コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，2013

論文　コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の物性の影響に関する検討

大野　吉昭[*1]・泉田　裕介[*2]・桝田　佳寛[*3]・鹿毛　忠継[*4]

要旨：コンクリートの乾燥収縮メカニズムは，マトリックスの乾燥収縮に対して粗骨材が抵抗する機構であり，粗骨材の静弾性係数と乾燥収縮の影響が大きい。粗骨材に乾燥収縮が生じると，コンクリートの乾燥収縮が大きくなるため，予め粗骨材の静弾性係数と乾燥収縮を考慮しておく必要がある。本研究では，粗骨材の乾燥収縮ひずみの影響を考慮した等価静弾性係数 E_g'を提案し，コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の影響について実験的に検証した。コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の影響は，粗骨材の乾燥収縮ひずみを考慮した等価静弾性係数 E_g'で評価できることを示した。

キーワード：コンクリートの乾燥収縮ひずみ，粗骨材の乾燥収縮ひずみ，静弾性係数，収縮ひずみ予測式

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物に生じるひび割れの要因の一つに，コンクリートの乾燥収縮がある。コンクリートの乾燥収縮は，マトリックスの乾燥収縮に対し，粗骨材が抵抗する機構であるため，コンクリートの乾燥収縮を小さくするには，マトリックスに生じる毛細管張力を低減させる方法や静弾性係数の大きい粗骨材を用いるなどの方法がある。また，粗骨材は，産地や岩種によって圧縮強度や静弾性係数などの物性が異なり，最近の研究[1), 2)]では，粗骨材自体の乾燥収縮が報告されている。コンクリートの乾燥収縮には，粗骨材の乾燥収縮の影響が大きいため，粗骨材の静弾性係数および乾燥収縮を予め把握しておくことは重要である。

コンクリートの乾燥収縮の予測手法として，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)」の収縮ひずみ予測式(以下，指針式)[3)]があり，粗骨材の影響を考慮した修正係数 γ_1 が示されている。筆者らの研究[4)]では，γ_1 と粗骨材の静弾性係数との関係を示すことができたが，粗骨材の乾燥収縮ひずみについては，以後の検討課題としていた。

本研究では，粗骨材の静弾性係数と乾燥収縮ひずみに着目し，コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の種類および物性の影響について，実験的に検証を行った。

2.実験概要

2.1 コンクリートの使用材料と調合

セメントは，3 銘柄の普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3)を等量混合して用いた。細骨材は，大井川産川砂(最大寸法 5mm, 表乾密度 2.57g/cm^3, 絶乾密度 2.49g/cm^3, 吸水率 1.02%, 粗粒率 2.81)を，粗骨材は，最大寸法 20mm の砕石とし，**表-1** に示す桜川市岩瀬産硬質砂岩，青梅産硬質砂岩，住田産石灰石の 3 産地のものを用いた。化学混和剤は，リグニンスルホン酸系 AE 減水剤および空気量調整剤を用いた。また練混ぜ水は，蒸留水を用いた。

表-1　使用材料の種類と物性

記号	岩種	産地	密度(g/cm^3) 表乾	密度(g/cm^3) 絶乾	吸水率 (%)
Sk	硬質砂岩	茨城県桜川市産	2.65	2.63	0.71
O	硬質砂岩	東京都青梅市産	2.64	2.61	0.78
Sm	石灰石	岩手県住田町産	2.69	2.68	0.50

表-2　コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3) W	C	S	G	Ad C×%
Sk-C	50	47.9	185	370	804	902	0.30
O-C	50	47.4	185	370	797	906	0.30
Sm-C	50	46.2	185	370	776	943	0.10

調合は，水セメント比 50%，単位水量 185kg/m^3 を基準とし，目標スランプを 18±1.5cm，目標空気量を 4.5±1.0%，単位粗骨材かさ容積を 0.56m^3/m^3 で計画した。コンクリートの調合を**表-2** に示す。

