

論文 圧縮力を受けるポーラスコンクリートの表面変位分布の計測とその応用

音野 琢也^{*1}・国枝 稔^{*2}・吉田 知弘^{*3}・六郷 恵哲^{*4}

要旨：ポーラスコンクリートには骨材径に依存した凹凸が存在するため、コンプレッソメータの装着が難しいこと、圧縮力を受けるときに局所的な変形が生じている可能性があること、どの程度の検長で変位を計測するのが妥当かなど変位の計測法に様々な問題点を抱えている。そこで、本研究では圧縮力を受けるポーラスコンクリートの表面変位分布を計測し、破壊の局所化について検討を行うとともに、得られた表面変位分布の考察結果を静弾性係数の算定に応用した。

キーワード：ポーラスコンクリート、圧縮力、表面変位、破壊の局所化、静弾性係数

1. はじめに

性能規定型の設計法への移行に伴い、各性能を評価するための指標やそのための試験法を整備する必要がある。ポーラスコンクリートの力学性能を評価する指標としては、圧縮強度と空隙率、曲げ強度などが一般的である。近年、ポーラスコンクリートの使用形態として、透水性、排水性舗装などの構造部材として用いられる例も増加しており^{1,2)}、ポーラスコンクリートの力学性能を適切に評価し、把握することが重要であると考えられる。ポーラスコンクリートの静弾性係数についても、力学性能を要求される部材への適用が増加するにつれてその必要性が増すと考えられる。ポーラスコンクリートにおいては従来のコンクリートの試験方法に準拠し、コンプレッソメータやひずみゲージを用いる方法³⁾などが採用されているが、その試験法については十分に検討されていないのが現状である。筆者らは、ポーラスコンクリートの表面には骨材径に依存した凹凸が存在し、コンプレッソメータの装着が困難であること、骨材径の3倍程度の長さのひずみゲージを用いても局所的な変

位を計測している可能性があること、ひずみゲージを貼り付ける際、表面に塗布する材料による局所的な補強効果があることなど、表面変位の計測法に関する問題点を抽出した⁴⁾。

本研究では、圧縮力を受けるポーラスコンクリートの表面変位分布をポーラスコンクリート用に改良したコンプレッソメータおよびパイ型変位計を用いて計測し、ポーラスコンクリートの破壊の局所化について検討した。また、得られた表面変位分布についての考察結果を静弾性係数の算定に応用した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本研究で用いたポーラスコンクリートの配合を表-1に示す。強度の異なる2種類のポーラスコンクリートを作製した。W/Cをそれぞれ22.5%と30%、M/Gをそれぞれ45%と30%とした。セメントは早強ポルトランドセメントを用い、粗骨材には揖斐川産の玉砕石（骨材寸法5-13mm）を使用した。配合1には、細骨材として7号珪砂を使用した。供試体は打設後2日で

*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 岐阜大学助手 工学部社会基盤工学科 工博 (正会員)

*3 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (正会員)

*4 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 工博 (正会員)

表－1 ポーラスコンクリートの示方配合

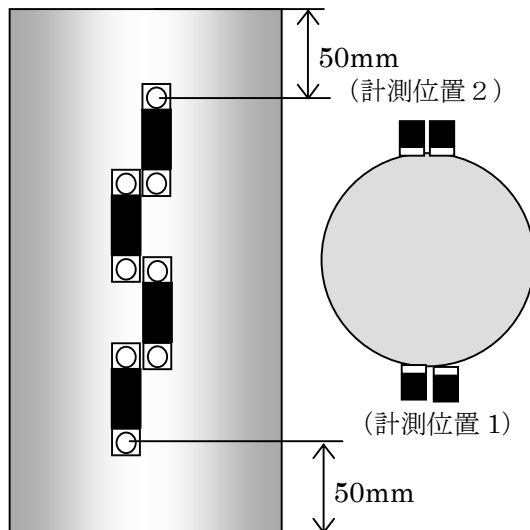
配合名	骨材径 (mm)	W/C (%)	M/G, P/G ^{*1} (%)	単位量(kg/m ³)					圧縮強度 (MPa) ^{*5}	空隙率 (%) ^{*5}
				W	C ^{*2}	G	S ^{*3}	Ad ^{*4}		
配合1	5-13	22.5	45	71	316	1583	131	6.32	15.8	19.5
配合2	5-13	30	30	88	294	1583	－	－	9.6	26.5

