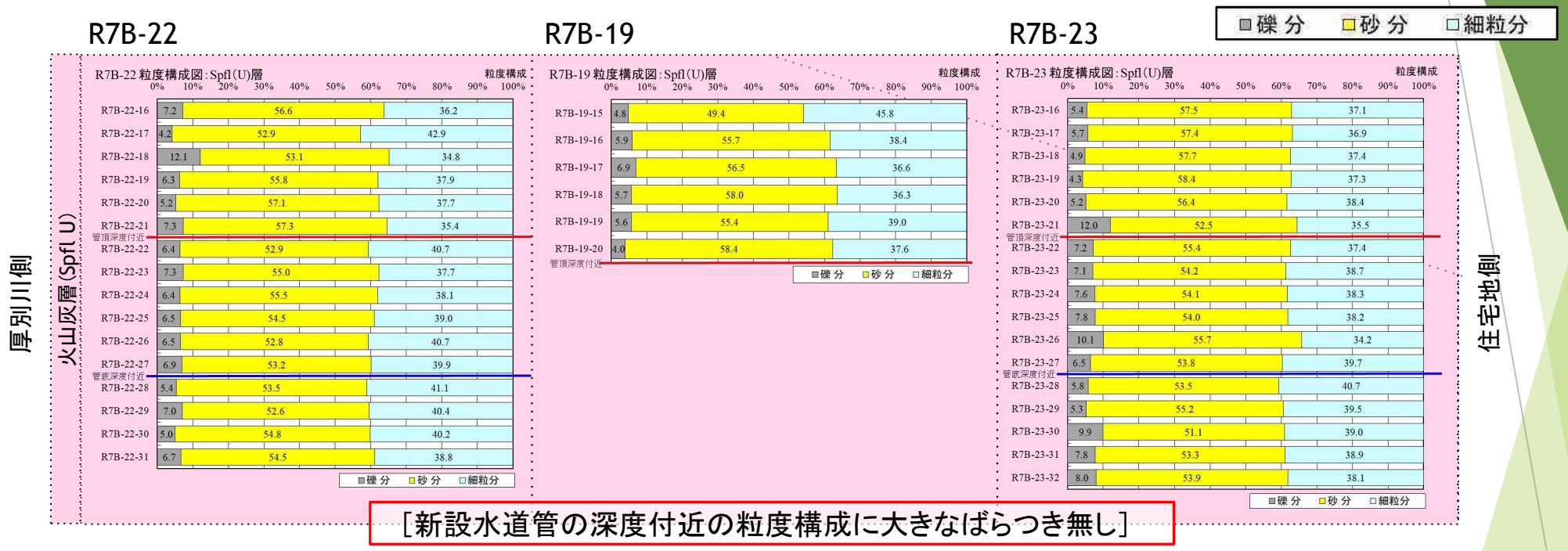
（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

【粒度試験結果】①-①’断面（R7陥没箇所から約60m北側）における各孔・土層毎の粒度分布

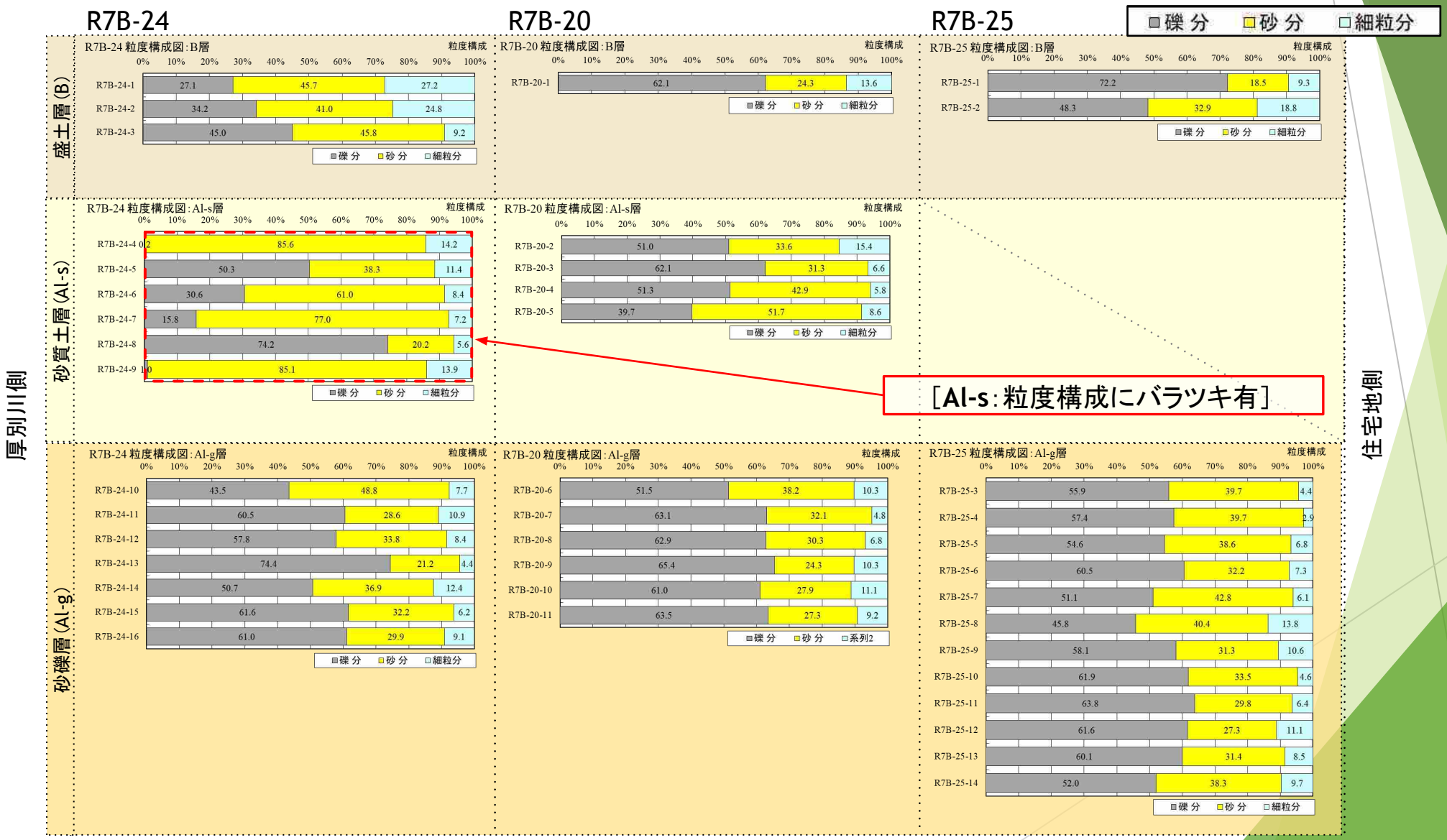


［新設水道管の深度付近の粒度構成に大きなばらつき無し］

（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

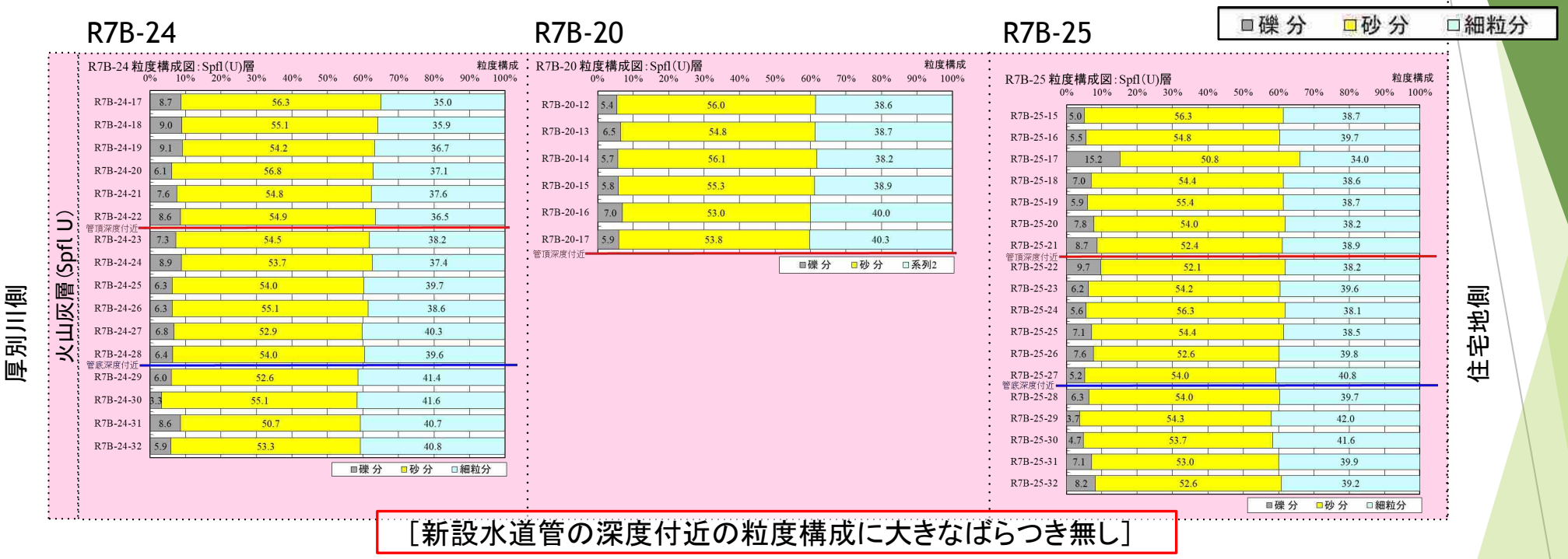
【粒度試験結果】②-②’断面（R7陥没箇所から約38m北側）における各孔・土層毎の粒度分布



