

地中連続壁・すかし掘り工法の紹介

技術本部 土木技術第二部 荒井信章
 名古屋支店 土木工事第二部 宮島 潔
 清水洋治
 野尻泰正

概要:平成13年度302号鳴海 大高共同溝立坑工事において、菱建基礎(株)の保有する地中連続壁・すかし掘り工法が採用された。本稿は、設計変更に至る経緯および工事概要を報告する。本立坑は、既設大高共同溝と既設発進立坑を包括する位置に建設されるため、既設大高共同溝の山留壁構築は施工法の検討が必要であった。そこで、オーガーを鉛直に挿入し、既設構造物下面位置に到達した時点でオーガーが扇形に掘削しながら端部を中心として回転上昇する、地中連続壁・すかし掘り工法を提案し採用された。

Key Words: 地中連続壁・すかし掘り工法, 地中連続壁工(柱列式 SMW工), BH工法

1. はじめに

本立坑は、国道1号と国道302号(未施工)の交差点北側に位置する。既に国道1号に建設されている大高シールド共同溝と今後建設される鳴海 共同溝、緑地共同溝、有松共同溝の4つを包括する形状であり、電力・NTT・ガス・水道の4企業を収容する。

本工事は、仮設工として地中連続壁工(柱列式 SMW工)(以後、SMW工法と称する。)を用い土留壁を構築し、掘削工・現場打ち構築工(逆巻き工法)で立坑の施工を行う。しかし、既設大高共同溝が地下24mに存在するため、既設構造物下部の土留壁の構築が困難であり、当初設計では施工・工期の面で問題となるため、設計変更を行った。

2. 工事概要

工 事 名:平成13年度302号鳴海 大高共同溝立坑工事

発 注 者:国土交通省 中部地方整備局 愛知国道事務所

工 事 場 所:名古屋市緑区大高町字北平部

工 期:平成14年3月5日～平成16年3月10日

構造形式:現場打ち構築工(逆巻き工法 外径 20.0m, 深さ 29.636m, コンクリート 3,300m³, リング梁 5段)

開削土工(9,600m³)

仮設工 当初(SMW工法, 土留支保工, BH工法, 他)

変更(SMW工法, 地中連続壁・すかし掘り工法, 他)

接続共同溝:大高共同溝(シールド 5.85m), 鳴海 共同溝(シールド 7.20m), 緑地共同溝(シールド 7.20m), 有松共同溝(開削4.50m×3.45m)

