

報文:岩盤中の深い基礎より(2 編抜粋)

著者: フェデリコ パグリアッチ (ソイルメック社)

パオロ カバルコーリ (トレビ社)

1. ウルフクリークダム(Wolf Creek Dam)プロジェクト

ウルフクリークダムは、ケンタッキー州南中央部のカンバーランド川に位置し、カンバーランド水系と流域に電力、洪水調節、用水、水質の恩恵を供給している。



図 1.1 ウルフクリークダム

1938 年～1952 年の間に設計・建造された長さ 5,736 ft (約 1,720 m) のウルフクリークダムは、アースフィルと重力式コンクリートを組み合わせた構造である。土台からの高さは最大 258 ft (77.4 m) である。

カンバーランド湖はダムによって作られた人造湖で、最高貯水位の平均海面高 760 ft (228 m) で 6,089,000 acre-ft (75 億 m^3) の水を蓄えている。これはミシシッピ川以東で最大、全米で 9 番目に大きい貯水池である。

ダムと隣接の貯水池は、カルスト岩盤基底部上にある。カルスト構造では、大きな空洞が密な石灰岩の岩盤と思われる下に存在し、1968 年以来、漏水問題が多発した。2007 年 1 月下旬、アメリカ陸軍工兵司令部は機能不全の指定によりダムを「ハイリスク」に区分し、ダムをフル稼動の状態にするために改善プログラムを開始した。

契約は 980,000 ft^2 (88,200 m^2) のコンクリートの防護壁構築を伴う。277 ft (83.1 m) の深さに達する最小幅 2 ft (0.6 m) のコンクリート防護壁の大部分は、岩盤強度が 13,000 ~ 36,000 psi (913 ~ 2,530 kg/cm^2) に渡るような変化の大きい条件や、40 ft (12 m) に及ぶ非岩石の区間を有する岩石・土壌混合の条件で役立つ革新的建設技術を使って建設されている。

防護壁は、垂直軸から 0.15%の鉛直許容誤差で最大深度 277 ft (83.1 m) に到達せねばならない。

建設過程は 2 つの主な段階に要約できる。準備段階と防護壁建設段階である。

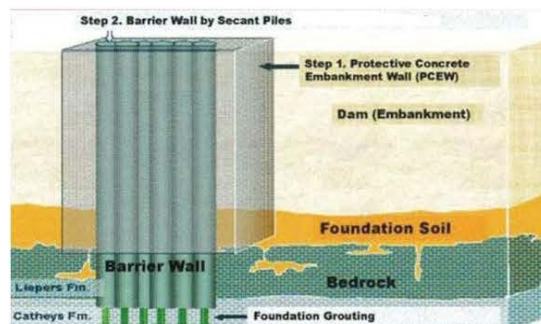


図 1.2 岩盤内の柱列防護壁

準備段階は、ハイドロミル機器を使用して作業構台の頂上から岩盤の最上部まで造られる 6 ft (1.8 m) 幅のコンクリート製防護堤防壁 (PCEW) の設置で構成される。

準備段階が完了すると、防護壁の建設が始まる。

方向制御掘削によるパイロットホールは防護壁建設の基本部分である。方向制御掘削によるパイロットホールは、プロジェクトの間に、当初の目標である 282 ft (84.6 m) で 8.5” (213 mm) の最大偏差から、設置されたエレメントの大部分 60 パーセント以上について、その深度で 2 ~ 3” (50 ~ 75 mm) へと著しい進歩を遂げた (図 1.3)。



図 1.3 方向制御パイロット孔の施工

方向制御掘削によるパイロットホールが完了したエリアでは、杭の先行掘削が始まり、事前に掘削されたパイロットホールを正確にたどって、従来の削孔リグ (図 1.4) によるコンクリートを貫く 50” (1,250mm) の削孔を実行し、その後、直ちにスティンガーを使用したリバースサーキュレーションドリル (図 1.5) で岩盤を掘削する (図 1.6)。



図 1.4 コンクリートダム本体を貫く削孔



図 1.5 RCD による岩盤の削孔



図 1.6 スティンガーを装備した
削孔ツール

2. 異なる削孔方法の比較

この章では、直径 1 m、深度 25 m の削孔が可能な種々の技術について、下記の地層を仮定して報告し議論する。

- a) 深度 0.0 ~ 20.0 m : 玉石・岩塊混じりの砂 (TCR=50)
- b) 深度 20.0 ~ 25.0 m : 玄武岩 (TCR=80、RQD=100、UCS=100Mpa)

ここに、

TCR=Temperature Coefficient of Resistance : 抵抗温度係数

RQD=Rock Quality Designation/Designator : 岩石品質指定

UCS=Unconfined Compressive Strength : 一軸圧縮強度

Mpa : メガパスカル (1 MPa = 10.2 kg/cm²)

