

東京工業大学 長瀬重義
東京工業大学 〇今井 実

まえがき 近年、コンクリートパイルを始めとして、いくつかの工場製品に圧縮強度800~1000 kg/cm^2 の高強度コンクリートが使用されつつあり、また一方では、この種の高強度コンクリートの現場施工への応用も検討されつつある。この圧縮強度800~1000 kg/cm^2 の高強度コンクリートは、従来はオートクレープ養生によってのみ実現可能とされていたが、最近開発された新種減水剤を使用して、コンクリートの単位セメント量を500 kg/m^3 以上にした場合に、同程度の圧縮強度を有する高強度コンクリートが通常の方法でも可能であることが一部の報告によって指達されている。しかしながらこの種の高強度コンクリートは、一般的に単位セメント量が大きくなるので、その力学的性状、物理化学的性状において従来のコンクリートと幾分性状を異にしていることが考えられる。

本研究は、高強度コンクリート用減水剤として一部実用されている多環アロマスルホン酸塩の化合物系減水剤(減水剤A)、およびナフタリンスルホン酸塩のホルマリン縮合物系の減水剤(減水剤B)を用いたコンクリートの圧縮強度、その他の力学的性状、乾燥収縮、フリースなどの体積変化、耐久性および作業性などについて実験的に検討した結果を報告するものである。

使用材料 実験に用いたセメントは、小野田セメントKK製早強ポルトランドセメントである。そのセメントの物理試験結果は表1に示すようである。骨材の影響は、高強度コンクリートの場合、特に著しいので、あらかじめ予備試験を行ない骨材の選定および細骨材率を決定した。その結果最も高強度が得られた組合わせ、すなわち鬼怒川玉砕と鬼怒川砂を本実験では使用した。それらの試験成績は表2に示すようであった。細骨材率は、スランプを一定とし、単位水量、強度、フリースについて検討を行なった結果、単位セメント量700 kg/m^3 の場合 $\% = 25\%$ 、単位セメント量500 kg/m^3 の場合 $\% = 30\%$ が最適値を示したので本実験ではこれらの値を採用した。

減水剤は、減水剤A-1(減水剤A-2、A-3は減水剤A-1の誘導品である)および減水剤Bを使用した。

試験方法 コンクリートの練りまぜは、強制練りまぜミキサによって行なった。コンクリート

打込後48hrで脱型 図1 蒸気養生条件

しその右の養生は2 kg

霧室で養生を行なっ

た場合(以下標準養生)

と図-1に示したよう

な蒸気養生

を行なった

右霧室で養

生を行なっ

た場合(以下

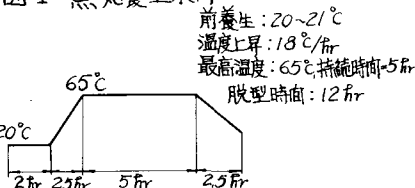


表2 骨材試験成績

粗細別	産地	比重	吸水量	F.M
粗骨材	鬼怒川玉砕	2.61	1.74	6.76
細骨材	鬼怒川	2.61	2.13	2.62

粗骨材最大寸法 20mm

表1 セメント試験成績

セメントの 種類	比重	粉末度 (%)	凝 結		安定性	引 値 (kgf)	曲げ強さ(kg/cm ²)				圧縮強さ(kg/cm ²)				
			水量 (%)	終結 (時分)			1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日	
小野田早強ポ ルトランドセメント	3.13	4290	30.3	2-35	3-17	良	244	254	49.8	61.6	73.2	81	203	309	430

