

地盤改良の施工における新工法採用 (AMP工法)

—高知県中土佐町久礼排水ポンプ場建設工事—

川崎 文也・田所 正

高知県高岡郡中土佐町久礼排水ポンプ場は都市下水路事業計画に基づき、久礼中島地区の雨水排水を目的とした、9.08 m³/sec の能力をもつポンプ場である。中土佐町久礼排水ポンプ場建設工事は、平成9年度より地下推進工事を開始し、平成11年度よりポンプ棟を新設した工事である。

本報文は、そのポンプ棟新設工事におけるポンプ棟底板部の約390 m²を新工法 (AMP工法) 採用で地盤改良 (盤ぶくれ防止) を実施し無事開削工事を完了した工事報告である。

キーワード：地盤改良，機械攪拌，建設汚泥，盤ぶくれ，排水ポンプ場，地下工事

1. はじめに

高知県高岡郡中土佐町久礼排水ポンプ場は都市下水路事業計画に基づき、久礼中島地区の雨水排水を目的とした、9.08 m³/s の能力をもつポンプ場である。

本報文は、そのポンプ棟新設工事におけるポンプ棟底板部の約390 m²を新工法 (AMP工法；機械攪拌エア・ミルク混合圧送工法) 採用で地盤改良 (盤ぶくれ防止) を実施し、無事開削工事を完了した工事報告である。

2. 施工検討

(1) 設計内容

1期工事の推進工事よりこの地区は地下水が被圧された状態にあり、ポンプ棟開削時における盤ぶくれが懸念されていたため、当初設計より鋼矢板Ⅳ型により礫質土の下層岩盤まで打設計画をされていた (鋼矢板長 L=23 m)。

(2) 土質

地形的に河道や海岸線に並行する帯状微高地であり表層より厚く砂礫土層が分布し、排水性が大きい特徴がある。これは、背後の山地より海に至るまでの距離が比較的短いためと推定される。

ボーリングデータでは図-1の土質であった。

- ① GL±0～GL-1.70 m；転石混じり砂礫 (A_G)
埋立てによるものであり、コンクリート塊や大きな転石が混じっている。
- ② GL-1.70 m～GL-2.60 m；腐食物混じりシルト (A_c¹)
元は田圃であったと思われる。地下水位が高く (+1.50) N値=3と低い。
- ③ GL-2.60 m～GL-5.50 m；シルト質砂礫 (A_G)
φ2～20 mm 程度の泥岩系の垂円礫を主体とし、シルト分を多く含み、礫は硬質のものが多い。
- ④ GL-5.50 m～GL-7.40 m；シルト混じり礫 (A_G)
φ5～30 mm 程度の泥岩系の垂円礫を主体とするが、上部より含水量は少ない。
- ⑤ GL-7.40 m～GL-11.10 m；砂質シルト (A_c²)
GL-11.45 m～GL-12.30 m
均一な粒径の細砂を多く含む。
- ⑥ GL-11.10 m～GL-11.45 m；火山灰 (A_v)
九州の喜界島に噴火源を持つガラス質に富む降下堆

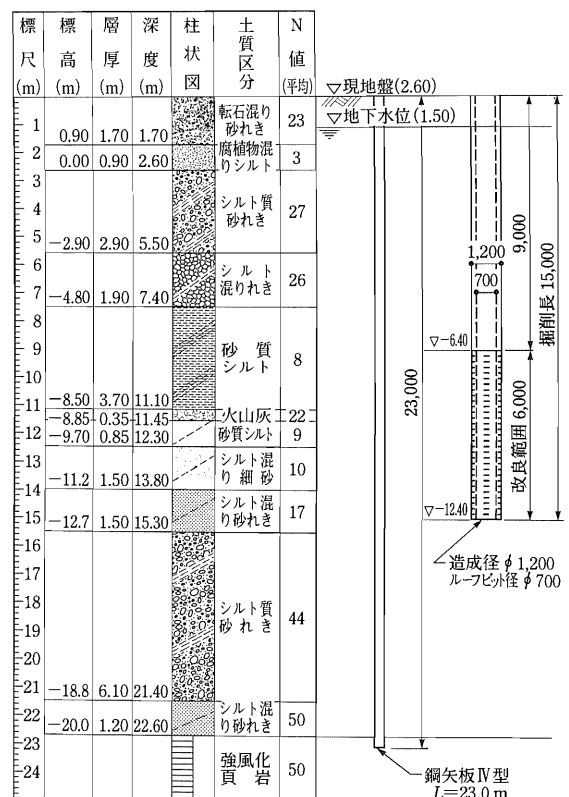


図-1 土質柱状図，鋼矢板及び地盤改良範囲

積物で少量の細砂を含む。

- ⑦ GL-12.30 m~GL-13.80 m；シルト混じり細砂 (As²)

