

# 大型重機による大規模岩盤掘削

## —志賀原子力発電所 2号機基礎掘削工事—

門木 秀一・橋本 徹・寺田 彰

北陸電力株式会社志賀原子力発電所 2号機の基礎掘削工事は、1号機の隣接エリアを掘削することから、1号機への運転に支障を与えることのないように掘削振動を抑制する必要がある。このため、1号機定期検査時に「発破掘削試験」及び「機械掘削試験」を実施し、総合的に検討した結果、制限発破掘削に比べて施工性及び経済性において有利となる大型重機を用いた機械掘削を採用した。本報文では各掘削試験及び実施工について報告する。

キーワード：基礎工事、大規模岩盤掘削、発破掘削試験、機械掘削試験、親杭工

### 1. はじめに

北陸電力株式会社志賀原子力発電所は、能登半島の中央部西海岸の志賀町にあり、市街地から北西へ約7km離れた富来町との境界に位置する。2号機は、営業中の1号機（出力54万kW）に隣接して設置するもので、出力135万8千kWの改良型BWRである。平成11年9月より掘削に

先行する親杭工を開始し、平成12年3月に本館建屋等の掘削工事を開始、平成13年10月には同工事を完了した。発電所平面図を図-1に示す。

### 2. 地質の概要

敷地には新第三紀中新統の安山岩及び凝灰角礫岩が分布しており、凝灰角礫岩は節理は少ないが、安山岩の一部で節理が多く認められる部分を含ん

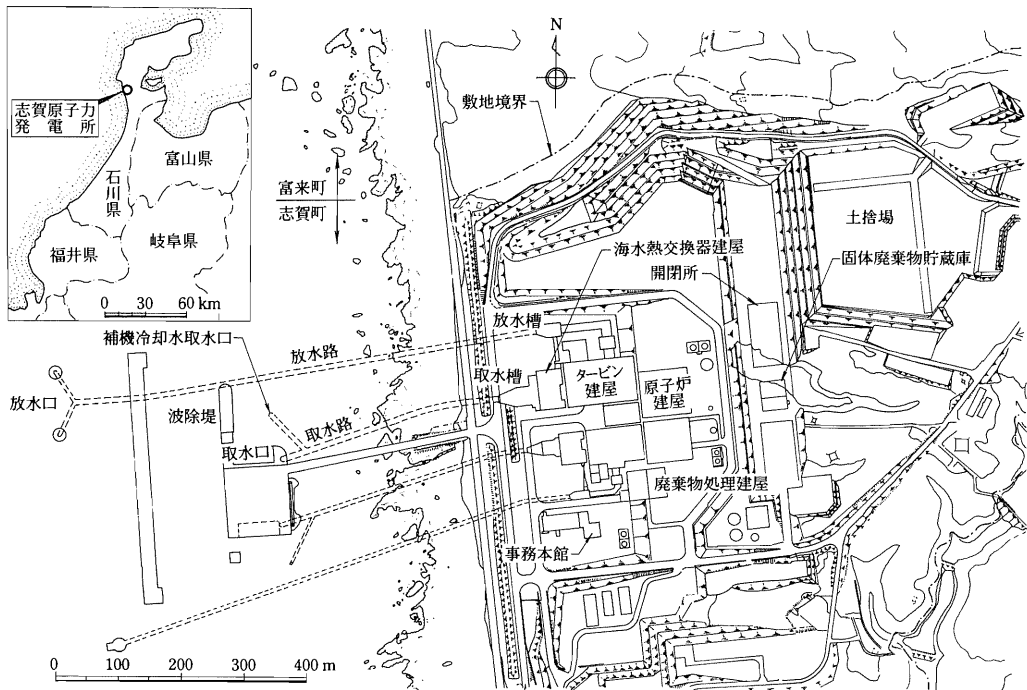


図-1 発電所平面図

でいる。また、岩石試験から得られた一軸圧縮強度は、15~150 N/mm<sup>2</sup>と広範囲に及ぶ。

基礎掘削工事はこのような中硬岩、硬岩からなる岩盤を対象に実施した。

### 3. 掘削工法の選定

1号機の基礎掘削は発破により実施した。しかし、2号機では、運転中の1号機隣接エリアを対象としていることから、1号機の運転に支障を与えることのないよう掘削振動を抑制する必要がある。

