

論文 猛暑日に現場で作製した強度試験用供試体の常温環境下への移動に関する検討

渡部 善弘*1・森田 剛介*2・島 弘*3

要旨：猛暑日に現場で作製した強度試験用供試体は、常温環境下での保存が困難であると予想される。採取現場に空調設備がない場合は、作製後は車両などにより速やかに常温環境施設へ移動するなどの対策が必要になる。そこで、本研究では、供試体を移動する場合の振動による圧縮強度への影響および高温環境下で保存した供試体の圧縮強度への影響について実験により検討した。その結果、高温環境下で供試体を保存した場合の圧縮強度への影響は移動による影響よりも大きくなった。このことから、高温環境下で作製した強度試験用供試体は、速やかに常温環境施設に移動することで強度低下への影響を小さくできると考えられる。

キーワード：猛暑日、強度試験用供試体、現場採取、高温環境下、保存、常温環境下、移動、振動、圧縮強度

1. はじめに

生コンクリートの荷卸し現場では強度試験用供試体を作製することが日常的に行われている。JIS A 1132 では、「型枠の取外し時期は、詰め終わってから 16 時間以上 3 日間以内とする。型枠を取り外すまでの間、衝撃、振動及び水分の蒸発を防がなければならない。」との規定がある。さらに JIS A 5308 では、「作製後、脱型するまでの間、常温で保存する。」との規定に加えて注意事項として、「常温環境下での作製が困難な場合は、作製後、速やかに常温環境下に移す。また、保存中は、できるだけ水分が蒸発しないようにする。」とある。常温環境温度の定義は、JIS Z 8703 表-1 の温度 15 級と仮定すれば、5℃から 35℃の範囲となる。

ところが、近年の地球温暖化の影響とされる猛暑日では 35℃以下での供試体の作製および保存が困難となることが想定される。さらに、35℃を超える初期の保存養生温度によって、その後の標準養生 28 日圧縮強度が低下するという実験結果¹⁾もある。そのため、供試体を常温環境下に維持できない場合は、直ちに温度管理のできる施設へ移動することが必要になると考えられる。しかし、過去の実験²⁾では、車両による移動運搬中の振動が圧縮強度に影響を与えることが確認されている。

そこで、本実験では、ジェル素材の振動低減材（以下、パッドという。）を利用した振動低減装置を作製し、運搬時の振動と圧縮強度への影響との関係を調査した。さらに、猛暑日の採取現場の保存環境の実態調査および高温環境下での保存が圧縮強度へ与える影響について実験によって検討を行った。

2. 実験の概要

2.1 振動低減装置の作製

パッドを用いた振動低減装置（以下、装置という。）を作製した。使用したパッドは1個の耐荷重が 7.5kg、形状寸法は 40×40×12mm である。パッドの配置は供試体の積載量に耐える個数とし、図-1 に示すように、2 層に配置し、合計 52 個を使用した。運搬は、写真-1 に示すように蓋付きの運搬用養生箱を用いて直射日光を防いだ。供試体の上面は食品

