

論文 材料分離の評価を対象とした配合推定方法の提案

西村 和朗*1・加藤 佳孝*2

要旨：振動締固めおよびブリーディングによって生じる材料分離をそれぞれ定量的に評価するため、コンクリートを構成する全ての材料の単位量の変化を推定する方法を提案した。その結果、練り上がったコンクリートに対して、本手法を適用することで、いずれの構成材料の単位量も±10%以内の精度で推定できることが確認できた。提案手法を、高さ400mmの1層打ちコンクリートに対して適用した。その結果、振動締固め直後と締固め90分後の単位水量および単位粗骨材量の変動割合は概ね同等となった。

キーワード：配合推定, 材料分離, 締固め, ブリーディング

1. はじめに

同一配合で打設されたコンクリート構造物であっても、同一部材内で劣化進行の程度が異なり、場合によっては設計で想定した劣化の進行を上回ることが報告されている¹⁾。この一つの要因として、施工時の材料分離に伴い同一部材内でもコンクリートの配合が変化し、硬化コンクリートの特性が変動することが考えられる。また、材料分離は、振動締固めやブリーディングによって生じると考えられる。ここで、振動締固めによって生じる材料分離は、振動によってコンクリート中のモルタルが液状化することで粗骨材が沈降する現象と報告されており²⁾、また、ブリーディングによって生じる材料分離は、材料の密度差によって固体材料が沈降することで練混ぜ水の一部が浮上する現象とされている。これに対して、著者ら³⁾は、振動締固めによって粗骨材が沈下することを実験的に報告している。一方、中田ら⁴⁾は施工時の配合の変化を把握するため、壁部材から採取した小径コアの単位セメント量を推定し、鉛直方向で異なることを報告している。しかし、硬化コンクリートの配合推定では、振動締固めとブリーディングによって生じる材料分離を区別できず、それぞれの現象で分離する構成材料が明確になっていないのが現状である。

ここで、既往の配合推定方法を概観すると、フレッシュコンクリートを対象とした方法と、硬化コンクリートを対象とした方法に分類できる。フレッシュコンクリートの配合推定方法として、洗い分析試験⁵⁾や高周波加熱乾燥法⁶⁾が挙げられる。洗い分析試験はs/aを、高周波加熱乾燥法は単位水量を、推定することができる。また、硬化コンクリートの配合推定方法として、セメント協会F-18による方法⁷⁾やNDIS 3422（日本非破壊検査規格）等が挙げられる。いずれの方法もセメント量および総骨材量を推定することができるが、同一試料を用いて、コンクリートを構成する全ての材料の単位量を推定する方法は提案されていないのが現状である。

本研究では、振動締固めおよびブリーディングによって生じる材料分離が硬化コンクリート中の配合の変動に与えるメカニズムを明らかにすることを最終目的に、そのための分析手法として、コンクリートの全ての構成材料の単位量の変化を定量的に推定する方法を提案した。なお、本研究では普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートを対象とした。

2. 材料分離の程度の把握

2.1 配合推定試験方法の概要と問題点

これまでに多くの配合推定方法が提案されているが、いずれの方法もコンクリートを構成する全ての材料の単位量を推定することはできない。例えば、NDIS 3422は採取した硬化コンクリートを粉末にし、粉末中のセメントを溶解することで、溶解量から単位セメント量を、残存量から単位総骨材量を推定する方法である。そのため、細骨材と粗骨材に分類することができないことや、単位水量の推定が困難である⁸⁾と報告されている。一方、洗い分析試験⁵⁾は、採取したフレッシュコンクリート中のセメントペーストを洗い流すことで、細骨材と粗骨材の体積割合を推定することができる。また、高周波加熱乾燥法⁶⁾は、採取したフレッシュコンクリート中の水分を蒸発させることで、単位水量を推定することができる。

以上から、これら3つの手法を活用することで、コンクリートを構成する全ての材料の単位量を推定する手法を検討した。具体的には、フレッシュ時に採取した試料をウェットスクリーニング処理し、ふるいに留まった粗骨材に対して洗い分析試験を実施することで単位粗骨材量を、ふるいを通過したモルタルに対して高周波加熱乾燥法を参考に試料中の水を蒸発させることで単位水量を把握できると考えた。また、水を蒸発させた後の試料に対してNDIS 3422を実施することで単位セメント量および細骨材量も把握できると考えた。