収容企業:電力, NTT, ガス, 水道



荒井信章



宮島 潔



清水洋治



野尻泰正

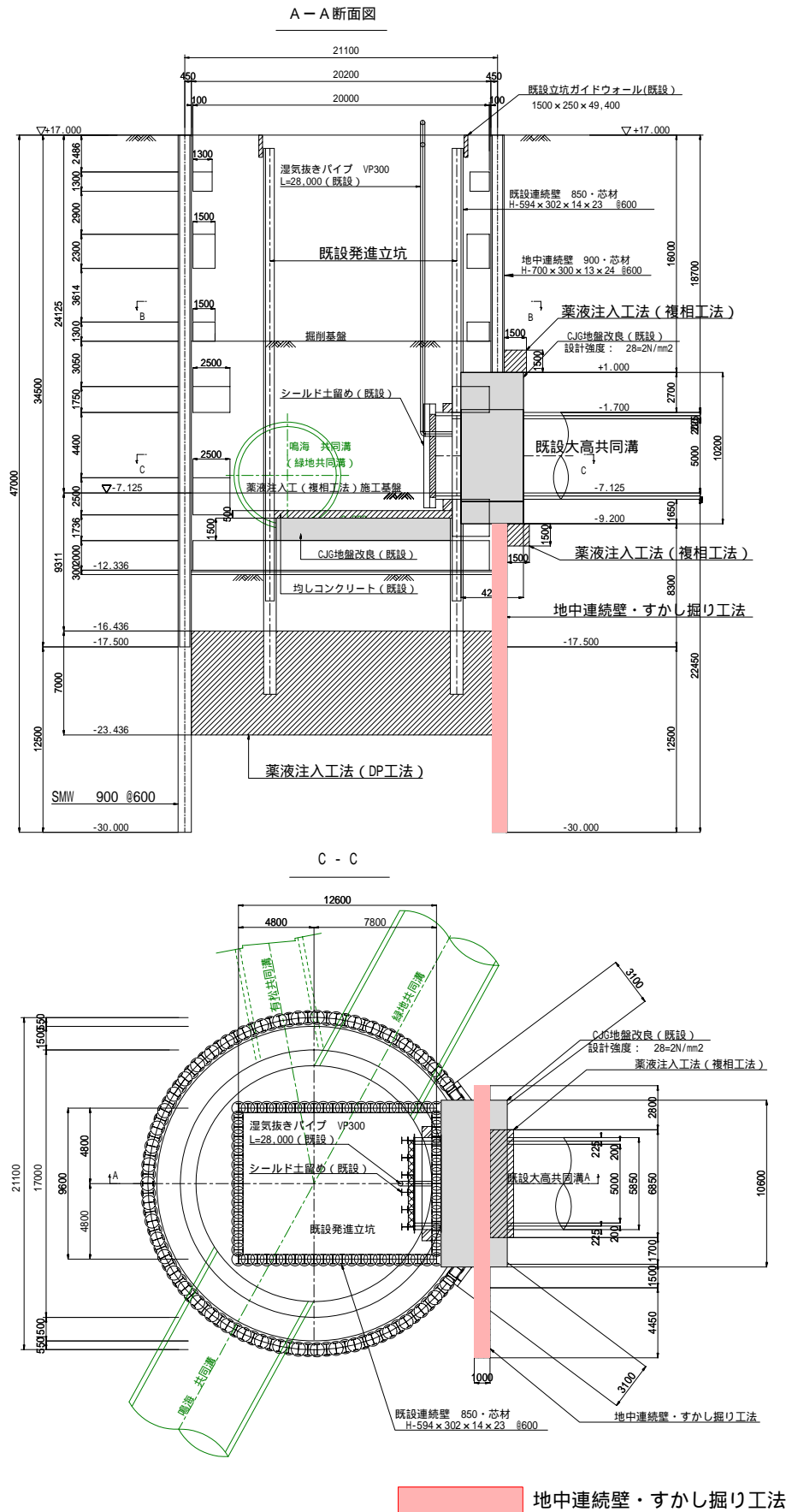


図-1 302号鳴海 大高共同溝立坑一般図

3. 当初設計

(1) 当初設計

当初設計では、既設大高共同溝直下の山留壁の施工は、既設発進立坑を再利用し、既設大高共同溝内からBH工法で芯材を立て込み、地中連続壁を構築する計画であった。SMW工法とBH工法の間は、RJP工法および薬液注入工で補強されるものの、大深度であるため不安があった。

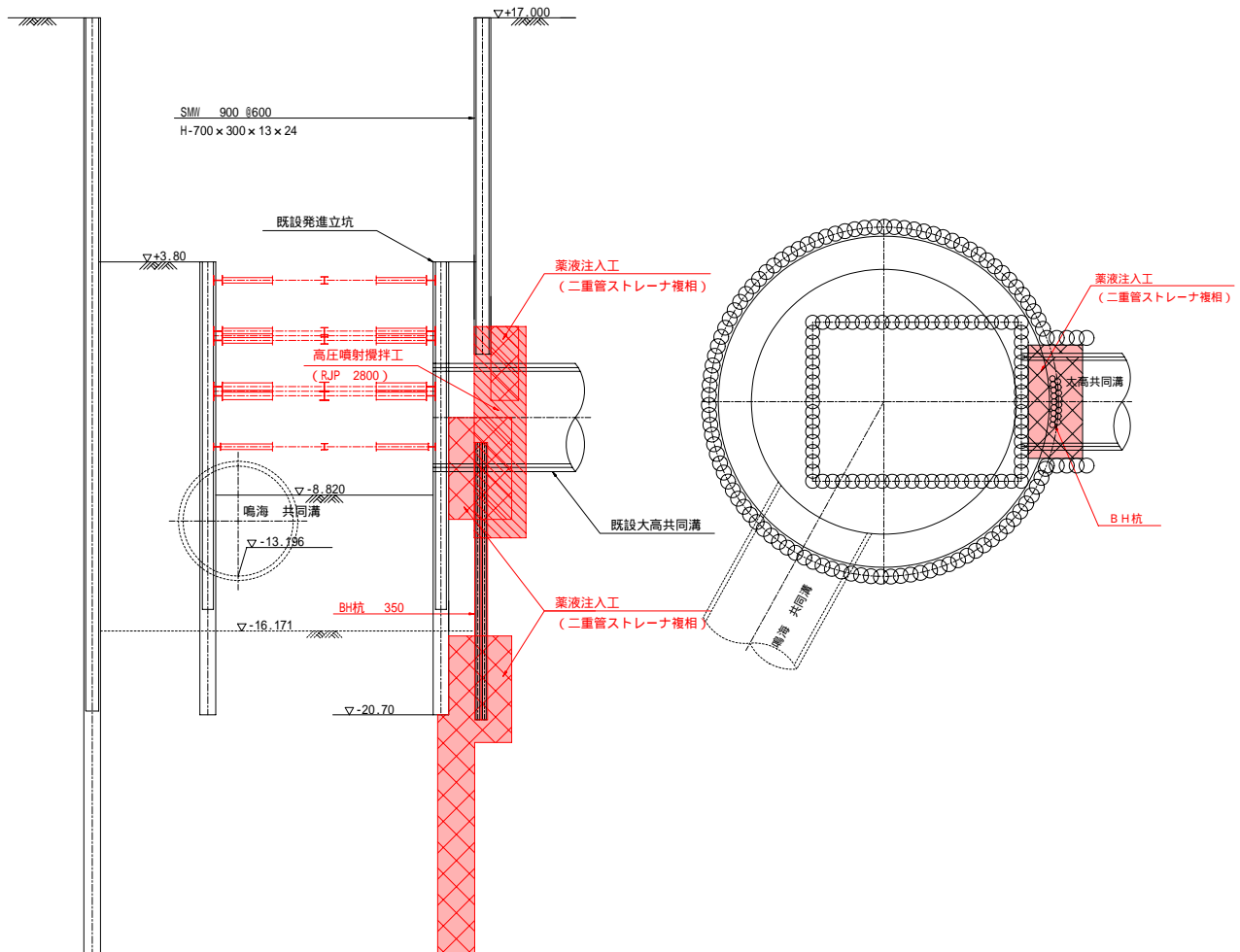


図-2 当初設計仮設図(BH工法, RJP工法, 薬液注入工法, 他)

- 1 BH工法: ボーリングマシンを使用して、ロッドの先端に取り付けたビットを回転させ掘削し、場所打ちコンクリート杭の造成あるいは既製杭の建て込みを行う工法。
- 2 RJP工法: 超高压水噴流体と空気噴流体、並びに超高压硬化材噴流体と空気噴流体を、多重管ロッドの先端から合流方式分割二段階噴射システムで噴射し、回転・引き上げをすることにより、地盤中に2,000~3,200mmの円柱状改良体を造成する地盤改良工法。

