

3. トンネル坑内水抜き・土砂撤去時の計測について

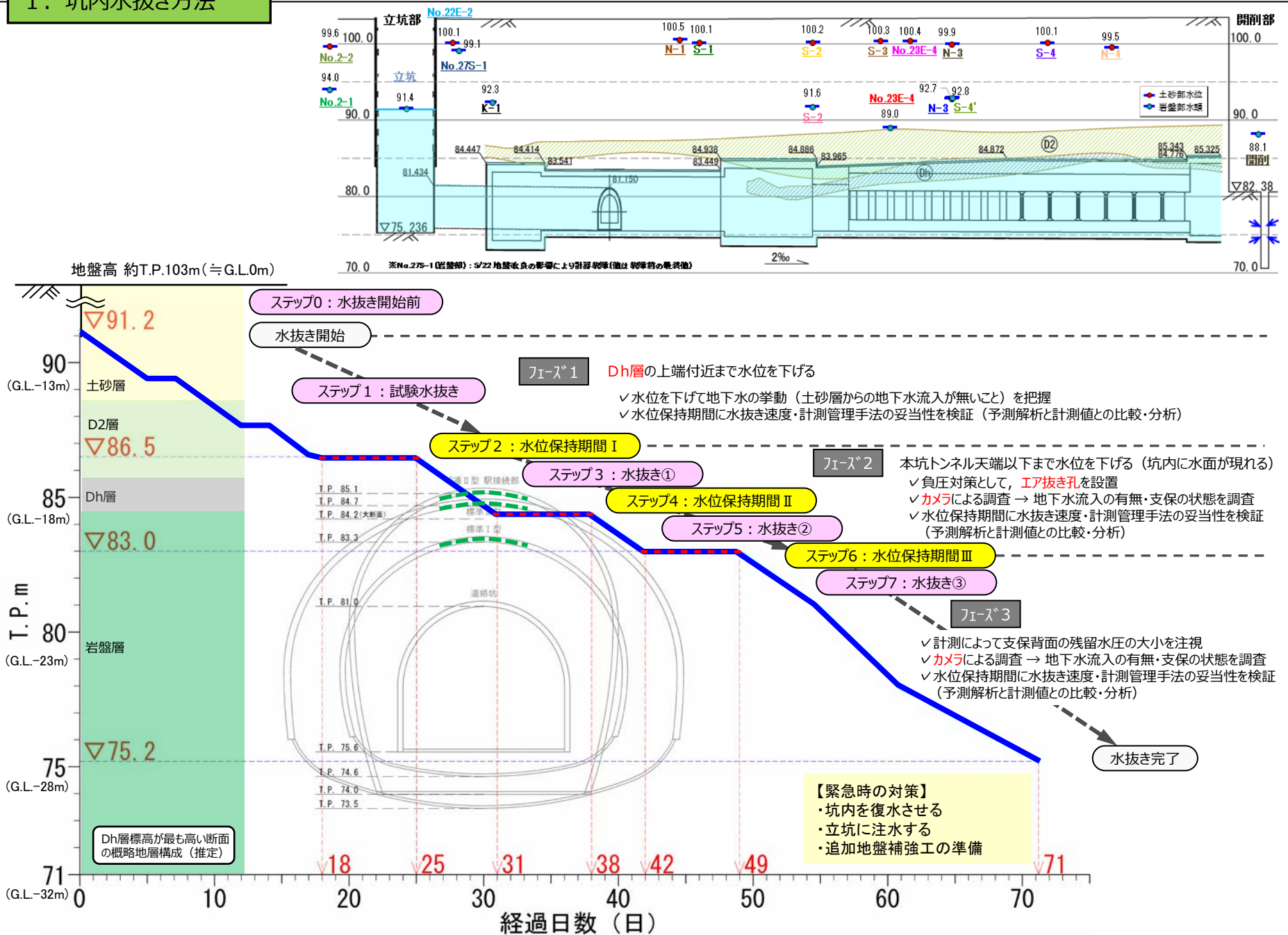
- 1. 坑内水抜き方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P1～2
- 2. 計測計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P3～20

平成30年11月29日(木)