貝殻片を含む細砂主体，粒径は均一で少量のシルトを含む。

- ⑧ GL-13.80 m~GL-15.30 m；シルト混じり砂礫 (Ac³)

φ 0.5~5 mm の小径泥岩砂礫を主体に少量の貝殻片を含む。

- ⑨ GL-15.30 m~GL-22.60 m；シルト質砂礫，シルト混じり砂礫 (De)

φ 1~20 mm 程度の泥岩系の垂円礫が主体で，岩質は比較的新鮮で硬質。

- ⑩ GL-22.60 m 以深 (Sh)

風化の進行した頁岩層。

(3) 盤ぶくれ対策

当初設計段階では，盤ぶくれ防止対策として，

- ① 排水工法

ディープウェル等により被圧地下水を低下

- ② 止水工法

被圧帯水層の下位の不透水層まで止水壁を貫入させ，被圧帯水層を根切外部と遮断

の2工法を検討した。その結果，排水工法は，ディープウェルの必要本数が12本となり，掘削寸法を勘案すると実際には配置困難である。又，民家に極めて近接することを勘案すると，実際には採用不可と判断された。そこで，止水工法を採用することとした。

止水工法として，鋼矢板IV型 L=23.0 m を頁岩層に貫入させ被圧帯水層を遮断する目的でアースオーガ併用工法により施工を行った。

砂礫層の Br データより実質は，3~5 倍の径が存在することが予想されたので，実施工ではロックオーガ (φ 700，オーガ容量 90 kW) により先行掘削を実施した。その後アースオーガ併用で打込み，サイレントパイラも併用し圧入を試みたものの平均 21.4 m までしか施工出来なかった。鋼矢板により締切ったポンプ井の中をボーリング調査したところ，被圧された状態が確認された。

(4) 補助工法の選定

補助工法として次の5つの工法が考えられた。

- ① 薬液注入工法
- ② CCP 工法
- ③ JSG 工法
- ④ コラムジェットグラウト工法

⑤ AMP 工法

砂礫層を施工する通常工法で考えられるのは，③，④のJSG工法又はコラムジェット工法である。両工法は施工性は妥当であるが，スライム処理が産業廃棄物となるため，高額な施工金額となる。

①の薬液注入工法は鋼矢板打込み不良が一部であれば，施工性，経済性から見ても妥当であるが今回のように，全体的に打込み不良箇所が存在すると，その効果の確認，判断が困難である。

⑤のAMP工法は，新工法でほとんど実績がなく，高知市の道路課で擁壁基礎の地盤補強で実施していた程度であった。しかしながら，セメントミルクをまったく排出しない工法であり，上記のJSG工法又はコラムジェットグラウト工法と比較して，施工性に疑問が残るが，経済性を考えると魅力的であった。AMP工法は新工法で実績はほとんどないが，何度か施工審査会を開催して検討を重ねた結果，新工法のAMP工法での試験施工を実施することとなった。

(5) 試験施工

施工性で疑問が出されたのは，φ 1,000 mm の特殊ループビットで削孔が可能かどうか，又，セメントミルクの排出がないのかであった。そのため試験施工を行い，問題点を確認した (図-2，写真-1)。