このため、掘削工法の選定に当たっては、機械による掘削も視野に置いて、1号機の定期検査中に、発破掘削試験及び機械掘削試験を実施した。

#### (1) 発破掘削試験

発破掘削試験は、発破振動による1号機への影響を確認し、発破施工可能エリアを評価することを目的として実施した。

振動測定箇所は周辺地盤及び1号機各建屋内の計13箇所にて測定した。試験状況を写真-1に示す。

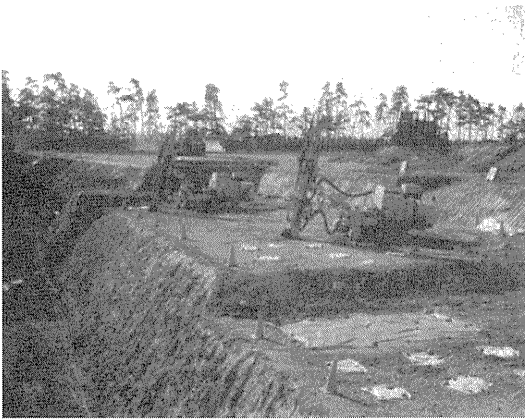


写真-1 発破掘削試験状況

試験結果から得られた振動値を用いて多変量解析を行い、装薬量(Q)と距離(r)の変数で決定される振動予測式を各建屋ごとに算出した。振動予測式の一例を(1)式に示す。また、1号機の安全運転上必要とされる振動規制値を考慮して設定した離隔距離と許容装薬量との関係を図-2

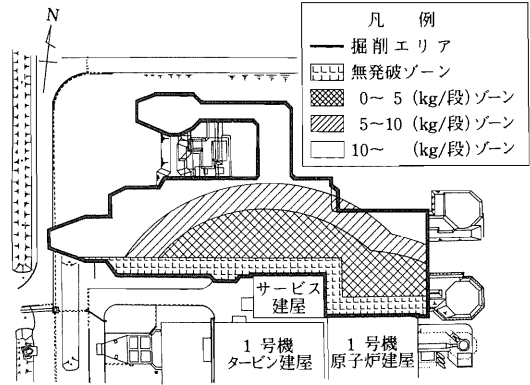


図-2 離隔距離と許容装薬量との関係

に示す。

$$A = 35.61 \times 10^4 Q^{0.51} / r^{2.23} \quad (1)$$

ここで、A：振動値 (gal)

Q：装薬量 (kg)

r：距離 (m)

これより、掘削エリアの約80%が装薬量の制限を受け、通常の出破掘削可能エリアは約20%に限られる結果となった。

#### (2) 機械掘削試験

当地点のような中硬岩~硬岩での大規模な機械掘削の例はあまり見られない。そこで、対象岩盤(V<sub>p</sub>=2.1~2.3 km/s)における掘削機械の施工性を確認することを目的とした試験を実施した。

試験に供する掘削機械については、以下の特長を考慮し、岩盤切削機及び大型ブルドーザ(100 t級、リップ付き)の2種類を選定した。

① 岩盤切削機は、機械本体中央下部で160本の切削ビットのついたドラムが回転し、岩盤を切削するものであり、切削土砂はコンベヤにより排出され、低振動、低騒音での掘削が可能である。また、切削後の排出土砂の粒径は20 mm以下となることから二次破砕が省略でき、コンピュータ制御により高精度な仕上がり面が得られる。掘削能力は、電力中央研究所分類のC<sub>L</sub>級で250 m<sup>3</sup>/h、C<sub>M</sub>級で200 m<sup>3</sup>/h以上、C<sub>H</sub>級で110 m<sup>3</sup>/h以上の能力がある。

