

[1155] 既存地下鉄構造物のコンクリート圧縮強度と中性化深さ

田底成智^{*1}・乾広海^{*2}・杉原和彦^{*3}

1. はじめに

大阪市営地下鉄は、昭和8年に開業して現在60年以上を経過している。この間に鉄軌道および中量軌道を併せて総営業延長は112.4kmに及ぶ。これらの地下鉄構造物は形態が多様でかつ力学的にも異なるので、各々の形態に応じた保守を行うために、全般診断を目的とした1次調査から、個別診断を目的とした2次・3次調査に至るまで実施している。

本報告では、これらの調査データのうち、経過年数30年以上の実構造物の現状を、コンクリート圧縮強度と中性化深さの分布状況に着目して報告する。

2. 調査の概要

全般診断として位置づけている1次調査は、図-1に示す主眼点に基づいて実施している。今回報告するコンクリート圧縮強度と中性化深さのデータは、主に1次調査の段階で得られるものである。（図中の下線部分）

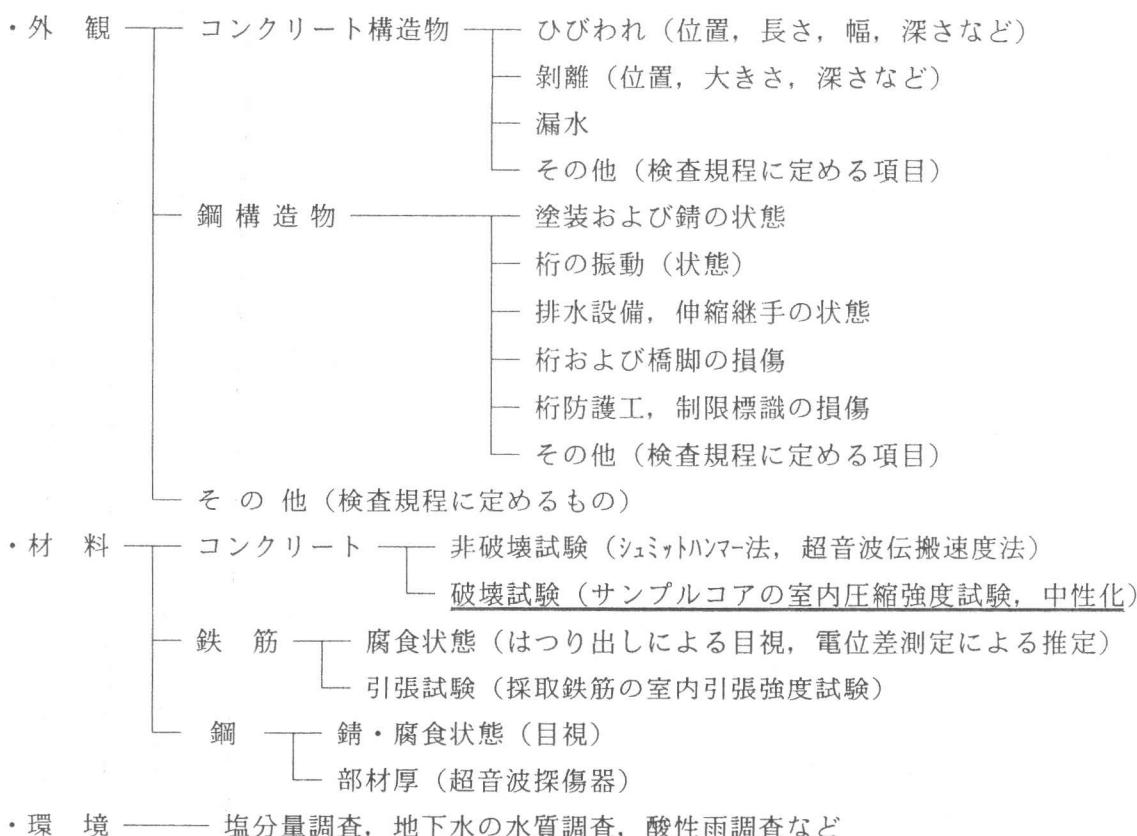


図-1 1次調査の主眼点

*1 中央復建コンサルタンツ(株)調査技術部

*2 大阪市交通局建設技術本部技術部工務課主査

*3 (財)大阪市交通事業振興公社技術部調査課課長補佐

3. コンクリート圧縮強度

3. 1 データの概要

1次調査では、コンクリート圧縮強度を知る試験としてコア室内圧縮強度試験とシュミットハンマー打撃試験を実施している。今回は、これまでの調査で得られたコア室内圧縮強度試験のデータを整理して報告する。サンプルコア採取位置での構造物の施工年別構成を図-2に示す。なお、サンプルコアは主に隧道内の側壁部より採取した。