2.2 粗骨材の試験体

粗骨材の試験体は，粗骨材の原石から採取したコア試験体であり，種類は**表-1** に示すコンクリートに用いた粗骨材と同じ材料である。コア試験体の寸法は，圧縮強度試験用の試験体が φ60×120mm，乾燥収縮試験用の試験体が φ60×150mm とし，数量は実験条件ごとに 3 個とした。試験体の初期状態を合わせるために，全ての試験体を 20℃の水中に 7 日間浸漬させ，十分に吸水させた。

*1 (一財)　ベターリビング　つくば建築試験研究センター　博士(工学)　(正会員)
*2 宇都宮大学工学研究科　大学院生　(正会員)
*3 宇都宮大学工学研究科　教授　工博　(正会員)
*4 (独)　建築研究所　材料研究グループ　学博　(正会員)

2.3 乾燥収縮の実験方法

コンクリートおよび粗骨材の乾燥収縮の測定は，JIS A1129-2:2010「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法－第 2 部:コンタクトゲージ方法」に準拠し，ゲージプラグを両面貼りとして，その平均値から乾燥収縮ひずみを算出した。また，標点距離は，コンクリート試験体が約 300mm であり，粗骨材試験体が約 100mm であり，それぞれ標準養生で 7 日間浸漬させた後に，試験体の基長を測定した。測定は，長さ変化(精度 0.001mm)および質量測定(精度 0.01g)について行い，水中浸漬終了した後を乾燥日数の基準と定め，乾燥日数が 1, 3, 7, 14, 28, 56, 91, 182 日で行った。なお，粗骨材については，試験体質量が恒量となった乾燥日数 91 日までとした。

2.4 静弾性係数試験

コンクリート試験体の静弾性係数は，コンプレッソメータ(標点距離 100mm)を用いて JIS A1149:2001「コンクリートの静弾性係数試験方法」によって試験した。試験材齢は，7，28，91 日とし，試験時まで標準養生を行った。

粗骨材の静弾性係数は，ワイヤーストレインゲージ(ゲージ長 30mm)を試験体両面に貼付け，JIS A 1149 に準拠して試験した。環境条件は，温度 20℃，相対湿度 60%の恒温恒湿槽内に 28 日間静置させた。また，試験体質量が恒量となった後，試験体に 100kN 程度の荷重を加え，そのときの応力と縦ひずみ 50×10^{-6} に相当する応力の割線弾性係数から静弾性係数を算出した。

3.実験結果

3.1 コンクリートの乾燥収縮実験結果

コンクリートの乾燥収縮ひずみおよび質量変化率に及ぼす粗骨材岩種の影響を図-1 に示す。粗骨材の岩種別のコンクリートの乾燥収縮ひずみは，乾燥日数 182 日において，Sk-C が 699×10^{-6}，O-C が 825×10^{-6}，Sm-C が 630×10^{-6} であり，石灰石を使用したコンクリートの乾燥収縮が最も小さい。また，岩種が同じ硬質砂岩の場合，産地が異なると乾燥収縮ひずみに差が生じた。

質量変化率は，Sk-C が−2.62%，O-C が−2.76%，Sm-C が−2.69%であり，質量変化率は差が小さい。また，乾燥収縮ひずみと質量変化率の関係は，岩種による違いがなかった。

