

論文 細骨材水浸式計量システムを用いたコンクリートの品質安定性

近松竜一*¹・十河茂幸*²

要旨：品質のばらつきが小さく信頼性の高いコンクリートを製造するために，細骨材を水浸状態で計量しコンクリート中の水量を正確に計量できるシステムを開発した。本論文では，この細骨材水浸式計量の原理や計量手順，計量制御のバリエーションを紹介するとともに，水浸方式を用いた場合の細骨材表面水の計量誤差やコンクリートの品質安定性に関する検証結果について示す。

キーワード：細骨材，表面水，水浸式計量，計量誤差，製造システム

1. はじめに

耐久的で信頼性が高いコンクリート構造物を造るには，まずコンクリートの品質のばらつきをできるだけ小さくすることが重要である。

単位水量は，コンクリートの品質を決定する重要な要因で，ワーカビリティや強度特性はもとより，耐久性の良否を左右するため，製造時には適正に管理する必要がある。最近では，単位水量を耐久性の間接的な指標として扱い，荷卸し時に検査する事例も増加している¹⁾。

配合設計上，骨材は表面乾燥飽水状態で取り扱うが，実際には湿潤状態のままで骨材を計量し，表面水を補正している。しかし，細骨材は積み重ねて貯蔵すると上下で表面水率に相違が生じ，供給ロット毎にも変動する。これまでにマイクロ波式や静電容量式などの水分計により表面水率を計測し，表面水を補正する方法が実用されているが，測定値の校正やメンテナンスの点で検討の余地が残されている²⁾。そこで著者らは，細骨材表面水の変動によらず正確に水量を計量するために，細骨材を飽和含水状態で計量する方法を新たに考案した³⁾。

本論文では，この細骨材水浸式計量の原理，計量フローや制御の概要を紹介するとともに，水浸式計量における表面水の計量誤差やコンクリートの品質安定性の検証結果を示す。

2. 細骨材水浸式計量の概要

2.1 水浸式計量の原理

細骨材水浸式計量の概念図を図-1に示す。この方法は，予め水を入れた容器内に細骨材を加え，飽和含水状態として混合物の容積と質量を計量し，両者の密度差を利用して水と細骨材の各質量を算出する。また，JIS A 1111-1993「細骨材の表面水率試験方法」と同じ原理にもとづいているので，計量時に併せて表面水率を算出することもできる。

水浸式計量の原理と算定式を図-2，このシステムを採用したモデルプラントの概観を写真-1に示す。

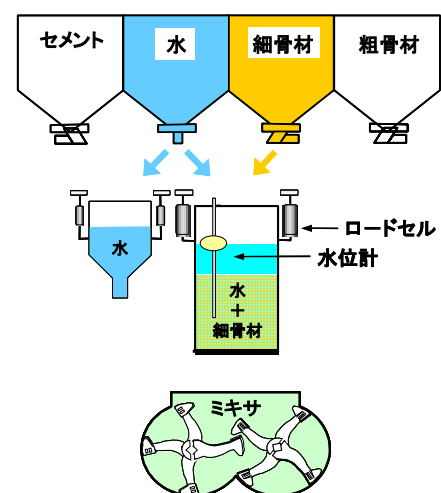


図-1 細骨材水浸式計量の概念図

*1：大林組技術研究所 土木構造・材料研究室 副主任研究員 工修

*2：大林組技術研究所 土木構造・材料研究室 室長 工博

表－１ 水浸式計量制御のバリエーション

水浸式計量のバリエーション			I 容積計測方式	II 容積制御方式	III 細骨材分割方式
特 徴	水浸計量の対象		細骨材の全量		細骨材の一部 ^{*1}
	計量制御の対象		質量のみ	質量および容積	質量のみ
計量項目	1次水	W_1	○	○	◎
	湿潤細骨材	$S+W_s$	—	—	—
	水浸細骨材	M	◎(制御)	◎(制御)	◎(制御)
		V (容積)	○	◎(制御)	○
算定項目	水浸計量水	W_1+W_s	○	○	○
	細骨材(表乾)	S	○	○	○
	表面水率	β	○	○	○ ^{*2}
追加計量	2次水(補正用)		○	○	○
	湿潤細骨材(表面水補正)		—	—	○
特記事項	練混ぜ量の調整		要 ^{*3}	不要	不要

