

いろは呑龍トンネル南幹線シールドトンネル工事の漏水対策に係る技術検討委員会
第3回資料【中間報告（案）】

1. 事故概要	.....	1
2. 接続部施工の調査結果	.....	3
3. 事故発生の原因	.....	4
4. 復旧工事の状況	.....	5
5. 接続部に関連する今後の工事	.....	9

平成30年7月9日

京都府流域下水道事務所

西松・ケイコン・今井特定建設工事共同企業体

1. 事故概要とこれまでの対応

1. 経緯

月日	曜	時刻	事象
H29 11.27	月	未明	シールド管内にて漏水発生
		7:30	洛西浄化センター内現場事務所から異常発見
		8:00	シールド接続部漏水及び土砂の流入状況確認
		12:50	漏水量増加（推定 500L/分）
		13:40	国道 171 号 40 mm 路面沈下、通行規制開始
		15:15	向日市道下に空洞を確認
		17:35	国道 171 号 舗装版切断（空洞調査開始）
11.28	火	0:50	空洞拡大、舗装版落下（5m×7m×H3m）
		1:50	碎石充填 開始
		5:00	碎石充填 完了
		11:35	地上から路体へ薬液（水ガラス系）注入開始
		18:30	近畿地方整備局 道路防災ドクター 現地調査
11.29	水	1:06	シールド管内から止水薬液（ウレタン系）注入開始
11.30	木	3:30	路体薬液（水ガラス系）注入完了
		12:00	水位観測井 設置完了
12.01	金	18:43	止水薬液（ウレタン系）注入完了（漏水推定 7L/分）
12.02	土	6:30	舗装仮復旧開始
		20:15	舗装仮復旧完了
		20:25	道路通行規制解除

2 道路の通行規制解除までの対策工

- ・国道 171 号空洞部への碎石充填 V≒110m³
- ・空隙充填のための薬液注入（水ガラス系） V≒74m³
- ・シールド管内からの止水薬液注入（ウレタン系） V≒5.5m³
- ・国道 171 号舗装仮復旧
（表層 5cm、基層 10cm、安定処理 10cm、上層・下層路盤各 30cm）

3 現在まで復旧工事の状況

○再凍結工の着手～地盤解凍

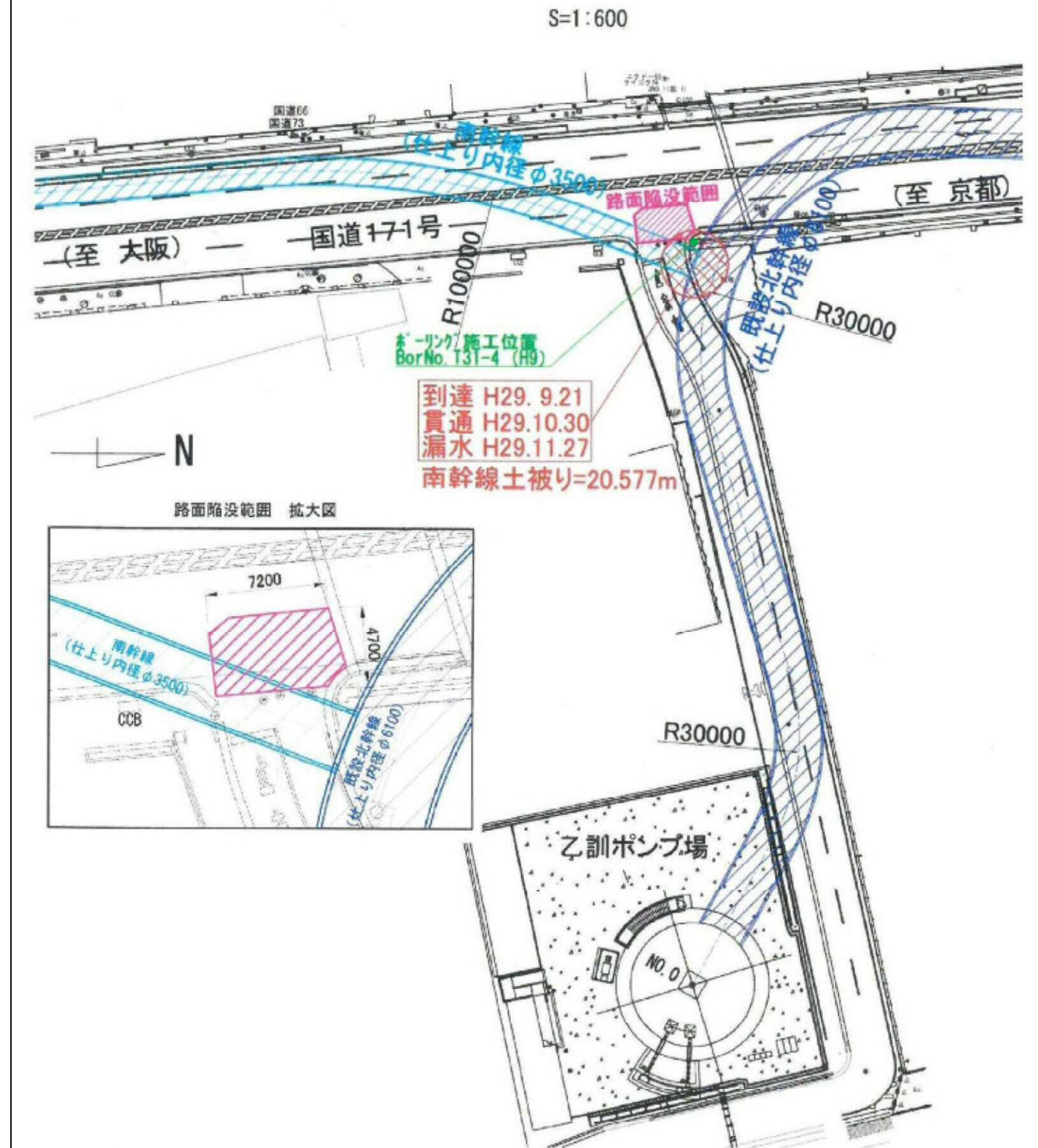
- ・H29.12 月に再凍結の計画を各委員に説明し、了承を得た。
- ・シールド接続部の堆積土砂撤去のため、H30.1 月 15 日に凍結工を開始し、計画凍土厚 1.5m を造成。
- ・H30.2 月 19 日 第 1 回技術検討委員会（調査方法の確認）
- ・H30.3 月 19 日 第 2 回技術検討委員会（調査結果の報告、復旧工法の確認）
- ・復旧工事（①充填材複層砕鉄板の設置、②充填材の注入、③坑口コンクリート（先行部）の打設）を実施後、H30.5 月 15 日に凍結工を運転停止。
- ・H30.5 月 17 日から強制解凍（10 日毎に薬液注入）を開始し、H30.6 月 25 日に強制解凍を運転停止。

○経過観測

- ・道路変状、シールド管内変状及び坑内漏水量（4 回/日）
- ・地下水位（1 回/時間）

事故後、初期値から大きな変状は認められない。

シールド到達部地上平面図（雨水北幹線管渠接続部）



事故発生時の状況



国道171号 陥没発生状況



2. 接続部施工の調査結果


① 充填材（セメントベントナイト）の厚み及び強度

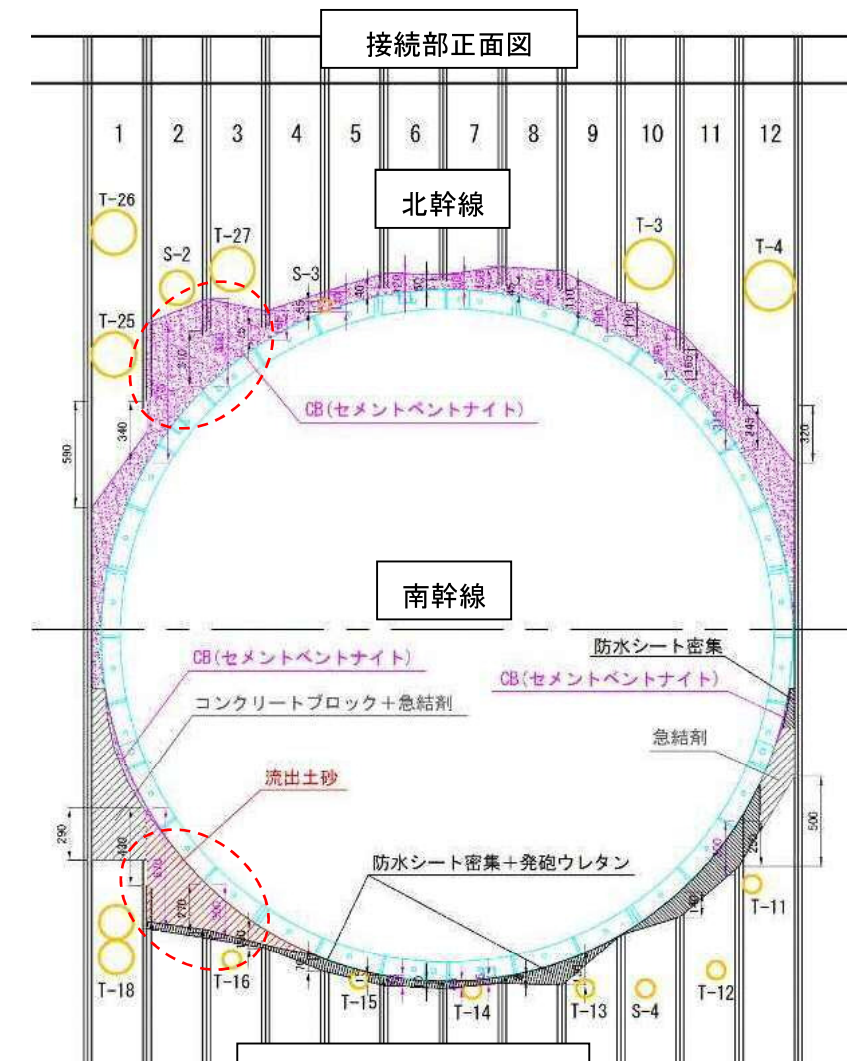
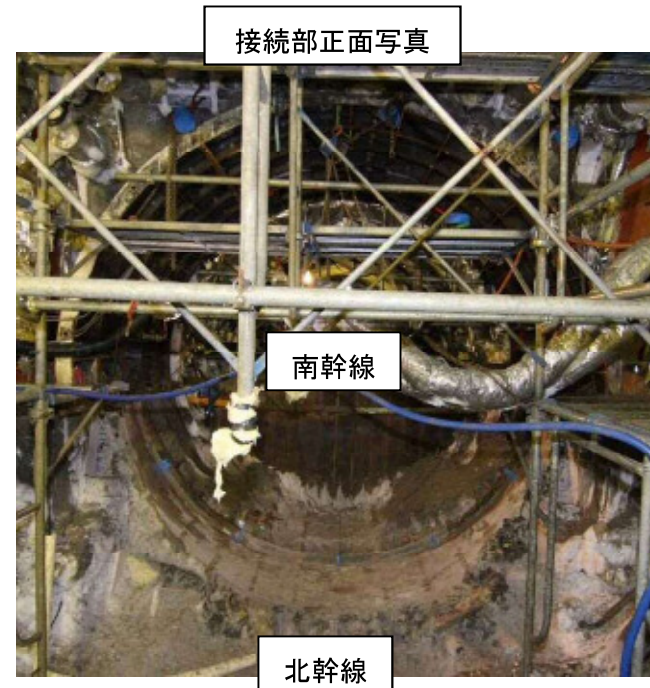
- ・上半では、130 mm～240 mmの厚みがあることを確認した（計画厚 115 mm）。
- ・側部では、60 mm～190 mmの厚みがあることを確認した（計画厚 115 mm）。
- ・上半及び側部に残った充填材の強度を確認したところ、1.65N/mm²～3.50N/mm²と目標 0.10N/mm²を上回る強度が確認できた。
- ・下半では充填材を確認することができなかった。充填厚は薄く、漏水、土砂流入時に流されたものと推定する。

