

論文

[1149] RC部材の鉄筋応力度とひびわれ幅におよぼす温度応力の影響

正会員 佐藤良一 (宇都宮大学建設学科)

正会員 氏家 勳 (宇都宮大学建設学科)

正会員○丸山明紀 (宇都宮大学建設学科)

1. まえがき

マッシブな鉄筋コンクリート (RC) 構造物のひびわれ制御技術の1つとして、ひびわれの発生を認め、生じたひびわれの幅を制御する考え方が定着しつつある。これを反映して、最近では温度ひびわれ幅の予測方法に関する研究が活発に行われるようになった[1]。

一方、LNG地下タンク底版やマットコンクリートなどのような層状に打設される大断面のRC構造物では、水和熱による温度応力の履歴を受けた後に荷重を受けることになるが、その場合の力学的特性やメカニズムが必ずしも明らかにされていないことも手伝って、設計上この温度応力の影響が考慮されることはないように思われる。このような観点から、筆者らは温度ひびわれを有するRCはり部材の力学性状を実験的に検討した[2]。これによりひびわれ幅が荷重を受けた場合にも残留する傾向は確認できたが、載荷実験時の拘束が小さかったため、他の性質におよぼす温度応力の影響は不明確であった。

そこで本研究は、上記の問題点を踏まえ新たに2層に打設されるRCはりモデルを用い、そのはりの2層目に打設される部分に実際に即した温度履歴を与えることによって温度ひびわれを発生させ、さらにこの温度ひびわれを有するRCはりの載荷実験を実施することによって、温度応力および温度応力と荷重によって生じるひびわれ幅、鉄筋応力度、部材断面内のひずみなどの挙動を明らかにすることを目的とする。

2. 実験の方法

2.1 使用材料とコンクリートの性質

1層目の拘束体にはレディーミクストコンクリートを、2層目の被拘束体には室内混合したコンクリートを用い、それらの粗

表-1 コンクリートの力学的特性

	強度試験時の条件	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (x10 ⁴ kgf/cm)
被拘束体	標準養生(材令28日)	584	38.4	35.2
	載荷試験時(材令28日)	546	35.0	31.2
拘束体	標準養生(材令28日)	372	32.1	36.7
	被拘束体打設時(材令13日)	367	29.0	33.9
	載荷試験時(材令72日)	447	28.3	30.5

骨材最大寸法、水セメント比、単位セメント量はともに20mm、42.3%、380kg/m³である。これらに用いたコンクリートの力学的性質は、表-1に示すとおりである。

用いた鉄筋は、SD30D16であり、その実測弾性係数および降伏点応力は190×10⁴、3575kgf/cm²である。また、スターラップおよび拘束体の圧縮鉄筋にはSD30D10を用いた。

