

鉄道近接工事における計測管理

全日本コンサルタント株式会社 技術部

三輪 幸一郎

目 次

I はじめに	1
II 計測管理について	
1. 近接程度の判定	1
2. 計測管理の手順	3
3. 計 画	3
4. 計測管理方法	12
5. 計測管理の実績	19
III 計測事例1 近鉄難波線下を通過する下水シールド工事の計測管理	
1. 下水シールド工事の概要	21
2. 近鉄難波線難波トンネルの構造（シールド交差部）	23
3. シールド工事によるトンネル変位予想	24
4. トンネル計測管理計画の立案	28
5. 計測実施結果	33
6. 評 価	39
IV 計測事例2 名古屋線米野駅構内こ道橋新設工事に伴う計測管理	
1. ささしまライブ24工事概要	40
2. R&C工法の概要	42
3. 計測管理	43
4. 計測管理体制	47
5. 計測報告	49
6. 今後の影響について	53
V 斜面災害計測について	
1. 概 要	54
2. 斜面センサの概要	55
3. あとがき	60
VI おわりに	61

I はじめに

軌道や鉄道構造物の近傍で工事を行う場合、掘削による地盤の緩みや地下水の変動等により、沈下や横移動などの悪影響を線路に及ぼすことがある。このような事故を未然に防止し、列車運行の安全を確保するためには、FEM解析等により予め地盤の変位を予測し、必要に応じて防護工事を計画するとともに、工事中の軌道や構造物を監視するために現場で計測管理を実施することは有効な手段である。

本発表では、当社がこれまで近鉄で実施した計測管理を中心に報告し、また斜面災害防止の観点から最新の計測技術についても紹介する。

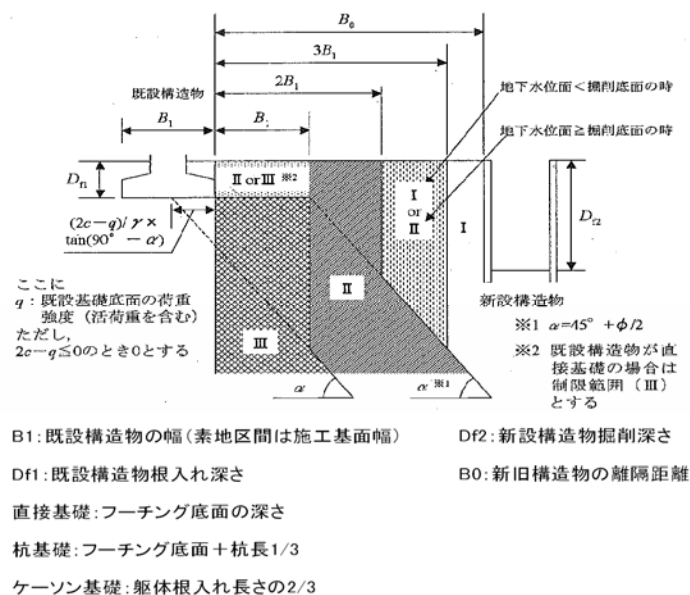
II 計測管理について

1. 近接程度の判定

鉄道近接施工にともなう計測管理をするうえには、近接程度の判定が大いに関わってくる。近接施工に関する指針類の中に「都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル」がある。この指針の特徴は、近接施工の検討手順、近接程度の判定、影響予測、対策工および計測管理等、鉄道近接施工に対する基本的な考え方が具体的に示されており、多くの鉄道事業者の参考とされている。

近接程度の判定については、新設構造物および既設構造物の種類、新構造物と地盤から決まる3つの範囲、「無条件範囲(I)」、「要注意範囲(II)」、「制限範囲(III)」のいずれかに、新設構造物が属するかによって判定する。

例として、仮土留め工を用いた掘削を既設構造物に近接して施工する場合の近接判定区分を示す。



図II-1-1 掘削の近接程度の区分

表Ⅱ-1-1 近接程度の区分と対策内容

近接程度の区分		対策および計測管理内容
区 分	内 容	
無条件範囲（Ⅰ）	新設構造物の施工により既設構造物に対し、変位や変形等の影響が及ばないと考えられる範囲。	一般に特別の対策を必要としない。
要注意範囲（Ⅱ）	新設構造物の施工により既設構造物に対し、通常は変位や変形等の有害な影響はないとして良いがまれに影響があると考えられる範囲。	新既設構造物の対策を原則として実施するとともに、既設構造物の変位、変形量を推定し許容変位量との比較を行う等影響度を検討した上で、状況に応じて既設構造物側の対策を実施する。また、工事を安全に進めるため、対象となる既設構造物および周辺地盤や新設構造物の挙動を必要に応じて計測管理する。
要注意範囲（Ⅲ）	新設構造物の施工により既設構造物に対し、変位や変形等の有害な影響が及ぶと考えられる範囲。	新既設構造物の対策は必ず実施するとともに、既設構造物の変位、変形量を推定し許容変位量との比較を行う等影響度を検討した上で、原則として既設構造物側の対策を実施する。また、工事を安全に進めるため、対象となる既設構造物および周辺地盤や新設構造物の挙動を必要に応じて計測管理する。

近接程度の区分によれば、鉄道構造物付近で、仮土留め工を用いた掘削を施工すれば要注意範囲(Ⅲ)となり、その内容からも近接施工により、鉄道構造物に対し、変位や変形等の有害な影響が及ぶとの考えから、鉄道構造物の挙動を計測管理する必要がある。その方法については、列車の安全運行や鉄道構造物の安全性および耐久性等を考慮し、適切な計測計画が必要となってくる。表Ⅱ-1-2 に都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアルに記載されている既設構造物の種類と施工(新設)される構造物・補助工法の組合せ表を示す。

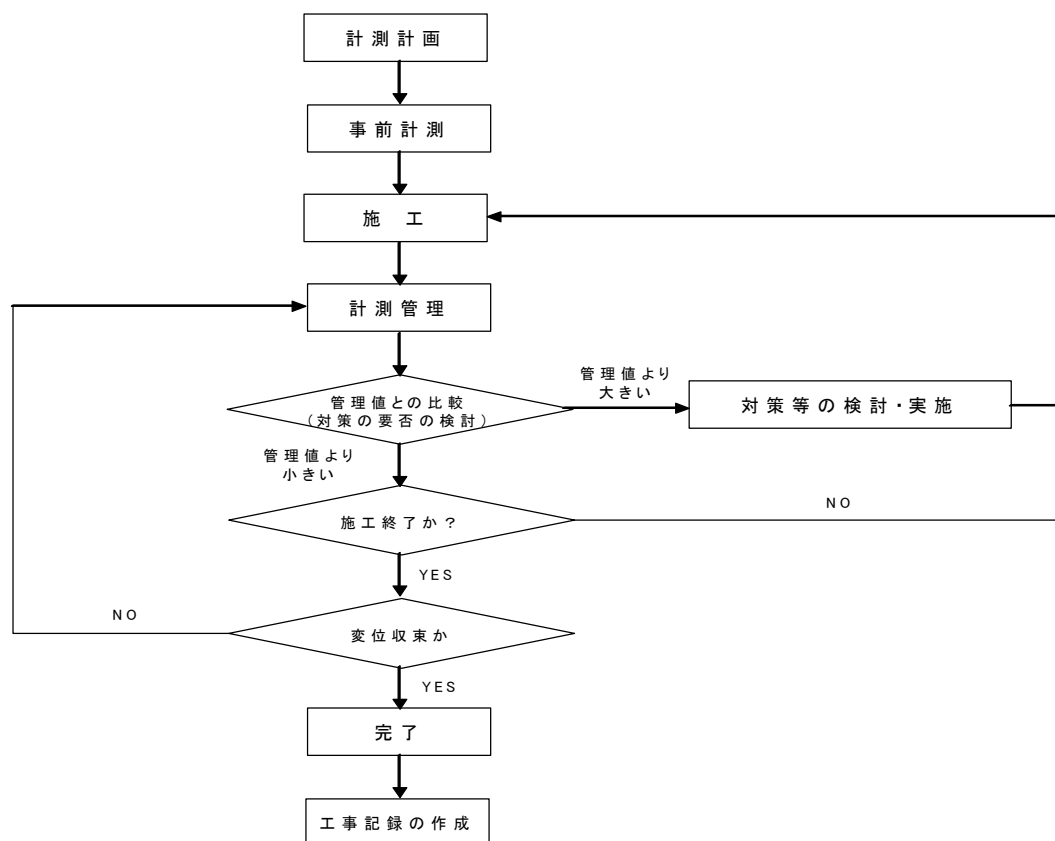
表Ⅱ-1-2 近接程度の判定組合せ表

既 設 構 造 物 の 種 類		基 礎			地 中 構 造 物	杭 土 圧 構 造 物	
		直 接 基 礎	杭 基 礎	ケー ソン 基 礎		直 接 基 礎	杭 基 礎
土 工 ・ 基 礎	盛 土 ・ 切 土		○		○	○	
	仮土留め壁を用いて掘削		○		○	○	
	地中連続壁	○	○		○	○	○
	オープンケーソン・PCウェル		○		○		
	ニューマチックケーソン		○		○		
	打込み杭		○			○	
	埋込み杭	○	○		○	○	○
	場所打ち杭	○	○		○	○	○
	深礎杭	○	○		○	○	
トンネル	シールドトンネル		○		○		
補 助 工 法	薬液注入工		○		○		
	深層攪拌混合工法（機械式）	○	○		○	○	
	深層攪拌混合工法（高圧噴射）		○		○		
	地下水位低下工法		○				

○：近接程度の判定あり

2. 計測管理の手順

計測管理は、近接施工による影響を監視し、管理値を越えていないかどうかチェックするとともに、事前に行なう影響予測の妥当性を確認することで列車の安全運行および鉄道構造物の安全性、耐久性を確保するためのものである。



図Ⅱ-2-1 計測管理の手順

3. 計画

(1) 全般計画

近接施工による影響をできるだけ正確に迅速に把握できるよう、既設構造物への影響予測に基づいて、影響が最も顕著に現れる計測項目や計測位置、計測方法を確立し、これに経済性を考慮した計測計画を立案することが大事である。

(2) 計測項目と計測機器

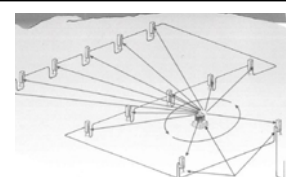
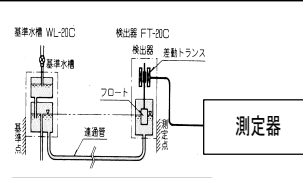
計測項目は、近接する鉄道構造物の挙動を直接測定する場合と新設構造物や仮設構造物の施工管理に直結した項目について計測する場合とに分かれる。鉄道構造物については変位計測が中心となるが、施工する側でも計測管理が必要であり、例えば、線路下横

断工事では、立坑の土留め壁の変形やルーフのゆがみ等を水系やトランシットで計測することで、施工の安全性の確保や鉄道構造物側への影響の徴候を早く知るためにも欠かせない。計測機器については、必要とされる計測精度や計測頻度、経済性などを勘案して選定するが、計測機器を構造物に取り付ける治具やその設置方法により、計測結果に大きな影響を与えることもあるので、十分な検討が必要である。当社の実績による計測項目と計測機器を表Ⅱ-3-1 に示す。

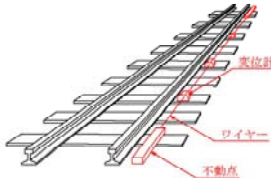
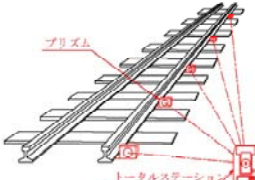
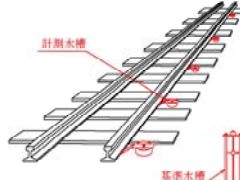
表Ⅱ-3-1 計測項目と計測機器（当社実績）

計測対象	計測項目	計測機器
高架橋	鉛直変位 (相対変位)	水盛式沈下計
	傾斜	傾斜計
橋脚・橋台	鉛直変位 (相対変位)	水盛式沈下計
	傾斜	傾斜計
トンネル	鉛直変位 (相対変位)	水盛式沈下計
躯体構造物	水平変位 鉛直変位	連結2次元変位計
	鉛直変位 (相対変位)	レーザーレベル
仮設構造物	3次元	トータルステーション
	切梁応力	ひずみ計
軌道	鉛直変位 (相対変位)	オーバーフロー式沈下計

表Ⅱ-3-2 計測機器比較表(1)

名称	ラインゲージ	電子レベル・電子スタッフ	水盛式沈下計
イメージ			
計測原理	不動となるワイヤーと測点との移動量を非接触レーザー光にて検出する。両不動点に一定張力で張った	レベルプレーナー(回転式レーザー発光器)の描く水平面を並列光センサーで検出する。	水盛り原理により、測点位置と基準水位の高低差を測定。
測定項目	鉛直変位量、水平変位量	鉛直変位	鉛直変位
測定範囲	±35mm	190mm	±20mm
測定時間	高速	中速 (1点あたり1秒)	高速
設置制約	両側に不動点を必要とし、極力直線に設置する必要がある。(曲線部の場合、設置は難しい)	十分な見通しが利く必要がある。	水盛式沈下計においては高低差が測定範囲を超える時は、別に基準水槽を設置して盛替える必要がある。既存設備に支障を与えることなく設置が可能である。
現場の適性	・トンネル内の鉄道施設があるため、これら避けるため張り出して計測器を設置する必要がある。(建築限界を確保できないおそれがある) ・本方式を採用する場合、両側に不動点を設ける必要があるが、現地条件により両側に不動点を設けることはできない。	・本計測方法はレベルプレーナー～レーザーレベルの見通しがきくことが必要であり、張り出して計測器を設置する必要がある。(この結果、建築限界を確保できないおそれがある) ・列車の往来により計測不可になる時間が発生	・トンネル内での計測となるので、温度影響は小さいと思われるが温度補正が必要になる場合がある。

表Ⅱ-3-3 計測機器比較表(2)

名称	ワイヤ式計測器 (LPSSシステム)	三次元測量 (トータルステーション)	オーバーフロー式沈下計 (OCSシステム)
イメージ			
計測原理	両不動点に一定張力で張ったワイヤーを基準とし、変位計のレーザーセンサーにより変位量を計測する。	レールに取付けたプリズムを自動追尾機能のトータルステーションにより3次元計測する。	基準水槽と計測水槽を連水管によって繋ぎ、計測水槽に水頭差圧をかけて水をオーバーフローさせ水位を平衡状態にして基準水槽のセンサーにより測定する。
測定項目	鉛直、水平変位 (水準、高低、通り)	鉛直、水平変位 (水準、高低、通り)	鉛直変位 (相対変位 水準、高低)
測定範囲	±17mm	0～望遠鏡の稼動範囲	基準水槽のサイズに準ずる (400mm～2,000mm)
計測精度	±1.0mm程度	±1.0mm以上 (100m程度)	±0.5mm程度
現場の適正	・曲線区間や縦曲線区間ではワイヤーを直線上に張ることが困難であり、変位計のセンサーの許容範囲での計測が不可能である。	・トータルステーションで視準するには、十分な見通しの確保が必要である。現場は通過列車、留置列車が多く、見通しが遮られる場合が多い。	・線路線形の影響を受けない。
軌道整備の適正	・ワイヤーが干渉する。 ・変位計の許容範囲±17mmを超過する軌道整備ができない。	・プリズムが損傷しやすい。 ・粉塵や油脂類が付着しやすく清掃が必要となる。 ・軌道整備後の視準調整が毎回必要となる。	・タイタンパーによる衝撃振動に強く軌道整備後の調整は不要である。

a. 構造物に対する計測機器（水盛式沈下計）

構造物の隆起や沈下の計測は、古くから用いられてきた水の平面性を利用したものと、新しい技術であるレーザ光を用いたものがある。レーザ光については、設置工事の簡便さやメンテナンスが容易なことから短期の測定に適しているが、見通しの制限、雨や雪、陽炎など光学的外乱に弱く、コスト面から見ても、長期間の自動観測には、水を用いたものが圧倒的に多い。その中でも、水盛式沈下計は、機構部分がシンプルで信頼性が高く保守が容易であることから多く使われている。

水盛式沈下計の特徴は以下の通りである。

- ① 屋外防水仕様のため、風雨に強く高湿度のトンネル内でも使用可能。
- ② 各測点を同時に高速に測定できる。
- ③ 設置状況では曲線にも対応可能。
- ④ 直接計器を配管で結ぶため、広範囲に測点を設けられる。

- ⑤ 水温変化の影響を受けるので温度補正が必要となる。
- ⑥ 水管を基本的にはレベル配管で設置しなければならない。
- ⑦ 水が蒸発するため、定期的にメンテナンス(水補充)が必要。

b. 軌道に対する計測機器

軌道に用いる計測機器は、現場の要求する条件（範囲、精度、計測期間、設置条件）を把握して選定しなければならない。特に列車の走行安全性に直接影響を及ぼす軌道変位の計測については、連続的かつ自動的に計測できることを条件に、機器の選定にあたっては以下の点に留意する必要がある。

- ① 計測目的および計測項目に適した機器であること。
- ② 現場計測であるから、耐久性、防塵性、耐衝撃性に優れていること。
- ③ 取扱いが容易であること。
- ④ 計測記録の保存が可能であること。
- ⑤ 全測定期間を通して測定機能に安定性があること。
- ⑥ 故障時の対応が迅速にできるものであること。

当社では、厳しい線路環境のもと耐久性・耐候性に優れ、頻繁に行われる軌道整備や、その他の保線作業にも対応できるオーバーフロー式沈下計を採用している。

c. オーバーフロー式沈下計のしくみ

オーバーフロー式沈下計は、水盛式の原理を利用した沈下計の一種で、基準水槽と連水管によって繋がった計測水槽に水頭差圧をかけ、計測水槽の水をオーバーフローさせることで水位の平衡状態を作りだし、基準水槽の水面が安定した時の水位高さを測定している。従来型の水盛式沈下計では、各測点にある計器自体が計測値を読み取るが、オーバーフロー式沈下計は、基準水槽 1 台で、各測点の測定値を読みに行く仕組みとなっている。

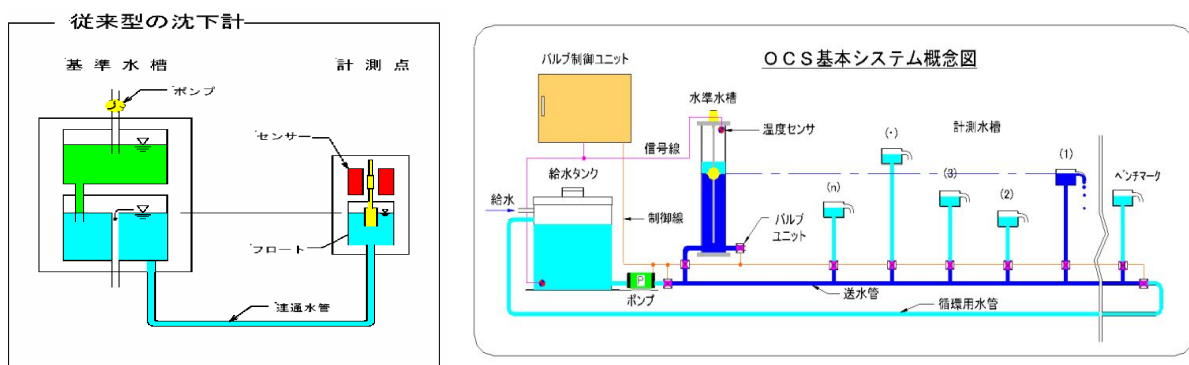
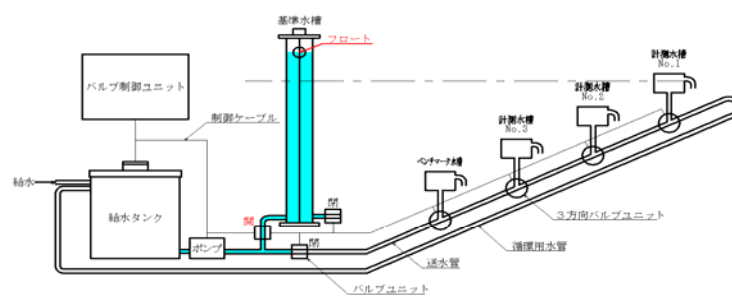
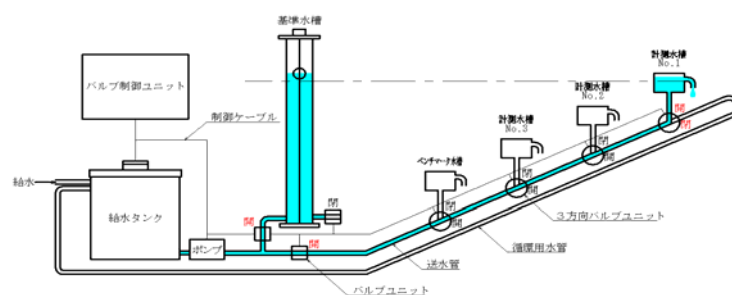


