

論文

[1150] 寒中マスコンクリートを対象とした強度管理方法の研究

正会員○岸本 均 (前田建設工業超高層開発室)

正会員 江口 清 (前田建設工業 技術研究所)

中込 昭 ( 同 上 )

正会員 鎌田英治 (北海道大学 工学部)

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート造 (RC造) 建築物はより高層化が進められ、それに伴い構造体基礎部分の耐圧盤・地中梁がマスコンクリートとなる事例が増加している。当社でも昨年10月より札幌で高層RC住宅 (地下1階, 地上21階, 設計基準強度 ( $F_c$ ) = 270~360 kgf/cm<sup>2</sup>) の建設に着手し、地下の耐圧盤・地中梁に  $F_c = 300$  kgf/cm<sup>2</sup> のコンクリートを使用した。地下部分のく体工事が寒中コンクリートの適用時期に当たることから、工事着工前の寒中時に実大施工実験を行い、高強度コンクリートを用いた寒中コンクリートおよび寒中マスコンクリートに関する種々の検討を行った。本報は、それらの実験のなかの特に寒中マスコンクリートの強度管理について検討した結果を報告するものである。

マスコンクリートの構造体強度推定のための管理用供試体養生方法は、構造体と同じ温度履歴の養生とすることが困難なため、現状では標準養生とするのが一般的である。また、構造体強度は標準養生した供試体のいわゆるポテンシャル強度をもとに、予想断面平均養生温度により設定した強度補正值と実測した養生温度を考慮して推定している。しかし、マスコンクリートは材令初期に非定常な高温履歴を受けるため、構造体内部の養生温度を定常な平均温度として扱い、強度補正值を設定することが妥当であるか疑問であり、標準養生供試体強度から構造体強度を推定する方法の妥当性には不安が残る。そこで本報では、構造体内部の温度を比較的容易に追従することのできる装置を考案し、構造体内部の温度履歴に追従させた供試体強度により、構造体強度を標準養生供試体強度から推定するのではなく、直接供試体の圧縮強度で判断できる最適な養生方法を提案するとともに、材令初期に高温履歴を受ける場合の強度補正值に関するひとつの考え方も提案した。

2. 実験概要

札幌で施工している高層RC住宅は、地下部分 (耐圧盤, 地中梁, 地下1階) のく体工事を寒中コンクリートの適用期間内に行う計画とされていた。そこで、工事着工前の寒中時期 (平成1年2月) に実大施工実験を実施し、柱を模擬した試験体で寒中コンクリートの品質確認を、耐圧盤, 地中梁を模擬した試験体で寒中マスコンクリートの品質確認を行った。主な確認・検討事項を表-1に示す。

本報で報告する寒中マスコンクリートの強度管理方法についての検討は、耐圧盤を模擬した試験体で行った。

表-1 実大施工実験における  
確認・検討事項

項目	確認・検討事項	
スランブロス	生コン車によるスランブロスの定量的把握	
圧送性	コンクリートの品質変化の確認	
セメント水比と 積算温度、強度 ( $F-c/w-M$ )	実機バッチャープラントによる $F-c/w$ の確認 実大試験体における $F-c/w$ $-M$ の確認	
管理用供試体	供試体養生方法	
マスコンの 温度ひびわれ	内部拘束	鉄筋なしの場合の確認
	解析方法	温度解析の妥当性の確認
マスコン強度発現性	初期高温履歴の影響確認	

### 3. 実験方法

#### 3.1 コンクリート調合

コンクリートの調合は、本工事のコンクリート強度 ( $F_c = 270 \sim 360 \text{ kg/cm}^2$ ) の範囲に対応するように、実大施工実験前に行った室内試し練りをもとに表-2に示すものとした。本報で述べる耐圧盤用のコンクリートは、表中の調合No. 1である。

表-2 使用コンクリート調合

調合 No.	スラブ (cm)		空気量 (%)		w/c (%)	S/a (%)	重量 (kg/m <sup>3</sup> )					高性能 AE 減水剤 (kg/m <sup>3</sup> )
	練上り	荷卸し	練上り	荷卸し			セメント	水	砂	砂利	砕石	
1	19	18	5.0	4.5	50	46.3	320	160	873	694	298	3.84
2	19	18	5.0	4.5	40	43.3	400	160	786	706	302	4.40
3	19	18	5.0	4.5	35	41.7	457	160	737	706	302	5.03

