

土木研究所資料

舗装用コンクリートの品質に関する検討

——セメントの種類および養生条件が曲げと引張強度
の関係に及ぼす影響——

1997年10月

建設省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室

Copyright©(1997)by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

舗装用コンクリートの品質に関する検討

—セメントの種類および養生条件が曲げと引張強度
の関係に及ぼす影響—

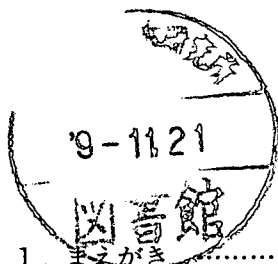
コンクリート研究室 室 長 河野 広隆
主任研究員 森濱 和正

要 旨

舗装用コンクリートの品質管理の合理化を図るため、曲げ強度に代えて引張強度による品質管理・検査方法を採用することを検討している。このため各種条件下での両者の関係に関するデータ収集を行っている。

本報告書は、セメントの種類が異なった場合の曲げ強度と引張強度の関係および養生条件の影響について検討した結果を示す。

キーワード：舗装用コンクリート、品質管理の合理化、引張強度、セメントの種類、養生条件



目 次

1. まえがき	1
2. 実験概要	2
2. 1 セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度に関する実験	2
2. 2 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度に関する実験	2
3. 使用材料	4
3. 1 セメント	4
3. 2 骨材	4
3. 3 混和剤	5
3. 4 水	5
4. 試験方法	6
4. 1 コンクリートの配合、練混ぜおよび成形	6
4.1.1 配合	6
4.1.2 練混ぜ	6
4.1.3 成形	6
4. 2 養生	6
4. 3 曲げおよび引張強度試験方法	6
5. 試験結果	7
5. 1 コンクリートの配合およびフレッシュ性状	7
5. 2 曲げおよび引張強度試験結果	7
5.2.1 セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度試験結果	7
5.2.2 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度試験結果	8
6. 考察	9
6. 1 セメントの違いによる曲げおよび引張強度の関係	9
6.1.1 強度発現性状	9
6.1.2 曲げ強度と引張強度の関係	11
6. 2 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度の関係	13
6.2.1 強度発現	13
6.2.2 気中養生したときの曲げ強度	17
6.2.3 気中養生したときの引張強度	20
6. 3 曲げ強度と引張強度の変動係数	22
7. まとめ	24
資料	25

1. まえがき

舗装用コンクリートの品質管理の合理化・簡略化を目的として、現行の曲げ強度試験に代えて、引張強度試験による方法の採択に向けたデータ収集を図った。そのため、1995年度に、曲げ強度と引張強度の関係、粗骨材最大寸法と供試体寸法の影響および高性能AE減水剤が曲げおよび引張強度に及ぼす影響について調査するとともに、実際のコンクリート舗装工事現場で引張強度試験を行い現場での適用性について検討した。この結果を、土木研究所資料第3427号「舗装用コンクリートの品質管理に関する調査」の第Ⅱ編「品質管理の合理化に関する検討」にとりまとめた（以下、前報と呼ぶ）。また、前報では実験結果から、引張強度による実用的な品質管理方法も提案した。

本報告は、セメントの種類の違いおよび養生条件の違いによる曲げおよび引張強度との関係および養生条件の影響について検討した結果をとりまとめたものである。

前報で使用したセメントはすべて普通ポルトランドセメントであった。舗装用コンクリートには各種セメントが用いられている。このためセメントの種類が異なると強度発現が異なるなど、曲げ強度と引張強度の関係も異なることが考えられる。そのような場合でも前報で提案した引張強度による管理方法が適用できるのか検討した。

舗装用コンクリートは、交通開放時期の検討のため現場養生した供試体の強度試験を行うなど、養生条件の違いによる強度発現性状も重要な検討項目である。セメントの種類が異なれば、養生条件の違いによっても曲げ強度と引張強度の強度発現性状は異なることが考えられる。そこで、水中養生材齢を変化させその後気中養生した供試体について強度を測定し、両者の関係の変化について検討した。

2. 実験概要

実験は①セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する実験，②養生条件の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する実験に分けて行った。

2. 1 セメントの種類による曲げおよび引張強度の関係に関する実験

実験の要因と水準を表-2.1に示す。セメントの種類は，一般に舗装に用いられている4種類である。試験材齢は3～91日（早強ポルトランドセメントのみ1～91日）の5材齢である。

表-2.1 セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する実験の要因と水準

要 因	水 準	
セメントの種類	4種：普通ポルトランドセメント，早強ポルトランドセメント， 中庸熱ポルトランドセメント，高炉セメントB種	
水セメント比	42.1%	
最大粗骨材寸法	40mm	
目標スランプ	8.0±1cm	
目標空気量	4.5±0.5%	
試 験 材 齢	普通ポルトランドセメント	5材齢：3，7，14，28，91日
	早強ポルトランドセメント	5材齢：1，3，7，28，91日
	中庸熱ポルトランドセメント	5材齢：3，7，14，28，91日
	高炉セメントB種	5材齢：3，7，14，28，91日

2. 2 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する実験

実験の要因と水準を表-2.2に示す。養生は所定材齢まで20℃の水中で養生（標準水中養生）後，試験材齢まで気中養生（20℃，60％R.H.）とした。試験材齢は28日としたので，水中養生材齢が短いと気中養生材齢は長くなる。

表-2.2 養生条件の違いによる曲げ強度および引張強度の関係に関する実験の要因と水準

要 因	水 準	
セ メ ン ト の 種 類	4種：普通ポルトランドセメント，早強ポルトランドセメント， 中庸熟ポルトランドセメント，高炉セメントB種	
水 セ メ ン ト 比	42.1%	
最 大 粗 骨 材 寸 法	40mm	
目 標 ス ラ ン プ	8.0±1cm	
目 標 空 気 量	4.5±0.5%	
標準水中(20℃)養生期間	普通ポルトランドセメント	4材齢：3，5，7，10日
	早強ポルトランドセメント	4材齢：1，3，5，7日
	中庸熟ポルトランドセメント	4材齢：5，7，10，14日
	高炉セメントB種	4材齢：5，7，10，14日

3. 使用材料

3. 1 セメント

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメント（OP）、早強ポルトランドセメント（HP）、中庸熱ポルトランドセメント（MP）、高炉セメントB種（BB）であり、各セメントの化学成分および物理的性質を表-3.1および表-3.2に示す。

表-3.1 セメントの化学成分

セメントの種類	ig. loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ Oeq
普通（OP）	0.7	0.1	21.6	4.4	2.7	64.6	1.6	2.1	0.43	0.47	0.74
早強（HP）	1.1	0.1	19.7	4.9	2.5	65.2	1.9	3.2	0.28	0.30	0.48
中庸熱（MP）	0.4	0.1	23.4	3.8	4.0	63.7	1.4	2.0	0.24	0.45	0.54
高炉B種（BB）	1.3	0.5	25.6	8.4	1.9	55.4	3.8	1.4	0.30	0.33	0.52

表-3.2 セメントの物理的性質

セメントの種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結			安定性	圧縮強さ ((N/mm ²))			
			水量 (%)	始発 (h-min)	終結 (h-min)		1日	3日	7日	28日
普通（OP）	3.16	3250	28.2	2-34	3-49	良	—	15.9	25.8	42.3
早強（HP）	3.13	4740	29.8	1-32	2-26	良	16.0	29.8	37.7	47.5
中庸熱（MP）	3.22	3270	28.7	2-44	3-50	良	—	10.2	14.1	30.9
高炉B種（BB）	3.05	4000	29.3	2-23	3-31	良	—	12.1	22	45.8

3. 2 骨材

実験に用いた細骨材は、静岡県小笠郡浜岡産陸砂を使用した。その粒度分布を表-3.3に、物理的性質を表-3.4に示す。

表-3.3 細骨材の粒度分布

産地	ふるいを通るものの通過百分率 (%)						粗粒率
	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
静岡県小笠郡浜岡	100	85	57	38	23	8	2.89

表－3.4 細骨材の物理的性質

表乾比重	吸水率 (%)	単位容積 質量 (kg/ℓ)	実積率 (%)	洗い試験 (%)	安定性 試験 (%)	粘土塊 (%)	比重1.95 の液体に 浮くもの (%)	有機 不純物	塩分 含有量 (%)
2.61	1.39	1.82	71.0	3.6	2.1	0.0	0.0	合格	0.000

実験に使用した粗骨材は、東京都青梅産硬質砂岩系砕石で、粒度をJIS A 5005「コンクリート用砕石」に規定されている粒度範囲のほぼ中心に入るように調整した。その粒度分布を表－3.5に、物理的性質を表－3.6に示す。

表－3.5 粗骨材の粒度分布

産 地	ふるいを通るものの通過百分率 (%)							粗粒率
	40	30	25	20	15	10	5	
東京都青梅	100	95	84	51	44	22	1	7.29

表－3.6 粗骨材の物理的性質

粗骨材 最大 寸法 (mm)	比重		吸水 率 (%)	単位容 積質量 (kg/ℓ)	実積 率 (%)	洗い 試験 (%)	安定性 試験 (%)	粘土 塊 (%)	比重1.95 の液体に 浮くもの (%)	すり減 り減量 (%)	軟石 量 (%)	破砕 値 %
	表乾	絶乾										
40	2.65	2.64	0.54	1.67	63.4	0.0	2.8	0.0	0.0	11.6	1.6	12.8

3. 3 混和剤

混和剤はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用し、空気量の調節にはAE助剤を使用した。

3. 4 水

コンクリートの練混ぜ水は水道水を使用した。

4. 試験方法

4. 1 コンクリートの配合，練混ぜおよび成型

4.1.1 配合

実験に用いたコンクリートの配合は，水セメント比を42.1%，目標スランブを 8.0 ± 1 cm，目標空気量を $4.5 \pm 0.5\%$ とした。なお，目標スランブは，スランブ2.5cmのベースコンクリートに高性能AE減水剤を添加して調整した。

4.1.2 練混ぜ

コンクリートの練混ぜには，公称容量100ℓのパン型強制練りミキサを用いて，1バッチの練混ぜ量を80ℓとした。ミキサへの材料の投入順序および練混ぜ時間は，粗骨材の全量，細骨材の半量，セメントの全量，細骨材の残量の順に材料を投入し，空練り30秒を行った後に練混ぜ水を投入し，90秒間練混ぜを行った。コンクリートをミキサから排出した後，練り板上で切り返しを1往復行った。

4.1.3 成形

曲げおよび引張強度試験用供試体の成形は，JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準じた。締固めは，突き棒で突き終わった後に型枠側面を木づちでたたき，さらにバイブレーターで外部振動締固めを15秒間行った。曲げ強度試験用供試体の寸法は， $15 \times 15 \times 53$ cmとし，引張強度試験用供試体の寸法は， $\phi 12.5 \times 25$ cmとした。

供試体の本数は各3本とした。

4. 2 養生

供試体は，材齢1日で脱型した後に，セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する試験では，試験材齢まで標準水中養生を行った。養生条件の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する試験では，所定材齢まで標準水中養生後，試験材齢まで気中養生（20℃，60%R.H.）とした。なお，所定材齢は，普通ポルトランドセメントが3，5，7，10日，早強ポルトランドセメントが1，3，5，7日，中庸熱ポルトランドセメントおよび高炉B種が5，7，10，14日とした。

4. 3 強度試験方法

曲げ強度試験は，JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準じ，引張強度試験は JIS A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」に準じた。試験材齢は，セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する試験では，普通ポルトランドセメント，中庸熱ポルトランドセメント，高炉セメントB種は3，7，14，28，91日とし，早強ポルトランドセメントは1，3，7，28，91日とした。養生条件の違いによる曲げおよび引張強度の関係に関する試験では，試験材齢は28日とした。

5. 試験結果

5. 1 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

決定した配合およびフレッシュコンクリートの性状を表-5.1に示す。

表-5.1 配合および性状

セメントの種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						フレッシュコンクリートの性状	
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材(g/m ³)		スランプ° (cm)	空気量 (%)
							高性能 AE減水剤	AE 助剤		
普通 (OP)	42.1	37.1	133	316	699	1204	4424	6	9.0	4.7
早強 (HP)		37.0	133	316	696	1204	3476	16	8.5	4.4
中庸熟 (MP)		36.8	133	316	703	1204	4316	21	7.0	4.7
高炉B種 (BB)		37.2	133	316	687	1204	3950	10	7.5	4.3

