

各種粗骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす影響

井上真澄^{*1} 山崎新太郎^{*1} 猪狩平三郎^{*1} 岡田包儀^{*2}^{*1} 北見工業大学 工学部社会環境工学科(〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)^{*2} 北見工業大学 技術部(〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

要旨：本研究では、各種粗骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、岩種および物性の異なる各種粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮特性について実験的検討を行った。その結果、粗骨材の種類によりコンクリートの乾燥収縮ひずみは異なり、骨材粒子単体の乾燥収縮とコンクリートの乾燥収縮には高い相関が認められた。概して粗骨材の吸水率や総細孔量が大きいほど、コンクリートの乾燥収縮が大きくなる傾向を示すが、砂岩は他の骨材と傾向が異なり、吸水率や細孔量は比較的小さいもののコンクリートの乾燥収縮は大きい値を示した。また、鏡面研磨を施した骨材面の SEM 観察を行い、骨材内部の微細空隙構造と骨材の収縮との関係性について考察を行った。

キーワード：粗骨材、乾燥収縮、吸水率、細孔量、弾性係数、SEM 観察

1. はじめに

コンクリートの容積の約 7 割を占める骨材は、コンクリートの性能を大きく左右するため、これまで良質の骨材が求められてきた。しかし、地域によっては川砂や川砂利等の良質な天然骨材の枯渇は深刻であり、近年では環境保全の観点から海砂の採取も制限されている。

北海道地区の骨材事情に目を向けると、いまだ良質な天然骨材が採取可能であり、特に細骨材は川砂および山陸砂といった天然骨材の使用比率が全体の約 9 割を占めている。しかし、粗骨材については、年々碎石の使用量が増しており、近年は碎石の使用比率が砂利の使用比率を上回るなど、全国的な傾向と同様に天然骨材の枯渇化が認められつつある¹⁾。したがって、道内でも将来的には碎石資源を中心として骨材の多様化が進むと考えられる。

一方で、コンクリート構造物の品質確保の観点から、乾燥収縮などによって生じるコンクリートのひび割れ制御への要求が高まりつつある。最近では骨材の品質低下に伴うコンクリートの収縮量の増加が問題となり、土木学会の「コンクリート標準示方書」²⁾や日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ対策指針・施工指針(案)・同解説」³⁾では、コンクリートの乾燥収縮に関する内容が大幅に盛り込まれた。一般に、コンクリートの乾燥収縮は、配合条件と密接な関係があり、単位水量の上限値の規定は、乾燥収縮の低減を目的の一つとしている。しかし、最近では、骨材の多様化を背景に骨材の岩種や物性がコンクリートの乾燥収縮に大きな影響を及ぼすことが広く認識されつつある。特に、石灰石骨材を用いたコンクリートは、乾燥収縮が小さくなるこ

とが数多くの研究者から報告^{例え ば 4)}されており、石灰石骨材の使用は乾燥収縮の低減に有効な方法である。しかし、石灰石を含む各種骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響については、骨材単体の乾燥収縮や比表面積に着目した研究^{5, 6, 7, 8)}などが行われているものの、岩種によって大きく傾向が異なる場合があり、十分に解明されていないのが現状である。

以上のような背景を踏まえ本研究では、各種粗骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、岩種および物性の異なる 7 種類の粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮特性について実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントには、普通ポルトランドセメント(密度：

Table 1 Mechanical properties of coarse aggregate

Type	Coarse aggregate	Specific gravity (g/cm ³)	Water absorption (%)	Fineness modulus
G1	Andesite	2.68	2.04	6.57
G2		2.81	1.68	6.73
G3		2.64	2.81	6.45
G4	Limestone	2.70	0.25	6.79
G5	Sandstone	2.66	1.39	6.62
G6	Land gravel	2.65	1.46	6.94
G7	River gravel	2.56	3.19	6.81

3.16g/cm³)を使用し、細骨材には陸砂(表乾密度: 2.62g/cm³、吸水率: 2.63%、F.M.=2.54)を使用した。粗骨材には、JISの骨材品質規格を概ね満足する計7種類を使用した。Table 1に、本実験で使用した粗骨材とその基本物性を示す。安山岩を3種類(G1、G2、G3)、石灰石(G4)および砂岩(G5)を各1種類、天然骨材として陸砂利(G6)および川砂利(G7)を各1種類使用した。その他、混和剤としてAE減水剤[Ad₁] (主成分: リグニンスルホン酸塩とポリオールの複合体)とAE助剤[Ad₂] (主成分: アルキルアリルスルホン酸塩)を使用した。

