

土 木 研 究 所 資 料

高炉水砕スラグ粉末を用いたコンクリートの品質に関する試験

昭和52年3月

建設省土木研究所

地質化学部コンクリート研究室

Copyright ©1977年度 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

要 旨

高炉水砕スラグ粉末をセメントの一部に置換えて用いたモルタルおよびコンクリートの品質を明らかにするため、新日鉄化学工業社製のスラグについてセメントとの置換率を0～90%の範囲に変えた場合の、モルタルのフローおよび強度（圧縮、曲げ）とコンクリートのワーカビリティ（単位水量、スランプ、空気量）、強度（圧縮、曲げ）、耐久性（凍結融解、中性化）および熱的性質（断熱上昇温度、水和熱）について試験を行なった。

その結果、ここで試験したスラグに関しては、セメントの90%程度までをスラグで置換えてもモルタルのフローおよびコンクリートのワーカビリティにはほとんど影響を与えないこと、スラグ置換率を大きくするほど初期強度は低下するが、長期材令になると置換率70%以上でもスラグを用いない場合に匹敵する強度が得られる。また、耐久性はスラグの置換率よりも水セメント比によって支配されること、スラグ置換率90%では発熱量はスラグを用いない場合の50%程度に減少すること、などが明らかになった。

目 次

序 言

I 高炉水砕スラグ粉末を用いたモルタルの品質に関する試験	1
1. 試 験 の 目 的	1
2. 試 験 内 容	1
2.1 試 験 項 目	1
2.2 使 用 材 料	2
3. 試 験 方 法	2
3.1 フローに関する試験	2
3.2 強度に関する試験(1)	2
3.3 強度に関する試験(2)	3
4. 試 験 結 果	3
4.1 フローに関する試験	3
4.2 強度に関する試験(1)	3
4.3 強度に関する試験(2)	4
5. 試 験 結 果 の 考 察	4
5.1 フローについて	4
5.2 強度について(1)	5
5.3 強度について(2)	8
6. ま と め	8
II 高炉水砕スラグ粉末を用いたコンクリートの品質に関する試験	10
1. 試 験 の 目 的	10
2. 試 験 内 容	10
2.1 試 験 項 目	10
2.2 使 用 材 料	10

3	試 験 方 法	11
3.1	ワーカビリチーに関する試験	11
3.2	強度に関する試験	12
3.3	耐久性に関する試験	13
3.4	熱的性質に関する試験	13
4	試 験 結 果	13
4.1	ワーカビリチーに関する試験	13
4.2	強度に関する試験	14
4.3	耐久性に関する試験	15
4.4	熱的性質に関する試験	15
5	試験結果の考察	16
5.1	スラグを用いたコンクリートのワーカビリチーおよび空気連行性について	16
5.2	スラグを用いたコンクリートの強度について	17
5.3	スラグを用いたコンクリートの耐久性について	18
5.4	スラグを用いたコンクリートの熱的性質について	19
6	ま と め	19
結 言		21

序 言

製鉄所の溶鉱炉から排出されるスラグのごく一部は、従来からコンクリート用骨材や高炉セメント用水滓などに用いられてはきたが、大部分は埋立てや整地用材料として処理されてきたのが実情である。しかし、省資源および公害防除の見地からみてもかかる産業廃棄物の有効利用がのぞまれており、土木研究所では過去4年間（昭和48年度～昭和51年度）高炉水砕スラグ粉末をコンクリート用材料としての利用をはかるための調査研究を行ってきた。

高炉スラグのコンクリート用材料としての利用法としては、粗骨材として用いる方法、細骨材として用いる方法およびスラグを粉末にして混和材料として用いる方法があるが、当面は混和材料としての利用法を対象とした。混和材料としての利用に関しては、すでに高炉セメントとして用いられている実績があるが、高炉セメントの大部分はB種として生産されているため、そのスラグ混入率は50%程度までであり、また70%以上に多量にスラグを混入した場合のコンクリートの品質については明らかでないので、スラグの広汎な活用をはかるためにはスラグを多量に混入したコンクリートの諸性質を十分たしかめておく必要がある。

そこで、研究の手はじめとして昭和48年度は新日鉄化学工業社の製品を対象として、スラグ混入量とモルタルのフローおよび強度との関係を調査するための試験を行なった。また、49年度からはコンクリートについて、スラグ混入量とコンクリートのワーカビリティ、強度、耐久性および熱的性質との関係を調査するための試験を行ない、51年度には塩基度を異にする別のスラグ1種について同様な試験を行なった。この報告は、これらの試験についてまとめたものである。

なお、この試験の実施にあたっては、新日本製鉄化学工業株式会社戸畑製造所・セメント研究所の御協力をいただいた。ここに記して感謝する次第である。

昭和52年3月

コンクリート研究室長	太	田	実
研究員	小	野	金 造
	佐	取	一 男

I. 高炉水砕スラグ粉末を用いたモルタルの品質に関する試験

1. 試験の目的

研究の手はじめとして、高炉水砕スラグ粉末（以下、単に「スラグ」という）を普通ポルトランドセメントの一部に置換えてモルタルに用いた場合の、スラグ混入量とモルタルのフローおよび強度との関係を求めることを目的とした。

なお、全国各地で産出される、さまざまな品質のスラグについて試験することがのぞましいが、この試験では、さしあたって1工場の製品のみを対象とした。

2. 試験内容

2.1 試験項目

つぎの3項目について試験を行なった。

(1) フローに関する試験

普通ポルトランドセメントの一部を、さまざまな割合でスラグおよびフライアッシュに置換えた場合の、混和材置換率とモルタルのフローの関係を求める試験。

(2) 強度に関する試験(1)

普通ポルトランドセメントの一部を、さまざまな割合でスラグに置換えた場合の、モルタルについて次の項目の特性値を求める試験。

なお、比較のために無機質混和材として、フライアッシュおよびスラグと同程度の粒度をもった珪砂粉末を用いた場合についても試験を行なった。

(i) 凝結試験

(ii) フロー試験

(iii) 曲げ強度試験

(iv) 圧縮強度試験

(3) 強度に関する試験(2)

普通ポルトランドセメントの一部を、さまざまな割合でスラグ、フライアッシュおよび珪砂粉末を置換えた場合、所定のフローをもつような配合条件のモルタルの強度を求める試験

なお、これらの混和材料の水硬性についても検討を行なった。

2.2 使用材料

試験に用いたセメント、スラグ、フライアッシュ、珪砂粉末、水および細骨材は、つぎのとおりである。

(1) セメント

普通ポルトランドセメントを使用した。その化学成分、物理的性質および強さは、それぞれ表Ⅰ-1、表Ⅰ-2および表Ⅰ-3のとおりである。

(2) スラグ

このスラグは、赤熱状の鉾滓に水を噴射して急冷して水淬とした後、これを脱水してボールミルで粉砕する方法で製造されたもので、その物理的・化学的性質は表Ⅰ-4のとおりである。

(3) フライアッシュ

市販品（九州電力産）を使用した。その物理的性質は表Ⅰ-5のとおりである。なお、表Ⅰ-5のⅡは強度に関する試験に使用した。

(4) 珪砂粉末

珪砂粉末は豊浦標準砂を試験用小型ミルで粉砕したもので、その粉末度は比表面積が $3450\text{cm}^2/\text{g}$ である。

(5) 水

ペーストおよびモルタルの練りませ水には、水道水を使用した。

(6) 細骨材

モルタルに使用した砂は、比較的粒度の細かい砂で物理的性質は表Ⅰ-6のとおりである。

モルタルの強度に関する試験には豊浦標準砂を用いた。

3. 試験方法

3.1 フローに関する試験

普通ポルトランドセメントに対して、スラグおよびフライアッシュを、0%、20%、40%、60%、80%および100%の置換えをした試料を作製した。

モルタルの配合は水セメント比（ W/C^* 、ただし C^* ：セメント＋混和材）が50%および100%の2種類、砂セメント比（ S/C^* 、ただし C^* ：セメント＋混和材）が10、15、20の3種類として、これらの組合せでフロー試験を行なった。

モルタルの練りませはホバートミキサを使用し、3分間練りませた。モルタルのフロー試験はJロートを使用して、2回の測定値の差が1秒以内となるようにして、2回の測定値の平均値を求めた。

3.2 強度に関する試験(1)

3.2.1 試料調製

この試験については試料セメントの中の石膏量を一定にするために、比表面積が $3800\text{cm}^2/\text{g}$ のクリンカー粉を別に調製し、これに対してスラグ、フライアッシュおよび珪砂粉末ならびに石膏を添加して、V型混合機で混合した。混合の割合は表 I-7、表 I-8 および表 I-9 のとおりである。

以上のようにして調整した試料について、比重および粉末度の試験を行なった。

3.2.2 試験

(i) 凝結試験

3.2.1で調整した全部の試料について、JIS R5201「セメントの物理試験方法」によって凝結試験を行なった。また、JASS-5・20・4a「セメントの異常凝結の試験方法」により異常凝結試験を行なった。

(ii) フロー試験

全部の試料について、JIS R5201「セメントの物理試験方法」によってフロー試験を行なった。

(iii) 曲げ強度試験

全部の試料について、JIS R5201「セメントの物理試験方法」によって曲げ強度試験を行なった。

(iv) 圧縮強度試験

全部の試料について、JIS R5201「セメントの物理試験方法」によって圧縮強度試験を行なった。

3.3 強度に関する試験(2)

表 I-10 に示すような混和材置換率と砂セメント比の組合せについて試験を行なった。

モルタルの目標とするフローは P ロードで測定したフロー値が 16 ± 1 秒になるように定めた。

以上のような配合条件のモルタルを、グラウト試験用攪拌装置によって、運輸省港湾技術研究所案の示す「試験用注入モルタルの練りませ方法」に準拠して練りませを行ない、 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の供試体を 20°C の恒温室内で製作した。

養生方法は 20°C 水中養生とした。

4. 試験結果

4.1 フローに関する試験

試験用モルタルの配合とフロー（流下時間（秒））の実測値を示すと表 I-11 のようであり、これを図示すると図 I-1 のようである。

4.2 強度に関する試験(1)

4.2.1 試料調製試験

調整された試料の特性値について試験した結果は表 I-12 のようである。

4.2.2 試 験

(i) 凝 結 試 験

各試料の凝結試験および異常凝結試験の実測値を示すと表 I-13 のとおりである。表 I-13 より、混和材置換率と標準軟度水量との関係を図示すると図 I-2 のようである。また、混和材置換率と凝結時間および異常凝結試験針入度との関係を図示すると、図 I-3 および図 I-4 のようである。

(ii) フ ロ ー 試 験

各試料のフロー試験の実測値を示すと表 I-14 のようである。これから混和材置換率とフロー値との関係を図示すると、図 I-5 のようである。

(iii) 曲 げ 強 度 試 験

各試料のモルタルの材令 3 日、7 日および 28 日における曲げ強度試験結果は、表 I-15 のとおりである。これから混和材置換率と曲げ強度との関係を示すと、図 I-6 のとおりである。

(iv) 圧 縮 強 度 試 験

各試料のモルタルの材令 3 日、7 日および 28 日における圧縮強度試験結果は、表 I-16 のとおりである。これから混和材置換率と圧縮強度の関係を示すと、図 I-7 のとおりである。

つぎに、表 I-15 および表 I-16 より、混和材の置換えをした場合のモルタルの曲げ強度と圧縮強度の関係を、圧縮強度／曲げ強度の比率によって比較してみると、表 I-17 のようである。これから、混和材置換率と圧縮強度／曲げ強度の関係を示すと、図 I-8 のようである。

4.3 強度に関する試験(2)

P ロートで得られたフロー値 16 ± 1 秒を満足するモルタルのフローの実測値と、曲げ強度および圧縮強度の結果を示すと表 I-18 のとおりである。表 I-18 より、各材令および混和材置換率ごとにセメント水比 (C^*/W) と圧縮強度との関係を図示すると、図 I-9 のようである。なお、図 I-9 の横軸 (セメント水比) はスラグ、フライアッシュおよび珪砂粉末などを含まないセメント単味についてのセメント水比を目盛っている。

また、スラグおよびフライアッシュを用いた場合における、圧縮強度とセメント水比の相関、圧縮強度と混和材料、砂セメント比およびセメント水比を要因とした場合の重相関関係について調べた結果を示すと表 I-19 のようである。

5. 試験結果の考察

5.1 フローについて

図 I-1 により、つぎのことがわかる。

- 1) 水セメント比が50 %の場合には、スラグを用いたものも、フライアッシュを用いたものも、砂セメント比が20の時にはコンシステンシーは流下時間によるフローでは、測定され難かった。
- 2) 水セメント比が50 %の場合は、スラグを用いたものも、フライアッシュを用いたものも、砂セメント比が小さい方がフローは良好である。
- 3) 水セメント比が50 %の場合、混和材の種別による相違は、スラグおよびフライアッシュで置換えた場合も、置換率が増加するに従ってフローは低下する傾向があるが、フライアッシュの方がスラグよりもフローの低下の傾向は著しいことがわかる。
- 4) 水セメント比が100 %の場合は、どの配合のモルタルもフローは大で、混和材の置換えおよび砂セメント比の違いの影響も、J ロートによる流下時間の差異となって表われなかった。

以上の結果より、普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えたモルタルの場合、フライアッシュの置換えにくらべれば、フローの低下は少なかった。また、この実験に用いたような細骨材については、例えば注入コンクリートを対象とするようなモルタルのフローは混和材の置換えによっては改良が期待できないことがわかった。この点については混和剤の活用について検討する必要がある。

5.2 強度について(i)

5.2.1 試料調製

表I-12より、つぎのことがわかる。

セメント粉に対して混和材の混入量が増加するにしたがって試料の比重は低減している。また、粉末度と添加量との関係は明瞭でなかった。

5.2.2 試験

(i) 凝結試験

図I-2より、つぎのことがわかる。

- 1) 混和材の置換率と水量の関係は、スラグおよびフライアッシュでは混和材の量が増すほど水量が多く必要となり、ほぼ一次的に増加する関係があると思われる。
- 2) 珪砂粉末を置換えた場合には、水量が減るような置換量が存在した。

図I-3より、つぎのことがわかる。

- 1) 混和材の置換率が増加してくると始発および終結ともに、凝結時間が延長してくる傾向は大となっている。
- 2) 混和材の種類による相違は小さい。
つぎに、図I-4よりつぎのことがわかる。
- 1) 混和材を用いないものにくらべて、混和材で置換えたものは、異常凝結試験の針入度は急激に大となり、置換率が40 %以上になるとほとんど一定となる。
- 2) 混和材の種類による相違は小さい。

以上の結果より、混和材で置換えたセメントの標準軟度水量は混和材の種類によって異なり、フライアッシュ>スラグ>珪砂粉末の順となっており、珪砂粉末の場合を除いて、混和材の置換率が増加するにしたがって水量も増大したが、全体的には置換率 50% 以下の置換えでは水量にあまり影響しない程度であると考えられる。また、凝結時間は、混和材の置換率の増加に伴って始発、終結とも長くなり、混和材の種類による相違は小さい。

(ii) フロー試験

図 I-5 より、つぎのことがわかる。

- 1) スラグを置換えた場合のフロー値は、置換率 60% までは小さくなり、それ以上になるとフロー値の増大をみている。
- 2) フライアッシュを用いた場合のフロー値は、置換率 50% までは低減している。
- 3) 珪砂粉末を用いた場合には、置換率 40% まではフロー値の減少はあるが、50% になると増加の傾向がみられた。

以上の結果より、スラグを用いた場合には、フロー値の減少量は少なくフライアッシュを用いた場合が最も大きくなった。ここに用いた 3 種類の混和材は 50% 以下の置換えでは、一般にフロー値は混和材を用いないものにくらべて小さくなることがわかる。

(iii) 曲げ強度試験

図 I-6 より、つぎのことがわかる。

- 1) スラグを用いた曲げ強度は、
 - a) 材令 3 日では、置換率の増大とともに強度は低下するが、置換率 70% 程度までの低下はゆるやかである。
 - b) 材令 7 日では、材令 3 日と同一ような傾向であるが、置換率 70% では、スラグを用いない場合とはほぼ同じ強度で、それ以上の置換率になると強度は急激に低下する。
 - c) 材令 28 日では、置換率 50% まではスラグを用いない場合とほぼ同程度の強度であるが、60% ではやや低下している。
- 2) フライアッシュおよび珪砂粉末を用いたモルタルの場合には、どの材令でも置換率にはほぼ逆比例して曲げ強度は低下している。材令 28 日の置換率 50% の場合では、混和材を用いない場合にくらべて強度はほぼ半減している。

(iv) 圧縮強度

図 I-7 より、つぎのことがわかる。

- 1) スラグを用いたモルタルの圧縮強度は、
 - a) 材令 3 日では、スラグ置換率に逆比例して低下している。
 - b) 材令 7 日では、置換率 50% まで強度の低下はあるが、70% になるとわずかに強度の増加がみられ置換率がそれ以上になると強度は急激に低下する。

c) 材令 28 日では、置換率 70% までスラグを用いない場合とほぼ同程度の強度が得られる。置換率 90% の場合には、スラグを用いない場合にくらべて強度はほぼ半減している。

2) フライアッシュおよび珪砂粉末を用いた場合は、材令にかかわらず置換率にはほぼ逆比例して強度は低下する。材令 7 日および 28 日では、置換率 50% の場合混和材を用いない場合の強度の 30% 程度となっている。

つぎに図 I-8 よりつぎのことがわかる。

各種の混和材を置換えをした場合のモルタルの曲げ強度と圧縮強度の関係を圧縮強度/曲げ強度の比率によって比較してみると、圧縮強度が大きい方が圧縮強度/曲げ強度の値は大きく、材令 28 日まではいずれの場合にも、材令の経過にしたがってこの比率は増大している。各材令において、各々の混和材の置換率が 50% 以内で、この比率はスラグ>フライアッシュ>珪砂粉末の順となっている。

以上の結果より、普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えたモルタルの強度の場合、圧縮および曲げ強度とも材令 3 日では置換率が高いほど強度の発現が遅いが、材令 28 日ではスラグ置換率 70% でもスラグを用いない場合とほぼ同程度の強度が得られるのがわかった。

また、フライアッシュおよび珪砂粉末を用いた場合と比較して、スラグの場合は置換率をかなり高めても強度を損なわない点の一つの大きな利点といえる。

なお、圧縮強度試験結果によって置換えをした混和材の水硬性に関し、Keil¹⁾ の Principal Hydraulic Index (PHI と略す) を計算してみると、表 I-20 のようである。

PHI は次式によって求める。

$$PHI = \frac{a-c}{b-c} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

a : ポルトランドセメントと混和材を加えたセメントの強度

b : ポルトランドセメントの強度

c : ポルトランドセメントに a と同じ割合で珪砂粉末を混合したセメントの強度

PHI が大きいほど混和材の反応性が大きく、強度に寄与する割合が大きいことを示す。

PHI が 100 という値の時は、混和材の水硬性がポルトランドセメントと同程度ということを示している。

スラグを置換えたものでは、材令 28 日になると 100 をこえるようになる。

しかし、フライアッシュの方は著しく低い水硬性しか示していないことがわかる。表 I-20・a の中で Δ で示しているのは、珪砂粉末以下の強度しか得られていない場合を示している。

曲げ強度についても PHI を求めると表 I-20・b のとおりである。

曲げ強度の PHI はスラグ粉末を使用した場合の材令 28 日ではまだ 100 に達してはいないが、大略の

傾向としては圧縮強度と同様と考えられる。

5.3 強度について(2)

図 I-9 より、つぎのことがわかる。同一セメント水比の場合に、珪砂粉末を置換えをしたものの強度と、スラグあるいはフライアッシュを置換えしたものの強度の差が、潜在水硬性あるいはポゾラン反応による効果を示していると考えられる。

- 1) スラグで置換えた場合の潜在水硬性は、材令 3 日および 7 日でも珪砂粉末にくらべて少しではあるが発揮されていることが認められ、材令 28 日になると明確にその効果が表われているといえる。
- 2) フライアッシュで置換えをした場合には、材令 7 日まではほとんど珪砂粉末を置換えたものと差はなく、材令 28 日になってわずかに珪砂粉末の場合より強度が大きくなっている。

以上の結果より、フロー一定の場合のモルタルの曲げ強度および圧縮強度の発現性は、スラグがフライアッシュや珪砂粉末よりも明らかに大きく、潜在水硬性は長期になるとかなり発揮されると思われる。

つぎに、表 I-19 よりつぎのことがいえる。

圧縮強度に関しては、混和材量、砂セメント比およびセメント水比の 3 つの要因とも、スラグもフライアッシュについても各材令で著しく有意であることが、各要因との単相関係数の検定結果から推定される。またセメント水比と圧縮強度の単回帰式を推定し、その回帰誤差と共に表 I-19 に記した。当然のことながら、混和材量および砂セメント比と圧縮強度は負相関を示している。

同じ 3 種類の要因によって圧縮強度に対する重相関係数を求めて検定した結果も、いづれも著しく有意であるので重回帰式を推定した結果を掲げてある。同時にその回帰誤差および寄与率の推定結果を記した。スラグの場合もフライアッシュの場合にも、材令が 3 日から 28 日の間では材令の若い方が回帰誤差は小さく、この回帰式の適合性に関する確らしさの精度は大となる。

6. ま と め

新日鉄化学工業社製の高炉水砕スラグ粉末を用いたモルタルのフローおよび強度について試験を行なった結果つぎのことが明らかになった。

- 1) 普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えた場合、置換率が増加するにしたがってフローは低下する傾向にあるが、フライアッシュを用いた場合にくらべればフローは良いようである。
- 2) 混和材を置換えた場合の標準軟度水量は、種別によって異なり、フライアッシュ>スラグ>珪砂粉末の順となっているが、置換率 50%以内であれば水量に影響はないと思われる。凝結時間は混和材の種別による差はなく、置換率を増加すると始発、終結とも長くなる傾向がある。また、異常凝結は混和材の種別による差は小さく、置換率を増加していくと針入度は大きくなり、40%以上置換えると一定となる。

- 3) 混和材を置換えた場合のフロー値は、フライアッシュを用いた場合置換率が増加するにしたがい低下の一方であるが、スラグを用いた場合は、低下は少なく逆にフロー値が大きくなる傾向にある。
- 4) 普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えした場合、曲げ強度、圧縮強度ともフライアッシュや珪砂粉末を用いた場合よりも強度は大きく、その差は材令 28 日までは材令が経過するほど大きくなっている。この試験結果から PHI を求めてみると、明らかにスラグ粉末の反応性がフライアッシュの場合よりも大きいことがわかった。また、圧縮強度／曲げ強度の比率はいずれの混和材の種別による相違は明確とはいえないが、材令 28 日においては、スラグ＞フライアッシュ＞珪砂粉末の順となっている。
- 5) スラグで置換えをした場合の、潜在水硬性あるいはボゾラン反応による効果はフライアッシュを用いた場合より大きくなっている。その効果は材令が経過するほど顕著であった。

II. 高炉水砕スラグ粉末を用いたコンクリートの品質に関する試験

1. 目 的

高炉水砕スラグ粉末（以下、単に「スラグ」という）をコンクリートに用いた場合の、スラグ混入量とコンクリートのワーカビリティ、強度、耐久性および熱的性質との関係を求めることを目的とした。比較のために、混和材としてフライアッシュを用いた場合についても同時に試験を行なった。

なお、スラグを用いたコンクリートの品質はスラグ自体の品質によって左右されるので、さまざまな品質のスラグについて試験することがのぞましいが、この試験ではさしあたって新日鉄化学工業社製のスラグ2種を対象とした。

2. 試 験 内 容

2.1 試 験 項 目

つぎの4項目について試験を行なった。

(1) スラグを用いたコンクリートのワーカビリティに関する試験

普通ポルトランドセメントの一部をさまざまな割合でスラグに置換えた場合の、スラグ置換率とコンクリートのスランプおよび空気量ならびにそれらの経時変化との関係を求める試験。

(2) スラグを用いたコンクリートの強度に関する試験

普通ポルトランドセメントの一部をさまざまな割合でスラグに置換えた場合の、スラグ置換率とコンクリートの圧縮および曲げ強度との関係を求める試験

(3) スラグを用いたコンクリートの耐久性に関する試験

普通ポルトランドセメントの一部をさまざまな割合でスラグに置換えた場合の、スラグ置換率とコンクリートの凍結融解および中性化との関係を求める試験。

(4) スラグを用いたコンクリートの熱的性質試験

普通ポルトランドセメントの一部をさまざまな割合でスラグに置換えた場合のスラグ置換率とコンクリートの断熱上昇温度および〔セメント+スラグ〕の水和熱との関係を求める試験。

これら、4項目についての試験組合せを表II-1に示す。

2.2 使 用 材 料

試験に用いたセメント、スラグ、フライアッシュ、水、細・粗骨材および混和剤は、つぎのとおりである。

(1) セメント

普通ポルトランドセメントを使用した。その化学成分、物理的性質および強さは、それぞれ表Ⅱ-2、表Ⅱ-3および表Ⅱ-4のとおりである。

(2) スラグ

塩基度の異なる2種(A: 1.87 および B: 1.97)を使用した。このスラグは、赤熱状の鋳滓に水を噴射して急冷して水砕とした後、これを脱水してボールミルで粉砕する方法で製造されたもので、その物理的、化学的性質は表Ⅱ-5のとおりである。

(3) フライアッシュ

市販品(九州電力産)を使用した。その化学成分および物理的性質は、表Ⅱ-6のとおりである。

(4) 水

コンクリートの練りませ水には、水道水を使用した。

(5) 細骨材

細砂および粗砂(いずれも海砂)を、土木学会のコンクリート標準示方書の「細骨材の粒度の標準」に適合するように混合・調製したものをを使用した。(表Ⅱ-1、試験項目Ⅰ、Ⅱ)

また、表Ⅱ-1の試験項目Ⅲ、Ⅳでは川砂を使用した。

細骨材の粒度および物理的性質は、それぞれ表Ⅱ-7および表Ⅱ-8のとおりである。

(6) 粗骨材

表Ⅱ-1の試験項目Ⅰ、Ⅱでは、硬質砂岩碎石を使用した。試験項目Ⅲ、Ⅳでは、石灰岩碎石を使用した。粒度および物理的性質は、表Ⅱ-9および表Ⅱ-10に示すとおりである。

(7) 混和剤

市販のAB剤ヴィンソルを使用した。

3. 試験方法

3.1 ワーカビリティーに関する試験

表Ⅱ-11に示すような混和材置換率と水セメント比(W/C^* 、ただし C^* :セメント+混和材)の組合せについて、つぎの2項目の試験を行なった。

(1) スランブを一定とした場合の単位水量の変化

スランブ一定(8 ± 1 cm)としたときの単位水量を求めた。ミキサに、粗骨材、細骨材、セメント、混和材および水の順に各材料を投入して1分間練りませたのち、所定の水セメント比のセメントペーストを除々に加えてスランブ 8 ± 1 cm、空気量 4 ± 0.5 %のコンクリートをつくり、はじめに投入した材料と追加したセメントペーストとの合計量から計算によって単位水量を求めた。

さらに、スランプおよび空気量の経時変化を求めるため、練りませ終了直後（0分）のほか、練りませ後30分、60分および90分経過後のスランプおよび空気量を測定した。

(2) 単位水量を一定とした場合のスランプの変化

(1)の試験において混和材を用いない場合（置換率：0%）に対して得られた単位水量を基準とし、混和材を用いた他のすべての配合における単位水量をこれに合せた場合のスランプを求めた。この場合、混和剤量も置換率0%の配合における単位水量をこれに合せた場合のスランプを求めた。この場合、混和剤量も置換率0%の配合について(1)の試験で得られた値に合せた。

(1)の試験と同様に、練りませ直後（0分）のほか、30分、60分および90分経過後のスランプおよび空気量の測定も行なった。

これらの試験は、20℃の恒温実験室内において行なった。コンクリートの練りませには可傾式3切ミキサを使用した。なお、スランプ試験はJIS A1101、空気量試験はJIS A1128（空気室圧力方法）に従って行なった。

3.2 強度に関する試験

表Ⅱ-12に示すような混和材置換率と水セメント比の組合せについて、圧縮および曲げ強度試験を行なった。いずれの配合とも、コンクリートのスランプは 8 ± 1 cm、空気量は 4 ± 0.5 %とした。

