

温度応力によるひびわれ制御に関する研究 (その1)

芳賀孝成 十河茂幸
三浦律彦 新開千弘
小島省三 入矢桂史郎
(本社 LNG 地下タンク) (本社 LNG 地下タンク)
プロジェクト・チーム プロジェクト・チーム

Study on Control of Cracking in Concrete Structure due to Thermal Stress (Part 1)

Takashige Haga Shigeyuki Sogo
Norihiro Miura Chihiro Shinkai
Shozo Kojima Keishiro Iriya

Abstract

Thermal stress from hydration has been a common problem which occurs in concrete structures, and especially, from the point of view of durability, leakage, and corrosion of reinforcement, it has been looked forward to that countermeasures to cracking will be established. The causes of thermal cracks are thought to be composed of many factors, and it is difficult to estimate the effect of a single countermeasure. For this reason, the authors tried to grasp the effects of mix proportions, execution methods, arrangement of reinforcement, etc., on controlling of cracks by means of FEM analysis. Moreover, the authors researched the effects of expansive admixture, kinds of forms, and stripping time on control of thermal cracks, through measurements in reinforced concrete walls. The results are as follows: (1) The effects of decrease of unit cement content and use of low-heat expansive admixture are great. (2) In case of predominance of internal restraint, the effects of low-heat expansive admixture and adiabatic curing are great. (3) Long-time curing with forms of good insulation properties and arrangement of reinforcement as near as possible to the surface within limits that the required thickness of cover is provided are desirable.

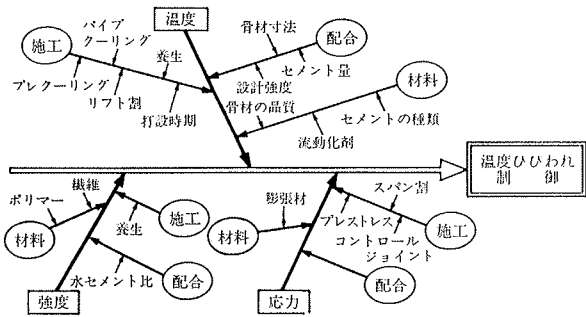
概 要

温度ひびわれの発生は各種コンクリート構造物に共通した問題であり、特に、鉄筋の腐食や漏水による耐久性低下などの観点からその防止対策の確立が望まれている。温度ひびわれの発生原因は、数多くの要因が複雑にからみ合ったものであり、一つの対策についてその効果を一義的に評価することは難しい。そこで、FEM 解析により、配合、施工方法、配筋などがひびわれ制御効果に及ぼす影響について定量的な把握を試みた。さらに、膨張材、型枠の種類および取外し時期について、RC 壁を用いた計測によりその効果を調べた。その結果以下のことがわかった。(1) 単位セメント量の低減および水和熱制御型膨張材の温度ひびわれ制御効果は大きい。(2) 低熱型セメントの使用および断熱養生は、内部拘束の卓越する構造物において温度ひびわれ制御効果が大きい。(3) 温度ひびわれの制御には、保温性の良い型枠を長期間存置することおよび、鉄筋を所要のかぶり確保できる範囲でできるだけ表面に近い位置に配することが望ましい。

1. まえがき

マッシブなコンクリート構造物では、セメントの水和熱によって生じる温度応力によりひびわれ（以下温度ひびわれと称す）を生ずることが多い。温度ひびわれは、主として、コンクリートダム、橋台などの部材厚の大き

いコンクリート構造物に対して問題とされることが多かったが、貯水槽などの厚さ 0.8 m に満たない RC 壁などにおいても、温度ひびわれの生じる危険性が大きいことが知られている。そのため、コンクリートに生ずる温度ひびわれの問題は、ほとんどの土木コンクリート構造物において留意すべき事項となっている。しかし、制御



図一 温度ひびわれに及ぼす各種要因

対策の定量的評価がなされていないため、いまだに完全な防止方法は確立されていない。そこで、図一に示す温度ひびわれに及ぼす各種要因のうち、効果の大きいと考えられるいくつかのものを対象に、解析および実験によりその効果について検討を加えた。

2. 配合の違いによる影響

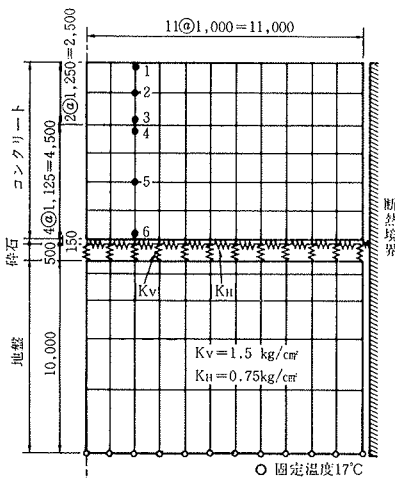
2.1. 要因と組合せ

配合の違いが温度ひびわれに及ぼす影響は大別すると単位水量、単位セメント量とセメントの種類である。さらに、強度の増加による引張応力へのコンクリートの影響について水セメント比 (w/c) の要因を加え、解析により表一に示す組合せで比較を行なった。セメントの種

