

シミズ・コンクリート強度管理システムの研究・開発

桑 原 隆 司

(技術研究所)

西 田 朗

(技術研究所)

森 永 繁

(技術研究所)

§ 1. はじめに

コンクリート構造物に対する社会のニーズの高度化と多様化に伴って、多様な断面寸法で、様々な温度特性や強度特性をもつコンクリートが必要となり、施工されるようになってきている。

これに伴い、コンクリート構造物の所要品質を確実に確保するために、これまで以上に合理的で的確な品質管理手法が要求されるようになってきている。

従来の一般的なコンクリートの品質管理方法では、外気温度または20℃の水槽中に置かれた小さなコンクリート供試体によって構造物の品質を推定し、管理することになる。しかし、この方法では、コンクリートが硬化するときに発生する反応熱（水和熱）が供試体から水槽中に逃げってしまうことなどから、実際の構造物では所要の強度が確保されているにもかかわらず、供試体の試験結果では強度不足と判定されるなど、的確な品質管理が困難となる場合がしばしばある¹⁾。

このため、筆者らは多様な断面寸法で、様々な温度特性や強度特性を有するコンクリートの合理的で的確な品質管理を目的として、「シミズ・コンクリート強度管理システム」などを研究・開発し、良好な施工管理の結果を得つつあるので、以下にその研究・開発の概要を紹介する。

§ 2. コンクリート構造物の品質予測システムの研究・開発

2.1 コンクリート構造物の温度変化と強度発現

建築構造物などで使用されるコンクリート構造物は、従来は中層の事務所、店舗ビルや共同住宅など中小規模のものが一般的であった。しかし、近年の社会ニーズの高度化や多様化に伴い、高層建築物、地下構造物、大空間を確保するための大規模構造物や大型基礎など、様々

な用途に幅広くコンクリート構造物が使用されるようになってきている。

これに伴って、多様な断面寸法で、様々な温度特性や強度特性を有するコンクリートが使用されるようになってきている。これらのコンクリート構造物では、所要の断面寸法や強度などの相違によってコンクリート施工後のセメントと水の反応熱が、図-1に一例を示す²⁾ように、様々な形で構造物内部に蓄積し、温度の上昇とその後の降下などの温度変化を示す。

その結果、コンクリート構造物ではしばしば、図-2

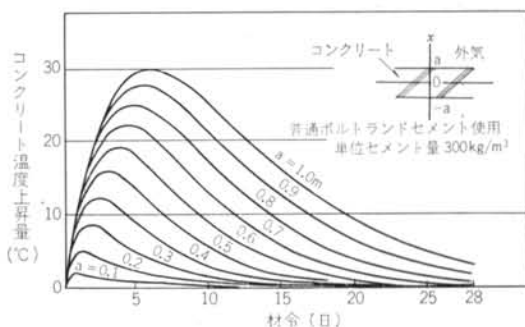


図-1 部材の厚さによる無限平板の中心温度²⁾

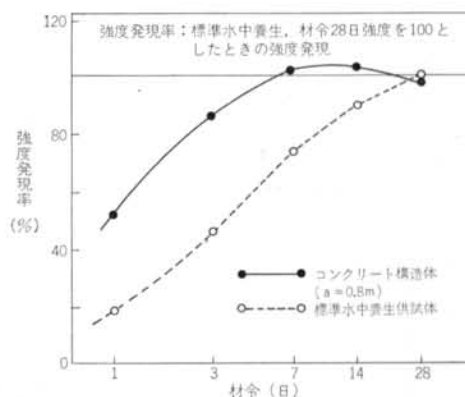


図-2 コンクリート構造物と標準水中養生供試体の強度発現の関係の一例²⁾

に一例を示すよう³⁾に、水槽中のコンクリート供試体とは大きく異なる強度発現を示すことになる。例えば、図-2によると、コンクリート打込み後1~3日目における構造体コンクリートの強度は、水槽中の供試体で知ることができる強度の2倍またはそれ以上の大きな値を示していることが分かる。

このようなコンクリート構造体の多様な温度変化や強度発現の状態を、設計段階や施工計画段階において合理的かつ的確に予測して、所要の品質を確実に確保することを目的として「コンクリート構造物の品質予測システム」の研究・開発を進めた。

2.2 コンクリート構造物の品質予測システム

2.2.1 品質予測システムの概要

コンクリート構造物の品質予測システムの概要を、図-3と写真-1に示す。

品質予測システムは「コンクリート構造物の熱的シミュレーション・システム」と「構造体強度管理システム」を中心に構成されている。本システムを使用することにより、大規模な屋外施工実験などを行なうことなく、室内で設計段階や施工計画段階におけるコンクリート構造物の品質を適切に予測し、必要に応じて品質の調整を行なうことが可能となる。

2.2.2 コンクリート構造物の熱的シミュレーション・システム

1) システム概要

図-3の実施工コンクリート構造物のモデル図に示したように、コンクリート構造物は一般にある1方向に最小部材寸法 W をもち、他の2方向には W に比べて十分に

大きな寸法を示すケースが一般的である。

ここで、最小部材寸法方向のコンクリートの棒状モデルを考え、その両端面に型枠や露出などの施工時の条件をそのまま与えて、コンクリートに水和による発熱や熱伝導、熱伝達挙動を実行させることができれば、コンクリートのモデルは自動的に最小部材方向の温度変化や温度分布の状態を示すことになる。

すなわち、上記のモデルを具体化できれば、屋外におけるコンクリート構造体の実大実験を行なうことなく、また熱的諸特性値を実験、調査して解析作業を進めることなく、直接にコンクリート構造体の温度変化の状態が予測できる。

