人工軽量骨材コンクリートの力学特性について*

小 阪 義 夫**

Some Mechanical Characteristics of Structural Lightweight Aggregate Concrete

by

Yoshio KOSAKA

(Faculty of Engineering, Nagoya University, Nagoya)

1 は し が き

人工軽量骨材を用いた構造用軽量コンクリートが、わが国で実用されるようになってまだ数年にすぎないが、その間にこの種のコンクリートは、その特長が広く一般に認められ、かつ昨今のコンクリート用川砂利・川砂の払底の傾向とあいまって、最近ますます多用されようとしている。いまや、人工軽量骨材コンクリートは主要建設構造材料として、新しい発展期を迎えようとしているともいえる。

構造用人工軽量骨材コンクリートとしては力学的性質が特に重要視されることはいうまでもないが、そのためすでに力学特性は多くの研究者によって詳細に調べられている。しかし何といっても、人工軽量骨材そのものが比較的新しい材料であるため、これを用いたコンクリートの品質の評価は、利用者によってややまちまちであり、その力学特性についてもまだ十分に正しく認識されていない点もあるのではないと思われる。

そのため、ここでは人工軽量骨材コンクリートの力学特性のあらましを、在来の川砂・川砂利を用いた普通コンクリートのそれと対比しながら述べることにする。なお、以下に述べるのは主として筆者らの実験的研究に基づくものであって、その内容については、すでに関連する学・協会などを通じて発表したものもある。したがって既発表の論文、研究報告と一部重複するところがあることを、あらかじめ断っておく。

また、人工軽量骨材コンクリートは日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS-5 の分類によれば、1種および2種の構造用軽量コンクリートということになるが、ここでは記述の便のため、使用骨材の別にコンク

リートを次のように略称して以下の説明を行なう。

N-Nコンクリート (細骨材：川砂，粗骨材：川砂利)

N-Lコンクリート (細骨材：川砂，粗骨材：人工軽量骨材)

L-Lコンクリート (細骨材，粗骨材ともに人工軽量骨材)

2 変 形 特 性

人工軽量骨材コンクリートの力学的性質の中で、川砂・川砂利を用いた普通コンクリートのそれと、最も明らかに相違するのは変形特性であろう。ここでは、両者のコンクリートの応力-ひずみ曲線、ヤング係数などを対比しながら調べてみる。

2・1 応力-ひずみ曲線の形状

人工軽量骨材コンクリートと普通コンクリートとでは、Fig. 1 にみられるように応力-ひずみ曲線（以下 σ - δ 曲線と略記する）の形状は、やや異なり、圧縮強度が同程度であれば、軽量コンクリートのほうが、 σ - δ 曲線の立上りのこう配が小さい。このような σ - δ 曲線の相違を次のような方法で調べてみる。

Fig. 1. Stress-strain diagrams.

* 原稿受理 昭和43年10月7日

** 正 会 員 名古屋大学工学部 名古屋市中千種区不老町

一般にコンクリートの σ - δ 曲線は、圧縮強度のおよそ70~80%以下の比較的低応力の範囲では、次のような簡単な2次式を用いても充分な精度で表示することができる。

$$\sigma = E_i \delta - B_0 \delta^2 \quad (1)$$

ここに、 σ ：応力度、 δ ：ひずみ度、 E_i 、 B_0 ：コンクリートの品質によって異なる実験定数。

(1)式における定数 E_i はコンクリートの初期弾性係数であって、この値が大きいほど σ - δ 曲線の立上りのこう配は大きくなる。また、定数 B_0 の値は σ - δ 曲線の非直線性に関係し、 B_0 の値が小さいほど σ - δ 曲線は直線に近くなる。したがって、コンクリートの σ - δ 曲線を実測して、これを(1)式で表わし、実験定数 E_i および B_0 を求めて、 σ - δ 曲線の形状の相違を調べることができる。

