

ハーモニカ工法の止水技術の開発 ―H Lシールの高水圧要素実験―

大成建設株式会社 正会員○伊賀崎 圭 正会員 高倉 克彦
六菱ゴム株式会社 非会員 関谷 誠之

1. はじめに

ハーモニカ工法（大断面分割シールド工法）は、小断面のトンネルを積み上げて大断面のトンネルを構築する非開削工法である。本開発では、浅深度での実績を有する推進工法式のハーモニカ工法を大深度地下空間構築に適する技術に高めることを目標として技術開発を行ってきた。克服すべき課題は、大深度の高水圧下において、積み上げた小断面トンネルを接続して本体構造物を作る際に求められる函体間の止水技術である。本編では、本開発で考案した止水構造と、その止水効果を実験で確認した結果について述べる。

2. 止水構造

図－1 に、ハーモニカ工法の各部名称を示す。

(1) 函体間止水構造

ハーモニカ工法では、隣接する函体間に数センチ程度の離隔が発生する。大断面トンネル内部の鋼殻はR C 躯体構築後に切断撤去されるため、その前までに函体間の止水を行う必要がある。図－2 に高水圧下における函体間の止水構造の概要図を示す。これは、回転シャフトの軸受け部のシールに用いられるリップシールを函体間止水に応用したものであり、後行の函体に設置して推進し、先行函体にリップシールの突出部を連続的に押し付ける。地盤側から水圧が作用した場合には、リップシールの自己止水性による止水効果を発揮する（以下、ハーモニカ工法に用いるリップシールを「H Lシール」と呼ぶ）。

(2) 鋼殻間・函体間交差部の止水構造

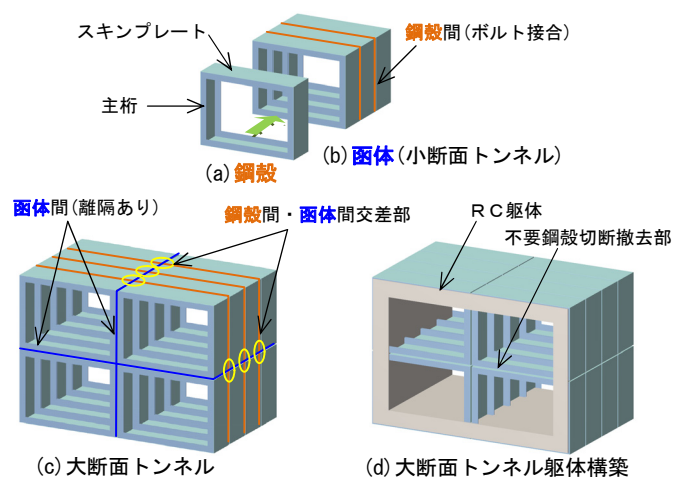
個々の函体掘進時には、鋼殻間止水構造である水膨張シールの機能によって個々の函体内への地下水の浸透は発生しない。しかし、躯体構築を行うために大断面トンネル内部の鋼殻を切断撤去する時点で、水膨張シールとH Lシール間にも止水機能が求められる。図－3 の止水対象箇所に対して、次の2つの工夫を行うことにより対処した。

① ゴムブロック

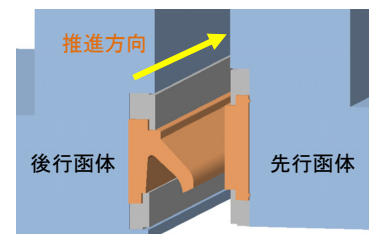
H Lシールに対向する位置の先行函体に、掘進方向全長にわたり連続的にゴムブロックを配置する。これは、鋼殻間段差(目違い)の吸収ならびにゴムブロックとH Lシール接触部に介在する可能性のある土粒子の封じ込めを行い、H Lシールが隣接函体と隙間なく接することを期待して配置されたものである。

② 緑端水膨張シール

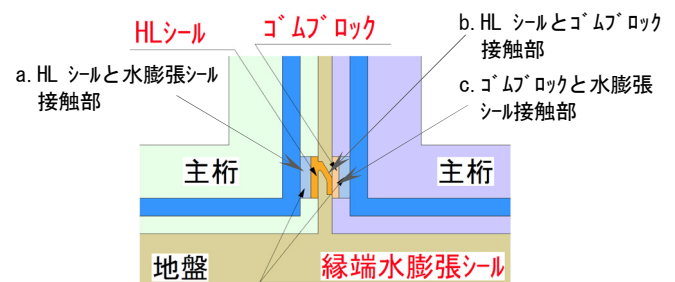
鋼殻間止水構造である水膨張シールとH Lシールならびにゴムブロック間に水膨張シールを配置する。これによって、当該部分の空隙を埋め、鋼殻間・函体間交差部の止水効果が確保される。



図－1 ハーモニカ工法各部名称



図－2 函体間止水構造（高水圧下）



図－3 鋼殻間・函体間交差部の止水構造

キーワード ハーモニカ工法, 止水構造, H Lシール, 大深度, 高水圧

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター 土木技術開発部 TEL045-814-7229

3. 止水実験

鋼殻間・函体間交差部の高水圧下での止水性を実験により確認した。

(1) 止水着目部

前述のように鋼殻間・函体間交差部にHLシール、ゴムブロックならびに水膨張シールを接触させて配置しており、この接触面での止水性を確認する必要がある。すなわち、
a. HLシールと水膨張シール接触部、b. HLシールとゴムブロック接触部、ならびにc. ゴムブロックと水膨張シール接触部である（図－3）。