② 大型ブルドーザによる工法は、後方に取付

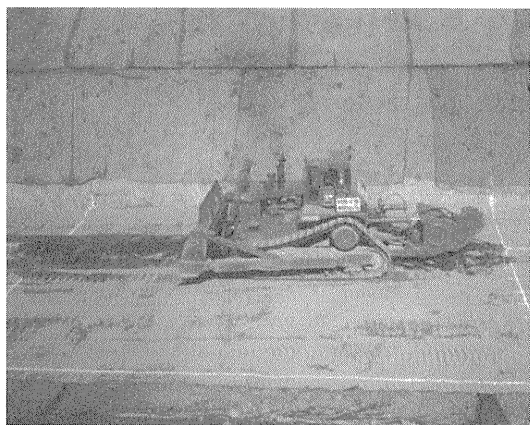
けたリッパにより岩盤を掻き起こすものであり、硬岩に対応可能であれば、ブルドーザ単体の移動能力の高さから有効な工法となる。岩盤切削機及び大型ブルドーザの基本諸元を表一1に、各掘削試験状況を写真一2及び写真一3に示す。

表一1 掘削機械諸元

仕様	岩盤切削機	大型ブルドーザ
全長 (m)	14.1	11.0
全幅 (m)	4.9	5.6
全高 (m)	7.1	4.6
総重量 (t)	146	103
回転半径 (m)	15	—



写真一2 岩盤切削機掘削試験状況



写真一3 大型ブルドーザ掘削試験状況

試験の結果、岩盤切削機については、掘削形状等の関係から方向転換が頻繁に生じるため、掘削量は 105 m<sup>3</sup>/h と本機械の掘削能力が十分に発揮されないことが分かった。一方、大型ブルドーザは狭いエリアにおいても十分な掘削能力を発揮し、掘削量は 173 m<sup>3</sup>/h となった。

また、騒音、振動については、大型ブルドーザによる掘削が岩盤切削機による掘削に比べ若干高い値を示したが、両機とも1号機の安全運転を十分確保できる結果となった。

### (3) 掘削工法の選定

試験の結果、機械掘削は振動影響が管理を要しないレベルであり、かつ、装薬量の制限を受ける発破掘削に比べて経済的に有利となった。これより基礎掘削は機械によるものとし、施工性の優れた大型ブルドーザ（100 t級、リッパ付き）を用いることとした。

## 4. 基礎掘削工事

### (1) 工事概要

本工事は、総掘削量 72 万 m<sup>3</sup>、最大掘削高 32 m の大規模な岩盤掘削である。また、法面形状については、作業ヤードの確保及びコストダウンの観点から垂直掘削とした。山留工として親杭とグラウンドアンカーを併用し、壁面には吹付けコンクリートとロックボルトを施工した。掘削周長は約 1,100 m で親杭本数は 465 本、グラウンドアンカー本数は約 2,500 本である。

なお、掘削中は壁面変位やグラウンドアンカー導入力の変化量を把握するための計測を行い、地質観察結果と合わせて垂直掘削の安全管理を実施した。

### (2) 親杭工

親杭は 2 枚の溝形鋼を平鋼で溶接したもので、ダウンザホールハンマにより削孔（削孔径 φ 660 mm）した後、親杭を建込み、周囲をモルタルで充填するものである。また、地盤の状況に応じて、表一2に示す 3 つの方法により削孔した。

表一2 削孔工法

	削孔機	削孔径	地盤条件
A	ダウンザホールハンマ (ケーシング無し)	660 mm	岩盤部
B	オールケーシング+ ダウンザホールハンマ	800 mm, 660 mm	深い埋戻し土* +岩盤
C	ダウンザホールハンマ (一部ケーシング有り)	660 mm	浅い埋戻し土* +岩盤

