論文　水浸式計量を用いたトンネル吹付け用ベースコンクリート製造システムの開発

近松　竜一[*1]・入矢　桂史郎[*2]・十河　茂幸[*3]

要旨：コンクリートの単位水量を製造段階において合理的に管理するために，細骨材および粗骨材の一部を水浸式で計量し，バッチ毎に計算される表面水率をもとに練混ぜ水量を補正する信頼性の高い製造システムを開発し，トンネル吹付け用コンクリートの実機プラントに適用した。本文では，水浸用骨材の分取方法，計量装置や計量フロー，実機プラントでこのシステムを適用した場合のコンクリートの品質管理結果などについて述べる。

キーワード：骨材，表面水率，水浸式計量，吹付けコンクリート

1. はじめに

コンクリートの耐久性を左右する水セメント比を確保するうえで，単位水量を正確に計量するには骨材の表面水管理が極めて重要である[1)]。

著者らは，この骨材の表面水量の変動による練混ぜ水量の補正に関する課題を解決するために，骨材を練混ぜ水の一部に浸し飽水状態とし，その混合物の体積および質量から各材料の量を算定する“水浸式計量”を提案した[2)]。これまでに，この計量方法や装置の仕様，細骨材全量に水浸式計量を適用したコンクリートの品質安定性について報告した[3)]。また，実機プラントへの展開として，細骨材の一部に水浸式計量を適用し，約2万 m^3 のコンクリートを製造した[4)]。さらに，この方式を粗骨材の一部に適用すれば，その表面水量を正確に把握できることも確認した[5)]。そこで，品質保証を前提として，細骨材，粗骨材の一部に水浸式計量を適用し，それらの表面水量をバッチ毎に算定し，練混ぜ水量を補正するシステムを開発し，トンネル吹付け用コンクリートの実機プラントに適用した。本論文では，水浸用骨材の分取や計量装置の仕様などシステムの概要，このシステムを適用したコンクリートの品質管理結果について示す。

2. 水浸式計量を用いたトンネル吹付け用ベースコンクリート製造システムの概要

2.1 水浸式計量の概要

水浸式計量を細骨材に適用した場合の概念を**図－1**に示す。練混ぜ水の一部および細骨材を容器に投入し，細骨材を飽水状態とした細骨材と水の混合物（以下，水浸細骨材混合物と呼称）を作製する。この水浸細骨材混合物の質量および体積を，それぞれ W_1S_1 および V とすると，次式が得られる。

$$W_1S_1 = W_1 + S_0 = W_1 + (S_1 + W_{S1}) \quad (1)$$

$$V = W_1/\rho_W + (S_1/\rho_S + W_{S1}/\rho_W) \quad (2)$$

ここで，容器に投入した水の質量を W_1，細骨材の質量を S_0 とし，S_0 は，表乾状態の細骨材の質量 S_1 と表面水の質量 W_{S1} の和とする。ρ_W は水の密度，ρ_S は細骨材の表乾密度である。

水浸細骨材混合物中の細骨材の質量 S_1 および水の質量 W_1+W_{S1} は，上記の式を変形して次のように表される。

$$S_1 = \rho_{S0}(W_1S_1 - \rho_W V)/(\rho_S - \rho_W) \quad (3)$$

$$W_1 + W_{S1} = \rho_W(\rho_S V - W_1S_1)/(\rho_S - \rho_W) \quad (4)$$

*1 ㈱大林組技術研究所　土木材料研究室　材料施工グループ長　工修　(正会員)
*2 ㈱大林組技術研究所　土木材料研究室　室長　工博　(正会員)
*3 ㈱大林組技術研究所　副所長　工博　(正会員)

