

地下鉄トンネルの中性化速度に関する調査分析結果

岩波 基¹・新井 泰²・古賀 伊織³・沢木 大介⁴

¹正会員 第一工業大学 工学部 自然環境工学科(〒899-4395鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)
E-mail:m-iwanami@daiichi-koudai.ac.jp

²正会員 東京地下鉄株式会社 鉄道本部改良建設部 設計課(〒110-8614東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail:y.arai.g7c@tokyometro.jp

³第一工業大学 工学部 自然環境工学科(〒899-4395鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)
E-mail: popo.0421@i.softbank.jp

⁴正会員 株式会社 太平洋コンサルタント 技術調査室(〒101-8443東京都千代田区神田錦町2-3)
E-mail:Daisuke_Sawaki@taiheiyo-c.co.jp

地下鉄トンネルは数百kmの延長を有し，10年後には供用延長の約50%が経年50年を超える．さらに，トンネルの設計耐用期間は概ね100年となっており地上構造物より長期間である．そのため，地下鉄トンネルを含むトンネルコンクリートの劣化予測手法の確立は急務である．反面，トンネルコンクリートは，地上構造物と環境条件が異なるほか，試料採取の困難さから当該予測手法の確立に資する基礎データの蓄積が十分でない．そこで，本研究では，建設年次が異なる地下鉄駅4駅における改良工事で発生した撤去側壁から試料を採取して中性化深さを測定し，コンクリート標準示方書の推定式に基づく推定値との比較を行ったところ，4駅のうち2駅で中性化速後係数が約2倍であることがわかった．

Key Words : Tunnel, aged concrete, carbonation, carbonation ratio, estimation of mix proportion

1. はじめに

一般に都市部の地下鉄を含むトンネルは，地上のコンクリート構造物と比較して，周囲には土水圧が作用しているほか，作業時間，作業空間等に制約があり，トンネル内面側から地山側までのコンクリートコアサンプリングは基本的に不可能である．そのため，経年に伴う各種物性値のばらつきや化学的性質の変化についてはほとんど明らかになっておらず，鋼構造物を含む地上構造物と比較してマネジメント手法の適用が遅れている．

既往の数少ない地下構造物のコンクリートに関する調査・研究成果としては，横関¹⁾や玉井²⁾による成果があるが，いずれも一つの構造物のみを対象とし，建設年次が異なる複数の地下構造物に関する調査結果を比較するに至っていない．したがって，トンネルコンクリートの耐久性能を担保する手段として，現状はトンネル標準示方書【開削工法】・同解説³⁾で「コンクリートの水セメント比を50 %以下とし，鉄筋のかぶりを30 mm以上確保

すること」と定めているのみで，鋼構造物を含む地上構造物と同様なマネジメント手法の確立に耐えうる基礎データの蓄積が不足している状況にある．

一方，日本国内における都市部の地下鉄トンネルの延長は数百kmあり，点検や補修のために日中運行を停止すると都市機能への影響が甚大であるため，維持管理にかかわる作業は終電から始発までの限られた時間内に行わざるをえない．そのため，これまでの点検や補修は，変状が著しい箇所，例えばコンクリートの塩害が問題となるような河川横断箇所や建設時の切梁切断箇所などに集中し，その対策方法も限定的であった．

反面，凍害やアルカリ骨材反応による変状は大凡見られないことから，本研究では地下鉄トンネルのコンクリートの変状を評価する代表的指標を中性化にすることの妥当性と，その予測手法の確立を目的として，建設年次が異なる地下鉄駅4駅における改良工事で発生した撤去側壁について内面側から地山側を貫通するコンクリートコア（以下，コア）を採取し，側壁厚さ方向の中性化の

分析と中性化速度について検討した。また、比較のために道路トンネルのコンクリートについて同様の分析を行った1例の結果について引用、比較した。

2. 対象構造物

本論文で検討対象としたのは、約80年間供用されてきた地下鉄の開削トンネル（以下、地下鉄駅No.1）、約40年間供用されてきた地下鉄の開削トンネル（以下、地下鉄駅No.2）、約55年間供用されてきた地下鉄の開削トンネル（以下、地下鉄駅No.3）そして、約58年間供用されてきた地下鉄の開削トンネル（以下、地下鉄駅No.4）の4箇所である。また、これらの地下鉄トンネルと比較するために昭和11年に建設された新戸相武台トンネルも対象構造物とした。なお、コア抜きは湿式で行い、試料は20℃の湿潤状態でラップして保管した。

(1) 地下鉄駅No.1

地下鉄駅No.1は、昭和7年の開業以降、約80年間供用されてきたものである。この構造物は、地下水位以下にあるため、側壁の背面側はコーラタールで防水処理されていた。コア（φ100）は、地下1階のコンコース拡幅工事に伴い撤去された側壁から、漏水やひび割れが無い位置から、試験用2本と予備1本の合計3本を採取した。

