

## H & V シールド工法実証実験工事

### VERIFICATION TEST OF H&V SHIELD TUNNELING METHOD

田中秀明\* ・久原高志\*\* ・尾崎 仁\*\*\* ・野口 隆\*\*\*\* ・中村 稔\*\*\*\*\*

Shuumei TANAKA, Takashi KUHARA, Hitoshi OSAKI, Takashi NOGUCHI and Minoru NAKAMURA

In the H&V Tunnelling Method, a special rolling control function is used in spiral tunnelling with multi-face shields. This method allows construction of tunnels that have multi-circular cross-sections with the arrangement of the circles varying continuously from vertical to diagonal and to horizontal or vice versa, as well as ramification from a multi-circular tunnel into separate single-circle tunnels. Authors has implemented verification test construction of a tunnel and has established the techniques relating to the construction procedure. Discussions are made in the present paper on this Method and verification test implemented.

Keywords: multi-circular face shield, super neighboring tunnel, spiral tunnel, ramification

#### 1. まえがき

大都市においては、急激な人口の集中や過密化の進行、地下の高騰などにより、鉄道、道路などの交通機関や電力、通信、上下水道などのライフラインの地上での路線確保が困難になっている。これに従い、新規路線は地下へと向けられてきたが、地下空間においても、地上と同様に各種構造物が輻輳する状態となっている。このような状況のもと、合理的な断面形状のニーズ、経済性の追求などから異形断面のシールド工法の開発が活発化している。異形断面のシールド工法として、円形を連ねた形の多円形シールド工法が、すでに開発、適用されている。多円形シールド工法の特徴としては、以下があげられる。

- ・円形を縦、横に連ねることにより、トンネル占有幅や高さが小さくなる
- ・円形を連ねることにより単円形断面に比べ、不要断面が低減され、経済的となる

ここに報告するH & V シールド工法は、これらの多円形シールド工法の特徴をさらに高めた多円形シールド工法である。

---

|       |     |           |                |
|-------|-----|-----------|----------------|
| *     | 正会員 | (株) 間 組   | 土木本部設計部        |
| **    | 正会員 | 清水建設(株)   | 土木技術第一部        |
| ***   | 正会員 | 前田建設工業(株) | 技術部            |
| ****  | 正会員 | 川崎重工業(株)  | 産機プラント事業部土木機械部 |
| ***** | 正会員 | 新日本製鐵(株)  | 建材開発技術部        |

2. H & V シールド工法概要

一般に多円形シールド工法は、単線並列トンネルや複線円形トンネルに比べ経済性や施工性、安全性などにおいて、いくつかの優れた特徴を有する断面形状と考えられる。しかし、多円形シールドにおいても、円形を縦に連ねる場合と横に連ねる場合では、その特徴は異なるものとなる。例えば、横に連ねた場合は占有高は低くなり占有幅は広がる。一方、縦に連ねた場合は占有高は高くなり占有幅は狭くなる。これより、1つの路線において縦、横両方を使い分ける必要が生じてくる。

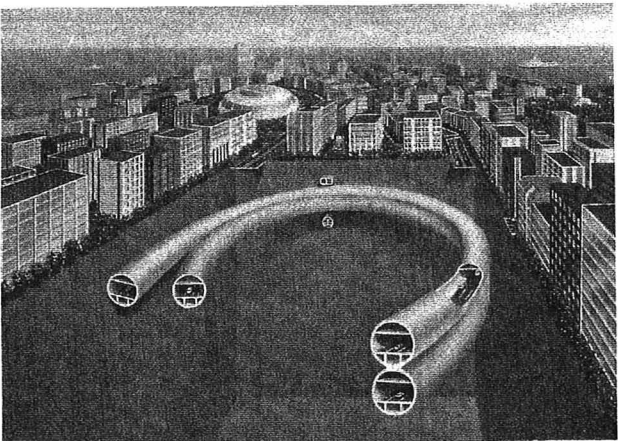


図-1 H & V シールド工法概念図

H & V シールド工法は、独特のローリング制御機構を持つことにより、縦から横あるいは横から縦へと旋回する（スパイラル）トンネルの建設が可能な多円形シールド工法である。  
また、各トンネルの内空は円形であり、縦、横、斜めとトンネルが変向しても内空が変わらず、各トンネルの行き先が途中より異なる場合、地中でシールド機を分離する事により多円から複数の単円へと分岐するトンネルの建設が可能である。図-1 にH & V シールド工法の概念を示す。