下記の異なるシステムが直径 1.0 m、深度 25 m の削孔に採用される。

- a) ケリーバーとロックツールを用いる場所打ち杭工法
- b) 全断面ダウンザホールハンマー (正循環)
- c) クラスタードウンザホールハンマー (正循環または逆循環)
- d) 大口径パイロットホールと拡径掘削
- e) 小口径パイロットホールと拡径掘削

上記の方法を、10 時間の作業シフトに基づいて総設備出力と生産力の比に特に注意を払って記述する。

2.1 ケリーバーとロックツールを用いる場所打ち杭工法

このシステムはケリーバーと適切な掘削ツール、上部地層にロックオーガーとバケット及び下部地層にはコアバレル、を備えた従来の削孔リグの使用に基づく (図 2.1)。

リグは装備出力 480 kW の 100 トン級のマシンでなければならない。

平均の生産力は毎時 2.0 m と見積もられる。

従って、メートル当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = 480 \text{ kW} / 2.0 \text{ m/h} = 240 \text{ kWh/m}$$

唯一の技術的制約は岩塊を超えて硬い岩盤へ入り込む実際の能力である。時には岩塊を砕き、岩盤の密度を減少させるためにチゼルを使用する必要があり、これは平均生産力の値に影響を及ぼす。



図 2.1 岩盤削孔用のコアバレルを装備した削孔リグ

2.2 全断面ダウンザホールハンマー工法

このシステムは削孔する杭径と同じ径のビットを備えたダウンザホールハンマーの使用に基づく (図 2.2)。

ダウンザホールハンマー (DTH) とドリルストリングを装備出力 480 kW の従来の 100 トン級の削孔リグに搭載する。



図 2.2 全断面 DTH ハンマー工法

DTHは 1 ~ 1.2 Mpa (10 ~ 12 bar) の作業圧力で毎分 147,000 l (147 m³) の空気を必要とするので、一連の 7 台のエアコンプレッサーを使用せねばならない。従って、コンプレッサーの装備出力は 7 x 224 kW = 1,568 kW に等しい。

平均生産力は毎時 5 m と見積もられる。

従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = (480 \text{ kW} + 1,568 \text{ kW}) / 5 \text{ m/h} = 410 \text{ kWh/m}$$

このシステムの利点は不均質な地層が進行速度の問題にならないことである。加えて、切削屑はビットを動かしているのと同じ空気の流れにより直接地表に運ばれる。

制約は大量の空気の使用にある。状況によっては環境的制約によりエンジニアに空気の使用を避けることが課せられることがある。

2.3 クラスタードウンザホールハンマー

このシステムは、それぞれ直径 140 mm (6 インチ) の DTH 6 台を備えた特殊なバケットの使用に基づく (図 2.3)。

ハンマーの位置は、バケットが回転している間、杭の横断面全体を覆うように検討される。切削屑は、地表で排出するための開口部を側面に備えたバケットの中に集められる。

ドリルツールは装備出力 300 kW の従来の 60 トン級の削孔リグに搭載される。

DTHハンマーは 1.0 ~ 1.2 Mpa (10 ~ 12 bar) の作業圧力で実際毎分 14,000 l (14 m³) の空気を必要とするので、一連の 4 台のエアコンプレッサーを使用せねばならない。従って、コンプレッサーの装備出力は 4 x 224 kW = 896 kW に等しい。

掘削されたズリをバケットから排出するため必要とされる時間を考慮して、平均生産力は毎時 3 m と見積もられる。従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = (300 \text{ kW} + 896 \text{ kW}) / 3 \text{ m/h} = 399 \text{ kWh/m}$$

砕けた岩盤や岩塊が存在する混成の地盤は DTH ハンマーに損傷を引き起こすかもしれない。柔らかい岩層でビットが作業する場合、オペレーターはハンマーを押し付けることを避けねばならないのは事実である。ハンマ



図 2.3 クラスタードンザホールハンマー工法

ーは『浮いて』いなければならない。このリスクを回避するために「負荷検出」システムが実装されている。一連の DTH ハンマーが同じ本体に搭載されているので、これは不可能で、DTH の一つが岩盤を「たたいて」いないと、それは壊れる。

2.4 大口径パイロットホールと拡径掘削

このシステムは全断面 DTH ハンマーと従来のケリーバーシステムを組み合わせたものである。削孔は2段階で行われる。

a) DTH ハンマーによる直径 762 mm 先行ボーリング(杭断面積の約 60 %を掘削)

DTH とドリルストリングは装備出力約 330 kW の従来の 70 トン級の削孔リグに搭載される (図 2.5)。

DTHは1.0~1.2Mpa (10~12 bar) の作業圧力で毎分約 51,000 l (51 m³) の空気を必要とするので、一連の 2 台のエアコンプレッサーを使用せねばならない。従って、コンプレッサーの装備出力は 2 x 224 kW = 448 kWに等しい。

平均生産力は毎時 10 m と見積もられる。従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = (330 \text{ kW} + 448 \text{ kW}) / 10 \text{ m/h} = 77.8 \text{ kWh/m}$$



図 2.5 DTH ハンマーによる先行ボーリング

b) 従来の削孔リグによる所定の径までの拡径(図 2.6)

