

平成23年度

仮締切兼用鋼管矢板基礎における 被圧地下水対策について

— 当別バイパス 札幌大橋 —

札幌開発建設部 札幌道路事務所 第1工務課 ○西辻 慶一
 生出 信二
 久保田 良司

一般国道337号当別バイパスは、物流の効率化と交通混雑の低減を目的とした延長15.4kmのバイパス事業であり、本工事は4車線化の一環として札幌大橋R橋を建設するものである。札幌大橋R橋下部工の鋼管矢板基礎の施工に際し、被圧地下水対策として、ディープウェルによる地下水低下工を実施し、水位を観測しながら井筒内を掘削していたが観測孔における水位が計画水位まで低下しているにもかかわらず、掘削底面から噴砂を伴う水位上昇が発生した。本報告では、本事象に関する原因・対策工の検討等について述べる。

キーワード：基礎技術、基礎理論

1. 当別BP（道央圏連絡道路）の事業概要

北海道における物流拠点である新千歳空港や石狩湾新港・小樽港を連結し、地域高規格道路として広域交通ネットワークの形成を目的に道央圏連絡道路の事業整備が進められている。

一般国道337号当別バイパスは、道央圏連絡道路事業の一環として当別町と石狩市を結ぶ路線における交通混雑の低減を図り、道路交通の定時性、安全性の向上及び重要港湾である石狩湾新港への物流アクセスの効率化等の支援を目的とした延長15.4kmのバイパス事業である。

本工事は、当別バイパス事業における一般国道337号の4車線化の一環として現橋（L橋）に併行して新橋（R橋）を建設する工事である。



図-1 当別バイパス

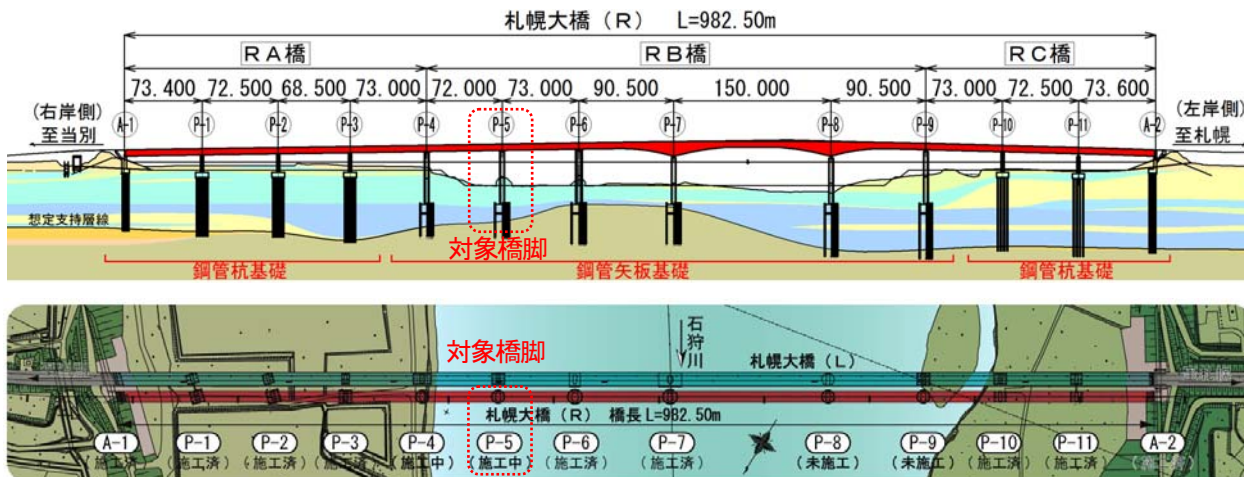


図-2 札幌大橋

表-1 札幌大橋（R橋）の主要諸元

橋長	982.5m
幅員	10.45m（第3種第1級）
上部工形式	3径間連続合成床版鉄桁（RA橋） 2径間連続合成床版鉄桁＋ 3径間連続合成床版箱桁（RB橋） 3径間連続合成床版鉄桁（RC橋）
下部工形式	柱式橋脚（仮締切兼用鋼管矢板基礎）6基 壁式橋脚（鋼管杭基礎）5基 逆T式橋台（鋼管杭基礎）2基

