

北海道大学工学部 正真 横道英雄
" " 本堂直和

まえがき

コンクリートの弾性変形についての研究は今日まで数多く行なわれ、弾性常数とコンクリートの品質の尺度となる圧縮強度とを簡単な関係式によって、表わそうという試みがなされてきた。

弾性常数には、静弾性係数、動弾性係数、およびポアソン比などが含まれる。弾性係数は設計計算その他実用上必要なものであり、各国の規準によるとその値が定められている。またポアソン比は従来1/3の値がとられていたが、最近では、1/2の値を採用する傾向にある。

しかし、そのいずれの場合でも、その根柢となる実験データが明らかにされてゐらない。筆者らは、さきに多くの実験データをまとめて弾性係数の実験式を提案したが、その後さらに多くの実験データを得たので、これを修正するとともに、ポアソン比の値についても考察を加えるものである。

すなわち本文では約630個の供試体から得た弾性係数と強度に関するデータを最小二乗法により、関係式を求め、これを各国の諸規定と比較考察し、また、ポアソン比と強度の関連について考察した。

配合および供試体

本文で用いたデータは当研究室で約10年間に得たものであるため、配合すなわち単位セメント量、水セメント比、砂利/砂比等の値は広い範囲に亘るといふ。

材料としては、セメントは普通および早強ポルトランドセメント、骨材は主として北海道日高沿岸の川砂利（最大寸法25mm）および海砂が用いられた。

配合の種類は約80種で、その範囲は次のとおりである。

	最大値	最小値	大部分の範囲
単位セメント量 (kg/m³)	580.0	260.2	300 ~ 400
水/セメント比 W/C	65.0	32.3	40 ~ 55
骨材/ペースト比 A/P	5.15	2.22	3.0 ~ 4.5
スランプ値 (cm)	19.6	0.9	3 ~ 5

指令については3日～7日であり、供試体は試験日当日まで20°Cの恒温水槽中で水中養生を行なつた。供試体は円柱形で一部にはφ15cm×30cm、その多くはφ10cm×20cmが用いられた。ひずみの測定にはワイヤーストレインゲージ（ゲージ長さ：70mm）を用いた。ストレインゲージは供試体の1/2の高さに、軸材軸に横ひずみ用1対、縦ひずみ用1対、計2組4枚が用いられており、圧縮試験を行ない横ひずみおよび縦ひずみが測定された。

静弾性係数と強度との関係

元来、弾性係数は弾性材料の応力度εとひずみδとの関係を表わす係数であって、フックの法則にしたがういわゆる線型弾性材料の場合には、応力度の大きさおよび載荷速度にかかわらず一定値を示

すが、コンクリートのごとき不完全弹性材料の場合には、弹性係数の決定にはいろいろ問題が多い。弹性係数を求める方法としては、(1) initial tangent modulus, (2) secant modulus (3) tangent modulus 等があるが、一般には(1), (2) が用いられている。本論文では、繰り返し載荷における stress-strain curve が initial tangent とほぼ平行な直線となることから考えて initial tangent modulus を採用した。

コンクリートの弹性係数 E_c は配合、材令および強度などに關係するが、配合および材令が强度に關係するため、簡単に得られる上、品質管理による强度と関連づけられることが多い。しかし、强度からコンクリートの弹性係数を予想することは、コンクリートを構成する成分の性質さらに量がかなり異なるために非常に困難が伴なり。以下に弹性係数と强度に関する主な実験式を挙げる。

$$\text{ソ連}^{1)} \text{および Graf 式} \quad E_c = \frac{1000}{1.7 + 360/\beta_m} \quad (1) \quad \beta_m; \text{立方体强度}$$

ACI-318-51

$$E_c = 15.3 \sqrt{\sigma_{cb}} \quad (2)$$

(コンクリートの単位重量を 2.32 t/m^3 としたとき)

フランスおよび CEB³⁾ (欧洲コンクリート委員会) の式

$$E_c = 21 \sqrt{\sigma_{cb}} \quad (3)$$

横道式⁴⁾

$$E_c = 31 \sigma_{cb}^{0.4} \quad (4)$$

その他の数値として示されていゝもの

DIN 1045⁵⁾ (März 1968, 1968 年改訂案)

コンクリートの品質規格	Bn100	Bn150	Bn250	Bn350	Bn450	Bn550
平均立方体强度 β_m	150	200	300	400	500	600
平均円柱換算强度 σ_{cbm}	125	165	250	330	415	550
E_c	220	250	300	340	370	390

イギリス (CP 115-1959)