福岡市交通局

1. 坑内水抜き方法

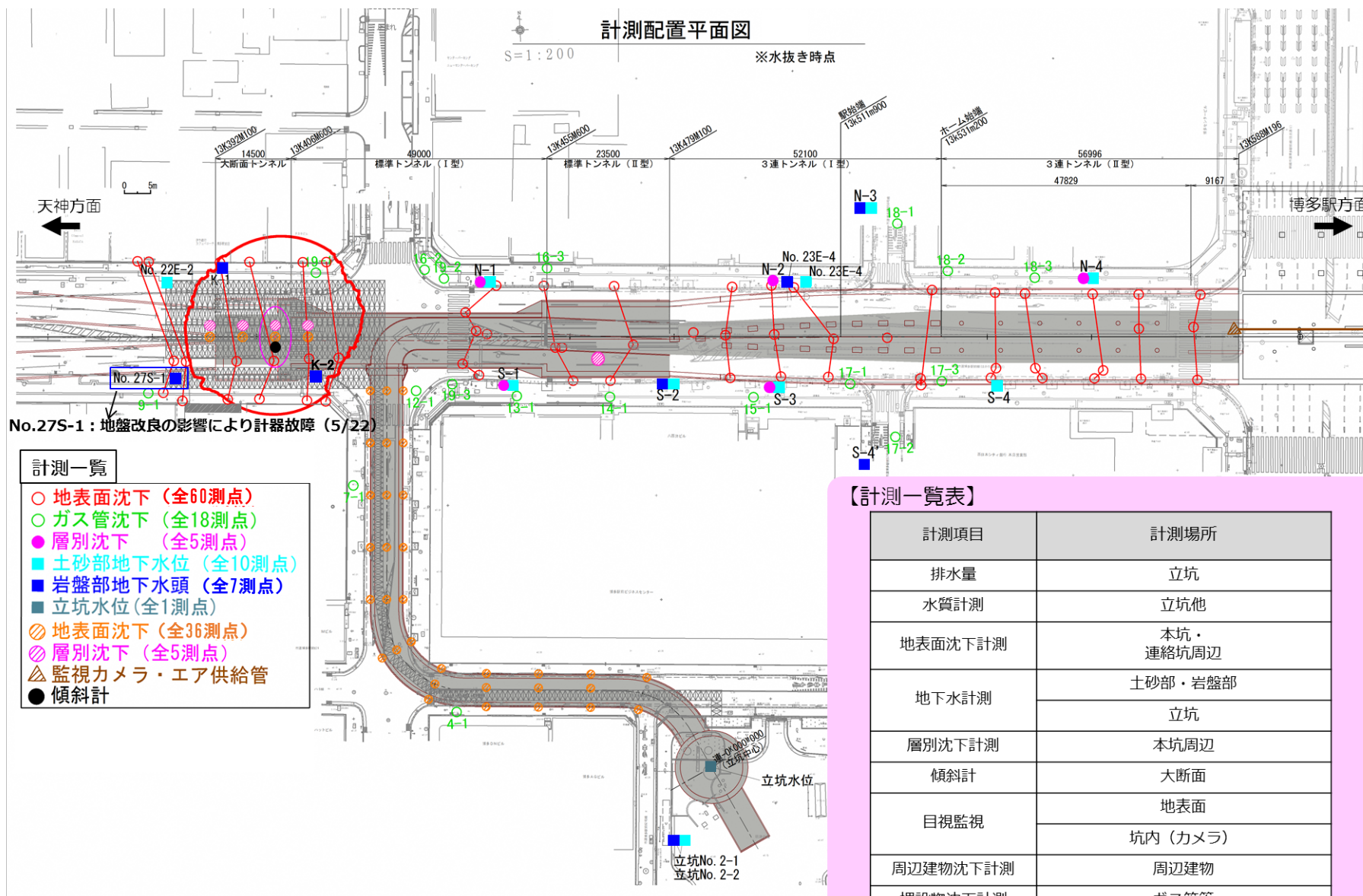
1. 坑内水抜き方法



2. 計測計画

2. 計測計画

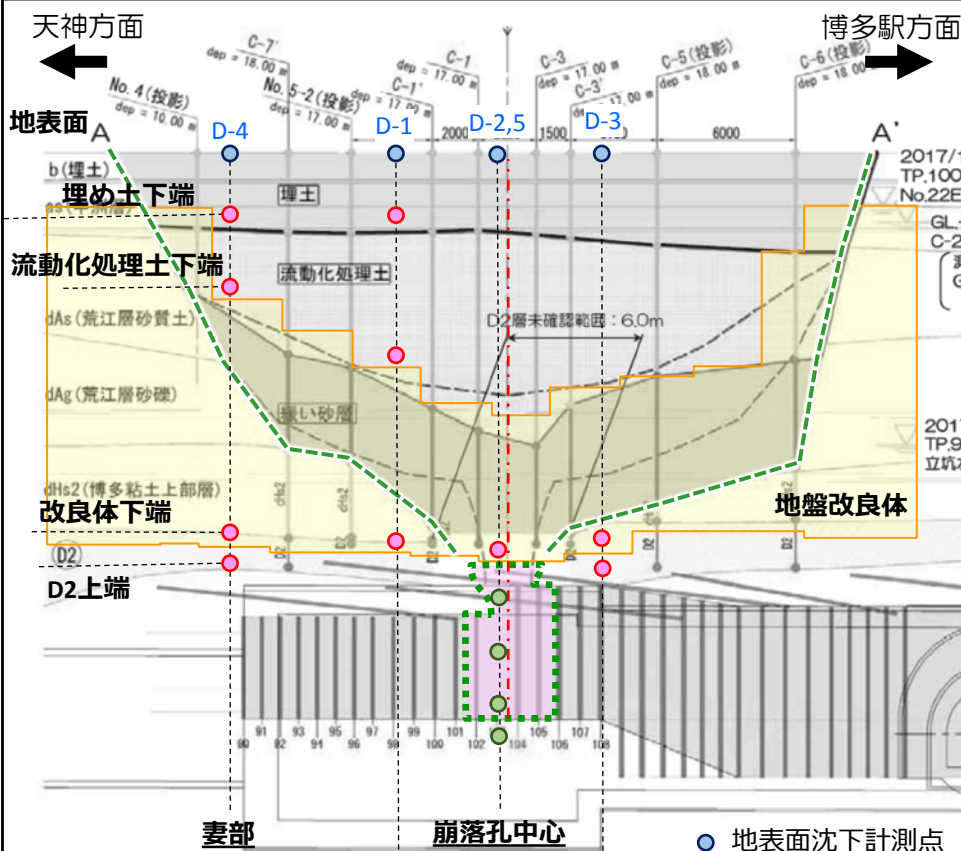
(1) 計測箇所



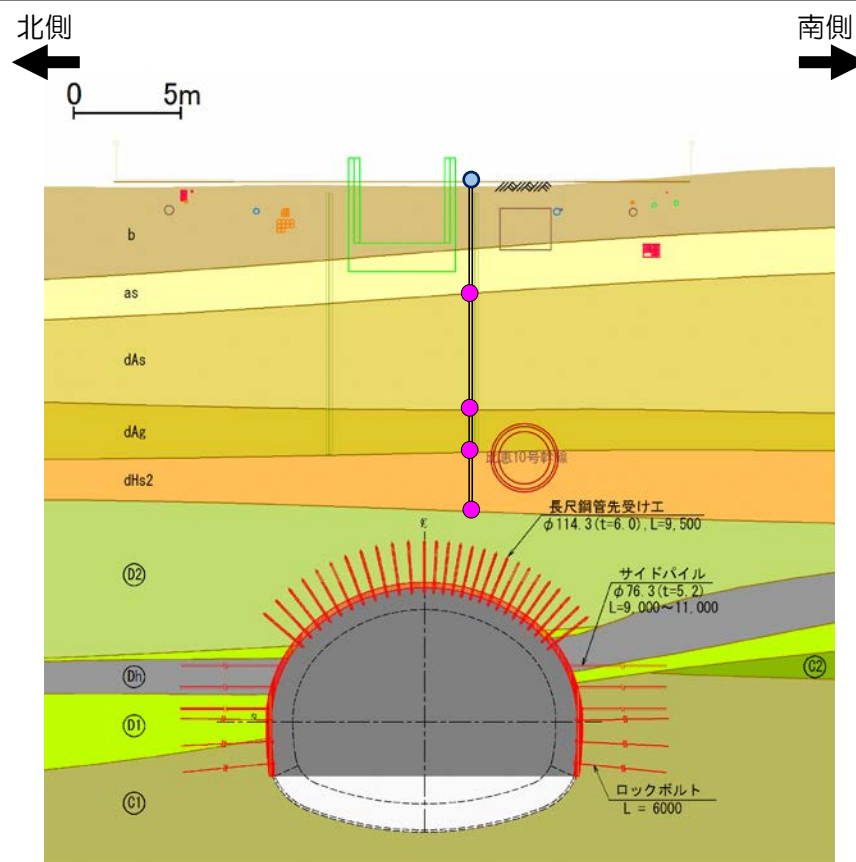
2. 計測計画

(1) 計測箇所

- 大断面トンネル部では、地表面沈下計測、層別沈下計測・傾斜計測を追加実施する。
- 標準トンネルⅡ型部では、地表面沈下計測、層別沈下計測を追加実施する。



大断面トンネル (縦断面図)



標準トンネルⅡ型 (横断面図)

2. 計測計画

(2) 計測管理の概念

- ・ 水抜き・土砂撤去に際し、変位計測や地下水関連計測により地盤の安定性を確認する。
- ・ 変位計測については、路面の走行安定性等の許容値やFEM解析に基づき管理値を設定する。
- ・ 地下水計測については、予測値と計測値の差（偏差）が過去経験した範囲内かを評価する。