ここに、上記のモデルを具体化およびシステム化したのが「コンクリート構造物の熱的シミュレーション・システム」である。

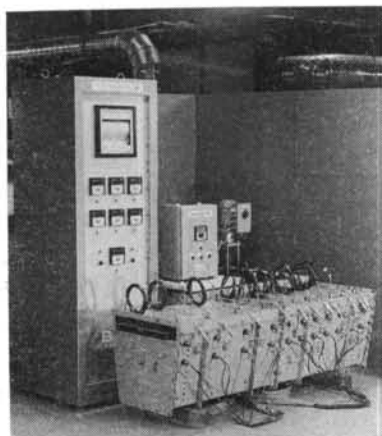


写真-1 コンクリート構造物の品質予測システム

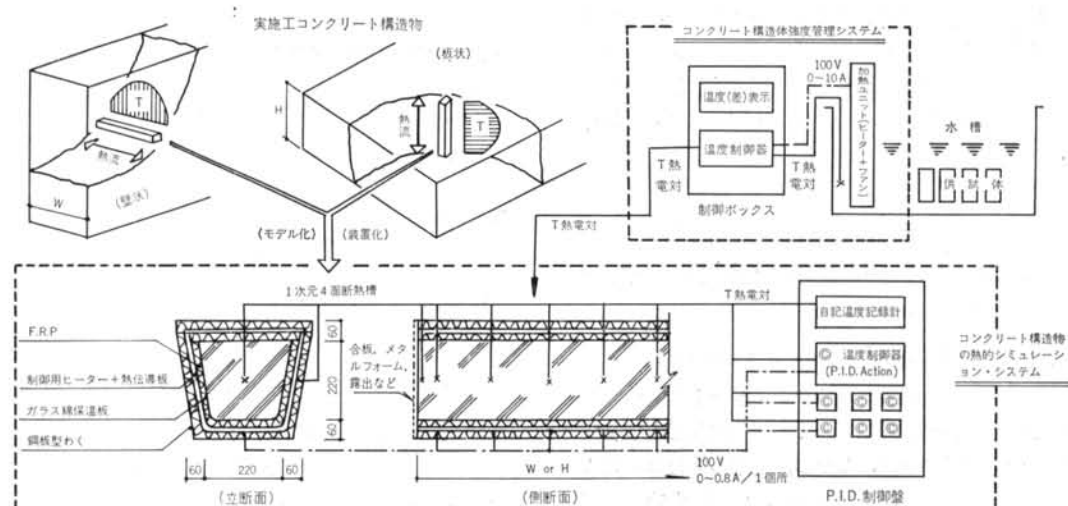


図-3 コンクリート構造物の品質予測システム

2) 熱的シミュレーション・システム

上記の構想に基づいて製作した熱的シミュレーション・システムの状態を写真-2、写真-3に示す。

熱的シミュレーション・システムでは、図-3の4面断熱槽内へコンクリートを打込むことによって、断面が

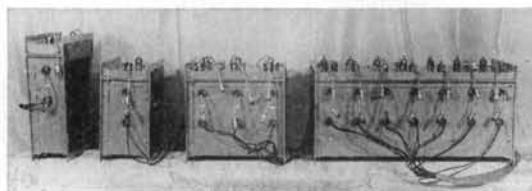


写真-2 コンクリート構造体の熱的シミュレーション・システム(1) (各種の4面断熱槽)

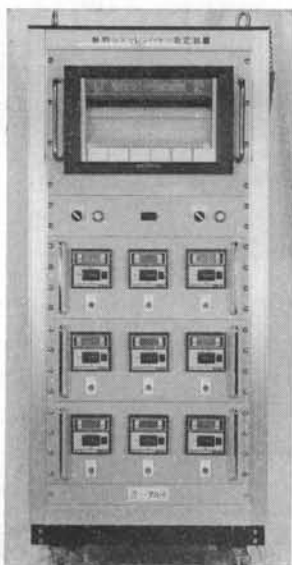


写真-3 コンクリート構造体の熱的シミュレーション・システム(2) (P.I.D.制御盤)

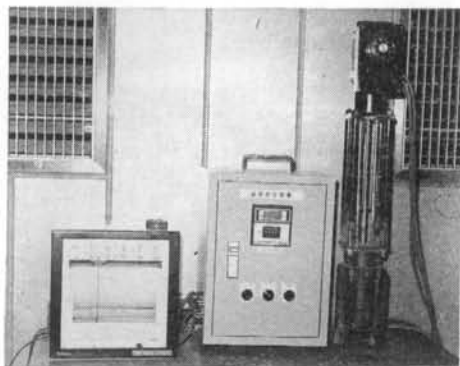


写真-4 コンクリート構造体強度管理システム (プロトタイプ機)

約 $22\text{ cm} \times 22\text{ cm}$ の棒状コンクリートが成型され、棒状コンクリートの内部温度と周囲4面の温度条件が常に一致するように、自動制御 (Proportional plus Integral plus Derivative Action) が行なわれる。温度の制御は、棒状コンクリートの内部温度を温度制御器 (P. I. D. Action) が熱電対で検知し、4面断熱槽内の制御用ヒーターと熱伝導板に、検知した温度と同一の条件をリアルタイムで作るよう指示を出すことによって行なわれる。このため、4面断熱槽内では棒状コンクリート周囲4面の方向への熱の移動はいっさい生じない状態が作られ、槽内のコンクリートは自動的に水和による発熱と、長手方向 (最小部材厚方向) の熱伝導、熱伝達挙動を実行する。

以上の結果、図-3の4面断熱槽内へ試験用コンクリートを打込むことによって、コンクリート構造体の水和による発熱と熱伝導、熱伝達挙動が自動的にシミュレートでき、また経時的な温度変化の状態や温度分布の状態の予測値が直接入手できる。

2.2.3 コンクリート構造体強度管理システム

1) システム概要

コンクリート構造体の強度発現が水槽中のコンクリート供試体と相違する主要な原因の一つは、コンクリート部材では打込み直後からの温度上昇と、その後の温度降下などの温度変化を経験することにある。

このため、図-3に示したように、水槽中のコンクリート供試体に熱的シミュレーション・システムで予測したコンクリート構造体の温度変化の状態をそのまま再現させるように装置化、システム化を行なったのが「コンクリート構造体強度管理システム」である。

2) 強度管理システム

上記の構想に基づいて製作した強度管理システム・プロトタイプ機の状態を写真-4に示す。

図-3の強度管理システム中の制御ボックスと熱的シミュレーション・システムとの間を熱電対で接続することによって、制御ボックス内の温度制御器は熱的シミュレーション・システムが打出す構造体温度経過の予測値を検知する。そこで、温度制御器は検知した部材温度経過と同一の温度条件を、水槽内のコンクリート供試体にリアルタイムで与えるように加熱ユニットに対して指示を出す。

