

首都高速道路公団 正員 久保田信雄
" " 西山 悠伸

1. まえがき 埋立地で支持層が深く、しかも砂が流動化するような軟弱地盤地帯においては、耐震設計上から構造物の軽量化をはかり、基礎にかかる費用を削減する必要がある。構造物の軽量化といっても種々考えられるが、大型フーチングに人工軽量骨材コンクリートを使用することもその有効な1例である。しかし、軽量コンクリートの熱伝導率および熱膨散率は普通コンクリートのそれらの約1/2程度であり、引張強度も小さく硬化熱によるひびわれ、つまりマスコンクリートとしての問題が発生する。従来からマスコンクリート対策としては、1リフト高の制限、高炉セメントや中熱ポルトランドセメントの使用、プレクーリングやパイプクーリング等の施工が行なわれている。特にパイプクーリングの場合、その効果も十分発揮させるためにはパイプを密に配置しなければならぬし費用もかなりかかる。そこで我々は軽量マスコンクリートの養生によるひびわれ防止対策として、中心部をクーリングせず逆にコンクリート表面を温水で保温することによって中心部と表面との温度差を小さくし、なおかつ初期養生におけるコンクリート強度を高める方法(この方法を以下には温水養生と便宜的に呼ぶことにする)を考えた。またセメントとしては中熱ポルトランドセメントを使用した。ここでは、温水養生および中熱ポルトランドセメントを使用した軽量骨材コンクリートの強度特性、温度特性の資料が余りないので種々の実験を行って検討を考察したことにについて述べる。

2. 諸実験

(1) 配合 実際に使用した軽量フーチングコンクリートは表-1の配合記号MCMである。また温度特性、強度特性の比較のため配合記号MCN, NCNの配合も示しておく。なお人工軽量骨材は細粒骨材とモッサライトとを混和剤としてワラストクリートを使用した。

表-1 配合

配合記号	セメント	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 w/c (%)	骨材種類 最大粒径(mm)	砂率 % (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
							セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
NCN	普通	8	3	50.0	普通 25	40.0	320	160	739	1130	1.156
MCN	"	"	6	52.9	軽量 15	44.1	289	153	0.306	0.389	"
MCM	中熱	"	"	49.4	"	45.0	289	143	0.318	"	"

但し軽量骨材は絶対容積である。

(2) 温度特性値試験 温度特性としては熱膨張係数、断熱温度上昇、熱伝散係数、熱伝導率、比熱等の試験を行なった。ここでは試験方法については省略し結果を表-2に示す。

表-2より熱伝導率および熱伝

表-2 温度特性

項目	配合記号	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		熱伝散係数 h^2 (m ² /hr)	熱伝導率 K (kcal/mhr $^{\circ}\text{C}$)	比熱 C (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)	コンクリートの比重 ρ (kg/m ³)
		温度上昇時	温度下降時				
散係数は普通コンクリートに比べ約1/2程度である。普通ポルトランドセメントと中熱ポルトランドセメントとの違いは熱膨張係数において多少みられるが	NCN	9.10	8.83	0.00356	2.150	0.244	2410
	MCN	8.31	8.32	0.00126	0.849	0.401	1695
	MCM	7.68	8.42	0.00127	0.847	0.394	1694

それ以外にはほぼ同じと思われ、また断熱温度上昇については、普通セメントを使用した軽量コンクリートの上昇温度は45~50 $^{\circ}\text{C}$ となり、他の文献とはほぼ同程度の値であるが中熱セメントを使用したものは33 $^{\circ}\text{C}$ 程度であり他の文献等に比し若干低めなようである。

(3) モデル実験 $20 \times 20 \times 20$ の立方体のモデル供試体を作成し型枠の種類を変え断熱の有無、更には温水養生

(約40℃)の初果等について検討を行なったが、ここでは紙面の都合上型枠と断熱材との関係だけを述べるだけにしておき、側型枠表面より5cm、深さ1mの位置で比較すると、発泡スチロールと鋼製型枠との差30℃、発泡スチロールと木製型枠との差21℃、発泡スチロール側表面と中心部との差10℃程度であり、発泡スチロールの保温効果は非常によいことがわかる。そこで実際の施工上は側型枠内面に発泡スチロールをはるものとする。