2.2 コンクリートの示方配合

Table 2にコンクリートの示方配合を示す。配合は、粗骨材がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響を把握するため、水セメント比は55%、単位水量は160kg/m³、細骨材率は45%で一定とした。目標スランプは7.5±1.0cm、目標空気量は4.5±1.0%とし、AE減水剤とAE助剤の添加量により調整した。Table 2には、その添加量およびコンクリートのフレッシュ試験結果も示す。いずれの配合においても目標スランプおよび目標空気量を満足した。

2.3 試験項目および試験方法

(1) 各種強度および静弾性係数

各種強度および静弾性係数試験用供試体は、打設後材齢1日で脱型し、材齢28日まで水中養生(20±1℃)を行った。各種試験は、JISに準拠して行った。

(2) コンクリートの乾燥収縮試験

供試体は100×100×400mmの角柱供試体とし、打設後材齢1日で脱型し、材齢7日まで水中養生(20±1℃)を行った。その後、20±1℃、60±5%RHの養生室内に静置し、長さ変化を測定した。長さ変化の測定は、JIS A 1129-3のダイヤルゲージ法に準拠して行った。供試体数は各配合3体とし、その平均値を算出した。

(3) 粗骨材の乾燥収縮試験

粗骨材粒子単体の乾燥収縮を測定するため、粗骨材表面に2軸ひずみゲージを貼り付けた試料を7日間水中に浸漬した後、20±1℃、60±5%RHの養生室内に静置してひずみの経時変化を測定した。なお、骨材の吸水

によるひずみゲージ裏面からの湿気の浸透を防ぐため、ひずみゲージ貼り付け箇所にコーティング剤を塗布して、硬化後にひずみゲージを接着剤で貼り付けた。さらに、ひずみゲージを防水するため、ひずみゲージ表面をコーティング剤にて被覆した。骨材1種類に対して10試料で測定し、その平均値を算出した。

(4) 骨材内部の微細空隙観察

骨材内部の代表的な微細空隙構造を把握することを目的として、極めて平滑な鏡面観察表面を作製した。本方法は筆者らが新たに考案したものであり別に報告するが、本方法は浸透性の高い硬化樹脂で骨材表面を十分含浸させた後、ダイヤモンドの超硬微粒子による研磨を行って観察表面を作成し、走査型電子顕微鏡を用いて微細な空隙、もしくは、軟質な部分の分布を抽出した。観察表面の研磨は50nmのダイヤモンド粒子を用いて行い、それより十分大きい粘土粒子や粒子間の空隙は保存されるように配慮した。また、研磨粉が空隙を充填することが無いように研磨後、水中で超音波洗浄を行った。観察には白金コーティングの後、走査型電子顕微鏡にて行った。走査型電子顕微鏡の二次電子像による観察では電子線の照射方向に垂直な面は暗く、平行な面ほど明るく見え、通常、電子線は観察像斜めから照射されていることから、これにより表面の極小立体構造が把握できる。後に実験結果として述べるが、筆者が複数の試料を比較して実験を行ったところ、表面に微凹凸があるところでは電子線照射方向の面が反射して白色の部分が多く分布することが分かった。また、超硬微粒子が選択的に削って凹んだ部分では、その部分の周辺で電子線の照射方向に反射する白色の縁が観察され、これから周囲よりも軟質な部分を特定できた。そして、電子線が当たらない表面から離れた部分、つまり深い空隙も識別できた。一方で、平滑な面は一様な色の面として識別できた。筆者らはエネルギー拡散型X線分析装置(EDS)によっても確認したところ、このような比較的大きな平滑な部分には硬質の鉱物である石英の存在を意味する珪素と酸素に富む部分が認められた。

(5) 骨材の細孔径分布

骨材内部の細孔量を把握するため水銀圧入法により細

Table 2 Mix proportions of concrete

Type	W/C (%)	s/a (%)	Unit content (kg/m ³)				Ad ₁ (ml/m ³)	Ad ₂ (ml/m ³)	Slump (cm)	Air (%)
			W	C	S	G				
G1	55	45.0	160	291	829	1036	582	11.64	7.0	4.5
G2						1086	1076	11.64	7.0	4.4
G3						1021	1164	11.64	6.5	4.6
G4						1044	582	11.64	7.5	5.2
G5						1028	815	14.55	7.5	4.5
G6						1025	0	17.45	7.5	4.5
G7						990	582	8.73	8.5	4.6

孔径分布を測定した。試料は粒径 2.5~5mm に調整し、各骨材に対して 2 試料で測定し、その平均値を算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートの強度および弾性係数

