論文 ポーラスコンクリートの圧縮強度試験用供試体の載荷下端面へのア ンボンドキャッピングの適用性の検討

武田 昌也*1·齋藤 俊克*2·出村 克宣*3

要旨:本研究では,供試体寸法 φ10×20cm または φ15×30cm とした目標空隙率10~30%のポーラスコンク リートの圧縮強度試験において,供試体上端面をセメントペーストキャッピング,その下端面をアンボンド キャッピングとする試験方法の適用性を検討している。その結果,供試体寸法にかかわらず,アンボンドキ ャッピングを適用した供試体の圧縮強度の変動係数は 11%以下,その圧縮強度は供試体の上下端面をセメン トペーストキャッピングしたものの 0.93~1.02 倍であった。このことから,ポーラスコンクリートの圧縮強 度試験において,本研究の方法によるアンボンドキャッピングが適用できるものと考える。 キーワード:ポーラスコンクリート,アンボンドキャッピング,圧縮強度,空隙率,標準偏差,変動係数

1. はじめに

ポーラスコンクリートは大きな空隙を全体積中の 10 ~30%程度含む組織を有しており、その調合設計や性能 評価にあたっては空隙率が主要な因子として取り扱わ れる。そのため、底面が平滑な型枠を用いた場合でも、 供試体の表面に空隙が現れることから、ポーラスコンク リートの試験規格である JCI-SPO1-1 [ポーラスコンク リートの供試体の作り方(案)]において、圧縮強度試 験に用いる供試体は,使用する粗骨材最大寸法を考慮し て、その寸法を ϕ 10×20cm または ϕ 15×30cm とし、載 荷面である供試体の上下端面に厚さ1~2cm程度を目安 としたセメントペーストキャッピングを行うことが記 されている」。しかし、両端面を同時にセメントペース トキャッピングすることは困難であり、上端面のみキャ ッピングを行う普通コンクリートに比べて,下端面分の 作業量およびキャッピング材料の硬化時間が必要であ るなど、圧縮強度試験用供試体の作製に手間がかかる。

一方,普通コンクリートの圧縮強度試験においては, JISA1108 [コンクリートの圧縮強度試験方法]の附属書 A (規定)「アンボンドキャッピング」には,養生後の供 試体の上端面(打込み面)にゴムパッドを挿入した鋼製 キャップを被せるだけで研磨やセメントペーストキャ ッピングを行った場合と同等の試験結果が得られるア ンボンドキャッピング方法が記されている¹⁾。

そこで本研究では、供試体寸法を ϕ 10×20cm または ϕ 15×30cm とした目標空隙率 10~30%のポーラスコン クリートの圧縮強度試験用供試体へのアンボンドキャッピングの適用性を検討している。なお、予備実験にお いて、供試体の上下端面にアンボンドキャッピングを施

*1日本大学大学院 工学研究科建築学専攻(学生会員) *2日本大学 工学部建築学科准教授 博士(工学)(正会員) *3日本大学 名誉教授 工博(フェロー会員)

したポーラスコンクリート供試体の圧縮強度試験を試 みたが,供試体下端面に比べて,上端面の凸部頂部を一 定面に整えることが困難であり,圧縮強度試験において 偏心荷重が生じたことにより,想定よりも低い測定値と なった。そこで,本研究においては,Fig.1 に示すよう に,供試体の上端面をセメントペーストキャッピングと し,その下端面をアンボンドキャッピングとする圧縮試 験方法の適用性を検討する。



Fig.1 Unbonded Capping for Porous Concrete in This Research.

