

2002 年度修士論文

コンクリートの収縮特性と粗骨材の吸水特性
との関係

2002 年 1 月

指導教員 島 弘

高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻

社会基盤工学コース 1045030

木村 卓嗣

目次

要旨	3
Abstract	7
1.はじめに	
本研究の背景	9
本研究の目的	9
2.既往の研究及び文献調査	
2.1 乾燥収縮に影響する要因	11
2.2 弾性挙動	12
2.3 多孔体における水分に対する抵抗性	13
2.4 本研究の特徴	14
3.実験の計画と実施	
3.1 実験条件	15
3.2 コンクリートの乾燥収縮測定	17
3.3 コンクリートの製造	18
3.4 コンクリートの圧縮強度試験および静弾性係数試験	19
3.5 実験方法	19
4.実験結果	
4.1 コンクリート供試体の圧縮強度および静弾性係数	21
4.2 コンクリート供試体の重量変化	22
4.3 コンクリート供試体の乾燥収縮及び水中養生時の収縮量	25
4.4 コンクリート供試体の乾燥収縮と重量変化の関係	26
4.5 コンクリート内部の水分移動	27
5.結論	
結論	31
今後の課題	31
参考文献	32
謝辞	33
付録	34

論文要旨

コンクリート用粗骨材の吸水特性とコンクリートの乾燥収縮特性との関係

社会基盤工学コース 1045030 木村 卓嗣

本研究の背景と目的

多くの構造物において、コンクリートに生じるひび割れは、構造物に対して美的外観を損なうだけでなく、その構造物内深くに浸水を許すことで、鉄筋の腐食による断面欠損を招き、構造物の耐久性を失う要因のひとつである。そしてこれらひび割れのひとつである乾燥収縮ひび割れは、コンクリートのワーカビリティを向上させるために、生コン打設時に設計配合よりも余分に加水することで起こり、水分が多量に含まれたコンクリートがその水分の逸散と伴に大きく収縮することで引き起こされる。

コンクリートの乾燥収縮は、コンクリートの水和反応の進行と共に、微細空隙の体積変化や空隙内部に存在する水和セメントペーストからの吸着水(ゲル水)の消失に主に原因がある。そして収縮を拘束する要因として、粗骨材の体積率や静弾性係数が知られている。しかしながら、粗骨材の吸水によるコンクリートの乾燥収縮への影響は、依然として明らかにされていない。したがって本研究においては、表1に示すように、3種類の異なる吸水率を持つコンクリート用粗骨材を用意し、それらの粗骨材を用いたコンクリートに対して、粗骨材が保持している水分がどのようにコンクリートの乾燥収縮に影響を与えているかということ考察する。

表1：各粗骨材の密度および吸水率

	実験室試験値		成績表	
	比重*	吸水率(%)	比重*	吸水率(%)
人工軽量骨材	1.63	35.6	1.39	9.8
再生骨材	2.45	5.27	**	**
石灰石碎石	2.69	0.18	2.69	0.44

*比重は、表乾比重である。

**再生骨材は、骨材製造時の廃材の種類や構成比によって異なるため成績表が得られなかった。

本研究の特徴

既往の研究及び文献においては、コンクリートの水和反応および内部に存在する微細空隙内の水分移動のメカニズムとコンクリートの乾燥収縮の関係に関する研究が多い。しかしながら、本研究においては、異なる吸水率をもつ粗骨

材を用いたコンクリートを作製し，その重量変化と収縮量を測定するものである。これは，粗骨材が保有する水分が，コンクリートの水分移動による重量変化と乾燥収縮に対してどのようなメカニズムで影響しているのかを考察するものである。

研究方法

本研究ではコンクリート用粗骨材として，人工軽量骨材・再生骨材・石灰石砕石の 3 種類の異なる吸水率を持つ粗骨材を用いたコンクリートを作製し，その収縮量と重量変化を計測した。

コンクリート供試体の静弾性係数

図 1 に，異なる吸水率を持つ粗骨材(再生骨材,人工軽量骨材,石灰石砕石)を用いたコンクリート供試体の応力 ひずみ曲線を示す。この結果から，コンクリート供試体の静弾性係数を算出すると，表 2 のように吸水率の低い石灰石砕石を用いたコンクリートは弾性係数が最も大きく，吸水率の高い人工軽量骨材を用いたコンクリートは最も小さくなっている。

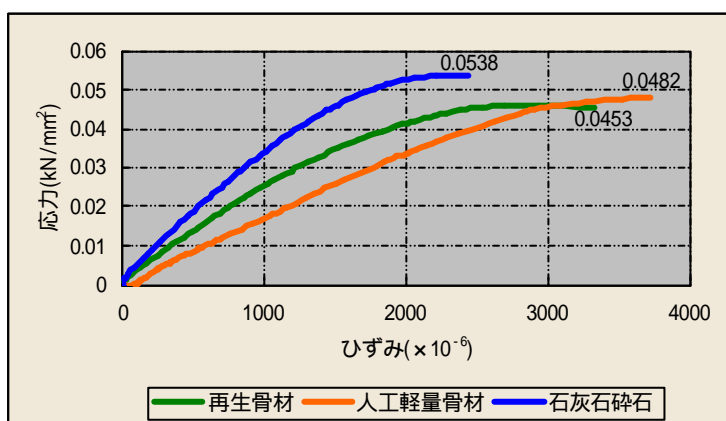


図 1:コンクリート供試体の応力 ひずみ曲線

表 2:材齢 28 日におけるコンクリートの静弾性係数

	人工軽量骨材	再生骨材	石灰石砕石
kN/mm ²	18.7	23.3	35.5
変動係数 (%)	1.72	3.71	1.97

コンクリート供試体の重量変化

図 2 にコンクリート供試体の重量変化を示す。表 1 から，石灰石砕石は，骨

材中に水分をほとんど含んでいない。したがって、コンクリートの水分移動による重量変化が、ほぼ単位水量の移動のみによって引き起こされていると考えられると、図 2 のような同材齢における重量変化の差は、各粗骨材の吸水量が主に影響していると認められる。

また、図 3 の乾燥 7 日間の重量変化率から、材齢 1 日で脱型した石灰石碎石と再生骨材を用いたコンクリート供試体の重量変化率は、2 日目で最も高くなり、その後乾燥 7 日目にかけて変化率の推移が緩やかになっている。しかし、人工軽量骨材を用いたコンクリート供試体の重量変化は、乾燥 2 日目～4 日目の期間に最も高い変化率を維持し、その後の変化率の挙動も他の 2 種とは異なっており、約 2.5～7 倍多く変化している。このことから、高い吸水率を持つ粗骨材を用いたコンクリートは、コンクリート内部と設置環境との湿度差が平衡状態になるまでに、高い水分の蒸発量と期間を要すると思われる。

そして、表 4 に各粗骨材を用いたコンクリートの重量変化率を示すが、この表から、コンクリートの水和反応が進行していない材齢初期の重量変化率は、人工軽量骨材を用いたコンクリートが他の 2 種に比べて 3.5 倍程度大きくなっているが、材齢が経過すると、変化率の格差はほとんど認められなくなっている。ここでコンクリートの吸水と逸散挙動の相違は考慮に入れなければならないが、その重量変化の粗骨材の吸水特性による格差が見られなくなる最も大きな要因は、水和反応が進行することでコンクリート内部がより緻密になり、水分移動に対する抵抗性が増したためだと考えられる。したがって材齢が長期に渡ると粗骨材の吸水率の違いが、材齢初期のようなコンクリート供試体重量の変化にはあまり大きな影響は与えないと思われる。

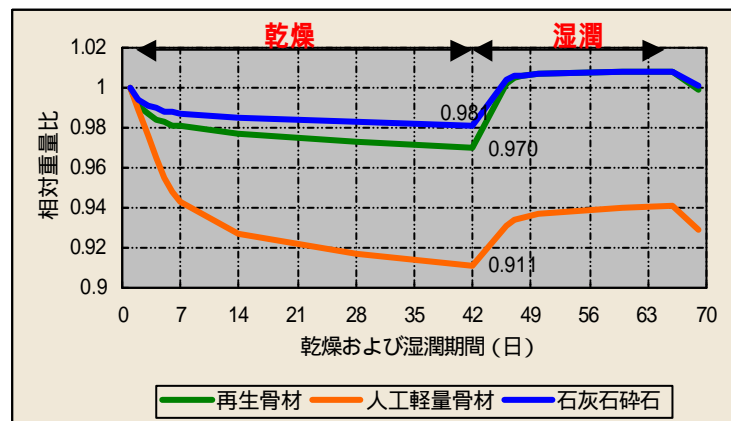


図 2:コンクリート供試体の重量変化

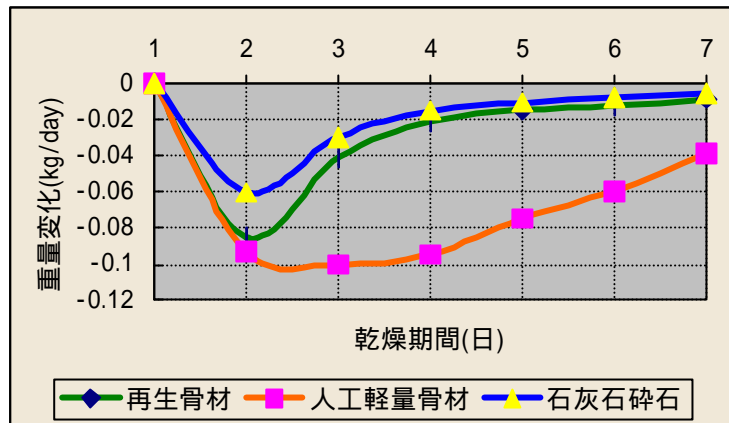


図 3:乾燥 7 日間の重量変化率

表 3:各粗骨材を用いたコンクリート供試体内の水分

	単位水量			粗骨材
	結合水	ゲル水	自由水	吸水量
再生骨材	0.32	0.13	0.26	0.21
人工軽量骨材	0.32	0.13	0.26	0.92
石灰石碎石	0.32	0.13	0.26	0.0024

単位水量は水和 100%時における内訳(kg/4 ㍓)

表 4:各粗骨材を用いたコンクリートの重量変化率

計測開始材齢	再生骨材	人工軽量骨材	石灰石碎石
1 ~ 7 日(kg/day)	-0.031	-0.077	-0.022
相対比	1.41	3.56	1.0
42 ~ 48 日(kg/day)	0.054	0.032	0.041
相対比	1.33	0.77	1.0

コンクリート供試体の乾燥収縮および湿潤膨張

図 4 にコンクリート供試体の乾燥収縮と湿潤膨張を示す。高い吸水率を持つ人工軽量骨材を用いたコンクリートは、石灰石碎石や再生骨材を用いたコンクリートと比較して、乾燥材齢 7 日までの収縮量が最も小さくなっている。これは、コンクリート内部と設置環境との湿度差が平衡状態になるまでの期間が長く、その水分移動の挙動も他の 2 種類の粗骨材とは異なったものであることから、粗骨材からコンクリートへと十分に水分が供給されているためであると思われる。したがって、乾燥収縮の原因となる微細空隙内のゲル水や毛細管水の逸散開始を遅延させる働きをすると予測され、材齢初期における収縮量は、人

工軽量骨材を用いたコンクリートが最も小さくなったものと認められる。

しかしながら，長期の材齢で見ると，吸水率の大きい粗骨材を用いたコンクリートは，最終的には最も収縮量が大きくなると思われる。それは，材齢初期に粗骨材からコンクリートへと供給していた水分が消失し，微細空隙に圧縮応力がかかり始めたときに，他の粗骨材に比べて収縮に対する拘束力が弱いからである。そしてひるがえって，密実で比重の大きな粗骨材を用いたコンクリートは，弾性係数が高く，その収縮量も他の 2 種に比べて抑制されている。

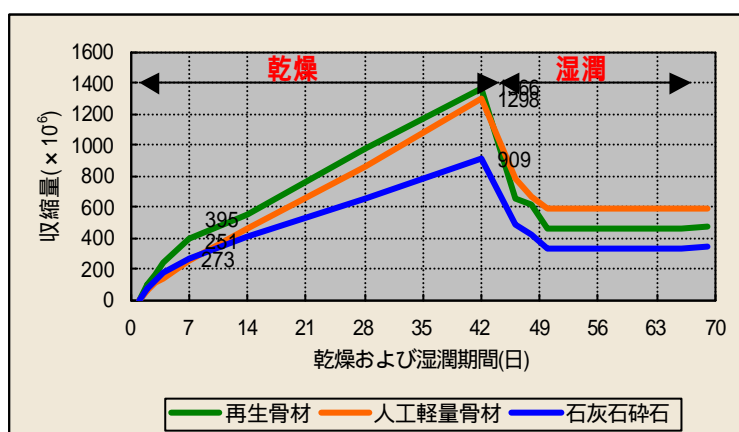


図 4:コンクリート供試体の乾燥収縮と湿潤膨張

結論

[1] 再生骨材と石灰石砕石を用いたコンクリートは，水分逸散に伴う重量の変化が乾燥 2 日目以降に急激に低下し，乾燥 7 日目頃にかけて変化が緩やかになったが，人工軽量骨材を用いたコンクリートは，他の 2 種の粗骨材を用いたコンクリートに比べて長期間高い変化を維持し約 2.5~7 倍の変化量を示している。

[2] 水和反応が進行するとコンクリート内部が緻密になるために，水分移動に対する抵抗性が増し，粗骨材の吸水率によるコンクリートの重量変化は見られなくなる。

[3] 吸水率の大きい粗骨材は，粗骨材から水分を供給することでコンクリートの材齢初期の収縮量を遅延させるが，材齢が長期になるとその空隙率の大きさにより，乾燥収縮に対する拘束力が弱くなり最も収縮量が大きくなると思われる。

Relationship Between Drying Shrinkage of Concrete and
Water Absorption of Coarse Aggregate

~ abstract ~

1045030 Takuji KIMURA

The shrinkage of concrete is essential factors to evaluate the crack of concrete. It is expected for the characteristic of shrinkage of concrete to different by moisture content in every kind of aggregate. However, the relationship between the water content of aggregates and the characteristic of shrinkage of concrete is still not clearly. Therefore, the main topic is the relationship between water absorption of aggregate and characteristic of shrinkage of concrete. Coarse aggregate which water absorption is different each other, artificial lightweight aggregate, limestone and recycled aggregate were used in this experiment. Three specimens were produced every aggregate, after that it was practiced this drying shrinkage test which the environmental condition was that temperature was 20 ± 2 and humidity was $60 \pm 5\%$.

As results of this experiment, it is developed the relationship between water absorption of aggregate and characteristic of shrinkage of concrete.