(2) 地下鉄駅No.2

地下鉄駅No.2は、昭和49年の開業以降、約40年間供用されてきたものである。この構造物も地下水位以下にあり、側壁の背面側はコーラタールで防水処理されていた。また、地下1階の連絡通路新設工事に伴い撤去された側壁のうち、漏水やひび割れが生じている箇所が見られたため、コア（φ100）は、それらが無い位置のものとあわせて、試験用2本と予備3本の合計5本を採取した。

(3) 地下鉄駅No.3

地下鉄駅No.3は、全線の一部が昭和36年に開業して以来、約55年間供用されてきたものである。この構造物も地下水位以下にあり、側壁の背面側はコーラタールで防水処理されていた。コア（φ150）は、駅部の連絡通路新設工事に伴い撤去された側壁から、漏水やひび割れが無い位置から、試験用4本を採取した。

(4) 地下鉄駅No.4

地下鉄駅No.4は、全線の一部が昭和32年に開業し、当該駅を含む区間は昭和34年に開業して以来、約58年間供用されてきたものである。この構造物も地下水位以下

にあり、側壁の背面側はコーラタールで防水処理されていた。また、側壁に漏水やひび割れが生じている箇所が見られたため、コア（φ100）は、その位置から3本、それらが無い位置から3本の合計6本を採取した。

(5) 新戸相武台トンネル

新戸相武台トンネルは、昭和11年に建設された神奈川県相模原市の在日米陸軍基地を横断する市道のトンネルで、幅6.16m、高さ5.89mの門型ラーメン構造を有する。試料は、24mの改良工事区間のうち、漏水やひび割れが無い中央部と端部から5mの2箇所について地下水位以下となる側壁の下端より1.5mの位置からφ100のコア6本を採取した。なお、トンネル全体として、コンクリートが劣化した箇所は見られなかった。

3. 調査内容

以下に、前記の各コアを用いて行ったコンクリートの中性化に関する性質に関する調査内容について述べる。

(1) 中性化深さ

地山側と内面側の両方で測定した。測定は、JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準拠して行った。

(2) 配合推定と最大骨材寸法

両試験とも全ての試料について行った。配合推定試験は、社団法人セメント協会コンクリート専門委員会報告F-18「硬化コンクリートの配合推定試験に関する共同試験報告」に準拠して行った。また、最大骨材寸法は配合推定で用いたコアに対して観察し、測定した。

(3) 細孔径容積

全ての試料について水銀圧入法を用いて細孔径分布を測定し、全細孔径容積を算出した。地下鉄駅No.1の試料は2本から各1箇所、No.2も2本から各1箇所、No.3は4本から各1箇所、No.4は6本から品質の良いものと悪いもの各1本選んで各1箇所の2本、そして、新戸相武台トンネルの試料は2本から各1箇所細孔径分布を測定した。

(4) EPMA分析

地下鉄駅のコアではトンネルの内面側と地盤に接している地山側の両面について行った。本研究では、CaO、SiO₂およびSO₃について分析を実施し、個々のピクセル毎に、酸化物としての含有率（mass%）を求めることとした。なお、新戸相武台トンネルのコアではトンネル内面側についてのみ行った。

