

コンクリートの圧縮、引張、曲げ強度試験 に関する若干の実験結果について

孤 島 法 夫*

On the Results of some Experiments with the Compressive, Tensile and Bending Strength Tests of Concrete

by Norio KOJIMA

1. ま え が き

コンクリートが硬化し強度発現する状態については、古くから多数の研究成果があり、一定の法則性が判明している性状が多い。しかし、それぞれの提案式等は種々の条件やその式の適用範囲により、多少の相違を示している。それら既成の結果を参考にしようとする場合には、各実験室等のそれぞれの条件でコンクリートの基本的性質を調べ、それらの成果と対比させる必要がある。

本実験は、硬化コンクリートの代表的性質である圧縮強度、引張強度、曲げ強度について若干の試験を行い、場合によっては既成の結果と較べつつ、そこにあらわれる傾向や相互関係を調べてみる。

今回扱うコンクリートの種類はブレンコンクリートと高性能減水剤混入コンクリートの計2種類で、それぞれ材令7日と28日について強度試験を行った。

2. 使用材料

セメントは、アサノ普通セメントを使用した。細骨材は鬼怒川産川砂、粗骨材は奥多摩産碎石を用いた。又、混和剤は花王石鹼のマイティ150を使用した。

骨材の特性値を表1に示す。又、セメントの比重は3.15であった。

表1 骨材の物理試験結果

	比 重	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	粗 粒 率
粗 骨 材	2.64	0.4	1538	6.96
細 骨 材	2.56	1.1	1588	2.60

* 理工学部土木工学科助教授 コンクリート工学

3. 試験方法

3.1 コンクリートの打ち込み

コンクリートの練りまぜは 100 l 強制練りミキサーを用い、1 バッチから圧縮及び引張強度試験用供試体 $\phi 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 、曲げ強度試験用供試体 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 53 \text{ cm}$ を打ち込み水中養生をした。

3.2 試験項目と試験方法

試験項目は材令 7 日と 28 日のそれぞれ圧縮強度、引張強度、曲げ強度の各試験であり、試験方法は JIS によった。又、圧縮強度試験では、ワイヤーストレインゲージによるひずみ測定を行い、静弾性係数を求めた。

4. コンクリートの配合

コンクリートの配合は、水セメント比を 40%、50%、60% とし、それぞれの水セメント比についてスランブを 5 cm、12 cm の 2 種類として、プレーンコンクリートと高性能減水剤使用コンクリートのそれぞれに組みあわせた。配合表及びコンクリート練り上り時の測定結果を表 2 に示す。

表 2 配合表と練り上り時の測定値

記号	粗骨材の最大寸法(mm)	スランブ(cm)	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)					練り上り時の測定値		
					水 W	セメント C	粗骨材 S	粗骨材 G	混和剤	スランブ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
A-1	25	5±2	40	41	181	452	688	1005	—	5.7	2.5	27.5
A-2		12±2	40	41	195	489	660	965	—	10.2	1.0	22.0
A-3		5±2	50	43	181	361	753	1014	—	6.6	1.1	26.0
A-4		12±2	50	41	205	410	677	988	—	14.0	1.5	27.0
A-5		5±2	60	45	193	322	788	979	—	6.7	0.5	27.5
A-6		12±2	60	45	218	364	744	924	—	12.2	1.0	26.0
B-1		5±2	40	41	140	350	764	1109	5.25	5.1	3.0	20.0
B-2		12±2	40	41	154	385	728	1055	5.77	12.7	3.5	19.0
B-3		5±2	50	43	159	318	781	1044	4.77	4.8	2.2	17.0
B-4		12±2	50	41	163	326	750	1096	4.68	12.4	1.4	15.0
B-5		5±2	60	45	169	281	820	1018	4.21	5.6	2.8	14.0
B-6		12±2	60	45	191	318	781	969	4.77	10.6	3.2	15.5

※混和剤は高性能減水剤マイティ150を使用

5. 試験結果及び考察

強度試験結果及び静弾性係数を表 3 に示す。

5.1 静弾性係数

静弾性係数と圧縮強度との関係を図 1-1、図 1-2 に示す。試みにアメリカコンクリート学会の式 $E=4270 W^{3/2} \sigma_c^{1/2}$ (W は単位重量 t/m^3) と比較してみると、 $\sigma_c=200 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$ では 7 日、28 日材令ともに近似した結果が得られている¹⁾。

