

V-2 新画像解析システムによる各種コンクリートの空隙構造測定

北見工業大学大学院	学生員	須藤 裕司
北見工業大学工学部	正会員	鮎田 耕一
北見工業大学工学部	正会員	桜井 宏
北見工業大学工学部	正会員	猪狩平三郎

1. はじめに

コンクリート内部の毛細管細孔や気泡などの空隙は、コンクリートの耐久性や強度に大きな影響を及ぼしていると考えられる。そこで、空隙の大きさやその分布を把握することが必要になり、毛細管細孔は水銀圧入式ポロシメータで、気泡などの粗大な空隙は実体顕微鏡による観察に基づいて測定されている。しかし、後者の観察による測定は大変な労力と時間が必要であり、容易に行うことはできない欠点を持っている。そこで、近年画像解析による方法で測定の省力化が試みられてきたが、コンクリート試料の表面に特別な処理をすることなく空隙を判別することはできなかった。これを解決するために、著者らは新しい画像解析システム¹⁾を開発した。これを用いればコンクリート試料に特別な処理をすることなく、しかも短時間で精度よく空隙構造を測定できる。

そこで、本研究ではこの画像解析システムを用いた応用例として、最近注目を集めている高充てん性コンクリートと転圧舗装コンクリートの空隙構造を測定し、耐凍害性との関連性について検討を行った。

2. 新画像解析システムの原理

本研究で用いている画像解析システムでは、コンクリート試料表面に異なった3方向（真上、右斜め上、左斜め上）から光を照射して、各照射方向ごとに画像を取り込み、3つの画像の同一位置における明るさの差（照度差）から空隙を識別する。

すなわち、図-1に示したように試料表面に空隙があると、画像上のその位置は影などにより明るさが異なる。それをコンピュータで解析し、空隙を検出して、大きさやその分布を得るシステムである。

3. 新画像解析システムの応用例3.1 高充てん性コンクリートの空隙構造と耐凍害性

水中不分離性混和剤（主成分セルロースエーテル、以下CE）と高性能減水剤を併用したコンクリートは、高い流動性と分離抵抗性を有しているので、これを気中に適用できれば締固めが不要で充てん性の高いコンクリートの打込みが可能となる。

しかし、CEを添加したコンクリートは一般に耐凍害性が小さいとされてきた。その対策として、著者らが行った既往の研究²⁾の結果、高炉スラグ微粉末が耐凍害性改善に有効であることが分かった。

ここでは、CEと高炉スラグ微粉末を併用したコンクリートの空隙構造を、新画像解析システムで求め、耐凍害性との関連について検討した結果について報告する。

用いたコンクリートは、表-1の配合の3種類である。すなわち、No.1はCEや高炉スラグ微粉末を用いていないものであり、これを基準コンクリートとした。No.2はCEを使用したコンクリート、No.3はCEを用い、かつ高炉スラグ微粉末をセメント分量の60%使用したコンクリートである。セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は山砂、砕石を使用している。なお、いずれのコンクリートもAE減水剤と高性能減水

Measurement of a void system of some concretes by new image analysis system.

by Yuhji SUDOU, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Heizaburoh IGARI

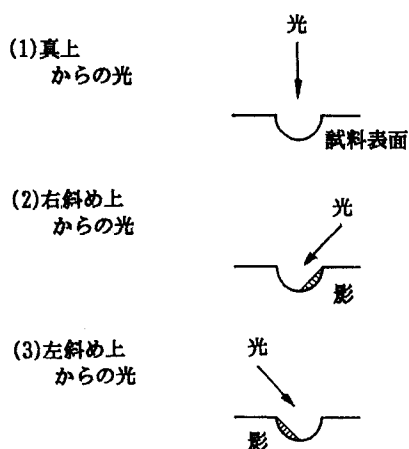


図-1 新画像解析システムの原理

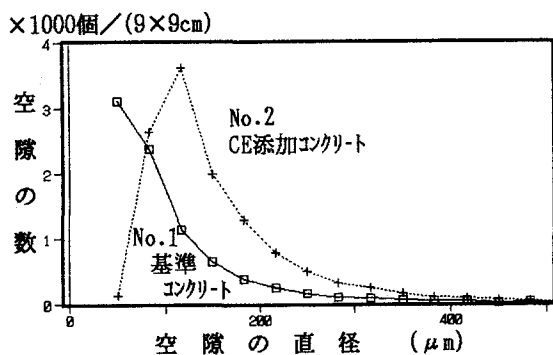


図-2 CE添加の影響

表-1

No	高炉スラグ 分量	単 位 量 (kg/m ³)					
		水	セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材	CE
1	—	170	340	—	760	1022	—
2	0%	170	300	0	774	1042	1.0
3	60%	170	120	180	768	1034	1.0