表Ⅱ-12に示す組合せのうち、スラグ置換率90%としたものは、セメントとして、普通ポルトランドセメントに人造石膏（SO₃含有46%）を添加してセメントおよびスラグの合計重量中に占めるSO₃量が約7%となるようにあらかじめ成分調整したものを使用した。

(1) 圧縮強度試験

- 1) 供試体寸法： $\phi 10 \times 20$ cm円柱
- 2) 材令：7日、28日および91日
- 3) 養生方法：20℃水中養生
- 4) 供試体数：各配合および材令ごとに3個

(2) 曲げ強度試験

- 1) 供試体寸法： $10 \times 10 \times 40$ cm角柱
- 2) 材令：7日、28日および91日
- 3) 養生方法：20℃水中養生
- 4) 供試体数：各配合および材令ごとに3個
- 5) 載荷方法：3等分点曲げ

強度試験は、JIS A1108（圧縮強度試験方法）およびJIS A1106（曲げ強度試験方法）に従って行なった。

3.3 耐久性に関する試験

表Ⅱ-13に示すようなスラグ置換率と水セメント比の組合せについて、つぎの2項目の試験を行なった。

(1) 凍結融解試験

コンクリートのスランブは 7 ± 1 cm、空気量は 4 ± 0.5 %の供試体 ($7.5 \times 10 \times 40$ cm) を作製し、脱型後は凍結融解試験開始の材令14日まで水中養生 (20 ± 3 °C) を行なった。

試験は、一槽型ブライン循環式急速凍結融解試験装置を用いて、繰返し温度範囲 $+5 \sim -18$ °C、繰返し速度6サイクル/日で行なった。凍結融解の繰返しにともなう動弾性係数 (E_D) の変化をJIS A-1127の「共振振動によるコンクリートの動弾性係数・動せん断弾性係数および動ポアソン比試験方法」によって、動弾性係数を求めるとともに供試体の重量変化を測定した。

(2) 中性化試験

単位〔セメント+スラグ〕量を、 250 kg/m^3 および 330 kg/m^3 、スランブ8 cmとし、鉄筋を埋込んだコンクリート供試体 ($\phi 15 \times 30$ cm) の自然環境下 (東京湾および土研屋上) に曝露した材令1年におけるコンクリートの中性化と鉄筋の発錆の傾向について調査した。

鉄筋埋込み位置は、図Ⅱ-1のとおりである。

3.4 熱的性質に関する試験

表Ⅱ-14に示すような、スラグ置換率と水セメント比の組合せについて、つぎの2項目について試験を行なった。

(1) 断熱上昇温度試験

試験は、図Ⅱ-2に示すような装置でコンクリートの練りませ直後から材令14日までの温度上昇を求めた。

(2) セメントの水和熱試験

JIS R5203「セメントの水和熱測定方法 (溶解熱方法)」によって、材令7日、28日および91日試験を行なった。

4. 試験結果

4.1 ワーカビリティーに関する試験

(1) スランブを一定とした場合の単位水量の変化

練りませ試験の結果得られた、スランブ 8 ± 1 cm、空気量 4 ± 0.5 %を満足するコンクリートの配合は表Ⅱ-15のとおりである。練りませ直後におけるスランブおよび空気量の実測値を、練りませ後30分、60分および90分におけるそれらの実測値とともに示すと表Ⅱ-16のようであり、これらを図示する

と図Ⅱ-3および図Ⅱ-4のようである。

表Ⅱ-15より、混和材置換率と単位水量との関係を図示すると図Ⅱ-5のようである。同図中に示す「単位水量比」は、スランブ一定 ($8 \pm 1\text{cm}$) の条件のもとでの、混和材を用いない (置換率: 0%) コンクリートの単位水量に対する混和材使用のコンクリートにおける単位水量の割合 (表Ⅱ-17) である。

同様に、表Ⅱ-15より空気量一定 ($4 \pm 0.5\%$) の場合の混和材置換率と単位混和剤量との関係を示すと、図Ⅱ-6のようである。同図中に示す「単位混和剤量比」は、空気量一定 ($4 \pm 0.5\%$) の条件のもとでの混和材を用いないコンクリートにおける混和剤量に対する混和材使用のコンクリートにおける混和剤量の割合 (表Ⅱ-18) である。

なお、後述の強度試験用コンクリートの配合 (表Ⅱ-23) から、スランブ一定 ($8 \pm 1\text{cm}$) の場合の混和材置換率と単位水量および単位水量比 (表Ⅱ-24) との関係を示すと図Ⅱ-11のようであり、空気量一定 ($4 \pm 0.5\%$) の場合の混和材置換率と単位混和剤量および単位混和剤量比 (表Ⅱ-25) との関係を示すと、図Ⅱ-12のようである。

(2) 単位水量を一定とした場合のスランブの変化

3.112に示した条件にしたがって得られたコンクリートの配合は、表Ⅱ-19のとおりである。練り混ぜ直後におけるスランブおよび空気量の実測値を、練り混ぜ後30分、60分および90分におけるそれらの実測値とともに示すと表Ⅱ-20のようであり、これを図示すると図Ⅱ-7および図Ⅱ-8のようである。

表Ⅱ-20より、混和材置換率とスランブとの関係を示すと、図Ⅱ-9のようである。同図中に示す「スランブ比」は、単位水量一定の条件のもとでの混和材を用いない (置換率: 0%) コンクリートのスランブに対する混和材使用のコンクリートにおけるスランブの割合 (表Ⅱ-21) である。

同様に、表Ⅱ-20より混和剤量一定の場合の混和材置換率と連行空気量との関係を示すと図Ⅱ-10のようである。同図中に示す「連行空気量比」は、混和剤量一定の条件のもとでの混和材を用いないコンクリートの空気量に対する混和材使用のコンクリートにおける空気量の割合 (表Ⅱ-22) である。

4.2 強度に関する試験

強度試験におけるコンクリートの配合は、表Ⅱ-23のとおりである。3.2にのべたとおり、水セメント比 W/C^* (C^* : セメント+混和材) は50%、70%および90%の3種とし、いずれの配合ともスランブ一定 ($8 \pm 1\text{cm}$)、空気量 ($4 \pm 0.5\%$) とした。

材令7日、28日および91日における圧縮強度試験結果および曲げ強度試験結果は、それぞれ表Ⅱ-26および表Ⅱ-27のとおりである。これから、各水セメント比ごとに混和材置換率と圧縮強度および曲げ強度との関係を示すと、それぞれ図Ⅱ-13および図Ⅱ-14のとおりである。また、圧縮強度および曲げ強度の混和材置換率による強度比を示すと、表Ⅱ-28および図Ⅱ-15のとおりである。

つぎに、表Ⅱ-26 および表Ⅱ-27 より、各材令および混和材置換率ごとにセメント水比 (C^*/W) と強度との関係を図示すると、図Ⅱ-16～図Ⅱ-21 のようであり、 $C^*/W \sim \sigma$ 関係式を求めると表Ⅱ-29 のようである。

さらに、圧縮強度と曲げ強度との関係を示すと、図Ⅱ-22、図Ⅱ-23 および図Ⅱ-24 のようである。

4.3 耐久性に関する試験

(1) 凍結融解試験

凍結融解試験におけるコンクリートの配合は、表Ⅱ-30 のとおりである。3.3(1)のべたとおり、水セメント比(W/C)は50%、70%および90%の3種とし、いずれの配合ともスランプ一定 ($7 \pm 1 \text{ cm}$)、空気量一定 ($4 \pm 0.5 \%$) とした。

約300サイクルまでの凍結融解試験によって得られた凍結融解の繰返し数と供試体の動弾性係数および重量の実測値を示すと、表Ⅱ-31 および表Ⅱ-32 のようであり、これらを図示すると、図Ⅱ-25 のようである。

(2) 中性化試験

中性化試験におけるコンクリートの配合は、表Ⅱ-33 のとおりである。3.3(2)のべたとおり、〔セメント+スラグ〕量は、 250 kg/m^3 および 330 kg/m^3 とし、いずれの配合とも単位水量一定 (178 kg/m^3) とした。

材令1年における中性化試験結果は、表Ⅱ-34 のようであり、これを図示すると、図Ⅱ-26 のようである。

また、中性化試験用供試体と同一養生 (材令14日まで20℃水中養生、14日以後屋外曝露) した材令1年の圧縮強度と、材令28日の水中養生 (20℃) を行なった供試体の圧縮強度試験結果を示すと、表Ⅱ-36 および図Ⅱ-27 のとおりである。

4.4 熱的性質試験

(1) 断熱上昇温度試験

断熱上昇温度試験における配合は、表Ⅱ-36 のとおりである。〔セメント+スラグ〕の量を一定 ($C^* = 300 \text{ kg/m}^3$) とし、水セメント比(W/C)50%および70%の2種とした。

材令14日までの断熱上昇温度試験結果は表Ⅱ-37 のようであり、これを図示すると、図Ⅱ-28 のようである。

(2) セメントの水和熱試験

3.4(2)のべたように、水セメント比(W/C)40%、50%、70%および90%の4種とした。

材令7日および28日の〔セメント+スラグ〕の水和熱試験結果を示すと、表Ⅱ-38 および図Ⅱ-29 のとおりである。

5. 試験結果の考察

5.1 スラグを用いたコンクリートのワーカビリティおよび空気連行性について

(1) ワーカビリティ

図Ⅱ-5および図Ⅱ-11より、つぎのことがわかる。

- 1) スランプを一定とした場合、スラグ置換率を90%まで高めても単位水量はほとんど変化しない。
- 2) フライアッシュを用いた場合は、置換率30~50%で単位水量は10~15% ($20 \sim 30 \text{ kg/m}^3$) 減少する。

つぎに、図Ⅱ-9よりつぎのことがわかる。

- 1) 単位水量を一定とした場合、スラグ置換率を90%まで高めてもスランプはほとんど変化しない。
- 2) フライアッシュを用いた場合は、置換率の増加につれてスランプは増大し、置換率50%ではフライアッシュを用いない場合にくらべて15~20倍 (7~10cm) 大きくなる。また、図Ⅱ-2、図Ⅱ-3、図Ⅱ-7および図Ⅱ-8よりつぎのことがわかる。

- 1) スラグを用いたコンクリートの時間経過によるスランプおよび空気量の損失は、スラグを用いないコンクリート (置換率: 0%) と同等もしくはやや小さくなる傾向にあり、スラグ置換えによる悪影響は認められない。
- 2) フライアッシュを用いたコンクリートにおけるスランプおよび空気量の経時変化も、スラグを用いたコンクリートの場合とほぼ同様である。

以上の結果より、普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えたコンクリートの場合、フライアッシュで置換えたコンクリートにおけるような減水効果は認められないが、セメントの90%をスラグに置換えた場合でもスラグを用いないコンクリートにくらべて単位水量が増加することはなく、また、時間経過によるスランプおよび空気量の損失もスラグを用いない場合と同等もしくはそれ以下であって、スラグによる置換はコンクリートのワーカビリティにはほとんど影響をおよぼさないとみることができる。

(2) 空気連行性

図Ⅱ-6、図Ⅱ-10および図Ⅱ-12よりつぎのことがわかる。

- 1) 混和剤 (AE剤) 量を一定とした場合、スラグ置換率を増すにつれて連行空気量は減少する傾向がある。空気量は、スラグ置換率30%当り約1%減少し、置換率90%では約3%減少する。従って、スラグ置換率を大きくするほど所定の空気量を連行するための混和剤量は増加し、置換率90%の場合には置換率0%の場合の約50%増しとする必要がある。
- 2) フライアッシュを用いたコンクリートの場合は、置換率の増加にともなう連行空気量の減少が著しく、置換率が50%になると標準量のAE剤では空気連行はほとんど期待できなくなる。置換率50%の場合に所定の空気量を連行するためには、標準量の2倍前後のAE剤を用いる必要がある。

以上の結果より、普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えたコンクリートの場合、置換率の増

加とともに空気連行性は低下するが、フライアッシュ置換えの場合に比べれば空気連行性ははるかに良いといえる。

5.2 スラグを用いたコンクリートの強度について

(1) 圧 縮 強 度

図Ⅱ-13 および図Ⅱ-15 より、つぎのことがわかる。

- 1) スラグを用いたコンクリートの圧縮強度は、
 - a) 材令 7 日では、スラグ置換率にはほぼ逆比例して低下している。
 - b) 材令 28 日では、置換率 50% 程度まではスラグを用いない場合とほぼ同等で、置換率がそれ以上になると強度は急激に低下する。
 - c) 材令 91 日では、置換率 50% 程度までは置換率の増大とともに圧縮強度は増大し、置換率がそれ以上になると強度は低下するが、置換率 70% でもスラグを用いない場合とほぼ同等の強度が得られる。置換率 90% の場合には、スラグを用いない場合にくらべて強度はほぼ半減している。
- 2) セメントとして、石膏を加えて SO_3 を増加した特殊成分のものをを用いた場合には、スラグ置換率 90% の場合でも材令 28 日以上ではスラグを用いないものと同等もしくはそれを上まわる強度が得られる。この特殊セメント使用による強度増伸の効果は、水セメント比の大きい場合ほど顕著である。
- 3) スラグの塩基度 1.87(A) と 1.97(B) の違いによる強度発現上の差異は、この試験の結果においては明瞭でなかった。
- 4) フライアッシュを用いたコンクリートの場合は、材令にかかわらず置換率 10% 程度では圧縮強度は置換率 0% の場合とほぼ同等であるが、置換率 0% の場合にくらべて材令 28 日における圧縮強度は 50~60% 程度、材令 91 日では 80% 前後となっている。また、図-16、図-17 および図-18 より、スラグおよびフライアッシュを用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係は、混和材置換率や材令にかかわらずほぼ直線関係を保持していることがわかる。

(2) 曲 げ 強 度

図Ⅱ-14 および図Ⅱ-15 より、つぎのことがわかる。

- 1) スラグを用いたコンクリートの曲げ強度は、
 - a) 材令 7 日では、スラグ置換率にはほぼ逆比例して強度は低下している。
 - b) 材令 28 日では、スラグ置換率の増大とともに強度は低下するが、置換率 70% 程度までは低下率は比較的ゆるやかである。
 - c) 材令 91 日では、置換率 70% までは置換率 0% の場合よりも 10~20% 大きくなり、置換率 90% はやや低下するが、低下率は 10% 程度である。
- 2) フライアッシュを用いたコンクリートの場合は、材令 7 日および材令 28 日では置換率にはほぼ逆比例して曲げ強度は低下しているが、材令 91 日では置換率 50% までの範囲で曲げ強度は置換率 0% の

場合とはほぼ同等である。

また、図Ⅱ-19、図Ⅱ-20 および図Ⅱ-21 より、スラグおよびフライアッシュを用いたコンクリートのセメント水比と曲げ強度との関係は、圧縮強度の場合と同じくほぼ直線関係にあることがわかる。

さらに、圧縮強度との相関をみると、図Ⅱ-22、図Ⅱ-23 および図Ⅱ-24 より明らかなように、スラグまたはフライアッシュの置換率やコンクリートの材令にかかわらず、圧縮強度 300 kg/m^2 程度までの範囲において曲げ強度は圧縮強度のほぼ $\frac{1}{2}$ 程度となっていることがわかる。

以上の結果より、普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えたコンクリートの強度についてまとめると、圧縮強度、曲げ強度とも、短期材令（7日）ではスラグ置換率が高いほど強度の発現が遅いが、長期材令（91日）ではスラグ置換率 70% でもスラグを用いない場合とほぼ同程度の圧縮強度が得られ、セメントに石膏を補なって SO_3 を増加させた場合には、置換率 90% でもスラグを用いない場合と同等ないしそれ以上の圧縮強度が得られること、また、曲げ強度は、スラグ置換率 70% 程度までは長期材令においてスラグを用いない場合よりもやや大きな強度となり、スラグ置換率が 90% の場合でもスラグを用いない場合と同程度にちかい強度が得られたことがわかった。

フライアッシュを用いた場合と比較して、スラグの場合はセメントの置換率をかなり高めても強度をあまり損なわない点の一つの大きな利点といえる。

5.3 スラグを用いたコンクリートの耐久性について

(1) 凍 結 融 解

図Ⅱ-25 より、つぎのことがわかる。

- 1) 水セメント比 (W/C^*) 50% では、スラグ置換率を 0~90% の範囲で変えても、供試体の動弾性係数および重量の変化に顕著な差異は生じていない。ただし、置換率 90% で SO_3 を増加した特殊セメント (90^*) を用いたものは耐久性が著しく劣っている。
- 2) 水セメント比 (W/C^*) 70% では、セメント単味を用いたコンクリートにくらべてスラグで置換えたものの耐久性は一般に劣っている。
- 3) 水セメント比 (W/C^*) 90% では、スラグの置換えの有無にかかわらず耐久性は著しく劣っている。
- 4) スラグの塩基度の違いによるコンクリートの耐久性の差異は明瞭でない。

(2) 中 性 化

図Ⅱ-26 より、つぎのことがわかる。

- 1) 土研屋上曝露コンクリートでは、単位〔セメント+スラグ〕量 (C^*) = 250 kg/m^3 、 $W/C^* = 71.2\%$ および単位〔セメント+スラグ〕量 (C^*) = 330 kg/m^3 、 $W/C^* = 53.9\%$ とも、スラグ置換率が大いほど中性化深さが大きくなっている。また、 $C^* = 250 \text{ kg/m}^3$ と $C^* = 330 \text{ kg/m}^3$ をくらべるとどちらとも水量を一定 ($W = 178 \text{ kg/m}^3$) としたため、水セメント比の大きくなった $C^* = 250 \text{ kg/m}^3$ の方が中性化は大きかった。

- 2) 東京湾曝露コンクリートでは、置換率 30%までは中性化の進行はなく置換率 70%において平均中性化深さは、土研屋上の $C^* = 250 \text{ kg/m}^3$ の 20%程度である。土研屋上曝露のものより中性化の進行が少ないことについては、今後の経年変化をみたうえで検討したい。
- 3) 鉄鉄の発錆は、東京湾および土研屋上の $C^* = 250 \text{ kg/m}^3$ 、置換率 70%で、かぶり 2cmの鉄筋の一部に錆がみられた。

以上の結果より、普通ポルトランドセメントの一部をスラグで置換えた場合のコンクリートの耐久性はスラグ置換率よりも水セメント比 (W/C^*) によって支配される傾向があるので、耐久性が重要な構造物に用いる場合には水セメント比の選定に注意することが重要といえる。

5.4 スラグを用いたコンクリートの熱的性質について

(1) 断熱上昇温度

図Ⅱ-28より、つぎのことがいえる。

- 1) [セメント+スラグ]の量を一定 ($C^* = 300 \text{ kg/m}^3$) とし、水セメント比 (W/C^*) 50%の場合、セメントに対するスラグ置換率が 70%以下では断熱上昇温度はスラグを用いない場合と大差ないが、置換率 90%では発熱が著しく減少する。
 - 2) スラグ置換率 70%の場合、水セメント比による差はみられなかった。
 - 3) スラグの塩基度の違いによるコンクリートの発熱の差異は明瞭でなかった。
- (2) 図Ⅱ-29より、つぎのことがわかる。
- 1) 材令 1~4 週における水和熱は、スラグ置換率が高いほど減少し、置換率 90%ではセメント単味の場合の 1/2 以下となっている。
 - 2) 水セメント比 (W/C^*) 40~70%の範囲において、水セメント比の違いによる水和熱の差異はほとんど認められなかった。

以上の結果より、セメントの大部分をスラグで置換えた場合に発熱量が著しく減少することは、マスコンクリートなどでスラグ置換率 90%程度でも強度や耐久性が満足されるような場合には、きわめて有利な条件となるであろう。

6. ま と め

新日鉄化学工業社製の高炉水砕スラグ粉末 2 種 (塩基度 187 および 197) についてそれらを普通ポルトランドセメントの一部または大部分に置換えて用いたコンクリートのワーカビリティ、強度、耐久性および熱的性質について試験を行なった結果、おおよそつぎのことが明らかになった。

- (1) スラグで置換えたコンクリートはフライアッシュで置換えたコンクリートにおけるような減水効果は

ないがセメントの90%をスラグで置換えた場合でもスラグを用いないコンクリートにくらべて単位水量が増加したり空気連行性が特に低下するようなことはなく、また、時間経過によるスランプおよび空気量の損失もスラグを用いない場合より大きくなることはない。すなわち、スラグによる置換えは、コンクリートのワーカビリティにはほとんど影響をおよぼさない。

- (2) フライアッシュの場合とくらべて、スラグの場合はセメントとの置換率をかなり高めても強度をあまり損なわない。13週程度の材令においては、置換率70%でもスラグを用いない場合と同等の圧縮強度が得られ、曲げ強度は置換率90%でも実用上十分な水準に達する。

なお、置換率90%のようなスラグを多量に用いる場合は、強度はセメント中の SO_3 の量によって大きく左右される。

- (3) スラグで置換えたコンクリートの耐久性は、スラグ置換率よりも水セメント比(W/C^*)によって支配される傾向があるので、耐久性が重要なものにこのようなコンクリートを用いる場合には水セメント比の選定に注意する必要がある。

- (4) スラグ置換率が70%以下の場合は、コンクリートの断熱上昇温度はセメント単味を用いたコンクリートの場合と大差ないが、置換率90%では発熱量は著しく減少する。これは、マスコンクリートに対して有利な条件となる。

結 言

今回、試験の対象としたスラグは新日鉄化学工業社の製品のみであるが、スラグをセメントの一部に置換えた場合のコンクリートの性質は、今回の試験でおおよそのことはわかったが、スラグ自体の品質によってそれをういたコンクリートの品質もかなり変わるものと考えられるので、今後は更にさまざまな品質のスラグについても調査を行なって、全国各所に産するスラグ全般を対象としたコンクリート用材料としての利用法を明らかにしていく必要があろう。

参 考 文 献

- 1) F. Keil : Slag Cements, Proceeding of 3rd International Symposium on the Chemistry Cement. 1952
- 2) 山崎寛司：鉍物質微粉末がコンクリートのウォーカビリティーにおよぼす効果に関する基礎研究，土木学会論文集第84号（1962）
- 3) 山崎寛司：鉍物質微粉末がコンクリートの強度におよぼす効果に関する基礎研究，土木学会論文集第85号（1962）

表I-1 セメントの化学成分(%)

強熱減量	不溶残分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	合 計
0.8	0.3	21.8	51	3.2	64.4	1.6	1.8	99.0

表I-2 セメントの物理的性質

比 重	粉 末 度		凝 結						安 定 性	
	比表面積 (cm ² /g)	88μ 残分 (%)	室温 (℃)	湿度 (%)	水温 (℃)	水量 (%)	始 発	終 結	浸 水	煮 沸
3.17	3,170	1.4	20.0	85	20.0	27.7	2-40	3-40	良	良

表I-3 セメントの強さ

フー	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
228	29.6	50.7	72.4	122	225	421

表I-4 高炉スラグ粉末の特性値

比 重	粉末度 (cm ² /g)	ガラス量 (%)	化 学 成 分 (%)							塩基度*
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
2.91	3,800	—	33.2	15.6	—	—	43.3	4.4	—	1.91

$$* \text{塩基度} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}, \text{ JIS R5211 による規格値は 1.4 以上}$$

表I-5 フライアッシュの特性値

	出 所	比 重	粉末度 (cm ² /g)
I	九電フライアッシュ	2.16	2,860
II	九電フライアッシュ	2.19	3,640

表I-6 細骨材の物理的性質

比 重	吸水率 (%)	洗い試験損失重量 (%)	有機不純物	単位容積重量 (kg/m ³)	粗粒率
2.59	1.8	1.5	良	1,534	1.88

表 I-7 スラグ粉末混合試料の配合割合(%)

	粉末度 (cm^3/g)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
クリンカー	3,800	96	86	76	66	56	46	36	26	16	6
ス ラ グ	3,800	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
石 こ う	—	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

表 I-8 フライアッシュ混合試料の配合割合(%)

	粉末度 (cm^3/g)	A	B	C	D	E	F
ク リ ン カ ー	3,800	96	86	76	66	56	46
フ ラ イ ア ッ シ ュ	2,860	0	10	20	30	40	50
石 こ う	—	4	4	4	4	4	4

表 I-9 珪砂粉末混合試料の配合割合(%)

	粉末度 (cm^3/g)	A	B	C	D	E	F
ク リ ン カ ー	3,800	96	86	76	66	56	46
珪 砂	3,450	0	10	20	30	40	50
石 こ う	—	4	4	4	4	4	4

表 I-10 モルタルの強度に関する試験2組合せ

混和材 S/C* 置換率(%)	ス ラ グ			フ ラ イ ア ッ シ ュ		
	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0
0	○	○	○			
20	○	○	○	○	○	○
40				○	○	○
50	○	○	○			
60				○	○	○
70	○	○	○			

C* : セメント+混和材

表 I-11・a モルタルの配合およびフロー試験結果

温和材	W/C*	温和材 置換率 (%)	S/C*	1練り分の配合 (g)				フロー (秒)
				水	セメント	砂	混和材	
ス ラ グ	50	0	1.0	600	1200	1200	0	7.8
			1.5	600	1200	1800	0	18.8
			2.0	500	1000	2000	0	—
		20	1.0	600	960	1200	240	7.5
			1.5	600	960	1800	240	18.0
			2.0	500	800	2000	200	—
		40	1.0	600	720	1200	480	7.8
			1.5	600	720	1800	480	18.3
			2.0	500	600	2000	400	—
		60	1.0	600	480	1200	720	8.2
			1.5	600	480	1800	720	18.8
			2.0	500	400	2000	600	—
		80	1.0	600	240	1200	960	9.6
			1.5	600	240	1800	960	20.2
			2.0	500	200	2000	800	—
		100	1.0	600	0	1200	1200	11.5
			1.5	600	0	1800	1200	25.5
			2.0	500	0	2000	1000	—

C* : セメント+混和材

表 I-11・b モルタルの配合およびフロー試験結果

混和材	W/C*	混和材 置換率 (%)	S/C*	1 練り分の 配合 (g)				フロー (秒)
				水	セメント	砂	混和材	
ス ラ グ	100	0	1.0	800	800	800	0	3.8
			1.5	800	800	1,200	0	4.1
			2.0	700	700	1,400	0	4.2
		20	1.0	800	640	800	160	3.9
			1.5	800	640	1,200	160	3.9
			2.0	700	560	1,400	140	4.3
		40	1.0	800	480	800	320	3.9
			1.5	800	480	1,200	320	4.0
			2.0	700	420	1,400	280	4.3
		60	1.0	800	320	800	480	3.9
			1.5	800	320	1,200	480	4.1
			2.0	700	280	1,400	420	4.3
		80	1.0	800	160	800	640	3.9
			1.5	800	160	1,200	640	4.1
			2.0	700	140	1,400	560	4.3
		100	1.0	800	0	800	800	3.9
			1.5	800	0	1,200	800	4.1
			2.0	700	0	1,400	700	4.2
フ ラ イ ア ッ シ ュ	50	0	1.0	600	1,200	1,200	0	7.7
			1.5	600	1,200	1,800	0	19.5
			2.0	500	1,000	2,000	0	—
		20	1.0	600	960	1,200	240	9.5
			1.5	600	960	1,800	240	22.6
			2.0	500	800	2,000	200	—
		40	1.0	600	720	1,200	480	12.4
			1.5	600	720	1,800	480	26.9
			2.0	500	600	2,000	400	—

C* : セメント + 混和材

表 I-11・c モルタルの配合およびフロー試験結果

混和材	W/C*	混和材 置換率 (%)	S/C*	1 練り分の配合(g)				フロー (秒)
				水	セメント	砂	混和材	
フ ラ イ ア ッ シ ュ	50	60	1.0	600	480	1200	720	15.1
			1.5	600	480	1800	720	31.5
			2.0	500	400	2000	600	—
		80	1.0	600	240	1200	960	23.1
			1.5	600	240	1800	960	32.0
			2.0	500	200	2000	800	—
		100	1.0	600	0	1200	1200	30.0
			1.5	600	0	1800	1200	33.1
			2.0	500	0	2000	1000	—
	100	0	1.0	800	800	800	0	3.8
			1.5	800	800	1200	0	4.0
			2.0	700	700	1400	0	4.1
		20	1.0	800	640	800	160	3.8
			1.5	800	640	1200	160	3.9
			2.0	700	560	1400	140	4.1
		40	1.0	800	480	800	320	4.0
			1.5	800	480	1200	320	3.9
			2.0	700	420	1400	280	4.1
		60	1.0	800	320	800	480	3.9
			1.5	800	320	1200	480	4.0
			2.0	700	280	1400	420	4.2
		80	1.0	800	160	800	640	3.9
			1.5	800	160	1200	640	4.1
			2.0	700	140	1400	560	4.2
		100	1.0	800	0	800	800	4.0
			1.5	800	0	1200	800	4.1
			2.0	700	0	1400	700	4.2