② 水膨張性シーリング材等の設置

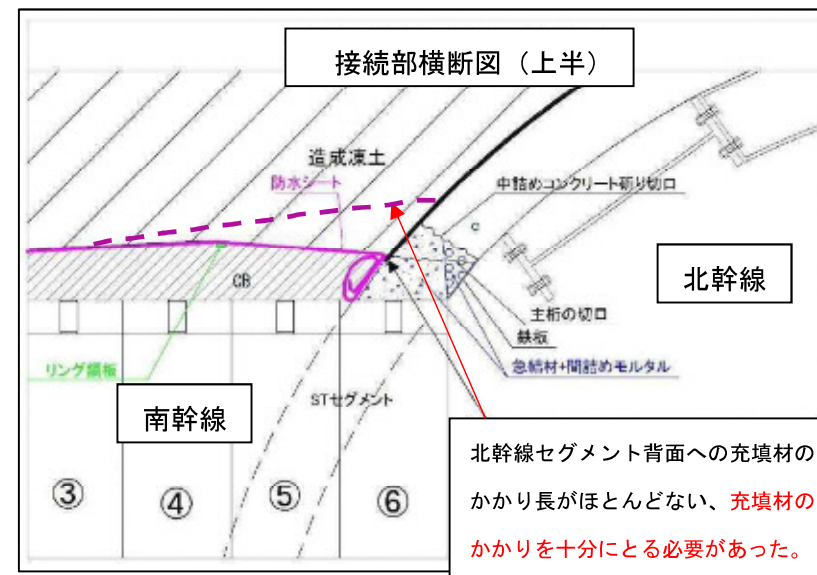
作業員にヒアリングした結果、設置していないことを確認、調査でも水膨張性シーリング材、コーキング材は現認できなかった。

③ 大きな開口部の閉塞措置

- ・上半の間詰モルタル、鉄板（厚さ 3 mm）貼り付けを確認、鉄板は北幹線セグメントの主桁に溶接されている。
- ・下半は鉄板貼付をせず、急結材のみで隙間を塞いでいることを確認、※急結材の施工厚さ計測不可
- ・切り口全体を見た場合、左上方（鉄板で塞がれていた）と左下方（鉄板貼り付けなし、塞いでいた急結材は確認できなかった）の開口が大きいことがわかる（）。※急結材：凝結時間を著しく短くする混和剤を混ぜた特殊モルタル



【北幹線セグメントの構造】
 北幹線には高耐力の【コンクリート中詰め鋼製セグメント：Steel Segment with Pre-filled Concrete：SSPC】が用いられている。SSPCは内空面となる1面以外の5面を鋼板で構成した鋼殻の内部にコンクリートを充填したセグメント



3. 事故発生の原因

今回の事故の発生原因、要因について、次のように考えられる。

◇ 主たる発生原因

北幹線と南幹線の接合部において、以下の止水に関する施工が不十分であったことが原因と考えられる。

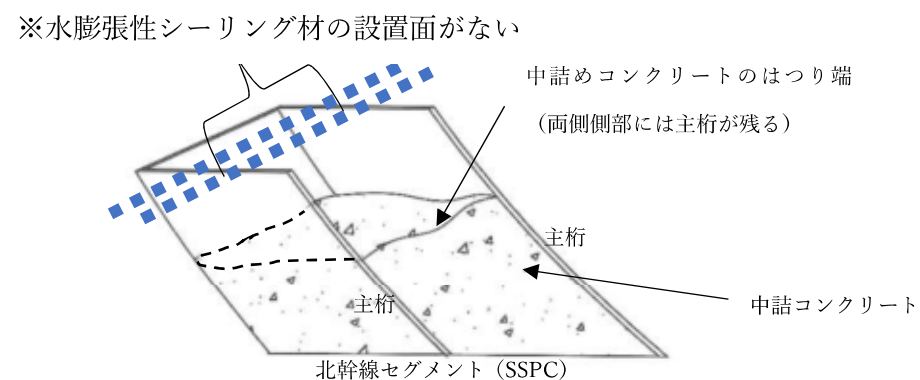
- ① 接続部下半の凍土の掘り込み不足に伴う、接続部セグメント外周における**充填材（セメントベントナイト）の下部の厚みが不足**していた。
- ② **水膨張性シーリング材等が未設置**であり、浸透水を止める構造としては不十分であった。
- ③ さらに、北幹線セグメントの一部の**大きな開口部の閉塞処置（鉄板補強等）が十分でなかった**ため、大量の土砂の流入を許すことになり、被害が拡大したものとする。

◇ 発生原因につながったと考えられる要因

- ① 接続部下部の凍結管の設置位置が開口部に近接しており、凍結管が支障となって、下部の凍土の掘り込み不足が生じたこと。
- ② *水膨張性シーリング材等の止水材の施工時に、施工計画時に想定した設置面を確保できなかったが、報告・協議せずに設置を省略したこと。
- ③ 何によって止水するかという止水構造について、また、固い凍土が解凍した後の地下水の挙動概念について、工事関係職員全員が認識、情報共有していなかったこと。
- ④ 昼夜間2交代による施工であったため、問題点の引継ぎが十分になされず次工程に進んでしまい、構造上の弱点を残してしまったこと。

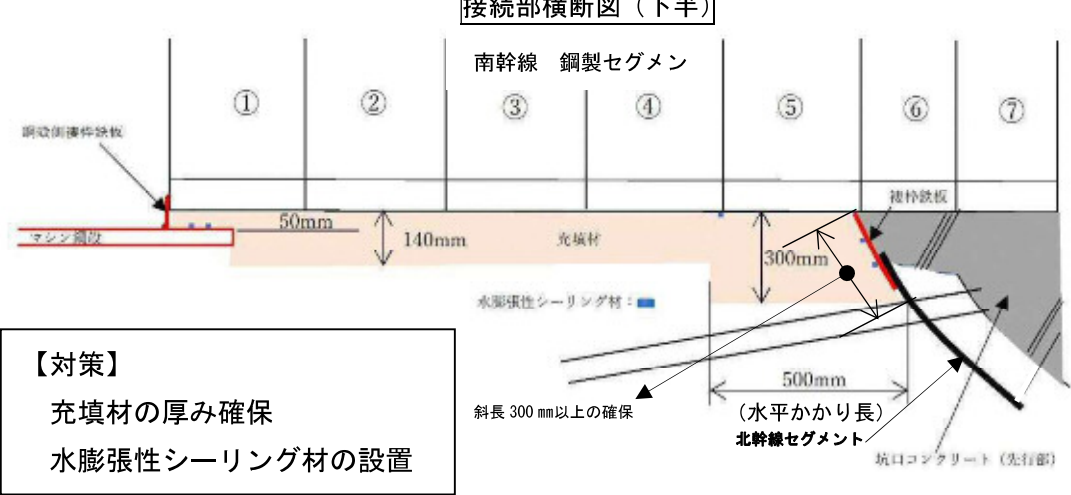
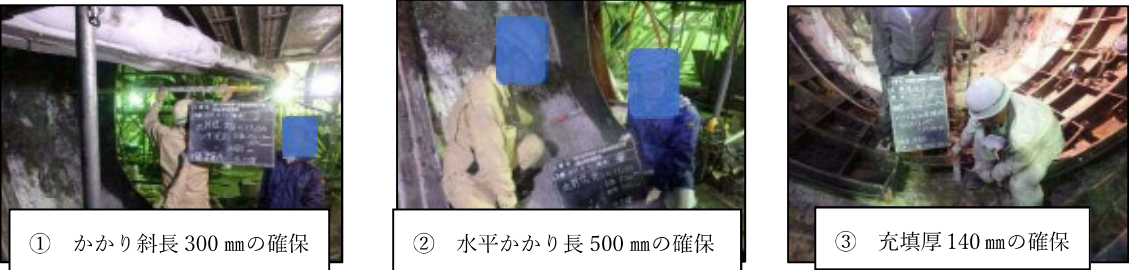

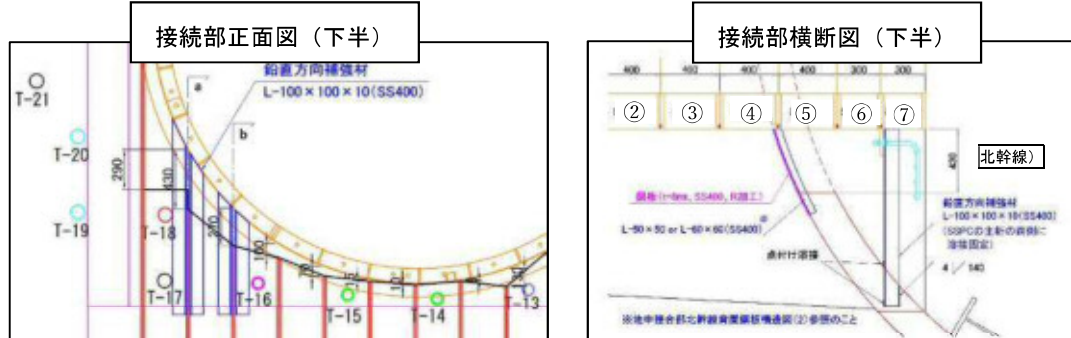

◇ 施工上の反省点

- ① 今回の工事は、管と管の地中接合という複合構造物であり、図面だけでは把握しきれないことも多いことから、施工計画の段階から慎重な検討を行うとともに、その情報を工事関係職員全員が共通認識を持って施工しなければならない。
- ② 凍結工法の特徴（特に解凍時のリスク）を関係者全員が十分に理解し、接続部の止水構造や細部の施工方法を十分に検討し、周知しなければならない。
- ③ 計画と現場の相違が発見された段階で、その発生原因と対策について、立ち止まって再検討しなければならない。また、2交代現場などにおいては、問題点などが発生した場合には、詳細な引継ぎをしなければならない。