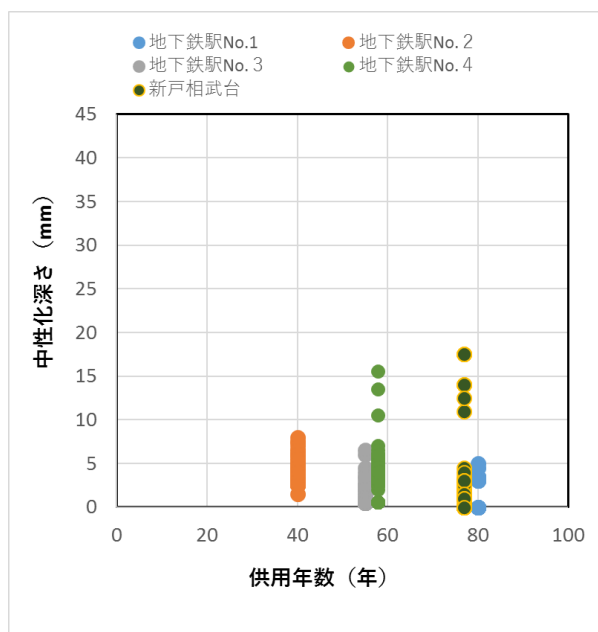
(5)年平均温度・湿度

コンクリートの劣化に影響があると考えられている項目として計測実績のある都内の地下鉄駅構内の結果を引用した。

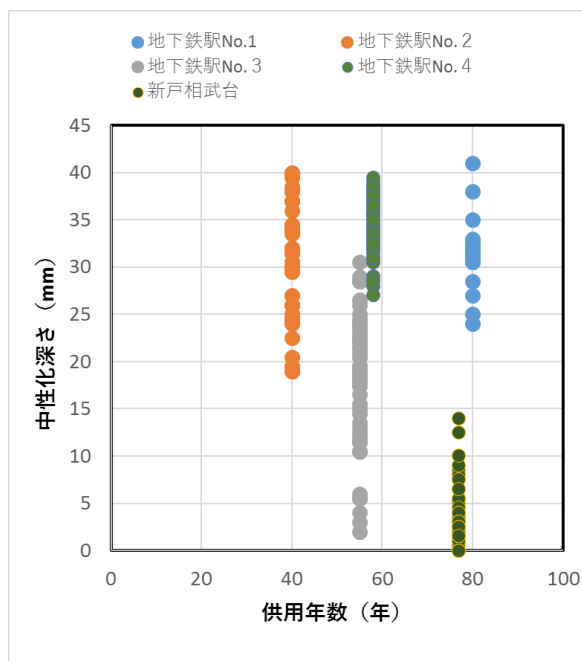
4. 調査

(1) 中性化深さ

中性化深さの測定結果を図-1に示す。なお、本研究で



(a) 地山側



(b) 内面側

図-1 中性化深さ (単位mm)

は側壁厚さ方向のばらつきも把握するためJISA1152に準拠せず、地下鉄駅No. 1はコア1本あたり内面側と地山側で各10箇所、No. 2は各15箇所、No. 3は各14箇所およびNo. 4は各9箇所そして新戸相武台トンネルは1本あたり10箇所の地山側計測結果を図-1 (a) に、内面側計測結果を図-1 (b) に各々示す。

地下鉄駅No. 1の測定結果は、地山側では中性化深さが大きいものでも数mmであり、ほとんど進行していなかった。これは、地盤と接するトンネルの外面に防水を目的としてコールタールをコーティングしていたためであると考えられる。一方、内面側では、全体的に中性化深さが20mm～40mmであった。

地下鉄駅No. 2の測定結果は、地山側では地下鉄駅No. 1と同じく中性化が進んでおらず、中性化深さは小さい値であった。これに対して内面側は20mm～40mmであり、中性化が進行している箇所の値は供用年数が約2倍の地下鉄駅No. 1と同程度であった。

地下鉄駅No. 3の地山側の測定結果は、他の2駅と同じく中性化が進んでおらず小さかった。内面側は地下鉄駅No. 1およびNo. 2よりは小さい値であり、数mm～30mmであった。

地下鉄駅No. 4の地山側の測定結果は他の地下鉄駅より大きな値であったがそれでも顕著に中性化が進んでいるということではなく15mm以下の値であった。これに対して内面側は20mm～40mmであり、地下鉄駅No. 1やNo. 2と同程度であった。

新戸相武台トンネルの測定結果は、各地下鉄駅と同様に地山側のほとんどが中性化深さは0であったが、一部10mm～20mmとなっている箇所があった。一方、内面側は各地下鉄駅と異なり全て15mm以下であった。これは、坑内温度がほぼ外気温と同じであり、さらに、湿度が常に70%RH以上であることが影響しているものと推測される。また、交通量が少ないこともコンクリートの劣化抑制に寄与しているものと思われる。

(2) 最大骨材寸法と配合推定

地下鉄駅No. 1～4と新戸相武台トンネルの最大骨材寸法と配合推定結果を表-1～4および表-5に各々示す。

なお、セメント量の計算に必要なセメントのCaO含有率は、普通ポルトランドセメントにおけるCaO含有率を64.5%，強熱減量を0.6%とそれぞれ仮定し設定した。また配合推定にあたり、骨材は不溶残分を95.2%，CaO含有率を0.4%，強熱減量を0.6%と仮定した。

表-1に示す地下鉄駅No. 1の推定結果によると、試料No.1,2ともに単位セメント量が312kg/m³で、単位水量も223kg/m³と222kg/m³、水セメント比が72%と71%であり、ほぼ同じ配合になっていた。ただし、水セメント比が70%を超えており、昭和初期の構造物としてはやや単位

表-1 地下鉄駅No.1 の配合推定結果

試料 番号	単位容積質量 (kg/m ³)	材料単位量 (kg/m ³)			最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 (%)
		セメント	水	骨材		
1	2345	312	223	1810	30mm程度	72
2	2338	312	222	1803		71

