

正会員 ○ 小野博宣 (中部工大)

" 大岸佐吉 (名古屋工大)

まえがき

すべての材料の力学的諸性質(強度、弾性率、変形等)が荷重速度の影響をうけることは広く知られている。コンクリート構造物においても、衝撃的荷重、地震のような低周期荷重、クリープ荷重等、短時間載荷から長時間載荷に亘る広い時間帯域についての挙動を説明する必要があるから、古来コンクリートの載荷速度依存性に関する研究が行われていた。短時間領域を対象に勝田¹⁾、D. Watslein²⁾、竹田³⁾らの研究が、中時間領域($\bar{\epsilon}_c = 50 \sim 0.5$ $\text{kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$)を対象に、畑野⁴⁾、P.G. Jones⁴⁾、奥島⁵⁾、小坂⁶⁾、著者⁷⁾の研究がみられる。本研究はコンクリートの圧縮強度とひずみの載荷速度に対する依存性を、若狭令(1, 3, 7, 28日)を対象としたことと、超低速を対象にした2点に特徴がある。

1. 実験方法

1.1 試験体

本実験はセメントモルタルを対象とした。材料として普通ポルトランドセメント、細骨材は天然川砂(本館川)で砂の粒度5mm以下($\rho = 2.56$)である。試験モルタルの調合は、Table 1. に示す如く、2系列7調合である。即ち実験シリーズIはW/Cの効果に関するものであり、シリーズIIはS/Cの効果について調べる。前者の調合ではS/C = 1/3に統一し、後者の調合ではW/C = 65%に固定している。供試体の寸法はすべて10φ×20(cm)円柱形であり、25℃気温の室内で混合し、試験材令まで20℃水中に養生した。

1.2 試験条件

モルタルの試験材令は、いずれの調合も1日、3日、7日、14日、28日の5材令である。本研究に使用した変速の荷重試験機は、電動サーボモーターによる(島津製作所)オートグラフDSS-50T(容量50ton)である。1条件につき原則として3ヶの供試体と充当した。

供試体の圧縮ひずみは、相対する2枚線上の標尺間距離150(mm)の変位を2ヶの差動トランスを用い自動記録させ、平均値を以て

TABLE 1. WEIGHT MIXING OF CEMENT MORTAR.

EXR. SER.	W/C (%)	S/C	C (KG/M ³)	W (KG/M ³)	S (KG/M ³)	FL. (MM)
I	55	1/3	490	269	1470	165
	65		467	304	1401	211
	75		446	335	1339	240
	85		427	363	1282	263
II	65	2	571	371	1143	260
		3	467	304	1401	211
		4	395	257	1580	150

ORDINARY PORTLAND CEMENT,
KISO-RIVER SAND, UNDER 5MM, DENS.=2.56

TABLE 2. COMPRESSION TEST OF 28D-CONCRETE IN VARIOUS LOAD RATE.

MIXING W/C (%)	S/C	STRESS RATE, $\bar{\epsilon}_c$ (KG/CM ² ·SEC)	RATE STEP	NO. OF TEST PICES	STRAIN RATE, $\bar{\epsilon}$ (10 ⁻⁶ /SEC)	AVER. COMP. STG., $\bar{\sigma}_c$ (KG/CM ²)	MAXIMUM AVERAGE STRAIN $\bar{\epsilon}_c$ (10 ⁻⁶)
65	2	27.0-28.1	H	3	245-320	269	2723
		2.75-2.88	M	3	30.4-36.4	247	2875
		0.25-0.29	L	3	2.85-3.11	227	2554
		0.025	LL	1	0.30	212	2617
	3	26.6-30.2	H	3	218-260	334	2750
		2.68-3.14	M	3	23.0-28.3	312	2706
		0.26-0.27	L	3	2.63-2.78	287	2919
		0.026	LL	2	0.28	252	2750
	4	30.3-30.5	H	3	270-331	266	2608
		2.91-3.15	M	3	30.2-32.5	245	2555
		0.28-0.29	L	3	2.79-2.96	240	2430
		0.025	LL	2	0.30	224	2670

STRAIN RATE, H:10, M:1, L:0.1, LL:0.01 (MM/MIN)

TABLE 3. COMPRESSION TEST OF 3D- AND 28D-CONCRETE IN VARIOUS LOAD RATE.

