

津波防波壁直下における液状化対策工事について

中国電力(株)	正会員	○河野	信貴
中国電力(株)	非会員	安達	光徳
中国電力(株)	正会員	小西	克文
前田建設工業(株)	正会員	嶋田	学

1. はじめに

島根原子力発電所では、津波対策として敷地周辺に津波防波壁(全長 1.5km)を設置している。津波防波壁は、基本岩着構造となっているが、一部区間において、基礎下面に砂と礫の堆積物(以下、砂礫堆積層)が分布するため、地震時の液状化による支持性能確保に万全を期す観点から、大口径高压喷射搅拌工法による砂礫堆積層の地盤改良を実施している。

地盤改良は既設護岸上から護岸下部を後施工で実施するとともに、改良対象となる砂礫堆積層は、局所的に礫や粘土を挟むことから改良品質の確保が課題であった。

本稿では、地盤改良の品質確保のために実施した試験施工の概要と対策工事の実施状況について報告するものである。

2. 大口径高压喷射搅拌工法の選定

地盤改良は既設護岸上から支障物を避けながら施工深度 25m 以上を削孔等するため全体的な施工時間が長いこと、及び施工箇所は日本海に面しているため冬季は作業できないことから、1箇所当りの改良径を大きくし地盤改良の施工時間を短縮する必要があった。また、事前の地質調査の結果、砂礫堆積層には砂礫、礫質土(一部巨礫を含む)の他にシルト質等を含む土質が確認されたため、改良品質を担保できる工法の選定が重要であった。

そこでロッドより超高压水(40MPa)で地盤中を回転切削しながら、吐出口より硬化材を喷射・切削混合することで、今回の土質に対しても大口径の円柱状改良体を造成することが可能な大口径高压喷射搅拌工法を選定した。

図-3に改良配置図を示す。改良率 100%となるよう隣接する改良範囲とラップをさせる配置により密実な基盤を造成するように計画した。

3. 試験施工について

(1) 標準施工による試験施工(第1回試験施工)

高压喷射搅拌工法では、地中に挿入したロッドより硬化材を喷射・切削するため、そのロッドの引上げ速度の設定が改良品質に影響する。第1回試験施工では、削孔完了後、当工法の標準仕様である支持岩盤深度にて

キーワード 砂礫堆積層、液状化、高压喷射搅拌工法

連絡先 〒690-0393 島根県松江市鹿島町片匂 654-1 中国電力(株)島根原子力(発)保修部(土木)