(2) 問題点

設計図書の照査を行っていたところ、既設大高共同溝の施工でシールド発進のために孔壁防護(CJG地盤改良)が施されていることが判明し、SMW工法による既設大高共同溝下部の土留壁の施工が困難と判断した。

シールド発進の孔壁防護(CJG地盤改良)による問題点

a) SMW工法 施工不能

- ・ SMW工法はN値50以下の土質に用いる。
道路土工 仮設構造物工指針: N値30以上 固結した $C=200 \text{ kN/m}^2$
道路橋示方書: $C=6 \sim 10 \text{N(kN/m}^2)$ N値50では, $C=10 \times 50=500 \text{ kN/m}^2$
- ・ ボーリング調査を行い, 孔壁防護(CJG地盤改良)部のコアを採取し, 1軸圧縮試験を行ったところ, $q_u=7 \text{ N/mm}^2 (C=q_u/2=3,500 \text{ kN/m}^2)$ であった。
- ・ 孔壁防護(CJG地盤改良)部はN値50以上の岩の分類に属するため, 通常施工は不可能。
道路橋示方書 N値50 $C=500 \text{ kN/m}^2 < \text{ボーリング調査 } C=3,500 \text{ kN/m}^2$
- ・ N値50以上の箇所について施工するには補助工法が必要となる。(工費・工期 増)

b) SMW工法とBH工法との間隔が増大

- ・ SMW工法の施工不能により, SMW工法の芯材とBH工法の芯材の間隔が広がる。
- ・ RJP工法, 薬液注入工法の施工範囲が増大となる。(工費・工期 増)
- ・ 孔壁防護(CJG地盤改良)部以下の施工範囲が広く, 施工は困難である。施工困難による不確実性が懸念される。

当初設計(孔壁防護なし)

設計照査後(孔壁防護あり)

