

簡易 FEM 温度解析によるパイプクーリングの効果についての検討

03702 有川 和陽
01A3797 上野 裕樹
指導教員 牧角 龍憲

1.はじめに

コンクリート構造物の完成時にみられる温度ひび割れの事例は、未だに多く発生しており、構造物の耐久性に著しい悪影響を及ぼす恐れがある。よって、温度ひび割れを抑制するための対策が急務とされている。

今後、コンクリート構造物の施工に関わる一般の土木技術者は、事前にひび割れ照査を行う時、技術面の向上や経費の面から考えても自ら解析を行う必要がある。

しかし、現時点でのひび割れ照査における3次元温度応力解析ソフトは、一般の土木技術者にとって操作が難しいため、その解析方法の習得が課題となっている。

そこで、最も使いやすい2次元FEM温度応力解析プログラム(JCMAC1)を使って、簡単にひび割れ対策としてのパイプクーリング工法の効果が得られるかについて確認した。

2. FEM温度解析の操作方法

パイプクーリング工法を、FEM温度解析に用いるにあたっての、主な操作方法是次の通りである。

コンクリート壁、コンクリートスラブ、岩盤の外形を設定する(図-1)。解析対象を中心で左右対称とし、右半分のみ解析を行うようにする(図-2)。

コンクリート壁、コンクリートスラブ、岩盤を一つの矩形領域に分けて寸法を入力し、内部をそれぞれメッシュ分割し入力する。この時、メッシュ分割で引かれた縦線は、それぞれの矩形領域内で、一直線になるようにする。

メッシュ分割時、パイプがある場合は、メッシュでパイプの断面を矩形で表現し、パイプ内部を分割して入力する。パイプ内部を分割するのは、パイプ内部の中心をある一定の温度で固定するためである。中心を温度固定すると、パイプ内の水温の上昇を防ぐ事になり、それが、解析ソフト上でのパイプクーリング工法を表現する事になる。パイプの設置箇所は温度上昇の高いと予想されるコンクリート構造物の中心にする。

矩形領域を選択し、それぞれのリフトデータを入力する。(リフト番号、打設日、セメントの種類、セメント量、打込み温度)

各解析対象の矩形領域に、それぞれの材料特性値を入力する。

解析終了日、施工場所を入力すると、自動的にその時の外気温も入力される。

物質の違う境界を選択し、熱伝達境界データを入力する。

各要素におけるコンクリート温度の時間に伴う変化は、自動で計算され、解析終了となる。

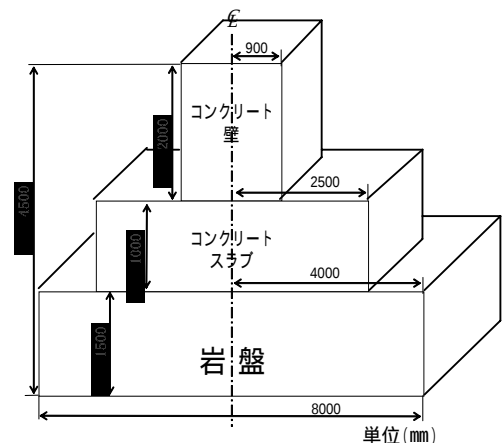
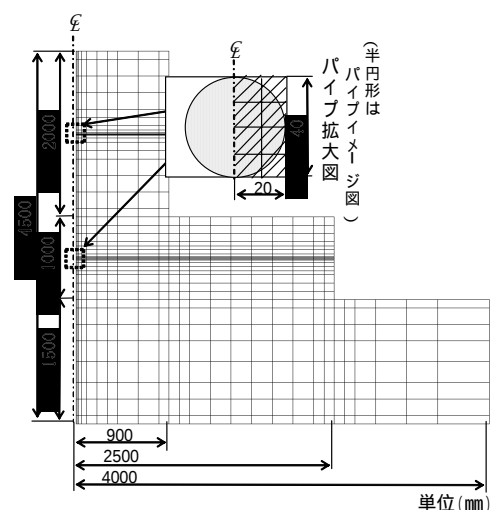


図-1 解析対象の構造物



3. F E M温度解析操作の検討

3.1 目的

F E M温度解析でパイプクーリング工法を行うと、問題が出て来たため、データ入力方法としての検討を行う。

本解析ソフトでは、岩盤（非発熱体）上にコンクリート（発熱体）がリフト順に打設される。打設する要素が順次増加する工程を基準としており、非発熱体は、リフト0と表現する。ところが、パイプクーリング工法の場合、コンクリートを打設するリフトに、あらかじめパイプ（非発熱体）がセットされるため、そのパイプのリフトデータをどのように扱えば解析できるかが問題となる。よって、パイプのリフト番号を変えて、解析してみる。

