

# ツインアーチフォーム工法による型枠存置時間延長の長期耐久性向上効果に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○手塚 康成 正会員 西岡 和則

## 1. はじめに

ツインアーチフォーム工法<sup>1)</sup>(以下、「TAF工法」と称す)とは、2組の馬蹄形型枠(アーチフォーム)を交互に使いながらトンネル覆工コンクリート施工を行う施工方法であり、2日に1回の打設サイクルを維持したまま、トンネル覆工コンクリートの打込み完了から脱型までの時間を、従来工法の18時間から66時間に延長することができる。この効果を徳定トンネルで確認した結果、打込み後66時間で脱型することによってコンクリート表層の透気係数が改善され、耐久性向上に有効であることが実証された<sup>2)</sup>。また、著者らは、66時間の妥当性に関しても既に室内試験によって明らかとしている<sup>3)</sup>。

本検討では、コンクリートの打込み完了から脱型までの時間をパラメータとした場合の透気係数の変化について、66時間付近を細分割した試験ケースによる室内試験を実施し、合理的な脱型時期の確認と定量的な長期耐久性向上効果について考察した。

## 2. 試験概要

### (1) 使用材料および配合

室内試験では、特殊混和剤を用いた中流動コンクリート<sup>4)</sup>を使用した。コンクリートの使用材料および配合を、それぞれ表-1および表-2に示す。

### (2) 試験体の形状および寸法

試験体の寸法を、縦300mm、横300mmおよび高さ300mmとして、コンクリートを打ち込む際に側面となる1面のみを鋼製型枠とし、脱型して評価対象とした。その他の5面については、厚さ500mm以上の発泡スチロールで覆った。試験体の形状および寸法を図-1に示す。この試験体は、連続するトンネル覆工コンクリートの一部を再現したものであり、評価対象面(300mm×300mm)に対する奥行方向の寸法の300mmは、覆工コンクリートの覆工厚さを再現している。

### (3) 試験方法

温度20±3°Cおよび60%RHの室内において、前掲の図-1に示す形状の型枠6体に中流動コンクリートを打ち込んだ後、それ

ぞれ打込み完了から18時間、54時間、60時間、66時間、72時間および96時間が経過した時点で脱型した。その後、材齢7日と28日において、6体の試験体の評価対象面の透気係数を、ダブルチャンバ方式のトレント試験<sup>5)</sup>によって測定した。材齢28日が経過した時点で、コンクリートの打込み完了から脱型までの時間を18時間、54時間、60時間、66時間および72時間とした5体の供試体からコアを採取し、表面より5mmの深さの試料を採取して水銀圧入法による細孔径分布測定を行った。

表-1 使用材料

項目	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	川砂、表乾密度: 2.64g/cm <sup>3</sup> 、吸水率: 1.42% 粗粒率: 2.74
	S2	砕砂、表乾密度: 2.65g/cm <sup>3</sup> 、吸水率: 1.22% 粗粒率: 2.78
	S3	川砂、表乾密度: 2.61g/cm <sup>3</sup> 、吸水率: 1.33% 粗粒率: 2.39
粗骨材	G1	砕石、15~5mm、吸水率: 1.01% 表乾密度: 2.66g/cm <sup>3</sup> 、実積率: 59.0%
	G2	砕石、20~10mm、吸水率: 0.56% 表乾密度: 2.66g/cm <sup>3</sup> 、実積率: 59.0%
特殊混和剤	VSP	ポリカルボン酸エーテル化合物と増粘性高分子化合物の複合体

表-2 コンクリートの配合

Gmax (mm)	スランプ フォー (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							VSP (C%)
					W	C	S1	S2	S3	G1	G2	
20	350~500	50.0	4.5±1.5	50.0	175	350	387	218	258	365	551	1.0

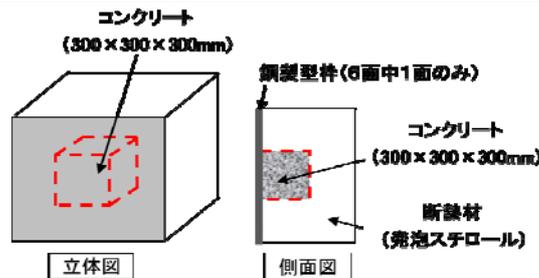


図-1 試験体の形状および寸法

キーワード ツインアーチフォーム, TAF工法, 中流動コンクリート

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株) 土木管理本部 TEL03-5544-0713

### 3. 試験結果および考察

コンクリートの打込み完了から脱型までの時間と透気係数の関係を図-2に示す。同図より、脱型までの時間が18時間から96時間になるに従って、透気係数が低下していく結果となった。特に18時間では透気係数が $1.6 \times 10^{-16} \text{m}^2$ である対し、54時間では $0.15 \times 10^{-16} \text{m}^2$ となり、透気係数の低下が著しく、54時間から96時間にかけては緩やかに低下する傾向があった。既往の知見<sup>5)</sup>に基づく評価によれば、18時間では、「Poor」であり、54時間以上では「VeryGood」に近い「Fair」評価であった。