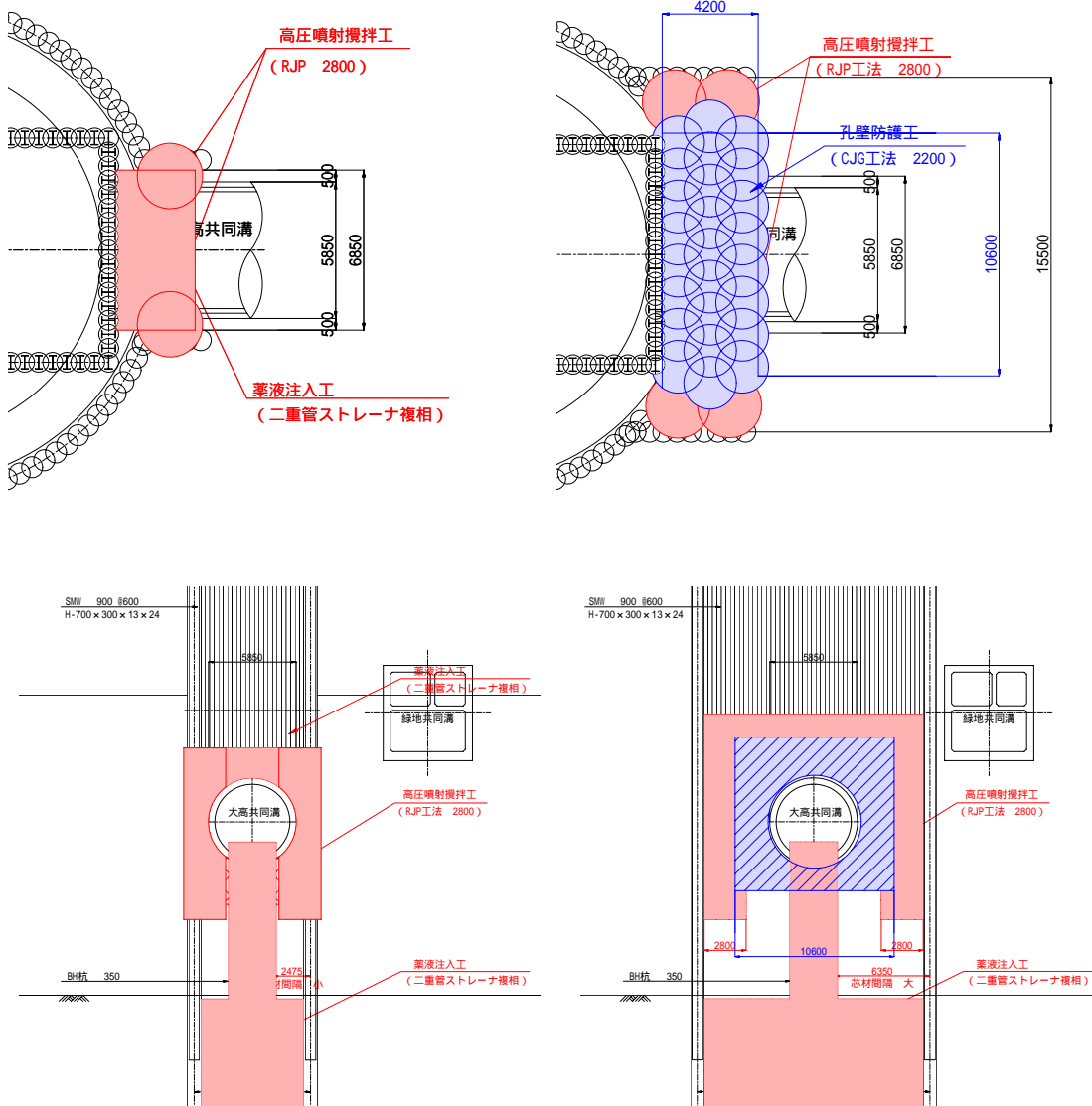


図-3 孔壁防護(CJG地盤改良)による施工範囲比較

4. 地中連続壁・すかし掘り工法の紹介

既設大高共同溝のシールド発進の孔壁防護(C)G地盤改良)により、既設大高共同溝下部の施工は困難となったため、他の施工方法を検討した。対応工法として、地上施工で地中埋設物を移動することなくその下部に連続した壁を構築する工法、「地中連続壁・すかし掘り工法」を提案した。「地中連続壁・すかし掘り工法」は、(株)ピーエス三菱グループの菱建基礎(株)の保有する技術であり、地下鉄工事等で採用され、実績のある技術である。

下記に「地中連続壁・すかし掘り工法」を紹介する。

(1) 工法の特徴

- ・ 地中埋設物を移動しないで、その下に連続した壁を構築できる。
- ・ 施工機械がコンパクトなので大がかりな仮設は不要。
- ・ 地中連続壁施工と同時期にすかし掘り施工が進行できる。
- ・ 全体的な工期短縮によりトータルコストの大幅な低減が見込める。
- ・ あらゆる土質に適用できる。
- ・ 数多くの工事経験を基に、地中埋設物下への確実な鉄筋かご配置を目的とした[鉄筋かご横行装置]を開発し、壁厚1,000mm、すかし掘り長さ9.2m、掘削深度30mの実績がある。
- ・ すかし掘り機のパワーアップを図り、現在壁厚1,200mm、すかし掘り長さ10mまで対応可能。



図-4 地中連続壁・すかし掘り工法 イメージ図

(2) 施工手順

- | | | |
|--|--|---|
| <p>一般部掘削
一般部を地中連続掘削機にて掘削。反力材・排泥管の立て込みを行う。</p> | <p>初期掘削
すかし掘り機をガイドに添って挿入。回転させながら埋設物直下を掘削。</p> | <p>中間掘削～底部掘削
掘削土砂の排土効率・粘着防止等を考慮し、底部まで掘削。</p> |
|--|--|---|

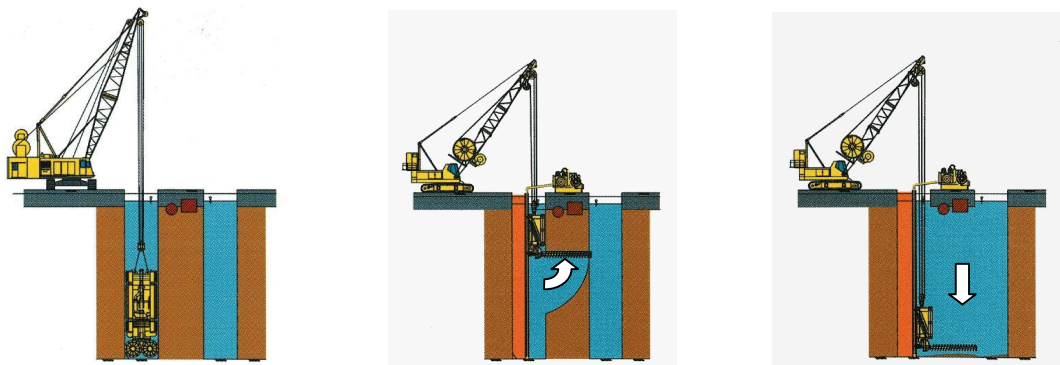


図-5 地中連続壁・すかし掘り工法 施工手順 1

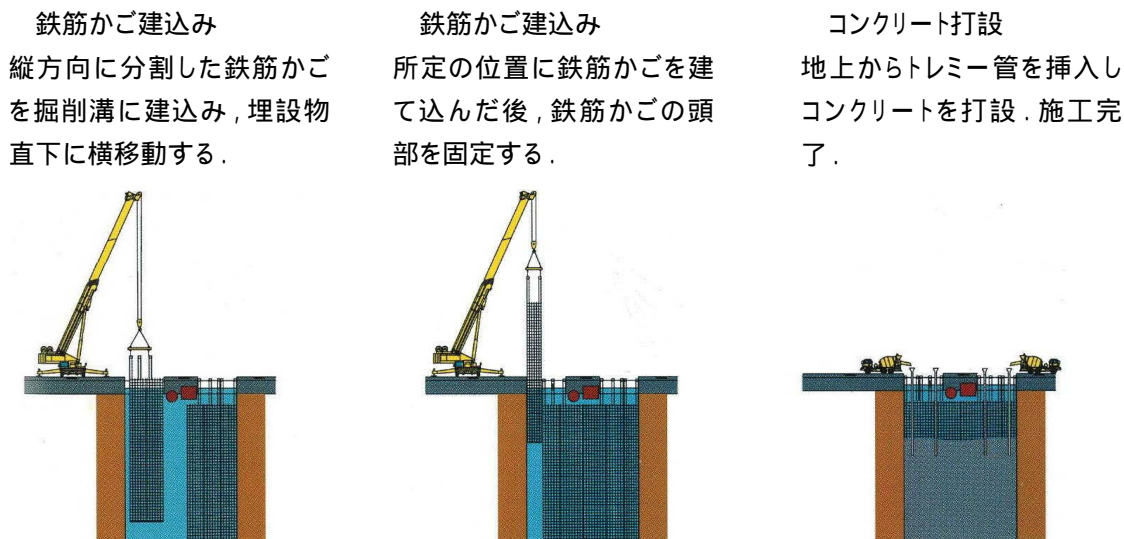


図-6 地中連続壁・すかし掘り工法 施工手順 2

(3) 主な仕様

地盤 : 弱齢地盤も補助工法を用いて可能 / 軟弱地盤 / 玉石混り地盤 / 岩盤
 敷地 : 狭隘地 / 空頭制限を受ける(有効高7.0m) / 近接施工 / 海上, 河川上の施工 / 路下施工 / 地下埋設物を移設しないで施工可能

