0～10kΩ
精　度	1mm
サイズ	□50mm 程度
ケーブル長	20m 程度
許容温度範囲	-10 ～ +60℃ （結露を除く）

②センサ保護ＢＯＸ

センサは盛土内に設置することから、センサ本体には保護 BOX で保護して、直接土砂や盛土内の水に触れないように配慮する。また、ワイヤー部分は鋼製防水タイプのジャバラ管で保護する。

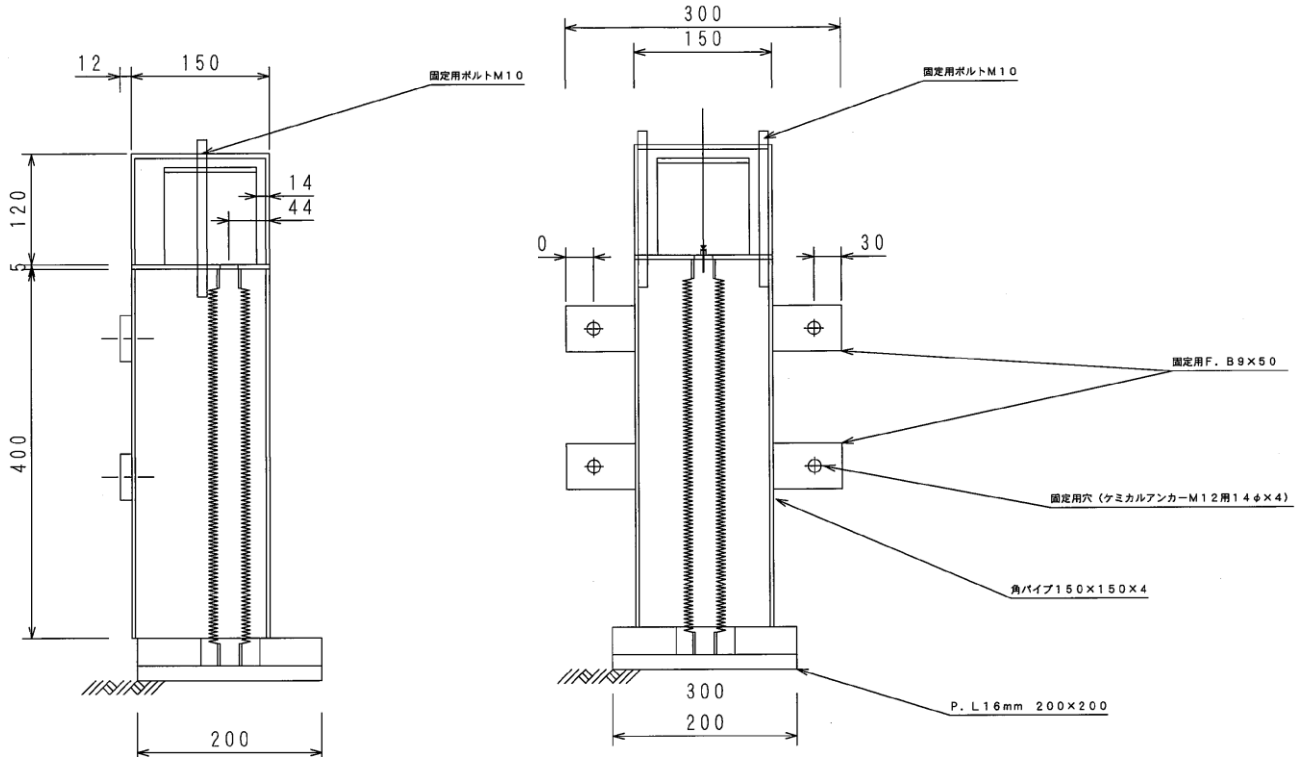


図 3-26　保護ＢＯＸ参考図

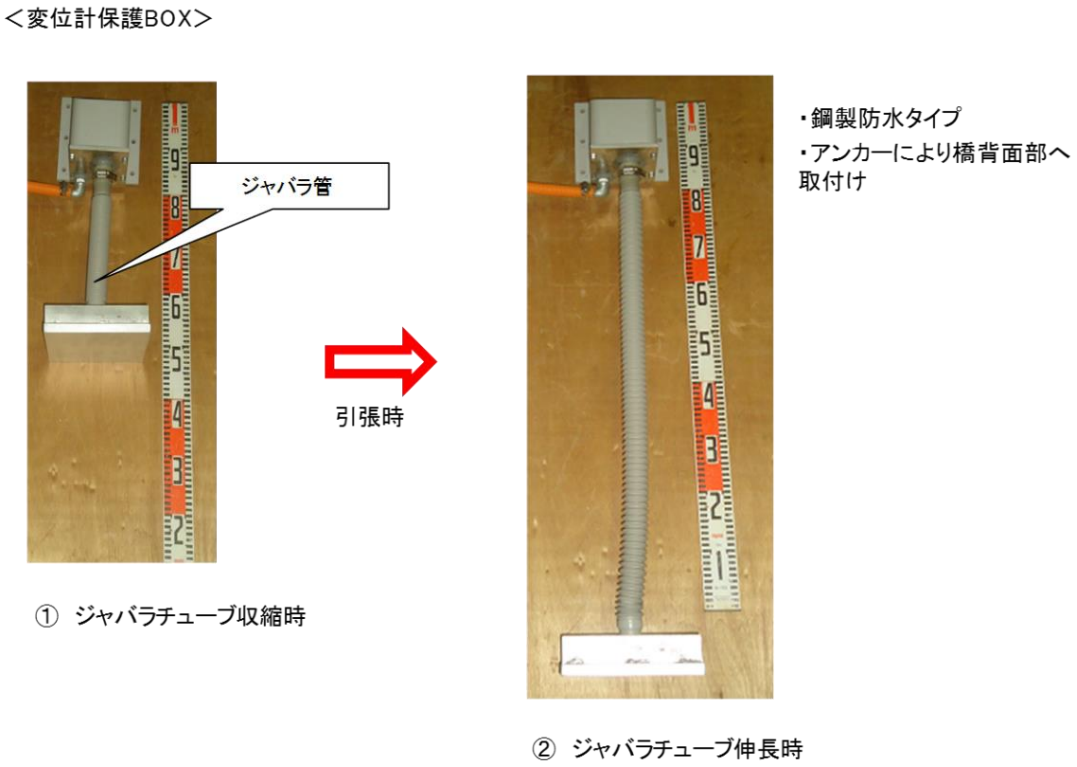
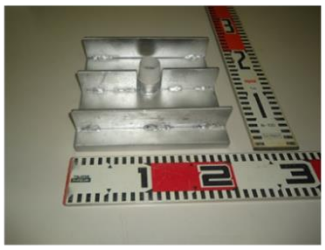


図 3-27　変位計保護 BOX とジャバラ管

③沈下計測板

実証実験の結果、鉛直・橋軸・橋軸直角方向に追従できる十字ひだ付き板（200mm×200mm，t=16mm，重量 5.0 kg以上）とする。板厚は、ジャバラ管の伸縮可能重量が 5.0 kgであるため、5.0 kg以上となる板厚を確保する。



③ 角型ひだ付き
20cm×20cm
t=16mm
W=5.0kg

図 3-28　沈下計測板

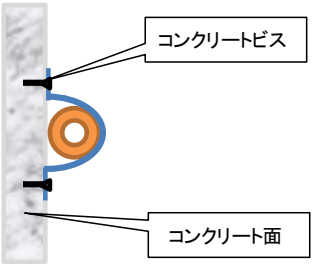
④ケーブル保護管

盛土内の変位計ＢＯＸから監視局に接続する配線を保護するために、ケーブル保護管にて防護する。ケーブル保護管は、橋台パラペット等にコンクリートビスにて固定する。

・変位計BOXからの配線保護に使用

・波型ポリエチレン製，内径16mm

・橋台背面部に配管し、U字金具にて固定



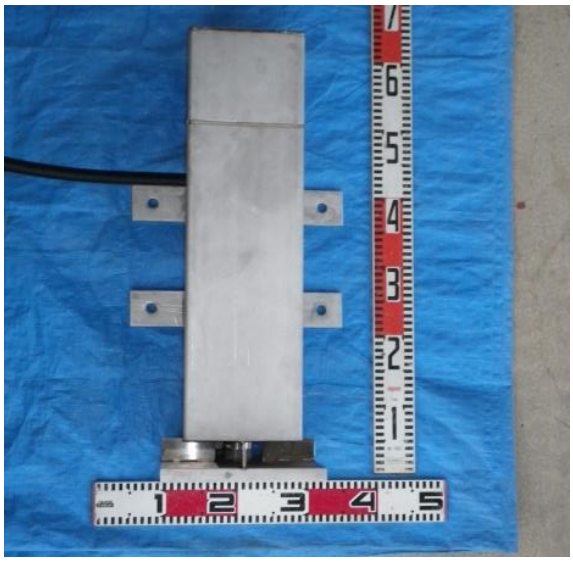


図 3-29　ケーブル保護管

(6) 配線計画

監視局（子局→親局）が有線の場合や、変位計～監視局～商用電源（または太陽光パネル）は配線が必要となる。橋台背面盛土内の計測装置は、橋台背面センサをパラペット背面土中部に沿わして配線する。この場合、ジャバラ管をパラペットにアンカー等で固定してその中に配線する方法が良い。橋台背面から端部は、ウイングや地覆, 壁高欄など配線の支障となる構造物が存在するため、現地調査を行い最適となる配線方法を検討する必要がある。

以下に橋台背面盛土および橋梁端部～監視局および監視局～商用電源までの全体配線計画例を示す。

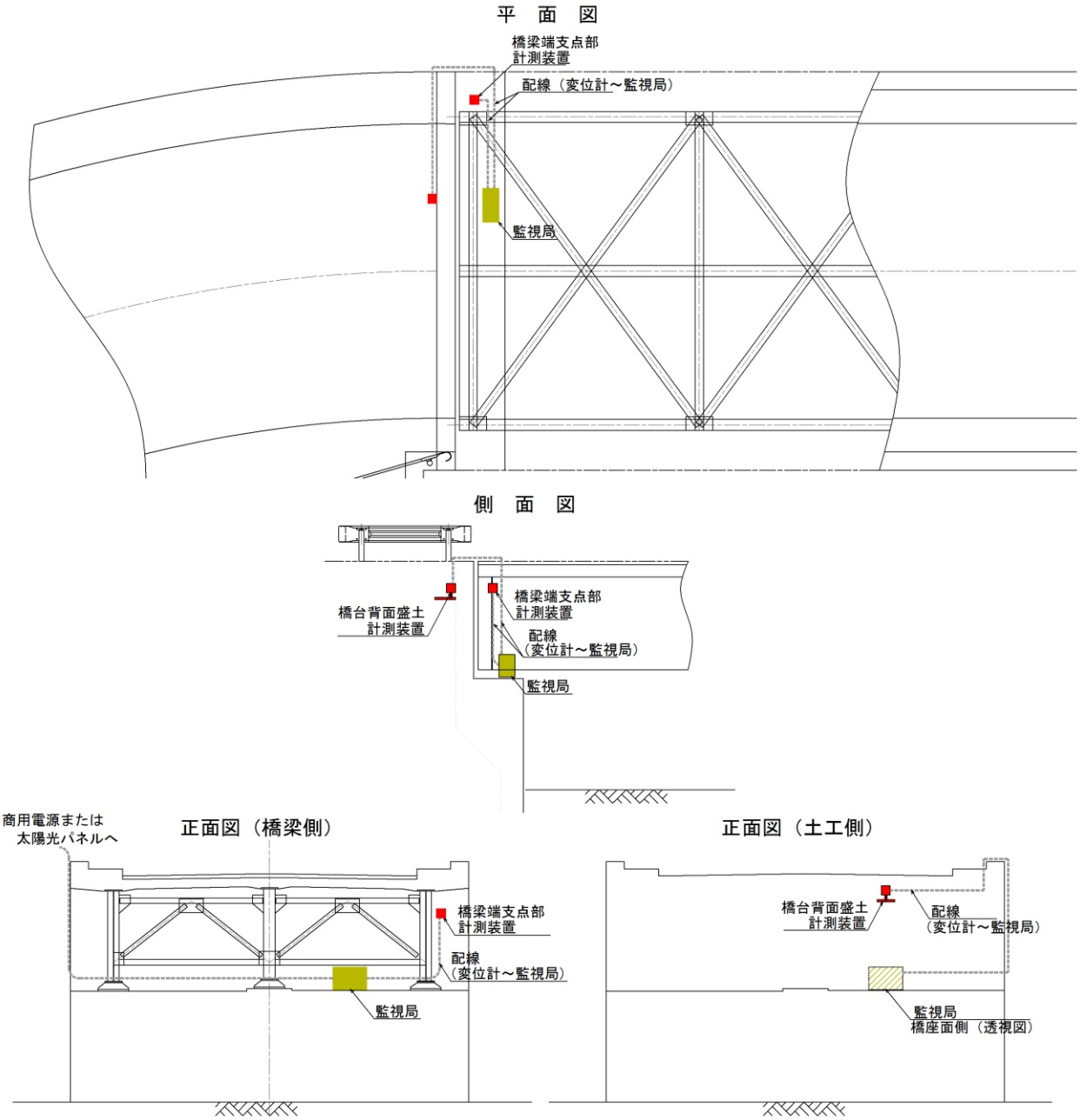


図 3-30　全体配線計画図

写 3-20　橋台背面配線事例（壁高欄）

写 3-21　　橋台背面配線事例（壁高欄）

写 3-22　歩道部配線事例（排水管から桁下へ）

写 3-23　歩道部配線事例（排水管から桁下へ）

【工夫すべき事項】

・地中から配線を立ち上げる場合は、清掃車などに巻き込まれないように切欠きなども受ける。

・配線が多い場合は、極力配線をまとめる。

(7) 監視局

橋台背面の盛土部、橋梁桁端部に地震時の異常変位を検知するセンサから有線で監視局に接続し、閾値を超過する変位が発生した場合に、自動的にメール配信を行うとともに被災状況把握システムにも閾値超過の位置および計測データを配信するシステムである。

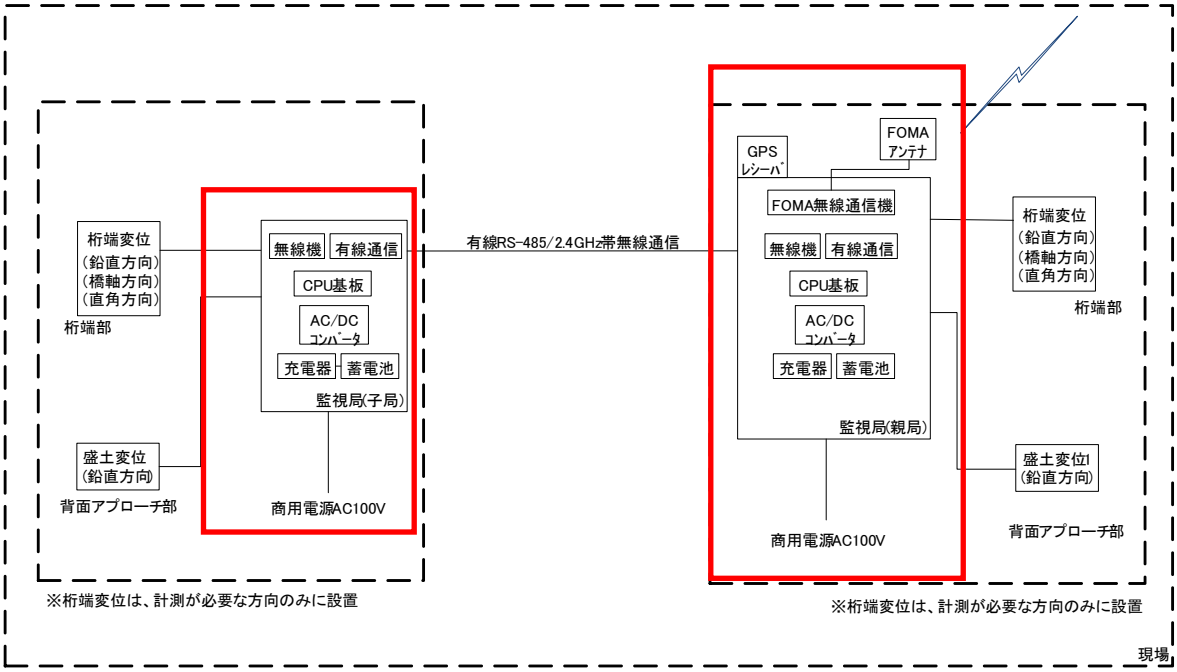


図 3-31　監視局

センサにより計測・収集した各種データを保存する装置であるデータロガーは、送信機器と一体化された計測ユニットを採用する。

計測ユニットの特徴は以下のとおり。

表 3-5　仕様

用途	長期無人計測
測定点数	アナログ入力 6ch 以上
サイズ	桁下空間の沓座面に設置することを想定し、極力小さな形状が望ましい（参考寸法；W55cm×D35cm×H25cm 程度）
使用温度範囲	-10～50℃（結露除く）

【工夫すべき事項】

・監視局は、点検やバッテリー交換など必要であるため、点検等ができない場所に設置した場合は検査路などを設置する。

・バッテリーは、５年毎に交換が必要となるため、橋梁点検毎に交換を行う必要がある。

(8) 電源確保

供給電源の確保は、安定した電源確保のため、基本的には商用電源を採用する。

計測対象となる橋梁近隣まで商用電源が供給されていない場合、①商用電源を準備する方法と②太陽光パネルによる方法が考えられる。

①商用電源を準備する方法は各地区の電力会社との協議によるが、電柱設置可能な範囲までは電気工事の依頼が可能である。しかしながら申し込みから工事実施まで時間を要することが考えられ、スケジュール調整が必要である。近隣電柱から引き込み柱までは一般的には原因者負担となる。

②太陽光パネルは初期投資が必要であるものの、他の関連機関との協議が不要であり計画が立てやすい。ただし、他の建物の陰にならない環境であることが求められる。なお、太陽パネルの仕様案は、表 3-7 に示す。

計測対象となる橋梁近隣もしくは橋梁施設まで商用電源が供給されている場合には、近隣引き込み柱から占用電線により分電させることとなる。

写 3-24 太陽光パネル事例

写 3-25　太陽光パネル事例

写 3-26 引き込み柱（照明）から引電事例

写 3-27 引き込み柱（監視カメラ）から引電事例

【太陽光パネルを採用する場合の工夫すべき事項】

・運転者への反射がない場所に配置する。

・日当たりが良好な場所などに配置する。

表 3-6　太陽パネル仕様

名　称		規　格	備　考
太陽電池パネル	公称最大動作電力	32W ＋15%、－5%	
	公称最大動作電圧	17．4V	
	公称最大動作電流	1．84A	
	開放電圧	21．7V	
	短絡電流	1．99A	
	寸法（参考）	517×512×17（mm）	
	重量（参考）	2．8kg	
固 定 材		ステンレス	参考図-1

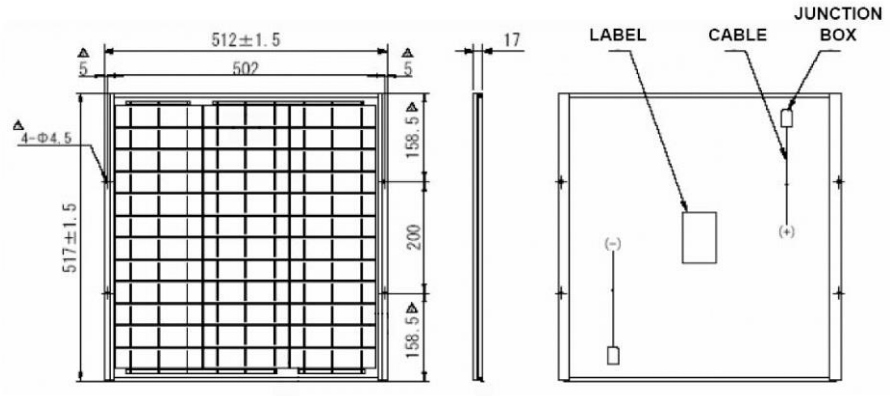


図 3-32　太陽パネル形状図（参考）

※本システムに必要な電力は約 30W である。

(9) 注意喚起装置

大規模地震等により段差等が生じた場合に、道路管理者が現地に行くまでのタイムラグを埋めるために、表示灯を点灯させて運転者や歩行者に注意喚起するものである。表示灯の文字は、現地で起きている事象を表示することとし、「通行止め」などの表示避けた。

表 3-7　表示灯仕様案

名　称		規　格	備　考
被災標示パネル	視野距離	36m以上	
	電　　源	12Vバッテリー(10KW)	
	標示文字	2系統、LED点灯	4文字、赤・黄2系統
	定格電圧	DC12	
	放電容量	500mah	
	放電圧	6．6V	
	寸法(参考)	420×150×100(mm)	
パトライト	パトライト	LED点滅方式	

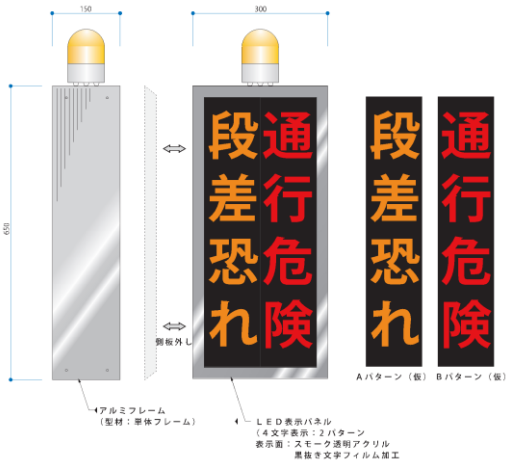


図 3-33　表示灯案

写 3-28　表示灯設置例

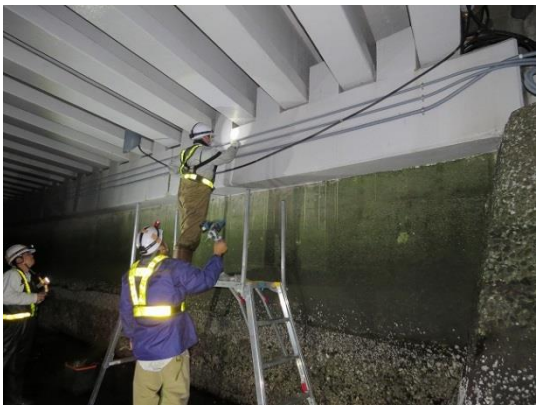
3－3. 施工計画

（1）施工方法

配線時およびセンサ設置時、監視局取付け時に必要となる施工機械を選定する必要がある。一般的には配線およびセンサ設置ともに、橋梁点検車や橋梁補修工事の施工業者の足場を一部利用して設置する。また橋面高が低い橋梁は、橋面もしくは橋梁下からの梯子で橋座面に降りて設置することも可能である。

写 3-29　点検車による設置

写 3-30　補修工事の足場を利用した設置



写 3-31　簡易足場による設置

なお点検車を使用する場合は、片側交互通行などによる道路規制を行い設置する。また、橋梁点検車の運転では、高所作業車運転特別教育修了書の資格を得たものが必要となる。

また舗装など撤去した際に発生したガラなどの産業廃棄物は、マニフェスト制度による適正な処理が必要である。

（2）計測ユニットの設置手順およびチェックリスト

1）橋梁桁端部

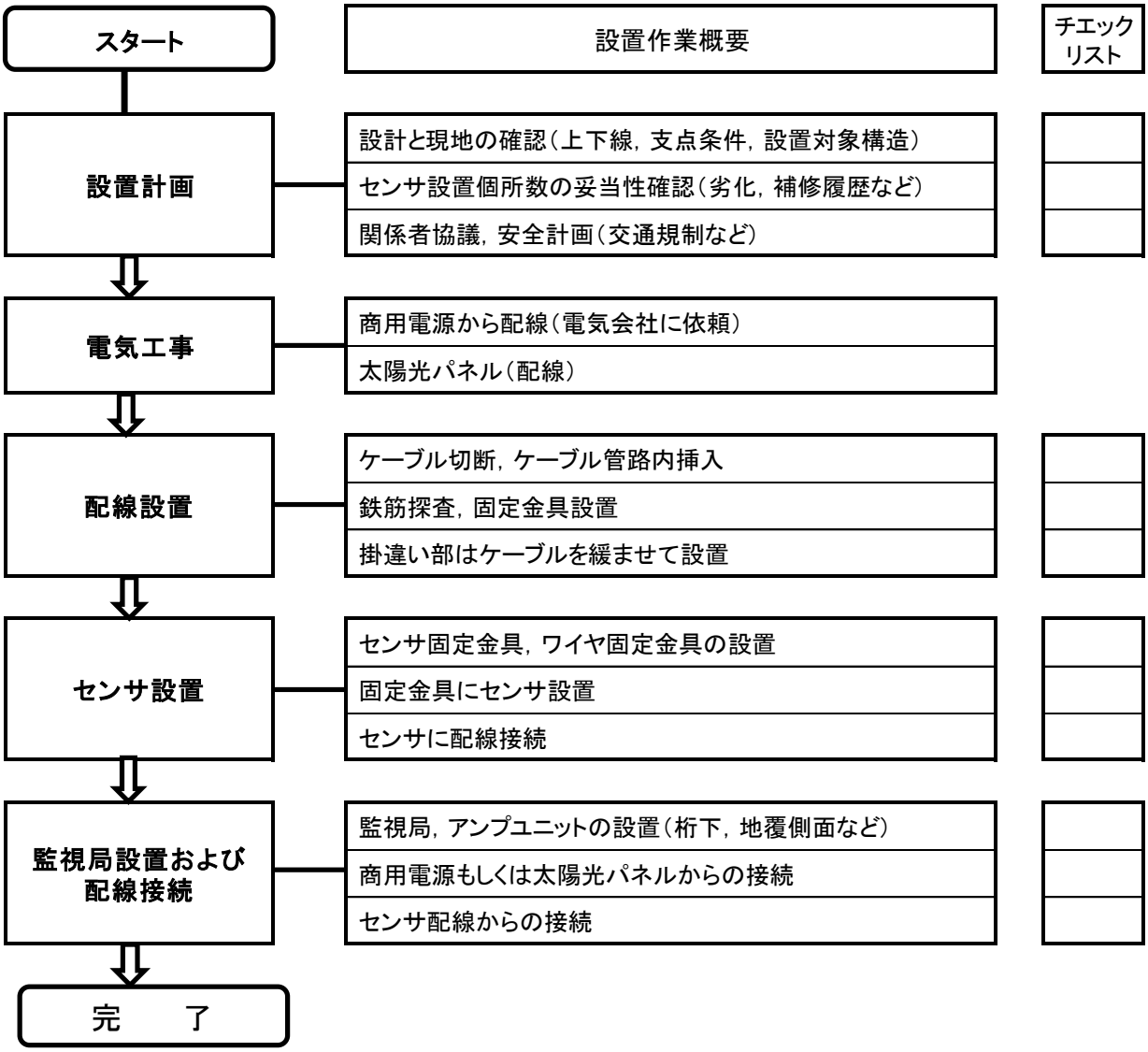


図 3-34　橋梁桁端部の設置手順フロー

【設置計画および設置時の留意すべき事項】

- ➢ センサ設置箇所が劣化や補修済みの箇所（再劣化の恐れ）でないか確認
- ➢ センサ設置付近や配線部の水の流れ
- ➢ 添架物，落橋防止システムなどの干渉
- ➢ 設置時の規制方法

2）背面アプローチ部

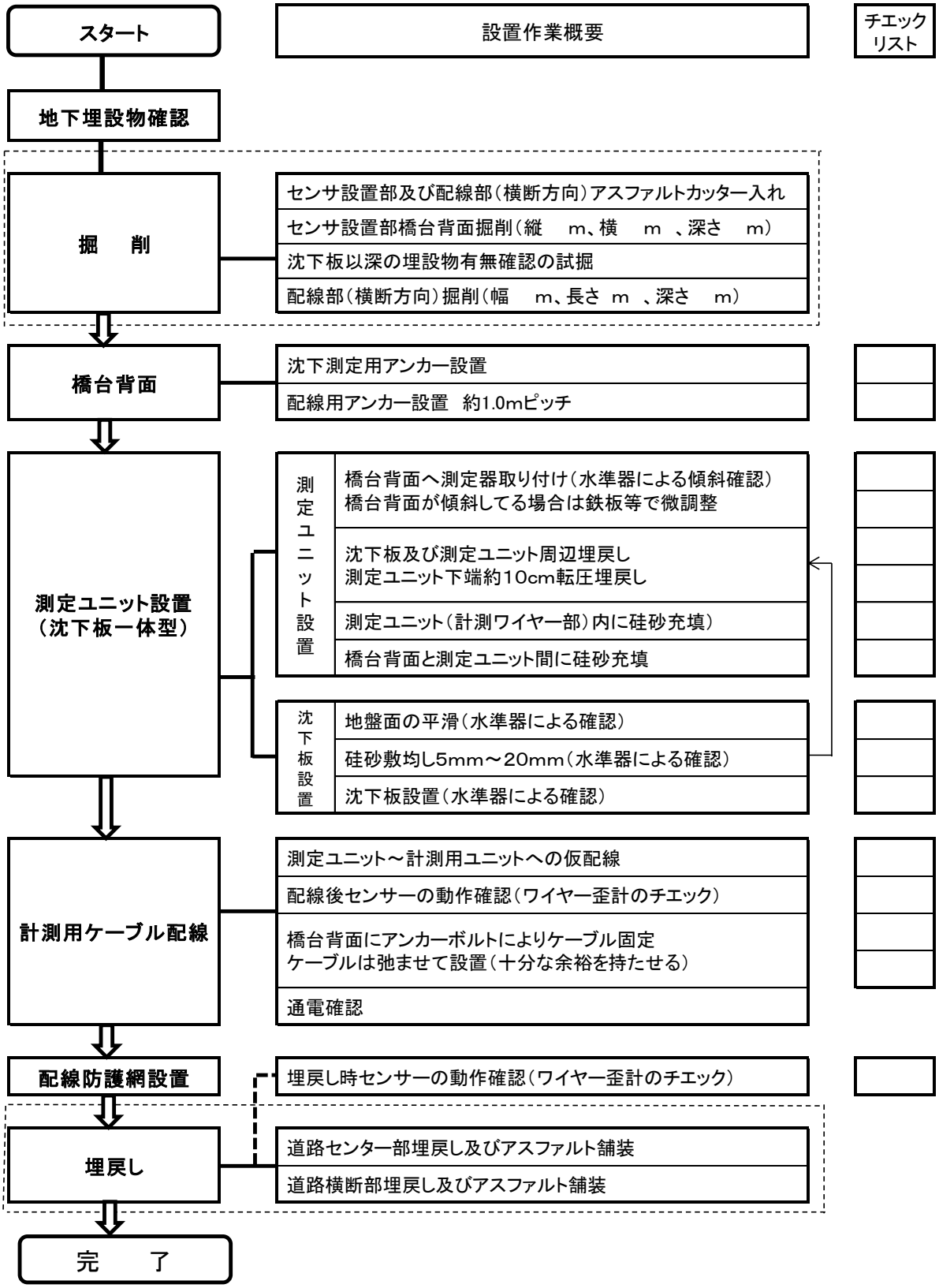


図 3-35　背面アプローチ部の設置手順フロー

【設置計画および設置時の留意すべき事項】

➢ 埋設物および添架物位置のチェック（橋台背面防護コンクリートなど設置の可能性有）

➢ 落橋防止および耐震補強等への配慮

(3) 関係機関協議

河川を跨ぐ橋梁では、河川区域内に配線やセンサ等を設置する場合は、河川法に基づき河川協議の占用協議（河川法 24 条）および工作物の改築（河川法 26 条）を実施する必要がある。また、工事時に地元の人が利用している官地への立ち入りをするために、村役場や自治会長への挨拶も必要となる。

ケーブル配線や橋脚部のセンサを設置するとき道路上での作業が必要となるため、道路使用許可申請書（道路法 32 条）を所轄の警察署および道路管理者に作業届（道路法 33 条）など提出しなければならない。申請書類には、施工方法やタイムスケジュール，工事工程など記載する。また、道路上を規制する場合には規制方法や交通保安員の配置, 看板設置などを記載した図面を提出する。