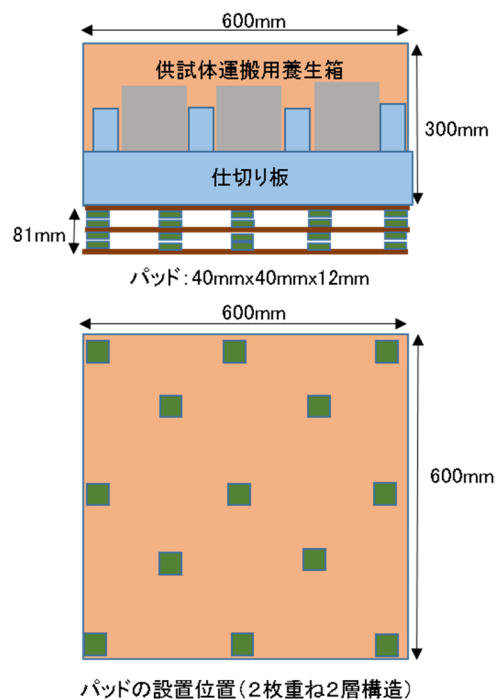


図-1 振動低減装置と運搬用養生箱

*1 愛媛県生コンクリート工業組合 中予技術センター（正会員）

*2 愛媛県生コンクリート工業組合 南予技術センター

*3 高知工科大学 大学院工学研究科基盤工学専攻教授 工博（正会員）



写真-1 供試体積載状況

用ラップで覆って乾燥を防いだ。また、供試体相互の接触による衝撃を防止するため、発泡スチロール製の仕切り板を取り付けた。

2.2 運搬実験

練り混ぜ直後の目標コンクリート温度が 20℃（以下、標準期という。）および 30℃（以下、夏期という。）の時の運搬時の振動が圧縮強度と単位容積質量に与える影響の実験を行った。実験は、生コン工場で製造した生コンクリートを工場で採取し、受入試験を実施した後、供試体を 21 本作製した。表-1 に示すように、採取場所の室内で静置する供試体（以下、A という。）、採取直後から装置を使用して 30、60、および 90 分間運搬する供試体（以下、B という。）および装置を使用しないで同様に 30、60、および 90 分間運搬する供試体（以下、C という。）に区分した。

運搬は、軽四トラックを使用し、街中の一般的な舗装道路（県道）を巡回して工場に戻った。また、養生開始から標準養生を行うまでの室内温度を連続測定ができる

表-1 運搬実験の条件と供試体本数

区分	条件	本数		
A	採取場所で静置保存	3		
B	装置を使用して運搬	3(30)	3(60)	3(90)
C	装置無しで運搬	3(30)	3(60)	3(90)

() : 運搬時間(分)

デジタル温度計で測定した。B および C は運搬後に A と同じ室内で保存し、養生温度の差が圧縮強度に影響を与えないようにした。初期養生を終了した供試体は、標準養生を行い、材齢 28 日で圧縮強度および単位容積質量を測定した。

使用した配合を表-2 に示す。配合区分 I は標準期に、配合区分 II は夏期に使用した。普通ポルトランドセメントの密度は 3.16 g/cm³ である。細骨材 1 は表乾密度が 2.58 g/cm³ の砂岩砕砂で質量比 60%、細骨材 2 は表乾密度が 2.61 g/cm³ の砂岩砕砂で質量比 40%を混合して使用した。粗骨材 1 は碎石 2010 で質量比 50 %、粗骨材 2 は碎石 1505 で質量比 50 %を混合して使用した。いずれも安山岩である。AE 減水剤は、密度が 1.08 g/cm³ の標準形 I 種を使用し、夏期は密度が 1.08 g/cm³ の遅延形 I 種を使用した。練混ぜ水には上澄み水を使用した。

2.3 猛暑日現場実験

猛暑日に現場で採取した供試体の初期保管環境の状況を確認するため、晴天でかつ気温が 35℃以上になると予想される日を選択し、建築現場で生コンクリートを採取した。受入試験を実施した後、供試体を 9 本作製した。実験条件は、表-3 に示すように、運搬実験と同様に、A、B および C に区分した。

区分 A は写真-2 のように、乾燥を防ぐために上面を食品用ラップで覆い、直射日光および風などを避けるために現場保管養生箱で保存した。養生箱の内部および外部の温度を連続測定ができるデジタル温度計で測定した。B および C についても乾燥を防ぐため同様に上面を食品用ラップで覆い、直射日光および風などを避けるために運搬用養生箱で運搬した。運搬には軽四トラックを使用し、空調設備が整った生コン工場の試験室に移動した。

表-3 猛暑日現場実験の条件と供試体本数

区分	条件	本数
A	採取場所で保存	3
B	装置を使用して運搬移動	3
C	装置無しで運搬移動	3

表-2 実施配合

配合区分	呼び強度	スランプ cm	粗骨材の最大寸法 mm	セメントの種類	水セメント比 %	細骨材率 %	単位量 kg/m ³						
							水	セメント (FA)	細骨材		粗骨材		AE 減水剤
									1	2	1	2	
I	27	18	20	N	55.0	50.2	184	335	516	350	440	440	4.02
II	27	18	20	N	55.0	50.2	184	335	516	350	440	440	4.36
III	21	15	20	N	63.8	51.4	172	270 (40)	360	539	543	362	2.97



写真-2 現場保管養生箱



写真-3 保管状況 (定温乾燥機内)