表-2

No	空 隙 構 造				耐凍害性 耐久性指数
	空 気 量 (%)	比表面積 (cm ² /cm ³)	間隔係数 (μm)	平均直径 (μm)	
1	2.5	386	197	122	96
2	4.4	332	174	141	4
3	3.2	365	183	128	82

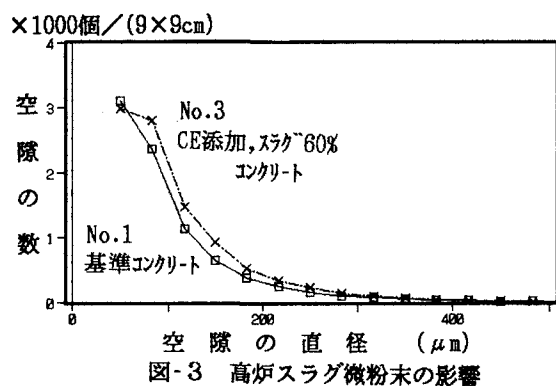


図-3 高炉スラグ微粉末の影響

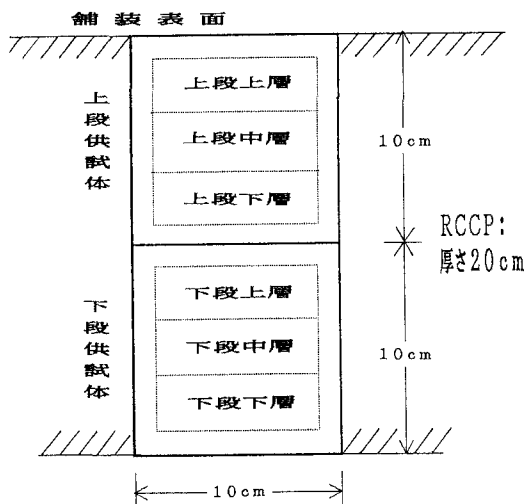


図-4 供試体と測定位置の関係

剤を併用している。

新画像解析システムによって求めた空隙構造、水中における急速凍結融解試験の試験結果を、表-2に示した。CE無添加であるNo.1の耐凍害性が優れているのに対して、CEを添加しているNo.2の耐凍害性が極めて低くなっている。両者の空隙の大きさの分布を図-2に示した。CE無添加の基準コンクリート場合、 $50\mu\text{m}$ 程度の小さな空隙（気泡）が多く存在している。これに対してCEを添加したコンクリートでは、 $50\mu\text{m}$ 程度の小さな空隙（気泡）が減少し、 $150\mu\text{m}$ 以上の大きな空隙が増加している。これは、CEが粗大な空隙を連行する特性のあることを示しているとともに、小さい空隙（気泡）が減少していることがコンクリートの耐凍害性を低くしている原因と思われる。

次に、CE添加コンクリートに高炉スラグ微粉末をセメント分量の60%、セメントと置換したNo.3コンクリートの場合、耐凍害性が改善されている。図-3は、CE無添加のNo.1と、No.3のコンクリートの空隙の大きさの分布を示している。両者の空隙の分布はほぼ同じである。セメントの代替として高炉スラグを大量に用いることにより、CE添加による粗大空隙の連行が妨げられ、小さな空隙（気泡）が残存している。このため、耐凍害性が改善されたと考えられる。

以上の実験結果から明らかなように、新画像解析システムによって硬化コンクリートの空隙構造を詳細に検討することが可能になり、新システムは耐凍害性の評価に有用な手段となっている。

3.2 転圧舗装コンクリートの空隙構造と耐凍害性

超硬練りコンクリートを、ロー転圧により締固めて舗装に用いる転圧コンクリート舗装（以下RCCP）は、従来のコンクリート舗装と比べて施工期間が短く経済的であり近年施工実績が増加している。

しかし、転圧後コンクリート中に残存する空隙やそれに伴う耐凍害性の評価は、いまだ不十分である。

そこで、RCCPに用いられているコンクリートの空隙構造を明らかにすることを試みた。

RCCP用のコンクリートとして舗装厚20cmの施工現場（締固め方法：大型振動ローラを用い無振動で2回転圧→大型振動ローラを用い有振動で5回転圧→タイヤローラで2回転圧→水平振動ローラを用い有振動で5回転圧）から、図-4に示すように上下2段（以下、上段、下段）に分けて切り出した、 $10\times 10\times 40\text{cm}$ の角柱供試体を用いた。コンクリートの配合を表-3に示した。セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は海砂と砕石を用いている。

