ポーラスコンクリートの施工標準（案）の作成にむけて

畑中重光*1・三島直生*2・森鼻泰大*3・中川武志*4

概　要　ポーラスコンクリートは，普通コンクリートには無い優れた透水性，保水性，揚水性などの機能を有しており，それらの機能に着目した施工例がいくつか報告されている。その設計・施工方法などについては，日本コンクリート工学協会から，2003年にポーラスコンクリート研究委員会報告書[1]が発刊されているが，その後の研究の進歩により，新たに記載されるべき項目や修正されるべき項目が見られるようになってきた。特に，実施工における品質管理方法や締固め程度に関する研究は，ここ数年で大きく進歩しており，これらの内容を整理することで，施工者にとって，今まで以上にポーラスコンクリートが取り扱いやすく，かつ品質の安定した材料になると考えられる。本稿は，筆者らの研究成果を中心に，新たに明らかになった知見を踏まえて，文献1）の内容を検討したものである。

キーワード：ポーラスコンクリート，施工標準，実施工，品質管理，供試体，空隙率，締固め

1.　はじめに

ポーラスコンクリートは，普通コンクリートには無い有用な特性を持ち，環境改善の分野を中心に今後さらに適用が進むと予想される。しかしその一方で，製造・施工方法および品質評価の方法などについては不明な部分が多く，特に品質管理が難しい現場施工において，普通コンクリートと同じと考えて安易に施工した場合には，必要な性能を満たさない粗悪なポーラスコンクリートが生産される恐れがある。

このような問題を解決する方法として，各種の規準類および施工標準等の整備がある。しかし，2003年に，日本コンクリート工学協会から，ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会（委員長：玉井元治・近畿大学教授（当時））の報告書[1]が発刊されて以降，国内におけるポーラスコンクリートに関する各種の規準類および施工標準の整備に関する議論はほとんど進んでいないのが実状である。

筆者らはこれまでに，ポーラスコンクリートに関する基礎的な物理特性から，**写真-1**に示すような実施工実験[2]を含む製造・施工方法および品質管理方法に至る一連の研究を行ってきた。これらの研究成果からは，上記の研究委員会報告書[1]の記述に対して修正の必要があると思われる部分もいくつか出てきている。本稿では，このうちの主要なものについて，実験データと併せて解説するとともに，指針の修正案を提示し，今後の施工標準策定への一助とすることを目的とする。

＊1　はたなか・しげみつ／三重大学大学院 工学研究科 建築学専攻 教授（正会員）
＊2　みしま・なおき／三重大学大学院 工学研究科 建築学専攻 准教授（正会員）
＊3　もりはな・ひろとも／三重大学大学院 工学研究科 建築学専攻 院生（正会員）
＊4　なかがわ・たけし／㈱ファイナルマーケット 代表取締役（正会員）

写真-1　ポーラスコンクリートを用いた歩道[2]

2.　研究委員会報告書[1]に対する修正案

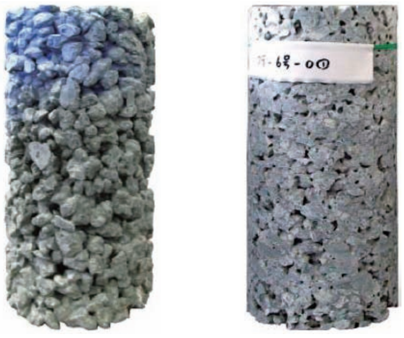
2.1　実施工時の品質管理に用いる供試体

硬化後のポーラスコンクリートの品質評価試験項目は各種提示されているが，その中でも最も基本的で，かつ多くの測定結果が報告されているのが空隙率および透水係数であろう。また，強度特性としては，圧縮強度および曲げ強度があるが，その中でも，圧縮強度で物理的な強度および耐久性を代表させることが多い。上記の空隙率，透水係数および圧縮強度の測定には，普通コンクリートと同じ直径100 mm高さ200 mmの円柱供試体が多く用いられてきた。研究委員会報告書[1]には，供試体の作製方法に関して以下の記述がある（稿末の付表参照）。

> **ポーラスコンクリートの供試体の作り方（案）**
> **4.　円柱供試体の場合**
> **4.3.2　締固め**　ポーラスコンクリートの締固めは，ポーラスコンクリートの施工方法に応じて，締固め方法，締固め時間，振動機等を選定する。
> （5.3.2節に，角柱供試体に対しても同様な記述あり）

上記のように，円柱型枠にポーラスコンクリートを打設することを前提とした記述がなされているが，この部分が実施工時のポーラスコンクリートの品質管理における大きな問題点を含んでいると考えられる。