運搬時の路面は運搬実験と同様の舗装道路であり、運搬時間は約 30 分である。移動先の試験室内の温度も同様に連続測定ができるデジタル温度計で測定した。初期養生を終了した供試体は、標準養生を行い、材齢 28 日で圧縮強度および単位容積質量を測定した。

使用した配合を表-2 の配合区分Ⅲに示す。普通ポルトランドセメントの密度は 3.16 g/cm^3 である。細骨材 1 は表乾密度が 2.67 g/cm^3 の石灰岩砕砂で質量比 40%、細骨材 2 は表乾密度が 2.60 g/cm^3 の砂岩砕砂で質量比 60% を混合して使用した。粗骨材 1 は、石灰岩砕石 2005 で質量比 60%、粗骨材 2 は、砂岩砕石 2005 で質量比 40% を混合して使用した。AE 減水剤は、密度が 1.09 g/cm^3 の遅延形 I 種を使用した。練混ぜ水には上澄み水を使用した。混和材として密度が 2.30 g/cm^3 のコンクリート用フライアッシュ II 種を使用した。

2.4 室内実験

初期養生温度と養生時間が圧縮強度に及ぼす影響を調査するために室内実験を行った。設定養生温度を標準の 20°C 、常温環境温度上限の 35°C および予想される現場保管温度上限の 50°C とし、各設定値に対し $\pm 2^\circ\text{C}$ の範囲で管理した。さらに養生時間を 24 時間、48 時間および 72 時間と変化させた。生コン工場で製造した生コンクリートを採取し、供試体を 21 本作製した。実験条件と供試体本数を表-4 に示す。養生方法については、 20°C は恒温室で保存し、 35°C および 50°C は、温度設定をした定温乾燥機で保存した。供試体は乾燥を防ぐため上面を食品用ラップで覆った。また、湿度を保つため、写真-3 のよ

表-4 室内実験の条件と供試体本数

保存時間	設定養生温度 $^\circ\text{C}$		
	20	35	50
24 時間	3	3	3
48 時間	-	3	3
72 時間	-	3	3

うに、水分を含んだ新聞紙とともにナイロン製の袋に密閉した。初期養生を終了した供試体は、標準養生を行い、材齢 28 日で圧縮強度および単位容積質量を測定した。使用した配合は現場実験と同じ表-2 の配合区分Ⅲである。

3. 結果と考察

3.1 運搬実験

(1) 品質および養生温度

練り混ぜ直後の生コンクリートの測定結果は、表-5 に示す通り、目標値の範囲内であった。標準養生を開始するまでの初期養生温度履歴を図-2 に示す。夏期は、約 50 時間の初期養生を行い、その平均養生温度は 29.6°C であった。また、標準期は、約 31 時間の初期養生を行い、その平均養生温度は 19.3°C であった。

(2) 圧縮強度比

測定した圧縮強度から算出した圧縮強度比（以下、A の圧縮強度に対する B の圧縮強度の比を B/A、および A の圧縮強度に対する C の圧縮強度の比を C/A という。）

表-5 生コンクリートの測定結果

区分	夏期	標準期
採取日	2018/8/30	2018/11/8
天候	晴	晴
採取時気温 $^\circ\text{C}$	30.4	14.8
採取時湿度 %	47	60
測定スランプ cm	19.5	20.0
測定空気量 %	3.8	4.7
コンクリート温度 $^\circ\text{C}$	30	20
採取開始時刻	8:10	7:45
走行開始時刻	8:30	8:15
初期養生平均温度 $^\circ\text{C}$	29.6	19.3
初期養生時間	50	31
運搬時の気温 $^\circ\text{C}$	30.8~32.3	15.1~17.1

