

釧路港東港区-9m耐震強化岸壁の施工について —水際線土留壁としてのJACSMAN工法の適用—

釧路開発建設部 釧路港湾事務所 第1工務課 ○本間 大輔
田村 友行
森 義和

東北海道は全国有数の大規模地震発生地帯であるが、釧路港では災害時にも利用できる耐震性の高い施設が未整備の状況にある。そのため釧路港では、大規模地震災害発生時に、緊急物資輸送の拠点的形成するため、耐震性の高い耐震強化岸壁(-9.0m)と防災緑地が整備されつつある。なお、この耐震強化岸壁は、近年のクルージング需要の増加に対応した旅客船岸壁として常時に利用される施設として期待されている。本報では、釧路港東港区-9m耐震強化岸壁の施工で採用されたJACSMAN工法の設計・施工概要および施工上の課題と対策、施工後の動態観測結果について報告するものである。

キーワード：耐震岸壁、地盤改良、改良工法、コスト縮減

1. はじめに

東北海道は全国有数の大規模地震発生地帯であるが、釧路港では災害時にも利用できる耐震性の高い施設が未整備の状況にある。また、大規模地震災害発生時には、限られた利用可能な道路を使った緊急物資輸送や避難活動を強いられるなど、非効率な輸送形態、避難方法に頼らざるを得ない状況に陥る。このようなことから、釧路港東港区に大規模地震災害発生時の緊急物資輸送の拠点を形成するため、地震発生時にも壊されにくい耐震性の高い耐震強化岸壁(-9.0m)と防災緑地が整備されつつある(図-1,2参照)。なお、この耐震強化岸壁は、近年のクルージング需要の増加に対応した旅客船岸壁として常時に利用され、隣接している観光交流施設と連携して、地域の観光・交流活動を推進する空間を創出するものとして期待されている。

釧路港東港区-9m耐震強化岸壁工事は、昭和26年に建設された物揚場(-2.0m)、昭和41年~42年に建設された物揚場(-3.0m)については全て取り壊し、平成6年に建設された岸壁(-7.5m)(水中ストラット式)については取付部として既存施設を活かした改良とし、新たに耐震強化岸壁を整備する工事である。本工事では、地盤改良の固結工法としてJACSMAN工法が採用され、水際線での固結改良体による自立土留壁の適用は、他に類がなく全国的に初めての事例である。

本報は、平成20年度~平成22年度の3か年にわたり施工し、釧路港東港区-9m耐震強化岸壁工事で採用されたJACSMAN工法の設計・施工概要および施工上の課題と対策、施工後の動態観測結果について報告するものである。

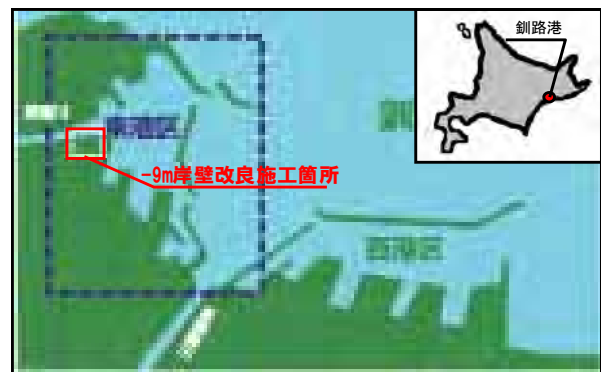


図-1 -9m耐震強化岸壁施工箇所



図-2 -9m耐震強化岸壁施工後のイメージパース

2. JACSMAN工法の設計概要

-9m耐震強化岸壁の設計にあたり、オープン掘削によ

る施工も検討したが、掘削法面が背後地までおよび、ヤードの確保が困難であり陸上機械による施工が難しいという要因から、オープン掘削では施工性・経済性が劣るため、深層混合処理による自立土留壁が選定された。壁前面が海面となる自立土留壁の構築が改良目的であるため、確実なラップ施工による100%改良が必要となり、深層混合処理工法の中でも改良体同士の連続密着化施工を確実・容易に施工可能なJACSMAN工法が採用された。設計から見たJACSMAN工法の目的は、以下の①と②を兼用しており、その施工プロセスを図-3に示す。

