

論文 超高強度コンクリートの圧縮強度に及ぼす端面処理の影響

小山 善行^{*1}・早川 光敬^{*2}・陣内 浩^{*3}・今西 正尚^{*4}

要旨：本論では超高強度コンクリートの円柱供試体端面の処理状態と圧縮強度試験結果の関連について、使用型枠や整形精度なども含めた基礎的な検討を行った。供試体の平面度測定に関する基本的な検討を行った結果、JIS A 5308 の附属書 5 に示される平面度測定装置を用いて 17 点程度の測定を行えば、概ねその供試体の平面度が求められると考えられた。また、JIS A 1132 の許容範囲に平面精度を確保するには、供試体を研磨加工したほうが良いこと、平面度が JIS の許容範囲を超える供試体では突発的に低い圧縮強度がでる傾向があることなどが確認できた。

キーワード：供試体，平面度，圧縮強度，超高強度コンクリート

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の高層化，大型化に伴い、コンクリートの高強度化が要求されるようになってきている。過去の研究^{1) 2)}により、このような高強度コンクリートでは、供試体の整形が圧縮強度試験の精度に大きく影響することがわかっている。

圧縮強度試験の精度を確保する上では、供試体端面の平面度が重要である事は言うまでも無く、研究成果も多数報告^{3) ~9)} されている。しかし、このような研究の多くは、圧縮強度 30N/mm² 以下の一般的な強度領域での検証であり、近年普及している超高強度領域でのデータの蓄積が望まれている。

また、高強度コンクリート供試体の端面処理に関連する技術動向としては、1997 年に JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に取り込まれた軽量型枠の普及や、供試体端面処理用の研磨機の普及などがある。これらが普及した時期は、多くの研究者が供試体端面の精度を検討していた時期よりも年代的に新しく、軽量型枠を用いて作られた高強度コンクリート供試体の

端面精度がどの程度のものなのか、また研磨機によって整形された端面精度はどの程度のものなのかといった点などはあまり明確ではない。

そこで、本論では超高強度コンクリートの円柱供試体の端面処理状況と圧縮強度試験結果の関連について、使用型枠や整形精度なども含めた基礎的な検討を行った。

2. 供試体端面に関する基本検討

2.1 平面度の測定方法に関する基本検討

一般に、圧縮強度試験用円柱供試体端面の平面度を評価する指標としては、JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」に示される直径の 0.05%以内が用いられている。また、この精度を測定する手法としては、JIS A 5308 の附属書 5 に示される平面度測定装置が用いられていることが多い。そこで本研究では、JIS に示される平面度測定装置を用いて、供試体の平面度を測定することとした。使用した平面度測定装置を写真-1に示す。JIS A 5308 における供試体端面の平面度とは、直交する 2 本の直線を測線として、それぞれについて測線上の両端

*1 東京検査（株） 代表取締役（正会員）

*2 東京工芸大学 工学部建築学科 教授・工博（正会員）

*3 大成建設（株） 技術センター 主任研究員・博士（工学）（正会員）

*4 東京検査（株） 建材研究所 試験課長

部を結ぶ線と中心部の高低差を求め、両者を平均した値とすることになっている。しかし、過去の研究では、JIS A 5308 よりも多くの測定点を用いて平面度を評価したものが多く、どの程度の測定点が妥当なのかは必ずしも明確ではない。そこで、ここでは、何点以上の測定点で供試体の平面度を安定的に評価できるのかを検討した。なお、ここでの平面度の定義は、JIS B 7513「精密定盤」に示される「使用面を幾何学的に正しい平行二平面で挟んだとき、平行二平面の間隔が最小となる間隔の寸法」とした。

