

# コンクリートの弾性係数に及ぼす骨材の影響

Effect of Aggregate on Modulus of Elasticity of Concrete

趙 力 采\*・小 林 一 輔\*

Rikisai CHO and Kazusuke KOBAYASHI

## 1. は し が き

コンクリートの弾性係数とその主要構成材料である骨材の弾性係数に大きく依存することは古くから知られていたが、これらに繊維強化複合材料における混合法則 (Law of Mixture) に匹敵するような関係が成立するか否かについての検討がなされるようになったのはこの 10 年来のことである。すなわち、コンクリートを骨材とセメントマトリックスから成る 2 相複合材料とみなして構造モデルを設定し、これに基づいて得られた理論式が Hansen<sup>1)</sup>, Hirsch<sup>2)</sup> および Counto<sup>3)</sup> らによって提案されている。

しかし、これらの式のうち Hansen のものについては仮定に無理があるため実験結果との適合性が悪いことが明らかにされており、Hirsch のものは適用範囲がかなり限定されるという欠点がある。Counto のものは以上の諸式の欠陥を克服する目的で、提案されたものであるが、その実験結果との適合性についてはまだ十分な検討がなされていない。結局のところ、コンクリートにおいてはその弾性係数を構成材料の弾性係数と容積比から推定するための理論式で一般的に確立しているものはないといつてよい。

本文では、骨材の弾性係数を広範囲に変化させたコンクリートについてその弾性係数と圧縮強度を求める実験を行ない、これら間の関係について若干の検討を試みたものである。

## 2. 実 験 方 法

以上のような関係を実験的に検討する場合、骨材としては一般に打抜き鋼片、鋼球、砕きガラス、ガラスビーズ、ポリエチレンペレットなどが使用されるが、問題点としては、1) 骨材によって形状が異なる、2) 骨材によりマトリックスとの付着条件が異なる (表面の粗度が異なる)、3) 実在の工業材料を用いる関係上、弾性係数を自由に選べない。などがあげられる。

筆者は実験用の粗骨材をモルタルで製作して、その弾性係数 (強度) が広範囲に変化し、しかも形状と付着性

状がおおむね一定となるような骨材を得ることができたので、これを同様に弾性係数 (強度) を変化させたモルタルマトリックスと種々に組合せてコンクリートをつくり、その弾性係数 (強度) を調べたものである。

使用したモルタル製粗骨材の性質は下記のとおりである。

○ 形状・粒度…… $\phi 5 \times 5 \text{mm}$  の円柱形で、単一粒度とした。

○ 粗骨材の絶対容積 ( $V_a$ ) ……一定 ( $0.43 \text{m}^3/\text{m}^3$ ) とした。

○ 弾性係数 ( $E_a$ ) …… $6.9 \sim 35.2 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$

○ 圧縮強度 ( $\sigma_c$ ) …… $220 \sim 1,240 \text{kg/cm}^2$

モルタルマトリックスの性質は下記のとおりである。

○ 弾性係数 ( $E_m$ ) …… $13.6 \sim 31.3 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$

○ 圧縮強度 ( $\sigma_m$ ) …… $160 \sim 860 \text{kg/cm}^2$

コンクリートは  $\phi 5 \times 10 \text{cm}$  の円柱供試体として成形したあと試験材令まで水中養生を行なった。セメントは主として早強ポルトランドセメント、細骨材としては標準砂を用いた。なお、粗骨材としては上記のモルタル製のほかに、鋼球、ガラスビーズ、ポリエチレンペレット、砂利、人工軽量骨材 (いずれも  $\phi 5 \text{mm}$  程度の単一粒度) などを用いた場合についても、ほぼ同様な条件で実験を行なった。

## 3. 実 験 結 果

図 1 は実験結果のうち、Modular ratio ( $m = E_a/E_m$ ) が 1.0 以上の場合について、これと  $E_c/E_m$  との関係を示したものであって、図中の実線は図の左上に示した構造モデルに基づいて導いた下記のような理論式 (Counto の提案したもの) によって描いたものである。

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1 - \sqrt{V_a}}{E_m} + \frac{1}{\left(\frac{1 - \sqrt{V_a}}{\sqrt{V_a}}\right) E_m + E_a} \quad (1)$$

一方、点線は図中の右下に示したような構造モデル—荷重によって骨材もマトリックスも等しい平均応力を生ずるとする仮定に基づいて得られたもの—から導かれた下記の式によって描いたものであり、 $m > 1$  である 2 相材料の弾性係数の理論的下限値を与えるものである。

\* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

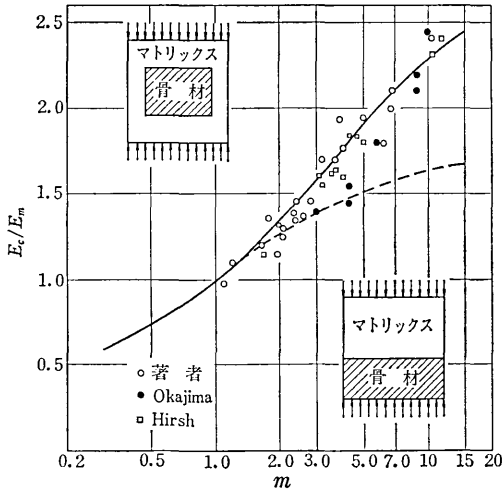


図1 Modular ratio と  $E_c/E_m$  との関係 ( $m > 1$ )

$$E_c = \frac{1}{\frac{(1-V_a)}{E_m} + \frac{V_a}{E_a}} \quad (2)$$

図1の結果は、骨材がそれよりも低い弾性係数をもつマトリックス中に埋め込まれた場合で、普通の骨材を用いたコンクリートに、一般的に適用可能なケースであるが、大体において、(1)式があてはまることを示している。

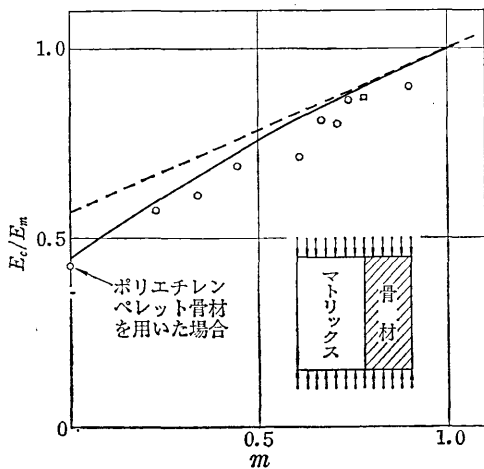


図2 Modular ratio と  $E_c/E_m$  との関係 ( $m < 1$ )

図2は Modular ratio が 1.0 以下の場合について、これと  $E_c/E_m$  との関係を示したものである。図中の実線は (1) 式によって描いたものであり、点線は図中の右下に示したような構造モデル——荷重によって骨材もマトリックスも等しい平均ひずみを生ずるとする仮定に基づいて得られたもの——から導かれた下記の式によって得られたものであって  $m < 1$  である 2 相材料の弾性係数の理論的上限值を与えるものである。

$$E_c = E_m(1 - V_a) + E_a V_a \quad (3)$$

図2の結果は、骨材がそれより高い弾性係数のマトリックス中に埋め込まれた場合で、構造用軽量骨材コンクリートに適用可能なケースであるが、この場合も (1) 式が実験値に近い値を与えるようである。図1と図2の結果を総合すると、コンクリートとその構成材料の弾性係数との関係式としては、Counto によって提案された (1) 式が比較的良好に実験値と適合することが明らかとなった。

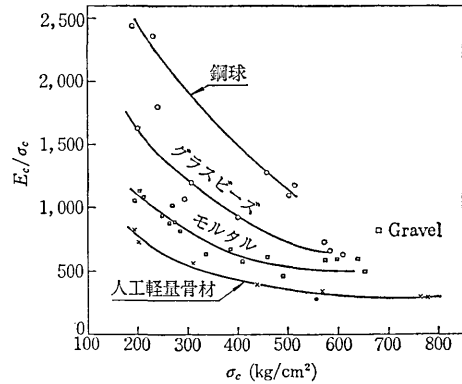


図3  $\sigma_c$  と  $E_c/\sigma_c$  との関係

図3は各種の骨材を用いたコンクリートの強度と弾性係数との関係を示したものであって、この図から明らかなのは、1) いずれの骨材を用いた場合でも、圧縮強度の低いコンクリートほど単位強度当りの弾性係数は大きい、この傾向は弾性係数の高い骨材を用いた場合ほど顕著となること、2) コンクリートの強度が一定であっても、弾性係数の異なる骨材を用いることにより、コンクリートの弾性係数は相当に広い範囲に変化させることが可能であること、などである。

なお、骨材量 ( $V_a$ ) を変化させた場合における上記の関係式の実験的検討については後日報告したい。

(1972年7月25日受理)

参考文献

- 1) T.C. Hansen, Swedish Cem. Concrete Res. Inst., NR 31 (1960)
- 2) T.J. Hirsch, Proc. Am. Concrete Inst., 59 (1962) 427.
- 3) U.J. Counto, Mag. Concrete Res., 16 (1964) 129.