Fig. 1 に材齢 28 日における各種強度と静弾性係数試験の結果を示す。全体として、天然骨材 G6 と G7 を用いたコンクリートの各種強度および静弾性係数が他の碎石骨材に比較して若干小さい値を示した。これは、天然骨材は、その粒子形状が丸みを帯びており、碎石に比べるとモルタルとの付着が悪いことに起因する。一方で石灰石 G4 を用いた場合には、引張強度、曲げ強度、静弾性係数において最も大きい値を示した。一般に石灰石骨材はセメントペーストとの付着が良好であり、コンクリートの強度や弾性係数の増進に寄与することが報告^{9, 10, 11)}されている。本研究においても、同様な傾向を確認することができた。また、安山岩骨材の中では G2 を用いたコンクリートの各種強度や弾性係数が大きい値を示した。G2 は他の安山岩に比べて、密度が大きく吸水率も小さいことから骨材強度が高いことが主な要因と考えられる。

3.2 コンクリートの乾燥収縮

Fig. 2 に各種粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。粗骨材の種類によりコンクリートの乾燥収縮ひずみに大きな差異が観察される。乾燥日数 180 日におけるコンクリートの乾燥収縮ひずみ

は石灰石 G4 の場合が 560μ と最も小さく、既報告⁴⁾と同様に石灰石骨材の使用による乾燥収縮の低減効果が確認された。一方、最も大きい乾燥収縮を示したのは砂岩 G5 であり、乾燥日数 180 日で 1050μ を示した。また、3 種類の安山岩で比較した場合、コンクリートの乾燥収縮には最大で約 270μ の差異が生じており、同一岩種でもコンクリートの乾燥収縮は大きく異なることが確認できる。

3.3 コンクリートの乾燥収縮量と各種要因の関係

ここでは、一般にコンクリートの乾燥収縮に影響する要因として考えられる骨材の密度、吸水率およびコンクリートの弾性係数との関係を Fig. 3 に示す。本実験で対象とした粗骨材においては、コンクリートの乾燥収縮と骨材の密度には明確な相関は確認できない。骨材の吸水率との関係をみると、砂岩 G5 を除けば高い相関を示しており、骨材の吸水率が高くなるとコンクリートの乾燥収縮も大きくなる傾向が認められる。また、コンクリートの静弾性係数との関係においても、碎石骨材のみで考えた場合には負の相関が確認され、静弾性係数の増加に伴いコンクリートの乾燥収縮量は小さくなる傾向が認められた。これは、コンクリートの弾性係数は骨材そのものの弾性係数と関係しており、骨材の弾性係数が高いほどセメントペースト部の収縮を拘束する効果が高く、コンクリートの乾燥収縮の低下に寄与していると考えられる。

以上のように、コンクリートの乾燥収縮は、骨材の吸水率やコンクリートの静弾性係数との間にある程度の相関は認められる。しかし、骨材の種類によっては異なる傾向を示すものもあり、これらの要因でコンクリートの収縮特性を一義的に解釈することは困難であると考えられる。

3.4 粗骨材の乾燥収縮

近年、コンクリートの乾燥収縮の要因の一つとして、骨材単体の収縮特性の影響が指摘されている。本研究では、乾湿の変化に伴う粗骨材粒子単体のひずみの経時変化を計測した。Fig. 4 に各種粗骨材の乾燥収縮ひずみの

