論文　アンボンドキャッピングを供試体の両端面へ適用した場合の圧縮強度試験結果について

辻本　一志[*1]・鈴木　一雄[*2]・伊藤　康司[*1]・山之内　康一郎[*1]

要旨：圧縮強度試験における供試体の端面処理方法として，供試体の両端面にアンボンドキャッピングを用いた場合の試験結果と研磨及びペーストキャッピングを施した場合の試験結果とを比較し，その適用性を調査した。また，端面を傾斜させた供試体及び段差を設けた供試体について，圧縮強度試験及び静弾性係数試験を行い，アンボンドキャッピングの有効性を調査した。試験の結果，両端面にアンボンドキャッピングを適用した場合の圧縮強度の試験値は研磨を施した供試体と同等となること，及び静弾性係数試験におけるひずみの測定値の変動が小さくなることが明らかになった。

キーワード：アンボンドキャッピング，圧縮強度試験，静弾性係数試験

1. はじめに

2006年度における生コンクリートの生産量は1億2千万 m^3 であり，生コンクリート工場においてはこれらの製造工程管理として，1 日に数組から数十組の圧縮強度試験用供試体を作製している。また，製品検査として出荷したコンクリートに関しては，少なくとも $150m^3$ に 1 回の割合で供試体を作製している。これらの供試体の作製においては，主としてセメントペーストキャッピングを行っているが，出荷量が多く供試体の数が多い工場では，この作業が大きな負担となっている。

一方，圧縮強度試験の実施においては，JIS A 1132 に示される精度を満足した供試体が試験の対象となっており，その確認は多くの場合供試体作製に用いる型枠の検査結果により行っている。しかし，持ち込まれた供試体のみを試験の対象としている試験機関においては，全ての供試体について，その作製に用いられた型枠の検査結果を入手することが困難であること及び型枠の管理を行って所定の精度を有する供試体が作製されたとしても，運搬作業等において精度の規定値を超える場合もあるため [1)]，試験時に供試体そのものの精度を確認する必要がある。

キャッピング及び圧縮強度試験の省力化方法は，海外規格として ASTM C 1231 [2)]，AS 1012.9 [3)]，日本工業規格として JIS A 1107 及び JIS A 1108 にアンボンドキャッピング方法が規定されている。このアンボンドキャッピングは，金ごてで仕上げた供試体の打設面に，ゴムパッドを挿入した鋼製キャップを被せることによって，研磨を行った場合と同等の圧縮強度試験結果が得られるキャッピングの省力化方法 [4), 5)] であるが，JIS A 1108 については，その適用範囲が打設面のみに限定されているため，もう一方の端面については，型枠底板又は供試体の底面の平面度を測定しなければならず，この作業には多大な労力が必要となる。

そこで，アンボンドキャッピングを供試体の両端面へ適用した場合の圧縮強度の試験値と研磨やペーストキャッピングを施した供試体の試験値とを比較し，その適用性を調査した。また，端面の形状を変化させた供試体について，圧縮強度及び静弾性係数試験を行い，アンボンドキャッピングの有用性についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験内容

(1) キャッピング方法の相違が圧縮強度試験結果に及ぼす影響（シリーズⅠ）

アンボンドキャッピングの供試体両端面への適用性を調査するために，供試体の打設面の処理方法を，研磨，ペーストキャッピングとした場合と，打設面を金ごてで仕上げた供試体の打設面及び両端面にアンボンドキャッピングを適用した場合の圧縮強度の試験値を比較した。なお，実験は試験者の影響についても検討を行うために，4 試験所で実施した。実験条件を**表－1** に示す。

表－1　実験条件（シリーズⅠ）

要因		水準
試験所		4 カ所
ｺﾝｸﾘｰﾄの種類	骨材の組合せ	4 種類 砂利－砂，砕石 A－砂 砕石 B－砂，砕石－砕砂
	強度水準	5 種類 20，30，40，50，60 N/mm^2 程度
供試体の端面処理・ｷｬｯﾋﾟﾝｸﾞ方法		4 種類 研磨，ﾍﾟｰｽﾄｷｬｯﾋﾟﾝｸﾞ ｱﾝﾎﾞﾝﾄﾞｷｬｯﾋﾟﾝｸﾞ（打設面） ｱﾝﾎﾞﾝﾄﾞｷｬｯﾋﾟﾝｸﾞ（両端面）