図 II-3-1 従来型とオーバーフロー式沈下計の基本システム概要図

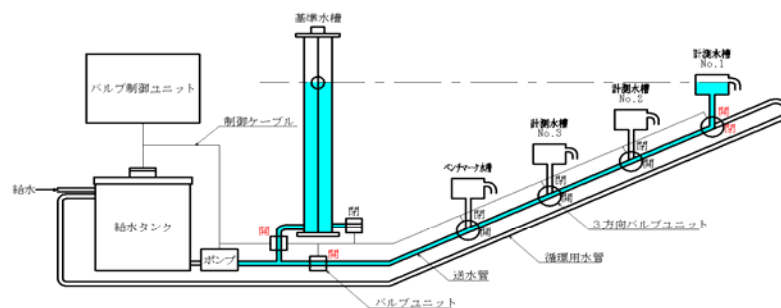
STEP1 ・ 基準水槽の水位を計測水槽No. 1 より高くなるまで注水する。



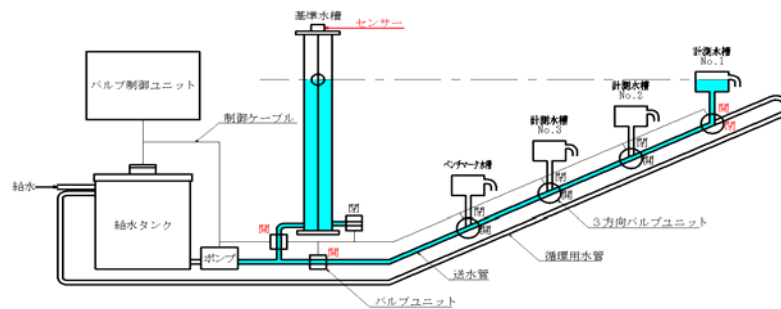
STEP2 ・ 3方向バルブユニットを操作する。
・ 基準水槽より計測水槽No. 1 へ水を送り、オーバーフローさせる。



STEP3 ・ 基準水槽の水位を低下させ、計測水槽No. 1の水位と平衡を保つ。



STEP4 ・ 平衡状態でセンサーにより基準水槽の水位を複数回測定し、平均値を計測値とする。



図Ⅱ-3-2 オーバーフロー式沈下計基本動作図

以下に、オーバーフロー式沈下計の主だった特徴を示す。

- ① 計測水槽にセンサー、信号ケーブルを必要としない構造となっており、左右レールに設置しても軌道短絡の心配がない。



写Ⅱ-3-1 計測水槽

- ② 計測水槽は、内槽と外槽の二重構造としており、外槽により風や異物の進入を防ぐとともに外力による変形等が生じない頑丈な構造としている。



写Ⅱ-3-2 計測水槽内部

- ③ 計測水槽はマクラギ間で設置しているので、通常につき固め作業には支障しない。



写Ⅱ-3-3 軌道整備の状況

- ④ 軌道作業に支障する場合でも、計器の撤去・復旧が簡単に行なえる。当日立会で、計測データの復元が可能である。



写Ⅱ-3-4 沈下計の撤去・復旧作業状況

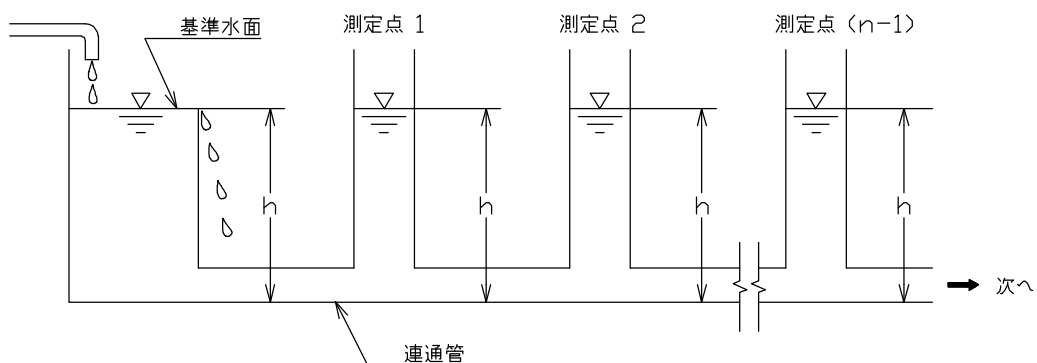
d. 水盛式沈下計のしくみ

水盛式沈下計は、基準水槽と沈下検出器から構成され、基準水槽は、施工の影響範囲外の不動点に設置、沈下検出器は、沈下の予測される観測点に設置し、両者を連通管でつなぎ、観測点で沈下が発生した場合、基準水槽と沈下検出器の間で発生する水位差を電氣的に検出して、沈下量を検出している。測定原理は、基準点と各測定点の間を、水を入れたホースで連結したときに、各点の水圧が鉛直変位に比例して変化する、いわゆる「水盛りの原理」を利用している。

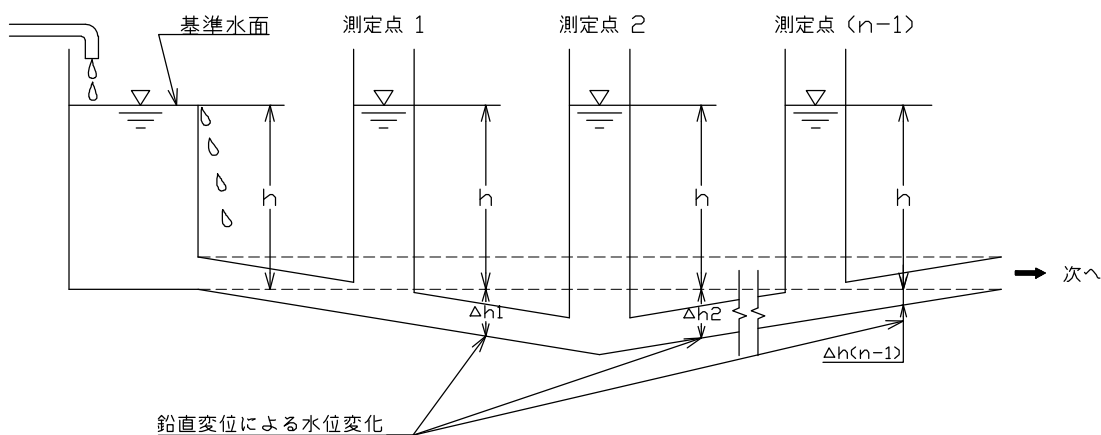
基準部水槽の上部から絶えず水を滴下し、溢れた水を内部に設けられた堰からオーバーフローさせて一定水面を保ち、ここを始点にして連通管が各測定点に配管されている。

設置時には、図Ⅱ-3-3のように、各測定点の水面レベルは同一状態となっている。この状態で、沈下が起きると連通管は構造物と一緒に下がるが、水面は一定に保たれているから、図Ⅱ-3-4の $\Delta h_1 \sim \Delta h_{(n-1)}$ のように水位（すなわち水圧）が変化する。

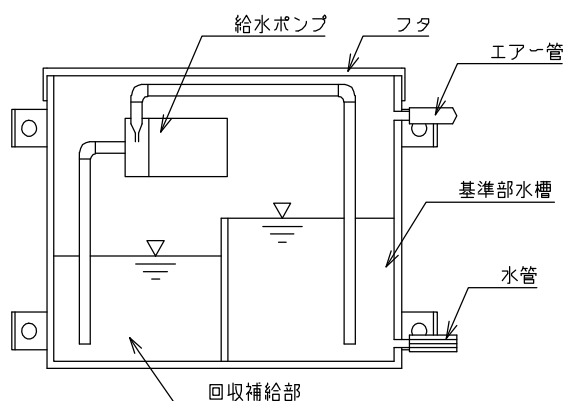
ゆえに、任意の測定時の水圧から設置時の水圧を引いた値を水の密度で割れば沈下量を得ることができる。



図Ⅱ-3-3 測定原理図 (1)



図Ⅱ-3-4 測定原理図 (2)



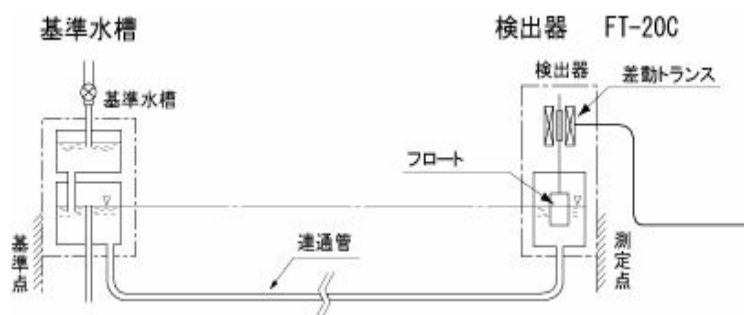
図Ⅱ-3-5 基準水槽の構造



写Ⅱ-3-5 基準水槽内部

図Ⅱ-3-5 のように、基準水槽は、給水ポンプ、基準部水槽および堰で仕切られた回収補給部から構成されている。

回収補給部の水は、給水ポンプで汲み上げられて基準部水槽に入り、堰を越えて溢れ、再び回収補給部に流れ込み循環している。このため水面は常に一定レベルに保たれている。この水すなわち水面レベルは右下の連通管を通して各測定点に連結されている。



図Ⅱ-3-6 水盛式沈下計概念図



写Ⅱ-3-6 水盛式沈下計

沈下計は水面に浮いたフロートと差動トランスにて構成されている。鉛直変位により水位が変動するとフロートに着いているコア（鉄心）が移動して差動トランス部コイルに変位に伴う電圧が生じる。この電気信号をコンディショナに介し測定器にて読み取り変位量に換算する。

(3) 計測位置および箇所数

計測位置は、近接施工による影響が大きいと推測される部分や、影響範囲内における構造物の全体的な挙動が把握できる位置とする。また、近接施工により実際に発生した変位と影響予測値に基づく変位を比較し、施工の妥当性などを検証するためにも、影響予測で検討した位置で計測を行う。ただし、現場条件によりその位置での計測ができない場合は、計測可能な位置での再解析等することが望ましい。

基準点を設ける場合はその基準点が不動点となる箇所、すなわち近接施工の影響を受けない十分に離れた箇所に設置することが重要である。軌道変位についても構造物の目地部や構造形式が変わる箇所、レールの継目部に注意が必要である。その他、工事の進捗により計測機器自体が施工に支障をきたさないよう設置場所や配線・配管ルートについて、施工側との事前協議も必要となる。

計測箇所数は多いほど変位、変形の傾向を詳細に把握することができ必要なデータの取りこぼしはなくなる。しかしその反面、計測費が増加し、収集したデータが使われずに終わるという可能性もある。計測目的にあった適切な計測箇所数を、当該現場の条件を十分勘案した上で設定する必要がある。

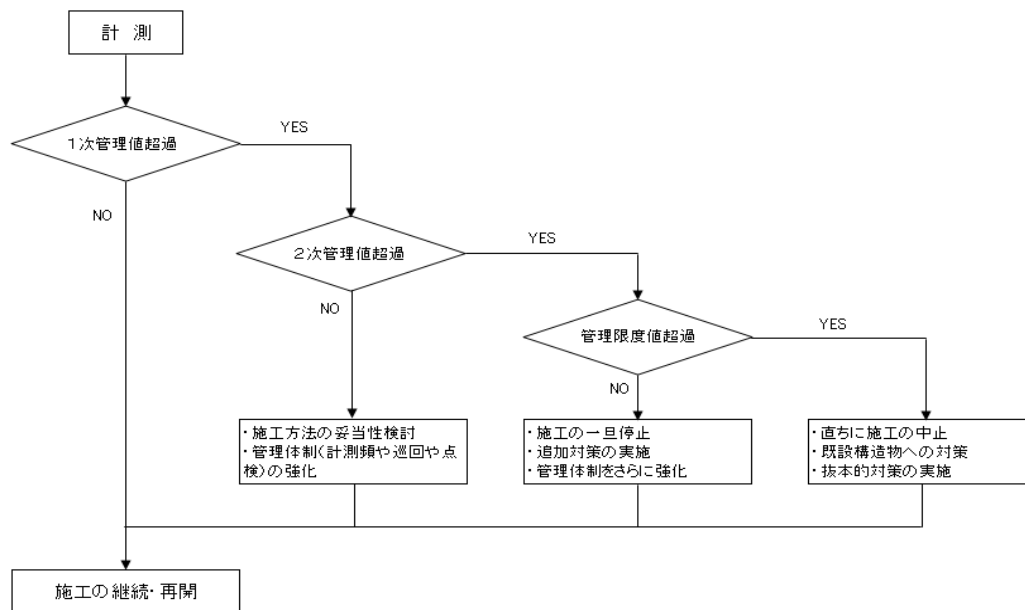
4. 計測管理方法

(1) 計測管理値

鉄道施設の安全性を評価するためには、対象とする施設の変位量について、管理値を定める必要がある。管理値は施設としての機能や構造物の安全性を確保できるように設定する。管理値は、一般的に一次管理値、二次管理値、管理限度値など数段階に分けて設定することが多く、各管理値に達したら、それぞれに応じた対応方を事前に協議し、取り決めておく。具体的には、一次管理値では計測頻度の変更や巡回点検(構造物の躯体のひび割れや漏水の把握、計測機器の点検)の強化、施工方法の妥当性の検討、管理体制の強化などを行う。二次管理値では、施工を一時中断し、新設構造物の管理者と追加対策などを含む、以降の施工に関する協議を行う。そして、管理限度値では直ちに施工を中止し、施工方法の見直しを含めた抜本的な対策を実施するとともに、構造物の安全性および耐久性について改めて確認する必要がある。

表Ⅱ-4-1 管理値の設定例

管 理 区 分	管 理 値 の 設 置 例	備 考
一 次 管 理 値	$a + (b - a) \times 0.5^{\ast}$	※ 割引率(0.5)は一般的な事例
二 次 管 理 値	$a + (b - a) \times 0.7^{\ast}$	※ 割引率(0.7)は一般的な事例
管 理 限 度 値	b	
凡 例	a = 近接施工前の変位・変形量 b = 許容応力度に達する変位・変形量	



図Ⅱ-4-1 計測管理の流れ

(2) 計測期間

計測期間は近接施工の工法、規模、計測項目、工期など異なるため、鉄道構造物の管理者と工事施行者を交えて十分に協議したうえで決定する。一般的には以下に示す施工段階ごとに分けて計測期間を決めている。

① 計測機器設置時期

近接施工に先立ち、早めに計測機器を設置するのが望ましい。設置が完了したら数回の計測を行い設置時の暫定的な初期値を定める。

② 近接施工の開始前の事前計測

事前計測は計測機器の諸特性の把握、構造物の定常状態における挙動の把握、現地の自然変動の把握および測定誤差の把握などを目的として実施する。事前計測の計測期間は自然変動の季節要因的な変化を把握するために長いほどよいが、今までの実績や経済性から設置後1ヶ月間程度以上とするのが望ましい。

③ 近接施工の本計測

近接施工中に実施する本計測は近接施工の影響が考えられる期間は連続して行う。

④ 近接施工の完了後の事後計測

近接施工の完了後に行う事後計測は、工事終了後の変状の把握や変位の収束状況を確認

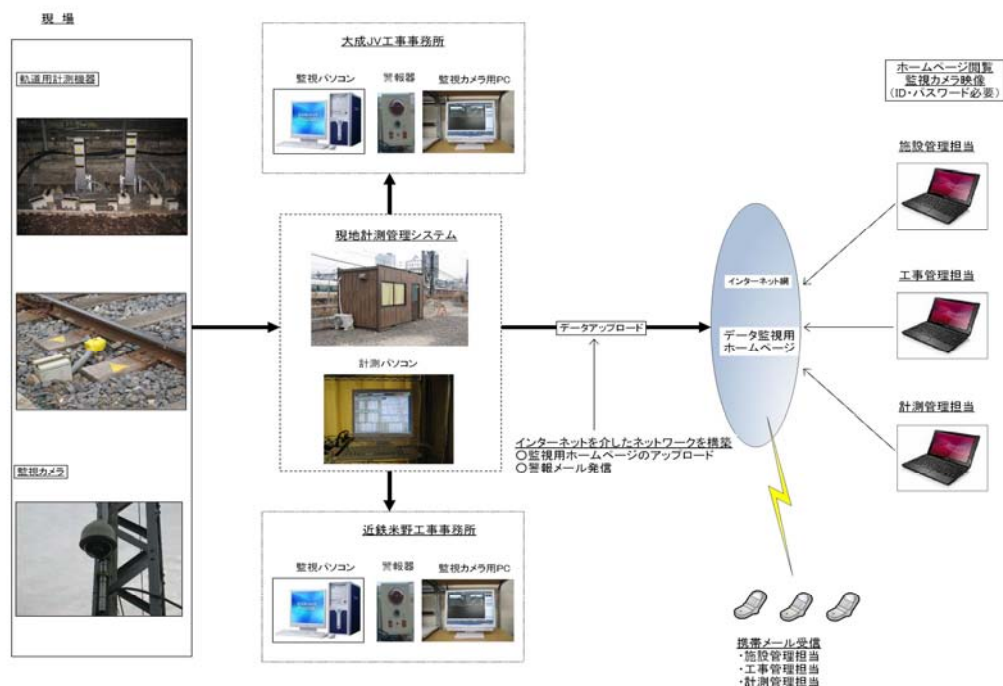
する目的で実施する。事後計測の計測期間は構造物の形態、重要度、近接施工の規模および計測対象の構造物に対する工事の影響程度などに左右される。過去の計測事例では、その期間を1ヶ月間から2ヶ月間程度にすることが多い。なお、予定した計測期間を経過しても変位が収束しない場合には、収束が確認できるまで計測を継続する必要がある。

(3) 計測頻度（計測間隔）

計測頻度は、計測項目、計測対象となる構造物の種類や重要度、近接施工の施工状況や計測データの変化などに応じて各関係者の間で協議して決める必要があるが、通常は事前・事後計測は30分、本計測は、15分程度が目安となる。

(4) 計測システム

計測システムは、計測結果がリアルタイムに施工に反映されるように現地に計測管理システムを設置し、計測パソコンにより各システムを制御する集中管理方式を採用している。現場工事々務所には、計測パソコンと共有した監視パソコンを設置、リアルタイムに計測データを表示させている。また、ホームページによる計測データの閲覧も可能（ID、パスワード要）となっており、夜間、休日等でも計測データの確認ができる。また、監視カメラによる現地の様子を監視モニターに映し出すとともに、インターネットからも映像確認（遠隔操作可能）できる体制としている。管理値超過による警報発令時は、関係者に警報メールを送信するとともに、各事務所備付けの警報器ランプ、ブザーが作動する仕組みとなっている。



図II-4-2 計測システム構成図

a. 現地計測管理システム

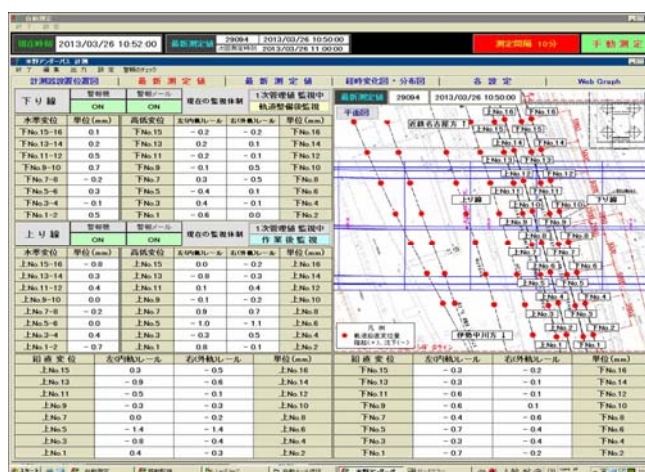
現場における計測は自動計測とし、現場に設置したパソコンで計測に関する全ての制御が行えるシステムを構築している。設定した計測間隔毎にデータの収録を自動で行い、リアルタイムに処理をしてパソコンのディスプレイ上に計測結果を表示する。ここから各事務所の監視パソコンにデータの転送する他、ホームページへの書込み、管理値超過時の警報メールが発信される。また、バルブ制御ユニットは、各計測動作の指示、計測データの良否判断を行うとともにデータを一時的に記憶（バックアップ）している。



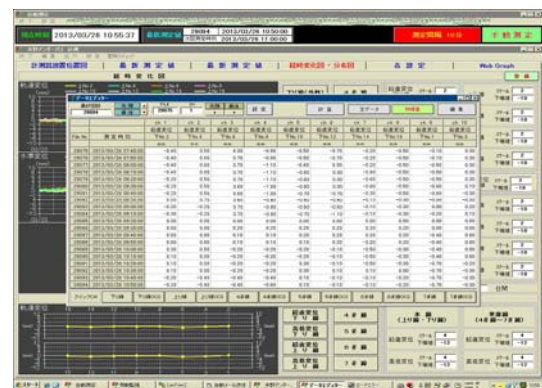
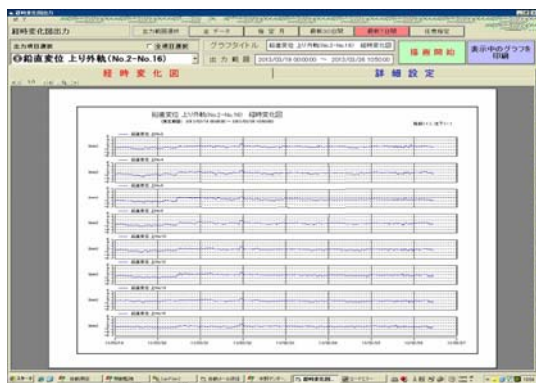
写II-4-1 計測システム（現地）

b. 監視パソコン

現場事務所には監視パソコンを設置し、監視モニターでは随時計測パソコンのデータが転送され、最新の測定値が表示されている。また、計測数値表や経時変化図などをプリント出力がすることができ、全測定項目に対して実測値と管理基準値との比較により直ちに異常値があるか否かを判断し（日常管理、経時管理）施工にフィードバックしている。



