

# 稚内港中央ふ頭の地盤改良について —SAVEコンポーザ+高圧噴射攪拌工法—

稚内開発建設部 稚内港湾事務所第一工事課

○三岡 照之  
秋浜 政弘  
鈴木 誉久

平成20年5月11日に暫定供用した稚内港中央ふ頭の地盤改良を中心とした工事技術の報告を行う。

中央ふ頭の整備においては、6種類の地盤改良工法を行ってきており、これらの工法及び選定理由の概要を報告する。なかでも平成19,20年度に行った、周辺環境や既存構造物に配慮し採用したSAVEコンポーザ+高圧噴射攪拌工法の併用工法についての詳細を、平成19年度の施工結果を参考に平成20年度工事で工夫した施工管理、材料配合に関する部分を中心に報告する。

キーワード：基礎技術、工事報告、地盤改良

## 1. まえがき

現在、稚内市では、港と市街地の連携を深めるため、稚内港中央ふ頭を整備し、離島・国際フェリーターミナルの集約をはかり、稚内駅、バスターミナルなどを結ぶ交通の要所としての機能を高めながら、みなとまち稚内のシンボリックなゾーンとするマリンタウンプロジェクトを計画的に進めている。

稚内開発建設部では、マリンタウンプロジェクトの一環として、離島フェリー及び、国際フェリーを集約する中央ふ頭地区の整備を平成13年度から現地着手し、今年度5月11日に暫定供用を迎えた。

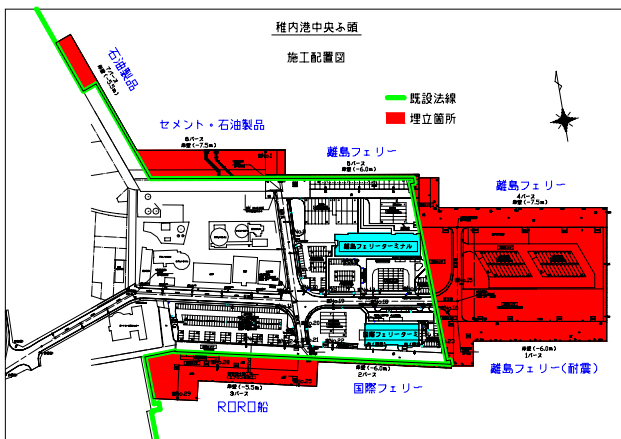


図-1 中央ふ頭事業概要平面図

## 2. 6種類の地盤改良

平成16年度から本格的な埋立によるふ頭整備が始まり、この5年間の間に、改良目的（液状化対策、強度増加）、改良する土砂の特性（腐植酸多）にあわせて6種類もの地盤改良工法を実施している。1つのふ頭でこれほど多

くの地盤改良工法を実施している例は稀な為、まずはこれらの工法及び選定理由の概要を報告する。

一般的に地盤改良の目的には液状化対策と強度増加の約2種類あり、工法には大きく分けて約3種類（密度増大工法、固結工法、間隙水圧の制御）ある。

中央ふ頭先端部については、主に液状化対策を目的としており、基部については強度増加を目的としている。

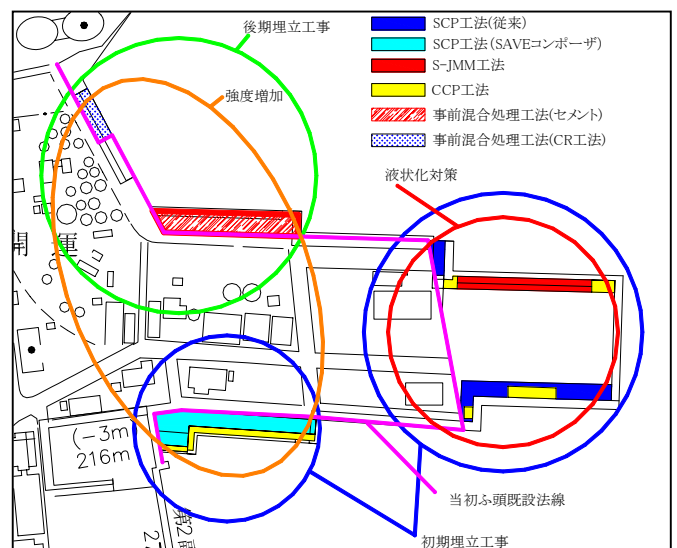


図-2 中央ふ頭地盤改良平面図

○密度増大工法（2種）

サンドコンパクションパイル工法[従来] (SCP)