2. 事象発生状況

(1) 地形地質状況

本橋の架橋位置は平坦な石狩低地帯に属しており、石狩川河口から約14.5km上流に位置している。近傍には茨戸川など河川改修前の旧石狩川による氾濫地形の影響が色濃く残る地域である。

地質条件は、沖積世になってから石狩川旧河道の作用により埋め立てられた比較的軟弱な河床堆積物により構成されている。支持層は非常に良く締まった洪積砂層であるが、その上位に難透水性を示す粘性土・砂質土の互層が堆積しているため、支持層以下の地下水が高い圧力を示す被圧帯水層となっていることが既往の地質調査により確認されている。

(2) 低水路内の橋脚基礎形式

本橋における低水路内の橋脚基礎形式の選定について以下の課題があった。

- ・ 根入れ深さが大きく、基礎が大型化する。
- ・ 水上施工となるため、仮締切及び仮栈橋の規模によるコスト高と河積阻害率への影響が大きい。
- ・ 既設L橋に対する近接施工となる。

以上の課題を解決すべく、鋼管同士を継手管で連結して井筒状に配置することにより仮締切と本体構造が一体

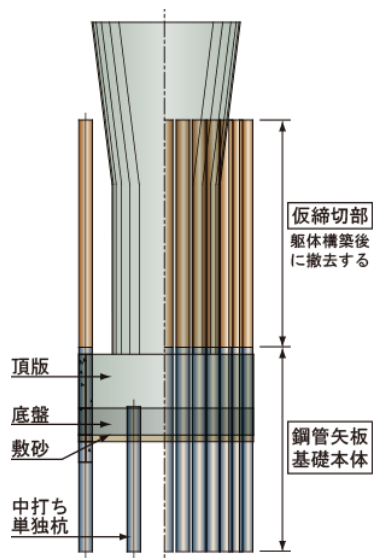


図-3 仮締切兼用鋼管矢板基礎

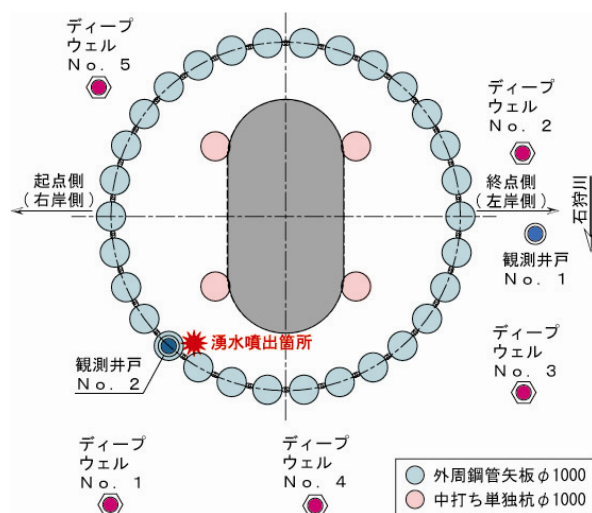


図-4 湧水発生状況

化した仮締切兼用鋼管矢板基礎を採用した。

(3) 湧水発生時の橋脚施工状況

河川中心部の2基（P6, P7橋脚）は前年度までに完了しており、平成23年度は当別側河岸のP4, P5橋脚に関する鋼管矢板基礎及び橋脚躯体工事を実施している。

河川内橋脚の施工に先立って、被圧地下水対策としてディープウェルによる地下水位低下工が実施された。

P5橋脚の施工では、まず鋼管矢板及び中打ち単独杭を打設し、継手部の止水処理を行った。その後、井筒内部の掘削に先立って、観測井戸における水位が掘削予定深度まで低下した段階で井筒内部の掘削を実施した。その際、外周に打設した鋼管矢板周辺の掘削底面から約6 m³/minに及ぶ多量の湧水が発生した。（図-4）

