

26. H&Vシールド工法の実証実験

(顧問 組)：園田 徹士
清水建設(株)：萩原 英樹
前田建設工業(株)：北川 滋樹

1. はじめに

土地の有効利用を求められている都市部において、ジオフロントに関する研究が、大深度地下の利用方法や、大断面地下空洞、変形断面トンネルの構築工法などをテーマとして、盛んに行われている。そのような地下空間の開発において、中心的役割を果たすのはシールド工法と考えられる。

多種多様なニーズに応えるべく、研究が急がれているシールド工法の新技術の1つとして、従来の単円シールドトンネルの付加価値を高めるために、複数のトンネルを有効に組み合わせて利用する複断面トンネルの構築技術があげられる。この複断面トンネルは、トンネル内空断面を効率よく利用することができ、しかも経済性に優れていることから、今後、建設される機会がますます増えてくると思われる。

H&Vシールド工法は、横2連から縦2連に、あるいは縦から横に、その時々計画条件を考慮して断面形態を自由に変えることができる複断面シールド工法である。このように、トンネルの断面形態を自由に変えられれば、複断面トンネルの利用価値はこれまで以上に高くなると予想される。H&Vシールド工法が現実的に可能であるかを確認するため、外径2.12mの2連シールドにより横2連より縦2連へトンネル断面を90°変向させる実験を進めている。

2. 工法の基本概念

2.1 H&Vシールド工法とは

H&Vシールド工法とは、特殊なアーティキュレート機構を持つ複断面シールド機をスパイラル掘進(注1)させることにより、横2連断面から縦2連断面に、あるいは縦2連から横2連に、螺旋状にねじれた複断面トンネルを構築する工法である。図2-1にその概念図を示す。

H&Vシールド工法を用いれば、トンネル断面形状を横2連から縦2連に(縦2連から横2連に)連続的に変向させることが可能である。したがって、近接した構造物からの制約をうけて、普通ではトンネルを構築できないような場合にも、横2連と縦2連の断面形態を使い分けることにより、効率的に複断面トンネルを構築することができる。

(注1) スパイラル掘進とは、螺旋状の軌跡を描くようにシールド機本体を旋回させながら掘進させることである。

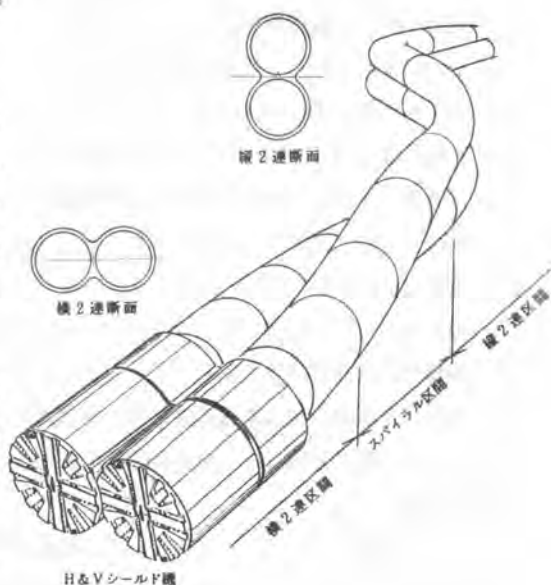


図2-1 H&Vシールド工法の概念図

2.2 H&Vシールド工法の特徴

複断面シールドトンネルは、経済性や工期、施工性、安全性などの多くの点で、単線並列トンネルまたは複線円形トンネルより優れていると考えられる。いま、表2-1に示す複断面シールドの特徴をみると横2連、縦2連の個々のトンネルが全ての項目で優れているわけではない。横2連トンネルは、地下構造物と交差する場合の施工性や、鉄道・道路トンネルの防災に対する安全性では優れ、縦2連トンネルは、急曲線の施工性や地盤沈下に対する安全性では優れている。

しかし、縦2連の劣る点では横2連が優れ、横2連の劣る点では縦2連が優れている。このことは、横2連と縦2連を合わせた複断面トンネルは、縦・横を施工条件に応じてうまく使い分けることにより、短所を補い、長所を生かした利用が可能と考えられる。

H&Vシールド工法は、横2連から縦2連へ、または縦2連から横2連へと連続してトンネル断面を変向させることが可能なため、複断面トンネルの長所を最大限に引き出すことができる。

