

# コンクリートの破壊強度、ひずみ能力、弾性率と 破壊時間との関係

正員 畑 野 正\*

RELATIONS BETWEEN STRENGTH OF FAILURE, STRAIN ABILITY, ELASTIC MODULUS AND FAILURE TIME OF CONCRETE

By Dr. Eng., Tadashi Hatano, C.E. Member

**Synopsis:** The writer made attempts to make unified expressions of strength of failure, strain ability and elastic modulus for the case of the dynamical and statical compression test of concrete with respect to the identical kinds of specimens, enlarging the failure time range to  $10^6$  against 1. As a result, it was found that (1) so far as the strength of failure is concerned, a better accuracy can be given by expressing the existence of linear relation between the reciprocal of the strength of failure and the logarithmic value of the failure time, (2) the compressibility, i.e. the compressive strain under the strength of failure is permitted to be constant within the aforementioned time range, (3) consequently the treatment becomes convenient by admitting the existence of linear relation between the reciprocal of the elastic modulus and the logarithmic value of the failure time.

Also the writer added the explanation that the expression admitting the linear relation existing between the reciprocal of the strength of failure and the logarithmic value of the failure time was found interesting to be consistent with the theoretical formula derived from the "Theory of molecular reaction rate" as to the subject of fracture of glass by N.W. Taylor.

**要旨** コンクリートの動的、静的圧縮試験を同一種類の供試体に対して行ない、時間範囲を1に対して $10^6$ にまで拡大した場合の破壊強度、ひずみ能力、弾性率の統一的表現を試みた。この結果破壊強度については、その逆数値が破壊時間の対数値と直線関係にあると表現した方がよりよい精度を与えること、ひずみ能力、すなわち最大応力時のひずみは上述時間範囲では一定と考えてよいこと、弾性率はその逆数値が破壊時間の対数値と直線関係にあるとした方が取扱いに便なることを示した。さらに破壊強度の逆数値が、破壊時間の対数値と直線関係にあるという表現は、Taylor, N.W. がガラスの破壊について分子反応速度論から導いた理論式と興味ある一致を見たことを付記した。

## 1. 緒言

著者はコンクリートの動的ならびに静的圧縮破壊について2回にわたって報告してきた<sup>1), 2)</sup>。そのおのおのにおいて破壊強度は破壊時間の対数値とほぼ直線関係があり、ひずみ能力すなわち最大応力時のひずみ値は破壊時間に関係なく一定であり、弾性率は破壊時間の対数値をふくんだある関数を以て近似的に表現することのできると述べた。これら動的、静的試験における供試体はその材料が多少異なり、試験時期も別であったので動静両試験結果の統一的表現は不可能であったが、静的試験における破壊時間の対数値あたりの強度低下率が動的試験

における低下率よりやや小さいであろうという予想<sup>3)</sup>を述べておいた。今回一種類ではあるが、同一種類のコンクリート供試体につき、動的ならびに静的圧縮破壊試験を実施する機会を得、時間範囲を1に対して $10^6$ に至るまで拡大することができたので、その結果を統一的に表現しようと試みた。

## 2. 実験の方法

実験の方法は、前2回に発表した方法と全く同様である。すなわち、動的試験はフライホイールにより駆動する油圧ポンプを100 t アムスラー圧縮試験機に連結した高速圧縮試験機によって行なった。静的試験は同じ100 t アムスラー圧縮試験機に自動定速荷重装置を付して行なった。いずれも荷重は0から破壊荷重に至る一行程の荷重である。圧力はSRゲージを用いた特殊鋼円筒型の100 t 圧力計により、変形はSRゲージを用いた焼青銅製のπゲージによって測定した。πゲージは上下加压板に沿直に固定し両板の距離の変化を圧力と同時に記録した。πゲージは直径1方向に2個使用し、その測定平均値をひずみ値として採用した。

供試体に使用した骨材、セメントの性質は表-1, 2に示すとおりである。供試体コンクリートの性質は表-3のごとく、供試体の大きさは、直径10 cm, 高さ20 cmであり、試験直前まで20°Cの水中に養生した。

