

X線CTとPTVを用いた荷重によるコンクリート内部変形計測法の開発

近畿大学大学院 総合理工学研究科 学生員 ○裏 泰樹
 近畿大学 理工学部 正会員 麓 隆行
 近畿大学 理工学部 正会員 竹原 幸生

1. はじめに

建設材料が外部からの力を受けた際、内部での変形や破壊を観察できれば、その材料の特性の把握や品質改善に繋がると考えられる。内部の可視化方法はいくつかあるが、大きな荷重をかけた状態で内部観察する装置はこれまでほとんど無かった。麓は、300kNまで荷重できるアムスラー型試験機にX線CT装置を内蔵している装置を開発した¹⁾。本装置を用いて供試体内部の局所的な動きを計測するために粒子追跡法(PTV)の使用を考えた。そこで本研究では、指標を混入したモルタル供試体を用いて、X線CT法とPTVを用いた供試体内部の変形計測の手順を構築し、その可能性を確認した。

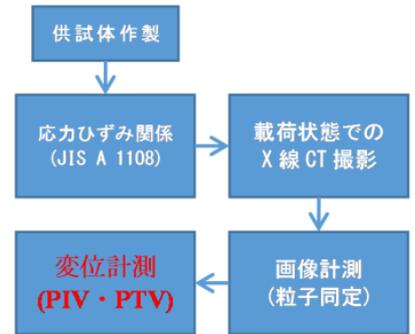


図-1 内部変形計測フロー

2. 実験概要

本研究では、図-1に示す応力-ひずみ関係の確認、荷重状態でのX線CT撮影、粒子計測、変位計測の順に作業を行った。

2.1 撮影準備

表-1に使用材料の物性、表-2に供試体の配合表を示す。モルタルに混入させる指標として、高密度な直径0.3mmのジルコニア球を使用した。オムニミキサに早強セメント、細骨材、ジルコニア球を入れ低速で30秒練り混ぜた後、水を加えて高速で120秒練り混ぜ、モルタルを作製した。作成したモルタルを直径75mm×高さ150mmの円柱型枠に打設し、翌日脱型後、20℃の水中で養生した。

表-1 材料とその物性

使用材料	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
水(W)	1.00	-
早強ポルトランドセメント(C)	3.13	-
山砂(S)	2.6	2.03
ジルコニア(Zr)	6.06	-

表-2 モルタル配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
		W	C	S	Zr
50	48	296	591	1482	30

材齢83日に水中から供試体を引き上げ、その側面の対象位置に縦横計4枚のひずみゲージを貼り付け、2000kN万能試験機でJIS A 1108に準じて圧縮強度試験を行った。以降、この方法をJIS法と記す。

次に、開発したX線CT装置を用いて、圧縮応力下でのモルタルの撮影を行った。供試体には縦横にひずみゲージを貼り付け、1kN、40kN、80kN、120kN、160kN、200kNおよび220kNの7段階の目標荷重を段階的に荷重した。各目標荷重を保持した状態で、管電圧190kV、管電流100μA、分解能0.123mm、撮影時間400sの条件でX線CTスキャンを行った。撮影範囲は試験体中央から±30mmとした。以降、この方法をCT法と記す。CT法での試験風景を図-2に、再構成画像のXZ断面例を図-3に示す。白色に浮かぶ粒子がジルコニア球である。



図-2 CT法試験風景

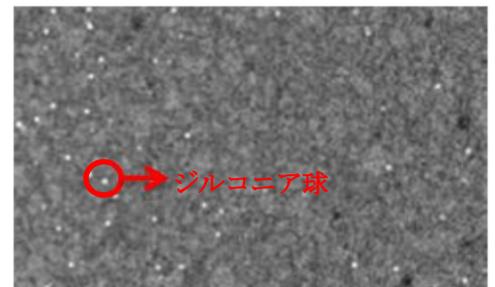


図-3 撮影画像 XZ断面

2.2 変位計測

得られた再構成画像から市販のソフトを用いて2値化によりジルコニア球を抽出した後、個々の粒子に分離し、球相等直径や重心位置を計測した。PTVの誤差を減らすため、対象となる2つの荷重下の同じ断面画像を用いて粒子画像流速測定法(PIV)によりYZおよびZX断面各3面のベクトル分布を求めた。このベ

キーワード モルタル, 内部変形, X線CT, 画像計測, PTV, 圧縮応力

連絡先 〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1 近畿大学 理工学部 TEL 06-6721-2332

クトル分布とジルコニアの重心位置データを用いてPTVを行った。得られた移動後のジルコニアの重心位置に対し、機械誤差を減らすために基準点を用いた座標変換を行った。

3. 実験結果および考察

図-4にJIS法およびCT法での応力-ひずみ関係の一例を示す。JIS法での圧縮強度は63.9N/mm²、静弾性係数は33700N/mm²であった。0~20N/mm²ではJIS法、CT法とも同一曲線上にあった。しかし、それ以上の荷重を載荷すると、同じ応力でもCT法でのひずみがJIS法のひずみに比べて大きくなった。CT法では、供試体の撮影時に400秒間の圧縮応力を保持するため、塑性域が顕著となる高荷重だと、クリープ破壊が進行したと考えられる。しかし、本手法は、同ひずみでの供試体内部の品質を検査する上では有効だと考えられる。