商用電源を近接電柱から引く場合は、電灯申込書を作成し電力会社に提出する必要がある。

河川上の工事となる場合、河川内の作業が不要なことなど、漁協に工事内容の説明を行う必要がある。

3－4. 維持管理計画

常時監視において重要なことは、各種測定機を長期間安定して稼動させることであり、精度及び性能を高い水準で観測するために維持管理を行う。

本計測機器は、精密機械や連続にかつ動的に計測している機器ではないため、環境基準による常時監視結果の評価においては、1日平均値に関しては1日 20 時間以上の測定時間を有する「有効測定日」には該当しない。そのため、常時管理体制の維持管理までは必要ない。

しかしながら、計測機器本システムは、今後発生するシステムの不具合や、外的要因（鳥・小動物など）によるセンサーワイヤーの伸縮が考えられる。このため、WEB 上で計測履歴を確認し正常稼働しているかなど確認する必要がある。

異常を感知する（閾値以上の変位）とメールが発報される仕組みであるため大きな動きに対しては管理下にはあるものの、ワイヤー部の高温・低温による不具合により可動部が動かなくなるなどの突発的なトラブルを回避するために、1回/年程度はセンサ部の稼働状況確認、監視局内の環境確認（結露など）する必要がある。

また、センサは野外に設置されており設置箇所の周辺環境によっては植物の繁茂により太陽光パネルが被覆され発電環境が阻害される可能性もあるため、一般的な道路管理と同様に除草作業も確認する必要がある。

本システムは、商用電源、太陽光パネルともに停電時に対応するためバッテリーを介したシステムを構築している。バッテリーは一般的には 5 年程度が寿命であるため、橋梁定期点検時に交換することが合理的であると考えられる。

1）予防保全：故障及び事故が発生するおそれのある部分について予防措置を取る方法であり、日常点検、定期点検、オーバーホール等がこれに当たる。

⇒データ履歴確認、ワイヤー部の作動確認、植物、小動物による阻害（1 年/回程度）、バッテリー交換（5 年/回程度）

2）事後保全：故障や事故が発生した後にその原因を究明し、対策を取る方法であり、緊急点検がこれに相当する。

⇒専門業者に委託する。

表 3-8　維持管理一覧表

日常管理	定期管理
①WEB による計測値正常稼働確認 ②センサ，監視局，太陽光パネル周辺の除草，樹木伐採	①ワイヤー作動確認　（1 回/1 年） ②監視局内環境確認　（1 回/1 年） ③バッテリー交換　（1 回/5 年）

3－5. システム概要仕様例

(1) プログラム構成

センサによる計測値を保存および WEB サーバに送信する監視局（データ保存・送信部），非常電源用バッテリーから構成されている。

監視局からのデータ送信は、携帯電話網および光回線を利用できる仕様とする。

(2) 正常動作確認プログラム

監視局は随時起動（数秒間に 1 回）し、閾値の逸脱や電源ラインをチェックし正常か否かを判断する。正常の場合、1 日数回の WEB 通信を行い正常動作の定期報告を行うが、正常でない場合、報告間隔を短くし、随時 WEB に送信する（異常データは 10 分毎にメール配信）。

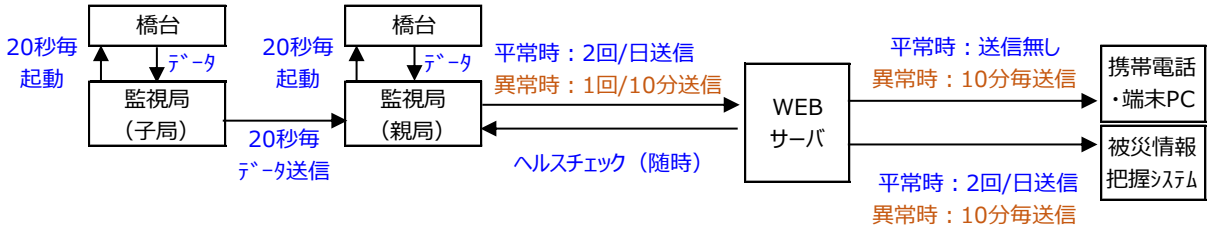


図 3-36　正常時・異常時のデータ通信

(3) 停電時のバッテリー切替え機能

正常時の電源設備が商用電源の場合は、被災時の停電等にはバッテリーに切り替わる機能が必要である。なお、太陽光パネルを採用した場合についても

(4) 無線機能

有線による配線が困難な場合のセンサは、監視局を介して無線通信が可能である（障害物等で通信状態が悪い場合は監視局を複数設置した有線となる）。ただし、半径 300m程度を超える場合は、データ通信が困難となる。

(5) トリガー機能

1 方向で 2 段階（通行注意，通行不可）の閾値を設定できる機能を有する。

・通行注意：計測値のデータ送信（メール），注意喚起通知

・通行不可：計測値のデータ送信（メール），注意喚起通知，エラーフラグ（メール）

また、閾値を超えた場合には、現地の通行車両に注意喚起通知を行う機能を有する（具体事例：閾値を超えた場合、現地付近に設置したパトライトを起動）。

（6）監視局プログラムフロー

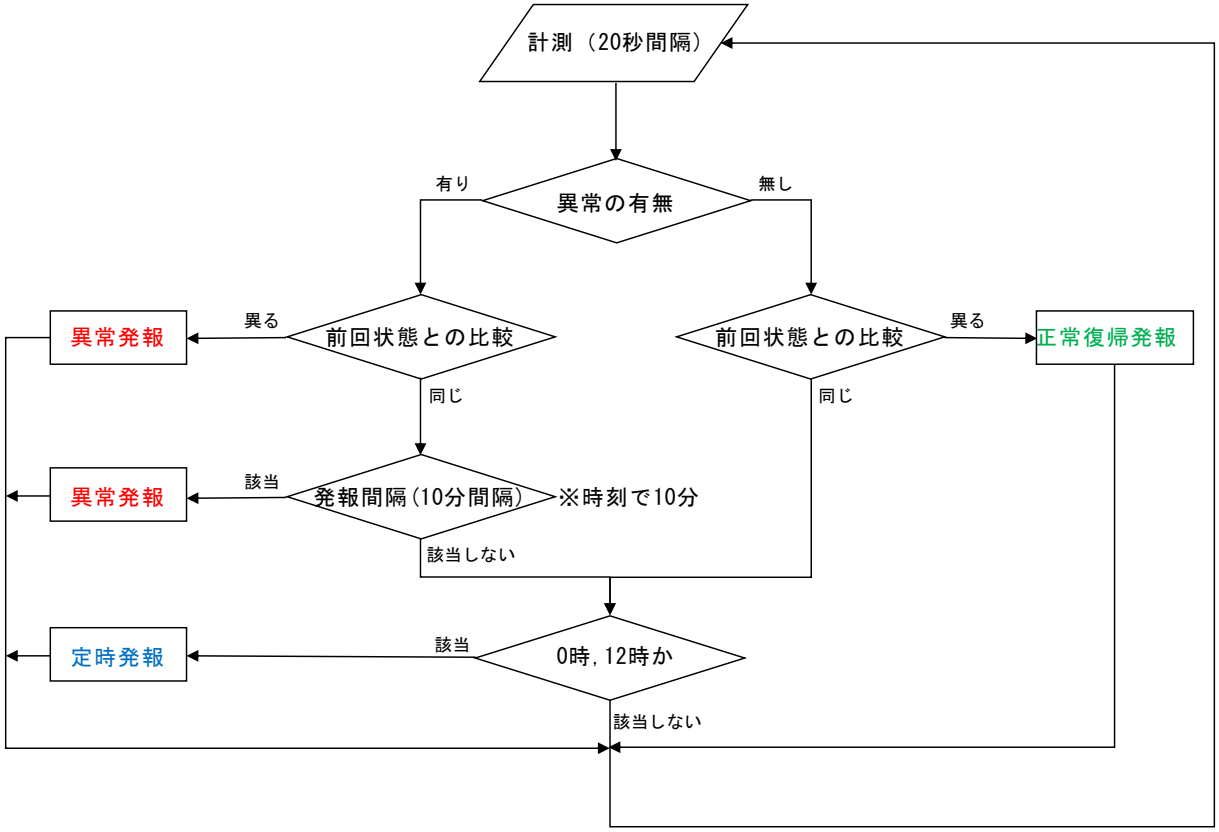


図 3-37　監視局プログラムフロー

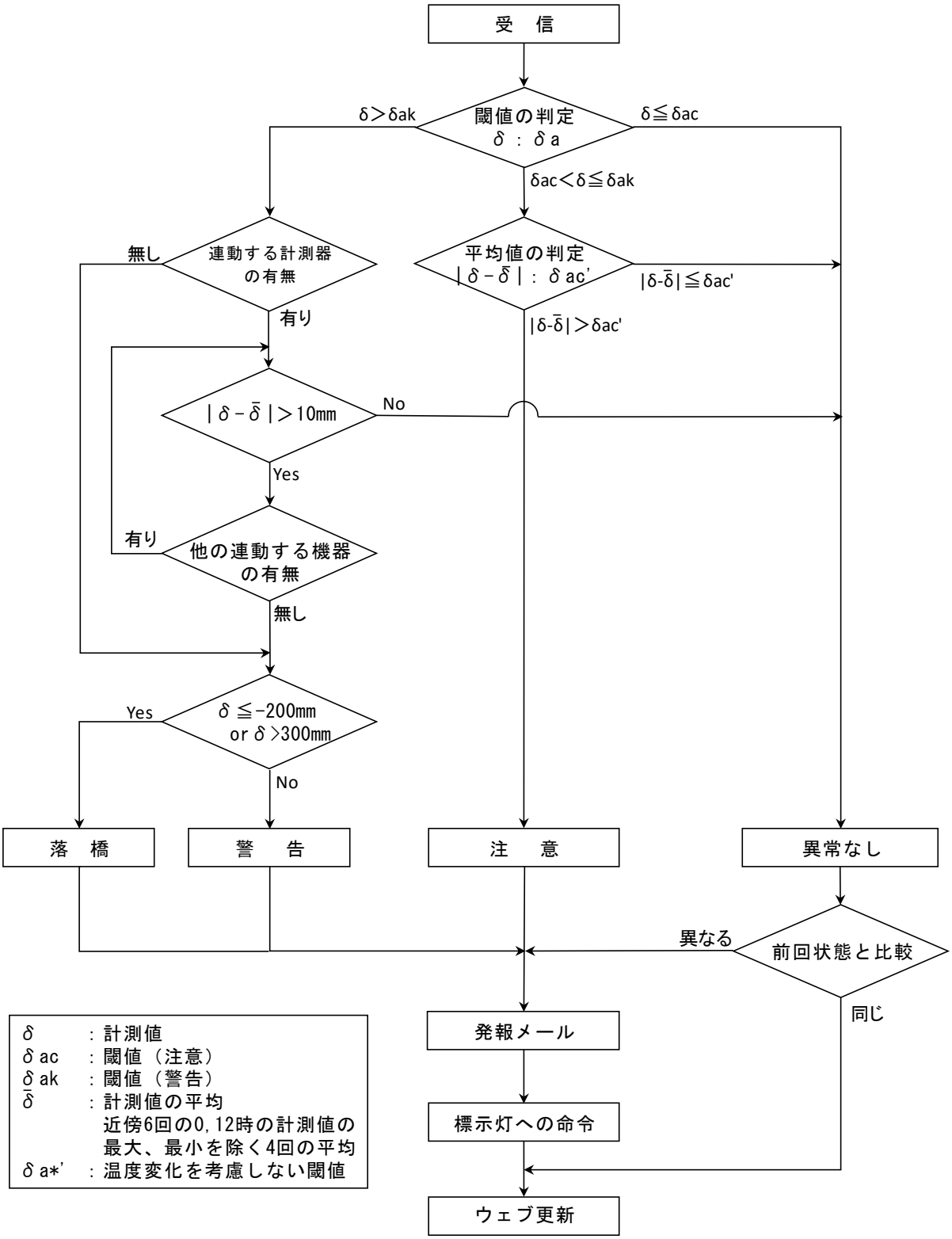


図 3-38　閾値およびシステムプログラムフロー

（7）使用機器

使用機器例を下記に示す。

表 3-9　使用機器一覧表（参考）

項目	名称	仕様
観測機器 （桁端部）	大容量ワイヤ式変位計	可変抵抗式， 0～1000mm=0～10KΩ， ケーブル長20m
	3方向同時取付架台	SUS304製
観測機器 （背面盛土）	大容量ワイヤ式変位計	可変抵抗式， 0-1000mm=0-10KΩ， ケーブル長20m
監視局 （子局）	CPU基板	ADC10bit以上， アナログ入力6ch以上， 外部電源制御2ch以上
	省電力無線機	2.4GHz帯
	無線機用アンテナ	
	有線通信機	RS-485双方向通信
	AC/DCコンバータ	DC12V2A
	停電検知回路	AC100V遮断検知
	密閉型鉛蓄電池	DC12V30Ah
	蓄電池充電器	トリクル充電式
	防水コネクタ	IP65以上
	防水筐体	IP65以上
監視局 （親局）	CPU基板	ADC10bit以上， アナログ入力6ch以上， 外部電源制御2ch以上
	省電力無線機	2.4GHz帯
	無線機用アンテナ	
	回転灯(黄色)	閃光XXLx以上
	3G無線機	NTTDoCoMoFOMA用
	3G無線機用アンテナ	
	有線通信機	RS-485双方向通信
	GPS受信機	
	AC/DCコンバータ	DC12V2A
	停電検知回路	AC100V遮断検知
	密閉型鉛蓄電池	DC12V30Ah
	蓄電池充電器	トリクル充電式
	防水コネクタ	IP65以上
	防水筐体	IP65以上

（8）システム配線図

監視局配線図

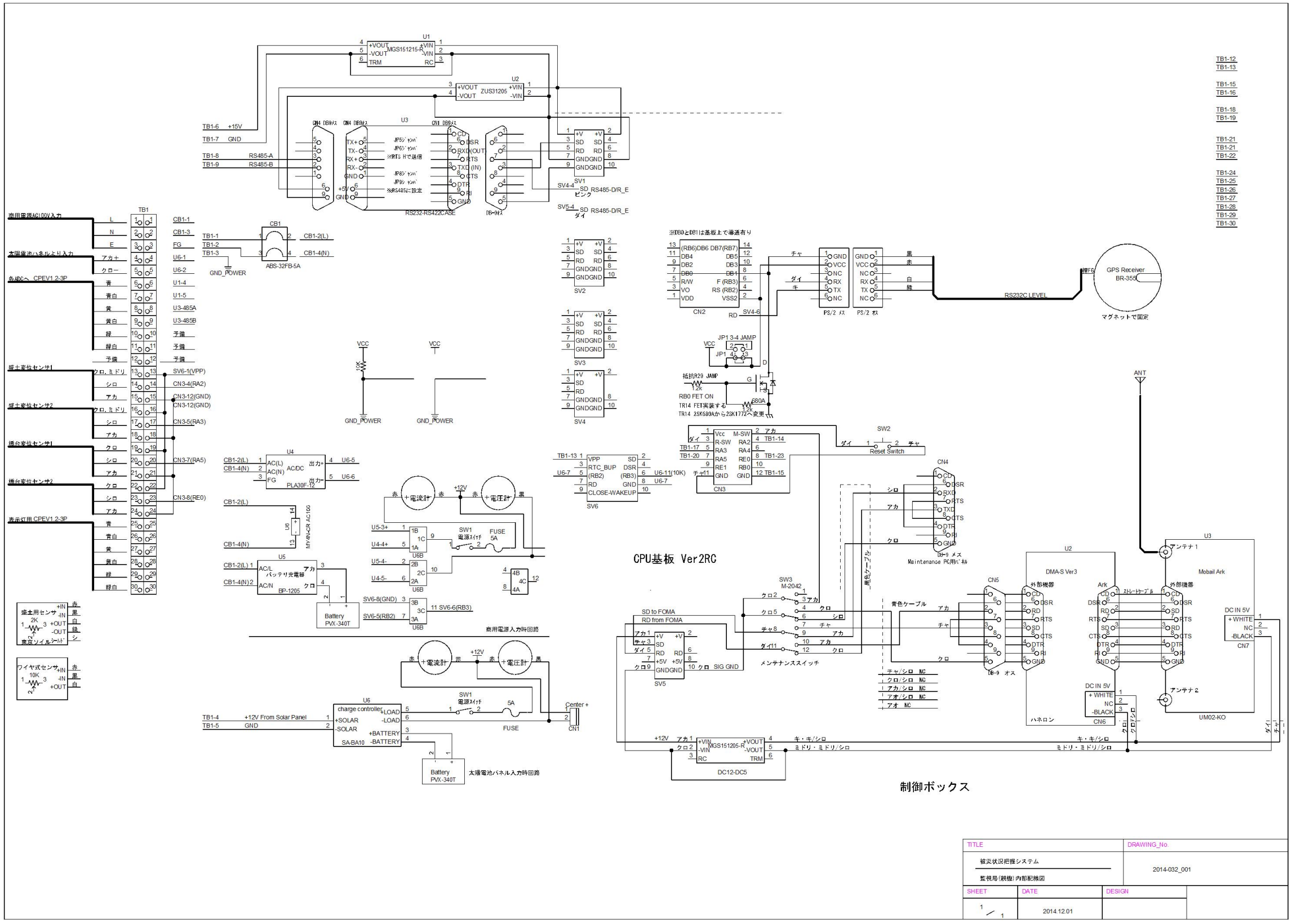


図 3-39　監視局配線図

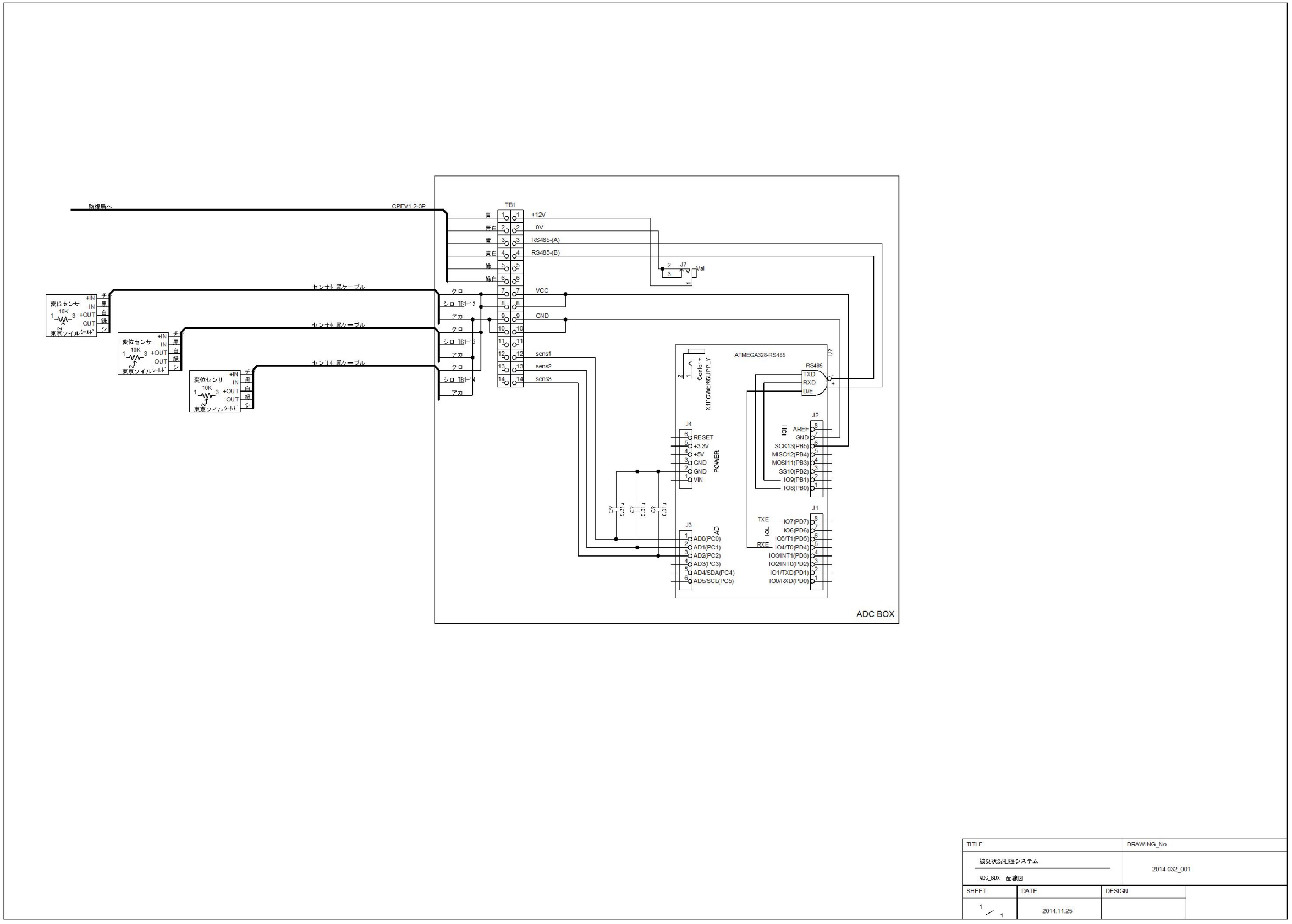


図 3-40　ADCBOX 配線図

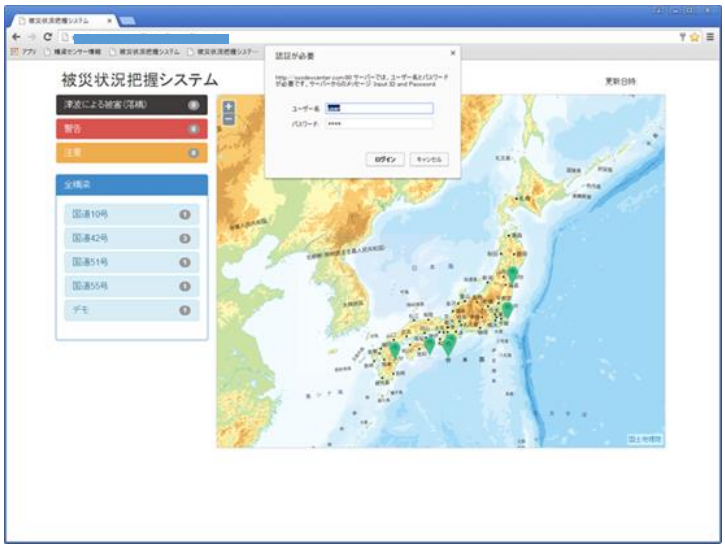
3－6. 被災状況把握システム　操作マニュアル

計測対象を含む橋梁の地図を表示し、計測データが閾値を超えていた場合、津波による被害（落橋）・警告・注意の３段階に分け、計測対象橋梁位置を地図上に位置させ、その表示フラグ色を変化させて表現する。

全橋梁のリストを表示する機能を付加している。リストから平面図へのリンク機能があることから手早く周辺状況の把握が行うことができ、橋梁のマーカーをクリックすることで計測値（詳細情報）を確認することができる。