式(4)より算定される水浸細骨材混合物中の水の質量から容器に投入した水の質量を差し引けば表面水量が求まるので，水浸前の細骨材の表面水率βを次式で算定することができる。

$$\beta = (W_{S1} / S_1) * 100 \qquad (5)$$

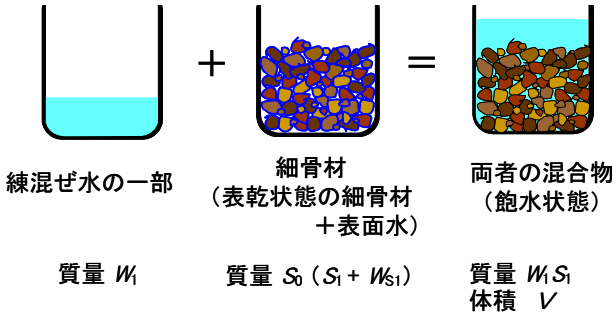
2.2 骨材の分取と表面水量管理への応用

上述の水浸式計量をコンクリートに使用する細骨材全量に適用すれば，その含水状態に左右されず細骨材および水の量を正確に計量できる。ところが，単位水量が少ない配合や細骨材の単位量が多い場合には全量を水浸式で計量することが難しい。そこで，細骨材の一部に水浸式計量を適用し，残りの細骨材は併せて求まる表面水率を用いて練混ぜ水量を補正する方法（以下，分割水浸式計量と呼称）が考えられる。

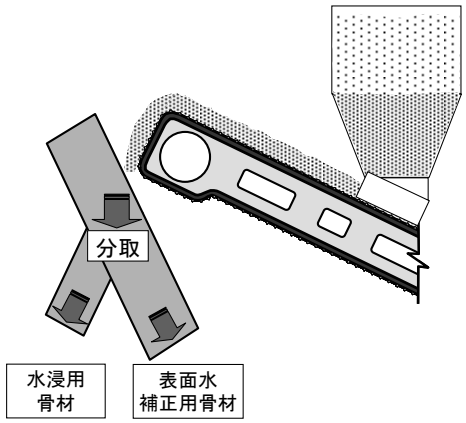
この方法は，配合や計量条件によらず，また細骨材だけでなく粗骨材を含めそれらの表面水量をバッチ毎に管理できる実用的な方法と考えられる。ただし，この方法では水浸式で計量する骨材と残りの骨材が同一の含水状態とみなせることが前提となる。すなわち，水浸式計量を適用する骨材は，その含水率が同バッチで計量する全骨材の代表試料となるよう分取する必要がある。

細骨材は一般に貯蔵ビン内部で含水状態に差異が生じやすく，容器の下部ほど含水率が大きくなる傾向がある。したがって，水浸式で計量する細骨材と水浸させない細骨材を個別に計量すると必然的に含水状態が相違する可能性が高くなる。また，粗骨材の場合は粒度の変動についても配慮する必要がある。

そこで，上述した分割水浸式計量を吹付けコンクリートの製造に適用するにあたり，**図－２**に示す骨材の分取装置を考案した。この装置は，運搬用ベルコンと計量器の間に配置し，骨材を計量器に投入する流れの中で水浸式計量用骨材をサンプリングするもので，原理上は代表的な試料を採取できると考えたものである。