5. 2 曲げおよび引張強度試験結果

5.2.1 セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度試験結果

セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度試験結果（3本の平均）を表-5.2に示す。

表-5.2 セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度試験結果
(N/mm²)

セメントの種類	試験項目	材齢(日)					
		1	3	7	14	28	91
普通 (OP)	曲げ強度	-	4.50	4.70	4.95	5.12	5.23
	引張強度	-	2.72	3.10	3.33	3.60	3.85
早強 (HP)	曲げ強度	3.32	5.35	5.76	-	5.79	5.74
	引張強度	2.46	3.42	3.66	-	3.73	3.80
中庸熟 (MP)	曲げ強度	-	3.01	4.05	4.64	5.33	5.43
	引張強度	-	2.15	2.68	3.21	3.36	3.72
高炉B種 (BB)	曲げ強度	-	2.91	3.91	5.29	5.83	6.08
	引張強度	-	2.04	2.47	3.44	4.10	4.29

5.2.2 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度試験結果

セメントの違いごとに、養生条件が異なった場合の曲げおよび引張強度試験結果（3本の平均）を表-5.3に示す。

表-5.3 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度試験結果（材齢28日）
(N/mm²)

セメントの 種類	試験項目	水中養生材齢（日）					
		1	3	5	7	10	14
普通 (OP)	曲げ強度	-	4.27	4.45	4.45	4.43	-
	引張強度	-	3.62	3.85	3.86	3.86	-
早強 (HP)	曲げ強度	4.80	4.93	5.13	5.05	-	-
	引張強度	3.86	3.89	3.98	4.37	-	-
中庸熱 (MP)	曲げ強度	-	-	4.20	4.05	4.01	4.72
	引張強度	-	-	3.56	3.77	3.79	4.31
高炉B種 (BB)	曲げ強度	-	-	4.04	4.27	4.48	4.42
	引張強度	-	-	3.61	3.92	3.82	3.80

6. 考 察

6. 1 セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度の関係

6. 1. 1 強度発現性状

材齢と曲げ強度および引張強度の関係を図-6. 1および図-6. 2に示す。曲げ強度は、普通セメント（OP）では材齢14日まで増加し、早強セメント（HP）では材齢7日まで増加し、いずれもそれ以降はほぼ一定となった。中庸熟セメント（MP）は材齢28日まで増加し、材齢28日以降で一定の値を示し、OPと同程度であった。高炉セメントB種（BB）も材齢28日まで増加するが、材齢28日でHPとほぼ同程度の値となり、材齢91日でわずかながら増加しHPを上回る値となった。

引張強度は、OPは材齢28日まで、また、HPは材齢7日まで大きく増加しており、材齢7日以降の増加はわずかであった。MPは材齢14日まで大きく増加しているがそれ以降はわずかに増加し材齢91日でOPと同程度の値となった。BBは材齢28日まで大きく増加しHPを上回り、材齢91日ではわずかに増加した。以上のように、強度発現は、曲げおよび引張とも、初期はHPが大きく、MP、BBが小さい。長期ではBBの強度増大が高いなど圧縮強度と同様の強度発現特性が得られた。

図中の曲線は式(1)によって回帰した結果である。回帰係数を表-6. 1に示す。

$$f(t) = \frac{t}{\frac{1}{f'(0)} + \frac{t}{f_{\max}}} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $f(t)$ ：材齢 t 日の強度、 t ：材齢（日）、 $f'(0)$ ： $t=0$ のときの接線勾配を表す回帰係数（初期接線勾配）、 $f_{\max}$ ： $t=\infty$ のときの強度を示す回帰係数（最終強度）。

式(1)を変形すると、式(2)となる。強度発現は $f_{\max}/f'(0)$ で決まることがわかる。ここでは、 $f_{\max}/f'(0)$ を強度発現係数と呼ぶこととする。

$$\frac{f(t)}{f_{\max}} = \frac{t}{\frac{f_{\max}}{f'(0)} + t} \quad \text{----- (2)}$$

式(2)の結果を図示したのが図-6. 3である。それぞれのセメントを用いたときの強度発現はおおむね $HP > OP > MP > BB$ の順になっており、通常のセメントの強度発現性状を良好に表している。とくに初期の強度発現性状は、図-6. 1と図-6. 2より明確にセメントの違いを示しているものの、材齢が伸びるにしたがいその違いは小さくなっている。また、セメントの種類が同じであれば、曲げと引張の強度発現はほぼ同じであることがわかる。

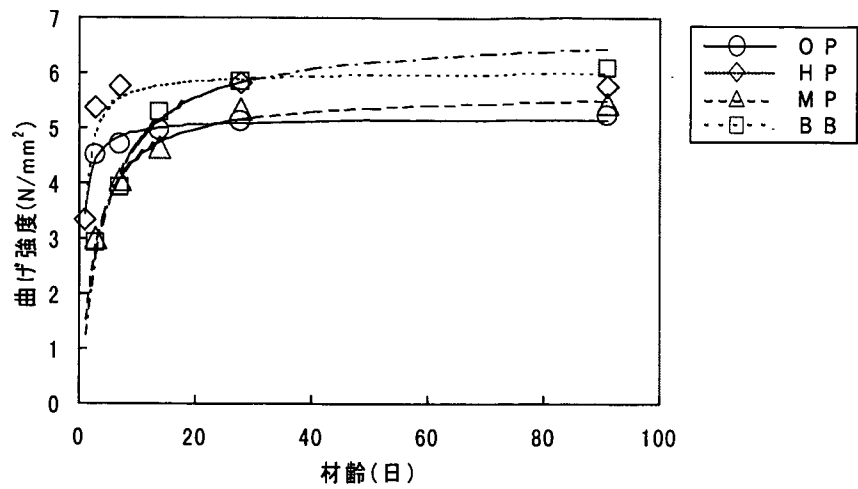


図-6.1 材齢と曲げ強度の関係

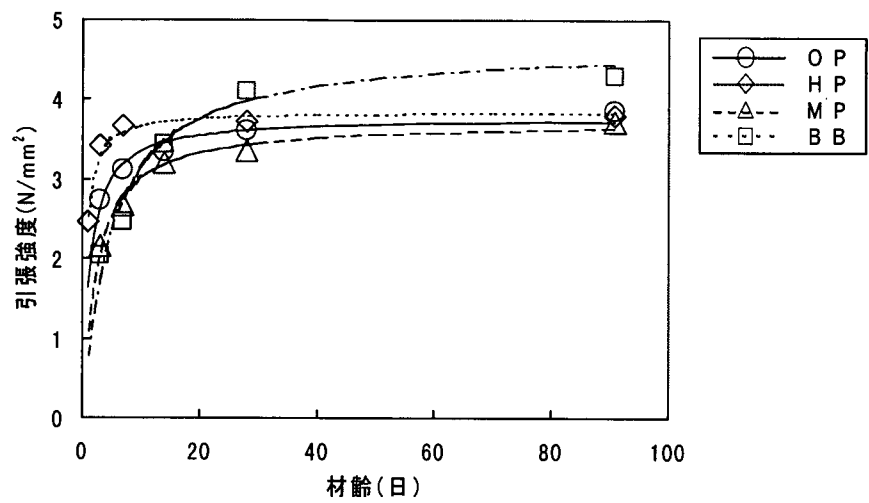


図-6.2 材齢と引張強度の関係

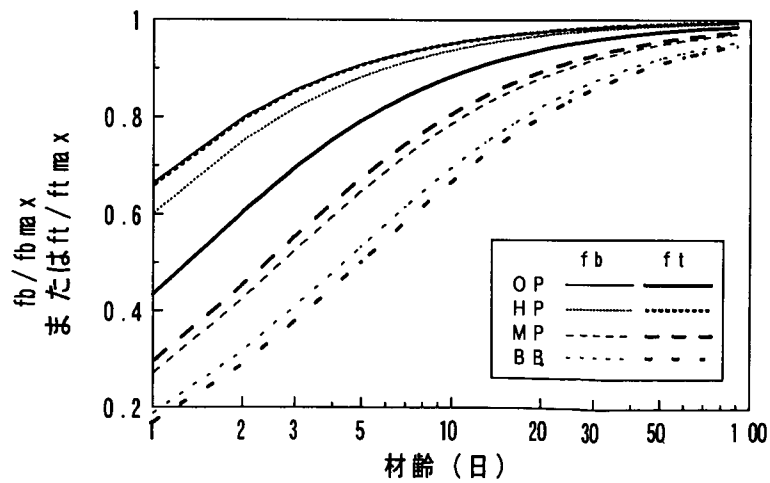


図-6.3 強度発現性状

表-6.1 強度発現に関する回帰係数

セメントの種類	曲げ強度				引張強度			
	初期接線勾配 $f'(0)$	最終強度 f_{max}	相関係数 r	強度発現係数 $f_{max}/f'(0)$	初期接線勾配 $f'(0)$	最終強度 f_{max}	相関係数 r	強度発現係数 $f_{max}/f'(0)$
OP	10.21	5.18	0.957	0.507	2.90	3.78	0.970	1.31
HP	9.11	6.04	0.955	0.633	7.44	3.86	0.987	0.519
MP	2.09	5.66	0.994	2.71	1.55	3.73	0.990	2.41
BB	1.56	6.75	0.998	4.34	0.95	4.70	0.994	4.94

6.1.2 曲げ強度と引張強度の関係

各セメントの引張強度に対する曲げ強度の比を図-6.4に示す。各セメントごとの引張強度に対する曲げ強度の比の平均は、いずれのセメントでも1.50程度であった。引張強度に対する曲げ強度の比は普通セメントを除き初期材齢（1，3日）では低い傾向にあった。また、中庸熟セメントを除き、材齢7日以降でいずれのセメントも同程度か低下している傾向にあった。いずれのセメントにおいても、曲げ強度に対する引張強度の比は材齢7日以降で1.4から1.6の範囲にあった。

表-6.2 曲げ強度と引張強度の関係の回帰結果

セメントの種類	回帰係数 $f_b = A f_t^B$		
	A	B	r
OP	2.85	0.453	0.993
HP	1.01	1.329	0.994
MP	1.32	1.10	0.985
BB	1.56	0.95	0.987

曲げ強度と引張強度の関係を図-6.5に示す。セメントの種類ごとに指数関数で回帰した結果を表-6.2に示す。図中の曲線は前報によって得られた曲げ強度と引張強度の関係の回帰式(3)である。

$$f_b = 2.21 f_t^{0.715} \quad \text{----- (3)}$$

強度の小さい部分では回帰式からはずれているものの、それ以外はセメントの種類によらずほぼ一致している。セメントの種類によって強度発現は異なるが、同一のセメントであれば、前節の図-6.3に示すように曲げ強度と引張強度の強度発現はほぼ同じであった。曲げ／引張強度比も図-6.4のように、初期材齢では多少異なる傾向もあるが、7日以降はわずかに低下しながらほぼ一定値になっている。このようなことから、セメントの種類が異なっても曲げ強度と引張強度の関係はほぼ一致するものと考えられる。

以上の結果より、舗装用コンクリートの品質管理にあたっては、初期材齢を除いてはセメントの種類に関わらず曲げ強度の代替として引張強度試験を用いることは可能であり、前報で提案した引張強度による品質管理方法が適用できるものと考えられる。

