

V-18 超かた練りコンクリートの蒸気養生とその諸性質について

徳島大学工学部 正員 荒木 謙一
 徳島大学工学部 正員 河野 清
 徳島県土木部 正員 林 孝生

1. まえがき

各種ブロック、まくらぎなどの製品では、ゼロスランプの超かた練りコンクリートを用いて即時脱型を行ない、早期に強度を発現するために蒸気養生を行なっているが、これらについての研究結果はきわめて少ない。超かた練りコンクリートは単位水量がきわめて少ない配合と使用するし、また、即時脱型を行なうと型わくによる拘束がないので蒸気養生条件も多少ことなると思われる。養生期間の短縮も含めて、今後十分に検討を進める必要があると思われる。したがって、ここでは砂石を用いたゼロスランプの超かた練りコンクリートと振動台によって締め固め成形し、即時脱型しない型わく養生の場合や、即時脱型を行なったものについて蒸気養生の影響を調べ、強度特性、弾塑性係数、乾燥収縮などの諸性質について検討を行なった。

2. 使用材料

実験シリーズによって2種の普通ポルトランドセメント(A;比重=3.15,ブレン値=3130^{mg},28日強度=416^{kg/cm²},B;比重=3.15,ブレン値=3160^{mg},28日強度=416^{kg/cm²})を用いた。粗骨材は最す法20mmの鳴門市大麻町産の碎石、細骨材は吉野川産の川砂を用いた。使用骨材の物理試験結果を表-1に示す。なお、混和材料は使用しなかった。

表-1. 使用骨材の物理試験結果

骨材の種類	比重	単位重量 (^{kg} /m ³)	吸水量 (%)	空孔率 (%)	粗粒率 (F.M)
粗骨材(碎石)	2.60	1530	1.30	40.5	6.50
細骨材(川砂)	2.62	1670	1.16	35.5	2.81

3. 超かた練りコンクリートの蒸気養生とその性質

(1) 実験の概要

1) 使用コンクリートと供試体の作成:セメントAを用い、表-2に示すようなゼロスランプの超かた練りとし、単位セメント量は300^{kg}と400^{kg}の2種の配合とを用いた。なお、コンクリートの乾燥収縮試験には、比較のため目標スランプ5cmの配合(MixⅢ)も用いた。

表-2. 使用したコンクリートの配合

配合	スランプ (cm)	W/C (%)	S/a (%)	W (^{kg})	C (^{kg})	S (^{kg})	G (^{kg})	CF値
MixⅠ	0	43	55	130	300	1081	878	0.77
MixⅡ	0	33	47	130	400	884	989	0.69
MixⅢ	5±0.5	63	50	188	300	907	900	0.94

強制練りミキサを用いてコンクリートの練り混ぜを行ない、コンシステンシー測定は締め固め係数試験装置によりCF値を求めた。なお、目標スランプ5cmのコンクリートではスランプ試験を行なった。φ10×20cmの内柱形およびφ10×10×40cmのはり型わくを用い、コンクリートを一層に詰め、振動台を用いて振動数5000rpm、振動時間60秒の条件で締め固めを行なった。締め固めと終わってから、一部の内柱供試体は加圧量15^{kg/cm²}、加圧時間3分の条件で加圧成形し、その圧力保持時間は20時間とした。また、締め固め終了後、型わくの倒板をはずして即時脱型を行なった供試体も作成した。

2) 蒸気養生条件と試験:単位水量の少ないコンクリートでは養生期間の短縮がある程度可能であると報告されているが、超かた練りについてはまだ十分に検討されていない。したがって、5時間と短時間養生も含めて、養生条件を表-3に示す種におよび蒸気養生を行なった。蒸気養生後は翌日まで20±1°の湿空に放置した。なお、材料7日および28日まで20°C水中養生を行なった。なお、比

較のため、材令28日の標準養生供試体も作成した。

φ10×20 cm の円柱供試体を用い、材令1日、7日および28日で圧縮強度と引張強度試験、また、φ10×10×40 cm のはり供試体で曲げ強度試験を行った。

さらに、はり供試体と蒸気養生および標準養生した場合についてコンクリートの乾燥収縮を求めた。

(2) 実験結果とその考察

1) 圧縮強度について：蒸気養生した超軽練りコンクリートの各材令の強度を標準養生28日の結果と比較して示した図-1にみられるように、I, IIの条件で型わくのまま養生したもので、セメント量300 kgの配合で材令1日で198 %、192 %の強度がとられており、標準養生28日に対する相対強度比は46%となっている。材令28日では88%と83%であり、4た練りコンクリートに対する