2.2 供試体の作製

温度ひびわれ実験に使用する供試体は、被拘束体、拘束体の二つの部分から構成される。それ

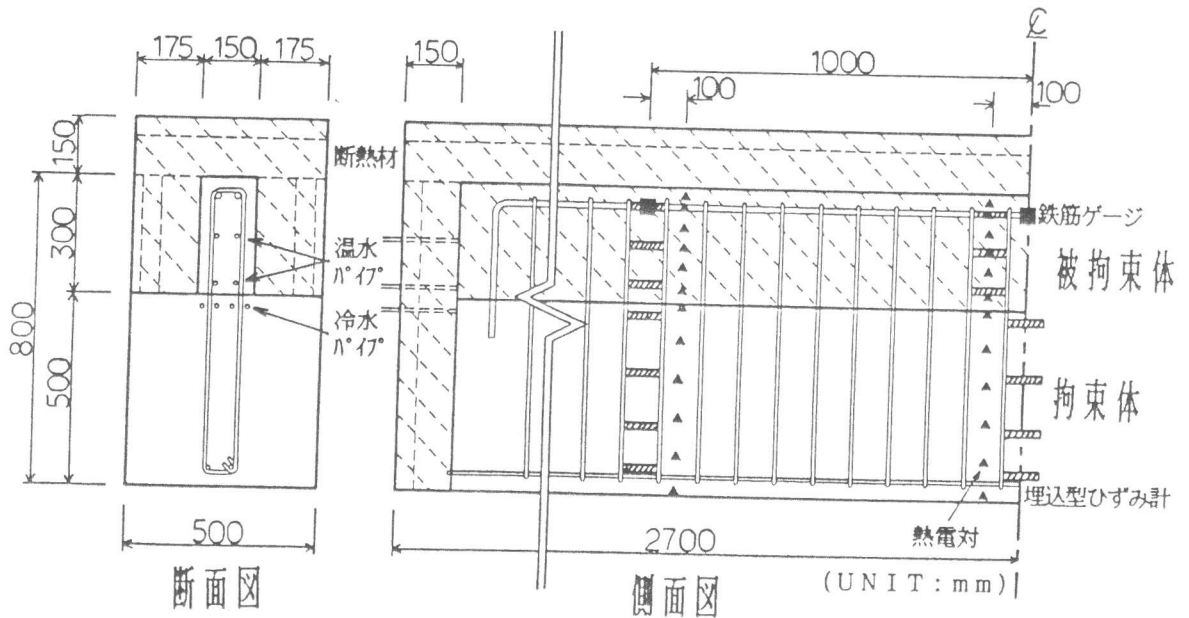


図-1 供試体の諸元、配筋および温度ひびわれ実験方法

その寸法は、図-1に示すように15x30x540cm、50x50x540cmである。作製した数は1体である。被拘束体をウェブ、拘束体をフランジとし、これを一体化すれば引張部が温度応力を受けたT型ばりとなる。

被拘束体の鉄筋比は0.88% (2D16)である。この場合、T型ばりとしての引張鉄筋比は0.13%となる。

被拘束体と拘束体との一体性は、スターラップを10cmピッチで配筋することおよび拘束体の被拘束体との打継面を遅延剤を用いてグリーンカットすることにより確保した。

2.3 温度ひびわれ実験および計測方法

実構造物に即した温度履歴を与えるために、図-1に示すように被拘束体の4箇所にパイプを配置し、ここに温度コントロールした温水をコンクリート打設直後から注水し、さらに型枠として用いた厚さ15cmの発泡ポリスチレンフォームにより断熱した。一方、拘束体のほうにはパイプを4本配置し、これに水道水(13°C)を常時注水することにより極力熱移動しないように配慮した。

計測は温度、コンクリートひずみ、鉄筋ひずみおよびひびわれ幅について行った。それぞれの測定位置は図-1および図-2に示すとおりである。鉄筋ひずみの計測には温度補償型のひずみゲージを用いたが同一ロットのゲージをダミーゲージとして鉄筋と同じ高さの位置に埋設し、その実測ひずみを実測鉄筋ひずみから差し引くことにより鉄筋の応力ひずみを求めた。

鉄筋ひずみと対応させてひびわれ幅を測定するため鉄筋ひずみを測定した中央断面に予めスリットを入れひびわれを誘発し、この位置で標点距離10cmとしたコンタクトチップをひびわれ発生

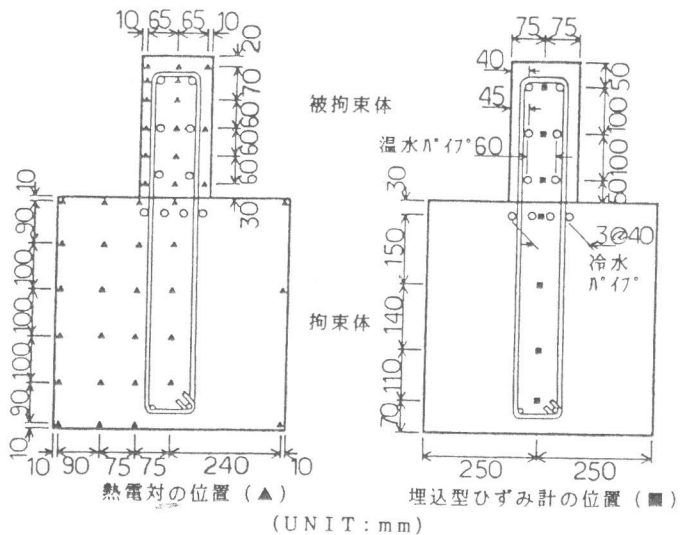


図-2 断面の温度、ひずみ測定位置

前に貼付し、コンタクトゲージを用いてひびわれ幅を測定した。

温度応力実験から荷重実験への移行の時に自重によって生じる変形を鉄筋位置で標点距離10cm、精度1/500mmのパイ型変位計により測定した。測定した区間の長さは100cmである。