3.2 粗骨材の乾燥収縮実験結果

粗骨材の乾燥収縮ひずみおよび質量変化率に及ぼす粗骨材岩種の影響を図-2 に示す。粗骨材の岩種別の粗骨

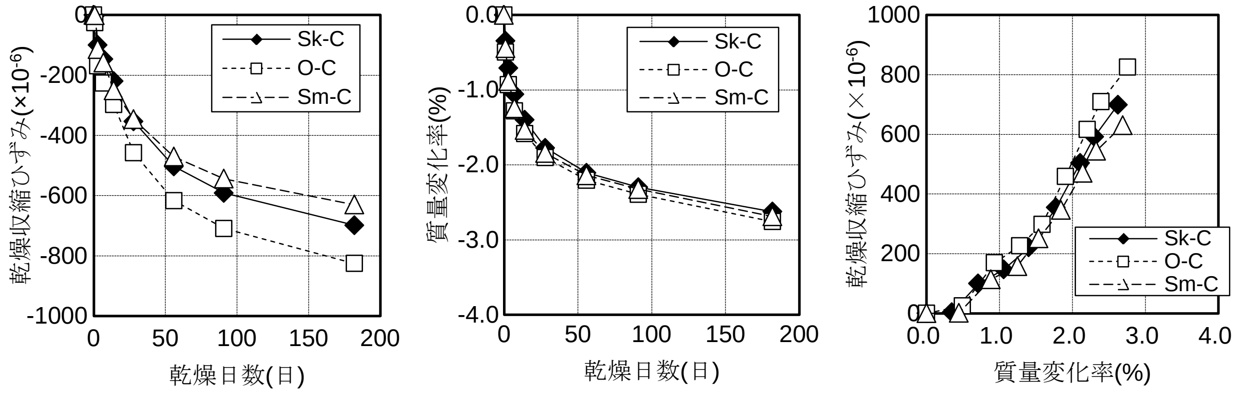

図-1　コンクリートの乾燥収縮ひずみおよび質量変化率に及ぼす粗骨材岩種の影響

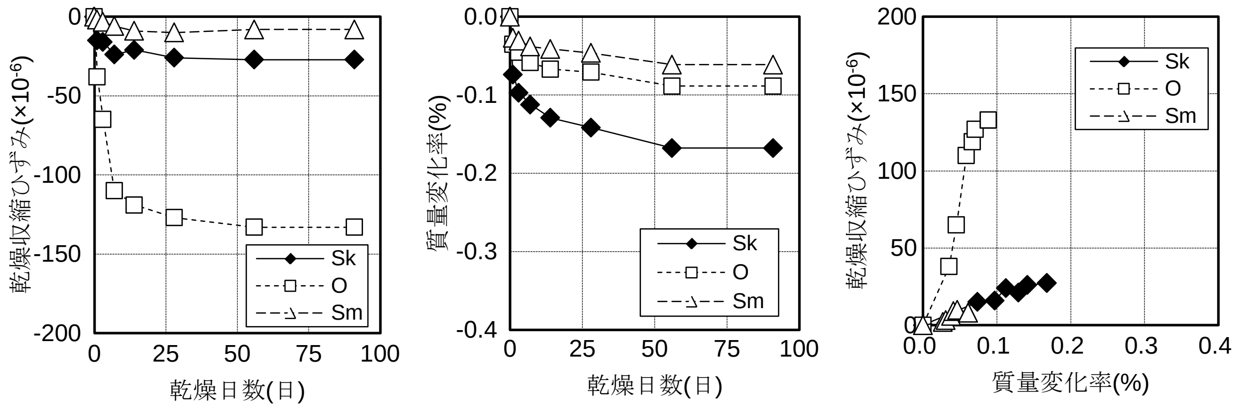

図-2　粗骨材の乾燥収縮ひずみおよび質量変化率に及ぼす粗骨材岩種の影響

材の乾燥収縮ひずみは，乾燥日数 91 日において，Sk が 27×10^{-6}，O が 133×10^{-6}，Sm が 8×10^{-6} であり，コンクリートの乾燥収縮ひずみが大きいほど，粗骨材の乾燥収縮ひずみも大きい。また，乾燥日数 91 日におけるコンクリートの乾燥収縮ひずみの差は，Sk-C を基準としたとき O-C が 117×10^{-6} 大きく，Sm-C が 48×10^{-6} 小さい。同様に粗骨材の乾燥収縮ひずみの差は，Sk を基準としたとき O が 106×10^{-6} 大きく，Sm が 19×10^{-6} 小さい。このため，調合が同じ場合，粗骨材の乾燥収縮ひずみの分だけ，コンクリートの乾燥収縮ひずみが異なっていると考えられる。

質量変化率は，Sk が−0.17%であり，O が−0.09%であり，Sm が−0.06%であり，粗骨材の岩種により大きく異なる。また，乾燥収縮ひずみと質量変化率の関係は，粗骨材の岩種によって大きく異なり，同じ質量変化率の場合，Sk と Sm は乾燥収縮ひずみが小さく，O は乾燥収縮ひずみが大きい。

