（Ⅲ－80） シールドトンネル（電力）における換気孔接続方法と構造解析について

㈱近代設計事務所　正会員　今野　政美
正会員　佐粧　幸雄

1．はじめに

近年，シールド工法による共同溝および地中送電線などケーブル類を収容する洞道（以下，シールド洞道と称す。）は，工事費の低減あるいは立坑の用地確保困難などの理由により 2 kmを越える長距離施工が多くなっている。このような長距離のシールド洞道には発進立坑，到達立坑とは別に換気など設備管理上あるいは既設設備などとの上下連係のために 1 km前後間隔に立坑（以下，換気孔と称す。）が必要であり，その構造型式は施工規模，施工条件，経済性などから，シールド洞道と直接接続するシャフト方式が多く用いられている。

一般的に，発進・到達立坑は，シールド施工に必要な用地確保の面から十分な広さがあり，この用地内で施工可能である。一方，換気孔は発進・到達立坑と異なり設置位置範囲が限定される事が多く，種々の施工条件に制約があり，工法選定などの計画が難しい場合が多い。また，シールド洞道とシャフト部との接続は，シールド洞道が通常円形であるために接続しにくくかつ，一次覆工を切断して開口部を設ける必要があるなど，その接続構造や構造解析についての考え方に確立されたものがない。ここでは，シャフト方式の換気孔における次の 3 項目，①施工方法の分類と選定手順，②接続部補強構造の分類，③接続部構造解析の現状，について報告する。

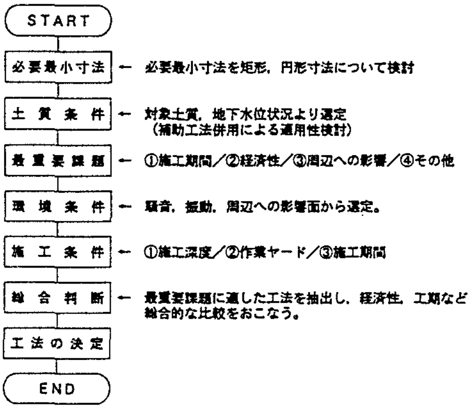
2．施工方法の分類と選定手順

シャフト部の施工方法の選定は，必要内空寸法・施工深さ・土質条件・施工条件・施工期間・施工環境・経済性等により決定される。とりわけシャフト形式の換気孔の施工は，シールド一次覆工後となる点に留意する必要がある。

現在用いられているシャフト方式の換気孔施工方法の分類と特徴は表－1のとおりであり，その選定手順は図－1に示すように整理できる。

表－1　施工方法分類と特徴

		工法名	特徴
矩形タイプ	開削工法系	H鋼横矢板工法／鋼製矢板工法 SMW工法／鋼管矢板工法 BH工法／深礎工法 BHW工法（東急建設） その他	平面形状が任意 支保工があるため施工性が悪い。 施工可能深度が比較的浅い。
円形タイプ	オープンケーソン系	PCウェル工法（PCウェル協会） セグメント圧入工法（㈱森本組）	施工径に制約 →常設作業帯が必要 →錨下作業が可能
	ケーシング系	鋼管圧入 QUIC工法（NTT） KCMM工法（ケコム協会）	施工径に制約がある。 →QUIC工法は施工期間が非常に短い。 →施工可能深度15m以下
	シールド系	上向きシールド工法（大成建設） シールドレイズマシン（鉱研工業）	施工径に制約がある。 大深度施工が可能 シールド坑内から施工出来る。



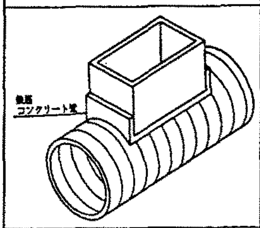
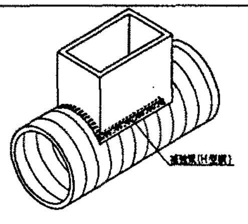
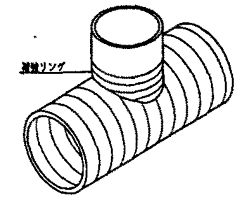
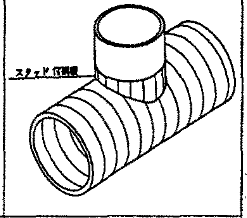
図－1　施工方法の選定手順