（1）アクセス方法

当該アドレスにインターネットブラウザでアクセスすれば、下図の画面が表示される。



認証要求があります。以下の通り入力しログインする。

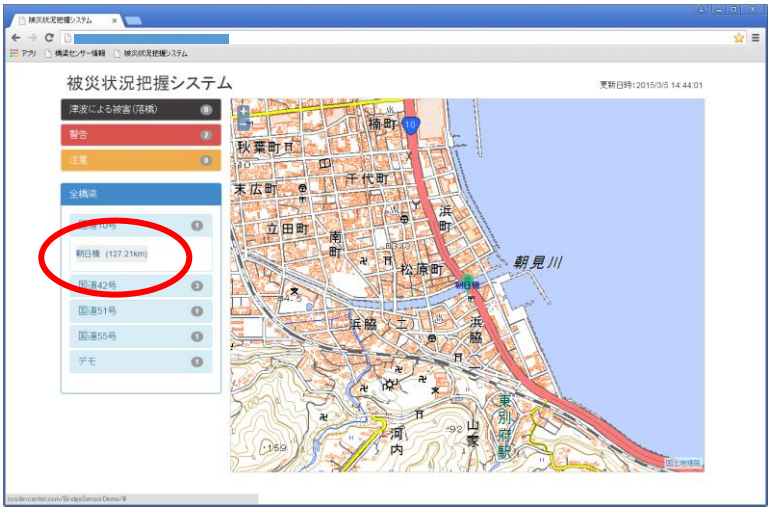
ユーザー名：****

パスワード：****

（2）基本操作

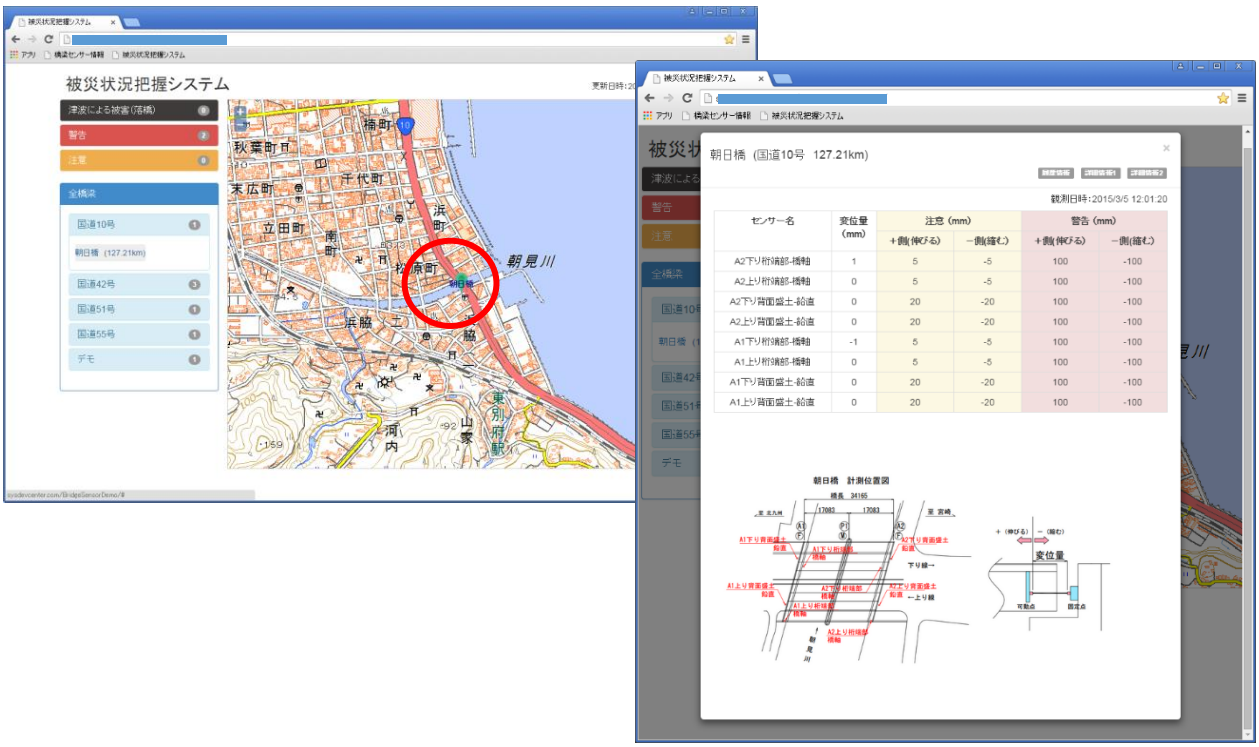
地図上でホイールを回転させれば、地図が拡大され橋梁名も表示される。

また、左の橋梁名をクリックすれば対象橋梁までジャンプする



（3）計測値の確認

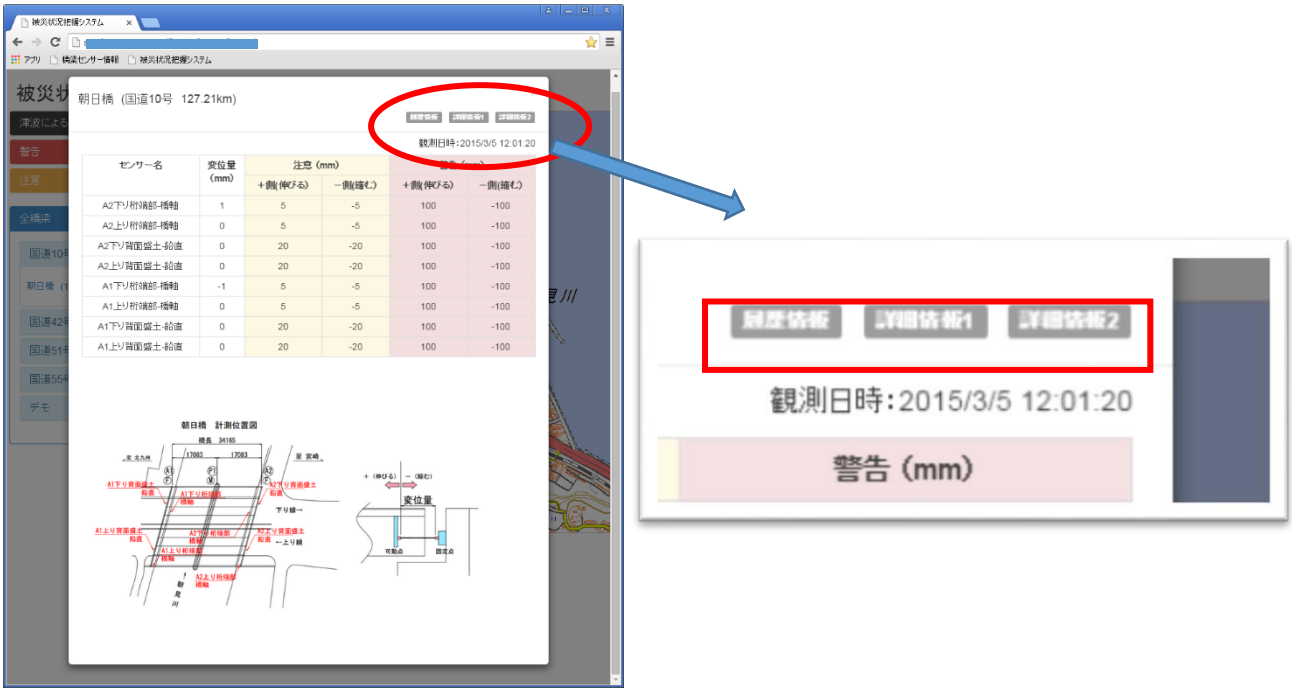
地図上の橋梁のアイコンをクリックすれば計測値情報が表示される。



（4）履歴情報および詳細情報機能

「計測値情報」画面の右上に「履歴情報」、「詳細情報１」「詳細情報 2」がある。

「履歴情報」、「詳細情報１」「詳細情報 2」をクリックすることで計測履歴、一般図、橋梁台帳などが閲覧できる。

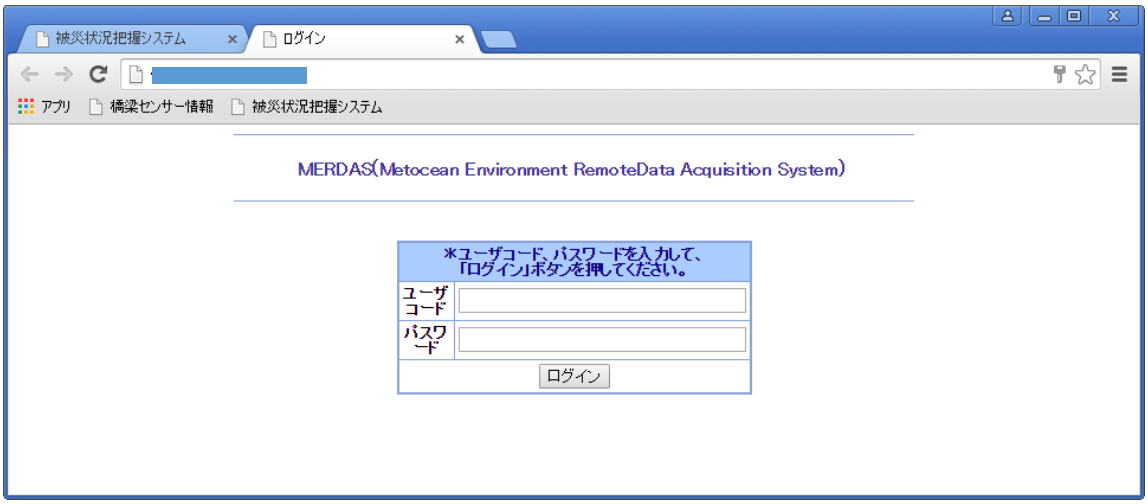


（5）履歴情報の使用方法

1）ログイン

履歴情報をクリックすると以下の画面が現れる

必要に応じ、ユーザーコード、パスワードを入力する。

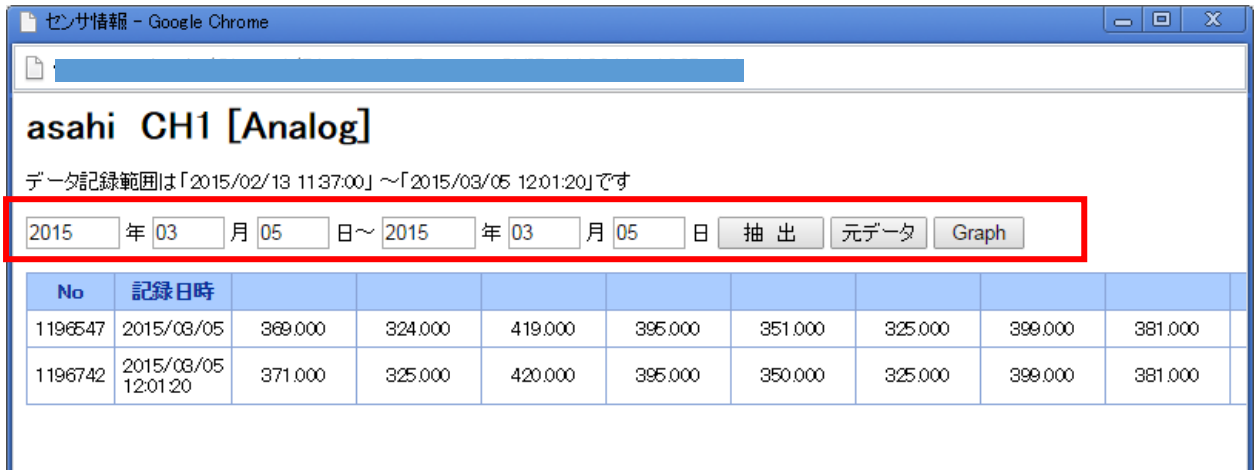


2）センサ情報の表示画面

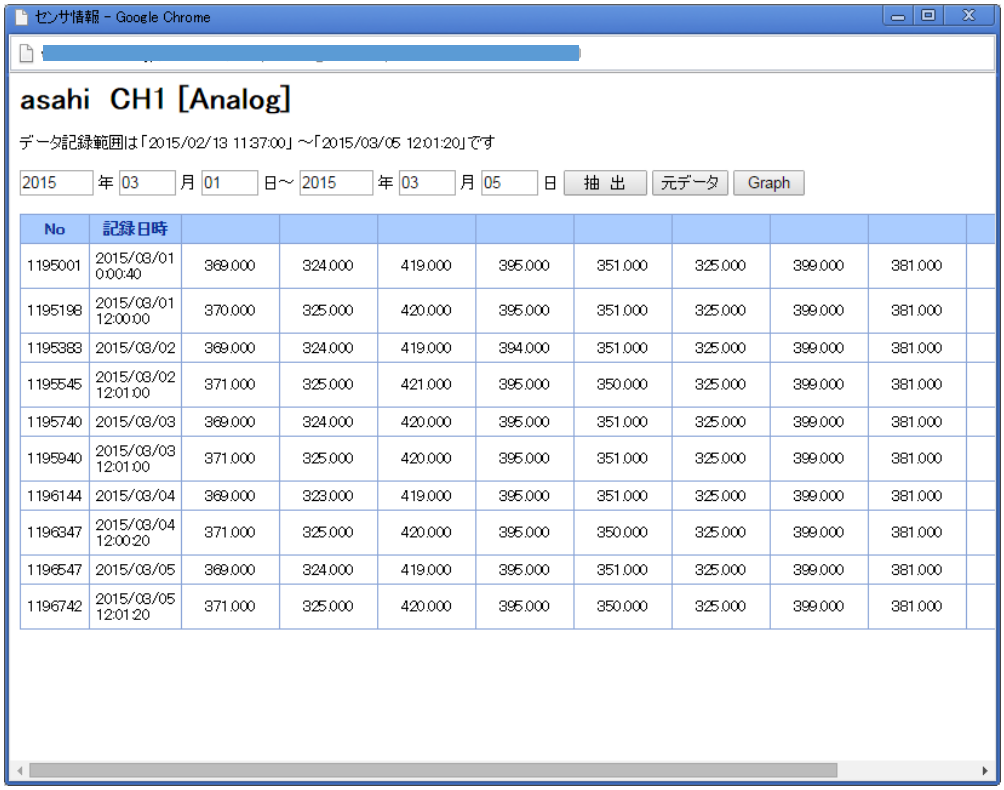
センサのデータを表示する。

3）データ範囲、表示データの選択

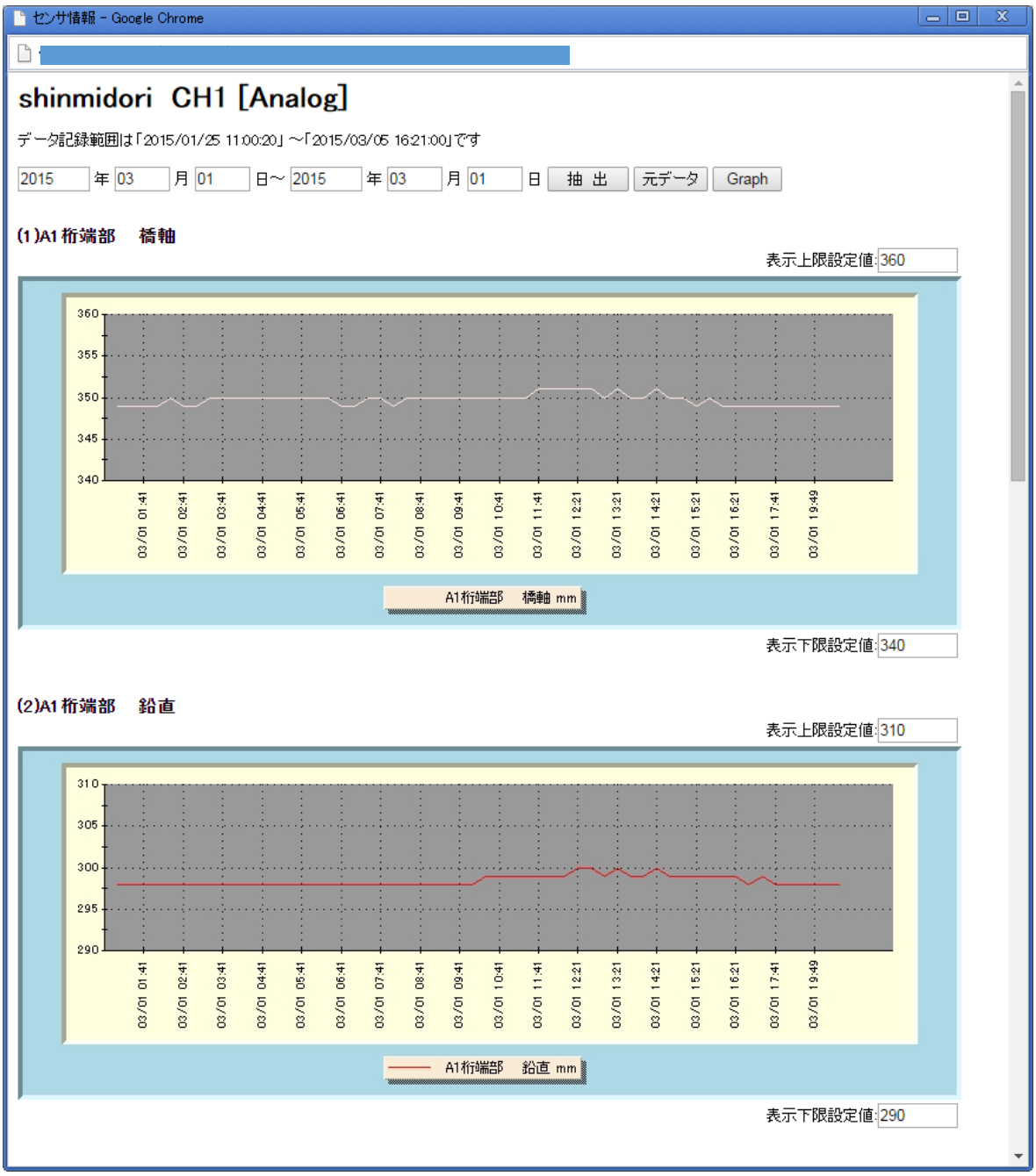
データ範囲を入力し、データを閲覧する場合は「抽出」、グラフを閲覧したい場合は「Graph」をクリックする



データを閲覧する場合は「抽出」



グラフを閲覧したい場合は「Graph」

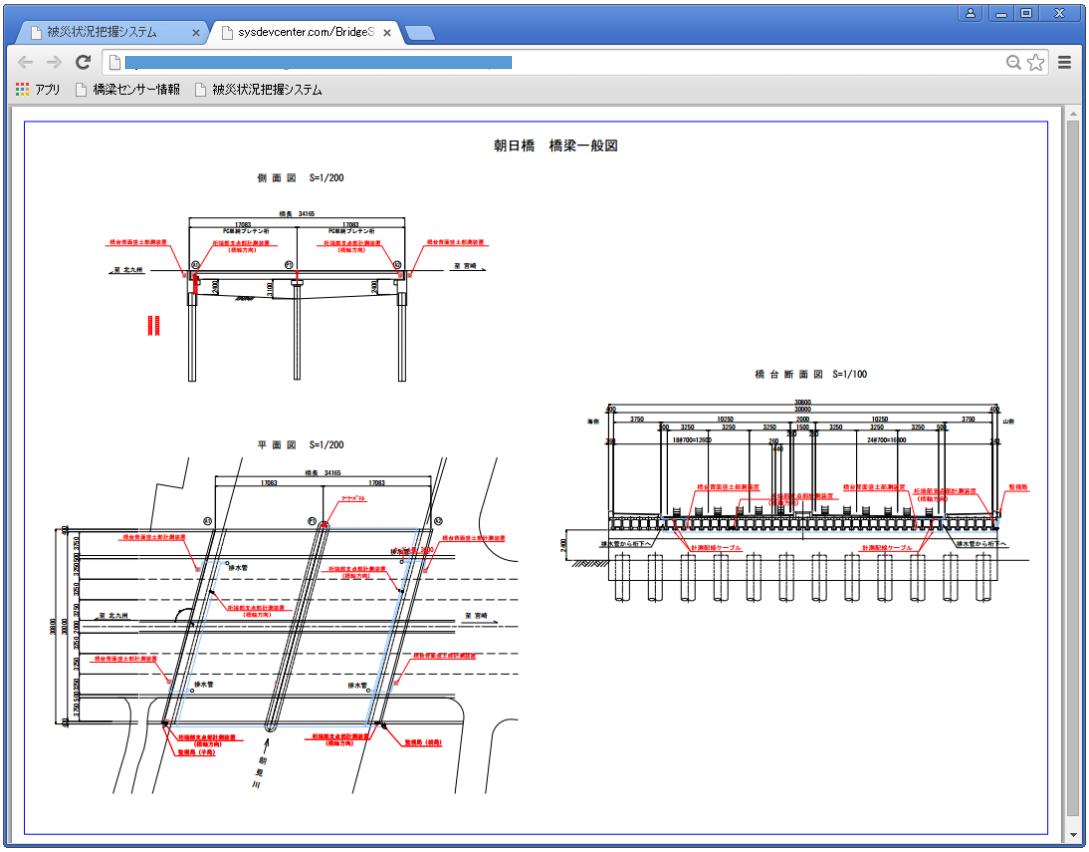


※表示上限設定値、表示下限設定値を入力したら、再度「Graph」をクリック

（2）詳細情報の使用方法

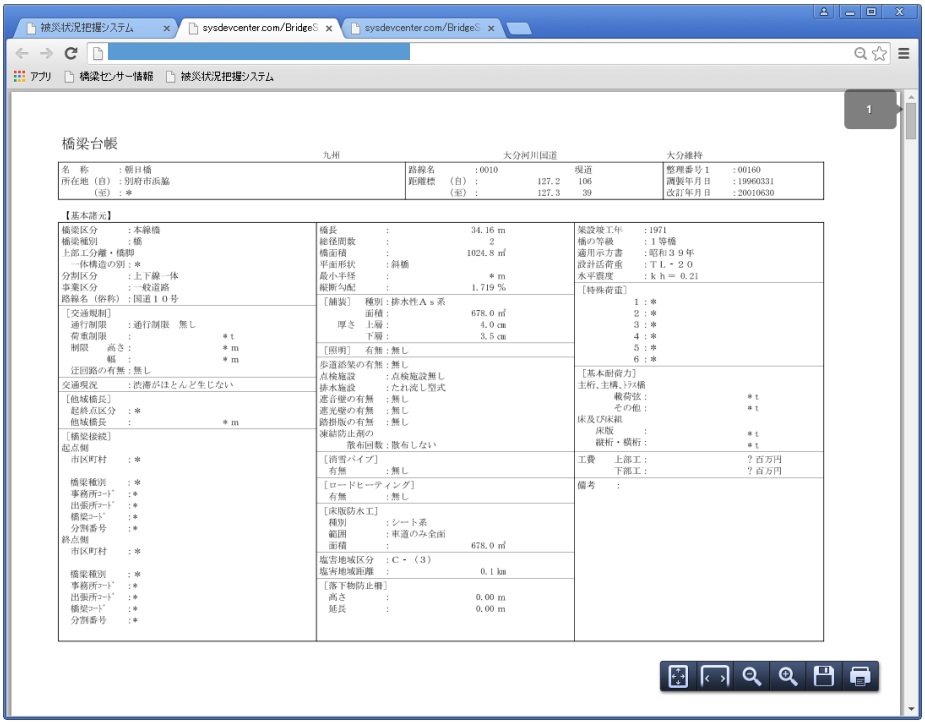
1）詳細情報 1

クリックすると以下の画面が現れる（一般図）



2）詳細情報 2

クリックすると以下の画面が現れる（橋梁台帳）



道路橋地震被災状況把握システム設置事例集

目　　次

1-1. はじめに ····· 133
1-2. 神宮橋 ····· 135
1-3. 新緑橋 ····· 144
1-4. 古座大橋 ····· 153
1-5. 海部大橋 ····· 163
1-6. 朝日橋 ····· 168

1-1 はじめに

道路の耐震対策は、地震前の個々の道路構造物への耐震補強とともに、道路啓開・応急復旧等の発災後の的確な災害対応が主要な施策であり、発災後の的確な災害対応のためには、通行障害を正確かつ迅速に把握する必要があり、試行フィールド（5 事務所×１橋）に被災状況把握システムを設置した。

被災状況把握システムの設置にあたっては対象構造物の規模や構造、施工性等を踏まえ設置計画を策定する。そこで、本資料は計画資料（全体計画、配置計画など）、設置概要および設置状況写真を橋梁ごとに整理し設置事例集として取りまとめた。

【試行フィールドの実橋梁】

1．関東地方整備局　常陸河川国道事務所　神宮橋（茨城県）
2．中部地方整備局　紀勢国道事務所　　新緑橋（三重県）
3．近畿地方整備局　紀南河川国道事務所　古座大橋（和歌山県）
4．四国地方整備局　徳島河川国道事務所　海部大橋（徳島県）
5．九州地方整備局　大分河川国道事務所　朝日橋（大分県）

設置内容一覧

			関東地方整備局		中部地方整備局		近畿地方整備局		四国地方整備局		九州地方整備局	
			茨城県		三重県		和歌山県		徳島線		大分県	
			神宮橋		新緑橋		古座大橋		海部大橋		朝日橋	
橋　長(m)			950.000		90.000		324.000		329.040		34.165	
斜　角(°)			90		70		A1:76　,　A2:90		66		75	
橋台背面の傾斜(°)			5		鉛直		鉛直		5		5	
センサー	背面部	個	－	－	2	A1・A2(鉛直)	－	－	2	A1・A2(鉛直)	4	A1・A2(鉛直)×2
	桁端部	個	4	A1・A2(橋軸)	4	A1・A2(鉛直・橋軸)	2	A1・A2(橋軸)	2	A1・A2(橋軸)	4	A1・A2(橋軸)×2
	橋梁部	個	12	P15,P19,P37,P42,P48,P50,P52,P55,P58,P73(橋軸) P48,P50(鉛直×2)	－	－	8	P2・P4(橋軸) P5・P6(鉛直・橋軸・直角)	4	P1・P3・P5・P7(橋軸)	－	－
電源	種　別		商用電源		太陽電池		商用電源		商用電源		太陽電池	
	供給方法		橋台付近のコンセント (A1, A2)		翼壁天端に設置 ソーラーパネル		A1:近隣分電盤から A2:隣接引込柱から		A2橋台(高知側)から引込		ソーラーパネル (橋脚上に設置)	
データ伝播方法			有線(無線実験を実施)		無線		有線		有線		有線	
計測配線	ケーブル範囲		A1～A2		なし		A1～P5(山側), A2～P6(山側)		A2～A1(山側)		A1海～A1山～A2山 A2海～A2山	
	設置位置		地覆部側面		なし		・既設ケーブルラックに追加(電防部) ・地覆部(電防部以外)		地覆部上面		地覆部上面 橋台前面	
監視局設置位置		親局	A1橋台　橋座		A1:橋台　翼壁側面(山側)(和歌山)		A1橋台　翼壁側面(山側) A2橋台　翼壁側面(山側)		A2橋台橋座(高知側)		A2橋台　山側上り線の 背面スペース	
		子局	A2橋台　橋座		A2:橋台　翼壁側面(山側)(浜松)		－		－		A1橋台　山側上り線の 橋座	
施工(設置)方法・手段			点検車		点検車・梯子		足場、点検車		梯子		梯子・簡易足場	
オプション設置(回転灯・表示板 検査路)			設置する(回転灯・表示板)		設置する(回転灯・表示板)		設置しない		設置しない		設置しない	
関係協議			河川・(警察)		(警察)		漁協・(警察)		河川・漁協・(警察)		河川・(警察)	
その他環境条件			モニタリングあり 電源あり		橋台部は河川区域でない		桁の電気防食あり 足場あり		配線は歩道側から設置 (歩行者用に交通保安員1名)		干潮区域であるため施工時間に制約がある	

1-2 神宮橋（関東地方整備局　常陸河川国道事務所　茨城県）

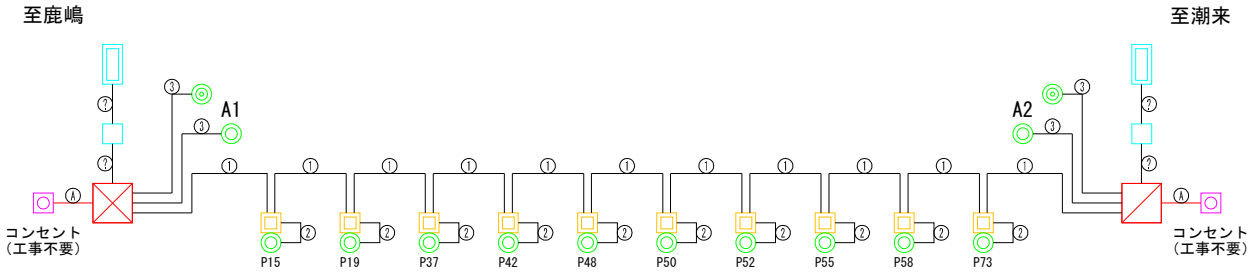
（1）　全体計画

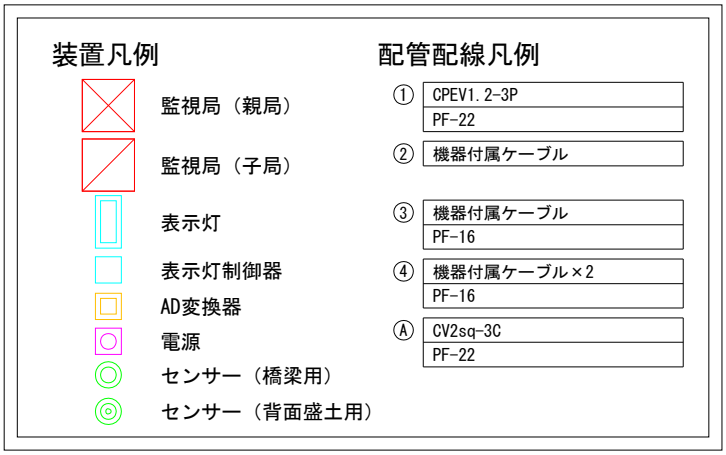
被災状況把握システムの計測装置の設置に際し、現地確認、既存資料等、関係協議からの事前調査一覧表の内容を決定する必要がある。

表 1-2-1　事前調査一覧表

確認項目	現地確認	資料収集	適用
（1）橋梁形式	○	○	PC 単純プレテンＴ桁橋（76 連）
（2）橋梁下面	○	○	
（3）地覆 （配線の取り回し可・不可）	○	○	地覆部の側面を削孔したところ、コンクリート強度が低くアンカーがきかない状況である
（4）高欄形式・形状	○	○	鋼製高欄
（5）交差点形状および位置	○	○	右岸側に堤防道路の交差点
（6）規制の可否	○	○	昼間のみ、片側交互通常可能
（7）監視局設置位置	○	○	A1：CCTV 支柱 A2：CCTV 支柱
（8）センサ設置位置			A1,A2：落橋防止ブロックと桁（橋軸・鉛直） 橋脚：Ｔ桁の下フランジ側面
（9）電源供給	○	○	既設のモニタリング用の電源あり
（10）配線方法	○	○	下流側の地覆に設置
（11）添架状況	○	－	歩道に別途モニタリングの管路
（12）施工方法	○	－	橋梁点検車による設置（橋梁補強工事で足場設置されている個所は足場を利用）
（13）現況埋設物	○	－	なし
（14）橋梁補修工事	○	－	耐震補強工事中
（15）その他	○	－	下部工ひび割れに対するモニタリング実施中

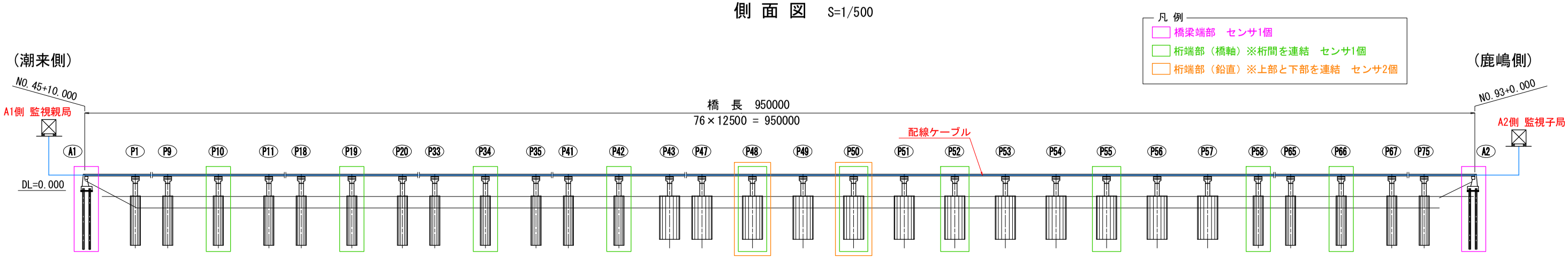
神宮橋全体計画　配線系統図





神宮橋　計測装置配置図　S=1/10

側 面 図　S=1/500



A1側 表示灯

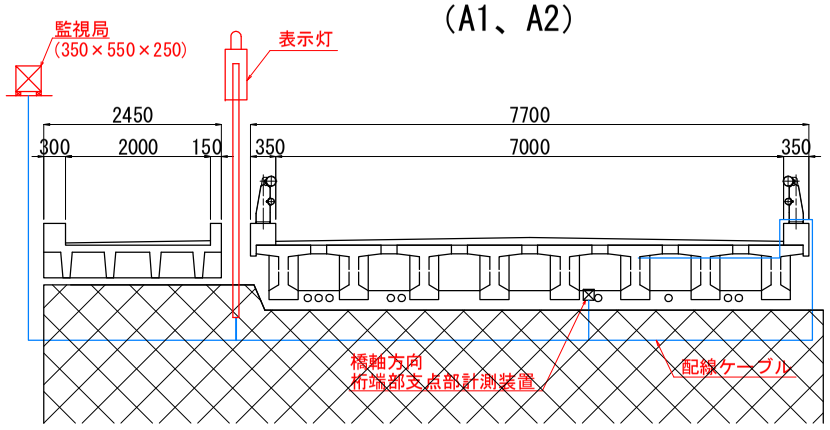
A1側 監視局(350×550×250)

配線ケーブル

A2側 監視局(350×550×250)

A2側 表示灯

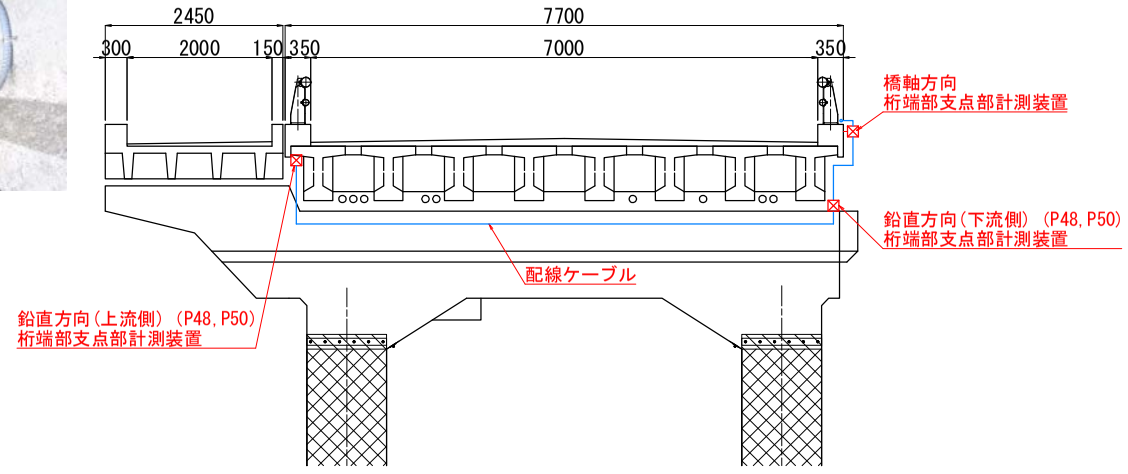
橋台部断面図　S=1/50
（A1、A2）



橋台部 橋軸方向　桁端部支点部計測装置

橋脚部 鉛直方向　桁端部支点部計測装置(上流側)

橋脚部断面図　S=1/50
（P10, 19, 34, 42, 48, 50, 52, 55, 58, 66）



設置橋脚	センサ数	設置箇所	設置理由
A1	1	桁端部(橋軸)	・橋軸方向のズレ、地震による落橋確認
P10	1	桁端部(橋軸)	・液状化層、1段横梁部の橋脚が高い箇所
P19	1	桁端部(橋軸)	・地盤変化橋脚
P34	1	桁端部(橋軸)	・沈下量多大の橋脚
P42	1	桁端部(橋軸)	・基礎断面変化箇所(P43以降は太い断面)
P48	3	桁端部(橋軸、鉛直)	・P47～P49がひび割れ進展あり、その中間橋脚
P50	3	桁端部(橋軸、鉛直)	・P51～P54が下部工の損傷が著しいため　※既設モニタリング橋脚の隣
P52	1	桁端部(橋軸)	・P51～P54が下部工の損傷が著しいため　※既設モニタリング橋脚の隣
P55	1	桁端部(橋軸)	・P51～P54が下部工の損傷が著しいため　※既設モニタリング橋脚の隣
P58	1	桁端部(橋軸)	・基礎断面変化箇所(P57以前は太い断面)
P66	1	桁端部(橋軸)	・1段横梁部の橋脚が高い箇所
A2	1	桁端部(橋軸)	・橋軸方向のズレ、地震による落橋確認
合計	16		

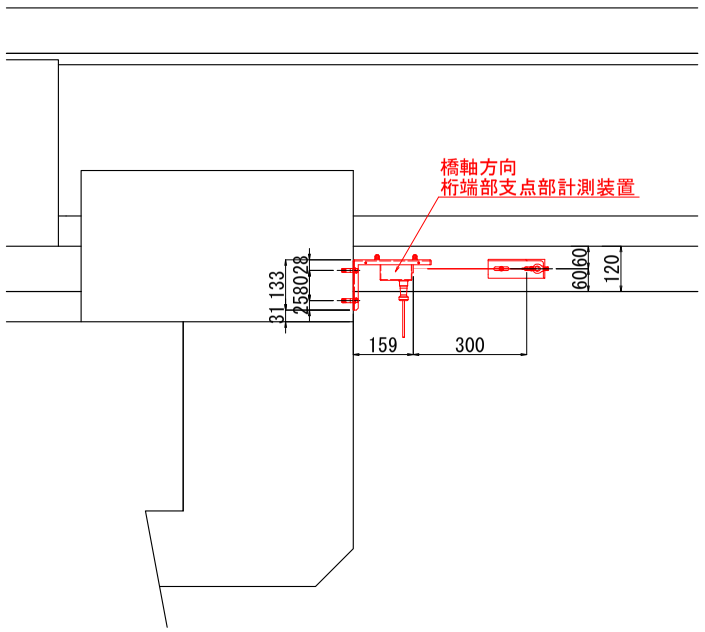
橋脚部 橋軸方向　桁端部支点部計測装置

橋脚部 鉛直方向　桁端部支点部計測装置(下流側)