ケース NO.	セメントの種類	単位量 (kg/m ³)		水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	熱拡散係数 ×10 ³ (m ² /hr)	配合の種類
		水 W	セメント C				
1	MKB	150	250	60	40	3.14	A
2		165	275				B
3		180	300				C
4		150	375				D
5		300	50				E
6	NP	150	288	52	46	3.13	F

表一 解析ケースと配合

類については、マスコン用の低熱型セメントとして、マスコン型高熱セメント B種 (MKB) を中心とし、普通セメント (NP) との比較を行なった。セメントの種類および単位水量の比較ケースの場合は、設計基準強度

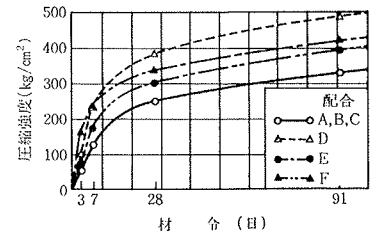


図二 解析モデルと計測位置

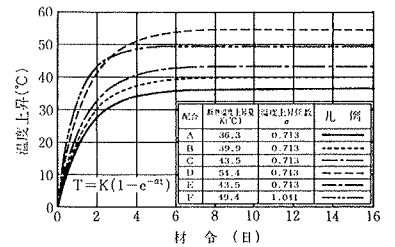
(σ_{cr}) を一定とし、その強度管理材令を NP について28日、MKB については長期材令ののびを考慮して91日とした。

2.2. 解析条件

解析に用いたモデルは、図二に示す直径 22 m、厚さ 7 m の軸対称ベースマツト状構造物で、4.5 m と 2.5 m の 2 リフト分割打設として、打継ぎ間隔は19日と



図三 コンクリート強度

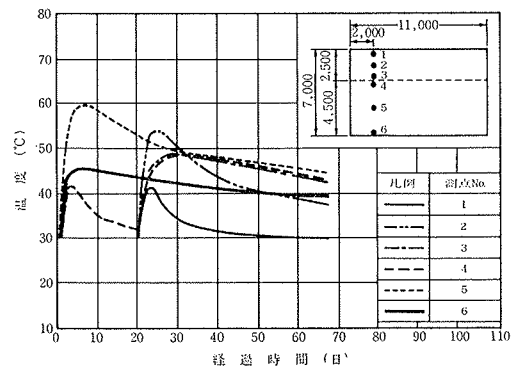


図四 コンクリートの断熱温度上昇

した。温度解析では、コンクリート下部の地盤を厚さ 10 m 考慮し、地盤の下端を17°Cの固定温度とした。また、コンクリート上面はマツト+散水養生を想定し、養生期間中 (第1リフト9日間、第2リフト11日間) は熱伝達率を 10 kcal/m²hr°C とした。応力解析に際しては、地盤による拘束を図二に示すバネに置き換え、側面は自由端とした。コンクリートの強度 σ_c は実験結果から有効材令を用いて想定し、その結果を図三に示した。静弾性係数 E および引張強度 σ_t は実験結果から圧縮強度の関数として、 $E_c = 20,000 \sqrt{\sigma_c}$ 、 $\sigma_t = 0.621 \sigma_c^{2/3}$ とした。また、実験結果より求めた各配合におけるコンクリートの断熱温度上昇曲線を図四に示す。

2.3. 結果と考察

コンクリート断面内の各点温度の経時変化の一例として、図五にケース5の結果を示す。断面内でも最も温度上昇が大きいのは、いずれの配合の場合も第1リフトの中心である。測点5における各ケースのコンクリートの温度経時変化を図六に示す。最高温度と表面部 (測点4) との温度差を部材内外の温度差とし、表二に示

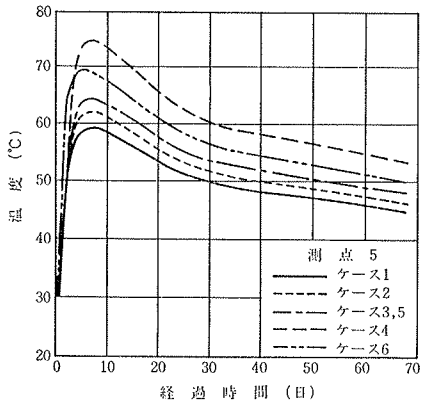


図五 各測点における温度の経時変化 (ケース5)

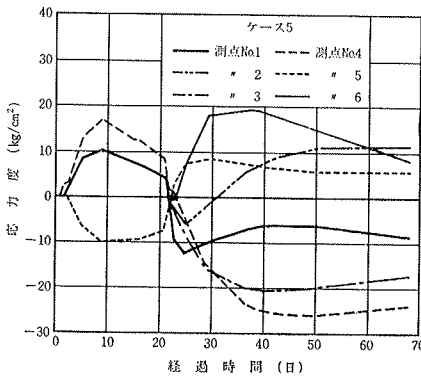
解析ケース	最高温度(°C)	温度上昇量(°C)	部材内外の温度差(°C)
1	59.0	29.0	20.5
2	61.8	31.8	23.0
3	64.2	34.2	24.5
4	74.0	44.0	31.0
5	64.2	34.2	24.5
6	69.5	39.5	26.0

