

46. 鋼杭式地下連続壁工法による地下ダムの施工

(株)大林組：串間 正敏・*伊藤不二夫
相川 亮

1. まえがき

わが国の鹿児島県以南の島々には、「琉球石灰岩」と呼ばれるサンゴから成る多孔質で透水性の大きな石灰岩層が広く分布している。この地域の降雨量は、日本の平均的な降雨量に比べると比較的多いほうに属するが、このうち蒸発するものが約50%、地表水となり流出するものが約10%、地下へ浸透するものが約40%の比率といわれている。雨量の大部分は梅雨と台風とによって季節的にもたらされるものであり、しかも、透水性の良い岩盤は地下水を短時間のうちに海へ流出させる。従って、このような条件下にある島々では、昔から慢性的な水不足に悩まされてきた。一方、鹿児島県奄美地域では水不足対策の一環として、地下水の貯留、すなわち地下ダムが計画され、塩水阻止を配慮した試験施工が九州農政局により行なわれた。



写真 鋼杭打設完了状況

本報告は、ジェット水を併用した簡便な設備と長尺鋼杭（35m）により、琉球石灰岩地帯の地下ダム止水壁施工が可能であることを紹介するものである。

2. 工事概要

2.1 計画概要

鹿児島県の喜界島は、全島がサンゴ質の琉球石灰岩と島尻層と呼ばれる不透水性基盤岩からなる島で、その地層構成および止水壁断面は図1、2のとおりである。

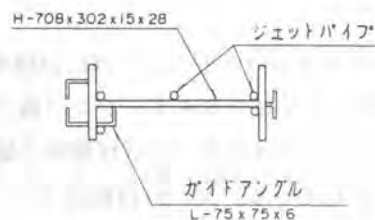


図1 鋼杭断面図

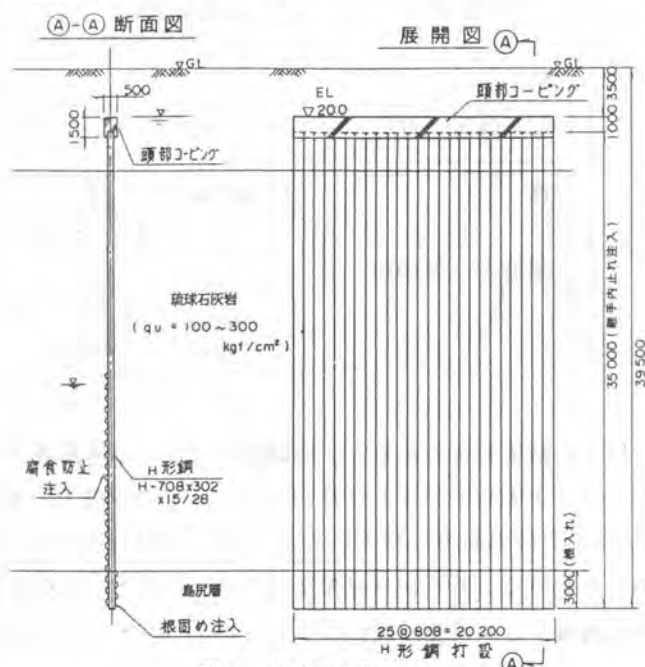
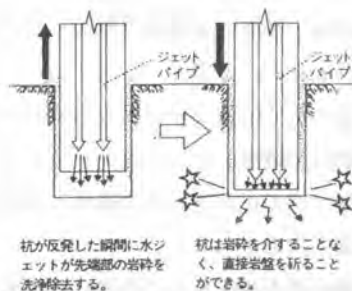


図2 止水壁断面

2.2 工法選定の経緯

地下ダムの止水壁施工技術として、泥水を用いた連続止水壁の施工技術は、その施工性・品質面で優れたものであるが、当地においては逸泥調査の結果、在来の泥水技術では対処できない逸泥量を示すことがわかった。そのため、泥水工法に替わる施工方法として鋼杭式地下連続壁工法（ジェット水を併用した岩盤杭打ち工法）を試験施工した。この工法の原理を図3に示す。