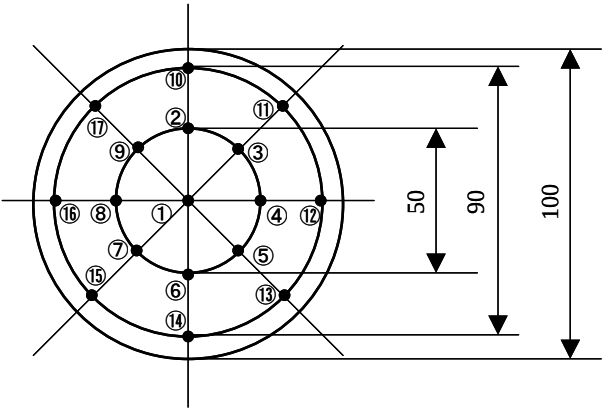
実験では、平面度測定装置を用いて、軽量型枠で作製したΦ100×200mm 円柱供試体の底面の高さを多数測定することとした。測定点は、図－1に示す17点を基本とした。測定では、測定点①を中心に、測定点②から⑰を15度、22.5度、30度と回転させた計65点(17点+16点+16点+16点)の端面高さを測定した。ただし、いくつかの測定点は平面度測定装置の据付治具の下に隠れるため、今回の実験では測定を行っていない。また、真平面という校正用具が入手できなかったため、ここでは平面度測定装置のキャリブレーションを、キャッピング用ガラス板の平面度測定値が0.00mmとなることを基に定めている。

検討では、測定した65点を、東西南北の同じ

点といった幾何学的に意味のある設定で5点から65点の10パターンに分類し、測定点数と平面度の関係を分析した。検討した供試体は、予備試験により、JIS A 1132の平面度の上限値ギリギリであると考えられたものと、JIS A 1132の平面度の上限値を明らかに上回っていると考えられたものの2個とした。設定した測定点数と測定点数の内訳を表－1に、測定点数と平面度の関係を図－2に示す。図－2より、測定点数13点までは平面度測定結果は増加し、それ以

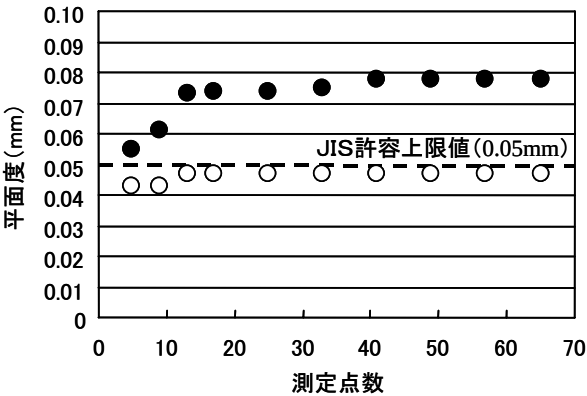


写真－1 使用した平面度測定装置



図－1 測定点数と計測

表－1 平面度算出用測定点の設定	
設定 点数	測定点
5	①⑩⑫⑭⑯
9	①②④⑥⑧⑩⑫⑭⑯
13	①②④⑥⑧⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰
17	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰
25	上記17点+15度回転の②～⑨
33	上記17点+15度回転の②～⑰
41	上記33点+22.5度回転の②～⑨
49	上記33点+22.5度回転の②～⑰
57	上記49点+30度回転の②～⑨
65	上記49点+30度回転の②～⑰



図－2 測定点数と測定結果

降は比較的安定した結果が得られることがわかる。現状ではデータ数が十分とは言えないが、今回の測定結果からは、図－1に示す17点程度で供試体端面の平面度を測定することができると考えられた。

次に、測定した65点について、基点、15度、22.5度、30度と回転させた17点ごとに分類した平面度を比較した結果を図－3に示す。これより、いずれの角度で測定した17点であっても、概ね同じ平面度を測定できたことがわかる。

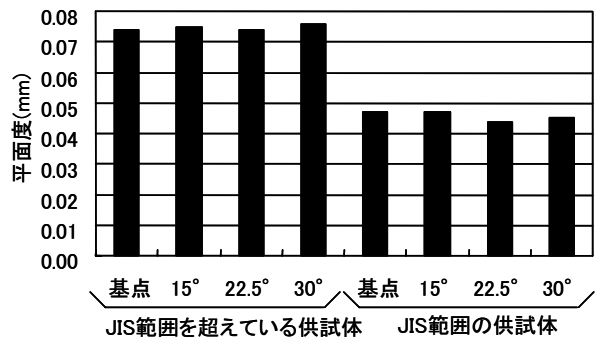
これらの結果より、本研究では図－1に示す17点によって求められた平面度を、供試体端面の平面度とみなして研究を進めることとした。

