

シールドトンネルの 機械的接合工法の開発

より経済的かつ安全性の高い
トンネル接合を目指して

(中央送変電建設所 地中線土木課)

Development of Mechanical Joint for Shield Tunneling In Search of More Economical and Safer Tunnel Joints

(Central Transmission & Substation
Construction Office, Underground
Transmission Lines Construction Group)

シールド工法による長距離洞道工事では、2台のシールド掘進機により掘進し、地中ドッキングを行なうことがある。しかし、現在の地中ドッキング工法には長期間の工期と多額の工事費を必要とする他、安全性にも問題がある。そこで、経済的かつ安全性の高い地中ドッキング工法を開発するため、石川島播磨重工業㈱と共同で模擬実験を実施し、今後の洞道工事に適用すべく実施設計を進めている。

During the construction of a long tunnel by the shielding method, two shield excavator units may be employed which proceed while excavating and meet each other underground. This underground joining process requires a long construction period and large costs, and also has a problem in terms of safety. In order to develop a more economical and safer underground joining process, we have been engaged in joint research with Ishikawajima Harima Heavy Industries Co., Ltd. The new process has been subjected to verification tests, and we are designing a construction project using the new process.

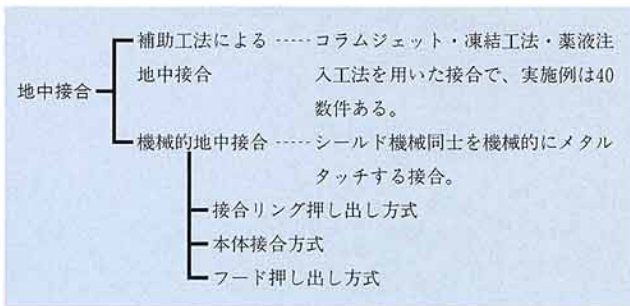
1 地中接合の技術開発状況

日本国内において、過去に40数件の地中接合実施例がある。しかしその大部分が補助工法（コラムジェット・凍結工法・薬液注入工法）を併用した地中接合であり、機械的地中接合（シールド機械同士を機械的にメタルタッチする工法）での実施例はない。

機械的地中接合の技術開発状況の調査結果によると、接合形態は大きく3種類に分類され、接合リング押し出し方式・本体接合方式・フード押し出し方式である。

第1表に地中接合系統分類を示す。

第1表 地中接合系統分類



2 接合工法の概念設計

今回考案した接合工法を第1図に示す。

本接合方式（異径シールド方式）の特徴は、以下の通りである。

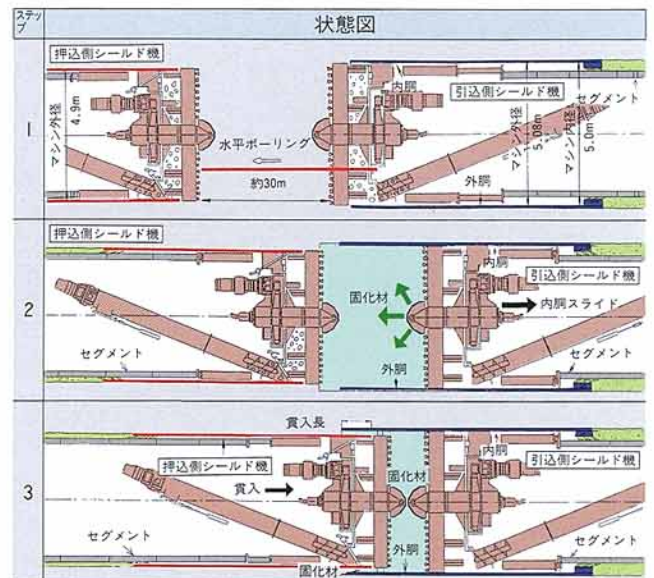
- ①シールド周辺を地盤改良する必要がない。
- ②押込側シールド機械は、通常の機械でよい。
- ③引込側シールド機械は、二重筒構造とする。
- ④止水はフードラップ部の固化材により行なうため、工期も短く、経済的な工法である。

3 技術的改善課題の抽出と実証試験

(1) トンネル施工の許容精度の検討

過去の地中接合の実施例より、接合時の接合誤差を調査した結果、接合地点での接合誤差の平均値は、鉛直誤差が約10mm、水平誤差が約18mmの値であった。

したがって、接合前に水平ボーリングによってお互いの位置のずれを確認し、慎重に修正掘進を行なえば50mmの接合間隙があれば、地中接合は可能であるとの見通しを得た。



- ステップ1：引込側シールド機が接合地点に先着し、その後押込側シールド機が約30m手前に接近した時、水平ボーリングを実施し相対位置を確認し、再掘進する。
- ステップ2：押込側シールド機が到着後、引込側シールド機は内胴を後方にスライドさせる。その時、スライド体積分は固化材を充填する。
- ステップ3：充填された固化材の中に、押込側シールド機を精度良く貫入させる。

第1図 地中接合構想図

(2) 接合部の止水性能材料試験

止水材は、セメント系の固化材にて充填することとし、下記の設定条件のもとに検討を行ない第2表に示す配合を選定した。

- ①流動性に優れ、作泥設備で打設可能なこと。
- ②可使時間が長く、接合作業中（24hr自標）に硬化しないこと。
- ③初期強度の発現が速く、接合部解体時に適当な強度が得られること。
- ④材料分離・収縮が少なく、止水上の弱層部を生じないこと。