3. 発生メカニズムの推定

(1) 考えられる要因

鋼管矢板井筒内部において湧水が発生するための要因として、以下の項目が考えられる。

a) 被圧地下水の噴上げ

当該箇所は高い被圧を有する被圧帯水層があり、無対策で掘削を行うと盤ぶくれによる支持地盤の崩壊が懸念される。そのため、ディープウェルにより被圧地下水を十分に排出し、観測井戸にて被圧水頭が掘削深度以下に低下していることを確認した上で井筒内の掘削を実施しており、直接的に被圧地下水が噴出する可能性は低い。ただし、被圧帯水層の状態が基礎全域で均質であるとは限らず、局所的に高い被圧状態の地下水が噴出する可能性がある。

b) 河川水の流入

鋼管井筒内外の周辺地盤では、作業構台の支持杭跡など局所的に透水性が高い箇所が多数存在しており、これらが相互に連結して水みちが形成されると、パイピング現象により河川水が流入する可能性がある。

c) 鋼管継手部からの漏水

継手部止水処理のモルタル注入部に部分的な欠損部が生じて、そこから漏水を生じる可能性がある。

従って、以下の調査を実施して、これらの発生要因に関する検証を行った。

(2) 水質調査による検証

一般的に地下水は外気温の影響を受けやすい河川水に比べて水温が恒常的であり、外気温が高ければ地下水温は相対的に低くなる傾向がある。また、河川水に含有されるイオン成分構成比は、河川ごとに特徴のある分布パターンを示すことが考えられる。

湧水の発生源を特定するため、井筒内部の水を一時的に排水し、①井筒外の河川水、②ディープウェルにより汲み上げた地下水及び③湧水箇所から直接取水した井筒内水を採取して、その水質分析による検証を試みた。

水質分析結果より、以下の傾向が得られた。(表-2)

- 井筒内水の水温は中間的な値を示しており、水温のみによる発生源の特定は困難である。
- 含有する6つのイオン成分比率を多角形のチャートで示したヘキサダイアグラム(図-5)によると、

表-2 水質調査結果

取水箇所	①河川水	②DWによる地下水	③井筒内
水温(°C)	25°C	16°C	20°C
外気温(°C)	28°C		
鉄(Fe)	0.81	0.14	0.19
カルシウム(Ca)	15.7	256	484
マグネシウム(Mg)	16.2	601	1,150
ナトリウム(Na)	120	5,730	10,100
カリウム(K)	7.0	243	486
塩化物イオン(Cl ⁻)	200	9,660	17,500
硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)	37.3	1,180	2,020
重炭酸イオン(HCO ₃ ⁻)	47.6	258	190

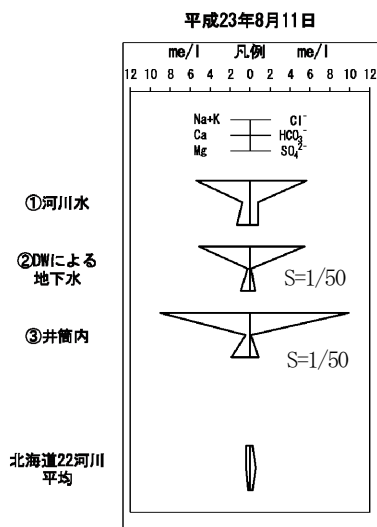


図-5 ヘキサダイアグラム

河川水は塩水くさびの影響と考えられ、地下水は洪積世以前が海底であったことによる影響を受けてNa⁺とCl⁻が突出した盃状の形状となる。

- その中でも、成分濃度および分布性状は、②地下水と③井筒内水が同様な傾向を示している。

従って、水質に着目した場合、井筒内で生じた湧水が地下水に由来するものである可能性が高いと考えられる。

(3) 継手止水材の再施工による検証

鋼管欠損部からの漏水の可能性について検証するため、井筒内部を一時的に排水した際に鋼管本体の外観調査を行うとともに、湧水発生箇所近傍にある継手管内の削孔を行い、モルタルを再充填することによって、止水材の注入量から漏水状況の確認を行った。

その結果、削孔体積と同等の止水材が充填されており、鋼管本体および継手部に関する損壊の可能性は低いものと考えられる。

(4) 井筒内外の水位による検証

井筒内外において水みちが形成されているものとする、降雨等による河川水位の上昇に伴って、河川水位の増減により井筒内の水位が河川水位に追従するものと考えられる。しかし、計測期間中は井筒内水位の変動がほとんど生じておらず、ほぼ一定の水位を示していることから、井筒内水は河川水と独立しており、河川側からの水の供給が生じていないと考えられる。