\*1号機建設時での埋戻し土



写真—4 ダウンザホールハンマ削孔状況

削孔は、平成11年9月に開始し、平成12年7月に完了した。また、削孔機は最盛期で5セット投入した。

ダウンザホールハンマでの削孔状況を写真—4に、オールケーシングでの削孔状況を写真—5に示す。

各工法での施工速度はA工法で約18m/日、B工法で約14m/日、C工法で約25m/日であった。各工法での施工実績を表—3に示す。



写真—5 オールケーシング削孔状況

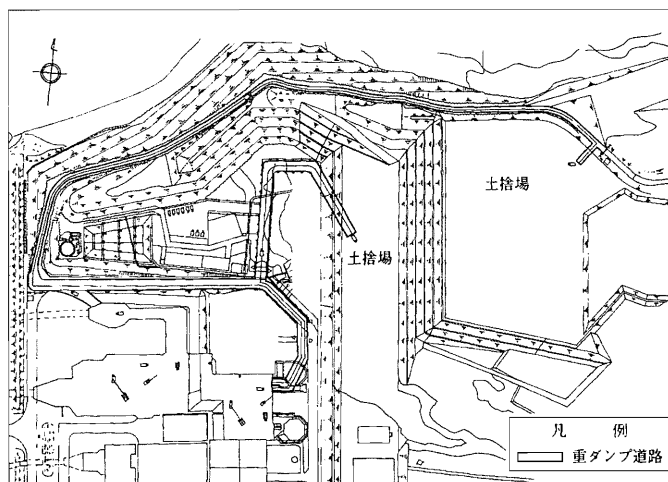
表—3 各工法の施工実績

工 法	A	B	C	計
本数(本)	236	26	203	465
削孔総延長(m)	5,382	800	5,342	11,524

### (3) 掘 削 工

掘削には前述のとおり主として大型ブルドーザ(100t級、リッパ付き)及び油圧ブレーカ(3t級)を使用した。また、積込運搬にはバックホウ(3m<sup>3</sup>)及び重ダンプトラック(36t, 32t, 25t)を使用した。

基礎掘削工事中は、機械と人との接触を回避するため専用道路を設け、一般車両の進入禁止措置を行い、接触災害の防止を図った。重ダンプ運搬ルートを図—3に示す。



図—3 重ダンプ運搬ルート

表-4 月別掘削土量及び機械使用台数

	平成12年												平成13年								
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月		
掘削量(千m <sup>3</sup> )	5	91	70	94	102	87	85	35	16	26	20	12	9	8	11	5	4	4	6		
ブルドーザ(100t級)	2	2	2	2	2	2	2	1.5	1	0.5											
油圧ブレーカ(3t級)	1.5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.5	1	1	1	1	1	1	1		
バックホウ(3m <sup>3</sup> 級)	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1											
重ダンプトラック	7	9	9	9	9	7	6	5	1												
バックホウ(1.2m <sup>3</sup> 級)	1	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1		
ダンプトラック(10t)		2	4	4	4	2	2	2	2	2.5	4	5	6	4	2	2	2	2	2		

基礎掘削は平成12年3月に開始し、平成13年10月に完了した。基礎掘削状況を写真-6に示す。



写真-6 基礎掘削状況

掘削量は最盛期で約5,000m<sup>3</sup>/日であり、平均約3,500m<sup>3</sup>/日となった。月別の掘削量と機械の使用台数を表-4に示す。

### 5. おわりに

2号機の基礎掘削工事は、1号機の運転に支障を与えることのないよう掘削振動を抑制することが求められた。このため、あらかじめ実施した発破掘削試験及び機械掘削試験に基づいて大型ブル

ドーザによる機械掘削工法を採用し、順調に工事を進めることができた。

最後に、掘削試験の実施及び実施工にあたり、ご協力いただいた関係各位、また、掘削法面の安定性評価についてご教授頂いた東京工業大学・太田秀樹教授及び地盤解析研究所・大森晃治氏に深く感謝の意を表します。

J C M A

#### 【筆者紹介】

門木 秀一(かどき しゅういち)  
北陸電力株式会社  
志賀原子力発電所建設所  
土木第一課  
課長



橋本 徹(はしもと とおる)  
北陸電力株式会社  
志賀原子力発電所建設所  
土木第一課  
副課長



寺田 彰(てらだ あきら)  
北陸電力株式会社  
志賀原子力発電所建設所  
土木第一課