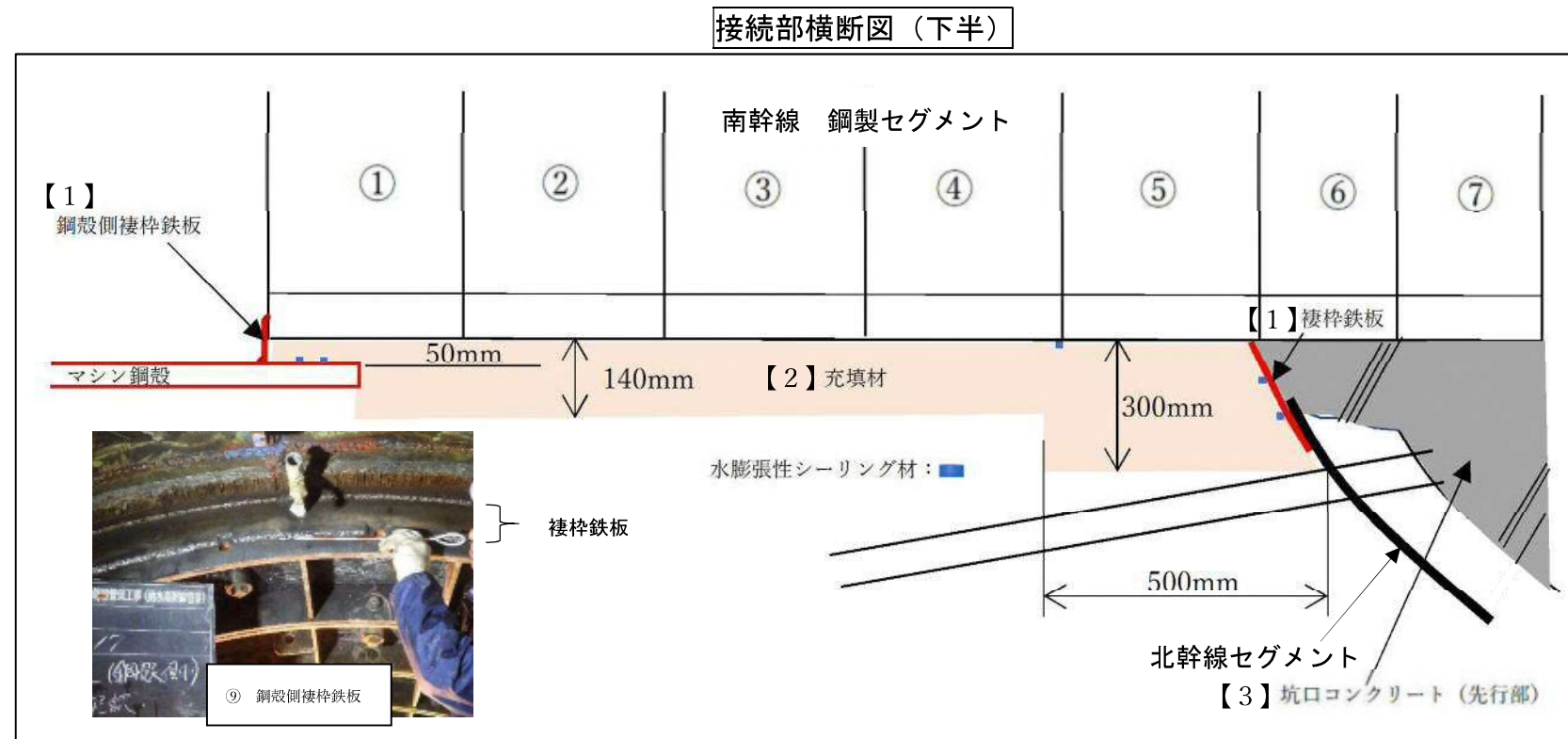


4. 復旧工事の状況

4-1 発生原因に対する対策

漏水の発生原因	計画	実施工（具体的な処置）
<p>① 充填材の厚み確保</p> <p>【厚み不足】</p>	<p>接続部横断面図（下半）</p>  <p>【対策】 充填材の厚み確保 水膨張性シーリング材の設置</p>	<p>・水平かかり長 500 mm部分は鋼製セグメント中心をレーザーでスタッフに表示し、セグメント外径 3863 mm/2+300 mm=2232 mm以上確保できていることを円周方向で確認した。</p> <p>・同様に充填厚 140 mm部分も鋼製セグメント中心をレーザーでスタッフに表示し、セグメント外径 3863 mm/2+140 mm=2072 mm以上確保できていることを円周方向で確認した。</p>  <p>① かかり斜長 300 mmの確保</p> <p>② 水平かかり長 500 mmの確保</p> <p>③ 充填厚 140 mmの確保</p>
<p>② 水膨張性シーリング材の設置</p> <p>【未設置】</p>	<ul style="list-style-type: none"> 北幹線セグメント際での充填材の厚さ（スキンプレートに沿って斜長で 300 mm以上確保のため鉛直方向で 300 mm以上（写真①）および手前の水平かかり長として 500 mmを確保（写真②）できる凍土の掘り込みを行う。 それ以外の部分の鋼製セグメント背面では 140 mmを確保（写真③）できる凍土の掘り込みを行う。 水膨張性シーリング材を貼る鋼殻及び北幹線セグメントスキンプレート補修部（写真④、写真⑤）での結露、水分が垂れるのを防いだ上、確実に周方向に連続するようにシーリング材を施工する。施工後は接着が外れないようにスキンプレートに点溶接した L 形の受け金具（写真⑥）で受ける。 	<ul style="list-style-type: none"> 水膨張性シーリング材をスキンプレート、鋼製セグメントおよび鋼殻に設置 L 形の受け金具もつけて、シーリング材が外れないように工夫した。  <p>④ スキンプレート補修部分の鉄板に設置（下方）</p> <p>⑤ 鋼製セグメント背面に設置</p> <p>⑥ スキンプレート補修部に設置（上方）</p>
<p>③ 大きな開口部の閉塞処置</p> <p>【未処置】</p>	<p>【対策】 開口部の閉塞処理</p> <ul style="list-style-type: none"> L 形鋼（L-50×50×4、L-50×50×6またはL-60×60×6）を北幹線セグメント主桁および鋼製セグメントに溶接して棲枠鉄板を補強する。 坑口コンクリート（先行部）の補強のため L 形鋼（L-100×100×10）を追加配置する（写真⑦）。北幹線セグメントとリング⑦の主桁からの鉄板を溶接して L 形鋼で繋ぎ補強する。 	<ul style="list-style-type: none"> 大きな開口部を塞ぐ坑口コンクリート（先行部）には、L 形鋼を埋込んで補強した。  <p>⑦ 大きな開口部、坑口コンクリートの補強</p>

4-2 復旧工事の状況



【1】 充填材棲枠鉄板の設置

目的： 確実な充填を行うため、北幹線セグメント側と鋼殻側に棲枠鉄板を設置（写真⑧、写真⑨）。

実施工： 切断した北幹線セグメントのスキンプレートを元の形状に補修する形で、北幹線セグメントのスキンプレートの棲枠鉄板を溶接し、その鉄板と南幹線の鋼製セグメントを溶接した。

【2】 充填材の注入

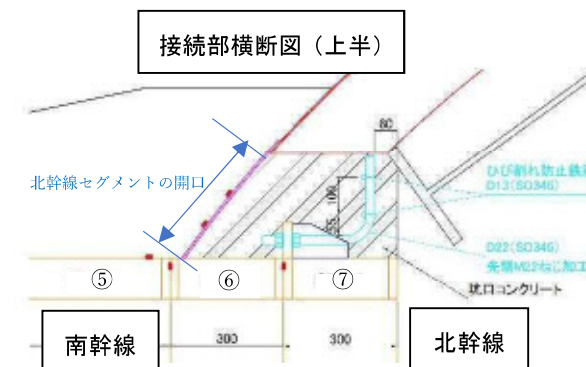
目的： 接統部の主たる止水構造のひとつとして、南幹線の鋼製セグメントと地山（凍土）との間に隙間なく充填材を埋めることで坑内への土砂流入を防ぐもの

実施工： ・地山が凍土であるため、低温下でも高強度を発現する充填材を使用し、テストピースによる低温下における強度確認を行った。
 ・充填中は各セグメントピースにあるグラウトホールを下から上へ順に開けながら、目視にて充填材が充填されていくことを確認した（写真⑩）。
 ・北幹線側棲、鋼殻側棲、中間部の天端に充填材が達したことを確認できるリターンパイプから出てくる充填材により天端に充填材が達したことを確認した（写真⑪）。
 ・充填後、南幹線の鋼製セグメントを打音して隙間がないことを確認した（充填され、隙間がなくなると打音で鈍い音がする）。

【3】 坑口コンクリート（先行部）の打設

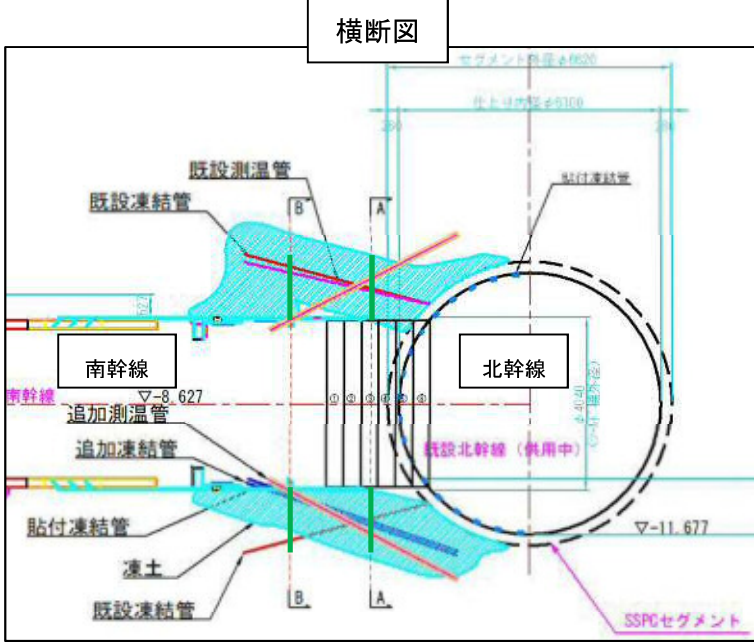
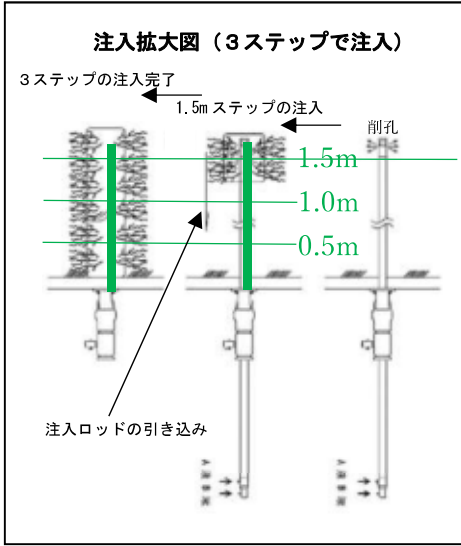
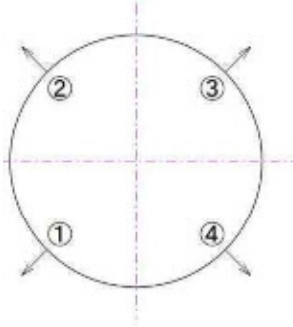
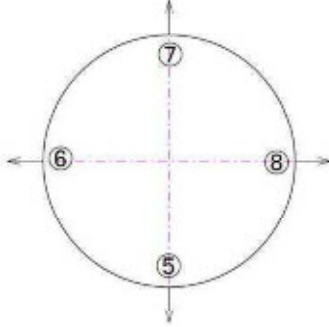
目的： 凍土解凍後の土圧および水圧に対し、十分な耐力を持つ最小厚の坑口コンクリートを打設し、開口部を塞ぐ（下図）。

実施工： ・凍結中の低温状態の北幹線セグメントに接するように打設するため、低温下でも強度発現が可能な早強コンクリート（30-18-25）を使用した。
 ・耐力確保のため、鉄筋アンカー（写真⑫）、さらに、大きな開口部にはL形鋼による補強鋼材（写真⑦）を配置している。



【4】 強制解凍と薬液注入

坑口コンクリート（先行部）の設計強度（ $\sigma=27\text{N}/\text{mm}^2$ ）の発現後、凍土の解凍を開始した。さらに解凍に伴う緩みを極力抑制するため、凍土範囲へ薬液注入を施した。