3.3 静弾性係数の実験結果

コンクリートおよび粗骨材の静弾性係数試験結果を表-3 に示す。材齢 91 日におけるコンクリートの静弾性係数は，粗骨材の種類で Sm，Sk，O の順に大きい。また，材齢別の標準偏差 s は，材齢 7 日が s=2.2～2.8kN/mm^2，材齢 28 日が s=0.2～0.6 kN/mm^2，材齢 91 日が s=0.1～0.8kN/mm^2 であり，若材齢でのばらつきが大きい。粗骨材の静弾性係数は，Sm，O，Sk の順に大きく，Sk と O は，同じ岩種であるが静弾性係数が異なる。

既往の研究[5)]では，粗骨材の静弾性係数が大きいほど，コンクリートの乾燥収縮ひずみが小さくなることが示されている。本実験でも，粗骨材の静弾性係数が大きい Sm を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみが小さく，粗骨材の静弾性係数が小さい Sk は，コンクリート乾燥収縮ひずみが若干大きい。一方で，粗骨材の静弾性係数が大きい O を用いた場合は，コンクリートの乾燥収縮ひずみが逆に大きくなっており，これは O の乾燥収縮ひずみの影響が考えられる。そのため，粗骨材の静弾性係数を用いて，コンクリートの乾燥収縮を評価するには，粗骨材の乾燥収縮ひずみを考慮する必要がある。

4.コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の影響の考察

筆者らは，既報[4)]でコンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の影響を検討するため，代表とした調合の粗骨材の静弾性係数，コンクリートの静弾性係数および Hashin-Hansen 式[6)]から，他の調合のマトリックスおよび粗骨材の静弾性係数を推定した。この検討結果から，粗骨材の岩種の影響を明らかにできたが，粗骨材の乾燥収縮ひずみの影響は検討課題としていた。

既往の研究[5)]では，コンクリートの乾燥収縮ひずみと粗骨材の静弾性係数の関係が示されているが，ばらつきがある。これは，乾燥収縮ひずみが生じる粗骨材を用いた場合，粗骨材が収縮する分だけコンクリートの乾燥収縮ひずみも大きくなるためと考えられる。このため，粗骨材の静弾性係数が大きくても，コンクリートの乾燥収縮が大きくなる場合があると考えられる。

表-3　静弾性係数試験結果

粗骨材の岩種	静弾性係数(kN/mm^2)			
	コンクリート			粗骨材
	7 日	28 日	91 日	
Sk	26.7	27.9	32.5	66.7
O	22.6	26.8	30.6	71.9
Sm	25.4	31.1	33.8	74.2

本研究では，コンクリートをマトリックスと粗骨材の二相材料とみなし，粗骨材原石の静弾性係数を E_g，粗骨材の乾燥収縮ひずみを考慮した粗骨材の静弾性係数を等価静弾性係数 E_g' として検討する。

はじめに，調合別のマトリックスの性質について，マトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$ は Hashin-Hansen 式[6)]を用い，マトリックスの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{m(t)}$は馬場式[7)]を用いて推定し，検討した。

次に，粗骨材の静弾性係数について，コンクリートの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{c(t)}$で粗骨材に生じる内部応力を求め，この応力を粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$を用いた補正を行い，粗骨材の等価静弾性係数 E_g'を求めた。

以上から，本研究で求めた粗骨材の等価静弾性係数 E_g' と既報[4)]のコンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の種類の影響 γ_1 に関わる粗骨材の静弾性係数 E_g の比較を行った。

4.1 マトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$の推定

Hashin-Hansen 式[6)]は，コンクリートの静弾性係数 $E_{c(t)}$，マトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$，粗骨材の静弾性係数 E_g，単位粗骨材かさ容積 V_g から式(1)で表される。この式を係数 α，β を用いて $E_{m(t)}$の二次関数式に変形すると式(2)で表せ，材齢別にマトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$を算出できる。このとき，$E_{m(t)}$は正数とし，E_g は粗骨材の岩種ごとに表-3 の実測値を用いる。

$$\frac{E_{c(t)}}{E_{m(t)}} = \frac{\beta E_{m(t)} + \alpha E_g}{\alpha E_{m(t)} + \beta E_g} \tag{1}$$

$$E_{m(t)}{}^2 + \frac{\alpha}{\beta}\left(E_g - E_{c(t)}\right)E_{m(t)} - E_g E_{c(t)} = 0 \tag{2}$$