（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

【粒度試験結果】②-②’断面（R7陥没箇所から約38m北側）における各孔・土層毎の粒度分布

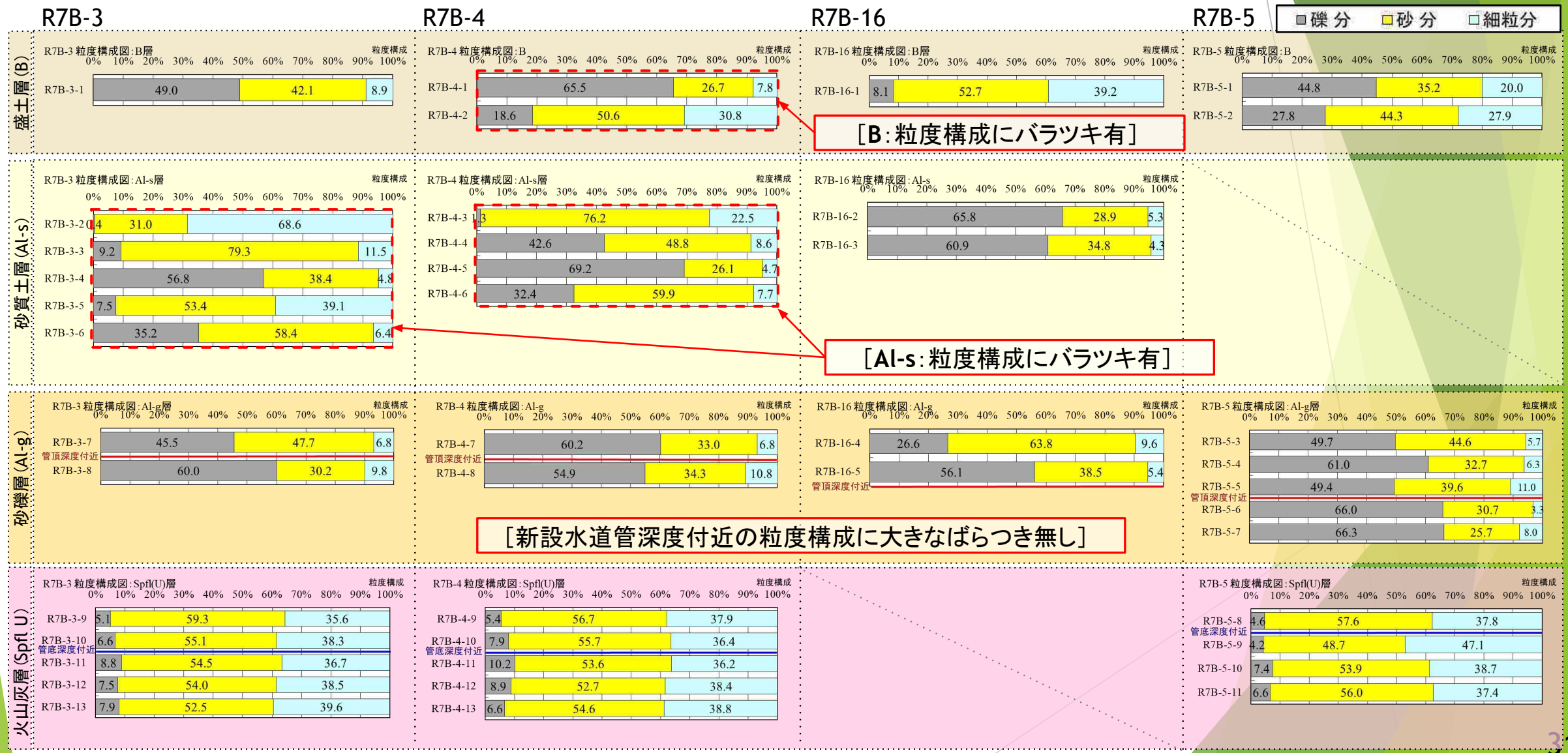


［新設水道管の深度付近の粒度構成に大きなばらつき無し］

（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

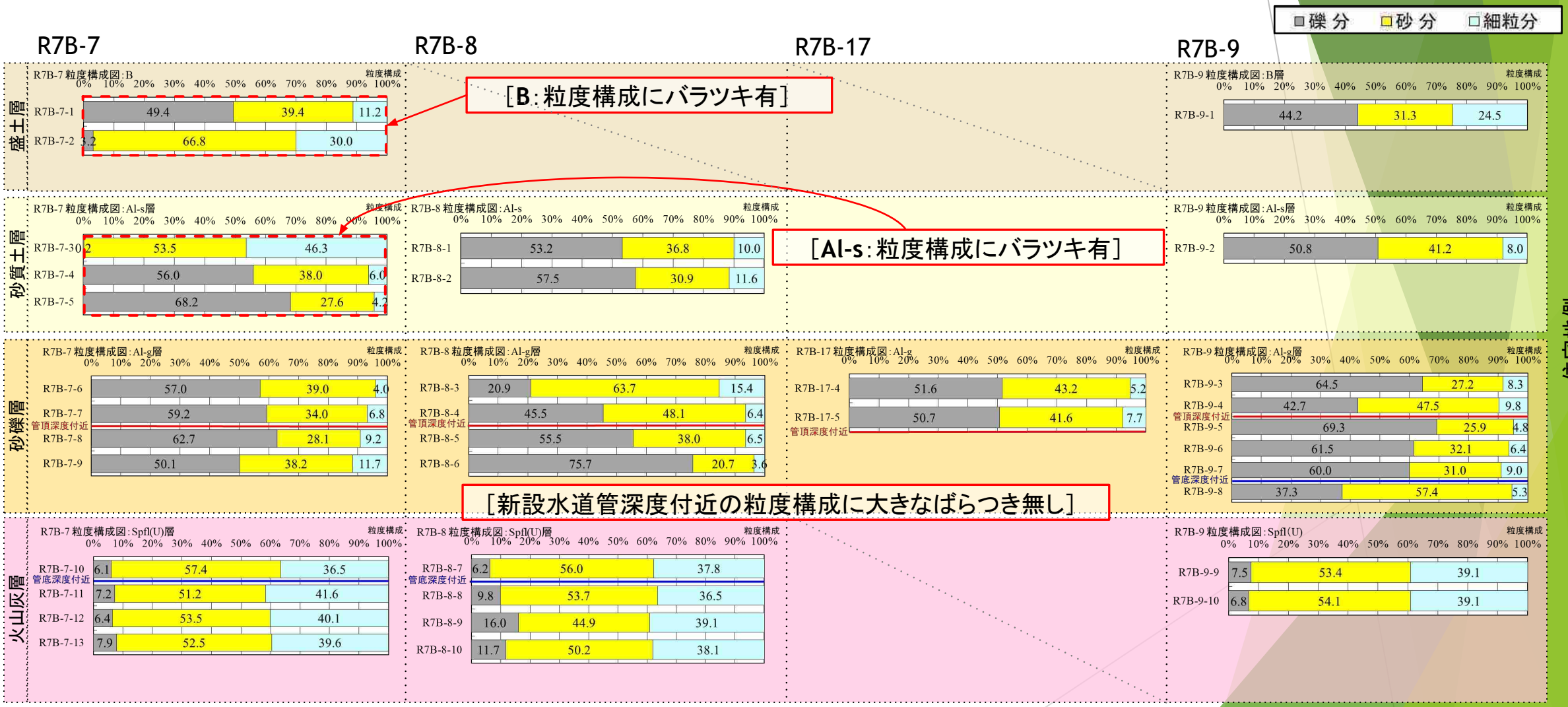
【粒度試験結果】③-③’断面（R7陥没箇所から約11m北側）における各孔・土層毎の粒度分布