写II-4-2 監視パソコン（事務所）



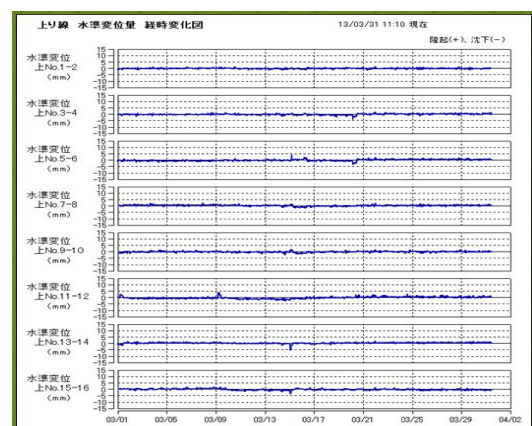
図Ⅱ-4-3 経時変化図・計測値表

c. ホームページ

ホームページでは、最新 24 時間データ、経時変化図等が閲覧でき、測定データ（エクセル）のダウンロードができるようになっている。



最新24時間 上り線 水準変位量									
陸路(+), 沈下(-)									
13/03/31 11:10 現在									
測定時刻	水準変位 上No.1-2 (mm)	水準変位 上No.3-4 (mm)	水準変位 上No.5-6 (mm)	水準変位 上No.7-8 (mm)	水準変位 上No.9-10 (mm)	水準変位 上No.11-12 (mm)	水準変位 上No.13-14 (mm)	水準変位 上No.15-16 (mm)	
13/03/30 11:00	-0.3	0.4	0.5	1.0	0.8	0.4	0.1	-0.4	
13/03/30 12:00	0.0	0.5	0.5	0.0	0.1	0.2	0.6	0.1	
13/03/30 13:00	0.1	0.2	0.8	-0.4	-0.1	0.2	0.6	0.0	
13/03/30 14:00	-0.9	0.0	0.2	0.2	-0.2	-0.1	0.3	-0.1	
13/03/30 15:00	-0.5	-0.2	0.1	0.2	-0.4	0.2	0.4	-0.3	
13/03/30 16:00	-0.1	0.2	0.6	0.8	0.1	1.0	0.5	0.3	
13/03/30 17:00	0.2	-0.2	0.5	0.7	0.5	0.5	1.0	0.0	
13/03/30 18:00	0.0	1.2	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	-0.2	
13/03/30 19:00	0.4	0.2	0.5	0.1	0.3	1.7	0.5	0.0	
13/03/30 20:00	0.3	0.4	1.0	0.6	-0.2	0.9	1.1	-0.5	
13/03/30 21:00	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.4	0.5	-0.5	
13/03/30 22:00	0.4	0.7	0.3	1.0	0.4	0.8	1.4	-0.1	
13/03/30 23:00	-0.1	0.4	0.2	0.6	0.0	0.8	0.3	-0.5	
13/03/31 00:00	0.0	0.4	0.6	0.5	-0.1	0.6	0.8	-0.5	
13/03/31 01:00	0.2	0.6	0.7	0.7	0.3	0.6	0.9	-0.2	
13/03/31 02:00	0.5	0.9	1.0	1.0	0.7	0.9	1.0	0.1	
13/03/31 03:00	0.1	0.6	0.7	0.8	0.2	0.6	0.9	-0.2	
13/03/31 04:00	0.3	0.6	0.7	0.9	0.4	0.6	1.0	-0.1	
13/03/31 05:00	-0.1	0.6	0.7	0.8	0.3	0.4	0.7	-0.3	
13/03/31 06:00	0.6	0.7	0.9	1.4	0.4	0.8	0.9	-0.4	
13/03/31 07:00	0.5	0.9	1.0	1.0	0.4	1.2	1.5	-0.2	
13/03/31 08:00	0.3	0.7	0.8	1.1	0.6	0.6	1.3	0.1	
13/03/31 09:00	0.5	0.0	0.8	0.3	-0.2	0.2	0.6	-0.3	
13/03/31 10:00	0.0	0.4	0.5	0.6	0.0	0.5	0.8	-0.5	
13/03/31 11:00	0.1	0.9	0.4	0.6	0.0	0.4	0.3	-0.5	



図Ⅱ-4-4 ホームページ画面

d. 監視カメラ

現地の監視カメラから現場事務所の監視モニターに現地状況を映し出すとともに映像録画をおこなっている。また、インターネットからの閲覧、遠隔操作も可能となっており、現地係員不在時の現場確認ができるようになっている。



現地監視カメラ



監視モニター



本線画面



車庫線画面

写Ⅱ-4-3 監視カメラ

e. 警報メール

警報が発令されると登録者宛にメールが送信される。



写Ⅱ-4-4 警報メール画面

f. 警報器

警報が発令されると各事務所に設置してある警報ランプ・ブザーが作動する。



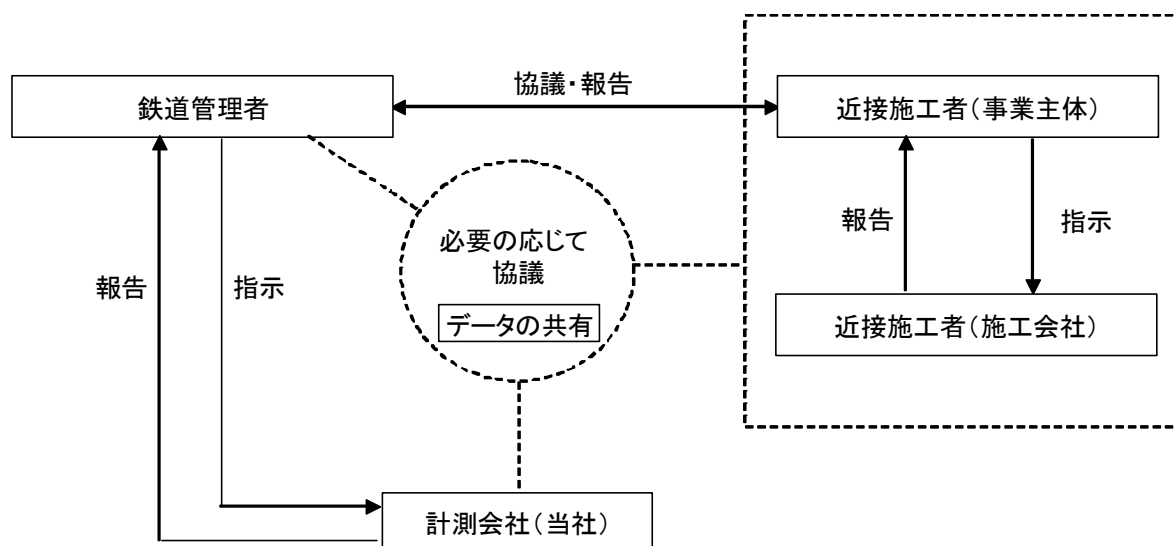
写Ⅱ-4-5 警報器

(5) 管理体制

近接施工にともなう計測管理は、鉄道管理者と近接施工者(事業主体、施工会社)、計測会社(当社)体制で協力して行う。

日常の巡回点検、あるいは計測値で変状を確認した場合や管理値を超えた場合など計測実施者は、関係者に連絡する。その際には、確認した変状が近接施工によるものか測定器やセンサの異常によるものか、その他の環境の変化によるものか、現地で状況を確認のうえ、迅速に判断しなければならない。それに基づき関係者が協議し、必要な対応をとる。

また、実際の計測現場では、急に管理値を超えるなどの予期せぬ事態が発生することもある。このような緊急事態に備えて事前の取り決めを行い、迅速な応急対策が講じられるようにしておくことも必要である。不測の事態が発生しても適切な処置や対応が講じられるように管理体制を確立しておくことは特に重要である。



図Ⅱ-4-5 管理体制表 (例)

5. 計測管理の実績

当社の鉄道近接工事における計測管理実績一覧表を表Ⅱ-5-1、表Ⅱ-5-2に示す。

表Ⅱ-5-1 計測管理実績表（鉄道構造物）

平成14年度～24年度

件名	業務場所	対象工事	計測対象	計測機器	期間
山田線伊勢市・宇治山田間神社架道橋下水道管理設に伴う鉄道施設管理・計測工事	山田線 伊勢市～宇治山田間	シールド通過	架道橋、地中変位	沈下計:12台 傾斜計:4台他	H14/9～ H15/3
大阪線近鉄八尾・河内山本間府道萱振曙川線架道橋下柏原八尾増補幹線下水管渠築造に伴う変位計測工事(計測)	大阪線 近鉄八尾～河内山本間	シールド通過	架道橋、地中変位	沈下計:4台 傾斜計:2台他	H15/6～ H15/9
京都線京都・東寺間油小路架道橋通下堀川共同溝シールド工事に伴う鉄道施設防護(計測関係)工事	京都線 京都～東寺間	シールド通過	架道橋	沈下計:6台 傾斜計:6台	H15/11～ H16/5
奈良線八戸ノ里・瓢箪山間連続立体交差化工事に伴う調査設計業務(土木関係)その13	奈良線 河内花園～東花園間	近接工事 (回転鋼管杭打設)	地中変位	多段式傾斜計:19台	H16/3～ H16/5
名古屋線および内部線四日市駅構内阿瀬知雨水1号幹線管路埋設(計測管理)工事	内部線 近鉄四日市～赤堀間	シールド通過	ボックスカルバート、 地中鉛直変位	沈下計:6台 多段式傾斜計:13台	H16/10～ H17/3
奈良線八戸ノ里・若江岩田間中央環状線道路架道橋付近鉄架道施設変状計測業務	奈良線 八戸ノ里～若江岩田間	シールド通過	高架橋、地中変位	沈下計:6台 傾斜計:2台他	H16/10～ H17/5
大阪線 大三・伊勢石橋間軌道下歩道函橋新設(土木関係その2)工事	大阪線 大三～伊勢石橋間	近接工事 (ボックス工事)	橋台他	傾斜計:6台	H17/4～ H19/3
伊賀線猪田道・市部間依那具避谷橋付近上水道管推進工事に伴う橋台・橋脚計測管理工事	伊賀線 猪田道～市部	近接工事 (薬液注入)	橋脚・橋台	沈下計:2台 傾斜計:2台	H19/1～ H19/4
近畿日本鉄道大阪鶴橋・今里間(仮称)1.2.3鶴橋店新築工事に伴う計測管理業務	大阪線 鶴橋～今里	近接施工 (杭打設・掘削)	高架橋、擁壁	沈下計:12台 傾斜計:5台	H19/4～ H19/10
難波駅付近難波立坑築造工事に伴う 阪神高速橋脚計測管理工	阪神高速道路 P49橋脚	立坑築造	橋脚・マンション	沈下計:1台 傾斜計:1台 3次元測量	H17/9～ H20/11
難波線引上線団体側壁開口(計測)工事	難波線 大阪難波駅構内	近接工事 (側壁開口)	大阪難波駅躯体	連続2次元変位計:18台	H20/6～ H21/6
京都駅ターミナル整備工事のうち4線化等及び近鉄京都駅ホテル(仮称)	京都駅 京都駅構内	近接工事 (4線化、ホテル建設工事)	駅高架橋	レーザーレベル:21台 傾斜計:9台	H20/4～ H21/8
JR奈良駅付近連続立体交差化工事に伴う近鉄函体計測管理工事	奈良線 奈良地下トンネル	近接工事 (二線橋撤去)	箱型函渠	沈下計:74台	H17/9～ H21/9
難波線大阪難波駅構内1k775付近 鉄道施設変状計測工事	難波線 大阪難波駅構内	シールド通過	大阪難波駅躯体	沈下計:12台	H22/8～ H22/12
難波線大阪上本町～近鉄日本橋間 北浜逢阪貯留管築造工事に伴う鉄道防護工事	難波線 大阪難波駅構内	シールド通過	トンネル	沈下計:12台	H23/2～ H23/5
大阪線大和八木駅構内 榎原三号歩行者専用道路整備工事(計測工)	大阪線 大和八木駅構内	近接工事 (歩道築造)	駅高架橋	沈下計:25台 傾斜計:17台	H21/10～ H23/9
南大阪線矢田・河内天美間 立体交差化工事	南大阪線 矢田～河内天美	近接工事(薬液注入) シールド通過	鋼矢板、鉄柱 ボックスカルバート	沈下・傾斜計:28台	H23/6～ H24/3
阿部野橋ターミナルビルタワー館建設工事に伴う大阪市高速電気軌道第2号線 既設構造物計測管理業務	御堂筋線 大阪市交通局	近接工事 (ビルタワー館建設)	トンネル躯体	水路式鉛直変位計:12台	H23/6～ H24/8
名古屋線川越富洲原・伊勢朝日間 富洲原～益生間第5溝橋内雨水排水用 下水路設置(計測関係)工事	名古屋線 富洲原～益生	近接工事 (プレキャストBOX設置)	橋台	レーザーレベル:4台 傾斜計:2台	H24/6～ H24/10
名古屋線霞ヶ浦～近鉄富田間米洗川 橋梁部護岸等改築(計測管理関係)工事	名古屋線 霞ヶ浦～近鉄富田	護岸改築工事	橋台	沈下計:4台 傾斜計:2台	H24/10～
大阪線曾我川橋梁P1、P2橋脚改築等工事	大阪線 松塚～真菅	橋脚改築工事	橋梁	沈下計:8台	H24/10～
山田線松ヶ崎第13号踏切道下函橋新設 (計測関係・函橋追加その1)工事	山田線 松ヶ崎13号踏切道	仮設構造物監視	仮設土留め (鋼矢板)	トータルステーション:1台 ターゲット:4台	H24/12～
名古屋線富吉・近鉄蟹江間大海用 第3橋梁改築工事に伴う計測管理業務	名古屋線 富吉～近鉄蟹江	線路下横断工事 (R&C工法)	橋台	沈下計:2台 傾斜計:2台	H24/12～

表Ⅱ-5-2 計測管理実績表（軌道計測）

平成18年度～24年度

件 名	業 務 場 所	対 象 工 事	使用計測機器	期 間
奈良線東花園駅構内5k764付近松原南調節池 導水管軌道下横断シールド工事に伴う 防護工（計測）	奈良線 東花園駅構内	シールド通過	オーバーフロー式沈下計：6台 基準水槽：1台	H19/1～ H19/5
山田線松ヶ崎13号踏切道下函橋新設 （軌道関係・ポンプ室）工事	山田線 松ヶ崎13号踏切道	近接工事 （掘削等）	オーバーフロー式沈下計：6台 基準水槽：1台	H19/12～ H20/4
山田線小俣・宮町間軌道下函橋新設 （計測工）工事	山田線 小俣～宮町	線路下横断工事 （パイプルーフ）	オーバーフロー式沈下計：12台 基準水槽：2台	H19/8～ H20/3
磯部市下水路新設ポンプ場築造工事の施工 に伴う近鉄志摩線志摩磯部・穴川間16k420 付近鉄道施設防護工	志摩線 志摩磯部～穴川	近接工事 （鋼矢板打設）	オーバーフロー式沈下計：5台 基準水槽：1台	H20/1～ H20/4
名古屋線桑名・長島間軌道下 上之輪函橋新設（計測管理）工事	名古屋線 桑名～長島	線路下横断工事 （R&C工法）	オーバーフロー式沈下計：12台 基準水槽：2台	H19/12～ H20/10
山田線小俣・宮町間軌道下函橋新設 （計測工その2）工事	山田線 小俣～宮町	線路下横断工事 （函体推進工）	オーバーフロー式沈下計：12台 基準水槽：2台	H21/2～ H22/2
名古屋線米野駅構内支障移設 （土木関係その1）工事	名古屋線 米野駅構内	近接工事 （P2橋脚築造）	オーバーフロー式沈下計：12台 基準水槽：2台	H22/1～ H22/11
名古屋線米野駅構内こ道新設工事 （土木関係その7）	名古屋線 米野駅構内	近接工事 （立坑構築）	オーバーフロー式沈下計：16台 基準水槽：2台	H23/7～ H24/2
南大阪線矢田・河内天美間 立体交差化工事	南大阪線 矢田～河内天美	近接工事（薬液注入） シールド通過	オーバーフロー式沈下計：40台 基準水槽：5台	H23/6～ H24/3
山田線松ヶ崎13号踏切道下函橋新設 （計測工）工事	山田線 松ヶ崎13号踏切道	線路下横断工事 （R&C工法）	オーバーフロー式沈下計：16台 基準水槽：2台	H23/5～ H24/8
名古屋線米野駅構内こ道新設工事 （土木関係その13）	名古屋線 米野駅構内	線路下横断工事 （R&C工法）	オーバーフロー式沈下計：64台 基準水槽：8台	H24/5～
名古屋線富吉・近鉄蟹江間大海用 第3橋梁改築工事に伴う計測管理業務	名古屋線 富吉～近鉄蟹江	線路下横断工事 （R&C工法）	オーバーフロー式沈下計：24台 基準水槽：4台	H24/12～

Ⅲ 計測事例１ 近鉄難波線下を通過する下水シールド工事の計測管理

1. 下水シールド工事の概要

現在、大阪市では、「水の都・大阪」再生に向けた取り組みが行われている。

大阪ミナミの中心部を流れる「道頓堀川」は大阪を象徴する川ではあるが、高度経済成長とともに水質悪化も進み、今もなお、水質保全対策が必要な河川となっている。

道頓堀川の水質悪化の原因のひとつに下水道からの越流水がある。雨の量が一定の水準に達すると、処理できない雨水と汚水の一部や管内の蓄積された汚濁物が直接河川に流れ出しており、近年の都市化による浸透対策、現在の合流式下水道の処理能力の改善が急務となっている。そこで、大阪市では、高度処理が可能となる雨水貯留管施設（北浜逢阪貯留管）の建設を進め、道頓堀川や東横堀川の水質保全対策に乗り出した。

北浜逢阪貯留管については、建設用地の確保が困難であるため、幹線道路下約50mを泥水式シールド工法にて建設することとなった。そのルートは、天王寺公園内にある逢阪会所を発進立坑とし、松屋町筋を北に向かい、到達立坑となる北区の西天満会所までの約4.8kmの施工距離で行われ、「平成の太閤下水」と呼ばれている。

この下水シールドは、近鉄難波線の大阪上本町～近鉄日本橋間0k750m付近のトンネル下を交差通過することとなり、当社では、シールドが通過する際の影響について、地盤変位を算出、トンネルの安全性照査を行い、それらのデータをもとに管理基準値を定め、現場計測管理を実施した。



図Ⅲ-1-1 事業イメージ



図Ⅲ-1-2 施工経路

	
施工延長	4,790m
工法	泥水式シールド工法
掘削外径	φ6,750mm
セグメント外径	φ6,750mm、桁高300mm、幅1,500mm
土かぶり	32～49m

写Ⅲ-1-1 シールドマシン概要

表Ⅲ-1-1 事業内容

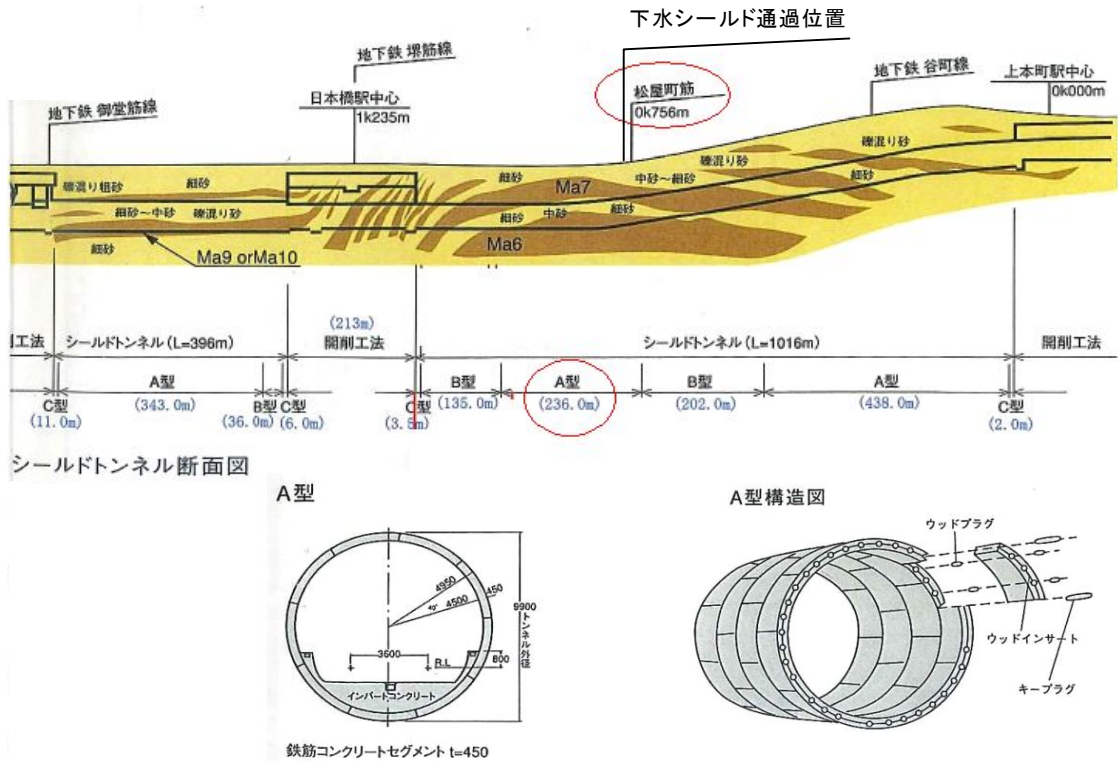
事業名	北浜逢阪貯留管構築工事(その1)
発注者	大阪市建設局
施工者	間・西武・中林・久本・青木JV
工期	平成21年3月～平成24年2月
工事内容	・貯留管 φ6000 延長L=4767m ・連絡渠 φ4000 延長L=171m ・連絡渠 φ4000 延長L=122m ・特殊マンホール工 1箇所

表Ⅲ-1-2 当社の受注業務

発注者	近畿日本鉄道株式会社
受注内容	難波線大阪上本町～近鉄日本橋 北浜逢阪貯留管構築工事に伴う影響検討 ・地盤FEM解析 ・難波トンネル応力解析 ・計測・調査工