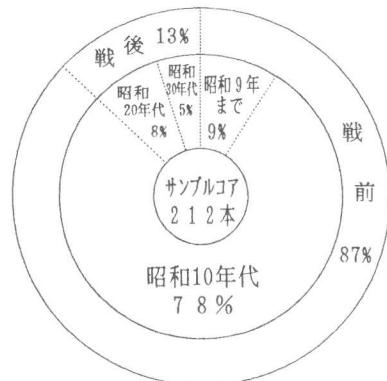


図-2 サンプルコアの施工年別構成比

3. 2 圧縮強度分布状況

コア室内圧縮強度が、施工年別に、どのような分布状況にあるかを図-3～4に示す。

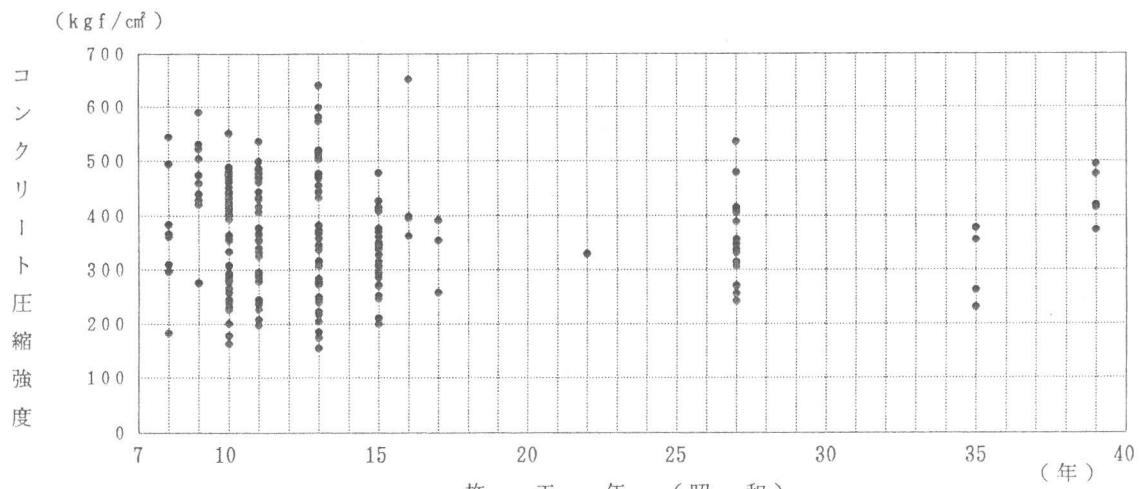


図-3 施工年別コンクリート圧縮強度分布図

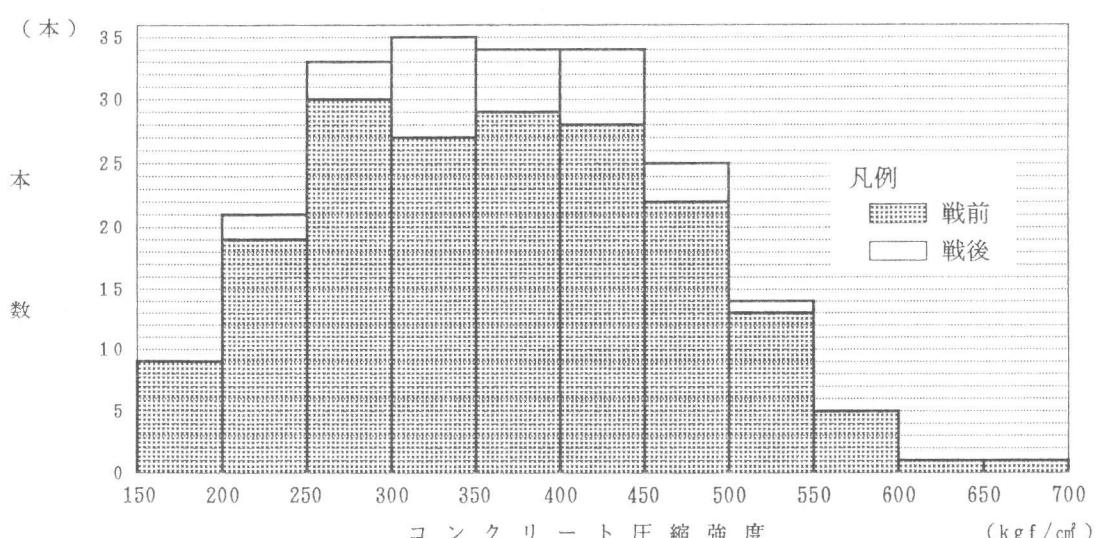


図-4 コンクリート圧縮強度のヒストグラム

このように、コア圧縮強度は、ほぼ 250kgf/cm^2 ～ 450kgf/cm^2 の範囲に集まっているものの、戦前と戦後では、強度のばらつきに差が見られる。そこで施工年代別に強度の統計値を求めたところ表-1を得た。

表-1 圧縮強度の統計値

単位はすべて kgf/cm^2

	昭和9年まで	昭和10年代	戦 前	昭和20年代	昭和30年代	戦 後	全 体
最 小 値	182	154	154	241	230	230	154
最 大 値	589	651	651	535	494	535	651
平 均 値	421	359	365	355	382	364	365
標準偏差	104.5	102.0	103.9	72.7	79.5	76.3	100.6

これらのデータから、圧縮強度の分布の特徴として以下のことが挙げられる。

- ① 戦前、戦後を通じて、圧縮強度の平均値はほぼ等しく、平均値の低い年代も見られない。