表2-1 複断面トンネルの長所・短所

トンネル形式 比較項目		横2連トンネル		縦2連トンネル	
		特徴	評価	特徴	評価
経済性		複線円形トンネルと比べて断面が20%低減されることから直接工事費が大幅に低減される。	○	複線円形トンネルと比べて断面が20%低減されることから、直接工事費が大幅に低減される。また、道路占用幅が小さいことから、用地補償費も低減される。	◎
工期		単線並列トンネルの後行トンネルは、先行より約1ヶ月遅れで施工される。2連トンネルではその分工期を短縮できる。工期は複線円形トンネルと同じである。	◎	同左	◎
施工性	急曲線施工	複線円形トンネルと同等の施工性である	○	複線円形トンネルより施工は容易である。	◎
	近接構造物	水平離間距離は小さくなりがちで、平面線形に制限をうけやすい。	△	近接構造物との水平離間距離を確保しやすい。	◎
	構造物との交差	地中構造物との鉛直離間距離を確保しやすい。	◎	鉛直離間距離が小さくなりがちで縦断線形に制限をうけやすい。	△
安全性	周辺環境に対する	シールド施工時に地盤沈下を生じやすく、施工にあたっては充分な管理が要求される。	△	シールド施工時に地盤沈下を生じにくいトンネル形状である。	◎
	鉄道・道路トンネルの防災に対する	上下線の連絡通路、および退避所を設置しやすい。	◎	上下線の連絡通路および待避所を取り付けにくい	△

3. スパイラルセグメント

H&Vシールド工法により2連のシールドトンネルを横から縦に変向した場合、それぞれのトンネルが描く軌跡は、COS平面曲線とSIN縦断曲線を組合せたスパイラルとなる。そのため一次覆工用セグメントは、スパイラル状に組立てる必要がある。スパイラル覆工を行う方法としては、後述する4案につき検討を行い今回の実験では、その中の2案について実証を行う。

3.1 リング間継手を一定角度ずらしてスパイラルを行う方法

図3-1に示すように8字型セグメントをトンネル軸（Z軸）まわりに一定角度ずつ回転させる。各ピースの形状は一般の標準セグメントと同様であるが、リング間継手のボルト位置を各ピース毎にずらす必要がある。また、リング間にスパイラルを行うための段差が生じる。

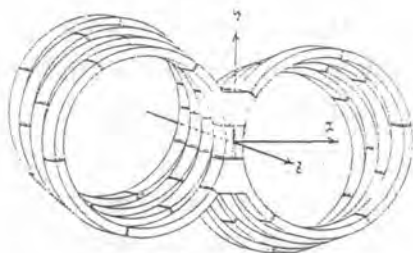


図3-1

3.2 リング間継手面を各トンネル軸に直角とするため2円の接合部を一定角度ねじる方法

図3-2に示すようにリング間継手面は、各トンネル中心軸（ $\overline{a'a'}$ $\overline{b'b'}$ ）に対してそれぞれ直角となりピース間継手は各トンネル中心軸に対してそれぞれ平行である。ただしリング間継手はピースの前後でボルト位置がずれる。各トンネルの接合部（ウイングセグメント）は、2本のトンネルのスパイラルにより一定角度でねじれを生じる。この方法は、ウイングセグメントが特殊な形状となるが、他の部分は一般の標準セグメントと同じ形状とすることができる。

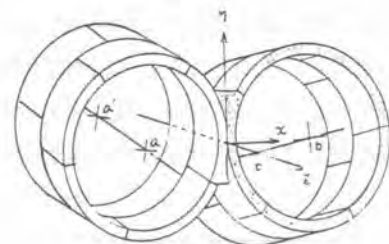


図3-2

3.3 リング間をトンネル中心軸に直角に、ピース間を各トンネル軸に平行に分割する方法

図3-3に示すようにリング間、ピース間ともに継手は良好であるが、セグメント各ピースがスパイラル曲面となるため製作が困難である。

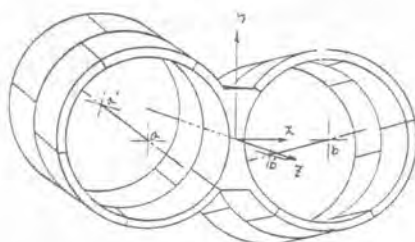


図3-3

3.4 一般の標準セグメントを利用する方法

図3-4に示すように、各トンネル別々に、普通セグメントと、テーパセグメントの組合せにより、2本のスパイラルトンネルを構築する方法である。この方法は、2本の近接トンネルを同時施工することができ、しかもセグメントは従来のセグメントを利用することができる。