2. 近鉄難波線難波トンネルの構造（シールド交差部）

近鉄難波線難波トンネルの概要を表Ⅲ-2-1 に示す。このトンネルの特徴はRCセグメントどうしの結合に鋼ボルトではなく木製のウッドプラグ、キープラグを用いた特殊な形式となっている。



図Ⅲ-2-1 難波トンネル構造図

表Ⅲ-2-1 近鉄難波線難波トンネル概要

着工	昭和40年(1965)年9月
供用開始	昭和45年(1970)年3月
シールド構造	外径: $\phi 9.9\text{m}$ 複線シールドトンネル A型: RCセグメント B型: RCセグメント+二次覆工(吹付け $t=100\text{mm}$) C型: ダクタイル鋳鉄

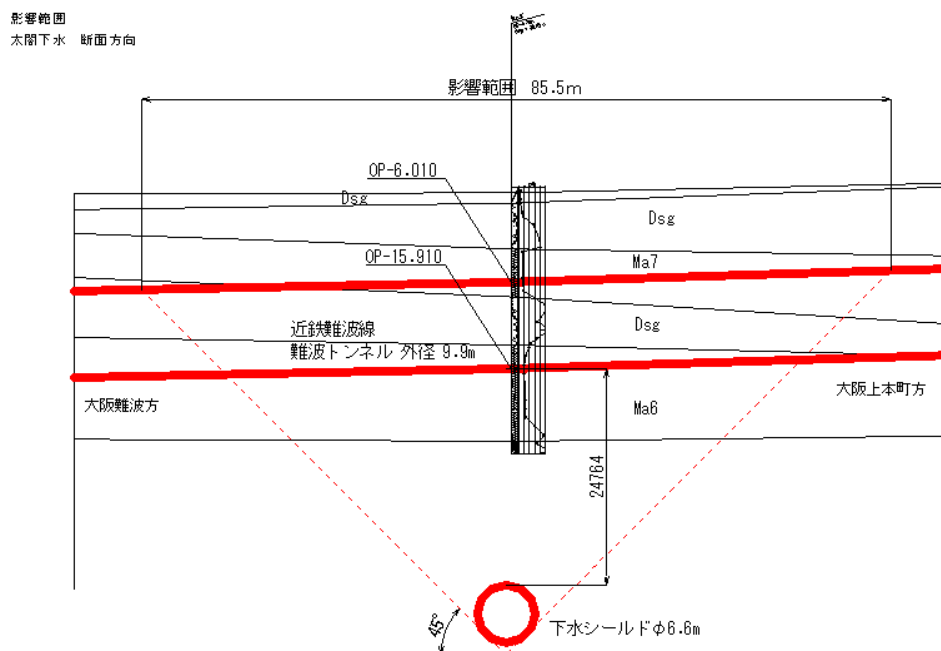


写Ⅲ-2-1 A型構造セグメント

3. シールド工事によるトンネル変位予測

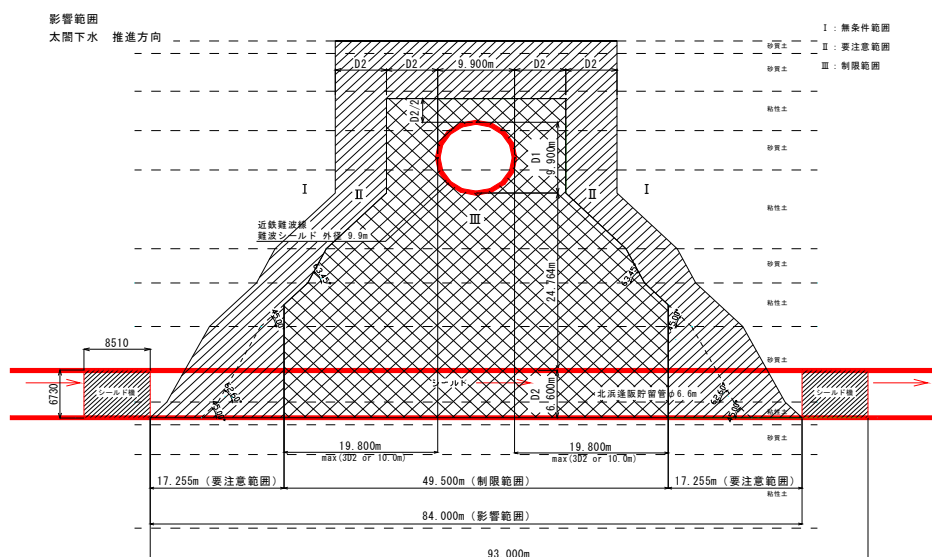
(1) 影響範囲

太閤下水シールドは、近鉄難波線のトンネルの直下において、離隔約 25m 付近で直交するように計画されている。近鉄難波線に対しシールド工事が 45 度の範囲で影響が及ぶと考え、下図に示す通り延長 85.5m の区間についてシールド断面方向の検討を行った。



図Ⅲ-3-1 影響範囲 (1)

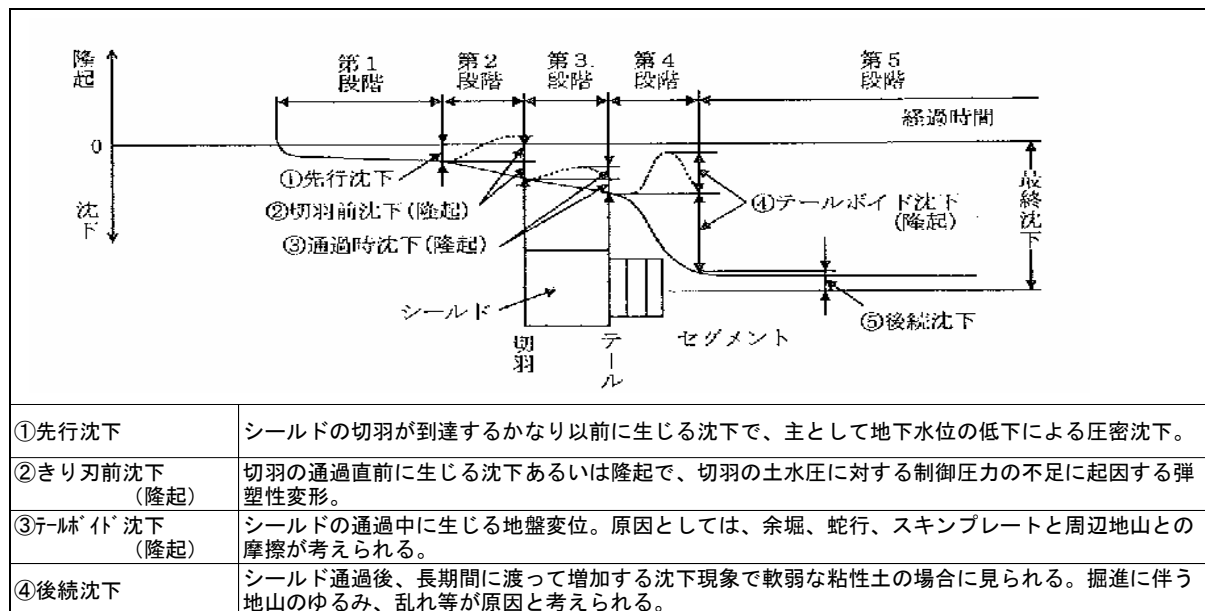
シールド推進方向の近鉄難波線への影響は、下図に示す影響範囲を通過する時の推進長 93m において及ぶ。



図Ⅲ-3-2 影響範囲 (2)

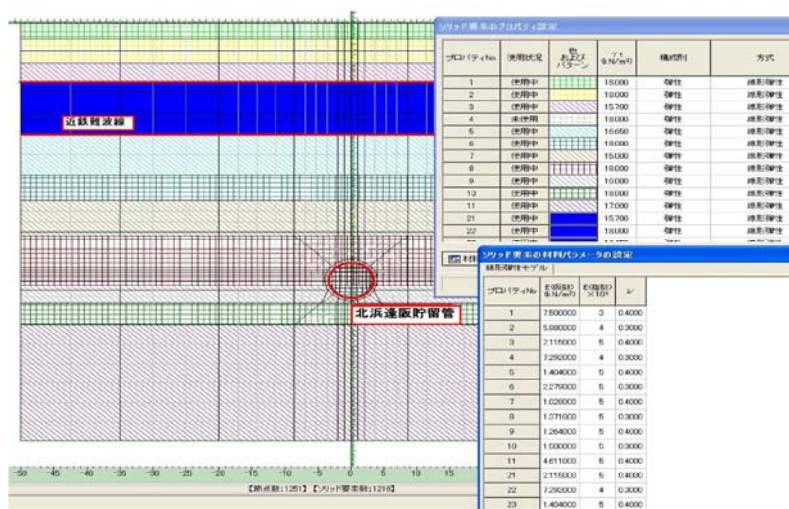
(2) 地盤変形に対する解析

シールド工法はトンネル外径より、やや大きな内径の鋼製の筒（シールド機械）をその前端（切歯）の掘削に応じて、後部の覆工に反力を取りジャッキで推進させ、その後部（テール）でセグメント等を用いて覆工を築造する過程を繰返しながら掘進している。シールド掘進にともなう地盤影響は下図のようになる。

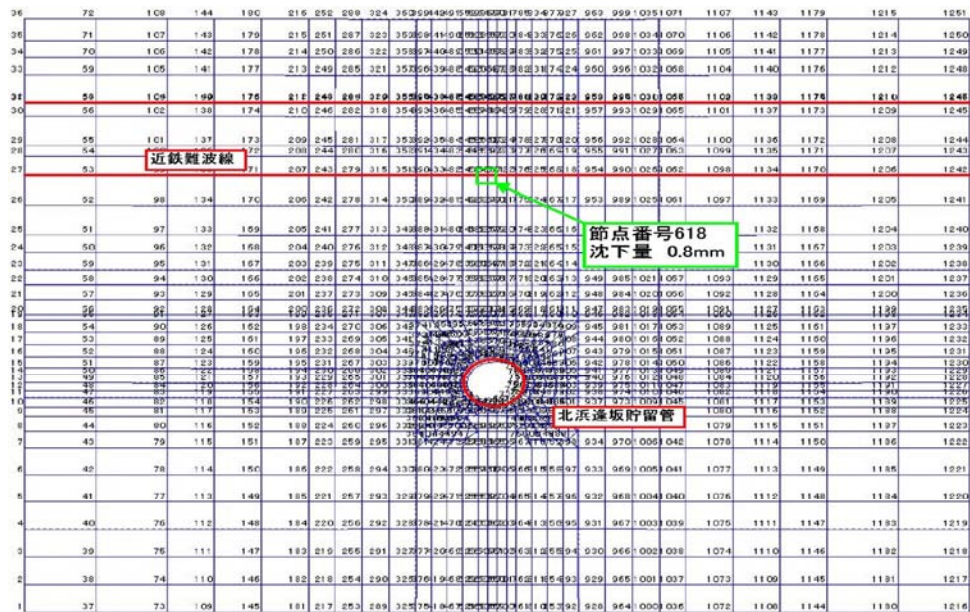


図Ⅲ-3-3 シールド掘進にともなう地盤影響

今回の地盤変形に対する解析は、応力解放率を用いた有限要素解析法（FEM 解析）で
 ※1 応力解放率 10%より地盤解析を行った。この方法は、テールボイド沈下をモデル化した解析であり、テールボイド（空隙）に起因する沈下量がその他の要因に比べ比較的大きいことからこの沈下量を算出し最終沈下量の予測値とした。解析の結果、難波トンネルの沈下量は 0.8 mm となった。



図Ⅲ-3-4 解析図 (1)



図Ⅲ-3-5 解析図(2)

※¹応力解放率の設定について

都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアルから弾性解析において用いる応力解放率については以下の値を示している。

表Ⅲ-3-1 シールド施工による応力解放率

洪積層における応力解放率(α)	8～15%
沖積層における応力解放率(α)	15～30%

なお、今回施工されたシールドの土質は大阪層群（洪積層）である。
FEM 解析における応力解放率(α)については、10%を採用しており、上記の範囲内であり、問題はないと思われるが、近接施工に際しては、トライアル計測等を行い、FEM 解析における応力解放率(α)の妥当性を検証する方が望ましいと思われる。

(3) トンネルの安全性の照査

シールドトンネルに用いられるセグメントは、ボルトにより相互に接合されているのが一般的であるが、昭和40年代前半に施工された本トンネルはRCセグメントどうしを木製のキープラグで接合しリングを構成したうえで、リング同士はウッドプラグにより接続されている。応力照査の結果セグメント接合部分が最も余裕のないことが判明し、線路方向のセグメント差込接合部分が先に破壊するとの考えから躯体耐力となるウッドプラグの許容変位量を求めることとした。ウッドプラグの応力に対する内訳は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned}\tau_w &= 3.540 \quad (\text{既設プラグに作用している応力}) + 0.283 \quad (\text{太閤下水により作用する応力}) \\ &= 3.823 < 5.000 \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{白樺の許容せん断応力})\end{aligned}$$

上式より、ウッドプラグの許容変位量を算出する。

既設ウッドプラグが残り許容可能なせん断応力度

$$5.000 - 3.540 = 1.460 \quad [\text{N/mm}^2]$$

ウッドプラグに作用する変位1mmあたりのせん断応力度

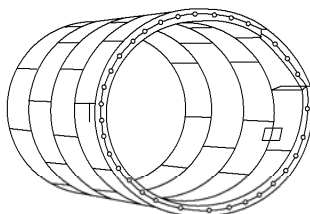
$$0.283 - 0.844 = 0.335 \quad [\text{N/mm}^2]$$

ウッドプラグの許容変位量

$$\delta = 1.460 / 0.355 = 4.354 \text{ mm} \div 4.3 \text{ mm}$$

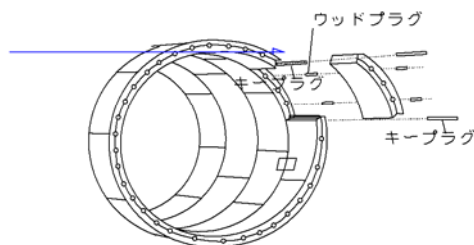
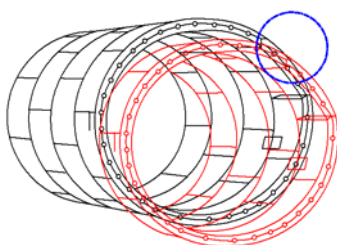
以上の結果からウッドプラグの許容変位量は4.3mmと決めた。

影響工事施工前



影響工事施工中

※影響工事施工によりセグメント間で不等沈下が発生
その結果、キープラグが破損する。



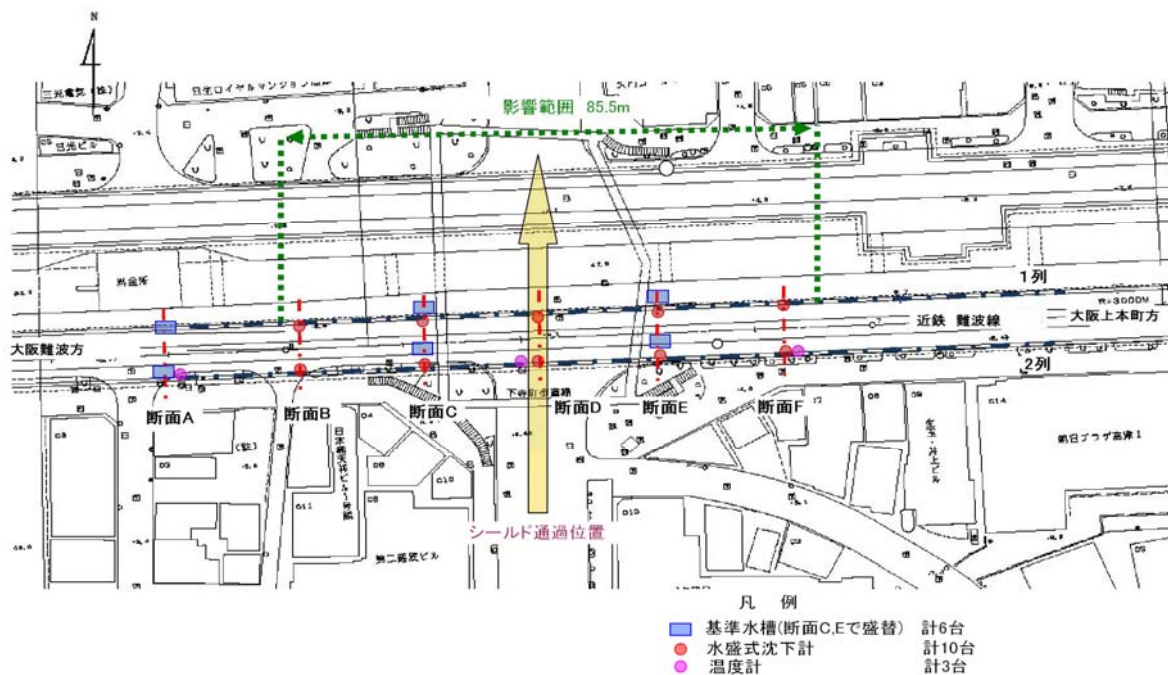
図III-3-6 影響イメージ図

4. トンネル計測管理計画の立案

(1) 使用機器および計測配置計画

難波トンネル内の側壁部は、信号設備、通信設備、手摺り、送水管等、付帯設備が多く存在しており、限られたスペースでの計測器の設置が条件となり、影響範囲の不動点と観測点との位置関係を保つことができ、建築限界に支障なく設置できる水盛式沈下計が適しているとの判断から採用に至った。

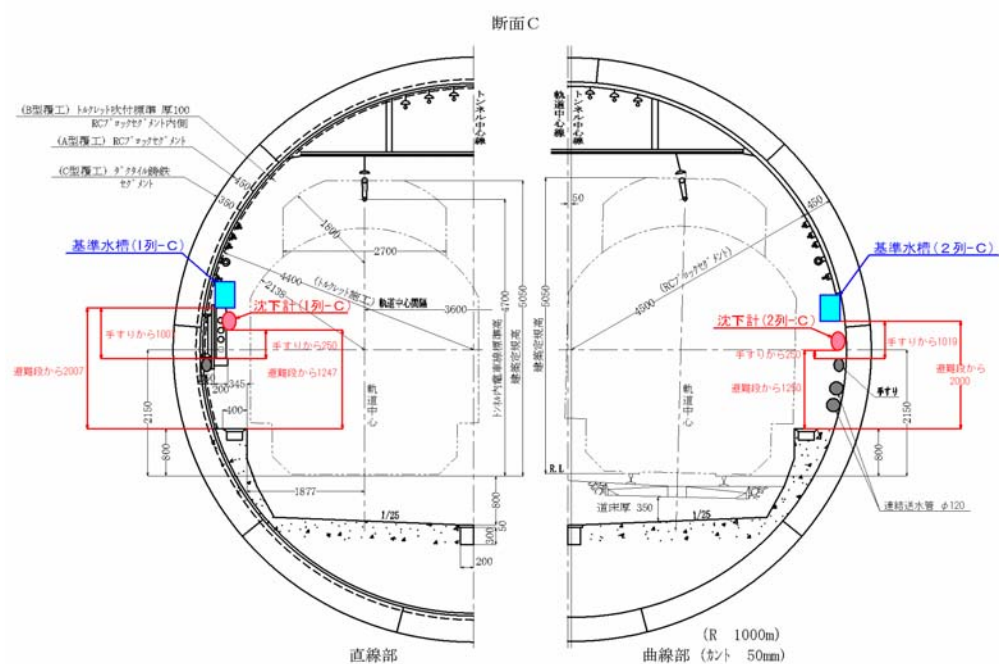
計測配置は、難波トンネルと下水シールドとの交差位置の左右側壁部に各1台の計測器を設置し、そこを基準に前後20m間隔に計5断面で計測を行った。



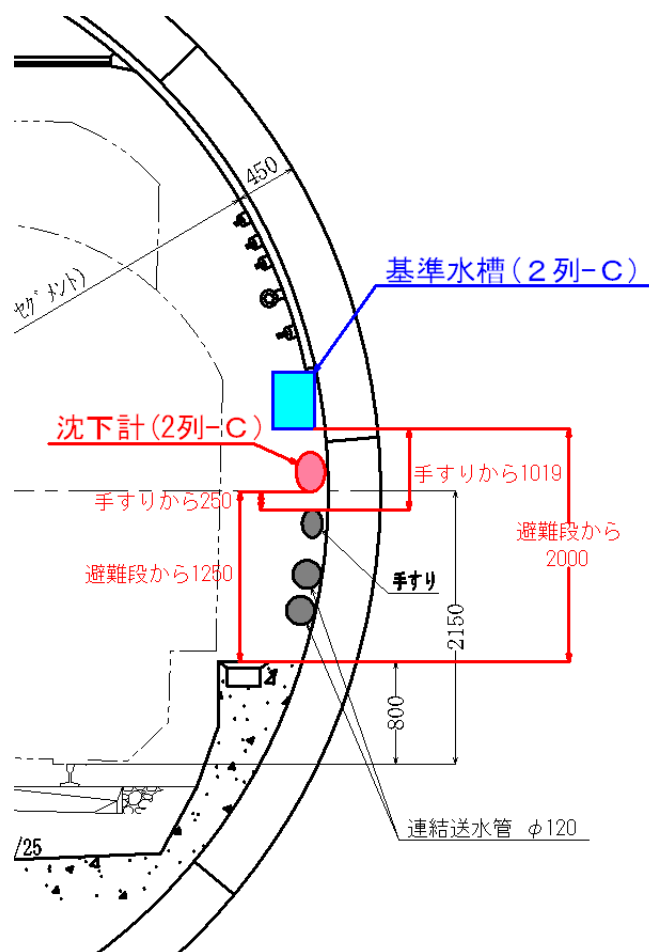
図Ⅲ-4-1 計測器配置 (平面図)