^{*1} 製造に使用する細骨材の貯蔵ロットから分取方式によりサンプリングする。

^{*2} 残りの細骨材の表面水補正に使用する。

^{*3} 表面水率の変動に伴う細骨材量の増減に応じて調整する。

細骨材の水浸式計量においては、以下の諸条件を前提としている。

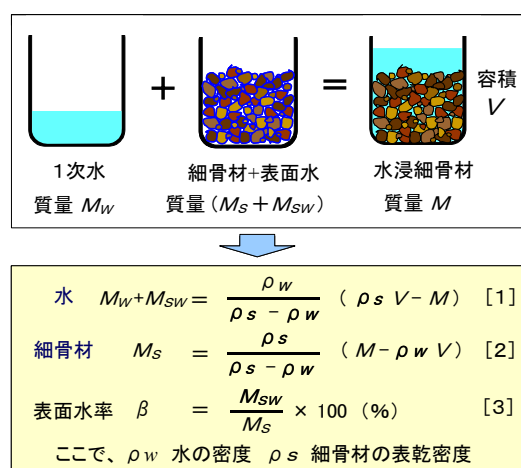
- 1) 細骨材と水の密度が既知で正確である。
- 2) 水浸細骨材中に、気泡を巻き込まない。
- 3) 粗骨材は、細骨材より保水性が小さく、計量前に表面水率を設定して表面水を計量し、従来どおりの方法で正確に補正できる。

また、本システムの特長として、以下の諸点が挙げられる。

- 1) 水、細骨材の量を正確に把握でき、コンクリートの品質変動が小さくなる。その結果、割増し係数が小さくなり、より耐久性の高いコンクリートを経済的に製造できる。
- 2) 計量印字記録により製造したコンクリートの配合を保証することが可能となり、検査の合理化が図れる。
- 3) 細骨材の表面水管理が要らないので、品質管理の簡略化および省力化が図れる。

2.2 水浸式計量制御のバリエーション

細骨材水浸式計量システムのバリエーションを表－１に示す。水浸式で計量する細骨材の量（全量または一部）と計量制御の組合せにより以下に示す３種類の計量方式が考えられる。



図－２ 水浸式計量の原理と算定式



写真－１ モデルバッチャープラント

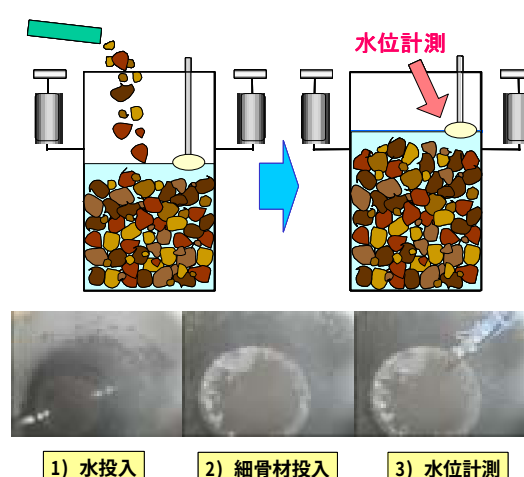
(1) 容積計測方式

容積計測方式は、水および任意の含水状態の細骨材を質量で制御しながら計量し、水浸細骨材の容積を計測する方式である。本方式の概要および計量手順を図－3に示す。水浸細骨材の容積は、写真－2に示すような各種変位計を用いて表面の水位を測定し、これと容器の断面積から算出することができる。

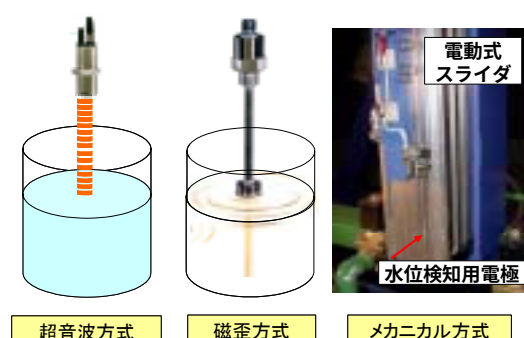
この容積計測方式は、従来の計量方法と同様に各材料の質量計量をロードセルを用いて制御するため、既存の計量制御システムと整合させやすい。ただし、水浸細骨材の質量を設定値どおりに計量しても、表面水の変動により水浸細骨材の容積が増減するので、表乾状態で計算される細骨材量が変動する。すなわち、細骨材の計量値自体は正確であるが、細骨材中の含水状態が変動すると細骨材自体の計量値が正確に目標製造量とならず、厳密には細骨材量の変化に応じ練混ぜ量を補正する必要がある。なお、この補正に関しては、一般には細骨材の計量誤差の許容範囲内で、空気量の変動を考慮した容積保証の範囲内で対処できると考えられる。