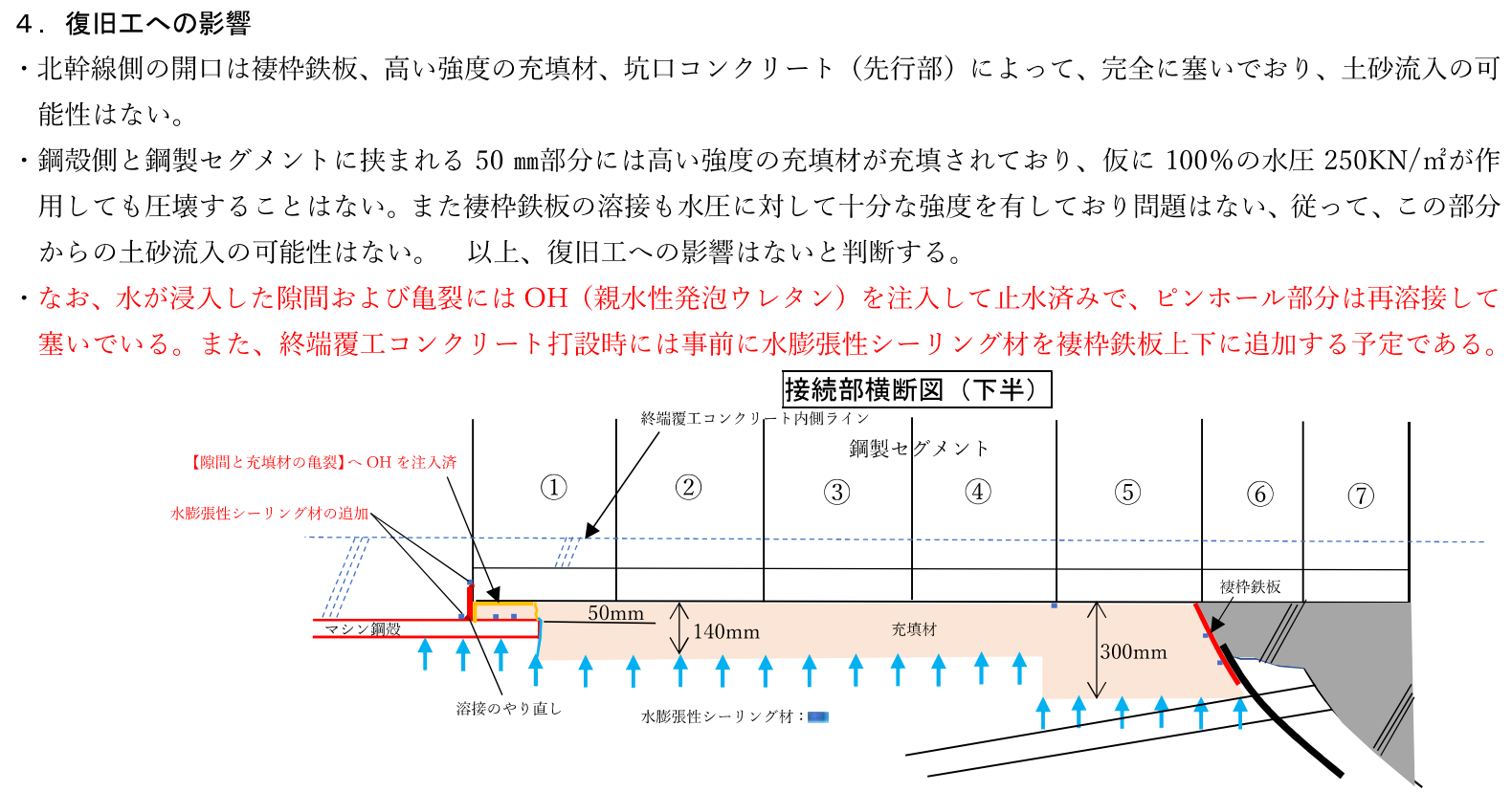
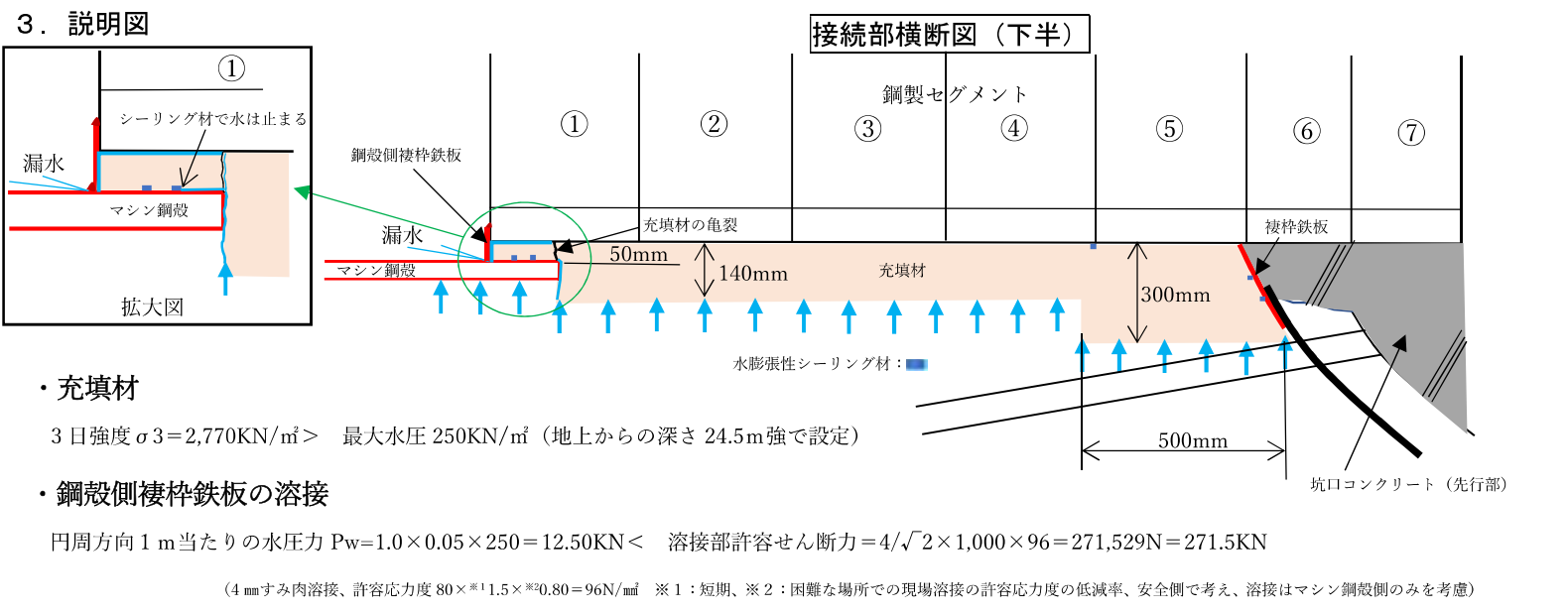
計 画		実 施 工																																																																																	
<p>【強制解凍に要する時間】：40 日</p> <p>【注入頻度】：凍土解凍の進行に伴い 10 日毎に注入する。</p> <p>【注入材料】：懸濁型、高強度のデンカ ES</p> <p>【注入対象】：鋼製セグメント～鋼殻 周囲 360° で厚さ 1.50m の範囲、対象土量 120 m³</p> <p>【注入量】：地盤膨張率 2.05% から 3.70~4.90 m³ と算定、注入目標は 4.90 m³</p> <p>【注入孔】：4 孔/断面×2 断面 = 8 孔</p> <p>【注入ステップ】：各孔、削孔長 1.50m を 1.50m、1.0m、0.50m の 3 ステップで注入</p> <p>【注入圧】：目安は初期圧 +0.20Mpa、但しセグメントスキンプレート耐力から 0.70Mpa 以内</p>		<p>注入実績</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>孔番</th> <th>※目標注入量</th> <th>1 回目</th> <th>2 回目</th> <th>3 回目</th> <th>4 回目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>H30. 5. 26</td> <td>H30. 6. 6</td> <td>H. 30. 6. 15</td> <td>H30. 6. 26</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>H30. 5. 28</td> <td>H30. 6. 7</td> <td>H30. 6. 16</td> <td>H30. 6. 27</td> </tr> <tr> <td colspan="6">注入量単位：m³</td> </tr> <tr> <td>①</td> <td rowspan="8">0.153 m³/孔/回 合計 4.90 m³</td> <td>0.120</td> <td>0.028</td> <td>0.072</td> <td>0.028</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>0.054</td> <td>0.034</td> <td>0.138</td> <td>0.042</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>0.044</td> <td>0.054</td> <td>0.080</td> <td>0.144</td> </tr> <tr> <td>④</td> <td>0.054</td> <td>0.044</td> <td>0.054</td> <td>0.038</td> </tr> <tr> <td>⑤</td> <td>0.050</td> <td>0.078</td> <td>0.060</td> <td>0.058</td> </tr> <tr> <td>⑥</td> <td>0.044</td> <td>0.068</td> <td>0.076</td> <td>0.076</td> </tr> <tr> <td>⑦</td> <td>0.072</td> <td>0.044</td> <td>0.054</td> <td>0.100</td> </tr> <tr> <td>⑧</td> <td>0.060</td> <td>0.036</td> <td>0.062</td> <td>0.040</td> </tr> <tr> <td>小計</td> <td>1.225 m³/回</td> <td>0.498 (40.6%)</td> <td>0.386 (31.5%)</td> <td>0.596 (48.6%)</td> <td>0.526 (42.9%)</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td colspan="5">2.006 m³ (41%)</td> </tr> </tbody> </table> <p>0.50Mpa (50m 水圧相当) の高圧で注入しているが、目標注入量の 41% となっている</p> <p>目標注入量※4.90 m³ (=0.153m×8 孔×4 回)</p> <p>※目標注入量 V=計画凍土量 100m³×α (凍土維持時の増加分 120%)×地盤膨張率 2.05%×見込み増加率 (150~200%) で算定した V=3.7~4.9 m³ の大きい方の 4.9 m³ を採用した。</p>					孔番	※目標注入量	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目			H30. 5. 26	H30. 6. 6	H. 30. 6. 15	H30. 6. 26			H30. 5. 28	H30. 6. 7	H30. 6. 16	H30. 6. 27	注入量単位：m ³						①	0.153 m ³ /孔/回 合計 4.90 m ³	0.120	0.028	0.072	0.028	②	0.054	0.034	0.138	0.042	③	0.044	0.054	0.080	0.144	④	0.054	0.044	0.054	0.038	⑤	0.050	0.078	0.060	0.058	⑥	0.044	0.068	0.076	0.076	⑦	0.072	0.044	0.054	0.100	⑧	0.060	0.036	0.062	0.040	小計	1.225 m ³ /回	0.498 (40.6%)	0.386 (31.5%)	0.596 (48.6%)	0.526 (42.9%)	合計	2.006 m ³ (41%)				
孔番	※目標注入量	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目																																																																														
		H30. 5. 26	H30. 6. 6	H. 30. 6. 15	H30. 6. 26																																																																														
		H30. 5. 28	H30. 6. 7	H30. 6. 16	H30. 6. 27																																																																														
注入量単位：m ³																																																																																			
①	0.153 m ³ /孔/回 合計 4.90 m ³	0.120	0.028	0.072	0.028																																																																														
②		0.054	0.034	0.138	0.042																																																																														
③		0.044	0.054	0.080	0.144																																																																														
④		0.054	0.044	0.054	0.038																																																																														
⑤		0.050	0.078	0.060	0.058																																																																														
⑥		0.044	0.068	0.076	0.076																																																																														
⑦		0.072	0.044	0.054	0.100																																																																														
⑧		0.060	0.036	0.062	0.040																																																																														
小計	1.225 m ³ /回	0.498 (40.6%)	0.386 (31.5%)	0.596 (48.6%)	0.526 (42.9%)																																																																														
合計	2.006 m ³ (41%)																																																																																		
<p>横断面図</p>  <p>注入拡大図 (3ステップで注入)</p>  <p>B断面</p>  <p>A断面</p> 		<p>実注入量が目標注入量と比べて少ない理由は、以下のとおりと考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・①事故時の緊急対策として薬液注入した LW が、凍結解凍によって軟泥化すると文献が有ったこと、②元々の地盤には 50cm 程度の粘性土層が存在したことなどから、安全側で考え、凍土全体を粘性土として注入目標を設定した。 ・実際には、①再凍結中にボーリングによりコアを採取した LW を観察した結果、解凍後も軟泥化することなく固化していたこと、②地盤は事故により乱されているものの、砂礫層土層を主体とした地盤であり、緩みが生じづらい地盤であったことなどから計画凍土量の設定が安全側過ぎたものと考えられる。 <p>また、再凍結開始前から解凍完了まで、路面沈下計測をはじめとする各経過観測値には変動がなく、地下水位も通常の変動値内に収まっている。</p> <p>以上から、今後、接続部周囲の地盤が緩み地表面に影響を及ぼすことはないと考え。</p>																																																																																	