- ② 戦前の設計示方書では、 $\sigma_{2.5} = 140\text{kgf/cm}^2$ （現在は 210kgf/cm^2 ）以上と規定しているが、試験値は 154kgf/cm^2 ～ 651kgf/cm^2 と非常に高い値を示している。当時は、強度管理上かなり安全側に配慮されたと考えられる。
- ③ 強度のばらつきは、戦前と戦後で明らかに差がある。即ち、標準偏差が戦前が 103.9kgf/cm^2 に対し、戦後は、その 2 割以上少ない 76.3kgf/cm^2 となっている。（例えば現場配合コンクリートから工場配合生コンクリートへの移行）但し、戦後に施工された構造物のサンプル数は、まだ少なく、今後の調査結果からより正確な結論を下すことにしている。

4. 中性化深さ

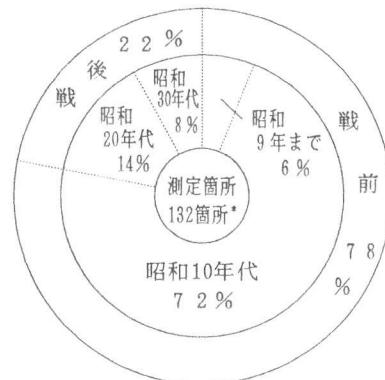
4. 1 データの概要

我々は、鉄筋コンクリート構造物内部の鉄筋が錆を発生させる指標として、中性化深さに着目した。中性化が鉄筋位置まで進行すれば、錆が助長されることが、一般的に考えられている。

1 次調査では、サンプルコアまたは鉄筋目視のためのコンクリートはつり部にフェノールフタレンイン溶液を噴霧して、発色しない部分の平均深さを中性化深さとして求めた。中性化深さ測定位置での構造物の施工年別構成比を図-5に示す。測定は、主に隧道内の側壁部で行い、表面に断面修復用モルタル（硬練りセメント）を塗布したもの（18箇所）と無処理のもの（114箇所）に分けた。

