

[23] PC板仕上面の色に関する実験

正会員 毛見虎雄 (戸田建設技術開発センター)
 正会員 ○ 中川宗男 (戸田建設技術開発センター)
 正会員 荒巻哲生 (戸田建設技術開発センター)
 正会員 坂政政義 (戸田建設技術開発センター)

1. まえがき

蒸気養生した製品PC板仕上面に発生した黒白のむらの原因について、実態調査、化学分析及び再現実験を通して推定し、確認した例を報告する。

2. 実験概要

(1) 実態調査；分析及び実験に先立ち、PC板の使用材料、製造プラントの練り混ぜから養生までの製造プロセス全般に渡り調査した。色むらの見られるプラントとそうでないものとのチェックと比較によった。

(2) 化学分析；PC板表面の色むらの原因には大略、次の2つが考えられる。

④ 表面のコンクリート組織の粗密、凹凸及び平滑度の差など主として物理的な性状による。

⑤ 表層に介在する組成物、生成物もしくは含有物の結晶形態の差など、主としてその部分の構成物質の差異に起因する場合のいずれかである。ここでは採取コア試料について上記④の組成物と爽雜物について次の方法による判定を試みた。

① 表層(5mm深さまで)の組成判定に関連して、セメント量や水量などの割合推定(Igloss, Insol, CaO)の分析値からの推定)

② 表層(1~2mm深さまで)や表面に於ける生成物もしくは含有物の判定に関連した熱分析。

③ 表層の含有物及び生成物の結晶形態をも含めた判定のためのX線回折分析。

(3) 分析方法 ④ 湿式化学分析；PC板から採取したコンクリート・コア、7種類について表層より深さ5mmの部分进行分析用試料とし、セメント協会専門委員会による方法に準じて、その割合推定した。セメント中のCaO量は64.5%、骨材中のCaO量その他測定不可能な推定式代入数値はすべて全国平均値を用いた。

① 全面白色……………3種類

② 白色X黒色……………(ふ入り状)2種類

③ 全面黒色……………2種類であり、以下の熱分析及びX線回折のいずれも同じコア試料を適用した。

⑤ 熱分析；PC板表層の色により関与するとみなし得る1~2mmの深さ部分の採取コンクリートを分析用試料とした。分析はTG・DTA(熱重量・示差熱各分析)の2方法であり、TG・DTA・R型を用いた。

⑥ X線回折；⑤と同じ試料について、その組成物並びに生成物の別及びその結晶形態等の差異をチェックするために、P社製D-14型によりX線回折分析を試みた。試料調整はKBrのタブレット法によった。

(4) 再現実験 上記の実態調査の結果並びに化学分析結果を基にPC板面の黒色化の主な要因を、打込みコンクリートの練り上り温度、養生時の温度履歴及び湿度分布・更には表層に於けるセメント分の多少に絞って、モルタルとセメントペーストを用いた再現実験を試みた。

① 実験 ④ 実験計画 実験要因と水準は表1に示すようで、練り上り温度養生時最高温度及び表層のセメント分量は各2水準養生時湿度は3水準とした。なお、セメントペーストによる実験は表層のセメント量に関するものだけではセメントモルタルにより実験した。

⑤ 方法 実験は砂2.8kg、セメント1.4kg、水520~530

ccの硬練りモルタルを16cm×16cm×4cmの型枠に詰めテーブルバイブレータで締固めた後、温湿度可変の養生槽に入れ、各養生湿度下前置き1時間、上昇温度20℃/hrで20℃もしくは80℃まで上げて2時間養生した。練り上り温度を上げる方法は、材料を40~50℃前後に温

表-1 実験計画

要 因	水 準
練り上り温度 (°C)	20, 40
養生時最高温度 (°C)	20, 80
養生時の湿度 (%)	20, 60, 90
表層のセメント(分量)	有差, セメント添加

めることによって行った。表面の仕上げは硬化しはじめるまで30分毎に金ゴテで押えた。

ペーストについてもセメント重量の27%前後の水と混合攪拌し、バットを作りモルタルと同様に養生した。

黒さの程度は目視と、測色計(Hunter Lab 直読式)により測定し、Lab系色標で検測した。(Lの数値が大きい程
明度が高い)

3. 結果と考察

(1) 実感調査結果 (a) 使用材料：セメント、水、骨材について検討したが変色と特に関係ありそうな因子は見
出せなかった。

(b) 製造工程；工程を系統的にチェックするとともに、同じく蒸気養生によるPCプラントでコンクリート面
の変色が少ないものとの比較検討を行い次のことが知れた。

① 仕上げた段階では特に色むらはなく、蒸気養生後黒変部分が生ずる。

② 定置プラント（養生シートをかけるのみ）と移動プラント（コンクリート製養生槽、気密で蒸気が逃げにく
い）では、定置プラント養生したPC板の方が黒い。

③ 養生槽に適用している水蒸気圧は7気圧であるが、別のプラントでは7気圧を3気圧まで下げて送っており
後者では変色は見られない。

④ 蒸気養生時にコンクリート面をビニールシートなどで覆いと黒色化しない。また、蒸気養生直後、コンクリ
ート面に物、例えば（木材）板など置いても同様な傾向がみられる。