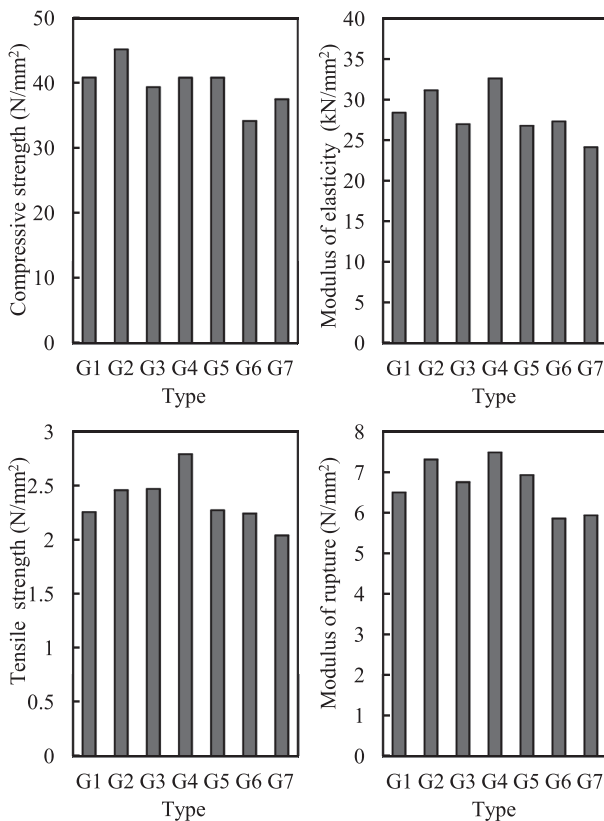


Fig. 1 Strengths and modulus of elasticity

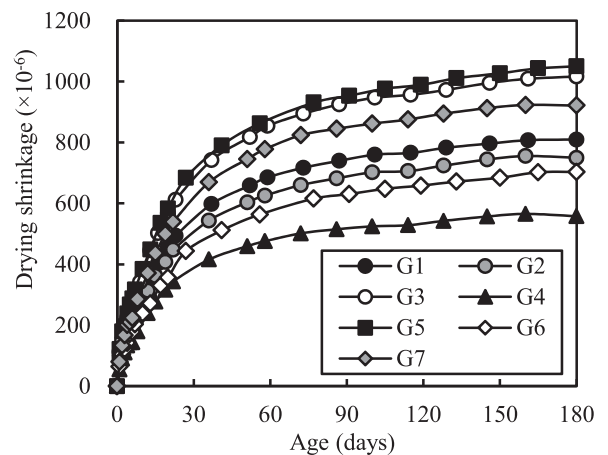


Fig. 2 Drying shrinkage of concrete

経時変化を示す。なお、経時変化はひずみが一定となる乾燥開始後 7 日 (168 時間) までのデータを示す。コンクリートの乾燥収縮の経時変化と同様に、粗骨材の種類により水分の逸散に伴う収縮量に大きな差異が観察される。最大の収縮量を示したのはコンクリートの場合と同じく砂岩 G5 で 810μ 、最小値は石灰石 G4 で 550μ を示した。また、安山岩は $640\sim 710\mu$ 程度となった。

Fig.5 にコンクリートの乾燥収縮ひずみ(乾燥日数 180 日)と粗骨材の乾燥収縮ひずみ(乾燥日数 7 日)の関係を示す。粗骨材の種類にかかわらず、その収縮量が小さいほど、コンクリートの乾燥収縮ひずみは小さくなる傾向にある。本実験では、粗骨材の種類以外はコンクリートの配合条件は同一であることから、コンクリートの乾燥収縮量の差異は、粗骨材粒子の収縮量に起因するものと考えられる。骨材粒子表面に直接ひずみゲージを貼付して収縮量を測定した既報告⁷⁾においても同様の傾向が示されており、粗骨材粒子の収縮量はコンクリートの乾燥収縮に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

3.5 粗骨材の微細空隙観察

コンクリートや骨材粒子単体の乾燥収縮特性に影響がある要因としては、比表面積や細孔量などの骨材内部の

微細な空隙構造^{5,6,7,8)}等の諸要因との関係が指摘されている。そこで、骨材内部の微細な空隙構造を可視化することを目的として、鏡面研磨を施した粗骨材表面に対して SEM 観察を行った。Fig.6 に倍率 500 倍の SEM 観察画像を示す。なお、岩種の特定が困難な砂利 2 種類については、本実験では観察対象から除外した。

本画像において微凹凸が形成されて電子線の反射が大きくなり、全体的に淡色を呈する箇所が骨材中の微空隙もしくは低硬度の組成を持つ領域が集中している部分と考えられる。それ以外は、数 10nm 以下まで平滑にされた部分である。実際に Fig.6 の一部を拡大した Fig.7 および Fig.8 に認められるように、微凹凸により電子線が反射して白色になっている部分を多く含む部分がある。また、ここには黒色の間隙も認められる。その部分と、全体的に灰色の部分(平滑面)との境界には $0.1\mu\text{m}$ 程度の白色の段差が形成されている。このため、微凹凸を含む部分はそれよりも低い硬度であることがわかる。後述する粘土の層状構造は本手法による研磨によっても保存されており、また超硬微粒子が充填している様子も認められなかったため、微細構造はほぼ樹脂に固定され、また間隙の形状も概ね保存されていると考えられる。

