

論文 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

竹村 賢*1・重見高光*2・渡部善弘*3・島 弘*4

要旨: 現場で採取した供試体を即時に持ち帰ることによるコンクリートの物性への影響を調査するために、静置した場合と車両により移動した場合の圧縮強度及び単位容積質量の相違を実験によって検討した。その結果、減振対策が施されていない通常の運搬では振動の影響による供試体の強度低下が認められたが、減振対策を実施した運搬では強度低下が軽減されることを確認した。運搬した供試体と静置した供試体との圧縮強度比は、減振対策により 0.04 程度改善されたことから、さらに効果的な減振対策を実施することで、供試体の即時持ち帰りの JIS 規格との整合化は可能であると思われる。

キーワード: 圧縮強度, 単位容積質量, 運搬, 即時持ち帰り, 振動, 強度低下, 減振装置

1. はじめに

生コンクリート工場では、出荷した生コンクリートの品質管理のために、現場で採取した供試体の圧縮強度試験を実施している。JIS A 1132¹⁾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。」と記述されている。JIS A 5308²⁾では、「作製後、脱型するまでの間、常温で保存する。」となっており、「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。」とされている。したがって、標準養生の場合、採取した翌日又は翌々日に生コン工場に持ち帰って養生が行われている。

一方で、昨今では人手不足や高齢化が問題となっている。そこで、その対策の一つとして、採取した供試体を即時に生コン工場に持ち帰ることが JIS 規格内で実現可能かどうかを検討することを本研究の目的とした。

2. 現状と実験計画

“衝撃、振動”に関して、車両を使用して運搬した場合、静置した場合に比べ圧縮強度が増加するとの報告もある^{3),4)}が、減少したとの報告もある^{5),6)}。

また、近年、猛暑などの異常気象が問題となっているが、脱型までの養生温度が供試体の圧縮強度に与える影響は小さくない。採取現場での極寒時あるいは猛暑時の初期養生温度の影響は、その後標準養生をしても、20℃で初期養生した供試体と比較して増加または減少する傾向が確認されており⁷⁾、現場放置による悪影響が考えられる場合、早期に常温環境下（標準状態に近いほど良

い）への移動が望ましい。

そこで、実験 1 は、車両による振動が供試体の物性に及ぼす影響を明らかにするために、試料採取後、車両により即時移動することを想定し、運搬継続時間を 15, 30, 45, 60, 75, 90 分と変化させて、それぞれ圧縮強度及び単位容積質量を測定することとした。その結果、振動の影響と考えられる強度低下が確認されたため、実験 2 及び実験 3 では、供試体に減振対策を施し、強度低下の低減効果を、実験 2 ではコンクリート温度が 30℃の夏期、実験 3 ではコンクリート温度が 20℃の標準期で確認することとした。

3. 実験の概要

3.1 実験 1

生コンは、コンシステンシーの違う、表-1 に示すスランプ 18 cm の建築配合 A とスランプ 8 cm の土木配合 B の 2 種類を、近隣の生コン工場より入手した。

普通ポルトランドセメント及び高炉セメント B 種の密度はそれぞれ 3.16 g/cm³ 及び 3.04 g/cm³ である。細骨材は、表乾密度が 2.67 g/cm³ の石灰砕砂、表乾密度 2.60 g/cm³ の砂岩砕砂及び表乾密度 2.60 g/cm³ の海砂を混合したものである。粗骨材は、表乾密度が 2.70 g/cm³ の石灰砕石である。AE 減水剤は、密度が 1.08 g/cm³ の標準形 I 種を、練混ぜ水は地下水を使用している。

運搬には、生コン工場で一般的に使用されている軽四トラックを用いた。走行路は、振動を常に与えるため、信号機の極めて少ない町道（写真-1）とし、所定の運搬時間となるまで同一経路を往復した。

運搬時間は、15, 30, 45, 60, 75, 90 分とし、供試体

*1 愛媛県生コンクリート工業組合 南予技術センター（正会員）

*2 愛媛県生コンクリート工業組合 中予技術センター

*3 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）

*4 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）

表-1 実施配合

実験 番号	配合 番号	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 碎石 2005	AE 減水 剤
										砂岩 砕砂	海砂	石灰 砕砂		
1	配合 A	27	18	20	N	54.9	49.2	182	332	257	257	351	915	3.32
	配合 B	24	8	20	BB	54.9	45.0	156	247	247	247	339	1048	2.84
2, 3	配合 C	30	15	20	N	51.9	49.8	174	335(20)	516	-	344	905	3.69

