

# 論文 6号砕石を有するポーラスコンクリートの静弾性係数・圧縮強度と粗骨材の容積率の関係

山本 貴正\*1・大畑 卓也\*2・河野 伊知郎\*3

**要旨:** ポーラスコンクリートの調合設計において、粗骨材の容積率は、一般に、実積率とする。しかし、混練されたポーラスコンクリートは、粗骨材に結合材が被覆されるため、粗骨材の容積率が実積率と比較して低くなることがある。そこで、ポーラスコンクリートの静弾性係数と圧縮強度について、粗骨材の容積率に着目して実験的に検討をした。その結果、型枠へ打設した直後の粗骨材の容積率と全空隙率は、標準平均では正、同一試験条件の観測値では負の関係があること、粗骨材の容積率を控除した全空隙率は、静弾性係数および圧縮強度と関連があるなどの知見を得た。

**キーワード:** 結合材, 実積率, 締固め, 全空隙率, 近似値

## 1. はじめに

### 1.1 本研究の背景・目的

ポーラスコンクリート(以下、POC)の調合設計において、粗骨材の容積率(以下、骨材容積率)は、一般に、JIS A 1104 に準拠して測定した実積率(以下、JIS 容器実積率)とする。しかし、混練された POC は、粗骨材に結合材が被覆されるため、骨材容積率が JIS 容器実積率と比較して低くなることもある。また、型枠に打設し、突き固めや振動締固めを施しても、結合材の容積率(以下、結合材容積率)が未知であるため、各種材料の調合値と質量から推測する型枠内の粗骨材容積率が、JIS 容器実積率に相当しているとは限らない。

POC は、静弾性係数が、通常のコンクリートと同様に、複合則理論に従い単位粗骨材容積の影響を受けると考えられる。また、POC の圧縮強度と全空隙率の関係に及ぼす骨材容積率および結合材容積率の影響については研究事例が皆無である。なお、骨材容積率は、振動締固めによる全空隙率の減少にも影響する<sup>1)</sup>。

以上を踏まえ、まず、使用頻度の高い6号砕石を有する POC 試験体の振動締固めによる全空隙率の低下、静弾性係数および圧縮強度と全空隙率の関係に及ぼす骨材容積率の影響について実験的に検討を行う。併せて、POC 特有の不均質な空隙分布が圧縮試験結果に関連すると考え、静弾性係数、圧縮強度に及ぼす球座の自由度の影響についても検討をする。以下、本論では、断りがない限り、粗骨材を骨材、全空隙率を空隙率と表現する。

### 1.2 関連する既往研究

#### (1) 骨材容積率

混練時の POC は、例えば、図-1(a)に示すように、調

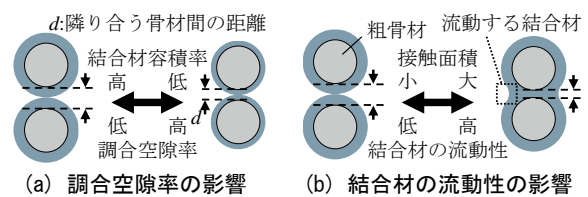


図-1 骨材容積率に及ぼす要因(混練時) 例え、1)

合空隙率が高いほど、骨材を被覆している結合材(以下、結合材被覆骨材)の膜厚が減り、隣り合う骨材間の距離が短くなり、骨材容積率は高くなる。また図-1(b)に示すように、結合材の流動性が高いほど、結合材被覆骨材の接触面積が増え、かつ流動する結合材付近の気相が減るため、骨材容積率は高くなり、空隙率が低くなる。

#### (2) 圧縮強度

POC の圧縮強度と空隙率の関係は、結合材の圧縮強度を変数とする式(1)で表すことができる<sup>2)</sup>。

$$F = F_B \cdot e^{-\alpha \cdot P} \quad (1)$$

ここに、 $F$ 、 $F_B$ : POC および結合材の圧縮強度、 $P$ : 締固めた POC の空隙率、 $\alpha$ : 実験変数

#### (3) 静弾性係数

POC の静弾性係数は、Hashin-hansen に空隙率を変数とする補正係数を乗じた式(2)で表すことができる<sup>3)</sup>。

$$E_{poc} = \frac{(1.0 - V_G)E_B + (1.0 + V_G)E_G}{(1.0 + V_G)E_B + (1.0 - V_G)E_G} E_B \cdot C \quad (2)$$