ただし，$\alpha = 1 + V_g$, $\beta = 1 - V_g$, $E_{m(t)} > 0$ とする。

ここに，

$E_{c(t)}$　：材齢 t 日のコンクリート静弾性係数(kN/mm^2)

$E_{m(t)}$　：材齢 t 日のマトリックス静弾性係数(kN/mm^2)

E_g　：粗骨材の静弾性係数(kN/mm^2)

V_g　：単位粗骨材かさ容積(m^3/m^3)

コンクリートの材齢 t=7, 28, 91 日におけるマトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$の経時変化を**図-3** に示す。粗骨材 O を用いた調合の $E_{m(t)}$は，粗骨材 Sk や Sm を用いた調合の $E_{m(t)}$より小さく，全体的に若干ばらつきはあるが概ね相関関係にある。調合が同じ場合，コンクリートに用いた粗骨材が異なっても，マトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$は，概ね同じであった。

4.2 マトリックスの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{m(t)}$の推定

馬場式[7]は，コンクリートの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{c(t)}$，粗骨材の静弾性係数 E_g，粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$，単位粗骨材容積 V_g，マトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$，マトリックスの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{m(t)}$から式(3)で表される。この式より，$\varepsilon_{m(t)}$について係数 α，β を用いて変形すると式(4)で表せる。ここで，$E_{m(t)}$は式(2)から求めた推定値，$\varepsilon_{c(t)}$および $\varepsilon_{g(t)}$は乾燥日数 t 日の実測値，E_g は**表-3** の実測値をそれぞれ用いる。

$$\frac{\varepsilon_{c(t)}}{\varepsilon_{m(t)}}=\frac{[1+(mn-1)V_g][n+1-(n-1)V_g]}{n+1+(n-1)V_g} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{m(t)}=\frac{1}{\beta}\left[\frac{n\alpha+\beta}{n\beta+\alpha}\cdot\varepsilon_{c(t)}-\frac{n(\alpha-\beta)}{2}\cdot\varepsilon_{g(t)}\right] \quad (4)$$

ただし，　$m=\varepsilon_{g(t)}/\varepsilon_{m(t)}$, $n=E_g/E_{m(t)}$

$\alpha=1+V_g$, $\beta=1-V_g$ とする。

ここに，

$\varepsilon_{c(t)}$ ：乾燥日数 t 日のコンクリート乾燥収縮ひずみ(×10^{-6})

$\varepsilon_{m(t)}$ ：乾燥日数 t 日のマトリックス乾燥収縮ひずみ(×10^{-6})

$\varepsilon_{g(t)}$ ：乾燥日数 t 日の粗骨材乾燥収縮ひずみ(×10^{-6})

式(4)から算出した乾燥日数 t=7, 28, 91 日における，マトリックスの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{m(t)}$の経時変化を**図-4** に示す。全体的に相関関係が高く，乾燥日数 91 日において O-C に用いたマトリックスの乾燥収縮ひずみが若干大きいが，いずれの調合もマトリックスの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{m(t)}$に大きな差はないと考えられる。コンクリートの調合は，粗骨材の岩種は異なるが，マトリックス部分は，使用材料と調合が概ね同じであるため，マトリックスの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{m(t)}$に差が小さかったと考えられる。