TEST AGE (DAY)	W/C (%)	STRESS RATE, $\bar{\epsilon}_c$ (KG/CM ² ·SEC)	RATE STEP	NO. OF TEST PICES	STRAIN RATE, $\bar{\epsilon}$ (10 ⁻⁶ /SEC)	AVER. COMP. STG., $\bar{\sigma}_c$ (KG/CM ²)	MAXIMUM AVERAGE STRAIN $\bar{\epsilon}_c$ (10 ⁻⁶)
3D.	55	20.9-21.2	H	3	296-391	152	2435
		2.02-2.29	M	3	37.8-39.9	140	2516
		0.23	L	2	3.95-4.21	139	2467
		0.014	LL	1	0.34	129	3200
	65	15.2-17.4	H	3	280-319	122	2261
		1.80-2.09	M	3	36.4-37.9	121	2279
		0.15-0.17	L	2	3.32-3.65	112	2467
		0.01-0.014	LL	2	0.36-0.37	109	2966
	75	13.8-17.3	H	3	323-442	87	2062
		1.10-1.52	M	3	33.3-34.4	73	1938
		0.15-0.16	L	3	3.86-5.33	76	2196
		0.0084	LL	1	0.37	68	2960
28D.	55	32.4-34.8	H	3	215-274	399	2981
		3.22-3.29	M	3	25.8-27.8	363	2973
		0.30-0.32	L	3	2.47-3.01	317	2919
		0.025	LL	2	0.23-0.25	317	3057
	65	26.6-30.2	H	3	218-260	334	2750
		2.68-3.14	M	3	23.0-28.3	312	2706
		0.26-0.27	L	3	2.63-2.78	287	2919
		0.02-0.03	LL	2	0.28	252	2750
	75	26.5-30.6	H	3	317-341	238	2697
		2.61-2.80	M	3	27.9-32.6	207	2350
		0.24-0.25	L	3	3.01-3.23	185	2331
		0.02	LL	1	0.31	177	2777

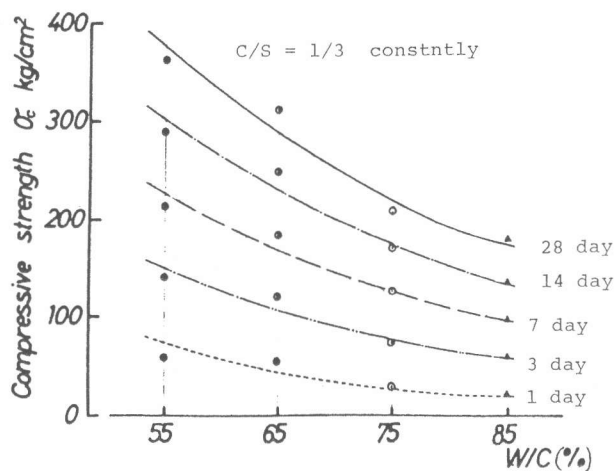


Fig. 1 Compressive strength vs. W/C.

圧縮ひずみとした。前記DSSは荷重制御、変形制御のいずれも可能であるが、本実験では変形制御により行ない、高速変形(H)から低速変形(L)にいたる下記の4段階で測定した。

高速 H; 10 (mm/min) $\rightarrow \bar{\epsilon} = (200 \sim 400)$ $\rightarrow \bar{\sigma}_c = (10 \sim 40)$ $\rightarrow$

中速 M; 1 () $\rightarrow \bar{\epsilon} = (20 \sim 40) \mu/\text{sec} \rightarrow \bar{\sigma}_c = (1 \sim 4) \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$

低速 L; 0.1 () $\rightarrow \bar{\epsilon} = (2 \sim 4)$ $\rightarrow \bar{\sigma}_c = (0.1 \sim 0.4)$ $\rightarrow$

低速 LL; 0.01 () $\rightarrow \bar{\epsilon} = (0.2 \sim 0.4)$ $\rightarrow (0.01 \sim 0.04)$