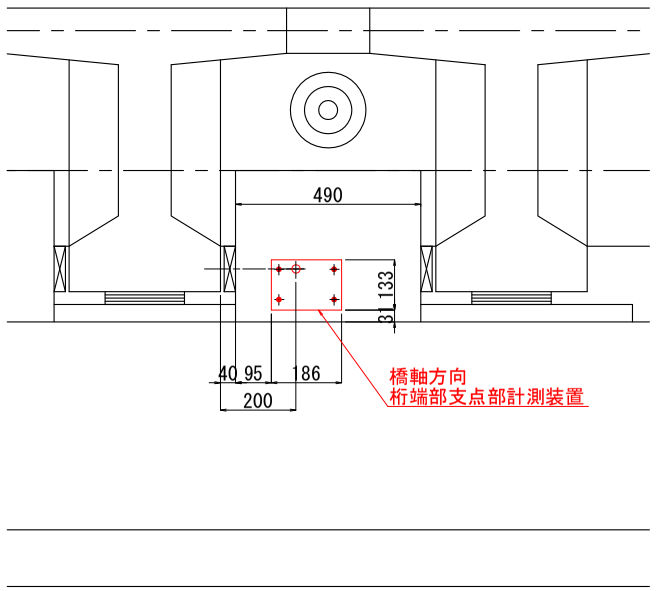
神宮橋桁端計測器詳細設置図　S=1/10

橋台部断面図

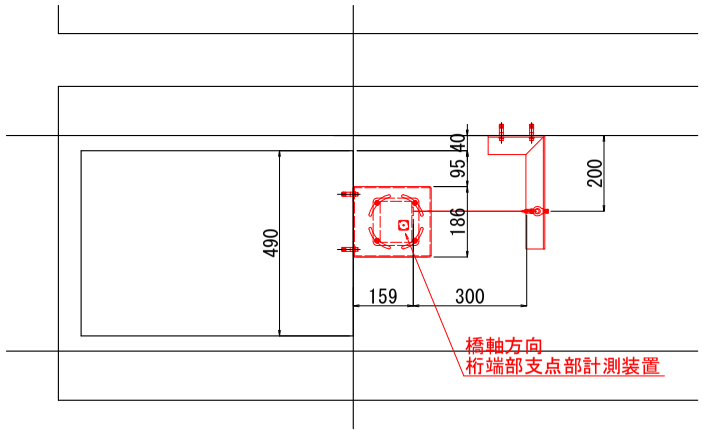
側 面 図



断 面 図



平 面 図

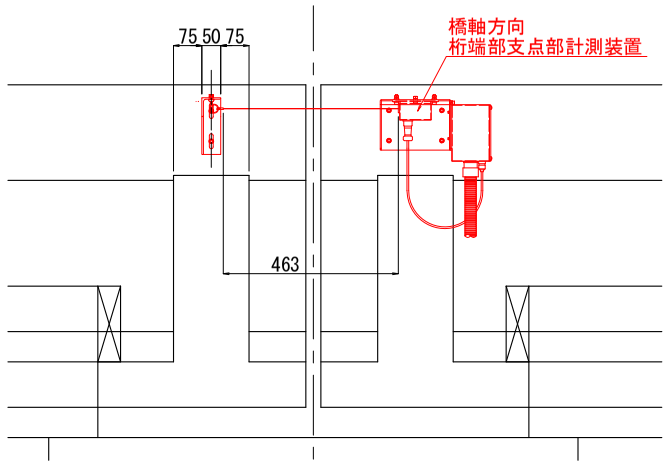


橋台部 橋軸方向　桁端部支点部計測装置

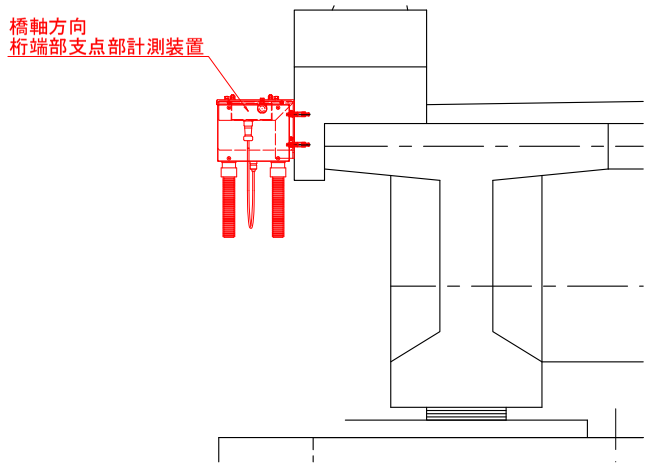
橋脚部断面図

橋軸方向 桁端部支点部計測装置

側 面 図

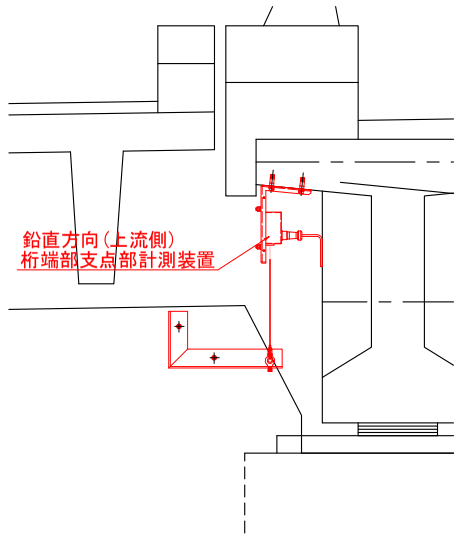


断 面 図

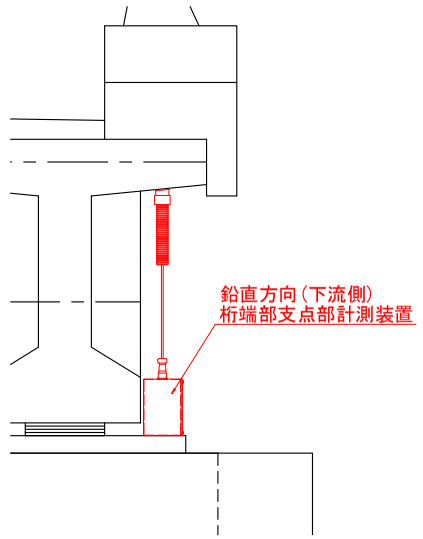


鉛直方向 桁端部支点部計測装置

断 面 図



断 面 図

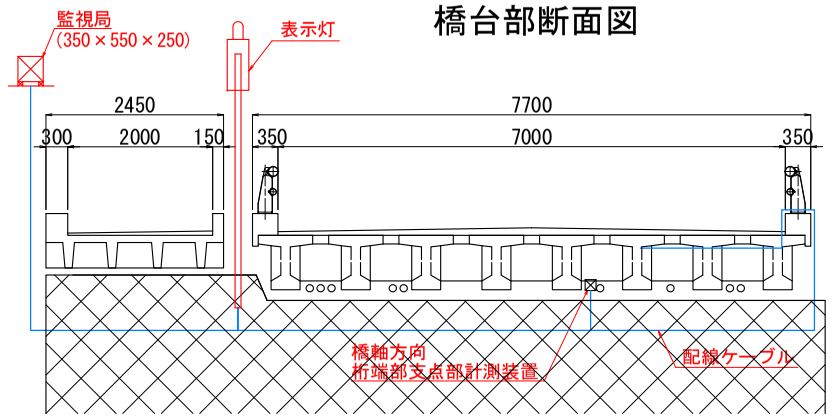


橋脚部 橋軸方向　桁端部支点部計測装置

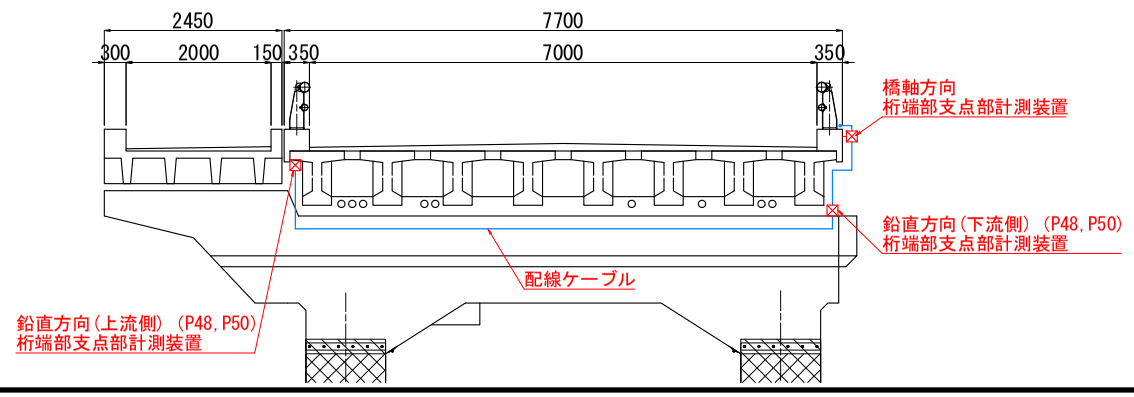
橋脚部 鉛直方向　桁端部支点部計測装置(上流側)

橋脚部 鉛直方向　桁端部支点部計測装置(下流側)

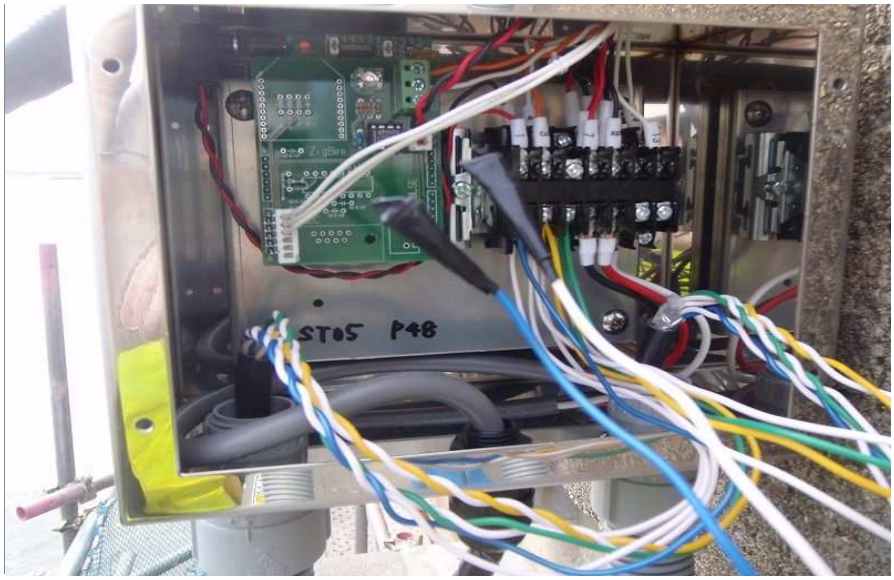
橋台部断面図



橋脚部断面図



No.	1
種別	センサー
備　　考	
橋軸方向桁間センサー （P34）	



No.	2
種別	センサー
備　　考	
橋軸方向桁間センサー内部配線 （P48）	

No.	3
種別	センサー
備　　考	
橋軸方向桁間センサー(P55)	

No.	4
種別	センサー
備　　考	
橋軸方向桁間センサー(P58)	

No.	5
種別	センサー
備　　考	
既設電源	

No.	6
種別	センサー
備　　考	
上流側（歩道側）鉛直センサー	

No.	7
種別	センサー
備　　考	
上流側（歩道側）鉛直センサー	

No.	8
種別	センサー
備　　考	
変位制限装置と主桁の連結	

No.	9
種別	A2監視局
備　　考	
監視局内部	

No.	10
種別	A2監視局
備　　考	
監視局外部	

No.	11
種別	鹿島側標示装置
備　　考	
標示灯	

No.	12
種別	鹿島側標示装置
備　　考	

No.	13
種別	潮来側表示装置
備　　考	
潮来側表示装置	

No.	14
種別	潮来側表示装置
備　　考	
橋台パラペットに定着	

1-3　新緑橋（中部地方整備局　紀勢国道事務所　三重県）

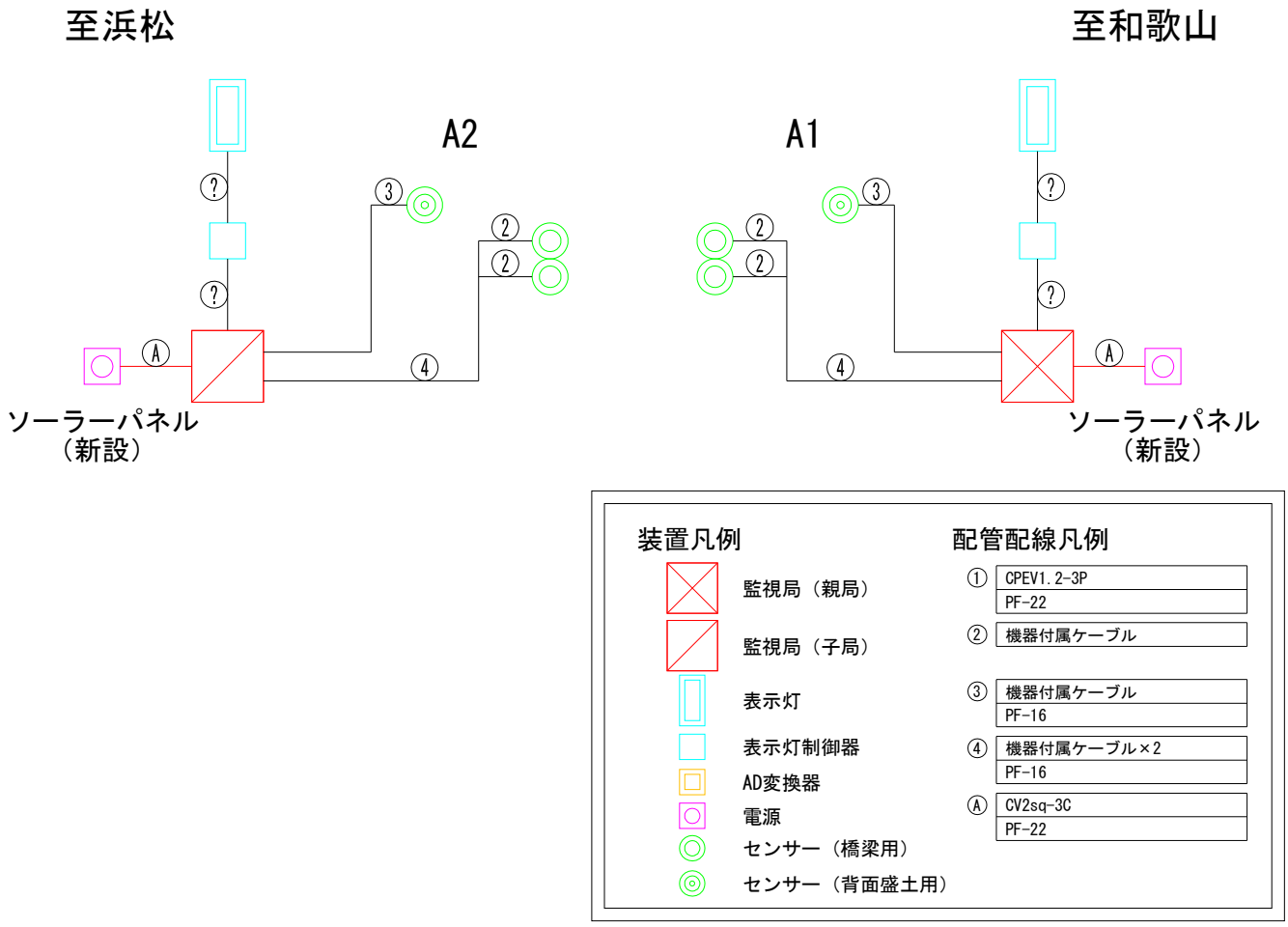
（1）　全体計画

被災状況把握システムの計測装置の設置に際し、現地確認、既存資料等、関係協議からの事前調査一覧表の内容を決定する必要がある。

表 1-3-1　事前調査一覧表

確認項目	現地確認	資料収集	適用
（1）橋梁形式	○	○	鋼２径間連続非合成鈑桁
（2）橋梁下面	○	○	
（3）地覆 （配線の取り回し可・不可）	○	○	壁高欄があるため、壁高欄を跨いで監視局まで配線を取回す必要がある。
（4）高欄形式・形状	○	○	壁高欄
（5）交差点形状および位置	○	○	隣接する交差点なし
（6）規制の可否	○		昼間のみ、片側交互通常可能
（7）監視局設置位置	○	○	A1：山側の翼壁側面（検査路の中） A2：山側の翼壁側面
（8）センサ設置位置			A1：張出床板下の桁端（橋軸・鉛直） A2：張出床板下の桁端（橋軸・鉛直）
（9）電源供給	○	○	近隣に商用電源がないため、太陽光パネルにより電源供給する。
（10）配線方法	○	○	太陽光パネルにより電源供給することから電源配線が不要なため、配線も不要となる無線通信が優位となる。よって構造物間の配線は行わない。
（11）添架状況	○	－	情報通信管路（海側）
（12）施工方法	○	－	センサー・監視局の設置に足場は不要 （ただし、検査路設置には橋梁点検車）
（13）現況埋設物	○	－	なし
（14）橋梁補修工事	○	－	なし
（15）その他	○	－	A1 側監視局の点検のため検査路を設置

新緑橋全体計画　配線系統図



新　緑　橋　橋梁一般図

A2 橋台背面盛土部測装置（鉛直方向沈下計測）

A2 桁端部支点部計測装置（鉛直・軸方２方向計測）

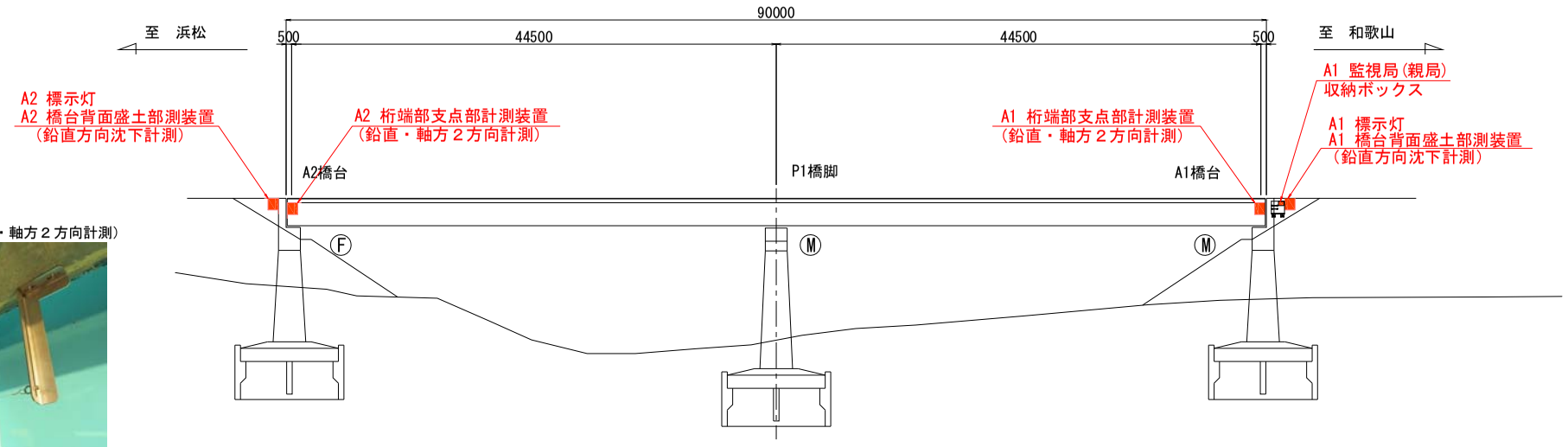
A2 桁端部支点部計測装置（鉛直・軸方２方向計測）

A2 太陽光パネル

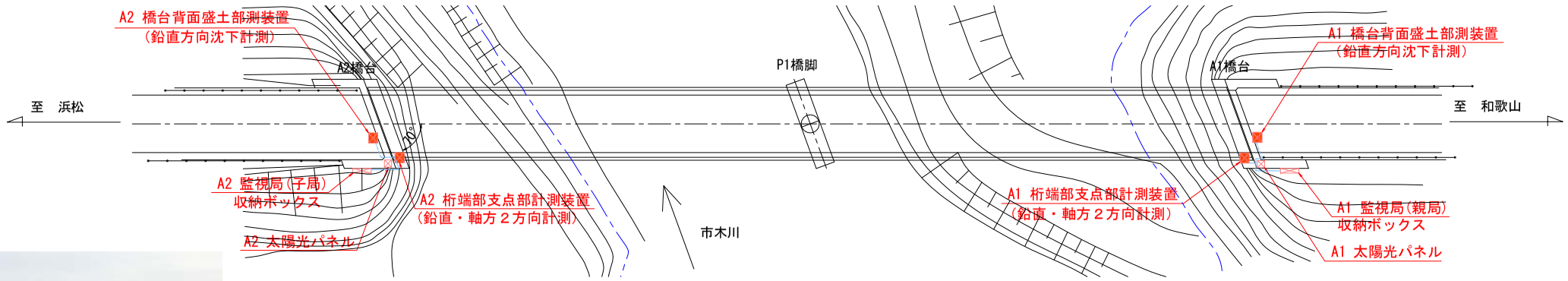
A2 路面復旧（床掘部）

A2 標示灯

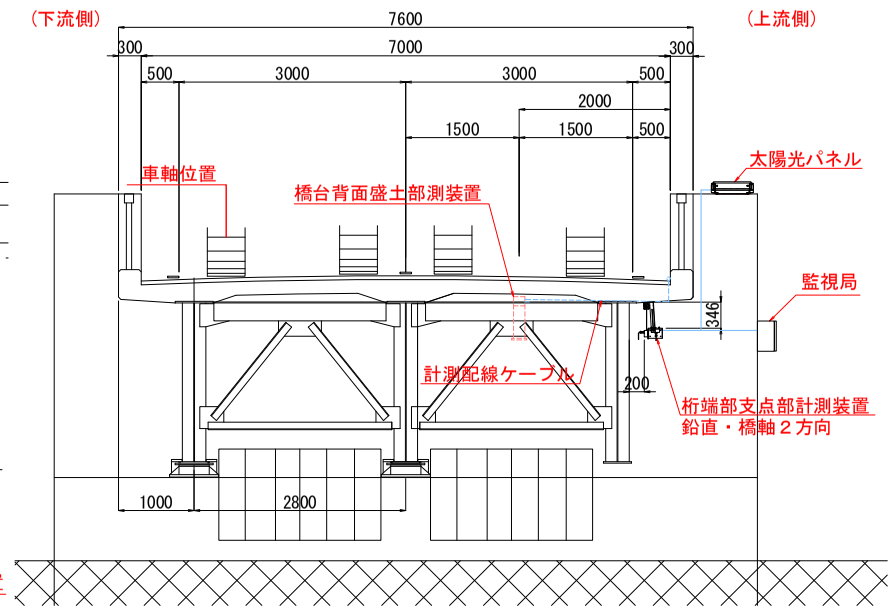
側 面 図 S=1/300



平 面 図 S=1/300

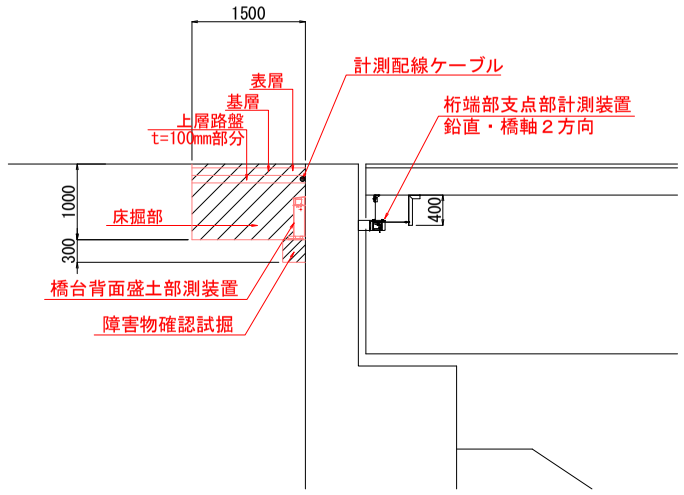


断 面 図



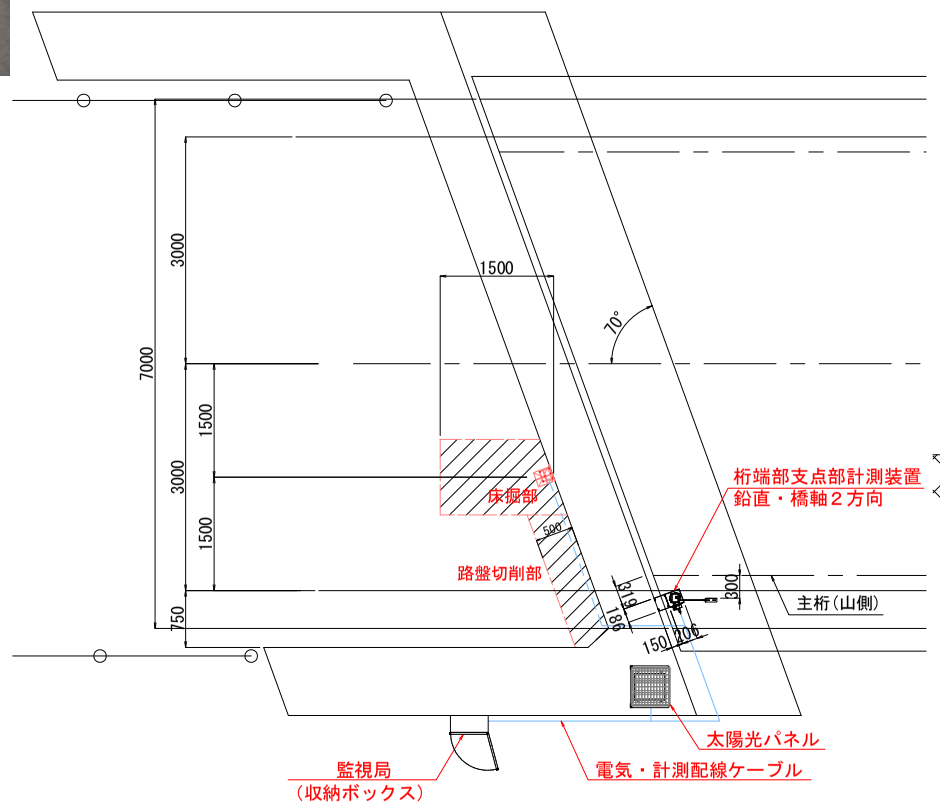
A1 標示灯

側 面 図



計測装置配置図 S=1/50

平 面 図



A1 橋台背面盛土部測装置（鉛直方向沈下計測）

A1 監視局(親局)収納ボックス

A1 桁端部支点部計測装置（鉛直・軸方２方向計測）

A1 桁端部支点部計測装置（鉛直・軸方２方向計測）

A1 太陽光パネル

A1 路面復旧（床掘部）

No.	1
種別	Ａ１橋台
備　　考	
A1橋台 橋軸方向センサー設置完了 全景	

No.	2
種別	センサー
備　　考	
A1橋台 橋軸方向センサー設置完了 側面	

No.	3
種別	ソーラーパネル
備　　考	
A1橋台 太陽パネル設置完了	

No.	4
種別	Ａ２橋台
備　　考	
A2橋台 橋軸方向センサー設置完了 全景	

No.	5
種別	ソーラーパネル
備　　考	
A2橋台 太陽パネル設置完了	

No.	6
種別	監視局
備　　考	
A2橋台 太陽パネル・監視局設置完了	

No.	7
種別	センサー
備　　考	
A2橋台 橋軸方向センサー設置完了 取付け部	

No.	8
種別	検査路
備　　考	
検査路　設置 設置・アンカー打設	

No.	9
種別	検査路
備　　考	
検査路　設置完了	

No.	10
種別	検査路
備　　考	
検査路　設置完了	

No.	11
種別	検査路
備　　考	
検査路　設置完了	

No.	12
種別	標示装置
備　　考	
標示灯　設置完了	

1-4　古座大橋（近畿地方整備局　紀南河川国道事務所　和歌山県）

（1）　全体計画

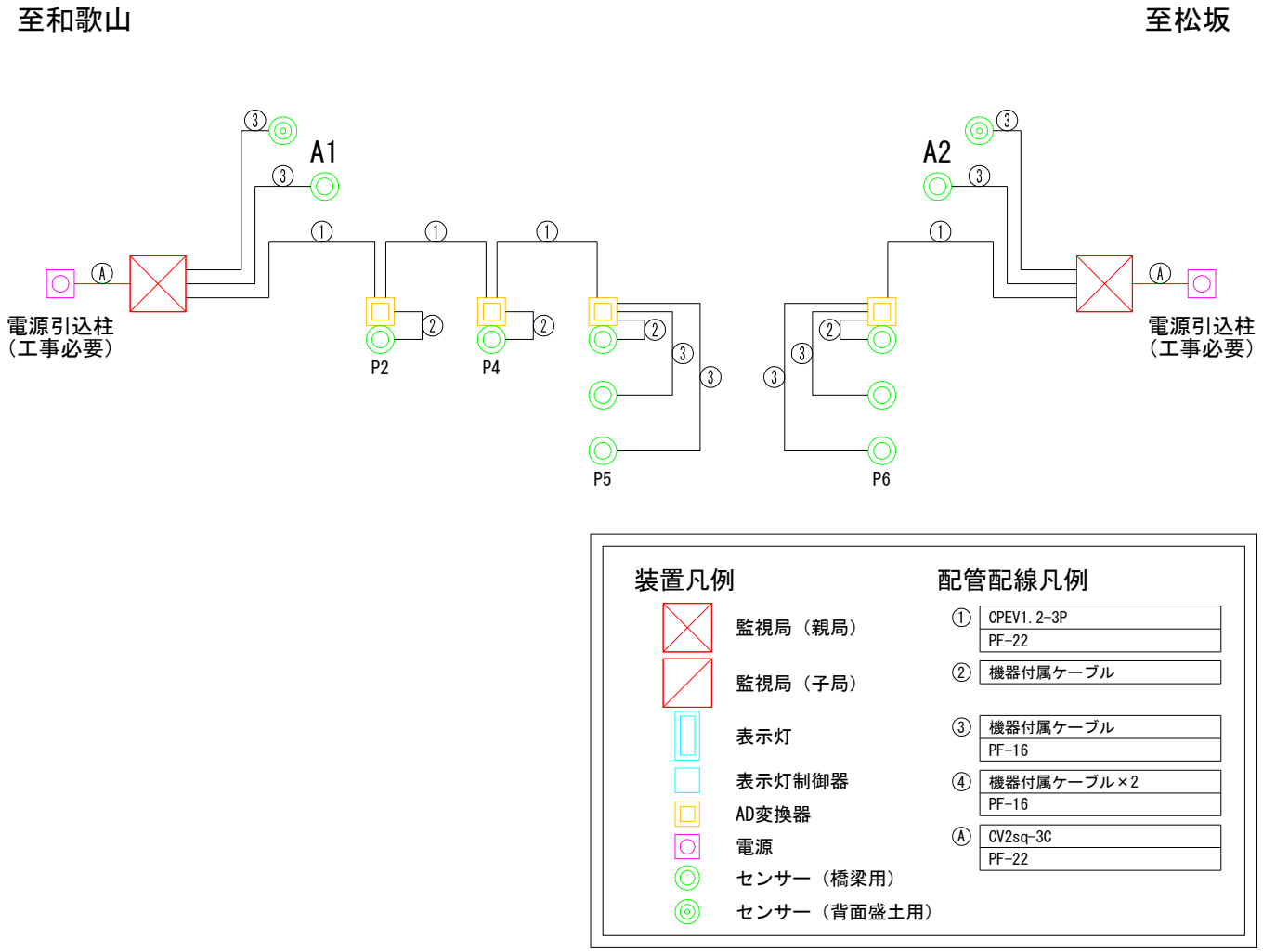
被災状況把握システムの計測装置の設置に際し、現地確認、既存資料等、関係協議からの事前調査一覧表をの内容を決定する必要がある。

表 1-4-1　事前調査一覧表

確認項目	現地確認	資料収集	適用
（1）橋梁形式	○	○	ＰＣ５径間単純Ｔ桁橋、 単純鋼ランガー桁、 RC４径間連続中空ｽﾗﾌﾞ
（2）橋梁下面	○	○	特に障害となるものなし
（3）地覆 （配線の取り回し可・不可）	○	○	特に問題なし。 （橋台背面センサーを設置できないため）
（4）高欄形式・形状	○	○	鋼製高欄
（5）交差点形状および位置	○	○	隣接する交差点なし
（6）規制の可否	○		昼間のみ、片側交互通常可能 （耐震補強工事で実施する規制に便乗）
（7）監視局設置位置	○	○	A1：山側の翼壁側面 A2：山側の翼壁側面
（8）センサ設置位置	○	○	A1・P2・P4：地覆外側（橋軸） P5・P6：横桁と橋座を連結 （橋軸・直角・鉛直） A2：張出床板下の桁端（橋軸）
（9）電源供給	○	○	A1：引き込み柱から（監視カメラなどが使用） A2：引き込み柱から（照明などが使用）
（10）配線方法	○	○	A1 側監視局：A1～P5 A2 側監視局：A2～P6
（11）添架状況	○	－	
（12）施工方法	○	－	A1～P4：耐震補強工事の足場に便乗 P4～P5：橋梁点検車 P6～A2：橋梁点検車・高所作業車
（13）現況埋設物	○	－	なし

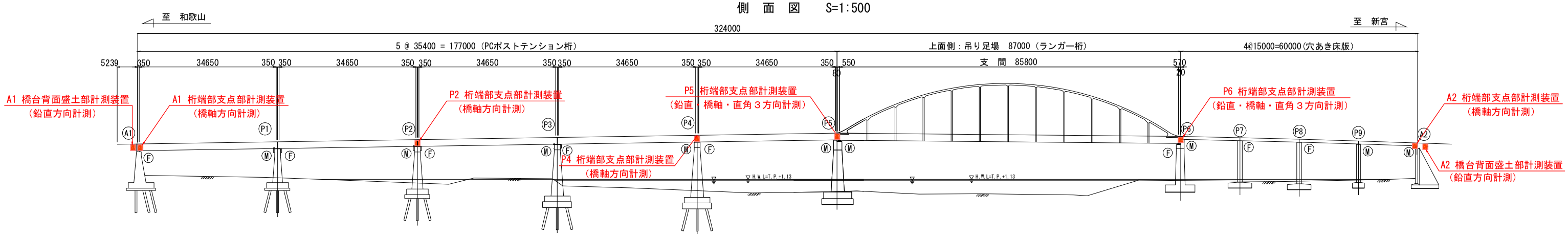
（14）橋梁補修工事	○	－	耐震補強工事
（15）その他	○	－	A1～P5 のＰＣ５径間単純Ｔ桁は電気防食を実施済み