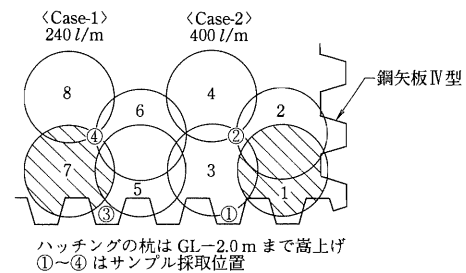


図-2 試験施工箇所

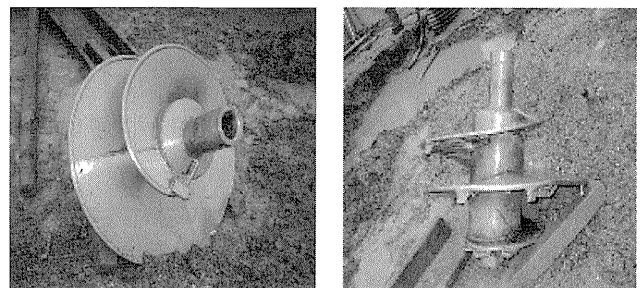


写真-1 φ 1,000 先端特殊ループビット

(a) 施工箇所

図-2 のコーナ部で後述する Case 1，Case 2 で実施した。

(b) 改良径

今回，写真-1 の φ 1,000 mm のビットを使用し，

「噴射併用施工」を実施する事により、改良径がどのくらい拡幅するかを確認した(1,000+α)。

(c) 吐出量

改良体同士、並びに鋼矢板との付着力の確保、すなわち改良強度が不可欠となるため、今回施工吐出量として下記の2ケースを設定し比較、検討を行った。

- Case 1 ; 60 L/min (図-2 の 1~4)
- Case 2 ; 100 L/min (図-2 の 5~8)

(d) 引上げ速度

今回、4.0 min/m に設定した。

(e) 単位注入量

- Case 1 ; $Q_1 = 60 \text{ L/min} \times 4.0 \text{ min/m} = 240 \text{ L/m}$
- Case 2 ; $Q_2 = 100 \text{ L/min} \times 4.0 \text{ min/m} = 400 \text{ L/m}$

(f) 吐出圧力

今回、7.0 MPa (～70 kgf/cm²) で行った。

(g) 使用材料

専用注入材として「サンフロー-SW-2000 S」を採用した。1.0 m³ 当たりの標準配合は下記のとおりである。

普通セメント	1,000 kg
サンフロー-SW-2000 S	5 kg
水	677 L

(h) 改良範囲

本工事施工に伴う施工配置に準じて、4孔の内3孔については本工事施工と同じ高さで止め、残る1孔については、GL-2.0 mまで嵩上げて、後述する目視の出来形確認を行う事とした(写真-5)。

(6) 試験施工結果

(a) サンプル採取

ボーリングによるコア抜きからサンプル採取を行い施工強度の確認を行った。

① サンプル①及び③；改良体と打設鋼矢板との付着性を確認するため改良体と鋼矢板との接点箇所を採取した。



写真-2 サンプル①供試体 (240 L/m 吐出の矢板凹部)

コンクリートは点在して確認されたがコアが棒状で採取できず、強度試験は行えなかった。

サンプル③についてもサンプル①を考えるとコア採取は無理と判断されたので、採取をしなかった。

② サンプル②及び④；改良体同士の付着性、一体化を確認するため、各改良体に囲まれた箇所を採取した。



写真-3 サンプル② (240 L/m 吐出のラップ部)



写真-4 サンプル④ (400 L/m 吐出のラップ部)

(b) 施工強度の確認

上記サンプル②及び④の試料より、一軸圧縮強度試験を実施した。

• σ_7 の圧縮強度 (N/mm²)

	本数	平均 σ_7	備考
サンプル②	1	7.64	240 L/m ラップ部
サンプル④	3	5.92	400 L/m ラップ部

• σ_{28} の圧縮強度 (N/mm²)

	本数	平均 σ_7	備考
サンプル④	3	7.77	400 L/m ラップ部

(c) 目視による出来形確認

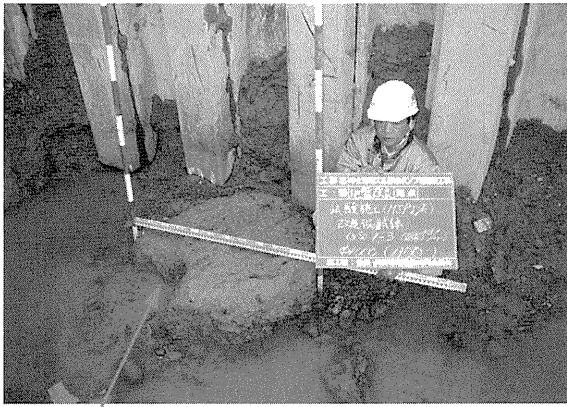
サンプル採取後、施工箇所の掘削を行い、嵩上げを実施しておいた改良体の上部を掘り出し、目視による出来形確認を行った。