この結果、設計段階や施工計画段階において、水槽内のコンクリート供試体によってコンクリート構造体の品質を適切に予知することができる。

§ 3. 品質予測システムの有効性の検証と新工法開発へのシステム適用例

3.1 実大施工実験の概要

「コンクリート構造物の品質予測システム」の有効性を検証するために、夏期に東京で実大コンクリート構造体の屋外施工実験を行なった⁴⁾⁵⁾。

施工実験概要を、以下に示す。

3.1.1 コンクリートの調合

コンクリートに使用した材料を以下の(i)~(iv)に、コンクリートの調合を表一に示す。なお、本実験で使用したコンクリートはレデーミクストコンクリートで、呼び強度は225 kgf/cm²に相当する。また、実大試験体へのコンクリートの打込みはコンクリートポンプで行なった。

(i)セメント：普通ポルトランドセメント，比重 3.16

(ii)細骨材：山砂，最大寸法 2.5 mm，表乾比重 2.60

(iii)粗骨材：碎石，最大寸法 20 mm，表乾比重 2.67

(iv)混和剤：AE 減水剤

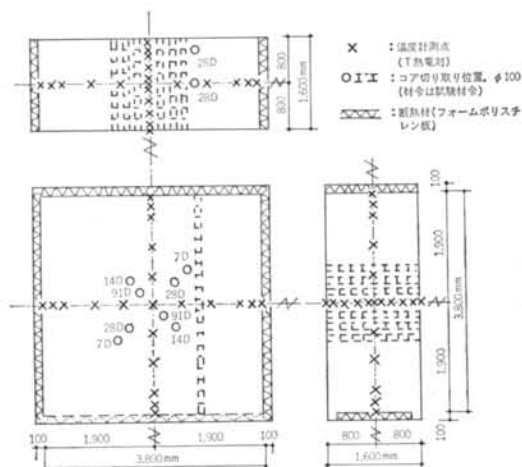
3.1.2 実大試験体の形状寸法と試験箇所

試験体は、大型の構造用コンクリート部材の施工を想定して、最小部材寸法が1,600 mmの壁状コンクリート構造物とした。実大のコンクリート試験体の形状寸法と温度計測点、およびコア供試体の切り取り位置を一括して図一に示す。

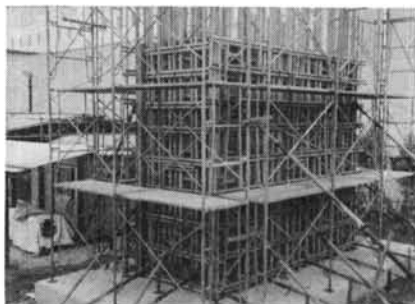
試験体寸法は、厚さが1,600mm，幅と高さ3,800mmで、

水セメント比 (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	細骨材率 (%)	単水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)		
					セメント	砂	砂利
56.6	15	4	45.3	170	300	819	1,012

表一 コンクリートの調合



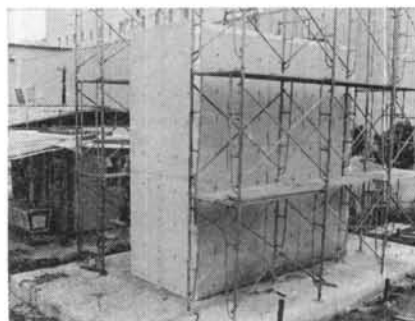
図一 実大試験体の形状寸法と試験箇所



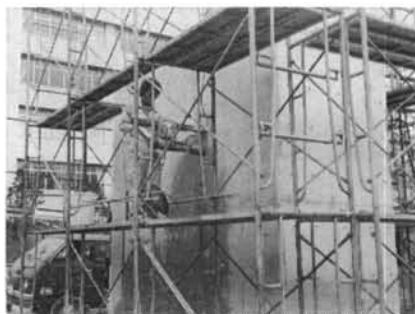
写真一五 実大試験体用の型枠組立て



写真一六 実大実験におけるコンクリートの打込み



写真一七 実大試験体の状態



写真一八 実大試験体のコア供試体の切り取り

幅と高さ方向の境界面には厚さが100mmの断熱材を張り付けた。また、型枠には厚さが18mmの合板パネルを使用し、材令3日でこれを取り外した。

3.1.3 実験方法

1) 実大試験体の実験

実大試験体のコンクリート打込み後の温度経過、温度分布状態を図-4の計測点で測定記録した。

また、実大試験体から最小部材厚方向のコアを切り取り、圧縮強度試験を行なった。

2) 熱的シミュレーション・システム

コンクリート構造物の熱的シミュレーション・システムの4面断熱槽に、実大試験体と同一のコンクリートを打込み、発熱、熱伝導、熱伝達挙動のシミュレーションを実行させて、部材温度経過の予測値を記録させた。

シミュレーション・システムが打出す予測値と、実大試験体の最小部材厚方向の温度経過とを照合することによって、システムの予測精度、有効性が確認できる。

3) 強度管理システム

実大コンクリート試験体の最小部材厚方向の表面部および中心部と、コンクリート構造物強度管理システムの制御ボックスとを熱電対で接続して、2台の強度管理用水槽内の供試体にそれぞれの部位の温度経過を与え、強度発現を捉らえた。

強度管理用水槽内供試体の温度経過および強度発現と実大試験体の温度経過および強度発現とを対比させることによって、強度管理システムの有効性が確認できる。

実大実験の状況を写真-5～写真-8に示す。

3.2 実大実験結果に基づく品質予測システムの有効性の検証

3.2.1 コンクリート構造物の熱的シミュレーション・システムの有効性の検証

実大マスコンクリート試験体の部材内部および表面部の経時的な温度経過の実測値と、熱的シミュレーション

・システムが打出した部材温度経過の予測値との関係を図-5で対比させる⁶⁾。

また、実大試験体の最小部材厚方向の温度分布状態の実測値と、シミュレーション・システムによる予測値との関係を図-6で対比させる。

図-5によると、実大試験体中心部の最高温度がコンクリート打込み後45時間で72.8℃を示しているのに対し、シミュレーション・システムによる予測値は45時間後に71.6℃を示している。すなわち、両者が最高温度を示す材令は一致し、温度の予測誤差は1.2℃である。

また、実大試験体表面部では、コンクリート打込み後48時間で50.7℃の最高温度を示しているのに対し、予測値は51時間後に50.2℃を示している。すなわち、表面部が最高温度を示す材令の予測誤差は3時間で、最高温度の予測誤差は0.5℃であった。

