

報告

[1046] 高強度現場打設用コンクリートの性状について

正会員 大谷 博 (東急建設技術研究所)

正会員 大岡 督尚 (東急建設技術研究所)

1. 概要

RC構造物は、より高層化の開発が進められ、コンクリートは、高層化による部材応力の増大と部材断面の低減に対応するため、より高強度のものが要求されている。高強度コンクリートは、厳密な品質管理を要求されるため、管理方法を確立するための一連の実験的研究を行なっている。本報では、50～60階建て程度の超高層RC造建築物に対応する圧縮強度700～1000kgf/cm²の超高強度コンクリートの実大柱の性状について報告する。本研究は、神奈川県内で、11月(寒冷期)および7月(暑中)にコンクリートを打設した2シリーズの実大柱の実験とその各シリーズの試し練りからなる。シリーズ1では、スラリー状のシリカフェームをセメント重量の20%用い、水セメント比27%のコンクリートを打設し、実大柱のコア等の圧縮強度が800kgf/cm²を満足するか実験を行なった。シリーズ2においては、安価なベレット状のシリカフェームをセメント重量の20%用い、水セメント比25%のコンクリートを打設し、実大柱のコア等の圧縮強度で1000kgf/cm²を満足するか実験した。7月に打設した実大柱は、セメントの水和熱により、高温になることが予想されるので初期温度との関係についても検討した。

2. シリーズ1の試し練り

2.1 調合条件

水セメント比を25%、スランブを18cm、シリカフェームをセメントの外割20%とした。使用した骨材の物理的性質を表1に示し、コンクリートの調合を表2に示す。

2.2 フレッシュコンクリートの性質

フレッシュコンクリートの性質を表3に示す。

2.3 強度試験結果

供試体(φ10×20cm)の強度は標準養生の材令91日で999kgf/cm²であった。

2.4 考察

試し練り1の結果、材令91日の標準水中養生で、999kgf/cm²の強度で、40m程度の高さまでポンプ打設が可能なおスランブ15cm以上のコンクリートが得られることが判明した。

表1 使用骨材の物理的性質等

シリーズ No.	細骨材		粗骨材		
	1	2	1	2	
産地および名称	相模川 君津市 混合	君津市 山砂	八王子 美山町 碎石	東京都 青梅市 碎石	埼玉県 入間郡 碎石
最大寸法(mm)	5	5	20	20	20
表 乾 比 重	2.60	2.60	2.66	2.65	2.71
吸 水 率 (%)	1.99	1.33	0.70	0.73	0.43
粒形判定実績率 (%)	—	—	59.7	59.1	59.3
粘土塊量 (%)	0.6	0.11	0.1	0.0	0.0
洗い試験により失われる量 (%)	1.8	1.4	0.62	0.65	0.81
粗 粒 率	2.80	2.72	6.70	6.70	6.60

表2 シリーズ1の試し練りコンクリートの調合(普通ポルトランドセメント使用)

調合記号	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和剤材(kg/m ³)	
					水	セメント	細骨材	粗骨材	MV2000WH	シリカフェーム
S IN25SM	18	1.0	25	36.1	150	600	552	1010	15.0	120

3. シリーズ 1 の実大柱施工実験

表3 シリーズ 1 の試し練りフレッシュコンクリートの性質

3. 1 供試体形状等

供試体の形状寸法等を図1に示す(無筋)。供試体は、

調合記号	測定材令(分)	スランブ(cm)	スランブフロー(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
S IH25SM	0	15.0	233×230	1.8	23.5

神奈川県相模原市内の実験場に11月に打設した。

3. 2 打設コンクリートの性状

シリーズ1の実大柱実験の調査を表4に示す。フレッシュコンクリートの性質を表5に示す。供試体(φ10×20cm)の強度を表6に示す。本コンクリートは、スラリー状シリカフェム(水:シリカフェム=1:1)を用いたため、水セメント比の下限は表4に示す様に、27%になった。また、セメントは、普通ポルトランドセメントよりセメント強度の高い早強ポルトランドセメントを使用した。