図－１　水浸式計量の概要（細骨材の場合）



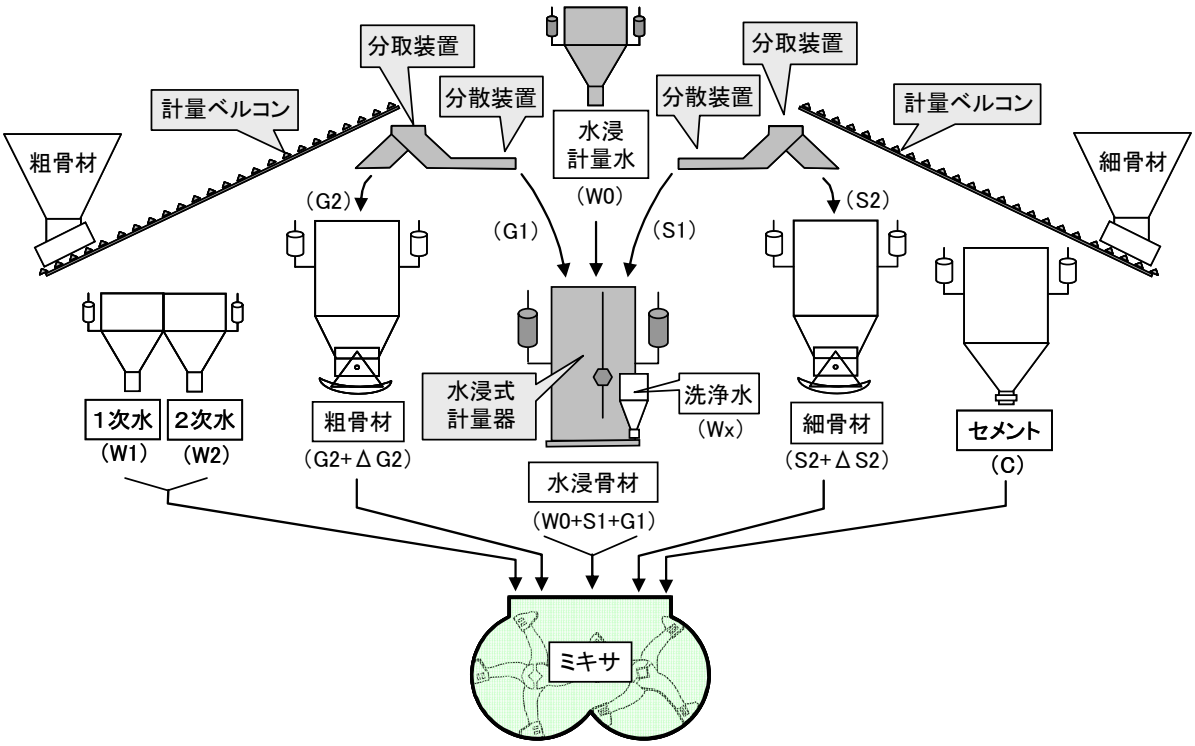
図－２　骨材の分取に対する考え方

2.3 実機プラントにおける計量設備の構成

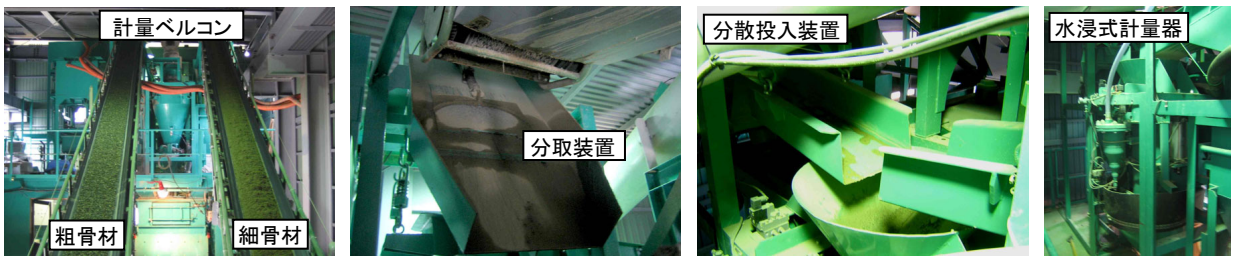
実機プラントにおけるトンネル吹付け用ベースコンクリートの各種計量設備の構成を**図－３**および**写真－１**に示す。

水浸用骨材は上述した分取装置により採取した後，振動フィーダを介して計量器に投入する。この振動フィーダは骨材粒子を分散させ，水浸させる際に気泡が巻き込むのを抑制することも意図して設置した。

水浸式計量に用いる計量器は，細・粗骨材兼用とした。これは，既設プラントにおける各種設備の配置の関係で，細骨材，粗骨材それぞれ個別に水浸式計量器を設置するスペースを確保することが難しく，装置のコンパクト化を志向したものである。水浸用計量水を投入した後，細骨材，粗骨材の順に投入し，混合物の質量と体積を累加で計量する仕様とした。計量器には質量計量用のロードセルと体積を計測するために水浸骨材の水位を計測する磁ひずみ式変位計