図-5、図-6によると、温度上昇初期と温度降下がか

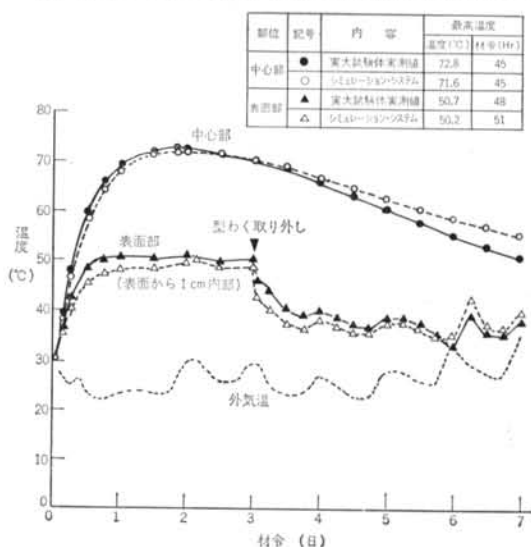


図-5 実大試験体の実測値とシミュレーション・システムによる予測値との関係(温度履歴)

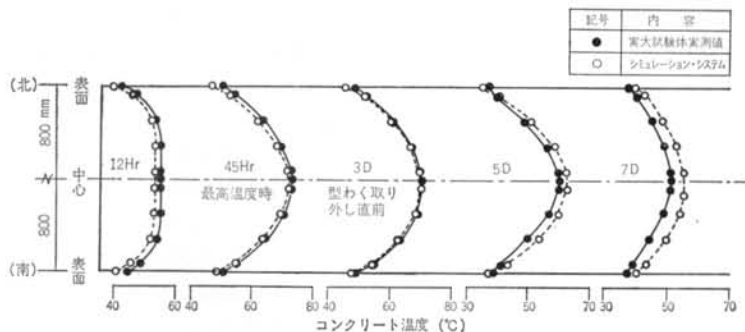
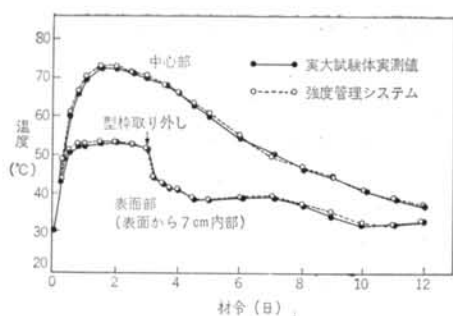
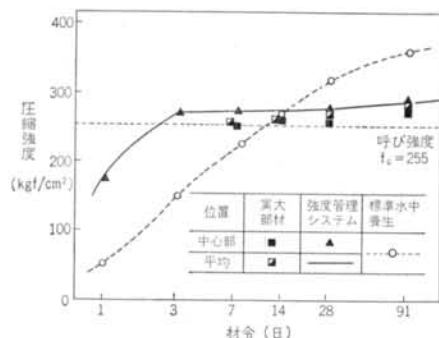


図-6 実大試験体の実測値とシミュレーション・システムによる予測値との関係(温度分布)



図一 7 実大試験体と強度管理システムの温度履歴の関係



図一 8 コンクリートの強度発現

なり進行した時期などに若干の予測誤差を生じてはいるが、シミュレーション・システムによる予測値は、実大試験体の経時的な温度経過や温度分布状態の推移をきわめて的確に捉えることが分かる。

これらのことから、コンクリートの熱的シミュレーション・システムは、実大コンクリート構造体の発熱、熱伝導、熱伝達挙動を的確にシミュレートして、部材の経時的な温度経過や温度分布状態の推移を有効に予測できるものと判断される。

3.2.2 コンクリート構造体強度管理システムの有効性の検証

1) 強度管理システムの実大コンクリート部材に対する制御精度

コンクリートの強度管理システムが水槽内の供試体に与えた温度経過と、実大試験体の温度経過の実測値との関係を図一 7 に示す⁶⁾。

図一 7 によると、水槽内供試体に与えた温度経過は、温度上昇期、温度降下期や型枠の取り外しなどにかかわらず、実大マスコンクリート試験体の温度経過の実測値に適切に対応していることが確認できる。

2) コンクリートの強度発現に関する検討

実大試験体の最小部材厚方向コア供試体の強度試験結果と、強度管理システムによる養生を行なった供試体および標準水中養生を行なった供試体の強度試験結果を図

一 8 に示す⁶⁾。

実験結果によると、コンクリート構造体の強度発現と常温下の水槽中（標準水中養生）の供試体の強度発現は著しく相違しているが、強度管理システムによって供試体の管理を行なうことによって、コンクリート構造体の強度発現が適切に管理できることが確認される。すなわち、コンクリートの強度管理システムによって供試体の管理を行なうことにより、コンクリート構造体の強度が的確に管理できることが分かる。

3.3 品質予測システムの新工法開発への適用例

前節までの検討結果により、本研究・開発で試作したコンクリート構造体の品質予測システムが実用上問題のない精度で、適切にコンクリート構造体の温度特性や強度発現等の品質を予測できることが明らかになった。

これらの検討結果を踏まえて、本システムは各種コンクリート構造体の品質特性の予測・検討や、新工法開発に伴う効果の予知などを目的として使用されつつある。

本節では、それらの適用例の中から、当社と東京ガス㈱および東京冷熱㈱の共同研究で工法開発を進めた「サンドブレイク工法」の場合における本システム適用例を示す。

3.3.1 サンドブレイク工法の概要

サンドブレイク工法の概要を図一 9 に、同工法によるコンクリートの製造概要を図一 10 に示す⁷⁾⁸⁾。

サンドブレイク工法では、コンクリートの練り混ぜ直前に主材料の一つである砂を攪拌しながら、 -196°C の液体窒素を噴入してマイナス数十度に冷却した砂を製造し、その砂を使用してコンクリートを練り混ぜる。

これにより、大幅なブレイキング（コンクリートの打込み温度の低減）が可能となり、外気温の変化などに関係なく、所定の練り上がり温度のコンクリートが容易にかつ効率的に得られる。

このコンクリートを用いることにより、マスコンクリートや暑中コンクリートなどにおける過大な温度上昇、およびコンクリートが高温にさらされる問題等が大幅に改善でき、温度ひびわれの制御や強度発現の改善などに多くの効果が期待される。