施工機械 : 地中連続壁掘削機

懸垂式クラムシェル (壁厚 500 ~ 1,800mm, 施工深度 130m)

水平多軸回転カッタ (壁厚 640 ~ 3,600mm, 施工深度 150m)

すかし掘り掘削機

シングルカッター (壁厚 600 ~ 1,200mm, 施工深度 50m, 65tクレーン)

ツインカッター (壁厚 600 ~ 1,500mm, 施工深度 50m, 50tクレーン)

5. 工法比較検討

既設大高共同溝下部の施工を確実にを行うために地中連続壁・すかし掘り工法を対象とし, 工法の比較検討を行った。また, 工期短縮や, 現場の施工を考慮した工法の提案も行った。

比較検討の対象となった工法をCASE 1 ~ 3として下表に示す。

表-1 対象工法一覧

	一般部	既設大高共同溝下部
CASE 1	SMW工法(柱列式)	BH工法・RJP工法・薬液注入工 ・土留支保工
CASE 2	SMW工法(柱列式)	地中連続壁・すかし掘り工法
CASE 3	³ CRM工法(壁式)	地中連続壁・すかし掘り工法

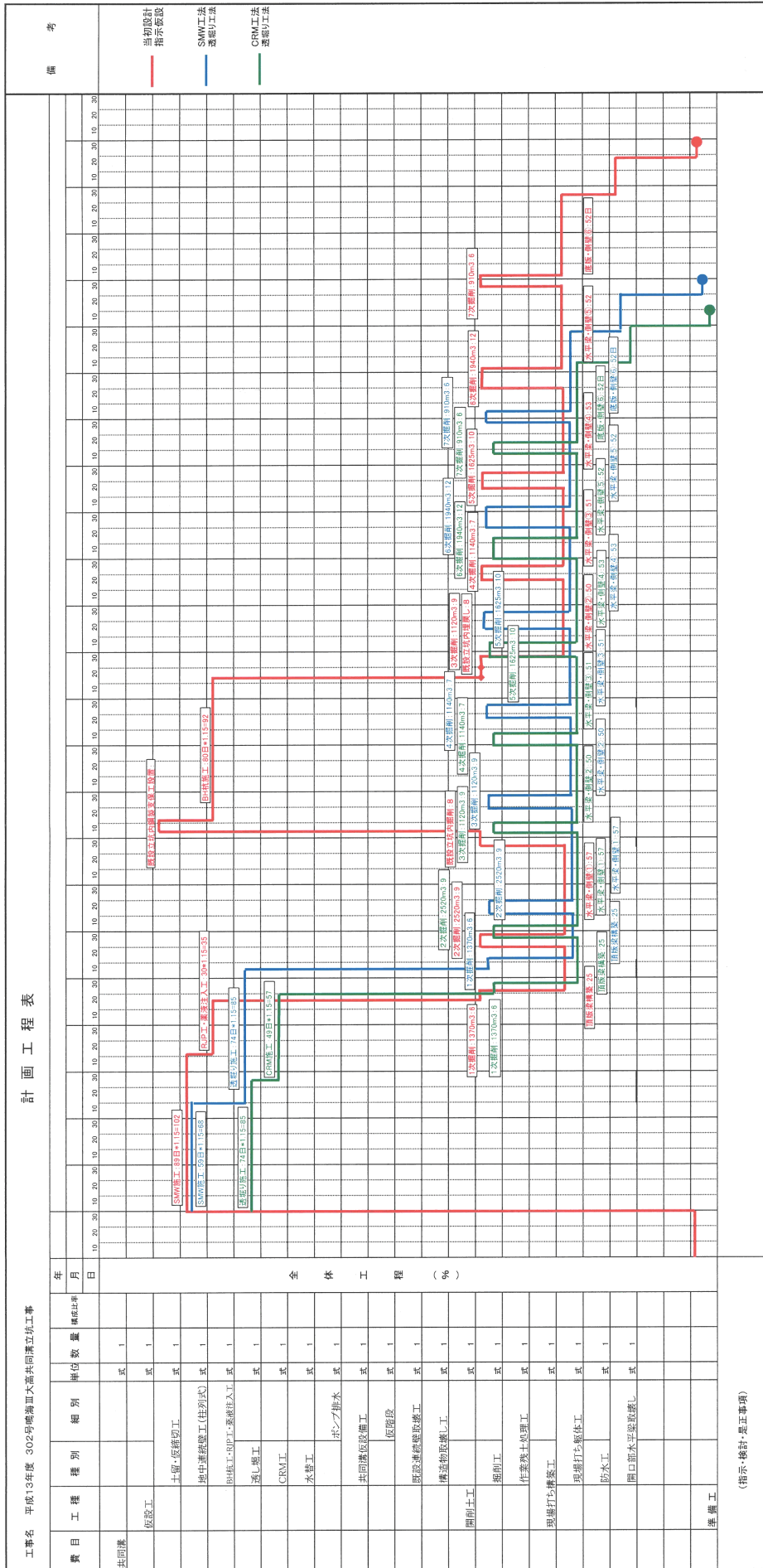
3 CRM工法: 掘削土再利用連壁工法 RC連壁の掘削施工技術を利用し, 掘削土残土をリサイクルによって減量し, 均一・高精度のソイルセメントの地中連続壁を構築する工法。