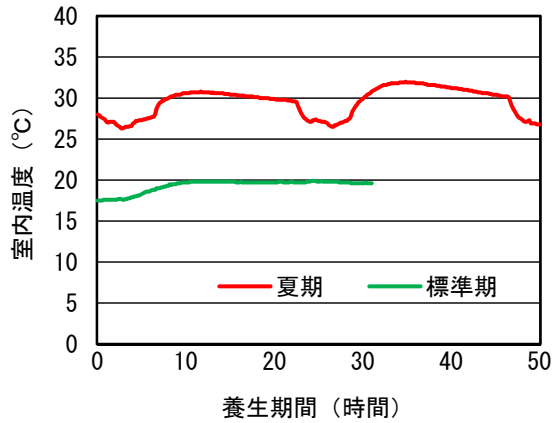


図-2 初期養生時の温度履歴

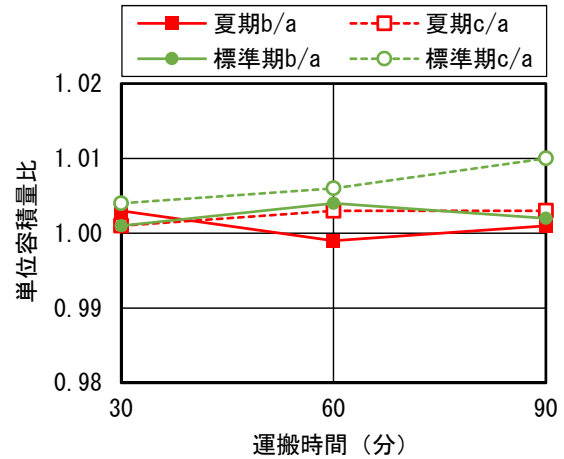


図-4 運搬時間と単位容積質量比の関係

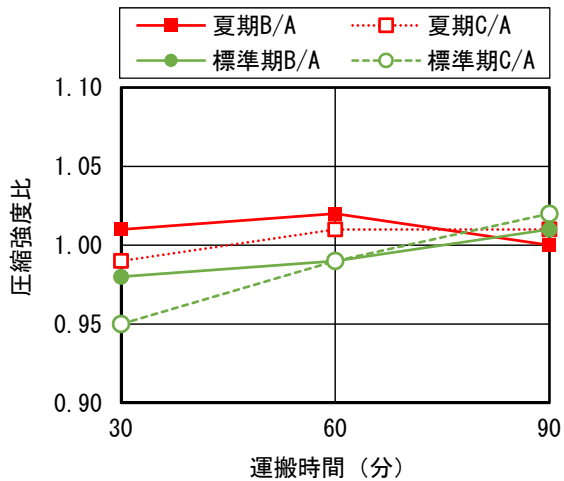


図-3 運搬時間と圧縮強度比との関係

を図-3に示す。標準期の運搬時間ごとの圧縮強度比は、30分では、B/Aが0.98、C/Aが0.95となり装置を使用した運搬のほうが影響は小さい。60分ではB/AおよびC/Aともに0.99である。90分ではB/Aが1.01、C/Aが1.02であり装置の有無による差は小さい。夏期の運搬時間ごとの圧縮強度比は、30分ではB/Aが1.01、C/Aが0.99である。60分ではB/Aが1.02、C/Aが1.01である。90分ではB/Aが1.00、C/Aが1.01であり、装置の有無による差はどの運搬時間も小さい。

装置の使用による振動低減効果は、標準期の運搬時間が30分で大きくなった。近隣生コン工場への聞き取りでは、平均的な運搬時間は30分前後であることから、日常の品質管理業務では、装置を使用した運搬により圧縮強度への影響を小さくできると考える。

(3) 単位容積質量比

測定した単位容積質量から算出した単位容積質量比を図-4に示す。標準期の運搬時間ごとの単位容積質量比は、30分ではAの単位容積質量に対するBの単位容積

質量の比（以下、b/aという）が1.001、Aの単位容積質量に対するCの単位容積質量の比（以下、c/aという）が1.004である。60分ではb/aが1.004、c/aが1.006である。90分ではb/aが1.002、c/aが1.010である。装置を使用した夏期の運搬時間ごとの単位容積質量比は、30分ではb/aが1.003、c/aが1.001である。60分ではb/aが0.999、c/aが1.003である。90分ではb/aが1.001、c/aが1.003である。いずれも運搬による影響は小さいが、装置を使用しない場合は単位容積質量が大きくなる傾向となった。一方、装置を使用した運搬では、標準期の単位容積質量比は1.001から1.004の範囲となり、夏期では0.999から1.003と小さい範囲であることから単位容積質量への影響を小さくできるといえる。

3.2 猛暑日現場実験

(1) 品質および養生温度

生コンクリートの測定結果を表-6に示す。採取した

表-6 生コンクリートの測定結果

採取日	2019/07/30
供試体作製時間	9:20
BおよびCの運搬時間(分)	30
天候	晴
採取時気温 °C	34
測定スランブ cm	14.0
測定空気量 %	4.2
コンクリート温度 °C	32