①旧岸壁取り壊し時の自立土留壁（仮設時）

②新設ケーソンとの複合構造物となる堤体（本設時）

仮設時としての設計（①）は、改良体の外部安定（滑動・転倒・底面反力・支持力）についての照査を実施している。設計基準強度 qu_{ck} は、先行地中梁や底盤改良等の地中構造体として適用する場合の標準的な $1,000\text{kN/m}^2$ とした。設計条件の模式は、図-4に示すとおりである。なお、自立土留壁の機能は短期的なため、常時のみの検討とした。改良体の外部安定照査結果を表-1に示す。

本設時としての設計（②）は、ケーソンとの複合構造物となり、新設ケーソンの土圧低減および液状化対策として寄与するものとして安定性の照査を実施している。

断面形状は、震度法で算出した設計震度を用いて、設定し、この断面形状に対して表-2に示すレベル2地震動を対象とした変形量の照査を行い、この変形量が許容変形量以下（残留変形量 $30\text{cm}\sim 100\text{cm}$ 、残留傾斜角 3° 以下¹⁾）となるように断面を決定した（図-5参照）。構造物全体の安定照査結果を表-3に示す。

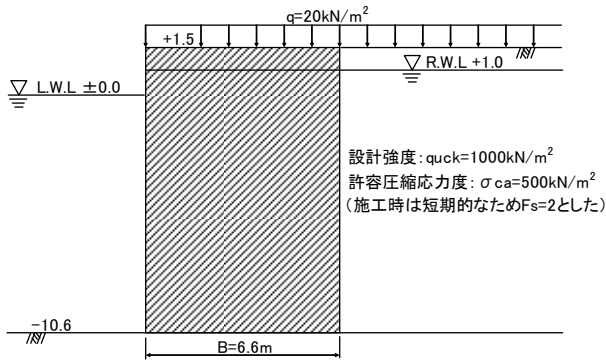


図-4 設計条件の模式

表-1 外部安定照査結果

滑動	$F_s=1.633 \geq 1.2$
転倒	$F_s=1.439 \geq 1.2$
底面反力	$P=488.54\text{kN/m}^2 < \sigma_{ca}=500\text{kN/m}^2$
支持力	$P=488.54\text{kN/m}^2 < q_a=806.54\text{kN/m}^2$

表-2 対象L2地震動

対象地震	最大基盤加速後(gal)		マグニチュード(M)
	EW	NS	
①1993年釧路沖地震	556.31	406.28	7.8
②根室沖・釧路沖の地震 (中央防災会議の想定地震)	202.7	251.38	8.3
③十勝沖・釧路沖の地震 (中央防災会議の想定地震)	517.96	197.89	8.2
④M6.5直下型地震	201.53	196.65	6.5

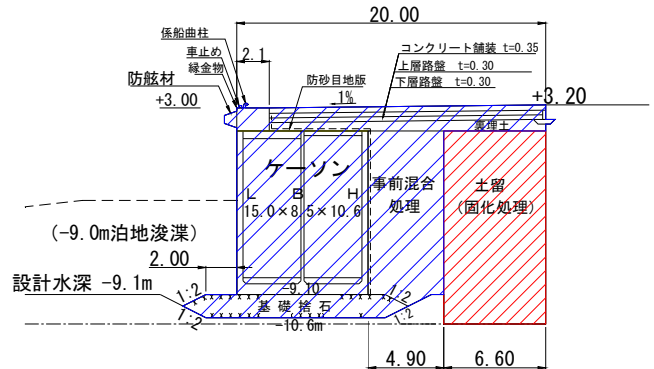


図-5 標準断面

表-3 安定照査結果

		処理地盤含む全体の滑り出しに対する安定計算	L1地震動による検討		
			常時	地震時	牽引時
安全率	滑動	1.106 > 1.0	12.282 > 1.2	1.446 > 1.0	7.583 > 1.0
	転倒		13.873 > 1.2	1.817 > 1.1	6.68 > 1.1
	支持力		167.66 < 700.42 kN/m²	1.014 > 1.0	196.06 < 700.81 kN/m²
		L2地震動による検討			
変形照査	対象地震動	①	②	③	④
	天端変形量(水平)	21.4 < 100cm	15.2 < 100cm	11.1 < 100cm	5.5 < 100cm
	(鉛直)	7.1 < 100cm	5.2cm < 100cm	3.7 < 100cm	2.0 < 100cm
	傾斜角	0.34 < 3°	0.27 < 3°	0.19 < 3°	0.10 < 3°