Key Words

water absorption, drying shrinkage, coarse aggregate, elastic modulus, coefficient of water permeability, moisture transfer

1. はじめに

本研究の背景と目的

本研究の背景

鉄筋コンクリート構造物は、日本の社会基盤整備に対してその安全性・耐久性・経済性などの多くの利点によって大きな役割を担ってきた。しかしながら、現在の日本においても近い将来、欧米やその他の先進国同様に老朽化した多くの社会基盤施設の補修・補強・維持管理が重要になり、国の財源に対する負担も徐々に増大してゆくものと思われる。したがって、これらの社会基盤施設を設計する前段階における安全性や耐久性、経済性などにおいて、鉄筋コンクリート構造物のライフサイクルコストの観点から適切に評価し真に必要とされる整備が優先的に行われなければならない。また既存の構造物に対しても補修・補強・維持管理の経済性などの観点から優先的に整備が行われるような評価システムの構築がなされなければならない。そして現在、多くの技術者によって、数十年から数百年の性能保持が必要とされる社会基盤施設に対する評価システムの構築が行われており、本研究においては、そのような評価システム構築の基礎的な研究のひとつとして位置付けて研究するに至った。

本研究の目的

多くの土木・建築構造物において、コンクリートに生じるひび割れは、構造物に対して美的外観を損なうだけでなく、その構造物内深くに浸水を許すことで、鉄筋の腐食などによる断面欠損によって構造物の耐久性を失う要因のひとつである。また沿岸付近にある構造物においては、コンクリート内部への塩分・二酸化炭素類の侵入を許し、鉄筋の腐食ひいては構造物の耐力の低下といった土木・建築構造物に関して決定的な問題を引き起こす。

そしてこれらひび割れのひとつである乾燥収縮ひび割れは、コンクリートのワーカビリティを向上させるために、生コン打設時に設計配合よりも余分に加水することで起こり、水分が多量に含まれたコンクリートが、その水分の逸散と伴に大きく収縮することで引き起こされる。

図1に、コンクリートの収縮が起こる過程を示す。このようにコンクリートの乾燥収縮は、コンクリートの水和反応の進行と共に、微細空隙の体積変化や空隙内部に存在する水和セメントペーストからの吸着水(ゲル水)の消失に主に

原因がある。そして収縮を拘束する要因として、粗骨材の体積率や静弾性係数が知られている。しかしながら、粗骨材の吸水によるコンクリートの乾燥収縮への影響は、依然として明らかにされていない。したがって本研究においては、3種類の異なる吸水率を持つコンクリート用粗骨材を用意し、それらの粗骨材を用いたコンクリートに対して、粗骨材が保持している水分がどのようにコンクリートの乾燥収縮に影響を与えているかということを考察する。

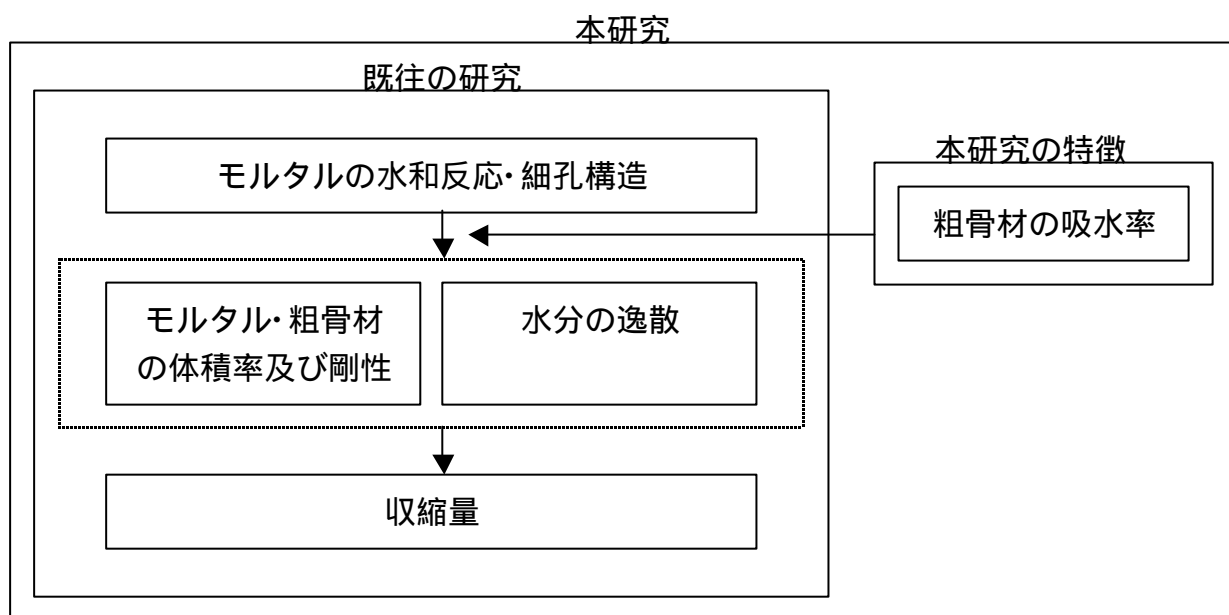


図 1:コンクリートの収縮過程と本研究の位置付け

2 . 既往の研究及び文献調査[5][8]

2.1 乾燥収縮に影響する要因[5]

飽和したセメントペーストは、飽和以下の湿度環境ではコンクリート内部の吸着水が C-S-H 結合により失われ、乾燥収縮ひずみが生じる。そしてコンクリートの乾燥収縮を本質的にコントロールしている水和セメントペーストの水分移動は、同時に相互作用する多数の要因の影響を受けている。

(1) 材料と配合

水分に関連したコンクリートの変形の主な要因は水和セメントペーストである。そのため、コンクリート中の水和セメントペーストの体積率で乾燥収縮を表す式を得るためにこれまで多くの試みがなされてきた。したがって乾燥収縮ひずみは水和セメントペースト量の関数であると言えるが、変形の主な影響要因は、変形に対するコンクリート材料の拘束条件の大きさによるものであるために直接的な比例関係は存在しない。

またコンクリートの乾燥収縮を予測する理論式の多くは、コンクリートの弾性係数が、変形に対する拘束の適切な指標であることと、第一の近似として骨材の弾性係数がコンクリートの弾性係数を決定していると仮定している。

Powers は、2 種の異なった骨材を用いて、水セメント比が 0.35 と 0.50 のコンクリートについて乾燥収縮を研究した。そしてセメントペーストの収縮(S_p)に対するコンクリートの収縮(S_c)の割合はコンクリート中の骨材の体積率(a)に指数関数的に裏付けられるとした。

$$S_c = S_p \cdot (1 - a)^n$$

$$n = \frac{3 \cdot (1 - \mu)}{1 + \mu + \frac{2 \cdot (1 - \mu) \cdot E_c}{E_g}}$$

ここに、 S_c :コンクリートの収縮

S_p :セメントペーストの収縮

a :骨材の絶対容積

μ :コンクリートのポアソン比

E_c, E_g :コンクリート, 骨材の弾性係数

(2) 時間と湿度

吸着水や水和セメントペーストの細孔内(50nm 以下)に毛細管張力で保持された水の、系内の大きな毛細管空隙あるいは大気中への拡散は、長期間に渡って起こる時間依存性の過程である。この主な要因は相対湿度による駆動力によって起こり、材齢が進むにつれコンクリート内部から外部表面への水分の流れの相対速度が緩慢になるために乾燥収縮も次第に緩慢になってくるものと思われる。

(3) コンクリート部材の幾何寸法

コンクリート内部から大気中への水分移動において、コンクリート部材寸法の大小は抵抗となる。つまり水分損失速度は乾燥収縮が生じるときの毛細管の空隙径や長さ依存するといえる。一定の相対湿度ではコンクリート部材の寸法と形状が乾燥収縮の大きさを決定する。このコンクリート部材の寸法と形状の変数を、有効厚さあるいは理論厚さとして 1 つの量で表現するならば、この理論厚さは断面積を空気に触れる半周長の値で割った値に等しい。

2.2 弾性挙動[5]

一般に曝露されたコンクリートに起こるひび割れや収縮などの変形は、外力や設置環境に対する複数の構成材料からなるコンクリートの反応の結果である。また若材齢のコンクリートの場合、周囲の温度や湿度の条件によって温度収縮や乾燥収縮を引き起こす。したがってコンクリートの弾性係数は、使用材料の特性や主要な構成要素の体積率・密度および弾性係数や遷移帯の特性が決定するといえる。

(1) 骨材

コンクリートの弾性係数に及ぼす粗骨材の特性の中でも、空隙率は最も重要であると思われる。それは、骨材の空隙がその硬度を決定付けるためである。すなわち、骨材の硬さはコンクリートの乾燥収縮ひずみを拘束する能力を有していることになる。密実な骨材の弾性係数は大きく、この高い弾性係数の粗骨材の量がコンクリート中に多ければ多いほどそのコンクリートの弾性係数も大きくなる。

岩石コアの試験では、花崗岩やトラップ岩や玄武岩のような低空隙の天然骨材の弾性係数は $68.9 \sim 138 \text{ kN/mm}^2$ であり、砂岩、石灰岩や多孔質な砂利の場合、弾性係数は $20.7 \sim 48.2 \text{ kN/mm}^2$ まで変化することがわかっている。また軽量骨材

は非常に多孔質であるために他の骨材よりも弾性係数は小さく、空隙率の大小により $6.9 \sim 27.6 \text{ kN/mm}^2$ 程度を推移する。

骨材の他の特性もまたコンクリートの弾性係数に影響を及ぼす。例えば、最大寸法、形状、表面組織、粒度、鉱物組成、は遷移帯中のマイクロクラックの発生や、応力 - ひずみ曲線の形に影響を及ぼす。

(2) セメントペーストマトリックス

セメントペーストマトリックスの弾性係数は、その空隙率によって決定する。セメントペーストマトリックスの空隙率を決定する要因は、水セメント比、空気量、鉱物質混和材、セメントの水和率である。

2.3 多孔体における水分移動に対する抵抗性[8]

多孔体における水の透過が定常状態にあるとき、その透水量は、Darcyの法則に従うため、次式によって透水係数を求め、透水に対する抵抗性の尺度とする。

$$k = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{P}$$

ここに、 k ：透水係数

：水の密度

L ：多孔体の厚さ

P ：水圧

Q ：透水量（単位時間あたり）

A ：多孔体の断面積

多孔体における水の透過が非定常状態にあるときは、水の流れが拡散によるもの、すなわち、拡散流れとなるので、次式のごとく、拡散係数を求め、透水に対する抵抗性の尺度とする。

$$D = \frac{k}{E}$$

ここに、 D ：拡散係数

k 、 E ：上に同じ

E ：多孔体の弾性係数

2.4 本研究の特徴

このように、既往の研究及び文献調査からコンクリートの乾燥収縮に関しては、多くの研究または文献においてコンクリート中の微細空隙中に存在する水分の移動のメカニズムと微細空隙の変形との関係から論じられているものが多い。しかし、本研究においては、異なる吸水率を持つコンクリート用粗骨材が保有する吸水量が、どのようにコンクリートの体積変化や重量変化に関係するのかという視点に立ち研究してゆくものである。

3 . 実験の計画と実施

3.1.実験条件

3.1.1 実験目的

実験目的は、異なる吸水率を持った粗骨材を用いてコンクリート供試体を作製し、粗骨材の空隙内に存在する水分の移動が、コンクリートの乾燥収縮にどのようなメカニズムで影響しているかを考察するものである。そしてこの実験においては3種類の粗骨材(人工軽量骨材・再生骨材・石灰石砕石)を用いたコンクリート供試体の収縮量と重量変化を測定する。



写真 1 : 人工軽量骨材



写真 2 : 再生骨材



写真 3 : 石灰石砕石

3.1.2 使用材料

(1) セメント

セメントは、住友大阪セメント株式会社高知工場製造の普通ポルトランドセメントを用いた。その試験成績は表 3-1 に示す。

表 3-1：普通ポルトランドセメントの物理試験成績

入荷年	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	凝結			安定性	圧縮強さ N/mm ²		
			水量 %	始発 h-min	終結 h-min		3d	7d	28d
平 13 年	3.15	3400	27.7	2-03	3-15	良	27.5	42.8	63.4

(2) 粗骨材

3種類の粗骨材における密度および吸水率試験の結果は、表 3-2 に示す。

人工軽量骨材は、太平洋セメント株式会社大阪工場製造のアサノライト(呼び名：人工軽量骨材 MA - 417)を用いた。試験成績表では、表乾密度 1.39(kg/l)並びに吸水率 9.8%記載されていたが、実際に実験室での「粗骨材の密度および吸水率試験」(JIS A 1110, JIS A 1135)によると表乾密度が 1.63～1.68, 吸水率が 31～36.5%の間を推移した。したがって試験サンプル数を増やして試験を重ねた結果、本研究においては実験室の値を採用するものとした。

再生骨材は、高知県高知市円行寺の田中オリビン工業株式会社製造のコンクリート用再生粗骨材を用いた。この再生粗骨材は、建設副産物として排出されたコンクリート解体材などから構成されており、今回実験に使用される粗骨材にはコンクリート塊・アスファルト・煉瓦などが含まれている。しかしながら、試験用試料に含まれるコンクリート塊・アスファルト・煉瓦の構成比は試験体ごとに異なるために四分法により試験体の構成比のばらつきを抑えた。その結果、表乾密度が 2.42～2.45 ならびに吸水率が 5.2～5.6%を推移した。この成績から今回実験で使用する再生骨材は、国土交通省が平成六年に定めた「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」により、第 1 種の再生粗骨材と規定した。

石灰石碎石は、川鉄鉱業(株)製造の高知県南国市奈路産の石灰石碎石 15 - 05 を使用した。表乾比重は、実験室の値と一致し吸水率もほぼ同程度の値が算出されてきたので、実験値を採用するものとした。

表 3-2：各粗骨材の密度および吸水率試験

	実験室試験値		成績表	
	比重*	吸水率(%)	比重*	吸水率(%)
人工軽量骨材	1.63	35.6	1.39	9.8
再生骨材	2.45	5.27	**	**
石灰石碎石	2.69	0.18	2.69	0.44

*比重は、表乾比重である。

**再生骨材は、骨材製造時の廃材の種類や構成比によって異なるため成績表が得られなかった。

(3) 混和剤

混和剤は、適度なワーカビリティを有しながら水セメント比が小さいコンクリートを作成するために、主成分がポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体であり、分類はポリカルボン酸系である高性能 AE 減水剤(SP 8SBs x₂)を採用した。

3.2 コンクリートの乾燥収縮測定

実験で測定されるコンクリート供試体の収縮量とは、自己収縮と乾燥収縮量の合計である。また粗骨材ごとに違う吸水率を持っているため、温度 20 ± 2 、湿度 60% の一定条件下でそれぞれの粗骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮量を測定し、その後温度 20 ± 2 の水中に 3 種類のコンクリート供試体を曝し測定する。

3.2.1 供試体本数

供試体の本数は 3 種類の粗骨材(人工軽量骨材・再生骨材・石灰碎石)に対して、それぞれ 3 本ずつ作製する。

3.2.2 供試体設置環境

コンクリート供試体の吸水による膨潤および乾燥収縮は、温度や湿度という環境条件によって左右される。したがって、標準的な環境条件とされる、温度 20 ± 2 および湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温湿状態から実験を実施し、水中養生時は水温を 20 ± 2 の状態に保ちながら実施する。

3.1.3 供試体の環境履歴

材齢 1 日目に脱型した供試体にコンタクトチップを貼付し，材齢 42 日目までは， 20 ± 2 および湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温湿状態に曝して乾燥収縮履歴を追跡する。また材齢 42 日目～65 日目までは， 20 ± 2 の水中で養生することで，コンクリート供試体の伸縮を追跡する。

3.3 コンクリートの製造

3.3.1 配合

コンクリートの配合は表 3-3 のようである。この実験においては，コンクリート用粗骨材の吸水率による乾燥収縮特性の変化を考察するために，水セメント比・細骨材率を同じにし，骨材の吸水特性がより顕著に現れるように配慮して配合設計を行った。