3.3.2 品質予測システムの適用によるサンドブレイク工法の効果の把握

3.3.1 で概要を示したサンドブレイク工法の開発に際し、同工法で製造したコンクリートを、マスコンクリート構造体に使用した場合の効果の把握を目的として、品質予測システムによるシミュレーション実験を実施した⁹⁾¹⁰⁾。以下に、その概要を示す。

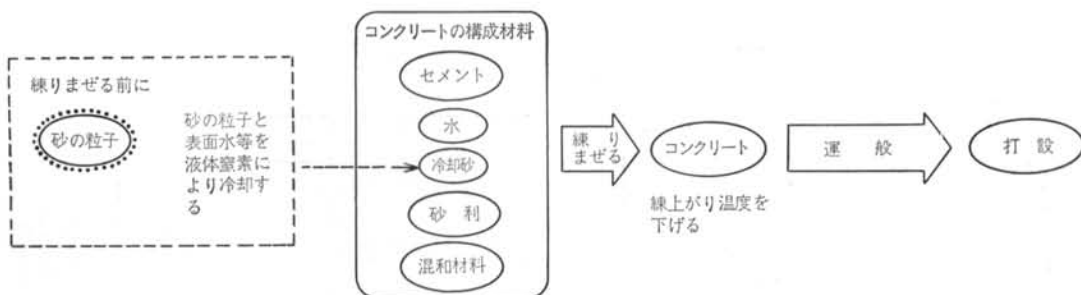


図-9 サンドブレーク工法の概要⁷⁾

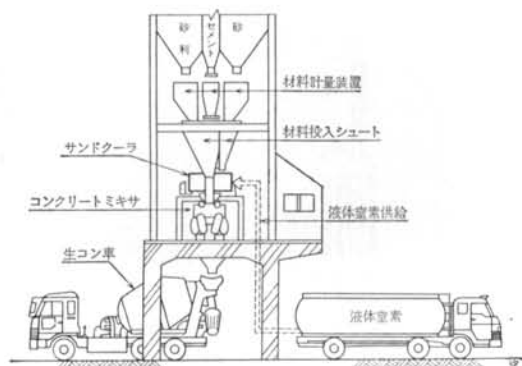


図-10 サンドブレーク工法によるコンクリートの製造概要⁷⁾

粗骨材 最大寸法 (mm)	目スランパ (cm)	目空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
25	15	4	52	40	155	298	733	1112

表-2 コンクリートの調査

1) 使用材料および調査

実験で使用した材料を以下に示す。また、コンクリートの調査を表-2に示す。

セメント：普通ポルトランドセメント（比重 3.16）

粗骨材：川砂利（比重 2.61）

細骨材：川砂（比重 2.58）

混和剤：AE 剤

2) 冷却砂の製造方法

冷却砂は、骨材に -196°C の液体窒素を噴入することによって製造した。すなわち、まず表面水を調整した細骨材をミキサに投入し、次に細骨材を攪拌しながら液体窒素を所定量噴入した。

なお、本実験では冷却砂を使用したコンクリートの練り上がり時の温度が、常温のコンクリートよりも約 10°C 低減するように液体窒素の噴入量を定めた。

3) 実験方法

常温下で製造したコンクリートと冷却砂を用いて製造

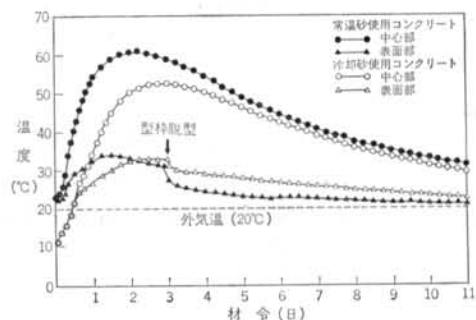


図-11 ブレーキングが温度履歴に与える効果

したコンクリートを、図-3の熱的シミュレーション・システムに打込み、コンクリート打込み後の温度履歴を予測した。なお、実験では最小部材寸法 1,600mm の壁状マスコンクリート構造体を想定した。

また同時に、得られた温度履歴と同一の温度条件を強度管理システムによって水槽内のコンクリート供試体に与え、マスコンクリート構造体の強度発現の予測を行った。

4) 実験結果に基づく効果の把握

(a) 温度面における効果

常温砂を用いて製造したコンクリートと、冷却砂を用いてブレーキングを行なったコンクリートのマスコンクリートとしての温度履歴の比較を図-11に示す。図-11によると、常温で打込んだマスコンクリートの最高温度が 60.0°C であるのに対して、冷却砂を用いてブレーキングを行なったマスコンクリートの最高温度は 52.6°C となっており、ブレーキングによる最高温度の低減効果が大きいことが分かる。また、これに伴ってブレーキングを行なったマスコンクリートでは、温度上昇期や温度下降期の温度変化速度が緩やかになるとともに、部材中心部と表面部の温度差も小さくなっている。これらのことから、冷却砂を用いてブレーキングを行なったコンクリートは、マスコンクリートの温度ひびわれ制御に対して効果があるものと判断される。

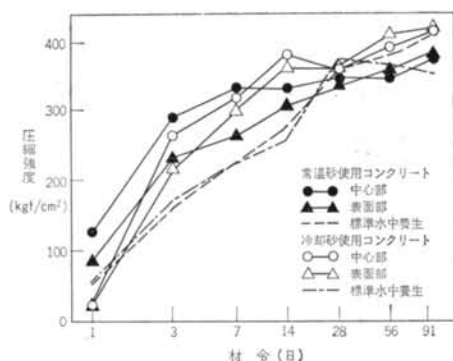


図-12 プレクーリングが強度発現に与える影響

(b)強度面における効果

常温で打込んだマスコンクリートと、冷却砂を用いてプレクーリングを行なったマスコンクリートの強度発現の比較を図-12に示す。この図によると、冷却砂を用いたマスコンクリートの圧縮強度は、部材の中心部、表面部とも材令7日程度までは常温砂を用いた場合よりも若干小さい値を示しているが、材令14日以降長期材令に向かっては常温砂を用いた場合の圧縮強度よりも高い値を示しており、プレクーリングが特に長期材令における強度発現の改善に効果的であることが分かる。