図－3　分割水浸式計量を用いたSEC工法対応型吹付け用ベースコンクリート製造設備の構成



写真－1　分割水浸式計量設備の概要

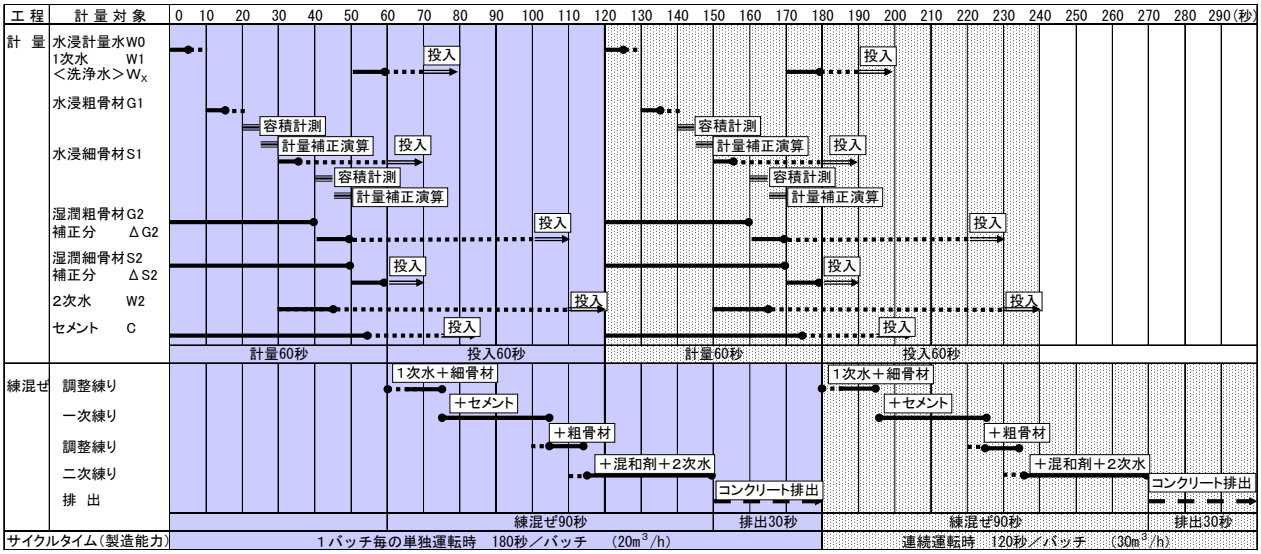
を設けた。この水位計の目量は 0.1mm で，体積を 20cm^3 単位で計量している。また，水浸骨材が計量器に残留するのを防ぎ，容器の水密性を確保するため，底蓋やミキサへの投入シュートの洗浄装置を配備した。洗浄水は一定量で，練混ぜ水の一部として取り扱うこととした。

その他の設備はトンネル吹付け用のコンクリートを製造するための一般的な計量装置である。ただし，水の計量器は練混ぜ水を 2 段階に分割して投入できるよう，容器を 2 つに仕切り，個別に計量および排出させることが可能な仕様としている。

2.4 製造サイクルおよび計量試算例

分割水浸式計量を適用した場合の計量および練混ぜのサイクルを**表－1**に示す。細骨材，粗骨材の一部に水浸式計量を適用し，それぞれの残りの骨材はバッチ毎に表面水量を補正する。骨材をコンベアから計量器へ投入する過程で水浸用骨材を分取し，細骨材，粗骨材の順に水浸させる。水浸骨材が所定の質量に達した段階で水位を計測して体積を求め，水および骨材の質量，水浸させる前の骨材の表面水率を算定する。セメントは水浸式計量と同時に計量し，表面水量補正による骨材および練混ぜ水，それぞれの

