推進工法を用いた外殻先行トンネルの分岐合流技術の概要

－「大深度プレシェル工法」の開発－

森田 泰司＊1・渡部 昭一＊1・高倉 克彦＊1・西川 満＊1・伊賀崎 圭＊2・常田 和哉＊1

Keywords : deep underground, non-opencut, junction
大深度，非開削，分岐合流

1.　はじめに

従来、道路トンネルにおけるインターチェンジおよびジャンクション部の分岐合流部は、地上からの開削工法で計画されてきた。しかし、市街地での開削工法は交通渋滞の原因となり、地上部における工事用地の確保も困難になってきている。また、2001 年 4 月施行の大深度地下の公共的使用に関する特別措置法を適用するプロジェクトが計画されている。道路トンネルを含めたライフラインは大深度化する傾向をさらに強め、計画中の道路トンネルの分岐合流部には、大深度における非開削工法を用いたトンネル技術が要望されている。

本工法は、現在計画されているプロジェクトにおいて地表面沈下抑制と地下水低下防止の両性能が要求されるという背景のもとに、大深度大断面に対応した外殻先行覆工形状とエレメント、継ぎ手等の詳細の構造について開発したものである。

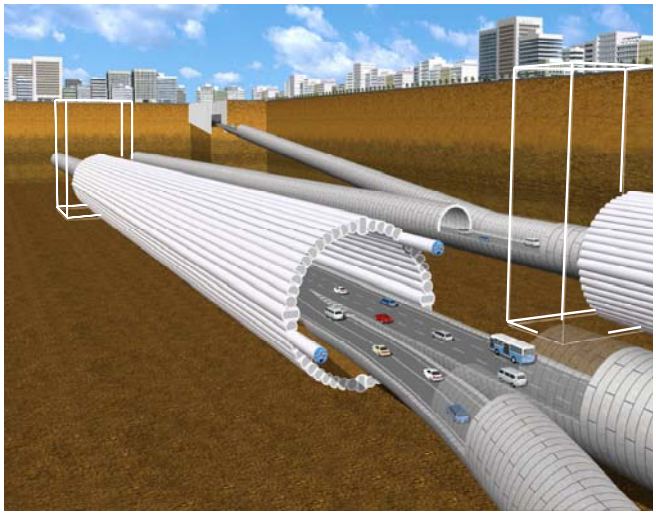


図-1　大深度プレシェル工法概念図
Pre-shell method outline rendering

本稿では、推進工法を用いた外殻先行トンネルの分岐合流技術（大深度プレシェル工法）の概要について述べる。

2.　工法の概要と特長

図-1 は、地下道路トンネルの分岐合流部を大深度プレシェル工法で施工した場合の概念図である。当工法は、複数の小断面欠円形エレメントをラップさせながら推進し、各エレメントを地中で接続・一体化してトンネル覆工を構築する非開削の大深度に対応した外殻先行覆工トンネル技術である。図-2 および図-3 は、道路トンネルの分岐合流部に適用した場合の断面図と平面図である。

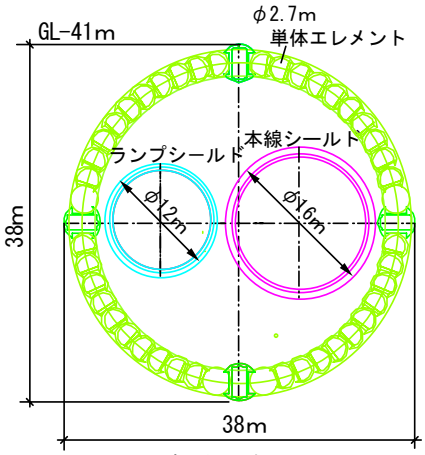


図-2　概略構造図
Section

大深度プレシェル工法は、以下に示す 4 つの特長をもつ。

1)　エレメント単体が小断面であるため、掘進時の地山の緩みを抑制することができる。
2)　欠円形の鋼製エレメントを接続一体化させて高剛性の外殻覆工体を先行構築するため、分岐合流断面掘削時における地表面沈下も抑制することができる。