以上より，本研究で用いたコンクリートのマトリックスの性質は，使用した粗骨材に関わらず概ね同じであり，

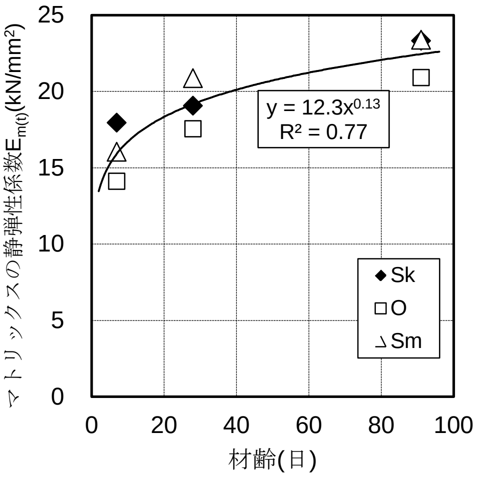

図-3　マトリックスの静弾性係数 $E_{m(t)}$の経時変化

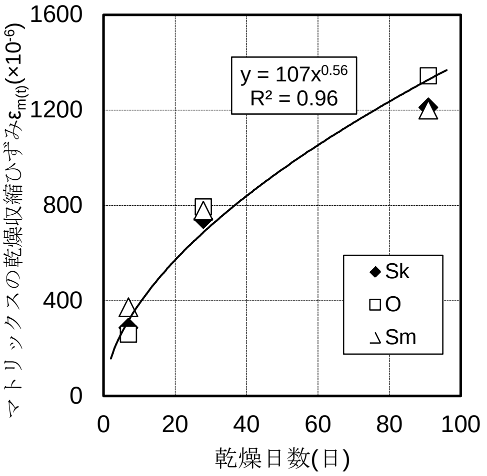

図-4　マトリックスの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{m(t)}$の経時変化

マトリックスの性質がコンクリートおよび粗骨材の乾燥収縮に及ぼす影響は，いずれの調合も同程度であると考えられる。

4.3 粗骨材の等価静弾性係数 E_g'の比較検証

指針式における粗骨材の種類の影響 γ_1 は，粗骨材の静弾性係数の影響が大きい。しかし，粗骨材に乾燥収縮ひずみが生じた場合，粗骨材の静弾性係数 E_g が見かけ上小さくなる。そのため，指針式を用いた収縮ひび割れ制御設計を行う際，粗骨材の種類の影響 γ_1 については，粗骨材の乾燥収縮ひずみを考慮した等価静弾性係数 E_g'を求める必要がある。

ここでは，コンクリートの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{c(t)}$と粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$から，粗骨材の等価静弾性係数 E_g'の算出を試みる。また，求めた等価弾性係数 E_g'と既報[4]の粗骨材の種類の影響 γ_1 に関わる粗骨材の静弾性係数 E_g と比較し検証を行った。

はじめに，乾燥日数 t 日におけるコンクリートの乾燥

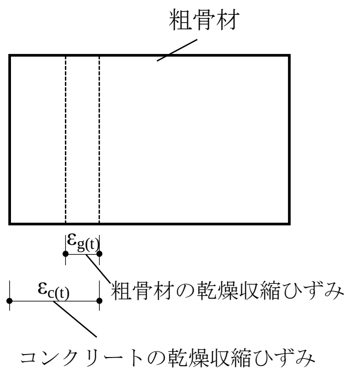

図-5　粗骨材の収縮ひずみの概念図

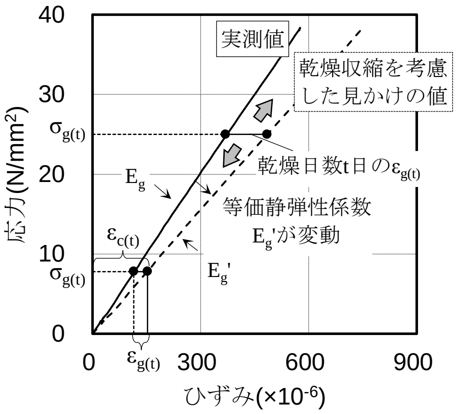

図-6　粗骨材の乾燥収縮を考慮した等価弾性係数 E_g'の算定方法

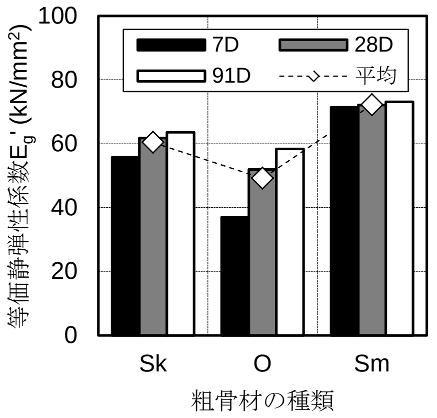

図-7　粗骨材の岩種別の等価静弾性係数 E_g'