C* : セメント+混和材

表I-12 試料の特性値

混和材	記号	混和材 置換率 (%)	比 重	粉 末 度	
				比表面積 (cm^2/g)	88 μ 残分(%)
な し	A	0	3.16	3.640	0.6
ス ラ グ	B	10	3.13	3.590	0.6
	C	20	3.11	3.560	0.7
	D	30	3.04	3.510	0.9
	E	40	3.00	3.490	1.0
	F	50	2.99	3.530	1.0
	G	60	2.97	3.680	0.6
	H	70	2.96	3.610	0.5
	I	80	2.94	3.670	0.7
フ ラ イ ア ッ シュ	J	90	2.93	3.700	0.6
	B	10	2.98	3.530	1.2
	C	20	2.83	3.410	1.7
	D	30	2.74	3.520	3.2
	E	40	2.53	3.210	3.9
	F	50	2.36	2.970	4.6
珪 砂 粉 末	B	10	3.09	3.410	1.3
	C	20	3.03	3.430	1.8
	D	30	2.96	3.650	2.5
	E	40	2.89	3.750	3.5
	F	50	2.84	3.690	3.6

表 I-13 凝 結 試 験 結 果

混和材	記号	混和材置換率(%)	凝 結			異 常 凝 結			
			水 量	始 発	終 結	最 初	5 分	10 分	20 分
なし	A	0	28.9	1 ³⁵	2 ³⁰	33.5	8.0	9.5	8.5
ス ラ グ	B	10	29.0	1 ⁵⁵	2 ⁵⁰	33.5	20.0	19.5	18.5
	C	20	29.0	2 ¹⁵	3 ⁰⁵	34.0	11.0	13.0	12.0
	D	30	30.4	3 ¹⁵	4 ¹⁵	34.0	31.0	31.0	26.5
	E	40	30.4	3 ²⁵	4 ²⁵	34.0	31.0	30.0	26.5
	F	50	30.5	3 ⁴⁰	4 ⁴⁵	33.5	32.0	31.0	30.0
	G	60	31.8	3 ⁰⁵	4 ⁴⁰	34.0	32.0	31.0	29.5
	H	70	32.3	3 ⁵⁰	6 ¹⁰	34.0	33.5	33.0	32.5
	I	80	31.6	8 ³⁵	12 ¹⁰	34.0	33.0	31.5	27.0
	J	90	33.3	9 ⁴⁵	12 ⁵⁵	34.5	33.0	31.0	27.5
フ ラ イ ア ッ シュ	B	10	30.3	2 ¹⁵	3 ³⁵	34.0	15.0	13.0	16.0
	C	20	30.9	2 ¹⁵	2 ⁵⁰	34.0	27.0	24.0	19.0
	D	30	32.3	2 ⁵⁵	4 ¹⁵	33.5	31.0	28.0	24.5
	E	40	33.1	3 ⁰⁰	4 ²⁵	33.5	31.0	28.0	25.0
	F	50	34.5	3 ²⁵	4 ⁵⁵	34.5	32.5	31.5	26.0
珪 砂 粉 末	B	10	28.4	2 ⁰⁰	3 ³⁰	34.0	15.0	11.5	9.5
	C	20	28.3	2 ⁰⁰	3 ¹⁵	34.0	27.0	25.0	22.0
	D	30	29.8	2 ⁵⁵	4 ¹⁵	34.5	30.0	28.5	25.0
	E	40	29.4	2 ⁵⁰	4 ⁰⁵	34.5	30.0	29.5	26.0
	F	50	29.4	3 ⁰⁵	4 ³⁰	33.5	31.0	29.5	26.5

表 I-14 フロー試験結果

混和材	記号	混和材 置換率 (%)	フロー値
なし	A	0	228
ス ラ グ	B	10	227
	C	20	228
	D	30	217
	E	40	223
	F	50	222
	G	60	220
	H	70	222
	I	80	239
	J	90	240
フライ アッシュ	B	10	224
	C	20	221
	D	30	207
	E	40	201
	F	50	196
珪 砂 粉 末	B	10	226
	C	20	226
	D	30	214
	E	40	212
	F	50	218

表 I-15 曲げ強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	曲げ強度 (kg/cm ²)		
		材 令 (日)		
		3	7	28
なし	0	39.2	51.9	75.5
ス ラ グ	10	35.1	51.2	73.0
	20	29.8	43.7	69.3
	30	32.0	46.8	70.7
	40	27.1	42.9	74.9
	50	24.0	39.4	72.4
	60	24.8	46.4	63.5
	70	26.3	49.9	78.5
	80	14.0	26.5	56.7
	90	6.2	14.6	52.2
フライ アッシュ	10	32.4	42.8	62.0
	20	26.3	39.4	54.0
	30	20.2	30.6	42.6
	40	17.6	23.0	38.3
	50	15.8	21.3	33.9
珪 砂 粉 末	10	27.3	41.9	60.8
	20	26.1	40.4	59.5
	30	28.3	38.7	47.4
	40	25.5	32.8	43.4
	50	21.2	27.3	33.5

表 I-16 圧縮強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)		
		材 令 (日)		
		3	7	28
なし	0	161	248	377
ス ラ グ	10	150	242	402
	20	115	202	373
	30	114	185	383
	40	89	179	403
	50	78	172	381
	60	92	197	385
	70	95	209	402
	80	41	84	287
	90	16	39	223
フ ラ イ ア ッ シュ	10	122	177	323
	20	100	149	279
	30	75	123	203
	40	62	94	160
	50	56	79	121
珪 砂 粉 末	10	105	174	307
	20	101	158	267
	30	102	145	214
	40	93	122	165
	50	71	92	116

表 I-17 圧縮強度／曲げ強度の比率

混和材	混和材 置換率 (%)	材 令 (日)		
		3	7	28
なし	0	4.1	4.8	5.0
ス ラ グ	10	4.3	4.7	5.5
	20	3.9	4.6	5.4
	30	3.6	4.0	5.4
	40	3.3	4.2	5.4
	50	3.3	4.3	5.3
	60	3.7	4.2	6.1
	70	3.6	4.2	5.1
	80	2.9	3.2	5.1
	90	2.6	2.7	4.3
フ ラ イ ア ッ シュ	10	3.8	4.2	5.2
	20	3.8	3.8	5.2
	30	3.7	4.0	4.8
	40	3.5	4.1	4.2
	50	3.5	3.7	3.6
珪 砂 粉 末	10	3.8	4.2	5.1
	20	3.9	3.9	4.5
	30	3.6	3.8	4.5
	40	3.7	3.7	3.8
	50	3.4	3.4	3.5

表I-18 強度試験結果

混和材	置換率 (%)	S/C*	W/C*	フロー (秒)	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)		
					3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
フライ アッ シュ	0	1.0	46.0	15.9	49.9	76.4	98.5	222	336	532
		1.5	54.5	15.6	45.2	61.8	87.6	169	255	445
		2.0	65.0	15.8	39.8	56.9	75.9	145	231	341
	20	1.0	46.0	16.4	45.0	61.3	86.6	175	256	426
		1.5	53.0	16.4	33.3	53.4	77.9	135	206	374
		2.0	61.5	16.2	32.5	47.2	68.3	114	176	302
	40	1.0	46.5	16.5	34.3	48.2	76.1	144	198	358
		1.5	52.5	15.5	28.8	39.6	62.8	101	150	269
		2.0	59.5	15.8	23.8	32.2	58.9	80	122	225
	60	1.0	48.0	16.5	19.9	26.5	47.0	71	102	207
		1.5	51.7	16.5	17.6	24.0	44.5	58	81	172
		2.0	59.0	16.4	17.8	25.4	47.8	59	84	167
ス ラ グ	20	1.0	49.5	15.9	46.0	58.0	83.8	171	269	478
		1.5	57.5	15.5	37.8	53.5	81.3	149	246	427
		2.0	67.5	16.1	29.8	49.5	67.9	107	192	327
	50	1.0	52.0	15.8	31.8	40.6	76.5	116	183	426
		1.5	59.0	16.4	26.3	40.4	71.4	93	168	364
		2.0	69.0	16.5	22.8	36.6	65.5	72	130	266
	70	1.0	51.0	15.7	27.7	36.5	70.0	102	181	372
		1.5	58.5	15.5	24.4	37.0	63.6	83	156	364
		2.0	68.0	16.2	20.7	36.1	60.1	64	131	295
珪 砂 粉 末	0	1.0	50.0	16.0	50.3	67.1	95.2	193	285	475
		1.5	58.1	16.3	41.0	58.5	80.7	159	238	386
		2.0	69.3	15.8	36.5	48.2	69.2	133	200	324
	20	1.0	52.5	15.0	36.3	55.4	78.8	137	219	345
		1.5	60.0	15.4	36.3	49.5	67.9	123	190	289
		2.0	71.4	15.0	29.3	41.7	54.0	100	161	243
	40	1.0	53.8	15.2	27.1	40.0	61.5	90	142	234
		1.5	60.0	15.6	26.3	37.0	53.7	93	136	198
		2.0	71.4	15.0	21.1	30.8	41.9	68	100	151
	60	1.0	53.8	15.3	17.6	24.7	36.9	52	77	116
		1.5	60.0	16.3	15.8	21.1	31.8	47	70	105
		2.0	71.4	15.9	13.1	17.2	25.5	34	49	77

C* : セメント + 混和材

表 I-19 圧縮強度(y)、混和材量(x_1)、砂セメント比(x_2)、セメント水比(x_3)の関係

混和材	材令 (回)	単 相 関 々 係					重 相 関 々 係				寄与率 の推定
		相 関 係 数 の 検 定			回 帰 式 の 推 定		相関係数の 検 定	回 帰 式 の 推 定			
		r_{x_1y}	r_{x_2y}	r_{x_3y}	単 回 帰 式	回帰誤差		$r_{yx_1x_2x_3}$	重 回 帰 式	回帰誤差	
ス ラ グ	3	** -0.83490	** -0.50370	** 0.96121	$y=88.4x_3+188$	12.9	** 0.98605	$y=0.14x_1-22.92x_2+88.83x_3+48.20$	8.20	0.96970	
	7	** -0.83506	** -0.46482	** 0.94932	$y=114.9x_3+69.2$	19.4	** 0.96675	$y=0.18x_1-24.47x_2+116.64x_3+97.99$	16.39	0.92847	
	28	** -0.51749	** -0.77728	** 0.75356	$y=114.5x_3+249.5$	50.9	** 0.95207	$y=20.5x_1-72.69x_2+187.94x_3+205.05$	24.48	0.89767	
	91										
フ ラ イ ア ッ シ ュ	3	** -0.85456	** -0.44696	** 0.97317	$y=108.0x_3+19.9$	11.5	** 0.98022	$y=0.18x_1-11.01x_2+113.02x_3-15.48$	10.22	0.95715	
	7	** -0.90405	** -0.36687	** 0.98628	$y=171.6x_3-43.1$	13.0	** 0.98680	$y=-0.37x_1-12.41x_2+149.91x_3+15.26$	13.11	0.97130	
	28	** -0.85504	** -0.45312	** 0.97878	$y=245.7x_3-5.3$	23.2	** 0.98663	$y=0.88x_1-16.81x_2+281.36x_3-53.54$	19.02	0.97095	
	91										

表I-20・a KeilのPHI (圧縮強度について)

混和材	混和材 置換率 (%)	3 日	7 日	28日
ス ラ グ	10	81	92	136
	20	23	49	97
	30	20	43	104
	40	△	45	112
	50	1	51	101
フ ラ イ ア ッ シュ	10	30	5	23
	20	△	△	11
	30	△	△	△
	40	△	△	△
	50	△	△	2

表I-20・b KeilのPHI (曲げ強度について)

混和材	混和材 置換率 (%)	3 日	7 日	28日
ス ラ グ	10	66	93	83
	20	28	29	61
	30	34	62	83
	40	12	53	98
	50	16	49	93
フ ラ イ ア ッ シュ	10	43	9	8
	20	2	△	△
	30	△	△	△
	40	△	△	△
	50	△	△	10

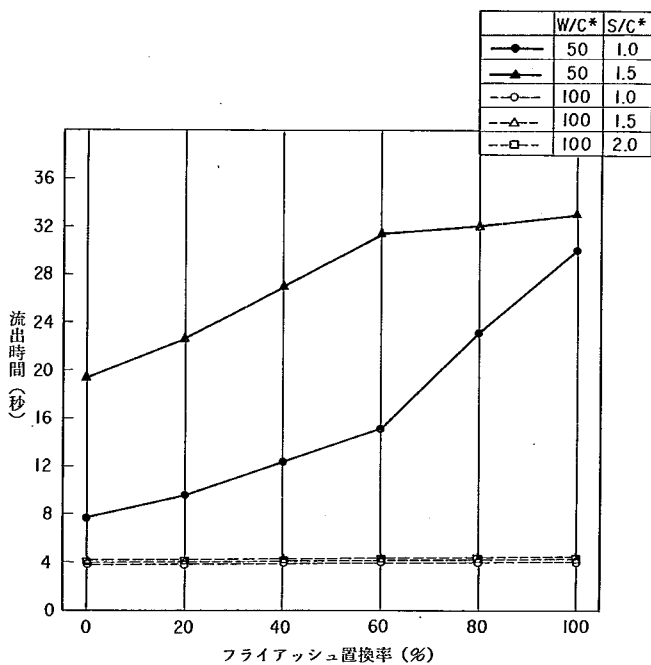
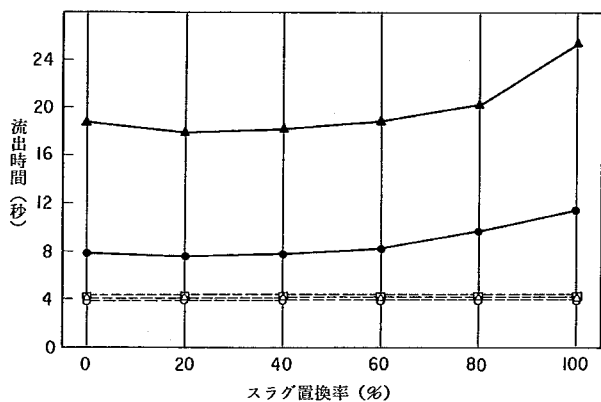


図 I-1 モルタルのフロー

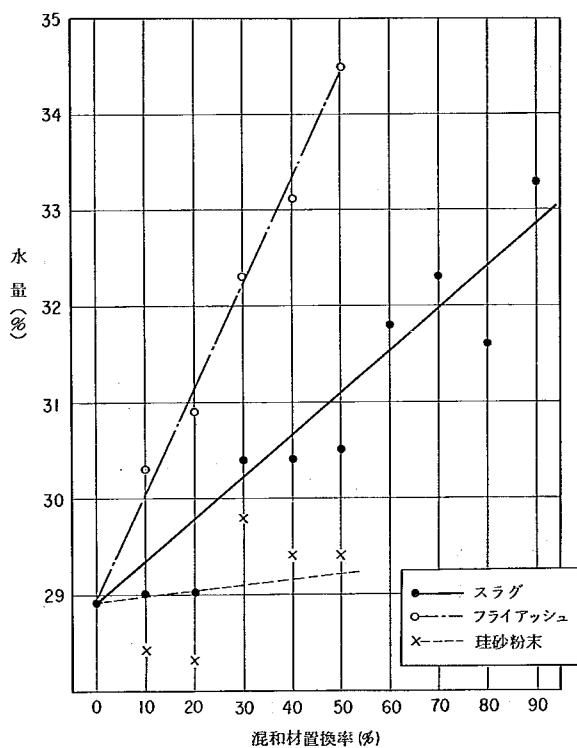


図1-2 混和材置換率と標準軟度水量の関係

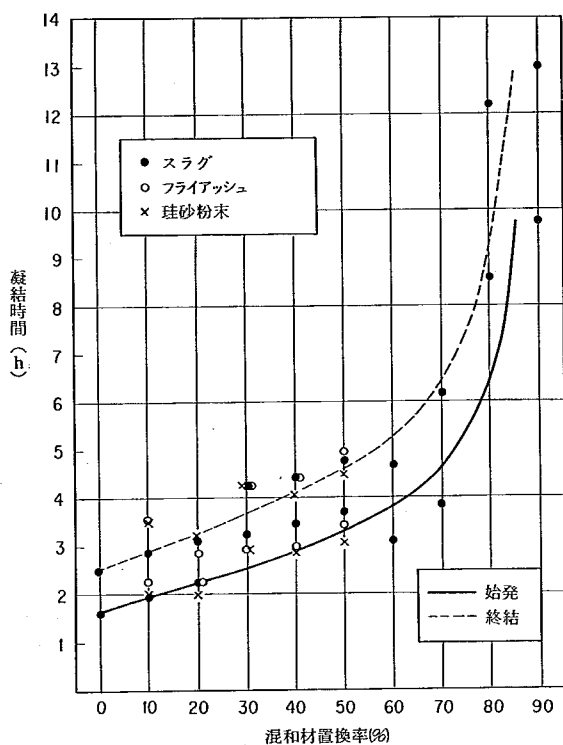


図1-3 混和材置換率と凝結時間の関係

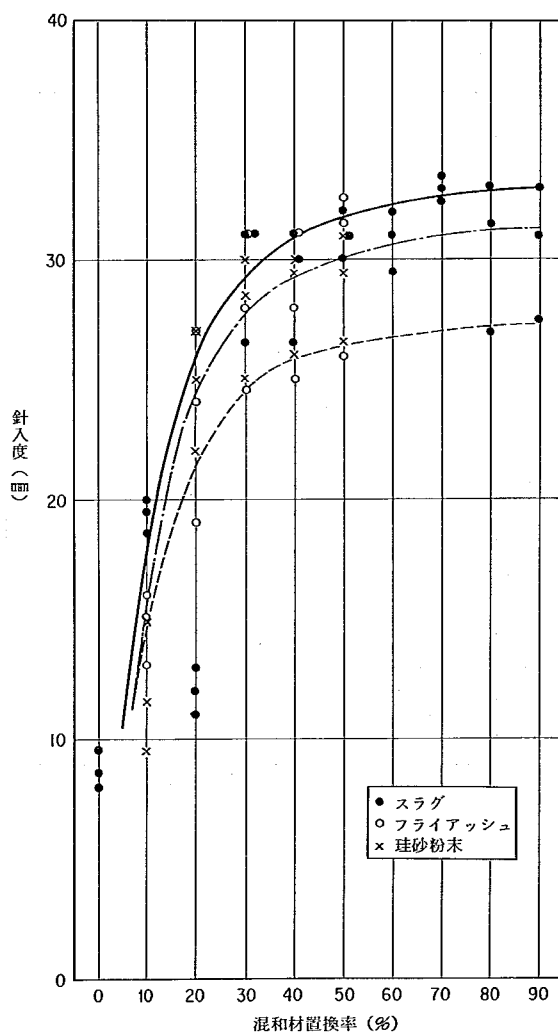


図1-4 混和材置換率と異常凝結試験針入度の関係

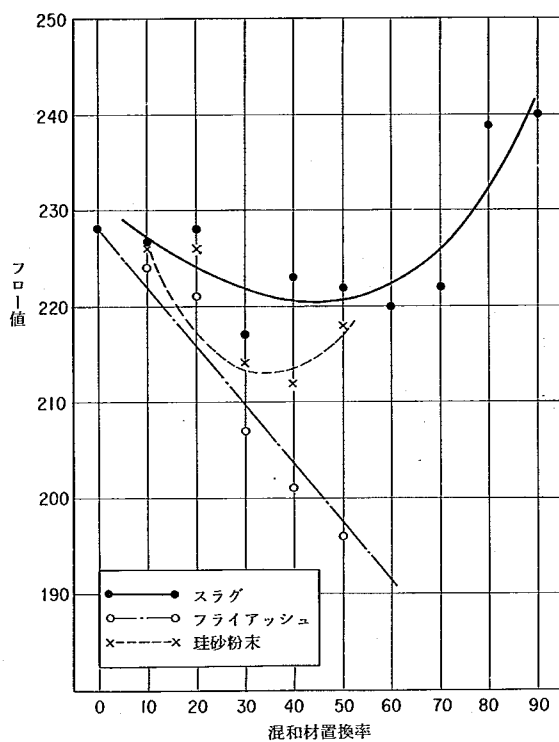


図1-5 混和材置換率とフロー値の関係

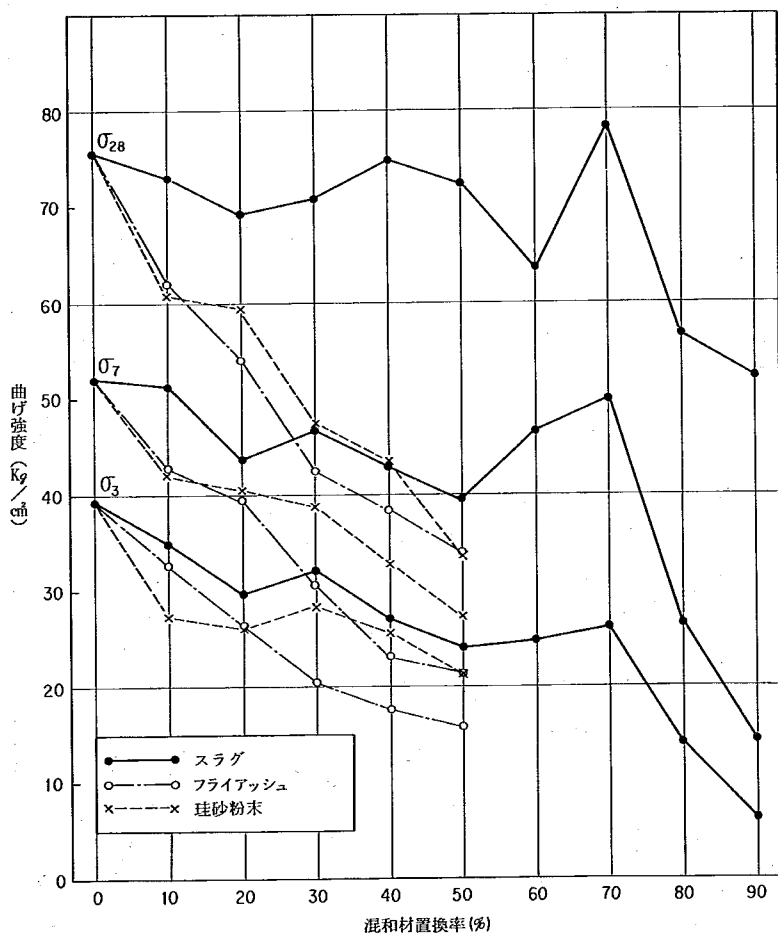


図1-6 曲げ強度

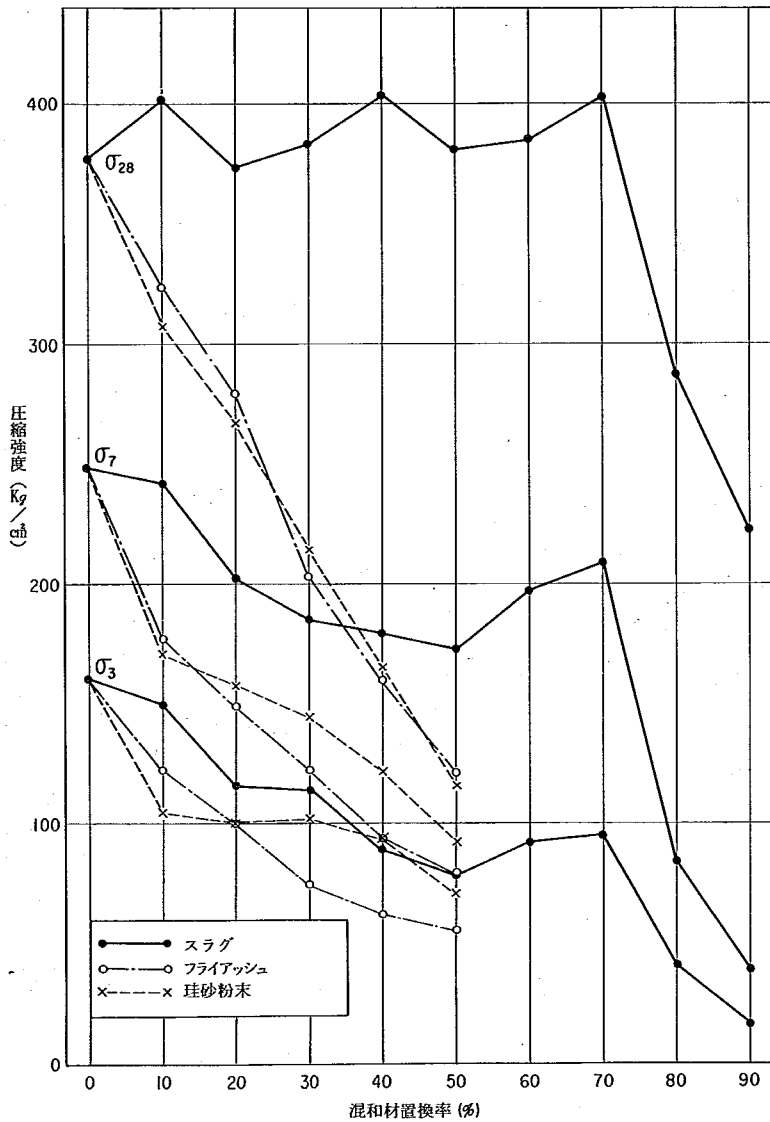


図1-7 圧縮強度

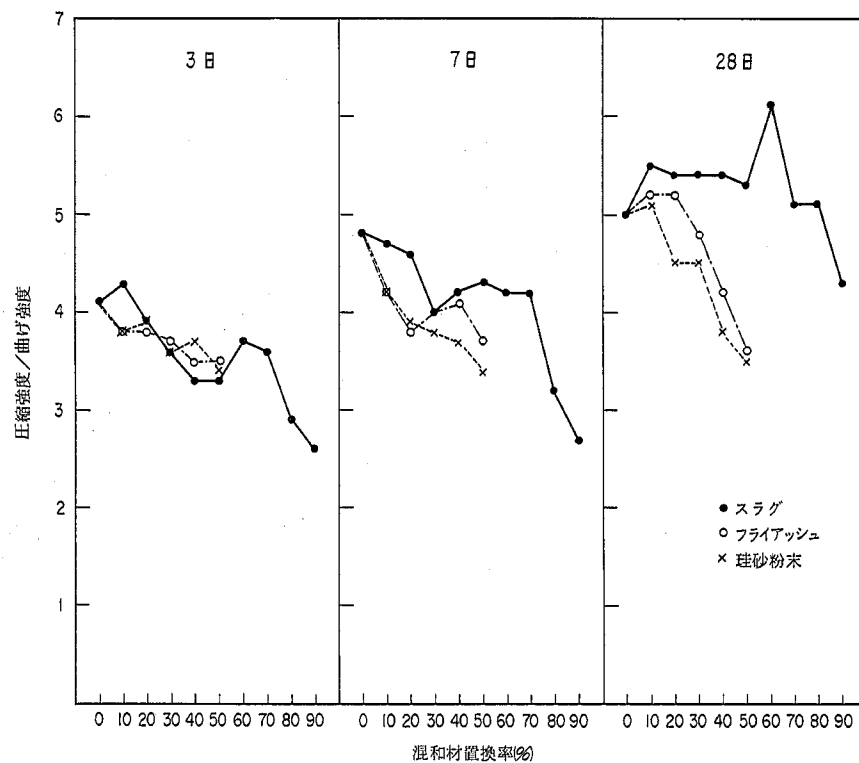


図 1 - 8 圧縮強度／曲げ強度

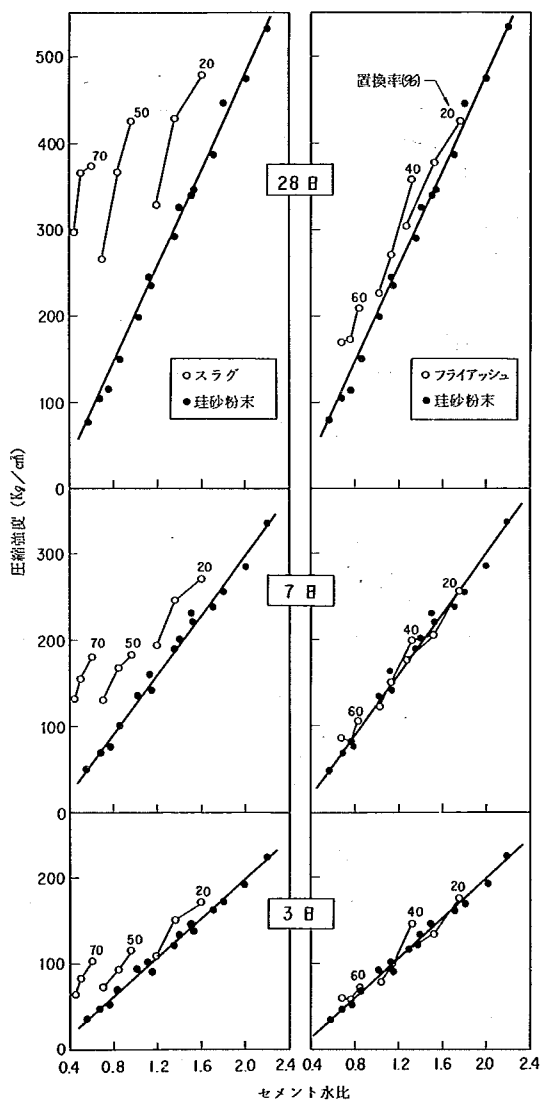


図 I-9 セメント水比と圧縮強度の関係

表Ⅱ-1 試 験 内 容

試験項目		混和材置換率(%)																							
		W/C* (※)																							
		0			10			30			50			70			90			90*					
細 目		50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90			
Ⅰ	ワーカビリティー	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					
	単位水量・単位 混 和 剤 量	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○					
Ⅱ	強 度	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	圧 縮	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○		
	曲 げ	●	●	●				●	●	●				●	●	●	●	●	●	●	○	○			
		○	○	×				○	○	×	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○			
Ⅲ	耐 久 性	●	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	凍 結 融 解										○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	中 性 化	●	●					●	●					●	●		●	●		●	●				
		54	(71)					54	(71)					54	(71)		54	(71)		54	(71)				
Ⅳ	熱 的 性 質	●	●								●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	断熱上昇温度										○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	〔セメント+スラグ〕 の 水 和 熱	●	●	40							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
														40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		