各速度階に対応するコンクリートの平均ひずみ速度 $\bar{\epsilon}$ 、および応力速度 $\bar{\sigma}_c$ は概ね上記の値となる。

2. 実験結果

前述の実験条件のもとで試験したシリーズIIの測定結果の例28日齢のものについて Table 2. に掲げた。材令1, 3, 7, 14日のものは掲載を省略した。同じく Table 3. は W/C 効果に関するシリーズIの試験材令3日と28日の実験例を示したものである。材令1, 7, 14日の結果を省略した。これらの表には $\bar{\sigma}_c$, $\bar{\epsilon}$, 平均圧縮強度 $\bar{\sigma}_c$, およびその強度における平均最大ひずみ $\max \bar{\epsilon}$ を示している。

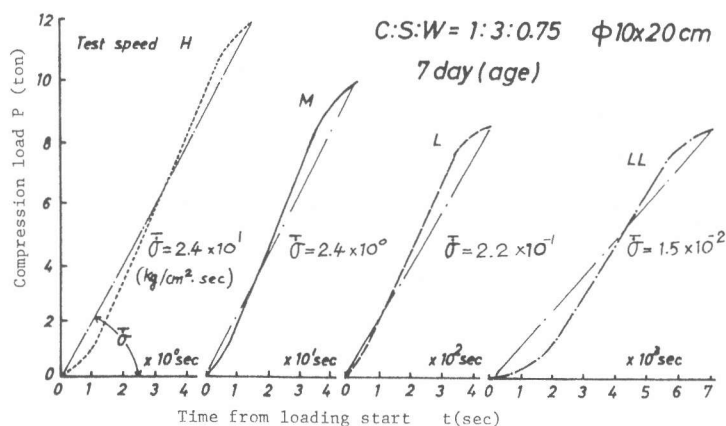


Fig. 3 Various loading rate.

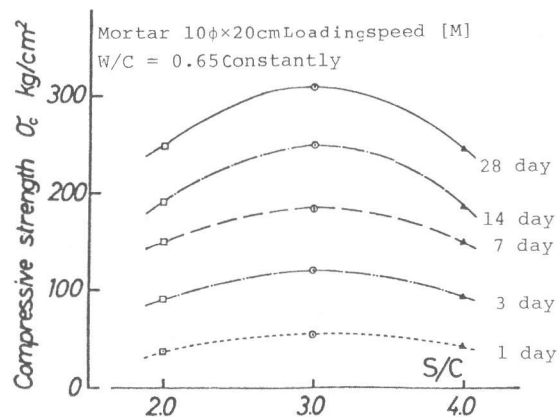


Fig. 2 Compressive strength vs. S/C

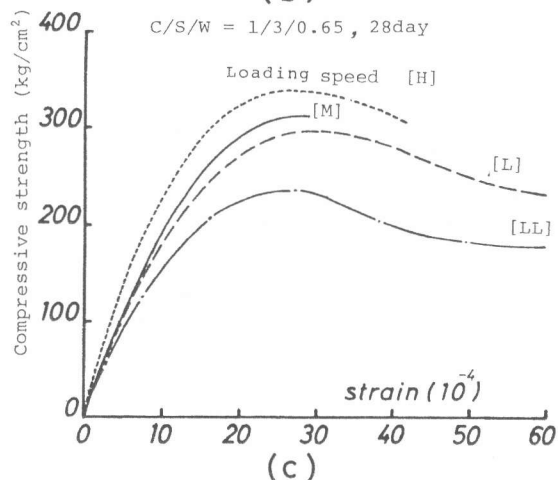
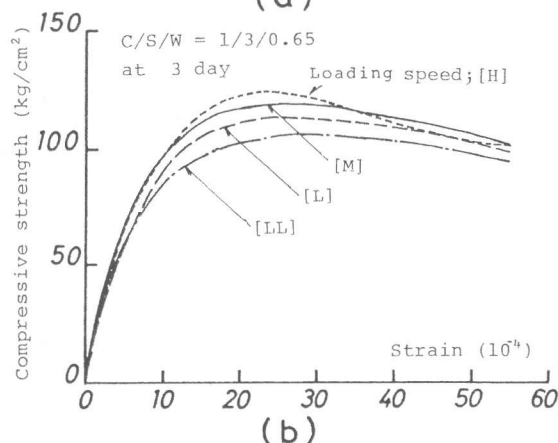
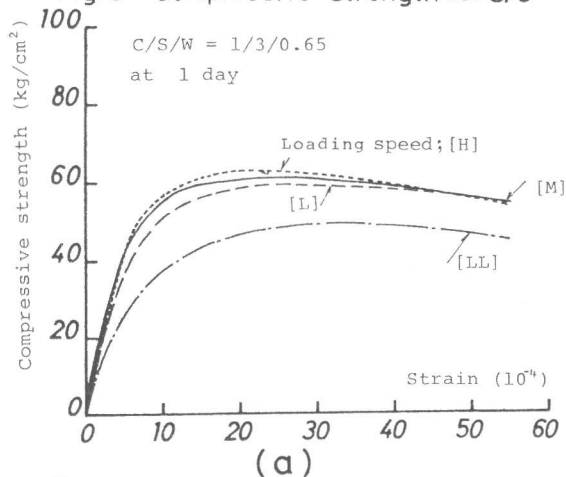