図2にコンクリートの温度測定結果を示す。

3. 3 コア強度

実大柱から抜き取った77供試体(φ10×20cm)の圧縮強度(コア圧縮強度)を表7に、77引張強度を表8に示す。また、77圧縮強度の分散分析の

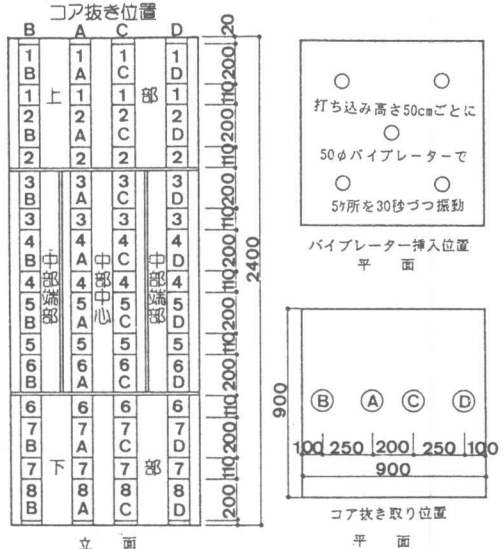


図1 シリーズ 1 の実大柱供試体の形状寸法等

表4 シリーズ 1 の実大柱に用いたコンクリートの調合(早強ポルトランドセメント使用)

調合記号	スランブ(cm)	空気量(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤材(kg/m ³)	前練り時間(分)	
					水	セメント	細骨材	粗骨材			
SIH27SM	21	1.0	27	36.1	160	583	545	998	My2000WH シリカフェム	14.8 119	0

表5 シリーズ 1 の実大柱に用いたフレッシュコンクリートの性質

結果を図3, 4に示す。

77圧縮強度試験用供試体は、両端を研磨の上付キャッピングして試験を行った。

調合記号	測定材令(分)	スランブ(cm)	スランブフロー(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
SIH27SM	30	22.0	420×425	1.0	21.5

表6 シリーズ 1 の実大柱に用いたコンクリートの供試体強度(kgf/cm²)

3. 4 考察

1) 表6によれば、このコンクリートは、材令91日で1019kgf/cm²の圧縮強度であった。

2) 表7によれば、コア圧縮強度は材令28日で600kgf/cm²を、材令91日で800kgf/cm²を満足している。

3) 図3, 4によれば、材令(28日, 91日)の主効果は99%の確率で有意であり、コア抜き位置(A, B, C, D)の主効果、柱部位(上部, 中部中心, 中部端部, 下部)の主効果は共に99%の確率で有意であるが、寄与率は柱部位の方が大きい。柱部位で強度の高い所は中部中心で、これは、セメントの水和熱による最高到達温度の高い所と一致する傾向を示している。

4) コア引張強度は、コア圧縮強度によく似た傾向を示している。

養生方法	水セメント比(%)	材 令 (日)							
		4		7		28		91	
		圧 縮 強 度							
		強度	平均	強度	平均	強度	平均	強度	平均
現場水中	27	588	560	650	652	787	785	968	1019
		558		659		791		1020	
		535		642		777		1070	
標準水中	27	—	—	694	681	1005	1001	—	—
		—		668		1006		—	
		—		682		991		—	

表7 シリーズ1の実大柱のJ7圧縮強度(kgf/cm²)

高さ No.	材 令 (日)					
	28			91		
	部 位			部 位		
	中心 A	端部 B	AB 平均	中心 C	端部 D	CD 平均
1 C	682	497	590	741	780	761
2 C	722	615	669	886	867	877
3 C	849	573	711	955	826	891
4 C	764	663	714	936	824	880
5 C	729	659	694	941	814	878
6 C	733	659	696	966	845	906
7 C	701	665	683	876	814	845
8 C	669	559	614	821	804	813
平均	731	611	671	890	822	856