2. 使用材料

2.1 セメント

セメントとしては, JIS R 5210(ポルトランドセメント) に規定される普通ポルトランドセメントを使用した。そ の性質を Table 1 に示す。

2.2 骨材

細骨材としては阿武隈川産川砂を,粗骨材としては硬 質砂岩砕石をそれぞれ表乾状態で使用した。それらの性 質を Table 2 および Table 3 に示す。なお,本研究で用い た粗骨材は,大林らの研究²⁾で用いたものと同じもので

or uniary r or trand Cement.							
Density (g/cm ³)	Blaine Specific	Setting Time (h-min)		Co Stren	Compressive Strength of Mortar (MPa)		
	(cm^2/g)	Initial Set	Final Set	3d	7d	28d	
3.16	3300	2-07	3-29	31.1	48.1	64.7	
Chemical Compositions (%)							
MgO	SO ₃	ig. loss		Total Alkali	Chloride Ion		
1.65	2.03	2.01		0.49	0.0	023	

Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Ordinary Portland Cement.

Table 2 Properties of Fine Aggregate.SizeDensity*Water Absorption(mm)(g/cm³)(%)

 ≤ 2.5 2.62 3.00

Note, *: Density in saturated surface-dry condition.

Table 3 Properties of Coarse Aggregate.						
Size (mm)	Density* (g/cm ³)	Water Absorp- tion (%)	Solid Content (%)	Com- pressive Strength (MPa)		
5~20	2.72	0.58	59.1	148.2		

Note, *: Density in saturated surface-dry condition.

あり, 圧縮強度は, その研究成果として得られた値であ る。

2.3 練混ぜ水および混和剤

練混ぜ水としては、上水道水を使用した。また、混和 剤としては、ポリカルボン酸エーテル系の高性能 AE 減 水剤を使用した。その性質を Table 4 に示す。

3. 試験方法

3.1 結合材としてのセメントモルタルの試験

本研究では、結合材をセメントモルタルとしており、 JISR 5201 (セメントの物理試験方法) に従って、セメン トモルタルのフロー値が 230±20 となるように、高性能 AE 減水剤添加率を調整した。その調合を Table 5 に示 す。なお、平岩らは、ポーラスコンクリートに使用する 結合材のフロー値が 230 程度であれば表面性状が良好 で、下部にペーストが垂れないポーラスコンクリートを 作製することが出来ると報告³⁾しており、本研究におい ても、材料分離が生じないことを確認している。結合材 としてのセメントモルタルの試験にあたっては、Table 5

Table 4	Properties	of Air-Ei	ntraining	and	High-	Range
	Water-Red	lucing Ad	lmixture.			

Appearance	Density (g/cm ³)	Alkaline Content (%)	Chloride Ion Content (%)
Dark Reddish- Brown Liquid	1.040~ 1.060	0.9	< 0.01

Table 5 Mix Proportions of Cement Mortars as Binder.

NT / * /·		1 (1 .
	2.5	8	5.0
Air	Content (%)	Compressive	Strength (MPa)
23.0	1 : 0:05	0.05	210
25.0	1 · 0.63	0.83	248
(70)	(by mass)	(%)	
(%)	Aggregate	WRA^*	Flow
W/C	Cement : Fine	AE-	

Note, *: Air entraining and high-range water-reducing admixture content to cement by mass.

の調合の供試セメントモルタルを練り混ぜ, 寸法 φ 10× 20cm に成形した。その際, JIS A 1171 (ポリマーセメン トモルタルの試験方法) に従って,供試セメントモルタ ルの空気量を測定した。その後, JCI-SE4 [温水法 (70℃) によるコンクリートの促進強度試験方法] に従い,24h 湿空 [20℃,90% (RH)],24h 温水 (70℃) および1h 水 中 (20℃) 養生を行って供試体を作製した。次に,JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) に準 じて,供試体の上端面に,あらかじめ2h 練置きしてお いた水セメント比30%のセメントペーストを用いて,キ ャッピングを行った。更に,JIS A 1108 [コンクリートの 圧縮強度試験方法] に従って,供試体の圧縮強度試験を 行い,圧縮強度を算出した。

3.2 供試体の作製

JCI-SPO1-1に従って、**Table 6** に示す調合のポーラス コンクリートを練り混ぜ、振動数 3200rpm のテーブルバ イブレーターを用いて、寸法 ϕ 10×20cm または ϕ 15× 30cm に成形した。その際、型枠内のポーラスコンクリー ト上部へのあて板を使用せずに、振動締固めを行った。 その後、24h 湿空 [20℃, 90% (RH)]、24h 温水 (70℃) および 1h 水中 (20℃) 養生して供試体を作製した。そ の際、供試体数は、供試体上下端面をセメントペースト でキャッピングするもの(以下、セメントペーストキャ ッピング供試体)は3個、供試体上端面をセメントペー ストでキャッピングし、下端面をアンボンドキャッピン