Fig. 4 Stress-strain curves under various stress rate.

Fig. 1は圧縮強度のW/C効果も各枝令別に、Fig. 2は強度のS/C効果を示したものであり、実用的参考資料になりうる。

3 結果の考察

Fig. 3はあるコンクリートに4種類の異った荷重速度を与えた場合の、荷重量の時間変化を示したものである。これによれば荷重Pは時間tに厳密には比例しないが、荷重荷開始の初期と、荷試件破壊の近傍を除けば比較的よく比例的に増加している。本研究では平均応力速度 $\bar{\sigma}_c$ により結果を整理した。

Fig. 4(a)(b)(c)は、C/S/W=1/3/0.65のモルタルの試験 (a) 枝令 1, 3, 28 日についての4荷重速度階で求めた応力-変位図を示している。いずれの枝令でも、高速載荷ほど最大荷重(即ち強度)が大であり、高枝令で高強度のコンクリートの方が若枝令で低強度のものよりも強く、荷重速度の依存をうけることが目とく。

Fig. 5は圧縮強度の枝令変化を荷重速度階別に示したものである。これによれば $\sigma_c = 20 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ 以下のモルタルでは荷重速度の影響は強くと僅小であるが、調合の如何を内はず、高強度なものほど応力速度効果が顕著であることが明白である。

Fig. 6 (a)(b)(c)(d)はW/C=55, 65, 75, 85%各モルタルの強度値におけるひずみ $\max \epsilon_c$ を試験時の枝令について

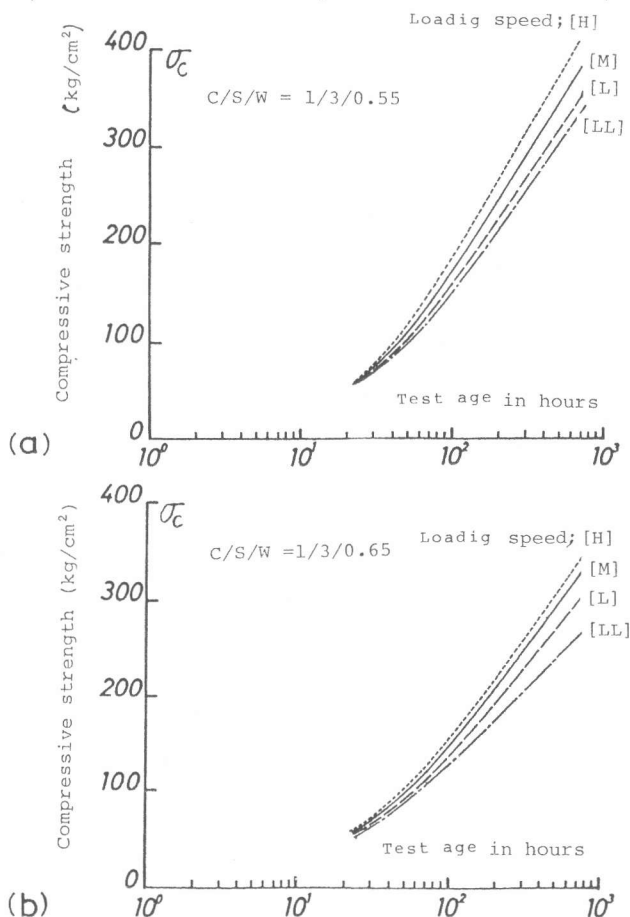


Fig. 5 Compressive streng. vs. test age.