表一 最高温度上昇と部材内外の温度差

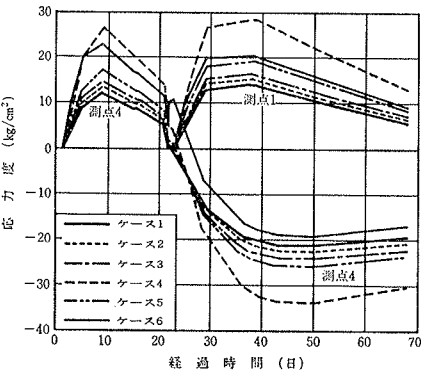
す。コンクリート断面内の各測点における応力変化の一例として、図一七にケース5の結果を示す。今回の解析では第1リフトの場合、ほとんど外部拘束がないため、引張応力が最大となるのは表面部分である。また、第2リフトにおいても、第1リフトの温度が高いため、内部拘束の影響が外部拘束に比べてより大きくなっている。図一八は各リフトにおいて引張応力度が最大となる測点4および1の各ケースにおける発生応力度を比較したものである。コンクリートに生ずる応力度は、いずれの場合も温度上昇量に対応しており、ケース4が最も大きく、次いで6, 5, 3, 2, 1の順となっている。しかし、コンクリートの引張強度の発現は、温度上昇が大きく積算温度の大きなものほど早く、またセメントの種類によっても



図一六 各ケースにおける温度の経時変化 (測点5)



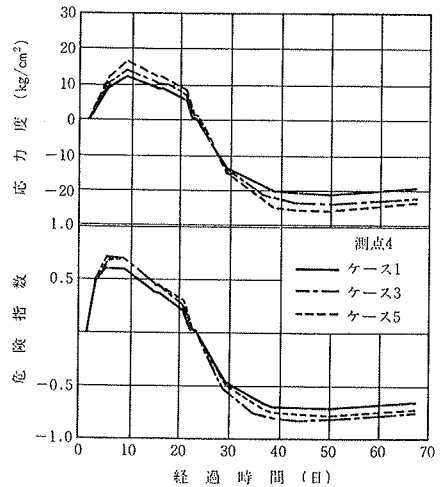
図一七 各測点における応力度の経時変化 (ケース5)



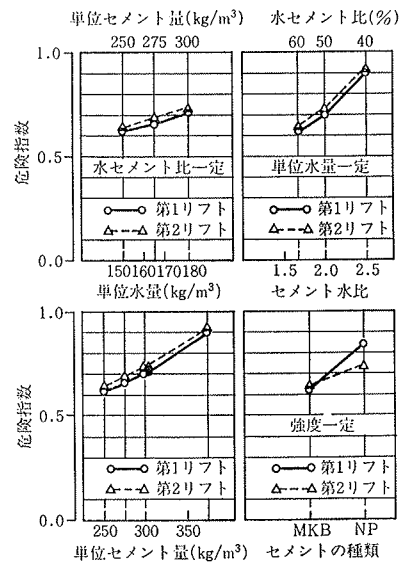
図一八 各ケースにおける応力度の経時変化

異なるため、発生応力度の大きさが必ずしも温度ひびわれの発生し易さと比例するとは言えない。そこで、各材令における発生応力度の引張強度に対する比を危険指数とし、この値の大小により温度ひびわれに対する危険性の比較を行なった。図一九は応力度と危険指数時変化の例をケース1, 3, 5の測点4について示したものである。引張応力度には各ケースごとに明確な差が認められるが、危険指数には大きな差がない場合もあり、最大値となる時期にもずれがある。図一十二はそれぞれの要因別に最大危険指数を比較したもので、この結果次のことが言える。①水セメント比が一定であれば単位水量をを少なくすること、すなわち単位セメント量を減ずることにより温度ひびわれに対してより安全となる。②水セメント比を小さくすることにより引張強度は大きくなるが、引張応力度の増加に対して小さいため、むしろ危険となる。③水セメント比に関係なく単位セメント量を低減することは、温度ひびわれ制御に有効である。④低熱型セメントの使用は、内部拘束応力の大きな構造物の温度ひびわれ制御に特に効果的である。以上、危険指数の比較により、単位セメント量の低減および低熱型セメント使用の効果が大きいことが認められた。しかし、条件によっては温度応力発生パターンが異なるため、他のモデルについてもさらに検討を加える必要があるものと思われる。

異なるため、発生応力度の大きさが必ずしも温度ひびわれの発生し易さと比例するとは言えない。そこで、各材令における発生応力度の引張強度に対する比を危険指数とし、この値の大小により温度ひびわれに対する危険性の比較を行なった。図一九は応力度と危険指数時変化の例をケース1, 3, 5の測点4について示したものである。引張応力度には各ケースごとに明確な差が認められるが、危険指数には大きな差がない場合もあり、最大値となる時期にもずれがある。図一十二はそ



