

九州大学 工学部 正員 石川 達夫

学生員 〇山本 正治

1. まえがき

複合材料とは、二つ以上の素材を組み合わせで作った材料をいい、コンクリートは、骨材とセメント硬化体のマトリックスで結合した複合材料と考えられる。また、コンクリートの弾性係数は、通常、コンクリートの圧縮強度と関係づけられ、種々の表示式が実験的に求められている。しかし、コンクリートと複合材料と考えれば、その弾性係数は、素材の性質が異なれば、また、素材の絶対容積が異なれば、変化するものである。本報告は、これらの点に着目して、コンクリートと、モルタル母材と粗骨材の二相複合材料と考えた場合、粗骨材容積により、弾性係数がどのように変化するかについて、その基本的考え方と現在までの研究の趨勢および実用的範囲のコンクリートに関する実験結果を述べるものである。

2. 複合材料としてのコンクリートの弾性係数の考え方

コンクリートと二相複合材料と考え、図-1に示すような荷重によって各素材に生ずるひずみが一定になるモデルを仮定すると、コンクリートの弾性係数 E_c は、モルタルの弾性係数 E_m と粗骨材の弾性係数 E_a および粗骨材がコンクリート中で占める絶対容積比 C より(1)式で示される。

$$E_c = C E_a + (1 - C) E_m \quad \text{.....(1)}$$

また、図-2に示すような、荷重により各素材に生ずる応力が一定になるモデルを仮定すると(2)式を得る。

$$E_c = 1 / \left(\frac{C}{E_a} + \frac{1-C}{E_m} \right) \quad \text{.....(2)}$$

(1)(2)式は、各素材を一塊として配列されており、コンクリートには、そのままで適用できないが、 $E_a \ll E_m$ で(1)式が、 $E_a \gg E_m$ で(2)式が成立することが実験的に明らかにされている。コンクリートの場合、この(1)式と(2)式で求められる E_c の中間の値になると考えられるが、現在までの理論式としては、図-3に示したモデルを仮定して求められている。

Hirschは、図-3で、 $A-A'$ 面で(1)式が、 $B-B'$ 面で(2)式が成立し、素材相互間にはボンド応力が生ずるものとして、ポアソン比を無視して、(3)式を導いた

$$E_c = 1 / \left\{ \frac{K_1}{E_a} + \frac{K_2}{E_m} (1 - C) \right\} \quad \text{.....(3)}$$

$$= \text{ここで } K_1 = 1 - \frac{2Z}{\pi} \left\{ 1 - \frac{E_a}{E_m(1-C) + E_a C} \right\}, \quad K_2 = 1 - \frac{2Z}{\pi} \left\{ 1 - \frac{E_m}{E_m(1-C) + E_a C} \right\}, \quad Z: \text{定数}$$

Haskin は、Hirsch の式に、ポアソン比を導入して理論的にコンクリートの弾性係数を求めたが、ポアソン比を、各素材とも 0.2 として求めた式が(4)式である。

$$E_c = \frac{(1-C) E_m + (1+C) E_a}{(1+C) E_m + (1-C) E_a} E_m \quad \text{.....(4)}$$

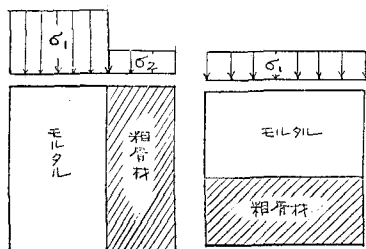


図-1

図-2

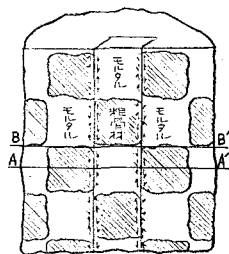


図-3

(3), (4) 式のモデルは、二素材の総体容積が同一でなくとも成立しないという点で矛盾する。

これらのほかに、実験的に粗骨材容積の影響を調べた報告として、Ishai や岡島の研究があり、ともに $C \leq 0.55$ で式が成立するとしている。

$$E_c = (1 + k_c C) E_m \quad \dots \dots \dots (5)$$

k_c : E_a/E_m で定まる定数

3. 筆者らの実験

水セメント比およびセメント砂比を一定にした三種のモルタルに、粗骨材の最大寸法を変化させることにより、さまざまなコンクリート中の粗骨材の総体容積を変えた15種のコンクリートについて、弾性係数の変化と圧縮強度の変化を調べた。コンクリートの配合と表-1に、弾性係数、動弾性係数、圧縮強度の実験結果を図-5, 6, 7に示す。