表Ⅲ-4-1 計測機器一覧表

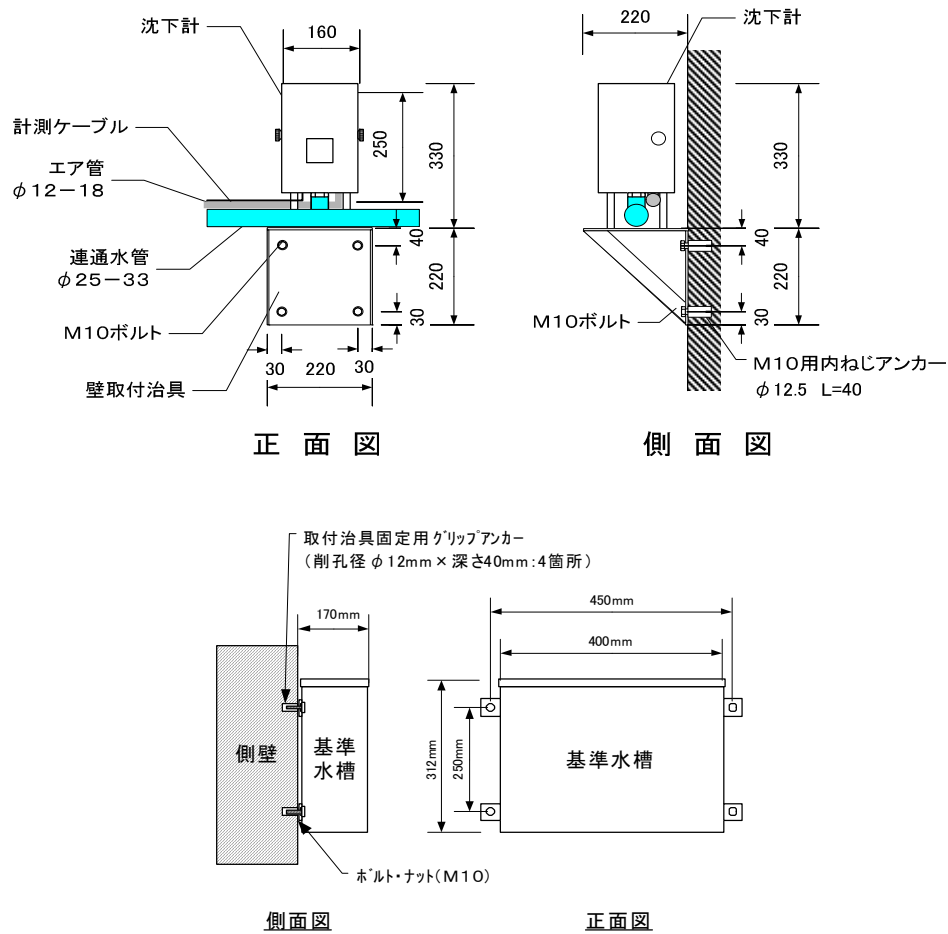
計測区間	計測項目	名称	形式	単位	数量
難波線シールドトンネル (大阪上本町～近鉄日本橋間 0k700m～0k800m付近)	鉛直変位	水盛式沈下計	FT-20C	台	10
		基準水槽	DV-1SA	台	6
仕様(水盛式沈下計)			仕様(基準水槽)		
	形式名	FT-20C		形式名	DV-1SA(薄型)
	測定範囲	±20mm		容量	4.5リットル
	最小読取值	0.2mm		ポンプ用電源	AC100V±10%
	使用温度範囲	0～40℃		消費電力	10VA
	寸法	250(W)×170(D)×250(H)		寸法	400(W)×150(D)×310(H)
	重量	6.9kg		重量	10kg



図Ⅲ-4-2 計測器配置 (断面図)



図Ⅲ-4-3 設置図(1)



図Ⅲ-4-4 設置図(2)

(2) 計測工程

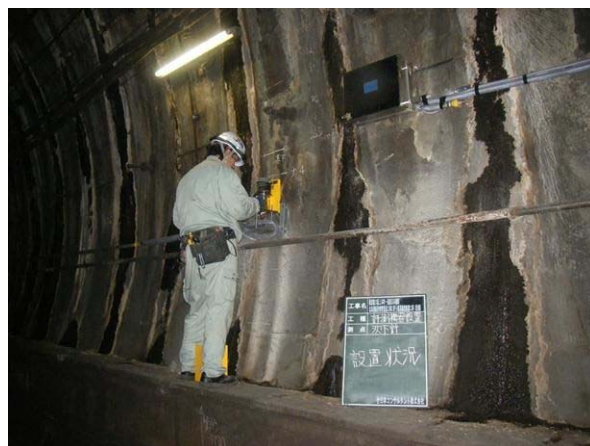
計測期間の分類は、事前計測、本計測、事後計測から成り立っており当該工事における計測工程は以下のとおりである。

表Ⅲ-4-2 計測工程

	平成23年	2月			3月			4月			5月			6月		
	日数	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
設置工	10日															
事前計測	56日															
本計測	8日															
事後計測	30日															
撤去工	6日															
下水シールド通過	8日															

① 設置工（施工日数 10 日間）

設置作業は、トンネル内作業につき、線路閉鎖時間内(0：30～4：40)にて実施した。器械材料等の搬入は近鉄日本橋駅構内からの人力運搬となった。信号、既設設備に支障のない建築限界内に設置するとともに、基準水槽を薄型タイプにすることで係員通路の妨げにならないようにした。



写Ⅲ-4-1 設置状況

② 計測期間

下記に各計測区分における概要を示す。

表Ⅲ-4-3 計測概要

計測区分	計 測 目 的	期 間	頻 度
事前計測	計測器設置後、構造物の温度による挙動。列車振動に伴う挙動等の把握	平成23年2月24日から 平成23年4月21日	30分
本計測	影響工事の直接的影響把握	平成23年4月21日から 平成23年4月28日	15分
事後計測	影響工事完了後の影響把握	平成23年4月28日から 平成23年5月28日	30分

本計測時は、計測担当者によるモニター監視、軌道防護工による現地計測も実施している。



写Ⅲ-4-2 現地監視状況

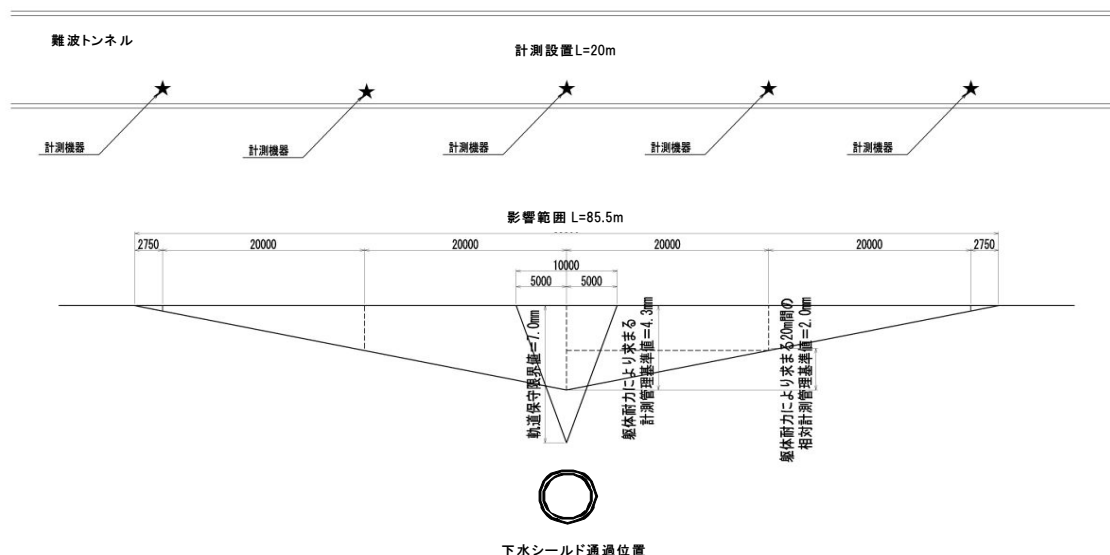
③ 撤去工（施工日数6日間）

撤去作業についても、トンネル内作業につき夜間作業にて実施した。

(3) 管理値の設定

①計測管理限度値

計測管理にともなう管理値の設定については、計測方法や計器設置、軌道変位、既設構造物変位等を考慮して設定を行う。計測は難波トンネルの側壁部に線路縦断方向 20m 間隔で水盛り式沈下計による鉛直方向の測定を行なう。軌道管理値については、線路保守検査実施要綱の軌道整備基準となる、列車動揺に大きな影響を及ぼすことなく保守上支障のない限り整正しないことのできる軌道保守限界値 $\pm 7.0\text{mm}$ （10m弦測定法）にした。また、既設構造物ではトンネル安全照査から躯体耐力より求めたウッドプラグの許容変位量 4.3mm とした。軌道管理値よりも、躯体耐力より求めたウッドプラグの許容変位量 4.3mm ほうが小さく危険側となっている。なお、計測機器設置間隔は 20m であるため、管理値(管理限度値)を 20m あたり 2.0mm (隣接測点の相対変位) と定めた。



図Ⅲ-4-5 管理値の算出

②計測管理値

計測管理値については、解析による最大沈下予測値が 0.8mm であることを考慮して、管理限度値に行着くまでの 1 次管理値（管理限度値 $\times 50\%$ ）、2 次管理値（管理限度値 $\times 70\%$ ）を設けて計測管理を行なう。

表Ⅲ-4-4 計測管理値

区分	1次管理値 (50%)	2次管理値 (70%)	管理限度値	条 件
難波シールド トンネル	1.0mm	1.4mm	2.0mm	20mの相対変位

5. 計測実施結果

(1) 事前計測結果

事前計測期間中の変動値は工事の影響を受けていないため、いわゆる「自然変動値」とされ、以下の要因で発生する。

- ① 温度変化による計測対象構造物の実際の挙動。
- ② 計測器自体が持っている特性。特に基準水槽と沈下検出器の水温差による誤差。
(計測器の精度とされる $\pm 0.2\text{mm}$ 程度)
- ③ サンプルング毎の差異 (→列車通過時のバラツキ)

事前計測結果については、以下の通りである。

①及び②の検証結果

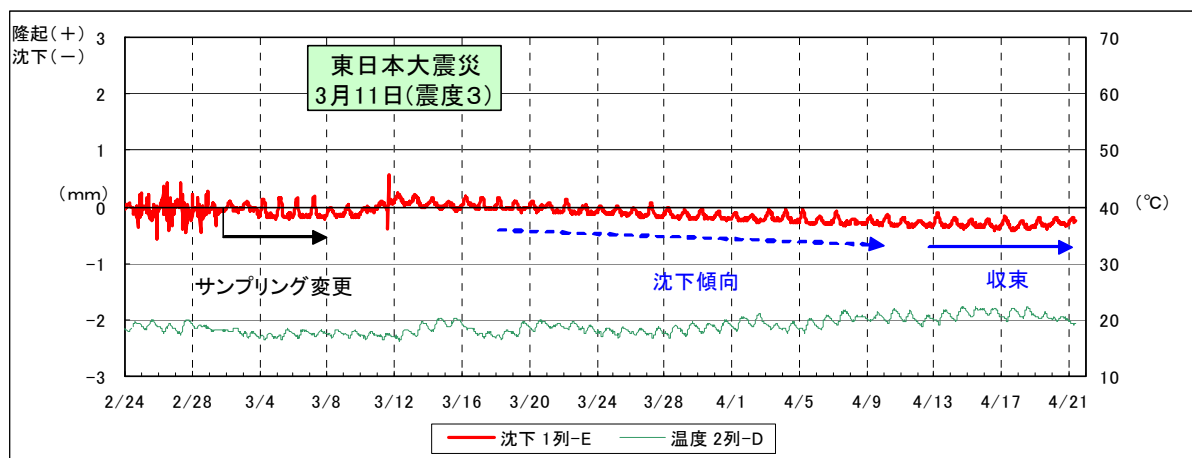
- ・トンネル内は、事前計測期間中を通じて温度変動が少なく ($17^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$) 温度変化による影響は、極めて小さいことが確認できるので、温度補正は行わない。

③の検証

- ・計測開始直後はデータのバラツキが大きかったため、サンプルング方法を連続 10 回測定時の 1 回毎の間隔を 2 秒から 10 秒に変更し 1 回のサンプルングに時間をかけることで測定値が平均化され、データのバラツキを抑えることができた。以降の計測精度は 0.2mm であった。

その他の検証

- ・事前計測期間中、一部特異変動が見られるが、これは平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災の影響によるものである。大阪市では震度 3 となっており計機の水面が揺れたことによるデータの乱れとなった。
- ・各計測点で沈下傾向がみられ最大で 1 列-B で -0.79mm を示すが、その後収束している。



図Ⅲ-5-1 経時変化図 (事前計測)

表Ⅲ-5-1 計測値一覧表（事前計測）

計測対象			計測値(mm)					
計測項目	列	位置	項目①		項目②		項目③	
			最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
鉛直変位 (絶対値)	1列	B	0.16	-0.84	0.04	-0.23	0.03	-0.79
		C	0.23	-0.56	0.10	-0.19	0.08	-0.51
		D	0.50	-0.53	0.16	-0.21	0.15	-0.62
		E	0.56	-0.56	0.21	-0.18	0.18	-0.50
		F	0.77	-0.69	0.24	-0.24	0.27	-0.77
	2列	B	0.12	-0.29	0.07	-0.14	0.08	-0.24
		C	0.18	-0.30	0.10	-0.11	0.10	-0.26
		D	0.42	-0.29	0.15	-0.19	0.17	-0.23
		E	0.38	-0.54	0.20	-0.28	0.19	-0.29
		F	0.51	-0.55	0.32	-0.31	0.32	-0.33
軌道方向 (相対値)	1列	BC間	0.43		0.11		0.33	
		CD間	0.37		0.15		0.14	
		DE間	0.48		0.07		0.15	
		EF間	0.28		0.11		0.32	
	2列	BC間	0.25		0.08		0.10	
		CD間	0.28		0.12		0.17	
		DE間	0.33		0.12		0.08	
		EF間	0.33		0.15		0.13	
温度 (℃)	2列	A	21.9	15.9	18.2	16.0	21.9	15.9
		D	22.4	16.3	18.6	16.3	22.4	16.3
		F	22.7	16.4	18.8	16.6	22.7	16.4

地震発生後の
沈下傾向が大
きかった箇所

項目①:全データ(2月24日0:00～4月21日8:30、初期値は2月24日0:00)

項目②:地震発生前(3月2日0:00～3月11日14:30、初期値は2月24日0:00)

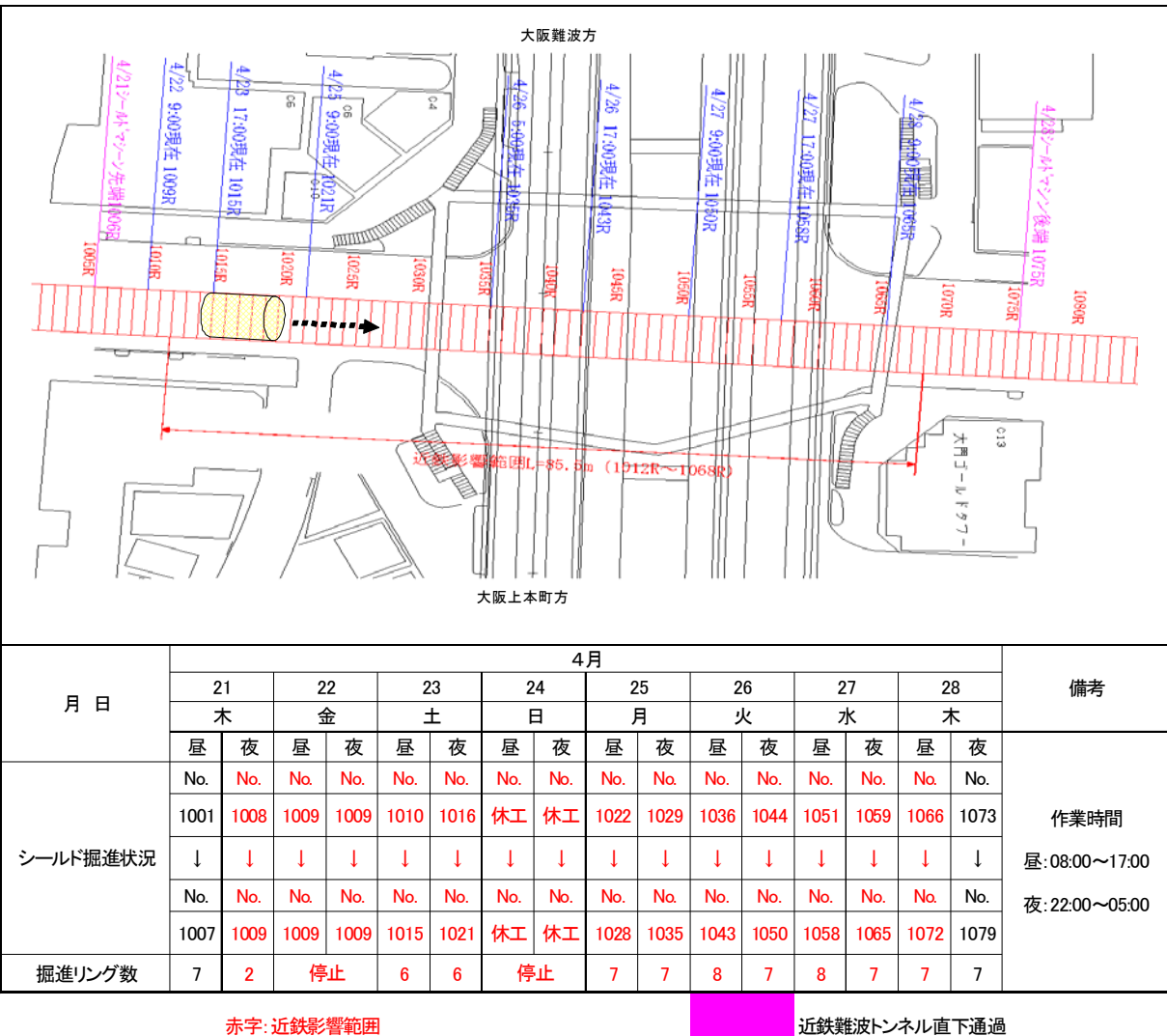
項目③:地震後～事前計測完了(3月12日0:00 ゼロ設定アリ～4月21日8:30)

(2) 本計測結果

本計測期間は以下の条件で計測をしている。

- ・ 計測開始日 : 平成 23 年 4 月 21 日 (9:00) ゼロリセット
- ・ 測定頻度 : 1 回/15 分
- ・ 計測終了日 : 平成 23 年 4 月 28 日 (13:00)
- ・ 計測期間 : 8 日間

下記に本計測期間におけるシールド工事進捗状況を示す。



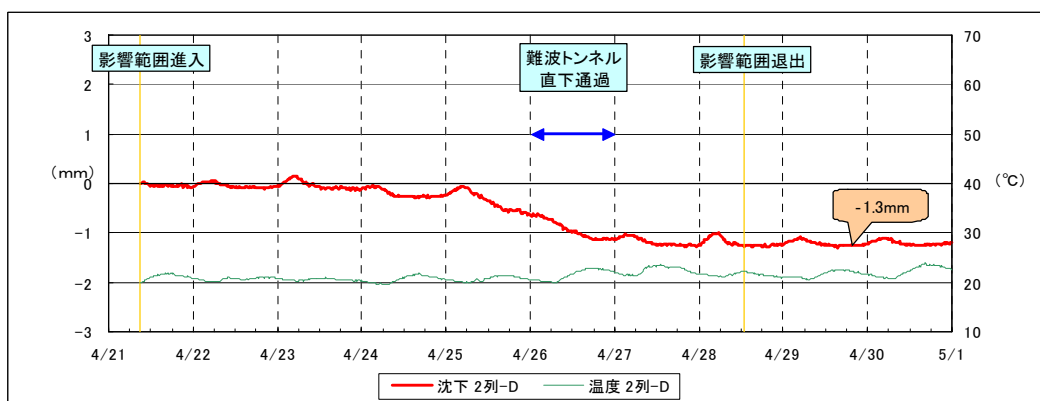
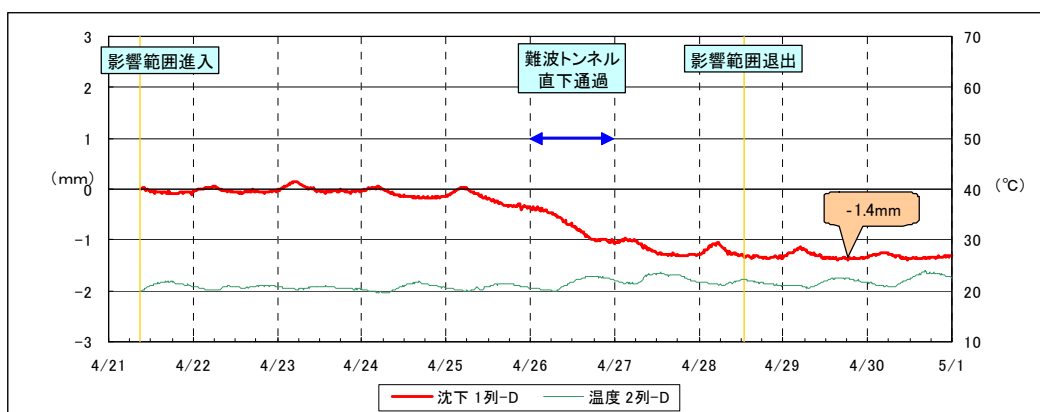
図Ⅲ-5-2 シールド工事工程

a. 鉛直変位（絶対値）データの検証

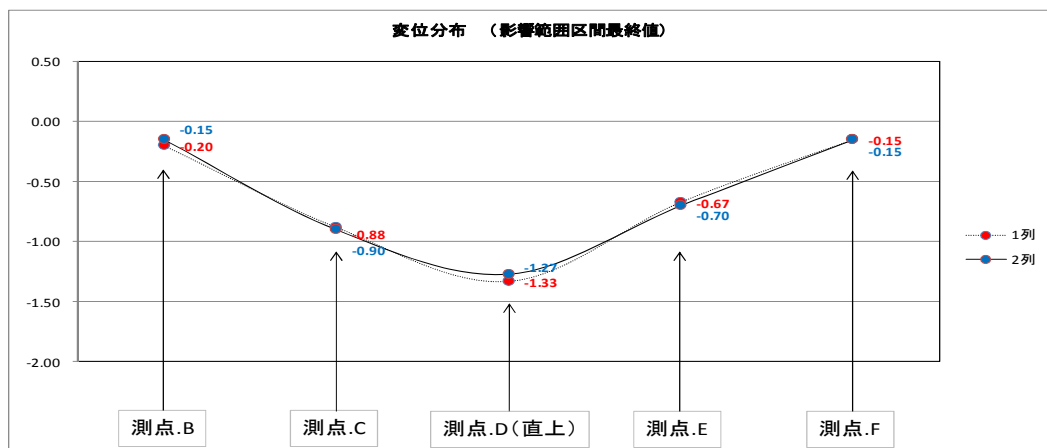
本計測期間における計測値の挙動については、影響範囲区間のシールド施工に追随する形で、直上部の測点1列-Dで-1.40 mm（絶対値）、測点2列-Dで-1.30 mm（絶対値）の沈下を確認され、1列、2列の測点C及び測点Eについても1.0 mm程度の沈下を確認された。