セメント：普通セメント，骨材比重：砂2.72，砂利2.66，砕石2.66

#### 3.2 実大試験体規模

図-1に実大試験体の規模を示す。実験では、寒中コンクリートの養生方法の検討（養生上屋内の温度管理等）も行うため、図に示すような養生上屋を設けて行った。耐圧盤試験体は厚さ2m，縦横が2m×4.5mのもの2体とし、周囲を厚さ200mmの断熱材でおおい、耐圧盤の一部を切り出した状態を想定した。なお、マスコンクリートである耐圧盤の上端面を養生したケースと養生しないケース（露出）の2ケースの検討を行い内部拘束によるひび割れ防止に対する養生効果の確認も行っている。

#### 3.3 実大試験体打設方法

バッチャープラントで練り混ぜたコンクリートを生コン車で実験場所（建設予定地）まで運搬し、コンクリートポンプにて圧送打設した。

#### 3.4 コア抜き位置及び内部温度測定位置

構造体強度およびマスコンクリートの内部温度履歴を確認するため、コア抜きおよび内部温度の測定を行った。耐圧盤試験体のコア抜き位置，温度測定位置を図-2に示す。温度測定は内部温度履歴の把握とともに、コア強度と養生温度の関係把握するため、コア採取位置と対応させた。

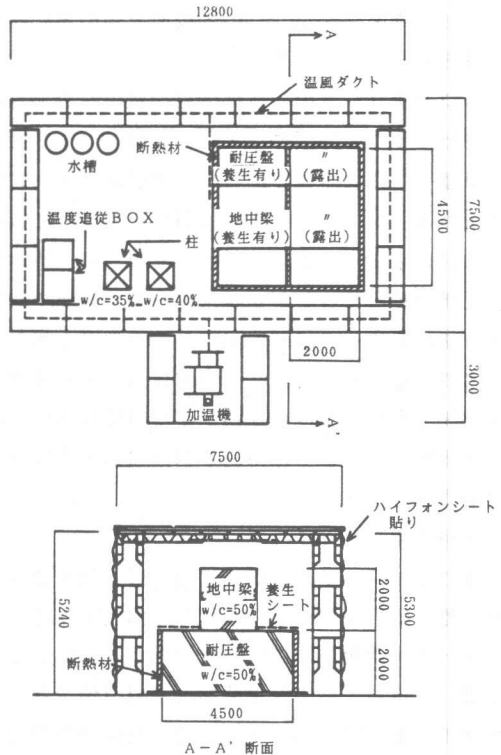


図-1 実大供試体規模

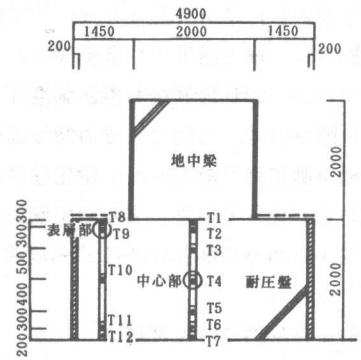
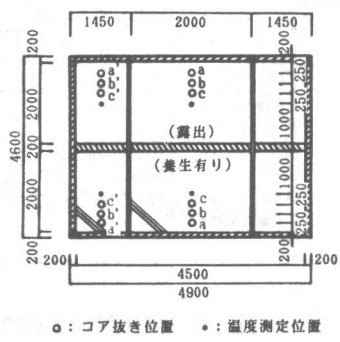


図-2 コア抜き位置および内部温度測定位置

### 3. 5 管理用供試体の養生方法

マスコンクリート（耐圧盤試験体）の構造体強度管理のための供試体養生方法としては、表-3に示す5種類の養生方法を検討した。温度追従養生は、図-2に示した部材の中心部および表層部の温度に、養生水槽の水温あるいは養生BOXの雰囲気温度が追従するような装置を用いている（以下中心部温度追従水中養生、封かん養生、表層部温度追従水中養生、封かん養生と呼ぶ）。図-3に温度追従装置の概要を示す。これは、温度を追従させたい位置のコンクリートに熱電対をセットするだけで、温度調節器によりその位置の温度に養生槽の温度を一致させるものである。また、従来行われている管理用供試体養生方法である標準、現場封かん、現場水中養生についても温度追従養生と比較する意味で検討対象とした。