ここに、 $E_{poc}$ 、 $E_B$ 、 $E_G$ : POC、結合材および骨材の静弾性係数、 $V_G$ : 骨材容積率、 $C$ : 補正係数

### 1.3 本論文における造語の定義

本論文中で用いる造語を次のように定義する。

- ・ 管理用型枠: 内径 100mm×内高 200mm の円柱型枠

\*1 愛知工業大学 工学部建築学科准教授 工博 (正会員)

\*2 豊田工業高等専門学校 環境都市工学科助教 工博 (正会員)

\*3 豊田工業高等専門学校 環境都市工学科教授 工博 (正会員)

- ・ 結合材被覆骨材：結合材が被覆している骨材
- ・ 結合材容積率：試験体に占める結合材の容積率
- ・ 結合材 W/C：結合材の水セメント比
- ・ 硬化 POC：振動締め固めが施されている POC
- ・ 骨材控除空隙率：骨材容積を控除した空隙率
- ・ 骨材容積率：試験体に占める骨材の容積率
- ・ 打設時：型枠へ打設した直後
- ・ 調合空隙率：式(3)を満たす空隙率の調合値
- ・ フレッシュ POC：洗い試験の硬化していない POC
- ・ JIS 容器実積率：JIS に準拠して測定した実積率

## 2. 実験概要

### 2.1 実施試験

容器を管理用型枠とした骨材の実積率試験，結合材の空気量試験およびフロー試験，フレッシュ POC の骨材容積率を計測する洗い試験，硬化 POC の空隙率を計測する空隙率試験，結合材と硬化 POC の圧縮強度と静弾性係数を計測する圧縮試験を主に実施した。

### 2.2 実験要因・水準

実験要因・水準は，結合材 W/C25%と 35%，調合空隙率 0%，10%，20%および 30%(ただし，結合材 W/C35%は 0%と 20%)である。結合材 W/C35%かつ調合空隙率 20%の群は，圧縮試験の球座の回転を自由と固定とした。

### 2.3 使用材料・調合

結合材の水は水道水，セメントは普通ポルトランド(密度 3.15g/cm<sup>3</sup>)を使用した。混和剤は使用していない。骨材は瀬戸産の 6 号砕石(表乾密度 2.71g/cm<sup>3</sup>，吸水率 0.52%，JIS 容器実積率 57.7%)とした。なお，骨材の静弾性係数は未知である。調合設計は，式(3)を満たすようにした。

$$1.0 = P_* + V_{G*} + V_{B*} \quad (3)$$

ここに， $P_*$ ：調合空隙率， $V_{G*}$ ， $V_{B*}$ ：骨材および結合材の容積率の調合値

骨材の容積率の調合値は JIS 容器実積率，結合材の容積率の調合値は空気量ゼロとしている。

### 2.4 試験体作製

各調合で混練した POC の結合材を同一にするため，例えば結合材 W/C35%の POC を，図-2 に示す工程で，結合材であるセメントペースト，調合空隙率 0%，次に 20%の POC の順でこれらを混練し型枠へ打設した。結合材 W/C25%の POC も同様に，結合材，調合空隙率 0%，10%，20%，次に 30%の順で作製した。作製した同一調合の試験体数は，結合材は 5 体，POC は 10 体である。ただし，各結合材 W/C の POC ともに，最終混練の量が，設計値を超えていたため，結合材 W/C25%かつ調合空隙率 30%の群は 24 体，結合材 W/C35%かつ調合空隙率 20%は 21 体とした。これは骨材が結合材を被覆すること(図-1 参

照)かつ混練方法(図-2 参照)が原因で，空隙率が調合空隙率より高いためと考えられる。ゆえに，調合空隙率 0%超の POC は，ミキサ内の各種材料の混練量が調合値と差異がある。

混練は，容量 100l の二軸強制練ミキサを使用している。なお，POC を，管理用型枠に棒突き回数 2 層 30 回突きで詰め込み(3.1 参照)，次に，型枠の上面に揃うようならした。POC の強度用試験体は，打設後，手動による時間 10 秒でバイブレーションタンパ(起振力 1.23kN)による振動締め固めを施した

