

日本国土開発(株)の正会員 竹下 治之
日本国土開発(株) 正会員 横田 季彦
日本国土開発(株) 浅沼 潔

1. まえがき これまで、鉄筋はマスコンクリートの温度ひびわれ抑制に対しても効果があり、温度ひびわれの発生が懸念される場合は、必要に応じて、ひびわれ抑制のための補強鉄筋が考慮されてきた。しかし、最近の研究によれば、コンクリートの熱膨張係数は材令とともに変化し、しかも、その値は、ごく若材令を除き、一般的に $8 \sim 11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度であることが多い^(1,2)。これに対し、鉄筋の熱膨張率は、 $11 \sim 12.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とコンクリートと比較して幾分大きく、マッシュ型鉄筋コンクリート構造物では、水和熱の発生に伴い、これらの熱膨張率の差により、コンクリートに引張応力が生じ、ひびわれ抑制のために配置した鉄筋が、温度ひびわれの発生を助長させる場合も考えられる。

本研究では、このような現状から、室内実験により、マスコンクリート中の鉄筋の作用効果、影響範囲、鉄筋拘束比率、及び骨材の相違が鉄筋導入応力に及ぼす影響などについて検討したものである。

2. 実験概要 実験は、表-1に示すように、(i)鉄筋がコンクリートに及ぼす影響範囲を検討するシリーズ、(ii)骨材の相違が鉄筋導入応力に及ぼす影響を検討するシリーズの計7体の供試体により行った。

各供試体は、図-1に示すように、ひずみゲージを貼付した鉄筋を断面中央に配置し、マスコンクリートの温度履歴及び養生状態と近似させるため、周辺をビニルシートと断熱材で覆い、水分の移動と水和熱の急速な発散を防止した。また、供試体の自由な伸縮を可能とするため、供試体周辺に薄い板を配置しておき、コンクリート打設3～4時間後に、これを引き抜き、周囲との縁切りを行った。

使用した骨材及び配合を、表-2及び表-3に示す。なお、各配合の目標強度は 350 kgf/cm^2 である。

3. 実験結果及び考察 各供試体のコンクリート温度の経時変化を図-2に示す。M-1～M-3の試験から得られた鉄筋の拘束ひずみ(鉄筋の伸縮に対しコンクリートにより拘束されたひずみ)と温度変化量の関係を図-3に示す。図に示されるように、打設初期は小さな引張ひずみが、温度上昇とともに次第に圧縮ひずみが導入される。

その後、温度が降下するに従い、圧縮ひずみは次第に減少し、温度安定時にはある一定値となる。このような現象は、図-4及び図-5の鉄筋及びコンクリートの熱膨張率の経時特性から理解される。即ち、鉄筋の熱膨張率の変化は小さいのに対し、コンクリートのそれはかなり大きく変化し、しかも、鉄筋の熱膨張率は、ごく若材令を除き、コンクリートのそれよりも大きい。従って、温度変化を受けると、この熱膨張率の差により、鉄筋の伸縮がコンクリートにより拘束され、鉄筋に圧縮ひずみが導入される。

表-1 供試体一覧

供試体名	使用配合	使用鉄筋	実験目的
M-1		D32	
M-2	K	D22	鉄筋がコンクリートに及ぼす影響範囲の検討
M-3		D13	
M-4	K		
M-5	T	D22	骨材の相違が鉄筋導入応力に及ぼす影響の検討
M-6	F		
M-7	S		

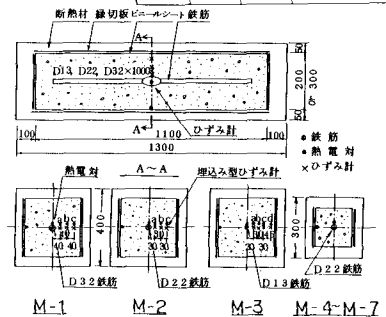


図-1 試験用供試体

表-2 使用骨材

シリーズ名	名称	FM	比量	名称	FM	比量
K	鹿児島川砂利	6.54	2.5	鹿児島川砂	2.67	2.60
T	徳久井産砂利	6.48	2.5	徳久井産砂	3.13	2.59
F	富士川産砂利	6.56	2.5	富士川産砂	2.97	2.59
S	人工軽集骨材(セライト)	6.15	2.0	鹿児島川砂	2.67	2.60

表-3 配合

配合名	スラブ厚 (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	粗骨材 S/a (%)	単位量 (kg/m³)						
					水 W	セメント C	粗骨材 G	細骨材 S	減水剤 AE	減水剤 G	
K	8±1	4±1	40.3	39.7	138	342	736	1116	0.855		
T			41.5	42.3	167	402	730	1002	1.005		
F			40.8	41.5	153	375	740	1045	0.938		
S			42.0	42.7	172	410	731	438	1.025		