【強制解凍中に発生した漏水について】

解凍を始めて3日後の平成30年5月18日～19日にかけて発生した、マシン鋼殻側棲枠鉄板下端のピンホールからの漏水について記述する。

1. 経緯
- ・5月15日(火)：凍結運転停止(自然解凍開始)
 - ・5月17日(木)：強制解凍開始
 - ・5月18日(金)：漏水がないこと確認、大雨注意報のため水密扉を閉鎖
 - ・5月18日(金)～5月19日(土)：漏水発生(推定)
 - ・5月19日(土)：西松JVが漏水発見(推定漏水量6.5L/分、漏水は透明、土砂混入なし)
 - ・5月21日(月)：西松JVから京都府へ連絡(推定漏水量4.5L/分、漏水は透明、土砂混入なし)
 - ・5月22日(火)、5月23日(水)：鋼製セグメント①の背面と漏水部へ直にOH(高分子ポリマーの親水性発泡ウレタン)を注入、止水を確認
 - ・5月23日(水)：漏水箇所の溶接部ピンホールを塞ぐ溶接を再施工

2. 漏水の理由
- ・復旧工において鋼製セグメントと地山及びセグメントとマシン鋼殻との空隙部に充填材を充填したが、空隙の断面が「3. 説明図」のとおり、マシン鋼殻部と地山部では充填材の厚さに違いがあること、さらに、充填材はマシン鋼殻部では鋼製セグメントとマシン鋼殻に挟まれている状態になっている。
 - ・充填材は硬化熱収束から凍結工の影響を受ける段階で収縮し、若干の変状が発生したものと考える。
 - ・鋼製セグメントとマシン鋼殻に挟まれた充填材と鋼製セグメントと地山で挟まれた充填材では、その厚さと拘束状況から、変状が若干異なることが考えられ、この厚さの異なる境目で充填材に亀裂が発生した可能性がある。
 - ・今回、解凍によって復元した地下水は、浸入しても水膨張性シーリング材によって遮断されるはずの水みち(マシン鋼殻部と充填材の隙間)には通らず、発生した亀裂を通り、鋼製セグメントとの薄い間隙まで達し、セグメント下端の棲枠鉄板下の溶接部ピンホールから漏れ出たのではないかと考える。



【経過観測】

事故後、応急対策工を施し、その後、再凍結を実施、接続部の調査から復旧工と進め、坑口コンクリート(先行部)を打設し、現在、解凍完了まで至っているが、この間で、観測データ(路面沈下、地下水位、坑内変位)に変状はない。

5. 接続部に関連する今後の工事

接続部に関連する工事として、接続部では坑口コンクリート（後行部）および終端覆工の打設、接続部上方の地表に位置する国道 171 号線および向日市道の本復旧工事が残っている。

5-1 坑口コンクリート（後行部）と終端覆工

目的：・解凍終了後、坑口コンクリート（先行部）および北幹線の両方に接続する形の坑口コンクリート（後行部）を打設して、接続部の剛性を向上させる。

・終端覆工により鋼製セグメントおよび鋼殻部分の外圧（水圧や土圧）に対する耐力をさらに向上させる。

実施工：・坑口コンクリートの先行部と後行部の連続性を確保する打継面の補強のため、先行部に差し筋を施工する。

・坑口コンクリートと北幹線セグメントを接続するため、北幹線とは補強梁、補強リングの鋼材にアンカー筋を溶接して後行部を打設する。

・終端覆工コンクリート打設時には、さらなる止水性向上のため、事前に水膨張性シーリング材を鋼殻側椀枠鉄板の上下に追加する。

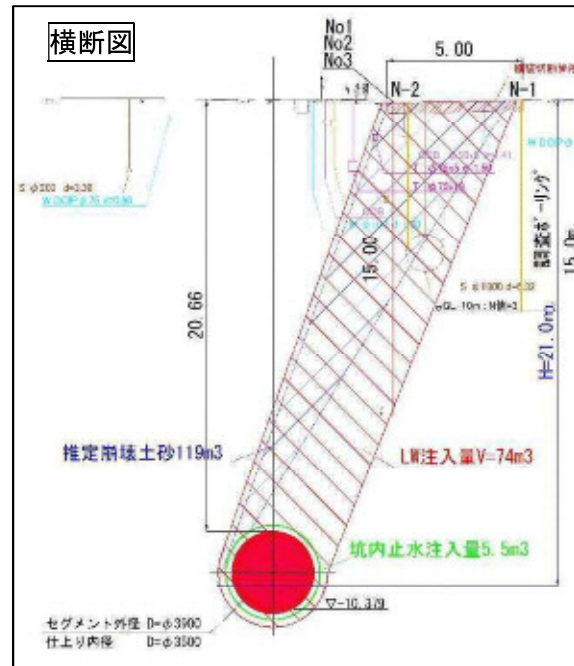
坑口コンクリート（後行部）と終端覆工	実施工
<p style="text-align: center;">計 画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・解凍中および薬液注入後の測温管の値に変化がなくなり、通常の地中温度（10～15°）になったことを確認して、解凍を完了とする。 ・解凍中および薬液注入後、北幹線、鋼製セグメント、鋼殻内にそれぞれ設けた沈下計測点の値および、内空の値に変化がなくなったことを確認する。 ・各計測値に変化がなくなったことを確認して施工に着手する。 ・影響する凍結管を口元下で切断し、管内にモルタルを詰める。 ・リング⑧、⑨を追加、坑口コンクリートはより厚くなる。その一方、坑口が突出した形となる。 ・坑口コンクリート（後行部）と接続する形で、終端覆工を打設する。 	<p style="text-align: center;">実施工</p> <p style="text-align: center;">平成 30 年 7 月 9 日時点で未施工 (今後、施工)</p>

5-2 国道および向日市道における本復旧工事

5-2-1 陥没事故時の充填記録と調査

① 陥没事故時の充填記録

崩壊土砂量 119m³ に対して、投入した砕石量 110m³、薬液注入量 74m³ の計 184m³ (154%) を地中に充填しています。最初に投入した砕石で大きな空洞を埋め、その後の崩壊の拡大を防ぎ、薬液注入 (LW) によって間隙は充填したものと考えている。



LW注入量 (リットル)

GL	合計	No.1	No.3	No.2	備考
GL-1.0					
GL-2.0					
GL-3.0					
GL-4.0					
GL-5.0					
GL-6.0	1,796	584	600	612	水道管埋まり
GL-7.0	2,910	1,000	1,000	910	
GL-8.0	3,200	1,000	1,100	1,100	
GL-9.0	3,100	1,600	800	700	
GL-10.0	4,838	1,538	1,800	1,500	
GL-11.0	12,216	3,696	3,300	5,220	
GL-12.0	7,886	3,472	2,902	1,492	
GL-13.0	10,698	1,488	3,198	6,012	
GL-14.0	18,058	10,528	2,200	3,328	
GL-15.0	8,858	3,008	900	6,650	
GL-16.0					
GL-17.0					
GL-18.0	1,926	1,546		380	鋼管セグメントで覆音

LW注入量 (m³)

	No.1	No.3	No.2	計
一次注入 (GL-5.0~15.0)	27,912	17,800	26,712	72,424
二次注入 (GL-15.0~18.0)	1,546	0,000	0,380	1,926
一次+二次 (GL-5.0~18.0)	29,458	17,800	27,092	74,350

② 実施した調査

【調査ボーリング】

砕石投入と薬液注入後、2本のボーリング調査を行っている。追越車線中央の N-1 では GL-10m まで は原地盤であることを確認し、事故後の緩み範囲の端部はこの N-1 の地点であると推定した。一方、N-2 では投入した砕石や薬液注入のため GL-7m の深さで貫入不能となる固い地盤を確認した。礫質土であることは、積算削孔時間より判定している。

N-1のボーリング調査実施記録

時間	深度	地盤	状況	薬液配分		
				ポンプ 稼働時間	削孔	ロッド 交換
9:40	GL±0m	投入砕石	削孔開始	-	-	-
10:00	GL-1.0m	砂礫	GL-0.6m程度で投入砕石から砂礫に土質が変わる。柱状固から 読み取る地山の可能性が高い。 砂礫での削孔で特に変化なし	13分	6分	-
10:30	GL-2.0m	砂礫		21分	9分	-
11:00	GL-3.0m	砂礫	地下水を確認。地質は地山であることが非常に高い	18分	12分	-
11:30	GL-4.0m	砂礫	柱状固より地山が固く、削孔速度が低下する	22分	8分	-
12:00	GL-4.0m	砂礫	地山が固く削孔速度が低下。ロッドを交換し再度削孔を開始	0分	17分	10分
12:30	GL-5.0m	砂礫	柱状固より地山が固く空隙はない	21分	9分	-
13:00	GL-6.0m	砂礫	GL-5.0mと同様である	20分	10分	-
13:30	GL-7.0m	砂礫	非常によく締まった層に当たり、削孔速度が低下する。	21分	9分	-
14:00	GL-7.0m	砂礫	地山が非常に固く、柱状固通りの土質と考えられる	0分	30分	-
14:30	GL-8.0m	砂礫	ロッド交換を行い削孔を再開	18分	12分	17分
15:00	GL-8.0m	砂礫	地山が非常に固く削孔が進まない状況	18分	30分	-
15:30	GL-8.0m	砂礫と粘性土	砂礫と粘性土の変わり目と思われる	17分	13分	-
16:00	GL-9.0m	粘性土	柱状固通りの粘性土と判断できる	5分	25分	-
16:30	GL-10m	粘性土	貫入試験位置到達	20分	10分	-
17:30	GL-10m	粘性土	貫入試験位置到達、試験開始	-	-	-
18:00	GL-10m	粘性土	試験終了。試験値N=3、柱状固N=5 見解とし、今回試験をしたGL±0からGL-10.0まで柱状固通りの 土質と判断できる	-	-	-