表 3-3:各種粗骨材によるコンクリートの配合

Mix Name.	Slump (cm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)				
				Water	Cement	Sand	Gravel	W _{ra} (%)
人工軽量骨材	7	55	44	176	320	828	659	1.1
再生骨材	9.1	55	44	176	320	828	989	1.1
石灰石碎石	8.7	55	44	176	320	828	1080	1.1

海砂:砕砂=6:4 の割合で配合

3.4.2 フレッシュコンクリートの性質

各コンクリートにおけるスランプ値および空気量の結果を表 3-4 に示す。スランプ値は目標の 8～12cm であるが，人工軽量骨材を使用したコンクリートは粗骨材の比重が他の 2 種類の粗骨材に比べて小さいために流動性のわりにスランプが出難い結果となり 7cm となった。

表：3-4 各コンクリートのスランプ値と空気量

	スランプ(cm)	空気量(%)
人工軽量骨材	7	1.4
再生骨材	9.1	1.2
石灰石碎石	8.7	1.6

3.4 コンクリートの圧縮強度試験および静弾性係数試験

コンクリートの乾燥収縮においては、コンクリート中の粗骨材の体積率や弾性係数とその収縮量の大小に影響する要因となってくる。しかしながら、骨材自身の弾性係数は、試験体として採取される産地や部分により 5%～30%もの誤差が生じるために試験値として採用するには正確ではない。したがって、本研究においては、それぞれの粗骨材を用いたコンクリートの静弾性係数で置き換えることでばらつきを防ぐものとした。

3.4.1 テストピースの形状・寸法及び本数

コンクリート打ち込み時に、それぞれの粗骨材(人工軽量骨材・再生骨材・石灰石砕石)ごとに 6 本ずつ半径 10cm 高さ 20cm の円筒形のプラスチック型枠に打ち込み作製した。

3.4.2 テストピース設置環境

コンクリート供試体と同じく標準状態で設置した。

3.5 実験方法

3.5.1 供試体の形状・寸法

供試体は、厚さ 10cm・幅 10cm・長さ 40cm の形状とし、人工軽量骨材・再生骨材・石灰砕石の条件ごとに 3 本ずつ作成するものとした。

3.5.2 供試体の作製

図 3-1 に、コンクリート供試体の形状および寸法を示す。コンクリートを、容積が厚さ 10cm×幅 10cm×長さ 40cm の鋼製型枠に打ち込み、棒状振動機で締め固める。24 時間後に脱型し、コンタクトチップを貼り付ける。

3.5.3 測定項目および測定方法

精度が 1 / 1000mm のコンタクトストレインゲージを用いて、検長 200mm で供試体の収縮量を測定する。したがってひずみの精度は、

$$1 / 1000 / 200 = 5.0 \mu$$

である。

測定方法は、供試体表面の 200mm を隔てた 2 個所に 1.6mm 鋼球を埋め込ん

だコンタクトチップを接着剤で固定し、このチップ間距離の変化を測定するものである。

コンタクトストレインゲージによる測定値は、測定器を押し付ける力などに影響を受けることがあるために、測定数は、各供試体の裏表それぞれ 2 ヶ所で合計 4 ヶ所を 3 回測定して、計 36 個のデータの平均を一供試体の測定値とする。最終的な測定結果は、各供試体の測定値を平均したものである。

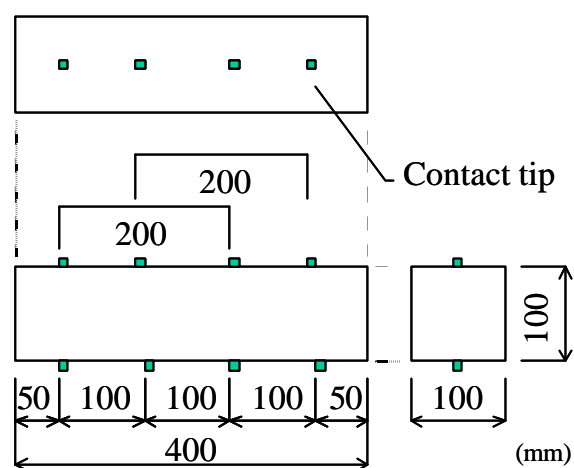


図 3-1：供試体の形状および寸法

3.5.4 環境管理法

供試体作成後の環境条件の管理については恒温湿室で行う。

4. 実験結果

4.1 コンクリート供試体の圧縮強度および静弾性係数

3種類の粗骨材(人工軽量骨材・再生骨材・石灰石砕石)を使用したコンクリート供試体の、材齢28日における圧縮強度を表4-1に示す。表3-2より、石灰石砕石を用いたコンクリートは、粗骨材に空隙もほとんどなく、密実で比重も大きいため他の2種よりも幾分か圧縮強度が大きくなっている。また、人工軽量骨材は、比重が他の2種に比べて小さく空隙量も多いが、コンクリートの圧縮強度における差はほとんど認められなかった。これは、コンクリートが破壊するためには、まずモルタルと骨材間に存在する遷移帯にマイクロクラックが起こるなどのモルタルの破壊モードが進行するからである。したがって、材齢28日目においては、粗骨材による比重や空隙率の影響はコンクリートの破壊の終局荷重付近に現れるものと思われる。

一方、コンクリートの応力-ひずみ関係は図4-1から、同一の圧縮応力がかかる場合には、吸水率の低い石灰石砕石を用いたコンクリートのひずみが最も小さく人工軽量骨材を用いたコンクリートのひずみが最も大きくなっている。このことから、コンクリートのひずみには粗骨材の比重や空隙量が大きく影響しているものと思われる。表4-2からそれぞれの粗骨材における静弾性係数を算出したが、各粗骨材の特徴が現れており、密実な粗骨材を使用したコンクリートは弾性係数が大きく、空隙量の多い粗骨材を用いたコンクリートは弾性係数が小さくなっている。そしてこの結果より、粗骨材の弾性係数がコンクリートの弾性係数に比較的良好に反映されていることが認められる。また、乾燥過程が進行しているコンクリート内部に圧縮応力が働くときにも、長期的材齢においては同様の挙動を示すものと思われる。

しかしここで、モルタル自身の性状の相違も考慮しなければならない。それは粗骨材の吸水量の差によっては、材齢初期にコンクリートの強度及び弾性係数が著しく異なる可能性があるからである。したがって、材齢初期における供試体の強度及び弾性係数を考慮に入れた更なる考察が必要とされる。

表4-1：材齢28日におけるコンクリート供試体の圧縮強度

	人工軽量骨材	再生骨材	石灰石砕石
f_c (N/mm ²)	46.2	46.2	53.1
変動係数(%)	3.7	1.4	1.1

図 4-1:コンクリート供試体の応力 - ひずみ曲線

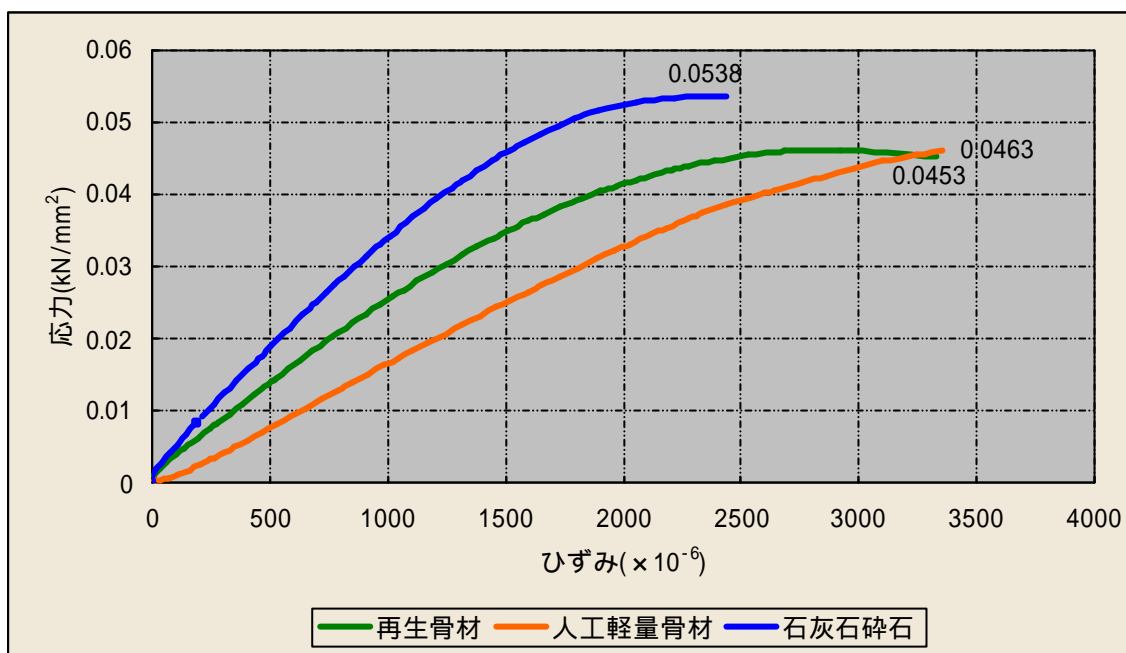


表 4-2:材齢 28 日におけるコンクリートの静弾性係数

	人工軽量骨材	再生骨材	石灰石砕石
kN/mm ²	18.7	23.3	35.5
変動係数 (%)	1.72	3.71	1.97

4.2 コンクリート供試体の重量変化

異なる吸水率を持つ粗骨材を用いたコンクリート供試体の重量変化を図 4-2 に示す。コンクリート供試体は、材齢 1 日目で脱型しその後の重量変化を計測した。また、コンクリートの水分移動を逸散と吸水ととらえ、材齢 42 日目からは水中養生することによる経過を観察した。図 4-3 より、材齢 1 日目～2 日目にかけてのコンクリートと設置環境の湿度差が最も大きく、その湿度差を駆動力とする水分の逸散作用が全ての粗骨材においてピークに達している。その後、再生骨材と石灰石砕石を用いた供試体内部の相対湿度が低くなっていくにつれて、水分の逸散は緩慢になり、材齢 7 日目で、供試体内部と設置環境に相対湿度による差がほぼなくなったものと思われる。しかしながら、人工軽量骨材を用いたコンクリート供試体は、粗骨材自身が保有する水分が約 35%と多量であるために、依然として活発な逸散挙動を示しており、相対湿度に差がな

くなるまでの経過時間が、他の 2 種類の粗骨材に比べて長期に渡っているものと思われる。

また図 4-2 から、相対重量比を見ると水中養生を開始する材齢 42 日目の段階で、人工軽量骨材は、骨材自身が多量の水分を含んでいたために約 10%の重量の減少が見られたが、その他の粗骨材においては 2~3%の重量の減少に留まっている。そこで各供試体の保有水分を表 4-4 に示す。これはコンクリートが粘性流体から固体へと遷移する水和反応の過程で単位水量の内訳は変化するために、水和反応が完結した時点での値を表示した。そしてその計算方法として、セメントの完全水結合比は 0.25 であることから、結合水は体積変化を伴わない水分として存在しており、水和反応が完結した時点でのゲル水の体積は、セメントの質量の約 10%とした。最後に、厳密には層間水などの分類も必要であるが算出が困難であるために単位水量の残りの水分を自由水とした。表 4-4 より特に石灰石砕石は、ほとんどその内部の空隙に水分を含んでおらず、重量の減少がほぼモルタル中の水分、即ち単位水量の逸散と考えれば、材齢 42 日目までの重量変化量の差は、骨材自身が内部に保有する吸水量の差が現れたものと思われる。

材齢 42 日目から 65 日目までの水中養生において、養生開始 7 日間でそれぞれの粗骨材においてほぼ同程度の重量変化が見られ、その後の重量変化はほとんど見られなかった。表 4-3 は材齢 1~7 日及び 42~48 日の重量変化を示したものである。この表から、コンクリートの水和反応が進行していない材齢初期の重量変化は、人工軽量骨材を用いたコンクリートが他の 2 種に比べて 3.5 倍程度大きくなっているが、材齢が経過すると、変化率の格差はほとんど認められなくなっている。ここでコンクリートの吸水と逸散挙動の相違は考慮に入れるものの、その最も大きな要因は、水和反応が進行することでコンクリート内部がより緻密になり、水分移動に対する抵抗性が増したためだと考えられる。したがって材齢が長期に渡ると粗骨材の吸水率の違いが、材齢初期のようなコンクリート供試体重量の変化率にはあまり大きな影響は与えないと思われる。

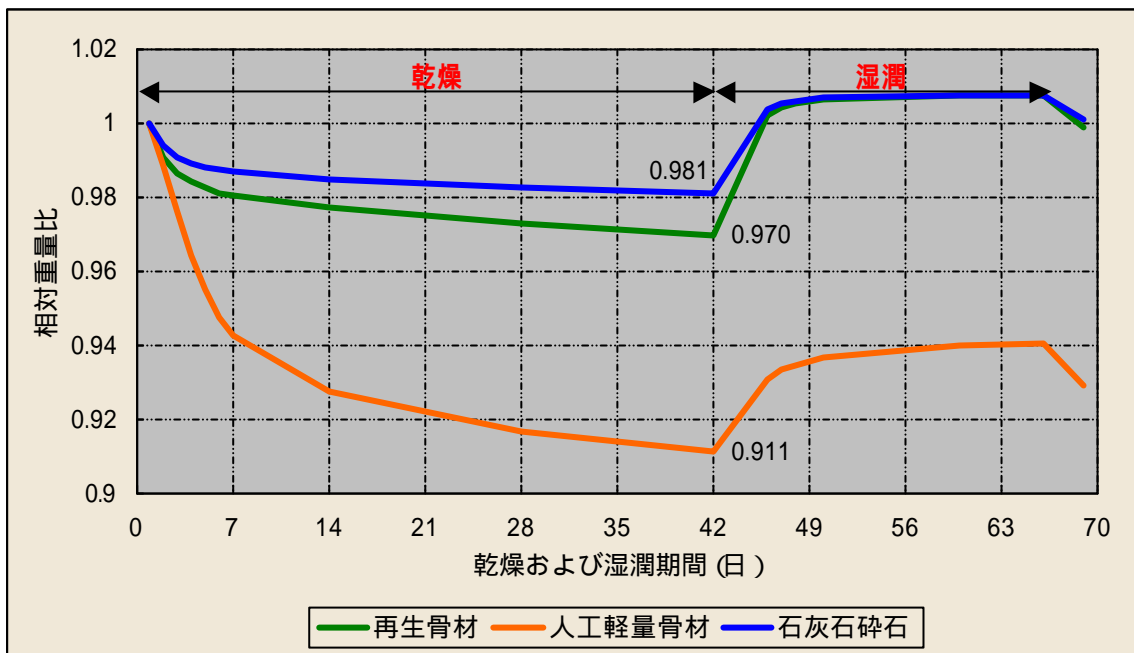


図 4-2:コンクリート供試体の相対重量比

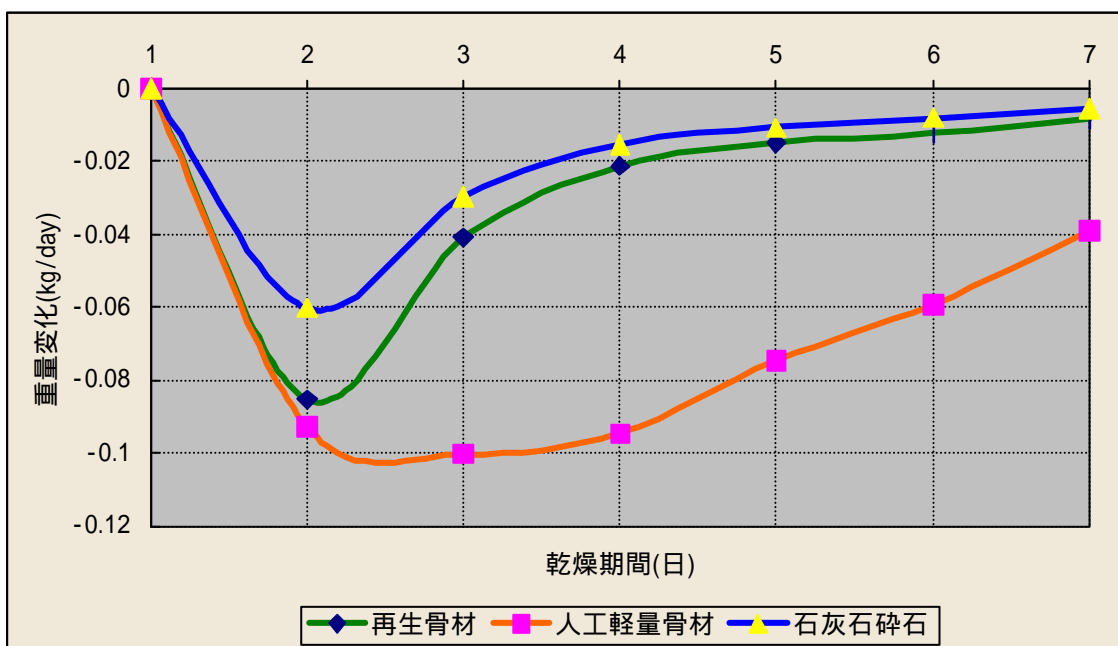


図 4-3 : 乾燥材齢 7 日目までの水分逸散の変化率

表 4-3:各粗骨材を用いたコンクリートの重量変化率

計測開始材齢	再生骨材	人工軽量骨材	石灰石砕石
1～7日(kg/day)	-0.031	-0.077	-0.022
相対比	1.41	3.56	1.0
42～48日(kg/day)	0.054	0.032	0.041
相対比	1.33	0.77	1.0