コア採取跡②
3 番の杭を削孔する際に削り取られた箇所

写真-5 400 L/m 吐出の出来形 (杭番 1)

造成径は 1,300 mm を確認した。ただし、鋼矢板の凹部への付着は確認されなかった(腐泥は検出され



ボーリングによるコア採取跡④

写真-6 240 L/m 吐出の出来形 (杭番 3)



写真-7 φ 300 での造成径

ない)。

造成径は 1,100 mm を確認した。鋼矢板凹部への付着は確認されなかった (廃泥は検出されない)。

(d) 効果確認

試験施工の結果からラップ部分は強度的にも、問題はないが、鋼矢板凹部は吐出量が 400 L/m でも充填されないことが判明した。

強度的な問題については、JSG 工法の 80% の強度を期待して設計しており (0.8 N/mm²)、これは十分クリアされた。

JSG 工法やコラム工法でも鋼矢板凹部は噴射工法の死角となることから、補助工法が必要とされている (図-3、図-4)。

噴射工法の死角となる図-3 の部分は、ループ径 φ 300 で鋼矢板凹部の試験施工を行った。

図-4 の鋼矢板凹部に φ 300 のループを挿入して造成したところ φ 450mm の径が確認され、凹部は十分に充填されると判断された (廃泥は検出されず)。

(e) 可否の検討

図-1 の柱状図より、削孔途中の地盤内に礫の混入が想定された。又、施工深度が GL-15.0 m と比較的高深度となるため、AMP 工法が特殊先端ビットを用いて地盤貫入、削孔を行う工法であることを考慮した場合、大口径による施工は、ビットにかかる負荷、抵抗の関係上貫入能力の面で不利と判断された。そこでビット径を φ 1,000 mm → φ 700 mm と短径化し、造成径は φ 1,200 mm に設定した。

写真-8 は試験施工時にビットに挟まって採取された礫や転石の一例である。

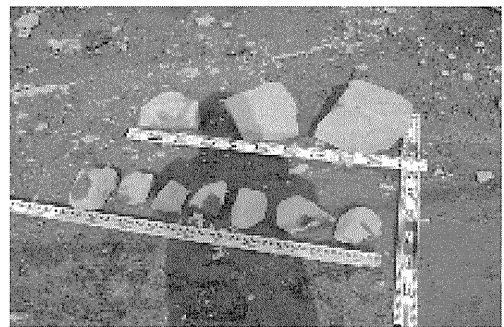


写真-8 地盤内の礫, 転石

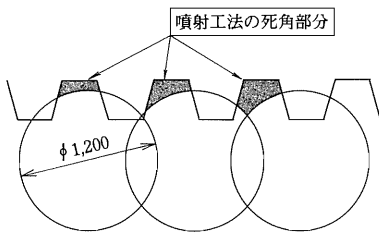


図-3 鋼矢板凹部の拡大図

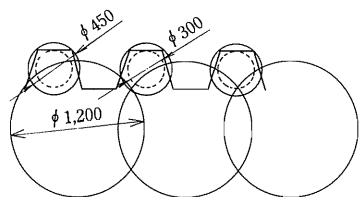


図-4 鋼矢板凹部補強図

柱状図や土質試験結果から、GL-2.60 ~ -5.50 m の範囲では礫や転石が混入されていることが予想されたため、実施施工に当たっては、GL-5.50 m まで地盤の抜替えをし、GL-2.0 m まで埋戻し、施工をすることにした。

3. 実施施工

(1) 吐出量の算定

高圧噴射攪拌をすることにより、造成径の拡幅を主眼として、CCP 工法 (CCP-L) の考えを取入れた (粘性土の粘着力 0.03 N/mm² ≤ C < 0.05 N/mm² で