（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

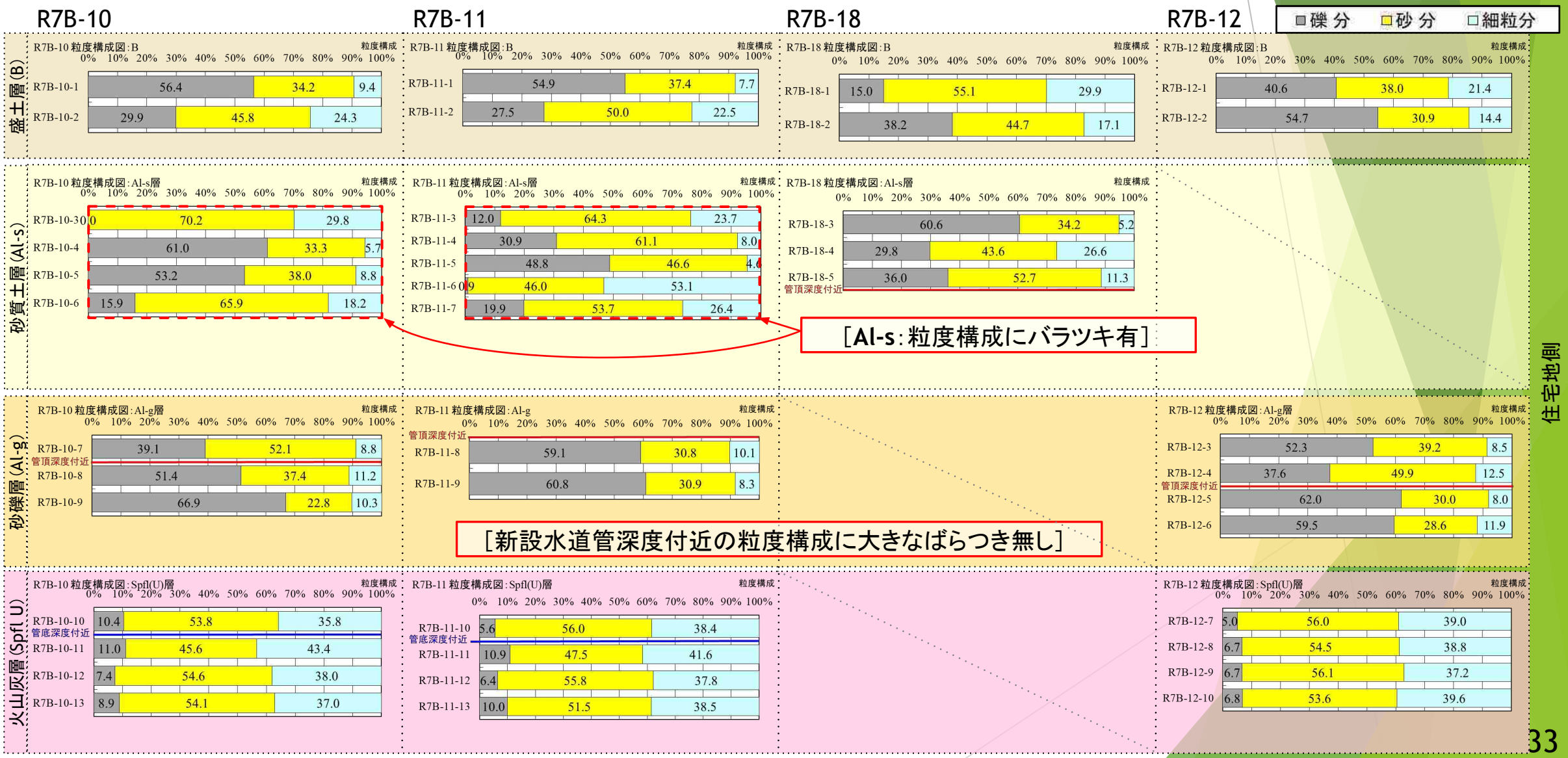
【粒度試験結果】④-④’断面（R7陥没箇所）における各孔・土層毎の粒度分布



（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

【粒度試験結果】⑤-⑤’断面（R7陥没箇所から約15m南側）における各孔・土層毎の粒度分布

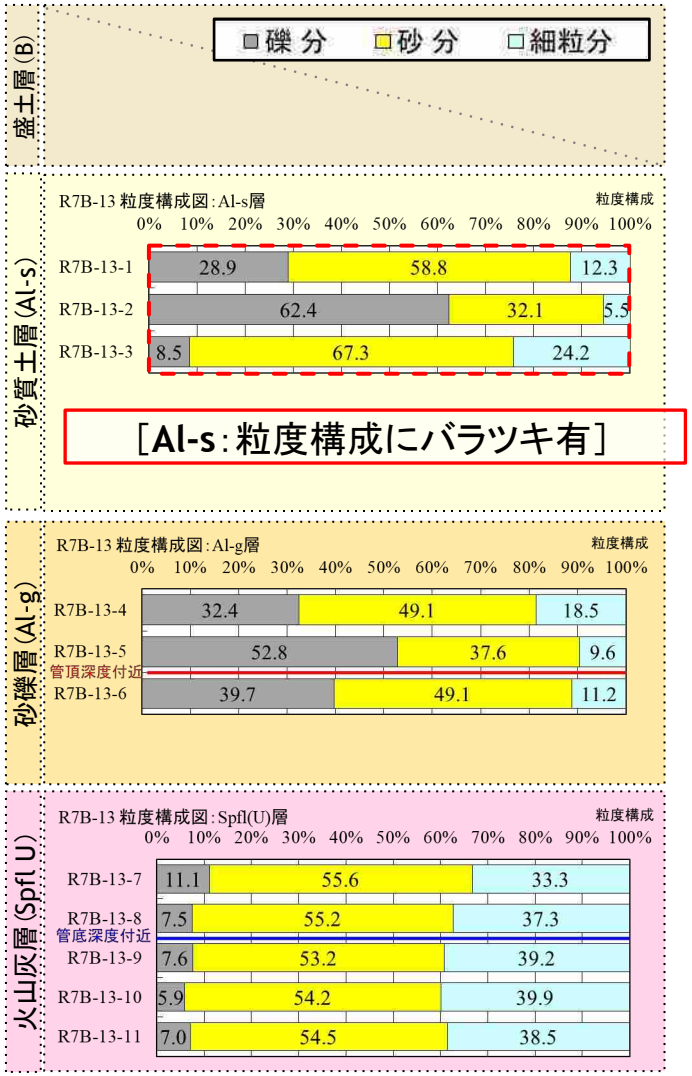


（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

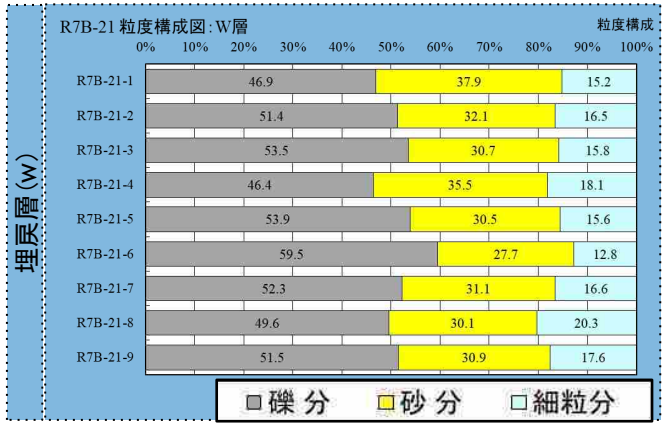
【粒度試験結果】⑧-⑧’断面（R6陥没箇所）における土層毎の粒度分布

R7B-13



水道工事の立坑箇所における土層毎の粒度分布

R7B-21



（1）地質調査結果

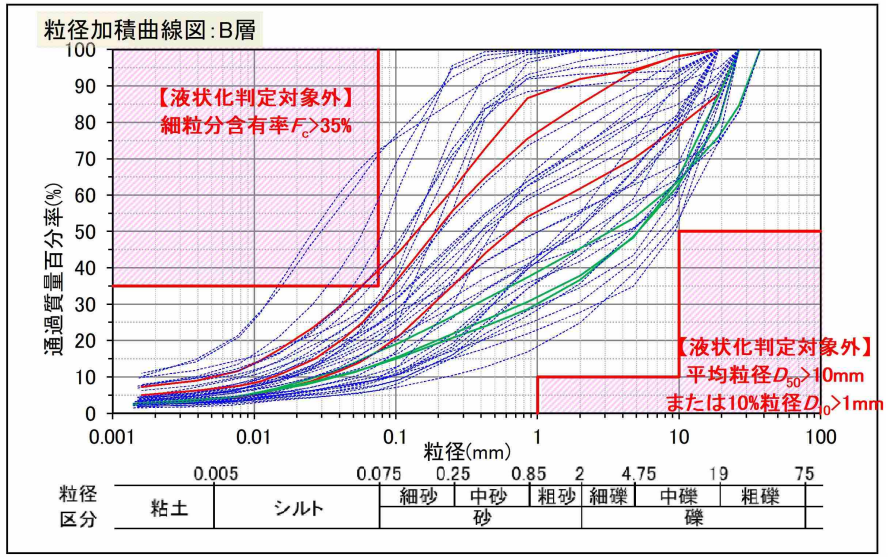
③室内土質試験結果

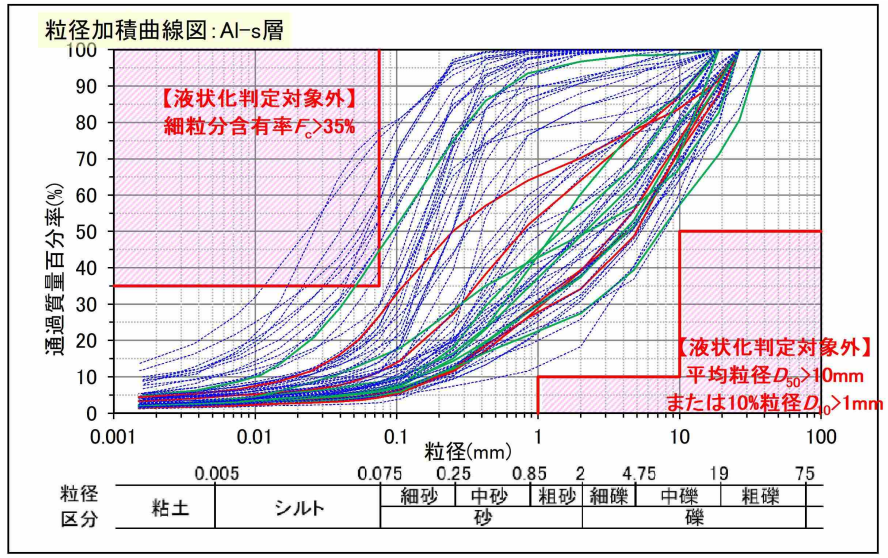
【土層毎の粒径加積曲線】

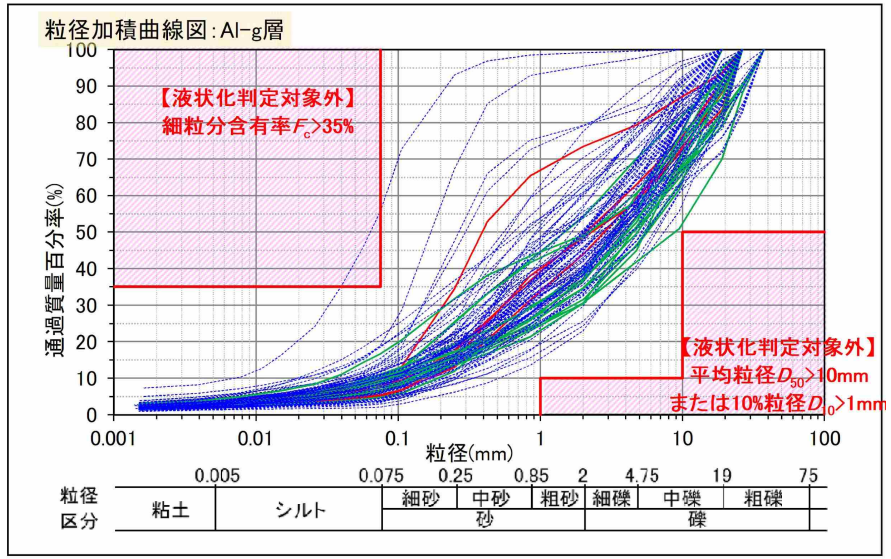
下の層ほど粒度構成のばらつきが小さく、均一な土層となっている。

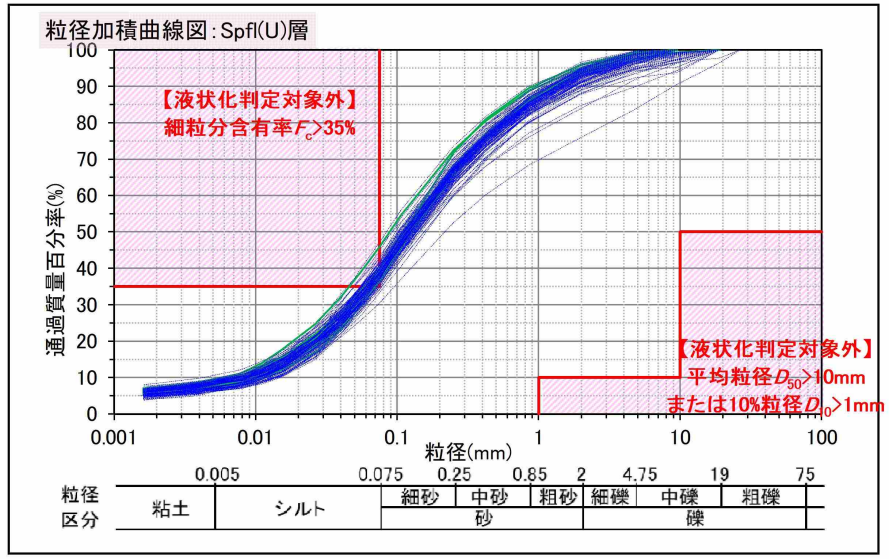
新設水道管の直上部における各土層の粒度は、他の地点のばらつきの範囲内にあり、粒度構成に著しい違いは確認されないことから、**<u>細粒分の流出等は認められない</u>**。

赤線：新設水道管直上箇所［11工区］（R7B-16～R7B-18） 緑線：新設水道管直上箇所［10工区］（R7B-19、R7B-20）









各土層は概ね液状化判定の検討対象層 ※に該当しているが、平成30年度9月6日に発生した北海道胆振東部地震において、噴砂などの被害状況は報告されていない。

※本調査は調査地全体の地盤について粒度構成を把握することを目的に実施しているため、地下水以浅の土層についても粒度試験を実施している（本来、地下水以浅の土層は液状化判定の対象外）。