*1 全国生コンクリート工業組合連合会　中央技術研究所　(正会員)
*2 全国生コンクリート工業組合連合会　中央技術研究所　工博　(正会員)

(2) 供試体端面の形状が圧縮強度試験結果へ及ぼす影響（シリーズⅡ）

供試体端面の処理の程度が圧縮強度の試験結果に及ぼす影響を調査するために，供試体の打設面を図－1 に示す形状に処理し，そのまま試験を行った場合と，アンボンドキャッピングを適用した場合の試験値を比較した。また，応力分布の概略を把握するために，コンプレッソメータにより測定した 2 箇所のひずみを比較した。実験は，圧縮強度 30 及び 45 N/mm^2 程度の 2 種類の供試体について，載荷方法を①アンボンドキャッピングを適用せずそのまま載荷した場合，②アンボンドキャッピングを打設面のみに適用した場合，③アンボンドキャッピングを両端面に適用した場合の 3 方法として行った。

2.2 試験方法

(1) 供試体の作製

供試体は精度が確認された鋼製の型枠を用い，JIS A 1132 に従って作製し，その端面は研磨又はペーストキャッピングで処理した。また，アンボンドキャッピングを適用する供試体については，打設面を金ごてによって仕上げた。なお，シリーズⅡで用いた供試体は，研磨機への設置位置及び角度を変化させて，その端面に傾斜又は段差を設けた。

(2) 強度試験

圧縮強度試験は JIS A 1108 及びその附属書（規定）に従って行った。また，アンボンドキャッピングを供試体の両端面へ適用する場合の試験は，JIS A 1107 に従って図－2 に示すように行った。静弾性係数試験は JIS A 1149 に従い，コンプレッソメータを用いて行った。ひずみの測定は 1×10^{-6} の精度で 1 秒間に 1 回行い，2 つのひずみ測定器から得た測定値を平均して静弾性係数を求めた。

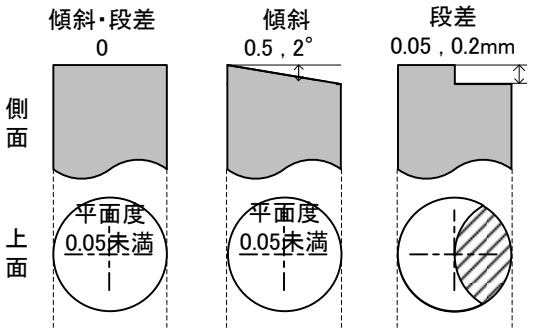
なお、供試体への載荷は打設面を球座側として行った。

3. 実験結果

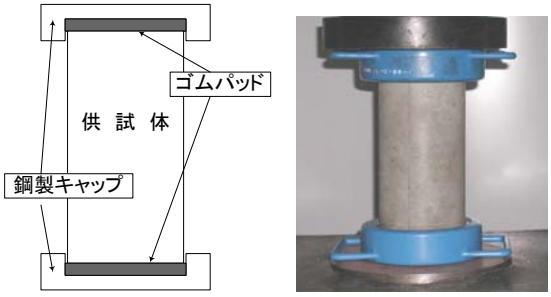
3.1 キャッピング方法の相違が圧縮強度試験の結果に及ぼす影響（シリーズⅠ）

供試体の端面にペーストキャッピング及びアンボンドキャッピングを施した場合の圧縮強度を，研磨した供試体の試験値に対する強度比として試験機関ごとに整理し，図－3～図－6 に示す。なお，本実験では骨材の組合せと圧縮強度との関係が明確に現れなかったため，これらの図においては，骨材の組合せを異にする 4 種類のコンクリートについて 3 本ずつ作製した供試体，計 12 本の試験結果を平均値で示した。

