

[1081] 毎月1日に打込んだコンクリートの性質に関する研究

正会員 ○依田 彰彦 (足利工業大学工学部)

正会員 横室 隆 (足利工業大学工学部)

1. はじめに

本研究は昭和61年12月～62年11月までの毎月1日を目標として足利市において打込んだコンクリート供試体の圧縮強度の変化を知ることを目的主とし併せてヤング係数、長さ・重量、ひび割れの発生状況も究明することを従として実験したものである。

2. 使用材料

表-1 使用セメントの品質

2.1 セメント

a. 普通ポルトランドセメント (C社製品) 記号 "N"

b. 高炉セメントB種 (Y社製品) 記号 "BB" 高炉スラグの分量50%

セメントは1年間、同じものを使用した。保存方法は品質に変化がおこらないよう、

種類	化 学 成 分 (%)										
	ig.loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O
N	0.7	0.3	22.1	5.0	3.1	64.0	1.6	2.0	0.34	0.53	0.69
BB	1.1	0.2	26.4	10.4	2.2	53.3	3.5	2.0	0.23	0.22	0.38

種類	比重	比表面積 (ブレン法) (cm ² /g)	凝 結			安定性	圧縮強さ (kgf/cm ²)		
			水 量 (%)	始 発 (h-m)	終 結 (h-m)		3 日	7 日	28 日
N	3.16	3310	27.7	2-35	3-45	良	149	254	418
BB	3.03	3750	29.7	2-55	4-15	良	107	190	409

表-2 使用骨材の品質

種類	比 重		吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/l)		粗粒率 又は最大寸法 (mm)	ふるいを通るものの重量 百分率 (%)									
	表 乾	絶 乾		棒突法	ジッキ ング法		ふるい目の呼び寸法 (mm)									
							30	25	20	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
川 砂	2.62	2.56	2.3	1.66	1.72	3.3	—	—	—	—	99	80	54	28	11	2
川砂利	2.57	2.52	1.9	1.68	1.71	25	100	100	67	38	1	—	—	—	—	—

表-4 使用鉄筋の品質

種類		降 伏 点		引 張 強 さ		伸 び 率 (%)	破 断〔注〕 箇 所
		荷 重 (t)	応 力 度 (kgf/mm ²)	荷 重 (t)	応 力 度 (kgf/mm ²)		
D19	1	10.80	37.7	16.00	55.8	29.6	B
	2	11.00	38.4	16.30	56.9	24.6	B
	3	11.05	38.6	16.30	56.9	26.5	A

〔注〕記号は JIS Z 2241 (金属材料引張試験方法) 6.13によった。

表-3 使用水質

色	5度以下
濁 度	2度以下
水素イオン濃度(pH)	6.6
蒸 発 残 留 物	173.0 (ppm)
塩 素 イ オ ン	11.0 (ppm)
過 マ ン ガ ン 酸 カ リ ウ ム 消 費 量	0.5 (ppm)

"N" の場合は普通の紙袋入りの上にビニール製の袋を2枚かぶせたものを購入し実験室へ搬入後速やかに内側にゴムを張ったシート袋に入れさらに内側にブリキ板を張ったセメント箱に、また "BB" の場合はブリキ製の缶 (20kg入) に詰めたものを購入し実験室内でも比較的乾いている所に、それぞれ保存した。

2.2 骨材：鬼怒川産の砂及び砂利

2.3 水：自家用水

2.4 化学混和剤：主成分がリグニンスルホン酸カルシウムのAE減水剤 (NMB社製品)

表-5
コンクリート打込み日

12月度	昭61. 12. 1 (月)
1月度	昭62. 1. 7 (水)
2月度	昭62. 2. 1 (月)
3月度	昭62. 3. 2 (月)
4月度	昭62. 4. 1 (水)
5月度	昭62. 5. 1 (金)
6月度	昭62. 6. 1 (月)
7月度	昭62. 7. 1 (金)
8月度	昭62. 8. 1 (土)
9月度	昭62. 9. 1 (水)
10月度	昭62. 10. 1 (木)
11月度	昭62. 11. 2 (月)