表-3 供試体養生方法

打設対象	養生方法	採取時期	採取対象生コン車No.	材令(日)			生コン車1台採取本数(本)	採取対象生コン車台数(台)	供試体総本数(本)	養生場所
				7	28	予備				
耐圧盤	標準養生	荷卸し	No.1~No.8	○	○		6	8	48	標準養生槽
	簡先	荷卸し	No.5	○	○		6	1	6	標準養生槽
	温度追従封かん養生	荷卸し	中心 No.3,4	○	○	○	6	2	12	温度追従BOX
			表層 No.7	○	○	○	6	2	12	温度追従BOX
	温度追従水中養生	荷卸し	中心 No.3,4	○	○	○	6	2	12	温度追従水槽
w/c 50%	現場封かん養生	荷卸し	中心 No.3,4	○	○		4	2	8	現場養生槽(上)
			表層 No.6,7	○	○		4	2	8	現場養生槽(上)
			中心 No.3,4	○	○		4	2	8	現場養生槽(中)
			表層 No.6,7	○	○		4	2	8	現場養生槽(中)
	現場水中養生	荷卸し	中心 No.3,4	○	○		4	2	8	現場水槽
			表層 No.6,7	○	○		4	2	8	現場水槽

\* 試験体は生コン車8台で打設  
\* 標準養生以外は生コン車1台あたり、各試験材令につき供試体2本を採取

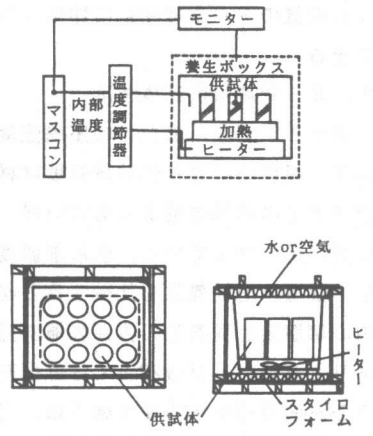


図-3 温度追従装置概要

## 4. 実験結果および考察

### 4. 1 コンクリート内部温度履歴

耐圧盤コンクリート打設2週後に地中梁コンクリートを打ち継いだときの先打ちした耐圧盤の温度履歴を図-4に示し、図-5に打ち継がない部分の耐圧盤の温度履歴を示す。地中梁コンクリートを打ち継ぐことにより、先打ちした耐圧盤の上端から約60cm深部までのコンクリート温度が再上昇している。しかし、上端から100cm深部の中心部では、地中梁を打ち継ぐことによる温度上昇はそれほどみられな

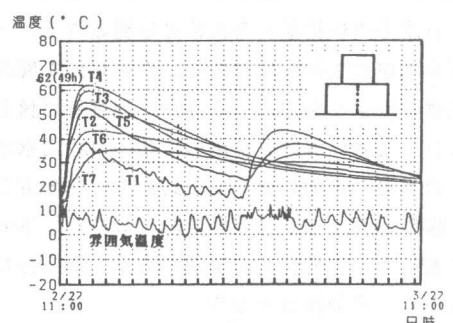


図-4 耐圧盤温度履歴(1)

い。約15℃で打設されたコンクリートは、53時間前後で最高温度約61℃（最大温度上昇量約46℃）となり、以後下降するが、28日経過後も雰囲気温度より10～20℃高い状態が続き、各測定点での28日間の平均養生温度は地中梁が打ち継がれない耐圧盤表面部以外は全て20℃を上廻っていた。また耐圧盤上端表面部および下端から20cmの部分以外は材令初期に温度が50℃以上になった。