表-2 地下鉄駅No.2 の配合推定結果

試料 番号	単位容積質量 (kg/m ³)	材料単位量 (kg/m ³)			最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 (%)
		セメント	水	骨材		
1	2342	254	152	1935	30mm程度	60
2	2280	324	177	1779	20mm程度	55

表-3 地下鉄駅No.3 の配合推定結果

試料 番号	単位容積質量 (kg/m ³)	材料単位量 (kg/m ³)			最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 (%)
		セメント	水	骨材		
1	2342	257	138	1947	30mm程度	54
2	2334	266	148	1920		56
3	2319	343	181	1796		53
4	2357	274	156	1927		57

表-4 地下鉄駅No.4 の配合推定結果

試料 番号	単位容積質量 (kg/m ³)	材料単位量 (kg/m ³)			最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 (%)
		セメント	水	骨材		
1	2332	327	160	1834	30mm程度	49
2	2346	299	176	1871		59

表-5 新戸相武台トンネルの配合推定結果

試料 番号	単位容積質量 (kg/m ³)	材料単位量 (kg/m ³)			最大骨材寸法 (mm)	水セメント比 (%)
		セメント	水	骨材		
1	2405	322	205	1878	30mm程度	64
2	2401	310	202	1891		65

水量が多いコンクリートを用いていると判断された。また、最大骨材寸法は30mm程度で、現在よりやや大きい骨材が使われていたようである。

表-2～4に示す。地下鉄駅No. 2、No. 3とNo. 4の推定結果によると、単位セメント量が約250kg/m³から約350kg/m³、単位水量が150kg/m³から180kg/m³程度、水セメント比が約55%であり、単位セメント量が少ない試料が多いが、ほぼ一般的な配合であると判断された。また、全体的に、最大骨材寸法が30mm程度で現在よりやや大きかったが、地下鉄駅No. 2の試料1では他の試料より明確に骨材寸法が小さく、狭隘な施工条件に起因しているのではないかと推測される。

表-5に示す。新戸相武台トンネルの推定結果によると、試料1が単位セメント量322kg/m³、単位水量205kg/m³、水セメント比64%、試料2は単位セメント量が310kg/m³、単位水量が202kg/m³、水セメント比が65%になった。

表-6 全細孔容積

試料名		全細孔容積 (ml/g)
地下鉄駅No. 1	1	0.1307
	2	0.1336
地下鉄駅No. 2	1	0.1080
	2	0.1115
地下鉄駅No. 3	1	0.1061
	2	0.0962
	3	0.0964
	4	0.1124
地下鉄駅No. 4	1	0.0716
	2	0.0832
新戸相武台トンネル	No.16	0.0900
	No.18	0.0898

表-7 年平均温度・湿度

	地下鉄駅No.1	地下鉄駅No.2	地下鉄駅No.3	地下鉄駅No.4	外気中
年平均気温 (°C)	25.4	23.9	25.4	25.4	15.4
年平均湿度 (%)	43	50	43	43	69

(3) 細孔径容積

コアの内部における試料で細孔径分布を測定した細孔径分布の測定結果より求めた全細孔容積を表-6に示す。

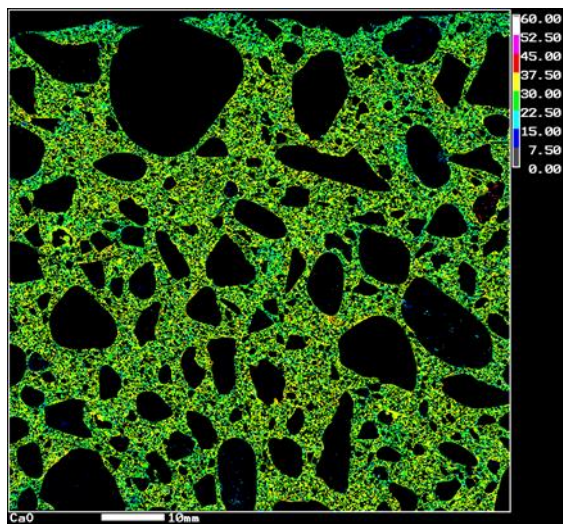
地下鉄駅No. 1～4ではいずれも全細孔容積がコンクリートとしては決して大きな値ではない。なお、No. 1の値が他の駅より大きいのは水セメント比が大きいことに関係していると考えられる。また、新戸相武台トンネルの値も同程度である。