表Ⅲ-5-2 計測結果一覧表（絶対値）

計測対象		計測値（mm）		
計測項目	列	位置	最小値	最大値
鉛直変位 （絶対値） mm	1列	B	0.10	-0.24
		C	0.10	-0.93
		D	0.14	-1.40
		E	0.18	-0.76
		F	0.32	-0.23
	2列	B	0.12	-0.17
		C	0.08	-0.92
		D	0.15	-1.30
		E	0.19	-0.75
		F	0.32	-0.20



図Ⅲ-5-3 経時変化図 1,2列D測点（絶対値）



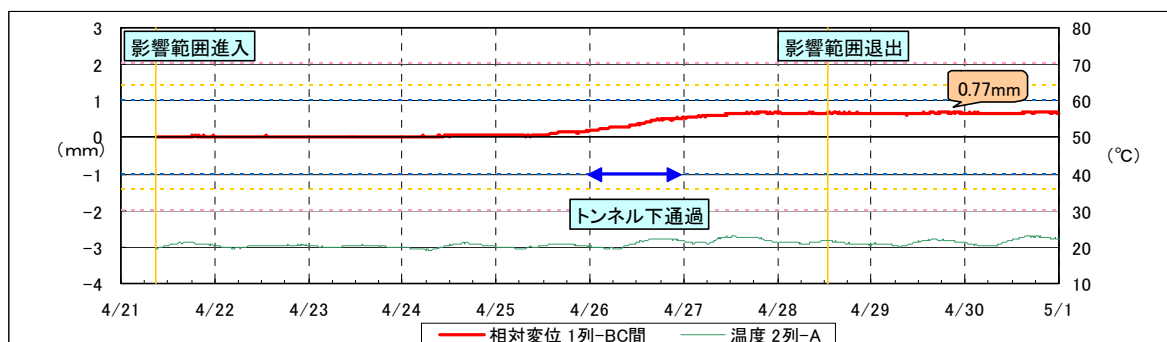
図Ⅲ-5-4 分布図 影響工事退出時点 (H23.04.28 13:00) (絶対値)

b. 相対変位データの検証

管理項目である軌道方向相対変位については、2列（大阪難波行）BC間-0.77mm（相対変位）で1次管理基準値の77%に達したものの、全ての区間が1次管理基準値未満であった。

表Ⅲ-5-3 計測結果一覧表（相対変位）

計測項目	列	位置	計測値 (mm)	管理値 (mm)
軌道方向 (相対値)	1列	BC間	0.70	1次管理値：1.0 2次管理値：1.4 管理限度値：2.0
		CD間	0.50	
		DE間	0.70	
		EF間	0.63	
	2列	BC間	0.77	
		CD間	0.39	
		DE間	0.63	
		EF間	0.65	



図Ⅲ-5-5 経時変化図 1列BC間（相対変位）

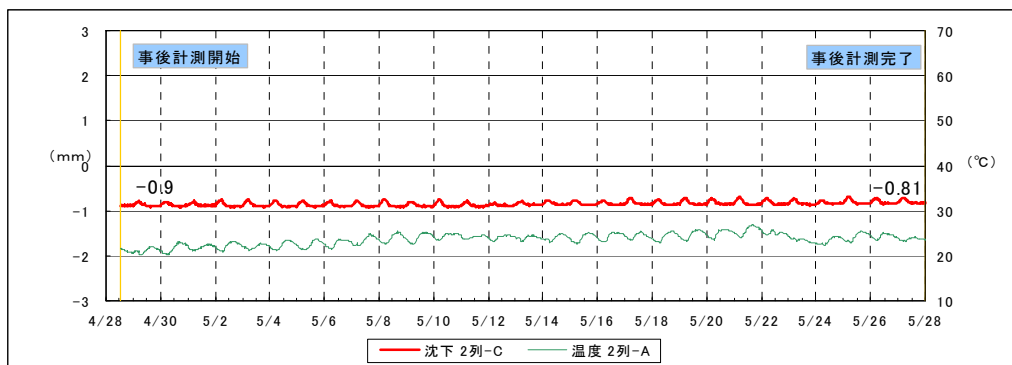
(3) 事後計測

シールド通過後からは、掘進による地山の緩み、乱れが要因となる沈下現象は無い、トンネル構造物に何らかの残影響が起こっていないかを確認するため事後計測を1ヶ月間に亘り実施した。影響工事の残影響を検証するため、影響工事終了後の平成23年4月28日の計測値と1ヶ月間経過の平成23年5月28日の計測値の差異を求めた。以下に計測結果を示す。

表Ⅲ-5-4 計測結果一覧表（事後計測）

計測対象			計測値(mm)		
計測項目	列	位置	4月28日 13:00	5月28日 0:00	期間の差
鉛直変位 (絶対値)	1列	B	-0.20	-0.26	-0.06
		C	-0.88	-0.79	0.09
		D	-1.33	-1.02	0.31
		E	-0.67	-0.48	0.19
		F	-0.15	-0.08	0.08
	2列	B	-0.15	-0.20	-0.05
		C	-0.90	-0.81	0.09
		D	-1.27	-1.02	0.25
		E	-0.70	-0.51	0.19
		F	-0.15	0.00	0.15
軌道方向 (相対値)	1列	BC間	0.68	0.54	-0.15
		CD間	0.45	0.23	-0.22
		DE間	0.66	0.54	-0.12
		EF間	0.52	0.40	-0.12
	2列	BC間	0.75	0.61	-0.14
		CD間	0.37	0.21	-0.16
		DE間	0.57	0.51	-0.06
		EF間	0.55	0.51	-0.04

事後計測開始から1ヶ月間経過したが鉛直変位(絶対値)の最大値は、1列D測点の0.31mmであり、事前計測期間中と同程度の自然変動が見られる程度であり、絶対値、相対値ともに沈下または隆起の累積傾向も認められないことから、今回の影響工事に起因した変状は収束したものと判断した。



図Ⅲ-5-6 経時変化図（事後計測）

6. 評価

(1) 計測結果について

以下に示すとおり FEM 解析予想値と計測値(実測値)に開きが認められる。

表Ⅲ-6-1 計測結果との比較表

		予測値 (FEMによる地盤解析)	実測値 (計測結果による)	管理限度値 (ウッドプラグの許容変位量より決定)
トンネル沈下量 (最大値)	絶対値	0.8mm	1.4mm	—
	* 相対値	0.4mm	0.77mm	2.0mm

* 相対値は、側点距離20mの相対変位量とする。

難波トンネルの計測管理においては、ウッドプラグの許容応力値から、20m 間の相対変位量 2.0 mmを管理限度値として定めたが、計測値は最大で 0.77 mm(2 列 B-C 間、相対変位)であった。

以上より、今回のシールド通過に伴う有害な影響はなかったと判断できるが、事前の FEM 解析値の沈下量予測値(絶対値)を超過したことについて次項で検証する。

(2) 計測値が予測値を超過した原因について

今回の計測工において、計測値が絶対値、相対値とも FEM 解析予測値を超過した原因については、以下ことが考えられる。

a. 自然変動値によるもの

→事前計測結果より最大 0.8mm 程度(絶対値)あり自然変動値分も含まれての計測であり、予測値 0.8 mmにこれを加えると最大 1.6 mm程度までは計測される可能性があると考え。

b. 平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北太平洋沖地震による影響

→事前計測結果でも述べたように、地震発生後、シールド工事に起因しない沈下(0.3 mm程度)が確認されている。シールド工事着手前には、ほぼ収束はしたものの、影響はなかったと言い難い。この沈下の発生原因については、地下水の流向の変化等が考えられるが、詳細は不明である。

c. 影響区間内におけるシールドの掘進停止

→影響区間内の 4/22、4/24 の 2 日間に渡り、シールドマシン点検調整のため施工が一時中断している。今回、このことが影響を与えたか否かは判断できないが、一般的にシールド工事の中断後に工事を再開した場合、過剰な土圧がかかる可能性があるといわれている。近接施工期間中はやむを得ない事情を除き、施工を中断することなく、影響工事を終えることが望ましいと考える。

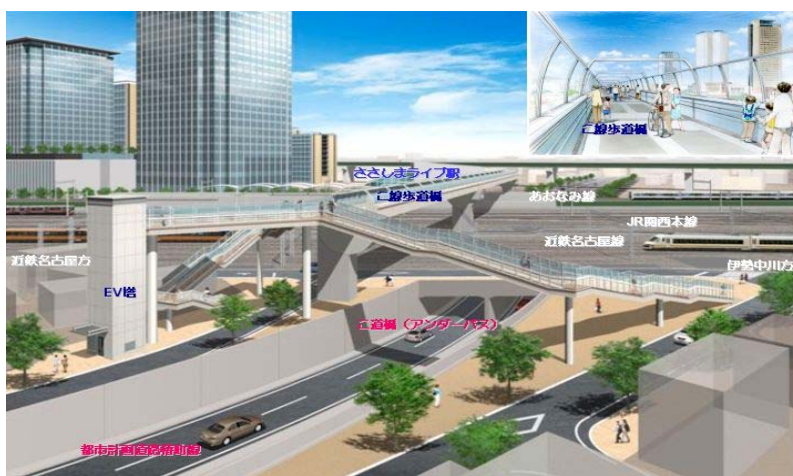
Ⅳ 計測事例 2 名古屋線米野駅構内こ道橋新設工事に伴う計測管理

1. ささしまライブ 24 工事の概要

現在、名古屋駅の南エリアにおいて名古屋市を事業主とした「ささしまライブ 24 総合整備事業」が展開されている。これらの事業にともない近鉄米野駅周辺ではささしま地区へのアクセス道路となる「都市計画道路 椿町線」が施行され、近鉄名古屋線の上空に歩行者専用こ線歩道橋の建設を、線路下では自動車幹線道路となるこ道橋(アンダーパス)の建設が行なわれている。こ線歩道橋については、平成 23 年 9 月 7 日「ささしま米野歩道橋」として供用が開始され、JR ささしまライブ駅、愛知大学へのアクセス利便性が改善された。こ道橋建設については、平成 22 年度に着工、平成 28 年度の供用開始に向けて、近鉄名古屋線との交差部において、現在 R&C 工法による線路下横断工事が施工されている。計測業務については、線路下横断工事となる近鉄名古屋線本線、米野車庫線の軌道計測を実施しており、ここでは、現在行われている軌道計測方法や、管理方法について紹介する。



図IV-1-1 ささしまライブ24総合整備事業計画



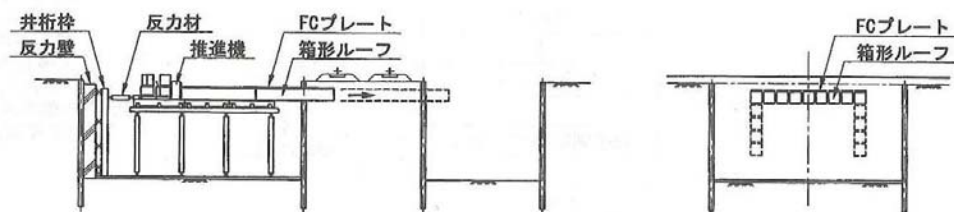
図IV-1-2 完成予想パース

2. R&C工法の概要

アール・アンド・シー（R&C）工法の名称は、「R」はルーフ（屋根）、「C」はカルバート（函渠）を表す。R&C工法とは線路の防護工として断面矩型のパイプルーフ（箱形ルーフ）を用い、これを設置するボックスカルバートとの外縁に合致するように、横断区間の全長に貫通、その後端にボックスカルバートを前進させることにより箱形ルーフと置換設置する地下構造物の設置工法である。以下にR&C工法の施工順序を示す。

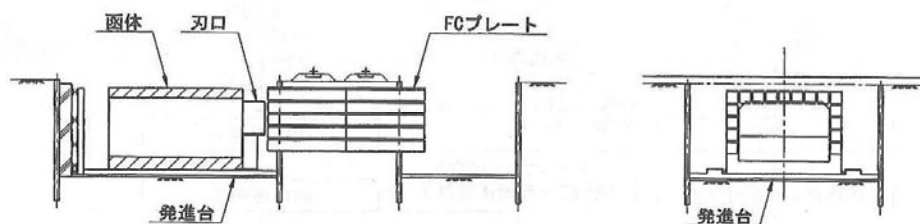
第1工程

1. 仮土留杭の打設工・掘削 2. 反力壁築造・井桁枠組立工 3. ルーフ推進準備工
4. 箱形ルーフ推進・FCプレート設置工



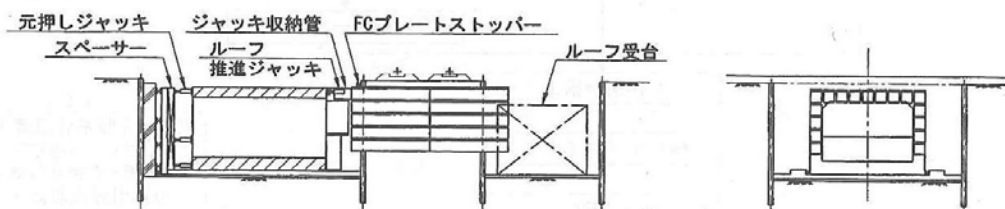
第2工程

5. 発進台築造工 6. 函体底部敷銅板設置工 7. 刃口組立工・函体築造工



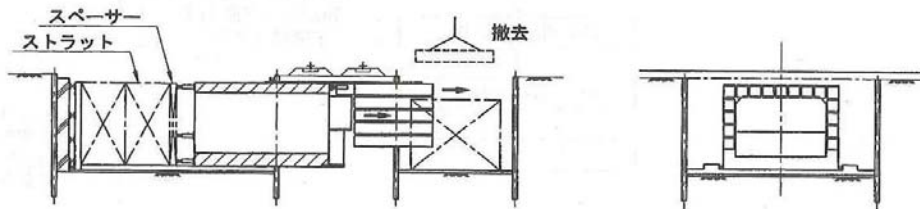
第3工程

8. ジャッキ収納管取付工 9. FCプレートストッパー設置工 10. 函体推進準備工



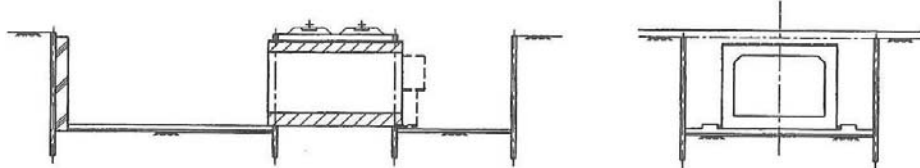
第4工程

11. 函体空押し・刃口貫入工 12. ルーフ推進・切羽掘削・函体推進工（順次くり返し）
13. ルーフ撤去工（所定長さ毎）



第5工程

14. 到達工・推進完了 15. 推進設備撤去工 16. 刃口撤去 17. 裏込注入工



図IV-2-1 推進方式施工順序

3. 計測管理

(1) 軌道計測の重要性

R&C工法による線路下横断工事の軌道検査方法は、施工中であれば軌道四原則（軌間、水準、高低、通り）測定やレベリング測量が一般的なところである。また、施工後の軌道検査方法については線路巡回や現場確認による目視検査が主となっている。

しかし、現在、施工されている箱形ルーフ工は、十分な施工管理計画より、軌道への影響を最小限に留めるべく検討されているが線路下横断工事では不確的要素も多く、次の様な影響も考えられる。

- ① 切羽先端部分での防護不足による土砂崩落。
- ② 土質が礫やバラスが混在する場所での切羽損傷による土砂崩壊。
- ③ 掘削地盤内の転石、玉石、埋もれ木、ガラ等の除去後の空隙発生による地山の弛み。
- ④ 連日施工による周辺地山の弛み。
- ⑤ 降雨の影響により弛んだ地山が締まることによる土砂崩落。

これらの要因は、箱形ルーフ施工中、あるいは施工後の列車振動が加わったことにより発生する可能性があり、人力による各種検査に加え、自動計測機器による軌道変位を計測することは施工中の安全対策、列車の運行の安全、線路を維持管理するうえで有効な手段である。



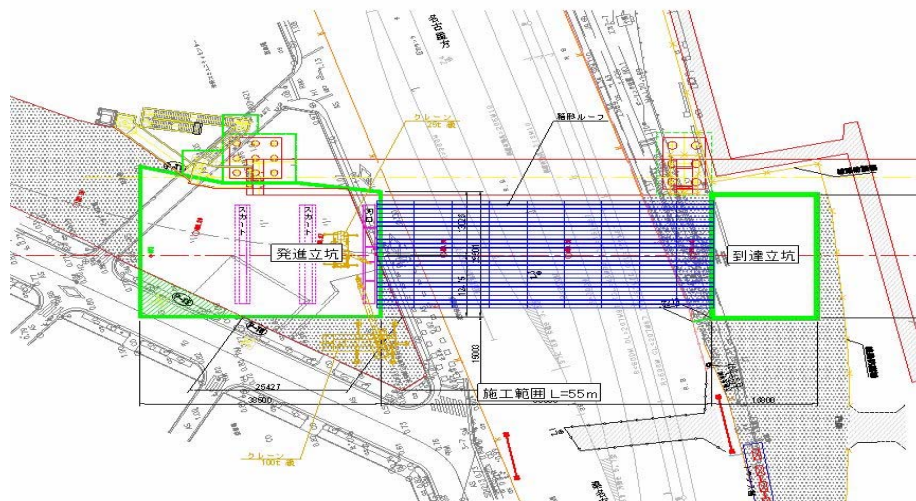
写IV-3-1 軌道検査状況



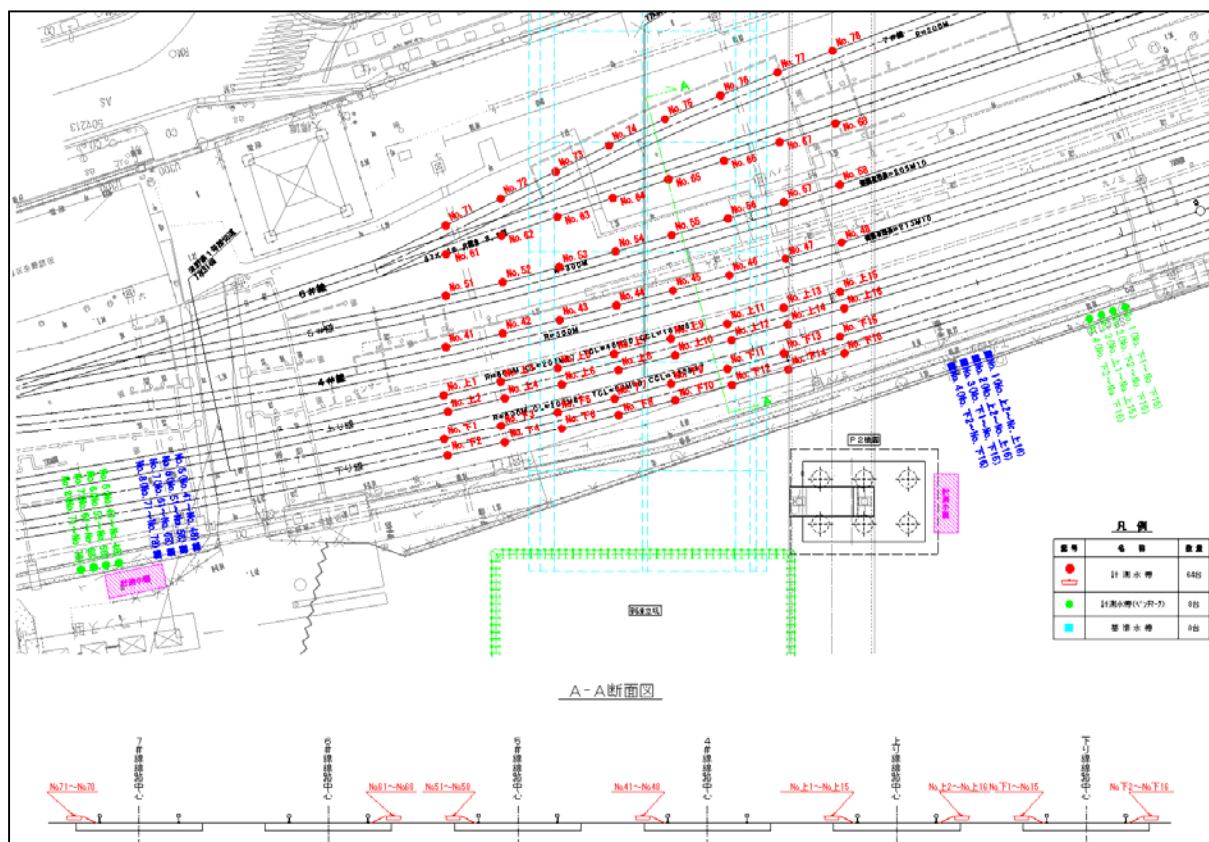
写IV-3-2 現地防護対策(箱形ルーフ先端部)