#### 4. 2 温度追従養生供試体温度履歴

図-6は、温度追従させた養生方法のうち表層部温度追従水中養生、表層部温度追従封かん養生の供試体温度履歴を示す。両者とも耐圧盤コンクリート表層部温度よりも1～2℃供試体温度が下廻っているものの、よく追従している。供試体温度が若干下廻った原因は、供試体の温度が養生媒体の温度と一致するのに時間的ずれが生じたためである。また、温度追従封かん養生の方が、温度追従水中養生よりも追従性が若干良くなったのは養生媒体としては水よりも空気の方が温度変化に即応しやすいためと推測できる。

#### 4. 3 管理用供試体強度

表-4に管理用供試体の圧縮強度試験結果を示す。温度追従養生供試体強度は材令7日では標準養生供試体強度よりも高いが、材令28日では逆に低くなっている。表層部温度追従養生と中心部温度追従養生を比較すると材令7日では中心部温度追従養生の方が表層部温度追従養生よりも高いが、材令28日ではほぼ同等な強度となる。温度追従水中養生強度は、温度追従封かん養生強度よりも材令7,28日とも高い値を示したが、これは水中養生の方が長期にわたり周囲から水分の供給があるためと推測される。一方、現場水中養生供試体強度は、現場封かん養生供試体強度よりも逆に10kgf/cm<sup>2</sup>程度低い値を示した。これは雰囲気温度の変化の早さに水中養生の水温が追従しきれず、封かん養生の方が養生温度が高くなり（実測で約2℃高い）水分供給による強度発現の増進よりも養生温度高くなることによる強度発現の増進の方が上廻ったためと推測される。

#### 4. 4 構造体コア強度

表-5に耐圧盤コア強度試験結果を、図-7に垂直方向のコア強度分布を示す。耐圧盤の最下

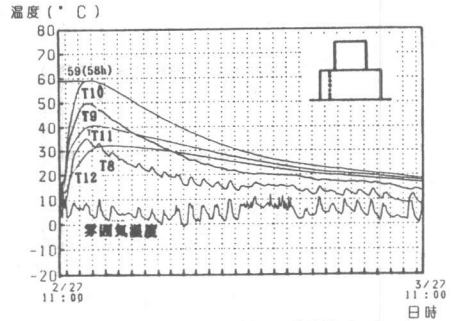


図-5 耐圧盤温度履歴(2)

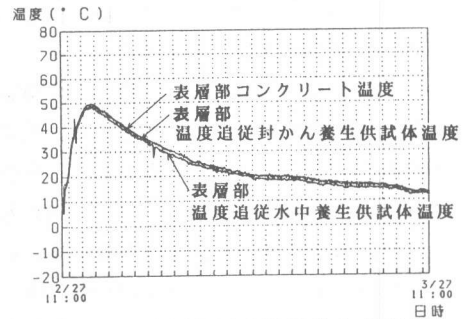


図-6 表層部温度追従養生供試体温度履歴

表-4 管理用供試体強度

材令	生コン車 No.	打設位置	単位: kgf/cm <sup>2</sup>								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
7日	圧縮	標準養生	305	309	320	315	311	310	328	319	303
		温度追従封かん養生			347	359			344	335	
		温度追従水中養生			391	387			374	346	
		現場封かん養生			251	249			233	239	
		現場水中養生			219	217			216	226	
		現場封かん養生			239	241			254	238	
		現場水中養生			219	217			216	226	
		現場封かん養生			232	232			243	233	
		現場水中養生			219	217			216	226	
		現場封かん養生			232	232			243	233	
28日	圧縮	標準養生	402	399	414	396	409	384	416	395	
		温度追従封かん養生			360	350			364	360	
		温度追従水中養生			383	391			409	374	
		現場封かん養生			374	379			375	387	
		現場水中養生			363	358			370	378	
		現場封かん養生			392	383			395	376	
		現場水中養生			372	378			380	378	
		現場封かん養生			372	378			380	378	
		現場水中養生			363	358			370	378	
		現場封かん養生			372	378			380	378	

\*1 構造体中心部の温度に追従  
 \*2 構造体表層部の温度に追従  
 \*\* 圧縮強度の下欄は平均値を示す

養生温度が高くなり（実測で約2℃高い）水分供給による強度発現の増進よりも養生温度高くなることによる強度発現の増進の方が上廻ったためと推測される。

層で採取したコア強度は若干高くなっていたが、そのことを除くと全体としては垂直方向の強度にそれほど差はみられず、最下層のコア強度を除いた分散分析でも上下間に有意な差はみられなかった。このことからマスコンクリートの構造体強度については、下層部を除いた断面の平均値を構造体強度として扱えば、強度上安全側となると考えた。