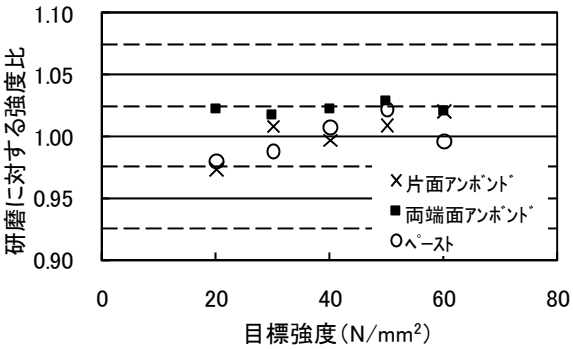
図－3～図－6 において，研磨に対する強度比は全体として，アンボンドキャッピングを打設面のみに適用（以降，片面アンボンドと表記）した場合が 0.97～1.02，両端面に適用（以降，両端面アンボンドと表記）した場合が 0.98～1.02，ペーストキャッピングが 0.98～1.03 となっており，本実験の強度の範囲（20～60 N/mm^2）では，キャッピング方法が試験結果に及ぼす影響は認められなかった。また，試験所ごとに結果を整理すると，強度



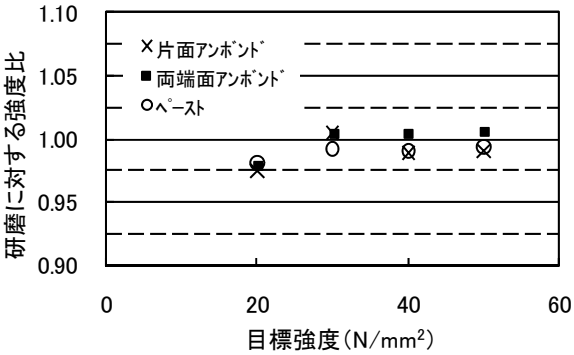
図－1　供試体端面の形状



図－2　アンボンドキャッピング（両端）



図－3　研磨に対する強度比（試験所A）

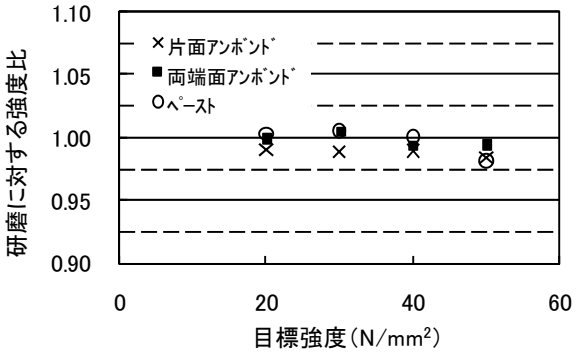


図－4　研磨に対する強度比（試験所B）

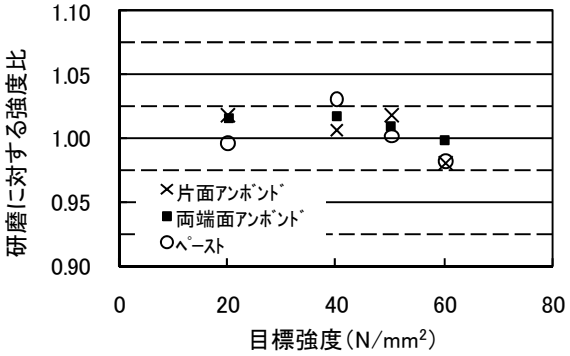
が高くなるに従って強度比が低下する試験所（試験所 C 及び D）や強度にかかわらず強度比 1 付近を強度比が上下する試験所（試験所 A 及び B）が見受けられたが，その変動量は供試体自体のばらつきに起因すると考えられる範囲である。

図－7～図－10 は試験条件ごとに作製した 3 本の供試体について実施した圧縮強度の標準偏差を，キャッピング方法ならびに強度水準ごとに整理したものである。なお，図中には標準偏差の平均値と分散を併記した。**図－7～図－10** において，3 本の圧縮強度の標準偏差は，端面処理の方法による相違は認められず，20 N/mm^2 が 0.40～0.50 N/mm^2，30 N/mm^2 が 0.52～0.57 N/mm^2，40 N/mm^2 が 0.55～0.67 N/mm^2，50 N/mm^2 が 0.90～0.96 N/mm^2 であった。また，端面処理方法ごとに整理した標準偏差の分散も 20 N/mm^2 が 0.08～0.09，30 N/mm^2 が 0.09～0.13，40 N/mm^2 が 0.03～0.17，50 N/mm^2 が 0.14～0.23 となっており，端面の処理方法によらず，同程度の値であった。