弾性係数を、 $E=a\rho^{3/2} \sigma_c^{1/2}$ (ρ は硬化コンクリートの比重) の形で表示した式は多く、係数が 4200~5600 程度の範囲に収まっている²⁾。今回の結果からは、 $\sigma_c=600 \text{ kg/cm}^2$ では、表示式と 20% 程度の差が生じている。

表 3 試験結果

コンクリートの種類				σ_c (kg/cm ²)		σ_t (kg/cm ²)		σ_b (kg/cm ²)		E (×10 ⁵ kg/cm ²)	
記 号	混和剤	W/C(%)	スランブ (cm)	7 日	28 日	7 日	28 日	7 日	28 日	7 日	28 日
A-1	ブレン	40	5	428	478	31	39	63	—	3.18	3.47
A-2		40	12	393	529	27	36	52	60	2.94	3.20
A-3		50	5	408	433	26	32	56	—	2.71	3.10
A-4		50	12	265	371	24	—	47	54	2.26	2.58
A-5		60	5	197	339	19	22	33	55	2.64	3.05
A-6		60	12	234	424	19	—	36	57	2.79	3.13
B-1	高性能 減水剤	40	5	596	686	31	39	50	75	3.32	3.68
B-2		40	12	573	645	30	38	55	75	2.96	3.31
B-3		50	5	392	538	27	31	52	57	2.94	3.34
B-4		50	12	328	467	26	27	51	65	2.26	2.63
B-5		60	5	244	352	20	25	39	50	2.31	2.77
B-6		60	12	311	350	22	26	52	63	2.71	3.00

※以上の結果は供試体 3 本についてのデータの平均値である。

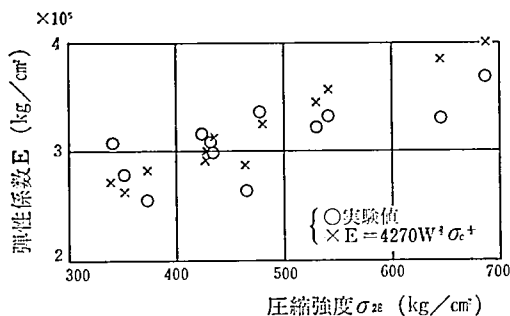


図 1-1 弾性係数と圧縮強度の関係

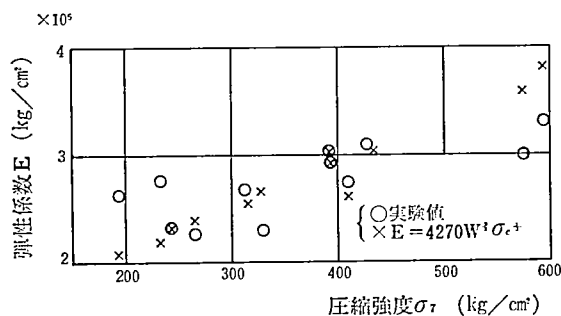


図 1-2 弾性係数と圧縮強度の関係

5.2 圧縮強度、引張強度とセメント水比

圧縮強度とセメント水比の関係を図 2-1、図 2-2 に示す。高性能減水剤は硬練りコンクリートで効果的であるが、 $\sigma_{28}=600 \text{ kg/cm}^2$ 程度では $C/W=40\%$ のブレンコンクリートのスランブ 5 cm よりも減水剤使用の 12 cm の場合の方が強度が高い。又、ブレンコンクリートでは、硬練りと軟練りによる差はなく、セメント協会の提案式に近いグラフと