4. 2 中性化進行状況

中性化深さの施工年別、表面処理別の分布状況を図-6～7に示す。



* モルタル塗布 18 箇所
無処理 114 箇所
計 132 箇所

図-5 測定位置の施工年別構成比

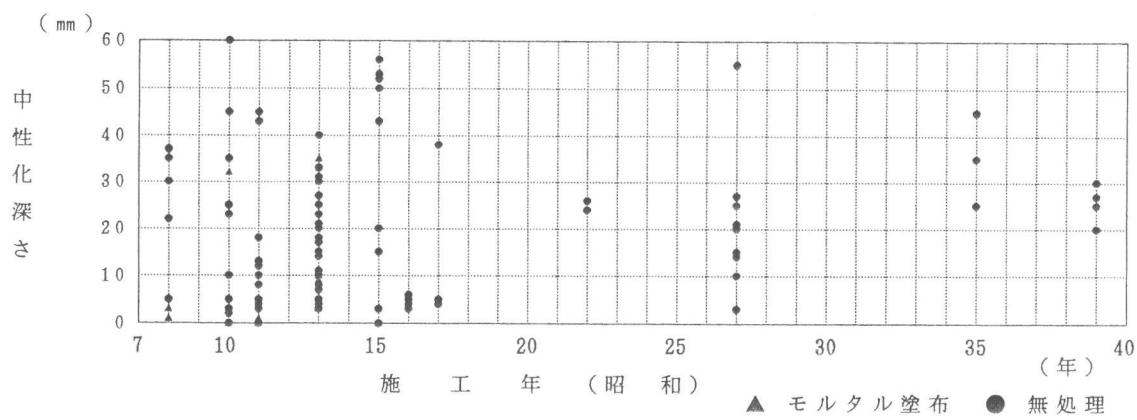


図-6 施工年別中性化深さ分布図

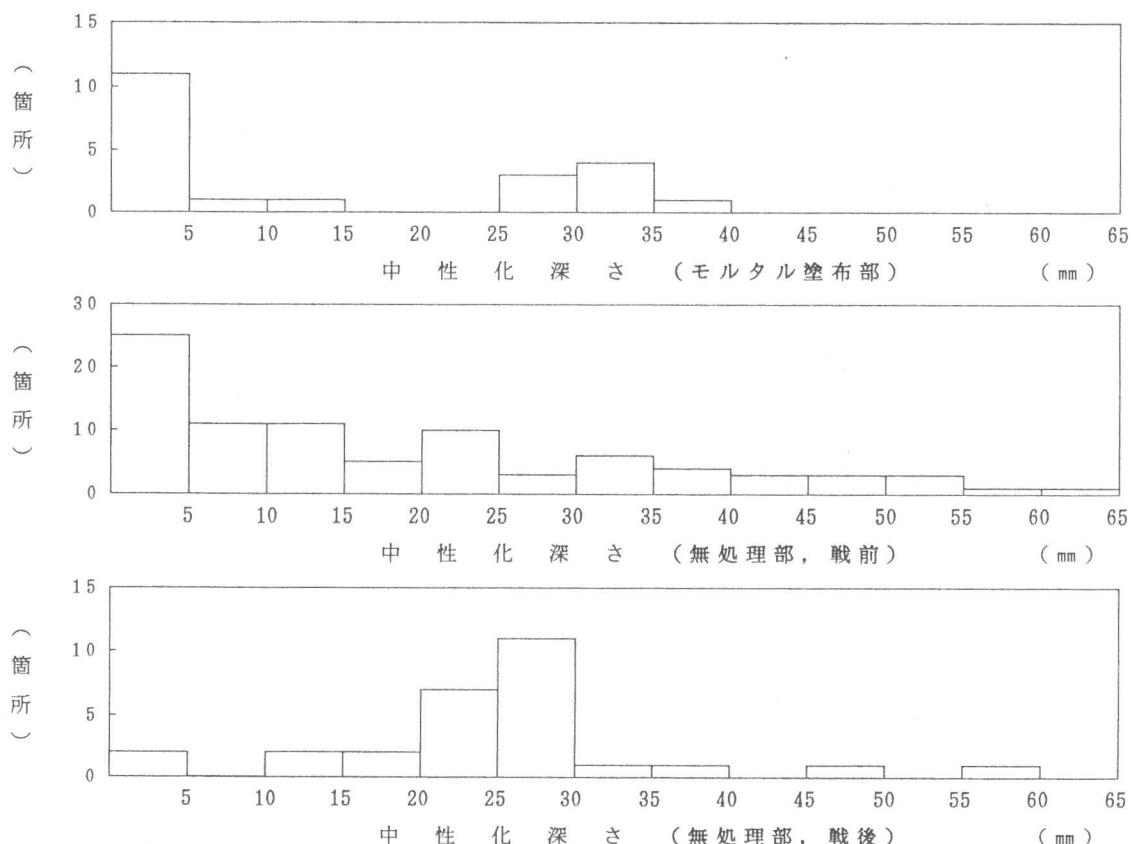


図-7 中性化深さのヒストグラム

これらのデータから、中性化深さの分布の特徴として次のことが挙げられる。

- ① コンクリート表面にモルタルを塗布したものは、中性化を抑制する傾向があり、60%以上（18箇所中11箇所）が、中性化深さ5mmまでの範囲であった。但し、モルタルが浮いていたり、ひびわれている箇所は中性化が進行していた。
- ② 古いコンクリートが必ずしも中性化が進行しているわけではなく、例えば昭和10年頃のものでも中性化深さが5mmまでの箇所がある。
- ③ 戦前と戦後では分布状況に著しく差異がある。即ち、戦前は0～5mmの範囲をピークとしたなだらかな片下がり傾向を示しているのに対し、戦後は20～30mmの範囲に集中している。

これらの分布状況をさらに詳細に把握するために、表面無処理部の中性化深さの統計値を求めたところ、表-2を得た。

表-2 中性化深さの統計値（無処理部のみ）

単位はすべてmm

	昭和9年まで	昭和10年代	戦 前	昭和20年代	昭和30年代	戦 後	全 体
最 小 値	5	0	0	3	25	3	0