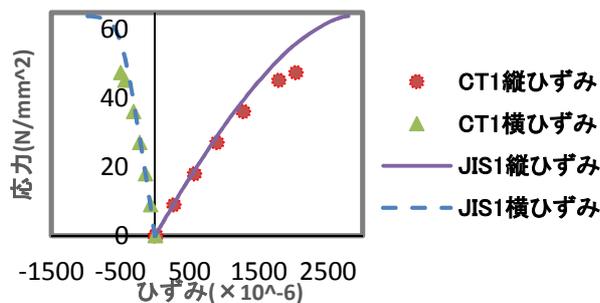


図-4 応力-ひずみ関係

図-5にジルコニア球の球相当直径の計測結果を示す。最頻値は0.31mmとなり、ジルコニアの粒子径0.3mmとほぼ等しい。しかし、球相等直径の範囲は0.16~0.55mmとなった。これは、解像度0.123mmで評価しているために生じた部分体積効果が原因の一つだと考えられる。そこで球相等直径0.2~0.4mmの重心位置を以降の変位計測に使用することとした。

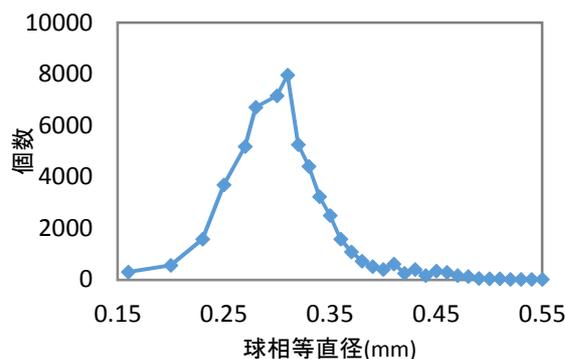


図-5 ジルコニア球の球相等直径の計測結果

図-6にPTVによる内部変形計測結果を示す。暖色ほど変形量が大きく、寒色ほど変形量が小さいことを示している。上下端面での変形量が大きいことがわかる。一方で中央部分では変形量が小さい。端部が大きく変形することで内部にひずみや応力が蓄積されていると推察される。

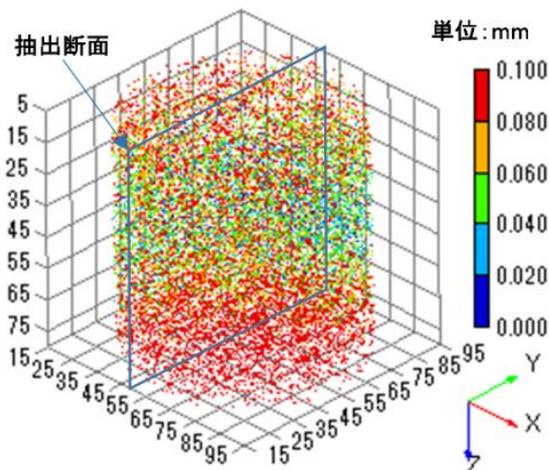


図-6 PTVによる内部変形計測結果(鳥瞰図)

図-7に、図-6内に示した抽出断面(幅10mm)を切り出した結果を示す。Z軸45mmの位置を対象面として、上下から圧縮変形が生じている。また、右下側から大きな変形により、右側の高さ中央付近で塑性状態が生じ、横ひずみが蓄積している様子がうかがえる。すなわち、計測した供試体中央部が対称面となり圧縮変形が生じており、最終的に右中央部で大変形が生じて破壊が進んでいると考えられる。以上のように、内部変形を可視化できる可能性が示された。今後、その確かさや計測精度について検討を行って行く予定である。

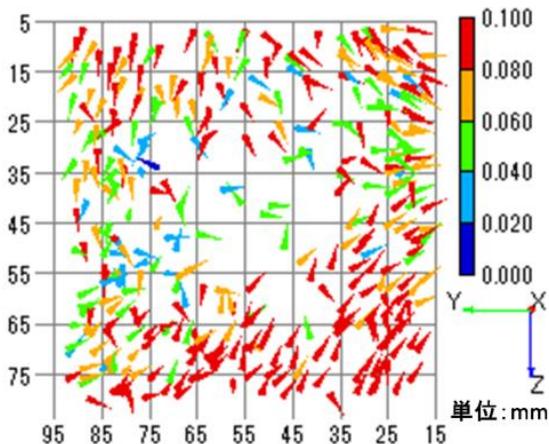


図-7 PTVによる内部変形計測結果(YZ断面)

4. まとめ

本研究では、開発した装置と指標の混入という手法を用いて、X線CT法とPTVによる圧縮応力下のコンクリート内部の変形計測を試み、およそ計測できることを示した。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 26630207の助成を受けたものです。

参考文献

1) 麓隆行：新しい機構のX線CTの開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用，土木学会論文集 E2, Vol. 69, No.2, pp.182-191, 2013