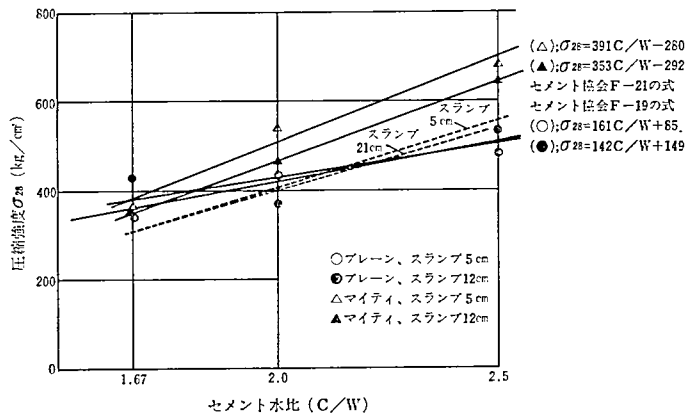
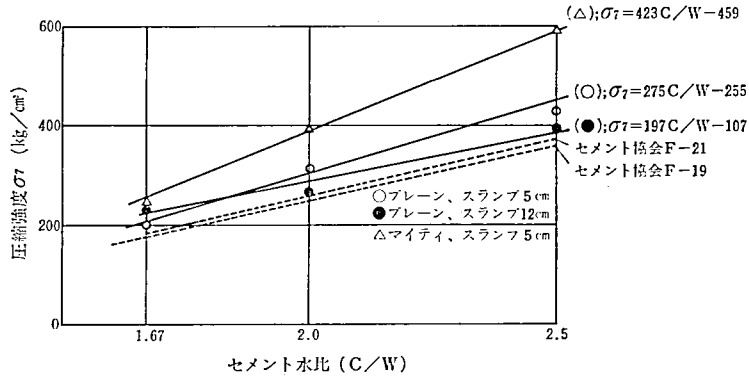
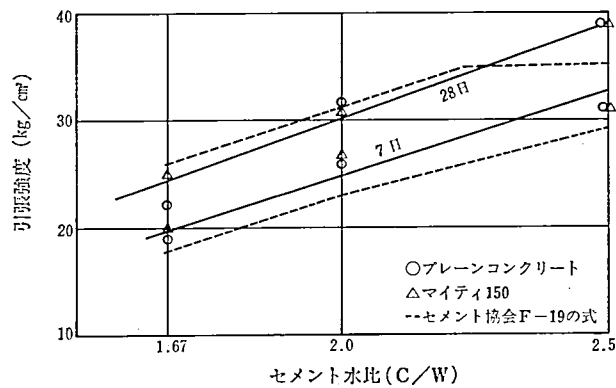
図 2-1 $\sigma_{28}-C/W$ 関係式図 2-2 σ_7-C/W 関係式

図 3 引張強度とセメント水比 (スランブ 5 cm)

なっている³⁾⁴⁾。一方、高性能減水剤を使用すると、スランブによる影響が多少表われている。材令 7 日についても同様の傾向がでている。

図 3 は引張強度とセメント水比の関係である。狭い強度範囲であるが直線表示ができる。ここではプレーンコンクリートと高性能減水剤使用コンクリートに差はない。

5.3 圧縮強度と単位水量，単位セメント量

図 4-1 に圧縮強度と単位セメント量の関係を示すが，高性能減水剤の効果がでている。又，スランブによる影響も明らかであり，材令 7 日と 28 日でも，同様の傾向が認められる。それに対して，引張強度と単位セメント量の関係（同図）は，高性能減水剤は引張強度発現に有効でないことを示している。

図 4-2 には圧縮強度と単位水量の関係を示す。ここでも高性能減水剤の効果，スランブの影響が 28 日材令，7 日材令ともに明確に出ているが，折れ線の傾向にバラツキがみられる。尚，スランブによる影響は，高性能減水剤使用コンクリートの方がプレーンコンクリートより小さい。

5.4 各強度間の相互関係

圧縮強度と引張強度の関係を図 5-1，図 5-2 に示す。 σ_c が大きくなるにつれて σ_t の伸びは小さくなり，それに対して古くから多くの提案がなされている²⁾⁸⁾。その幾つかと今回の結果を比較してみると，プレーンコンクリートでは硬練りと軟練りにかかわらず，又，

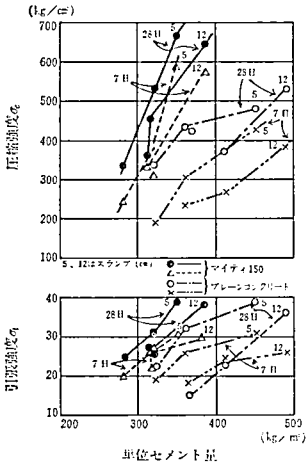


図 4-1 単位セメント量と強度

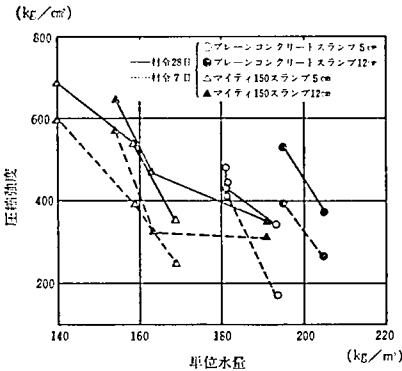


図 4-2 単位水量と圧縮強度

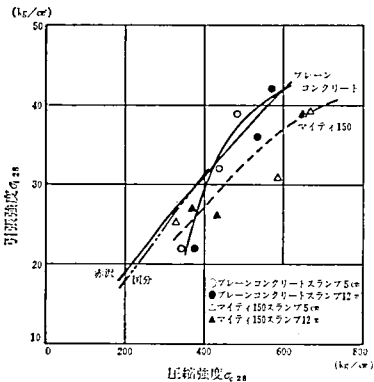


図 5-1 圧縮強度と引張強度の関係 (材令 28 日)