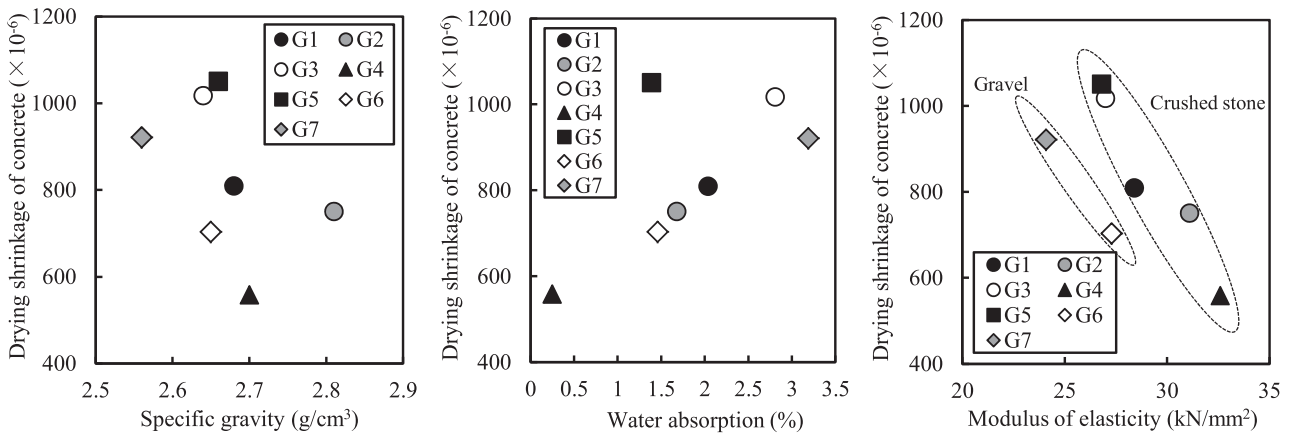


Fig. 3 Relationship between Drying shrinkage of concrete and various factors

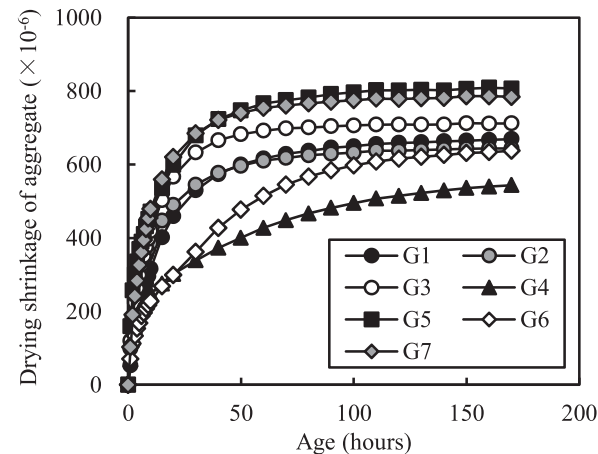


Fig. 4 Drying shrinkage of coarse aggregate

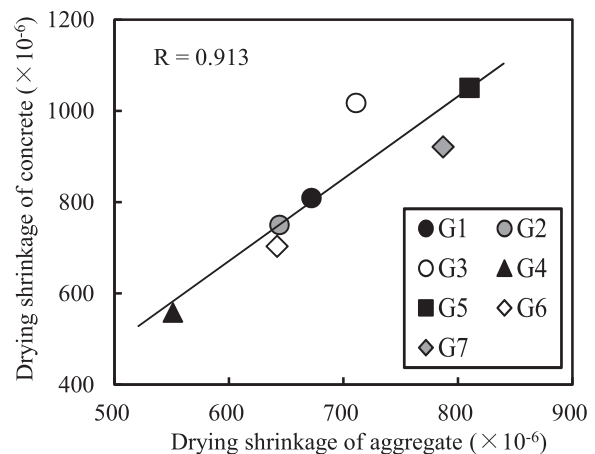


Fig. 5 Relationship between drying shrinkage of concrete and aggregate

石灰石 G4 では、不純物の混入により画像の左右を横断する細い擦痕が 1 本のみ認められるものの、それ以外の淡色部分、即ち、低硬度、微小空隙の部分は $10\mu\text{m}$ 以下でスポット状に存在し連続性が乏しい。また他の試料と比較してもその存在面積が圧倒的に小さいことから、このスケールの観察においてこの試料は他と比べて極めて組成的にも構造的にも均質であることがわかる。

一方、安山岩と砂岩においては、同倍率の観察でも低硬度および微小空隙の部分が多数認められる。それらの形状は不定形であるものの、数 $100\mu\text{m}$ に達する団塊となっているものもある。安山岩(G1、G2、G3)にはこれらの団塊を横断する細い筋も認められるが、その筋の大きさは一つあたり $1\mu\text{m}$ 以上であり、前述した不純物による擦痕と比べても太く、また不定形であり、元来あっ

た岩石中の亀裂であった可能性が高い。砂岩 G5 に関してはこのような筋は含まれていないが、その部分は不定形な形状あり、これは微細なスケールにおいては岩石中に軟質な部分が不均質に分布していることを示している。