(4) 強度特性

1. 標準養生(20℃) 各検査における標準養生供試体の圧縮強度、引張強度および静弾性係数を表-3に示す。表-3より検査7日までは普通セメントを使用したコンクリートの強度の方が高い値を示しているが、検査9日ではその傾向は逆になり一般的にいわれたいように中熱セメントを使用したコンクリートの長期強度の伸びは大きいことが認められる。

表-3 強度試験結果 (N/mm²)

配合記号	試験項目	試験 検査 (日)					
		1	3	5	7	28	91
M.C.N	圧縮強度	66	183	247	272	399	452
	引張強度	7.7	16.5	23.1	23.7	27.4	37.4
	弾性係数	9.0×10^4	12.3×10^4	13.3×10^4	13.7×10^4	17.5×10^4	17.9×10^4
M.C.M	圧縮強度	44	147	170	204	359	494
	引張強度	4.9	13.7	17.3	19.1	28.0	40.3
	弾性係数	7.6×10^4	11.4×10^4	12.4×10^4	12.9×10^4	16.0×10^4	18.1×10^4

2. 高温養生(40℃、50℃、70℃) 実際の温水養生の場合のコンクリート表面付近を想定し、供試体の養生行程を検査1日から7日まで40℃、50℃の温水中、検査7日以後70℃水中としその圧縮強度を表-4に示す。表-4より高温養生すると検査7日で20℃養生の検査28日に、検査28日で20℃養生の検査91日にそれぞれ相当する強度を示し長期検査においてはほぼ差がないように思われる。また断熱温度上昇試験、モデル実験等より実際の軽量フーケンの中心部の温度履歴を想定し、供試体の養生行程を検査1日から14日まで70℃の蒸気養生槽中、それ以後検査35日までは徐々に温度を下げて検査35日で30℃としその後は30℃水中養生としその圧縮強度を図-1に示す。図-1より70℃程度の高温養生としても検査67日で標準養生に比べ1割程度しか低くなく、構造上何ん

表-4 高温養生の圧縮強度試験結果 (N/mm²)

配合記号	養生温度 (℃)	試験 検査 (日)				
		3	5	7	28	91
M.C.N	20	183	247	272	399	452
	40	229	321	354	448	469
	50	282	386	410	444	447
M.C.M	20	147	170	204	359	494
	40	183	286	283	495	498
	50	204	309	440	501	491

う問題ないであろう。さらに長期強度については現在継続実施中である。

3. 温度応力 表面部と中心部と温度差による表面応力は一般に $\sigma = \alpha \cdot E' \cdot \Delta T$ で表わすことができる。ここに α は熱膨張係数(1/℃)、 E' は弾性係数(N/mm²)、 ΔT は表面部と中心部の温度差(℃)とする。

(1) 温度上昇時 モデル実験により検査3日程度で供試体中心部は最高温度に達するので、表-2、表-3から $\alpha = 2.68 \times 10^{-6}$ 、 $E' = \frac{1}{2} E = 5.7 \times 10^4$ (E はフリー70にある応力緩和を考慮して弾性係数 E の $\frac{1}{2}$ とした)、 $\alpha = 13.7$ とすると $\Delta T = \frac{\sigma}{\alpha E'} = 46.9^\circ\text{C}$ とする。表-2、表-3の特性値は実験室での供試体での値であり実際の施工の場合の不明な要素、安全等を考慮して仮に水防とのため表面と中心部と温度差は30℃以下にしたい。温度差 $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$ とするには中心部の最高温度が75~70℃と考えられるので温水温度は45~40℃とする。

(2) 温度下降時 検査5日の諸特性値で考えその以外は温度上昇時と同じとすると $\Delta T = 49.7^\circ\text{C}$ となり不明な要素、温水に下る強度増進、安全等を考慮して温水温度は30℃程度とすればよいであろう。

4. まとめ 軽量スコンクリートのひびわれ防止対策の1つとして温水養生を非常に有効な養生方法であることが以上の考察および実際に施工したフーケンの温度測定、ひびわれが発生していないこと等から明らかになった。なお紙面の都合上、実際の施工上の具体的な内容(温度管理、温度測定結果等)については当初予定していたとおり結果が乏しいことでは省略する。