*1 東京理科大学 理工学研究科土木工学専攻 (学生会員)

*2 東京理科大学 理工学部土木工学科 教授 博(工) (正会員)

表-1 配合

| W/C (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | スランブ(cm) | | 空気量(%) | |
|---------|---------|-------------------------|-----|-----|------|---------|--------|----------|-----|--------|-----|
| | | W | C | S | G | AE 剤 | AE 減水剤 | 目標 | 実測 | 目標 | 実測 |
| 50 | 45 | 165 | 330 | 808 | 1021 | 0.00924 | 0.792 | 10.0 | 9.0 | 5.0 | 5.5 |

2.2 配合推定試験方法の構築

(1) フレッシュコンクリートの採取方法

本研究では、材料分離に伴うコンクリートの配合変化を、振動締固めによって生じる材料分離と、ブリーディングによって生じる材料分離に分けて把握する方法を考えた。ここで、振動締固めによって生じる材料分離は、振動締固め直後に配合推定することで把握できる。一方、ブリーディングが終了したコンクリートを対象に配合推定した場合、振動締固めによって生じる材料分離の影響も含まれてしまう。そこで、ブリーディング終了時と振動締固め直後の配合変化を差し引くことで、ブリーディングによる配合変化を把握できると考えた。ただし、ブリーディング終了時のコンクリートは、凝結によってウェットスクリーニング処理することが困難となる。そのため、試験が実施可能である90分経過時（以降ブリーディング発生時と称する）に試料を採取した。なお、90分経過時のブリーディング水の発生率は、本研究で利用した配合では約65%であった（配合は表-1参照）。このことから、本研究で設定した採取時間では、ブリーディングの影響を考慮しきれていない可能性も考えられる。

(2) 配合推定試験の概要

振動締固め直後とブリーディング発生時のコンクリートに対して、洗い分析試験⁵⁾、高周波加熱乾燥法⁶⁾、NDIS 3422を併用することで、全構成材料の単位量を推定する方法を提案した。試験手順を図-1に示す。まず、コンクリートを型枠に打込み、締め固め、振動締固め直後および締固め90分後に試料を採取する。その後、以降の試験で得られる骨材の質量を単位体積あたりの質量に換算するため、既往の研究³⁾を参考に断面積φ100mmの型枠にコンクリートを入れ、打込み高さから体積を算出した。また、90分後の試料の採取は、コンクリート表面に浮上した水をスポイトで取水した後に実施した。

試料の体積を測定した後、5mmふるいをを用いたウェットスクリーニング処理することで試料をモルタルと粗骨材に分類し、粗骨材に対して洗い分析試験を実施した。洗い分析試験は既往の研究⁵⁾を参考に150μmふるいの上でペースト分を水で洗い流し、ふるい上に留まった粗骨材および粗骨材に付着していた細骨材を質量変化がなくなるまで105℃の環境に静置した。これを絶乾状態と判断し、5mmふるいをを用いて細骨材と粗骨材にふるい分け、式(1)より、コンクリート単位体積あたりの質量を算出した。ここで、洗い分析試験によって粒径150μm以下の細骨材を洗い流していることが予想される。しかし、洗い