リスクタイプ1：遮水層（D2層、地盤改良体）の遮水性が失われ土砂がトンネル坑内に流入する可能性
" 2：トンネルまたは周辺地盤が不安定化して土砂が坑内に流入する可能性
" 3：トンネル周辺地盤等に影響を及ぼす可能性

計測目的	水抜き方法の妥当性を評価	
	トンネル周辺地山の 挙動や影響の監視 (リスクタイプ2・3)	遮水層（D2層・地盤改良体）の 不安定化の予兆を評価 (リスクタイプ1・2)
計測方法	変位計測	地下水計測
計測対象	地表面沈下，層別沈下	土砂水位，岩盤水頭，排水量
管理方法/評価方法	地表面沈下については，路面の走行安定性や構造物の安全性確保の面から設定する。 層別沈下については，FEM解析に基づき設定する。	計測値と予測値の差（偏差）が 過去経験した偏差範囲※に基づき設定する 計測値が予測値に対してこれまで経験した範囲内であれば，安全であるという考えに基づいており，境界値の超過が，直ちに地盤の不安定化を示すものではない。 ※偏差範囲の設定については，水位を下げていく過程で見直しを行っていく。

※坑内水抜き後に実施するトンネル坑内の土砂撤去時には，水位や排水量を変化させる作業を伴わないため，土砂水位，岩盤水頭，排水量について基準を設けませんが，データの確認を実施する。

2. 計測計画

(2) 計測管理の概念

- 土砂撤去時はトンネル周辺の土砂水位や岩盤水頭、地盤中の水の流れに変化は生じないと想定しているため、当該期間において地下水関連計測項目に基準等は設けませんが、データの確認は継続する。

計測項目一覧

計測項目	坑内水抜き	土砂撤去	備考
地表面沈下	○	○	路面の走行安定性を管理
層別沈下	○	○	D2層の変位を管理
土砂水位	○	△	水抜きの進捗とともに、最新の計測データを用いて境界値を見直す。
岩盤水頭	○	△	
排水量	○	△	
坑内傾斜	△	△	
目視観察	△	△	地表面/坑内
トンネル坑内変位	－	○	
埋設沈下	○	○	ガス管・下水管等定められた埋設物について実施
周辺建物	△	△	坑内水抜き前、土砂撤去前に各1回

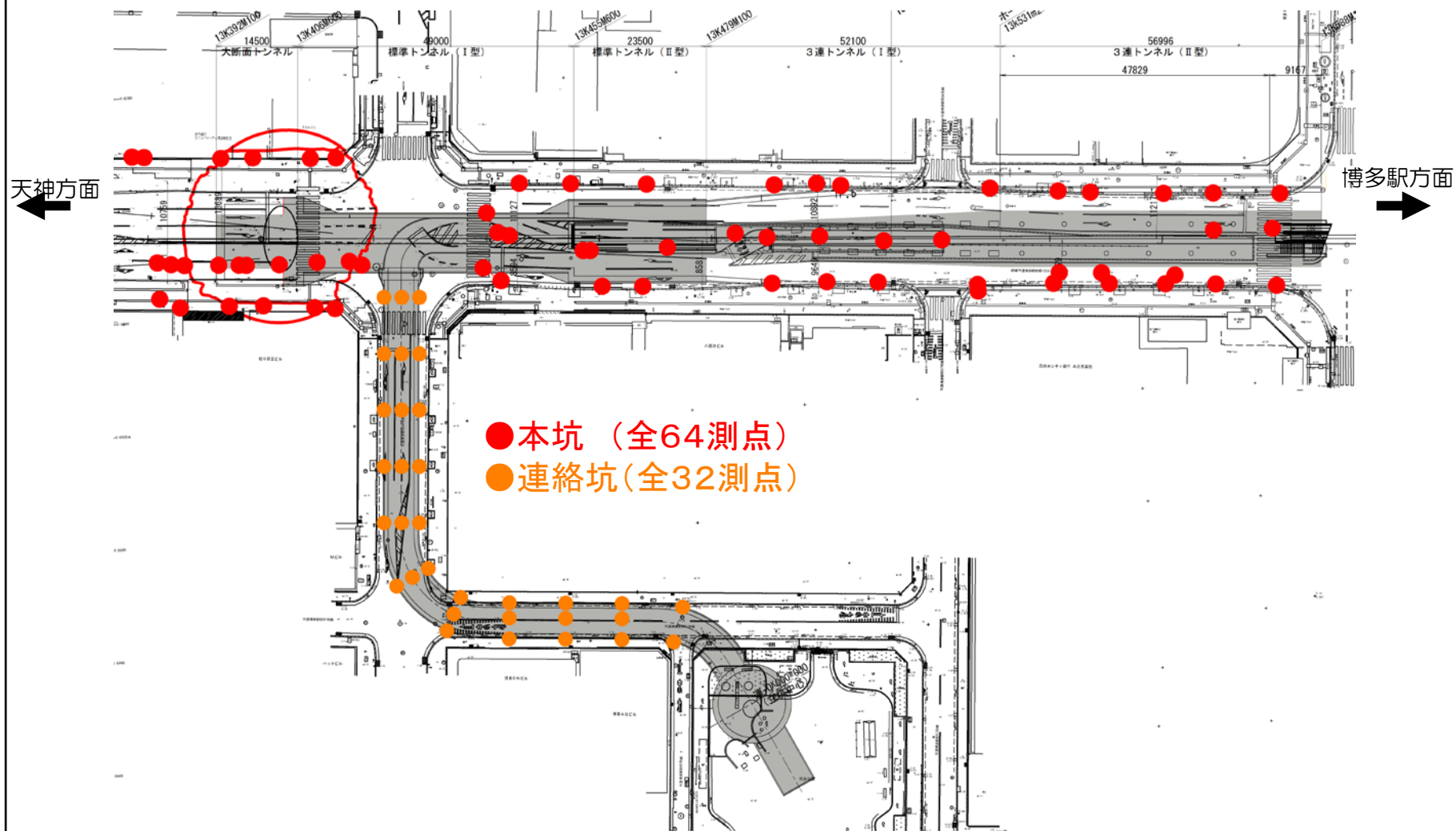
※各計測項目についてのチェックリストを作成する。

○：基準等を設定して計測する
△：基準等は設定しないがデータの確認を行う
－：計測項目としない

2. 計測計画

(3) 管理基準値の設定 (地表面沈下)