*1 M/G(モルタル粗骨材比, 配合1), P/G(ペースト粗骨材比, 配合2)

*2 早強ポルトランドセメント

*3 7号珪砂(絶乾密度2.59g/cm³)

*4 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系, セメント量の2%) *5 平均値(n=3)



図－1 パイ型変位計貼付け位置 (φ150mm)



従来型（点固定） 新型（線固定）

図－2 コンプレッソメータの固定爪

脱型し、その後水中養生を行った。載荷試験 2 日前に JCI「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法（案）」の容積法⁵⁾に準じて空隙率を測定し、その後、両端面を石膏でキャッピングした。載荷試験は材齢 28 日で実施した。2 種類のポーラスコンクリートの圧縮強度はそれぞれ 15.8MPa と 9.6MPa、空隙率は 19.5% と 26.5% であった。

2. 2 変位計測方法および静弾性係数の算定法

試験には φ100×200mm と φ150×300mm の円柱供試体を用い、本数は各 3 本とした。φ150×300mm の供試体においては、検長 50mm のパイ型変位計（精度 1/2000mm）をエポキシ樹脂にて接着し、変位を計測した。変位の計測位置は、図－1 に示すように、供試体の上端 5cm の位置から 4 箇所（計測位置 1）、相対する面にも同様に 4 箇所（計測位置 2）、計 8 箇所において

圧縮力下での表面変位を計測した。また、その結果を用い、検長 200mm, 100mm, 50mm における静弾性係数を算定した。

φ100×200mm の供試体においては、検長 50mm のパイ型変位計と検長 100mm のコンプレッソメータを用いた。コンプレッソメータには図－2 のように固定爪を点固定から線固定に改良したものをを用いた。従来型のような固定爪の場合には、爪が空隙に入り込んでしまうなど供試体表面の凹凸の影響を受けコンプレッソメータの装着が困難であったが、改良された固定爪にすることで、供試体表面の凹凸の影響をほとんど受けず、装着が容易であった。パイ型変位計の貼付け位置は検長 100mm となるように、パイ型変位計を供試体の上端 5cm の位置から 2 箇所（計測位置 1）、相対する面にも同様に 2 箇所（計測位置 2）、計 4 箇所にて貼付け、圧縮力下における表面変位を計測した。両者の結果から静弾性係数を算定した。静弾性係数の算定には、

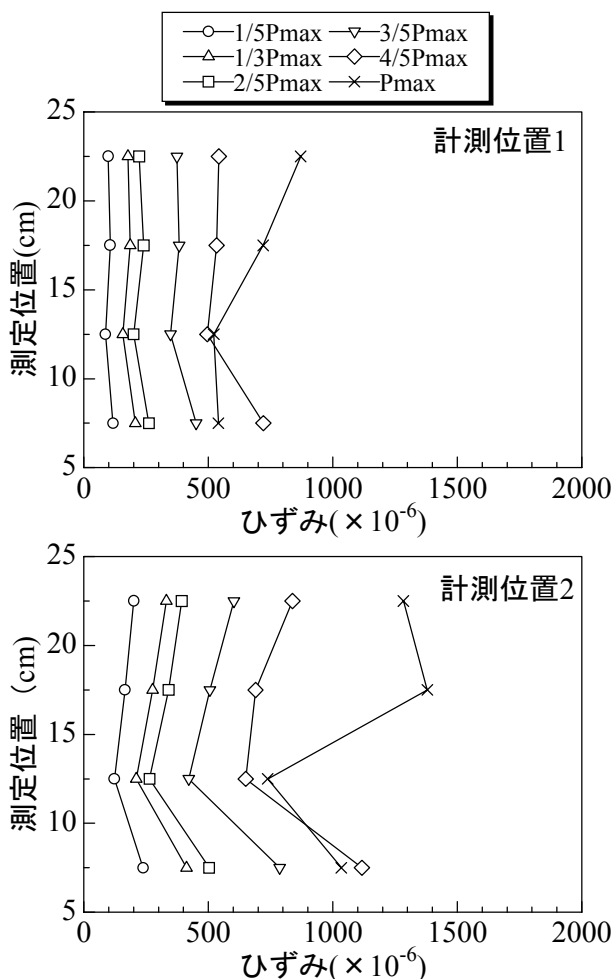


図-3 配合 1 ($f_c=15.8\text{MPa}$) のひずみ分布 ($\phi 150\text{mm}$)