3. JACSMAN 工法の概要

JACSMAN (Jet And Churning System Management) 工法は、深層混合処理工法の機械式攪拌と噴射式攪拌の性能を併せ持つ工法であり、機械攪拌翼の先端から交差噴流を高圧で噴射させることにより、大径 $\phi 2300\text{mm}$ の改良体を造成することができる工法である（図-6）。したがって、JACSMAN 工法では、改良体の中心部が機械式攪拌となり、改良体の外周部が噴射式攪拌となるため、改良体同士の確実なラップ施工を容易に行うことが可能となる。そのため、JACSMAN 工法は、底盤改良、土圧低減、土留め壁、液状化対策などの改良に適用されることが多い工法である。JACSMAN 工法の攪拌翼と噴射状況を写真-1に示す。

JACSMAN 工法の特徴は以下のとおりである。

- ①地盤に影響されずに改良体の径を確実に制御できる。
- ②攪拌性能の向上により、高能率施工が実現し、均一な改良体を造成できる。

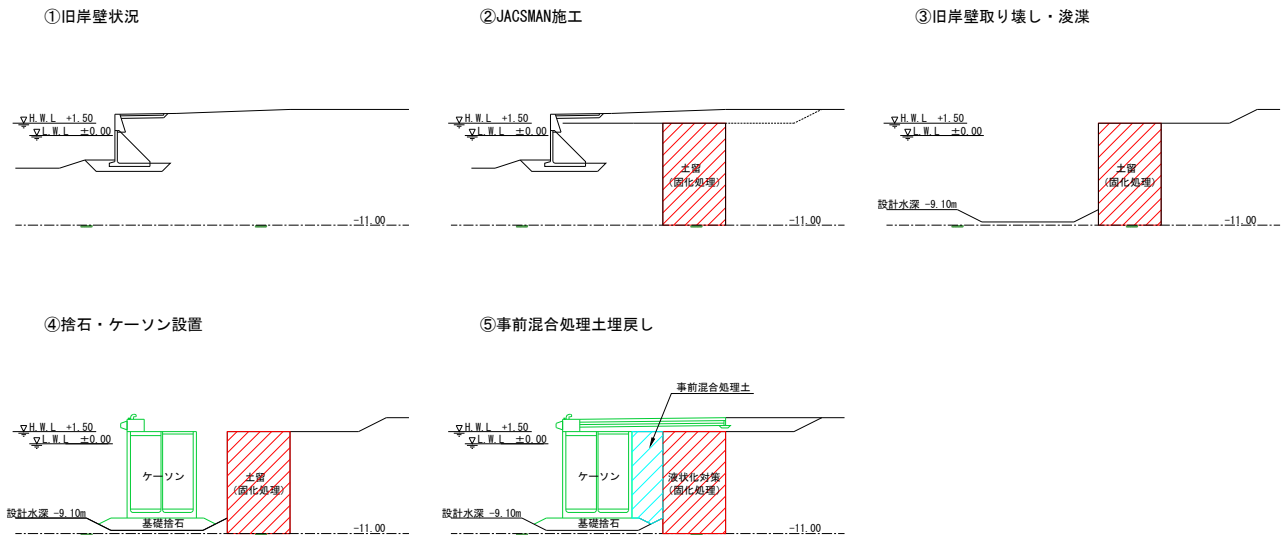


図-3 耐震強化岸壁整備のための施工プロセス

- ③既設構造物との、あるいは改良体相互の密着施工が確実・容易にできる。
- ④大断面（従来の4倍強）の改良体を造成できる。
- ⑤交差噴流を噴射、停止することによって、任意の深さで改良体の径を変えることができる。
- ⑥既設構造物への施工時の変位の影響を軽減できる。