(2) 容積制御方式

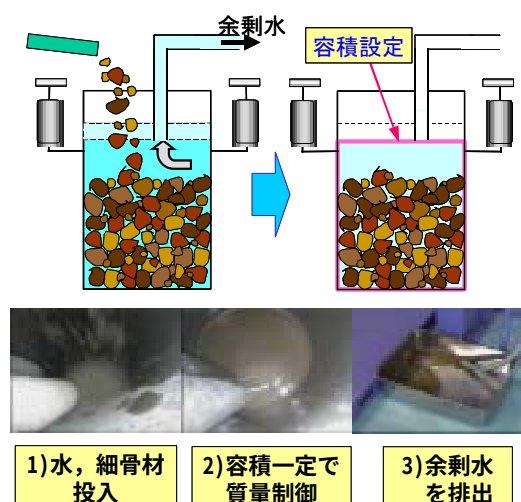
容積制御方式は、水浸細骨材の質量と容積の両方を制御しながら計量する方法である。この方式の概念図を図－4に示す。まず、水を設定より多めに計量して入れた後、細骨材を順次投入する。水は細骨材より密度が小さいので水浸細骨材の容積が設定値に達しても未だ質量は設定値より小さく、計画水位より上の水を取り除くことにより、その後は容積一定の状態で細骨材を水と置き換えながら計量できる。投入した細骨材の水中質量分だけ水浸細骨材の質量が増加し、設定値に達した時点で所定量の細骨材と水が計量される。なお、容積を一定に制御する方法には、計量器に可動式の堰を設け容積が設定値を越えるとオーバーフローさせる方法や、容器中にホースを上下させて余剰水をポンプで吸引する、などの方法がある。



