

電力中央研究所 正会員 ○山川秀次

名古屋大学 正会員 田辺忠顕

1. まえがき

重力式コンクリートダムの温度応力発生メカニズムは、岩盤による外部拘束に起因するものおよびコンクリート躯体内部と外表面との温度勾配による内部拘束に起因するものとに区別することが可能である。一般に、マスコンクリート構造物の温度応力発生メカニズムを検討するには、上記の二つの要因を考慮する必要がある。このため、解析的に温度応力を推定する際には、岩盤を含めた適切なモデル化が不可欠となる。本研究では、重力式コンクリートダムの外気温変動に起因する温度応力発生メカニズムとひび割れの発生条件とに着目し、実在ダムの施工工程を二次元有限要素法を用いシミュレーションした解析結果とひび割れ調査結果とを比較し、重力式コンクリートダムの外気温変動に起因する温度応力発生メカニズムとひび割れの発生条件とを解明することを目的としたものである。

2. 外気温の経年変化に伴う温度応力

外気温の経年変化に伴い、コンクリート躯体内部には温度応力が発生する。重力式コンクリートダムの外気温の経年変化に伴い発生する温度応力とひび割れ発生条件とを明確にする目的で、実在ダム（図-3参照）の施工工程をシミュレーションした二

次元有限要素法による非定常熱伝導解析および非線形熱応力解析を実施し、解析結果とひび割れ調査結果との比較を実施した。解析に用いた熱定数を表-1に示し、弾性係数ならびに引張り強度と材令との関係を図-1および図-2に示し、代表点での温度履歴および

応力履歴を図-3に示す。上記の解析結果より、内部コンクリートの最大引張り応力は岩着部より約19m高さの位置のA点で最終安定温度時に生じており、その値は18 kg/cm²である。また、コンクリート外表面で最も大きな引張り応力が生じるのは、岩着部より40m高さのB点の位置であり、コンクリート打設後約17ヶ月経過した最も外気温の低い2月頃に26 kg/cm²の引張り応力になる。コンクリートのひび割れ発生条件を検討するため、これらの最大引張り応力とコンクリートの引張り強度との比を求めると、外部コンクリートの場合には約1.69であり、また、内部コンクリートの場合には約1.44であった。今回の熱応力解析では、コンクリートの若材令時の妥当と考えられている構成方程式を考慮し、材令の経過に伴い弾性係数を非線形に変化させている。このため、若材令時の温度変化に対しては温度応力が大きくならないようになっている。しかしながら、硬化後のコンクリートに対してはクリープの影響が考慮されて

表-1 解析に用いた熱定数

項目	単位	コンクリート	岩盤
熱膨張係数 (α)	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	7.93	11
熱伝導率 (K)	kcal/m $\cdot$ hr $\cdot$ ^{\circ}\text{C}	2.72	3.13
比熱 (C)	kcal/kg $\cdot$ ^{\circ}\text{C}	0.292	0.17
比重 (ρ)	kg/m ³	2,470	2,680
断熱温度上昇 (ΔT)	^{\circ}\text{C}	内部: 13.7(1-e ^{-0.8810.99}) 外部: 15.8(1-e ^{-0.8810.91})	

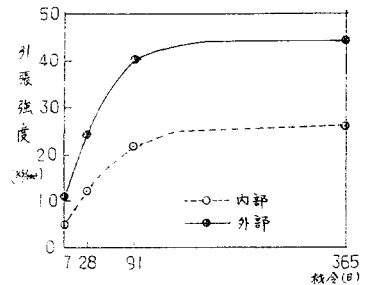
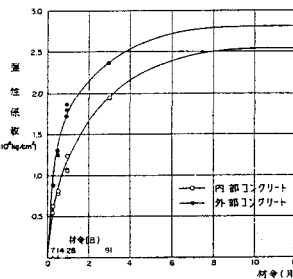


図-1 コンクリートの弾性係数 図-2 コンクリートの引張り強度

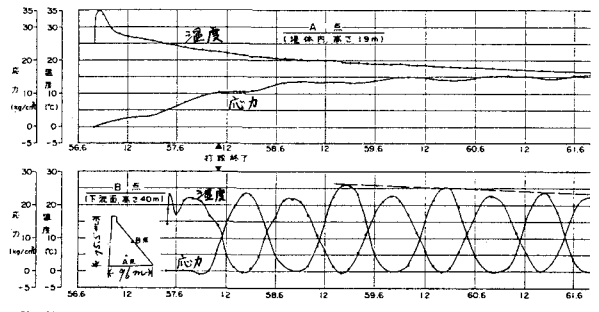


図-3 代表点における温度ならびに応力履歴

これらの最大引張り応力とコンクリートの引張り強度との比を求めると、外部コンクリートの場合には約1.69であり、また、内部コンクリートの場合には約1.44であった。今回の熱応力解析では、コンクリートの若材令時の妥当と考えられている構成方程式を考慮し、材令の経過に伴い弾性係数を非線形に変化させている。このため、若材令時の温度変化に対しては温度応力が大きくならないようになっている。しかしながら、硬化後のコンクリートに対してはクリープの影響が考慮されて