(注) ●スラグA、○スラグB、×フライアッシュ

C*: セメント+混和材

90*: 人造石等を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

中性化試験は、W/C* = 53.9%、71.2%について実施

水と熱測定は、W/C* = 40%、50%、70%について実施

表Ⅱ-2 セメントの化学成分(%)

試験項目 (表Ⅰ-1)	強熱減量	不溶残分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	合 計
I・II	0.6	0.1	21.7	6.0	3.1	64.9	1.2	1.8	99.4
Ⅲ・Ⅳ	0.4						1.1	2.0	

表Ⅱ-3 セメントの物理的性質

試験項目	比重	粉 末 度		凝 結						安 定 性 (煮沸法)
		比表面積 (cm ² /g)	88μ残分 (%)	室 温 (℃)	湿 度 (%)	水 温 (℃)	水 量 (%)	始 発 (h-m)	終 結 (h-m)	
I・II	3.16	3,100	0.5	20.0	95.0	20.0	293	3-15	4-25	良
Ⅲ・Ⅳ	3.16	3,120		20.2	91.0	20.2	275	2-25	3-40	良

表Ⅱ-4 セメントの強さ

試験項目	フロー (mm)	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
		3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
I・II	245	33.3	51.9	72.2	156	274	444
Ⅲ・Ⅳ	246	31.9	45.8	71.6	131	224	408

表Ⅱ-5 高炉スラグ粉末の特性値

スラグ	比重	ブレン 比表面積 (cm ² /g)	化 学 成 分 (%)								塩基度*
			強熱減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	S	
A	2.93	3,860	0.10	33.5	15.0	0.9	1.0	42.5	5.3	1.0	18.7
B	2.92	3,900	0.10	32.9	17.0	0.9	0.6	41.7	6.0	1.0	19.7

*塩基度 = $\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$, JIS R 5211 による規格値は 14 以上。

表Ⅱ-6 フライアッシュの性質

比 重	ブレン比表面積 (cm ² /g)	単位水量比 (%)	圧縮強度比(%)		化 学 成 分 (%)		
			28 日	91 日	SiO ₂	湿 分	強熱減量
2.25 (1.95以上)	3,840 (2,400以上)	932 (102以下)	805 (60以上)	1120 (70以上)	62.1 (45以上)	0.09 (1以下)	13 (5以下)

() 内は JIS 規格

表Ⅱ-7 細骨材の粒度

試験項目	ふるいに留るものの重量百分率(%)							粗粒率
	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.15以下	
I・II	0	10.3	31.6	56.7	79.9	95.9	100.0	2.74*
III・IV	0	17.0	40.0	65.0	89.0	98.0	100.0	3.09

* 細砂粗粒率：1.84、粗砂粗粒率：3.19、細・粗砂の混合比率は1：2とした。

表Ⅱ-8 細骨材の物理的性質

試験項目	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失重量 (%)	安定性試験 損失重量 (%)	有機 不純物	塩化物 含有量 (%)	単位容 積重量 (kg/m ³)	実積率 (%)
I・II	2.54	1.61	1.6		良	0.004	1,692	66.4
III・IV	2.63	2.04		7.0	良			

表Ⅱ-9 粗骨材(砕石)の粒度

試験項目	ふるいに留るものの重量百分率(%)											粗粒率
	30	25	20	15	10	5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
I・II			4	26	67	100	100	100	100	100	100	6.71
III			20		88	100	100	100	100	100	100	7.08
IV	25		50			100	100	100	100	100	100	

表Ⅱ-10 粗骨材(砕石)の物理的性質

試験項目	岩質	比重	吸水率 (%)	洗い試験 損失重量 (%)	安定性試験 損失重量 (%)	単位容 積重量 (kg/m ³)	実積率 (%)
I・II	硬質砂岩	2.70	0.50	0.2		1,515	56.1
III・IV	石灰岩	2.74	0.65		24	1,650	

表Ⅱ-11 ワーカビリチーに関する試験組合せ

混和材 置換率(%) W/C(%)	スラグ A			フライアッシュ		
	50	70	90	50	70	90
0	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○
30				○	○	○
50	○	○	○	○	○	○
90	○	○	○			

C^* : セメント + 混和材

表II-12 強度に関する試験組合せ

試験項目		圧 縮 強 度			曲 げ 強 度		
混和材置換率(%)	W/C [*] 混和材 (%)	スラグ A	スラグ B	フライアッシュ	スラグ A	スラグ B	フライアッシュ
0	50	○	○	○	○	○	○
	70	○	○	○	○	○	○
	90	○		○	○		○
10	50	○		○			
	70	○		○			
	90	○		○			
30	50	○	○	○	○	○	○
	70	○	○	○	○	○	○
	90	○		○	○		○
50	50	○	○	○		○	○
	70	○	○	○		○	○
	90	○		○			○
70	50	○	○		○	○	
	70	○	○		○	○	
	90	○			○		
90	50	○	○		○	○	
	70	○	○		○	○	
	90	○			○		
90*	50	○	○			○	
	70	○	○			○	
	90	○					

C* : セメント + 混和材

90*: 人造石粉を添加してSO₃ 量を増加した特殊セメントを使用

表Ⅱ-13 耐久性に関する試験組合せ

スラグ 置換率(%)	試験項目 混和材 W/C [*] (%)	凍 結 融 解		中性化
		スラグ A	スラグ B	スラグ A
0	50	○		○
	70	○		○
	90	○		
30	50			○
	70			○
	90			
50	50	○	○	
	70	○	○	
	90	○		
70	50	○	○	○
	70	○	○	○
	90	○		
90	50	○		○
	70			○
	90			
90 [*]	50	○		
	70			
	90			

C^{*} : セメント+混和材90^{*} : 人造石脊を添加してSO₃量を増加した特殊
セメントを使用

表Ⅱ-14 熱的性質に関する試験組合せ

スラグ 置換率(%)	試験項目 混和材 W/C [*] (%)	断熱上昇温度		水和熱
		スラグ A	スラグ B	スラグ A
0	40			○
	50	○		○
	70	○		○
50	40			○
	50	○	○	○
	70			
70	40			○
	50	○	○	○
	70	○		○
90	40			○
	50	○	○	○
	70			
90 [*]	40			○
	50			○
	70			

C^{*} : セメント+混和材90^{*} : 人造石脊を添加してSO₃量を増加した特殊
セメントを使用

表Ⅱ-15 ワーカビリチー試験におけるコンクリートの配合(スランプ一定)

混和材	置換率 (%)	W/C [*] (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						試験時のコンクリート温度(℃)	
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材料		0分	90分
				W	C	S	G	混和材	混和剤		
スラグA	0	50	46	172	344	792	991	0	0.137	15.0	15.0
		70	50	172	246	902	959	0	0.093	15.0	15.0
		90	54	191	212	963	872	0	0.059	15.0	15.0
	10	50	46	172	310	792	988	34	0.148	17.5	17.5
		70	50	174	223	898	954	25	0.081	17.5	17.5
		90	54	185	185	973	880	21	0.058	17.5	17.5
	50	50	46	172	172	790	983	172	0.162	19.0	18.0
		70	50	170	122	902	959	121	0.102	19.0	18.5
		90	54	180	100	980	886	100	0.070	19.0	18.5
	90	50	46	167	33	795	991	301	0.184	18.0	18.0
		70	50	167	24	904	961	215	0.115	18.0	17.5
		90	54	178	20	980	888	178	0.093	18.0	18.0
フライ アッシュ	10	50	46	167	301	800	996	33	0.140	17.5	17.5
		70	50	176	226	892	948	25	0.090	17.5	17.5
		90	54	188	188	965	875	21	0.067	17.5	17.5
	30	50	46	146	204	833	1040	88	0.248	18.0	18.0
		70	50	158	158	919	977	68	0.188	18.0	17.5
		90	54	169	132	996	902	56	0.152	18.0	18.0
	50	50	46	149	149	818	1023	149	0.283	19.0	18.5
		70	50	160	115	908	960	114	0.206	19.0	18.0
		90	54	160	89	1006	913	89	0.160	19.0	18.5

C^{*}: セメント+混和材

表II-16 スランプおよび空気量の経時変化 (スランプ一定の場合)

混和材	置換率 (%)	W/C*	スランプ (mm)				空気量 (%)			
			0	30	60	90分	0	30	60	90分
スラグA	0	50	85 (100)	59 (694)	43 (506)	39 (459)	48 (100)	46 (958)	44 (917)	43 (896)
		70	77 (100)	50 (649)	44 (571)	38 (494)	52 (100)	50 (962)	49 (942)	47 (904)
		90	86 (100)	85 (988)	68 (741)	48 (558)	49 (100)	47 (959)	47 (959)	45 (918)
	10	50	82 (100)	57 (695)	46 (561)	40 (488)	48 (100)	46 (958)	44 (917)	40 (833)
		70	74 (100)	65 (878)	45 (608)	38 (514)	49 (100)	46 (939)	44 (898)	44 (898)
		90	84 (100)	67 (798)	59 (702)	44 (524)	52 (100)	48 (908)	46 (885)	45 (865)
	50	50	89 (100)	75 (843)	75 (843)	61 (782)	50 (100)	46 (920)	44 (880)	42 (840)
		70	80 (100)	67 (837)	50 (625)	43 (537)	47 (100)	45 (957)	44 (936)	41 (873)
		90	82 (100)	57 (695)	55 (671)	44 (537)	44 (100)	43 (977)	42 (955)	40 (909)
	90	50	78 (100)	70 (898)	60 (769)	40 (513)	40 (100)	40 (100)	39 (975)	37 (925)
		70	75 (100)	67 (893)	65 (867)	40 (533)	42 (100)	42 (100)	41 (976)	38 (905)
		90	80 (100)	65 (812)	60 (750)	60 (750)	45 (100)	44 (978)	42 (933)	42 (933)
フライアッシュ	10	50	85 (100)	73 (859)	57 (671)	49 (576)	40 (100)	38 (950)	36 (900)	34 (850)
		70	88 (100)	72 (818)	59 (670)	53 (602)	42 (100)	39 (929)	38 (905)	38 (905)
		90	87 (100)	83 (950)	70 (805)	64 (736)	43 (100)	40 (930)	40 (930)	38 (884)
	30	50	75 (100)	63 (840)	54 (720)	46 (613)	41 (100)	38 (927)	37 (902)	37 (902)
		70	79 (100)	71 (899)	65 (823)	43 (544)	45 (100)	43 (956)	43 (956)	42 (933)
		90	83 (100)	71 (855)	67 (807)	44 (530)	49 (100)	47 (959)	45 (918)	44 (898)
	50	50	82 (100)	78 (951)	67 (817)	55 (671)	40 (100)	34 (850)	31 (775)	31 (775)
		70	90 (100)	88 (978)	86 (956)	79 (878)	40 (100)	38 (950)	36 (900)	36 (900)
		90	86 (100)	67 (779)	65 (756)	63 (733)	52 (100)	42 (808)	42 (808)	40 (769)

C* : セメント+混和材

()内数値は、スランプまたは空気量の減少率(%)

表Ⅱ-17 スランプ一定 (8±1cm) の場合の単位水量比効

混和材 W/C[*](%) 混和材置換率(%)	ス ラ グ A			フ ラ イ ア ッ シ ュ		
	50	70	90	50	70	90
0	100	100	100	100	100	100
10	100	101.2	96.9	97.1	102.3	98.4
30	—	—	—	84.9	91.9	88.5
50	100	98.8	94.2	86.6	93.0	83.5
90	97.1	97.1	93.2	—	—	—

C^{*} : セメント + 混和材

表Ⅱ-18 空気量一定 (4±0.5%) の場合の単位混和剤量比効

混和材 W/C[*] 混和材置換率(%)	ス ラ グ A			フ ラ イ ア ッ シ ュ		
	50	70	90	50	70	90
0	100	100	100	100	100	100
10	108.0	87.1	98.3	102.2	96.8	113.6
30	—	—	—	181.0	202.2	257.6
50	118.2	109.7	118.6	206.6	221.5	271.2
90	134.3	123.7	157.6	—	—	—

C^{*} : セメント + 混和材

表Ⅱ-19 ワーカビリティー試験におけるコンクリートの配合 (単位水量一定)

混和材	置換率 (%)	W/C*	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						試験時のコンクリート温度 (°C)	
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混 和 材 料		0 分	90分
				W	C	S	G	混和材	混和剤		
スラグA	0	50	46	172	344	792	991	0	0.137	15.0	15.0
		70	50	172	246	902	959	0	0.093	15.0	15.0
		90	54	191	212	963	872	0	0.059	15.0	15.0
	10	50	46	172	310	792	988	34	0.137	18.0	17.5
		70	50	172	221	902	959	25	0.093	18.0	18.0
		90	54	191	191	963	869	21	0.059	18.0	17.5
	50	50	46	172	172	790	986	172	0.137	17.0	17.0
		70	50	172	123	898	954	123	0.093	17.0	17.0
		90	54	191	106	958	869	106	0.059	17.0	17.0
	90	50	46	172	34	785	977	310	0.137	16.0	16.0
		70	50	172	25	895	952	221	0.093	16.0	15.5
		90	54	191	21	955	867	191	0.059	16.0	16.0
フライアッシュ	10	50	46	172	310	790	986	34	0.137	16.5	16.5
		70	50	172	221	899	956	25	0.093	16.5	16.5
		90	54	191	191	960	869	21	0.059	16.5	16.5
	30	50	46	172	241	782	975	103	0.137	19.0	18.5
		70	50	172	172	893	949	74	0.093	19.0	19.0
		90	54	191	148	955	864	64	0.059	19.0	18.0
	50	50	46	172	172	772	964	172	0.137	18.0	18.0
		70	50	172	123	885	941	123	0.093	18.0	18.0
		90	54	191	106	947	856	106	0.059	18.0	17.5

C* : セメント + 混和材

表Ⅱ-20 スランプおよび空気量の経時変化 (単位水量一定の場合)

混和材	置換率 (%)	W/C* (%)	ス ラ ン プ (mm)				空 気 量 (%)			
			0	30	60	90分	0	30	60	90分
スラグA	0	50	126 (100)	105 (833)	85 (675)	79 (627)	68 (100)	65 (956)	59 (868)	53 (779)
		70	93 (100)	84 (903)	67 (720)	65 (699)	71 (100)	66 (930)	60 (845)	56 (789)
		90	140 (100)	91 (650)	90 (643)	82 (586)	62 (100)	59 (951)	55 (887)	51 (823)
	10	50	89 (100)	77 (865)	58 (652)	56 (629)	54 (100)	52 (963)	48 (889)	46 (852)
		70	98 (100)	76 (776)	70 (714)	50 (510)	63 (100)	61 (968)	57 (905)	52 (825)
		90	147 (100)	130 (884)	90 (612)	80 (544)	61 (100)	57 (934)	53 (869)	53 (869)
	50	50	111 (100)	94 (847)	84 (757)	70 (631)	48 (100)	45 (937)	43 (896)	38 (792)
		70	118 (100)	103 (873)	86 (729)	71 (602)	56 (100)	54 (964)	49 (875)	48 (857)
		90	139 (100)	137 (986)	91 (655)	83 (597)	42 (100)	40 (953)	40 (953)	38 (905)
	90	50	108 (100)	88 (815)	86 (796)	69 (639)	37 (100)	35 (946)	33 (892)	32 (865)
		70	104 (100)	90 (865)	80 (769)	58 (558)	38 (100)	38 (100)	37 (974)	37 (974)
		90	166 (100)	162 (976)	139 (837)	104 (627)	30 (100)	30 (100)	30 (100)	30 (100)
フ ラ イ アッシュ	10	50	124 (100)	97 (782)	85 (685)	83 (669)	45 (100)	41 (911)	39 (867)	37 (822)
		70	111 (100)	92 (829)	80 (721)	73 (658)	53 (100)	50 (943)	47 (887)	45 (849)
		90	150 (100)	121 (807)	114 (760)	110 (733)	40 (100)	39 (975)	38 (950)	38 (950)
	30	50	162 (100)	135 (833)	119 (735)	110 (679)	32 (100)	32 (100)	30 (937)	29 (906)
		70	158 (100)	132 (835)	118 (747)	107 (677)	23 (100)	23 (100)	23 (100)	23 (100)
		90	145 (100)	121 (834)	101 (697)	81 (559)	29 (100)	29 (100)	29 (100)	29 (100)
	50	50	191 (100)	180 (942)	165 (864)	153 (801)	10 (100)	11 (110)	11 (110)	10 (100)
		70	197 (100)	171 (868)	168 (853)	162 (822)	09 (100)	12 (133)	13 (144)	13 (144)
		90	222 (100)	201 (905)	200 (901)	195 (878)	11 (100)	11 (100)	11 (100)	11 (100)

C* : セメント+混和材
()内数値は、スランプまたは空気量の減少率(%)

表Ⅱ-21 単位水量一定の場合のスランプ比(%)

混和材 置換率(%)	ス ラ グ A			フ ラ イ ア ッ シ ュ		
	W/C* (%)					
	50	70	90	50	70	90
	172	172	191	172	172	191
0	100	100	100	100	100	100
10	70.6	105.4	105.0	98.4	119.4	107.1
30	—	—	—	128.6	169.9	103.6
50	88.1	126.9	99.3	151.6	211.8	158.6
90	85.7	111.8	118.6	—	—	—

C* : セメント+混和材

表Ⅱ-22 混和剤量一定の場合の空気量比(%)

混和材 置換率(%)	ス ラ グ A			フ ラ イ ア ッ シ ュ		
	W/C* (%)					
	50	70	90	50	70	90
	0.137	0.093	0.059	0.137	0.093	0.059
0	100	100	100	100	100	100
10	79.4	88.7	98.4	66.2	74.6	64.5
30	—	—	—	47.1	32.4	46.8
50	70.6	78.9	67.7	14.7	12.7	17.7
90	54.4	53.5	48.4	—	—	—

C* : セメント+混和材

表Ⅱ-23 強度試験におけるコンクリートの配合

混和材	混和材置換率(%)	W/C [*] (%)	s/a [*] (%)	単 位 量 (kg/m ³)						スランブ (mm)	空気量 (%)	コンクリートの単位容積重量 (kg/m ³)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混 和 材 料				
								混和材	混和剤			
スラグA	0	50	46	166	332	805	1,004	0	0.143	83	45	2,284
		70	50	172	246	902	959	0	0.098	78	48	2,250
		90	54	181	201	980	888	0	0.066	79	50	2,249
	10	50	46	173	312	790	986	35	0.149	82	46	2,311
		70	50	174	224	898	954	25	0.087	81	50	2,280
		90	54	186	186	970	880	21	0.062	82	50	2,256
	30	50	46	170	238	795	991	102	0.153	79	51	2,290
		70	50	172	172	899	956	74	0.086	76	48	2,292
		90	54	184	143	973	883	61	0.061	82	46	2,271
	50	50	46	180	180	773	965	180	0.162	78	40	2,314
		70	50	178	127	888	944	127	0.102	85	43	2,282
		90	54	185	103	970	880	103	0.072	83	45	2,251
	70	50	46	166	100	798	996	232	0.149	73	43	2,294
		70	50	167	72	906	963	167	0.088	75	42	2,287
		90	54	182	61	975	883	141	0.065	85	42	2,261
	90	50	46	169	34	790	986	304	0.179	80	41	2,295
		70	50	168	24	903	960	216	0.108	89	40	2,284
		90	54	179	20	980	886	179	0.090	88	41	2,243
	90 [*]	50	46	179	62	765	956	296	0.215	78	42	2,261
		70	50	169	42	897	953	199	0.133	85	50	2,240
		90	54	178	34	973	886	164	0.103	85	48	2,219
スラグB	0	50	46	187	375	768	946	0	0.150	90	40	2,326
		70	50	181	258	890	935	0	0.090	73	43	2,290
	30	50	46	183	256	773	954	110	0.165	82	43	2,293
		70	50	183	183	882	920	78	0.104	79	45	2,277
	50	50	46	181	181	775	954	181	0.163	86	37	2,283
		70	50	177	127	893	938	127	0.101	79	35	2,276
	70	50	46	179	108	775	957	251	0.197	90	40	2,251
		70	50	179	76	887	933	178	0.127	85	45	2,230
	90	50	46	179	36	773	954	322	0.208	75	35	2,289
		70	50	173	25	895	941	222	0.136	71	42	2,254
	90 [*]	50	46	184	37	757	935	331	0.228	77	37	2,286
		70	50	175	25	887	933	225	0.143	88	39	2,229
フ ラ イ アッシュ	0	50	46	166	332	805	1,004	0	0.143	83	45	2,284
		70	50	172	246	902	959	0	0.098	78	48	2,250
		90	54	181	201	982	888	0	0.066	79	50	2,249
	10	50	46	165	297	803	1,004	33	0.132	78	42	2,314
		70	50	164	211	914	972	23	0.084	78	48	2,264
		90	54	182	182	975	886	20	0.061	78	42	2,250
	30	50	46	149	209	828	1,031	89	0.253	76	49	2,284
		70	50	152	152	931	990	65	0.174	75	50	2,261
		90	54	164	127	1,006	910	55	0.140	82	46	2,250
	50	50	46	140	140	836	1,045	140	0.252	77	41	2,366
		70	50	147	105	933	994	105	0.179	79	50	2,278
		90	54	159	89	1,008	913	88	0.142	84	42	2,273

C* : セメント+混和材

90* : 人造石屑を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

表Ⅱ-24 スランプ一定 (8±1cm) の場合の単位水量比 (%) [表Ⅱ-23より]

混和材 混和材 置換率(%) W/C* (%)	ス ラ グ A			ス ラ グ B		フ ラ イ ア ッ シ ュ		
	50	70	90	50	70	50	70	90
0	100	100	100	100	100	100	100	100
10	104.2	101.2	102.8	—	—	99.4	95.3	100.6
30	102.4	100.0	101.7	97.9	101.1	89.8	88.4	90.6
50	108.4	103.5	102.2	96.8	97.8	84.3	85.5	87.8
70	100.0	97.1	100.6	95.7	98.9	—	—	—
90	101.8	97.7	98.9	95.7	95.6	—	—	—

C* : セメント + 混和材

表Ⅱ-25 空気量一定 (4±0.5%) の場合の単位混和剤量比 (%) [表Ⅱ-23より]

混和材 混和材 置換率(%) W/C* (%)	ス ラ グ A			ス ラ グ B		フ ラ イ ア ッ シ ュ		
	50	70	90	50	70	50	70	90
0	100	100	100	100	100	100	100	100
10	104.2	88.8	93.9	—	—	92.3	85.7	92.4
30	107.0	87.8	92.4	110.0	115.6	176.9	177.6	212.1
50	113.3	104.1	109.1	108.7	112.2	176.2	182.7	215.2
70	104.2	89.8	98.5	131.3	141.1	—	—	—
90	125.2	110.2	136.4	138.7	151.1	—	—	—

C* : セメント + 混和材

表II-26・a コンクリートの圧縮強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	W/C [*] (%)	no	圧縮強度 (kg/cm ²)			供試体重量 (g)		
				材 令 (日)			材 令 (日)		
				7	28	91	7	28	91
スラグA	0	50	x ₁	283	385	397	3,644	3,674	3,694
			x ₂	290	354	404	3,640	3,660	3,695
			x ₃	254	373	409	3,649	3,688	3,678
			$\bar{x}$	276	371	403	3,644	3,674	3,689
		70	x ₁	184	228	278	3,658	3,590	3,622
			x ₂	171	252	287	3,624	3,604	3,595
			x ₃	180	256	275	3,679	3,621	3,627
			$\bar{x}$	178	245	280	3,654	3,605	3,615
		90	x ₁	122	167	189	3,598	3,571	3,600
			x ₂	111	158	190	3,581	3,580	3,599
			x ₃	107	168	184	3,564	3,625	3,593
			$\bar{x}$	113	164	188	3,581	3,592	3,597
	10	50	x ₁	282	386	437	3,765	3,672	3,692
			x ₂	277	373	434	3,662	3,650	3,665
			x ₃	261	382	440	3,631	3,672	3,693
			$\bar{x}$	273	380	437	3,686	3,665	3,683
		70	x ₁	163	248	283	3,585	3,696	3,595
			x ₂	178	257	303	3,613	3,625	3,629
			x ₃	173	261	294	3,618	3,634	3,577
			$\bar{x}$	171	255	293	3,605	3,652	3,600
		90	x ₁	125	187	236	3,612	3,567	3,550
			x ₂	118	185	231	3,588	3,564	3,615
			x ₃	124	191	233	3,553	3,557	3,602
			$\bar{x}$	122	188	233	3,584	3,563	3,589
	30	50	x ₁	220	362	446	3,628	3,622	3,669
			x ₂	226	358	412	3,606	3,613	3,606
			x ₃	217	364	432	3,632	3,650	3,656
			$\bar{x}$	221	361	430	3,622	3,628	3,644
		70	x ₁	147	271	331	3,621	3,645	3,688
			x ₂	140	183	326	3,628	3,638	3,639
			x ₃	147	268	326	3,621	3,591	3,650
			$\bar{x}$	145	241	328	3,623	3,625	3,659
		90	x ₁	95	192	248	3,621	3,594	3,618
			x ₂	97	169	249	3,593	3,591	3,594
			x ₃	143	182	234	3,594	3,581	3,631
			$\bar{x}$	112	181	244	3,603	3,589	3,614

