

セメント硬化体における水銀圧入状況の解析 Analysis on mercury intrusion for cement hardenings

人見 尚^a, 片岡 弘安^a
Takashi Hitomi^a, Hiroyasu Kataoka^a,

^a(株)大林組
^aOBYASHI.CO.LTD.

水銀圧入法は、コンクリートの空隙量を測るための有効な測定法とされ、広く使われている方法であるが、高圧で水銀を侵入させるために破壊を伴うことが予測され、測定法の妥当性には長らく疑問が呈されてきた。本研究では、その前後における空隙構造の観察を行い、組織の破壊の可能性を見出した。

キーワード： 建設材料、コンクリート、イメージング、X線CT

背景と研究目的：

コンクリートは建設材料として広く用いられている材料である。1980年代の終わり頃まで、コンクリートは劣化を生じない材料であると信じられてきたが、それ以降コンクリートの劣化による社会資本の損失が看過できない状況になってきている。コンクリートの劣化は、コンクリートの化学的な変質に多くが起因していること、結合材として用いられるセメントと水の混合物であるセメント硬化体に含まれる空隙をその劣化物質の移動・拡散経路となっていることがわかってきた。コンクリート、特にセメント硬化体中の空隙量を測定する方法として、水銀圧入法は広く用いられている。水銀圧入法は、試料をセルに詰め、セルに水銀を充填させ、さらに水銀に圧力を加え、水銀が圧力に応じ、試料中の空隙径の大きいものから小さいものへと圧入していく過程を利用したものである。水銀圧入法は、元来岩石になど硬度の高い試料に用いられる測定法で、セメント硬化体など、比較的硬度の低い材料への適用の妥当性はこれまでも議論されてきたが、直接的な検証法に欠け、あくまでも想像の域を超えない範囲にとどまっていた。本研究では、実際に水銀を圧入した試料のCT撮影を行い、空隙との比較を行うことで、水銀圧入法のコンクリート系材料への適用妥当性の検証を目的とする。

実験：

試料として3種のセメント硬化体を準備した。まず、一般的なセメントとして、普通ポルトランドセメント(Ordinary Portland Cement : OPC)、次いで、地下構造物への使用用途の低熱ポルトランドセメント(Low-Heat Portland Cement : LPC)にフライアッシュ(Fly-ash : FA)を30%置換したもの(LPC+FA)、セメントのアルカリ性を抑制させた、高フライアッシュ含有シリカフュームセメント(Highly Fly-ash containing Silica-fume Cement : HFSC)である。また、水とセメントの混合比(水セメント比 : W/C)は50%とした。試料の材齢は2年以上とし、十分にセメントと水の反応が収束したと思われる材料を用いた。

すべての試料について、水銀圧入法を行い、十分に水銀を圧入させた。最大圧力は、3nmの空隙直径が対応する圧力まで行った。

CT撮影は、水銀を含有していない試料に関しては、15KeVのエネルギー、水銀を含有させた試料に関しては、35KeVのエネルギーを照射した。全ての試料はCCDに視野に収まるように、幅は1mm程度とし、投影数は1504とした。

CTにより得られた断面図に二値化処理を行い、空隙を抽出した。水銀を圧入していない試料に関しては、断面図に対する画素のX線吸収係数によるヒストグラムに対し、空気と空気が一番近い物質の作るピークとの中間値に相当するX線吸収係数をしきい値として、試料中の空隙を求めた。また、水銀圧入を行った試料に対しては、得られた断面図の目視による比較の結果、断面図に対する画素のX線吸収係数によるヒストグラムに対し最も大きい変曲点をしきい値と定めた。

本しきい値は理論上求まる水銀の X 線吸収係数と比較すると数倍程度小さくなった。これは、水銀が画素において全てを占めるわけではなく、周囲のほぼごく小さいセメント硬化体との平均値として X 線吸収係数が定まっているためと考えた。

結果および考察：

図 1 に、各試料の空隙の可視化結果を示す。なお、可視化した領域は試料内部の一辺 250 μm の立方体領域とした。なお、可視化ツールである slice^[1]に含まれるソフトウェア群を用いた。