は静置分を含め 21 本作製した。供試体上面は、乾燥、こぼれ防止のため簡易的にビニールで覆った。また、トラック荷台の供試体の設置位置の違いによる影響も考慮し、木枠を用いて位置決めを行った（写真-2）。



写真-1 実車走行路（実験 1）

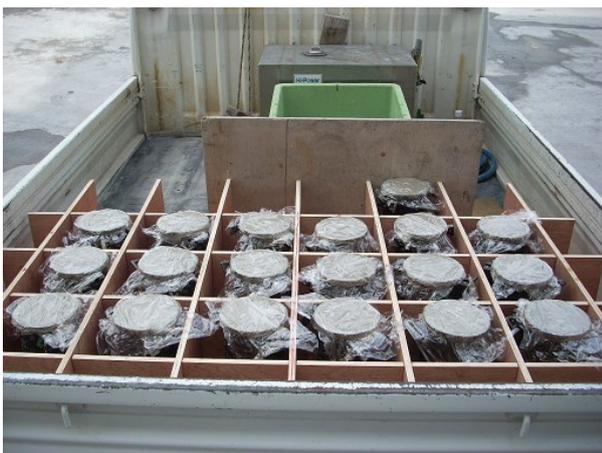


写真-2 供試体の設置状況（実験 1）

所定の運搬時間が経過した供試体は荷台から降ろし、積載量減少の影響が出ないように、同等の質量を持つ無関係の供試体をダミーとして置き換えた。

圧縮強度試験の材齢は 28 日とし、上部端面の処理方

法は研磨とした。また、研磨成形後の供試体の寸法及び質量を測定し、単位容積質量を測定した。さらに、凝結時間の影響を調査するために、凝結試験を実施した。

3.2 実験 2 及び実験 3

実験 2 は 8 月、実験 3 は 11 月に実施した。また、生コンは、表-1 に示す C 配合のものを生コン工場より入手した。

普通ポルトランドセメントの密度は 3.16 g/cm³ である。細骨材は、表乾密度が 2.67 g/cm³ の石灰砕砂、表乾密度 2.60 g/cm³ の砂岩砕砂を混合したものである。粗骨材は、表乾密度が 2.70 g/cm³ の石灰碎石を質量比で 60 %、表乾密度が 2.60 g/cm³ の砂岩碎石を 40 % 混合したものである。AE 減水剤は、密度が 1.08 g/cm³ の標準形 1 種を、練混ぜ水は上澄水を使用している。

実験 1 と同様、軽四トラックを用い、走行路は町中の舗装路とした。また、通常の設定方法と減振対策を施した装置を使用した方法で同時に運搬した（写真-3）。



写真-3 減振対策状況（右側、実験 2 及び 3）

運搬時間は、30、60、90 分とした。供試体は、静置分を含め 21 本作製し、実験 1 と同様、乾燥、こぼれ防止のため供試体上面をビニールで覆った。また、振動低減効果を確認するため、タブレット内蔵の加速度センサーを利用して加速度を測定した。

減振対策には、市販のゴムマット（厚み 10 mm）を 7 層に重ね、荷台と型枠保持用の木枠下面との間に敷いた（図-1）。ゴムマットは、生コンを充填した型枠 9 個（約 74 kg）を載せたとき、7 層 70 mm が 68 mm に縮む硬さである。

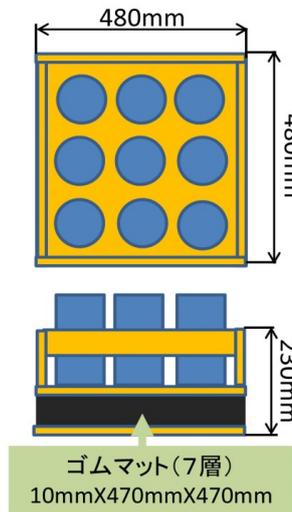


図-1 減振装置の詳細

4. 実験結果及び考察

実験時の各種実測値を表-2 に示す。

表-2 実験結果（生コン実測値及び環境条件等）

実験 No.	1		2	3
配合	A	B	C	C
天候	曇時々晴		晴時々雲	曇
採取日（実験日）	2014.11.20		2015.8.20	2015.11.5
採取時気温	12 °C	14 °C	27 °C	18 °C
採取時湿度	50 %	48 %	52 %	38 %
測定スランプ	20.0 cm	9.0 cm	17.5 cm	12.0 cm
測定空気量	5.6 %	6.0 %	3.7 %	5.2 %
コンクリート温度	14 °C	15 °C	30 °C	20 °C
採取開始時刻	7:50	10:10	10:50	12:55
走行開始時刻	8:30	10:50	11:10	13:15
走行時の気温	9.6~ 13.2 °C	14.7~ 16.1 °C	29.2~ 30.2 °C	18.2~ 18.4 °C