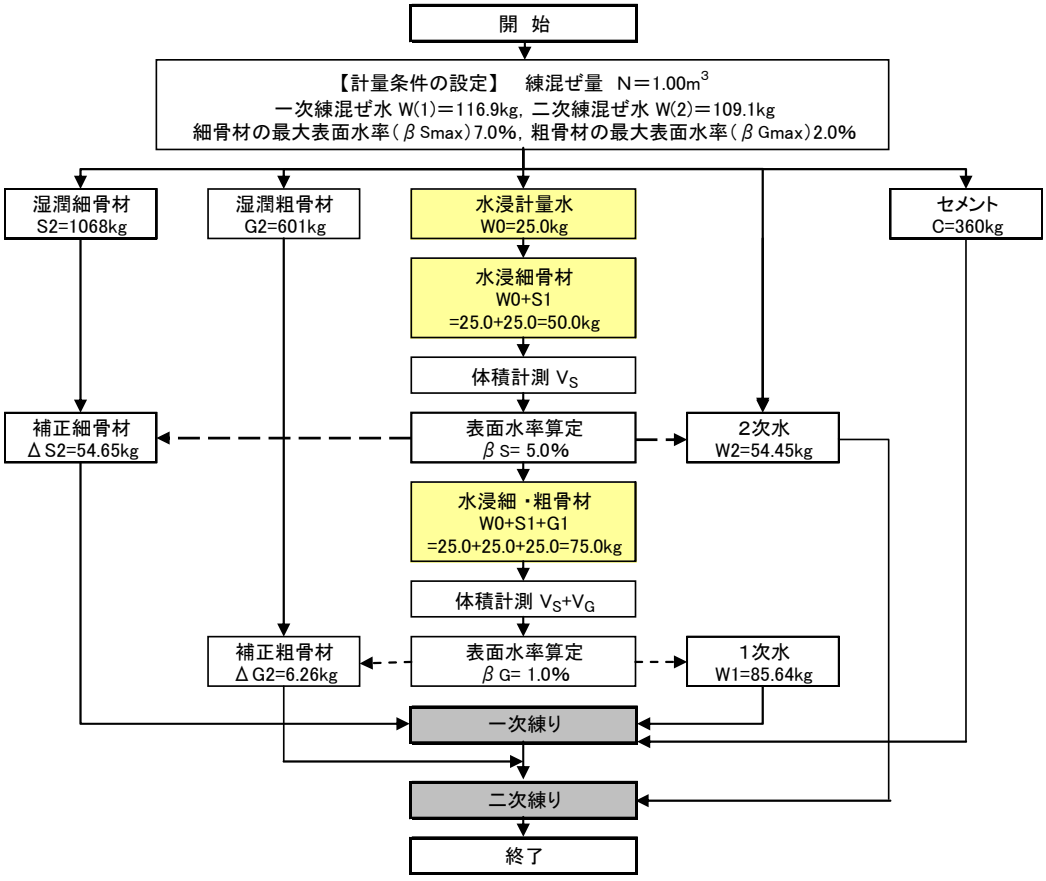
表－１　分割水浸式計量システムによる吹付け用ベースコンクリートの製造サイクル



表－２　吹付け用ベースコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法	プラント出荷時		水セメント比	細骨材率	単位量 (kg/m^3)					
	目標スランプ	目標空気量	W/C	s/a	水			セメント	細骨材	粗骨材
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	W(1)	W(2)	W(1+2)	C	S	G
15	12.0±1.5	2.0±0.5	62.8	64.0	117	109	226	360	1093	626

セメントの密度:3.16g/cm^3,　細骨材の表乾密度:2.57g/cm^3,　粗骨材の表乾密度:2.60g/cm^3



図－４　分割水浸式計量を用いた吹付け用ベースコンクリートの計量および練混ぜフロー

追加分を計量する。１バッチ当たりの計量に要する時間は最大で 60 秒に設定した。

コンクリートの練混ぜ方法は，練混ぜ水を 2 段階に分けて投入する分割練混ぜ（以下，ＳＥＣ練りと呼称）を適用した。このＳＥＣ練りに要する練混ぜ時間は 90 秒であり，計量と練混ぜの工程を効率的に組み合わせ，各計量器から全材料を排出後に次バッチ分の材料を計量することで， 約 30 バッチ/h のサイクルで，１バッチの練混ぜ量を1m^{3}換算として30m^3/hの製造能力を確保することができる。