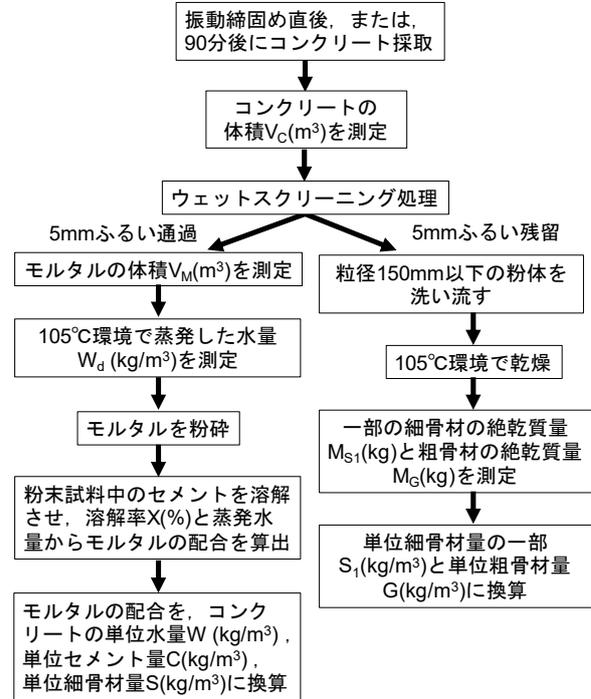


図-1 試験手順

流した細骨材を採取することは難しいため、配合上の細骨材の粒度分布と粗骨材に付着した細骨材の粒度分布が同じと仮定し、粒径150μm以下の細骨材量を補正した。本研究で用いた細骨材は、粒径150μm以下が4%であったため、ペーストとともに洗い流した細骨材は、粗骨材に付着した細骨材に対して4%と仮定した。

$$S_1 = \frac{M_{S1} / \rho_{Sd} \times \rho_{Ss}}{V_C} / \gamma, \quad G = \frac{M_G / \rho_{Gd} \times \rho_{Gs}}{V_C} \quad (1)$$

ここに、S₁はコンクリートの単位体積あたりの粗骨材に付着していた細骨材量(kg/m³)、Gはコンクリートの単位体積あたりの粗骨材量(kg/m³)、V_cはコンクリートの体積(m³)、M_{S1}は粗骨材に付着した細骨材の絶乾質量(kg)、M_Gは粗骨材の絶乾質量(kg)、ρ_{Ss}は細骨材の表乾密度(kg/m³)、ρ_{Sd}は細骨材の絶乾密度(kg/m³)、ρ_{Gs}は粗骨材の表乾密度(kg/m³)、ρ_{Gd}は粗骨材の絶乾密度(kg/m³)、γは粒径150μm以下の細骨材の補正係数(=0.96)とした。

ふるいを通過したモルタルは、以降の試験で得られる蒸発水量やモルタルの粉末試料の溶解率を単位体積あたりの水量やセメント量、細骨材量に換算するため、モルタルの体積を測定した。その後、質量変化がなくなるまで105℃環境に静置し、その時の質量減少量を蒸発水量として測定した。式(2)より、蒸発水量、モルタルの体積、1m³のコンクリート中のモルタルの体積から、コンクリートの単位体積あたりの水量に換算した。

$$W = \frac{W_d}{V_M} \times \frac{(1000 - S_1/\rho_{Ss} - G/\rho_{Gs})}{1000} \quad (2)$$

ここに、W はコンクリートの単位体積あたりの水量(kg/m³)、W_dは蒸発水量(kg)、V_Mはモルタルの体積(m³)とした。

NDIS 3422 を参考に 300μm ふるいを通過するまで、水を蒸発させたモルタル全量を粉砕した。その後、70℃に設定したホットスターラーで攪拌させた 300ml のグルコン酸ナトリウム溶液を用いて、粉砕した粉末試料中のセメントを溶解させた。その溶液をろ過することで不溶残分量を測定し、式(3)から溶解率を算出した。

$$X = \frac{m - R}{m} \quad (3)$$

ここに、X は溶解率(%), m はモルタルの粉末試料の質量(kg), R はモルタルの粉末試料の不溶残分量(kg)とした。

また、モルタルの単位体積あたりの水量とセメント量、細骨材量を用いることで、溶解率は式(4)で、1m³のモルタルの体積は式(5)で表せる。これらの式を連立させると、モルタル中の単位セメント量および単位細骨材量は式(6)となる。また、式(7)を用いることで、コンクリートの単位体積あたりのセメント量および細骨材量に換算した。

$$X = C_M / (C_M + S_M) \times 100 \quad (4)$$

$$\frac{W_d}{V_M} / \rho_W + C_M / \rho_C + S_M / \rho_{Ss} = 1 \quad (5)$$

$$C_M = \frac{1000 - W}{1/\rho_C + (1 - \rho_{Ss}) / (X/100 \times \rho_{Ss})} \quad (6)$$

$$S_M = \frac{1000 - W}{1/\rho_{Ss} + X/100 / (\rho_C \times (1 - X/100))}$$

$$C = C_M \times \frac{(1000 - S_1/\rho_{Ss} - G/\rho_{Gs})}{1000} \quad (7)$$

$$S = S_M \times \frac{(1000 - S_1/\rho_{Ss} - G/\rho_{Gs})}{1000} + S_1$$

ここに、ρ_w は水の密度(kg/m³)、ρ_c はセメントの密度(kg/m³)、C_M はモルタルの単位体積あたりのセメント量(kg/m³)、S_M はモルタルの単位体積あたりの単位細骨材量(kg/m³)、C はコンクリートの単位体積あたりのセメント量(kg/m³)、S はコンクリートの単位体積あたりの細骨材量(kg/m³)とした。