〃 [SAVEコンポーザ] (SAVE)

○固結工法（4種）

機械攪拌工法 (S-JMM)

高圧噴射攪拌工法 (CCP)

事前混合処理工法[セメント] (セメント処理)

” [CR工法] (CR工法)

以下 ( ) 書き内の省略名称で記述する。

### (1) 各工法の概要と特徴

各工法の詳細及び採用理由は過去の北海道開発局技術研究発表会等で報告されているので、概要についてのみ報告する。

施工規模や施工条件により異なってくるので一概には言えないが、今回の工法では、事前混合・SCP・機械攪拌・高圧噴射の順でコストは高くなっている。

#### a) SCP工法 (従来型)

ケーシングを地中に貫入し、ケーシング内に砂を投入し、パイロハンマで振動させながら砂を地中に圧入しつつケーシングを引き抜き、締め固められた砂杭を形成する。この時、周辺地盤を測方に圧縮するとともに、振動締め固めを行う。地盤改良工法としては比較的安価であるが、周辺構造物へ影響を与える事や、振動・騒音が問題となる。

#### b) SCP工法 (SAVEコンポーザ)

従来工法のパイロハンマでなく、強制昇降装置と回転駆動装置などを用いて、砂を圧入する工法。これにより従来工法の欠点であった振動・騒音問題が軽減される。

#### c) S-JMM工法

固化材と原地盤を機械翼 (攪拌翼) で攪拌混合し、地盤を固化させる。CCPに比べ攪拌効率が良く固化材が軽減できる為安価となる。

#### d) CCP工法

固化材を高圧で噴射し原地盤と攪拌混合し、地盤を固化させる。この中では最も高価な工法である。

#### e) セメント処理

セメント等の改良材をあらかじめ混合した改良土をそのまま運搬し搬入する。

埋立前に、改良が必要な事が判明しており、事前に改良する広い用地等がある場合、最も安価な改良工法となる。

#### f) CR工法

セメント処理と基本は同じであるが、埋立土の強熱減量が高かった為 (腐植酸が多く、固結を阻害する)、多量のセメントが必要になるが、土質改良材 (CRシリーズ) を添加する事により、再汚泥化の防止、セメント添加量を低減することができる。

### (2) 各工法の選定理由

埋立工事と並行して泊地の浚渫工事も発生しているので、浚渫土砂の処分も考えなければならない為、基本的に置換工法 (良質土砂等で置き換える) は採用せず、浚渫土砂を改良して有効活用する工法が選択された。

市街地に隣接する工事箇所であるので、工事着手初期段階では、事前に浚渫土を陸揚げし、改良するような用

地が無い為、事前混合処理工法は採用できず、埋立後の改良工法となった。(初期の埋立により中央ふ頭先端部に広い用地が確保されたので、後期に埋め立てする箇所は、事前混合処理工法となった。)

埋立後の改良工法で最も安価となるのがSCP工法であるが、裏込石が構造上施工できない箇所は、吸い出し防止も考慮して、固結工法の深層混合処理工法 (S-JMM工法 {CCP工法より安価}) が採用されている。

裏込石を施工している箇所については、SCP工法で施工しているが、裏込石上については、サンドコンパクションパイルが吸出防止マットを破いてしまい、砂が流出するという事故があったことから、裏込石周辺についてはCCP工法 {S-JMM工法の場合、攪拌翼が吸出防止マットを引っ掻いて破る可能性がある} で施工している。