- 2.5 鉄筋：SD30A（T社製品）
- 2.6 使用材料の品質：表-1～4に示す通り、いずれも JASS 5の品質規定を満足している。
3. 実験計画
- 3.1 コンクリート打込み日：表-5に示す。
- 3.2 実験の項目と方法
- a. スランプ：JIS A 1101（コンクリートのスランプ試験）によった。
- b. 空気量：JIS A 1128（まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験（空気室圧力方法））によった。
- c. ワーカビリティ：スランプ試験におけるコンクリートの状態から判定した。
- d. 圧縮強度：JIS A 1108（コンクリートの圧縮試験方法）によった。
- e. ヤング係数：圧縮強度の測定時にコンプレッソメーターを用いて歪を測定し、最大荷重の1/3における点のヤング係数を求めた。
- f. 長さ変化率：JIS A 1129（モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法（コンパレーター法））によった。なお、供試体には表-4に示す鉄筋を一本、中心部（水平）に埋込んだ。
- g. 重量変化率：長さ変化率の測定時に併せて0.1gまで測定できる直示天秤を用いて重量を測定し、変化率を算出した。
- h. ひび割れ発生状況：上記fの供試体について、ひび割れ発生の有無及びルーペによってその幅を測定した。

3.3 目標としたコンクリートの調合

- a. 水セメント比： F_{28} を225kgf/cm²としたために“N”を62%，“BB”を58%とした。
- b. スランプ：すべて18cmとした。
- c. 空気量：すべて4%とした。

3.4 コンクリートの練りませおよび供試体の作り方

JIS A 1138（試験室におけるコンクリートの作り方）に準じ、容量100ℓの強制攪拌ミキサを用いて練り混ぜた。供試体は JIS A 1132（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）に準じて作った。なお、供試体の形状寸法は、圧縮強度及びヤング係数は直径10cm高さ20cmの円柱を用い、長さ・重量変化率及びひび割れは10×10×40cmの角柱にかぶり厚さを35mmとしたSD30Aの鉄筋1本を水平に埋込んだ。また骨材は表乾状態として用いた。



写-1 現場封かん養生（一部現水含む）風景

3.5 養生条件

本実験研究のうち、圧縮強度及びヤング係数を測定する供試体の養生条件は JASS 5と同様で、下記の通りである。また、長さ・重量変化率及びひび割れを調べる供試体は下記b. c. に示す同じ屋外に放置した。

- a. 標準養生：記号“標準”
- b. 現場水中養生：記号“現水”
- c. 現場封かん養生：記号“現封”（写-1参照）

4. 実験結果と検討

表-6～11及び図-1～9に示し、以下に検討する。なお、表-6および表-8の数値は供試体を置いた場所に設けた百葉箱、風向風速計、自記雨量計から求めた。

表-6 供試体を養生・放置した場所の気象条件

		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
温 度 (°C)	最 高	11.00	9.10	9.72	12.80	19.27	23.92	27.02	30.23	30.01	25.66	21.86	15.05
	平 均	5.39	3.00	4.00	7.37	12.78	18.17	21.52	25.69	25.73	21.78	17.83	9.95
	最 低	-0.18	-2.54	-0.95	1.60	5.92	12.13	16.41	22.13	22.25	18.50	12.53	4.74
湿 度 (%)	平 均	64.5	59.7	64.6	63.6	61.4	68.2	71.5	79.7	81.8	82.2	77.9	73.2
	最 小	42.3	33.0	38.5	38.7	34.9	43.6	48.5	59.1	63.7	62.5	55.9	49.3
風 速 (m/s)	平 均	2.26	2.56	2.48	2.67	2.37	2.10	2.07	1.92	1.94	1.68	1.65	1.92
	平均最大	4.71	5.12	5.05	5.67	4.74	4.52	4.37	4.06	3.84	3.50	3.36	4.15
	瞬間最大	9.37	10.08	11.54	9.15	8.45	8.00	7.92	7.47	7.47	6.69	6.33	8.29
降 水 量 (mm)		54.5	11.5	30.5	68.5	11.0	77.0	95.5	221.0	119.0	243.5	85.5	57.5