最 大 値	37	60	60	55	45	55	60
平 均 値	26.5	16.6	17.3	20.8	27.7	23.3	18.8
標準偏差	10.7	15.9	15.8	11.1	7.1	10.4	14.8

この表より、中性化深さの特徴として次のことが挙げられる。

- ① 平均中性化深さはいずれの年代とも30mmを下回っているものの、昭和9年までと昭和30年代の平均中性化深さが高い。但し、いずれも測定箇所数が6箇所と少ないため、今後の調査データの積み重ねによって正確な判断を下すこととする。
- ② 昭和10年代は平均値は低いものの標準偏差が高い。これは、測定箇所の構造物の状況と経過年数が相まって、中性化の進行差が拡大しているためと考えられる。

4. 3 中性化進行速度の検討

一般に、中性化は経過年数とともに進行していくとされている。そこで、これまでの調査から得られた中性化深さのデータを経過年数（調査年－施工年と定義する）により整理した。（図-8）

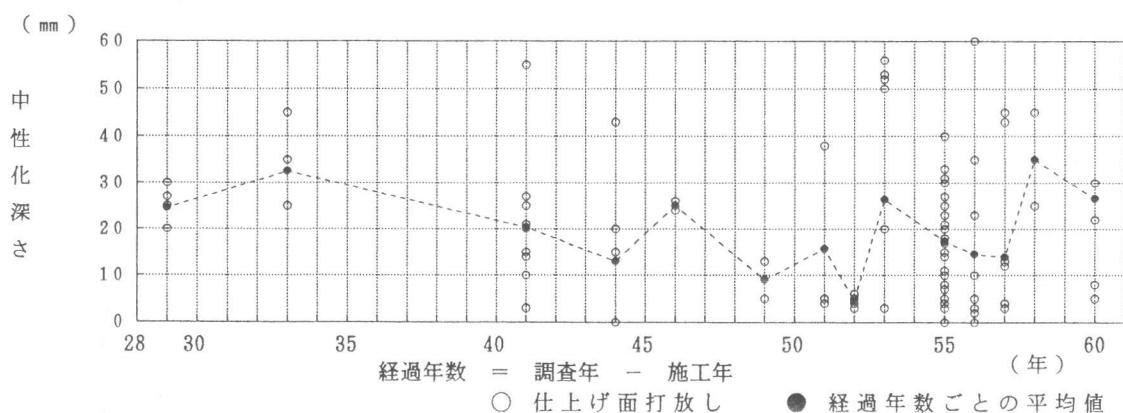


図-8 経過年数別中性化深さ分布図

このように、経過年数が多いにもかかわらず、中性化深さの平均値が必ずしも高くないという結果を得た。これは、中性化の進行が、経過年数よりもむしろ施工年ごとのコンクリートの品質または環境条件に大きく左右されるためと考えられる。そこで、同じ施工年で、調査年の異なるものを抽出して、経過年数による中性化深さの変化を調べることとした。該当するのは、昭和11年と昭和15年に施工されたものであった。（図-9）

