

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 9 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420436

研究課題名(和文) 乾燥過程にあるコンクリートの収縮に及ぼす粗骨材の影響に関する研究

研究課題名(英文) Study on effect of coarse Aggregate to shrinkage of concrete in the drying process

研究代表者

梅原 秀哲 (UMEHARA, HIDETAKA)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70151933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリートの乾燥収縮には、水分の逸散による粗骨材自体の収縮が大きく影響することが明らかとなった。さらに、粗骨材とモルタル間の付着力や粗骨材自体のヤング係数は、圧縮強度試験のような大きな応力が作用する場合は圧縮強度に大きく影響するが、乾燥収縮のような小さな応力が作用する場合は乾燥収縮ひずみにほとんど影響しないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： It becomes clear that drying shrinkage of concrete is affected heavily by shrinkage of coarse aggregate itself due to water diffusion. Furthermore it becomes clear that the adhesion between coarse aggregate and mortar and Young's modulus of coarse aggregate affect heavily to compressive strength because of large stress acting during compressive strength test, but they don't affect so much to strain of drying shrinkage because of small stress acting during drying shrinkage test.

研究分野：工学

キーワード：コンクリート 粗骨材 乾燥収縮

1. 研究開始当初の背景

粗骨材自身の乾燥収縮がコンクリートの乾燥収縮に与える影響は古くから検討されているが、近年においても垂井高架橋に多数のひび割れが生じた事象や土木学会および日本建築学会がコンクリートの乾燥収縮ひずみに設計最大値を規定するなど、活発な研究および議論が行われている。

わが国においては天然骨材に人工軽量骨材を加えて統一的な見解を示した後藤ら¹⁾の研究が先駆的であり、粗骨材自身の乾燥収縮ひずみはその内部表面積に比例することを示し、水蒸気の吸脱着による表面エネルギー変化に起因すると指摘している。また同時に人工軽量骨材はその多大な含水性により、コンクリートの乾燥収縮に与える影響が天然骨材とは異なることも示している。

近年では、今本ら²⁾が水蒸気吸着によって求めた細骨材および粗骨材の比表面積が材齢1年のコンクリートの乾燥収縮ひずみと良好な相関関係にあることを示し、後藤らの研究結果を裏付けている。この他にも粗骨材の各種物性値とコンクリートの乾燥収縮ひずみとの関係性を検討した研究や粗骨材自身の乾燥収縮を考慮したコンクリートの乾燥収縮ひずみ予測式の提案がなされている。しかしながら、上記に挙げた例を含むこれまでの研究は、粗骨材自身の乾燥収縮ひずみを含む諸物性とコンクリートの終局的な乾燥収縮ひずみとの関係性を論じたものが多く、フレッシュコンクリートから硬化コンクリートに至る乾燥過程で粗骨材がコンクリートの収縮に与える影響について検討された例はほとんどない。乾燥過程における粗骨材の影響は、粗骨材とセメントペースト間の水分移動現象を考慮する必要があり、この現象の検討は粗骨材がコンクリートの収縮に与える影響の解明に大きく寄与するものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では岩種および産地が異なる粗骨材や比較のために鉄球やビー玉等を用いて、粗骨材そのものの収縮挙動を調べるとともに、ひずみゲージを貼付したこれらの粗骨材をコンクリート内部に埋め込んで粗骨材のひずみ挙動を調べ、乾燥過程にあるコンクリートの収縮に及ぼす粗骨材の影響を把握することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実験シリーズと使用した粗骨材の種類

粗骨材がコンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす要因として、1つは粗骨材内の水分の逸散による粗骨材自体の体積変化が挙げられる。また、2つ目の要因として、粗骨材がモルタルとの付着や粗骨材自体の剛性によりコンクリートの収縮を拘束する働きが挙げられる。これらの2つの要因について検討するために、本研究では使用する粗骨材の種類を吸水シリーズ、拘束シリーズの2種類の実験シリーズに分類して粗骨材およびコンクリートの乾燥収縮ひずみを比較した。