2.1 シールド機

H & V シールド機は、単円形のシールド機をセグメント内空が円形となるように接合し、各円形のシールド機の掘進方向を変えることによりローリング制御を行う。接合方法は、線形、使用セグメントにより変わるが、2円形の場合の接合方法として、表-1 に示す形式が考えられる。実験工事では、2種類のセグメントを使用するため、前胴中折れ（クロス・ティキレット機構）タイプとした。また、補助する役割として、コピーカッター、ジャッキの推進方向を回転方向に偏芯させたスパイラルジャッキを用いる。

表-1 シールド機接合形式

| 単胴接合 | 前胴中折れ | 両胴中折れ |
|------|-------|-------|
|      |       |       |

2.2 セグメント

H & V シールドで使用するセグメントは、トンネルの使用目的にあわせて、2つのトンネルを結合した一体型セグメントと、超近接の単円トンネルを構築する独立型セグメントを使用する。どちらのタイプでも2つトンネル内空は円形であることを基本としている。

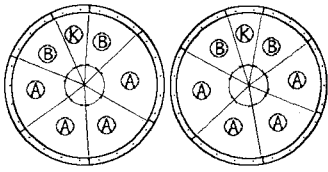
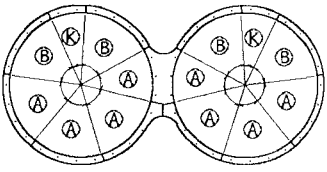
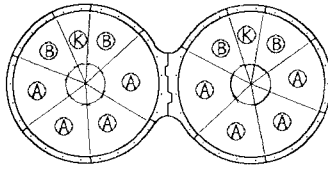
(a) 単円独立型セグメント

スパイラル部においても、従来の曲線施工と同様に標準セグメントのストレートセグメントとテーパセグメントを組み合わせることにより、スパイラル状のトンネルを構築することができる。

(b) 一体型セグメント

一体型セグメントは、各トンネル軸に直交する面を持つ円形セグメントを接合した形状となる。スパイラル部においては、各トンネル軸が平行で無いため結合部は特殊な形状となるが、スパイラル量（単位長さ当たりの旋回角度）が一定の場合、どのリングも同一形状である。表－２にセグメント分割の例を示す。

表－２ セグメント分割

| 単円独立型セグメント                                                                        | 一体型セグメント                                                                          |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | TYPE－A                                                                            | TYPE－B                                                                             |
|  |  |  |

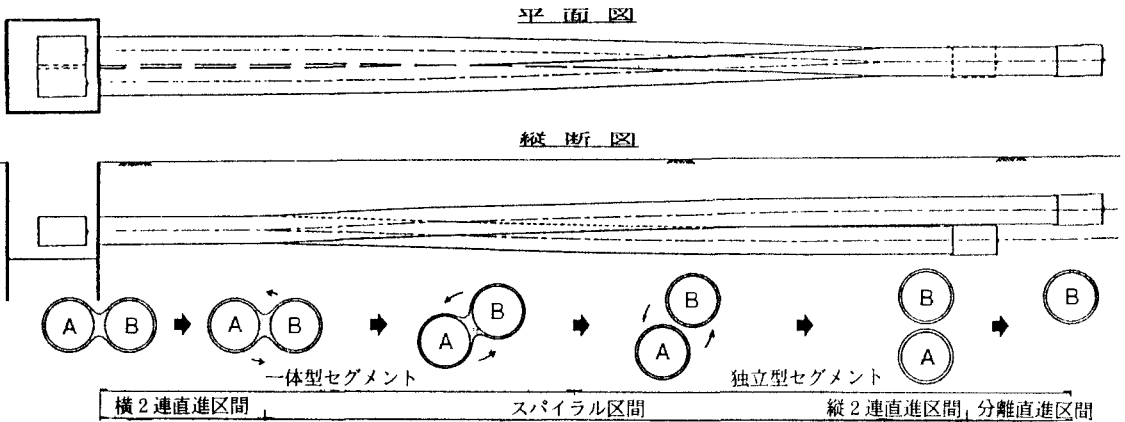
3. 実証実験

3.1 実験路線

超近接、スパイラルおよび分岐トンネル施工の確認およびその特性把握を目的とし、下記の４区間とした。

①横２連で12m直進 ②45mで90度スパイラル ③縦２連で6m直進 ④分岐掘進7.5m（B線のみ）  
スパイラル量は、90度／45m＝2度／mであり、スパイラル区間をR換算すると、約787mRとなる。ただし、Rの中心は路線延長とともに水平、鉛直ともに移動するため、円弧とはならず、平面線形ではCOS曲線、縦断線形ではSIN曲線となっている。

