

[2014] マスコンクリートの強度管理方法と管理装置の研究

正会員 ○ 桑原 隆司（清水建設技術研究所）

安斎 俊哉（清水建設技術研究所）

正会員 森永 繁（清水建設技術研究所）

■ 1. はじめに

マスコンクリート構造体では、部材断面が大きいために水和熱が内部に蓄積して、非定常な高温状態を履歴する。これに伴い、マスコンクリート構造体のコンクリート打込後の強度発現は、一般的のコンクリート構造体の場合とは大きく異なる傾向を示す^{例えは(1)(2)}。

このため、マスコンクリート構造体の設計・施工に際しては、打込み直後から非定常な高温状態を履歴するコンクリートの強度発現を的確に予測・管理できる合理的な技術が必要になる。

これらのことから、本研究では図-1に示す方法と装置を用いて、マスコンクリートの強度発現と強度管理方法および装置に関する検討を行なった。

■ 2. 強度の予測・管理のために使用した方法と装置

マスコンクリート強度の予測・管理のために使用した方法と装置の概要を、図-1～4に示す。

2. 1 マスコンクリートの熱的シミュレーション・システム

マスコンクリートの熱的シミュレーション・システムの概要を図-1に、装置の状態を図-2に示す。シミュレーション・システムでは、マスコンクリートの最小部材厚方向を想定した棒状コンクリートの周囲4面に完全な断熱状態を与える一方、最小部材厚方向への熱の移動を自由に許すことによってマスコンクリートの水和による発熱と最小部材厚方向の熱伝導、熱伝達挙動が自動的にシミュレートできる。

その結果、マスコンクリート部材最小部材厚方向の経時的な温度変化の状態や温度分布の状態

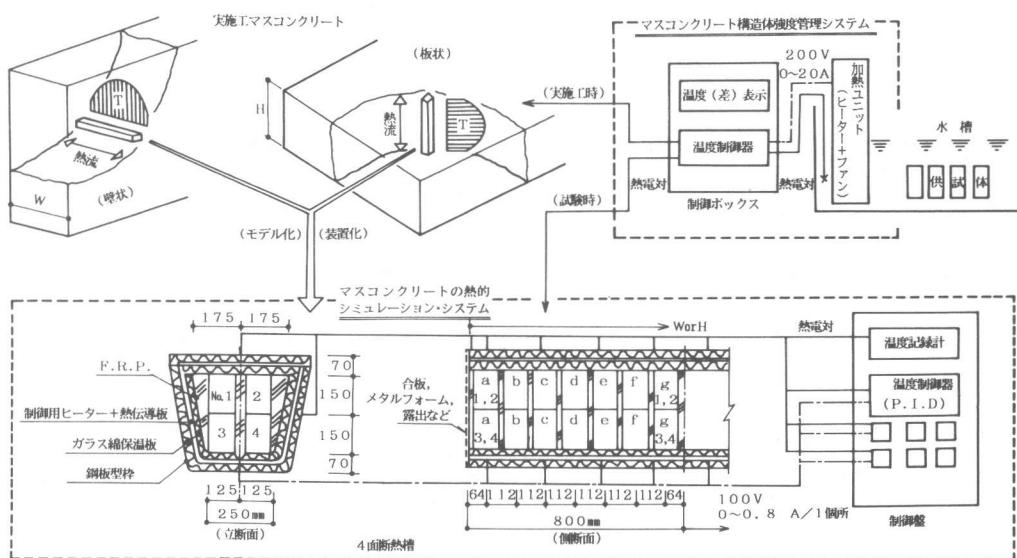


図-1 マスコンクリート強度の予測・管理のために使用したシステム概念図

の予測値が直接入手できることと共に、必要に応じて4面断熱槽内のコンクリートからコアを採取することによって、部材断面内の強度分布の状態が予測・確認できる。

2.2 マスコンクリート構造体強度管理システム

マスコンクリート構造体強度管理システムの概要を図-1に、装置とその稼動状態を図-3, 4に示す。強度管理システムでは、管理する個所のマスコンクリート部材温度の予測値または実測値をそのまま自動的に強度管理用供試体に与えることとし、これをシステム化している。⁽³⁾