マスコンクリートは断面内各位置の温度履歴が異なるため、寒中コンクリートで使用する積算温度と強度の関係が成立するならば、部材断面内で強度に差が生ずると考えられる。しかし、この積算温度と強度の対応関係は、通常の養生温度での材令28日程度までの積算温度（約1000°D-D）の範囲で、かつ養生期間中に大きな温度変化がないという条件下で成立するものと考えられる。今回の実験では、下層部以外は初期材令時にかなり温度が高く（50~60℃）なっており、特に断面内中心部は最も温度

が高くなり、後述する初期高温履歴の影響が顕著に現れ積算温度に対応するほどには強度が高くならなかった。従って断面内の強度にそれほど差が生じなかったと考えた。また、下層部のコア強度が若干高かったのは、初期温度が最も低かった（最高温度約42℃）ため強度発現が良かった、あるいは圧密の影響によるものと推測した。

#### 4. 5 構造体コア強度と各種管理用供試体強度

図-8に最下層のコアを除いた構造体コア強度分布と各種管理用供試体強度の比較を示す。中心部温度追従封かん養生供試体強度が最も構造体コア強度の平均値に近く耐圧盤上端より30cm深部の表層部温度追従封かん養生供試体強度は平均値をわずかに上廻った。一方、他の管理用供試体強度は構造体コア強度の平均値よりも高くなり、標準養生供試体強度は約10%高くなった。このことよりマスコンクリートの構造体強度の推定は、既往の文献[1]にもあるように、構造体内部の温度に追従させた養生方法で行うことが最も適していることが確認された。また、水中と封かんの温度追従養生を比較すると、温度追従封かん養生の方がより構造体強度の平均値に近く、構造体強度推定には有効である。これは、封かん養生の方が水中養生よりも構造体内部の状態により近いと推測された。一方、温度追従位置は、構造体コア強

表-5 耐圧盤コア強度

水比 外比 (%)	断面 養生の 有無	地中梁打ち継ぎ部		一般部*			
		記号	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	記号	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
50	有 (ハイ フォン シート 養生)	T2	a	341	T9	a'	343
			b	344		b'	359
			c	363		c'	329
		T3	a	344			344
			b	313			
			c	304			
	T4	a	327	T10	a'	420	
		b	316		b'	418	
		c	339		c'	390	
	T5	a	351			409	
		b	352				
		c	355				
T6	a	413	T11	a'	439		
	b	403		b'	408		
	c	397		c'	395		
無 (露 出)	T2	a	368	T9	a'	386	
		b	355		b'	337	
		c	377		c'	304	
	T3	a	329			342	
		b	308				
		c	320				
T4	a	403	T10	a'	420		
	b	363		b'	384		
	c	344		c'	366		
T5	a	357			393		
	b	344					
	c	355					
T6	a	353	T11	a'	381		
	b	370		b'	371		
	c	373		c'	366		