型枠に打設した結合材と POC は，材齢 3 日後に脱型し，28 日強度実施日まで水中養生をした。なお，材齢 21・22 日に空隙率試験を実施している。

### 2.5 試験方法

#### (1) 骨材

実積率試験は，JIS A 1104 に準拠した。ただし，標本サイズは 5，容器は管理用型枠，また棒突き回数は 2 層 30 回である(3.1 参照)。

#### (2) フレッシュ POC・セメントペースト

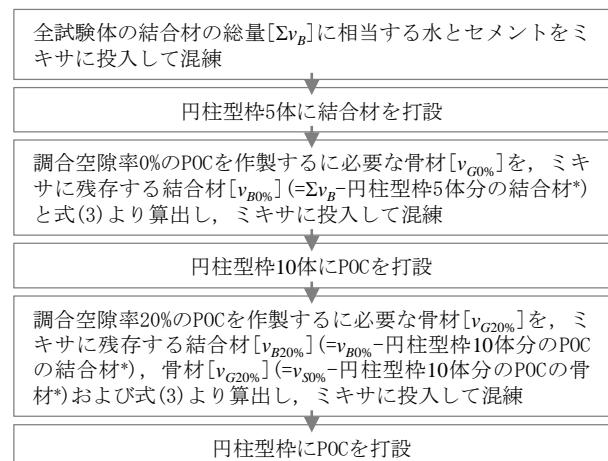
結合材であるセメントペーストの空気量を JIS A 1128，フロー値を JIS R 5201 に準拠して計測した。なお，これら結果は表-2(3.4 参照)に示してある。

フレッシュ POC の打設時の骨材容積率と結合材容積率を JIS A 1112 に準拠して次式で計測している。

$$V_{Ge} = \frac{M_G}{\rho_G \cdot v} \quad (4)$$

$$V_{Be} = \frac{M - M_G}{\rho_B} \quad (5)$$

ここに， $V_{Ge}$ ， $V_{Be}$ ：フレッシュ POC の打設時の骨材容積率および結合材容積率， $M_G$ ：JIS A 1110 の試料の調整方法に準拠して表乾状態にした骨材(管理用型枠内の POC を洗い流して採取)の質量， $M$ ：管理用型枠への打設時のフレッシュ POC の質量， $v$ ：管理用型枠の容積， $\rho_G$ ：骨



\*円柱型枠内の結合材と骨材の量：調合設計に基づき算出

図-2 POC混練と型枠打設の流れの例(結合材W/C35%)

材の表乾密度,  $\rho_B$ : 結合材の調合値かつ空気量から算出した結合材の密度

### (3) 硬化 POC

空隙率試験は JCI-SPO2-1 の容積法に準拠した。容積法では、結合材内の空気などを含む連続していない空隙の計測が困難と考えられるため<sup>2)</sup>、ここでは、硬化 POC の空隙率は、結合材の空気を含めない。

圧縮強度は JIS A 1108, 静弾性係数は JIS A 1149 に準拠して計測した。ただし、POC は、コンプレッソメータとの接点に、厚さ 0.3mm のアルミを 3 枚挿入している。なお、硬化 POC および結合材の試験体の平滑を確保するため、それぞれ両端面を各々硫黄キャッピングおよび研磨した。球座を固定とする圧縮試験では、球座と試験体上端部が接触した後、球座を回転しないように固定した。同一条件試験体群の標本サイズは、球座固定の群は 5, 球座自由の群は 11 である。

## 3. 実験結果・考察

### 3.1 骨材の実積率

表-1 に、骨材の実積率試験結果を示す。JIS 容器実積率を母平均とする管理用型枠による実積率の母平均の  $t$  検定では、有意水準 5% で有意差なしと判定される。そこで、本実験では、POC の管理用型枠への打設において、棒突き回数を 2 層 30 回とした。この管理用型枠に詰め込まれている骨材を、結合材容積率ゼロ群(打設時の骨材容積率および空隙率それぞれの標本平均 57.2%, 打設時の空隙率の標本平均 42.8%)の POC と仮定する。

### 3.2 洗い試験(フレッシュ POC)

洗い試験における結合材 W/C25% の調合空隙率 0% と 10% の各群は、各 1 体、人為的過失で打設時の POC の質量を計測していないため、打設時の結合材容積率と空隙率の標本サイズは 4 である。

打設時の空隙率は、調合値を打設時の観測値に置換した式(3)を空隙率について解いた式(6)から算出した。

$$P_e = 1.0 - (V_{Ge} + V_{Be}) \quad [V_{Ge}: \text{式(4)}, V_{Be}: \text{式(5)}] \quad (6)$$