その結果、材令1日からの硬化過程のマスコンクリート強度の予測と管理が可能となる。

■3. 実験概要

3.1 常温下で施工するマスコンクリートのモデル実験

常温下で施工するマスコンクリートの強度発現の傾向をとらえる目的で、室温を20°Cに制御した恒温室においてモデル実験を実施した。モデル実験では、熱的シミュレーション・システムに最小部材寸法が1,600mmの壁状マスコンクリートの温度履歴を予測させ、強度管理システムによって部材中心部温度を水槽内のコンクリート供試体に与えた。

本実験で使用したコンクリートの材料を以下の(i)～(iv)に、調合を表-1に示す。

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| (i)セメント：普通ポルトランドセメント | (ii)細骨材：川砂、最大寸法5mm |
| (iii)粗骨材：川砂利、最大寸法25mm | (iv)混和剤：A E剤 |

3.2 夏季施工マスコンクリートの実大実験

夏季施工マスコンクリートの強度発現傾向をとらえると共に、部材内の温度分布に起因する強度分布の状態をとらえる目的で、夏季に(8月施工)東京で最小部材寸法が1,600mmの壁状マスコンクリートの実大実験を行った。

実験では、図-5, 6に示す実大試験体の施工実験を行うと共に、強度管理システムによって部材中心部と表面部の温度履歴を水槽内供試体に与えた。

表-1 使用したコンクリートの調合

施工時期	水セメント比%	目標スランプcm	目標空気量%	細骨材率%	単位水量kg/m ³	重量kg/m ³		
						セメント	砂	砂利
常温下	64.4	15	4.0	43.9	161	250	819	1,054
	55.0	15	4.0	38.7	165	300	702	1,122
	48.0	15	4.0	37.2	168	350	657	1,116
	42.5	15	4.0	32.1	170	400	551	1,177
夏季	56.6	15	4.0	45.3	170	300	819	1,012
冬季	55.0	15	4.0	38.7	165	300	702	1,122

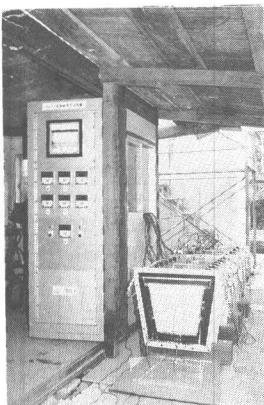


図-2
熱的シミュレーション・システム

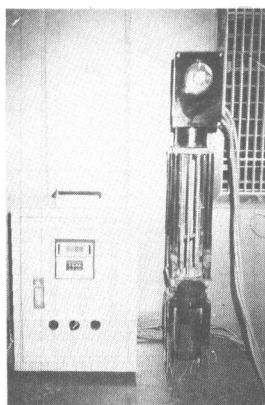


図-3 構造体強度管理システム

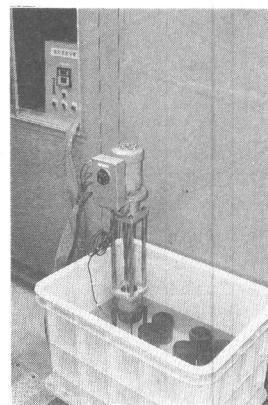


図-4 構造体強度管理システムによる
施工管理の状況

また、並行して熱的シミュレーション・システムによる予測も行った。

本実験で使用したコンクリートの材料を以下の(i)～(iv)に、調合を前出の表-1に示す。

- (i)セメント：普通ポルトランドセメント
- (ii)細骨材：山砂、最大寸法2.5mm
- (iii)粗骨材：砕石、最大寸法20mm
- (iv)混和剤：AE減水剤