4. 工事概要

(1) 施工場所

施工場所は、釧路港東港区のうち釧路川の河口部に置いており（図-1）、前述したように作業スペースが非常に狭く、周辺に家屋が密集しており、施工にあたり騒音・振動や作業時間の規制など、環境面に特に配慮する必要があった（図-7）。

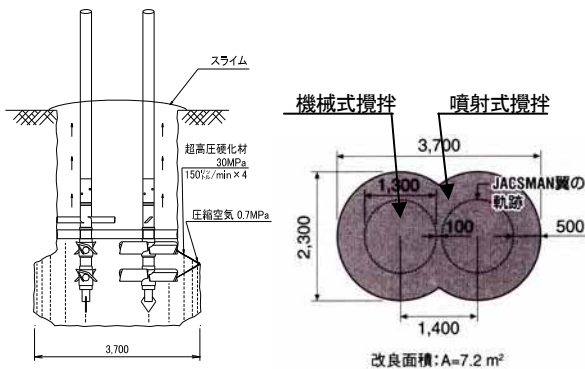


図-6 JACSMAN の模式および出来形



図-7 施工状況

(2) 工事概要

①平成 20 年度施工分

工事期間：平成 20 年 5 月～平成 20 年 12 月
 施工数量：147セット(7.2m³ タイプ)、 $\Sigma V=12,461\text{m}^3$

②平成 21 年度施行分

工事期間：平成 21 年 4 月～平成 21 年 8 月
 施工数量：251セット(7.2m³ タイプ)、 $\Sigma V=23,130\text{m}^3$

③平成 22 年度施工分

工事期間：平成 22 年 4 月～平成 22 年 6 月
 施工数量：83セット(7.2m³ タイプ)、 $\Sigma V=9,207\text{m}^3$



写真-1 JACSMAN 攪拌翼と噴射状況

(3)地盤条件

改良対象地盤は砂・礫じり砂 (N 値 5~20 程度) および砂礫 (N 値 15~35 程度) であり、その下部には支持地盤となる砂岩 (N 値 20~50 程度) が存在している。また、深度-11m 程度以深の箇所にシルト・シルト混じり砂 (N 値 10 以下) が点在している。(地盤条件および詳細の施工箇所については図-8 参照。)

(4)セメント配合量

一般部 (砂・砂礫) における JACSMAN のセメント配合量は、室内配合試験結果および現場配合試験結果から、表-4 に示すとおり 166kg/m³ としている。なお、局所的 (SP0 付近・SP20 付近・SP210 付近) ではあるが改良対象層の下部においてシルトおよびシルト混じり砂が確認されたため、別途室内配合試験および現場配合試験を実施して、この局所的部分については表-4 に示すようにセメント配合量を変更している。JACSMAN に使用するセメントは専用セメントであり、当該工事では砂・シルト・粘土用のセメントである JACSMAN1 号を使用している。

なお、現場配合試験では 3 種類の配合量にて試験杭を造成した。ここでは、各配合量における試験杭からボーリングによりコア採取をして行った一軸圧縮試験に対して、現場における強度のばらつきを考慮し、全体の 70% が満足する値を改良体強度の代表値²⁾ と考え、各配合量における一軸圧縮強さの代表値を式 (1) で決定した。

$$\text{代表値}qu = qu_{ave} - 1/2 \cdot \sigma \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここに、 qu_{ave} : 一軸圧縮強さの平均値, σ : 標準偏差

表-4 セメント配合量

	使用セメント	配合量(kg/m ³)
一般部(砂・砂礫)	JACSMAN1号	166
sp0付近改良対象層の下部		240
sp20付近改良対象層の下部		227
sp210付近改良対象層の下部		251