N-2のボーリング調査実施記録

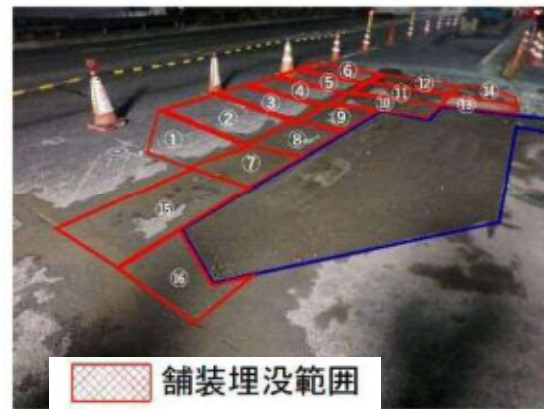
時間	深度	地盤	状況	時間配分		
				ポンプ 稼働時間	削孔	ロッド 交換
9:50	GL-1.0m	投入砕石	投入砕石上部の削孔。特に異常なし	-	-	-
10:10	GL-2.0m	投入砕石	一次注入の強化地盤層にはまだ入らず	25	5	-
10:30	GL-3.0m	投入砕石	地下水確認。一次注入の強化地盤層に入っているとオベから 報告有	23	7	-
11:00	GL-4.0m	投入砕石	一次注入の強化地盤層に入る。削孔速度が若干低下	23	7	-
11:30	GL-5.0m	投入砕石	GL-4.0mと同様である	18	12	-
12:00	GL-6.0m	投入砕石	GL-4.0m・5.0mと同様である	22	8	-
12:30	GL-7.0m	投入砕石	一次注入の強化地盤層がさらに強固になってきているとオベ から報告を受ける現在の所地盤に空隙は全く見つからない	27	3	-
13:00	GL-7.0m	投入砕石	一次注入の強化地盤層が強固すぎて、まったく削孔出来ない。	0	14	16
13:30	GL-7.0m	投入砕石	ロッド交換後削孔実施するが、強化地盤の削孔が出来ない	0	36	-
14:00	GL-7.0m	投入砕石	引継ぎ強化地盤の削孔を継続。ロッドの腐蝕が懸念されたため再度ロッドを交換	0	21	9
14:30	GL-7.0m	投入砕石	引継ぎ削孔を行うが12:30から14:30(120分)削孔を続けたが、削孔が全くできないので中断した	0	25	5

・二重管ストレーナー工法 積算削孔時間

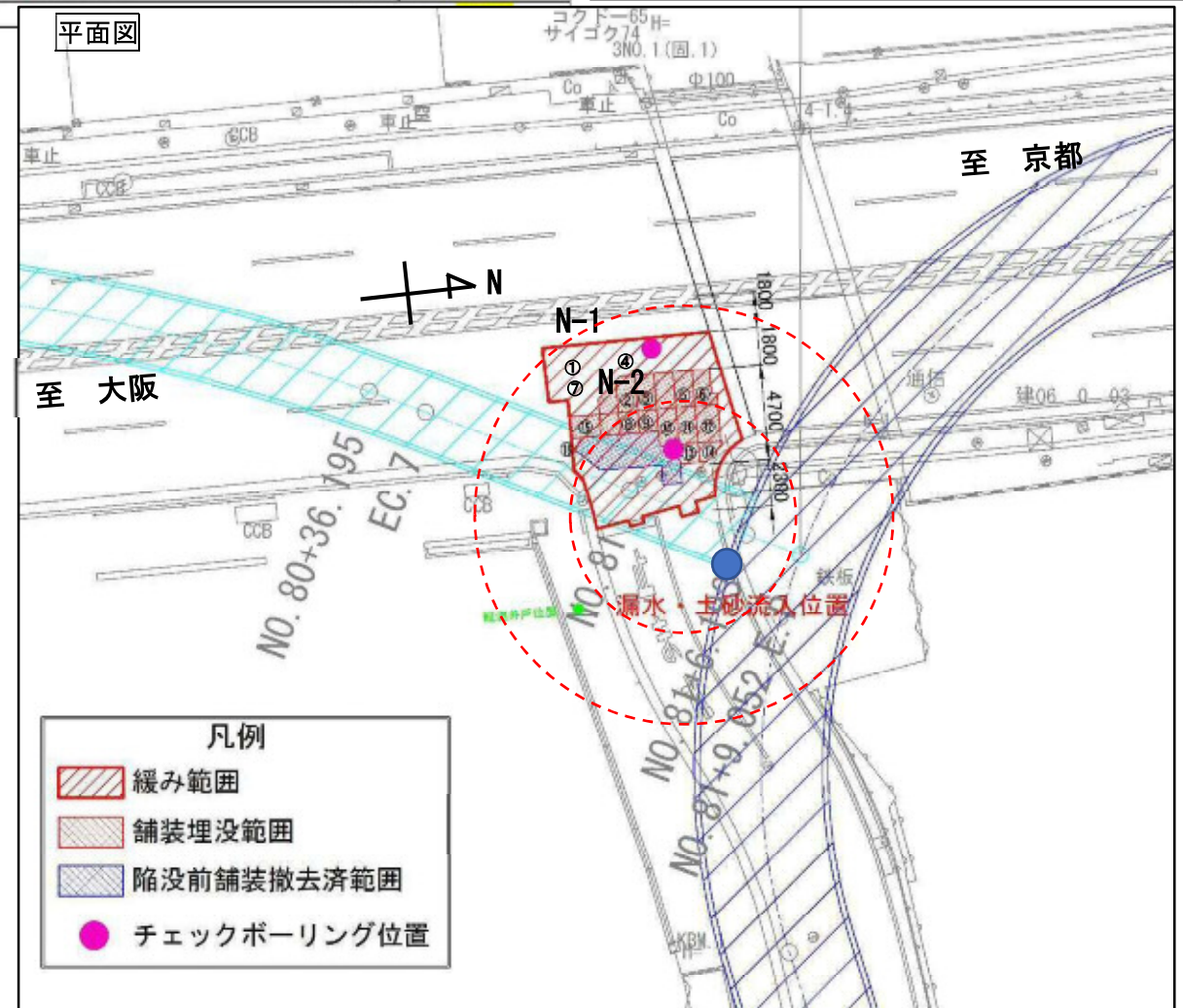
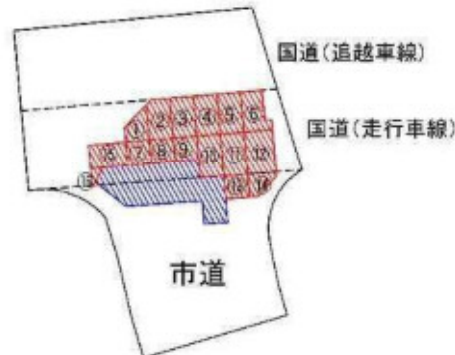
土質	礫質土	砂質土	粘性土
削孔時間 (min/m)	8.0	5.0	4.0

出典:平成19年度積算基準

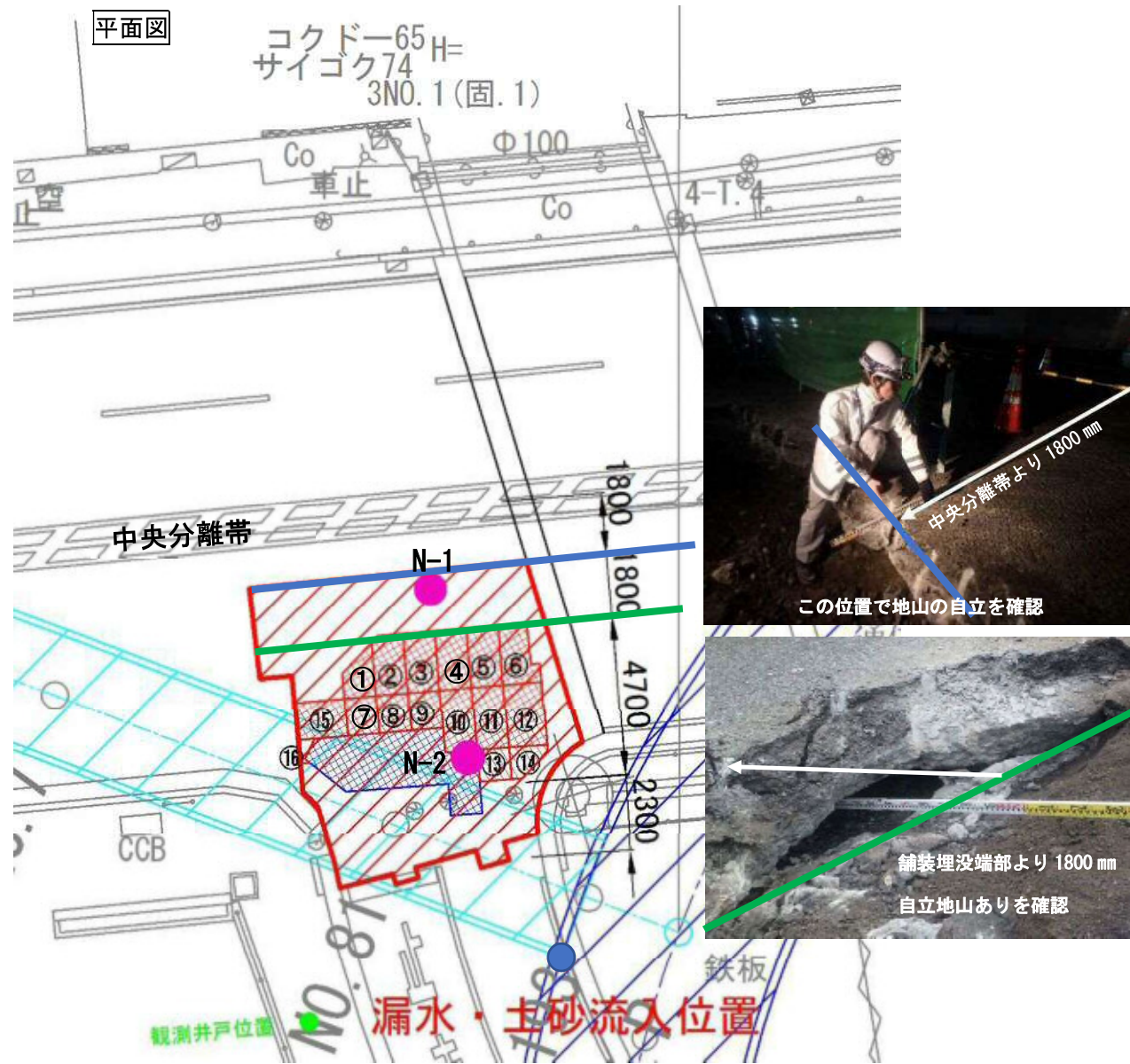
砕石投入後、路盤下空洞調査のための舗装切断を行っていたが、その途中で、舗装が地中に落ち込み始めた。埋没した舗装は切断したピース①~⑯である。