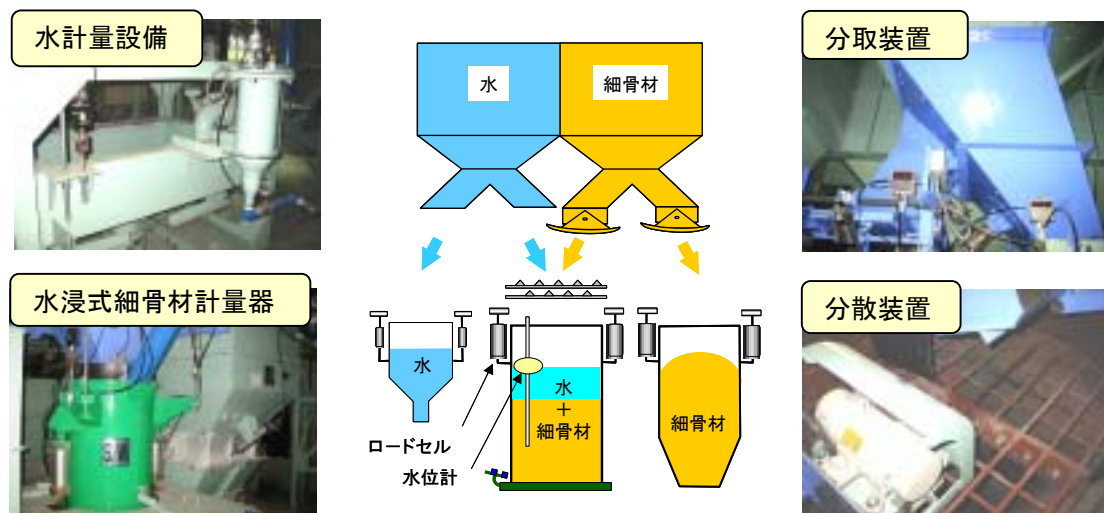
図－3 容積計測方式の概要



写真－2 変位計測装置の一例



図－4 容積設定方式の概要



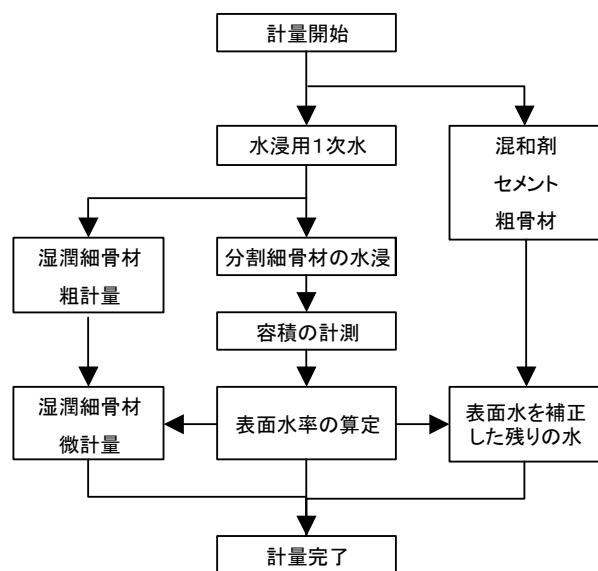
写真－3 細骨材分割型水浸式計量設備の一例

(3) 細骨材分割型水浸計量方式

単位水量が少ない配合や細骨材の量が多く、全量を水浸できない場合でも、細骨材の一部を水浸計量し併せて算定される表面水率を用いて残りの細骨材の表面水を補正することで水量を精度良く計量できる。この方式では、水浸式で計量する骨材量を任意に設定できるので細骨材に加え粗骨材も含めリアルタイムでの表面水補正も可能である。ただし、この分割方式では、水浸式計量用の細骨材と表面水を補正する残りの細骨材の含水状態が同一とみなせることが前提であり、水浸計量用細骨材は分取方式によりサンプリングすることが望ましい。

細骨材分割型水浸式計量のフローを図－5に示す。まず、水浸用1次水を計量して容器に投入後、細骨材を入れて水浸細骨材を作製する。水浸細骨材の質量が設定値に達した段階で容積を計測し、表面水率を算出する。水浸計量に併せて残りの細骨材も予め計量しておき、水浸計量により算定された表面水率をもとに残りの細骨材と練混ぜ水の不足分を追加計量する。セメント、粗骨材などの各材料も水浸計量に併せて計量する。

分割型細骨材水浸式計量設備の一例を写真－3に示す。細骨材の貯蔵ビンに二股に分岐した分取装置を設ける。排出ゲートを2箇所とし、



図－5 分割型水浸計量のフロー図

水浸用と細骨材の計量器を配置する。水浸式計量器の上部には、細骨材投入時の気泡の巻込みを抑制するため鉄筋を格子状に配置した振動ふるいを設け、細骨材を分散して投入する。

水浸式計量器には質量計量用のロードセルに加え、磁歪み式水位センサを設置する。また、容器の水密性の確保と計量した水浸用細骨材の付着防止を目的として、容器底蓋およびミキサへの投入シュートの洗浄装置を配備する。この洗浄水量は一定で、表面水の補正水とともに計量し、練混ぜ水の一部とする。

3. コンクリートの品質安定性の検証

3.1 水浸式計量の精度検証

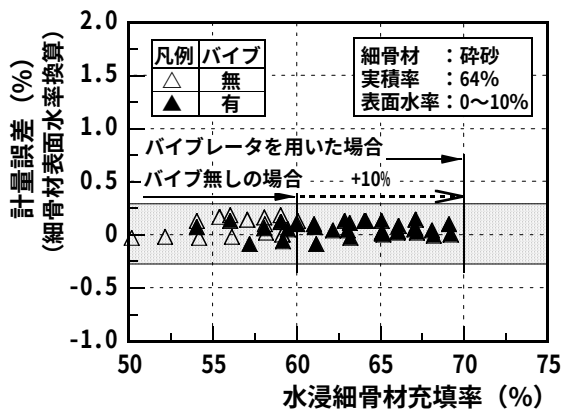
任意の表面水率の各種細骨材を用い、細骨材と水の混合割合、累加計量や締固めの有無等の条件を変えて、表－1に示した容積計測方式により水浸細骨材を作製し、これらの要因が計量誤差に及ぼす影響を調べた⁴⁾。

予め使用細骨材の表面水率を測り細骨材と水の計量値を設定し、水浸細骨材の計量実測値と比較した。結果を図－6、図－7に示す。容量が約30Lで、変位1mmの増減で容積が0.2%変動する誤差が生じやすい条件にもかかわらず水の計量誤差は表面水率換算で0.3%以内であった。これらの範囲内では水浸式計量時に気泡をまき込まないことを裏付けるものといえる。