(2) 実験装置

高水圧に耐えうる実験装置とするために、オーバル型の実験装置とした（図－4）。架台上にHLシールを、上蓋側にゴムブロックをオーバル状に閉合して配置し、HLシールとゴムブロックが対向して接触するように上蓋を架台に被せて、オーバル内側に水圧を掛ける構造としている。架台と上蓋が、隣接する後行函体と先行函体を模擬しており、さらに上蓋は2分割されていて、鋼殻間の接合部を模擬している。上蓋の接合部のゴムブロックの背面側には前述の縁端水膨張シールを模擬する水膨張シールを配置して鋼殻間の止水構造を再現した。

(3) 実験確認項目

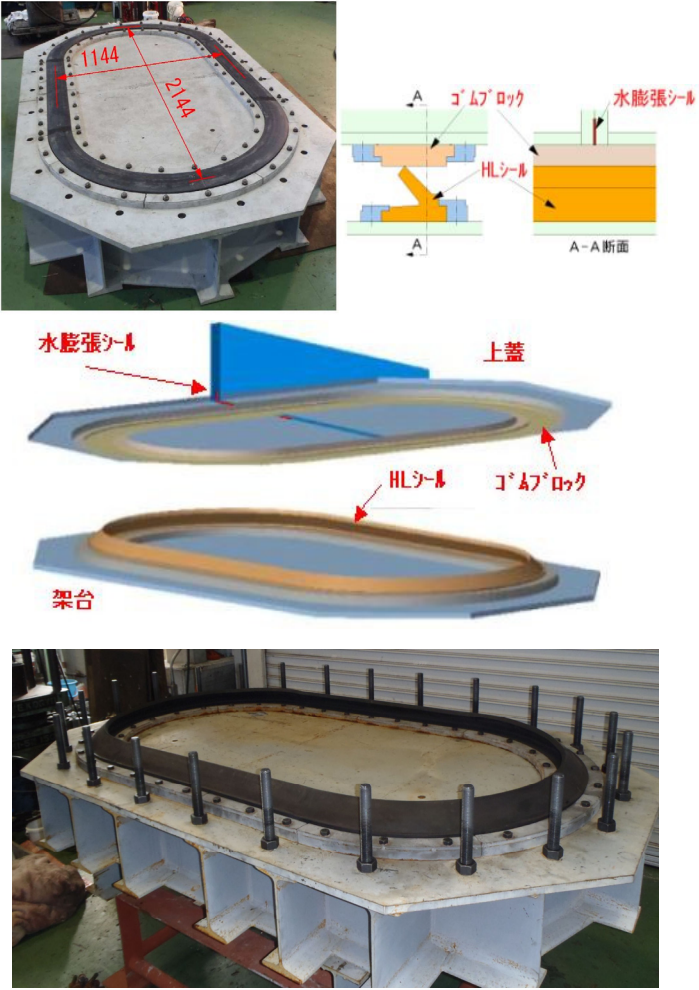
実験では、鋼殻間の接合精度（接合部の段差）、函体の掘進精度（函体間の離隔）、先行して配置されるゴムブロックに付着する砂粒の有無、ならびにゴムブロックの硬度を変化させ、各状態での止水性を確認した。また、砂粒のゴムブロックへの塗布については、海砂のみもしくは海砂と4号珪砂を7：3に混合した砂をでんぷん糊によってゴムブロックに塗布し、硬化を待たずに実験を行った。表－1に、止水実験の条件を示す。

(4) 止水実験結果

表－2に実験結果一覧表を示す。ゴムブロック硬度CR50については、全てのケースにおいて水圧0.8MPaの止水性を確認した。ゴムブロック硬度CR70については、段差有りの場合に漏水が発生したため、ゴムブロック硬度をCR50とする。

4. まとめ

今回、地下水圧下での函体間の止水を可能とするHLシールの開発を行い、0.8MPaの耐水圧性能を確認した。さらに実用化を視野に入れ、鋼殻間段差への対応方法や、シール内に砂が咬んだ場合の止水性の確認も行った。なお、現在、長期間における止水性能を確認するために、高水圧（0.8MPa）を保持した状態での加圧試験を実施中である。



図－4 止水実験装置図

表－1 止水実験の条件

パラメーター	値	選定理由
上蓋接合部段差	0mm/3mm	鋼殻間接合ボルト孔の余裕代(1.5mm)分の目違いを想定
HLシール圧縮量	10mm/45mm	函体の掘進精度の最大・最小値
砂粒介在の有無	有/無	先行函体掘進後にゴムブロックに付着している土粒子の模擬
ゴムブロック硬度	CR50/CR70	硬度CR70のHLシールに対するゴムブロック硬度の相性確認

表－2 止水実験結果一覧表

条件				0.8 MPa 止水性	1.0 MPa 止水性
段差	ゴム硬度	HLシール圧縮量 (mm)	砂粒		
無し	50	10	なし	合格	(合格)※
		45		合格	(合格)※
		10	海砂	合格	合格
		45	混合	合格	合格
	70	10	なし	合格	合格
		45		合格	合格
あり (3mm)	50	10 (7)	なし	合格	合格
		45 (42)		合格	合格
		10 (7)	混合	合格	合格
		45 (42)		合格	合格
	70	10 (7)	なし	×	—
		45 (42)		×	—

・※の2ケースは実施しなかったが砂粒ありで止水性を確認できているため止水性能を満足していると判断した
・HLシール圧縮量のカッコ内の値は段差を与えた側の値を示す