また、掘進地盤は、上層よりローム、砂質粘土、細砂層であり、掘進位置は主に砂質粘土層である。また、地下水位はGL-3m付近である。路線を図－２に示す。



図－２ 実験路線

3.2 シールド機

実験機の仕様を以下に示す（写真－１，図－３）。

・形式：泥水加圧式 ・外径：φ2120mm×2 ・機長：3500mm ・クロス・ティルト量：最大6度（±3度×2）  
機械の構造上、チャンバーは独立とした。また、本路線では、シールド機が90度回転するため、送排泥管の取り付けは、あらかじめ45度傾けた位置とした。また、後胴に脱着可能な隔壁を設け、一体型および独立型セグメントの組立を可能とした。

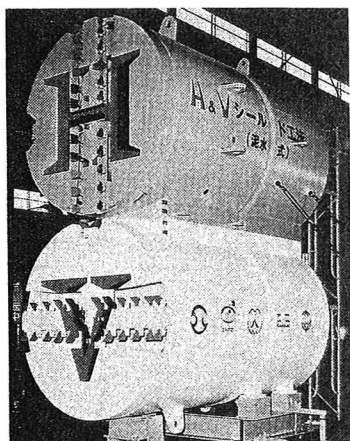


写真-1 実証実験機

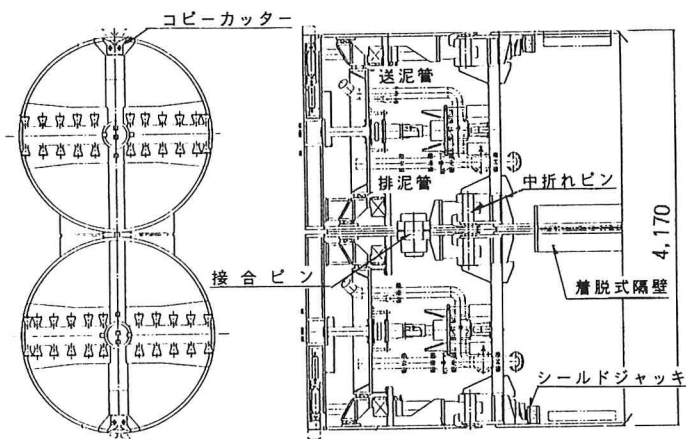


図-3 H&Vシールド機

### 3.3 セグメント

本実験では、一体型および独立型を使用し、発進より一体型ストレートセグメント、一体型スパイラルセグメント、単円独立型セグメントの順に使用した。また、トンネル径が小さいことより、スチールセグメントとし、一体型セグメントの分割は、表-2のTYPE-Aとした。

## 4. 実験結果

### 4.1 線形管理

シールド機の方角制御は概ね順調であり、計画線とのずれは、平面・縦断ともに、最大で±40mm以下でスパイラルトンネルの構築を完成させた(写真-2)。

掘進時の各種計測結果より、H&Vシールドの特性を以下にまとめる。

- ① スパイラル量はクロスアーティキュレート量に比例しており、クロスアーティキュレート量の調整により制御可能である(図-4)。また、ジャッキパターンによるスパイラル量の影響は見られなかった。
- ② ヨーイングおよびピッチング量は、ジャッキパターンによるシールド機中心回りの水平および鉛直モーメントに比例しており、制御は両胴一体と考えたジャッキパターンの選択による制御が可能である(図-5)。
- ③ シールド機のスパイラル開始は、中折れ操作より数リング遅れており、通常の中折れシールド機による曲線施工と同様の挙動を示した。また、スパイラル終了時も同様の傾向であった。
- ④ 蛇行量は、平面線形でスパイラル掘進後半、縦断線形でスパイラル掘進前半で大きくなっている。これは、スパイラル量のずれが前半では縦断線形に、後半では平面線形に影響を与えるためと考えられる(図-6)。

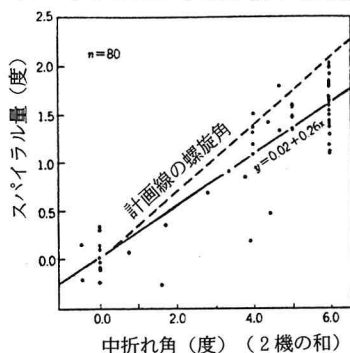


図-4 クロスアーティキュレートとスパイラル量

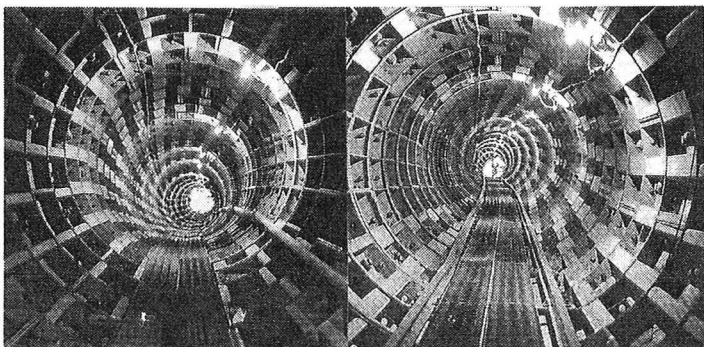


写真-2 完成後の坑内 (両線を合成)