2.4 荷重実験および計測方法

荷重実験は図-3に示す方法で行った。

計測項目は鉄筋ひずみ、コンクリートひずみ、ひびわれ幅、たわみ量である。

鉄筋ひずみは、温度応力により生じた鉄筋ひずみを測定したゲージにより測定した。ひびわれ幅はパイ型変位計により測定した。したがって、移動前のパイ型変位計の初期値がコンタクトゲージで計測したひびわれ幅に等しいとしている。

たわみ量は精度1/200mm、最大変位量50mmの変位計により測定した。

荷重は概ね0.5tfおきに荷重し、その都度上記の項目について測定した。

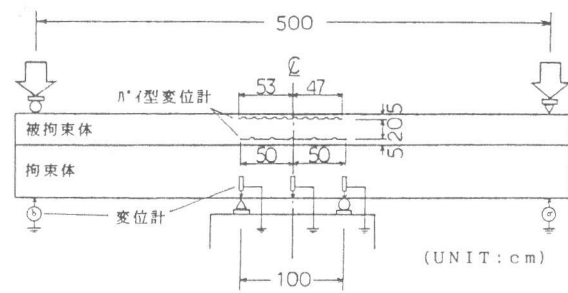


図-3 荷重実験方法

3. 実験結果とその考察

セメントの水和熱と温度制御された温水を注水することにより得られた鉄筋位置での実測温度履歴を図-4に示す。鉄筋位置での最大温度上昇量は41.5℃、最大温度降下量は56.6℃であった。

図-5は中央断面付近の実測温度および実測ひずみを用いて求めた応力と2次元FEM解析[3]により求めた応力を示したものである。ただし、実測ひずみは打設後4時間を基準とし、コンクリートの有効弾性係数および引張強度は土木学会の標準示方書に従って求めた。また、コンクリートの線膨張係数は $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とした。実測ひずみに基づく応力は4～6日の