試料個数は総数で26個、このうち8個につき高速試験機により動的圧縮破壊を行ない、残り18個につき静的定速圧縮試験を行なった。供試体は1バッチのコンク

\* 工学博士 電力中央研究所 技術研究所、構造研究室

表-1 Properties of the Cement

	Ig. Loss	Ins. R.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1)	0.74	0.50	23.22	4.14
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
	3.86	64.36	0.90	1.70
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
	47.1	31.1	4.5	11.7
2)	sp. gr.	Finess. (Blaine)		
	3.20	3 160 cm <sup>2</sup> /gr		
3)	Strength of Standard Mortar			
	flow	3 day	7 day	28 day
	236 mm	94 kg/cm <sup>2</sup>	147 kg/cm <sup>2</sup>	323 kg/cm <sup>2</sup>

表-2 Properties of Aggregates

	sp. gr.	max. Size	Gradation	
			Gravel	Sand
Sagami			mm 25~20 -25%	mm 5~2.5 -15%
River	2.75	mm 25	20~15 -25%	2.5~1.2 -15%
natural			15~10 -25%	1.2~0.6 -25%
Aggregate			10~5 -25%	0.6~0.3 -25%
				0.3~0.15-15%
				0.15 -5%

表-3 Tested Concrete

Age in Weeks	Mix Proportion					Slump cm	Entrapped air %
	Cement kg/m <sup>3</sup>	Water kg/m <sup>3</sup>	Sand kg/m <sup>3</sup>	Gravel kg/m <sup>3</sup>	W/C %		
4	300	150	710	1 264	50	6.8	1.5

リートから全部製作したが、破壊実験は材令 28 日をはさんで前後各 1 日をふくむ 3 日間に実施した。

### 3. 実験の結果

測定記録の状況は前 2 回に報告したものとほとんど同

様である。図-1 はこれらの記録から代表的なものを選んで画いた応力-ひずみ曲線図である。点線は最大応力に達した後、供試体が崩壊するに至るまでの応力-ひずみの関係を示したものである。曲線勾配の変化はきわめていちじるしいものがある。図-2 は破壊時間  $t_u$  と破壊強度  $\sigma_u$  および最大応力時のひずみすなわち縮み能力  $\epsilon_c$  の関係を示したものである。破壊時間について、その対数値をとり  $10^{-2}$  sec から  $10^4$  sec に至る範囲になっている。ここに  $\cdot$  は  $\sigma_u$  を示す。 $\sigma_u$  の  $\ln t_u$  に対する関係は前論<sup>2)</sup>において予想されたように、動的破壊と静的破壊の両者においてほぼ直線的関係にはあるが、その勾配は後者においてやや小さい。従ってこれを全般にわたって直線関係にありとするにはやや難がある。

いま試みに  $\sigma_u$  の逆数をとって、 $1/\sigma_u$  を 0 としてプロットすれば、この難は非常に緩和される。すなわち破壊時間を約 0.03 sec から約 8 000 sec の範囲に拡大すれば、 $1/\sigma_u$  と  $\ln t_u$  とが直線的関係で表現された方が誤差が少ないと見えることになる。実験値をこの関係で整理した場合の回帰線の値ならびに標準偏差は表-4 に示すところである。この場合の変動係数は 4.3% である。

縮み能力  $\epsilon_c$  は図-2 から明らかなように全破壊時間を通じて一定と見なし得るであろう。その平均値と標準偏差は表-4 に示すごとくである。この場合の変動係数は 6.7% である。次に弾性率を縮み能力  $\epsilon_c$  の 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 倍のひずみ値における secant modulus  $E_s$  で表現するとき、 $1/\sigma_u$  が  $\ln t_u$  と直線関係にありかつ  $\epsilon_c$  が一定であることから、 $1/E_s$  はまた近似的に  $\ln t_u$  と直線関係にありと表現できるであろうと予想される。図-3 はこの考え方から  $1/E_s$  を  $\ln t_u$  に対してプロットしたもので、ほぼこの予想が成立しているのが見られる。前回<sup>1), 2)</sup> に述べた表現より簡単であるので、この方式を採用し、この場合における回帰線の値ならびに標準偏差を求むれば表-4 のようになる。この場合の変動