(4) EPMA分析結果

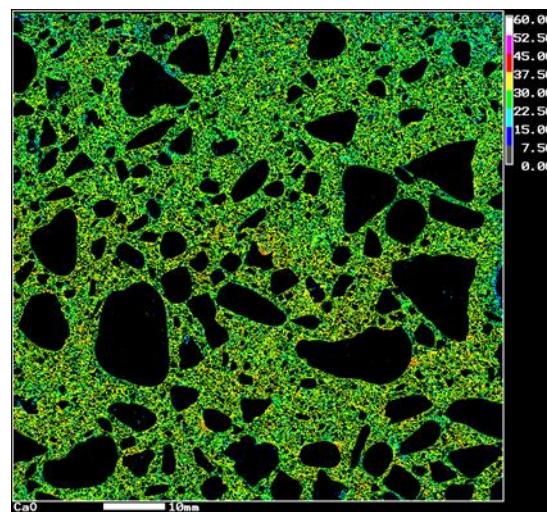
EPMA分析結果は、地下鉄駅No. 1～4ともほぼ同様であったため、一例として地下鉄駅No. 2の地山側のCaO、SiO₂、SO₃の3元素に関するセメントペーストに相当するピクセルのみを選択表示した結果を図-2に、内面側を同様に整理した結果を図-3に示す。

地山側の濃度分布の画像によると、CaO、SiO₂、SO₃の3元素が、コンクリートの端部付近で低くなっているが、その領域は深さ10mmに満たないものであり、中性化領域とほぼ一致する。この中性化は、炭酸化によるSO₃を含む物質であるエトリンガイトが分解して遊離したSO₃が濃度勾配により炭酸化の進んでいない内面側へ移動することで、その箇所での濃度が高くなるという「炭酸化によるSO₃の濃縮」という現象が見られないため、セメント分の溶出が主であると考えられる。

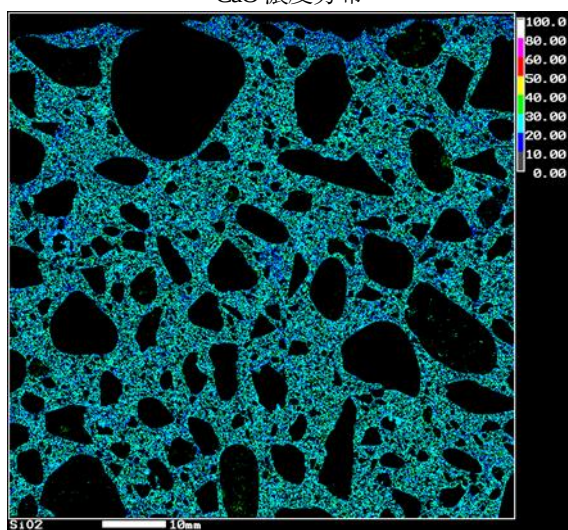
一方、内面側の濃度分布の画像では、コンクリート端部のCaO、SiO₂、SO₃の3元素の濃度が低くなっている。この領域は中性化した領域に相当する20～40mmであり、数値としても合致している。SO₃については、端部から深さ10mm程度の領域で、まだら状に高い濃度となって