図一九 危険指数の経時変化



図一十 各要因における最大危険指数の比較

れぞれの要因別に最大危険指数を比較したもので、この結果次のことが言える。①水セメント比が一定であれば単位水量をを少なくすること、すなわち単位セメント量を減ずることにより温度ひびわれに対してより安全となる。②水セメント比を小さくすることにより引張強度は大きくなるが、引張応力度の増加に対して小さいため、むしろ危険となる。③水セメント比に関係なく単位セメント量を低減することは、温度ひびわれ制御に有効である。④低熱型セメントの使用は、内部拘束応力の大きな構造物の温度ひびわれ制御に特に効果的である。以上、危険指数の比較により、単位セメント量の低減および低熱型セメント使用の効果が大きいことが認められた。しかし、条件によっては温度応力発生パターンが異なるため、他のモデルについてもさらに検討を加える必要があるものと思われる。

3. 施工方法による影響

3.1. 要因と組合せ

温度ひびわれに及ぼす施工上の要因は多いが、ここでは、打設リフト割および養生方法の2点について解析によりその影響を調べた。比較を行なったケースは、リフト割について、2, 3, 6分割の3条件、養生方法については、2リフト分割をモデルとし、断熱養生、灌水養生、マット+散水養生に養生を行なわないものを加えた4条件を想定した。各ケースの条件設定を表-3, 4に示す。

ケース	工程	10	20	30	40	50	60 (日)
1	2リフト (4.5+2.5m)	■	■	■	■	■	■
2	3リフト (2.25+2.25+2.5m)	■	■	■	■	■	■
3	6リフト (4@1.125+2@1.25m)	■	■	■	■	■	■

凡例：■ コンクリート打設 — 養生(散水+マット) 放置

表-3 リフト分割および工程

解析ケース	養生方法	熱伝達率 (kcal/m ² hr°C)	設定条件
1	養生マット+散水	7.5	乾燥したマットの熱伝達率から50%含水状態の熱伝達率を求めた
4	養生せず	10.0	実測値および既往の検証結果から微風状態における熱伝達率とした
5	灌水養生	5.0	既往の検証結果から10cm程度灌水した状態の熱伝達率を求めた
6	断熱養生	2.5	既往の実験結果から厚さ10cmの発泡スチロールの熱伝達率とした

表-4 養生条件

3.2. 解析条件

温度および応力解析には、2章で用いたモデル(図-2)を使用した。リフト割の施工工程は、表-3を示す通りである。養生方法の比較は、コンクリートの配合および熱的・力学的性質については、2章で示したA配合のものを用いた。

3.3. 結果と考察

リフト分割の各ケースの比較の結果、表面部分の温度は、ほとんど差がない

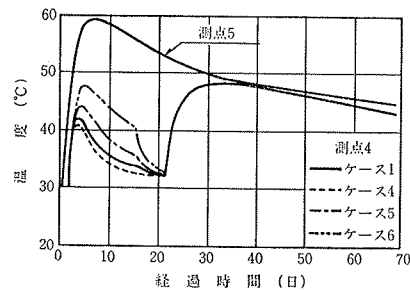


図-11 表面部温度の経時変化

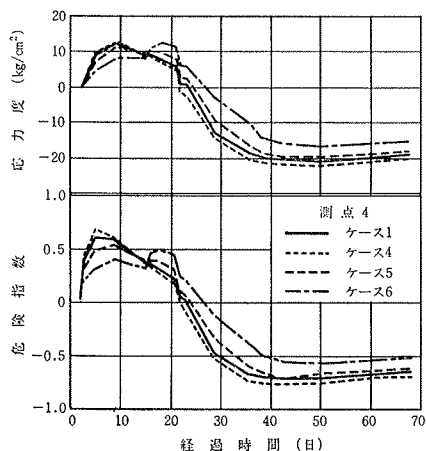


図-12 危険指数の経時変化

が、最高温度上昇量は2リフト分割では約59°C, 3リフト分割では約54°C, 6リフト分割では45°Cとかなりの差があり、断面内外の温度差低減にリフト分割はかなりの効果のあることが認められた。養生条件を変えた際の温度の経時変化を図-11に示す。養生条件が違って、中心部分(測点5)の温度にはほとんど差がないが、表面部分(測点4)の温度には大きく影響しており、断面内外の温度差を小さくするために保温養生を行なうことはかなり効果的である

ことがわかる。養生方法の違いによる発生応力度と危険指数の経時変化を図-12に、各ケースにおける最大危険指数と発生時間を表-5に示す。養生条件の違いによって生じた引張応力度の差は、積算温度の違いによる引張強度の伸びが加わることでさらに大きくなっている。各要因における最大危険指数の比較を図-13に示す。この結果次のことが言える。①リフト割を多くすれば各リフトごとの温度上昇が低くなるため、内部拘束による温度ひびわれ低減には効果的である。②養生は断熱するほど良い傾向にあるが、外部拘束が大きい場合は逆効果となることもあるので注意を要する。なお、今回の解析では、ベースマット状の構造物について比較を行なったが、外部拘束の単越する壁状態構造物などについても今後検討する必要がある。

4. 鉄筋による影響

4.1. 要因と組合せ

ひびわれ制御鉄筋を配することは、ひびわれを分散し、その幅を小さくすることに効果的であると考えられているが、一方、鉄筋とコンクリートの熱膨張係数差により水和熱によるコンクリートの温