粗骨材は以下の12種類を用いて実験を行った。まず、乾燥収縮ひずみが大きくなることが想定される砂岩は、産地の異なる勢濃砂岩、岡崎砂岩の2種類を選定し、それらに石灰岩と輝緑岩を加えた4種類を普通粗骨材とした。さらに、普通粗骨材4種類にウレタン樹脂を用いて表面コーティングを施し、水分移動を抑制した粗骨材4種類を作製した。また、球形の粗骨材として鉄球、さび鉄球、ビー玉、発砲スチロールの4種類を使用した。以上の8種類を比較用の粗骨材とした。鉄球、さび鉄球、ビー玉、発砲スチロールは最大粒径を20mmとし、普通骨材と同程度の粒度分布になるように大小粒を混合したものをを用いた。

勢濃砂岩、岡崎砂岩、輝緑岩、石灰岩の普通粗骨材4種類と、これらの粗骨材にウレタン樹脂を用いて表面コーティングを施した粗骨材4種類の計8種類を吸水シリーズとした。コーティングをすることによって、水分移動を抑制することができると考えられ、吸水すると想定される普通粗骨材4種類との比較を行った。一方、普通粗骨材にコーティングを施したコーティング粗骨材4種類と鉄球、さび鉄球、ビー玉、発砲スチロールを加えた8種類を拘束シリーズとした。粗骨材の形状および凹凸などの表面性状の違いや粗骨材自体の剛性によって、コンクリートの収縮を拘束する力に差異が生じると考えられ、普通粗骨材4種類と比較を行った。

(2) 実験方法

100mm×100mm×400mmのコンクリート供試体を打設後7日まで水中養生した後に、相対湿度60±5%、温度20±1の室内に静置し、JIS A 1129-3(モルタルおよびコンクリートの長さ変化測定方法)に基づいて、コンクリートの乾燥収縮ひずみの測定を行った。試験に使用した粗骨材は上述の12種類の粗骨材である。1種類の粗骨材につき3本のコンクリート供試体を作製し、測定値はその3つ

の供試体の平均値とした。ひずみの測定は水中養生後から6ヶ月間行った。

本研究では、コンクリート供試体内にある粗骨材自身の乾燥収縮ひずみも同時に測定を行った。練混ぜたコンクリートを型枠に詰める際に、ひずみゲージを貼付した4個の試料を等間隔で1つのコンクリート供試体に埋め込み、コンクリートの乾燥収縮ひずみと同時に、乾燥過程における粗骨材自身の乾燥収縮ひずみを測定した。なお、粗骨材の種類の違いによる乾燥収縮ひずみの値の差をみるため、コンクリート内部に埋め込む粗骨材は、乾燥収縮ひずみの差が生じやすいと考えられる表面乾燥飽水状態にして埋め込んだ。

4. 研究成果

(1) 吸水シリーズ

普通粗骨材およびコーティング粗骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮ひずみの試験結果を図1に示す。粗骨材の種類によってコンクリートの乾燥収縮ひずみに差が生じていることが確認できる。普通粗骨材を用いたコンクリート供試体について、6ヶ月後の乾燥収縮ひずみの値は、石灰岩が最も小さく400 μ 程度となり、他の普通粗骨材と比較すると100~150 μ 程度小さい値となった。この理由として、石灰岩は他の普通粗骨材と比較して粗骨材とセメントペースト間の水分移動が少なく、水分の逸散による粗骨材自体の収縮が小さいことが考えられる。また、普通粗骨材を用いた供試体とコーティング粗骨材を用いた供試体との比較を行うと、勢濃・岡崎砂岩についてはコーティング粗骨材の乾燥収縮ひずみが70~100 μ 程度小さい値となった。そして、石灰岩については粗骨材内の水分移動が少ないため、コーティングした石灰岩の乾燥収縮ひずみとほとんど同じ値となった。このことから、勢濃・岡崎