舗装埋没範囲



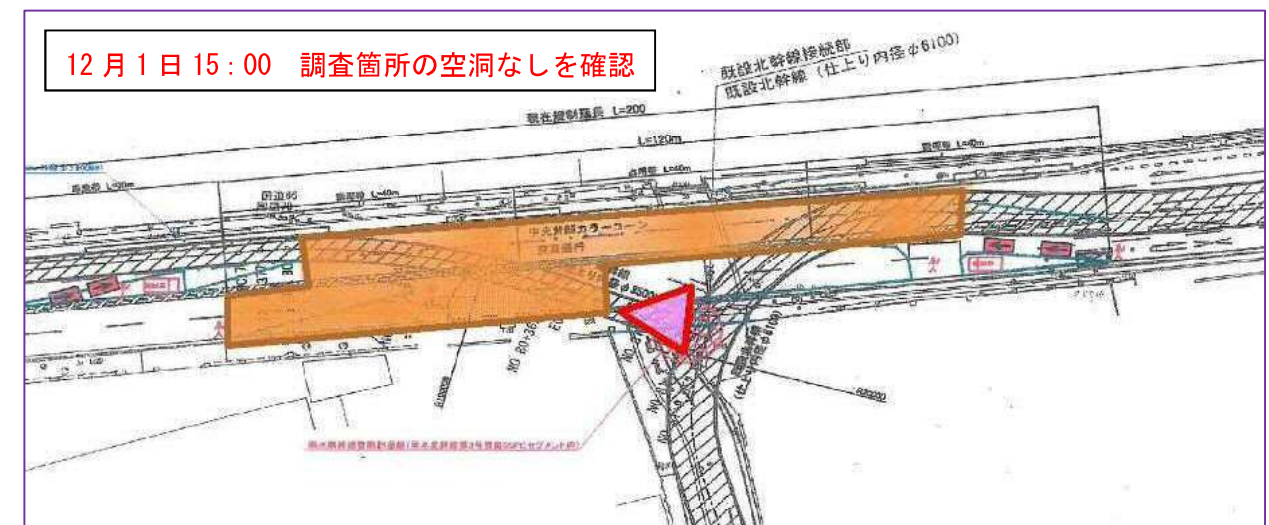
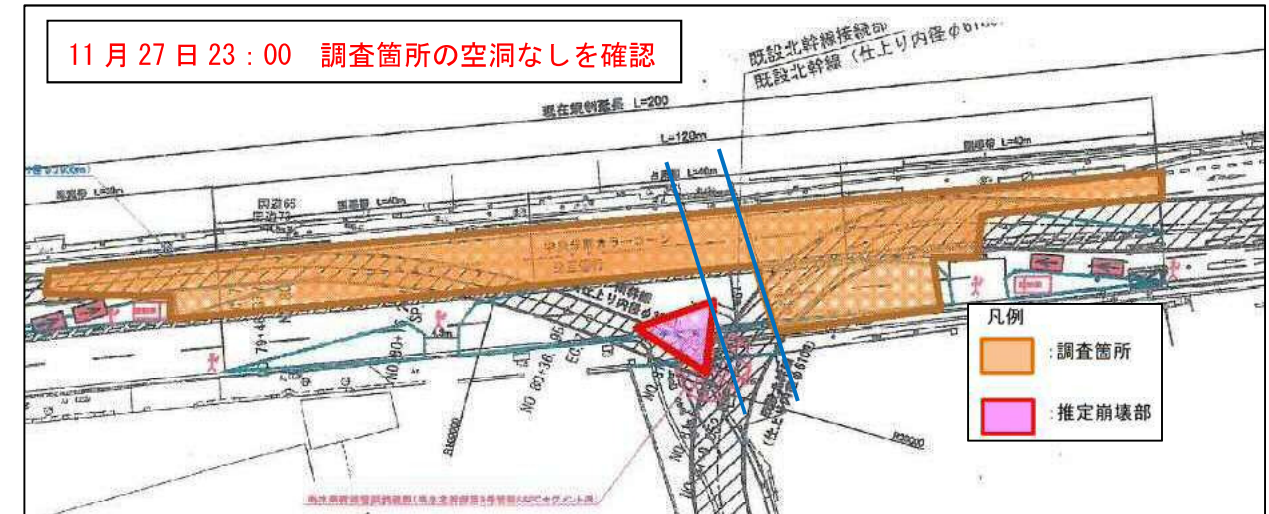
【舗装下探り調査】



舗装埋没端部（緑線）から中央分離帯側へ舗装を撤去しながら、舗装埋没端より1.80m、中央分離帯より1.80mの地点で自立した地山（青線）を確認している。この事実とチェックボーリングN-1の調査結果より、中央分離帯側の緩み範囲端部を決めている。

【路面下空洞調査】

仮復旧の12月2日までに、国道171号線の京都行と大阪行の緩み範囲の左右（南北）の端までを、探査車で走行しながらマイクロ波を地中に照射して、GL-3.0m程度まで空洞がないことを確認している。



5-2-2 本復旧範囲の特定

【追加土質調査】

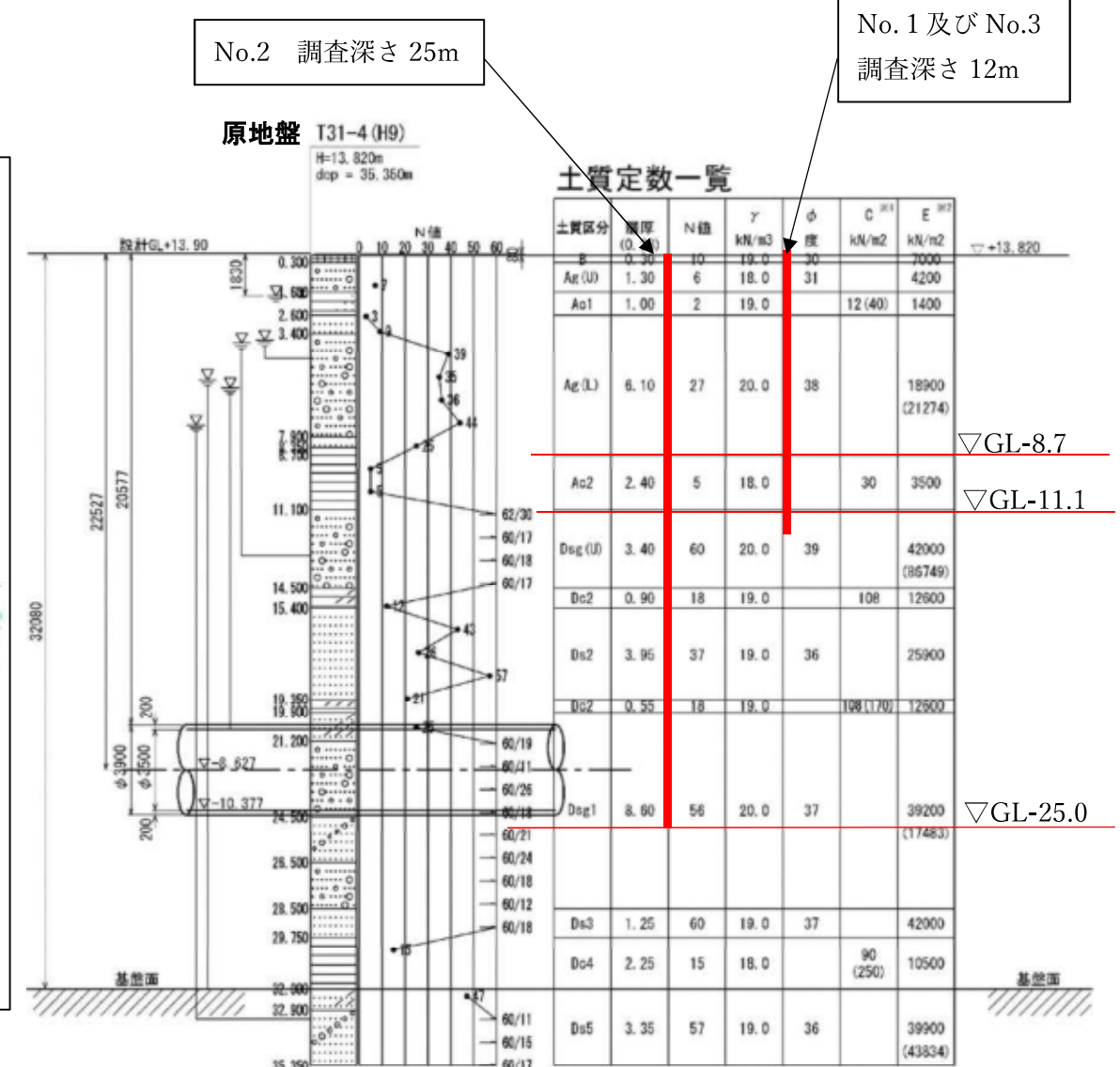
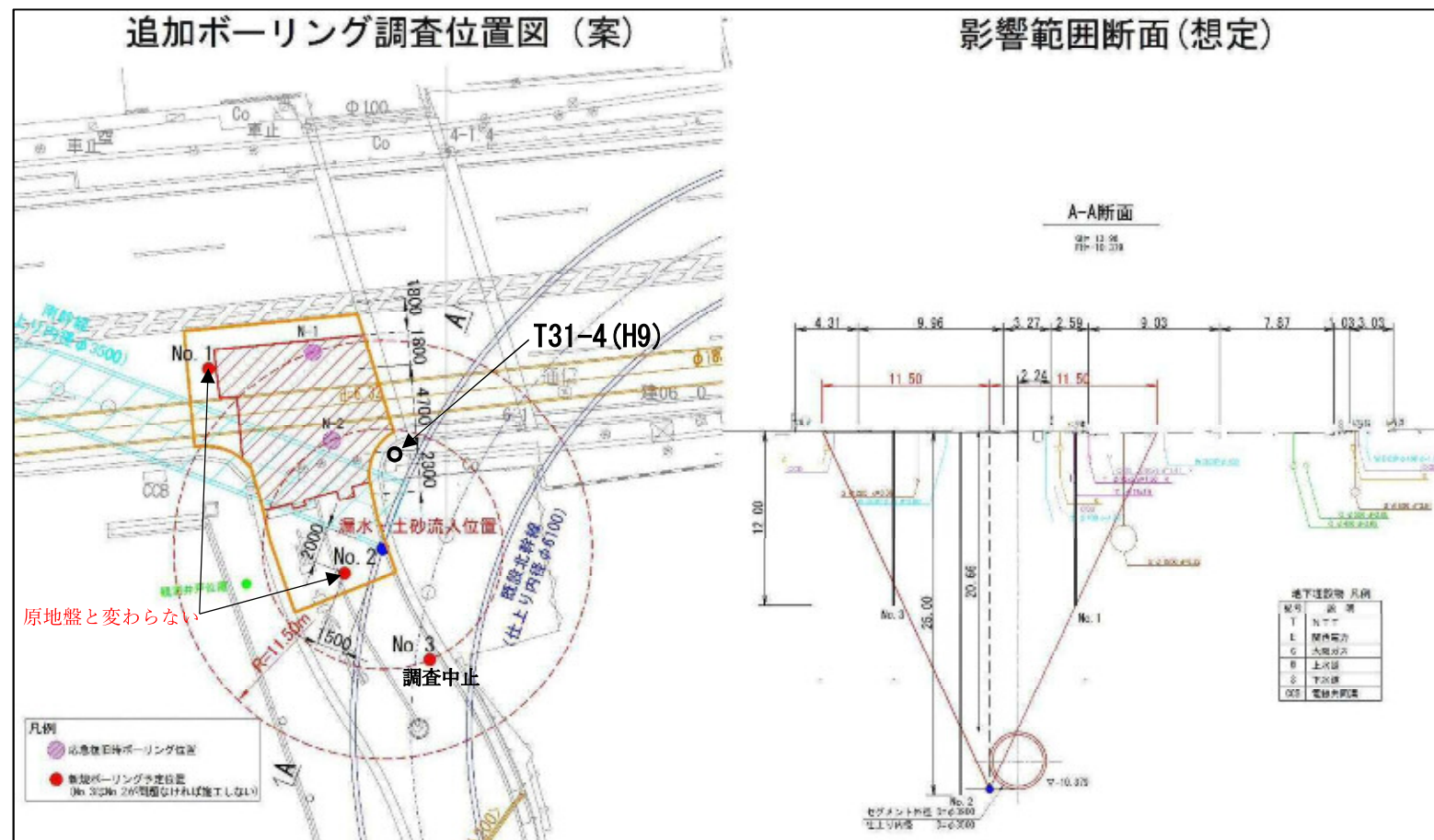
第2回技術検討委員会（平成30年3月19日）では