＊1　技術センター土木技術開発部地下空間開発室
＊2　土木本部土木設計部

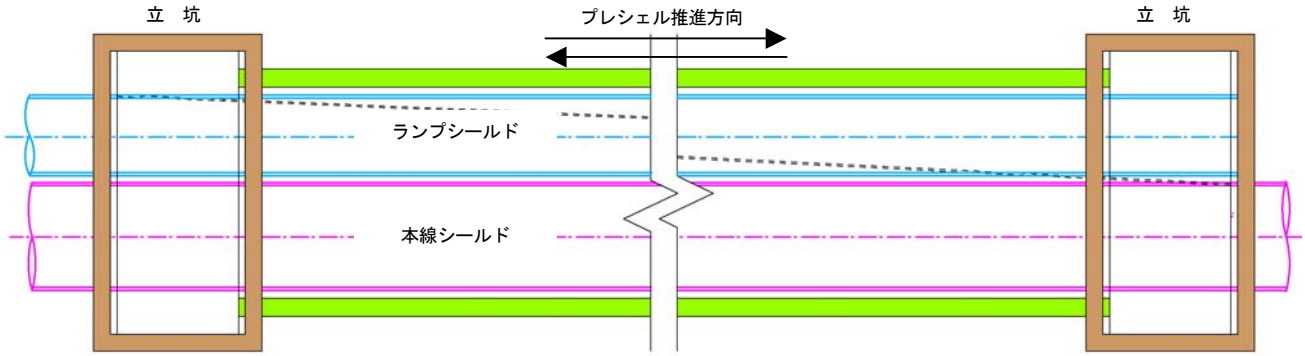


図-3　平面図
Plan

3）大深度対応のエレメント継手部止水システムにより、地下水位の低下を防止できる。

4）外殻覆工を先行して構築するトンネル技術であるため、覆工後の内部掘削を汎用掘削機で行うことができる。

3.　大深度プレシェル工法の変更点

アンダーパス用として開発されたプレシェル工法を応用発展させた大深度プレシェル工法では、以下の開発を行い大深度に適応できる技術とした。

1）アンダーパスの主たる形状は矩形であったが、本工法は局部的な応力集中を避けるため、外殻覆工を矩形から円形または楕円形にして、大深度で安定した構造の全体形状にした。