4.1 足利市の気候

足利市は栃木県南部の都市で渡良瀬川の沿岸に位置している。気候はおおむね温和で表-6から求めると1年間の平均の気温は14.4°C、湿度は70.7%、風速は2.14m/s、年間の降水量は1,075mmであった。

4.2 ワーカビリチー

打込んだコンクリートのスランプは18.5~20.5cmで目標

スランプの18.0cmより、いずれも大きく、また空気量は3.1~4.5%で目標空気量4.0±1%の範囲に入っている。ワーカビリチーはいずれも良好であった(表-7参照)。

4.3 圧縮強度

a. 標準養生(20±1°Cの水中養生)の圧縮強度は図-1および図-4に示した通り材令7日圧縮強度の平均値は“N”が148kgf/cm²、“BB”が121kgf/cm²、材令28日の圧縮強度の平均値は“N”が234kgf/cm²、“BB”が252kgf/cm²で、目標とした225kgf/cm²を2種類のセメントとも上廻ったが、個々にみると225kgf/cm²を下廻ったのは“N”が1/12(不合格率8.3%)、“BB”が0(不合格率0)であった。材令91日の圧縮強度の平均値は“N”が261kgf/cm²、“BB”が318kgf/cm²であった。このことから短期材令(7日)では2種類のセメントのうち、“N”が20%程度大きく、材令28日ではほぼ同じ、長期材令(91日)では“BB”が20%程度大きくなり、

従来からいわれているような強度発現の傾向が認められた。すなわち、この傾向は高炉セメントに含まれている高炉スラグとアルカリ刺激材との化学反応の遅速に起因している。

また、冬場の圧縮強度が若干低く、夏場のそれが若干高い理由は材料は20°Cに保ち、しかもコンクリート打込み後型わくごと速やかに20°C恒温室へ移したが温度調整していない練り混ぜ時の実験室内の影響が現われたものと考えられる。なお、バラツキを示す標準偏差・変動係数は系統だった傾向が認められなかった。

b. 図-2および図-5に示した標準養生の圧縮強度に対して同一材令における現場水中養生の圧縮強度が95%以上の月は表-10に示す通り材令7日では“N”・“BB”とも5月~10月、材令28日では、“N”が5月~9月、“BB”が4月~11月、材令91日では“N”が全月に対して“BB”が4月~9月であり、“BB”は“N”

表-8 現場水中・現場封かん養生したときの平均気温(°C)

月 度	7 日	28 日	91 日
61. 12月	6.73	5.54	4.07
62. 1月	4.54	2.63	5.67
62. 2月	1.17	1.84	7.02
62. 3月	6.24	7.68	13.35
62. 4月	11.76	12.85	15.52
62. 5月	16.40	17.98	21.61
62. 6月	18.94	21.56	24.36
62. 7月	21.94	25.15	24.52
62. 8月	25.79	26.08	21.30
62. 9月	25.71	23.10	17.29
62. 10月	19.34	17.36	10.63
62. 11月	10.90	8.38	5.55