C^{*} : セメント+混和材

表II-26・b コンクリートの圧縮強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	W/C [*] (%)	no	圧縮強度 (kg/cm ²)			供試体重量 (g)		
				材 令 (日)			材 令 (日)		
				7	28	91	7	28	91
スラグA	50	50	x_1	206	395	512	3,663	3,686	3,698
			x_2	213	379	469	3,670	3,678	3,698
			x_3	211	354	486	3,650	3,705	3,694
			$\bar{x}$	210	376	489	3,661	3,690	3,697
		70	x_1	128	277	331	3,714	3,680	3,652
			x_2	123	276	355	3,623	3,614	3,652
			x_3	125	279	344	3,627	3,651	3,639
			$\bar{x}$	125	277	343	3,655	3,648	3,648
		90	x_1	87	196	244	3,701	3,595	3,594
			x_2	79	188	259	3,559	3,593	3,597
			x_3	83	190	261	3,604	3,587	3,619
			$\bar{x}$	83	191	255	3,621	3,592	3,603
	70	50	x_1	136	282	399	3,665	3,666	3,641
			x_2	143	283	403	3,640	3,666	3,669
			x_3	138	287	396	3,637	3,623	3,663
			$\bar{x}$	139	284	399	3,647	3,652	3,658
		70	x_1	87	210	287	3,615	3,622	3,614
			x_2	83	210	297	3,646	3,624	3,586
			x_3	92	208	299	3,632	3,632	3,660
			$\bar{x}$	87	209	294	3,631	3,626	3,620
		90	x_1	56	150	209	3,594	3,582	3,587
			x_2	60	158	208	3,582	3,623	3,584
			x_3	60	152	207	3,576	3,599	3,606
			$\bar{x}$	59	153	208	3,584	3,601	3,592
	90	50	x_1	117	197	236	3,627	3,652	3,612
			x_2	112	196	233	3,622	3,681	3,669
			x_3	110	197	246	3,691	3,679	3,632
			$\bar{x}$	113	197	238	3,647	3,671	3,638
		70	x_1	77	125	159	3,635	3,643	3,650
			x_2	72	138	154	3,612	3,653	3,627
			x_3	70	131	157	3,632	3,665	3,636
			$\bar{x}$	73	130	157	3,626	3,654	3,638
		90	x_1	55	91	122	3,595	3,589	3,595
			x_2	51	97	110	3,576	3,606	3,617
			x_3	52	97	115	3,576	3,593	3,590
			$\bar{x}$	53	95	116	3,582	3,596	3,601
	90*	50	x_1	197	334	400	3,627	3,633	3,606
			x_2	193	298	408	3,570	3,652	3,635
			x_3	195	315	422	3,612	3,630	3,637
			$\bar{x}$	195	316	410	3,603	3,638	3,626
		70	x_1	146	288	354	3,585	3,586	3,592
			x_2	143	287	333	3,574	3,573	3,584
			x_3	143	293	357	3,587	3,688	3,589
			$\bar{x}$	144	289	348	3,582	3,616	3,588
		90*	x_1	92	220	289	3,605	3,592	3,600
			x_2	87	215	301	3,552	3,581	3,587
			x_3	93	218	294	3,559	3,591	3,639
			$\bar{x}$	91	218	295	3,572	3,588	3,609

C* セメント + 混和材 90* : 人造石屑を添加して SO₃ 量を増加した特殊セメントを使用

表II-26・c コンクリートの圧縮強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	W/C*	no	圧縮強度 (kg/cm ²)			供試体重量 (g)		
				材 令 日			材 令 日		
				7	28	91	7	28	91
スラグB	0	50	x ₁	—	331	371	—	3,657	3,685
			x ₂	—	370	408	—	3,655	3,663
			x ₃	—	340	435	—	3,691	3,690
			$\bar{x}$	—	347	405	—	3,668	3,679
		70	x ₁	172	242	304	3,618	3,628	3,630
			x ₂	194	257	276	3,598	3,641	3,633
			x ₃	194	255	305	3,631	3,601	3,612
			$\bar{x}$	187	251	295	3,616	3,623	3,625
	30	50	x ₁	—	368	438	—	3,645	3,676
			x ₂	—	354	404	—	3,660	3,697
			x ₃	—	348	439	—	3,625	3,633
			$\bar{x}$	—	357	427	—	3,643	3,669
		70	x ₁	—	257	295	—	3,620	3,631
			x ₂	—	244	316	—	3,635	3,630
			x ₃	—	245	295	—	3,630	3,614
			$\bar{x}$	—	249	302	—	3,628	3,625
	50	50	x ₁	—	296	395	—	3,650	3,666
			x ₂	—	343	427	—	3,650	3,654
			x ₃	—	315	403	—	3,655	3,638
			$\bar{x}$	—	318	408	—	3,652	3,653
		70	x ₁	129	243	301	3,645	3,620	3,642
			x ₂	130	217	278	3,583	3,625	3,644
			x ₃	133	219	301	3,649	3,635	3,639
			$\bar{x}$	131	226	293	3,626	3,627	3,642
	70	50	x ₁	—	282	358	—	3,630	3,661
			x ₂	—	268	379	—	3,660	3,666
			x ₃	—	269	361	—	3,640	3,637
			$\bar{x}$	—	273	366	—	3,643	3,655
		70	x ₁	—	174	239	—	3,600	3,578
			x ₂	—	192	238	—	3,565	3,557
			x ₃	—	205	238	—	3,560	3,589
			$\bar{x}$	—	190	238	—	3,575	3,575
	90	50	x ₁	—	185	222	—	3,659	3,614
			x ₂	—	167	225	—	3,649	3,683
			x ₃	—	181	217	—	3,647	3,621
			$\bar{x}$	—	178	221	—	3,652	3,639
		70	x ₁	77	121	142	3,649	3,634	3,631
			x ₂	85	94	134	3,624	3,615	3,647
			x ₃	83	112	138	3,601	3,626	3,607
			$\bar{x}$	82	109	138	3,625	3,625	3,628
	90*	50	x ₁	218	285	—	3,628	3,631	—
			x ₂	214	315	—	3,601	3,639	—
			x ₃	223	318	—	3,626	3,590	—
			$\bar{x}$	218	306	—	3,618	3,620	—
		70	x ₁	176	276	—	3,580	3,621	—
			x ₂	180	296	—	3,575	3,614	—
			x ₃	186	268	—	3,560	3,580	—
			$\bar{x}$	181	280	—	3,572	3,605	—

C* : セメント+混和材

90* : 人造石屑を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

表II-26・d コンクリートの圧縮強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	W/C [*] (%)	no	圧縮強度 (kg/cm ²)			供試体重量 (g)		
				材 令 (日)			材 令 (日)		
				7	28	91	7	28	91
フ ラ イ ア ッ シュ	0	50	x ₁	283	385	397	3644	3674	3694
			x ₂	290	354	404	3640	3660	3695
			x ₃	254	373	409	3649	3688	3678
			$\bar{x}$	276	371	403	3644	3674	3689
		70	x ₁	184	228	278	3658	3590	3622
			x ₂	171	252	287	3624	3604	3595
			x ₃	180	256	275	3679	3621	3627
			$\bar{x}$	178	245	280	3654	3605	3615
		90	x ₁	122	167	189	3598	3571	3600
			x ₂	111	158	190	3581	3580	3599
			x ₃	107	168	184	3564	3625	3593
			$\bar{x}$	113	164	188	3581	3592	3597
	10	50	x ₁	276	355	446	3680	3707	3683
			x ₂	276	359	434	3680	3682	3673
			x ₃	270	349	440	3690	3681	3705
			$\bar{x}$	274	354	440	3683	3690	3687
		70	x ₁	160	223	295	3632	3642	3650
			x ₂	162	237	296	3663	3653	3676
			x ₃	161	243	297	3682	3768	3682
			$\bar{x}$	161	234	296	3659	3688	3669
		90	x ₁	121	169	219	3631	3623	3577
			x ₂	110	166	227	3611	3636	3650
			x ₃	110	169	222	3622	3699	3638
			$\bar{x}$	114	168	223	3621	3653	3622
	30	50	x ₁	185	286	387	3640	3665	3650
			x ₂	196	280	394	3656	3667	3670
			x ₃	194	290	413	3663	3692	3700
			$\bar{x}$	192	285	398	3653	3675	3673
		70	x ₁	115	195	257	3681	3651	3650
			x ₂	112	175	260	3604	3625	3660
			x ₃	116	186	268	3651	3639	3660
			$\bar{x}$	114	185	262	3645	3638	3657
		90	x ₁	68	108	170	3612	3616	3680
			x ₂	67	109	163	3598	3625	3620
			x ₃	67	116	166	3603	3593	3630
			$\bar{x}$	67	111	166	3604	3611	3643
	50	50	x ₁	134	217	348	3690	3690	3710
			x ₂	125	231	328	3669	3684	3682
			x ₃	132	233	343	3668	3676	3723
			$\bar{x}$	130	227	340	3676	3683	3705
		70	x ₁	61	126	210	3623	3612	3648
			x ₂	66	130	210	3607	3650	3694
			x ₃	67	119	199	3609	3632	3642
			$\bar{x}$	65	125	206	3613	3631	3661
		90	x ₁	45	88	155	3598	3622	3611
			x ₂	42	87	154	3587	3628	3632
			x ₃	47	83	147	3601	3591	3605
			$\bar{x}$	45	86	152	3595	3614	3616

C^{*}: セメント + 混和材

表II-27・a コンクリートの曲げ強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	W/C [*] (%)	no	曲げ強度 (kg/cm ²)			供試体重量 (g)		
				材 令 (日)			材 令 (日)		
				7	28	91	7	28	91
スラグA	0	50	x ₁	42.0	52.8	52.5	9300	9400	9500
			x ₂	40.5	55.5	49.2	9350	9500	9400
			x ₃	41.1	53.1	51.0	9550	9400	9550
			$\bar{x}$	41.2	53.8	50.9	9400	9433	9483
		70	x ₁	31.5	41.6	42.0	9200	9200	9250
			x ₂	27.6	41.1	41.4	9200	9250	9300
			x ₃	33.0	40.7	40.2	9350	9150	9400
			$\bar{x}$	30.7	41.1	41.2	9250	9200	9317
		90	x ₁	21.9	28.5	29.7	9200	9050	9050
			x ₂	21.9	30.9	31.2	9100	9150	9000
			x ₃	23.4	35.4	34.8	9150	9100	9250
			$\bar{x}$	22.4	31.6	31.9	9150	9100	9100
	30	50	x ₁	29.1	48.0	55.8	9250	9200	9400
			x ₂	33.0	48.0	60.6	9400	9300	9250
			x ₃	33.0	51.0	63.0	9300	9200	9250
			$\bar{x}$	31.7	49.0	59.8	9317	9233	9300
		70	x ₁	26.1	40.5	45.0	9250	9300	9250
			x ₂	27.6	37.5	45.6	9300	9200	9200
			x ₃	28.5	42.0	42.0	9250	9250	9200
			$\bar{x}$	27.4	40.0	44.2	9267	9250	9217
		90	x ₁	18.6	29.1	33.0	9150	9150	9150
			x ₂	17.7	30.9	40.8	9100	9050	9150
			x ₃	18.0	—	37.5	9100	—	9150
			$\bar{x}$	18.1	30.0	37.1	9117	9100	9150
	70	50	x ₁	21.9	44.4	57.0	9400	9450	9550
			x ₂	24.0	42.6	60.0	9400	9500	9550
			x ₃	22.8	49.2	54.0	9450	9450	9400
			$\bar{x}$	22.9	45.4	57.0	9417	9467	9500
		70	x ₁	17.4	37.5	—	9400	9300	9400
			x ₂	15.9	24.9	45.9	9300	9300	9300
			x ₃	18.9	27.6	43.5	9250	9250	9300
			$\bar{x}$	17.4	30.0	44.7	9317	9283	9333
		90	x ₁	11.4	24.9	34.5	9100	9250	9150
			x ₂	13.5	21.0	37.0	9000	9150	9150
			x ₃	12.0	31.5	40.5	9150	9150	9200
			$\bar{x}$	12.3	25.8	37.3	9083	9183	9167
	90	50	x ₁	15.0	30.0	41.4	9600	9400	9450
			x ₂	17.1	37.2	46.2	9400	9450	9400
			x ₃	18.0	33.9	47.4	9450	9450	9450
			$\bar{x}$	16.7	33.7	45.0	9483	9433	9433
		70	x ₁	13.5	25.8	35.4	9300	9300	9450
			x ₂	13.5	22.2	34.8	9500	9250	9300
			x ₃	15.0	18.9	35.4	9300	9250	9350
			$\bar{x}$	14.0	23.2	35.2	9367	9267	9367
		90	x ₁	12.9	22.8	34.2	9400	9250	9150
			x ₂	12.0	—	24.0	9350	9200	9300
			x ₃	11.4	18.6	26.1	9300	9300	9300
			$\bar{x}$	12.1	20.7	28.1	9350	9250	9250

C^{*} : セメント + 混和材

表II-27・b コンクリートの曲げ強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	W/C [*] (%)	no	曲げ強度 (kg/cm ²)			供 試 体 重 量 (g)		
				材 令 (日)			材 令 (日)		
				7	28	91	7	28	91
スラグB	0	50	x ₁	—	54.0	630	—	9200	9450
			x ₂	—	49.5	630	—	9300	9500
			x ₃	—	55.5	563	—	9500	9500
			$\bar{x}$	—	53.0	608	—	9333	9483
		70	x ₁	33.0	47.1	54.0	9250	9400	9350
			x ₂	31.8	41.7	55.4	9200	9350	9400
	x ₃		32.1	38.4	482	9500	9300	9400	
	$\bar{x}$		32.3	42.4	525	9317	9350	9383	
	30	50	x ₁	—	46.8	665	—	9650	9500
			x ₂	—	49.8	656	—	9300	9450
			x ₃	—	51.9	665	—	9300	9300
			$\bar{x}$	—	49.5	662	—	9417	9417
		70	x ₁	—	42.0	563	—	9600	9550
			x ₂	—	38.7	572	—	9450	9600
	x ₃		—	40.8	574	—	9450	9350	
	$\bar{x}$		—	40.5	570	—	9500	9500	
	50	50	x ₁	—	45.0	570	—	9250	9450
			x ₂	—	49.2	662	—	9300	9450
			x ₃	—	48.0	689	—	9300	9400
			$\bar{x}$	—	47.4	675	—	9283	9433
		70	x ₁	27.6	45.0	572	9470	9150	9450
			x ₂	24.0	45.9	585	9320	9150	9500
	x ₃		28.8	39.0	549	9480	9350	9500	
	$\bar{x}$		26.8	43.3	569	9423	9217	9483	
	70	50	x ₁	—	44.1	689	—	9450	9550
			x ₂	—	44.4	666	—	9400	9500
			x ₃	—	48.3	689	—	9400	9550
			$\bar{x}$	—	45.6	681	—	9417	9533
		70	x ₁	—	30.6	527	—	9350	9350
			x ₂	—	38.1	567	—	9250	9350
	x ₃		—	28.5	554	—	9250	9350	
	$\bar{x}$		—	32.4	549	—	9283	9350	
	90	50	x ₁	—	39.6	473	—	9350	9350
			x ₂	—	37.5	453	—	9350	9450
			x ₃	—	39.0	501	—	9400	9400
			$\bar{x}$	—	38.7	476	—	9367	9400
		70	x ₁	10.2	30.0	394	9300	9400	9300
			x ₂	11.1	27.9	418	9300	9300	9200
	x ₃		13.5	24.0	418	9300	9350	9400	
	$\bar{x}$		11.6	27.3	410	9300	9350	9300	
	90 [*]	50	x ₁	48.0	63.0	—	9400	9400	—
			x ₂	50.4	59.4	—	9450	9350	—
			x ₃	42.6	63.6	—	9250	9350	—
			$\bar{x}$	47.0	62.0	—	9367	9367	—
		70	x ₁	35.1	50.4	—	9200	9150	—
			x ₂	36.3	47.4	—	9200	9050	—
	x ₃		35.4	46.8	—	9150	9200	—	
	$\bar{x}$		35.6	48.2	—	9183	9133	—	

C^{*} : セメント+混和材90^{*} : 人造石屑を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

表II-27・c コンクリートの曲げ強度試験結果

混和材	混和材 置換率 (%)	W/C [*] (%)	no	曲げ強度 (kg/cm ²)			供試体重量 (g)		
				材 令 (日)			材 令 (日)		
				7	28	91	7	28	91
フライ アッシュ	0	50	x_1	420	528	525	9300	9400	9500
			x_2	405	555	492	9350	9500	9400
			x_3	411	531	510	9550	9400	9550
			$\bar{x}$	412	538	509	9400	9433	9483
		70	x_1	315	416	420	9200	9200	9250
			x_2	276	411	414	9200	9250	9300
			x_3	330	407	402	9350	9150	9400
			$\bar{x}$	307	411	412	9250	9200	9317
		90	x_1	219	285	297	9200	9050	9050
			x_2	219	309	312	9100	9150	9000
			x_3	234	354	348	9150	9100	9250
			$\bar{x}$	224	316	319	9150	9100	9100
	30	50	x_1	321	441	485	9450	9350	9400
			x_2	318	405	525	9300	9350	9300
			x_3	315	441	495	9300	9400	9350
			$\bar{x}$	318	429	503	9350	9367	9350
		70	x_1	216	321	474	9250	9250	9200
			x_2	—	345	459	9200	9250	9300
			x_3	231	351	480	9250	9150	9250
			$\bar{x}$	224	339	471	9233	9217	9250
		90	x_1	147	246	354	9100	9100	9150
			x_2	150	225	—	9100	9050	9200
			x_3	165	255	345	9150	9200	9150
			$\bar{x}$	152	242	350	9117	9117	9167
	50	50	x_1	219	360	528	9350	9450	9500
			x_2	240	375	507	9450	9350	9500
			x_3	219	366	489	9400	9450	9350
			$\bar{x}$	226	367	508	9400	9417	9450
		70	x_1	165	271	429	9300	9300	9350
			x_2	150	261	456	9400	9250	9300
			x_3	140	240	390	9350	9300	9250
			$\bar{x}$	152	257	425	9350	9283	9300
		90	x_1	114	201	303	9250	9200	9150
			x_2	108	201	330	9100	9150	9150
			x_3	105	195	308	9050	9150	9150
			$\bar{x}$	109	199	313	9133	9167	9150

C^{*} : セメント + 混和材

表II-28 混和材を用いたコンクリートの強度比

項目	混和材 W/C(%) 材令(日) 材令換算(%)	ス ラ グ A									ス ラ グ B						フ ラ イ ア ッ シ ュ								
		50			70			90			50			70			50			70			90		
		7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91
		7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91	7	28	91
圧縮強度	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	10	98.9	102.4	108.4	96.1	104.1	114.6	108.0	114.6	123.9	—	—	—	—	—	—	99.2	95.4	109.2	90.4	95.5	105.7	100.9	102.4	118.6
	30	80.1	97.3	106.7	80.5	98.4	110.4	99.1	110.4	129.8	—	102.9	105.4	—	99.2	102.4	69.6	76.8	98.8	64.0	75.5	93.6	59.3	75.5	88.3
	50	76.1	101.3	121.3	70.2	113.1	116.5	73.4	116.5	135.6	—	91.6	100.7	70.1	90.0	99.3	47.1	61.2	84.4	36.5	51.0	73.6	39.8	51.0	80.9
	70	50.4	76.5	99.0	48.9	85.3	93.3	52.2	93.3	110.6	—	78.7	90.4	—	75.7	80.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	90	40.9	53.1	59.6	41.0	53.1	57.9	46.9	57.9	61.7	—	51.3	54.6	43.9	43.4	46.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	90*	70.6	85.2	101.7	80.9	118.0	132.9	80.5	132.9	156.9	—	88.2	—	96.8	111.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
曲げ強度	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	30	76.9	91.1	117.5	89.2	97.3	107.3	80.8	94.9	116.3	—	93.4	108.9	—	95.5	108.6	77.2	79.7	98.8	73.0	82.5	114.3	67.8	76.5	109.7
	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	89.4	111.0	83.0	102.1	108.4	54.9	68.2	99.8	49.8	—	103.2	48.7	63.0	97.5
	70	55.6	84.3	112.0	56.7	73.0	108.5	54.9	81.6	116.9	—	86.0	112.0	—	76.4	104.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	90	40.5	62.6	88.4	45.6	56.4	85.4	54.0	65.5	88.1	—	73.0	78.3	35.9	64.4	78.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	90*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	117.0	—	110.2	113.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

C* : セメント+混和材

90* : 人造石膏を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

表II-29 C/W ~ σ 関係

項 目	混 和 材	置換率(%)	σ_7	σ_{28}	σ_{91}
圧縮強度	スラグA	0	182C/W-86	231C/W-90	239C/W-71
		10	171C/W-70	216C/W-53	232C/W-30
		30	124C/W-28	203C/W-47	205C/W+23
		50	143C/W-78	204C/W-27	262C/W-34
		70	90C/W-41	145C/W-5	211C/W-19
		90	68C/W-23	115C/W-33	138C/W-38
		90*	114C/W-29	103C/W+119	127C/W+159
	スラグB	0	—	168C/W+11	193C/W+20
		30	—	189C/W-21	219C/W-11
		50	—	161C/W-4	201C/W+5
		70	—	145C/W-18	224C/W-82
		90	—	121C/W-64	145C/W-70
		90*	65C/W+88	46C/W+215	—
	フ ラ イ アッシュ	0	182C/W-86	231C/W-90	239C/W-71
		10	182C/W-92	209C/W-64	245C/W-51
		30	140C/W-88	193C/W-99	258C/W-115
		50	98C/W-68	161C/W-97	214C/W-91
曲げ強度	スラグA	0	208C/W-03	246C/W+49	208C/W+98
		30	144C/W+40	207C/W+83	257C/W+81
		70	116C/W-01	226C/W-05	221C/W+129
		90	51C/W+65	150C/W+31	188C/W+77
	スラグB	0	—	186C/W+157	145C/W+317
		30	—	158C/W+18	161C/W+339
		50	—	72C/W+33	186C/W+304
		70	—	231C/W-07	231C/W+219
		90	—	20C/W-12	116C/W+245
		90*	20C/W+71	242C/W+136	—
	フ ラ イ アッシュ	0	208C/W-03	246C/W+49	208C/W+98
		30	184C/W-47	204C/W+28	158C/W+202
		50	131C/W-36	189C/W-12	212C/W+93

90* : 人造石屑を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

表II-30 凍結融解試験におけるコンクリートの配合

混和材	置換率 (%)	W/C*	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)								スランブ (cm)	空気量 (%)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗 骨 材 G		混 和 材 料				
							25~20mm	20~5mm	混和材	混和剤			
スラグ A・B	0	50	43	169	338	773	214	854	0	50	6.5	4.1	
		70	47	170	243	881	207	828	0	30	6.5	4.2	
		90	51	183	203	956	191	766	0	20	6.5	4.1	
	50	50	43	168	168	769	212	850	155	75	6.5	4.4	
		70	47	169	121	883	208	830	111	55	6.8	4.1	
		90	51	178	99	964	193	773	91	35	6.2	4.0	
	70	50	43	165	99	773	214	854	231	90	7.0	4.2	
		70	47	165	71	884	209	830	165	70	7.0	4.5	
		90	51	168	56	978	196	783	131	50	7.0	4.5	
	90	50	43	165	33	771	213	852	297	150	8.0	4.5	
	90*	50	43	165	33	771	213	852	297	150	7.0	4.5	

C* : セメント+混和材

90* : 人造石膏を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

表II-31・a 凍結融解繰返しに伴う動弾性係数の変化

混和材	置換率 (%)	W/C* (%)	no	ダイアル E _D ×10 ³	動 弾 性 係 数 比 (例)																			
					6	7	13	30	31	48	53	57	99	100	112	139	147	186	194	237	242	296	310	312
スラグ A	0	50	x ₁	400	96.1				95.5		94.5				88.1		85.1		84.1	74.9		62.8	60.4	
			x ₂	400	96.2				96.2		95.8				89.5		86.1		84.2	78.2		70.4	68.2	
			x ₃	389	96.9				96.0		94.7				92.2		90.1		81.6	81.6		70.0	68.5	
			$\bar{x}$	396	96.4				95.9		95.0				89.9		87.1		83.3	78.2		67.7	65.7	
		70	x ₁	358	97.2				95.2		97.8				91.5		88.4		85.5	83.6		82.2	76.9	
			x ₂	342	97.1				94.3		94.4				91.9		80.1		73.7	67.7		64.7	63.2	
			x ₃	354	94.8				95.7		96.7				93.0		91.0		86.3	82.8		80.2	78.2	
			$\bar{x}$	351	96.4				95.1		96.3				92.1		86.5		81.8	78.0		75.7	72.8	
		90	x ₁	303	92.0				69.0		40.3				破壊									
			x ₂	292	95.0				84.0		70.9				破壊									
			x ₃	290	92.7				70.4		27.9				破壊									
			$\bar{x}$	295	93.2				74.5		46.4													
	50	50	x ₁	341	96.0				94.3		93.1				89.4		86.9		81.4	74.5		67.5	63.5	
			x ₂	358	93.2				93.1		93.7				93.3		88.8		86.9	81.8		77.0	74.1	
			x ₃	345	96.3				96.0		95.5				91.6		90.1		86.3	81.3		76.6	73.9	
			$\bar{x}$	348	95.2				94.5		94.1				91.4		88.6		84.9	79.2		73.7	70.5	
		70	x ₁	305		92.8		91.8				89.6		22.6			測定 不能							
			x ₂	308		93.2		91.6				89.6		70.1										
			x ₃	297		91.9		89.2				87.7		31.5										
			$\bar{x}$	303		92.6		90.9				89.0		41.4										
		90	x ₁	261		34.8		測定 不能																
			x ₂	272		38.9																		
			x ₃	283		32.2		破壊																
			$\bar{x}$	272		35.3																		

C* : セメント+混和材

Ep : 試験開始時の動弾性係数

表II-31・b 凍結融解繰返しに伴う動弾性係数の変化

混和材	置換率 (%)	W/C* (%)	no	サイクル Ed×10 ³	動弾性係数比(%)																		
					6	7	13	30	31	48	53	57	99	100	112	139	147	186	194	237	242	296	310
スラグ A	70	50	x ₁	331			95.1			92.1			92.8			90.0	88.1			84.2			81.3
			x ₂	323			94.3			91.9			91.0			87.7	84.4			79.1			75.0
			x ₃	335			94.6			92.0			91.1			87.7	85.2			79.7			75.3
			$\bar{x}$	330			94.7			92.0			91.6			88.5	85.9			81.0			77.2
		70	x ₁	303			91.0			87.6			86.0			83.8	73.2			67.6			67.3
			x ₂	304			92.1			87.5			85.6			80.9	72.9			67.0			66.3
			x ₃	282			90.7			88.3			86.3			83.4	77.6			71.0			69.7
			$\bar{x}$	296			91.3			87.8			86.0			82.7	74.6			68.5			67.8
		90	x ₁	258			84.4			31.3			測定不能										
			x ₂	273			86.6			72.8			11.9										
			x ₃	262			85.6			68.5			12.4										
			$\bar{x}$	264			85.5			70.7													
	90	50	x ₁	293			90.5			86.3			86.5			83.5	81.3			75.9			68.9
			x ₂	299			90.2			88.5			87.0			84.3	81.6			75.0			69.1
			x ₃	298			88.0			84.3			84.2			80.0	76.7			71.0			65.7
			$\bar{x}$	297			89.6			86.4			85.9			82.6	79.9			74.0			67.9
	90*	50	x ₁	332			83.5			33.9			破壊										
			x ₂	314			85.8			78.2			測定不能										
			x ₃	316			83.5			78.8													
			$\bar{x}$	321			84.3			78.5			不能										