	Table 6 Mix Proportions of Porous Concretes.							
	Target		Mix Propor	tions (kg/m ³)				
(%)	Voids	Watar	Comont	Fine	Coarse	AE-WKA		
(70)	(%)	water	atei Ceineiti	Aggregate	Aggregate	(70)		
	0	133	532	355	1553			
25.0	10	102	408	257	1553	0.83		
23.0	20	71	284	179	1553	0.85		
	30	40	160	101	1553			

Note, * : Air entraining and high-range water-reducing admixture content to cement by mass.

グとするもの(以下,アンボンドキャッピング供試体) は、ばらつきが大きいことを想定してそれぞれ5個とし た。なお、目標空隙率0%のポーラスコンクリートとは、 最密充填状態の粗骨材の間隙をセメントモルタルで満た した調合で製造したものであり、普通コンクリートを想 定している。

3.3 空隙率試験

JCI-SPO2-1 [ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)]の「7.1 容積法を用いる場合」に準じて,養生後の供試体の空隙率試験を行い,連続空隙率および全空隙率を算出した。

3.4 セメントペーストキャッピング

空隙率試験後のセメントペーストキャッピング供試 体およびアンボンドキャッピング供試体の上端面(打込 み面)については、3.1と同様の水セメント比30%のセ メントペーストでキャッピングした。また、その際の各 供試体のセメントペーストキャッピングの手順を Fig.2 に示す。供試体のセメントペーストキャッピングは JCI-SPO1-1に従って、水セメント比30%のセメントペース トを厚さ1cm として行った。

3.5 圧縮強度試験

セメントペーストキャッピング後の供試体について, JIS A 1108 に準じて圧縮強度試験を行い,圧縮強度を算 出した。また,供試体別に得られた圧縮強度について標 準偏差および変動係数を算出した。なお,アンボンドキ ャッピング供試体については,JIS A 1108 の附属書 A に 従って,Fig.3 に示すように,ゴムパットを挿入した Table 7 に示す寸法の鋼製キャップをその下端面に設置 して試験を行った。φ15cmの鋼製キャップは,JIS A 1108 の附属書 A に規定されていないが,製造業者が同様に 販売しているものである。Photo 1 には供試体の外観を



Fig.2 Procedure for Cement Paste Capping.

示す。アンボンドキャッピングに使用したゴムパッドは, 供試体1体の試験ごとに硬さを測定し,表面の凹凸を目 視で確認したが,消耗が認められなかった。

試験結果および考察

Fig.4 および **Fig.5** には、ポーラスコンクリートの連続 空隙率および全空隙率と目標空隙率の関係を示す。ポー



Fig.3 Detail of Steel Cap.

Table 7 Size of Steel Cap.

Type of	Element Size (mm)					
Specimen	Inner Diameter	Thickness		Depth		
(cm) d		t	t1	t3	t2	
$\phi 10 \times 20$	102	10	11	10	25	
φ15×30	152	10	11	10	23	



Photo 1 Appearance of Specimens Applied Cement Paste and Unbonded Capping.





Fig.5 Target Voids vs. Total Voids of Porous Concretes.



Fig.7 Total Voids vs. Standard Deviation of Porous Concretes.