解析ケース	測点 No.	危険時間 (日)	最大危険指数
1	4	5	0.62
	1	29	0.64
2	4	21	0.59
	1	39	0.60
3	4	27	0.41
	1	45	0.44
4	4	5	0.69
	1	29	0.67
5	4	9	0.55
	1	37	0.63
6	4	18	0.50
	1	39	0.74

表-5 最大危険指数

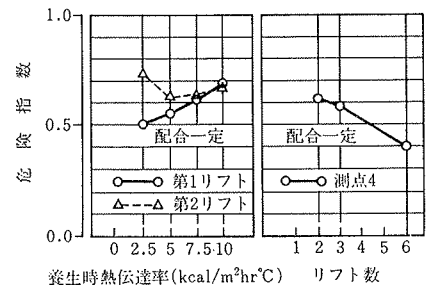


図-13 各要因における最大危険指数の比較

ケース	かぶり (cm)	鉄筋比 (%)	配筋方法	鉄筋の熱膨張係数 (10 ⁻⁶)
1			鉄筋なし	
2	10	0.5	2段	11.7
3	15	0.5	2段	11.7
4	5	0.5	2段	11.7
5	10	1.0	2段	11.7
6	10	0.2	2段	11.7
7	10	0.5	3段	11.7
8	10	0.5	4段	11.7
9	10	0.5	2段	コンクリートと同...
10	10	1.0	2段	コンクリートと同...

表-6 解析ケース

度上昇時に引張応力が生ずることが指摘されている³⁾。そこで、鉄筋がコンクリートの温度応力に与える影響について、鉄筋とコンクリートの熱膨張係数差を考慮し、かぶり厚さ、鉄筋比、配筋段数の3要因について解析により調べた。解析を行なった組合せを表一6に示す。

4.2. 解析条件

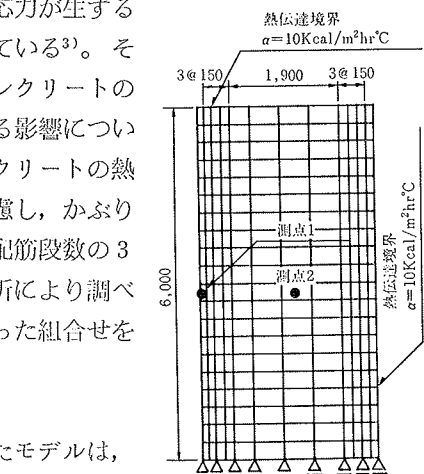
解析を行なったモデルは、内径64m、厚さ3mの円筒構造物で、軸対称モデルとした。

(図一14)本解析は、コンクリート表面部分での内部拘束応力を対象としているため下端をローラ支承とした。鉄筋は、その総断面積が等しくなるようにリング

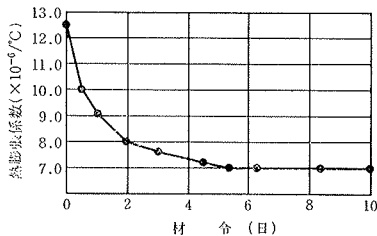
状にモデル化した。また、鉄筋とコンクリート完全付着とし、スリップなどは考慮していない。コンクリートの配合および熱的・力学的性質については、2章で示したA配合のものを用いた。コンクリートの熱膨張係数は、実験結果から図一15に示した値を用いた。また、鉄筋の比熱は0.11 kcal/kg°C、熱伝導率は460 kcal/mhr°Cとした。

4.3. 結果と考察

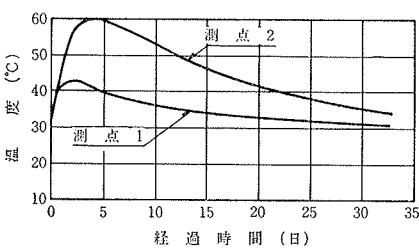
温度分布解析の結果には鉄筋による影響がほとんどなかった。コンクリート温度の経時変化の一例として