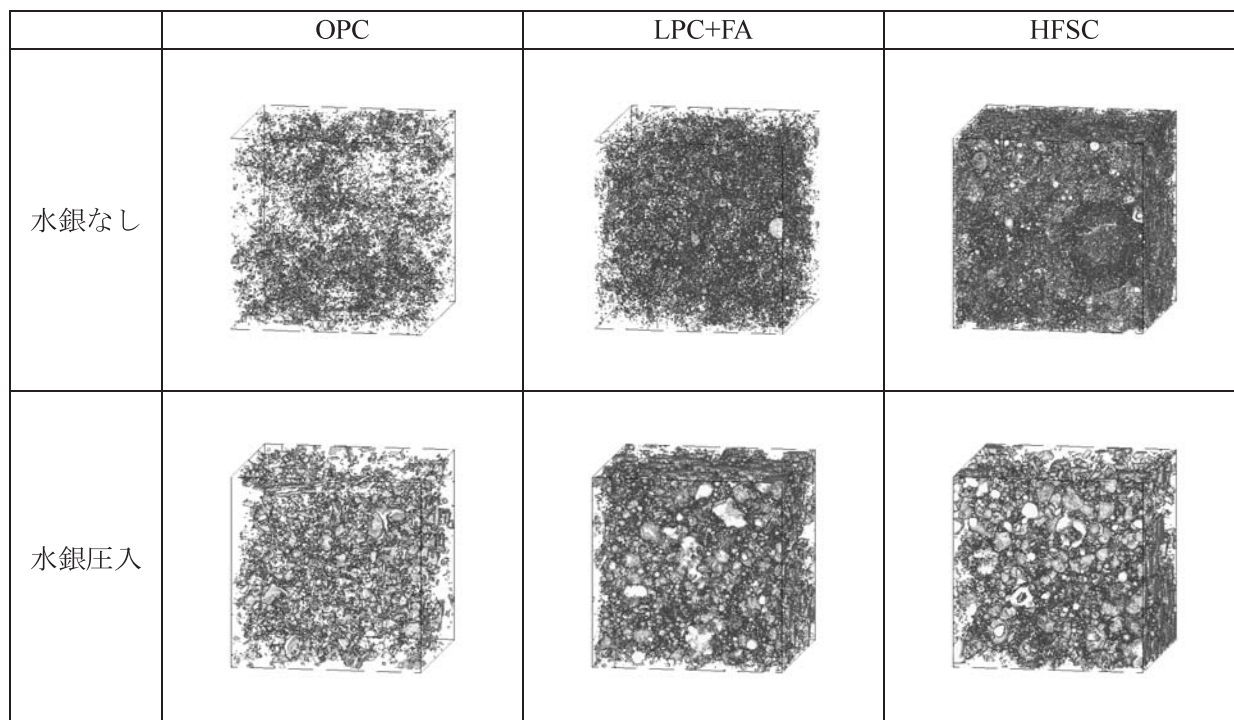


図 1. 通常の空隙と水銀圧入による空隙

水銀圧入で得られた空隙はいずれも粒度が大きく、水銀が侵入し空隙を広げている傾向が見られた。これは、空隙周囲に存在するセメント水和物を破壊し水銀が侵入しているためと考え、空隙率を求めた。表 1 に各試料の空隙率を示す。いずれも試料においても空隙率は最大で 10 倍程度に大きく増加する傾向を示した。この結果は、あくまでも粗大な空隙の範囲であるが、水銀がセメント硬化体組織の破壊を伴うような圧入であることを示すと考えられる。

表 1. 各試料における空隙量の比較

	空隙率(%)		
	OPC	LPC+FA	HFSC
水銀なし	0.22	0.52	4.75
水銀圧入	2.2	6.5	7.6

今後の課題：

水銀であるとした部分についての更なる妥当性の議論が必要であるが、これは今後の課題である。さらに、水銀圧入法が何を行っているか、本報で想像したように、セメント硬化体の弱部を破壊しているかの確認は、段階的に圧入圧を変えた試料を作成し更なる CT 観察が必要と考える。

参考文献：

[1] 中野司, 土山明, 上杉健太郎, 上相真之, 篠原邦夫(2006) "Slice" -Softwares for basic 3-D analysis-, Slice Home Page (web), <http://www-bl20.spring8.or.jp/slice/>, 財団法人 高輝度光科学研究センター.