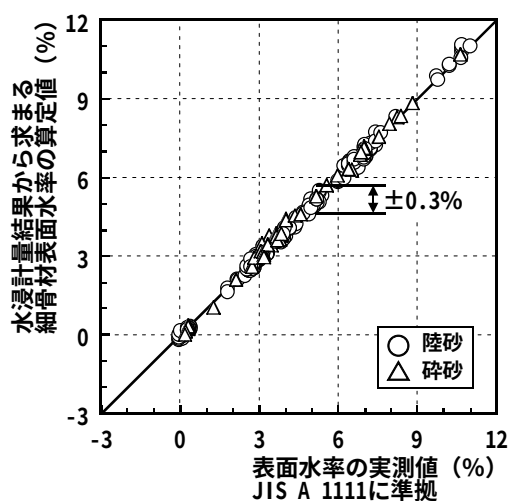
3.2 品質安定性の実験的検証

細骨材水浸式計量を採用したモデルプラントにおいて容積計測方式によりコンクリートを繰り返し製造し、それらの品質を検証した。試験配合を表－2、単位水量の管理結果を図－8、コンクリートの品質試験結果を図－9に示す。

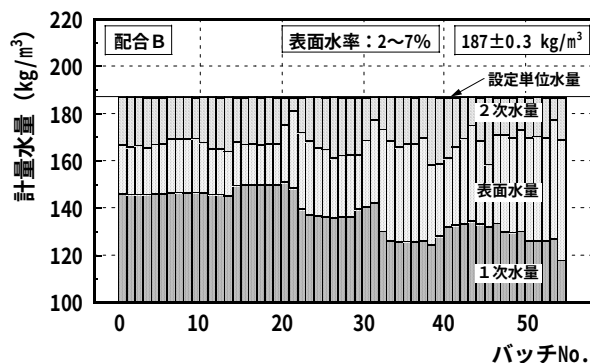
水浸式細骨材計量では、水浸細骨材の質量と容積の測定値から正味の細骨材量と水量が算出できるので、自動的に表面水率がチェックされ各材料の計量設定に反映される。そのため、表面水率が2～7%の範囲の細骨材を用いたが、コンクリートの特性値はいずれも品質の変動がほとんどなく一定した結果が得られた。特に、圧縮強度に関しては変動係数が2～3%と小さく、水浸計量方式を用いることで設定どおりの水量を計量でき、品質が安定したコンクリートを製造できることが確認された。



図－6 水浸細骨材充填率と計量誤差[4]