TEL 0852-82-2220

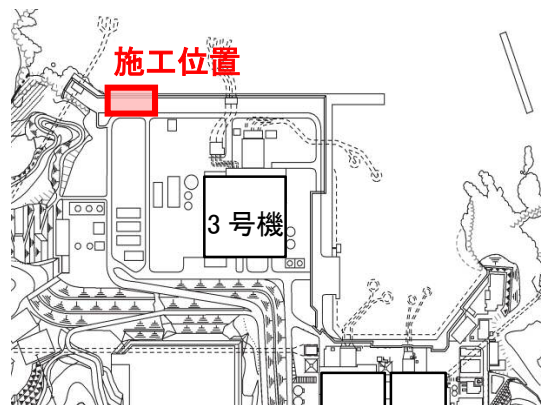


図-1 発電所位置図

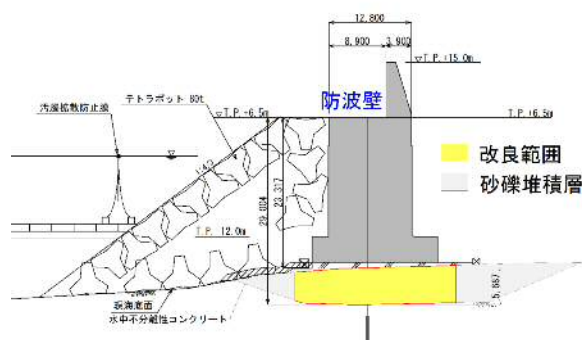


図-2 断面図

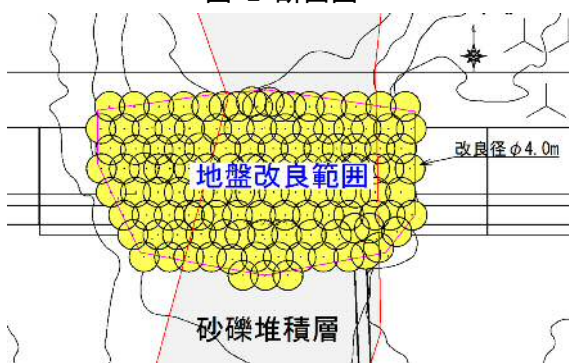


図-3 改良配置図

定置噴射（3 分間）実施後、引上げ速度を 25min/m にて引上げながら地盤改良を実施した。

図-4に第1回試験施工後に採取したコアサンプリングにセメント分の混合状況を確認するためにフェノールフタレイン溶液を塗布したものの一例を示す。試験結果より多くの地質でセメント分が確認されず、改良が十分できていないことが分かる。また、コアから供試体を3本採取し、一軸圧縮強度を実施したが、目標強度である $qu=3,000\text{KN/m}^2$ を下回る箇所が多くあり、要求性能を満足できなかった。

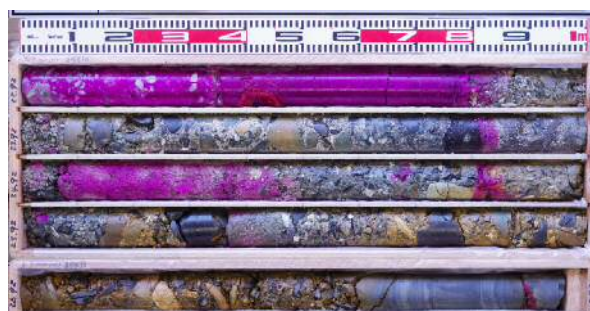


図-4 ボーリングコア（第1回試験施工）

試験結果より原因としては以下が推定された。

① 礫および玉石に対する硬化材の切削エネルギー不足

各ボーリングコアより $\phi 150\text{mm}$ から 300mm 程度の礫、玉石が点在していることが判明。礫径が $\phi 50\text{mm}$ を越える場合、標準施工では対象外となるため、切削エネルギー不足により所定の改良径を造成できなかった。

② 粘性土中に礫が混合する地盤に対する切削エネルギー不足

砂礫堆積層のうち比較的粘土質が多い地質（改良範囲の下部分）ではセメント分が十分に確認されなかった。粘土混じり砂礫層のように粘土含有量が多い地盤では、硬化材噴射時に礫が障壁となり粘性土内で攪拌しきれず、十分に切削・噴射できなくなった。

③ 施工中の玉石混じり礫質土の排出不良による硬化材との混合不良

改良対象土に玉石を含む比較的大きな礫を有しており、標準施工では良好な排泥排出が出来なかった。

④ 支持岩盤の不陸による未改良部の発生

各ボーリングコア結果より各改良体内の支持岩盤に多少の不陸が想定されるため、この不陸によって高圧ジェット未到達による未改良部が発生した。

（2）改善後の試験施工（第2回試験施工）

上記の問題を解決させるために、地盤改良の方法を改善し、後述する対策案に関する補助工法を採用し、再度試験施工を行った。表-1に第1回試験施工及び第2回試験施工の施工仕様と補助工法の比較表を示す。上記第一回の試験施工の課題①～④に対して対策案を以下とした。

表-1 試験施工仕様および補助工法の比較表

・施工仕様								
	上段			下段				
	切削水		回転数	硬化材		圧縮空気		回転数
	圧力 (Mpa)	流量 (L/min)		圧力 (Mpa)	流量 (L/min)	圧力 (Mpa)	流量 (L/min)	
第1回 試験施工	40	50	2 ± 0.5	40	300	$0.7\sim 1.05$	$4\sim 15$	2 ± 0.5
第2回 試験施工	40	50	2 ± 0.5	40	300	$0.7\sim 1.05$	$4\sim 15$	2 ± 0.5

・補助工法				
	引上速度 (min/m)	添加材 (kg)	低強度充填材	支持層境界部 噴射方法
第1回 試験施工	25	無し	無し	定置噴射
第2回 試験施工	35	有り 50	有り	ステージ噴射

- ① 切削エネルギー不足を防止するために硬化材の噴射・切削時間を長くすることで、対象土層に対する硬化材の噴射・切削不足を解消できると考え、ロッド引上げ速度を 25min/m から 35min/m と遅くすることとした。