表-1 コンクリートおよびモルタルの配合

配合	最大寸法 (mm)	W/C	S/a (%)	C/S (%)	粗骨材容積率 (%)	C (kg)	W (kg)	S (kg)	G (kg)
I	40	0.40	38.2	63.3	3.5	430	172	679	1270
		0.55	39.5	43.2	5.0	313	172	739	1311
		0.70	41.3	32.8	9.0	246	172	749	1363
II	30	0.40	41.5	63.3	4.0	455	182	719	1171
		0.55	41.8	43.2	6.0	331	182	766	1233
		0.70	42.0	32.8	5.7	260	182	793	1268
III	20	0.40	45.0	63.3	5.5	480	192	758	1072
		0.55	45.0	43.2	10	349	192	807	1140
		0.70	45.0	32.8	9.0	274	192	835	1179
IV	10	0.40	47.9	63.3	5.1	500	200	790	993
		0.55	47.9	43.2	9.3	364	200	843	1060
		0.70	47.8	32.8	7.4	286	200	872	1099
V	5	0.40	100	63.3	(190)	751	300	1187	—
		0.55	100	43.2	(219)	566	311	1310	—
		0.70	100	32.8	(224)	454	318	1384	—

参考文献

- (1) Hansen, T. C., "Creep of Concrete - A Discussion of Some Fundamental Problems" Bulletin 33, Sept 1958
- (2) Hirsch, T. J., "Modulus of Elasticity of Concrete Affected by Elastic Moduli of Cement Paste Matrix and Aggregate" J. of ACI Proceeding 59 No.3, Mar 1962
- (3) Khashin, Z., "The Elastic Moduli of Heterogeneous Materials," J. of A.M. Vol 29, No.9, Sep. 1962
- (4) Ishai, O., "Influence of Sand Concentration on Deformation of Mortar Beams Under Low Stresses" J. of ACI

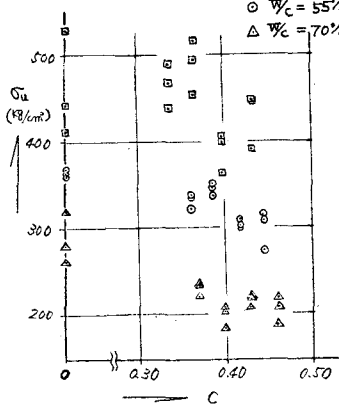


図-6 粗骨材の絶対容積と圧縮強度の関係

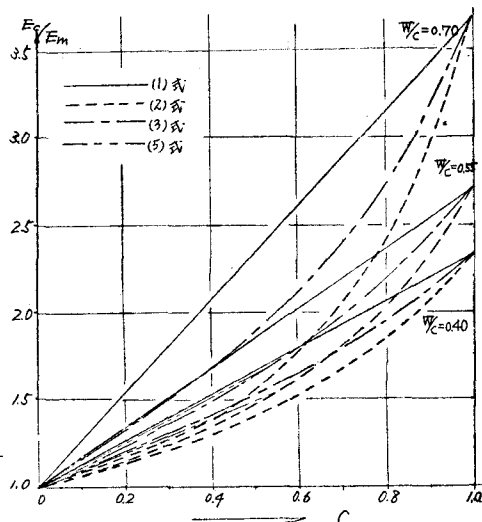


図-4 粗骨材の絶対容積比に対する E_c/E_m の計算値 (筆者の実験に使用した材料による)

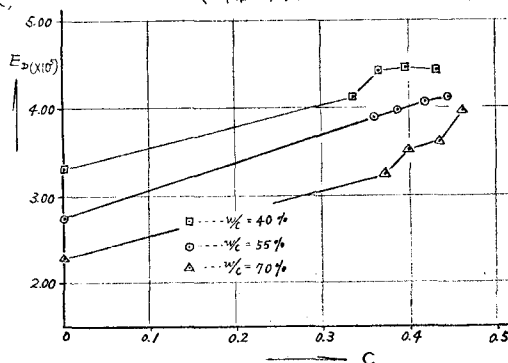


図-5 粗骨材の絶対容積比と動弾性係数の関係

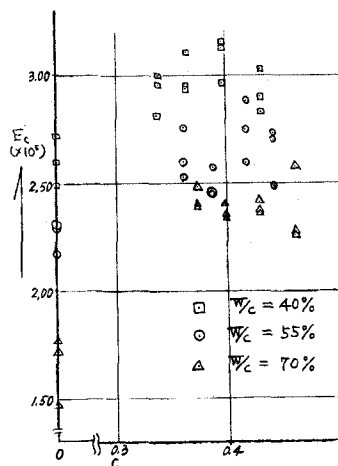


図-7 粗骨材の絶対容積と動弾性係数の関係