地表面沈下計測箇所



2. 計測計画

(3) 管理基準値の設定（地表面沈下）

- 坑内水抜き～土砂撤去の期間中、道路の走行性に関する基準値に則して地表面沈下量を管理する。

a)計測データの特徴

- トンネル掘削時に標準トンネルⅡ型周辺の地表面沈下が大きかった。
- トンネル水没に伴いトンネル直上の地表面が5mm程度隆起した。

b)計測管理の目的

- 道路など地表面に有害な変形が生じていないことを確認する。

c)管理基準値の設定方法

- 道路の走行安定性を確保するため、30mmを管理指標とする。
- 地下埋設物の沈下量については別途管理する。

d)計測頻度と計測値確認頻度

- 計測頻度：本坑 1回/10分（自動計測）
：連絡坑 1回/日（手動計測）
- 計測値確認頻度：1回/1時間（水位低下中）
：1回/1日（水位維持中）

e)管理基準値

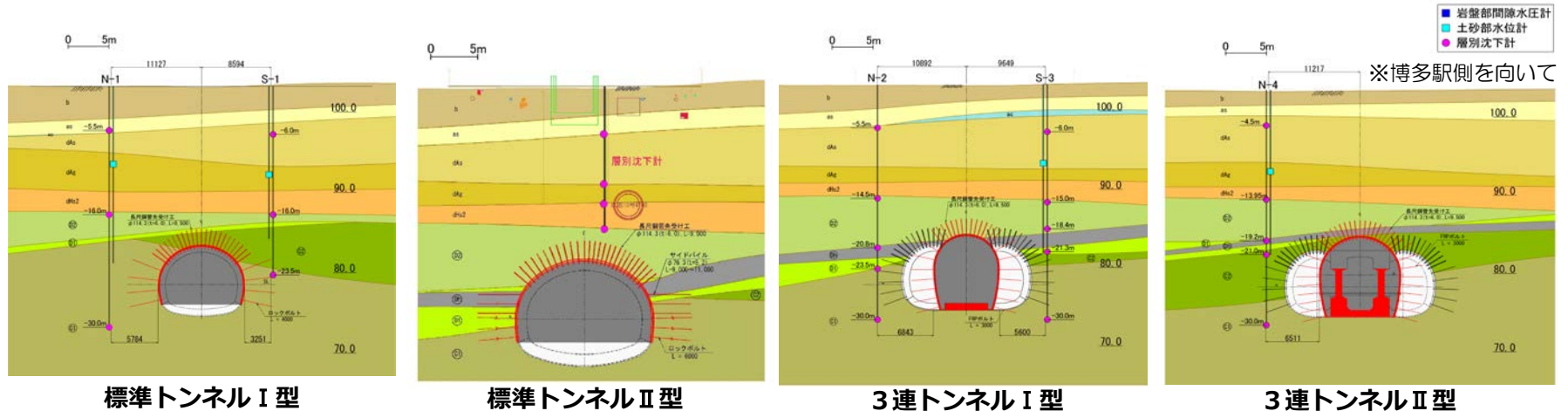
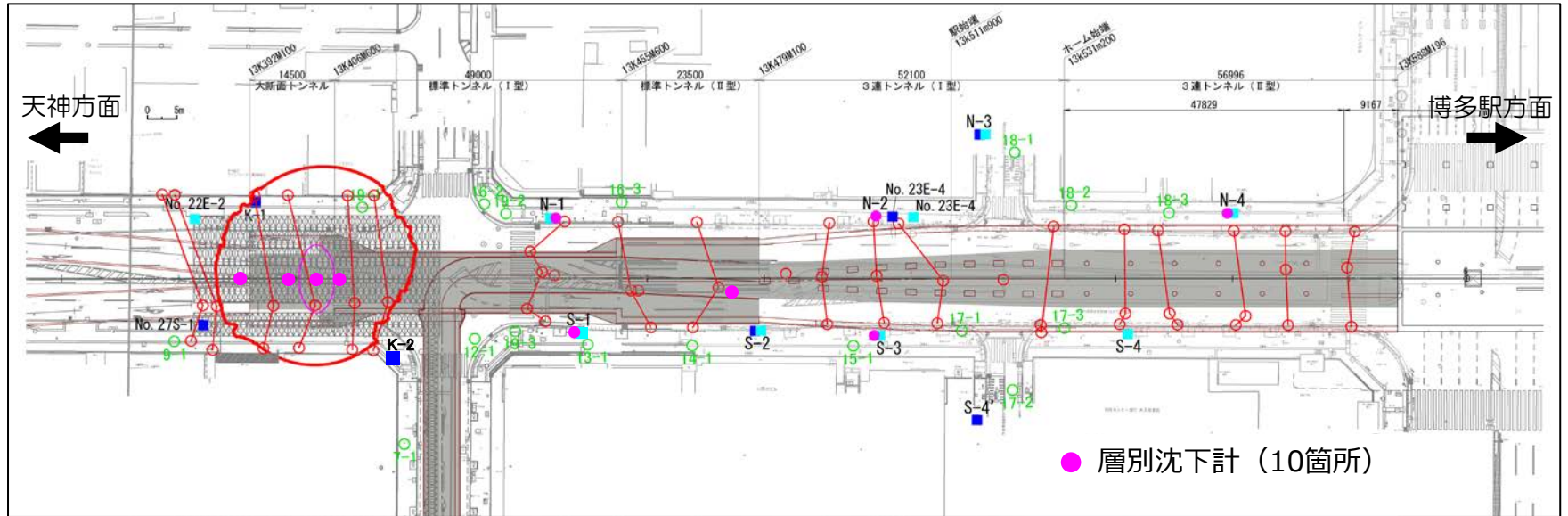
管理区分	管理基準値	管理基準値超過時の対応
管理区分Ⅰ	-15mm	・ 計測確認頻度の強化（1回／30分）
管理区分Ⅱ	-24mm	・ 路面補修の検討 ・ 水位低下速度の低減～立坑水位維持 ・ 立坑への注水準備
管理区分Ⅲ	-30mm	・ 必要に応じて路面補修の実施 ・ 立坑水位維持 ・ 他計測値の状況によって立坑水位回復策の実施（実施に際しては監督員と協議を行う）

