# 論文 コンクリートの圧縮強度試験用供試体の載荷面の平面度が強度試験 に及ぼす影響

林 憲之\*1・森本 泰夫\*2・橋本 親典\*3

要旨:圧縮強度試験用供試体の形状寸法について実態調査を行った。その結果,供試体の直径,高さ及び載荷面と母線との間の角度は形状寸法の許容差を満足していたが,載荷面の平面度は上下面ともに供試体の50%以上が許容差を満足していなかった。また,セメントペーストを用いたキャッピング面は凹面となることが多く凸面とはならない。水セメント比が30%と40%のペーストでキャッピングを行い,平面度を比較すると40%が約2倍の平面度となった。平面度は人力による研磨によって容易に修正できた。平面度の圧縮強度への影響は,載荷面が凹面の場合には影響は小さいが,凸面では平面度に相関する強度低下を示した。

キーワード:供試体,形状寸法,載荷面,平面度,圧縮強度,凹面,凸面

#### 1. はじめに

生コンクリート工場(以下,生コン工場)において圧 縮強度試験は、工程管理、製品検査等で日々行われてお り、強度試験用供試体の作製や強度試験の方法は JIS 規 格に定められている。供試体の作製方法は、JIS A 1132 「強度試験用供試体の作り方」に規定され、圧縮強度試 験用供試体については,直径,高さ,載荷面の平面度及 び載荷面と母線との間の角度(以下,直角度)について その形状寸法の許容差が示されている。しかし、精度の 確認された型枠の使用や公称寸法を用いることにより、 供試体の形状寸法について生コン工場においては測定さ れていないのが現状と思われる。なお、供試体の上載荷 面(以下,上面)の平面度は型枠の精度とは無関係であ り、生コン工場で多く行われるセメントペーストを練り 置きし使用するペーストキャッピングでは、平面度の許 容差を満足しない確率が相当高いとした事例 1) 2) も示さ れている。また共同試験所等の試験機関において供試体 の形状寸法の確認を実施したところ平面度が許容差を満 足せず、載荷面の研磨処理や登録試験事業者である旨の ロゴマークを付さない報告書が提出されたりしている。

供試体の形状寸法と強度の関係については、角柱と円柱、円柱であれば径と高さの比や載荷面の平面度等について研究がなされている。載荷面の平面度の影響について <sup>1)2)3)</sup>は、一般的に平面度が大きくなれば見掛けの強度は低下し、その影響は水セメント比が小さい、すなわち高強度で影響が大きいとされている。また、載荷面が凸面では供試体内部に引張応力が生じ強度低下が大きいとされている。

そこで徳島県生コンクリート工業組合(以下,工組) 技術委員会では,供試体の形状寸法の実態を調査すると ともに形状寸法の許容差を満足しない場合の強度試験結果に及ぼす影響,特に載荷面の平面度とその平面形状が 及ぼす影響について検証することとした。

## 2. 形状寸法の調査

#### 2.1 調査の方法

調査は,直径 100mm 高さ 200mm の供試体(以下,  $\phi$  100) 及び直径 125mm 高さ 250mm の供試体(以下,  $\phi$  125) それぞれ 3本について材齢が 21 日以上の水中養生された供試体を測定することとし、工組員に調査票を送付、回収することにより行った。調査票における形状寸法の測定項目、測定方法及び測定器具を表-1 に示す。

なお、ここでいう平面度は、平面部分の最も高い所と低い所を通る二つの平行な平面を考え、この平面間の距離をもって表す。平面度測定器を**写真-1**に示す。測定リング上でダイヤルゲージを固定したバーをダイヤルゲージの先端が載荷面上を均一となるよう動かし、ダイヤ

項目	測定方法	器具
供試体の	高さの中央で直交する2方向	ノギス
直径		
供試体の	直径方向両端の2カ所	ノギス
高さ		
載荷面の	上下載荷面について中央を 0	平面度
平面度	として直交する直径方向両	測定器
	端の値及び全体の平面度	
直角度	上下載荷面から直交する2方	ノギス又
	向について上下端における	は隙間ゲ