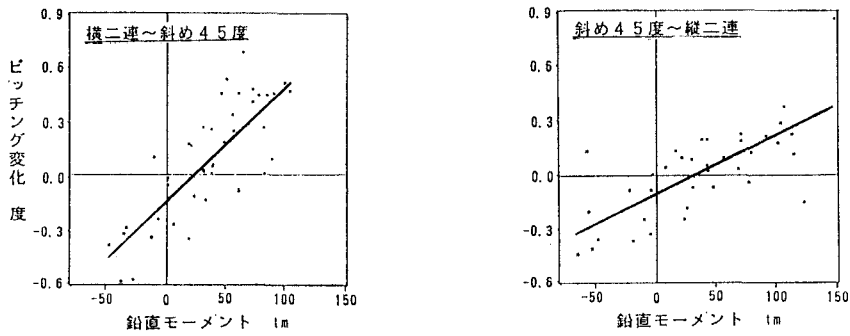


図-5 鉛直モーメントとピッチング変化量

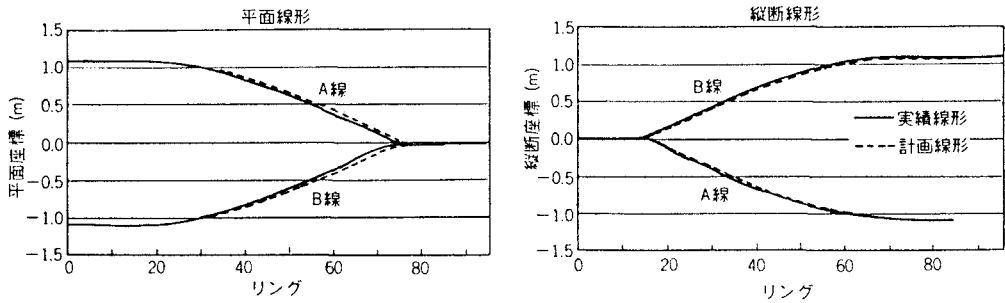


図-6 シールド機前胴軌跡

#### 4.2 シールド機

- ① シールド機の分離作業は、2つの前胴を連結するピンの引き抜き及び止水プレートの設置、後胴ボルト撤去、スキンプレートの一部切断および2つの後胴間にテールシールのついた隔壁取り付けであった。シールド機の分離作業終了後、両シールド機が完全に分離していることを確認した後、B線の掘進を再開した。分離後の掘進は、通常の単円シールドと同様の施工であり、分離は十分に可能である。
- ② シールド機前胴外周に設置した土圧計の計測結果の1例を図-7に示す。スパイラル掘進を開始すると、Bシールド下部およびAシールド上部において土圧が増加している。これはシールド機をスパイラルさせる方向に作用する土圧であり、クロスアーティキュレート機構およびコピーカッターが有効に作用したことを示している。