以上の手順で配合推定が可能と考えられる。しかし、単位水量は既往の研究⁹⁾を参考に水分の蒸発量から算出しているが、電子レンジを用いた高周波加熱ではなく105℃環境に静置する通常加熱による水分蒸発である。このため、フレッシュモルタル中の水分が十分に蒸発する試験条件は明確になっていない。また、使用するグルコン酸ナトリウム溶液やセメントによってモルタル粉末の溶解の程度が異なることも予想される。このため、2.2 試験条件の決定では、単位水量およびモルタル粉末中の溶

解率を測定するための試験条件について検討した。

2.3 試験条件の決定

(1) 単位水量の測定

単位水量の測定に影響する試験条件として、次の4つを把握する必要があると考えた。1つ目に、容器内のフレッシュモルタル試料が厚くなることで水分の蒸発が遅延し、試料内部に留まった水分が水和反応に使用される可能性が考えられる。この場合、単位水量は少なく推定されることが予想されるため、フレッシュモルタル中の水分が十分に蒸発できる試料厚さを把握する必要がある。2つ目に、フレッシュモルタル中の水分の蒸発が不十分な場合、単位水量は少なく推定されることが予想される。このため、105℃環境に静置したフレッシュモルタル中の水分の蒸発に要する時間を把握する必要がある。3つ目に、材料分離の程度によってウェットスクリーニングで得たモルタルの試料量が少なくなると、蒸発水量も少なくなる。この結果、測定誤差が大きくなり、単位水量が適切に測定できない恐れがあり、フレッシュモルタルの採取量の違いが単位水量の測定精度に与える影響を把握する必要がある。4つ目に、ブリーディングの影響を考慮する際、締固め直後と比較して、ブリーディング発生時の水分の蒸発開始時間は遅延する。水分の蒸発開始時間の遅延に伴い水和反応によって水分が消費されると、ブリーディング発生時の単位水量は少なく推定されることが予想される。このため、水分の蒸発開始時間が単位水量に与える影響を把握する必要がある。以上から、モルタルの試料厚さや水分蒸発時間、フレッシュモルタルの採取量および水分蒸発開始時間の影響について検討した。いずれの検討でも、W/C=50%、砂セメント比(以降S/Cと称する)が2.5のフレッシュモルタルを対象とした。蒸発水率は式(8)から算出し、2回の測定結果の平均値を試験結果として用いた。なお、水分を蒸発させるフレッシュモルタルは105℃環境に静置する容器内で練り混ぜることで、練混ぜ配合と容器内の配合を一致させた。

$$F_{Wd} = \frac{W_d}{W_m + S_m \times H/100} \times 100 \quad (8)$$

ここに、F_{Wd}は蒸発水率(%), W_mは練り混ぜに使用した水(kg), S_mは練り混ぜに使用した細骨材(kg), Hは表面水率(%)である。

まず、フレッシュモルタル中の水分が十分に蒸発できる試料厚さを把握するため、試料厚さを変化させたフレッシュモルタルの蒸発水率を測定した。結果を図-2に示す。なお、蒸発水率の最大値を把握することを目的としているため、水分蒸発開始は練り混ぜ直後とし、いずれの試料厚さでも質量変化がなくなるまで105℃環境に静置した。試料厚さが25mm以上では、試料厚さの増加に伴い蒸発水率が低下した。このことから、蒸発水率を