蒸気養生)の2つの方法を採用した。圧縮、引張、曲げ強度供試体は、それぞれ $\phi 10 \times 20^{\text{cm}}$, $\phi 15 \times 15^{\text{cm}}$, $10 \times 10 \times 40^{\text{cm}}$ の寸法の供試体を作製し、試験は、TIS規格に準じて行なった。付着強度試験は、丸鋼 $\phi 19^{\text{mm}}$ の鉄筋を用いてASTM付着強度試験に準じて行なった。乾燥収縮試験は、タイヤルゲージによる長さ試験方法(供試体寸法 $10 \times 10 \times 50^{\text{cm}}$)を用いて行ない、検査7日まで 20°C 霧室で養生し、その後 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, $50 \sim 55\% \text{RH}$ の空中で乾燥させた。フリース試験は、 $15 \times 15 \times 53^{\text{cm}}$ のはり型供試体を用いて、検査28日に $\phi 18^{\text{mm}}$ のPC鋼棒で、 $100\% \text{mm}^2$ のストレスで載荷し、同型の乾燥収縮補正用の供試体と共に、 20°C , $50 \sim 55\% \text{RH}$ の乾燥条件下で行なった。なお、長さ変化の測定はカルビン歪計を用いた。凍結融解試験は、ASTM試験方法で行ない、動弾性係数と重量減少率を測定した。試験開始検査は、検査14日である。

試験結果とその考察

圧縮、引張、曲げ、付着強度試験 単位セメント量 700 kg/m^3 のコンクリートによる実験結果を図-2, 3, 4, 5に示した。先ず圧縮強度においては、いずれの減水剤を用いたコンクリートも検査1年で 1000 kg/cm^2 以上の高強度の値を示しており、適切な骨材とこの実験に用いた減水剤を使用することによって十分な高強度を得ることが出来ることを示すものである。減水剤の相違による影響は、検査の経過に伴い幾分か認められるが、その差も小さく減水剤の相違による圧縮強度への影響はないものと考えてよい。特に蒸気養生を行なった場合、図-2に示すように検査13日から検査1年強度の1/2程度の強度発現を呈しており、この種の単位セメント量の多いコンクリートにおいても蒸気養生の有効さが示されている。検査7日以後の強度は、標準および蒸気共に同程度の強度を示し差は見られず、このことは蒸気養生した後のコンクリートの強度発現が標準養生のコンクリートと同程度であることを示しており、従来のコンクリートには認められない現象である。