表-2 工法比較検討表

工法比較検討表

工法種別	CASE 1 (当初設計)	CASE 2	CASE 3
	SMW工法(柱列式)+BH工法+RJP工法+他	SMW工法(柱列式)+地中連壁+すかし掘り工法	CRM工法(壁式)+地中連壁+すかし掘り工法
工法概略図	<p>SMW工法 φ900 φ700×300×13×24 BH工法 φ350</p> <p>CJG工法 RJP工法 薬液注入工法</p>	<p>SMW工法 薬液注入工法 CJG工法 すかし掘り工法</p>	<p>CRM工法 SMW工法 薬液注入工法 CJG工法 すかし掘り工法</p>
山留壁の構元	<p>一般部：SMW工法(柱列式) 掘り径：φ900mm 芯材：H-700×300×13×24 L=34.0m 削孔長：H=50.7m 発生泥土運搬処理：349m³</p> <p>BH杭：杭径φ350mm 杭長L=14.0m コンクリート2.4m³ 芯材：H-200×200×8×12 RJP：有効径φ280mm 削孔長L=27.0m 薬液注入：対象土重28.9m³ 注入量11.7kl 路上土工 対象土重380.2m³ 注入量154kl 路上土工</p>	<p>一般部：SMW工法(柱列式) 掘り径：φ900mm 芯材：H-700×300×13×24 L=34.0m 削孔長：H=50.7m 発生泥土運搬処理：3307m³</p> <p>既設大高共同清下部：地中連壁、すかし掘り工法 削孔幅：H=1000mm 鉄筋総重量：125.9t コンクリート打設量：1056.4m³ 完成壁面積：1056.4m² 掘削土量：1056.4m³ 泥土処理：1056.4m³ 泥水処理：845m³</p>	<p>一般部：CRM工法(壁式) 掘り径：H=900mm 芯材：H-700×300×13×24 L=37.5m 削孔長：50.7m 発生泥土運搬処理：953m³</p> <p>既設大高共同清下部：地中連壁、すかし掘り工法 削孔幅：H=1000mm 鉄筋総重量：140.7t コンクリート打設量：1241.9m³ 完成壁面積：1181.1m² 掘削土量：1181.1m³ 泥土処理：1181.1m³ 泥水処理：905m³</p>
工法概要	<p>既設大高共同清下部：BH杭・RJP・薬液注入工法併用 BH工法は、22m以上の動力を持つボルトを使用し、ロッドの先端に取り付けた掘削用ビットを回転させて掘削を行う。掘削後仕掛を逐次打ち込み、モルタル注入を行って埋込み杭を造成する。</p>	<p>一般部：SMW工法(柱列式) ・各層が相互ラップしているの止水性が高い。 ・原位置改良型で孔壁の硬みや前縁が少なく、周辺地盤への影響が少ない。 ・硬質地盤に対して、適応性がやや劣る。H値50以上の締まった土質、φ100mm以上の玉石が混入している砂礫または軟岩の土質については、先行削孔併用方式となる。 ・施工精度は、1/150(先行削孔地盤) 大深部の場合、計画管理の補助工法が必要となる。</p> <p>既設大高共同清下部：地中連壁、すかし掘り工法 BH工法は、22m以上の動力を持つボルトを使用し、ロッドの先端に取り付けた掘削用ビットを回転させて掘削を行う。掘削後仕掛を逐次打ち込み、モルタル注入を行って埋込み杭を造成する。</p>	<p>一般部：CRM工法(壁式) ・各層が相互ラップしているの止水性が高い。 ・掘削土の50%~70%を再利用できる。 ・埋内フラットにてソイルセメントを製造する為、均一かつ高品質で施工できる。 ・専守施工であるため養生力に依存しやすいため、近接施工が可能である。 ・地盤改良設備の運用が可能な為、CJG地盤改良部にも適応する。 ・多様な地盤条件への適用が可能な為、CJG地盤改良部にも適応する。 ・RC連壁掘削工法の工法を用いることで掘削深度に対して対応性が高く、施工精度が高い。(計画管理等の計画性が確保されている。)</p> <p>既設大高共同清下部：地中連壁、すかし掘り工法 地下より地下埋設物の面識取除き連壁工法の掘削工法を用いて通常掘削し、地中埋設物の下部をすかし掘りを用いて掘削する。掘削した孔壁は安定液を使用し防備する。掘削完了後は、地中埋設物の下部に鉄筋かごを横引きして埋込み、コンクリートを打設する。</p>
特徴	<p>既設大高共同清下部：BH杭・RJP・薬液注入工法併用 ・狭い敷地での施工が可能である。 ・作業高さが高い場合でも施工可能である。 ・掘削が軽く小型のため、狭い道路でも搬入できる。 ・機械の組立解体に大型機械を必要としない。</p>	<p>既設大高共同清下部：地中連壁、すかし掘り工法 ・地下埋設物を移動・取壊しせずに地下埋設物の下に一般部と同仕様の地中連壁が構築可能。 ・あらゆる土質に適用できる。CJG地盤改良部にも適応する。 ・全体的な工期短縮が行える。 ・施工機械がコンパクトなので、大がかりな仮設を必要としない。</p>	<p>既設大高共同清下部：地中連壁、すかし掘り工法 ・地下埋設物を移動・取壊しせずに地下埋設物の下に一般部と同仕様の地中連壁が構築可能。 ・あらゆる土質に適用できる。CJG地盤改良部にも適応する。 ・全体的な工期短縮が行える。 ・施工機械がコンパクトなので、大がかりな仮設を必要としない。</p>
概算施工費 (直積工事費)	¥386,800,000	¥451,000,000	¥475,600,000
総合評価	<p>・設計照査の結果、既設大高共同清孔口に薬液防備(CJG工)が施されている為、SMW工・BH工・薬液注入工の施工が可能となる。 ・CJG工を回避しての施工は、SMW工とBH工の芯材間隔が広く、土留構築が不可能。</p>	<p>・工種ごとに機械設備の組立解体作業があるため工期は長くなる。 ・SMW工の施工精度に不安がある(ねじり、傾きによるラップ)はすれ、規格値未確保)ため計画管理が必要 ・CASE 2と比較すると、安価であるが工期が20日程度長くなる。</p>	<p>・CRM工の機械設備をすかし掘り工でも共用できるため、設備の組立解体の手間が省け、工期短縮となる。 ・施工精度の垂直精度もともと高い。施工精度/500 ・CASE 2と比較すると、工期が20日程度短くなる。</p>
判定	X	◎	△