表-7 実際に得られたコンクリート調査

月 度	種 類	水セメント比(%)	スランプ(cm)	空気量(%)	ワーカビリチー
61. 12月	N BB	62 58	20.5 20.5	4.1 4.4	良 良
62. 1月	N BB	62 58	20.5 20.5	4.3 4.3	良 良
62. 2月	N BB	62 58	20.5 19.0	4.1 4.1	良 良
62. 3月	N BB	62 58	19.5 19.0	4.5 4.0	良 良
62. 4月	N BB	62 58	19.5 19.0	4.2 4.3	良 良
62. 5月	N BB	62 58	19.5 18.5	3.1 4.6	良 良
62. 6月	N BB	62 58	19.5 19.0	4.2 4.5	良 良
62. 7月	N BB	62 58	20.5 20.0	4.0 4.3	良 良
62. 8月	N BB	62 58	20.0 20.0	4.1 4.0	良 良
62. 9月	N BB	62 58	20.5 20.5	4.2 4.1	良 良
62. 10月	N BB	62 58	19.5 19.5	4.3 4.1	良 良
62. 11月	N BB	62 58	20.5 20.5	4.3 4.3	良 良

(注) NのS/aは48.1%、単位水量は173kg/m³程度である。またBBのS/aは47.7%、単位水量は166kg/m³程度である。

表-9 養生条件のちがいによる圧縮強度の差(補正值)(kgf/cm²)

月度	種類	T28 ⁽¹⁾	T28' ⁽²⁾	T91' ⁽³⁾
61.12月	N	24	55	8
	BB	81	61	17
62.1月	N	33	59	2
	BB	100	81	8
62.2月	N	32	58	- 6
	BB	100	85	- 20
62.3月	N	21	23	- 6
	BB	33	53	- 3
62.4月	N	20	18	- 12
	BB	- 18	39	- 40
62.5月	N	4	19	- 31
	BB	- 18	23	- 51
62.6月	N	2	16	- 34
	BB	- 19	10	- 49
62.7月	N	- 18	7	- 34
	BB	- 24	1	- 52
62.8月	N	- 17	7	- 10
	BB	- 31	4	- 32
62.9月	N	- 18	6	- 11
	BB	- 29	4	- 32
62.10月	N	13	18	10
	BB	- 13	20	- 3
62.11月	N	19	18	12
	BB	- 6	52	19

(注)

- (1)T28 = 標準養生28日圧縮強度 - 現場水中養生28日圧縮強度
 (2)T28' = 標準養生28日圧縮強度 - 現場封かん養生28日圧縮強度
 (3)T91' = 標準養生28日圧縮強度 - 現場封かん養生91日圧縮強度
 本表中の負の値は圧縮強度がその値だけ上廻っていることを示し、正の値は逆に圧縮強度が不足していることを示す。

より気温による影響を受けるといえる。また、図-3および図-6に示した標準養生の圧縮強度に対して同一材令における現場封かん養生の圧縮強度が95%以上の月は表-10に示す通り材令7日では“N”が4月~10月“BB”が5月~10月、材令28日では、“N”が7月~9月“BB”が6月~9月、材令91日では“N”は5月~8月、“BB”はない。

この理由は比較した“BB”の材令91日標準養生の圧縮強度が大きいためである。また材令7日、28日、91日全部の現場水中養生の圧縮強度に対する現場封かん養生の圧縮強度比の平均を求めると“N”が0.96に対し、“BB”も0.96で同じであった。各材令ごとにもみると材令7日では“N”が1.03に対し“BB”が1.08、材令28日では“N”・“BB”ともに0.93、材令91日では“N”が0.91に対し“BB”は0.88である。

c. 上記項目は同一材令の圧縮強度に比較した傾向を述べたが、表-9はJASS5でいうように標準養生材令28日圧縮強度から現場水中養生材令28日圧縮強度を差引いた値を“T28”とし、標準養生材令28日圧縮強度から現場封かん養生材令28日圧縮強度を差引いた値を“T28'”とし、標準養生材令28日圧縮強度から現場封かん養生材令91日圧縮強度を差引いた値を“T91'”としたものを、それぞれ示したものである。同表をみて次のようなことがいえる。まず“T28”の場合“N”が“BB”より有利な月は12月~3月の4ヶ月に対し“BB”が“N”より有利な月は4月~11月の8ヶ月である。