3.3 冬季施工マスコンクリートのモデル実験

冬季に施工するマスコンクリートの強度発現傾向をとらえる目的で、冬季に（2月施工）東京でモデル実験を行った。実験では、熱的シミュレーション・システムに最小部材寸法が1,600mmの壁状マスコンクリートの温度履歴を予測させ、強度管理システムによって部材中心部と表面部の温度履歴を水槽内供試体に与えた。

本実験で使用したコンクリートの材料は3.1の場合と同様で、調合は前出の表-1に示す。

■4. 常温下で施工するマスコンクリート強度

常温下で施工するマスコンクリートの温度履歴を熱的シミュレーション・システムで予測した結果を図-7に、同システムの4面断熱槽内コンクリートからコアを採取して最小部材厚方向の強度分布を評価した結果を図-8に示す。

また、部材中心部の温度を強度管理システムで水槽内供試体に与えて、マスコンクリートの強度発現を評価した結果を図-9に示す。

図-8によると部材断面内の強度分布は、中心部と表面部で若干低い値を示す傾向が認められるが、温度分布の状態によって顕著な影響は受けておらず、実用上は近似的に一定と見なすことが可能と判断される。すなわち、常温下で施工するマスコンクリート部材の強度は、実用上、部材断面内では特に小さ目の値を示す傾向にある中心部の強度によって大略の推定・管理を行なうことが可能と判断される。

また、図-9によると高温状態を履歴するマスコンクリート部材のコンクリート打込み後材令3日ないし7日までの強度発現は常温下（標準水中養生）で硬化するコンクリートよりも著

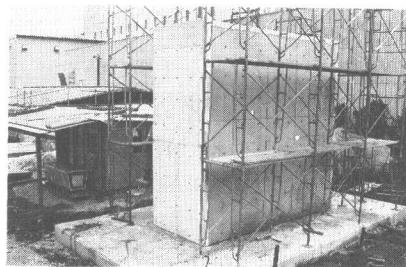


図-5 実大実験の状況

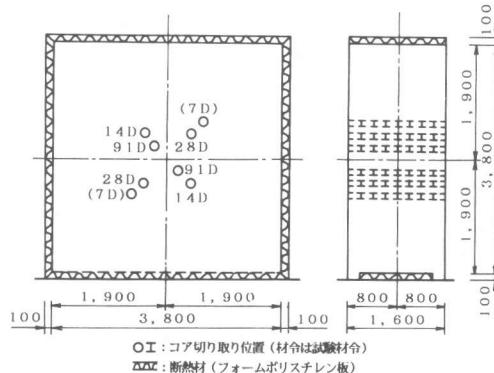


図-6 実大試験体の形状寸法

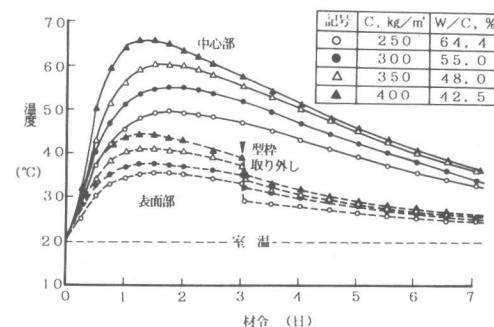


図-7 常温下におけるマスコンクリートの温度履歴

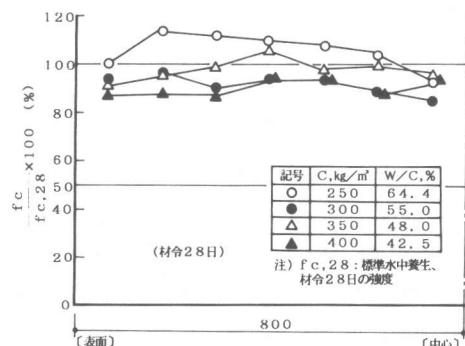


図-8 常温下で施工するマスコンクリートの強度分布

しく大きく、一方、材令7日以降の強度の増加は極めて緩やかになっている。

すなわち、マスコンクリート構造体では、常温下で硬化する一般のコンクリートとは著しく異なる強度発現を示すため、適切に強度の予測管理を行うためには、特に材令3～7日までの若材令時における非定常な高温状態履歴による影響を適切に予測・管理する必要があるものと判断される。

