

シールド工専用セグメント表面の微細構造に関する調査（1）

- セグメント表面の美観について -

金沢工業大学 学生員 木谷 理志*1

金沢工業大学 正会員 木村 定雄*1

佐藤工業 正会員 清水 幸範*2

佐藤工業 正会員 児玉 敏雄*2

1. はじめに

シールドトンネルの一次覆工として適用されるセグメントの大半を占めるものに、二次製品のコンクリート系セグメントがある。従来から、このセグメントの製造に用いられる鉄筋コンクリートは、他の構造物に適用されるそれに比べて、要求性能および要求品質がともに高く、製品の表面の美観までも求められてきた。

一方、近年の社会資本整備においては、建設コストを縮減することが重要な課題となっており、シールド工事も例外ではなく、セグメントの製造費の低減が強く望まれている。現状、セグメントの製造費を低減するために、その継手構造の簡素化やセグメント幅の拡大化などの開発がなされているが、本来のセグメントに要求する性能や品質をより明確にすることで、その製造費を低減することも実務的に有効であると考えられる。例えば、セグメント表面の美観もその一つである。セグメント表面の美観は、トンネルの用途や二次覆工の有無に応じて要求されるべきである。しかしながら、美観そのものが、直接的に鉄筋コンクリート製品の耐久性能と関連していると判断される場合も少なくない。その一方で、これらの関連を明確にする資料は見あたらないのも実状である。したがって、美観を重視するあまりに、その方策を図ることは、ただ単にセグメント費を高くすることになる可能性もあると考えられる。

以上を踏まえ、筆者らは、セグメント表面(トンネ

ル内面)の微細構造を分析し、色むらなどの美観を損なう原因を明確にするとともに、それがセグメントの耐久性能に与える影響について考察した。

2. 調査概要

本調査では、粉体系の高流動コンクリートを用いて製造したセグメント^{1),2)}をその対象とした。表1は高流動コンクリートの配合を示したものである。調査はまず、3日間の水中(石灰飽和状態に近い水)養生を施した後に屋外で貯蔵しているセグメントから、その表面の美観を損なう製品を抽出して分類化した。その結果、美観を損なう性状は、暗色部と明色部の色むらおよび斑点状の変色に大別された。次に、この2つの性状について詳細に調査した。表2は詳細な調査の項目とその方法を示したものである。なお、調査に用いた供試体は、およびの性状を示すセグメント部位から板状供試体(130×130×50mm)を切り出して作成した。

3. 調査結果

(1)微生物調査：暗色部と明色部の色むらおよび斑点状の変色部とについて、蛍光顕微鏡で観察した結果の一例を写真1に示す。これより、植物細胞中に存在するクロロフィルに起因して蛍光を発する緑藻などの物質は観察されなかった。なお、写真2は緑藻を含む場合の観察例である。

(2)表面調査：写真3および写真4にSEMによる観察結果の一例を示す。暗色部は比較的緻密な、明色部は比較的多孔質な構造を形成している。また、表面の大

表1 高流動コンクリートの示方配合

| 粗骨材の最大寸法 (mm) | スラブ厚 (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | s/a (%) | 単 位 量 (kg/m ³) | | | | |
|---------------|-----------|---------|---------|---------|----------------------------|-----|-----|-----|------|
| | | | | | W | C | S | G | Ad |
| 20 | 65±5 | 2±1 | 30.7 | 56.0 | 182 | 592 | 892 | 783 | 10.7 |

C: 普通ポルトランドセメント, S: 葛生産石灰岩系砕砂, G: 玄武岩系砕石, Ad: 高性能減水剤(主成分はポリカルボキレートと配向ポリマーの複合体)