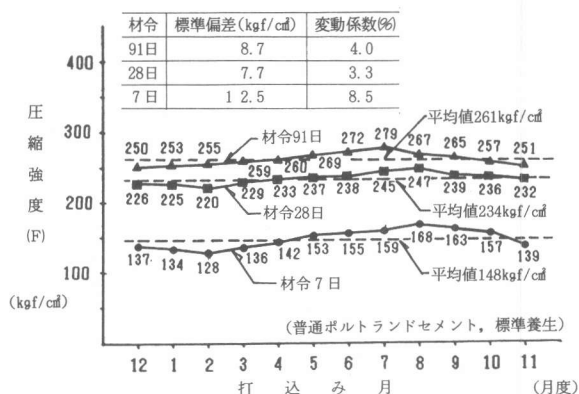


図-1 打込み月度と圧縮強度との関係

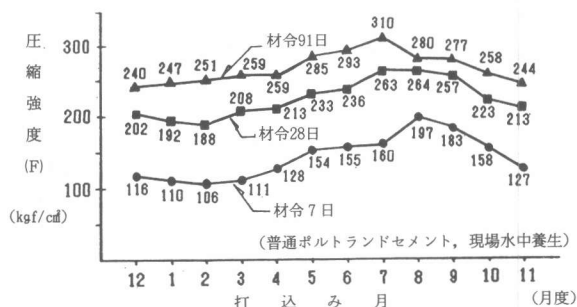


図-2 打込み月度と圧縮強度との関係

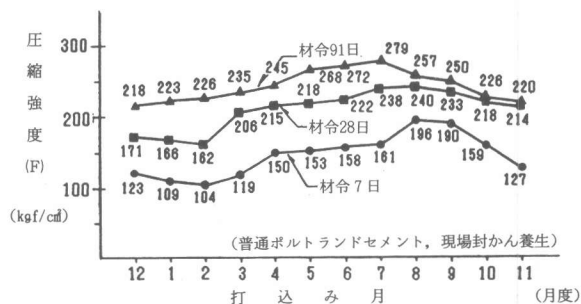


図-3 打込み月度と圧縮強度との関係

次に“T28'”の場合“N”が“BB”より有利な月は12月～5月, 10月～11月の8ヶ月に対し“BB”が“N”より有利な月は6月～9月の4ヶ月である。

最後に“T91'”の場合“N”が“BB”より有利な月は12月～2月, 11月の4ヶ月に対し, “BB”が“N”より有利な月は3月～10月の8ヶ月である。

表-9に示す値は同表の脚注にも示した通り補正值で, 正の値は調査設計時に設計基準強度にその値を加えることによって調査強度になるものといえよう。

d. ヤング係数は図-7に示した通りでセメント種類, 養生条件にかかわらず日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準で使用している式を満足することが本実験研究より明確となった。

e. 長さ・重量変化率は62年1月度に打込んだコンクリート供試体についてのみ図-8～9に例示したが, セメント種類による差違は小さく, 乾燥期間中は降雨等の影響によって若干挙動しているようである。

f. 上記e. のコンクリート供試体に発生したひび割れ本数は表-11に示した通り乾燥期間6ヶ月より12ヶ月の方が多いが, 本数とひび割れ幅との関係はとくに認められなかった。また, セメント種類による差違は小さいようである。

5. 結論

本研究は昭和61年12月～62年11月までの毎月1日为目标に打込んだワーカビリティの良好なコンクリート供試体を現場水中養生ならびに現場封かん養生したときの圧縮強度の変化を知るために標準養生の圧縮強度と比較検討することを主に併せて他の諸性質も究明し

表-10 標準養生の圧縮強度を100とした場合の現水, 現封の割合(%)