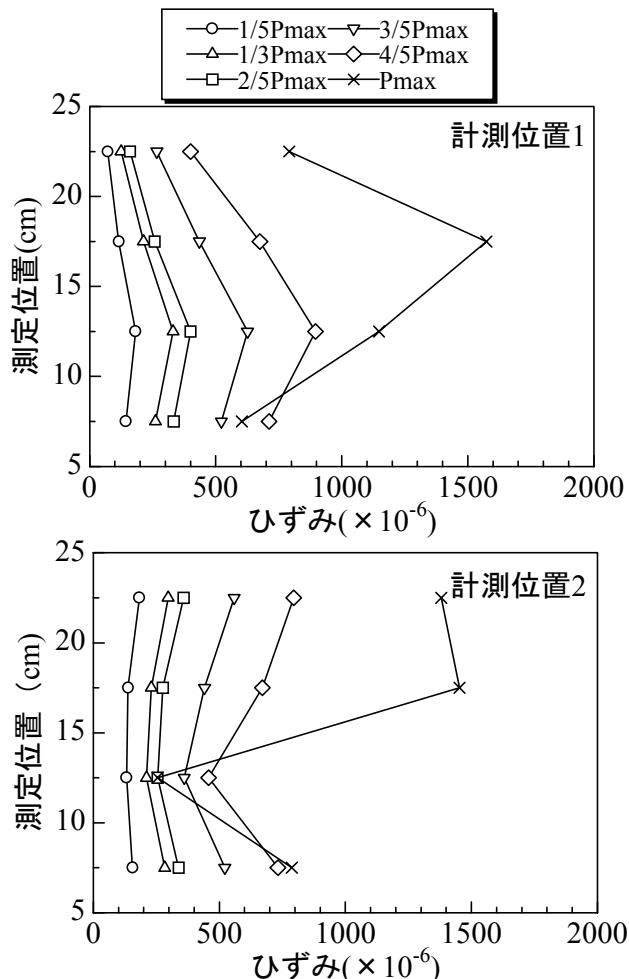


図-4 配合 2 ($f_c=9.6\text{MPa}$) のひずみ分布 ($\phi 150\text{mm}$)

いずれも式 (1) を用いた。

$$E_C = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}} \times 10^{-3} \quad (1)$$

E_C : 静弾性係数(GPa)

S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力(MPa)

S_2 : ひずみ 50×10^{-6} のときの応力(MPa)

ε_1 : 応力 S_1 によって生じるひずみ

3. 実験結果

3. 1 表面変位分布の計測結果

$\phi 150 \times 300\text{mm}$ の供試体における表面変位の計測結果 (3 本中の 1 本の結果) を図-3 および図-4 に示す。この図は、最大荷重の 1/5 刻みの荷重時におけるひずみ及び最大荷重の 1/3 におけるひずみの分布を表している。最大荷重時

においては、配合 1 および配合 2 の供試体ともにひずみの値が局所的に大きくなっており、破壊が局所化していることを示している。局所化の程度は、強度の低い配合 2 の方がより顕著に表れている。しかし、載荷初期におけるひずみに関しては、いずれの配合においても供試体全体にわたりほぼ均一に変形していることがわかる。

次に、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体における表面変位の計測結果 (3 本中の 1 本の結果) を図-5 および図-6 に示す。 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ の供試体と同様に最大荷重時において、ひずみの値が局所的に大きくなっており、破壊が局所化している。しかし、載荷初期におけるひずみに関しては供試体全体にわたりほぼ均一に変形している。