トンネル吹付け用ベースコンクリートの配合の一例を**表－２**，計量および練混ぜフローを計量の試算例とともに**図－４**に示す。単位水量 226kg/m^3（うち１次水量 117kg/m^3）のコンクリート 1m^3 分を計量する場合，細・粗骨材の表面水率の最大値をそれぞれ 7%，2%と仮定すると，約25kgの練混ぜ水を水浸用計量水として約50kgの骨材を水浸式で計量できる。この場合の水浸用骨材量は全骨材量の約 3%に相当する。各骨材の単位量や表面水の変動状況に応じて水浸式計量の割合を設定することで練混ぜ水補正の管理精度を高めることができると考えられる。

3. 水浸式計量を用いた製造システムの検証結果

3.1 骨材の表面水率の算定結果

各骨材を貯蔵ビンから計量器へコンベアにより搬送する段階で試料を採取し JIS A 1111 および JIS A 1803 により表面水率を測定し，水浸式計量による算定値を比較した結果を**図－５**に示す。

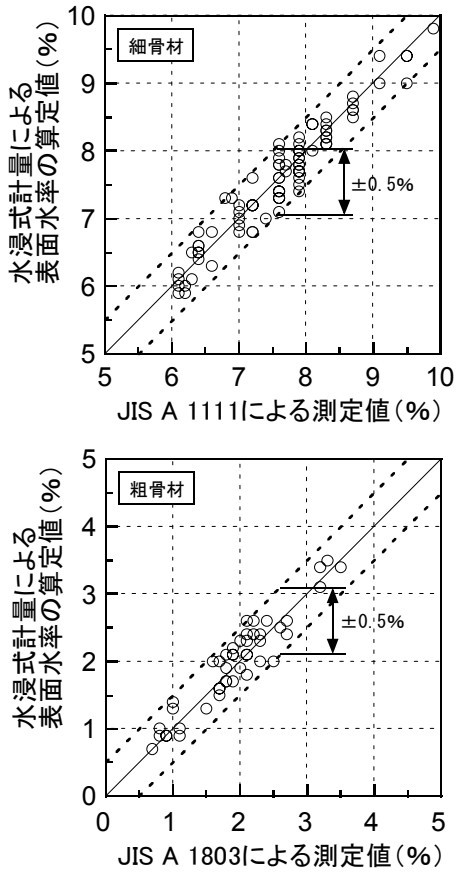
細骨材の表面水率は約 6～10%，粗骨材の場合は約 0.5～3%の範囲を推移したが，水浸式計量による算定値と JIS による測定値の相違はいずれも±0.5%以内でほぼ一致する結果が得られた。１回当たりの水浸用骨材量は細・粗骨材とも約 25kg で全骨材量の数%にすぎないが，貯蔵ビンから骨材をコンベア上に薄層に引き出し，さらに計量器に投入する段階で分取することにより少量でも代表的な試料がサンプリングできているものと考えられる。

3.2 吹付け用コンクリートの品質管理結果

実機プラントで分割水浸式計量を適用し，**表－２**に示す配合のコンクリートを製造した。骨材の表面水率の時系列推移およびこれに対応するスランプと空気量の試験結果を**図－６**に示す。

骨材の表面水率は細骨材が約 7～10%，粗骨材が約 1～3.5%と高い含水率の水準を推移する結果となった。このため，本プラントでは水浸用計量水はＳＥＣ練りにおける２次水の一部として取り扱い，コンクリートを練り混ぜた。

ベースコンクリートのスランプは 12±1.5cm，空気量は 2±0.5%の変動の範囲内で管理できることが確認できた。また圧縮強度についても，**図－７**に示すように材齢 28 日時点で変動係数は約 4%程度とばらつきが小さい結果が得られた。これらの結果は，細・粗骨材ともに，一部を水浸式で計量し，表面水量をバッチ毎に補正することで，品質の安定したコンクリートを製造できることを示すものと考えられる。