月度	種類	材令 7 日		材令 28 日		材令 91 日		月度	種類	材令 7 日		材令 28 日		材令 91 日	
		現水	現封	現水	現封	現水	現封			現水	現封	現水	現封	現水	現封
61. 12月	N	85	90	89	76	96	87	62. 6月	N	100	102	99	93	108	100
	BB	65	87	66	74	84	76		BB	117	120	107	96	109	92
62. 1月	N	82	81	85	74	98	88	62. 7月	N	100	101	107	97	111	100
	BB	59	60	58	66	84	76		BB	120	128	109	100	111	93
62. 2月	N	83	81	85	74	98	89	62. 8月	N	117	117	107	97	105	96
	BB	55	67	57	63	84	79		BB	131	129	111	99	107	92
62. 3月	N	82	88	91	90	100	91	62. 9月	N	112	117	108	97	105	94
	BB	65	62	86	78	90	83		BB	118	122	111	98	103	89
62. 4月	N	90	106	91	92	100	94	62. 10月	N	100	101	94	92	100	88
	BB	92	94	107	84	102	89		BB	117	121	105	92	89	83
62. 5月	N	100	100	98	92	106	100	62. 11月	N	91	91	92	92	97	88
	BB	105	120	107	91	108	92		BB	76	85	102	79	85	76

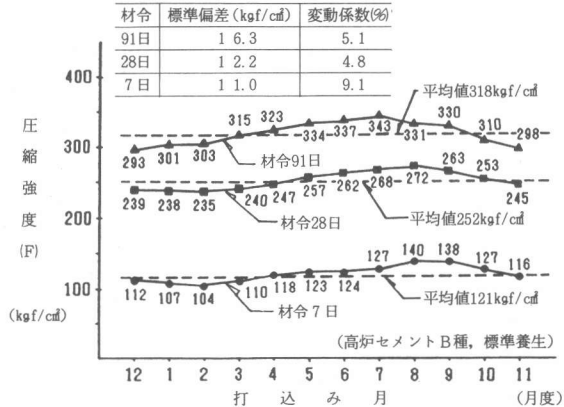


図-4 打込み月度と圧縮強度との関係

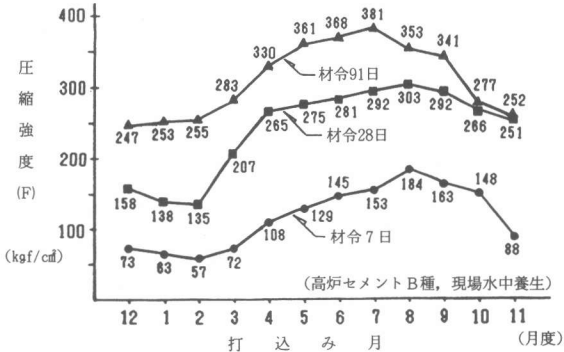


図-5 打込み月度と圧縮強度との関係

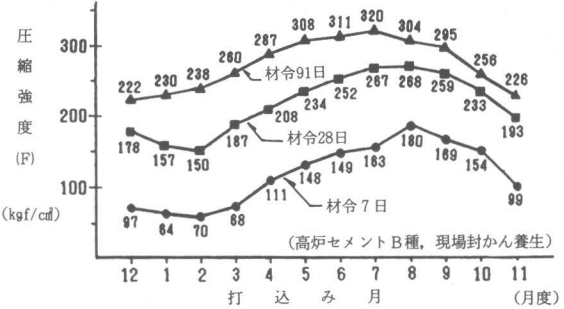


図-6 打込み月度と圧縮強度との関係

た結果、次のようなことが明確になった。

a. 標準養生の場合、材令28日の圧縮強度は使用したセメント“N”・“BB”ともほぼ同じだと“BB”の方が材令7日では20%程度小さく、材令91日では逆に20%程度大きい。この理由は高炉スラグとアルカリ刺激材との化学反応の遅速による。

b. 標準養生の圧縮強度に対して同一材令における現場水中養生や現場封かん養生の圧縮強度の方が大きくなる月がある。

c. JASS 5でいうようなコンクリート強度の気温による補正值の一例を求めることができた(表-9参照)。

d. ヤング係数は日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準で使用している式が満足することが確認した。

e. 長さ・重量変化率は、打込んだ月によって気温・湿度・降雨量等が異なるので多少挙動が異なる。しかし、発生するひび割れは乾燥期間が長いほど多くなるが打込み日およびセメント種類の差違は小さい。

f. 総じて本実験研究結果のうち、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を用いたコンクリート圧縮強度の変化の程度は気温による補正值を知るための一資料になると思われる。今後さらに実験研究を重ね、詳細な資料を得る予定である。