収縮ひずみが $\varepsilon_{c(t)}$の場合，コンクリート内の粗骨材も $\varepsilon_{c(t)}$だけ収縮する。このとき，**図-5** に示すように，粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$が同時に生じる。つまり，マトリックスの乾燥収縮による外力で，粗骨材に{$\varepsilon_{c(t)}$-$\varepsilon_{g(t)}$}だけ圧縮ひずみが生じると考えられる。よって，粗骨材に生じる内部応力 $\sigma_{g(t)}$は，粗骨材の静弾性係数の実測値 E_g から，式(5)で表せる。

次に，乾燥日数 t 日の時点では，粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$が生じており，**図-6** に示すように，粗骨材の内部応力 $\sigma_{g(t)}$に対し，見かけ上 $\varepsilon_{c(t)}$だけひずみが生じたことになる。つまり，粗骨材の乾燥収縮ひずみを考慮した等価静弾性係数 E_g'は式(6)で表せる。

$$\sigma_{g(t)} = E_g \cdot \{\varepsilon_{c(t)} - \varepsilon_{g(t)}\} \qquad (5)$$

$$E_g' = \frac{\sigma_{g(t)}}{\varepsilon_{c(t)}} \qquad (6)$$

ここに,

$\sigma_{g(t)}$ ：乾燥日数 t 日の粗骨材の応力(N/mm^2)
$\varepsilon_{c(t)}$ ：乾燥日数 t 日のコンクリート乾燥収縮ひずみ(×10^{-6})
$\varepsilon_{g(t)}$ ：乾燥日数 t 日の粗骨材乾燥収縮ひずみ(×10^{-6})
E_g ：粗骨材の静弾性係数(kN/mm^2)
E_g' ：粗骨材の等価静弾性係数(kN/mm^2)

以上より，乾燥日数 7, 28, 91 日における粗骨材の乾燥収縮ひずみを考慮した等価静弾性係数 E_g'の算定結果を**表-4** および**図-7** に示す。粗骨材の乾燥収縮ひずみが大きい O は，静弾性係数 E_g と等価静弾性係数 E_g' の差が大きく，乾燥収縮ひずみが小さい粗骨材 Sk と Sm は，Eg と E_g'の差が小さい。また，いずれの粗骨材も乾燥日数の経過に伴い，等価静弾性係数 E_g'が静弾性係数 E_g の値に近くなる。これは，式(5)にはコンクリートの乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{c(t)}$の項があり，$\varepsilon_{c(t)}$は若材齢ほどクリープひずみの影響が大きいこと，マトリックスのばらつき，および，粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$の進行が若材齢ほど大きいことが影響したと推察される。

表-4　粗骨材岩種別の等価静弾性係数 E_g'

記号	等価静弾性係数 E_g'(kN/mm^2)			
	7 日	28 日	91 日	平均
Sk	55.8	61.8	63.6	60.4
O	37.0	52.0	58.4	49.1
Sm	71.4	72.1	73.1	72.2

次に，既報[4]における粗骨材の種類の影響 γ_1 は，式(7)で表される。岩種別の静弾性係数 Eg は，桜川産硬質砂岩が E_g=64.3kN/mm^2，青梅産硬質砂岩が E_g=47.5kN/mm^2，住田産石灰石が E_g=71.3 kN/mm^2 である。既報では，桜川産硬質砂岩は実測値，青梅産硬質砂岩と住田産石灰石は推定値である。ここで，本研究の等価静弾性係数 Eg'と既報の式(7)の γ_1 における粗骨材の静弾性係数 E_g を比較した結果を**図-8** に示す。

$$\gamma_1 = 17.3 \cdot E_g^{-0.7} \qquad (7)$$

ここに,

γ_1 ：粗骨材の種類の影響を表す修正係数
E_g ：粗骨材の静弾性係数(kN/mm^2)

ここで，既報における E_g は，粗骨材の乾燥収縮ひずみの影響が含まれていると考えられる。コンクリートの乾燥収縮ひずみに影響を及ぼす γ_1 は，粗骨材の静弾性係数の影響が大きく，式(7)を用いた場合，コンクリートの乾燥収縮ひずみの予測精度が向上した。しかし，**表-3** に示す粗骨材の静弾性係数 E_g の実測値を用いて，コンクリー