2.2 軽量型枠を用いた供試体の底面と研磨面の平面度の測定

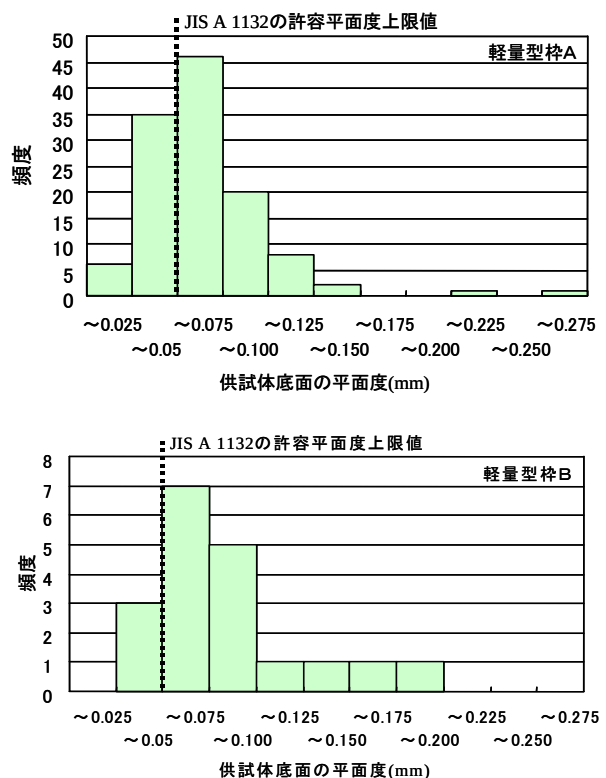
昨今、様々な高強度コンクリートの強度管理手法が提案されている。このうち、建築工事で使用される簡易断熱養生供試体¹⁰⁾の作製などでは、軽量型枠を利用するのが一般的である。また、キャッピングに用いる材料の強度などの問題から、超高強度コンクリートで作製された供試体の端面処理は研磨で実施されることが多い。そこで、ここでは前節で定めた平面度の測定方法により、軽量型枠で作製された供試体の底面、および研磨面の平面度を検討することとした。

検討で使用した供試体は、ぶりき製の軽量型枠Aで作製したΦ100×200mm供試体119個、およびプラスチック製の軽量型枠Bで作製したΦ100×200mm供試体21個である。底面に気泡などが残らないように、コンクリートはスランプフロー600mm以上の高流動コンクリートを使用している。また、いずれの供試体も、打設後に外気に触れる場所で半年以上保管したものを脱型し、その直後に測定を行っている。

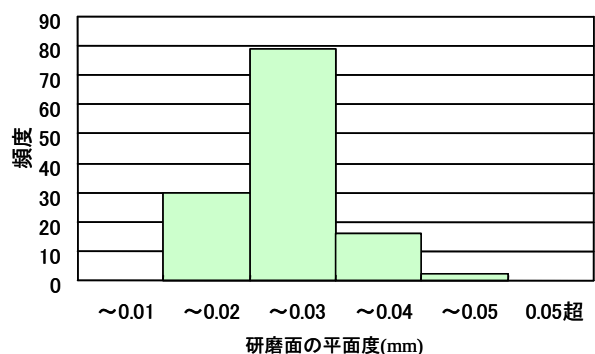
軽量型枠で作製した供試体底面の平面度測定結果を図－4に示す。今回の測定結果では、いずれの軽量型枠で作製した供試体底面の平面度でも、JIS A 1132の許容範囲(0.05mm)を超えるケースが多かった。今回の結果では、軽量型枠で作製した供試体底面がJIS A 1132を満たす



図－3 角度別の平面度測定結果



図－4 軽量型枠で作製した供試体底面の平面度測定結果



図－5 研磨面の平面度測定結果

ケースは、3～5 本程度に 1 本であった。軽量型枠で作製した供試体の底面が JIS A 1132 を満たせなかった理由は、軽量型枠の底板に依存する可能性、コンクリートの収縮に依存する可能性などが考えられる。この理由については今後の課題である。