平成19、20年度施工のSAVEコンポーザ+高圧噴射攪拌工法の併用施工の選定理由はこのフローとは異なる選定理由であるので、次に詳細に述べる事とする。

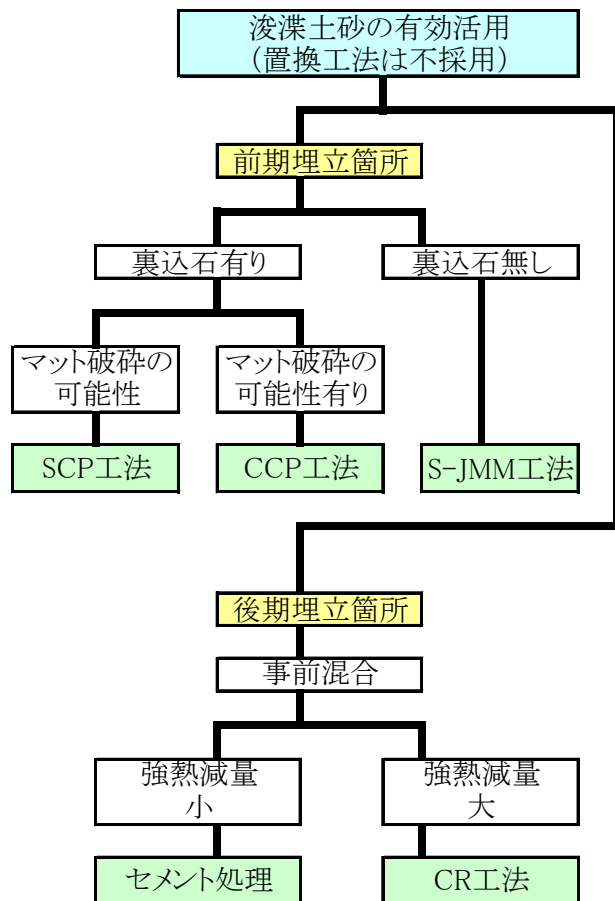


図-3 地盤改良選定フロー図

### 3. SAVEコンポーザ+高圧噴射攪拌工法

#### (1) 19・20年度の工法の選定理由

平成19年度、20年度に実施した岸壁 (-5.5m) については、通常であれば、SCP工法が最適となるのであるが、

当該箇所はポートサービスセンターや、フェリーターミナルが隣接しているため、騒音・振動を与える工法が不可であることや、既設岸壁本体への影響が問題であった。

そこで当初は次に経済的なパワーブレンダー工法（機械翼によるセメント攪拌改良、改良深が浅い為、S-JMMより経済的）が採用されていた。しかし試掘の結果、岩塊が想定以上に大きく（500mm以上）、多く混じっており機械翼による攪拌改良は攪拌翼を壊すと言うことで不可能ということになった。

このことからSAVEコンポーザー+高圧噴射攪拌工法の併用工法となった。この併用方法はそれぞれの弱点（SAVEは、近隣構造物に影響、CCPは高価）を補う形のもので、既に施工が完了している岸壁本体付近は、比較的近接構造物への影響が少ないCCP工法が採用され、それ以外の箇所についてはNETISの推奨技術候補にもなった騒音振動抑制に優れたSAVEコンポーザー工法（CB-980039-V）を採用する事になった。