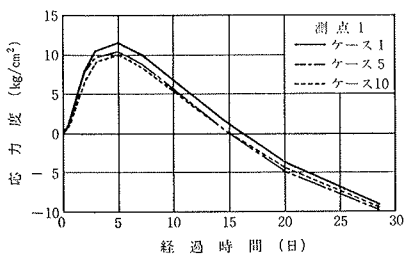
図一14 解析モデル



図一15 コンクリートの熱膨張係数



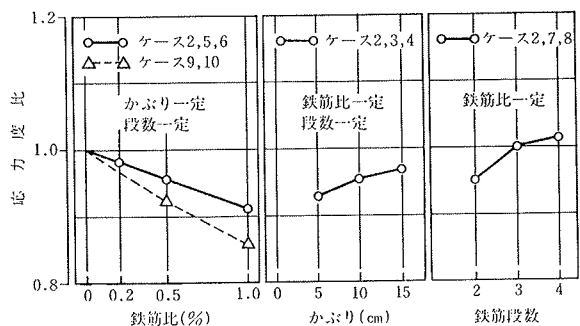
図一16 コンクリート温度の経時変化



図一17 発生応力度の経時変化

ケース1の結果を図一16に示す。応力解析の結果として、ケース1, 5, 10の表面部分における発生応力の経時変化を図一16に示す。鉄筋と

コンクリートの熱膨張係数差を考慮しない場合、鉄筋比を大きくすると、コンクリートに生ずる引張応力を鉄筋が負担する割合が大きくなり、コンクリート応力が若干ずつ軽減されていることがわかる。鉄筋とコンクリートの熱膨張係数差を考慮すれば、温度第1上昇時にコンクリートが鉄筋に引張られることになり、鉄筋によるコンクリート応力緩和効果が小さくなる。(ケース5, 10) 各要因について引張応力が最大となる時点(材令5日)の値を、無筋の値を1とした場合の応力度比で比較し図一18に示した。鉄筋比の影響については、その値を増すことによりコンクリートの応力を低減できるが、鉄筋とコンクリートの熱膨張係数差によりその効果が60%程度となる。鉄筋のかぶりについては、その値が大きいほど、コンクリートの応力緩和効果が小さくなった。また、鉄筋段数については、段数を増すほどコンクリート応力緩和効果が小さくなり、段数が多くなるとむしろ危険な結果となった。このことは、鉄筋を温度上昇の大きな位置に配することになるため、鉄筋とコンクリートの熱膨張係数差によって生ずるコンクリートの引張応力を大きくするためと考えられる。したがって、ひびわれ幅を小さくするために鉄筋を配する場合、若干の温度応力低減効果が期待できるが、配筋方法によってはひびわれを誘発する結果にもなるので注意を要する。また、配筋方法としては、内部拘束応力が卓越する構造物では所要のかぶりを確保できる範囲で、できるだけ表面に配することが温度応力低減に効果的であることが明らかとなった。



図一18 各要因における応力度比の比較

5. 型枠材および型枠の取外し時期による影響

5.1. 実験内容

温度ひびわれの制御対策としてRC壁などの構造物では、型枠に合板などの保温性の良い材料を使用し、コンクリート断面内外の温度差を小さくする方法がとられる。しかし、この方法については温度上昇量を大きくするため、逆効果になることも考えられる。また、型枠の取外し時期も重要なポイントとなる。そこで、図一19に示すRC壁を使用し、メタル型枠5日脱型、合板型枠5日、10日脱型の3ケースについて、コンクリート温度お

よび温度応力を計測し、その効果を比較した。

5.2. 実験条件

実験を行なったRC壁は図-19に示すように、左右を既設壁に囲まれた2区画とした。コンクリートの打設は12月で一度

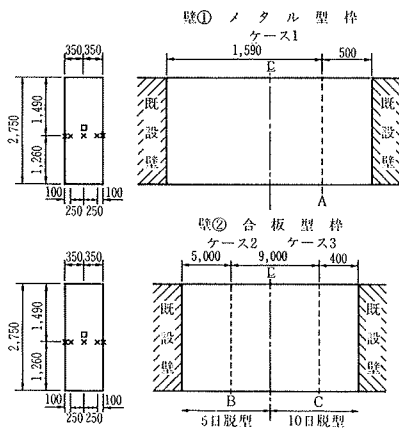


図-19 構造概略および計測位置

にコンクリートを打設した。合板型枠を用いた壁②では、型枠の取外し時期を左右でかえて、②を5日後、③を10日後とした。コンクリート温度および温度応力の計測は、それぞれ Cu-Co 熱電対および有効応力計を用い、図-19に示した測定位置において行なった。

5.3. 結果と考察

各計測断面の中心部温度および発生応力度の経時変化を図-20に示す。メタル型枠の最高上昇温度は材令22時間で12.5℃であるのに対し合板型枠(ケース2)では材令34時間で18.7℃と、約6℃高かった。図-21は各材令におけるコンクリート断面内の温度分布を示したものである。中心部と表面部の最大温度差はメタル型枠の場合7.5℃であるのに対し、合板型枠では5.5℃であった。コンクリート表面から内側10cmまでの温度差は、合板型枠の方がやや小さいようである。合板型枠を5日で取外したものは、コンクリート表面と外気温に10℃以上の差が生じ、急激に冷却されたものと思われる。また、材令10日においてはコンクリート温度と外気温にほとんど