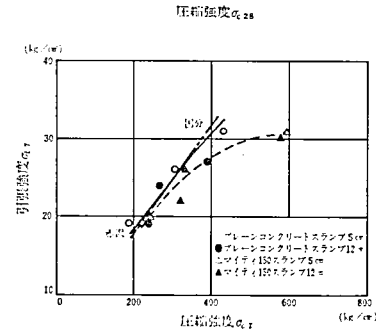


図 5-2 圧縮強度と引張強度の関係 (材令 7 日)

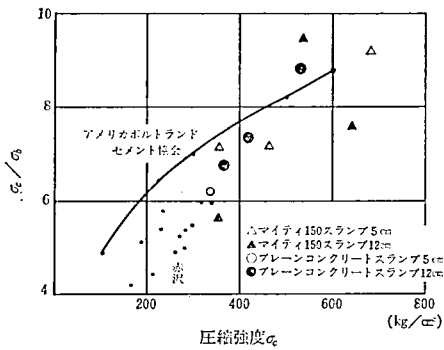


図 6 圧縮強度と曲げ強度の関係
(材令28日)

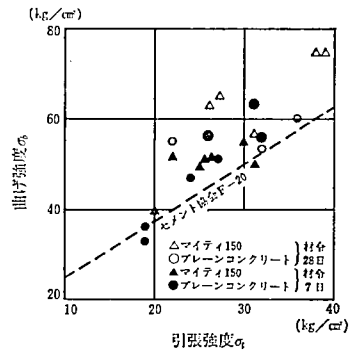


図 7 曲げ強度と引張強度の関係

材令7日と28日とによらず諸式の表現と近似するが、高性能減水剤は圧縮強度のみ増加させるので、これらの式から平行移動したようになる。又、 σ_c/σ_t の値は材令7日では11~15、28日で12~17であり、材令からみても引張強度の伸びは少ない。

次に圧縮強度と曲げ強度の関係を図6-1、図6-2に示す。 σ_c/σ_b と σ_c の関係では、高性能減水剤やスラブによる差異は明確ではない。又、 $\sigma_c=300\sim500\text{ kg/cm}^2$ では、赤沢⁹⁾の結果の延長上にあるようにみえるが、 600 kg/cm^2 付近では傾向が明らかではない⁷⁾。

一方、曲げ強度と引張強度の関係からみると(図7)、セメント協会の結果¹⁰⁾より大きめに出ており、主として曲げ強度の方に原因があるようである。

5.5 材令と強度、弾性係数

図8に材令7日と28日圧縮強度の関係を示す。この関係式を求めたものは多くあり、その代表的なものを同図に示すと、今回の結果はバラツキがみえるものの線としては、比較的既応の結果に近い。高性能減水剤の場合も多くの傾向の範囲に収まっている。

