

コンクリート表面の変色、色むら

color change, color shading

1. 用語の説明

コンクリート表面の変色は、使用材料や配合などのコンクリートの内的要因によるだけでなく、せき板の材質・剥離剤・鉄筋の錆汁・環境条件などの外的要因によっても生じる。また、色に関する現象として、配合や使用材料、せき板の材質や使用回数、養生条件などの違いによって生ずる色むら（色の濃淡の差による部分的な色違い）がある。変色についての厳密な定義はないので、ここでは、コンクリート表面における、色相の変化を変色、明度の変化を色むらとした。

2. メカニズム

①変色

コンクリート表面に生ずる褐色系の変色は、骨材の有機物によるもの、水酸化鉄の錆によるもの、泥質微粒分によるものなどに大きく分類される。

砂岩や泥質岩のあるものには、植物起源の有機物を多量に含む亜炭や泥炭が多量に含まれている場合がある。こうした有機物が含まれた骨材には、フミン酸、リグニン、タンニン酸系などの化合物が含有されており、これらはアルカリ溶液に容易に溶解する。このため、コンクリートの混練時にこれらの化合物が溶け出し、打設したコンクリート表面に滲み出して変色の原因となる。この変色は、打設後数時間の比較的早い材齢で生ずる場合が多い。

骨材に含まれる黄鉄鉱がコンクリートの表面付近に存在すると、空気や雨水の浸透と共に、水、酸素、水酸化カルシウムと反応して、硫酸カルシウム（石膏）と二価の水酸化鉄（黒錆）に変化し、さらに酸化が進むと三価の水酸化鉄（赤錆）となる。これがコンクリート表面に溶出して、黒褐色や赤褐色の変色を生ずる。黄鉄鉱は硫化鉄の一種で、わが国では地質時代を問わずに、最も普通に産出する硫化鉄であり、砕石、砂利、砂等の多種多様な資材中に存在する。また、コンクリート中に埋め込まれた鉄筋が酸化して錆が発生し、かぶり厚が小さい場合やひび割れが生じている場合に、錆汁となって表面に滲み出し、赤褐色の変色を生ずることがある。これらの錆に起因する変色は、打設後材齢が経過した後に生ずる場合が多い。

骨材に泥質分が多く含まれているもの、あるいは骨材の洗浄が不十分なものを用いると、骨材に付着した微細な泥粒子がブリーディング水と共に表面に浮き出して褐色系の変色を生ずることがある。また、細骨材中に有機物が多量に含まれている場合にも、有機物がコンクリート中に溶け出して赤褐色の変色を生ずる場合がある。これらの変色では、コンクリート表面が全面的に褐色系の色になる場合が多い。

フライアッシュセメントや混和材としてフライアッシュを用いたコンクリートでは、フライアッシュの未燃カーボンが多く含まれている場合、カーボンがコンクリート表面に浮き出し、黒色の斑点状の変色を生ずる場合がある。

②色むら

打ち放しコンクリートやコンクリート製品の表面では、グレーの色調内で、その濃淡の差が部分的に識別できるような色むらを生ずることがある。その原因として、セメント、混和材（剤）、細骨材などの銘柄や品種、配合上の単位量などの違いに起因する場合が多いが、それらの使用材料や配合が同一の場合においても、コンクリート表面での水酸化カルシウムや炭酸カルシウムの生成状況の違いによることも多い。色むらを生じた部分は、グレーの色調が濃く黒っぽく見える部分と、淡く白っぽく見える部分に分けられる。一般に、色が濃い部分には、板状の水酸化カルシウム（材齢の経過と共に

炭酸化して炭酸カルシウムとなる)が重なり合った密実な層が認められ、淡い部分では、水酸化カルシウムがほとんど認められない場合が多い。この水酸化カルシウムや炭酸カルシウムの層は表面が平滑なため、光の乱反射が少なく、黒っぽい色に見えるが、水酸化カルシウムの生成が少ない表面では、それらの結晶が独立して存在するため、光の乱反射が多くなり白っぽく見える。

コンクリート表面で部分的に水酸化カルシウムの生成量に差が生ずる原因としては、使用材料や配合、締固めの時期や方法、型枠面の材質や特性、剥離剤の品質や塗布むら、養生時の圧力差や水分供給量などの違いが考えられる。

色むらは、冬季や雨天時に発生しやすい。垂直部材では側圧が大きくなる型枠の下部に、水平部材では型枠の接合部に発生することが多い。また、蒸気養生などでは、結露が原因となって色むらが発生することが多い。

3. 対策

①変色の抑制

骨材の有機物が原因となって生ずる変色を抑制するためには、骨材の有機不純物試験により、有機物の有無を確認し、有機物の含まれていない骨材を用いるのがよい。また、有機不純物は、コンクリートの変色だけでなく、多量に混入した場合には、硬化不良の原因となることもあるので注意が必要である。

骨材に含まれている黄鉄鉱が原因となって生ずる変色を抑制するためには、黄鉄鉱を多量に含んでいない骨材を用いるのがよい。また、単位水量が少なく、中性化しにくい、密実なコンクリートとすることで、表面付近に存在する黄鉄鉱の酸化を抑制し、変色を少なく抑えることができる場合もある。なお、コンクリート内部のアルカリ性雰囲気下では、黄鉄鉱は安定な状態にあり、黄鉄鉱が原因となる変色では、一般にコンクリートの物性に大きな悪影響を及ぼすことはない。

鉄筋の錆汁による変色を防ぐためには、打設前に鉄筋や型枠面の錆を除去すると共に、適切ななぶり厚さを確保し、密実なコンクリートを用いるのがよい。

骨材に含まれる微細な泥粒子が原因となって生ずる変色を抑制するためには、すり減り量が少なく、粘度塊が含まれていない、骨材を用いるのがよい。また、骨材の表面に石粉や土が多く付着している場合には、骨材を水で洗浄して用いると共に、ブリーディングが少ない配合とするのがよい。

②色むらの抑制対策

色むらは、コンクリートの美観上の問題となることがあるので、その抑制対策として、材料、配合、施工、養生などにおける原則的な注意事項について以下に示す。

- ・材料は、同じ産地または同じ銘柄のものを用いることを原則とし、打設する同一ブロック内では、同じロットの材料を用いるよう計画的な供給を行うのが望ましい。
- ・配合は、同一配合を原則とし、材料の計量値やフレッシュ性状の変動が小さくなるよう管理を行うのがよい。特に、混和剤や顔料については注意が必要である。
- ・型枠のせき板は、同じ材質で使用回数の近いものを用いることを原則とし、型枠接合部に隙間ができないよう変形していないものを用いるのがよい。また、型枠面には、汚れや剥離剤の塗布むらがないうよう注意しなければならない。
- ・締固めは、過不足とならないよう同一の条件で行うのがよい。特に、型枠面に近い位置での、振動機による締固めむらには注意が必要である。
- ・養生は、コンクリートにかかる圧力や水分供給量に差が生じないように、同一の条件になるよう行うのがよい。特に、コンクリート製品では、加熱養生時に結露に起因する色むらを生ずることが多いので注意が必要である。