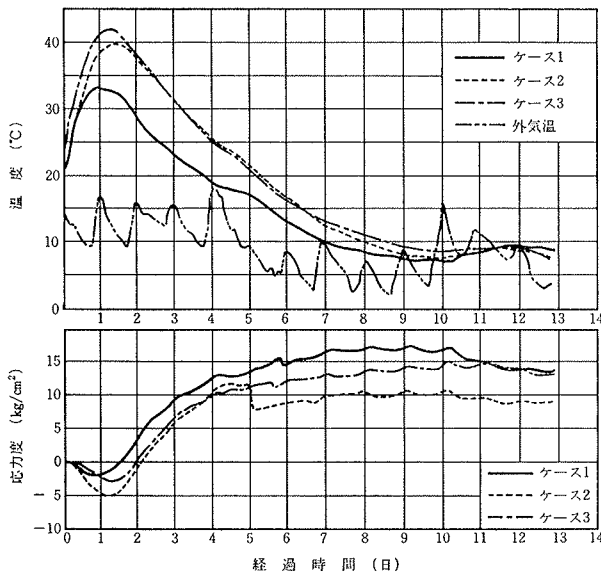


図-20 温度および応力度の経時変化

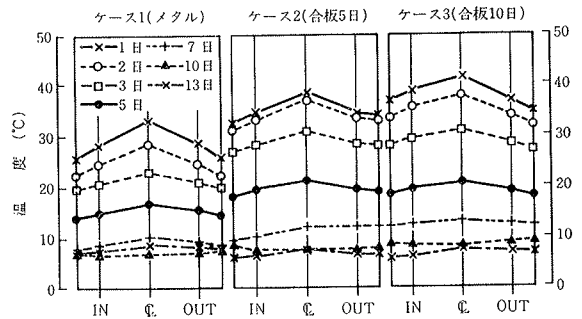


図-21 断面内温度分布の経時変化

ど差がなかった。断面内の引張応力度が最も大きいのはメタル型枠で、材令5日の時点で約13 kg/cm²の引張応力度が生じている。一方、合板型枠の場合は材令5日で約10 kg/cm²であり、合板型枠の使用により約2割強の応力度の低減効果があった。しかし、合板型枠を5日で取外したものについては、その後急激な応力の減少が見られ、計測位置付近でひびわれが入ったものと推される。これは、前述のように型枠の取外しによりコンクリート表面が急激に冷却されたためと考えられ、合板型枠を使用する際には、コンクリート温度の低下を確かめて型枠を取外す必要があるものと思われる。

6. 膨張材によるひびわれ制御効果

6.1. 実験内容

膨張材による温度ひびわれ制御効果について、地下構造物の側壁を使用し、計測により調べた。膨張材の使用はケミカルプレストレスの導入による引張応力低減効果があるが、膨張材の反応過程における発熱がコンクリートの温度上昇を促進し、その効果を打消されることがある。そこで、今回は水和熱抑制効果を合せ待った膨張材を用いて実験を行なった。

6.2. 実験条件

実験を行なった構造物は図-22に示すように背後に連続地中壁のあるRC壁である。膨張コンクリート(R壁)は単位セメント量の30 kg/cm²を膨張材に置換した配合とし普通コンクリート(N壁)と同一条件にして施工した。計測内容は、温度、ひずみ、無応力ひずみ、有効応力とし図-22に示す位置で計測を行なった。

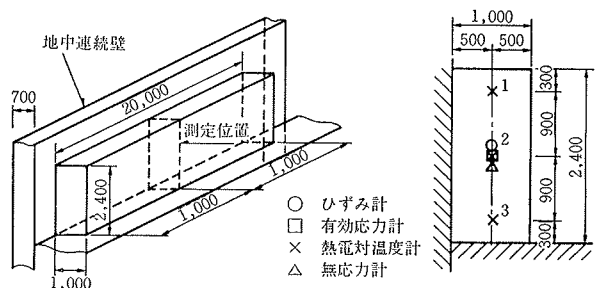


図-22 構造概略および計測位置

6.3. 結果と考察

コンクリート温度、壁中央の突ひずみ、無拘束状態でひずみおよび発生応力度の経時変化を図-23に示す。断面中心部の最高温度上昇量はR壁の場合 28.5℃(材令34時間)、N壁で 27.2℃(材令40時間)と、若干膨張材を用いた方が高くなり、図-24に示した断熱温度上昇試験と同様の結果となった。しかし、通常の膨張材を用いたコンクリートと比べると、水和熱抑制剤の効果が認められる。膨張材による膨張量は材令1.5日で約180μで、それ以後の膨張は約50μ程度と小さい。また、断面中心でのひずみは、N、R壁とも小さく、既設物の拘束が極めて大きいことを示している。発生応力度の経時変化をみるとR壁はN壁に比べ、材令1.5日において約5

kg/cm²大きい圧縮応力度を受けており、その分だけケミカルプレストレスが導入されていることがわかる。この差は応力が引張に転じてもそのまま残っており、引張応力度の低減に役立つものと考えられる。表-8は、R、N壁それぞれについてひびわれ

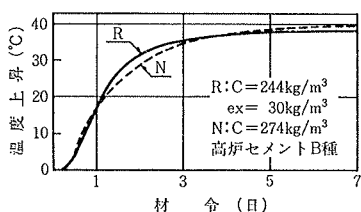


図-24 コンクリートの断熱温度上昇

材令(日)	壁体	壁長(m)	ひびわれ本数(本)	全ひびわれ幅(mm)	平均ひびわれ幅(mm)	単位長当りのひびわれ幅(mm)
8	R	20.00	10	2.05	0.205	0.103
	N	20.00	13	3.30	0.254	0.165
80	R	20.00	13	3.70	0.290	0.185
	N	20.00	15	5.15	0.343	0.258

表-7 ひびわれ調査結果

調査を行なった結果であるが、単位長さあたりのひびわれ幅を比較するとR壁が約38%小さくなっており、このような構造物においては、膨張材によるひびわれ制御効果の大きいことが確認された。