■ 5. 夏季施工マスコンクリートの強度発現・

夏季施工実大マスコンクリート試験体の温度実測値と熱的シミュレーション・システムによる予測値を図-10に、実大試験体とシミュレーション・システム4面断熱槽からコアを採取して最小部材厚方向の強度分布を評価した結果を図-11に示す。

また、強度管理システムによって部材中心部と表面部の強度発現を評価した結果と実大試験体のコア強度などとの関係を図-12に示す。

図-11によると、夏季施工マスコンクリート部材断面内の強度分布は中心部で若干低い値を示してはいるが、図-8に示した常温下の場合と同様温度分布の状態によって顕著な影響は受けておらず、実用上は近似的に一定と見なすことが可能と判断される。

なお、断面内の強度は材令28日において標準水中養生の場合よりも低く、呼び強度と同程度またはそれを若干上回る程度であった。

図-12によると、夏季施工マスコンクリートのコンクリート打込み後の強度発現は常温下で施工するマスコンクリートよりも更に急速に進み、一方、材令3日以降の強度の増加は極めて緩やかになっている。

また、実大試験体のコア強度と熱的シミュレーション・システム4面断熱槽内コンクリートから採取したコア強度は極めて良好な対応関係を示しており、強度管理システムによって部材中心部の温度履歴を与えた供試体も実大試験体のコア強度に近似する値を示している。なお、強度管理システムによって表面部の温度履歴を

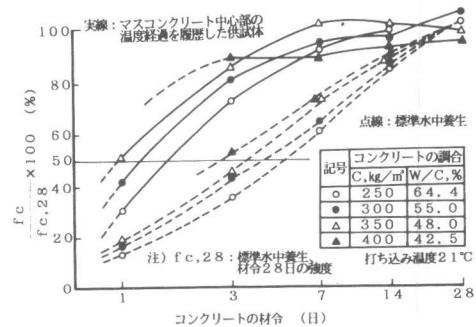


図-9 常温下施工マスコンクリートの強度発現

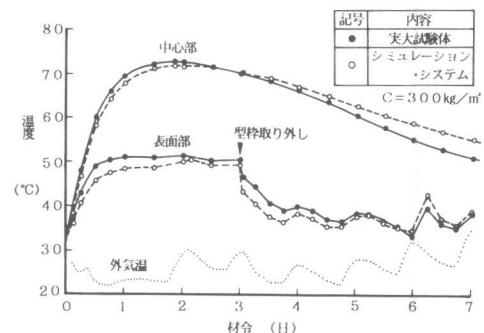


図-10 夏季施工マスコンクリートの温度履歴

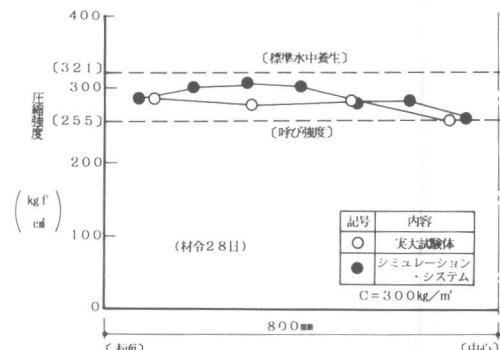


図-11 夏季施工マスコンクリートの強度分布

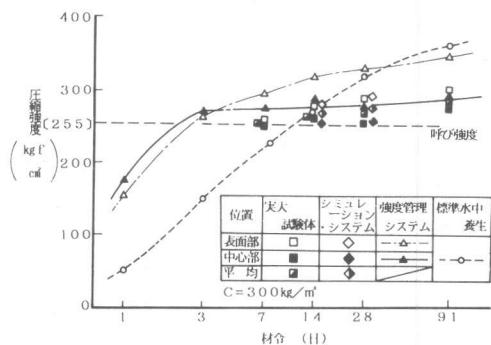


図-12 夏季施工マスコンクリートの強度発現

与えた供試体では、夏季における表面乾燥等の影響を考慮しないため、若干大きめの値を示している。

■ 6. 冬季施工マスコンクリートの強度発現

冬季に施工するマスコンクリートの温度履歴を熱的シミュレーション・システムで予測した結果を図-13に、同システムの4面断熱槽内コンクリートから採取したコアの強度を図-14に示す。