ここに、 $P_e$ : フレッシュ POC の打設時の空隙率

#### (1) 標本平均

図-3 に、標本平均の打設時の骨材容積率と空隙率の関係に及ぼす結合材 W/C の影響を示す。印は標本平均、曲線は式(7)である。

$$V_{Gem} = G_0 \cdot e^{-\beta(R_0 - P_{em})} \quad (7)$$

ここに、 $V_{Gem}$ : 打設時の骨材容積率の標本平均,  $G_0$ ,  $P_0$ : 結合材容積率ゼロ群の打設時の骨材容積率および空隙率の標本平均(3.1 参照),  $P_{em}$ : 打設時の空隙率の標本平均,  $\beta$ : 実験変数

式(7)は、結合材容積率ゼロ群の標本平均の座標 [42.8%, 57.2%] を通ると仮定した条件付きの近似式である。実験変数 $[\beta]$ を、標本平均と近似値の差の二乗和が最小となる式(8)とした。なお、図中には、全群を対象とした標本平均と近似値の差(誤差)の基本統計量が示してある。

$$\beta = \begin{cases} 1.49 & (\text{結合材 W/C25\%}) \\ 0.47 & (\text{結合材 W/C35\%}) \end{cases} \quad (8)$$

同図に示す誤差を許容すると、各結合材 W/C 群ともに、標本平均の打設時の骨材容積率と空隙率は正の関係になる。これは、調合空隙率が高いほど、隣り合う骨材間の距離が短いためと考えられる(図-1(a)参照)。

同図より、同一の打設時の骨材容積率において、結合材 W/C 35% の群は 25% と比較して、打設時の空隙率が低いことがわかる。これは、結合材の流動性が高いほど、結合材被覆骨材の接触面積が増えることが起因していると考えられる(図-1(b)参照)。

#### (2) 観測値

図-4 に、観測値の打設時の骨材容積率と打設時空隙率の関係を示す。観測値を表す印の枠線の実線と点線は、隣り合う調合空隙率群を識別するために記している。図中には同一条件試験体を対象とした最小二乗法による線形近似線とその傾きが示してある。同図に示すように、近似線の傾きは、全群ともに負である。

同図の近似線の傾きと打設時の空隙率の標本平均と

表-1 骨材の実積率試験結果

JIS 容器 実積率	管理用型枠で測定した実積率				
	標本 サイズ	標本平均 $m$	標本標準偏差 $s$	最大値 $max$	最小値 $min$
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
57.7	5	57.2	0.621	57.8	56.3

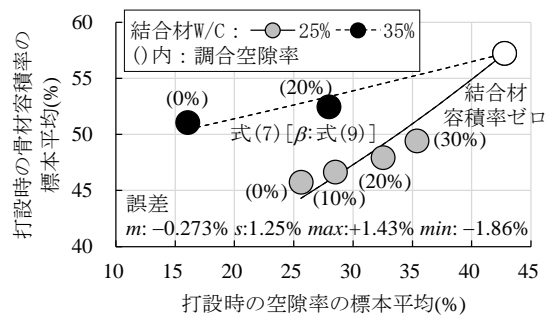


図-3 打設時の骨材容積率(標本平均)

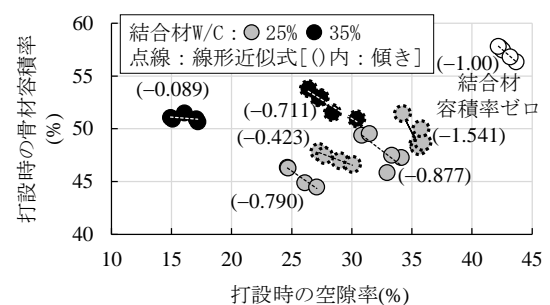


図-4 打設時の骨材容積率(観測値)

の関係を図-5 に印で示す。実線は、結合材容積率ゼロ群の座標〔42.8%, -1.0〕と原点(打設時の空隙率がゼロは傾きゼロ)を通ると仮定した条件を満たす式(9)である。

$$\gamma = -\frac{P_{em}}{P_0} \quad (9)$$

ここに、 $\gamma$ : 同一試験条件の打設時の骨材容積率と空隙率の関係の傾き

全試験体を対象とした式(9)の推定値と近似値の傾きの相関係数は+0.86 である。そこで、観測値の打設時の骨材容積率と空隙率の関係を、標本平均の座標〔 $P_{em}$ ,  $V_{Gem}$ 〕を通る式(10)で表現する。

$$V_{Ge} = \gamma \cdot P_e + (V_{Gem} - \gamma \cdot P_{em}) \quad [V_{Gem}: \text{式(7)}, \gamma: \text{式(9)}] \quad (10)$$