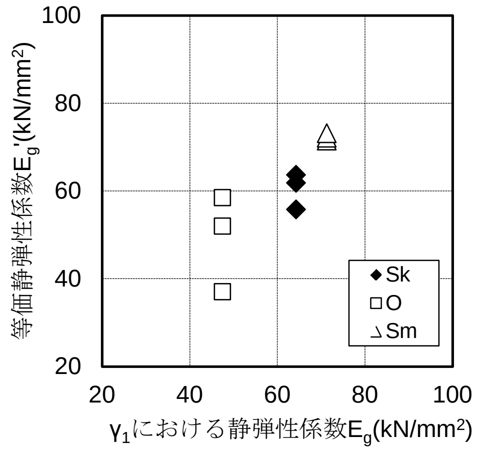

図-8　粗骨材の等価静弾性係数 E_g'と E_g の関係

トの乾燥収縮ひずみを予測すると実測値より小さくなる。O のように粗骨材に乾燥収縮ひずみが生じる場合，乾燥日数の経過で等価静弾性係数 E_g'が大きくなる。そのため，乾燥日数別の等価静弾性係数 E_g'を適用して，コンクリートの乾燥収縮ひずみを予測すると，予測精度が向上した。

以上より，コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす粗骨材の影響 γ_1 は，粗骨材の静弾性係数 E_g と粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$の影響が大きく，既報で提案した γ_1 は，式(5)および式(6)から算出される等価静弾性係数 E_g'を用いて評価することが適切である。

5.まとめ

粗骨材の乾燥収縮ひずみがコンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす影響について，次の知見が得られた。

(1) 粗骨材の乾燥収縮ひずみは，同じ硬質砂岩であっても異なり，石灰石が最も小さい。また，乾燥収縮ひずみが最も大きい青梅産硬質砂岩 O の場合，乾燥日数 91 日で 133×10^{-6} であった。

(2) 粗骨材の静弾性係数は，同じ岩種であっても異なる。また，石灰石の静弾性係数は大きい。

(3) Hashin-Hansen 式を用いた場合，マトリックスの静弾性係数は，粗骨材の静弾性係数をよく予測できているが，青梅産硬質砂岩が若干小さい。

(4) 馬場式を用いたマトリックスの乾燥収縮ひずみは，いずれの粗骨材もよく適合しており，使用材料と調合が同じであれば，マトリックスの乾燥収縮ひずみの差は小さい。

(5) コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす粗骨材の影響 γ_1 は，粗骨材の静弾性係数 E_g に加え，粗骨材の乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_{g(t)}$を考慮した等価静弾性係数 E_g'を用い，次式で表せる。

$$\gamma_1 = 17.3 \cdot {E_g}'^{-0.7}$$

ただし，　$E_g' = \frac{\sigma_{g(t)}}{\varepsilon_{c(t)}}$　，　$\sigma_{g(t)} = E_g \cdot \{\varepsilon_{c(t)} - \varepsilon_{g(t)}\}$

参考文献

1) 真野孝次，中村則清：砕石の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する実験的研究(その 1 原石コアの品質とコンクリートの乾燥収縮との関係)，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.933-934, 2010.9

2) 中村則清，真野孝次：砕石の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する実験的研究(その 2 原石コアの品質とコンクリートの乾燥収縮との関係)，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.935-936, 2010.9

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，pp.53-60, 2006

4) 大野吉昭，桝田佳寛，鹿毛忠継：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材と調合の影響，日本建築学会構造系論文集, No.668, pp.1729-1735, 2011.10

5) 立松和彦，荒井正直，岩清水隆，木村芳幹，浦野英男，今元啓一，元木亮：関西地域における骨材原石の乾燥収縮および細孔径分布に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集, No.549, pp1-6, 2001.1

6) T.C. Hansen : Influence of Aggregate and Voids on Modulus of Elasticity of Concrete, Cement Mortar, and Cement Paste, Journal of ACI, pp.193-216 1965.2

7) 馬場明生：建築材料の乾燥収縮機構とその応用に関する研究，学位論文（東京大学），1975