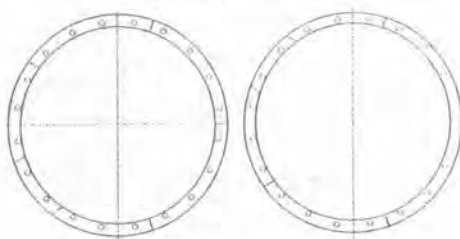


図3-4

今回の実証実験では、3.2と3.4のスパイラルセグメントを用い横2連より斜45°までの区間を3.2の一体型のスパイラルセグメントで、斜45°より縦2連までを3.4の独立型2連セグメントで掘進する。

写真3-1にスパイラルセグメントを示す。



写真3-1

4 H&Vシールド掘進機

H&Vシールド機のスパイラル掘進は、次の3つの機構により行なう。

(1) クロスアーティキュレート機構

クロスアーティキュレート機構とは、図4-1に示すように、複断面シールドの2つの前胴を個々にアーティキュレートさせる機構をいう。例えば、横2連から縦2連にスパイラルさせる場合を考えると、この機構によりシールド機的一方の前胴部には上向きのも一方の前胴部には下向きの地盤反力が、それぞれ作用することになる。これらの力がシールド機をスパイラルさせる力となる。

(2) コピーカッター

スパイラル掘進中に、スパイラルを妨げようとする向きの地盤反力を低減するために、シールド機外周部の地山の一部をオーバーカットする機構である(図4-2参照)。

(3) スパイラル・ジャッキ

シールド・ジャッキの推進方向をシールド機中心に対して偏向したジャッキをスパイラル・ジャッキと呼ぶ。スパイラル・ジャッキは、セグメントを反力受けてシールド機をスパイラルさせる力を発生させる(図4-3参照)。

これら3つの機構を併用することにより、その効果は増幅され、シールド機の姿勢制御を行うことができる。なお、これらの機構は横2連シールドのローリング防止、および縦2連シールドの倒れ防止にも有効である。写真4-1に実証機を示す。

5 あとがき

現在、シールド機・セグメントの製作を終え、11月より掘進予定である。尚本実証実験に当って、セグメントは新日本製鐵株が担当し、シールドおよび実験計測はそれぞれ川崎重工業株：日本シールドエンジニアリング株の協力により進めている。

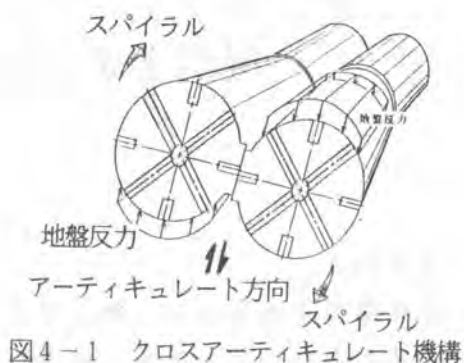


図4-1 クロスアーティキュレート機構

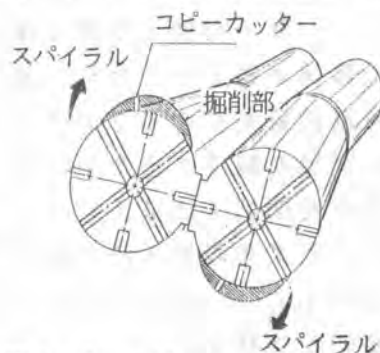


図4-2 コピーカッターの機能

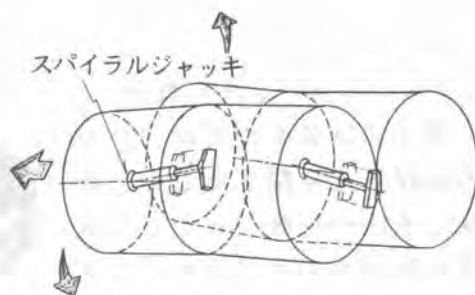


図4-3 スパイラルジャッキの原理

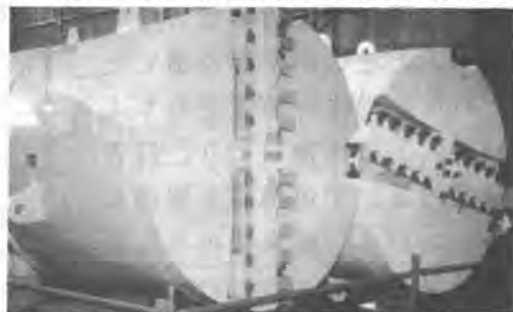


写真4-1 実証機