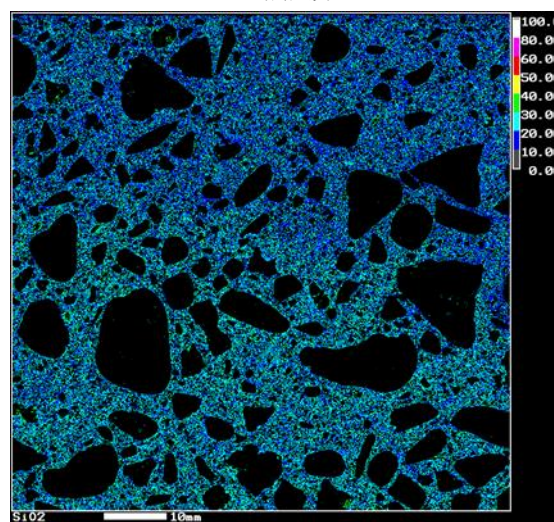
CaO 濃度分布



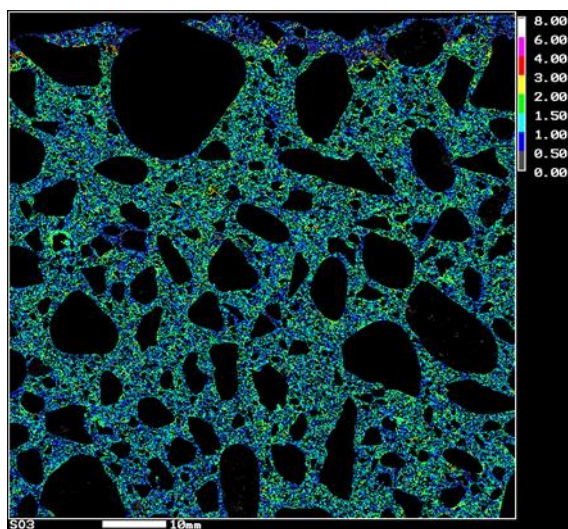
CaO 濃度分布



SiO₂濃度分布

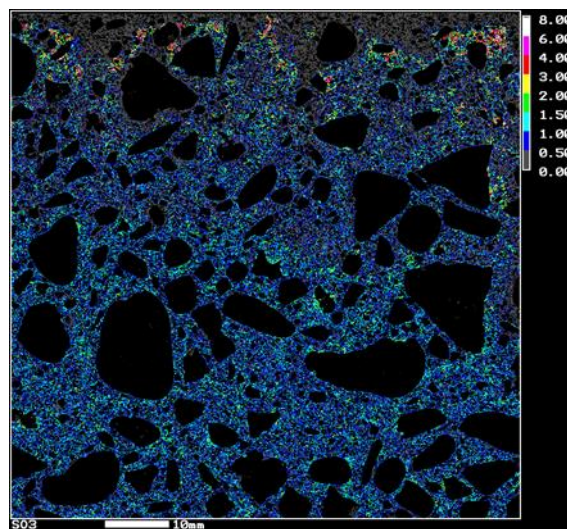


SiO₂濃度分布



SO₃濃度分布

図-2 地山側の面分析結果



SO₃濃度分布

図-3 内面側の面分析結果

「炭酸化による SO_3 の濃縮」と判断される現象が見られることから、炭酸化が生じたものと判断される。

(5) 年平均温度と年平均湿度の測定結果

地下鉄駅構内で計測した日平均温度と日平均湿度から年平均温度と年平均湿度を求めてまとめたものを表-7に示す。なお、地下鉄駅No. 2とNo. 4はNo. 1と同じく一日の乗降者数が35000人程度であり、構造も似ているので同様の値とした。新戸相武台トンネルの内部は風通しがよくほぼ外気と条件が同じであることから、アメダスの値を用いた。

5. 測定値と推定値の比較

今回調査した5箇所の構造物における中性化深さの測定値と2012年制定コンクリート標準示方書設計編（以下、コンクリート標準示方書とする）の解2.1.2式を用いて中性化速度係数から求めた中性化深さの値を比較した結果を図-4に示す。

(1) 地山側

図-4 (a) は、図-1 (a) の地山側の中性化深さの測定値とコンクリート標準示方書の推定式で求めた中性化深さの特性値の経時変化グラフを比較して示したものである。ここで、中性化深さの推定には、配合推定のW/Cの値を用いた。配合推定の結果にはばらつきが含まれているが、当時の一般的な配合から実配合と倍半分の違いがないものと考えて配合推定の値を採用した。

図-4 (a) から分かるように全ての構造物で、中性化の測定値がコンクリート標準示方書による推定値より小さいことが確認された。とくに、4つの地下鉄駅では地山側がコールタールでコーティングしているため中性化深さは15mm以下であった。地下鉄駅No. 1で測定された最大値が推定値の1/5程度であったが、地下鉄駅No. 2, No. 3とNo. 4は推定値よりやや小さい程度であった。

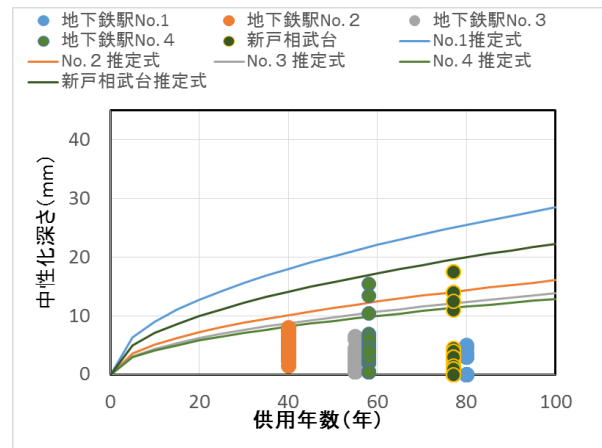
また、新戸相武台トンネルのコンクリートも直接地山と77年間接していたが、中性化した深さは25mm以下であり、中性化の測定値は推定値に近いものがあつた。