コンクリートの打込み完了から脱型までの時間を18時間、54時間、60時間、66時間、72時間および96時間とした試験体の細孔径分布測定結果を図-3に示す。同図より、打込み完了から脱型までの時間を18時間から54時間以上に延長することによって、材齢28日における細孔量が少なくなり、小さな径の細孔量の割合が増える結果となった。このことは、コンクリートの打込み後18時間から54時間以上にかけて湿潤状態を保つことによって、水和反応が進行することを示しており、透気係数の測定結果に確認された傾向と一致する。

### 4. 定量的な長期耐久性向上効果に関する考察

既往の研究結果の透気係数と塩化物イオン拡散係数の関係グラフ<sup>6)</sup>と、材齢28日の透気係数と500日後の中性化深さの関係グラフ<sup>7)</sup>から値を読み取ることで、土木学会の耐久性に関する照査式<sup>8)</sup>に代入し、TAF工法の長期耐久性向上効果の定量的な評価を行った。

図-4に経過年数と鋼材位置における塩化物イオン濃度の関係を示す。沿岸から1km飛来塩分が少ない地域の構造物で、鉄筋かぶりを100mmとした場合の耐用年数は、塩化物イオン濃度 $1.2 \text{kg/m}^3$ を限界値とした時、18時間脱型では、55年と推定できるのに対し、54時間脱型と66時間脱型では、どちらも100年（照査式の適用限界値）と推定できる。

図-5に経過年数と中性化深さの関係を示す。乾燥しやすい環境での耐用年数は、鉄筋かぶりを100mmとし中性化深さ90mmを限界値とした時、18時間脱型では25年と推定できるのに対し、54時間脱型では90年、66時間脱型では100年（照査式の適用限界値）と推定できる。

### 5. おわりに

今回示した耐用年数はあくまで表層からの浸透拡散に伴う劣化に対する値であり、実構造物ではひび割れの影響が無視できない。ただし、既往のTAF工法の検証結果<sup>2)</sup>で竣工時のひび割れ発生率は従来工法の1/5に低減されていることが分かっている。今後、TAF工法の長期耐久性向上効果に関して、長期的にデータを蓄積することで定量評価方法を確立させる。

### 参考文献

- 1) 金子恵一ほか：土木学会 第69回年次学術講演会，VI-065，土木学会，2014
- 2) 西岡和則ほか：第24回トンネル工学研究発表会，土木学会トンネル工学委員会，I-5，土木学会，2014
- 3) 手塚康成ほか：土木学会 第70回年次学術講演会，VI-647，土木学会，2015
- 4) 坂井吾郎ほか：特殊な混和剤を用いたトンネル覆工用流動コンクリートの開発，セメント・コンクリート，No.787，2012.9
- 5) R.Torrent and G.Frenzer：A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the “covercrete”， International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)， pp.985-992， Sep.1995.
- 6) Materials and Corrosion, V.63, n12, December 2012, pp.1127-1133.
- 7) R.Torrent, G.Basheer and A.F.Goncalves：CHAPTER 3. NON-DESTRUCTIVE METHODS TO MEASURE GAS PERMEABILITY， pp.35-70， May.2007.
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕2012年制定， pp.144-157

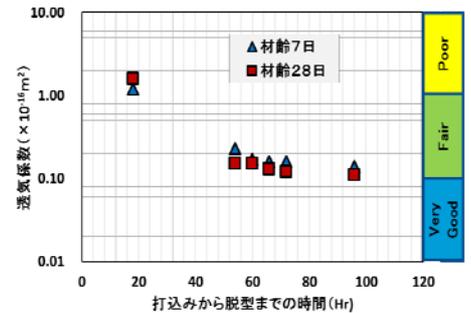


図-2 透気試験結果

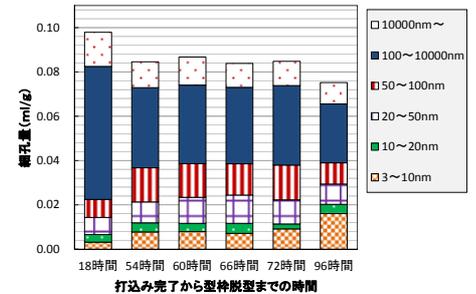


図-3 細孔径分布試験結果

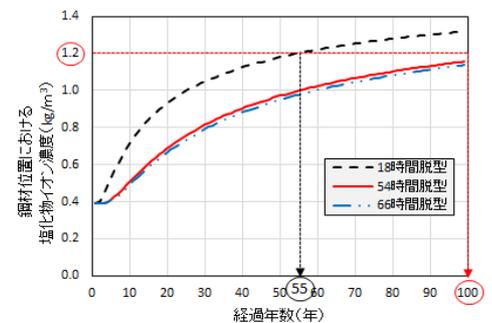


図-4 経過年数と塩化物イオン

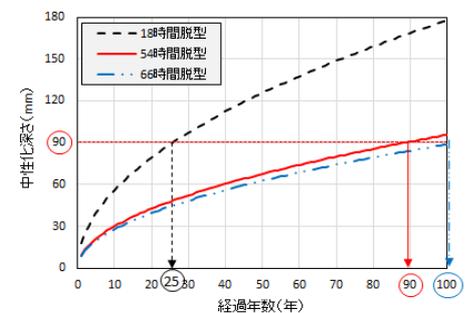


図-5 経過年数と中性化深さ