いま、各種の骨材を用いたコンクリートの σ - δ 曲線を実測し、それらを(1)式で表示した場合の実験定数を求めてみると、およそ Fig. 2 および 3 のようになる。図の横軸はコンクリートの圧縮強度 F_c を表わし、図中の ρ とあるのはコンクリートの気乾比重である。また、これらの定数は、いずれも圧縮強度の80%以下の応力範囲の σ - δ 曲線について求めたものである。

Fig. 2 によれば、定数 E_i の値は、同種コンクリートの場合は圧縮強度 F_c の大きいものほど大であり、また圧縮強度 F_c が等しければ、単位重量の大きいコ

ンクリートのほうが大である。すなわち、圧縮強度が等しければ σ - δ 曲線の立上りのこう配は軽量コンクリートのほうが小さくなる。

一方、Fig. 3 によれば、同種コンクリートでは B_0 の値は圧縮強度 F_c の大きいほど小となり、また圧縮強度が等しければ、単位重量の小さいコンクリートのほうが小さい。すなわち、圧縮強度が同じであれば、軽量コンクリートの σ - δ 曲線のほうがその形状が直線に近いことを意味する。

これらのことからまた圧縮強度の等しい場合、同一応力度に対する仕事量は、軽量コンクリートのほうが普通コンクリートよりも少ないことがわかる。

なお、Fig. 2 および 3 の実験結果で、特に注目すべきは、 E_i と F_c あるいは B_0 と F_c との間に、コンクリートの単位重量別にそれぞれかなり良好な相関がみられることである。このことから、あとで詳しく述べるように、コンクリートの変形特性が、近似的には使用骨材の性質や混合量には無関係に、単に圧縮強度 F_c とコンクリート比重 ρ のみの関数として表示できることがわかる。

2・2 応力-ひずみ曲線の表示式

前述の(1)式は、比較的低応力の範囲の σ - δ 曲線の表示式であって、圧縮強度点に至るまでの σ - δ 曲線の表示には適さない。圧縮強度点に至るまでの σ - δ 関係表示式としては、たとえば次式などを用いるのがよい。

$$\left. \begin{aligned} \eta &= A\xi + B\xi^2 + C\xi^3 \\ \eta &= \sigma/F_c, \quad \xi = \delta/\delta_B \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 σ ：応力度、 δ ：ひずみ度、 F_c ：圧縮強度、 δ_B ：圧縮強度時のひずみ度、 A 、 B 、 C ：コンクリートの品質によって異なる実験定数。

いま、Table I に示すようなセメントおよび骨材を用いた各種の調査のコンクリートについて σ - δ 曲線を実測し、それらを(2)式で表示した場合の実験定数 A 、 B 、 C の値を求めてみると、およそ Fig. 4 のようになる。すなわち、定数 A 、 B 、 C の値はそれぞれ前述の(1)式における実験定数 E_i ならびに B_0 の場合と同じく、コンクリートの圧縮強度 F_c との間に、コンクリートの種類別にかなりよい相関があり、およそ次のような関係式で表示することができる。

$$\left. \begin{aligned} A &= (2\xi_0^3 - 3\xi_0^2 + 1/3)/D_0 \\ B &= (-\xi_0^3 + 3\xi_0 - 2/3)/D_0 \\ C &= (\xi_0^2 - 2\xi_0 + 1/3)/D_0 \\ D_0 &= \xi_0^3 - 2\xi_0^2 + \xi_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\xi_0 = \frac{F_c^{0.5}}{1.35(34.3 - 6.67\rho) \cdot k \cdot \rho^{1.5}}$$

ここに、 F_c ：圧縮強度、 ρ ：コンクリートの気乾比重、 k ：骨材粒形による修正係数、造粒型人工軽量

Fig. 2. Relation between E_i and F_c .

Fig. 3. Relation between B_0 and F_c .

Table I. Properties of materials.