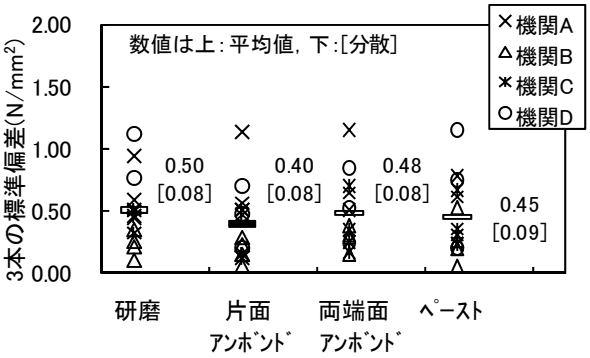
以上の結果より，供試体の両端面にアンボンドキャッピングを適用した場合の圧縮強度試験結果は，研磨やペーストキャッピングを施した供試体と同等となることが分かった。ただし，本実験のように，精度の確認された型枠を用い，JIS A 1132 に従って作製された供試体については，両端面アンボンドによる明確な試験精度の向上は認められなかった。



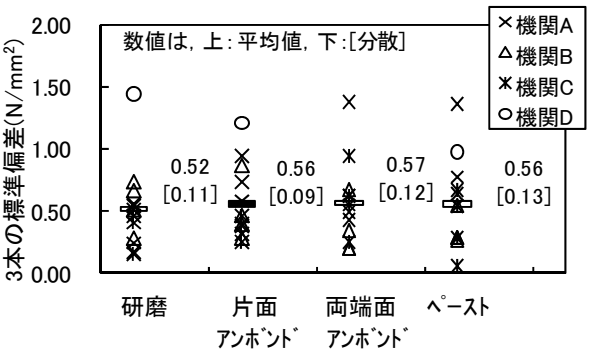
図－5　研磨に対する強度比（試験所C）



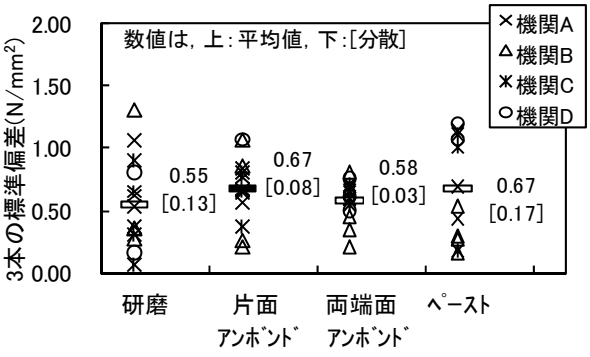
図－6　研磨に対する強度比（試験所D）



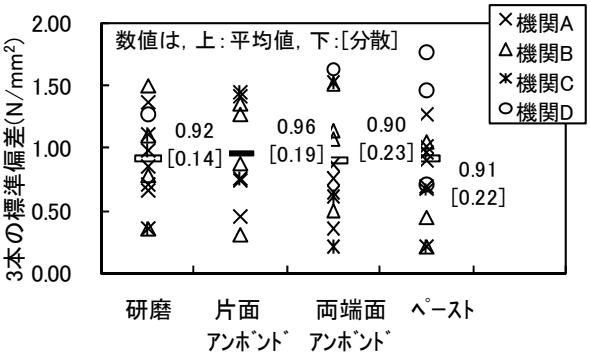
図－7 研磨に対する強度比（強度20N/mm^2）



図－8 研磨に対する強度比（強度30N/mm^2）



図－9 研磨に対する強度比（強度40N/mm^2）



図－10 研磨に対する強度比（強度50N/mm^2）

なお，別途行った実験[6]では，供試体の底面の平面度をJIS A 1132に示される上限値0.05mm（φ100mmの供試体の場合）を超える1，2および3mmに成形し，両端面アンボンドの有用性を調査した。なお，供試体の打設面は平面度が 2mm 程度になるように金ごてで仕上げただけである。試験結果は，**図－11**に示すようであり，供試体の打設面及び底面の平面度が規格の上限値を大きく超える場合においても，両端面にアンボンドキャッピングを適用すれば精度を満足する供試体と同等の試験値が得られている。