キーワード：シールドトンネル, 高流動コンクリート, 美観, ひび割れ, SEM, EPMA

連絡先：*1: 〒921-8501 石川県 石川郡 野々市町扇が丘 7-1

Tel: 076-248-8426 Fax: 076-294-6713

*2: 〒243-0211 神奈川県 厚木市 三田 47-3

Tel: 046-241-2172 Fax: 046-242-9420

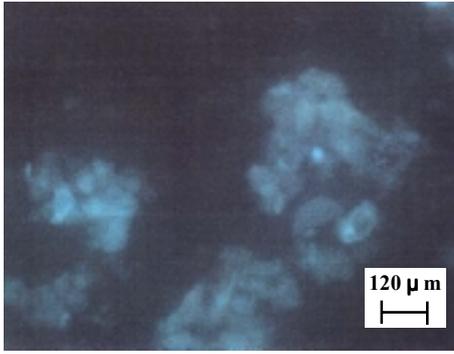


写真1 色むら部の状況（蛍光顕微鏡）

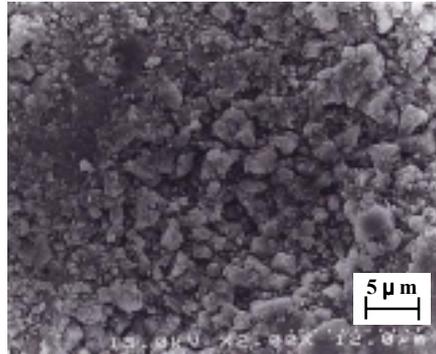


写真3 暗色部の表面構造（SEM）

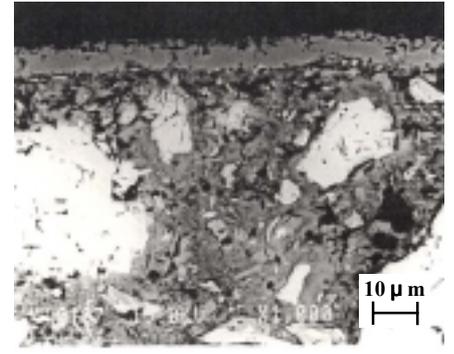


写真5 暗色部の断面構造（EPMA）

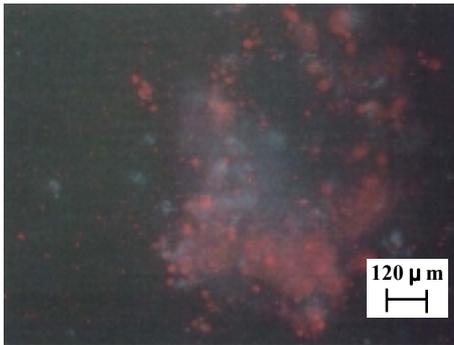


写真2 緑藻の状況（蛍光顕微鏡）

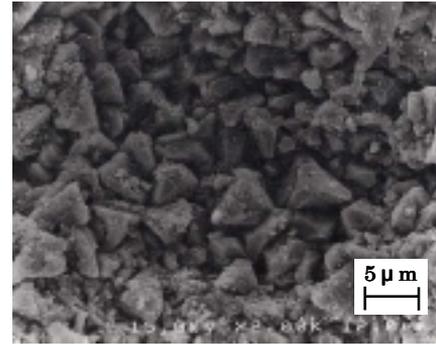


写真4 白色部の表面構造（SEM）

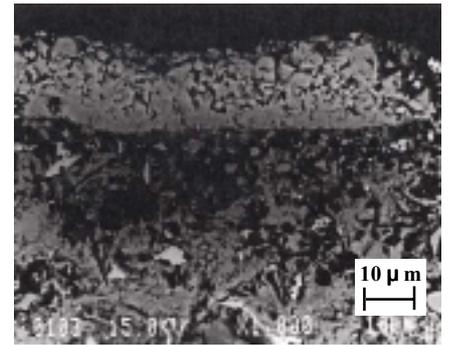


写真6 白色部の断面構造（EPMA）

表2 調査項目と調査方法

| 調査項目 | 調査方法 |
|----------|--|
| (1)微生物調査 | ①蛍光顕微鏡による表面観察 |
| (2)表面調査 | ①走査型電子顕微鏡(SEM)による表面観察 ②電子線マイクロアナライザー(EPMA)による定性分析 |
| (3)断面調査 | ①EPMAによる断面観察 |

部分の組成は、炭酸カルシウムの結晶であり、一部にエトリンガイトの派生物と思われる針状結晶も確認された。一方、EPMAによる定性分析の結果によると、表面の暗色部および明色部のいずれも成分はCaが主体をなしており、SEMによる結果と一致した。

(3)断面調査：写真5および写真6にEPMAによる観察結果の一例を示す。明色部の表層には、厚さ約0.02mmの層状物質が存在し、これは3層の構造になっている。このうち、最も内側の層は緻密な炭酸カルシウムで形成されており、その外側に多孔質な炭酸カルシウム層がある。最外殻層はSiやAlを含有する厚さ約0.001mmの微粒子層である。一方、暗色部の表層には、厚さ約0.01mmの緻密な炭酸カルシウム層と厚さ約0.001mmの微粒子層が確認された。暗色部の層状物質の厚さは明色部のその半分程度である。

4. 調査結果の考察およびまとめ

従来、セグメント表面に明色部と暗色部の色むらや斑点状の変色が生じる原因は、苔などの植物類の繁茂やセメント水和生成物の差異、または型枠の脱型を容易にするための剥離剤の種類や塗布むらなどと考えられてきた。しかし、本調査の結果から、これらの原因は、セグメント表層部の炭酸カルシウム層の粗密の差異による可視光の透過の程度や反射の程度の影響であることを明らかにした。すなわち、明色部は多孔質な炭酸カルシウム層で可視光の乱反射が生じ、比較的白く見える。一方、暗色部は薄く、かつ緻密な炭酸カルシウム層で可視光の乱反射が生じず、下層のモルタル層の色合いが透過して相対的に黒く見える。したがって、従来から一般に白色で美観が良いとされてきたコンクリートの表面はその耐久性能の評価からすると、いちがいに良好とはならない可能性があると考えられる。また、これらの炭酸カルシウム層は、0.02mm程度の厚さであることから、表面の色合いがセグメントの耐久性能に与える影響は相当に小さいものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 花見, 松裏, 岩藤, 秋田谷: 高流動コンクリートセグメントの開発(1), 第53回年次学術講演会, -25, 1998.10.
- 2) 清水, 山田, 木村, 宇野, 秋田谷: セグメント用高流動コンクリートの特性(1), 第54回年次学術講演会, -50, 1999.10.