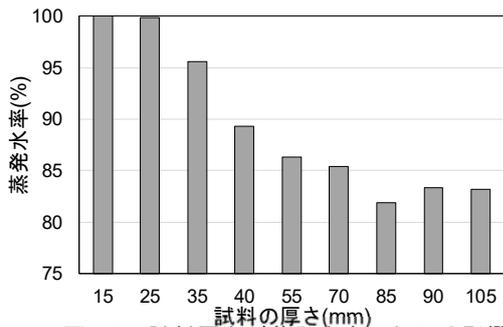


図-2 試料厚さが蒸発水率に与える影響

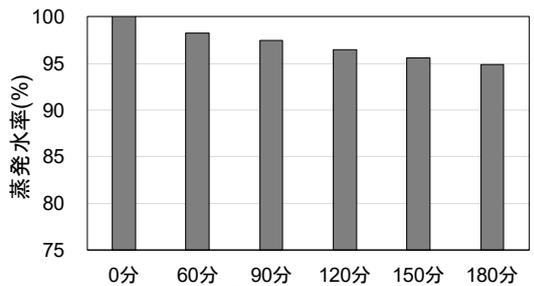


図-4 試料量が蒸発水率に与える影響

測定する際の試料厚さを 25mm 以下とした。

続いて、105℃環境に静置したフレッシュモルタル中の水分の蒸発に要する時間を把握するため、蒸発水率の経時変化を測定した。結果を図-3 に示す。なお、水分蒸発開始は練り混ぜ直後とし、試料厚さは 15mm, 25mm とした。試料厚さによって蒸発水率が 100%に至る時間が異なることが確認されたが、試料厚さが 25mm 以下であれば、105℃環境に 12 時間以上静置することで 100% となった。このことから、本研究では蒸発水量を測定する時間は 105℃環境に静置してから 12 時間以上とした。

次に、フレッシュモルタルの採取量が単位水量の測定精度に与える影響を把握するため、試料量を変化させて蒸発水率を推定した。水分蒸発開始は練り混ぜ直後とし、試料厚さは 15mm とした。また、モルタルの試料量を 0.09L, 0.35L, 0.7L の 3 水準とした。その結果、全ての試料量で蒸発水率 100%であったため、0.09L 以上ならば本手法は単位水量を十分に推定できると考えられる。

最後に、水分の蒸発開始時間が単位水量に与える影響を把握するために、水分の蒸発開始時間を変化させて蒸発水率を測定した。結果を図-4 に示す。時間経過に伴い蒸発水率は低下することが確認された。上記したように、これは、モルタル中の水分の一部が水和反応によって消費されたことが予想される。このため、図-4 に基づきブリーディング発生時の単位水量を補正することとした。具体的には、90 分後の蒸発水率は 97.5%であるため、式(2)の結果に 0.975 を除した値を単位水量とした。

以上のことから、フレッシュモルタル中の水分を蒸発させるには、0.09L 以上の試料を高さ 25mm 以下になるように容器に詰め、105℃環境に 12 時間以上静置する必

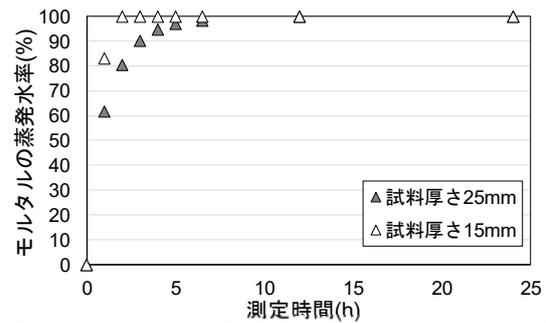


図-3 経時変化に伴うモルタルの蒸発水率の変化

要がある。また、締固めから時間が経過したフレッシュモルタルの蒸発水率は、蒸発水率と蒸発開始時間の関係から補正する必要がある。

(2) モルタルの粉末試料の溶解率の測定

セメント粉末には、高炉スラグ微粉末やシリカ質混合材、石灰石微粉末等の少量混合成分が 5%以下ならば混入してよいと JIS R 5210 で規定されている。少量混合成分がグルコン酸ナトリウム溶液で溶解しない場合、コンクリートの単位セメント量は少なく、単位細骨材量は多く推定される。また、少量混合成分以外のセメント粉末の一部が溶解しない可能性も考えられる。このため、使用するセメント粉末とグルコン酸ナトリウム溶液の溶解割合を測定し、補正する必要がある。ここで、式(3)を、セメントと細骨材の要素に分けると式(9)のようになる。

$$X = \frac{m - R}{m} = \frac{(m_C - R_C) + (m_S - R_S)}{m} \quad (9)$$

ここに、 m_C は粉末試料中のセメント量(kg)、 m_S は粉末試料中の細骨材量(kg)、 R_C は不溶残分中のセメント量(kg)、 R_S は不溶残分中の細骨材量(kg)である。