（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

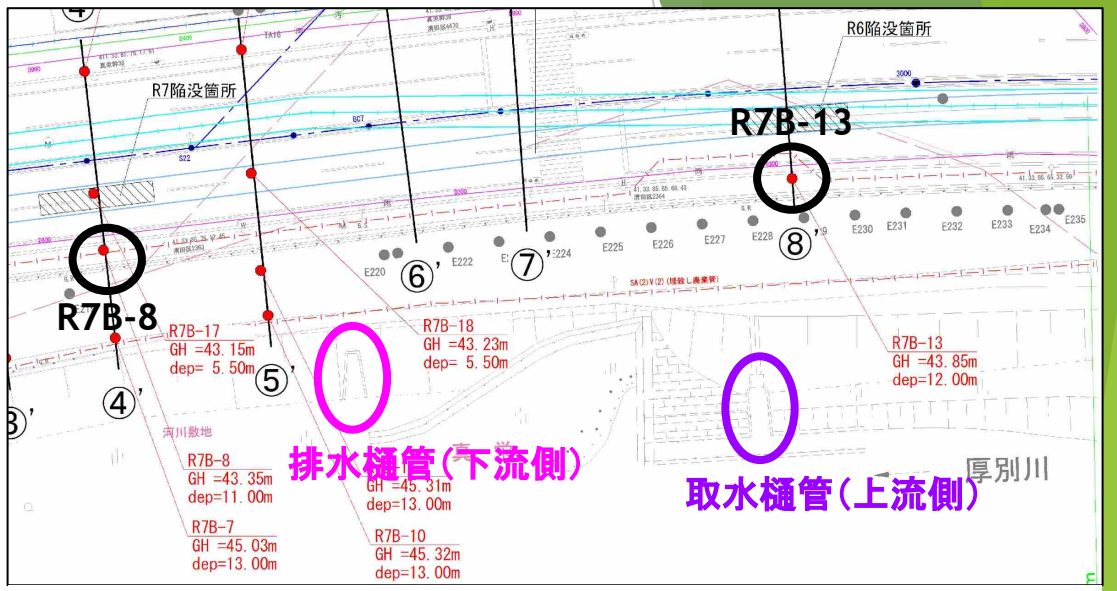
【厚別川樋管内の土砂試験結果（X線回折試験）】

樋管内にあった土砂と近傍の地層の含有鉱物を比較し、空洞との因果関係を評価した。

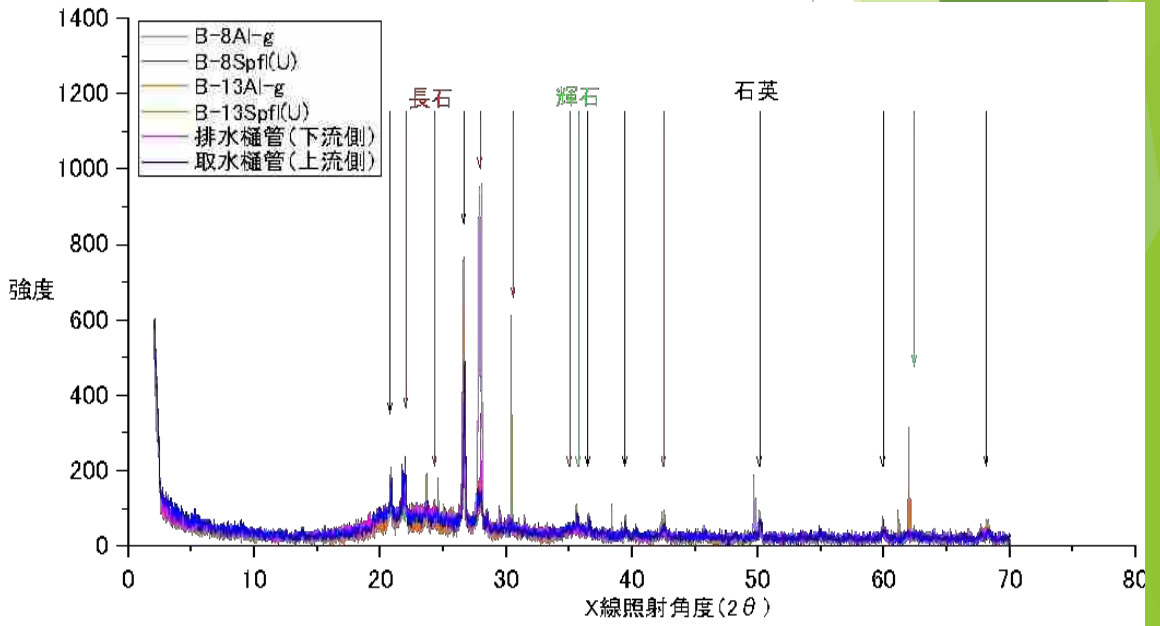
・調査箇所：4箇所
　取水樋管（上流側）、排水樋管（下流側）、
　R7B-8（R7陥没箇所直近）、
　R7B-13（R6陥没箇所直近）

・調査結果：
　①取水樋管（上流側）と排水樋管（下流側）では同等のピークを検出し、含有鉱物が同等。
　②陥没箇所近傍のAl-g層、Spfl(U)層では一部で異なるピークを検出するが、含まれる鉱物は同様の傾向を示す。

以上のことから、樋管内の土砂と近傍の地層はほぼ同等の鉱物組成を示しており、**<u>樋管内の土砂が周辺の地盤から吸い出されたものか厚別川から運ばれてきたものか判断がつかない</u>**。



図：X線回折　調査位置図



図：X線回折試験　解析・同定結果

（1）地質調査結果

③室内土質試験結果

【厚別川樋管内の土砂試験結果（粒度試験）】

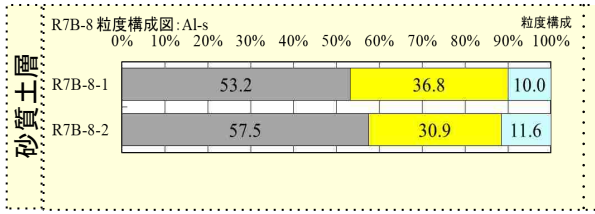
1）粒度構成

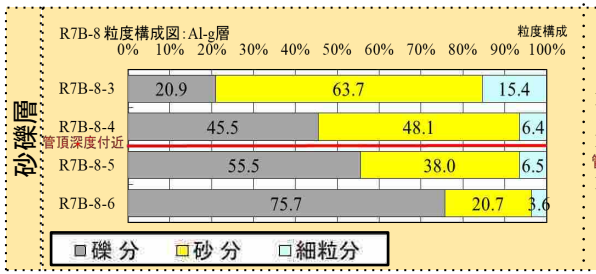
取水樋管（上流側）にて採取した試料は砂質粘性土、
排水樋管（下流側）にて採取した試料は粘性土混じり砂
に分類される。

取水樋管(上流側)・排水樋管(下流側)