上記の固化材について密度試験、フロー試験、凝結硬化速度試験、圧縮強度試験、ブリージング、透水試験を行なった結果、第3表に示す通りとなった。

(3) 接合模擬実験

第2図に示す実験装置により、接合模擬実験を実施した。模型の縮尺は、押込側シールド機の実機外径を4.9mと設定し、その1/7とした。接合部のラップ長（L=30cm）と間隙厚さ（t=5cm）は、実際と同じ寸法とした。

接合模擬実験の結果を第4表に示す。多少の土砂の巻き込みがあるものの、貫入長を30cm以上として、接合部上部のブリージングによるすき間を補足充填すれば、止水性は確保できるものと考えられる。

接合部の固化材の充填状況を第3図に示す。

第2表 固化材配合表
(W+P) / (C+F+U) = 35% F/C = 170%

セメント C	フライアッシュ F	ユーロックス U	水 W	バリックT P
464.2kg	789.1kg	90kg	469.2kg	0.93kg
3.16t/m ³	2.24t/m ³	2.92t/m ³	1.0t/m ³	1.2t/m ³
0.15m ³	0.35m ³	0.03m ³	0.47m ³	0m ³
1.0m ³				

ユーロックス……無収縮グラウト材 バリックT……超遅延材

第3表 止水性能材料試験結果

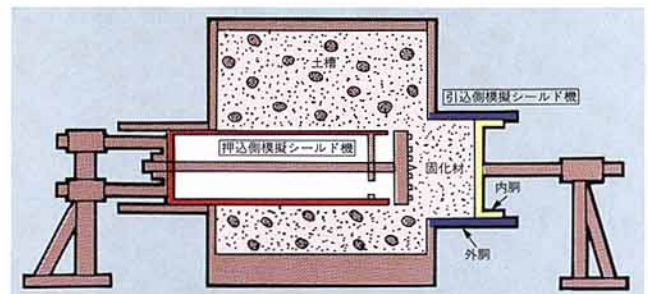
試験項目	試験結果	評価	
密度試験	1.79g/cm ³	特に問題なし	
フロー試験	40cm→20hr後30cm	ポンプ圧送可能である	
凝結硬化速度試験	75hr後より凝結開始	接合想定時間24hrを満足している	
付着強度試験	12.6kgf/cm ²	目標強度4.0kgf/cm ² を満足している	
圧縮強度試験	σ _c = 61.1kgf/cm ²	目標強度40.0kgf/cm ² を満足している	
ブリージング	ややある	漏水を誘発する可能性があるため模擬試験で確認する	
透水試験 水圧 1.0~10.0 kgf/cm ²	モールド厚	漏水状況 水圧の作用時間の影響が懸念されるため、模擬試験で最終確認を要するが、ラップ長30cmであれば問題はないと考えられる	
	10cm		1.5kgf/cm ² で漏水
	20cm		なし
30cm	なし		

4 今後の展開

一連の実験結果より、

- ①固化材のブリージングにより発生する天端すき間への補足注入
 - ②土砂巻き込みの原因となる圧力変動の抑止
- を確実にこなうことにより、本実験と同様の成果が得られるとの見通しが付いた。

現在、新名火野間洞道新設工事に採用すべく実施設計を進めている。

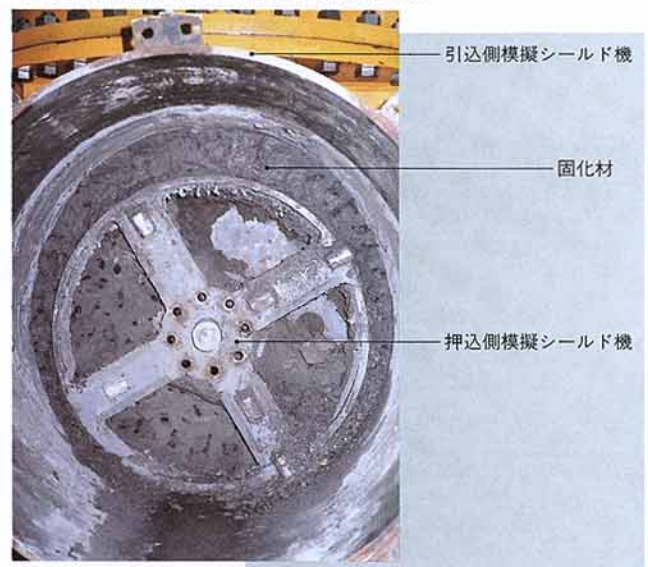


第2図 実験装置

第4表 接合模擬実験結果

実験課題	実験結果				
接合部の固化材の充填具合	<ul style="list-style-type: none"> 接合部上部に固化材のブリージングによる微小なすき間が確認された他は、充填されていた。 土砂の巻き込みは見られたが、致命的な欠陥とはならなかった。 				
〔耐水圧テスト〕	水圧(kgf/cm ²)	4	6	8	10
	漏水量(ℓ/min)	1.1	1.2	1.2	1.3
漏水状況	<ul style="list-style-type: none"> 水圧が増加しても漏水箇所は接合部上部のみであった 				
固化材の耐水圧性	<ul style="list-style-type: none"> 最大水圧10kgf/cm²まで実験を行ったが、付着面の変化は見られなかった。 				
振動による影響	<ul style="list-style-type: none"> 接合部に振動を与えたが、止水上の弱層部を生じることとは見られなかった。 				
固化材の品質		比重(g/cm ³)	フロー値(cm)	圧縮強度(kg/cm ²)	
	材料実験	1.79	40	σ = 61.1	
	模擬実験	1.78	40	σ = 89.0	

・材料実験の圧縮強度σは、標準供試体で7日間養生の数値
・模擬試験の圧縮強度σは、コア採取した8日間養生の数値



第3図 固化材充填状況写真