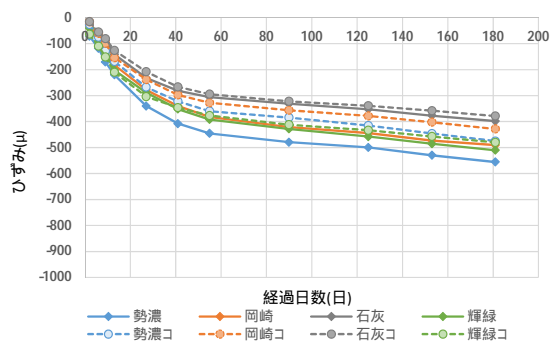


図1 普通・コーティング粗骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮ひずみ

砂岩を用いたコンクリートの乾燥収縮には、水分の逸散による粗骨材自体の収縮が大きく影響していると考えられる。

(2) 拘束シリーズ

圧縮強度およびヤング係数

材齢28日および98日目における各種粗骨材を用いたコンクリート供試体の圧縮強度試験結果を図2に示す。普通粗骨材とコーティング粗骨材を用いたコンクリート供試体の圧縮強度を比較すると、材齢28日、98日目いずれにおいても4種類すべての粗骨材でコーティング粗骨材の圧縮強度が15~25 N/mm²程度小さくなった。この要因としては、コーティングを施したことによって粗骨材表面のモルタルとの付着力が低下し、圧縮強度に影響を及ぼしたものと考えられる。次に、普通粗骨材と球形粗骨材を用いたコンクリート供試体の圧縮強度の比較をみると、鉄球、さび鉄球、ビー玉、発泡スチロールの球形粗骨材4種類はいずれも普通粗骨材4種類よりも圧縮強度が小さくなった。これは、普通粗骨材の粒形が球形粗骨材よりも不均一で角張っているため、モルタルとの付着力が大きくなり、圧縮強度が大きくなったものと考えられる。一方、発泡スチロールはそれ自体の圧縮強度がセメントペーストの圧縮強度よりもかなり小さいため、圧縮強度が大幅に低下した。また、鉄球とさび鉄球の比較を行うと、98日目の圧縮強度において鉄球よりもさび鉄球のほうが18 N/mm²程度大きくなった。これは鉄球表面にさびをつくり表面を凹凸にしたことで、なめらかな球体よりもモルタルとの付着力が増加し、それによって圧縮強度に差が生じたものと考えられる。以上のことから、粗骨材における粒形や表面形状の違いはモルタルとの付着に影響し、圧縮強度に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

材齢98日目における各種粗骨材を用いたコンクリート供試体のヤング係数は、さび鉄

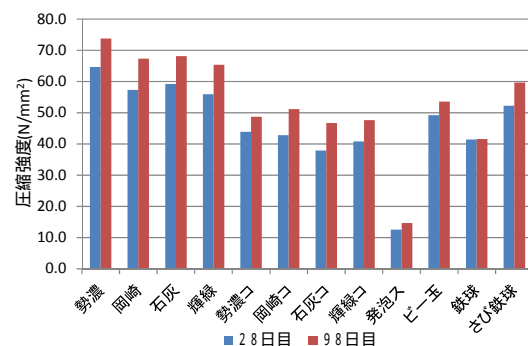


図2 圧縮強度

球、鉄球が約 55kN/mm²と最も大きな値となった。次いで、普通粗骨材、コーティング粗骨材およびビー玉がほぼ同じ値で約 40 kN/mm²であった。一方、発砲スチロールは約 10 kN/mm²で普通粗骨材の 1/4 しかなく、最も小さい値となった。コンクリート供試体のヤング係数は、粗骨材自体のヤング係数の影響を大きく受けると言われており、実験結果はほぼ妥当な値を示したと言える。

乾燥収縮ひずみ

球形粗骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮ひずみの測定値を図3に示す。鉄球、さび鉄球、ビー玉を用いた供試体の6ヶ月後の乾燥収縮ひずみは約400μとほぼ同じ値となり、発砲スチロールのみ880μと大きな値を示した。粗骨材はコンクリートの収縮を拘束する役割をもっているが、ヤング係数が極端に小さい発砲スチロールはコンクリートの収縮を拘束できていないと考えられる。一方、鉄球はビー玉に比べてヤング係数は大きい、乾燥収縮ひずみがほぼ同じ値となったことから、ビー玉程度のヤング係数があればコンクリートの乾燥収縮のような比較的小さい応力下において、ヤング係数の差はあまり影響がないものと考えられる。また、鉄球をさびさせて表面に凹凸をつくることで付着力を向上させ、コンクリートの乾燥収縮ひずみを抑えることができると考え、鉄球とさび鉄球を比較した。しかし、乾燥収縮ひずみはほぼ同じ値となった。このことから、本実験のような鉄球をさびさせることで生じる程度の付着力の変化では、コンクリートの乾燥収縮のような比較的小さい応力下において乾燥収縮ひずみにあまり影響がないものと考えられる。