本研究で使用した細骨材は、グルコン酸ナトリウム溶液で溶解しないことを確認したため、粉末試料中の細骨材 m_S と不溶残分中 R_S の細骨材は等しい。また、グルコン酸ナトリウム溶液を用いることで、セメント粉末の全てが溶解する場合、不溶残分中のセメント量 R_C は 0 となる。以上のことから、式(10)を得る。

$$X = \frac{(m_C - R_C) + (m_S - R_S)}{m} = \frac{m_C}{m} \quad (10)$$

しかし、グルコン酸ナトリウム溶液を用いてセメントを溶解した際に、セメント粉末の全てが溶解しない可能性が考えられる。この場合、実際に溶解する粉末試料中のセメント量 m'_C を、使用するグルコン酸ナトリウム溶液に溶解できるセメント粉末の質量割合 Y で除すことで粉末試料中のセメント量 m_C となる。このため、粉末試料中の溶解量 $m-R$ も、セメント粉末の質量割合 Y で除すことで補正できると考えた。

$$X = \frac{m_C}{m} = \frac{m'_C / Y}{m} = \frac{(m - R) / Y}{m} \quad (11)$$

ここに、 m'_C は実際に溶解する粉末試料中のセメント

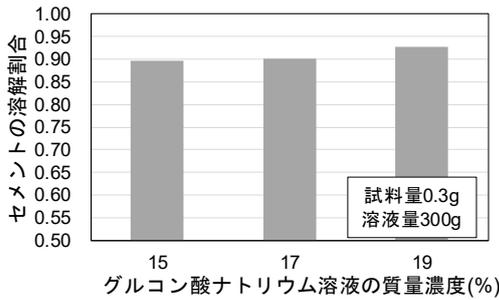


図-5 質量濃度とセメント粉末の溶解割合の関係

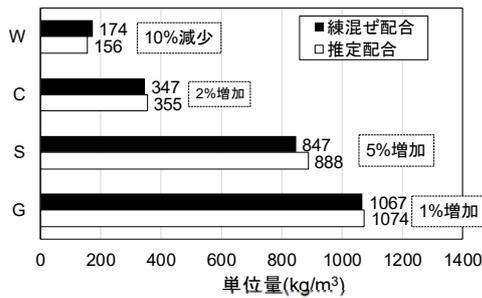


図-7 練混ぜ配合と推定配合の違い

量(kg), Yはセメント粉末の最大溶解割合である。

加えて、本研究では、モルタル全量に対して溶解させる試料量が著しく少なく、溶解率の測定結果のばらつきが大きいと予想される。このため、容器内で練り混ぜ、乾燥させた試料の溶解率のばらつきも確認した。

まず、使用するグルコン酸ナトリウムとセメント粉末の溶解率を把握した。また、NDIS 3422では、セメント粉末0.3gに対して、250ml以上のグルコン酸ナトリウム溶液の溶解率は、グルコン酸ナトリウム濃度15wt%で最大となり、その濃度以上は一定になるとされている。このため、本検討では、300mlのグルコン酸ナトリウム溶液の濃度を15, 17, 19wt%の3水準とした。結果を図-5に示す。15wt%以上のグルコン酸ナトリウムを用いた際に、セメント粉末0.3gに対してセメント粉末の溶解割合は0.91となった。以上から、本研究で使用するセメント粉末の最大溶解割合を0.91と設定した。また、本研究で対象とするコンクリート中のモルタル粉末のS/Cは2.45であり、250g以上のグルコン酸ナトリウム溶液で溶解可能であるセメント粉末0.3gを含有するモルタル粉末の質量は、0.74gと予想される。さらに、材料分離に伴いS/Cが変化することでモルタル粉末中のセメント量が増加する可能性や、細骨材量の増加によりろ過が困難になる可能性が考えられる。このため、本研究では溶解させるモルタルの粉末試料は0.5gとした。