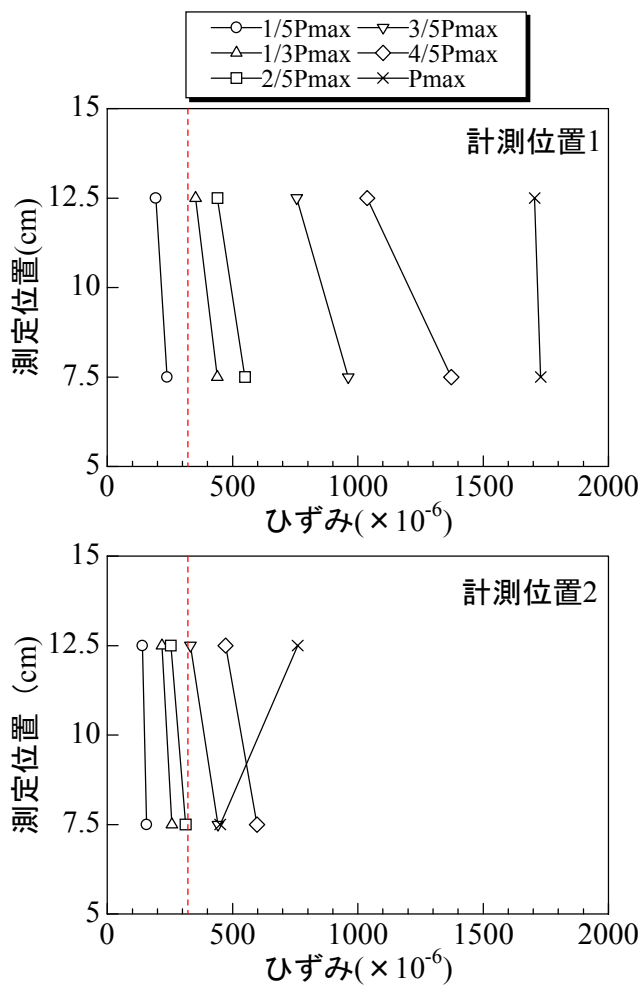


図-5 配合 1 ($f_c=15.8\text{MPa}$) のひずみ分布 ($\phi 100\text{mm}$)

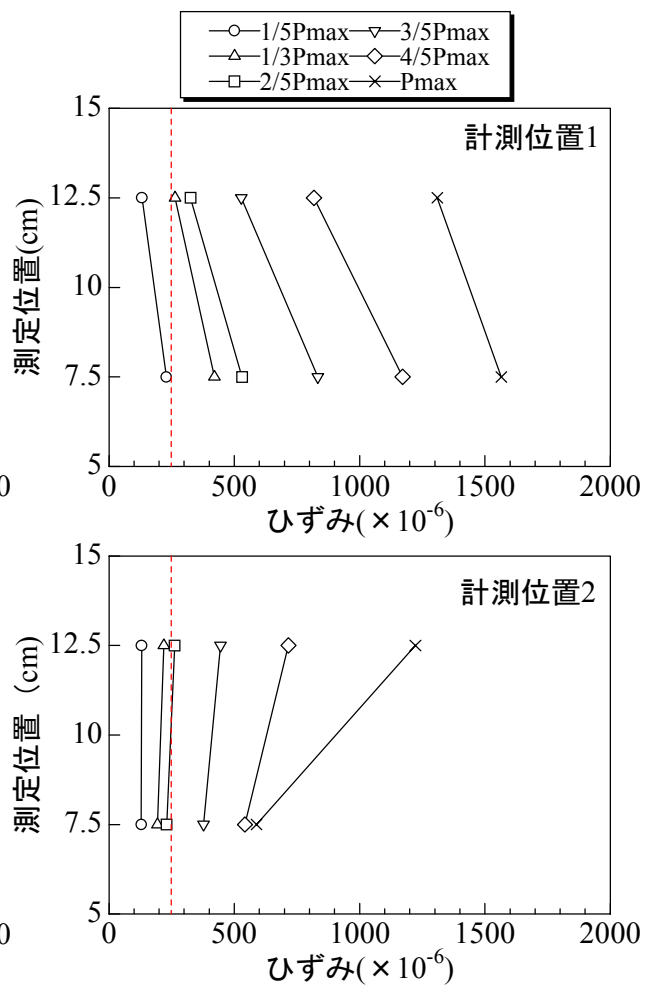


図-6 配合 2 ($f_c=9.6\text{MPa}$) のひずみ分布 ($\phi 100\text{mm}$)

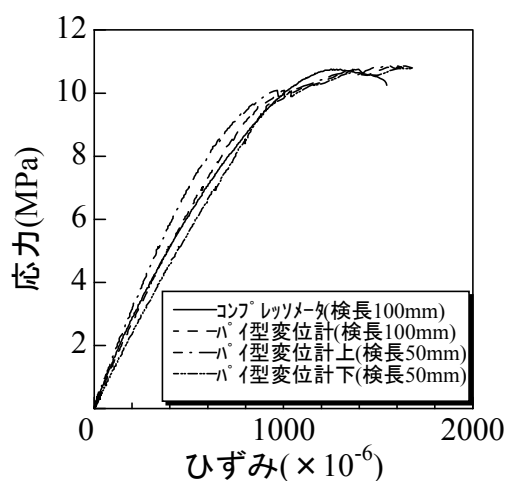


図-7 配合 2 の応力-ひずみ関係 ($\phi 100\text{mm}$)