図-6 に、打設時の骨材容積率の誤差(観測値と推定値(式(10)〔 $\beta$ :式(8)〕)の差)を示す。横軸はと打設時の空隙率の観測値である。図中には、全試験体を対象とした誤差の基本統計量が示してある。

同図に示す誤差を許容すると、同一試験条件の打設時の骨材容積率と空隙率の観測値は図-4 に示すような負の関係となる。なお、観測値の打設時の結合材容積率と空隙率の関係は、調合値を観測値に置換した式(3)を打設時の結合材容積率について解いた式(11)より、負であることがわかる。

$$V_{Be} = -P_e + (1.0 - V_{Ge}) \quad [V_{Ge}: \text{式(10)}] \quad (11)$$

### 3.3 空隙率試験(硬化 POC)

硬化 POC の骨材容積率を式(12)、打設時の空隙率を、式(13)で算出する。

$$V_G = V_{Ge} \frac{h_0}{h} \quad [V_{Ge}: \text{式(10)}] \quad (12)$$

ここに、 $V_G$ : 硬化 POC の骨材容積率、 $h$ : 試験体の高さ、 $h_0$ : 管理用型枠の公称内高

$$P_e = 1.0 - \frac{M_1 - M_2}{v} \quad (13)$$

ここに、 $P_e$ : 硬化 POC の打設時の空隙率、 $M_1$ : 24 時間以上水中養生した試験体の水中質量、 $M_2$ : 温度 20°Cかつ相対湿度 60%の恒温室内にて 24 時間自然放置した後の気中質量

硬化 POC は打設時の骨材容積率を計測していないため、式(12)は 3.2 節で提示した式(10)を用いている。

図-7 に、骨材控除空隙率と打設時の骨材控除空隙率の関係を示す。印は式(14)(15)で計測した観測値である。

$$p = \frac{P}{1.0 - V_G} \quad [V_G: \text{式(12)}] \quad (14)$$

$$pe = \frac{P_e}{1.0 - V_{Ge}} \quad [V_{Ge}: \text{式(10)}, P_e: \text{式(13)}] \quad (15)$$