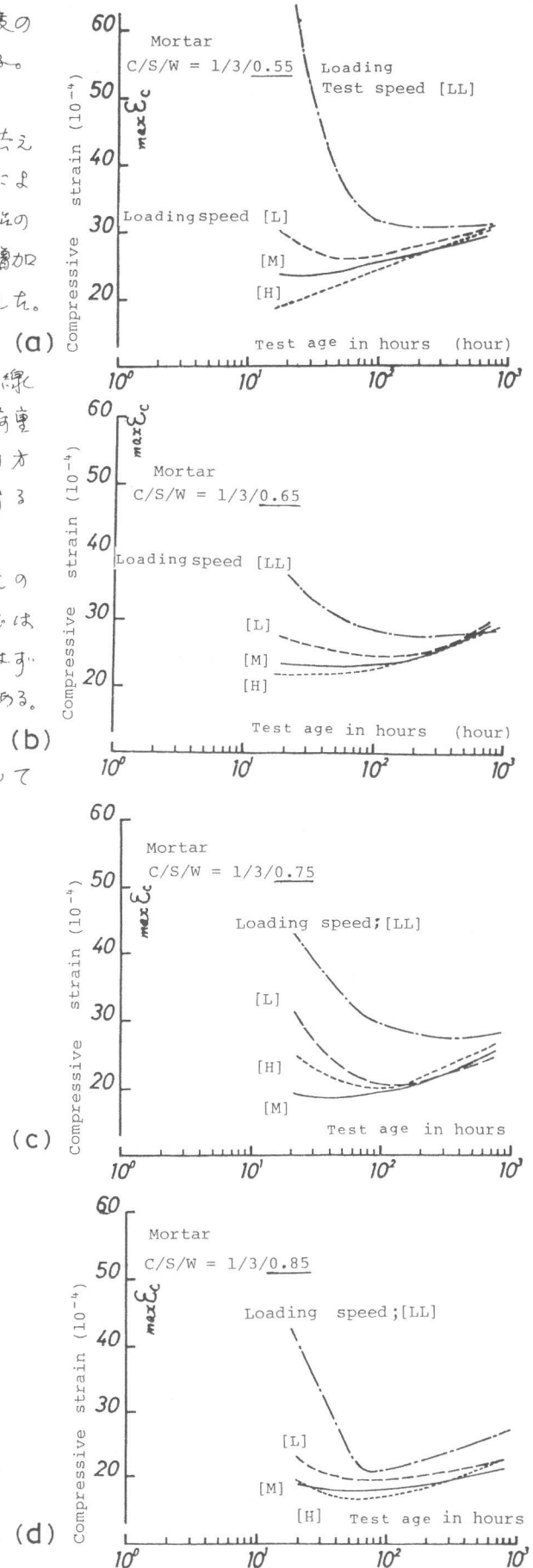


Fig. 6 Comp. max. strain vs. test age.

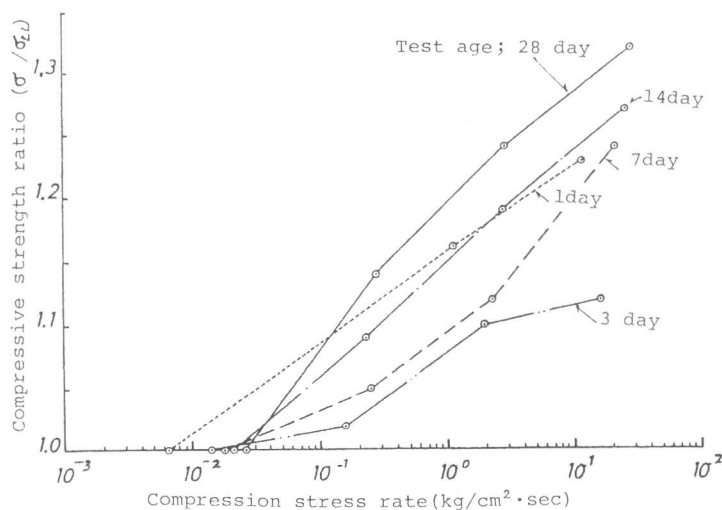


Fig. 7 Relation between the increase ratio of strength and comp. stress rate.