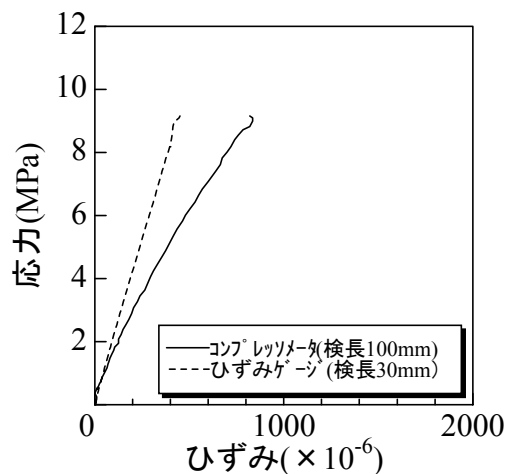


図-8 応力-ひずみ関係

図中の破線は、コンプレッソメータを用いた場合の最大荷重の 1/3 のときのひずみである。パイ型変位計で計測した各測点のひずみと比較すると、個々の測点のひずみでは若干のばらつき

が見られるものの、両側 4 箇所のひずみを平均するとコンプレッソメータのひずみとほぼ一致することが確認できる。

図-7 に各種計測方法による応力-ひずみ関

係（3本中の1本の結果）を示す。荷重が大きくなるほど、検長が短いために測定位置の違いによる差が現れている。コンプレッソメータおよびパイ型変位計（検長 100mm）の場合には、計測結果は良く対応している。また、計測方法の違いにかかわらず最大荷重時のひずみは 1200×10^{-6} 程度であった。ポーラスコンクリートの最大荷重時のひずみは普通コンクリートに比べ小さく、 1200×10^{-6} 程度であるという報告があり⁶⁾、本実験における表面変位の計測は妥当であると考えられる。また、計測方法にかかわらず最大荷重の 1/3 程度まではひずみの増加量はほぼ一定であることから、最大荷重の 1/3 程度までは弾性領域であると仮定でき、従来のコンクリートの静弾性係数の算定式における S_1 （最大荷重の 1/3 の相当する応力）をそのまま使用しても特に問題はないものと考えられる。

図-8 に昨年度の実験の応力-ひずみ関係⁴⁾（3本中の1本の結果）を示す。なお、配合は、表-1の配合2と同じであり、強度および空隙率はそれぞれ 9.36MPa と 25.6%であった。昨年の実験では、従来型の固定爪のコンプレッソメータと検長 30mm のひずみゲージを用いて測定した。ひずみゲージを貼り付ける際にポーラスコンクリート表面の凹凸を平滑にするために計測する表面貼付部分にセメントペーストや石膏を塗布した。ひずみゲージによる応力-ひずみ曲線は、コンプレッソメータによる応力-ひずみ曲線よりも勾配が大きいことやパイ型変位計による応力ひずみ曲線はコンプレッソメータのそれによく一致することから、昨年度の計測方法では、検長が小さいことに加え、表面に塗布する材料の局所的な補強効果の影響を大きく受けていると考えられる。最大荷重時のひずみに関しては、昨年度の結果では、図-7のような最大荷重以降のひずみの増加と荷重の低下は確認できず、最大荷重時のひずみも 1200×10^{-6} に到達していない。これは、最大荷重時に測定位置以外の他の部分が破壊し、局所化したためと考えられる。

表-2 各検長の静弾性係数（ $\phi 150\text{mm}$ ）

検長	200mm	100mm	50mm上	50mm下
配合1	18.0	19.3	18.6	20.0
配合2	10.7	10.6	12.8	9.13

*単位(GPa)

表-3 各種計測法の静弾性係数（ $\phi 100\text{mm}$ ）

計測法	COMP	PI100mm	PI50mm上	PI50mm下
配合1	17.1	15.6	17.2	14.0
配合2	11.2	11.9	12.8	11.2

*単位(GPa)