6" 立方体强度 σ_m	210	280	350	420	560	700
同 换算强度 σ_{cb}	170	220	280	340	450	560
E_c	210	280	320	350	420	460

土木学会 (標準示方書 97P)

σ_{ck}	180	240	300	400
E_c	240	270	300	350

(単位 $\sigma_{cb} : \text{kg/cm}^2$, $E_c : \text{t/cm}^2$)

なお、立方体强度の円柱强度への換算は、ACI-CCA Recommendations for an International Code of Practice for Reinforced Concrete p.32. 円柱換算係数にしたがつた。

本文ではデータの分布状態 (図-1 参照) から一般式を次の形に定めた。

$$E_c = A \sigma_{cb}^B \quad (5)$$

この式は以前に筆者らが用いたものと同じであり、(4) 式における係数の修正といふことになる。最小二乗法は誤差を 1 軸にのみしたせて $E_c = A \sigma_{cb}^B$ の形から $\log E_c = \log A + B \log \sigma_{cb}$ として変換して、

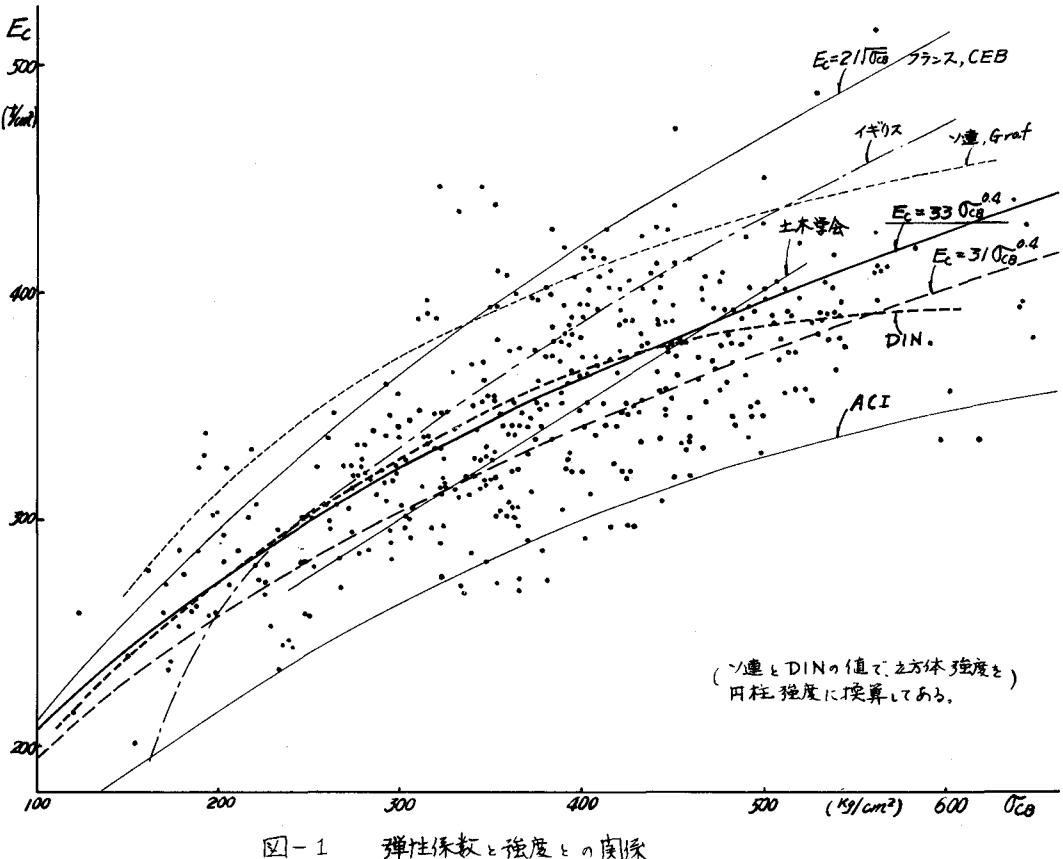


図-1 弾性係数と強度との関係

A, Bを定める方法によつて。データのプロットの数は約430であり 最小二乗法を用いた結果は

$$A = 38.20$$

$$B = 0.382$$

したがつて

$$E_c = 38.2 \bar{σ}_{cb}^{0.38} \quad (6)$$

を得た。 (6)式中の指数0.38を丸めて0.4とし 計算しなおすと

$$E_c = 33 \bar{σ}_{cb}^{0.4} \quad (7)$$

を得た。 本実験式の値は下表の通りである。

コンクリート強度 $\bar{σ}_{cb}$ (kg/cm^2)	200	250	300	350	400	500	600
静弾性係数 E_c (kg/cm^2)	270	300	320	340	360	390	420