気温・測定・整理をはじめ、種々の実験研究に本学卒業生 山崎茂・佐々木康博・高嶋寛・毛塚裕巳4君をはじめ、多くの方々のご協力をいただいたことを付記して謝意を表する。

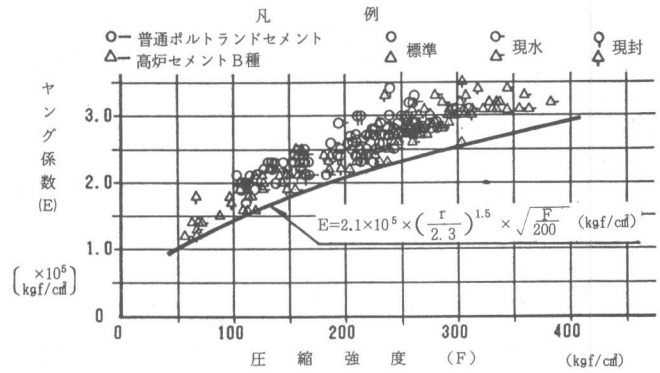


図-7 圧縮強度とヤング係数との関係

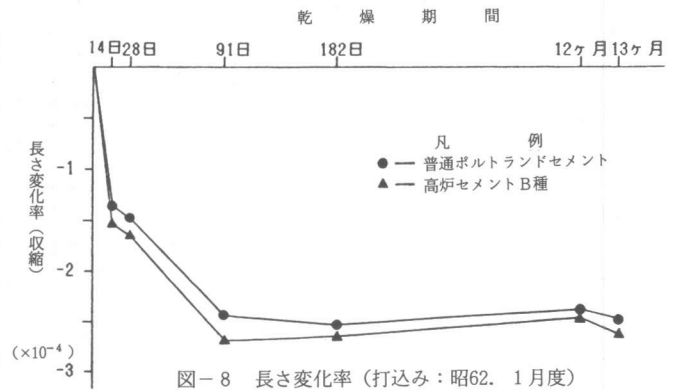


図-8 長さ変化率(打込み:昭62.1月度)

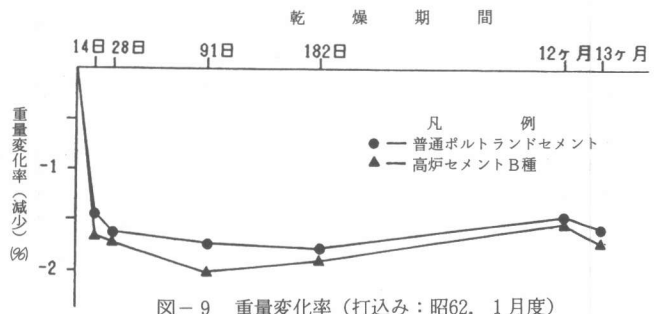


図-9 重量変化率(打込み:昭62.1月度)

表-11 ひび割れ発生本数

打込み月度	61. 12月		62. 1月		62. 7月		62. 8月		62. 9月		62. 10月		62. 11月		
	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	
種 類	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	N	BB	
W/C (%)	62	58	62	58	62	58	62	58	62	58	62	58	62	58	
本 数	6ヶ月	1	1	4	3	3	2	3	2	1	1	1	1	1	2
	12ヶ月	5	4	10	8	8	8	6	4	7	3	4	4	7	5

[注] 本表の数値は2本の供試体の両側面(面積は全部で0.16㎡)の合計を示し、ひび割れ幅は0.02~0.12mmである。