C^{*} : セメント+混和材

90* : 人造石屑を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

E_D : 試験開始時の動弾性係数

表 II-31.c 凍結融解繰返しに伴う動弾性係数の変化

混和材	置換率 (%)	W/C [*] (%)	no	ナトリウム ED×10 ³	動 弾 性 係 数 比 (%)																				
					5	6	20	34	40	52	62	84	92	102	152	154	193	199	201	242	248	255	300	303	304
スラグ B	0	50	x ₁	387		96.7		95.9			94.6			93.3		90.4			85.5			82.4			81.5
			x ₂	395		95.4		95.2			94.1			93.7		89.5			84.1			81.0			80.2
			x ₃	382		96.9		96.0			95.3			94.7		91.8			90.7			85.6			85.5
			$\bar{x}$	388		96.3		95.7			94.7			93.9		90.6			86.8			83.0			82.4
		70	x ₁	345		96.4		94.8			91.6			90.2		71.5			66.4			54.4			
			x ₂	349		96.4		92.9			90.9			84.7		58.8			43.1			31.1			
			x ₃	343		97.0		94.4			92.8			92.3		82.6			79.6			71.7			
			$\bar{x}$	346		96.6		94.0			91.8			89.1		71.0			63.0			52.4			
	50	50	x ₁	344			95.1			92.9		91.0		90.5	83.3			76.3			69.5			64.0	
			x ₂	341			95.2			93.5		92.0		90.3	87.9			82.7			77.8			72.1	
			x ₃	338			95.7			93.2		91.7		91.2	85.5			81.5			77.8			70.6	
			$\bar{x}$	341			95.3			93.2		91.6		90.7	85.6			80.2			75.0			68.9	
		70	x ₁	292		95.0		88.1			82.6			70.8		32.0									
			x ₂	285		95.2		90.4			87.8			75.8		45.9									
			x ₃	274		94.5		84.4			76.8			56.7											
			$\bar{x}$	284		94.9		87.6			82.4			67.7											
	70	50	x ₁	333			92.1			89.4		91.0		87.1	81.4			75.2			68.8			59.7	
			x ₂	328			92.3			90.9		88.1		87.3	81.4			77.6			72.5			66.4	
			x ₃	331			91.5			88.0		86.2		85.1	76.7			68.1			62.3			59.9	
			$\bar{x}$	331			92.0			89.4		88.4		86.5	79.8			73.6			67.9			62.0	
		70	x ₁	256		93.0		87.6			84.3			77.1		47.3			29.6						
			x ₂	262		94.2		87.9			87.4			83.4		71.6			65.1						
			x ₃	262		92.0		88.0			87.0			84.0		62.6			59.3						
			$\bar{x}$	260		93.1		87.8			86.2			81.5		60.5			51.3						
	90	50	x ₁	299	89.1				85.6				81.4		75.9		67.4			70.9			47.2		
			x ₂	312	88.3				84.2				77.5		69.8		61.9			63.3			32.0		
			x ₃	298	88.5				81.8				72.7		64.7		56.4			61.9			30.5		
			$\bar{x}$	303	88.6				84.7				77.2		70.1		61.9			65.4			36.6		

C^{*}: セメント + 混和材

ED: 試験開始時の動弾性係数

表 II-32・a 凍結融解繰返しに伴う重量変化

混和材	置換率 (%)	W/C* (%)	no	サイクル W ₀ (g)	重 量 減 少 率 (%)																				
					6	7	13	30	31	48	53	57	99	100	112	139	147	186	194	237	242	296	310	312	
スラグ A	0	50	x ₁	7208	0.06				0.31		1.08				2.75		3.58		3.80	6.72		8.64	9.21		
			x ₂	7256	-0.04				0.19		0.63				3.35		4.38		5.18	5.82		6.28	6.50		
			x ₃	7212	-0.10				0.12		0.40				1.30		1.97		3.70	4.58		5.89	6.23		
			$\bar{x}$	7225	-0.03				0.21		0.70				2.47		3.31		4.23	5.71		6.94	7.31		
		70	x ₁	7262	0.03				1.27		2.92				4.74		7.11		9.83	11.81		13.25	13.73		
			x ₂	7185	0.07				1.84		4.76				6.00		10.98		14.99	17.37		19.47	20.19		
			x ₃	7185	0.01				1.42		3.49				7.95		9.77		12.73	14.68		16.60	17.66		
			$\bar{x}$	7211	0.04				1.51		3.72				6.23		9.29		12.52	14.62		16.44	17.19		
		90	x ₁	7156	0.15				3.72		9.39				破壊										
			x ₂	7102	0.00				3.29		7.63				"										
			x ₃	7111	0.15				4.49		9.01				"										
			$\bar{x}$	7123	0.10				3.83		8.68				"										
	50	50	x ₁	7239	-0.04				1.23		2.78				4.16		5.26		6.12	6.76		7.43	8.16		
			x ₂	7268	0.08				0.92		1.82				2.72		4.93		6.49	7.36		8.12	8.53		
			x ₃	7234	-0.03				0.48		1.53				3.57		4.62		5.64	6.48		6.93	7.19		
			$\bar{x}$	7247	0.00				0.88		2.04				3.48		4.94		6.08	6.87		7.49	7.96		
		70	x ₁	7221		0.01		1.62				4.57		7.41											
			x ₂	7203		0.14		1.21				4.26		7.50											
			x ₃	7169		0.45		1.66				5.05		8.63											
			$\bar{x}$	7198		0.20		1.50				4.63		7.85											
		90	x ₁	7124		-0.03																			
			x ₂	7135		-0.07																			
			x ₃	7167		0.28		破壊																	
			$\bar{x}$	7142		0.06																			

C^{*} : セメント+混和材

W₀ : 試験開始時の供試体重量

表Ⅱ-32・b 凍結融解繰返しに伴う重量変化

混和材	置換率 (%)	W/C* (%)	no	サイクル W ₀ (g)	重 量 減 少 率 (%)																		
					6	7	13	30	31	48	53	57	99	100	112	139	147	186	194	237	242	296	310
スラグ A	70	50	x ₁	7,158			0.46			1.48			2.14			2.86	4.16			5.39			6.36
			x ₂	7,168			0.56			1.59			2.97			3.93	5.27			6.58			7.51
			x ₃	7,200			0.17			2.46			1.75			3.11	4.47			5.56			7.22
			$\bar{x}$	7,175			0.40			1.84			2.29			3.30	4.63			5.84			7.03
		70	x ₁	7,160			0.52			2.56			3.88			5.25	6.84			8.38			9.58
			x ₂	7,142			0.24			3.19			4.61			5.94	7.11			8.40			9.63
			x ₃	7,099			1.03			3.35			4.48			5.58	6.80			7.85			9.10
			$\bar{x}$	7,134			0.60			3.03			4.32			5.59	6.92			8.21			9.44
		90	x ₁	7,070			0.28			5.09			8.94			不測							
			x ₂	7,126			0.84			6.20			11.03			"							
			x ₃	7,060			0.89			6.91			10.23			"							
			$\bar{x}$	7,085			0.67			6.07			10.07			"							
	90	50	x ₁	7,140			0.56			3.70			5.07			6.71	8.11			9.27			10.28
			x ₂	7,147			0.77			1.75			4.21			5.69	7.32			9.64			10.98
			x ₃	7,170			2.55			4.37			5.83			7.67	9.12			10.71			12.36
			$\bar{x}$	7,152			1.29			3.27			5.04			6.69	8.18			9.87			11.26
	90*	50	x ₁	7,184			1.13			5.44			不能										
			x ₂	7,154			0.81			5.65			8.95										
			x ₃	7,126			2.58			6.44			8.93										
			$\bar{x}$	7,155			1.51			5.84			*8.94										

C** : セメント+混和材

90* : 人造石荷を添加してSO₃量を増加した特殊セメント

W₀ : 試験開始時の供試体重量

表 II-32・c 凍結融解繰返しに伴う重量変化

混和材	置換率 (%)	W/C* (%)	no	W ₀ (g)	重 量 減 少 率 (%)																							
					5	6	20	34	40	52	62	84	92	102	152	154	193	199	201	242	248	255	300	303	304			
スラグ B	0	50	x ₁	7263		0.06		0.40			0.73			1.47		2.15			3.00			3.29			3.79			
			x ₂	7286		0.00		0.38			0.73			1.62		2.53			3.79			4.36			4.68			
			x ₃	7250		0.00		0.30			0.61			1.41		2.15			3.31			4.06			4.47			
			$\bar{x}$	7266		0.02		0.36			0.69			1.50		2.28			3.37			3.90			4.31			
		70	x ₁	7212		0.00		1.03			2.94			5.32		7.40			8.43			12.60			13.53			
			x ₂	7198		0.00		1.42			2.81			7.06		9.79			13.84			16.96			20.48			
			x ₃	7228		0.05		1.52			3.07			5.82		7.68			10.96			14.01			16.69			
			$\bar{x}$	7213		0.02		1.32			2.94			6.07		8.29			11.08			14.52			16.90			
	50	50	x ₁	7276			0.48			1.87		3.09		3.85	5.21			6.95			7.83				8.45			
			x ₂	7276			0.70			2.35		3.44		4.07	5.10			6.13			6.87				7.75			
			x ₃	7221			0.46			2.10		3.31		3.96	5.75			6.80			7.92				8.53			
			$\bar{x}$	7258			0.55			2.11		3.28		3.96	5.35			6.63			7.54				8.24			
		70	x ₁	7235		0.02		2.00			5.93			8.74		11.70			14.00									
			x ₂	7165		0.00		1.10			3.81			7.87		10.27			12.50									
			x ₃	7184		0.06		1.98			5.90			9.16		11.72			14.31									
			$\bar{x}$	7195		0.03		1.69			5.21			8.57		11.23			13.60									
	70	50	x ₁	7284			0.74			2.22		3.19		3.95	5.33			6.23			7.18				7.96			
			x ₂	7218			0.32			1.70		3.13		3.85	5.06			6.28			7.25				8.12			
			x ₃	7212			0.49			1.91		3.36		4.08	5.16			6.48			7.38				8.32			
			$\bar{x}$	7238			0.52			1.94		3.23		3.96	5.18			6.33			7.27				8.10			
		70	x ₁	7094		0.27		1.96			6.54			9.12		10.67			12.55									
			x ₂	7080		0.08		2.12			4.92			7.58		9.19			11.02									
			x ₃	7128		0.20		2.60			5.19			7.69		9.58			11.27									
			$\bar{x}$	7101		0.18		2.23			5.55			8.13		9.81			12.39									
	90	50	x ₁	7122	0.37				3.26				5.78		8.42		9.20			10.25				10.45				
			x ₂	7184	0.50				3.33				5.65		8.25		9.17			10.63				11.72				
			x ₃	7132	0.17				4.40				7.39		10.12		10.88			12.16				12.51				
			$\bar{x}$	7146	0.35				3.66				6.27		8.93		9.75			10.01				11.56				

C* : セメント + 混和材

W₀ : 試験開始時の供試体重量

表Ⅱ-33 中性化試験におけるコンクリートの配合

混和材	置換率 (%)	W/C [*] (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							スランブ (cm)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗 骨 材 G		混 和 材 料		
							25~20mm	20~5mm	混和材	混和剤	
スラグ A	0	71.2	50	178	250	957	199	798	0	—	4
	30	71.2	50	178	175	955	199	796	75	—	6
	70	71.2	50	178	75	952	198	794	175	—	7
	90	71.2	50	178	25	949	198	791	225	—	8
	0	53.9	47	178	330	868	204	815	0	—	6.5
	30	53.9	47	178	231	865	203	814	99	—	6.5
	70	53.9	47	178	99	860	202	809	231	—	7.5
	90	53.9	47	178	33	860	202	806	297	—	8.5

C^{*} : セメント + 混和材

表II-34 コンクリートの中性化試験結果

暴露位置	セメント量 [*] (kg/m ³)	置換率 (%)	最大中性化深さcm			最小中性化深さcm			平均中性化深さcm			中性化面積 (cm ²)		
			横断面		縦断面	横断面		縦断面	横断面		縦断面	横断面		縦断面
			上 面	下 面		上 面	下 面		上 面	下 面		上 面	下 面	
東京湾	250	0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0
		30	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0	0>0
		70	0.42>0.34	0.59>0.53	0.44>0.38	0>0	0>0	0>0	0.15>0.14	0.19>0.20	0.15>0.14	6.92>6.61	8.89>9.38	4.95>3.86(*)
土研屋上	250	0	0.87>0.86	0.79>0.76	0.79>0.80	0.11>0.05	0.16>0.14	0.16>0.19	0.41>0.43	0.45>0.38	0.47>0.38	19.21>19.73	20.90>17.48	14.64>11.83
		30	0.93>1.10	0.80>0.91	0.82>0.85	0.24>0.24	0.08>0.18	0.14>0.31	0.52>0.60	0.56>0.59	0.24>0.42	23.62>27.12	25.74>26.69	7.87>19.30
		70	1.24>1.44	1.21>1.22	1.11>1.04	0.50>0.41	0.50>0.59	0.62>0.61	0.79>0.74	0.80>0.84	0.81>0.72	35.21>33.37	35.98>37.36	25.34>32.94
		90	1.76>1.45	1.65>1.72	1.73>1.83	0.86>0.75	0.66>1.12	0.57>0.94	1.36>1.07	1.12>1.22	1.26>1.29	58.37>47.16	49.11>60.52	40.90>40.38
	330	0	0.43>0.42	0.47>0.59	0.47>0.47	0>0	0.04>0.08	0>0	0.09>0.13	0.18>0.15	0.17>0.08	4.37>6.00	8.35>7.08	5.25>2.65
		30	0.50>0.34	0.53>0.38	0.34>0.40	0.07>0.04	0.05>0.09	0.08>0.16	0.20>0.17	0.25>0.17	0.17>0.24	9.29>7.99	11.68>8.09	5.24>7.26
		70	0.68>0.61	0.67>0.79	0.64>0.76	0.25>0.24	0.22>0.32	0.28>0.33	0.38>0.38	0.44>0.47	0.43>0.46	17.28>16.78	20.13>20.87	12.95>15.70
		90	0.93>0.99	1.28>1.31	1.16>1.14	0.33>0.19	0.42>0.58	0.51>0.55	0.68>0.73	0.88>0.89	0.77>0.88	30.55>32.74	38.85>39.09	24.57>27.08

セメント量^{*}：セメント+混和材

(*)：鉄筋に発錆あり

表II-35 圧縮強度試験結果

混和材	セメント量* (kg/m ³)	置換率 (%)	no	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)	
				28日	1 年
スラグA	250	0	x_1	250	331
			x_2	243	—
			$\bar{x}$	247	331
		30	x_1	256	340
			x_2	266	336
			$\bar{x}$	261	338
		70	x_1	234	340
			x_2	232	306
			$\bar{x}$	233	323
		90	x_1	127	190
			x_2	130	189
			$\bar{x}$	129	190
	330	0	x_1	431	498
			x_2	417	500
			$\bar{x}$	424	499
		30	x_1	452	568
			x_2	450	565
			$\bar{x}$	451	567
		70	x_1	382	538
			x_2	375	520
			$\bar{x}$	379	529
		90	x_1	219	309
			x_2	223	—
			$\bar{x}$	221	309

セメント量* : セメント+スラグ

養生は、材令28日20℃水中、材令1年は14日間20℃水中、以後曝露供試体と同じ条件

表Ⅱ-36 断熱上昇温度試験におけるコンクリートの配合

混和材	置換率 (%)	W/C [*] (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							混 和 材 料	
				水 W	セメント C	組骨材 S	粗 骨 材 G					
							40~30mm 25%	30~20mm 25%	20~5mm 50%			
スラグA	0	50	35	150	300	694	336	336	672	0	—	
	50	50	35	150	150	692	334	334	668	150	—	
	70	50	35	150	90	689	334	334	668	210	—	
	90	50	35	150	30	686	333	333	666	270	—	
	0	70	35	210	300	639	310	310	620	0	—	
	70	70	35	210	90	639	310	310	620	210	—	
スラグB	50	50	35	150	150	692	332	332	664	150	—	
	70	50	35	150	90	689	334	334	668	210	—	
	90	50	35	150	30	689	333	333	666	270	—	

C^{*} : セメント + 混和材

表Ⅱ-37 断熱上昇温度試験結果

混 和 材 W/C* (%)	ス ラ グ A						ス ラ グ B		
	50				70		50		
	0	50	70	90	0	70	50	70	90
置 換 率 (%)	(208)	(201)	(200)	(204)	(204)	(191)	(200)	(216)	(188)
コンクリートの 上昇温度(℃)									
経過 日数(日)									
1	26.1	143	103	49	21.0	88	14.0	103	57
2	35.3	24.1	176	7.1	32.4	15.6	24.0	18.4	—
3	39.0	33.9	252	9.1	37.3	21.1	34.0	29.3	128
4	40.9	40.7	348	10.8	39.8	30.8	40.9	35.4	15.2
5	41.9	43.6	38.6	11.6	41.3	36.2	44.1	38.0	17.4
6	42.9	45.1	40.3	12.7	42.3	38.6	45.7	39.3	18.9
7	43.5	46.2	41.3	13.2	43.0	39.9	46.7	40.1	20.0
8	44.2	47.1	42.1	13.9	43.6	40.7	47.3	40.8	20.9
9	44.7	47.9	42.8	14.6	44.1	41.2	48.0	41.5	21.5
10	45.3	48.5	43.4	14.9	44.6	41.8	48.6	42.1	22.2
11	45.6	49.2	44.0	15.3	44.9	42.1	49.2	42.6	22.9
12	46.2	49.6	44.3	15.8	45.3	42.7	49.7	43.1	23.5
13	46.6	50.2	45.0	16.2	45.7	42.9	50.0	43.5	23.9
14	47.0	50.9	45.5	16.7	45.9	43.2	50.4	44.1	24.5
推定最終上昇温度(℃)	47.6	51.6	46.2	17.2	47.0	44.0	51.2	45.0	25.4

() の数値は、コンクリートの打設時温度(℃)

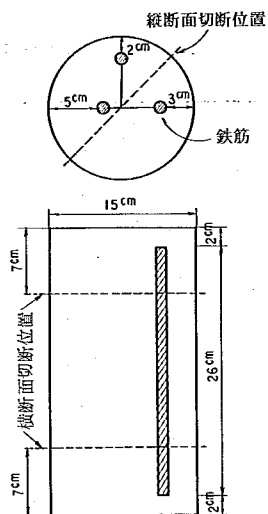
C* : セメント+混和材

表Ⅱ-38 セメントの水和熱試験結果

混和材	W/C [*] (%)	置換率 (%)	強 熱 減 量 (%)		水 和 熱 (cal/g)	
			7 日	28日	7 日	28日
スラグ A	40	0	27.84	27.97	70.5	82.6
		50	26.90	27.37	58.7	78.2
		70	26.56	27.00	37.5	63.7
		90	26.03	26.08	29.0	39.2
		90 [*]	27.93	28.58	27.2	37.0
	50	0	31.34	31.89	74.1	89.8
		50	30.99	32.90	53.2	82.2
		70	30.37	30.91	51.1	66.3
		90	30.13	31.72	31.1	42.6
		90 [*]	32.21	30.64	36.2	50.9
	70	0	35.04	35.64	73.0	96.3
		70	34.77	35.05	48.9	72.8

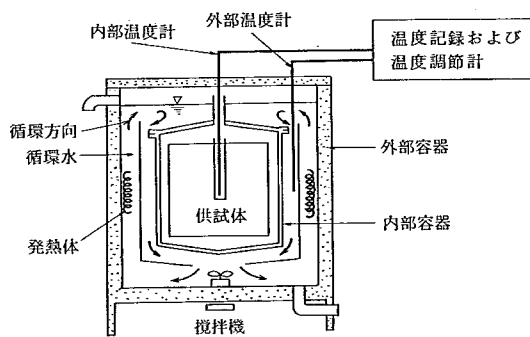
C^{*} : セメント+混和材

90^{*} : 人造石膏を添加してSO₃量を増加した特殊セメントを使用

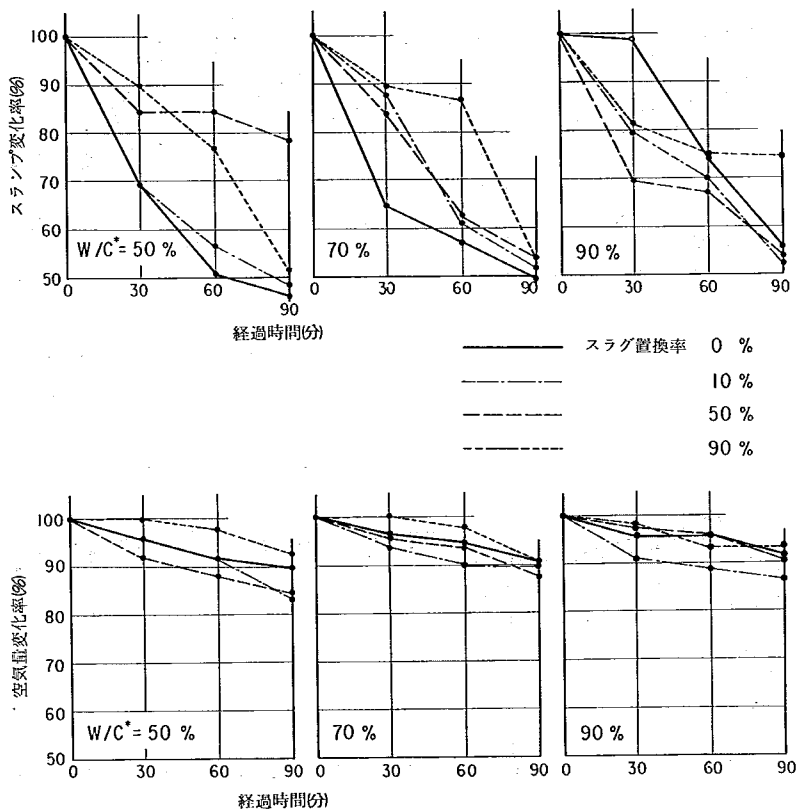


鉄筋：SS41 $\phi 9$ みがき丸鋼
(仕上り $\phi 8$ mm)

図Ⅱ-1 鉄筋埋込みおよび切断位置



図Ⅱ-2 断熱上昇温度試験装置



図Ⅱ-3 スランプおよび空気量の経時変化
(スラグ置換, スランプ一定の場合)

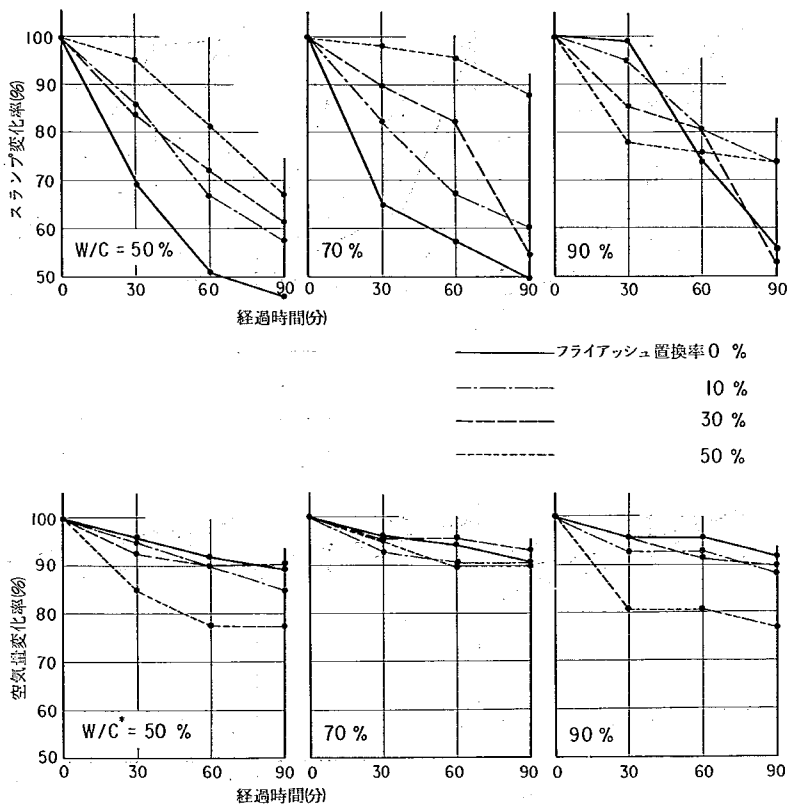
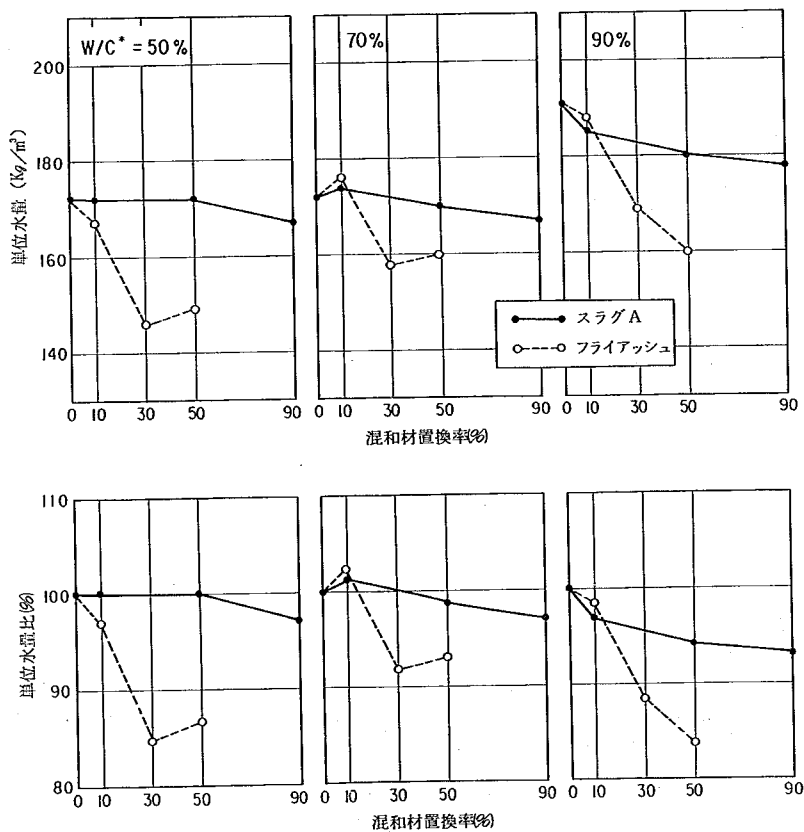


図 11-4 スランプおよび空気量の経時変化
(フライアッシュ置換，スランパー一定の場合)



図II-5 スランブ一定 (8 ± 1 cm) の場合の単位水量

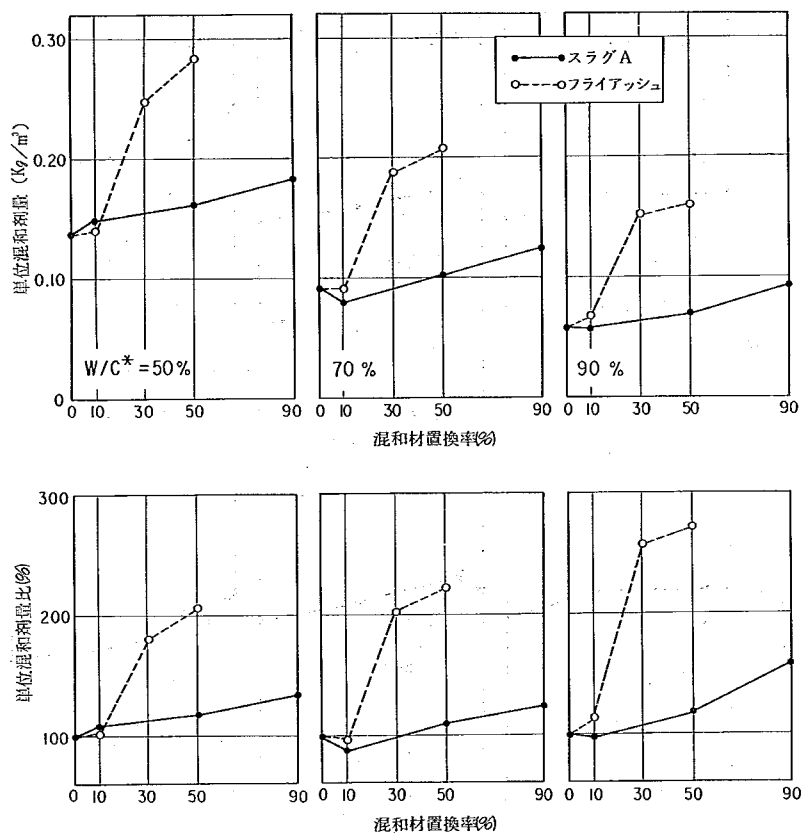
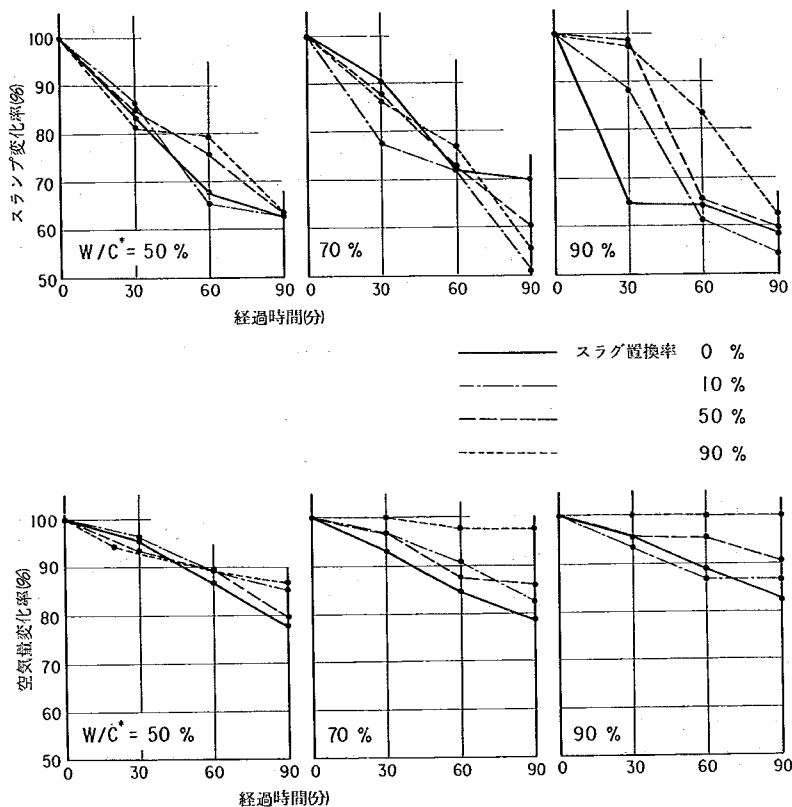