なお、弾性係数は、一般

図-2 圧縮強度

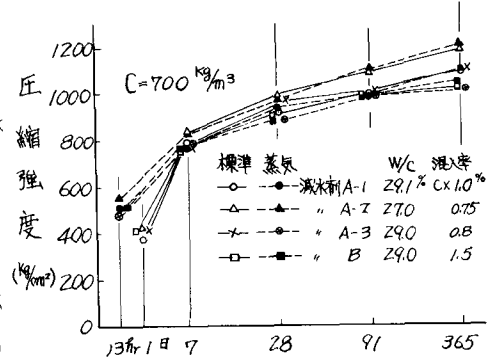


図-3 引張強度

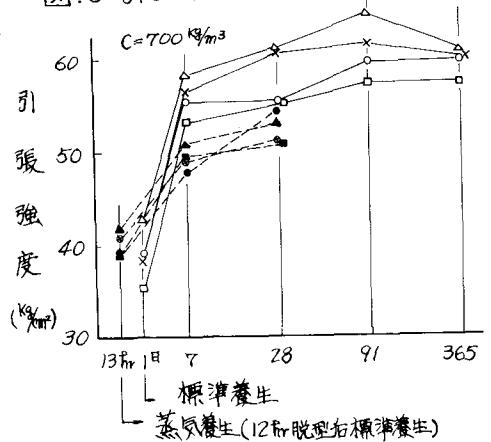


図-5 付着強度

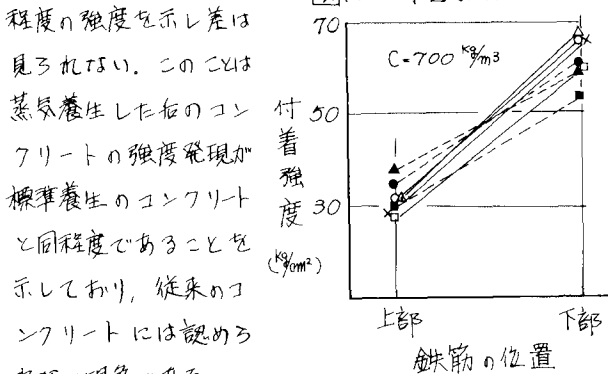
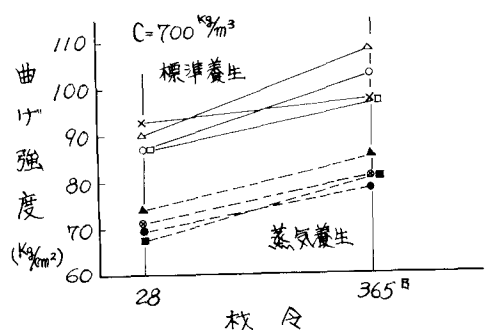


図-4 曲げ強度



に標準養生を行なった場合の方が大きな値を示し、これらの値は $40 \sim 425 \times 10^{-6}$ であり、減水剤の相違による影響は見られなかった。また破壊時の極限歪も $2800 \sim 3000 \times 10^{-6}$ の範囲であった。

次に引張強度は、標準養生の場合に、減水剤の相違による影響が幾分見られ減水剤 A-2 を用いた場合が最も大きな値を示したが、蒸気養生の場合には、減水剤の影響は見られなかった。蒸気養生の場合圧縮強度と同様に13Nで相当な強度発現があるが、枚令28日では標準養生に比べ5%程度の強度低下を示している。また、28日間標準養生後、9日まで気中養生をした場合には、枚令9日まで霧室養生した場合に比べ、2割程度の強度低下を示していた。これは単位セメント量の大きいことによる収縮、もしくは乾燥に伴う引張応力の存在によるものであろう。

曲げ強度は、減水剤の種類による影響は全く認められなかった。しかし蒸気養生を行なった場合、標準養生に比べ枚令28日、1年ともかなりの強度低下を認めることができ圧縮強度に比べ異なった傾向を示している。付着強度は、いずれの減水剤を用いても同程度の強度性状を示し、また養生条件の違いによる影響もあまり認められない。しかしながら鉄筋の配置、すなわち上部と下部の付着強度には著るしい相違が見られ、上部の付着強度は下部

に比べ1/2程度の値しか示していない。これはフリージングによる影響を明瞭に示すものであって、高強度コンクリートの現場施工においては、特に配慮されるべきであろう。実際、供試体の製造過程においても、非常に粘性のあるレイタンスを認めている。なお、単位セメント量500%を用いたコンクリートの強度性状は700%とほぼ同様の傾向を示している。

乾燥収縮試験 コンクリートの配合は、強度試験に用いたものと同一であって実験結果は図-6に示すようである。図に見られるように、減水剤の相違による乾燥収縮の差は全く見られず、乾燥枚令1年での乾燥収縮量は 700×10^{-6} 程度の値を示しているが、これらの値は通常のコンクリートとほぼ同程度の値である。蒸気養生を行なった場合には、標準養生を行なったものに比較して、いくぶん大きな乾燥収縮量を示しており、これも従来のコンクリートの性状と異にするところである。これは蒸気養生後枚令7日は霧室養生を行なったためと思われるがこれについては結論を得ていない。なお、フリーゾ