4.1 実験 1

(1) 強度の比

静置した供試体の圧縮強度を 1 としたときの、運搬時間毎の強度比の関係を図-2 に示す。配合 A, B ともに 30 分では 0.9 まで強度が低下した。その後スランプ 8 cm の B 配合は緩やかに強度が低下し、スランプ 18 cm の A

配合は 45 分まで強度が低下し、以降は安定した。90 分後の強度比は、配合 A が 0.85, 配合 B は 0.86 であった。生コンのコンシステンシーの違いは、運搬 45 分から 75 分の間では顕著に現れたが、90 分ではほぼ同じ強度比に落ち着いた。

なお、軽四トラック荷台の据付位置の違いによる強度の相違は、今回は見られなかった。

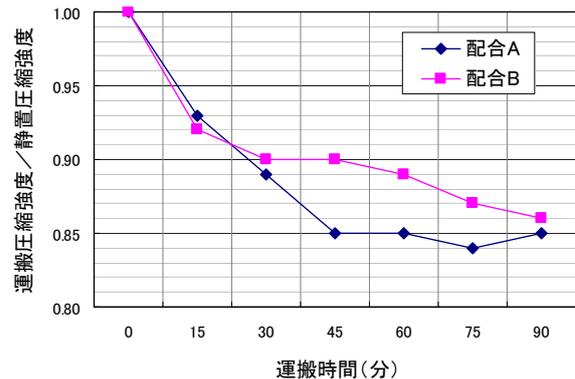


図-2 運搬時間と強度比との関係（実験 1）

(2) 単位容積質量の比

静置した供試体の単位容積質量を 1 としたときの、運搬時間毎の単位容積質量比の関係を図-3 に示す。配合 A, B とも緩やかな増加傾向が確認された。

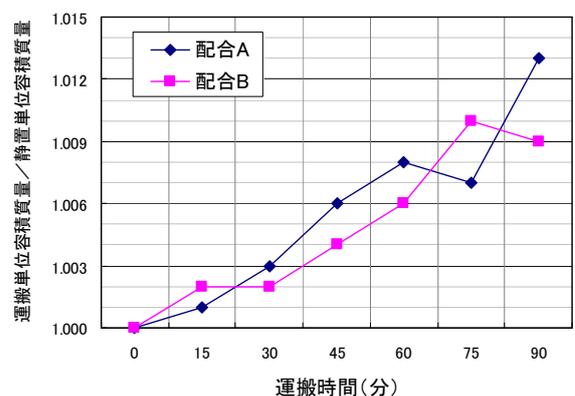


図-3 運搬時間と単位容積質量比との関係（実験 1）

(3) 供試体内部の粗骨材の分布状況

振動による粗骨材の分布状況の変化を調べるため、供試体を切断機で縦割りし、断面を画像解析した。方法としては、配合 A の静置 3 本及び 90 分運搬 3 本について、断面を画像処理し、さらに上中下に 3 分割し（図-4）、粗骨材の占有率をそれぞれ求めた。