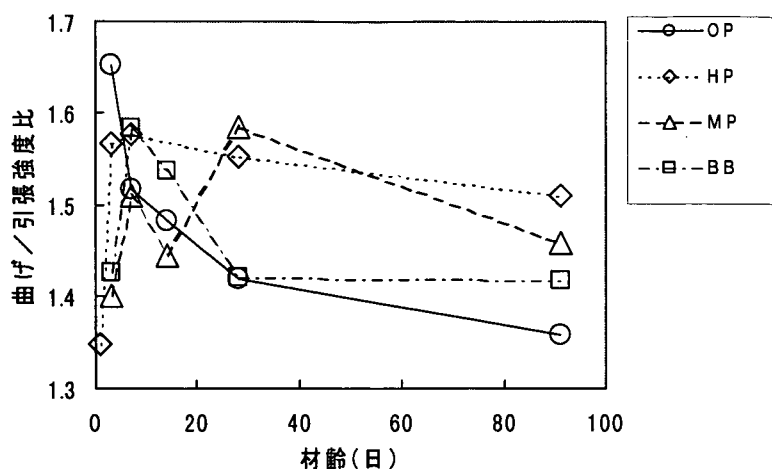


図-6.4 材齢と曲げ／引張強度比の関係

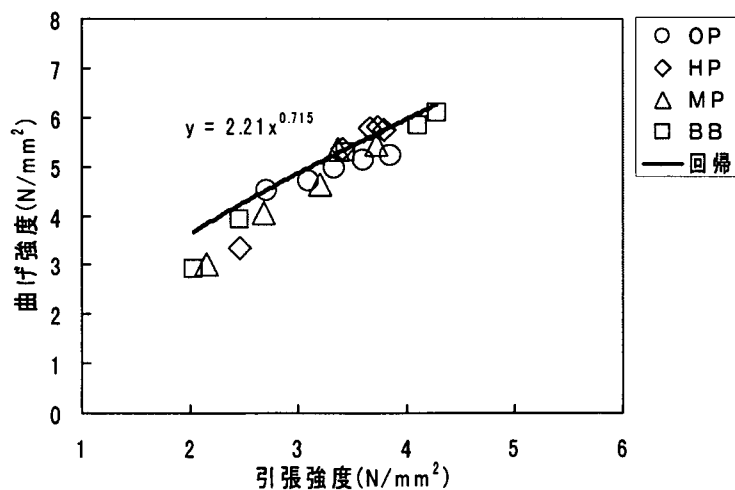


図-6.5 引張強度と曲げ強度の関係

6. 2 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度の関係

6.2.1 気中養生したときの強度

図-6.6にm日水中養生後（気中養生開始）の強度（m日水中養生強度；白ヌキの記号）とm日水中養生の後28日まで気中養生したときの強度（m日水中28日強度；黒の記号）の関係を示す。ここで、養生条件の違いと強度の呼び方を図-6.7のようにする。m日水中28日強度を水中養生材齢m日でプロットしたのが図-6.8および図-6.9である。これらの図より、気中養生することにより乾燥した強度は、曲げ強度は28日水中養生強度より小さく、ほぼ一定値に収束する傾向が見受けられる。引張強度はBBを除き気中養生しても28日水中養生強度と同程度以上になっており、見掛け上強度が増加している。とくに、水中養生期間が長く気中養生期間が短いと強度の増加は大きいようである。このように気中養生した曲げ強度と引張強度の発現性状が異なっている。この違いについては次節以降で検討する。

気中養生すると、曲げ強度は低下、引張強度は増加傾向にあるため、曲げ／引張強度比は、図-6.10のように水中養生の場合（図-6.4）に比べて小さく、曲げ強度と引張強度の関係は、図-6.11のように式(3)に比べて小さくなっている。