2）欠円形エレメントのラップ部の継手は、ローリング制御を考慮した構造とした。図−4 は、継手構造の概略を示したものである。

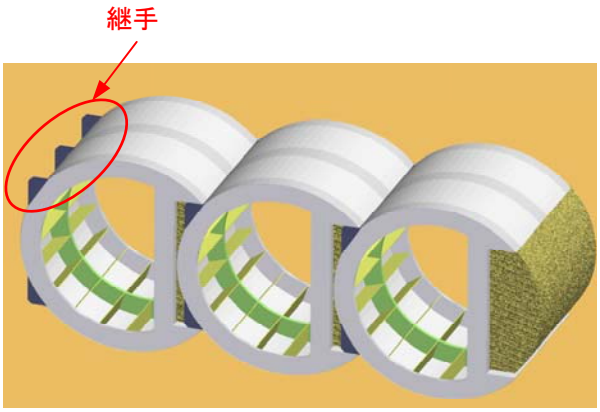


図-4　継手構造
Joint structure

4.　大深度プレシェル工法の施工手順

大深度プレシェル工法によって道路トンネルの分岐合流部の施工を行う手順を以下に示す。（図−６参照）

STEP1　立坑より所定数のエレメント推進を行う。

STEP2　欠円形エレメントの継手部の止水を行う。（図−5 参照）

STEP3　エレメント間の接続に先立ち、エレメントラップ部のスキンプレートを撤去し連通させる。

STEP4　エレメント内部に鉄筋等の応力材を設置する。

STEP5　エレメント内部にコンクリートを充填し、外殻覆工体を形成する。

STEP6　汎用掘削機により内部掘削を行う。
（エレメントを本体利用するため、一次覆工等の作業は発生しない。）

STEP7　床版等の内部構築を行って完成する。

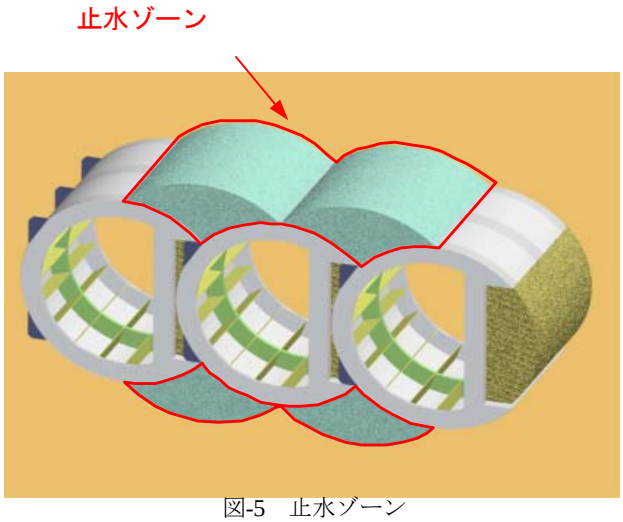


図-5　止水ゾーン
Waterproof zone

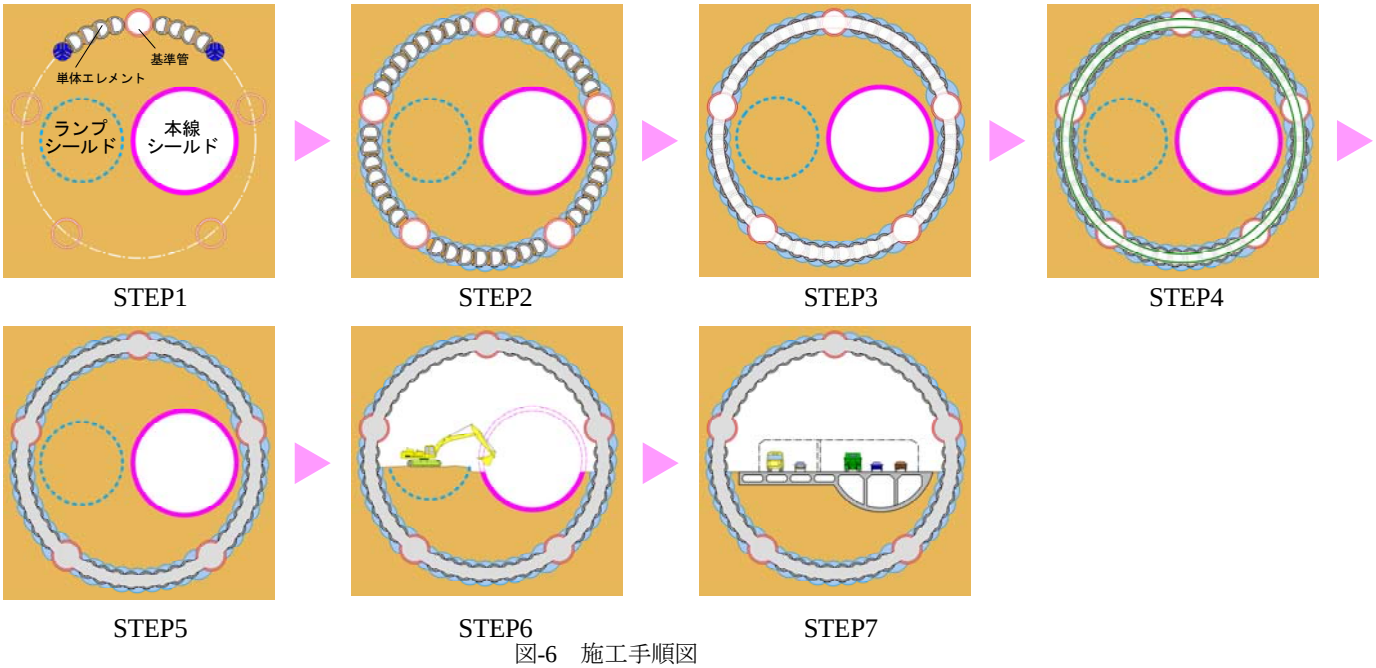


図-6　施工手順図
Working procedure

5.　外殻覆工構造の形状検討

大深度プレシェル工法の外殻覆工体の断面は、単体エレメントの組み合せにより自由に設定可能であることから、円形と楕円形について試算を行った。検討にあたっては、図-1 に示すように道路トンネルのモデルを、本線 3 車線、ランプ部 2 車線を有するサイドランプ方式とし、大深度プレシェル頂部を GL-41mに設定した。表-1 に土質条件を示すが、土層は砂質土と粘性土の互層とした。構造計算には弾塑性梁・バネモデルを使用し、地表面沈下量に対する指標として頂部変位量を、外殻覆工体内における施工性に対する指標として配筋量を比較して評価を行った。その結果、有利な円形断面に対して検討を進めた。(表-2 参照)。