(2) 内面側

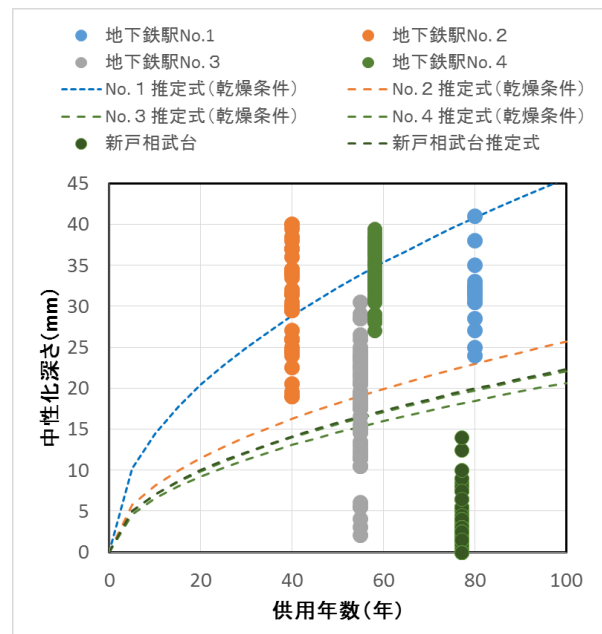
地山側と同様の整理をして得られたグラフを図-4 (b) に示す。なお、地下鉄駅構内の年平均湿度は、いずれも魚本⁴⁾が最も中性化の進行が早くなるとみなしている40%RH～60%RHの範囲にある。そこで、推定式では環境条件を「乾燥しやすい環境」とした。

地下鉄駅4駅の内面側での中性化深さは、コンクリート標準示方書の推定値を上まわる結果となった。

地下鉄駅No. 1の測定値は、ほぼ推定値以下となり、



(a) 地山側



(b) 内面側

図-4 中性化深さの測定値と推定曲線

設計に用いるのに適切であると考えられた。これに対し、地下鉄駅No. 2の測定値の最小値は推定値と同程度であるが、最大値は約4倍のひらきがあり、ばらつきも大きかった。地下鉄駅No. 3はNo. 2と同様に最小値が2mm、最大値が30mmで、最大値は推定値の約3倍であり、ばらつきが大きかった。地下鉄駅No. 4は比較的ばらつきが小さかったが、最小値は推定値の約2倍、最大値は推定値の約3倍であった。

環境条件が外気に近い新戸相武台トンネルでは、測定値が推定値のほぼ半分以下に分布した。

6. 考察

(1) 地山側

今回調査対象とした地下鉄トンネルの地山側の中性化

深さは、図-4（a）から分かるように、供用年数が最も短い地下鉄駅No.2が最も大きい値となり、長く供用している地下鉄駅No.1が最も小さい値となっている。4事例だけでは確定できないが、地下鉄トンネルの地山側の中性化速度は、 $\sqrt{t}$ 則によるのではなく、コールタールによるコーティングの品質で決まっている可能性がある。また、開削工法で地下鉄駅No.2より新しく建設されたトンネルでは別な止水材料が採用されている。そのため、その止水材料の品質が中性化速度に何らかの影響を及ぼしている可能性がある。さらに、完全に止水できない場合では、直接に地山と接していることにより新戸相武台トンネルのように中性化が進む可能性がある。一方で、中性化は二酸化炭素による場合も溶脱現象が主たる原因である可能性も考えられることから、中性化の原因を確定した上で、中性化速度を定めることが必要となる。

(2) 内面側

図-4（b）で示した結果を見ると、地下鉄トンネルの内面側の中性化速度係数は、現行のコンクリート標準示方書の方法では必ずしも安全側の設計ではない可能性がある。

そこで、4駅の測定値の平均値から中性化速度係数を求め、推定値と比較した結果を表-8に示す。

これによると、地下鉄駅No.1、No.2とNo.4では環境作用がほぼ同じであるにもかかわらず、測定値から推定される中性化速度係数が大きく異なる。配合推定の結果からも時代的なコンクリート配合の変遷を考えても地下鉄駅No.2やNo.4の単位セメント量が地下鉄駅No.1より多く、中性化速度係数が小さくなると想定していたが、計測結果は逆の傾向を示している。

地下鉄駅No.1は日本で初めての地下鉄トンネルで、材料には川砂と川砂利の良質な河川水系のものを厳選し、施工も土留めと躯体との離隔を大きくとり、コンクリート打設は地上を通行止めにして路面覆工を外して地上構造物に近い作業空間を確保しながら、入念に行われた。そのため、測定した中性化速度係数がコンクリート標準示方書の推定値よりも小さくなったものと推測される。

これに対して、地下鉄駅No.2、No.3とNo.4の建設時期は高度成長期で土木構造物が膨大に建設された時期であり、地下鉄トンネルが重要なインフラ施設ではあっても、通常の碎石や陸産骨材を含んだレディーミクストコンクリートを材料とし、土留めと躯体との離隔は工事示方書等で20cm程度と規定されたため、路面覆工や腹起し、切梁、火打ちと型枠の間の狭い空間からコンクリート投入および締固めを行うといった施工条件で建設が行われたものと推測される。とくに、地下鉄駅No.2とNo.4のコンクリートは施工時に生じたと推測されるひび割れの影響が見受けられ、測定値から求めた中性化速