図-1 Stress Strain

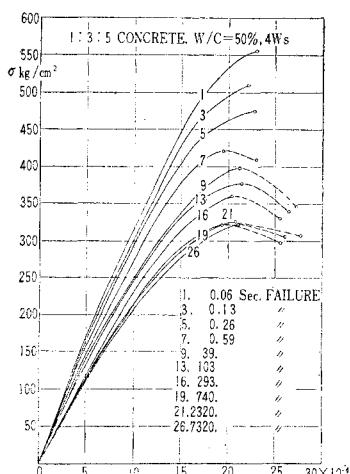


図-2 Strength-Failure Time

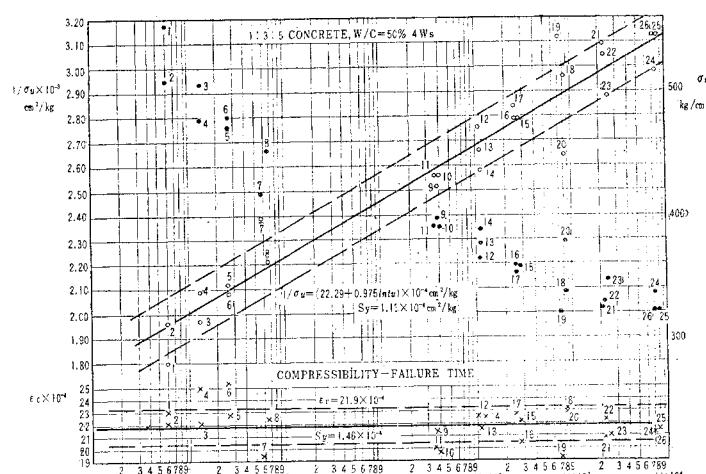
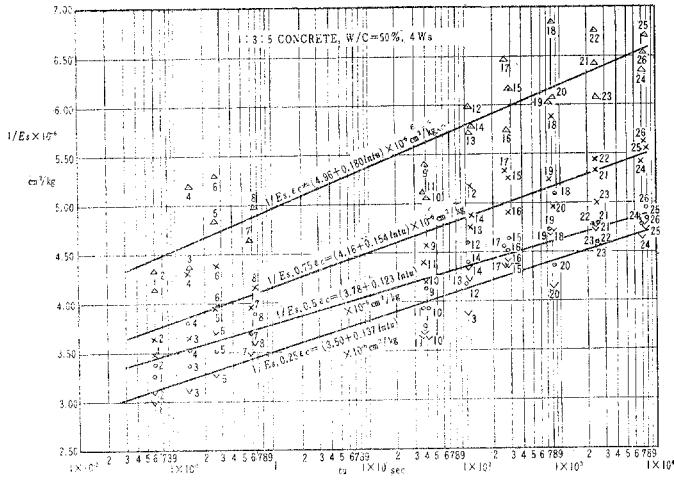


図-3 Secant Modulus-Failure Time

表-4 Calculated Relations between  $\sigma_u$ ,  $\varepsilon_c$ ,  $E_s$  &  $t_u$ 

	Relations	Standard Deviation
Relation between $\sigma_u$ & $t_u$ kg/cm², sec	$1/\sigma_u = (22.29 + 0.975 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$1.13 \times 10^{-4}$
Relation between $\varepsilon_c$ & $t_u$ sec	$\varepsilon_c = 21.9 \times 10^{-4}$	$1.46 \times 10^{-4}$
Relation between $E_s$ & $t_u$ kg/cm², sec	$1/E_s, \varepsilon_c = (4.96 + 0.180 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_s, 0.75\varepsilon_c = (4.16 + 0.154 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_s, 0.5\varepsilon_c = (3.78 + 0.123 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_s, 0.25\varepsilon_c = (3.50 + 0.137 \ln t_u) \times 10^{-6}$	$0.327 \times 10^{-6}$ $0.265 \times 10^{-6}$ $0.197 \times 10^{-6}$ $0.216 \times 10^{-6}$

係数の値は 4.6~5.8% である。

#### 4. 考察

以上のように破壊時間を広範囲にした実験を行なった結果、先に著者が提案したコンクリートの破壊強度に関する表現を次のとおり形にすればよりよい精度をもたせることができるとと思われる。すなわち、