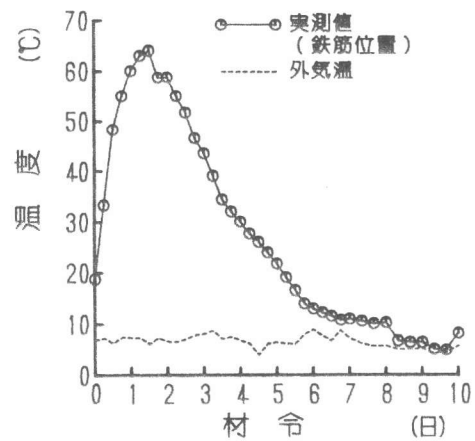


図-4 鉄筋位置の温度の経時変化

間で増加率が鈍化しているが、これはひびわれが生じたためである。

FEM

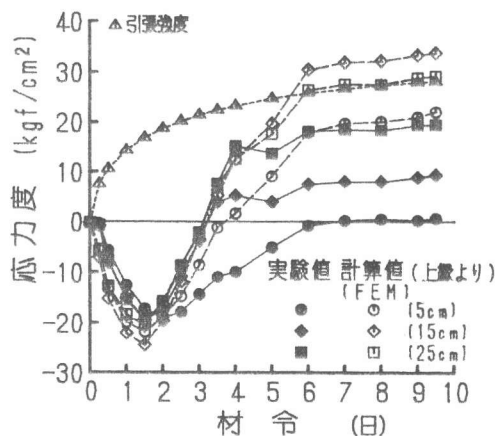


図-5 コンクリート応力の経時変化

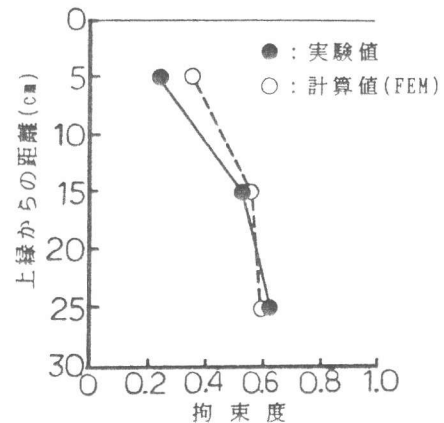


図-6 被拘束体高さ方向の拘束度の分布

解析より得られる応力と図-5で用いた引張強度より求めた温度ひびわれ指数は0.72であった。また、ひびわれ発生前の材令2.5日での断面高さ方向の拘束度の分布を示せば図-6のようで、実測値と計算値はよく一致した。図-7は温度応力によるひびわれ発生前の全ひずみの断面高さ方向の分布を示したものである。この図に示されているように、拘束体、被拘束体それぞれの断面内ではひずみは直線分布している。しかし、接合面付近で急激な温度変化を生じ実構造物の場合と異なっているが、ひびわれ発生前の圧縮応力状態の段階であっても接合面で不連続が生じ、ひずみの直線性は成り立っていない。一方、ひびわれ発生後における拘束体と鉄筋との間ひずみ分布は図-8に示すとおりであって、両者の間には明らかにひずみの直線性はない。図-9は鉄筋の応力ひずみの性状を示したものである。材令6日付近で応力度が720kgf/cm²に達し、その後増大が停止しているが、これは中央