標準有効径 $\phi 500$ mm)。

ポンプ吐出能力を 70 L/min, 引上げ速度を 7.0 min/m とすると吐出量は次のようになる。

$$70 \text{ L/min} \times 7.0 \text{ min/m} = 490 \text{ L/m} (\phi 700)$$

鋼矢板凹部の補強としては、先にも記したように $\phi 300$ のビットを使用し、 $\phi 450$ mm の造成を行った。

吐出量は、ループ 1 回転が 2.5 s であるため、

$$2.5 \text{ s} \times 40 \text{ 回転/m} = 1.7 \text{ min/m}$$

$$70 \text{ L/min} \times 1.7 \text{ min/m} = 120 \text{ L/m}$$

として実施した。

図-7 のラップ配置とすることで、先に施工した造成物に後日施工する際、ビットが当たらないように施工することが出来たため、施工性の問題を解消した。

(2) 施工順序 (図-5)

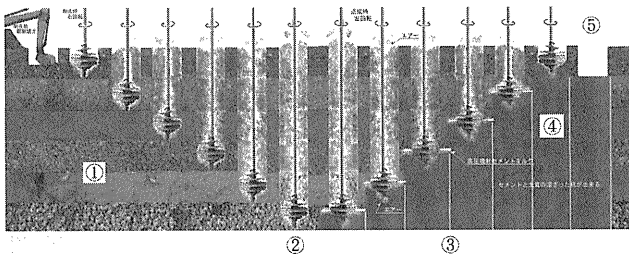


図-5 削孔・造成図

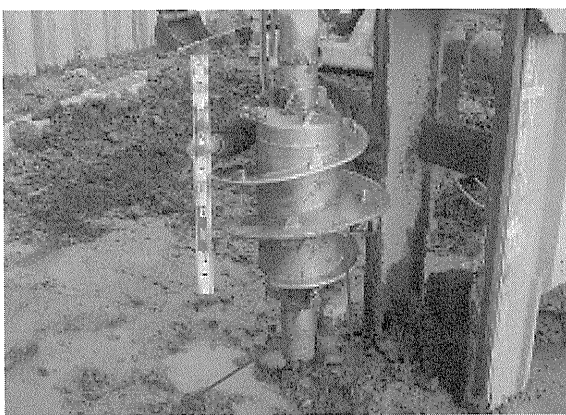
① 地盤貫入・削孔開始

特殊先端ビットを正回転 (右回転) により地盤に貫入させ、所定の深度までエア削孔を開始する。エアを送り込むことで、地盤への衝撃、上下左右方向への揺動・攪拌効果により削孔が容易となる (削孔時に掘削土が多少発生する)。

② 削孔完了

所定の深度まで削孔を完了させる。

③ 引上げ・注入開始



先導管 噴射ノズル

写真-9 $\phi 700$ ループビット

回転を逆回転 (左回転) に変え、所定の引上げ速度を保ちながら、注入 (改良) を行う。

エアと注入材とを混合させないで圧送し、エアはビット下の先導管より下方向、注入材は噴射口ノズルより横方向へと別々に噴射させることにより、ビット径廻りにさらに拡幅された改良体造成が出来る (写真-9)。

④ 注入 (改良) 完了

注入材を注入しながら、逆回転 (左回転) により、所定の引上げ速度で引上げを行うことで改良を行い、所定の深度まで改良する。

逆回転させることと、注入材の比重が高いことを利用することで、注入材と地中土質を攪拌して、地中に押さえ込みながら注入を完了させることが出来る。

⑤ 土被り部引抜き

所定深度 (改良範囲上限) までの改良完了後、土被り部の引抜きを行い、終了する。

狭い敷地でのポンプ場建設のため、ポンプ井内に棚杭と仮栈橋の支持杭 (H 300) を打設していたため、欠損部の処置として、鋼矢板凹部を 104 孔、H 鋼周辺を 33 箇所、 $\phi 300$ mm のビットで施工を行った (図-6)。