表-3 計画工程表



比較区分	工種	金額	実績日数
CASE-1	SMW工法	322,500,000	89
	BH掘工法	27,300,000	80
	RUP工法	15,100,000	15
	薬液注入工法	15,300,000	8
	土留・咬合工	6,000,000	207
	合計	386,200,000	
CASE-4	SMW工法	265,700,000	59
	掘削工法	182,300,000	74
	薬液注入工法	451,000,000	133
CASE-3	CRM工法	281,600,000	49
	掘削工法	194,200,000	70
	合計	475,800,000	119

比較検討の結果、既設大高共同溝の孔壁防護(CJG地盤改良)を撤去可能な工法が必要であり、工期短縮、工事金額を考慮するとCASE 2またはCASE 3が対象となる。CASE 3では一般部と既設大高共同溝下部の施工に同じ掘削機械を使用するため、組立解体作業が省略され、工期はCASE 2より20日程度短縮される。しかし工費は高額となるため、CASE 2(一般部:SMW工法、既設大高共同溝下部:地中連続壁・すかし掘り工法)が採用された。

表-4 工法比較結果

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
CJG 地盤改良撤去	×		
工期 (実稼働日数)	207日	133日	119日
工費	¥386,800,000	¥451,000,000	¥475,800,000
判定	×		

6. 設計・施工

(1) 設計のポイント

a) 設計指針

地中連続壁基礎設計施工指針・同解説(日本道路協会)を指針とする。

b) 設計手法

すかし掘り連壁部の施工深度が深いため、⁴弾塑性法解析を採用する。

すかし掘り工より上の土層を上載荷重とし、すかし掘り連続壁に作用させる。

深度が深く上載荷重が大きいため、曲げモーメントが大きくなり、配置鉄筋量が多くなる。

c) その他

地中連続壁・すかし掘り工法の掘削の際、溝壁崩壊の恐れがあるため、溝壁安定計算に基づく地盤の補強が必要。

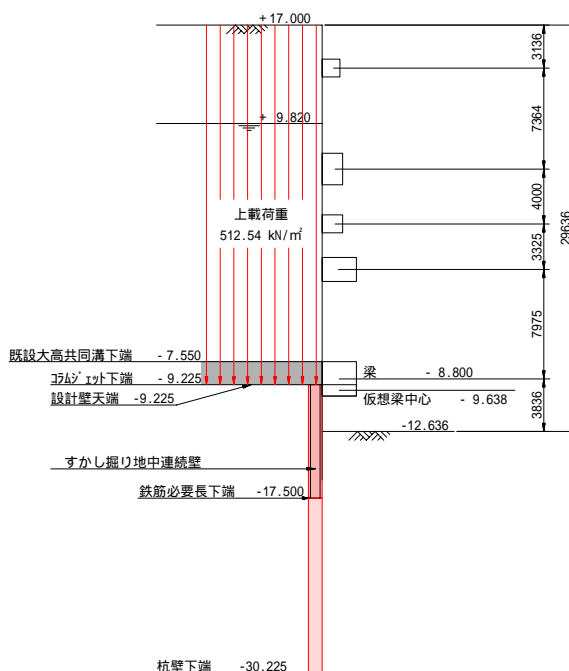


図-7 設計モデル図

4 弾塑性法解析 : 今回の設計では、掘削深さ約30m(H > 15m)であるため弾塑性法解析(芯材・鉄筋部まで)を行っている。また、土質調査結果より被圧水が確認されたため、盤ぶくれ検討を慣用法で解析している。

(2) 施工のポイント

a) 施工精度

- ・ 当現場のSMW工法および地中連続壁・すかし掘り工法は施工深度(掘削深さ)が約47mと深く、施工精度の計測管理が必要。
- ・ 施工精度が確保できなかった場合、ラップはずれから盤ぶくれ等の可能性や、応力が大きく作用する場所で、芯材等の偏心により地中連続壁の崩壊の可能性がある。