示したものである。図によれば、若材令では強度値における最大ひずみは荷重速度階に大きく影響されるが、高材令のモルタルでは $\max \epsilon$ は殆んど $\dot{\sigma}$ に影響されないことが興味をひく。この σ_c と $\max \epsilon$ の2つに対する寄与と S-S 曲線により、模式的に示したものが Fig. 9 である。

Fig. 7 は、圧縮応力速度 $\dot{\sigma}$ に対する強度増大比 (応力速度階 LL を規準とし) を示したものである。強度増大比はほぼ $\dot{\sigma}$ に比例的に増加し、一桁高速とすると約 10% 強度値は増す。

Fig. 8 は本実験における歪み速度 $\dot{\epsilon}$ と応力速度 $\dot{\sigma}$ との関係を示したものであり、両者は $\dot{\sigma} = a(\dot{\epsilon})^k$ で表わしうる。この関係式はコンクリートの材令の如何にかかわらず a のみを要して成立する。

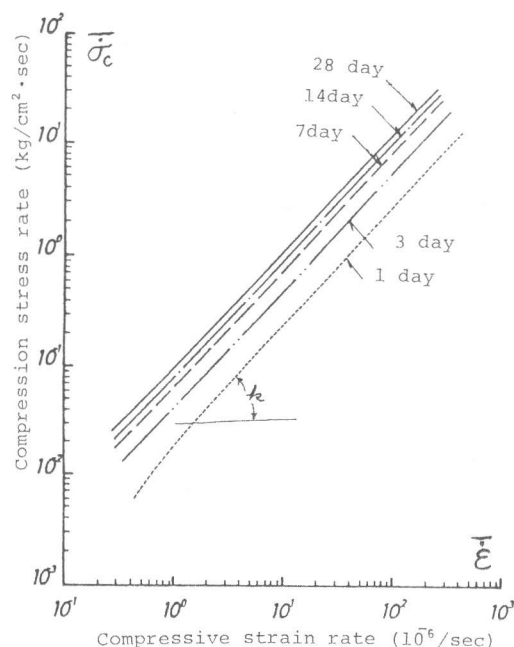


Fig. 8 Stress rate vs. strain rate.

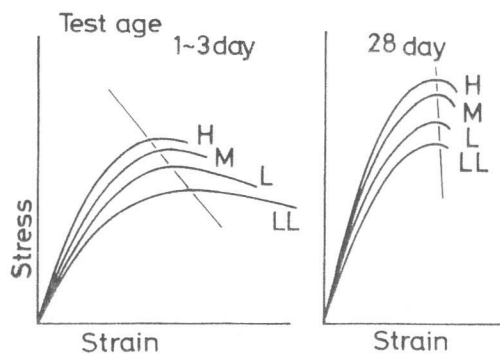


Fig. 9 Pattern of s-s curves.

4. 結論

コンクリートは材令の如何と関係なく高速載荷ほど圧縮強度が増大し、強度における最大ひずみ $\max \epsilon$ は低速載荷ほど増大するのは従来の知見と同一であるが、高強度(高材令)なコンクリートの最大ひずみ $\max \epsilon$ は、殆んど応力速度の影響をうけず、又若材令の弱強度コンクリートほど強度は応力速度の影響をうけないことを見出したことが本研究の成果である。

文献

- 1) 勝田千利; 日本建築学会論文集, ㉙29号 (昭和18年5月), ㉙33号 (昭和19年4月)
- 2) Watstein, D.; Jour. of ACI, Vol. 49, Apr. (1953).
- 3) 畑野 正; 土木学会論文集, ㉙70号 (昭和35年9月), ㉙73号 (昭和36年3月) [2報を含む]
- 4) Jones, P. G., and F. E. Richart; Proceedings ASTM, Vol. 36,
- 5) Evans, R. H.; Jour. Inst. of Civil. Engineering, Vol. 18,
- 6) 竹田仁一, 立川博之; 日本建築学会論文報告集, ㉙63号 (昭和34年10月), ㉙66号 (昭和35年10月)
- 7) 竹田仁一, 立川博之; 日本建築学会論文報告集, ㉙77号 (昭和37年9月), ㉙78号 (昭和37年10月)
- 8) 奥島正一, 小阪義夫, 西岡恩郎; セメント技術年報, ㉙14巻 (1960), ㉙16巻 (1962)
- 9) 大岸佐吉; 日本建築学会論文報告集, ㉙81号 (昭和38年1月), ㉙86号 (昭和38年6月)
- 10) 大岸佐吉; 日本建築学会大会学術講演梗概集, 北海道 (昭和44年8月)