母線との距離の差

表-1 形状寸法の測定

<sup>\*1</sup> 阿南生コンクリート工業(株) (正会員)

<sup>\*2</sup> 協業組合 かみやま

<sup>\*3</sup> 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 教授 工博 (正会員)

ルゲージの最大値と最小値を読み取る。この値の差を平面度とする。また、直角度については、**図-1**に示すように上下端における距離の差すなわち角度を距離で表すこととした。この図において

 $t=t_1-t_2$   $(t_2=0$  の時  $t=t_1)$ また, $\theta$ のラジアン単位を  $\alpha$  とすると  $\alpha=\frac{\pi}{180}$   $\theta$  となり  $t=h\sin\alpha$  となる。  $\alpha$  が十分小さいとき  $t=h\alpha=h\frac{\pi}{180}$   $\theta$  (1) となる。よって,寸法の許容差  $0.5^\circ$  は,

式(1)より φ100では

 $t = 200 \times \frac{\pi}{180} \times 0.5 = 1.74 \text{ mm}$ 

となる。同様に、φ125では 2.18mm となる。

なお、圧縮空気による押し抜き型枠を用いる場合であっても供試体の形状寸法は JIS A 1132 に適合するものであり、同じデータとして扱うこととする。

# 2.2 調査結果

調査結果の概要を表-2 に示す。直径の寸法の許容差は公称寸法との差が直径の0.5%以内とされており、許容差を満足しないデータが幾つかあったが、2 方向の平均値として満足しないデータはなく、寸法の許容差を満足していると判断した。高さは、公称寸法との差の最大値が高さの1%程度であり、寸法の許容差(高さの5%)を十分満足する結果であった。直角度については、その最大値がいずれも上面からで $\phi100$  で1.35mm、 $\phi125$  で1.75mm であった。この値を式(1) に代入し角度を求めると、それぞれ0.39° 及び0.40° となり直角度についても寸法の許容差(0.5°) を満足していると判断した。

次に, 載荷面の平面度は, 供試体寸法及び載荷面の上 下にかかわらずその平均値が寸法の許容差(直径の 0.05%)を満足していない。平均値で載荷面の上下を比 較すると上面 (キャッピング面) が型枠に接する下載荷 面(以下,下面)より大きい平面度となっている。また, 供試体寸法で比較すると φ125 の平面度が大きくなって いるが、直径に対する比でみると供試体寸法にかかわら ず下面は 0.06%, 上面は 0.07%程度となっている。そこ でデータを一つにまとめることとし、平面度を直径に対 する比で表すこととした。図-2 は下面の平面度のヒス トグラムである。上面については図-4 に示す。この図 から求めた平均値、標準偏差及び寸法の許容差を満足し ないデータ数の割合を実績不良率、このヒストグラムが 正規分布をすると仮定して平均値と標準偏差から推定し たものを推定不良率として上下面について示したのが表 -3 である。

また、図-3 は載荷面の中央部と端部の関係を平面形状として調べたものである。端部4箇所すべてが中央よ



写真-1 平面度測定器

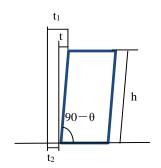


図-1 直角度の概略図

表-2 形状寸法の調査結果

	φ	n	$\bar{x}$	σ	t	
			(mm)	(mm)	(mm)	
直径	100	180	0.07	0.18	0.50	
	125	168	0.04	0.26	0.62	
高さ	100	180	0.22	0.39	10.0	
	125	168	0.35	0.51	12.5	
平面度	100	75	0.058	0.038	0.050	
(下面)	125	75	0.074	0.043	0.062	
平面度	100	75	0.073	0.043	0.050	
(上面)	125	75	0.089	0.058	0.062	
直角度	100	120	0.30		1.74	
(下面)	125	120	0.35		2.18	
直角度	100	120	0.34		1.74	
(上面)	125	120	0.48		2.18	

ここに n: データ数,  $\bar{x}:$  平均値.  $\sigma:$  標準偏差,

t: 寸法の許容差 (mm に換算した値)