表 4-4:各粗骨材を用いたコンクリート供試体内の水分

	単位水量			粗骨材
	結合水	ゲル水	自由水	吸水量
再生骨材	0.32	0.13	0.26	0.21
人工軽量骨材	0.32	0.13	0.26	0.92
石灰石砕石	0.32	0.13	0.26	0.0024

単位水量は水和 100%時における内訳(kg/4^{リットル})

4.3 コンクリート供試体の乾燥収縮及び水中養生時の収縮量

人工軽量骨材・再生骨材・石灰石砕石を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮及び水中養生時の収縮量を、図 4-4 に示す。材齢 7 日目付近までの収縮量を見てみると、人工軽量骨材を用いたコンクリートが最も小さくなっている。これは図 4-2 にも示すとおり、材齢初期にはコンクリート中に人工軽量骨材が含有している水分が、相対湿度を駆動力として、コンクリート内部に対して十分に供給されるために、乾燥収縮の原因となる微細空隙の収縮を遅延させる働きをしているためであると思われる。

また材齢 7 日目～42 日目の乾燥収縮については、粗骨材の比重や空隙率が大きく影響しており、比重が大きく空隙量の少ない石灰石砕石を用いたコンクリートは、粗骨材が乾燥収縮に対して大きく抵抗しているために収縮量が他の 2 種に比べて小さく抑えられている。しかしながら、人工軽量骨材や再生骨材を用いたコンクリートは、粗骨材の収縮に対する抵抗力が石灰石砕石よりも弱いために、収縮量が大きくなっている。特に、人工軽量骨材においては、材齢が長期になると、相対湿度による駆動力が緩慢になり粗骨材内部の水分がコンクリート内部に十分に供給されなくなるため、コンクリート内部の微細空隙にかかる圧縮応力に対して、その空隙量の多さゆえに拘束力が弱くなり、最も収縮量が大きくなるものと思われる。

材齢 42 日目～65 日目にかけて、コンクリート供試体を水中養生することで、再湿潤化した。すると、全てのコンクリート供試体において約 7 日間程度で

法がある程度回復したが、その後は回復することがなかった。これは、コンクリートの水和反応が進行することで C-S-H 結合が発達するために、寸法が回復しない不可逆な領域に達したためだと思われる。したがって、もしも乾湿繰り返しを行えば、材齢と共にコンクリートの水和も進行し、水和が 100% 完了するまで不可逆となる領域も徐々に増えていくであろうと考えられる。

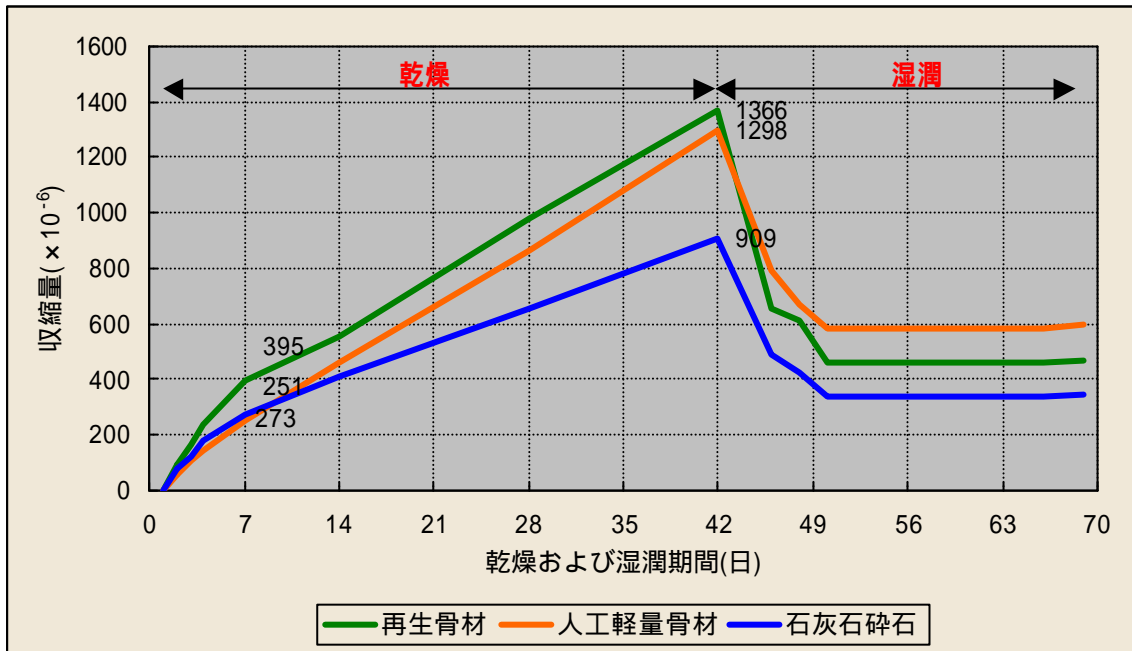


図 4-4:コンクリート供試体の収縮量

4.4 コンクリート供試体の乾燥収縮と重量変化の関係

人工軽量骨材・再生骨材・石灰石碎石を用いたコンクリート供試体の収縮量と重量変化の関係を示す。図 4-5 から、材齢 42 日目までの挙動を二つに分けて考えることができる。コンクリートの重量変化においては、まず相対湿度が低下するや否や 50nm より大きな空隙に存在し体積変化に影響を及ぼさない自由水(水和生成物と物理化学的に結合していない水)が逸散する A-B 区間と、主として微細空隙内に存在する吸着水と 50nm 以下の空隙の毛細管水が消失し、空隙内に静水張力による圧縮応力が系に作用することで乾燥収縮が起こる B-C 区間に分けることができる。これらの水分移動は単位水量と粗骨材の吸水量の移動であるが、B-C 区間では、重量の変化量と収縮量の変化において、吸水率の大きい粗骨材を用いたコンクリートほど左方向に膨らむ傾向があることから、粗骨材からの水分移動の影響は B-C 区間に大きく起こっていると認められる。

4.5 コンクリート内部の水分移動

コンクリートの乾燥収縮のメカニズムは、相対湿度・温度変化・濃度変化などを駆動力として、微細空隙内にある毛細管水や水和セメントペーストの吸着水の消失と共に、空隙系に引き起こる毛細管張力が原因である。またコンクリート内部では、水和反応の進行程度により粗骨材とセメントペーストの間に存在する遷移帯、微細空隙や曲がりくねった空隙系などの一応でないみずみちが無数に存在し、水分移動に関して、拡散・浸透など、その挙動も複雑である。

しかし、図 4-5 より本研究においては、粗骨材自身が保有する吸水量がまんべんなく供試体内部に満たされ、その水分移動が定常流として起こるものとした。また計算上、供試体の形状を円柱として角柱供試体の体積を保持するものと仮定し、供試体内部の水分移動が、上述の仮定から供試体内部の濃度が等しく、設置環境が 20 ± 2 であるために温度一定で、供試体内部と設置環境との湿度差のみを駆動力として起こるものとした。そこで、Fick の第一法則に依存するとした場合、

$$V = k \cdot \frac{dN}{dz} \cdot A \cdot t$$

ここに、

V：水分移動量

k：透水係数

dN：湿度勾配

dz：厚さ

A：断面積

t：時間

である。

本研究における透水係数 k の定義は、供試体の重量変化に伴う水分移動量が、単位時間あたりに円柱供試体の最外面を通過するときの値であり、表 4-5 に示す。そして、この透水係数から理論上の重量変化を算出した結果が、図 4-8 である。この結果より、本研究の透水係数を用いた重量変化は比較的良好に予測されている。すなわち、吸水率の高い粗骨材を用いたコンクリートは、透水係数も大きくなり、同程度の収縮に対して粗骨材から水分が供給されていることが認められる。

しかし、実際のコンクリート内部の水分移動は、コンクリートの水和反応の

進行と共にコンクリート内部が緻密になるために、定常状態だけではなく非定常状態の水分移動現象も起こり一様でない。また、材齢と共に水分移動を予測するにあたり、コンクリートの水和反応の発熱による温度変化や、供試体内部の濃度変化による考慮も必要である。したがって、本研究における定常状態以外の実現象にも対応した今後の発展が必要である。