古座大橋全体計画　配線系統図

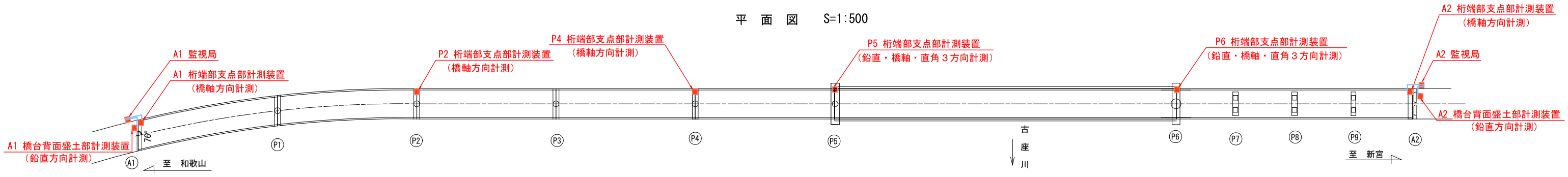


古座大橋　橋梁一般図

側　面　図　S=1:500



平　面　図　S=1:500



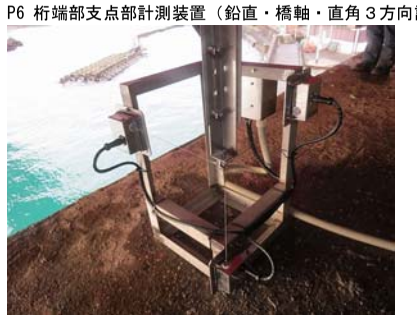
A1 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P2 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P4 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P5 桁端部支点部計測装置（鉛直・橋軸・直角３方向計測）

P6 桁端部支点部計測装置（鉛直・橋軸・直角３方向計測）



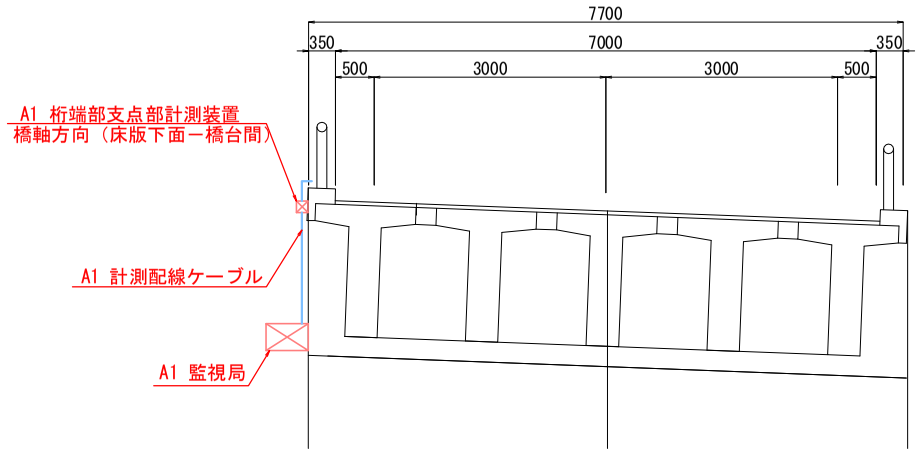
A2 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

A1 監視局

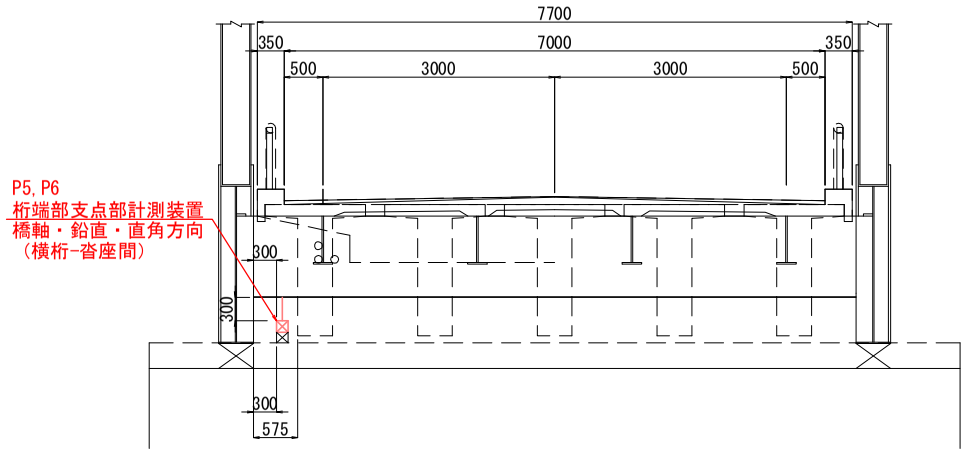
A2 監視局

断　面　図　S=1:50

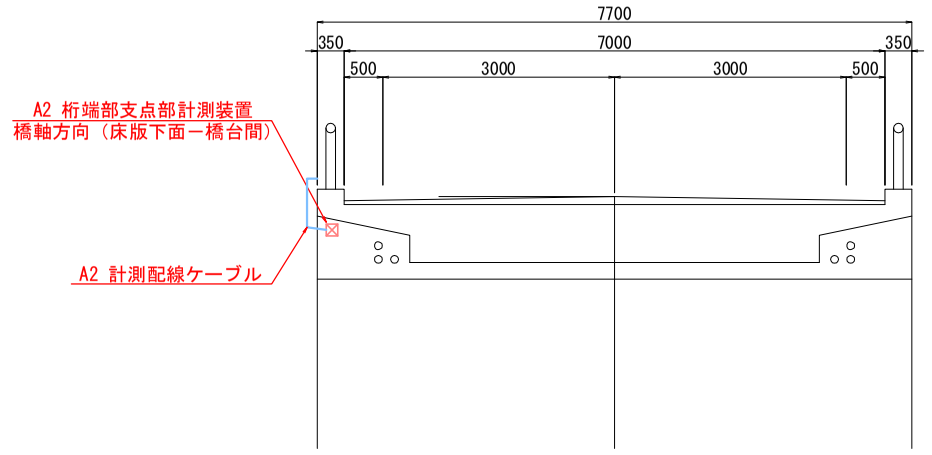
Ａ１橋台



Ｐ5、Ｐ6橋脚



Ａ2橋台

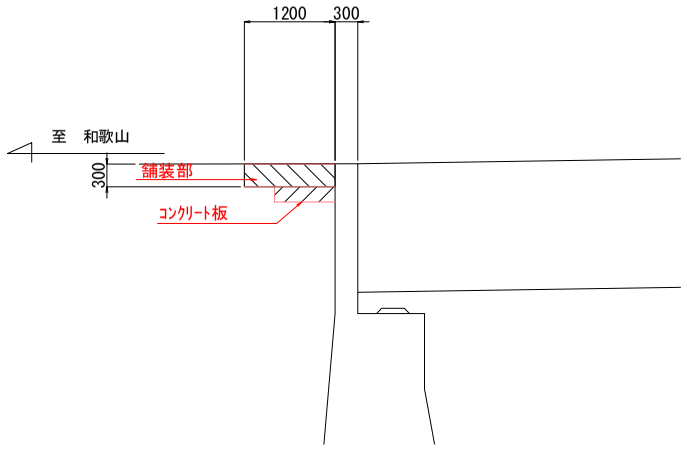


古座大橋　橋台背面部計測装置配置図

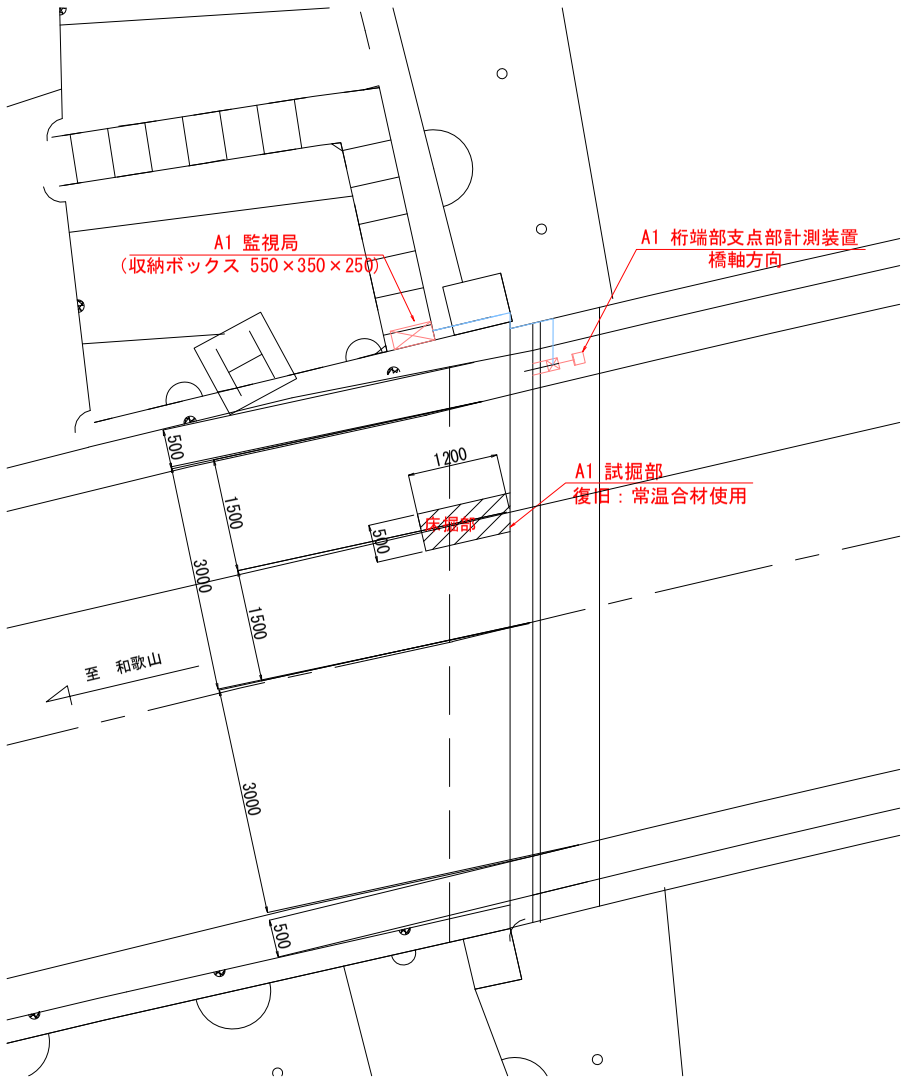
古座大橋の背面盛土部は、ｺﾝｸﾘｰﾄ板が埋設されており計測装置の設置が不可能であった

Ａ１橋台（和歌山側）

側 面 図 S=1/50



平 面 図 S=1/50



※A2側でコンクリート板が埋設されていたため
A1側は□500の掘削範囲にとどめ、コンクリート板の確認を行った。

A1 試掘部（床掘部）

A1 試掘部（床掘部）

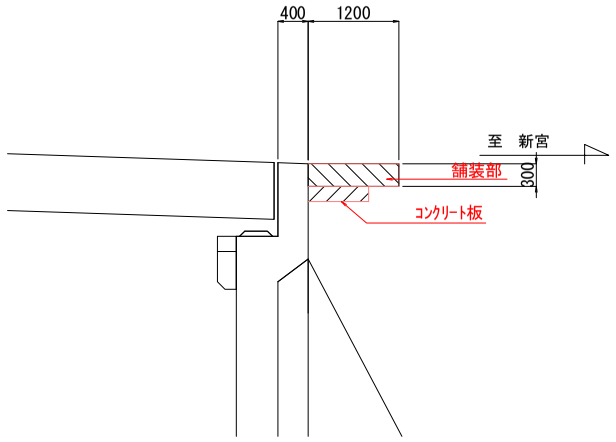
A1 試掘部（床掘部）　復旧：常温合材使用

A1 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

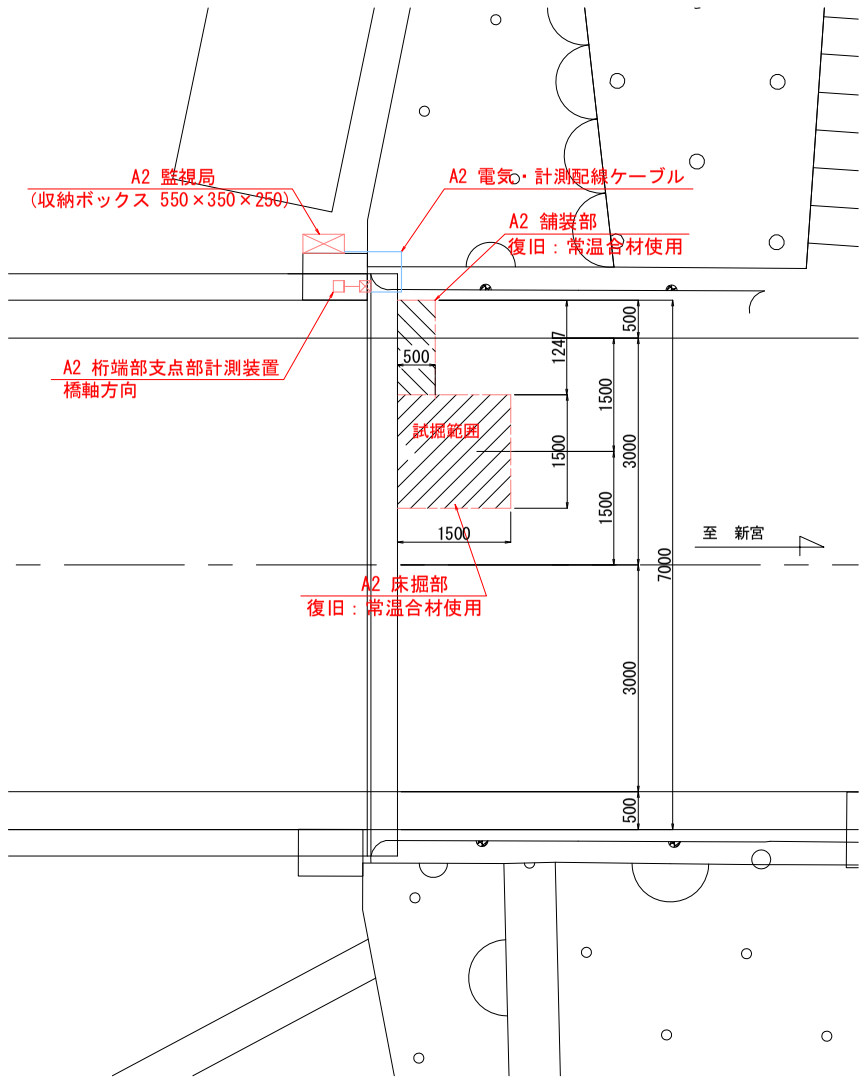
A1 監視局（収納ボックス 550×350×250）

Ａ２橋台（新宮側）

側 面 図 S=1/50



平 面 図 S=1/50



※A2側で計画通り掘削を試みたがコンクリート板が埋設されていたため
掘削（途中まで実施）・計測装置の設置は不可能であった。

A2 試掘部（床掘部）

A2 試掘部（床掘部）

A2 試掘部（床掘部・舗装部）

A2 試掘部（床掘部・舗装部）　復旧：常温合材使用

A2 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

A2 監視局（収納ボックス 550×350×250）

No.	13
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1橋台　背面 計測装置設置	

No.	14
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1橋台　背面 計測装置設置 グレーチング設置	

No.	15
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1橋台　背面 設置・埋戻し完了	

No.	16
種別	盛土内センサー
備　　考	
A2橋台　背面 計測装置　設置完了	

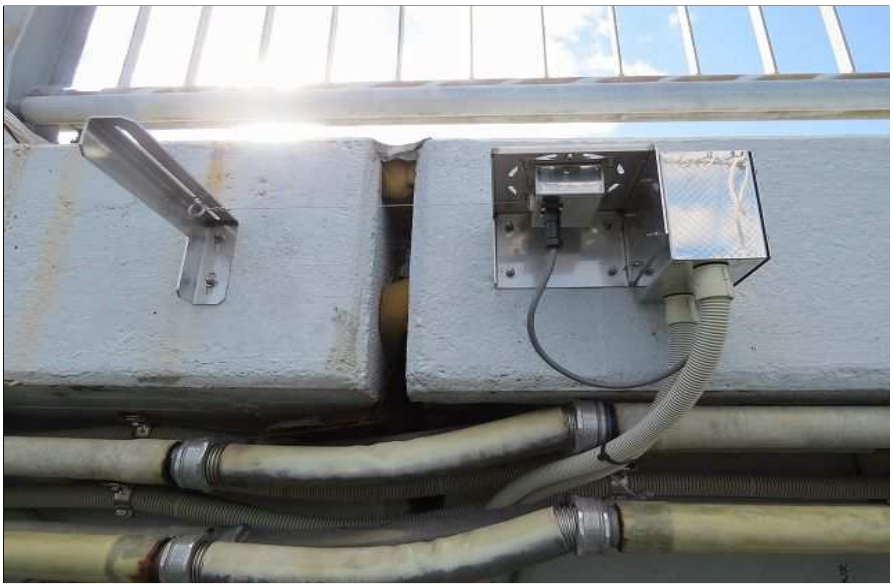
No.	17
種別	盛土内センサー
備　　考	
A2橋台　背面掘削 埋戻し状況 （グレーチング設置）	

No.	18
種別	盛土内センサー
備　　考	
A2橋台　背面掘削 設置・復旧完了	

No.	1
種別	センサー
備　　考	
A1橋台 橋軸方向センサー設置完了 側面	

No.	2
種別	センサー
備　　考	
A1橋台 橋軸方向センサー設置完了 側面	

No.	3
種別	A1監視局
備　　考	
A1橋台 監視局	



No.	4
種別	センサー
備　　考	
P2橋脚 橋軸方向　センサー 設置完了	

No.	5
種別	センサー
備　　考	
P4橋脚 橋軸方向　センサー 設置完了	

No.	6
種別	橋梁全景
備　　考	
P5橋脚 センサー設置状況	

No.	7
種別	センサー
備　　考	
P5橋脚 センサー設置完了 （橋軸方向、直角方向、鉛直方向）	

No.	8
種別	センサー
備　　考	
P5橋脚 センサー設置完了 （橋軸方向、直角方向、鉛直方向）	

No.	9
種別	センサー
備　　考	
P6橋脚 センサー設置状況	

No.	10
種別	センサー
備　　考	
P6橋脚 センサー設置完了 （橋軸方向、直角方向、鉛直方向）	

No.	11
種別	センサー
備　　考	
P6橋脚 センサー設置完了 （橋軸方向、直角方向、鉛直方向）	

No.	12
種別	センサー
備　　考	
A2橋台 センサー設置状況 （高所作業車）	

No.	13
種別	センサー
備　　考	
A2橋台 センサー設置完了 全景	

No.	14
種別	センサー
備　　考	
A2橋台 センサー設置完了 全景	

No.	15
種別	A2監視局
備　　考	
A2橋台 センサー設置完了 監視局	

No.	16
種別	A2監視局
備　　考	
A2橋台 センサー設置完了 全景	

No.	17
種別	センサー
備　　考	
計測装置　準備	

1-5　海部大橋（四国地方整備局　徳島河川国道事務所　徳島県）

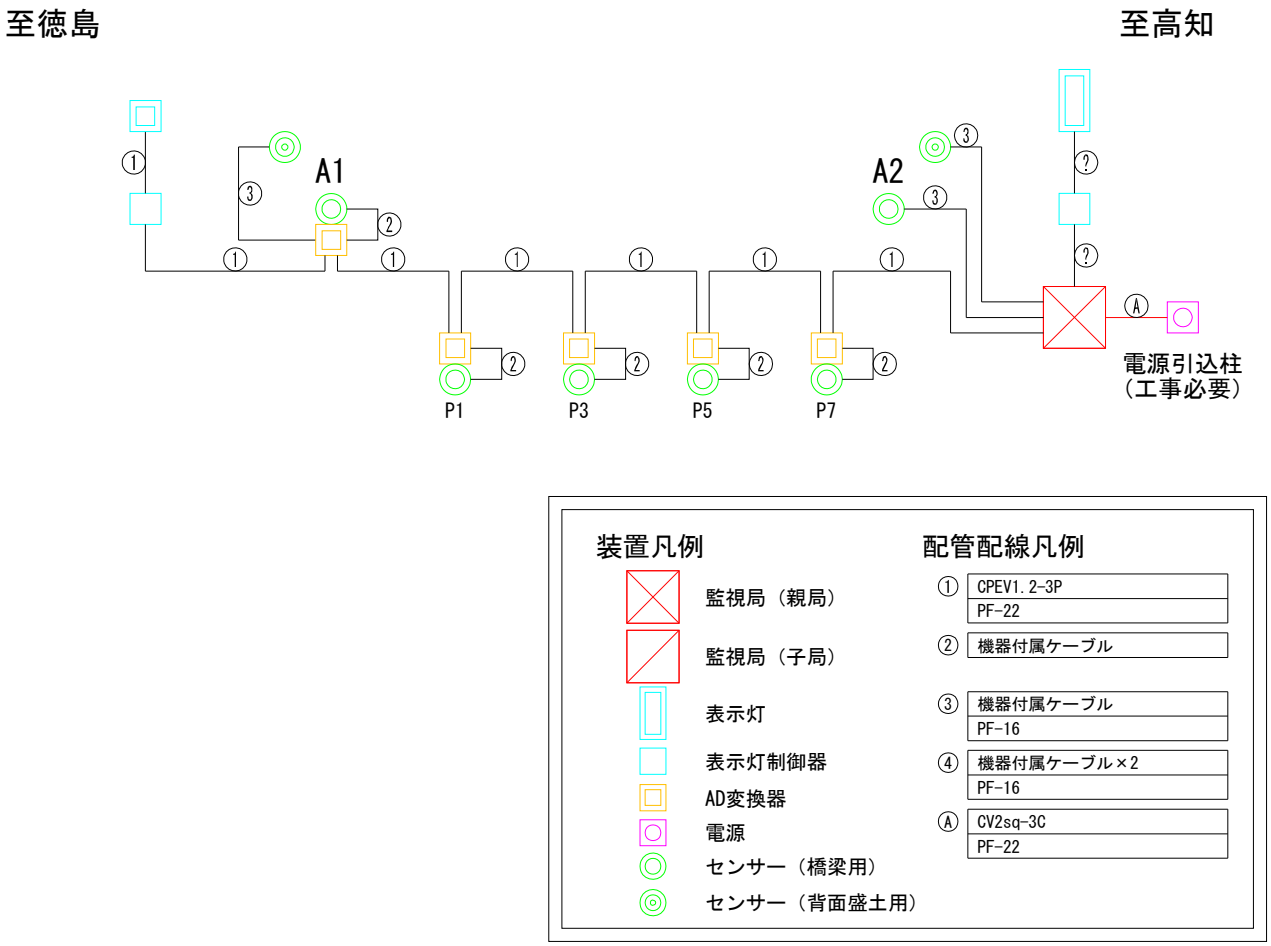
（1）　全体計画

被災状況把握システムの計測装置の設置に際し、現地確認、既存資料等、関係協議からの事前調査一覧表の内容を決定する必要がある。

表 1-5-1　事前調査一覧表

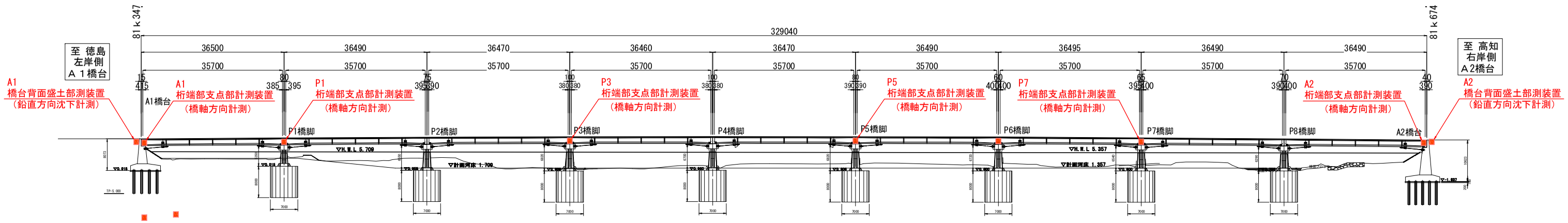
確認項目	現地確認	資料収集	適用
（1）橋梁形式	○	○	PC 単純ポステンＴ桁橋（9 連）
（2）橋梁下面	○	○	
（3）地覆 （配線の取り回し可・不可）	○	○	地覆部の天端に設置可能（側面は歩道が近接して設置できない）
（4）高欄形式・形状	○	○	鋼製高欄
（5）交差点形状および位置	○	○	左右岸に堤防道路との交差点
（6）規制の可否	○	○	昼間のみ、片側交互通常可能
（7）監視局設置位置	○	○	A1（高知側）：側道橋の桁下の沓座面
（8）センサ設置位置			A1,A2：橋台胸壁と主桁の橋軸方向 橋脚：P1,P3,P5,P7 の掛違い主桁部
（9）電源供給	○	○	近接電柱から電気工事を実施して商用電源を確保
（10）配線方法	○	○	上流側の地覆に設置
（11）添架状況	○	－	下流側に添架物があるが影響無し
（12）施工方法	○	－	橋台：橋台前面まで進入可能 橋脚：梯子により橋脚天端に降りて設置
（13）現況埋設物	○	－	光ケーブルが近接（試掘で確認），橋梁照明用の配線あり
（14）橋梁補修工事	○	－	耐震補強済み
（15）その他	○	－	

海部大橋全体計画　配線系統図

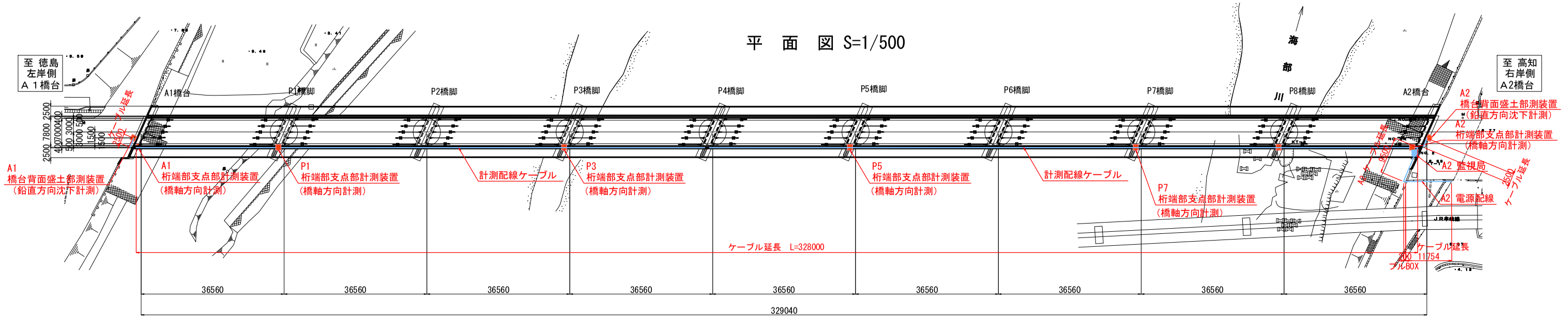


海部大橋　橋梁一般図

側　面　図 S=1/500



平　面　図 S=1/500



A1 橋台背面盛土部測装置（鉛直方向沈下計測）

P1 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P3 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P5 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P7 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

A2 橋台背面盛土部測装置（鉛直方向沈下計測）

A2 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

設置数量一覧表

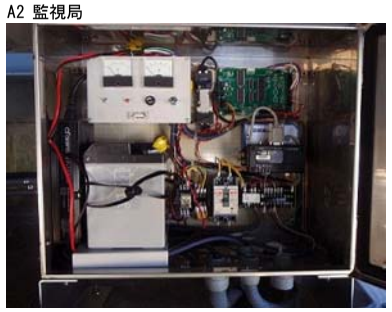
監視局設置工	1箇所
センサー設置工（橋台背面）	2箇所
センサー設置工（桁端部）	6箇所
ケーブル配線	354.454m (2.5+328+9.5+0.2+11.754+2.5)