図.6 養生条件の相違が乾燥収縮に及ぼす影響

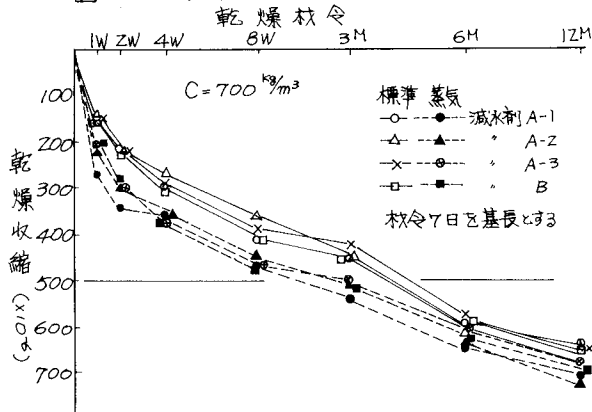


表.3 高強度コンクリートのフリーゾ性状

セメント量		減水剤		養生方法	凍結時の圧縮強度	凍入時の弾性歪	100%セメントの凍入時の弾性歪	乾燥収縮	フリーゾ係数	10%の凍入時の弾性歪
					(kg/cm^2)	($\times 10^{-4}$)	($\times 10^{-4}$)	($\times 10^{-6}$)		($\times 10^{-4}$)
500	A-1	(360)	蒸気	標準	784	373	440	540	1.18	345
				標準	750	373	440	560	1.18	330
	A-2	(340)	蒸気	標準	828	368	320	550	0.87	265
				標準	741	384	350	580	0.91	259
	B	(350)	蒸気	標準	721	375	290	590	0.77	209
				標準	928	351	310	470	0.88	288
700	A-1	(282)	蒸気	標準	897	381	580	570	1.52	520
				標準	1012	333	290	410	0.87	293
	A-2	(266)	蒸気	標準	1017	345	370	630	1.07	376
				標準	914	373	380	450	1.02	347
	B	(290)	蒸気	標準	874	353	380	410	1.08	332
				標準	846	340	460	520	1.35	389

果も蒸気養生を行なった方が大きな値を示している。

フリーフ試験 表3は載荷板を315日におけるフリーフの試験結果を示した表である。この表によれば、単位セメント量、減水剤、養生方法によってかなりの差を見ることができ、その値もかなり広範囲にあるが、いずれにしても従来のコンクリートと比較すればフリーフ率は極めて小さいといえる。即ち表中にあるように同一の応力を与えた場合のフリーフ率とフリーフ係数は一般のコンクリートのそれらの値に比べていずれも小さく、特にフリーフ係数で示した場合には約1.0となってしまう。これはコンクリートの強度が著るしく大きいにもかかわらずヤング率が一般のコンクリートと大差ない値を示すためである。しかしながら同じく表3に示すように、同一応力強度比(応力/強度=0.1)で比較すれば、ここに示された値は一般のコンクリートにおける値と大差ない。高強度が実際に使用される場合には、当然高応力条件下で用いられるので、これに代ったフリーフは一般のコンクリートと同等と考えてよいと考える。

凍結融解試験 単位セメント量 500^g、700^gを使用した場合の試験結果を図7に示す。いずれの場合も減水剤を使用しないものに比較して抵抗性は増加しているがそのほとんどが300サイクル以下で測定不能となっている。減水剤の中では減水剤A-Zがもっともよい結果を示している。また当然のことながらセメント量の多い方が抵抗性は大きかった。

作業性の経時変化に関する試験 この種の減水剤を使用した場合、経時変化に伴う作業性について、スランプ試験、落下度試験、フロー試験を行なったが、ここではスランプ試験の結果のみ図8に示した。これらの図は、常温、高温時(30℃)およびミキサーの回転速度を0.2^{rev}/secとした緩速回転のミキサー中にて連続してアジテートされた状態における作業性の経時変化を示したものである。この図によれば常温および高温時で練り置かれた場合、共に作業性の低下は著るしいが、温度差による影響は認められず、また連続アジテートされた場合の方が経時変化の大きいことが明瞭に示されている。また減水剤A-1は他の減水剤を用いた場合より一般的に良好な性状を示している。

図8 練り置き時間とスランプの関係

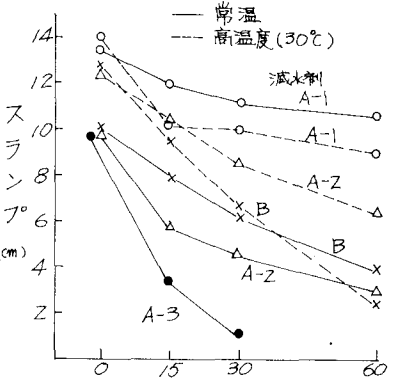


図7 減水剤の相違が凍結融解に及ぼす影響