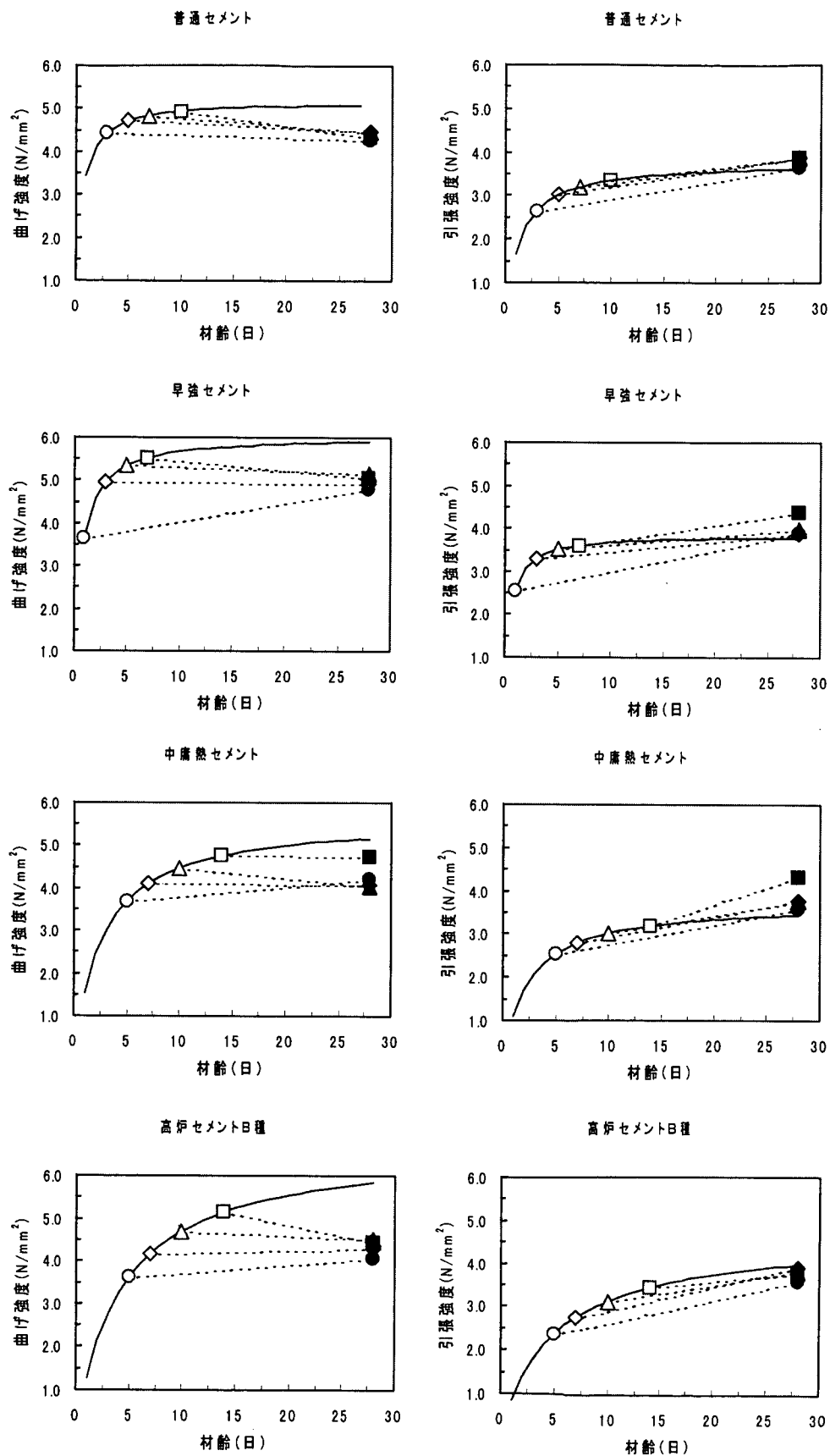


図-6.6 養生条件の影響

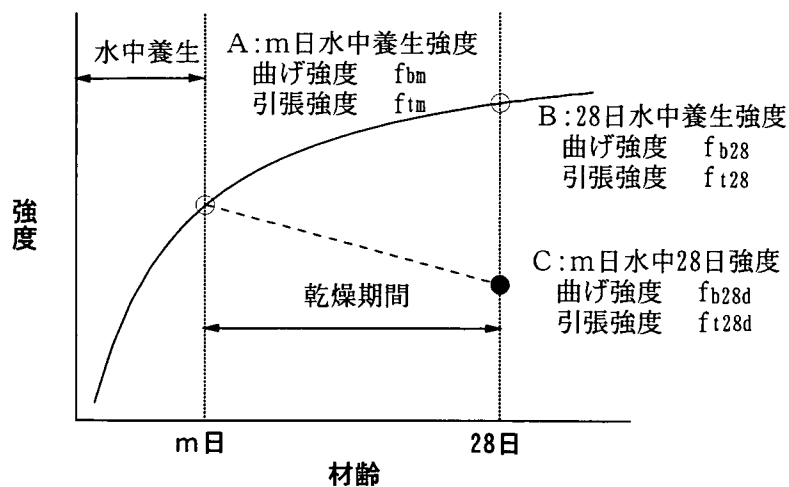


図-6.7 養生条件の違いと強度の呼び方

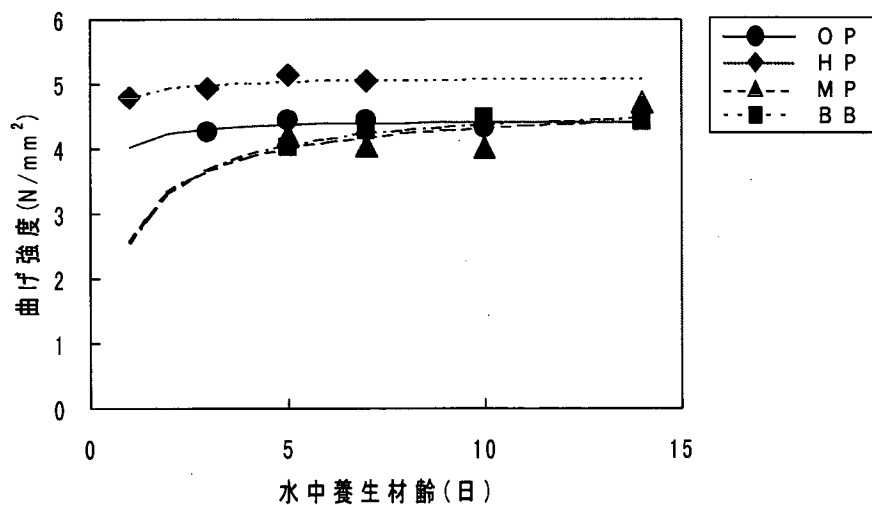


図-6.8 気中養生の場合の材齢と曲げ強度の関係

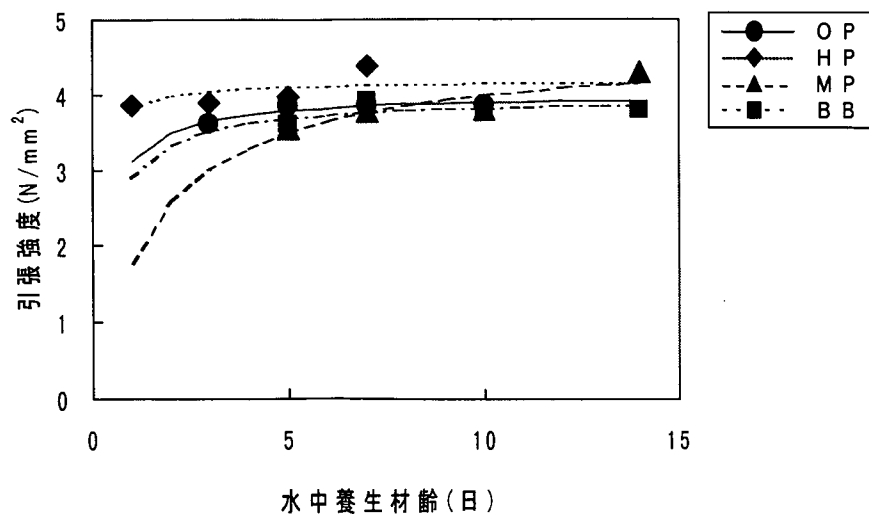


図-6.9 気中養生の場合の材齢と引張強度の関係

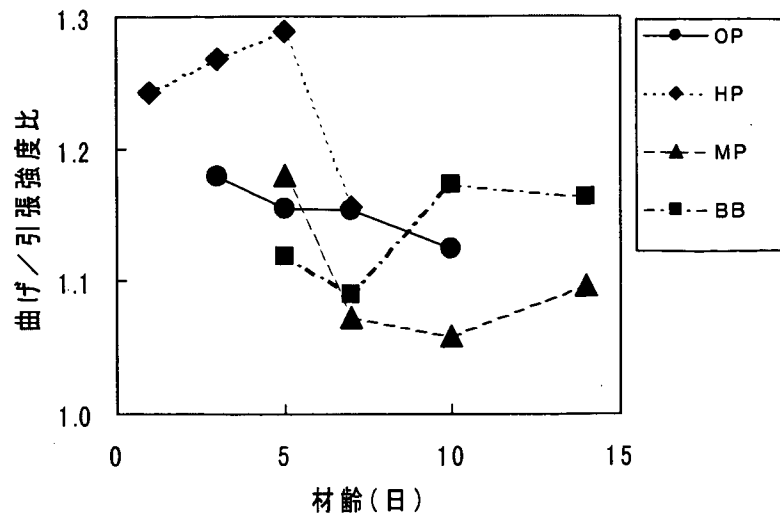


図-6.10 材齢と曲げ／引張強度比の関係

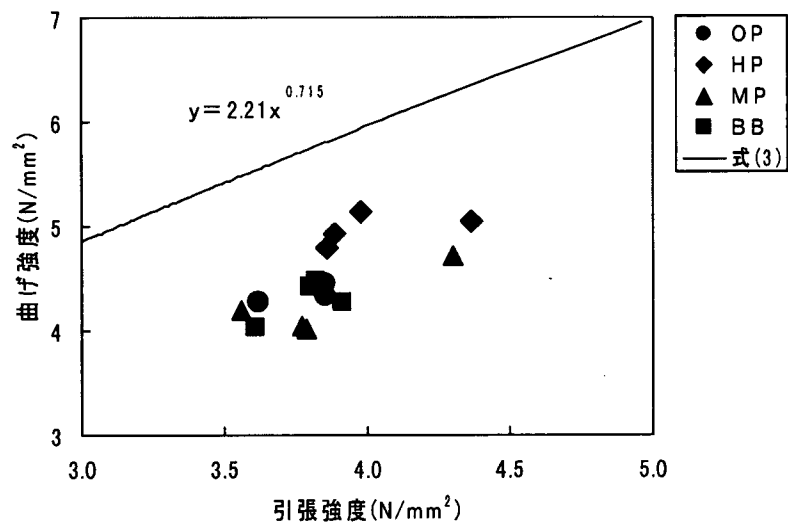


図-6.11 引張強度と曲げ強度の関係

6.2.2 気中養生したときの曲げ強度

(1) 乾燥の影響

気中養生し、乾燥させた供試体の曲げ強度が低下することはよく知られている。その理由として、図-6.12のように、表面から乾燥による収縮を生じるが、内部で拘束されるため、表面は引張応力、内部は圧縮応力が働くことになり、曲げ試験を行うと下縁にはさらに曲げ引張応力が加わることになるため、初期引張応力により曲げ強度は低下することが考えられる。

つぎに、水中養生材齢、気中養生材齢が異なる場合の曲げ強度の特性を調べるため、 m 日水中28日強度／28日水中養生強度の関係（図-6.7の C/B 、以下強度比 C/B と呼ぶ）を図-6.13に示す。図より、水中養生材齢が短く気中養生を長くしたとき、 C/B は小さくなる傾向がある。低下の傾向は $HP \cong OP < MP < BB$ の順に大きくなっており、水和反応の遅いセメントを使ったコンクリートが気中養生されると、乾燥の影響を大きく受け、強度低下も大きくなる傾向にある。

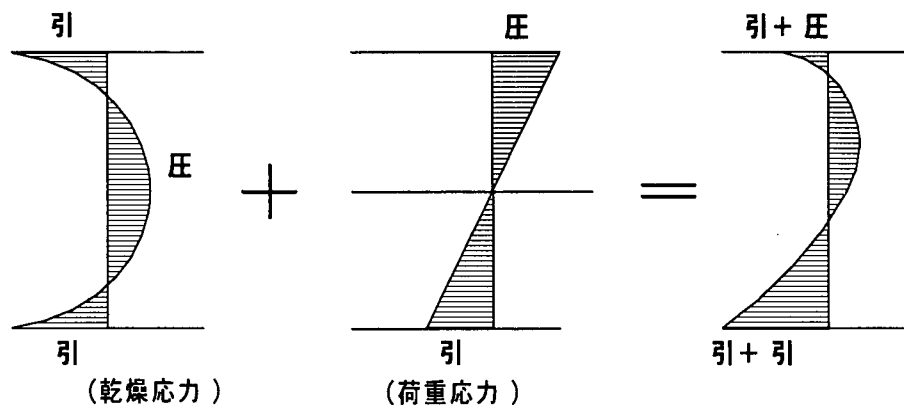


図-6.12 曲げ試験時の断面応力

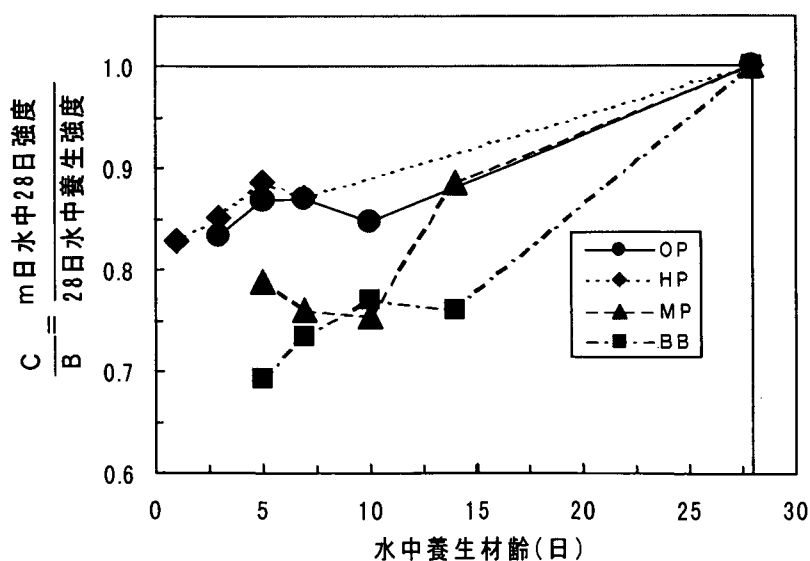


図-6.13 m 日水中28日強度／28日水中養生強度（曲げ強度）

(2) 気中養生したときの強度推移の仮定

以上のことを考慮した場合、気中養生した場合の曲げ強度は次のようになるものと考えられる(図-6.14)。

〈初期材齢で気中養生した場合〉

初期材齢では大きな強度発現ポテンシャルを有している。一方、硬化組織はまだ粗であり、乾燥を受けると、乾燥速度が速く、それにともない表面に大きな引張応力が生じる。このため、乾燥により水和反応が低下するため強度発現もしだいに小さくなるものと考えられる。それでも実験結果から強度発現のほうが大きく、強度は増進する。

〈長期材齢で気中養生した場合〉

長期材齢の場合、その後の強度発現はわずかである。硬化組織はかなり密になっているが、乾燥を受けると表面に生じる引張応力のほうが強度発現より大きくなるため曲げ強度は低下する。

〈平衡状態〉

初期材齢と長期材齢の間には、強度発現と乾燥による強度低下がほぼつり合う点（ここでは平衡状態と呼ぶ）が存在するものと考えられる。

以上のように、気中養生したときの曲げ強度の推移を仮定すると、強度試験材齢 m 日を28日程度とすると C/B は図-6.15のようになるものと考えられる。2本の曲線はセメントの種類の違いを表している。

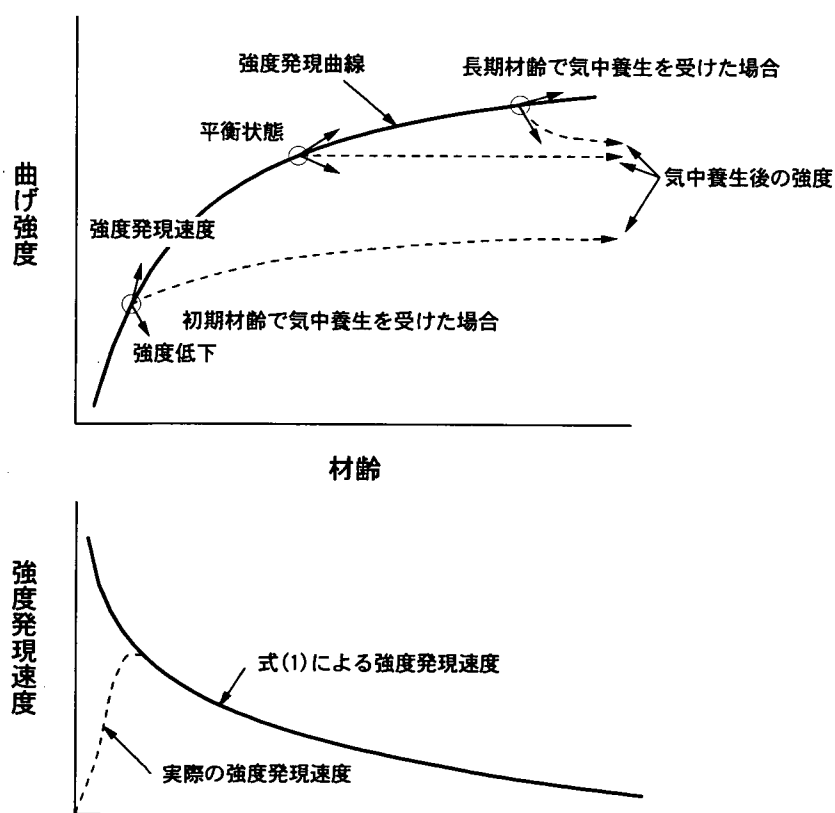


図-6.14 気中養生した場合の曲げ強度推移モデル

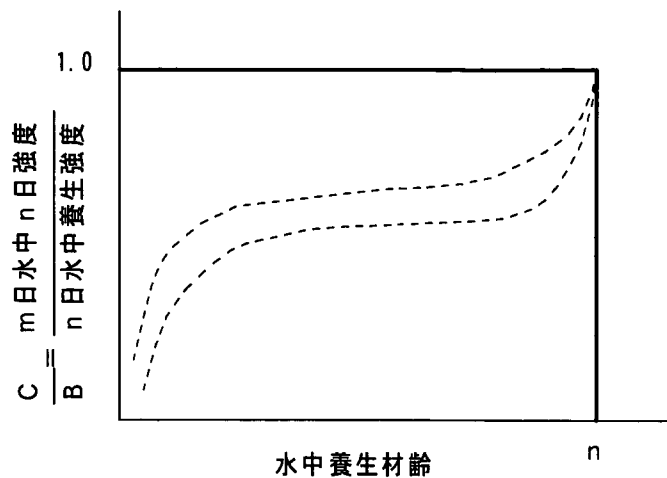


図-6.15 C/Bと水中養生材齢の関係

(3) 平衡材齢

上記仮定が成り立つとすれば、m日水中28日強度（図-6.7のC点）とm日水中養生強度（同A点）の関係は次のようになる。

短期水中養生	$C > A$	} ----- (4)
平衡材齢	$C = A$	
長期水中養生	$C < A$	

式(4)が成立するならば、 $C/A = m日水中28日強度 / m日水中養生強度$ は図-6.16のようになるものと考えられる。

実験結果からC/Aを求めると図-6.17のようであった。初期材齢では強度発現が乾燥による強度低下を上回り、 $C/A > 1$ となっている。平衡材齢以上になると、 $C/A < 1$ であり、乾燥による強度低下が大きくなっている。この図から $C/A = 1$ となる平衡材齢が求められる。平衡材齢はセメントの種類によって異なっており、OP、HPは約3日、MP、BBは約7日であった。