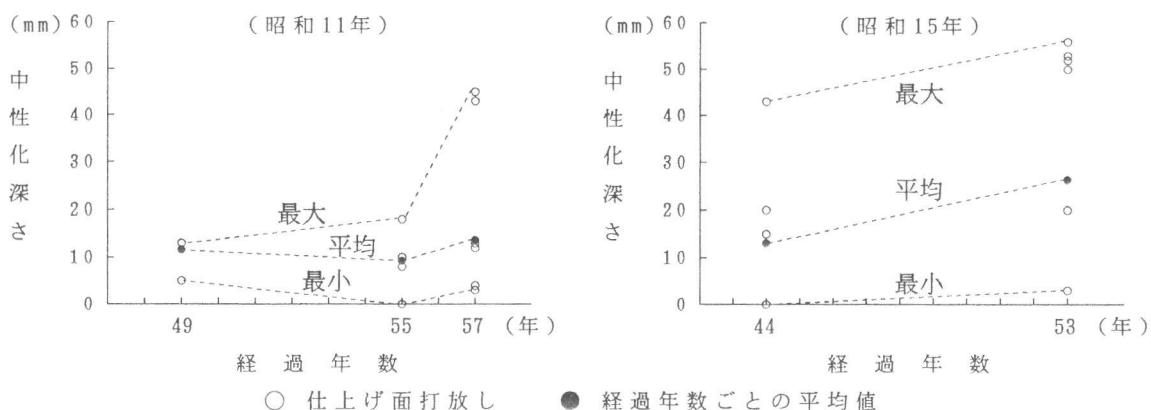


図-9 同じ施工年での経過年数による中性化深さ

このように同じ施工年で比較すれば、経過年数の増加とともに、中性化深さの差の拡大および平均中性化深さの増大の傾向が読みとれる。

4.4 中性化深さとコンクリート圧縮強度との関係

中性化の進行とコンクリートの品質との関連をとらえるために、今回は、コンクリート圧縮強度と中性化深さの関係を求めることした。調査データのうち施工年と経過年数の組合せが等しい箇所数が最も多い、昭和13年のデータについてグラフ化した。（図-10）明確な相関関係があるとまでは至らないが、コンクリート圧縮強度が大きいほど、中性化深さは小さい傾向が読みとれる。

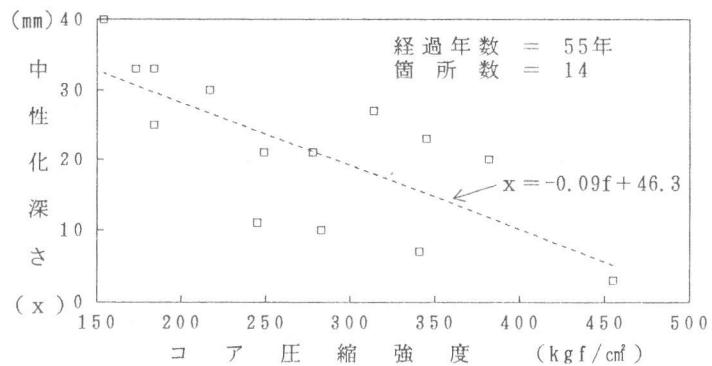


図-10 コンクリート圧縮強度と中性化深さの関係

5. 終わりに

以上、地下鉄構造物の現状をコンクリート圧縮強度と中性化深さに着目して報告してきたが、内容をまとめると次の通りである。

- ① 戦前、戦後を通じて、コンクリート圧縮強度の平均値は 365 kgf/cm^2 程度ではほぼ等しいものの、戦前のものは強度のばらつきが大きい。
- ② コンクリート表面にモルタルを塗布したものは、中性化抑制の効果が高い傾向にある。
- ③ 無処理部の中性化は、当該位置における施工年ごとのコンクリートの品質や環境に影響されるが、経過年数の増加について、中性化深さのばらつきが拡大する傾向が認められた。
- ④ コンクリート品質の 1 要素としてのコンクリート圧縮強度と中性化深さの関係を求めたが、コンクリート強度が大きいほど、中性化深さは小さい傾向にある。

現在我々は 1 次調査を継続するとともに、中性化抑制に表面塗布が効果の高い点に着目して、最適な表面塗布材料選定のための実験を試みている。今回の報告は 1 次調査の中間段階に位置するものであり、今後の調査データをまとめた最終報告は別の機会に行うこととする。