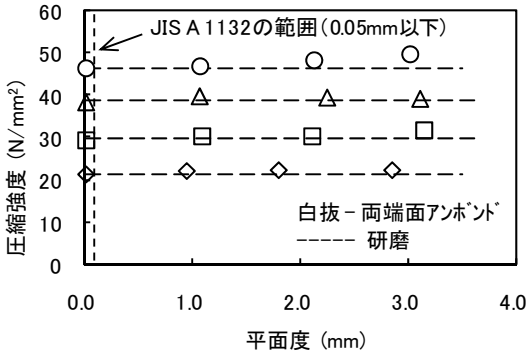
3.2 供試体端面の形状が圧縮強度試験結果へ及ぼす影響（シリーズⅡ）

(1) 圧縮強度試験結果

前掲**図－1**に示すように，供試体の端面が0.5°，2.0°傾斜するように成形した供試体と，0.05mm，0.2mmの段差が生じるように成形した供試体について，アンボンドキャッピングを適用し，その有効性を調査した。

表－2 はアンボンドキャッピングを適用しない場合（表中の“なし”），打設面のみに適用した場合（表中の“片面”），両端面に適用した場合（表中の“両端”）の圧縮強度試験結果を整理したものである。なお，表中の平均とは2本の供試体について行った結果の平均値を示している。**表－2**において，強度が30 N/mm^{2}程度の場合，アンボンドキャッピングの適否による差異は認められず，キャッピングなしの平均値の範囲は全体として31.7～32.6 N/mm^2，片面アンボンドが32.2～32.7 N/mm^2，両端面アンボンドが32.4～32.8 N/mm^{2}となっている。また，標準偏差は，キャッピングなしが0.11～1.40 N/mm^2，片面アンボンドが0.11～0.54 N/mm^2，両端面アンボンドが0～0.43 N/mm^{2}となっており，両端面アンボンドを適用することにより，試験値の変動が小さくなっている。

つぎに，強度45N/mm^{2}程度の場合は，傾斜2.0°，段差0.05及び0.2mmの供試体において，アンボンドキャッピングを適用しない場合の試験値が小さくなっており，その値は，精度が確保された傾斜0°のキャッピングを行っていない供試体に対して傾斜2.0°が−1.6 N/mm^2，段差0.05mmが−11.0 N/mm^2，段差0.20mmが−2.6 N/mm^{2}であった。これに比べアンボンドキャッピングを打設面又は両端面に適用した場合には，傾斜や段差が無い供試体の試験値と同等となっており，その範囲は全体として片面アンボンドが47.0～47.7 N/mm^2，両端面アンボンドが47.1～47.7 N/mm^{2}であった。これは，鋼製キャップ内に挿入したゴムパッドが試験時の荷重により変形し、供試体端面の傾斜や凹凸に対して比較的均一に荷重を作用させること及び鋼製キャップがゴムパッドの円周方向への変形を拘束し，水平せん断力の発生を抑制するためと思われる。