また、強度管理システムによって部材中心部と表面部の温度を水槽内供試体に与えて、強度発現を評価した結果を図-15に示す。

図-14、15によると、冬季に東京近辺で最小部材寸法が1,600mm程度のマスコンクリートを施工した場合、部材の強度は材令28日ににおいて標準水中養生の場合と同程度か若干下回る程度の強度発現を示すものと推察される。

また、部材表面部の強度発現は部材中心部よりも遅れる。これは、冬季施工マスコンクリートでは表面部温度がそれほど高温にならないことに起因して生じる現象であり、冬季施工の場合には、特に部材表面部の強度発現を予測、管理する必要があるものと判断される。

■ 7. 施工時期がマスコンクリートの強度発現に与える影響

常温下、夏季および冬季に単位セメント量が300kg/m³のコンクリートを用いて最小部材寸法が1,600mmのマスコンクリートを施工した場合の温度履歴を図-16に、強度管理システムによって部材中心部の強度発現の状態を評価した結果を図-17に一括して示す。

図-16によると、夏季に施工するマスコンクリートではコンクリート打込み後の温度上昇速度と温度上昇量が大きくなり、一方、冬季施工の場合には温度上昇が緩やかに進行すると共に温度上昇量が夏季や常温下よりも小さくなる。

図-17によると、常温下で施工するマスコンクリートでは、材令7日程度迄の強度発現は急速に進むが、その後の材令の経過に伴う強度の増加は緩やかになる。

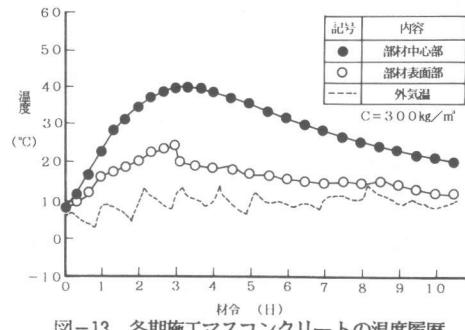


図-13 冬期施工マスコンクリートの温度履歴

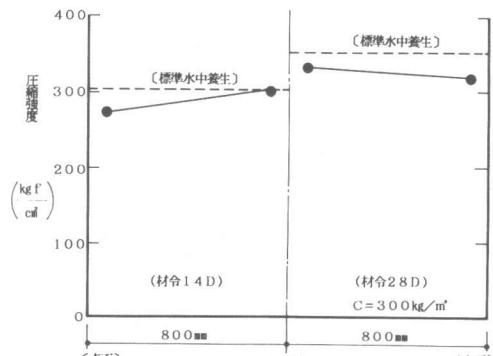


図-14 冬期施工マスコンクリートのコア強度

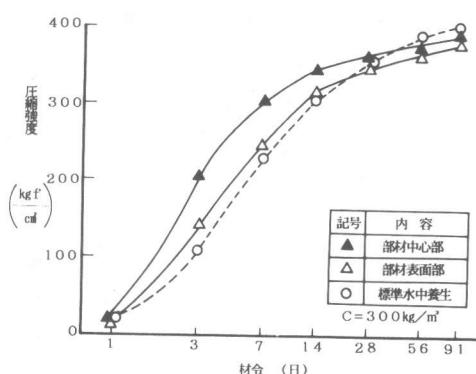


図-15 冬期施工マスコンクリートの強度発現

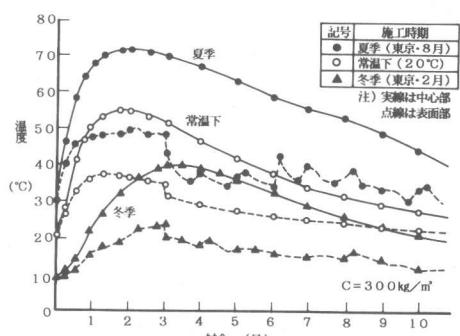


図-16 施工時期がマスコンクリートの温度履歴に与える影響

夏季に施工するマスコンクリートでは初期の強度発現が著しく大きくなるが、一方、材令3日以降の材令の経過に伴う強度の伸びは極めて緩やかになる。また、冬季に施工するマスコンクリートでは、コンクリート打込み直後の強度発現は緩やかであるが、材令1日以降14日程度迄の強度の発現は大きく、14日以降の強度の増加も期待できる。

■ 8. まとめ