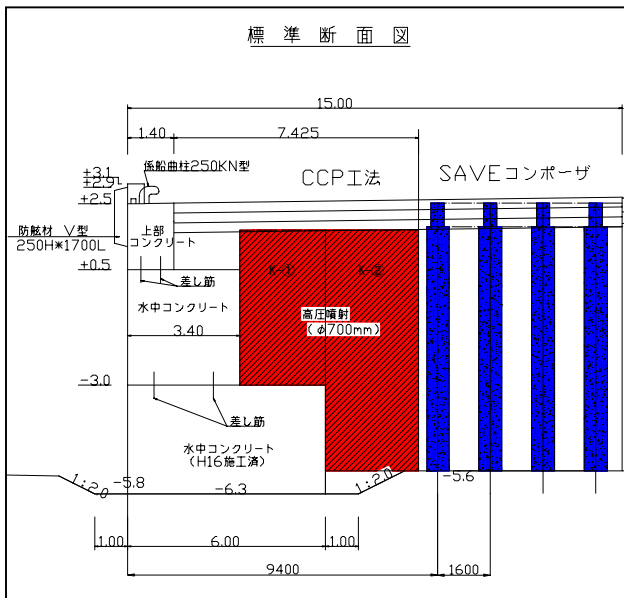


図-4 地盤改良標準断面図

## (2) 平成19年度施工の問題点

当該工事は2カ年で施工する事としており、19年度の施工を踏まえて20年度の施工を検討するにあたり、一番再考のポイントとなったのがCCPの出現強度であった。

### a) 改良目標

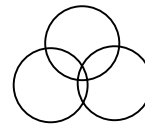
まず、今回の地盤改良の改良目標であるが、H17に埋立工事が完了していたが、埋立土砂が非常に緩い締まりであったため、事前ボーリング調査を実施した。その結果、埋立土砂のφが堤体の安定計算に用いられたφ30°を確保できていない状況（最低φ28.5）が確認され、その結果を踏まえ再度安定計算を実施したところ安定性が確保できていない事が判明した。

このことから、φ30°を確保することと、背後用地のトラフィカビリティの確保（建設機械も入れない状況）

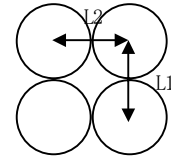
が改良の目的となった。検討の結果これらの条件を満たすため改良の必要強度は100KN/m2となった。

またCCPの改良率については、種々の見解が文献になっているが、主たる改良目的が土圧軽減であることから、土圧に関しては、候補②については不確定要素が大きいことから、候補①で施工する事となった。

候補①  
改良率100%で施工



候補②  
複合地盤強度を算定し改良率を決定



## b) 19年度のチェックボーリング結果

表-1 CCPチェックボーリング一軸圧縮試験結果

場所	強度 (KN/m <sup>2</sup> )	場所	強度 (KN/m <sup>2</sup> )
K-1	平均 1926.2	K-5	平均 2215.5
K-2	平均 2349.7	K-6	平均 1968.7
K-3	平均 2088.4	K-7	平均 3500.9
K-4	平均 2426.6	K-8	平均 3666.4
全平均		2,517.8 KN/m <sup>2</sup>	

表-2 SAVEコンポーザーチェックボーリング

場所	標高	N値	内部摩擦角 φ
No. 1	+0.70	10	35.1
	-1.30	16	36.5
	-5.30	16	35.2
No. 2	+0.24	10	34.6
	-1.76	6	31.7
	-5.76	9	32.4

平成19年度における地盤改良施工後のチェックボーリングの結果、上記のとおり、SAVEコンポーザーについては、程良い結果となったが、CCPについては、改良率の関係から、[CCP圧縮強度＝地盤強度]となるため、目標強度100KNに対して、平均で2,518KN/m<sup>2</sup>と、25倍もの強度が出ており改良のやり過ぎでないかという指摘があった。

### c) CCPの配合設計について

19年度のCCP施工にあたっての、硬化材等のスラリーの配合については、CCP協会が提案する標準配合CCP-7号A（強度抑制型で最も強度が低い）を採用している。この標準配合を変更する事は、CCP協会より下記理由により改良体の品質の確保を保証できないと、回答を得ており19年度については、標準配合を採用した。

- ・ 固化材を減じた場合、材料分離により改良体上部が未改良になる危険性がある。
- ・ 土質材料バラツキがあると、材料の性状により強度低下が発生する危険性がある。

(参考) CCP協会推奨の配合

	6号	7号A	7号B	8号
セメント	760kg	550kg	300kg	760kg
混合剤			400kg	(特殊)
混和材	5kg	3.5kg	2.0kg	5kg
水	758 $\frac{g}{L}$	825 $\frac{g}{L}$	756 $\frac{g}{L}$	740 $\frac{g}{L}$