いないため、解析より求められた最大引張り応力はかなり軽減（従来の簡易法によると30～40%の軽減を見込んでいる）されるものと想定される。以上の検討結果より、外気温の経年変化に起因する温度応力ひび割れ発生の可能性は今回の研究で対象とした重力式コンクリートダムの場合には、非常に少ないものと考えられる。また、実在ダムで実施したひび割れ調査結果においても、外気温の最も低くなる2月頃には、ひび割れの新たな発生は確認されていない。

ふ、外気温の急激な変動に起因する温度応力

コンクリートは熱伝導率が非常に低いため、秋口の夜間の冷えこみに代表される急激な外気温の変動があると、コンクリート外表面とコンクリート躯体内部との間で急激な温度勾配が生じ、コンクリート同志の拘束に起因する温度応力が主として表面付近で発生し、コンクリートのひび割れの発生原因となる。しかしながら、この種の半日前後の外気温の急変に起因するひび割れの深さは経験的に10cm前後であることがいくつかのダムにおけるひび割れ調査で明らかにされている。そこで、本研究では、外気温の急激な低下が数日間に亘り継続する晩秋の頃の寒波により発生する温度応力に着目し、二次元有限要素法による解析値とひび割れの発生条件につき検討した。図-4および図-5は岩着部より約14m高さの位置にあり、コンクリート新旧リフト境界面より約1m下方のコンクリート外表面より30cm内部の奥における温度ならびに応力履歴を示したものである。これらの図より明らかなように、外気温の急激な低下に伴い、コンクリート外表面付近に急激な引張り応力が生じている。この引張り応力は寒

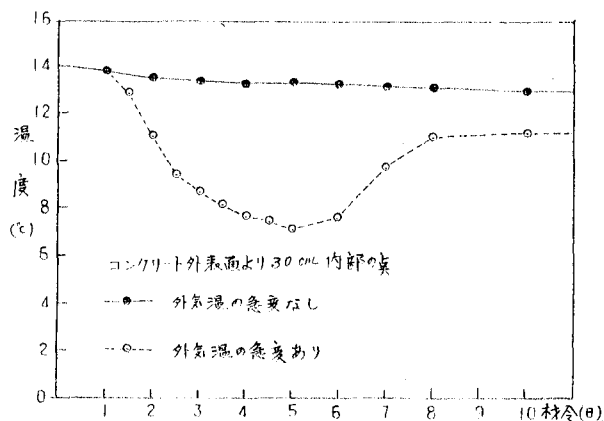


図-4 コンクリート外表面付近の温度履歴

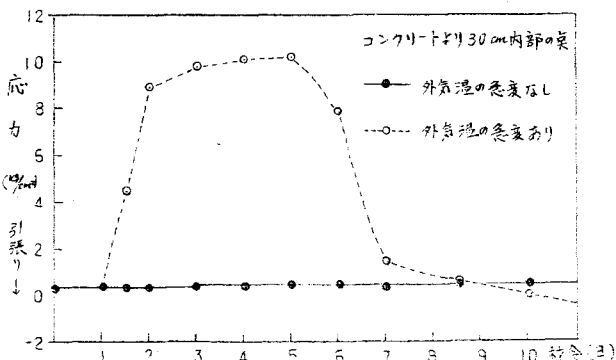


図-5 コンクリート外表面付近の応力履歴

波の終了するまで漸増する傾向が認められ、その最大値は約10.1 kgf/cm^2 である。一方、最大引張り応力が発生する時期における上記の外部コンクリートの位置での引張り強度は約13 kgf/cm^2 であり、引張り強度と引張り応力との比は1.28であり、外気温の経年変化に対する安全率より約0.4低い値となっている。すなわち、外部コンクリートの場合には、コンクリートの品質のばらつきならびにクリープによる応力緩和がほとんど見込めない点を考慮すると、外気温の急激な低下が数日に亘り継続する際には、ひび割れの発生の可能性は若干ではあるが考えられる。さらに、この種の外気温の急激な低下に起因するいわゆる内部拘束により発生する温度応力は、先行ブロックでの内部コンクリートの垂直方向露出面でも発生するため、同様の解析を実施した。内部コンクリート露出面より30cm内部の最大引張り応力は約6.2 kgf/cm^2 であり、コンクリートの引張強度を約0.2 kgf/cm^2 上廻っていた。すなわち、先行ブロックでの内部コンクリート露出面でのひび割れ発生の可能性はかなり大きい。

4. おわりに

本研究では、実在ダムの施工工程をシミュレーションした解析値とひび割れの調査結果とに基づき、重力式コンクリートダムにおける温度応力発生メカニズムとひび割れの発生条件につき検討した。現在、引き続き内部拘束に起因する温度応力の実測を計画しており、実測結果が得られたい報告する予定である。

なお、本研究に対して、昭和57年度吉田研究奨励金を授与されましたことを記して感謝の意を表します。