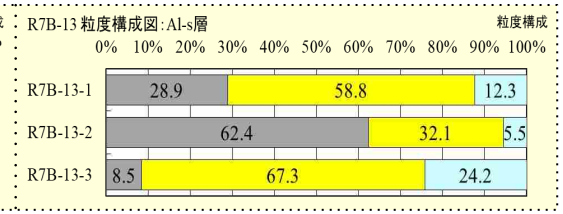


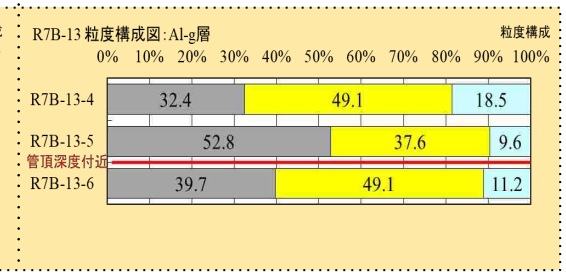
R7B-8



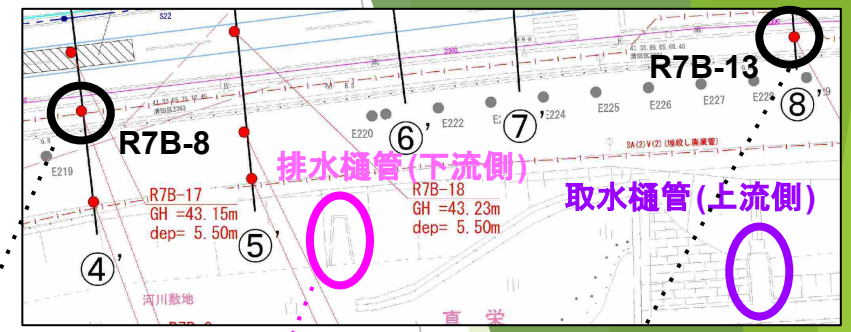


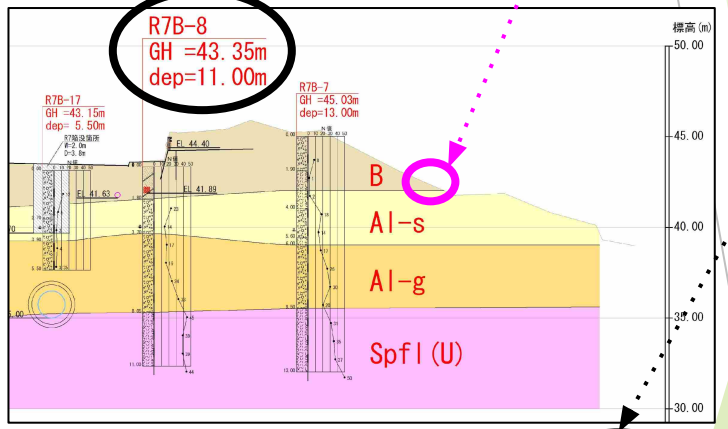
R7B-13

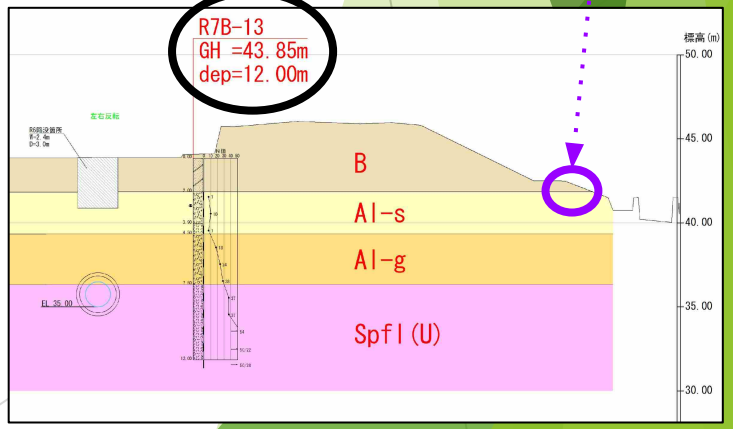




※盛土層（B）の粒度試験は未実施







紫線：取水樋管（上流側）　マゼンタ線：排水樋管（下流側）

（1）地質調査結果

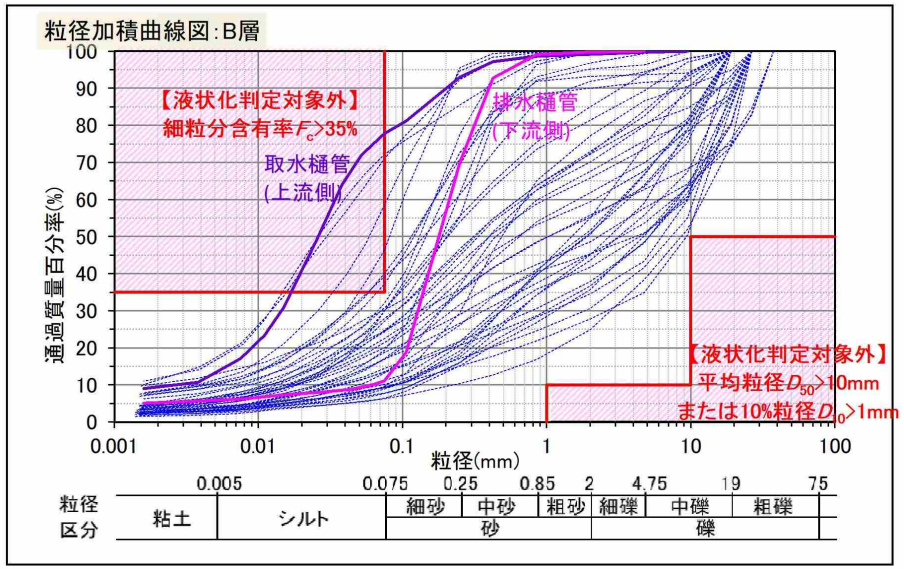
③室内土質試験結果【厚別川樋管内の土砂試験結果（粒度試験）】

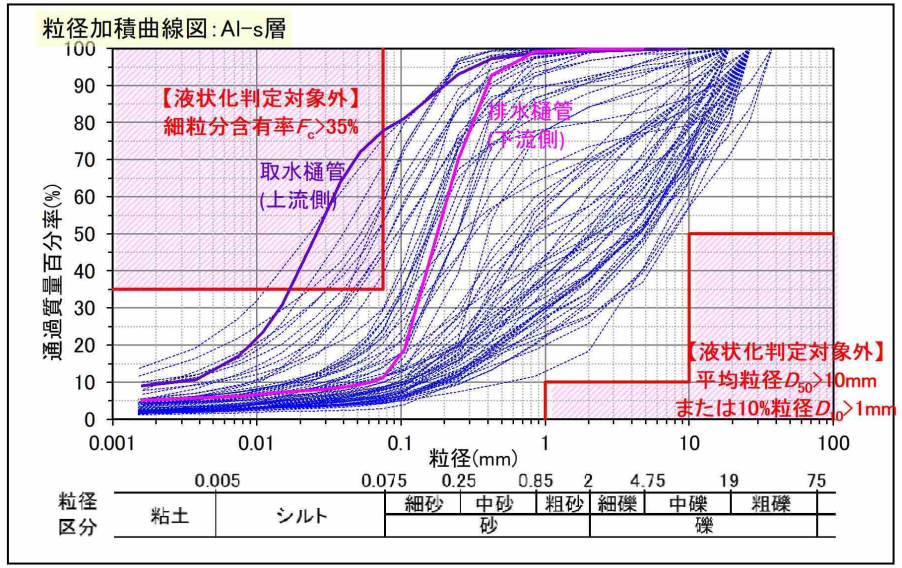
2）粒径加積曲線

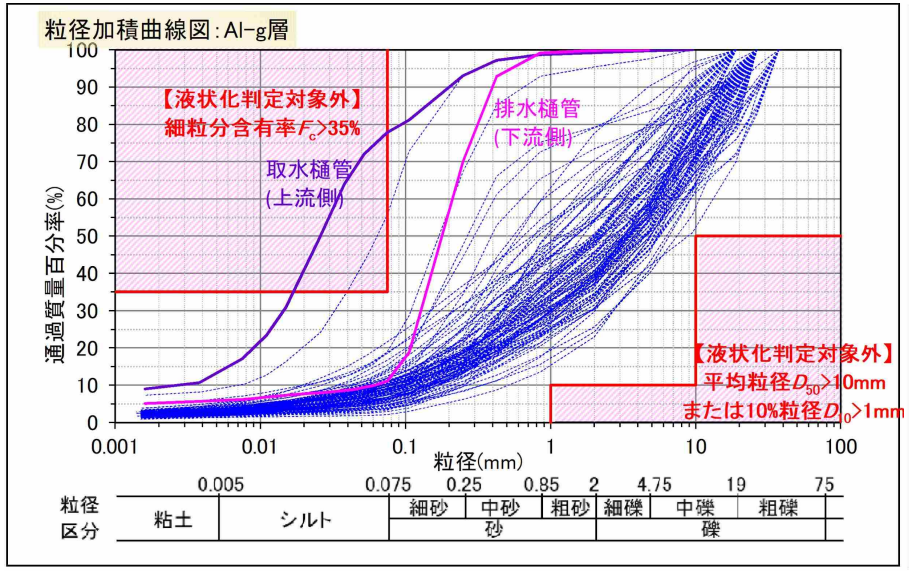
取水樋管（上流側）、排水樋管（下流側）で採取した試料の粒度分布は、当該地一帯に分布する盛土層（B層）や砂質土層（Al-s層）の粒径加積曲線群の範囲内にある。

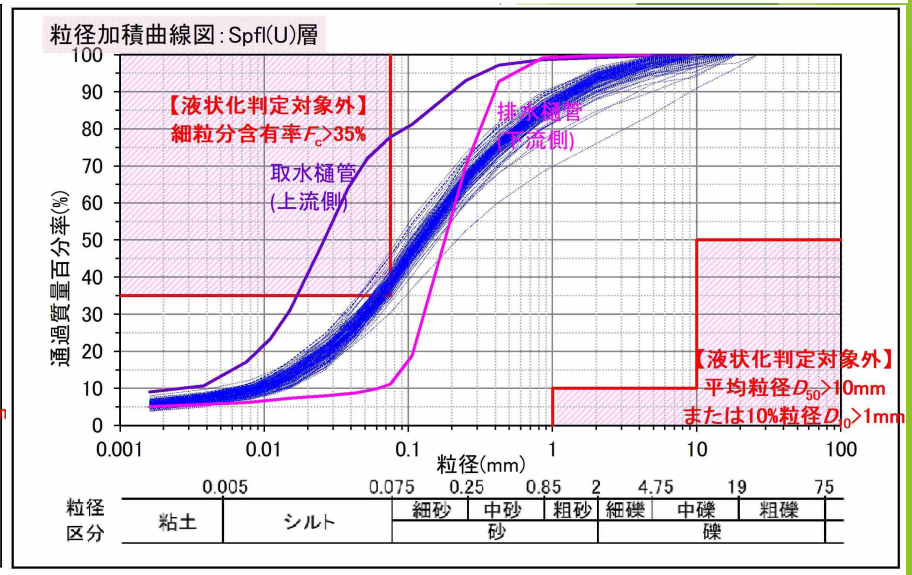
一方、砂礫層（Al-g）や火山灰層（Spfl(U)）の粒径加積曲線群の範囲からは外れた。

以上のことから、周辺の盛土層や砂質土層から吸い出された可能性がある一方、同一の土層が厚別川の上流域に分布していれば、河川によって運搬され堆積した可能性もあり、**<u>樋管内の土砂が周辺の地盤から吸い出されたものか厚別川から運ばれてきたものか判断がつかない</u>**。









紫線：取水樋管（上流側）　マゼンタ線：排水樋管（下流側）

（1）地質調査結果

③室内土質試験結果（まとめ）

1）各土層の粒度試験結果

【ボーリングコアによる各層の特徴】
盛土層（B）　　：砂や砂礫を主体とし、所々有機物混じりとなる部分を確認。
砂質土層（Al-s）：所々礫混じり・火山灰との互層状となる部分を確認。
砂礫層（Al-g）　：構成される礫はφ2～30mmで、礫間は細～粗粒砂が主体であることを確認。
火山灰層（Spfl）：支笏火砕流堆積物からなる細粒火山灰であることを確認。

【粒度構成の特徴】
盛土層（B）　　：いずれも雑多な土質で構成されており、粒度のバラツキが大きい。
砂質土層（Al-s）：いずれも雑多な土質で構成されており、粒度のバラツキが大きい。
砂礫層（Al-g）　：礫径や礫の混入率、礫間を構成する土質の差異により粒度構成にバラツキはあるものの、B･Al-sよりバラツキの程度は小さい。
火山灰層（Spfl）：発生起源が同じ単一な土質（火山灰）であり、粒度構成も均質である。

（1）地質調査結果

③室内土質試験結果（まとめ）

2）新設水道管直上箇所（R7B-16～18）・新設水道管深度付近の粒度試験結果

原位置調査で一部緩みが確認された新設水道管直上箇所周辺（R7B-16～18）
・土層毎の粒度構成図：他箇所との顕著な違いは認められず。
・粒径加積曲線　　：他箇所のばらつきの範囲内にあることを確認。
新設水道管深度付近においても、著しく粒度構成の異なる部分は確認されず。
⇒**緩み箇所における明確な粒度構成の違いは認められない**。

3）厚別川樋管内の土砂

厚別川にある樋管（取水樋管（上流側）、排水樋管（下流側））内の土砂
・X線回折　　：周辺地山の含有鉱物とほぼ同等。
・粒度構成図　：周辺地山と異なることを確認（細粒分が多い）。
・粒径加積曲線：周辺地山（盛土層（B層）や砂質土層（Al-s層））の粒径加積曲線群の範囲内。
⇒**樋管内の土砂が周辺の地盤から吸い出されたものか、厚別川から運ばれてきたものか判断がつかない**。

（2）地下水流動方向調査結果

①水文調査内容

- 自記水位EC計調査
  R7陥没箇所周辺のボーリング箇所で電気伝導度・地下水位を連続測定（5分間隔）。
- 自記水位計調査
  上記以外のボーリング箇所で自記水位計による地下水位を連続測定（5分間隔）。
- 河川調査
  厚別川5箇所で自記水位EC計調査に加え、河川の濁度を測定。
- 水質分析
  ボーリング箇所、河川の全てで主要イオン項目を測定。