計測配線ケーブル

A2 ケーブル延長

A2 電源配線

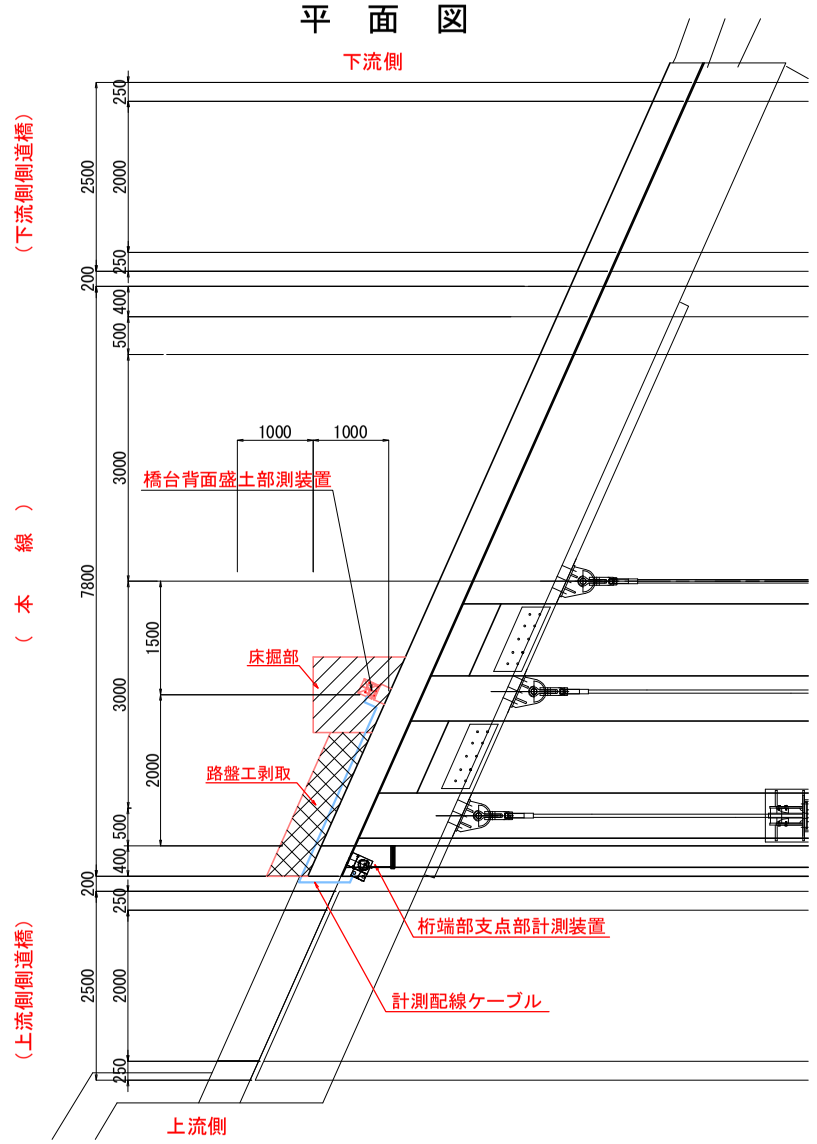
A2 監視局



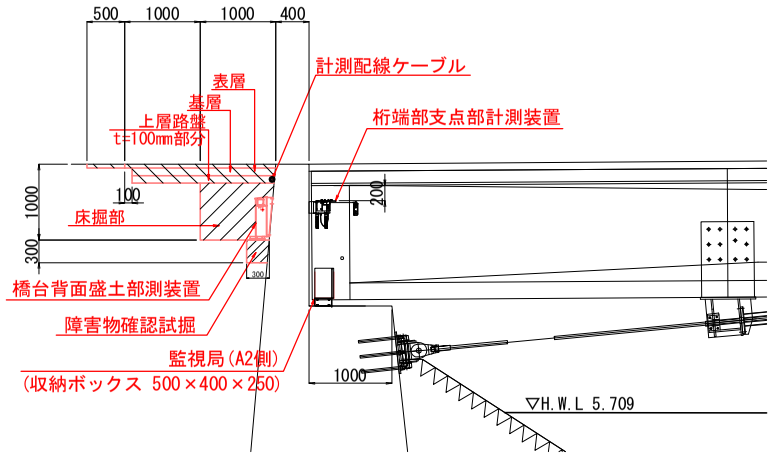
海部大橋　計測装置配置図

Ａ1橋台（Ａ2橋台）S=1/50

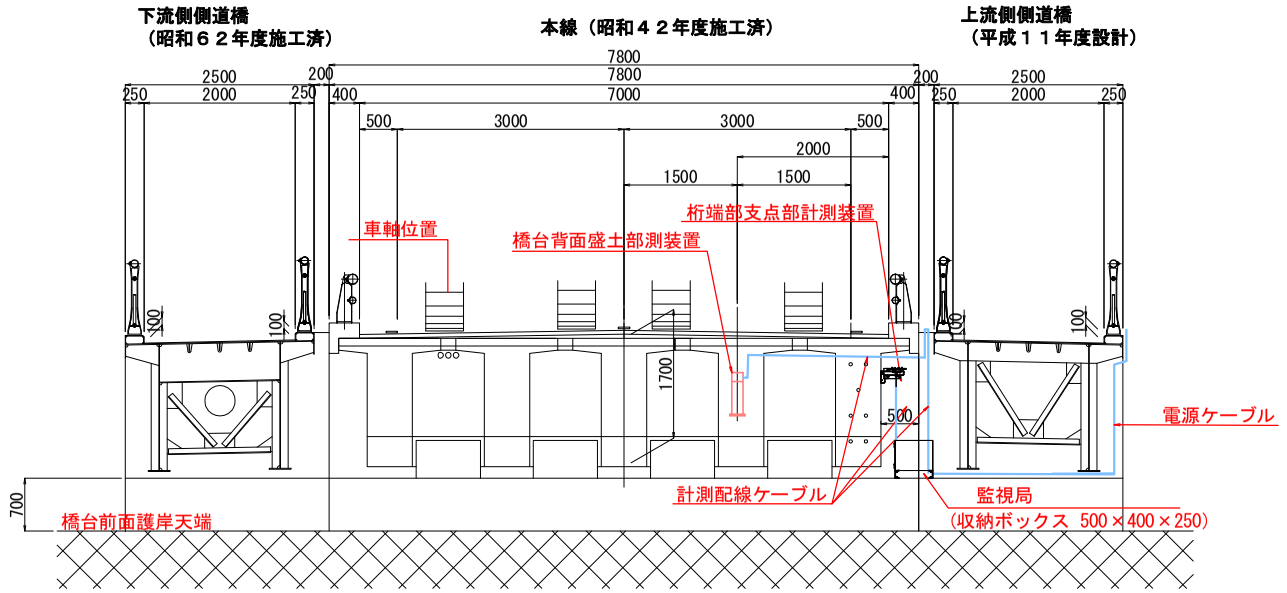
平　面　図



側　面　図



断　面　図



※監視局はA2橋台側のみに設置

A1 路面復旧（床掘部、路盤工剥取）

A2 路面復旧（床掘部、路盤工剥取）

A1 橋台背面盛土部測装置（鉛直方向沈下計測）

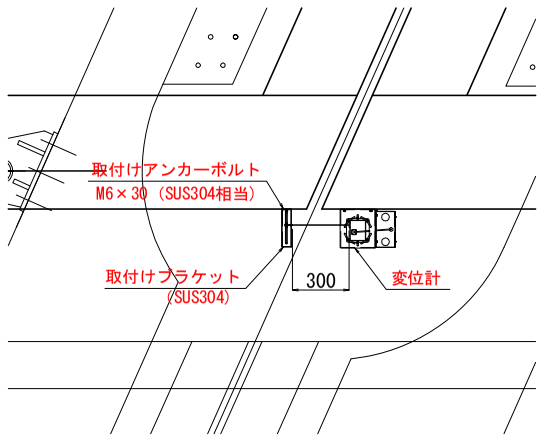
A2 橋台背面盛土部測装置（鉛直方向沈下計測）

A2 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

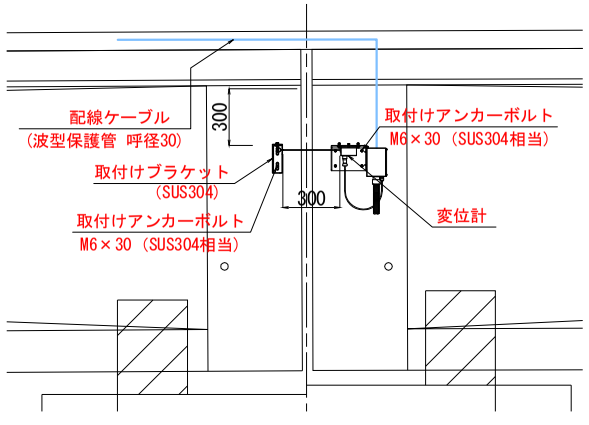
A2 監視局

橋脚部（P1, P3, P5, Ｐ7）

平　面　図　S=1/20

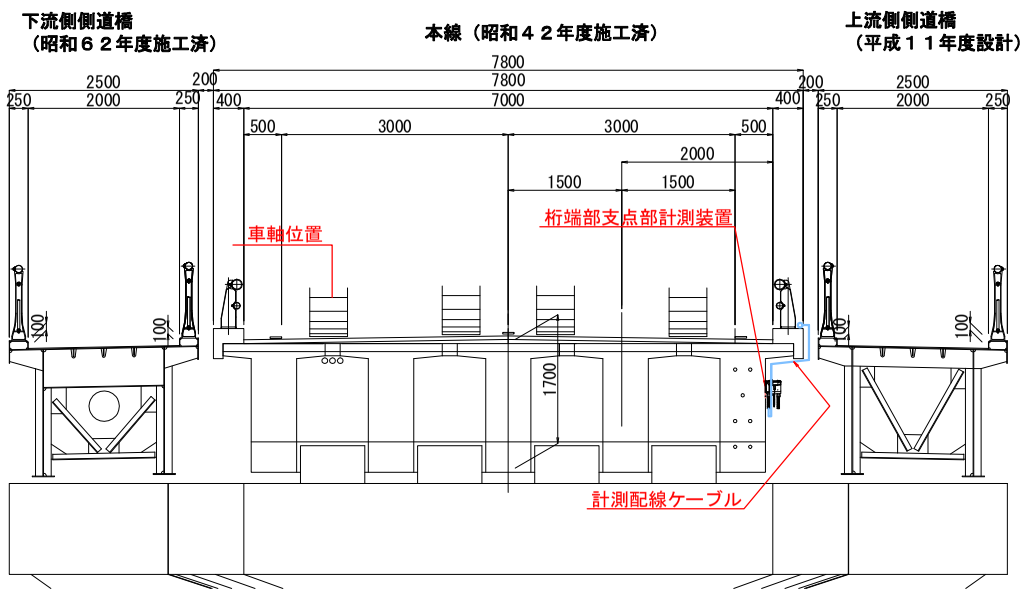


側　面　図　S=1/20



※主桁へのアンカーは、想定される鉄筋のかぶりが芯かぶり30mmで、
取付けアンカーボルトと干渉することが危惧されるため、事前に鉄
筋探査を実施して、アンカー位置を調整する。

断　面　図　S=1/50

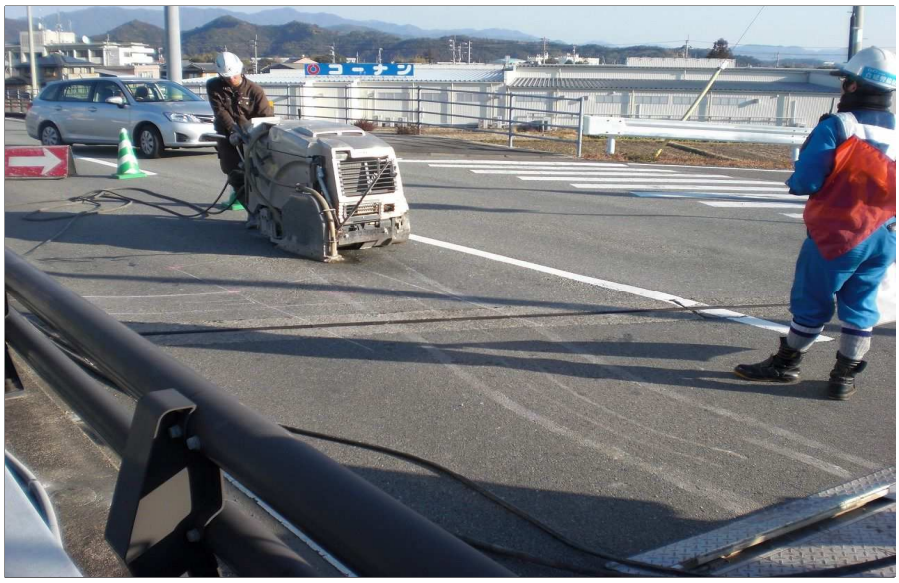


P1 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P3 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P5 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）

P7 桁端部支点部計測装置（橋軸方向計測）



No.	1
種別	盛土内センサー
備　　考	
コンクリートカッター	

No.	2
種別	盛土内センサー
備　　考	
センサー設置完了	

No.	3
種別	盛土内センサー
備　　考	
工事完了	

1-6　朝日橋（九州地方整備局　大分河川国道事務所　大分県）

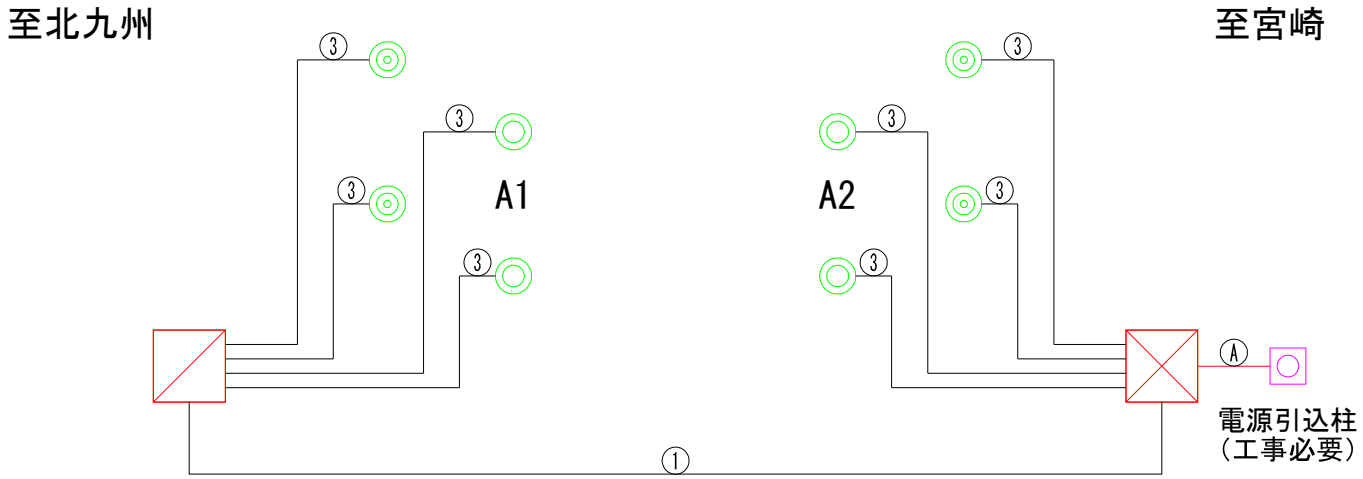
（1）　全体計画

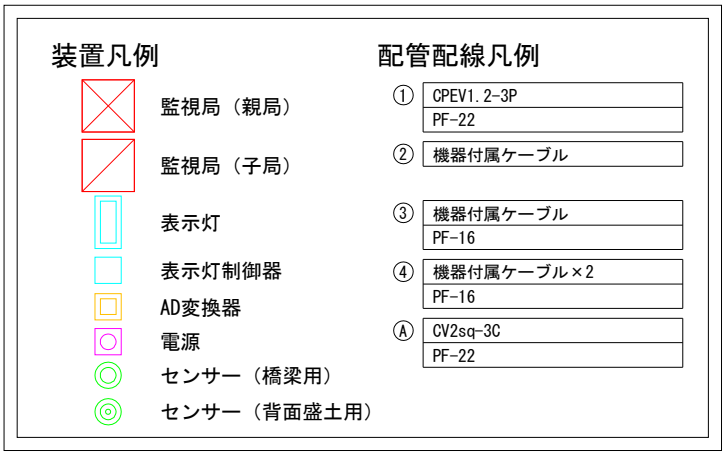
被災状況把握システムの計測装置の設置に際し、現地確認、既存資料等、関係協議からの事前調査一覧表をの内容を決定する必要がある。

表 1-6-1　事前調査一覧表

確認項目	現地確認	資料収集	適用
（1）橋梁形式	○	○	PC 単純プレテン T 桁
（2）橋梁下面	○	○	特に障害となるものなし
（3）地覆 （配線の取り回し可・不可）	○	○	歩道部地覆上面に配線し、排水溝から桁下に配管する
（4）高欄形式・形状	○	○	鋼製高欄
（5）交差点形状および位置	○	○	隣接する交差点なし
（6）規制の可否	○		夜間のみ、3 車線中 2 車線確保
（7）監視局設置位置	○	○	A1：山側の翼壁側面 A2：山側の橋座部
（8）センサ設置位置	○	○	A1：桁下面と橋座部、胸壁と桁側面 A2：桁下面と橋座部、胸壁と桁側面
（9）電源供給	○	○	P1 橋脚に設置した太陽光パネル
（10）配線方法	○	○	A1 海～A1 山～A2 山 A2 海～A2 山
（11）添架状況	○	－	
（12）施工方法	○	－	簡易足場
（13）現況埋設物	○	－	なし
（14）橋梁補修工事	○	－	なし
（15）その他	○	－	－

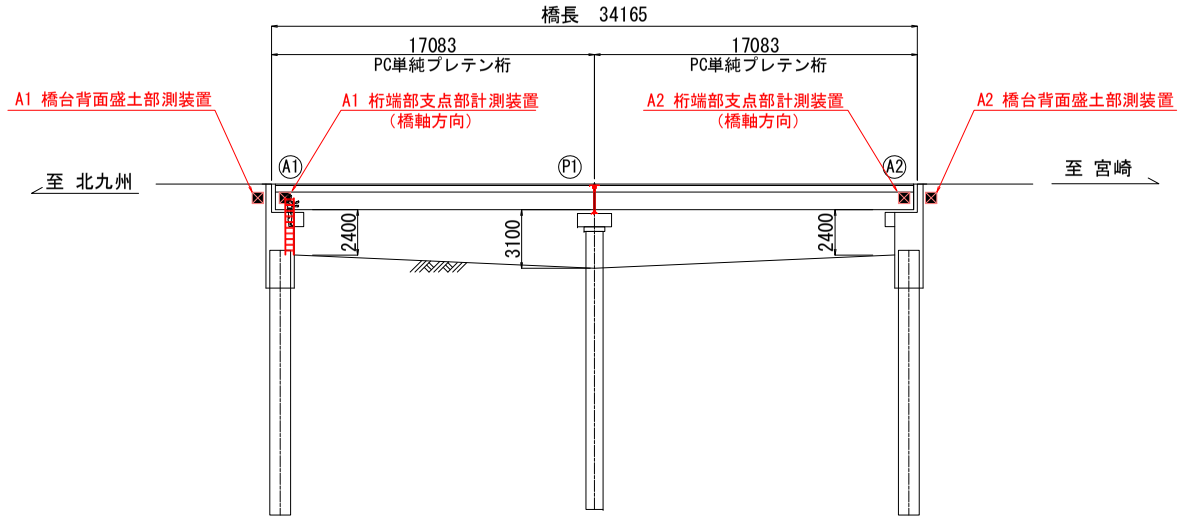
朝日橋全体計画　配線系統図





朝日橋　橋梁一般図

側 面 図　S=1/200



A1下流側 橋台背面盛土部計測装置

A1桁下 桁端部支点部計測装置（橋軸方向）

A1上流側 橋台背面盛土部計測装置

A1桁側面 桁端部支点部計測装置（橋軸方向）

P1 ｿｰﾗｰﾊﾟﾈﾙ

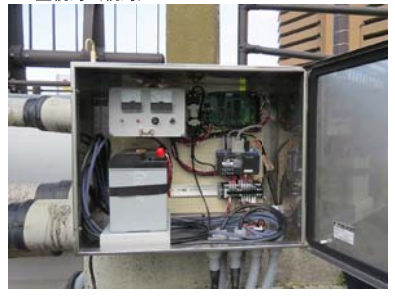
A2下流側 橋台背面盛土部計測装置

A2桁下 桁端部支点部計測装置（橋軸方向）

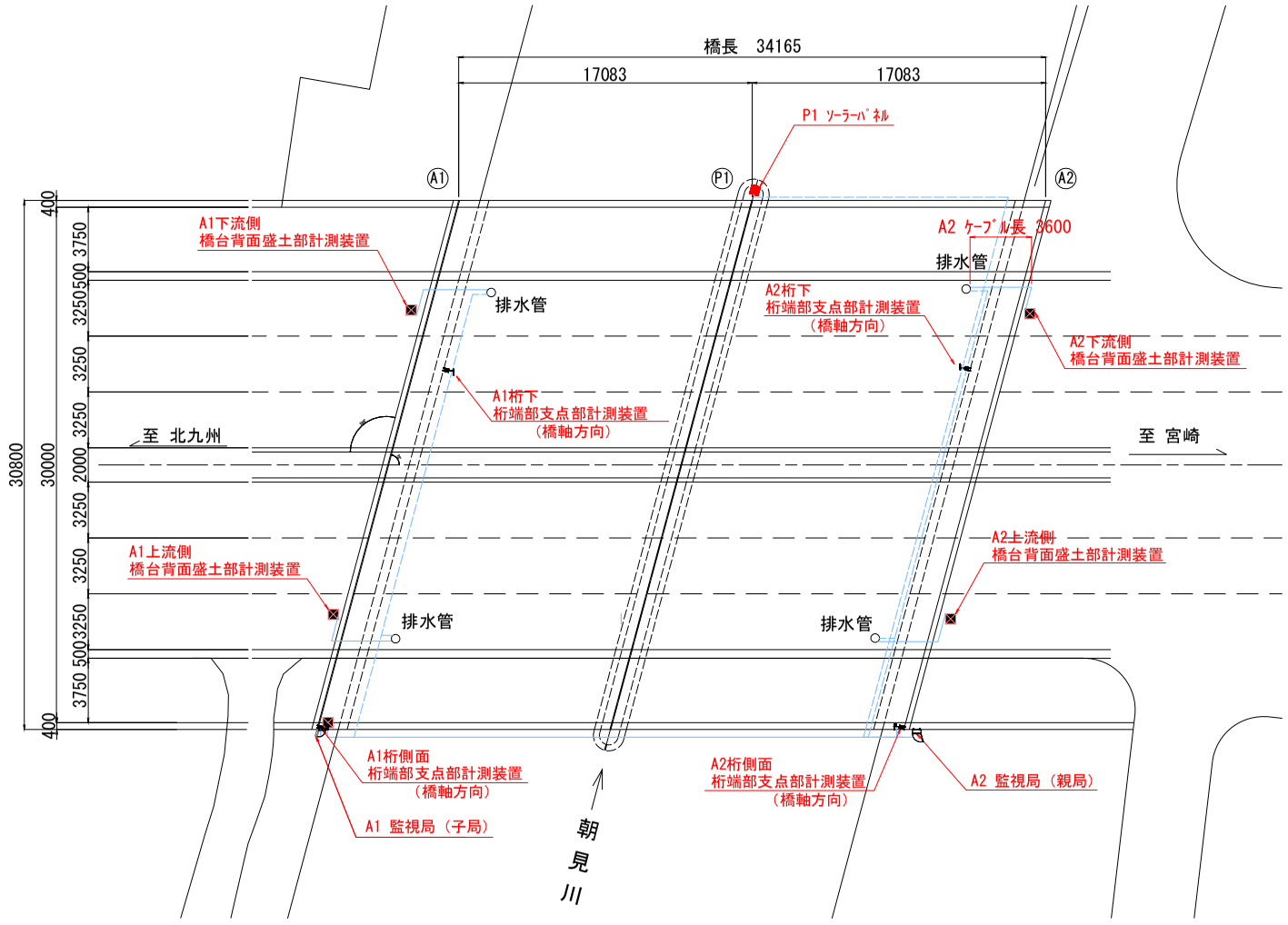
A2上流側 橋台背面盛土部計測装置

A2桁側面 桁端部支点部計測装置（橋軸方向）

A2 監視局（親局）



平 面 図　S=1/200



朝日橋　計測装置配置図

A1上流側 保護管 φ22ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ管（路面露出部のみ）

A2上流側 保護管 φ22ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ管（路面露出部のみ）

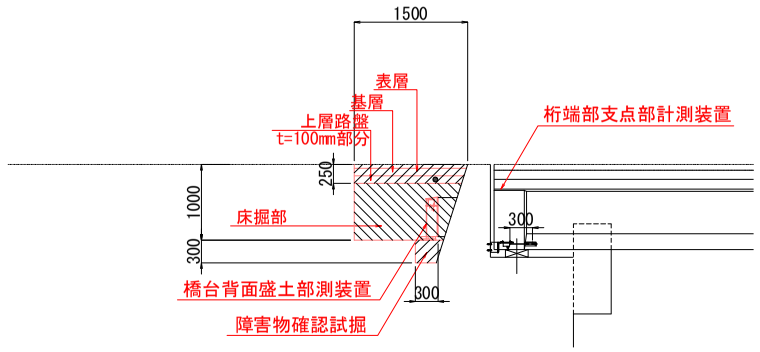
A1下流側 排水溝

A2 計測配線ケーブル

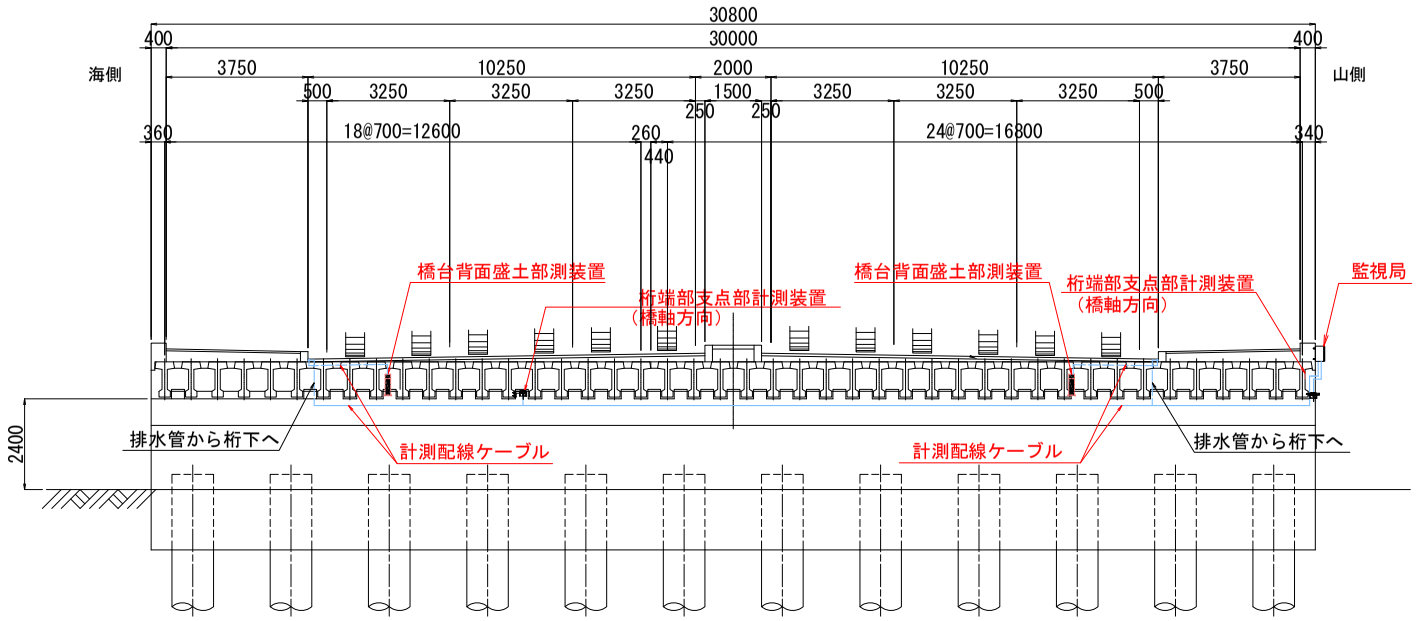
上流側 計測配線ケーブル

A1上流側 路面復旧（床掘部・舗装切削部）

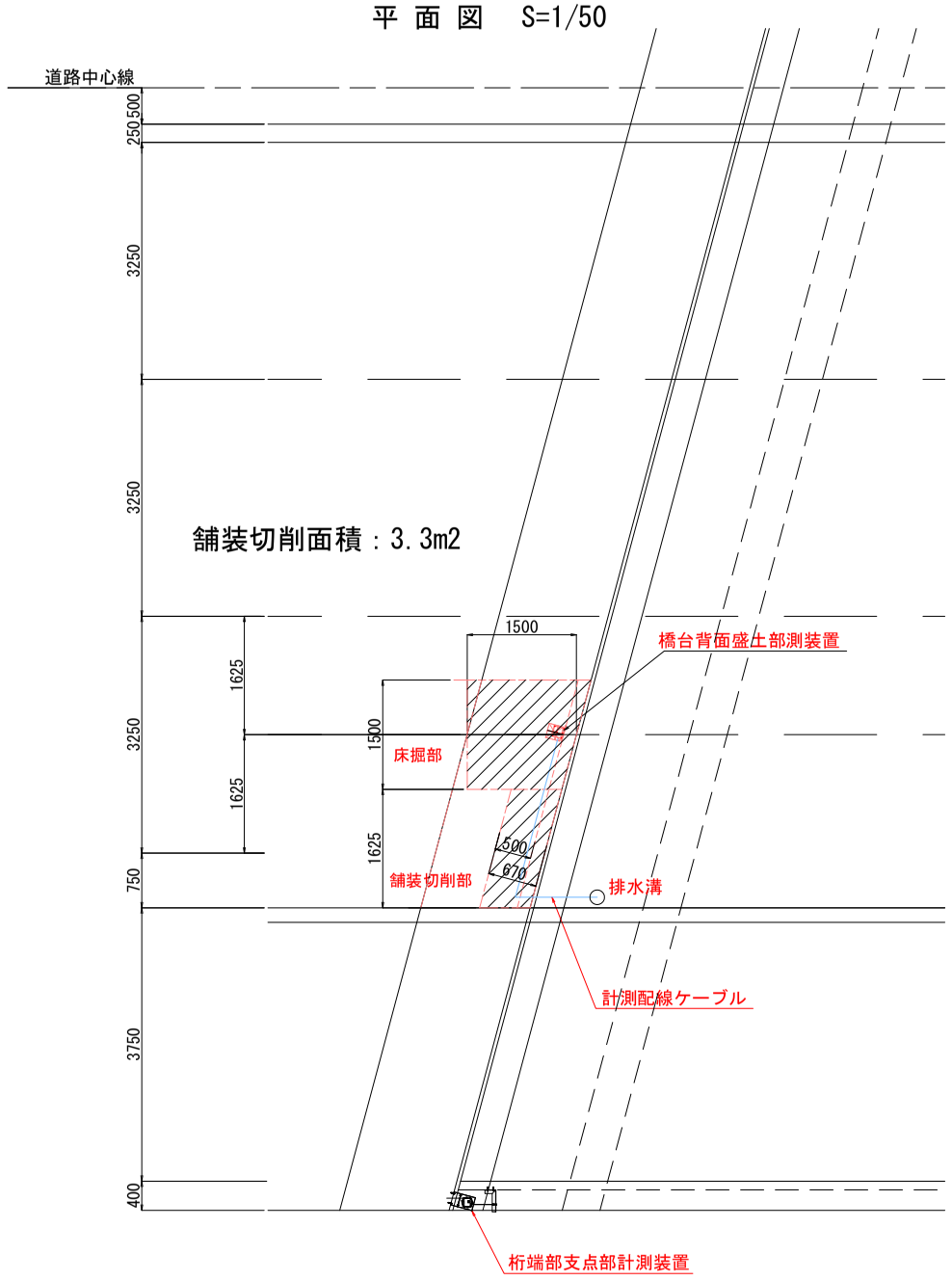
側 面 図　S=1/50



断 面 図 S=1/100

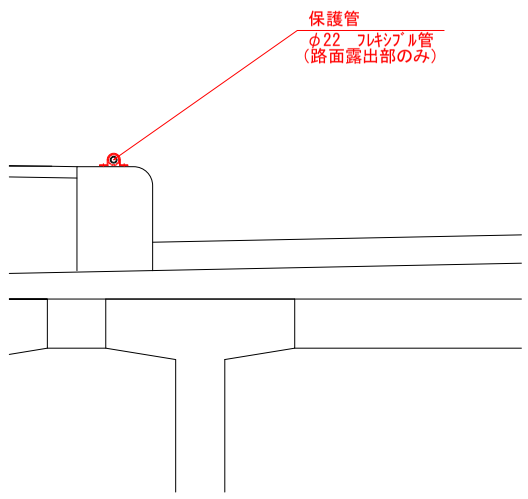


平 面 図　S=1/50

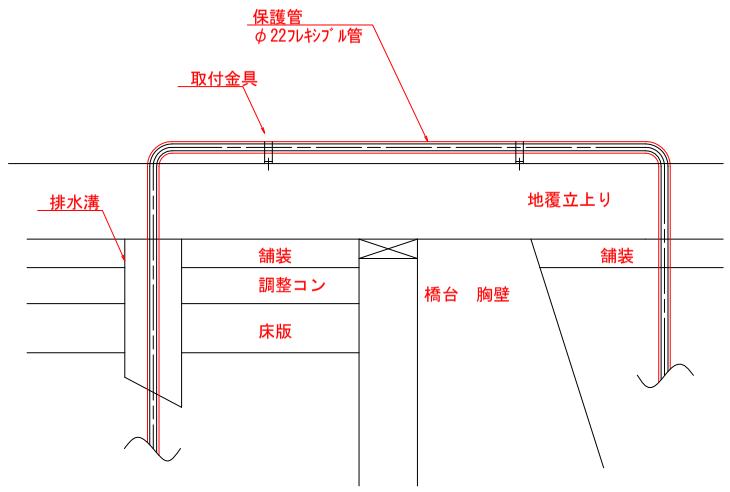


配管要領　S=1/10
（路面露出部）

断面図



側面図



No.	1
種別	センサー
備　　考	
A2下り　桁端センサー設置 全景	

No.	2
種別	センサー
備　　考	
A2下り　背面センサー設置 排水溝から配線	

No.	3
種別	センサー
備　　考	
A1上り　ｾﾝｻｰ 全景	

No.	4
種別	センサー
備　　考	
A1上り　ｾﾝｻｰ 全景	

No.	5
種別	センサー
備　　考	
A2上り　桁端ｾﾝｻｰ設置 全景	

No.	6
種別	A2監視局
備　　考	
A2　監視局	

No.	7
種別	ソーラーパネル
備　　考	
太陽光パネル設置	

No.	8
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1　下り（下流側） 計測装置設置	

No.	9
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1　下り（下流側） 配線　地覆処理	

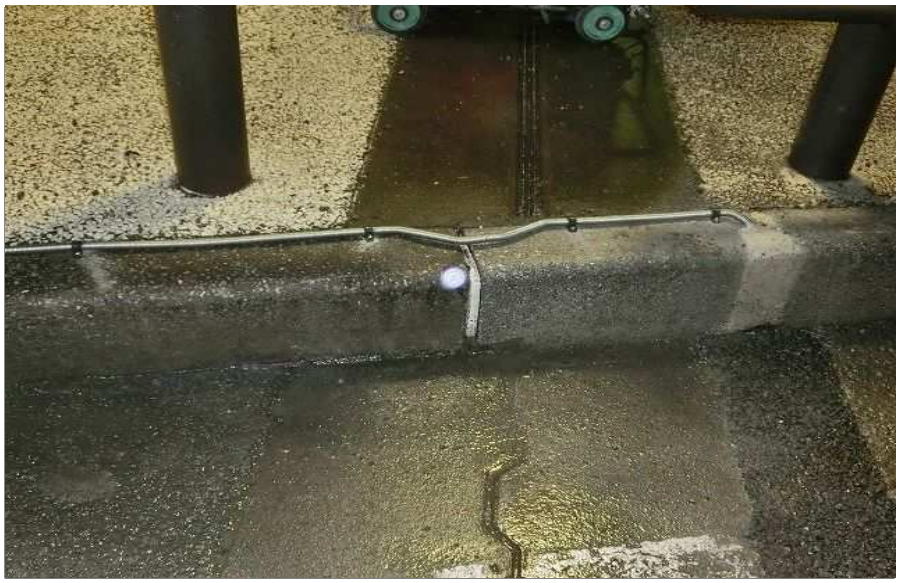
No.	10
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1　下り（下流側） 埋戻し完了	