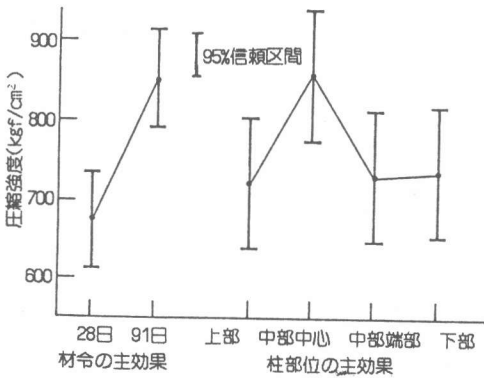


図3 シリーズ1の実大柱のJ7圧縮強度要因効果図

4. シリーズ2の試し練り

4.1 調合条件

スラリー状のシリカフェームでは、水セメント比に限界があることから、安価なペレット状のシリカフェームを用いてポンプ打設が可能な範囲で、できるだけ水セメント比を小さくして試し練りを行った。ペレット状シリカフェームをよく練り混ぜるため空練り（ここでは、水と混和剤以外の材料全てを投入して練り混ぜることとした）時間を0, 1, 3分間と変化させ、本練りは、1.5分とした。調合条件は、水セメント比23%、スランプ18cm、シリカフェームをセメントの外割20%とした。調合を、表9に示す。

表9 シリーズ2の試し練りの調合（早強ホ*ムラト*セメント使用）

調合記号	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和剤材(kg/m ³)		前練り時間 (分)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	My2000WH	シリカフェーム	
S iH23P0	18	1.5	23	35.0	145	630	525	1005	31.5	126	0
S iH23P1	18	1.5	23	35.0	145	630	525	1005	31.5	126	1
S iH23P3	18	1.5	23	35.0	145	630	525	1005	31.5	126	3

□中部端部 △中部中心 ○上部端部 ■上部中心
●下部中心 ⊙外気温

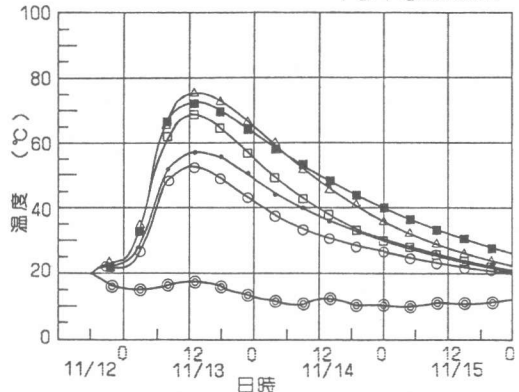


図2 シリーズ1の実大柱のJ7コンクリートの温度測定結果

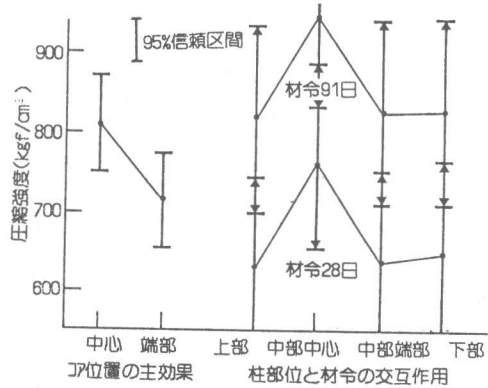


図4 シリーズ1の実大柱のJ7圧縮強度要因効果図

表8 シリーズ1の実大柱のJ7引張強度(kgf/cm²)

高さ No.	材 令 (日)					
	28			91		
	部 位			部 位		
	中心 A	端部 B	AB 平均	中心 C	端部 D	CD 平均
1	63.3	55.9	59.6	60.9	66.3	63.6
2	60.7	42.1	51.4	65.7	62.0	63.9
3	57.6	45.2	51.4	64.2	52.2	58.2
4	56.0	52.5	54.3	65.9	50.1	58.0
5	46.5	41.6	44.1	63.4	53.8	58.6
6	58.0	37.3	47.7	61.1	59.2	60.2
7	45.3	56.0	50.7	60.7	58.0	59.4
平均	55.3	47.2	51.3	63.1	57.4	60.3

4.2 フレッシュコンクリートの性質

フレッシュコンクリートの性質を表10に示す。

4.3 強度試験結果

供試体強度等を、表11に示す。

4.4 考察

シリーズ2の試し練りの結果、ポンプ打設が可能なスランパで、

表10 シリーズ2の試し練りフレッシュコンクリートの性質

調査記号	測定材令(分)	スランパ(cm)	スランパフロー(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
S IH23P0	0	12.0	233×230	1.8	23.5
	0	12.1	217×223	1.9	26.0
S IH23P1	30	17.5	271×255	2.0	25.0
	60	19.1	275×265	2.0	23.5
	90	18.0	254×260	-	-
S IH23P3	0	15.8	228×256	1.7	27.0