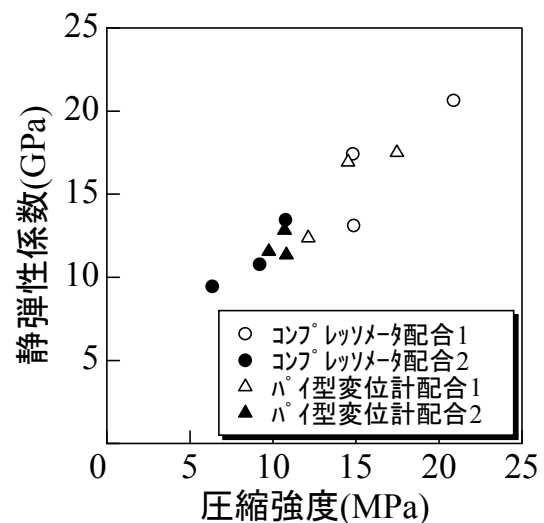


図-9 静弾性係数と圧縮強度の関係（ $\phi 100\text{mm}$ ）

3. 2 静弾性係数の算定

各種計測方法の静弾性係数の平均値（ $n=3$ ）を表-2および表-3に示す。なお、パイ型変位計（検長 50mm）については、供試体中央部を挟む上下2箇所のデータを示すとともに、両者のデータから検長 100mm のデータを算定した。

表-2および表-3より、測定方法や検長の違いによらずほぼ同程度の値が得られているが、検長 50mm のパイ型変位計による静弾性係数は、測定位置の違いによるばらつきが見られた。これは、ポーラスコンクリートの不均質性および変位を計測する位置の試験体の出来具合による影響を受けたものと考えられる。一方、検長 100mm と 200mm での値はほぼ同程度であることから、パイ型変位計やコンプレッソメータなどにより静弾性係数を求めるためには、検長を

100mm 程度とすることが望ましいと考えられる。 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体においても同様であり、検長 50mm では測定位置の違いによるばらつきが確認できる。また、コンプレッソメータによる静弾性係数と検長 100mm の場合の静弾性係数は比較的近い値を示している。

次に、各種変位計測方法による静弾性係数と圧縮強度の関係を図-9 に示す。なお、この図においては、すべての供試体の結果を示す。コンプレッソメータによる静弾性係数とパイ型変位計（検長 100mm）による静弾性係数は各強度において、ほぼ同程度の値を示している。また、圧縮強度と静弾性係数の間には相関関係が存在し、配合の異なるポーラスコンクリートであっても同一の関係にあることが伺える。

以上より、本実験にて使用した配合（特に骨材寸法）の範囲内では、ポーラスコンクリートにおいて、検長を 100mm 程度とした計測法であれば、従来の静弾性係数の算定法で充分妥当な値を求めることが可能であることが示された。今後、さらにデータの蓄積が必要であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、ポーラスコンクリートの表面変位の分布を把握し、破壊の局所化について検討した。さらに、表面変位分布の考察結果を静弾性係数の算定に応用した結果、以下の結論を得た。

- (1) ポーラスコンクリートは最大荷重時において、ひずみの値が局所的に大きくなっており、破壊が局所化していることが示された。
- (2) 強度の低い配合のほうが破壊の局所化が顕著となる傾向にあった。さらに、載荷初期の段階では、供試体全体にわたりほぼ均一に変形していることがわかった。
- (3) ポーラスコンクリートにおいて、最大荷重の 1/3 程度まではひずみの増加量はほ

ぼ一定であり、弾性領域であることが示された。さらに、従来のコンクリートの静弾性係数の算定式における S_1 （最大荷重の 1/3 の相当する応力）をそのまま使用して弾性係数を算定した結果、検長や供試体の不均質性、出来具合などの影響を大きく受けることが明らかとなった。本研究の範囲内では、検長を 100mm 程度とる必要があることが明らかとなった。

- (4) ひずみゲージによる変位計測は、検長が小さいことに加え、表面塗布材料の局所的な補強効果の影響を大きく受けていることが再確認された。

謝辞

コンプレッソメータの固定爪の作製にあたり、東京測器研究所から多大な協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、坂川勝，森岡清信，下山善秀，村田芳樹：ポーラスコンクリートの車道への適用，舗装 Vol.36，No.4，pp.5-9，2001
- 2) 先端建設技術センター：ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き，山海堂，2001
- 3) 例えば、磯村保司，森野奎二，岩月栄治：再生骨材のポーラスコンクリートへの利用，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.569-570，2002
- 4) 音野琢也，国枝稔，古川浩司，六郷恵哲：低品質再生骨材を用いたポーラスコンクリートの力学特性，コンクリート工学年次論文集，No.24，pp.1149-1154，2002
- 5) 日本コンクリート工学協会：エココンクリート研究委員会報告書，1995
- 6) 天羽和夫，横井克則，水口裕之，河野清：連続繊維補強ポーラスコンクリートはりの実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.643-648，1995