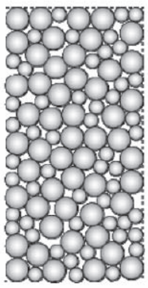
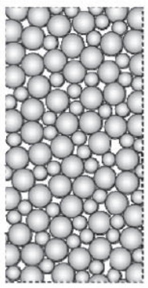
写真−2 に円柱供試体とコア供試体を，**表−1** に両者の供試体の相違点を示す。なお，コア供試体とは，実際に施工されたポーラスコンクリートから抜き取った供試体を意味する。表−1 に示したように，実施工されたポーラスコンクリートの品質管理用に円柱供試体を用いると，（1）実際の締固めとの相違，（2）型枠の壁効果，などの問題が生じるといえる。一方で，コア供試体を用いた場合は，円柱供試体の際にはあまり問題とならなかった（3）供試体の高さ h と直径 d との比（以下，高さ直径比 h/d と略記）の影響について考慮する必要がある。ここでは上記の３点について考察を行い，コア供試体を用いて品質管理を行うことの重要性と問題の解決策を示す。



（a）　円柱供試体　　　　　（b）　コア供試体

写真−2　円柱供試体とコア供試体

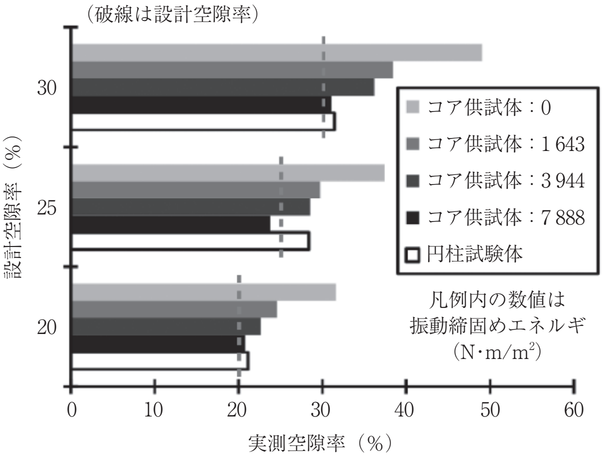
表−1　円柱供試体とコア供試体の相違点

	円柱供試体	コア供試体
概念図		
(1)実際の締固めとの相違	あり	なし
(2)壁効果*1	あり	なし
(3)供試体の高さ直径比 h/d	一定	様々
コア抜き作業	なし	あり
その他	スラブを傷つけない	スラブを傷つける

注）＊1：壁効果には幾何学的効果と力学的効果があるが，ここでは幾何学的効果を意味する。

（1）　実施工時の締固めとの相違

図−1 に，筆者らが実際に行ったポーラスコンクリート歩道の施工実験[3] から得られた円柱供試体とコア供試体の空隙率の比較を示す。ここで，コア供試体とは，締固め条件を変化させたポーラスコンクリート歩道から直接採取したものである。ポーラスコンクリート歩道の締固めには，市販の振動コンパクタの底板を拡幅して試作したポーラスコンクリート用仕上げ機（後掲の写真−3 参照）を用い，通過回数により振動締固めエネルギ[4] を



図−1　円柱供試体とコア供試体の空隙率の比較[3]

For Establishment of Porous Concrete Construction Standard

By S. Hatanaka, N. Mishima, H. Morihana and T. Nakagawa

Concrete Journal, Vol.49, No.4, pp.30〜37, Apr. 2011

Synopsis　Porous concrete (POC) or pervious concrete is a special concrete consisting of coarse aggregate and cementing matrix (paste or mortar) with intentionally incorporated continuous voids. The POC provides high environmental performance in terms of water permeability/drainage, water retention, water pumping, air permeability, sound absorbency, tolerance to the presence of plants and other organisms, etc. Recently, application of the POC is gradually increased in the actual construction. The former technical committee of porous concrete in JCI has already published a draft of design and construction code in 2003. Since further information has been gained afterwards, it is considered the high time to review the draft and revise the document. In this technical report, a few parts of the earlier draft code is revised and added with new findings, spotlighting quality control and compaction method which are quite important for the actual application of the POC, mainly based on the author's research reports.

Keywords：porous concrete, construction standard, actual construction, quality control, specimen, void ratio, compaction

4水準に変化させた。円柱供試体は円柱型枠にポーラスコンクリートを2層で詰め，各層ごとに突き棒で15回突固めを行って作製した。この締固め条件は，普通コンクリートの施工現場における円柱供試体の採取方法を準用している。

同図より明らかなように，ポーラスコンクリートでは，締固めにより空隙率および容積が大きく変化することが特徴であり，振動締固めに使用したエネルギが増大することで，ポーラスコンクリートの空隙率（コア供試体の空隙率）が低下していることがわかる。これに対して，円柱供試体の空隙率の実測データには，コア供試体のそれと近いものも見られるが，設計空隙率にかかわらず特定のコア供試体と対応しているというわけではない。

以上のように，ポーラスコンクリートでは，普通コンクリートと比べて，硬化体の品質（空隙率）に及ぼす施工方法の影響が非常に大きい。具体的には，締固めの程度によって空隙率が変化し，その結果，透水性や強度といった物理特性が変化する。ここでポーラスコンクリートの実施工では，大規模のものではアスファルトフィニッシャなどが，また小規模のものでは振動ローラや振動コンパクタが用いられる。円柱供試体を作る際は，これらの機材で型枠内のポーラスコンクリートを締め固めることは不可能であり，必然的に他の方法（例えば，突き棒や表面振動機，テーブルバイブレータなど）を用いることになる。