※各管理基準値を調査した際は、層別沈下計測値を確認するとともに地表面の目視点検を行う。

2. 計測計画

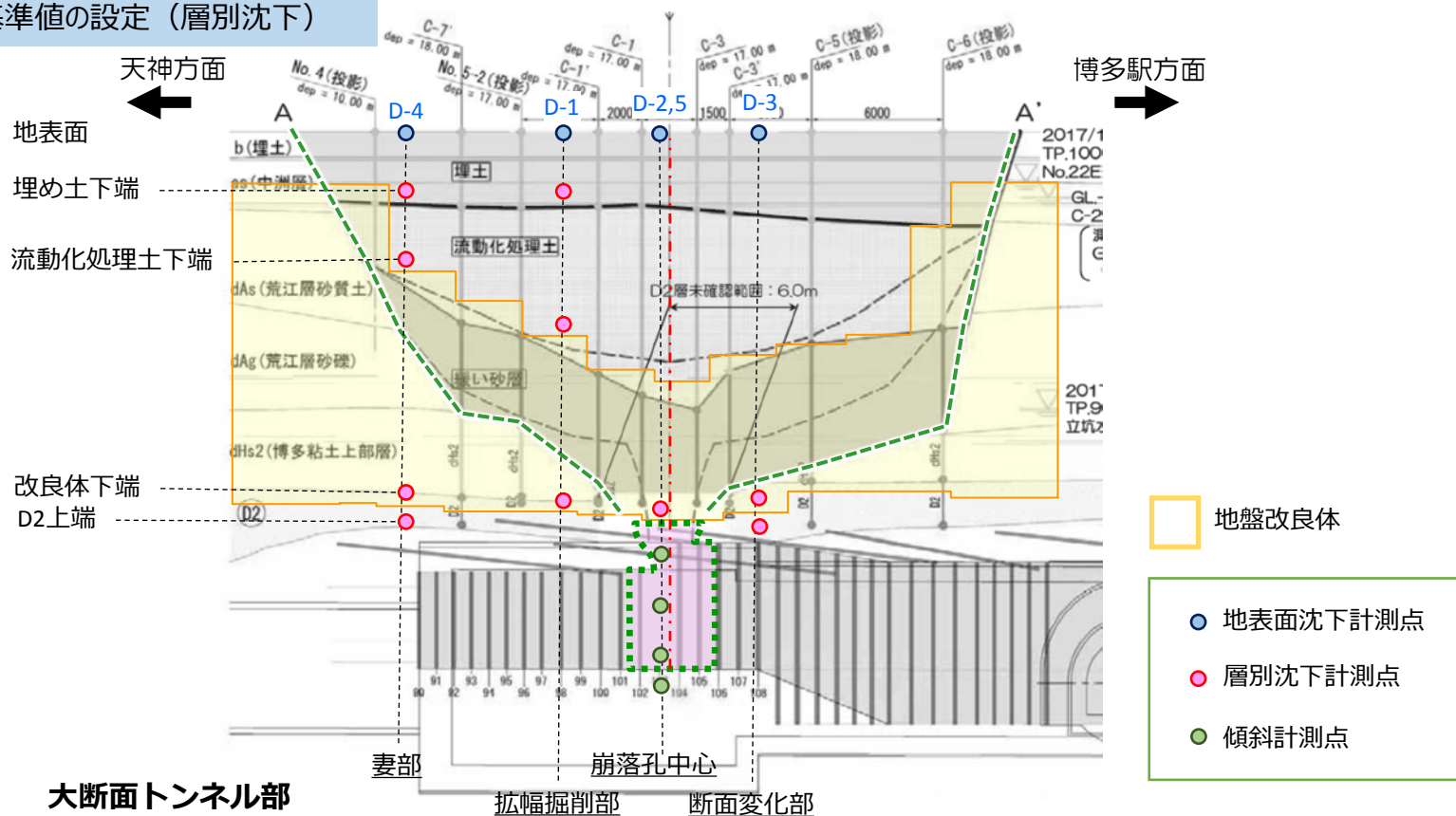
(4) 管理基準値の設定 (層別沈下)

層別沈下計測箇所



2. 計測計画

(4) 管理基準値の設定（層別沈下）



層別沈下計測目的	妻部 (D-4)	拡幅掘削部 (D-1)	崩落孔中心 (D-2)	断面変化部 (D-3)
埋め土～流動化処理土の剥離	○	○	-	-
流動化処理土～改良体の剥離	○	○	-	-
埋め土・人工岩盤の沈下	○	○	○	○
改良体～D2層の剥離 (水みち発生)の有無	○	-	-	○

2. 計測計画

(4) 管理基準値の設定（層別沈下）

- 坑内水抜き～土砂撤去の期間中，F E M解析に基づき設定した基準値に則して層別沈下量を管理する。

a)計測データの特徴

- 層別沈下計設置後，地盤は安定していると評価できる。

b)計測管理の目的

- D2層において，ひずみが限界ひずみの中央値に達する箇所が連続し，土砂部へ連続していないことを確認する。

c)管理基準値の設定方法

- F E M解析により坑内水抜き時のD2層の変位量を予測する。
- トンネル支保あるいは周辺地盤（D2層）の変位量を管理指標とする。

d)計測頻度と計測値確認頻度

- 計測頻度：1回/10分
- 計測値確認頻度：1回/1時間（水位低下中）
：1回/1日（水位維持中）

e)管理基準値

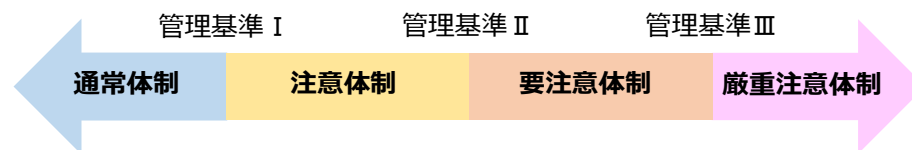
管理区分	管理基準値	管理基準値超過時の対応
管理区分Ⅰ	管理基準Ⅰ (管理限界値×50%)	・ 計測確認頻度の強化 (1回/30分)
管理区分Ⅱ	管理基準Ⅱ (管理限界値×70%)	・ 水位低下速度の低減～立坑水位維持 ・ 立坑への注水準備
管理区分Ⅲ	管理基準Ⅲ (管理限界値×90%)	・ 立坑水位の回復 ・ 追加地盤補強の準備 (実施に際しては監員と協議を行う)

※各管理基準値を超過した際は，地表面沈下計測値を確認するとともに地表面の目視点検を行う。

※立坑水位を回復させた後，再度立坑水位を低下させる前には，安全性について検討を行い，必要な地盤改良または補助工法等を実施する。

2. 計測計画

(4) 管理基準値の設定（層別沈下）



管理基準値一覧
(D2層変位量)

(mm)

	大断面	標準Ⅰ		標準Ⅱ	3連Ⅰ		3連Ⅱ
	D-3	N-1	S-1	追加	N-2	S-3	N-4
管理基準Ⅰ (管理限界値×50%)	-8	-27	-19	-12	-21	-14	-21
管理基準Ⅱ (管理限界値×70%)	-11	-37	-27	-17	-29	-20	-29
管理基準Ⅲ (管理限界値×90%)	-14	-48	-34	-22	-37	-25	-37

管理限界値	-16	-53	-38	-24	-41	-28	-41
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