7. あとがき

以上、温度ひびわれ制御のための各種対策についてその効果の検討を行なったが、今回の結果は個々の要因について限られた条件下のものであるため、その効果を正確に評価するには、構造条件の異なるものや解析手法についてさらに検討してゆく必要がある。表-8は今回得られた結果と既往の研究結果を総合して、各種のひびわれ制御対策の評価を試みたもので、対策を立てる際の参考となれば幸いである。最後に、本研究を行なうに際し御尽力頂いた本社土木技術第二部、土木設計部の関連諸氏に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 十河, 他: マッシュなRC構造物の温度ひびわれ制御に関する研究(その1), 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集第5部, (昭和58. 9), pp. 401~402
- 2) 芳賀, 他: 若材令コンクリートの強度および変形特性, 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集第5部, (昭和58. 9), pp. 129~130
- 3) 新開, 他: マスコンクリートの温度応力に及ぼす鉄筋の影響, 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集第5部, (昭和58. 9), pp. 405~406

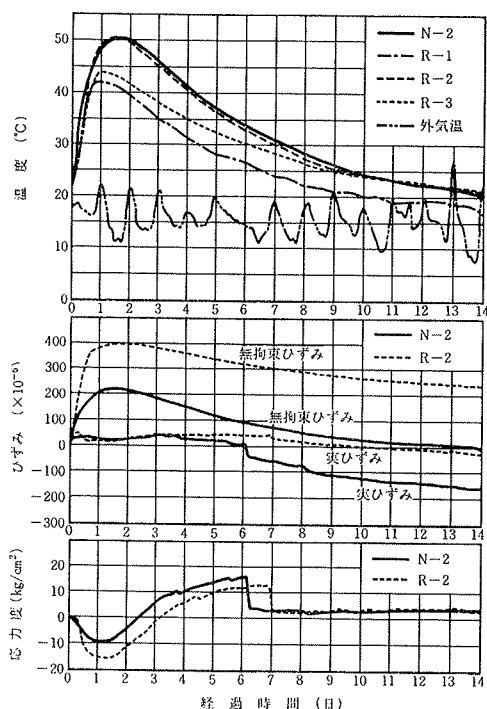


図-23 温度・ひずみ・応力度の経時変化

温度ひびわれ制御対策		効果および問題点	評価
分類	細目		
使用材料	低熱型セメントの使用	温度上昇を抑制できるが、強度発現も遅くなる。強度管理材令を長期にする必要あり	◎
	良質骨材の使用	同一ワーカビリチーでの単位水量の低減で単位セメント量も減少する	○
	流動化剤の使用	単位水量、単位セメント量の低減により、作業性、強度が同一で温度上昇を低くできる	◎
	膨張混和材の使用	ケミカルプレストレスの導入により、発生引張応力を抑制できる	◎
	良質ボランの使用	単位セメント量の低減効果はあるが、品質変動も増す。適切な使用方法が必要	◎
配合	繊維補強コンクリート	引張強度の増加、ひびわれの分散効果があるが、コストが高い	△
	スランブを小さくする	単位水量、単位セメント量が低減され、温度上昇がおさえられるが、施工できる範囲で小さくすることが必要	○
	骨材の最大寸法を大きくする	単位水量、単位セメント量が低減され、温度上昇がおさえられるが、鉄筋の間隔、型枠寸法の制限を受ける	○
	設計基準強度を小さくする	条件次第では断面を大きくし、設計強度を下げる方が効果的な場合もあり、温度応力を低減できる	○
	強度管理材令を長くする	長期強度で品質管理をすることで、配合強度を小さくし、温度応力を小さくできる	△
施工	その他	空気量を増したり、混和剤量を割増すことが効果的な場合もある	△
	ハイブローリングをする	最高温度を低下し、断面内の温度を均等にできる	◎
	プレブローリングをする	練上り温度を低くし、温度上昇速度を遅くし、かつ温度降下量を小さくできる。外部拘束応力の低減に効果的	◎
	リフト高さを小さくする	温度上昇量を低減できる。打断ぎ期間に注意する必要がある	○
	スパンを小さくする	外部拘束を小さくすることになるが、鉛直打撃目を増すことになる	△
工	打継時間を短くする	新旧コンクリートの温度差が小さくなり、拘束応力が低減される。新コンクリートの温度上昇を大きくする危険がある	△
	夏期に打設しない	練上り温度が高いと温度上昇が早く、大きくなる。強度増加も大きい	○
	夜間・早朝打設する	日平均気温より低い温度で打設でき、プレブローリングと同様の効果がある	◎
	冬期に施工する	温度上昇が低く遅いが、コンクリート温度が外気温より高く、温度降下量が大きく、むしろ危険性が増す場合もある	△
	保温養生を行なう	養生期間を長くする	◎
ひびわれ制御筋を入れる	断面内外の温度差を低減できるが、養生終了時の急激な温度低下に注意を要する	◎	
コントロールジョイント設置	断面内の温度を均一にして、コンクリート強度の増加を待てる	◎	
プレストレスを導入する	ひびわれの発生箇所を定め、確実に補修できる	◎	
既設コンクリートを温める	ひびわれの分散効果がある	◎	
	外的に圧縮力に加え、発生引張応力を低減する	◎	
	新旧コンクリートの温度差を小さくし、拘束応力を低減する。施工が繁雑	◎	

表-8 各種温度ひびわれ対策と評価