引張強度の7日材令と28日材令の関係も直線的に表わせる(図9)。又、曲げ強度につ

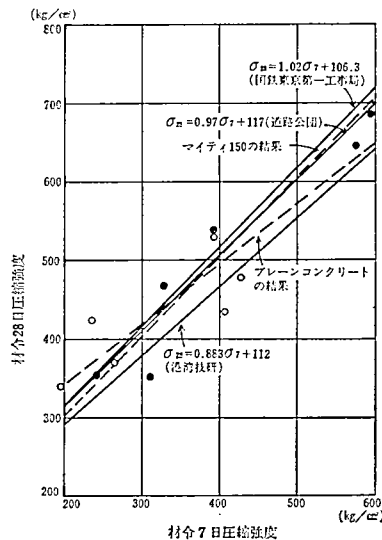


図 8 材令7日と28日の圧縮強度の関係

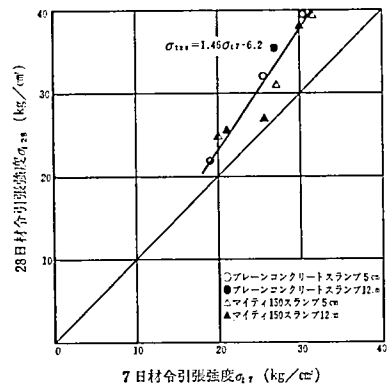


図 9 材令 7 日と 28 日の引張強度の関係

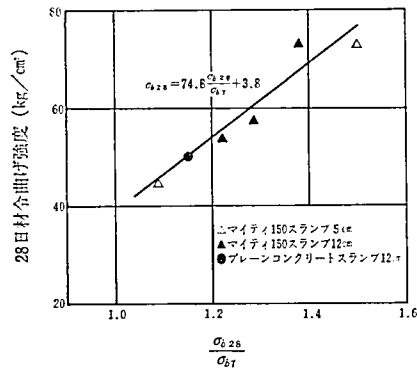


図 10 材令 7 日と 28 日の曲げ強度の関係

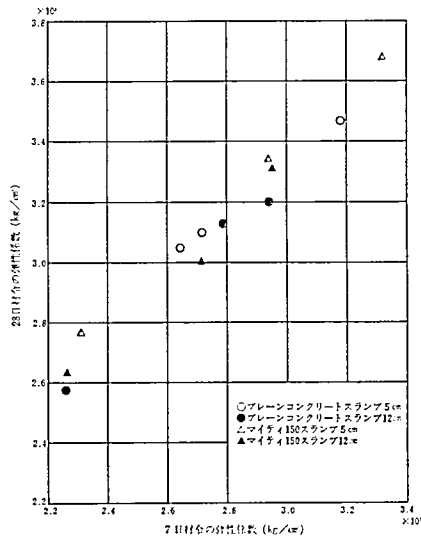


図 11 材令 7 日と 28 日の弾性係数

いての材令による強度関係は、 $\sigma_{b28}/\sigma_{b7}=1.1\sim1.5$ では σ_{b28} との間で直線表示ができる(図 10)⁶⁾。

図 11 は 7 日と 28 日材令の弾性係数の関係を示すが、スランブや混和剤によらずほぼ一定の傾向を示している。又、7 日材令の値にかかわらず、材令による弾性係数の増加量は $0.3\sim0.45$ で、平均では 0.38 (いずれも $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$) であった。

6. ま と め

1) 圧縮強度と引張強度の関係や、材令 7 日と 28 日の圧縮強度関係からみると、既応の各提案式はブレンコンクリートの結果に比較的良好一致していた。

2) 圧縮強度とセメント水比の関係については、ブレンコンクリートではスランブによる影響もないが、高性能減水剤を用いるとスランブの影響が多少出た。既応の結果でも影響を認めているようである⁵⁾。

3) 一般に材令 7 日では、種々の条件から水和過程がまちまちで強度発現も一定しないといわれるが、今回得られたように、7 日材令の $\sigma_c - C/W$ や、 $\sigma_t - C/W$ が直線関係にあることが、強度発現過程の目安となるであろう。

4) 今後の課題として

① 7 日材令の強度や弾性係数から、28 日材令の値を推定する場合に、7 日材令における強度発現や水和の状態について必要となる前提条件を明確にし、更に若材令の場合の水和や強度について検討したい。

② 強度に関する多くの既応の結果に関しては、普通養生のブレンコンクリートで比較的強度の高い場合に対する適否や、AE 剤や分散剤を用いた場合との比較を明確にしたい。

付 記

この報告は三浦一郎教授の御指導により、昭和 59 年度卒業研究生の山宮君、山中君、千住君、徳留君が行った実験をまとめたものであり、ここに謝意を表する次第です。

文 献

- 1) A. Pauw; Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density, J. ACI 37-6 p. 679-687, 1960
- 2) 岡田 他：コンクリート工学ハンドブック 朝倉書店 1981
- 3) コンクリート専門委員会：富配合かた練りコンクリートのセメント水比と圧縮強度および引張強度との関係に関する報告 セメント協会 F-19, 1968
- 4) コンクリート専門委員会：碎石を用いた軟練りコンクリートの配合および強度に関する報告、セメント協会 F-21 1969
- 5) 長滝, 米重：高性能減水剤高強度コンクリートへの応用 セメントコンクリート No. 427-9 ア. 18~ア. 25 1982
- 6) A. M. Neille：コンクリートの特性 技報堂出版 1981
- 7) 近藤 他：コンクリート工学ハンドブック 朝倉書店 1965
- 8) 赤沢：コンクリートの圧縮による内部応力を求める新試験法 土木学会誌 29-11 777 1943
- 9) 柳田：材令 28 日圧縮強度と材令 7 日圧縮強度との関係についての既応の資料 コンクリートライブラリー 38 p. 21 1974
- 10) コンクリート専門委員会：碎石を用いた舗装用コンクリートの圧縮強度および曲げ強度に関する報告 セメント協会 F-20 1968