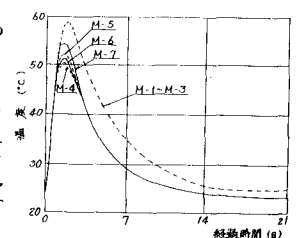


図-2 コンクリート温度の経時変化

図-6に、鉄筋周辺のコンクリートのひずみと温度変化量の関係の1例を示す。同図から、例えば、温度上昇時における直線部のひずみ変化率を求めれば、これと自由膨張時におけるコンクリートの熱膨張率との差が鉄筋による影響値と考えられるが、これを図-7に示す。同図から、鉄筋が熱膨張率の差により、コンクリートに影響を及ぼす範囲は、約9φ(φ：鉄筋径)と考えられる。

図-8に、各種骨材を用いた場合の、鉄筋の拘束ひずみと温度変化量の関係を示すが、使用骨材により、両者の関係はかなり異なることが分かる。同図と図-5から、骨材の相違によるコンクリートの熱膨張率の変化と鉄筋の拘束ひずみ変化率の間には、一義的な関係があることが分かる。即ち、熱膨張率のかなり小さい骨材Fの場合は、拘束ひずみの変化率及び最大ひずみ値ともに大きくなる。この場合、鉄筋周辺の直径6φの円筒状のコンクリートが、鉄筋の膨張抑制に関与すると考えると、熱膨張率の差により、コンクリートに発生する最大引張応力は約 $6.6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ となり、無視できない値となる。

また、図-5及び図-8から、温度上昇時の熱膨張率の一定値が、温度下降時の一定値よりも小さい場合(K, T, F)は、温度安定時に鉄筋に圧縮応力が、換言すれば、コンクリートに引張応力が残留し、これと逆の場合(S)は、コンクリートに圧縮応力が残留することが分かる。

このように、鉄筋とコンクリートの熱膨張率の大小、及びこれらの経時変化により、コンクリートに発生する応力は異なることが分かる。しかし、いずれにしても、一般の骨材を使用した場合、マスコンクリート中に配置した鉄筋により、コンクリートに引張応力が発生する傾向があり、この点、温度ひびわれ抑制のために配置する鉄筋は注意を要すると考えられる。

図-3及び図-8の温度上昇時、及び温度下降時における直線部の勾配として求められる鉄筋の拘束ひずみ変化率と、図-4及び図-5における鉄筋とコンクリートの自由伸縮時の熱膨張率の関係から、鉄筋の自由伸縮に対する拘束比率を求めると、図-9のようである。鉄筋は、コンクリートにより、伸縮に対しかなり大きな拘束を受けており、その拘束比率は鉄筋径の小さなもの程大きくなる傾向にある。

4. まとめ (1)、一般に、鉄筋の熱膨張率は、コンクリートのそれに比べて大きいため、マスコンクリート中においては、両者の熱膨張率の差により、コンクリートに引張応力が発生する。
- (2)、このような応力発生傾向は、鉄筋の熱膨張率の他、主に骨材の相違によるコンクリートの熱膨張率の大小、及びその経時変化と密接な関係がある。
- (3)、熱膨張率の差により、鉄筋が周辺のコンクリートに影響を及ぼす範囲は、鉄筋径の約9倍の範囲であると考えられる。
- (4)、鉄筋の自由伸縮に対するコンクリートの拘束比率は、鉄筋径の小さなもの程、あるいは、温度上昇時よりも温度下降時の方が大きくなる傾向がある。
- (5)、このような現象から、温度ひびわれ抑制のために配置する鉄筋は特策でない場合も考えられる。

参考文献 1) 川口 徹：コンクリートの熱膨張係数に関する諸性の研究成果について、日本コンクリート学会
 マスコンクリート, 1982, 10. 2) 竹下也：マスコンクリート物の基礎的特性について、同前。

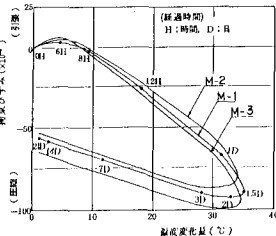


図-3 鉄筋の拘束ひずみと温度変化量の関係

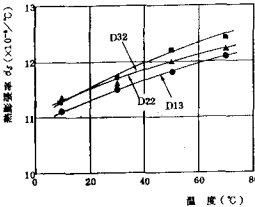


図-4 鉄筋の熱膨張率の変化

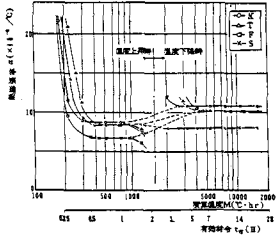


図-5 各種骨材を用いたコンクリートの熱膨張率の経時変化

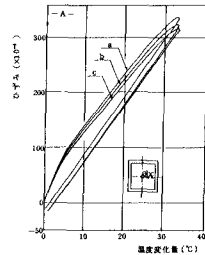


図-6 コンクリートのひずみと温度の関係

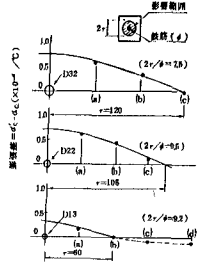


図-7 鉄筋の影響範囲

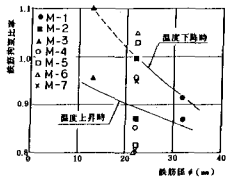


図-9 鉄筋拘束比率と鉄筋径の関係

図-8 各種骨材を用いた場合の鉄筋の拘束ひずみと温度変化量の関係