なお、直径及び高さは公称寸法との差である。

り高い場合を凹面(凹),その逆を凸面(凸),高低が混在する場合は規則性なし(一)として供試体の本数を図示したものである。この図からも供試体寸法による差異

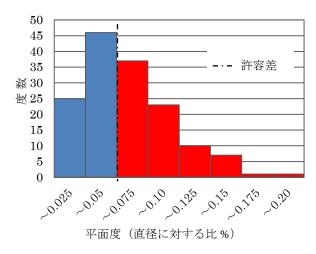


図-2 下面の平面度

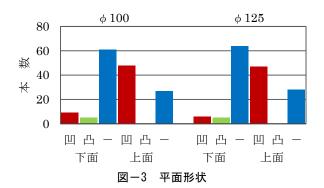
はないことがわかる。また、下面についてはその特徴を見いだせないが、上面は凹面となることが多く凸面となることはない。そこで上面について平面度及び平面形状を調べたものが図ー4である。この図から平面度が許容差の2倍すなわち直径の0.1%を超える場合はすべて凹面となり、許容差以内すなわち直径の0.05%以内では約70%以上が規則性なしとなっている。上面のキャッピングはセメントペーストを用いて行っており、このセメントペーストの収縮等の影響が考えられる。

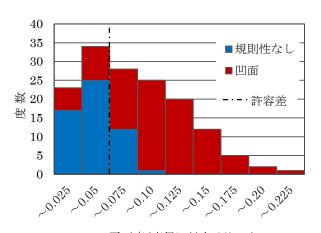
## 3. セメントペーストの水セメント比と平面度

供試体下面の平面度については型枠底盤の平面度が反映されることになる。上面については、通常は JIS A 1132 附属書 JA (参考)「供試体のキャッピング方法」によって普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比 30%の練り置きしたペーストでキャッピングを行っている。この方法は 75N/mm² 程度の強度レベルまで対応できる 3)とされている。キャッピング面の平面度に影響を及ぼす要因としては、キャッピング厚さ、セメントペーストの収縮及び押し板の平面度等が考えられる。セメントペーストの収縮は水和による自己収縮や初期乾燥収縮であり、水和による収縮は、水セメント比やセメントの種類により影響をうける。セメントペーストの自己収縮量は水セメント比が小さいほど大きくなる 4とされている。

そこで水セメント比が 30% と 40%のセメントペーストでキャッピングを行い平面度の相違を確認することにした。  $\phi$  125 のキャッピング面についてそれぞれ 8 組(24本)の平均値を経過日数ごとに示したのが $\mathbf{2}-\mathbf{5}$  である。平面度はセメントペーストの水セメント比が 30% の場合が約  $80\mu$ m,40% の場合は約  $160\mu$ m と 2 倍の値となっている。経過日数との関係は認められずほぼ一定の値で推移し,変動は測定誤差の範囲内と考えられる。このこと

表-3 平面度と不良率 (%) 平均值 標準偏差 推定 実績 不良率 不良率 0.059 0.036 下面 53 60 0.072 0.045 62 上面 69





平面度(直径に対する比%)

図-4 上面の平面度と平面形状

からセメントペーストの収縮がキャッピング面の平面度 に及ぼす影響は、自己収縮よりも初期乾燥収縮の影響が 大きいと考えられる。ただし、両者を明確に分離するこ とは困難なので推定の域を脱し得ない。28日後における

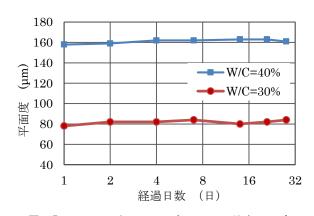


図-5 セメントペーストの水セメント比と平面度

30%の平面度の平均値は  $84\mu m$  であり先の調査における 表 -2 の平均値( $89\mu m$ )と同等であった。また、材齢 28 日のセメントペーストの圧縮強度は 30% の場合では  $88.7N/mm^2$  であり、先に述べた  $75N/mm^2$  程度の強度レベルまで対応できることが確認された。なお、40% の強度は  $70.3N/mm^2$  であった。平面形状は、40%についてはすべてが凹面で、30%は 22 本(約 90%)が凹面であり平面度が小さい(許容差以内)2 本が規則性なしであった。