この他にも，後述する型枠の壁効果を考慮すると，同一の配（調）合のポーラスコンクリートを用いたとしても，円柱型枠を用いて作製された供試体は，実際に施工されたポーラスコンクリートとは別のポーラスコンクリートと判断するのが妥当であり，実施工における品質評価試験には適さないことになる（ただし，実験室において円柱試験体に関する試験を行う場合はこの限りではない）。

この問題に対する現状での最良の対策は，現場で採取されたコア供試体を用いて品質評価を行うことであろう。コア供試体とした場合の問題点としては，コア採取の作業が増えること，完成した製品（舗装やスラブを含む）に傷をつけてしまうこと，およびその傷の補修作業が増えることである。施工現場においてこれらの負担増がどの程度許容されるか，についても規準作成に向けて議論が必要となる。

（2） 壁効果による影響

前項で述べた締固め程度に関しては，仮に同じ締固め程度で円柱供試体が作製できたとしても，壁効果による誤差が発生する。ここで壁効果には，幾何学的効果と力学的効果があるが，主に幾何学的効果によって骨材の実積率が低下し，ポーラスコンクリートの空隙率や透水係数が上昇することが指摘されている[1),5)]。以下では，幾何学的な壁効果の有無がポーラスコンクリートの圧縮強度および透水係数に与える影響を考察する。

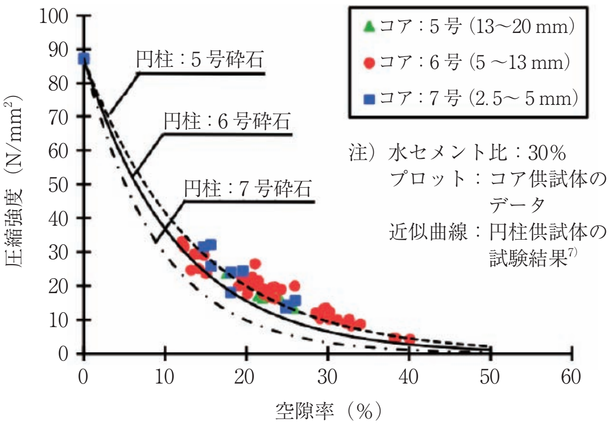


図-2 円柱供試体とコア供試体の違いが圧縮強度に与える影響[6)]

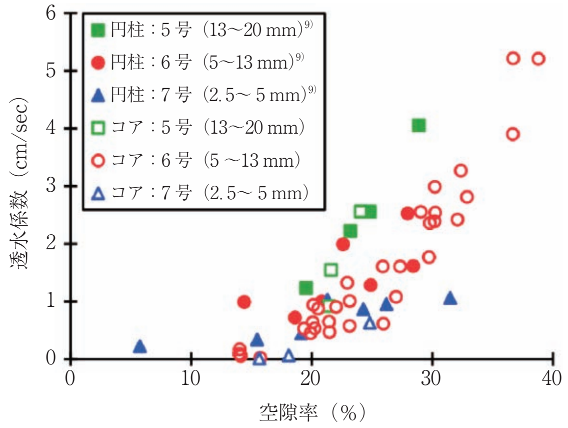


図-3 円柱供試体とコア供試体の違いが透水係数に与える影響[6)]

図-2に，円柱供試体とコア供試体の違いが圧縮強度と空隙率の関係に及ぼす影響を示す[6)]。ここで，円柱供試体の締固めは表面振動機（振動締固めエネルギ：90 kN·m/m²）により行い，コア供試体は振動コンパクタ（振動締固めエネルギ：5.5 kN·m/m²）により行っている。また，コア供試体の圧縮強度の算定には，後述の高さ直径比 h/d の補正を適用している。

同図より，円柱供試体の近似曲線よりもコア供試体のプロットの方が，上方にあることがわかる。すなわち，同一空隙率における圧縮強度は，コア供試体と比較して円柱供試体の方が低くなっている。これは，壁効果による空隙分布の不均一性が影響しているためと考えられる。すなわち，円柱供試体では壁効果の影響があるため，外周部に比較的大きな空隙が存在し，応力が中心部分に集中することにより，強度が低下したと考えられる。また，コア供試体の圧縮強度と空隙率との関係には，文献7）で指摘したような粒径の影響が明確には現れていない。これは，実施工における締固めが，円柱供試体で行われているものと比較して，遥かに弱いものであったため，結合材の垂れの影響が現れなかったことが一因と考えられる。

図-3に，円柱供試体とコア供試体の違いが透水係数

に与える影響を示す[6]。同図より，ばらつきはあるものの，供試体の種類に関係なく，空隙率と透水係数との関係は，骨材粒径ごとにおおむね同程度であることがわかる。これは，円柱供試体表面に壁効果による空隙を埋めるためのウレタンシート（非透水）を巻いて測定[8]したこと，および比較的透水係数が大きい領域での透水試験は，試験精度が低下するため，供試体の違いが明確に現れないこと，などによると考えられる。