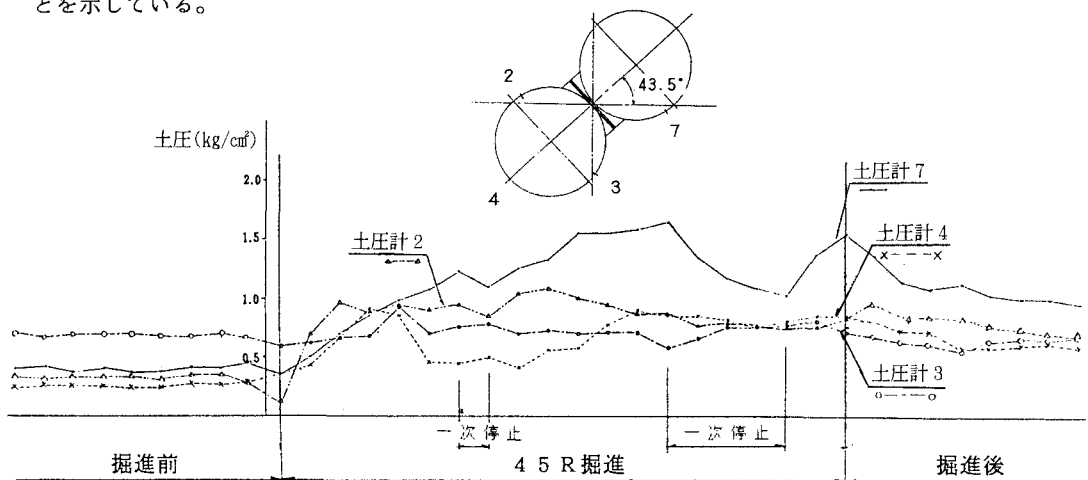


図-7 シールド機外周土圧(4.5Ring掘進時)

#### 4.3 セグメント

セグメント周辺土圧の計測結果を以下にまとめる。

- ①横、斜め、縦ともほぼ土被りに比例した荷重分布であり、くびれ部においても際だった荷重の変化は見られなかった。(図-8)
- ②掘進時のシールド機に作用する土圧(前述4.2)と比較すると、B線下部およびA線上部で土圧が小さくなっている。掘進時には、シールド機をスパイラルさせる土圧が作用していたが、その後セグメントには土被りに比例した土圧が作用すると考えられる。
- ③一体型から独立型セグメントへの段取り替え時に目視確認を行ったところ、くびれ部にも裏込めは十分に充填されていることが確認された。

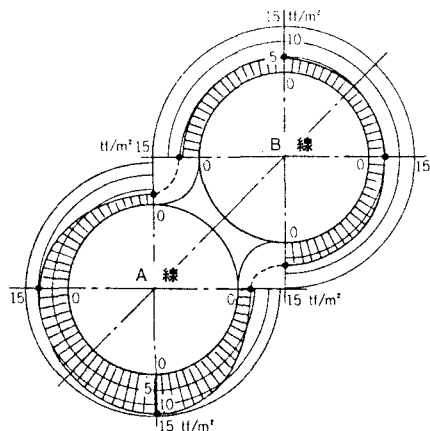


図-8 セグメント外周土圧(斜め42度)

#### 4.4 地盤変状

スパイラル掘進による周辺地盤への影響について、FEM解析による予測を行うとともに、地表面沈下および地中傾斜の計測を行った。地盤変状計測結果および予測解析結果を図-9に示す。

- ①地表面沈下の最大量は6~9mmであり、横、斜め、縦のトンネル形態の違いによる大きな差異は見られない。
- ②スパイラル掘進するにともない土被りは小さくなっており、沈下断面は横から斜め、縦になるにしたがい減少する傾向にある。
- ③地表面沈下は、通常のシールド掘進と同様、シールド機のテール通過時に最終沈下量の70~80%が生じた。
- ④地盤はトンネルくびれ部に向かって変位しており、実測値は計算結果と良く一致している。地盤変状の予測は、従来のFEM解析を用いた手法により予測可能と考えられる。

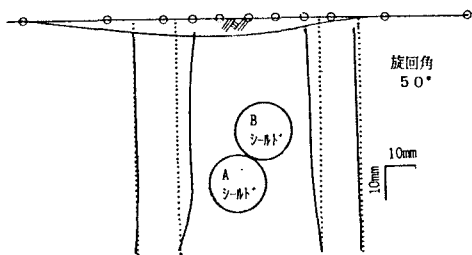
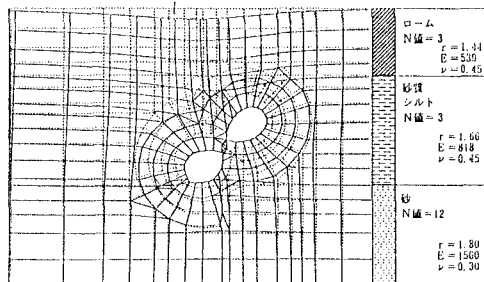


図-9 地盤変状(左:実測値 右:予測解析値)



#### 5. おわりに

多円形シールド工法における超近接トンネル、スパイラルトンネル、分岐トンネルの構築が可能であり、その掘進特性や地盤変状も従来の単円シールドとほぼ同様であることが確認された。本報告が、今後の地下空間の有効利用について検討する上で、参考となることを心から望むものである。

最後に、本工法の開発にあたりご指導、ご協力いただいた皆様に深く感謝いたします。

#### 6. 参考文献

- 1) 巽 治 はか: H & V シールド工法の開発及び実証実験(その1)~(その5), 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第3部, pp. 162~171, 1990. 9.