Kind of cement		Strength at the age of 28 days					
Ordinary portland cement		Modulus of rupture ; 79.4 kg/cm ² Compressive strength ; 407 kg/cm ²					
Aggregates							
Notation of concrete		Kinds of aggregates		Specific gravity	Unit weight (kg/l)	Fineness modulus	Water absorption 24 hrs (%)
N-N		Coarse	River gravel	2.56	1.64	6.96	0.65
		Fine	River sand	2.56	1.61	3.12	1.60
N-L	1	Coarse	Expanded shale (Non-pelletized)	1.41	0.85	6.37	13.13
		Fine	River sand	2.56	1.61	3.12	1.60
	2	Coarse	Expanded fly ash (Pelletized)	1.38	0.84	6.37	1.40
		Fine	River sand	2.56	1.61	3.12	1.60
L-L	1	Coarse	Expanded shale (Non-pelletized)	1.30	0.78	6.57	8.50
		Fine	River sand	1.82	1.16	3.05	18.20
	2	Coarse	Expanded shale (Pelletized)	1.26	0.74	6.51	8.00
		Fine	River sand	1.82	1.02	2.89	9.70

Fig. 4. Values of empirical constants in Eq. (2).

骨材を用いた場合のみ $k=1.15$, 他の骨材使用の場合 $k=1.0$

(2)および(3)式を用いて, コンクリートの $\sigma-\delta$ 曲線は, 実測によらずとも, コンクリート比重 ρ , および圧縮強度 F_c などの値がわかれば描くことができる.

2・3 圧縮強度時のひずみ度

(2), (3)式を用いて, 実測によらずに $\sigma-\delta$ 曲線を描くためには, 圧縮強度時のひずみ度 δ_B の値を知っておかなければならない. 一般に δ_B の値は測定が困難であり, 研究者によって実験結果はやや異なる. 筆者らは, 前掲の Table I に示した材料を用いたコンクリートについて実験を行ない, およそFig. 5に示すような結果を得た. ただし図示の δ_B の値は, $\sigma-\delta$ 曲線の応力度最大の点のひずみ度を示す.

Fig. 5 にみられるように, δ_B の値はかなりのばらつきを示すが, (2), (3)式を利用しての $\sigma-\delta$ 曲線の推定に際しては, δ_B をコンクリート種類別にはば一定値をとるものとみなし

$$\delta_B = (34.3 - 6.67\rho) \times 10^{-4} \tag{4}$$

ここに δ_B : 圧縮強度時のひずみ度, ρ : コンクリート気乾比重.

によって算出した値を用いても, 大きい不都合はない. なお Fig. 5 の中の直線は(4)式によるものである.

2・4 ヤング係数

$\sigma-\delta$ 曲線の形状が相違すれば, 当然ヤング係数の値も異なる. 前掲のFig. 2は初期弾性係数 E_i と圧縮強度 F_c との関係を示したものであるが, セカントモジュラス $E_{1/3}$ と F_c の間にも, Fig. 6に示すように類似の関係がみられる. ただし, セカントモジュラス $E_{1/3}$ は圧縮強度の1/3の応力点における値である.

Fig. 5. Relations between δ_B and F_c . Fig. 6. Relations between $E_{1/3}$ and F_c .

³⁾ Pauw は、このようにヤング係数と圧縮強度との間に、コンクリートの単位重量別にそれぞれ良好な相関がみられることに着目し、各種の骨材を用いたコンクリートのヤング係数算出式として、次のような実用式を提案している。

$$E = 33 \cdot W^{1.5} \cdot F_c^{0.5} \quad (5)$$

ここに、 E : ヤング係数 (psi), W : コンクリート単位重量 (lb/ft³), F_c : 圧縮強度 (psi)。

(5)式はまた、ACI Standard 318-63 にもそのまま採用されている。この式は、各種の骨材を用いたコンクリートのヤング係数を、使用骨材の性質や調合量にかかわらずに、単にコンクリート強度 F_c と単位重量 W のみを用いて統一表示するところに、大きい実用上の意義があり、コンクリートのヤング係数の概略を推定するのにはなはだ便利である。

