V－91　間隙水の体積弾性係数の経路依存性を考慮に入れたコンクリートの変形解析

名城大学大学院　学生会員　中村　貴彦
名城大学大学院　学生会員　藤原　武司
名城大学　正会員　石川　靖晃
中央大学　正会員　大下　英吉

1. はじめに

コンクリート水分移動に関する研究は、クリープや乾燥収縮のメカニズムを解析する立場からも、数多く行われており、代表的なものとしては石川および大下らが構築した粘弾性成分を導入した間隙水圧特性に関する理論モデルがある．しかし、そのモデルを用いて間隙水を考慮したコンクリートの変形解析を行った結果、繰り返し圧縮載荷中の間隙水圧特性を表現することは困難であることが報告された[1]．その原因として、載荷時、除荷時の体積弾性係数について十分な検討がなされておらず、解析中常に水の体積弾性係数が一定であると仮定していたことにあると思われる．言い換えるならば、水の体積弾性係数は現在まで理想状態における 2.2×10^3 (N/mm^2) である事以外は、ほとんど知られていなかった．そこで、より詳細な挙動の解明を行う為に、履歴荷重下、異なった水温など様々な状況下での水の体積弾性係数の評価を詳細に行う必要がある．

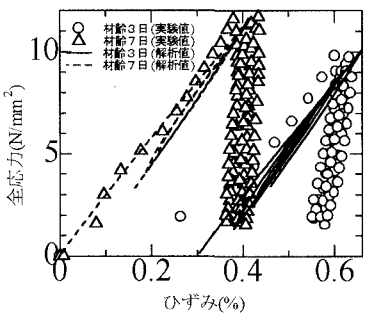
故に、本研究では水の繰り返し圧縮載荷試験を水温、載荷、速度等を変化させ行うことにより載荷、除荷時の体積弾性係数を測定しコンクリート中の水分移動解析に適用することを目的とした．

2. 二相多孔質モデルの解析例

ここでは、林らが行ったコンクリート供試体に対する一次元非排水圧縮試験[2]に対し石川らが構築した二相多孔質モデル[3]を用いての解析例を図-1に示す．解析に用いた定数は、材齢３日、７日ともにヤング率（材齢３日：8.0×10^3 N/mm^2、材齢７日：10.0×10^3 N/mm^2）、水の体積弾性係数（2.2×10^3 N/mm^2）である．

以上の結果から、全応力、間隙水圧共に石川らのモデルは実験結果を捉えていないことが分かる．（図-1）

ここで本研究では、その原因が水の体積弾性係数を一定にしているためではないかと考え、次節で水の体積弾性係数の測定を行った．



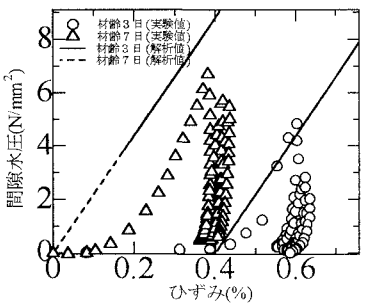


図-1 全応力・間隙水圧－ひずみ関係

3. 水の繰り返し載荷試験による体積弾性係数の測定

図-2に示す不飽和浸透流測定装置（２つの厚肉の鋼塊の間に漏水防止用ゴムをかませ高張力ボルトで定着することにより構成されている．以後、セルと称す．）を作製し間隙水圧測定実験を行った．セルにより水は水平方向の変位が拘束され（一次元状態）また、完全に非排水な状態をつくれるようになっている．セルを上下逆さにし、排水口から水を入れ、中を水で満たす．載荷はセル上部に設置した鋼板を介して軸方向に繰り返し載荷を行う．

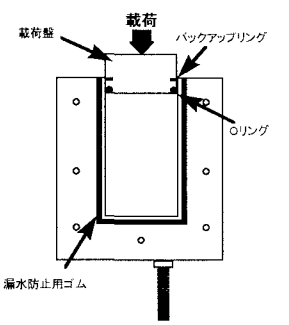


図-2 不飽和浸透流測定装置

4. 水の体積弾性係数特性

ここで得られた載荷および除荷時の線の傾きが体積弾性係数に対応する．得られた体積弾性係数を表－1に示す．一般的に水の体積弾性係数は 2.2×10^3 N/mm^2 である

キーワード：体積弾性係数，ヒステリシス，間隙水圧，繰り返し荷重
名城大学理工学部土木工学科（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501　Tel (052)832-1151 Fax (052)832-1178　）

と言われているが与えられた体積弾性係数は大体それに近いオーダーと　なっており本実験手法の妥当性が伺える．どのケースにおいても載荷時より除荷時の弾性係数が大きくなっていることがわかる．また、異なる載荷速度による違いはほとんど無いことがわかる．