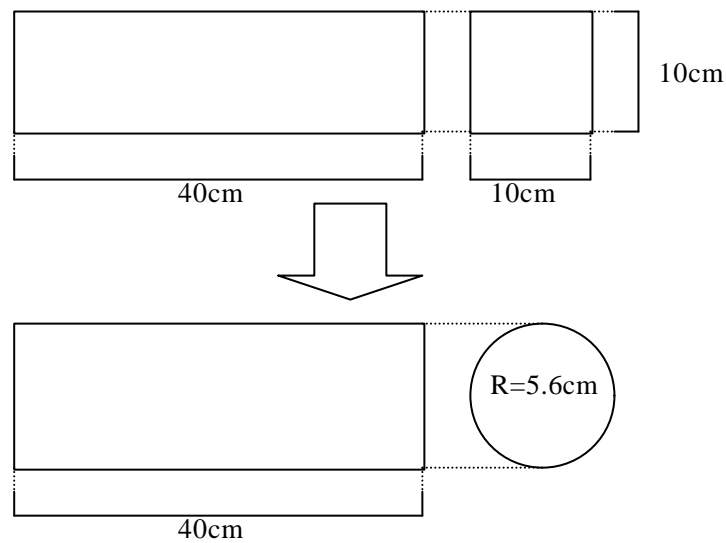


図 4-5：供試体形状の変更

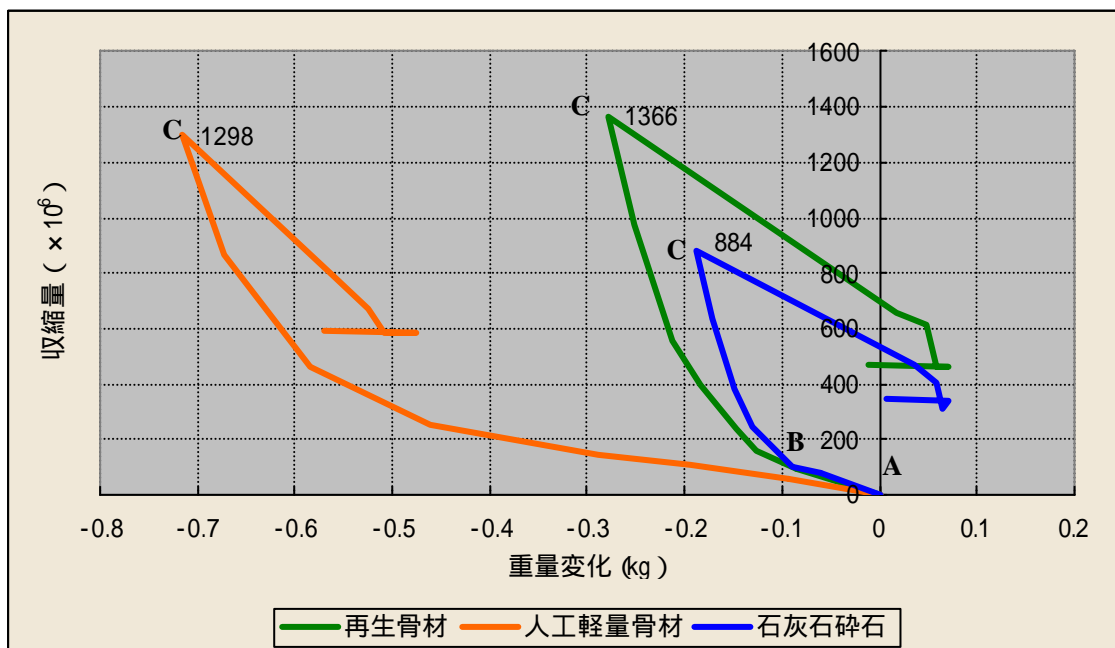


図 4-6:コンクリート供試体の重量変化と収縮量の関係

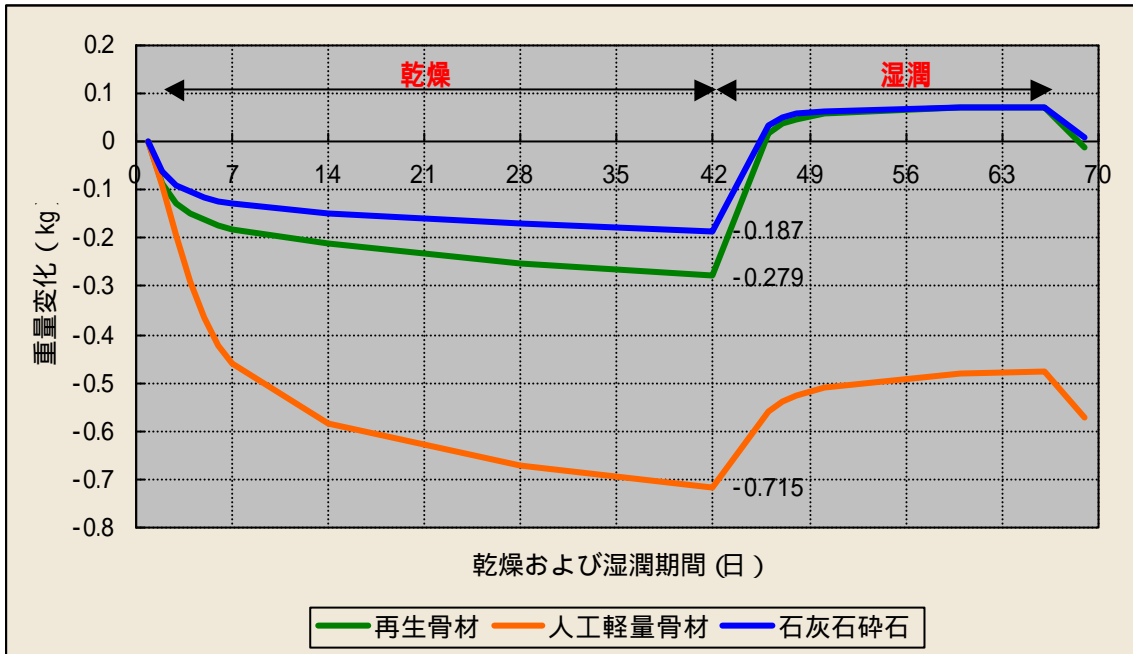


図 4-7:コンクリート供試体の重量変化

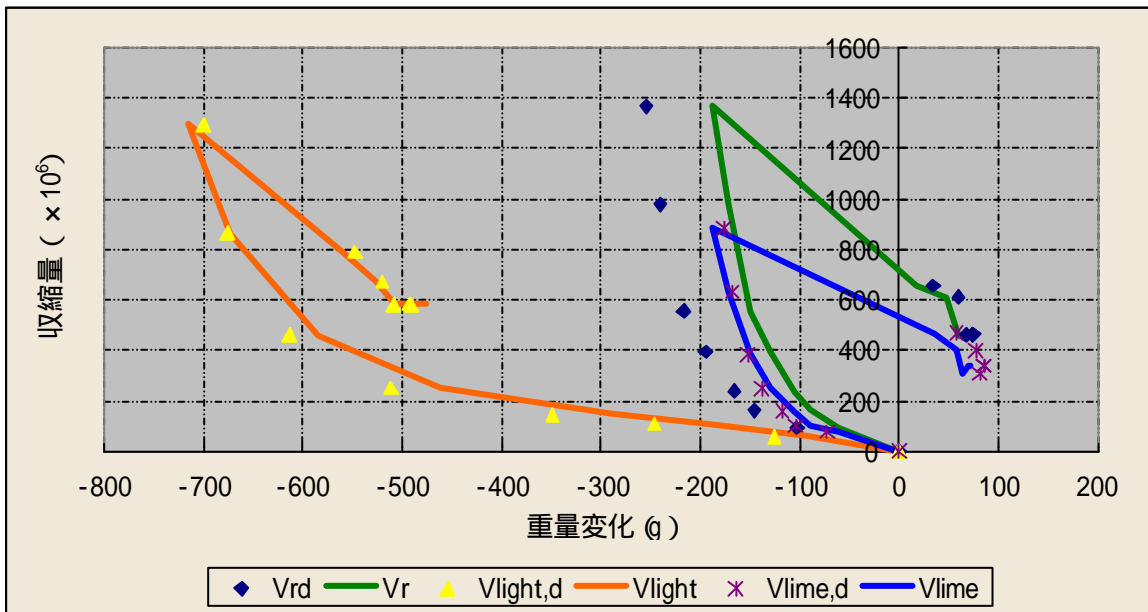


図 4-8 : 重量変化と収縮量

表 4-5:各粗骨材を用いたコンクリートの透水係数

day	再生骨材	人工軽量骨材	石灰石砕石
	cm/s	cm/s	cm/s
2	-6.17E-07	-6.73E-07	-4.36E-07
3	-2.97E-07	-7.26E-07	-2.15E-07
4	-1.54E-07	-6.85E-07	-1.11E-07
7	-8.60E-08	-4.17E-07	-5.87E-08
14	-3.03E-08	-1.28E-07	-1.96E-08
28	-2.00E-08	-4.51E-08	-1.17E-08
42	-1.43E-08	-2.20E-08	-8.27E-09
46	5.36E-07	2.82E-07	4.03E-07
48	1.11E-07	1.23E-07	8.32E-08
50	4.10E-08	6.15E-08	2.17E-08
60	7.96E-09	1.93E-08	4.58E-09
66	0.00E+00	2.56E-09	6.03E-10

5 . 結論

結論

[1] コンクリート供試体の静弾性係数は，吸水率の低い石灰石砕石を用いたコンクリートが最も大きくなり，吸水率の高い人工軽量骨材を用いたコンクリートは最も小さくなった。

[2] 再生骨材と石灰石砕石を用いたコンクリートは，水分逸散に伴う重量の変化率の挙動が乾燥 2 日目以降に急激に低下し，乾燥 7 日目頃にかけて変化が緩やかになったが，人工軽量骨材を用いたコンクリートは，他の 2 種の粗骨材を用いたコンクリートに比べて長期間高い変化率を維持し約 2.5~7 倍の変化量を示している。

[3] 水和反応が進行するとコンクリート内部のゲル空隙が減少し緻密になるために，水分移動に対する抵抗性が増し，粗骨材の吸水率によるコンクリートの重量変化は見られなくなる。

[4] 吸水率の大きい粗骨材は，粗骨材から水分を供給することでコンクリートの材齢初期の収縮を遅延させるが，材齢が長期になるとその空隙率の大きさにより，乾燥収縮に対する拘束力が弱くなり最も収縮量が大きくなると思われる。

[5] 水分移動のメカニズムは，Fick の拡散則に依存する場合，定常流として扱うことができ，吸水率の高い粗骨材を用いたコンクリートは透水係数も大きくなる。そして，同程度の収縮に対しても粗骨材から水分が供給されていると考えられる。

今後の課題

[1] コンクリート供試体内部の相対湿度分布や，コンクリート材料ごとの水分に対する性質を追跡研究することで，更に水分移動のメカニズムを明らかにする必要がある。

[2] 理論式における誤差を，小さくするための研究をし，定常流と非定常流のどちらにも対応できるものへと発展させる必要がある。

参考文献

- [1]石田哲也：「微細空隙を有する固体の変形・損傷と物質・エネルギーの生成・移動に関する練成解析システム」，東京大学 1993.3
- [2]岡村甫・前川宏一・小澤一雅：「ハイパフォーマンスコンクリート」，技報堂出版 1997.6.30
- [3]国分正胤・小林正几・岡村甫・山本康彦：「軽量コンクリートにおける問題点について」，コンクリートライブラリー第 24 号
- [4] A. M. Neville: 「Properties of Concrete Forth and Final Edition」, John Wiley & Sons, Inc.
- [5] P. Kumar Meththa・Paulo J.M. Monterio：「CONCRETE Microstructure, Properties, and Materials Second Edition」，技報堂出版 1998.10
- [6]岩崎訓明・西林新蔵・青柳征夫：「新体系土木工学 29 フレッシュコンクリート・硬化コンクリート」，技報堂出版 1980.8.15
- [7]小林一輔：「新体系土木工学 30 特殊コンクリート」，技報堂出版 1981.1.15
- [8]岩井達・大濱嘉彦・尾坂芳夫・小林一輔・谷垣尚・塚山隆一・野尻陽一・樋口靖明：「土木工学体系 11 材料工学()」，彰国社 1980.11.10
- [9]訳者:千原秀昭・中村亘男：「アトキンス 物理化学(上)・(下) 第 4 版」，東京化学同人 1995.10.2

謝辞

本論文を審査していただきました，主査 島弘先生(高知工科大学大学院教授)，副査 大内雅博先生(高知工科大学大学院助教授) 副査 関口晃司先生(高知工科大学大学院助教授) に，感謝致します。

島弘先生には，本研究を進めていく上で様々な貴重な学術的御指導を頂いただけでなく，研究者ならびに社会人として必要とされる姿勢・態度及び研究の厳しさ・楽しさを数多く教えていただきました。研究とはどういうものかということを知り，これからの自分の進路に関してもまた新しい視点が身についたような気がいたします。

また上野勝先生には，タイ留学から帰ってきたばかりで実験室の使用方法も全く分からない時期から，親切にそして実験の心構えから御指導していただきました。そして，研究材料の手配・実験補助という学術面だけでなく，研究に行詰ったり進路面で考え込んだりした時期に陰に陽に支えていただきました。

本論文を作成するにあたり，コンクリート研究室のみなさまには大変御尽力いただきまして深くお礼を申し上げます。特に，Thammanoon Denpongpan 君には，本研究にあたり実験器具の取り扱い等，使用方法のノウハウを教えて頂きました。Thammanoon 君の人柄に励まされながら研究を続けて来られたと，筆者は感じています。そして福田道也君と赤崎博行君は，自分達の多忙なスケジュールの中，一緒に試料を採取したり，妥協しない筆者の我がままで実験を夜遅くまでお付き合いして頂いて非常に感謝しています。プライベートでも共に酒を酌み交わし，色々な意味で励まされ精神的に支えになりました。

最後に，筆者が修士課程に進学する事に理解を示し，サポートを頂いた両親に感謝いたします。

付録

乾燥収縮測定

10/10(材齢 1 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.236	1	0.457	0.575	0.45667	0.57500
			0.456	0.575		
			0.457	0.575		
		2	0.432	0.419	0.43200	0.41900
			0.432	0.419		
			0.432	0.419		
再生骨材(b)	9.288	1	-0.017	0.112	-0.01700	0.11233
			-0.017	0.112		
			-0.017	0.113		
		2	0.140	0.209	0.13900	0.20900
			0.139	0.210		
			0.138	0.208		
再生骨材(c)	9.265	1	0.429	0.317	0.42867	0.31700
			0.428	0.317		
			0.429	0.317		
		2	-0.368	-0.065	-0.36800	-0.06533
			-0.368	-0.065		
			-0.368	-0.066		
人工軽量骨材(a)	8.023	1	0.729	0.267	0.72900	0.26700
			0.729	0.267		
			0.729	0.267		
		2	-0.217	0.928	-0.21767	0.92800
			-0.218	0.928		
			-0.218	0.928		
人工軽量骨材(b)	8.081	1	0.396	0.397	0.39567	0.39667
			0.396	0.397		
			0.395	0.396		
		2	0.233	0.533	0.23400	0.53233
			0.234	0.532		
			0.235	0.532		

人工轻量骨材(c)	8.043	1	0.183	0.105		
			0.182	0.105	0.18233	0.10500
			0.182	0.105		
		2	0.398	0.958		
			0.399	0.958	0.39867	0.95767
			0.399	0.957		
石灰石碎石(a)	9.757	1	0.234	-0.076		
			0.235	-0.077	0.23467	-0.07667
			0.235	-0.077		
		2	-0.260	0.756		
			-0.260	0.756	-0.25967	0.75600
			-0.259	0.756		
石灰石碎石(b)	9.789	1	-0.151	0.218		
			-0.150	0.218	-0.15067	0.21800
			-0.151	0.218		
		2	0.249	0.508		
			0.249	0.509	0.24900	0.50867
			0.249	0.509		
石灰石碎石(c)	9.827	1	-0.167	0.468		
			-0.168	0.468	-0.16767	0.46800
			-0.168	0.468		
		2	0.119	-0.038		
			0.119	-0.038	0.11900	-0.03767
			0.119	-0.037		

10/11(材齡 2 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.149 -0.087	1	0.451	0.567	0.45100	0.56700
			0.451	0.567		
			0.451	0.567		
	2	0.433	0.419	0.43300	0.41900	
		0.433	0.419			
		0.433	0.419			
再生骨材(b)	9.206 -0.082	1	-0.025	0.102	-0.02500	0.10233
			-0.025	0.102		
			-0.025	0.103		
	2	0.134	0.207	0.13433	0.20700	
		0.134	0.207			
		0.135	0.207			
再生骨材(c)	9.178 -0.087	1	0.407	0.295	0.40700	0.29500
			0.407	0.295		
			0.407	0.295		
	2	-0.383	-0.079	-0.38300	-0.07867	
		-0.383	-0.078			
		-0.383	-0.079			
人工輕量骨材(a)	7.938 -0.085	1	0.724	0.262	0.72367	0.26167
			0.723	0.262		
			0.724	0.261		
	2	0.224	0.922	0.22367	0.92233	
		0.223	0.923			
		0.224	0.922			
人工輕量骨材(b)	7.986 -0.095	1	0.389	0.390	0.38867	0.39000
			0.388	0.390		
			0.389	0.390		
	2	0.230	0.526	0.23033	0.52600	
		0.231	0.526			
		0.230	0.526			

人工輕量骨材(c)	7.944	1	0.177	0.952		
			0.178	0.952	0.17767	0.95200
			0.178	0.952		
	-0.099	2	0.395	-0.084		
			0.394	-0.084	0.39467	-0.08400
			0.395	-0.084		
石灰碎石(a)	9.696	1	0.225	-0.084		
			0.225	-0.084	0.22500	-0.08400
			0.225	-0.084		
	-0.061	2	-0.266	0.748		
			-0.266	0.748	-0.26633	0.74800
			-0.267	0.748		
石灰碎石(b)	9.729	1	-0.155	0.213		
			-0.154	0.214	-0.15467	0.21333
			-0.155	0.213		
	-0.060	2	0.240	0.498		
			0.240	0.497	0.24000	0.49767
			0.240	0.498		
石灰碎石(c)	9.767	1	-0.179	0.456		
			-0.179	0.455	-0.17900	0.45567
			-0.179	0.456		
	-0.060	2	0.113	-0.043		
			0.114	-0.042	0.11333	-0.04267
			0.113	-0.043		

10/12(材齡 3 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.109 -0.040	1	0.442	0.560	0.44200	0.56000
			0.442	0.560		
			0.442	0.560		
		2	0.423	0.412	0.42333	0.41200
0.423	0.412					
0.424	0.412					
再生骨材(b)	9.162 -0.044	1	-0.031	0.098	-0.03100	0.09800
			-0.031	0.098		
			-0.031	0.098		
		2	0.126	0.195	0.12500	0.19500
0.125	0.195					
0.124	0.195					
再生骨材(c)	9.139 -0.039	1	0.413	0.301	0.41267	0.30100
			0.412	0.301		
			0.413	0.301		
		2	-0.382	-0.079	-0.38200	-0.07900
-0.382	-0.079					
-0.382	-0.079					
人工輕量骨材(a)	7.841 -0.097	1	0.728	0.266	0.72833	0.26600
			0.728	0.266		
			0.729	0.266		
		2	0.216	0.928	0.21700	0.92800
0.217	0.928					
0.218	0.928					
人工輕量骨材(b)	7.887 -0.099	1	0.393	0.393	0.39300	0.39300
			0.393	0.393		
			0.393	0.393		
		2	0.235	0.531	0.23500	0.53100
0.235	0.531					
0.235	0.531					

人工輕量骨材(c)	7.839 -0.105	1	0.184	0.102		
			0.184	0.102	0.18400	0.10233
			0.184	0.103		
		2	0.399	0.957		
			0.398	0.957	0.39867	0.95700
			0.399	0.957		
石灰碎石(a)	9.667 -0.029	1	0.227	-0.084		
			0.227	-0.085	0.22733	-0.08500
			0.228	-0.086		
		2	-0.268	0.743		
			-0.268	0.744	-0.26767	0.74400
			-0.267	0.745		
石灰碎石(b)	9.698 -0.031	1	-0.158	0.211		
			-0.157	0.210	-0.15767	0.21067
			-0.158	0.211		
		2	0.239	0.497		
			0.239	0.497	0.23900	0.49733
			0.239	0.498		
石灰碎石(c)	9.738 -0.029	1	-0.179	0.456		
			-0.178	0.455	-0.17867	0.45567
			-0.179	0.456		
		2	0.111	-0.045		
			0.111	-0.046	0.11100	-0.04567
			0.111	-0.046		