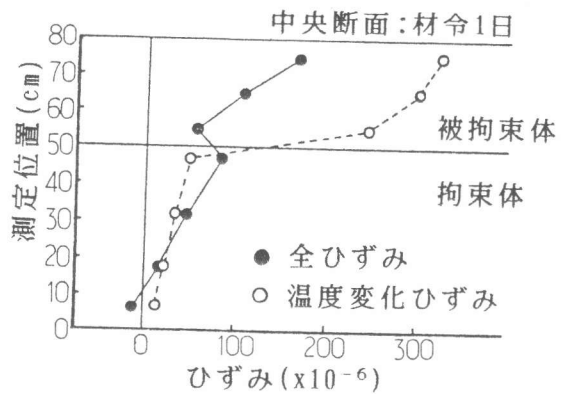


図-7 ひびわれ発生前の断面ひずみ分布

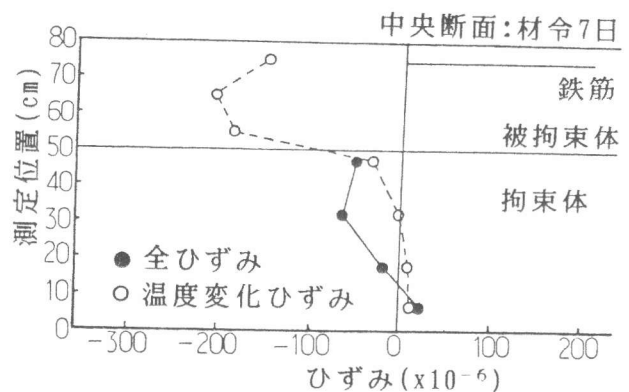


図-8 ひびわれ発生後の断面ひずみ分布

断面から1.16mおよび1.46mの断面に、多数のコードの配置や運搬用のフックによる断面欠損

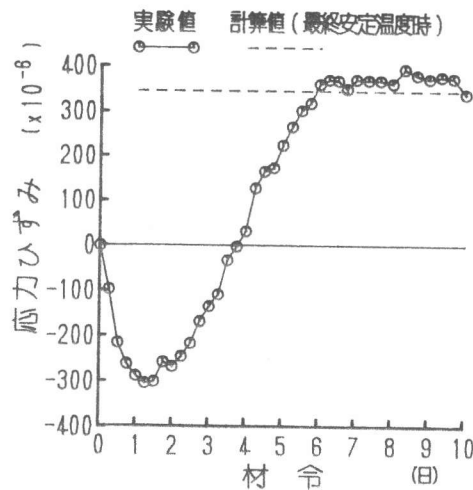


図-9 鉄筋の応力ひずみの経時変化

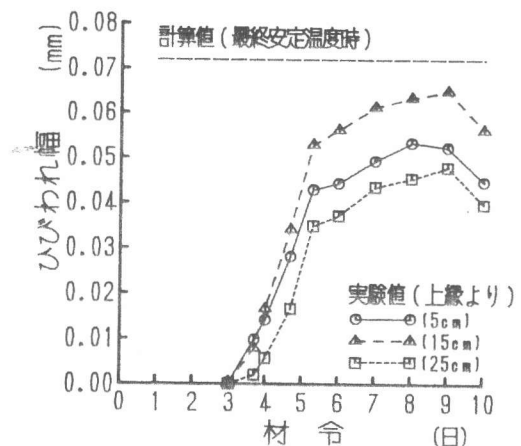
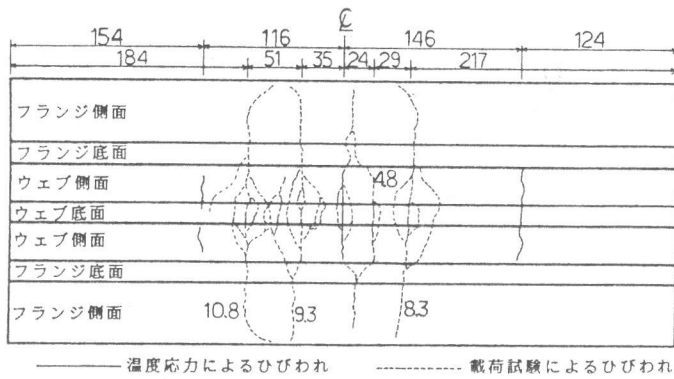


図-10 ひびわれ幅の経時変化

が原因と考えられるひびわれが生じたためと考えられる。図-10は図-5の結果に基づいて、計算によるコンクリート応力が0となる材令3日を基準とした場合のひびわれ幅の性状を示したものである。この場合も鉄筋応力度の場合と同様、材令5日位から増大が停止しているが、鉄筋位置で最大で約0.065mmのひびわれが生じた。そこで、鉄筋位置での実測拘束度0.25を用い、ひびわれ間隔を1.31mとして、筆者らが提案したボンドスリップ法[4]によって鉄筋応力度、ひびわ



降伏荷重(11.9tf) 図中の数値：降伏前の主なひびわれ発生荷重(tf)

図-11 ひびわれ性状

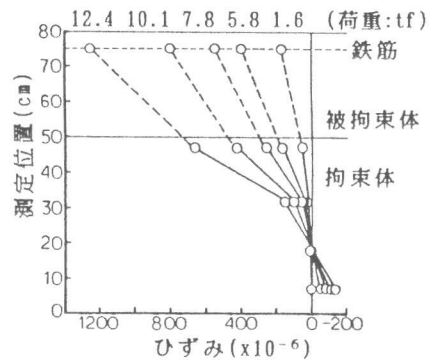


図-12 荷重による断面ひずみ分布の変化

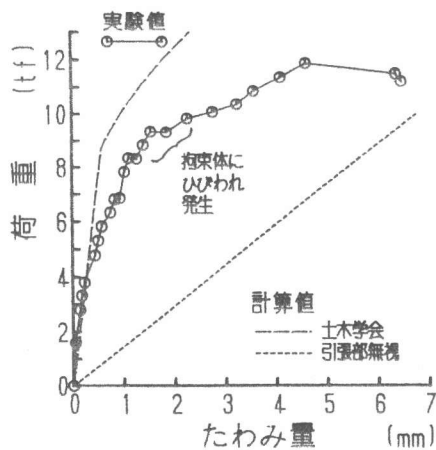


図-13 荷重-たわみ量の関係

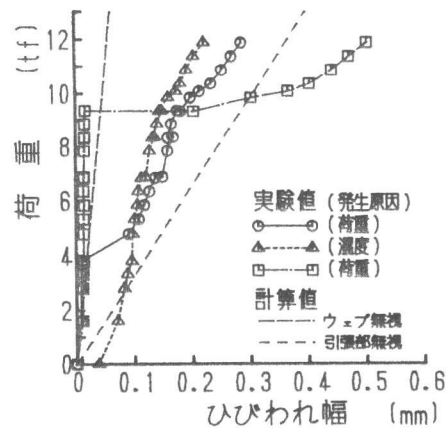


図-14 荷重-ひびわれ幅の関係

れ幅を算定すれば $650\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 0.072mm であって、実測値とかなり近い値が得られた。

次に、図-11は載荷実験終了時のひびわれ状況を示したものである。先にも述べたように、温度ひびわれはスリットを設けた中央断面およびゲージのコードや運搬用のフックによって断面欠損した位置に生じた。荷重によるひびわれは4本生じ、その最大ひびわれ間隔は51cmと土木学会の式による値16.6cmの約3倍大きかった。これは一つには鉄筋比が小さく、ひびわれが十分分散する前に鉄筋が降伏したためと思われる。図-12は荷重によって生じた断面内のひずみ分布を示したものであり、温度ひびわれの場合と異なり、拘束体