ラスコンクリートの用途に寄与する空隙は連続空隙であ るため、目標空隙率とは、所要の連続空隙率が得られる ように調合設計時に想定した空隙率である。本研究にお いては、これまでに提案した調合設計法⁴⁾に準じて調合 を決定しており、いずれの調合においても、目標空隙率 とほぼ同様の連続空隙率が得られている。また、得られ た全空隙率は連続空隙率に比べて、空隙率として 0.5%程 度大きな値を示す。

Fig.6, **Fig.7** および **Fig.8** には, ポーラスコンクリートの圧縮強度,標準偏差および変動係数と全空隙率の関係を示す。

供試体寸法およびキャッピングの種類にかかわらず, ポーラスコンクリートの圧縮強度は全空隙率の増加に伴 い減少する傾向にある。なお,供試体寸法にかかわらず, 全空隙率が最も小さいポーラスコンクリートにおいて, セメントペーストキャッピング供試体が若干大きな圧縮 強度を示している。しかし,全空隙率が大きくなるとそ の傾向が認められないものもあり,本研究におけるキャ ッピング方法の違いが圧縮強度に及ぼす影響について, 全空隙率を要因として明確にするには至らない。



Fig.6 Total Voids vs. Compressive Strength of Porous Concretes.



Fig.8 Total Voids vs. Coefficient of Variation of Porous Concretes.

一方、供試体寸法にかかわらず、セメントペーストキ ャッピング供試体に比べて,アンボンドキャッピング供 試体の圧縮強度の標準偏差および変動係数とも大きい傾 向にある。このことは、アンボンドキャッピング供試体 において, 圧縮強度のばらつきが大きいことを意味して いる。しかしながら, Fig.6 から Fig.8 に示した全空隙率 が最も小さいものは、目標空隙率0%であり、換言すれば、 普通セメントコンクリートととらえることができる。そ の標準偏差および変動係数に比べて、全空隙率がそれよ りも大きいポーラスコンクリートのそれらが著しく異な る値を与えてはいないことから推察すれば、コンクリー ト供試体の上端面をセメントペーストキャッピングとし, その下端面をアンボンドキャッピングとした場合には, この程度のばらつきが生じることを示唆するものと考え る。なお、セメントペーストキャッピング供試体とアン ボンドキャッピング供試体の圧縮強度試験時の破壊形状 に大きな差異は認められなかった。

更に、全空隙率が最も小さいものを除いたポーラスコ ンクリート(目標空隙率10%以上)のアンボンドキャッ ピング供試体の変動係数は11%以下である。ポーラスコ





ンクリートの圧縮強度の変動係数は、結合材の垂れや骨 材破壊の影響が小さい場合,おおよそ10%程度との既往 の研究報告5)がある。前述したように、本研究において は、供試体の作製において、結合材の垂れなどの材料分 離が生じないことを確認している。また, Table 3 に示し たように、粗骨材は高強度を有しており、試験後の供試 体において、粗骨材の破壊などは観察されなかった。一 方,アンボンドキャッピングに関する JIS A 1108 附属書 A(規定)では、その適用範囲を強度領域 10~60 MPa と している。本研究で得られたポーラスコンクリートの圧 縮強度領域は 5.6~58.0 MPa であり、最低強度がその範 囲よりも小さい値である。しかし、最低強度を示したポ ーラスコンクリートの標準偏差は最も小さく,変動係数 は JIS の最低強度範囲のものと比べて著しい差異は認め られない。これらのことから鑑みれば、本研究の方法に よるアンボンドキャッピングの適用性は高いと考えられ る。

Fig.9 には、アンボンドキャッピング供試体とセメント ペーストキャッピング供試体の圧縮強度の関係を供試体 寸法別に、Fig.10 には、供試体寸法 φ 15×30cm と φ 10× 20cm のポーラスコンクリートの圧縮強度の関係をキャ ッピング方法別に直線で近似し、太実線で表示している。 これらの図中に示すように、それらの関係には高い相関 性が認められ、次のような実験式で表すことができる。

【アンボンドキャッピング供試体とセメントペーストキ ャッピング供試体の圧縮強度の関係】

. 10. . . 00

供試体 寸法:
$$\phi$$
 10×20cm
 $y = 0.93x$ (1)
供試体 寸法: ϕ 15×30cm

$$y = 1.02x$$





【供試体寸法 ϕ 15×30cm と ϕ 10×20cm のポーラスコン クリートの圧縮強度の関係】

x:供試体寸法 φ 10×20cm の圧縮強度 (MPa)