解析結果は図-5 のとおりであり、静置及び運搬 90 分ともに供試体下部の粗骨材占有率が高い傾向は見られ

るが、明確な粗骨材の沈下などは見られなかった。

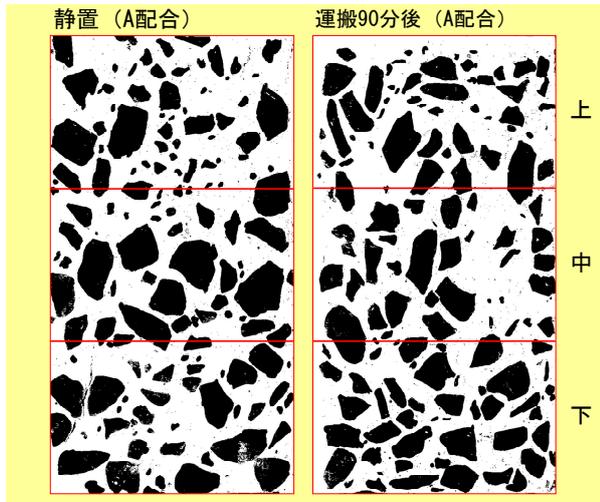


図-4 画像解析に用いた供試体断面図

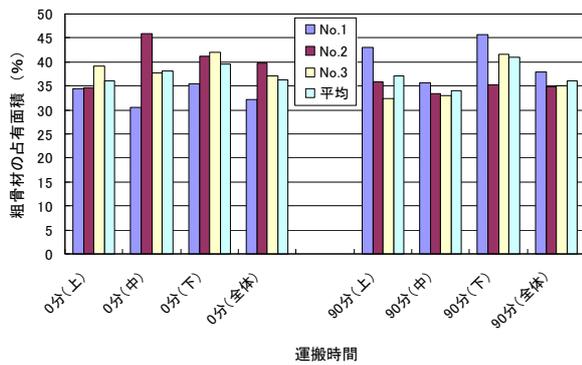


図-5 供試体の各位置における粗骨材の占有率 (%)

(4) 凝結試験結果

貫入抵抗値の結果を図-6に示す。

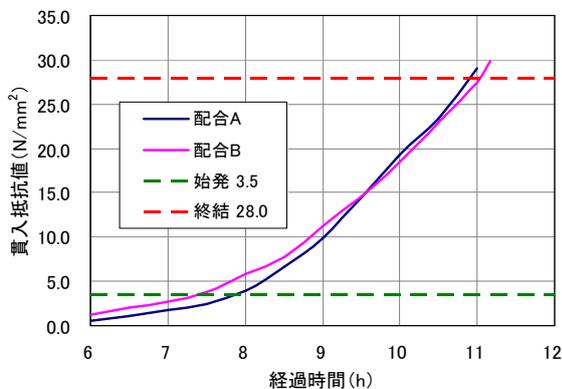


図-6 貫入抵抗値の推移

配合 A は、始発が 7 時間 55 分、終結が 10 時間 55 分、
配合 B は、始発が 7 時間 25 分、終結が 11 時間 00 分と

なった。供試体の運搬は、すべて凝結の始発前に終了していたことが確認できた。

運搬後の供試体の貫入抵抗値については測定していない。

4.2 実験 2 及び実験 3

(1) 強度の比

運搬時間ごとの強度比の関係について、実験 2 (夏期)の結果を図-7に、実験 3 (標準期)を図-8に示す。

運搬 30 分で減振装置が有る場合の比は、実験 2 は 0.96、実験 3 は 0.95 だった。無い場合はともに 0.91 となり、装置の効果が確認できた。以降、60 分及び 90 分では、標準期の場合減振装置の有無に関わらずほぼ横ばいだったが、夏期では、装置が有る場合は 90 分で、無い場合は 60 分から強度の回復傾向がみられた。コンクリート温度が 14 °C で実施した実験 1 と、同じく温度が 20 °C で実施した実験 3 では、運搬 30~45 分まで強度の低下が起こり、以降も低下する傾向が確認された。一方、実験 2 では強度回復の傾向が認められた。要因として、コンクリート温度が 30 °C だったことや運搬中における直射日光や高気温などの影響が間接的にあったことが推測される。

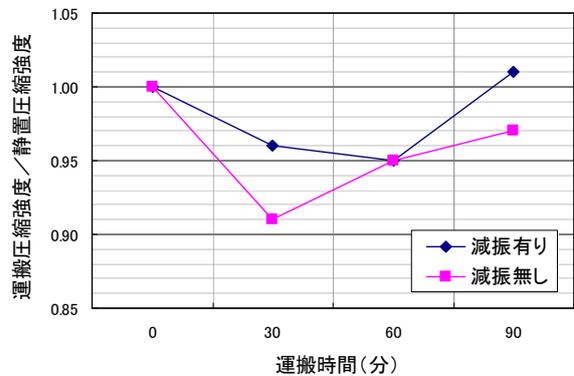


図-7 運搬時間と強度比との関係 (夏期)