図－５ 骨材の表面水率算定結果

4. まとめ

本論文の範囲で得られた知見を以下に示す。

（1）細骨材および粗骨材の一部を分取し，水浸式計量を適用することにより，細骨材や粗骨材の湿潤状態によらず，それぞれの表面水量をバッチ毎に精度良く管理し，練混ぜ水量を適正に補正することができる。

（2）貯蔵ビンからベルトコンベアにより引き出して搬送した骨材を，計量器に投入する過程で縮分させながら採取することで，分取する水浸用骨材の量が全骨材量の数%程度と少量であっても代表的な試料をサンプリングできる。

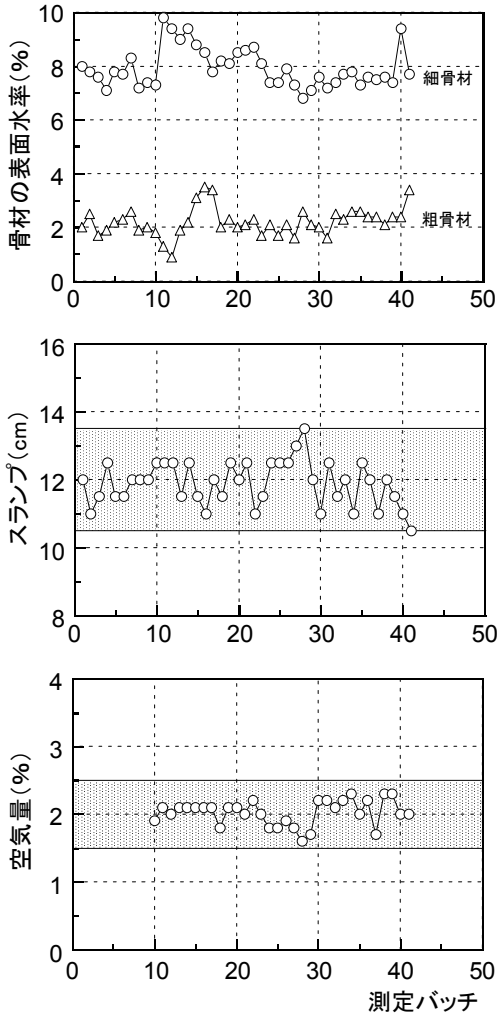
（3）トンネル吹付け用の自動運転を行う実機バッチャープラントで，細骨材および粗骨材の一部に水浸式計量を適用しコンクリートを製造した結果，両者の骨材とも表面水率の変動幅が約 3%の範囲で変動した場合でも，スランプや空気量は許容範囲内に管理することができ，圧縮強度の変動係数は 4%程度で，ばらつきが小さいコンクリートを製造できる。

謝辞

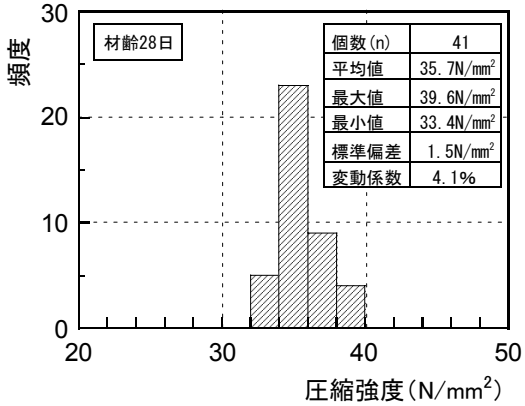
本システムの構築には名岐機器㈱の協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1) コンクリートの製造システム研究委員会報告書, (社)日本コンクリート工学協会, 1992.3
2) 近松竜一，十河茂幸 : 水浸細骨材計量方式を用いたコンクリート製造システムの研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.1159-1164，2001.7
3) 近松竜一，十河茂幸 : 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，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1085-1090，2003.7
4) 三好哲也他 : 細骨材水浸式計量による信頼性の高いダムコンクリート製造システムの開発，ダム工学，Vol.13，No.2，pp.70-78，2003



図－6 フレッシュコンクリートの品質管理結果



図－7 コンクリートの圧縮強度管理結果

5) 近松竜一他 : 骨材水浸式計量による品質保証型コンクリート製造システムの開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.1171-1176，2005.7