図 11-6 空気量一定 (4±0.5%) の場合の単位混和割合



図Ⅱ-7 スラップおよび空気量の経時変化
(スラッグ置換，単位水量一定の場合)

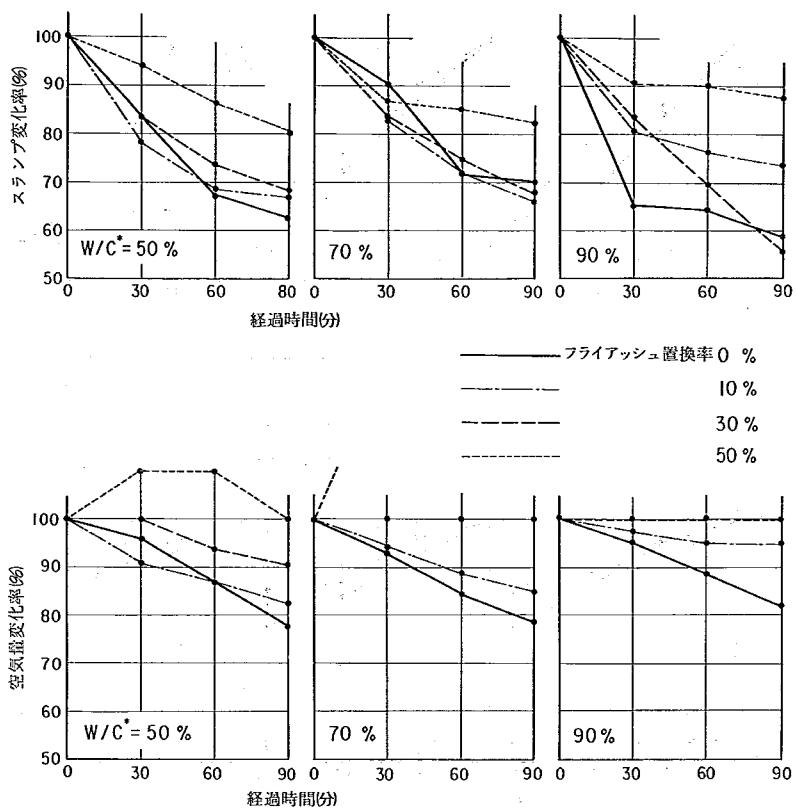


図 Ⅱ-8 スランプおよび空気量の経時変化
(フライアッシュ置換, 単位水量一定の場合)

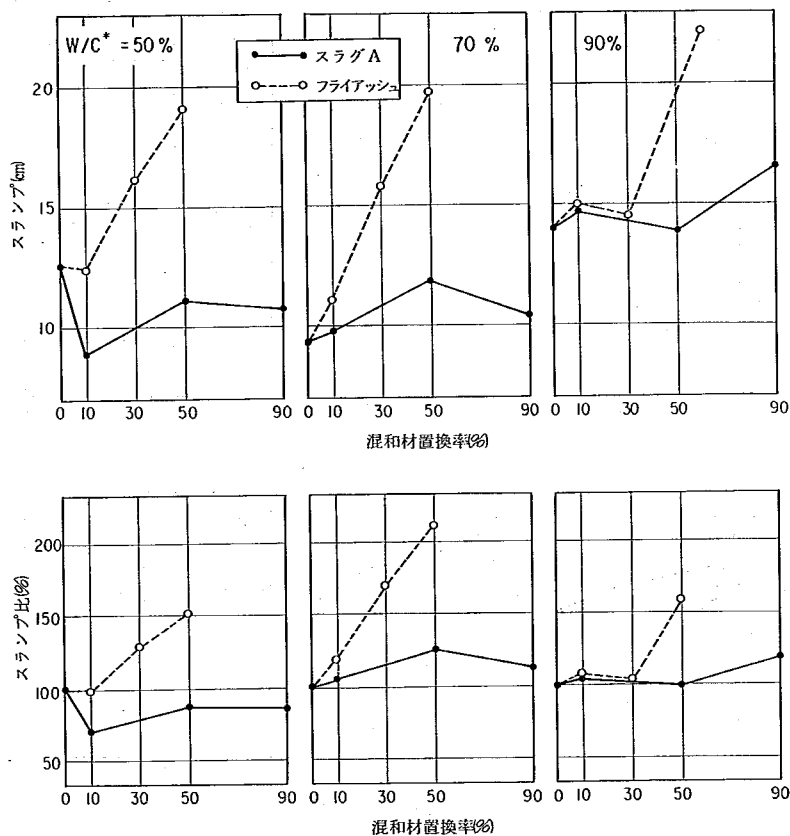
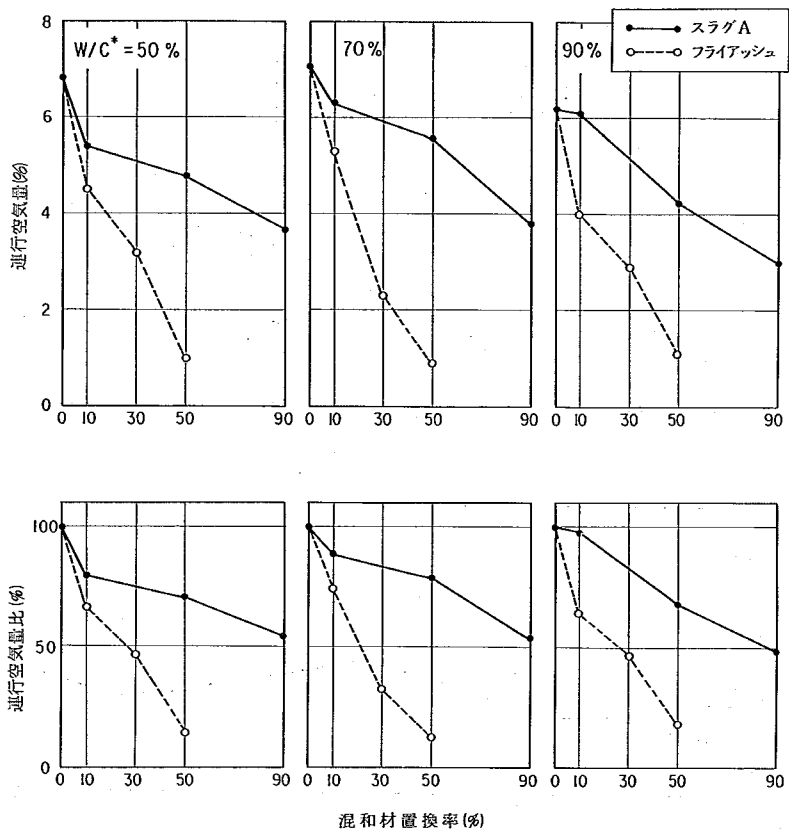
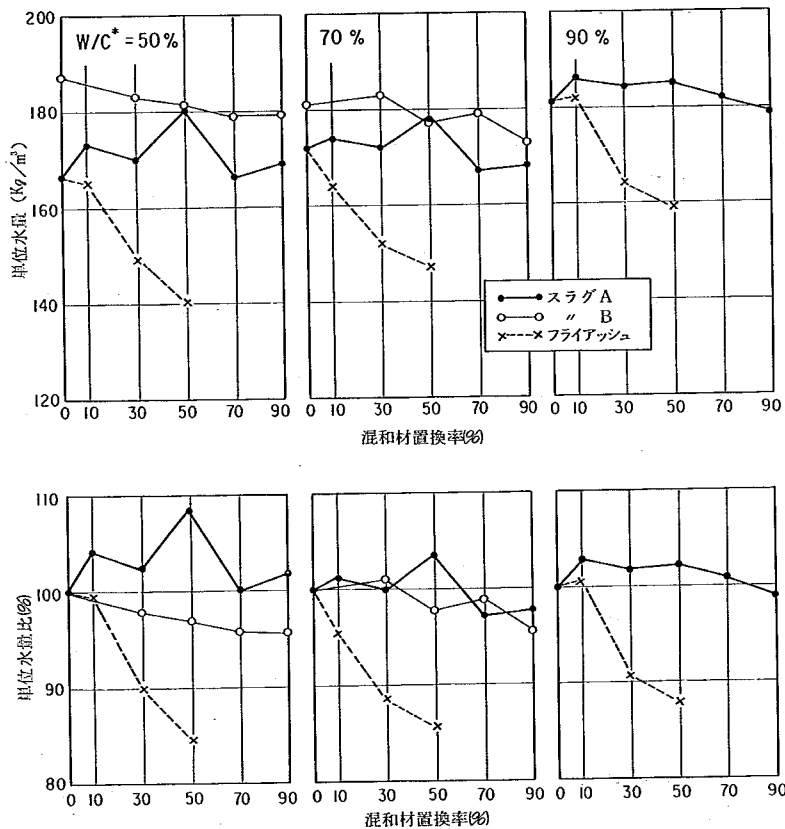


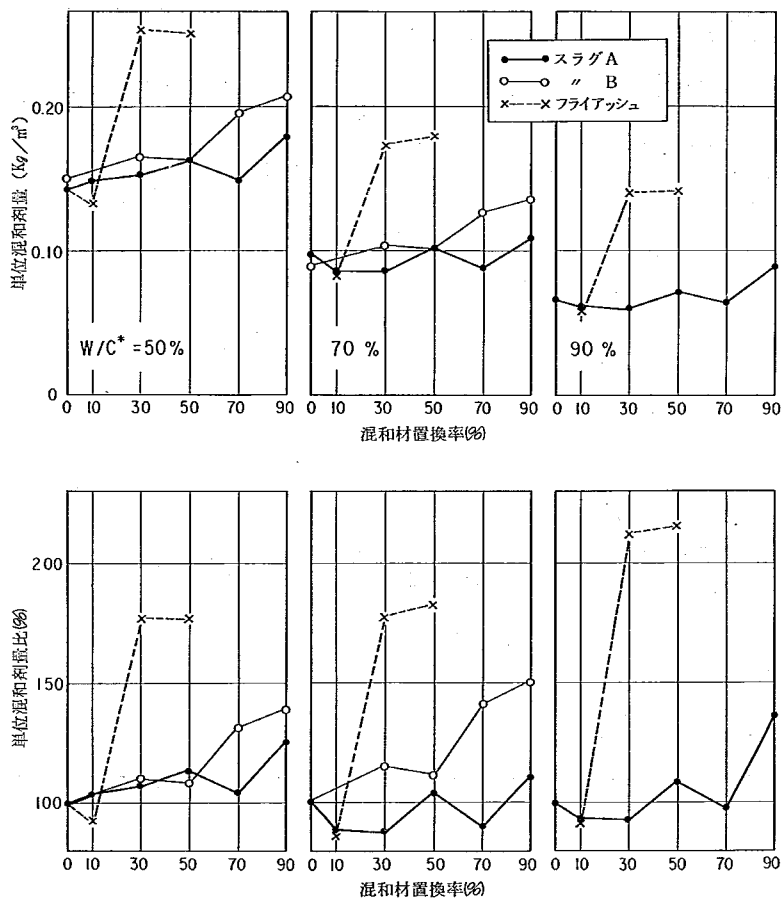
図 Ⅱ - 9 単位水量一定の場合のスランプ



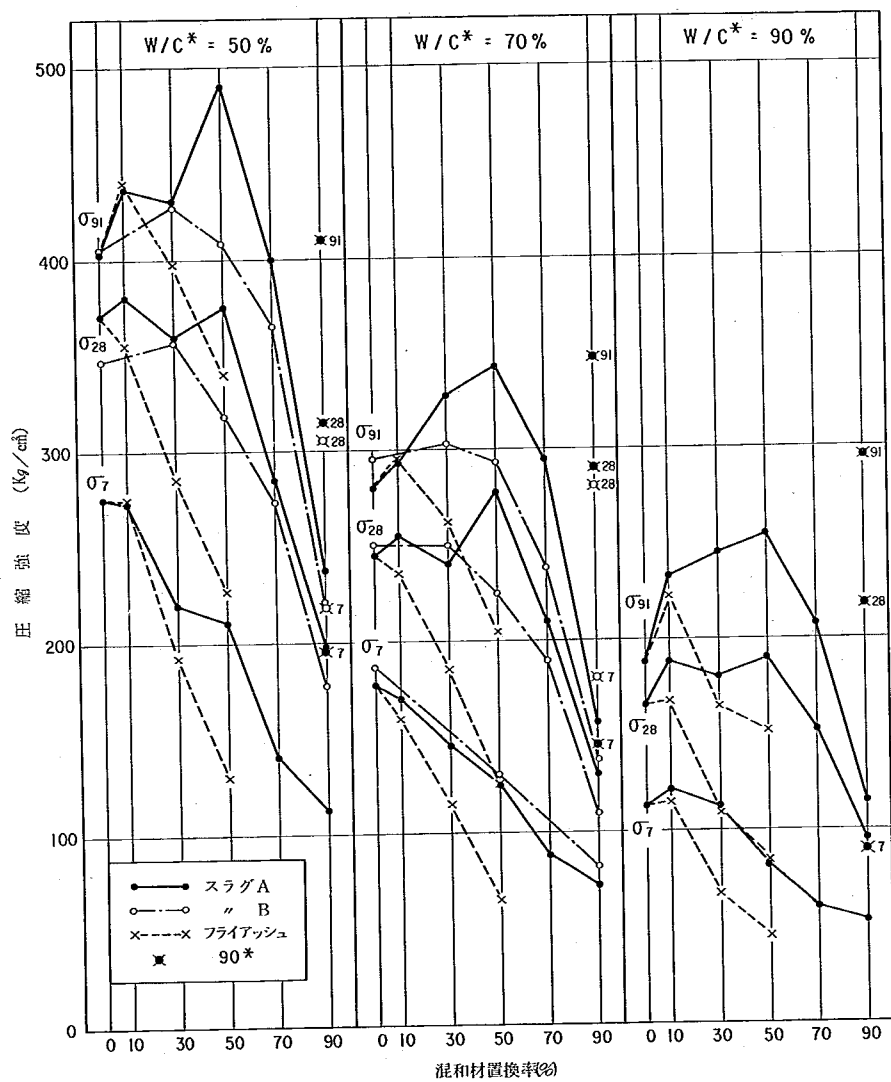
図Ⅱ-10 混和剤量一定の場合の連行空気量



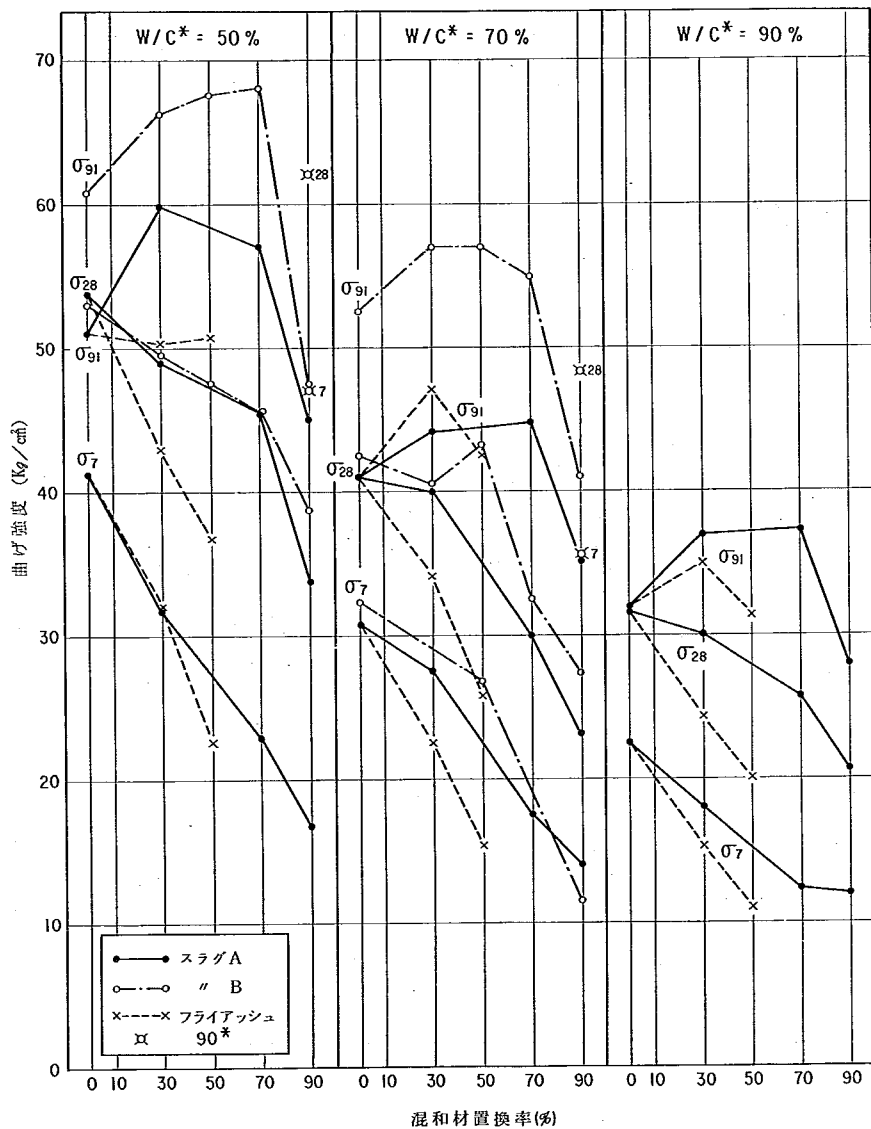
図Ⅱ-11 スランプ一定 (8±1cm) の場合の単位水量 (表-23より)



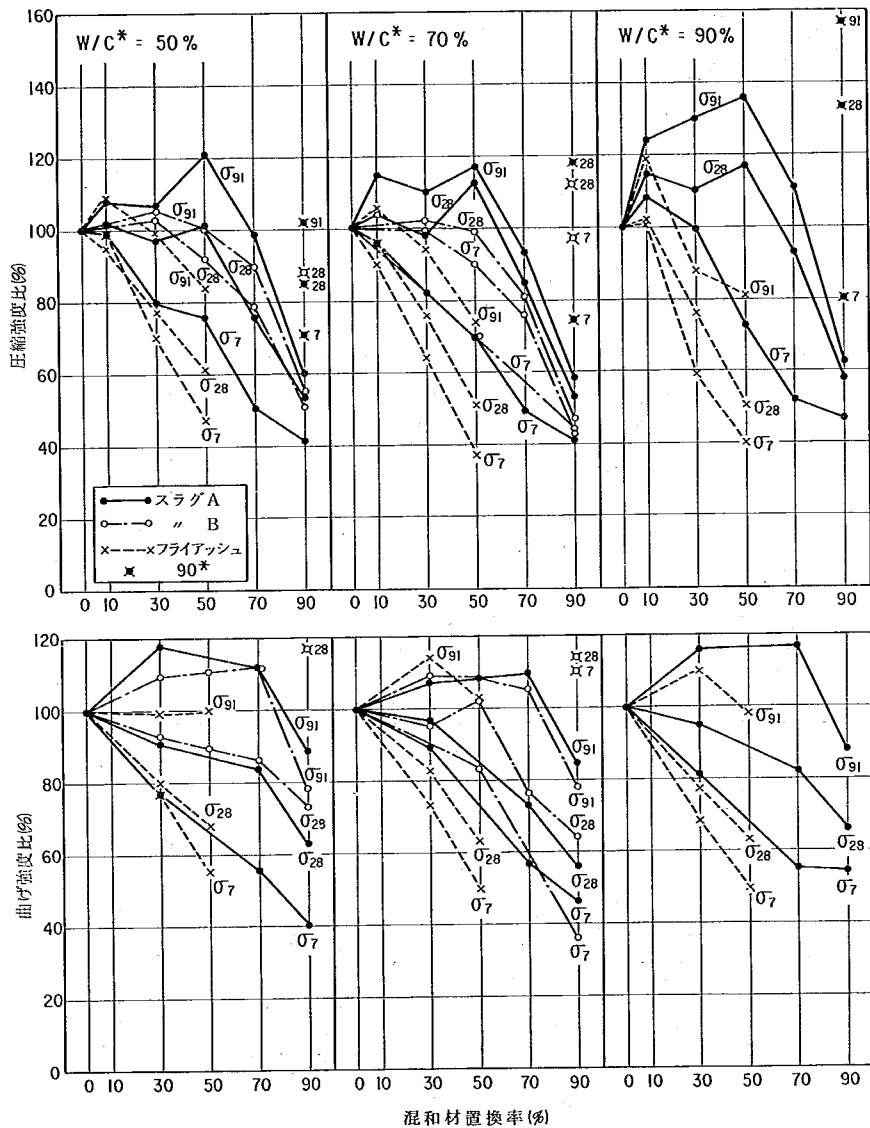
図Ⅱ-12 空気量一定(4±0.5%)の場合の単位混和剤量(表Ⅱ-23より)



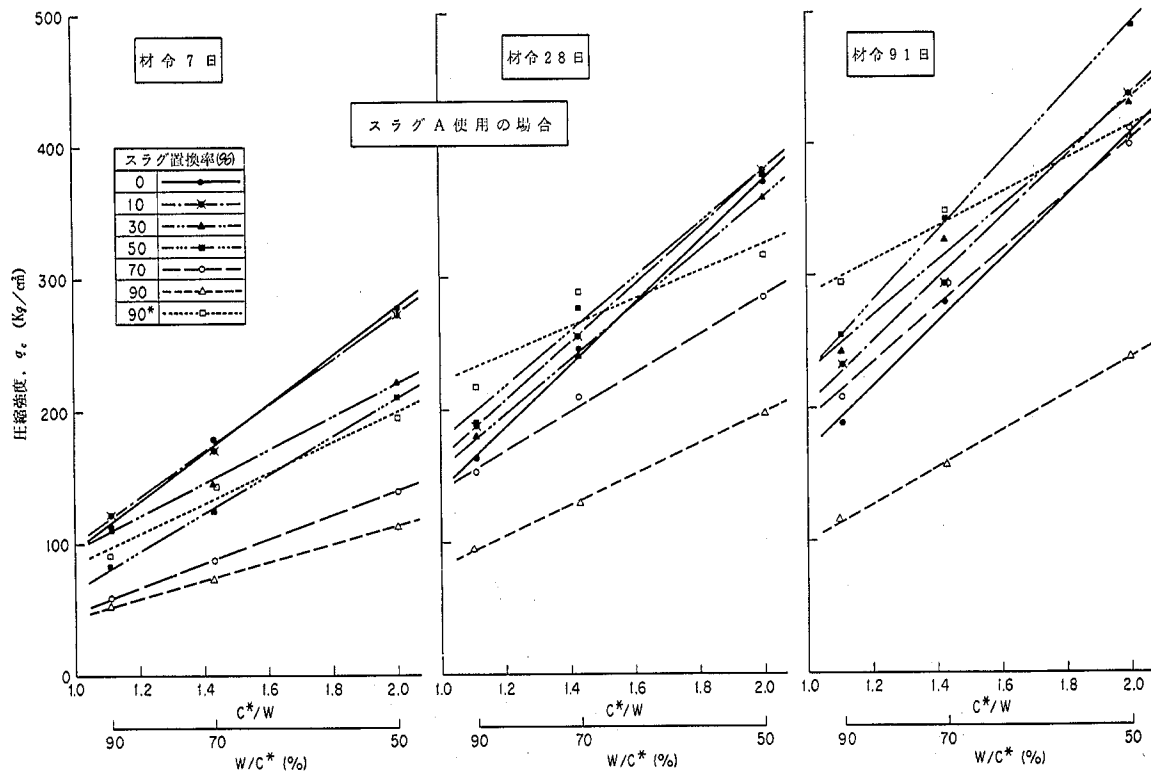
図II-13 圧縮強度



図II-14 曲げ強度



図Ⅱ-15 混和材を用いたコンクリートの強度化



図II-16 $C/W \sim \sigma_c$ 関係 (スラグ A)

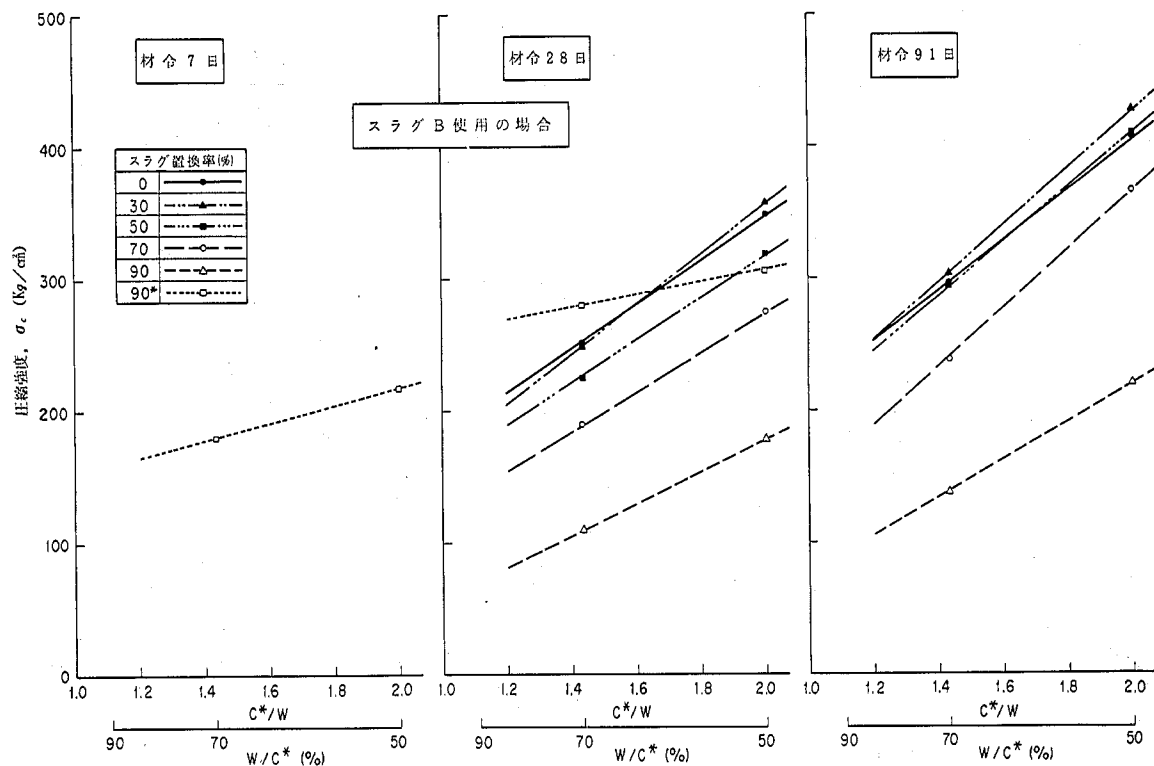


図 II - 17 $C^*/W \sim \sigma_c$ 関係 (スラグ B)