- ・ボーリング調査N-1の結果、緩み範囲端部が大坂行車線の追越車線ほぼ中央であると判断している。
- ・舗装陥没端部からの舗装下の探り調査でも、緩み範囲の端部が大坂行車線の追越車線ほぼ中央であると判断している。
- ・路面下空洞調査にて、京都市道側には空洞がないこと、大坂行き車線では、想定した緩み範囲の左右の端まで空洞がないことを確認している。
- ・緩み範囲以外でも国道、向日市道の路面沈下計測、橋台の変位計測を行っているが変状はない。

以上を報告したが、技術検討委員会より、向日市道側および国道の大坂側の緩み範囲を明らかに確認すべきとの指摘を受け、次の位置に追加ボーリングNo.1、No.2（No.3は実施せず）を実施した。

追加土質調査の方針

- ① 追加土質調査として、国道171号線ではNo.1の1本、向日市道側では漏水、土砂流入位置付近のNo.2とNo.3の2本の計3本を考える。ただし、No.2でT31-4(H9)と同じ地盤が残っていることが確認できた場合はNo.3の調査は実施しない方針とする。
- ② No.2は、漏水、土砂流入位置付近であるため、T31-4(H9)土質データと比較して各層の位置が下方にずれている他、道路陥没時の影響を受けているという前提にて、各層の固さ、締まり具合をN値によって確認する。調査深さは25mとする。
- ③ No.1とNo.3では、T31-4(H9)土質データに現れているGL-9.0m付近にあるAc2層の位置が下方に落ち込んでいないことを確認する。調査深さは12mとする。
- ④ 全調査孔、標準貫入試験を実施して、N値にて各層の位置、層厚を確認する。

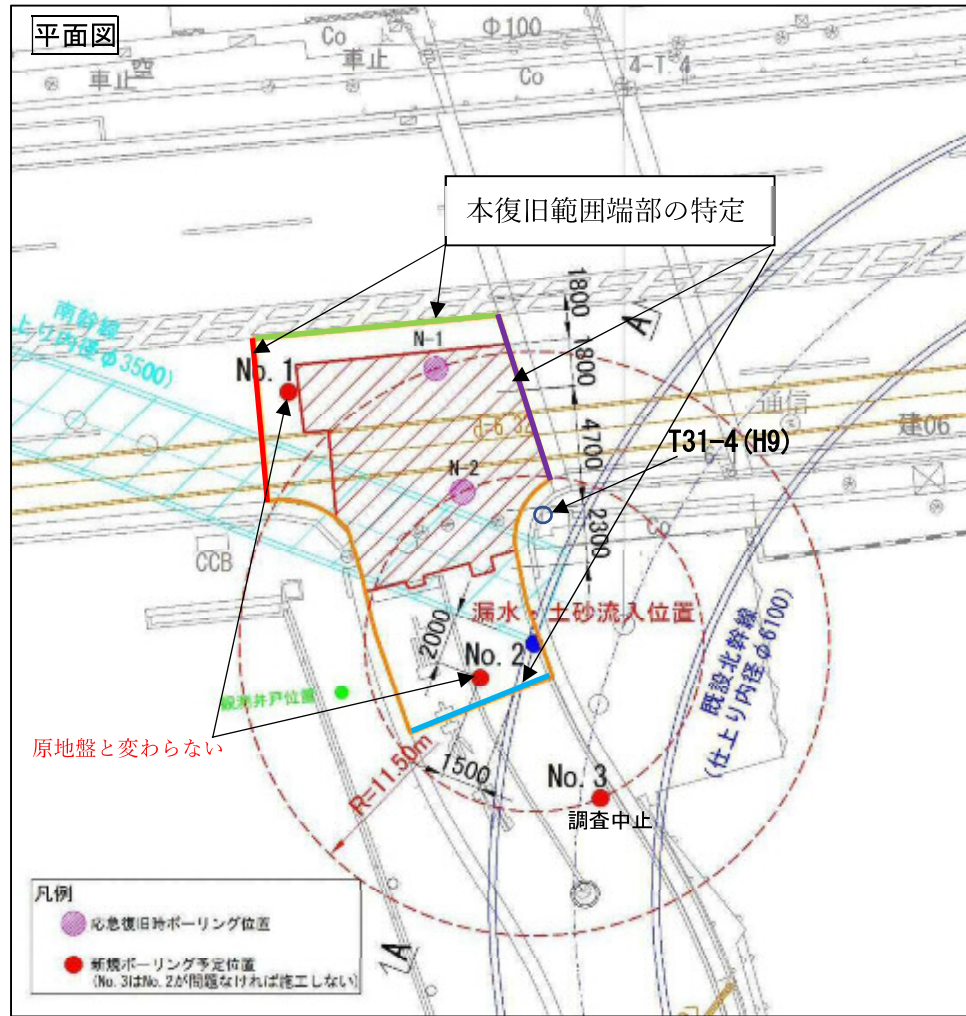


- ・側方土圧係数: λ = 0.35
- ・地盤反力係数: k = 50 (NN/m³)
- ・地下水位: GL-1.83m
- ・土水比: 土水分離
- ・平常時内水位: ▽+10.685 (北幹線最高管頂の標高)
- ・異常時内水位: ▽+15.400 (南幹線の最高地盤標高)

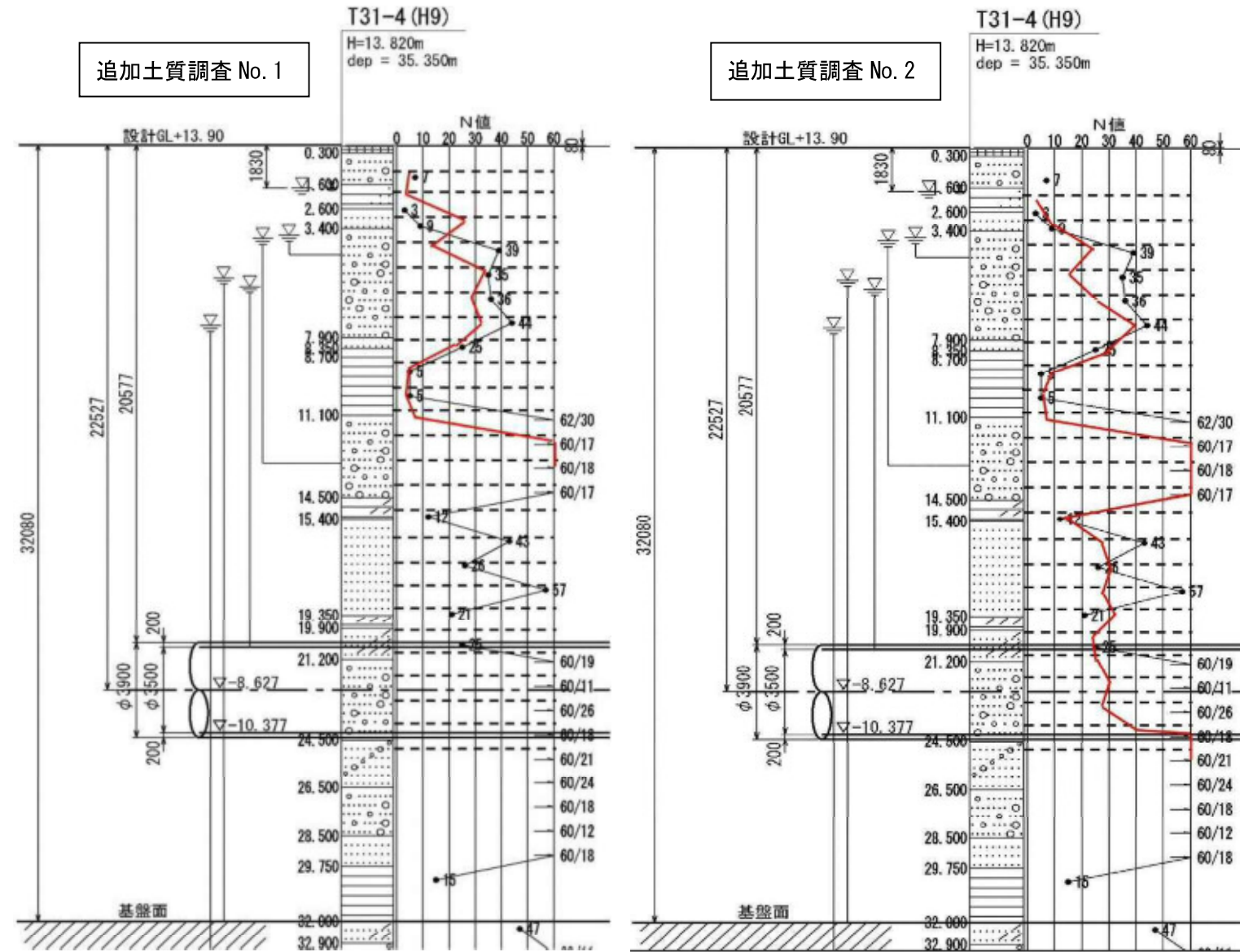
※1 D=6N で求めた値
ただし、()は一軸圧縮強度の試験値よりC=qu/2で求めた値

※2 E=700N で求めた値
ただし、()は孔内水平載荷試験で得られた試験値

【本復旧範囲の特定】



原地盤 T31-4 (H9)と追加土質調査結果 (赤線) との比較



本復旧範囲の特定

追加土質調査 No. 1 では、異物（碎石、LW 他）の混入はなく、原地盤 T31-4 (H9) と同じ、上方から約 9m 下に沖積粘土 Ac2、その直下に N 値の高い洪積砂礫層 Dsg (u) を確認した。追加土質調査の No. 2 でも異物（碎石、LW 他）の混入はなく、原地盤 T31-4 (H9) と土層構成（土層種類、層厚、位置）がほぼ同じである。従って、事故時の陥没の影響は No. 1 および No. 2 の位置まで及んでいなかったと判断する。なお、No. 2 の調査結果より No. 3 の追加土質調査は中止した。以上より、

- ・国道 171 号線大阪側本復旧範囲の端は No. 1 の外のライン（—）とする。
- ・国道 171 号線中央分離帯側本復旧範囲の端は N-1、N-2 のボーリング調査結果（P. 10）及び橋台に変状がないことから、大阪側追越車線の端のライン（—）とする。
- ・国道 171 号線京都側本復旧範囲の端は N-1、N-2 のボーリング調査結果（P. 10）どおり、河川アバットのライン（—）とする。
- ・向日市道側の本復旧範囲の端は No. 2 の外のライン（—）とする。

なお、実施工においては、特定した本復旧範囲を基に道路管理者と協議の上、本復旧範囲を決定する。

また、坑内復旧工完了後の経過観測は継続するが、観測頻度については道路管理者と協議する。