次に、底面を測定した供試体の上面を研磨し、底面と同様に平面度を測定した結果を図-5 に示す。使用した研磨機はダイヤモンド砥石による注水研磨機で、電動振子式・扇型運動による直角度研磨方式である。図-5 からわかるように、研磨後の供試体端面で JIS A 1132 の許容範囲を超えるものはなかった。したがって、供試体端面を研磨処理すれば、JIS A 1132 を満たすことができると思われた。

3. 供試体端面の平面度と圧縮強度の関係

3.1 実験計画

ここでは、2. の測定に用いた一部の供試体を用いて、平面度と圧縮強度の関係を分析した。圧縮強度試験に用いる供試体は、上端面を研磨し、下端面を脱型時のままとしたものである。供試体の成形精度は、上下端の平面度以外に、上下端の平行度、上下端と側面の垂直度などでも表せるが、今回の検討では、これらは許容値内であるとして考慮していない。

調合条件を表-2 に示す。実験に用いたコンクリートは、水結合材比 15～27%で調合した 4 種類の超高強度コンクリートである。いずれも 3 ロットを練混ぜ、各ロットで 6 本以上（最高で 9 本）の供試体を採用している。

シリーズ 1 では、普通ポルトランドセメント（OP）に、スラグ石膏（SG）とシリカフューム（SF）を質量比 7：2：1 で混合した高強度用結合材¹¹⁾を使用した。シリーズ 2 および 4 では、普通ポルトランドセメントと、シリカフュームを混合したスラグ石膏系の高強度用混和材（SS）¹²⁾を、質量比 8：2 で別計量して使用した。シリーズ 3 では、中庸熟ポルトランドセメントを使用した。

圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリート

表-2 実験に用いた供試体の概要

シリーズ	W/B (%)	結合材	骨材
1	15	OSS	安山岩系碎石・砕砂
2	21	OP+SS	石灰岩系碎石・砕砂 +陸砂
3	24	M	
4	27	OP+SS	

■OSS：高強度用結合材（密度 2.99g/cm³）¹¹⁾

[質量比 OP：SG：SF=7：2：1]

■OP+SS：[質量比 OP：SS=8：2]

■OP：普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）

■M：中庸熟ポルトランドセメント（密度 3.22g/cm³）

■SS：高強度用混和材（密度 2.64g/cm³）¹²⁾

■スランプフロー60cm 以上

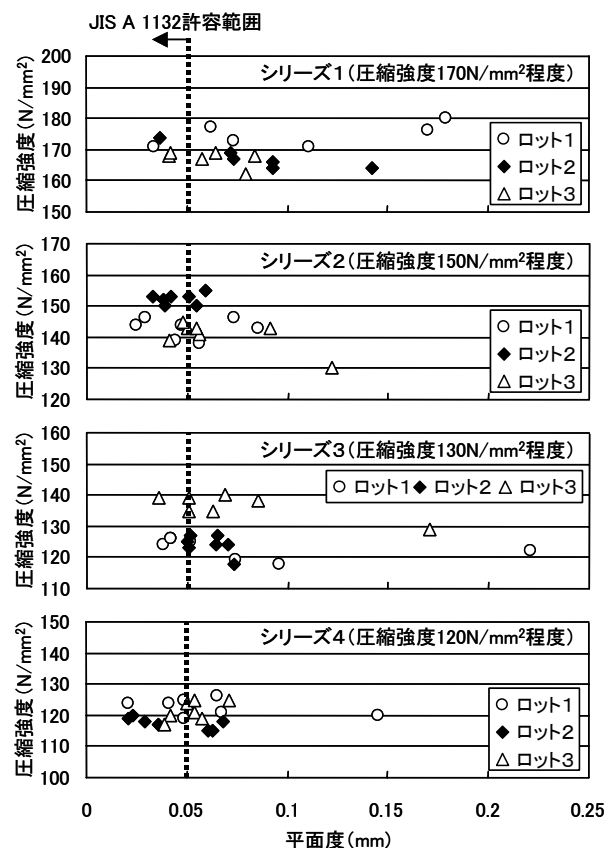


図-6 平面度と圧縮強度の関係

の圧縮強度試験方法」に従って行った。載荷速度は毎秒 0.6N/mm^2 になるように調整している。なお、実験に先立って圧縮強度試験機の載荷版を平面度測定装置で測定した結果、平面度 0.00mm であることが確認できている。