新画像解析システムによる空隙構造は、上段と下段の供試体からそれぞれ10cm角の試料を切り取り、 $7.5\times 7.5\text{cm}$ の範囲で空隙構造を測定した。さらに、それぞれの試料を3層（以下、上層、中層、下層：図-4参照）に分割し、 $2.5\times 7.5\text{cm}$ の範囲でも空隙構造を測定した。

空隙構造の測定結果を表-4に示した。また、表中には空隙構造測定用の試料とは別個に、上段と下段からそれぞれ3個採取した $10\times 10\times 40\text{cm}$ の供試体による水中急速凍結融解試験の結果も示してある。

RCCPの上段の耐凍害性はばらついており、下段は耐凍害性が小さい。図-5に、表-1のNo.1の基準コンクリートとRCCPの空隙の大きさの分布を比較した結果を示した。基準コンクリートでは径が小さい空隙（気泡）が卓越しているが、RCCPでは耐凍害性に有効に働く小さな空隙（気泡）は少なく、相対的に大きな空隙が多くなっている。表-4の上段コンクリートの耐久性指数がばらついており、これはおそらく供試体により空隙構造が異なっているためと思われる。この実験では試料の数が限られているために、空隙構造と耐凍害性の関連は十分に明らかになっていないが、品質の均一化がRCCPの問題点の1つとして挙げられよう。

上段と下段の空隙構造の相違を調べた1例として、図-6に（上段-上層）と（下段-下層）の空隙の大きさの分布を示した。深い位置では締固め効果が小さいため粗大な空隙が多くなっている。

以上の結果から、RCCPは基準コンクリートと比べ空隙構造が粗大化しこのため耐凍害性が低下すること、舗装表面から深くなるほど大きな空隙が増加し耐凍害性がさらに低くなっていることが明らかになった。

表-3

単 位 量 (kg/m ³)				
水	セメント	フライアッシュ	細骨材	粗骨材
114	295	105	1090	897

表-4

測定位置		空 隙 構 造				耐凍害性
		空 気 量 (%)	比表面積 (cm ² /cm ³)	間隔係数 (μm)	平均直径 (μm)	耐久性指数
上 段	上層	2.9	207	292	227	16
	中層	3.1	205	284	230	35
	下層	3.5	204	272	231	104
	全体	2.9	212	284	222	
下 段	上層	3.5	202	274	233	8
	中層	4.0	203	255	231	24
	下層	5.1	188	248	250	28
	全体	4.3	198	255	238	

4. おわりに

新画像解析システムによれば、コンクリートの空隙構造の特性を比較的簡単に測定できるので、耐凍害性などのコンクリートの物性を把握するのに有用であり、新しい観点からの研究の発展に寄与することが期待できる。

<参考文献>

- 1) 鮎田耕一・桜井 宏・田辺寛一郎：硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析，土木学会論文集，第420号/V-13，pp.81～86，1990.8
- 2) 須藤裕司・鮎田耕一：分離低減剤添加コンクリートの空隙構造と耐凍害性，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第5部，V-197，pp.410～411，1991.9

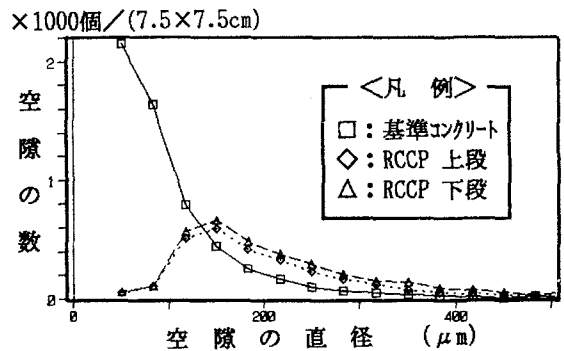


図-5 基準コンクリートとRCCPの空隙構造

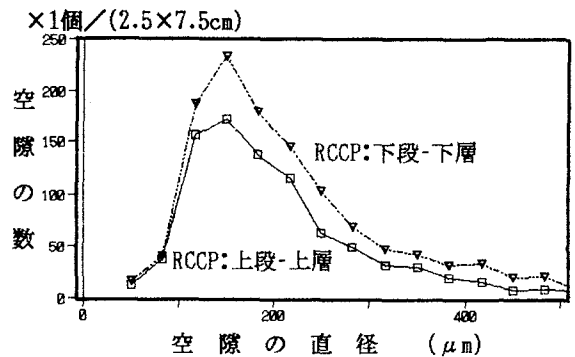


図-6 深さが異なるRCCPの空隙構造