(5) 湧水発生メカニズムの推定

以上の検証結果より、本事象の主要因は被圧帯水層内に残留していた被圧地下水が作業構台支持杭跡等の透水性の高い箇所を通して地表まで噴上げたことによるもの

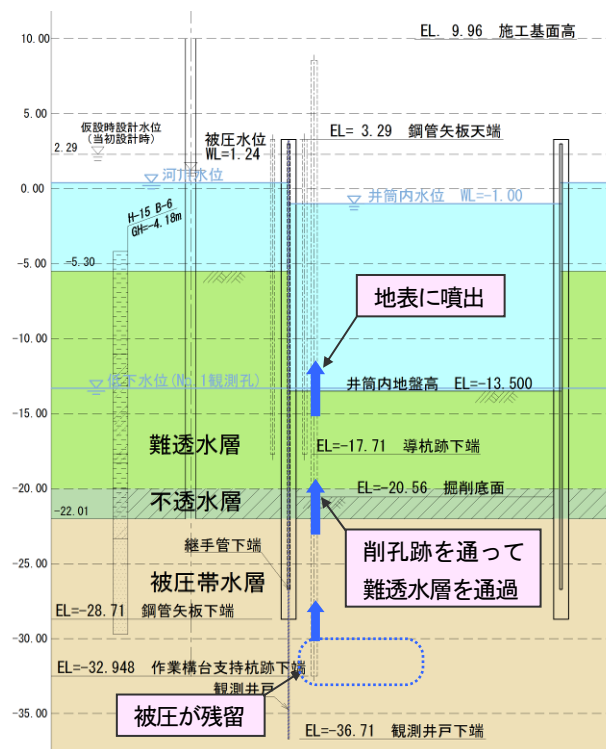


図-6 湧水のメカニズム

である可能性が高い。また、鋼管の建て込み時に用いる導杭や観測井戸の施工などについても、地盤の局所的な緩みの要因となり得ることから、これらの影響が組み合わされて発生した可能性もある。

4. 対策工の検討

仮締切兼用鋼管矢板基礎は本体構造と仮設構造が一体化した構造のため、仮設としての被圧対策が本体構造へ影響を及ぼす。従って、被圧地下水対策は本体部材の形状・使用材料等は変更せずに、二次構造により揚圧力に対する抵抗性を追加するとともに、井筒内部の止水性を向上させる方法としなければならない。

被圧地下水による揚圧力に対する抵抗性の追加を行う方法として、鋼管矢板の覆工上から施工が可能であり、水中での緊張作業が不要となる総ネジPC鋼棒によるグラウンドアンカーを用いて耐圧壁を構築する方法を採用した。本体構造部材では無く、水中打設される底盤コンクリートを耐圧壁として利用するが、底盤コンクリートと外周鋼管の隙間には土片が残留しやすく、コンクリート硬化後において止水性低下の原因となることから、底盤コンクリートの打設後に薬液注入工を施工して、この隙間を閉塞させる方法を採用した。

5. 本体及び仮設構造への影響評価

(1) 施工方法による影響

当初設計では、支保工の設置ステップに合わせて井筒内部を気中掘削し、その後水中掘削を行う気中水中併用掘削を採用している。しかし、第5ステップの支保工（6段目）の施工直前に本事象が発生したため、第6ステップにおける計算上の予定水位まで井筒内水位を下げると、更なる湧水の発生により基礎構造の支持機能に影響を及ぼす恐れがある。

そこで、井筒内の掘削方法および水位に関する施工条

件の変更に合わせて施工ステップ及び計算条件の見直しを行い、鋼管矢板基礎の残留応力および完成時の合成応力度に関する照査を行った。また、設置済みの支保工に関する作用力の変化を確認し、既設支保工の耐力不足等に関して照査した。

(2) 完成時の合成応力度

施工ステップの変更に伴い、施工時に受けた残留応力度の値の変化を表-3に示す。完成時の合成応力度は危険側にシフトするが、いずれも許容値内に収まっている。

(3) 仮締切部の応力照査

施工ステップの変更に伴う、仮締切工としての鋼管矢

表-3 完成後の合成応力度の照査

荷重ケース	単位	決定ケース	土被り有り浮力無し地震時		
			橋軸方向	軸直方向	
合成応力度	完成後の設計外力による応力度 σ_1	N/mm ²	検討方向	86.83	90.40
			対策後	86.76	90.21
	残留応力度(第7ステップ) σ_2	N/mm ²	当初設計	9.75	9.75
			対策後	43.52	43.52
	合成応力度 σ_{max}	N/mm ²	当初設計	96.58	100.15
			対策後	130.28	133.73
許容応力度 σ_a	N/mm ²	-	210.00	210.00	