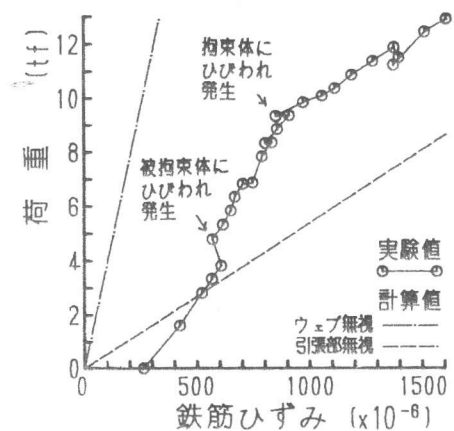


図-15 荷重-鉄筋ひずみの関係

圧縮部と鉄筋のひずみの間にはおおむね直線性があると考えられる。図-13はRCはりのたわみについて実測値と土木学会の有効断面2次モーメントおよび引張部コンクリートを無視した断面2次モーメントを用いて求めた計算値を比較して示したものである。コンクリートの引張強度

は載荷時の値 35.0kgf/cm^2 を用いている。この図からわかるように、実測たわみは有効断面2次モーメントを用いた計算値より大きくなる傾向があり、拘束体にひびわれが発生した後は特にその傾向が著しい。図-14は実測ひびわれ幅と土木学会の式による計算値を比較して示したものである。土木学会の式がひびわれが十分分散した状態を対象としているのに対し、本実測値はひびわれが十分分散していない段階の値であるため、即断はできないが、実測値の最大値は計算値より降伏直前で 0.14mm 大きく温度応力の影響が無視し得ない可能性のあることを示している。最後に、図-15は鉄筋のひずみ挙動を示したものである。鉄筋ひずみは、被拘束体に新しいひびわれが生じれば減少するが、被拘束体のコンクリートを無視した計算値とほぼ平行に増大し、このことから、拘束体にひびわれが発生するまでは明らかに温度応力の影響が認められる。しかし、拘束体にひびわれが生じて引張部を無視した通常のRC理論による値よりは小さく、RC理論によって計算しておけば十分安全であるということになる。ところがひびわれ幅と関連づけて考えれば、この断面はクリティカルな断面とはいえず、以上のことから、従来のRC理論によれば安全サイドの計算値を与えるとはいえないと思われ、さらに実験を重ね検証する必要がある。

4. まとめ

2層に打設されるRCはりモデルを用い、2層目に実構造物に即した温度履歴を与えて温度ひびわれを発生させ、その温度ひびわれとそれを有するRCはりの諸性質について実験的に検討した結果、本研究の範囲内で得られた主な結論は以下のとおりである。

- 1) 温度ひびわれ発生前では被拘束体および拘束体各々の断面内ではひずみは直線分布するが、両者の接合面ではひずみの不連続性が認められた。温度ひびわれ発生後では拘束体と鉄筋の間にはひずみの直線性は認められない。しかし、荷重によって生じた拘束体圧縮部と鉄筋のひずみの間にはおおむね直線性が認められた。
- 2) 鉄筋応力度およびひびわれ幅には、荷重の作用後も少なくとも拘束体にひびわれが発生するまでは、温度応力の影響が明らかに認められる。拘束体にひびわれが発生した後も、ひびわれ幅については、実測値は土木学会の計算値より最大で 0.14mm 大きく、温度応力の影響の可能性のあることが認められた。

[謝辞] 本研究は文部省の科学研究費(総合研究(A) 課題番号02302061 代表田辺忠顕名大教授)の援助の下で実施したものであり、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の体積変化によるひびわれ幅制御に関するコロキウム論文集、1990
- 2) 佐藤良一他：温度応力を受けたRC部材のひびわれに関する研究、コンクリート構造物の体積変化によるひびわれ幅制御に関するコロキウム論文集、pp.71-80、1990
- 3) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリート温度応力の計算方法とそのパソコンプログラム、1985
- 4) 佐藤良一、氏家勲、櫻井実：マッシュな鉄筋コンクリート部材の最大ひびわれ幅の予測、コンクリート工学 年次論文報告集、第11巻、第1号、pp451-456、1989