従来の研究結果と大差ない。前養生なしで最高温度を高くしたまじしい条件のIIIでは、加圧しない場合、各材令の強度はかなり低く、前養生とより蒸気養生条件とゆるやかにする必要のあることを示している。なお、型わくの倒転をはずし、その強度がきわめて低く、脱型時に組織のゆるみの影響があったものと思われる。なお、加圧とセメントの増量は強度増加に効果的で、加圧したまま蒸気養生すればまじしい条件の採用が可能である。

2) 曲げ強度および引張強度について：8時間養生の蒸気養生条件IIを用いた場合、材令1日で配合Iで47.1 %の曲げ強度がとられており、その相対強度は73 %で、圧縮強度に比べて蒸気養生の効果は大きい。また、はり折片の圧縮強度より曲げ圧縮比(%)を平均すると0.12~0.16となっている(表-4参照)。つまり、蒸気養生条件IIによる引張強度は、表-5のように材令1日で66~76 %、28日で87~102 %の相対強度となっている。

3) 超軽練りコンクリートの乾燥収縮について：材令91日までの結果では、超軽練りコンクリートの乾燥収縮はスランプ5 cmのものがより明らかに小さく、標準養生した場合で約24 %、蒸気養生したもので約20 %減少している。また、高配合コンクリート(Mix II)では、セメント量の少ないものより小さくとも大きい。なお、蒸気養生すると標準養生に比べて乾燥収縮は15~20 %低減している。

表-3. 超軽練りコンクリートの蒸気養生条件

蒸気養生条件	前養生期間(日)	温度上昇期間(日)	最高温度(°C)	等温養生期間(日)	徐冷期間(日)	養生期間(日)	圧縮強度(°C)
I	2	2.5	70	3	3.5	11	550
II	1	2.5	70	2	2.5	8	420
III	0	2.5	90	1.5	1	5	340

図-1. 超軽練りコンクリートの圧縮強度試験結果

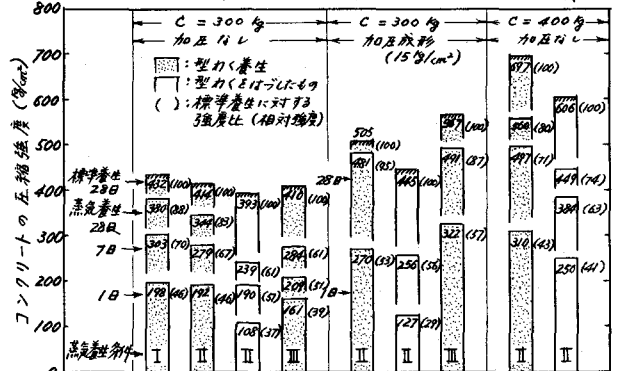


表-4. 蒸気養生したコンクリートの曲げ強度

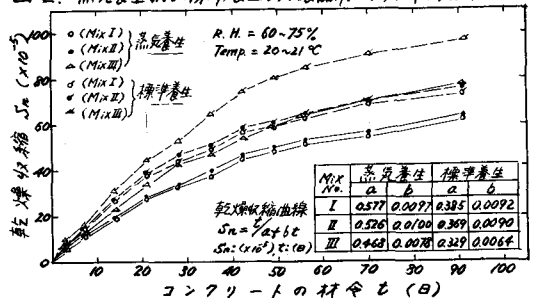
配合	単位 セメント量 (kg)	蒸気養生(1+2.5+2(70)+2.5)				標準養生	
		1 日		28 日		28 日	
		$\sigma_b(\%)$	η_{fc}	$\sigma_b(\%)$	η_{fc}	$\sigma_b(\%)$	η_{fc}
Mix I	300	47.1 (73)	0.13	62.8 (98)	0.16	64.8 (100)	0.14
Mix II	400	52.6 (67)	0.12	70.0 (89)	0.12	78.5 (100)	0.12

注() 内標準養生28日に対する強度比(相対強度)

表-5. 蒸気養生したコンクリートの引張強度

配合	単位セメント量(kg)	コンクリートの引張強度(°C/cm)			
		蒸気養生(1+2.5+2(70)+2.5)		標準養生	
		1日	7日	28日	28日
Mix I	300	26.9(66)	31.5(70)	35.4(87)	40.5(100)
Mix II	400	35.4(74)	37.5(79)	48.5(102)	47.5(100)

図-2. 蒸気養生および標準養生した製品用コンクリートの乾燥収縮



4. 即時脱型したコンクリートの蒸気養生とその性質

(1) 実験の概要

普通セメントBを使用し、骨材は前実験と同様の砕石と川砂(F.M.=2.81)を用いた。即時脱型コンクリートの配合は、今迄の研究結果を参考にして表-6に示すものとした。なお、湿和剤は添加しなかった。