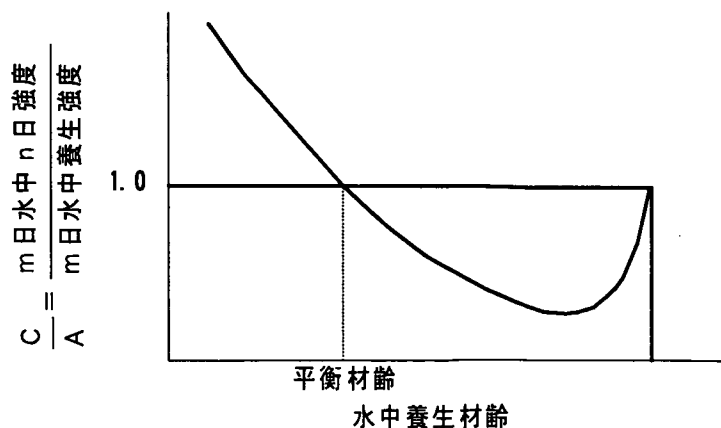


図-6.16 C/Aと水中養生材齢の関係の概念図

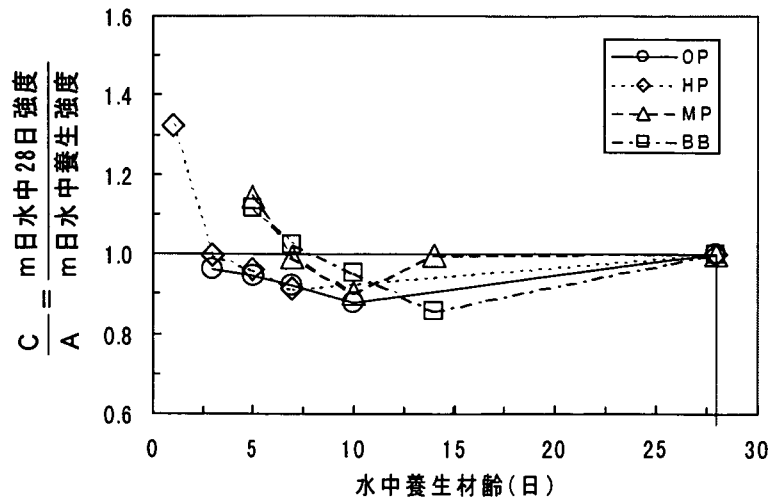


図-6.17 C/Aと水中養生材齢の関係（曲げ強度）

6.2.3 気中養生したときの引張強度

図-6.13, 図-6.17と同様に引張強度の場合もC/B, C/Aの関係を図-6.18, 図-6.19に示す。

引張強度のC/Bは曲げ強度（図-6.13）とは異なり、BBを除き上に凸の曲線となっている。引張強度の場合も乾燥を受けると図-6.20のように表面は引張、内部は圧縮応力を生じているものと考えられる。しかしながら、引張試験の場合、表面は圧縮となるため応力を相殺し、乾燥による引張の影響を受けにくく、安定した強度が得られるものと考えられる。さらに内部の圧縮強度により見掛け上引張強度は上昇する傾向にあるものと考えられる。BBはC/B<1であり、引張試験の場合も乾燥の影響が大きい傾向がある。

引張試験の場合には平衡材齢はなく、C/Aは図-6.19のように水中養生材齢が短いほど大きくなっている。

気中養生（乾燥）期間が短ければ、乾燥が引張強度に及ぼす影響はほとんどなく、水中養生したときとほぼ同程度の強度が得られるものと考えられる。

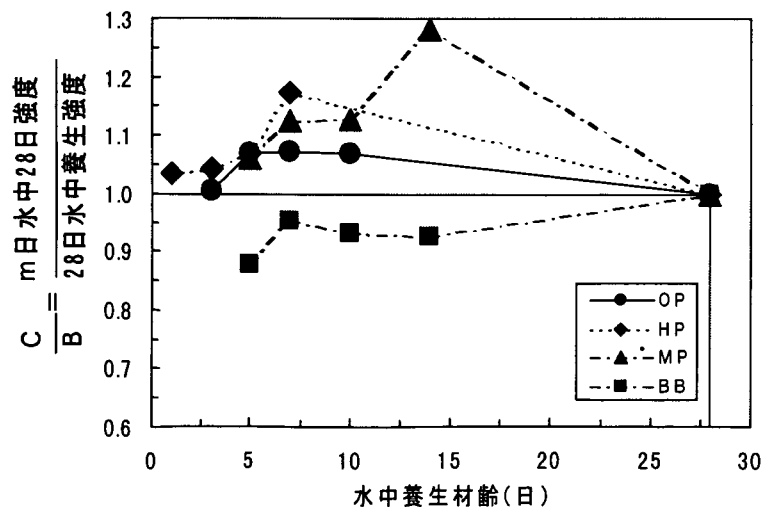


図-6.18 m日水中養生強度/28日水中養生強度（引張強度）

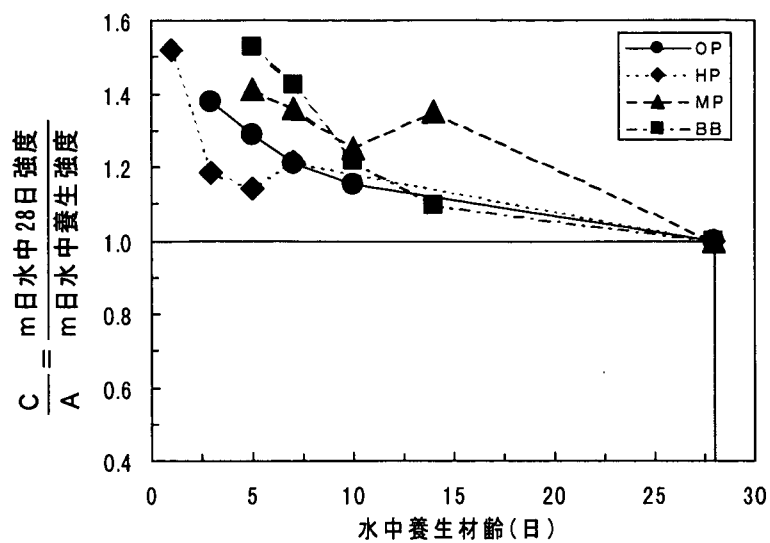


図-6.19 m日水中28日強度／m日水中養生強度

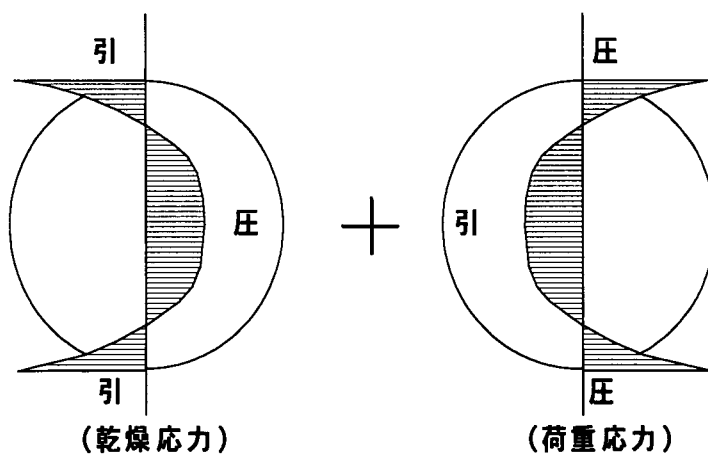


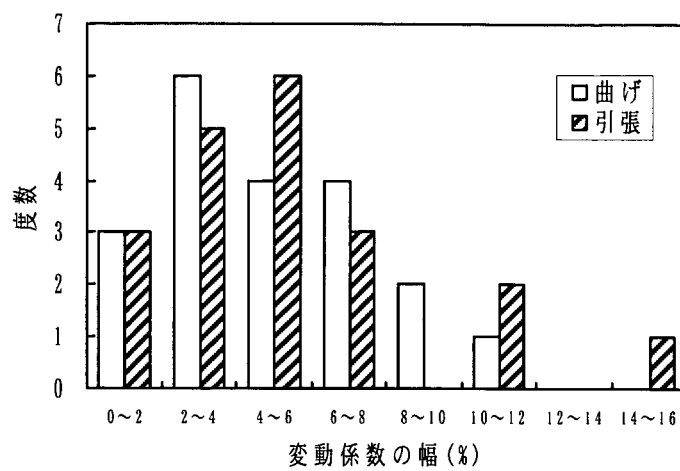
図-6.20 引張割裂試験時の断面応力

6. 3 曲げおよび引張強度の変動係数

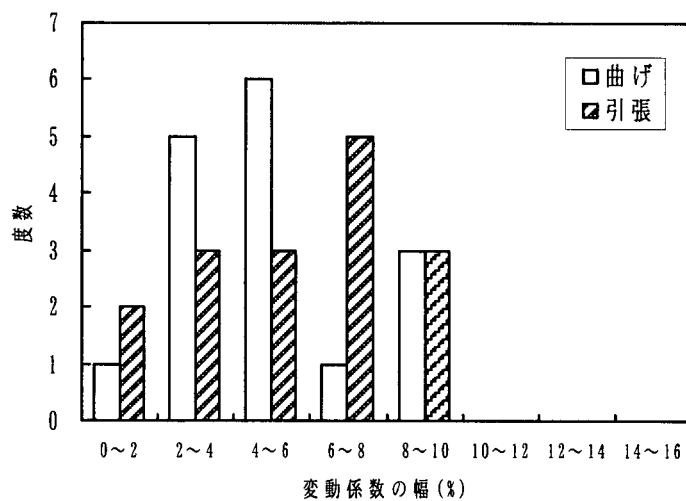
セメントの種類の違い、強度試験材齢毎に3個ずつ試験したときの曲げ強度と引張強度の変動係数を表-6.3に、両者の比較を図-6.21に示す。セメントの種類の違いでは曲げ、引張それぞれ20回のデータ、養生条件の違いは16回のデータである。変動係数の平均値および標準偏差は、セメントの種類の違いは曲げが4.9%および2.8%、引張は5.3%および3.4%、養生条件の違いでは、同様に曲げが4.9%および2.3%、引張は5.6%および2.9%であり、引張強度の方が曲げ強度に比べわずかに大きかった。

表-6.3 各強度の変動係数

試験	項目	セメントの種類	試験材齢 (日)						変動係数の平均	変動係数の標準偏差
			1	3	7	14	28	91		
セメントの種類	曲げ強度	普通	—	2.17	7.15	9.15	5.46	6.21	6.03	2.3
		早強	6.64	2.41	6.06	—	10.78	1.06	5.39	3.4
		中庸熱	—	3.34	5.36	3.16	9.51	2.35	4.74	2.6
		高炉B種	—	1.09	2.36	5.96	2.00	4.93	3.27	1.9
		平均	6.64	2.25	5.23	6.09	6.94	3.64	4.86	2.8
	引張強度	普通	—	5.54	7.06	3.09	6.61	1.80	4.82	2.0
		早強	14.54	5.12	2.74	—	2.84	5.59	6.17	4.3
		中庸熱	—	1.73	4.30	6.28	10.79	4.90	5.60	3.0
		高炉B種	—	2.44	10.88	5.29	3.11	0.75	4.49	3.5
		平均	14.54	3.71	6.24	4.89	5.84	3.26	5.27	3.4
試験	項目	セメントの種類	試験材齢 (日)						変動係数の平均	変動係数の標準偏差
			1	3	5	7	10	14		
養生条件	曲げ強度	普通		8.32	4.19	9.13	4.48		6.53	2.6
		早強	1.00	4.51	4.84	4.10			3.61	1.8
		中庸熱			6.44	2.54	5.81	3.89	4.67	1.8
		高炉B種			2.92	3.04	8.86	3.63	4.61	2.8
		平均	1.00	6.42	4.60	4.70	6.38	3.76	4.85	2.3
	引張強度	普通		0.90	5.41	2.44	5.12		3.47	2.2
		早強	6.72	2.22	9.98	7.12			6.51	3.2
		中庸熱			5.05	7.82	8.92	0.85	5.66	3.6
		高炉B種			7.73	6.71	9.20	2.91	6.64	2.7
		平均	6.72	1.56	7.04	6.02	7.75	1.88	5.57	2.9



(a) セメントの種類の違い



(b) 養生条件の違い

図-6.21 曲げ強度と引張強度の変動係数

7. まとめ

舗装用コンクリートの品質管理の合理化を図るため、曲げ強度に代え引張強度による管理を行うことを目的に、セメントの種類および養生条件が異なる場合の曲げと引張強度の関係について検討した。

その結果以下のことが明らかになった。

1) セメントの種類の違い

- ①セメントの種類によって曲げおよび引張強度の強度発現は異なるが、同一のセメントであれば、曲げと引張の強度発現はほぼ同じであった。
- ②曲げ強度と引張強度の関係は前報の回帰曲線とほぼ一致した。
- ③これらの結果より、曲げ強度に代えて引張強度によって品質管理を行うことは可能であり、その際、前報で提案した引張強度による品質管理が適用できるものと考えられる。

2) 養生条件の違い

- ① 気中養生した場合、曲げ強度と引張強度の強度推移は異なる。
- ② 曲げ強度は、乾燥の影響が大きく、乾燥により強度は低下する。
- ③ 引張強度は、乾燥の影響が小さく、乾燥しても水中養生とほぼ同程度の強度を得ることができる。
- ④ 気中養生した場合の強度推移の簡単なモデル化を試みた。

資	料
---	---

1. セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度
2. 養生の違いによる曲げおよび引張強度
3. 曲げ供試体の寸法と重量
4. 引張供試体の寸法と重量