表-4 仮締切としての照査

施工ステップ	変位 δ cm	締切部曲げ応力度		井筒部曲げ応力度	
		計算値 σ_b N/mm ²	許容値 σ_{ba} N/mm ²	計算値 σ_b N/mm ²	許容値 σ_{ba} N/mm ²
①水位低下(EL=-1.71)	3.85	105.18	210.00	47.31	210.00
②水位低下(EL=-5.21)	5.05	136.48		59.43	
③気中掘削(EL=-8.21)	5.52	143.51		62.15	
④気中掘削(EL=-11.21)	5.63	133.48		63.26	
⑤気中掘削(EL=-14.01)	5.70	118.74		58.50	
⑥水中掘削(EL=-20.56)	5.64	109.21		15.67	
⑦底盤コンクリート打設	5.64	108.82		15.81	

施工ステップ	変位 δ cm	締切部曲げ応力度		井筒部曲げ応力度	
		計算値 σ_b N/mm ²	許容値 σ_{ba} N/mm ²	計算値 σ_b N/mm ²	許容値 σ_{ba} N/mm ²
①水位低下(EL=-1.71)	4.69	127.80	210.00	56.77	210.00
②水位低下(EL=-5.21)	5.91	157.63		69.52	
③気中掘削(EL=-8.21)	6.39	162.39		74.23	
④気中掘削(EL=-11.21)	6.50	150.09		73.91	
⑤水中掘削(EL=-20.56)	6.50	121.75		43.52	
⑥水位低下(EL=-14.01)	6.51	118.37		57.97	
⑨水位低下(EL=-18.06)	6.51	118.03		59.42	

表-5 支保工の照査

段	使用部材	円環座屈		腹起し応力度	
		R_{1max} (kN/m)	R_n (kN/m)	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)
1	H-300*300*10*15	236.70	537.02	205.53	210.00
2	H-350*350*12*19	249.59	1073.16	138.22	210.00
3	H-300*300*10*15	129.11	537.02	112.11	210.00
4	H-300*300*10*15	66.65	537.02	57.88	210.00
5	H-300*300*10*15	417.65	537.02	362.65	210.00
6	H-400*400*13*21	21.65	1821.47	8.83	210.00
底盤コンクリート圧縮応力度		σ_c (N/mm ²)		σ_{ca} (N/mm ²)	
		0.168		5.25	

段	使用部材	円環座屈		腹起し応力度	
		R_{1max} (kN/m)	R_n (kN/m)	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)
1	H-300*300*10*15	236.70	537.02	205.53	210.00
2	H-350*350*12*19	249.59	1073.16	138.22	210.00
3	H-300*300*10*15	129.11	537.02	112.11	210.00
4	H-300*300*10*15	66.65	537.02	57.88	210.00
5	2H-300*300*10*15	211.67	537.02	183.79	210.00
6	H-300*300*10*15	21.57	537.02	18.73	210.00
底盤コンクリート圧縮応力度		σ_c (N/mm ²)		σ_{ca} (N/mm ²)	
		0.168		5.25	

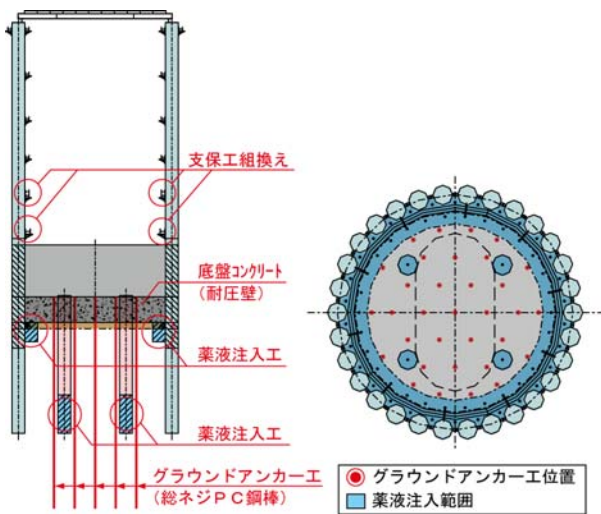


図-7 対策工概要図

板の応力度に関する照査結果を表-4に示す。

結果として、仮設時に発生した鋼管の曲げ応力度は全て許容値内に収まっている。

(4) 支保工の照査

既設腹起しの円環座屈（円形に平面配置された形鋼が楕円形となるように座屈変形する状態）及び腹起しの曲げ応力度に関する照査結果を表-5に示す。当初設計では最下段の腹起しに荷重が集中していたが、施工ステップの変更により、底盤コンクリートの施工直前となる5段目の腹起しに荷重が集中して既設腹起しの曲げ応力度が不足する可能性がある。そのため、既設腹起しの上に重