次に、グルコン酸ナトリウム溶液によるモルタル粉末の溶解率のばらつきを把握した。W/C=50%, S/C=2.5のフレッシュモルタルに対して、グルコン酸ナトリウム溶液は17wt%一定とした。結果を図-6に示す。なお、図中の測定結果は、溶解率が29.1%の時に練混ぜ配合と推定配合の単位セメント量が一致し、25.2~30.4%の時に推

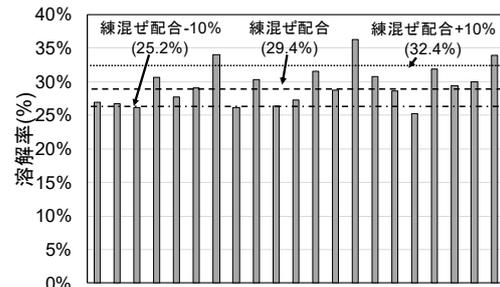


図-6 モルタル粉末の溶解率のばらつき

定配合の単位セメント量が±10%以内となる。測定結果の多くは、推定配合の単位セメント量が±10%以内となったが、範囲外となる結果も確認され、ばらつきも大きかった。このため、文献⁹⁾を参考に、溶解率を9回測定した後、式(12)の範囲を満たす測定結果を採用し、その平均値を試験結果として用いることとした。

$$|X - X_{average}| / \left(u_m \times \sqrt{\frac{n}{n-1}} \right) < t \quad (12)$$

ここに、Xはある溶解率(%), $X_{average}$ はXを除いた溶解率の平均値(%), u_m は不偏分散, nは測定回数(回), tはt分布表から求まる定数(n=9, 両側確率が0.1の場合, t=1.895)である。

以上のことから、本研究で使用したグルコン酸ナトリウムとセメントでは最大溶解割合0.91を用いて溶解率を補正する。また、9回の測定結果から式(12)の判定で採用された値の平均を試験結果とした。

2.4 本手法の検証

2.2 配合推定試験方法の構築および2.3 試験条件の決定を踏まえ、表-1の配合のフレッシュコンクリート(総量1.2L)に対して、練り混ぜ直後に配合推定試験を実施した。練混ぜ配合と推定配合の違いを図-7に示す。なお、図中の点線に囲まれた増減の数値は、練混ぜ配合に対する推定配合の増減の結果である。いずれの各構成材料も±10%以内の精度で推定できることが確認できた。以上から、本研究で提案した手法で配合を推定できることが確認された。

3. 配合推定試験を用いた材料分離の評価

3.1 試験概要

本研究では、1層打のコンクリートの材料分離を想定し、コンクリート標準示方書[施工編](以降示方書と称する)を参考に、高さ400mmまでコンクリートを型枠(断面150×150mm)に打込み、棒状パイプレータを中央部に挿入し、締固め時間は、示方書を参考に最も分離しやすいと予想される15秒とした。なお、配合は表-1と同様とした。配合推定試験に用いる試料は既往の研究³⁾を参考に高さ方向に8等分して採取した。その後、提案し