1. セメントの種類の違いによる曲げおよび引張強度試験

セメント の種類	項目						
		1	3	7	14	28	91
普通 ポルトランドセメント	曲げ強度	—	4.47	4.24	4.51	4.72	4.83
		—	4.40	4.87	4.76	5.28	5.23
		—	4.63	5.01	5.57	5.35	5.63
	平均	—	4.50	4.71	4.95	5.12	5.23
	標準偏差	—	0.10	0.33	0.45	0.28	0.33
	変動係数	—	2.1	7.1	9.1	5.5	6.2
	引張強度	—	2.87	3.41	3.42	3.54	3.89
		—	2.78	2.95	3.19	3.35	3.91
		—	2.52	2.95	3.40	3.92	3.76
	平均	—	2.72	3.10	3.34	3.60	3.85
	標準偏差	—	0.15	0.22	0.10	0.24	0.07
	変動係数	—	5.45	6.99	3.12	6.58	1.73
早強 ポルトランドセメント	曲げ強度	3.62	5.42	6.21	—	4.91	5.78
		3.25	5.47	5.36	—	6.30	5.65
		3.09	5.17	5.72	—	6.17	5.78
	平均	3.32	5.35	5.76	—	5.79	5.74
	標準偏差	0.22	0.13	0.35	—	0.63	0.06
	変動係数	6.7	2.5	6.0	—	10.8	1.1
	引張強度	2.96	3.17	3.60	—	3.68	3.75
		2.14	3.55	3.80	—	3.88	3.56
		2.29	3.53	3.57	—	3.63	4.08
	平均	2.46	3.42	3.66	—	3.73	3.80
	標準偏差	0.36	0.17	0.10	—	0.11	0.21
	変動係数	14.5	5.1	2.8	—	2.9	5.7
中庸熱 ポルトランドセメント	曲げ強度	—	3.07	3.82	4.84	5.06	5.53
		—	2.87	3.98	4.57	4.89	5.25
		—	3.10	4.34	4.50	6.04	5.52
	平均	—	3.01	4.05	4.64	5.33	5.43
	標準偏差	—	0.10	0.22	0.15	0.51	0.13
	変動係数	—	3.39	5.37	3.16	9.51	2.39
	引張強度	—	2.20	2.82	3.30	3.27	3.59
		—	2.12	2.68	3.39	3.84	3.98
		—	2.13	2.54	2.93	2.97	3.60
	平均	—	2.15	2.68	3.21	3.36	3.72
	標準偏差	—	0.04	0.11	0.20	0.36	0.18
	変動係数	—	1.7	4.3	6.2	10.7	4.9
高炉セメント B種	曲げ強度	—	2.91	4.04	5.73	5.67	6.10
		—	2.87	3.82	5.08	5.89	5.71
		—	2.94	3.88	5.05	5.93	6.44
	平均	—	2.91	3.91	5.29	5.83	6.08
	標準偏差	—	0.03	0.09	0.31	0.11	0.30
	変動係数	—	1.0	2.4	5.9	2.0	4.9
	引張強度	—	1.98	2.85	3.69	4.25	4.25
		—	2.10	2.31	3.27	4.11	4.29
		—	2.03	2.25	3.35	3.94	4.33
	平均	—	2.04	2.47	3.44	4.10	4.29
	標準偏差	—	0.05	0.27	0.18	0.13	0.03
	変動係数	—	2.4	10.9	5.3	3.1	0.8

2. 養生条件の違いによる曲げおよび引張強度試験

セメント の種類	項目						
		1	3	5	7	10	14
普通 ポルトランドセメント	曲げ強度	—	3.94	4.18	4.07	4.29	—
		—	4.10	4.57	4.26	4.12	—
		—	4.76	4.58	5.01	4.59	—
	平均	—	4.27	4.44	4.45	4.33	—
	標準偏差	—	0.35	0.19	0.41	0.19	—
	変動係数	—	8.32	4.19	9.13	4.48	—
	引張強度	—	3.66	3.84	3.79	4.11	—
		—	3.62	4.11	3.79	3.82	—
		—	3.58	3.60	3.99	3.63	—
	平均	—	3.62	3.85	3.86	3.85	—
早強 ポルトランドセメント	曲げ強度	4.73	4.97	4.79	4.94	—	—
		4.84	4.64	5.24	5.34	—	—
		4.82	5.18	5.37	4.87	—	—
	平均	4.80	4.93	5.13	5.05	—	—
	標準偏差	0.05	0.22	0.25	0.21	—	—
	変動係数	1.00	4.51	4.84	4.10	—	—
	引張強度	4.13	3.81	4.13	4.14	—	—
		3.94	3.85	3.44	4.81	—	—
		3.51	4.01	4.38	4.16	—	—
	平均	3.86	3.89	3.98	4.37	—	—
中庸熱 ポルトランドセメント	曲げ強度	—	—	3.83	4.18	3.72	4.50
		—	—	4.47	3.93	4.03	4.95
		—	—	4.30	4.03	4.29	4.72
	平均	—	—	4.20	4.05	4.01	4.72
	標準偏差	—	—	0.27	0.10	0.23	0.18
	変動係数	—	—	6.44	2.54	5.81	3.89
	引張強度	—	—	3.78	4.03	4.10	4.35
		—	—	3.56	3.36	3.95	4.26
		—	—	3.34	3.93	3.32	4.31
	平均	—	—	3.56	3.77	3.79	4.31
高炉セメント B種	曲げ強度	—	—	3.95	4.15	4.02	4.30
		—	—	3.95	4.21	4.44	4.65
		—	—	4.20	4.45	4.99	4.32
	平均	—	—	4.03	4.27	4.48	4.42
	標準偏差	—	—	0.12	0.13	0.40	0.16
	変動係数	—	—	2.92	3.04	8.86	3.63
	引張強度	—	—	3.53	3.64	4.32	3.67
		—	—	3.98	4.27	3.55	3.79
		—	—	3.31	3.84	3.60	3.94
	平均	—	—	3.61	3.92	3.82	3.80
	標準偏差	—	—	0.28	0.26	0.35	0.11
	変動係数	—	—	7.73	6.71	9.20	2.91

3. 曲げ供試体の寸法と重量

	供試体 No.	材齢 (日)	供試体寸法(mm)														供試体 重量(kg)	供試体 密度(kg/l)
			長さ		幅						高さ							
水中養生	N- 1	3	529.0	529.0	151.4	152.6	153.9	150.5	151.7	152.4	150.1	150.0	150.2	150.0	150.4	150.2	28.510	2.360
	N- 2	3	530.0	530.5	150.7	151.2	151.0	151.8	151.7	151.7	150.5	150.6	150.5	150.6	150.8	150.5	28.440	2.353
	N- 3	3	528.5	530.0	150.0	150.2	150.5	148.5	149.1	150.2	149.0	148.6	149.3	150.1	149.9	149.9	27.990	2.363
	N- 4	7	530.0	530.0	152.4	152.9	152.8	151.3	151.4	151.4	150.9	150.9	150.5	150.5	150.5	150.2	28.418	2.342
	N- 5	7	530.5	529.0	153.1	152.2	151.5	152.9	152.2	151.6	150.5	150.7	150.5	150.7	150.5	150.5	28.536	2.350
	N- 6	7	506.5	504.5	150.9	150.1	150.1	150.9	149.8	149.6	151.1	151.3	150.9	151.0	151.1	150.7	27.006	2.355
	N- 7	14	530.5	531.5	148.3	148.3	149.6	150.0	149.9	151.4	150.0	149.7	149.9	150.2	150.0	150.2	28.190	2.366
	N- 8	14	530.0	530.0	151.3	151.8	151.6	152.1	152.2	153.0	150.5	150.5	150.8	150.2	150.3	150.3	28.556	2.356
	N- 9	14	530.0	529.0	149.5	149.5	149.6	150.3	149.9	150.6	150.6	150.4	150.4	150.3	150.4	150.3	28.078	2.352
	N- 10	28	529.5	530.0	151.7	151.2	150.7	152.5	152.0	152.1	150.8	150.9	150.9	150.7	150.7	150.6	28.434	2.347
	N- 11	28	530.0	528.0	150.3	150.5	149.9	150.7	150.9	151.4	150.3	150.4	150.4	150.3	150.4	150.3	28.284	2.361
	N- 12	28	530.0	530.0	151.1	150.8	151.0	152.3	151.4	151.6	150.4	150.6	150.4	150.7	150.8	150.6	28.432	2.354
	N- 13	91	530.5	529.5	152.3	152.2	152.5	152.3	152.2	152.5	150.2	149.8	150.1	150.4	150.1	150.2	28.624	2.361
	N- 14	91	529.0	531.5	149.8	151.1	153.3	150.8	152.9	155.2	150.4	150.4	150.6	150.3	150.3	150.3	28.482	2.347
	N- 15	91	531.5	528.0	153.2	152.5	151.5	151.7	151.1	150.5	150.8	151.2	150.8	150.9	151.1	150.9	28.550	2.353
水中↓ 気中養生	N- 3-1	3	529.5	529.5	151.7	152.1	153.9	150.7	151.7	152.8	151.0	151.3	151.3	150.4	150.7	150.6	28.684	2.360
	N- 3-2	3	530.5	530.0	154.9	154.2	153.3	154.1	153.1	152.2	150.2	150.1	150.2	150.2	150.2	150.1	28.748	2.350
	N- 3-3	3	530.0	529.0	152.8	152.3	151.2	153.9	153.1	152.6	150.6	150.8	150.9	150.5	150.8	150.7	28.740	2.359
	N- 5-1	5	530.0	530.0	151.8	151.6	151.5	151.9	151.4	151.7	150.8	151.2	151.0	150.9	151.3	151.1	28.382	2.338
	N- 5-2	5	530.0	529.0	153.4	153.0	151.6	152.7	152.8	151.2	150.9	151.3	150.8	150.3	149.9	150.3	28.644	2.356
	N- 5-3	5	529.5	529.0	150.1	152.0	152.7	150.5	151.5	152.6	150.5	150.2	150.4	150.2	149.8	150.1	28.430	2.360
	N- 7-1	7	530.5	530.0	150.6	151.0	151.7	151.1	151.7	152.1	150.3	150.3	150.3	150.0	149.9	150.0	28.308	2.349
	N- 7-2	7	533.0	524.0	148.9	151.2	153.6	150.1	152.0	154.3	150.3	150.2	150.2	149.9	149.6	149.7	28.310	2.355
	N- 7-3	7	529.5	530.0	152.2	151.9	150.9	152.6	152.4	151.9	151.0	151.6	151.4	150.5	151.0	150.9	28.596	2.351
	N- 10-1	10	530.0	530.0	151.4	152.1	152.3	151.3	152.1	151.8	151.0	150.8	150.7	151.0	150.7	150.8	28.516	2.349
N- 10-2	10	530.5	529.0	153.3	152.2	152.0	152.9	152.3	151.2	150.4	150.3	150.3	150.3	150.4	150.3	28.700	2.366	
N- 10-3	10	530.5	528.5	150.9	151.9	153.0	151.2	151.8	152.8	150.1	150.3	150.4	150.1	150.2	150.3	28.476	2.356	