ねて腹起しを2段配置とすることにより、許容値内に収めることが可能となる。

6. おわりに

施工中における想定外の湧水に対して、現地調査に基づく発生メカニズムの推定及び本体構造の設計施工に支障の無い対策方法を検討した。検討した対策工は施工が完了しており、施工中の湧水の再発も無かった。今後施工するP8, P9橋脚においても、本報告と同様の事象が発生する可能性があるため、調査手法も含め被圧地下水対策については十分に検討していく予定である。

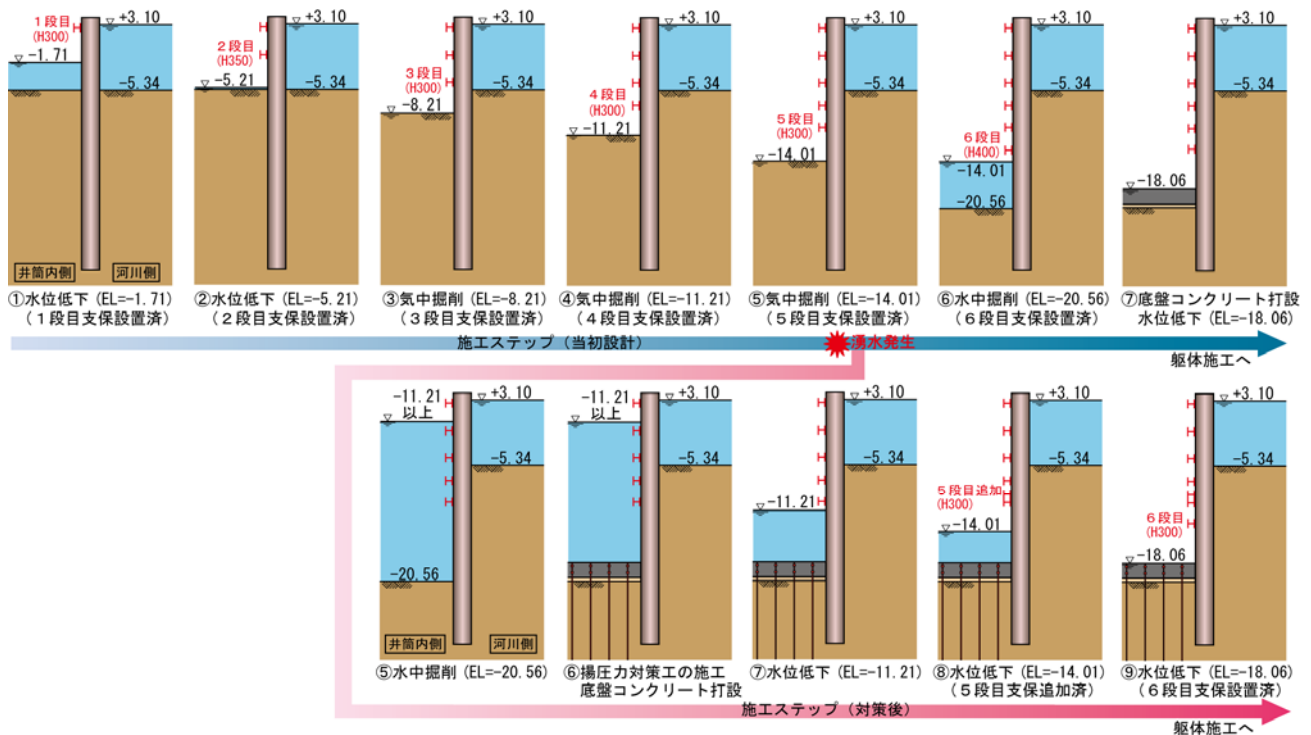


図-8 施工ステップ