3.2 平面度と圧縮強度の関係

各シリーズの平面度測定結果と圧縮強度の関係を図-6に示す。これより、JIS A 1132 の許容範囲内の端面精度を持つ供試体であれば、圧縮強度は比較的安定した値であることがわかる。一方、許容範囲 0.05mm を超える端面精度の供試体では、必ずしもすべての供試体が前者よりも低い圧縮強度となる訳ではないものの、突発的に低い圧縮強度の供試体ができる傾向がみられた。ただし、今回の実験では平面度と圧縮強度の相関などは明確にはならなかった。

次に、今回の試験の中で、同条件で JIS A 1132 の許容範囲内のものとそうでないものが3本以上ずつあったものを用いて、両者の強度比較を行った。結果を図-7に示す。今回の分析では、両者の明確な違いは捉えることができなかった。この点については、今後、同じ条件の供試体を数10本試験するといった検討により、更なる検討を進める予定である。

3.3 最高凸部と圧縮強度の関係

JIS に示された平面度と圧縮強度の関係では、両者の関係が明確とならなかったため、供試体端面の凸部の高さで圧縮強度試験結果を整理することとした。ここでの凸部とは、測定点17点の平均高さよりも凸となる部分を意味する。

最高凸部と圧縮強度の関係を図-8に示す。シリーズ1のロット1は必ずしも狙いどおりの傾向ではなかったが、全体的な傾向としては、供試体に高い凸部があると、圧縮強度が低くなる傾向が見られた。

4. まとめ

本論では超高強度コンクリートの円柱供試体の端面処理状況と圧縮強度試験結果の関連について、使用型枠や整形精度なども含めた基礎的

な検討を行った。今回の実験範囲で得られた結論を以下に示す。

- (1) 供試体の平面度測定に関する基本的な検討を行った結果、JIS A 5308 の附属書5に示される平面度測定装置を用いて17点程度の測定を行えば、概ねその供試体の平面度が