10/13(材齡 4 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.088 -0.021	1	0.434	0.551	0.43367	0.55100
			0.433	0.551		
			0.434	0.551		
	2	0.411	0.402	0.41100	0.40200	
		0.411	0.402			
		0.411	0.402			
再生骨材(b)	9.138 -0.024	1	-0.037	0.092	-0.03667	0.09200
			-0.036	0.092		
			-0.037	0.092		
	2	0.118	0.190	0.11800	0.19033	
		0.118	0.191			
		0.118	0.190			
再生骨材(c)	9.120 -0.019	1	0.404	0.292	0.40400	0.29200
			0.404	0.292		
			0.404	0.292		
	2	-0.389	-0.085	-0.38900	-0.08500	
		-0.389	-0.085			
		-0.389	-0.085			
人工輕量骨材(a)	7.746 -0.095	1	0.725	0.261	0.72500	0.26133
			0.725	0.262		
			0.725	0.261		
	2	-0.220	0.925	-0.22000	0.92500	
		-0.220	0.925			
		-0.220	0.925			
人工輕量骨材(b)	7.796 -0.091	1	0.390	0.389	0.39000	0.38867
			0.390	0.388		
			0.390	0.389		
	2	0.231	0.529	0.23100	0.52900	
		0.231	0.529			
		0.231	0.529			

人工輕量骨材(c)	7.741 -0.098	1	0.180	0.099		
			0.179	0.099	0.17933	0.09900
			0.179	0.099		
	2		0.396	0.953		
		0.396	0.953	0.39633	0.95300	
		0.397	0.953			
石灰碎石(a)	9.651 -0.016	1	0.223	-0.092		
			0.223	-0.092	0.22333	-0.09200
			0.224	-0.092		
	2		-0.275	0.739		
		-0.275	0.739	-0.27500	0.73900	
		-0.275	0.739			
石灰碎石(b)	9.683 -0.015	1	-0.163	0.204		
			-0.163	0.204	-0.16300	0.20400
			-0.163	0.204		
	2		0.235	0.493		
		0.235	0.492	0.23500	0.49267	
		0.235	0.493			
石灰碎石(c)	9.723 -0.015	1	-0.184	0.450		
			-0.185	0.450	-0.18500	0.45000
			-0.186	0.450		
	2		0.104	-0.054		
		0.104	-0.053	0.10433	-0.05367	
		0.105	-0.054			

10/14(材齡 5 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.074 -0.014	1	0.434	0.551	0.43367	0.55100
			0.433	0.551		
			0.434	0.551		
	2	0.411	0.402	0.41100	0.40200	
		0.411	0.402			
		0.411	0.402			
再生骨材(b)	9.122 -0.016	1	-0.037	0.092	-0.03667	0.09200
			-0.036	0.092		
			-0.037	0.092		
	2	0.118	0.190	0.11800	0.19033	
		0.118	0.191			
		0.118	0.190			
再生骨材(c)	9.105 -0.015	1	0.404	0.292	0.40400	0.29200
			0.404	0.292		
			0.404	0.292		
	2	-0.389	-0.085	-0.38900	-0.08500	
		-0.389	-0.085			
		-0.389	-0.085			
人工輕量骨材(a)	7.671 -0.075	1	0.725	0.261	0.72500	0.26133
			0.725	0.262		
			0.725	0.261		
	2	-0.220	0.925	-0.22000	0.92500	
		-0.220	0.925			
		-0.220	0.925			
人工輕量骨材(b)	7.723 -0.073	1	0.390	0.389	0.39000	0.38867
			0.390	0.388		
			0.390	0.389		
	2	0.231	0.529	0.23100	0.52900	
		0.231	0.529			
		0.231	0.529			

人工輕量骨材(c)	7.665 -0.076	1	0.180	0.099		
			0.179	0.099	0.17933	0.09900
			0.179	0.099		
	2	0.396	0.953			
		0.396	0.953	0.39633	0.95300	
		0.397	0.953			
石灰碎石(a)	9.641 -0.010	1	0.223	-0.092		
			0.223	-0.092	0.22333	-0.09200
			0.224	-0.092		
	2	-0.275	0.739			
		-0.275	0.739	-0.27500	0.73900	
		-0.275	0.739			
石灰碎石(b)	9.672 -0.011	1	-0.163	0.204		
			-0.163	0.204	-0.16300	0.20400
			-0.163	0.204		
	2	0.235	0.493			
		0.235	0.492	0.23500	0.49267	
		0.235	0.493			
石灰碎石(c)	9.712 -0.011	1	-0.184	0.450		
			-0.185	0.450	-0.18500	0.45000
			-0.186	0.450		
	2	0.104	-0.054			
		0.104	-0.053	0.10433	-0.05367	
		0.105	-0.054			

10/15(材齡 6 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.062 -0.012	1	0.434	0.551	0.43367	0.55100
			0.433	0.551		
			0.434	0.551		
	2	0.411	0.402	0.41100	0.40200	
		0.411	0.402			
		0.411	0.402			
再生骨材(b)	9.109 -0.013	1	-0.037	0.092	-0.03667	0.09200
			-0.036	0.092		
			-0.037	0.092		
	2	0.118	0.190	0.11800	0.19033	
		0.118	0.191			
		0.118	0.190			
再生骨材(c)	9.093 -0.012	1	0.404	0.292	0.40400	0.29200
			0.404	0.292		
			0.404	0.292		
	2	-0.389	-0.085	-0.38900	-0.08500	
		-0.389	-0.085			
		-0.389	-0.085			
人工輕量骨材(a)	7.609 -0.062	1	0.725	0.261	0.72500	0.26133
			0.725	0.262		
			0.725	0.261		
	2	-0.220	0.925	-0.22000	0.92500	
		-0.220	0.925			
		-0.220	0.925			
人工輕量骨材(b)	7.665 -0.058	1	0.390	0.389	0.39000	0.38867
			0.390	0.388		
			0.390	0.389		
	2	0.231	0.529	0.23100	0.52900	
		0.231	0.529			
		0.231	0.529			

人工輕量骨材(c)	7.607 -0.058	1	0.180	0.099		
			0.179	0.099	0.17933	0.09900
			0.179	0.099		
	2	0.396	0.953			
		0.396	0.953	0.39633	0.95300	
		0.397	0.953			
石灰碎石(a)	9.633 -0.008	1	0.223	-0.092		
			0.223	-0.092	0.22333	-0.09200
			0.224	-0.092		
	2	-0.275	0.739			
		-0.275	0.739	-0.27500	0.73900	
		-0.275	0.739			
石灰碎石(b)	9.664 -0.008	1	-0.163	0.204		
			-0.163	0.204	-0.16300	0.20400
			-0.163	0.204		
	2	0.235	0.493			
		0.235	0.492	0.23500	0.49267	
		0.235	0.493			
石灰碎石(c)	9.704 -0.008	1	-0.184	0.450		
			-0.185	0.450	-0.18500	0.45000
			-0.186	0.450		
	2	0.104	-0.054			
		0.104	-0.053	0.10433	-0.05367	
		0.105	-0.054			

10/16(材齡 7 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.054 -0.008	1	0.424	0.542	0.42433	0.54233
			0.424	0.542		
			0.425	0.543		
	2	0.401	0.392	0.40100	0.39200	
		0.401	0.392			
		0.401	0.392			
再生骨材(b)	9.100 -0.009	1	-0.053	0.075	-0.05267	0.07533
			-0.052	0.076		
			-0.053	0.075		
	2	0.102	0.174	0.10233	0.17433	
		0.103	0.174			
		0.102	0.175			
再生骨材(c)	9.085 -0.008	1	0.383	0.271	0.38300	0.27100
			0.383	0.271		
			0.383	0.271		
	2	-0.410	-0.107	-0.40967	-0.10700	
		-0.409	-0.107			
		-0.410	-0.107			
人工輕量骨材(a)	7.568 -0.041	1	0.718	0.255	0.71800	0.25467
			0.718	0.255		
			0.718	0.254		
	2	-0.228	0.916	-0.22800	0.91600	
		-0.228	0.916			
		-0.228	0.916			
人工輕量骨材(b)	7.628 -0.037	1	0.378	0.378	0.37900	0.37800
			0.379	0.378		
			0.380	0.378		
	2	0.218	0.517	0.21833	0.51700	
		0.218	0.517			
		0.219	0.517			

人工輕量骨材(c)	7.568 -0.039	1	0.168	0.088		
			0.167	0.088	0.16767	0.08800
			0.168	0.088		
	9.627 -0.006	2	0.383	0.937		
			0.383	0.937	0.38300	0.93700
			0.383	0.937		
石灰碎石(a)	9.658 -0.006	1	0.216	-0.101		
			0.216	-0.101	0.21567	-0.10100
			0.215	-0.101		
	9.658 -0.006	2	-0.287	0.724		
			-0.287	0.725	-0.28700	0.72500
			-0.287	0.726		
石灰碎石(b)	9.658 -0.006	1	-0.172	0.195		
			-0.173	0.195	-0.17267	0.19500
			-0.173	0.195		
	9.658 -0.006	2	0.226	0.482		
			0.226	0.482	0.22600	0.48200
			0.226	0.482		
石灰碎石(c)	9.699 -0.005	1	-0.192	0.442		
			-0.192	0.442	-0.19200	0.44200
			-0.192	0.442		
	9.699 -0.005	2	0.096	-0.062		
			0.096	-0.062	0.09600	-0.06200
			0.096	-0.062		

10/23(材齡 14 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.025 -0.029	1	0.409	0.528	0.40933	0.52800
			0.409	0.528		
			0.410	0.528		
	2	0.385	0.377	0.38500	0.37700	
		0.385	0.377			
		0.385	0.377			
再生骨材(b)	9.070 -0.030	1	-0.068	0.058	-0.06900	0.05800
			-0.069	0.058		
			-0.070	0.058		
	2	0.084	0.156	0.08500	0.15633	
		0.085	0.156			
		0.086	0.157			
再生骨材(c)	9.056 -0.029	1	0.366	0.256	0.36600	0.25567
			0.366	0.255		
			0.366	0.256		
	2	-0.425	-0.127	-0.42500	-0.12600	
		-0.425	-0.126			
		-0.425	-0.125			
人工輕量骨材(a)	7.435 -0.133	1	0.699	0.238	0.69900	0.23800
			0.699	0.238		
			0.699	0.238		
	2	-0.248	0.898	-0.24800	0.89733	
		-0.248	0.897			
		-0.248	0.897			
人工輕量骨材(b)	7.509 -0.119	1	0.357	0.357	0.35767	0.35700
			0.358	0.357		
			0.358	0.357		
	2	0.191	0.492	0.19100	0.49200	
		0.191	0.492			
		0.191	0.492			

人工輕量骨材(c)	7.448 -0.120	1	0.147	0.066		
			0.147	0.067	0.14733	0.06667
			0.148	0.067		
	9.608 -0.019	2	0.362	0.912		
			0.362	0.912	0.36200	0.91233
			0.362	0.913		
石灰碎石(a)	9.608 -0.019	1	0.204	-0.111		
			0.204	-0.111	0.20400	-0.11100
			0.204	-0.111		
	9.639 -0.019	2	-0.301	0.711		
			-0.301	0.712	-0.30100	0.71167
			-0.301	0.712		
石灰碎石(b)	9.639 -0.019	1	-0.187	0.179		
			-0.187	0.180	-0.18700	0.17967
			-0.187	0.180		
	9.680 -0.019	2	0.211	0.470		
			0.211	0.470	0.21067	0.47000
			0.210	0.470		
石灰碎石(c)	9.680 -0.019	1	-0.205	0.428		
			-0.205	0.429	-0.20500	0.42833
			-0.205	0.428		
	9.680 -0.019	2	0.081	-0.077		
			0.081	-0.077	0.08100	-0.07700
			0.081	-0.077		

11/06(材齡 28 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	8.987 -0.038	1	0.362	0.481	0.36200	0.48100
			0.362	0.481		
			0.362	0.481		
	2	0.338	0.330	0.33800	0.33000	
		0.338	0.330			
		0.338	0.330			
再生骨材(b)	9.031 -0.039	1	-0.109	0.018	-0.10900	0.01800
			-0.109	0.018		
			-0.109	0.018		
	2	0.048	0.120	0.04800	0.12033	
		0.048	0.121			
		0.048	0.120			
再生骨材(c)	9.017 -0.039	1	0.326	0.218	0.32600	0.21767
			0.326	0.218		
			0.326	0.217		
	2	-0.462	-0.167	-0.46233	-0.16800	
		-0.462	-0.168			
		-0.463	-0.169			
人工輕量骨材(a)	7.341 -0.094	1	0.661	0.200	0.66100	0.20000
			0.661	0.200		
			0.661	0.200		
	2	-0.285	0.858	-0.28500	0.85767	
		-0.285	0.858			
		-0.285	0.857			
人工輕量骨材(b)	7.425 -0.084	1	0.316	0.314	0.31633	0.31433
			0.317	0.314		
			0.316	0.315		
	2	0.149	0.446	0.14933	0.44600	
		0.150	0.446			
		0.149	0.446			

人工輕量骨材(c)	7.364 -0.084	1	0.107	0.026		
			0.108	0.027	0.10800	0.02633
			0.109	0.026		
		2	0.319	0.867		
			0.320	0.867	0.31900	0.86700
			0.318	0.867		
石灰碎石(a)	9.586 -0.022	1	0.179	-0.134		
			0.179	-0.134	0.17900	-0.13400
			0.179	-0.134		
		2	-0.327	0.683		
			-0.328	0.683	-0.32767	0.68300
			-0.328	0.683		
石灰碎石(b)	9.616 -0.023	1	-0.211	0.154		
			-0.211	0.154	-0.21100	0.15400
			-0.211	0.154		
		2	0.185	0.442		
			0.185	0.442	0.18500	0.44233
			0.185	0.443		
石灰碎石(c)	9.657 -0.023	1	-0.228	0.403		
			-0.228	0.403	-0.22833	0.40333
			-0.229	0.404		
		2	0.057	-0.099		
			0.057	-0.100	0.05700	-0.09967
			0.057	-0.100		

11/20(材齡 42 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	8.960 -0.027	1	0.328	0.450	0.32800	0.45000
			0.328	0.450		
			0.328	0.450		
		2	0.306	0.298	0.30600	0.29767
			0.306	0.298		
			0.306	0.297		
再生骨材(b)	9.003 -0.028	1	-0.153	-0.028	-0.15300	-0.02800
			-0.153	-0.028		
			-0.153	-0.028		
		2	0.005	0.081	0.00500	0.08100
			0.005	0.081		
			0.005	0.081		
再生骨材(c)	8.989 -0.028	1	0.283	0.177	0.28300	0.17700
			0.283	0.177		
			0.283	0.177		
		2	-0.503	-0.212	-0.50300	-0.21233
			-0.503	-0.213		
			-0.503	-0.212		
人工輕量骨材(a)	7.296 -0.045	1	0.616	0.156	0.61600	0.15600
			0.616	0.156		
			0.616	0.156		
		2	-0.323	0.814	-0.32333	0.81400
			-0.324	0.814		
			-0.323	0.814		
人工輕量骨材(b)	7.384 -0.041	1	0.274	0.271	0.27400	0.27067
			0.274	0.270		
			0.274	0.271		
		2	0.107	0.403	0.10700	0.40300
			0.107	0.403		
			0.107	0.403		