6号 強度発現型、通常地盤強化止水

7号 強度抑制型、通常地盤強化止水

8号 腐植土用、地盤強化止水

#### d) CCP工法の強度について

そもそもCCP工法は、S-JMMやパワーブレンダー工法のような攪拌翼によらず高圧噴射されたスリーのみで地盤を切削し、余剰部分はスリムとして排出していく工法なので、攪拌効率が悪く、他の攪拌工法より多くのスリーを必要とするため、セメント量が必然的に多くなり大きな強度が発現する工法ではある。

表-3 改良体(1m<sup>3</sup>)あたりのスリー量

	CCP工法		パワーブレンダー工法	水中コンクリート
	標準6号	抑制7号A		
セメント	251kg	182kg	70kg	367kg
水	248L	271kg	70L	161L
W/C	100%	150%	100%	43.9%

### (3) 平成20年度施工の改良点

19年度の工事については、初年度と言うこともあり、CCP協会推奨の標準設計で実施したが、CCP工法は高価であることや、強度が高すぎる事から、試験施工を実施したうえで、スリー配合等を変更しコスト縮減する検討を行った。検討事項については下記のとおり。

#### a) 試験施工の検討ケース

- 水セメント比を高くしセメント量を減らす検討

単純にセメント量を減すれば発現強度が下がるが、材料分離の危険性があるため、水セメント比200%を上限とし、50kg刻みでセメント量を減少させた。

表-4 配合設計一覧表 (CASE1が標準)

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
セメント	550	500	450	400
混和材	3.5	3.0	2.8	2.4
水	825	841	857	873
W/C	150%	168%	190%	218%

- 改良体形成速度を早くし注入スリー量を減らす検討

改良ロッドの引き上げ速度を早くすれば、改良体当たりのスリー量が減少する。しかし強度は低下するが、改良体が形成されない可能性がある。

CASE a(2.6s/m):土木工事標準積算基準書の標準改良時間

CASE b(3.0s/m):CASE cの1秒アップ

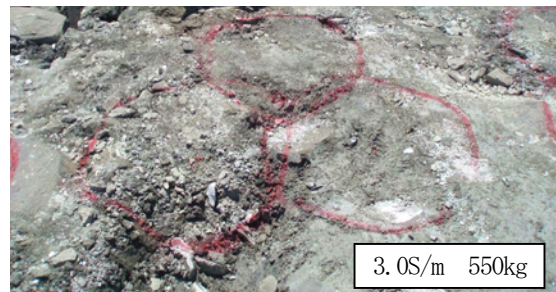
CASE c(4.0s/m):CCP協会による標準改良時間

(平成19年度の試験施工において、2.6s/mでは改良体が

形成されないことが判明していたため、20年度の試験施工からは対象外とした。)

#### b) 試験施工結果

改良速度のアップについては、CCP協会による標準改良時間(4.0s/m)より早くした場合、下記写真のとおり、改良体(φ700mmが標準)が形成出来なかったため、改良時間については、標準の4.0s/mとする事とした。



セメント配合量の違いによる検討結果(図-5,6)は以下のとおりであり、水セメント比を大きくすると、ブリージング率が高くなる。

この結果、セメント量を減らすと、設計高さまで杭が形成できず、杭を造成しても杭頭の強度は期待できないため、これ以上セメント量を少なくすることは良質な改良体が形成できないと判断した。

