

V-35 トンネル覆工コンクリートの変状調査

(株)芙蓉調査設計事務所 正会員 山田 公雄
須賀 幸一
○ 黒田 圭

1. はじめに

平成 11 年度の福岡トンネルにおけるコンクリート剥落事故をはじめ、近年多くのコンクリート構造物における耐久性、劣化の問題がクローズアップされている。本文は愛媛県南部における十数例のトンネル覆工コンクリートの変状調査の結果を報告するものである。

2. 調査概要

昨年度「コールドジョイントに着目したトンネル緊急点検要領」に従い実施された打音調査の結果に基づき打音異常が認められたトンネルや漏水、ひび割れ、表面劣化が激しいトンネル（表 1）に対してレーダー探査法及びコア抜き調査法によるトンネル覆工厚、背面空洞調査及び圧縮強度試験、中性化試験を行った。

表 1 調査トンネル一覧表

トンネル名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
完成年次（昭和 年）	34	35	35	38	38	39	43	44	45	49	53	53	56	56	58	63
延長(m)	73.0	186.0	207.0	117.8	250.3	202.0	285.0	116.1	262.8	639.5	109.5	219.8	748.5	177.0	133.4	182.0
幅員(m)	4.0	3.1	5.5	4.0	6.0	4.0	5.0	5.5	6.0	6.5	8.7	6.5	6.5	6.5	6.8	7.0
覆工厚 (mm)	200	218	309	200	325	200	278	350	350	350	541	350	500	700	600	603
中性化深さ (mm)	97.0	16.4	8.6	84.0	9.4	132.0	29.8	18.0	18.0	4.0	4.5	15.0	5.0	15.0	18.0	16.4
圧縮強度 (N/mm ²)	11.6	23.4	35.3	10.2	47.4	8.9	34.2	39.8	40.3	37.9	29.9	35.1	29.4	43.4	32.9	40.1

3. 調査結果

3. 1 覆工厚・背面空洞

調査対象となったトンネルは全て在来工法により施工されている。在来工法のトンネルは NATM 工法に比べ覆工背面に空洞を生じやすく、また、トンネルのクラウン部（アーチ部分の頂部）はその構造上巻き厚不足を生じやすい。今回調査したトンネルのクラウン部の平均覆工厚を図 1 に示す。

設計厚は、トンネル毎に異なるが設計厚を 300 mm とすると図 1 でわかるように昭和 40 年代以降のものは設計厚を満たしているが、昭和 30 年代に施工されたものには設計厚を満たしていないものがあり巻き厚不足を生じている。（ただし昭和 50 年代のものはグラウト注入を含むものもある）また、全てのトンネルの覆工背面に空洞の存在が確認された。

3. 2 圧縮強度

各トンネルで行った圧縮強度試験の結果を図 2 に示す。

道路トンネル維持管理便覧(日本道路協会 H 5 年 11 月)によると有効巻き厚としては、設計基準強度以上の部分とし、設計基準強度が不明な場合は、15N/mm²(150kg/cm²)とされている。昭和 40 年代に施工されたものは、20~40N/mm² の範囲で圧縮強度がでているが、昭和 30 年代に施工されたものの中には必要圧縮強度 15N/mm² を満たしていないものがあり、また、試験結果に大きなばらつきが見られる。

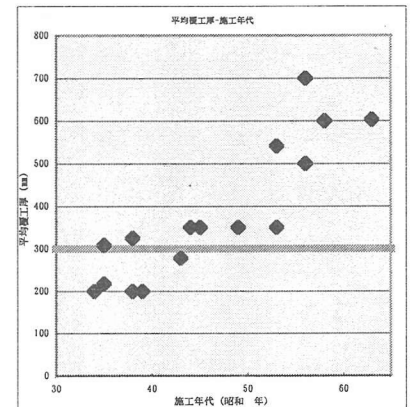


図 1 施工年代と平均覆工厚の関係
相関係数 0.88

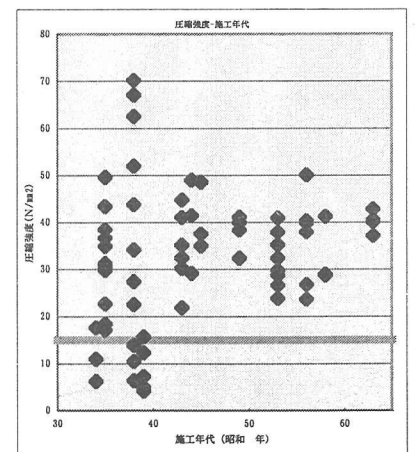


図 2 施工年代と圧縮強度の関係
相関係数 0.24

3. 3 コンクリートの中性化

圧縮強度試験と同時にトンネル覆工コンクリートの経年劣化の目安としてフェノールフタレイン溶液による中性化試験を行った。(図3)