- ② 高圧ジェットの切削エネルギーを増大させるため、改良材に粘性をもたせることが有効であると考え、改良材に細粒粘土を添加した。
- ③ 高圧噴射攪拌工は、硬化材を現地盤土砂と切削混合したものを地上に排出する必要があるため、現地盤土砂の地上への排出が悪い場合には出来形不良を起こすことが多い。そこで排泥排出を促すために、事前に対象の砂礫土の空隙に低強度注入材を充填し、改良時の排泥の逸水を防止し、ロッド周りからの排泥排出を促進することとした。
- ④ 支持岩盤の不陸を想定し、通常実施する定置噴射をステージ噴射に変更し、支持岩盤深度の上下 150mm を 50mm ごとの 6 回（ステージ）に小刻みに行う計画とした。

図-5 に第 2 回試験施工後に採取したコアサンプリングにフェノールフタレイン溶液を塗布したものの一例を示す。いずれの土質も硬化材が混合されていることが分かる。また混合状況を目視で確認し、ボーリングコアから一定間隔で試料を採取し、一軸圧縮強度試験を実施するとともに、コア採取の孔を利用して PS 検層を実施した。上記試験の結果、いずれの供試体でも $qu=3,000\text{KN/m}^2$ 以上を確認することができた。併せて PS 検層の値も所定の弾性波速度以上が確認できた。

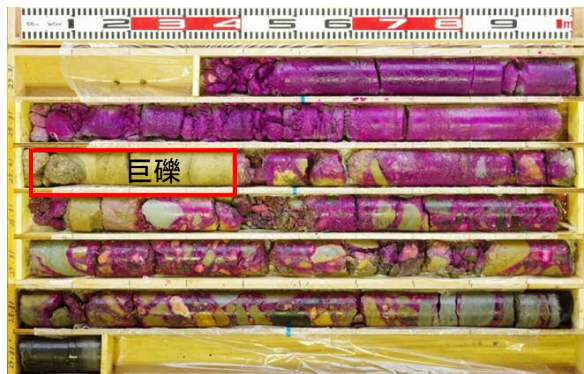


図-5 ボーリングコア（第 2 回試験施工）

試験施工の結果を踏まえて、地盤改良の本施工は改善後の方法にて実施することに決定した。

4. 対策工事の実施状況

地盤改良は護岸上よりロータリーパーカッションドリルで先行削孔を行った後に改良機により実施した。一部護岸より海側を改良する必要がある箇所については、護岸上から架台を張出して施工を行った(図-6)。また施工エリアは海に面しており、地盤改良材の海への流出が懸念されたため、工事開始前に汚濁拡散防止膜を施工エリア前面に設置するとともに、護岸前面の海底地盤部に水中不分離性コンクリートを打設し、改良材の海への流出を防止した。(図-2)



図-6 地盤改良施工状況

本施工での液状化対策の有効性の確認方法としては、地層の深度方向を連続的にデータを採取し、地盤改良の効果が確認できる PS 検層を用いて有効性を確認した。また補足的に一軸圧縮試験も実施し、所定の強度を確認した。

図-7 に PS 検層実施位置を示す。改良地盤における PS 検層の結果、弾性波速度は $550\text{m/s} \sim 1,600\text{m/s}$ であり、所定の目標速度 500m/s （一軸圧縮強度 $qu=3,000\text{KN/m}^2$ 相当）を満足していることが確認できた。

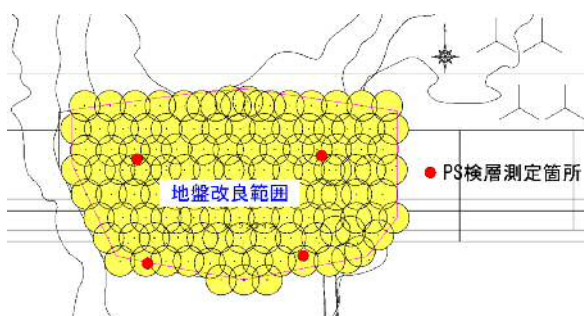


図-7 PS 検層位置図

5. 終わりに

本地盤改良の対象地盤は、砂礫堆積層に局所的に礫や粘土が含まれていることから、当初改良効果にばらつきが生じ確実な改良ができなかったが、地盤特性に応じて硬化材引上げ速度の見直しや排泥排出促進の低強度注入材の採用等、複数の改良スペックの見直しを行うことで、液状化に対する要求性能を満足する地盤改良を実施することができた。

最後に、本工事の実施にあたりご協力をいただいた関係者の方々に紙面を借りて深く感謝の意を表する。