(5)事後調査による品質

改良体の機械式攪拌部および噴射式攪拌部からボーリングによりコアを採取し、一軸圧縮試験を実施した結果を表-5 に示す。機械式攪拌部および噴射式攪拌部の一軸圧縮強さの平均値 qu_f とバラツキを表す変動係数 V は、機械式攪拌部と噴射式攪拌部では大きな差異は見受けられず、機械式攪拌部と噴射式攪拌部の改良体の均一性が確認された。また、変動係数 V は、概ね $V=20\% \sim 35\%$ となっており、一般的な深層混合処理工法の変動係数 ($V=15 \sim 50\%^3$) と同等かそれよりも小さくなっており、バラツキの少ない均一性の高い改良体を造成できていることが確認された。なお、品質管理では 1 本の改良体に

ついて上, 中, 下それぞれ 1 回の計 3 回行い、1 回の試験結果が設計強度以上 (1 回の試験とは 3 個の供試体の平均値で表したもの) との管理値を設けて実施し、良好な結果を得ている。なお、表-5 は平成 21 年度に施工した一例の結果であり、上, 中, 下をまとめて平均一軸圧縮強さ qu_f , 標準偏差 σ , 変動係数 V を表したものである。

表-5 改良体の平均一軸圧縮強さと変動係数

	調査位置	設計強度 $qu_{ck}(kN/m^2)$	平均一軸圧縮強さ $qu_f(kN/m^2)$	標準偏差 $\sigma(kN/m^2)$	変動係数 $V(\%)$
改良体①	機械式攪拌部	1000	1878.8	498.5	26.5
	噴射式攪拌部		1868.0	525.2	28.1
改良体②	機械式攪拌部		1838.4	651.5	35.4
	噴射式攪拌部		1705.9	492.7	28.9
改良体③	機械式攪拌部		1716.0	453.5	26.4
	噴射式攪拌部		1689.7	401.3	23.8
改良体④	機械式攪拌部		1926.8	368.7	19.1
	噴射式攪拌部		1906.5	436.4	22.9

5. 施工上の課題と対策

JACSMAN 固化改良体は、自立土留壁として機能させる必要があることから岩盤 (砂岩) への確実な着底施工が必要であった。岩盤上部には岩盤と同程度の N 値である砂礫が存在しており、通常の着底管理 (貫入速度・攪拌モータ電流値) では着底が判別し難いという課題があった。

この施工上の課題に対し、追加ボーリング調査を実施して岩盤想定ラインの精度を高めて、1 セットごとの改良位置について想定深度を設定した。また、先端オーガーが岩盤に到達した際には瞬間的に振動が発生すること、攪拌翼が岩盤に到達した際には継続的な振動が発生することも着底管理の補助的な方策とした。したがって、本工事では、着底管理基準を図-9 に示すように設定し、確実な着底施工が行えるように対策を講じた。

6. 動態観測

旧岸壁の取り壊し掘削工および岩盤削工の実施状況を写真-2 に示す。写真は、上流側から下流側に撮影しており端部の改良体の頭部が確認できる。

図-10(a) に示す SP190 付近の改良体中に傾斜計を設置し、掘削時の改良体 (自立土留壁) の挙動を計測した。計測期間は、改良体前面の掘削を実施した平成 21 年 7 月 18 日から掘削を完了した 9 月 15 日に加え、10 月 13 日までのデータとした。SP190 付近の掘削進捗断面を図-10(b) に示す。掘削深度 D は、旧岸壁天端 $D.L.+2.5m$ から新設基礎捨石下端の $D.L.-10.6m$ の $D=13.1m$ である。JACSMAN 改良体による、自立土留壁高 H は、

DL+1.5m~DL-11.1mのH=12.6mである。図-10(c)に示す傾斜計による改良体の挙動データより、掘削深度が深くなるに伴い改良体は川側に変位しているが、改良体の変位量は杭頭部で最大4~5mm程度であり、自立土留壁として十分機能していることが窺える。