#### 4. 載荷面の平面度と強度

### 4.1 平面度の修正

載荷面の平面度が強度試験に及ぼす影響を調べるため には, 同一の試料で平面度が許容差を満足しない供試体 と満足する供試体の試験値を比較する必要があり、許容 差を満足する供試体を得るためには平面度を修正するこ とが求められる。そこで上下面の平面度が許容差を満足 しない凹面及び凸面の供試体を作製し、この平面度を修 正する簡便な方法として人力よる研磨を行うことにした。 研磨材として平板形のダイヤモンド砥石(200×70× 8.3mm) を選択した。砥石は両面タイプで片面は荒研ぎ 用(#400),もう一面は仕上げ用(#1000)のものである。 また, 研磨を行うには供試体を固定する必要があり, そ の固定状況と砥石の例を写真-2 に示す。こうして行っ た研磨時間と平面度の関係を研磨時間が長かった 6125 の上面について図-6 に示す。なお、研磨時間は荒砥ぎ 及び仕上げ(30~60秒)時間の合計である。この図から 約4分の研磨で許容差を満足する平面度の供試体が得ら れることが分かった。なお, φ100では約3分であった。

なお、研磨によって平面度を修正した場合、上下面の平行度に影響することが考えられるが、これは直角度に現れることになる。先の調査における平面度の最大値である 0.2%程度傾いたと仮定すると、 $\mathbf{Z}-1$  における  $\mathbf{t}$  の変化は  $\phi$   $\mathbf{100}$  で  $\mathbf{0.4mm}$ ,  $\phi$   $\mathbf{125}$  で  $\mathbf{0.5mm}$  程度となる。この値を調査の直角度の平均値に加えても許容差を十分満足する値であり、試験結果には影響しないと判断した。

### 4.2 平面度と強度の実験結果

同一試料で作製した載荷面が上下面とも平面度の許容差を満足する供試体(以下、供試体 A)と、下面は許容差を満足するがキャッピング面が許容差を満足しない平面形状が凹面の供試体(以下、供試体 B)及び凸面の供試体(以下、供試体 C)それぞれ3本、計9本を1組として強度試験を行った。3本の平均値を供試体 A、B、Cの試験値とした。図-7は、φ100及びφ125それぞれ11組(水セメント比50~60%)の供試体の強度について供試体 A の強度を100としたときの供試体 B(凹面)及び供試体 C(凸面)の強度比の値を図示したものである。



写真-2 供試体の固定状況及び砥石

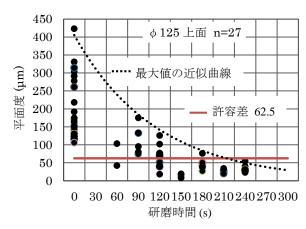


図-6 平面度と研磨時間

この図から平面度が強度試験結果に及ぼす影響は凸面の方が顕著であり供試体 C の値は供試体 A の 65% ~ 95% となっている。また、強度低下の割合は平面度に相関している。供試体 B の強度比は供試体 A の約 95%以上であり、平面度が直径の 0.3%程度までは供試体 A と同等の強度であった。これは平面度による強度低下と後述する載荷

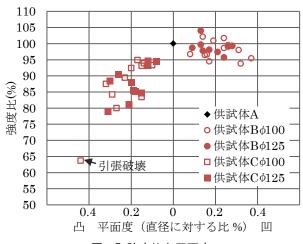


図-7 強度比と平面度

板からの拘束力による強度の増加が関連している。凸面 の供試体 C ではこの拘束力が供試体 A より小さく, 強度 は平面度に相関して減少し, 結果として既往の研究と同 様となった。一方, 凹面の供試体 B では載荷板からの拘 東力が供試体 A より大きく, この拘束力よる強度の増加 と平面度による強度の低下によって直径の 0.3%程度の 平面度までは供試体 A と同等の強度を示すことになる。 図-8は、図-7のデータについて供試体 A の強度を基 準として対応する供試体B及び供試体Cの値を図示した ものである。この図からも平面形状が凸面の場合には大 きな強度低下を示している。平面形状が凹面の強度は供 試体 A と差はほとんどなく,一般的な強度レベル (50N/mm<sup>2</sup>以下) においては平面形状が凹面の場合には 平面度が強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。また, 平面度の影響による強度の低下は強度が高くなるほど大 きく, 既往の研究と同様となっている。