3.2 温度解析の設定条件

- ・パイプクーリング工法で解析を行う。
- ・温度解析の熱特性値、打設日、寸法、セメントの設定、施工場所などは、所定の値にする。
- ・パイプのリフト番号を0番以外で、セットの日をコンクリートが打設される日と同じにし、非発熱体で入力する。

3.3 解析結果と考察

パイプのリフト番号を変えて調べた結果、コンクリートの打設リフトがXの場合に、パイプのリフト番号をX + 1にする。パイプのリフトデータを非発熱体にし、セットの日をコンクリートの打設日と同じにすると、問題なく解析が行える事が解った。（図-3、図-4）

このことから、パイプクーリング工法の効果が解析上で表現できる事が解った。簡単なF E M温度解析ソフトでも、実際の構造物の温度変化予測として使用できる可能性がでてきた。

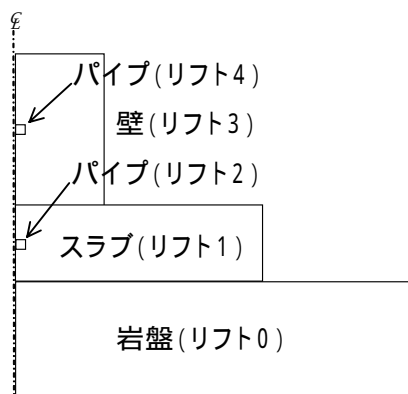


図-3 各リフトの番号例

4. メッシュ分割について

解析対象をメッシュ分割し、いくつか細かく分割された一つ一つを要素という。粗いメッシュでは、要素が大きくなり、熱伝導や熱伝達が極端になる。すると、コンクリートの温度変化が一様化されるため、あまり正確な温度分布が表示されなくなる。逆に、細かいメッシュでは、要素が小さくなり、一つ分の要素の中でのコンクリートの温度変化が細くなるため、より正確な温度分布が表示されやすくなる。しかし、あまりメッシュを細かく区切りすぎると、初期温度・温度固定境界や熱伝達境界の設定時などで操作を誤る場合がある。

その他にも、パイプクーリングをする場合、パイプを入れる事により飛躍的にメッシュ数が増すので、すべての値を入力し終わったあと、最後の計算段階でソフトが固まってしまう恐れもある。

以上より、メッシュ分割は、温度変化が大きいと予想される箇所は、細かいメッシュにし、逆に温度変化が小さいと予想される箇所は、粗いメッシュにする作成方法が、最も適切な方法である。（図-5）それにより、無駄に要素数が増えるのを防ぐ事が出来る。

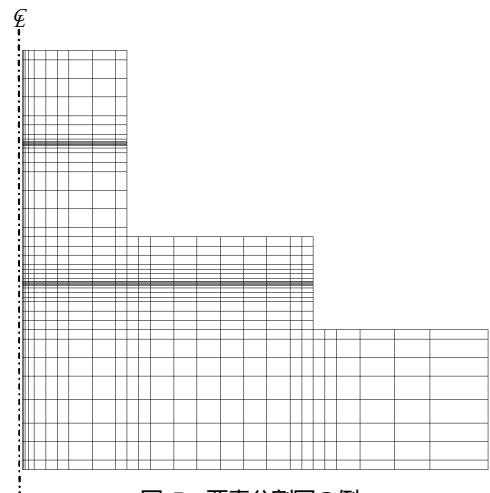
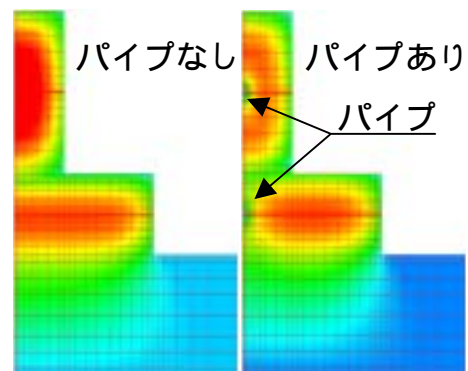