ただし、わが国と米国とではヤング係数の定め方の習慣や、使用材料の品質が若干異なるので、国産の人工軽量骨材を用いたコンクリートに対しては、(5)式をそのまま用いるよりも、次式を適用するほうがよいようである。

$$E_{1/3} = k \cdot 4500 \cdot \rho^{1.5} \cdot F_c^{0.5} \quad (6)$$

ここに、 $E_{1/3}$: 圧縮強度の 1/3 の応力点におけるセカントモジュラス (kg/cm²), ρ : コンクリート気乾比重, F_c : 圧縮強度 (kg/cm²), k : 修正係数, 造粒型人工軽量骨材を用いたとき $k=1.15$, その他の骨材使用のとき $k=1.0$ 。

上式における k は、骨材の粒形による修正係数であって、これの使用は、各種骨材コンクリートのヤング係数を、骨材の性質には無関係に、単に硬化コンクリートの単位重量と圧縮強度のみを用いて統一表示しようとする Pauw の当初の主旨にもとることになる。しかし、一般にコンクリートの力学性質は、使用骨材の比重や混合量のほかに、粒形、セメントペーストとの界面状況などに左右されるため、ヤング係数推定の精度を上げるためには(6)式のように、修正係数を用いるほうがよいようである。

なお、動弾性係数 E_d と圧縮強度 F_c との間にも Fig. 7 に示すような類似の相関がみられ、これらの関係は次式によって近似的に表示することができる。

$$E_d = k \cdot 12500 \cdot \rho^2 \cdot F_c^{0.3} \quad (7)$$

ここに、 E_d : 動弾性係数 (kg/cm²), ρ , F_c および k については(6)式参照。

この関係は、動的試験によって E_d を求め、コンクリートの圧縮強度 F_c を非破壊的に推定するのに利用することができる。

上記の実験的研究とは別に、コンクリートのヤング係数を簡単な力学模型を用いて解析的に究明しようとする試みも多く、研究者によってなされている。

Table II は、これらの研究結果のおもなものを示したものであるが、いずれも、コンクリートをセメントマトリックスと骨材などから成る二相材と考え、図示のような模型を用いてコンクリートのヤング係数の算出式を誘導している。しかし、これらの表示式には、それぞれ一長一短があり、表示式として簡明なものは表示性能の点で、表示式として複雑なものは実用価値の点でそれぞれ問題がある。しかし、実際のコンクリ

Table II. Theoretical formulas of Young's modulus of concrete.

Type of model	Theoretical formulas
$E_c = V_a E_a + V_m E_m$ (Chefdeville, Dantu) (1)
$\frac{1}{E_c} = \frac{V_a}{E_a} + \frac{V_m}{E_m}$ (Hansen) (2)
$\frac{1}{E_c} = \left(1 - \frac{2Z}{\pi}\right) \cdot \left(\frac{V_a}{E_a} + \frac{V_m}{E_m}\right) + \frac{2Z}{\pi} \left(\frac{1}{V_a E_a + V_m E_m}\right)$ (Hirsch, Dougill) (3) $(Z=0.785)$
$\frac{1-2\nu_c}{E_c} = (1-2\nu_a) \frac{V_a}{E_a} + (1-2\nu_m) \cdot \frac{V_m}{E_m}$ (Greszuck) (4)
$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_a + \left(\frac{1-\sqrt{V_a}}{\sqrt{V_a}}\right) E_m} + \frac{1-\sqrt{V_a}}{E_m}$ (Counto) (5)
$\frac{E_c}{1-2\nu_c} = \left\{ \frac{(1-V_a) \frac{E_m}{1-2\nu_m} + \left\{ \frac{1+\nu_m}{2(1-2\nu_m)} + V_a \right\} \frac{E_a}{1-2\nu_a}}{\left\{ 1 + \frac{1+2\nu_m}{2(1-2\nu_m)} \cdot V_a \right\} \cdot \frac{E_m}{1-2\nu_m} + \frac{1+\nu_m}{2(1-2\nu_m)} \cdot (1-V_a) \frac{E_a}{1-2\nu_a}} \right\} \cdot \frac{E_m}{1-2\nu_m}$ (Hashin) (6)
Notations, E : Young's modulus V : Volume ν : Poisson's ratio	Subscripts, a : Aggregate c : Concrete m : Cement mortar

Fig. 7. Relations between E_a and F_c .