\* 地中梁を打ち継がない部分

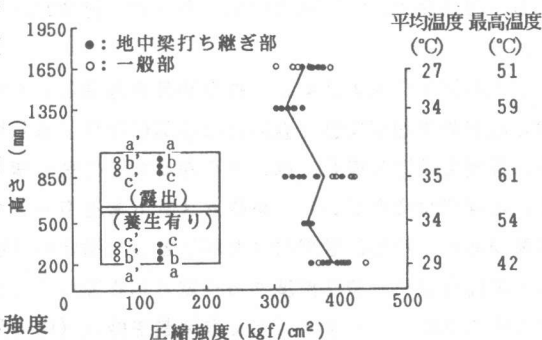


図-7 耐圧盤垂直方向の  
コア強度分布

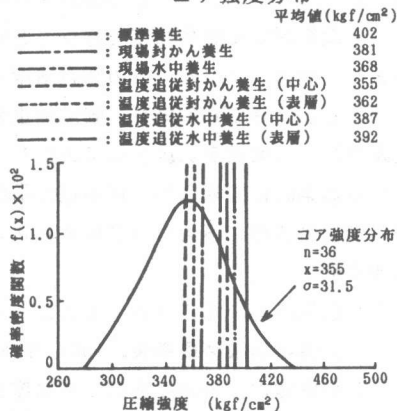


図-8 構造体コア強度分布と  
管理用供試体温度

度の平均値に近くかつ安全側となっている中心部とすることが適当である。

#### 4. 6 初期高温履歴と強度発現

マスコンクリートは材令初期に非定常な高温履歴を受けるため、長期強度の伸びがあまり期待できないことが知られている。図-9は、実大施工実験以前に行った試し練りにおいて求めた積算温度と強度比の関係式に、実大施工実験における試験で確認した各種養生積算温度と強度比の関係をプロットしたものである。管理用供試体強度はほぼ関係式に対応しているが、コア強度では関係式を下廻っているものがあり、この傾向は材令初期に50℃以上の高温履歴を受けたコアに認められる。また並行して行っている養生温度40℃の実験では強度の低下はみられていない。既往の文献[2]等によると、材令初期に50℃以上の高温履歴を受けると長期強度の発現が緩慢になるという報告がなされている。本実験でも、内部温度が50℃以上になったため、材令28日においてコア強度が低下したものと推測される。

$F_{28}$  標準養生28日強度  
 ○ 標準養生供試体強度  
 ◇ 温度追従封かん養生供試体強度  
 × 温度追従水中養生供試体強度  
 △ 現場封かん養生供試体強度  
 □ 現場水中養生供試体強度  
 ● コア強度  
 ⊙ 材令初期に50℃以上の高温履歴を受けたもの

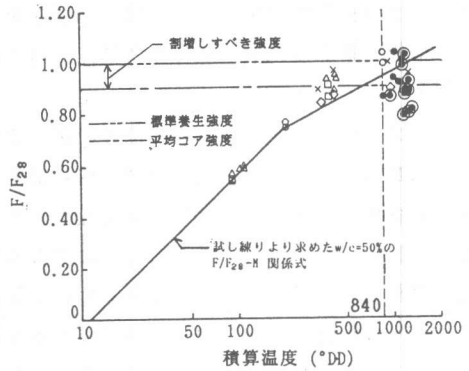


図-9 積算温度と各種養生強度比

以上の結果をふまえると、材令28日を基準としてマスコンクリートの調合強度を定める場合、20℃以下の予想平均養生温度となる際に補正する強度補正值とは別に、材令初期に50℃を超える高温履歴を受ける場合には、さらなる強度の割り増し（いわゆる”逆温度補正”）を行うか、あるいは管理材令を延長し、単位セメント量を増やさずに強度の伸びを期待すること、を考慮する必要がある。なお、管理材令を28日とした場合の強度割増しは、部材内部平均積算温度が840°DD以下の場合は同一積算温度から推定される強度に対する平均コア強度の不足分とし、840°D・D以上の場合は図-9に示すごとく標準養生強度（強度比1.0）に対する平均コア強度の不足分とすれば良いと考えた。

#### 5. まとめ

- (1) マスコンクリートの構造体強度の推定は、強度判定するうえで安全側となる中心部温度追従封かん養生強度で行うことが適当である。
- (2) マスコンクリートの調合強度を定める際には、材令初期に50℃を超える高温履歴を受けると予想される場合、強度補正值の割り増し（”逆温度補正”）を考慮する必要がある。

〈謝辞〉 本実験を実施するにあたり、東京大学 友澤史紀教授、北見工業大学 長島 弘教授、北海道職業訓練短期大学 田畑雅幸講師、および前田建設工業（株）札幌支店MARC東札幌作業所職員の皆様にご多大なるご協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] 桑原隆司, 北川信人: マスコンクリート構造物の合理的な品質管理の試み, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1987, PP. 219~220
- [2] 松本雅之, 枘田佳寛他: 高強度コンクリートを用いた構造体コンクリートの強度発現性状に関する実験(その2. 低温時におけるコア供試体および管理用供試体の強度発現性), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1989, PP. 559~560