	供試体	材齢	供試後寸法(mm)														供試体	供試体
	No.	(日)	長さ		幅						高さ						重量(kg)	密度(kg/l)
水中養生	H- 1	1	530.0	531.5	150.2	151.4	153.0	150.2	150.8	153.3	151.0	151.4	151.6	150.8	151.3	150.9	28.786	2.368
	H- 2	1	529.5	530.0	151.5	151.6	153.7	151.4	151.2	152.7	150.4	150.5	150.6	150.3	150.4	150.3	28.662	2.366
	H- 3	1	528.5	531.0	151.0	150.2	150.6	151.8	151.3	150.8	150.4	150.5	150.4	150.5	150.4	150.4	28.446	2.365
	H- 4	3	530.0	530.5	152.8	151.3	150.2	150.9	149.8	149.1	150.1	150.1	150.2	150.4	150.5	150.4	28.462	2.370
	H- 5	3	530.0	530.5	153.2	151.6	150.6	153.0	150.9	149.1	150.4	150.3	150.2	150.5	150.5	150.3	28.508	2.362
	H- 6	3	524.5	532.0	152.8	150.4	148.3	154.0	151.8	149.4	150.4	150.3	150.3	149.2	148.8	149.3	28.386	2.375
	H- 7	7	531.0	532.5	150.4	149.3	148.8	151.3	150.6	150.1	150.4	150.5	150.4	150.6	150.4	150.4	28.404	2.366
	H- 8	7	530.0	530.5	150.4	150.4	150.9	153.2	152.1	151.2	149.9	149.6	149.8	150.7	150.2	150.4	28.446	2.361
	H- 9	7	529.5	530.5	150.7	150.4	150.4	153.9	153.7	153.4	150.2	150.3	150.2	150.2	150.3	150.4	28.564	2.358
	H- 10	28	528.5	531.0	150.3	149.9	150.4	150.0	149.8	150.1	150.0	150.0	150.2	150.4	150.2	150.5	28.276	2.368
	H- 11	28	530.5	531.0	150.8	151.3	151.9	150.5	151.2	150.7	150.4	150.5	150.4	150.5	150.6	150.4	28.516	2.364
	H- 12	28	530.0	530.0	152.1	152.0	152.4	151.8	151.2	151.4	150.3	150.2	150.3	150.2	150.2	150.2	28.458	2.354
	H- 13	91	530.0	530.0	150.2	152.5	152.1	149.9	151.4	152.0	150.2	150.1	150.5	149.9	149.7	150.2	28.464	2.364
	H- 14	91	529.0	530.5	150.7	150.8	150.5	152.1	152.3	152.3	150.2	150.2	150.2	149.9	149.4	149.9	28.482	2.367
	H- 15	91	529.5	530.0	151.6	151.4	151.7	149.0	149.8	151.3	150.2	150.3	150.5	149.9	149.6	150.0	28.378	2.367
水中↓ 気中養生	H- 1-1	1	529.0	530.0	152.9	152.6	153.4	150.0	150.3	152.4	150.3	150.3	150.4	150.8	150.1	151.0	28.548	2.358
	H- 1-2	1	530.0	530.0	151.6	152.0	153.7	152.2	151.4	152.1	150.6	150.6	150.6	150.4	150.6	150.6	28.630	2.358
	H- 1-3	1	530.0	530.0	155.9	151.9	148.2	154.2	150.1	147.3	150.9	150.9	150.6	151.3	151.4	151.0	28.688	2.369
	H- 3-1	3	530.0	530.0	151.5	151.9	153.0	150.8	151.3	152.7	150.6	150.5	150.4	150.5	150.4	150.5	28.732	2.372
	H- 3-2	3	529.0	530.5	153.4	151.2	150.3	153.3	151.9	151.1	150.2	150.2	150.2	150.2	150.1	150.2	28.546	2.363
	H- 3-3	3	530.0	529.0	153.7	152.3	151.7	151.9	150.6	150.3	150.4	150.2	150.3	150.3	150.4	150.2	28.580	2.367
	H- 5-1	5	529.0	533.5	151.2	151.5	151.9	151.0	150.9	151.5	150.8	150.9	151.1	150.8	150.9	151.7	28.832	2.374
	H- 5-2	5	530.0	531.0	150.0	150.6	152.2	151.5	152.9	153.9	150.5	150.6	150.5	150.4	150.4	150.4	28.574	2.357
	H- 5-3	5	530.0	530.0	151.0	152.3	153.4	152.2	153.0	153.8	150.2	150.3	150.3	150.5	150.5	150.5	28.678	2.358
	H- 7-1	7	530.0	531.0	149.3	150.2	151.8	149.8	150.4	152.9	150.7	150.4	150.3	151.4	150.7	150.3	28.430	2.360
H- 7-2	7	530.0	530.0	152.1	152.4	153.6	151.6	150.9	151.6	150.5	150.5	150.7	150.4	150.5	150.5	28.654	2.363	
H- 7-3	7	522.5	530.0	152.9	152.5	152.4	151.2	151.7	153.1	150.8	150.7	150.4	150.1	150.0	150.2	28.504	2.365	

	供試体 No.	材齢 (日)	供試後寸法(mm)														供試体 重量(kg)	供試体 密度(kg/l)
			長さ		幅						高さ							
水中養生	M- 1	3	530.0	530.0	152.4	151.7	151.3	152.1	151.4	151.5	150.9	151.1	150.7	150.4	150.0	150.3	28.496	2.353
	M- 2	3	530.0	530.0	151.4	151.8	152.1	151.1	151.0	151.2	151.4	151.4	151.1	151.1	151.1	150.6	28.728	2.369
	M- 3	3	530.0	530.5	150.4	149.6	151.1	151.4	151.2	151.9	150.5	150.7	150.6	150.4	150.6	150.6	28.562	2.370
	M- 4	7	530.0	529.5	152.3	150.7	149.4	152.6	150.4	149.2	150.6	150.7	150.6	150.3	150.1	150.2	28.458	2.369
	M- 5	7	529.5	531.0	151.8	150.3	149.8	151.1	150.9	151.0	149.8	149.7	150.0	150.3	150.2	150.5	28.518	2.376
	M- 6	7	529.5	529.0	151.5	151.4	151.7	152.0	151.8	152.2	150.5	150.3	150.4	150.2	150.4	150.3	28.580	2.367
	M- 7	14	529.5	530.5	152.3	151.6	151.8	153.8	152.9	153.3	150.3	150.6	150.8	150.3	150.4	150.4	28.890	2.374
	M- 8	14	529.0	531.0	153.0	151.2	149.6	152.7	150.7	149.3	150.3	150.2	150.2	151.2	150.8	150.6	28.632	2.375
	M- 9	14	530.0	530.0	151.6	151.6	152.0	151.2	150.8	151.8	150.4	150.2	150.4	150.3	150.3	150.3	28.570	2.367
	M- 10	28	529.5	530.0	152.2	151.8	151.7	150.9	151.5	151.3	150.7	150.5	150.5	150.3	150.4	150.3	28.564	2.365
	M- 11	28	528.5	530.5	149.4	150.6	152.4	150.0	151.7	152.8	150.7	150.7	150.6	150.7	150.7	150.6	28.444	2.359
	M- 12	28	530.5	531.0	150.2	150.1	150.5	150.5	150.8	151.9	150.1	150.1	150.0	150.1	150.0	150.0	28.534	2.378
	M- 13	91	530.0	530.0	151.1	151.3	151.6	150.8	150.6	151.5	150.5	150.6	150.6	150.5	150.6	150.5	28.424	2.357
	M- 14	91	529.0	531.0	151.1	150.4	150.8	150.8	150.3	150.1	150.2	150.3	150.3	149.2	148.6	149.0	28.334	2.373
	M- 15	91	528.0	530.0	151.5	150.5	150.4	152.1	151.1	150.7	150.1	149.9	150.2	150.3	150.2	150.4	28.386	2.365
水中↓ 気中養生	M- 5-1	5	530.0	529.5	152.5	153.1	154.7	152.5	153.5	154.5	150.1	150.1	150.1	150.5	150.6	150.5	28.908	2.366
	M- 5-2	5	528.5	527.0	149.5	150.9	151.8	152.3	152.5	153.3	151.0	151.2	151.2	151.0	151.6	151.0	28.618	2.364
	M- 5-3	5	530.0	531.5	150.9	151.0	151.8	150.8	151.0	150.9	150.3	150.2	150.3	150.6	150.5	150.2	28.472	2.362
	M- 7-1	7	529.5	530.0	152.9	153.7	154.2	151.2	151.8	152.4	150.6	150.8	151.3	150.2	150.5	150.3	28.854	2.368
	M- 7-2	7	530.5	530.0	150.2	150.4	151.4	149.9	150.0	151.8	150.8	150.4	150.4	150.6	150.8	151.2	28.460	2.365
	M- 7-3	7	530.0	531.0	152.0	152.4	154.0	151.4	151.8	152.8	150.3	150.2	150.3	150.3	150.2	150.2	28.702	2.363
	M- 10-1	10	530.5	530.5	152.3	150.4	150.6	150.9	149.0	148.6	150.4	150.5	150.4	150.4	150.6	150.4	28.282	2.358
	M- 10-2	10	529.0	530.5	152.4	151.6	152.6	153.6	153.4	154.3	150.4	150.5	150.4	150.5	150.6	150.5	28.904	2.370
	M- 10-3	10	529.5	530.0	152.5	151.2	150.9	152.2	150.1	149.5	150.4	150.6	150.4	150.3	150.3	150.2	28.326	2.354
	M- 14-1	14	527.5	530.5	153.0	150.2	149.4	152.9	150.8	149.7	151.4	151.8	151.4	150.7	150.9	150.9	28.548	2.364
	M- 14-2	14	529.0	533.0	151.7	151.1	150.9	151.5	151.1	150.2	150.4	150.6	150.7	150.0	150.1	150.3	28.570	2.369
	M- 14-3	14	530.0	530.5	152.5	153.4	153.3	154.6	153.1	151.5	150.0	149.9	149.9	150.2	150.2	150.2	28.982	2.379

	供試体 No.	材齢 (日)	供試体寸法(mm)														供試体 重量(kg)	供試体 密度(kg/l)
			長さ		幅						高さ							
水中 養生	B- 1	3	531.0	531.0	151.1	151.6	152.1	149.9	151.1	152.4	150.6	150.8	150.4	149.5	149.4	149.6	28.426	2.357
	B- 2	3	531.0	531.5	150.1	150.5	152.4	150.9	151.6	153.7	151.4	152.1	151.6	151.0	151.5	150.6	28.930	2.374
	B- 3	3	531.0	530.0	152.8	151.9	151.9	154.9	153.5	152.7	151.4	151.1	150.9	150.6	150.6	150.2	28.814	2.355
	B- 4	7	530.0	530.0	151.7	151.8	151.4	151.3	151.1	151.5	150.5	150.9	150.4	150.1	150.4	150.2	28.402	2.352
	B- 5	7	530.0	529.5	152.6	151.5	149.9	153.0	151.7	150.3	150.1	150.3	150.5	150.4	150.6	150.6	28.414	2.354
	B- 6	7	530.0	529.0	153.2	152.0	151.1	150.9	150.8	150.4	151.7	151.4	151.2	150.3	150.5	150.2	28.276	2.338
	B- 7	14	529.5	530.0	152.7	152.8	153.7	151.9	152.3	152.1	150.9	151.6	151.9	150.1	150.8	150.7	28.602	2.343
	B- 8	14	530.0	529.5	150.5	150.7	150.3	151.8	152.0	152.8	150.6	150.7	150.4	149.9	150.0	150.4	28.484	2.363
	B- 9	14	525.5	527.0	152.9	151.2	151.0	151.1	149.6	149.2	150.6	150.7	150.6	150.3	150.6	150.4	28.008	2.344
	B- 10	28	530.5	531.0	151.7	150.6	149.8	153.0	151.6	151.5	150.5	150.8	150.5	149.9	149.7	150.3	28.446	2.356
	B- 11	28	530.5	530.0	151.6	152.1	152.7	150.0	149.4	150.1	150.3	150.2	150.4	152.4	151.1	152.1	28.516	2.358
	B- 12	28	530.0	530.0	150.8	149.9	150.6	150.7	150.7	151.1	150.1	148.9	149.6	148.8	148.0	149.0	27.948	2.348
	B- 13	91	530.0	530.0	151.1	152.0	153.6	148.8	149.9	151.9	151.5	151.7	151.7	149.8	149.8	149.8	28.414	2.352
	B- 14	91	530.0	530.0	153.0	151.7	151.4	152.6	151.7	151.4	151.2	151.0	150.9	150.6	150.8	150.5	28.586	2.353
	B- 15	91	530.0	530.0	150.0	149.9	150.1	151.5	151.5	151.6	151.6	151.1	151.2	149.7	149.9	150.1	28.404	2.360
水中 ↓ 気中 養生	B- 5-1	5	529.0	530.0	150.5	150.4	150.6	150.9	151.5	151.2	150.5	150.3	150.5	150.1	149.8	150.1	28.122	2.344
	B- 5-2	5	532.0	533.0	150.1	150.1	149.9	152.4	151.1	151.4	150.7	151.0	150.0	153.2	152.8	152.5	28.676	2.354
	B- 5-3	5	530.5	530.0	150.9	150.6	150.8	151.0	150.8	150.8	150.9	151.2	150.9	150.7	151.1	150.7	28.426	2.355
	B- 7-1	7	529.5	529.5	152.1	151.9	151.7	150.7	151.9	151.6	151.0	151.3	151.2	150.0	149.9	149.9	28.394	2.349
	B- 7-2	7	531.0	530.0	153.9	152.6	151.7	154.7	152.3	151.2	151.8	151.1	150.8	150.6	151.1	151.2	28.746	2.348
	B- 7-3	7	531.0	531.5	149.5	149.9	151.4	150.5	150.6	151.1	150.5	150.4	150.2	149.5	149.4	149.6	28.352	2.365
	B- 10-1	10	529.5	530.0	149.9	150.5	151.2	150.7	150.9	151.7	150.7	150.9	150.9	149.9	150.0	150.0	28.254	2.351
	B- 10-2	10	530.0	530.5	151.3	151.9	152.1	154.1	153.6	154.6	151.5	151.1	151.5	151.0	151.0	150.6	28.742	2.345
	B- 10-3	10	528.5	528.0	152.3	151.9	152.0	152.4	152.1	151.9	151.6	151.8	151.0	151.2	151.4	150.7	28.682	2.360
	B- 14-1	14	530.0	530.0	152.1	150.9	150.6	153.1	151.4	151.0	150.7	150.1	150.2	150.3	150.6	150.1	28.514	2.362
	B- 14-2	14	530.0	529.5	150.3	150.5	151.5	151.4	151.6	152.2	150.1	150.3	150.5	150.0	149.8	149.8	28.460	2.367
	B- 14-3	14	550.0	548.0	151.6	151.1	151.9	150.0	149.9	149.9	150.4	150.7	150.5	150.5	150.3	150.5	29.534	2.372