図-5 要素分割図の例



5. 実測値と解析値を比較した場合の検討

5.1 目的

簡単な2次元FEM温度解析ソフトで、細見川橋下部工工事にて得られた実測値をもとに、自分達で解析した解析値と比較し、実測値を予測できるかどうかを検討する。

5.2 温度解析の設定条件

- ・パイプの設置は、実際に設置された3次元の箇所を2次元に置き換えて設置した。
- ・温度解析の熱特性値は表-1に示す。
- ・円形のパイプは、要素分割して表現することが複雑で簡単ではないので40mm×40mmの矩形パイプに毎分10リットルの流量で、常に流れている状態にした。
- ・構造物の打設日は、実際に細見川橋が打設された日と同じ、フーチング8月2日、橋脚8月8日。実際の寸法は、図-7に示す。温度解析の寸法は、図-8に示す。
- ・セメントの設定は、高炉B種(340kg/m³)を使用する。
- ・施工場所は実際の現場と同じ宮崎県とした。

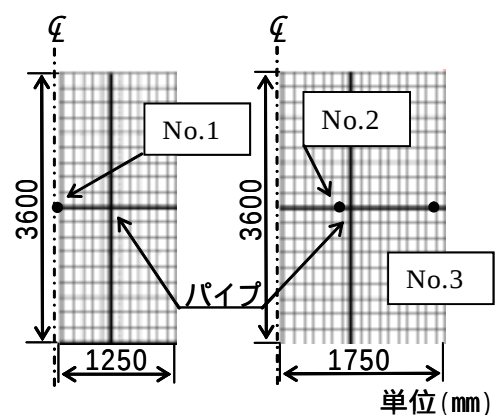
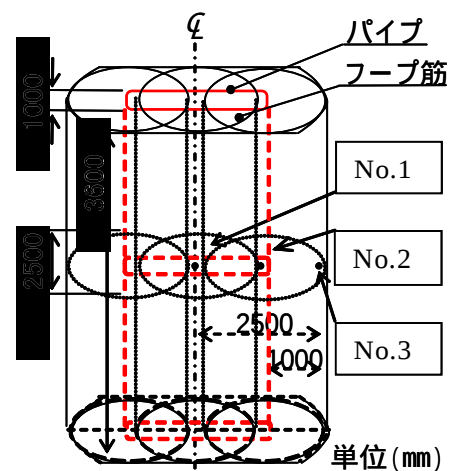
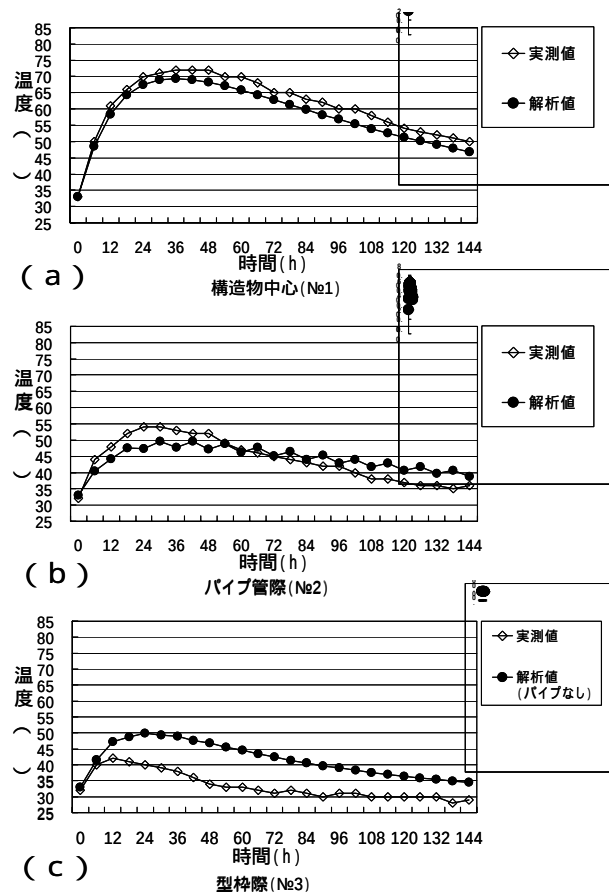
物性値	岩盤	コンクリート	水
初期温度	25	28	20
熱伝導率	3.5W/m	2.7W/m	5W/m
密度	2650 kg/m ³	2350 kg/m ³	1000 kg/m ³
比熱	0.8W/m ²	1.15W/m ²	4.2W/m ²

5.3 解析結果と考察

実測値と解析値のそれぞれの温度を比較した結果、次のようになった。図-6に実測値と解析値の比較を示す。

構造物中心の温度(図-6(a))とパイプ管際の温度(図-6(b))は、実測値と解析値が同じ様な値が得られた。型枠際の温度(図-6(c))は、コンクリート温度の上昇に差が見られた。これは解析値の外気温が、過去の記録を元に作られたため、実測値の外気温とズレが生じ、型枠際という箇所が他の箇所に比べ、外気温による影響が出やすいからだと考えられる。