ここに、 $p$ : 硬化 POC の骨材控除空隙率、 $P$ : 硬化 POC

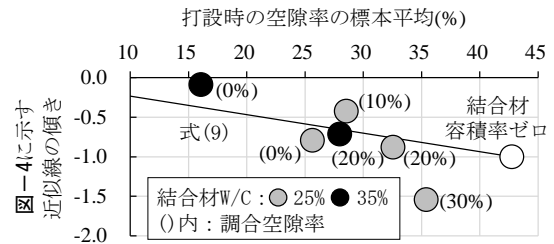


図-5 図-4に示す線形近似線の傾き

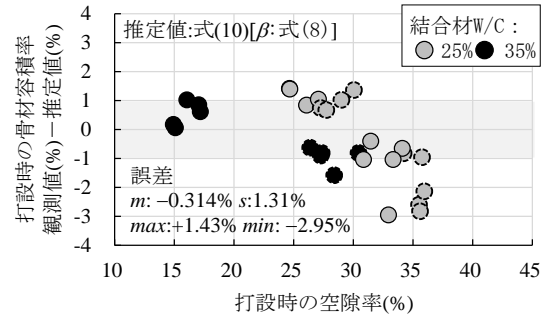


図-6 打設時の骨材容積率の観測値と推定値の誤差

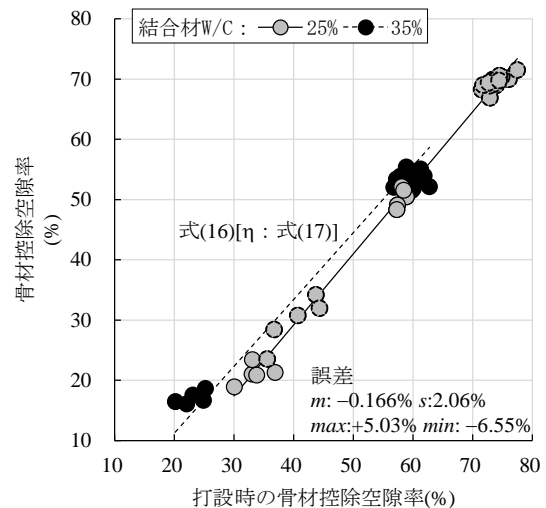


図-7 硬化POCの骨材控除空隙率

の空隙率、 $p_e$ : 硬化 POC の打設時の骨材控除空隙率  
図中の直線は、式(16)である。

$$p = \eta \cdot p_e + (1.0 - \eta) \quad (16)$$

ここに、 $\eta$ : 実験変数

式(16)は、結合材容積率ゼロの座標〔(100%,100%)〕を通ると仮定した条件付きの近似式である。骨材控除空隙率を用いることで、このような条件を設けることができる。実験変数〔 $\eta$ 〕は、観測値と近似値の差の二乗和が最小となる式(17)とした。

$$\eta = \begin{cases} 1.18 & (\text{結合材W/C}25\%) \\ 1.11 & (\text{結合材W/C}35\%) \end{cases} \quad (17)$$

図中には、全試験体を対象とした観測値と近似値の差(誤差)の基本統計量が示してある。

同図に示す誤差を許容すると、各結合材 W/C 群とも

に、骨材控除空隙率とその打設時の関係は正となる。なお、同図より、同一の打設時の骨材控除空隙率において、結合材 W/C 35%群は 25%群と比較して、骨材控除空隙率が高いことがわかる。これは、結合材の流動性が高いほど、打設時の骨材容積率が高い、かつ結合材被覆骨材の接触面積が大きいため(図-1(b)参照)、締固めによる空隙率の減少が小さいことが起因していると考えられる。

### 3.4 結合材の静弾性係数・圧縮強度

表-2 に、結合材の圧縮試験結果を示す。表中には、結合材のフロー値と空気量が示してある。結合材 W/C35%の静弾性係数は、人為的過失で変位を計測していないサンプル 1 体を対象から除外している。以降、結合材の圧縮強度および静弾性係数を同表の標本平均とする。

### 3.5 静弾性係数・圧縮強度に及ぼす球座自由度の影響

表-3 に、各球座自由度の POC の圧縮試験結果を示す。表中には、空隙率が併せて示してある。全項目の球座固定と自由の平均値の差は、t 検定において、有意水準 5% で有意差なしと判定される。

表-4 に、静弾性係数計測可否別の POC の圧縮強度を示す。表中には、空隙率が併せて示してある。なお、球座自由度を無視している。全項目ともに、計測可否の平均値の差は、t 検定において、有意水準 5% で有意差なしと判定される。

以上より、以降、圧縮強度と静弾性係数に及ぼす球座自由度と静弾性係数計測可否の影響はないと仮定し、各球座の自由度、静弾性係数の計測可否の試験体ともに同一条件試験体として扱う。

### 3.6 静弾性係数と空隙率の関係

#### (1) POC の静弾性係数と空隙率の関係(観測値)

図-8 に、硬化 POC の静弾性係数と空隙率の関係を示す。印は観測値、直線は各結合材 W/C 群の線形近似線である。図中には各結合材 W/C 群の相関係数[R]が示してある。同図に示すように、硬化 POC の静弾性係数と空隙率の観測値は負の相関がある。

#### (2) 骨材の静弾性係数

骨材の静弾性係数は未知である。そこで、補正係数 1.0、換言すると、硬化 POC の空隙率をゼロとした式(2)の推定値と図-8 に示す線形近似線の切片を比較して、骨材の静弾性係数を推定する。なお、空隙率がゼロの硬化 POC の骨材容積率を式(18)の推定値とする。

$$V_G = V_{Ge} \frac{1.0}{1.0 - p_e} \quad (p=0) \quad (18)$$

式(18)の打設時の空隙率 $[p_e]$ は、式(15)を代入した式(16)  $[\eta; \text{式}(17)]$ を、打設時の空隙率について解いた近似値とした。また、この値を打設時の空隙率の標本平均に置換して式(7)  $[\beta; \text{式}(8)]$ に代入して求まる近似値を、式(18)の打設時の空隙率 $[V_{Ge}]$ とした。これら値を表-5 に示す。