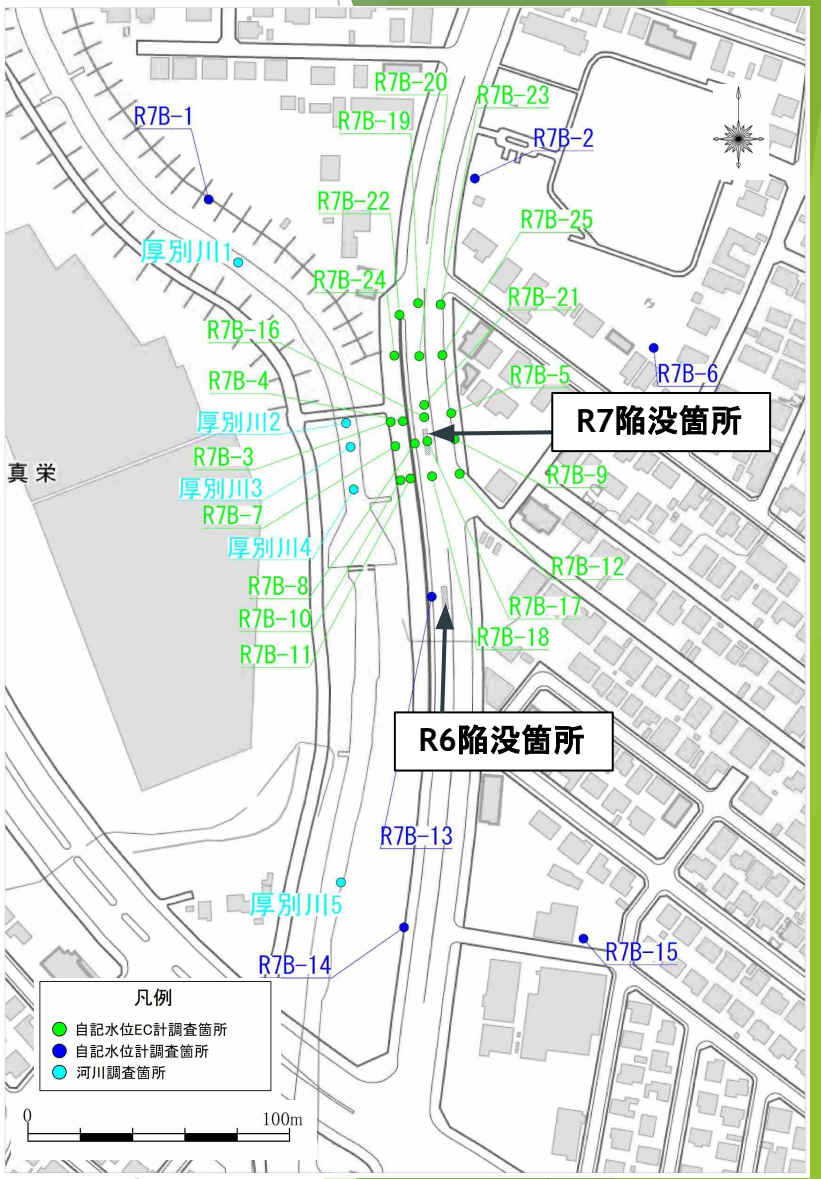


自記水位EC計設置状況





河川調査状況



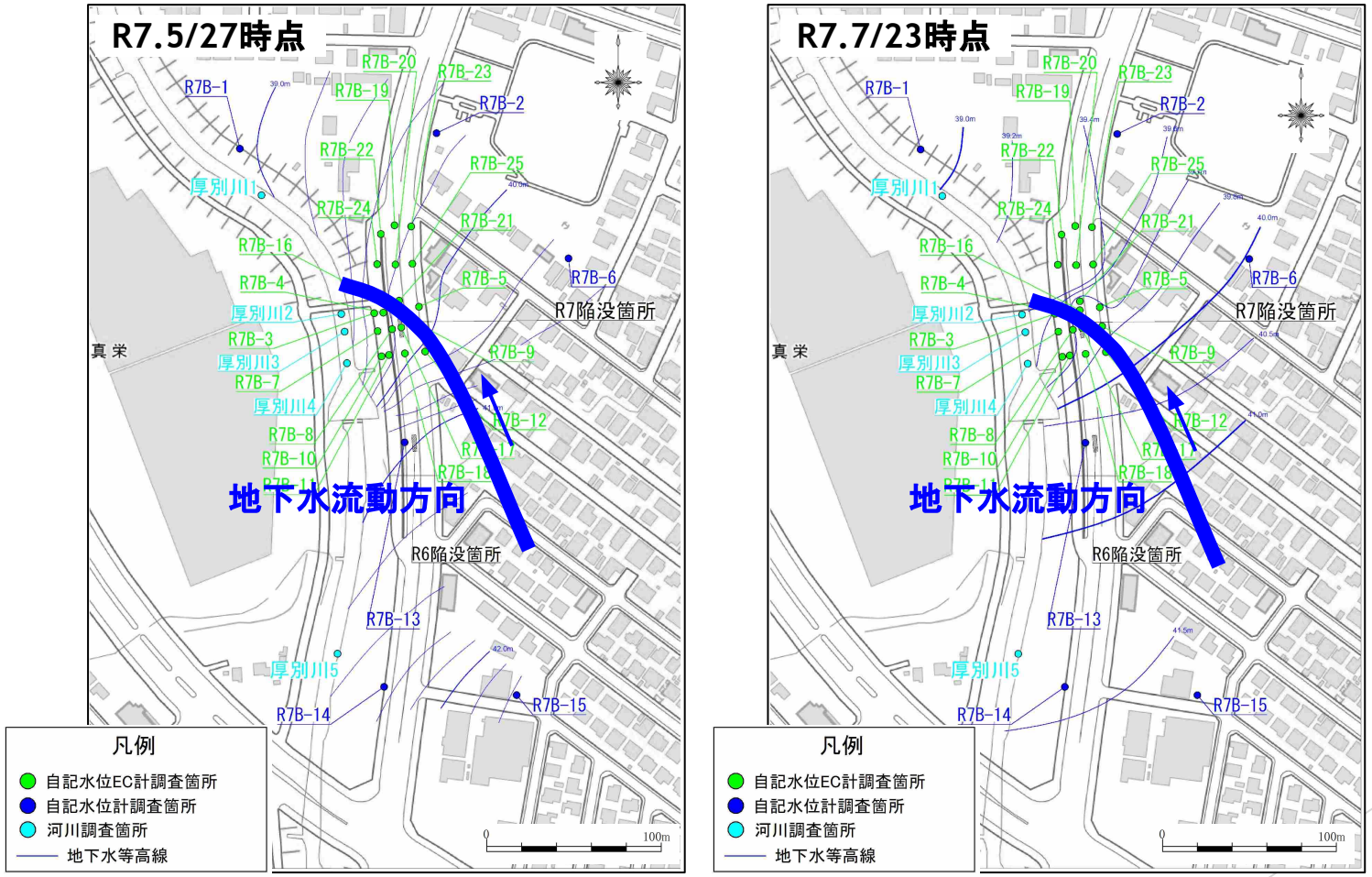
図：調査位置図
（地図：国土地理院　地理院地図（電子国土WEB）を編集）

（2）地下水流動方向調査結果

②水文調査結果

【水位調査結果（地下水位コンター図）】

・全体として南東⇒北西方向の地下水流動（厚別川に向かう流れ）を推定
・R7陥没箇所近傍では水位がフラット



図：地下水位コンター図（地図：国土地理院　地理院地図（電子国土WEB）を編集）

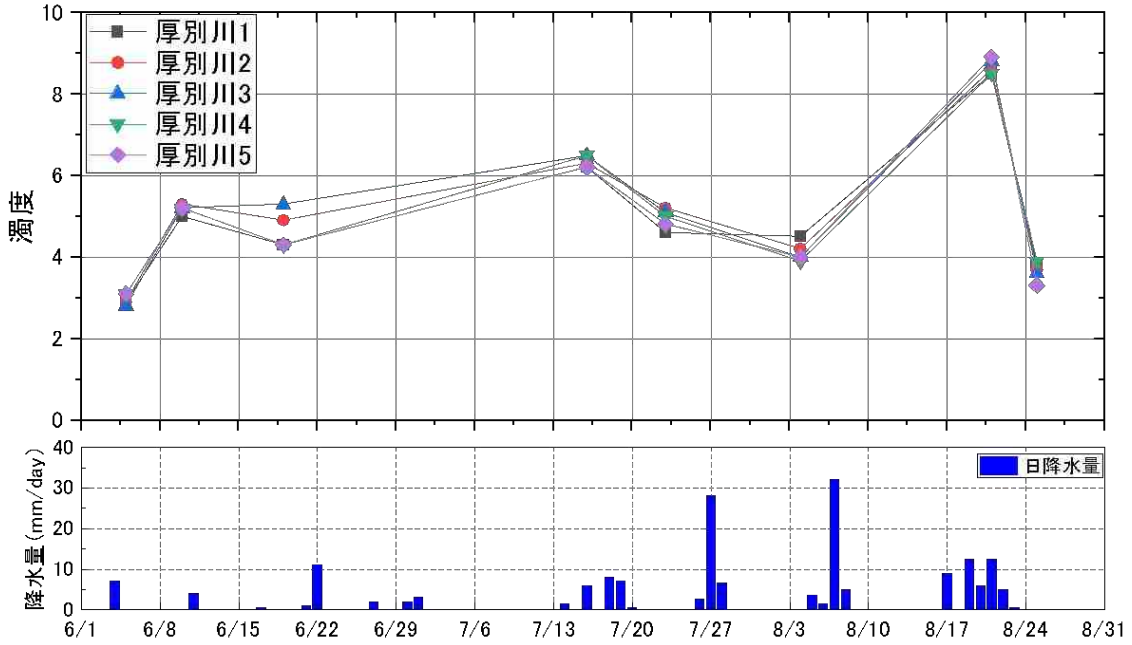
（2）地下水流動方向調査結果

②水文調査結果

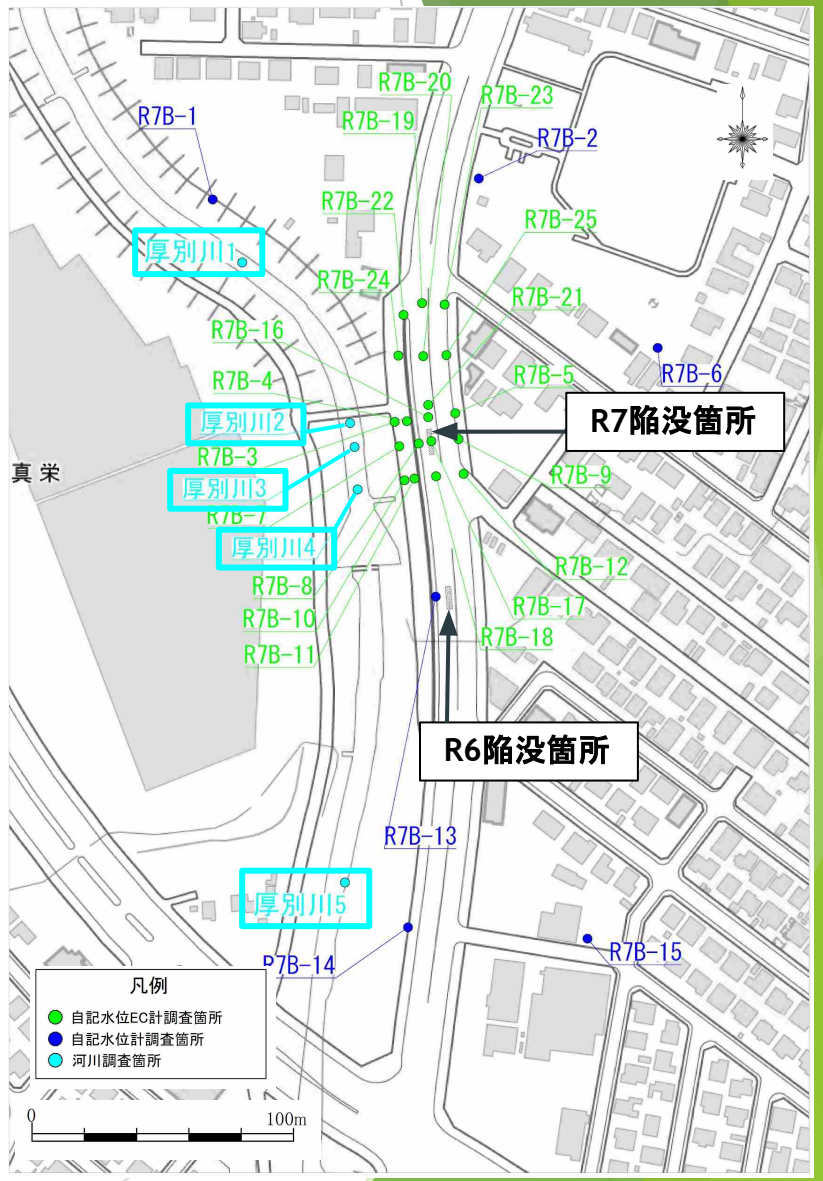
【河川調査結果】

・陥没箇所からの河川への土砂供給の有無を確認するため、濁度を測定。
・上下流方向で濁度の大きな違いはない。
・8/21の降雨時観測では濁度自体は上昇したものの、上下流方向で大きな違いはない。

以上のことから、**<u>地下水を通じた厚別川への土砂の供給はほとんど無いものと考えられる</u>**。



図：濁度調査結果



図：調査位置図