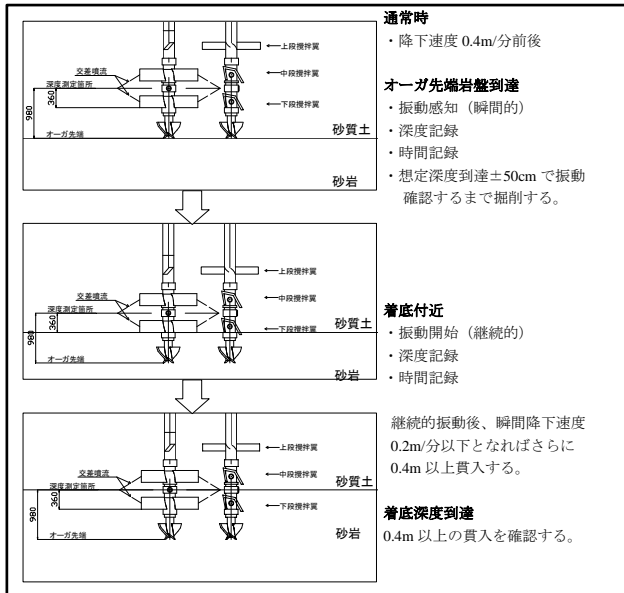


図-9 着定管理基準

写真-2 旧岸壁の取り壊し掘削状況

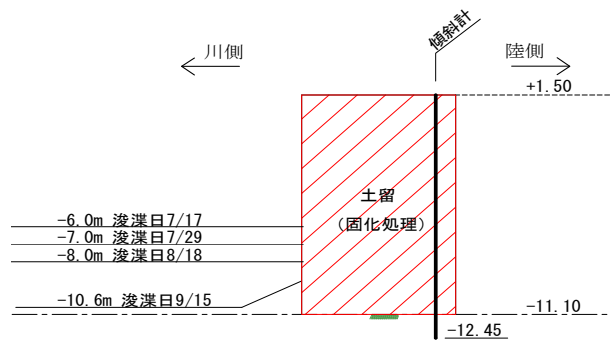


図-10(b) 掘削進捗断面

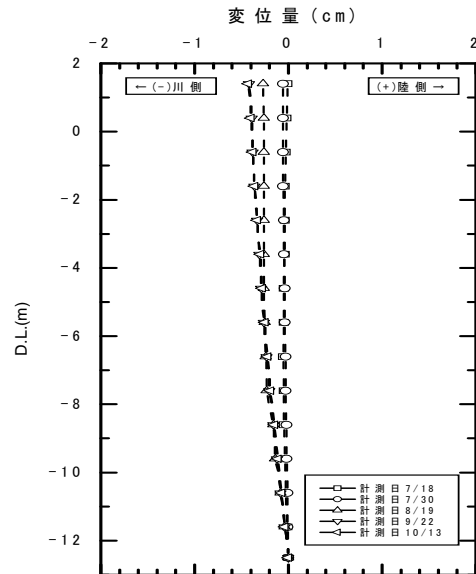


図-10(c) 傾斜計による改良体の挙動

7. おわりに

当該工事は、初めて水際線で固化改良体による自立土留壁が適用された事例である。JACSMAN工法により確実な改良体同士のラップ施工・改良体同士の密着化を図ることにより、水際線であっても十分に自立土留壁として機能することが確認された。耐震化および老朽化に伴い旧岸壁・旧護岸のリニューアル事業は、今後増えてくるものと考えられる。当該工事で得られた知見および実績が同様の事業の設計・施工の一指標となれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、(社)日本港湾協会、2007.7.
- 2) 泥炭性軟弱地盤対策マニュアル：独立行政法人北海道開発土木研究所、p153、2002.3.
- 3) 陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版：財団法人土木技術センター、p254-p257、2004.3.