Fig. 7 および Fig. 8 には安山岩 G3 および砂岩 G5 の微凹凸部分を 3000 倍まで拡大した画像を示す。いずれにも共通することは、この凹凸が層状、片状の結晶粒子群により形成されていることである。このような粒子群は硬質の部分を骨格としてそこを充填しているように見える。それぞれの結晶粒子の大きさは既に粘土粒子の大きさを下回っており、その層状の形態、低硬度の性質からみると粘土鉱物と考えられる。既往研究では、粘土鉱物の一つであるモンモリロナイトの含有量によってはコ

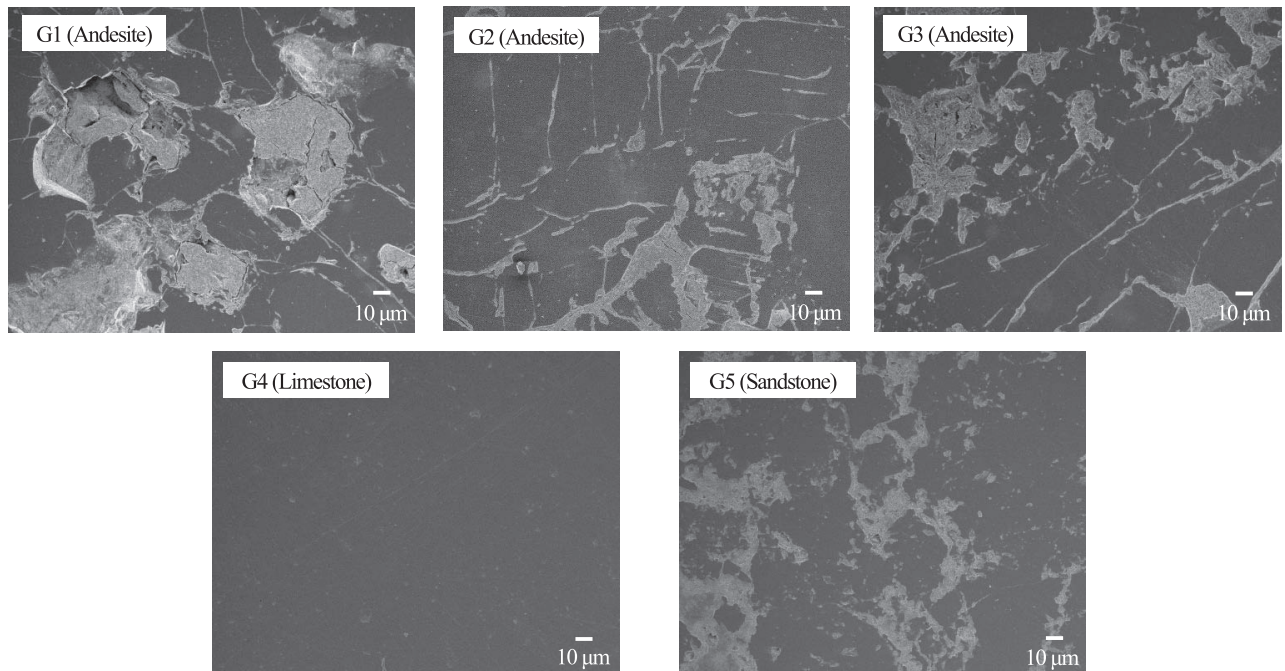


Fig. 6 SEM image on the surface of aggregate ($\times 500$)

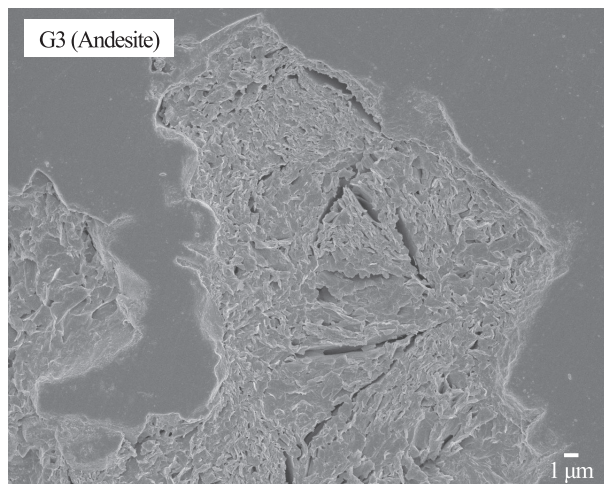


Fig. 7 SEM image on the surface of G3 ($\times 3000$)