（地図：国土地理院　地理院地図（電子国土WEB）を編集）

（2）地下水流動方向調査結果

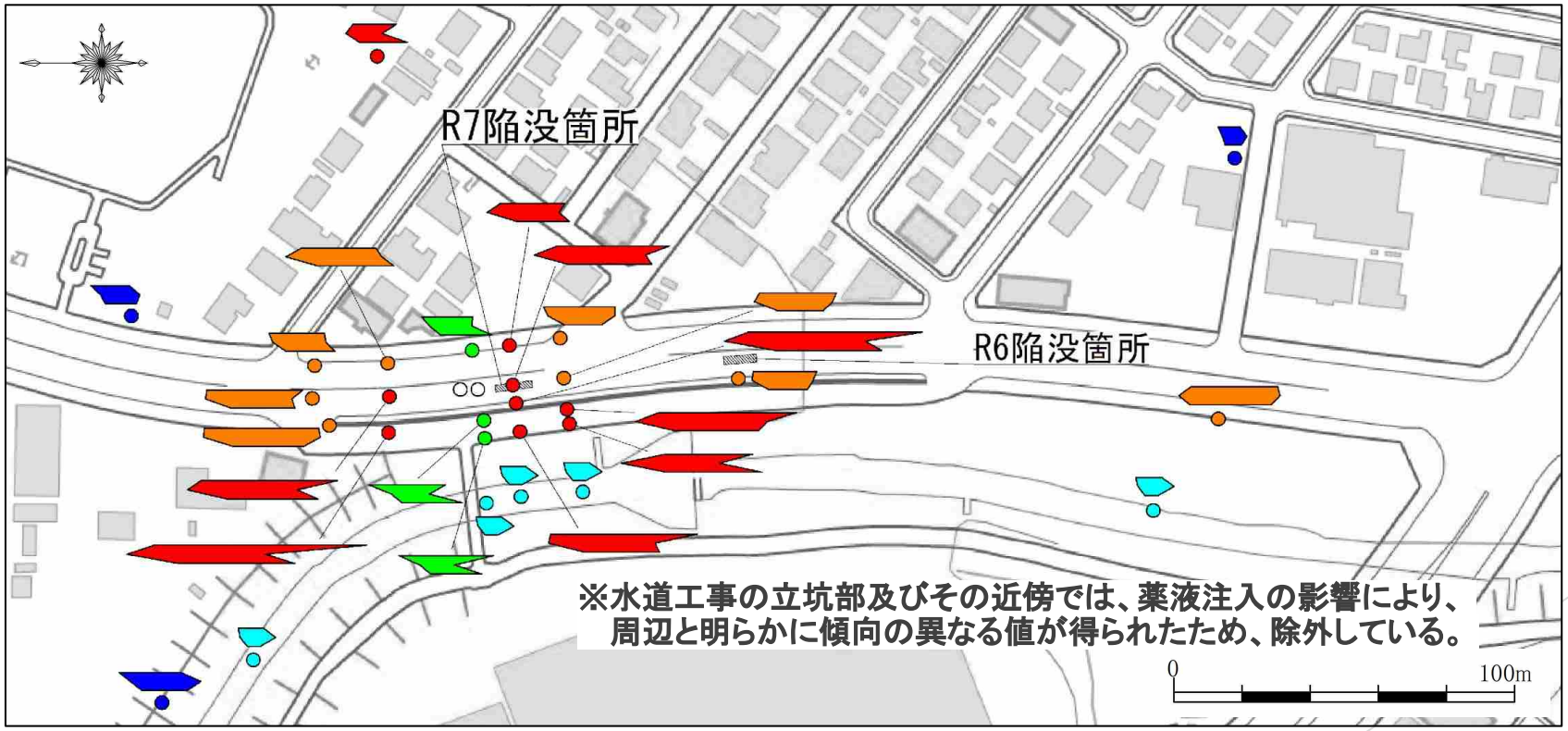
②水文調査結果

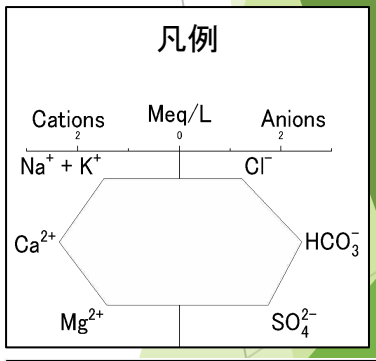
【水質分析】

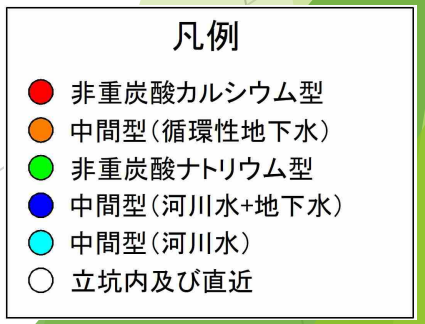
・ダイアグラムに分類されたイオン傾向を平面的に色分けして配置。

・地下水の分布は特定の傾向を示さないが、中間型の地下水を基本に施肥等の影響でイオンの傾向が変わった可能性がある。

・厚別川は上下流で変化が見られず、地下水の顕著な湧出は無いものと考えられる。







図：ヘキサダイアグラムの平面分布

（2）地下水流動方向調査結果

③トレーサー試験

【試験の概要】

・塩水をトレーサー物質として地下水上流側の観測孔に注水し、自記水位EC計で電気伝導度の変化をみることでトレーサー物質の移動を確認する。

【実施状況】

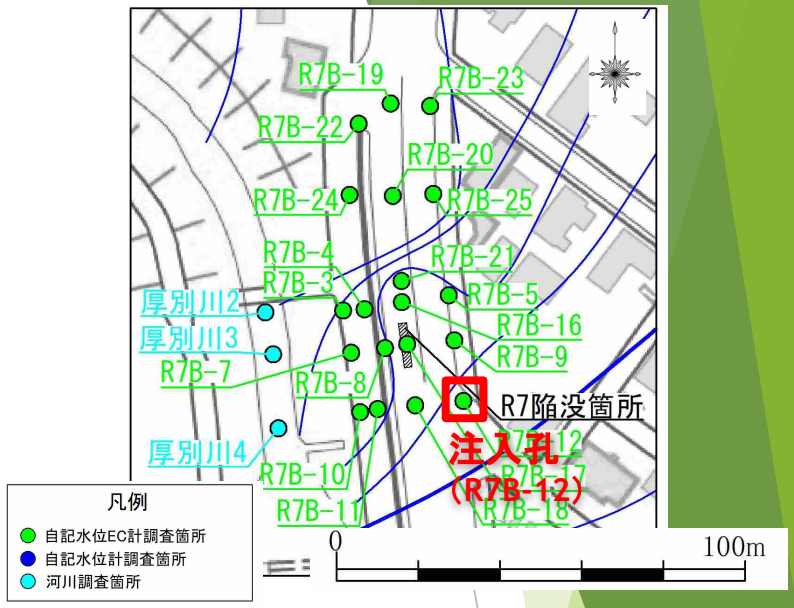
・注入孔：R7B-12

・注入量

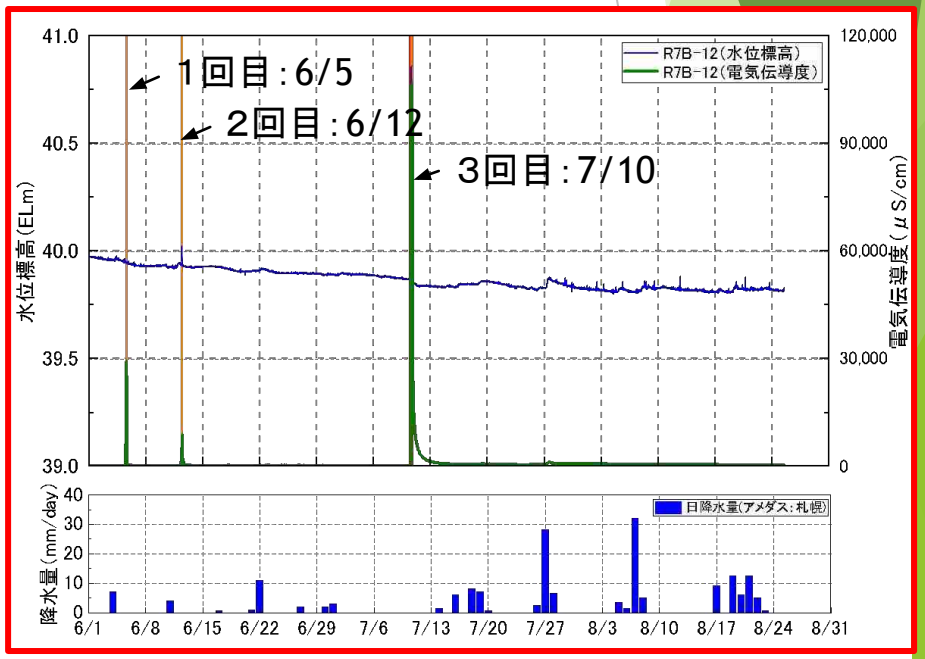
1回目（6/5　14：00）：40L投入　注入時間 5分
⇒約30,000μS/cmまで上昇