ートの場合は、セメントマトリックスと骨材の混合比率には限度があるので、この点を考慮して表示式の簡略化を図るなど、新骨材の出現に備えてこの種の研究はもっとなされてもよいのではないかと考える。

3 強度特性

人工軽量骨材コンクリートと普通コンクリートの強度特性の間には、さきに述べた変形特性の場合ほどには顕著な差が認められない。しかし使用骨材の品質が異なる以上、変形特性と同様、強度特性も多少異なるはずであって、事実、引張り、曲げ、せん断などの強

度は人工軽量骨材コンクリートのほうが普通コンクリートよりやや劣り、特に乾燥したコンクリートにその傾向が著しいといわれる。

このような強度特性の相違は、それぞれの強度について詳しく調べるのも一法であろうが、ここではコンクリートの強度特性を総括して表わすと考えられる破壊条件について調べてみる。

なお破壊条件が相違すれば、それに伴って各種の破壊現象、たとえば圧縮供試体の形状・寸法による強度変化の現象、局部載荷時の支圧強度特性なども異なるはずである。ここでは、そのような現象についても考察する。

3・1 破壊条件

コンクリートの塑性応力解析などのために、破壊条件を明らかにする必要がある。このため従来から、各種の組合せ応力試験が行なわれているが、それらのほとんどは普通コンクリートに対するものであって、人工軽量骨材コンクリートについてのこの種の研究はきわめて少ない。そのため、ここでは実験個数が少なく⁵⁾てはなはだ不満足ではあるが、筆者らがさきほど行なった、中空円柱形試験体の軸圧とねじりの組合せ加力

試験の結果について述べる。

供試体には外径 21.5 cm, 肉厚 4.5 cm, 長さ 67 cm の中空円柱形のものを用い, 载荷には, 特別に試作したねじり加力試験装置とアムスラー形耐圧試験機を組み合わせて用いた。

Fig. 8 は, 実験結果をモール円群で表示したものの一例である。これらの実測結果に基づく破壊条件表示式としては, モール円の包絡線表示式, 八面体応力による表示式, 主応力表示式などがある。

Fig. 8. Mohr's failure circles of N-N concrete.

いま破壊条件式として Fig.8 に示したようなモールの破壊応力円群の包絡線として次式を用いると,

$$\sigma/F_c = -a(\tau/F_c)^b + c \quad (8)$$

ここに F_c : 圧縮強度, a , b , c : コンクリートの品質によって異なる実験定数。

となり定数 a , b , c はそれぞれ Fig.9 に示すようになる。すなわち, 圧縮強度 F_c が同じであっても実験定数は人工軽量骨材コンクリートと普通コンクリートとは図にみられるように明らかに異なる。

このような破壊条件の相違は, 実験結果を八面体応力を用いて

$$\tau_0/F_c = \alpha(\sigma_0/F_c)^2 + \beta(\sigma_0/F_c) + \gamma \quad (9)$$

ここに, F_c : 圧縮強度, τ_0 : 八面体せん断応力, σ_0 : 八面体直応力, α , β , γ : コンクリートの品質によって異なる実験定数。

で表示した場合, あるいは主応力を用いて

$$(1/t^2)(\sigma_1/F_c)^2 + (\sigma_3/F_c)^2 = 1 \quad (10)$$

ここに, σ_1 , σ_3 : 主応力, t : コンクリートの品質

Fig. 9. Values of empirical constants in Eq. (8).