本実験式と各國の規準とを比較したのが次2図である。 CEBおよびACIの式は弾性係数の採り方が本文と異なるため大きく外れている。 本実験式に最もよく合うのはDINであり、土木学会の値は強度の弱いコンクリートでは少々小さく、高強度のコンクリートでは一致する。

ポアソン比と強度との関係

コンクリートのポアソン比については、一般にこれまで%の値が採用されていだが、最近CEB³⁾およびDIN³⁾にみられるように1/5の値を採用する傾向にあるといえる。

コンクリートが不完全弾性体であるため、ポアソン比の値を応力によつて一定ではなく、いかなるときの値を採用するかについては定説がない。一般にポアソン比の値の採り方としては、破壊応力度の何割がまでのポアソン比をとる方法、応力-ポアソン比曲線におけるポアソン比が一定値とする部分の値をとる方法、および破壊応力度の何割がまでのポアソン比の平均値をとる方法などが挙げられる。本文では、破壊応力度の約1/3までのポアソン比の平均値を採用した。この方法によつて得られた当研究室のデータをプロットしたのが図-2である。ただし、あまり外れた数点は除外してある。

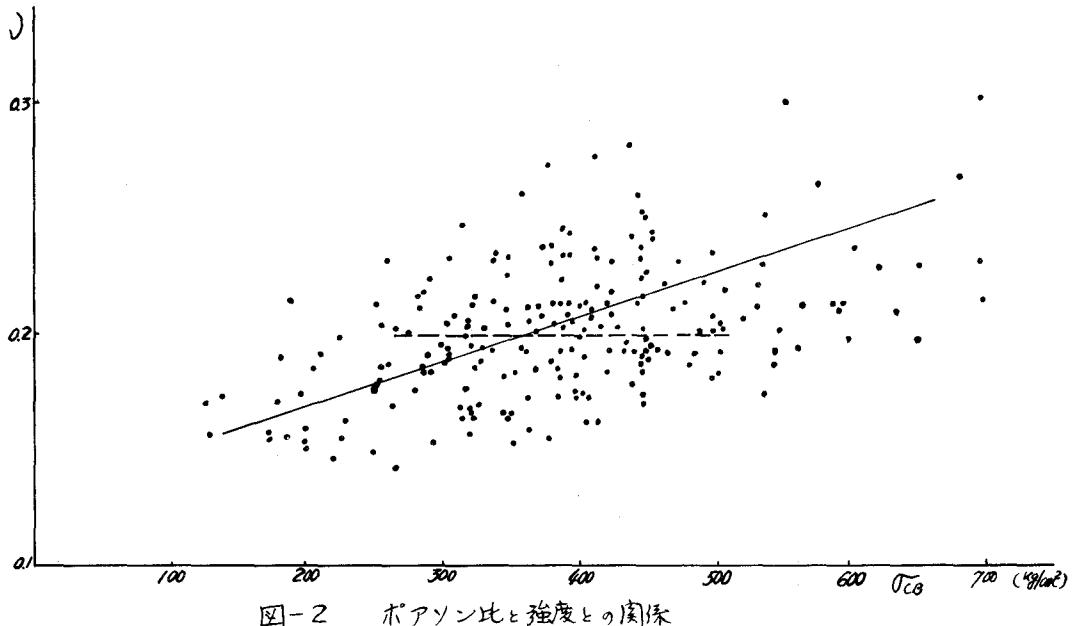


図-2 ポアソン比と強度との関係

この図から認められるのは、オ1に分散幅が大きいことである。たとえば $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ で $J = 0.16 \sim 0.24$ に分布している。これは横ひずみの測定値がコンクリートの局部的欠陥の影響を受けやすいこと等によるのであろう。オ2に強度の増加とともにポアソン比がわずかではあるが増加する傾向にあるといふことである。オ3に一般に用いられるコンクリートの強度範囲である $250 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$ では 1/5 の一定値をとっても実用的には妥当とみよせるということである。これは CEB および DIN の規定値とも一致する。

参考文献

- 1) E. Siganov - S. Strangin Reinforced Concrete , 1963
- 2) Beton-Kalender , 1965 Teil II p. 485
- 3) CEB - Recommendations for an International Code of Practice for Reinforced Concrete
ACI - CCA 1963
- 4) 横道英雄 コンクリート橋 昭37 技報堂 p. 18 ~ 19
- 5) Beton-Kalender 1969 Teil II p. 469 ~ 470