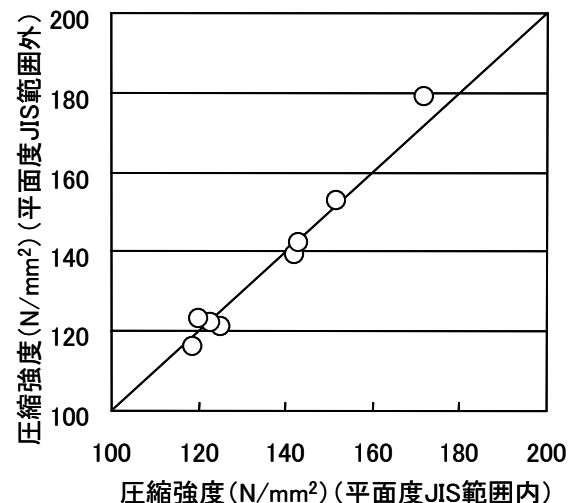


図-7 JIS 範囲内外と圧縮強度

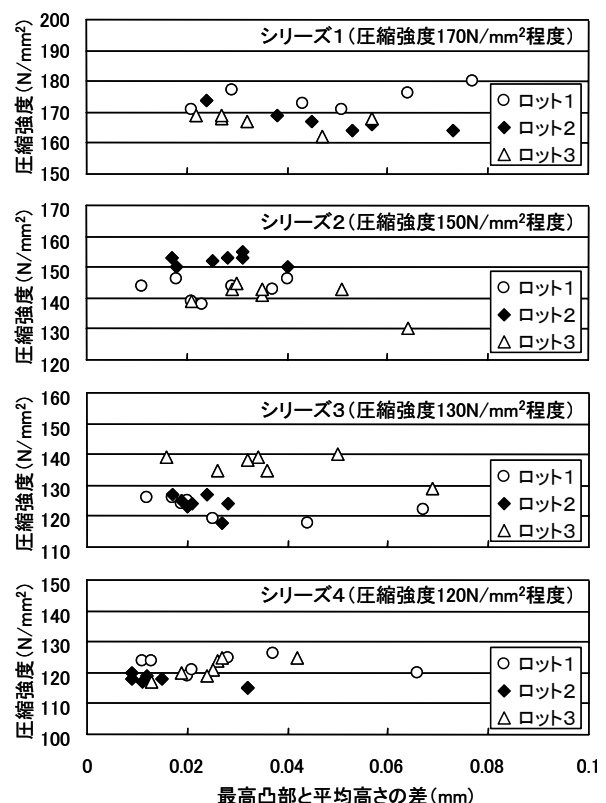


図-8 最高凸部と圧縮強度の関係

求められると考えられた。

- (2) 今回使用した軽量型枠で作製されたΦ100×200mm 供試体の底面の平面度は、3～5 本に1本程度が JIS A 1132 の許容範囲を満たしていた。ただし、軽量型枠で作製された供試体であっても、研磨を行えば、JIS A 1132 の許容範囲内に端面精度を成形できることも確認できた。
- (3) 端面が JIS A 1132 の許容範囲内の平面度を持つ供試体であれば、圧縮強度は比較的安定した値であった。一方、許容範囲 0.05mm を超える端面精度の供試体では、必ずしもすべての供試体が前者より低い圧縮強度となる訳ではないものの、突発的に低い圧縮強度の供試体がでる傾向がみられた。ただし、今回の実験では平面度と圧縮強度の相関などは明確にはならなかったため、今後の研究でデータの追加を行い、さらなる検討を行いたいと考えている。
- (4) 今回の実験では、JIS A 1132 の許容範囲内の端面精度を持つ供試体と、許容範囲を超える端面精度の供試体の圧縮強度平均値の間に、明確な違いは確認できなかった。
- (5) 供試体端面の凸部の高さで圧縮強度試験結果を整理した結果、全体的な傾向としては、供試体に高い凸部があると、圧縮強度が低くなる傾向が見られた。

以上の結果から、JIS A 1132 の許容範囲に平面精度を確保するには、供試体を研磨加工したほうが良いこと、また供試体端面の平面度を JIS の許容範囲におさめることには意味があることが確認できた。今後、さらなる実験を行うことで、超高強度コンクリートの平面精度の重要性を確認し、強度試験の適正化につながるものと考えている。

参考文献

- 1) 小野山貫造, 野口貴文, 友澤史紀: 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7 端面処理方法の影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp. 877-878, 1991. 9

- 2) 鈴木澄江, 梶田佳寛, 野口貴文, 陣内 浩: 高強度コンクリートの圧縮強度の確率分布に及ぼす試験機及び供試体の影響, 日本建築学会構造系論文集, No. 598, pp. 1-6, 2005. 12
- 3) 丸安隆和, 水野俊一: コンクリートの圧縮強度試験に用いる型枠の底板の不整が圧縮協働に及ぼす影響について, 土木技研, pp. 10-13, 1954. 4
- 4) コンクリート専門委員会: コンクリートの圧縮強度試験におけるキャッピング材料およびキャッピング方法, セメント・コンクリート, No. 309, pp. 2-7, 1972
- 5) 水野俊一, 笠原 正: コンクリート供試体のキャッピング面の不整について, セメント・コンクリート, No. 163, pp. 11-12, 1960. 9
- 6) 青木完雄, 中村静麿: コンクリートのキャッピング方法と圧縮強度, セメント技術年報, No. XV, pp. 223-228, 1961
- 7) 吉本 彰, 長谷川博: コンクリートの破壊におよぼすキャッピング, セメント技術年報, No. 36, pp. 187-190, 1972
- 8) 児玉武三, 鶴飼光夫, 小林 充: コンクリートの型わくの誤差が強さに及ぼす影響について, セメント技術年報, No. XI, pp. 297-302, 1957
- 9) 奥田 徹: コンクリートの試験方法, コンクリート・ジャーナル, pp. 46-56, 1972
- 10) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 19 節
- 11) 陣内 浩, 黒羽健嗣, 並木 哲, 後藤和正: 超高強度コンクリートによる柱構造体の強度発現性状の検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp. 255-260, 1994
- 12) 久保田賢, 廣島明男, 鈴木章一, 神崎隆男: 高強度混和材を用いた高強度コンクリートの特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp. 375-376, 2005. 9