表-1　土質条件
Nature of the soil data

層　序	深　度 (m)	単位体積重量 γ(kN/m³)	粘着力 C(kN/m²)	内部摩擦角 φ(度)	変形係数 E0(kN/m²)	ポアソン比 (ν)
ローム	4.10	14	63	15	13,000	0.45
礫質土	9.75	18	——	42	50,000	0.30
砂質土	15.40	19	100	41	215,000	0.30
粘性土	21.00	17	680	10	115,000	0.45
砂質土	22.30	19	100	41	215,000	0.30
粘性土	24.65	17	680	10	115,000	0.45
礫質土	43.00	19	25	42	278,000	0.30
粘性土	47.00	19	290	10	95,000	0.45
砂質土	——	19	100	42	430,000	0.30

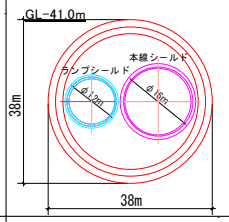
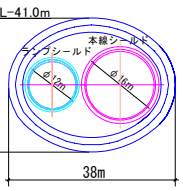
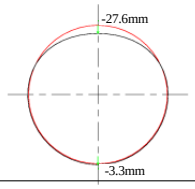
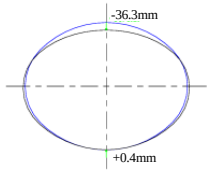
▽ 天端
GL-41m

6.　地表面への影響

6.1 解析方法

図-2 に示した構造系において、地盤および外殻覆工コンクリートを２次元平面要素に、ランプシールドセグメントおよび単体エレメントを梁要素にモデル化し、施工手順を考慮した非線形弾性 FEM 解析を行った。土水圧の取扱いは全応力法により、地盤の非線形性は電中研方式とした。図-7 に解析モデル図を、表-3 に施工手順を考慮した解析ステップ表を示す。大深度プレシェル工法は、小口径の単体エレメントを推進工法によって配置

表-2　比較表
Comparison table

	円　形	楕円形
概略図		
変位量		
結　果	・有効桁高:1800mm ・鉄筋量　:D32@150 ・頂部変位:28mm	・有効桁高:2300mm ・鉄筋量　:D51@150 ・頂部変位:36mm

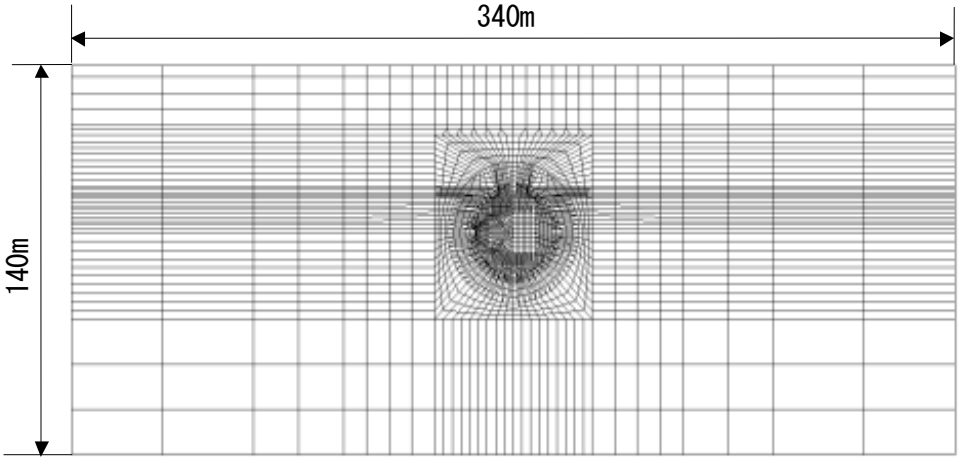


図-7　解析モデル図
Analysis model plan

表-3　解析ステップ表
Analysis step table

step	手　　順
1step	初期応力解析
2step	ランプシールド掘削
3step	ランプシールド一次覆工
4step	単体エレメント①掘削
5step	単体エレメント①覆工
↓	以下、単体エレメント掘削・覆工を繰り返す
100step	外殻覆工体コンクリート打設
101step	内部掘削