によって異なる実験定数。

で表示した場合にも, 実験定数の相違が認められる。

なお, ちなみに(8)式から, 人工軽量骨材コンクリート, ならびに普通コンクリートの引張強度 F_t と圧縮強度 F_c の関係, およびせん断強度 F_s と圧縮強度 F_c の関係を求めてみると, それぞれ, Fig.10および11のようになり, F_t および F_s ともに, 人工軽量骨材コンクリートのほうが, 普通コンクリートよりもやや小さい値を示すことがわかる。

3・2 供試体寸法と圧縮強度との関係

コンクリートの圧縮強度が, 供試体の形状・寸法によって異なることはすでによく知られている。たとえば, 円柱形供試体の高さ H と直径 D の比によって圧縮強度は異なり, 一般に H/D の比が減少するに伴い圧

Fig. 10. Estimated values of tensile strength F_t by Eq. (8).

Fig. 11. Estimated values of shearing strength F_s by Eq. (8).

縮強度は著しく増大する。このような H/D による圧縮強度の変化の現象は、簡単な塑性応力解析によっても説明でき、圧縮強度の変化の割合は H/D の比のほかに、コンクリートの破壊条件によってもかなり相違する。⁶⁾ すなわち、前掲の(8)式を変形したサイクロイド型破壊条件式を用いて塑性応力解析を行なうと、次のような近似式が得られる。

$$n = a_2(H/D) - b_2 \tan^{-1}(H/D) + c_2 \quad (11)$$

ここに n : 圧縮強度比, $H/D=2$ の供試体の圧縮強度に対する任意の寸法の供試体強度の比, H : 供試体の高さ, D : 供試体の直径, a_2, b_2, c_2 : コンクリートの品質によって異なる係数。

(11)式における係数 a_2, b_2, c_2 の値はコンクリートの品質, すなわちこの場合は破壊条件によって定まる係数であり, したがって n と H/D との関係は, コンクリートの破壊条件によって相違する。

Fig.12は各種の骨材を用いたコンクリートについて行なった実験結果の一例であるが, 図にみられるように n と H/D との関係は, コンクリートの圧縮強度 F_c の大きさのほかに, コンクリートの種類によっても相違する。なお図中の曲線は理論解析の結果によるもので, 実験結果とよく一致する。

一般に, 同種コンクリートの場合は, H/D の減少に伴う n 値の増大率は低強度のコンクリートのほうが著しく, また圧縮強度が同程度であれば, 気乾比重の小さいコンクリートのほうが H/D の減少に伴う強度の増大率は少ない。

供試体の H/D による強度の変化の割合は, 供試体と載荷板間の摩擦の大きさによっても異なる。

Fig.13は, 筆者らが加圧面の摩擦を変えて行なった実験結果の一例である。図中, O-Loading とあるのは, JIS の規定による通常の載荷を行なった場合の実験結果で, この場合の加圧面の摩擦係数はおよそ $\mu=0.36$ の程度であった。一方, L-Loading とあるのはアルミはく(厚さ 0.1 mm 載荷板側)と軟質ゴムシート(厚さ 0.3 mm, コンクリート側)との間にシリコングリ

Fig. 12. Relations between n and H/D (Ordinary loading).

ースを塗布したものを, 載荷板とコンクリート供試体間にはさんで加圧面の摩擦を小さくして載荷した場合の実験結果であって, この場合の加圧面の摩擦係数は $\mu=0.005$ の程度であった。通常の載荷の場合は前掲の Fig.12 にもみられるように, H/D の減少に伴う圧縮強度の増加の割合は, 気乾比重の小さいコンクリートのほうが小さいが, L-Loading つまり加圧面の摩擦を小さくした場合は, H/D による強度の変化はほとんど見られなくなる。