（3） 供試体の高さ直径比 h/d による影響

現場施工のポーラスコンクリートの場合，スラブ状に成型されることが多いため，実部材から採取できるコア供試体は高さ直径比 h/d が2.0を下回ることも少なくない。

普通コンクリートでは，「JIS A 1107 コンクリートからのコア採取方法及び圧縮強度試験方法」において，採取されたコア供試体の圧縮強度試験を行う場合の高さ直径比 h/d による補正係数が示されている。しかし，これまでポーラスコンクリートについては，供試体の高さ直径比 h/d が圧縮強度に与える影響は不明であり，施工されたポーラスコンクリートの圧縮強度を正確に把握するためにも，この影響を把握する必要があった。以下，筆者らが既報[10]において報告した実験結果について概要を紹介する。

図-4 に，ポーラスコンクリートの標準供試体に対する圧縮強度比と高さ直径比 h/d との関係を示す（ただし同図は，参考文献10）の図に一部加筆してある）。以下の式（1）は，供試体の高さ直径比 h/d が0.5～2.0の範囲の圧縮強度補正係数である。

$$n = 1/\left[a\exp\left\{b(2-x)\right\}+c\right] \qquad (1)$$

ここに，n：圧縮強度補正係数，x：供試体の h/d 比（$0.5 \leqq h/d \leqq 2.0$），a，b，c：実験定数，$a=0.03$，$b=2.2$，$c=0.97$

なお，実験結果によれば，水セメント比（25～45％）および空隙率（15～30％）の影響は比較的小さい。**図-4** によれば，補正係数は，$h/d=1.5$ において0.94程度，$h/d=1.0$ において0.81程度となり，JIS A 1107の値と比較すると若干小さい値となった。

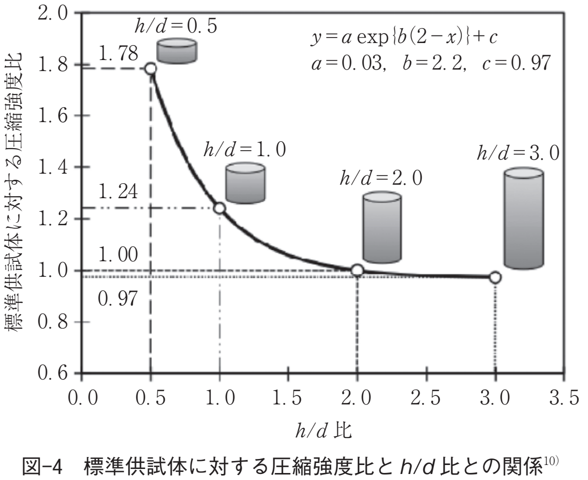


図-4　標準供試体に対する圧縮強度比と h/d 比との関係[10]

以上の検討結果を反映するために，実施工におけるポーラスコンクリートの品質管理用供試体の採取および圧縮試験に関する項目において，以下の記述を追加することを提案する。

> **供試体の採取方法**　施工されたポーラスコンクリートの品質評価を行うための供試体の採取は，施工対象の品質を代表する部位からコアボーリングにより採取することを基本とする。
>
> **圧縮強度試験時の供試体の高さと直径の比の補正**　圧縮強度試験を行う供試体の高さと直径との比が1.90より小さい場合は，試験で得られた圧縮強度に補正係数*を乗じて直径の2倍の高さをもつ供試体の強度に換算する。
> ［注］＊：図-4および式（1）参照

2.2　ポーラスコンクリートの締固め

研究委員会報告書[1]において，実施工の範囲での締固め（河川護岸の締固めや道路舗装の締固め）に関する記述はいくつか見られるが，ここでは実験や検討が比較的進んでいる道路舗装の締固めについて検討する。

研究委員会報告書には，現場打ちのポーラスコンクリートで道路舗装の場合の締固めに関し，以下の記述がある。

> **4.2.2　道路舗装**
> **（2）　敷均しおよび仕上げ**
> 4）　締固めは，所定の品質が確保されるように適切な方法で実施しなければならない。

上記の記述では，施工者は具体的にどのような締固めをどの程度行えば，所定の品質（特に空隙率）が得られるのか不明である。筆者らは，このような問題を踏まえ，施工者にとってより明解な締固め方法（すなわち，空隙率の制御方法）について検討を重ねてきた。そこで，路盤の転圧などに用いられている従来の振動コンパクタを用いて締固めを行うと，強力に締め固められる一方で，表層に不陸が発生するといった問題があることから，新