以上の事から実測値におおよそ近い値が得られ、簡単な2次元FEM温度解析ソフトでも、実際にある構造物の温度解析が、ある程度予測できる事が解った。



6. FEM応力解析操作の検討

6.1 目的

パイプクーリング工法についてのFEM温度解析と同様の方法では、FEM応力解析が出来なかった。そこで、FEM応力解析が出来るようにする。FEM応力解析が出来ないのは、パイプリフトに関係していると思われるので、パイプリフトデータをいろいろ変えて、FEM応力解析出来るようにする。

6.2 FEM温度解析時の設定と結果

- ・パイプクーリング工法で解析を行う。
- ・温度解析の熱特性値、打設日、寸法、セメントの設定、施工場所などは、所定の値にする。
- ・パイプリフトデータは、表-2に示す。

表-2 パイプリフトデータと結果

リフト番号	セット日	FEM応力解析
0番	-	解析できない
+1	打設日と同じ	解析できない
+1	1日遅れ	解析できる

7. パイプセット日の違うFEM温度解析

7.1 目的

パイプのセット日を打設日より、1日ずらすと解析対象にどのような温度変化が起こるか解析してみる。

7.2 温度解析の設定条件

- ・パイプクーリング工法で解析を行う。
- ・温度解析の熱特性値、打設日、寸法、セメントの設定、施工場所などは、所定の値にする。図-9に寸法と測定箇所を示す。
- ・構造Aは、パイプのセット日とコンクリートの打設日を同じにする。構造Bは、パイプのセットがコンクリートの打設より、1日遅れている。

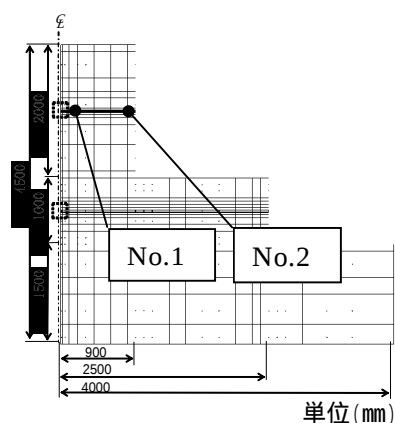


図-9 温度解析の寸法と測定箇所

7.3 解析結果と考察

図-10に構造AおよびBにおける、各点の温度変化を示す。パイプクーリングのセットが遅い構造Bの方は、最高温度が約1℃と、若干高かった。これは、パイプクーリングのセットが遅いと、コンクリートの温度が、その間に上昇するためである。

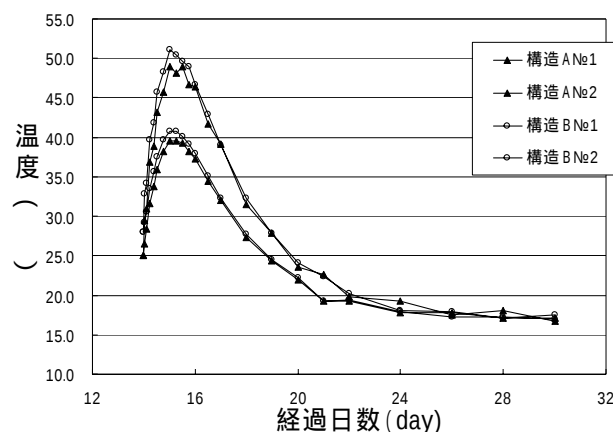


図-10 各点の温度変化

8. まとめ

今回、2次元FEM温度解析でパイプクーリング工法の効果について検討した結果、以下の通りになった。

(1) FEM温度解析方法

FEM温度解析は、パイプのリフト番号をX+1にして、解析する方法が最適な方法である。メッシュ分割は、温度変化が大きいと予想される箇所は、細かいメッシュにし、逆に温度変化が小さいと予想される箇所は、粗いメッシュにする作成方法が、最適な方法である。

(2) FEM温度解析について

実測値におおよそ近い値が得られ、簡単なFEM温度解析ソフトでも、実際にある構造物の温度変化が、ある程度予測できる事が解った。

(3) FEM応力解析について

パイプクーリング工法で解析する場合、パイプのセット日をコンクリートの打設日より1日遅らすと、解析出来る事が解った。しかし、当然ながら、パイプクーリングがコンクリートの2日目から影響する事となるため、正しく表現する事とならない。

(4) 今後の課題

今回の研究では取り組まなかったFEM応力解析やCPM温度応力解析について、もっと検討する必要がある。