表-8 中性化速度係数の比較

地下鉄駅No.	中性化速度係数：単位（mm/√年）			
	1	2	3	4
コンクリート標準示方書の中性化速度係数(乾燥しやすい環境)	4.562	2.568	2.208	2.064
平均値の中性化速度係数	3.530	4.815	2.451	4.478

度係数が推定値の約2倍となっている。以上のことから、施工時のコンクリート品質が、その後の中性化速度に大きく影響を与えるものと考えられる。そう言った点で地下鉄駅No.1は特別であり、高度成長期から現在までに施工された地下鉄トンネルにおける中性化速度係数の設定は、今後、実構造物から計測した中性化速度係数の結果を基本に定める必要があるものとする。

(3) 配合結果と全細孔容積

地下鉄駅No.1と新戸相武台トンネルは、表-1と5に示したように単位セメント量、単位水量、最大骨材寸法、水セメント比がほぼ同じであった。これは、両者が昭和六年制定土木学会鉄筋コンクリート標準示方書に準拠していたためであると推測される。これに対して、地下鉄駅No.2～4は昭和30年代以降の基準に従ったものであり、この3駅の配合もほぼ同じであった。また、表-6で示したとおり地下鉄駅No.1の全細孔容積は他の4構造物より大きかったが、これは、コンクリート材料と、昭和10年代までは高周波3相誘導式の棒状内部振動機が実用化されていなかったことが影響した可能性がある。一方、新戸相武台の全細孔容積が地下鉄No.2や3より小さいのは、施工が入念に行なわれたことによるものと推測される。

7. まとめ

- (1) 地下鉄トンネルの地山側の中性化は、止水層の品質によって決まる。また、止水層が健全でない場合に発生する中性化の要因は、溶脱現象等の作用によるものである可能性がある。
- (2) 昭和初期に建設された地下鉄トンネル内面側の中性化速度係数は、コンクリート標準示方書における乾燥しやすい環境による算定式で説明できる。一方、今回対象とした高度成長期に建設された地下鉄トンネルの内面側における中性化深さのばらつきは、地上構造物における既往の調査結果よりも大きい。
- (3) (2)より高度成長期に建設された地下鉄トンネルの当該係数の算定精度向上には、実構造物の材料、支保工と躯体の離隔等の施工条件、坑内の温度、湿度および風速・風向等の環境作用条件調査結果と中性化深さ計

測結果の蓄積が重要であるといえる。

- (4) コンクリートの配合が、昭和六年制定土木学会鉄筋コンクリート標準示方書と昭和30年代以降では異なっている。また、昭和20年代以降は高周波3相誘導式の棒状内部振動機が実用化されており、これらがコンクリートの品質に影響を与えていると思われる。加えて、施工者の技術力がコンクリートの品質を大きく左右するものであると考える。

いて、コンクリート工学年次論文集，Vol.20, No.1, pp.251-256, 1998.6

- 2) 玉井 譲：90 年が経過したコンクリート地下柱・基礎の基本物性に関する分析調査，歴史的構造物の診断・修復に関するシンポジウム 委員会中間報告ならびに論文報告集，pp.61-66, 2006.6
- 3) 2016 年制定 トンネル標準示方書 開削工法・同解説，土木学会，2016
- 4) 魚本健人，高田良章：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会次論文集，N.451/V-17, pp.119-128, 1992.8

参考文献

- 1) 横関康祐，中曽根順一，柿崎和男，渡邊賢三：100 年以上経過した地下コンクリート構造物の耐久性につ

(2017.8.11 受付)

A STUDY OF THE CARBONIZATION SPEED OF THE CONCRETE SAMPLES TAKEN FROM SUBWAY TUNNELS

Motoi IWANAMI, Yasushi ARAI, Iori KOGA and Daisuke SAWAKI

The length of a subway tunnel can be as great as hundreds of kilometers. Ten years from now, about 50% of the in-service length of subway tunnels will be over 50 years old. Further, the design service life of a tunnel is generally 100 years, which is longer than that of above-ground structures. Therefore, it is urgent to establish a method for predicting deterioration of tunnel concrete including subway tunnels. However, not enough basic data which could contribute to the establishment of this pre-diction method has been gathered as the environment of tunnel concrete is different from that of above-ground structures and it is difficult to take samples from tunnel concrete. Hence, in this study samples were taken from the side walls that were removed during improvement projects at three different subway stations which were built in different years. The carbonation depths were measured to compare with the estimated values based on the estimate equation set forth in the Standard Specifications for Concrete Structures.