§ 4. シミズ・コンクリート強度管理システムの提案と建設工事への適用

4.1 シミズ・コンクリート強度管理システムの提案

実施工コンクリート構造物の品質管理では、構造物コンクリートの強度管理が重要かつ基本的な事項となる。

ここで、§2.に示した「コンクリート構造物の品質管理システム」は、構造物の品質を設計・施工計画段階で的確に予測するための室内用の実験システムであるが、このシステムの中の「強度管理システム」の部分屋外における実際の建設工事に対応できるように改良・実用化を図れば、実施工時の強度管理に適用が可能となる。

このような考えに基づき、実施工コンクリート構造物の合理的で的確な強度管理の実現を目的として開発・実用化を行なったのが、「シミズ・コンクリート強度管理システム」である。システムの概念を図-13に、開発・実用化を行なったシミズ・コンクリート強度管理システムの状態を写真-9に示す。

実施工時のコンクリート構造物の強度管理では、写真-9の強度管理システムとコンクリート構造物との間を熱電対で接続することにより、図-13に示すようにコン

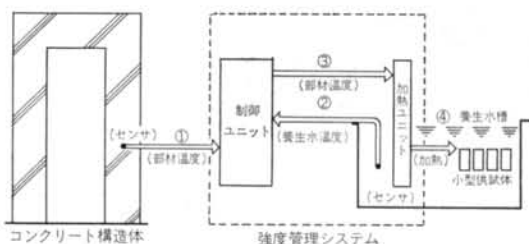


図-13 シミズ・コンクリート強度管理システムの概念図

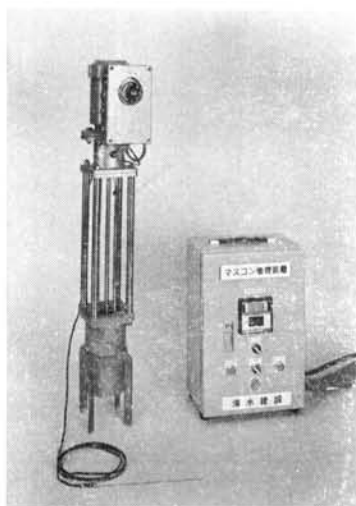


写真-9 シミズ・コンクリート強度管理システム

クリート構造物の温度履歴をリアルタイムで自動的に供試体を与えることができる。この供試体の圧縮強度試験を行なうことにより、構造物コンクリートの品質管理を的確に行なうことが可能となる。実施工コンクリート構造物の強度管理の状態を写真-10に示す。

なお、強度管理システムは、特に部材断面が大きいために水和熱が内部に蓄えられるマスコンクリート構造物や、セメントの使用量が多くなる高強度コンクリート構造物などへの適用が効果的である。また、寒中コンクリートや暑中コンクリートなど、特殊な温度環境下で施工するコンクリート構造物の合理的で的確な強度管理のためにも効果的である。

なお、強度管理システムの適用による具体的な効果としては、工期の短縮やコストの低減などが挙げられる。すなわち、システムの適用によって合理的かつ的確な強度管理が可能になるため、型枠や支保工を早い時期に適切に取り外して、次の工程に進むことができ、また常温下では強度発現が遅いために使用しにくい低コストの低熱型セメントを有効に使用することができるなど、工期

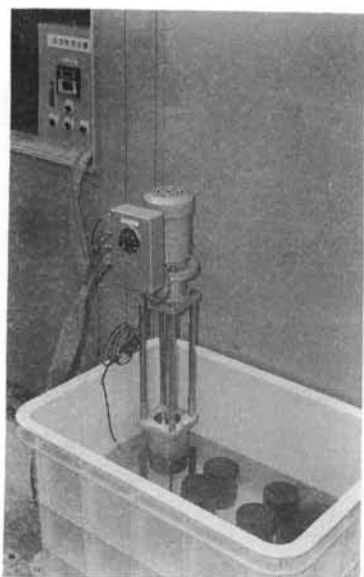


写真-10 強度管理システムによる管理状況

現場名	使用箇所	効果
JV 山一証券システムセンター	基礎部分	・低熱型セメント使用によるひびわれ制御、コストダウン
JV 新宿エルタワー	基礎部分	・山留め切梁の早期解体による工期短縮 ・低熱型セメント使用によるひびわれ制御、コストダウン
JV 中部電力金山変電所	基礎部分	・山留め切梁の早期解体による工期短縮
JV 吾妻橋高層RC住宅	基礎部分 躯体柱、梁	・基礎部分での低熱型セメント使用によるコストダウン ・柱、梁部分の型わく早期脱型による工期短縮
JV 光ヶ丘住都公団	基礎部分	・基礎部分での呼び強度変更によるコストダウン
JV 東京電力東扇島火力	T/G 架台	・支保工の早期解体による工期短縮

表-3 強度管理システムの主な適用実績

の短縮やコストの低減が可能となる。

強度管理システムをこれまでに適用した主な現場とその効果を表-3に示す。また、マスコンクリート構造物および高強度コンクリート構造物におけるシステム適用例を次節で報告する。

4.2 山一証券システムセンターにおけるマスコンクリート構造物への適用例¹⁾

マスコンクリート構造物では水和熱に起因する温度ひびわれの発生が問題となる。温度ひびわれ低減のための

一つの方法として、高炉セメントやフライアッシュセメント、中庸熱ポルトランドセメントなど水和熱の発生が少ない低熱型セメントの使用が効果的である。しかし、これらのセメントを用いた場合には、一般に普通ポルトランドセメントを用いた場合よりもコンクリートの強度発現が遅れるため、強度に問題があるとして使用が困難になる場合も少なくない。

本節では、これらの問題を合理的に解決する目的で、強度管理システムを用いてコンクリートの品質管理を行った山一証券システムセンターにおける施工例を報告する。

1) 構造物の施工概要

コンクリートの調査を表-4に示す。マスコンクリートの調査では、水和熱の発生を低減するために高炉スラグの分量を通常よりも多く（混入率55%）した高炉セメントB種を使用した。なお、比較のために普通ポルトランドセメントを用いた同一水セメント比のコンクリートの強度発現についても試験を行なった。

対象構造物は、地上5階、地下2階の事務所ビルで、マスコンクリート部分は平面約84×46mのRC造基礎構造部で、コンクリート量にして約3,600m³である。構造物外観を写真-11に示す。ここで、構造物強度の管理方法として強度管理システムを使用し、図-14に示す基礎梁の表面部温度を水槽内の供試体と与えた。また、同時に部材内部の温度履歴の測定を行なった。