杭が反発した瞬間にジェットが先端部の岩砕を洗浄除去する。 杭は岩砕を介することなく、直接岩盤を折ることができる。

図3 ガンパイル工法の原理

2.3 施工手順・使用機械

ガンパイル工法による岩盤杭打ち工法は、削孔作業を必要としないので、従来のパイプロハンマ工法による杭打ち作業にジェットパイプの取付けが加わる程度である。主な使用機械、施工順序図を表1、図4に示す。

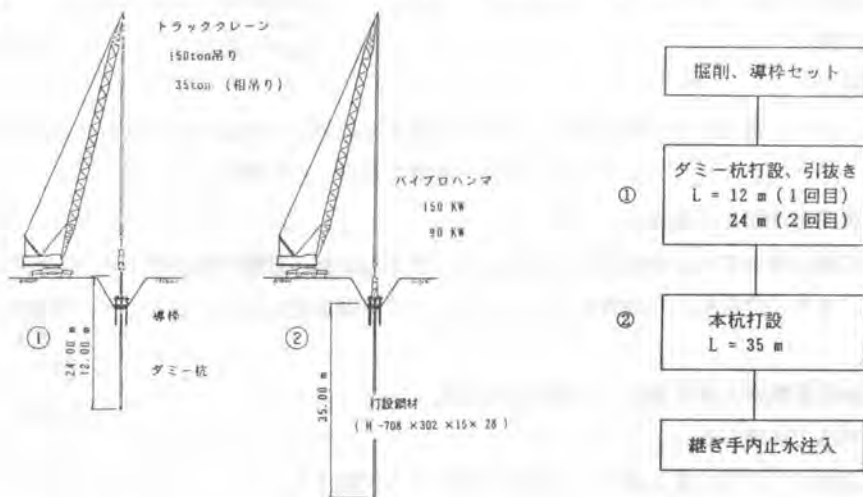


図4 施工順序図

2.4 施工の主な特徴

① 鋼杭

当地は離島であり、島内の道路事情から、鋼杭は長さ11m、12mの2タイプで現地に搬入し現場溶接で35mとした。鋼材は削孔能率に優れたH形鋼とし、市販品をベースに使用した。

② 打設方法

試験打設により、岩盤の固さと深度などとの関係から、2種類のダミー杭（L = 12m, 24m）により順次先行削孔し、その削孔個所に本杭（L = 35m）を再打設する方法をとった。

表1 主な使用機械

名称	型式、諸元	台数
トラッククレーン	P&H 9170 150 ton 吊り	1
	P&H 9035 35 ton 吊り	1
パイプロハンマ	VM4-10000 150 KW	1
	VM2-5000 90 KW	1
ディーゼル発電機	DCA-500 500KVA	1
	DCA-125 125KVA	1

③ バイブロハンマ

90kw、150kw 2種類用意し、打設長、岩の固さなどの条件により使い分けた。

④ ジェットパイプ

短い杭ではチェーン吊り方式が一般的であるが、ここでは溶接による固定方式を採用した。

⑤ 鋼杭の継手

継手内の止水注入の作業性、確実性を考慮し、図1のようなL-T型継手を用いた。

⑥ 継手内の止水

継手内を高圧水にて洗浄したのち、布製袋を挿入しセメントミルクで止水した。

⑦ 鋼杭の打設精度

あらかじめ杭に溶接固定した測定管に、挿入式傾斜計を入れることにより調査した。

表2 標準的な作業時間

作業区分	打設時間(分)
ダミー杭打設 (L = 12 m)	70
ダミー杭打設 (L = 24 m)	140
本杭打設 (L = 35 m)	310
合計	520

3. 試験結果

3.1 鋼杭打設工

(1) 打設時間

杭一本当たりの標準的な作業時間は、表2のとおりである。これによると35mの鋼杭打設に要する時間はおよそ8時間40分であり、休憩時間を考慮すれば10時間程度になる。