4.9 kN　　2.8 kN　　4.9 kN　　7.0 kN

写真-3　表面振動機（左：市販の振動コンパクタ，右3機：仕上げ機，写真下の数値は起振力）

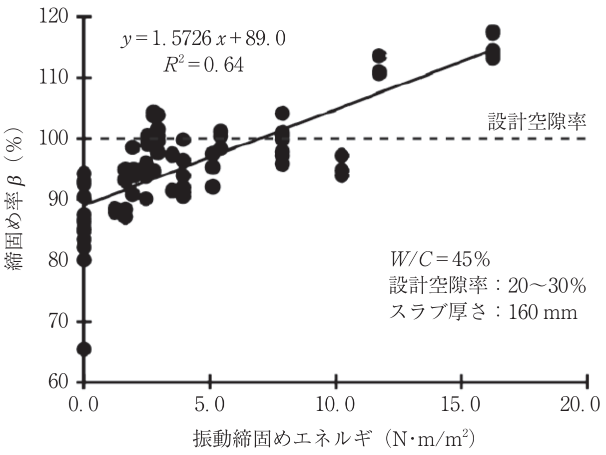


図-5　締固め率βと振動締固めエネルギとの関係

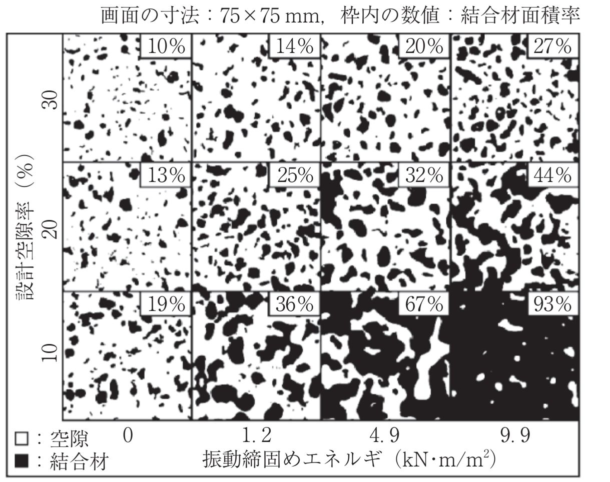


図-6　振動締固めエネルギとスラブ底面の結合材の垂れ（スラブの寸法：550×650×200 mm，フロー値 190）

たに振動コンパクタの転圧盤を拡幅するなどし，ポーラスコンクリート舗装の締固めに適した表面振動機を試作した。写真-3 に，市販の振動コンパクタと試作した仕上げ機[11)]（以下，ポーラスコンクリート仕上げ機と呼ぶ）を示す。この仕上げ機を使用することで，誰でも比較的容易に不陸のない表層に仕上げることが可能となる。しかし，依然としてどの程度締め固めると所定の空隙率になるのかは不明であった。

そこで，既往の研究で使用されていた振動締固めに対するひとつの指標である振動締固めエネルギ[4)]に着目し，ポーラスコンクリート仕上げ機の重量や起振力を変化させ，振動締固めエネルギを用いて空隙率の制御が可能であるか検討を行った。式（2）に振動締固めエネルギの算出式を，式（3）に振幅の算出式を示す。また，検討の結果から得られた締固め率と振動締固めエネルギとの関係を図-5 に示す。ここで，締固め率βとは締固めの程度を表すもので，式（4）で算出する。

$$E = 2a\left(W + F/2\right)n \cdot t \cdot 1/S \qquad (2)$$

$$a = \frac{F/m}{\omega^2} = \frac{F/m}{\left(2\pi n\right)^2} \qquad (3)$$

$$\beta = \frac{100 - VR}{100 - CVR_{\mathrm{JIS}}} \times 100 \qquad (4)$$

ここに，E：振動締固めエネルギ（N･m/m²），a：振幅（m），n：振動数（Hz），W：振動機の重量（N），S：加圧面積（m²），F：起振力（N），t：締固め時間（sec），m：振動機の質量(kg)，ω：角振動数（rad/sec），β：締固め率（%），VR：実施工事の空隙率（%），CVR_{JIS}：JIS A 1104 による実積率を用いた設計空隙率（%）

図-5 によれば，実大の施工実験で，かつ空隙率が不安定となる締固めエネルギの極めて小さい条件下でのデータも含まれており，多少のばらつきはあるものの，おおむね振動締固めエネルギを用いて締固めの程度（すなわち，空隙率）を制御することができることがわかる。また，振動締固めエネルギが 7.0 kN･m/m² 程度のとき，締固め率βは 100%程度，すなわち JIS A 1104 による骨材の実積率を用いた設計空隙率（以下，JIS 実積率と称する）程度となることがわかる。以上の結果は，筆者らの考案・試作した仕上げ機によるものであるため，今後，振動機の種類を変えた実験なども行う必要があると考えられる。

以上の結果から，締固め程度（空隙率）の制御方法はある程度明らかとなったが，ポーラスコンクリートは既往の研究[12)]でも報告されているように，過剰に締固めを行うと結合材が下部に移動し，下面に結合材の垂れを生じさせる。結合材の垂れが生じると，上部では結合材が減少し，空隙率を上昇させ，圧縮強度を低下させるなどの問題が発生する。文献 1）においても，円柱供試体を用いた場合の供試体底面の垂れの状態を示す図が掲載されている（報告書 2.1.4「フレッシュ性状」を参照）が，前項でも述べたように，円柱供試体と実施工部材とでは相違点があるため，円柱供試体で得られた結果をそのまま適用することはできない。そのため，筆者らはポーラスコンクリート仕上げ機を用いて，設計空隙率が結合材の垂れに与える影響について振動締固めエネルギを要因として実験を行った。図-6 に，その結果を示す。同図より，低い設計空隙率になるほど，振動締固めエネルギを大きくすることで結合材の垂れが顕著になることがわかる。