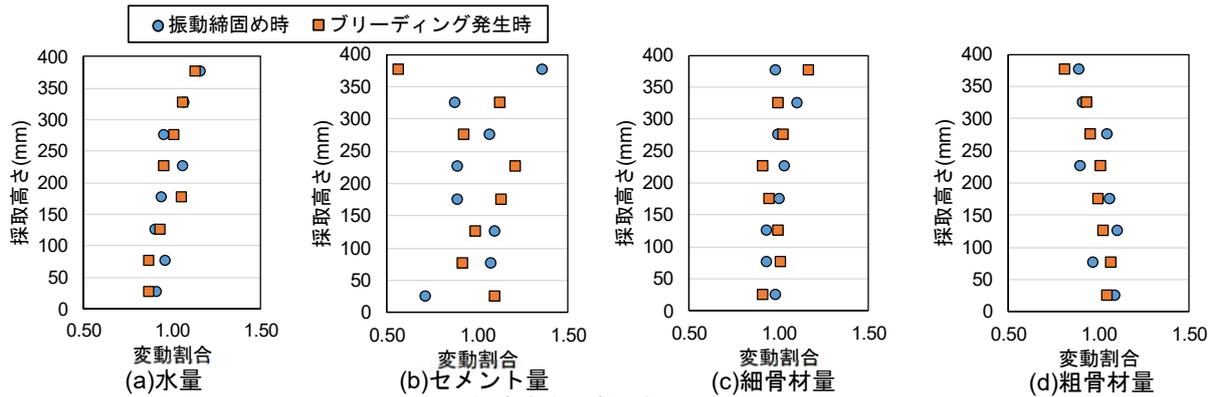


図-8 鉛直方向の各材料の変動割合

た方法で各配合の単位体積あたりの質量を推定した。ここで、各位置で推定した単位体積あたりの質量を平均した値は、型枠に打ち込まれたコンクリートの配合となると考え、式(13)から算出される配合の変動割合を材料分離の程度を表す指標とした。

$$\text{配合の変動割合} = \frac{\text{各位置の単位量の推定値}}{\text{推定した単位量の平均値}} \quad (13)$$

3.2 試験結果

材料分離に伴う配合の変動割合を図-8に示す。振動締め固め直後では、採取高さが高いほど単位水量の変動割合は大きく、単位粗骨材量は小さくなることが確認された。これは、振動締め固めによって水分は浮上し、粗骨材は沈下したことが考えられる。また、振動締め固め直後とブリーディング発生時の単位水量および単位粗骨材量の変動割合は概ね同等となった。このことから、本研究で対象とした配合では、締め固めたコンクリートの単位水量および単位粗骨材量の変化の多くは、振動締め固めが原因と予想される。一方、単位セメント量および単位細骨材量の変動割合には明確な関係が確認されなかった。2.3 本手法の検証では、練り上がったコンクリートに対して本手法は精度高く推定されたが、ここでは材料分離を生じさせた試料に対して適用している。このため、8等分した内の1つの層内でも高さ方向に配合は変動していると予想され、モルタル全量に対して、グルコン酸ナトリウム溶液を用いたモルタル粉末の溶解率測定で測定したモルタル粉末の総質量は少なく、試料のばらつきを考慮できなかった可能性が考えられる。今後、測定回数を増やして検討する必要がある。

4. まとめ

本研究の範囲で得られた知見をまとめると次のようになる。

(1) 練り上がったコンクリートに対して、本手法を適用することで、いずれの構成材料の単位体積あたりの質量も±10%以内の精度で推定できることが確認できた。

- (2) 振動締め固めに伴いコンクリート中の水分は浮上し、粗骨材は沈下することが確認された。
- (3) 本研究で用いた配合では、振動締め固め直後と締め固め90分後の単位水量および単位粗骨材量の変動割合は概ね同等となった。

参考文献

- 1) 酒井秀昭：中性化による橋梁上部工コンクリート部材の耐久性について、プレストレスコンクリート工学会、第21回シンポジウム論文集、pp.81-84、2012
- 2) 岩崎訓明：振動によるフレッシュコンクリートの液状化と内部振動機の作用領域に関する考察、土木学会論文集、第426号/V-14、pp.1-18、1991
- 3) 戸田皓、西村和朗、加藤佳孝：振動締め固めに伴うフレッシュコンクリートの材料分離に関する実験的検討、第44回土木学会関東支部技術研究発表会、2017
- 4) 中田善久、笠井芳夫、横山滋、西山直洋：硬化コンクリートの単位セメント量判定試験方法におけるコンクリート試料の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、1995
- 5) 尾上幸造、亀澤靖、松下博通：鉄筋間隙通過によるコンクリートの配合変化、土木学会論文集E、Vol.62、No.1、pp.119-128、2006
- 6) 松田拓、蓮尾孝一、谷口秀明、西本好克：高周波加熱乾燥法による単位水量の推定に及ぼす各種要因の検討、土木学会第59回年次学術講演会、pp.297-298、2004
- 7) 社団法人セメント協会：コンクリート専門委員会報告F-18、硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告、1967
- 8) 中田善久、笠井芳夫：硬化コンクリートの配合および単位水量の推定、Journal of the Society of Inorganic Materials、12巻、319号、pp.516-522、2005
- 9) 土木材料実験教育研究会：[新訂]新示方書による土木材料実験法、鹿島出版会、pp.229-246、2003