表-6. 即時脱型用コンクリートの配合

Mix No.	Max. Size (mm)	CF value	W/C (%)	W (%)	C (kg)	S (kg)	G (kg)
I	20	0.73	39.7	48	119	300	956
II	20	0.69	29.8	42	119	400	802

モルタルで1分、粗骨材を投入して1分30秒練り混ぜを行なった。カパカ状態のコンクリートを即時脱型型わく(写真-1参照)に詰め、型わくに固定したワッカー-高振動数バイブレーター(振動数10800rpm, 加速度20g)を用いて1分間締め固めたのち厚板をのせて反転し、ハンドルを持ちあげ型わくと写真-2のように上方に抜いて即時脱型を行なった。即時脱型はり伏試体は蒸気養生そうを用いた次の3種の条件で養生した。

写真-1. 即時脱型型わくと成形

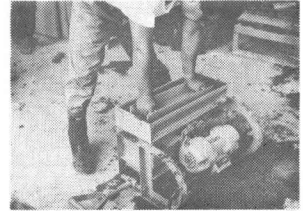
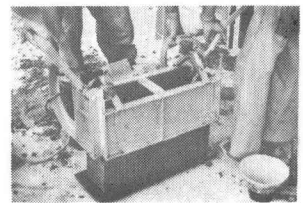


写真-2. コンクリートの即時脱型



蒸気養生条件I: $2 + 2.5(\frac{20}{40}\%) + 2.5(70^\circ\text{C}) + 3\text{h} = 10\text{h}$ (510℃・h)

蒸気養生条件II: $1 + 2.5(\frac{20}{40}\%) + 2(70^\circ\text{C}) + 2\text{h} = 7.5\text{h}$ (395℃・h)

蒸気養生条件III: $0 + 2.5(\frac{30}{40}\%) + 1(90^\circ\text{C}) + 1.5\text{h} = 5\text{h}$ (350℃・h)

蒸気養生後は20℃の恒温室に移し、翌日20℃の水の中に入れ、以後所定日令の28日まで養生した。なお、比較のため標準養生も行なった。

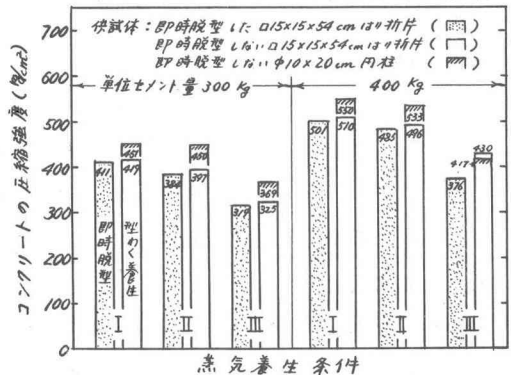
即時脱型した $15 \times 15 \times 54\text{cm}$ はり伏試体は曲げ強度試験を行なったの

ち折片圧縮強度も求めた。また、 $15 \times 15 \times 54\text{cm}$ はり $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 円柱型わくを用い、ワッカー-高振動台に取り付け同じ条件で締め固め成形した即時脱型はり伏試体についても蒸気養生と標準養生を行なった。その他の性質として、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ のはり伏試体で即時脱型した場合の乾燥収縮を試験した。

(2) 実験結果とその考察

1) 圧縮強度について: 即時脱型はり伏試体の圧縮強度と型わく養生のものと比較して示した図-3にみられるように、蒸気養生条件I, IIでは大差ない値を示している。しかし、短時間できびしい条件のIIIでは、28日強度がI, IIの結果より20~25%低くおっており、しかも蒸気養生中にコンクリート表面のひびわれの発生が認められた。これは、Hanson⁴⁾の指摘しているように、表面部の硬化が早くすすみ、それが周辺部ならぬコンクリートの膨張によって引張られ

図-3. 即時脱型コンクリートの日令28日の圧縮強度



ひびわれを生じたものと思われる。したがって、即時脱型コンクリートは型わくによる拘束がないので、ある程度前養生時間ととり、またゆるやかな温度上昇を行なう必要があることを示している。

2) 曲げ強度について: 即時脱型を行なったコンクリートの曲げ強度は、表-7のように型わくの養生した場合より平均17%小さい。圧縮強度に比べて差が大きいのは即時脱型の際の伏試体のねじれの影響でははら