(2) 計測機器設置状況

計測機器の設置は、函体施工範囲となる軌道横断方向 L=55m 上にある近鉄名古屋線上下線（2線）、米野駅車庫線4、5、6、7番線（4線）に設置している。



図IV-3-1 施工範囲



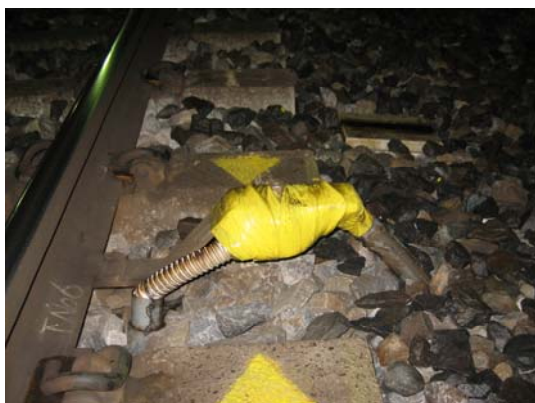
図IV-3-2 計測機器設置状況



名古屋線本線（左右2箇所）



米野車庫線（片側1箇所）



計測水槽



基準水槽

写IV-3-3 計測機器設置状況

表IV-3-1 計測機器設使用数量

設置箇所	使用計測器・数量		設置箇所	使用計測器・数量	
下り線	オーバーフロー式沈下計		5#線	オーバーフロー式沈下計	
	軌道	16台		軌道	8台
	ベンチマーク	2台		ベンチマーク	1台
上り線	基準水槽	2台	6#線	基準水槽	1台
	オーバーフロー式沈下計			オーバーフロー式沈下計	
	軌道	16台		軌道	8台
4#線	ベンチマーク	2台	7#線	ベンチマーク	1台
	基準水槽	2台		基準水槽	1台
	オーバーフロー式沈下計			オーバーフロー式沈下計	
	軌道	8台		軌道	8台
	ベンチマーク	1台		ベンチマーク	1台
	基準水槽	1台		基準水槽	1台

(3) 管理値の設定

軌道計測における管理値については、近鉄の線路保守検査実施要領（平成 20 年 1 月 31 日改正）第Ⅳ章 軌道状態検査を基本に設定している。管理値の設定にあたっては、設置条件や事前計測の結果にもとづき、関係者の協議のうえで現状に適したものに定める必要がある。

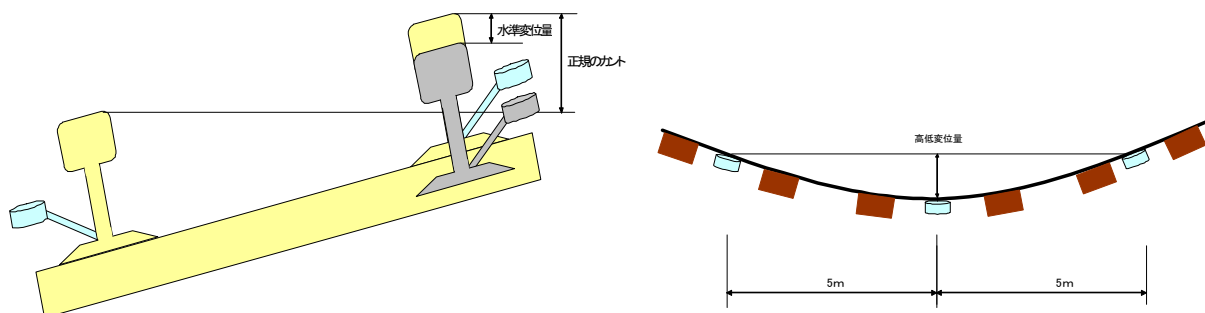
オーバーフロー式沈下計は、各測点間の鉛直方向の相対変位(内軌、外軌・線路方向の水準差)での計測管理を行う。

今回の管理値の選定は本線と車庫線と別々に定めている。本線に関しては、曲線区間(R=600)であると同時に工事期間中の列車徐行が設けられていないことから水準変位と高低変位の 2 項目による計測管理を実施し、線路保守検査要項の第 5 項「この値以内であれば列車動揺に大きな影響を及ぼすことがなく、且つ、保安上支障のない限り整正しない ことができる」【保守目標】の水準、高低 $\pm 7\text{mm}$ を管理限度値と定めている。

車庫線については、車両の低速走行、留置車両等による動的影響(列車荷重による沈下傾向)が大きく R&C 施工範囲以内の測点 4 ヶ所に絞り高低変位による計測管理することとした。当車庫線はガードレール設置区間であることから第 4 項、「整備基準を超えた場合、1 ヶ月以内に整備を完了しなければならない」【軌道整備基準】の高低 $\pm 18\text{mm}$ の 70%となる $\pm 12\text{mm}$ を管理限度値として定めた。

表Ⅳ-3-2 計測管理値表

場 所	区 分	1次管理値 【保守目標(人力)の50%】	2次管理値 【保守目標(人力)の70%】	管理限度値 【保守目標(人力)】
本線 (上り線、下り線)	水準変位 高低変位	$\pm 3.5\text{mm}$	$\pm 4.9\text{mm}$	$\pm 7.0\text{mm}$
場 所	区 分	—	—	管理限度値 【整備基準(人力)の70%】
側線 (4・5・6・7 号線)	高低変位	—	—	$\pm 12.0\text{mm}$



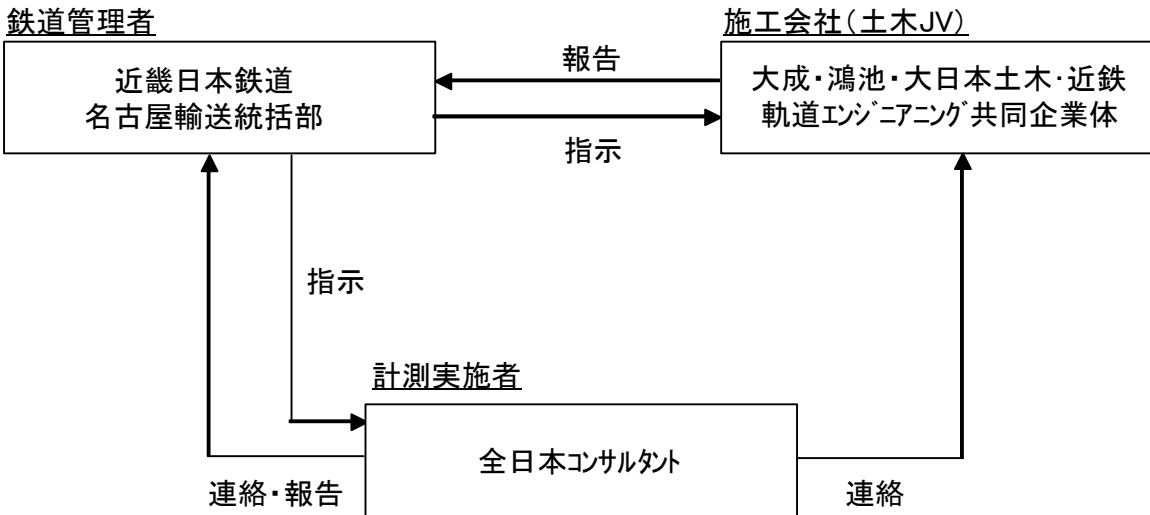
図Ⅳ-3-3 相対変位測定イメージ図

4. 計測管理体制

近鉄において軌道下アンダーパスの工事を行う場合、従来は列車徐行を手配していたが、当工事においては軌道計測の体制を強化することにより、列車徐行を手配せず工事を実施している。特に、自動計測による軌道計測については、通常片側レールから左右レールとすることにより、水準変位、高低変位の計測管理を行っている。

(1) 連絡体制

本工事は、事業主体である名古屋市からの委託を受け、近鉄が発注して工事を進めるため、各社における連絡体制を図IV-4-1の通りである。



図IV-4-1 連絡体制表

(2) 夜間作業体制

夜間作業における現地体制は、近鉄現場監督員、土木施工業者、軌道防護工元請現場監督者が立会い、それぞれの軌道監視を行っている。

表IV-4-1 夜間作業時の検査方法

近 鉄	土木施工業者	軌道防護工
軌道計測データ	レベルング測量	軌道四原則

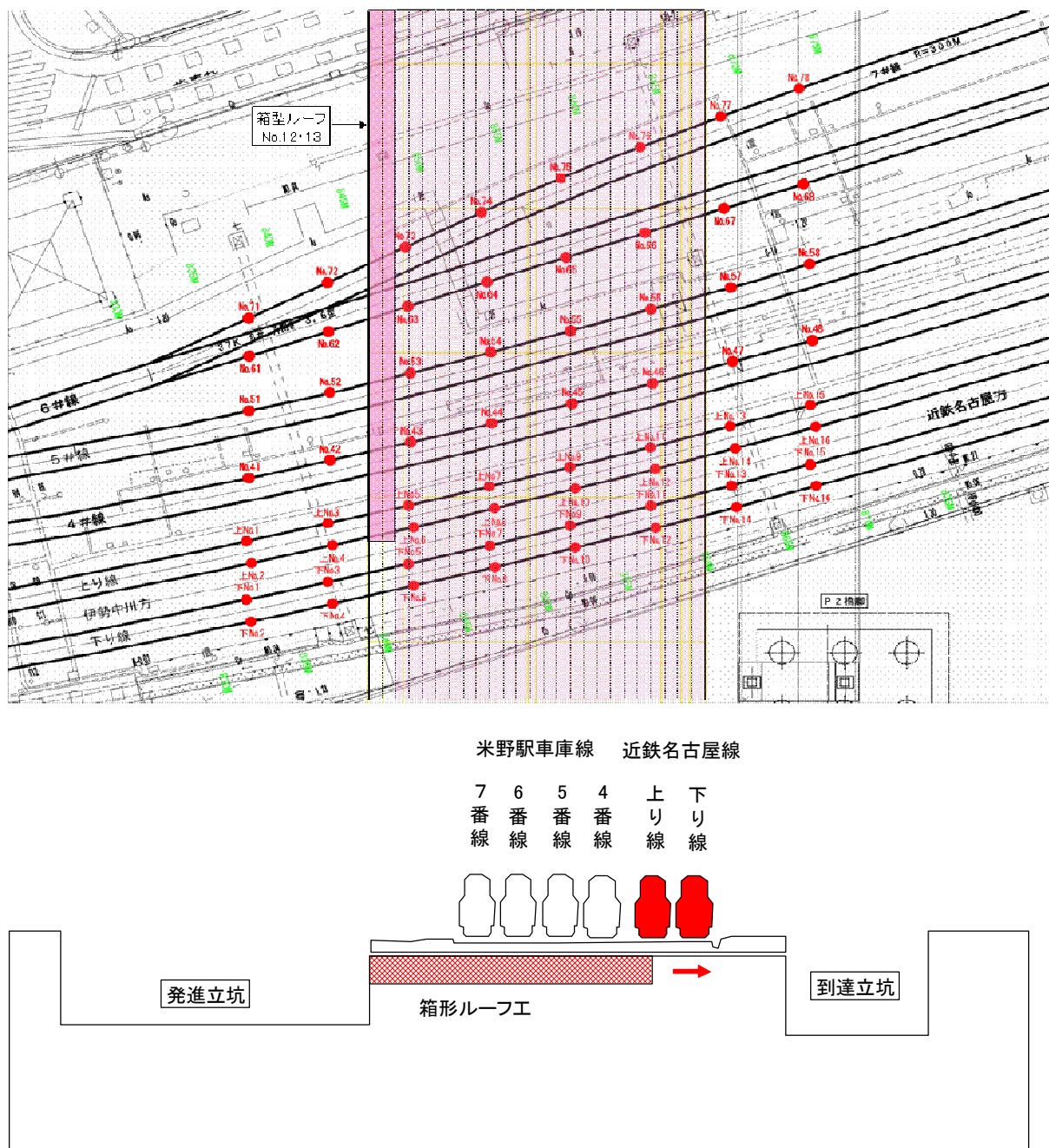
自動計測については、当日の作業状況に応じた監視体制をとっている。例えば、軌道整備を実施すると、その高上量が各管理値を上回るケースがあることから、事前に警報を停止させる処置や、作業完了後の通常監視体制をおこなう処置等を近鉄の現場監督員が行うこととなっている。

監視状態を変更する線路	現在の監視状態	警報監視状態の設定			
下り線（下No.1～下No.16）	作業後監視		警報機	警報メール	初期払い
上り線（上No.1～上No.16）	作業後監視	作業中監視を開始	鳴る	送らない	しない
4＃線（No.41～No.48）	作業後監視	初期払いをして 軌道整備中監視を開始	鳴らない	送らない	する
5＃線（No.51～No.58）	作業後監視				
6＃線（No.61～No.68）	作業後監視	作業後監視を開始	鳴る	送る	しない
7＃線（No.71～No.78）	作業後監視	初期払いをして 軌道整備後監視を開始	鳴る	送る	する

図IV-4-2 監視切替画面

5. 計測報告

計測結果から軌道に与える影響を把握し、施工に反映できるように計測結果を速やかに整理・評価することが重要である。計測結果については、月毎に報告書を作成し提出している。ここでは、平成25年2月の箱形ルーフ推進工による軌道変位について報告する。なお、伊勢中川方の箱形ルーフ推進工（ルーフNo.12・13）が上り線付近で施工された時の状況である。

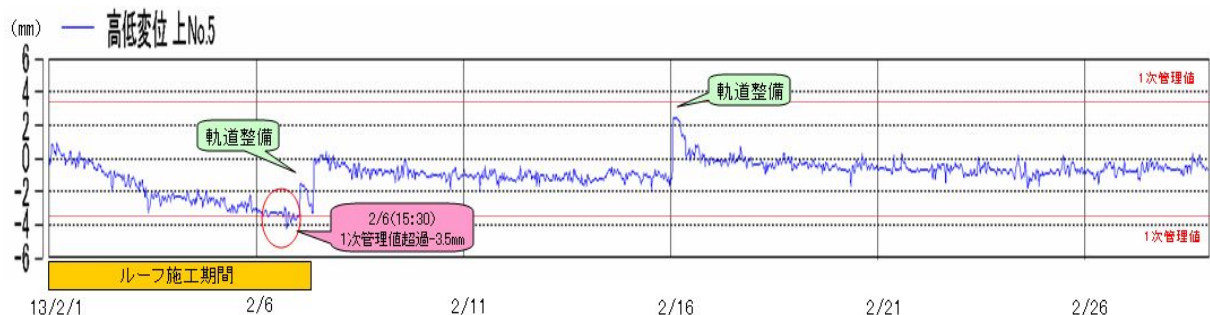


図IV-5-1 施工状況図



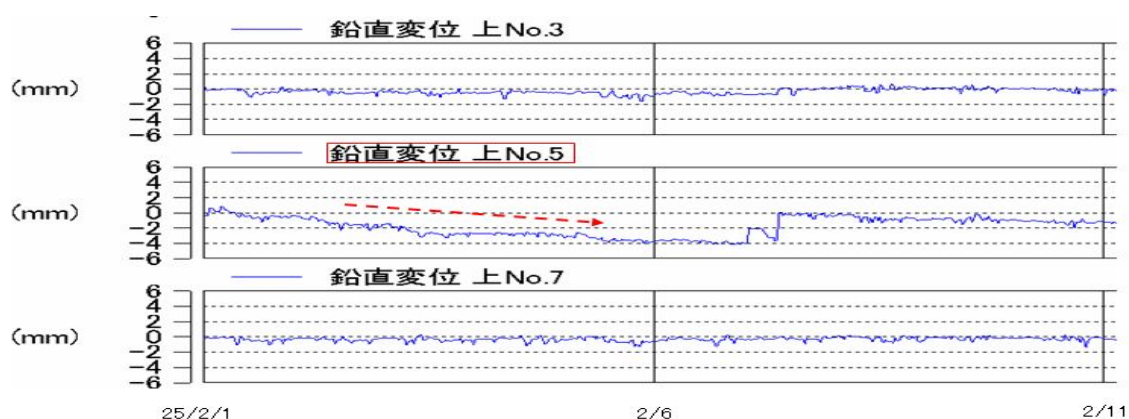
図IV-5-2 経時変化図（鉛直変位）

図IV-5-2 経時変化図は、上り線No.5とNo.6の鉛直変位である。ルーフ施工期間の2月1日～2月7日にかけて箱形ルーフ施工の進捗に合わせて軌道が沈下しているのがうかがえる。約1週間の鉛直変位は3.0～4.0mmの沈下量となり施工影響が顕著にあらわれた結果となっている。現地では、これを受け、2月7日の夜間作業に軌道整備による対策工を実施している。なお、軌道整備を実施すると、軌道の健全性が確保されたとの見解から、計測値を一旦初期払い(ゼロリセット)し、新たな管理体制のもと計測管理を再開している。なお、2月16日にも軌道整備をおこなっているが、通常保守作業によるものである。2月初旬に見られた施工影響は、軌道整備後は、なじみによる沈下がわずかに見られる程度で、やがて収束している。



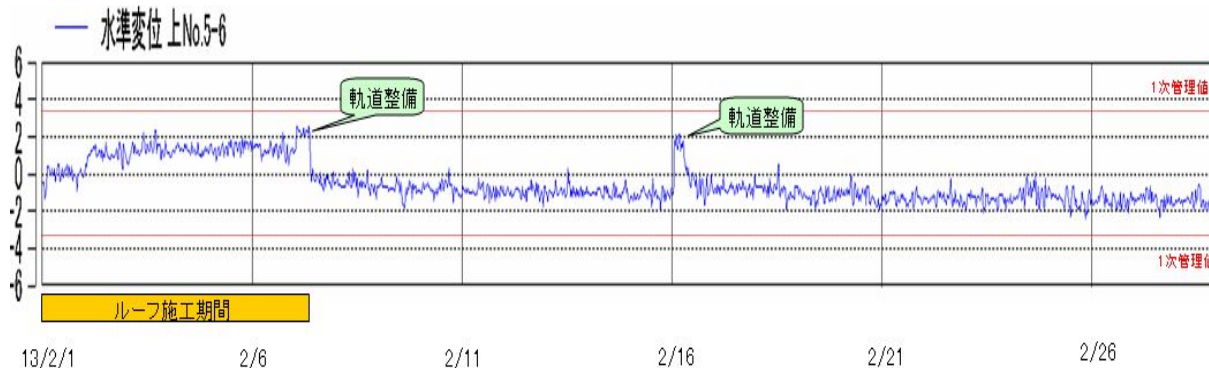
図IV-5-3 経時変化図（高低変位）

図IV-5-3 経時変化図は上り線No.5の高低変位である。高低変位についても、鉛直変位と同じく2月1日から沈下傾向を示しており、2月6日の15:30に、1次管理値超過となる-3.5mmを計測している。（上記記載の軌道整備による対策工済み）



図IV-5-4 経時変化図（鉛直変位）上り線No.3・No.5・No.7

高低変位の上No.5で1次管理値を超過する結果となったが、前後5 m離れた測点上No.3、上No.7の鉛直変位には、あまり変化は見られず、上No.5だけに施工影響があったことがうかがえる。よって箱形ループの施工影響は広範囲には及んでおらずNo.5だけの高低変位に影響を及ぼした。



図IV-5-5 経時変化図（水準変位）

図IV-5-5 経時変化図は、上No.5-6の水準変位である。ループ施工期間はや軌道整備も含めても全ての計測データは1次管理値以内(± 3.5 mm)の推移となっている。ループ施工期間のデータが若干プラス側になったのは内軌側のNo.5の方が僅かながら沈下量が大きかったためである。

表IV-5-1 計測値一覧表

		2月1日 0:00	2月2日 0:00	2月3日 0:00	2月4日 0:00	2月5日 0:00	2月6日 0:00	2月6日 15:30	2月7日 1:30	2月7日 9:30	2月16日 0:00	2月16日 1:30	2月16日 9:00	2月28日 23:30
鉛直変位	上りNo.5	-0.3	-0.3	-1.5	-2.7	-3.2	-3.8	-3.9	-2.0	0.0	-1.3	2.3	0.0	-1.0
	上りNo.6	-0.7	-0.3	-0.6	-1.5	-1.6	-2.0	-2.5	0.6	0.0	-2.0	4.1	0.0	-2.3
高低変位	上りNo.5	-0.4	-0.1	-1.2	-2.0	-2.8	-3.1	-3.5	-1.5	0.0	-1.2	2.5	0.0	-0.6
	上りNo.6	-0.5	0.1	-0.3	-1.3	-1.4	-1.7	-1.8	1.2	0.0	-2.2	3.9	0.0	-1.8
水準変位	上りNo.5-6	-0.4	0.0	0.9	1.2	1.6	1.8	1.4	2.6	0.0	-0.7	1.8	0.0	-1.3
箱型ループ推進工 (No.12、13)														
備 考								1 次 管 理 値 超 過	軌 道 整 備	初 期 払 い		軌 道 整 備	初 期 払 い	