予測値 (参考)	-3	-6	-4	-7	-5	-3	-7
-------------	----	----	----	----	----	----	----

- : 沈下 + : 隆起

2. 計測計画

(4) 管理基準値の設定（層別沈下）

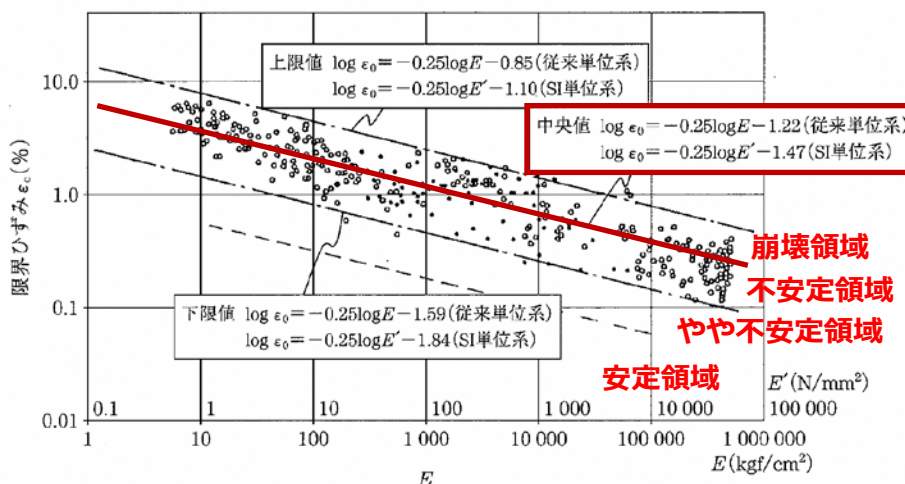
管理基準	設定方法
管理基準Ⅰ	管理限界値×50%
管理基準Ⅱ	管理限界値×70%
管理基準Ⅲ	管理限界値×90%
管理限界値	トンネル周辺地山が緩んだ状態※ ¹ となり、土砂部とトンネル坑内間に有害な水みちの発生が疑われる、 いは支保工発生応力が降伏値※ ² となる際のD2層沈下量

※¹ 地山が緩んだ状態とは

F E M解析の結果に基づき、D2層内のひずみが限界せん断ひずみの中央値となり、トンネル天端周辺から土砂層まで繋がった状態とする。

※² 支保工降伏値

吹付コンクリート：18N/mm²、鋼製支保工：245N/mm²



限界せん断ひずみ

$$\gamma_0 = \epsilon_0 (1 + \nu)$$

γ_0 : 限界せん断ひずみ

ϵ_0 : 限界ひずみ

ν : ポアソン比

出典：

「トンネル安定性評価のための限界せん断ひずみ」
 櫻井ら，土木学会論文集 No.493

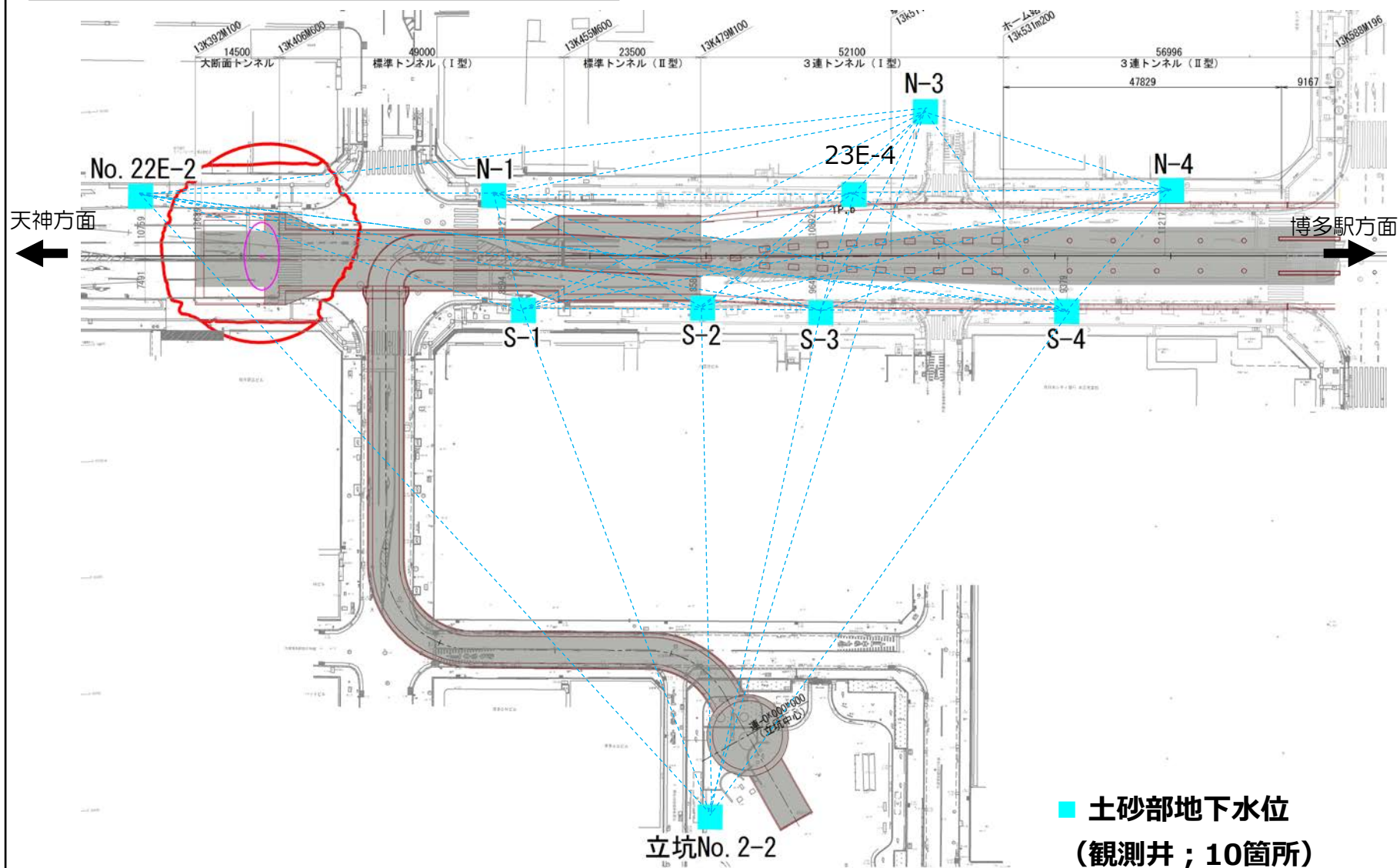
図 2-38 弾性係数と限界ひずみの関係

[出典：土木学会関西支部；都市 NATM の設計施工マニュアル，p. 53，1988.11，加筆修正]

2. 計測計画

(5) 地下水関連計測の評価 (土砂部地下水位)