表-7 養生温度の測定結果

供試体区分		A	B及びC
養生温度 (°C)	平均	35.6	22.1
	最大	45.2	25.0
	最小	28.9	18.6

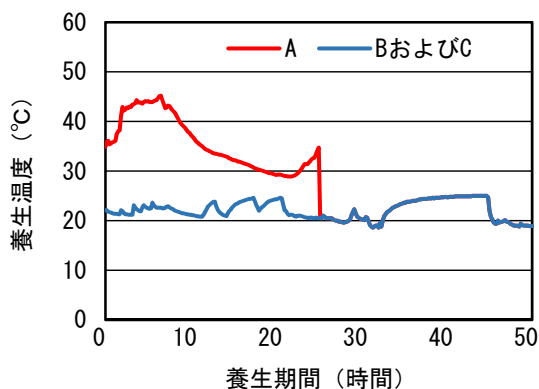


図-5 養生温度の履歴

生コンクリートは品質規格の範囲内であった。初期養生温度の測定結果および測定履歴を表-7 および図-5 に示す。A を 25 時間現場保存した養生箱内の平均養生温度は 35.6°C である。40°C を超える養生温度が 8 時間程度継続し、最大は 45.2°C であった。これによって、現場での保存は、常温環境温度の範囲ではないことを確認した。なお、現場保管養生箱の外部温度は最大が 47.7°C で、翌日の供試体の回収までの平均は 33.8°C であった。A は現場から回収した後は B および C と同様に室内で 25 時間保存した。B および C は現場から移動し、室内で 50 時間保存した。B および C の 50 時間の平均養生温度は 22.1°C で最大は 25.0°C であり、常温環境温度の範囲であった。

(2) 圧縮強度比

圧縮強度比の結果を図-6 に示す。B/A は 1.04、C/A は 1.00 であった。運搬実験から得られた図-3 の 30 分の結果は、B/A は 0.98~1.01、C/A は 0.95~0.99 であり、この猛暑日の現場実験の方がいずれも大きくなっている。このことは、B および C の条件が運搬実験と現場実験とであまり変わらないとすれば、現場実験における A の圧縮

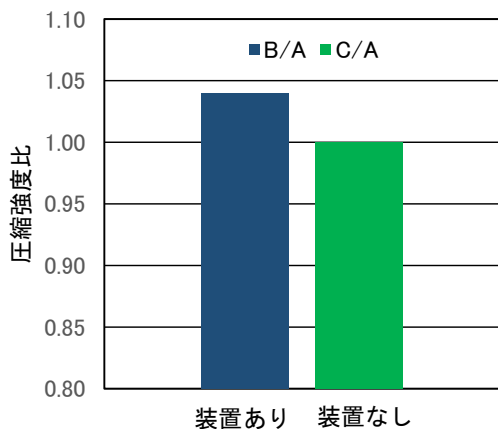


図-6 猛暑日現場実験の圧縮強度比

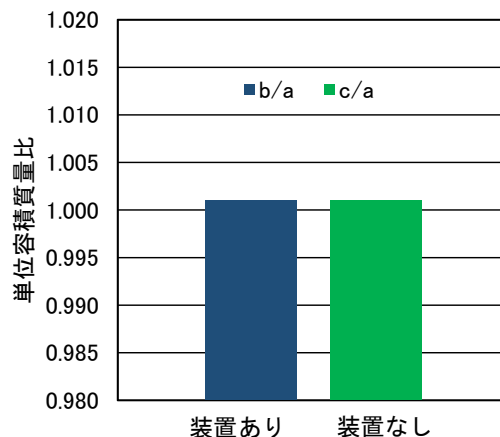


図-7 猛暑日現場実験の単位容積質量比

強度が初期の高温養生環境によって低下したことが原因であることを示唆するものと思われる¹⁾。

(3) 単位容積質量比

単位容積質量比の測定結果を図-7 に示す。b/a および c/a はいずれも 1.001 であった。装置の有無による単位容積質量比の差異は認められず、いずれも運搬による単位容積質量への影響は小さい。

3.3 室内実験

(1) 品質および養生温度

生コンクリートの測定結果を表-8 に示す。生コンクリートの各測定値は品質規格の範囲内であった。また、それぞれの実測養生温度は設定値に対して±2°C以内の範囲であったことを確認した。