## 4.3 供試体の破壊性状

圧縮強度試験は供試体に一軸圧縮を作用させるものであ り、軸方向には縮むが横方向には膨らむことになる。こ の横方向の膨らみを抑え三軸圧縮状態にすると一軸圧縮 状態の強度よりも大きくなる。耐圧試験機の載荷板の剛 性はコンクリートより高いので圧縮力が作用したとき供 試体端面は載荷板から圧力に比例する摩擦力を受ける。 この摩擦力により供試体に拘束力が生じることになり, 供試体端面に近いほど大きな拘束力となる。この拘束力 が横方向の膨らみを抑えることになり一種の三軸圧縮状 態となって圧縮強度は大きくなる。写真-3は、同一試 料で作製した φ125 の供試体 A, B, C の各 1 本につい て圧縮強度試験時に圧力測定フィルムを用いて測定した 上面の圧力分布と平面度及びその時の供試体の破壊状況 と強度を示したものである。なお、下面の平面度はすべ て 50μm 未満であった。圧力測定フィルムは赤色が濃い 部分の圧力が大きく、薄くなるほど小さいことを示して いる。供試体に載荷したとき載荷面に高低があると高い 部分のひずみが大きく, 圧力も大きくなる。よって, 供 試体 A はほぼ一様な圧力分布となるが、供試体 B では外 周部の圧力が供試体Aより大きくなり中心付近が小さい 圧力となっている。供試体 C は供試体 B とは逆に中心付 近が供試体 A より大きな圧力を示し外側が小さくなっ ている。この圧力から生じる載荷板との摩擦力によるコ ンクリートの拘束は供試体 B が最も大きいと考えられ、 供試体端面から遠くまで拘束することになる。逆に供試 体Cは外周部の摩擦力が小さいことからこの拘束力は小 さく供試体端面に近い部分しか拘束しないことになる。 また,破壊に至るまで載荷したときの供試体の破壊状況 をみると, その上下面から円錐状となり側面が剥がれる

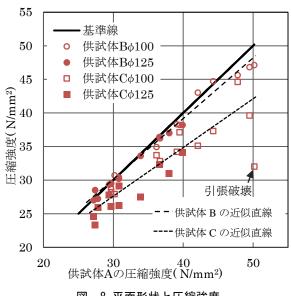


図-8 平面形状と圧縮強度

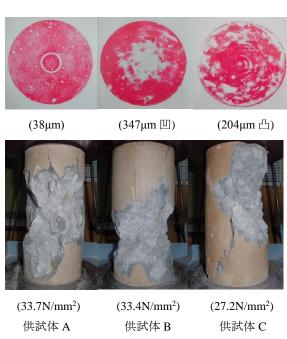
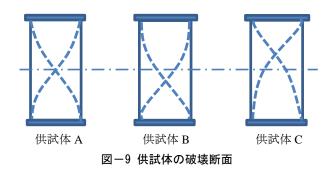


写真-3 載荷面の圧力分布及び破壊状況



状態となっている。この時の破壊面を図示したのが図-9である。この時供試体 Aでは上下ほぼ対称となるが、供試体 Bでは、先に述べた載荷板との摩擦による拘束力が

大きいので上部は強度が大きく破壊面は下方にずれた状態となり、供試体 C では逆に上端付近から破壊することになる。この破壊は円錐が円柱に食い込み側面が剥がれていく円錐面に沿うせん断破壊と考えられる。なお、供試体 C のような凸面で平面度が大きくなると拘束力が生じないため凸部への圧縮力によって横方向に押し出され、写真-4 に示すような引張破壊となることがある。