土砂部地下水位計測箇所と観測井ネットワーク



2. 計測計画

(5) 地下水関連計測の評価（土砂部地下水位）

- ・ 降雨量に基づき設定した予測値を指標とし、予測値に対する土砂部地下水位のバラツキ（偏差）を評価する。
- ・ 坑内水抜き期間に適用し、土砂撤去期間中も計測データの確認を継続する。
- ・ 水位保持期間では、観測井間の相関（ネットワーク）を確認する。

a) 計測データの特徴

- 降雨の影響を受ける。
- 立坑水位変動による影響は極めて小さい。

b) 計測の目的

- 土砂部地下水位は、立坑水位低下による影響が極めて小さい状態を保持していることを確認する。

c) 境界値の設定方法

- 過去24時間の降雨量から現在の土砂水位を予測
- 予測値と計測値の差（マイナス側偏差）を評価する。
- これまでの計測結果に基づき、バラツキ（偏差＝計測値-予測値）から境界値を設定する。

d) 計測頻度と計測値確認頻度

- 計測頻度 : 1回/10分
- 計測値確認頻度 : 1回/1時間（水位低下中）
: 1回/1日（水位維持中）

e) 計測値

- 明らかな特異値は評価対象としない。
- 1時間毎の移動平均で評価する。

f) 評価方法

レベル	境界値	境界値超過時の対応
レベルⅠ	レベルⅠ = 予測値+偏差※ ¹ (偏差；別紙参照) ※ ¹ 相関分析期間(3ヶ月計測)に発生する最大偏差	・ 計測確認頻度の強化 (1回/30分)
レベルⅡ	レベルⅠとⅢの中間値	・ 水位低下速度の低減 ・ 立坑注水準備
レベルⅢ	レベルⅢ = 予測値+偏差※ ² ※ ² 2017年1月以降、計測値と予測値の最大偏差	・ 立坑水位維持 ・ 他計測値の状況にて立坑水位回復策の準備（実施に際して監督員と協議を行

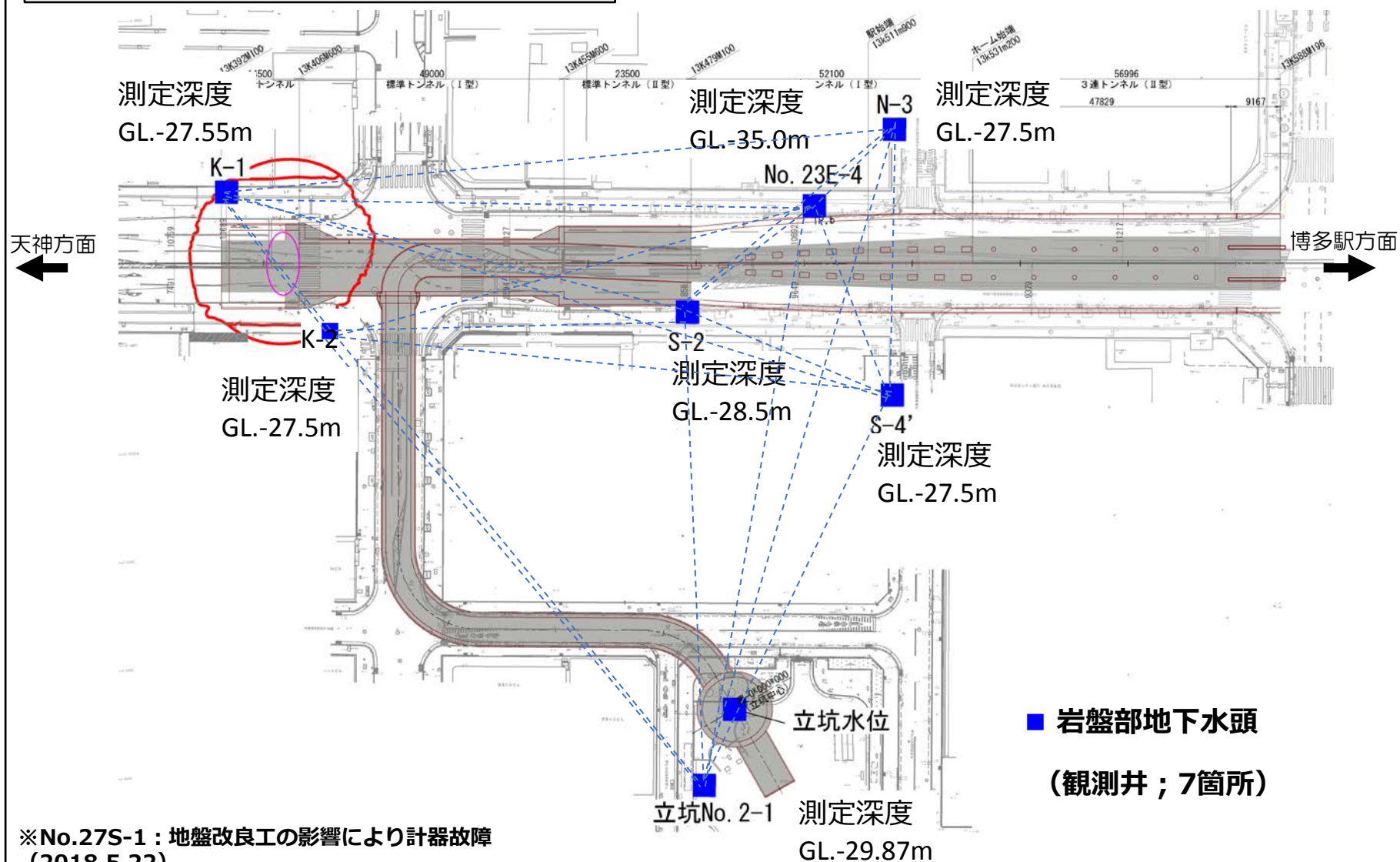
※境界値は、水抜きの進捗とともに最新データを用いて随時見直す。

※境界値は、観測井毎に設定する。

※水位保持期間Ⅰ、Ⅱ、Ⅲでは、観測井間の相関を確認する。
(各水位維持期間中に1回)

(6) 地下水関連計測の評価 (岩盤部水頭)

岩盤部地下水頭計測箇所と観測井ネットワーク



2. 計測計画

(6) 地下水関連計測の評価（岩盤部水頭）

- 立坑水位に基づき設定した予測値を指標とし、予測値に対する岩盤水頭のバラツキ（偏差）を評価する。
- 坑内水抜き期間に適用し、土砂撤去期間中も計測データの確認を継続する。
- 水位保持期間では、観測井間の相関（ネットワーク）を確認する。

a) 計測データの特徴

- 立坑水位変動による影響を受ける。

b) 計測の目的

- 岩盤部地下水頭が、立坑水位と連動する範囲内の挙動であることを確認する。

c) 境界値の設定方法

- 立坑水位から岩盤部地下水頭を予測する。
- 予測値と計測値の差（プラス側偏差）を評価する。
- 過去経験したバラツキ（偏差量＝計測値-予測値）を境界値とする。

d) 計測頻度と計測値確認頻度

- 計測頻度 : 1回/10分
- 計測値確認頻度 : 1回/1時間（水位低下中）
: 1回/1日（水位維持中）
: 1回/施工日（坑内土砂撤去）

e) 計測値

- 明らかな特異値は評価対象としない。
- 1時間毎の移動平均で評価する。

f) 評価方法

レベル	境界値	境界値超過時の対応
レベルⅠ	レベルⅠ＝予測値+偏差※ ¹ （偏差；別紙参照） ※ ¹ 相関分析期間（3ヶ月計測）に発生する最大偏差	・ 計測確認頻度の強化（1回／30分）
レベルⅡ	レベルⅠとⅢの中間値	・ 水位低下速度の低減 ・ 立坑注水準備
レベルⅢ	レベルⅢ＝予測値+偏差※ ² ※ ² 2017年1月以降、計測値と予測値の最大偏差	・ 立坑水位維持 ・ 他計測値の状況によって立坑水位回復策の準備（実施に際しては監督員と協議を行う）