以上のことから、主原因として養生槽内の高温と乾燥などが考えられ、それがコンクリート表面の水和に影響
するようである。との見解を持つにいたり、その確認を化学分析及び再現実験で行うこととした。

(2) 化学分析結果 コンクリート試料に関する湿式化学分析、熱分析及びX線回折各結果を夫々表2～4にま
とめた。また、図1には熱分析曲線、図2にはX線回折図の例を示した。これらの結果をまとめると図3が得ら
れ、コンクリート面の色むら、即ち黒変する原因について考察すると、次のように言える。

(a) コンクリート表層の調合推定結果から、黒色化した部分には白色部分にくらべ、セメントペーストが多く分
布する。

表-2 化学分析による推定値（コンクリート表層5mm）

試料 項目	白色部分			白×黒色部分		黒色部分	
	1	3	7	2	5	4	6
付着水 (%)	7.0	6.3	6.6	6.8	7.5	6.9	8.2
結合水 (%)	7.9	7.5	7.7	7.7	9.4	7.9	9.8
単位 水量 (絶) kg/m ³	191	182	184	184	225	190	230
セメン ト量 kg/m ³	388	420	443	352	561	417	503

(b) 熱重量分析結果では、黒色部分のセメント水和物
の含有割合は白色部分より少ない傾向が見られる。

(c) X線回折分析結果によれば、セメントの水和につ
れて生成する水酸化カルシウムやその酸化物である炭
酸カルシウムの量は黒色部分より白色部分に多含され
結果的には上記(b)と同様にセメント水和物の未水和部分
が増加する傾向がある。このように黒色部分にはセメ
ントが多く含まれており、しかも水和しないセメント
が多いと判定でき、水蒸気養生とセメントの水和速
度や水和の特徴などから、原因として検討を進めても
よいと思われる結果を得た。

(3) 再現実験結果 実験結果は写真と表5、図4に示
すようであり、次のことが言える。

(a) 練上り温度の影響 練上り温度が低いと白くなる
が他の要因より影響力は小さいようである。

(b) 養生最高温度の影響 養生最高温度が低いとプ
ーシング水が表面に出やすいこともあって白くなりや

表-3 熱重量分析値（%）（コンクリート表層1～2mm）

試料項目	1	3	7	2	5	4	6
水(20-120℃)	2.2	1.9	1.9	1.1	2.4	2.4	2.4
セメント水和物 (120-320℃)	2.6	2.5	2.6	2.8	2.8	3.4	3.8
Ca(OH) ₂ 及び セメント水和物 (320-640℃)	7.7	8.0	8.3	7.5	6.8	7.6	5.7
セメント水和物 (640-720℃)	2.7	3.4	3.7	2.4	2.8	2.9	3.0
CaCO ₃ 720℃以上	6.1	3.4	2.5	4.2	3.9	2.9	2.7
セ・水和物 Total	13.0	13.9	14.6	12.7	12.4	13.9	12.5

すいが、黒くなる場合もみられた。

(c) 養生時の湿度の影響

最も大きい要因と考えられ、湿度が高い場合は他の要因に関わりなく白くなる。

(d) 表面のセメント分の影響

締固め時のペーストの浮上りや、セメントふりかけによってセメント分が表面に多いと黒くなる。しかし、ハケ引きなど粗く仕上げた場合は白くなり、金ゴテ仕上げの様に表面が密であることも要因であると考えられる。

(e) その他の要因

- ・ ブリージングのように表面に水分があると白くなる。
- ・ 表面仕上げをプラスチック板で行っても、同一条件で金ゴテ仕上げした場合と同様に黒くなることから金ゴテの鉄分の影響は特にないものと思われる。
- ・ ペーストでの実験では、硬めのペーストを金ゴテ仕上げし、80℃（乾燥）で養生を続けた結果、3時間経過後から黒くなった。

4. まとめ

表-4 X線回折・結果(ピークの高さと数コンクリート表層1-2 mm)

試料項目	1	3	7	2	5	4	6
セメント Ca(OH) ₂	弱・多	非常に弱	非常に弱	弱・多	非常に弱	非常に弱	非常に弱
カルサイト CaCO ₃	非常に強・多	非常に強・少	強	非常に強・少	強	中程度	中程度
セメント鉱物 (未水和)	非常に強い	同左	同左	弱多	弱多	弱多	弱多