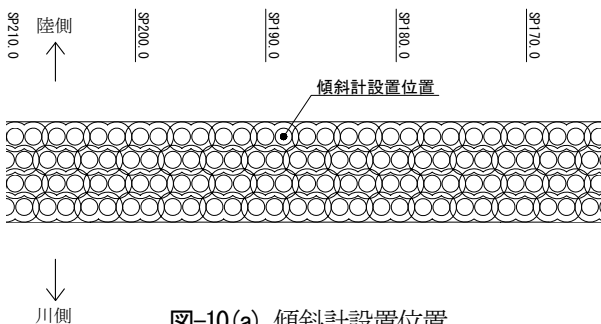


図-10(a) 傾斜計設置位置

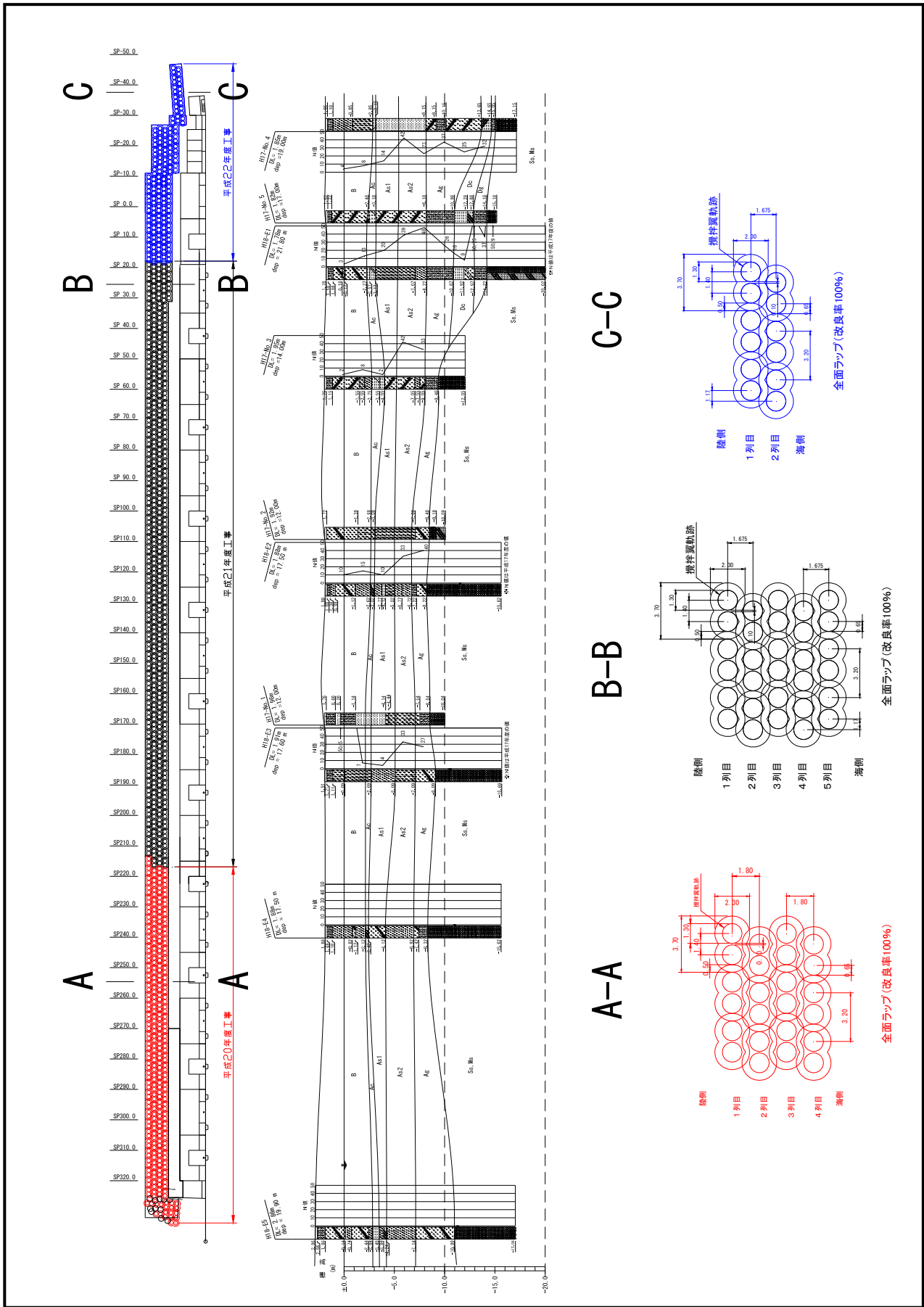


図-8 地盤条件および詳細施工箇所