図－7 計量誤差に関する検証結果

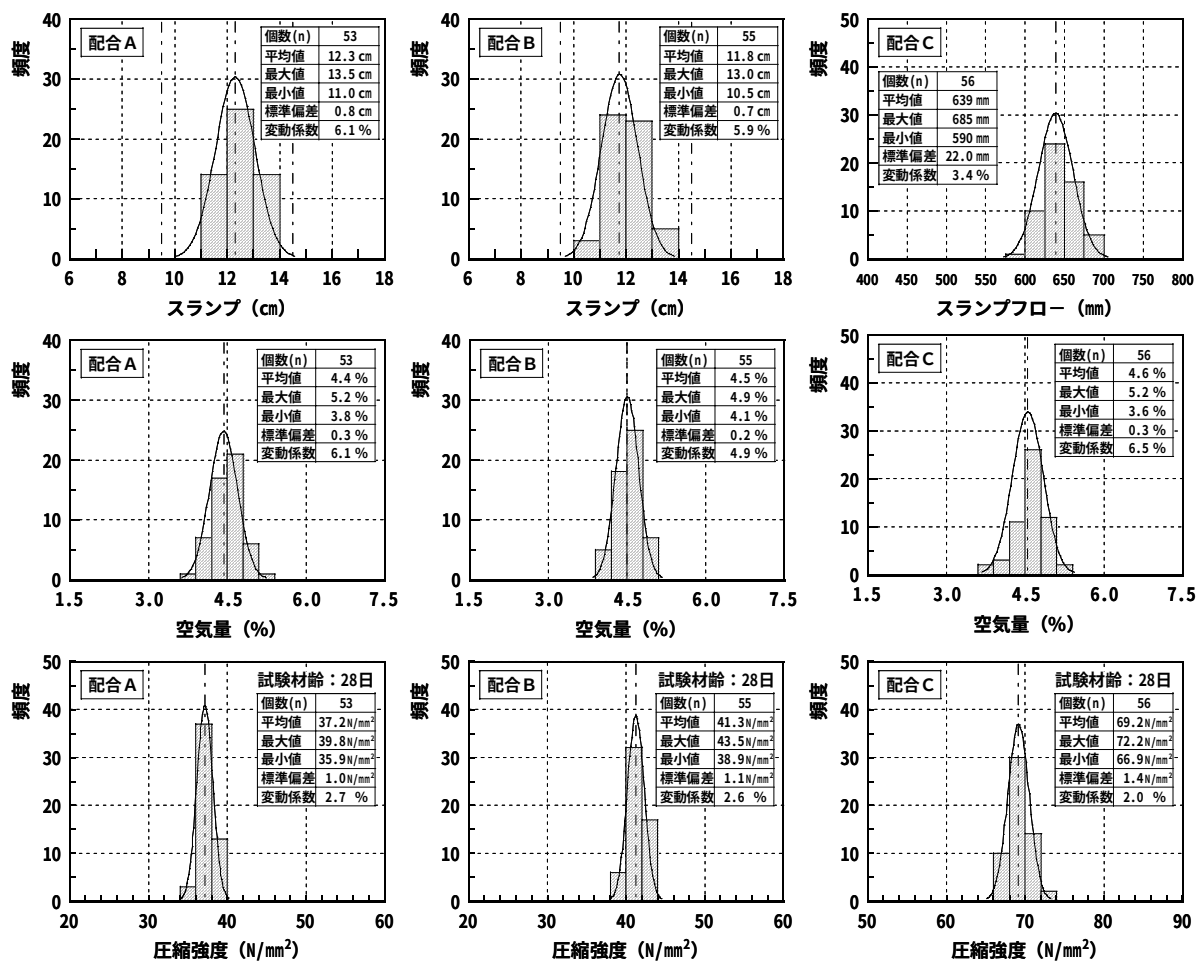


図－8 単位水量管理結果の一例

表－2 検証に用いたコンクリートの示方配合

配合	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)						
			水 W	セメント C	石灰石 粉末LF	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	高性能AE 減水剤
A	55.0	43.0	165	300	—	786	1050	0.750	—
B	55.0	43.0	187	340	—	747	1000	0.850	—
C	33.0	47.0	175	530	50	726	836	—	5.51

※セメント: 普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³), 石灰石微粉末(密度 2.73g/cm³), 粗骨材: 砕石(表乾密度 2.63g/cm³), 細骨材: 陸砂(表乾密度 2.60g/cm³, 配合A, C), 砕砂(表乾密度 2.63g/cm³, 配合B)



図－9 各種コンクリートの品質検証結果

4. まとめ

本論文の範囲で得られた知見を以下に示す。

(1) 細骨材水浸式計量システムは、水浸細骨材の質量と容積の測定値から各材料の計量値を算出する過程で自動的に水量誤差が補正され、各材料の計量にフィードバックされる。バッチ毎の細骨材表面水の変動に左右されず、ばらつきの小さいコンクリートを製造できる。

(2) 水浸式計量を用いることにより、細骨材の表面水量をバッチ毎に精度良く算定でき、計量印字記録により単位水量を直接的に評価することができる。

(3) 細骨材水浸式計量を用いた場合の水の計量誤差は表面水率換算で 0.3 % 以内と小さい。また、圧縮強度の変動係数に関しても 3 % 程度と小さく、安定した品質のコンクリートを製造できることが実験により確認された。

参考文献

- 1) コンクリート工学協会：フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定及び管理システムに関するシンポジウム論文集，2002.12
- 2) 佐藤 健；生コン工場での骨材使用の現状と問題点，セメントコンクリート No.618，pp.84-92，1998.8
- 3) 十河茂幸，近松竜一：細骨材の表面水に影響されないコンクリートの製造方法，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 5 部，pp.824-825，2000.9
- 4) 近松竜一，十河茂幸：水浸細骨材計量方式を用いた信頼性の高いコンクリート製造システムの実用化に関する研究，土木学会論文集，No.697/V-54，pp.193-200，2002.2.