マスコンクリート構造体の強度発現を的確かつ合理的に予測・管理することを目的として、“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”を用いて実験・検討を行った。本研究の範囲で得られた主要な結論は以下の通りである。

- (1) マスコンクリート構造体の強度発現は、部材内に蓄積する水和熱の影響により、一般的のコンクリート構造体とは大きく異なる傾向を示す。このため、マスコンクリート構造体の設計・施工に際しては、水和熱による影響を考慮した強度の予測・管理が望まれる。
- (2) 常温下で施工するマスコンクリートは、材令7日前後までの強度発現が急速に進み、その後の強度増加は緩やかになる。また、夏季施工の場合には材令3日前後までの初期の強度発現が著しく大きくなる一方、その後の強度増加は極めて緩やかになり、冬季施工の場合には材令1日以降14日程度迄の強度発現が比較的大きく、その後の強度増加も期待できる。
- (3) マスコンクリート構造体断面内の強度分布は温度分布の状態によって支配的な影響は受けおらず、実用上は近似的に一定と見なすことも可能と判断された。また、部材の強度を、便宜上部材内の特定の個所の強度によって代表させる場合には、本実験の範囲からは常温下および夏季に施工するマスコンクリートでは部材中心部、冬季施工の場合には部材表面部の強度を使用することが望ましいものと推察された。
- (4) マスコンクリート打込み後の部材の強度発現概要は“強度管理システム”で合理的に予測・管理でき、また、部材断面内の強度分布の状態等を把握する必要がある場合には“熱的シミュレーション・システム”で適切に予測・確認できるものと判断された。

-謝辞-

本研究において、北海道大学・洪悦郎教授に御指導、御教示を戴いた。また、試験装置の製作では、(株)マルイの松村茂氏、山中忠氏、手島秀敏氏、春日高明氏をはじめとする方々の協力を戴いた。ここに、謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 地濃茂雄、仕入豊和：コンクリートの強度発現におよぼす温度履歴条件(20~90°C)の影響、日本建築学会論文報告集、337号、1984.3.
- [2] 桑原隆司：マスコンクリートの温度ひびわれ発生の危険性評価方法に関する研究、学位論文、1984.7.
- [3] 桑原隆司、森永繁：マスコンクリートの強度管理方法について、セメント技術年報、38、1984.12.

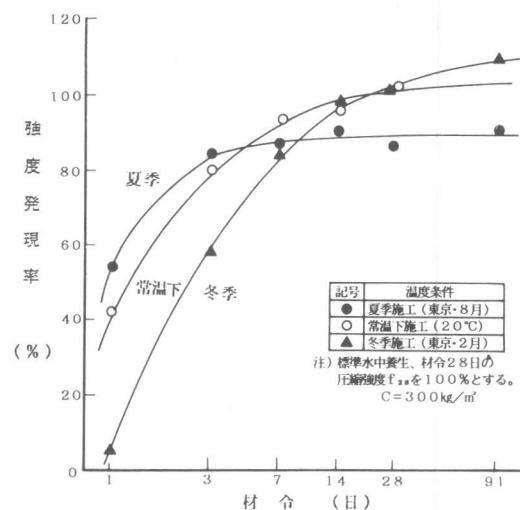


図-17 施工時期がマスコンクリートの強度発現に与える影響