2回目（6/12 10：00）：80L投入　注入時間 2時間
⇒約9,000μS/cmまで上昇

3回目（7/10 16：00）：350L投入 注入時間 10分
⇒約100,000μS/cmまで上昇



図：調査位置図
（地図：国土地理院　地理院地図（電子国土WEB）を編集）



図：注入孔(R7B-12)の電気伝導度の変動状況

（2）地下水流動方向調査結果

③トレーサー試験【試験結果】

トレーサー物質の応答があった孔のうち、最も注入孔に近いR7B-17孔（距離約20m）の応答を以下に示す。

- R7B-17では、7/6から濃度上昇
- 7/25に小さくピークを迎え、勾配を変えて再上昇
  ⇒1回目の注入のピークと判断
  （到達まで約51日）
- 8/6にピークを迎え、減少傾向
  ⇒2回目の注入のピークと判断
  （到達まで約55日）



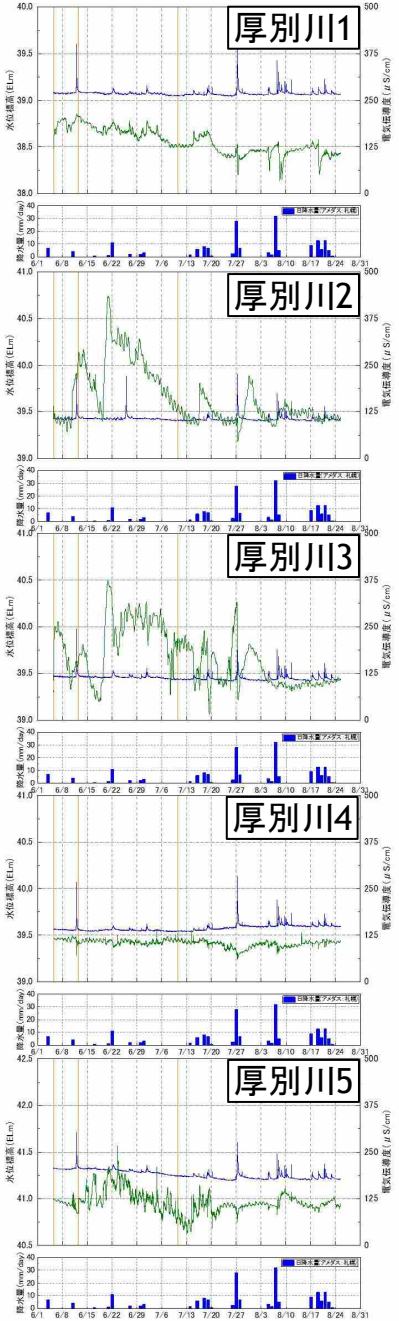


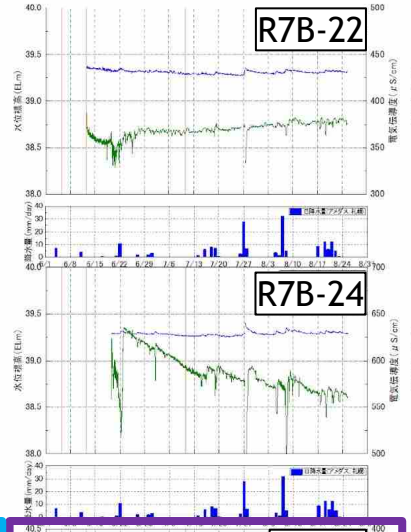
図：R7B-17孔の電気伝導度の変動状況

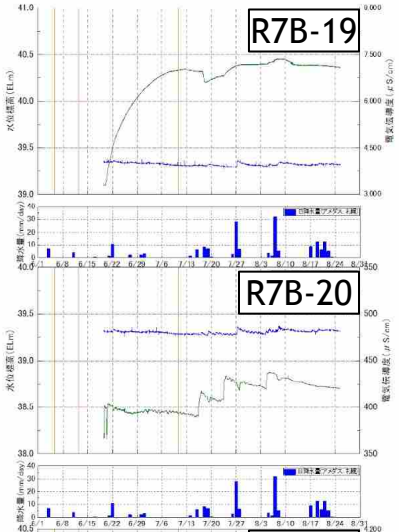
③トレーサー試験【試験結果】平面分布

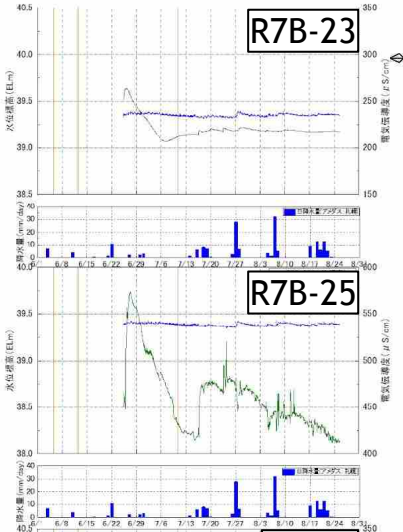
国道36号

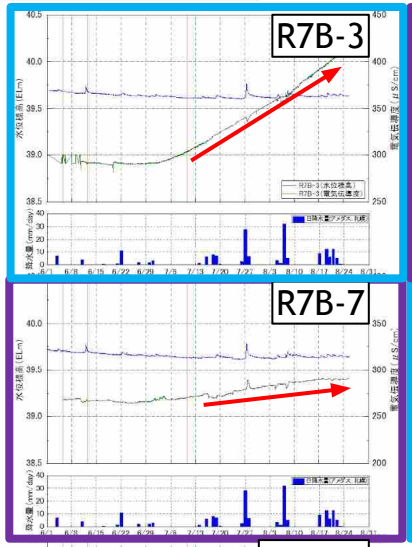












凡例

— 地下水位

— 電気伝導度

□ トレーサー応答有

□ トレーサー応答の可能性

羊ケ丘通

住宅地側

（2）地下水流動方向調査結果

③トレーサー試験

【考察】

・地下水流動速度

R7B-12孔⇒R7B-17孔：約0.39m/d（約20mを51日）
渇水時の動水勾配（約4.1‰）から透水係数を算出注）すると
約2×10^{-4}m/sで現場透水試験結果（右表）と同程度。

注）算出に用いた間隙率は、沖積砂礫の0.15 を適用（水理公式集より）

※降雨時(豊水時)の動水勾配（約3.7‰）と上記の透水係数から地下水流速を推定すると約0.36m/dとなりほぼ同等。

・地下水流速と土粒子が移動する限界流速との比較

陥没が発生したAl-g層の粒度を基に土粒子移動の限界流速を算出（右表のとおり最も遅い値で17m/d）。

⇒**限界流速（17m/d）と地下水流速（約 0.39m/d）を比較すると地下水流速は十分に小さいと判断**　。

以上のことから厚別川に向かう地下水流動はあるものの、土粒子が流失するほどの地下水の流速はなく、
<u>地下水の流れに起因して 土砂が流失した可能性は低い</u>。

試験箇所	試験深度	対象土層	透水係数(m/s)			
			1回目	2回目	3回目	平均値
R7B-2	4.0～5.0m	Al-g	1.35E-04	1.14E-04	1.21E-04	1.2.E-04
	9.0～10.0m	Spfl(U)	6.66E-06	6.58E-06	1.05E-05	7.7.E-06
R7B-8	4.0～5.0m	Al-g	1.45E-04	7.11E-05	7.11E-05	9.0.E-05
	9.0～10.0m	Spfl(U)	1.89E-06	1.89E-06	6.44E-06	2.8.E-06
R7B-14	5.5～6.0m	Al-g	9.59E-05	1.19E-04	8.90E-05	1.0.E-04
	9.0～10.0m	Spfl(U)	5.05E-06	2.69E-06	-	3.7.E-06

土層	幾何平均値
Al-g	1.0E-04
Spfl(U)	4.4E-06

表：現場透水試験結果の総括

提唱者	限界流速式(m/d)	砂礫Al-gの有効径に対する限界流速 (R7B-8 6.0-6.5m)		
		10%有効径	30%有効径	50%有効径
		0.1684	0.8757	2.59
Justin (1923)	$vc=\sqrt{\frac{2}{3}g(Gs-1)d}$ ここに、vc：限界流速、g：重力加速度、Gs：土粒子の比重、d：土粒子径	3,699	8,435	14,507
Koslova	$vk=2.6d^2\left(1+1000\frac{d^2}{D^2}\right)$ ここに、vk：流速、D：平均粒径	33	199	15,084
大野ら (1984)	均等径の場合：$v_{pc}=2.25d^{1.04}$ 混合径の場合：粒度分布25-32%粒径に対する限界流速 ここに、v_{pc}：限界流速	-	17	-

表：限界流速式

（3）調査結果のまとめ

・現時点では、緩い傾向を示した地盤はあるものの、大きな空洞等は確認されなかった。

・新設水道管（推進管）は、主として火山灰層Spfl(U)を掘削しているが、火山灰層のみを掘削している区間では、新設水道管の直上部を含め、緩みや空洞は見られない。

一方で、砂礫層Al-gと火山灰層Spfl(U)の境界を掘削している区間（R7陥没箇所周辺）では、新設水道管直上部の砂礫層Al-gや砂質土層Al-sで緩みが見られた。なお、この緩みについて、横断方向への広がりは確認されなかった。

・地下水は南東から北西方向に、主帯水層である砂礫層Al-gをゆっくりとした速度で流動しており、土粒子を流失させるような状況にはなかった。

・厚別川への地下水の湧出はほとんど見られなかった（現地確認の結果、河川水による築堤の浸食等も見られなかった）。

以上のことから、**地下水の流れに起因する土砂の流出や、河川水（厚別川）の作用による空洞の発生はなかった**ものと考えられる。