b) 計測管理

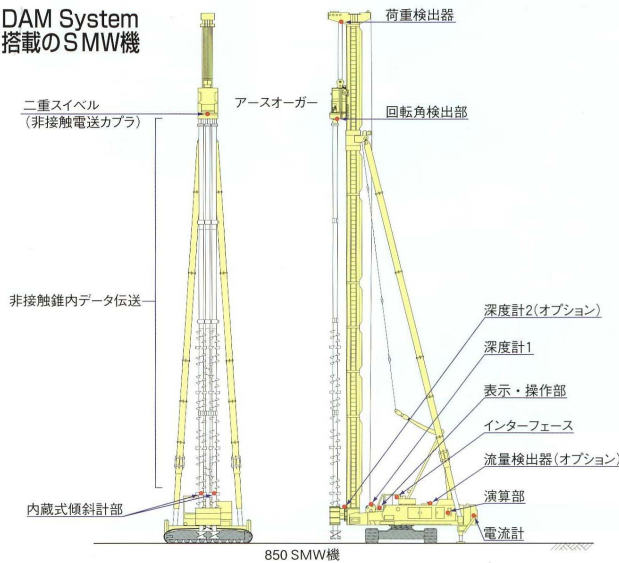
・ SMW工法

SMW本体機と、錐内に計測装置を内蔵し、地上のパソコン上にリアルタイムに錐の先端位置および、削孔精度が計測できるDAMシステムを採用した。

・ 地中連続壁・すかし掘り工法

超音波測定機を用いて傾き等の測定を実施した。

DAM System
搭載のSMW機



計測の概略フロー

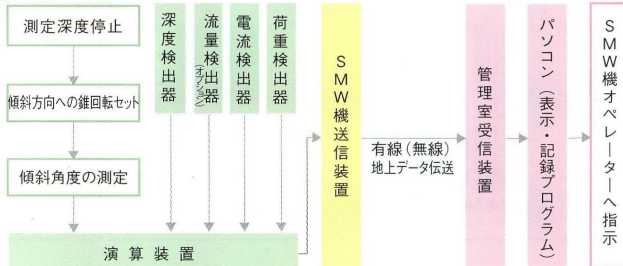


図-8 SMW工法 DAMシステム

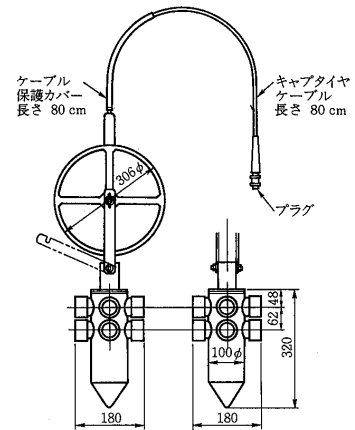


図-9 超音波測定機



写真-1 超音波測定状況

c) 計測管理結果

施工精度を計測した結果を下表に示す。

表-5 計測管理結果

施工方法	許容精度	⁵ 実測値	備考
SMW工法	1/150	1/250 (1/200)	許容値:H=23~45m:1/150 それ以深は施工実績を考慮し決定する。
地中連続壁・すかし掘り工法	1/500	1/2,000 (1/1,600)	鉛直精度の許容範囲は±50mm ~ ±100mm(1/500~1/1,000)としている。

5 : 平均値(最低値)



写真-2 SMW工法 掘削状況



写真-3 SMW工法 芯材建込状況



写真-4 地中連続壁・すかし掘り工
一般部掘削機



写真-5 地中連続壁・すかし掘り工
すかし掘り部掘削機



写真-6 すかし掘り部 掘削状況

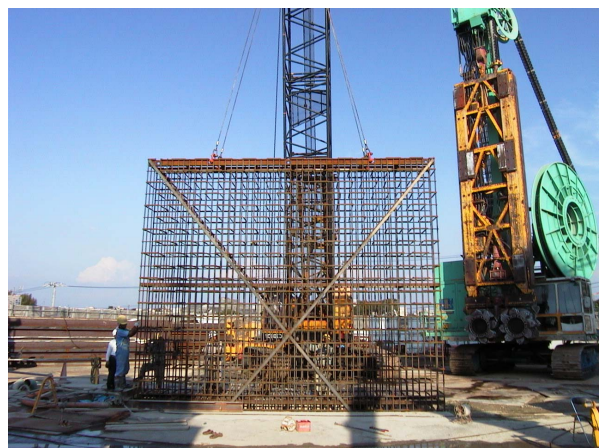


写真-7 鉄筋かご挿入状況

7. おわりに

本立坑工事は、国道302号、東名阪道の建設反対等の影響から、工事全部中止期間が約1年間通知された。その間、地中連続壁・すかし掘り工法の提案を行い採用され、工期短縮を図ったものの、本体構築の途中で打ち切り竣工することとなった。(掘削および本体構築は、すかし掘り部より上側で竣工となる。残工事は平成15年度発注予定。)現在は竣工へ向けて追い込みをかけ、作業を行っている。

地中連続壁・すかし掘り工法は、国土交通省 中部地方整備局では初めて採用された工事であり、設計変更の承諾は大変困難なものであった。(設計変更の計画当初、地中連続壁・すかし掘り工法はNETIS未登録、被圧水による盤ぶくれ検討、他)

現在保有する自社開発技術には、すばらしい工法が多く存在するため、再度見直し活用していく必要がある。



写真-8 現在の本体構築状況
(平成16年1月30日撮影)

謝辞

本工事の設計変更にあたり、多大なるご指導、ご尽力をいただいた関係各位の方々にこの場をお借りして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 共同溝シールド設計資料, 建設省名古屋国道工事事務所, 平成6年3月
- 2) トンネル標準示方書[開削工法編]・同解説, (社)土木学会, 平成8年7月
- 3) 道路土工 仮設構造物工指針, (社)日本道路協会
- 4) 地中連続壁基礎設計施工指針・同解説, (社)日本道路協会, 平成3年7月
- 5) SMW連続壁 標準積算資料[設計・施工・積算編], SMW協会, 平成11年4月
- 6) 透かし掘り工法 [施工マニュアル・積算基準(案)], 透かし掘り連壁工法研究会, 平成13年10月