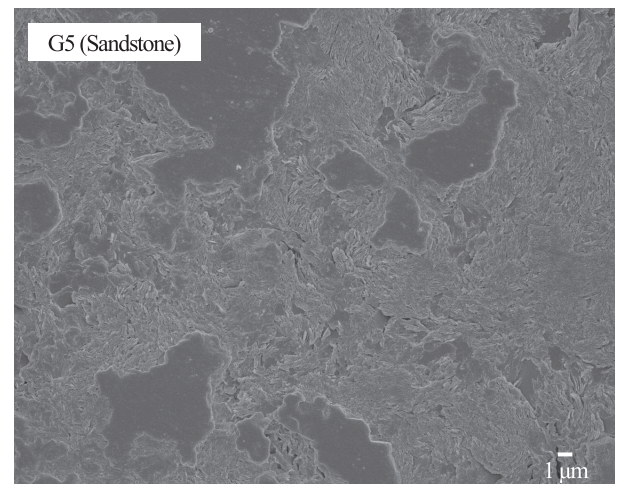


Fig. 8 SEM image on the surface of G5 ($\times 3000$)

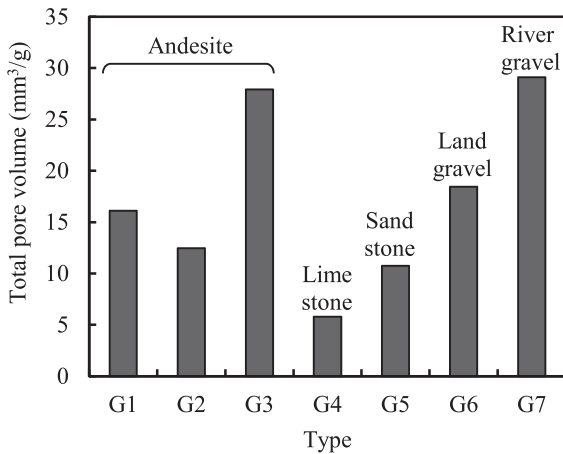


Fig. 9 Total pore volume of aggregate

ンクリートの乾燥収縮が大きくなるとの報告がある¹²⁾。本実験では、X線分析による同定はしていないため、その種については不明であるが、粘土鉱物の中には一般に含水して膨張し乾燥して収縮する性質をもつものがあり、その存在が骨材の収縮挙動に影響しているものと推察される。また、その粘土粒子の大きさに着目すると、砂岩 G5の方が安山岩より小さく、粘土粒子周辺の微小間隙が小さく密であることがわかった。

3.6 粗骨材の細孔量

ここでは、前述の SEM 画像により観察されたような骨材内部の微細な空隙構造の相違を定量するため、骨材内部の細孔量の測定を行った。Fig. 9 に各粗骨材の総細孔量を示す。石灰石 G4 は、総細孔量が最も少なく、SEM 画像において観察されたように緻密な組織をしていることがわかる。その他の安山岩や砂岩については、石灰石よりも総細孔量は大きく、同じ安山岩でも総細孔量は異なっていた。

Fig. 10 に粗骨材の総細孔量とコンクリートの乾燥収縮との関係を示す。全体としては骨材内部の総細孔量の増加に伴い、コンクリートの乾燥収縮は大きくなる傾向を示している。安山岩の中では、G3 が最も総細孔量が大きく、コンクリートの乾燥収縮も最大となった。砂岩 G5 については、その総細孔量は石灰石 G4 に次いで小さいものの、コンクリートの乾燥収縮は最も大きな値を示した。これは、Fig. 3 に示した粗骨材の吸水率との関係と概ね一致しており、砂岩 G5 を除けば、粗骨材の総細孔量とコンクリートの乾燥収縮量との相関は高い。片平ら¹³⁾は、砂岩や頁岩といった碎屑岩は、それ以外の骨材に比べて乾燥収縮の傾向が異なることを報告しており、骨材の種別によってはコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響の度合いが異なる可能性がある。この原因としては、前述した SEM 観察において確認された骨材中の粘土鉱物の存在および吸水率を左右していると考えられる粘土鉱物の大小や粗密が影響しているものと推察される。ただし、これは本実験で対象とした骨材は数種類の

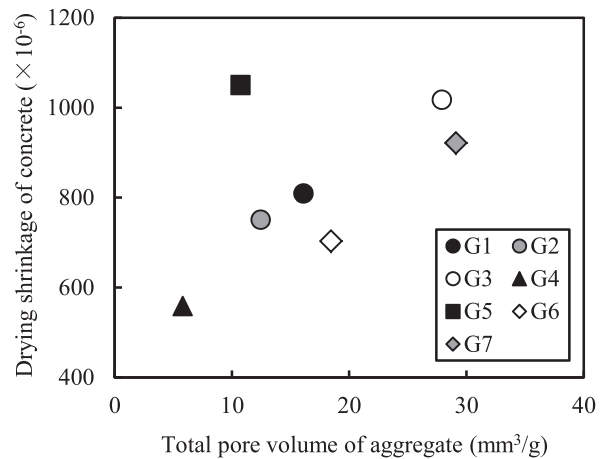


Fig. 10 Relationship between drying shrinkage of concrete and total pore volume of aggregate