これらの実験式から、セメントペーストキャッピング 供試体に対して、アンボンドキャッピング供試体の圧縮 強度は、供試体寸法 ϕ 10×20cm では 0.93 倍、 ϕ 15×30cm では 1.02 倍であり、セメントペーストキャッピング供試 体に対してアンボンドキャッピング供試体の強度は± 0.1 倍の範囲にある。

一方,供試体寸法φ10×20cmに対して,供試体寸法φ 15×30cmの圧縮強度は,セメントペーストキャッピング 供試体では0.95倍,アンボンドキャッピング供試体では 1.03倍である。一般には,供試体寸法が小さくなるほど 圧縮強度の測定値が大きくなると考えられるが,前述の ように,アンボンドキャッピング供試体においては,そ の寸法が大きいものが若干大きい値を与えている。この ことは,Fig.7に示したように,アンボンドキャッピング 供試体においては,高強度領域にある全空隙率10%程度 の標準編差が供試体寸法φ10×20cmにおいて特に大き

(2)

な値を与えていることから, 圧縮強度のばらつきが大き いことに起因するものと推察されるが, 今後の研究課題 としたい。

以上のことから、本研究の限りでは、アンボンドキャ ッピングを適用した場合でも、供試体寸法にかかわらず、 圧縮強度の変動係数は11%以下にあり、セメントペース トキャッピング供試体とアンボンドキャッピング供試体 との強度差はわずかであると考える。これらのことから、 ポーラスコンクリートの圧縮強度試験において、供試体 の上端面(打込み面)をセメントペーストキャッピング とし、その下端面をアンボンドキャッピングとする試験 方法が適用出来るものと考えられる。

5. 結論

本研究で得られた試験結果を総括すれば,以下の通り である。

- (1) ポーラスコンクリートの全空隙率は連続空隙率に 比べて空隙率として 0.5%程度大きな値を示す。
- (2) 供試体寸法およびキャッピングの種類にかかわらず、ポーラスコンクリートの圧縮強度は全空隙率の増加に伴い減少する。
- (3) 供試体寸法にかかわらず,供試体の上下端面をセメ ントペーストキャッピングしたものに比べて,その 下端面をアンボンドキャッピングとしたポーラス コンクリートの圧縮強度の変動係数は大きくなる 傾向にあるもののその値は11%以下である。また, セメントペーストキャッピング供試体とアンボン ドキャッピング供試体との強度差はわずかである。
- (4) 本研究の限りでは、ポーラスコンクリートの圧縮強 度試験において、供試体の上端面(打込み面)をセ

メントペーストキャッピングとし,その下端面をア ンボンドキャッピングとする試験方法が適用出来 るものと考えられる。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業基盤研究 C「広範な空 隙率を持つ性能設計対応型ポーラスコンクリートの静 弾性係数推定法の構築」(課題番号:19K04694,研究代 表者:齋藤俊克)の助成を受けた。ここに記して、謝意 を表する。

参考文献

- 吉兼 亨, 鈴木一雄, 寺石文雄, 平井 渉:アンボン ドキャッピングによるコンクリートの圧縮強度試 験に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.9, No.2, pp.79-90, 1998.7
- 大林賢人ほか:二相複合材料の観点から見たコンク リートの応力-ひずみ曲線に関する検討(その4) 粗骨材の静弾性係数の実験値と推定値の関係,日本 建築学会大会学術講演梗概集, pp.651-652, 2014.9
- 平岩 陸,田中清人,谷川恭雄,森 博嗣:ポーラ スコンクリートの調合設計法に関する規礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.121-126, 2001.6
- 斎藤俊克,出村克宣:ビニロン繊維補強ポーラスコ ンクリートの調合設計法の提案,日本建築学会構造 系論文集,Vol.75,No.657,pp.1947-1953,2010.11
- 山本貴正ほか:ポーラスコンクリートの圧縮強度特 性の確率変動に関する実験的研究,日本建築学会構 造系論文集, Vol.71, No.601, pp.9-14, 2006.3