$$1/\sigma_u = A + B \ln t_u \quad (1)$$

$$0.03 \text{ sec} < t_u < 8000 \text{ sec}$$

また縮み能力については前回と同様な表現が破壊時間を拡大しても成立する。すなわち、

$$\varepsilon_c = \text{Constant.} \quad (2)$$

$$0.03 \text{ sec} < t_u < 8000 \text{ sec}$$

Secant modulus  $E_s$  については、(1), (2)の関係から

表-5 (a) Comparison of two expressions

	Test No.	Age in Weeks	mix Proportion	w/c %	Relation between $\sigma_u$ & $\ln t_u$ kg/cm² sec	Standard deviation kg/cm²	Coeff. of variation	Relation between $1/\sigma_u$ & $\ln t_u$ cm²/kg, sec	Standard deviation cm²/kg	Coeff. of variation %
Dynamic Test <sup>2)</sup>	1	4	1:2:4	37	$\sigma_u = -22.11 \ln t_u + 707.8$	22.7	3.1	$1/\sigma_u = (14.24 + 0.459 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$0.398 \times 10^{-4}$	2.8
	3	4	1:3:5	50	$\sigma_u = -20.75 \ln t_u + 539.6$	21.3	3.9	$1/\sigma_u = (18.82 + 0.792 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$0.695 \times 10^{-4}$	3.8
	5	4	1:4:7	65	$\sigma_u = -13.88 \ln t_u + 339.5$	11.2	3.2	$1/\sigma_u = (29.94 + 1.280 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$0.832 \times 10^{-4}$	2.9
	11	4	1:3	50	$\sigma_u = -22.07 \ln t_u + 559.1$	10.7	1.9	$1/\sigma_u = (18.11 + 0.775 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$0.321 \times 10^{-4}$	1.8
Static Test <sup>2)</sup>	1	4	1:2:4	37	$\sigma_u = -15.4 \ln t_u + 576$	23.5	4.9	$1/\sigma_u = (16.40 + 0.711 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$1.02 \times 10^{-4}$	4.8
	2	4	1:3:5	50	$\sigma_u = -14.5 \ln t_u + 430$	15.8	4.7	$1/\sigma_u = (21.49 + 1.322 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-4}$	4.6
	3	4	1:4:7	65	$\sigma_u = -8.0 \ln t_u + 237$	6.75	3.5	$1/\sigma_u = (39.79 + 2.241 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$1.85 \times 10^{-4}$	3.5
	4	4	1:3	50	$\sigma_u = -13.4 \ln t_u + 446$	6.63	1.8	$1/\sigma_u = (21.51 + 1.012 \ln t_u) \times 10^{-4}$	$0.52 \times 10^{-4}$	1.9

求められる次の形が著者の先の提案より簡便であるという点で、取り扱いやすい。すなわち、

$$1/E_s = C + D \ln t_u \quad (3)$$

$$0.03 \text{ sec} < t_u < 8000 \text{ sec}$$

今、前2回<sup>1), 2)</sup>における実験結果を本文に述べた表現で計算しなおし、前回の計算結果と比較して見よう。

表-5 (a) は破壊強度の比較であって、動静両試験を通じて、一つの例外をのぞいて、すべて変動係数の値がここに新しく提案した式の場合の方が小さくなっている。

いま (1) 式の逆数を求めてみると、

$$\begin{aligned} \sigma_u &= \frac{1}{A} \left( 1 + \frac{B}{A} \ln t_u \right)^{-1} \\ &= \frac{1}{A} \left\{ 1 - \frac{B}{A} \ln t_u + \frac{B^2}{A^2} (\ln t_u)^2 \right. \\ &\quad \left. - \frac{B^3}{A^3} (\ln t_u)^3 + \dots \right\} \end{aligned}$$

となり、先に提案した式は上式の右辺の第3項以下を省略した近似式であったといえる。

両表現における変動係数の差はきわめて小さいが、提案式の方がほとんど一様に減少していること、さらに本実験のように破壊時間と広範囲にした場合ならびに次の機会に述べる動的引張破壊の場合<sup>3)</sup> 等において (1) の表現がほぼ成立することなどを考えると、全般的にコンクリートの強度と破壊時間との関係を (1) 式のごとく表わすことができるといってよさそうである。表-5 (b) は弾性率の比較であって両者の表現における変動係数の値はいずれかが決定的に小さいということはできない。ただここに述べた (3) 式の表現の方が簡単で取り扱いに便利であるということができるよう。

次に (1) 式の意味するところを考察して見よう。(1) 式がコンクリートの破壊について全般的に成立するものとすれば、かつて Taylor, N.W.<sup>4)</sup> がガラスの破壊について、分子反応速度の観点から求めた理論式と一致するというきわめて興味ある結果となる。Taylorによれば、ガラスのような脆性材の破壊は次のように考えられる。いま長さ  $l$  の柱状体に一定引張応力  $\sigma$  を作用させ、伸びが  $\lambda_0$  になったとすると、 $\lambda_0/l = \sigma/E$  となる。ここに  $E$