図−11　供試体底面の平面度が圧縮強度に及ぼす影響

表－2　圧縮強度及び静弾性係数試験結果

強度水準 (N/mm^2)	供試体の形状	ｷｬｯﾋﾟﾝｸﾞ	圧縮強度 (N/mm^2) 平均	圧縮強度 (N/mm^2) 標準偏差	静弾性係数 (kN/mm^2) 平均	静弾性係数 (kN/mm^2) 標準偏差	ひずみの差 (×10^{-6}) ε1’	ひずみの差 (×10^{-6}) ε2’
30	傾斜0°	なし	32.5	1.40	27.6	0.40	-2	133
		片面	32.7	0.22	28.4	0.66	12	87
		両端	32.4	0.00	28.5	0.52	12	63
	傾斜0.5°	なし	32.0	0.32	26.7	0.13	67	259
		片面	32.7	0.22	27.2	1.61	20	46
		両端	32.5	0.00	27.2	0.81	2	13
	傾斜2.0°	なし	32.6	0.76	27.3	0.50	116	268
		片面	32.3	0.54	27.5	1.31	23	56
		両端	32.5	0.32	28.0	0.51	9	26
	段差0.05mm	なし	32.6	0.11	27.6	1.83	27	54
		片面	32.2	0.11	27.2	0.10	20	31
		両端	32.8	0.43	26.3	0.08	15	46
	段差0.20mm	なし	31.7	0.11	26.9	0.08	60	234
		片面	32.2	0.43	27.2	0.13	6	25
		両端	32.5	0.00	28.1	1.24	6	16
45	傾斜0°	なし	48.1	0.86	30.2	1.06	8	54
		片面	47.6	0.05	33.0	1.17	-11	108
		両端	47.7	0.00	31.9	1.29	8	124
	傾斜0.5°	なし	47.4	0.54	33.1	0.51	48	196
		片面	47.2	0.43	33.1	0.57	14	123
		両端	47.5	0.22	32.0	0.82	6	83
	傾斜2.0°	なし	45.5	1.08	30.9	0.31	120	651
		片面	47.0	0.97	33.1	0.62	16	141
		両端	47.1	0.32	31.9	0.42	21	136
	段差0.05mm	なし	33.2	0.43	39.8	11.44	49	175
		片面	47.1	0.43	34.6	1.12	5	79
		両端	47.1	0.38	32.9	0.22	19	28
	段差0.20mm	なし	44.2	1.30	29.7	1.15	43	404
		片面	47.7	0.11	33.6	0.40	6	77
		両端	47.6	0.59	32.6	0.12	6	87

注）表中のひずみの差とは，供試体の左右に設置した2つのひずみ測定器の測定値の差（ε1’：最大荷重の1/3に相当する応力時，ε2’：ひずみの平均値が50×10^{-6}）を示す．なお，数値は供試体2本の平均値。

なお，段差0.05mmの試験値が他と比べて極端に小さくなっている。これは，供試体端面の形状が計画していた段差にならず，波打つような凹凸になったためと思われる。しかし，このような場合においてもアンボンドキャッピングを適用すれば強度の低下は起こらず，精度が確保された供試体と同等の試験結果が得られている。

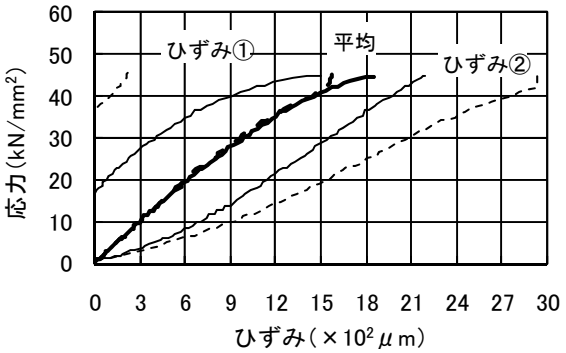
(2) 静弾性係数

3.2 (1)と同時に測定した静弾性係数を**表－2** に併記した。**表－2** において，強度水準 30N/mm^2 の試験値は，圧縮強度と同様に，アンボンドキャッピングの適否による明確な差異は認められず，キャッピングなしの平均値の範囲は 26.7～27.6 kN/mm^2，片面アンボンドが 26.7～28.4 kN/mm^2，両端面アンボンドが 26.3～28.5 kN/mm^2 であった。また，これらの値は総プロ NewRC [7] の算定値とほぼ同等であり，強度水準 30 N/mm^2 程度では，供試体端面の形状が圧縮強度や静弾性係数試験の結果に及ぼす影響は，比較的小さいと思われる。なお，標準偏差についてもアンボンドキャッピングの適否による明確な差異は認められず，その範囲は全体として 0.08～1.61 kN/mm^2 であった。

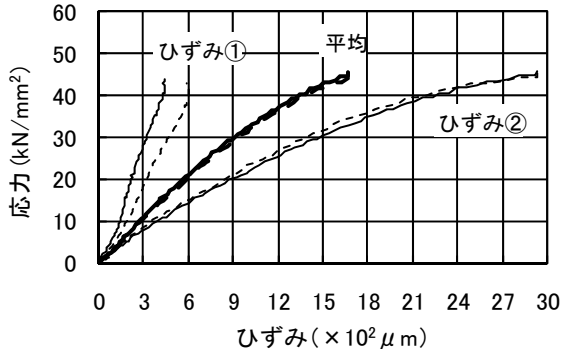
つぎに，強度水準 45N/mm^2 の供試体については，アンボンドキャッピングなしの平均のうち，傾斜 2.0°及び段差 0.2mm の試験値が比較的小さな値を示した。これは，供試体に大きな傾斜や段差がある場合，相対的に高い位置（傾斜の場合には供試体高さが高い部分，段差の場合凸部分）に荷重が集中し，局部的な破壊が生じるためと思われる。また，段差 0.05mm については，静弾性係数の平均値及び標準偏差が他よりも極端に大きな値となっている。この原因としては，前述のように端面の形状が段差ではなく波形となり，端面の凸部分に偏って荷重が加わったこと及び凸部分の一部において，荷重の増加にともなって，全体の応力を失わない程度の破壊を繰り返し，応力の増加に対してひずみが増減を繰り返したことが考えられる。