※境界値は、水抜きの進捗とともに最新データを用いて随時見直す。

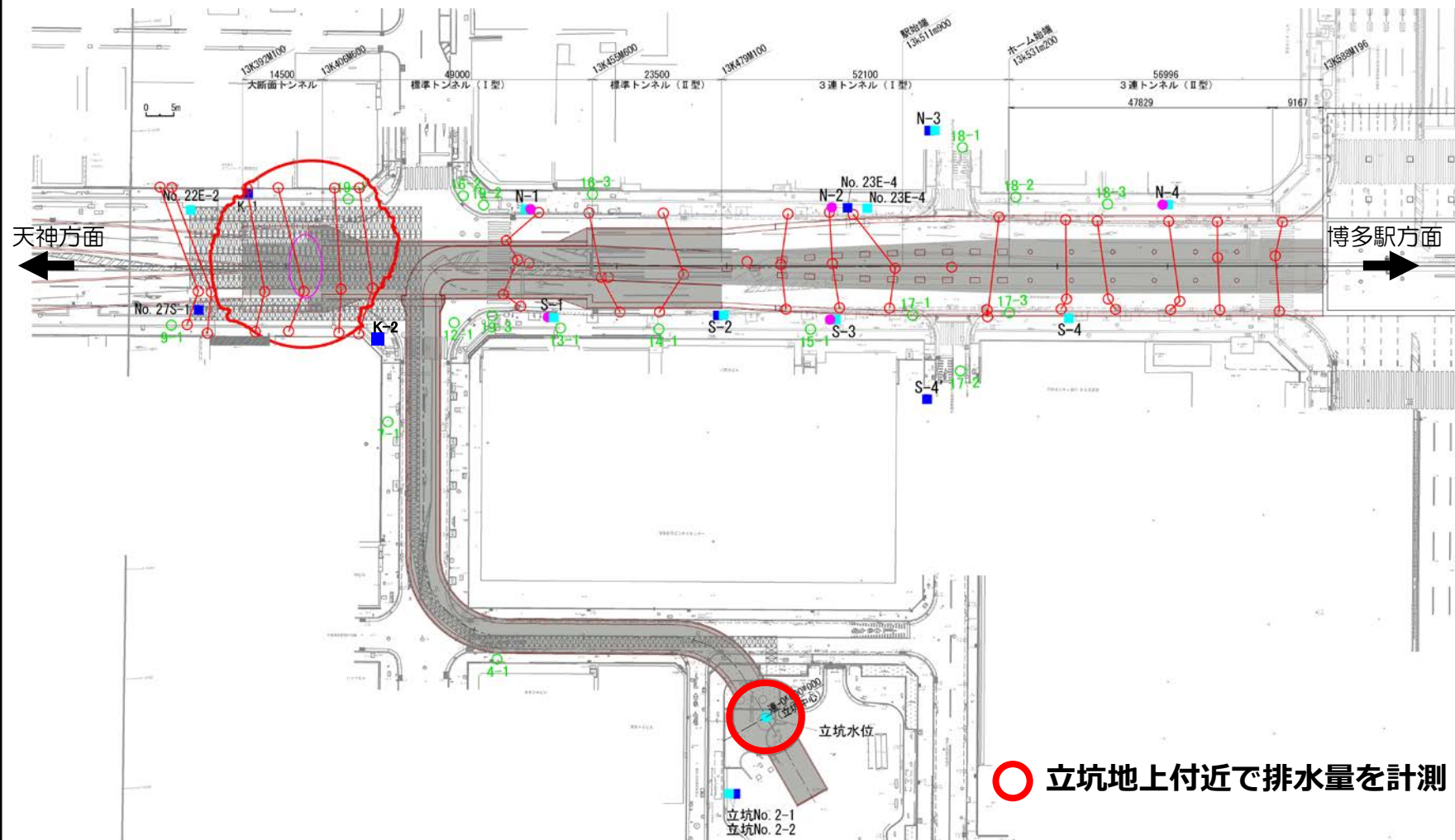
※境界値は、観測井毎に設定する。

※水位保持期間Ⅰ、Ⅱ、Ⅲでは、観測井間の相関を確認する。
（各水位維持期間中に1回）

2. 計測計画

(7) 地下水関連計測の評価 (排水量)

排水量計測箇所



2. 計測計画

(7) 地下水関連計測の評価（排水量）

- 立坑水位上昇時のデータに基づき設定した排水量予測値（＝湧水量予測値）を指標とし、予測値に対する排水量のバラツキ（偏差）を評価する。
- 坑内水抜き期間（立坑水位TP. 83m以上）で適用し、その後土砂撤去期間も排水量の確認を継続する。

a) 計測データの特徴

- 立坑水没時の水位上昇速度（最大1.2m/日）×立坑面積から立坑水位と排水量（＝湧水量）の関係を整理する。
- 立坑水位がTP83mより下にある場合は、過去の計測データがないため排水量予測は困難。

b) 計測の目的

- 単位時間当たりの排水量（＝湧水量）が、立坑水位と連動する範囲の量であることを確認する。

c) 境界値の設定方法

- 立坑水位から排水量（＝湧水量）を予測する。
- 予測値と計測値の差（プラス側偏差）を評価する。
- 過去経験したバラツキ（偏差＝計測値-予測値）を境界値とする。

d) 計測頻度と計測値確認頻度

- 計測頻度 : 1回/日
- 計測値確認頻度 : 1回/日

e) その他

- 立坑水位がTP.83mより下にある場合、排水量の評価は行わないが、排水量の確認は継続する。

f) 評価方法

レベル	境界値	境界値超過時の対応
レベルⅠ	レベルⅠ = 予測値+偏差※ ¹ (偏差；別紙参照) ※ ¹ 立坑水没時のデータに基づく最大偏差、立坑面積の誤差、水面のゆらぎ	・ 計測及び計測値確認頻度の強化 (2回/日)
レベルⅡ	レベルⅠとⅢの中間値	・ 水位低下速度の低減 ・ 立坑注水準備
レベルⅢ	レベルⅢ = 予測値+偏差※ ² (偏差；別紙参照) ※ ² 立坑水没時のデータに基づく標準差補正值、立坑面積の誤差、水面のゆらぎ	・ 立坑水位維持 ・ 他計測値の状況によって立坑水位回復策の準備 (実施については監督員と協議)

※境界値は、水抜きの進捗とともに最新データを用いて随時見直す。