みと限られた実験範囲内での考察であることから、今後さらに骨材種類や試料数を増やして詳細な検討が必要である。

4. まとめ

本研究では、各種粗骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、岩種および物性の異なる 7 種類の粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮特性について実験的検討を行った。本研究の範囲で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 粗骨材の種類によりコンクリートの乾燥収縮ひずみに大きな差異が観察され、石灰石を用いた場合に乾燥収縮が最小となった。
- (2) 骨材粒子単体の乾燥収縮とコンクリートの乾燥収縮の間には高い相関が認められ、粗骨材粒子単体の乾燥収縮が大きいくほど、コンクリートの乾燥収縮ひずみは大きくなる傾向を示した。
- (3) 鏡面研磨を施した骨材面の SEM 観察より、石灰石では微小空隙が極めて少なく均質な構造を有することが確認された。
- (4) 本実験で使用した安山岩と砂岩では、同 SEM 観察において粘土鉱物や微小な亀裂の存在が確認され、特に砂岩では粘土粒子周辺の微小間隙が小さく密であることがわかった。

謝辞：

本研究の SEM 観察においては、北見工業大学技術部の徳田奨氏にご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表す。

参考文献：

- 1) 名和豊春：北海道地方の骨材事情と将来、コンクリート工学、Vol. 46, No. 5, pp. 44-46 (2008)
- 2) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書設

- 計編 (2007)
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説 (2006)
 - 4) 兵頭彦次ほか：石灰石骨材がコンクリートの収縮特性に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 31、No. 1、pp. 571-576 (2009)
 - 5) 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、土木学会論文集、第 286 号、pp. 125-137 (1979)
 - 6) 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、日本建築学会構造系論文集、第 606 号、pp. 9-14 (2006)
 - 7) 田中博一、橋田浩：骨材の種類がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、No. 31、No. 1、pp. 553-558 (2009)
 - 8) 後藤貴弘ほか：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の物性について、コンクリート工学年次論文集、Vol. 32、No. 1、pp. 89-94 (2010)
 - 9) セメント協会：石灰石骨材コンクリートの研究、コンクリート専門委員会報告 F-46、pp. 23-40 (1992)
 - 10) 実松誠ほか：各種の砕砂および砕石を用いたコンクリートの諸特性、セメント技術年報、No. 38、pp. 277-280 (1984)
 - 11) 大塩明、加藤泰義、川島清：石灰石骨材を用いたコンクリートの基礎的諸物性、セメント技術年報、No. 41、pp. 106-109 (1987)
 - 12) 追田恵三：骨材中の粘土鉱物がコンクリートの性質に与える影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 10、No. 2、pp. 583-588 (1988)
 - 13) 片平博、渡辺博志：コンクリートの乾燥収縮率を推定するための簡易評価指標に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol. 32、No. 1、pp. 467-472 (2010)

INFLUENCE OF QUALITY OF COARSE AGGREGATE ON DRYING SHRINKAGE OF CONCRETE

Masumi INOUE^{*1}, Shintaro YAMASAKI^{*1}, Heizaburo IGARI^{*1} and Kaneyoshi OKADA^{*2}

^{*1} KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering (165, Koen-cho, Kitami-shi, Hokkaido 090-8507, Japan)

^{*2} KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Technical Division (165, Koen-cho, Kitami-shi, Hokkaido 090-8507, Japan)

ABSTRACT : The purpose of this study is to clarify the influence of quality of coarse aggregate on drying shrinkage of concrete. The drying shrinkage test of concrete by using seven kinds of coarse aggregate having different qualities were examined. As a result, the drying shrinkage changed with the kind of coarse aggregate, and the correlatively between the drying shrinkage of concrete and aggregate itself was very high. As a whole, the drying shrinkage of concrete tends to increase as the water absorption and the total pore volume of coarse aggregate increased. However, the drying shrinkage of concrete by using sand gravel increased although the water absorption and the total pore volume of sand gravel was relatively small. Furthermore, the relationship between micro-pore structure and shrinkage of aggregate was examined by using SEM observation of the mirror polished surface of aggregate.

KEY WORDS : Coarse aggregate, Drying shrinkage, Water absorption, Pore volume, Modulus of elasticity, SEM image