2) 施工・品質管理の実施結果

マスコンクリート構造物の温度履歴の実測値を図-15に示す。コンクリート打込み後の部材中心部の温度上昇量は約30℃であり、最小部材厚が2mであることを考慮すると、低熱型セメントを使用したことによる温度的効果が認められる。なお、施工結果によると、実用上問題となるような温度ひびわれの発生はなかった。

強度管理システムによって構造物強度の管理を行なった結果と標準水中養生によるコンクリート供試体の強度発現との関係を図-16に示す。なお、普通ポルトランドセメントを使用した場合の標準水中養生下における強度発現率も併せて図-16に示す。図-16によると、標準水中養生下における高炉セメントB種（高炉スラグ混入率

セメントの種類	水セメント比 (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	単位重量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)		
					セメント	砂	砂利
高炉B種*	51.5	15	4	147	285	827	1068
普通ポルト	51.5	15	4	153	298	808	1041

(*: 高炉スラグの分量55%)

表-4 コンクリートの調査



写真-11 構造物外観

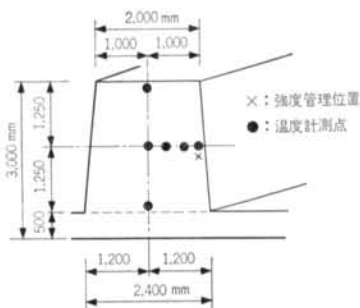


図-14 マスコンクリート構造体の形状寸法と計測箇所

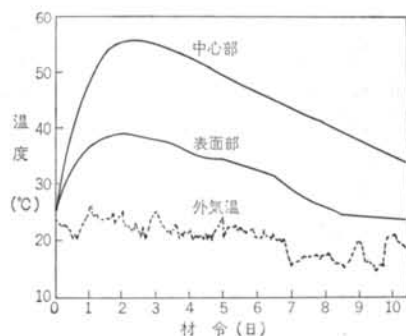


図-15 マスコンクリート構造体の温度履歴

55%)を用いたコンクリートの強度発現は、普通ポルトランドセメントを用いた場合よりもかなり遅れている。しかし、強度管理システムによって品質管理を行なった結果によると、マスコンクリート構造体ではコンクリート打込み直後から非正常な高温状態を履歴するために、構造体の強度発現は常温下の場合よりも著しく早く、また普通ポルトランドセメントを用いて標準水中養生を行なったコンクリートと比較しても、かなり早い強度発現傾向を示すものと判断された。

3) まとめ

マスコンクリート構造体の品質管理に強度管理システムを適用することにより、温度ひびわれの低減に有効に作用する低熱型セメントを効果的に用いることができた。

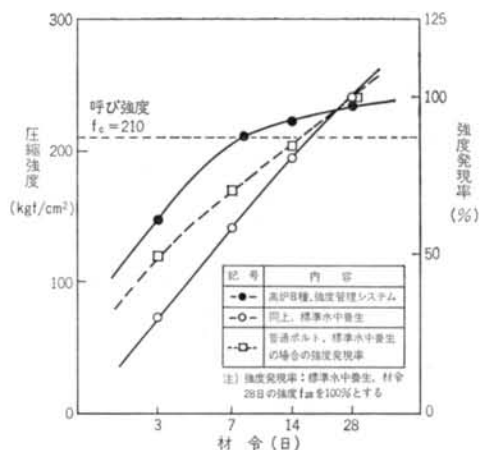


図-16 強度管理システムによる管理結果と標準水中養生との比較

た。また、コンクリート構造体の強度発現を早期に的確に把握することにより、合理的な品質管理を実現することができた。

4.3 吾妻橋一丁目団地住宅棟における高強度コンクリート構造物への適用例^{(2)~(4)}

高層、超高層鉄筋コンクリート構造物を建設するために、設計基準強度 420~480 kgf/cm² 程度の高強度コンクリートを使用する機会が増加している。こうした高強度コンクリートは、従来一般的に用いられているコンクリートよりも単位セメント量が増加し、また柱、梁等の比較的マッシブな部材に使用されるため、マスコンクリートの場合と同様にコンクリート打込み直後から非正常な高温状態を履歴するケースが多い。このため、実際の構造体では標準水中養生や現場水中養生を行なった供試体とは異なる強度発現を示す。

本節では、浅草の「吾妻橋一丁目団地住宅棟（民間）建設工事」において、高強度コンクリート構造物の合理的な品質管理を実現するために強度管理システムを適用した例を報告する。

1) 構造物の施工概要

実施工で使用した設計基準強度 420kgf/cm² のコンクリートの調査を図-5に示す。

対象構造物は、RC造、地上30階、地下2階の高層集合住宅で、設計基準強度 420kgf/cm² の高強度コンクリートを1~11階の柱、梁部分に使用した。部材の断面寸法は柱で 850×850 mm、梁で 850×650 mm である。構造物外観を写真-12に示す。ここで、構造体の強度管理に強度管理システムを使用し、柱、梁コンクリートの温度を水槽内の供試体に与えた。また、同時に部材内部の温度履歴

水セメント比 (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	細骨材率 (%)	単水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)		
					セメント	砂	砂利
35.5	18	4	39.0	170	479	653	1051

表一5 コンクリートの調合



写真-12 構造体外観

歴の測定を行なった。

2) 施工・品質管理の実施結果

高強度コンクリート構造体の温度履歴の実測例を図-17に示す。施工時期が6月から9月にかけての暑い時期となったこともあり、コンクリート打込み後の部材中心部の温度上昇量は約40℃とかなり大きなものとなっている。

現場水中養生を行なった供試体の強度発現と、強度管理システムによって構造体強度の管理を行なった結果の一例を図-18に示す。図-18によると、コンクリート打込み後材令28日までの圧縮強度は、強度管理システムに基づくコンクリートの強度発現が、現場水中養生下における強度発現に比較して著しく早く、材令3日で約150 kgf/cm²、材令7日で約50 kgf/cm²大きな値を示している。しかし、材令28日では両者の値は近似し、28日以降の長期材令では強度管理システムに基づく管理結果によると強度の増進が停滞し、材令91日では現場水中養生下における強度の方が大きな値を示すことが分かる。