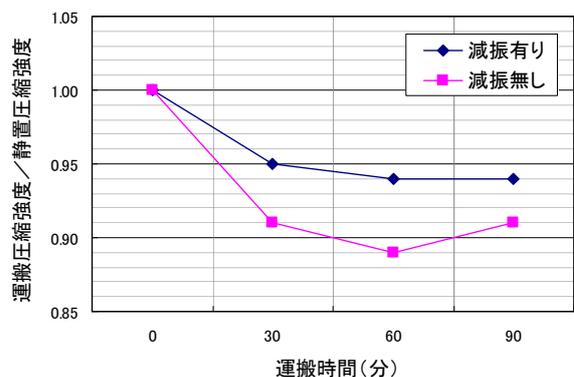


図-8 運搬時間と強度比との関係 (標準期)

(2) 単位容積質量の比

運搬時間毎の単位容積質量の比の関係を図-9（実験2）及び図-10（実験3）に示す。実験1と同様、わずかな増加傾向が確認されたが、減振装置の有無による明確な差は、見られなかった。

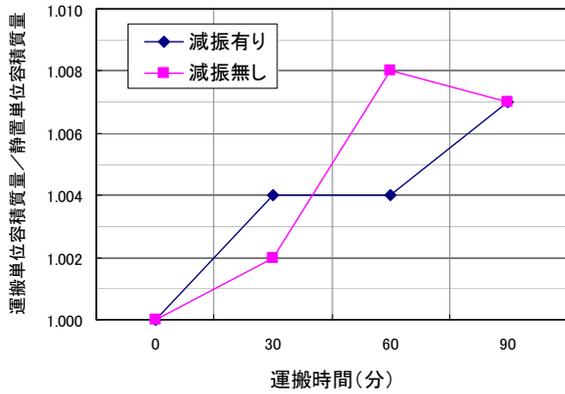


図-9 運搬時間と単位容積質量比との関係（夏期）

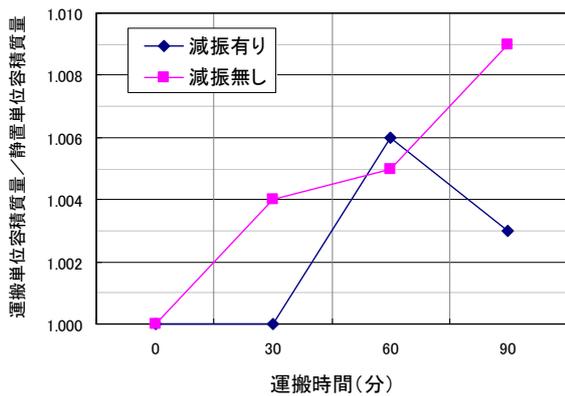


図-10 運搬時間と単位容積質量比との関係（標準期）

(3) 供試体上部端面の状況

圧縮強度試験に用いた供試体の研磨面を写真-4及び写真-5に示す。なお、研磨は、供試体上面にのみ実施し、研磨後の高さは190mmに統一した。

減振装置が無い場合、運搬時間の延長に伴う粗骨材の沈下量の増加は明らかであるが、装置有りでは、沈下はほとんど見られない。

(4) 振動測定結果

実験2では、タブレットの加速度センサーを用いて、1秒間隔で約13分間加速度を測定した（図-11及び図-12）。x軸は進行方向、y軸は左右方向、z軸は上下方向である。