#### 4.4 平面度の影響

載荷面の平面度が強度の試験結果に及ぼす影響につい て検討することとした。供試体 B は前節でも述べたとお り載荷板からの拘束力は供試体Aより大きいと考えられ るが, 載荷面の中央部に圧力の小さな部分があり, この 面積は平面度に相関する。平面度がある程度以上となる と、拘束力による強度の増加よりも荷重を負担する外周 部の面積が減少することで破壊荷重が小さくなり、結果 として強度が小さくなる。一方, 平面度が小さくなって 凹面である場合には、供試体Aより高い強度を示すこと も当然考えられる。実験結果の図-7 もこのことを示し ており平面度が直径の 0.3%程度を超えると供試体 A の 95%程度の強度となり、これ以下の平面度では±5%で同 等の試験結果となっている。通常の管理下で作製された 供試体の上下面の平面度の最大値は、図-2 及び図-4 から直径の 0.25%以下であった。このことから載荷面が 凹面の場合には平面度は強度に影響しないことになる。 また,図-3及び図-4からセメントペーストによるキャ ッピングでは、凸面となることはなく平面度が 0.1%を超 える場合には凹面となることが分かった。よって、通常 のキャッピングを行っていればキャッピング面の平面度 も試験結果に影響しないと考えられる。

次に供試体 C では、載荷板と供試体端面の摩擦力が外 周部で小さいため、載荷板からの拘束力は供試体 A より 小さく, 平面度が大きくなるほど小さくなる。また, 荷 重を負担する中央部の面積も平面度が大きくなると供試 体B以上に減少する。よって、図-7に示すように平面 度が直径の0.3%程度までは平面度に相関して強度は低 下し、0.1%で供試体 A の約 95%であり 0.3%になると約 80%に低下している。平面度が直径の0.4%程度になると 引張破壊をすることがあり,図-7及び図-8の ← 印の データはその試験結果である。このとき強度比は最も小 さな値を示し供試体 A の 64%であった。載荷面が凸面と なるのは型枠底盤が凹面の場合の供試体下面である。よ って,型枠底盤の平面度を管理するとともに平面形状に 注意する必要があると考える。なお、この試験結果はコ ンクリートの性能を低く評価することであり,この試験 値でもって検査を行い合否判定することは、安全側とな るので可能と考える。



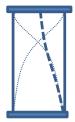


写真-4 引張破壊状況及び引張破壊断面

#### 5. まとめ

生コン工場の圧縮強度試験用供試体の形状寸法について調査した結果、載荷面の平面度は上下面ともに供試体の50%以上が許容差を満足していなかった。また、キャッピング面は、凹面となることが多く凸面とはならないことが分かった。水セメント比が30%と40%のペーストでキャッピングを行い、平面度を比較すると40%が2倍の平面度となった。この平面度を修正するために平板型の砥石を用いて人力による研磨を行った結果、3~4分で寸法の許容差を満足する平面度が得られた。

平面度と強度の関係について実験を行った結果,載荷面の平面形状が凸面の場合には平面度に相関して強度が低下し,その強度比は95%から65%であった。凹面では平面度にかかわらず95%以上の強度比であり,平面度が直径の0.3%程度までは供試体Aと同等の強度であった。これは載荷面が凸面の場合には,載荷板による拘束力が供試体Aより小さく拘束力による強度の増加がないことによる。一方,凹面の場合には,載荷板による拘束力が供試体Aより大きく,この拘束力による強度の増加と平面度による強度低下の双方が影響しているためである。

形状寸法の調査や実験結果から、通常の管理下で作製された供試体の平面度であれば、載荷面が凹面の場合及びセメントペーストによるキャッピング面では、平面度は強度の試験結果に影響しない。凸面の場合には平面度に相関して強度が低下する。

## 参考文献

- 1) 長瀧重義,友澤史紀:生コン工場品質管理ガイドブック,全国生コンクリート工業組合連合会,第5次改訂版,pp.377-379,2008.10
- 2) 松村仁夫,黒井登希雄:コンクリートの圧縮強度に及ぼす表面仕上げ方法の影響,土木学会第 65 回年次学術講演会概要集,V-377, 2010.9
- 3) 松村仁夫, 黒井登起雄: 供試体の表面仕上げ方法が コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響, セメント・ コンクリート論文集, Vol.64, No.1, pp.169-176, 2010.2
- 4) 田澤栄一, 宮澤伸吾: 水和による自己収縮, コンクリート工学, Vol.32, No.9, pp.25-30, 1994.9