表-2 結合材の圧縮試験結果

結合材 W/C (%)	結合材フロー値 (mm)	空気量 (%)	圧縮強度			静弾性係数		
			n	m	s/m (%)	n	m	s/m (%)
25	156	3.6	5	71.8	6.99	5	24.6	8.32
35	179	1.8	5	65.0	8.02	4	20.8	3.66

表-3 各球座自由度別の POC の圧縮試験結果

項目	球座固定			球座自由		
	n	m	s	n	m	s
空隙率 (%)	5	23.3	0.64	11	23.5	0.91
静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	4	21.2	3.74	7	19.9	5.22
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	5	13.1	3.58	11	15.0	1.97

表-4 静弾性係数計測可否別の POC の圧縮強度

項目	可			否		
	n	m	s	n	m	s
空隙率 (%)	11	23.4	0.74	5	23.3	1.07
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	11	14.2	2.93	5	14.9	1.83

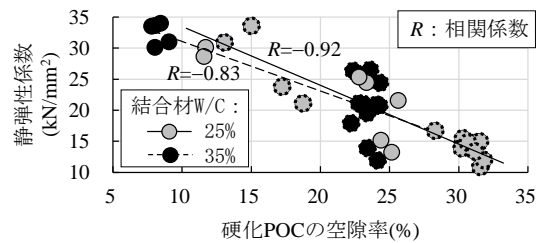


図-8 静弾性係数と空隙率(観測値)

表-5 空隙率ゼロの硬化 POC の各項目(近似値)

結合材 W/C	25%	35%	備考
静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	43.0	39.0	図-8 の線形近似線の切片
打設時の空隙率 (%)	15.2	9.91	式(16) $[\eta; \text{式}(17), p=0]$
打設時の骨材容積率 (%)	37.9	49.0	式(7) $[\beta; \text{式}(8)]$
骨材容積率 (%)	44.7	54.4	式(18)

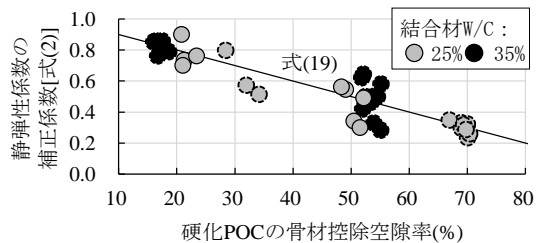


図-9 式(2)の補正係数

同表に示す空隙率ゼロの硬化 POC の骨材容積率、結合材の静弾性係数(3.4 参照)および補正係数 1.0 を式(2)に代入して得られる空隙率ゼロの硬化 POC の静弾性係数と図-8 に示す近似線の切片(表-5 中の静弾性係数)の相対誤差の二乗和が最小値となる骨材の静弾性係数は 86.1kN/mm<sup>2</sup>である。以降、この値を骨材の静弾性係数とする。なお、砂岩碎石の静弾性係数は、56.2~89.0 kN/mm<sup>2</sup>程度程度の推定値または実測値が得られている<sup>3)</sup>。

#### (3) 静弾性係数の補正係数

図-9 に、硬化 POC の式(2)の補正係数と骨材控除空隙率の関係を示す。印は式(2)で解いた補正係数、実線は補正係数がゼロの座標 $[(100\%, 0.0)]$ 、1.0 の座標 $[(0\%, 1.0)]$ それぞれを通ると仮定した条件を満たす式(19)である。

$$C = -p + 1.0 \quad (19)$$

全試験体を対象とした式(19)の推定値と式(2)で解いた補正係数の相関係数は+0.91である。このことを踏まえ、式(2)の補正係数を式(19)とする。

図-10に、POCの静弾性係数の観測値と推定値[式(2), C:式(19), p:式(14)]の相対誤差を示す。横軸は、打設後の骨材控除空隙率の観測値である。図中には全試験体を対象とした相対誤差の基本統計量が示してある。

同図に示す相対誤差を許容すると、硬化POCの静弾性係数は、骨材控除空隙率と関連すると考えられる。なお、推定値は、空隙率がゼロの硬化POCと粗骨材の静弾性係数の近似値を用いているため、今後は、これらを観測値に基づき検討する必要がある。