材令28日の標準水中養生で圧縮強度1100kgf/cm²を満足するコンクリートが得られることが判明した。

5. シリーズ2の実大柱施工実験

5.1 供試体形状等

供試体形状寸法等を図5に示す。

5.2 打設コンクリートの性状

シリーズ2の実大柱施工実験の調査を表12に示す。フレッシュコンクリートの性質を表13に示す。供試体強度を表14に示す。

表11 シリーズ2の試し練りコンクリートの強度試験結果(kgf/cm²)

調査記号	水セメント比(%)	材 令 (日)							
		3		7		28		91	
		圧 縮 強 度							
		強度	平均	強度	平均	強度	平均	強度	平均
S IH23P0	23	803	802	936	918	1066	1035	993	1094
		808		903		1104		1114	
S IH23P1	23	800	803	920	922	1206	1096	1067	1087
		808		904		1004		1129	
S IH23P3	23	722	724	892	888	1066	1102	1104	1061
		713		887		1115		978	
		736		884		1125		1101	

コンクリートは、施工性確保の面から水セメント比を25%とし、早強ポルトランドセメントを使用し7月に横浜市緑区内の実験場に打設した。図6にコンクリートの温度測定結果を示す。

5.3 コア強度

実大柱から抜き取ったコア圧縮強度を表15に、コア引張強度を表16に示す。また、コア圧縮強度の分散分析の結果を表17, 18, 図7, 8に示す。

5.4 考察

1) 表14によれば、このコンクリートは、材令28日で987kgf/cm²の圧縮強度があり、材令91日で1021kgf/cm²の圧縮強度があり、おおむねF_c=1000kgf/cm²を満足している。

2) 表15によれば、コア圧縮強度は、材令28日で930kgf/cm²を、材令91日で1000kgf/cm²を満足している。

3) 表17, 18によれば、材令(28日, 91日)の主効果およびコア抜き位置(A, B, C, D)の主効果は99%有意であるが、柱部位(上部, 中部中心, 中部端部, 下部)の主効果は、有意差が出ていない。柱部位で強度の高い所は、柱の中部中心で、シリーズ1と同様に、セメントの水和熱に

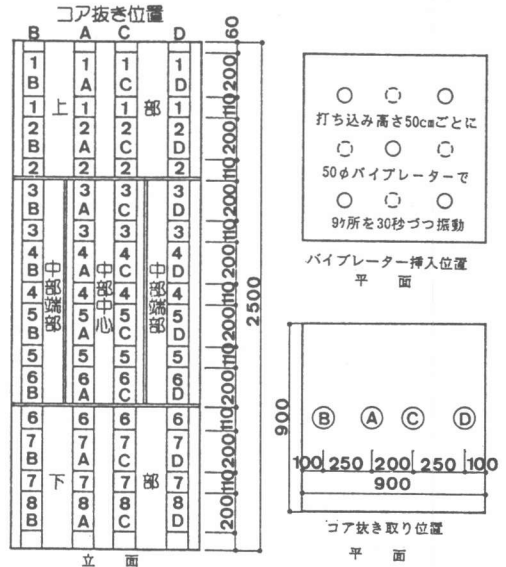


図5 シリーズ2の実大柱供試体の形状寸法等

表12 シリーズ2の実大柱に用いたコンクリートの調合(早強ポルトランドセメント使用)

調査記号	スランパ(cm)	空気量(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和剤材(kg/m ³)		前練り時間(分)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	Mv2000MH	シカ7ユーL	
SIH23P1	21	1.0	25	35.0	156	622	519	993	28.00	124	1.5

よる最高到達温度の高い所と一致している。しかし、圧縮強度の均一性は、シリーズ2（暑中打設）の方がシリーズ1（寒冷期打設）より、良い傾向を示している。

4) コア引張強度は、95%以上の有意差は、出ていない。

表13 シリーズ2の実大柱に用いた珪砂コンクリートの性質

調査記号	測定材令 (分)	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)
SIH2SP1	40	23.5	525×490	1.2	29.0

表15 シリーズ2の実大柱の7日圧縮強度(kgf/cm²)