が  $\lambda_0$  になったとすると、 $\lambda_0/l = \sigma/E$  となる。ここに  $E$

表-5 (b) Comparison of in two expressions

	Test No.	Age in Weeks	mix proportion	W/C %	Relation between $E_s$ & $e^{-c \ln t_u}$ kg/cm <sup>2</sup> , sec	Stand. devi. kg/cm <sup>2</sup>	Coeff. of variation %	Relation between $1/E_s$ & $\ln t_u$ cm <sup>2</sup> /kg, sec	Stand. devi.	Coeff. of variation %
Dynamic Test <sup>1)</sup> $0.03 < \ln t_u < 100$ sec										
	1	4	1:2:4	37	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 28.9 e^{-0.031 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 28.4 e^{-0.031 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 27.2 e^{-0.031 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 24.9 e^{-0.031 \ln t_u} \times 10^4$	1.25 $\times 10^4$ 0.85 $\times$ 0.62 $\times$ 0.65 $\times$	4.2 3.0 2.2 2.6	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (3.50 + 0.114 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (3.54 + 0.111 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (3.69 + 0.142 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (4.02 + 0.143 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.143 $\times 10^{-6}$ 0.111 $\times$ 0.093 $\times$ 0.097 $\times$	4.2 3.2 2.5 2.5
	3	4	1:3:5	50	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 27.2 e^{-0.015 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 26.3 e^{-0.021 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 24.8 e^{-0.030 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 22.1 e^{-0.038 \ln t_u} \times 10^4$	1.04 $\times 10^4$ 0.82 $\times$ 0.77 $\times$ 0.67 $\times$	3.8 3.1 3.0 3.0	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (3.68 + 0.068 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (3.82 + 0.091 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (4.04 + 0.117 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (4.57 + 0.148 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.158 $\times 10^{-6}$ 0.119 $\times$ 0.164 $\times$ 0.136 $\times$	4.3 3.6 4.1 3.0
	5	4	1:4:7	65	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 26.1 e^{-0.018 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 23.3 e^{-0.031 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 20.9 e^{-0.031 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 17.5 e^{-0.039 \ln t_u} \times 10^4$	1.34 $\times 10^4$ 1.08 $\times$ 0.88 $\times$ 0.99 $\times$	5.0 4.5 4.0 5.4	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (3.85 + 0.072 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (4.31 + 0.134 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (4.78 + 0.165 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (5.73 + 0.224 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.190 $\times 10^{-6}$ 0.180 $\times$ 0.174 $\times$ 0.264 $\times$	5.0 4.3 3.8 4.9
	11	4	1:3	50	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 25.3 e^{-0.023 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 21.9 e^{-0.033 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 19.1 e^{-0.036 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 16.0 e^{-0.038 \ln t_u} \times 10^4$	0.95 $\times 10^4$ 0.67 $\times$ 0.55 $\times$ 0.46 $\times$	3.7 3.0 2.8 2.8	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (3.98 + 0.098 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (4.58 + 0.161 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (5.26 + 0.198 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (6.27 + 0.245 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.150 $\times 10^{-6}$ 0.129 $\times$ 0.137 $\times$ 0.207 $\times$	3.8 2.9 2.7 3.4
Static Test <sup>2)</sup> $20 \text{ sec} < t_u < 8000 \text{ sec}$										
	1	4	1:2:4	37	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 29.7 e^{-0.029 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 27.4 e^{-0.028 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 26.6 e^{-0.031 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 23.8 e^{-0.041 \ln t_u} \times 10^4$	0.66 $\times 10^4$ 0.60 $\times$ 0.72 $\times$ 0.86 $\times$	2.7 2.5 3.3 4.7	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (3.28 + 0.125 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (3.58 + 0.126 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (3.71 + 0.146 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (3.97 + 0.247 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.103 $\times 10^{-6}$ 0.109 $\times$ 0.148 $\times$ 0.281 $\times$	2.5 2.5 3.2 5.0
	2	4	1:3:5	50	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 30.5 e^{-0.045 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 27.0 e^{-0.051 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 24.5 e^{-0.055 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 21.2 e^{-0.061 \ln t_u} \times 10^4$	1.14 $\times 10^4$ 0.89 $\times$ 0.89 $\times$ 0.88 $\times$	5.0 4.8 5.1 6.1	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (3.06 + 0.227 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (3.47 + 0.270 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (3.74 + 0.327 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (4.37 + 0.412 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.278 $\times 10^{-6}$ 0.269 $\times$ 0.343 $\times$ 0.489 $\times$	6.2 5.2 5.9 7.0
	3	4	1:4:7	65	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 24.9 e^{-0.051 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 21.8 e^{-0.061 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 18.2 e^{-0.067 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 14.8 e^{-0.068 \ln t_u} \times 10^4$	0.83 $\times 10^4$ 0.82 $\times$ 0.69 $\times$ 0.62 $\times$	4.6 5.2 5.5 6.2	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (3.83 + 0.276 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (4.27 + 0.395 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (5.03 + 0.535 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (6.16 + 0.699 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.222 $\times 10^{-6}$ 0.339 $\times$ 0.433 $\times$ 0.613 $\times$	4.1 5.2 5.4 6.1
	4	4	1:3	50	$E_{s,0.25\epsilon_c} = 21.8 e^{-0.033 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.5\epsilon_c} = 18.4 e^{-0.035 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,0.75\epsilon_c} = 16.1 e^{-0.038 \ln t_u} \times 10^4$ $E_{s,\epsilon_c} = 13.3 e^{-0.041 \ln t_u} \times 10^4$	0.48 $\times 10^4$ 0.41 $\times$ 0.43 $\times$ 0.40 $\times$	2.8 2.8 3.4 4.0	$1/E_{s,0.25\epsilon_c} = (4.50 + 0.217 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.5\epsilon_c} = (5.27 + 0.248 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,0.75\epsilon_c} = (6.00 + 0.316 \ln t_u) \times 10^{-6}$ $1/E_{s,\epsilon_c} = (7.20 + 0.399 \ln t_u) \times 10^{-6}$	0.165 $\times 10^{-6}$ 0.183 $\times$ 0.278 $\times$ 0.380 $\times$	2.8 2.7 3.5 3.9