### 3.7 圧縮強度と空隙率の影響

図-11(a)(b)に、硬化POCの圧縮強度と空隙率および骨材控除空隙率それぞれの関係を示す。印は観測値を表している。同図(a)の曲線は、式(1)を表しており、実験変数 $[\alpha]$ は、誤差(観測値と近似値の差)の二乗和が最小となる6.92とした。同図(b)の曲線は、式(20)を表している。

$$F = -F_0 \cdot p^\psi + F_0 \quad (20)$$

ここに、 $\psi$  : 実験変数

式(20)は、骨材控除空隙率がゼロの座標 $[(0.0, F_0)]$ 、100%の座標 $[(100\%, 0.0)]$ それぞれを通ると仮定した条件付きの近似式である。実験変数 $[\psi]$ は、誤差(観測値と近似値[式(20)]の差)の二乗和が最小となる+0.362とした。各図中には全試験体を対象とした相対誤差の基本統計量が示してある。

全試験体を対象とした図(a)と図(b)の相対誤差は、相関係数が+0.96であり、正の相関がある。また、相対誤差の平均値の差は、t検定において、有意水準5%で有意差なしと判定される。これらを踏まえ、同図に示す相対誤差を許容すると、硬化POCの骨材控除空隙率は、空隙率と同様に圧縮強度と関連すると考えられる。

### 4. おわりに

本論で得られた知見を、次のように整理する。

- 1) フレッシュPOCの打設時の骨材容積率と空隙率は、標本平均では正、同一試験条件の観測値では負の関係がある。
- 2) 結合材の流動性が高いほど、打設時の骨材容積率が高いため、締固めによる空隙率の低下量が小さくなる。
- 3) 圧縮強度と静弾性係数は、硬化POCの骨材控除空隙率と関連する。
- 4) 圧縮試験結果に及す球座自由度の影響はない。

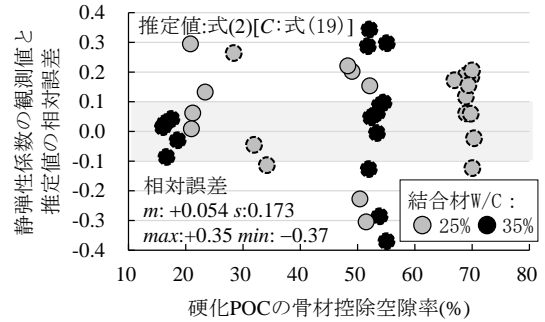
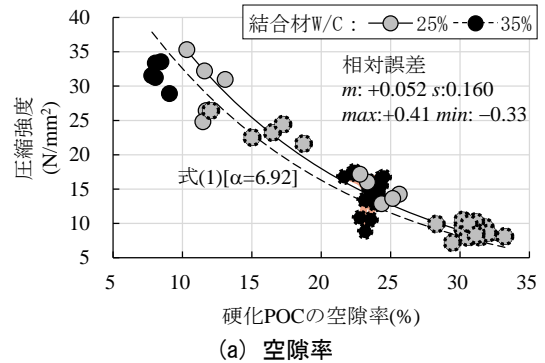
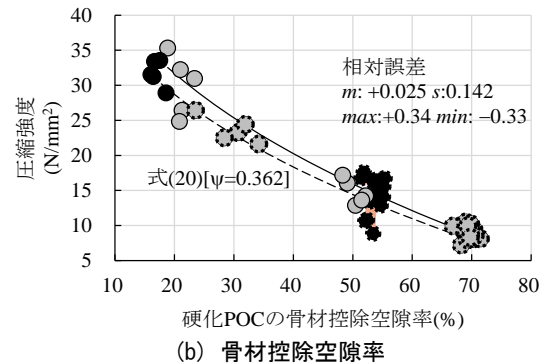


図-10 静弾性係数の観測値と推定値の相対誤差



(a) 空隙率



(b) 骨材控除空隙率

図-11 圧縮強度と各種空隙率(観測値)

### 謝辞

本論文の研究成果は、平成31年度愛知工業大学研究特別助成の支援による。また本実験を遂行するにあたり、愛知工業大学本科生の水野佑紀様、早川葵様、原田沙耶様のご助力を得た。

### 参考文献

- 1) 山本貴正, 山田将也, 河野伊知郎, 小池狭千朗: 締固めの影響を考慮したポーラスコンクリートの空隙率に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1475-1480, 2011
- 2) 畑中重光(編著): 透水性コンクリート(POC)の基礎と実践, コンクリート新聞社, 初版, 2019.8
- 3) 齋藤俊克, 出村克宣: 複合則を適用したポーラスコンクリートの静弾性係数推定式の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.723, pp.825-832, 2016.5