表-7. 即時脱型の有無と日令28日の曲げ強度

配合	Mix I (C=300kg)	Mix II (C=400kg)
脱型方法	即時脱型	型わく養生
I	62.7 (77)	81.1 (100)
II	60.0 (80)	75.3 (100)
III	56.8 (84)	67.3 (100)

思われる。なお、曲げ圧縮比は $1/6 \sim 1/7$ となっている。

3) 即時脱型したコンクリートの乾燥収縮について:
 $10/10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ のはり状試体を用い、即時脱型した場合としない場合について乾燥収縮を測定し、それぞれ91日までの結果を図-4に示したが、即時脱型したものがやや小さくなっている。なお、蒸気養生したものは標準養生に比べ、約20%収縮が少なくなっている。

5. 超かた練りコンクリートの動弾性係数と圧縮強度との関係

本実験に用いた $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱状試体については、圧縮強度試験の前にヤング率測定器を用いてコンクリートの動弾性係数を測定したので、この値と圧縮強度との関係を図-5に示し、両者の実験式を求めた。養生条件の相違、即時脱型や加圧の有無にかかわらず、使用骨材が同一ならば動弾性係数と圧縮強度との関係は同じ式で示すことが可能である。

6. 超かた練りコンクリートの水密性について

超かた練りコンクリート（表-6のMix I, II）および比較のために一般製品用コンクリート（ $W/C = 62.7\%$, $f_a = 50\%$, $C = 300 \text{ kg}$, $W = 188 \text{ kg}$, 実測スランプ = 5.2 cm ）を用い、写真-3に示す外圧式透水試験装置（供試体寸法、 $\phi(15-2) \times 30 \text{ cm}$ 中空円筒形）を使用し、試験水圧、 28 kg/cm^2 で透水試験を行った。試験結果を示した図-6にみられるように、超かた練りコンクリートの透水係数は一般製品用コンクリートより小くなっており、超かた練りでもセメント量と多い目にし、しかも強力な締め固めを行えば水密性のよいコンクリートのえられることを示している。しかし、ブロックのような配合ではホースとになり、水密性は悪くなると思われる。なお、蒸気養生しただけでは小さくはなっていないが、これは蒸気養生後十分に湿潤養生を行ったためと考えられ、水密性についてさらに検討したいと考える。

7. まとめ

超かた練りコンクリートに対する蒸気養生の効果は、一般製品用コンクリートの場合と同様に、70日強度は標準養生強度より10~20%低下し、即時脱型しても無理に蒸気養生を行わなければ型わく養生の場合と大差ない結果がえられる。また、超かた練りコンクリートの乾燥収縮は一般製品用よりかなり低減できる。

なお、本研究の一部は、昭和44年度文部省科学研究費によって行なったものである。

- (文献) 1) Y.M. Butt, V.M. Kolbasov & V.V. Timashev, Proc. of 5th ISCC, Part III, p. 437~471 (Tokyo, 1968).
 2) 河野, コンクリートジャーナル, Vol. 4, No. 4, p. 22~28 (1966).
 3) 河野, 林, 竹村, セメントコンクリート, No. 282, p. 30~37 (1970).
 4) J.A. Hanson, Proc. Am. Conc. Inst., Vol. 60, p. 75~100 (1963).

図-4. 即時脱型の有無とコンクリートの乾燥収縮

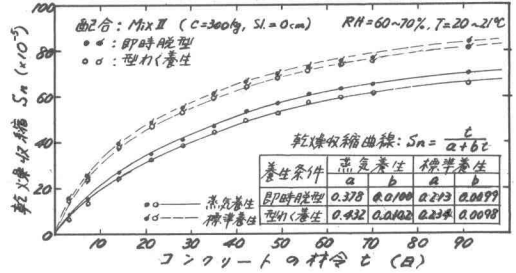


図-5. 動弾性係数と圧縮強度との関係

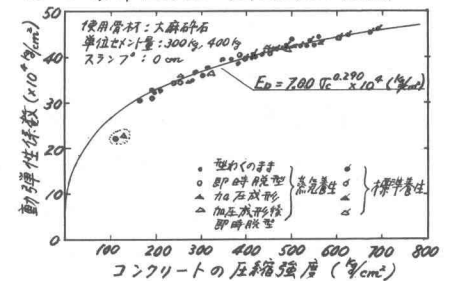


写真-3. 透水試験装置

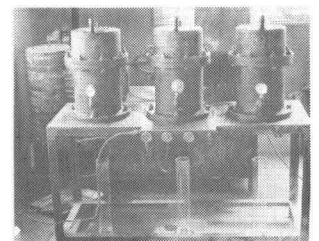


図-6. 超かた練りコンクリートの透水試験結果