3．接続部補強構造の分類

シールド洞道とシャフト部の接続構造は，換気シャフトの形状（円形，矩形など）・開口部の大きさ・一次覆工の種別・二次覆工の有無，等の条件によって決定される。二次覆工が比較的厚い場合には二次覆工とシャフトを一体構造のＲＣ構造としたり二次覆工厚を有効利用し補強できる。しかし，近年一次覆工用シール材など防水技術の開発により，電力洞道などでは，二次覆工を省略する事が多い。

そこで，このような二次覆工省略時（一次覆工鋼製セグメント使用）の場合について接続部補強構造の分類を表－2のようにおこなってみた。

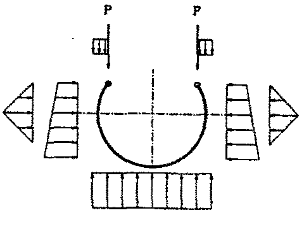
表－2　補強構造の分類

シャフト平面形状矩形の場合		シャフト平面形状円形の場合	
①鉄筋コンクリート梁タイプ	②H型鋼補強タイプ	③鋼製補強リングタイプ	④スタッド付鋼板タイプ
			
補強梁の寸法が大きくなり，換気シャフトの寸法がこれによって決まる。	切断するセグメント主桁の断面性能と同一なH形鋼と，それを支持するH形鋼で補強する。	セグメント天端までシャフト用セグメントを設置し接続する。	スタッド付鋼板を円周方向に分割したものをセットし，鉛直方向に溶接，シールドセグメントに逆T字形に接続する。
〔特徴〕 構造系が明確で，施工性が良い。 開削工法の場合，支保工のため作業性が悪い。 セグメント切断範囲が円形より小さいため，シールド通過後シールド掘進と並行作業ができる。		〔特徴〕 曲線と曲線の接続のため施工性が悪い。 セグメント切断範囲がスプリングライン近くとなり，施工時期がシールド完成後となる場合がある。	

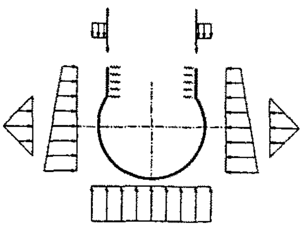
4．接続部の構造解析

接続部の構造解析は，開口部補強部材と欠円セグメントの計算であり，解析モデルはつぎのような方法によっている。

①補強部材と欠円部材を別々に解析し，その断面力に対し必要な断面とする。解析モデルは平面骨組み解析で欠円セグメントは剛性一様とする。（図－2）②補強部材と欠円セグメントを一体で解析，補強部材をばね支持とする。（図－3）



図－2



図－3

5．今後の課題と開発

過密市街地における共同溝や電力等企業単独のシールド洞道は，21世紀に向けて増加するとともに大深度地下への設置が求められることが想定されるそのような大深度化への対応上，現在最も多く採用されている開削工法系（矩形）は他の円形断面工法に比較して，施工性・施工期間・経済性等の面で不利となる。しかし，シャフトの形状は使用目的や断面効率の面からは矩形構造が好ましく，今後はシールド洞道の大深度化に対応できる矩形構造型式（例えば，プレキャスト圧入ケーソン工法）の開発が望まれる。

また，現行開削工法の改良点としては，鋼製支保工に代わるものとして鉄筋コンクリート（プレキャスト製品）による構築転用型の支保工開発もひとつと考えられる。

6．おわりに

建設コンサルタントのひとつの技術として，上記のような種々の工法あるいは構造解析の進め方についての情報収集，分析がある。このような技術により設計効率の向上，新技術の積極的な設計への取り組みは，今後のより高度な情報社会にむかって重要な事であり，他の案件についても進めてゆきたいと考えている。