高さ No.	材 令 (日)					
	28			91		
	部 位		部 位	部 位		部 位
	中心 A	端部 B	△B 平均	中心 C	端部 D	CD 平均
1C	919	989	954	1114	872	993
2C	988	929	959	991	965	978
3C	1005	953	979	1086	942	1014
4C	971	959	965	955	906	931
5C	989	998	994	1068	1040	1054
6C	933	950	942	1019	972	996
7C	919	903	911	1019	1082	1051
8C	916	884	900	1032	1022	1027
平均	955	946	951	1036	975	1006

表16 シリーズ2の実大柱の7日引張強度(kgf/cm²)

高さ No.	材 令 (日)					
	28			91		
	部 位		部 位	部 位		部 位
	中心 A	端部 B	△B 平均	中心 C	端部 D	CD 平均
1	51.8	52.7	52.3	41.6	40.8	41.2
2	47.8	51.6	49.7	47.5	46.8	47.2
3	51.9	51.4	51.7	48.8	42.9	45.9
4	57.8	48.8	53.3	49.7	42.4	46.1
5	53.3	49.8	51.6	39.6	42.0	40.8
6	45.7	52.0	48.9	51.7	43.2	47.5
7	53.6	46.2	49.9	53.9	44.4	49.2
平均	51.7	50.4	51.1	47.5	43.2	45.4

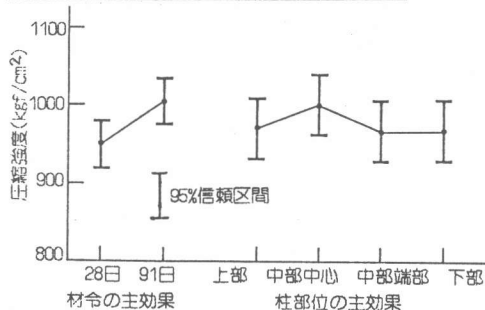


図7 シリーズ2の実大柱の7日圧縮強度要因効果図

表14 シリーズ2の実大柱に用いたコンクリートの供試体強度(kgf/cm²)

養生方法	水セメント比%	材 令 (日)							
		4		7		28		91	
		圧 縮 強 度							
		強度	平均	強度	平均	強度	平均	強度	平均
現場水中	25	622 637 634	631	681 690 708	693	980 973 1007	987	970 1071 —	1021
標準水中	25	637 615 659	637	688 718 726	711	988 938 949	958	1013 987 1080	1027

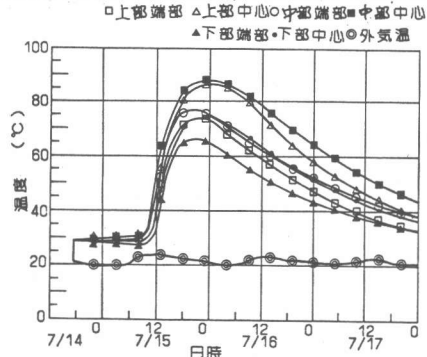


図6 シリーズ2の実大柱のコンクリートの温度測定結果

表17 シリーズ2の実大柱の7日圧縮強度分散分析結果1

変 動 因	自由度 f	平方和 S	分 散 V	分散比 F	寄与率%
全 体 T	31	112,735	—	—	—
材令の主効果 Z	1	67,239	67,239	78.57**	59.6
7日抜き位置の主効果 C	1	21,535	21,535	25.17**	19.1
交互作用 Z×C	1	51,143	51,143	59.76**	45.4
誤 差 e	28	23,961	856	—	21.3

表18 シリーズ2の実大柱の7日圧縮強度分散分析結果2

変 動 因	自由度 f	平方和 S	分 散 V	分散比 F	寄与率%
全 体 T	31	112,735	—	—	—
材令の主効果 Z	1	67,239	67,239	42.07**	59.6
柱部位の主効果 B	3	7,134	2,378	1.49	6.3
交互作用 Z×B	3	50,968	16,989	10.63**	45.2
誤 差 e	24	38,362	1,598	—	34.0