以上より，図-5 および図-6 を用いて，締固め方法に応じた配（調）合設計が可能となろう。まず試験的な施工（以下，試し施工）を行い，予定の締固め方法で得られる締固め率βを式（4）により算出する。ここで，ポーラスコンクリート仕上げ機と同様な仕上げ機を用いる場合は，振動締固めエネルギを算出し，図-5 により締固め率βを推定することも可能である（ただし，スラブ厚

さ，調合などの影響については別途検討する必要がある)。その後，試し施工を行った場合は，結合材の垂れなどの不具合が発生していないことを確認した後，締固め率βを配（調）合設計に反映させる。以上の手順をとることで,全断面を通して所定の締固め状態（すなわち，所定の空隙率）を期待できると考えられる。

以上の考察を踏まえ，道路舗装の敷均しおよび仕上げの項目および調合計算の項目について，以下の修正を加えることが望ましいと考える。なお,修正案中の下線は，委員会報告書の記述に対する修正・加筆部分を意味している。

> 4.2.2　道路舗装
> （2）　敷均しおよび仕上げ
> 4)　締固めは，所定の品質が確保されるように適切な方法で実施しなければならない。ただし，事前に，実際に行う締固めと同一の方法で試し施工を行い，締固め率βを算出し，配（調）合設計に反映する。また，試し施工の際に，結合材の垂れが発生していないか確認する。

> 4.1.2　配（調）合
> （2）　配合計算の手順
> 2)　粗骨材の設定：所定の空隙率および空隙径を確保するために，適切な粒子径および粒度分布の粗骨材を設定しなければならない。単位粗骨材量は次式で求めることを標準とする。
> (単位粗骨材量)＝(粗骨材の密度)×(JIS 実積率)×(締固め率β)
> ここで，JIS 実積率とは JIS A 1104 に準拠した方法で算出した実積率。
> また，締固め率βとは締固め方法・程度で決定される値で，通常は試し施工を行い算出する。

2.3　ポーラスコンクリートの空隙率

研究委員会報告書[1)]には，既にポーラスコンクリートの空隙の種類やその測定方法が示されている。これらの定義と測定方法については，その問題点が指摘されていたが，筆者らの研究により解決策がある程度明らかとなったので，以下にその内容をとりまとめる。

（1）　空隙率の定義

ポーラスコンクリートの空隙の種類は，研究委員会報告書[1)]に下記のように示されている。

> 5.4.2　エココンクリート研究委員会試験方法の修正
> a)　用語の定義について
> 連続空隙率とは「供試体全体の体積に占める，連続空隙の割合。連続空隙は，供試体表面からみて連続している空隙であり，容易に水で飽水，排水される空隙」とし，全空隙率とは，「供試体の体積に占める，全空隙の割合。全空隙とは，連続空隙と独立空隙の和として計算される。独立空隙とは，供試体表面から みて，独立している空隙であり，水で飽水，排水するには若干の時間を要する空隙」と定義した。

しかし，実際に独立している空隙の場合，1日程度の浸水での飽水，排水は非常に困難と考えられる。また，小粒径・低空隙率のポーラスコンクリートの場合，「独立」ではなく，空隙が連続していても空隙径が小さいため，飽水・排水がかなり難しい。このように，空隙の名称と実際の状態とが矛盾するため，誤解を招きやすい。

そこで，筆者らは空隙をその連続性に応じて，連続，準連続，独立の３つのレベルに分類した[13)]。以下に，修正後の記述を示す。

> 5.4.2　エココンクリート研究委員会試験方法の修正
> a)　用語の定義について
> 連続空隙率とは「供試体全体の体積に占める，連続空隙の割合。連続空隙は，供試体表面からみて連続している空隙であり，容易に水で飽水，排水される空隙」とし，準連続空隙率とは「供試体の体積に占める，準連続空隙の割合。準連続空隙は，供試体表面からみて連続した空隙と考えられるが飽水，排水するのに若干の時間を要する空隙」とし，全空隙率とは，「供試体の体積に占める，全空隙の割合。全空隙とは，連続空隙，準連続空隙および独立空隙の和として計算される。独立空隙とは，供試体表面からみて完全に独立している空隙」と定義した。

（2）　空隙率の測定方法

空隙率の測定方法は，研究委員会報告書[1)]により，フレッシュ状態では圧力法，硬化状態では容積法および質量法がそれぞれ提案されている。しかし，骨材種類・粒径の多様化など研究・開発されるポーラスコンクリートの幅が広がり，JCI 基準（案）として定められた方法が必ずしも適切とは言えない場合も生じている。以下，硬化後の空隙率測定方法について概要を説明する（詳細については参考文献 13）を参照されたい)。