3.3 支圧強度

局部荷重を受けるときのコンクリートの圧縮耐力, すなわち支圧強度もコンクリートの破壊条件の相違による影響が顕著に現われる強度特性である。

たとえば Fig.14 に示すような局部荷重を受けるコンクリートの支圧強度 F'_c は, 一般に支圧面積 A' と支承面積 A の比 A'/A のほかに供試体の高さや直径の比 H/D ならびにコンクリートの破壊条件の相違などの影響を受ける。

Fig.15は, 供試体の高さや直径の比 H/D に関係なく求めた, 支圧強度比 F'_c/F_c (F_c は全面圧縮時のコンクリート強度) と A'/A との関係を示したものである。図に見られるように, 人工軽量骨材コンクリートと普通コンクリートとでは強度特性は明らかに相違し, 支圧強度は通常軽量コンクリートのほうがやや小さい。

なお, 支圧強度に関しては, コンクリートの気乾比

Fig. 13. Relations between n and H/D (Ordinary and lubricated loading).

Fig. 14. Loading method for test of bearing capacity.

Fig. 15. Relations between F_c'/F_c and A/A' .

重 ρ をパラメータとする次のような統一表示式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} F_c'/F_c &= a_3 (A/A')^{1/m} \\ a_3 &= 0.084 \rho (D/H)^3 + 0.82 \\ m &= 0.18 (D/H)^3 + 1.63 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

ここに F_c' : 支圧強度, F_c : 全面圧縮強度, A : 支承面積, A' : 支圧面積 (Fig.14参照) ρ : コンクリート気乾比重, D : 供試体の直径, H : 供試体の高さ。

4 む す び

以上人工軽量骨材コンクリートの力学特性のあらましを、普通コンクリートのそれらと対比しながら述べてみた。

コンクリート用骨材としては、ここに述べた人工軽量骨材のほか、今後ますます新しい種類の骨材が開発されて多様化する可能性も考えられる。その際、新たに開発された骨材を用いたコンクリートの力学的性質を、その都度それぞれの骨材ごとに調査し、構造設計の資料としていたのではまことに煩雑である。もしできれば、さきに述べたように、各種の骨材を用いたコンクリートの力学特性を、コンクリート比重、あるいは骨材の性質や混合量などをパラメータとして統一表示することができれば、実用上はなほだ便利である。

コンクリート用骨材の多様化に備えて、このような手法についての基礎研究を試みるのもまた必要ではなかろうか。

参 考 文 献

- 1) 奥島正一, 小阪義夫, 材料, **15**, 691 (1966).
- 2) 小阪義夫, 谷川恭雄, 太田福男, セメント技術年報, **21**, 311 (1967).
- 3) Pauw, A., J. of ACI, **57**, 679 (1960).
- 4) Hashin, Z., J. of App. Mech., **29**, E. 1, 143 (1962); Hirsh, T.J., J. of ACI, **59**, 3, 427 (1962); Anson, M., Mag. of Conc. Res., **16**, 47, 73 (1964); Counto, U.J., Mag. of Conc. Res., **16**, 48, 129 (1964); Hanson, T.C., J. of ACI, **62**, 2, 193 (1965).
- 5) 奥島正一, 小阪義夫, 大井孝和, セメント技術年報, **18**, 363 (1964); 小阪義夫, 谷川恭雄, 日本建築学会東海支部研究報告, **6**, 13 (1968).
- 6) 小阪義夫, 日本建築学会論文報告集, **62**, 1 (1959); 奥島正一, 小阪義夫, セメント技術年報, **17**, 381 (1963); 小阪義夫, 谷川恭雄, 日本建築学会東海支部研究報告, **6**, 9 (1968).
- 7) 奥島正一, 小阪義夫, 谷川恭雄, セメント技術年報, **20**, 564 (1966); 小阪義夫, 谷川恭雄, 日本建築学会東海支部研究報告, **5**, 1 (1966); 小阪義夫, 谷川恭雄, セメント技術年報, **21**, 493 (1967).