(2) 打設速度と地層との関係

同一の地層であっても打設速度に大きなバラツキが見られ、地層の固さが不均一な石灰岩の特徴を示している。また、発電機の周波数を変化させることで打設速度を向上させることが可能であることがわかった。

(3) 不透水性基盤岩(島尻層)への根入れの確認

次の3方法で実施した。

- ① 打設地点での杭の貫入状況、打設音の違いから判断する。
- ② リバウンドの違いから判断する。
- ③ バイブロハンマの負荷電流から判断する。

その結果、①、②が簡易的で有用性の高い方法であった。

(4) 打設精度

使用した鋼材(H形鋼)の剛性の方向性と大きな関連性を持つ結果となった(図5参照)。

ダム軸直角方向(平均精度 1/250)

ダム軸方向(平均精度 1/500)

ダム軸方向

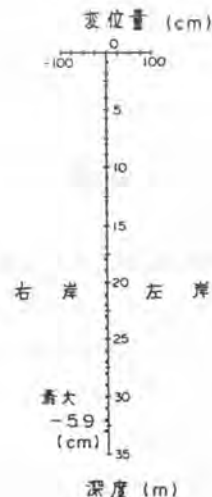


図5 打設精度測定例

3.2 打設材料

(1) ジェットパイプの取付け

① 取付け方法

パイプの転用ができることからチェーン吊り方式が一般的な方法である。ここでは 1) 杭の打設

速度が速いと、杭にジェットパイプがついていけない場合があり、トラブルの原因となりやすい。
2) 根入れがうまくできて打設長が3.5mと長い場合、ジェットパイプの引抜き回収が出来ない。
などの理由から固定方式に変更した。

② 取付け本数

鋼杭の断面の大きさに応じたジェットパイプの取付け本数を打設試験によって確認し、図1のように5本を標準とした。

(2) 鋼材の補強

使用した鋼材（H-708 × 302 × 15 × 28）は、フランジの厚さに比べウェブが薄いため、状況に応じ鋼杭先端のウェブを高強度の添接板で補強した。

5.3 継手内止水注入

効果の確認は、ボーリング（φ46mmダブルチューブ）コアの目視観察と、ボーリング孔を利用した現場透水試験により行なった。データとしてはわずかで全体を判断することは難しいが、試験結果では $K = 10^{-8}$ cm/secより小さいことがわかり、継手部分での試験であることを考慮すれば、止水壁として十分な止水性能を持つことが確認できた。

4. 今後の方向性

今後、改善しなければならない課題の中で特に重要なものは次のとおりである。

(1) 経済性

全体工事費に対する鋼杭材料費の占める割合が大きかった。打設長が小さい場合には、より断面が小さく剛性の小さいH形鋼や鋼矢板など経済的な材料を用いた施工ができると考えられる。

(2) 作業効率の改善

① 専用ダミー杭の必要性

今回の試験施工では、ダミー杭を本杭に転用した。本杭に比べ、剛性、強度の大きい専用ダミー杭を使用することで打設能率を向上させることができる。また、本杭溶接作業を同一な作業とすることができ、作業の短縮につながる。

② ジェットパイプの取付け方法の改善

ジェットパイプの破損に関係したトラブルが多く発生した。破損が少なく、しかも、取付け効率に優れた方法を検討する必要がある。

③ 長時間運転可能なバイプロハンマの開発

今回使用したバイプロハンマは、およそ1時間で過熱するため、運転を一時中止してバイプロを交換する必要があった。このため、冷却装置などを備えた長時間運転可能なもの、しかも、打撃サイクルが調整できるバイプロハンマの開発が必要であり、現在、専用バイプロを開発中である。

5. あとがき

かんがい用水確保のための地下ダム建設は、喜界島をはじめ、その他の奄美諸島、沖縄諸島、宮古・八重山諸島などの広い範囲で計画あるいは実施されている。宮古島皆福地下ダムのようにすでに完成したものもあるが、各地域の特殊性を考えた種々の地下ダム施工方法が試行され、その施工技術の確立が待たれている。