人工輕量骨材(c)	7.322 -0.042	1	0.065	-0.015		
			0.065	-0.015	0.06500	-0.01500
			0.065	-0.015		
		2	0.276	0.820		
			0.276	0.810	0.27600	0.81733
			0.276	0.822		
石灰碎石(a)	9.570 -0.016	1	0.155	-0.157		
			0.155	-0.157	0.15500	-0.15700
			0.155	-0.157		
		2	-0.355	0.653		
			-0.355	0.653	-0.35500	0.65300
			-0.355	0.653		
石灰碎石(b)	9.600 -0.016	1	-0.236	0.128		
			-0.236	0.127	-0.23600	0.12767
			-0.236	0.128		
		2	0.158	0.417		
			0.158	0.417	0.15800	0.41700
			0.158	0.417		
石灰碎石(c)	9.641 -0.016	1	-0.253	0.378		
			-0.253	0.378	-0.25300	0.37800
			-0.253	0.378		
		2	0.031	-0.123		
			0.031	-0.123	0.03100	-0.12333
			0.031	-0.124		

11/24(材齡 46 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.259	1	0.399	0.518	0.39900	0.51800
			0.399	0.518		
			0.399	0.518		
	0.299	2	0.377	0.367	0.37700	0.36700
			0.377	0.367		
			0.377	0.367		
再生骨材(b)	9.299	1	-0.075	0.051	-0.07500	0.05100
			-0.075	0.051		
			-0.075	0.051		
	0.296	2	0.076	0.151	0.07667	0.15100
		0.077	0.151			
		0.077	0.151			
再生骨材(c)	9.283	1	0.353	0.248	0.35300	0.24733
			0.353	0.247		
			0.353	0.247		
	0.294	2	-0.435	-0.138	-0.43567	-0.13833
		-0.436	-0.139			
		-0.436	-0.138			
人工輕量骨材(a)	7.443	1	0.665	0.202	0.66533	0.20200
			0.666	0.202		
			0.665	0.202		
	0.147	2	-0.276	0.861	-0.27633	0.86133
		-0.277	0.861			
		-0.276	0.862			
人工輕量骨材(b)	7.545	1	0.327	0.326	0.32667	0.32633
			0.327	0.326		
			0.326	0.327		
	0.161	2	0.157	0.459	0.15700	0.45900
		0.157	0.459			
		0.157	0.459			

人工輕量骨材(c)	7.481 0.159	1	0.116	0.035		
			0.116	0.036	0.11600	0.03567
			0.116	0.036		
		2	0.328	0.877		
			0.328	0.877	0.32833	0.87700
			0.329	0.877		
石灰碎石(a)	9.791 0.221	1	0.196	-0.121		
			0.196	-0.121	0.19600	-0.12100
			0.196	-0.121		
		2	-0.310	0.700		
			-0.310	0.700	-0.31000	0.70033
			-0.310	0.701		
石灰碎石(b)	9.823 0.223	1	-0.195	0.174		
			-0.195	0.174	-0.19533	0.17400
			-0.196	0.174		
		2	0.201	0.458		
			0.201	0.458	0.20133	0.45800
			0.202	0.458		
石灰碎石(c)	9.865 0.224	1	-0.215	0.421		
			-0.215	0.420	-0.21500	0.42033
			-0.215	0.420		
		2	0.071	-0.083		
			0.071	-0.082	0.28067	-0.08267
			0.700	-0.083		

11/25(材齡 47 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.281	1	0.399	0.518	0.39900	0.51800
			0.399	0.518		
			0.399	0.518		
	0.022	2	0.377	0.367	0.37700	0.36700
			0.377	0.367		
			0.377	0.367		
再生骨材(b)	9.322	1	-0.075	0.051	-0.07500	0.05100
			-0.075	0.051		
			-0.075	0.051		
	0.023	2	0.076	0.151	0.07667	0.15100
			0.077	0.151		
			0.077	0.151		
再生骨材(c)	9.305	1	0.353	0.248	0.35300	0.24733
			0.353	0.247		
			0.353	0.247		
	0.022	2	-0.435	-0.138	-0.43567	-0.13833
			-0.436	-0.139		
			-0.436	-0.138		
人工輕量骨材(a)	7.466	1	0.665	0.202	0.66533	0.20200
			0.666	0.202		
			0.665	0.202		
	0.023	2	-0.276	0.861	-0.27633	0.86133
			-0.277	0.861		
			-0.276	0.862		
人工輕量骨材(b)	7.568	1	0.327	0.326	0.32667	0.32633
			0.327	0.326		
			0.326	0.327		
	0.023	2	0.157	0.459	0.15700	0.45900
			0.157	0.459		
			0.157	0.459		

人工輕量骨材(c)	7.504 0.023	1	0.116	0.035		
			0.116	0.036	0.11600	0.03567
			0.116	0.036		
		2	0.328	0.877		
			0.328	0.877	0.32833	0.87700
			0.329	0.877		
石灰碎石(a)	9.809 0.018	1	0.196	-0.121		
			0.196	-0.121	0.19600	-0.12100
			0.196	-0.121		
		2	-0.310	0.700		
			-0.310	0.700	-0.31000	0.70033
			-0.310	0.701		
石灰碎石(b)	9.838 0.015	1	-0.195	0.174		
			-0.195	0.174	-0.19533	0.17400
			-0.196	0.174		
		2	0.201	0.458		
			0.201	0.458	0.20133	0.45800
			0.202	0.458		
石灰碎石(c)	9.882 0.017	1	-0.215	0.421		
			-0.215	0.420	-0.21500	0.42033
			-0.215	0.420		
		2	0.071	-0.083		
			0.071	-0.082	0.28067	-0.08267
			0.700	-0.083		

11/26(材齡 48 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.288 0.007	1	0.407	0.526	0.40700	0.52600
			0.407	0.526		
			0.407	0.526		
	2	0.385	0.375	0.38500	0.37500	
		0.385	0.375			
		0.385	0.375			
再生骨材(b)	9.331 0.009	1	-0.079	0.048	-0.07867	0.04800
			-0.078	0.048		
			-0.079	0.048		
	2	0.078	0.151	0.07833	0.15133	
		0.079	0.151			
		0.078	0.152			
再生骨材(c)	9.314 0.009	1	0.356	0.248	0.35600	0.24800
			0.356	0.248		
			0.356	0.248		
	2	-0.433	-0.135	-0.43300	-0.13500	
		-0.433	-0.135			
		-0.433	-0.135			
人工輕量骨材(a)	7.477 0.011	1	0.675	0.211	0.67467	0.21100
			0.674	0.211		
			0.675	0.211		
	2	-0.270	0.870	-0.27033	0.87000	
		-0.270	0.870			
		-0.271	0.870			
人工輕量骨材(b)	7.576 0.008	1	0.340	0.338	0.34000	0.33767
			0.340	0.337		
			0.340	0.338		
	2	0.157	0.470	0.15700	0.46967	
		0.157	0.469			
		0.157	0.470			

人工輕量骨材(c)	7.515 0.011	1	0.135	0.051		
			0.134	0.051	0.13433	0.05100
			0.134	0.051		
	9.814 0.005	2	0.343	0.892		
			0.342	0.892	0.34267	0.89200
			0.343	0.892		
石灰碎石(a)	9.844 0.006	1	0.204	-0.110		
			0.204	-0.110	0.20400	-0.11000
			0.204	-0.110		
	9.844 0.006	2	-0.302	0.709		
			-0.302	0.710	-0.30200	0.71000
			-0.302	0.711		
石灰碎石(b)	9.890 0.008	1	-0.190	0.180		
			-0.189	0.180	-0.18967	0.18000
			-0.190	0.180		
	9.890 0.008	2	0.209	0.464		
			0.209	0.464	0.20900	0.46400
			0.209	0.464		
石灰碎石(c)	9.890 0.008	1	-0.210	0.426		
			-0.210	0.426	-0.21000	0.42600
			-0.210	0.426		
	9.890 0.008	2	0.077	-0.077		
			0.077	-0.077	0.07700	-0.07733
			0.077	-0.078		

11/28(材齡 50 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.300	1	0.419	0.538	0.41900	0.53800
			0.419	0.538		
			0.419	0.538		
	0.012	2	0.395	0.386	0.39567	0.38600
			0.396	0.386		
			0.396	0.386		
再生骨材(b)	9.341	1	-0.059	0.067	-0.05967	0.06700
			-0.060	0.067		
			-0.060	0.067		
	0.010	2	0.095	0.168	0.09533	0.16800
			0.095	0.168		
			0.096	0.168		
再生骨材(c)	9.326	1	0.373	0.266	0.37300	0.26633
			0.373	0.267		
			0.373	0.266		
	0.012	2	-0.416	-0.119	-0.41600	-0.11867
			-0.416	-0.118		
			-0.416	-0.119		
人工輕量骨材(a)	7.496	1	0.685	0.223	0.68467	0.22267
			0.684	0.222		
			0.685	0.223		
	0.019	2	-0.257	0.882	-0.25767	0.88200
			-0.258	0.882		
			-0.258	0.882		
人工輕量骨材(b)	7.592	1	0.348	0.345	0.34833	0.34500
			0.348	0.345		
			0.349	0.345		
	0.016	2		0.478	#DIV/0!	0.47833
				0.479		
				0.478		

人工轻量骨材(c)	7.531 0.016	1	0.138	0.057		
			0.138	0.058	0.13800	0.05800
			0.138	0.059		
		2	0.349	0.900		
			0.350	0.900	0.34933	0.89967
			0.349	0.899		
石灰碎石(a)	9.824 0.010	1	0.208	-0.104		
			0.208	-0.104	0.20800	-0.10400
			0.208	-0.104		
		2	-0.297	0.719		
			-0.297	0.719	-0.29700	0.71900
			-0.297	0.719		
石灰碎石(b)	9.851 0.007	1	-0.178	0.189		
			-0.178	0.189	-0.17800	0.18900
			-0.178	0.189		
		2	0.219	0.475		
			0.220	0.475	0.21933	0.47533
			0.219	0.476		
石灰碎石(c)	9.898 0.008	1	-0.199	0.436		
			-0.199	0.437	-0.19900	0.43600
			-0.199	0.435		
		2	0.087	-0.067		
			0.087	-0.067	0.08700	-0.06700
			0.087	-0.067		

12/08(材齡 60 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.310	1	0.417	0.534	0.41700	0.53400
			0.417	0.534		
			0.417	0.534		
	0.010	2	0.390	0.382	0.38967	0.38100
			0.390	0.381		
			0.389	0.380		
再生骨材(b)	9.353	1	-0.062	0.061	-0.06200	0.06100
			-0.062	0.061		
			-0.062	0.061		
	0.012	2	0.090	0.166	0.09000	0.16567
			0.090	0.166		
			0.090	0.165		
再生骨材(c)	9.337	1	0.372	0.262	0.37200	0.26167
			0.372	0.262		
			0.372	0.261		
	0.011	2	-0.415	-0.126	-0.41533	-0.12567
			-0.415	-0.125		
			-0.416	-0.126		
人工輕量骨材(a)	7.523	1	0.686	0.224	0.68533	0.22367
			0.685	0.224		
			0.685	0.223		
	0.027	2	-0.255	0.880	-0.25500	0.88000
			-0.255	0.880		
			-0.255	0.880		
人工輕量骨材(b)	7.618	1	0.348	0.345	0.34800	0.34533
			0.348	0.346		
			0.348	0.345		
	0.026	2		0.478	#DIV/0!	0.47800
				0.478		
				0.478		

人工輕量骨材(c)	7.558 0.027	1	0.135	0.056		
			0.135	0.056	0.13500	0.05600
			0.135	0.056		
	9.829 0.005	2	0.348	0.898		
			0.349	0.898	0.34833	0.89800
			0.348	0.898		
石灰碎石(a)	9.829 0.005	1	0.200	-0.113		
			0.201	-0.113	0.20033	-0.11300
			0.200	-0.113		
	9.858 0.007	2	-0.300	0.714		
			-0.299	0.714	-0.29933	0.71367
			-0.299	0.713		
石灰碎石(b)	9.858 0.007	1	-0.183	0.182		
			-0.184	0.182	-0.18333	0.18200
			-0.183	0.182		
	9.905 0.007	2	0.213	0.468		
			0.213	0.468	0.21300	0.46800
			0.213	0.468		
石灰碎石(c)	9.905 0.007	1	-0.200	0.429		
			-0.201	0.428	-0.20100	0.42867
			-0.202	0.429		
	9.905 0.007	2	0.081	-0.068		
			0.082	-0.068	0.08133	-0.06800
			0.081	-0.068		

12/14(材齡 66 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.310 0.000	1	0.414	0.534	0.41433	0.53367
			0.414	0.534		
			0.415	0.533		
	2	0.390	0.381	0.39033	0.38067	
		0.391	0.381			
		0.390	0.380			
再生骨材(b)	9.353 0.000	1	-0.065	0.058	-0.06433	0.05800
			-0.064	0.058		
			-0.064	0.058		
	2	0.089	0.164	0.08900	0.16367	
		0.089	0.163			
		0.089	0.164			
再生骨材(c)	9.337 0.000	1	0.379	0.264	0.37867	0.26433
			0.379	0.264		
			0.378	0.265		
	2	-0.410	-0.122	-0.41033	-0.12200	
		-0.411	-0.121			
		-0.410	-0.123			
人工輕量骨材(a)	7.528 0.005	1	0.684	0.221	0.68433	0.22100
			0.685	0.221		
			0.684	0.221		
	2	-0.255	0.884	-0.25600	0.88433	
		-0.256	0.884			
		-0.257	0.885			
人工輕量骨材(b)	7.624 0.006	1	0.347	0.346	0.34667	0.34633
			0.346	0.347		
			0.347	0.346		
	2	0.481	#DIV/0!	#DIV/0!	0.48067	
		0.480				
		0.481				