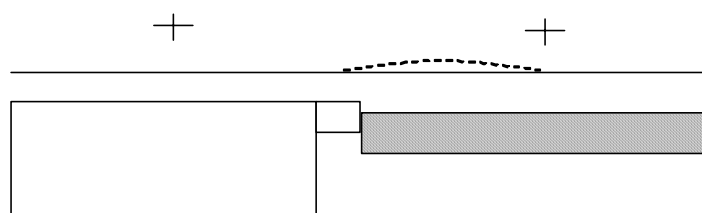
表IV-5-1 は、上り線No.5 とNo.6 の計測値一覧表である。ループ施工期間では一日の沈下量は少ないが断続的に下がっていることがわかる。

軌道整備によるつき固め作業後は、列車通過による初期沈下や、なじみによる長期沈下がある。軌道整備による影響と工事が要因となる影響を明確にすることは難しいことから、これらの影響も合わせて計測管理することとしている。なお、報告書では、計測結果に工事進捗、軌道整備の実施、初期払いを明記し、軌道変位との関連を示すようにしている。

6. 今後の影響について

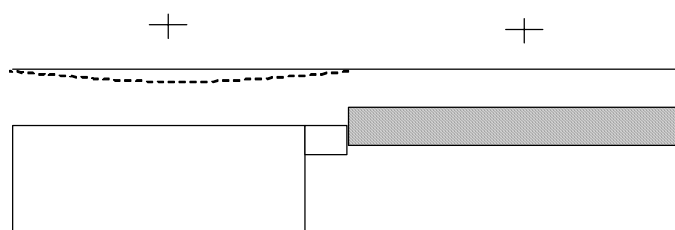
箱形ルーフ工が敷設されると、箱形ルーフ自体が軌道防護の役目を担うことになる。軌道計測を引きつづき実施するが、箱型ルーフは、あくまでも仮設構造物であり、ルーフにたわみ等が発生すれば、軌道に直接影響を及ぼす可能性がある。また、ルーフの施工精度次第では、函体推進工にも影響も出ることから、ルーフの品質、施工管理が大切である。

函体推進工が開始されると、広範囲にわたって軌道が変位する可能性もあることから、データサンプリングから早期に計測値と管理値を対比し、現在の施工状況、施工方法の安全性と妥当性を検証することで、計測管理による列車運行の安全確保に結びつけたいと考える。



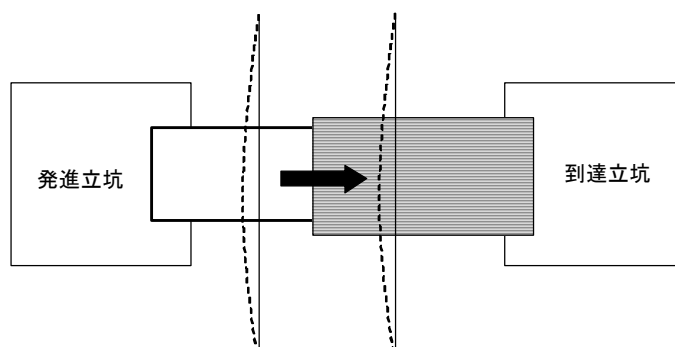
〔隆起〕

- ・ルーフが計画高さより低く施工された場合函体による路盤の押上げ



〔沈下〕

- ・ルーフが計画高さより高く施工された場合ルーフと函体の施工高さの違いによる空隙の発生



〔通り狂い〕

- ・函体推進時のFCプレートの移動・リバウンド

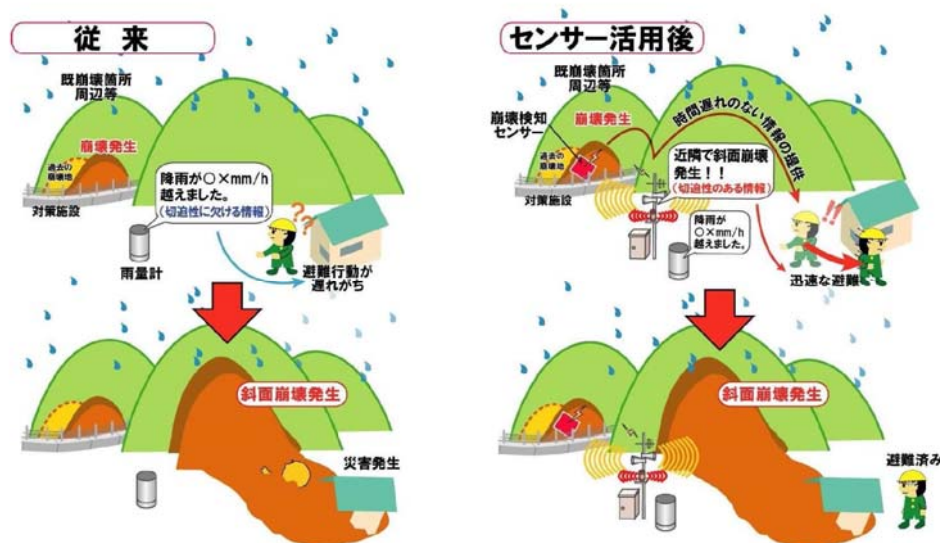
図IV-6-1 函体推進工による変状要因

V 斜面災害計測について

1. 概要

豪雨などによる斜面災害は、年間数百～数千件発生している。近年では、2011年7月末に新潟・福島で観測された豪雨や、2011年9月の台風12号による紀伊半島での豪雨は、ともに地域によっては総雨量が観測史上最大であり、鉄道施設のみならず社会に大きな被害を与えている。このように災害発生リスクが高まる中、鉄道は、社会を支える重要なインフラであり、安定した円滑な輸送のため、異常発生を抑止、被害の最小化が求められている。沿線で発生する土砂崩壊や落石などの斜面災害から列車の安全を確保するために、のり面保護工などにより斜面の耐力を向上させるハード対策が理想であるが、現況は、対象構造物が膨大なため、ハザードマップにより危険箇所を抽出して、対策優先順位を決定し、対策を行いつつ、累積雨量や時間雨量データにより列車の運行を規制することで列車の安全性を確保している。斜面災害の中で、土砂災害は突然発生する特性をもっているため、土砂災害の発生情報の確認は目視によるものが大半であるのが実状である。

山地、急傾斜地などの斜面崩壊の恐れがある場所に斜面崩壊検知センサを設置することにより斜面崩壊を瞬時に検知して、発生場所、時刻の情報をリアルタイムに把握することが重要となる。従来の計測技術の多くは、斜面崩壊の初期の微少な変動を精度良く検知することを目的としているため、設置の作業性やメンテナンスの精度、耐用年数、費用の関係からごく限られた場所でしか使用されていない。そこで、近年、安価かつ長期間メンテナンスなしで、容易に設置・運用可能な土砂災害の検知センサが開発されている。ここでは、斜面崩壊計測の技術について最近開発された検知センサを含めた技術紹介を行う。



図V-1-1 斜面災害のセンサ活用イメージ

2. 斜面センサの概要

計測形式によりセンサは表V-2-1 に示すように分類される。

表V-2-1 斜面崩壊を検知・計測する技術

検知・計測方式	検知・計測の対象	検知・計測方法の概要
光ファイバーセンサ	ひずみ、変位、崩壊検知	ブリリアン後方散乱光 (BOTDR) やブラッグ波長のシフト量 (FBG)、の検出・解析によりひずみや変位を測定する
ワイヤセンサ	崩 壊 検 知	ワイヤの張力変化より変形・崩壊を検知する。 ワイヤの巻取り量で崩壊を検知する。
ケーブルセンサ	変位・崩壊検知	ケーブルのインピーダンス変化を検出・解析し変位・崩壊を検知する。ケーブル断線による崩壊検知を行う。
傾斜・転倒センサ	変位・崩壊検知	傾斜角の変化あるいは転倒により接点信号を発信して崩壊を検知する。
デジタル画像解析	変位・崩壊検知	デジタル画像からの特異点などの座標データを比較して変位量を測定
GPS	変 位	傾斜角の変化あるいは転倒により接点信号を発信して崩壊を検知する。

今回は表V-2-1 に示す検知・測定方式のうち、鉄道などに、比較的安価で容易に設置できるワイヤセンサ、ケーブルセンサ、傾斜・転倒センサについて紹介する。

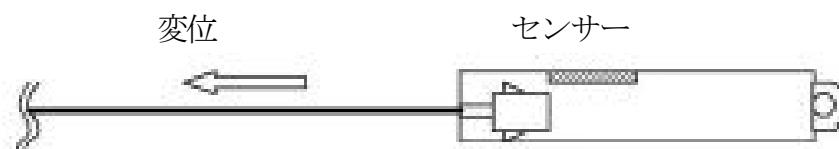
(1) ワイヤセンサ

a. 検知方法

ワイヤの張力変化により変形・崩壊を検知する方式

ワイヤがある一定以上の伸びが発生した時点で警報を発する形式である。

落石防護柵などの線路縦断方向に設置された構造物が、土砂等により転倒変形した場合にワイヤの動きを検知することにより警報を発生する。



図V-2-1 ワイヤ検知状況

b. 計測対象

土石流、落石、表層崩壊

c. 特色

- ・ 既存の落石防護柵などの施設を利用した計器設置が可能である。
- ・ 無線でデータを送ることが可能
- ・ ワイヤ単体で設置した場合 動物接触や、風による誤検出の危険性がある。

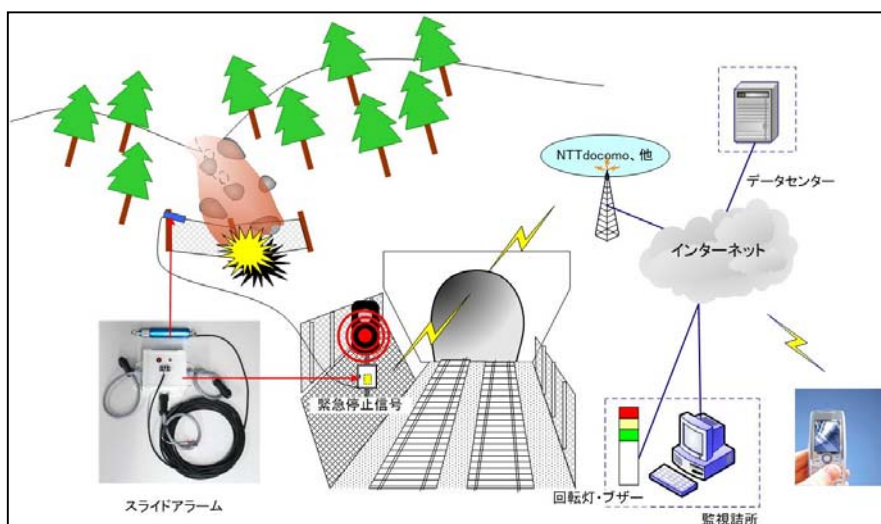
d. 設置概要



写V-2-1 設置事例(1)



写V-2-2 設置事例(2)



図V-2-2 計測システム図(1)

e. 実績

表V-2-2 実績表

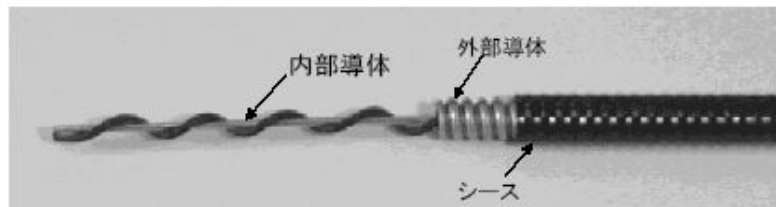
実施機関	件 名	台数
国土交通省	群馬県ハツ場抱く水源地域対策	2
地方自治体	道路施設整備工事 道路監視施設	52
国土交通省	台風12号土石流危険地域緊急対応	2
ネクスコ	東名高速道路 北畑トンネル付近土石流監視	2
民間	槇尾ダム斜面掘削工事に伴う安全管理計測	5

(2) ケーブルセンサ

a. 検知方法

ループ状に配置したセンサに両端からパルスを与え、反射波を常時監視する。

反射波、土砂崩壊による曲げ、引張りによる切断。落石等によるつぶれなどにより、ケーブル内部導体と外部導体が接触した際にその位置で発生する。



写V-2-3 ケーブルセンサ



図V-2-3 ケーブルセンサ検知状況

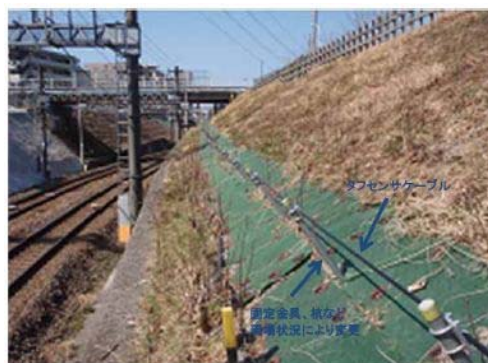
b. 計測対象

土石流、落石、表層崩壊

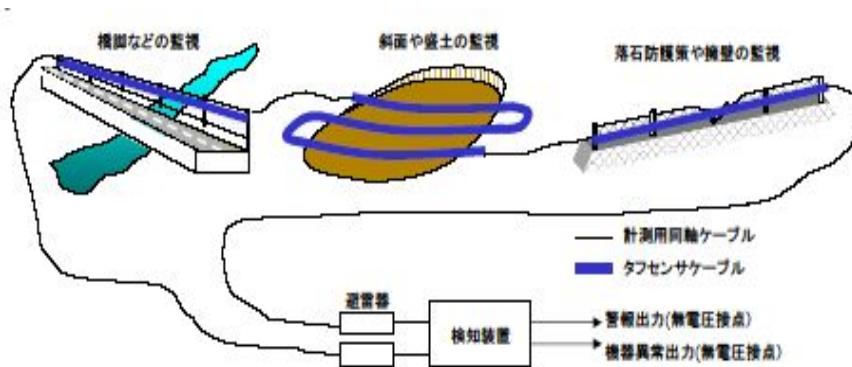
c. 特色

- ・最長 1.5km の範囲で検知が可能
- ・センサ両端から検知するため信頼性が高い
- ・パルス信号により 5 秒周期での監視が可能
- ・電源設備が必要である。

d. 設置概要



写V-2-4 設置事例(3)



図V-2-4 計測システム図(2)

e. 実績

表V-2-3 実績表(2)

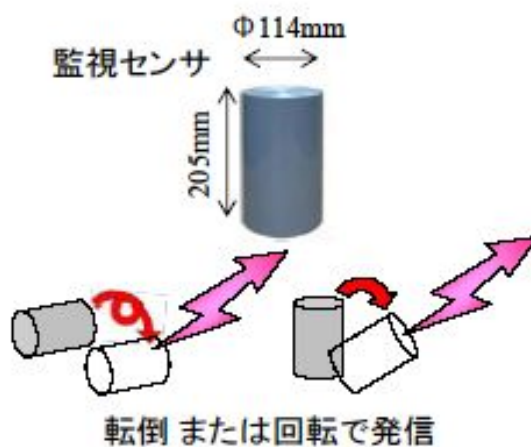
実施機関	件 名	延長(m)
JR東日本	奥羽本線 板谷駅付近 赤岩トンネル付近監視システム	150
JR東日本	羽越線 村上一間島間 監視システム	310
東部鉄道	鬼怒川線 落石検知システム	1230
小田急	小田原線、江ノ島線のり面監視システム設置工事	2550
小田急	多摩線のり面監視システム設置工事	2845

(3) 傾斜、転倒型センサ

a. 検知方法

内蔵した全方位検知型傾斜検知装置により斜面崩壊を検知する方式

検知角度が、 30° を超えた場合崩壊が発生したものととして警報を瞬時に発生する。



図V-2-5 転倒型検知状況

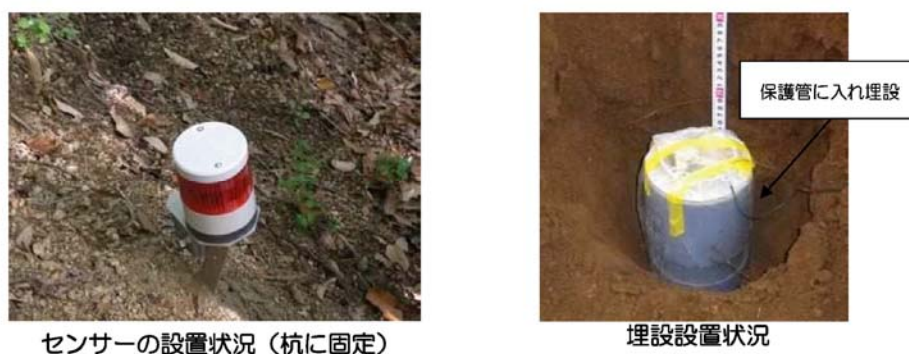
b. 計測対象

土石流、落石、表層崩壊

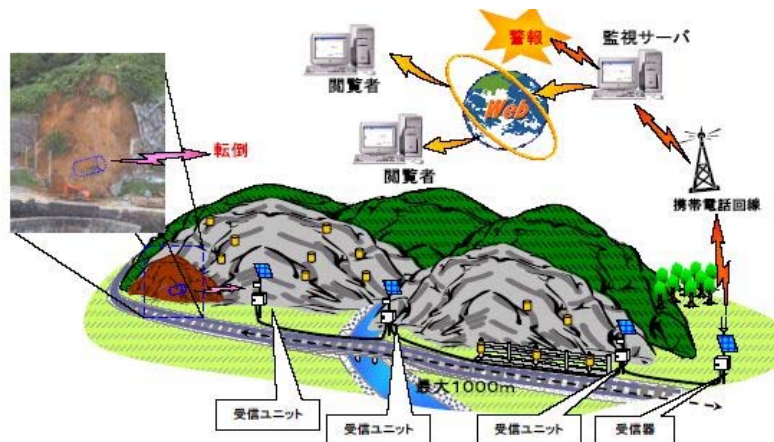
c. 特 色

- ・ センサは、1 台 20 万程度と安価であり、広い範囲に計器が設置可能
- ・ センサが小型であることから、設置が容易である。
- ・ 無線でデータを送るため配線が不要
- ・ 省電力で稼働するため、電池で駆動（転倒センサの場合、1 年程度）
- ・ 複数箇所の測定を同時に可能（60 点）
- ・ 防護施設に設置し、災害時の転倒の発生などの検知に仕様可能である。

d. 設置概要



写V-2-5 設置事例(4)



図V-2-6 計測システム図(3)

e. 実績

表V-2-4 実績表(3)

実施期間	件 名	台数
JR東日本	東日本大震災に伴う鹿島線復旧工事に伴う動態監視システム	8
JR東日本	米坂線のり面監視システム	15
国土交通省	月山地すべり地山変状計測システム	5
国土交通省	豊平川直轄砂防区域内斜面崩壊危険度評価業務	5
鹿児島県	災害関連緊急砂防調査委託	5

3. あとがき

現在、安価かつ長期間メンテナンスなしで、容易に設置運用が可能なセンサが開発され、従来より斜面崩壊の発生をリアルタイムで把握することが可能となってきた。しかし、鉄道は、対象が広範囲に分布することから、全てを対象とすることは不可能である。

よって、災害履歴、ハザードマップによる危険度、路線の重要性などを考慮して、センサを使用する区域を選定する必要がある。

近畿日本鉄道株式会社では、表V-3-1に示す箇所において平成8年～平成11年に斜面、盛土、構造物のハザードマップ実施し、危険度評価を行い、危険度に応じ対策および監視が実施されている。なお、ハザードマップの更新にあたっては、当該ハザードマップ作成後に実施された工事内容、沿線で発生した災害状況を踏まえ、危険度評価の見直しを行っている。

表V-3-1 ハザードマップ実績一覧

実施区間		作成年度	更新年度
吉野線	吉野口～吉野	平成8年度	平成23年度
大阪線	大和朝倉～赤目口	平成10年度	
	西青山～伊勢石橋		平成21年度
	美旗～西青山		
南大阪線	上ノ太子～二上山	平成11年度	平成23年度
鳥羽線	五十鈴川～鳥羽		平成21年度
長野線	滝谷不動～河内長野	平成17年度	

当社は、ハザードマップの情報から、斜面の地質的な特性を把握し、斜面崩壊形態の予測、有効なセンサの選定、現地に対応した設置計画を立案することで、今後の斜面災害に向けたリスクの低減に期待できると考える。

VI おわりに

鉄道近接工事における影響予測は、施工状況や現場条件により線路へ与える影響も様々で、事前にこれを的確に予測することは容易ではない。しかしながら、現場で計測管理を実施することにより、不確定要素を排除し、影響予測の妥当性を評価しながらより安全に施工を進めることが可能となり、列車運行の安全度向上に大きく寄与できると考える。

当社では、近鉄線を中心にこれまで数多くの計測管理の実績を積み重ねてきたが、そこで培った様々なノウハウや技術力を活かし、今後多様化する鉄道近接工事に対し、適切な対策や計測管理方法を提案するとともに、最新技術の導入を図り、計測システムの精度向上に努めてまいりたい。

最後に本稿の作成あたり、ご指導、ご助言、ご協力頂いた近畿日本鉄道株式会社の関係者様、ならび施工会社、協力会社の関係各位に感謝の意を表す次第である。

参考文献（または引用文献）

1. 都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル：財)鉄道総合技術研究所 平成 19 年 1 月
2. 地盤工学・実務シリーズ 28 近接施工：地盤工学会 平成 23 年 1 月
3. 線路下横断工計画の手引：日本鉄道施設協会 平成 12 年 4 月
4. オーバーフロー式沈下計・OCS システム技術資料：オーエスエー工業(株) 平成 18 年 1 月