** 99%の確率で有意

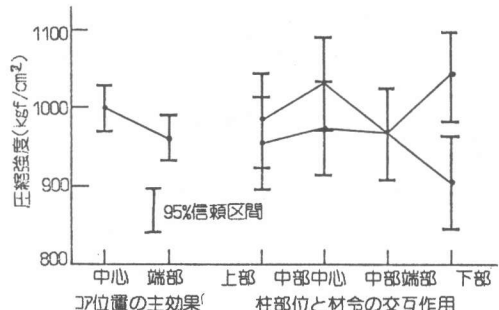


図8 シリーズ2の実大柱の7日圧縮強度要因効果図

6. 静弾性係数

今回の実験で測定した、供試体の圧縮強度と静弾性係数との関係を図9に示す。同図によれば圧縮強度700kgf/cm²程度以下ではRC規準式(建築学会RC規準の静弾性係数推定式)による推定値と同程度となるが、700kgf/cm²以上では、RC規準式による推定値より小さくなる。

また、今回実験した静弾性係数と圧縮強度の関係は、最少自乗法による直線近似が可能で、圧縮強度500~1200 kgf/cm²の範囲で1)式となる。

$$E_c = 3.181 \times 10^5 + 1.292 \times 10^2 \times F \dots\dots\dots 1)$$

$$r = 0.912$$

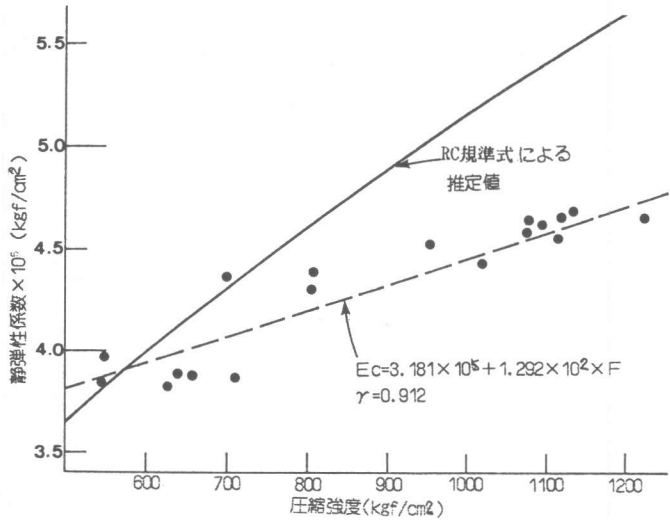


図9 圧縮強度と静弾性係数の関係

7. まとめ

7.1 試し練り

シリーズ1では、スラリー状のシリカフェームを用いて標準水中養生91日圧縮強度999kgf/cm²、シリーズ2では、ペレット状のシリカフェームを用いて標準水中養生28日圧縮強度1100kgf/cm²のポンプ打設用コンクリートが出来ることが明かになった。

7.2 実大柱施工実験

1) シリーズ1では、材令91日のコア強度で800kgf/cm²、シリーズ2では、材令28日のコア強度で930kgf/cm²、材令91日のコア強度で1000kgf/cm²が得られることが判明した。

2) コア強度の分散分析により、シリーズ1では、圧縮強度、引張強度共に、材令Z、コア抜き位置C、柱部位B(上部、中部中心、中部端部、下部)、交互作用Z×CおよびZ×Bに有意差があることが判明した。

シリーズ2では、圧縮強度に、材令Z、コア抜き位置C、交互作用Z×CおよびZ×B(柱部位)に有意差があることが判明したが、シリーズ1の実大柱よりは、均質性が良いことが、分散分析の結果明かとなった。また、引張強度は、シリーズ2では、95%以上の有意差は出なかった。さらに、柱部位で圧縮強度の高い、中部中心は、セメントの水和熱による最高到達温度の高い部位と相関関係が有るように思われる。

3) 今回の実験範囲で静弾性係数を測定したものについて、圧縮強度との関係をプロットすると圧縮強度700kgf/cm²程度以下ではRC基準式と同程度となるが、700kgf/cm²以上では、RC基準式より小さくなる傾向を示し、1000kgf/cm²で10%程小さい結果となった。

参考文献

- 1) 中村, 大谷他3名: 高強度コンクリート構造物の強度に関する実験その1, 建築学会大会, 1986. 8
- 2) 幸村, 大谷他4名: 高強度コンクリート構造物の強度に関する実験その2, 建築学会大会, 1988. 10