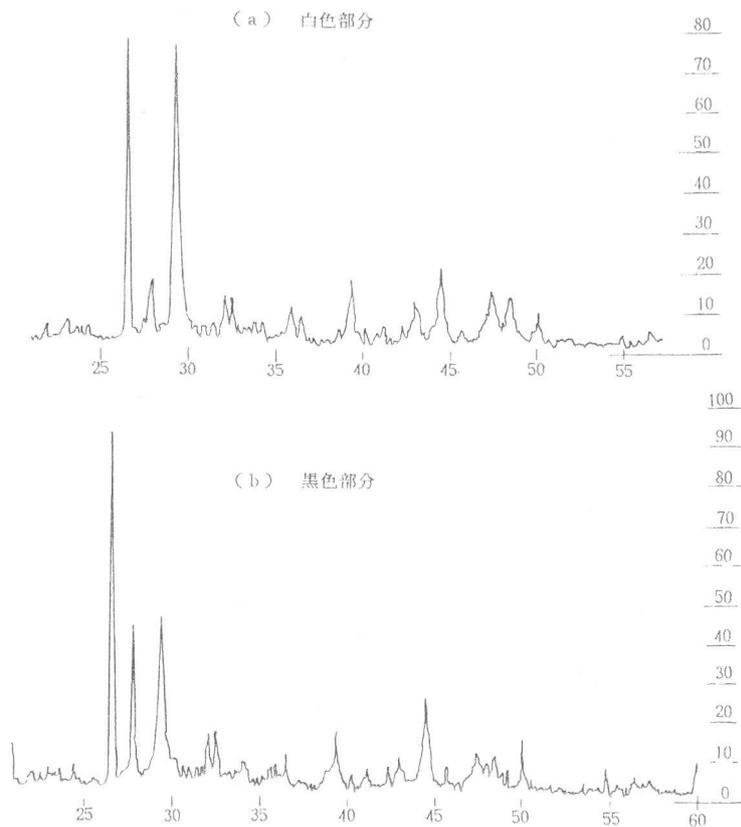


図-2 コンクリート試料X線回折図

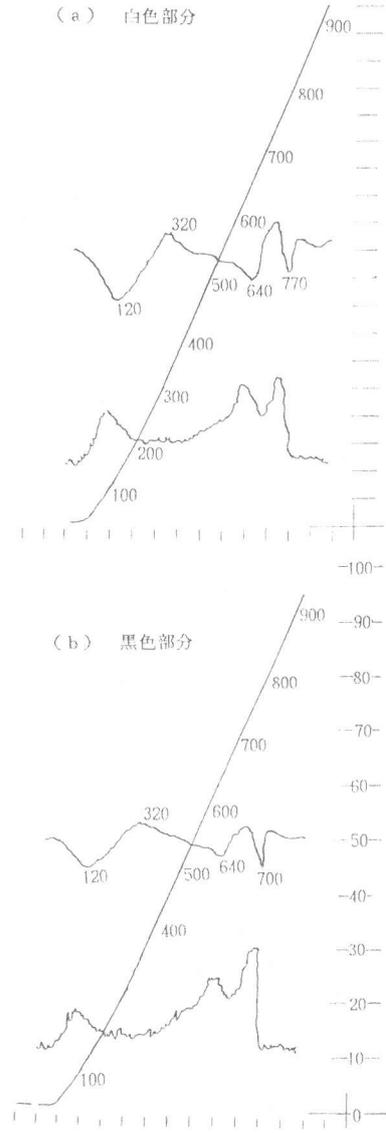


図-1 コンクリート試料熱分析曲線

以上の様に、化学分析結果と再現実験結果から推して次の諸要因が複合的に作用した場合、PC板の色むらもしくは黒色化は、顕著になるのではないかと結論を得た。

- ① 締固め時にペーストが浮き、セメント分が表面に集まる。
- ② 練上り温度が高い。
- ③ 養生時乾燥。
- ④ 養生温度が高い。
- ⑤ 表面仕上げがち密である。

この中には③・⑤のようにその一要因さえ解決すれば他の要因に関わりなく色むらのなくなることも確認できた。

5. あとがき

原因は、コンクリート表層のセメントの水和不良と偏差更には物理的な不均一性にあると言いうことができ、実際のプラントに於ける対策としては、PC板表面をビニールで覆う方法、養生時の湿度を上げ、温度の急昇を避けるため養生槽へ送り込む蒸気の圧力を下げる方法などを適用検討した結果いずれの方法でもPC板の黒色化もしくは色むらは見られず、初期の目的は達することができた。