また、水道水を用いることにより、脱気水で行った実験との常温時での水の体積弾性係数の比較を行った．載荷時で比較を行うと、水道水より脱気水を用いた場合は載荷速度各々において約２倍となっている．除荷時での比較では載荷速度により多少のばらつきはあるが平均的には約2.5倍となっている。これは、水道水中にはある程度空気が存在するためであると思われる。

さらに、異なる温度状況下では低温、高温と比べ常温が高い値を示していることがわかる．体積弾性係数の差の比較を行うと低温、常温間の差より常温、高温間の差の開きが大きいことがわかる．この傾向は載荷時の方が顕著に表れている．

表-1 実測された体積弾性係数（$\times 10^3$ N/mm^2）

載荷速度		低温	常温	高温
12(KN/min)	載荷	0.46	1.29	0.29
	除荷	1.29	2.42	1.32
20(KN/min)	載荷	1.00	1.29	0.17
	除荷	2.04	2.65	10.92
40(KN/min)	載荷	0.43	1.24	0.21
	除荷	1.36	2.44	0.89
80(KN/min)	載荷	0.82	1.24	1.75
	除荷	1.51	2.70	1.63

		12(KN/min)	20(KN/min)	80(KN/min)
脱気水	載荷	1.29	1.29	1.24
	除荷	2.41	2.65	2.70
水道水	載荷	0.62	0.60	0.54
	除荷	1.12	1.11	0.91

5. 測定された体積弾性率を用いた変形解析

前節で測定された水の体積弾性率を用いて解析を行った結果を記す．

解析に用いた定数は、ヤング率(材齢３日：8.0×10^3 N/mm^2、材齢７日：10.0×10^3 N/mm^2)、水の体積弾性係数(載荷時：1.3×10^3 N/mm^2、除荷時：2.6×10^3 N/mm^2)である．

以上の結果から、全応力については、従来の手法（図-1）よりもよりヒステリシスを表現できるようになっている．また、間隙水圧についても、従来の手法ではできなかったヒステリシスの表現ができるようになっていると思われる．また、履歴が進むにつれて間隙水圧が減少していく様子も表現できている．しかし、まだ測定値と一致する部分は少ない．より詳細な評価をするためには、よりミクロ的なコンクリート内の微小孔内での吸脱着などの透水現象を解明していく必要があると思われる．

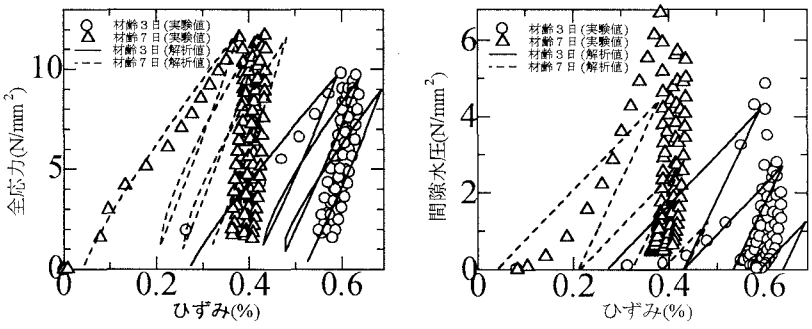


図-3 全応力・間隙水圧－ひずみ関係

6. 結論

本研究では、水の繰り返し載荷試験を行うことで載荷時、除荷時における水の体積弾性係数の測定を行った．そして、既存の解析モデルに適用することによりその適用性評価を行った．本研究の範囲内では、以下のような結論を得た．

(１)載荷速度の違いによる体積弾性係数の違いは、ほとんど認められない．

(２)水道水と脱気水では、体積弾性係数はそれぞれの載荷速度で脱気水が約２倍となる．

(３)水温による違いでは、常温での体積弾性係数が低温、高温よりも大きくなる．

(４)解析モデルでは、体積弾性係数を載荷時と除荷時で変化させることにより、より実験結果に近い結果が得られた．

(５)載荷時と除荷時の体積弾性係数の変化が応力経路に大きく影響していると思われる．

参考文献

1) 大下英吉、石川靖晃、林真弘：粘弾性モデルを導入した水、コンクリート骨格連成解析手法による間隙水圧特性評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集 Vol.20-2,p.p.715-720,1998

2) 林真弘、石川靖晃、大下英吉：履歴荷重を受けるコンクリート中の間隙水圧に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集 Vol.20-2,p.p.709-714.1998

3) 石川靖晃、菊川浩治、田邊忠顕：遷移材齢時におけるコンクリートの時間依存挙動モデル、コンクリート工学年次論文集 Vol.18-1,p.p.627-632,1995