No.	11
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1　上り（上流側） 計測装置設置後	

No.	12
種別	盛土内センサー
備　　考	
A1　上り（上流側） 埋戻し（グレーチング）	

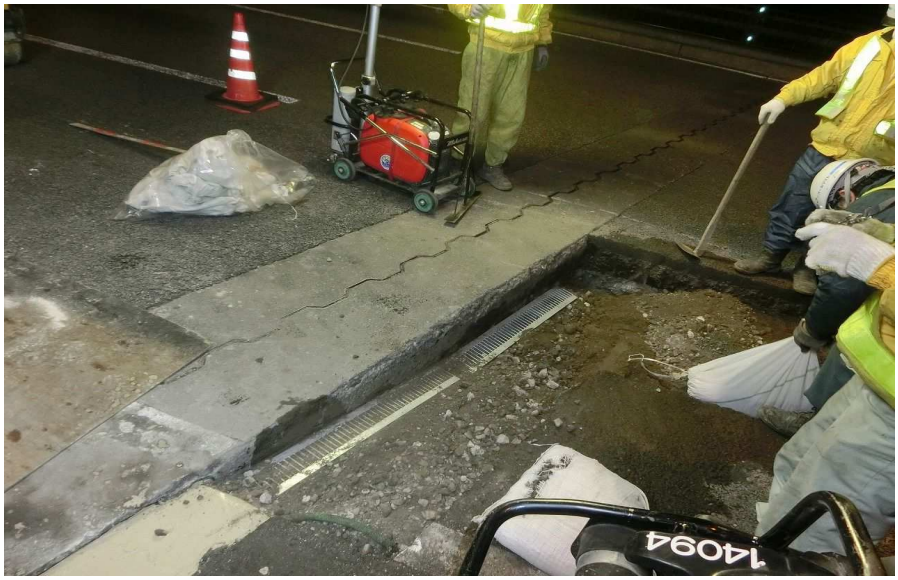
No.	13
種別	盛土内センサー
備　　考	
埋戻し完了	

No.	14
種別	盛土内センサー
備　　考	
配線　地覆部処理	



No.	15
種別	盛土内センサー
備　　考	
配線　地覆部処理	

No.	16
種別	盛土内センサー
備　　考	
A2　上り（上流側） 計測装置設置後　埋戻し	



No.	17
種別	盛土内センサー
備　　考	
A2　上り（上流側） 埋戻し（グレーチング設置）	

No.	18
種別	盛土内センサー
備　　考	
A2橋台　上り線（上流側） 配線　地覆部処理	

No.	19
種別	盛土内センサー
備　　考	
工事完了	

システム仕様（案）

目次

1　システム内容（操作できる内容）　…… 180
1-1　観測データ　…… 180
1-2　発報メール／表示灯制御データ　…… 180
1-3　マスターデータなど　…… 181
①　管理事務所に紐づいたデータ　…… 181
②　監視局に紐づいたデータ　…… 181
③　センサーに紐づいたデータ　…… 182
④　リモートコマンド　…… 183
2　システムの操作方法　…… 184
2-1　画面遷移　…… 184
2-2　ログイン画面　…… 185
2-3　メイン画面　…… 186
2-4　監視局表示画面　…… 187
2-5　グラフ画面　…… 188
2-6　管理事務所表示画面　…… 189
2-7　管理事務所編集画面　…… 190
2-8　監視局リスト画面　…… 191
2-9　監視局追加画面　…… 192
2-10　監視局編集画面　…… 193
2-11　監視局削除確認画面　…… 194
2-12　リモートコマンド画面　…… 195
2-13　リモートコマンド画面（監視局電源）　…… 196
2-14　リモートコマンド画面（監視周期）　…… 197
2-15　リモートコマンド画面（定期データ送信周期）　…… 198
2-16　リモートコマンド画面（表示灯制御）　…… 199
2-17　センサーリスト画面　…… 200
2-18　センサー追加画面　…… 201
2-19　センサー表示画面　…… 202
2-20　センサー編集画面　…… 203
2-21　センサー削除確認画面　…… 204
3　プログラム内容　…… 205
3-1　web 用プログラム　…… 205
3-2　観測データ受信プログラム　…… 205
3-3　マスターデータ同期プログラム　…… 205

1　システム内容（操作できる内容）

一般ユーザーでログインした場合、データの表示のみ可能です。管理者ユーザーでログインした場合、一部のデータを変更可能です。

1-1 観測データ

監視局で計測した値と、管理者ユーザーが設定した値をもとに算出する値。センサーごとに保持。

履歴表示、グラフ表示に使用。

名前	概要
計測値	監視局で計測した生の値。変位量の算出に使用する。
変位量	計測値と、管理者ユーザーがセンサー画面で設定した基準値をもとに算出する値。（計測値 - 基準値 = 変位量）
変位量状態	変位量と、管理者ユーザーがセンサー画面で設定した注意閾値、警告閾値をもとに算出する値。
平均変位量	直近 6 回の定時の計測値のうち、最大と最小を除いた 4 回の平均を算出し、計測値からその値を引いた値の絶対値。
平均変位量状態	平均変位量と、管理者ユーザーが設定した平均注意閾値、平均警告閾値をもとに算出する値。

1-2 発報メール／表示灯制御データ

監視局から受け取った値と、管理者ユーザーが設定した値をもとに算出する値。監視局の観測データごとに保持。

名前	概要
定時報告	観測データが、定時報告なのか、定時以外の報告なのかを表す。 監視局側で観測データをもとに監視状態を判断し、必要に応じ定時以外の報告を行う場合があり、その判断結果を表す。 画面表示の他、バックグラウンドで実施する発報メール送出制御、表示灯の自動点灯制御に使用。
監視状態	監視局側で観測データをもとに状態を判断した結果。 判断結果に応じ監視局側で定時以外の報告を行う。 画面表示のみ。

監視局全体の状態	センサー単位での状態、連動しているセンサー単位での状態、を算出し、その中で一番危険性が高かったもの。 監視局から観測データを受け取った際に web 側で算出する。 画面表示の他、バックグラウンドで実施する発報メール送出制御、表示灯の自動点灯制御に使用。

1-3 マスターデータなど

管理者ユーザーのみ表示、編集可能な値。

① 管理事務所に紐づいたデータ

画面表示、ログイン制御に使用するデータ。

名前	概要
事務所名	管理事務所の名前。画面表示などに使用
管理者アカウント名	管理者のアカウント名。 管理者のアカウントの場合のみマスター管理系の画面を使用することが可能。
管理者パスワード	管理者のパスワード。
ユーザーアカウント名	一般ユーザーのアカウント名。
ユーザーパスワード	一般ユーザーのパスワード。

② 監視局に紐づいたデータ

画面表示、メール送受信処理で使用するデータ。

名前	概要	例
監視局緯度	監視局の緯度。画面表示などに使用。	35.960148
監視局経度	監視局の経度。画面表示などに使用。	140.606035
国道番号	監視局のある国道の番号。画面表示などに使用。	51
距離標(km)	国道上の監視局の位置(km)。画面表示などに使用。	68.6
監視局名	監視局の名前。画面表示などに使用。	神宮橋
マーカーラベル	地図上での監視局のマーカーに表示する名前	神宮橋
ユニット ID	監視局を特定する ID。データ送受信に使用。 通常は変更しない。	105
監視局メールアドレス	監視局自身のメールアドレス。データ送受信に使用。 通常は変更しない。	0105_@mopera.net

変位量情報	変位量に関する情報（ファイル）。 監視局画面にインラインで表示される。 JPEG 形式、50MB まで。	
平均変位量情報	平均変位量に関する情報（ファイル）。 監視局画面にインラインで表示される。 JPEG 形式、50MB まで。	
監視局詳細情報	監視局に関する情報（ファイル）。図面など。 PDF 形式、50MB まで。	
通知先メールアドレス 1~10	監視結果メールの送付先アドレス。 任意入力。	aaa@example.com

③　センサーに紐づいたデータ

画面表示、状態判断、発報メール送出制御、表示灯の自動点灯制御の判断材料となるデータ。

変更した場合、監視局にリモートコマンドが送信される。

名前	概要	例
センサー名	センサーの名前。画面表示などに使用。 また、センサー間の紐づけに使用する。（末尾二文字が同じセンサーは連動しているとみなす）	P10 橋脚-橋軸
基準値	変位量算出に使用する値。	315
注意閾値(+)	注意判定に使用する閾値の上限の設定値。 変位量を基準とした値を設定する。	16
注意閾値(-)	注意判定に使用する閾値の下限の設定値。 変位量を基準とした値を設定する。	-18
警告閾値(+)	警告判定に使用する閾値の上限の設定値。 変位量を基準とした値を設定する。	21
警告閾値(-)	警告判定に使用する閾値の上限の設定値。 変位量を基準とした値を設定する。	-23
平均注意閾値	警告判定に使用する閾値の上限。 画面表示にのみ使用し、発報メールの制御、表示灯の自動点灯制御の判断には使用しない。	1
平均警告閾値	警告判定に使用する閾値の上限。 画面表示にのみ使用し、発報メールの制御、表示灯の自動点灯制御の判断には使用しない。	15

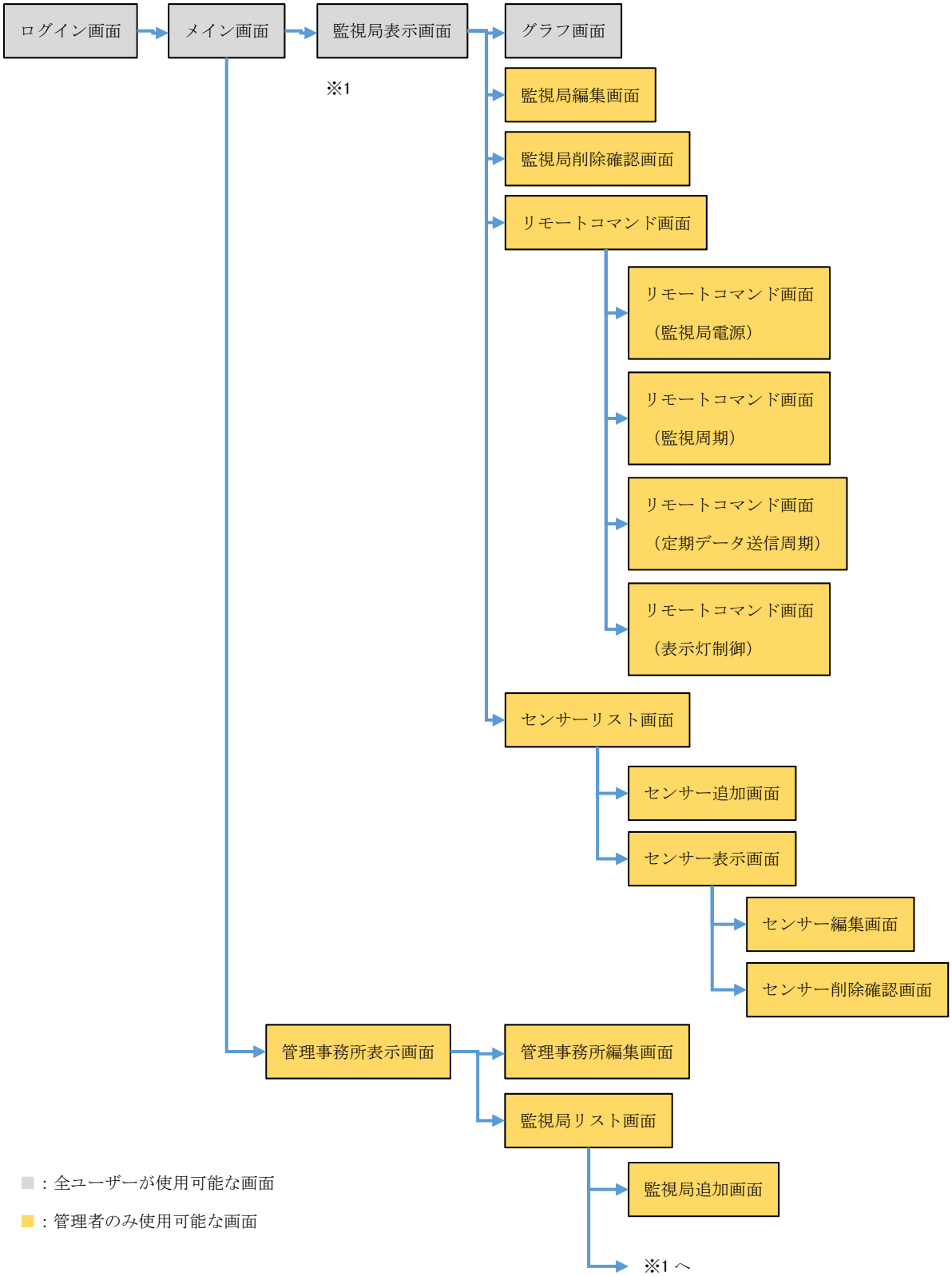
④　リモートコマンド

監視局の遠隔操作を行うコマンド。

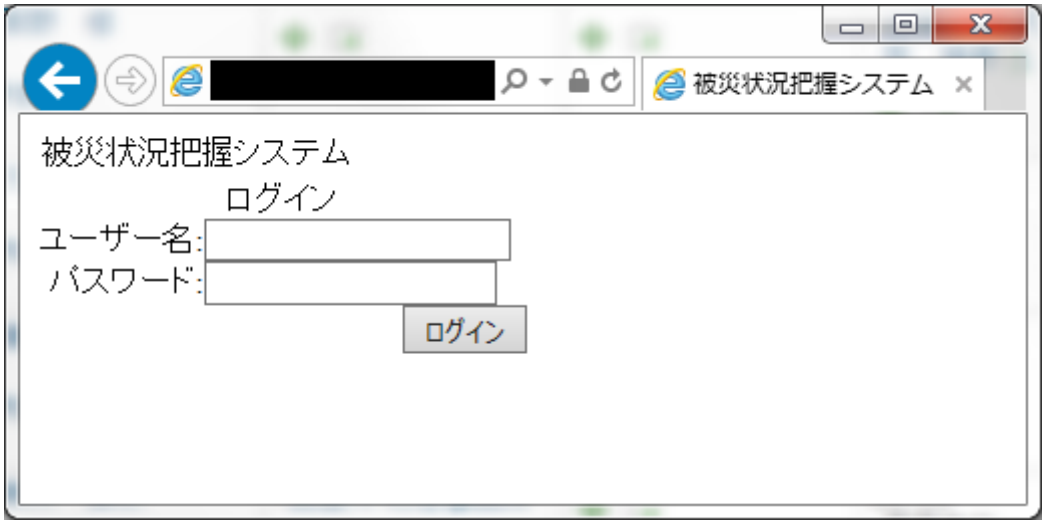
名前	概要	指示可能な値
監視局メイン電源	監視局メイン電源のON/OFFを指示する。 リモートコマンド画面で設定する。	ON OFF
表示灯制御	監視局に付随する表示灯の制御を指示する。 リモートコマンド画面で設定する。	電源 OFF 注意点灯 警告点灯
監視周期	監視局で監視を行う周期を指示する。 リモートコマンド画面で設定する。	10 秒サイクル 20 秒サイクル 30 秒サイクル
定期データ送信周期	監視局からデータを送信する間隔を指示する。 リモートコマンド画面で設定する。	1 回/日（24 時間間隔） 2 回/日（12 時間間隔） 3 回/日（8 時間間隔） 4 回/日（6 時間間隔） 5 回/日（約 5 時間(288 分)間隔） 6 回/日（4 時間間隔）
センサー閾値の設定	監視局で監視状態の判断に使用する閾値を指示する。 センサー画面で設定する。	-

2　システムの操作方法

2-1 画面遷移

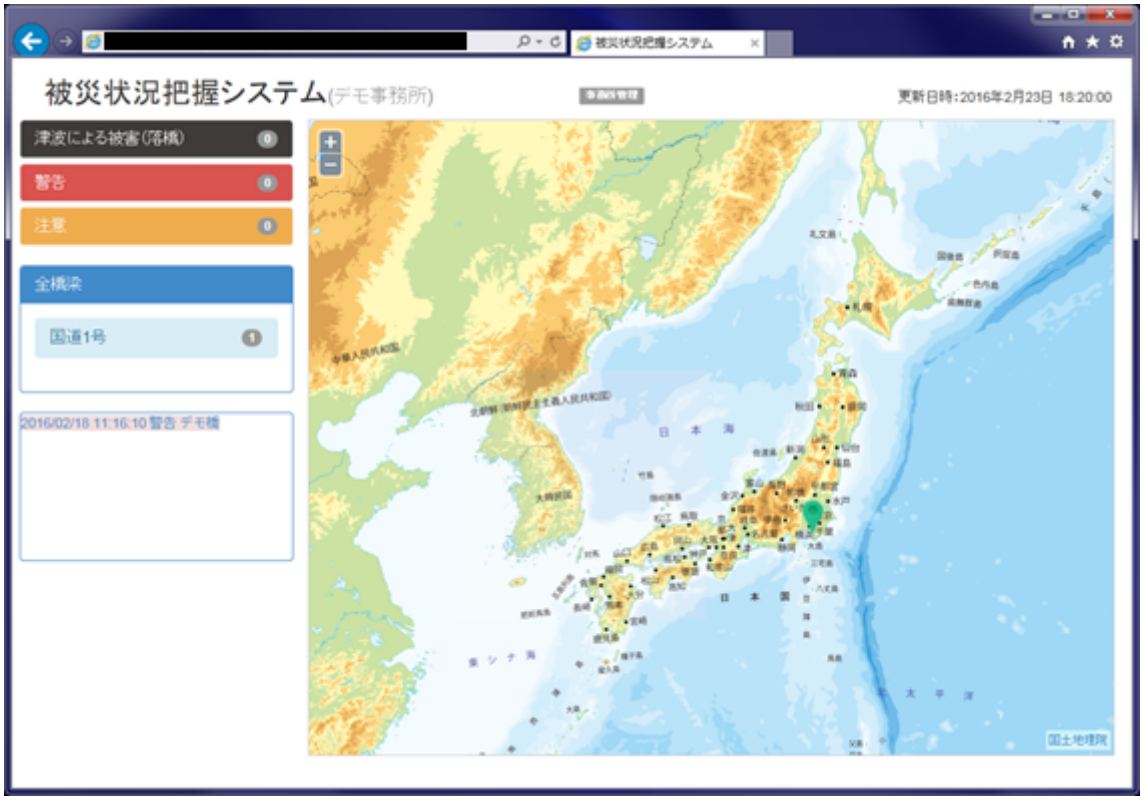


2-2 ログイン画面



ユーザー名とパスワードを入力し、ログインします。
ユーザー名とパスワードによって、所属する管理事務所、管理者ユーザーか一般ユーザーかを判別します。
ログインした後の画面は、ログインしたユーザーの所属する管理事務所のデータを表示します。また、管理者ユーザーでログインした場合のみマスター管理系の画面を使用することが可能です。

2-3 メイン画面



ログインに成功した場合、表示されます。

ログインしたユーザーに紐づいた管理事務所の管理する監視局の現在の状況が表示されます。

画面左下の履歴、地図のマーカーのいずれかをクリックすることにより、監視局表示画面を別ウィンドウで開きます。

また、管理者ユーザーでログインした場合、「事務所管理」が画面上部に表示され、そこから管理事務所画面をはじめとしたマスター管理系の画面を使用できます。

2-4 監視局表示画面

センサー計測データ

前へ(古い) | 観測日時: 2016/03/18 11:00:40 定時報告: その他(0) 監視状態: 異常 監視局全体の状態: 通常 | 次へ(新しい) グラフ

	変位量	注意閾値(+)	注意閾値(-)	警告閾値(+)	警告閾値(-)	平均変位量	平均注意閾値	平均警告閾値
P10橋脚-橋軸	-3	5110	5106	101	-103	1	15	100
P19橋脚-橋軸	-2	17	-18	101	-103	1	15	100
P34橋脚-橋軸	0	17	-18	101	-103	0	15	100
P42橋脚-橋軸	0	17	-18	101	-103	0	15	100
P48橋脚-橋軸	-2	17	-18	101	-103	1	15	100
P48橋脚-上り鉛直	-4	20	-20	100	-100	1	20	100
P48橋脚-下り鉛直	-1	20	-20	100	-100	0	20	100
P50橋脚-橋軸	-3	17	-18	101	-103	1	15	100
P50橋脚-上り鉛直	-4	20	-20	100	-100	1	20	100
P50橋脚-下り鉛直	-2	20	-20	100	-100	0	20	100
P52橋脚　橋軸	-2	17	-18	101	-103	1	15	100
P55橋脚　橋軸	-1	17	-18	101	-103	0	15	100
P58橋脚　橋軸	-2	17	-18	101	-103	1	15	100
P66橋脚　橋軸	1	17	-18	101	-103	1	15	100
A1桁端部　橋軸	-1	17	-18	101	-103	1	15	100
A2桁端部　橋軸	-2	17	-18	101	-103	1	15	100

監視局情報

緯度: [redacted]　経度: [redacted]
国道路線名: 国道[redacted]号線　距離標: [redacted](km)
橋梁名（監視局名）: [redacted]　地図上のマーカーの名前: 神宮橋
ユニットID: [redacted]
監視局メールアドレス: [redacted]

関連情報

変位量情報（JPEG形式、50MBまで）:

平均変位量情報（JPEG形式、50MBまで）:

監視局詳細情報1（PDF形式、50MBまで）: なし
監視局詳細情報2（PDF形式、50MBまで）: なし
監視局詳細情報3（PDF形式、50MBまで）: なし
監視局詳細情報4（PDF形式、50MBまで）: なし
監視局詳細情報5（PDF形式、50MBまで）: なし

メール情報

通知先メールアドレス1:　通知先メールアドレス2:
通知先メールアドレス3:　通知先メールアドレス4:
通知先メールアドレス5:　通知先メールアドレス6:
通知先メールアドレス7:　通知先メールアドレス8:
通知先メールアドレス9:　通知先メールアドレス10:

リモートコマンド　センサー　編集　削除

指定された監視局の情報を表示します。

センサー計測データ箇所の「前へ(古い)」ボタン、「次へ(新しい)」ボタンをクリックすることにより、計測データの履歴を確認することが可能です。

「グラフ」リンクをクリックすることにより、グラフ画面を別ウィンドウで開きます。

また、管理者ユーザーでログインした場合、画面下部にマスター管理系の画面を呼び出すボタンが表示されます。

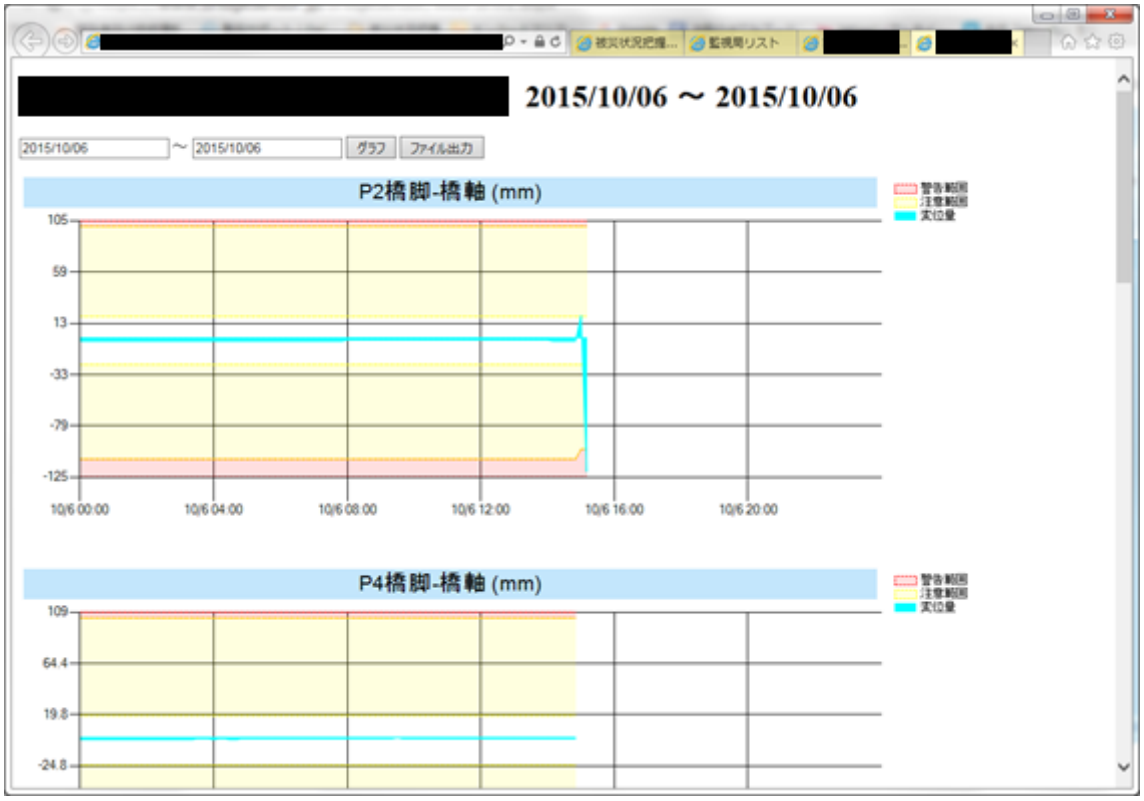
「リモートコマンド」ボタンでリモートコマンド画面を別ウィンドウで開きます。

「センサー」ボタンでセンサー一覧画面に遷移します。

「編集」ボタンで監視局データの編集が可能になります。

「削除」ボタンで監視局データの削除が可能になります。（削除確認画面になります）

2-5 グラフ画面

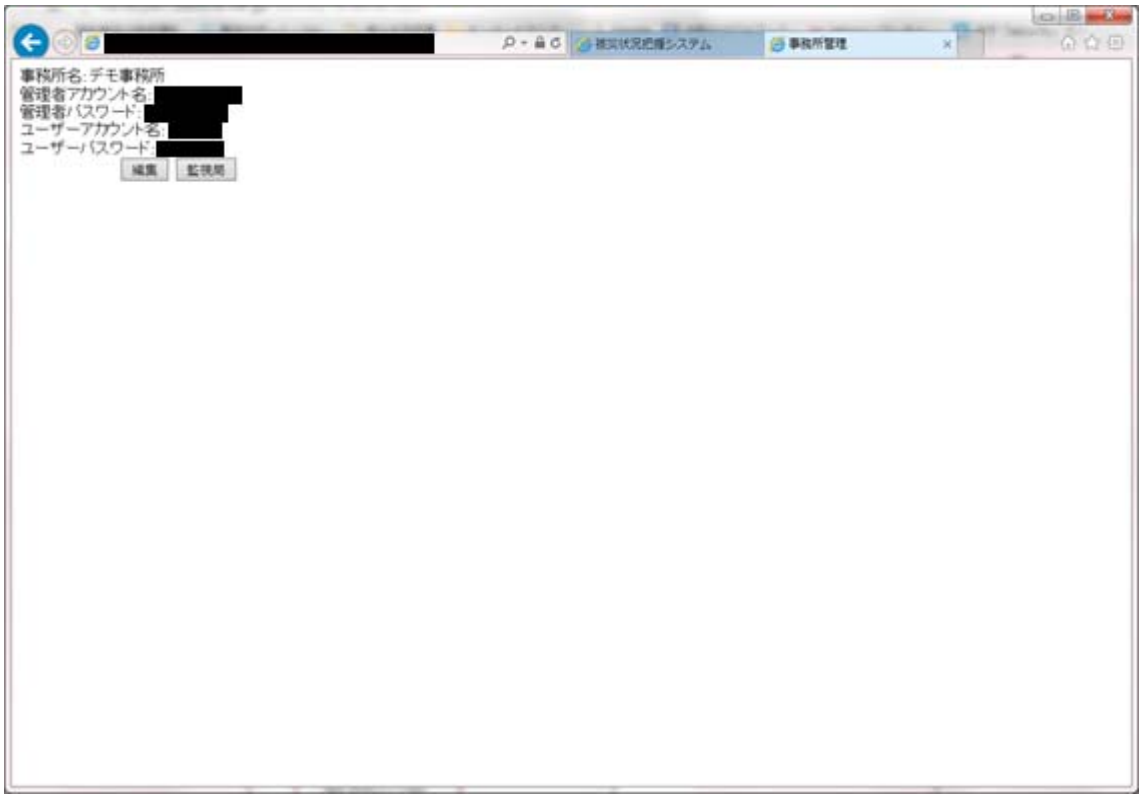


センサーごとの観測データ（変位量）のグラフを表示します。警告閾値と注意閾値の範囲も表示します。

日時を指定して表示範囲を変更することも可能です。

また「ファイル出力」ボタンをクリックすると、指定された範囲のデータを出力した Excel ファイルをダウンロードします。

2-6 管理事務所表示画面

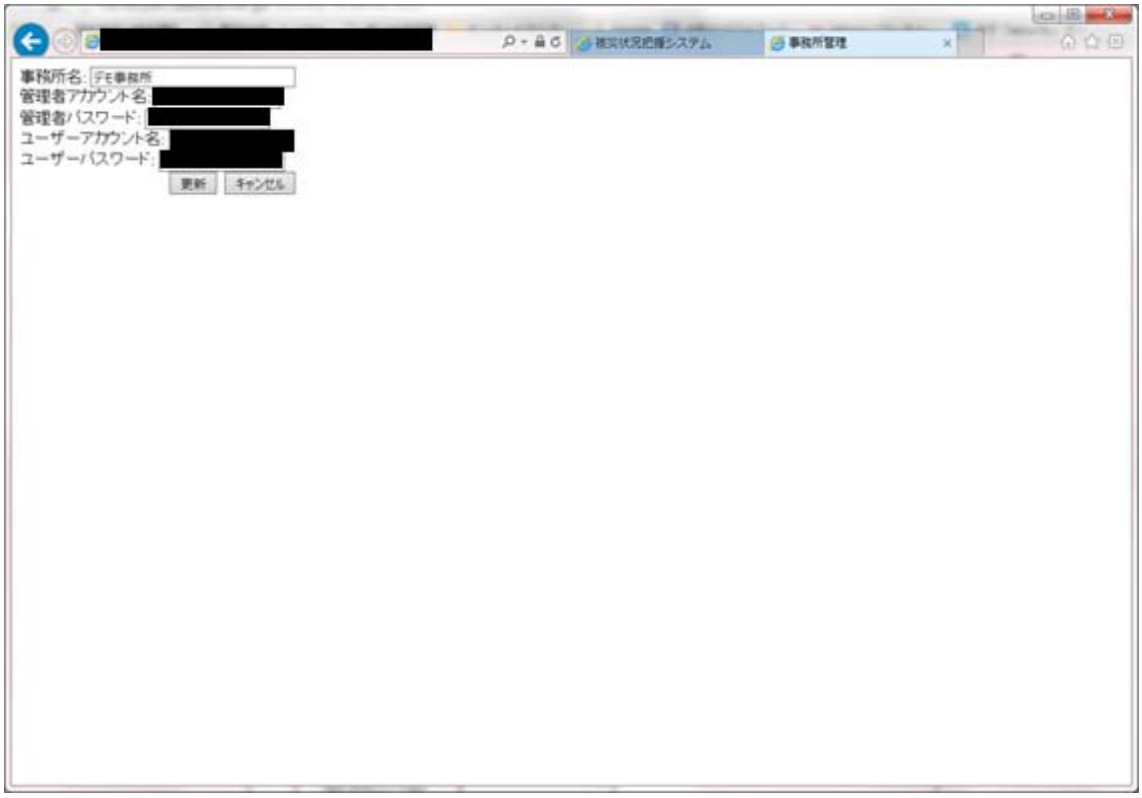


管理事務所のデータを表示します。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「編集」ボタンで管理事務所データの編集が可能になります。