研究委員会報告書[1)]の定める質量法とは，供試体の気中質量を測定し，調合設計時の固相密度を使用して固相容積を求め，空隙率（連続空隙率，準連続空隙率および独立空隙率の和）を算出するものである。質量法によれば，比較的容易に空隙率を算出することができるが，連続空隙率などの各種空隙率を算出することはできない。次に，同基準の定める容積法とは，供試体の気中質量と水中質量の差から固相容積を求め，空隙率（連続空隙率および準連続空隙率）を算出する。しかし，容積法はその測定方法の特性から，すべての空隙に水が浸入しない場合（小粒径の骨材や低空隙率の場合など）は誤差となり空隙率の測定値に影響することになる。

これらの問題点を踏まえ，筆者らは空気室圧力法を応用したポーラスコンクリートの空隙率測定方法[13)]（以下，容積圧力法と称する）を提案した。その概要を図-7に，連続空隙率および準連続空隙率の算定式を，それぞれ式（5）および式（6）に示す。

$$A_1 = 100 \times \left\{V_A - (W_8 + W_{10} - W_9)/\rho_W\right\}/V_A \quad (5)$$

$$A_2 = A_P \times V_c / V_A \quad (6)$$

ここに，A_1：連続空隙率（%），W_8：供試体の気中質量（g），W_9：供試体を入れた試験器と水の合計質量（g），W_{10}：試験器と水の合計質量（g），

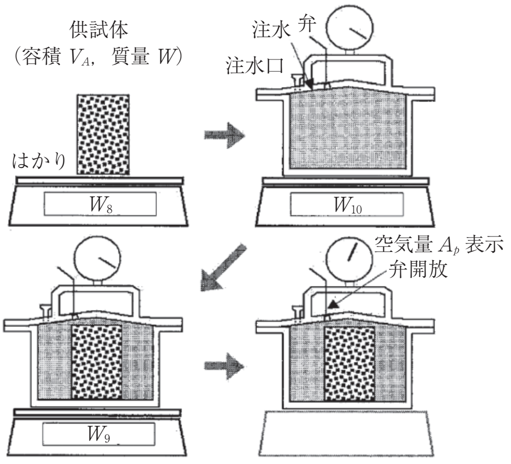


図-7　空気量試験器による空隙率測定（容積圧力法）[13]

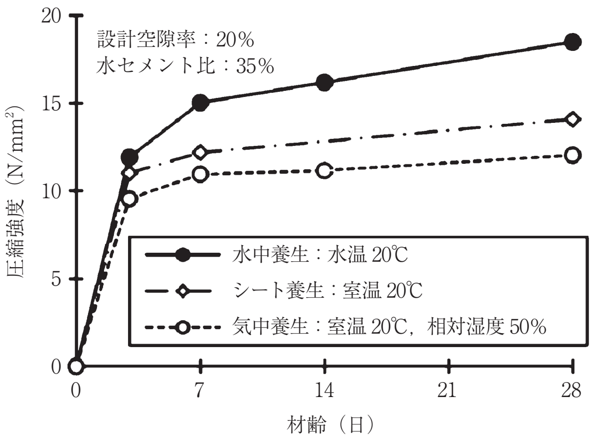


図-8　養生条件が圧縮強度に与える影響の一例
（円柱供試体の場合）

A_2：準連続空隙率（％），A_P：空気量測定により測定された空気量（％），ρ_W：水の密度（g/cm^3），V_A：供試体の見かけ容積（cm^3），V_C：試験容器の容積（cm^3）

容積圧力法は，空気量測定試験器をポーラスコンクリートの空隙率測定に用いる方法で，見かけ容積，固相容積，および水中浸せきした供試体の残存空気量を測定し，空隙率（連続空隙率および準連続空隙率）を算出する。容積圧力法を用いることにより，小粒径の骨材を使用した場合や低空隙率の場合においても，容積法と比較して精度良く空隙率を測定することが可能となる。

さらに，研究委員会報告書[1]で規定されている水中浸せき・気中放置を行う場合，水の飽和・排水が容易に進まないと測定精度が低下する。この問題を解決する方策として，遠心脱水処理[13]を用いれば，測定時間の短縮および測定精度の向上に有効であることが明らかとなっている。

本節では，紙面の関係上，修正文案は示さないが，今後，容積圧力法および遠心脱水処理についても記載することが望ましいと考える。

2.4　ポーラスコンクリートの養生

研究委員会報告書では，現場打ちのポーラスコンクリートで道路舗装の場合の養生に関し，以下の記述がある。

> 4.2.2　道路舗装
> （4）　養生
> 舗設直後の乾燥の防止および所定の強度の発現までの一定期間は，シート等による養生を行うものとする。また，必要に応じて散水を行う。