杭の拡径は、DTH により行われた先行削孔部により促進され、すでに掘削されている杭の横断面の中央部分にツール導くように、その先端を突き出したロックオーガーまたはスティンガーを備えたロックバケットにより行われる。

リグは装備出力約 330 kW の 70 トン級のマシンでなければならない。

平均生産力は毎時 4 m と見積もられる。

従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = 330 \text{ kW} / 4.0 \text{ m/h} = 82.5 \text{ kWh/m}$$

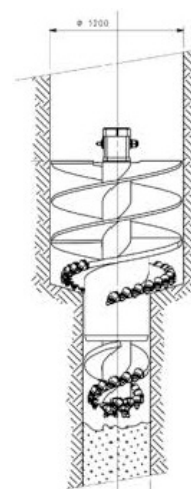


図 2.6 拡径ツールの概要

従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = 77.8 + 82.5 = 160 \text{ kWh/m}$$

2.5 小口径パイロットホールと拡径

このシステムは、全断面 DTH ハンマーと従来のケリーバーシステムを組み合わせたものである。削孔は 2 段階で行われる。

a) DTH ハンマーによる直径 406 mm の先行ボーリング(杭断面積の約 15 %を掘削)

DTH とドリルストリングは装備出力約 170 kW の 20 トン級の小型削孔リグに搭載される。

DTH は 1.0 ~ 1.2 Mpa (10 ~ 12 bar) の作業圧力で毎分約 36,800 l (36.8 m³) の空気を必要とするので、一連の 2 台のエアコンプレッサーを使用せねばならない。従って、コンプレッサーの装備出力は 2 x 224 kW = 448 kW に等しい。平均生産力は毎時 12 m と見積もられる。

従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = (170 \text{ kW} + 448 \text{ kW}) / 12 \text{ m/h} = 52 \text{ kWh/m}$$

b) 従来の削孔リグによる所定の径までの拡径

杭の拡径は、DTH により行われた先行削孔部により促進され、すでに掘削されている杭の横断面の中央部分にツール導くように、その先端を突き出したロックオーガーまたはスティンガーを備えたロックバケットにより行われる。

リグは装備出力約 330 kW の 70 トン級のマシンでなければならない。

平均生産力は毎時 3 m と見積もられる。

従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = 330 \text{ kW} / 3.0 \text{ m/h} = 110 \text{ kWh/m}$$

従って、m 当りの削孔に要する平均出力は以下に等しい。

$$P = 52 + 110 = 162 \text{ kWh/m}$$

2.6 最も有利な解決策

表 2.1 に上記の 5 つの方法の主要なデータが要約されている。

掘削の実施に必要な出力と日々の生産力の比の点から、最良な解決策は「拡径作業を伴う大口径パイロット孔」の適用である。

先行ボーリングを行うリグ 1 台に比較して拡径リグ 2 台を採用すると、この利点は他のソリューションに比べてより大きくなる。

表 2.1 掘削システム対 1 m 当り掘削に必要な出力

工 法	装置のタイプとクラス	装 備	予想削	1m 当りに 必要な出力	10 時間シフトでの 出来高	
		出力 (kW)	孔能力 (m/h)		(m)	(pile)
ケリーバーを使用 する場所打ち杭	削孔リグ：100 トン	480	2.0	240	22	0.88
全断面 DTH	削孔リグ：100 トン コンプレッサー：7 台	2,048	5.0	410	50	2.00
クラスターDTH	削孔リグ：60 トン コンプレッサー：4 台	1,196	3.0	399	30	1.20
大口径パイロット 孔と拡径	削孔リグ：70 トン コンプレッサー：2 台	778	10.0	160	40	1.60
	削孔リグ：70 トン	330	4.0			
小口径パイロット 孔と拡径	削孔リグ：20 トン コンプレッサー：2 台	618	12.0	162	30	1.20
	削孔リグ：70 トン	330	3.0			

装備出力 330 kW の第 2 の 70 トン級マシンを使用することにより、必要な電力は 160 から 242.5 kW に増えるが、日毎の生産力は 80 m（すなわち 1 日あたり杭 3.2 本）に増大する。

この解決策の所要出力に非常に近い従来の大型削孔リグによる方法と比べると、生産能力は 4 倍高くなる。

2.7 結論

難しい地盤で基礎エレメントの掘削に適用する最良の技術を選択するには、地層、施工するエレメントのサイズと深度、サイトの境界の状況、設計者によって課せられた制約などのあらゆる面を考慮に入れなければならない。

この報文は、異なる技術の組み合わせが、特に難しい地盤と岩盤における非常に複雑な作業を実現するかを例証するだけでなく、出力/予想生産力の比の調査が深い基礎プロジェクトにおいて最良の解決策を選択する判断基準の一つとなりうることを例証するものである。

特定の条件下では「力」のみが最終目標を達成できる。しかし、時には「知恵」が野蛮な力に勝つことを忘れるべきではない。