これに対して，アンボンドキャッピングを適用した場合の試験値は，片面アンボンドが 33.0～34.6 kN/mm^2，両端面アンボンドが 31.9～32.9 kN/mm^2 となっており，端面の形状にかかわらず，ほぼ一定の値となっている。また，これらの値は総プロ NewRC の算定値とほぼ同等であった。このように，アンボンドキャッピングを適用した場合の試験値が端面の形状にかかわらず同程度の値になった理由としては，供試体に接触するゴムパッドが荷重を比較的均等に再配分したことが考えられる。

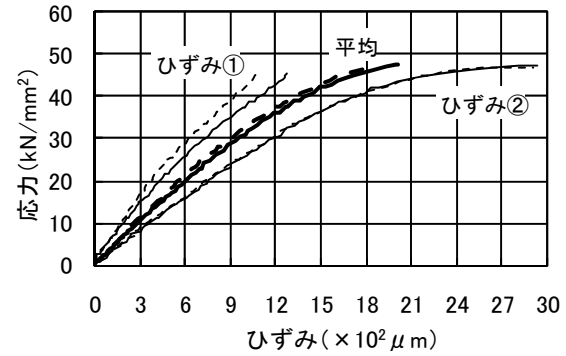
図－12～図－14 は，強度水準 45 N/mm^2，端面の傾斜を 2.0°とした供試体の応力－ひずみ曲線であり，キャッピング条件ごとに 2 回の試験データを示している。なお，図中のひずみ①は供試体の高さが最も低い部分に設置したひずみ測定器の測定値，ひずみ②は最も高い部分のひずみを示している。図において，アンボンドキャッピングを適用しない場合（**図－12**）には，ひずみ①とひずみ②との差が大きく，載荷の初期段階ではひずみ①がマイナスの値を示しており，供試体の高さが低い部分においては，一時的に長さが増大する傾向が認められた。



図－12　応力－ひずみ曲線（ｱﾝﾎﾞﾝﾄﾞ無し）



図－13　応力－ひずみ曲線（片面ｱﾝﾎﾞﾝﾄﾞ）



図－14　応力－ひずみ曲線（両端面ｱﾝﾎﾞﾝﾄﾞ）

これに対し，片面アンボンドの場合（**図－13**）には，ひずみの差は大きいものの，ひずみ①がマイナスの値を示すことはなかった。さらに，両端面アンボンド（**図－14**）については，ひずみの差も小さく，比較的均等に荷重が加わっていることが伺える。また，全供試体についてひずみ①とひずみ②との差を整理した結果を**表－2**，**図－15** 及び**図－16** に示した。なお，**図－15** 及び**図－16** 中に示した数値は最大荷重の 1/3 に相当する応力が生じたときのひずみの差を示している。**図－15** は強度水準 30 N/mm^2 の結果を示したもので，全体として 2 つのひずみの測定値の差は，$\varepsilon 1'$（最大荷重の 1/3 に相当する応力時），$\varepsilon 2'$（ひずみ 50μm 時）ともに“両端面アンボ

ンド”＜“片面アンボンド”＜“キャッピングなし”，の順に大きくなっており，傾斜 2.0°及び段差 0.2mm の供試体では両端面アンボンドに対するキャッピングを行わなかった場合の比が 10 倍程度となった。また，図－16 は強度水準 45N/mm^2 の結果を示したもので，全体として強度水準 30N/mm^2 よりひずみの差が大きくなっている。アンボンドキャッピングの適否の影響については，強度水準 30N/mm^2 と同様に両端面アンボンドのひずみの差が小さく，傾斜 2.0°，段差 0.2mm の供試体ではキャッピング無しの 1/10 程度であった。