別々に測定したため経過時間と走行状況が完全には一致しないものの、z軸方向では、減振装置がある場合の最大加速度の平均は絶対値で1.8 m/s²、減振装置の無



写真-4 減振対策無しの供試体研磨状況



写真-5 減振対策有りの供試体研磨状況

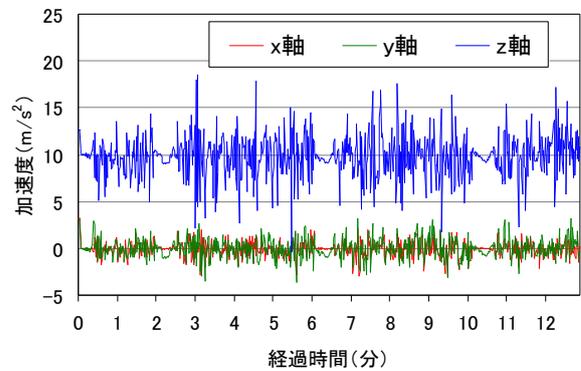


図-11 振動測定結果（減振装置無し）

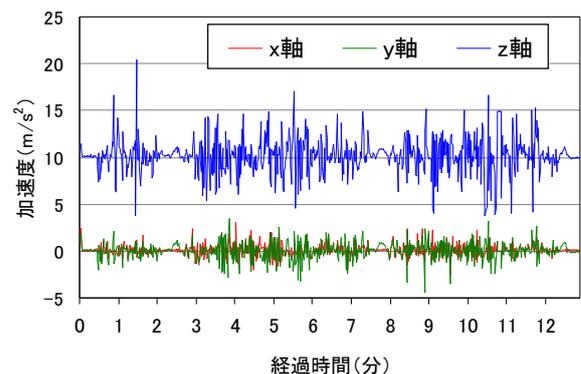


図-12 振動測定結果（減振装置有り）

い場合は 2.3 m/s^2 となっており、20 %ほどの減振効果が確認できた。

5. まとめ

採取してから即時に運搬したときの、供試体の圧縮強度及び単位容積質量の実験結果から得られた所見について、以下にまとめる。

- (1) 振動に配慮しないまま供試体を運搬する場合、スランプの大小に関わらず、運搬時間が15分から急激な強度低下を起こす結果となった。
- (2) コンクリート温度が $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下では、運搬時間の経過により強度は低下する傾向が確認された。一方、コンクリート温度が $30 \text{ }^\circ\text{C}$ の場合は、強度の回復が見られ、高いコンクリート温度、運搬中における直射日光や外気温の高さなどが間接的に影響したのではないかと推測される。
- (3) 運搬により、供試体の単位容積質量はわずかに増加することが確認された。
- (4) 凝結試験結果は、配合 A で始発が7時間55分、配合 B では7時間25分であることから、運搬はいずれも始発開始時間前に終了しており凝結との関係を示す試験結果とはならなかった。
- (5) 運搬による供試体中の粗骨材の沈下は、ごく浅い供試体上端部に顕著だったが、供試体全体においては、静置と運搬との間に明確な差は見られなかった。
- (6) 減振装置を施すことで、運搬による強度低下を軽減できることが分かった。
- (7) 単位容積質量の増加に対する減振装置の有無の影響に明確な差は見られなかった。
- (8) 今回の強度比の結果は、減振装置有りの場合、最大で0.95となっており、既往の実験⁷⁾で確認された猛暑日などで初期養生温度が強度に与える影響（標準養生の供試体の強度を1としたとき、脱型までの2日間 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 養生で、普通ポルトランドセメント使用では強度比0.98、高炉セメント B 種では0.89。逆に、脱型まで $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 養生の場合、Nでは強度比1.09、BBでは1.01）より小さい場合がある。よって、近年の異常気象下における極寒あるいは猛暑がもたらす初期養生温度が、その後の標準養生した強度に与える影響を極力小さくするためには、現場採取後、ただちに持ち帰り、温度管理が可能な環境下で初期養生をしたほうが強度管理上好ましいといえる。

6. おわりに

供試体を採取直後に運搬した場合、JISの規定に従って保管した供試体の圧縮強度と比較した強度比は、減振対策を施せば1に近くなると考えられる。今回は市販のゴムマットを用いたが、減振材を工夫することで、さらに運搬の影響を減らすことができると考えられ、現場で採取した供試体の即時持ち帰りは、JIS A 1132 及び JIS A 5308 の規定内で実現可能であると思われる。

謝辞：本研究は、JCI 四国支部「第2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メンバーよりご尽力を、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) JIS A 1132 コンクリート強度試験用供試体の作り方、2014
- 2) JIS A 5308 レディーミクストコンクリート、2014
- 3) 大倉真人，古賀一八，高橋保男，中村 剛：供試体の回収時期が圧縮強度に及ぼす影響について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.1，pp.1269-1272，1994
- 4) 古賀 一八，大倉 真人，高橋 保男，中村 剛：コンクリートを打ったその日にテストピースを運んだら《供試体回収時期が圧縮強度に及ぼす影響》，セメント・コンクリート，No.569，pp.57-59，July 1994
- 5) 伊與田 直行，鈴木 孝治，上田 明：供試体の早期運搬による振動が強度に及ぼす影響について，生コン技術大会研究発表論文集，第7回，pp.111-114，1993
- 6) 小山善行，早川光敬，陣内 浩，中村光男：車両運搬による材齢初期の振動が高強度コンクリートの供試体の圧縮強度に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，第78巻，第692号，pp.1665-1671，2013年10月
- 7) 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集，Vol.36，No.1，pp.370-375，2014