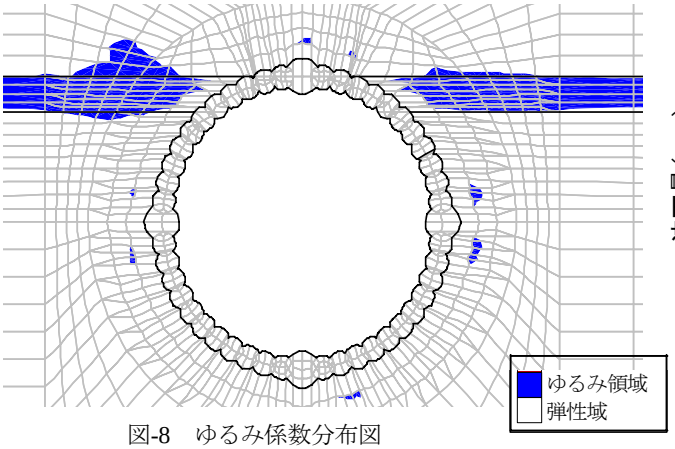


図-8　ゆるみ係数分布図
Slackness coefficient distribution map

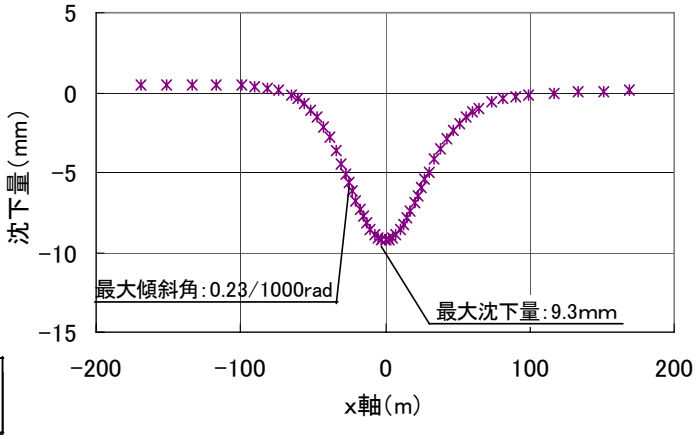


図-9　地表面沈下量
Surface of the earth sink volume

し、剛性の高い外殻覆工体を構築した後に、その内部を掘削する手順であることから、外殻覆工体に相当する大断面に対して NATM 等を適用する場合に比べて、周辺地盤の変位を小さくすることが可能と考えられる。

6.2 解析結果

図-8 に内部掘削における地盤のゆるみ係数分布図を示す。(図中の青で着色している緩み領域とは、土のひずみが非線形領域にある場合を示している。) 大深度プレシェル工法を適用した場合の地盤のゆるみ領域は、NATM 等に対する一般的なゆるみ領域に比べて非常に局所的であり、本工法の周辺地盤への影響の小ささをうかがい知ることが出来る。

図-9 に地表面沈下量を示す。最大地表面沈下量は外殻覆工体中心線上において 9.3mm、最大傾斜角は 0.23/1000rad であり、「建築基礎構造設計指針　日本建築学会」における許容最大傾斜角 1/1000rad 以内に十分収まる結果が得られた。

7.　まとめ

大深度地下使用法の適用を想定した道路トンネルの分岐合流部を、大深度プレシェル工法で施工した場合の地表面沈下は、今回の検討条件では地上部の構造物に影響を与えないレベルに収まることを確認できた。

今回は円形断面について試算を行ったが、今後更に、経済的・工期的に有効な断面を追求していく予定である。

参考文献

1) 平野他：外殻鋼材で拘束された複合部材の曲げ性状に関する実験的研究，土木学会第 57 回年次学術講演会，第Ⅴ部

2) 常田他：推進工法を用いた外殻先行トンネルの分岐合流技術「大深度プレシェル工法」の開発（その 1），土木学会第 60 回年次学術講演会　2005.9

3) 西川他：推進工法を用いた外殻先行トンネルの分岐合流技術「大深度プレシェル工法」の開発（その 2），土木学会第 60 回年次学術講演会　2005.9