「監視局」ボタンで監視局リスト画面に遷移します。

2-7 管理事務所編集画面

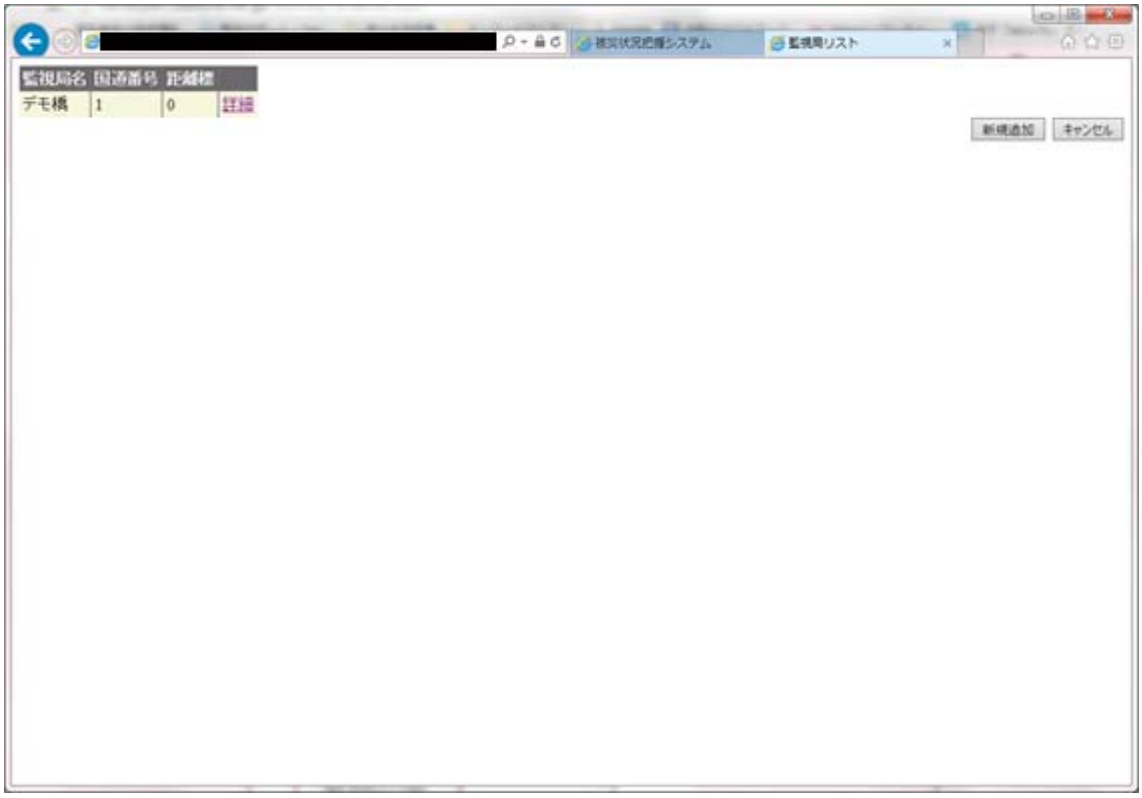


管理事務所のデータの編集を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「更新」ボタンで画面の内容を確定します。

「キャンセル」ボタンで変更を取消し、管理事務所表示画面に戻ります。

2-8 監視局リスト画面



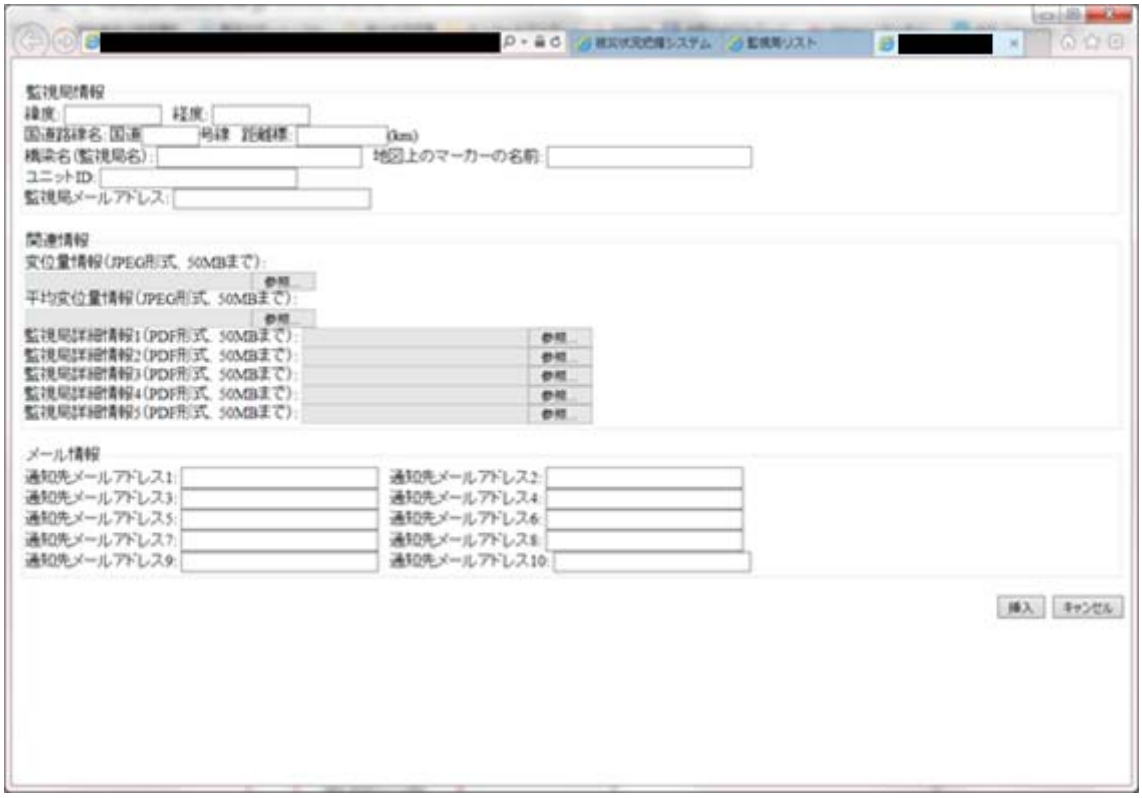
監視局のリストを表示します。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「詳細」リンクで、選択した監視局の監視局表示画面を別ウィンドウで開きます。

「新規追加」ボタンで監視局追加画面を別ウィンドウで開きます。

「キャンセル」ボタンで管理事務所表示画面に戻ります。

2-9 監視局追加画面



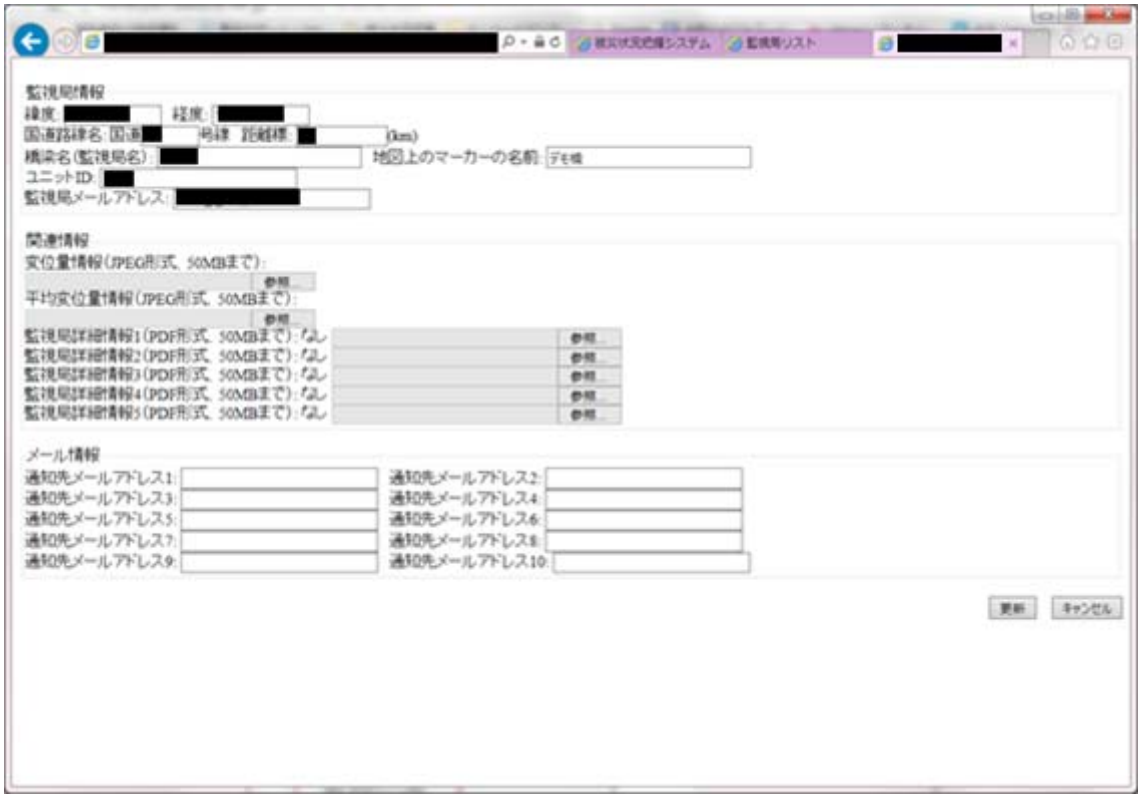
監視局の新規追加を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「挿入」ボタンで画面の内容を確定します。

※「関連情報」に添付できるファイルは、一回の登録につき合計 200MB までです。（複数回に分けて登録することにより、監視局の合計で 200MB を超えるファイル群を登録可能です。）

「キャンセル」ボタンで監視局リスト画面に戻ります。

2-10監視局編集画面



監視局のデータの編集を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「更新」ボタンで画面の内容を確定します。

※一度に添付できるファイルは、合計 200MB までです。

「キャンセル」ボタンで監視局表示画面に戻ります。

2-11監視局削除確認画面

監視局のデータ削除を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「削除実行」ボタンで画面の内容を削除します。

「キャンセル」ボタンで削除をキャンセルし、監視局表示画面に戻ります。

2-12リモートコマンド画面

監視局へのリモートコマンドの確認を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「監視局電源の操作」ボタンでリモートコマンド画面（監視局電源）に遷移します。

「監視周期の操作」ボタンでリモートコマンド画面（監視周期）に遷移します。

「定期データ送信周期の操作」ボタンでリモートコマンド画面（定期データ送信周期）に遷移します。

「表示灯制御の操作」ボタンでリモートコマンド画面（表示灯制御）に遷移します。

「キャンセル」ボタンで画面を閉じます。

2-13リモートコマンド画面（監視局電源）

監視局電源を操作するコマンド送信を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「実行（コマンド送信）」ボタンで監視局にコマンドを送信します。

※「リモートコマンド情報」に表示されているコマンドの送受信状況を確認し、前回送信したコマンドに対する応答があるまで、次のコマンドを送信しないようにしてください。

「キャンセル」ボタンでリモートコマンド画面に戻ります。

2-14リモートコマンド画面（監視周期）

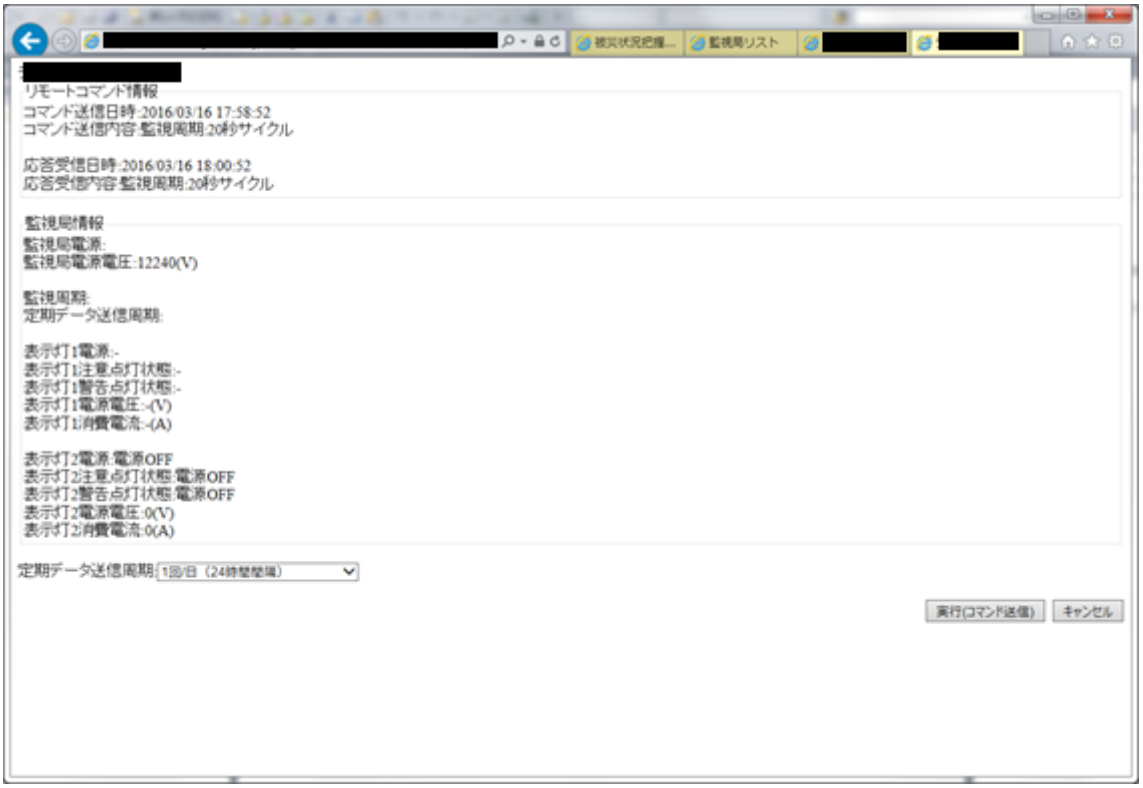
監視局の監視周期を操作するコマンド送信を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「実行（コマンド送信）」ボタンで監視局にコマンドを送信します。

※「リモートコマンド情報」に表示されているコマンドの送受信状況を確認し、前回送信したコマンドに対する応答があるまで、次のコマンドを送信しないようにしてください。

「キャンセル」ボタンでリモートコマンド画面に戻ります。

2-15リモートコマンド画面（定期データ送信周期）



監視局の定期データ送信周期を操作するコマンド送信を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「実行（コマンド送信）」ボタンで監視局にコマンドを送信します。

※「リモートコマンド情報」に表示されているコマンドの送受信状況を確認し、前回送信したコマンドに対する応答があるまで、次のコマンドを送信しないようにしてください。

「キャンセル」ボタンでリモートコマンド画面に戻ります。

2-16リモートコマンド画面（表示灯制御）

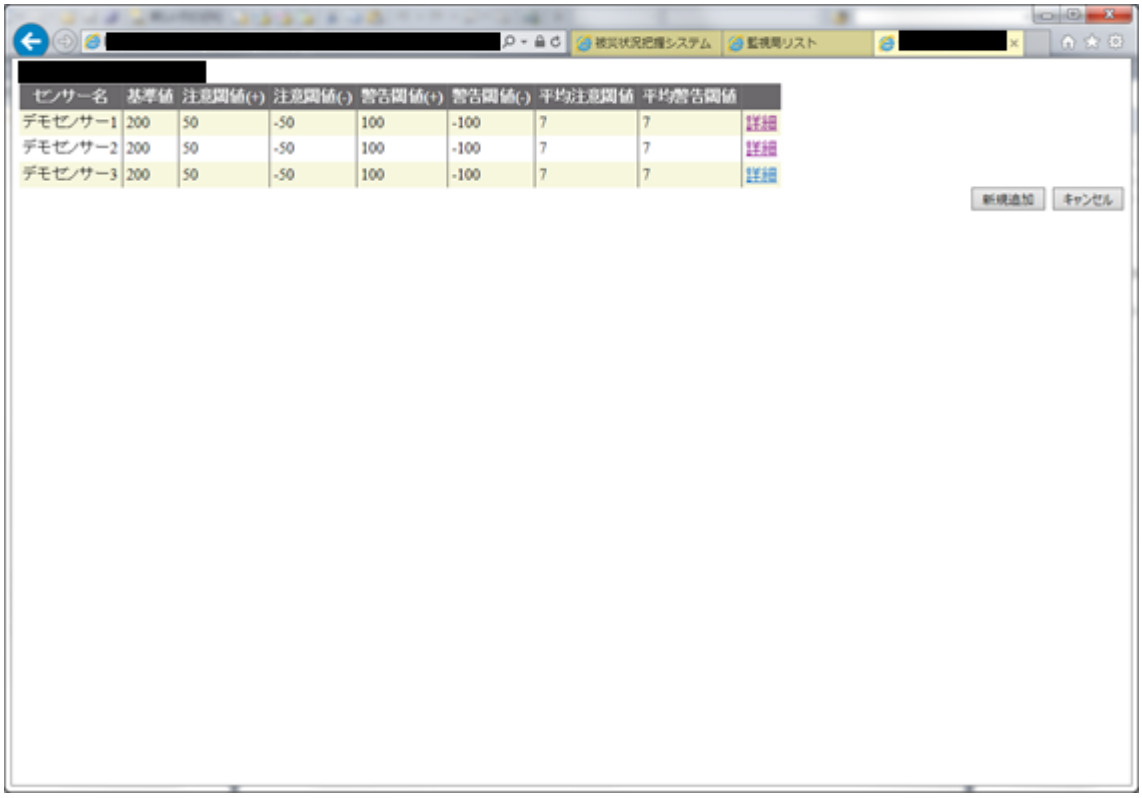
監視局の表示灯を操作するコマンド送信を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「実行（コマンド送信）」ボタンで監視局にコマンドを送信します。

※「リモートコマンド情報」に表示されているコマンドの送受信状況を確認し、前回送信したコマンドに対する応答があるまで、次のコマンドを送信しないようにしてください。

「キャンセル」ボタンでリモートコマンド画面に戻ります。

2-17センサーリスト画面



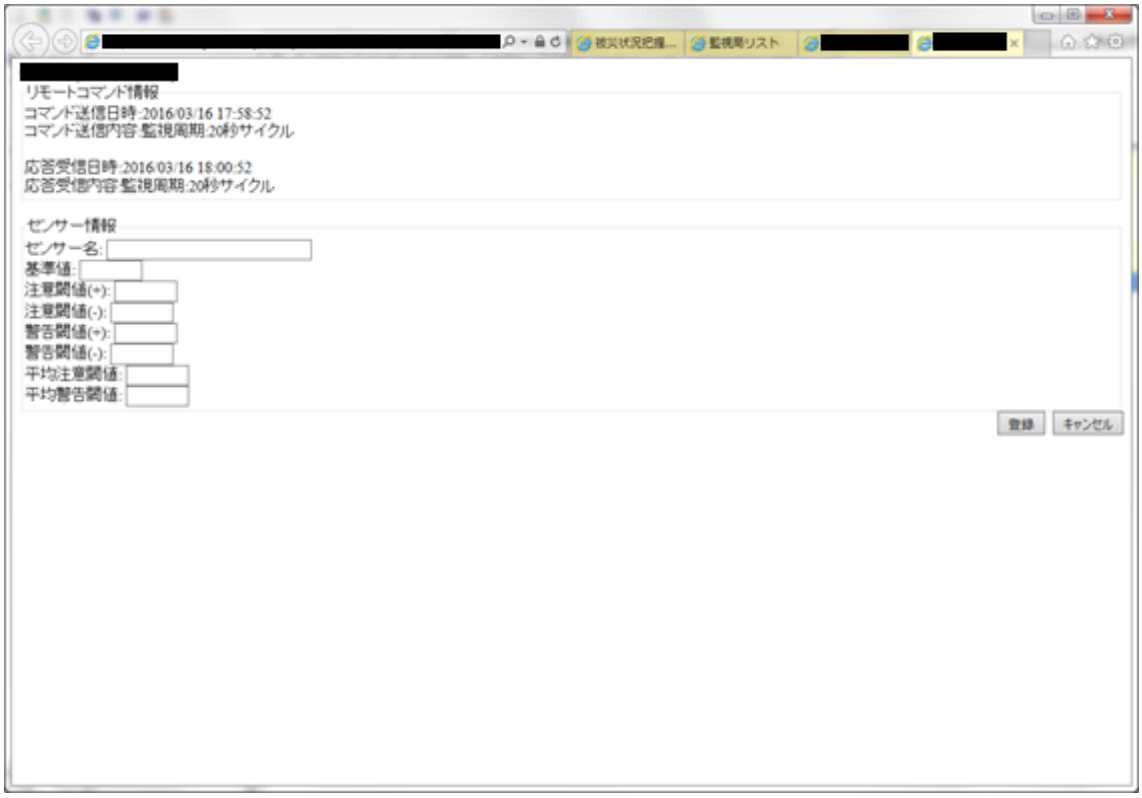
監視局に紐づいたセンサーのリストを表示します。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「詳細」リンクで、選択したセンサーのセンサー表示画面を別ウィンドウで開きます。

「新規追加」ボタンでセンサー追加画面を別ウィンドウで開きます。

「キャンセル」ボタンで監視局表示画面に戻ります。

2-18センサー追加画面



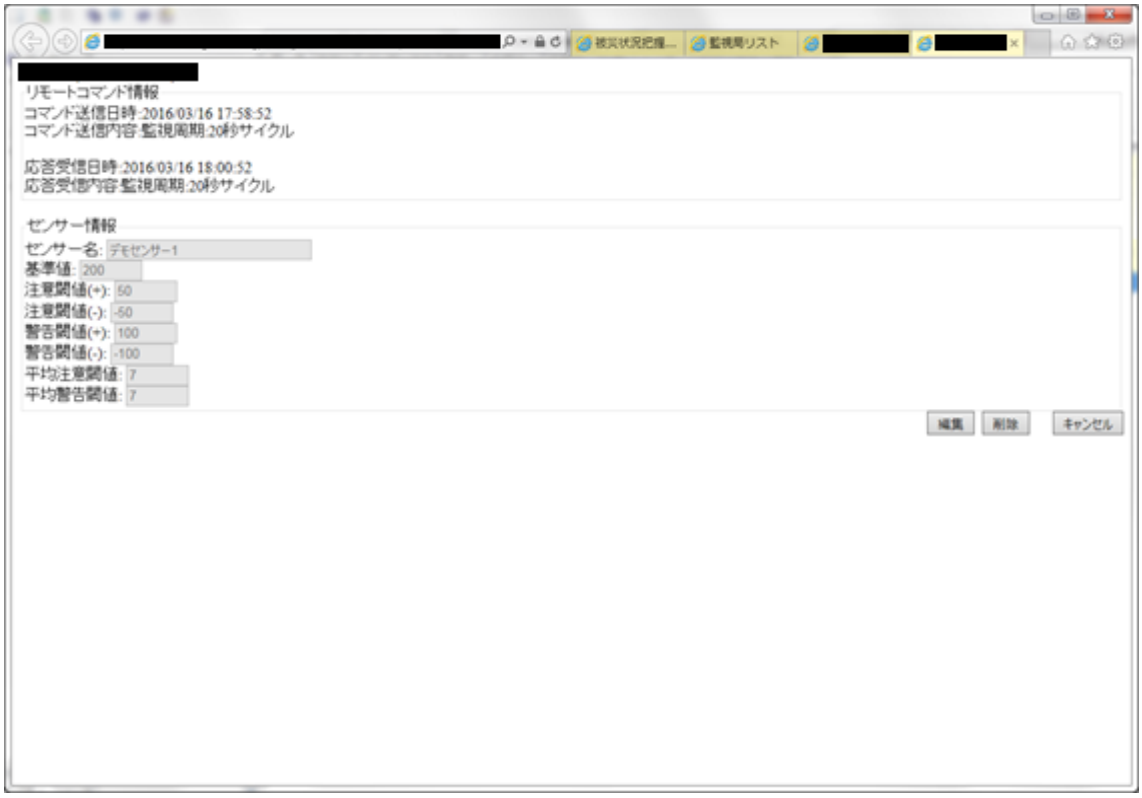
センサーの新規追加を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「登録」ボタンで画面の内容を確定します。

※センサー編集時には監視局にコマンドを送信しますが、追加時には送信しません。

「キャンセル」ボタンでセンサーリスト画面に戻ります。

2-19センサー表示画面



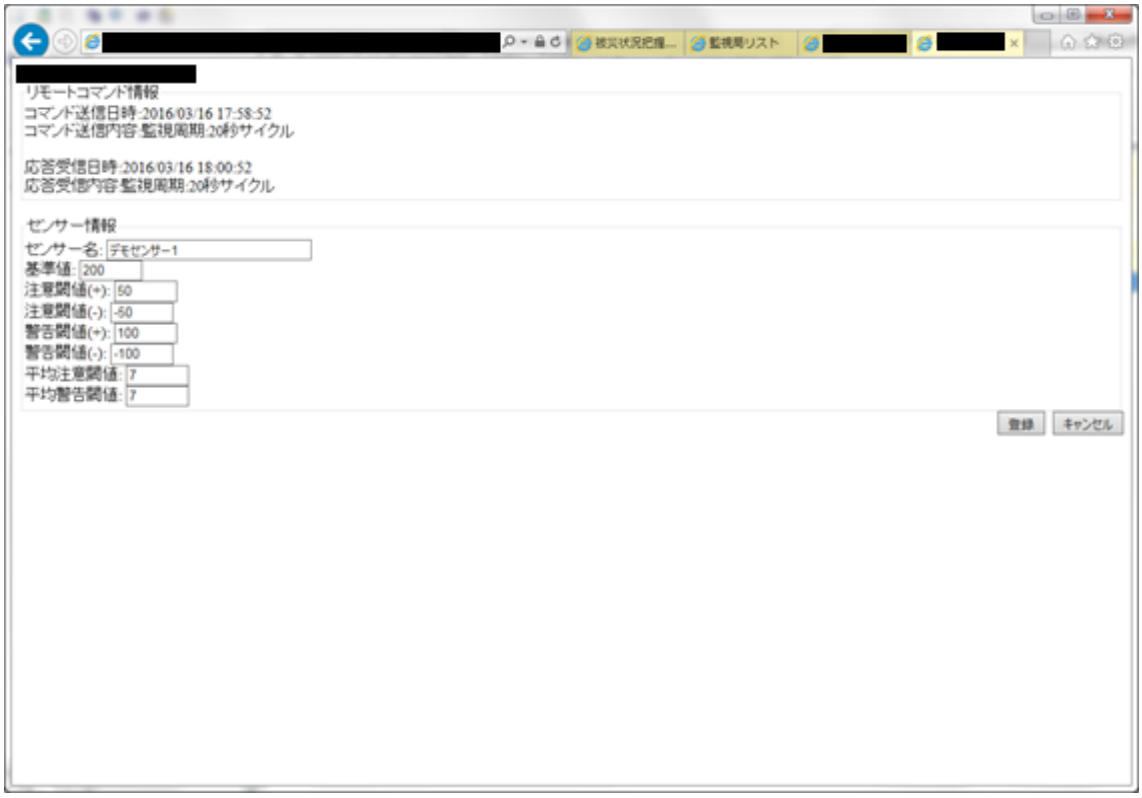
センサーの情報を表示します。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「編集」ボタンでセンサーデータの編集が可能になります。

「削除」ボタンでセンサーデータの削除が可能になります。（削除確認画面になります）

「キャンセル」ボタンでセンサーリスト画面に戻ります。

2-20センサー編集画面



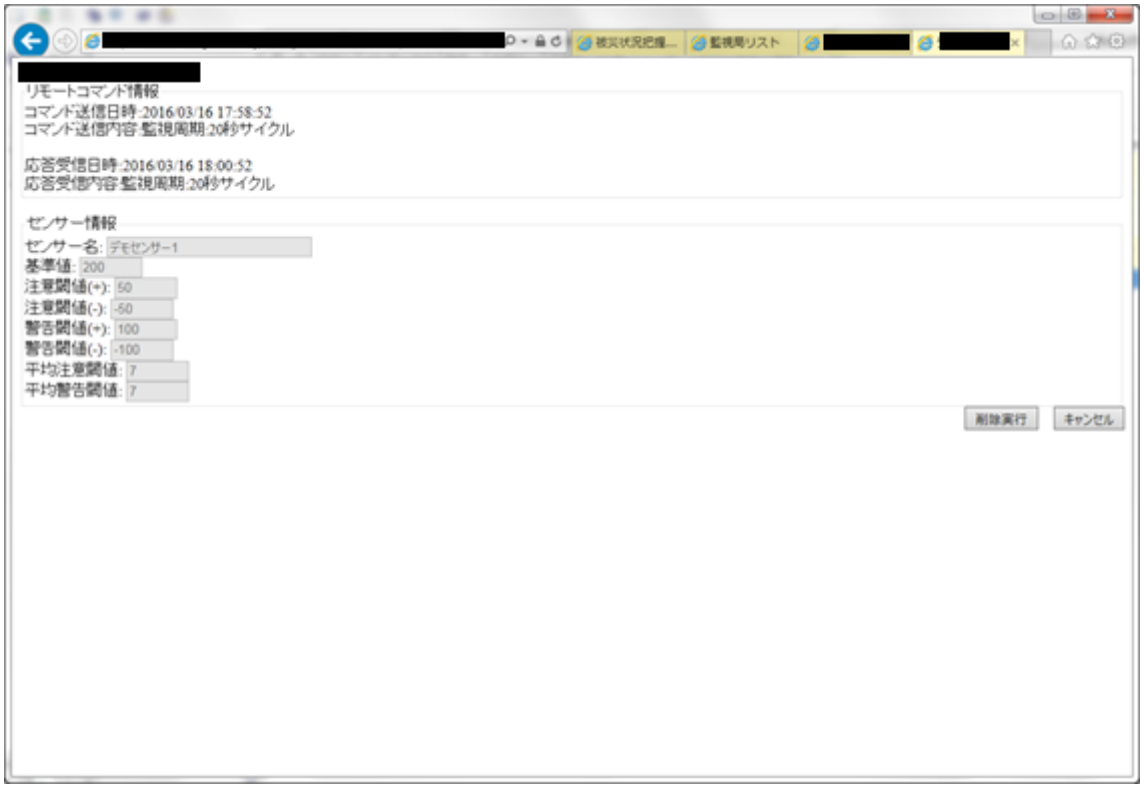
センサーのデータの編集を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「登録」ボタンで画面の内容を確定します。

※あわせて監視局にコマンドを送信します。「リモートコマンド情報」に表示されているコマンドの送受信状況を確認し、前回送信したコマンドに対する応答があるまで、次のコマンドを送信しないようにしてください。

「キャンセル」ボタンでセンサー表示画面に戻ります。

2-21センサー削除確認画面



監視局のデータ削除の確認を行います。管理者ユーザーでログインした場合のみ使用可能です。

「削除実行」ボタンで画面の内容を削除します。

※センサー編集時には監視局にコマンドを送信しますが、削除時には送信しません。

「キャンセル」ボタンで監視局表示画面に戻ります。

3　プログラム内容

3-1 web 用プログラム

観測データの表示、マスターデータの編集、監視局の遠隔操作の各機能を提供します。

3-2 観測データ受信プログラム

監視局から観測データを受信し、web 関連プログラムで使用するためにデータベースに格納します。

また、観測データとマスターデータをもとに状況を判断し、必要な場合はメール発報、表示灯への命令を行います。

3-3 マスターデータ同期プログラム

冗長性確保のため、メイン系統でマスターデータを編集した場合、サブ系統に編集後の値を反映します。

サブ系統でのみ動作します。毎日深夜 12 時に処理を行います。

4　その他注意事項

4-1 データ同期

メイン系統のほか、バックアップとしてサブ系統の web サーバーを用意しています。

観測データはリアルタイムに同期していますが、マスターデータについては 1 日 1 回同期を行っているため、データが古い場合があります。

また、マスターデータのバックアップはメイン系統からサブ系統の片方向のみです。

そのため、サブ系統ではマスターデータを編集しないでください。

謝　　辞

本資料にて紹介した道路橋被災状況把握システムは、東北地方整備局にて行った東北地方太平洋沖地震後の道路橋の緊急点検の結果について分析等を行い、試行フィールドとして関東地方整備局・中部地方整備局・近畿地方整備局・四国地方整備局・九州地方整備局の各事務所にて管理している道路橋に本システムを設置し、検証実験等により得られた成果であります。ここに、ご多忙な業務の合間を縫って本システムの開発・研究にご協力頂いた各事務所のご担当者に感謝申し上げます。

また査読者各位の御意見により、本資料は大幅に改善されました。感謝申し上げます。

本資料は以下報告書を基にとりまとめたものであり、各業務において各方面の関係者にご協力頂きましたので、併せて感謝申し上げます。

・「地震後の道路橋の被災状況把握手法に関する調査業務　報告書」（平成 25 年 3 月　大日本コンサルタンツ㈱）

・「道路橋における地震被害の計測技術に関する調査業務　報告書」（平成 26 年 7 月　いであ・東京ソイルリサーチ設計共同体）

・「道路橋の地震被害計測技術の適用性検証に関する調査業務　報告書」（平成 27 年 3 月　いであ・東京ソイルリサーチ設計共同体）

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ
Ｎｏ．９６９　　March　2017

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804　茨城県つくば市旭１番地
企画部研究評価・推進課　　TEL 029-864-2675