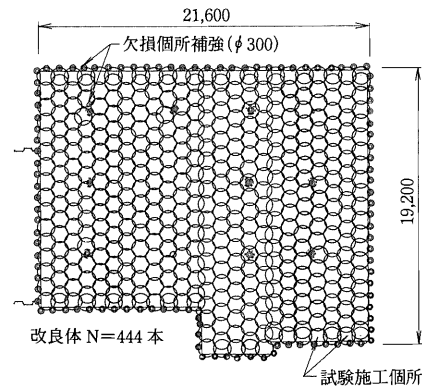


図-6 ポンプ井施工配置図

(3) 施工結果

$\phi 700$ mm のビットで図-7 のようなラップ配置で造成を行い、コアを採取して強度試験を行った結果、強度は、 $1.5 \sim 2.6 \text{ N/mm}^2$ であった (攪拌される土質によって強度の差がある)。

$\phi 700$ mm, $\phi 300$ mm のいずれも廃泥は出ることなく、施工が完了した。当初、積算で計算されていた施工日数は、 $\phi 700$ mm で実働 150 日/台程度であったが、実質は実働 200 日かかり、又、 $\phi 300$ mm の施工も入れると約 220 日の実働となった。

新工法ということで、当初 AMP ベースマシンが 1 台しかなく、途中でもう 1 台追加して 2 台で施工を

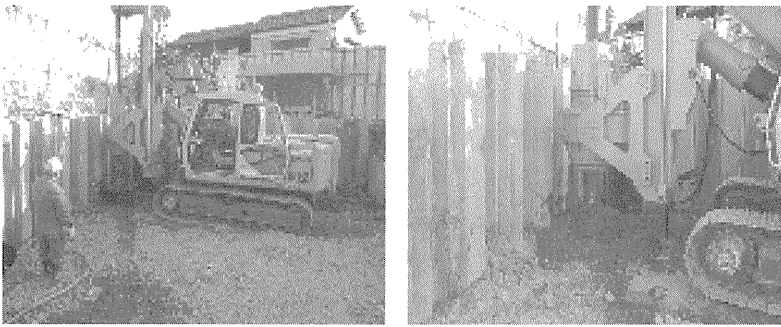


写真-10 施工状況

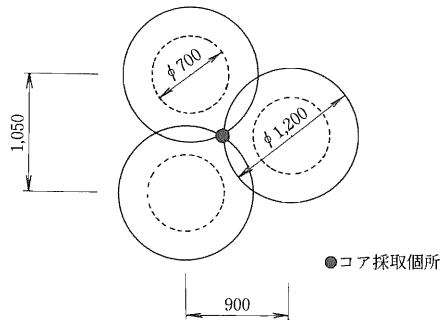


図-7 標準配置図 (ラップ配置)

行った。GL-5.50 m まで抜替えをしても、その下にはやはり礫や転石混じりがあった模様で、かなりの負荷がかかり削孔、引抜きに時間を費やした。また本施工時では開発途上の工法であるため、ケーシングやビットも破損し、修理等にかなり時間を費やした。

本報文で述べた AMP 工法（機械攪拌エア・ミルク



写真-11 掘削底面

混合圧送工法) は、粘性土、砂質土、腐食土等には十分威力を発揮することがわかったが、礫（特に転石混じり）の多い箇所では、1箇所の地質調査ではなく、数箇所の調査を十分し施工を検討する必要がある。

結果的には、廃泥も出さずに無事完了し、掘削を行っても、「盤ぶくれ」や「ボイリング」も発生せず、掘削底面（写真-11）は、見事に圧密された状態で仕上がっていた。

4. おわりに

現在、AMP 工法は、特許も取得しており、平成 14 年度には高知県地場産業大賞や高知エコ産業優秀賞、第 4 回国土技術開発賞など数々の栄誉ある賞を受賞した。開発担当者はこの苦勞した現場を参考に随分と開発に力を入れられたことと思う。

現在では、土質により違いはあるが、使用ビット径は $\phi 700 \sim \phi 1,800$ 、有効改良径は噴射有りで $\phi 2,300$ まで可能にしたということである。

建設業界が建設汚泥を減らすことによる環境への貢献は大きい。ますますの技術革新を期待するものです。

JCMA

【筆者紹介】

川崎 文也（かわさき ふみや）
日本下水道事業団
大阪支社
高知工事事務所
工事課長



田所 正（たどころ ただし）
香長・共栄特定建設企業体
現場代理人