試験結果を岸谷式(式1)によって導かれた水セメント比65%時の中性化深さの予測値と比較すると、主に30年以上(昭和30年代)経過したトンネルのなかに中性化深さが予測値を大きく上回りばらつきも大きいものがある。

$$\text{岸谷式} \quad t = \frac{0.3(X)}{R^2(X-0.25)^2} C^2 \quad (X \geq 0.6)$$

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6X-1.76)^2} C^2 \quad (X \leq 0.6) \dots \dots \text{式1}$$

t : Cまで中性化する期間(年)

X : 強度上の水セメント比

C : 中性化深さ(cm)

R : 中性化比率(セメントの種類などによって定まる比率)

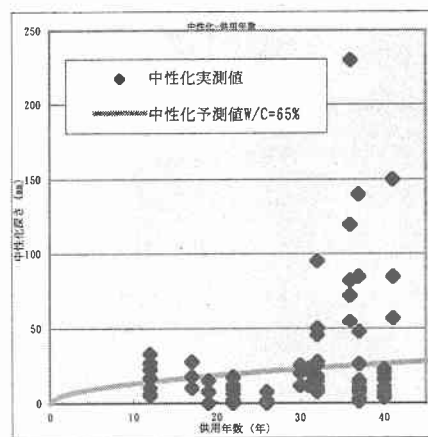
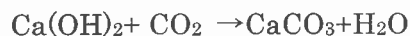


図3 供用年数と中性化深さ
相関係数 0.27

3. 4 中性化速度と圧縮強度

中性化は、水酸化カルシウムが炭酸ガスと反応することにより炭酸カルシウムになりコンクリートのアルカリ性が失われる現象である。



一般的に、中性化速度は密実なコンクリート程遅いと言われている。また、環境条件(炭酸ガス濃度、温度、湿度等)にも影響されるといわれている。

また、中性化の進行は中性化期間の平方根に比例することから式2より中性化速度係数bを求め圧縮強度との関係を図4に示す。

$$C = b\sqrt{t} \quad \dots \dots \text{式2}$$

C : 中性化深さ(cm)

b : 中性化速度係数

t : Cまで中性化する期間(年)

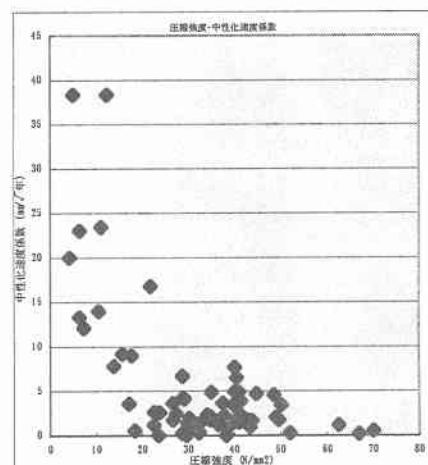


図4 圧縮強度と中性化速度係数の関係
相関係数 -0.61

中性化速度係数と圧縮強度の関係は、圧縮強度が大きくなるにつれ中性化速度係数が小さくなり、ばらつきも小さくなる傾向がみられる。

4. まとめ

- ① 今回の調査では、昭和30年代に施工されたものの中に巻き厚不足を生じているものがあった。
- ② 昭和30年代に施工されたものの中に必要圧縮強度を満たしていないものがありばらつきもあった。
- ③ 30年以上経過したものの中に岸谷式による中性化深さの予測値を大きく上まわるものがありばらつきもみられた。
- ④ 中性化速度と圧縮強度の関係では、圧縮強度が大きくなるにつれ中性化速度係数が小さくなり、ばらつきも小さくなる傾向がみられた。

参考文献

- 1) 道路トンネル維持管理便覧 日本道路協会 H5年11月
- 2) トンネルコンクリート施工指針(案) 土木学会 H12年7月
- 3) コンクリートの長期耐久性に関する研究委員会報告書 日本コンクリート工学協会 2000年5月