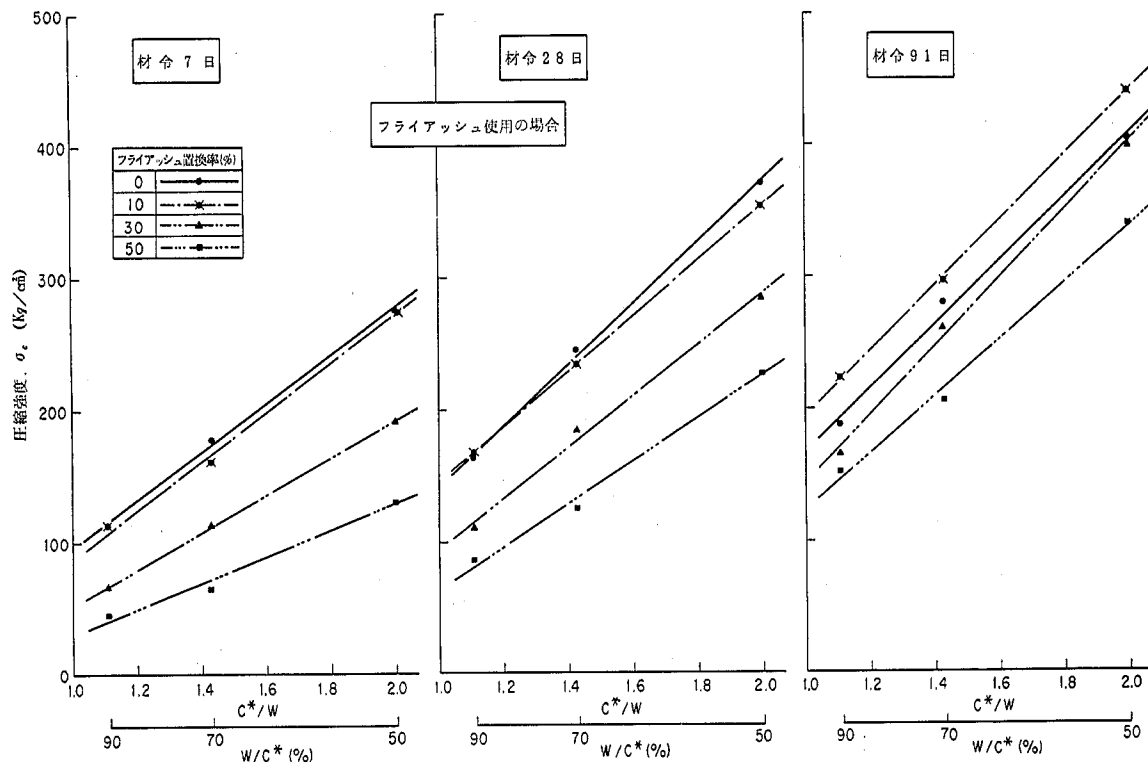
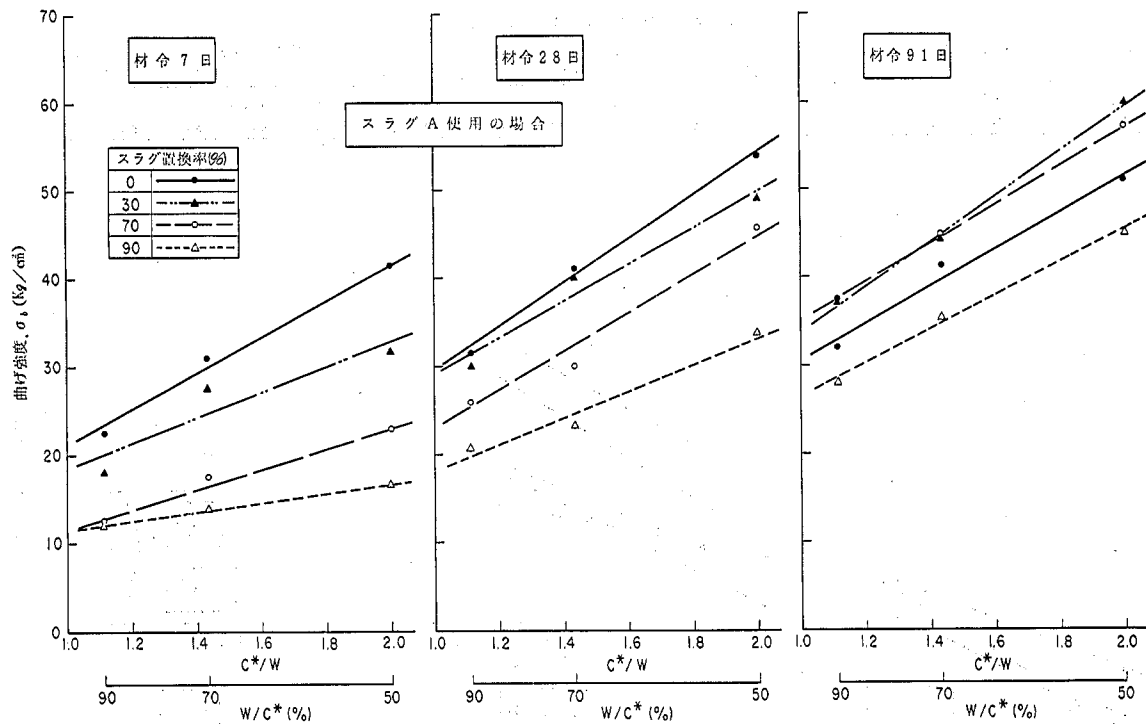
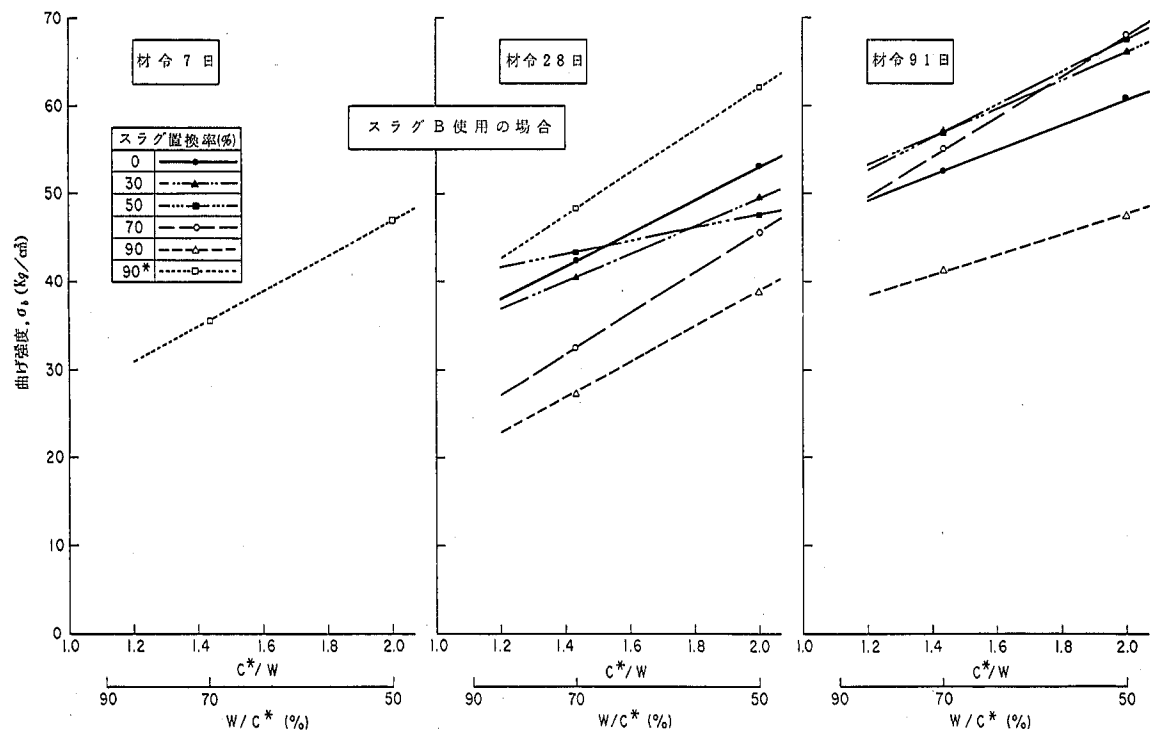


図 II-18 $C/W \sim \sigma_c$ 関係 (フライアッシュ)



図Ⅱ-19 C/W $\sim\sigma_c$ 関係 (スラグ A)



図Ⅱ-20 $C/W \sim \sigma_s$ 関係 (スラグ B)

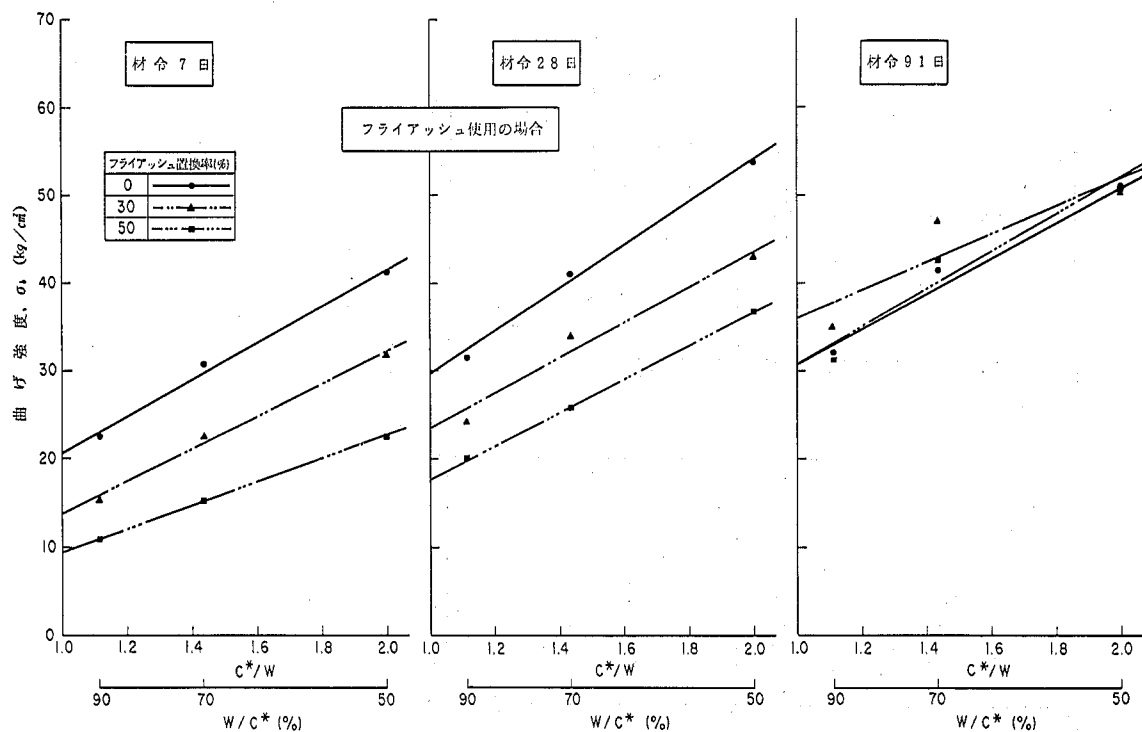


図 II-2.1 $C/W \sim \sigma_c$ 関係 (フライアッシュ)

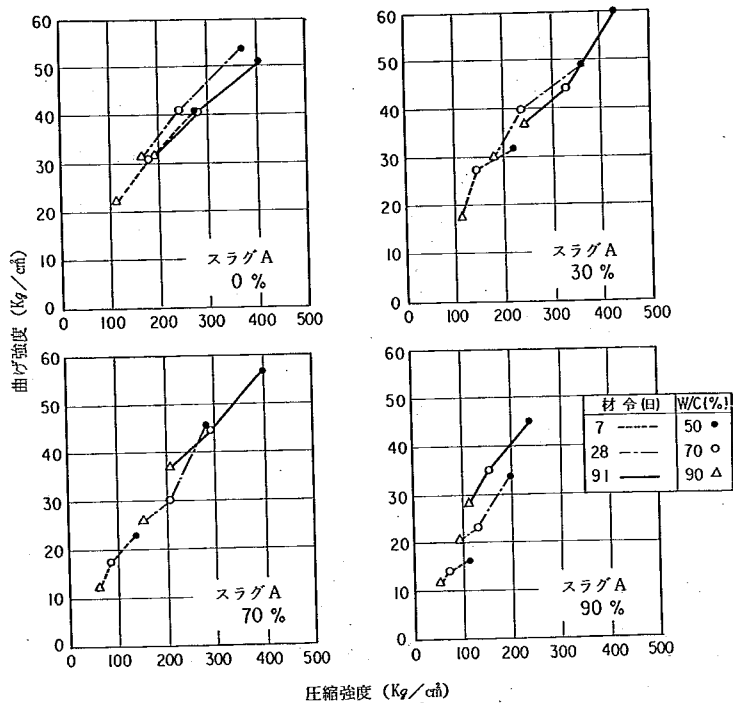
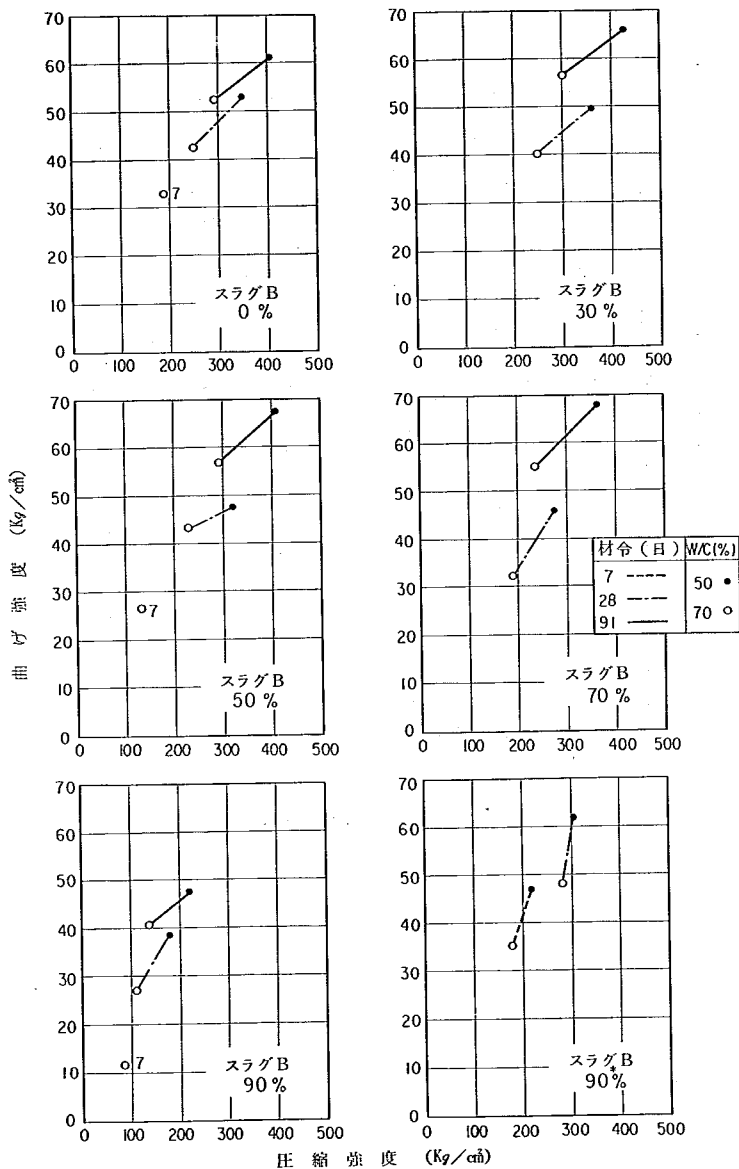
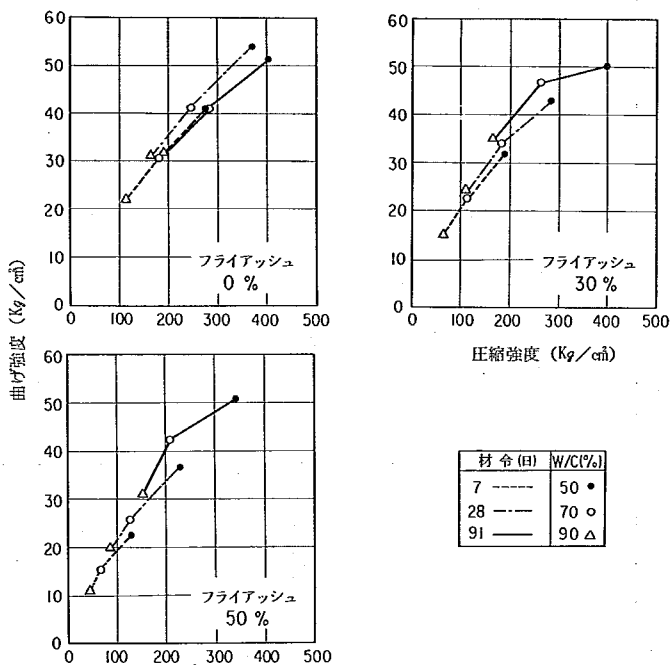


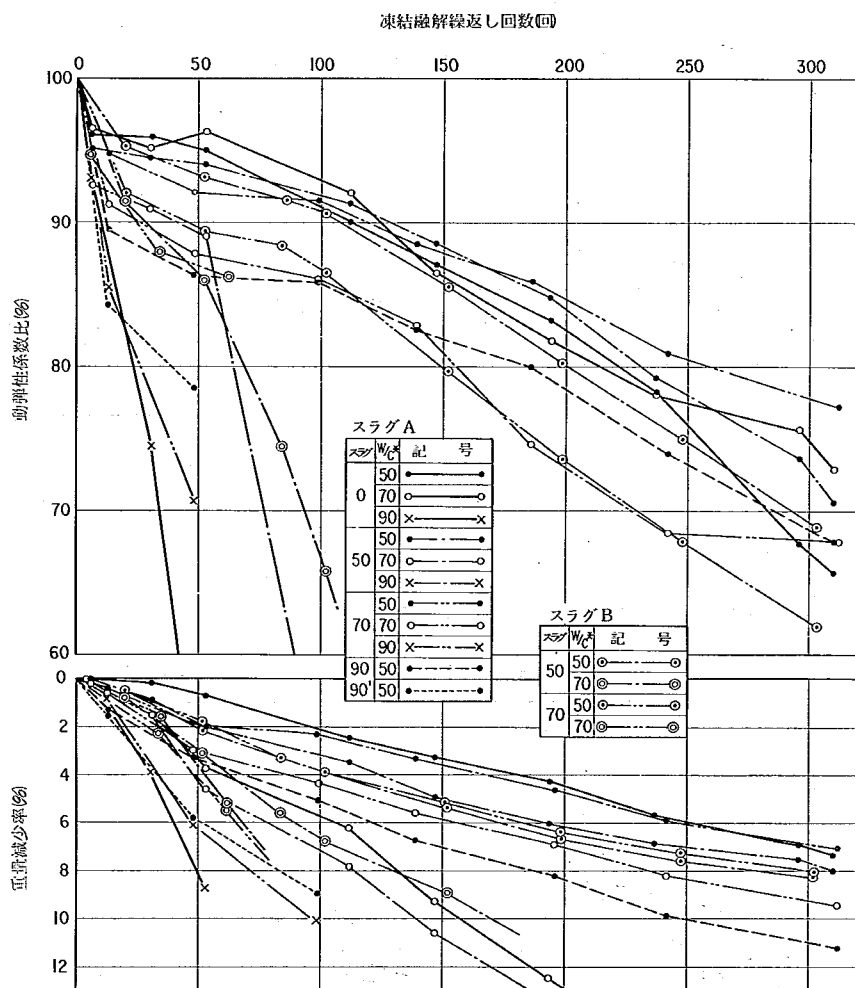
図 11-22 圧縮強度と曲げ強度の関係



図Ⅱ-23 圧縮強度と曲げ強度の関係



図Ⅱ-24 圧縮強度と曲げ強度の関係



図Ⅱ-25 凍結融解の繰返しに伴う動弾性係数および重量の変化

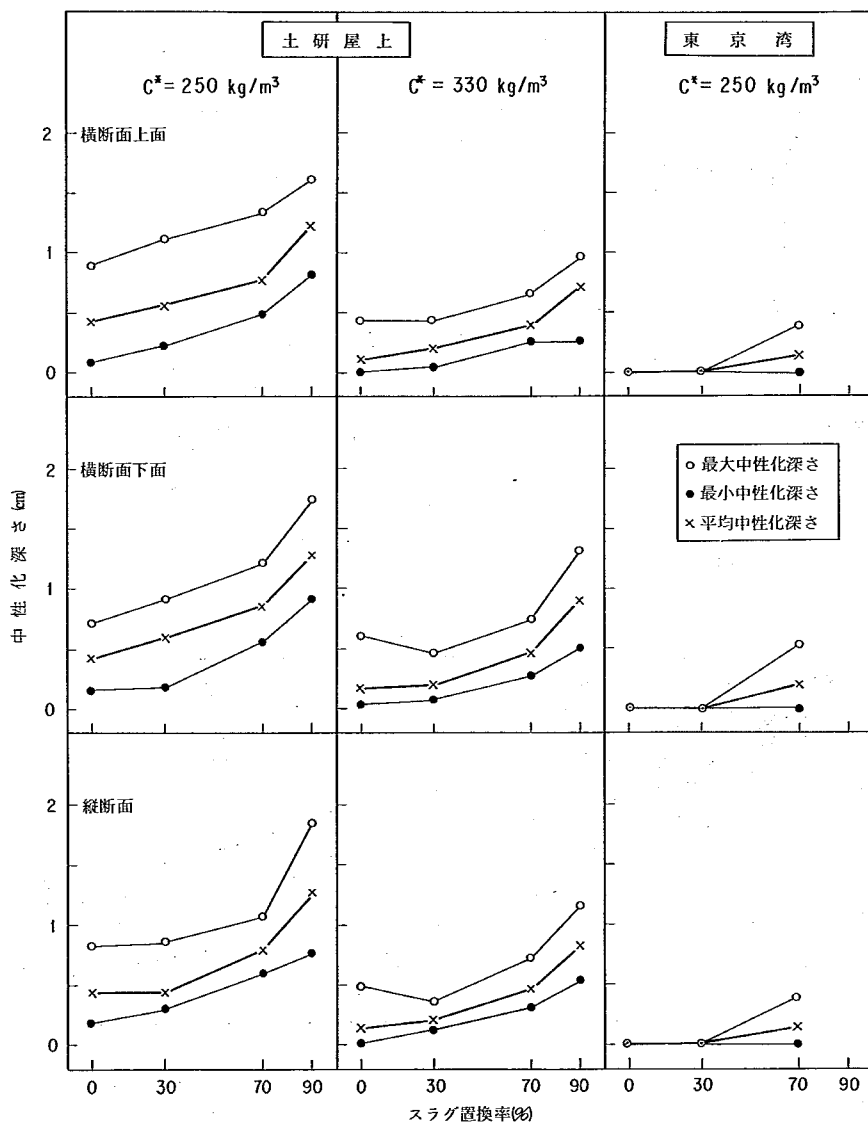
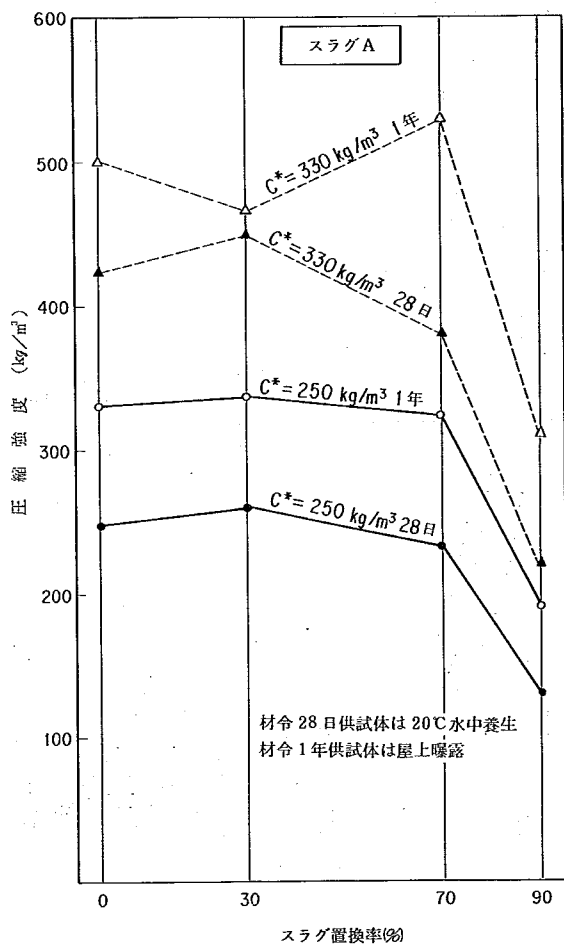
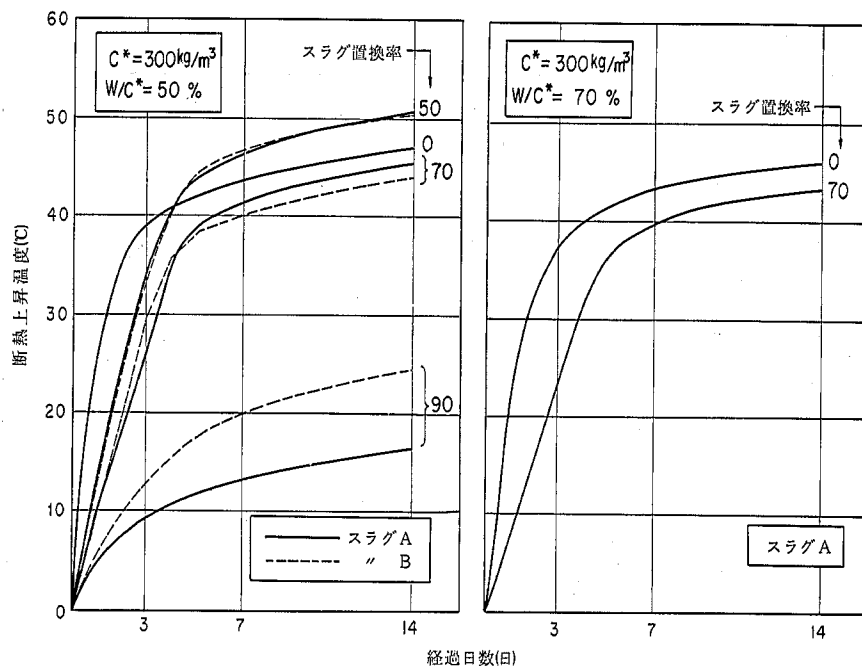


図11-26 中性化深さ



図Ⅱ-27 圧縮強度



図Ⅱ-28 断熱上昇温度

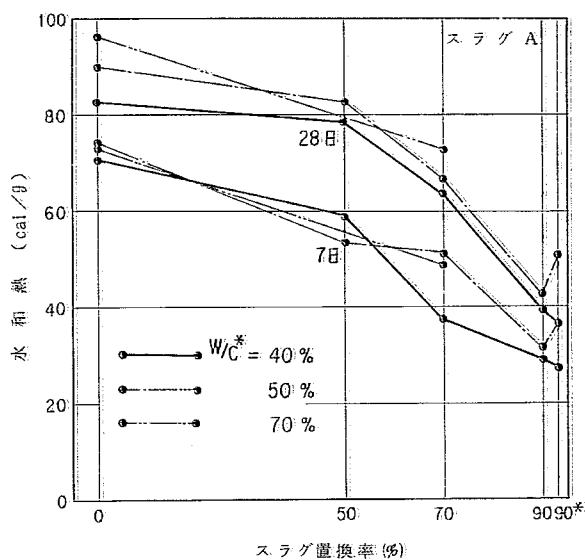


図11-29 [セメント+スラグ]の水和熱