4. 引張供試体の寸法と重量

	供試体	材齡	供試体寸法(mm)				供試体	供試体
	No.	(日)	直径		長さ		重量(kg)	密度(kg/l)
水中養生	N- 1	3	125. 3	124. 6	249. 3	250. 2	7. 242	2. 365
	N- 2	3	125. 4	124. 4	251. 2	251. 1	7. 322	2. 379
	N- 3	3	124. 9	125. 1	251. 8	252. 2	7. 274	2. 352
	N- 4	7	124. 4	125. 4	251. 6	250. 7	7. 286	2. 368
	N- 5	7	125. 0	125. 0	250. 8	250. 7	7. 226	2. 348
	N- 6	7	124. 7	125. 1	250. 9	251. 0	7. 312	2. 378
	N- 7	14	124. 8	125. 2	251. 1	250. 9	7. 324	2. 378
	N- 8	14	124. 7	125. 2	250. 3	250. 7	7. 298	2. 376
	N- 9	14	125. 6	123. 9	250. 9	251. 4	7. 284	2. 373
	N- 10	28	125. 0	125. 1	251. 4	251. 1	7. 326	2. 374
	N- 11	28	124. 9	125. 1	251. 8	250. 9	7. 292	2. 364
	N- 12	28	124. 8	125. 2	251. 4	251. 0	7. 298	2. 367
	N- 13	91	125. 0	125. 0	249. 7	251. 3	7. 248	2. 358
	N- 14	91	125. 0	124. 9	251. 4	251. 6	7. 272	2. 358
	N- 15	91	125. 1	125. 0	251. 0	251. 1	7. 296	2. 366
水中↓ 気中養生	N- 3-1	3	125. 0	125. 0	249. 6	249. 8	7. 254	2. 367
	N- 3-2	3	125. 0	125. 1	252. 0	251. 0	7. 312	2. 367
	N- 3-3	3	125. 2	125. 0	251. 5	251. 4	7. 286	2. 357
	N- 5-1	5	124. 4	125. 4	250. 0	249. 9	7. 256	2. 369
	N- 5-2	5	124. 4	125. 4	249. 8	250. 0	7. 272	2. 375
	N- 5-3	5	125. 2	125. 1	250. 5	249. 5	7. 264	2. 362
	N- 7-1	7	125. 3	124. 7	250. 0	249. 7	7. 284	2. 376
	N- 7-2	7	124. 9	125. 2	251. 0	251. 4	7. 302	2. 367
	N- 7-3	7	125. 1	125. 0	251. 1	251. 4	7. 342	2. 379
	N- 10-1	10	125. 3	125. 0	249. 2	249. 0	7. 266	2. 371
	N- 10-2	10	125. 5	124. 8	250. 5	251. 7	7. 296	2. 362
	N- 10-3	10	125. 1	125. 0	251. 1	252. 3	7. 326	2. 370

	供試体	材齢	供試体寸法 (mm)				供試体	供試体
	No.	(日)	直径		長さ		重量 (kg)	密度 (kg/l)
水中養生	H- 1	1	123. 2	126. 1	249. 2	250. 4	7. 224	2. 370
	H- 2	1	124. 5	125. 8	249. 3	249. 3	7. 208	2. 350
	H- 3	1	124. 6	125. 6	249. 7	248. 7	7. 236	2. 362
	H- 4	3	125. 4	124. 6	251. 6	251. 4	7. 302	2. 366
	H- 5	3	125. 4	124. 6	250. 0	248. 7	7. 250	2. 369
	H- 6	3	125. 9	123. 5	249. 5	250. 6	7. 280	2. 384
	H- 7	7	125. 5	123. 7	249. 5	249. 2	7. 264	2. 389
	H- 8	7	125. 8	123. 8	248. 6	249. 3	7. 250	2. 381
	H- 9	7	125. 0	125. 5	251. 4	250. 9	7. 298	2. 358
	H- 10	28	125. 2	125. 1	251. 5	251. 3	7. 324	2. 368
	H- 11	28	125. 0	124. 7	249. 5	249. 2	7. 250	2. 375
	H- 12	28	125. 3	124. 2	248. 8	249. 0	7. 256	2. 385
	H- 13	91	125. 9	123. 5	248. 0	246. 6	7. 184	2. 379
	H- 14	91	124. 2	125. 8	250. 6	249. 8	7. 308	2. 380
	H- 15	91	124. 0	125. 6	248. 7	249. 4	7. 258	2. 382
水中 ↓ 気中養生	H- 1-1	1	125. 3	124. 8	249. 4	248. 5	7. 264	2. 376
	H- 1-2	1	125. 8	123. 9	250. 4	249. 3	7. 276	2. 379
	H- 1-3	1	124. 1	125. 6	251. 8	251. 7	7. 316	2. 374
	H- 3-1	3	124. 9	125. 2	250. 4	249. 4	7. 296	2. 377
	H- 3-2	3	123. 8	125. 7	248. 3	248. 6	7. 218	2. 377
	H- 3-3	3	124. 4	125. 6	251. 9	251. 1	7. 272	2. 356
	H- 5-1	5	124. 6	125. 7	251. 2	250. 1	7. 282	2. 362
	H- 5-2	5	125. 7	124. 4	250. 1	250. 7	7. 264	2. 362
	H- 5-3	5	125. 4	124. 4	248. 7	249. 3	7. 200	2. 360
	H- 7-1	7	124. 1	125. 7	249. 8	250. 0	7. 274	2. 376
	H- 7-2	7	124. 8	125. 6	249. 9	249. 9	7. 256	2. 358
	H- 7-3	7	125. 4	124. 6	249. 2	248. 9	7. 266	2. 377

	供試体 No.	材齡 (日)	供試体寸法 (mm)				供試体 重量 (kg)	供試体 密度 (kg/l)
			直径		長さ			
水中 養生	M- 1	3	125. 2	125. 7	249. 9	249. 9	7. 232	2. 341
	M- 2	3	125. 9	126. 0	251. 0	251. 7	7. 244	2. 313
	M- 3	3	126. 2	124. 4	249. 9	251. 0	7. 222	2. 339
	M- 4	7	125. 1	126. 0	250. 7	250. 9	7. 248	2. 334
	M- 5	7	124. 7	125. 2	249. 8	249. 3	7. 220	2. 359
	M- 6	7	124. 8	125. 8	250. 6	249. 9	7. 264	2. 354
	M- 7	14	125. 9	124. 7	250. 2	251. 2	7. 276	2. 354
	M- 8	14	125. 3	124. 6	250. 8	249. 6	7. 274	2. 371
	M- 9	14	125. 1	125. 0	249. 6	251. 2	7. 286	2. 369
	M- 10	28	124. 9	124. 8	250. 8	249. 8	7. 226	2. 358
	M- 11	28	124. 8	125. 2	249. 1	249. 1	7. 224	2. 363
	M- 12	28	125. 5	124. 8	249. 2	250. 4	7. 218	2. 349
	M- 13	91	125. 6	125. 3	250. 6	249. 9	7. 298	2. 359
	M- 14	91	125. 5	124. 8	250. 4	250. 6	7. 310	2. 372
	M- 15	91	125. 3	125. 4	249. 9	250. 4	7. 276	2. 357
水中 ↓ 気中 養生	M- 5-1	5	125. 0	126. 6	249. 9	250. 7	7. 220	2. 321
	M- 5-2	5	125. 2	125. 1	250. 0	250. 3	7. 256	2. 358
	M- 5-3	5	124. 8	125. 2	250. 4	249. 8	7. 228	2. 355
	M- 7-1	7	124. 7	124. 9	251. 6	251. 6	7. 282	2. 366
	M- 7-2	7	125. 8	124. 1	251. 4	249. 6	7. 236	2. 356
	M- 7-3	7	125. 1	124. 6	250. 3	250. 4	7. 252	2. 366
	M- 10-1	10	125. 1	125. 0	251. 1	249. 5	7. 286	2. 370
	M- 10-2	10	125. 7	125. 2	251. 4	250. 0	7. 292	2. 353
	M- 10-3	10	124. 9	124. 8	249. 6	249. 8	7. 202	2. 356
	M- 14-1	14	125. 2	124. 9	250. 7	251. 2	7. 266	2. 357
	M- 14-2	14	125. 4	125. 1	251. 6	251. 6	7. 276	2. 347
	M- 14-3	14	125. 3	124. 8	250. 7	249. 4	7. 266	2. 366

	供試体	材齡	供試体寸法(mm)				供試体	供試体
	No.	(日)	直径		長さ		重量(kg)	密度(kg/l)
水中養生	B- 1	3	125.5	124.2	250.6	249.5	7.260	2.372
	B- 2	3	125.4	124.4	250.3	250.4	7.252	2.364
	B- 3	3	125.1	125.0	250.2	250.3	7.276	2.367
	B- 4	7	125.3	124.7	249.2	249.0	7.246	2.370
	B- 5	7	124.6	125.1	250.6	251.0	7.242	2.359
	B- 6	7	124.7	125.3	250.7	250.5	7.266	2.363
	B- 7	14	125.7	123.9	249.5	250.2	7.220	2.362
	B- 8	14	124.9	124.6	250.2	249.8	7.274	2.380
	B- 9	14	124.5	125.6	249.4	250.4	7.234	2.357
	B- 10	28	125.5	123.9	248.3	250.2	7.220	2.372
	B- 11	28	125.4	125.2	251.6	251.4	7.278	2.347
	B- 12	28	125.2	124.4	251.5	251.8	7.316	2.377
	B- 13	91	124.8	125.5	249.9	250.5	7.234	2.350
	B- 14	91	124.9	125.4	249.3	249.4	7.220	2.354
	B- 15	91	124.7	125.5	250.4	249.8	7.248	2.358
水中↓ 気中養生	B- 5-1	5	125.5	124.2	250.3	250.3	7.242	2.363
	B- 5-2	5	124.7	125.1	250.1	251.8	7.270	2.364
	B- 5-3	5	125.2	124.6	250.9	250.5	7.280	2.370
	B- 7-1	7	124.2	125.4	249.9	250.6	7.220	2.359
	B- 7-2	7	125.5	124.6	250.1	249.8	7.254	2.363
	B- 7-3	7	125.1	124.7	250.5	249.6	7.254	2.368
	B- 10-1	10	124.9	125.1	250.1	251.5	7.294	2.370
	B- 10-2	10	124.4	124.9	249.9	249.1	7.228	2.374
	B- 10-3	10	124.9	124.7	251.3	251.3	7.258	2.361
	B- 14-1	14	124.4	125.4	249.0	251.1	7.234	2.361
	B- 14-2	14	125.2	124.4	250.7	250.2	7.244	2.364
	B- 14-3	14	124.4	125.4	251.2	249.6	7.214	2.351