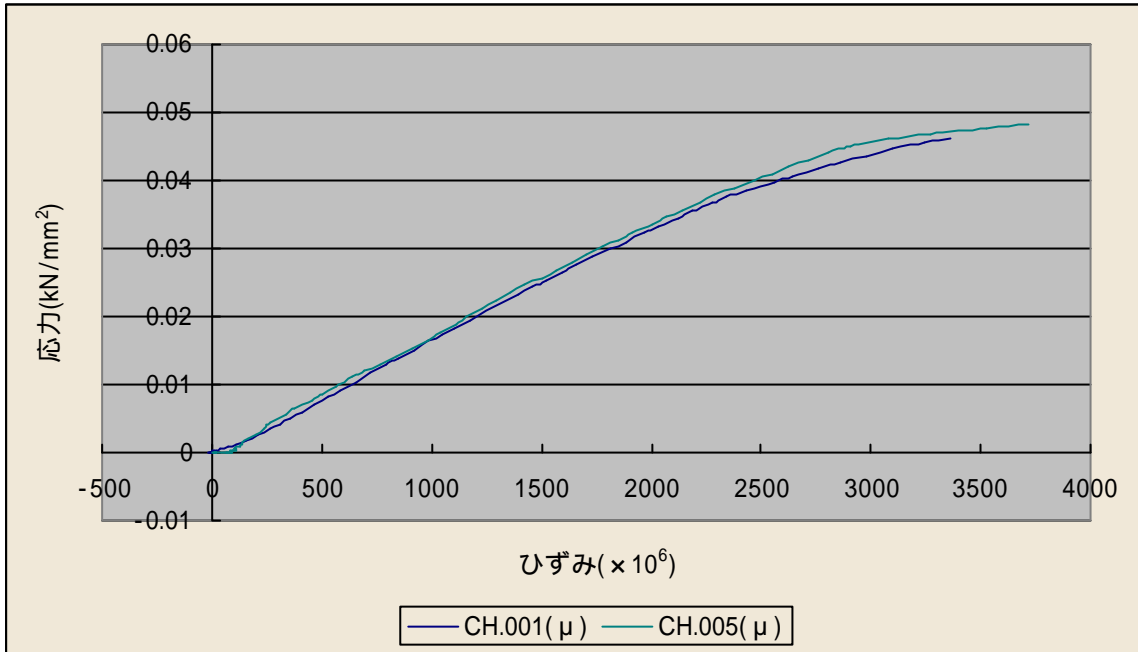
人工輕量骨材(c)	7.564 0.006	1	0.140	0.055		
			0.140	0.056	0.14000	0.05567
			0.140	0.056		
	9.830 0.001	1	0.351	0.900		
			0.352	0.900	0.35167	0.90033
			0.352	0.901		
石灰碎石(a)	9.860 0.002	1	0.201	-0.112		
			0.202	-0.113	0.20167	-0.11233
			0.202	-0.112		
	9.906 0.001	2	-0.298	0.717		
			-0.297	0.716	-0.29767	0.71667
			-0.298	0.717		
石灰碎石(b)	9.906 0.001	1	-0.183	0.180		
			-0.183	0.181	-0.18300	0.18067
			-0.183	0.181		
	9.906 0.001	2	0.215	0.469		
			0.215	0.469	0.21500	0.46933
			0.215	0.470		
石灰碎石(c)	9.906 0.001	1	-0.204	0.426		
			-0.204	0.426	-0.20367	0.42600
			-0.203	0.426		
	9.906 0.001	2	0.083	-0.072		
			0.083	-0.072	0.08300	-0.07200
			0.083	-0.072		

12/17(材齡 69 日)	重量(kg)	Face	A-C	B-D	Ave(A-C)	Ave(B-D)
再生骨材(a)	9.230 -0.080	1	0.405	0.525	0.40600	0.52500
			0.406	0.526		
			0.407	0.524		
	2	0.380	0.373	0.38000	0.37300	
		0.380	0.373			
		0.380	0.373			
再生骨材(b)	9.271 -0.082	1	-0.072	0.052	-0.07167	0.05133
			-0.071	0.051		
			-0.072	0.051		
	2	0.085	0.160	0.08500	0.16000	
		0.085	0.160			
		0.085	0.160			
再生骨材(c)	9.258 -0.079	1	0.365	0.252	0.36533	0.25133
			0.366	0.251		
			0.365	0.251		
	2	-0.421	-0.134	-0.42067	-0.13367	
		-0.421	-0.133			
		-0.420	-0.134			
人工輕量骨材(a)	7.434 -0.094	1	0.675	0.213	0.67533	0.21333
			0.675	0.213		
			0.676	0.214		
	2	-0.265	0.874	-0.26500	0.87400	
		-0.265	0.874			
		-0.265	0.874			
人工輕量骨材(b)	7.530 -0.094	1	0.338	0.337	0.33767	0.33733
			0.338	0.337		
			0.337	0.338		
	2	0.470	#DIV/0!	0.47033		
		0.471				
		0.470				

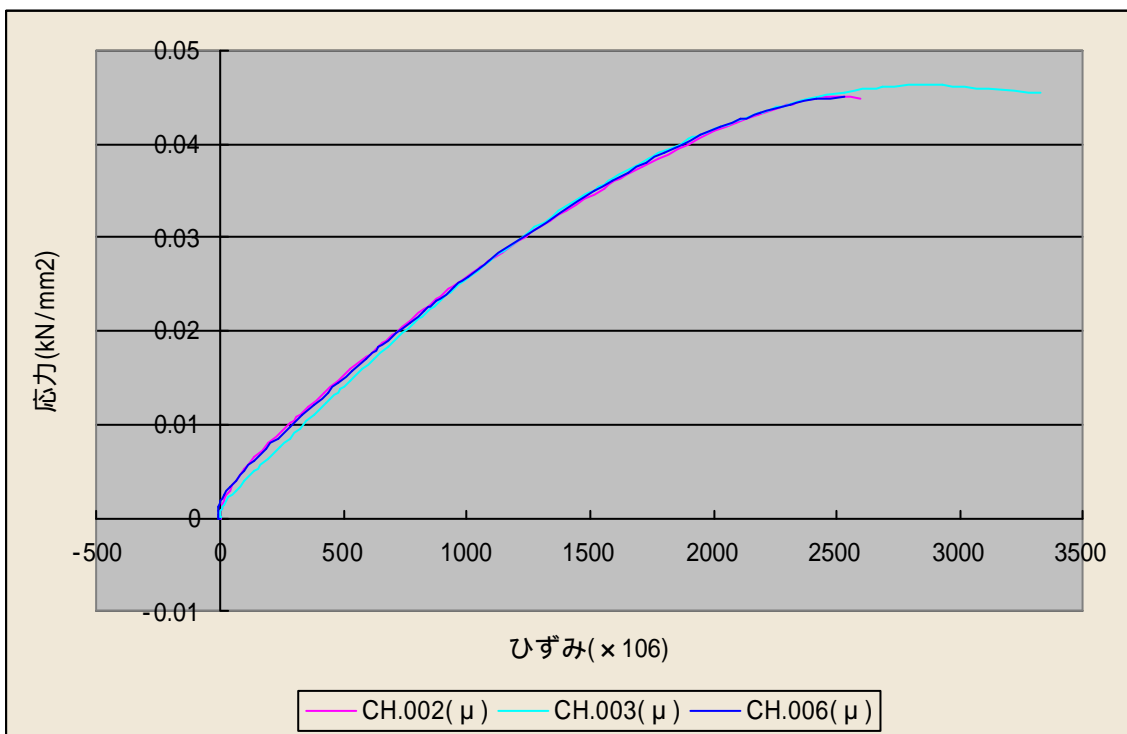
人工輕量骨材(c)	7.470 -0.094	1	0.127	0.048		
			0.127	0.047	0.12733	0.04767
			0.128	0.048		
	9.765 -0.065	2	0.340	0.887		
			0.339	0.886	0.33967	0.88600
			0.340	0.885		
石灰碎石(a)	9.795 -0.065	1	0.193	-0.119		
			0.194	-0.119	0.19400	-0.11900
			0.195	-0.119		
	9.795 -0.065	2	-0.305	0.703		
			-0.305	0.702	-0.30500	0.70233
			-0.305	0.702		
石灰碎石(b)	9.795 -0.065	1	-0.194	0.174		
			-0.194	0.174	-0.19400	0.17433
			-0.194	0.175		
	9.844 -0.062	2	0.206	0.460		
			0.205	0.460	0.20567	0.46000
			0.206	0.460		
石灰碎石(c)	9.844 -0.062	1	-0.205	0.414		
			-0.206	0.414	-0.20533	0.41400
			-0.205	0.414		
	9.844 -0.062	2	0.074	-0.080		
			0.074	-0.080	0.07400	-0.08000
			0.074	-0.080		

弾性係数

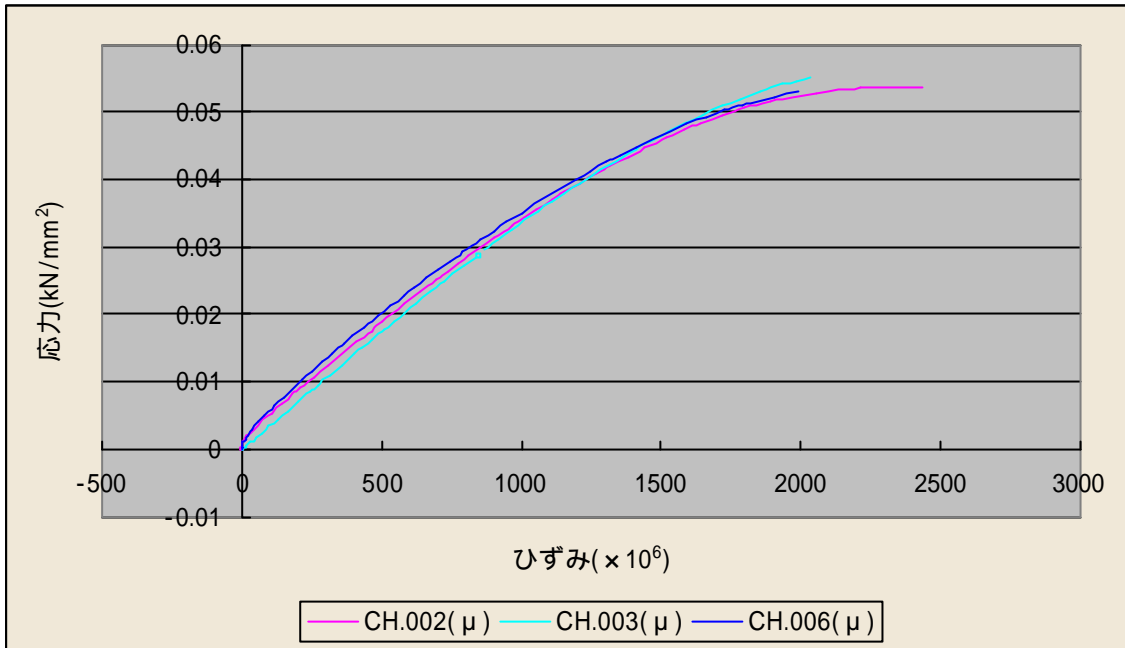
人工軽量骨材



再生骨材



石灰石碎石



透水係数

人工軽量骨材

days	k (cm/s)	dz (cm)	dN/dz	A (cm ²)	t (s)	Vd (g)	Vd,sum (g)	V (g)
2	-6.73E-07	2.6	3.31.E+00	653.45127	86400	-1.26.E+02	-1.26.E+02	-9.30E+01
3	-7.26E-07	2.4	3.18.E+00	603.18579	86400	-1.20.E+02	-2.46.E+02	-1.93E+02
4	-6.85E-07	2.2	3.15.E+00	552.92031	86400	-1.03.E+02	-3.49.E+02	-2.88E+02
7	-4.17E-07	2.0	2.98.E+00	502.65482	259200	-1.62.E+02	-5.11.E+02	-4.61E+02
14	-1.28E-07	1.8	2.92.E+00	452.38934	604800	-1.02.E+02	-6.13.E+02	-5.85E+02
28	-4.51E-08	1.6	2.83.E+00	402.12386	1209600	-6.22.E+01	-6.76.E+02	-6.72E+02
42	-2.20E-08	1.4	2.56.E+00	351.85838	1209600	-2.40.E+01	-7.00.E+02	-7.15E+02
46	2.815E-07	5.2	1.19.E+00	1306.9025	345600	1.52.E+02	-5.48.E+02	-5.59E+02
48	1.23E-07	4.6	1.14.E+00	1156.1061	172800	2.80.E+01	-5.20.E+02	-5.25E+02
50	6.149E-08	4.0	1.07.E+00	1005.3096	172800	1.15.E+01	-5.08.E+02	-5.08E+02
60	1.929E-08	3.8	1.01.E+00	955.04417	864000	1.60.E+01	-4.92.E+02	-4.82E+02
66	2.562E-09	3.2	1.04.E+00	804.24772	518400	1.12.E+00	-4.91.E+02	-4.76E+02

再生骨材

days	k (cm/s)	dz (cm)	dN/dz	A (cm ²)	t (s)	Vd (g)	Vd,sum (g)	V (g)
2	-6.17E-07	2.8	2.73.E+00	703.71675	86400	-1.02.E+02	-1.02.E+02	-8.53.E+01
3	-2.97E-07	2.6	2.57.E+00	653.45127	86400	-4.30.E+01	-1.45.E+02	-1.26.E+02
4	-1.54E-07	2.4	2.49.E+00	603.18579	86400	-2.00.E+01	-1.65.E+02	-1.48.E+02
7	-8.60E-08	2.2	2.39.E+00	552.92031	259200	-2.94.E+01	-1.95.E+02	-1.83.E+02
14	-3.03E-08	2.0	2.39.E+00	502.65482	604800	-2.20.E+01	-2.17.E+02	-2.13.E+02
28	-2.00E-08	1.6	2.39.E+00	402.12386	1209600	-2.32.E+01	-2.40.E+02	-2.51.E+02
42	-1.43E-08	1.4	2.39.E+00	351.85838	1209600	-1.45.E+01	-2.55.E+02	-2.79.E+02
46	5.36E-07	5.2	1.19.E+00	1306.9025	345600	2.89.E+02	3.43.E+01	1.73.E+01
48	1.11E-07	4.6	1.14.E+00	1156.1061	172800	2.53.E+01	5.96.E+01	4.80.E+01
50	4.10E-08	4.0	1.07.E+00	1005.3096	172800	7.65.E+00	6.73.E+01	5.93.E+01
60	7.96E-09	3.8	1.07.E+00	955.04417	864000	7.01.E+00	7.43.E+01	7.03.E+01
66	0.00E+00	3.2	1.04.E+00	804.24772	518400	0.00.E+00	7.43.E+01	7.03.E+01

石灰石碎石

days	k (cm/s)	dz (cm)	dN/dz	A (cm ²)	t (s)	Vd (g)	Vd,sum (g)	V (g)
2	-4.36E-07	2.8	2.73.E+00	703.71675	86400	-7.24.E+01	-7.24.E+01	-6.03.E+01
3	-2.15E-07	2.6	2.57.E+00	653.45127	86400	-3.11.E+01	-1.04.E+02	-9.00.E+01
4	-1.11E-07	2.4	2.49.E+00	603.18579	86400	-1.44.E+01	-1.18.E+02	-1.05.E+02
7	-5.87E-08	2.2	2.39.E+00	552.92031	259200	-2.01.E+01	-1.38.E+02	-1.30.E+02
14	-1.96E-08	2.0	2.39.E+00	502.65482	604800	-1.42.E+01	-1.52.E+02	-1.49.E+02
28	-1.17E-08	1.8	2.39.E+00	452.38934	1209600	-1.53.E+01	-1.68.E+02	-1.71.E+02
42	-8.27E-09	1.4	2.39.E+00	351.85838	1209600	-8.40.E+00	-1.76.E+02	-1.87.E+02
46	4.03E-07	5.2	1.29.E+00	1306.9025	345600	2.34.E+02	5.78.E+01	3.53.E+01
48	8.32E-08	4.6	1.14.E+00	1156.1061	172800	1.90.E+01	7.68.E+01	5.83.E+01
50	2.17E-08	4.0	1.07.E+00	1005.3096	172800	4.05.E+00	8.09.E+01	6.43.E+01
60	4.58E-09	3.8	1.07.E+00	955.04417	864000	4.04.E+00	8.49.E+01	7.07.E+01
66	6.03E-10	3.2	1.04.E+00	804.24772	518400	2.62.E-01	8.52.E+01	7.20.E+01