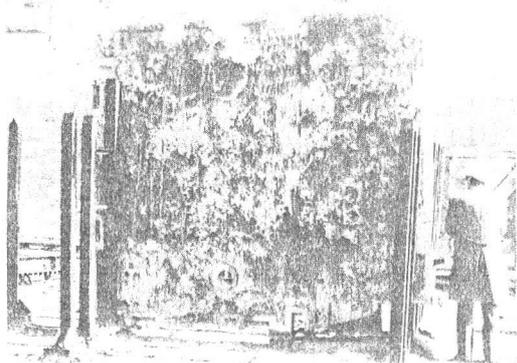


写真1 黒変PC板

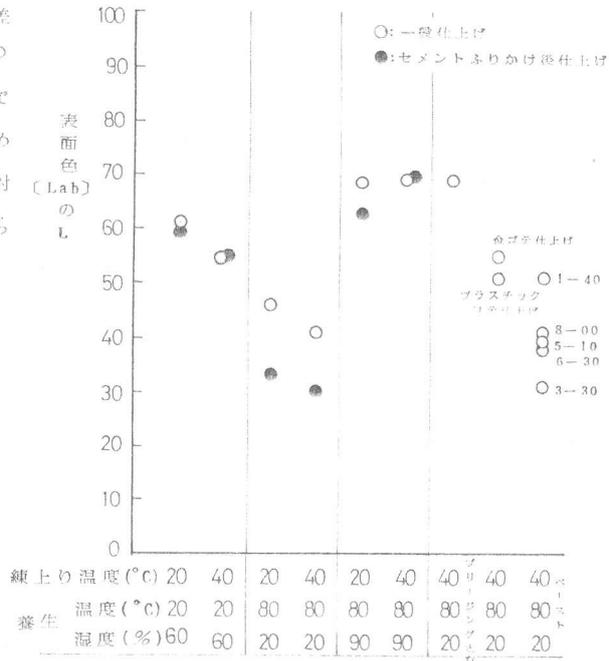


図-4 各供試体の表面色 [Lab] の L

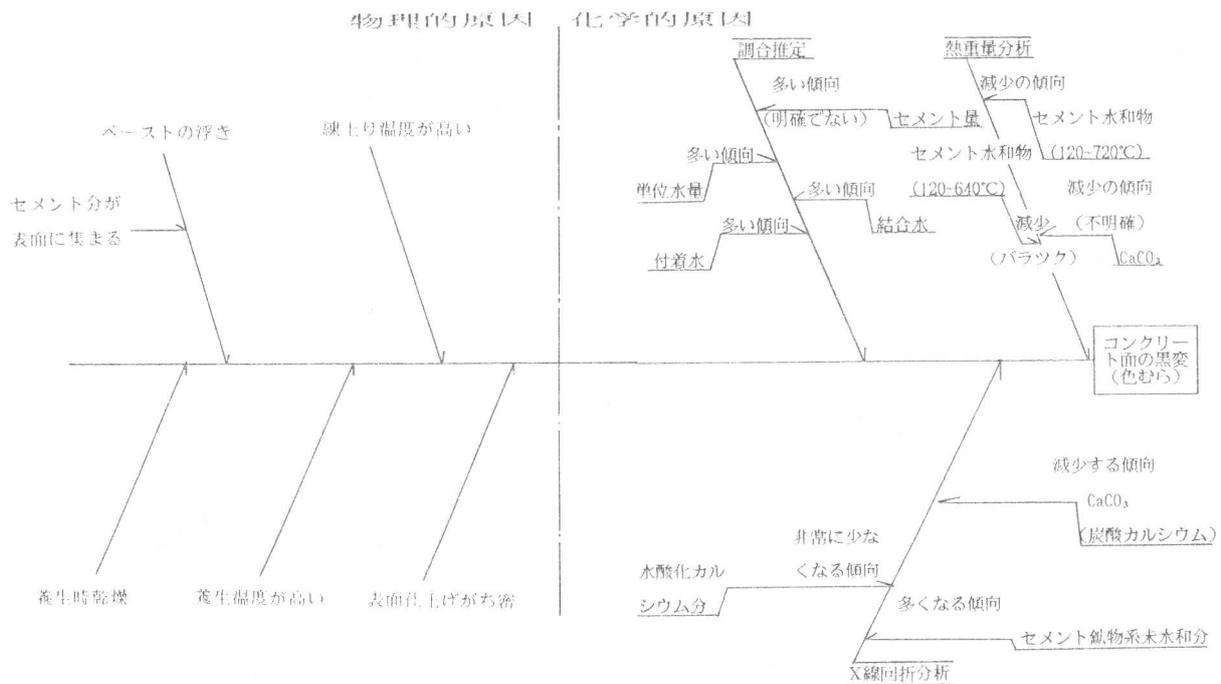


図-3 分析結果のまとめ (相関図)