上記の記述では，材齢何日目まで養生を行えばよいのかその目安が明確ではない。しかし，現段階では，養生条件がポーラスコンクリートの強度発現に与える影響に関する研究は一部の報告[14]を除き，ほとんど進んでいない状況である。そこで，筆者らは養生条件がポーラスコンクリートの圧縮強度に与える影響に関する実験を行ったが，現段階ではシート養生の有用性が明らかになっただけであり，具体的な養生期間の提案までには至っていない。図-8に，養生条件がポーラスコンクリートの圧縮強度の発現に及ぼす影響を調べた実験データの一例を示しておく。

3.　む　す　び

本稿では，ポーラスコンクリートの施工標準（案）の作成にむけて，筆者らの最近の研究で明らかとなった知見を中心に紹介し，日本コンクリート工学協会から発刊されている「ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書[1]」の記述中で，特に修正が望まれる以下の4項目について検討した。本稿で指摘した事項をまとめれば，おおよそ以下のようになる。

1)　施工されたポーラスコンクリートの品質評価を行うための供試体は，施工対象の品質を代表する部位からコアボーリングにより採取することが望ましい。
2)　任意の締固め方法ごとに算出される締固め率 β を用いることで，配（調）合および空隙率の設計の信頼性が格段に向上する。
3)　空隙率の種類を連続空隙率，準連続空隙率および独立空隙率の3種類とすることで，空隙の名称と実際の状態との矛盾を解消することができる。
4)　空気室圧力法を応用したポーラスコンクリートの空隙率測定方法を使用することで，従来の測定方法より正確にポーラスコンクリートの品質評価を行うことができる。また，遠心脱水処理を併用することで，空隙率の測定時間を大幅に短縮することができる。

なお，本稿の内容を反映させた「ポーラスコンクリートの設計・施工指針改定案」の目次を付表として示しておく。また，実施工における養生方法およびその期間については，今後，さらなる実験を行い，適切な方法を検討する必要があると考える。

付　表

ポーラスコンクリートの設計・施工指針改定案の目次

1.　製造方法
　1.1　材料
　1.2　配（調）合
　　（1）　配合条件の設定
　　（2）　配合計算の手順
　1.3　練混ぜ
2.　現場打ち
　2.1　河川護岸
　2.2　道路舗装
　　（1）　現場内運搬
　　（2）　敷均しおよび締固め
　　（3）　養生
3.　工場製品
4.　評価方法と試験方法
　4.1　供試体作製時の留意点
　4.2　品質評価のための試験方法
　　4.2.1　硬化前のポーラスコンクリート
　　4.2.2　硬化後のポーラスコンクリート
　　　（1）　圧縮，曲げ強度
　　　（2）　空隙率
〈以下，省略〉

注）文献1）を修正。下線部分は本稿で取り扱った項目。

参 考 文 献

1）　ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会：同報告書，㈳日本コンクリート工学協会，2003.5
2）　中川武志・畑中重光・三島直生・松村　豪：住空間における意匠性に配慮した複層ポーラスコンクリート歩道の施工実験，コンクリート工学，Vol.46，No.12，pp.20〜27，2008.12
3）　河合　純・森鼻泰大・中川武志・三島直生・畑中重光：実施工におけるポーラスコンクリートスラブの締固めに関する基礎的研究，日本建築学会東海支部研究報告集，2011
4）　超固練りコンクリート研究委員会：同報告書，pp.147〜168，㈳日本コンクリート工学協会，1998.6
5）　越　健・島崎　磐・国枝　稔・六郷恵哲：ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価，コンクリート工学年次論文集報告書，Vol.21，No.1，1999
6）　森鼻泰大・中川武志・三島直生・畑中重光：実施工におけるポーラスコンクリートスラブの品質管理に関する一考察，日本建築学会東海支部研究報告集，2011
7）　畑中重光・三島直生・湯浅幸久：ポーラスコンクリートの圧縮強度－空隙率関係に及ぼす結合材強度および粗骨材粒径の影響に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No.594，pp.17〜23，2005.8
8）　越　健・古川浩司・国枝　稔・六郷恵哲：せき板効果を取り除くことによるポーラスコンクリートの透水試験方法の改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1，pp.157〜162，2001
9）　石黒　哲・湯浅幸久・畑中重光：ポーラスコンクリートの物理的性質に及ぼす各要因の影響，日本建築学会東海支部研究報告集，pp.73〜76，2000
10）　中川武志・畑中重光・三島直生：供試体の高さ／直径比がポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.23，No.650，pp.695〜699，2010.4
11）　森鼻泰大・中川武志・三島直生・畑中重光：ポーラスコンクリートの実施工における敷均しおよび仕上げ方法が空隙率に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.1397〜1402，2010
12）　湯浅幸久・別府智子・宮本高秀・畑中重光：セメントペーストの流動性がポーラスコンクリートの振動締固め性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1，pp.133〜138，2001.7
13）　中川武志・畑中重光・三島直生・湯浅幸久・前川明弘：空気室圧力法を応用したポーラスコンクリートの空隙率測定方法，日本建築学会構造系論文集，Vol.73，No.629，pp.1043〜1050，2008.7
14）　玉井元治：まぶしコンクリートの動弾性係数と凍結融解に対する抵抗性，セメント・コンクリート論文集，No.43，1989