次に、図1と図3において、普通粗骨材、コーティング粗骨材および球形粗骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮ひずみ

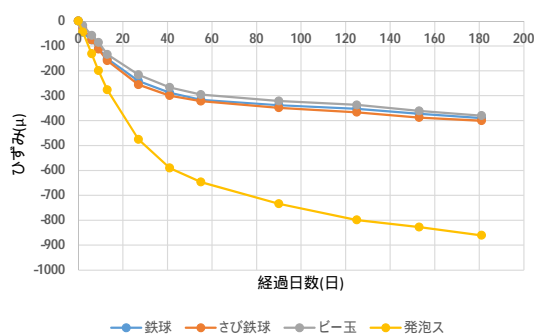


図3 球形粗骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮ひずみ

を比較すると、石灰岩やコーティング粗骨材および鉄球、さび鉄球、ビー玉の球形粗骨材3種類を用いた供試体の6ヶ月後の乾燥収縮ひずみは、約400μでほぼ同じ値を示した。これらの粗骨材はすべて粗骨材内の水分移動が少なく、コンクリートの乾燥収縮のような比較的小さい応力下において、モルタルとの付着力の差や粗骨材自体のヤング係数の差が乾燥収縮ひずみにあまり影響がないことから、同じ値を示したものと考えられる。これに対して、勢濃産砂岩、岡崎産砂岩、輝緑岩の普通粗骨材3種類を用いた供試体の6ヶ月後の乾燥収縮ひずみは500~570μの範囲となり、コーティング粗骨材よりも100~170μ大きくなった。これは、吸水シリーズで述べたように、粗骨材とモルタル間の付着力は乾燥収縮のような小さい応力下ではあまり影響しないことが考えられ、それよりも粗骨材自身の水分の逸散による影響の方が大きいと考えられる。

(3) まとめ

各粗骨材において、水分移動を抑制したコーティング粗骨材の方がコンクリート供試体の乾燥収縮ひずみが小さいことが確認できた。このことから、コンクリートの乾燥収縮には、水分の逸散による粗骨材自体の収縮が大きく影響していることが明らかとなった。

粗骨材とモルタル間の付着力や粗骨材自体のヤング係数は、圧縮強度試験のような大きな応力が作用する場合は圧縮強度に大きく影響するが、乾燥収縮のような小さな応力が作用する場合は乾燥収縮ひずみにほとんど影響しないことが明らかとなった。

引用文献

- 1) 後藤幸正、藤原忠司、「コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響」、土木学会論文報告集、第286号、1979、pp.125-137
- 2) 今本啓一、石井寿美江、荒井正直、「各種骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性と骨材比表面積の影響」、日本建築学会論文集構造系論文集、No.606、2006、pp.9-14

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

小幡雄一郎、吉田亮、梅原秀哲、「粗骨材の排水挙動がコンクリートの乾燥収縮に与える影響」、土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)、査読有、V-70

〔学会発表〕(計4件)

青山祥梧、飯田憲佳、梅原秀哲、吉田 亮、
「粗骨材の吸水性状、ヤング係数および付
着性状がコンクリートの乾燥収縮に与え
る影響」、 - 303、土木学会全国大会第
71 回年次学術講演会、東北大学、2016 年
9 月 9 日

青山祥梧、飯田憲佳、梅原秀哲、吉田 亮、
「粗骨材の水分逸散性状がコンクリート
の乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究」、
- 35、土木学会中部支部研究発表会、豊
田工業高等専門学校、2016 年 3 月 4 日

飯田憲佳、青山祥梧、梅原秀哲、吉田 亮、
「粗骨材の形状およびヤング係数がコン
クリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関す
る研究」、 - 36、土木学会中部支部研究
発表会、豊田工業高等専門学校、2016 年 3
月 4 日

加藤清孝、梅原秀哲、吉田 亮、小幡雄
一郎、「粗骨材種がコンクリートの乾燥収
縮に及ぼす影響に関する研究」、 - 474、
土木学会全国大会第 70 回年次学術講演会、
岡山大学、2015 年 9 月 17 日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅原 秀哲 (UMEHARA Hidetaka)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：7 0 1 5 1 9 3 3

(2) 研究分担者

吉田 亮 (YOSHIDA Ryo)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：4 0 5 4 8 5 7 5