以上の結果より、本コンクリート構造体では構造体強度を適切に管理することによって、材令1～2日の早期にすでに型枠取り外しに必要な強度が確保されているこ

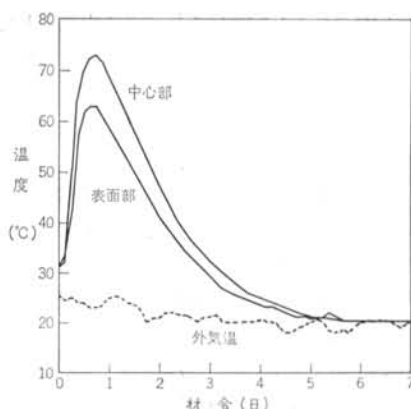


図-17 高強度コンクリート構造体の温度履歴の一例

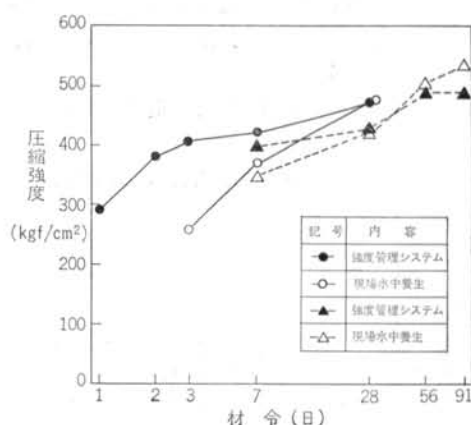


図-18 強度管理システムによる管理結果と現場水中養生との比較

とが分かり、また長期材令の強度管理を現場水中養生で行なった場合には危険側の判定を行なう可能性もあることが分かった。

3) まとめ

高強度コンクリート構造体の品質管理に強度管理システムを適用することにより、コンクリート打込み後の構造体強度を的確に管理できた。また、コンクリート構造体の強度を早期に適切に確認して次の工程に進むことにより、工期の短縮を実現することができた。

§ 5. まとめ

コンクリート構造物に対する社会ニーズの高度化、多様化に対応できる合理的で的確な品質予測、管理方法の提案と確立を目的として研究・開発を進めた。

その結果、設計段階や施工計画段階等においてコンク

リート構造物の品質が的確に予知できる方法として「品質予測システム」を研究・開発し、その有効性を実証実験によって検証した。また、開発した品質予測システムを「サンドプレコール工法」など新たな研究・開発行為に適用して大きな成果を上げた。

また、実施工時のコンクリート構造体の強度管理を合理的かつ的確に管理できる方法として、「シミズ・コンクリート強度管理システム」を開発・実用化した。さらに、実用化したシステムをコンクリート構造物の実施工時の品質管理に適用し、工期短縮やコストダウンなどに大きな効果があることを確認した。

最後に、研究・開発を進めているこれらのシステムが今後の更なる社会ニーズの高度化、多様化に対応して、コンクリート構造物の品質の確保と向上の一助となり、建設現場の工期短縮や合理化などに貢献できるよう、今後さらに努力を継続したい。

謝辞 本研究において、洪悦郎北海道大学名誉教授のご指導を頂いた。

また、本研究・開発で実用化を行なったシステムのコ

ンクリート構造物への適用に際しては、住宅・都市整備公団、東京電力㈱、中部電力㈱、山一証券㈱、三菱地所㈱など多くの関係者の方々のご指導、ご協力を頂いた。ここに、慎んで感謝の意を表します。なお、予測・管理装置の製作では㈱マルイの福永太輔社長、松村茂部長、手島秀敏東京営業所長、山中忠主任、春日高明、他の方方のご協力を頂いた。

さらに、本研究・開発の遂行に際しては、当社技術研究所桜井潔課長、金森洋史、安斎俊哉（元実験担当）、青柳圭二、技術本部北川精保課長の各氏に、予測管理装置のコンクリート構造物への適用等では、技術本部関洋一郎長、建築本部三浦寛部長、越尾安博工事長、庄川選男副部長、北川信人工事長、土木本部技術部根上義明部長、小野定課長、木村克彦課長、北海道支店相沢勝彦部長、横浜支店坂本和夫工事長、名古屋支店柴田省三、技術研究所鈴木忠彦主任研究員、山崎庸行主任研究員、手塚武仁、栗田守朗、他の方々にご協力頂いた。ここに、改めて感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) “第13回セメント協会論文賞”セメント・コンクリート No.462 (1985年8月)
- 2) 日本建築学会編“コンクリートの調査設計・調査管理・品質検査指針案・同解説”日本建築学会 (1976年)
- 3) 桑原隆司・安斎俊哉：“マスコンクリートの強度管理方法”清水建設技術資料 86-05 (1987年3月)
- 4) 桑原隆司・安斎俊哉・森永繁：“マスコンクリートの温度管理、強度管理方法の研究(その2、提案するシステムの妥当性)”日本建築学会大会学術講演梗概集 (1986年8月)
- 5) 桑原隆司・安斎俊哉・森永繁：“マスコンクリートの強度管理方法と管理装置の研究”コンクリート工学年次論文報告集 第9巻、2号 (1987年)
- 6) 桑原隆司：“適切な品質を確保するための「コンクリートの温度と強度管理システム」施工 (1988年3月)
- 7) 清水建設編：“サンドプレコール工法”清水建設技術資料 (1988年)
- 8) 小野定・後藤貞雄・他：“液体窒素で冷却した骨材でコンクリートをプレクーリング”セメント・コンクリート No. 509 (1989年7月)
- 9) 西田朗・桑原隆司・小野定・他：“液体窒素で冷却した砂を用いたマスコンクリートの温度、強度特性について(その1)”日本建築学会大会学術講演梗概集 (1988年10月)
- 10) 桑原隆司・栗田守朗・木村克彦・他：“液体窒素で冷却した砂を用いたマスコンクリートの温度、強度特性について(その2)”同上 (1988年10月)
- 11) 北川信人・桑原隆司：“マスコンクリート構造物の合理的な品質管理の試み”同上 (1987年10月)
- 12) 西田朗・鈴木忠彦・桑原隆司・他：“高強度コンクリートの品質管理方法の研究(その1、高強度コンクリート構造体の実大実験)”同上 (1989年10月)
- 13) 手塚武仁・鈴木忠彦・桑原隆司：“高強度コンクリートの品質管理方法の研究(その2、高強度コンクリートの実施工と品質管理)”同上 (1989年10月)
- 14) 桑原隆司・西田朗・金森洋史：“高強度コンクリートの品質管理方法の研究(その3、コンクリート強度予測・管理システムの試作と検討)”同上 (1989年10月)