表-8 生コンクリートの品質測定結果

採取日	2019/9/24
天候	晴
採取時気温 °C	26
測定スランブ cm	15.5
測定空気量 %	4.1
コンクリート温度 °C	27

(2) 圧縮強度比

圧縮強度を測定し、初期養生温度および養生時間と圧縮強度の関係を 20°C で養生した 28 日圧縮強度に対するそれぞれの 28 日圧縮強度の比として算出した結果を図-8 に示す。35°C の養生温度では、24 時間、48 時間および 72 時間の養生時間ではいずれの圧縮強度比も 0.97 となり圧縮強度が低下した。さらに 50°C では養生時間 24 時間および 48 時間で 0.89 となり、72 時間では 0.85 と大きな強度低下があった。室内実験と運搬実験の圧縮強度の結果から、運搬による影響と高温環境下で保存した場

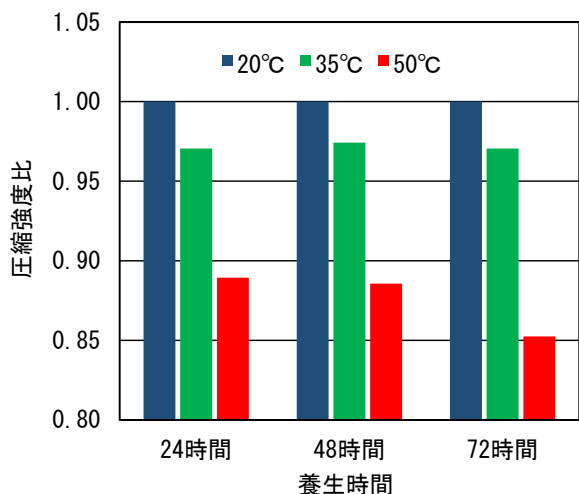


図-8 養生温度および養生時間と圧縮強度比の関係

合の影響を圧縮強度比で比較した場合、運搬実験で装置を使用した夏場の実験結果が 0.98 から 1.01 の範囲であるのに対し、35°Cを超える養生温度で保存した供試体の圧縮強度比は 0.97 であることから高温環境下で保存した場合のほうが圧縮強度への影響は大きいといえる。

4. まとめ

実験の結果から得られた所見をまとめると以下の通りとなる。

- (1) 運搬実験の結果から、運搬中の振動による圧縮強度の影響は小さい。装置の使用による振動低減効果は運搬時間 30 分で大きかった。
- (2) 運搬実験の結果から、運搬中の振動が単位容積質量へ与える影響は、装置を使用して運搬したほうが小さい。
- (3) 猛暑日現場実験の結果から、気温が 35°C前後になる猛暑日の場合、現場で保存する供試体の養生温度は、

常温の上限を超え、最高温度が 40°C以上となる高温環境であった。

- (4) 運搬実験と猛暑日現場実験の結果の比較から、現場の高温環境下で保存した供試体は 28 日圧縮強度が低下することが示唆された。
- (5) 室内実験の結果から、35°Cを超える高温環境下で供試体を保存した場合、その後、標準養生した供試体の材齢 28 日圧縮強度が大きく低下することが確認された。同様に、猛暑日に現場で保管した強度試験用供試体にも同様の強度低下があると考えられる。
- (6) 高温環境下で供試体を保存した場合の圧縮強度への影響は、移動による影響より大きくなることから、高温環境下で作製した強度試験用供試体は、速やかに常温環境施設に移動することで、強度低下の影響を小さくすることができると考えられる。

謝辞：本研究は、JCI 四国支部「第 4 期四国の生コン技術力活性化委員会」の活動の一環として行ったものであり、実験の実施にあたっては、中予生コンクリート協同組合員より、生コンクリートおよび機材の提供とデータ収集へのご協力をいただきました。また、委員各位からは貴重なご意見を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 渡部 善弘, 宮下 幹夫, 新迫 東洋男, 島 弘: 養生条件および養生温度の違いによって異なる強度発現の予測, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.36, No.1, pp.370-375, 2014
- 2) 竹村 賢, 重見 高光, 渡部 善弘, 島 弘: 現場採取した供試体を即時持ち帰った場合の圧縮強度に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.38, No.1, pp.363-368, 2016