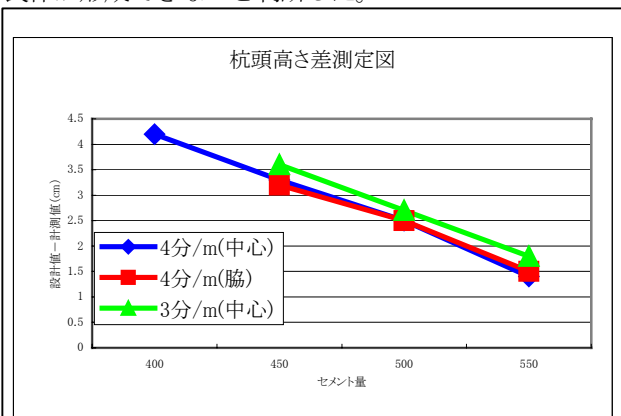


図-5 杭頭高さ差測定図

セメント量が少なくなると杭頭高さが低くなっており(設計高さとの差が大きくなる)、ブリージングの影響により杭頭が充分形成されていない事がわかる。

また、試験杭周面を観測しても、通常配合であればハッキリと円が形成されるが、貧配合であるとブリージング現象と思われる現象が観測された。

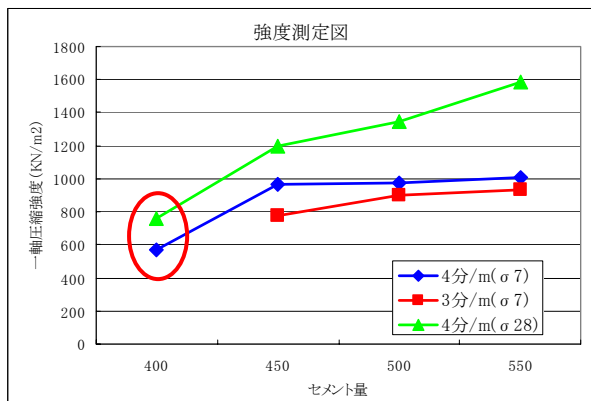


図-6 強度測定図

試験結果から、セメント量400kg/m<sup>3</sup>の強度が急に低下している傾向が確認できるため、これ以上セメント量を減らすと十分な品質が確保出来ないと考え、これ以上のセメント量で施工することが望ましいとした。

以上の試験結果から下記の内容で本施工を実施した。

	CASE3	改良速度
セメント	450	4.0s/m
混和材	2.8	
水	857	
W/C	190%	

### c) 本施工の結果

前述の配合設計により、平成20年度には1,508本の本施工を実施し、平成20年9月30日に完了した。施工完了後、チェックボーリングにより強度を確認したところ、下記のような結果となった。

表-5 CCPチェックボーリング一軸圧縮試験結果

場所	強度 (KN/m <sup>2</sup> )	場所	強度 (KN/m <sup>2</sup> )
K-1-①	平均 1117.7	K-4	平均 1098.0
K-1-②	平均 1160.2	K-5	平均 986.5
K-2-①	平均 981.9	K-6	平均 942.8
K-2-②	平均 1378.6		
全平均		1,095.1 KN/m <sup>2</sup>	

以上より、まだ必要強度の100KN/m<sup>2</sup>よりも、10倍程度の強度が発現しているが、CCP工法は強度が相当高くなるのが特徴であり、昨年度の平均2,500KN/m<sup>2</sup>よりも半減しており、相応の効果あったと考える。

この変更によりスリ-1m<sup>3</sup>当たり、100kgのセメント量を低減することができたので、これにより約800万円 (12%減) のコスト縮減につながった。

更に、強度が低下しているので、数値的な効果としてはあらわれてこないが、係船柱等の付属構造物の施工に関わる掘削作業や、地盤改良後の路床整正作業の効率が向上した。(業者ヒアリングによる)

### 3. まとめ

今回の改良土となった浚渫土の採取箇所は、泥岩の上に土砂が薄く堆積しているような箇所であり、改良土には多くの岩塊が含まれていた。もっと均質な土砂であればセメント量をもっと減らせた可能性もあるし、また条件が悪ければ、やはり標準配合が必要だった可能性もある。

今回の結果はあくまで当該現場条件における結果であり、土質条件が変われば、違う結果となった可能性が高いので注意が必要である。(CCP協会はあくまで標準配合、標準施工する事を推奨している。)

### 参考文献

- 1) 地盤工学会：液状化対策工法
- 2) CCP協会：CCP設計と施工指針  
過去の北海道開発局技術研究会の報告
- 3) 養生温度におけるセメント安定処理土の強度特性について (H18d 鈴木ら)
- 4) 無振動 SCP 工法の採用から実施にいたるまで (H17d 鈴木ら)
- 5) セメント固化工法を用いた岸壁構造について (H16d 宮部ら)
- 6) 岸壁裏込工の防砂シート破損によるSCP杭の吸い出しについて (H16d 中村ら)