以上の結果より，圧縮強度試験及び静弾性係数試験を実施するにあたって，供試体端面の処理を十分に行うことができない場合においても，供試体の打設面及び底面にアンボンドキャッピングを適用することにより，精度が確保された供試体と同等の試験結果が得られると思われる。

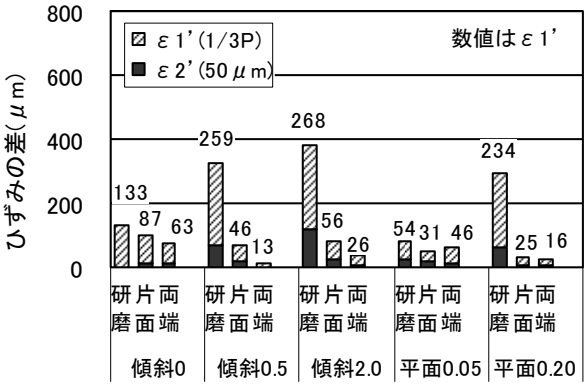
4. まとめ

供試体端面の処理を研磨，ペーストキャッピングにより行った場合と供試体の両端面にアンボンドキャッピングを用いた場合の圧縮強度及び静弾性係数試験結果とを比較し，供試体両端面へのアンボンドキャッピングの適用性を調査した。本実験の結果を要約すれば，以下のようである。

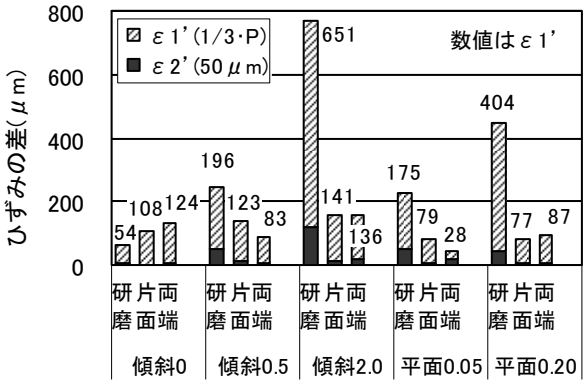
(1) 圧縮強度 20～60N/mm^2 の範囲では，研磨，ペーストキャッピング，両端面アンボンドの試験値に差異は認められない。また，1 試験条件毎に作製した供試体 3 本の標準偏差も同程度であった。

(2) 供試体端面を 0.5 及び 2.0°傾斜させた供試体及び端面に 0.05 及び 0.2mm の段差を設けた供試体など，JIS A 1132 の規定値を満足しない供試体においても，両端面にアンボンドキャッピングを適用することにより，精度が確保された供試体と同等の圧縮強度が得られる。

(3) 静弾性係数試験に端面の形状が JIS A 1132 の規定値を超える供試体を用いた場合，ひずみの値は測定位置によって大きく変化するが，供試体の両端面にアンボンドキャッピングを適用することによって，測定位置にかかわらず平均的なひずみが測定できる。また，この場合静弾性係数の変動も小さくなる。



図－15 ひずみ測定値の差（強度30N/mm^2）



図－16 ひずみ測定値の差（強度45N/mm^2）

参考文献

1) 全国生コンクリート工業組合連合会：圧縮強度試験用供試体の作製作業における合理化，新技術開発報告，No.8，1987.3

2) ASTM C 1231, Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders, 2007

3) AS 1012.9, Methods of testing concrete - Determination of the compressive strength of concrete specimens, 1999

4) 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，pp79-90，1998.7

5) 野口貴文，友澤史紀，小野山貫造，郭朝光：高強度コンクリートの圧縮強度試験方法の標準化に関する研究（その 10. アンボンドキャッピングの開発），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.957-958，1993.9

6) 辻本一志，宮下利彦，伊藤康司，鈴木一雄：アンボンドキャッピングの供試体両端への適用に関する実験，土木学会年次学術講演会講演概要集，第 5 部，Vol.58，pp.421-422，2003.9

7) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート構造物の超軽量・超高層化技術開発」報告書，1993