はヤング率、柱状体は長さ  $\lambda_0$  のものが  $E/\sigma$  の数の層よりなると考えられる。 $\lambda_0$  を破壊にちょうど十分な伸びとすると、破壊のための活性化エネルギーは  $\alpha E/\sigma$  となる。ここに  $\alpha$  は厚さ  $\lambda_0$  の各層の破壊直前の状態に対応する活性化エネルギーとする。破壊進行の速度は  $t$  を力を作用時間とすれば  $4t/l = \lambda_0/t$  と表現できる。

いま破壊速度を、化学反応の速度が活性化エネルギーによって定まるという考え方と同様の考え方で表現するすれば、 $\lambda_0/t = -E \lambda_0 k_0' e^{-\alpha E/kT}$  .....(4)

これから  $\ln t = -\ln k_0' + (\alpha E/kT)/\sigma$  .....(5)

ここで  $T$ : 絶対温度,  $k$ : ボルツマン常数

この式は(1)式と同一の形をもつ。

(5) 式の  $\sigma$  と (1) 式の  $\sigma_u$  とは意味するところがやや異なるけれども、破壊時間との関係が同一の形をもつということは破壊論の立場からきわめて興味あることである。著者はさらにくり返し応力による破壊、三軸応力状態における破壊等の研究を進め、全般的にどのような立場が合理的であるかを追求したいと考えている。

## 5. 結 論

$10^{-2}$  sec から  $10^4$  sec 付近までの破壊時間に至る一行

程の圧縮破壊をコンクリートについて行ないこの範囲における破壊強度、ひずみ能力、弾性率を破壊時間に対して統一的に表現しようと試みた結果、強度に関しては(1)式によるのがよいことが明らかにされた。この表現は、Taylor がガラスの破壊に関して導いた理論式と興味ある一致を見た。ひずみ能力については全般的に一定と見なし得(2)式が成立することが明らかにされた。

弾性率に関しては(3)式によるのが、(1), (2)式との関連からもまた取り扱いの簡便である点からよいという結論となった。いずれにせよコンクリートの一軸的な圧縮、引張りに関して(1), (2), (3)式が一般的に成立するといつてよくコンクリートの構造物の力学はこのような性質から導かれる、レオロジー的観点から再吟味されねばならぬであろう。

## 参 考 文 献

- 1) 畑野・堤: 地震荷重を対象としたコンクリートの動的正縮変形ならびに破壊, 土木学会論文集 67 号, 1960-3
- 2) 畑野 正: コンクリートの静的正縮変形破壊に対する時間効率, 土木学会論文集 70 号 1960-9
- 3) 畑野 正: 衝撃引張荷重によるコンクリートの挙動, 土木学会論文集 73 号, 1961-3
- 4) Taylor, N.W.: Mechanism of Fracture of Glass and Similar Brittle Solids. J. of Applied Physics 1947. Nov.

(原稿受付: 1960.9.24)